

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-13 改 6
提出年月日	平成 30 年 4 月 17 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-13 【機電分耐震計算書の補足について】

平成 30 年 4 月

日本原子力発電株式会社

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について
2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法
3. 建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における拡張マージンの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価の検討方針
6. 動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）
7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について

下線：ご提出資料

4. 機電設備の耐震計算書の作成について

目次

1. 目的	1
2. 適用範囲	1
3. 基本方針	1
4. 機電設備耐震計算書分類フロー及び構成について	2
5. 耐震計算書記載注意事項	3

参考図書

- V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-6 管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- V-2-1-14-9 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針(説明用)
- 添付資料-1 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「容器」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-2 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-3 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「計器ラック」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-4-1 機能維持評価で詳細検討を実施する場合(評価用加速度>機能確認済加速度)
- 添付資料-4-2 機能維持評価で新たな検討を実施する場合
- 添付資料-5 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-6-1 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-1パターン「解析」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-6-2 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-2パターン「手計算」の耐震計算書記載例)
- 添付資料-7 個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Dパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-8 機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
(Eパターンの耐震計算書記載例)
- 添付資料-9 「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(Fパターン「管」の耐震計算書記載例)

下線：ご提出資料

1. 目的

新規制基準を適用するに当たり、建設時の工事計画認可申請等既工認と比べて耐震計算を必要とする設備の種類・数が増加し、これに伴い、記載内容も既工認の記載事項には収まらない多様なものとなった。本資料は、耐震計算書を地震応答解析及び応力評価手法等による分類を行い、それぞれの分類において耐震計算書の構成・記載程度について整理することで、耐震計算書の品質向上に資するものである。

本資料は、耐震計算書作成の手引きとして使用するものであり、設備や評価手法の独自性を踏まえて、要領書と異なる記載を妨げるものではない。

2. 適用範囲

本資料は、東海第二発電所の工事計画認可申請における添付書類のうち「V-2 耐震性に関する説明書」及び「V-2 別添」の機電設備に適用するものとする。

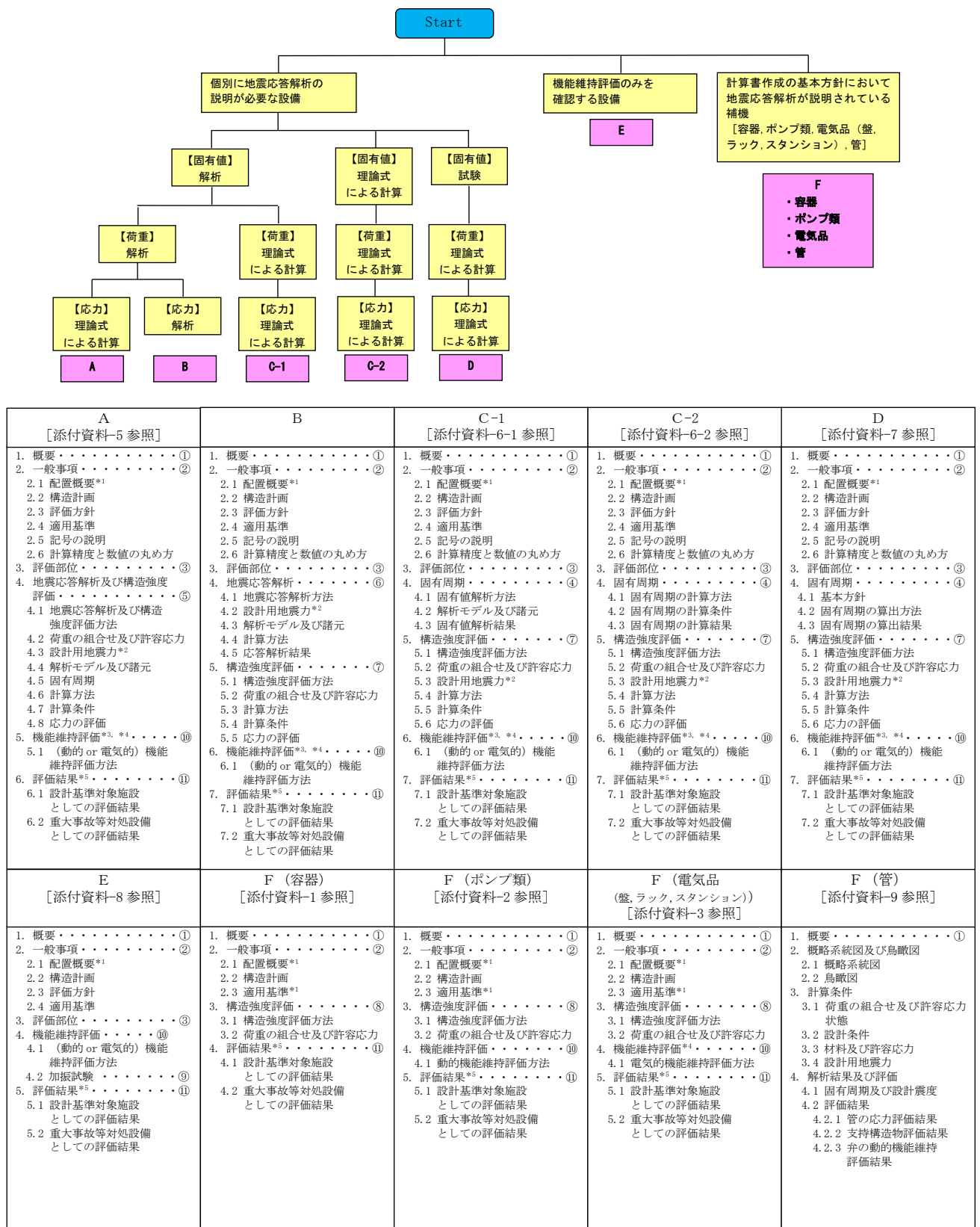
3. 基本方針

耐震計算書の品質向上のため、耐震計算書は評価手法に基づき体系的に分類し、同じ分類に属する耐震計算書においては章構成、内容、用語等をできるだけ統一的な記載とする。具体的には以下の方針に基づいて本資料を作成し、本資料を耐震計算書の記載の手引きとして活用する。

- ・耐震計算書を分類し、分類ごとに章構成をできるだけ統一する。
- ・分類に当たっては耐震計算書分類のフロー図を作成し、これに基づき耐震計算書を分類する。
- ・分類は地震応答解析、応力評価方法等により分類する。

4. 機電設備耐震計算書分類フロー及び構成について

図 4-1 に機電設備耐震計算書分類フロー及び各分類の構成を示す。



*1：波及的影響を及ぼすおそれのある施設

*2：計算書作成の基本方針を呼び込まない計算書の設計用地震力の記載は添付資料-10を参照する。

*3：動的又は電氣的機能維持評価が必要な設備のみ記載

*4：機能維持評価で詳細評価が必要な場合（機能確認済加速度を超えた場合）の記載は添付資料-4を参照する。

*5：設計基準対象施設単独又は重大事故等対処設備単独の場合は該当する項目のみ記載する。

図 4-1 機電設備耐震計算書分類フロー及び各分類の構成

図 4-1 は各耐震計算書の第 1 章「概要」から最終章「評価結果」に至るまでの基本的な章構成、主な記載内容を示している。フローパターンは A～F の種類があり、各耐震計算書はおおむねこれらのフローパターンに分類することができるような記載とする。設備の特性上、特殊な評価が必要な場合でフローパターンに分類することができなくても本資料の目的を踏まえ、記載の品質向上を図る。

5. 耐震計算書記載注意事項

以降は、東海第二発電所の耐震計算書（機電分）（以下「耐震計算書」という。）における記載項目、様式及び耐震計算書作成上の注意事項について整理し、耐震計算書の作成上の注意事項としてまとめたものである。なお、具体的な記載例は参考図書に示す。

5.1 耐震計算書の全般的な注意事項

○評価手法について

- ・自プラント既工認の記載内容から変更がある場合は、その内容が分かるように記載する。自社他プラントや既往研究の評価手法を引用する場合は、参照する工認書類等を記載する。なお、他社プラント工認で適用実績がある評価手法を用いる場合においても、自社として初めての適用となる場合は内容を省略せずに記載する。
- ・評価手法が既工認の記載事項から変更がなく、詳細な記載を省略する場合は、参照する工認書類等を記載する。

○評価対象（機器及び部位）、評価内容について

- ・複数の評価対象に対して代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価の上代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。
- ・評価を省略する場合は、その理由を記載する（変更がない、他で包含されているなど）
- ・評価に当たり必要となる記号及び数値を記載する。

5.2 耐震計算書の各項目の注意事項

5.2.1 「①概要」について

「概要」は「目的」、「評価の概要」、「設計基準対象施設としての重要度分類」、「重大事故等対処設備としての設備区分」等を記載することを目的としている。

- ・各計算書に記載する「概要」は評価目的（「十分な構造強度及び電氣的機能維持を有していることを説明するものである。」等）を明確にし「評価結果」の章においては評価目的に対応した結論（「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。」、「十分な構造強度及び止水性を有していることを確認した。」、「波及的影響を及ぼさないことを確認した。」等）を記載する。
- ・機能維持評価について詳細評価する場合はその旨を記載する。
- ・関連する上位文書があれば記載する。

5.2.2 「②一般事項」について

「一般事項」においては「配置概要（波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備のみ記載）」、「構造計画」、「評価方針」、「適用基準」、「記号の説明」、「計算精度と数値の丸め方」を記載し、全体ストーリーを説明することを目的としている。

「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書においては、「計算書作成の基本方針」に記載している項目を耐震計算書に記載する必要はない（以降のページについても同様に基本方針の記載されている項目を耐震計算書に記載する必要はない）。ただし、波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。

- ・「配置概要」では各設備の設置箇所を説明する。
- ・「構造計画」では、「計画の概要」及び「概略構造図」により、「主体構造」から「支持構造物」、据付部（ボルト、溶接部）に至るまでの荷重伝播経路を説明する。
- ・「構造計画」では、「計画の概要」と「概略構造図」の説明においては用語を統一する（以降のページについても同様に用語の整合性をとること）。

- ・「構造計画」では、据付ボルトが後施工の場合は「概略構造図」においてアンカの種類（メカニカルアンカ、ケミカルアンカ）を記載する。
- ・「構造計画」では、支持部が溶接の場合は溶接であることが分かるように「概略構造図」において溶接線を記載する。
- ・「評価方針」では、「構造強度は応力等が許容限界以内であること」、「機能維持確認は機能確認済加速度以下であること」等どのような方法で確認するかを旨記載する。
- ・「評価方針」では、原則として評価フロー図を記載する（評価手法が既工認の記載事項から変更がなく、詳細な記載を省略とした場合は省略可）。
- ・「評価方針」では、ポンプ振動等を考慮する必要がある設備の場合は耐震評価フローにおいて「機械的荷重」の項目を記載する。
- ・「評価方針」では、屋外設備などの自然現象による荷重を考慮する必要がある設備の場合は耐震評価フローにおいてその旨の項目及び考え方の注記を記載する。

例)

追加項目：自然現象による荷重の算定 ・常時荷重

考え方：常時荷重は、自重、風荷重を考慮するものとする。また、上面面積は小さく、積雪荷重はわずかであるため、積雪荷重を含めない。

- ・「適用基準」では、計算書において準拠する規格及び基準について具体的な規格番号、名称、及び制定又は改訂年度も含め記載する。
- ・「記号の説明」では、「記号」、「記号の説明」、「単位」を記載する。
- ・「計算精度と数値の丸め方」では、「数値の種類」、「単位」、「処理桁」、「処理方法」、「表示桁」を記載する。

5.2.3 「③評価部位」について

耐震評価を行う部位を明確にすることを目的としている。

- ・ 5.2.2「②一般事項」の「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
- ・ 複数の評価対象に対して代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価の上代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

5.2.4 「④固有周期」について

固有値を求めることを目的としている。固有値の求め方及び固有値を記載する。

- ・ 解析モデルを用いて固有値を算出する場合（C-1）において、「固有値解析方法」，「解析モデル及び諸元」，「固有値解析結果」を記載する。
 - － 「固有値解析方法」では、適用するモデル（3次元 FEM モデル等）を記載する。
 - － 「解析モデル及び諸元」では、内装品・取付け器具がある場合解析モデル上での扱い（質量や重心位置等の計算条件）を記載する。
 - － 「解析モデル及び諸元」では、基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は「基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と記載する。
 - － 「解析モデル及び諸元」ではモデル図，解析モデルの諸元を記載すること。物性値（縦弾性係数等）はモデル化した材料が複数あればそれぞれに記載する。（ボルトをモデル化しているなら，ボルトの物性値を記載する。）
 - － 「固有値解析結果」では，固有周期を記載するとともに，柔構造の場合はその振動モード図を記載する。
- ・ 理論式を用いて固有値を求める場合（C-2）において，「固有周期の計算方法」，「固有周期の計算条件」，「固有周期の計算結果」を記載する。
 - － 「固有周期の計算方法」では，適用するモデル（1 質点系モデル等），モデル図，計算式を記載する。
 - － 「固有周期の計算条件」では，各項目に対する記号，単位及び数値等を記載する。

- ・固有値測定試験（D）において、「基本方針」、「固有周期の算出方法」、「固有周期の算出結果」を記載する。

- －「基本方針」では、試験名称を記載する。

例)

計器スタンションの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

【類似品の結果を流用する場合の記載例】

計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性をもつ計器スタンションに対する振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

- －「固有周期の算出方法」では、試験方法を記載する。

5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」について

地震応答解析、構造強度評価の方法及びそれらに使用する情報を記載することを目的としている。

- ・以下について記載する。
 - － 地震応答解析及び構造強度評価方法
 - － 荷重の組合せ及び許容応力状態
 - － 許容応力
 - － 使用材料の許容応力
 - － 設計用地震力
 - － 解析モデル及び諸元
 - － 固有周期
 - － 計算方法（応力）
 - － 計算条件（応力）
 - － 応力の評価
- ・「地震応答解析及び構造強度評価方法」には以下について記載する。
 - － モデル、解析コード、拘束条件等を記載すること。
 - － 公称値を使用する旨を記載すること。
 - － 内装品・取付け器具がある場合、解析モデル上での扱い（質量や重心位置等の計算条件）を記載する。

- 基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は、「基礎（据付）ボルト部の「なお、基礎（据付）ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。
- ・「解析モデル及び諸元」ではモデル図、解析モデルの諸元を記載する。物性値（縦弾性係数等）はモデル化した材料が複数あればそれぞれごとに記載する。（ボルトをモデル化しているなら、ボルトの物性値を記載する。）
- ・固有値解析を実施する場合は、固有振動数を記載するとともに、柔構造の場合はその振動モード図を記載する。
- ・応力評価の荷重に使用する解析の結果を記載すること（応力計算式を用いて手計算できる程度）。
- ・許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。
- ・耐震計算は、応力評価点が限定され公称厚さで計算した方が、質量が重くなり、固有振動数が柔側になり評価として保守的な応答を示すこと、また最高使用圧力、最高使用温度で計算を実施しており、適用している許容値にも保守性が含まれることから公称値を用いる。

5.2.6 「⑥地震応答解析」について

地震応答解析方法について説明し、応力評価に用いる応答解析結果を求めることを目標とする。

- ・下記の項目を記載する。
 - 地震応答解析方法
 - 設計用地震力
 - 解析モデル及び諸元
 - 計算方法
 - 応答解析結果
- ・記載時の注意事項については5.2.5「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照。
- ・許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略

する。」の注記を記載する。

5.2.7 「⑦構造強度評価」について

応力評価の方法，応力評価に使用する情報を記載することを目的としている。

- ・ 下記の項目を必要に応じて記載する。
 - － 構造強度評価方法
 - － 荷重の組合せ及び許容応力状態
 - － 許容応力
 - － 使用材料の許容応力
 - － 設計用地震力
 - － 計算方法（応力）
 - － 計算条件（応力）
 - － 応力の評価
- ・ 記載時の注意事項については 5.2.5「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照
- ・ 許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5.2.8 「⑧構造強度評価」について

応力評価の方法は，応力評価に使用する情報を記載することを目的としている。

- ・ 下記の項目を記載する。
 - － 構造強度評価方法
 - － 荷重の組合せ及び許容応力状態
 - － 許容応力
 - － 使用材料の許容応力
- ・ 計算書作成の基本方針を呼び込む設備の計算書（容器，ポンプ等，電気品）については計算書作成の基本方針のフォーマットが使用できることについて

構造上等からの適用性根拠を記載する。

例)

～ポンプは横置ポンプであり～

～設備は設備の構造上、ポンプと同様の 1 質点系モデルによる耐震評価が行えるため～

- ・ どの計算書作成の基本方針を使用するか説明する。
- ・ その他の記載時の注意事項については 5.2.5 「⑤地震応答解析及び構造強度評価」を参照。
- ・ 許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

5.2.9 「⑨加振試験」について

加振試験の方法及び条件について説明することを目的としている。

- ・ 「基本事項」では、加振試験の方法及び目的を記載する。
- ・ 「設計用地震力」では加振波の条件、加振試験の条件を記載する。
- ・ 「設計用地震力」では、添付資料-9 の記載を参考とする。

5.2.10 「⑩機能維持評価」について

機能維持評価方法について説明することを目的としている。

- ・ 応答加速度と機能確認済加速度との比較評価を実施し、必要に応じて J E A G 4601 に記載の詳細評価を実施する。
- ・ J E A G 4601 の詳細評価を実施する場合、評価項目ごとに個別の評価書として章の構成を行い必要な内容を記載すること。
- ・ 機能維持評価方法の説明が必要な場合の記載は添付資料-4 を参考とする。

5.2.11 「⑪評価結果」について

設計基準対象施設としての評価結果、重大事故等対処設備としての評価結果

を記載することを目的としている。

- ・評価結果においては「①概要」に記載の評価目的に対応した結論を記載すること。

例)

「設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。」

「十分な構造強度及び止水性を有していることを確認した。」

「波及的影響を及ぼさないことを確認した。」

説明用

V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性
についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有周期の計算方法	7
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 設計用地震力	12
5.3 計算方法	13
5.4 応力の評価	21
6. 耐震計算書のフォーマット	25

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているスカート支持たて置円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないスカート支持たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

スカート支持たて置円筒形容器の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

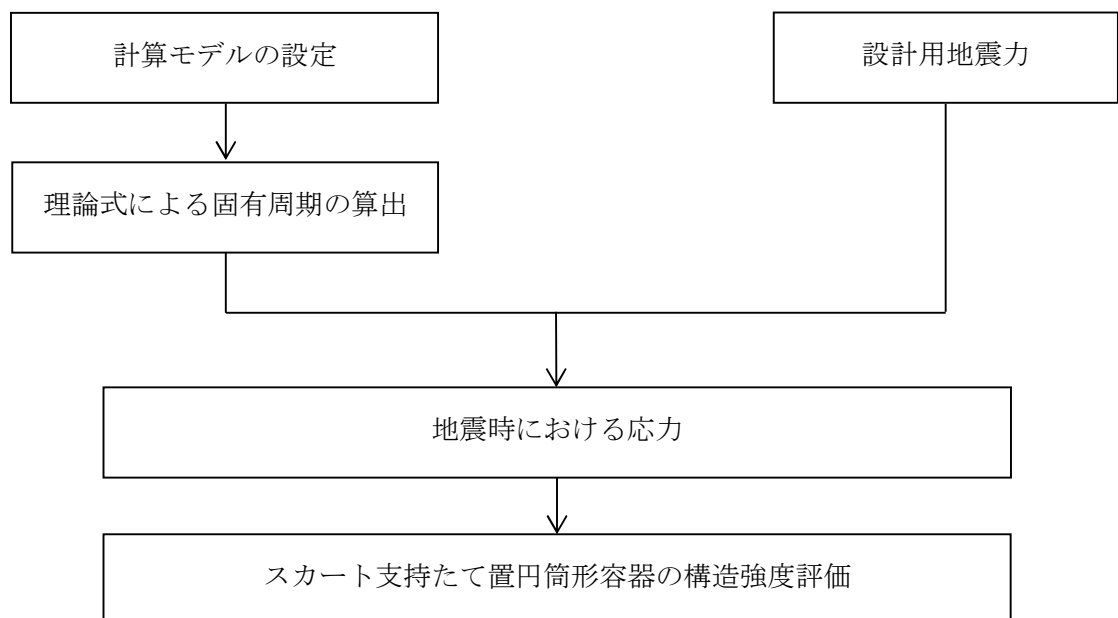


図 2-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1—1987 及び J E A G 4 6 0 1—1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _s	スカートの軸断面積	mm ²
A _{s e}	スカートの有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
D _j	スカートに設けられた各開口部の穴径 ($j=1, 2, 3\cdots j_1$)	mm
D _s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	スカートの縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
$f_{s b}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G _s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
I _s	スカートの断面二次モーメント	mm ⁴
j ₁	スカートに設けられた開口部の穴の個数	—
K _H	水平方向ばね定数	N/m

記 号	記 号 の 説 明	単 位
K_v	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
ℓ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
ℓ_1, ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-2に示す距離)	mm
ℓ_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
ℓ_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N・mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N・mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q'	Q により上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_v	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重 Q による容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重 Q' による容器の上端での変位量	mm
δ_o	荷重 Q, Q' による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—

記 号	記 号 の 説 明	単 位
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	水平方向地震によりスカートに生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類		単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量		kg	—	—	整数位
長 さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
	スカートの厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

スカート支持たて置円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、スカート及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

スカート支持たて置円筒形容器の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- 容器はスカートで支持され、スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- 胴とスカートをはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- スカート部材において、マンホール等の開口部があつて補強をしていない場合は、欠損の影響を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図4-1に示す下端固定の1質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の1質点系振動モデルとして考える。

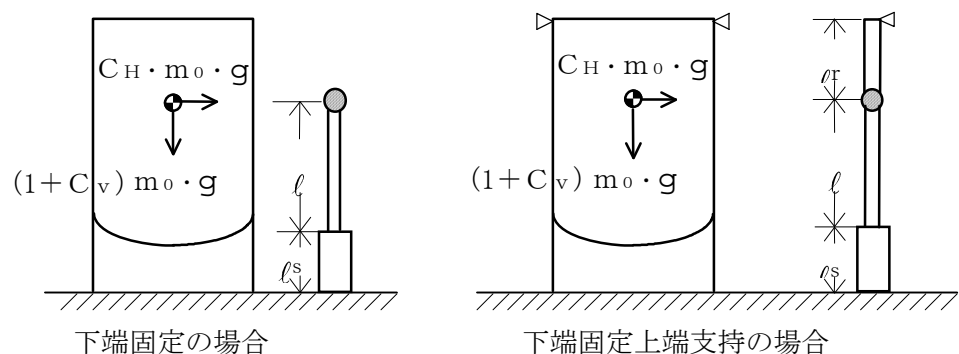


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

a. 下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3) + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで、スカートの開口部（図4-2参照）による影響を考慮し、胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

スカートの断面性能は次式で求める。

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは次式で求める。

(図 4-2 及び図 4-3 参照)

$$Y = \sum_{j=1}^{j_1} (D_s + t_s) \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \cdot \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (4.1.7)$$

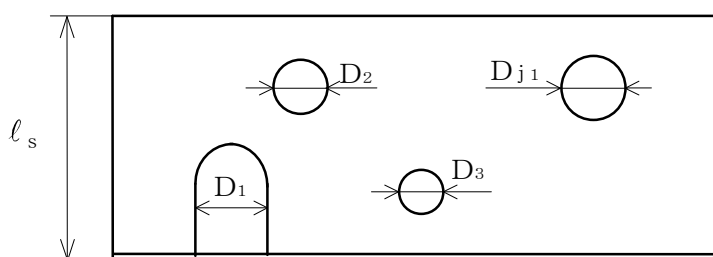


図4-2 スカート開口部の形状

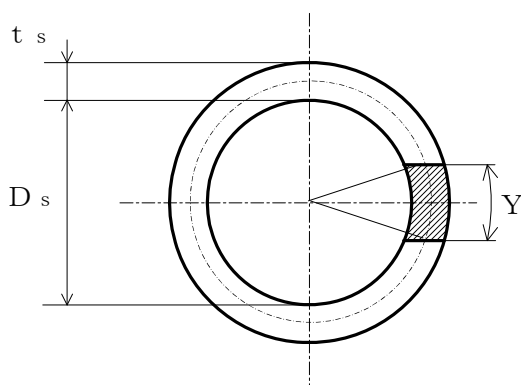


図4-3 スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b. 下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重 Q が作用したときに上端の支持部に生じる反力 Q' は、図4-4に示すように荷重 Q 及び反力 Q' による上端の変位量 δ と δ' が等しいとして求める。

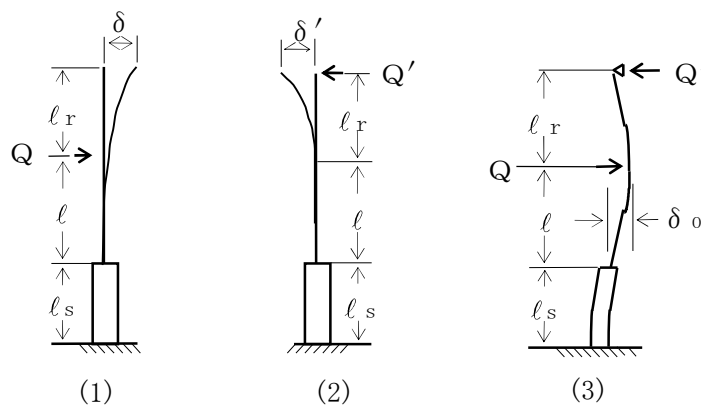


図4-4 下端固定上端支持の場合の変形モデル

図4-4の(1)の場合

$$\begin{aligned} \delta = & \frac{Q \cdot l^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & \cdot \{ 2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r) \} \\ & + \frac{Q \cdot l}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots\dots\dots (4.1.8) \end{aligned}$$

図4-4の(2)の場合

$$\begin{aligned} \delta' = & \frac{Q' \cdot (l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & \cdot \{ 3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3 \} \\ & + \frac{Q' \cdot (l + l_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot l_s}{G_s \cdot A_{se}} \dots\dots\dots (4.1.9) \end{aligned}$$

(4.1.8) 式と (4.1.9) 式を等しく置くことにより、

$$\begin{aligned} Q' = & Q \cdot \left\{ \frac{l^2 \cdot (2 \cdot l + 3 \cdot l_r)}{6 \cdot E \cdot I} \right. \\ & + \frac{2 \cdot l_s^3 + 3 \cdot l_s^2 \cdot l_r + 6 \cdot l_s \cdot l \cdot (l_s + l + l_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \left. \right\} \Bigg/ \left\{ \frac{(l + l_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} \right. \\ & + \frac{3 \cdot (l + l_r)^2 \cdot l_s + 3 \cdot (l + l_r) \cdot l_s^2 + l_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \\ & + \frac{l + l_r}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}} \left. \right\} \dots\dots\dots (4.1.10) \end{aligned}$$

したがって、図4-4の(3)に示す重心位置での変位量 δ_o は図4-4の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合わせから求めることができ、ばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{Q}{\delta_o} = 1000 \left/ \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right. \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right) \cdot \left(\frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right) - \frac{Q'}{Q} \cdot \left(\frac{2 \cdot \ell^3 + 3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_r}{6 \cdot E \cdot I} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell + \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s \cdot \ell^2 + 3 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot \ell_r + \frac{3}{2} \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right) \right\} \quad (4.1.11)$$

固有周期は (4.1.7) 式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は、次式で求める。

$$K_v = 1000 \left/ \left(\frac{\ell}{E \cdot A} + \frac{\ell_s}{E_s \cdot A_s} \right) \right. \quad (4.1.12)$$

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad (4.1.13)$$

$$A_s = \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \quad (4.1.14)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_o}{K_v}} \quad (4.1.15)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～e.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

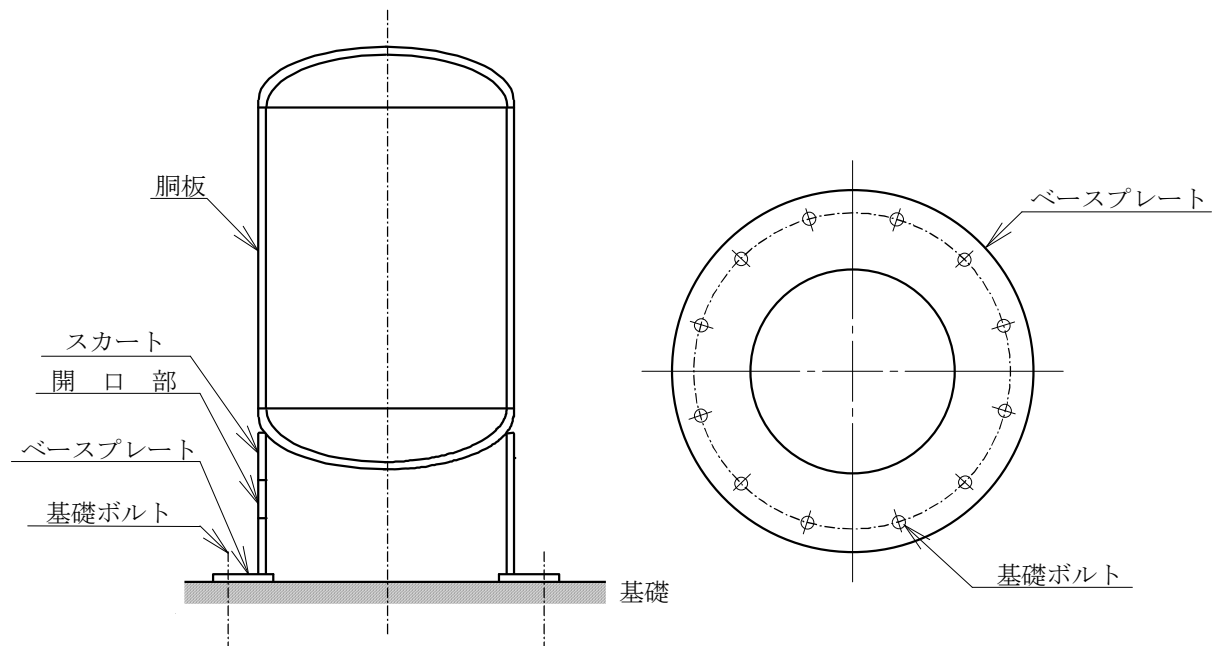


図5-1 概要図

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はS R S S法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として、上部には胴自身の質量による圧縮応力が、下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$\sigma_{x 6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.21)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.22)$$

したがって、胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.25)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.26)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.27)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.28)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.29)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.30)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.31)$$

したがって、胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{2c}) \} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.1.32)$$

とする。

5.3.1.2 スカートの計算方法

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートに作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

b. 下端固定上端支持の場合

軸方向応力は(5.3.1.2.3)式で表されるが、曲げモーメント M_s は次の M_{s1} 又は M_{s2} のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right| \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

$$M_{s2} = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell_s + \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r) \right| \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \cdots \cdots (5.3.1.2.9)$$

【S R S S 法】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \cdots \cdots (5.3.1.2.10)$$

5.3.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメント M_s は下端固定の場合、(5.3.1.2.5)式を、下端固定上端支持の場合は(5.3.1.2.6)式又は(5.3.1.2.7)式のいずれか大きい方を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図5-2参照)

以下にその手順を示す。

- a. σ_b 及び σ_c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (5.3.1.3.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k) \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$$

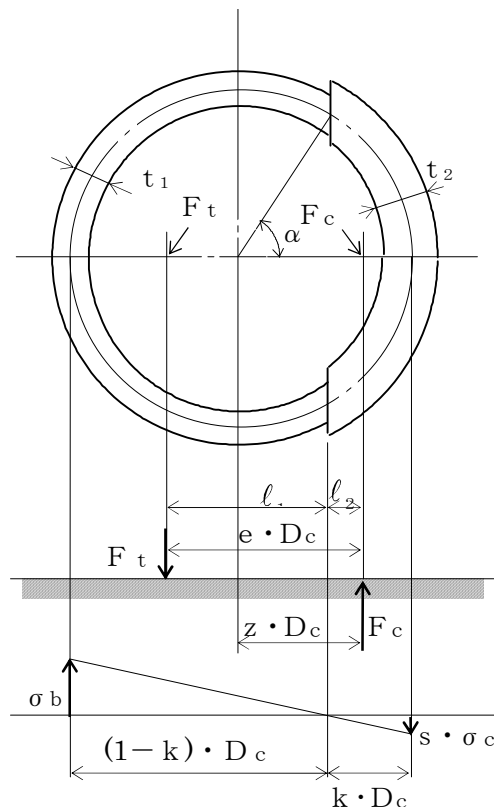


図5-2 基礎の荷重説明図

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

【S R S S 法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + (1 - \frac{z}{e}) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、(5.3.1.3.3) 式及び (5.3.1.3.4) 式において α を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (5.3.1.3.7) 式又は (5.3.1.3.9) 式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

- e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.3.1.3.14)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

- (2) せん断応力

- a. 下端固定の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.15)$$

- b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.3.16)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5.4.2 スカートの応力評価

- (1) 5.3.1.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
 (座屈の評価)

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.4.2.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \right. \\ \left. \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.5)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.2.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \right] \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.4.2.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.2.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.2.12)$$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.4.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 耐震計算書のフォーマット

スカート支持たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処施設単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備
に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章
番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○容器的耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 *			$C_{H1} =$	$C_{V1} =$	$C_{H2} =$			

注記 *: 基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

静水頭の場合の記載例は別紙参照

1.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_1 (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

$D_j (j=1, 2, 3, \dots)$ は
開口ごとに表示する。

D_{bi} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)

ボルト径を記載する。

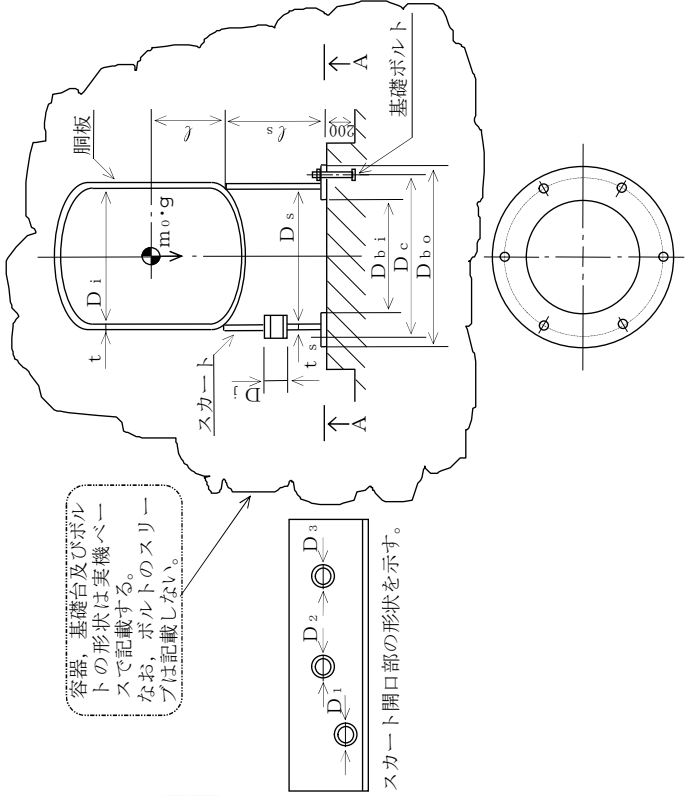
S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合には
該当する強度区分を記載する。
(胴、スカートについても同様とする。)

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル
合金に該当する場合は記載する。



A～A矢视图

1.3. 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	—	$\sigma_{x 1} =$	—
運転時質量による引張応力	↓ $\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 2} =$	—	→ $\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x 3} =$	—	—	$\sigma_{x 3} =$
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\tau =$
力の和	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x t} =$
圧縮側	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{x c} =$
引張り側		$\sigma_{o t} =$			$\sigma_{o t} =$
組合せ応力		—			—
圧縮					—

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの (引張応力の圧縮又は値が 0 となるもの) については “—” (バー) 表示とする。この場合、記号及び “=” (イコール) を削除し “—” (バー) のみとする。
- ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも “—” (バー) ではなくマイナスイナスとして応力値を記載する。
- ・算出応力が小数点以下第 2 位以降に発生する場合は “0” と表示する。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x 5} =$
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4} =$	$\tau =$	—	$\sigma_{x 4} =$
力の和	$\sigma_{2 \phi} =$	$\sigma_{2 x t} =$	—	$\sigma_{2 \phi} =$	$\sigma_{2 x t} =$
圧縮側	$\sigma_{2 \phi} =$	$\sigma_{2 x c} =$	—	$\sigma_{2 \phi} =$	$\sigma_{2 x c} =$
引張り側		$\sigma_{2 t} =$			$\sigma_{2 t} =$
組合せ応力 (変動値)		$\sigma_{2 c} =$			$\sigma_{2 c} =$

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s 3} =$		$\sigma_{s 3} =$	
水平方向地震曲げ	$\sigma_{s 2} =$		$\sigma_{s 2} =$	
せん断	$\tau_s =$		$\tau_s =$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
引張応力	$\sigma_b =$	$\tau_b =$	$\sigma_b =$	$\tau_b =$
せん断応力	$\tau_b =$		$\tau_b =$	$\tau_b =$

1.4. 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)	
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	T _H ＝
鉛 直 方 向	T _V ＝

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板		一次一般膜	$\sigma_0 =$	$S_a =$	$\sigma_0 =$	$S_a =$
		一次＋二次	$\sigma_2 =$	$S_a =$	$\sigma_2 =$	$S_a =$
		組 合 せ	$\sigma_s =$	$f_t =$	$\sigma_s =$	$f_t =$
スカート		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c}$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c}$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$
			(無次元)			
基礎ボルト		引 張 り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せ ん 断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

別紙

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

【〇〇〇〇容器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は 静的 震 度		基 準 地 震 動 S_s	最 高 使 用 圧 力 (MPa)	最 高 使 用 温 度 (℃)	周 围 環 境 温 度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度					
		建屋 * EL.			$C_{H1} =$	$C_{V1} =$	$C_{H2} =$	静水頭			

注記 *：基準床レベルを示す。

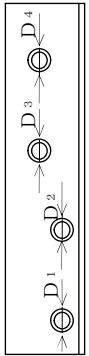
設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	H (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

D_{bi} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は 静的 震 度		基準地震動 S_s
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	M_s (N・mm)

ボルト径を記載する。



スカート開口部の形状を示す。

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2		

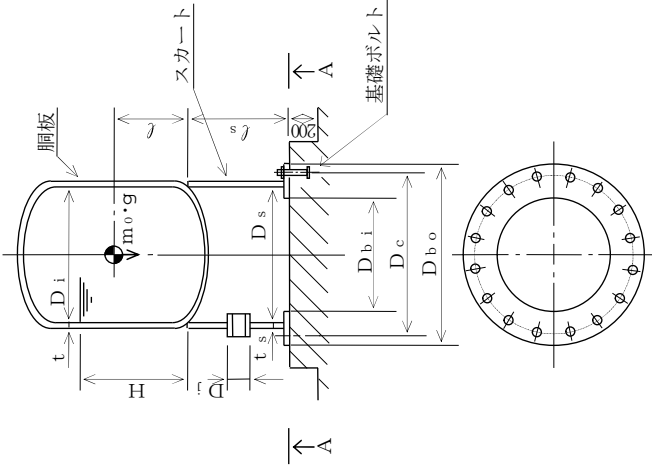
S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。
(胴、スカートについても同様とする。)

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示した
ものである。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル
合金に該当する場合は記載する。



A～A矢視図

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】
【〇〇〇〇〇〇】容器の耐震性についての計算結果】
2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 *			—	—	$C_H =$			
		EL.					$C_V =$			

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

静水頭の場合の記載例は別紙参照

2.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
						*1	*2	*1	*2

ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

$D_j (j=1, 2, 3, \dots)$ は
開口ごとに表示する。

D_{bi} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	M_s (N・mm)
			—			

ボルト径を記載する。

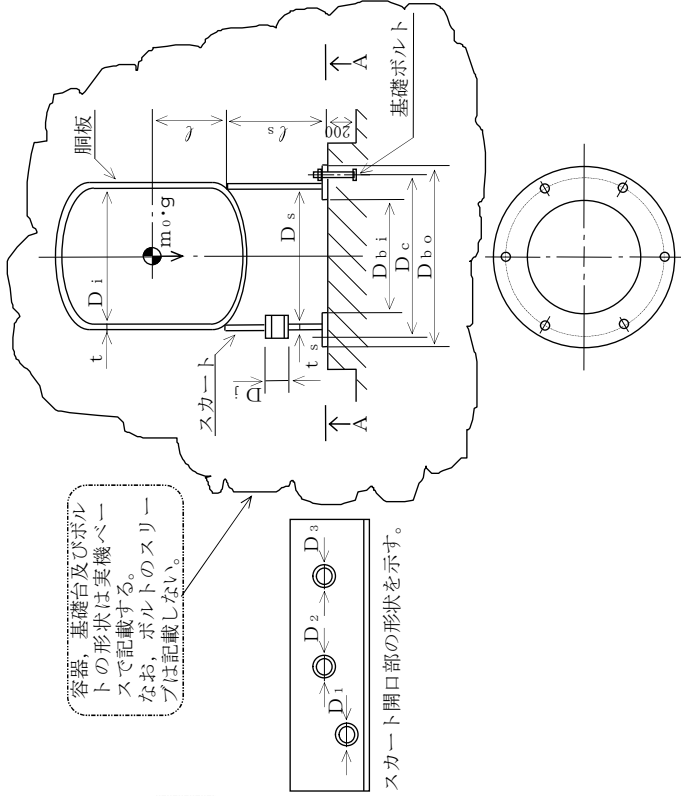
S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
*1	*1	*1	*2	*2	—	

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	—	

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合には
該当する強度区分を記載する。
(胴, スカートについても同様とする。)

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル
合金に該当する場合は記載する。



A～A矢視図

2.3. 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による引張応力	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	$\sigma_{x 3} =$
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$
水平方向地震による応力	—	—	—	$\tau =$
力の和	—	—	$\sigma_{\phi} =$	—
圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} =$	—
引張り	—	—	$\sigma_{0 t} =$	—
組合せ応力	—	—	—	—

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの (引張応力の圧縮又は値が0となるもの) については“—” (バー) 表示とする。この場合、記号及び“=” (イコール) を削除し“—” (バー) のみとする。
- ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも“—” (バー) ではなくマイナスとして応力値を記載する。
- ・算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”と表示する。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	$\tau =$
力の和	—	—	$\sigma_{2 \phi} =$	—
圧縮側	—	—	$\sigma_{2 \phi} =$	—
引張り	—	—	$\sigma_{2 t} =$	—
組合せ応力 (変動値)	—	—	$\sigma_{2 c} =$	—

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	応力	組合せ応力	力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s 1} =$	$\sigma_s =$
鉛直方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s 3} =$	
水平方向地震曲	—	—	$\sigma_{s 2} =$	
せん断	—	—	$\tau_s =$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	引張応力	せん断応力	地	震動 S_s
せん断	—	—	$\sigma_b =$	—
せん断	—	—	$\tau_b =$	—

2.4. 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)	
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	T _H ＝
鉛 直 方 向	T _V ＝

2.4.2 応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板		一次一般膜	－	－	$\sigma_0＝$	S _a ＝
		一次＋二次	－	－	$\sigma_2＝$	S _a ＝
スカーポート		組 合 せ	－	－	$\sigma_s＝$	f _t ＝
		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c}$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c}$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$
		(座屈の評価)	－	－	(無次元)	
基礎ボルト		引 張 り	－	－	$\sigma_b＝$	f _{ts} ＝
		せ ん 断	－	－	$\tau_b＝$	f _{sb} ＝

すべて許容応力以下である。

【〇〇〇〇容器の耐震性についての計算結果】
2. 重大事故等対処設備
2.1 設計条件

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

別紙

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は 静的 震 度	基 準 地 震 動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比 重
			水平方向	鉛直方向		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 * EL.			—			静水頭			

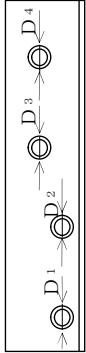
注記 *：基準床レベルを示す。
設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	H (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)

ボルト径を記載する。

D_{bi} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は 静的 震 度		基準地震動 S_s
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	
			—		



スカート開口部の形状を示す。

S_y (銅板) (MPa)	S_u (銅板) (MPa)	S (銅板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
*1	*1		*2	*2	—	

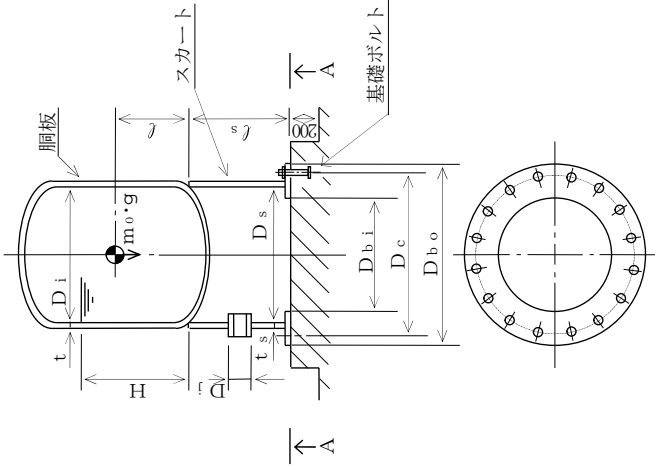
S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	—	

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。
(銅、スカートについても同様とする。)

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル
合金に該当する場合は記載する。

本記載例は、最高使用圧力が静水頭の容器を示した
ものである。



A～A矢視図

説明用

V-2-1-14-2 横置一胴円筒形容器の耐震性についての
計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	10
4.1 固有周期の計算方法	10
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 設計用地震力	13
5.3 計算方法	13
5.4 応力の評価	26
6. 耐震計算書のフォーマット	28
7. 引用文献	28

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横置一胴円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない横置一胴円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横置一胴円筒形容器の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

横置一胴円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

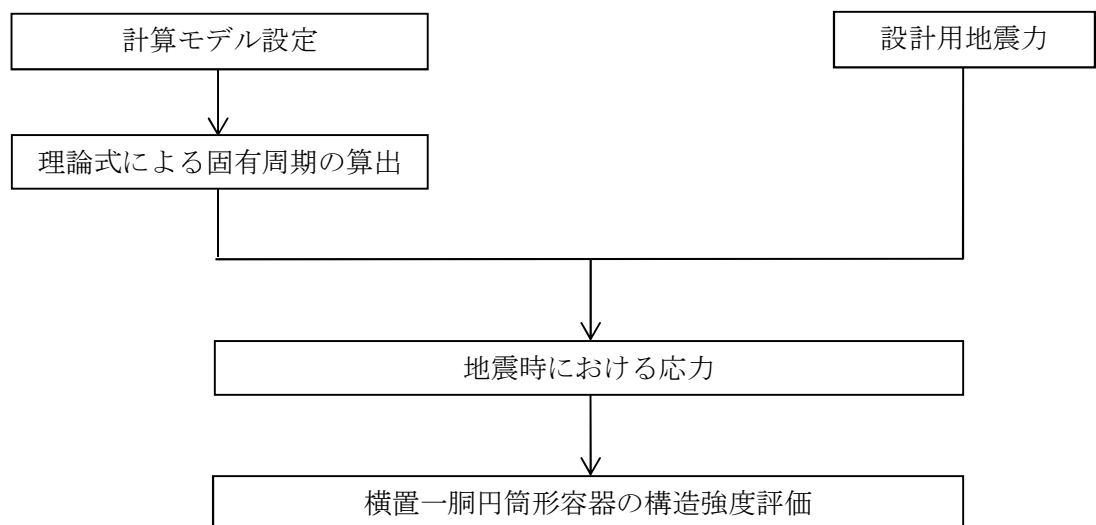


図2-1 横置一胴円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_H	水平方向設計震度	—
$C_{\ell j}$	軸方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
d_3	第1脚底板端面から基礎ボルト（内側）中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（ $=9.80665$ ）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4

記 号	記 号 の 説 明	単 位
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数（第1脚上の荷重は含まない。）	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数（第2脚上の荷重は含まない。）	—
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/mm
K_ℓ	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/mm
K_v	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/mm
$K_{cj}, K_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。） ($i=1, 2, 3 \cdots j_1$)	mm
ℓ_w	当板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i=1, 2, 3 \cdots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N

記 号	記 号 の 説 明	単 位
P_e	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
r_m	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	第1脚付け根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_o	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_o	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{oc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応 力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi41}, \sigma_{\phi42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi411}, \sigma_{\phi421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi412}, \sigma_{\phi422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi51}, \sigma_{\phi52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類		単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長 さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度		rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

横置一胴円筒形容器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる胴，脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- 容器の胴は2個の脚で支持され，脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- 胴は剛とし，脚をはりと考え，変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- 脚が長手方向に変形する場合，脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが，脚の変形方向に直角な方向より見て脚1個につき1列の場合は下端を単純支持とする。
その他の場合は固定とする。
- 第2脚は長手方向にスライドできるものとし，その方向の力はすべて第1脚で受けるものとする。
- 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- 本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図4-1～図4-4に示す。

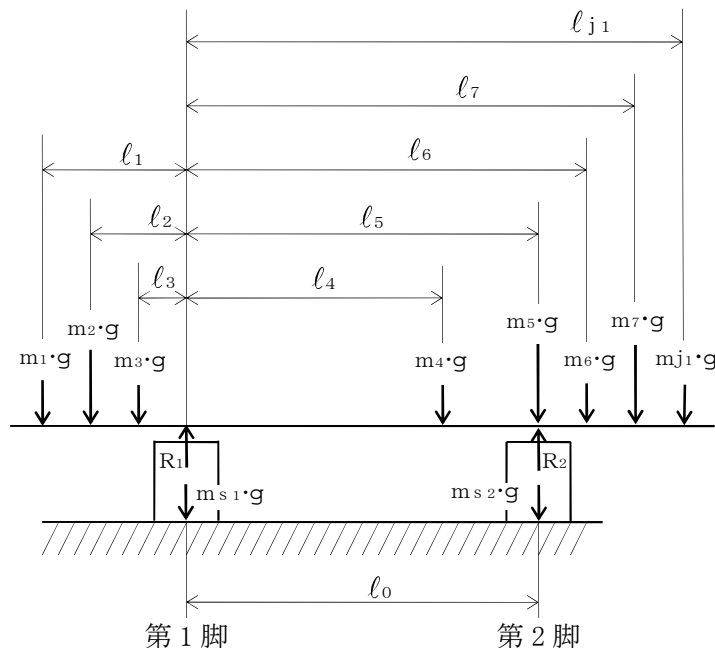


図4-1 荷 重 状 態

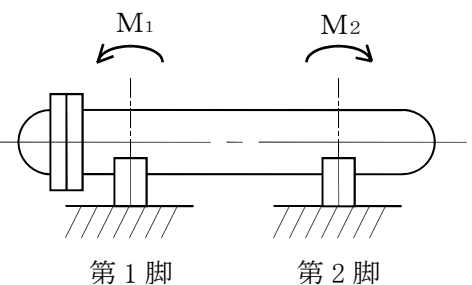


図4-2 脚の位置での曲げ
モーメント

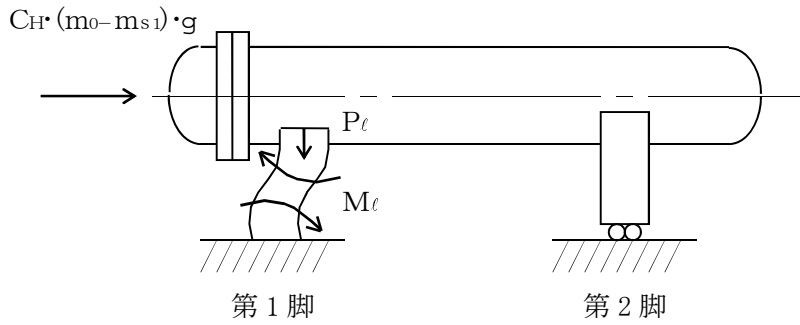


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

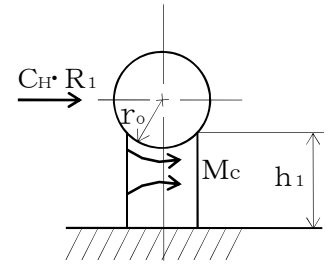


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

h. 本容器は、前記の条件より図4-5、図4-6及び図4-7のような1質点系振動モデルとして考える。

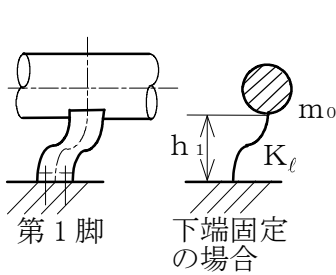


図4-5 長手方向の固有周期計算モデル

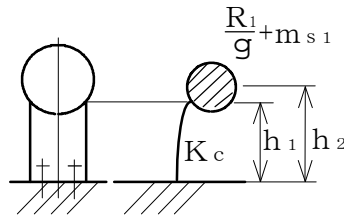


図4-6 横方向の固有周期計算モデル

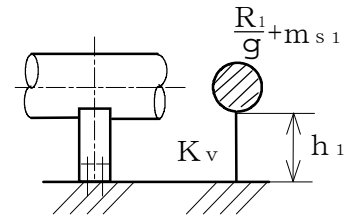


図4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図4-1において第1脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot \ell_i - R_2 \cdot \ell_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot \ell_i / \ell_0 \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j_1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

(3) 長手方向の固有周期

図4-5におけるばね定数は次式で求める。

$$K_l = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_\ell}} \quad \dots\dots\dots (4.1.5)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-6におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1/2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \quad \dots\dots\dots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s1}}{K_c}} \quad \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-7におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \quad \dots\dots\dots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s1}}{K_v}} \quad \dots\dots\dots (4.1.9)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～f.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。
- (2) 第1脚と第2脚は同形状であり、受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。

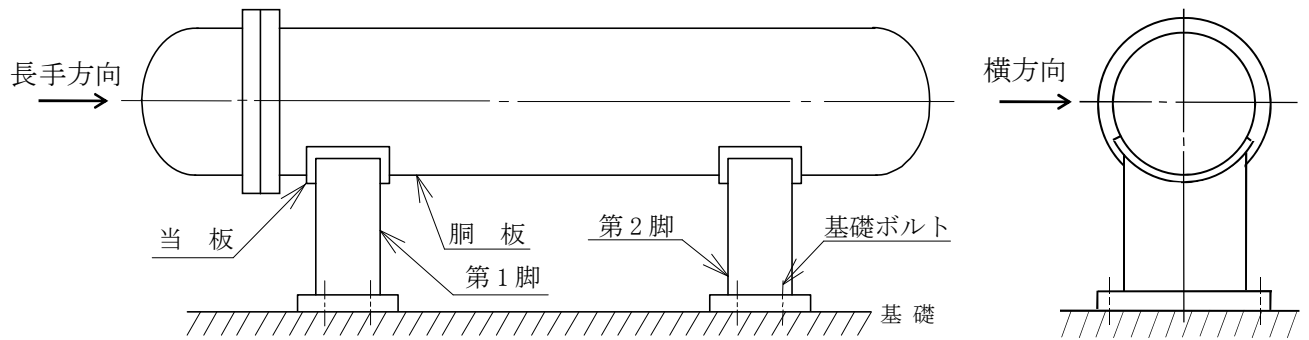


図5-1 概要図

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はSRSS法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 曲げモーメント

図4-1に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図4-2において脚付け根部における曲げモーメント M_1 及び M_2 は次式で求める。

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j_2} m_i \cdot g \cdot |\ell_i| \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$M_2 = \sum_{i=j_1-j_3+1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot |\ell_i - \ell_0| \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

(2) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

- (3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力
 (1)で求めた曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局所変形を生じさせようとする。

いま、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図5-2に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。

したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

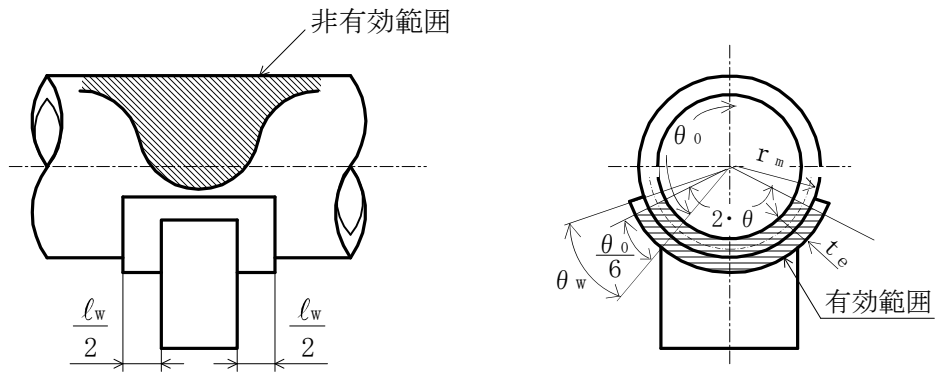


図 5-2 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0^{*1}}{6} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2} \right) \cdot t}^{*2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

(4) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

この反力 P 及び P_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図5-3に示す。

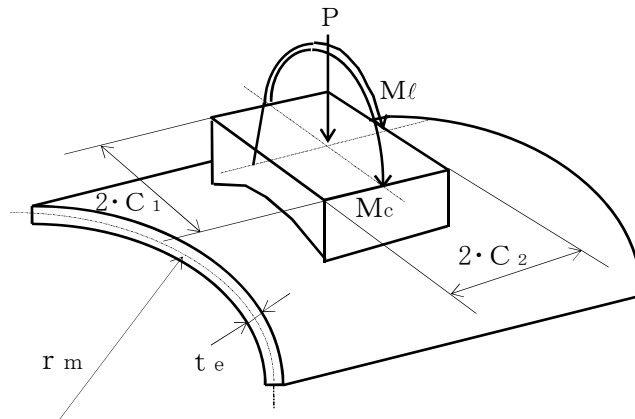


図5-3 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1 \text{ のとき}$$

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \cdots \cdots (5.3.1.1.21)$$

ただし, $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値 (以下*を付記するもの) を求めることにより応力は次式で求める。

反力 P による応力は,

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \cdots \cdots (5.3.1.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \cdots \cdots (5.3.1.1.23)$$

反力 P_e による応力は,

一次応力

$$\sigma_{\phi 71} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \cdots \cdots (5.3.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 71} = \left(\frac{N_x}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \cdots \cdots (5.3.1.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 72} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \cdots \cdots (5.3.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 72} = \left(\frac{M_x}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \cdots \cdots (5.3.1.1.27)$$

(5) 長手方向地震による脚付け根部の応力

第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4-3のように変形し, 脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_{\ell} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot h_1 \cdots \cdots (5.3.1.1.28)$$

$$P_{\ell} = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \cdots \cdots (5.3.1.1.29)$$

曲げモーメント M_{ℓ} と鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は, シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値 (以下*を付記するもの) を求めることにより (5.3.1.1.31) 式～ (5.3.1.1.38) 式で求める。

ここで, シェルパラメータ γ 及び P_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は(4)と同じであるが, M_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。

ただし, 二次応力を求める場合は更に $K_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \cdots \cdots (5.3.1.1.30)$$

ただし, $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント M_ℓ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 411} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots \quad (5.3.1.1.31)$$

$$\sigma_{x 411} = \left\{ \frac{N_x}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots \quad (5.3.1.1.32)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_\ell / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_\ell}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.33)$$

$$\sigma_{x 421} = \left\{ \frac{M_x}{M_\ell / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_\ell}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.34)$$

鉛直荷重 P_ℓ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 412} = \left(\frac{N_\phi}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 412} = \left(\frac{N_x}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m \cdot t_e} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 422} = \left(\frac{M_\phi}{P_\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 422} = \left(\frac{M_x}{P_\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_\ell}{t_e^2} \right) \quad \dots \quad (5.3.1.1.38)$$

また、水平方向荷重により胴には、次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 413} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.39)$$

したがって、曲げモーメント M_ℓ 、鉛直荷重 P_ℓ 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \quad \dots \quad (5.3.1.1.40)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \quad \dots \quad (5.3.1.1.41)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \quad \dots \quad (5.3.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \quad \dots \quad (5.3.1.1.43)$$

また、長手方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_\ell = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.3.1.1.44)$$

(6) 横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

横方向地震が作用した場合、第1脚の付け根部に生じる曲げモーメント M_c は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.45)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.46)$$

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（5.3.1.1.48）式～（5.3.1.1.51）式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は(4)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。ただし、二次応力を求める場合は更に K_{cj} を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.47)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.48)$$

$$\sigma_{x 51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.49)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.51)$$

また、横方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.52)$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0\ell\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0\ell x}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.53)$$

ここで,

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.54)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 4 1 3} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.55)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 6}^2 + \sigma_{x 4 1 3}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.56)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0c\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0cx}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.57)$$

ここで,

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.58)$$

【絶対値和】

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.59)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.60)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、S R S S法、それぞれに対して、

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.61)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.62)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 71} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.63)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 41} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.64)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \quad \dots\dots (5.3.1.1.65)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 41}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.66)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.67)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 71} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.68)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 51} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.69)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \quad \dots\dots (5.3.1.1.70)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 51}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.71)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、絶対値和、S R S S法、それぞれに対して、

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.72)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.73)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.74)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.75)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.76)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x 41} + \sigma_{x 42})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.77)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.78)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.79)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x 51} + \sigma_{x 52} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad \dots\dots (5.3.1.1.80)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.81)$$

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x 51} + \sigma_{x 52})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.82)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、絶対値和、S R S S法、それぞれに対して、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.83)$$

とする。

5.3.1.2 脚の計算方法

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\ell}}{A_s} \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

ここで、

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.10)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.3.1.2.11)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、絶対値和、SRSS法、それぞれに対して、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

とする。

5.3.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.1)$$

鉛直荷重は

【絶対値和】

$$P_s = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) - P_{\ell} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.2)$$

【SRSS法】

$$P_s = R_1 + m_{s1} \cdot g - \sqrt{\{C_v \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)\}^2 + P_{\ell}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.3)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.4)$$

とする。

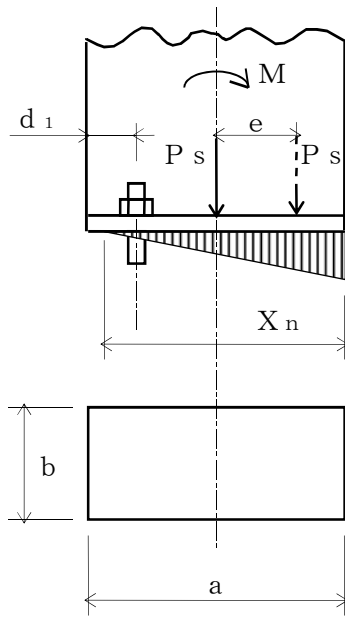


図5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その1）

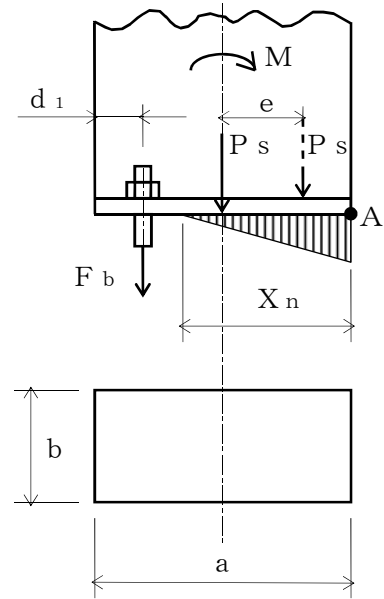


図5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その2）

図5-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-5のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.5)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-5において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.6)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.7)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、

R_1 を R_2 に置き換える。

a. 引張応力

(a) 長手方向から見て図5-6のように応力を2列の基礎ボルトで受ける場合

鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.11)$$

で求める。

(1)と同様にして中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot \left\{ \left(e + \frac{b}{2} - d_2\right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(e + \frac{b}{2} - d_3\right) \cdot (b - X_n - d_3) \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.3.12)$$

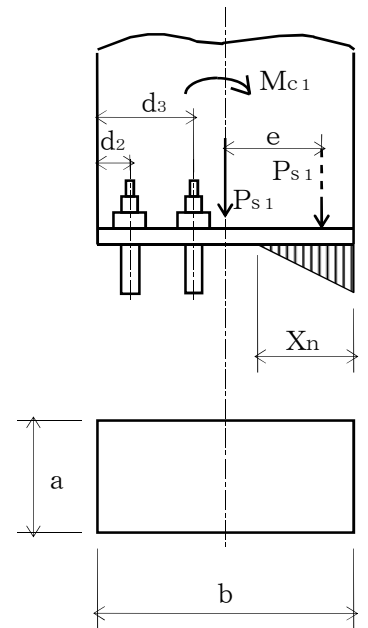


図 5-6 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その3)

ただし

$$e = M_{c1} / P_{s1} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.3.13)$$

より求めると、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_{s1} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3}\right) \cdot (b - X_n - d_2)}{\left(b - d_2 - \frac{X_n}{3}\right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(b - d_3 - \frac{X_n}{3}\right) \cdot (b - X_n - d_3)} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.3.14)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.3.15)$$

(b) 長手方向から見て応力を1列の基礎ボルトで受ける場合

(1)と同様にして引張応力は求められるが、 M を M_{c1} 、 P_s を P_{s1} 、 d_1 を d_2 、 a を b 、 b を a 及び n_1 を n_2 に置き換え、得られた基礎ボルトの応力を σ_{b2} とする。

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n \cdot A_b} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.3.16)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.3.17)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \cdots \cdots \cdots (5.3.1.3.18)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

5.3.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

5.4.2 脚の応力評価

5.3.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.4.3 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5 \quad *$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5 \quad *$

6. 耐震計算書のフォーマット

横置一胴円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al.:Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本工業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003)「サドル支持の横置圧力容器」

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】
【○○○○○タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		又は静的震度		基準地震動 S _d		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	C _H =	C _V =			

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

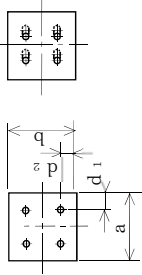
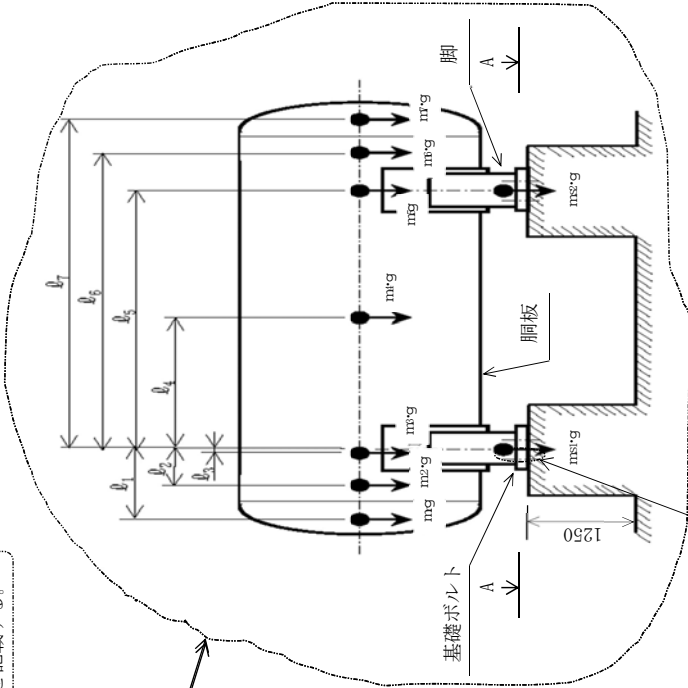
m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。



A～A矢視図

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“θ_w”及び“ℓ_w”を記載する。なお、無効とした場合には、記載不要

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)

K_{11}^{*4}	K_{12}^{*4}	K_{21}^{*4}	K_{22}^{*4}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}

S	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
						(M)		

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2		*3	*3			*3	*3		

注記の記載箇所は表の右側近傍を原則とするが、紙面の都合にて記載できない場合は、表の右下の近傍とする。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には該当する強度区分を記載する。
胴、脚及び S_u についても該当する場合は記載する。

注記 *1：本計算においては当板を有効とした。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

*4：表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“ θ_w ”及び“ ℓ_w ”を記載する。なお、無効とした場合には、記載不要

胴板と当板の材料が異なる場合
当板の S_y 、 S_u 及び S 値を記載する。

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
*1	*1	*1	
*3	*3	*3	

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出
*3：当板の材料を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」

地震の種類	弾性設計用地震動S _a 又は静的震度				基準地震動S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力	-	$\sigma_{x 413} =$	-	-	-	$\sigma_{x 413} =$	-	-
組合せ応力	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$

算出応力値記載上の留意事項

- 評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)については“ - ” (バー) 表示とする。
- この場合、記号及び“=” (イコール) を除し“ - ” (バー) のみとする。
- 算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”と表示する。

(2) 一次応力

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」

地震の種類	弾性設計用地震動S _a 又は静的震度				基準地震動S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$	-	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
運転時質量による脚反力により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$
水平方向地震 引張り による応力	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$
	$\sigma_{\phi 441} =$	$\sigma_{x 441} =$	$\sigma_{\phi 441} =$	$\sigma_{x 441} =$	$\sigma_{\phi 441} =$	$\sigma_{x 441} =$	$\sigma_{\phi 441} =$	$\sigma_{x 441} =$
せん断	$\tau_{\phi l} =$	$\tau_{\phi c} =$	$\tau_{\phi l} =$	$\tau_{\phi c} =$	$\tau_{\phi l} =$	$\tau_{\phi c} =$	$\tau_{\phi l} =$	$\tau_{\phi c} =$
	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$
組合せ応力	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$	$\sigma_{\phi l} =$	$\sigma_{\phi c} =$

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

(単位：s)	
方 向	固 有 周 期
長手方向	$T_1 =$
横 方 向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

1.4.2 応 力

部 材	材 料	応 力	(単位：MPa)	
			弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度	基準地震動 S_s
胴 板		一次一般膜	算 出 応 力 $\sigma_0 =$	算 出 応 力 $\sigma_0 =$
		一 次	$\sigma_1 =$	$\sigma_1 =$
		一次＋二次	$\sigma_2 =$	$\sigma_2 =$
脚		組 合 せ	$\sigma_s =$	$\sigma_s =$
		引 張 り	$\sigma_b =$	$\sigma_b =$
基礎ボルト		せ ん 断	$\tau_b =$	$\tau_b =$

すべて許容応力以下である。

胴板と当板の材料が異なる場合、当板の材料名及び許容応力を記載する。

1.4.2 応力

(単位：MPa)	
部 材	材 料
胴 板	材 料
脚	材 料
基礎ボルト	材 料
許 容 応 力	
$S_a =$	
$(S_a = *)$	
$f_t =$	
$f_{ts} =$	
$f_{sb} =$	

【○○○○○タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設
1.1 設計条件

【静水頭の場合】
(圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		又は静的震度		基準地震動		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲环境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	静水頭			

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

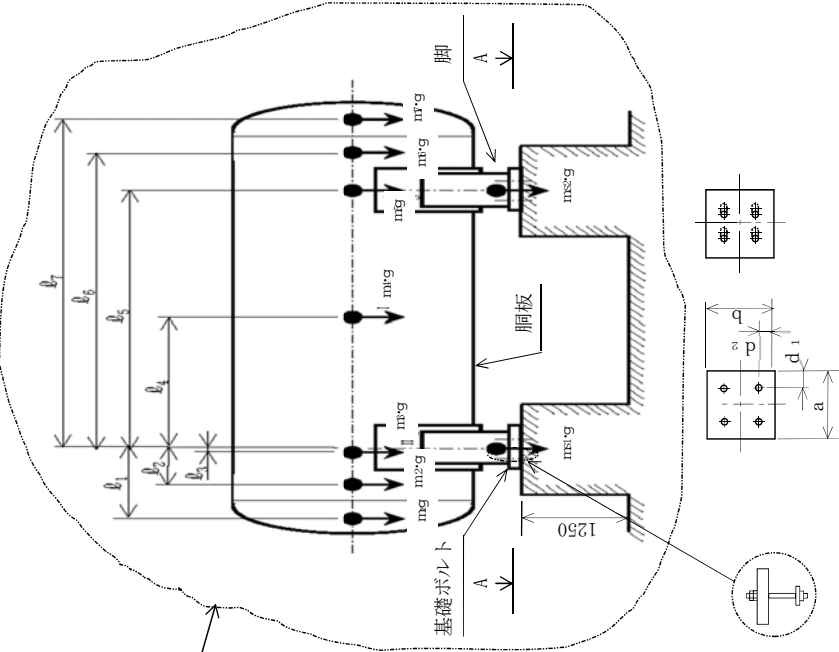
m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D ₁ (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)

容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。



A～A 矢視図

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“θ_w”及び“ℓ_w”を記載する。なお、無効とした場合には、記載不要

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	—	$\sigma_{x 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	—	$\sigma_{x 6} =$	—
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413} =$	—	—	$\sigma_{x 413} =$	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell} =$		$\sigma_{0c} =$		$\sigma_{0\ell} =$	
組合せ応力					$\sigma_{0c} =$	

算出応力値記載上の留意事項

- 評価対象外及び応力が発生しないもの（引張応力の圧縮又は値が0となるもの）については“—”（バー）表示とする。
- この場合、記号及び“=”（イコール）を削除し“—”（バー）のみとする。
- 算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”と表示する。

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類			弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
地震の方向			長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向			周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	運動時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
			$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	運動時質量による脚反力 により生じる応力	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$	—	$\sigma_{x 2} =$
			—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	運動時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$
			$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$
水平方向地震 引張り による応力	せん断	せん断	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
			$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$			$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$		
			$\sigma_{\phi 413} =$	$\sigma_{x 413} =$			$\sigma_{\phi 413} =$	$\sigma_{x 413} =$		
組合せ応力			$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$		$\tau_{\ell} =$		$\tau_{c} =$	
組合せ応力			$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$		$\sigma_{1\ell} =$		$\sigma_{1c} =$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位：MPa)									
地震の種類	弾性設計用地震動S _a 又は静的震度				基準地震動S _s				
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	横方向
地震の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	軸方向
応力の方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	軸方向
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	—	$\sigma_{x 6} =$	$\sigma_{x 6} =$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{x 71} =$
	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{\phi 72} =$	$\sigma_{x 72} =$	$\sigma_{x 72} =$
	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	$\sigma_{\phi 51} =$	$\sigma_{x 51} =$	$\sigma_{x 51} =$
	$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 421} =$ $\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$	$\sigma_{\phi 421} =$ $\sigma_{\phi 422} =$	$\sigma_{x 421} =$ $\sigma_{x 422} =$	$\sigma_{\phi 52} =$	$\sigma_{x 52} =$	$\sigma_{x 52} =$
せん断	$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x 42} =$	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$	$\sigma_{\phi 42} =$	$\sigma_{x 42} =$	$\tau_{\ell} =$	$\tau_{c} =$	$\sigma_{2c} =$
	$\sigma_{2\ell} =$			$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2\ell} =$			$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2c} =$
組合せ	$\sigma_{2\ell} =$			$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2\ell} =$			$\sigma_{2c} =$	$\sigma_{2c} =$

1.3.2 脚に生じる応力 (単位：MPa)									
地震の種類	弾性設計用地震動S _a 又は静的震度				基準地震動S _s				
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	横方向
地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	横方向
圧縮	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$	$\sigma_{s1} =$
圧縮	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$	$\sigma_{s4} =$
曲げ	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s3} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s2} =$	$\sigma_{s2} =$
せん断	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s3} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$	$\tau_{s2} =$
組合せ	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{s\ell} =$	$\sigma_{sc} =$	$\sigma_{sc} =$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)									
地震の種類	弾性設計用地震動S _a 又は静的震度				基準地震動S _s				
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	横方向
地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	横方向
引張り	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b1} =$	$\sigma_{b2} =$	$\sigma_{b2} =$
せん断	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b1} =$	$\tau_{b2} =$	$\tau_{b2} =$

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1とする。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S_d		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL.*		—	—	$C_H =$	$C_V =$			

注記 *：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2 機器要目

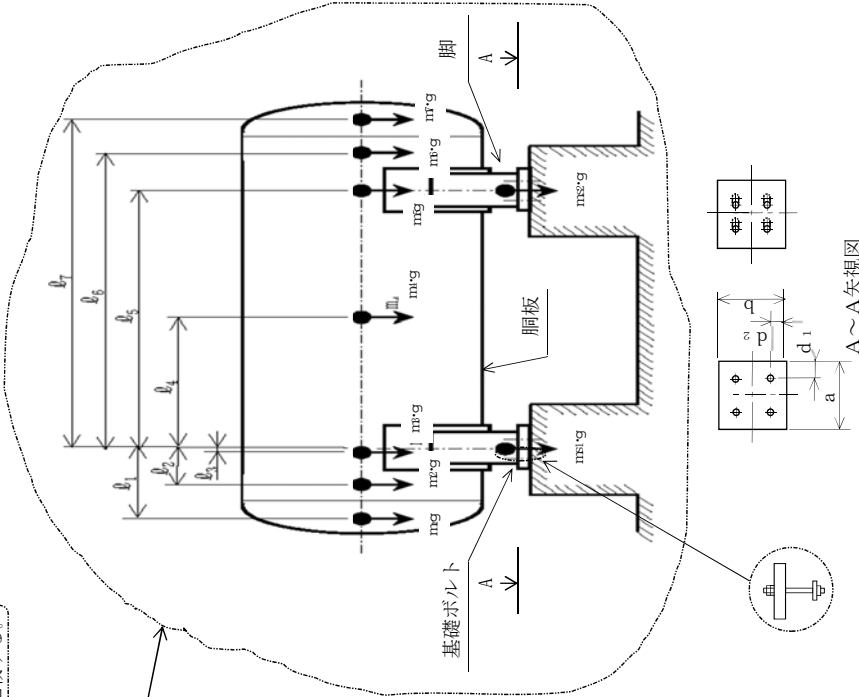
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
					*1					

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_o (rad)	θ (rad)

容器、基礎台及びボルトの
形状は実機ベースで記載
する。
なお、ボルトのスリーブは
記載しない。



胴の応力計算において、当板を
有効とした場合は、注記にその
旨を記載し、“ θ_w ” 及び “ ℓ_w ”
を記載する。なお、無効と
した場合には、記載不要

静水頭の場合の記載例は別紙参照

A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)

K ₁₁ *4	K ₁₂ *4	K ₂₁ *4	K ₂₂ *4	K _{ℓ1}	K _{ℓ2}	K _{c1}	K _{c2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{c1}	C _{c2}

S	n	n ₁	n ₂	a (mm)	b (mm)	A _b (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
						(M)		

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
*2	*2	*2	*3	*3	—	*3	*3	*3	—	

注記 *1：本計算においては当板を有効とした。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

*4：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

胴の応力計算において、
当板を有効とした場合は、
注記にその旨を記載し、
“θ_w” 及び “ℓ_w” を記載する。
なお、無効とした場合には、記載不要

厚さ，径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。
胴，脚及びS_uについても該当する場合は記載する。

注記の記載箇所は表の右側近傍を原則とする
が，紙面の都合にて記載できない場合は，表の
右下の近傍とする。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル
合金に該当する場合は記載する。

胴板と当板の材料が異なる場合
当板のS_y，S_u及びS値を記載する。

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)
*1 *3	*1 *3	*1 *3	

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出
*3：当板の材料を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」									
地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s					
	長手方向		横方向	長手方向		横方向	向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	軸方向応力
内圧による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1} =$	-	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	-	-
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 41.3} =$	-	-	-
組合せ応力	-	-	-	$\sigma_{0.1} =$			$\sigma_{0.6} =$		

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの（引張応力の圧縮又は値が0となるもの）については“－”（バー）表示とする。
- ・この場合、記号及び“＝”（イコール）を削除し“－”（バー）のみとする。
- ・算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”と表示する。

(2) 一次応力

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「-」									
地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s					
	長手方向		横方向	長手方向		横方向	向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	軸方向応力
内圧による応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 1} =$	-	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	-	-	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	$\sigma_{\phi 2} =$	-	-	-
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	-	-	-	-	-	$\sigma_{x 6} =$	-	-	$\sigma_{x 6} =$
運転時質量による脚反力により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 3} =$	-	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力	-	-	-	$\sigma_{\phi 7.1} =$	-	$\sigma_{\phi 7.1} =$	$\sigma_{x 7.1} =$	$\sigma_{\phi 7.1} =$	$\sigma_{x 7.1} =$
水平方向地震 引張り	-	-	-	$\sigma_{\phi 41.1} =$ $\sigma_{\phi 41.2} =$	-	$\sigma_{x 41.1} =$ $\sigma_{x 41.2} =$	$\sigma_{\phi 5.1} =$	$\sigma_{x 5.1} =$	$\sigma_{x 5.1} =$
せん断	-	-	-	$\sigma_{\phi 4.1} =$	-	$\sigma_{x 4.1} =$	$\tau_c =$		
組合せ応力	-	-	-	$\sigma_{1.1} =$			$\sigma_{1.6} =$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値									
地震の種類		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度				基準地震動S _s			
		長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
地盤の方向		周方向	軸方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向	周方向	軸方向
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	地盤の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
	応力の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	地盤の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
	応力の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
	地盤の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
	応力の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
水平方向地震による鉛直方向 応力	地盤の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
	応力の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
	地盤の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
	応力の方向	—	—	—	—	—	—	—	—
せん断		—	—	—	—	—	—	—	—
組		—	—	—	—	—	—	—	—

静水頭の場合のみ記載する。内圧の場合は「—」

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)					
地震の種類		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運動時間量による応力	地盤の方向	—	—	—	—
	圧縮	—	—	—	—
	圧縮	—	—	—	—
	曲げ	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	せん断	—	—	—	—
	せん断	—	—	—	—
組		—	—	—	—

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)					
地震の種類		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	地盤の方向	—	—	—	—
	引張り	—	—	—	—
	引張り	—	—	—	—
	せん断	—	—	—	—
組		—	—	—	—

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

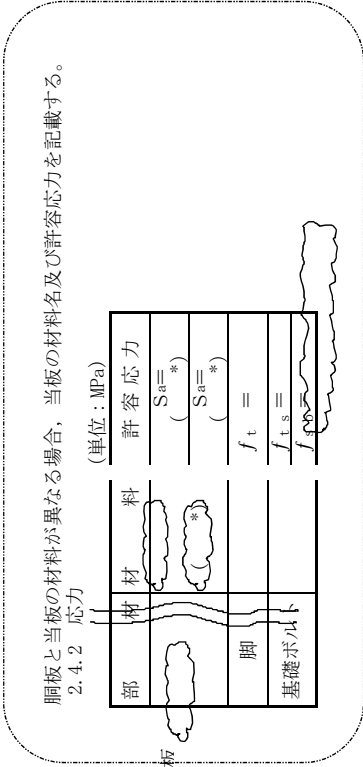
(単位：s)	
方 向	固 有 周 期
長手方向	$T_1 =$
横 方 向	$T_2 =$
鉛直方向	$T_3 =$

2.4.2 応 力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板		一次一般膜	—	—	$\sigma_0 =$	$S_d =$
		一 次	—	—	$\sigma_1 =$	$S_d =$
		一次＋二次	—	—	$\sigma_2 =$	$S_d =$
脚		組 合 せ	—	—	$\sigma_s =$	$f_t =$
基礎ボルト		引 張 り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} = *$
		せ ん 断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

胴



2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

【静水頭の場合】 (圧力容器と様式が異なるページのみ掲載)					固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		基準地震動		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
機器名称	設備分類	掘付場所及び床面高さ (m)	建物 EL. *	又 は 静 的	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	静水頭			
					水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				

注記 *: 基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

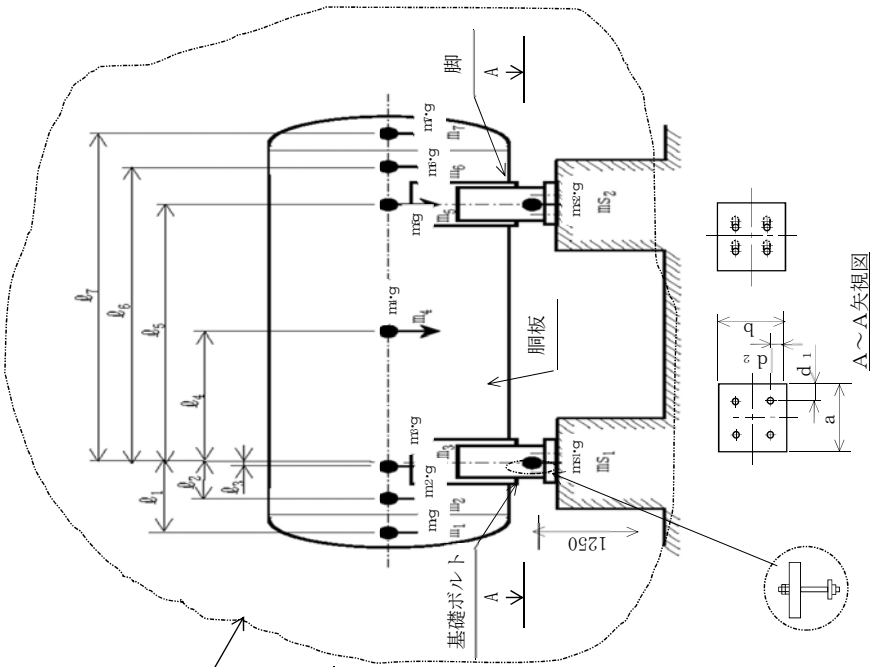
2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)	H (mm)

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
					*1					

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)



容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

胴の応力計算において、当板を有効とした場合は、注記にその旨を記載し、“θ_w”及び“ℓ_w”を記載する。なお、無効とした場合には、記載不要

2.3 計算数値
2.3.1 胴に生じる応力
(1) 一次一般膜応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力
静水頭による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	$\sigma_{x 6} =$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 413} =$	—
組合せ応力	—	—	—	$\sigma_{0f} =$	$\sigma_{0c} =$	

(単位：MPa)

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの(引張応力の圧縮又は値が0となるもの)には値が0となるもの(バー)については“—”(バー)表示とする。
- ・この場合、記号及び“=”(イコール)を削除し“—”(バー)のみとする。
- ・算出応力が小数点以下第2位以降に発生する場合は“0”と表示する。

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力
静水頭による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	$\sigma_{x 1} =$	$\sigma_{x 1} =$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} =$	$\sigma_{x 2} =$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} =$	$\sigma_{x 6} =$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} =$	$\sigma_{x 3} =$	$\sigma_{x 3} =$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} =$	$\sigma_{x 71} =$	$\sigma_{x 71} =$
水平方向地震 による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 411} =$	$\sigma_{x 411} =$	$\sigma_{\phi 51} =$ $\sigma_{x 51} =$
	—	—	—	$\sigma_{\phi 412} =$	$\sigma_{x 412} =$	
	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} =$	$\sigma_{x 41} =$	
せん断	—	—	—	$\tau_{\ell} =$		$\tau_c =$
	—	—	—	$\sigma_{1f} =$		$\sigma_{1c} =$

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値										(単位：MPa)	
地震の種類				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
地震の方向 応力の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向		軸方向応力	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力				
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	—	—	—	—	σ _{φ2} ＝	—
	鉛直方向地震による長手方向	—	—	—	—	—	—	σ _{x6} ＝	—	—	σ _{x6} ＝
	曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	—	—	σ _{φ71} ＝	σ _{x71} ＝	σ _{φ71} ＝	σ _{x71} ＝
		—	—	—	—	—	—	σ _{φ72} ＝	σ _{x72} ＝	σ _{φ72} ＝	σ _{x72} ＝
		—	—	—	—	—	—	σ _{φ41} ＝	σ _{x41} ＝	σ _{φ51} ＝	σ _{x51} ＝
		—	—	—	—	—	—	σ _{φ421} ＝	σ _{x421} ＝	σ _{φ52} ＝	σ _{x52} ＝
	—	—	—	—	—	—	σ _{φ422} ＝	σ _{x422} ＝			
水平方向地震による応力		—	—	—	—	—	—	σ _{φ42} ＝	σ _{x42} ＝	—	—
	せん断	—	—	—	—	—	—	τ _ℓ ＝	—	τ _c ＝	—
組合せ応力		—	—	—	—	—	—	σ _{2ℓ} ＝	—	σ _{2c} ＝	—

2.3.2 脚に生じる応力										(単位：MPa)	
地震の種類		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s							
地震の種類		長手方向	横方向	長手方向	横方向						
運転時質量による応力	圧縮	—	—	σ _{s1} ＝	σ _{s1} ＝						
	圧縮	—	—	σ _{s4} ＝	σ _{s4} ＝						
	曲げ	—	—	σ _{s2} ＝	σ _{s3} ＝						
	せん断	—	—	τ _{s2} ＝	τ _{s3} ＝						
組 合 せ 応 力		—	—	σ _{sℓ} ＝	σ _{sc} ＝						

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力										(単位：MPa)	
地震の種類		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s							
地震の種類		長手方向	横方向	長手方向	横方向						
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張り	—	—	σ _{b1} ＝	σ _{b2} ＝						
	せん断	—	—	τ _{b1} ＝	τ _{b2} ＝						

説明用

V-2-1-14-3 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書
作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 固有周期の計算方法	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 設計用地震力	7
5.3 計算方法	8
5.4 応力の評価	13
6. 耐震計算書のフォーマット	16

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている平底たて置円筒形容器（耐震重要度分類Sクラス又はS s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用されない平底たて置円筒形容器にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

平底たて置円筒形容器の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

平底たて置円筒形容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

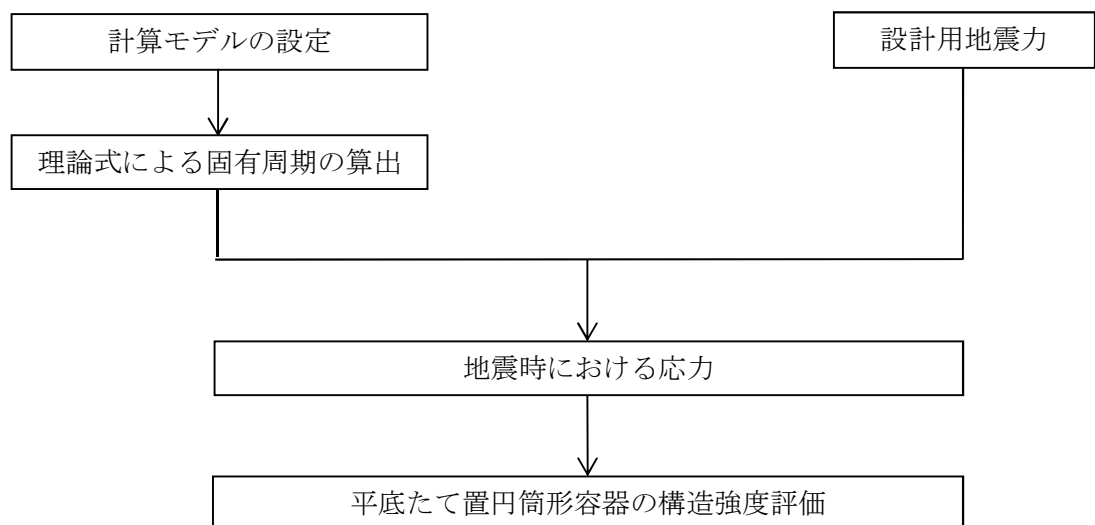


図2-1 平底たて置円筒形容器の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1 －1987 及び J E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
C _c	基礎ボルト計算における係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _t	基礎ボルト計算における係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	ベースプレートの外径	mm
D _c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D _i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _c	基礎に作用する圧縮力	N
F _t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
ℓ ₁ , ℓ ₂	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-2に示す距離)	mm
ℓ _g	基礎から容器重心までの距離	mm
M _s	基礎に作用する転倒モーメント	N・mm
m _o	容器の運転時質量	kg
m _e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _a	胴の許容応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数 値 の 種 類		単 位	処 理 桁	処 理 方 法	表 示 桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長 さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張り強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

平底たて置円筒形容器的耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴及び基礎ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図4-1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

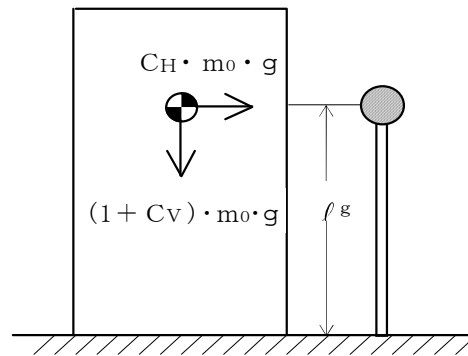


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{l_g^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{l_g}{G \cdot A_e}} \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって、固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{\ell_g}{A \cdot E}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1項a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

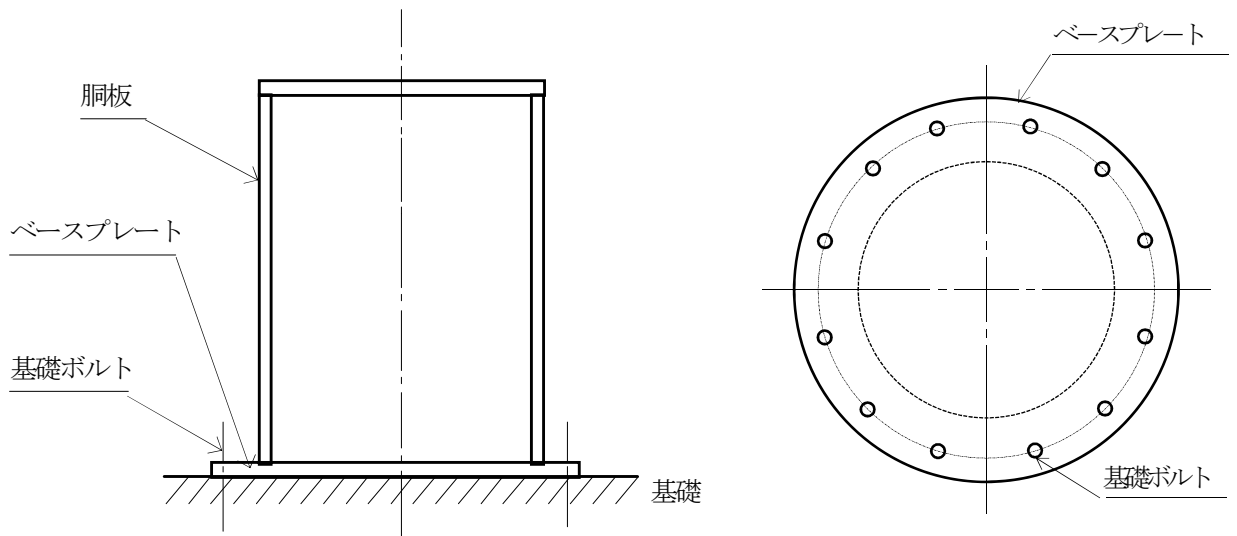


図5-1 概要図

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用いる。動的地震力を用いる場合は、絶対値和又はS R S S法を用いる。

5.3.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 3}^2 + \sigma_{x 4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.14)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，SRSS法それぞれに対して，

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.17)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.18)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.19)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.20)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.21)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.22)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.23)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.24)$$

したがって，胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は，絶対値和，SRSS法それぞれに対して，

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.25)$$

とする。

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度 α を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.2)$$

- c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.6)$$

- d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.8)$$

【SRSS法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.10)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 α が π に等しくなったときであり、
 (5.3.1.2.3) 式及び (5.3.1.2.4) 式において α を π に近づけた場合の値
 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を (5.3.1.2.7) 式又は (5.3.1.2.9) 式に代入し、得ら
 れる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b 及び σ_c を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.3.1.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.3.1.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.3.1.2.15)$$

σ_b 及び σ_c が a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の σ_b 及び σ_c を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) セン断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.2.16)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 胴の応力評価

- (1) 5.3.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ただし, $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

また, f_b は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ f_b = F \quad \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2\left(\frac{9600 \cdot g}{F}\right) \right\} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき} \\ f_b = \phi_2\left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t}\right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

ただし, $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.9)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1.5 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.12)$$

5.4.2 基礎ボルトの応力評価

5.3.1.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 耐震計算書のフォーマット

平底たて置円筒形容器の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2. 」から「1. 」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇〇タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =				
		EL.										

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _{bo} (mm)	D _{bi} (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ _g (mm)	H (mm)	s	n
					*1	*1				

D _c (mm)	D _{bo} (mm)	D _{bi} (mm)	A _b (mm ²)	S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F _s (基礎ボルト) (MPa)
			(M)		*1	*1	*1	*2	*2	

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力
(1) 一次一般膜応力

ボルト径を記載する。

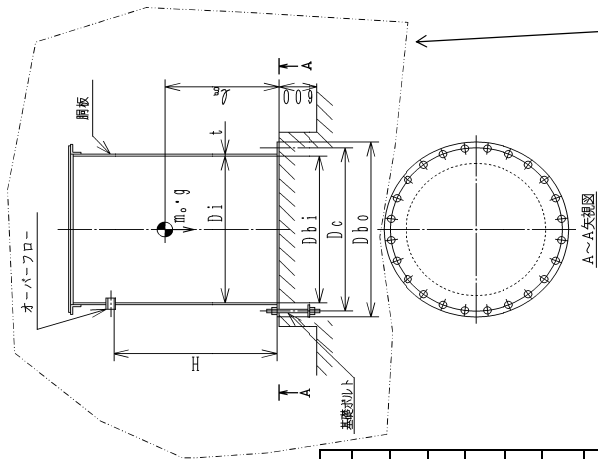
オーステナイト系ステンレス鋼
及び高ニッケル合金に該当する
場合は記載する。厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。
(胴板についても同様とする。)注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

(単位：MPa)

応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1} =$	—	—	$\sigma_{\phi 1} =$	—	—
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} =$	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	—	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{X2} =$	—	—	$\sigma_{X2} =$	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	$\sigma_{X3} =$	—	—	$\sigma_{X3} =$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{X1} =$	τ =	—	$\sigma_{X1} =$	τ =
応力の和	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{Xt} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{Xt} =$	—
圧縮側	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{Xc} =$	—	$\sigma_{\phi} =$	$\sigma_{Xc} =$	—
引張り		$\sigma_{Ot} =$			$\sigma_{Ot} =$	
組合せ応力		$\sigma_{Oc} =$			$\sigma_{Oc} =$	

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの (引張応力の圧縮又は値が0となるもの) については “—” (バー) 表示とする。
- ・この場合、記号及び “—” (バー) を削除し “—” (バー) のみとする。
- ・ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも “—” (バー) ではなくマイナスとして応力値を記載する。
- ・算出応力が小数点以下第 2 位以降に発生する場合は “0” と表示する。



容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値					(単位：MPa)		
応力の種類	弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力		周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x3} =$	—		$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x3} =$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$		—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$
応力の和	引張側	$\sigma_{2xt} =$	—		$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—
	圧縮側	$\sigma_{2xc} =$	—		$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t} =$			$\sigma_{2t} =$		
	圧縮	$\sigma_{2c} =$			$\sigma_{2c} =$		

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力			(単位：MPa)
弾性設計用地震動S d又は静的震度		基準地震動S s	
引張応力	$\sigma_b =$	$\sigma_b =$	
せん断応力	$\tau_b =$	$\tau_b =$	

1.4 結 論				(単位：MPa)			
1.4.1 固有周期 (単位：s)				弾性設計用地震動 S d又は静的震度			
方 向	固 有 周 期	材 料	応 力	算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
水平方向	T _H ＝		一次一般膜	$\sigma_0＝$	$S_a＝$	$\sigma_0＝$	$S_a＝$
			一次＋二次	$\sigma_2＝$	$S_a＝$	$\sigma_2＝$	$S_a＝$
			圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$ (無次元)		
基礎ボルト			引 張 り	$\sigma_b＝$	$f_{ts}＝$	$\sigma_b＝$	$f_{ts}＝$
			せ ん 断	$\tau_b＝$	$f_{sb}＝$	$\tau_b＝$	$f_{sb}＝$

方 向	固 有 周 期
水平方向	T _H ＝
鉛直方向	T _V ＝

すべて許容応力以下である。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【〇〇〇〇〇〇タンクの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

設計震度を表している床レベルを記載する。

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
		建屋 EL.			—	—	C _H =	C _V =				

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ _g (mm)	H (mm)	s	n
				*1	*1				

D _c (mm)	D _{b0} (mm)	D _{b1} (mm)	A _b (mm ²)	S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
			(M)	*1	*1	*1	*1	*2	*2	—	—

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

ボルト径を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

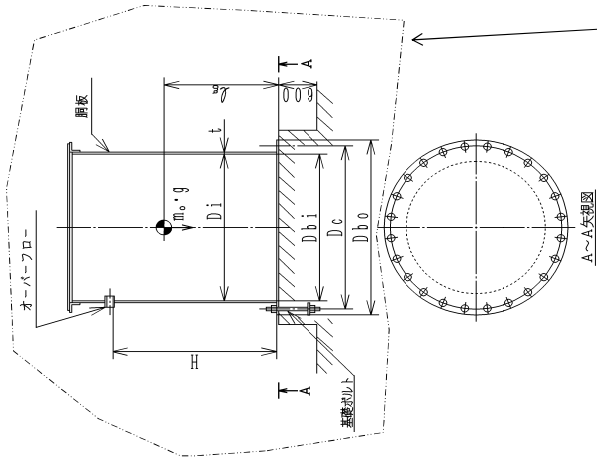
厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。
(胴板についても同様とする。)注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

(単位：MPa)

応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	せん断応力	せん断応力
静水頭による応力	—	—	—	σ _{φ1} =	—	—	—	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	σ _{φ2} =	—	—	—	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	σ _{X2} =	—	—	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	—	—	—	σ _{X3} =	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	σ _{X1} =	τ=	—	—
応力の和	—	—	—	σ _φ =	σ _{X1} =	—	—	—
引張り	—	—	—	σ _φ =	σ _{X1} =	σ _{X2} =	—	—
圧縮	—	—	—	σ _φ =	σ _{X1} =	σ _{X2} =	—	—
引張り	—	—	—	σ _φ =	σ _{X1} =	σ _{X2} =	σ _{X3} =	—
圧縮	—	—	—	σ _φ =	σ _{X1} =	σ _{X2} =	σ _{X3} =	—
組合せ応力	—	—	—	σ _φ =	σ _{X1} =	σ _{X2} =	σ _{X3} =	—

算出応力値記載上の留意事項

- ・評価対象外及び応力が発生しないもの (引張応力の圧縮又は値が0となるもの) については “—” (バー) 表示とする。
- ・この場合、記号及び “—” (バー) を削除し “—” (バー) のみとする。
- ・ただし、胴に生じる応力のうち「応力の和」の「圧縮側」の欄のみは、圧縮となる場合でも “—” (バー) ではなくマイナスとして応力値を記載する。
- ・算出応力が小数点以下第 2 位以降に発生する場合は “0” と表示する。



容器、基礎台及びボルトの形状は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

応 力 の 種 類		弾性設計用地震動S d又は静的震度			基準地震動S s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力		—	—	—	$\sigma_{\phi 2} =$	$\sigma_{x3} =$	—
水平方向地震による応力		—	—	—	—	$\sigma_{x4} =$	$\tau =$
応 力 の 和	引 張 側	—	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xt} =$	—
	圧 縮 側	—	—	—	$\sigma_{2\phi} =$	$\sigma_{2xc} =$	—
組合せ応力 (変動値)	引 張 り	—			$\sigma_{2t} =$		
	圧 縮	—			$\sigma_{2c} =$		

(単位：MPa)

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力		(単位：MPa)	
引 張 応 力	弾性設計用地震動S d又は静的震度	基準地震動S s	
	—	$\sigma_b =$	
	—	$\tau_b =$	

2.4.2 応 力				弾性設計用地震動S d又は静的震度				基準地震動S s			
部 材	材 料	応 力		算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力				
胴 板		一 次 一 般 膜		—	—	$\sigma_0 =$	$S_a =$				
		一 次 + 二 次		—	—	$\sigma_2 =$	$S_a =$				
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)		—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}^2 + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$					
基礎ボルト		引 張 り		—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$				
		せ ん 断		—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$				

2.4.1 固有周期 (単位：s)	
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	T _H =
鉛 直 方 向	T _V =

すべて許容応力以下である。

説明用

V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 設計用地震力	6
4.3 計算方法	6
4.4 応力の評価	14
5. 機能維持評価	15
5.1 動的機能維持評価方法	15
6. 耐震計算書のフォーマット	15

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

なお、本基本方針は横軸ブロワ及びファンにも適用する。（その場合は、ポンプをブロワ又はファンと読み替える。）

ただし、本基本方針が適用できない横軸ポンプにあっては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

横軸ポンプの応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、横軸ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

横軸ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

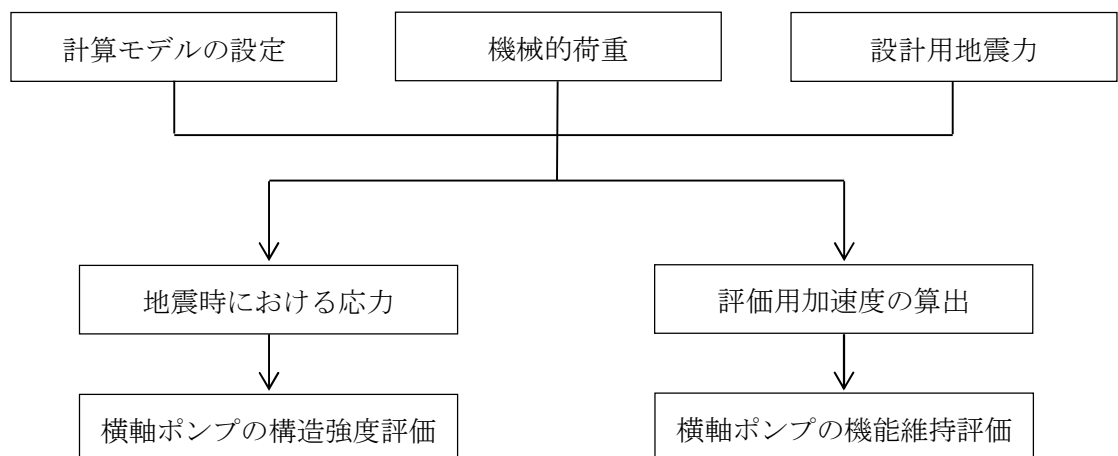


図 2-1 横軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{bi}	ボルトの軸断面積 ^{*1}	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径 ^{*1}	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値 ^{*1}	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値 ^{*1}	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり） ^{*1}	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 ^{*1}	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
H_p	予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離 ^{*2}	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1, *3}	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1, *3}	mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_i	運転時質量 ^{*2}	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	min^{-1}
n_i	ボルトの本数 ^{*1}	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 ^{*1}	—
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力 ^{*1}	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値 ^{*1}	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値 ^{*1}	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値 ^{*1}	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力 ^{*1}	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力 ^{*1}	MPa

注記 *1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , ℓ_{1i} , ℓ_{2i} ,

n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: ポンプ取付ボルト

$i=3$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

i =4 : 減速機取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 据付面

$i=2$: ポンプ取付面

$i=3$: 原動機取付面

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

$i=4$: 減速機取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1: 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2: 絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

横軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。
したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。
- (2) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (3) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (4) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (5) 転倒方向は図 4-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (6) 設計用地震力は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
なお、横軸ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

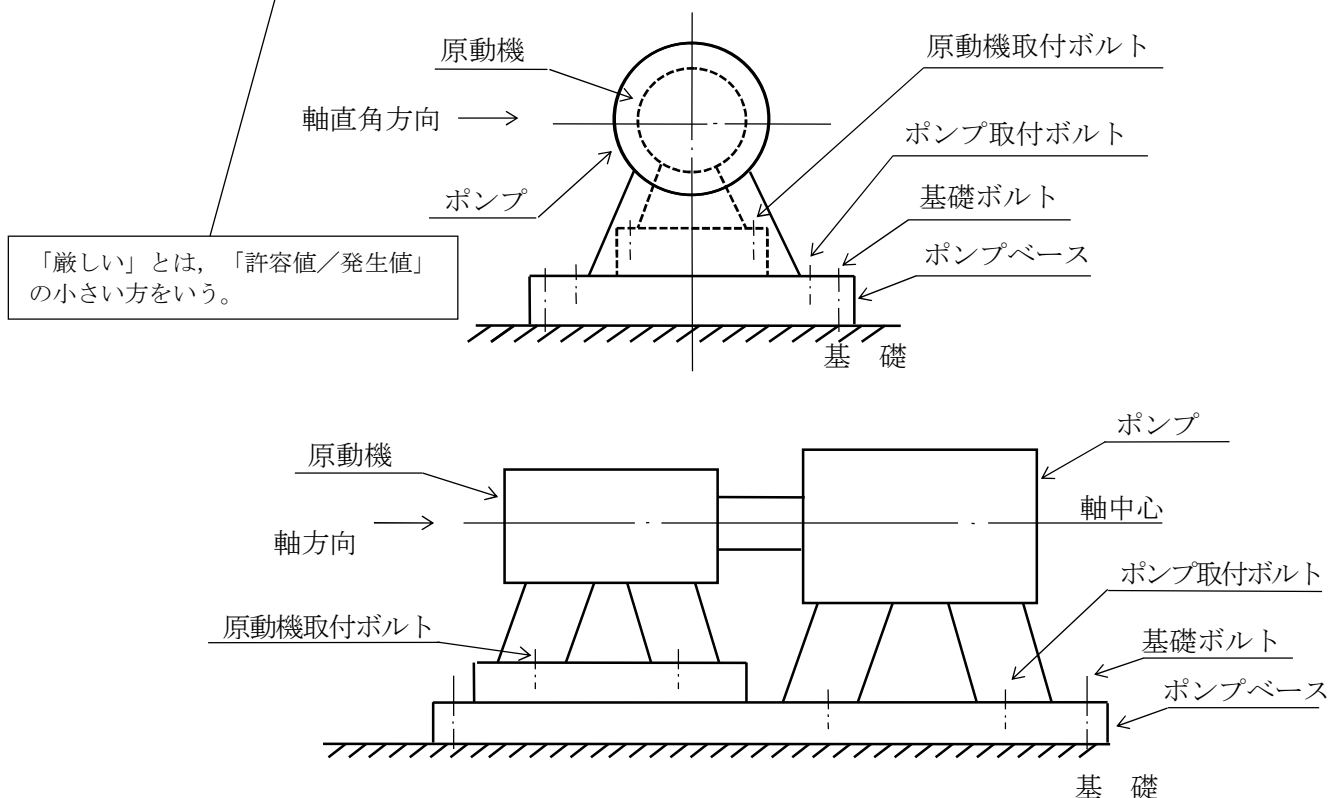


図 4-1 概要図

4.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

4.3 計算方法

4.3.1 応力の計算方法

4.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

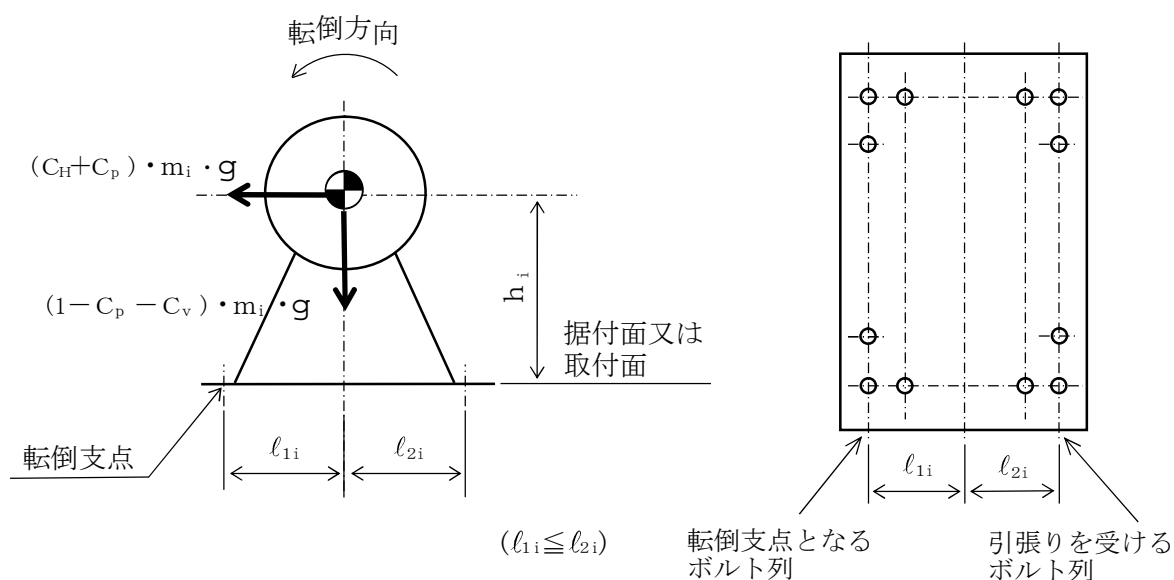


図 4-2(1) 計算モデル

(軸直角方向転倒-1 $(1 - C_p - C_v) \geq 0$ の場合)

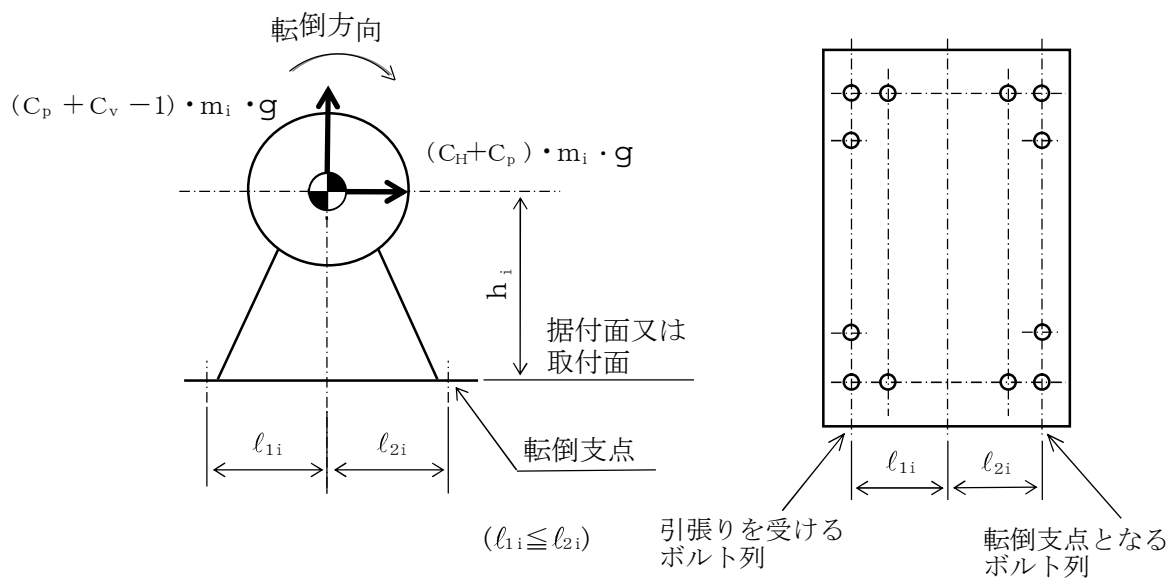


図 4-2(2) 計算モデル
(軸直角方向転倒-2 $(1 - C_p - C_v) < 0$ の場合)

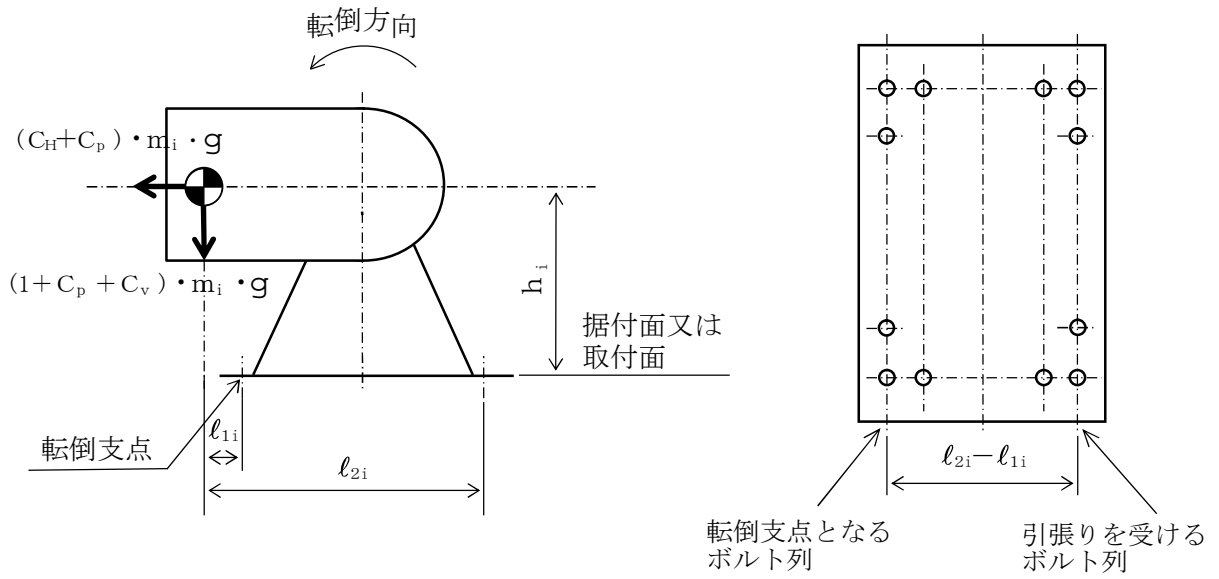


図 4-2 (3) 計算モデル

(軸直角方向転倒-3 軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間でない場合で $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$ の場合)

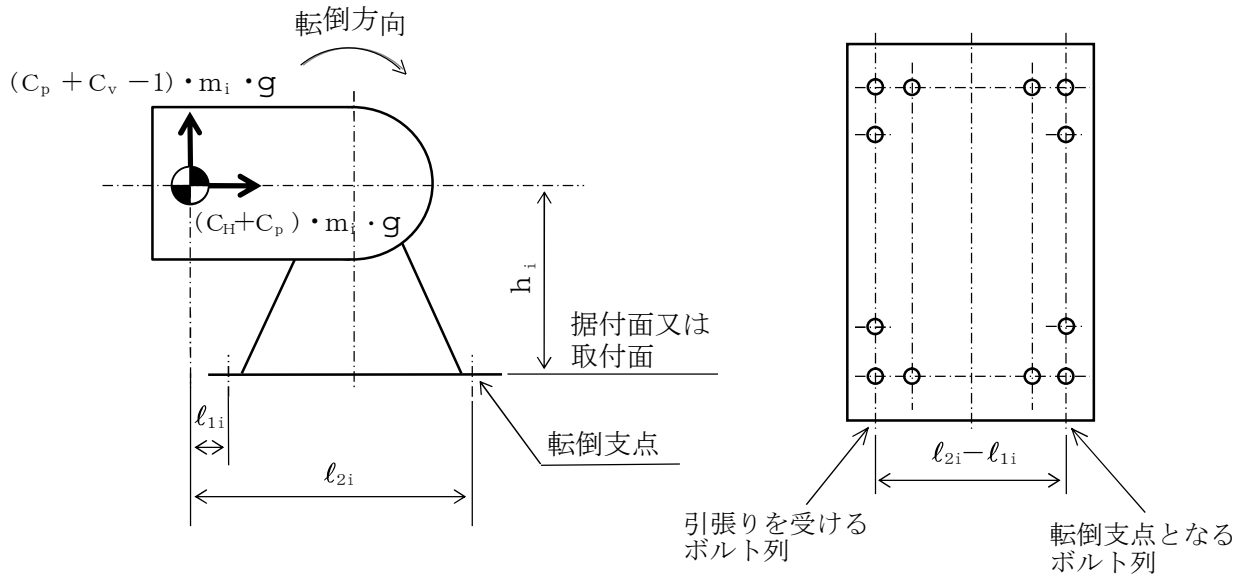


図 4-2 (4) 計算モデル

(軸直角方向転倒-4 軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間でない場合で $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$ の場合)

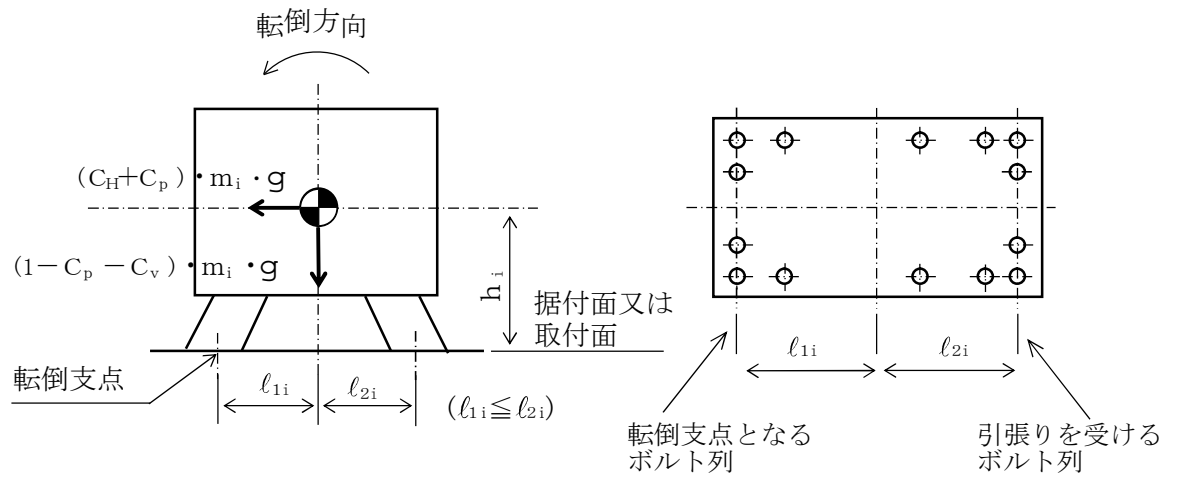


図 4-3 (1) 計算モデル
(軸方向転倒-1 $(1 - C_P - C_V) \geq 0$ の場合)

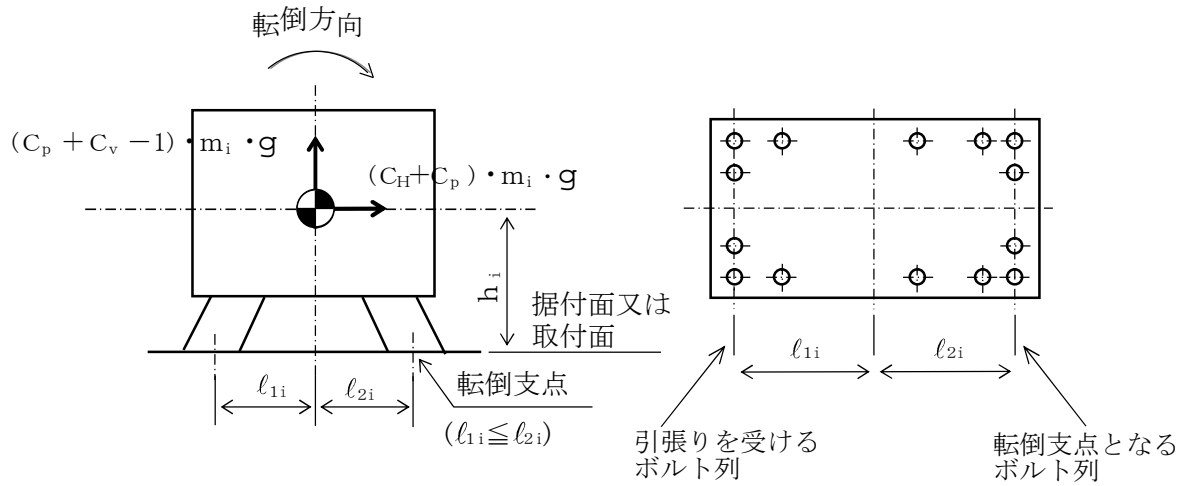


図 4-3 (2) 計算モデル
(軸方向転倒-2 $(1 - C_P - C_V) < 0$ の場合)

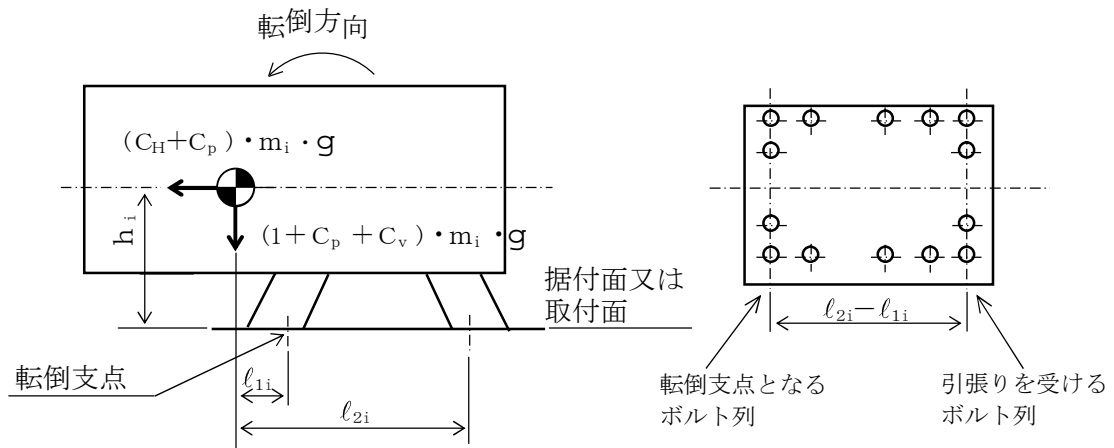


図 4-3 (3) 計算モデル

(軸方向転倒-3 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(\ell_{2i} + \ell_{1i}) / (\ell_{2i} - \ell_{1i}) \geq (C_v + C_p)$ の場合)

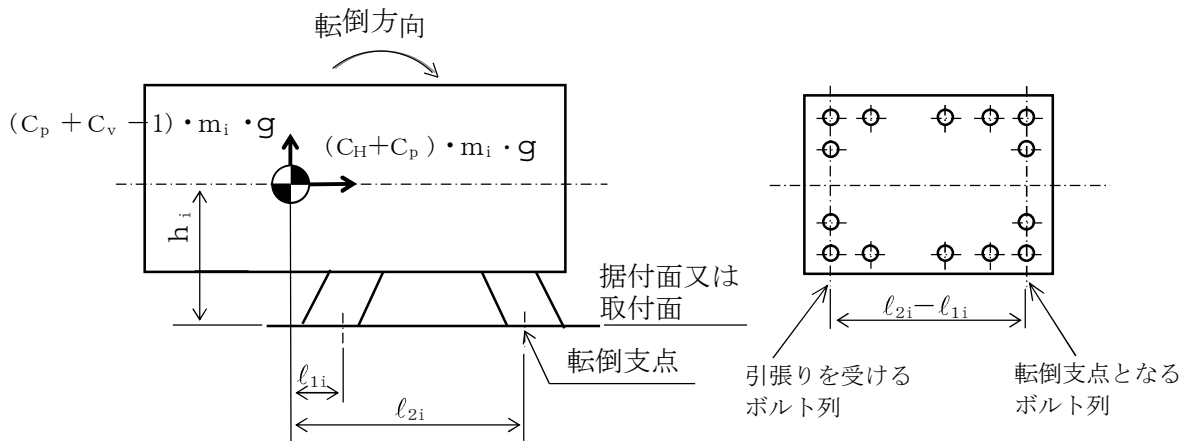


図 4-3 (4) 計算モデル

(軸方向転倒-4 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で
 $(\ell_{2i} + \ell_{1i}) / (\ell_{2i} - \ell_{1i}) < (C_v + C_p)$ の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-2 及び図 4-3 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお、ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト ($i=1$) 及び計算モデル図 4-3 の場合のボルト ($i=1\sim 4$) については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

引張力

計算モデル図 4-2(1) 及び 4-3(1) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot \ell_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.1)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot \ell_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + \ell_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.2)

計算モデル図 4-2(2) 及び 4-3(2) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot \ell_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.3)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot \ell_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + \ell_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.4)

計算モデル図 4-2(3) 及び 4-3(3) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (1 + C_p + C_v) \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot \ell_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.5)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot \ell_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + \ell_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot \ell_{1i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.6)

計算モデル図 4-2(4) 及び 4-3(4) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (C_p + C_v - 1) \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot \ell_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + \ell_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.7)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot \ell_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + \ell_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot \ell_{2i}}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})}$$

..... (4.3.1.1.8)

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \text{..... (4.3.1.1.9)}$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

ただし、ベースが共通でポンプと原動機間に減速機がある場合、ポンプ及び減速機取付ボルト($i=2$ 及び 4)における(4.3.1.1.9)式中の N はポンプ回転速度とする。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \text{..... (4.3.1.1.10)}$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \quad \dots\dots\dots (4.3.1.1.11)$$

ここで，ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad \dots\dots\dots (4.3.1.1.12)$$

ただし， $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b i} = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \quad \dots\dots\dots (4.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \quad \dots\dots\dots (4.3.1.1.14)$$

4.4 応力の評価

4.4.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

また，ポンプについては軸継手の評価を行い，動的機能を有していることを確認する。

6. 耐震計算書のフォーマット

横軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

電動機にスラスト軸受がなく軸方向荷重がポンプ側に作用する形式のうち，ギヤカップリングを使用している場合に適用する。その場合は，本記載を追加する。

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 *1 EL.	—*2	—*2	C _h ＝	C _v ＝	C _h ＝	C _v ＝	C _p ＝		

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1 i} *3 (mm)	ℓ _{2 i} *3 (mm)	A _{b i} (mm)	n _i	n _{f i}	
							弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i = 1)								
ポンプ取付ボルト (i = 2)					(M)			
原動機取付ボルト (i = 3)					(M)			
減速機取付ボルト (i = 4)					(M)			

ボルト径を記載する。

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は、
“—”表示とする。

転倒方向が同じ場合は、1つとする。

部 材	S _{v i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i = 1)	*2	*2						
ポンプ取付ボルト (i = 2)	*1	*1						
原動機取付ボルト (i = 3)	*1	*1						
減速機取付ボルト (i = 4)	*1	*1						

M_Pが生じない場合は“—”とする。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」と「基準地震動 S s」で転倒方向が異なる場合は本注記*3を追加する。

予想最大面振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p ＝	N＝

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：基礎ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S d 又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動 S s に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)				
ポンプ取付ボルト (i = 2)				
原動機取付ボルト (i = 3)				
減速機取付ボルト (i = 4)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{bi} =$	$f_{ts1} =$	$\sigma_{bi} =$	$f_{ts1} =$
		せん断	$\tau_{bi} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{bi} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度		機能確認済加速度	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
ポンプ				
原動機				

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

1.4.2.2 軸継手の評価

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量

すべて許容変位量以下である。

記載例を示す。
(荷重 or 変位量)

電動機にスラスト軸受がなく軸方向荷重がポンプ側に作用する形式のうち、ギヤカップリングを使用している場合に記載する。
なお、その場合、評価用加速度と機能確認済加速度との比較結果を「1.4.2.1 機能確認済加速度との比較」とすること。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了
※：評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、
適宜、詳細評価を追加する。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
		建屋 EL. *1	—*2	—*2	—	—	C _H =	C _V =	C _P =		

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	A _{bi} (mm)	n _i	n _{f i}	
							弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i = 1)					(M)		—	
ポンプ取付ボルト (i = 2)					(M)		—	
原動機取付ボルト (i = 3)					(M)		—	
減速機取付ボルト (i = 4)					(M)		—	

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は、
“—”表示とする。

ボルト径を記載する。

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	*2	*2	—		—		—	
ポンプ取付ボルト (i = 2)	*1	*1	—		—		—	
原動機取付ボルト (i = 3)	*1	*1	—		—		—	
減速機取付ボルト (i = 4)	*1	*1	—		—		—	

M_Pが生じない場合は“—”とする。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

予想最大面振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =	N =

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i = 2)	—		—	
原動機取付ボルト (i = 3)	—		—	
減速機取付ボルト (i = 4)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{bl} =$	$f_{tsl} =$
		せん断	—	—	$\tau_{bl} =$	$f_{shl} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sh2} =$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} =$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sh3} =$
減速機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} =$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sh4} =$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度		機能確認済加速度	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
ポンプ				
原動機				

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

2.4.2.2 軸継手の評価

(単位：mm)

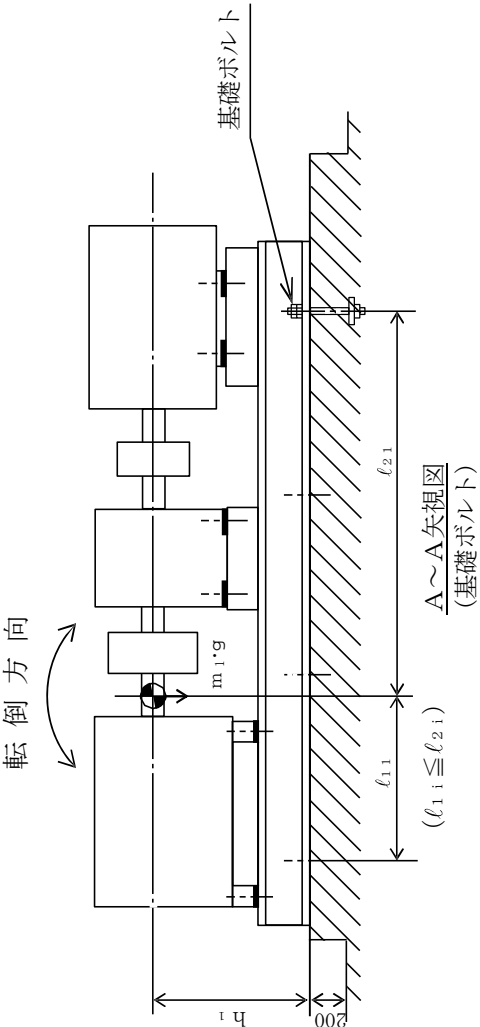
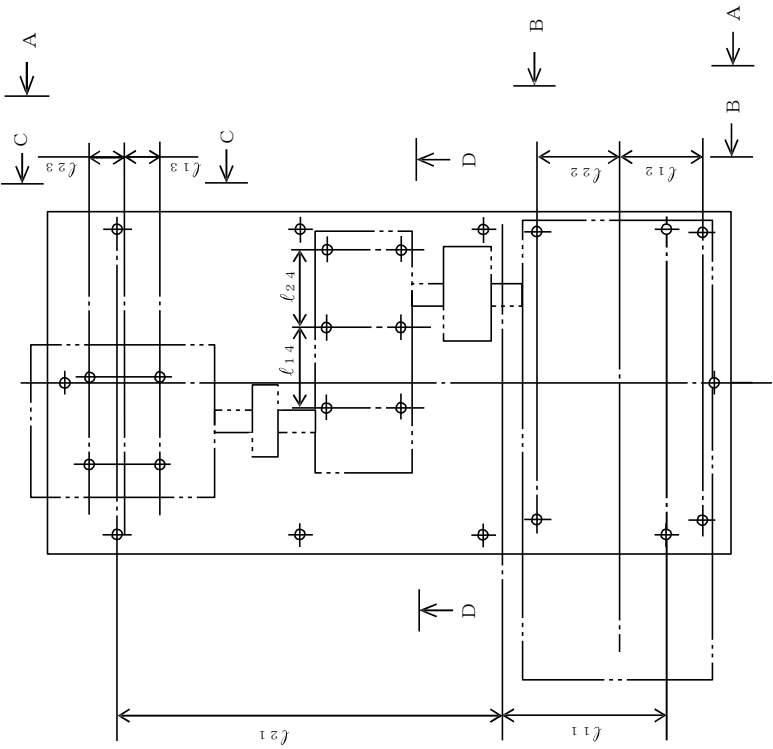
評価部位	変位量	許容変位量

すべて許容変位量以下である。

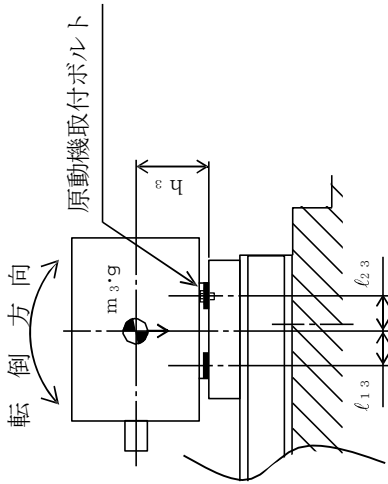
記載例を示す。
(荷重 or 変位量)

電動機にスラスト軸受がなく軸方向荷重がポンプ側に作用する形式のうち、ギヤカップリングを使用している場合に記載する。なお、その場合評価用加速度と機能確認済加速度との比較結果を「2.4.2.1 機能確認済加速度との比較」とすること。

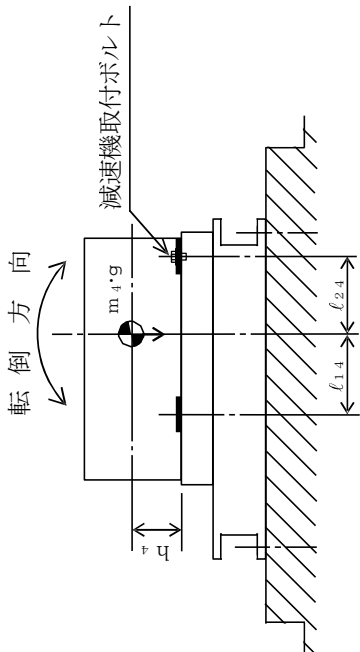
「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合は、ここで終了
※：評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合は、適宜、詳細評価を追加する。



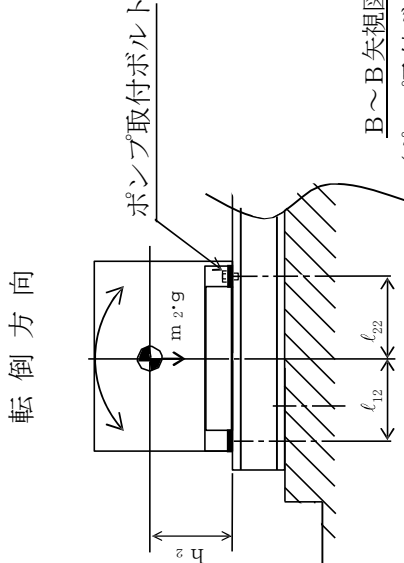
A～A矢視図
(基礎ボルト)



C～C矢視図
(原動機取付ボルト)



D～D矢視図
(減速機取付ボルト)



B～B矢視図
(ポンプ取付ボルト)

説明用

V-2-1-14-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書
作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	5
4. 固有周期及び構造強度評価	6
4.1 固有周期及び構造強度評価方法	6
4.2 固有周期の計算	7
4.3 設計用地震力	7
4.4 計算方法	7
4.5 応力の評価	11
5. 機能維持評価	13
5.1 動的機能維持評価方法	13
6. 耐震計算書のフォーマット	13

1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているたて軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないたて軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

たて軸ポンプの応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.1 構造強度評価方法」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、たて軸ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

たて軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

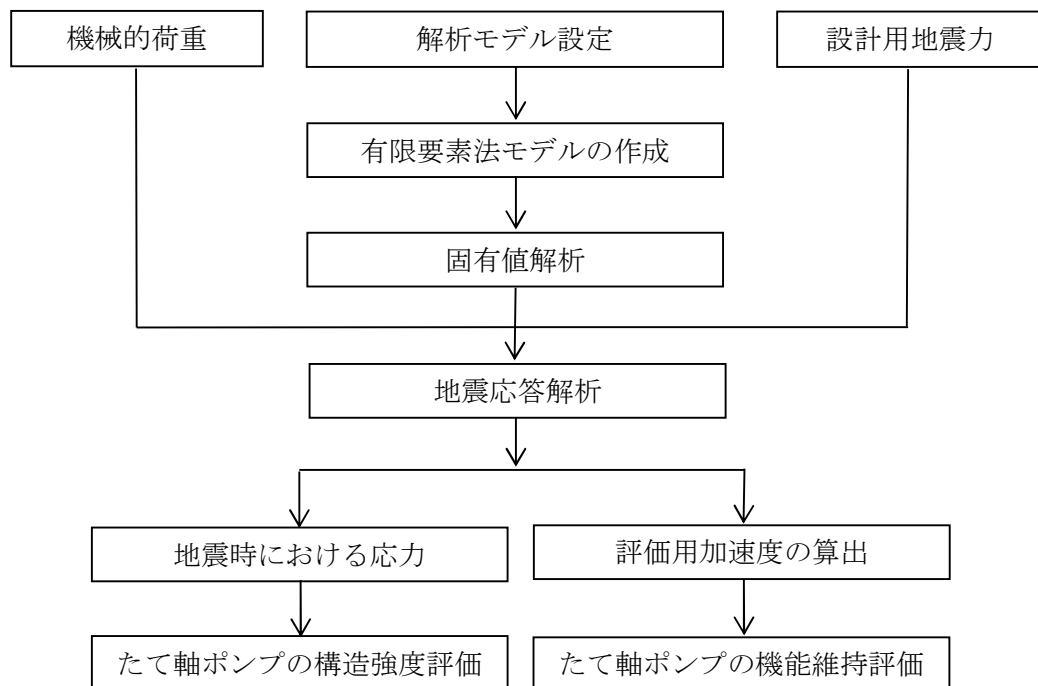


図2-1 たて軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A b i	ボルトの軸断面積 ^{*1}	mm ²
A c	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _p	ポンプ振動による震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D c	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D i	ボルトのピッチ円直径 ^{*1}	mm
d i	ボルトの呼び径 ^{*1}	mm
F i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値 ^{*1}	MPa
F i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値 ^{*1}	MPa
F b i	ボルトに作用する引張力（1 本当たり） ^{*1}	N
f _{s b i}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 ^{*1}	MPa
f _{t o i}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
f _{t s i}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H _p	予想最大両振幅	μm
M	図 4-2 計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M i	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③ 及び ④ を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント ^{*2}	N・mm
M _p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては、ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては、コラムパイプ総質量	kg
m i	運転時質量 ^{*3}	kg
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	min ⁻¹
n i	ボルトの本数 ^{*1}	—
n f i	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 ^{*1}	—
P	原動機出力	kW
P c	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
Q b i	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③ 及び ④ における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力 ^{*1}	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S a	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
S _u , S _{u i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値 ^{*1}	MPa
S _y , S _{y i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値 ^{*1}	MPa
S _{y i} (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値 ^{*1}	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
T_i	固有周期 ^{*4}	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力 ^{*1}	MPa
σ_{cH}	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{cv}	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{zP}	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta P}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力 ^{*1}	MPa

注記 *1: A_{bi} , D_i , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 基礎ボルト


$i=2$: ポンプ取付ボルト


$i=3$: 原動機台取付ボルト


$i=4$: 原動機取付ボルト


なお、ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は, $i=2$: ポンプ取付ボルト(下), $i=3$: ポンプ取付ボルト(上)とし, $i=3$ を $i=4$, $i=4$ を $i=5$ とする。

*2: M_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 

$i=2$: 

$i=3$: 

$i=4$: 

*3: m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 据付面

$i=2$: ポンプ取付面

$i=3$: 原動機台取付面

$i=4$: 原動機取付面

なお、ポンプ取付面(上), (下)がある場合は, $i=2$: ポンプ取付面(下),

$i=3$: ポンプ取付面(上)とし, $i=3$ を $i=4$, $i=4$ を $i=5$ とする。

*4: T_i の添字 i の意味は、固有周期の次数を示す。

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ ^{*1}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

たて軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルト，取付ボルト並びにバレルケーシング及びコラムパイプについて評価を実施する。

4. 固有周期及び構造強度評価

4.1 固有周期及び構造強度評価方法

たて軸ポンプの固有周期の計算及び構造強度評価に用いる解析モデルの作成条件を以下に示す。

- (1) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (2) ポンプは原動機を含めて多質点モデルにてモデル化し、軸とケーシングとを分け軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとする。
- (3) モデル化に際しては、原動機、ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。
- (4) 下部サポートは鉛直方向にスライドできるものとし、水平方向の地震力を受けるものとする。
- (5) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

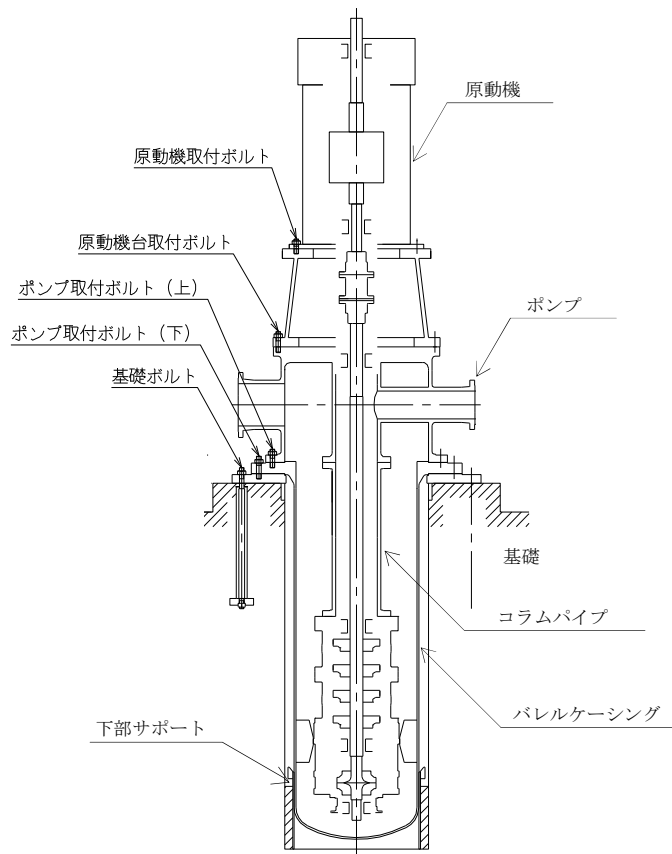


図 4-1 概要図

4.2 固有周期の計算

たて軸ポンプの固有周期について、「4.1 たて軸ポンプの固有周期の計算及び構造強度評価方法」に基づき作成した解析モデルにより計算する。

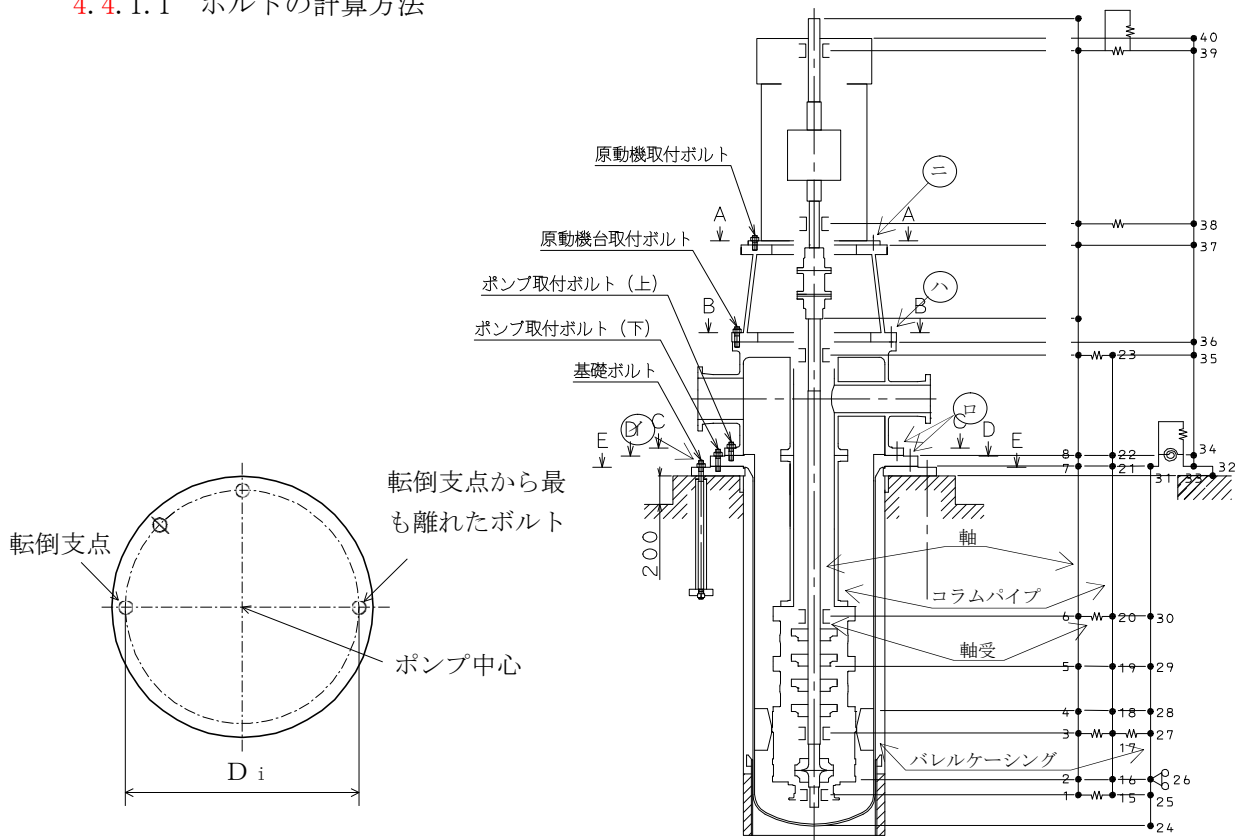
4.3 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

4.4.1.1 ボルトの計算方法



$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: ポンプ取付ボルト*

$i = 3$: 原動機台取付ボルト*

$i = 4$: 原動機取付ボルト*

注記* : ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は, $i = 2$: ポンプ取付ボルト(下), $i = 3$: ポンプ取付ボルト(上)とし, $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

図 4-2 計算モデル

ボルトの応力は地震による震度, ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

なお、転倒モーメント並びにせん断力は、計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により算出するが、その際、水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し、鉛直方向には、設計震度と自重を考慮する。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F_{bi} = \frac{M_i - (1 - C_p - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{fi} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.3.1.1.1)$$

ここで、 M_i は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.4)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。なお、基礎ボルト($i=1$)については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

せん断力は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める Q_{bi} 及びポンプ回転により作用するモーメント M_p を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.5)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.1.1.6)$$

$$(1\text{kW} = 10^6 \text{N} \cdot \text{mm/s})$$

4.4.1.2 バレルケーシング及びコラムパイプの計算方法

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた各部に働くモーメントにより、曲げ応力は以下のようになる。

$$\sigma_{cH} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.3.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{cV} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \dots\dots\dots (4.3.1.2.2)$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.3)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma = \text{Max} (\sigma_{cH} + \sigma_{cV} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.3.1.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

4.5 応力の評価

4.5.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.5.2 バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

4.3.1.2 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

また，ポンプについては軸受の評価を行い，動的機能を有していることを確認する。

6. 耐震計算書のフォーマット

たて軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は“－”表示とする。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば
区別せず、最高使用圧力を記載する。

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (℃)	周囲環境 温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				吸込側	吐出側
		建屋 EL. *			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$	$C_p =$				

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m_i (kg)	D_i (mm)	$A_{b,i}$ (mm ²)	n_i	$n_{f,i}$	M_p (N・mm)	$S_{y,i}$ (MPa)	$S_{u,i}$ (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基 礎 ボ ル ト ($i = 1$)			(M)				*2	*2		
ポンプ取付ボルト(下) ($i = 2$)			(M)				*1	*1		
ポンプ取付ボルト(上) ($i = 3$)			(M)				*1	*1		
原動機台取付ボルト ($i = 4$)			(M)				*1	*1		
原動機取付ボルト ($i = 5$)			(M)				*2	*2		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p =$	$N =$

M_p が生じない場合は“－”とする。

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。
(バレルケーシング、コラムパイプについても同様とする。)

(2) バレルケーシング、コラムパイプ

部 材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニ
ッケル合金に該当する場合は記載する。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

モード		固有周期 (単位：s)
水平 1次		T _{H1} =
鉛直 1次		T _{V1} =

1.4.2 ボルトの応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} = f_{ts1}$	f_{ts1}	$\sigma_{b1} = f_{ts1}$	f_{ts1}
		せん断	$\tau_{b1} = f_{sb1}$	f_{sb1}	$\tau_{b1} = f_{sb1}$	f_{sb1}
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	$\sigma_{b2} = f_{ts2}$	f_{ts2}	$\sigma_{b2} = f_{ts2}$	f_{ts2}
		せん断	$\tau_{b2} = f_{sb2}$	f_{sb2}	$\tau_{b2} = f_{sb2}$	f_{sb2}
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	$\sigma_{b3} = f_{ts3}$	f_{ts3}	$\sigma_{b3} = f_{ts3}$	f_{ts3}
		せん断	$\tau_{b3} = f_{sb3}$	f_{sb3}	$\tau_{b3} = f_{sb3}$	f_{sb3}
原動機台取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} = f_{ts4}$	f_{ts4}	$\sigma_{b4} = f_{ts4}$	f_{ts4}
		せん断	$\tau_{b4} = f_{sb4}$	f_{sb4}	$\tau_{b4} = f_{sb4}$	f_{sb4}
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b5} = f_{ts5}$	f_{ts5}	$\sigma_{b5} = f_{ts5}$	f_{ts5}
		せん断	$\tau_{b5} = f_{sb5}$	f_{sb5}	$\tau_{b5} = f_{sb5}$	f_{sb5}

すべて許容応力以下である。

(2) パレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位：N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
パレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4.3 パレルケーシング, コラムパイプの応力

部 材	材 料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
パレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = S_a$
		基準地震動 S _s	$\sigma = S_a$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = S_a$
		基準地震動 S _s	$\sigma = S_a$

すべて許容応力以下である。

「評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合の記載
※：「評価用加速度＞機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。

1.4.4 動的機能の評価結果
1.4.4.1 機能確認済加速度との比較 (単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

1.4.4.2 軸受の評価 (単位：N)

軸受位置	軸受荷重	許容荷重
1-15		
3-17		
6-20		
9-23		

すべて許容荷重以下である。

1.5 その他の機器要目
(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節 点 番号	材 料 番 号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	($\text{N} \cdot \text{mm/rad}$)

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン 比 (－)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

NT2 補① V-2-1-14-5 R0

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は“—”表示とする。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば区別せず、最高使用圧力を記載する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
		建屋 EL. *			—				$C_H =$			$C_V =$	$C_P =$

注記 *: 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	$A_{b,i}$ (mm ²)	n_i	$n_{f,i}$	M_p (N・mm)	$S_{y,i}$ (MPa)	$S_{u,i}$ (MPa)	F_i (MPa)	$F_{i,*}$ (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)				*2	*2	—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M)				*1	*1	—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1	—	
原動機台取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1	—	
原動機取付ボルト (i=5)			(M)				*2	*2	—	

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

予想最大面振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p =$	$N =$

ボルト径を記載する。

M_p が生じない場合は“—”とする。

厚さ, 径等による強度区分がある場合は, 該当する強度区分を記載する。
(パレルケーシング, コラムパイプについても同様とする。)

(2) パレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
パレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

(2) パレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i = 2)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(上) (i = 3)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i = 4)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i = 5)	—		—		—	

2.4 結 論

2.4.1 固有周期 (単位: s)	
モード	固有周期
水平 1 次	T _{H1} =
鉛直 1 次	T _{V1} =

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	σ _{b1} =	f _{ts1} =
		せん断	—	—	τ _{b1} =	f _{sb1} =
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	—	—	σ _{b2} =	f _{ts2} =
		せん断	—	—	τ _{b2} =	f _{sb2} =
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	—	—	σ _{b3} =	f _{ts3} =
		せん断	—	—	τ _{b3} =	f _{sb3} =
原動機台取付ボルト		引張り	—	—	σ _{b4} =	f _{ts4} =
		せん断	—	—	τ _{b4} =	f _{sb4} =
原動機取付ボルト		引張り	—	—	σ _{b5} =	f _{ts5} =
		せん断	—	—	τ _{b5} =	f _{sb5} =

すべて許容応力以下である。

2.4.3 パレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
パレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	σ = S _a =
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	σ = S _a =

すべて許容応力以下である。

「評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合の記載
※：「評価用加速度＞機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。

2.4.4 動的機能の評価結果

2.4.4.1 機能確認済加速度との比較			(単位：×9.8 m/s ²)
	評価用加速度	機能確認済加速度	
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

2.4.4.2 軸受の評価			(単位：N)
軸受位置	軸受荷重	許容荷重	
1-15			
3-17			
6-20			
9-23			

すべて許容荷重以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節 点 番号	材 料 番 号	断 面 積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

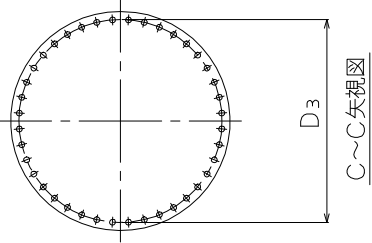
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

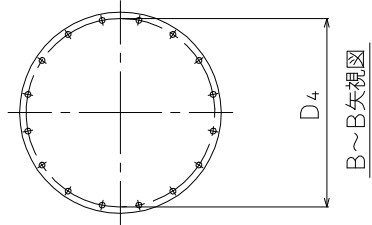
材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン 比 (－)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

容器、基礎台及びボルトの形状
は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

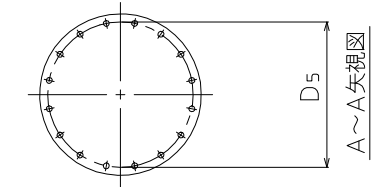
ポンプ取付ボルト (上)



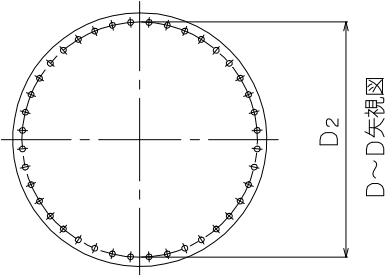
原動機取付ボルト



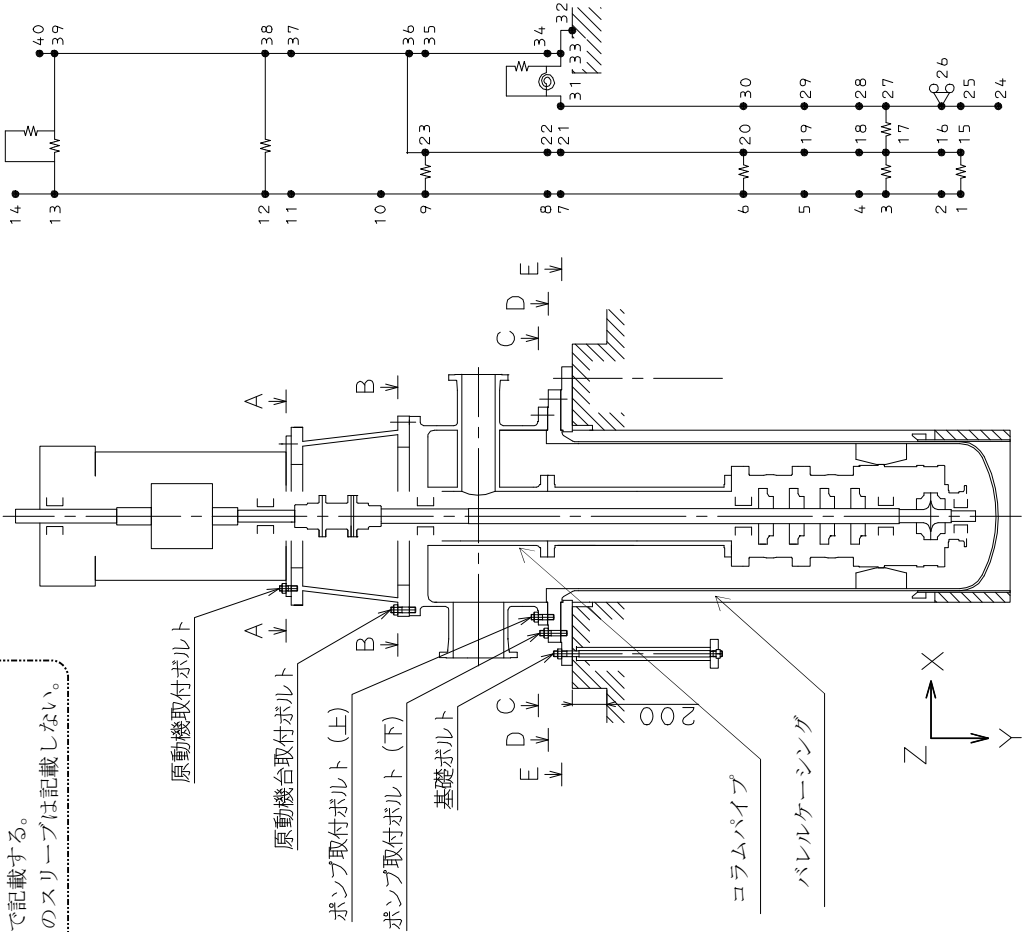
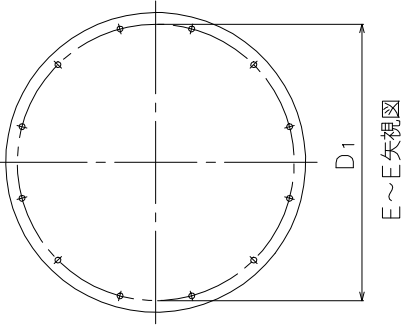
原動機取付ボルト



ポンプ取付ボルト (下)



基礎ボルト



説明用

V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 基本方針	6
4.2 固有振動数の算出方法	6
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 設計用地震力	8
5.3 計算方法	8
5.4 応力の評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 耐震計算書のフォーマット	21
7.1 直立形盤の耐震計算書のフォーマット	21
7.2 壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット	21

1. 概要

基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている盤（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない盤にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

盤の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、盤の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

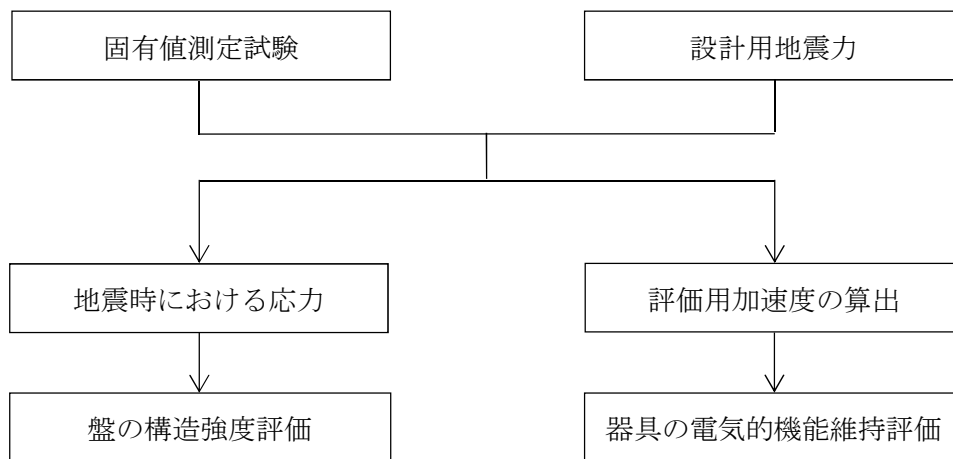


図 2-1 盤の耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{bi}	ボルトの軸断面積 ^{*1}	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径 ^{*1}	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131に定める値 ^{*1}	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値 ^{*1}	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり） ^{*1}	N
F_{bli}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形） ^{*1}	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形） ^{*1}	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 ^{*1}	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離 ^{*2}	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*3}	mm
l_{1i}	重心を下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形） ^{*1}	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*3}	mm
l_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形） ^{*1}	mm
l_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形） ^{*1}	mm
m_i	運転時質量 ^{*2}	kg
n_i	ボルトの本数 ^{*1}	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 ^{*1} （鉛直方向）（壁掛形）	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 ^{*1} （水平方向）（壁掛形）	—

記 号	記 号 の 説 明	単 位
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{bli}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi} (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記 *1: $A_{bi}, d_i, F_i, F_i, F_{bi}, F_{bli}, F_{b2i}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, \ell_{1i}, \ell_{2i}, \ell_{3i}, n_i, n_{vi}, n_{hi}, Q_{bi}, Q_{bli}, Q_{b2i}, S_{ui}, S_{yi}, \sigma_{bi}$ 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。
 $i=1$: 基礎ボルト
 $i=2$: 取付ボルト
*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。
 $i=1$: 据付面
 $i=2$: 取付面
*3: $\ell_1 \leq \ell_2$

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ ^{*1}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

盤の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

固有周期を「スワイプ試験（加振試験）」にて求める場合の記載を示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

盤の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない盤については、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤に対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて、盤の応答を測定する。

4.1 基本方針

盤の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない盤については、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤に対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。

5. 構造強度評価

固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。

5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 直立形の盤は取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。また、壁掛形の盤は取付ボルト及び基礎ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) 床面据付の盤の転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の**厳しい方**を記載する。壁掛形の盤については、図 5-2 概要図（壁掛形）における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の**厳しい方**を記載する。
- (5) 盤の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 設計用地震力は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「厳しい方」とは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

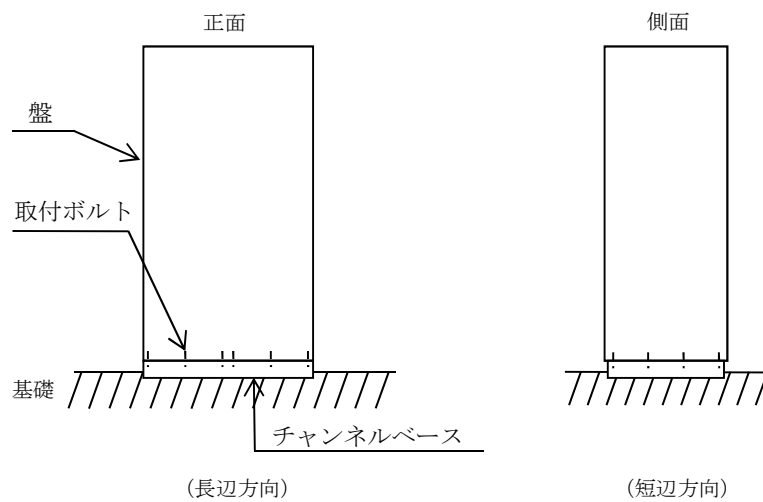


図 5-1 概要図（直立形）

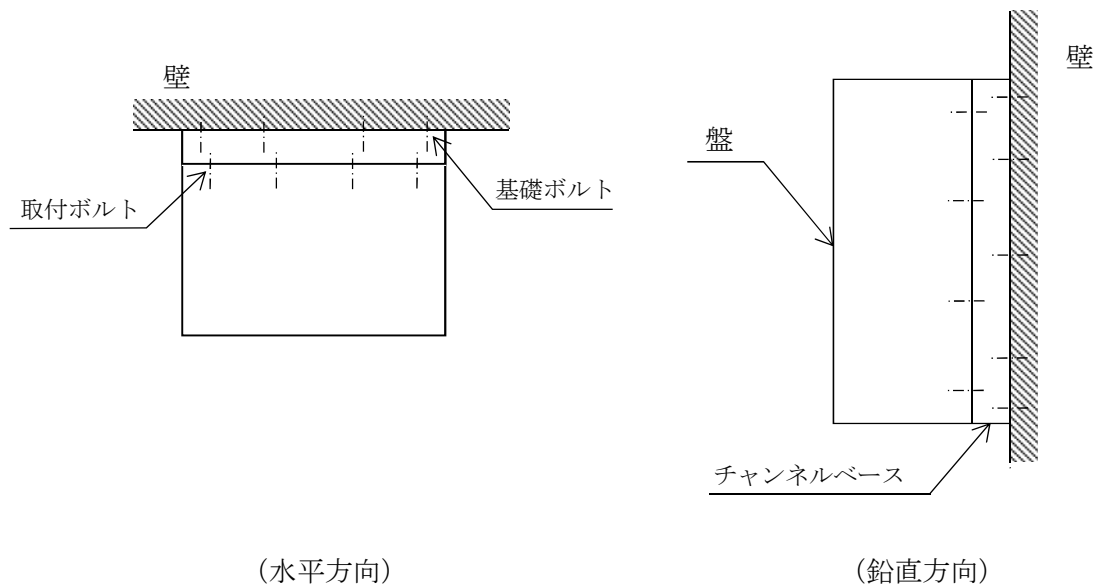


図 5-2 概要図（壁掛形）

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。なお、壁掛形の盤の設計用地震力については、設置床上階の設計用地震力を使用する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

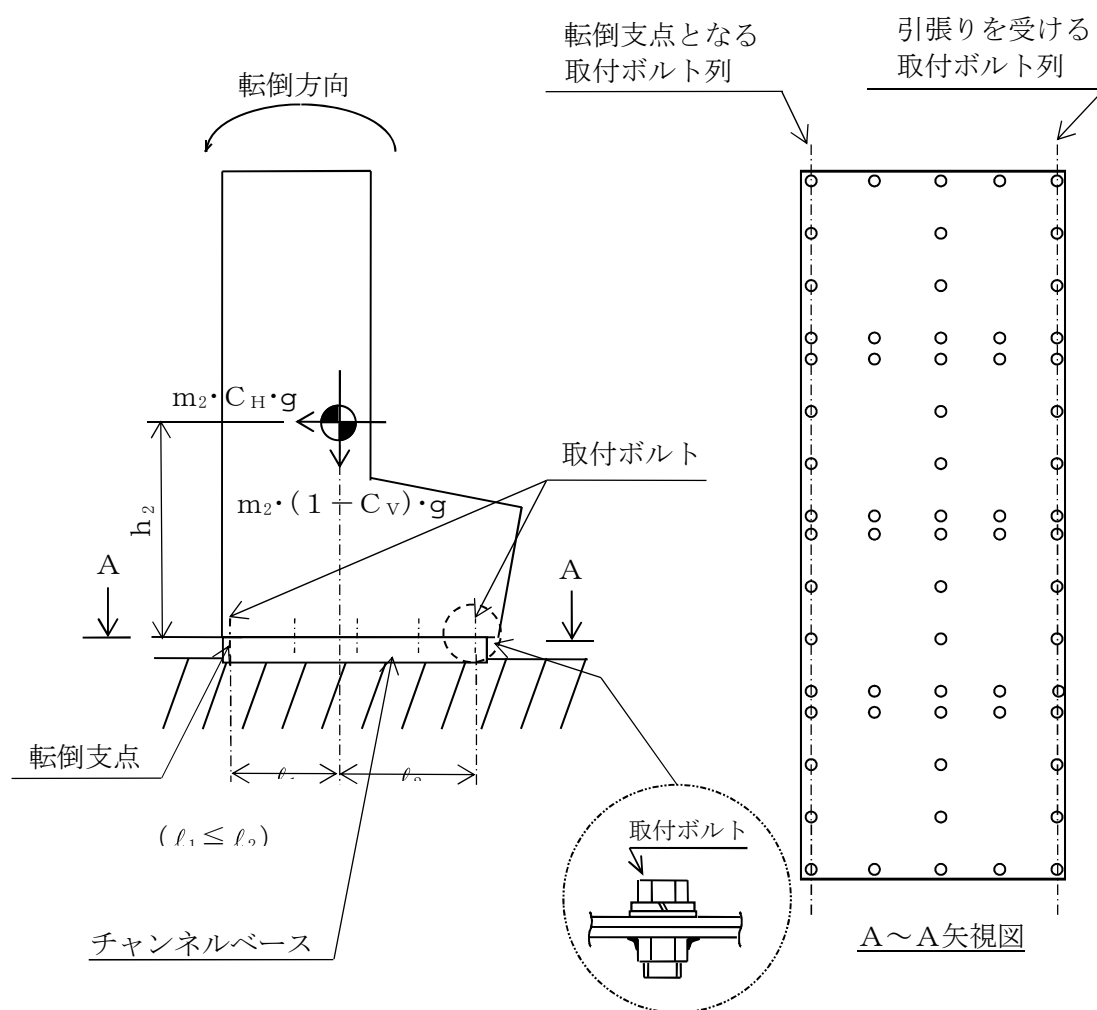


図5-3(1) 計算モデル
(ベンチ形 短辺方向転倒 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

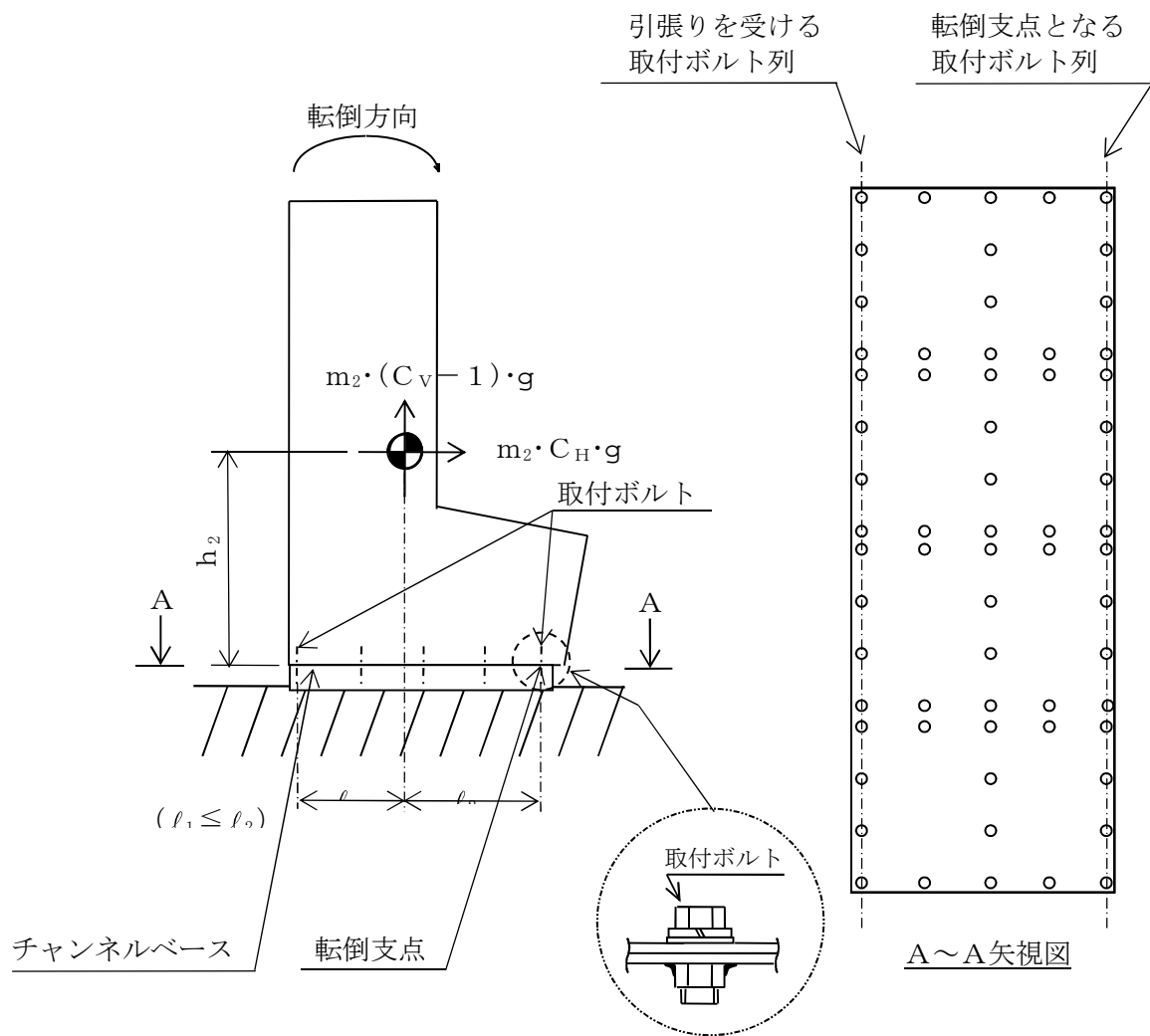


図5-3(2) 計算モデル
(ベンチ形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

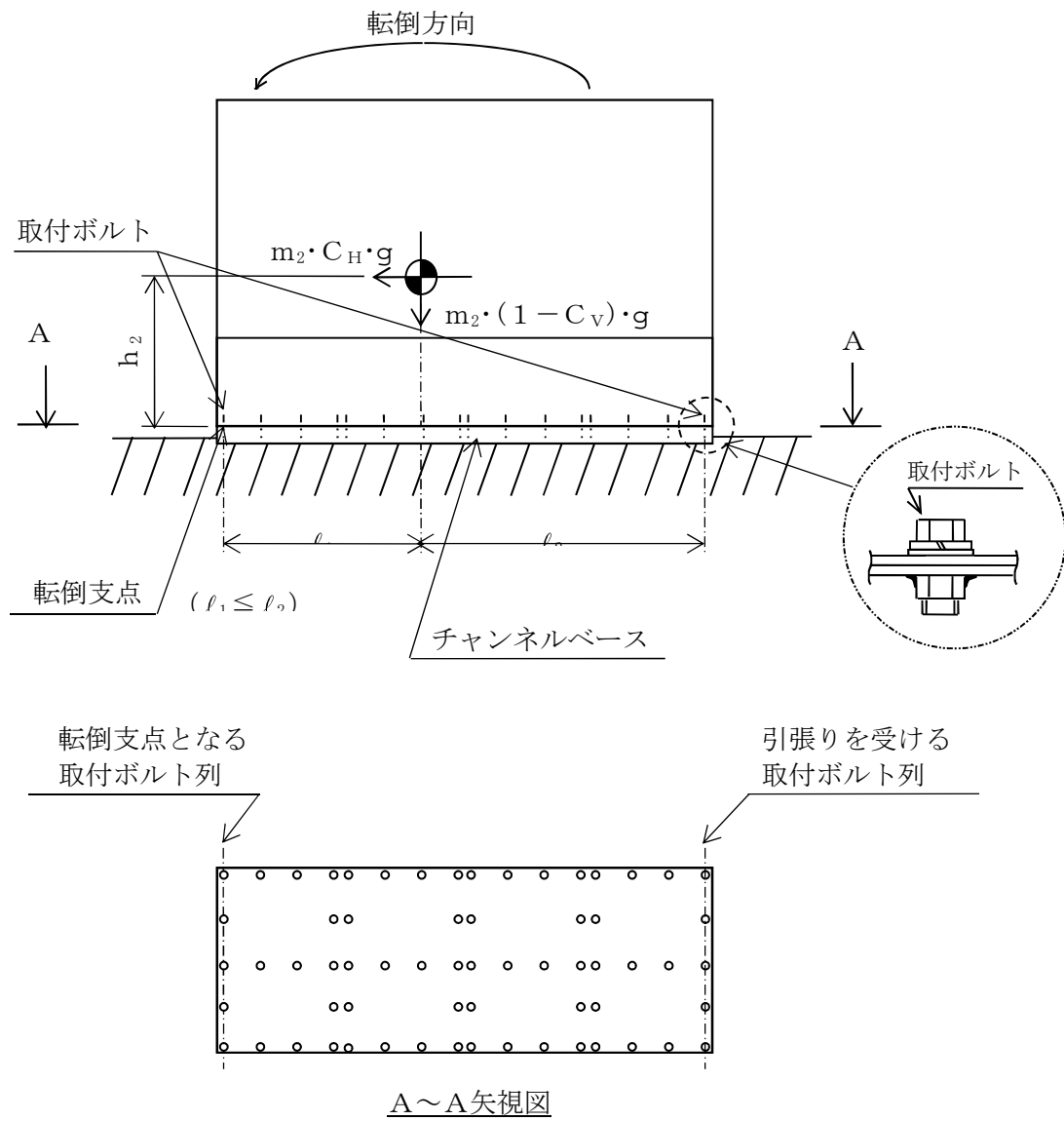


図5-3(3) 計算モデル
(ベンチ形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

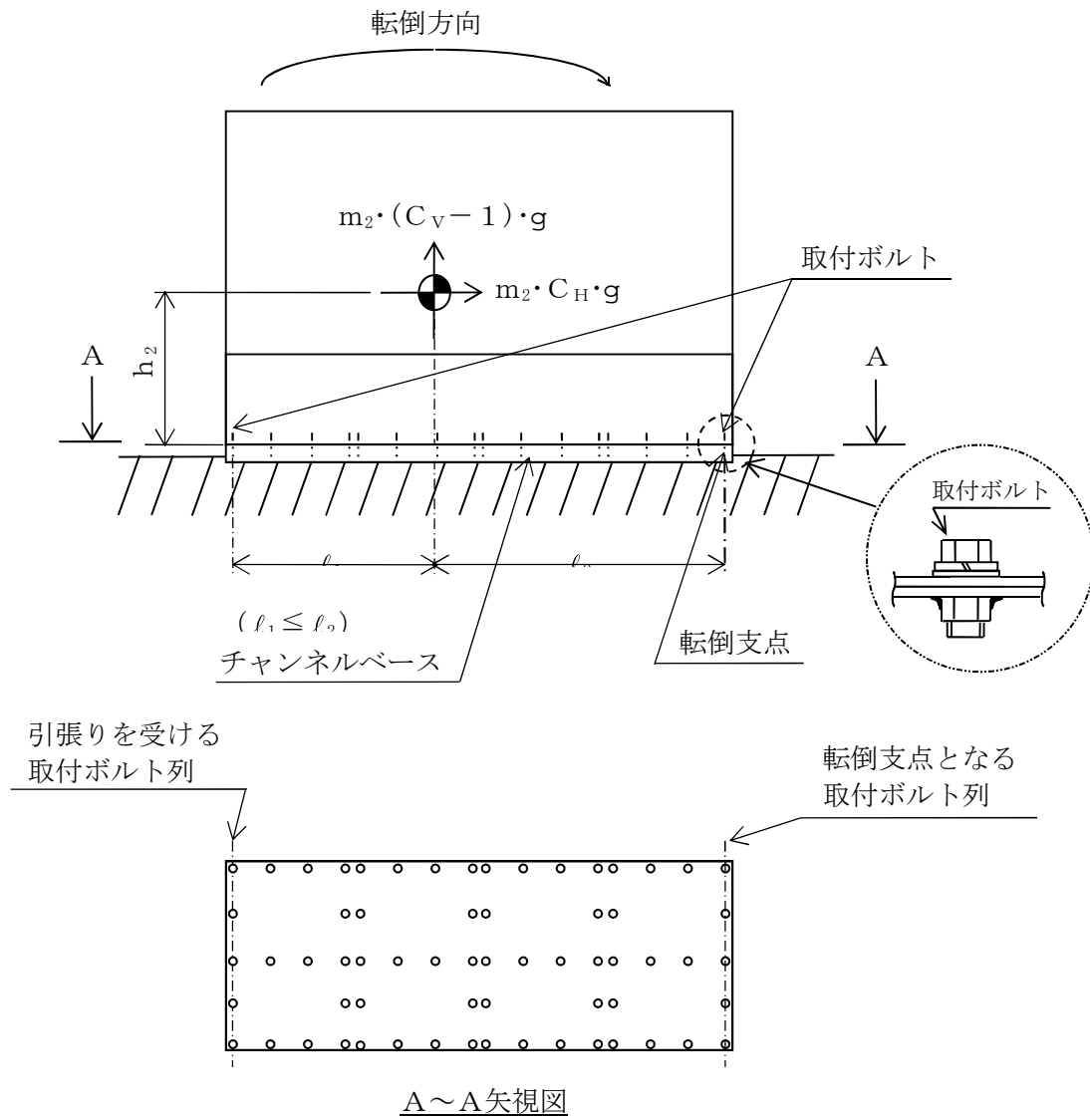


図5-3(4) 計算モデル
(ベンチ形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

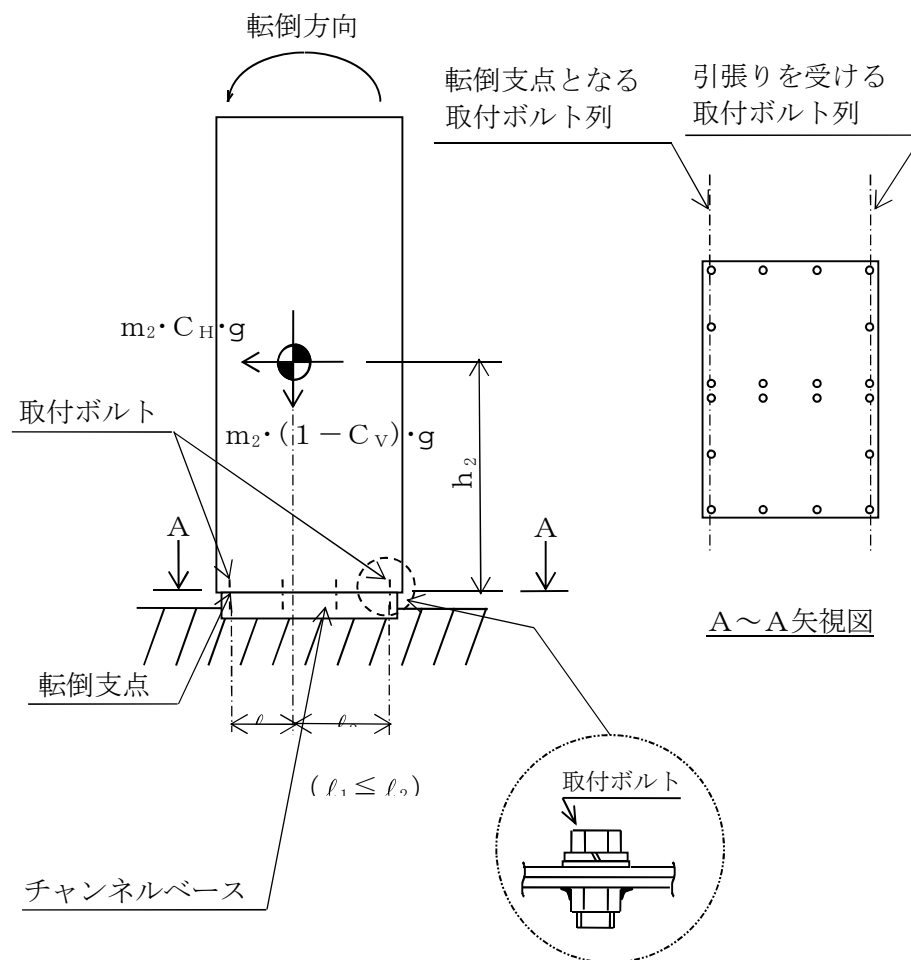


図5-4(1) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

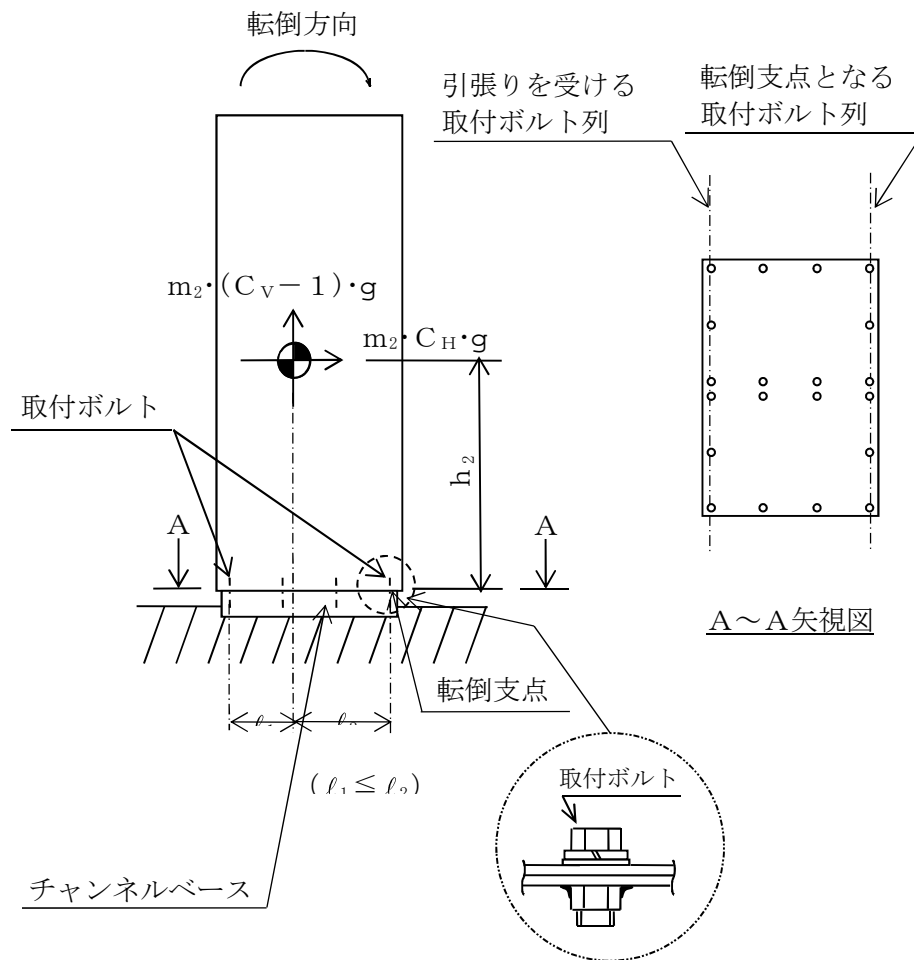


図5-4(2) 計算モデル
(直立形 短辺方向転倒 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

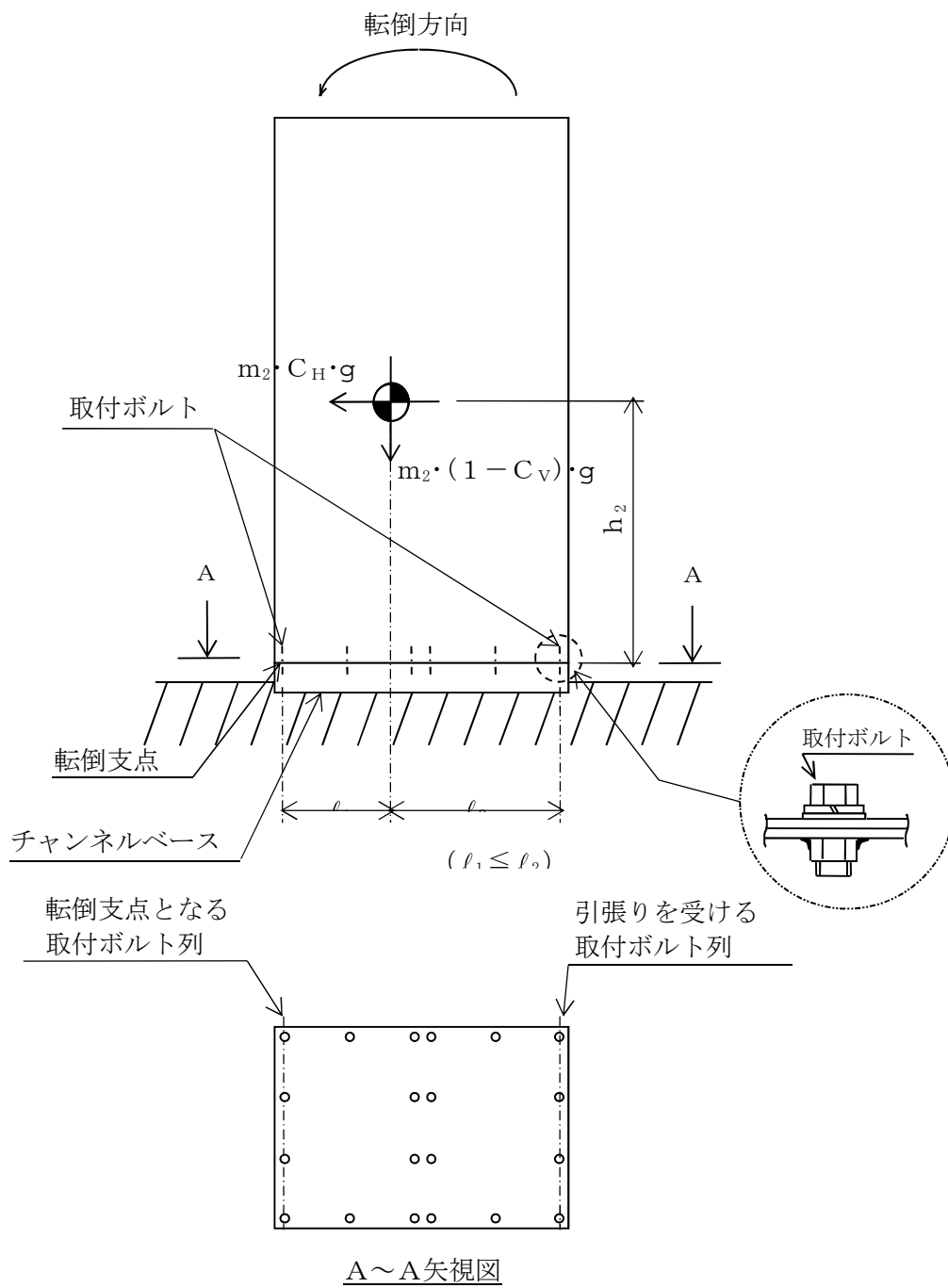


図5-4(3) 計算モデル
(直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

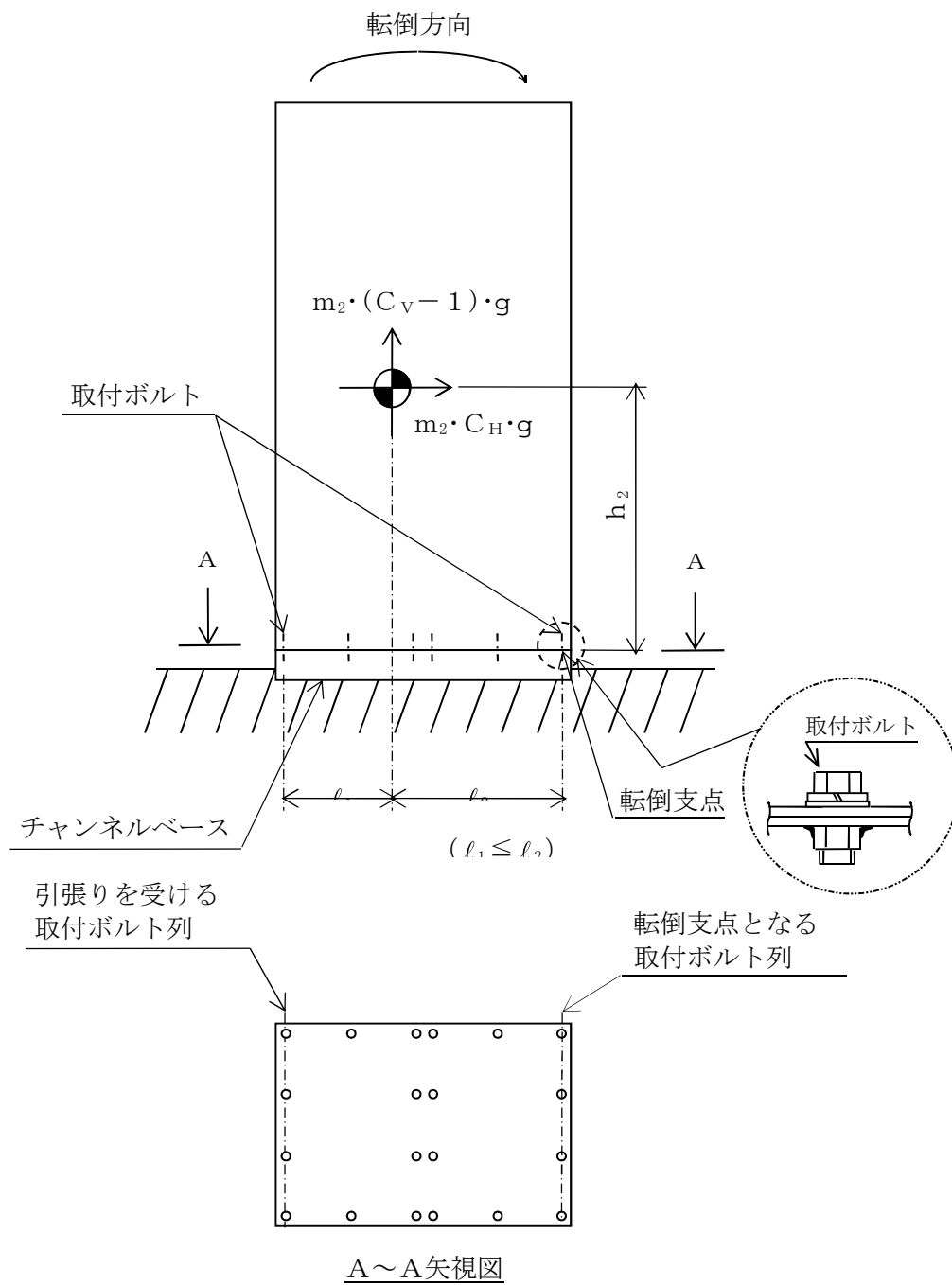


図5-4(4) 計算モデル
(直立形 長辺方向転倒 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

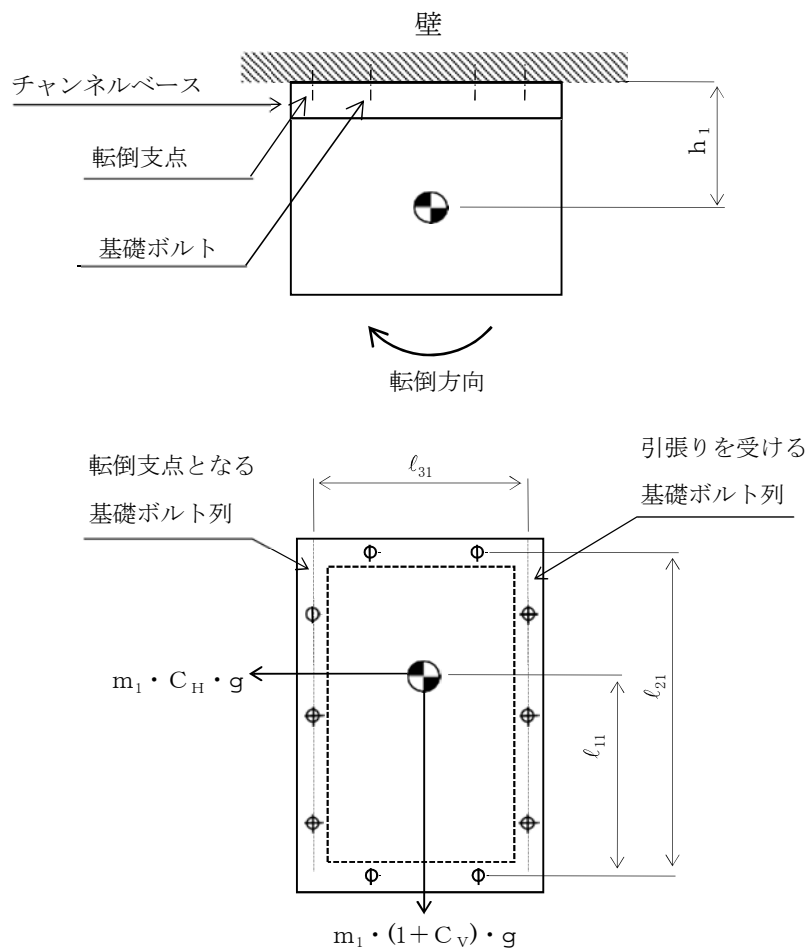


図 5-5(1) 計算モデル（壁掛形 水平方向転倒の場合）

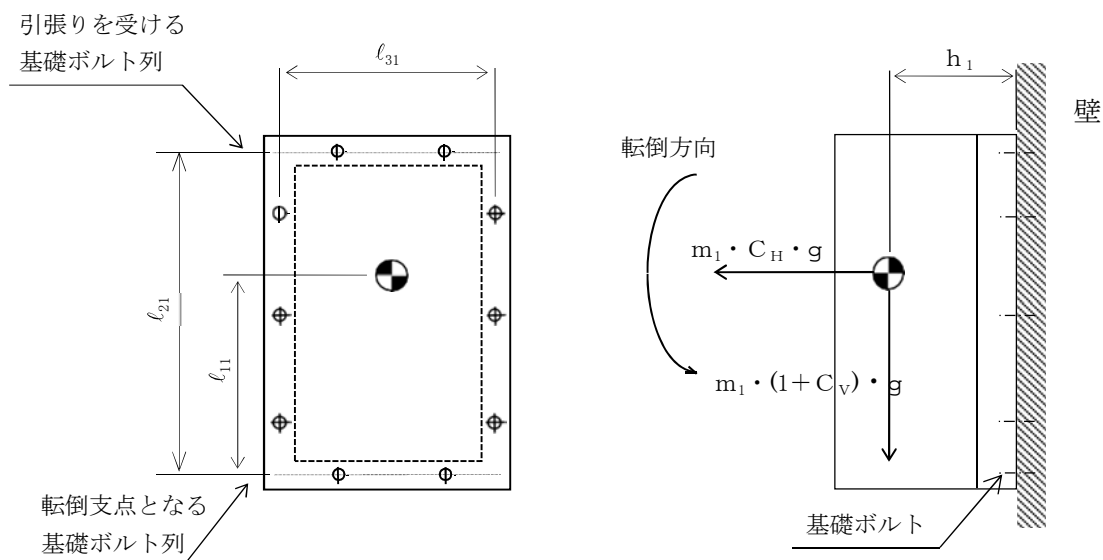


図 5-5(2) 計算モデル（壁掛形 鉛直方向転倒の場合）

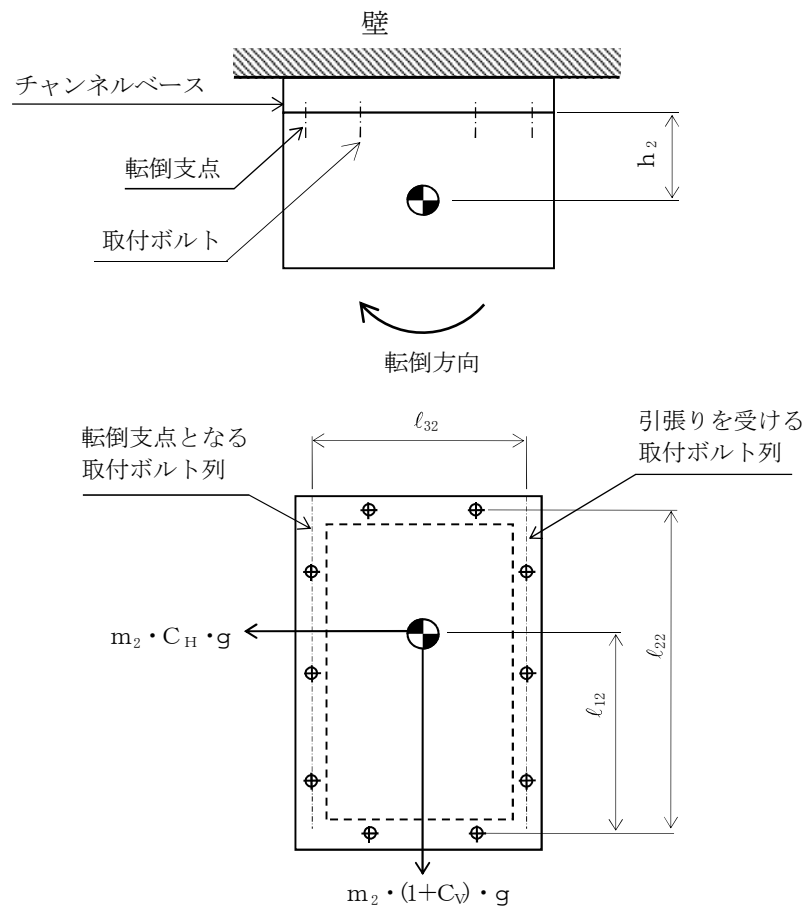


図 5-5(3) 計算モデル (壁掛形 水平方向転倒の場合)

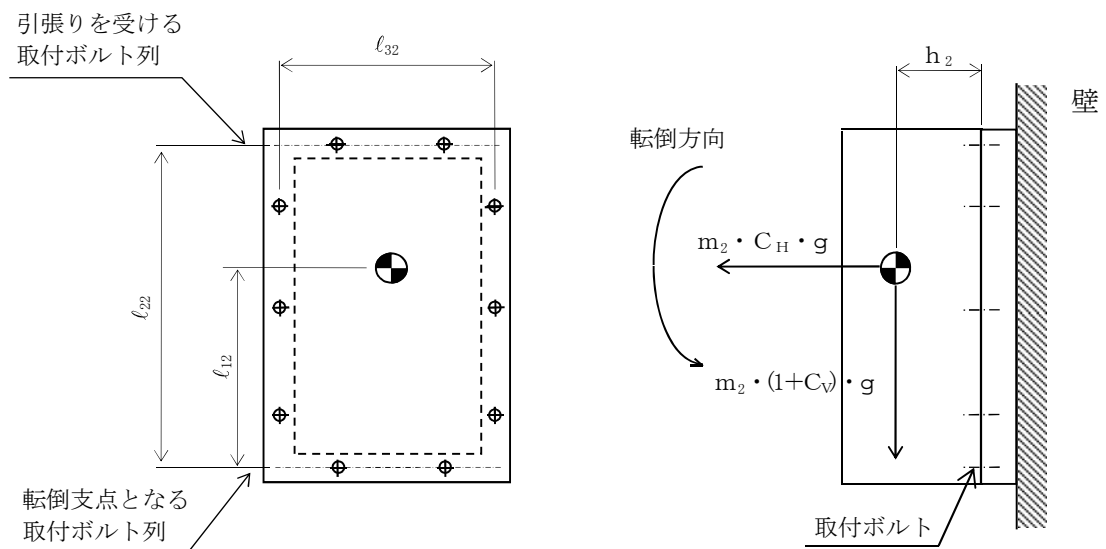


図 5-5(4) 計算モデル (壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルト及び取付ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-3、図5-4及び図5-5で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_{bi})

計算モデル図5-3(1), 5-3(3), 5-4(1), 5-4(3) の場合の引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-3(2), 5-3(4), 5-4(2), 5-4(4) の場合の引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-5(1), 5-5(2), 5-5(3) 及び5-5(4) の場合の引張力

$$F_{bli} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g}{n_{fVi} \cdot \ell_{2i}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fHi} \cdot \ell_{3i}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$F_{b2i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{fVi} \cdot \ell_{2i}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$F_{bi} = \text{Max} (F_{bli}, F_{b2i}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

引張応力 (σ_{bi})

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

ここで、基礎ボルト及び取付ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルト及び取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. ベンチ形，直立形の場合

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形盤の耐震計算書のフォーマット

直立形盤の耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット

壁掛形盤の耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形盤の設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 *			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

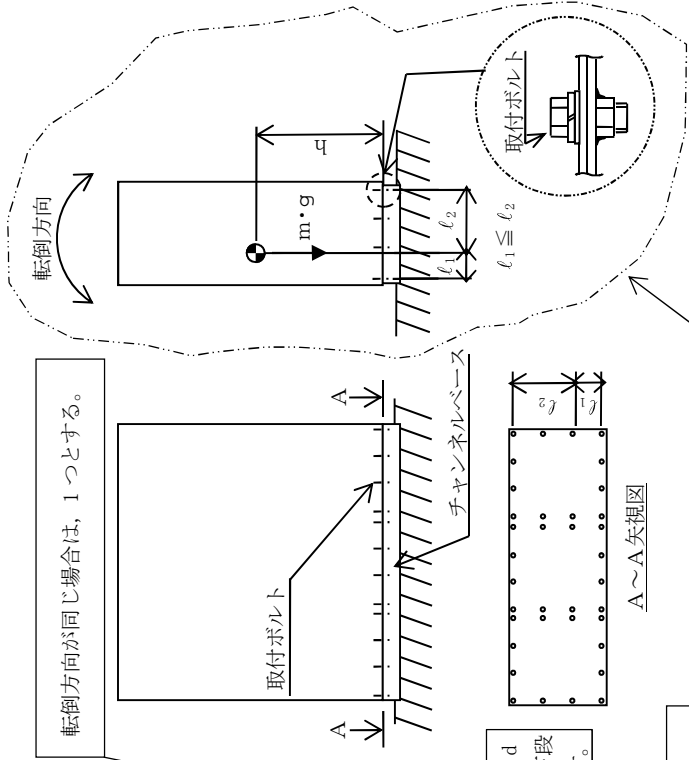
部材	m ₂ (kg)	h ₂ (mm)	φ ₁ * (mm)	φ ₂ * (mm)	A _{1/2} (mm ²)	n ₂	n _f *
取付ボルト							
					(M)		

ボルト径を記載する。

部材	S _{y2} (MPa)	S _{1/2} (MPa)	F ₂ (MPa)	F ₂ * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト						

注記 * : 取付ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S d 又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動 S s に対する評価時の要目を示す。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。



盤、基礎及びボルトの形状は
実機ベースで記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

部 材	F _{b2}		Q _{b2}	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト				

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1とする。

【フォーマットⅡ 直立形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】
2. 重大事故等対処設備
2.1 設計条件
設計震度をとっている床レベルを記載する。

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 * EL.			—	—	—	C _H =	C _V =	

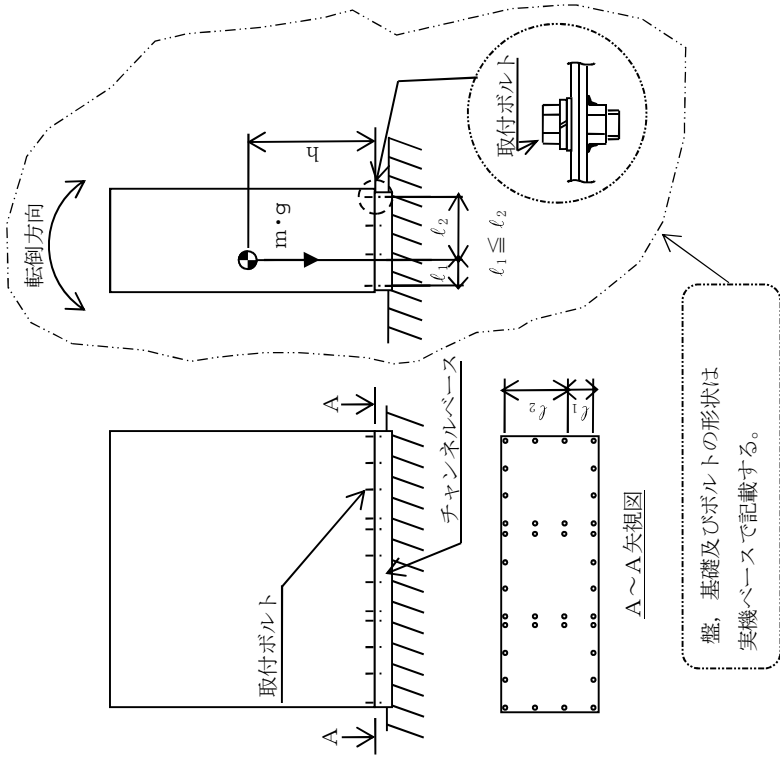
注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	m ₂ (kg)	h ₂ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	A _{u2} (mm ²)	n ₂	n _f
取 付 ボ ル ト					(M)		ボルト径を記載する。

部 材	S _{y2} (MPa)	S _{u2} (MPa)	F ₂ (MPa)	F ₂ [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S d 又は 静的震度	基準地震動 S s
取 付 ボ ル ト			—		—	

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。



2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)			
部 材	F _{b2}		Q _{b2}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 基準地震動 S _s
取付ボルト	—		—

2.4 結 論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)					
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s
			算出応力	許容応力	算出応力 許容応力
取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = f_{ts2}$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = f_{sb2}$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能の評価結果 (単位：×9.8m/s ²)		
	評価用加速度	
	機能確認済加速度	
	水平方向	鉛直方向

評価用加速度すべて機能確認済加速度以下である。

【フォーマットⅢ 壁掛形盤の設計基準対象施設としての評価結果】

【○○盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 *1 EL. (EL. *2)			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の盤なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	ℓ _{3i} (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{Ni}	n _{phi}
基礎ボルト (i=1)						(M)			
取付ボルト (i=2)						(M)			

ボルト径を記載する。

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
		<div></div>	
	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を1とする。

【フォーマットⅣ 壁掛形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建物 EL. *1 (EL. *2)			—	—	C _H ＝	C _V ＝	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の盤なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	ℓ _{3i} (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{Ni}	n _{Hi}
基 礎 ボ ル ト (i=1)						(M)			
取 付 ボ ル ト (i=2)						(M)			ボルト径を記載する。

部 材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基 礎 ボ ル ト (i=1)			—		—	
取 付 ボ ル ト (i=2)			—		—	

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力				(単位：N)	
部 材	F _{bi}		Q _{bi}		
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	
基 礎 ボ ル ト (i=1)	—		—		
取 付 ボ ル ト (i=2)	—		—		

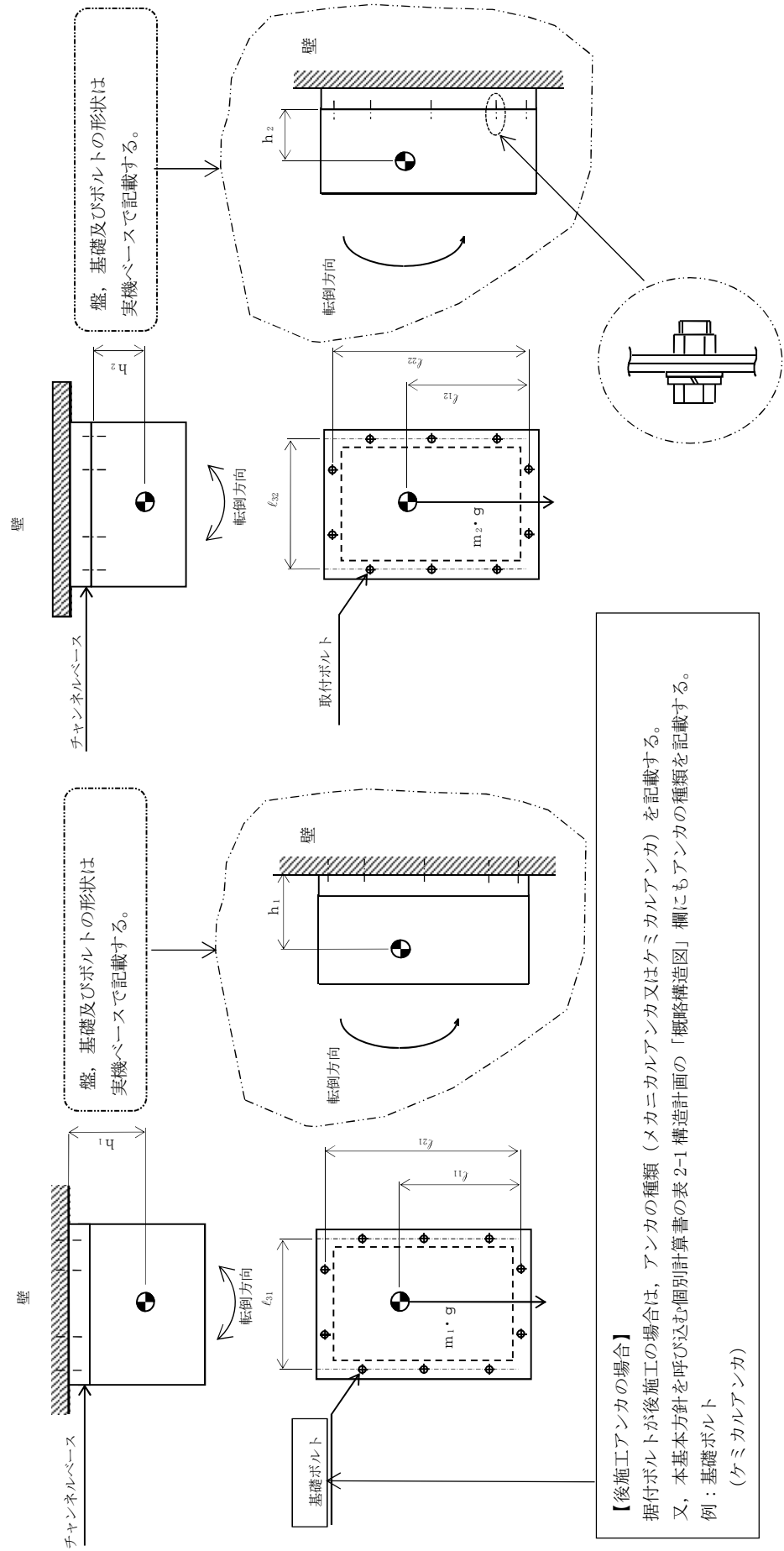
2.4 結 論

2.4.1 ボルトの応力					(単位：MPa)	
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基 礎 ボ ル ト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} =$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取 付 ボ ル ト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} =$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能の評価結果 (単位：×9.8m/s ²)			
	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向		
		鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



説明用

V-2-1-14-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 基本方針	6
4.2 固有振動数の算出方法	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 設計用地震力	8
5.3 計算方法	9
5.4 応力の評価	14
6. 機能維持評価	15
6.1 電氣的機能維持評価方法	15
7. 耐震計算書のフォーマット	15
7.1 直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	15
7.2 壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット	15

1. 概要

基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計装ラック（耐震重要度分類Sクラス又はS s機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない計装ラックにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計装ラックの応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、計装ラックの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計装ラックの耐震評価フローを図2-1に示す。

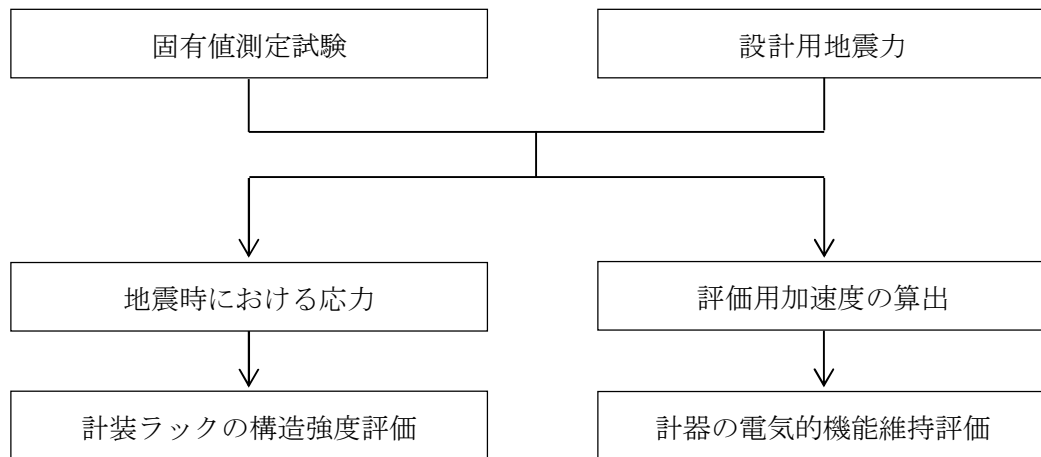


図2-1 直立形計装ラックの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_{12}	重心を下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形)	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_{22}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形)	mm
ℓ_{32}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 (壁掛形)	mm
m	計装ラックの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向) (壁掛形)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向) (壁掛形)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
S_y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $l_1 \leq l_2$

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-1に示すとおりである。

表2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ ^{*1}	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

計装ラックの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて評価を実施する。

4. 固有周期

固有周期を「スワイプ試験（加振試験）」にて求める場合の記載を示す。

4.1 基本方針

計装ラックの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない計装ラックについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて、計装ラックの応答を測定する。

固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。

4.1 基本方針

計装ラックの固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない計装ラックについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計装ラックの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計装ラックに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 直立形の計装ラックは取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
また、壁掛形の計装ラックは取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) 床面据付の計装ラックの転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。壁掛形の計装ラックについては、図 5-2 概要図（壁掛形）における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 計装ラックの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 設計用地震力は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「厳しい」とは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

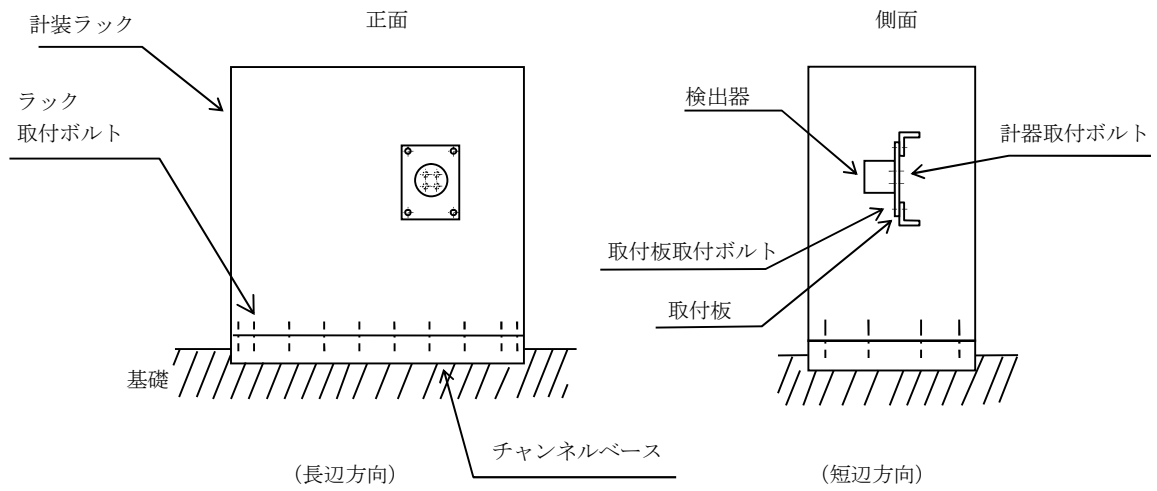


図 5-1 概要図（直立形）

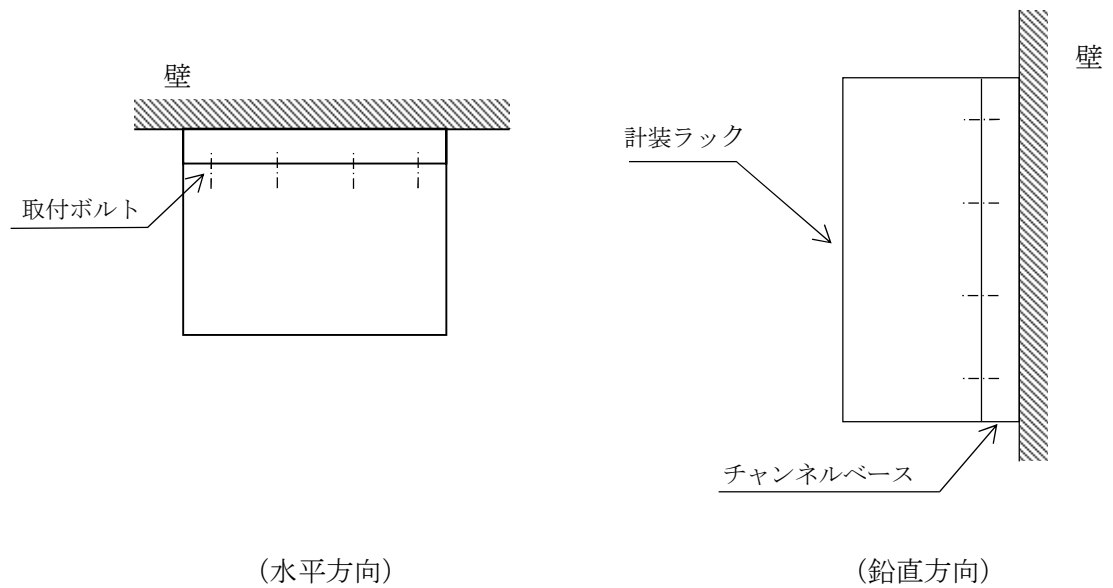


図 5-2 概要図（壁掛形）

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

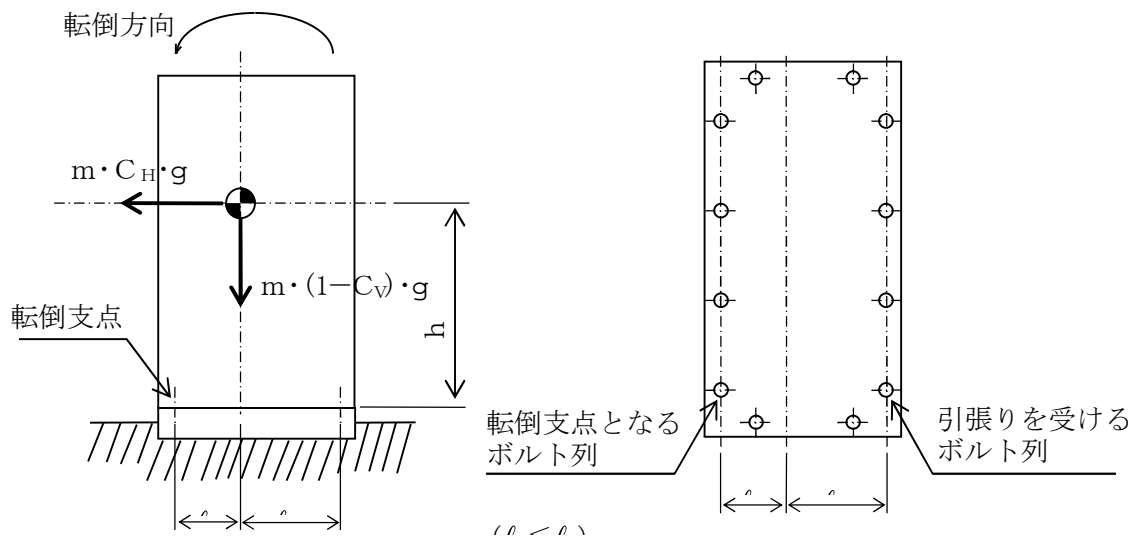


図5-2(1) 計算モデル

(短辺方向転倒-1 ($1 - C_v \geq 0$)の場合)

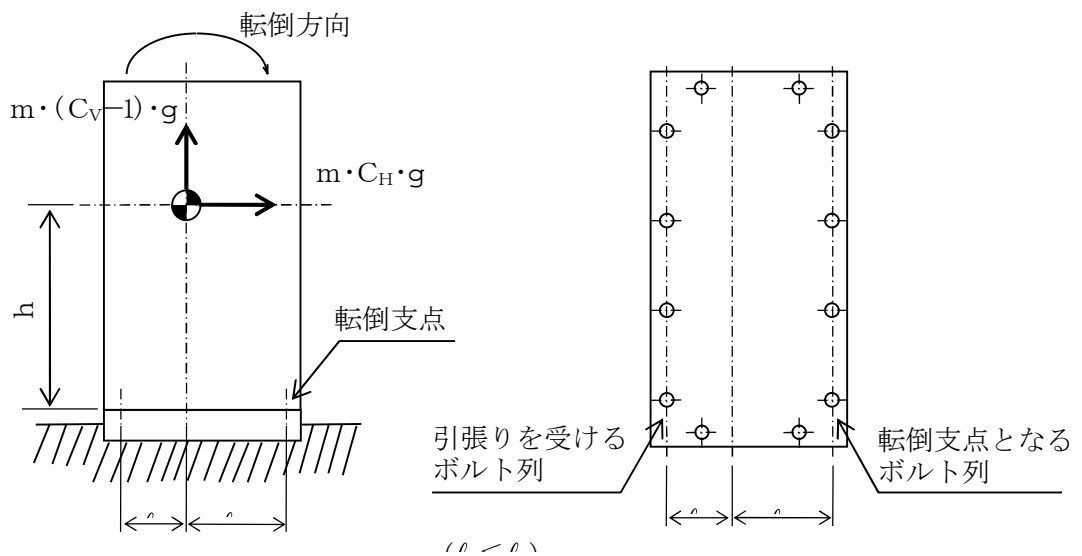


図5-2(2) 計算モデル

(短辺方向転倒-2 ($1 - C_v < 0$)の場合)

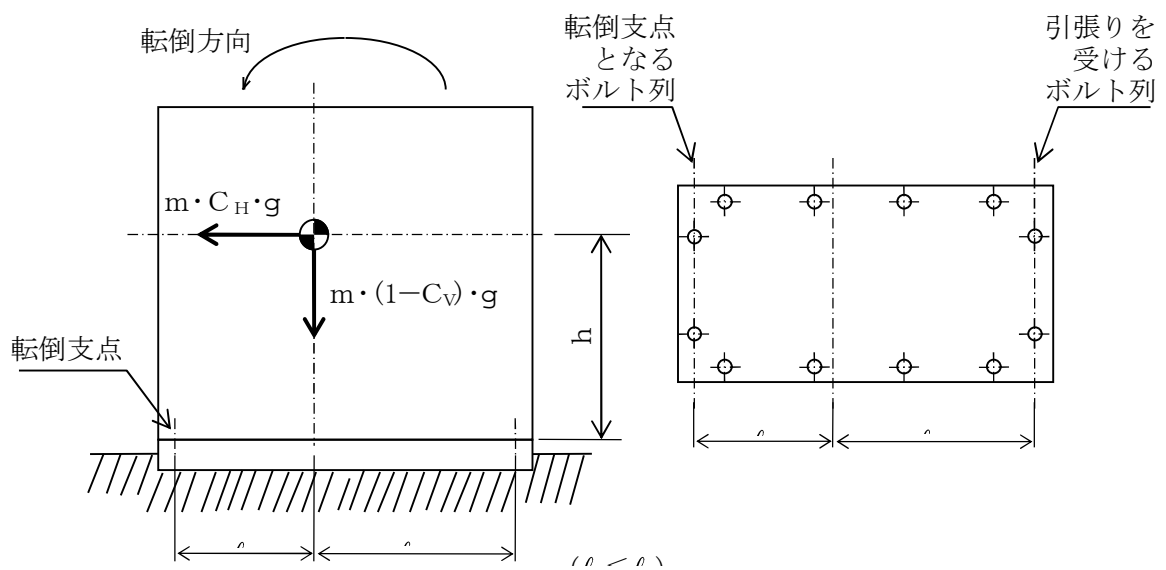


図5-3(1) 計算モデル
(長辺方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

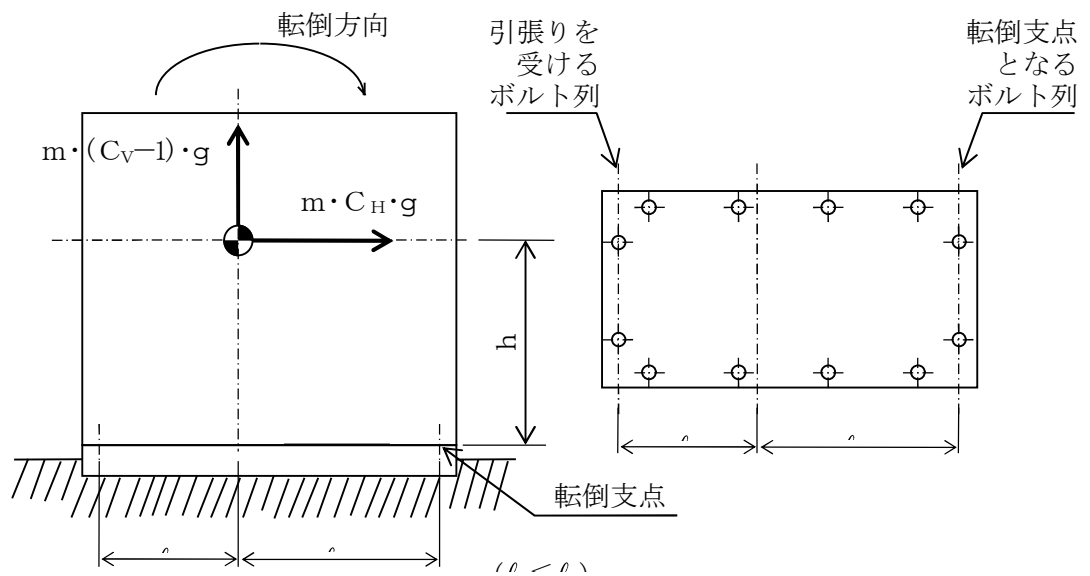


図5-3(2) 計算モデル
(長辺方向転倒-2 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

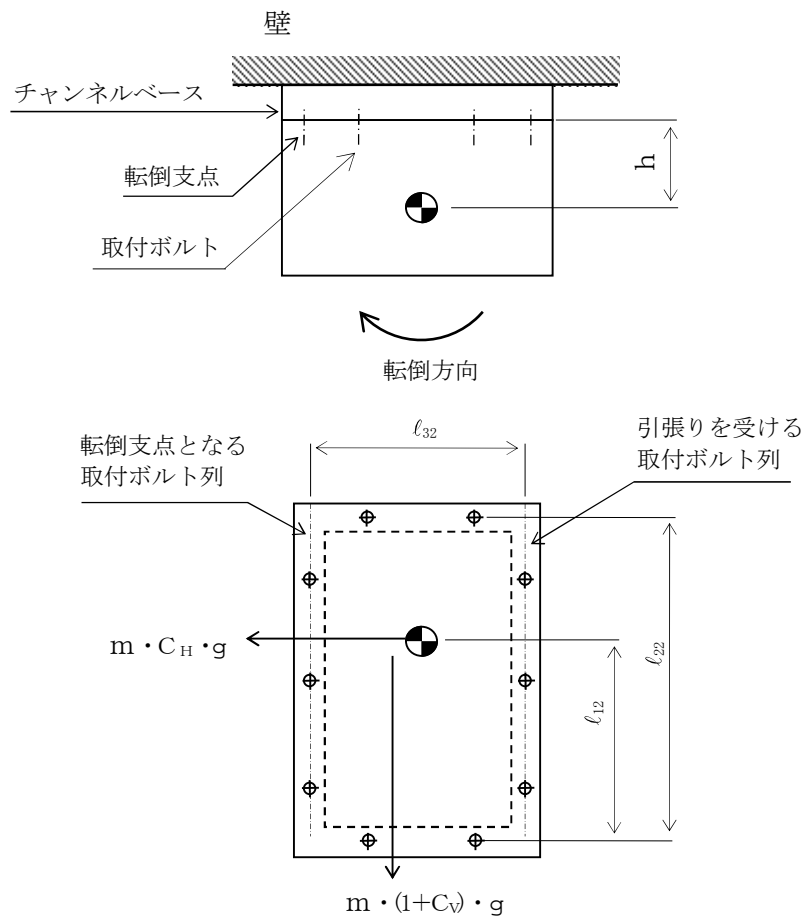


図 5-4(1) 計算モデル (壁掛形 水平方向転倒の場合)

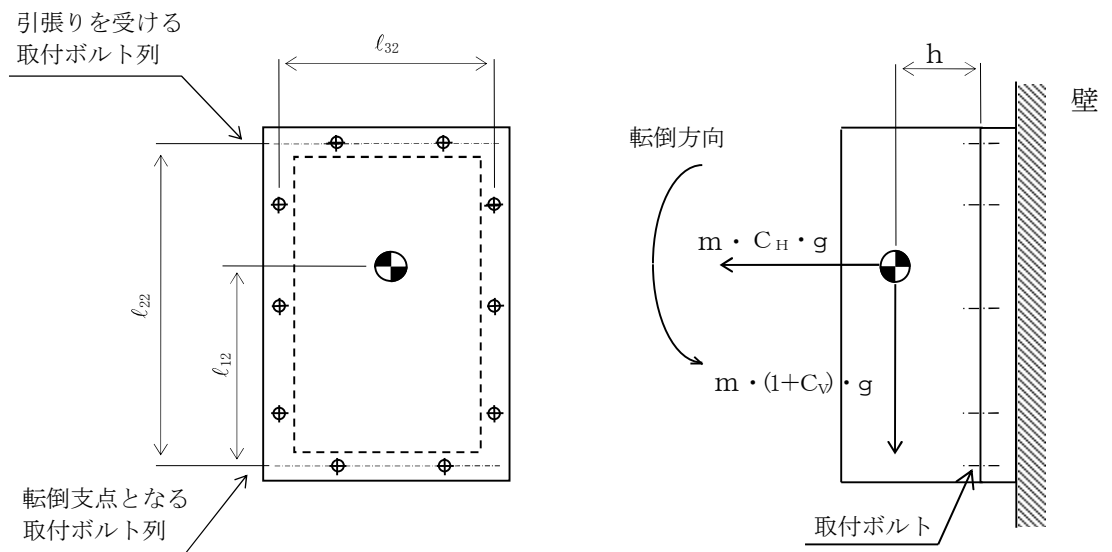


図 5-4(2) 計算モデル (壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-2、図5-3及び図5-4で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図5-2(1)及び図5-3(1)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-2(2)及び図5-3(2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-4(1)及び図5-4(2)の場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_{22}} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_{32}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_{22}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

ただし、 F_b が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

直立形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計装ラックの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形計装ラックの設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇計器ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL.*			C _{II} =	C _V =	C _{II} =	C _V =	

注記 *：基準床レベルを示す。

計器ラック番号

1.2 機器要目

1.2.1 〇〇計器ラック(〇〇〇〇〇)

部材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト		*1	(M)			

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

部材	Q ₁ *2 (mm)	Q ₂ *2 (mm)	n _f *2	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト	*1	*1					

転倒方向が同じときは、1 つにする。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

注記 *1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：取付ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価時の
要目を示し、下段は基準地震動 S_s に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 〇〇計器ラック(〇〇〇〇〇〇)に作用する力

計器ラック番号

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト				

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」と「基準地震動 S_s」
で転倒方向が異なる場合は本注記*2を追加する。

1.4 結論

1.4.1 ○○計器ラック(○○○○)の応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

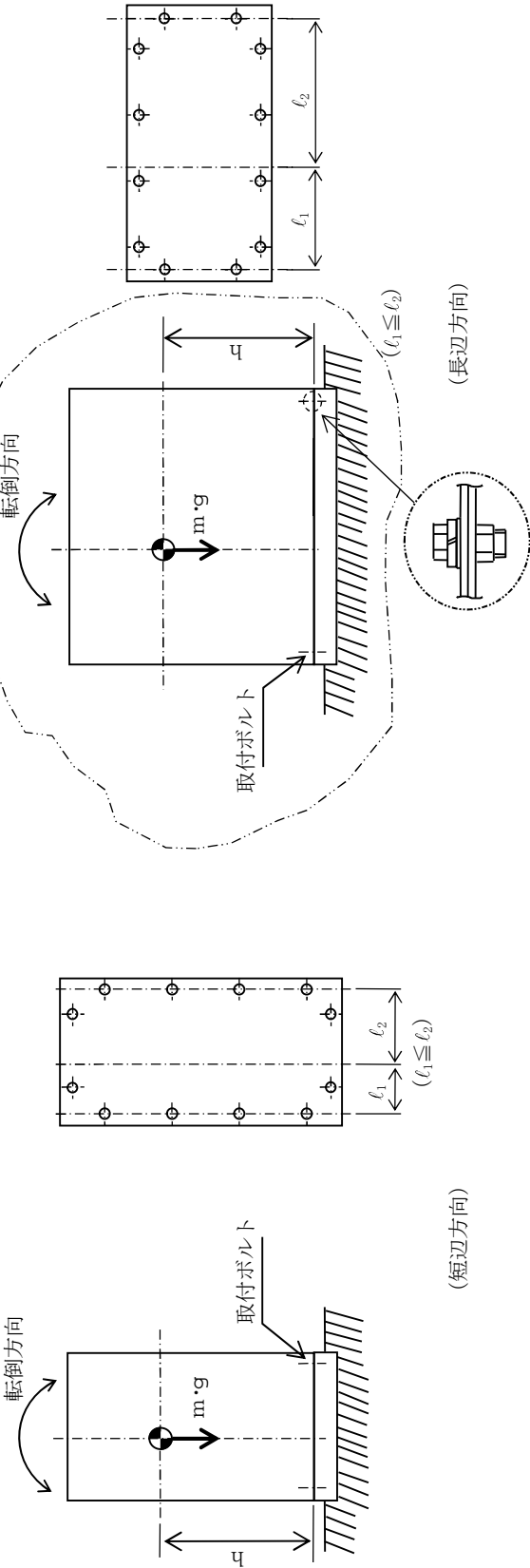
1.4.2 電気的機能の評価結果

計器名称 (計器番号) ○○(○○○)	評価用加速度	機能確認済加速度
水平方向		
鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する。

ラック、基礎及びボルトの
形状は実機ベースで記載する。



【重大事故等対処設備単独の場合】
本フオーマーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フオーマーマットⅡ 直立形計装ラックの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL.*			—	—	C _H =	C _V =	

注記 *：基準床レベルを示す。

計器ラック番号

2.2 機器要目

2.2.1 ○○計器ラック(○○○○○)

部材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト		*	(M)			

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

部材	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	n _r	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト	*	*		—		—	

注記 *：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

2.3 計算数値

2.3.1 ○○計器ラック(○○○○○)に作用する力

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動S _s
ラック取付ボルト	—		—	

(単位：N)

計器ラック番号

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

2.4 結 論

計器ラック番号

2.4.1 ○○計器ラック(○○○○)の応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

(単位：MPa)

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能の評価結果

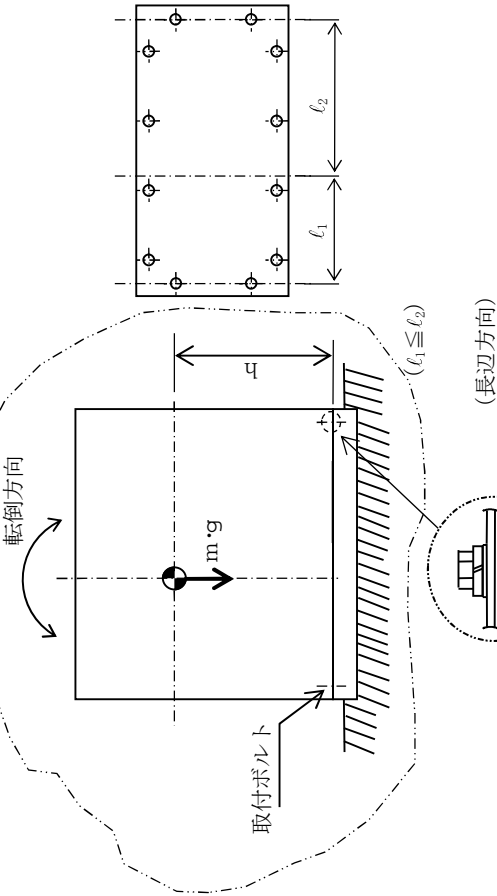
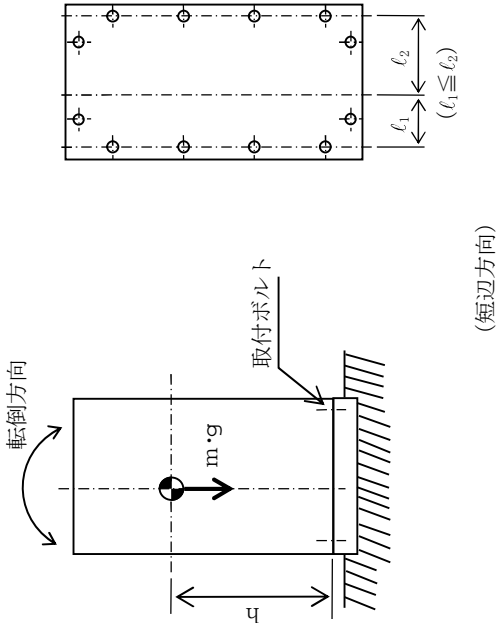
(単位：×9.8m/s²)

計器名称 (計器番号)	評価用加速度	機能確認済加速度
○○(○○○)	水平方向	
	鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する。

ラック，基礎及びボルトの
形状は実機ベースで記載する。



説明用

V-2-1-14-9 計器スタンションの耐震性についての
計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 固有周期	5
4.1 基本方針	5
4.2 固有振動数の算出方法	5
5. 構造強度評価	5
5.1 構造強度評価方法	5
5.2 設計用地震力	7
5.3 計算方法	7
5.4 応力の評価	13
6. 機能維持評価	14
6.1 電氣的機能維持評価方法	14
7. 耐震計算書のフォーマット	14
7.1 直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	14
7.2 壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット	14

1. 概要

基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている計器スタンション（耐震重要度分類Sクラス又はS s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない計器スタンションにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

計器スタンションの応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、計器スタンションの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

計器スタンションの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

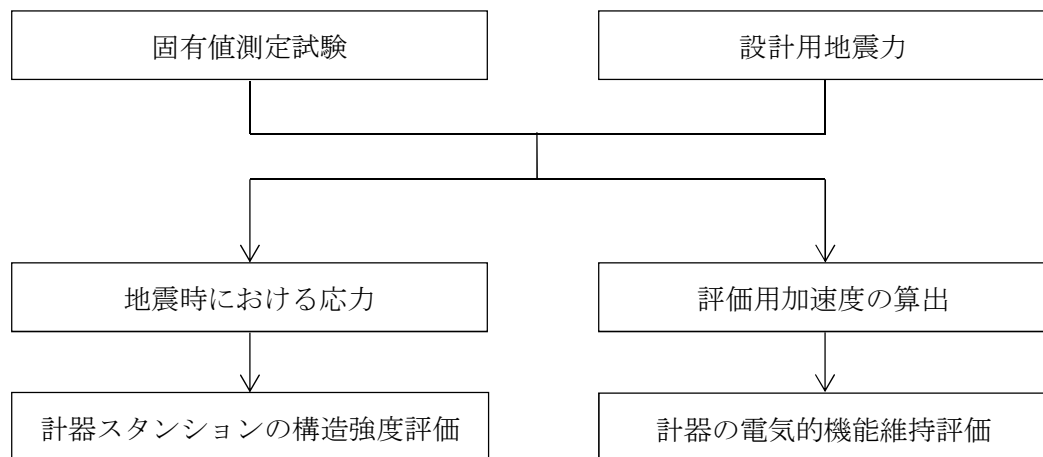


図 2-1 計器スタンションの耐震評価フロー

2.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987 及び J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F°	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
h_2	取付面から重心までの距離 (壁掛形)	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_3	重心と下側ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
ℓ_a	側面 (左右) ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
ℓ_b	上下ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (側面方向転倒) (壁掛形)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (平面方向転倒) (壁掛形)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	N

記号	記 号 の 説 明	単 位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Par t 5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Par t 5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Par t 5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 * : $l_1 \leq l_2$

2.4 計算精度と数値の丸め方

精度は 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *¹: 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は, 小数点以下第 1 位表示とする。

*²: 絶対値が 1000 以上のときは, べき数表示とする。

*³: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は, 比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て, 整数位までの値とする。

3. 評価部位

計器スタンションの耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。

固有周期を「スワイプ試験（加振試験）」にて求める場合の記載を示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

計器スタンションの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない計器スタンションについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて、計器スタンションの応答を測定する。

4.1 基本方針

計器スタンションの固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない計器スタンションについては、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

4.2 固有振動数の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。

固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは基礎ボルトで床面及び壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）における正面方向及び側面方向並びに図 5-2 概要図（壁掛形）における平面方向及び側面方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 設計用地震力は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「厳しい方」とは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

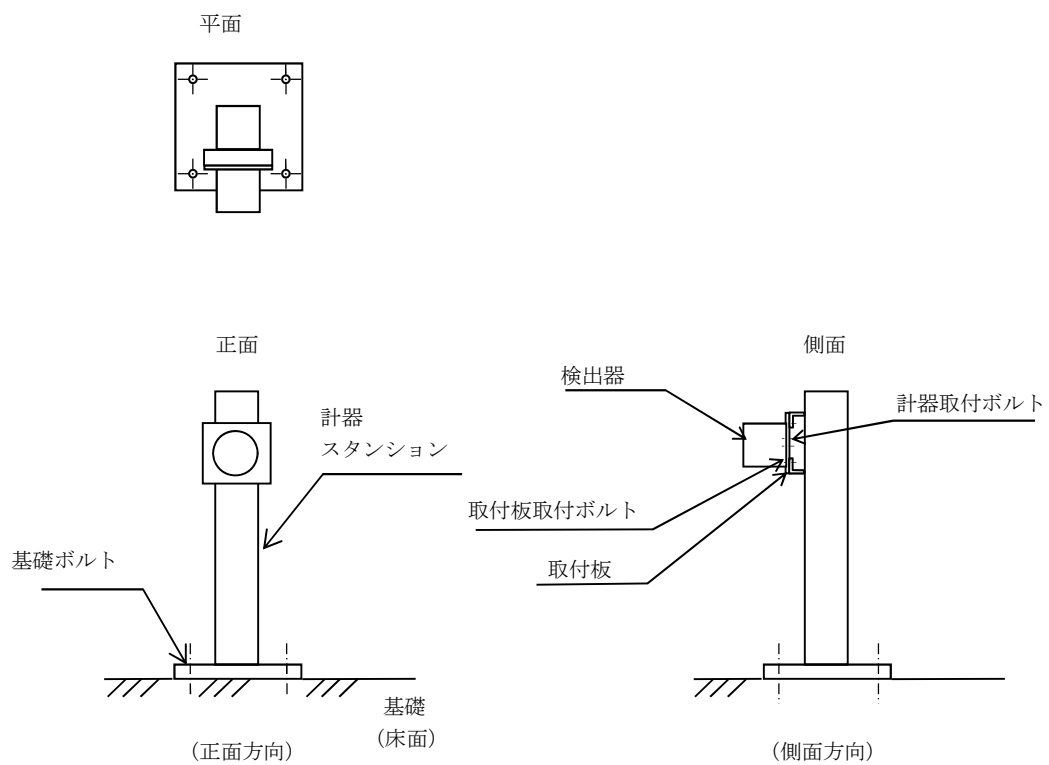


図 5-1 概要図(直立形)

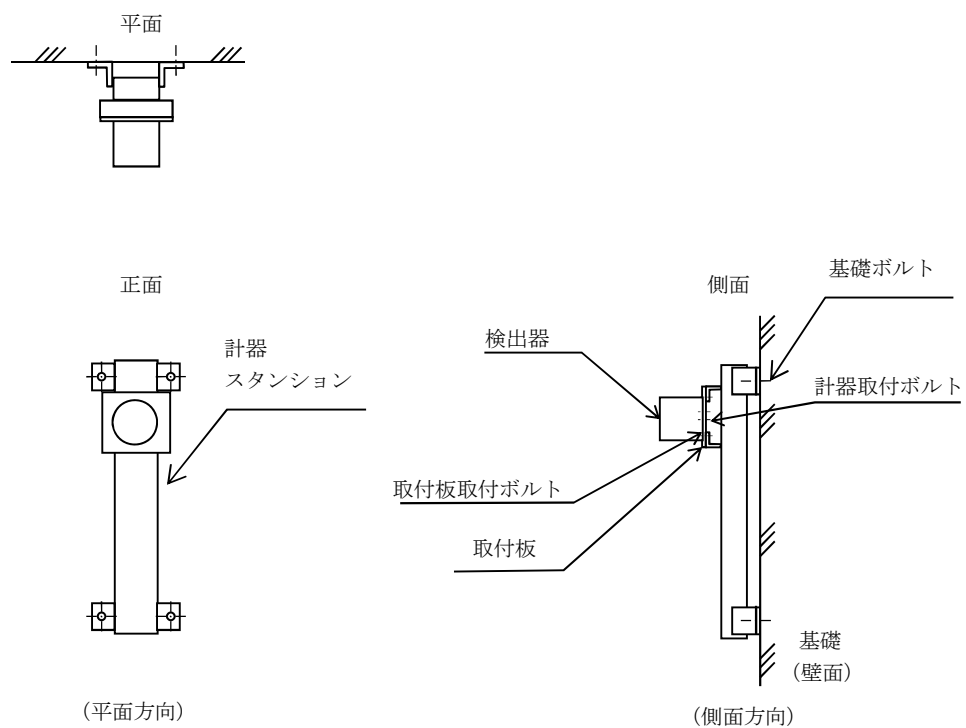


図 5-2 概要図(壁掛形)

5.2 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。なお、壁掛形の計器スタンションの設計用地震力については、設置床上階の設計用地震力を使用する。

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

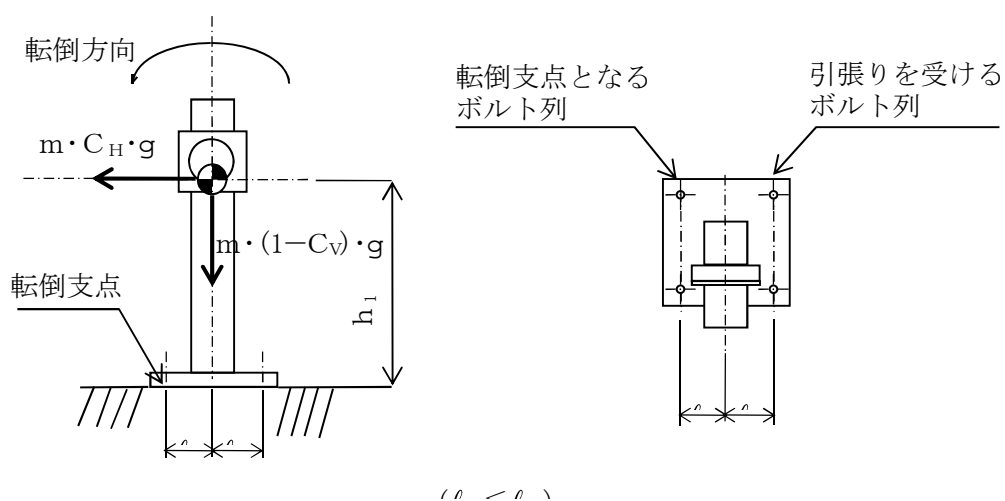


図5-3(1) 計算モデル

(直立形 正面方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

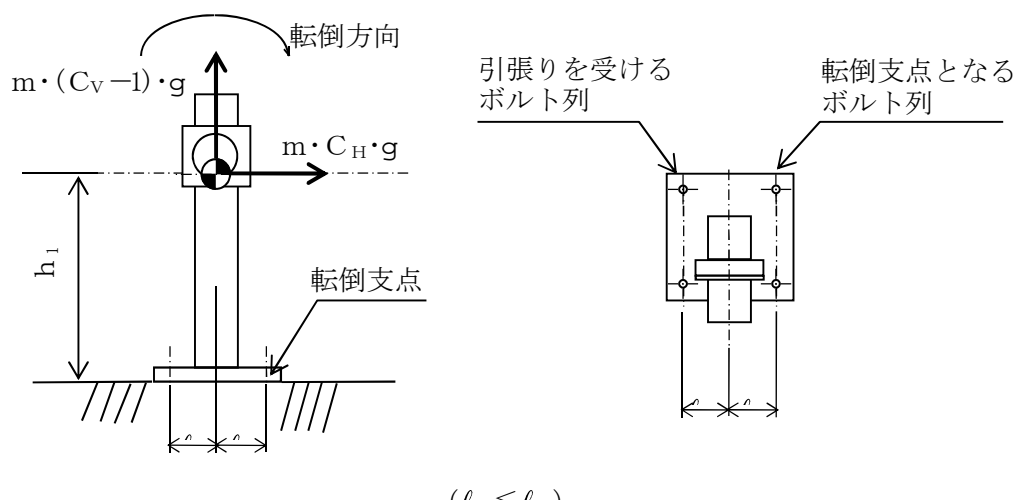
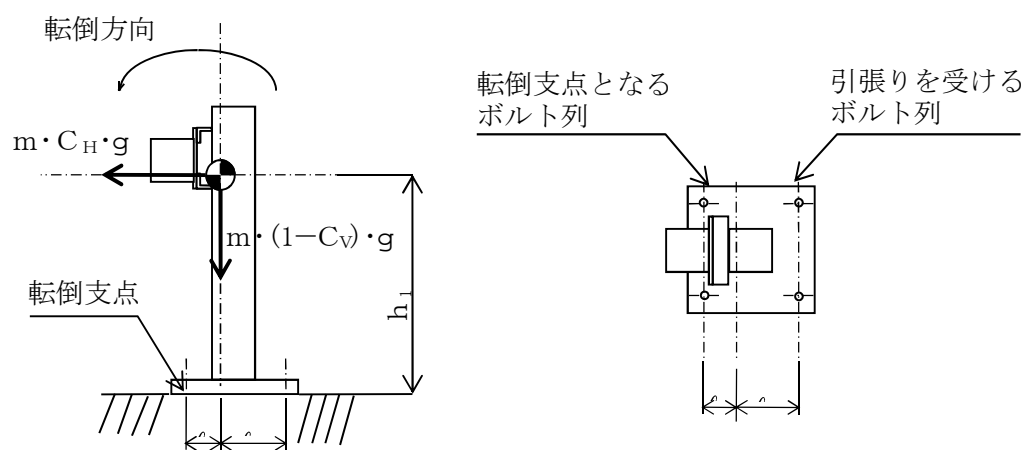


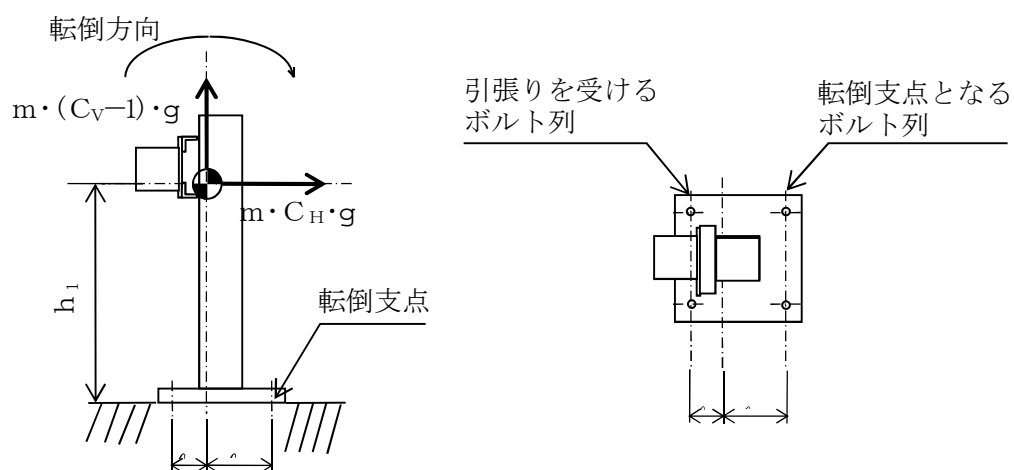
図5-3(2) 計算モデル

(直立形 正面方向転倒-2 $(1 - C_v) < 0$ の場合)



(e > 0)

図5-4(1) 計算モデル
(直立形 側面方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)



(e < 0)

図5-4(2) 計算モデル
(直立形 側面方向転倒-1 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

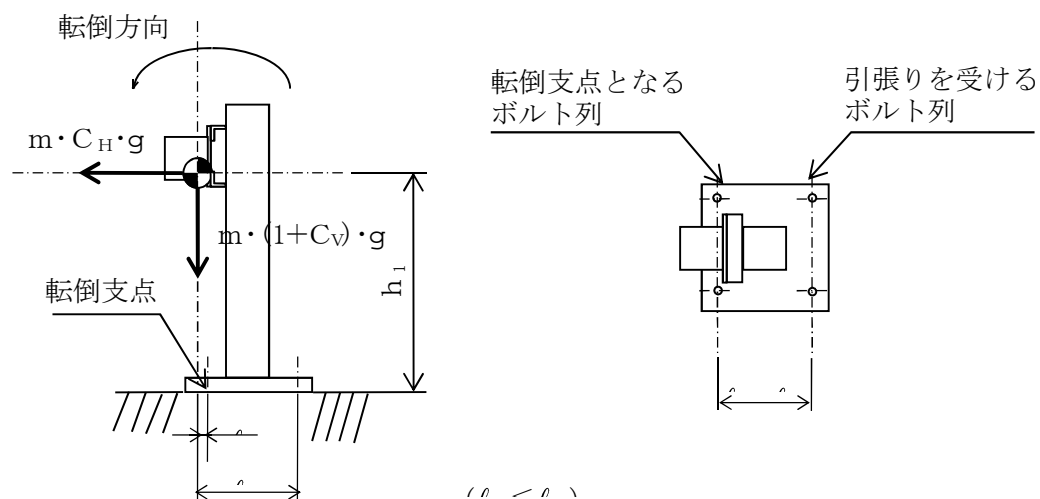


図5-4(3) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-3 重心位置が両端のボルトの間でない場合で
 $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) \geq C_V$ の場合)

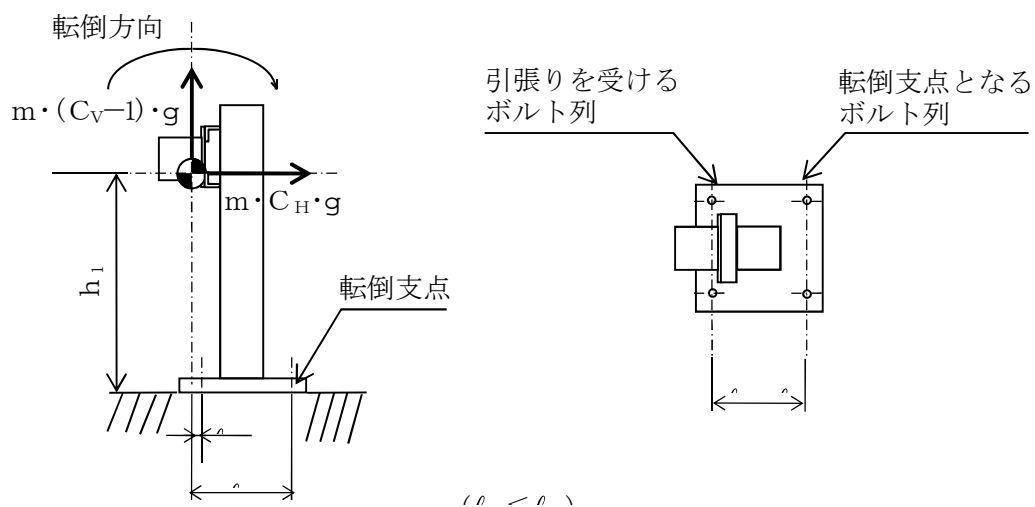


図5-4(4) 計算モデル

(直立形 側面方向転倒-4 重心位置が両端のボルトの間でない場合で
 $(l_2 + l_1) / (l_2 - l_1) < C_V$ の場合)

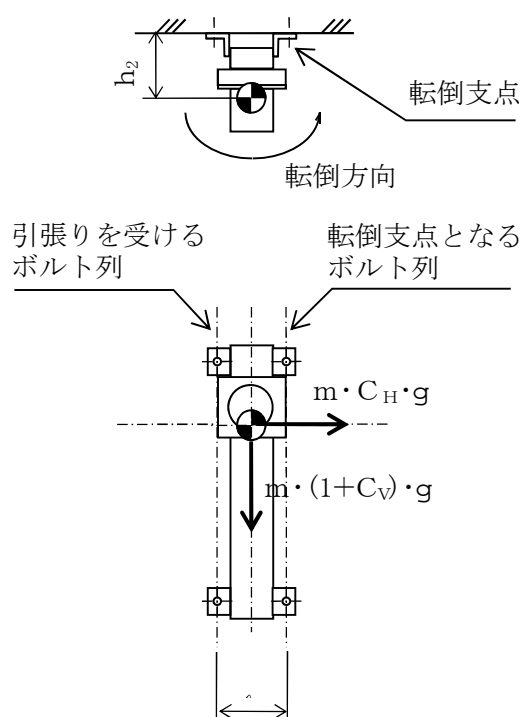


図5-5(1) 計算モデル
(壁掛形 平面方向転倒の場合)

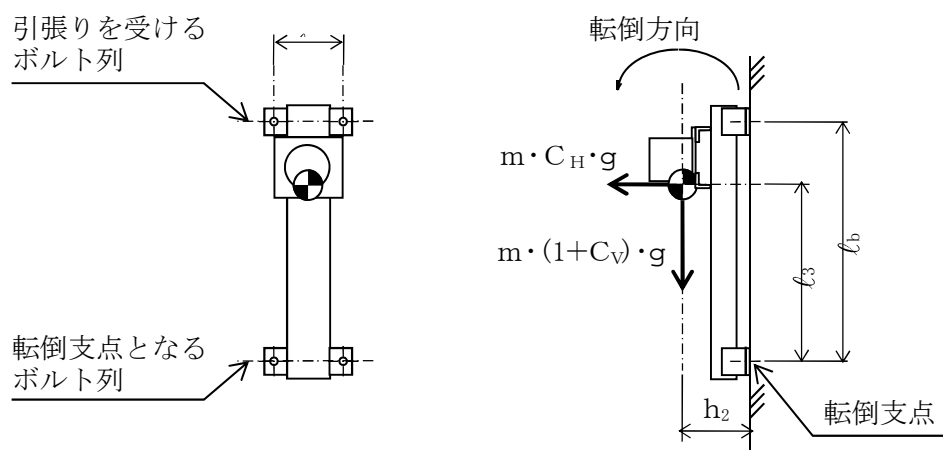


図5-5(2) 計算モデル
(壁掛形 側面方向転倒の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-3、図5-4及び図5-5で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

計算モデル図5-3(1)及び5-4(1)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-3 (2)及び5-4 (2)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-4 (3)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

計算モデル図5-4 (4)の場合の引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

計算モデル図5-5 (1)の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

計算モデル図5-5 (2)の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot \ell_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot \ell_b} \right) \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

ただし、 F_b が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

a. 直立形の場合

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \cdots \cdots (5.3.1.1.10)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \cdots \cdots (5.3.1.1.11)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdots \cdots (5.3.1.1.12)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \cdots \cdots (5.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \cdots \cdots (5.3.1.1.14)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

7. 耐震計算書のフォーマット

7.1 直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

直立形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

7.2 壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマット

壁掛形計器スタンションの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記 *：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマットⅠ 直立形計器スタンションの設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 * EL.			C _H =	C _V =	C _H =	C _V =	

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ○○○○水位 (○○○-○)

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f *
基礎ボルト							

16

ボルト径を記載する。

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト						

転倒方向が同じときは、1つにする。

注記 *：基礎ボルトにおける上段は弾性設計用地震動S_d又は静的震度に対する評価時の
要目を示し、下段は基準地震動S_sに対する評価時の要目を示す。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 ○○○○(○○○-○)に作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト				

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」と「基準地震動S_s」
で転倒方向が異なる場合は本注記*を追加する。

計器番号

1.4 結論

1.4.1 ○○○○(○○○-○)の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

計器番号	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
○○○○ (○○○-○)			

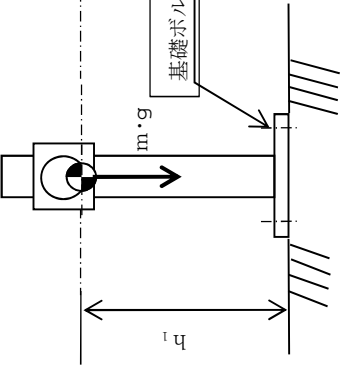
評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する。

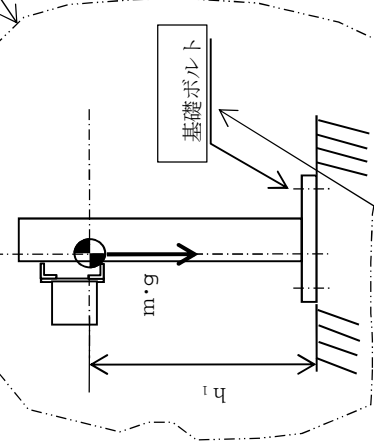
転倒方向

転倒方向

スタンション、基礎及びボルトの
形状は実機ベースで記載する。



(正面方向)



(側面方向)

【後施工アンカの場合】

据付ボルトが後施工の場合は、アンカの種類（メカニカルアンカ又はケミカルアンカ）を記載する。又、本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1 構造計画の「概略構造図」欄にアンカの種類を記載する。
例：基礎ボルト（ケミカルアンカ）

【重大事故等対処設備単独の場合】
本ソフトウェアを使用する。
ただし、章番を1.とする。

フォーマットⅡ 直立形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
		建屋 * EL.			—	—	C _H =	C _V =		

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記
*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 ○○○○(○○○-○)

計器番号

部 材	m (kg)	h ₁ (mm)	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	n _r
基礎ボルト					(M)		

ボルト径を記載する。

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
基礎ボルト			—		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s

計器番号

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

2.3 計算数値

2.3.1 ○○○○(○○○-○)に作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ○○○○(○○○-○)

計器番号

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能の評価結果

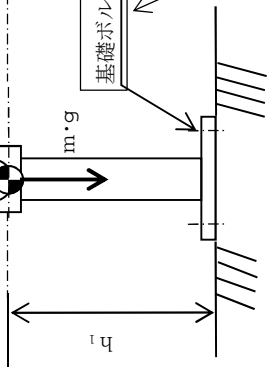
(単位：×9.8m/s²)

計器番号	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
○○○○水位 (○○○-○)			

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する。

スタンション、基礎及びボルトの形状は実機ベースで記載する。

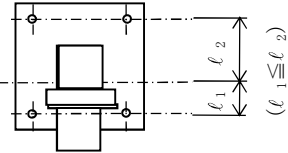


(正面方向)

【後施工アンカの場合】

据付ボルトが後施工の場合は、アンカの種類（メカニカルアンカ又はケミカルアンカ）を記載する。又、本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1 構造計画の「概略構造図」欄にアンカの種類の記載する。
例：基礎ボルト（ケミカルアンカ）

(側面方向)



($l_1 \leq l_2$)

【フォーマットⅢ 壁掛形計器スタンションの設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇〇〇の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d又は静的震度			基準地震動 S s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向		
		EL. (FL. 建屋 * 1 * 2)						C _H = C _V =	C _H = C _V =	

1.2 機器要目

1.2.1 〇〇〇〇(〇〇〇-〇)

計器番号

注記

*1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の計器スタンションなので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

部 材	m (kg)	h _c (mm)	φ ₃ (mm)	φ _a (mm)	φ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _H	n _V
基礎ボルト									

(M)

ボルト径を記載する。

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト						

計器番号

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 〇〇〇〇(〇〇〇-〇)に作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト				

計器番号

1.4 結論

1.4.1 ○○○○(○○○-○)の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	$\tau_b =$	$f_{sb} =$	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能の評価結果

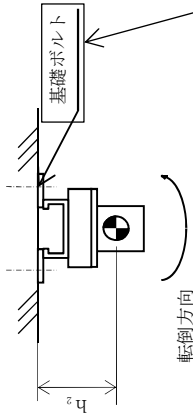
(単位：×9.8m/s²)

計器番号	○○○○水位 (○○○-○)	評価用加速度	機能確認済加速度
		水平方向	
		鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

「評価用加速度≤機能確認済加速度」の場合の記載例

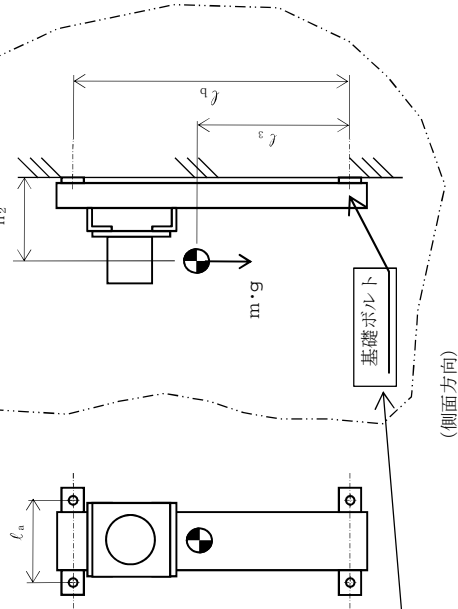
※：評価用加速度＞機能確認済加速度の場合は、適宜詳細評価を実施する。



確定 S s を記載する。

スタンション、基礎及びボルトの形状は実機ベースで記載する。

【後施工アンカの場合】
据付ボルトが後施工の場合は、アンカの種類（メカニカルアンカ又はケミカルアンカ）を記載する。又、本基本方針を呼び込む個別計算書の表 2-1 構造計画の「概略構造図」欄にアンカの種類の記載する。
例：基礎ボルト（ケミカルアンカ）



【重大事故等対処設備単独の場合】
本ソフトウェアを使用する。
ただし、章番を1.とする。

【フォーマットⅣ 壁掛形計器スタンションの重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
		建屋 *1 EL. *2 EL.					—	C _H =	C _V =	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 壁掛形の計器スタンションなので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

2.2 機器要目

2.2.1 ○○○○(○○○-○)

部 材	m (kg)	h _c (mm)	φ ₃ (mm)	φ _a (mm)	φ _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _H	n _V	n _H
基礎ボルト										

ボルト径を記載する。

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト			—		—	

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

2.3 計算数値

2.3.1 ○○○○(○○○-○)に作用する力

(単位: N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ○○○○(○○○-○)の応力

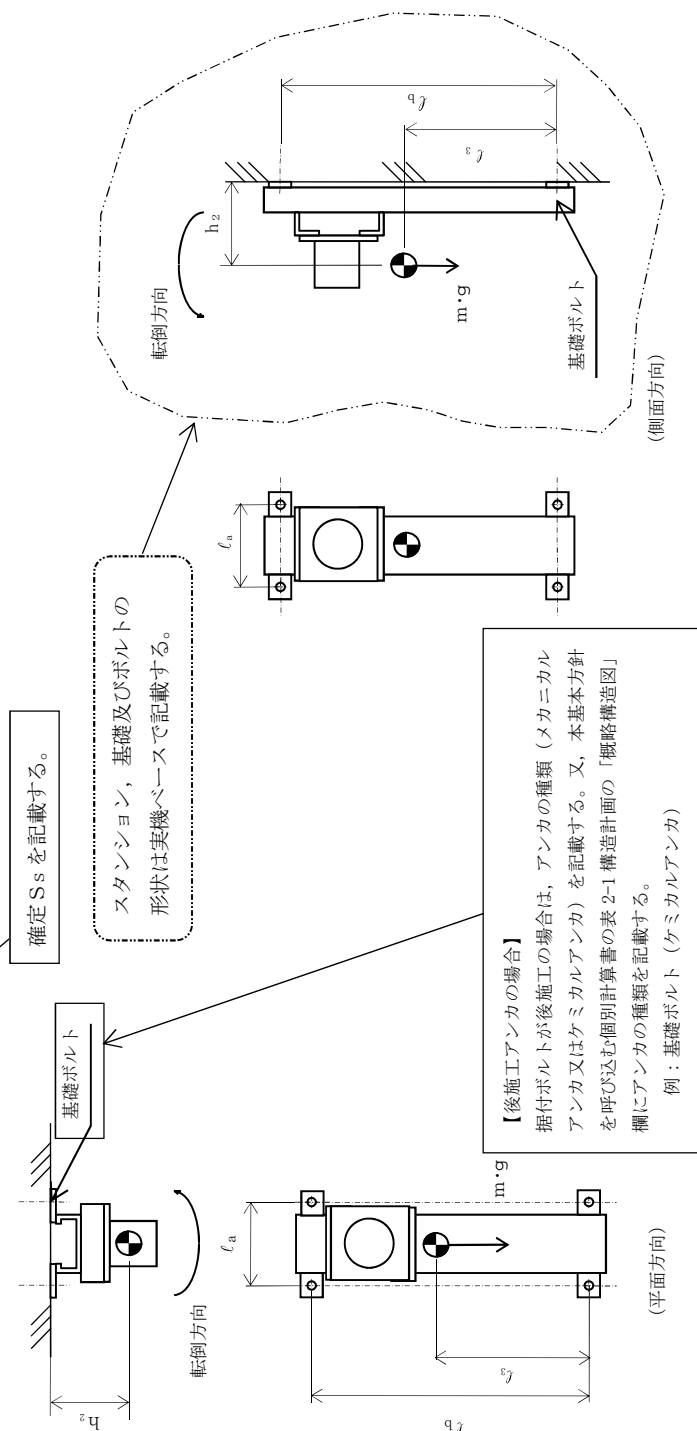
2.4.1 ○○○○○(○○○-○)の応力					(単位：MPa)	
部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b =$	$f_{ts} =$
		せん断	—	—	$\tau_b =$	$f_{sb} =$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電氣的機能の評価結果

2.4.2 電氣的機能の評価結果			(単位：×9.8m/s ²)
計器番号			機能確認加速度
	○○○○水位 (○○○-○)	水平方向	
		鉛直方向	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



添付資料－1：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(F パターン「容器」の耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○○空気だめの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 評価結果	8
4.1 設計基準対象施設としての評価結果	8



DB + S A の場合

4.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
4.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、〇〇〇〇空気だめが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇空気だめの構造計画を表 2-1 に示す。

DB + SAの場合

〇〇〇〇空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。

その場合は、目次にも本項目を記載する。

2.3 適用基準

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 適用基準」となる。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴をスカートで支持し、スカートを基礎ボルトで基礎に据え付ける。	上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇空気だめの構造はスカート支持たて置円筒形容器であるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-1 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

DB + SA の場合

〇〇〇〇空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇空気だめの許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇空気だめの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

DB + SA の場合

〇〇〇〇空気だめの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処施設の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	〇〇〇〇空気だめ	S	クラス3 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_S$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス3 容器の支持構造物を含む。 「*2」を記載する場合は「*1」とする。
*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。 Ⅲ_A Sの評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし、注記で説明する。

(DB + SA の場合、以下を追加)

表 3-〇 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	〇〇〇〇空気だめ	常設／防止	^{*2} 重大事故等 クラス2 容器	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
*2：重大事故等クラス2 容器の支持構造物を含む。
*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

・DB + SA の場合を示す。
〔・DB 単独の場合は、許容応力 (クラス 2, 3 容器)
・SA 単独の場合は、許容応力 (重大事故等クラス 2 容器) とする。〕

表 3-2 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力	一次 + 二次 + ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・S との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	
V _A S (V _A S としてⅣ _A S の許容限界を用いる。)				

注記 *1: 座屈に対する評価が必要な場合には、クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB + SA の場合は、V_A S を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

・DB+SAの場合を示す。
〔DB単独の場合は、許容応力（クラス2，3支持構造物）
・SA単独の場合は、許容応力（重大事故等クラス2支持構造物）とする。〕

表 3-3 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 *1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅳ _A S		
V _A S		
(V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
胴板	SB46	最高使用温度	100	220	433	—
スカート	SM41A	周囲環境温度	50	241	394	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	50	231	394	—

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

(DB + SA の場合、以下を追加)

表 3-〇 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
胴板	SB46	最高使用温度	100	220	433	—
スカート	SM41A	周囲環境温度	50	241	394	—
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	50	231	394	—

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(DB + SAの場合、以下を追加)

4.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【〇〇〇〇空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとりとっている床レベルを記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇空気だめ	S	原子炉建屋 EL. 8.8*	0.017	0.005	$C_H=0.66$	$C_V=0.48$	$C_H=1.87$	$C_V=0.96$	3.24	100	50

注記*2が必要な場合は「*1」とする。

注記*：基準床レベルを示す。

*2：ⅢA Sについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目	m_0 (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	Ds (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E s (MPa)	G (MPa)	G s (MPa)
	4200	3400	1500	25.0	1519	6.0	198000 ^{*1}	201000 ^{*2}	76200 ^{*1}	77300 ^{*2}

	ϕ (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	D_4 (mm)	s (mm)	n	D_c (mm)	D_{bo} (mm)
	971	400	155.2	—	—	15	12	1630	1710

D_{bi} (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	M_s (N・mm)	M_s (N・mm)
1350	314.2 (M20)	560	4.540×10^7	1.286×10^8		

ⅢA Sの評価を S_s で実施する場合は「-」とする。

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
220 ^{*1}	433 ^{*1}	—	241 ^{*2} (厚さ ≤ 16 mm)	394 ^{*2}	241	276

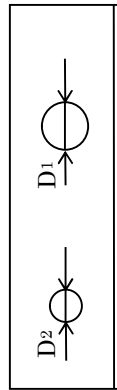
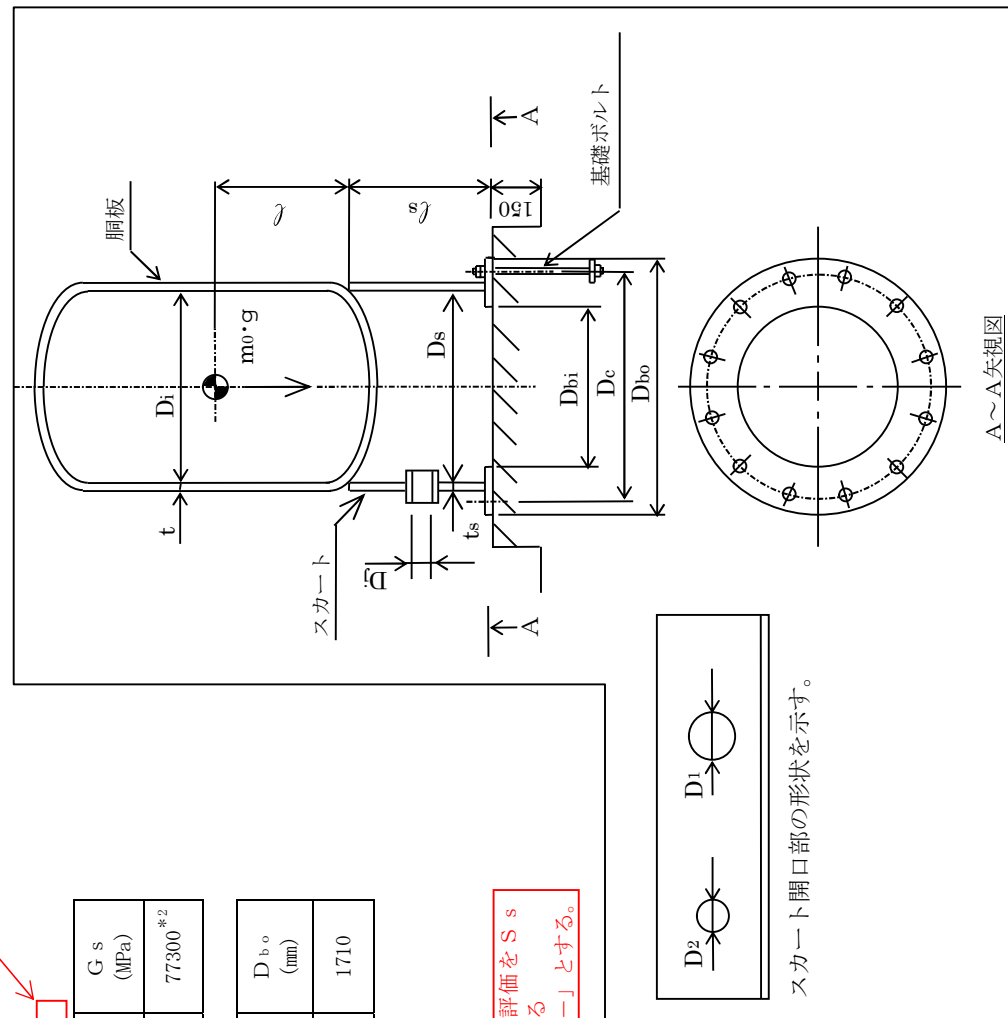
S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
231 ^{*2} (16mm<径 ≤ 40 mm)	394 ^{*2}	231	276

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

注記

*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。

A～A矢視図

ここに入らない場合は、最終ページに記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$	—	$\sigma_{x1}=50$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x2}=0$	—	$\sigma_{x2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x5}=0$	—	$\sigma_{x5}=0$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x3}=1$	—	$\sigma_{x3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4}=1$	$\tau=1$	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
応力の和	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=51$	—	$\sigma_{xt}=52$	—
	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-49$	—	$\sigma_{xc}=-48$	—
組合せ応力	—			$\sigma_{0t}=100$	—
	—			—	

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x5}=0$	—	$\sigma_{x5}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x6}=1$	—	$\sigma_{x6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4}=1$	$\tau=1$	$\sigma_{x4}=2$	$\tau=2$
応力の和	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=1$	—	$\sigma_{2xt}=2$	—
	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=1$	—	$\sigma_{2xc}=2$	—
組合せ応力 (変動値)	—			$\sigma_{2t}=5$	—
	—			$\sigma_{2c}=6$	—

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	力	組合せ応力
運転時質量による応力	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_s=9$	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_s=22$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s3}=1$		$\sigma_{s3}=2$	
水平方向地震	$\sigma_{s2}=6$		$\sigma_{s2}=16$	
による応力	$\tau_s=3$		$\tau_s=6$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	引張応力	せん断応力	引張応力	せん断応力
			$\sigma_b=15$	$\sigma_b=61$
			$\tau_b=8$	$\tau_b=21$

ⅢA Sの評価を S_s で実施する場合は「—」とする。ⅢA Sの評価を S_s で実施する場合は「—」とする。

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

(単位：s)	
方 向	固 有 周 期
水 平 方 向	T _H =0.017
鉛 直 方 向	T _V =0.005

1.4.2 応 力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S _s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SB46	一 次 一 般 膜	$\sigma_0=100$	Sa=220	$\sigma_0=100$	Sa=259
		一 次 + 二 次	$\sigma_2=2$	Sa=440	$\sigma_2=6$	Sa=440
		組 合 せ	$\sigma_s=9$	$f_t=241$	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
ス カ ー ト	SM41A	圧 縮 と 曲 げ の 組 合 せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			0.04 (無次元)		0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引 張 り	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=173$	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207$
		せ ん 断	$\tau_b=8$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

注記 *：基準地震動S_sによる算出値

すべて許容応力以下である。

ⅢA Sの評価をS_sで実施した場合は、算出応力値に「*」を付記し、注記で説明する。

【DB + S A の場合】
前項のDB評価に本S Aの評価を追加する。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇空気だめ	常設／防止	原子炉建屋 EL. 8.8*	0.017	0.005	—	—	C _H =1.87	C _V =0.96	3.24	100	50

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要件

m ₀ (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
4200	3400	1500	25.0	1519	6.0	198000 ^{*1}	201000 ^{*2}	76200 ^{*1}	77300 ^{*2}

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{bo} (mm)
971	699	400	155.2	—	—	15	12	1630	1710

D _{bi} (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	
			M _s (N・mm)	M _s (N・mm)
1350	314.2 (M20)	560	—	1.286×10 ⁸

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
220 ^{*1}	433 ^{*1}	—	241 ^{*2} (厚さ≤16mm)	394 ^{*2}	—	276

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231 ^{*2} (16mm<径≤40mm)	394 ^{*2}	—	276

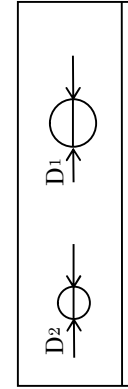
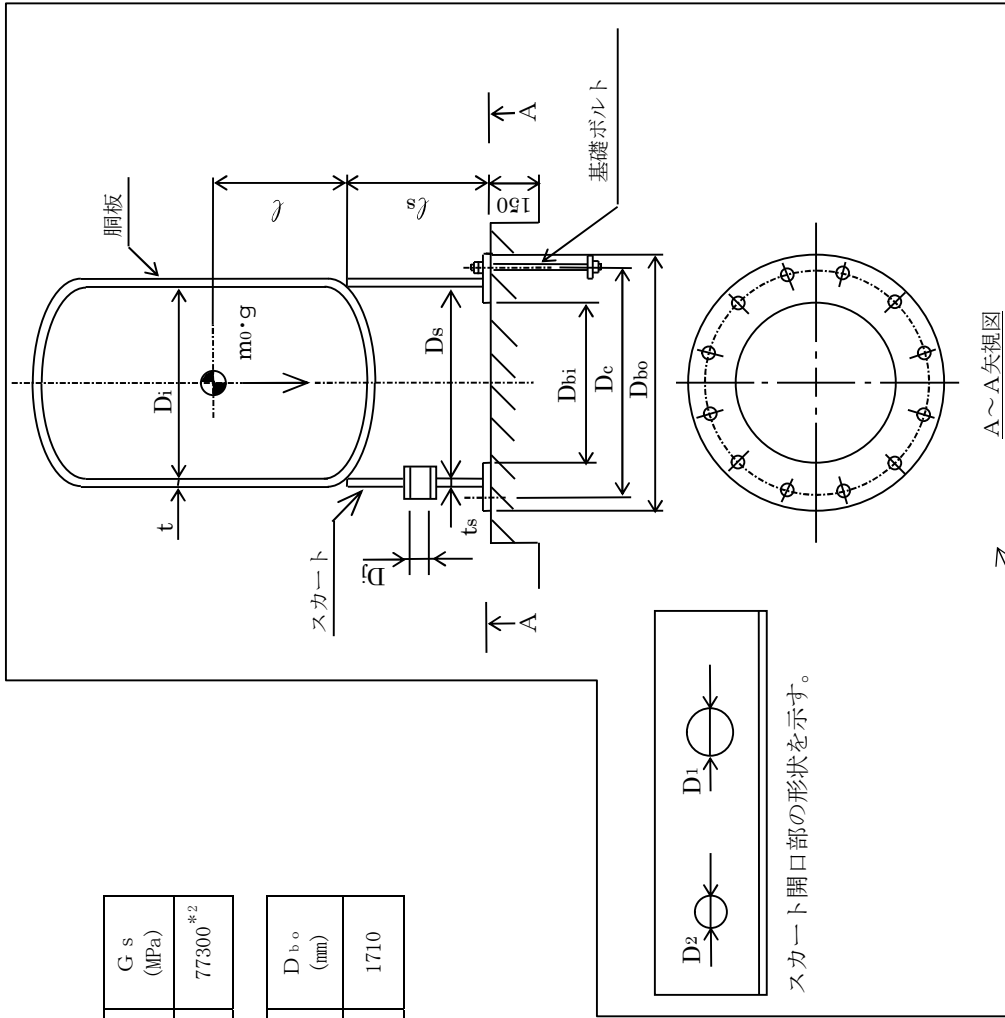
注記 *1：最高使用温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

【S A単独の場合】
本フオーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。



スカート開口部の形状を示す。

A～A矢視図

ここに入らない場合は、最終ページに記載する。
(但し、DB + S Aの場合は、S Aの最終ページにのみ記載する)

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x1}=50$
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2}=0$
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=0$
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3}=1$
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{xt}=52$
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{xc}=-48$
組合せ応力	引張	—	—	$\sigma_{0t}=100$	
	圧縮	—	—	—	

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5}=0$
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=1$
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4}=2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xt}=2$
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2xc}=2$
組合せ応力 (変動値)	引張	—	—	$\sigma_{2t}=5$	
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c}=6$	

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_s=22$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3}=2$	
水平方向地震曲げ	—		$\sigma_{s2}=16$	
による応力	—		$\tau_s=6$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	引張応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
	せん断応力	—	$\sigma_b=61$
		—	$\tau_b=21$

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

(単位：s)		
方 向	固有周期	
水平方向	T _H =0.017	
鉛直方向	T _V =0.005	

2.4.2 応 力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基 準 地 震 動 S _s		(単位：MPa)
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力	
胴 板	SB46	一 次 一 般 膜	—	—	σ ₀ =100	Sa=259	
		一 次 + 二 次	—	—	σ ₂ =6	Sa=440	
		組 合 せ	—	—	σ _s =22	f _t =276	
ス カ ー ト	SM41A	圧 縮 と 曲 げ の 組 合 せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$			
			—	0.10 (無次元)			
基礎ボルト	SS41	引 張 り	—	—	σ _b =61	f _{ts} =207	
		せ ん 断	—	—	τ _b =21	f _{sb} =159	

すべて許容応力以下である。

添付資料-2：基本方針（付録）を呼び込む設備の耐震計算書
（F パターン「たて軸ポンプ」の耐震計算書記載例）

V-○-○-○ ○○○○ポンプの耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
3.	構造強度評価	3
3.1	構造強度評価方法	3
3.2	荷重の組合せ及び許容応力	3
4.	機能維持評価	8
4.1	動的機能維持評価方法	8
5.	評価結果	9
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	9

動的機能維持評価が必要な機器の場合

DB + SAの場合

5.1	設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の検討方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

下線（〇〇）は動的機能維持評価が必要な機器の場合

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇ポンプの構造計画を表2-1に示す。

DB + S Aの場合

〇〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。

その場合は、目次にも本項目を記載する。

2.3 適用基準

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で基本方針（付録）に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 適用基準」となる。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプは基礎ボルトで中央付近の基礎に据え付ける。	ターボ形	<p>原動機</p> <p>原動機台</p> <p>吐出しエルボ</p> <p>ポンプベース</p> <p>原動機取付ボルト</p> <p>原動機台取付ボルト</p> <p>ポンプ取付ボルト (上)</p> <p>ポンプ取付ボルト (下)</p> <p>基礎ボルト</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇ポンプの構造はたて軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

DB+SAの場合

〇〇〇〇ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇ポンプの許容応力を表 3-2～表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇ポンプの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

DB+SAの場合

〇〇〇〇ポンプの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱 除去設備	〇〇〇〇ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

「*2」を記載する場合は「*1」とする。

*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

Ⅲ_A Sの評価でS_sを組合せる場合は
「S_d*²」とし、注記で説明する。

(DB + S_Aの場合、以下を追加)

表 3-〇 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱 除去設備	〇〇〇〇ポンプ	常設／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

・DB+SAの場合を示す。
〔・DB単独の場合は，許容応力（クラス2，3ポンプ）
・SA単独の場合は，許容応力（重大事故等クラス2ポンプ）〕

表3-2 許容応力（クラス2，3ポンプ及び重大事故等クラス2ポンプ）

許容応力状態	許容限界*		
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力 ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。ただし，地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば，疲労解析は行わない。
Ⅳ _A S			
	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)			基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。ただし，地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば，疲労解析は行わない。

注記 *：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB+SAの場合は，V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

・DB + S Aの場合を示す。
〔・DB単独の場合は、許容応力（クラス2，3支持構造物）
・S A単独の場合は、許容応力（重大事故等クラス2支持構造物）とする。〕

表 3-3 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
	1.5・f _t	1.5・f _s
Ⅲ _A S		
Ⅳ _A S		
V _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
(V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB + S Aの場合は、V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
バレルケーシング	SM400B	最高使用温度	185	188	373	—
コラムパイプ	SM400B	最高使用温度	185	188	373	—
基礎ボルト	SCM435	周囲環境温度	66	730	868	—
ポンプ取付ボルト (下)	SCM435	最高使用温度	185	635	847	—
ポンプ取付ボルト (上)	SCM435	最高使用温度	185	635	847	—
原動機台取付ボルト	SCM435	最高使用温度	185	635	847	—
原動機取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	66	730	868	—

(DB + S A の場合、以下を追加)

表 3-〇 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
バレルケーシング	SM400B	最高使用温度	185	188	373	—
コラムパイプ	SM400B	最高使用温度	185	188	373	—
基礎ボルト	SCM435	周囲環境温度	66	730	868	—
ポンプ取付ボルト (下)	SCM435	最高使用温度	185	635	847	—
ポンプ取付ボルト (上)	SCM435	最高使用温度	185	635	847	—
原動機台取付ボルト	SCM435	最高使用温度	185	635	847	—
動機取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	66	730	868	—

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に該当する場合は記載する。

本項は動的機能維持評価が必要な機器の場合

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

〇〇〇〇ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

〇〇〇〇ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度

(単位：×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

動的機能維持評価が必要な機器の場合

(DB + SAの場合、以下を追加)

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

動的機能維持評価が必要な機器の場合

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

ボルトの評価温度を記載する。

なお、使用しない場合は“—”表示とする。

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば
区別せず、最高使用圧力を記載する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度		基準地震動 S_s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				吸込側	吐出側
○○○○ポンプ	S	原子炉建屋 EL. 1.3*	0.031	0.015	$C_H=0.90$	$C_V=0.47$	$C_H=1.79$	$C_V=0.94$	$C_p=0.06$	185	66	1.37	3.92

注記*2が必要な場合は「*1」とする。

注記*：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。Ⅲ_ASの評価を S_s で実施する場合は「—*2」とし、
注記で説明する。

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

1.2 機器要目

(1) ボルト

部 材	m_i (kg)	D_i (mm)	$A_{b,i}$ (mm ²)	n_i	$n_{f,i}$	M_p (N・mm)	$S_{y,i}$ (MPa)	$S_{u,i}$ (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト ($i=1$)	39343	2400	1.810×10^3 (M48)	12	12	—	730^{*2} (径 ≤ 60 mm)	868^{*2} (径 ≤ 60 mm)	607	607
ポンプ取付ボルト(下) ($i=2$)	35240	2040	1.810×10^3 (M48)	40	40	4.456×10^6	635^{*1} (径 ≤ 60 mm)	847^{*1} (径 ≤ 60 mm)	592	592
ポンプ取付ボルト(上) ($i=3$)	25183	1760	1.810×10^3 (M48)	40	40	4.456×10^6	635^{*1} (径 ≤ 60 mm)	847^{*1} (径 ≤ 60 mm)	592	592
原動機台取付ボルト ($i=4$)	10826	1636	1.810×10^3 (M48)	16	16	4.456×10^6	635^{*1} (径 ≤ 60 mm)	847^{*1} (径 ≤ 60 mm)	592	592
原動機取付ボルト ($i=5$)	7854	1260	1.810×10^3 (M48)	16	16	4.456×10^6	730^{*2} (径 ≤ 60 mm)	868^{*2} (径 ≤ 60 mm)	607	607

 M_p が生じない場合は“—”とする。

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

予想最大面振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p=75$	$N=1200$

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。
(バレルケーシング, コラムパイプについても同様とする。)

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	188*1	373*1	1262	19.0
コラムパイプ	—	188*1	373*1	432	38.0

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル
合金に該当する場合は記載する。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	3.697×10^8	7.354×10^8	1.409×10^4	6.809×10^4	2.807×10^5	5.409×10^5
ポンプ取付ボルト(下) ($i=2$)	3.608×10^8	7.176×10^8	6.377×10^3	2.345×10^4	2.807×10^5	5.409×10^5
ポンプ取付ボルト(上) ($i=3$)	3.374×10^8	6.711×10^8	8.913×10^3	2.542×10^4	2.168×10^5	4.177×10^5
原動機台取付ボルト ($i=4$)	1.654×10^8	3.289×10^8	1.269×10^4	3.350×10^4	1.510×10^5	2.911×10^5
原動機取付ボルト ($i=5$)	7.992×10^7	1.590×10^8	7.555×10^3	2.103×10^4	8.891×10^4	1.713×10^5

1.4 結 論

(単位: s)

モード		固有周期
水平	1次	$T_{H1}=0.031$
鉛直	1次	$T_{V1}=0.015$

ⅢA Sの評価を S_s で実施する場合は「-」とする。

動的機能維持評価が必要な機器の場合は本表を追加する。
 (「評価用加速度 \leq 機能確認済加速度」の場合の記載を示す。)
 加速度比較でNGとなり、詳細評価が必要な場合は適宜、
 評価結果を追加する。

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
バレルケーシング	2.428×10^7	4.679×10^7
コラムパイプ	1.870×10^7	3.603×10^7

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張り	$\sigma_{b1}=8$	$f_{ts1}=455$	$\sigma_{b1}=38$	$f_{ts1}=455$
		せん断	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト(下)	SCM435	引張り	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=444$	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=444$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上)	SCM435	引張り	$\sigma_{b3}=5$	$f_{ts3}=444$	$\sigma_{b3}=14$	$f_{ts3}=444$
		せん断	$\tau_{b3}=3$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト	SCM435	引張り	$\sigma_{b4}=7$	$f_{ts4}=444$	$\sigma_{b4}=19$	$f_{ts4}=444$
		せん断	$\tau_{b4}=6$	$f_{sb4}=342$	$\tau_{b4}=11$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト	SCM435	引張り	$\sigma_{b5}=5$	$f_{ts5}=455$	$\sigma_{b5}=12$	$f_{ts5}=455$
		せん断	$\tau_{b5}=4$	$f_{sb5}=350$	$\tau_{b5}=7$	$f_{sb5}=350$

注記*: 基準地震動 S_s による算出値

すべて許容応力以下である。

ⅢA Sの評価を S_s で実施した場合は、算出応力値に「*」を付記し、注記で説明する。

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
バレルケーシング	SM400B	$\sigma=46$	$S_a=188$	$\sigma=46$	$S_a=223$
コラムパイプ	SM400B	$\sigma=23$	$S_a=188$	$\sigma=23$	$S_a=223$
		$\sigma=23$	$S_a=223$	$\sigma=23$	$S_a=223$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

(単位: $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

ポンプ	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
ポンプ	0.75	0.63	10.0
	0.63	0.75	1.0
原動機	0.75	0.63	2.5
	0.63	0.63	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。確認 S_s を記載する。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

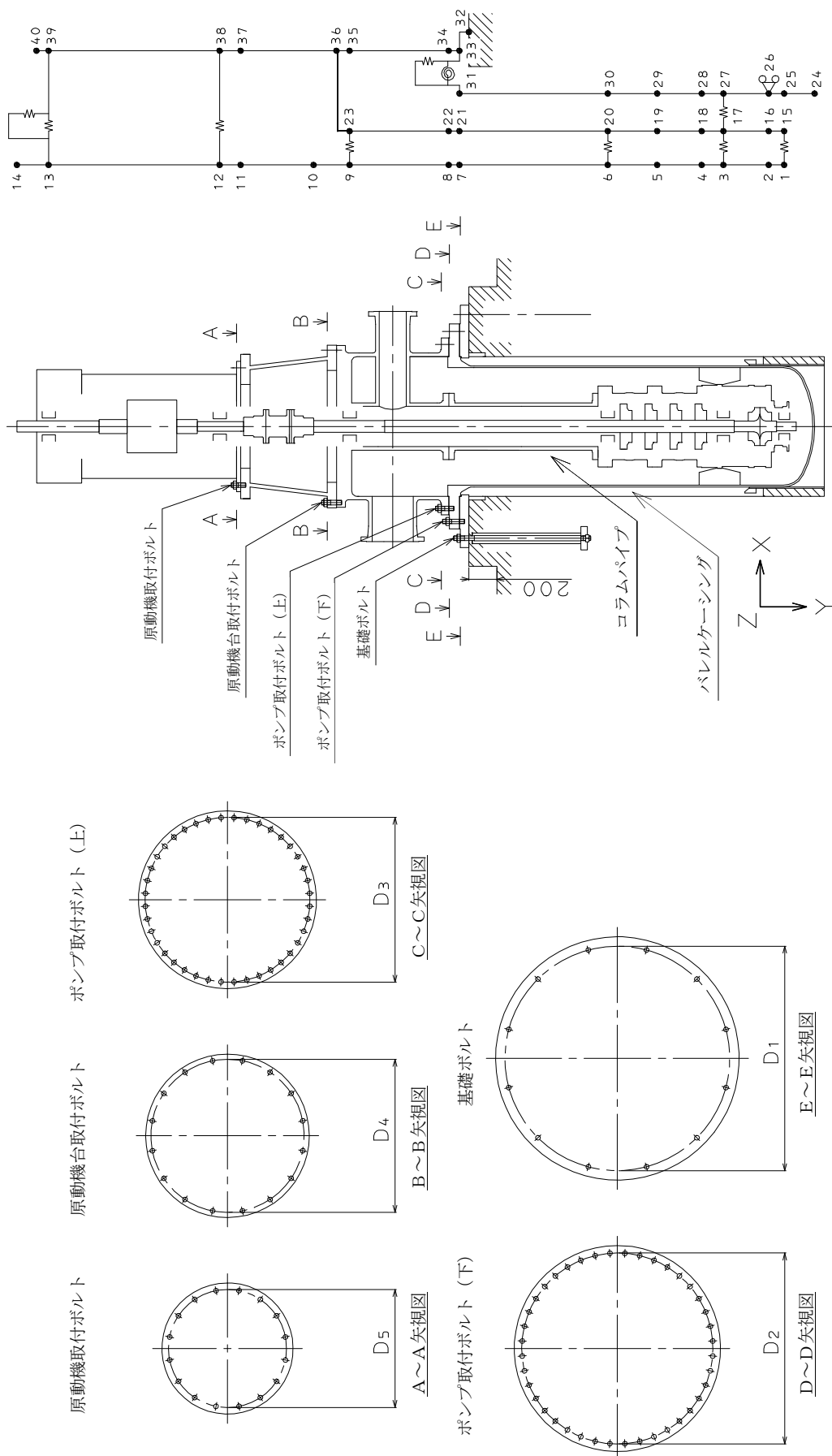
ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (－)	材質
1					
2					
3					
4					
5					



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
 ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。
 尚、DB + SAの場合は、SAの結果表の最終ページに記載するものとする。

NT2 補① V-0-0-0 R0

【S A 単独の場合】
本フオーママットを使用する。
ただし、章番を 1. とする。

ボルトの評価温度を記載する。
なお、使用しない場合は “-” 表示とする。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

【DB + S A の場合】
前項の DB 評価に本 S A の評価追加する。

2. 重大事故等対処設備
2.1 設計条件

機 器 名 称	設 備 分 類	据 付 場 所 及 び 床 面 高 さ (m)	固 有 周 期 (s)		弾 性 設 計 用 地 震 動 S _a 又 は 静 的 震 度		基 準 地 震 動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用 温度 (℃)	周囲環境 温度 (℃)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				吸込側	吐出側
〇〇〇〇ポンプ	常設／防止	原子炉建屋 EL. 1.3*	0.031	0.015	—	—	C _H =1.79	C _V =0.94	C _p =0.06	185	66	1.37	3.92

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要素
(1) ボルト

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部 材	m _i (kg)	D _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{t i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i (MPa)*
基 礎 ボ ル ト (i = 1)	39343	2400	1.810×10 ³ (M48)	12	12	-	730 ^{*2} (径≦60mm)	868 ^{*2} (径≦60mm)	-	607
ポンプ取付ボルト(下) (i = 2)	35240	2040	1.810×10 ³ (M48)	40	40	4.456×10 ⁶	635 ^{*1} (径≦60mm)	847 ^{*1} (径≦60mm)	-	592
ポンプ取付ボルト(上) (i = 3)	25183	1760	1.810×10 ³ (M48)	40	40	4.456×10 ⁶	635 ^{*1} (径≦60mm)	847 ^{*1} (径≦60mm)	-	592
原動機台取付ボルト (i = 4)	10826	1636	1.810×10 ³ (M48)	16	16	4.456×10 ⁶	635 ^{*1} (径≦60mm)	847 ^{*1} (径≦60mm)	-	592
原動機取付ボルト (i = 5)	7854	1260	1.810×10 ³ (M48)	16	16	4.456×10 ⁶	730 ^{*2} (径≦60mm)	868 ^{*2} (径≦60mm)	-	607

M_pが生じない場合は“-”とする。

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p =75	N=1200

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。
(バレルケーシング, コラムパイプについても同様とする。)

最高使用圧力が吸込側/吐出側とも同じであれば
区別せず、最高使用圧力を記載する。

部 材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	-	188 ^{*1}	373 ^{*1}	1262	19.0
コラムパイプ	-	188 ^{*1}	373 ^{*1}	432	38.0

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル
合金に該当する場合は記載する。

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b,i} (N)		Q _{b,i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	7.354×10 ⁸	—	6.809×10 ⁴	—	5.409×10 ⁵
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—	7.176×10 ⁸	—	2.345×10 ⁴	—	5.409×10 ⁵
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—	6.711×10 ⁸	—	2.542×10 ⁴	—	4.177×10 ⁵
原動機台取付ボルト (i=4)	—	3.289×10 ⁸	—	3.350×10 ⁴	—	2.911×10 ⁵
原動機取付ボルト (i=5)	—	1.590×10 ⁸	—	2.103×10 ⁴	—	1.713×10 ⁵

2.4 結 論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

モード	固有周期
水平 1次	T _{H1} =0.031
鉛直 1次	T _{V1} =0.015

2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=38$	$f_{ts1}=455$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト(下)	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=444$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上)	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b3}=14$	$f_{ts3}=444$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b4}=19$	$f_{ts4}=444$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=11$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b5}=12$	$f_{ts5}=455$
		せん断	—	—	$\tau_{b5}=7$	$f_{sb5}=350$

すべて許容応力以下である。

(2) バレルケーシング、コラムパイプに作用する力
(単位：N・mm)

部 材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	4.679×10 ⁷
コラムパイプ	—	3.603×10 ⁷

動的機能維持評価が必要な機器の場合は本表を追加する。
(「評価用加速度≦機能確認済加速度」の場合の記載を示す。)
加速度比較でNGとなり、詳細評価が必要な場合は適宜、
評価結果を追加する。

2.4.3 バレルケーシング、コラムパイプの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
バレルケーシング	SM400B	—	—	—	—
コラムパイプ	SM400B	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	σ=46	S _a =223
		基準地震動 S _s	—	—	—
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	σ=23	S _a =223

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度		機能確認済加速度
		水平方向	鉛直方向	
ポンプ	水平方向	0.75	10.0	
	鉛直方向	0.63	1.0	
原動機	水平方向	0.75	2.5	
	鉛直方向	0.63	1.0	

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

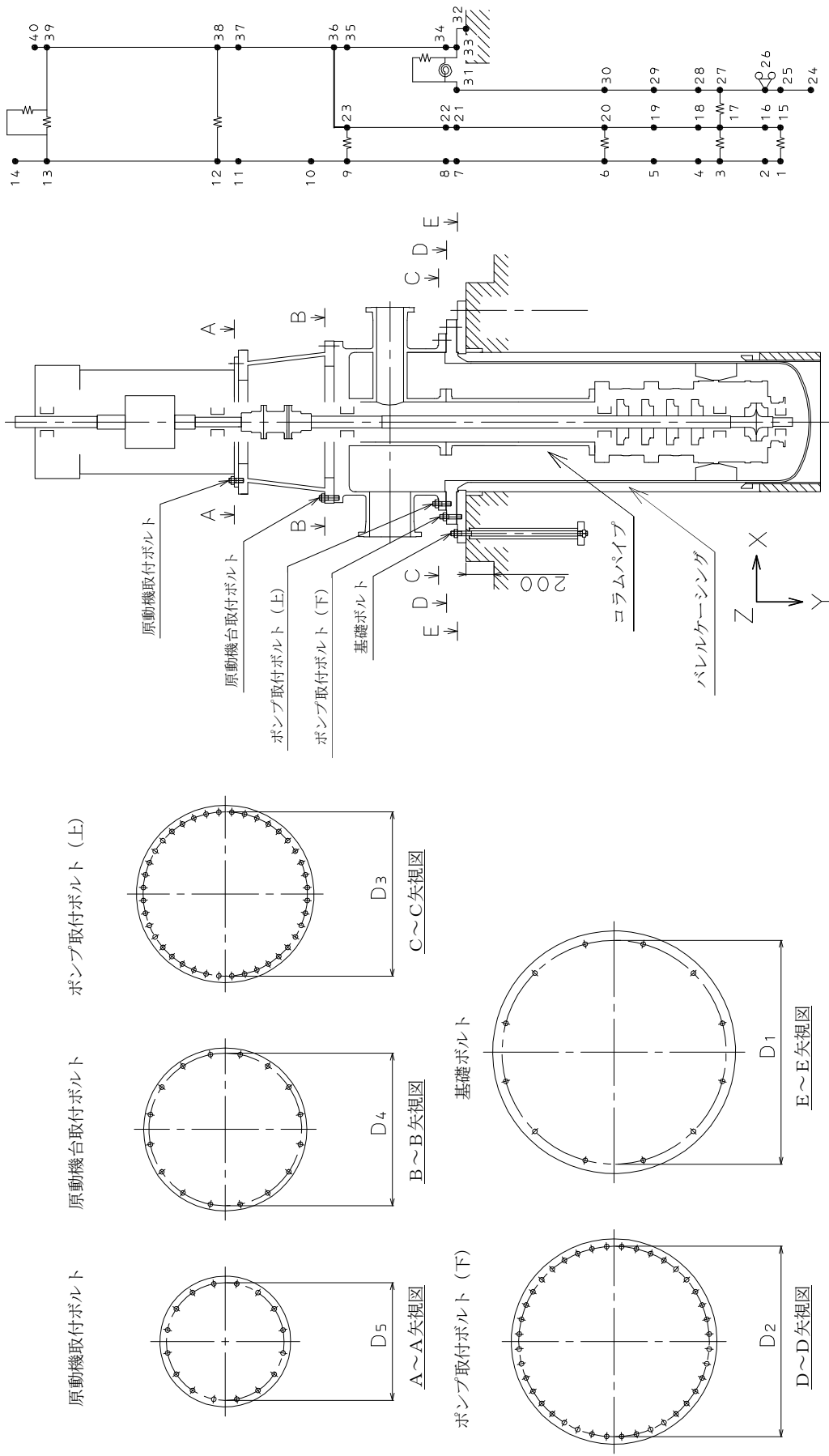
ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	($\text{N} \cdot \text{mm/rad}$)

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (－)	材質
1					
2					
3					
4					
5					



本図は、原則として「機器要目」の箇所に記載するものとする。
ただし、配置上入らない場合は本図のように最終ページに記載するものとする。

添付資料－3：「計算書作成の基本方針」を呼び込む設備の耐震計算書
(F パターン「計器ラック」の耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○○計器ラックの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 電氣的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

・DB + SA の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又はSA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇計器ラックが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇計器ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

・DB+SAの場合の記載例を示す。

〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

2.1 構造計画

〇〇〇〇計器ラックの構造計画を表2-1に示す。

2.1 配置概要

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備の設置箇所を説明する。

その場合は、目次にも本項目を記載する。

2.3 適用基準

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書のみ対象とする。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設に係る設備で「計算書作成の基本方針」に記載されていない「適用基準」がある場合は記載する。その場合は、目次にも本項目を記載する。

波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震計算書の目次構成は、
「2.1 配置概要」、「2.2 構造計画」、「2.3 適用基準」となる。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器ラックに固定される。	計器ラック		

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇計器ラックの構造は直立形計装ラックであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇計器ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇計器ラックの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇計器ラックの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

- ・ DB + SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	〇〇〇〇計器ラック	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び「*2」を記載する場合は「*1」とする。

*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

Ⅲ_A Sの評価でS_sを組合せる場合は「S_d*2」とし、注記で説明する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	〇〇〇〇計器ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	— *2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

- ・DB + S A の場合を示す。
- ・DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
- ・S A 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り		せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$		$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_s^*$
<div>Ⅴ_A S (Ⅴ_A S としてⅣ_A S の 許容限界を用いる。)</div>			

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

- ・DB + S A の場合は，Ⅴ_A S を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度				
ラック取付ボルト	SS400		50	241	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度				
ラック取付ボルト	SS400		120	215	373	—

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇計器ラックの電氣的機能維持評価について、以下に示す。

電氣的機能維持評価は、「V-2-1-14-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

〇〇〇〇計器ラックに設置される検出器の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇ポンプ 出口流量 (〇〇〇〇)	差圧伝送器(流量) (〇〇〇〇)	水平	10.0
		鉛直	3.0
〇〇〇〇ポンプ 出口圧力 (〇〇〇〇)	差圧伝送器(圧力) (〇〇〇〇)	水平	10.0
		鉛直	3.0
〇〇〇〇熱交換器 冷却水流量 (〇〇〇〇)	差圧伝送器(流量) (〇〇〇〇)	水平	10.0
		鉛直	3.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇計器ラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇計器ラックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【〇〇〇〇計器ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
〇〇〇〇計器ラック	S	原子炉建屋 EL. 13.0*	0.05 以下	0.05 以下	C _H =0.77	C _V =0.38	C _H =1.56	C _V =0.72	50

注記*2が必要な場合は「*1」とする。

注記*：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

Ⅲ_ASの評価をS_sで実施する場合は「-*2」とし、注記で説明する。

1.2 機器要目

1.2.1 〇〇〇〇計器ラック(〇〇〇〇)

部 材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト	800	1900*	201.1 (M16)	20	245	400

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
長辺方向	

ボルト径を記載する。

部 材	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n _f	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
ラック取付ボルト	0*	2140*	2	241	276	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
						長辺方向	長辺方向

注記*：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

転倒方向が同じときは、1つにする。

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 〇〇〇〇計器ラック(〇〇〇〇)に作用する力 (単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動S _s
ラック取付ボルト	2.682×10 ³	5.433×10 ³	302.0	611.9

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」と「基準地震動S_s」で転倒方向が異なる場合は、2段表示で記載する。また、その際には「計算書作成の基本方針」の注記の記載要領に基づき注記を付加する。

Ⅲ_ASの評価をS_sで実施する場合は「-」とする。

1.4 結 論

1.4.1 〇〇〇〇計器ラック(〇〇〇〇)の応力

(単位:MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=14$	$f_{ts}=183$	$\sigma_b=26$	$f_{ts}=210$
		せん断	$\tau_b=2$	$f_{sb}=141$	$\tau_b=4$	$f_{sb}=161$

注記 *: 基準地震動 S s による算出値
すべて許容応力以下である。
Ⅲ、Ⅳ S の評価を S s で実施した場合は、算出応力値に「*」を付記し、注記で説明する。

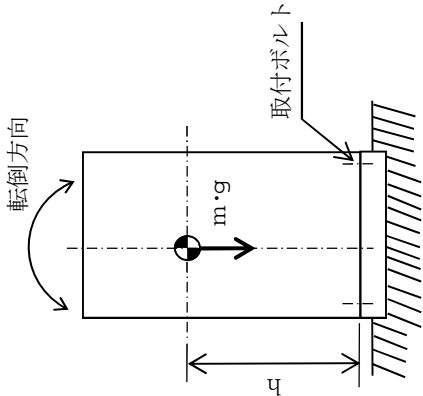
1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位: $\times 9.8m/s^2$)

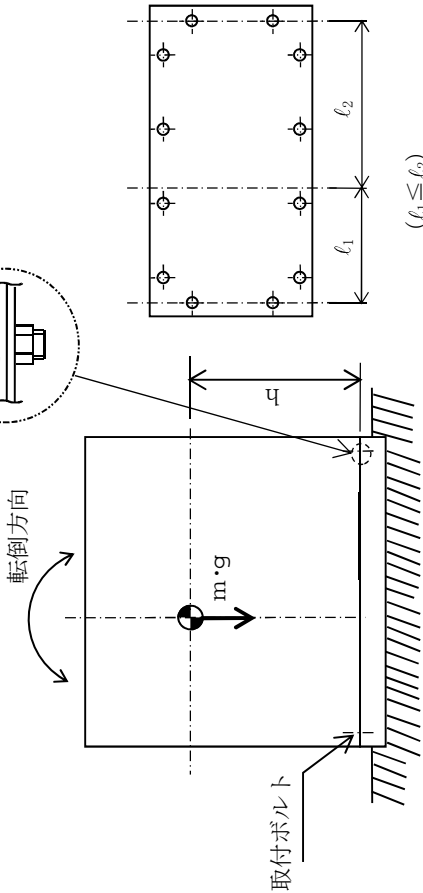
		評価用加速度	機能確認済加速度	
			評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇〇〇ポンプ 出口流量 (〇〇〇〇)	水平方向		〇〇	10.0
	鉛直方向		〇〇	3.0
〇〇〇〇ポンプ 出口圧力 (〇〇〇〇)	水平方向		〇〇	10.0
	鉛直方向		〇〇	3.0
〇〇〇〇熱交換器 冷却水流量 (〇〇〇〇)	水平方向		〇〇	10.0
	鉛直方向		〇〇	3.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する。



(短辺方向)



(長辺方向)

【DB+SAの場合】

前項のDB評価に本SAの評価を追加する。

NT2 補① V-0-0-0 R0

【SA単独の場合】

本フオーマットを使用する。
ただし、章番を1.とする。

2. 重大事故等 対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
〇〇〇〇計器ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 EL. 13.0*	0.05以下	0.05以下	—	—	C _H =1.79	C _V =0.94	120

設計震度をとっている床レベルを記載する。

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 〇〇〇〇計器ラック(〇〇〇〇)

部 材	m (kg)	h (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
ラック取付ボルト	800	1900*	201.1 (M16)	20	215	373

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

ボルト径を記載する。

部 材	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n _f	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト	0*	2140*	2	—	258	—	長辺方向

注記 *：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

2.3 計算数値

2.3.1 〇〇〇〇計器ラック(〇〇〇〇)に作用する力 (単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用 地震動S _d 又は 静的震度	基準地震動S _s
ラック取付ボルト	—	6.234×10 ³	—	702.2

保守的な寸法を取る場合のみ記載する。

2.4 結 論

2.4.1 ○○○○計器ラック(○○○○)の応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 32$	$f_{ts} = 193$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 149$

すべて許容応力以下である。

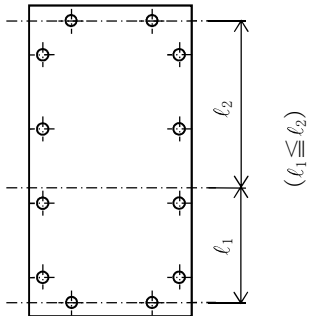
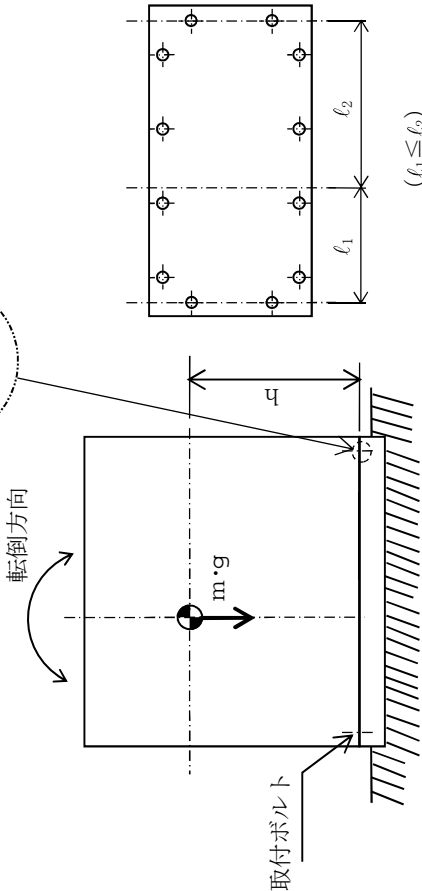
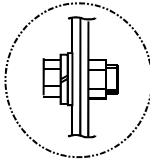
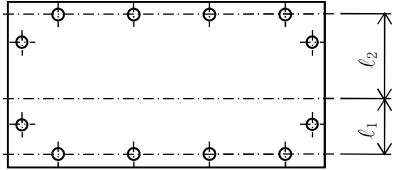
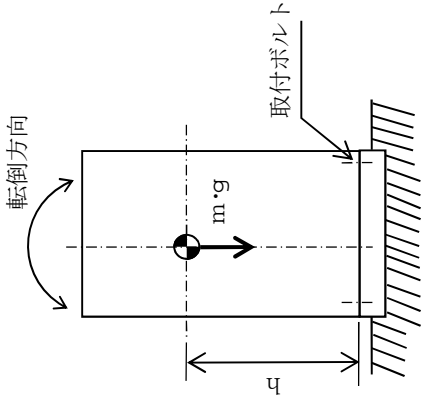
2.4.2 電気的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

	評価用加速度	機能確認済加速度
○○○ポンプ 出口流量 (○○○)	水平方向 ○○	10.0
	鉛直方向 ○○	3.0
○○○ポンプ 出口圧力 (○○○)	水平方向 ○○	10.0
	鉛直方向 ○○	3.0
○○○熱交換器 冷却水流量 (○○○)	水平方向 ○○	10.0
	鉛直方向 ○○	3.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する



添付資料－4－1：機能維持評価で詳細検討を実施する場合
(評価用加速度＞機能確認済加速度)

V-○-○-○ ○○○○ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 基本方針	7
4.2 設計用地震力	7
4.3 ポンプの動的機能維持評価	8
4.4 原動機の動的機能維持評価	12
5. 評価結果	15
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15

機能維持評価で詳細評価が必要な場合は、目次構成に本項目を追加するものとする。

・DB + SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、〇〇〇〇ポンプは、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の往復動式のポンプであり、機能維持評価において応答加速度が機能確認済加速度を上回ることから、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇ポンプの構造計画を表2-1に示す。

- ・DB+SAの場合の記載例を示す。
〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	横形 3 連往復動式 ポンプ	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇ポンプの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇ポンプの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

- ・ DB + SA の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	ほう酸水 注入設備	〇〇〇〇ポンプ	S	クラス2ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：クラス2ポンプの支持構造物を含む。

「*2」を記載する場合は「*1」とする。

*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

Ⅲ_A Sの評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし、注記で説明する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	ほう酸水 注入設備	〇〇〇〇ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

- ・DB + SA の場合を示す。
- ・DB 単独の場合は、許容応力（クラス 2，3 支持構造物）

・SA 単独の場合は、許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）とする。

表 3-3 許容応力（クラス 2，3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 *1, *2 (ボルト等)		
	一次応力		
	引張り	せん断	
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	
Ⅲ _A S			
Ⅳ _A S			
V _A S			
(V _A S としてⅣ _A S の許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB + SA の場合は、V_AS を追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	211	394	—
ポンプ取付ボルト	SS41	周囲環境温度	211	394	—
原動機取付ボルト	SS41	周囲環境温度	211	394	—
減速機取付ボルト	SS41	周囲環境温度	211	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
基礎ボルト	SS41	周囲環境温度	〇〇	〇〇〇	—
ポンプ取付ボルト	SS41	周囲環境温度	〇〇	〇〇〇	—
原動機取付ボルト	SS41	周囲環境温度	〇〇	〇〇〇	—
減速機取付ボルト	SS41	周囲環境温度	〇〇	〇〇〇	—

該当しない場合は
「—」とする。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

〇〇〇〇ポンプは、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の往復動式のポンプであり、機能維持評価において応答加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

- (1) 原動機は横形ころがり軸受機であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されている往復動式ポンプ及び原動機の機能確認済加速度を適用する。
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下、「設計・建設規格」という。）の付録材料図表にて計算する際に、中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

4.2 設計用地震力

機能維持の確認に用いる設計用地震力については、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力」に基づく設計用地震力を用いる。

本項目は原動機の機能維持評価において応答加速度が機能確認済加速度を上回ることがない場合に記載する。原動機も上回る場合は(1)を削除し、4.1 基本方針に記載する「〇〇〇〇ポンプは、」を「〇〇〇〇ポンプ及び原動機は、」に修正する。

J E A G 4 6 0 1 で規定している評価対象部位を全て記載し、評価対象外の部位がある場合は、その理由を記載する。

(例)「〇. 軸継手」は、軸受がボールベアリングでありサイドスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

4.3 ポンプの動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の往復動式ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト、ポンプ本体取付ボルト、減速機取付ボルト
- b. コネクティングロッド軸受
- c. クランク軸
- d. クランク軸受
- e. 動弁機構及び弁シート面
- f. 減速機軸受
- g. 減速機軸
- h. 減速機歯車
- i. 軸継手（原動機～減速機～ポンプ）

このうち「a. 基礎ボルト、ポンプ本体取付ボルト、減速機取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。また、「g. 減速機軸」及び「h. 減速機歯車」は一体構造となっているため、弱部となる歯車の強度評価に軸の強度評価も含め評価している。

以上より、本計算書においては、コネクティングロッド軸受、クランク軸、クランク軸受、動弁機構及び弁シート面、減速機軸受、減速機軸（歯車）及び軸継手（原動機～減速機～ポンプ）を評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

クランク軸の許容応力は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。また、コネクティングロッド軸受、クランク軸受、減速機軸受、動弁機構及び弁シート面についてはメーカー規定の許容値を、減速機軸（歯車）については、許容面圧を、軸継手については、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位毎の評価基準値を記載する。

4.3.3 記号の説明

〇〇〇〇ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
F_R	クランク軸に生じるラジアル荷重	
Q_{CS}	クランク軸に生じるスラスト荷重	
F_B	大端部, 小端部及びクロスヘッドガイド部の軸受に生じる荷重	
A_{LB}	コネクティングロッド大端部軸受の投影面積	
A_{SB}	コネクティングロッド小端部軸受の投影面積	
A_{CB}	クロスヘッドガイド部軸受の投影面積	
P_{LB}	大端部軸受面圧	
P_{SB}	小端部軸受面圧	
P_{CB}	クロスヘッドガイド部軸受面圧	
<div> ポンプの詳細評価に使用する記号の説明 を記載する。 </div>		

4.3.4 評価方法

(1) コネクティングロッド軸受

各軸受に地震力が作用することにより発生する面圧を求め、メーカ規定の許容値以下であることを確認する。

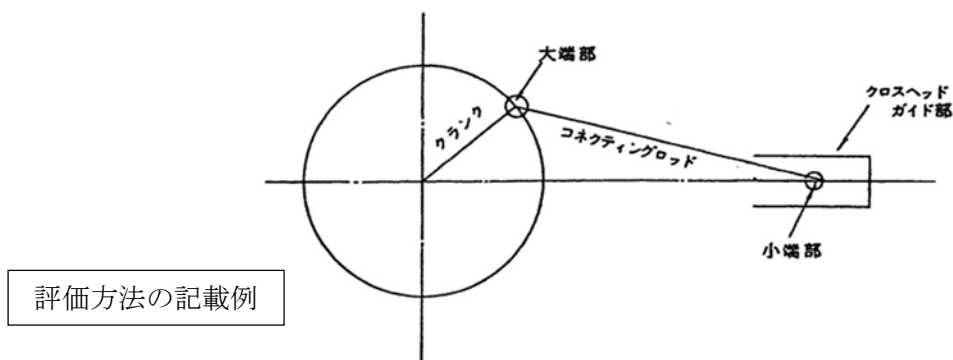


図 4-1 コネクティングロッド軸受の計算モデル

各軸受に生じる面圧は次式で求める。

$$\text{大端部軸受面圧 } P_{LB} = \frac{F_B}{A_{LB}} \dots\dots\dots (4.3.4.1)$$

$$\text{小端部軸受面圧 } P_{SB} = \frac{F_B}{A_{SB}} \dots\dots\dots (4.3.4.2)$$

$$\text{クロスヘッドガイド部軸受面圧 } P_{CB} = \frac{F_B}{A_{CB}} \dots\dots\dots (4.3.4.3)$$

ここで、各軸受に生じる荷重 F_B は

$$F_B = \sqrt{F_R^2 + Q_{CS}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.4)$$

(2) クランク軸

評価モデル及び評価式等を記載する。

(3) クランク軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(4) 動弁機構及び弁シート面

評価モデル及び評価式等を記載する。

(5) 減速機軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(6) 減速機軸（歯車）

評価モデル及び評価式等を記載する。

(7) 軸継手（原動機～減速機～ポンプ）

評価モデル及び評価式等を記載する。

原動機の機能維持評価で詳細評価が必要な場合の記載例

4.4 原動機の動的機能維持評価

J E A G 4 6 0 1 で規定している評価対象部位を全て記載し、評価対象外の部位がある場合は、その理由を記載する。

4.4.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- h. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、端子箱、軸受、固定子と回転子間のクリアランス、モータフレーム及び軸継手を評価対象部位とする。なお、軸継手においては、ポンプの動的機能維持評価に含まれている。

4.4.2 評価基準値

固定子、軸（回転子）、端子箱及びモータフレームの許容応力は、クラス 2 ポンプの許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。また軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランス及び軸継手については、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位毎の評価基準値を記載する。

4. 4. 3 記号の説明

〇〇〇〇ポンプ用原動機の動的機能維持評価に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
	<div> 原動機の詳細評価に使用する記号の説明を記載する。 </div>	

4.4.4 評価方法

(1) 固定子

評価モデル及び評価式等を記載する。

(2) 軸（回転子）

評価モデル及び評価式等を記載する。

(3) 端子箱

評価モデル及び評価式等を記載する。

(4) 軸受

評価モデル及び評価式等を記載する。

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

評価モデル及び評価式等を記載する。

(6) モータフレーム

評価モデル及び評価式等を記載する。

(7) 軸継手

軸継手（原動機～減速機）の評価は、4.3.4（7）のポンプの動的機能維持評価に含まれている。

原動機の機能維持評価で詳細評価が不要な場合の記載例

4.4 原動機の動的機能維持評価

〇〇〇〇ポンプ用原動機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本討方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	〇〇〇〇	水平	
		鉛直	

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
○○○○ポンプ	S	原子炉建屋 EL. 34.8*1	—*2	—*2	C _H =1.37	C _V =1.16	C _H =3.73	C _V =2.32	C _P =0.17	—	50

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: IIIASについては、基準地震動 S s で評価する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

IIIASの評価を S s で実施する場合は「—*3」とし、注記で説明する。

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		n _{fi}
基礎ボルト (i=1)	3400	670	690	1260	314.2 (W20)	10	2	2	2
ポンプ取付ボルト (i=2)	1750	350	280	280	452.4 (W24)	4	2	2	2
原動機取付ボルト (i=3)	480	250	155.5	155.5	314.2 (W20)	4	2	2	2
減速機取付ボルト (i=4)	430	236	265	265	314.2 (W20)	6	2	2	2

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」と「基準地震動 S s」で転倒方向が異なる場合は、2 段表示で記載する。
また、その際には「計算書作成の基本方針」の注記の記載要領に基づき注記を追加する。

IIIASの評価を S s で実施する場合は「—」とする。

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		M _P (N・mm)
					転倒方向	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	
基礎ボルト (i=1)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸	軸	—	—	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸	軸	—	—	—
原動機取付ボルト (i=3)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸	軸	—	—	—
減速機取付ボルト (i=4)	211 (40mm<径≤100mm)	394	211	253	軸直交	軸直交	1.953×10 ⁶	1.953×10 ⁶	1.953×10 ⁶

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

転倒方向が同じときは、1 つにする。

弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
軸	
軸直交	

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	1.077×10 ⁴	3.828×10 ⁴	5.135×10 ⁴	1.298×10 ⁵
ポンプ取付ボルト (i=2)	9.675×10 ³	2.724×10 ⁴	2.643×10 ⁴	6.681×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=3)	3.302×10 ³	9.111×10 ³	7.249×10 ³	1.833×10 ⁴
減速機取付ボルト (i=4)	3.636×10 ³	7.061×10 ³	6.494×10 ³	1.642×10 ⁴

Ⅲ_ASの評価をS_sで実施する場合は「-」とする。

1.1.4 結 論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS41	引張り	σ _{b1} =35	f _{ts1} =158	σ _{b1} =122	f _{ts1} =190
		せん断	τ _{b1} =17	f _{sh1} =121	τ _{b1} =42	f _{sh1} =146
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	σ _{b2} =22	f _{ts2} =158	σ _{b2} =61	f _{ts2} =190
		せん断	τ _{b2} =15	f _{sh2} =121	τ _{b2} =37	f _{sh2} =146
原動機取付ボルト	SS41	引張り	σ _{b3} =11	f _{ts3} =158	σ _{b3} =29	f _{ts3} =190
		せん断	τ _{b3} =6	f _{sh3} =121	τ _{b3} =15	f _{sh3} =146
減速機取付ボルト	SS41	引張り	σ _{b4} =12	f _{ts4} =158	σ _{b4} =23	f _{ts4} =190
		せん断	τ _{b4} =4	f _{sh4} =121	τ _{b4} =9	f _{sh4} =146

注記 *：基準地震動 S_s による算出値

すべて許容応力以下である。

Ⅲ_ASの評価をS_sで実施した場合は、算出応力値に「*」を付記し、注記で説明する。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m³/h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ss		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	往復動式ポンプ	9.72	原子炉建屋 EL. 34.8*1	—*2	—*2	C _H =4.6	C _V =3.0	C _P =0.17	—	50

注記

*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2.2 機器要目

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ss		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用 原動機	機形ころがり 軸受電動機	45	原子炉建屋 EL. 34.8*1	—*2	—*2	C _H =8.0	C _V =3.0	C _P =0.17	—	50

注記

*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

動的機能維持評価に必要な機器要目表を記載する。

原動機について、機能確認済加速度を超えていない時は、「原動機は、評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。」と記載する。

1.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルト、減速機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 コネクティングロッド軸受の評価

評価部位	発生応力	許容応力
コネクティングロッド大端部	3.604	5.80
コネクティングロッド小端部	7.207	11.60
クロスヘッドガイド部		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 クランク軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
クランク軸		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.3 クランク軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	15640	450000
反軸継手側	9492	299000

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.4 動弁機構及び弁シート面の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
弁シート面	0.07271	125

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.5 減速機軸受の評価 (単位：N)

評価部位	発生荷重	許容荷重
入力軸軸受	5619	45000
中間軸軸受	29273	163000
出力軸軸受	29069	390000

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.6 減速機軸（歯車）の評価 (単位：N)

評価部位		歯車の曲げ強さ		歯車の面圧強さ	
		発生荷重	許容荷重	発生荷重	許容荷重
1 段目 (入力側)	小歯車	4529	66570	4529	19293
	大歯車		61707		
2 段目 (出力側)	小歯車	10822	165517	10822	40162
	大歯車		163343		

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.7 軸継手の評価 (単位：mm)		
評価部位	変位量	許容変位量
減速機～ポンプ間	0.09968	0.63
減速機～原動機間	0.4345	0.19

すべて許容変位量以下である。

- 1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価
- 1.2.3.3.1 代表評価項目の評価
- 原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価 (単位：MPa)			
1.2.3.3.2.1 固定子の評価			
評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	10	118

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）		

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)			
評価部位	応力	発生応力	許容応力
端子箱	引張り	12	159
	せん断	4	121

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)		
評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	5812	57667
反軸継手側	6009	40000

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)		
評価部位	回転子のたわみ	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.08	0.9

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)			
評価部位	応力	発生応力	許容応力
	引張り	15	234
	せん断	10	135

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.7 軸継手の評価
原動機軸継手の評価は、「1.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。

【DB + S A の場合】

前項のDB評価に本S A の評価を追加する。

NT2 補① V-0-0-0 R0

【S A 単独の場合】

本フオーマットを使用する。ただし、章番を 1. とする。

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

2.1.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
○○○○ポンプ	常設耐震/防止	原子炉建屋 EL. 34.8*1	-*2	-*2	-	-	C _H =3.73	C _V =2.32	C _P =0.17	-	○○

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	
							弾 性 設 計 用 地震動 S d 又は 静 的 震 度	基準地震動 S s
基 礎 ボ ル ト (i =1)	3400	670	690	1260	314. 2 (M20)	10	-	2
ポンプ取付ボルト (i =2)	1750	350	280	280	452. 4 (M24)	4	-	2
原動機取付ボルト (i =3)	480	250	155. 5	155. 5	314. 2 (M20)	4	-	2
減速機取付ボルト (i =4)	430	236	265	265	314. 2 (M20)	6	-	2

部 材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾 性 設 計 用 地震動 S d 又は 静 的 震 度	基準地震動 S s	弾 性 設 計 用 地震動 S d 又は 静 的 震 度
基 礎 ボ ル ト (i =1)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸	-
ポンプ取付ボルト (i =2)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸	-
原動機取付ボルト (i =3)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸	-
減速機取付ボルト (i =4)	○○○ (40mm<径≤100mm)	○○○	-	○○○	-	軸直 角	1. 953×10 ⁶

予想最大面振幅 (μm)	ポンプ回転速度 (min ⁻¹)	原動機回転速度 (min ⁻¹)
H _P =90	N=220	N=1800

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

2.1.1.3 計算数値

2.1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)	—	3.828×10 ⁴	—	1.298×10 ⁵
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	2.724×10 ⁴	—	6.681×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=3)	—	9.111×10 ³	—	1.833×10 ⁴
減速機取付ボルト (i=4)	—	7.061×10 ³	—	1.642×10 ⁴

2.1.1.4 結 論

2.1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=122$	$f_{ts1}=〇〇〇$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=42$	$f_{sh1}=〇〇〇$
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=61$	$f_{ts2}=〇〇〇$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=37$	$f_{sh2}=〇〇〇$
原動機取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b3}=29$	$f_{ts3}=〇〇〇$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=15$	$f_{sh3}=〇〇〇$
減速機取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b4}=23$	$f_{ts4}=〇〇〇$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=9$	$f_{sh4}=〇〇〇$

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	往復動式ポンプ	9.72	原子炉建物 EL. 34.8*1	—*2	—*2	C _H =4.6	C _V =3.0	C _D =0.17	—	50

注記

*1：基準レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用 原動機	機形ころがり 軸受電動機	45	原子炉建物 EL. 34.8*1	—*2	—*2	C _H =8.0	C _V =3.0	C _D =0.17	—	50

注記

*1：基準レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2.2 機器要目

2.2.3 結論

動的機能維持評価に必要な機器要目表を記載する。

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.69	1.6
	鉛直方向	1.46	1.0
原動機	水平方向	1.69	4.7
	鉛直方向	1.46	1.0

ポンプは、水平、鉛直方向ともに応答加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。
原動機は、鉛直方向の応答加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

2.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルト、減速機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 コネクティングロッド軸受の評価 (単位：MPa)

評価部位	発生応力	許容応力
コネクティングロッド大端部	3.604	5.80
コネクティングロッド小端部	7.207	11.60
クロスヘッドガイド部		

すべて許容応力以下である。

原動機について、機能確認済加速度を超えていない時は、「原動機は、評価用
加速度はすべて機能確認済加速度以下である。」と記載する。

確定S_sを記載する。

2.2.3.2.2.2 クランク軸の評価 (単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
クランク軸		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.3 クランク軸受の評価 (単位：N)		
評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	15640	450000
反軸継手側	9492	290000

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.4 動弁機構及び弁シート面の評価 (単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
弁シート面	0.07271	125

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.5 減速機軸受の評価 (単位：N)		
評価部位	発生荷重	許容荷重
入力軸軸受	5619	45000
中間軸軸受	29273	163000
出力軸軸受	29069	390000

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.6 減速機軸（歯車）の評価 (単位：N)				
評価部位		歯車の曲げ強さ		歯車の面圧強さ
		発生荷重	許容荷重	発生荷重
1 段目（入力側）	小歯車	4529	66570	4529
	大歯車		61707	
2 段目（出力側）	小歯車	10822	165517	10822
	大歯車		163343	

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.2.7 軸継手の評価 (単位：mm)		
評価部位	変位量	許容変位量
減速機～ポンプ間	0.09968	0.63
減速機～原動機間	0.4345	0.19

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

2.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)			
評価部位	応力	発生応力	許容応力
固定子	せん断	10	118

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
軸（回転子）		

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)			
評価部位	応力	発生応力	許容応力
	引張り	12	159
端子箱	せん断	4	121

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)		
評価部位	発生荷重	許容荷重
軸継手側	5812	57667
反軸継手側	6009	40000

すべて許容荷重以下である。

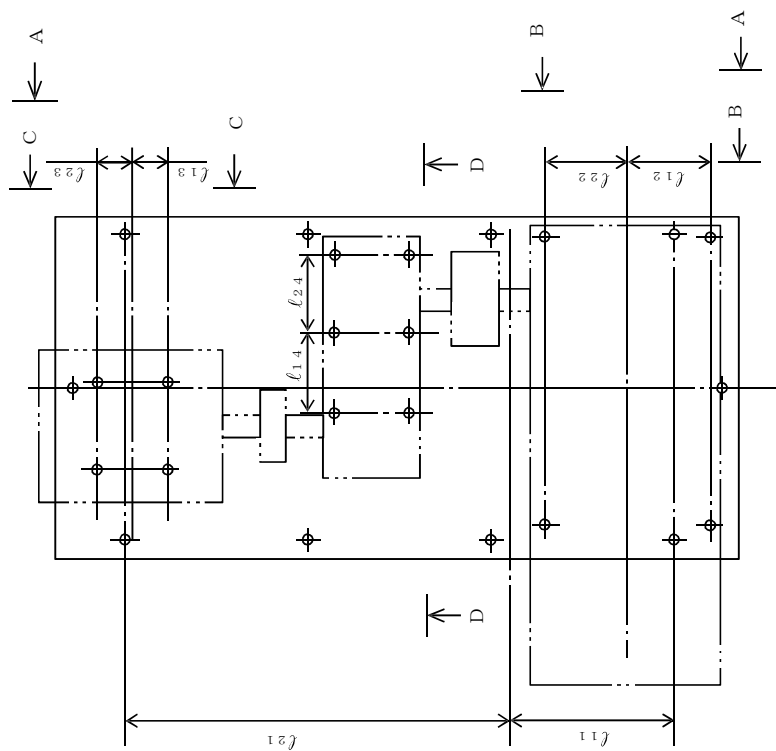
2.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)			
評価部位	回転子のたわみ		許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.08		0.9

すべて許容変位量以下である。

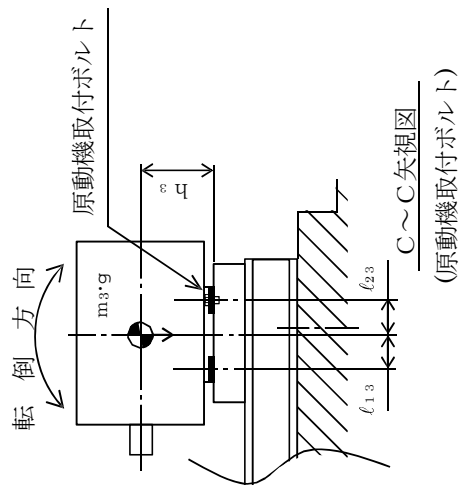
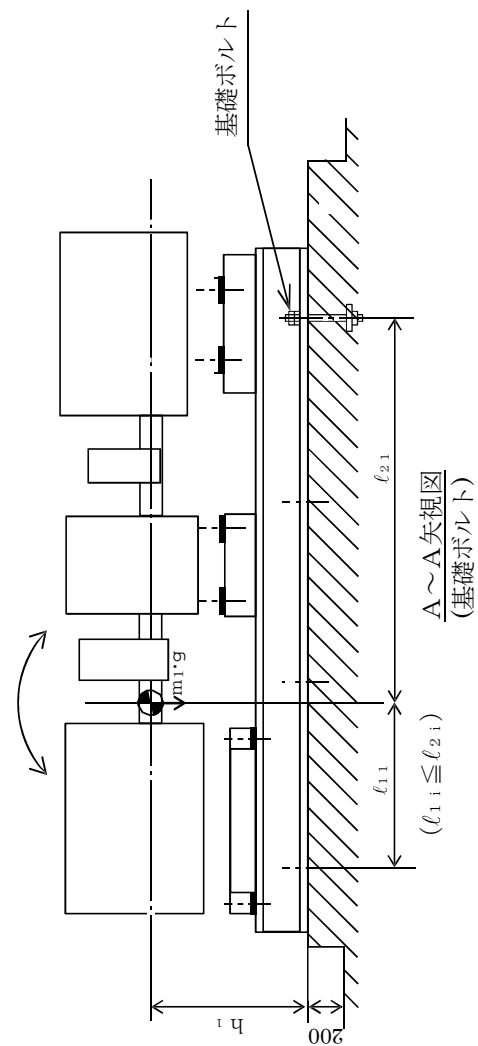
2.2.3.3.2.6 モーターフレームの評価 (単位：MPa)			
評価部位	応力	発生応力	許容応力
モーターフレーム	引張り	15	234
	せん断	10	135

すべて許容応力以下である。

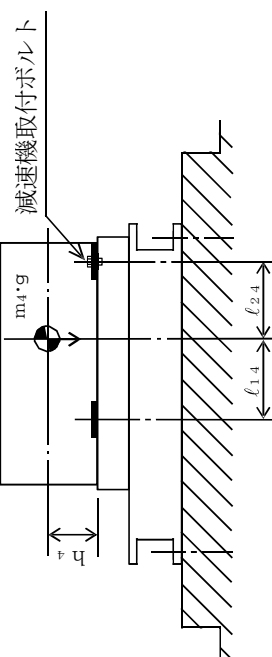
2.2.3.3.2.7 軸継手の評価
原動機軸継手の評価は、「2.2.3.2 往復動式ポンプの動的機能維持評価」に含まれている。



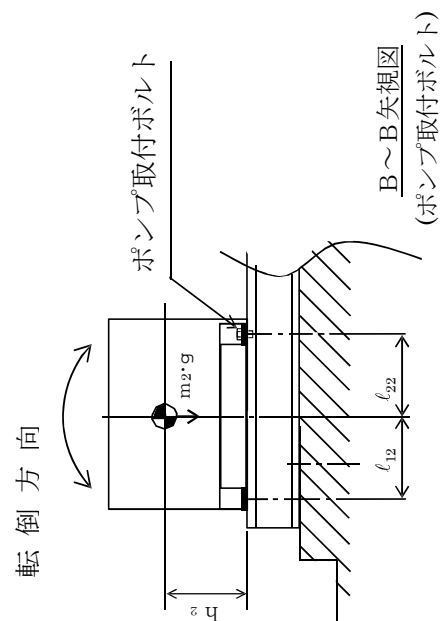
転倒方向



転倒方向



転倒方向



添付資料－４－２：機能維持評価で新たな検討を実施する場合

V-○-○-○ ○○○○ポンプの耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 基本方針	7
4.2 設計用地震力	7
4.3 ポンプの動的機能維持評価	8
4.4 原動機の動的機能維持評価	12
5. 評価結果	13
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	13

機能維持評価で詳細評価が必要な場合は、目次構成に本項目を追加するものとする。

・DB＋SAの場合の記載例を示す。

〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。

以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

なお、〇〇〇〇ポンプは、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置きスクリー式ポンプであるため、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）にて定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

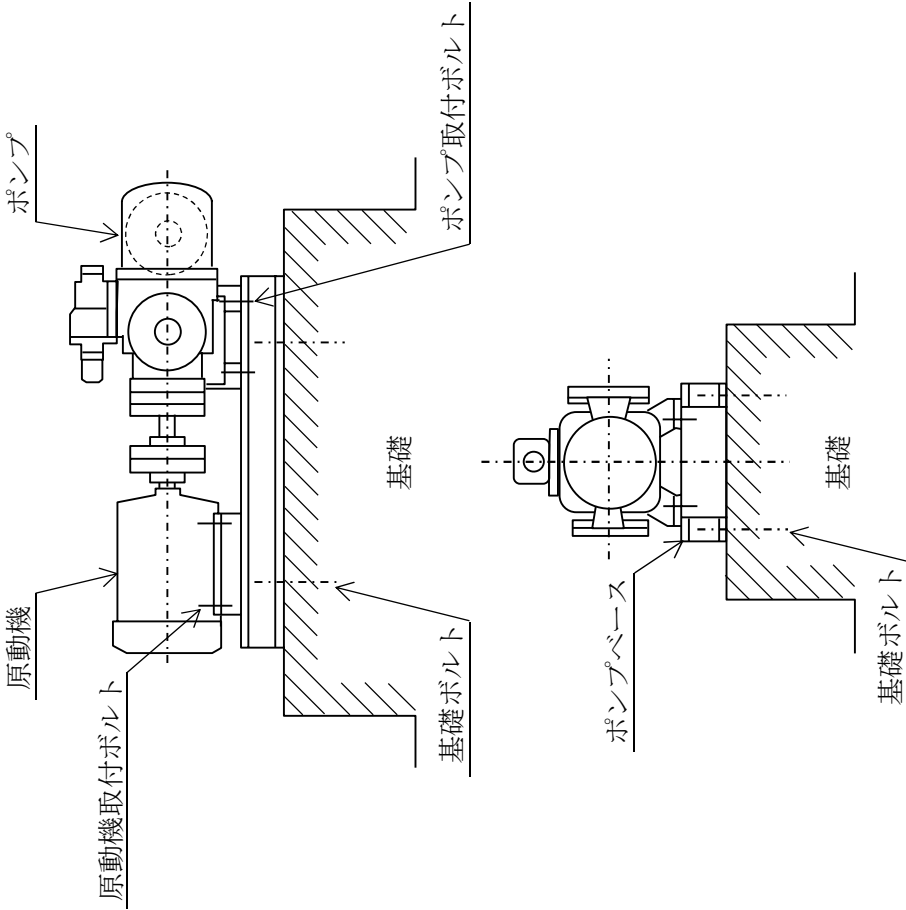
2.1 構造計画

〇〇〇〇ポンプの構造計画を表2-1に示す。

・DB+SAの場合の記載例を示す。

〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	スクリー式	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

〇〇〇〇ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

〇〇〇〇ポンプの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇ポンプの使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

・ DB + SA の場合の記載例を示す。

〔DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	〇〇〇〇ポンプ	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_S$	Ⅳ _A S

注記 * : その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。
*2 : S_s と組合せ, Ⅲ_A S の評価を実施する。
Ⅲ_A S の評価で S_s を組合せる場合は「S_d^{**2}」とし, 注記で説明する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	〇〇〇〇ポンプ	常設／防止	— *2	$D + P_D + M_D + S_S^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	V _A S (V _A S としてⅣ _A S の許容限界を用いる。)

注記 *1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
*2 : その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。
*3 : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

・DB + SA の場合を示す。
[・DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
・SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。]

表 3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一 次 応 力	
	引張り	せん断
	III _A S IV _A S V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	1.5・f _t 1.5・f _t * 1.5・f _s 1.5・f _s *

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB + SA の場合は，V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 3-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41	50		241	394	—
ポンプ取付ボルト	SS41	40		245	400	—
原動機取付ボルト	SS41	50		241	394	—

表 3-5 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41	50		241	394	—
ポンプ取付ボルト	SS41	40		245	400	—
原動機取付ボルト	SS41	50		241	394	—

該当しない場合は「—」とする。

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

〇〇〇〇ポンプは、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されていない横置き
のスクリー式ポンプであるため、J E A G 4 6 0 1 にて定められた評価部位の健全
性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

(1) 〇〇〇〇ポンプは地震後においてもその機能が維持されるよう、動的機能維持の
評価を行う。なお、本ポンプは「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載されてい
ない横置きスクリー式ポンプであるため、機能維持評価は、J E A G 4 6 0 1
にて定められた評価部位の健全性を確認することで動的機能維持の確認を行う。ま
た、原動機については横形ころがり軸受機であるため、「V-2-1-9 機能維持の基
本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

(2) 本ポンプは横置きの機器であることから、J E A G 4 6 0 1 に従い構造的に一つ
の剛体として取り扱う。

(3) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））

J S M E S N C 1 - 2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・
建設規格」という。）の付録材料図表 Part5 の表にて計算する際に、中間の値の場
合は、比例法を用いて計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数
点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

4.2 設計用地震力

機能維持の確認に用いる設計用地震力については、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」
のうち「2. 機能維持の確認に用いる設計用地震力」に基づく設計用地震力を用いる。

4.3 ポンプの動的機能維持評価

4.3.1 評価対象部位

〇〇〇〇ポンプは、容量等が J E A G 4 6 0 1 に記載されている横形遠心式ポンプを上回ることではなく、回転機能を担う構成要素も変わらない。したがって、基本的な構成要素は J E A G 4 6 0 1 に記載されている横形ポンプと同等であることから、J E A G 4 6 0 1 に記載の横形ポンプの動的機能維持評価項目に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 基礎ボルト
- b. 取付ボルト
- c. 軸
- d. 軸受
- e. 摺動部（主ねじ部）
- f. メカニカルシール
- g. 軸継手

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて十分な裕度を有していることを確認している。また、「g. 軸継手」は、軸受がボールベアリングでありサイドスラスト荷重が発生しない構造であるため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受、摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

軸の許容応力はその他のポンプの許容応力状態Ⅲ A S に準拠し設定する。また、摺動部（主ねじ部）については主ねじとスリーブ間隙間、軸受については軸受の許容荷重値（許容面圧）、メカニカルシールについてはシール回転環の変位可能寸法を評価基準値として設定する。

部位毎の評価基準値を記載する。

4.3.3 記号の説明

〇〇〇〇ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点 A までの距離 ($=\ell_2$)	mm
A_R	ラジアル荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_S	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
b	軸端から支点 B までの距離	mm
C_H	水平方向震度	—
C_V	鉛直方向震度	—
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 ($=9.80665$)	m/s^2
I_1	軸最小径での断面二次モーメント	mm^4
I_2	シール面軸径での断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	軸端から支点 A までの距離 ($=a$)	mm
M	最大曲げモーメント (M_A , M_B の大なる方)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_0	軸受総質量	kg
M_A	支点 A の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_B	支点 B の曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min^{-1}
P	原動機出力	kW
P_R	ラジアル荷重による軸受の面圧	MPa
P_S	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
T	軸に作用するねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N
W_1	地震力を考慮した軸端部荷重	N
W_2	軸受にかかる通常運転時荷重	N
W_R	軸受にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
δ_1	摺動部 (主ねじ部) における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面における軸のたわみ量	mm
π	円周率	—
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 軸

軸の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のねじりと曲げの組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が、その許容応力値を下回ることを確認する。

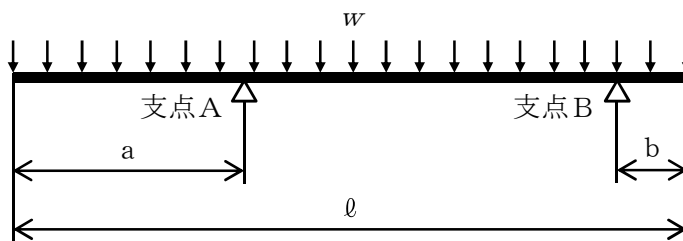


図 4-1 軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力 τ_{max} は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.1)$$

ここで、ねじりモーメント T は

$$T = M_P \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.2)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots \dots \dots (4.3.4.3)$$

(1 kW = 10^6 N・mm/s)

支点 A の曲げモーメント M_A は

$$M_A = - \frac{w \cdot a^2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.4)$$

支点 B の曲げモーメント M_B は

$$M_B = - \frac{w \cdot b^2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.5)$$

ここで、地震力を考慮した等分布荷重 w は

$$w = \frac{m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2}}{\ell} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.6)$$

(2) 軸受

軸受の評価は、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. ラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_R = \frac{W_R}{A_R} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.7)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_R は

$$W_R = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.8)$$

b. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧は次式で求める。

$$P_S = \frac{W_S}{A_S} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.9)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 W_S は

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot C_H + W_2 \quad \dots \dots \dots (4.3.4.10)$$

(3) 摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し、発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

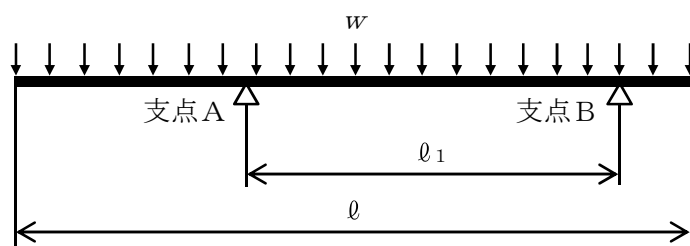


図 4-2 摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量 δ_1 は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot \ell_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot \ell_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1} \quad \dots \dots (4.3.4.11)$$

(4) メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し、発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

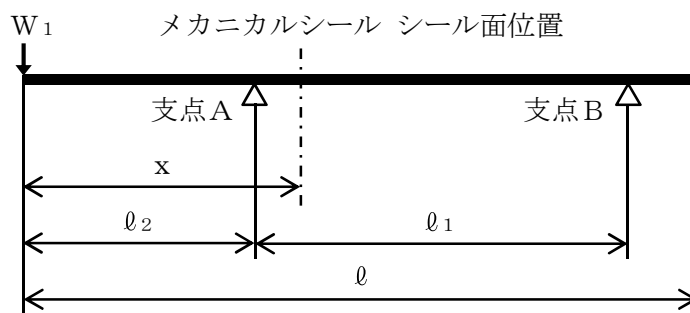


図 4-3 メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量 δ_2 は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot \ell_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left\{ \frac{x^3}{\ell_2^3} - \frac{3 \cdot (\ell_1 + \ell_2)}{\ell_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot \ell_1}{\ell_2} + 2 \right\} - \frac{W_1 \cdot (x - \ell_2)^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.12)$$

ここで、地震力を考慮した軸端部荷重 W_1 は

$$W_1 = m_0 \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \quad \dots \dots \dots (4.3.4.13)$$

4.4 原動機の動的機能維持評価

原動機について詳細評価が必要な場合は、ポンプ本体と同様に「評価対象部位」、「評価基準値」、「記号の説明」、「評価方法」について記載する。

〇〇〇〇ポンプ用原動機は、地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (単位: $\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【〇〇〇〇ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価 ← 動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	S	取水エリア EL. 8.5 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	CH=1.49	CV=0.67	CV=0.67	CH=2.96	CV=1.33	C _P =0.11	40	50

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.1.2 機器要目

*3: III_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϕ_{1i} (mm)		ϕ_{2i} (mm)		n_i	n_{fi}	
			弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	124	230	130	130	130	130	4	2	2
ポンプ取付ボルト ($i=2$)	62	125	21	21	119	119	4	2	2
原動機取付ボルト ($i=3$)	37	100	80	70	80	70	4	2	2

III_ASの評価を S_s で実施する場合は「—」とする。

部材	A_{bi} (mm ²)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_P (N・mm)	
						弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	113.1 (M12)	241 ^{*2} (径 ≤ 16 mm)	394 ^{*2} (径 ≤ 16 mm)	241	276	軸直角	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト ($i=2$)	201.1 (M16)	245 ^{*1} (径 ≤ 16 mm)	400 ^{*1} (径 ≤ 16 mm)	245	280	軸	軸	—	—
原動機取付ボルト ($i=3$)	78.54 (M10)	241 ^{*2} (径 ≤ 16 mm)	394 ^{*2} (径 ≤ 16 mm)	241	276	軸直角	軸	1.167 $\times 10^4$	—

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

転倒方向が同じときは、1つにする。

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	793.7	1.785 × 10 ³	1.946 × 10 ³	3.733 × 10 ³
ポンプ取付ボルト (i = 2)	424.3	947.0	972.8	1.867 × 10 ³
原動機取付ボルト (i = 3)	197.9	437.7	580.6	1.114 × 10 ³

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS41	引張り	σ _{b1} = 7	f _{ts1} = 180	σ _{b1} = 16	f _{ts1} = 207
		せん断	τ _{b1} = 5	f _{sb1} = 139	τ _{b1} = 9	f _{sb1} = 159
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	σ _{b2} = 3	f _{ts2} = 183	σ _{b2} = 5	f _{ts2} = 210
		せん断	τ _{b2} = 2	f _{sb2} = 141	τ _{b2} = 3	f _{sb2} = 161
原動機取付ボルト	SS41	引張り	σ _{b3} = 3	f _{ts3} = 180	σ _{b3} = 6	f _{ts3} = 207
		せん断	τ _{b3} = 2	f _{sb3} = 139	τ _{b3} = 4	f _{sb3} = 159

注記 *：基準地震動 S_s による算出値

すべて許容応力以下である。

Ⅲ A S の評価を S_s で実施する場合は「－」とする。

Ⅲ A S の評価を S_s で実施した場合は、算出応力値に「＊」を付記し、注記で説明する。

1.2 動的機能維持評価 ← 動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目とする。

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	スクリー式	4	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	C _H =4.5	C _V =3.0	C _P =0.11	40	20

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用 原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	C _H =4.5	C _V =3.0	C _P =0.11	40	20

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2.2 機器要目

m0 (kg)	φ (mm)	φ1 (mm)	φ2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)
6.4	449	324.5	109.5	109.5	15	35	170

A R (mm ²)	A S (mm ²)	E (MPa)	I 1 (mm ⁴)	I 2 (mm ⁴)	N (min ⁻¹)	W 2 (N)
0.15	0.15	201000	3.472×10 ⁴	1.257×10 ⁵	1800	14.71

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (単位: ×9.8m/s²)

	評価用加速度		機能確認済加速度
	水平方向	鉛直方向	
ポンプ	1.60	0.69	—
原動機	1.60	4.7	—
	0.69	1.0	—

ポンプは、本文 4.3.1 項に基づき、以下の項目について評価する。

原動機は、評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

原動機について、機能確認済加速度を超えている時は、「原動機は、〇〇方向の応答加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。」と記載し、以降詳細評価結果を記載する。

- 1.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価
- 1.2.3.2.1 代表評価項目の評価
- 基礎ボルト、取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

(単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
軸	9	513

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：MPa)			
評価部位	荷 重	発生面圧	許容面圧
軸 受	ラジアル	2.520×10^3	4.197×10^3
	スラスト	1.981×10^3	4.197×10^3

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3 摺動部（主ねじ）の評価

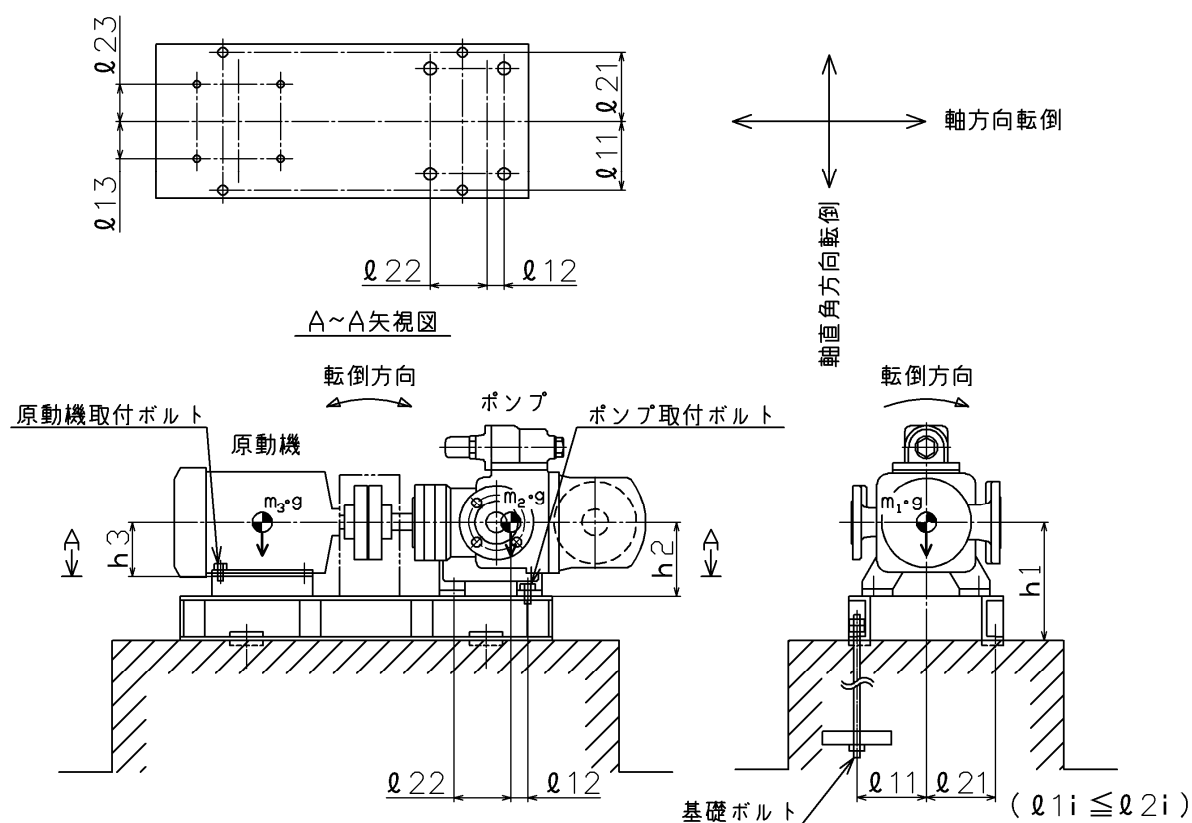
(単位：mm)		
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ）	0.023	0.025

すべてスリーブ間隙間以下である。

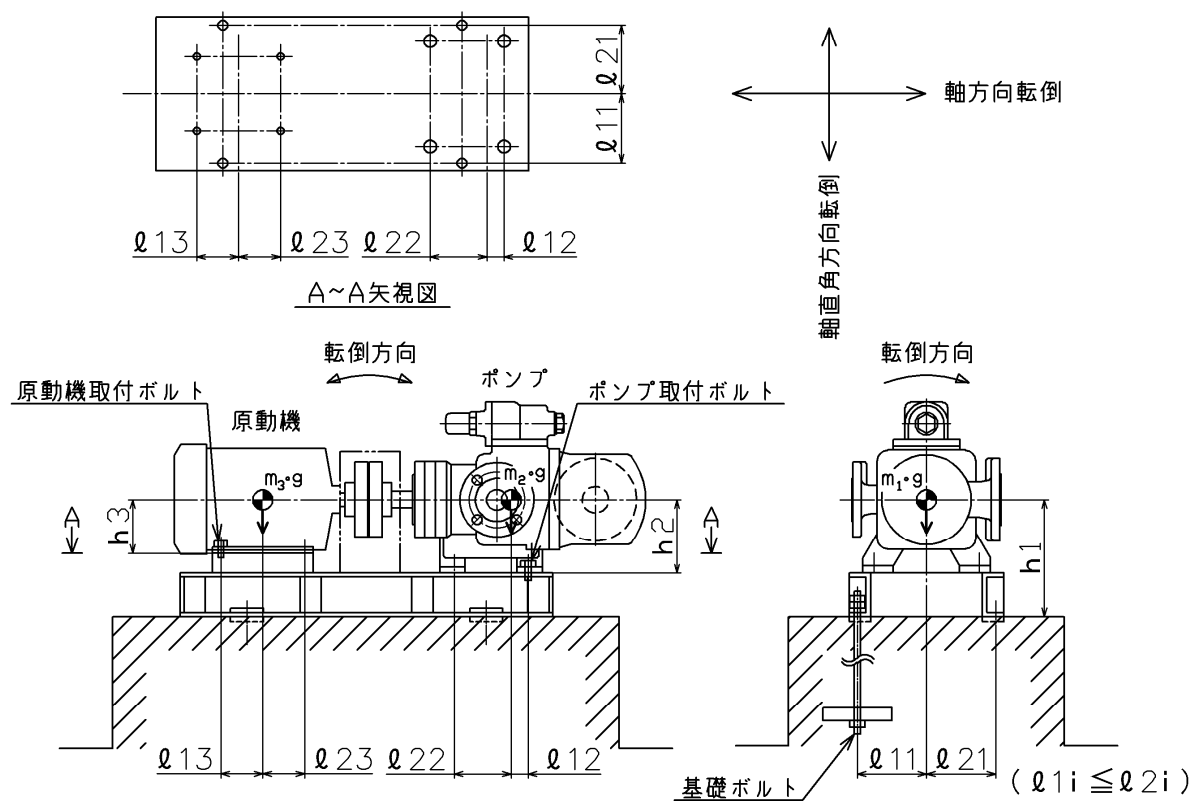
1.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価

(単位：mm)		
評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	0.014	3

すべて変位可能量以下である。



【弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合】



【基準地震動 S_s の場合】

【〇〇〇〇ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

2.1.1 設計条件

機 器 名 称	設 備 分 類	据 付 場 所 及 び 床 面 高 さ (m)	固 有 周 期 (s)		弾 性 設 計 用 地 震 動 S _d 又 は 静 的 震 度		基 準 地 震 動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水 平 方 向	鉛 直 方 向	水 平 方 向	鉛 直 方 向	水 平 方 向	鉛 直 方 向			
〇〇〇〇ポンプ	常設/防止	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	—	—	C _H =2.96	C _V =1.33	C _P =0.11	40	50

注記 *1：基準床レベルを示す。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.1.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	θ _{1i} (mm)		θ _{2i} (mm)		n _i	n _{fi}	
			弾性設計用 地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用 地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	124	230	—	130	—	130	4	—	2
ポンプ取付ボルト (i = 2)	62	125	—	21	—	119	4	—	2
原動機取付ボルト (i = 3)	37	100	—	70	—	70	4	—	2

部 材	A _{bi} (mm ²)	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)	
						弾性設計用 地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	113.1 (M12)	241*2 (径 ≤ 16mm)	394*2 (径 ≤ 16mm)	—	276	—	軸直角	—	—
ポンプ取付ボルト (i = 2)	201.1 (M16)	245*1 (径 ≤ 16mm)	400*1 (径 ≤ 16mm)	—	280	—	軸	—	—
原動機取付ボルト (i = 3)	78.54 (M10)	241*2 (径 ≤ 16mm)	394*2 (径 ≤ 16mm)	—	276	—	軸	—	—

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、
該当する強度区分を記載する。(S_uも同様)

予想最大振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)	原動機出力 (kW)
H _P = 60	N = 1800	P = 2.2

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基 礎 ボ ル ト (i =1)	—	1.785×10 ³	—	3.733×10 ³
ポンプ取付ボルト (i =2)	—	947.0	—	1.867×10 ³
原動機取付ボルト (i =3)	—	437.7	—	1.114×10 ³

2.1.4 結論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基 礎 ボ ル ト	SS41	引張り	—	—	σ _{b1} = 16	f _{ts1} = 207
		せん断	—	—	τ _{b1} = 9	f _{sb1} = 159
ポンプ取付ボルト	SS41	引張り	—	—	σ _{b2} = 5	f _{ts2} = 210
		せん断	—	—	τ _{b2} = 3	f _{sb2} = 161
原動機取付ボルト	SS41	引張り	—	—	σ _{b3} = 6	f _{ts3} = 207
		せん断	—	—	τ _{b3} = 4	f _{sb3} = 159

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

動的機能維持の詳細評価が必要な場合のみ本項目を追加する。

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ	スクリー式	4	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	C _H =4.5	C _V =3.0	C _P =0.11	40	20

注記 *1：基準床レベルを示す。← 設計震度をとっている床レベルを記載する。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
〇〇〇〇ポンプ用 原動機	横形ころがり 軸受電動機	2.2	取水エリア EL. 8.5*1	—*2	—*2	C _H =4.5	C _V =3.0	C _P =0.11	40	20

注記 *1：基準床レベルを示す。← 設計震度をとっている床レベルを記載する。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2.2 機器要目

m 0 (kg)	φ (mm)	φ 1 (mm)	φ 2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x (mm)
6.4	449	324.5	109.5	109.5	15	35	170

A R (mm ²)	A S (mm ²)	E (MPa)	I 1 (mm ⁴)	I 2 (mm ⁴)	N (min ⁻¹)	W 2 (N)
0.15	0.15	201000	3.472×10 ⁴	1.257×10 ⁵	1800	14.71

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度		機能確認済加速度
		水平方向	鉛直方向	
ポンプ	水平方向	1.60	—	—
	鉛直方向	0.69	—	—
原動機	水平方向	1.60	4.7	4.7
	鉛直方向	0.69	1.0	1.0

ポンプは、本文 4.3.1 項に基づき、以下の項目について評価する。
原動機は、評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

原動機について、機能確認済加速度を超えている時は、「原動機は、〇〇方向の応答加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。」と記載し、以降詳細評価結果を記載する。

2.2.3.2 スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

(単位：MPa)		
評価部位	発生応力	許容応力
軸	9	513

すべて許容応力以下である。

(単位：MPa)			
2.2.3.2.2.2 軸受の評価			
評価部位	荷 重	発生面圧	許容面圧
軸 受	ラジアル	2.520×10^3	4.197×10^3
	スラスト	1.981×10^3	4.197×10^3

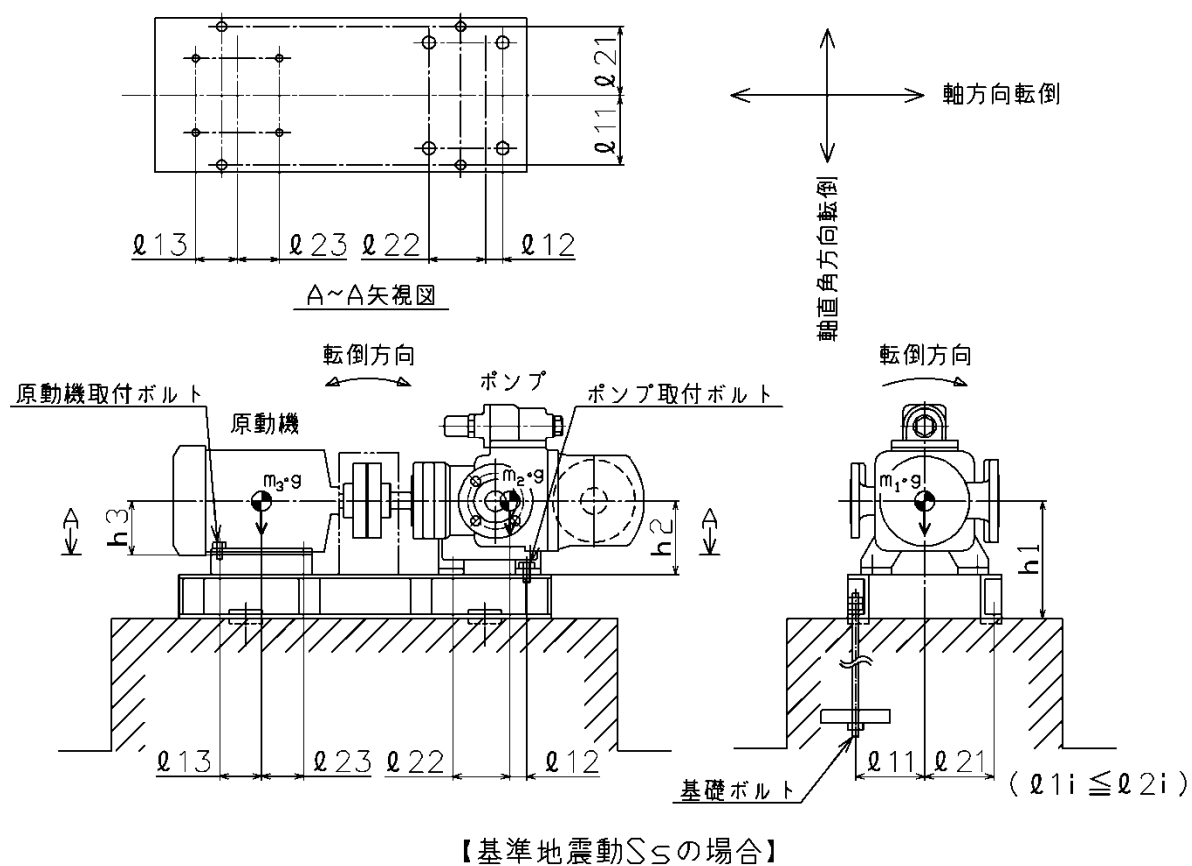
すべて許容面圧以下である。

(単位：mm)		
2.2.3.2.2.3 摺動部（主ねじ）の評価		
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ）	0.023	0.025

すべてスリーブ間隙間以下である。

(単位：mm)		
2.2.3.2.2.4 メカニカルシールの評価		
評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	0.014	3

すべて変位可能量以下である。



添付資料－5：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(Aパターンの耐震計算書記載例)

V-〇-〇-〇 〇〇〇〇熱交換器の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
4.3 設計用地震力	18
4.4 解析モデル及び諸元	19
4.5 固有周期	21
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	43
4.8 応力の評価	43
5. 評価結果	45
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	45
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	45
6. 引用文献	45

必要な場合、記載する。

・DB + SA の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、〇〇〇〇熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇熱交換器は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。

以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇熱交換器の構造計画を表2-1に示す。

・DB + SAの場合の記載例を示す。

〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴を4個のラグで支持し、ラグをそれぞれ架台に取り付けボルトで取り付ける。	水室、管板、胴を有する中間支持たて置円筒形容器	

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図にする。

2.2 評価方針

〇〇〇〇熱交換器の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す〇〇〇〇熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 解析モデル及び諸元」及び「4.5 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

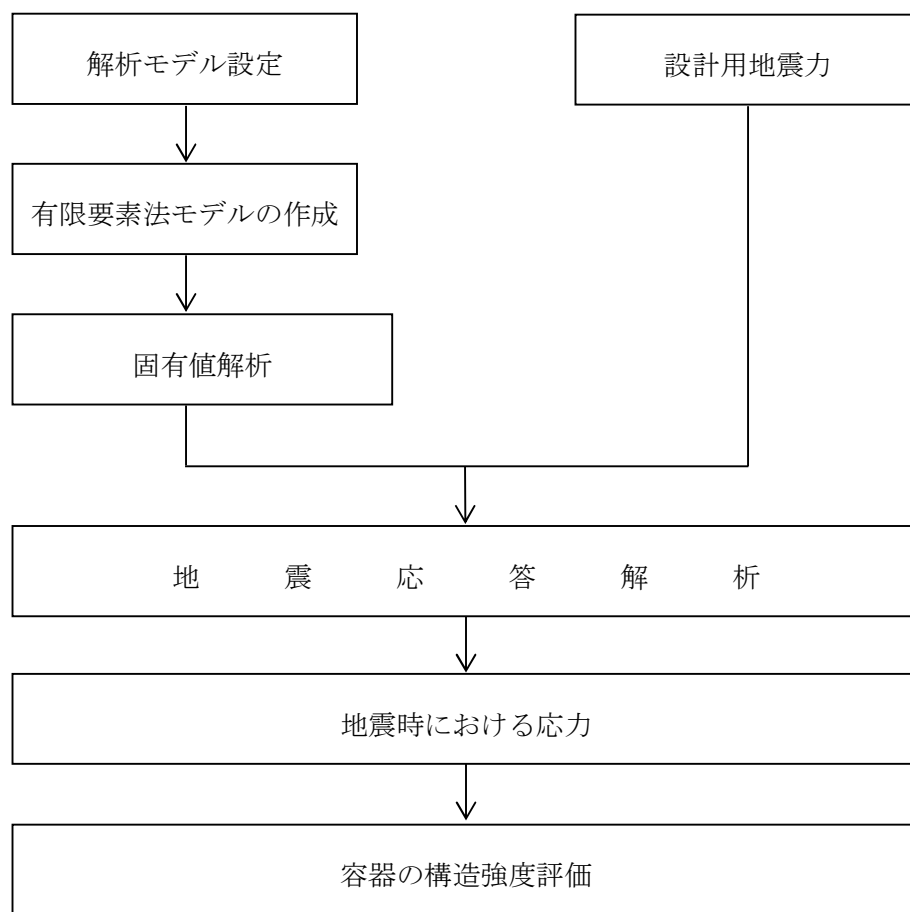


図 2-1 〇〇〇〇熱交換器の耐震評価フロー

ポンプ、ブロワ及びファン等で振動等を考慮する必要がある設備に対しては、フロー図に「機械的荷重」を記載する。
なお、記載する場所は、「計算書作成の基本方針」を参照する。

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1－1987及びJ E A G 4 6 0 1－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

基礎ボルトの応力計算を基礎ボルトの有効断面積で行う場合は, 以下の注記とする。

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007）及び（設計・建設規格（2012 年版） J S M E S N C 1－2012）（日本機械学会 2007 年 9 月及び 2012 年 12 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_{be}	基礎ボルトの有効断面積	mm^2
A_{s1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
A_{s2}	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
a	ラグの半径方向端面から胴板の厚さの中心までの距離	mm
b	ラグの半径方向端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
C_1	ラグの胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_2	ラグの胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値） （ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
$C_{\ell j}$	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値） （ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
c	基礎端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
D_i	胴の内径	mm
d	基礎ボルト中心間の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_b	基礎ボルトの縦弾性係数	MPa
e	ラグ底板幅の2分の1	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	F 値を求める際において，設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_0	振動モデル系における水平力	N
F_1	振動モデル系の上部重心における水平力	N
F_2	振動モデル系の下部重心における水平力	N
F_{01}	運転時質量により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{01D}	鉛直下向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{01U}	鉛直上向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{01V}	鉛直方向地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{02}	運転時質量により基礎端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{11}	水平力 F_1 及び F_2 により第1ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{12}	水平力 F_1 及び F_2 により第1ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{21}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{22}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N

記 号	記 号 の 説 明	単 位
F_{31}, F_{32}	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力（図4-6に示す鉛直方向反力）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	ラグの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H_1	ラグのアタッチメント中心より上部重心までの距離	mm
H_2	ラグのアタッチメント中心より下部重心までの距離	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K_c	胴のラグ付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 （引用文献(1)より得られる値）	—
K_ℓ	胴のラグ付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 （引用文献(1)より得られる値）	—
k_c, k_ℓ	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
L_b	ボルトの有効長さ	mm
M_1, M_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_3	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部のねじりモーメント	N・mm
M_b	水平力 F_1 及び F_2 による転倒モーメント（解析より得られる値）	N・mm
M_c	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の周方向モーメント	N・mm
M_ℓ	運転時質量による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M^{\ell D}$	鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M^{\ell U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M^{\ell V}$	鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_1	ラグのアタッチメント中心より上部の運転時質量	kg
m_2	ラグのアタッチメント中心より下部の運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	ラグ1個当たりの基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa

基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は, S_u , S_y , $S_y(RT)$ の記号の説明に注記符号「*1, *2」を付し, 下記注記を本表の末尾表外に記載する。

注記*1: 基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は, 設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第1章 表7に定める値

*2: 基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は, 設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第1章 表6に定める値

記 号	記 号 の 説 明	単 位
Q	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の周方向荷重 (解析より得られる値)	N
R	運転時質量によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_1	水平力 F_1 及び F_2 によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_D	鉛直下向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_U	鉛直上向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_v	鉛直方向地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
r_m	胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*1	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*2	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値*2	MPa
T_1	固有周期 (1次)	s
T_2	固有周期 (2次)	s
T_3	固有周期 (3次)	s
t	胴の厚さ	mm
Z_{sp}	ラグのねじり断面係数	mm ³
$Z_{s\ell}$	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm ³
$\beta, \beta_1, \beta_2,$ β_c, β_1	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
ε	拘束係数 (ラグの回転を拘束する場合: 1, ラグの回転を拘束しない場合: 0)	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	水平力 F_1 及び F_2 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_0	運転時質量による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_{0U}	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_1	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第1ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第3ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの周方向ねじれ角	rad
θ_{s0}	運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s0U}	鉛直上向き地震力によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s1}	水平力 F_1 及び F_2 による第1ラグの基礎に対する傾き角	rad

記 号	記 号 の 説 明	単 位
θ_{s2}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの基礎に対する傾き角	rad
π	円周率	—
σ_0	胴の一次一般膜応力最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{11} \sim \sigma_{16}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{17} \sim \sigma_{110}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{26}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{27} \sim \sigma_{210}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力の変動値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1} \sim \sigma_{b3}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}, σ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{1s} \sim \sigma_{3s}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_{4s}, σ_{5s}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_s	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s2} \sim \sigma_{s4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s5}, σ_{s6}	水平方向地震力（X方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s7}	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{xx1} \sim \sigma_{xx6}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1} \sim \sigma_{\phi x6}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{\phi z 1} \sim \sigma_{\phi z 4}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2 x x 1} \sim \sigma_{2 x x 4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{2 x z 1} \sim \sigma_{2 x z 6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{2 \phi x 1} \sim \sigma_{2 \phi x 4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{2 \phi z 1} \sim \sigma_{2 \phi z 6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x 1}$	内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{x 2}$	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x 3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{x 4}$	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x 5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2 \phi 5}, \sigma_{2 x 5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 6}, \sigma_{x 6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2 \phi 6}, \sigma_{2 x 6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 7}, \sigma_{x 7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2 \phi 7}, \sigma_{2 x 7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x 8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2 \phi 8}, \sigma_{2 x 8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x 9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 9}, \sigma_{2x 9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x 10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 10}, \sigma_{2x 10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{x 11}$	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{\phi 12D}, \sigma_{x 12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12U}, \sigma_{x 12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12}, \sigma_{x 12}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12D}, \sigma_{2x 12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12U}, \sigma_{2x 12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12}, \sigma_{2x 12}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
τ_3	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4}, τ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
τ_{ℓ_1}	運転時質量により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{ℓ_2}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{ℓ_5}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell_6 D}$	鉛直下向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell_6 U}$	鉛直上向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{ℓ_6}	鉛直方向地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s2} \sim \tau_{s4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s5}, τ_{s6}	水平方向地震力（X方向）によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s7}	鉛直方向地震力によるラグのせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積 ^{*2}		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記注記を追記する。なお、その際に上記注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。

*2：ボルトの有効断面積は、J I S B 1 0 8 2 表1に記載の値とする。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
 複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

3. 評価部位

〇〇〇〇熱交換器の耐震評価は、↓「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴板、ラグ、基礎ボルトについて実施する。〇〇〇〇熱交換器の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 容器及び内容物の質量はラグの中心を基準にして、上部側、下部側に分け、それぞれの全質量が、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として、強度評価において組合せるものとする。なお、基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組合せるものとする。
- (3) 容器の胴は4個のラグで支持され、ラグはそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。
- (4) 水平方向は、胴をはりと考え、変形モードは胴の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の鉛直方向は剛とみなす。
- (5) 胴板とラグとの取付部において胴板の局部変形を考慮する。
- (6) ラグは、胴の半径方向にスライド可能とし、半径方向の荷重は受けもたないものとする。また、円周方向の荷重に対しては、基礎ボルト間の中心を軸とする回転方向に自由度を有しているものとする。
- (7) 容器は耐震補強サポートによって、管板部を支持されるものとする。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

〇〇〇〇熱交換器の許容応力を表4-3～表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇熱交換器の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

・DB+S Aの場合の記載例を示す。
 [DB単独又はS A単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
残留熱除去 系統施設	残留熱除去 設備	〇〇〇〇 熱交換器	S	クラス3 容器 [*]	$D + P_D + M_D + S_d^{**}$	Ⅲ _A S
	系統施設				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記

*：クラス3 容器の支持構造物を含む。

*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。

Ⅲ_A Sの評価でS_sを組合せる場合は
「S_d^{**2}」とし、注記で説明する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
残留熱除去 系統施設	残留熱除去 設備	〇〇〇〇 熱交換器	常設／防止	管側 重大事故等 クラス2 容器 ^{*3}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
	系統施設			胴側 ^{*2} 重大事故等 クラス3 容器	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス3 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

・DB+SAの場合を示す。
〔・DB単独の場合は、許容応力（クラス2，3 容器）
・SA単独の場合は、許容応力（重大事故等クラス2 容器）とする。〕

表4-3 許容応力（クラス2，3 容器及び重大事故等クラス2 容器）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2}		
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5 倍の値	^{*3} 弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。
Ⅳ _A S			
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5 倍の値	^{*3} 基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。

注記 *1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：2・S_yを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

DB+SAの場合はV_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

・DB+S Aの場合を示す。
〔・DB単独の場合は、許容応力（クラス2，3支持構造物）
・S A単独の場合は、許容応力（重大事故等クラス2支持構造物）とする。〕

表4-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)
	一次応力	一次応力
	組合せ	引張り せん断
Ⅲ _A S	1.5・f _t	1.5・f _t 1.5・f _s
Ⅳ _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる)		1.5・f _s [*]

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB+S Aの場合はV_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に
該当する場合は記載する。

表 4-5 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SGV480	最高使用温度	85	242	441	—
ラゲ	SM400A	周囲環境温度	66	199	377	—
基礎ボルト	SCM435	周囲環境温度	66	730	868	—

該当しない場合は、
“—” とする。

表 4-6 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SGV480	最高使用温度	85	242	441	—
ラゲ	SM400A	周囲環境温度	66	199	377	—
基礎ボルト	SCM435	周囲環境温度	66	730	868	—

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に
該当する場合は記載する。

添付資料－9「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき見直す。
 (本件の場合は、(5)DB/SA 兼用：剛な場合)

4.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-7及び表4-8に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
S	原子炉建屋 EL. 23.8 ^{*1}	0.029	0.024	$C_H=1.12^{*2}$	$C_V=0.83^{*2}$	$C_H=2.05^{*3}$	$C_V=1.56^{*3}$

注記 *1:基準床レベルを示す。

*2:弾性設計用地震動 S d 又は静的震度と同等以上の設計震度

*3:基準地震動 S s の震度と同等以上の設計震度

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
－(S s)	原子炉建屋 EL. 23.8 ^{*1}	0.029	0.024	－	－	$C_H=2.05^{*2}$	$C_V=1.56^{*2}$

注記 *1:基準床レベルを示す。

*2:基準地震動 S s の震度と同等以上の設計震度

S A 単独の計算書の場合は記載不要

4.4 解析モデル及び諸元

〇〇〇〇熱交換器の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-9に示す。

- (1) 熱交換器本体をはり要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 熱交換器本体を2質点系振動モデルとして考える。
- (3) 計算機コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「付録17 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV」に示す。

- (4) 拘束条件は、〇〇部を完全拘束とする。

【(4) 拘束条件として、基礎部の〇〇方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。】

(記載例)

拘束条件（基礎（据付）ボルト含む。）を記載する。
 なお、基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は、「なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。

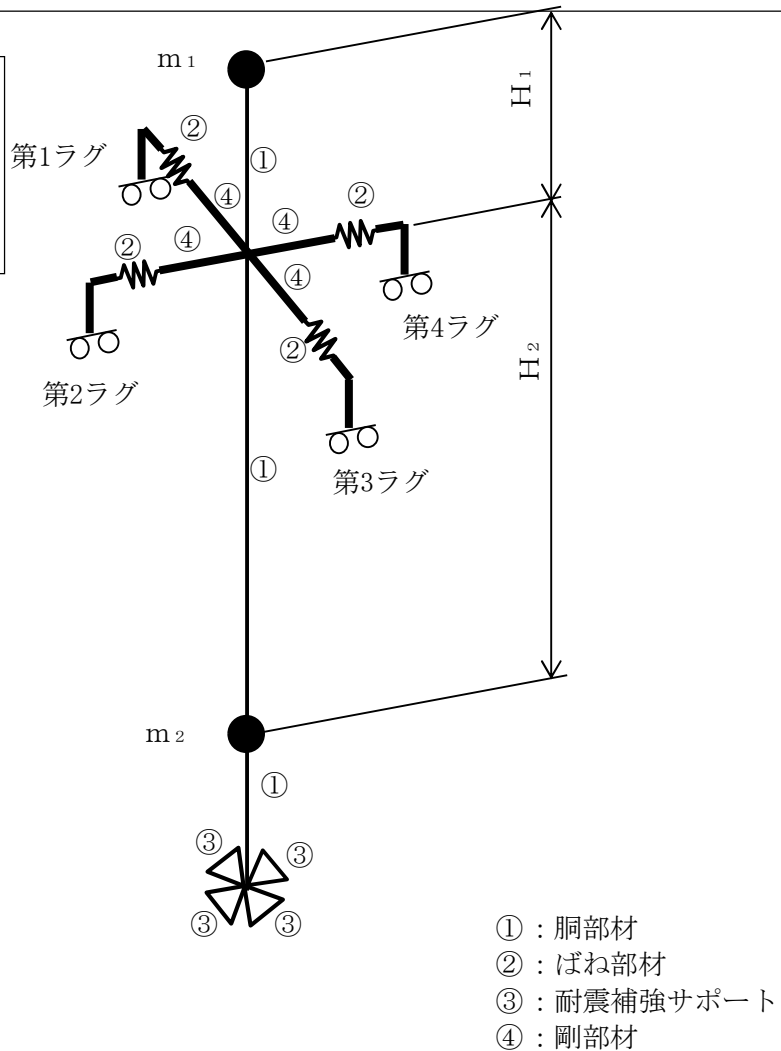


図4-1 解析モデル

表4-9 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	〇〇〇
質量	m	kg	〇〇〇
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	〇〇
縦弾性係数	E	MPa	〇〇〇〇〇〇
ポアソン比	ν	—	〇.〇
要素数	—	個	〇〇〇〇
節点数	—	個	〇〇〇〇



解析に使用する諸元を記載する。
 物性値（縦弾性係数等）はモデル化した材料が複数あれば
 それごとに記載する。
 （ボルトをモデル化しているなら、ボルトの物性値を記載する。）

4.5 固有周期

計算機コード「S A P -IV」により求めた固有値解析の結果を表4-10に示す。

表4-10 固有周期 (s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	$T_1=0.029$
2次	水平	$T_2=0.029$
3次	鉛直	$T_3=0.024$



柔構造の場合は，振動モード図を記載する。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 胴の計算方法

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(2) 運転時質量による応力

運転時質量による「 $m_o \cdot g$ 」及び「 $m_o \cdot g \cdot C_v$ 」は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 11} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

(3) 運転時質量による胴のラグ付け根部の応力

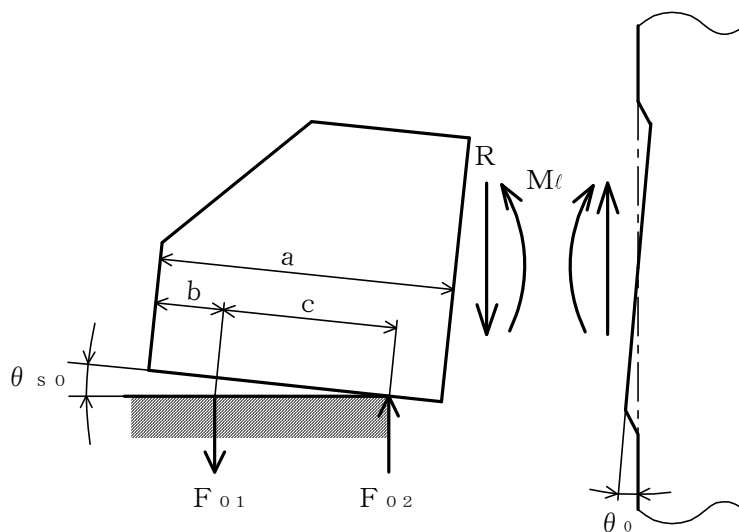


図4-2 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量 m_o による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R - m_o \cdot g = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

上式を変形して

$$R = \frac{m_o \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

また、ラグについて図4-2のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{o2} \cdot (a - b - c) - F_{o1} \cdot (a - b) - M_\ell = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

$$F_{o2} - F_{o1} - R = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

(4.6.1.1.8) 式へ (4.6.1.1.9) を代入して

$$F_{o1} = \frac{R \cdot (a - b - c) - M_\ell}{c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.10)$$

運転時質量によるラグの局部傾き角は

$$\theta_o = \frac{M_\ell \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.11)$$

運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角は

$$\theta_{so} = \frac{F_{o1} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.12)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_o とラグの傾き角 θ_{so} は等しいから

$$\theta_o = \theta_{so} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.13)$$

(4.6.1.1.13) 式へ (4.6.1.1.11) 式及び (4.6.1.1.12) 式を代入して得られる F_{o1} の式と (4.6.1.1.10) 式より、胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメントを次式で求める。

運転時質量による「 $m_o \cdot g$ 」は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$M_\ell = \frac{R \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_\ell \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.14)$$

ここで、 K_ℓ は、引用文献(1)に基づく胴のラグ付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数であり、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.15)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.16)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.17)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.18)$$

$$\beta = k_\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.19)$$

鉛直方向曲げモーメント M_ℓ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.20)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.21)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.22)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.23)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより、次式で求める。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_\ell} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.25)$$

反力 R によるせん断応力は

$$\tau_{\ell 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.26)$$

(4) 鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力は、下記 (a) 項及び (b) 項より得られる $\sigma_{\phi 12D}$ 、 $\sigma_{\phi 12U}$ 、 $\sigma_{x 12D}$ 、 $\sigma_{x 12U}$ 、 $\sigma_{2\phi 12D}$ 、 $\sigma_{2\phi 12U}$ 、 $\sigma_{2x 12D}$ 、 $\sigma_{2x 12U}$ 、 $\tau_{\ell 6D}$ 、 $\tau_{\ell 6U}$ を用いて下記のように求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 12} = \max \left[\left| \sigma_{\phi 12D} \right|, \left| \sigma_{\phi 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.27)$$

$$\sigma_{x 12} = \max \left[\left| \sigma_{x 12D} \right|, \left| \sigma_{x 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.28)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 12} = \max \left[\left| \sigma_{2\phi 12D} \right|, \left| \sigma_{2\phi 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.29)$$

$$\sigma_{2x 12} = \max \left[\left| \sigma_{2x 12D} \right|, \left| \sigma_{2x 12U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.30)$$

反力によるせん断応力

$$\tau_{\ell 6} = \max \left[\tau_{\ell 6D}, \tau_{\ell 6U} \right] \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.31)$$

(a) 鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直下向き地震荷重により生じる応力は4.6.1.1(3)で与えられた連立方程式において、 $m_0 \cdot g$ を $m_0 \cdot g \cdot C_v$ に置き換えて解くことにより求められる。
 運転時質量による「 $m_0 \cdot g \cdot C_v$ 」は、図4-1図に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$R_D = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{4} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.32)$$

$$M_{\ell D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.33)$$

$$F_{01D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c) - M_{\ell D}}{c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.34)$$

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell D}$ により生じる周方向応力及び軸方向応力はシェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより、次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 12D} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 12D} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 212D} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 212D} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell D}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.38)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に k_{ℓ} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.39)$$

反力 R_D によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 16D} = \frac{R_D}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.40)$$

(b) 鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直上向き地震力 $(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g$ による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R_U - (C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.41)$$

また、ラグについて図4-3のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02U} \cdot a - F_{01U} \cdot (a - b) + M_{\ell U} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.42)$$

$$F_{02U} - F_{01U} + R_U = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.43)$$

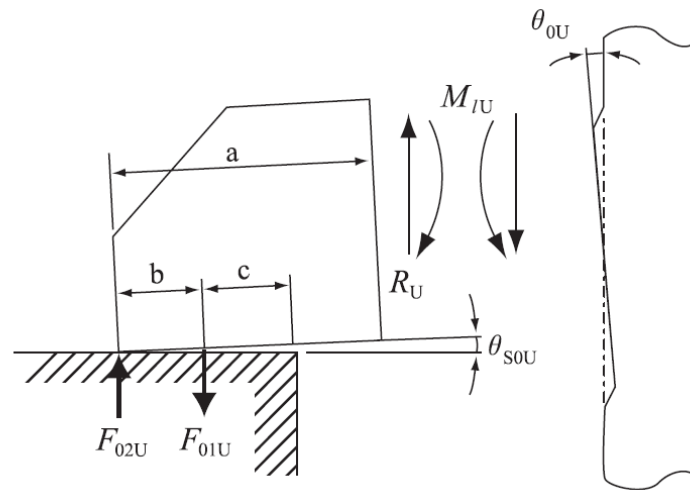


図4-3 鉛直上向き荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} は、

$$\theta_{0U} = \frac{M_{\ell U} \cdot K_{\ell}}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.44)$$

ラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0U} は

$$\theta_{s0U} = \frac{F_{01U} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.45)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} とラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0} は等しいから

$$\theta_{0U} = \theta_{s0U} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.46)$$

以上の式を連立させて解くことにより R_U , $M_{\ell U}$, F_{01U} は次式で求める。
鉛直方向上向きによる「 $(C_V - 1) m_o \cdot g$ 」は、図4-1図に示す解析モデル
について計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

$$R_U = \frac{(C_V - 1) m_o \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.47)$$

$$M_{\ell U} = \frac{R_U \cdot a}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot b^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.48)$$

$$F_{01U} = \frac{-R_U \cdot a + M_{\ell U}}{b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.49)$$

鉛直上向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell U}$ により生じる周方向応力及び
軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} によって引用文
献(2)の表より値を求める（以下、*を付記する）ことによって、次式で求められる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 12U} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 12U} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.51)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 12U} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.52)$$

$$\sigma_{2x 12U} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.53)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} は次式で表される。ただし、二次応力を求
める場合は更に k_{ℓ} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.54)$$

反力 R_U によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 16U} = \frac{R_U}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.55)$$

(5) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x4} = \frac{C_H \cdot m_1 \cdot g \cdot H_1 \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.56)$$

水平方向地震量による「 $C_H \cdot m_1 \cdot g \cdot H_1$ 」は、図4-1図に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用する。

ここで、胴の断面二次モーメント I は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.57)$$

(6) 水平方向地震力（Z方向）による胴のラグ付け根部に作用する荷重及びモーメント

(a) 胴の中心軸の傾きにより作用する荷重及びモーメント

ラグ、基礎ボルト及び胴について荷重、モーメント及び変位量の釣合い条件の方程式を作る。

胴への荷重、モーメント及び胴の変位量について
水平力の釣合いより

$$F_0 = F_1 + F_2 = 2 \cdot Q \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.58)$$

転倒モーメントの釣合より

$$M_b - M_1 - M_2 - 2 \cdot M_3 - 2 \cdot R_1 \cdot r_m = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.59)$$

ここで、 r_m は次式による。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.60)$$

転倒モーメントによる第1ラグ及び第3ラグの胴の付け根部の局部傾き角は

$$\theta_1 = \frac{-M_1 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta \ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.61)$$

$$\theta_2 = \frac{-M_2 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta \ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.62)$$

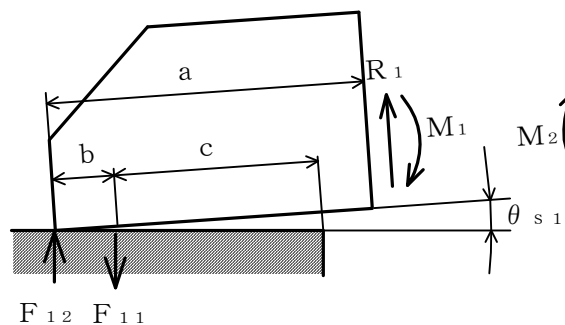


図4-4 第1ラグに作用する
モーメントと力

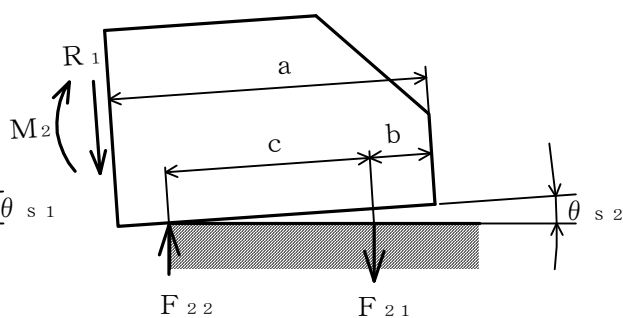


図4-5 第3ラグに作用する
モーメントと力

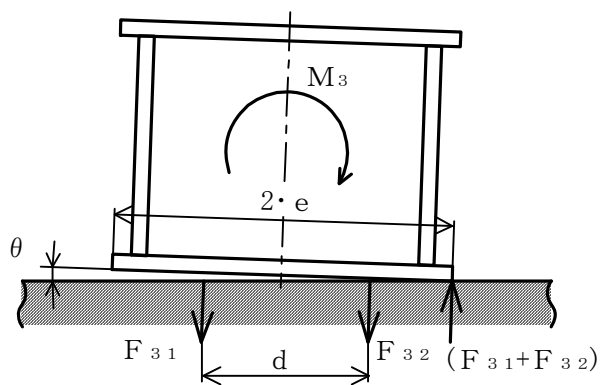


図4-6 第2ラグ及び第4ラグに作用するモーメントと力

第1ラグについて図4-4のように傾いたとき

モーメントの釣合より

$$F_{12} \cdot (a - b - c) - F_{11} \cdot (a - b) + M_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.63)$$

鉛直力の釣合より

$$F_{12} - F_{11} + R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.64)$$

第3ラグについて図4-5のように傾いたとき

モーメントの釣合より

$$F_{21} \cdot (a - b) - F_{22} \cdot a + M_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.65)$$

鉛直力の釣合より

$$F_{22} - F_{21} - R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.66)$$

第2ラグ及び第4ラグについて図4-6のように傾いたとき

モーメントの釣合より

$$-F_{31} \cdot \frac{d}{2} + F_{32} \cdot \frac{d}{2} + (F_{31} + F_{32}) \cdot e + M_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.67)$$

基礎ボルトの伸びと力の関係より

$$\frac{F_{31}}{e - \frac{d}{2}} = \frac{F_{32}}{e + \frac{d}{2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.68)$$

ラグの基礎に対する傾き角は、基礎ボルトの伸びと力の平衡条件により求められる。

第1ラグについて

$$\theta_{s1} = \frac{F_{11} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.69)$$

第3ラグについて

$$\theta_{s2} = \frac{F_{21} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.70)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\theta = \frac{F_{32} \cdot L_b}{A_{be} \cdot E_b \cdot \left(e + \frac{d}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.71)$$

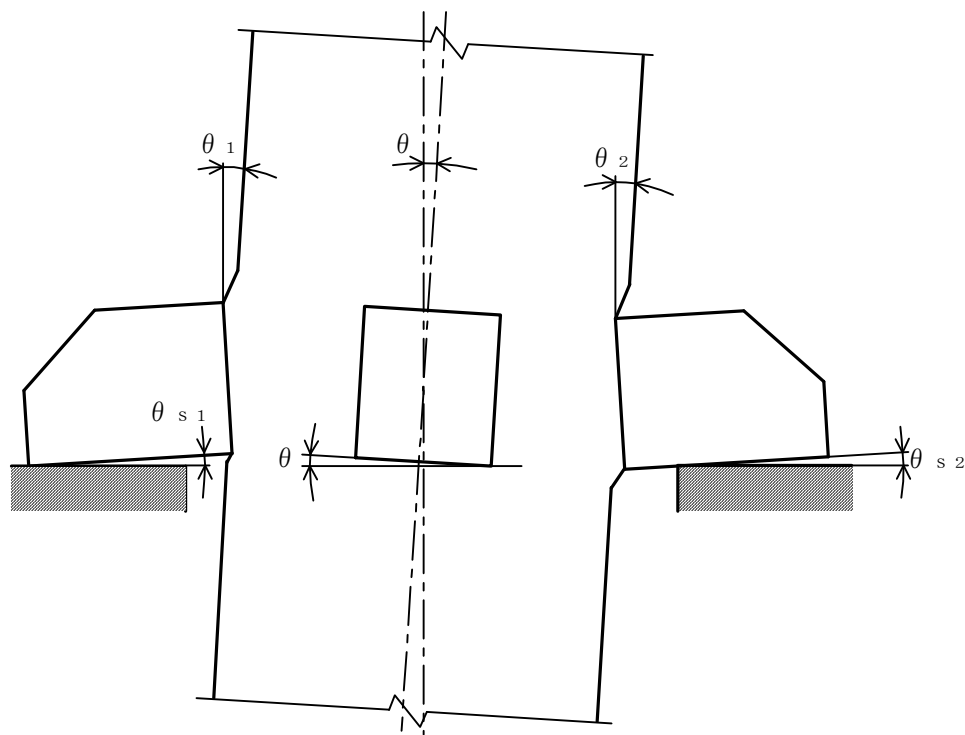


図4-7 転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角

胴中心軸の傾き角 θ ，ラグ付け根部の局部傾き角 θ_1 及び θ_2 並びにラグの基礎に対する傾き角 θ_{s1} 及び θ_{s2} の間には次の関係が成立する。

$$\theta_{s1} - \theta_1 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.72)$$

$$\theta_{s2} - \theta_2 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.73)$$

$$(a - b - c) \cdot \theta_{s1} - 2 \cdot r_m \cdot \theta + a \cdot \theta_{s2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.74)$$

したがって、水平方向地震が作用した場合の転倒モーメント M_b は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用して、15変数 $M_1, M_2, M_3, R_1, \theta_1, \theta_2, F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22}, F_{31}, F_{32}, \theta_{s1}, \theta_{s2}$ 、及び θ を (4.6.1.1.59) 式及び (4.6.1.1.61) 式～ (4.6.1.1.74) 式を連立させて求める。

なお、上記連立方程式で算出した F_{12} が負の場合は、(4.6.1.1.63) 式の左辺第1項の $(a - b - c)$ を $(a - b)$ に、 F_{22} が負の場合は、(4.6.1.1.65) 式の左辺第2項の a を $(a - b)$ に置き換えて再計算する。

(b) 胴の水平方向移動により作用する荷重及びモーメント

(4.6.1.1.58) 式における Q は、図4-1に示す解析モデルについて計算機コード「SAP-IV」を使用して得られる値を使用して、 M_c を次式にて求める。

第2ラグ及び第4ラグの曲げモーメントの釣合いにより

$$M_c = Q \cdot (a - b) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.75)$$

(7) 水平方向地震力 (Z 方向) による胴のラグ付け根部の応力

(6) で求められた鉛直方向モーメント M_1 及び M_2 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は (4.6.1.1.24) 式の $\sigma_{\phi 3}$ 及び (4.6.1.1.25) 式の σ_{x3} と同様にして

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.76)$$

$$\sigma_{x5} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.77)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.78)$$

$$\sigma_{2x5} = \left\{ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.79)$$

一次応力

$$\sigma_{\phi 6} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.80)$$

$$\sigma_{x 6} = \left\{ \frac{N_x}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.81)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 6} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.82)$$

$$\sigma_{2x 6} = \left\{ \frac{M_x}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.83)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に k_{ℓ} を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.84)$$

(5) で求められた周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

一次応力

$$\sigma_{\phi 7} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t} \right) \cdot C_{c 1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.85)$$

$$\sigma_{x 7} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t} \right) \cdot C_{c 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.86)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 7} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.87)$$

$$\sigma_{2x 7} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.88)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_c は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に k_c を乗じた値とする。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.89)$$

(5) で求められた周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{|Q|}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.90)$$

(5) で求められた鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{\ell2} = \frac{|R_1|}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.91)$$

(5) で求められたねじりモーメント M_3 により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{|M_3|}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.92)$$

(8) 水平方向地震力 (X方向) による胴のラグ付け根部の応力

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi8} &= \sigma_{\phi5} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x8} = \sigma_{x5} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi8} &= \sigma_{2\phi5} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x8} = \sigma_{2x5} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

鉛直方向曲げモーメント M_2 により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi9} &= \sigma_{\phi6} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x9} = \sigma_{x6} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi9} &= \sigma_{2\phi6} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x9} = \sigma_{2x6} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi10} &= \sigma_{\phi7} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x10} = \sigma_{x7} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi10} &= \sigma_{2\phi7} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x10} = \sigma_{2x7} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{\ell5} = \tau_{\ell2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメント M_3 による胴のせん断応力は

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2}$$

(9) 組合せ応力

(1)～(8)によって算出される胴のラグ付け根部に生じる応力は以下により組合される。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}] \dots\dots\dots (4.6.1.1.93)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.94)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 1 1}^2 + \sigma_{x 4}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.95)$$

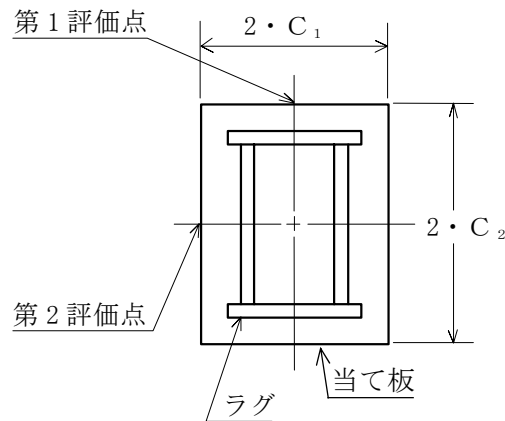


図4-8 胴の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}) \dots\dots\dots (4.6.1.1.96)$$

a) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力

(a) 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 5}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.97)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 5})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.98)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.99)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.100)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.101)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi 22} + \sigma_{x 22} + \sqrt{(\sigma_{\phi 22} - \sigma_{x 22})^2 + 4 \cdot [\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 2}^2}]^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.102)$$

(b) 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi 23} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} \dots\dots\dots (4.6.1.1.103)$$

$$\sigma_{x 23} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} \dots\dots\dots (4.6.1.1.104)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi 23} + \sigma_{x 23} + \sqrt{(\sigma_{\phi 23} - \sigma_{x 23})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.105)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi 24} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 7}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.106)$$

$$\sigma_{x 24} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 7}^2 + \sigma_{x 11}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.107)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi 24} + \sigma_{x 24} + \sqrt{(\sigma_{\phi 24} - \sigma_{x 24})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_3^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.108)$$

(c) 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi 25} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 6}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.109)$$

$$\sigma_{x 25} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 6})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.110)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi 25} + \sigma_{x 25} + \sqrt{(\sigma_{\phi 25} - \sigma_{x 25})^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.111)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi 26} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.112)$$

$$\sigma_{x 26} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 11}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.113)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi 26} + \sigma_{x 26} + \sqrt{(\sigma_{\phi 26} - \sigma_{x 26})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.114)$$

b) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の組合せ一次応力

(a) 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 8}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.115)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.116)$$

$$\sigma_{17} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x1} + \sigma_{xx1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x1} - \sigma_{xx1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c4} + \tau_6)^2} \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.117)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x2} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 10}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.118)$$

$$\sigma_{xx2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x10})^2 + \sigma_{x11}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.119)$$

$$\sigma_{18} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x2} + \sigma_{xx2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x2} - \sigma_{xx2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.120)$$

(b) 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 9}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.121)$$

$$\sigma_{xx3} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x9})^2 + (\sigma_{x11} + \sigma_{x12})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.122)$$

$$\sigma_{19} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x3} + \sigma_{xx3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x3} - \sigma_{xx3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c4} + \tau_6)^2} \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.123)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x4} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 10}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.124)$$

$$\sigma_{xx4} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x10})^2 + \sigma_{x11}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.125)$$

$$\sigma_{110} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x4} + \sigma_{xx4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x4} - \sigma_{xx4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.126)$$

c. 胴の一次＋二次応力の変動値

$$\sigma_2 = \text{Max}(\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}, \sigma_{27}, \sigma_{28}, \sigma_{29}, \sigma_{210}) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.127)$$

a) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる
一次＋二次応力の変動値

(a) 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.128)$$

$$\sigma_{2xz1} = \sqrt{(\sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{2x5})^2 + (\sigma_{x11} + \sigma_{x12} + \sigma_{2x12})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.129)$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{2\phi z 1} + \sigma_{2x z 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 1} - \sigma_{2x z 1})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.130)$$

第2評価点について

$$\sigma_{2\phi z 2} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.131)$$

$$\sigma_{2x z 2} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.132)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi z 2} + \sigma_{2x z 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 2} - \sigma_{2x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6} + \tau_{\ell 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.133)$$

(b) 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 3} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.134)$$

$$\sigma_{2x z 3} = \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.135)$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi z 3} + \sigma_{2x z 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 3} - \sigma_{2x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.136)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 7} + \sigma_{2\phi 7})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.137)$$

$$\sigma_{2x z 4} = \sqrt{(\sigma_{x 7} + \sigma_{2x 7})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.138)$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi z 4} + \sigma_{2x z 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 4} - \sigma_{2x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6} + \tau_3)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.139)$$

(c) 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 5} = \sqrt{(\sigma_{\phi 6} + \sigma_{2\phi 6})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.140)$$

$$\sigma_{2x z 5} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_6 + \sigma_{2x 6})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.141)$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{2\phi z 5} + \sigma_{2x z 5} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 5} - \sigma_{2x z 5})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.142)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.143)$$

$$\sigma_{2x z 6} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.144)$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{2\phi z 6} + \sigma_{2x z 6} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 6} - \sigma_{2x z 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6} + \tau_{\ell 2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.145)$$

- b) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震力のみによる一次＋二次応力の変動値

- (a) 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 8} + \sigma_{2\phi 8})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.146)$$

$$\sigma_{2xx 1} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{2xx 8})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2xx 12})^2} \quad \dots\dots (4.6.1.1.147)$$

$$\sigma_{27} = \sigma_{2\phi x 1} + \sigma_{2xx 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 1} - \sigma_{2xx 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c4} + \tau_6)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.148)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 2} = \sqrt{(\sigma_{\phi 10} + \sigma_{2\phi 10})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.149)$$

$$\sigma_{2xx 2} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{2xx 10})^2 + \sigma_{x 11}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.150)$$

$$\sigma_{28} = \sigma_{2\phi x 2} + \sigma_{2xx 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 2} - \sigma_{2xx 2})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.151)$$

- (b) 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 3} = \sqrt{(\sigma_{\phi 9} + \sigma_{2\phi 9})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.152)$$

$$\sigma_{2xx 3} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{2xx 9})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2xx 12})^2} \quad \dots\dots (4.6.1.1.153)$$

$$\sigma_{29} = \sigma_{2\phi x 3} + \sigma_{2xx 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 3} - \sigma_{2xx 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c4} + \tau_6)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.154)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 10} + \sigma_{2\phi 10})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.155)$$

$$\sigma_{2xx 4} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 10} + \sigma_{2xx 10})^2 + \sigma_{x 11}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.156)$$

$$\sigma_{210} = \sigma_{2\phi x 4} + \sigma_{2xx 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 4} - \sigma_{2xx 4})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.157)$$

4.6.1.2 ラグの計算方法

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{\ell}}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$\tau_{s1} = \frac{R}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s7} = \frac{M_{\ell V}}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

$$\tau_{s7} = \frac{R_V}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

ここで、 $M_{\ell V}$ 、 R_V は4.6.1.1(4) で得られた $M_{\ell D}$ 、 $M_{\ell U}$ 、 R_D 、 R_U を用い

て下式より求める。

$$M_{\ell V} = \max(|M_{\ell D}|, |M_{\ell U}|) \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

$$R_V = \max(|R_D|, |R_U|) \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

(3) 水平方向地震力（Z方向）による応力

第1ラグについて

$$\sigma_{s2} = \frac{|M_1|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

$$\tau_{s2} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.8)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s3} = \frac{|M_c|}{Z_{s\ell}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.9)$$

$$\tau_{s3} = \frac{|M_3|}{Z_{sp}} + \frac{|Q|}{A_{s2}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.10)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{s4} = \frac{|M_2|}{Z_{st}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.11)$$

$$\tau_{s4} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.12)$$

(4) 水平方向地震力（X方向）による応力

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s5} = \frac{|M_1|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.13)$$

$$\tau_{s5} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.14)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{s6} = \frac{|M_2|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{s\ell}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.15)$$

$$\tau_{s6} = \tau_{s5} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.16)$$

(5) 組合せ応力

ラグの最大応力は次式で求める。

$$\sigma_s = \max(\sigma_{1s}, \sigma_{2s}, \sigma_{3s}, \sigma_{4s}, \sigma_{5s}) \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.17)$$

a. 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1ラグについて

$$\sigma_{1s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s2}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.18)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{2s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s3}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.19)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{3s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s4}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s4}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.20)$$

b. 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1及び第4ラグについて

$$\sigma_{4s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s5}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s5}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.21)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{5s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s6}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s6}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots\dots (4.6.1.2.22)$$

4.6.1.3 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトにかかる応力の大きい方について計算する。

ただし、 F_{12} が負の場合は、(4.6.1.3.1) 式及び(4.6.1.3.5) 式の $|F_{12}|$ を $|F_{11}| + |F_{12}|$ に置き換える。

F_{22} が負の場合は、(4.6.1.3.4) 式及び(4.6.1.3.7) 式の $|F_{21}|$ を $|F_{21}| + |F_{22}|$ に置き換える。

- (1) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{11}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b2} = \sqrt{\left(\frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{A_b} \right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b} \right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

$$\tau_{b2} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{21}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.4)$$

- (2) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b4} = \sqrt{\left(\frac{|F_{11}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b} \right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b} \right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.5)$$

$$\tau_{b4} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.6)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{b5} = \sqrt{\left(\frac{|F_{21}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\max[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b} \right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b} \right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.7)$$

$$\tau_{b5} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.8)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)により求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \max(\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}) \cdots \cdots \cdots (4.6.1.3.9)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \max(\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}) \cdots \cdots \cdots (4.6.1.3.10)$$

荷重等の算出を解析プログラムを用いている場合は、このままの表記とする。
また、計算条件は計算結果の機器要目に記載があるため本表現とする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（胴、ラグ及び基礎ボルト）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【〇〇〇〇熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 胴の応力評価

4.6.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

4.8.2 ラグの応力評価

4.6.1.2項で求めたラグの組合せ応力が許容応力 f_t 以下であること。

ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.3 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 による荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重 との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

↑

基礎ボルトの有効断面積による評価の場合の許容応力は、以下とする。		
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 による荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重 との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

- (1) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

【〇〇〇〇熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機 器 名 称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固 有 周 期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
〇〇〇〇系熱交換器	S	原子炉建屋 EL. 23.8 *1	0.029	0.024	C _H =1.12	C _V =0.83	C _H =2.05	C _V =1.56	1.37	85	66

注記 *1: 基準レベルを示す。 ← 設計震度をとっている床レベルを記載する。

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _b (MPa)	G (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)	K _c	K _θ
43200	11002	32198	1800	38.0	199000 *1	202000 *2	76500 *1	1048	1929	600	300	600	510	149

ε	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{sp} (mm ³)	Z _q (mm ³)	Z _{st} (mm ³)	K _{l1}	K _{l2}	K _{c1}	K _{c2}	C _{l1}	C _{l2}	C _{c1}	C _{c2}
0	4.688×10 ⁴	8.361×10 ⁴	5.470×10 ⁷	4.455×10 ⁷	3.110×10 ⁷	0.93	1.11	1.19	0.97	0.86	1.28	1.67	1.28

n	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	A _b (mm ²)	A _{b e} (mm ²)	H (mm)
2	906	325	312.5	850	715.0	1810 (M48)	1424.4	—

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
242 *1	441 *1	—	199 *1 (40mm<厚さ≦75mm)	377 *1	199	239	730 *2	868 *2	607	607

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ/径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(胴、基礎ボルト及びS_uも同様)

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 胴に生じる一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S_d又は静的震度)

応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力		組合せ一次一般膜応力
			自重による応力	回転モーメントによる応力		鉛直方向地震による応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_0 = 34$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 6$	$\sigma_{x 11} = 2$	—	
せん断	—	—	—	—	—	—	—	

(2) 胴に生じる一次一般膜応力 (基準地震動 S_s)

応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力		組合せ一次一般膜応力
			自重による応力	回転モーメントによる応力		鉛直方向地震による応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_0 = 34$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 11} = 3$	—	
せん断	—	—	—	—	—	—	—	

(単位：MPa)														
地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力				鉛直方向地震による応力		組合せ力 組一
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動Sd又は静的震度	Z方	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 4$	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{11} = 38$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 6$	$\sigma_{x5} = 3$	—	$\sigma_{x11} = 2$	$\sigma_{x12} = 1$		
		せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	方	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 37$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	$\sigma_{x4} = 6$	—	$\sigma_{x11} = 2$	—		
		せん断	—	—	$\tau_{11} = 3$	—	—	—	$\tau_{12} = 3$	—	$\tau_{16} = 2$	—		
	及	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{13} = 40$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x11} = 2$	$\sigma_{x12} = 1$		
		せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{13} = 8$	$\tau_{16} = 2$	—	—	—		
	び	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 5$	—	—	$\sigma_{14} = 45$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 13$	$\sigma_{x11} = 2$	—		
		せん断	—	—	$\tau_{11} = 3$	—	—	$\tau_{13} = 8$	$\tau_{16} = 2$	—	—	—		
	鉛	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{15} = 42$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 6$	$\sigma_{x6} = 6$	—	$\sigma_{x11} = 2$	$\sigma_{x12} = 1$		
せん断		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
直	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 37$	
		軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	$\sigma_{x4} = 6$	—	$\sigma_{x11} = 2$	—			
	せん断	—	—	$\tau_{11} = 3$	—	—	—	$\tau_{12} = 3$	—	$\tau_{16} = 2$	—			

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向重力による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動Sd又は静的震度	X 方向	第一評価点及び四びろ	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{17} = 40$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 6$	—	—	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 1$	$\tau_{c 6} = 5$	—	—	—	
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	—	—	—	—	—	
	びろ	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 4$	—	—	$\sigma_{18} = 45$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 6$	—	$\sigma_{x 10} = 9$	$\sigma_{x 11} = 2$	—	
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	—	—	$\tau_{c 6} = 5$	$\tau_{l 6} = 2$	—	
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	
	始直方向	第二評価点及び三びろ	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{19} = 43$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 6$	$\sigma_{x 9} = 4$	—	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 1$	$\tau_{c 6} = 5$	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 4$	—	—	
	方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 4$	—	—	$\sigma_{110} = 45$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 6$	—	$\sigma_{x 10} = 9$	$\sigma_{x 11} = 2$	—	
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	—	—	$\tau_{c 6} = 5$	$\tau_{l 6} = 2$	—	
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	—	—	$\tau_{c 6} = 5$	$\tau_{l 6} = 2$	—	

(4) 嗣に生じる一次応力（基準地震動 Ss）

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力				鉛直方向地震による応力		組合せ力 組一
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動 Ss	Z 方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 6$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{11} = 41$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 5} = 5$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$			
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	—	—	—	—			
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—			
	及び	第一評価点	軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$	$\sigma_{13} = 48$		
			せん断	—	—	—	$\tau_{33} = 14$	$\tau_{c1} = 2$	—	—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 9$	—	—			
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 23$	$\sigma_{x 11} = 3$	—			
	鉛直	第一評価点	せん断	—	—	$\tau_{11} = 3$	—	$\tau_{33} = 14$	—	$\tau_{16} = 4$	—	$\sigma_{14} = 58$		
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 14$	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$				
		第二評価点	軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 6} = 11$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$			
			せん断	—	—	—	—	—	—	—				
	方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{15} = 48$		
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—			
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	—	—	—	—			
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—			
		第一評価点	軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	—	$\sigma_{x 11} = 3$	—	$\sigma_{16} = 41$		
			せん断	—	$\tau_{11} = 3$	—	$\tau_{12} = 3$	—	—	$\tau_{16} = 4$				
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—			
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—			

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力			水平方向地震による応力				鉛直方向地震による応力			組合せ応力
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	静水頭又は内圧による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力			
基準地震動 Ss	X 方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 3} = 4$	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{17} = 48$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 5} = 4$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$		
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 5} = 2$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—		
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	—	—		
	鉛直方向	第一評価点	軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 4} = 10$	—	$\sigma_{x 10} = 16$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{18} = 59$	
			せん断	—	—	$\tau_{1 1} = 3$	—	$\tau_{1 5} = 4$	$\tau_{1 5} = 4$	$\tau_{c 6} = 10$	$\tau_{c 6} = 10$	$\tau_{1 6} = 4$	—		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 10$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$		
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 5} = 8$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$		
	鉛直方向	第一評価点	せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—	$\sigma_{19} = 53$	
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	—	—		
		第二評価点	軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 4} = 10$	—	$\sigma_{x 10} = 16$	—	$\sigma_{x 11} = 3$		—
			せん断	—	—	$\tau_{1 1} = 3$	—	$\tau_{1 5} = 4$	$\tau_{1 5} = 4$	$\tau_{c 6} = 10$	$\tau_{c 6} = 10$	$\tau_{1 6} = 4$	—		

(5) 鋼に生じる地震動のみによる一次・二次応力（弾性設計用地震動Sd又は静的震度）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力					組合せ一次・二次応力 (変動値)	
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力				
弾性設計用地震動Sd又は静的震度	Z方向及び鉛直方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 4$	$\sigma_{\phi 5} = 6$	—	$\sigma_{21} = 32$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{x 12} = 3$	$\sigma_{x 5} = 3$	$\sigma_{x 5} = 7$	—			
			せん断	—								
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{22} = 15$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 4} = 6$	—	—	—		
			せん断	$\tau_{c 1} = 2$								
		第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\tau_{c 12} = 3$			$\sigma_{23} = 25$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{x 12} = 3$	—	—	—			
			せん断	—								
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\tau_{c 3} = 8$	$\tau_{c 1} = 2$	$\sigma_{\phi 7} = 5$	$\sigma_{x 7} = 13$	$\sigma_{2 \phi 7} = 35$	$\sigma_{24} = 87$
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 16$	—	—	
			せん断	$\tau_{c 6} = 5$								
	X方向及び鉛直方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 6} = 8$	$\sigma_{\phi 6} = 13$	—	$\sigma_{25} = 56$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{x 12} = 3$	$\sigma_{x 4} = 6$	$\sigma_{x 6} = 6$	$\sigma_{2 \phi 6} = 17$		—	—
			せん断	—								
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{26} = 15$	
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 4} = 6$	—	—	—		—
			せん断	$\tau_{c 12} = 3$								
		第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 8} = 3$	$\sigma_{\phi 8} = 4$	—	$\sigma_{27} = 34$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{x 12} = 3$	$\sigma_{x 4} = 6$	$\sigma_{x 8} = 2$	$\sigma_{2 \phi 8} = 5$		—	—
			せん断	$\tau_{c 4} = 1$ $\tau_{c 6} = 5$								
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 4$	$\sigma_{2 \phi 10} = 25$	—	$\sigma_{28} = 69$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 10} = 9$	$\sigma_{2 \phi 10} = 11$	—		—	
			せん断	$\tau_{c 15} = 3$ $\tau_{c 6} = 5$								
	Y方向及び鉛直方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{\phi 9} = 5$	$\sigma_{2 \phi 9} = 9$	—	$\sigma_{29} = 50$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	$\sigma_{x 12} = 1$	$\sigma_{x 12} = 3$	$\sigma_{x 4} = 6$	$\sigma_{x 9} = 4$	$\sigma_{2 \phi 9} = 12$		—	—
			せん断	$\tau_{c 4} = 1$ $\tau_{c 6} = 5$								
		第二評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 4$	$\sigma_{2 \phi 10} = 25$	—	$\sigma_{210} = 69$		
			軸方向	$\sigma_{x 11} = 2$	—	—	$\sigma_{x 4} = 6$	$\sigma_{x 10} = 9$	$\sigma_{2 \phi 10} = 11$		—	—
			せん断	$\tau_{c 15} = 3$ $\tau_{c 6} = 5$								

(単位：MPa)

(6) 嗣に生じる地震動のみによる一次・二次応力 (基準地震動 Ss)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次・二次応力 (変動値)
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	断面モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動 Ss	Z 方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\theta 12} = 3$	$\sigma_{2\theta 12} = 5$	—	$\sigma_{\theta 5} = 6$	$\sigma_{21} = 59$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x5} = 5$	—
		第二評価点	せん断	—			—		
			周方向	—	—	—	—	—	—
		側面	周方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	$\sigma_{x4} = 10$	—	$\sigma_{22} = 28$
			せん断	$\tau_{1\theta} = 4$			$\tau_{12} = 6$		
	及びび鉛直方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\theta 12} = 3$	$\sigma_{2\theta 12} = 5$	—	—	$\sigma_{23} = 48$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	—	—	—
		第二評価点	せん断	—			$\tau_{23} = 14$	$\tau_{c1} = 2$	—
			周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\theta 7} = 9$	$\sigma_{2\theta 7} = 64$
		側面	周方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 23$	$\sigma_{2x 7} = 28$
			せん断	$\tau_{1\theta} = 4$			$\tau_{c6} = 10$		
	鉛直方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\theta 12} = 3$	$\sigma_{2\theta 12} = 5$	—	$\sigma_{\theta 6} = 14$	$\sigma_{2\theta 6} = 24$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x6} = 11$	$\sigma_{2x6} = 30$
		第二評価点	せん断	—			—		
			周方向	—	—	—	—	—	—
		側面	周方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	$\sigma_{x4} = 10$	—	$\sigma_{26} = 28$
			せん断	$\tau_{1\theta} = 4$			$\tau_{12} = 6$		
	X 方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\theta 12} = 3$	$\sigma_{2\theta 12} = 5$	—	$\sigma_{\theta 8} = 4$	$\sigma_{2\theta 8} = 8$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x8} = 4$	$\sigma_{2x8} = 10$
		第二評価点	せん断	—			$\tau_{c4} = 2$	$\tau_{c6} = 10$	—
			周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\theta 10} = 6$	$\sigma_{2\theta 10} = 46$
		側面	周方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x10} = 16$	$\sigma_{2x10} = 20$
			せん断	$\tau_{1\theta} = 4$			$\tau_{15} = 4$	$\tau_{c6} = 10$	—
	及びび鉛直方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\theta 12} = 3$	$\sigma_{2\theta 12} = 5$	—	$\sigma_{\theta 9} = 10$	$\sigma_{2\theta 9} = 17$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x9} = 8$	$\sigma_{2x9} = 21$
		第二評価点	せん断	—			$\tau_{c4} = 2$	$\tau_{c6} = 10$	—
			周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\theta 10} = 6$	$\sigma_{2\theta 10} = 46$
		側面	周方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x10} = 16$	$\sigma_{2x10} = 20$
			せん断	$\tau_{1\theta} = 4$			$\tau_{15} = 4$	$\tau_{c6} = 10$	—
	Ss	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\theta 12} = 3$	$\sigma_{2\theta 12} = 5$	—	$\sigma_{\theta 10} = 6$	$\sigma_{2\theta 10} = 46$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x10} = 16$	$\sigma_{2x10} = 20$
		第二評価点	せん断	—			$\tau_{c4} = 2$	$\tau_{c6} = 10$	—
			周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\theta 10} = 6$	$\sigma_{2\theta 10} = 46$
		側面	周方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x10} = 16$	$\sigma_{2x10} = 20$
			せん断	$\tau_{1\theta} = 4$			$\tau_{15} = 4$	$\tau_{c6} = 10$	—

(単位: MPa)

1.3.2 ラグに生じる応力

地震力の種類	地震力の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力	
		曲	げ	曲	げ	曲	げ	せん断	圧縮
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	第1ラグ側	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s2}=1$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=2$	$\sigma_{1s}=11$
	Z方向及び鉛直方向	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s3}=2$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=2$	$\sigma_{2s}=12$
	第3ラグ側	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s4}=3$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=2$	$\sigma_{3s}=11$
	X方向及び鉛直方向	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s5}=2$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=2$	$\sigma_{4s}=14$
	第2及び第3ラグ側	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s6}=3$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=2$	$\sigma_{5s}=14$

地震力の種類	地震力の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力	
		曲	げ	曲	げ	曲	げ	せん断	圧縮
基準地震動S _s	第1ラグ側	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s2}=2$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{1s}=16$
	Z方向及び鉛直方向	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s3}=3$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{2s}=19$
	第3ラグ側	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s4}=4$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{3s}=16$
	X方向及び鉛直方向	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s5}=3$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{4s}=22$
	第2及び第3ラグ側	$\sigma_{s1}=1$		$\sigma_{s6}=5$		$\sigma_{s7}=1$		$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{5s}=22$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

地震力の種類	地震力の方向	引張応力		せん断応力	
		σ_{b1}	τ_{b1}	σ_{b2}	τ_{b2}
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	第1ラグ側	$\sigma_{b1}=28$		—	
	Z方向及び鉛直方向	$\sigma_{b2}=96$		$\tau_{b2}=29$	
	第3ラグ側	$\sigma_{b3}=65$		—	
	X方向及び鉛直方向	$\sigma_{b4}=78$		$\tau_{b4}=21$	
	第2及び第3ラグ側	$\sigma_{b5}=108$		$\tau_{b5}=21$	

地震力の種類	地震力の方向	引張応力		せん断応力	
		σ_{b1}	τ_{b1}	σ_{b2}	τ_{b2}
基準地震動S _s	第1ラグ側	$\sigma_{b1}=39$		—	
	Z方向及び鉛直方向	$\sigma_{b2}=164$		$\tau_{b2}=53$	
	第3ラグ側	$\sigma_{b3}=108$		—	
	X方向及び鉛直方向	$\sigma_{b4}=130$		$\tau_{b4}=38$	
	第2及び第3ラグ側	$\sigma_{b5}=185$		$\tau_{b5}=38$	

1.4 結 論
1.4.1 固有周期

卓越方向		(単位：s)	
モード	固有周期		
1次	水平	$T_1 = 0.029$	
2次	水平	$T_2 = 0.029$	
3次	鉛直	$T_3 = 0.024$	

1.4.2 応 力

部 材	材 料	応 力	弾設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
			算 出 応 力	許 容 応 力	力	算 出 応 力	許 容 応 力	力
胴 板	SGV480	一次一般膜	$\sigma_0 = 34$	$S_a = 242$		$\sigma_0 = 34$	$S_a = 265$	
		一 次	$\sigma_1 = 45$	$S_a = 364$		$\sigma_1 = 59$	$S_a = 397$	
		一次＋二次	$\sigma_2 = 87$	$S_a = 485$		$\sigma_2 = 159$	$S_a = 485$	
ラ グ	SM400A	組 合 せ	$\sigma_s = 14$	$f_t = 199$		$\sigma_s = 22$	$f_t = 239$	
基礎ボルト	SCM435	引 張 り	$\sigma_b = 108$	$f_{ts} = 455$		$\sigma_b = 185$	$f_{ts} = 455$	
		せ ん 断	$\tau_b = 29$	$f_{sb} = 350$		$\tau_b = 53$	$f_{sb} = 350$	

すべて許容応力以下である。

【重大事故等対処設備単独の場合】
本フォーマットを使用する。ただし、章番を1とする。

【DB+SAの場合】
前項のDB評価に本SAの評価を追加する。

2. 重大事故等対処設備
2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向			
〇〇〇〇系熱交換器	常設/防止	原子炉建屋 EL. 23.8 *	0.029	0.024	—	—	C _H =2.05 C _V =1.56	85	66

注記 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E _b (MPa)	G (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)	K _c	K ₀
43200	11002	32198	1800	38.0	199000 ^{*1}	202000 ^{*2}	76500 ^{*1}	1048	1929	600	300	600	510	149

ε	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{sp} (mm ³)	Z _q (mm ³)	Z _{st} (mm ³)	K _{l1}	K _{l2}	K _{c1}	K _{c2}	C _{l1}	C _{l2}	C _{c1}	C _{c2}
0	4.688×10 ⁴	8.361×10 ⁴	5.470×10 ⁷	4.455×10 ⁷	3.110×10 ⁷	0.93	1.11	1.19	0.97	0.86	1.28	1.67	1.28

n	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	A _b (mm ²)	A _{b e} (mm ²)	H (mm)
2	906	325	312.5	850	715.0	1810 (M48)	1424.4	—

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (ラゲ) (MPa)	S _u (ラゲ) (MPa)	F (ラゲ) (MPa)	F [*] (ラゲ) (MPa)	S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F [*] (基礎ボルト) (MPa)
242 ^{*1}	441 ^{*1}	—	199 ^{*1} (40mm<厚さ≦75mm)	377 ^{*1}	—	239	730 ^{*2}	868 ^{*2}	—	607

注記*1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ/径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。(胴, 基礎ボルト及びS_uも同様)

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 胴に生じる一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

応力 周方向 軸方向 せん断	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力 自重による応力	水平方向地震による応力 転倒モーメントによる応力	鉛直方向地震による応力		(単位: MPa)
					鉛直方向荷重による応力	一般膜応力	
周方向	—	—	—	—	—	—	—
軸方向	—	—	—	—	—	—	—
せん断	—	—	—	—	—	—	—

(2) 胴に生じる一次一般膜応力 (基準地震動 S_s)

応力 周方向 軸方向 せん断	静水頭又は内圧による応力 $\sigma_{s1} = 34$ $\sigma_{s1} = 17$	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力 自重による応力 $\sigma_{s2} = 2$	水平方向地震による応力 転倒モーメントによる応力 $\sigma_{s4} = 10$	鉛直方向地震による応力		(単位: MPa)
					鉛直方向荷重による応力	一般膜応力	
周方向	—	—	—	—	—	—	—
軸方向	—	—	—	—	—	—	—
せん断	—	—	—	—	—	—	—

(3) 胴に生じる一次応力 (弾性設計用地震動 Sd又は静的震度)													(単位: MPa)	
地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ	組一
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 Sd又は静的震度	Z 方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	及び鉛直方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	鉛直方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧 に よる 応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力			水平方向地震による応力				鉛直方向地震による応力		組合せ
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向に よる 応力	鉛直方向に よる 応力	
弾性設計用地震動 Sd又は静的震度	X 方向	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Y 方向	第一評価点	軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Z 方向	第一評価点	せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		第二評価点	軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

(4) 嗣に生じる一次応力 (基準地震動 Ss)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力			組合せ力 組一
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動 Ss	Z 方向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 6$	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{11} = 41$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x5} = 5$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{x12} = 2$	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	方 向	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 41$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 10$	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	及 び	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{13} = 48$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{x12} = 2$	
			せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{\phi 1} = 14$	$\tau_{\phi 1} = 2$	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	鉛 直	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 9$	—	—	—	$\sigma_{14} = 58$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 23$	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{\phi 1} = 3$	$\tau_{\phi 1} = 14$	$\tau_{\phi 1} = 4$	—	—	
	方 向	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 14$	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{15} = 48$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x6} = 11$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{x12} = 2$	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	方 向	第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 41$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	—	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 10$	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{\phi 1} = 3$	$\tau_{\phi 1} = 3$	$\tau_{\phi 1} = 4$	—	—	

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧に よる応力	静水頭又は内圧に よる応力 (鉛直方向地震時)	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ 一次応力
						自重による応力	曲げモーメント による応力	転倒モーメント による応力	鉛直方向モーメント による応力	鉛直方向モーメント による応力	周方向モーメント による応力	周方向モーメント による応力	
基準地震動 Ss	X 方向	第一評価点 及び四 びす 側	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{17} = 48$
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{\phi 8} = 4$	$\sigma_{x 8} = 4$	—	$\sigma_{x 12} = 2$	
			せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—	—	
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	—	—	
	Y 方向	第二評価点 及び三 びす 側	軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	$\sigma_{x 10} = 16$	$\sigma_{x 11} = 3$	—	$\sigma_{18} = 59$
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	$\tau_{l 3} = 4$	$\tau_{c 6} = 10$	—	$\tau_{l 6} = 4$	—	
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 10$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 10$	$\sigma_{x 9} = 8$	—	$\sigma_{x 11} = 3$	$\sigma_{x 12} = 2$	
	Z 方向	第二評価点 及び三 びす 側	せん断	—	—	—	—	$\tau_{c 4} = 2$	$\tau_{c 6} = 10$	—	—	—	$\sigma_{19} = 53$
			周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	—	—	
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	—	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 10$	—	$\sigma_{x 10} = 16$	$\sigma_{x 11} = 3$	—	
			せん断	—	—	$\tau_{l 1} = 3$	—	$\tau_{l 3} = 4$	$\tau_{c 6} = 10$	—	$\tau_{l 6} = 4$	—	

(5) 欄に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動Sd又は静的震度）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力 （変動値）
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動Sd又は静的震度	Z方向及び鉛直方向	第一ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第二ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第一・四ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第二ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第三ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第四ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
弾性設計用地震動Sd又は静的震度	X方向及び鉛直方向	第一及び四ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第二及び三ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第一・四ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第二及び三ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	
		第一・四ラゲ側評価点	周方向	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	
			せん断	—	—	—	—	—	

(6) 鋼に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基礎地震動 S s）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力				組合せ一次＋二次応力 （変動値）
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	水平方向モーメントによる応力	
基礎標準地震動 Ss	Z 方向	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 3$	$\sigma_{2\phi 12} = 5$	—	$\sigma_{\phi 5} = 6$	$\sigma_{2\phi 5} = 11$	$\sigma_{21} = 59$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x5} = 5$	$\sigma_{2x5} = 13$	
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{22} = 28$
			周方向	—	—	—	—	—	—	
	X 方向	第一評価点	周方向	—	$\tau_{16} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 10$	$\tau_{12} = 6$	—	$\sigma_{23} = 48$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	—	—	—	
		第二評価点	せん断	—	—	—	$\tau_{35} = 14$	$\tau_{51} = 2$	—	$\sigma_{24} = 159$
			周方向	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 9$ $\sigma_{x7} = 23$	
	Y 方向	第一評価点	周方向	—	$\tau_{16} = 4$	—	—	$\tau_{56} = 10$	$\sigma_{2\phi 1} = 64$	$\sigma_{25} = 102$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x6} = 11$	$\sigma_{2x6} = 30$	
		第二評価点	せん断	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{26} = 28$
			周方向	—	—	—	$\sigma_{x4} = 10$	—	—	
	X 方向	第一評価点	周方向	—	$\tau_{16} = 4$	—	—	$\tau_{12} = 6$	—	$\sigma_{27} = 63$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x8} = 4$	$\sigma_{2x8} = 10$	
		第二評価点	せん断	—	—	—	$\tau_{c4} = 2$	$\tau_{56} = 10$	—	$\sigma_{28} = 126$
			周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	$\sigma_{2\phi 10} = 46$	
	Y 方向	第一評価点	周方向	—	$\tau_{16} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 10$	$\sigma_{x10} = 16$	$\sigma_{2x10} = 20$	$\sigma_{29} = 92$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 2$	$\sigma_{2x12} = 6$	—	—	—	
		第二評価点	せん断	—	—	—	$\tau_{c4} = 2$	$\tau_{56} = 10$	—	$\sigma_{210} = 126$
			周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 6$	$\sigma_{2\phi 10} = 46$	

2.3.2 ラグに生じる応力

地震力の種類	地震力の方向	(単位：MPa)					
		運 転 時 質 量 に よ る 応 力	水 平 方 向 地 震 に よ る 応 力	鉛 直 方 向 地 震 に よ る 応 力	組 合 せ 応 力		
		曲	げ	せ ん 断	曲	げ	せ ん 断
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	第 1 ラ グ 側	—	—	—	—	—	—
	Z 方向及び鉛直方向	—	—	—	—	—	—
	第 2 及び第 3 ラ グ 側	—	—	—	—	—	—
	X 方向及び鉛直方向	—	—	—	—	—	—
	第 1 及び第 2 ラ グ 側	—	—	—	—	—	—

地震力の種類	地震力の方向	(単位：MPa)					
		運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力	
		曲	げ	せん断	曲	げ	せん断
基礎地震動 S s	第 1 ラ グ 側	$\tau_{s1}=1$	$\sigma_{s2}=2$	$\tau_{s2}=6$	$\sigma_{s7}=1$	$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{18}=16$
	Z 方向及び 鉛直方向	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s3}=3$	$\tau_{s3}=8$	$\sigma_{s7}=1$	$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{28}=19$
	第 3 ラ グ 側	$\tau_{s1}=1$	$\sigma_{s4}=4$	$\tau_{s4}=6$	$\tau_{s4}=1$	$\sigma_{s7}=4$	$\sigma_{38}=16$
	X 方向及び 鉛直方向	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s5}=3$	$\tau_{s5}=10$	$\sigma_{s7}=1$	$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{48}=22$
	第 2 及び第 3 ラ グ 側	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s6}=5$	$\tau_{s6}=10$	$\sigma_{s7}=1$	$\tau_{s7}=4$	$\sigma_{58}=22$

2.3.3 基礎ポルトに生じる応力

地震力の種類	地震力の方向	(単位：MPa)	
		引 張 応 力	せん断応力
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	第 1 ラ グ 側	—	—
	Z 方向及び鉛直方向	—	—
	第 2 及び第 3 ラ グ 側	—	—
	X 方向及び鉛直方向	—	—

地震力の種類	地震力の方向	(単位：MPa)	
		引 張 応 力	せん断応力
基礎地震動S _s	第 1 ラ グ 側	$\sigma_{b1}=39$	—
	Z 方向及び鉛直方向	$\sigma_{b2}=164$	$\tau_{b2}=53$
	第 2 及び第 3 ラ グ 側	$\sigma_{b3}=108$	—
	X 方向及び鉛直方向	$\sigma_{b4}=130$	$\tau_{b4}=38$

2.4 結 論
2.4.1 固有周期

(単位：s)		
モ ー ト	卓越 方向	固有 周 期
1次	水平	$T_1 = 0.029$
2次	水平	$T_2 = 0.029$
3次	鉛直	$T_3 = 0.024$

2.4.2 応 力

部 材	材 料	応 力	弾設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s	
			算 出 応 力	許 容 応 力	算 出 応 力	許 容 応 力
胴 板	SGV480	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 34$	$S_s = 265$
		一 次	—	—	$\sigma_1 = 59$	$S_s = 397$
		一次＋二次	—	—	$\sigma_2 = 159$	$S_s = 485$
ラ グ	SM400A	組 合 せ	—	—	$\sigma_s = 22$	$f_t = 239$
基礎ボルト	SCM435	引 張 り	—	—	$\sigma_b = 185$	$f_{ts} = 455$
		せん断	—	—	$\tau_b = 53$	$f_{sb} = 350$

すべて許容応力以下である。

添付資料－6－1：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C－1パターン「解析」の耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○○水素濃度の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有値解析方法	8
4.2 解析モデル及び諸元	8
4.3 固有値解析結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	19
6. 機能維持評価	20
6.1 電氣的機能維持評価方法	20
7. 評価結果	21
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21

・DB + SAの場合の記載例を示す。

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〔DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇水素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇水素濃度は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇水素濃度の構造計画を表 2-1 に示す。

・ DB + SA の場合

〇〇〇は、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

・ DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。	水素濃度計	

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図にする。

2.2 評価方針

〇〇〇〇水素濃度の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す〇〇〇〇水素濃度の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、〇〇〇〇水素濃度の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇水素濃度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

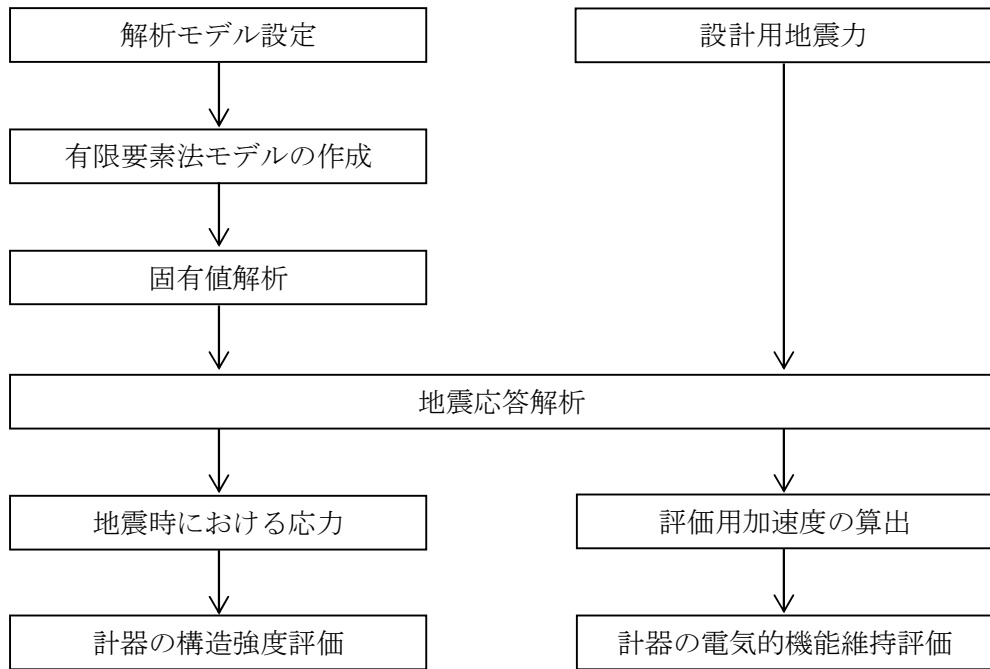


図 2-1 〇〇〇〇水素濃度の耐震評価フロー

ポンプ、ブロワ及びファン等で振動等を考慮する必要がある設備に対しては、フロー図に「機械的荷重」を記載する。
なお、記載する場所は、「計算書作成の基本方針」を参照する。

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984, J E A G 4 6 0 1 －1987及びJ E A G 4 6 0 1 －1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1 －2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

基礎ボルトの応力計算を基礎ボルトの有効断面積で行う場合は, 以下の注記とする。

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1 －2005/2007）及び（設計・建設規格（2012年版） J S M E S N C 1 －2012）（日本機械学会 2007年9月及び2012年12月）（以下「設計・建設規格」という。）

基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、「基礎ボルトの有効断面積*1」とし、以下の注記を追記する。
 *1：日本工業規格 J I S B 1 0 8 2 (2009)「ねじの有効断面積及び座面の負荷面積」の表 1 一般用メートル
 ねじの有効断面積による。(以下「J I S B 1 0 8 2」という。)

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3131 又は SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_x	サポート基礎部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	サポート基礎部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	サポート基礎部に作用する力 (z 方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
l_1	ボルト間距離 (水平方向)	mm
l_2	ボルト間距離 (鉛直方向)	mm
M_x	サポート基礎部に作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_y	サポート基礎部に作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_z	サポート基礎部に作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N} \cdot \text{m}$
n	基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*2	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*3	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値*3	MPa
W	計器及び防滴カバーの荷重	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、 S_u 、 S_y 、 $S_y (RT)$ の記号の説明に注記符号「*2、*3」を付し、
 下記注記を本表の末尾表外に記載する。

*2：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第 1 章 表 7 に
 定める値

*3：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に
 定める値

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積* ²	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記注記を追記する。なお、その際に上記注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。

*2：ボルトの有効断面積は、JIS B 1082 表1に記載の値とする。

3. 評価部位

〇〇〇〇水素濃度の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上
厳しくなる基礎ボルト部について実施する。〇〇〇〇水素濃度の耐震評価部位については、表
2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の
考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書
に記載する。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

〇〇〇〇水素濃度の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 〇〇〇〇水素濃度は、4.2 解析モデル及び諸元に示す3次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

〇〇〇〇水素濃度の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-1に示す。

- (1) 〇〇〇〇水素濃度の計器及び防滴カバーの質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 〇〇〇〇水素濃度の計器及び防滴カバーの重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 計算機コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「付録17 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV」に示す。

- (4) 拘束条件は、〇〇部を完全拘束とする。

(記載例)

【(4) 拘束条件として、基礎部の〇〇方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。】

拘束条件（基礎（据付）ボルト含む。）を記載する。

なお、基礎（据付）ボルト部をモデル化していない場合は、「なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。」と追記する。

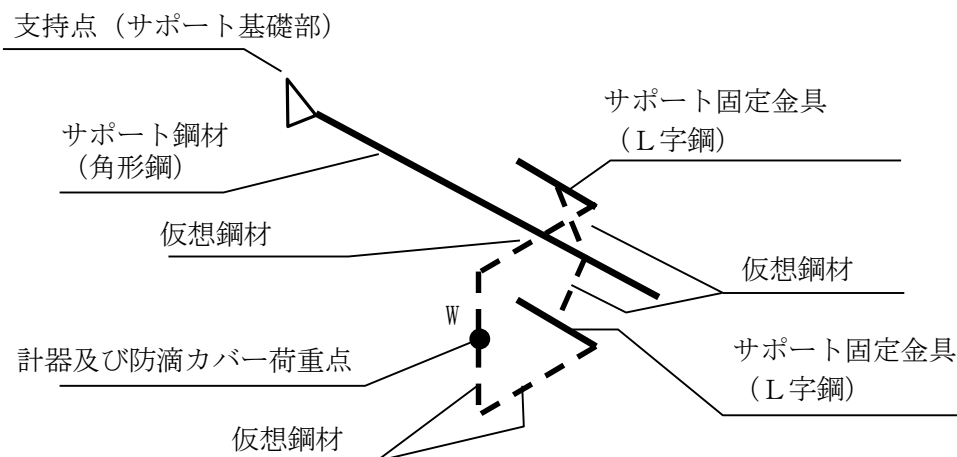


図4-1 解析モデル

表4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	〇〇〇
質量	m	kg	〇〇〇
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	〇〇
縦弾性係数	E	MPa	〇〇〇〇〇〇
ポアソン比	ν	—	〇.〇
要素数	—	個	〇〇〇〇
節点数	—	個	〇〇〇〇

解析に使用する諸元を記載する。
 物性値（縦弾性係数等）はモデル化した材料が複数あれば
 それごとに記載する。
 （ボルトをモデル化しているなら、ボルトの物性値を記載する。）

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有値解析結果(s)

モード	卓越方向	固有周期
1 次	—	0.023
2 次	—	—
3 次	—	—

柔構造の場合は、振動モード図を記載する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 水素濃度計，防滴カバー及びサポート鋼材は，基礎ボルトで壁面に固定されており，固定端とする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇水素濃度の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

〇〇〇〇水素濃度の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇水素濃度の使用材料の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

・ DB + S A の場合

〇〇〇〇の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・ DB 単独又は S A 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

・ DB + S A の場合

〇〇〇〇の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・ DB 単独又は S A 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置 〇〇〇〇水素濃度	常設／緩和	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

DB + SA の場合，以下を上記 SA の前に追加する。

表 5-〇 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置 〇〇〇〇〇	S	* ←	$D + P_D + M_D + S_d^*$	$III_A S$
				$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：S_sと組合せ，III_ASの評価を実施する。←

III_ASの評価でS_sを組合せる場合は「S_d**2」とし，注記で説明する。

SA 単独の場合を示す。
・DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
・DB + SA の場合は，許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態		許容限界 *1, *2 (ボルト等)
		一次応力
		引張り
IV _A S		せん断
V _A S (V _A S として IV _A S の 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

DB + SA の場合は，以下を IV_AS の前に追加する。

III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
--------------------	-----------------	-----------------

SA 単独の場合を示す。
・ DB + SA の場合は、本表の前に DB の条件である
「表 5-〇 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）」を追加する。

表 5-3 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)				
評価部材	材料	温度条件 (°C)		S y (R T) (MPa)
		周囲環境温度		S u (MPa)
基礎ボルト	SS400	100		221
				373
				S y (R T) (MPa)
				—

添付資料－9「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき見直す。
 本件の場合は，(3) S A設備：剛な場合

5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5－4 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は，「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

S A単独の計算書の場合は，記載不要とする。

表 5－4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

耐震重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
－ (S s)	原子炉建屋 EL. 48.3 ^{*1} (EL. 51.7 ^{*2})	0.023	0.023	－	－	C _H =4.93	C _V =3.36

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の計器なので，設置床上階の設計用地震力を使用する。

S A単独の場合を示す。
 ・ DB + S Aの場合は，本表の前に DB の条件である
 「表 5－〇 設計用地震力（設計基準対象施設）」を追加する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの応力

3次元はりモデルによる個別解析からサポート基礎部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて基礎ボルトを評価する。

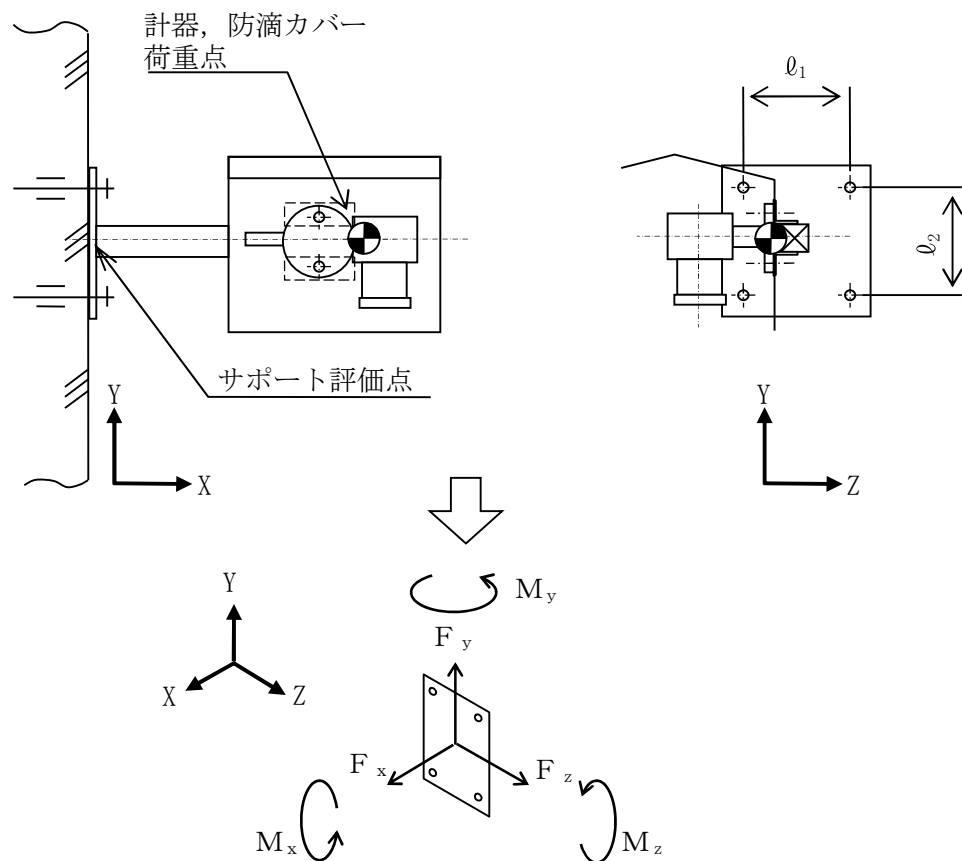


図5-1 計算モデル（サポート基礎部，基礎ボルト）

個別解析によって得られたサポート基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表5-5に示す。

表5-5 サポート発生反力，モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
HE278-10C	725.8	494.7	725.8	70.36	280.6	191.2

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は，下式により計算する。

引張力 (F_b)

$$F_b = \frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{\ell_1} + \frac{M_z}{\ell_2} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

引張応力 (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.3)$$

(2) セン断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力 (Q_b)

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_x}{\ell_1} \dots\dots\dots (5.4.4)$$

せん断応力 (τ)

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.5)$$

ボルトの有効断面積による評価の場合は，下記文言に変更する。なお，その際に上記式番号を (5.4.4) を (5.4.3) に， (5.4.5) を (5.4.4) にする。

「ここで，基礎ボルトの有効断面積 A_b は，J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値とする。」

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇〇水素濃度の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

計算条件の項目に関しては、本内容のように基本は文章で簡略化し、結果の「設計条件」、「機器要目」等に記載のないものは、本項に応力計算条件表を記載するものとする。（応力計算条件の表は添付資料－7：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書（Dパターンの耐震計算書記載例）による。）

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

基礎ボルトの有効断面積による評価の場合の許容応力は、以下とする。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇水素濃度の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

〇〇〇〇水素濃度は地震時電氣的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

(単位：×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇水素濃度 (〇〇〇〇)	〇〇〇	水平	10
		鉛直	10

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇水素濃度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

DB+S Aの場合

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇〇の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇〇の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【〇〇〇〇水素濃度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処施設

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			軸直方向	軸方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
〇〇〇〇水素濃度 (〇〇〇〇)	常設／緩和	原子炉建屋 EL. 48.3*1 (EL. 51.7*2)	0.023	0.023	—	—	C _H =4.93	C _V =2.36	100

設計震度をとっている床レベルを記載する。

有効断面積の場合は
J I S B 1 0 8 2 表 1 に記載の値を記載する。

1.2 機器要目

1.2.1 〇〇〇〇水素濃度

部 材	W (N)	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト (〇〇〇〇)	117	180	180	113.1 (M12)	4	221	373	261

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、
該当する強度区分を記載する。

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：壁掛形の計器なので、設置床上階の設計用地震力を使用する。

DB + SA の場合は、本ページの前に

「1. 設計基準対象施設」の計算結果表を追加する。
その場合、本表は「2. 重大事故等対処設備」となる。

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

部 材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s
サポート部 (〇〇〇〇)	—	725.8	—	494.7	—	725.8

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・m)

部 材	M _x		M _y		M _z	
	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s
サポート部 (〇〇〇〇)	—	70.36	—	280.6	—	191.2

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S d又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (〇〇〇〇)	—	2.008×10 ³	—	610.5

1.4 結 論

1.4.1 基礎ボルトの応力

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (〇〇〇〇)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 18$	$f_{ts} = 156$
		せん断	—	—	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 120$

すべて許容応力以下である。

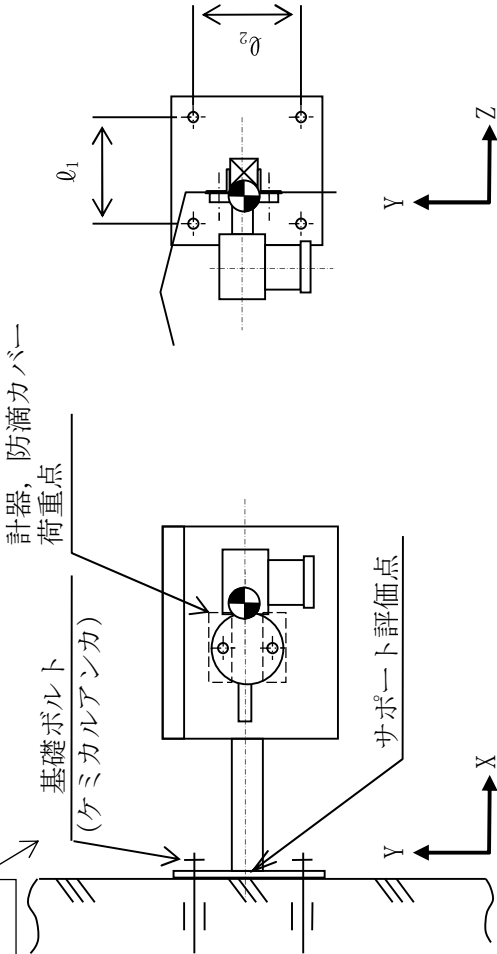
1.4.2 電気的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s ²)		
〇〇〇〇水素濃度 (〇〇〇〇)	評価用加速度	機能確認済加速度
	4.11	後報
	1.97	後報

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

(後施工アンカの場合)
後施工アンカの種類
(メカニカルアンカ、ケミカルアンカ)
を記載する

確定 S s を記載する。



添付資料－6－2：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(C-2 パターン「手計算」の耐震計算書記載例)

V-〇-〇-〇 〇〇〇〇機関及び発電機の耐震性についての計算書

ボルトの応力評価をボルトの有効断面積で行う場合は、「添付資料－6－1：個別に地震
応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書 (C－1 パターン「解析」の耐震計算書記
載例)」に基づき実施する。

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.5 計算条件	24
5.6 応力の評価	28
6. 機能維持評価	29
6.1 動的機能維持評価方法	29
7. 評価結果	30
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	30
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30

・ DB + S A の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は S A 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。]

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇機関及び発電機が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇機関及び発電機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

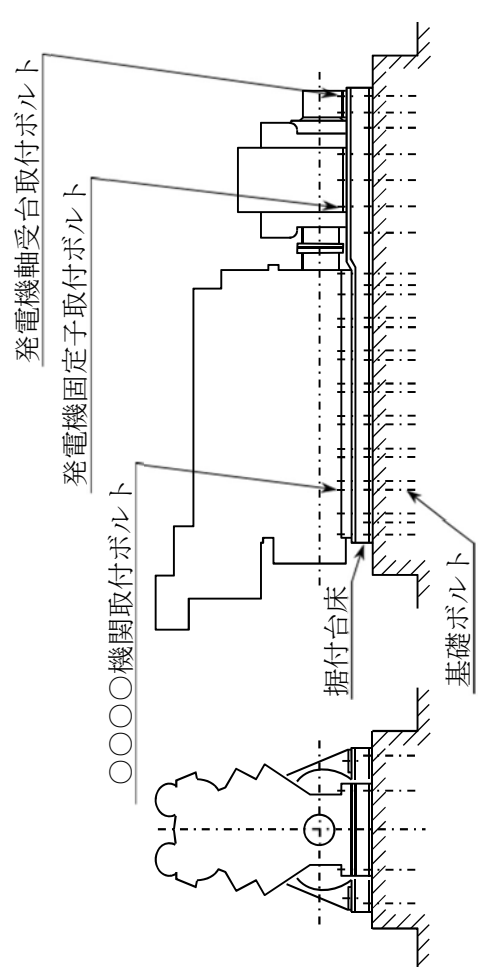
2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇機関及び発電機の構造計画を表2-1に示す。

- ・DB+S Aの場合の記載例を示す。
〔DB単独又はS A単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
〇〇〇〇機関及び発電機は機関取付ボルト、発電機固定子取付ボルト及び発電機軸受台取付ボルトで直接据付台床に取り付ける。据付台床は基礎ボルトで基礎に据え付ける。	〇〇〇〇機関及び三相同期発電機	 <p>The diagram illustrates the structural assembly of a generator. It shows a cross-section of the generator body, including the stator (fixed part) and the rotor (rotating part). The generator is mounted on a base plate (据付台床) which is secured to a foundation (基礎) using foundation bolts (基礎ボルト). Labels indicate the generator body fixed part mounting bolts (発電機固定子取付ボルト), the generator body excitation system mounting bolts (発電機軸受台取付ボルト), the excitation system mounting bolts (〇〇〇〇機関取付ボルト), the base plate (据付台床), and the foundation bolts (基礎ボルト).</p>

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図にする。

2.2 評価方針

〇〇〇〇機関及び発電機の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す〇〇〇〇機関及び発電機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、〇〇〇〇機関及び発電機の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価フローを図2-1に示す。

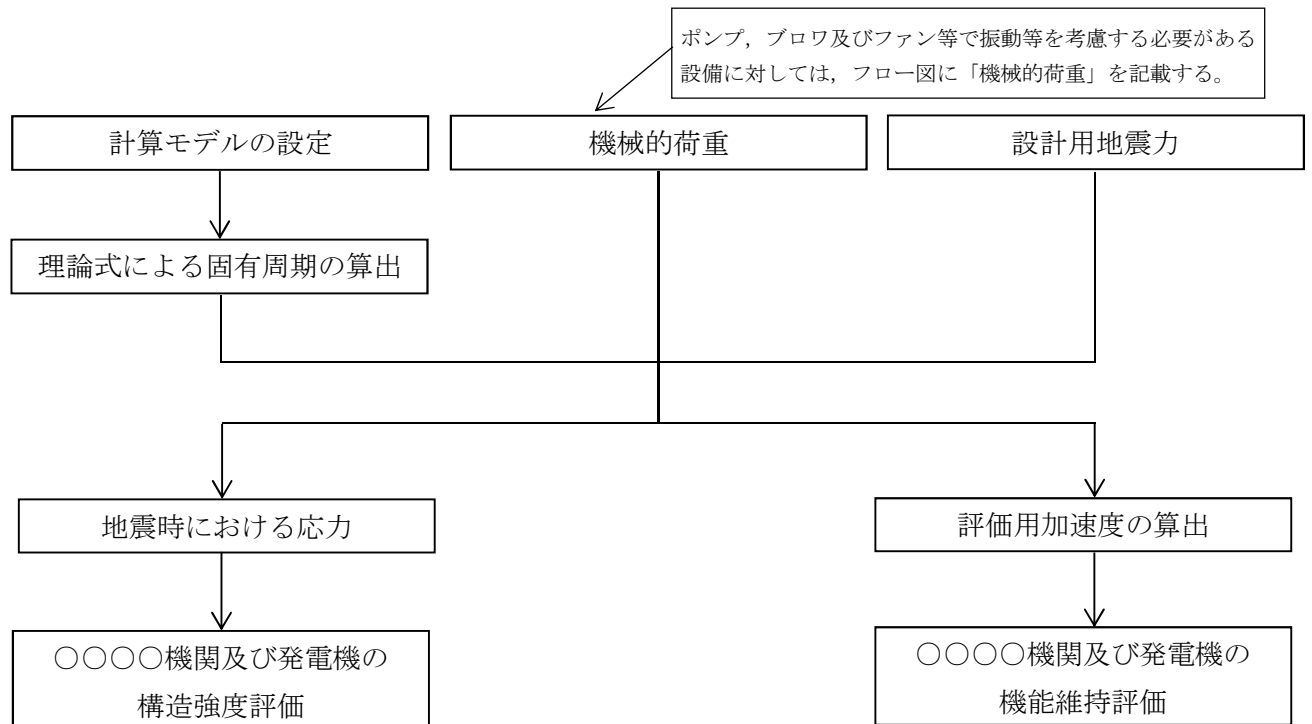


図2-1 〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987 及び J E A G 4 6 0 1 —1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格(2005 年版（2007 年追補版含む。））J S M E S N C 1—2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{bi}	ボルトの軸断面積 ^{*1}	mm ²
A_s	最小有効せん断断面積	mm ²
C_{EH}	〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	—
C_{EV}	〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径 ^{*1}	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値 ^{*1}	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値 ^{*1}	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり） ^{*1}	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 ^{*1}	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離 ^{*2}	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1, *3}	mm
	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1, *3}	mm
ℓ_{2i}	〇〇〇〇機関回転により作用するモーメント	N・mm
	発電機回転により作用するモーメント	N・mm
M_{E1}	運転時質量 ^{*2}	kg
M_{E2}	回転速度（〇〇〇〇機関の定格回転速度）	min ⁻¹
m_i	ボルトの本数 ^{*1}	—
N	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 ^{*1}	—
n_i	〇〇〇〇機関出力	kW
n_{fi}	ボルトに作用するせん断力 ^{*1}	N
P	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値 ^{*1}	MPa
Q_{bi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値 ^{*1}	MPa
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の	MPa
S_{yi}	40℃における値 ^{*1}	
$S_{yi}(RT)$	固有周期	s
	円周率	—
T	ボルトに生じる引張応力 ^{*1}	MPa
π	ボルトに生じるせん断応力 ^{*1}	MPa

σ_{bi}		
τ_{bi}		

*

注記 *1: $A_{bi}, d_i, F_i, F_i, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, \ell_{1i}, \ell_{2i}, n_i, n_{fi}, Q_{bi},$

$S_{ui}, S_{yi}, \sigma_{bi}$ 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: ○○○○機関取付ボルト

$i=3$: 発電機固定子取付ボルト

$i=4$: 発電機軸受台取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 据付面

$i=2$: ○○○○機関取付面

$i=3$: 発電機固定子取付面

$i=4$: 発電機軸受台取付面

*3: $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。 〇〇〇〇機関及び発電機の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

〇〇〇〇機関及び発電機の固有周期の計算方法を以下に示す。

4.1.1 水平方向

- (1) 〇〇〇〇機関及び発電機の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 〇〇〇〇機関及び発電機は、図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。
- (3) 固有周期は次式で求める。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \cdots (4.1.1)$$

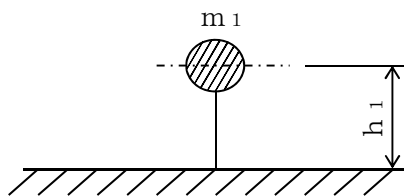


図 4-1 固有周期の計算モデル

4.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有していることから、固有周期の計算を省略する。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
〇〇〇〇機関及び発電機の運転時質量	m_1	kg	166000
据付面から重心までの距離	h_1	mm	1700
縦弾性係数	E	MPa	201000
断面二次モーメント	I	mm^4	1.504×10^{12}
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	1.288×10^5
せん断弾性係数	G	MPa	77300

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-2 示す。

表 4-2 固有周期 (s)

水平方向	鉛直方向
0.034	—*

注記 *：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 〇〇〇〇機関及び発電機、各機器の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は〇〇〇〇機関及び発電機に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 〇〇〇〇機関及び発電機は据付台床上にあり、据付台床は基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。また、〇〇〇〇機関、発電機固定子及び発電機軸受台は、据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。
- (4) 転倒方向は図 5-1～図 5-8 における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

厳しいとは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇機関及び発電機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

〇〇〇〇機関及び発電機の許容応力を表 5-3 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇機関及び発電機の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

・ DB + S A の場合の記載例を示す。
〔DB 単独又は S A 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

「*2」を記載する場合は「*1」とする。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	〇〇〇〇機関及び発電機	S	— *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

「*2：S_sと組合せ、Ⅲ_A Sの評価を実施する。」

Ⅲ_A Sの評価でS_sを組合せる場合は「S_d^{**2}」とし、注記で説明する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	〇〇〇〇機関及び発電機	常設／防止	— ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

DB + SA の場合を示す。
・ DB 単独の場合は，許容応力（その他の支持構造物）
・ SA 単独の場合は，許容応力（重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 5-3

許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅳ _A S		
<div>V_AS (V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。)</div>		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

DB + SA の場合は，V_ASを追加する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

表 5-4 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S35C	50		299	498	—
〇〇〇機関 取付ボルト	SCM435	75		712	847	—
発電機固定子 取付ボルト	SS41	75		203	381	—
発電機軸受台 取付ボルト	SS41	75		203	381	—

表 5-5 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S35C					
〇〇〇機関 取付ボルト	SCM435	最高使用温度				
発電機固定子 取付ボルト	SS41	最高使用温度				
発電機軸受台 取付ボルト	SS41	最高使用温度				

添付資料－9

「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき、見直す。
(本件の場合は、(5)DB/SA 兼用：剛な場合)

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
S	原子炉建屋 EL. 8.8 ^{*1}	0.034	— ^{*2}	$C_H=0.65$	$C_V=0.48$	$C_H=1.84$	$C_V=0.95$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
— (S_s)	原子炉建屋 EL. 8.8 ^{*1}	0.034	— ^{*2}	—	—	$C_H=1.84$	$C_V=0.95$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

SA 単独の計算書の場合は記載不要

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度、〇〇〇〇機関の往復運動による震度及び〇〇〇〇機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

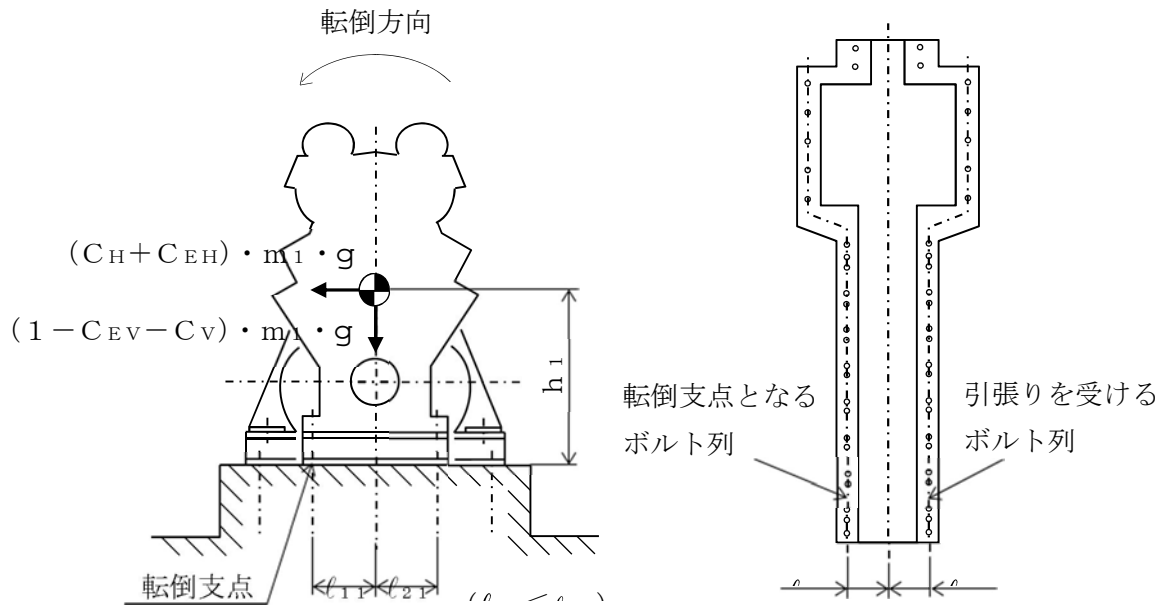


図 5-1 計算モデル（軸直角方向転倒）

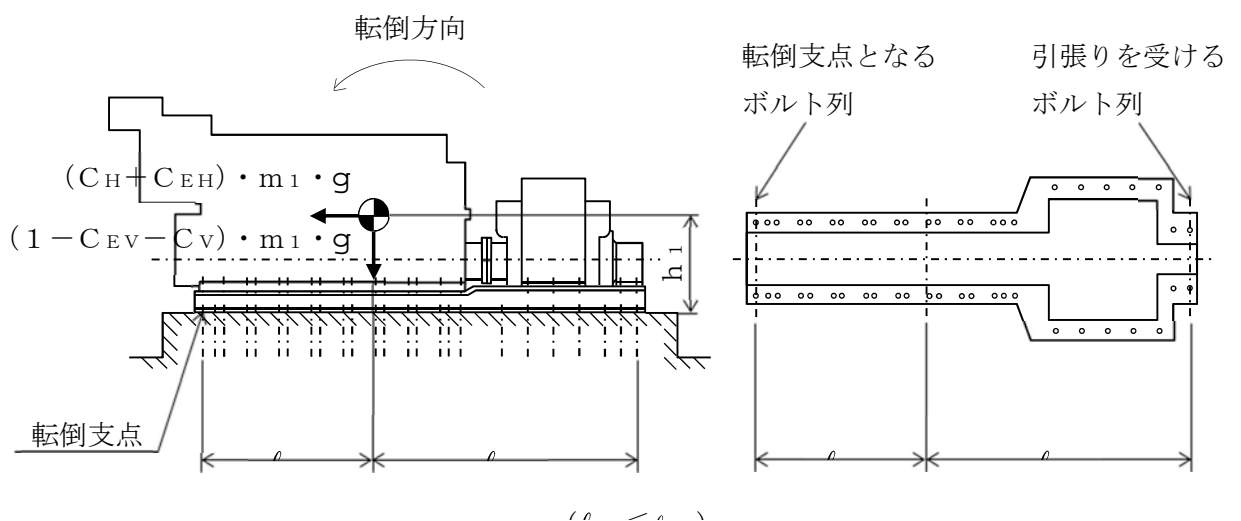


図 5-2 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

なお、○○○○機関回転によるモーメントは、○○○○機関と発電機が共通の据付台床上にあり互いに打ち消しあうため、評価に考慮しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{11}}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は○○○○機関の往復運動による起振力及び○○○○機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ただし、 F_{b1} が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ○○○○機関取付ボルトの計算方法

○○○○機関取付ボルトの応力は地震による震度、○○○○機関の往復運動による震度及び○○○○機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

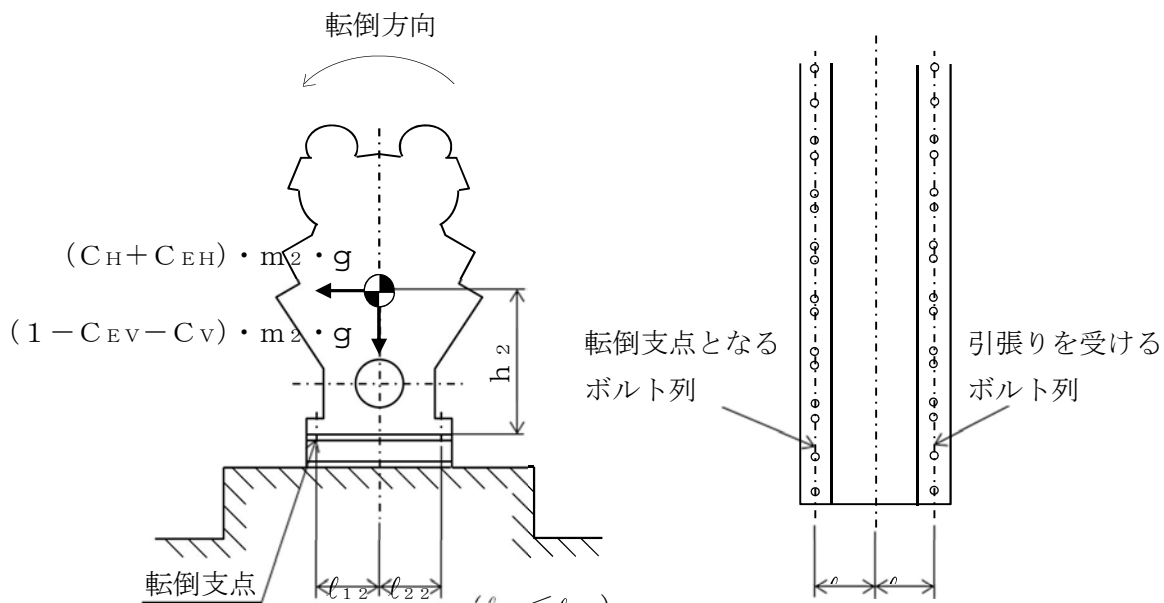


図 5-3 計算モデル（軸直角方向転倒）

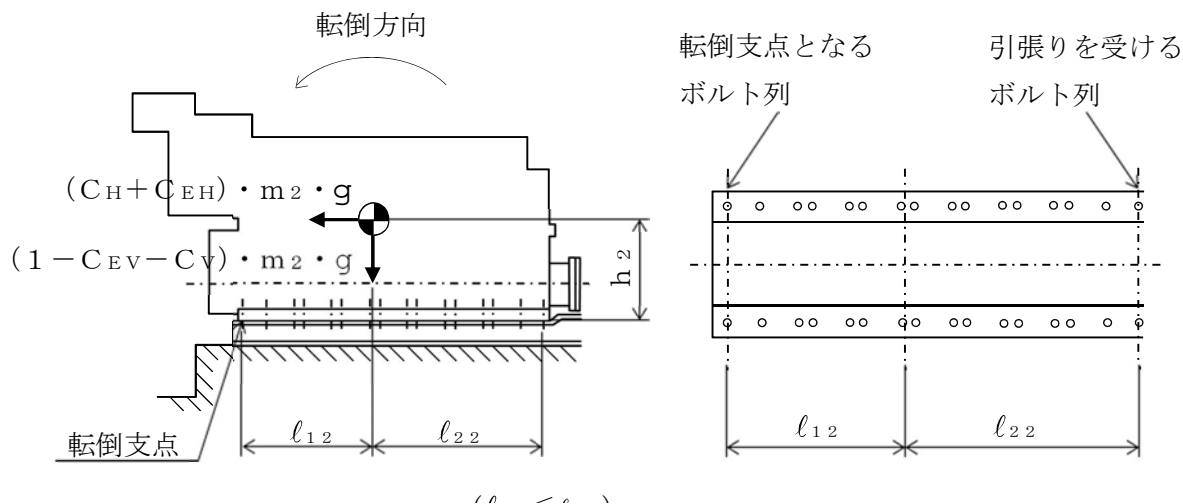


図 5-4 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

○○○○機関取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-3 及び図 5-4 で○○○○機関取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の○○○○機関取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-4 の場合は、○○○○機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_{E1} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_2 \cdot g \cdot \ell_{12}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は○○○○機関の往復運動による起振力及び○○○○機関の回転速度を考慮して定める値である。また、○○○○機関回転によるモーメント M_{E1} は次式により求める。

$$\text{注記* : } M_{E1} = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$$

(1 kW = 10⁶ N・mm/s)

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、○○○○機関取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

ただし、 F_{b2} が負のとき○○○○機関取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

○○○○機関取付ボルトに対するせん断力は○○○○機関取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 発電機固定子取付ボルトの計算方法

発電機固定子取付ボルトの応力は地震による震度、〇〇〇〇機関の往復運動による震度及び発電機回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

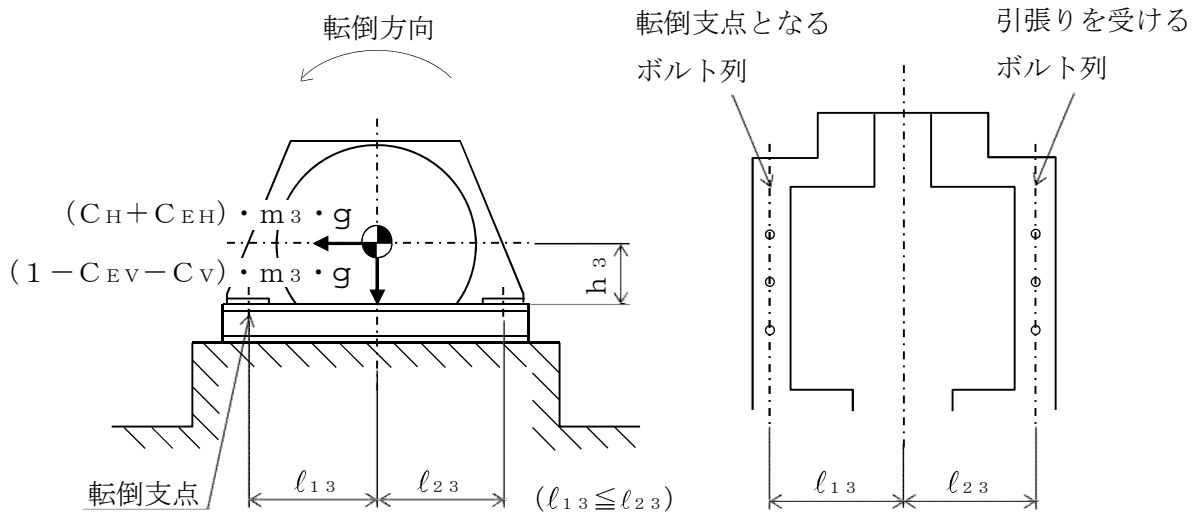


図 5-5 計算モデル（軸直角方向転倒）

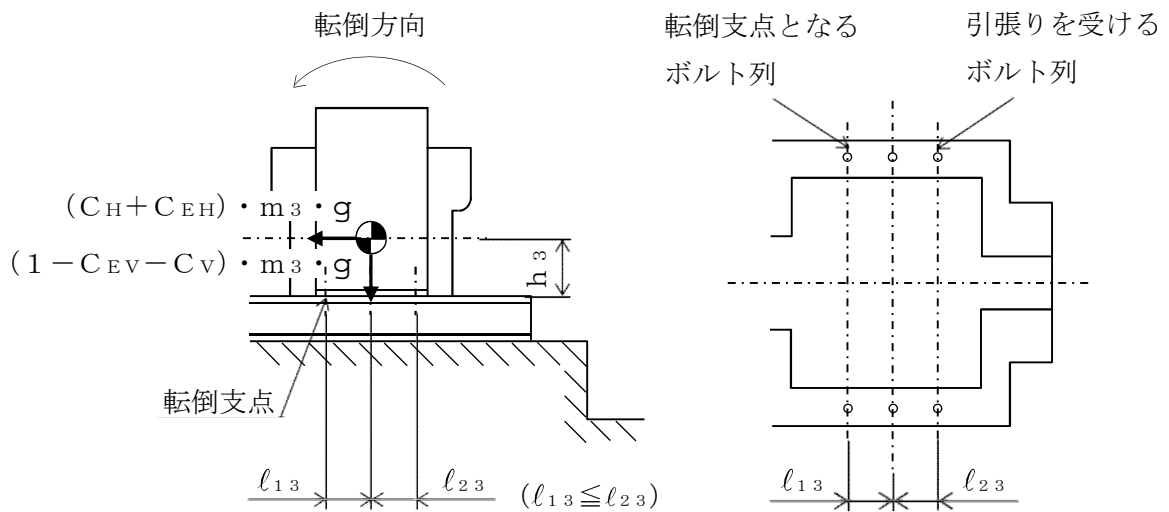


図 5-6 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機固定子取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-5 及び図 5-6 で発電機固定子取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機固定子取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-6 の場合は、発電機回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b3} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \cdot h_3 + M_{E2} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_3 \cdot g \cdot \ell_{13}}{n_{f3} \cdot (\ell_{13} + \ell_{23})} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は○○○○機関の往復運動による起振力及び○○○○機関の回転速度を考慮して定める値である。また、○○○○機関回転によるモーメント M_{E2} は次式により求める。

$$\text{注記* : } M_{E2} = M_{E1} = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$$

(1 kW = 10^6 N・mm/s)

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、発電機固定子取付ボルトの軸断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

ただし、 F_{b3} が負のとき発電機固定子取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

発電機固定子取付ボルトに対するせん断力は発電機固定子取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b3} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

5.4.1.4 発電機軸受台取付ボルトの計算方法

発電機軸受台取付ボルトの応力は地震による震度、〇〇〇〇機関の往復運動による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

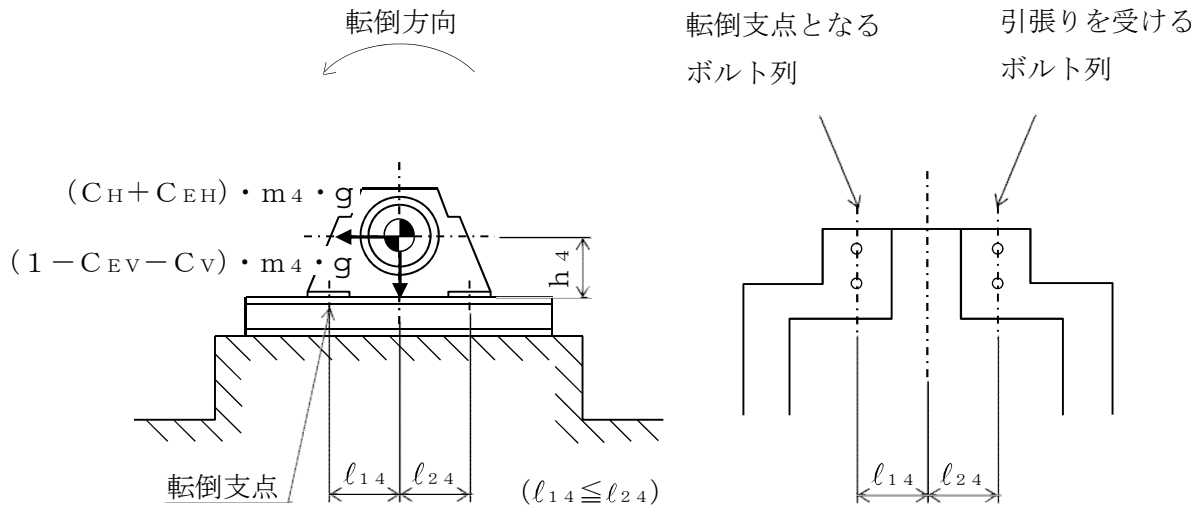


図 5-7 計算モデル（軸直角方向転倒）

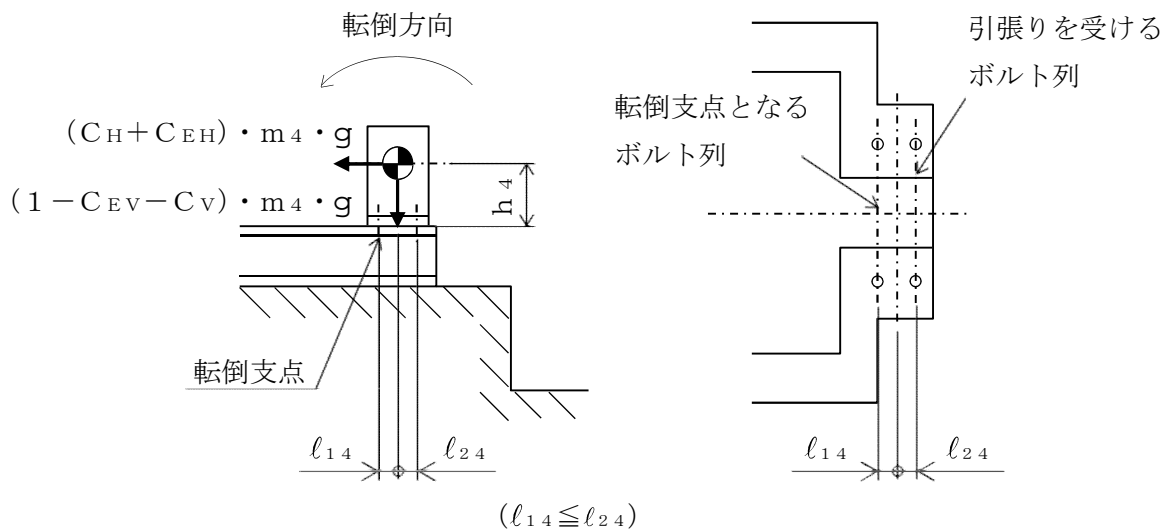


図 5-8 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機軸受台取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-7 及び図 5-8 で発電機軸受台取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機軸受台取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b4} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \cdot h_4 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_4 \cdot g \cdot \ell_{14}}{n_{f4} \cdot (\ell_{14} + \ell_{24})} \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} は○○○○機関の往復運動による起振力及び○○○○機関の回転速度を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

ここで、発電機軸受台取付ボルトの軸断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

ただし、 F_{b4} が負のとき発電機軸受台取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) セン断応力

発電機軸受台取付ボルトに対するせん断力は発電機軸受台取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b4} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-8 に示す。

表 5-8 基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	S35C
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	50
ボルトの呼び径	d_1	mm	48
〇〇〇〇機関及び発電機の運転時質量	m_1	kg	166000
〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
据付面から重心までの距離	h_1	mm	1700
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{11}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{21}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{11}	mm	4632
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{21}	mm	5861
ボルトの本数	n_1	—	50
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸直角方向）	n_{f1}	—	23
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸方向）	n_{f1}	—	2

計算条件の項に関しては、基本は文章で簡略化^{※1}し、結果の「設計条件」、「機器要目」等に記載のないものは、本表を作成するものとする。

なお、記載した方が説明性が高くなる場合は記載してもよい。

本件の場合には、長辺方向及び短辺方向の全ての距離の記載が結果の「機器要目」にないため、設計条件の表としては長辺方向及び短辺方向の距離の項目のみ必要となるが、説明性を高めるため本表のままとする。

※1：簡略化する場合の記載例

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇〇機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 〇〇〇〇機関取付ボルトの応力計算条件

〇〇〇〇機関取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-9 に示す。

表 5-9 〇〇〇〇機関取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SCM435
温度条件（最高使用温度）	—	℃	75
ボルトの呼び径	d_2	mm	56
〇〇〇〇機関の運転時質量	m_2	kg	108390
〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_2	mm	1700
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{12}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{22}	mm	915
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{12}	mm	2735
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{22}	mm	3515
回転速度（〇〇〇〇機関の定格回転速度）	N	min^{-1}	514
〇〇〇〇機関出力	P	kW	6150
ボルトの本数	n_2	—	32
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸直角方向）	n_{f2}	—	16
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸方向）	n_{f2}	—	2

5.5.3 発電機固定子取付ボルトの応力計算条件

発電機固定子取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-10 に示す。

表 5-10 発電機固定子取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS41
温度条件（最高使用温度）	—	℃	75
ボルトの呼び径	d_3	mm	48
発電機固定子の運転時質量	m_3	kg	24200
〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_3	mm	637.2
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{13}	mm	1600
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{23}	mm	1600
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{13}	mm	625
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{23}	mm	625
回転速度（〇〇〇〇機関の定格回転速度）	N	min^{-1}	514
〇〇〇〇機関出力	P	kW	6150
ボルトの本数	n_3	—	6
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸直角方向）	n_{f3}	—	3
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸方向）	n_{f3}	—	2

5.5.4 発電機軸受台取付ボルトの応力計算条件

発電機軸受台取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-11 に示す。

表 5-11 発電機軸受台取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS41
温度条件（最高使用温度）	—	℃	75
ボルトの呼び径	d_4	mm	42
発電機軸受台の運転時質量	m_4	kg	14910
〇〇〇〇機関往復運動による水平方向震度	C_{EH}	—	0.02
〇〇〇〇機関往復運動による鉛直方向震度	C_{EV}	—	0.02
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_4	mm	637.2
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{14}	mm	600
重心とボルト間の水平方向距離（軸直角方向）	ℓ_{24}	mm	600
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{14}	mm	200
重心とボルト間の水平方向距離（軸方向）	ℓ_{24}	mm	200
ボルトの本数	n_4	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸直角方向）	n_{f4}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （軸方向）	n_{f4}	—	2

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

〇〇〇〇機関及び発電機の地震後の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

〇〇〇〇機関及び発電機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (単位: $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
機 関	〇〇〇〇機関	水平	1.1
		鉛直	1.0
ガバナ		水平	1.8
		鉛直	1.0
発電機	横形すべり軸受	水平	2.6
		鉛直	1.0

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇機関及び発電機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇機関及び発電機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【〇〇〇〇機関及び発電機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		〇〇〇〇機関 往復運動による 鉛直方向震度	〇〇〇〇機関 往復運動による 水平方向震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	鉛直方向震度	水平方向震度	75	50
〇〇〇〇機関及び発電機	S	原子炉建屋 EL. 8.8*1	0.034	—*2	CH=0.65	Cv=0.48	CH=1.84	Cv=0.95	CEH=0.02	CEV=0.02		

注記 *1: 基準床レベルを示す。
*2: 固有周期は十分に小さく計算は省略する。
設計震度をとっている床レベルを記載する。

*3: Ⅲ_ASについては、基準地震動S_sで評価する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} (mm)		φ _{2i} (mm)		n _i		n _{f i}	
			弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i = 1)	166000	1700	915	4632	915	5861	50	23	2	2
〇〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	108390	1700	915	2735	915	3515	32	16	2	2
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	24200	637.2	625	625	625	625	6	2	2	2
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	14910	637.2	200	200	200	200	4	2	2	2

Ⅲ_ASの評価をS_sで実施する場合は「—」とする。

部材	A _{b i} (mm ²)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _E (N・mm)	
						弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i = 1)	1810 (M48)	299*2 (40mm<径≤100mm)	498*2 (40mm<径≤100mm)	299	348	軸直角	軸	—	—
〇〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	2463 (M56)	712*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	592	592	軸直角	軸	1.143×10 ⁸	—
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	1810 (M48)	203*1 (40mm<径≤100mm)	381*1 (40mm<径≤100mm)	203	243	軸	軸	—	—
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	1385 (M42)	203*1 (40mm<径≤100mm)	381*1 (40mm<径≤100mm)	203	243	軸	軸	—	—

転倒方向が同じ時は、1つとする。

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	縦弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断面積 A _s (mm ²)
6150	514	201000*2	77300*2	1.504×10 ¹²	1.288×10 ⁵

注記 *1: 最高使用温度で算出
*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	2.636×10 ⁴	2.345×10 ⁵	1.091×10 ⁶	3.028×10 ⁶
〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	2.864×10 ⁴	2.619×10 ⁵	7.122×10 ⁵	1.977×10 ⁶
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	1.086×10 ⁴	1.107×10 ⁵	1.590×10 ⁵	4.414×10 ⁵
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	5.975×10 ⁴	2.155×10 ⁵	9.797×10 ⁴	2.720×10 ⁵

Ⅲ_A Sの評価をS_sで実施する場合は「-」とする。

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	S35C	引張り	σ _{bl} = 15	f _{ts1} = 224	σ _{bl} = 130	f _{ts1} = 261
		せん断	τ _{bl} = 12	f _{sh1} = 173	τ _{bl} = 34	f _{sh1} = 201
〇〇〇機関 取付ボルト	SCM435	引張り	σ _{bl2} = 12	f _{ts2} = 444	σ _{bl2} = 107	f _{ts2} = 444
		せん断	τ _{bl2} = 9	f _{sh2} = 342	τ _{bl2} = 25	f _{sh2} = 342
発電機固定子 取付ボルト	SS41	引張り	σ _{bl3} = 6	f _{ts3} = 152	σ _{bl3} = 62	f _{ts3} = 182
		せん断	τ _{bl3} = 15	f _{sh3} = 117	τ _{bl3} = 41	f _{sh3} = 140
発電機軸受台 取付ボルト	SS41	引張り	σ _{bl4} = 44	f _{ts4} = 152	σ _{bl4} = 156	f _{ts4} = 177
		せん断	τ _{bl4} = 18	f _{sh4} = 117	τ _{bl4} = 49	f _{sh4} = 140

注記 *：基準地震動 S_s による算出値

すべて許容応力以下である。

Ⅲ_A Sの評価をS_sで実施した場合は、算出応力値に「*」を付記し、注記で説明する。

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
機 関	水平方向	1.09	1.1
	鉛直方向	0.67	1.0
ガ バ ナ	水平方向	1.09	1.8
	鉛直方向	0.67	1.0
発 電 機	水平方向	1.09	2.6
	鉛直方向	0.67	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定S_sを記載する。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」の場合の記載
※：「評価用加速度 > 機能確認済加速度」の場合は、適宜、詳細結果を追加する。
詳細評価の様式は、「計算書作成の基本方針」参照

「評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合の記載例」
〇〇は〇〇方向、〇〇は〇〇方向の評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

【DB + SA の場合】
前項のDBの評価に本SAの評価を追加する。

NT2 補① V-0-0-0 R0

【SA 単独の場合】
本フォーマットを使用する。
ただし、章番を 1. とする。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		〇〇〇〇機関 往復運動による 水平方向震度	〇〇〇〇機関 往復運動による 鉛直方向震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
〇〇〇〇機関 及び発電機	常設／防止	原子炉建屋 EL. 8.8*1	0.034	—*2	—	—	CH=1.84	CV=0.95	CEH=0.02	CEV=0.02	75	50

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

設計震度をとっている床レベルを記載する。

2.2 機器要目

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} (mm)		φ _{2i} (mm)		n _i		n _{f i}	
			弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	166000	1700	—	4632	—	5861	50	2	—	2
〇〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	108390	1700	—	2735	—	3515	32	2	—	2
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	24200	637.2	—	625	—	625	6	2	—	2
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	14910	637.2	—	200	—	200	4	2	—	2

部 材	A _{b i} (mm ²)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _E (N・mm)	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	1810 (M48)	299 ^{*2} (40mm < 径 ≤ 100mm)	498 ^{*2} (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	348	—	軸	—	—
〇〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	2463 (M56)	712 ^{*1} (径 ≤ 60mm)	847 ^{*1} (径 ≤ 60mm)	—	592	—	軸	—	—
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	1810 (M48)	203 ^{*1} (40mm < 径 ≤ 100mm)	381 ^{*1} (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	243	—	軸	—	—
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	1385 (M42)	203 ^{*1} (40mm < 径 ≤ 100mm)	381 ^{*1} (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	243	—	軸	—	—

機関出力 P (kW)	回転速度 N (min ⁻¹)	弾性係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	有効せん断断面積 A _s (mm ²)
6150	514	201000 ^{*2}	77300 ^{*2}	1.504 × 10 ¹²	1.288 × 10 ⁵

注記 *1：最高使用温度で算出
*2：周囲環境温度で算出

厚さ、径等による強度区分がある場合は、該当する強度区分を記載する。

2.3 計算数値

ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	—	2.345×10 ⁵	—	3.028×10 ⁶
〇〇〇〇機関 取付ボルト(i = 2)	—	2.619×10 ⁵	—	1.977×10 ⁶
発電機固定子 取付ボルト(i = 3)	—	1.107×10 ⁵	—	4.414×10 ⁵
発電機軸受台 取付ボルト(i = 4)	—	2.155×10 ⁵	—	2.720×10 ⁵

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	S35C	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 130$	$f_{ts1} = 261$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 34$	$f_{sb1} = 201$
〇〇〇〇機関 取付ボルト	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 107$	$f_{ts2} = 444$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 25$	$f_{sb2} = 342$
発電機固定子 取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 62$	$f_{ts3} = 182$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 41$	$f_{sb3} = 140$
発電機軸受台 取付ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b4} = 156$	$f_{ts4} = 177$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} = 49$	$f_{sb4} = 140$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

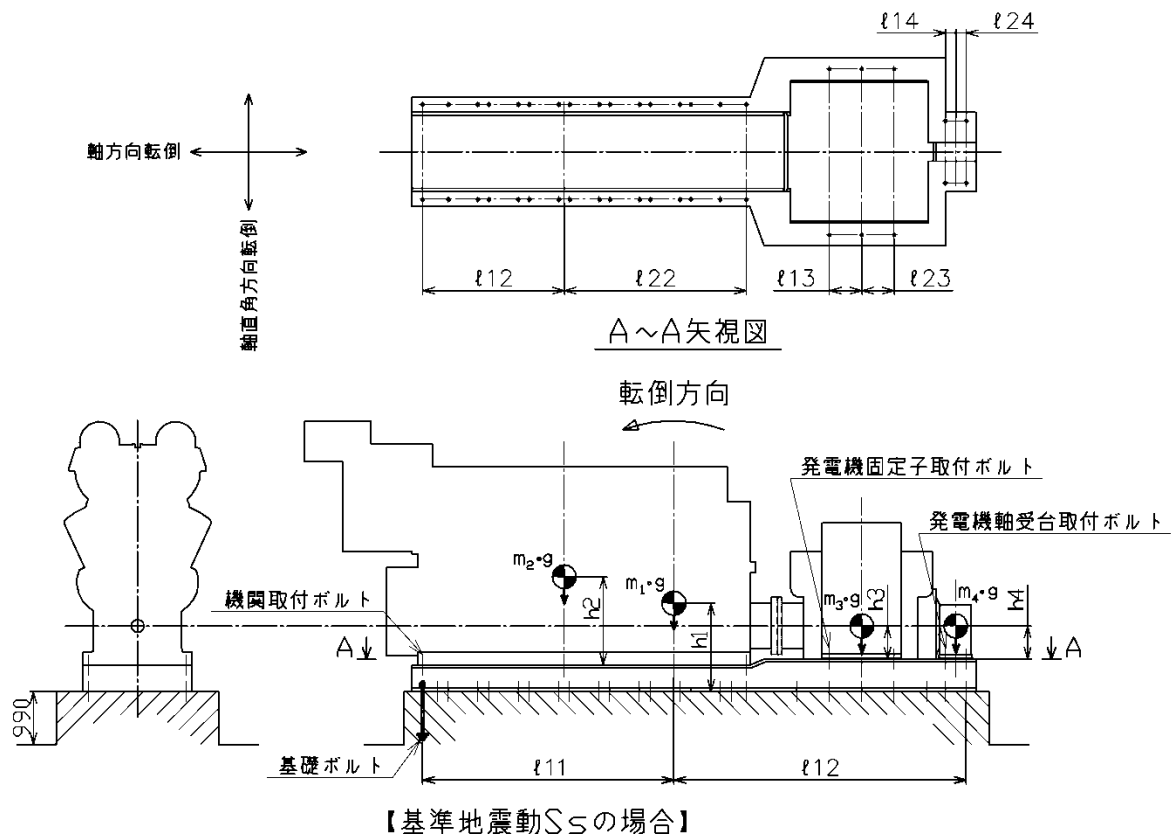
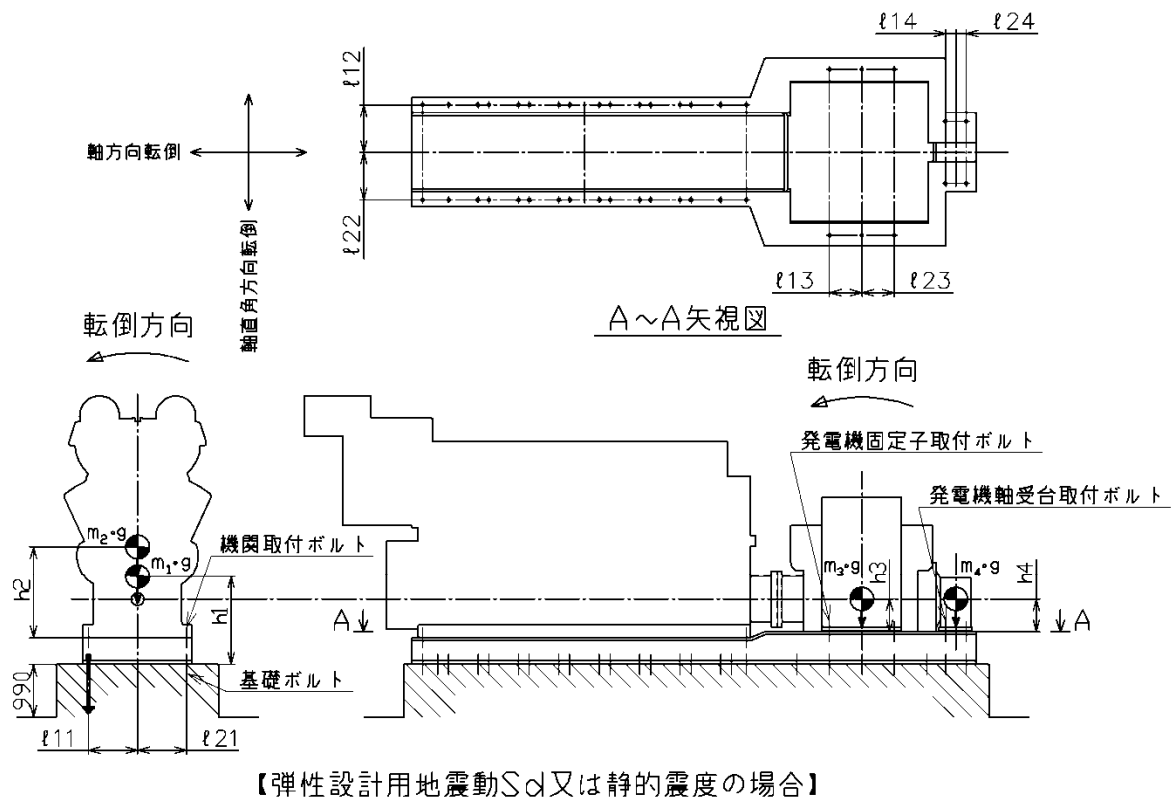
		評価用加速度	機能確認済加速度
機 関	水平方向	1.09	1.1
	鉛直方向	0.67	1.0
ガ バ ナ	水平方向	1.09	1.8
	鉛直方向	0.67	1.0
発 電 機	水平方向	1.09	2.6
	鉛直方向	0.67	1.0

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S_s を記載する。

「評価用加速度 ≤ 機能確認済加速度」 の場合の記載
※：「評価用加速度 > 機能確認済加速度」 の場合は、適宜、
詳細結果を追加する。
詳細評価の様式は、「計算書作成の基本方針」 参照

「評価用加速度 > 機能確認済加速度の場合の記載例」
〇〇は〇〇方向、〇〇は〇〇方向の評価用加速度が機能確認済加速度を超え
るため、詳細評価を行う。



添付資料－7：個別に地震応答解析の説明が必要な設備の耐震計算書
(D パターンの耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○○水位の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有振動数の算出方法	7
4.3 固有値解析結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算方法	13
5.5 計算条件	17
5.6 応力の評価	19
6. 機能維持評価	20
6.1 電氣的機能維持評価方法	20
7. 評価結果	21
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21

・DB+SAの場合

- 7.1 設計基準対象施設としての評価結果・・・・・・
- 7.2 重大事故等対処設備としての評価結果・・・・・・

・DB単独又はSA単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇水位は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

〇〇〇〇水位の構造計画を表 2-1 に示す。

・ DB + S A の場合

〇〇〇は、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

・ DB 単独又は S A 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造	正面図	側面図
箱形計器スタンションは、基礎ボルトにより床面に設置されたベースに取付ボルトにより固定する。 検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより箱形計器スタンションに固定される。	箱形計器スタンション		

〔後施工アଙ୍କカの場合〕
後施工アଙ୍କカの種類（メカニカルアଙ୍କカ，ケミカルアଙ୍କカ）
を記載する。

下記内容は案として記載したものであり、本項目については各計算書に合った記載内容並びにフロー図にする。

2.2 評価方針

〇〇〇〇水位の応力評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す〇〇〇〇水位の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、〇〇〇〇水位の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇水位の耐震評価フローを図2-1に示す。

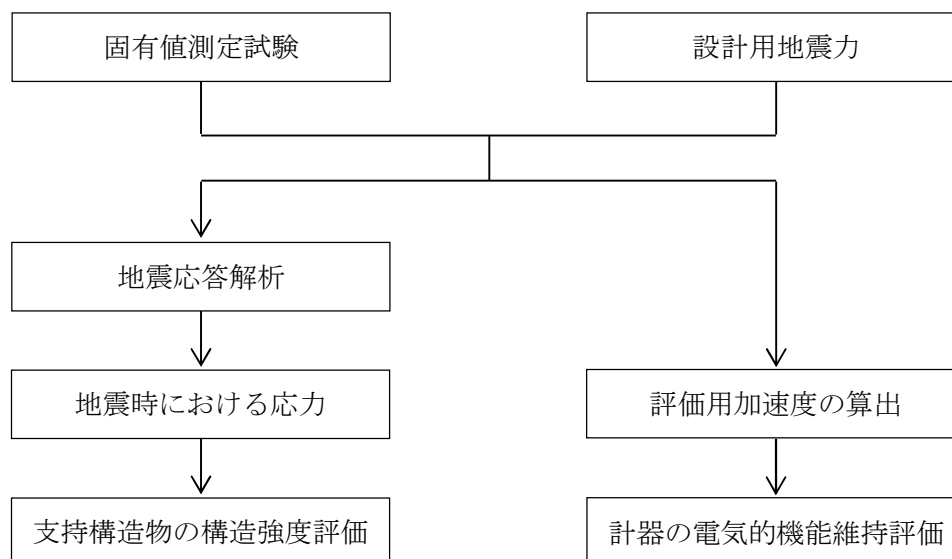


図2-1 〇〇〇〇水位の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補—1984, J E A G 4 6 0 1 —1987及びJ E A G 4 6 0 1 —1991 追補版）（日本電気協会電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月）

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 —2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）

ボルトの応力計算をボルトの有効断面積で行う場合は, 以下とする。

- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1 —2005/2007）及び（設計・建設規格（2012年版）J S M E S N C 1 —2012）（日本機械学会 2007年9月及び2012年12月）（以下「設計・建設規格」という。）

ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、「ボルトの有効断面積^{*1, *2}」とし、以下の注記を追記する。
 なお、その際下表の注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。
 *2：日本工業規格 J I S B 1 0 8 2 (2009)「ねじの有効断面積及び座面の負荷面積」の表 1 一般用メートルねじの有効断面積による。(以下「J I S B 1 0 8 2」という。)

2.4 記号の説明

記 号	記 号 の 説 明	単 位
A_{bi}	ボルトの軸断面積 ^{*1}	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径 ^{*1}	mm
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値 ^{*1}	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) ^{*1}	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 ^{*1}	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ^{*1}	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離 ^{*1}	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1, *3}	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1, *3}	mm
m_i	計器スタンションの質量 ^{*2}	kg
n_i	ボルトの本数 ^{*1}	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 ^{*1}	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力 ^{*1}	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値 ^{*1, *5}	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値 ^{*1, *6}	MPa
$S_{yi} (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値 ^{*1, *6}	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力 ^{*1}	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力 ^{*1}	MPa

注記 *1： A_{bi} , d_i , F_i , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , h_i , ℓ_{1i} , ℓ_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} , τ_{bi} の添え字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2： m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 計器スタンション+ベース

$i = 2$: 計器スタンション

*3： $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$

ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、 S_u , S_y , $S_y (R T)$ の記号の説明に注記符号「*5, *6」を付し、下記注記を本表外に記載する。

*5：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第 1 章 表 7 に定める値

*6：基礎ボルトの有効断面積による応力評価の場合は、設計・建設規格 (2012) 材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ* ¹	mm	—	—	整数位
面積* ²	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記注記を追記する。なお、その際に上記注記符号は*2を*3に、*3を*4にする。

*2：ボルトの有効断面積は、J I S B 1 0 8 2 表1に記載の値とする。

固有周期をスイープ試験（加振試験）にて求める場合の記載を示す。
また、類似品の結果を流用する場合の記載例は以下とする。
・計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

3. 評価部位

〇〇〇〇水位の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

〇〇〇〇水位の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

「構造計画」で示した部位に対し、評価対象を選定している理由を記載する。
複数の評価対象に対して、代表で評価する場合は、評価対象の母集団及び代表選定の考え方（条件が厳しい、すべて評価のうえ代表として記載するなど）の概要を計算書に記載する。

4. 固有周期

4.1 基本方針

計器スタンションの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有振動数の算出方法

振動試験装置にて計器スタンションの応答を測定する。〇〇〇〇水位の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有値解析結果

固有振動数の計算結果を以下に示す。

〇〇〇〇水位の固有振動数	
水平	20Hz 以上
鉛直	20Hz 以上

【固有周期を「打振試験（自由振動試験）」にて求める場合の記載を示す。】

4.1 基本方針

計器スタンションの固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有振動数の算出方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。

固有周期を類似品の結果を流用する場合の記載例は以下とする。
・計器スタンションの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計器スタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは取付ボルト及び基礎ボルトで壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、計算モデルにおける水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には結果の
厳しい方を記載する。
厳しいとは、「許容値／発生値」の小さい方をいう。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

〇〇〇〇水位の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

〇〇〇〇水位の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

〇〇〇〇水位の使用材料の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

・ DB + SA の場合

〇〇〇〇の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・ DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

・ DB + SA の場合

〇〇〇〇の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表〇-〇に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表〇-〇に示す。

・ DB 単独又は SA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	$IV_A S$
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

9

DB + S A の場合，以下を上記 S A の前に追加する。					
表 5－〇 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）					
施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置 ○○○○○	「*2」を記載する場合は「*1」とする。 S	* —	D + P _D + M _D + S _d *	Ⅲ _A S
				D + P _D + M _D + S _s	Ⅳ _A S
注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。					
*2：S _s と組合せ，Ⅲ _A S の評価を実施する。					

$III_A S$ の評価で S s を組合せる場合は
「 S_d^{*2} 」とし，注記で説明する。

SA 単独の場合を示す。
・ DB 単独の場合は、許容応力（その他の支持構造物）
・ DB + SA の場合は、許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）とする。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
		一次応力	
		引張り	せん断
IV _A S		$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)			

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

許容応力を記載するすべての表に「当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。」の注記を記載する。

DB + SA の場合は、以下をIV_ASの前に追加する。

III _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
--------------------	-----------------	-----------------

SA 単独の場合を示す。
・DB + SA の場合は、本表の前に DB の条件である
「表 5-〇 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）」を追加する。

表 5-3 使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
基礎ボルト	SS400	周囲環境温度	50	245	400	—
取付ボルト	SS400		50	245	400	—

添付資料－9

「工認計算書における設計用地震力に関するフォーマット」に基づき、見直す。
(本件の場合は、(3)SA 設備：剛な場合)

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5－4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

SA 単独の計算書の場合は、記載不要とする。

表 5－4 設計用地震力 (重大事故等対処設備)

耐震 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
－ (S_s)	○○○○ EL. 0.7 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	—	—	$C_H=2.00$	$C_V=2.67$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

(記載例 1)

既に振動試験が行われているものと同等又は類似のものの固有周期を使用する場合

水平方向	鉛直方向
0.05 以下	0.05 以下

(記載例 2)

固有周期は十分に小さく、計算は省略する場合

水平方向	鉛直方向
— ^{*2}	— ^{*2}

SA 単独の場合を示す。

- ・DB + SA の場合は、本表の前に DB の条件である「表 5－〇 設計地震力 (設計基準対象施設)」を追加する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張りとせん断力について計算する。

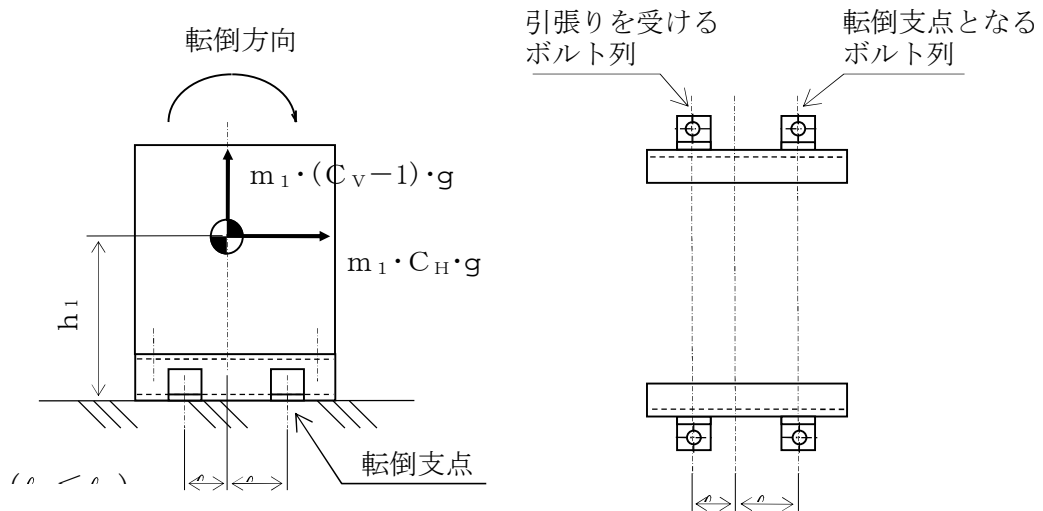


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

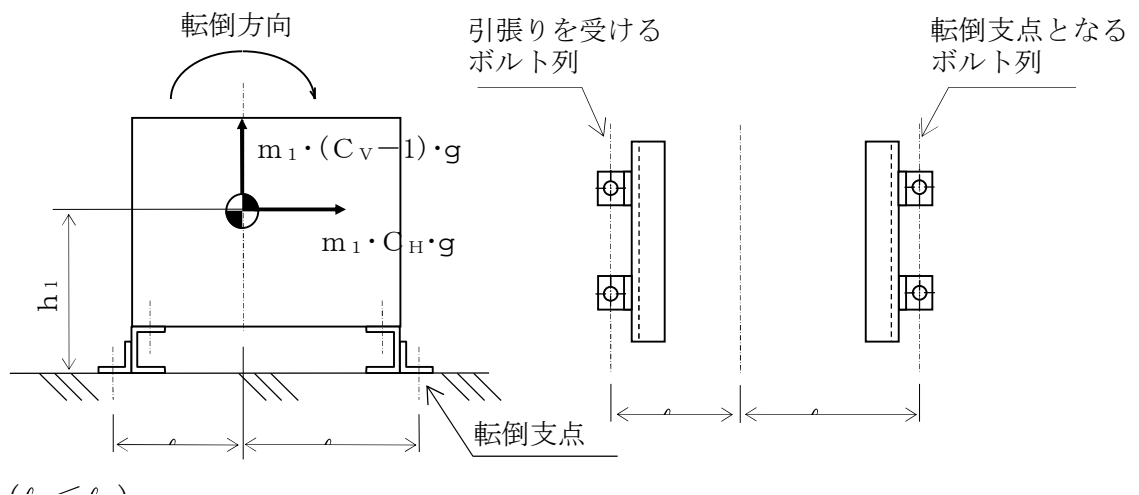


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{11} \cdot g}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) セン断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記文言に変更する。なお、その際に上記式番号は(5.4.1.1.4)を(5.4.1.1.3)に、(5.4.1.1.5)を(5.4.1.1.4)にする。

「ここで、基礎ボルトの有効断面積 A_{b1} は、J I S B 1 0 8 2 表1に記載の値とする。」

5.4.1.2 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

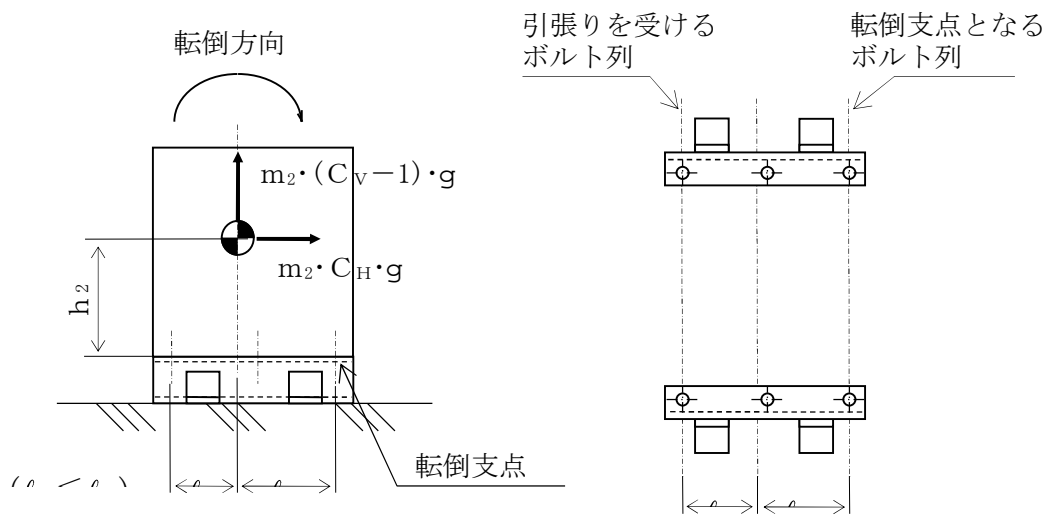


図5-3 計算モデル（短辺方向転倒）

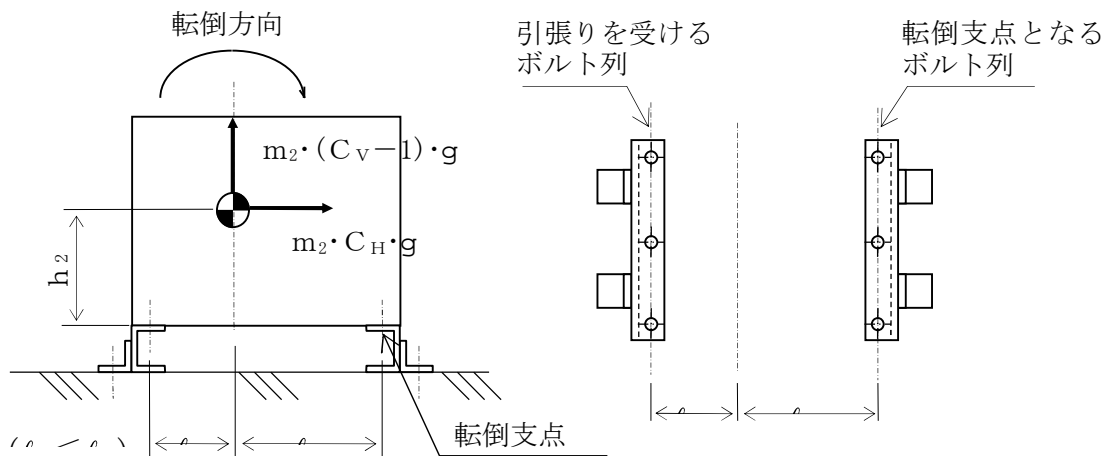


図5-4 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) セン断応力

取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ボルトの有効断面積による評価の場合は、下記文言に変更する。なお、その際に上記式番号は(5.4.1.2.4)を(5.4.1.2.3)に、(5.4.1.2.5)を(5.4.1.2.4)にする。

「ここで、基礎ボルトの有効断面積 A_{b2} は、J I S B 1082 表1に記載の値とする。」

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-5 に示す。

周囲環境温度が 50℃以下の場合、耐震計算書上は 50℃と記載する。

表 5-5 基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS400
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	50
ボルトの呼び径	d_1	mm	12
計器スタンションの質量	m_1	kg	55
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
据付面から重心までの距離	h_1	mm	400
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{11}	mm	
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{21}	mm	
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{11}	mm	90
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{21}	mm	140
ボルトの本数	n_1	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（長辺方向）	n_{f1}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（短辺方向）	n_{f1}	—	2

計算条件の項に関しては、基本は文章で簡略化^{※1}し、結果の「設計条件」、「機器要目」等に記載のないものは、本表を作成するものとする。

なお、記載した方が説明性が高くなる場合は記載してもよい。

本件の場合、長辺方向の距離（ ℓ_{11} 、 ℓ_{21} ）の記載が、結果の「機器要目」にないため、設計条件の表としては長辺方向の距離の項目のみ必要となるが、説明性を高くなるため本表のままとする。

※1：簡略化する場合の記載例

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【〇〇〇〇水位の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-6 に示す。

周囲環境温度が 50℃以下の場合、耐震計算書上は 50℃と記載する。

表 5-6 取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	SS400
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	50
ボルトの呼び径	d_2	mm	10
計器スタンション質量	m_2	kg	49
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_2	mm	325
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{12}	mm	
重心とボルト間の水平方向距離（長辺方向）	ℓ_{22}	mm	
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{12}	mm	100
重心とボルト間の水平方向距離（短辺方向）	ℓ_{22}	mm	150
ボルトの本数	n_2	—	6
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（長辺方向）	n_{f2}	—	3
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（短辺方向）	n_{f2}	—	2

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

ボルトの有効断面積による評価の場合の許容応力は、以下とする。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇水位計の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

〇〇〇〇水位計は地震時電氣的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により確認した加速度を適用する。

〇〇〇〇水位の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (単位：×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
〇〇〇〇水位 (〇〇〇〇)	伝送器 (EDR-N6L)	水平	〇〇
		鉛直	〇〇

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇水位の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

DB+SAの場合

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇〇の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇〇の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【○○○○水位の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

設計震度をとっている床レベルを記載する。

機 器 名 称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
○○○○水位(○○○○)	常設耐震／防止 常設／緩和	○○○○ EL. 0.7*	0.05以下	0.05以下	—	—	C _{ii} =2.00	C _v =2.67	50

注記 *：基準床レベルを示す。

周囲環境温度が50℃以下の場合は、耐震計算書上は50℃と記載する。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト、取付ボルト

有効断面積の場合は
J I S B 1 0 8 2 表1に記載の値を記載する。

部 材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} (mm)	φ _{2i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
											弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	55	400	90	140	113.1 (M12)	4	2	245 (径≦16mm)	400	245	—	短辺方向
取付ボルト (i=2)	49	325	100	150	78.54 (M10)	6	2	245 (径≦16mm)	400	245	—	短辺方向

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルト、取付ボルトに作用する力

(単位：N)

ボルト径を記載する。

厚さ、径等による強度区分がある場合には、該当する強度区分を記載する。

部 材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)	—	335.6	—	1.079×10 ³
取付ボルト (i=2)	—	95.62	—	961.1

SA+DBの場合は、本ページの前に

「1. 設計基準対象施設」の計算結果表を追加する。
その場合、本表は「2. 重大事故等対処設備」となる。

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 3$	$f_{ts1} = 147$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 3$	$f_{sh1} = 113$
取付ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 2$	$f_{ts2} = 183$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 3$	$f_{sh2} = 141$

すべて許容応力以下である。

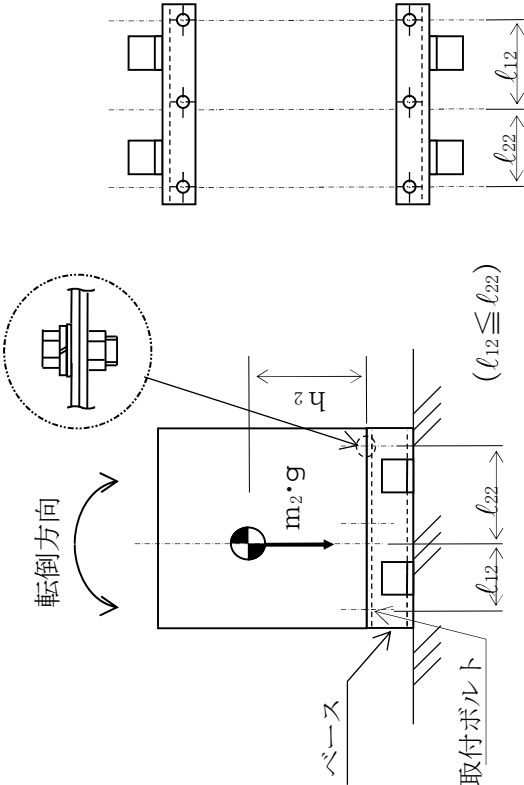
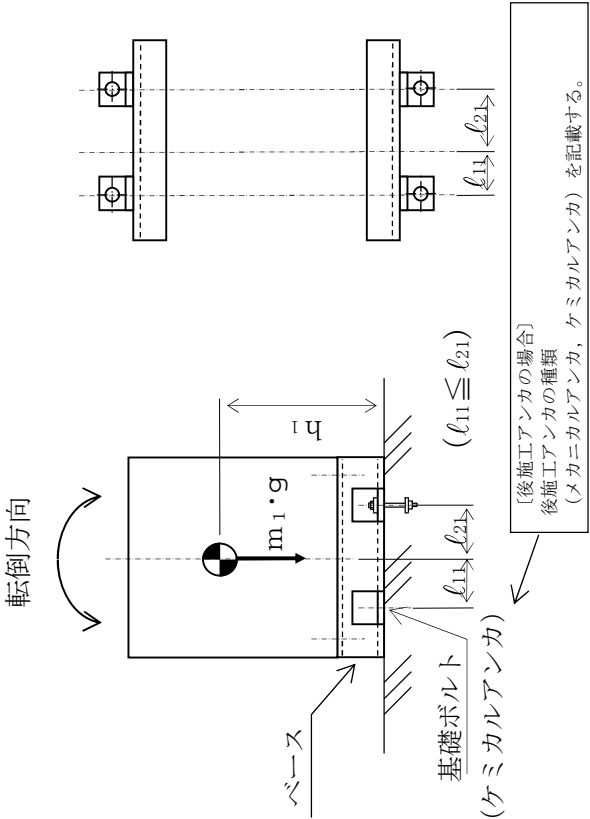
1.4.2 電気的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
		〇〇	〇〇
〇〇〇〇水位 (〇〇〇〇)	水平方向	〇〇	〇〇
	鉛直方向	〇〇	〇〇

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定 S s を記載する。



添付資料－8：機能維持評価のみを確認する設備の耐震計算書
(E パターンの耐震計算書記載例)

V-○-○-○ ○○○○温度の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 電氣的機能維持評価方法	4
4.2 加振試験	5
5. 評価結果	6
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	6
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	6

・ DB + SA の場合の記載例を示す。
 [DB 単独又は SA 単独の場合は，それぞれの該当する項目のみ記載する。]

1. 概要

本計算書は、「V-2-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、〇〇〇〇温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

〇〇〇〇温度は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、分類に応じた電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

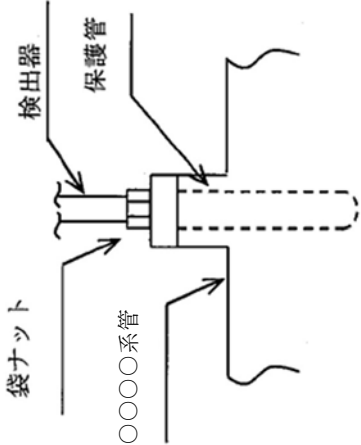
2.1 構造計画

〇〇〇〇温度の構造計画を表 2-1 に示す。

・DB + SAの場合の記載例を示す。

〔DB 単独又はSA 単独の場合は、それぞれの該当する項目のみ記載する。〕

表 2-1 構造計画

計画の概要		概要構造図
基礎・支持構造	主体構造	
検出器は、袋ナットにて、〇〇〇〇系管に溶接された保護管に固定する。	測温抵抗体	

2.2 評価方針

〇〇〇〇温度の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「4. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

〇〇〇〇温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

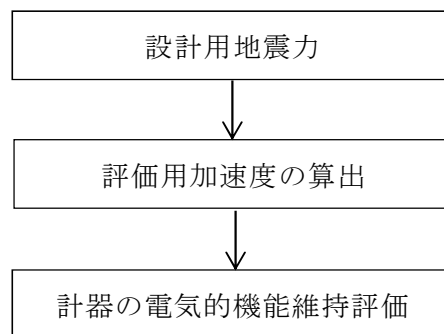


図 2-1 〇〇〇〇温度の耐震評価フロー

2.3 適用基準

本計算書においては、原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984, J E A G 4 6 0 1-1987 及び J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

3. 評価部位

〇〇〇〇温度は、〇〇〇〇系管に直接取り付けられた保護管に挿入され固定されることから、〇〇〇〇系管が支持している。〇〇〇〇系管の構造強度評価は「V-〇-〇-〇 管の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、〇〇〇〇系管の地震応答解析結果を用いた〇〇〇〇温度の電氣的機能維持評価について示す。

〇〇〇〇温度の機能維持評価は、検出器取付位置の加速度により実施する。〇〇〇〇温度の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 機能維持評価

4.1 電氣的機能維持評価方法

〇〇〇〇温度の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

〇〇〇〇温度は〇〇〇〇系管に直接取り付けられた保護管に挿入されることから、評価用加速度は、「V-〇-〇-〇 管の耐震性についての計算書」に示す〇〇〇〇設備の地震応答解析で評価した〇〇〇〇温度取付部の質点に生じる加速度とし、評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、検出器単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

形式	評価部位	方向	機能確認済加速度
	本体	水平	〇.〇〇
	本体	鉛直	〇.〇〇

対象は配管に設置されている計器類になるため、「本体」と記載する。違う場合はその都度調整する。

4.2 加振試験

4.2.1 基本事項

〇〇〇〇温度について実際の設置状態を模擬して加振試験を行い，基準地震動 S_s による地震力に対して要求される機能が維持されることを確認する。

4.2.2 設計用地震力

加振波の条件を記載するものとする。

以下の加振波の最大加速度を上回る加速度で加振を行う。

- ・加振波：正弦波 or 対象機器設置箇所における基準地震動 S_s に対する設計用床応答スペクトルを上回るように設定
- ・加振方向：水平（前後）＋鉛直，水平（左右）＋鉛直

（単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$ ）

対象機器設置箇所	加振方向		最大加速度	
			S_s -〇	S_s -〇
〇〇〇建屋 EL. 〇〇.〇 (m)	水平	X		
		Y		
	鉛直	Z		

本項は，加振試験の条件を記載するものとする。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

〇〇〇〇温度の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

〇〇〇〇温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【〇〇〇〇温度の耐震性についての計算結果】

- 1. 設計基準対象施設
- 1.1 電気的機能の評価結果

		(単位：×9.8m/s ²)	
		評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
〇〇〇〇温度 (〇〇〇〇)	水平方向		
	鉛直方向		
評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。			

確定S_sを記載する。

各検出器の値を記載する。

2. 重大事故等対処設備
2.1 電気的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		
○○○○温度 (○○○○)	水平方向		
	鉛直方向		

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

確定S_sを記載する。

各検出器の値を記載する。