

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	補足-340-2 改 9
提出年月日	平成 30 年 8 月 1 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-340-2 【耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相

違点の整理について】

平成 30 年 8 月

日本原子力発電株式会社

改定履歴

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改0	2018年2月26日	資料番号「補足-342」として提出
改1	2018年3月2日	添付-8(耐震評価における等価繰返し回数 ¹ の妥当性確認)の追加
改2	2018年3月6日	添付7(既工認との手法の相違(機電分))の追加
改0	2018年3月22日	<ul style="list-style-type: none"> 資料番号を「補足-342」から「補足-340-2」に変更 添付4-2(建物・構築物, 土木構造物及び浸水防護施設の耐震評価フロー並びに評価対象一覧)の追加 添付7(既工認との手法の相違(建物・構築物分))の追加
改1	2018年3月26日	<ul style="list-style-type: none"> 1章, 2章のうち建物・構築物及び屋外重要土木構造物に係る箇所の追加 添付-1, 添付4-1, 添付4-2, 添付-7(建物・構築物, 土木構造物)の追加
改2	2018年4月17日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2(2)の記載見直し, 補足1(弾性設計用地震動S_dの等価繰返し回数¹の設定について), 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数¹の妥当性確認について)の資料見直し
改3	2018年5月11日	<ul style="list-style-type: none"> 添付8の記載の適正化
改4	2018年5月22日	<ul style="list-style-type: none"> 本文の記載の適正化 添付-1, 2, 3, 4-1, 7, 7-3の記載の適正化 添付-2-1, 2-2, 2-6, 2-8, 7-7の追加及び添付2-4, 5の削除
改5	2018年7月11日	<ul style="list-style-type: none"> 本文の記載の適正化 添付-6の追加 添付-2-6, 2-8, 7, 7-7の記載の適正化
改6	2018年7月13日	<ul style="list-style-type: none"> S_dの等価繰返し回数¹を見直したことによる1.1.2(2)の記載見直し, 補足1(弾性設計用地震動S_dの等価繰返し回数¹の設定について)を削除, 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数¹の妥当性確認について)の資料見直し
改7	2018年7月18日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2(2)の記載見直し 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数¹の妥当性確認について)の資料見直し
改8	2018年7月20日	<ul style="list-style-type: none"> 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数¹の妥当性確認について)の資料見直し
改9	2018年8月1日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2及び1.1.3の記載の修正 添付2-8記載の修正及び別紙2の追加 添付7-8の追加

目 次

1. 東海第二発電所における耐震評価について	1
1.1 耐震Sクラス施設の評価（耐震Sクラス設備への波及的影響評価及び非常用取水設備含む）	4
1.1.1 基準地震動 S_s による評価	4
(1) 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について	4
(2) 対象設備の評価部位の網羅性について	4
(3) 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について	10
(4) 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理について	10
(5) 別表第二の対象外である耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果	11
(6) 地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて	11
1.1.2 弾性設計用地震動 S_d による評価	12
(1) 弾性設計用地震動 S_d による評価のうち、一次＋二次応力評価の省略について	15
(2) 弾性設計用地震動 S_d による評価のうち、一次＋二次＋ピーク応力評価（疲労評価）の省略について	16
1.1.3 静的地震力による評価	18
1.2 耐震Bクラス施設の評価	22
1.3 耐震Cクラス施設の評価	22
1.4 耐震Sクラス設備の間接支持構造物の評価	22
1.5 耐震Bクラス設備の間接支持構造物の評価	23
1.6 耐震Cクラス設備の間接支持構造物の評価	23
2. 東海第二発電所の既工認との手法の相違点の整理について	24
2.1 既工認との手法の整理一覧	24
2.2 相違点及び適用性の説明	24
2.2.1 機器・配管系	24
2.2.1.1 手法の相違点	24
2.2.1.2 手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性	26
2.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物	28
2.2.2.1 建物・構築物	28
2.2.2.2 屋外重要土木構造物	30
2.2.2.3 浸水防護施設	30

【補足説明資料】

補足 1 弾性設計用地震動 S_a の等価繰返し回数の設定について

【添付資料】

添付-1 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性

添付-2 対象設備の評価部位の網羅性

添付2-1 中性子計測ハウジング貫通部及び中性子計測ハウジングの評価省略理由

添付2-2 原子炉圧力容器スタビライザディスクスプリングの評価省略理由

添付2-3 炉心支持板スタッドの評価省略理由

添付2-4 (欠番)

添付2-5 (欠番)

添付2-6 ドライウェルビームシートの評価省略理由

添付2-7 脚材 (非常用ガス再循環フィルタトレイン及び非常用ガス処理系フィルタトレイン) の評価省略理由

添付2-8 鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について

添付-3 対象設備の評価項目 (応力分類) の網羅性

添付4-1 対象設備の耐震重要度分類の区分 (主要設備等) を踏まえた整理

添付4-2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の耐震評価フロー並びに評価対象一覧

添付-5 別表第二に記載のない耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果

添付-6 既設設備 (機器・配管系) の静的地震力による評価結果

添付-7 既工認との手法の整理一覧

添付7-1-1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-1-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-2 ポンプ等の解析モデルの精緻化について

添付7-3 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について

添付7-4 最新知見として得られた減衰定数の採用について

添付7-5 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて

添付7-6 鉛直方向応答解析モデルの追加について

添付7-7 炉心シュラウド等の公式等による評価について

添付7-8 補機類のアンカー定着部の評価について

添付-8 耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

添付-9 工認耐震計算書に地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて

下線：本日ご提出資料

1. 東海第二発電所における耐震評価について

工事計画認可申請書資料V-2「耐震性に関する説明書」(以下「今回工認」という。)においては、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則別表第二に基づく対象施設のうち、耐震Sクラス施設及び、耐震B、Cクラス施設のうち、耐震Sクラス施設への波及的影響を及ぼす恐れのある設備について耐震評価結果を示しており、その他の耐震B、Cクラス施設については耐震評価方針を示している。本資料は、評価対象施設及び評価項目・部位の網羅性、代表性を示すとともに東海第二発電所における既工認(以下「既工認」という。)との評価手法の相違点を整理したものである。

本資料においては、東海第二発電所の建設工認及び改造工認を「既工認」、新規規制基準施行後に認可となった工認(川内1・2号機、伊方3号機、高浜1・2号機、高浜3・4号機、美浜3号機、大飯3・4号機及び玄海3・4号機)を「新規規制基準対応工認」と記載する。

上記以外の工認実績については対象のプラントに加え、建設工認か改造工認であるかを個別に記載する。

申請施設の網羅性に関する確認手順を図1に示す。

【評価手順の説明】

① 別表第二に照らした設備の選定

- ・東海第二発電所の別表第二に該当する施設を抽出した。
- ・別表第二に該当する施設のうち、耐震Sクラス設備であるものについて、評価対象設備として選定し、添付-1に整理した。
- ・別表第二に該当する施設のうち、耐震Sクラス施設への波及的影響がある設備(以下「波及的影響設備」という。)及び耐震Sクラス設備の間接支持構造物並びに非常用取水設備についても、評価対象設備として選定し、添付-1に整理した。

② 重要度分類表による整理

- ・①にて選定した設備について、重要度分類表による整理を行った。結果を添付4-1に示す。
- ・①にて選定した設備に関連する間接支持構造物及び別表第二対象設備ではないが耐震Sクラス施設への波及的影響がある設備についても、併せて添付4-1に整理した。その整理結果については添付-1にフィードバックし、評価対象設備として整理している。

③ 評価の実施

- ・選定した設備及びそれに関連する設備について、評価部位を添付-2、応力分類を添付-3に整理し、評価を実施した。
- ・間接支持構造物については、基準地震動 S_s による評価を実施した。
- ・なお、上記に該当しない別表第二の耐震Bクラス及び耐震Cクラス施設(波及的影響設備を除く。)については、評価の方針を示した。

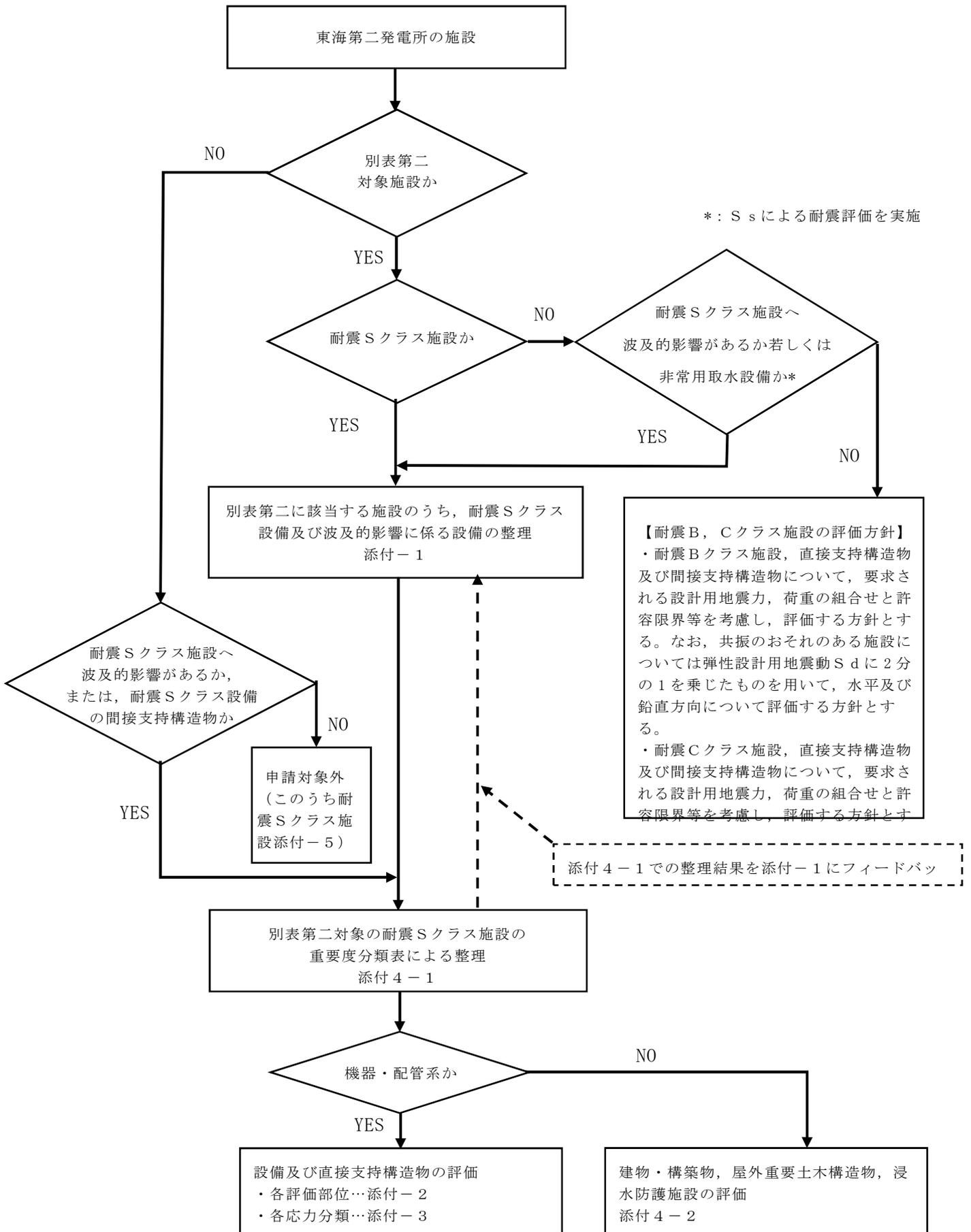


図1 申請施設の網羅性に関する確認手順

1.1 耐震Sクラス施設の評価（耐震Sクラス施設への波及的影響評価及び非常用取水設備の評価含む）

1.1.1 基準地震動 S_s による評価

評価の対象設備としては、別表第二の対象設備の分類に基づき、既工認での評価対象設備をベースに対象設備を選定しており、それらに対して、基準地震動 S_s による評価を実施した。

さらに、波及的影響設備及び非常用取水設備についても、検討すべき地震動（基準地震動 S_s ）にて評価を実施した。評価部位については、既工認における評価部位及び最新プラントである大間1号機の建設工認における評価部位をベースにして評価部位を選定した。評価の結果については、機器類は設備毎に評価上最も厳しい部位や設備の代表的な部位を、配管類は系統毎、弁類は型式毎に最も厳しいものを選定し、記載した。建物・構築物の評価結果は、既工認における評価部位を全て記載する。

評価対象設備が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則別表第二に照らして網羅されていること及びそれらの評価項目が既往の評価等と比べて必要な項目が網羅されていることの確認を以下のとおり行った。

(1) 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について

別表第二を踏まえた対象設備について、対象設備を整理した結果を添付1に示す。

ここでは、左欄に記載分類として別表第二の記載項目を示し、今回申請書記載内容の欄に該当する東海第二発電所の耐震Sクラス設備名称及び波及的影響設備の名称を記載した。

「-」としている項目については、別表第二の記載項目に設備が該当しないものなど、備考の欄にその旨を記載した。

以上の整理により、別表第二の記載項目に該当する設備について、今回工認の記載が網羅されていることを確認した。

(2) 対象設備の評価部位の網羅性について

a. 機器・配管系

機器・配管系における対象設備の評価部位について、今回評価した評価部位と既工認及び最新プラントである大間1号機の建設工認にて実施していた評価部位とを比較したものを添付2に示す。

ここでは、既工認における評価部位及び大間1号機の建設工認における評価部位を左欄に記載しており、それぞれ該当するところに「○」を示した。

更にその右欄には、今回工認における評価した部位を「○」で示し、評価部位の選定理由についても併せて記載した。

「今回工認における評価」の欄で「-」で示した部位は、下記①から④に記載の理由により評価を省略し、一番右の欄に該当する番号を記載した。

① 構造上、他の部位にて代表評価可能

➤ 中性子計測ハウジング貫通部

1次応力は外荷重による応力と内圧による応力によって算出され、内圧による応力が支配的である。内圧により応力は、制御棒駆動機構ハウジング貫通部よりも構造寸法として内径が小さく内圧による応力が小さいこと、また疲労累積係数については、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数と地震による疲労累積係数によって算出され、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数が支配的である。制御棒駆動機構ハウジング貫通部の方が流体温度変動が生じやすく熱応力が厳しい設計過渡条件が適用されるため、制御棒駆動機構ハウジング貫通部で評価を代表できる（添付2-1）。

➤ ディスクスプリング（原子炉圧力容器スタビライザ）

地震荷重により応力が発生するが、応力が生じる荷重条件は同じであるのに対して、ディスクスプリングよりもロッドのほうが耐震裕度が小さくなることからロッドにて評価を代表できる（添付2-2）。

➤ スタッド（炉心支持板）

炉心支持板の主要な強度部材である補強ビームが最も厳しく、スタッドの評価は補強ビームの評価で代表できる（添付2-3）。

➤ 再循環系ポンプ

再循環系ポンプは、その支持構造物とともに再循環系配管によっても支持されており、再循環配管からの反力を受ける再循環系ポンプは、内圧及び地震荷重によって応力が生じる。応力が生じる条件は代表評価部位である再循環系配管と同じであり、ポンプの構造上応力が生じやすいのは、ポンプ吸込部及び吐出部と再循環配管との接続部であるため、再循環系配管の応力評価において算出された接続部の応力が再循環ポンプの材料の許容応力以下であることを確認することにより、再循環ポンプの評価を代表している。

➤ シートプレート、側板、下板、補強リング等（ドライウエルビームシート）

ドライウエルビームシートの評価部位としてシートプレート、側板、下板、補強リング、各溶接部は地震荷重による主たる応力が生じるが、ドライウエルビームシートは別表第二に該当しない設備であることから、原子炉格納容器シェル部に取り付くビームシートの評価を実施する（添付2-6）。

② 過去の評価実績から他の部位にて代表評価可能

➤ 脚（非常用ガス再循環系フィルタトレイン、非常用ガス処理系フィルタトレイン）

取付ボルト及び基礎ボルトと比較して脚部の断面積が大きいことから、取付ボルト及び基礎ボルトにて代表可能である（添付2-7）。

③ 過去の評価実績から裕度を十分に有する
対象設備なし

④ 該当する部位がない

最新プラントにおいて比較対象とした設備に対して東海第二発電所において評価対象がない部位について、代替部位があるもの又は代替部位がないものに関して、その理由を表 1-1 に整理する。

表 1-1 最新プラントと比べて東海第二発電所において評価対象がない部位の整理

対象設備	評価対象がない部位	代替部位 (名称が異なる部位だけのものを含む) (ない場合は「—」と記載する)	代替部位がなくとも問題ない理由
原子炉圧力容器	胴板とスカート の接合部	下鏡板とスカートの接合部	—
	下部鏡板 (球殻部と円錐部 の接続部) (ナックル部)	—	構造が異なるため
	低圧注水スパー ジャブラケット	—	構造が異なるため
シュラウドヘッド	リング	—	構造が異なるため
残留熱除去系熱交換器	脚	ラク, シアラグ	
	基礎ボルト	取付ボルト	
ほう酸水注入ポンプ	減速機取付ボルト	—	構造が異なるため
主蒸気管放射線モニタ	取付ボルト	—	構造が異なるため
非常用ディーゼル発電装置用空気だめ	スカート	脚	—
非常用ディーゼル発電装置用燃料油デイトンク	スカート	脚	—
非常用ディーゼル用発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	固定子取付ボルト 機関側軸受台下部 ベース取付ボルト 機関側軸受ベース 取付ボルト 軸受台取付ボルト	直結側軸受台基礎ボルト 反直結側軸受台基礎ボルト	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置用空気だめ	スカート	脚	—
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置燃料油デイトンク	スカート	脚	—

評価部位のうち支持構造物のコンクリート定着部について原子炉圧力容器, 原子炉格納容器, 配管類, 補機類についてそれぞれ評価を実施した内容について説明する。

原子炉圧力容器, 原子炉格納容器に関しては, 支持構造物埋込金物の評価の中でコンクリート定着部の耐震評価を実施している。

また, 配管類に関しても埋込金物(ベースプレート及びスタッド)とコンクリート定着部の評価を J E A G 4601 に基づき実施している。

補機類については, 基礎ボルトの耐震評価を行っており, コンクリート定着部は直接評価していないが, 耐震評価に代えて設計上の手法管理にて耐震性を担保して

いる。補機類の基礎ボルト及びコンクリート定着部の設計では、基礎ボルトよりもコンクリート定着部の方が高い耐震性を有する設計を基本としている。即ち、ボルトの引張許容値から定めた限界引き抜き力に対して、J E A G 4601・補-1984 と同様のコンクリート許容せん断応力度及びせん断力算定断面積(コーン状破壊を想定)による引き抜き耐力が上回るような、必要な埋込深さを算定していることから、基礎ボルトに着目した耐震評価を行うことでコンクリート定着部の健全性も確認できる。

なお、鉛直方向の考慮すべき地震力条件について、既工認は静的地震力のみであったが今回工認では動的地震力も考慮するよう変更になっており、鉛直地震力の増大が考えられる。鉛直地震力が 1G を超えた場合に従来評価とは別に新たな評価が必要となる部位がないかを検討した。(添付 2-8 参照)

耐震 S クラス設備及び地震時の波及的影響防止を考慮すべき設備について分類化し、各分類について、鉛直地震に対して剛な設備と柔な設備の 2 つの観点から検討を実施した。

まず、剛な設備については、鉛直地震力が 1G を超える場合、浮き上がりなどの挙動が発生する可能性があるため、各建屋床面の鉛直地震力を整理した結果、1G を超える床面に設置される設備は原子炉建屋換気系(ダクト)放射線モニタ、制御棒貯ハンガ、制御棒貯蔵ラック、残留熱除去系海水系ポンプ、残留熱除去系海水系ストレーナ、非常用ディーゼル発電機用海水系ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナであった。

原子炉建屋換気系(ダクト)放射線モニタ、制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラック、残留熱除去系海水系ストレーナ、非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナは、構造上浮上りは発生しないため、それに伴う衝撃等は発生しない。

また、自重は下向きに働くことから、地震動についても下向きに考慮する従来の評価が厳しい条件となるため、従来の評価で問題ない。

次に、柔な設備についても、鉛直地震力が 1G を超える場合、浮き上がりなどの挙動について検討が必要になる。柔な設備の場合は、鉛直方向の固有周期に相当する応答加速度が入力となるため、鉛直地震力が 1G を超えることが否定できないが、その場合でも、例えば、落下防止が必要なクレーンには転倒防止金具がついているなど、各設備に鉛直上向きに生じる変位を拘束する部材が備わっていることから、従来から当該部材を評価している設備については従来どおりの評価が可能である。

その他、従来、十分裕度があり主要な評価部位ではないものや、鉛直地震力の影響を受けにくいものについても抽出し、念のため鉛直地震力の増大に伴う影響がないか個別に検討を実施した。

以上の検討を踏まえ、鉛直地震加速度の増大により、一部の設備については浮上り等の影響が生じる可能性があるが、浮上り等による衝撃荷重を適切に評価していること、または衝撃荷重や浮上り等は生じないことを確認した。

b. 建物・構築物

耐震 S クラスの建物・構築物の対象設備について、既工認、最新プラントである大間の建設工認、大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認及び今回工認の評価部位の比較を添付 4-2 に示す。建物・構築物は、既工認、大間の建設工認及び大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認にて評価を実施している以下の部位について、すべて評価を行う。

原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽の耐震壁については原子炉建屋の一部であり、構造物全体としての変形能力を層レベルで評価し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋原子炉棟の屋根トラス及び屋根スラブ、中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ、使用済燃料プール、原子炉格納容器底部コンクリートマット並びに原子炉建屋基礎盤については、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力（又はひずみ）が許容限界を超えないことを確認する。

また、建物・構築物の基礎地盤の支持性能について、人工岩盤を介して岩盤に支持する施設においては、基準地震動 S_0 による接地圧が地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

c. 屋外重要土木構造物

既工認、最新プラントである大間の建設工認、構造の類似性のある大飯 3 号機及び今回の工認の評価部位の比較を添付 4-2 に示す。屋外重要土木構造物は、全ての部材（頂版、底版、側壁、隔壁、覆工、鋼製管、鋼管杭等）について評価を行い、これらが許容限界以下であることを確認する。

なお、耐震評価断面については、構造物の配置、荷重条件、周辺地盤状況及び土木構造物の形状を考慮し、保守的な断面選定を行う。詳細については、補足説明資料「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」で説明する。

d. 浸水防護施設

既工認、最新プラントである大間の建設工認、構造の類似性のある大飯 3 号機及び今回の工認の評価部位の比較を添付 4-2 に示す。浸水防護施設は、各設備について機能・構造上の特徴を踏まえたうえで必要となる構造部材を評価対象部位とし、これらが許容限界以下であることを確認する。

なお、防潮堤（鋼製防護壁）、防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）、防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））、防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）及び貯留堰の耐震評価断面については、構造物の配置、荷重条件、周辺地盤状況及び土木構造物の形状を考慮し、保守的な断面選定を行う。詳細については、補足説明資料「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」で説明する。

この結果，既工認等における評価部位を踏まえて評価部位を網羅的に選定していることを確認した。

(3) 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について

対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について添付-3に示す。

ここでは、今回工認に評価結果を記載している設備について、J E A G 4 6 0 1・補-1984にて要求されている評価項目を左欄に示しており、その右側に各項目の評価実施有無を整理し、実施するものを「○」で示した。さらに、「既工認での実施の有無」欄は、東海第二発電所はJ E A G 4 6 0 1・補-1984適用以前に建設されたプラントであることから、原子力発電所耐震設計に関する調査報告書及びJ E A G 4601-1970等を踏まえた設計をしており、J E A G 4601・補-1984における許容限界値・応力算出方法とは異なるものもあるが、ここではJ E A G 4601・補-1984の評価項目に相当する評価を実施しているものを「○」で示した。J E A G 4601・補-1984の評価項目に相当することは、既工認における評価内容（例：1次応力（引張）等）を踏まえ確認している。

なお、評価を省略した項目が一部あるが、それらは既工認から以下の理由により省略しているものであり、今回工認にて新たに省略した項目ではない。

- ① 設備の構造上、当該応力が生じる部位がない。
- ② 規格基準上、省略が可能。
- ③ 他の応力分類にて代表可能

この結果、J E A G 4601・補-1984にて要求されている評価項目を網羅的に評価していることを確認した。

(4) 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備など）を踏まえた整理について

対象設備について、耐震重要度分類ごとに主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物、波及的影響を検討すべき設備に区分して整理した結果を添付4-1に示す。

添付4-1では、左欄に記載分類として別表第二の記載項目を示し、その右側に別表第二に該当する東海第二発電所の耐震Sクラス設備を主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物、波及的影響を検討すべき設備に分類し、記載した。

添付4-1に記載する建物・構築物、屋外重要土木構造物及び浸水防護施設の評価については、添付4-2にその詳細を示し、対象施設ごとに表及びフロー図を整理した。

(5) 別表第二の対象外である耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果

図1の評価手順に従い、別表第二に記載がなく申請対象外と整理された施設のうち耐震Sクラス施設について、技術基準規則への適合性の観点から、これらの施設についても同様に評価を実施しており、その結果を添付-5（迫而）に示す。

(6) 地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて

今回工認における耐震計算書においては、基本的に地震応答解析、応力解析モデル、方法、結果を記載している。しかしながら、原子炉圧力容器のノズル等については、地震応答解析のモデル、結果を記載していない。地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて、添付-9（迫而）に示す。

1.1.2 弾性設計用地震動 S_d による評価

a. 機器・配管系

機器・配管系の評価対象設備が弾性設計用地震動 S_d に対して概ね弾性状態にあることを確認するために、以下の手順にて評価を実施した。評価手順を図 2 に示す。

また、評価は、基準地震動 S_s による評価の対象設備（波及的影響設備は除く。）の評価部位すべてについて、基準地震動 S_s による発生値と評価基準値（許容応力状態Ⅲ_AS）の比較（許容値置き換え）による一次応力評価を基本としている。

原子炉格納容器の弾性設計用地震動 S_d 評価においては、J E A G 4601・補-1984 及び J E A G 4601-1987 では運転状態Ⅳ(L)との組合せ及び L O C A 後の最大内圧との組合せを実施する必要がある。運転状態Ⅳ(L)の条件 (P_L, M_L) 及び L O C A 後の最大内圧の条件 (P_L^*, M_L) は、基準地震動 S_s と組み合わせる運転状態の条件 (P, L) より厳しくなることから、許容値置き換え評価ではなく、運転状態Ⅳ(L)又は、L O C A 後の最大内圧と弾性設計用地震動 S_d を組み合わせた評価を実施している。なお、原子炉格納容器については、運転状態Ⅳ(L)を設計条件としていることから、許容応力状態Ⅰ*_Aとし、 S_d との組合せにおいて許容応力状態Ⅲ_ASを適用している。

また、非常用炉心冷却系ストレーナの弾性設計用地震動 S_d 評価においては、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号）に規定に基づき、許容値置き換え評価ではなく、異物荷重を組み合わせた評価を実施している。

E C C S 及びそれに関連する系統（以下「E C C S 等」という。）の弾性設計用地震動 S_d 評価においては、J E A G 4601・補-1984 及び J E A G 4601-1987 では、運転状態Ⅳ(L)と組み合わせる必要がある。しかしながら、E C C S 等の運転状態Ⅳ(L)の条件 (P_L, M_L) は、基準地震動 S_s と組み合わせべき、プラントの運転状態の条件 (P, M)（クラス 1 設備）若しくは、設計上定められた条件 (P_D, M_D) に包絡されることから、許容値置き換え評価を実施する。なお、E C C S 等については、運転状態Ⅳ(L)を設計条件としていることから、許容応力状態Ⅰ*_Aとし、 S_d との組合せにおいて許容応力状態Ⅲ_ASを適用している。

（荷重の組合せの詳細は、補足説明資料「地震時荷重と事故時荷重との組合せについて」参照）

【評価手順の説明】

① S_s による発生値と評価基準値 ($III_A S$) の比較

評価対象設備の基準地震動 S_s による発生値が弾性設計用の評価基準値 (許容応力状態 $III_A S$) 以下であることを確認する。

弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s の係数倍にて定義していることから、設備の基準地震動 S_s による発生値が、評価基準値 (許容応力状態 $III_A S$) 以下であれば、弾性設計用地震動 S_d による発生値についても、評価基準値 (許容応力状態 $III_A S$) 以下となる。

② 弾性設計用地震動 S_d による発生値と評価基準値 ($III_A S$) の比較

①項にて、評価対象設備の基準地震動 S_s による発生値が、評価基準値 (許容応力状態 $III_A S$) を上回った部位については、弾性設計用地震動 S_d を用いて応力分類を全て評価し、算定した発生値が評価基準値 (許容応力状態 $III_A S$) 以下であることを確認する。

b. 建物・構築物

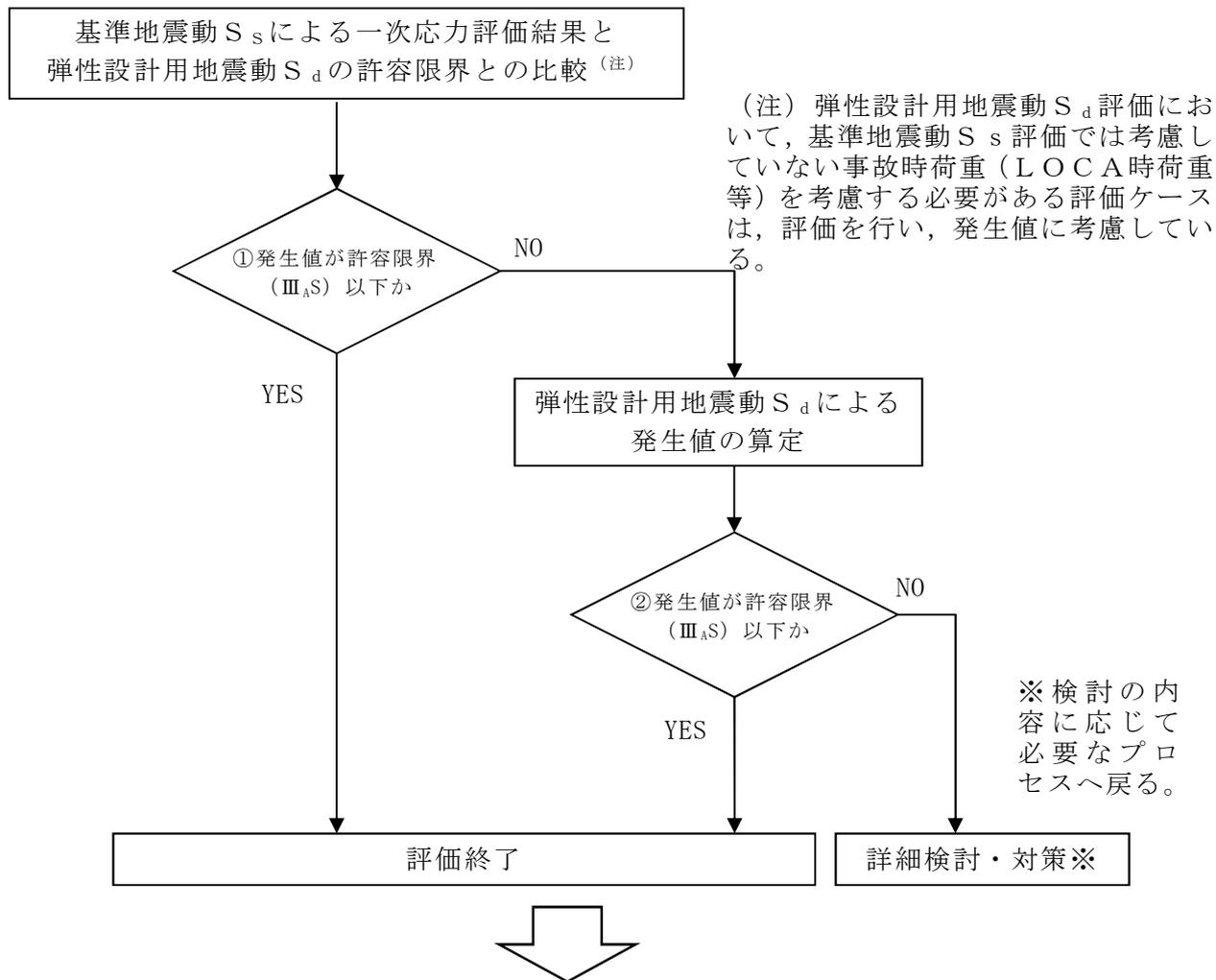
耐震 S クラスの建物・構築物の対象設備について、既工認、最新プラントである大間の建設工認、大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認及び今回工認の評価部位の比較を添付 4-2 に示す。建物・構築物は、既工認、大間の建設工認及び大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認にて評価を実施している以下の部位について評価を行う。

原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、使用済燃料プール、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤については、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽の耐震壁、使用済燃料プール[※]については、常時荷重、運転時荷重及び事故時荷重が設計時と同一であること、また、応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第 1 回 資料 III-1-4 「原子炉建屋の地震応答計算書」 (47 公第 12076 号 昭和 48 年 4 月 9 日認可)』の設計用地震力よりも小さいことから、 S_d 地震時に対する評価は行わない。

また、建物・構築物の基礎地盤の支持性能について、弾性設計用地震動 S_d による接地圧が地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

※:使用済燃料プールの弾性設計用地震動 S_d と温度荷重の組合せの評価について検討中



基準地震動 S_s による評価結果に対する許容値置き換え評価結果又は弾性設計用地震動 S_d を用いた評価結果を工認添付資料へ記載
また評価に際してフローの順に関わらずに、②による評価を実施する場合もある。

図2 機器・配管系の弾性設計用地震動 S_d に対する評価手順

- (1) 弾性設計用地震動 S_d による評価において、一次＋二次応力評価の省略について

弾性設計用地震動 S_d による評価において、一次＋二次応力評価を省略した理由について以下に示す。

一次＋二次応力評価については、JEAG4601 に規定されている許容応力状態 $IV_A S$ と $III_A S$ の許容値は同一となる。許容値が同じであれば、弾性設計用地震動 S_d より大きな地震動である基準地震動 S_s で評価した結果の方が厳しいことは明らかであることから、基準地震動 S_s の評価を実施することで、弾性設計用地震動 S_d による評価は省略した。

ただし、支持構造物（ボルト以外）のうち、「支圧」に対しては、許容応力状態 $IV_A S$ と $III_A S$ で許容値が異なるケース*が存在する。

一次＋二次応力評価のうち、「支圧」の評価が必要な設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器支持構造物があるため、「支圧」評価を実施している評価項目について、表 1 により確認を行った。

* 許容応力状態 $III_A S$ と $IV_A S$ ではそれぞれの許容値算出において用いるパラメータである F 値の設定に差がある。材料次第ではあるが、 $III_A S$ において F 値は $\min(S_y, 0.7S_u)$ だが、 $IV_A S$ では S_y を 2 割増しした値を用いる規定となっているため、 S_y と S_u の関係により、最大 2 割の差が生じることとなる。

表 1 支持構造物（ボルト以外）の一次＋二次の支圧応力

評価対象設備	評価部位	発生値 (MP a)	許容値 $IV_A S$ (許容値 $III_A S$ S) (MP a)	耐震裕度 ($III_A S$ 裕 度)
使用済燃料乾式貯蔵容器支持構造物	支持台座	36	361 (301)	10.0 (8.3)
使用済燃料乾式貯蔵容器支持構造物 (タイプ II)	支持台座	41	362 (302)	8.8 (7.3)

- (2) 弾性設計用地震動 S_d による評価のうち、一次＋二次＋ピーク応力評価（疲労評価）の省略について

一次＋二次＋ピーク応力評価については、地震動により算定した評価用等価繰り返し回数を用いた疲労評価を行っている。評価用等価繰り返し回数は、J E A G 4601-1987の記載に示すピーク応力法により一律に設定する保守的な値（ S_s : 160回、 S_d : 320回）、若しくは設備毎に個別に設定する値を用いている。

以下の許容繰り返し回数及び等価繰り返し回数の関係性から弾性設計用地震動 S_d による一次＋二次＋ピーク応力について、基準地震動 S_s に対する評価で代表できることを説明する。

【許容繰り返し回数（許容限界）】

弾性設計用地震動 S_d の地震加速度は基準地震動 S_s の地震加速度に対して1/2程度であることから、一次＋二次＋ピーク応力（以下「ピーク応力」という。）が1/2程度になると考えれば、設計疲労線図から求める弾性設計用地震動 S_d の許容繰り返し回数としては、基準地震動 S_s の許容繰り返し回数の5～10倍程度（図3）となる。

【等価繰り返し回数（発生値）】

弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s に1/2以上の係数を乗じて設定しており、周期特性、継続時間等同じ特性を持つことから、両者の1質点系の時刻歴応答波を用いて算出した等価繰り返し回数に大きな乖離はない。東海第二発電所の弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s より地震の発生頻度が多いことを踏まえ2回分を考慮しているため、弾性設計用地震動 S_d の一律に設定する等価繰り返し回数は、保守的に基準地震動 S_s の一律に設定する等価繰り返し回数の2倍としている。ただし、上記の基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d の許容繰り返し回数の差ほど大きな違いは生じない。

以上のとおり基準地震動 S_s を用いた評価のほうが、弾性設計用地震動 S_d による評価より厳しい結果となることから、基準地震動 S_s の評価で代表できる。

なお、今回工認においては、弾性設計用地震動 S_d に対する個別に設定する等価繰り返し回数が、基準地震動 S_s の一律に設定する等価繰り返し回数を下回ることを確認する。ただし、基準地震動 S_s の一律に設定する等価繰り返し回数を上回る設備については、弾性設計用地震動 S_d の個別に設定する等価繰り返し回数に対する疲労評価を実施する。

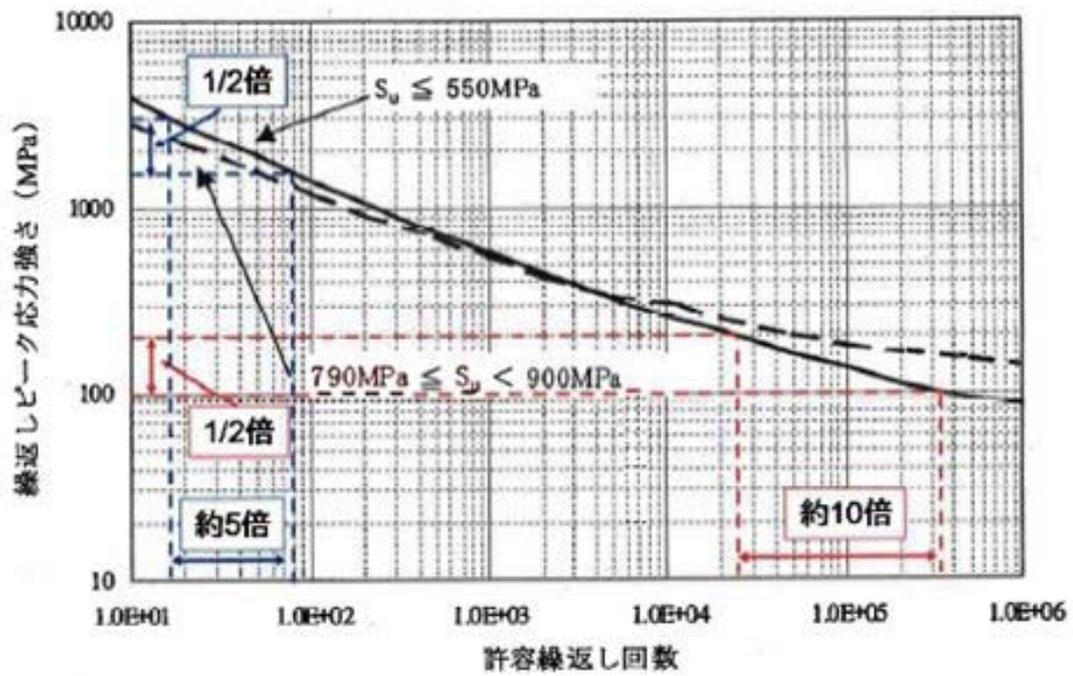


図3 設計疲労線図（炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼）におけるピーク応力と許容繰返し回数との関係

1.1.3 静的地震力による評価

東海第二発電所の既設設備については、建設工認時は旧建築基準法に基づく静的震度 (C_0) に対する評価が求められていたが、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(原子力規制委員会)等では、現在の建築基準法に基づく静的震度 (C_i) に対する評価が求められている。このことから、今回工認では機器・配管系について以下の手順にて、静的震度 (C_i) に基づく評価を行っている。

(1) 評価手順

静的震度 (C_i) に対する評価は、以下の①～⑤の手順により評価を実施する。なお、耐震裕度を算出する際の応答加速度は、1.2ZPA を用いる。

【耐震評価における関係性】

- ・ $3.6C_i$ 及び $3.6C_0$ に対する許容限界 = 設計用地震及び S_d に対する許容限界
- ・ 建設時に $3.6C_0$ による発生値 \leq 許容限界 を確認済み

【評価手順】

- ①：建設工認時、耐震評価の入力として用いた静的震度 C_0 と静的震度 C_i を比較し、 $C_0 \geq C_i$ となる設備は除外する。

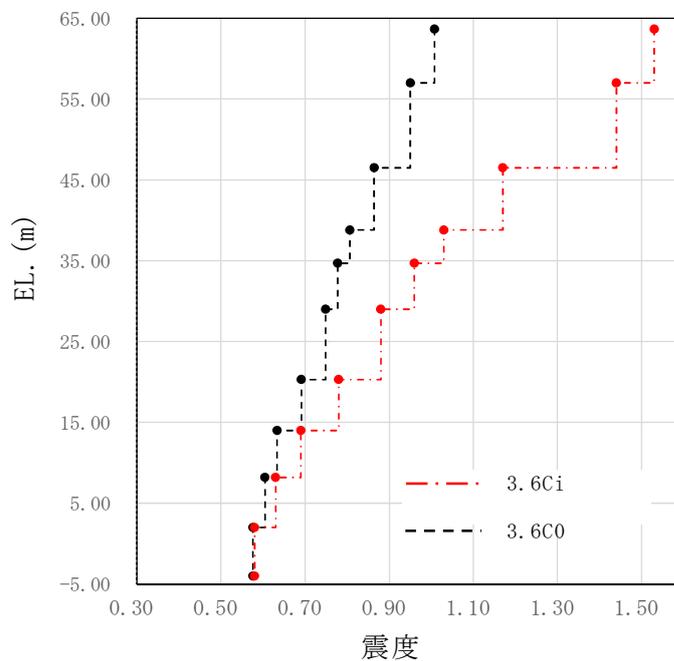


図4 建設時 C_0 と今回工認 C_i の震度分布図 (原子炉建屋)

- ②：建屋機器連成解析関連設備，配管系及び配管反力を用いている設備
建屋機器連成解析設備のうち建屋機器連成解析結果にて得られた荷重を用いて直接評価を実施する設備，配管系及び配管反力を用いる設備については詳細評価を実施する。

【フローで YES となる設備例】

原子炉圧力容器，炉心支持構造物，原子炉圧力容器内部構造物（建屋機器連成解析の荷重を使用する設備）原子炉格納容器，配管系

- ③：許容応力状態ⅢAS の評価として用いる震度（以下，「適用震度」という。）と静的震度 3.6Ci を比較し，適用震度/静的震度 \geq 必要裕度となる設備
ここで，水平と鉛直の荷重の組合せが絶対値和法の場合は，水平及び鉛直のそれぞれの適用震度/静的震度に対して必要裕度を 1 以上とする。
また，水平と鉛直の荷重の組合せが SRSS 法の場合は，SRSS 法と絶対値和法の差を考慮して適用震度（SRSS）/静的震度（絶対値和法）に対して必要裕度を 1.42 とする。

【フローで YES となる設備例】

ほう酸水注入系ポンプ（絶対値和法を適用している設備）

1.67（水平震度） $>$ 1.03(3.6Ci) かつ 1.44（鉛直震度） $>$ 0.29(Cv)

炉心スプレイスパージャ（SRSS 法を適用している設備）

適用震度（SRSS）/3.6Ci=1.84/1.25=1.47 $>$ 1.42（必要裕度）

- ④：許容応力状態ⅢAS での当該施設の評価結果に基づくⅢAS 裕度（ⅢAS 許容限界値/発生値）と震度比（3.6Ci/適用震度）に対して必要裕度が確保されている設備

ここで，震度比は水平と鉛直の荷重の組合せが絶対値和法の場合は，水平と鉛直それぞれの震度比の大きい方とし，必要裕度を 1 以上とする。

水平と鉛直の荷重の組合せが SRSS 法の場合は，震度比を 3.6Ci(絶対値和法)/適用震度(SRSS)とし，必要裕度を SRSS 法と絶対値和法の差を考慮して 1.42 以上とする。

【フローで YES となる設備例】

給水スパージャ（SRSS 法を適用している設備）

ⅢAS 裕度/震度比=7.60/1.02=7.43>1.42（必要裕度）

非常用ディーゼル発電機（絶対値和法を適用している設備）

ⅢAS 裕度/震度比=4.34/1.26=3.44>1（必要裕度）

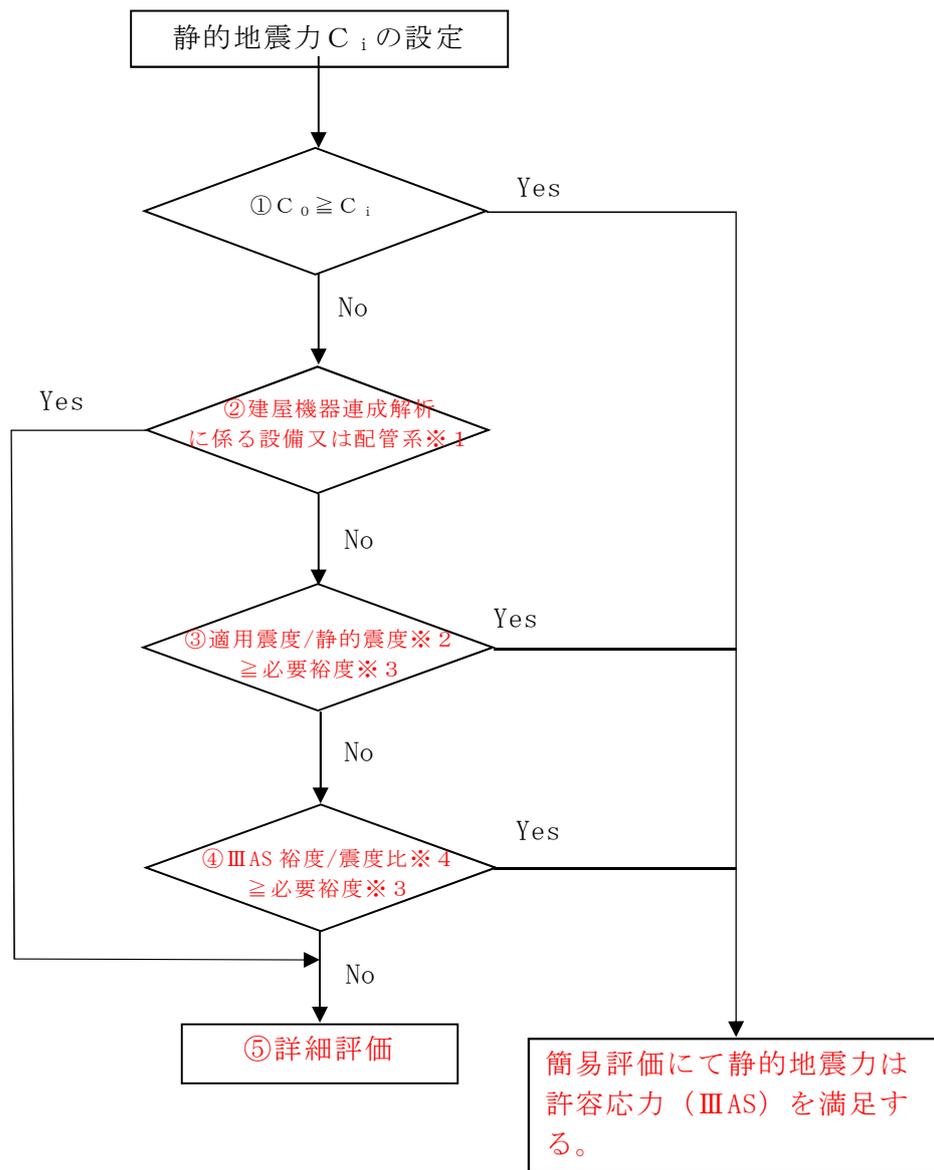
震度比：MAX(適用震度(水平)/3.6Ci, 適用震度(鉛直)/Cv)
=MAX(0.58/0.46, 0.29/0.48)=1.26

⑤：詳細評価を実施

①～④のフローにて抽出された設備について静的震度(3.6Ci)に対する詳細評価を実施する。

(2) 評価結果

評価結果を添付-6に示す。添付-6に示すとおり、すべての機器において、静的震度に対する耐震安全性を確認している。



- ※1 : 配管反力を用いて評価する設備を含む
- ※2 : 水平と鉛直の組合せが絶対値和法の場合は、水平及び鉛直のそれぞれの適用震度/静的震度とする。SRSS 法の場合は、適用震度 (SRSS) /静的震度 (絶対値和法) とする。
- ※3 : 必要裕度は水平・鉛直の組合せが絶対値和法の場合は 1, SRSS 法の場合は 1.42 とする。
- ※4 : 震度比は、水平と鉛直の組合せが絶対値和法の場合は、水平と鉛直それぞれの震度比 (3.6Ci/適用震度) の大きい方とする。SRSS 法の場合は 3.6Ci (絶対値和法)/適用震度 (SRSS) とする。

図 5 静的地震力に対する評価フロー

1.2 耐震Bクラス施設の評価

耐震Bクラス施設及び直接支持構造物について、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。なお、共振のおそれのある施設については弾性設計用地震動 S_d に2分の1を乗じたものを用いて、水平及び鉛直方向について評価する方針とする。

1.3 耐震Cクラス施設の評価

耐震Cクラス施設及び直接支持構造物について、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。

1.4 耐震Sクラス設備の間接支持構造物の評価

間接支持構造物は設備等を支持する機能が要求されるが、基準地震動 S_s による鉄筋コンクリート造耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、直接支持構造物であるアンカー部の支持機能が保持されることから、添付4-1に記載した間接支持構造物となる建物・構築物について、基準地震動 S_s による評価を実施する。また、屋外重要土木構築物の評価についても同様に、基準地震動 S_s による評価を実施する。

原子炉建屋について、構造物全体としての変形能力を層レベルで評価し、耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の上部構造について、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。

基礎の評価として、原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構について、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。

屋外重要土木構造物については、基準地震動 S_s による動的地震力に対して、構造部材に生じる応力または変形が許容限界値以下であることを確認する。

浸水防護施設の間接支持構造物については、基準地震動 S_s による動的地震力に対して、構造部材に生じる応力または変形が許容限界値以下であることを確認する。

上記について、添付4-2にその詳細を示し、対象施設ごとに表及びフロー図を整理する。

また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認する。

1.5 耐震Bクラス設備の間接支持構造物の評価

耐震Bクラス設備の間接支持構造物について、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。共振のおそれのある施設については弾性設計用地震動 S_d に2分の1を乗じたものを用いて、水平及び鉛直方向について、その影響を検討する。

また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認する。

1.6 耐震Cクラス設備の間接支持構造物の評価

耐震Cクラス設備の間接支持構造物については、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。

また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認する。

2. 既工認との手法の相違点の整理について

2.1 既工認との手法の整理一覧

既工認との手法の相違点の整理にあたっては、今回工認における評価手法と既工認における評価手法の比較を実施し、添付-7のとおり一覧に整理した。整理にあたっては、添付-1で抽出された設備を対象とした。

まず、各評価部位の解析手法、解析モデル、減衰定数及びその他（評価条件の変更等）について既工認と今回工認で比較した。

次に解析手法、解析モデル、減衰定数及びその他（評価条件の変更等）が既工認と今回工認で異なる場合（既工認の記載がない場合を含む）には、新規規制基準対応工認を含む他プラントにおける同じ手法の適用例の有無を整理した。

加えて、同じ手法の適用例があると整理したものについては、規格・基準類等に基づき、プラントの仕様等によらず適用性が確認された手法は“プラント共通の適用例”，プラント個別に適用性が確認された手法は“プラント個別の適用例”として整理した。

添付-7での整理における各設備の評価部位の選定は、各応力分類において今回工認で耐震上最も裕度が厳しい部位について整理したものである。なお、最も裕度が厳しい部位以外において既工認と今回工認で解析手法、解析モデル、減衰定数及びその他（評価条件の変更等）が異なる場合（既工認の記載がない場合を含む）についても同様の整理を行い添付-7に記載している。

2.2 相違点及び適用性の説明

2.2.1 機器・配管系

2.2.1.1 手法の相違点

添付-7における既工認との相違点のうち、既工認から評価手法を変更したものととして分類化し、以下のとおり内容を整理した。また、他プラントを含めた新規規制基準対応工認で実績のあるものや他プラントを含めた新規規制基準対応工認で実績のない新たな評価手法を適用したものについては、その旨を記載している。

(1) クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

原子炉建屋クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーンの解析では、より詳細な手法を用いる観点から、すべり及び浮き上がりの条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施している。クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用については、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-1-1及び7-1-2参照）。

(2) ポンプ等の解析モデルの精緻化

最新の工認実績等を踏まえ、ポンプ等の一部設備に対して解析モデルの質点数の変更、設備の支持構造に沿った解析モデルの精緻化を行っている。多質点モデルによる地震応答解析モデルの適用は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-2参照）。

(3) 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用

既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、3次元FEMモデル、多質点モデルを適用した耐震評価を実施している。FEMモデルを用いて応力解析を行う手法は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-3参照）。

(4) 最新知見として得られた減衰定数の採用

最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり、その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。

また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。

天井クレーン、燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は他プラントを含む既工認において適用実績がある（詳細は添付7-4参照）。

① 天井クレーンの減衰定数

② 燃料取替機の減衰定数

③ 配管系の減衰定数

(5) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せ

今回工認の評価では、鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根（以下「SRSS」という。）法を用いている。SRSS法による荷重の組み合わせは、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-5参照）。

(6) 鉛直方向応答解析モデルの追加

今回工認では、鉛直方向に動的地震動が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向の応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施している。鉛直方向応答解析モデルは他プラントを含む既工認にて適用実績があるモデルである。（詳細は添付7-6参照）。

(7) 炉心シュラウド等の応力解析へ公式等の評価の適用

既工認においてFEMによる評価にて耐震計算を実施していた設備について、今回工認では公式等を用いた耐震評価を実施している。公式等を用いて応力解析を行う手法は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-7参照）。

(8) 動的機能維持における新たな検討及び詳細検討の実施

今回工認では、燃料移送ポンプは、動的機能維持評価において、JEAGに定める適用範囲外である機器であるため、JEAG4601-1991に従い新たな検討を実施している。評価項目の選定については、「耐震性に関する説明書に係る補足説明資料（機電分耐震計算書の補足について）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）」に示す。

2.2.1.2 手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性

手法の変更点について、以下に示す3項目に分別した上で、東海第二発電所としての適用性を示す。また、原子炉格納容器及びその他関連設備については、「耐震性に関する説明書に係る補足説明資料（機電分耐震計算書の補足について）原子炉格納容器の耐震安全性評価について」にて詳細を説明する。

(1) 先行プラントの知見反映を基本として変更する手法

先行プラントで適用されている知見を反映する目的の変更項目については、従来からの耐震設計手法に基づき、評価対象施設を質点系モデル、有限要素法モデルに置換、又は規格、理論式に基づき解析を実施することにより評価は可能であるため、東海第二発電所への適用に際して問題となることはない。

- ・ クレーンの時刻歴応答解析の適用
- ・ ポンプ等の応答解析モデルの精緻化
- ・ 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用
- ・ 炉心シュラウド等の応力解析へ公式等の評価の適用
- ・ 解析コードの変更

(2) 鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法

平成18年9月の耐震設計審査指針改訂から鉛直方向地震力に対する動的に取扱いがされており、大間1号炉及び新規制基準での工認においてPWRプラントで適用実績があり、東海第二発電所への適用に際して問題となることはない。

- ・ 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根による組合せ
- ・ 鉛直方向応答解析モデルの追加

(3) より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法

a. 最新知見として得られた減衰定数の採用

今回工認においては、配管系、天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数は、振動試験結果等を踏まえて設定した減衰定数を採用している。

配管系においては、新規制基準でのPWRプラントでの適用実績があり、また炉型、プラント毎による設計方針について大きな差はない。また、最新知見として採用する減衰定数の設定の検討に際して、BWRプラントの配管系を踏まえた検討も実施しており、適用に際して問題となることはない。

天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数の設定に際しては、振動試験を用いた検討を実施している。振動試験の試験体は、実機と同等の振動特性である試験体を用いることにより、減衰定数のデータを採取している。東海第二発電所として適用する天井クレーン及び燃料取替機について、振動試験に用いた試験体と同等の構造仕様であることを確認しており、最新知見として得られた減衰定数の適用に際して問題となることはない（試験等の詳細は、添付7-4に記載）。なお、本減衰定数の適用は、大間1号炉及び天井クレーンに対しては新規制基準での工認においてPWRプラントで適用実績がある。

b. 極限解析による評価の適用

極限解析による評価については、J E A G 4601 及び JSME 設計・建設規格で規定

されており適用に際して問題となることはない。ただし、他の手法に比べて適用実績及び審査実績が少ないことを踏まえて、極限解析による評価の保守性の確認を行う。本確認については、「耐震性に関する説明書に係る補足説明資料（機電分耐震計算書の補足について）炉内構造物への極限解析による評価の適用について」に示す。

2.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物

2.2.2.1 建物・構築物

添付-7における既工認との相違点のうち，主な相違点を以下に示す。

なお，詳細については，補足説明資料「地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較」及び「応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較」に示す。

各解析で共通して，材料物性について，今回工認において，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（1999年日本建築学会）」（以下，「RC規準」という。）に基づき，コンクリートのヤング係数及びポアソン比を再設定する。

(1) 地震応答解析における解析手法

a. 入力地震動

地震応答解析モデルへの地震動入力について，原子炉建屋の水平方向については，建設工認では設計用地震動を直接入力しており，今回工認では一次元波動論に基づき基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。鉛直方向については，建設工認では地震応答解析を実施せず静的地震力を考慮しており，今回工認では一次元波動論に基づき基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。

また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平方向については，建設工認では一次元波動論に基づき基準地震動 S_2 に対する地盤の応答として評価したものと及び静的地震力を考慮しており，今回工認は杭の拘束効果を考慮した基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。鉛直方向については，建設工認では地震応答解析を実施せず静的地震力を考慮しており，今回工認では杭の拘束効果を考慮した一次元波動論に基づき基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。

b. 解析モデル

耐震壁の非線形特性については，建設工認では考慮せず，今回工認では基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d ともに考慮する。

解析モデルについて，建設工認では多質点系でモデル化しており，今回工認と同様である。

原子炉建屋の基礎底面地盤ばねについては，建設工認では水平及び回転ばねをTimoshenko, Barkan, 田治見等の式による値から設定しており，今回工認では，J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき考慮する。基礎底面地盤の回転ばねの非線形特性については，建設工認では考慮せず，今回工認では，J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づいている。基礎側面地盤ばねについては，建設工認では考慮せず，今回工認ではJ E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき考慮する。

また，使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面地盤ばねについては，建設工認では杭の拘束効果を考慮した水平及び回転ばねを設定しており，今回工認と同様である。

(2) 耐震性についての計算書における解析手法

a. 原子炉格納容器底部コンクリートマット，原子炉建屋原子炉棟（屋根トラス），原子炉建屋基礎盤

評価方法について，建設工認では，設計用地震動及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認した。今回工認では，弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないこと，基準地震動 S_s による発生応力（又はひずみ）が許容値を超えないことを確認する。

原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤において，上部構造物からの応力をより適切に考慮するため，支持地盤を精緻化し，3次元FEMモデルを全体モデルとしている。

原子炉建屋原子炉棟（屋根トラス）において，トラス部全体の挙動をより適切に考慮するため，3次元FEMモデルの時刻歴応答解析を実施している。

b. 原子炉建屋の基礎

評価方法について，建設工認では，設計用地震動及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認した。今回工認では，基準地震動 S_s による発生応力が許容値を超えないことを確認する。

原子炉建屋の基礎において，上部構造物からの応力をより適切に考慮するため，支持地盤を精緻化し，3次元FEMモデルを全体モデルとしている。

c. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎

評価方法について，建設工認では，静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないこと，基準地震動 S_2 による発生応力が終局耐力を超えないことを確認した。今回工認では，基準地震動 S_s による発生応力が許容値を超えないことを確認する。

なお，主排気筒については，今回改造を踏まえた評価を実施することから，比較は行わない。

2.2.2.2 屋外重要土木構造物

既工認との相違点を添付－7に示す。建設工認における取水構造物の耐震評価では、地震応答解析手法として時刻歴モーダル解析を採用し、許容応力度法による設計として、壁のせん断については許容応力度、杭については設計水平力に対して妥当な安全余裕を持つことを確認している。建設工認における屋外二重管（今回工認における屋外二重管本体）の耐震評価では、地震応答解析手法として一次元波動論を採用し、許容応力度法による設計として、管の円周方向応力及び軸方向応力について許容応力度に対して妥当な安全余裕を持つことを確認している。

今回工認では、耐震設計に係る工認審査ガイドに基づき、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s によるそれぞれの部材（頂版、底版、側壁、隔壁、覆工、鋼製管、鋼管杭等）の応答値に対し、曲げ及びせん断に対して許容応力度法又は限界状態設計法を用いて評価する。

許容応力度法で評価を行う屋外二重管本体は、管の円周方向応力及び軸方向応力が許容応力度以下であることを確認する。

限界状態設計法で評価を行う取水構造物は、それぞれの部材に発生する層間変形角、曲率、せん断力が許容限界である限界層間変形角、終局曲率、せん断耐力以下であることを確認する。

また、今回工認では、地盤物性に係る各種試験結果等、既工認以降に実施した対策や得られた知見・情報を適切に反映し評価する。

2.2.2.3 浸水防護施設

既工認との相違点を添付－7に示す。浸水防護施設は新たに設置する設備であることから、建設工認には存在しない。津波防護施設については、その構造に着目し、防潮堤（鋼製防護壁）については3次元フレーム解析を、防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）については3次元有限要素法解析を含めた耐震評価を実施している。防潮堤（鋼製防護壁）及び防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）以外の浸水防止設備は、大飯3号機、高浜4号機、美浜3号機及び玄海3号機における防潮扉、逆流防止設備、浸水防止蓋、逆止弁及び水密扉と同様の解析手法、解析モデル及び減衰定数を適用している。津波監視設備については、大飯3号機における潮位計又は津波監視カメラと同様の解析手法、解析モデル及び減衰定数を適用している。

鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について

1. 概要

耐震評価に用いる鉛直方向の地震力について、従来の静的震度に基づく静的地震力(0.288G)に加えて、水平方向同様に床応答曲線等に基づく動的地震動入力が入力され、鉛直地震力が増大することとなった。そこで、鉛直地震力が増大した場合の従来評価手法への影響を検討した。また、従来、十分裕度があり主要な評価部位ではないものや、鉛直地震力の影響を受けにくいものについても抽出し、念のため、鉛直地震力増大に伴う影響がないか検討を実施した。検討においては、設備の鉛直方向の応答性状及び支持条件等を考慮した。

2. 検討区分

Sクラス設備及び地震時の波及的影響を考慮すべき設備の全設備は、①～⑩の設備である。

- ① 建屋機器連成解析関連設備（原子炉压力容器、原子炉压力容器内構造物、原子炉格納容器、制御棒駆動機構、原子炉压力容器スカート、制御棒駆動機構ハウジング支持金具、シアラグ、原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎、原子炉格納容器スタビライザ、原子炉压力容器スタビライザ）
- ② 容器類（原子炉压力容器、原子炉格納容器除く）
- ③ 配管類（ダクト含む）
- ④ 横型ポンプ、非常用ディーゼル発電装置
- ⑤ 縦型ポンプ
- ⑥ 使用済燃料貯蔵ラック、制御棒貯蔵ラック、制御棒貯蔵ハンガ
- ⑦ ECCS ストレーナ（残留熱除去系、高圧炉心スプレイ系、低圧炉心スプレイ系）
- ⑧ 空調設備（ファン、フィルタユニット）
- ⑨ 電気・計装品
- ⑩ クレーン類

これらの設備について、鉛直方向に対する応答特性の観点から、鉛直方向に剛な設備と柔な設備の2つに分類し、検討を実施した。

鉛直方向に剛な設備（固有周期 \leq 0.05秒）

- ② 容器類（原子炉压力容器、原子炉格納容器、残留熱除去系熱交換器除く）
- ④ 横型ポンプ、非常用ディーゼル発電機
- ⑤ 縦型ポンプ
- ⑥ 使用済燃料貯蔵ラック、制御棒貯蔵ラック、制御棒貯蔵ハンガ
- ⑧ 空調設備（ファン、フィルタユニット）
- ⑨ 電気・計装品

鉛直方向に柔な設備（固有周期>0.05秒）及び建屋機器連成解析関連設備

- ①建屋機器連成解析関連設備（原子炉压力容器，原子炉压力容器内構造物，原子炉格納容器，制御棒駆動機構，原子炉压力容器スカート，制御棒駆動機構ハウジング支持金具，シアラグ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎，原子炉格納容器スタビライザ，原子炉压力容器スタビライザ）
- ②容器類（残留熱除去系熱交換器）
- ③配管類（ダクト含む）
- ⑦ECCS ストレーナ（残留熱除去系，高圧炉心スプレイ系，低圧炉心スプレイ系）
- ⑩クレーン類

さらには，従来，十分余裕があり主要な評価部位でないものや，鉛直地震力の影響を受けにくいものについても抽出し，念のため，鉛直地震力増大に伴う影響がないか検討を実施した。具体的項目として以下を示す。

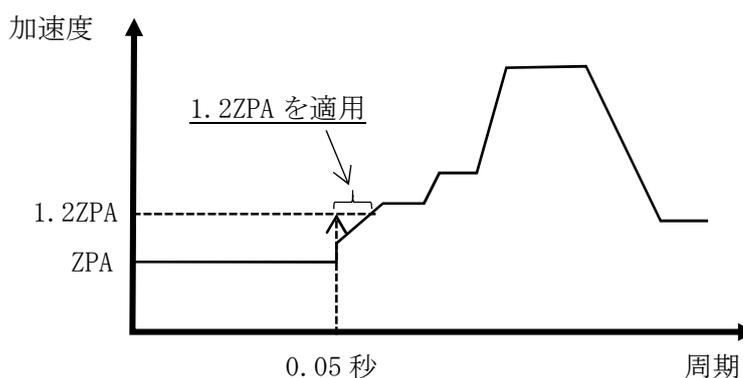
- 制御棒挿入性
- 縦型ポンプモータ スラスト軸受（軸受健全性）
- クレーン類吊部（吊荷の落下防止）
- スロッシング評価

3. 各区分の影響検討

3.1 鉛直方向に剛な設備の鉛直動的地震力評価

鉛直方向に剛な設備の評価では、鉛直地震力が 1G を超える場合には浮上って落下した場合の衝撃荷重の検討等が必要となる可能性があるため、鉛直地震力の大きさを確認する。

鉛直方向に剛な設備は、下図に示すように鉛直方向の床応答曲線の最大加速度 (ZPA) の 1.2 倍 (1.2ZPA) を入力加速度として用いる。なお、周期 0.05 秒を超える範囲についても、下図のように本来の床応答曲線の加速度値よりも 1.2ZPA が上回る場合には 1.2ZPA を設備評価に用いている。



まず、鉛直方向の固有周期が 0.05 秒以下となる設備のうち鉛直方向地震力のみで 1G を超える設備について整理した。鉛直地震力の大きさを確認するため、各建屋の基準地震動 S_s に対する各床面最大応答加速度の 1.2 倍 (1.2ZPA) を整理した。(表 1 参照)

結果として、1.2ZPA が 1G を上回る設備は原子炉建屋換気系 (ダクト) 放射線モニタ、制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラック、残留熱除去系海水系ポンプ、残留熱除去系海水系ストレナ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ストレナ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレナであった。

上記の設備については、基礎ボルト等で鉛直方向に固定されており、構造上浮上りは発生しないため、それに伴う衝撃等は発生しない。また、各評価部位が厳しく評価されるように、鉛直地震動の作用する方向を転倒モーメントや鉛直方向荷重算出において設定していることから、従来評価と同様の評価手法に基づく評価が可能である。

次に、鉛直方向の固有周期が 0.05 秒以下となる設備のうち鉛直方向地震力では 1G を超えない設備について整理した。鉛直地震力が 1G を超えない場合でも、水平地震力によるモーメントとの発生との組合せにより、設備の部分的な浮上りが生じる可能性もあるが、鉛直上向きに生じる変位を拘束する構造となっており、従来から当該部材は水平及び鉛直地震力を適切に組み合わせて評価している。

以上より、1.2ZPA が 1G を超えない床面に設置されている設備については、従来の鉛直静的震度よりも鉛直地震力の絶対値は増加することになるが、従来評価と同様の評価

手法及び評価対象部位等に基づく評価が可能である。

なお、鉛直方向地震力が増加した場合の評価の扱いについて別紙 3 に示す。

よって、鉛直方向の固有周期が 0.05 秒以下となる設備②、④、⑤、⑥、⑧、⑨については、従来評価にて問題ないことを確認した。

3.2 鉛直方向に柔な設備の鉛直動的地震力評価及び建屋機器連成解析関連設備

鉛直方向に剛な設備と同様に、鉛直地震力が 1G を超える場合には浮上り、落下した場合の衝撃荷重の検討等が必要となる可能性がある。

鉛直方向に柔な設備の評価には、鉛直方向の固有周期に相当する応答加速度値が入力となることから、鉛直地震力が 1G を超えることが否定できない。

ただし、鉛直地震力が 1G を超える場合であっても、鉛直上向きに生じる変位を拘束する部材が備わっており、従来評価から当該部材を評価している設備については、鉛直方向加速度を適切に考慮して従来評価と同様の評価手法及び評価対象部位等に基づく評価が可能である。①、②、③、⑦、⑩設備の具体的な検討結果については、以下のとおりである。

- ① 建屋機器連成解析設備（原子炉压力容器，原子炉压力容器内構造物，原子炉格納容器，制御棒駆動機構，原子炉压力容器スカート，制御棒駆動機構ハウジング支持金具，シアラグ，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎，原子炉格納容器スタビライザ，原子炉压力容器スタビライザ）

原子炉压力容器等の建屋機器連成解析設備は、基礎ボルト，ブラケット等の支持構造物を介して原子炉本体の基礎等により鉛直方向を支持する構造であり、鉛直地震力によって衝撃荷重を生じるような部位はない。

また、シアラグについては鉛直地震動増大に伴い荷重を受け持つ断面形状が変化する可能性があるが、鉛直地震動による相対変位は小さいため、考慮する必要はない（別紙 1 参照）。

鉛直方向の入力地震動が静的から動的に変わることによって鉛直地震力は大きくなるが、応力評価方法の観点で問題となるものではない。

- ② 容器類（残留熱除去系熱交換器）

残留熱除去系熱交換器は、中間支持縦置円筒形容器であり、胴中間位置を 4 個のラグで支持し、ラグをそれぞれ架台に取付ボルトで取り付けている。また、胴下部位置に 4 個の振れ止めで横揺れを押さええており、振れ止めはそれぞれ振れ止めサポートに取付ボルトで取り付けている。

鉛直方向については、ラグと架台との取付ボルトにより鉛直上向きに生じる変位を拘束する構造となっており、従来評価から取付ボルトについては鉛直方向加速度を適切に考慮していることから、鉛直方向の入力地震動が静的から動的に変わることによって鉛直地震力が大きくなるが、応力評価方法の観点で問題となるものではない。

- ③ 配管類

配管類は 3 次元的に配置されているため、地震時には 3 次元的な挙動を示すが、応答評価上、このような 3 次元的な挙動を踏まええたモデル化・応答解析を実施しており、鉛直方向の入力地震力が静的から動的に変わることによる影響はない。

また、鉛直方向の入力地震動が静的から動的に変わることによって配管に作用する水平方向と鉛直方向の地震力の合計は大きくなるが、単に地震力の絶対値が増えるだけであり、配管本体の応力評価方法の観点で問題となるものではない。

⑦ ECCS ストレーナ

ECCS ストレーナは、配管にフランジ継手にて接続されており、配管類と同様に従来評価から鉛直方向加速度を適切に考慮していることから、鉛直方向の入力地震動が静的から動的に変わることによって鉛直地震力は大きくなるが、応力評価方法の観点で問題となるものではない。

⑩ クレーン類

クレーン類は、鉛直方向の入力地震動が静的から動的に変わり、鉛直地震力が 1G を超えた場合、クレーン本体がレールから浮上り、転倒する可能性がある。

なお、水平方向地震動によってもこのような転倒が生じるおそれがあることから、鉛直方向の地震力を静的としていた既往の設計・評価においては、落下防止金具によりクレーンの転倒防止を図っており、クレーンの耐震評価部位として落下防止金具を選定している。

すべり解析を適用するクレーン（原子炉建屋クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン）については、解析上、このような浮上り挙動を模擬した解析により浮上り量及び接触時の荷重を算出し、発生する応力及び浮上り量が許容値を下回ることを確認している。

スペクトルモーダル解析を適用するクレーン（燃料取替クレーン）については、浮上りによる落下防止金具とレールが接触し、落下防止金具へ地震力が直接作用することを前提に評価を行い、落下防止金具に発生する応力が許容値を下回ることを確認している。

以上より、鉛直方向に柔な設備についても、従来の鉛直静的震度よりも鉛直地震力の絶対和は増加することにはなるが、従来評価と同様の評価手法及び評価対象部位等に基づく評価が可能であると判断できる。

3.3 鉛直地震力増大に伴い評価検討を実施する設備等

前項までに記載の検討に加えて、従来、十分余裕があり主要な評価部位ではないものや、鉛直地震力の影響を受けにくいものについても抽出し、念のため、鉛直地震力増大に伴う影響がないか検討を実施した。具体的項目及び検討結果については以下のとおりである。

○制御棒挿入性

地震スクラム等による制御棒挿入時に鉛直下向きの地震力が加わることにより、制御棒挿入時間の遅れが生じる可能性がある。

制御棒挿入性に対する鉛直地震力の影響検討結果を「耐震性に関する説明書に係る補足説明資料 機電分の耐震計算書の補足について」に示す。

○クレーン類吊部

鉛直地震力の増大により、吊荷の浮上りによる吊部（ワイヤロープ、フック、ブレーキ、）への影響が懸念される。吊荷落下防止の観点から、鉛直動的地震力の影響評価を実施し、問題ないことを確認した。

○縦型ポンプモータ軸受

縦型ポンプモータのスラスト軸受については、ポンプ主軸に加わる鉛直方向の地震力の増大により、スラスト軸受に作用する荷重が増加し、ポンプの軸固着が生じる可能性がある。本検討については、下記の通り鉛直地震力が増大したことによる評価上の影響がないことを確認した。

・海水ポンプ及びECCSポンプのモータスラスト軸受

残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの電動機はころがり軸受を使用している。ころがり軸受は電動機のフレームに拘束されており、また、主軸の回転方向以外を拘束しているため、主軸に加わる鉛直上向きの地震力が増大しても、モータ主軸に浮き上りが生じることはなく、衝突荷重も生じない。また、原動機の評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、地震時の機能維持を確認しているため問題ない。

ECCSポンプ（残留熱除去系ポンプ、高圧炉心スプレイ系ポンプ、低圧炉心スプレイ系ポンプ）については、表1の設置位置（原子炉建屋 EL. -4.00 m）の鉛直1.2ZPAが0.60 Gと1Gを超えず、スラスト荷重は下向きに働いているため、原動機のスラスト荷重を受ける軸受部に発生する荷重の向きは常に下向きとなっている。また、原動機の評価用加速度は機能確認済加速度以下となり、地震時の機能維持を確認しているため問題ない。

・再循環系ポンプのモータスラスト軸受

再循環系ポンプの主軸に加わる鉛直方向の地震力の増大により、スラスト軸受到作用する荷重が増加し、ポンプの軸固着が生じる可能性がある。本検討については、別紙2に示すとおり、スラスト軸受到軸固着が生じるような加速度は生じないことを確認した。

○スロッシング荷重

使用済燃料プールにおけるスロッシングについては、鉛直方向の動的地震力が加わることで、スロッシング荷重や溢水量評価への影響がある可能性があるが、以下の通り考慮し評価している。

使用済燃料プールの流動解析に基づく溢水量の評価では、水平方向と鉛直方向の地震力を同時入力して溢水量を算出している。

4. 検討結果まとめ

鉛直動的地震力の導入による設備評価への影響について検討した結果を表2に示す。一部の設備については浮上り等の影響が生じる可能性があるが、浮上り等による衝撃荷重を適切に考慮して評価していること、または、衝撃荷重や浮上り等は生じないことを確認した。

以上より、鉛直動的地震力の導入による設備への影響を考慮した評価をしている。

再循環系ポンプモータスラスト軸受の鉛直方向動的地震力の影響検討について

1. はじめに

再循環系ポンプ（以下「PLRポンプ」という。）のモータスラスト軸受については、JEAG4601・補-1984にて地震により軸固着を生じないことを確認するよう求められており、今回、鉛直動的地震力の増大により、軸固着が生じず、PLRポンプの回転機能が維持可能であることを確認するための評価を実施する。

2. PLRポンプモータスラスト軸受の軸固着の検討方針

PLRポンプモータスラスト軸受の軸固着の検討としては、JEAG4601・補-1984、JEAG4601-1991 追補版に記載の動的機能評価維持評価のうち、回転機能の維持を確認すればよく、軸受部の損傷がなければ回転機能は維持されるため、軸受評価を実施する。

3. PLRポンプ及びモータ軸受構造

PLRポンプ及びモータ軸受の構造を図1，2に示す。

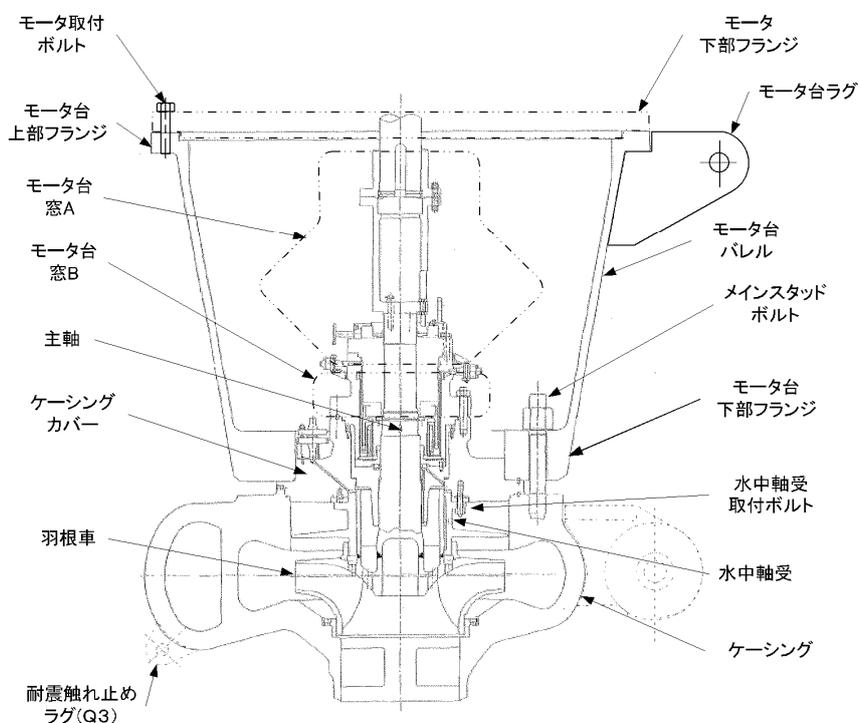


図1 PLRポンプ構造図

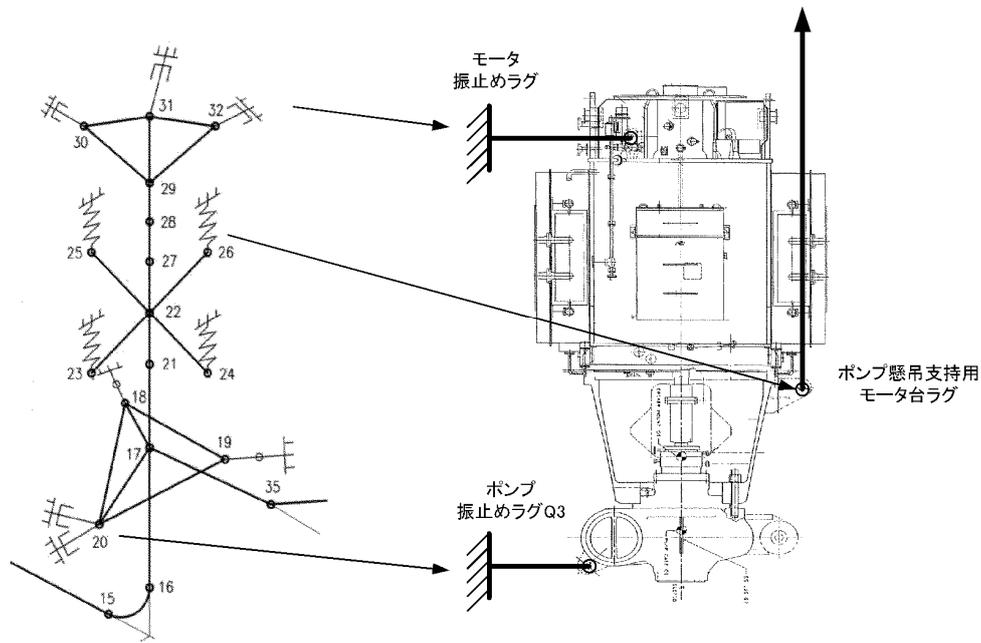


図2 PLRポンプ及びモータの支持構造図及び地震応答解析モデル

4. モータスラスト軸受評価

4.1 評価方針

軸受評価は、スラスト軸受の許容荷重と、地震時にPLRポンプに発生する鉛直方向荷重の比較にて実施する。すなわち「許容荷重 > 発生する鉛直方向荷重」であればモータスラスト軸受の健全性は確保される。

4.2 許容荷重

許容荷重については、軸受構造上の許容荷重と油膜形成上の許容荷重を比較することで求める。

a. 軸受構造上の許容荷重

軸受を構成する部品のうち、最も低い許容荷重を有する箇所はレベリングプレートであるため、当該プレートの許容荷重を軸受構造上の許容荷重とする。

b. 油膜（水膜）形成上の許容荷重

PLRポンプ主軸と軸受間の油膜（水膜）が維持される（主軸と軸受が接触しない）荷重を、油膜（水膜）形成上の許容荷重とする。

c. 軸受の許容値

それぞれの軸受に対する許容値を表1に示す。

表1 軸受の許容値^{※1}

(単位：kN)

種別	軸受構造物上の許容荷重	油膜形成上の許容荷重	許容値
スラスト軸受 (上向き)			
スラスト軸受 (下向き)			

※1：許容荷重の算出の考え方については補足－1に示す。

4.3 発生荷重について

(鉛直上向き)

PLRポンプ軸には、再循環系の圧力等によるスラスト力が上向きに作用している。鉛直上向きの発生荷重については上向きに作用するスラスト力と鉛直加速度により発生する荷重を下式により算出する。また、上向きに作用するスラスト力にはポンプヘッドによる荷重(鉛直下向き)は考慮しない。

なお、評価で用いる加速度は原子炉再循環系配管の地震応答解析モデルにおける各PLRポンプ及びモータの質点に生じる鉛直加速度のうち最大の値を用いる。

$$\text{「発生荷重」} = \text{「内圧等によるスラスト力」} + \text{「軸の質量」} \times \text{「鉛直方向加速度－重力加速度」}$$

(鉛直下向き)

鉛直下向きの評価にあたっては、内圧等によるスラスト力には羽根車の吸込口から出口に向かって水流が方向変化することによる荷重(鉛直上向き)は含めない。

$$\text{「発生荷重」} = \text{「軸の質量」} \times \text{「鉛直方向加速度＋重力加速度」} - \text{「内圧等によるスラスト力」}$$

4.4 評価結果

評価結果を表2に示す。評価の結果、冷却材ポンプのスラスト軸受部に発生する荷重は許容荷重を下回るため、PLRポンプのスラスト軸受の健全性は確保される。

表2 評価結果

種別	発生荷重	許容荷重	備考
スラスト軸受	上向き		単位：kN
	下向き		単位：kN

5. その他（P L R ポンプ及びモータのラジアル軸受健全性評価）

5.1 評価方針

鉛直地震力の増大とは関係しないが、参考に P L R ポンプ及びモータのラジアル軸受の健全性評価について示す。評価方法は 4 項のスラスト軸受と同様、ラジアル方向の許容値と発生する水平方向荷重を比較することで行う。

また、ラジアル軸受としては、P L R モータに二つ、P L R ポンプに一つあるが、軸受の許容荷重が小さい P L R ポンプのラジアル軸受について評価を実施する。

5.2 許容値について

4.2 項のスラスト軸受と同様の考え方により求めたラジアル軸受の許容値を表 3 に示す。

表 3 軸受の許容値

種別	支持構造物上の 許容応力	水膜形成上の 許容荷重*
ラジアル軸受		

※：許容値の考え方については、補足－2 に示す。

5.3 発生荷重について

ラジアル方向の評価にあたっては、回転による半径方向荷重（ラジアル流体力）を考慮する。また、水中軸受に作用する地震荷重は、P L R ポンプ及びモータの回転体系の荷重のつり合い解析にて求める。

なお、評価で用いる加速度は原子炉再循環系配管の地震応答解析モデルにおける各 P L R ポンプの質点に生じる鉛直加速度のうち最大の値を用いる。

「発生荷重」＝「ラジアル流体力」＋「地震荷重」

5.4 評価結果

評価結果を表4に示す。評価の結果、PLRポンプのラジアル軸受部に発生する荷重は許容値を下回るため、PLRポンプのラジアル軸受の健全性は確保される。

表4 評価結果

種別	発生値	許容値	備考
ラジアル軸受 (水膜)			単位：kN
ラジアル軸受 (支持構造物)			単位：MPa

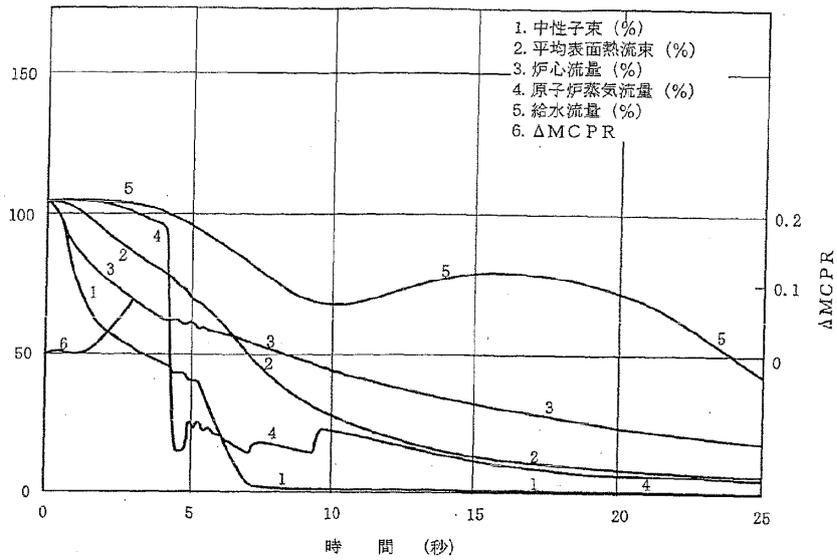
4項及び5項の評価で考慮した各発生荷重について、表5「PLR軸受に作用する荷重」にまとめる。

なお、コストダウン運転時はPLR回転数が低下することから、水膜（油膜）形成上の許容荷重は低下する傾向になる。

コストダウンにより回転数が低下すると、許容荷重が下がるため、定格運転の約50%の回転数（約5秒）で許容荷重が発生荷重を下回り、地震時に軸と軸受の接触が生じる可能性がある。

地震によりPLRポンプ2台トリップが発生した際には、ポンプ回転軸と軸受の接触が生じる可能性がある約5秒よりも前に、原子炉水位高（レベル8）によるタービントリップにより原子炉がスクラムし原子炉出力が低下するため、下図に示すようにMCRPは初期値を下回ることではなく、炉心の熱的余裕が失われるようなことにはならないと考えられる。

さらに地震時には地震加速度大により原子炉がスクラムする場合には、より早く原子炉出力が低下することからも、ポンプ回転軸と軸受の接触が生じる可能性により熱的余裕が失われることにはならないと考えられる。



東海第二発電所 「原子炉冷却材流量の喪失」の解析図

なお、仮に発生荷重>許容荷重となって軸と軸受の片当たりを想定する場合でも、PLRポンプ主軸と軸受内面は異種材料であるとともに、PLRポンプ回転数低下により軸固着の要因となる接触による摩擦を考慮しても軸固着が発生することはないと言え、また、構造強度上の許容荷重は満足していることから、変形により軸固着が生じることはない

表5 P L R軸受に作用する荷重

No.	P L Rポンプ軸受に発生する荷重		荷重を受ける軸受	考慮する荷重の方向	補足説明
	分類	発生する荷重			
1	内圧による荷重	P L R 系統内圧により発生するスラスト力（上向き）	スラスト軸受（上向き，下向き）	鉛直上向き	運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮している。
2	死荷重	ロータ自重（下向き）	スラスト軸受（上向き，下向き）	鉛直下向き	運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮している。
3	機械的荷重	機械の振動による荷重	ラジアル軸受	考慮しない	ロータの危険速度は定格回転速度よりも十分に高く，静止部材に対する相対振動は十分小さいことから考慮しない。
4		ラジアル流体力	ラジアル軸受	水平方向	運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮する。
5		スラスト流体力	スラスト軸受（上向き）	鉛直上向き（鉛直下向き成分は考慮しない）	<ul style="list-style-type: none"> 羽根車の吸込口から出口に向かって水流が方向変化することによる荷重（鉛直上向き）は考慮する。 ポンプヘッドによる荷重は下向きスラスト荷重であることから，上向きに対しては相殺される荷重であるため，保守的に考慮しない。
6			スラスト軸受（下向き）	鉛直下向き（鉛直上向き成分は考慮しない）	<ul style="list-style-type: none"> ポンプヘッドによる荷重は下向きスラスト荷重であることから，考慮する。 羽根車の吸込口から出口に向かって水流が方向変化することによる荷重（鉛直上向き）は下向きに対しては相殺される荷重であるため考慮しない。

モータ軸受（スラスト軸受）の構造及び許容荷重算出の考え方

1. 軸受の構造

[上部軸受構造]

上部軸受は上向きスラスト軸受/下向きスラスト軸受及び上部ガイド軸受/下部ガイド軸受から構成される。PLRポンプモータの構造概要図を図3に示す。

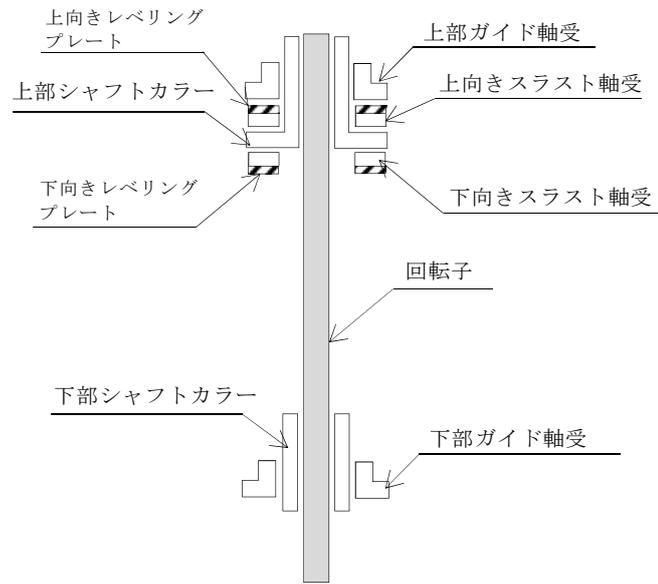


図3 PLRポンプモータ 軸受構造概要図

2. 許容荷重の考え方

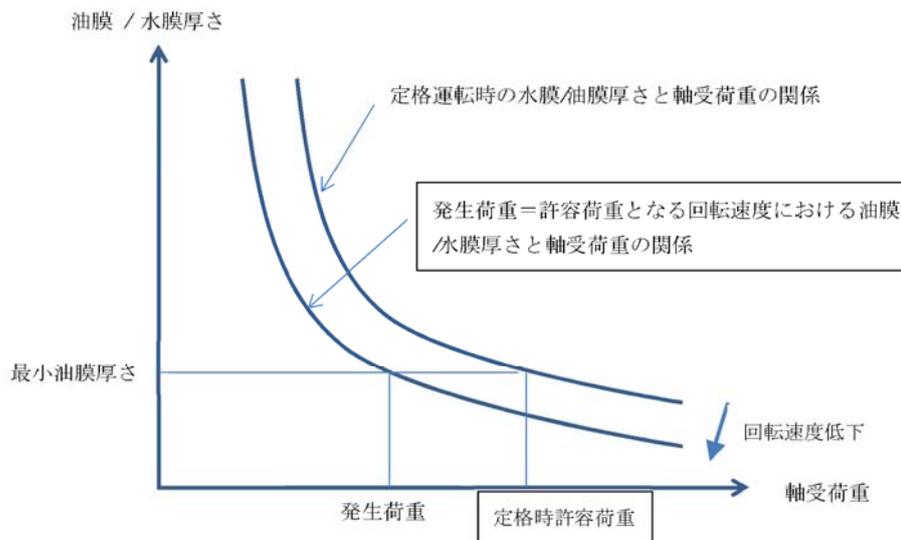
[軸受構造物の許容荷重]

軸受構造物については軸受を構成する各部品について、上向き及び下向きスラスト荷重に対する許容荷重を算出する。当該モータにおいては、構成部品のうちで最も低い許容荷重を有する箇所はレベリングプレートであり、軸受が動作を継続できる最大の荷重を軸受構造物の許容荷重としている。

[油膜形成上の軸受荷重]

油膜形成上の許容荷重は軸受油膜特性（油膜厚さと軸受荷重の関係）と最小油膜厚さより求めている。

定格運転時に P L R ポンプモータの上下部シャフトカラーと軸受間に油膜が維持される荷重を油膜形成上の許容荷重とする。地震力が発生した際の機能性評価のため、油膜厚さは通常運転時の値は使用せず軸受が接触しない厚さを最小油膜厚さとして評価する。また、油膜形成上の軸受荷重は回転速度に依存するため、回転速度による影響を考慮する。



3. 軸受許容荷重

2項で求めた軸受構造物及び油膜形成上の許容荷重を下表に示す。これより、それぞれの許容荷重の低い値を軸受許容荷重として設定した。

単位：kN

種別	軸受構造物の許容荷重	油膜形成上の許容荷重
スラスト軸受（上向き）		
スラスト軸受（下向き）		

4. P L R ポンプモータスラスト軸受の発生荷重算出

P L R モータ及びポンプ回転体の荷重に鉛直方向加速度が上向き/下向きに作用したときの発生荷重を算出する。

<算出方法>

以下の式により算出する。

(鉛直上向き)

$$A_1 = B_1 + C \times (D - g)$$

A : 鉛直上向き方向発生荷重

B₁ : 内圧等によるスラスト力 (上向き) (ポンプヘッドによる荷重 (下向き) を除く)

C : 回転子の質量

D : 鉛直方向地震加速度

g : 重力加速度 (=9.80665[m/s²])

ここで東海第二については以下の値となる

B₁ : [kN]

※P L R ポンプ通常運転中はP L R 圧力によるスラスト力が上向きに作用しているため、モータスラスト軸受 (上向き) にてスラスト力を保持している。

C : [ton]

D : 37 [m/s²] (P L R ポンプモータの質点に生じる最大加速度であるB号機の値)

以上より

A₁ =
であるため鉛直上向き方向発生荷重は A = [kN] となる。

(鉛直下向き)

鉛直下向きの評価も同様に算出する。

$$A_2 = C \times (D + g) - B_2$$

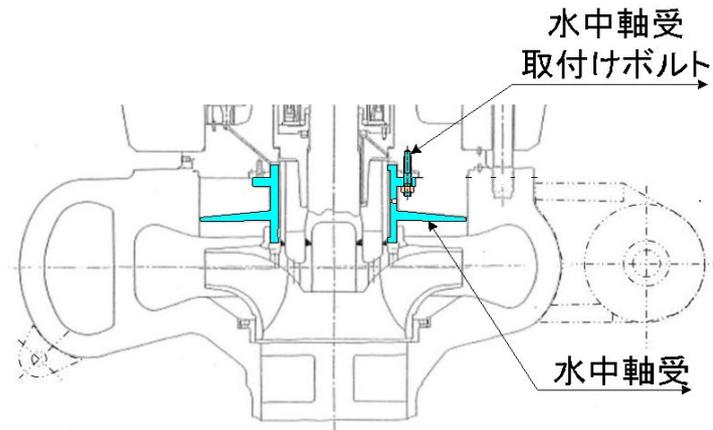
B₂ : 内圧等によるスラスト力 (上向き) (羽根車の吸込口から出口に向かって水流が方向変化することによる荷重 (鉛直上向き) 除く)

A₂ =
であるため鉛直下向き方向発生荷重は A = [kN] となる。

ポンプ軸受（ラジアル軸受）の構造及び許容値算出の考え方

1. P L R ポンプ軸受の構造

P L R ポンプ軸受（ラジアル軸受）は水中軸受であり，主軸と軸受の間に水膜を形成することで，ポンプの回転機能を維持している。



断面図

平面図

図4 P L R ポンプ軸受（ラジアル軸受）構造図

2. 許容値の考え方

PLRポンプ軸受の許容値としては、以下の2つの考え方に基づいて設定している。

① 軸受水膜形成上の許容荷重

PLR軸受と軸受間の水膜が維持される（主軸と軸受が接触しない）許容荷重として設定するもの。

② 軸受構造上の許容応力

PLR軸受の支持構造物上の許容応力として、軸受を締結している軸受取付ボルトの許容応力として設定するもの。

3. ポンプ軸受の許容値

上記に基づいて求めた各許容値を下表に示す。

水膜形成上の裕度が支持構造物上の裕度より低いため、ポンプラジアル軸受は、水膜形成上の許容荷重 を採用している。

種別	支持構造物上の許容応力	水膜形成上の許容荷重
ラジアル軸受	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4. P L R水中軸受の発生荷重の算出

図6に示す解析モデルを用いたつり合い解析にて、地震時の発生加速度※により発生する軸受荷重を算出する。

※：地震時の発生加速度は原子炉冷却材再循環系の耐震性についての計算書のうちV-2-5-2-1-1「管の耐震性についての計算書」にて得られる再循環系ポンプ及びモータ位置の水平・鉛直の最大応答加速度を使用する（下表参照）。

評価部位	水平方向加速度 (m/s ²)	鉛直方向加速度 (m/s ²)
ポンプ部	20	37
モータ部	43	37

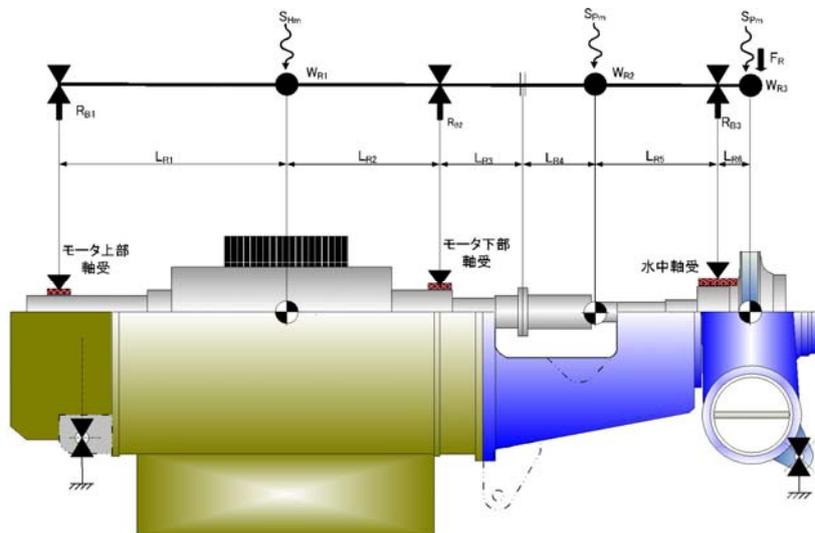


図6 回転体の荷重のつり合い解析モデル

上記モデルによる荷重のつり合い解析を行い各軸受部の反力 RB1（モータ上部ラジアル軸受）、RB2（モータ下部ラジアル軸受）、RB3（ポンプ軸受）を回転数比 $N_x = (n/n_0)$ に対して求める。100%回転時の解析結果を下表に示す。

表 軸受に生じる荷重（100%回転時）

軸受名称	発生荷重 (S s 時)	備考
モータ上部ラジアル軸受 RB1		kN
モータ下部ラジアル軸受 RB2		kN
ポンプ軸受 RB3		kN

東海第二発電所 既設設備（機器・配管系）の静的地震力による評価結果

評価対象設備/評価対象項目			②建屋機器連成解析設備又は配管系	水平・鉛直の荷重の組合せ	判定③							判定④				判定⑤			
					適用震度			静的震度				SRSS/静的震度	【SRSS法】 SRSS/3.6Ci ≥ 1.42 : ○ SRSS/3.6Ci < 1.42 : × 【絶対値和法】 水平震度/3.6Ci ≥ 1かつ鉛直震度/Cv ≥ 1 : ○ 水平震度/3.6Ci < 1又は鉛直震度/Cv < 1 : ○	震度比 【SRSS法】 3.6Ci (絶対値和法)/適用震度 (SRSS) 【絶対値和法】 3.6Ci/適用震度 (水平) と Cv/適用震度 (鉛直) の大きい方	今回工認におけるⅢAS裕度	ⅢAS裕度/震度比	【SRSS法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1.42 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1.42 : × 【絶対値和法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1 : ×	詳細評価	備考
					水平	鉛直	SRSS	3.6Ci	Cv	3.6Ci									
炉心	炉心支持構造物	炉心シュラウド	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		シュラウドサポート	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		上部格子板	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		炉心支持板	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		燃料支持金具	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		制御棒案内管	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
原子炉本体	原子炉压力容器本体	胴板	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		下鏡板	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		再循環水出口ノズル (N1)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		再循環水入口ノズル (N2)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		主蒸気ノズル (N3)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		給水ノズル (N4)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		炉心スプレイノズル (N5)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		上鏡スプレイノズル (N6A)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		ベントノズル (N7)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		ジェットポンプ計測ノズル (N8)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		差圧検出・ほう酸水注入管ノズル (N10)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		計測ノズル (N11)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		計測ノズル (N12)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		ドレンノズル (N15)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		計測ノズル (N16)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		低圧注水ノズル (N17)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		原子炉压力容器スタビライザブラケット	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		スチムドライヤサポートブラケット	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		給水スパーチャブラケット	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
		炉心スプレイブラケット	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
原子炉压力容器支持構造物	原子炉压力容器スカート	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-			
	原子炉压力容器基礎ボルト	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-			

評価対象設備/評価対象項目				②建屋機器連成解析設備又は配管系	水平・鉛直の荷重の組合せ	判定③							判定④				判定⑤				
						適用震度			静的震度				SRSS/静的震度	【SRSS法】 SRSS/3.6Ci ≥ 1.42 : ○ SRSS/3.6Ci < 1.42 : × 【絶対値和法】 水平震度/3.6Ci ≥ 1かつ鉛直震度/Cv ≥ 1 : ○ 水平震度/3.6Ci < 1又は鉛直震度/Cv < 1 : ○	震度比 【SRSS法】 3.6Ci(絶対値和法)/適用震度(SRSS) 【絶対値和法】 3.6Ci/適用震度(水平)とCv/適用震度(鉛直)の大きい方	今回工認におけるⅢAS裕度	ⅢAS裕度/震度比	【SRSS法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1.42 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1.42 : × 【絶対値和法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1 : ×	詳細評価	備考	
						水平	鉛直	SRSS	3.6Ci	Cv	3.6Ci	水平									鉛直
原子炉本体	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-		
			原子炉格納容器スタビライザ	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	
			制御棒駆動機構ハウジング支持金具	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			差圧検出・ほう酸水注入管(テイよりN10ノズルまでの外管)	×	SRSS法	0.97	0.74	1.22	0.88	0.29	1.17	1.04	-	×	0.96	2.82	2.94	-	○	-	-
	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	
			気水分離器およびスタンドパイプ	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			シュラウドヘッド	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			ジェットポンプ	×	SRSS法	0.98	0.73	1.22	0.88	0.29	1.17	1.04	-	×	0.96	1.80	1.88	-	○	-	-
			給水スパーチャ	×	SRSS法	0.97	0.75	1.22	0.96	0.29	1.25	0.98	-	×	1.02	7.60	7.43	-	○	-	-
			炉心スプレイスパーチャ	×	SRSS法	1.68	0.77	1.84	0.96	0.29	1.25	1.47	-	○	-	-	-	-	-	-	-
			残留熱除去系配管(原子炉圧力容器内部)	×	SRSS法	1.68	0.77	1.84	0.96	0.29	1.25	1.47	-	○	-	-	-	-	-	-	-
			炉心スプレイ系配管(原子炉圧力容器内部)	×	SRSS法	0.97	0.75	1.22	0.96	0.29	1.25	0.98	-	×	1.02	1.15	1.12	-	×	○	-
			差圧検出・ほう酸水注入管(原子炉圧力容器内部)	×	SRSS法	0.97	0.74	1.22	0.88	0.29	1.17	1.04	-	×	0.96	2.60	2.71	-	○	-	-
			中性子計測案内管	×	SRSS法	0.97	0.74	1.22	0.78	0.29	1.07	1.14	-	×	0.88	1.66	1.89	-	○	-	-
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料貯蔵ラック	×	絶対値和法	1.10	0.90	-	0.96	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-		
原子炉冷却系統施設	主蒸気系	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	×	絶対値和法	0.88	0.66	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-		
		主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	×	絶対値和法	0.88	0.66	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-		
	残留熱除去系	残留熱除去系熱交換器	×	SRSS法	0.63	0.50	0.80	0.63	0.29	0.92	0.87	-	×	1.15	1.33	1.16	-	×	○	-	
		残留熱除去系ポンプ	×	絶対値和法	0.58	0.48	-	0.58	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		残留熱除去系ストレーナ	×	SRSS法	1.31	1.41	1.92	0.58	0.29	0.87	2.21	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
	高圧炉心スプレイ系	高圧炉心スプレイ系ポンプ	×	絶対値和法	0.58	0.48	-	0.58	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		高圧炉心スプレイ系ストレーナ	×	SRSS法	1.31	1.41	1.92	0.58	0.29	0.87	2.21	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
	低圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイ系ポンプ	×	絶対値和法	0.58	0.48	-	0.58	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		低圧炉心スプレイ系ストレーナ	×	SRSS法	1.31	1.41	1.92	0.58	0.29	0.87	2.21	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却系ポンプ	×	絶対値和法	0.58	0.48	-	0.58	0.29	0.87	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン	×	絶対値和法	0.58	0.48	-	0.58	0.29	0.87	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
	残留熱除去系海水系	残留熱除去系海水系ポンプ	×	絶対値和法	1.10	1.03	-	0.58	0.29	0.87	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
残留熱除去系海水系ストレーナ		×	絶対値和法	1.38	2.70	-	0.58	0.29	0.87	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-		

評価対象設備/評価対象項目				②建屋機器連成解析設備又は配管系	水平・鉛直の荷重の組合せ	判定③							判定④					判定⑤		
						適用震度			静的震度				SRSS/静的震度	【SRSS法】 SRSS/3.6Ci ≥ 1.42 : ○ SRSS/3.6Ci < 1.42 : × 【絶対値和法】 水平震度/3.6Ci ≥ 1かつ鉛直震度/Cv ≥ 1 : ○ 水平震度/3.6Ci < 1又は鉛直震度/Cv < 1 : ○	震度比 【SRSS法】 3.6Ci(絶対値和法)/適用震度(SRSS) 【絶対値和法】 3.6Ci/適用震度(水平)とCv/適用震度(鉛直)の大きい方	今回工認におけるⅢAS裕度	ⅢAS裕度/震度比	【SRSS法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1.42 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1.42 : × 【絶対値和法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1 : ×	詳細評価	備考
						水平	鉛直	SRSS	3.6Ci	Cv	3.6Ci	ⅢAS裕度								
制御棒駆動装置	制御棒駆動機構	制御棒駆動機構	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	
	制御棒駆動系	制御ユニット	×	SRSS法	0.79	0.62	1.00	0.88	0.29	1.17	0.86	×	1.17	4.55	3.90	○	-	-	-	
ほう酸水注入設備	ほう酸水注入系	ほう酸水注入系ポンプ	×	絶対値和法	1.67	1.44	-	1.03	0.29	1.32	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		ほう酸水貯蔵タンク	×	絶対値和法	1.67	1.44	-	1.03	0.29	1.32	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
計測制御系統施設	起動領域計測装置及び出力領域計測装置	起動領域計装	×	SRSS法	1.43	0.77	1.62	0.96	0.29	1.25	1.30	×	0.77	1.95	2.53	○	-	-	-	
		出力領域計装	×	SRSS法	1.43	0.77	1.62	0.96	0.29	1.25	1.30	×	0.77	1.13	1.47	○	-	-	-	
	原子炉压力容器本体の入口又は出口の原子炉冷却材の圧力、温度又は流量を計測する装置	主蒸気流量	×	絶対値和法	0.64	0.54	-	0.69	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		原子炉隔離時冷却系系統流量	×	絶対値和法	0.46	0.48	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		高压炉心スプレイ系系統流量	×	絶対値和法	0.52	0.48	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		低压炉心スプレイ系系統流量	×	絶対値和法	0.52	0.48	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		残留熱除去系系統流量	×	絶対値和法	0.52	0.48	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		原子炉圧力	×	絶対値和法	0.78	0.54	-	0.78	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
	原子炉压力容器本体内の圧力又は水位を計測する装置	原子炉水位	×	絶対値和法	0.78	0.54	-	0.78	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		原子炉水位(広帯域)	×	絶対値和法	0.78	0.54	-	0.78	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		原子炉水位(燃料域)	×	絶対値和法	0.69	0.54	-	0.69	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		ドライウェル圧力	×	絶対値和法	0.78	0.54	-	0.78	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
	原子炉格納容器本体内の圧力、温度、酸素ガス濃度又は水素ガス濃度を測定する装置	サブプレッション・チェンバ圧力	×	絶対値和法	0.69	0.54	-	0.69	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		サブプレッション・プール水温度	×	絶対値和法	0.63	0.59	-	0.63	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
サブプレッション・プール水位		×	絶対値和法	0.58	0.48	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-		
格納容器内水素濃度		×	絶対値和法	0.88	0.62	-	0.88	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-		
格納容器内酸素濃度		×	絶対値和法	0.88	0.62	-	0.88	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-		
格納容器内水素濃度		×	絶対値和法	0.88	0.62	-	0.88	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-		

評価対象設備/評価対象項目			②建屋機器連成解析設備又は配管系	水平・鉛直の荷重の組合せ	判定③								判定④				判定⑤				
					適用震度			静的震度			SRSS/静的震度	【SRSS法】 SRSS/3.6Ci ≥ 1.42 : ○ SRSS/3.6Ci < 1.42 : × 【絶対値和法】 水平震度/3.6Ci ≥ 1かつ 鉛直震度/Cv ≥ 1 : ○ 水平震度/3.6Ci < 1又は 鉛直震度/Cv < 1 : ○	震度比 【SRSS法】 3.6Ci(絶対値和法)/適用震度(SRSS) 【絶対値和法】 3.6Ci/適用震度(水平)とCv/適用震度(鉛直)の大きい方	今回工認におけるⅢAS裕度	ⅢAS裕度/震度比	【SRSS法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1.42 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1.42 : × 【絶対値和法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1 : ×	詳細評価	備考			
					水平	鉛直	SRSS	3.6Ci	Cv	3.6Ci											
放射線管理施設	放射線管理用計測装置	プロセスモニタリング設備	主蒸気管放射線モニタ	×	絶対値和法	0.78	0.54	-	0.78	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-		
			格納容器雰囲気放射線モニタ(D/W)	×	絶対値和法	0.88	0.66	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
			格納容器雰囲気放射線モニタ(S/C)	×	絶対値和法	0.63	0.49	-	0.63	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
			原子炉建屋換気系(ダクト)放射線モニタ	×	絶対値和法	1.44	0.94	-	1.44	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
	換気設備	中央制御室換気系	中央制御室換気系空調機ファン	×	絶対値和法	1.55	1.17	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
			中央制御室換気系フィルタユニット	×	絶対値和法	1.55	1.17	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
			中央制御室換気系フィルタ系ファン	×	絶対値和法	1.55	1.17	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
			中央制御室再循環フィルタユニット	×	絶対値和法	1.55	1.17	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器本体	ドライウエル円錐部及びサブプレッションチェンバ円筒部シェル部及びサンドクッション部	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	
			ドライウエルビームシート	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			ドライウエル上部シラグ及びスタビライザ	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			ドライウエル下部シラグ及びダイアフラムフロアブラケット	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			格納容器スプレイヘッド(ドライウエル側)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			格納容器スプレイヘッド(サブプレッションチェンバ側)	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			サブプレッションチェンバ底部ライナ	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
			原子炉格納容器胴アンカー部	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
	機器搬出入口	機器搬入用ハッチ	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	
		エアロック	所員用エアロック	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
	原子炉格納容器貫通部及び電気配線貫通部		配管貫通部	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
		電気配線貫通部	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
	圧力低減設備その他の安全設備	ダイヤフラムフロア	ダイヤフラム・フロア	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
		ベント管	ベント管	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備		非常用ガス再循環系排風機	×	絶対値和法	1.67	1.44	-	1.03	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		非常用ガス再循環系フィルタトレイン	×	SRSS法	1.67	1.44	2.20	1.03	0.29	1.32	1.67	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		非常用ガス処理系排風機	×	絶対値和法	1.67	1.44	-	1.03	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		非常用ガス処理系フィルタトレイン	×	SRSS法	1.67	1.44	2.20	1.03	0.29	1.32	1.67	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		低圧マニホールド	×	絶対値和法	1.34	1.01	-	0.78	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
		主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ	×	絶対値和法	1.55	1.17	-	0.88	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	×	絶対値和法	1.34	1.01	-	0.78	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-		
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	×	絶対値和法	1.34	1.01	-	0.78	0.29	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-			

評価対象設備/評価対象項目			②建屋機器連成解析設備又は配管系	水平・鉛直の荷重の組合せ	判定③							判定④					判定⑤			
					適用震度			静的震度				SRSS/静的震度	【SRSS法】 SRSS/3.6Ci ≥ 1.42 : ○ SRSS/3.6Ci < 1.42 : × 【絶対値和法】 水平震度/3.6Ci ≥ 1かつ鉛直震度/Cv ≥ 1 : ○ 水平震度/3.6Ci < 1又は鉛直震度/Cv < 1 : ○	震度比 【SRSS法】 3.6Ci(絶対値和法)/適用震度(SRSS) 【絶対値和法】 3.6Ci/適用震度(水平)とCv/適用震度(鉛直)の大きい方	今回工認におけるⅢAS裕度	ⅢAS裕度/震度比	【SRSS法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1.42 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1.42 : × 【絶対値和法】 ⅢAS裕度/震度比 ≥ 1 : ○ ⅢAS裕度/震度比 < 1 : ×	詳細評価	備考	
					水平	鉛直	SRSS	3.6Ci	Cv	3.6Ci	水平									鉛直
その他発電用原子炉の附属設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電装置	非常用ディーゼル発電機内燃機関	×	絶対値和法	0.87	0.90	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-	-	
			非常用ディーゼル発電機空気だめ	×	SRSS法	0.87	0.90	1.25	0.58	0.29	0.87	1.44	○	-	-	-	-	-	-	
			非常用ディーゼル発電機燃料油デイトンク	×	SRSS法	1.10	0.96	1.46	0.63	0.29	0.92	1.59	○	-	-	-	-	-	-	
			非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	絶対値和法	追而														
			軽油貯蔵タンク	×	絶対値和法	追而														
			非常用ディーゼル発電機	×	絶対値和法	0.46	0.48	-	0.58	0.29	-	-	×	1.26	4.34	3.44	○	-	-	
			非常用ディーゼル発電機制御盤	×	絶対値和法	0.46	0.48	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-		
			非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	×	絶対値和法	1.10	1.03	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-		
			非常用ディーゼル発電機用海水ストレナ	×	絶対値和法	1.38	2.70	-	0.58	0.28	-	-	○	-	-	-	-	-		
	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電装置	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電装置	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機内燃機関	×	絶対値和法	0.87	0.90	-	0.58	0.29	0.87	-	○	-	-	-	-			
			高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機空気だめ	×	SRSS法	0.87	0.90	1.25	0.58	0.29	0.87	-	○	-	-	-	-			
			高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機燃料油デイトンク	×	SRSS法	1.10	0.96	1.46	0.63	0.29	0.92	-	○	-	-	-	-			
			高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	絶対値和法	追而														
			高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機	×	絶対値和法	0.46	0.48	-	0.58	0.29	-	-	×	1.26	3.62	2.87	○	-	-	
			高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機制御盤	×	絶対値和法	0.58	0.48	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-		
			高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	×	絶対値和法	1.10	1.03	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-		
			高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機用海水ストレナ	×	絶対値和法	1.38	2.70	-	0.58	0.29	-	-	○	-	-	-	-	-		
			その他の電源装置	電力貯蔵装置	非常用無停電電源装置	×	絶対値和法	0.63	0.50	-	0.63	0.29	-	-	○	-	-	-	-	
	125V系蓄電池	×			絶対値和法	0.69	0.53	-	0.69	0.29	-	-	○	-	-	-	-			
	中性子モニタ用蓄電池	×			絶対値和法	0.63	0.50	-	0.63	0.29	-	-	○	-	-	-	-			

補機類のアンカー定着部の評価について

1. 概要

既工認における補機類の基礎ボルト及びコンクリートの定着部の設計は、コンクリート部の評価断面積はボルト又はスリーブの表面積としてボルトの引抜き力よりもコンクリートの定着力が大きくなるような、必要な埋込深さを算定していたが、今回工認においては、JEAG4601-1991 追補版に基づいた評価断面をコーン状破断面に変更する。

2. 既工認と今回工認での定着部評価の相違

既工認におけるコンクリート部の評価は、東海第二は JEAG4601・補-1984 適用以前に建設されたプラントであることから、当時の鋼構造設計規準に基づく付着評価を実施していた。

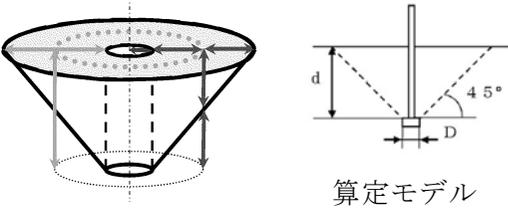
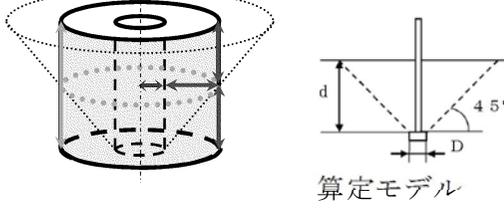
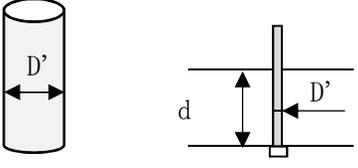
付着評価の評価断面はボルト又はスリーブ表面積としており、JEAG4601-1991 追補版に定められる評価断面よりも厳しい断面である。

具体的には、表 1 に示すとおり、既工認の評価断面は、単独ボルトの条件では JEAG4601-1991 追補版と比べ小さく、JEAG4601-1991 追補版の評価断面に変えた場合の裕度は既工認におけるボルトの裕度より、コンクリートの裕度の方が高くなる。

ボルトの引張許容値から定めた限界引抜き力に対して、JEAG4601-1991 追補版と同様のコンクリート許容せん断応力度及びせん断力算定断面積（コーン状破壊を想定）による引抜き耐力が上回るような、必要埋込深さとなり、基礎ボルトに着目した耐震評価を行うことでコンクリート定着部の健全性も確認できる。

この既工認の評価と今回工認での評価の関係は、機器に関わらず同様であることから、以下では、高圧炉心スプレイ系ポンプを例に基礎ボルトとコンクリート定着部の許容荷重の比較を示す。

表1 コンクリート定着部の評価

	今回工認	(参考)	既工認
適用規格	JEAG4601-1991 追補版	JEAG4601-1984	鋼構造設計規準
評価内容	コンクリートの押抜き力（シアコーン）により生じるせん断応力評価	コンクリートの押抜き力（パンチングシア）により生じるせん断応力評価	コンクリートへの付着評価
評価手法	 <p>せん断力算定断面積 （コーン状破断面） $= \pi (\text{大半径})^2 - \pi (\text{小半径})^2$ $= \pi \left(\frac{D}{2} + d\right)^2 - \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$ $= \pi \cdot d \cdot (D + d)$ d:埋込深さ D:埋込板直径</p>	 <p>せん断力算定断面積 （パンチングシア形状） $= \text{高さ} \times \text{円周長さ}$ $= d \cdot \pi \cdot (D + d)$ $= \pi \cdot d \cdot (D + d)$ d:埋込深さ D:埋込板直径</p>	 <p>せん断力算定断面積 （ボルト、スリーブ表面） $= \text{高さ} \times \text{円周長さ}$ $= d \cdot \pi \cdot D'$ $= \pi \cdot d \cdot D'$ d:埋込深さ D' :スリーブ又はボルト直径</p>

【せん断荷重】

基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価は、JEAG-4601 1991 追補版より

$$q \leq q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$$

ここに

$$q_{a1} = 0.5 \cdot K_3 \cdot A_b \cdot \sqrt{E_c \cdot F_c}$$

$$q_{a2} = 0.31 \cdot K_4 \cdot A_{c1} \cdot \sqrt{F_c}$$

q : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重 (N)

q_a : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N)

q_{a1} : 基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容せん断荷重 (N)

q_{a2} : へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容せん断荷重 (N)

K_3 : 複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数 (IVAS の 0.8 とする)

K_4 : へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数 (IVAS の 0.6 とする)

A_b : 基礎ボルトの谷径断面積 (スタッドの場合は軸部断面積) (mm^2)
(M64 : $2.597 \times 10^3 \text{mm}^2$)

E_c : コンクリートのヤング率 (N/mm^2) : 20600N/mm^2

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2) : 22.1N/mm^2

$A'c$: コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm^2)

へりあきの面積はへりあきのある基礎ボルトとへりあきのない基礎ボルトの平均をへりあき面積とする。

$$A'c = \boxed{} = 1317261.96 \text{mm}^2$$

よって、

$$q_{a1} = 0.5 \times 0.8 \times 2.597 \times 10^3 \times \sqrt{20600 \times 22.1} = 700909 \approx 7.00 \times 10^5 [\text{N}]$$

$$q_{a2} = 0.31 \times 0.6 \times 1317261.96 \times \sqrt{22.1} = 1151811 \approx 11.5 \times 10^5 [\text{N}]$$

$$q_a = \min(7.00 \times 10^5, 11.5 \times 10^5) = 7.00 \times 10^5 [\text{N}]$$

以上より、基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重は $7.00 \times 10^5 [\text{N}]$ である。

一方、基礎ボルト (M64 : SS400) の許容応力 160MPa から求まる基礎ボルト 1 本当たりのせん断破壊荷重は、

$$\frac{\pi}{4} \times 64^2 \times 160 = 514718.5 \approx 5.15 \times 10^5 [\text{N}]$$

である。基礎ボルト 1 本当たりのせん断破壊荷重 $5.15 \times 10^5 [\text{N}]$ と比較して、基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重は $7.00 \times 10^5 [\text{N}]$ であり、コンクリート部の許容引張荷重が十分大きい。

【組合せ応力】

基礎ボルトが引張，せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601-1991 追補版より

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

ここに

p_a : 引張荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N) = $\min(p_{a1}, p_{a2})$

q_a : せん断荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 (N) = $\min(q_{a1}, q_{a2})$

p : 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重 (N)

q : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重 (N)

仮に p に対して，基礎ボルト 1 本当たりの引張破壊荷重を，また q に対して基礎ボルト 1 本当たりのせん断破壊荷重を用いて保守的に計算すると，

となり，組合せ応力評価に対しても，基礎ボルトよりコンクリートの方が十分余裕がある。

以上をまとめると以下のとおりである。

基礎ボルト 1 本当たりの破壊荷重及びコンクリートの許容荷重	基礎ボルト 1 本当たりの引張破壊荷重 p (N)	基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 p_a (N)	基礎ボルト 1 本当たりのせん断破壊荷重 q (N)	基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重 q_a (N)
		6.76×10^5	1.38×10^6	5.15×10^5
引張・せん断評価	$p < p_a$ OK		$q < q_a$ OK	
組合せ評価	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 = \left(\frac{6.76 \times 10^5}{1.38 \times 10^6}\right)^2 + \left(\frac{5.15 \times 10^5}{7.00 \times 10^5}\right)^2 \cong 0.57 \leq 1$			