

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-340-13 改 36
提出年月日	平成 30 年 9 月 21 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 9 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地盤物性のばらつき
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について
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
8. 制御棒の挿入性評価について
9. 電気盤等の機能維持評価に適用する水平方向の評価用地震力について
10. 大型機器，構造物の地震応答計算書の補足について

下線：ご提出資料

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)

1. はじめに

本資料では、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の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて、動的機能維持についての検討方針、新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出及び検討結果を示す。

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の解釈（抜粋）

第5条（地震による損傷の防止）

3 動的機器に対する「施設の機能を維持していること」とは、基準地震動による応答に対して、当該機器に要求される機能を保持することをいう。具体的には、当該機器の構造、動作原理等を考慮した評価を行うこと、既往研究で機能維持の確認がなされた機能確認済加速度等を超えていないことを確認することをいう。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

4.6.2 動的機能

【審査における確認事項】

Sクラスの施設を構成する主要設備又は補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。

【確認内容】

動的機能については以下を確認する。

- (1) 水平方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。
- (2) 鉛直方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が水平方向の動的機能保持に関する評価に係る JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試

験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。

(3) 上記(1)及び(2)の評価に当たっては、当該機器が JEAG4601 に規定されている機種、形式、適用範囲等と大きく異なる場合又は機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考にして設定された機能確認済加速度を超える場合（評価方法が JEAG4601 に規定されている場合を除く。）については、既往の研究等を参考に異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目毎に評価を行い、評価基準値を超えていないこと。また、当該分析結果に基づき抽出した評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、加振試験（既往の研究等において実施されたものを含む。）により動的機能保持を確認した加速度を超えないこと。

2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針

動的機器の耐震性評価法は原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1991 追補版（以下 J E A G 4601 という）に従い実施するものとするが、J E A G 4601 で定める機能確認済加速度（J E A G 4601 に定められた既往研究で機能維持の確認がなされた入力又は応答レベル）と評価用加速度との比較による評価法には適用範囲が定められている。

本資料では、J E A G 4601 に定められた機種、型式及び適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備について、設備の抽出を行うとともに、既往の研究等を参考に地震時異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目の評価を行い、評価基準値を超えていないことを確認する。また、評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備について、設備の抽出を行うとともに、J E A G 4601 の基本評価項目の評価を行い、評価基準値を超えていないことを確認する。

なお、上記にて抽出した設備、評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、新たな加振試験により動的機能維持を確認した加速度を超えないことを確認している。

3. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

3.1 検討対象設備

検討対象設備は、耐震 S クラス並びに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とし、動的機能が必要な設備として J E A G 4601 で適用範囲が定められ

ている機種（立形ポンプ，横形ポンプ，電動機 等）とする。

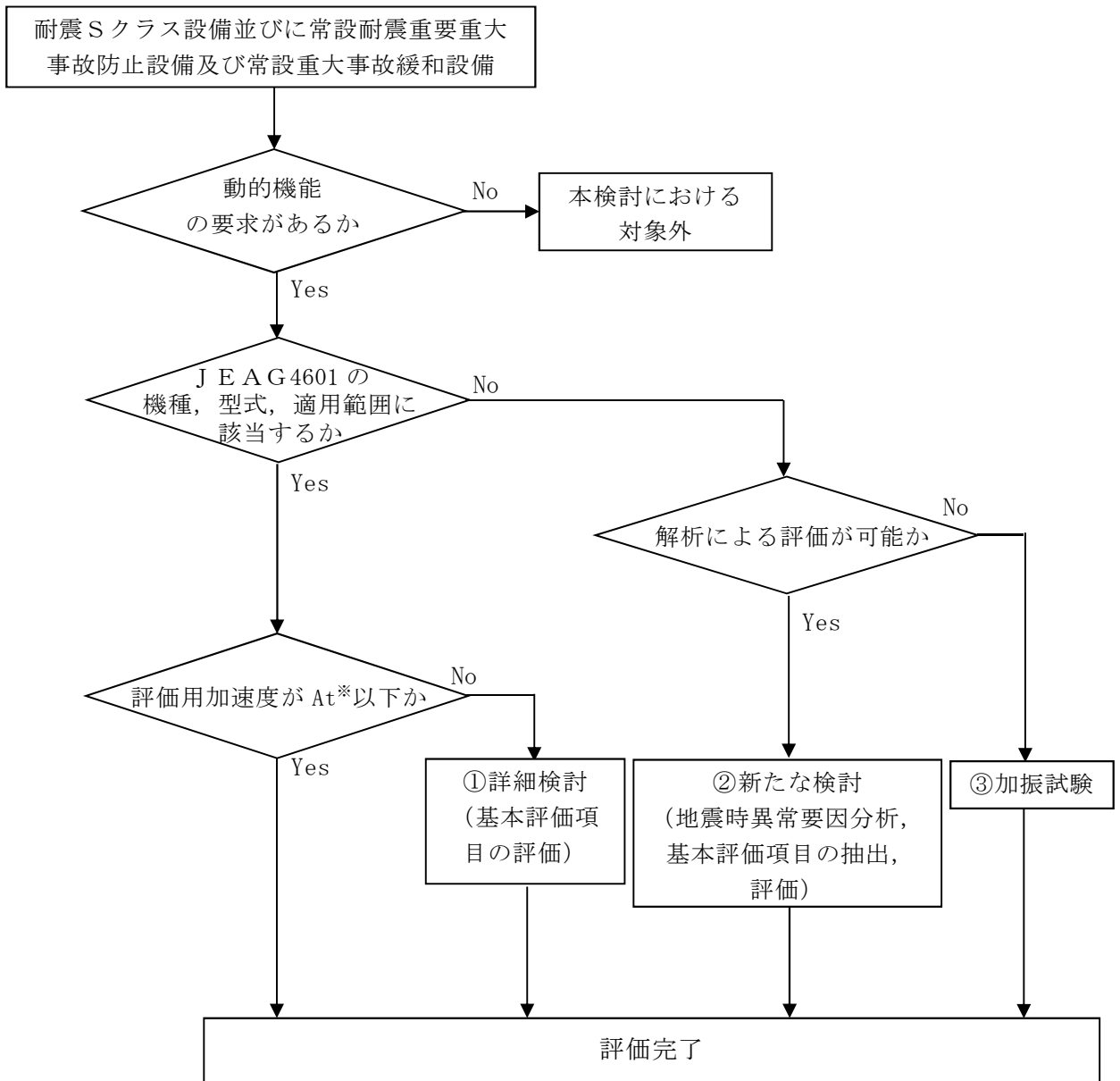
3.2 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

第1図にて設備の抽出及び検討のフローを示す。検討対象設備について，J E A G 4601 に定める機能確認済加速度（ A_t ）との比較による評価方法が適用できる機種に対して構造，作動原理，各機器の流量，出力等がJ E A G 4601 で定められた適用範囲と大きく異なることを確認する。大きく異なる場合は，解析による評価が可能かにより，新たな検討（地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価）が必要な設備，又は加振試験を実施する設備として抽出する。

さらに評価用加速度がJ E A G 4601 及び既往の研究等※により妥当性が確認されている機能確認済加速度（ A_t ）以内であることの確認を行い，機能確認済加速度を超える設備については詳細検討（基本評価項目の評価）が必要な設備として抽出する。なお，弁についてはJ E A G 4601 にて評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められているため，本資料の対象外とする。

上記の整理結果として別表1に検討対象設備を示すとともに，新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報としてJ E A G 4601 に該当する機種名等を整理した。

※ 電力共同研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成10年度～平成13年度）」



※ At : 機能確認済加速度

第1図 動的機能維持評価フロー

(3) 抽出結果

別表 1 をもとに第 1 図にて新たな検討，詳細検討及び加振試験が必要な設備を抽出した結果を第 1 表に示す。

①詳細検討（基本評価項目の評価）

評価用加速度が機能確認済加速度を超え詳細検討が必要となる設備はなかった。なお，取水構造物に設置される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及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプについては，当初に保守的な設定をした鉛直方向の評価用加速度が機能確認済加速度を超えたため，詳細検討を実施予定であったが，取水構造物の設計進捗により評価用加速度が機能確認済加速度以下であることが確認できたため，詳細検討は不要となった。

②新たな検討（地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価）

新たな検討として，地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価が必要となる設備として，横形スクリー式ポンプ（以下「スクリー式ポンプ」という。），横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプ」という。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。

スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会で地震時機能維持評価について検討された機器の内，遠心式横形ポンプと類似であり，遠心式横形ポンプの地震時異常要因分析及び評価項目を参考とすることが可能である。また，電共研※において，スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析及び評価項目の抽出を行っており，それらの検討を用いることが可能である。

そのため，スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，新たな検討として，上記検討を参考に地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価を実施する。

※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）

③加振試験

新たな加振試験が必要な設備として以下の設備が抽出された。

○可搬型代替注水大型ポンプ，可搬型代替注水中型ポンプ，可搬型代替低圧電源車，タンクローリ，窒素供給装置，窒素供給装置用電源車

車両型設備であり（第 2～6 図参照）解析による評価が困難なことから加振試験

を実施。詳細は下記資料参照。

- ・ 補足-340-3

【可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書に関する補足説明資料】

○常設代替高圧電源装置

車両型設備であり（第7図参照）解析による評価が困難なことから加振試験を実施。詳細は下記資料参照。

- ・ 補足-340-15

【常設代替高圧電源装置の耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

○常設高圧代替注水系ポンプ

ポンプ形式はタービン駆動の横形多段遠心式だが、ポンプとタービンが一体となった設備であり（第8図参照）、J E A G 4601 の適用機種と構造等が異なり、振動性状的に類似とみなせないことから加振試験を実施。詳細は下記資料参照。

- ・ 補足-340-17

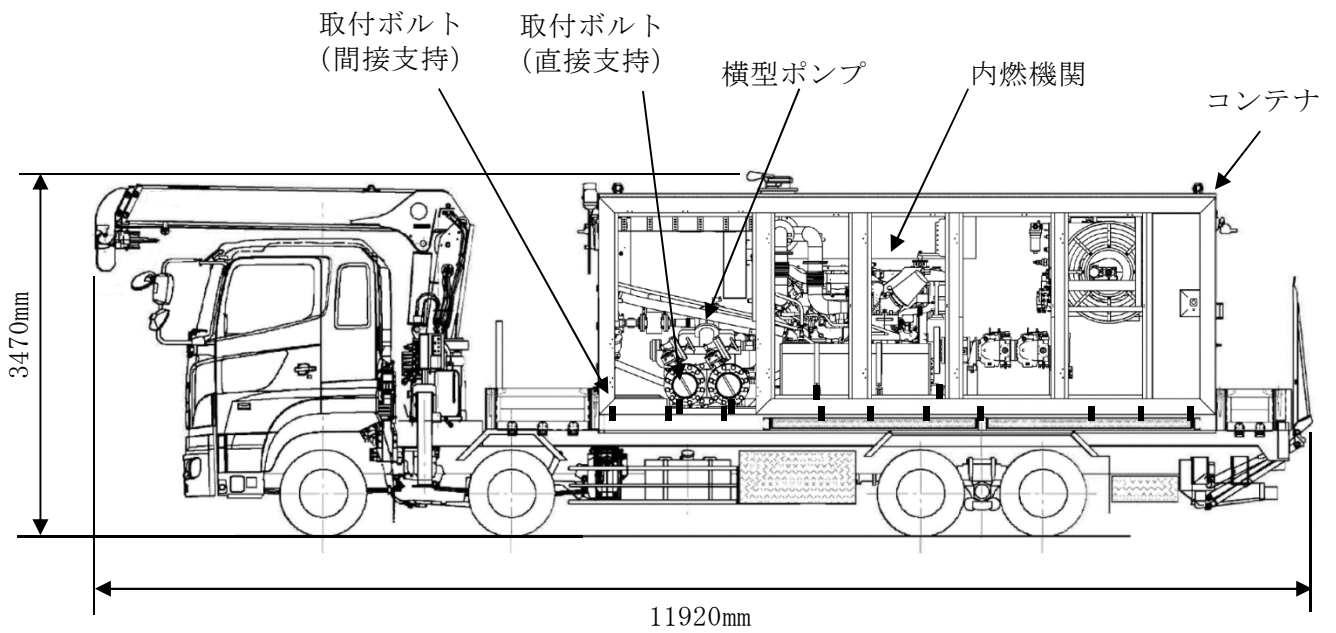
【常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

4. 詳細検討が必要な機器の動的機能維持評価について

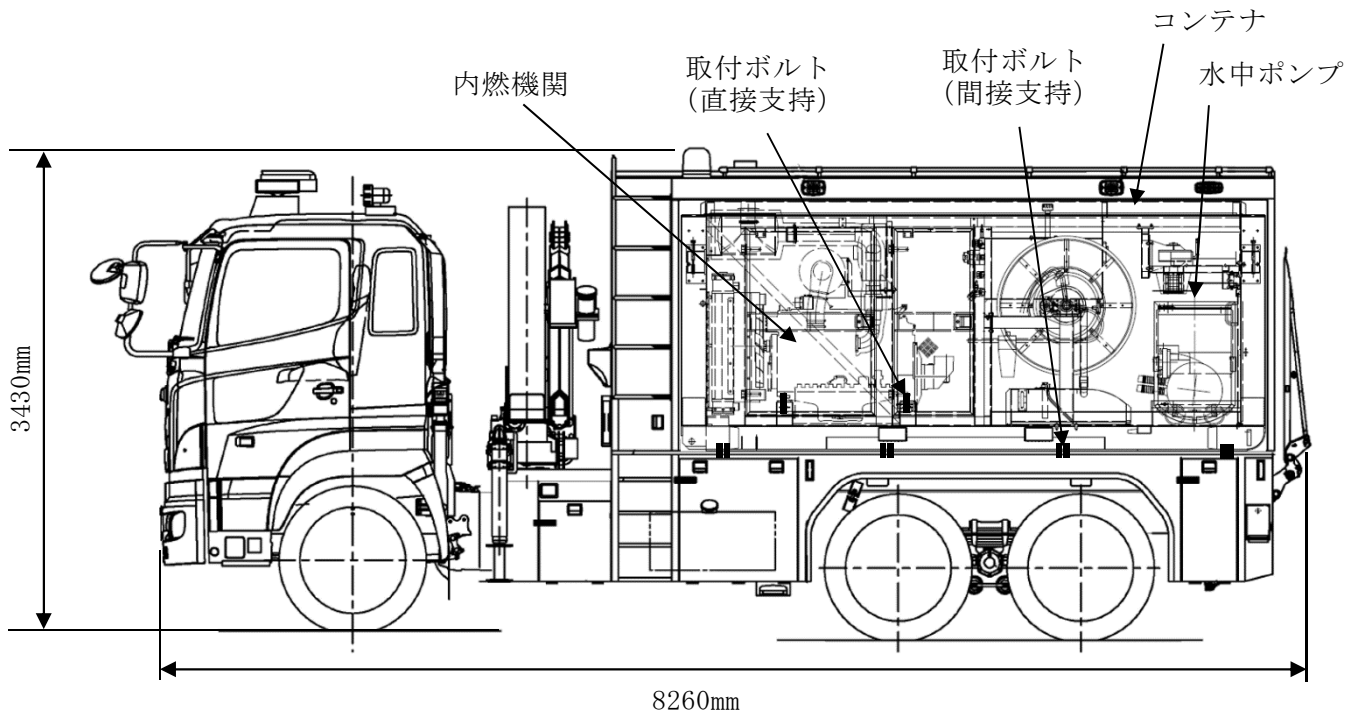
J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種範囲から外れ、新たに評価項目の検討が必要な設備における動的機能維持評価について別紙にて説明する。

【機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種範囲から外れ新たに評価項目の検討が必要な設備】

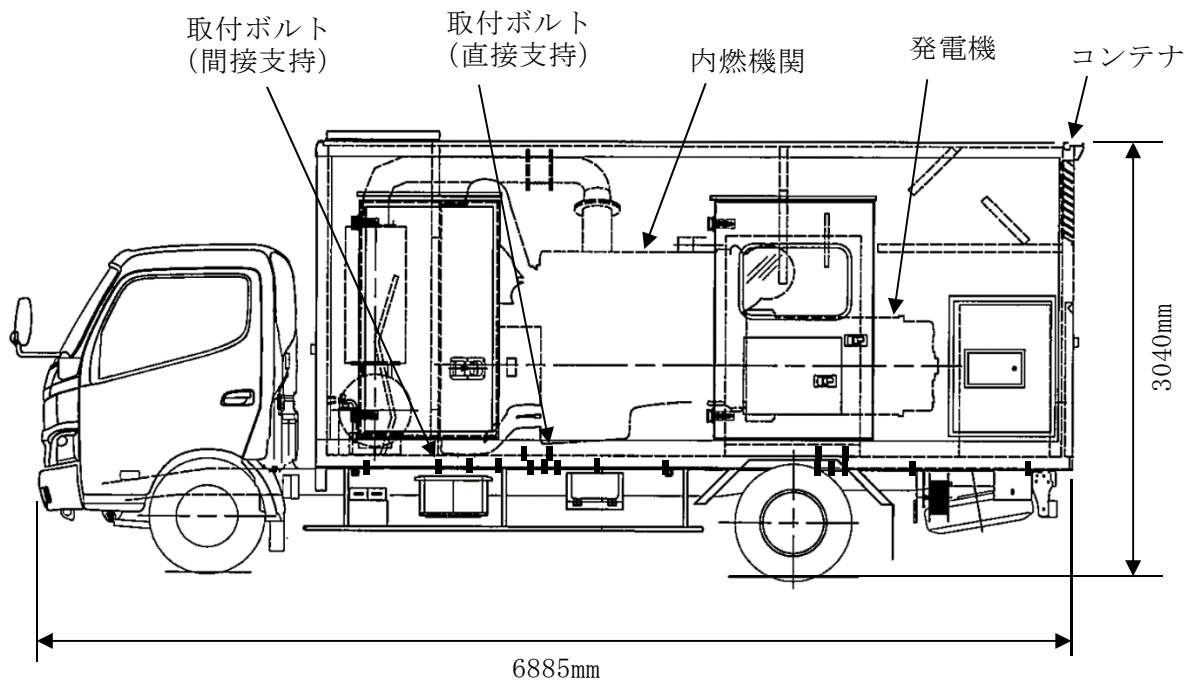
- ・ 別紙1：非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプ



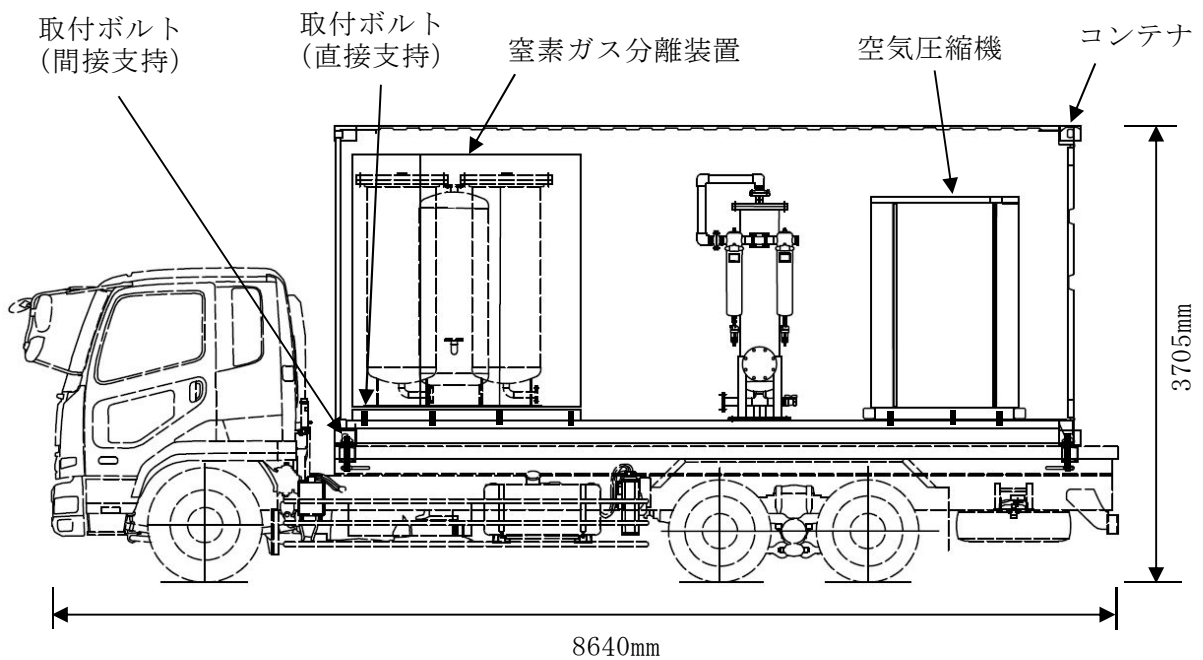
第2図 可搬型代替注水大型ポンプ 構造図



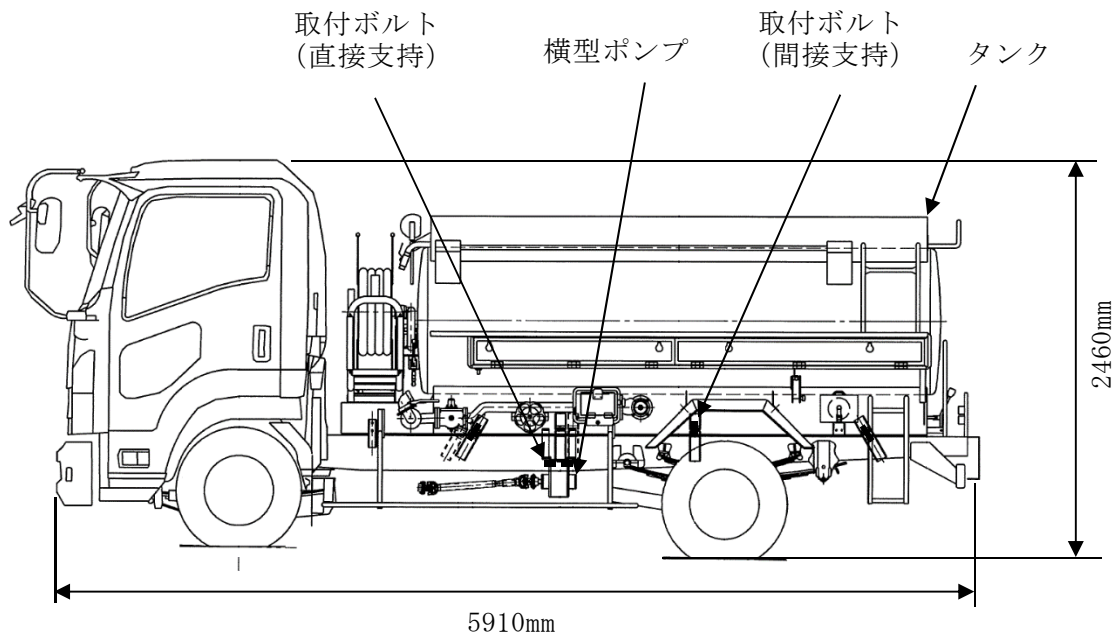
第3図 可搬型代替注水中型ポンプ 構造図



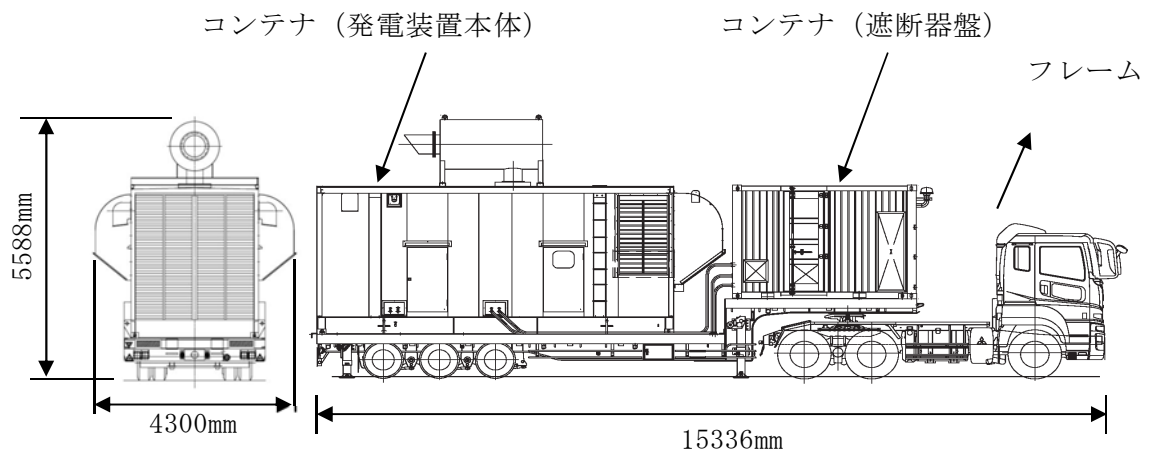
第4図 可搬型代替低圧電源車及び窒素供給装置用電源車 構造図



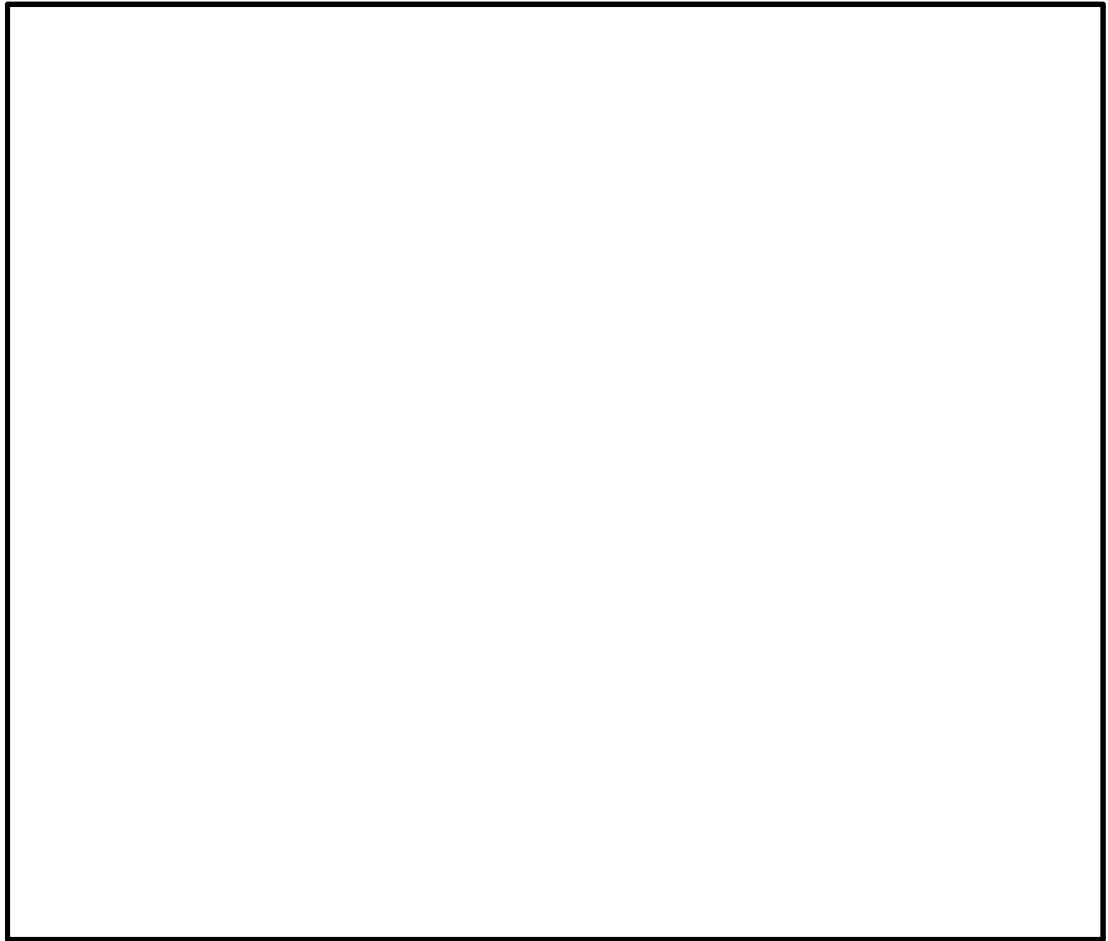
第5図 窒素供給装置 構造図



第6図 タンクローリ 構造図



第7図 常設代替高圧電源装置車両 (No. 1~No. 5) 構造図



第 8 図 常設高圧代替注水系ポンプ 構造図

第1表(1) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601の機種、型式、適用範囲に該当するか ○：該当 ×：否（新たな評価項目の検討が必要）	機能確認済加速度（At）以下か ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
立形ポンプ	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	○	○
	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	○	○
	緊急用海水ポンプ	○	○
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	—
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	—
	常設低圧代替注水系ポンプ	○	○
	代替燃料プール冷却系ポンプ	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	○ (別紙2参照)	○
	代替循環冷却系ポンプ	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	×	—
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ	×	—
ポンプ駆動用タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ用電動機	○	○
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	○
	中央制御室換気系空気調和機ファン用電動機	○	○

第1表(2) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601の機種、型式、適用範囲に該当するか ○：該当 ×：否（新たな評価項目の検討が必要）	機能確認済加速度（At）以下か ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
電動機	中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機用電動機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	○
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	○
	代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機	○ (別紙2参照)	○
	代替循環冷却系ポンプ用電動機	○	○
	緊急用海水ポンプ用電動機	○	○
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	○
緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	○	
ファン	中央制御室換気系空気調和機ファン	○	○
	中央制御室換気系フィルタ系ファン	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	○
	緊急時対策所非常用送風機	○	○

第1表(3) 新たな評価項目の検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601の機種、型式、適用範囲に該当するか ○：該当 ×：否（新たな評価項目の検討が必要）	機能確認済加速度（At）以下か ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	○
	非常用ディーゼル発電機調速装置及び非常用ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調速装置及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
往復動式ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	○
制御棒	制御棒挿入性	○	○注1

注1) 地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位に対して下回ることを確認

移送ポンプの地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価

1. はじめに

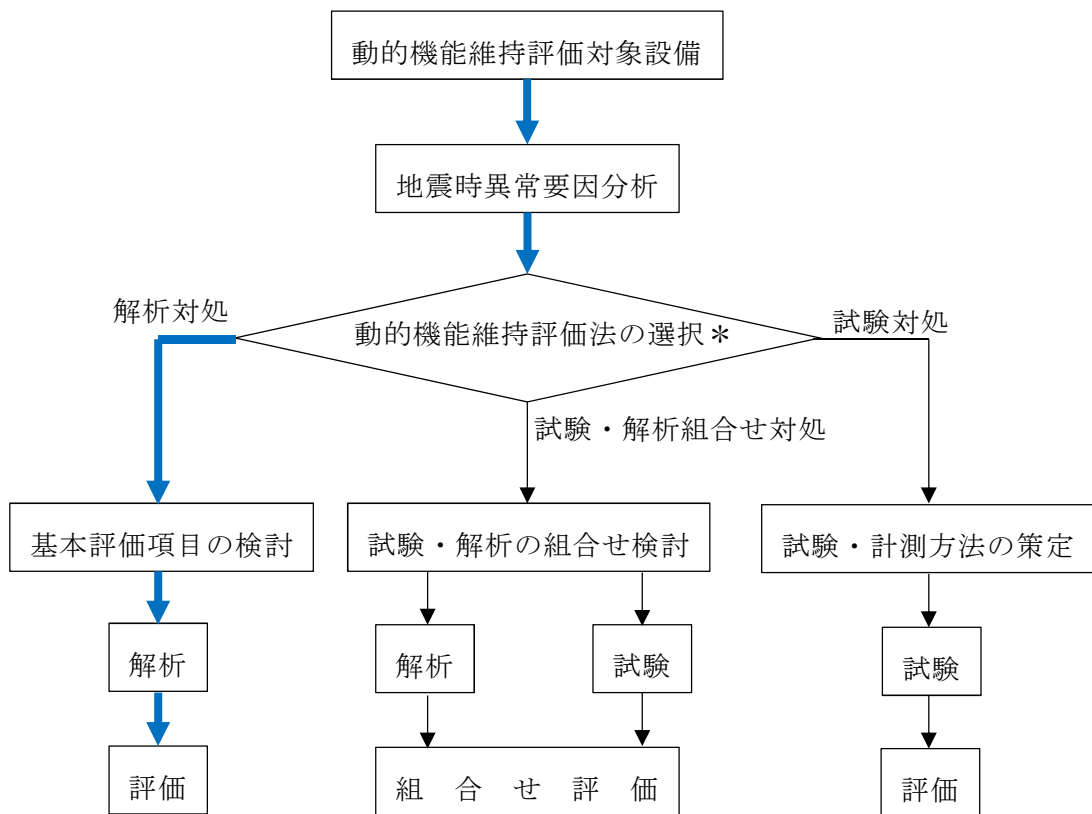
格納容器圧力逃がし装置 移送ポンプ（以下「移送ポンプ」という。）の動的機能の評価において，J E A G 4601-1991 追補版（以下「J E A G 4601」という。）にて定められた機能確認済加速度との比較により評価を実施している。移送ポンプは，内部流体が高線量であるため外部への拡散防止が必要であり，漏えい対策としてメカニカルシール等の軸封装置が不要であるキャンドモータポンプを採用しているが，作動原理，基本構造及びこれに基づく振動性状等の面から J E A G 4601 にて定められた横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機の機能確認済加速度が適用できると考える。しかしながら，J E A G 4601 に記載の横形ポンプ，電動機の例にキャンドモータポンプはないため，移送ポンプの地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出，評価を行った。

2. 評価項目の抽出方針

移送ポンプにおける動的機能維持の検討方針としては，技術基準規則解釈等の改正を踏まえて，公知化された検討として（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には，耐特委では動的機能の評価においては，対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず，破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し，その分析により動的機能上の評価点を検討し，動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として，基本評価項目を選定している。

移送ポンプは，横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し，基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを第 1 図に示す。なお，J E A G 4601 においても，機能維持評価の基本方針として，地震時の異常要因分析を考慮し，動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。



* 対象物の複雑さ等で選択

— 本評価でのフロー

第1図 動的機能維持評価のフロー

また、耐特委の成果を基に J E A G 4601 の動的機器の耐震評価法が定められており、地震時異常要因分析を検討するに当たり、参考とする J E A G 4601 の機種／型式／適用範囲を第 1 表に示すとともに、移送ポンプの構造概要図を図 2 に示す。また、主要仕様を第 2 表に示す。

J E A G 4601 に記載されている地震時機能維持を要求される横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機（第 3 図）と移送ポンプの作動原理、基本構造及びこれに基づく振動性状等は以下のとおりであり、同じといえる。このため、移送ポンプについては、耐特委の横形単段遠心式ポンプ及び横形すべり軸受電動機を参考とし、地震時異常要因分析を実施する。

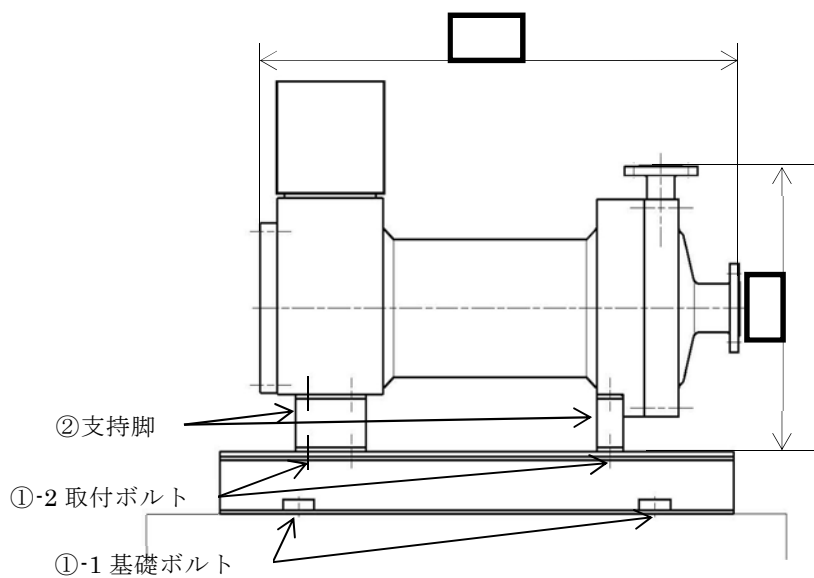
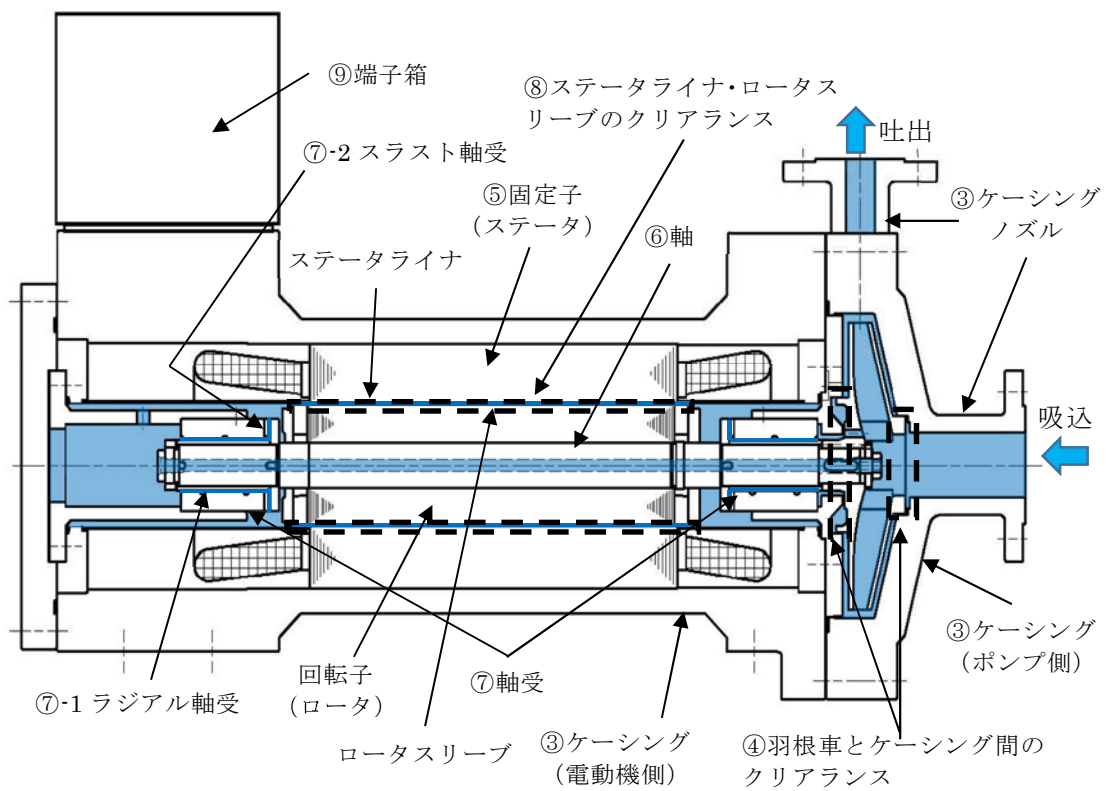
- ・移送ポンプと J E A G 4601 に記載の横形ポンプは共に横形単段遠心式ポンプであり、羽根車の高速回転により液を吸い込み・吐き出すポンプである。原動機については、共に横形すべり軸受電動機であり、堅牢な固定子フレーム、ケーシングと軸受に支えられた回転子とから構成される。ポンプの固定方法については、共に基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に駆動機構である原動機とポンプが取付ボルトにより設置される。
- ・ J E A G 4601 に記載の横形ポンプは、原動機からの動力を、軸継手を介してポンプ側へ伝達する方式であり、主軸、軸受及びメカニカルシール部のクリアランスにより、軸系の地震荷重はメカニカルシール部に負荷されず、軸受を通して剛なケーシングに伝達される。一方、移送ポンプは軸継手を有しておらず、電動機の軸に直接羽根車が固定されており、また、メカニカルシール等を有していないが、軸系の地震荷重は軸受を通して剛なケーシングに伝達される。
- ・移送ポンプは、電動機の固定子と回転子の間はポンプの取り扱流体で満たされているが、その量はロータの質量の 1% に満たない量であり、振動性状に影響はない。

第1表 移送ポンプの参考とする機種／型式

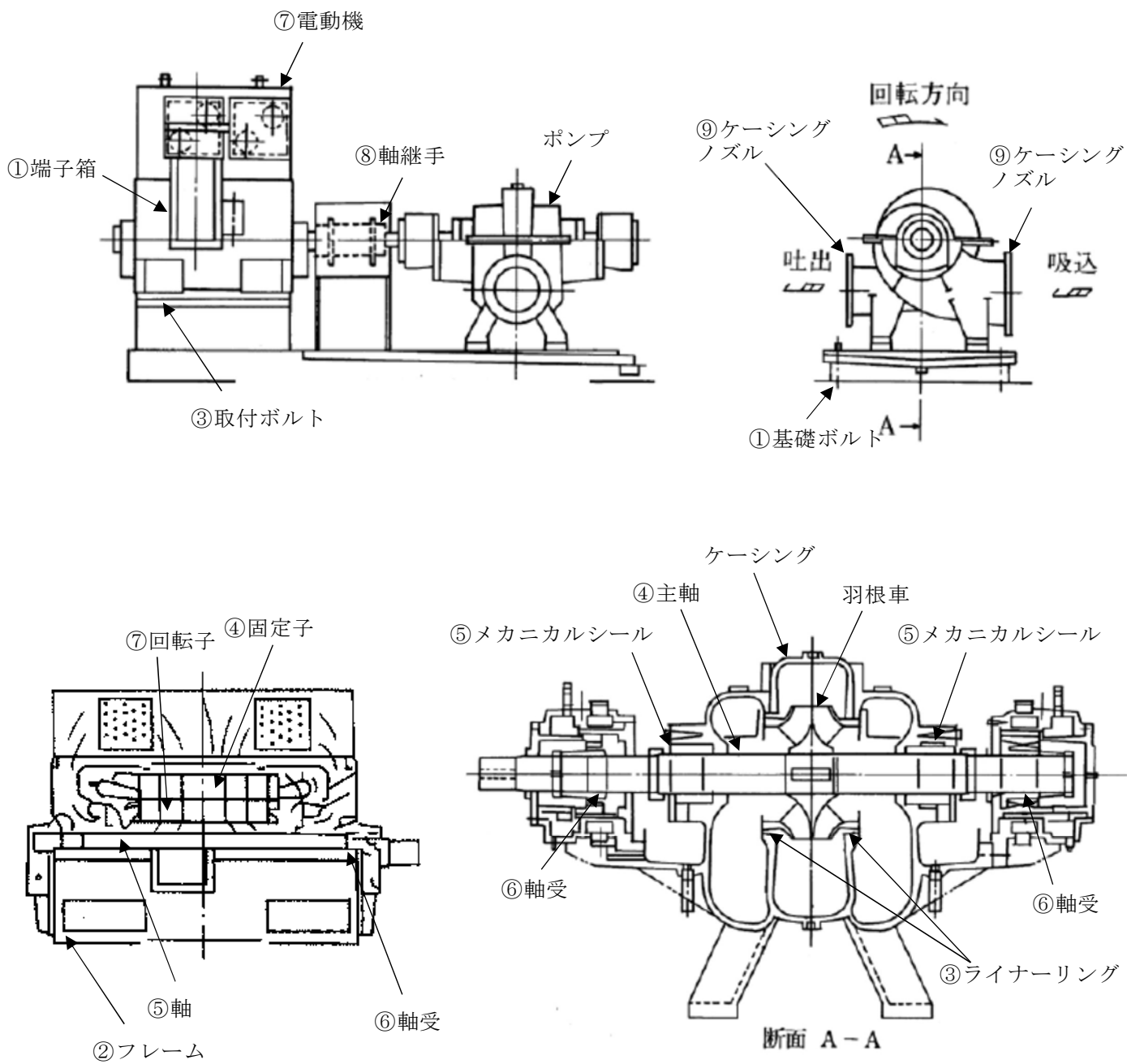
新たな検討を行う設備	機種／型式／流量，出力	参考とする J E A G 4601 の 機種／型式／適用範囲
・移送ポンプ	キャンドモータポンプ ・横形ポンプ／ 単段遠心式／ 流量：10 m ³ /h ・電動機／ 横形すべり軸受機／ 出力：7.5 kW	・横形ポンプ／ 単段遠心式／ 流量：～2400 m ³ /h ・電動機／ 横形すべり軸受機 出力：～1400 kW

第2表 移送ポンプの主要仕様

名称		移送ポンプ
容量	m ³ /h/個	10
揚程	m	40
最高使用圧力	MPa	2.5
最高使用温度	℃	200
原動機出力	kW/個	7.5



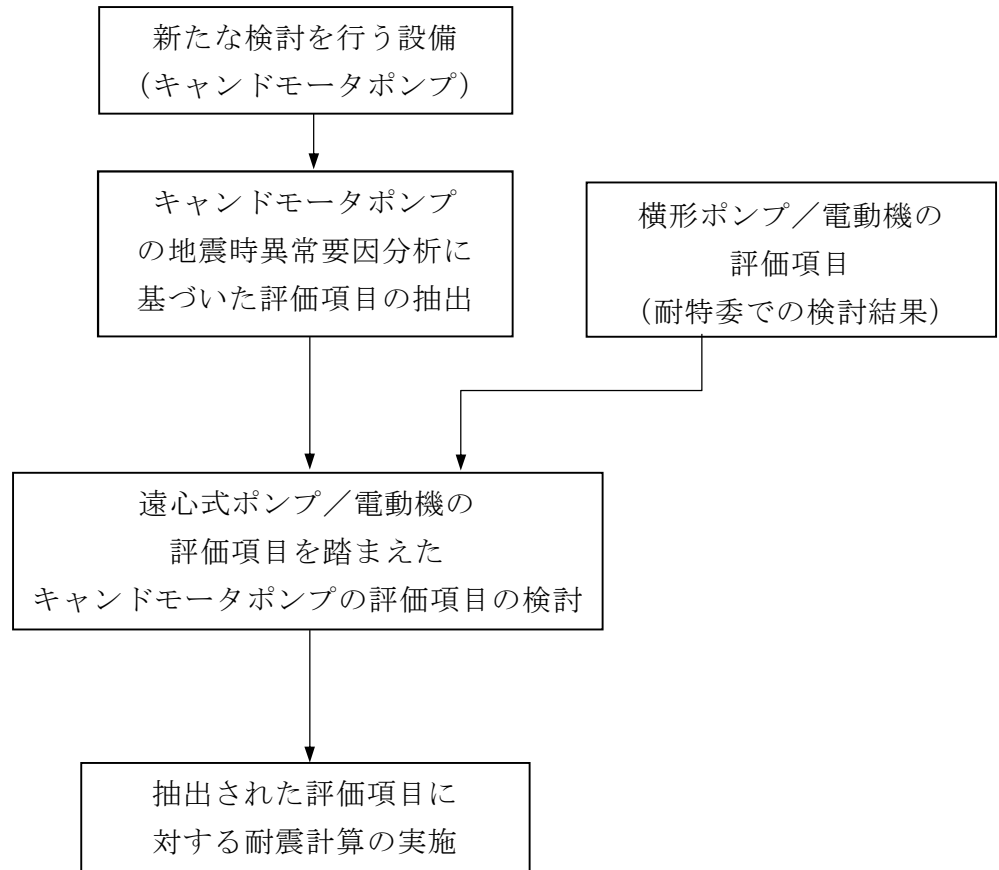
第 2 図 移送ポンプ構造概要図



第3図 遠心式ポンプ／電動機 構造概要図

3. 新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討を行う設備として、移送ポンプ（キャンドモータポンプ）に対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第4図に示す。

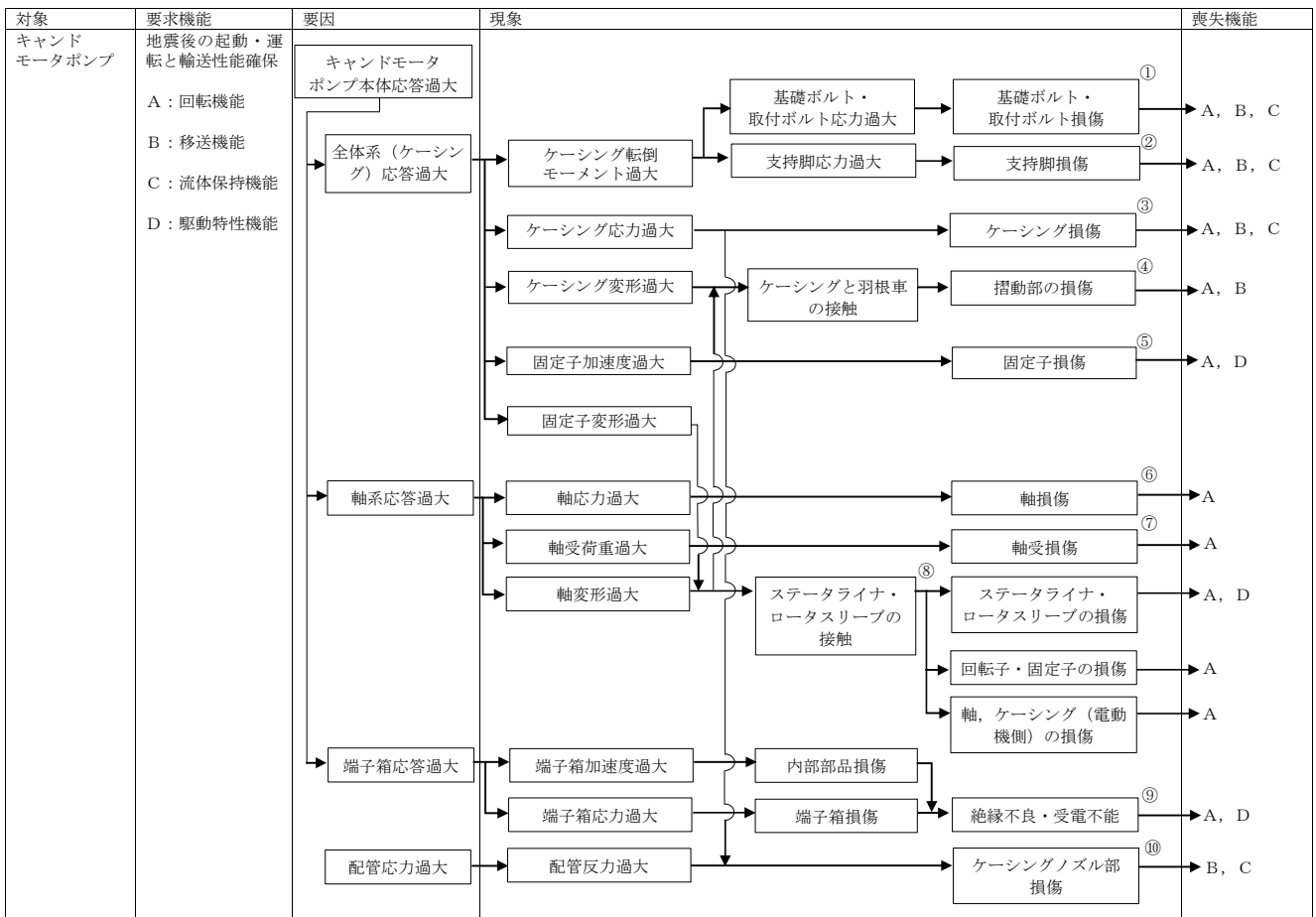


第4図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

a. キャンドモータポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) キャンドモータポンプの評価項目の抽出

キャンドモータポンプの地震時異常要因分析図を第5図に示す。地震時異常要因分析図に基づき抽出される評価項目は第3表のとおりである。



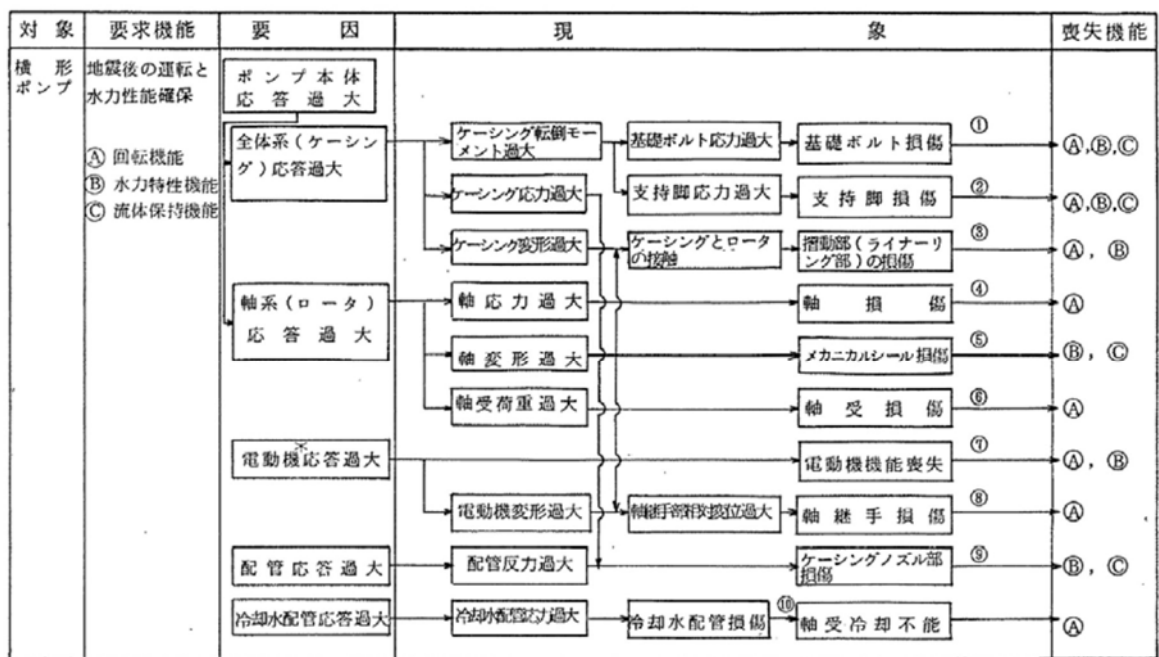
第5図 キャンドモータポンプの地震時異常要因分析図

第3表 キャンドモータポンプ地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト 取付ボルト	全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト・取付ボルトの応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
③	ケーシング	全体系の応答が過大となることにより、電動機構成部品の支持構造部材であるケーシングの応力が過大となり、ケーシングが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。
④	摺動部	軸の応答が過大となり、軸変形が過大となることにより羽根車とケーシングが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
⑤	固定子	全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり、固定子の損傷に至ることにより、回転機能が喪失する。
⑥	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。
⑦	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能が喪失する。
⑧	ステータライナ・ ロータスリーブ	軸の応答が過大となり、軸変形が過大となることによりステータライナ、ロータスリーブが接触し、損傷に至り回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑨	端子箱	端子箱の応答が過大となることにより、端子箱もしくは内部部品が損傷し、絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑩	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

b. 耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目

キャンドモータポンプの評価項目の検討において、公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプ、電動機の地震時異常要因分析図を第6, 7図に、要因分析図から抽出される評価項目を第4, 5表に示す。

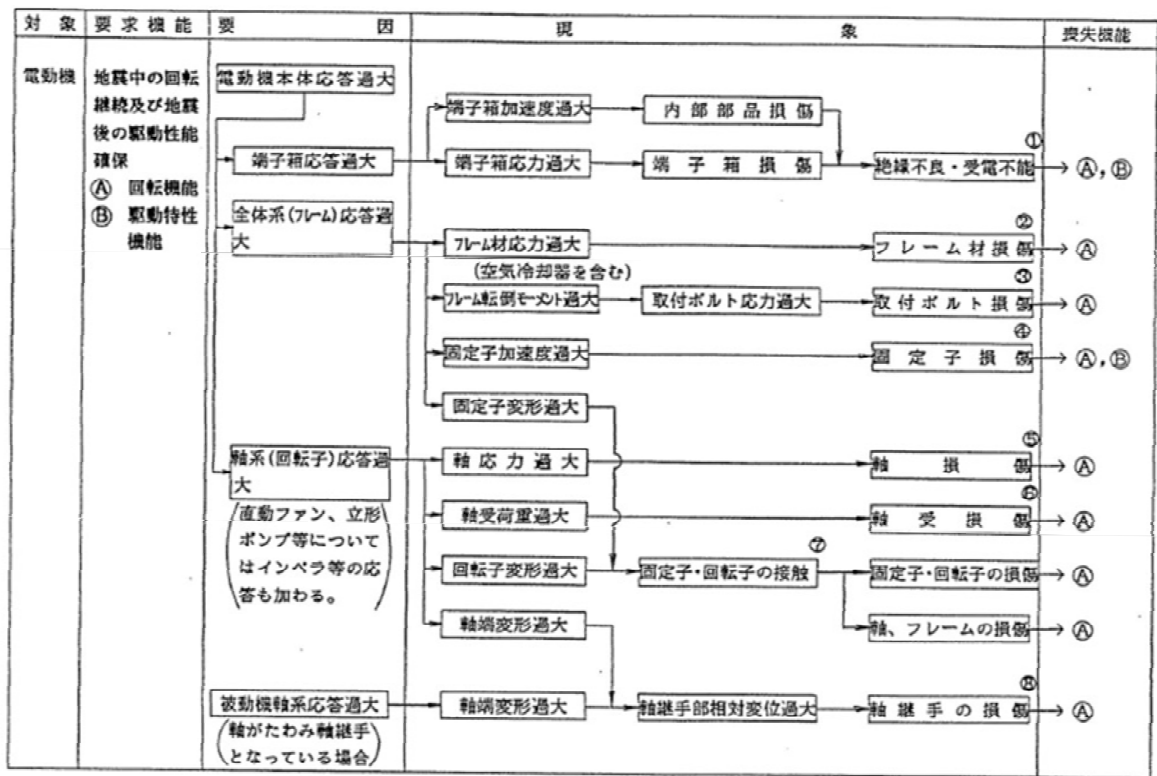


* 駆動用タービンの場合も同様。また、増速機も含む。

第6図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第4表 遠心式ポンプ地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む）、支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで、支持脚の応力が過大となり損傷に至り、ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 （羽根車とライナーリングのクリアランス）	軸変形が過大となり、羽根車がライナーリングと接触することで損傷に至り、回転機能及び水力特性機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり、メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能及び水力特性機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び水力特性機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで軸冷却不能に至り、回転機能が喪失する。



第7図 電動機の地震時異常要因分析図

第5表 電動機地震時異常要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	端子箱	端子箱の応答が過大となることにより、端子箱もしくは内部部品が損傷し、絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
②	フレーム	全体系（フレーム）の応答が過大となることにより、電動機構成部品の支持構造部材であるフレーム材の応力が過大となりフレームが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。
③	取付ボルト	電動機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより電動機を原動機台に固定している取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより回転機能が喪失する。
④	固定子	全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。
⑤	軸	軸系（回転子）の応答が過大となることで軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。
⑥	軸受	軸系（回転子）の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで軸の回転が阻害され、回転機能が喪失する。
⑦	固定子・回転子	全体系（フレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え、軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し、固定子・回転子が損傷することで回転機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動機（ポンプ）軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで被駆動機への回転運動の伝達が喪失する。

c. 遠心式ポンプ／電動機の評価項目を踏まえたキャンドモータポンプの評価項目の
検討

キャンドモータポンプの地震時異常要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプ／電動機の地震時異常要因分析結果と同様に整理した結果、キャンドモータポンプの評価項目は、遠心式ポンプ／電動機とほぼ同様となった。キャンドモータポンプの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり、遠心式ポンプ／電動機の耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたキャンドモータポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記のとおりである。

- ・ステータライナ・ロータスリーブ（電動機の評価項目になくキャンドモータポンプのみで抽出）
- ・メカニカルシール（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
- ・軸継手（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
- ・冷却水配管（キャンドモータポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
- ・空気冷却器（キャンドモータポンプの評価項目になく電動機のみで抽出）

キャンドモータポンプは軸封部がなくポンプと電動機が一体となった構造となっており、電動機のステータライナ内はポンプ取り扱い流体で満たされている。軸封部がないことからメカニカルシールを有しておらず、羽根車が電動機軸に取り付けられていることから軸継手も有していない。電動機のステータライナ内はポンプ取り扱い流体の流れがあり、移送ポンプにおいては別途軸受、電動機の冷却が不要なことから、ポンプ冷却水配管、電動機空気冷却器を有していない。

キャンドモータポンプの動的機能維持の評価項目を抽出した結果を以下に示す。

① 基礎ボルト、取付ボルトの評価

キャンドモータポンプは遠心式ポンプ、電動機と同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、取付ボルトで設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については、キャンドモータポンプと遠心式ポンプ、電動機とで構造に大別紙 2-14

きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③ ケーシングの評価

ケーシングについては、キャンドモータポンプと遠心式ポンプ、電動機とで構造に大きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

④ 摺動部の評価

キャンドモータポンプは遠心式ポンプと同様に、羽根車とケーシング間のクリアランス部が、地震時に接触し損傷した場合移送機能喪失にかかわるため、動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 固定子の評価

固定子はケーシング（電動機側）内部に取り付けられ、ケーシング（電動機側）は十分厚く、高い強度を有する設計であることを確認している。そのため、ケーシングが損傷しなければ固定子の健全性は確保されるため、計算書の評価対象外とする。

⑥ 軸の評価

キャンドモータポンプはポンプ部と電動機部の軸が一体の構造であり、遠心式ポンプ／電動機とは異なるが、軸系の損傷によってキャンドモータポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため、キャンドモータポンプにおいても、遠心式ポンプ／電動機と同様に、軸応力過大により軸損傷が発生しないことを確認するため、軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑦ 軸受の評価

遠心式ポンプ／電動機において、軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はキャンドモータポンプも遠心式ポンプ、電動機も同じである。当該軸受が損傷することにより、キャンドモータポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑧ ステータライナ・ロータスリーブの評価

軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、ステー

タライナ・ロータスリーブが接触，損傷し，回転機能及び駆動特性機能喪失にかかわるため，動的機能維持の評価項目として選定する。

⑨ 端子箱の評価

電動機の端子箱本体は，箱状の構造物で十分な剛性が確認されており，地震加速度の大きさに関わらず取付ボルトに有意な荷重がかかることから，取付ボルトを評価項目として選定する。

⑩ ケーシングノズルの評価

ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施しており，ケーシングノズルが損傷することはなく，回転機能，移送機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認しているため，計算書の評価対象外とする。

以上から，キャンドモータポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下のとおりである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
- ・摺動部の評価
- ・軸の評価
- ・軸受の評価
- ・ステータライナ・ロータスリーブの評価
- ・端子箱（取付ボルト）の評価

評価項目における評価基準値の説明を第 6 表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第 7 表に示す。評価内容については別紙 2 添付 1 に示す。

第6表 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として $IV_A S$ を評価基準値とした。
④ 摺動部	羽根車とケーシングの接触により回転機能，移送機能が阻害されるという観点から，羽根車とケーシングのクリアランスを評価基準値とした。
⑥ 軸	回転機能の確保の観点から，メーカーが推奨する許容応力を評価基準値とした。
⑦ 軸受	回転機能の確保の観点から，メーカーが推奨する許容荷重（許容面圧）を評価基準とした。
⑧ ステータライナ・ロータスリーブ	ステータライナとロータスリーブの接触により回転機能，駆動特性機能が阻害されるという観点から，ステータライナとロータスリーブのクリアランスを評価基準値とした。
⑨ 端子箱（取付ボルト）	支持機能の確保の観点から，運転状態Ⅳを基本として，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として $IV_A S$ を評価基準値とした。

第7表 移送ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	7	184	○
		せん断 (MPa)	5	142	○
①-2 取付ボルト	応力	引張 (MPa)	9	398	○
		せん断 (MPa)	3	306	○
④ 摺動部 (ライナーリング部)	変位	— (mm)			○
⑥ 軸	応力	せん断 (MPa)		○	
⑦ 軸受	面圧	⑦-1 ラジアル (MPa)		○	
		⑦-2 スラスト (MPa)		○	
⑧ スタータライナ・ロータスリーブ	変位	— (mm)		○	
⑨ 端子箱 (取付ボルト)	応力	引張 (MPa)		○	
		せん断 (MPa)		○	

4. まとめ

新たな検討を行った移送ポンプについて、基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い、評価項目の抽出を行った。また、抽出した項目について評価を行い、機能が喪失することがないことを確認した。

移送ポンプの地震時異常要因分析、基本評価項目の抽出に基づく評価

1. 評価対象部位

移送ポンプは、回転機能、移送機能、流体保持機能が維持されることを確認するために、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
- f. スターライナ・ロータスリーブ
- g. 端子箱（取付ボルト）

このうち「a. 基礎ボルト」「b. 取付ボルト」については、添付書類「V-2-9-7-1 移送ポンプの耐震性についての計算書」にて十分な裕度を有していることを確認している。

以上より、本書においては、軸、軸受、摺動部、スターライナ・ロータスリーブ及び端子箱（取付ボルト）を評価対象部位とする。

2. 評価基準値

軸系の許容応力は、メーカーが推奨する許容応力値を評価基準値として設定する。軸受については軸受の許容荷重値（許容面圧）を評価基準値として設定する。摺動部については、羽根車とケーシング間の隙間を評価基準値として設定する。スターライナ・ロータスリーブについては、当該箇所（ロータスリーブ）の隙間を評価基準値として設定する。端子箱（取付ボルト）の許容応力については、支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。

3. 記号の説明

移送ポンプの評価に使用する記号を表 1-1 に示す。

表 1-1 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Ri}	ラジアル荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_{Ti}	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
A_T	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
C_H	水平方向震度	—
C_V	鉛直方向震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
d_{SO}	軸外径	mm
d_{SI}	軸内径	mm
d_{BO}	軸受外径	mm
d_{BI}	軸受内径	mm
d_T	端子箱取付ボルト径	mm
D_T	端子箱取付ボルトのピッチ円直径	mm
n	端子箱取付ボルトの本数	—
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H_P	予想最大両振幅	μm
I	軸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	支点Aから軸端までの距離	mm
ℓ_B	軸受長さ	mm
h	端子箱取付面から端子箱重心位置までの距離	mm
M	軸に作用する最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{Cj}	W_c により発生する軸の最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{Sj}	w により発生する軸の最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_c	羽根車質量	kg
m_s	軸質量	kg
m_T	端子箱質量	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min^{-1}
P	原動機出力	kW

記号	記号の説明	単位
P_R	ラジアル荷重による軸受の最大面圧	MPa
P_{Ri}	ラジアル荷重による軸受の面圧	MPa
P_T	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	N・mm
w	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
W_C	地震力を考慮した軸端部荷重	N
$W_{Ri(j)}$	軸受にかかる地震時のラジアル荷重	N
W_T	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
F	端子箱取付ボルトに作用する引張力	N
Q	端子箱取付ボルトに作用するせん断力	N
σ_T	端子箱取付ボルトに作用する引張応力	MPa
τ_T	端子箱取付ボルトに作用するせん断応力	MPa
x_M	支点A－B間の最大モーメントが生じる距離	mm
x	支点Bから軸評価点までの距離	mm
δ_c	W_C により x の位置に発生する軸のたわみ量	mm
δ_s	w により x の位置に発生する軸のたわみ量	mm
δ	x の位置に発生する摺動部、ステータライナ・ロータス リーブ間における軸のたわみ量	mm
π	円周率 (=3.141593)	—
τ_{max}	軸に生じる最大せん断応力	MPa

添字 i の意味は $i=A$: 支点A 、 $i=B$: 支点B

添字 j の意味は $j=1$: 支点間 、 $j=2$: 張出部

添字 k の意味は $k=s$: w による評価 、 $k=c$: W_C による評価

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1-2に示すとおりである。

表1-2 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	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。

5. 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。

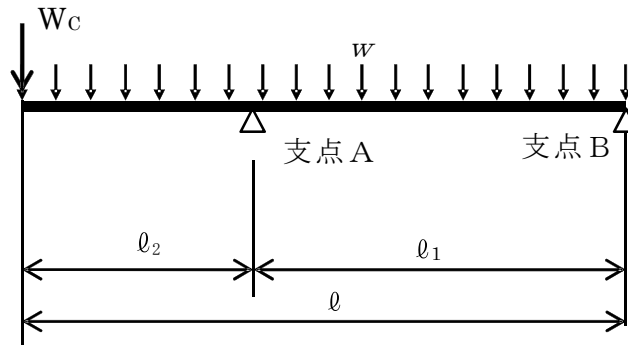


図 1-1 軸の評価モデル

軸に生じる最大せん断応力 τ_{max} は次式で求める。

$$\tau_{max} = \left[\frac{16 \cdot d_{SO}}{\pi \cdot (d_{SO}^4 - d_{SI}^4)} \right] \cdot \sqrt{M^2 + T^2} \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、ねじりモーメント T は

$$T = M_P \dots \dots \dots (5.2)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P \dots \dots \dots (5.3)$$

(1 kW = 10⁶ N·mm/s)

軸に作用する最大曲げモーメント M

$$M = \max (M_{S1} + M_{C1} , M_{S2} + M_{C2}) \dots \dots \dots (5.4)$$

ここで、主軸質量に地震力を考慮した等分布荷重 w は

$$w = \frac{m_s \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2}}{l} \dots \dots \dots (5.5)$$

等分布荷重 w が作用した場合の支点 A-B 間の最大モーメントは、

$x_M = \ell_1 / 2 \{ 1 - (\ell_2^2 / \ell_1^2) \}$ で生じる。

$$M_{S1} = \frac{w}{8 \ell_1^2} (\ell_1 + \ell_2)^2 (\ell_1 - \ell_2)^2 \quad \dots \dots \dots (5.6)$$

支点 A からの張出部での最大モーメント M_{S2} は、支点 A で生じる

$$M_{S2} = \frac{w \ell_2^2}{2} \quad \dots \dots \dots (5.7)$$

張出部に軸端部荷重 W_c が作用した場合の支点 A-B 間の最大モーメントは、

$x_M = \frac{\ell_1}{2} \{ 1 - (\frac{\ell_2^2}{\ell_1^2}) \}$ で生じる。

$$M_{C1} = \frac{W_c \ell_2}{\ell_1} \cdot \frac{\ell_1}{2} \cdot (1 - \frac{\ell_2^2}{\ell_1^2}) \quad \dots \dots \dots (5.8)$$

張出部に羽根車の質量 m_c が作用した場合の支点 A からの張出部での最大モーメント M_{C2} は 支点 A で

$$M_{C2} = W_c \cdot \ell_2 \quad \dots \dots \dots (5.9)$$

ここで 張出し部に作用する軸端荷重 W_c は、

$$W_c = m_c \cdot g \cdot \sqrt{(C_H + C_P)^2 + (1 + C_V + C_P)^2} \quad \dots \dots (5.10)$$

支点 A と支点 B 間の最大モーメントは、主軸の等分布質量と羽根車質量により発生するモーメント ($M_{S1} + M_{C1}$) となる。

支点 A からの張出部での最大モーメントも同様にして主軸の等分布質量と羽根車質量により発生するモーメント ($M_{S2} + M_{C2}$) となる。

(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。

$$P_R = \max(P_{RA}, P_{RB}) \quad \dots \dots \dots (5.11)$$

支点Aの軸受の面圧 P_{RA} は、

$$P_{RA} = \frac{W_{RA}}{A_{RA}} \quad \dots \dots \dots (5.12)$$

支点Bの軸受の面圧 P_{RB} は、

$$P_{RB} = \frac{W_{RB}}{A_{RB}} \quad \dots \dots \dots (5.13)$$

軸受投影面積 A_{RA} 及び A_{RB} は、

$$A_{RA} = A_{RB} = d_{BI} \cdot \ell_B \quad \dots \dots \dots (5.14)$$

ここで、軸受にかかる地震時のラジアル荷重 W_R は

$$\left. \begin{aligned} W_{RA} &= W_{RA1} + W_{RA2} \\ W_{RB} &= W_{RB1} + W_{RB2} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (5.15)$$

主軸の等分布荷重 w により支点Aに働く反力 W_{RA1} は、

$$W_{RA1} = \frac{w}{2\ell_1} \cdot (\ell_1 + \ell_2)^2 \quad \dots \dots \dots (5.16)$$

主軸の等分布荷重 w により支点Bに働く反力 W_{RB1} は

$$W_{RB1} = \frac{w}{2\ell_1} \cdot (\ell_1^2 - \ell_2^2) \quad \dots \dots \dots (5.17)$$

張出部に軸端荷重 W_c が作用した場合の支点 A に働く反力

W_{RA2} は、

$$W_{RA2} = \frac{W_c}{\ell_1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) \quad \dots \dots \dots (5.18)$$

張出部に軸端部荷重 W_c が作用した場合の支点 B に働く反力 W_{RB2} は、

$$W_{RB2} = \frac{W_c \cdot \ell_2}{\ell_1} \quad \dots \dots \dots (5.19)$$

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。

$$P_T = \frac{W_T}{A_{TA}} \quad \dots \dots \dots (5.20)$$

軸受投影面積 A_{TA} は、

$$A_{TA} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{BO}^2 - d_{BI}^2) \quad \dots \dots \dots (5.21)$$

ここで、軸受にかかる地震時のスラスト荷重 W_t は

$$W_T = (m_s + m_c) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \dots \dots (5.22)$$

(3) 摺動部、ステータライナ・ロータスリーブ

摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価は、軸を単純はりとしてモデル化し、地震力が加わる場合の評価位置における軸のたわみ量を算出し、発生するたわみ量が評価位置の隙間内であることを確認する。

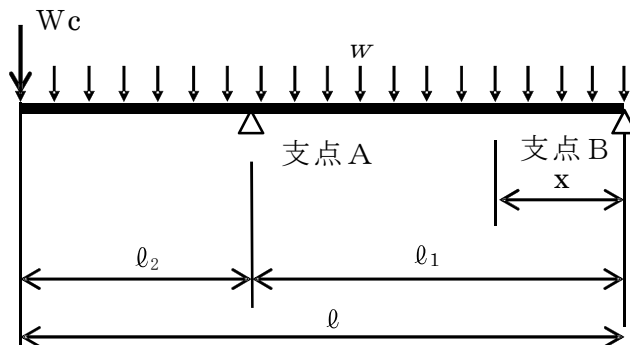


図 1-2 摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価モデル

wによる軸のたわみ量 δ_s は次式で求める。

$$\delta_s = \frac{w \cdot x}{24EI\ell_1} \{ \ell_1^4 - 2\ell_1^2 x^2 + x^3 \ell_1 - 2\ell_2^2 \ell_1^2 + 2\ell_2^2 x^2 \} \dots (5.23)$$

W_c による軸のたわみ量 δ_c は次式で求める。

$$\delta_c = \frac{W_c \cdot \ell_2 \cdot x}{6EI\ell_1} (\ell_1^2 - x^2) \dots (5.24)$$

以上より、評価位置 x におけるたわみ量 δ は次式で求める。

$$\delta = \delta_s + \delta_c \dots (5.25)$$

(4) 端子箱（取付ボルト）

(a) 引張応力

取付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

$$F = \frac{m_T \cdot h \cdot g \cdot (C_H + C_P) - m_T \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \frac{D_T}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n \cdot D_T} \dots (5.26)$$

引張応力

$$\sigma_T = \frac{F}{A_T} \dots (5.27)$$

ここで、ボルトの断面積 A_T は次式により求める。

$$A_T = \frac{\pi}{4} \cdot d_T^2 \dots (5.28)$$

(b) せん断応力

取付ボルトに作用するせん断力はボルト全数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q = m_T \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots (5.29)$$

せん断応力

$$\tau_T = \frac{Q}{n \cdot A_T} \dots (5.30)$$

6. 評価結果

移送ポンプの異常要因分析、基本評価項目の抽出に基づく評価結果を次頁以降の表に示す。

7. 評価結果

7.1 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 (°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			
移送ポンプ	横形単段遠心式	10	格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL. -12.8*1	—*2	—*2	C _H =1.79	C _V =0.89	C _P =0.21	200	

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。

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 (°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			
移送ポンプ (電動機)	横形すべり 軸受機	7.5	格納容器圧力逃がし装置格納槽 EL. -12.8*1	—*2	—*2	C _H =1.79	C _V =0.89	C _P =0.21	200	

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。

7.2 機器要目

m _s (kg)	m _c (kg)	m _T (kg)	φ (mm)	φ ₁ (mm)	φ ₂ (mm)	φ _B (mm)	h (mm)	d _{SO} (mm)	d _{SI} (mm)	d _{BO} (mm)	d _{BI} (mm)	d _T (mm)	D _T (mm)	n
														8

A _{Ra} , A _{Rb} (mm ²)	A _{Ta} , A _{Tb} (mm ²)	A _T (mm ²)	E (MPa)	I (mm ⁴)

HP (μm)	N (min ⁻¹)

7.3 結論 移送ポンプの評価

7.3.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、取付ボルトについては、添付書類「V-2-9-7-1-3 移送ポンプの耐震性についての計算書」にて十分な構造強度を有していることを確認しているため計算は省略する。

7.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

7.3.2.1 軸の応力評価 (単位：MPa)

評価部位	材料	発生応力	許容応力
軸			

すべて許容応力以下である。

7.3.2.2 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		
	スラスト		

すべて許容面圧以下である。

7.3.2.3 摺動部、ステータライナ・ロータスリーブの評価 (単位：mm)

評価部位	たわみ量	隙間
摺動部		
ステータライナ・ロータスリーブ		

すべて隙間以下である。

7.3.2.4 端子箱(取付ボルト)の評価 (単位：MPa)

評価部位	材料	応力	発生応力	許容応力
端子箱(取付ボルト)				

すべて許容応力以下である。

別表1 検討対象設備の抽出結果

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○:規定されている ×:規定されていない -:対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○:検討対象とする設備 -:検討対象でない設備	JEAG4601機種/型式(注1)			At確認			備考	
					機種	型式	容量()内は当該設備の容量	方向	評価用加速度	機能確認済加速度		
原子炉本体												
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設												
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備												
代替燃料プール注水系												
常設低圧代替注水系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	~700m ³ /h (200m ³ /h)	水平	1.31	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)		
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (190kW)	鉛直	0.92	1.0		
可搬型代替注水大型ポンプ	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。	
可搬型代替注水中型ポンプ	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。	
代替燃料プール冷却系												
代替燃料プール冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	単段遠心式	~2400m ³ /h (124m ³ /h)	水平	0.86	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)		
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (30kW)	鉛直	0.65	1.0		
原子炉冷却システム施設												
原子炉冷却材再循環設備												
原子炉冷却材再循環系												
再循環系ポンプ	無	-	-	-	-	-	-	-	-	-	JEAG4601・補-1984にて動的機能維持の要求はないが、地震により軸固着を生じないことを確認している。 補足-340-2【耐震評価対象の網羅性、既認との手法の相違点の整理について】添付-10 再循環系ポンプの軸固着に対する評価について	
原子炉冷却材の循環設備												
残留熱除去設備												
残留熱除去系												
残留熱除去系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	~1800m ³ /h (1691.9m ³ /h)	水平	0.48	10.0		
					電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (900kW)	鉛直	0.50	1.0		
格納容器圧力逃がし装置												
格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	単段遠心式	~2400m ³ /h (10m ³ /h)	水平	0.44	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)		移送ポンプ(キヤンドモータポンプ)とJEAG4601における単段遠心式横形ポンプ及び横形すべり軸受電動機は、作動原理、基本構造及びこれに基づき振動性状等、動的機能の評価の面からは同じと判断できるため、JEAG4601に定められた機能確認済加速度は適用可能である。(別紙2参照)
					電動機	横形すべり軸受	~950kW (7.5kW)	鉛直	0.50	1.0		
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備												
高圧炉心スプレイ系												
高圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	~1800m ³ /h (1576.5m ³ /h)	水平	0.48	10.0		
					電動機	立形すべり軸受	~2700kW (2280kW)	鉛直	0.50	1.0		
低圧炉心スプレイ系												
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	~1800m ³ /h (1638.3m ³ /h)	水平	0.48	10.0		
					電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (1250kW)	鉛直	0.50	1.0		
原子炉隔離時冷却系												
原子炉隔離時冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	~700m ³ /h (142m ³ /h)	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)		
					ポンプ駆動用タービン	R C I Cポンプ用	プラント出力等による構造、寸法の違いはほとんどない。(541kW)	水平	0.48	2.4		
高圧代替注水系												
常設高圧代替注水系ポンプ	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	ポンプ形式はタービン駆動の横形多段遠心式だが、ポンプとタービンが一体となった設備であり、JEAG4601の適用機種と構造等が異なり、類似性に類似とみなせないことから加振試験を実施。	

注1: 検討対象とする設備の内、JEAG機種/型式が「-」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない -：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 -：検討対象でない設備	JEAG4601 機種/型式 (注1)			At確認			備考
					機種	型式	容量 ()内は当該設備の容量	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度	
低圧代替注水系											
常設低圧代替注水系ポンプ					- (前段で整理済)						
可搬型代替注水大型ポンプ					- (前段で整理済)						
可搬型代替注水中型ポンプ					- (前段で整理済)						
代替循環冷却系											
代替循環冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	横形ポンプ	多段遠心式	~700m ³ /h (250m ³ /h)	水平	0.48	3.2(軸角方向) 1.4(軸方向)	
								鉛直	0.50		1.0
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (140kW)	水平	0.48	4.7	
								鉛直	0.50	1.0	
原子炉冷却材補給設備											
原子炉隔離時冷却系											
原子炉隔離時冷却系ポンプ					- (前段で整理済)						
原子炉補機冷却設備											
残留熱除去系海水系											
残留熱除去系海水系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	~7600m ³ /h (885.7m ³ /h)	水平	0.91	10.0	
								鉛直	0.86		1.0
					電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (900kW)	水平	0.91	2.5	
								鉛直	0.86	1.0	
代替残留熱除去系海水系											
可搬型代替注水大型ポンプ					- (前段で整理済)						
緊急用海水系											
緊急用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	~7600m ³ /h (844m ³ /h)	水平	1.52	10.0	
								鉛直	0.87		1.0
					電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (510kW)	水平	1.52	2.5	
								鉛直	0.87	1.0	
計測制御系統施設											
制御材											
制御棒	有	加振試験 による確認	-	-	制御棒	BWR 標準型式	-	水平	16.8mm	40mm	
ほう酸水注入設備											
ほう酸水注入系											
ほう酸水注入ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	往復動式ポンプ	横形	流量、吐出圧力等 ほぼ同一 (9.78m ³ /h)	水平	0.93	1.6	
								鉛直	0.80		1.0
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (37kW)	水平	0.93	4.7	
								鉛直	0.80	1.0	
放射性廃棄物の廃棄施設											
放射線管理施設											
放射線管理用計測装置											
換気設備											
中央制御室換気系											
中央制御室換気系空調和機ファン	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直結式	~2500m ³ /min (708.3m ³ /min)	水平	1.29	2.3	
								鉛直	0.98		1.0
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (45kW)	水平	1.29	4.7	
								鉛直	0.98	1.0	
中央制御室換気系フィルタ系ファン	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直結式	~2500m ³ /min (85.0m ³ /min)	水平	1.29	2.6	
								鉛直	0.98		1.0
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (7.5kW)	水平	1.29	4.7	
								鉛直	0.98	1.0	
緊急時対策所換気系											
緊急時対策所非常用送風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直結式	~2500m ³ /min (83.3m ³ /min)	水平	0.90	2.6	
								鉛直	0.78		1.0
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (15kW)	水平	0.90	4.7	
								鉛直	0.78	1.0	

注1：検討対象とする設備の内、JEAG機種/型式が「-」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない -：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 -：検討対象でない設備	JEAG4601 機種/型式 (注1)			At 確認			備考				
					機種	型式	容量 ()内は当該設備の容量	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度					
原子炉格納施設															
圧力低減設備その他の安全設備															
原子炉格納容器安全設備															
格納容器スプレイ冷却系															
残留熱除去系ポンプ											- (前段で整理済)				
代替格納容器スプレイ冷却系															
常設低圧代替注水系ポンプ											- (前段で整理済)				
可搬型代替注水大型ポンプ											- (前段で整理済)				
可搬型代替注水中型ポンプ											- (前段で整理済)				
代替循環冷却系ポンプ											- (前段で整理済)				
緊急用海水ポンプ											- (前段で整理済)				
格納容器下部注水系															
常設低圧代替注水系ポンプ											- (前段で整理済)				
可搬型代替注水大型ポンプ											- (前段で整理済)				
可搬型代替注水中型ポンプ											- (前段で整理済)				
原子炉建屋放水設備															
可搬型代替注水大型ポンプ											- (前段で整理済)				
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															
非常用ガス処理系															
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直結式	~2500m ³ /min (59.5m ³ /min)	水平	0.99	2.3					
								鉛直	0.89	1.0					
								電動機	機形ころがり軸受	~950kW (5.5kW)	水平	0.99	4.7		
											鉛直	0.89	1.0		
非常用ガス再循環系															
非常用ガス再循環系排風機	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直動式	~2500m ³ /min (283.3m ³ /min)	水平	0.99	2.6					
								鉛直	0.89	1.0					
								電動機	機形ころがり軸受	~950kW (55kW)	水平	0.99	4.7		
											鉛直	0.89	1.0		
可燃性ガス濃度制御系															
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロー	有	JEAG4601 による確認	×	○	ファン	遠心直動式	~2500m ³ /min (5.7m ³ /h)	水平	1.11	2.6					
								鉛直	0.84	1.0					
								電動機	機形ころがり軸受	~950kW (15kW)	水平	1.11	4.7		
											鉛直	0.84	1.0		
窒素ガス代替注入系															
窒素供給装置	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。				
その他発電用原子炉の附属設備															
非常用電源設備															
非常用発電装置															
非常用ディーゼル発電機															
非常用ディーゼル発電機	有	JEAG4601 による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	~15500kW (5500kW)	水平	0.72	1.1					
								鉛直	0.75	1.0					
								非常用ディーゼル発電機	ガバナ	UG型	水平	0.72	1.8		
											鉛直	0.75	1.0		
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	機形ポンプ	-	(1.92m ³ /h)	-	-	-	スクリープポンプ				
								-	-	-					
								電動機	機形ころがり軸受	~950kW (1.2kW)		水平	0.81	4.7	
												鉛直	0.71	1.0	
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	~7600m ³ /h (272.6m ³ /h)	水平	0.91	10.0					
								鉛直	0.86	1.0					
								電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (55kW)	水平	0.91	2.5		
											鉛直	0.86	1.0		

注1：検討対象とする設備の内、JEAG機種/型式が「-」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	A1: 超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○: 規定されている ×: 規定されていない -: 対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○: 検討対象とする設備 -: 検討対象でない設備	J E A G 4601 機種/型式 (注1)			A t 確認			備考
					機種	型式	容量 () 内は当該設備の容量	方向	評価用 加速度	機能確認済 加速度	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機											
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	~15500kW (3050kW)	水平	0.72	1.1	
					鉛直	0.75	1.0				
					非常用ディーゼル発電機	ガバナ	U G 型	水平	0.72	1.8	
					鉛直	0.75	1.0				
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	-	(1.04m ³ /h)	-	-	-	スクリー式ポンプ
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (1.2kW)	水平	0.81	4.7	
								鉛直	0.71	1.0	
								水平	0.91	10.0	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	~7600m ³ /h (232.8m ³ /h)	水平	0.91	10.0	
					電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (55kW)	水平	0.91	2.5	
							鉛直	0.86	1.0		
常設代替高圧電源装置											
常設代替高圧電源装置	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	-	(3.02m ³ /h)	-	-	-	スクリー式ポンプ
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (2.2kW)	水平	0.81	4.7	
							鉛直	0.71	1.0		
緊急時対策用発電機											
緊急時対策用発電機	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
緊急時対策用発電機給油ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	-	(1.3m ³ /h)	-	-	-	ギヤ式ポンプ
					電動機	横形ころがり軸受	~950kW (1.5kW)	水平	1.2	4.7	
							鉛直	1.0	1.0		
可搬型代替低圧電源車											
可搬型代替低圧電源車	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
タンクローリ	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
可搬型室素供給装置用電源車											
可搬型室素供給装置用電源車	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-	-	車両型設備であり解析による評価が困難なことから加振試験を実施。
タンクローリ					- (前段で整理済)						
補機駆動用燃料設備											
可搬型											
タンクローリ					- (前段で整理済)						
弁											
一般弁											
グロープ弁	有	JEAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-	-	
ゲート弁	有	JEAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-	-	
バタフライ弁	有	JEAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-	-	
逆止弁	有	JEAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-	-	
特殊弁											
主蒸気隔離弁	有	JEAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-	-	
安全弁	有	JEAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-	-	
制御棒駆動系スクラム弁	有	JEAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-	-	

注1: 検討対象とする設備の内、J E A G 機種/型式が「-」となる設備については、新たに評価項目の検討を行う。

10. 大型機器，構造物の地震応答計算書の補足について

目 次

1. 地震応答解析モデルの設定について	1
1.1 はじめに	1
1.2 質点位置	4
1.3 質点質量	7
1.4 断面剛性（有効せん断断面積及び断面二次モーメント）	8
1.5 構造物間ばね定数	9
<u> 1.6 ダイヤフラム・フロア質量のモデル化</u>	<u>21</u>
1.7 原子炉本体の基礎のコンクリート物性	27
1.8 解析モデルの扱い	31
1.9 原子炉内部構造物の水中での振動の影響を考慮するための付加質量について	35
1.10 R P Vスタビライザに適用する減衰定数2.0%の設定根拠について	36
<u> 1.11 P C V，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性を考慮しない場合の地震応答</u> <u> について</u>	<u>37</u>
2. シアラグ部のクリアランスについて	48
2.1 はじめに	48
2.2 シアラグ部概略構造とクリアランス評価	48

下線：本日まで提出資料

1. 地震応答解析モデルの設定について

1.1 はじめに

地震応答解析モデルの設定については、資料V-2-1-5「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づいており、設定内容については、資料V-2-3-2「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」で説明している。ここで、解析モデルは基本的に既工認のモデル諸元を適用しており、かつ、最近のプラントで適用実績があるモデル化手法を参照しモデル諸元を設定している。今回工認での大型機器、構造物の地震応答解析モデルを図1に示す。

本資料において、解析モデルの作成内容として、質点位置、質量算出例、断面剛性算出例、ばね定数の設定方法等について、以下に示す。

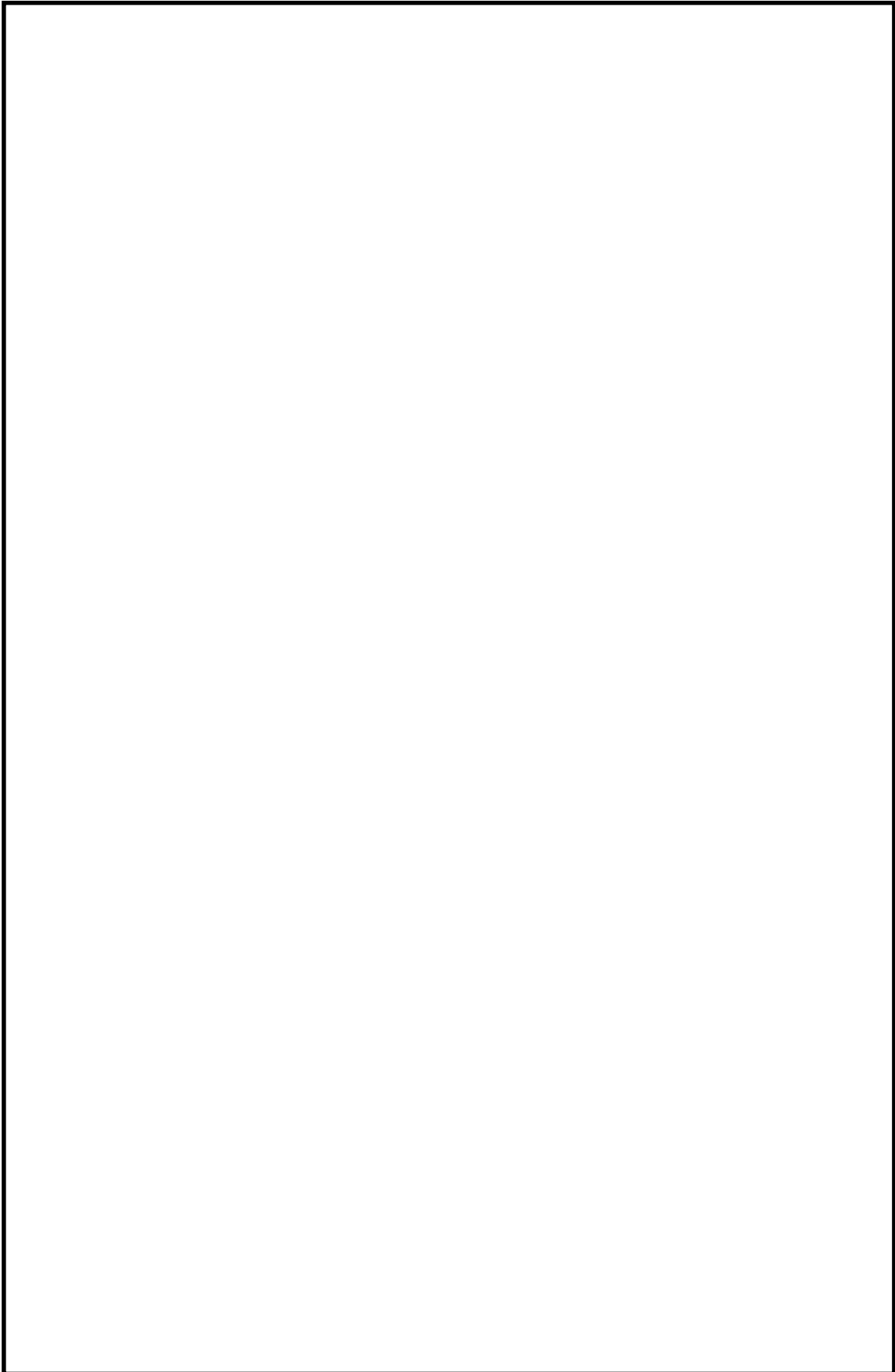


図 1(1) 大型機器, 構造物の地震応答解析モデル (水平方向)

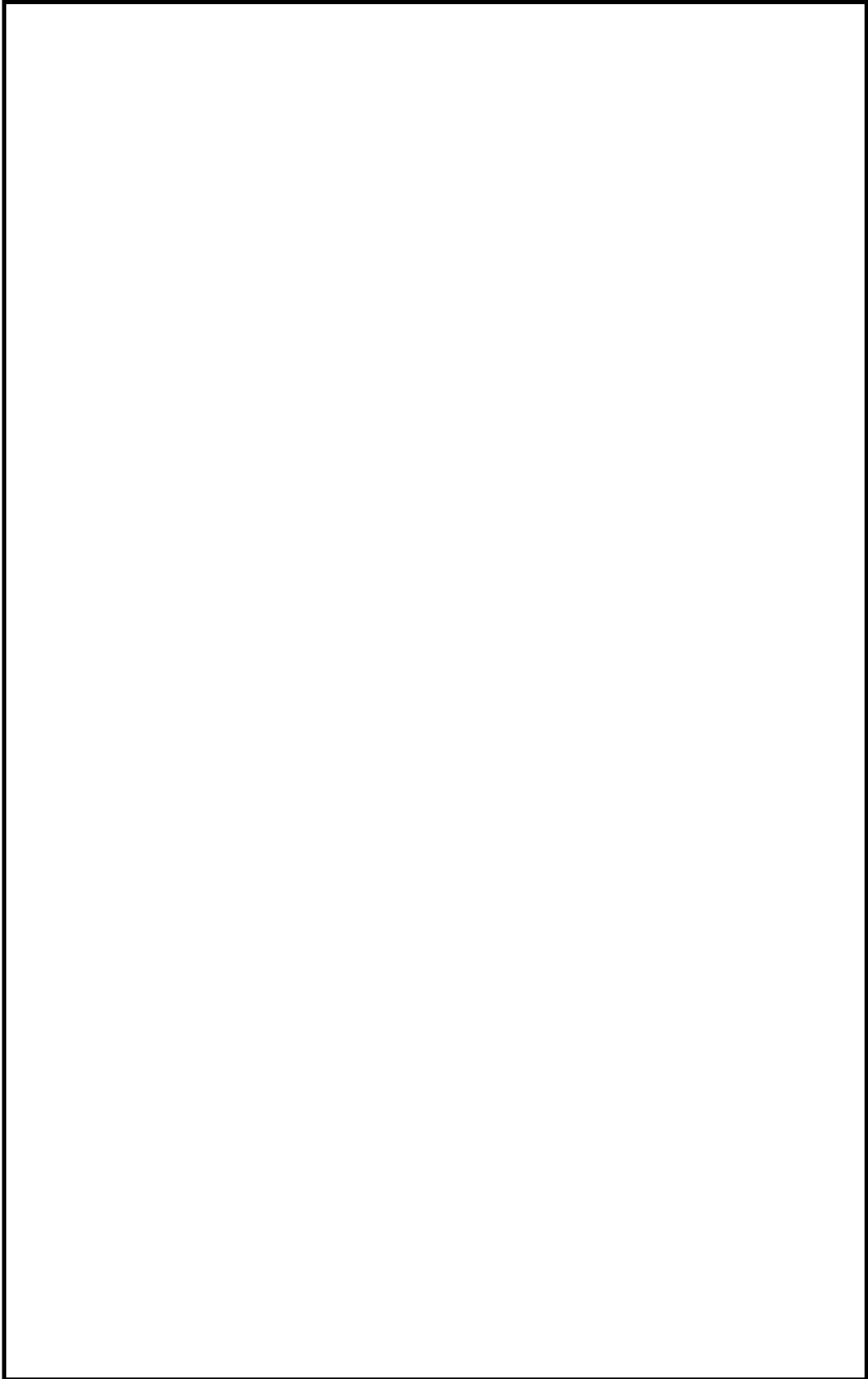
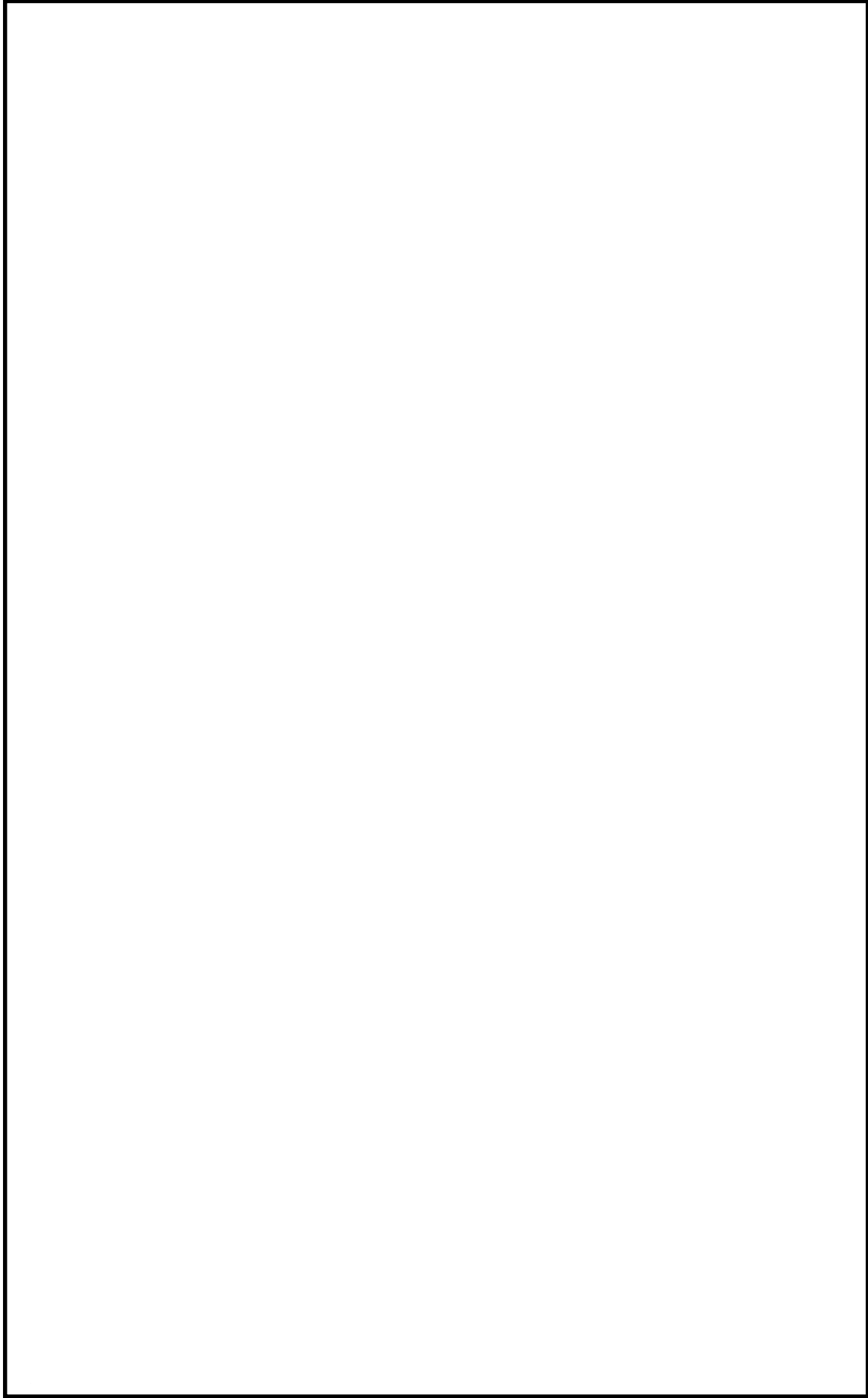


図 1(2) 大型機器, 構造物の地震応答解析モデル (鉛直方向)

1.2 質点位置

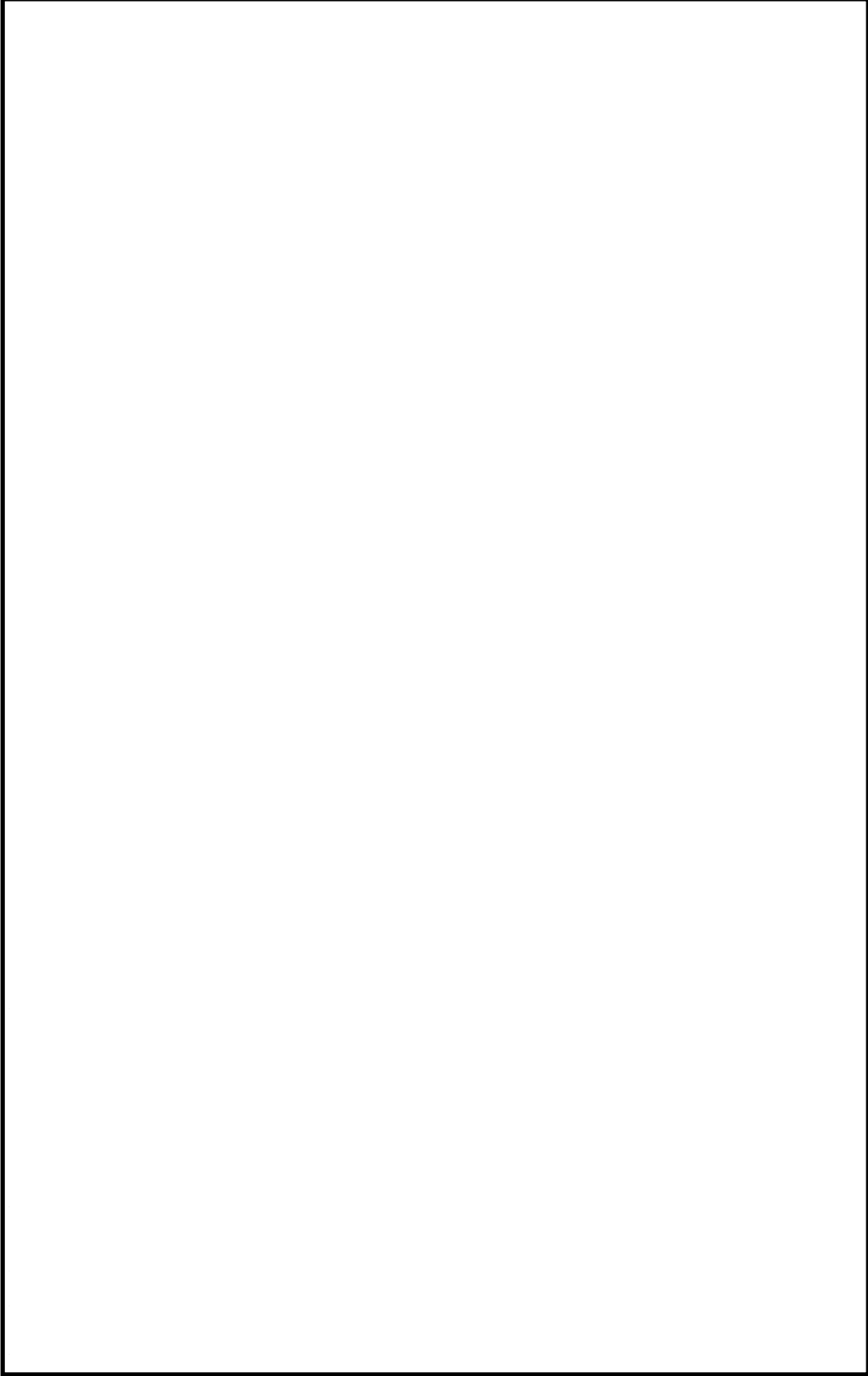
解析モデルで設定した質点位置は、各構造物の地震応答を把握できるように、モデル化する各構造物の形状を踏まえて設定している。各構造物断面図上に質点位置を示した図として、原子炉格納容器（以下「PCV」という。）、原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎について図 2(1)に、原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等について図 2(2)に示す。なお、地震応答解析では、図 2 以外に原子炉建屋の地震応答解析モデルと連成させて応答解析を実施している。

質点位置は、各構造物の形状不連続部、ハッチ類等の付加物接合部及び各構造物の接続部などに設け、振動モードを把握できる間隔としている。各質点位置の設定について図 2 に示す。



(1) 原子炉格納容器, 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎

図2 地震応答解析モデル (水平方向)



(2) 原子炉圧力容器，炉心シユラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等

図 2 地震応答解析モデル（水平方向）

1.3 質点質量

各質点に付与する質量は、各構造物の連続する2質点間の質量の1/2を各質点に付加している。ここで、2質点間の付加物の質量も考慮する。質点質量の算出例として、PCV円筒胴部の質点No. 31について図3に示す。

No.	標高 EL. (m)	質量算定高さ (m)	内径 (m)	板厚 (m)
30				
—				
31				
32				
31	質量 (t)	※計算値	胴板 (円筒)	
			付加物 (サプレッション・チェンバアクセスハッチのうち当該標高分)	
			合計	
		解析モデルのデータ諸元		

※ 鋼材密度 : 7.85 t/m³ を使用

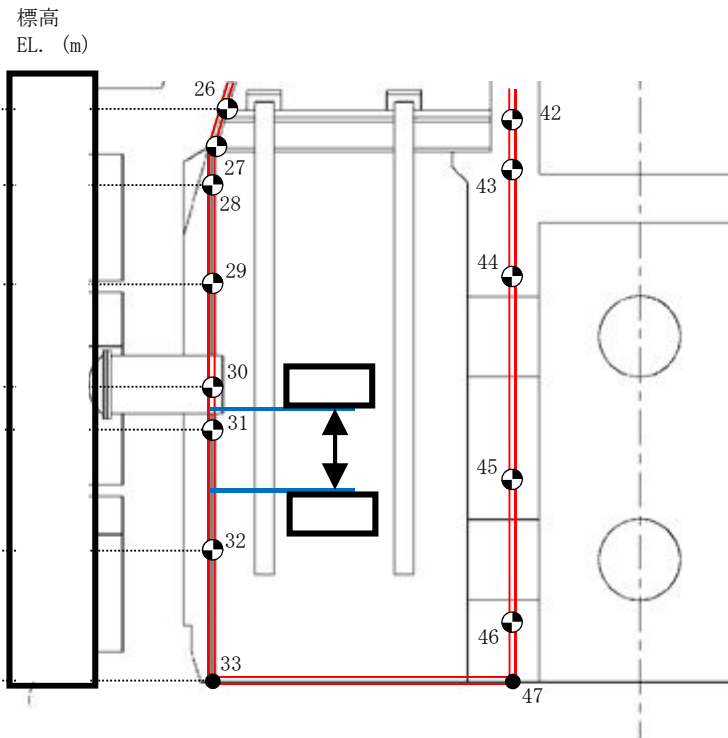


図3 質点質量の算出例 (質点 No. 31)

1.4 断面剛性（有効せん断断面積及び断面二次モーメント）

各構造物の連続する 2 質点間のはりばり、等価な曲げ及びせん断剛性を有するようモデル化しており、断面二次モーメント及び有効せん断断面積を設定している。断面二次モーメント及び有効せん断断面積の算出例として、PCV円筒胴部の質点 No. 30～31 について図 4 に示す。

No.	標高 EL. (m)	内径 D_i (m)	板厚 t (m)	計算値		解析モデルのデータ諸元 ^{※3}	
				有効せん断断面積(m ²) ^{※1}	断面二次モーメント(m ⁴) ^{※2}	有効せん断断面積(m ²)	断面二次モーメント(m ⁴)
30							
31							

※1: $A_e = \frac{\pi}{8} \cdot \{(D_i + 2t)^2 - D_i^2\}$ PCVでは、断面積の 1/2 とする。

※2: $I = \frac{\pi}{64} \cdot \{(D_i + 2t)^4 - D_i^4\}$

※3: 既工認におけるデータ諸元を今回工認のデータ諸元とする。

※4: 断面剛性は、板厚 m を採用して、算定する。

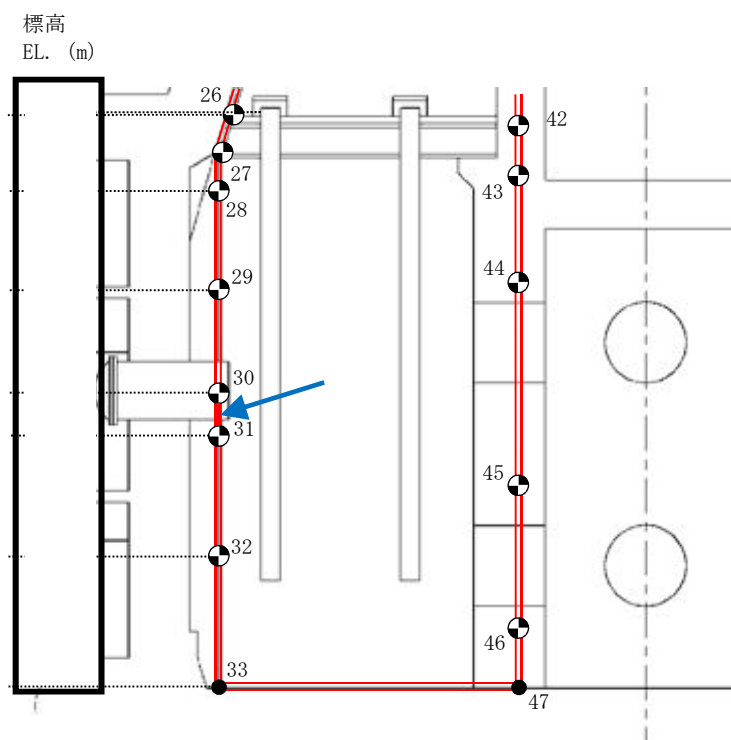


図 4 断面剛性の算出例（質点 No. 30～31）

1.5 構造物間ばね定数

各構造物間を接続する各機器を等価なばねでモデル化している。各機器の耐震性評価において応答解析結果のばね反力を使用するR P Vスタビライザ (K_4)、P C Vスタビライザ (K_6)、ダイヤフラム・フロア (K_7)、上部シアラグ (K_9) 及び下部シアラグ (K_{10}) について、ばね定数の算出を以下に示す。

(1) R P Vスタビライザ (K_4)

R P Vスタビライザは、原子炉遮蔽頂部に円周状に8ヶ所設置され、R P V付属構造物であるスタビライザブラケットを、あらかじめ初期締付荷重を与えた2組のディスクスプリングを介して両側から挟み込む構造である。R P Vと原子炉遮蔽との水平方向地震荷重を伝達する。

ばね定数の算定では、R P Vスタビライザの構成部材の内、スタビライザブラケットからの水平方向外力に対し支持に寄与する部材を対象にした。R P Vスタビライザの構造及びばね定数算出モデルを図5に示す。R P Vスタビライザ構成部材の内、スタビライザブラケットを挟み込む範囲の各ばねを引張側と圧縮側とで、片側分で直列ばねに設定する。さらに、引張側と圧縮側のばねを並列ばねとし、R P Vスタビライザ基部部材のばねと合わせて直列ばねとする。

a) 引張側の片側分のばね定数 $K_{1\text{half}(T)}$

$$\frac{1}{K_{1\text{half}(T)}} = \frac{1}{K_H} + \frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_{SP}} + \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_W} + \frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_G} + \frac{1}{K_{YT}}$$

b) 圧縮側の片側分のばね定数 $K_{1\text{half}(C)}$

$$\frac{1}{K_{1\text{half}(C)}} = \frac{1}{K_H} + \frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_{SP}} + \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_W} + \frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_G} + \frac{1}{K_{YC}}$$

c) R P Vスタビライザ1基のばね定数 K_{1S}

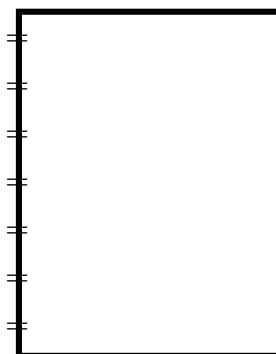
$$\frac{1}{K_{1S}} = \frac{1}{K_{1\text{half}(T)} + K_{1\text{half}(C)}} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_{SM}}$$

d) R P Vスタビライザ8基(全体)のばね定数 K_4

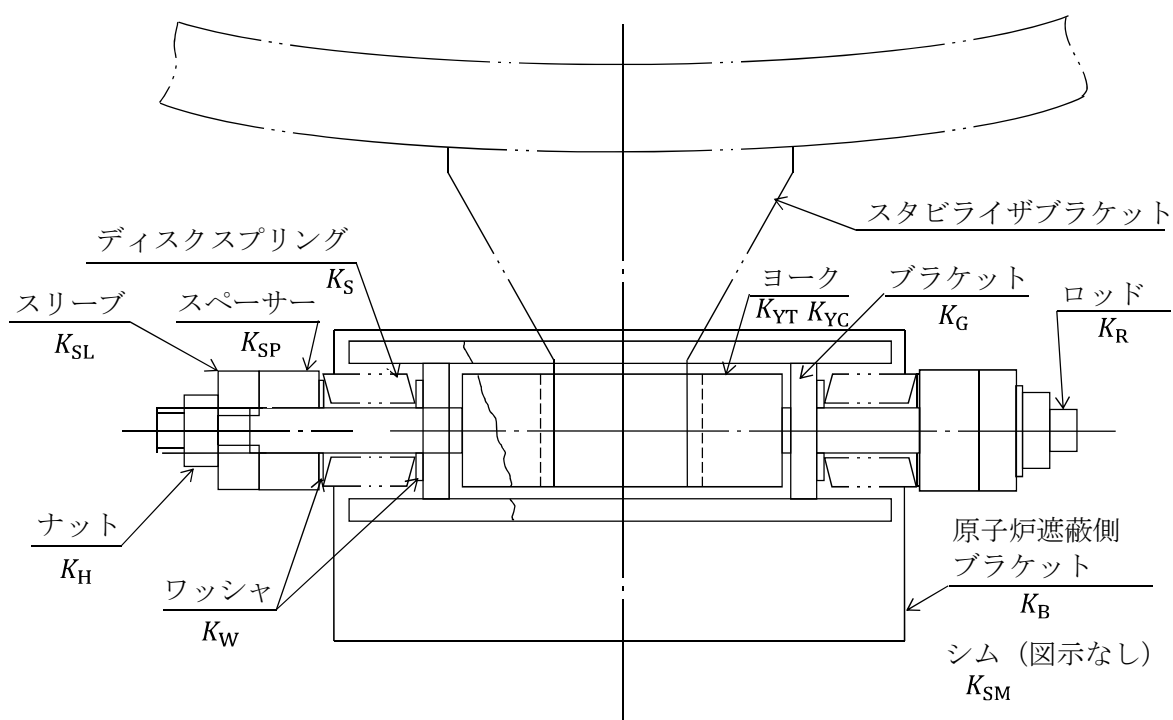
$$K_4 = 4K_{1S} = \boxed{}$$

ここで、

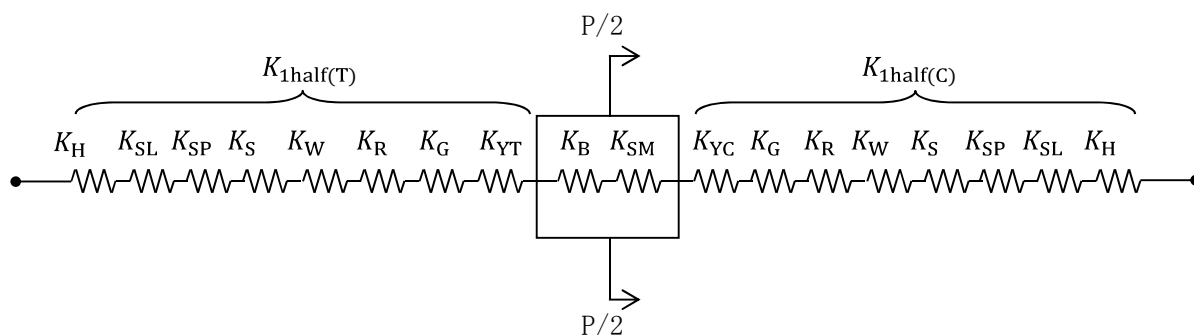
K_H : 六角ナットのばね定数
 K_{SL} : スリーブのばね定数
 K_{SP} : スペーサーのばね定数
 K_S : ディスクスプリングのばね定数
 K_W : ワッシャのばね定数
 K_R : ロッドのばね定数
 K_G : ブラケットのばね定数



K_{YT} : ヨークの引張方向ばね定数
 K_{YC} : ヨークの圧縮方向ばね定数
 K_B : 原子炉遮蔽側ブラケットのばね定数
 K_{SM} : シムのばね定数



(1) RPVスタビライザ構造



(2) ばね定数算出モデル

図5 RPVスタビライザの構造及びばね定数算出モデル

(2) PCVスタビライザ (K₆)

PCVスタビライザは、円筒断面の8組のトラス構造で、原子炉遮蔽頂部に円周状に設置されている。トラス構造の一方の端部が原子炉遮蔽頂部に溶接接続され、他方の端部は上部シアラグと水平方向の嵌め合い構造となっており、水平方向地震荷重を伝達する。なお、上部シアラグは円周方向に等間隔（等角度）で設置されているが、原子炉遮蔽側は不等間隔で設置されており、NS方向/EW方向でばね定数が異なる。(図6参照)

ばね定数の算定では、PCVスタビライザの構成部材をモデル化し、解析により、強制変位を負荷した際に得られる変位からばね定数を算出する。

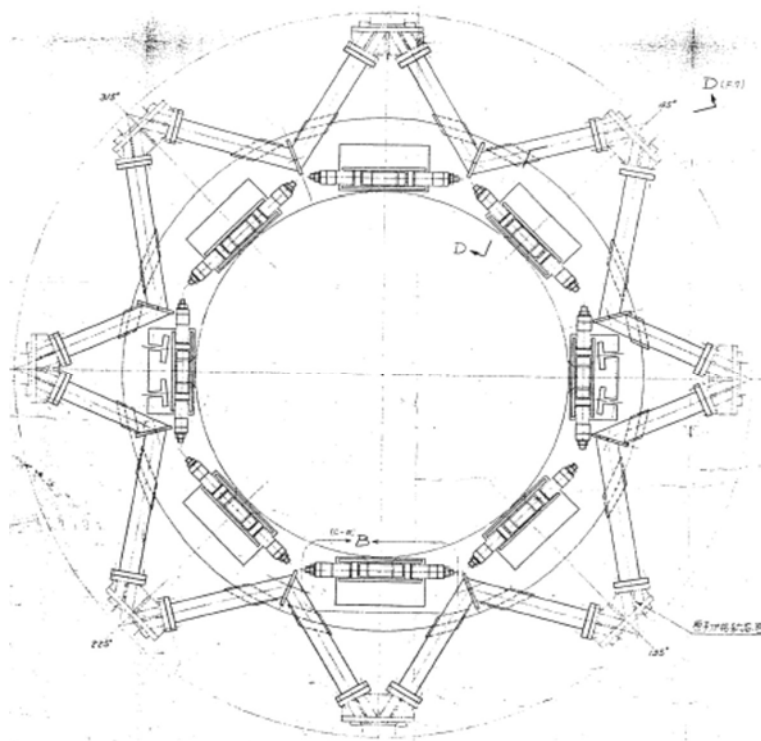
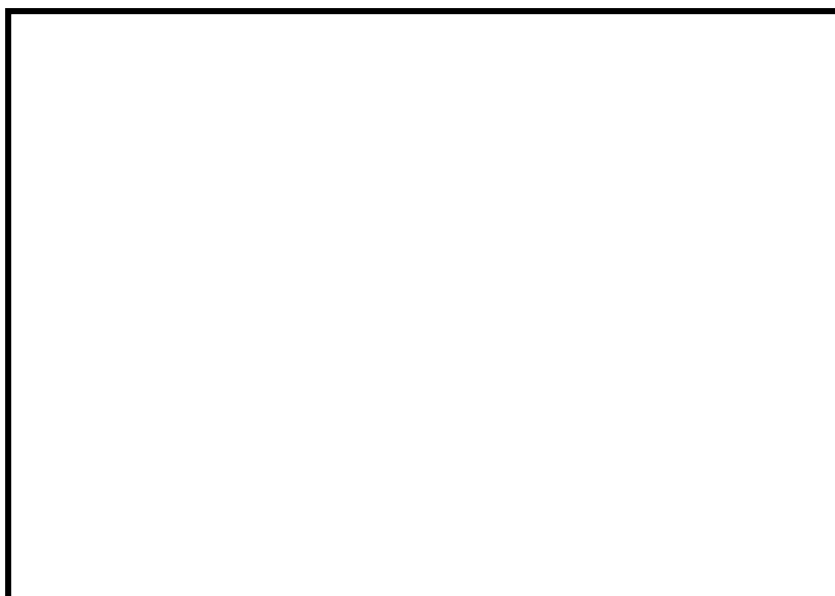


図6 PCVスタビライザ概要図 (平面図)

ばね定数算定用の解析モデルを図7に示す。各シアラグ部の円周方向の変位を拘束した条件で、原子炉遮蔽を介して原子炉遮蔽側取付部に強制変位を負荷する。



(1) 全体図



(2) A部拡大図

図7 PCVスタビライザ解析モデル図

強制変位を荷重させた際の変形図を図 8 に示す。PCVスタビライザのばね定数 K_6 は、解析結果から得た荷重－変位関係から算出する。

方向	解析結果(荷重) (N)	強制変位量(mm)	ばね定数 K_6 (kN/m)
NS			
EW			



図 8 PCVスタビライザの変形図 (強制変位負荷)

(3) ダイヤフラム・フロア (K_f)

ダイヤフラム・フロアは、軸対称形の円環平板形状の構造物であり、円環平板の鉄筋コンクリート床スラブ、床スラブを支持する半径方向に配置した鋼製大梁及び大梁間に円周方向及び半径方向に複数配置した鋼製小梁により構成されている。円環内周端は原子炉本体の基礎に結合支持され、円環外周部で大梁を支持するため原子炉格納容器底面から鋼製柱を円周状に 20° 間隔で 18 本設置している。円環外周端は原子炉格納容器に設置したダイヤフラムブラケットに、大梁端部が水平方向で隙間をもって嵌め合う構造となっている。(図 9 参照)

ばね定数の算定では、ダイヤフラム・フロアの構成部材をモデル化し、解析により、強制変位を負荷した際に得られる変位からばね定数を算出する。

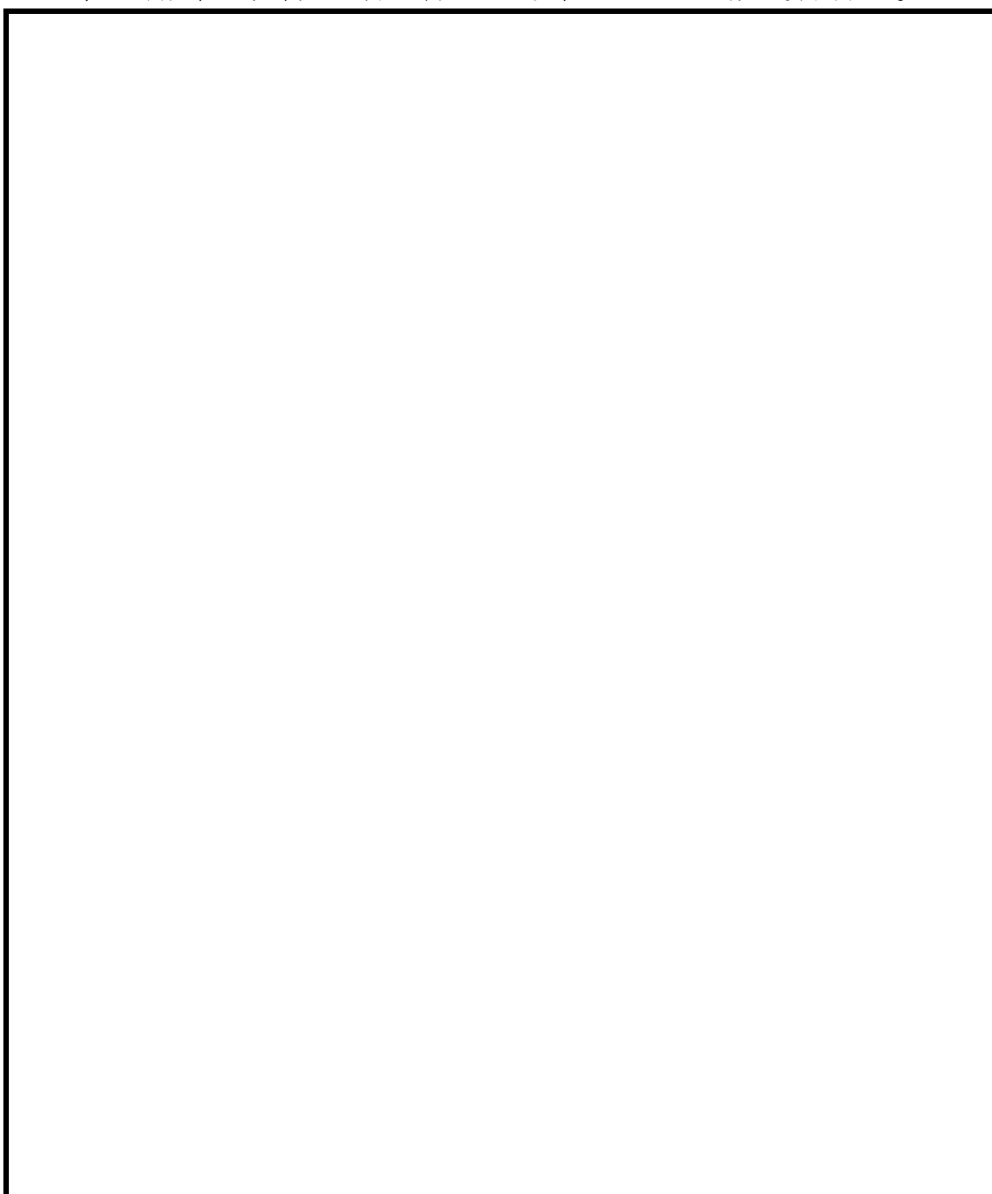


図 9 ダイヤフラム・フロア概要図

ばね定数算定用の解析モデルを図 10 に示す。原子炉本体の基礎に支持される円環内周端の変位を拘束し，ダイヤフラムブラケットと嵌め合い構造の円環外周の大梁端で円周方向の変位を拘束し，鋼製柱の原子炉建屋基礎版側端部で変位を拘束した条件で，原子炉本体の基礎を介して円環内周端に強制変位を負荷する。

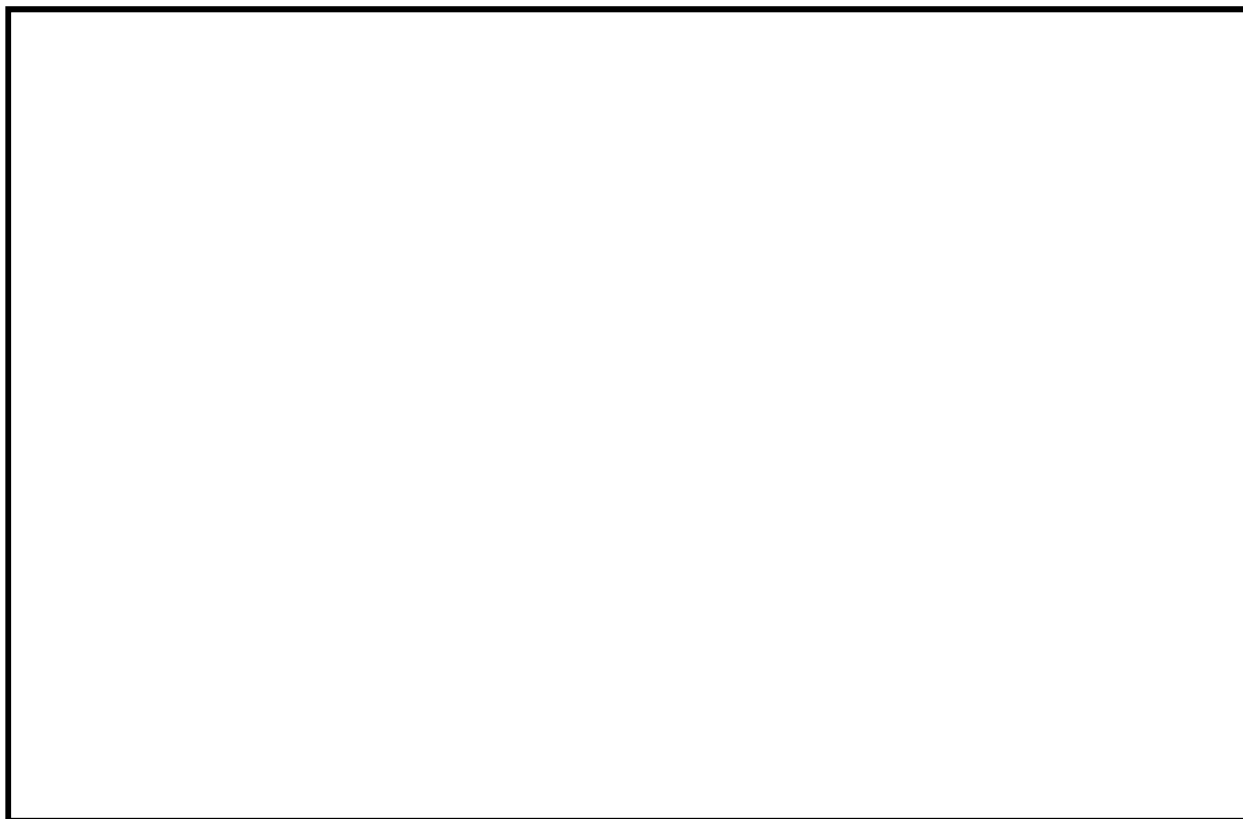


図 10 ダイヤフラム・フロア解析モデル図

強制変位を荷重させた際の変形図を図 11 に示す。ダイヤフラム・フロアのばね定数 K_7 は、解析結果から得た荷重－変位関係から算出する。

解析結果(荷重) (N)	強制変位量(mm)	ばね定数 K_7 (kN/m)



図 11 ダイヤフラム・フロアの変形図 (強制変位負荷)

(4) 上部シアラグ (K₉)

上部シアラグは、ドライウェル円錐胴の上部に周方向に8ヶ所設置され、原子炉格納容器外側のメイルシアラグが原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造となっており、水平方向変位を拘束する。(図12参照)

ばね定数は、メイルシアラグ及びフィメールシアラグのせん断変形に対する剛性から算出する。

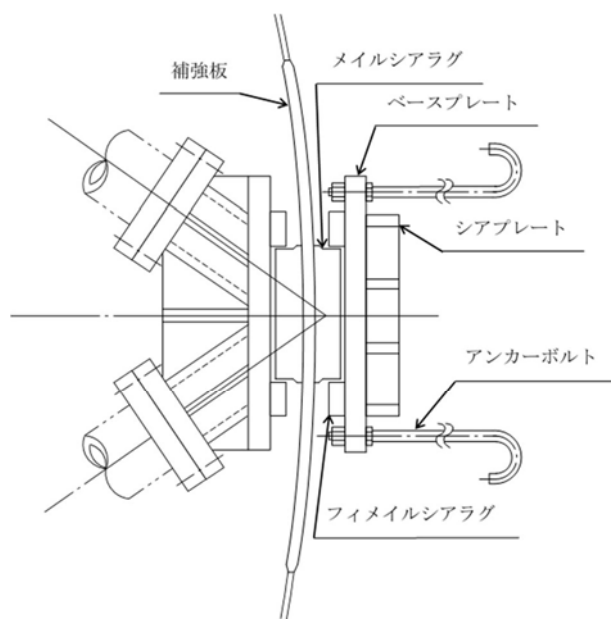


図12 上部シアラグ概要図

せん断力 (F) を受ける際のせん断変形の式から求める荷重-変位関係より、図13に示すメイルシアラグ及びフィメールシアラグの各部に対するシアラグ1基分のばね定数 (K_{9U}) を算出する。

$$v = \frac{1}{G} \int_0^x \kappa \left(\frac{F}{A} \right) dx = \frac{\kappa \cdot F}{G} \left(\frac{L_1 + L_2/2}{A_1} + \frac{L_3 + L_2/2}{A_2} \right)$$

$$K_{9U} = \frac{F}{v} = \frac{G}{\kappa} \left(\frac{L_1 + L_2/2}{A_1} + \frac{L_3 + L_2/2}{A_2} \right)^{-1}$$

よって、シアラグ8基全体のばね定数 K₈ は、円周状にシアラグが配置されていることから、次のとおりとなる。

$$K_9 = 4 \cdot K_{9U} = \boxed{}$$

ここで,

- v : せん断ひずみ
- G : せん断弾性係数
- κ : 断面の形状係数
- A_1 : フィメイルシアラグの断面積
- A_2 : メールシアラグの断面積
- L_1 : フィメイルシアラグの長さ
- L_2 : シアラグ接触面の長さ
- L_3 : メールシアラグの長さ

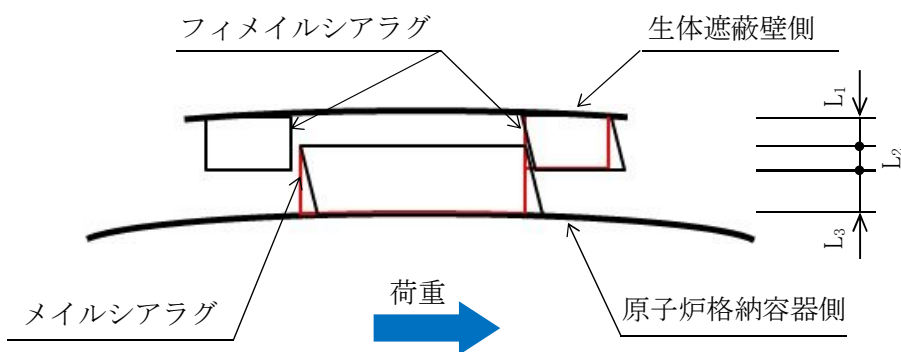
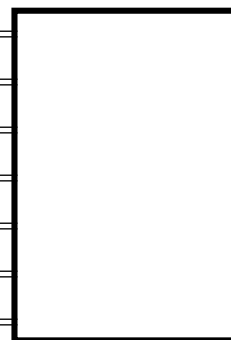


図 13 上部シアラグばね定数算出概念図

(5) 下部シアラグ (K₁₀)

下部シアラグは、ドライウエル円錐胴の下部に周方向に 18 ヶ所設置され、原子炉格納容器外側のメイルシアラグが原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造となっており、水平方向変位を拘束する。(図 14 参照)

ばね定数は、上部シアラグと同様に、メイルシアラグ及びフィメールシアラグのせん断変形に対する剛性から算出する。

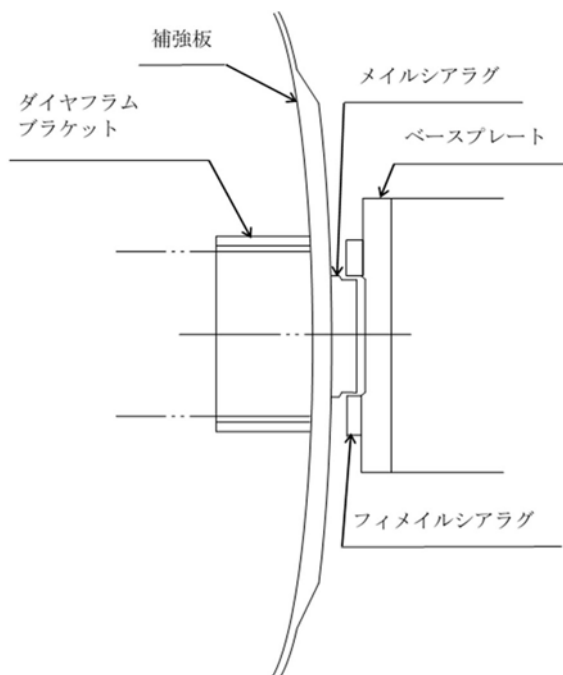


図 14 下部シアラグ概要図

せん断力 (F) を受ける際のせん断変形の式から求める荷重—変位関係より、図 13 に示すメイルシアラグ及びフィメールシアラグの各部に対するシアラグ 1 基分のばね定数 (K_{9D}) を算出する。

$$v = \frac{1}{G} \int_0^x \kappa \left(\frac{F}{A} \right) dx = \frac{\kappa \cdot F}{G} \left(\frac{L_1 + L_2/2}{A_1} + \frac{L_3 + L_2/2}{A_2} \right)$$

$$K_{10D} = \frac{F}{v} = \frac{G}{\kappa} \left(\frac{L_1 + L_2/2}{A_1} + \frac{L_3 + L_2/2}{A_2} \right)^{-1}$$

よって、シアラグ 18 基全体のばね定数 K₉ は、円周状にシアラグが配置されていることから、次のとおりとなる。

$$K_{10} = 9 \cdot K_{10D} = \boxed{}$$

ここで,

v : せん断ひずみ

G : せん断弾性係数

κ : 断面の形状係数

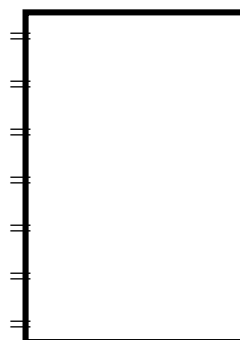
A_1 : フィメールシアラグの断面積

A_2 : メールシアラグの断面積

L_1 : フィメールシアラグの長さ

L_2 : シアラグ接触面の長さ

L_3 : メールシアラグの長さ



1.6 ダイアフラム・フロア質量のモデル化

ダイアフラム・フロアは、PCVのドライウェル部とサプレッション・チェンバ部との境界に設置される円環平板形状の構造物である。円環状の鉄筋コンクリート床スラブ、床スラブを支持する半径方向に20° 間隔で18本配置した鋼製大梁及び大梁間に円周方向及び半径方向に複数配置した鋼製小梁により構成されている。円環内周端は原子炉本体の基礎に結合支持され、円環外周部で大梁を支持するためPCV底面から鋼製柱を18本設置している。円環外周端はPCVに設置したダイアフラムブラケットに、大梁端部が水平方向で隙間をもって嵌め合う構造となっている。また、床スラブには、108本のジェットデフレクタ付きベント管及び18本の主蒸気排気管貫通部を有している。(図15参照)

ダイアフラム・フロア質量のモデル化は既工認と整合させ、内周端が結合支持された原子炉本体の基礎及び大梁を支持する柱とで負担させた。ダイアフラム・フロア質量のうち□に相当する□tonを原子炉本体の基礎の質点(No.42)に負荷させている。

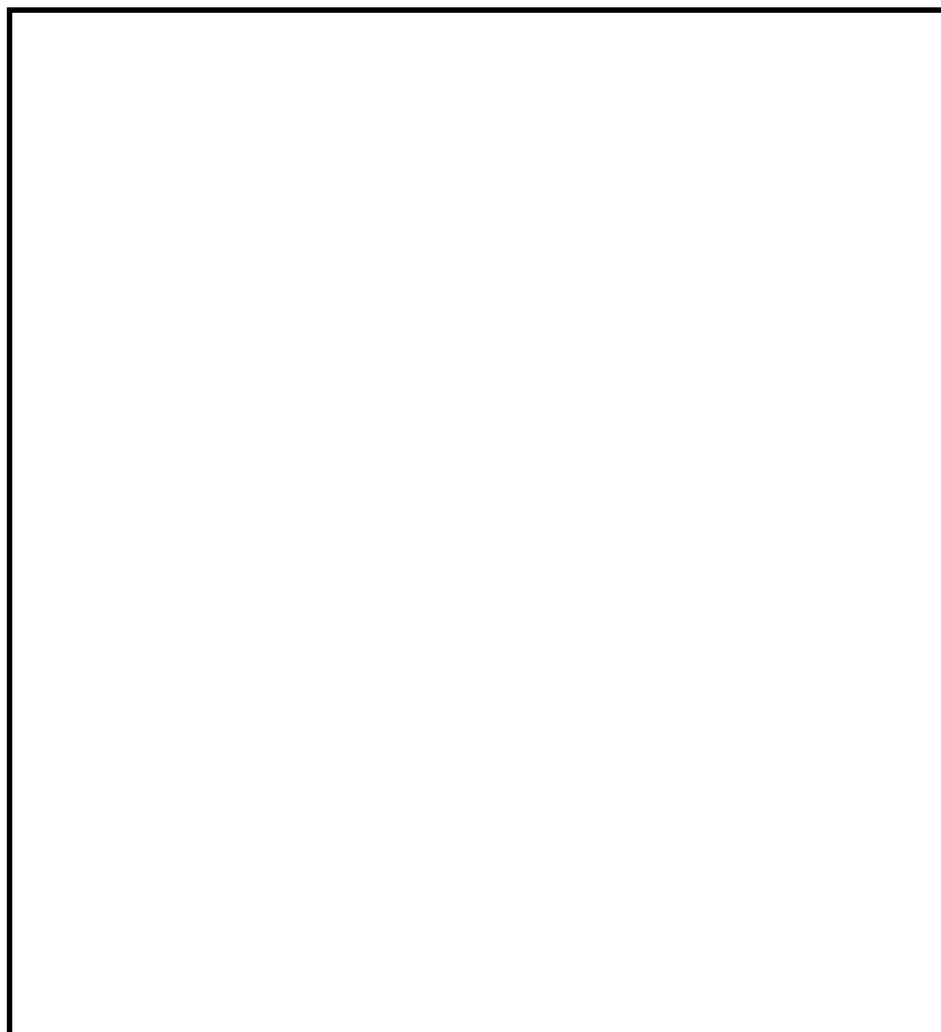


図15 ダイアフラム・フロア概要図

ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びPCVに負荷させた場合の地震応答

今回の工認申請では、ダイヤフラム・フロアの質量のモデル化については、既工認におけるモデル化と整合させることとし、原子炉本体の基礎の質点 (No. 42) にダイヤフラム・フロア質量の□□相当の□□tonを負荷させている。これは、ダイヤフラム・フロアを原子炉本体の基礎及び18本の柱で支持する構造であること並びに水平方向荷重をダイヤフラム・フロア大梁とPCV側のダイヤフラムブラケットで伝達する構造であることによるものである。このため、PCVにはダイヤフラム・フロア質量は付加していない。

一方、東海第二発電所以降のMark-IIプラントでは、ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びPCVで1/2ずつ負荷させて応答解析しているプラントがある。

そこで、他プラントにならない、ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びPCVで1/2ずつ負荷させた場合の地震応答について、検討を行った。

(1) 検討方針

ダイヤフラム・フロア質量を原子炉本体の基礎及びPCVで1/2ずつ負荷させ、水平方向の地震応答解析について影響を確認する。

また、検討する地震動は S_s-D1 、地震方向はNS方向とし、ダイヤフラム・フロア質量以外の解析条件の変更はない。

(2) 検討結果

影響検討として、せん断力、モーメント及びばね反力について、今回工認の応答結果と共に整理した。

地震応答解析結果のせん断力を別表1に、モーメントを別表2に、ばね反力を別表3に示す。下部シアラグ及びダイヤフラム・フロアのばね反力は付加質量増加に伴い26%、10%増加しているが、せん断力及びモーメントの増加は数%程度である。

なお、下部シアラグ部シアプレートの設計用地震力(1.5倍)での耐震裕度は、1.25である。

別表 1(1) 地震荷重 (NS方向, せん断力)

構造物	標高 EL (m)	せん断力 (kN)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
原子炉格納容器		—	—	—
	132	132	131	1.01
	446	446	444	1.00
	1410	1410	1390	1.01
	1500	1500	1480	1.01
	1660	1660	1640	1.01
	7750	7750	7740	1.00
	7930	7930	7920	1.00
	8160	8160	8150	1.00
	8580	8580	8560	1.00
	8940	8940	8930	1.00
	9290	9290	9280	1.00
	9800	9800	9790	1.00
	9430	9430	9330	1.01
	9760	9760	9660	1.01
	9960	9960	9850	1.01
	10300	10300	10200	1.01
	10500	10500	10400	1.01
	10800	10800	10700	1.01
	22100	22100	22000	1.00
		—	—	—
		—	—	—
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	5200	5200	5040	1.03
	3350	3350	3280	1.02
	1620	1620	1520	1.07
	956	956	931	1.03
	4930	4930	4980	0.99
	9420	9420	9520	0.99
	9690	9690	9790	0.99
	14700	14700	14700	1.00
	8760	8760	8140	1.08
	11000	11000	10300	1.07
	13600	13600	12900	1.05
	16800	16800	16100	1.04
	18400	18400	17700	1.04
		—	—	—

別表 1(2) 地震荷重 (NS方向, せん断力)

構造物	標高 EL (m)	せん断力 (kN)			
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②	
原子炉压力容器		—	—	—	
	99	99	96	1.04	
	318	318	306	1.04	
	675	675	651	1.04	
	582	582	574	1.01	
	991	991	963	1.03	
	1650	1650	1600	1.03	
	1840	1840	1780	1.03	
	4330	4330	4230	1.02	
	3920	3920	3810	1.03	
	3500	3500	3400	1.03	
	3390	3390	3280	1.03	
	3290	3290	3160	1.04	
	3240	3240	3170	1.02	
	3290	3290	3230	1.02	
	3320	3320	3250	1.02	
	3320	3320	3260	1.02	
	3280	3280	3220	1.02	
	3200	3200	3140	1.02	
	3110	3110	3050	1.02	
	3010	3010	2960	1.02	
	3430	3430	3400	1.01	
	4440	4440	4510	0.98	
	—	—	—	—	
	1070	1070	1060	1.01	
	871	871	869	1.00	
	488	488	496	0.98	
			—	—	—

別表 1(3) 地震荷重 (NS方向, せん断力)

構造物	標高 EL (m)	せん断力 (kN)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
気水分離器及びビシユラウド		—	—	—
		238	233	1.02
		983	962	1.02
		1410	1390	1.01
		1640	1610	1.02
		2240	2200	1.02
		3930	3870	1.02
		4140	4090	1.01
		4340	4280	1.01
		4500	4440	1.01
		4640	4570	1.02
		4810	4730	1.02
		6080	6010	1.01
		6160	6080	1.01
		6200	6120	1.01
		6190	6120	1.01
		—	—	—
燃料集合体		—	—	—
		1010	1020	0.99
		677	679	1.00
		266	259	1.03
		224	224	1.00
		671	673	1.00
		1050	1050	1.00
	—	—	—	

別表 1(4) 地震荷重 (NS方向, せん断力)

構造物	標高 EL (m)	せん断力 (kN)			
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②	
制御棒案内管		—	—	—	
		148	151	0.98	
		54.3	55.7	0.97	
		7.8	7.8	1.00	
		75.3	77.2	0.98	
		191	196	0.97	
		—	—	—	
		—	—	—	
	制御棒駆動機構 (内側)		404	413	0.98
			439	447	0.98
		57.0	55.4	1.03	
		16.7	16.4	1.02	
		14.3	13.9	1.03	
		44.3	42.7	1.04	
		—	—	—	
制御棒駆動機構 (外側)		—	—	—	
		50.9	49.6	1.03	
		10.9	10.8	1.01	
		19.6	19.1	1.03	
		49.4	48.2	1.02	
	—	—	—		

別表 2(1) 地震荷重 (NS方向, モーメント)

構造物	標高 EL (m)	モーメント (kN・m)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
原子炉格納容器		34.4	33.5	1.03
		432	430	1.00
		1570	1570	1.00
		2880	2860	1.01
		6090	6020	1.01
		11300	11100	1.02
		34200	34100	1.00
		58000	57800	1.00
		82700	82500	1.00
		109000	109000	1.00
		136000	136000	1.00
		156000	155000	1.01
		183000	183000	1.00
		193000	193000	1.00
		204000	204000	1.00
		233000	232000	1.00
		263000	262000	1.00
		276000	275000	1.00
	326000	325000	1.00	
	397000	395000	1.01	
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎		51.4	49.6	1.04
		16700	16200	1.03
		27100	26100	1.04
		31000	30300	1.02
		32500	31200	1.04
		36300	34200	1.06
		30900	30700	1.01
		33700	33700	1.00
		66000	67100	0.98
		78800	79500	0.99
		113000	113000	1.00
		197000	193000	1.02
		266000	259000	1.03
		297000	288000	1.03

別表 2(2) 地震荷重 (NS方向, モーメント)

構造物	標高 EL (m)	モーメント (kN・m)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
原子炉圧力容器		—	—	—
		130	125	1.04
		545	525	1.04
		1090	1050	1.04
		1610	1550	1.04
		3470	3360	1.03
		4610	4470	1.03
		6570	6360	1.03
		3210	3260	0.98
		8030	7840	1.02
		11200	10900	1.03
		14500	14100	1.03
		16500	16000	1.03
		18500	17900	1.03
		20400	19700	1.04
		22300	21400	1.04
		24000	23100	1.04
		26800	25700	1.04
		28100	27400	1.03
		30900	30300	1.02
		31700	31100	1.02
		14000	13400	1.04
		20000	19700	1.02
	940	924	1.02	
	403	392	1.03	
	199	205	0.97	
	531	541	0.98	

別表 2(3) 地震荷重 (NS方向, モーメント)

構造物	標高 EL (m)	モーメント (kN・m)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
気水分離器及びシュラウド		—	—	—
		254	249	1.02
		1760	1720	1.02
		4010	3930	1.02
		5600	5490	1.02
		7970	7810	1.02
		10600	10400	1.02
		13300	13100	1.02
		16100	15900	1.01
		19100	18800	1.02
		22100	21800	1.01
		25300	24900	1.02
		27800	27400	1.01
		31200	30700	1.02
		37200	36600	1.02
	38700	38200	1.01	
燃料集合体		—	—	—
		663	666	1.00
		1110	1120	0.99
		1280	1280	1.00
		1130	1130	1.00
		686	687	1.00
	—	—	—	

別表 2(4) 地震荷重 (NS方向, モーメント)

構造物	標高 EL (m)	モーメント (kN・m)		
		①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
制御棒案内管		—	—	—
		142	146	0.97
		194	199	0.97
		194	199	0.97
		96.7	100	0.97
		—	—	—
制御棒駆動機構 (内側)		—	—	—
		246	251	0.98
		547	558	0.98
		30.7	29.9	1.03
		43.0	41.5	1.04
		32.5	31.4	1.04
制御棒駆動機構 (外側)		—	—	—
		40.6	39.8	1.02
		42.7	41.7	1.02
		50.7	49.4	1.03
		36.3	35.4	1.03
	—	—	—	

別表 3 地震荷重 (NS方向, ばね反力)

構造物	ばね反力 (kN)		
	①Ss-D1×1.0 (質量付加)	②Ss-D1×1.0 (今回工認)	比率 ①/②
ドライウエル 上部シアラグ	7800	7530	1.04
ドライウエル 下部シアラグ	13700	10900	1.26
PCV スタビライザ	12200	12000	1.02
RPV スタビライザ	6270	6150	1.02
CRDハウジング レストレントビーム	276	269	1.03
ダイヤフラムフロア	10200	9310	1.10

1.7 原子炉本体の基礎のコンクリート物性

今回工認の地震応答計算では、原子炉本体の基礎のコンクリートは、既工認で適用している「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」に基づき、ポアソン比 0.17 を使用している。一方、最新の「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」では、ポアソン比は 0.2 である。

そこで、原子炉本体の基礎のコンクリートのポアソン比を 0.2 とした場合の影響について、検討を行った。

(1) 検討方針

ポアソン比は縦弾性係数と横弾性係数の関係から定まるものであり、地震応答解析に使用する諸元のうち、せん断剛性に関係する。このため、水平方向の地震応答解析について影響を確認する。

また、検討する地震動は、 S_s-D1 とし、せん断剛性以外の解析条件の変更はない。

(2) 検討結果

影響検討として、固有周期、応答加速度、ばね反力について整理した。

固有周期の比較を表 1 に示す。EW方向の 9 次モードにおいて、周期に変化がみられるが、これは R P V が卓越するモードである。それ以外に固有周期の変化はない。

応答加速度については、原子炉遮蔽、原子炉本体の基礎及び R P V についての比較を表 2 に示す。一部の節点で 0.01 の変化があるが、加速度への影響はほぼない。

ばね反力については、上部シアラグ及び下部シアラグについての比較を表 3 に示す。ばね反力への影響はごく小さい。

以上より、原子炉本体の基礎のコンクリートのポアソン比を 0.2 とした場合の応答解析を行った結果、固有周期に有意な変動はなく、地震応答に有意な変化は生じていない。よって、今回工認では、当該部位のポアソン比は既工認と同じとする。

表 1 固有周期の比較

固有周期 (s)				
次数	NS方向		EW方向	
	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2
	1	0.411	0.411	0.413
2	0.203	0.203	0.203	0.203
3	0.196	0.196	0.195	0.195
4	0.136	0.136	0.134	0.134
5	0.114	0.114	0.113	0.113
6	0.103	0.103	0.106	0.106
7	0.086	0.086	0.087	0.087
8	0.084	0.084	0.084	0.084
9	0.077	0.077	0.076	0.077
10	0.063	0.063	0.063	0.063
11	0.059	0.059	0.059	0.059
12	0.057	0.057	0.056	0.056
13	0.052	0.052	0.05	0.05

表2 加速度の比較

加速度 (G)					
節点 番号	部位	NS方向		EW方向	
		ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2
34	原子炉 遮蔽	0.9	0.9	0.89	0.89
35		0.89	0.89	0.86	0.86
36		0.88	0.88	0.84	0.84
37		0.85	0.85	0.81	0.81
38		0.8	0.8	0.75	0.75
39	原子炉 本体の 基礎	0.79	0.79	0.75	0.75
40		0.74	0.75	0.72	0.72
41		0.73	0.74	0.72	0.72
42		0.66	0.66	0.67	0.67
43		0.64	0.64	0.65	0.65
44		0.61	0.61	0.61	0.61
45		0.57	0.57	0.57	0.57
46		0.56	0.56	0.56	0.56
48	原子炉 圧力容 器	1.12	1.13	1.12	1.13
49		1.08	1.09	1.08	1.09
50		1.05	1.05	1.05	1.05
51		1.03	1.03	1.02	1.03
52		1	1	1	1
53		0.95	0.96	0.95	0.95
54		0.94	0.94	0.93	0.94
55		0.91	0.91	0.91	0.91
56		0.89	0.89	0.88	0.88
57		0.88	0.88	0.86	0.86
58		0.88	0.88	0.85	0.85
59		0.87	0.87	0.84	0.84
60		0.87	0.87	0.84	0.84
61		0.86	0.86	0.83	0.83
62		0.86	0.86	0.82	0.83
63		0.85	0.85	0.82	0.82
64		0.85	0.85	0.81	0.81
65		0.84	0.84	0.81	0.81
66		0.83	0.84	0.8	0.8
67		0.82	0.83	0.79	0.79
68		0.82	0.82	0.78	0.79
69	0.81	0.82	0.77	0.78	
70	0.79	0.79	0.75	0.75	
71	0.81	0.82	0.77	0.78	
72	0.81	0.81	0.77	0.77	
73	0.81	0.81	0.77	0.77	

表3 ばね反力の比較

ばね反力(kN)				
部位	NS方向		EW方向	
	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2	ポアソン比 0.17	ポアソン比 0.2
上部シアラグ	7530	7540	7840	7840
下部シアラグ	10900	11000	7560	7660

1.8 解析モデルの扱い

(1) 検討方針

既工認では、建屋と連成して地震応答を計算する大型機器、構造物系の解析モデルについて、次の2つのモデルを用いていた。

これに対して今回工認では、炉内構造物等もモデル化したモデル②を用いて地震応答解析を実施している。

モデル①： 原子炉建屋～PCV～原子炉遮蔽・原子炉本体の基礎～RPV

モデル②： 原子炉建屋～PCV～原子炉遮蔽・原子炉本体の基礎～RPV～
炉内構造物（気水分離器・炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管）～制御棒駆動機構ハウジング

本資料において、2つのモデルを整理すると共に、モデル②のみを用いて地震応答解析を実施している理由について示す。

(2) 地震応答解析モデルの整理とモデル②を適用する理由

モデル①及び②についての整理を表4に示す。既工認では、評価対象設備に合わせ、まずモデル①による地震応答解析を実施し、その後、炉内構造物の耐震計算に合わせてモデル②による地震応答解析を実施した。これは、工認申請の進捗によるものである。モデル②での炉内構造物のモデル化の際に、RPVについては、炉内構造物の質点標高に合わせて細分化している。

今回工認では、設計進捗に合わせてモデルを使い分ける必要はないことから、モデル②を用いて地震応答解析を実施するものとした。

表 4 地震応答解析モデルの整理

項目	モデル① [図 16 参照]	モデル② [図 17, 18 参照]
主なモデル化対象 設備	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 [C/S] ・PCV [PCV] ・原子炉遮蔽 [S/WALL] ・原子炉本体の基礎 [PED] ・RPV [RPV] ・シアラグ (上部, 下部) [K₁, K₂] ・シールベロー [K₃] ・スタビライザ [K₄, K₆] ・ダイヤフラム・フロア [K₅] 	<ul style="list-style-type: none"> ← (同左) ← (同左) ← (同左) ← (同左) ← (同左) ※1 ← (同左) [K₉, K₁₀] ← (同左) [K₅] ← (同左) [K₄, K₆] ← (同左) [K₇] ・炉内構造物 (気水分離器, シュラウド, 燃料 集合体, 制御棒案内管) ・制御棒駆動機構ハウジング
既工認での適用対 象設備 (既工認分割申請 回)	<p>(分割申請第 1 回)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・PCV ・原子炉遮蔽 ・原子炉本体の基礎 ・RPV ・シアラグ (上部, 下部) ・スタビライザ ・ダイヤフラム・フロア 	<p>(分割申請第 20 回)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・炉内構造物 (気水分離器, シュラウド, 燃料 集合体, 制御棒案内管) ・制御棒駆動機構ハウジング
今回工認での適用 対象設備	—	<ul style="list-style-type: none"> ・PCV ・原子炉遮蔽 ・原子炉本体の基礎 ・RPV ・シアラグ (上部, 下部) ・スタビライザ ・ダイヤフラム・フロア ・炉内構造物 (気水分離器, シュラウド, 燃料 集合体, 制御棒案内管) ・制御棒駆動機構ハウジング

※1： 原子炉圧力容器については、炉内構造物の質点標高に合わせ細分化している。

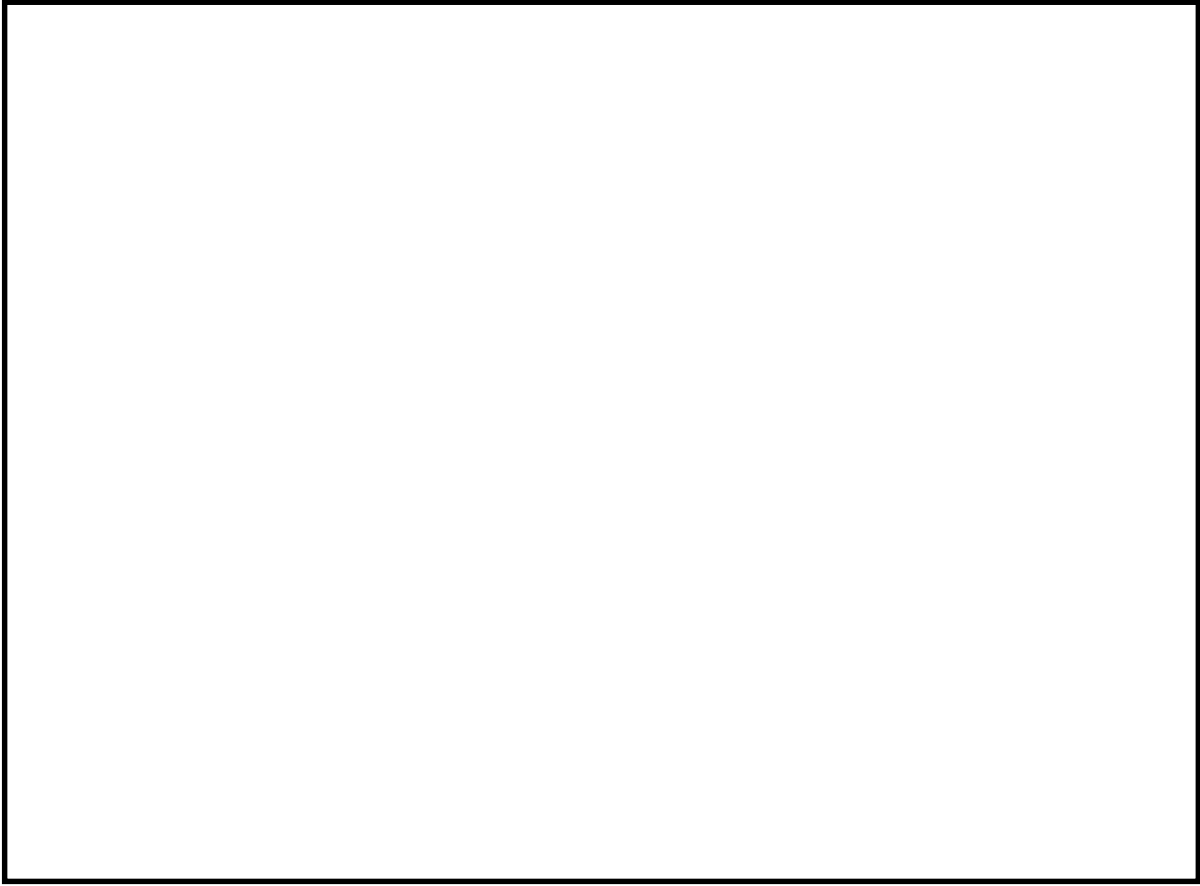


図 17 地震応答解析モデル：モデル②（既工認：分割申請第 20 回）

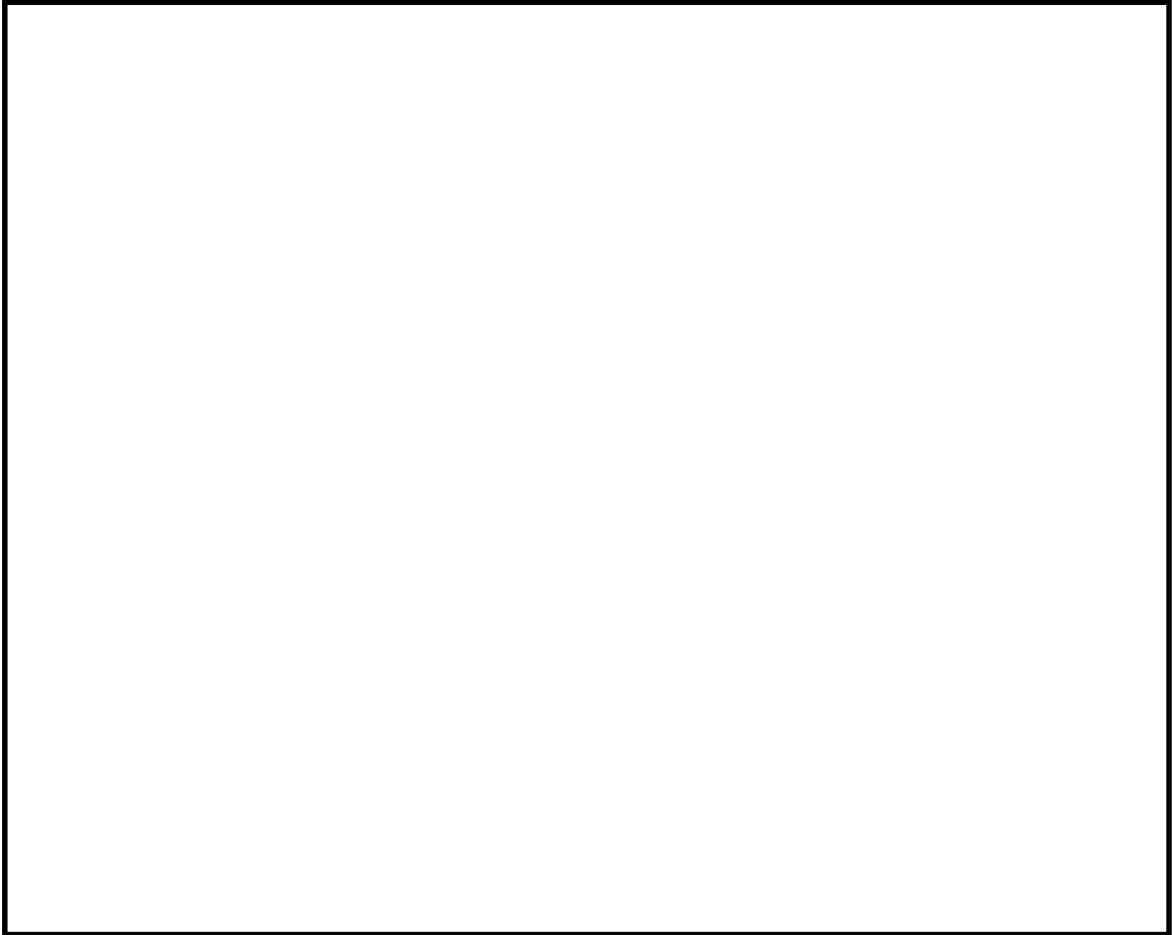


図 16 地震応答解析モデル：モデル①（既工認：分割申請第 1 回）

33

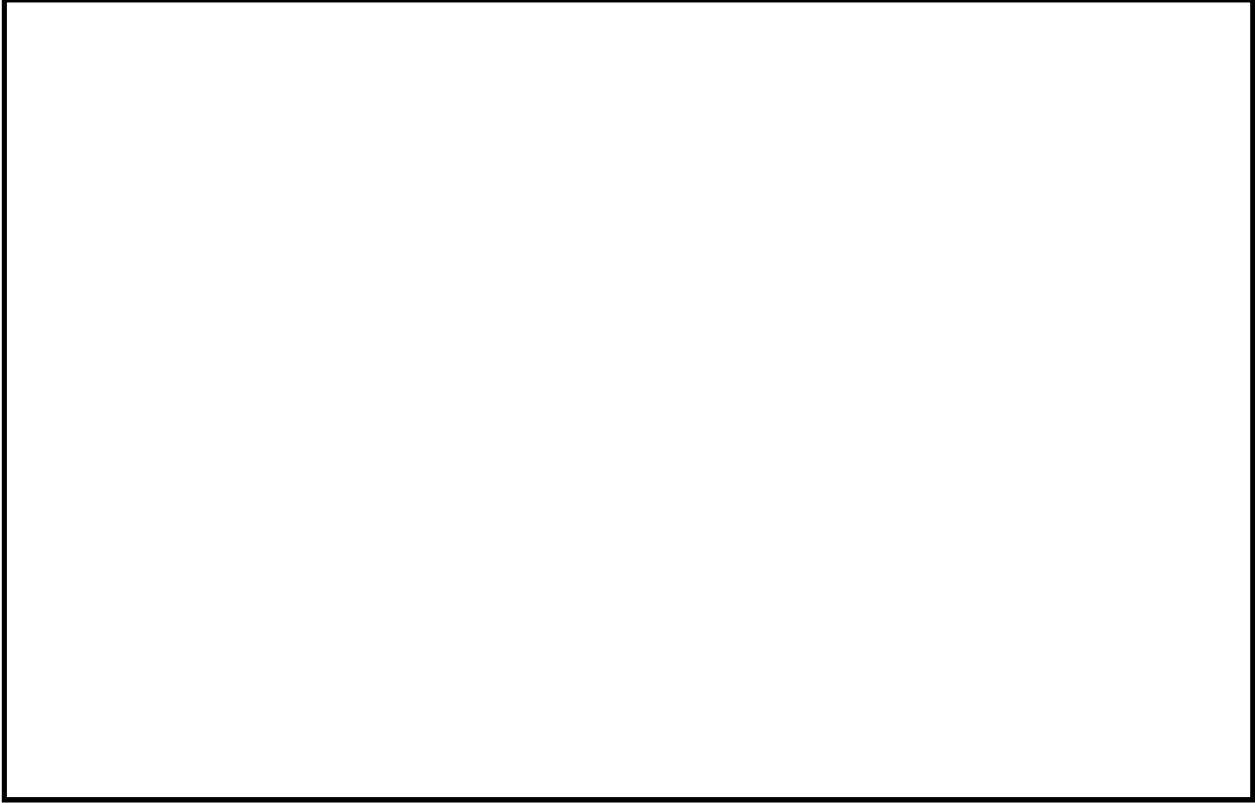


図 18 地震応答解析モデル：モデル②（今回工認）

1.9 原子炉内部構造物の水中での振動の影響を考慮するための付加質量について

(1) 水の付加質量

構造物が流体中で振動する場合、流体－構造物間の相互作用により水中構造物は、複雑な振動特性を示し、固有振動数及び応答が低下することが知られている。一般に、このような現象を評価するため、「付加質量」の概念が用いられている。

付加質量の概念としては、流体中にある構造物が加速度 α を受けて運動する場合、構造物は流体を押しのけて進むことになり、構造物には流体を排除するのに必要な力 F_W が作用する。 F_W は、 α に比例することが知られており、

$$F_W = m_V \cdot \alpha \quad (\text{式 1})$$

で表される。ここで、

m_V : 構造物の形状等によって決定される質量

また、周囲に流体が存在しないとした場合に、質量 M の物体に α の加速度を与えるために必要な力 F_S は、

$$F_S = M \cdot \alpha \quad (\text{式 2})$$

で表される。

したがって、流体中の場合、同一の加速度を与えるために必要な力 F は、上述の力の和として下記(式3)にて表せる。

$$F = F_S + F_W = (M + m_V) \cdot \alpha \quad (\text{式 3})$$

(式3)は、同一の加速度を与えるために流体中においてはあたかも質量が m_V だけ増加したような傾向を示すことを意味している。

このような現象を付加質量効果と呼び、 m_V を付加質量(又は仮想質量)と呼んでいる。

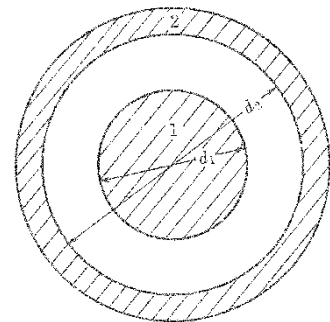
(2) 地震応答解析モデルにおける水の付加質量効果

地震応答解析モデルにおける水の付加質量効果については、燃料集合体と炉心シュラウドとの関係や、炉心シュラウドとRPVとの関係など等価な2重円筒と考え、水の付加質量を考慮した質量マトリックスを構造重量による質量マトリックスに足し合わせ、全体の運動方程式を(式4)を用い構築している。(出典：J E A G 4601-1987)

$$\begin{bmatrix} M^V & -M^V - M^D \\ -M^V - M^D & M^V + 2M^D + M^F \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{Bmatrix} \quad (\text{式 4})$$

ここで、

- M^V : 仮想質量
- M^D : 排除質量
- M^F : 円筒間の水の質量
- \ddot{y}_1 : 内筒の変位
- \ddot{y}_2 : 外筒の変位



d_1 : 内筒外径 d_2 : 外筒内径

2重円筒モデル概念図

1.10 R P Vスタビライザに適用する減衰定数 2.0%の設定根拠について

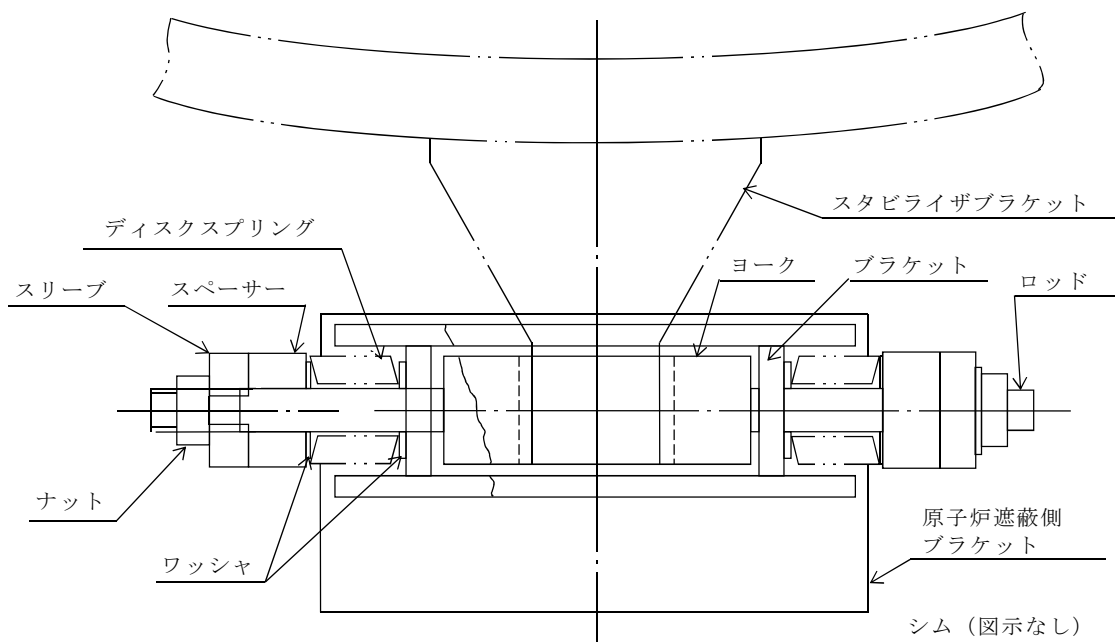
R P Vスタビライザは、地震応答解析において、R P Vと原子炉遮蔽との水平方向地震荷重を伝達するものとして、等価なばねでモデル化している。また、減衰定数はボルト及びリベット構造物の 2.0%を適用している。

1.5 項(1)に示すように、R P Vスタビライザは複数の構成部材があり、ディスクスプリング、ロッド、ナット等の部材に生じる摩擦により、減衰が生じる。したがって、J E A G 4601-1991 追補版で規定する、「ボルト及びリベット構造物」の減衰定数 2.0%を適用している。

なお、R P Vスタビライザの構成部材とそれら部材間の荷重伝達形態を整理したものを表 5 に示す。

表 5 R P Vスタビライザの構成部材と荷重伝達形態

部材名称	荷重伝達形態
スタビライザブラケット	接触
シム	
ヨーク	接触
ロッド	ねじ接合
ナット	ねじ接合
スリーブ	接触
スペーサー	接触
ワッシャ	接触
ディスクスプリング	接触
ブラケット	接触
原子炉遮蔽側ブラケット	溶接接合



1.11 P C V，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性を考慮しない場合の地震応答について

回転慣性は、広がりを持つ基礎と地盤の相互影響による回転応答成分を考慮するために地震応答解析モデルに取り入れている。既工認においては、P C V，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎も原子炉建屋と同様に、広がりを持つ基礎の影響を考慮することとし、回転慣性を取り入れた地震応答解析モデルとしていた。今回の工認においては、既工認の考え方と整合を図ることとし、P C V，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性を考慮して地震応答解析を実施している。

ここでは、P C V，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎の回転慣性が地震応答に与える影響について、**定量的な確認**を行った。

(1) 検討方針

回転慣性を考慮しているP C V（質点番号14～32）、原子炉遮蔽（質点番号34～38）及び原子炉本体の基礎（質点番号38～47）に対して、回転慣性を無視して水平方向の地震応答解析を実施することにより影響を確認する。また、検討する地震動は $S_s - D_1$ ，方向はN S方向とし、回転慣性以外の解析条件に変更はない。

(2) 検討結果

影響検討として、加速度、地震荷重（せん断力、モーメント）及びばね反力について整理した。

回転慣性を考慮した場合と考慮しない場合の比較について、加速度を表6に、せん断力を表7に、モーメントを表8に、また、ばね反力を表9に示す。P C V上部のモーメントにおいて、比率（回転慣性なし／回転慣性あり）が0.75～0.95と小さくなっているものの、それ以外の構造物の比率は0.97～1.03であり、影響はごく小さい。

以上より、P C V，原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎について回転慣性を考慮しない場合の応答解析を実施した結果、P C V上部のモーメントを除き地震荷重及びばね反力に有意な変化は生じていないことを確認した。

表 6(1) 加速度 (N S 方向)

名称	質点 番号	標高 EL (m)	1.2×最大床加速度 (×9.8m/s ²)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉格納容器	14		1.10	1.05	1.05
	15		1.04	1.01	1.03
	16		0.96	0.96	1.00
	17		0.94	0.93	1.01
	18		0.89	0.88	1.01
	19		0.84	0.84	1.00
	20		0.79	0.79	1.00
	21		0.77	0.76	1.01
	22		0.74	0.73	1.01
	23		0.69	0.69	1.00
	24		0.63	0.63	1.00
	25		0.61	0.61	1.00
	26		0.60	0.60	1.00
	27		0.59	0.59	1.00
	28		0.59	0.59	1.00
	29		0.58	0.58	1.00
	30		0.57	0.57	1.00
31		0.57	0.57	1.00	
32		0.56	0.56	1.00	
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34		0.89	0.90	0.99
	35		0.88	0.89	0.99
	36		0.87	0.88	0.99
	37		0.84	0.85	0.99
	38		0.79	0.80	0.99
	39		0.78	0.79	0.99
	40		0.74	0.74	1.00
	41		0.73	0.73	1.00
	42		0.66	0.66	1.00
	43		0.64	0.64	1.00
	44		0.61	0.61	1.00
	45		0.57	0.57	1.00
	46		0.56	0.56	1.00

表 6(2) 加速度 (N S 方向)

名称	質点 番号	標高 EL (m)	1.2×最大床加速度 (×9.8m/s ²)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉圧力容器	48		1.12	1.12	1.00
	49		1.09	1.08	1.01
	50		1.05	1.05	1.00
	51		1.03	1.03	1.00
	52		1.00	1.00	1.00
	53		0.95	0.95	1.00
	54		0.93	0.94	0.99
	55		0.90	0.91	0.99
	56		0.89	0.89	1.00
	57		0.88	0.88	1.00
	58		0.87	0.88	0.99
	59		0.87	0.87	1.00
	60		0.86	0.87	0.99
	61		0.86	0.86	1.00
	62		0.85	0.86	0.99
	63		0.84	0.85	0.99
	64		0.84	0.85	0.99
	65		0.83	0.84	0.99
	66		0.82	0.83	0.99
	67		0.82	0.82	1.00
	68		0.81	0.82	0.99
	69		0.80	0.81	0.99
	72		0.80	0.81	0.99
	73		0.80	0.81	0.99
74		0.79	0.80	0.99	
気水分離器及びシユラウド	75		2.60	2.59	1.00
	76		2.14	2.13	1.00
	77		1.68	1.68	1.00
	78		1.37	1.37	1.00
	79		1.25	1.24	1.01
	80		1.14	1.14	1.00
	81		1.08	1.09	0.99
	82		1.02	1.02	1.00
	83		0.96	0.96	1.00
	84		0.91	0.92	0.99
	85		0.86	0.87	0.99
	86		0.82	0.82	1.00
	87		0.80	0.80	1.00
	88		0.79	0.81	0.98
	89		0.81	0.82	0.99
	90		0.81	0.82	0.99

表 6(3) 加速度 (N S 方向)

名称	質点 番号	標高 EL (m)	1.2×最大床加速度 (×9.8m/s ²)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
制御棒案内管	103		0.82	0.82	1.00
	104		0.86	0.87	0.99
	105		0.95	0.96	0.99
	106		0.97	0.98	0.99
	107		1.03	1.03	1.00
	108		1.04	1.04	1.00
制御棒駆動機構 (内側)	109		1.04	1.04	1.00
	110		0.86	0.87	0.99
	111		0.79	0.80	0.99
	112		0.79	0.80	0.99
	113		0.79	0.79	1.00
	114		0.77	0.77	1.00
	115		0.76	0.76	1.00
制御棒駆動機構 (外側)	91		0.80	0.81	0.99
	92		0.79	0.80	0.99
	93	0.78	0.79	0.99	
	94	0.77	0.78	0.99	
	95	0.75	0.76	0.99	

表 7(1) 地震荷重 (せん断力, N S 方向)

名称	質点 番号	標高 EL. (m)	せん断力 (kN)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉格納容器	14		—	—	—
	15		135	131	1.03
	16		453	444	1.02
	17		1390	1390	1.00
	18		1480	1480	1.00
	19		1630	1640	0.99
	20		7820	7740	1.01
	21		7990	7920	1.01
	22		8220	8150	1.01
	23		8640	8560	1.01
	24		9020	8930	1.01
	25		9370	9280	1.01
	26		9880	9790	1.01
	27		9370	9330	1.00
	28		9700	9660	1.00
	29		9900	9850	1.01
	30		10200	10200	1.00
	31		10500	10400	1.01
	32		10700	10700	1.00
	11		22000	22000	1.00
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	11		—	—	—
	34		—	—	—
	35		4920	5040	0.98
	36		3250	3280	0.99
	37		1490	1520	0.98
	38		991	931	1.06
	39		5020	4980	1.01
	40		9560	9520	1.00
	41		9820	9790	1.00
	42		14700	14700	1.00
	43		8270	8140	1.02
	44		10400	10300	1.01
	45		13000	12900	1.01
	46		16200	16100	1.01
11		17800	17700	1.01	
			—	—	—

表 7(2) 地震荷重 (せん断力, N S 方向)

名称	質点 番号	標高 EL. (m)	せん断力 (kN)			
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②	
原子炉圧力容器	48		—	—	—	
	49		96	96	1.00	
	50		307	306	1.00	
	51		652	651	1.00	
	52		574	574	1.00	
	53		972	963	1.01	
	54		1610	1600	1.01	
	55		1790	1780	1.01	
	56		4200	4230	0.99	
	57		3780	3810	0.99	
	58		3370	3400	0.99	
	59		3240	3280	0.99	
	60		3130	3160	0.99	
	61		3150	3170	0.99	
	62		3210	3230	0.99	
	63		3240	3250	1.00	
	64		3250	3260	1.00	
	65		3210	3220	1.00	
	66		3140	3140	1.00	
	67		3050	3050	1.00	
	68		2960	2960	1.00	
	69		3410	3400	1.00	
	70		4520	4510	1.00	
	71		—	—	—	
	72		1050	1060	0.99	
	73		864	869	0.99	
	74		494	496	1.00	
	気水分離器及びシユクラウド	75		—	—	—
		76		234	233	1.00
		77		966	962	1.00
78			1390	1390	1.00	
79			1610	1610	1.00	
80			2210	2200	1.00	
81			3880	3870	1.00	
82			4100	4090	1.00	
83			4290	4280	1.00	
84			4450	4440	1.00	
85			4590	4570	1.00	
86			4750	4730	1.00	
87			6010	6010	1.00	
88			6080	6080	1.00	
89			6120	6120	1.00	
90			6120	6120	1.00	

表 7(3) 地震荷重 (せん断力, N S 方向)

名称	質点 番号	標高 EL. (m)	せん断力 (kN)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
燃料 集合体	96		—	—	—
	97		1020	1020	1.00
	98		681	679	1.00
	99		258	259	1.00
	100		224	224	1.00
	101		676	673	1.00
	102		1050	1050	1.00
制御 棒 案内管	103		—	—	—
	104		151	151	1.00
	105		55.1	55.7	0.99
	106		7.7	7.8	0.99
	107		76.8	77.2	0.99
	108		195	196	0.99
制御 棒 駆動 機構 (内側)	109		—	—	—
	110		411	413	1.00
	111		446	447	1.00
	112		55.4	55.4	1.00
	113		16.4	16.4	1.00
	114		13.7	13.9	0.99
	115		42.5	42.7	1.00
制御 棒 駆動 機構 (外側)	91		—	—	—
	92		48.9	49.6	0.99
	93		10.8	10.8	1.00
	94		18.9	19.1	0.99
	95		47.6	48.2	0.99

表 8(1) 地震荷重 (モーメント, NS 方向)

名称	質点 番号	標高 EL. (m)	モーメント (kN・m)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉格納容器	14		—	33.5	—
	15		323	430	0.75
	16		1380	1570	0.88
	17		2640	2860	0.92
	18		5720	6020	0.95
	19		10600	11100	0.95
	20		33600	34100	0.99
	21		57400	57800	0.99
	22		82000	82500	0.99
	23		108000	109000	0.99
	24		135000	136000	0.99
	25		155000	155000	1.00
	26		182000	183000	0.99
	27		192000	193000	0.99
	28		203000	204000	1.00
	29		231000	232000	1.00
	30		260000	262000	0.99
	31		274000	275000	1.00
	32		312000	325000	0.96
	11		382000	395000	0.97
原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎	34		—	49.6	—
	35		15800	16200	0.98
	36		25400	26100	0.97
	37		30000	30300	0.99
	38		30700	31200	0.98
	39		34400	34200	1.01
	40		31400	30700	1.02
	41		33100	33700	0.98
	42		65700	67100	0.98
	43		77600	79500	0.98
	44		111000	113000	0.98
	45		190000	193000	0.98
	46		257000	259000	0.99
11		286000	288000	0.99	

※ 質点番号 14 と 34 については、回転慣性を考慮することによりモーメントが発生するため、回転慣性を考慮した場合にはモーメント値を、回転慣性を考慮しない場合には「—」を記載している。

表 8(2) 地震荷重 (モーメント, NS 方向)

名称	質点 番号	標高 EL. (m)	モーメント (kN・m)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
原子炉圧力容器	48		—	—	—
	49		125	125	1.00
	50		526	525	1.00
	51		1050	1050	1.00
	52		1560	1550	1.01
	53		3390	3360	1.01
	54		4510	4470	1.01
	55		6420	6360	1.01
	56		3320	3260	1.02
	57		7750	7840	0.99
	58		10800	10900	0.99
	59		13900	14100	0.99
	60		15800	16000	0.99
	61		17700	17900	0.99
	62		19400	19700	0.98
	63		21200	21400	0.99
	64		22800	23100	0.99
	65		25400	25700	0.99
	66		27100	27400	0.99
	67		30100	30300	0.99
	68		30800	31100	0.99
	69		13600	13400	1.01
	70		20000	19700	1.02
	71		915	924	0.99
72		388	392	0.99	
73		204	205	1.00	
74		539	541	1.00	
気水分離器及びシユラウド	75		—	—	—
	76		250	249	1.00
	77		1730	1720	1.01
	78		3940	3930	1.00
	79		5510	5490	1.00
	80		7840	7810	1.00
	81		10400	10400	1.00
	82		13100	13100	1.00
	83		15900	15900	1.00
	84		18900	18800	1.01
	85		21900	21800	1.00
	86		25000	24900	1.00
	87		27500	27400	1.00
	88		30800	30700	1.00
	89		36700	36600	1.00
	90		38300	38200	1.00

表 8(3) 地震荷重 (モーメント, NS 方向)

名称	質点 番号	標高 EL. (m)	モーメント (kN・m)		
			①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
燃料 集合体	96		—	—	—
	97		669	666	1.00
	98		1120	1120	1.00
	99		1280	1280	1.00
	100		1140	1130	1.01
	101		689	687	1.00
	102		—	—	—
制御 棒 案内 管	103		—	—	—
	104		145	146	0.99
	105		198	199	0.99
	106		198	199	0.99
	107		98.9	100	0.99
	108		—	—	—
制御 棒 駆 動 機 構 (内側)	109		—	—	—
	110		250	251	1.00
	111		556	558	1.00
	112		29.6	29.9	0.99
	113		41.2	41.5	0.99
	114		31.2	31.4	0.99
	115		—	—	—
制御 棒 駆 動 機 構 (外側)	91		39.9	39.8	1.00
	92		41.2	41.7	0.99
	93		48.8	49.4	0.99
	94		35.0	35.4	0.99
	95		—	—	—

表 9 ばね反力 (N S 方向)

名称	ばね反力 (kN)		
	①Ss-D1×1.0 (回転慣性なし)	②Ss-D1×1.0	比率 ①/②
上部シアラグ	7420	7530	0.99
下部シアラグ	10800	10900	0.99
原子炉格納容器スタビライザ	11800	12000	0.98
原子炉圧力容器スタビライザ	6120	6150	1.00
制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	266	269	0.99
ダイヤフラム・フロア	9140	9310	0.98

2. シアラグ部のクリアランスについて

2.1 はじめに

P C Vと原子炉建屋シェル壁の間には空隙が設けられ、ドライウェルの上部及び下部に設置されたシアラグを介して水平方向地震荷重を伝達する構造になっている。

シアラグ部には、設計基準事象で設定する内圧及び熱膨張を考慮し、クリアランスを設けている。本資料において、重大事故等時の場合でもクリアランスが確保され、P C Vの健全性に影響がないことを以下に示す。

2.2 シアラグ部概略構造とクリアランス評価

シアラグ部は、P C V側のメイルシアラグとシェル壁側のフィメールシアラグとから構成されており、P C V半径方向にクリアランスを設けている。上部及び下部シアラグの概略図を図 19 及び図 20 に示す。

このクリアランスにより、内圧及び熱膨張によりメイルシアラグとフィメールシアラグとが接触しP C Vに過大な局部応力が生じることはない。

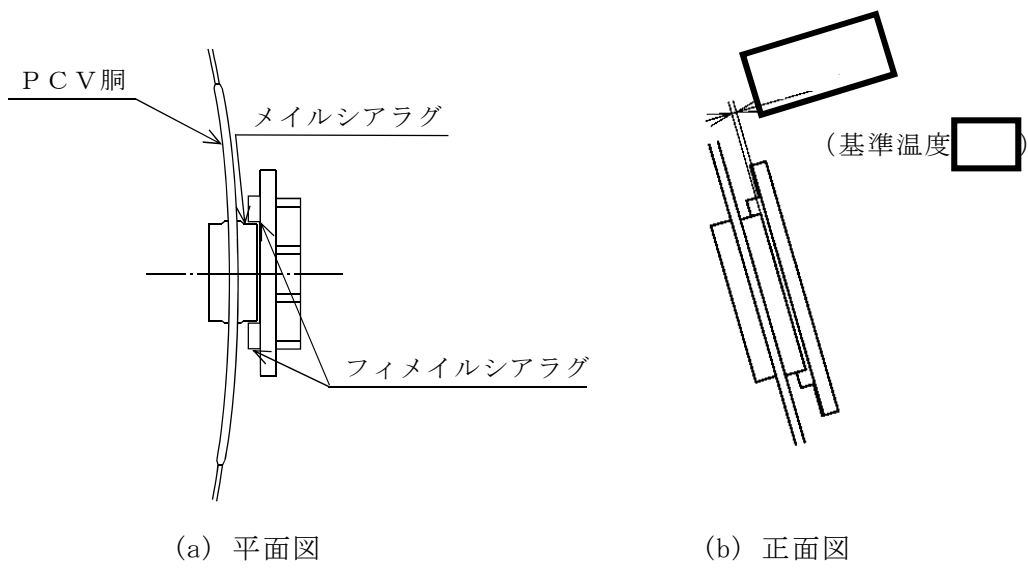


図 19 上部シアラグ概略図

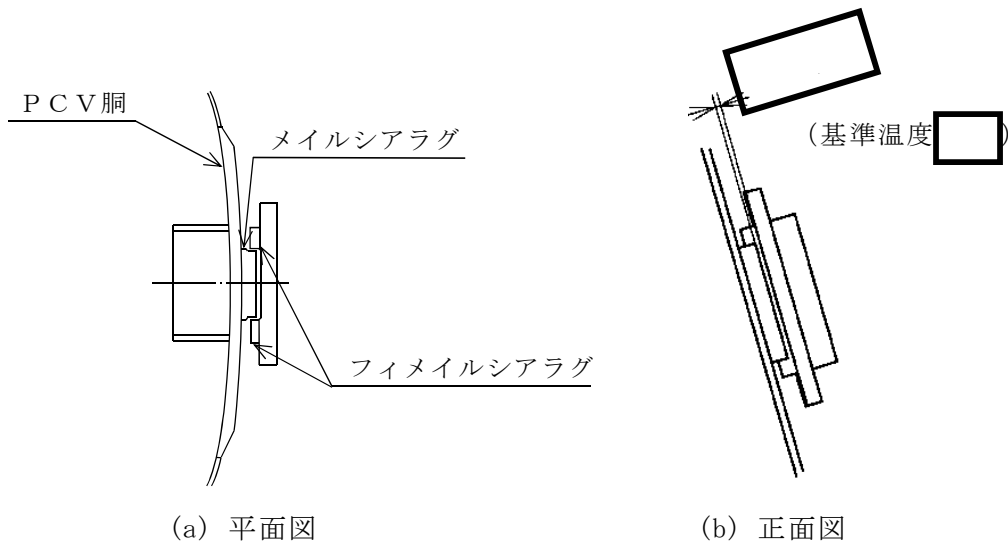


図 20 下部シアラグ概略図

当該部のクリアランスは、運転時及び事故時の温度条件によるPCV本体の変位と原子炉建屋シェル壁の変位の相対変位の分だけ減少することとなる。ここで、重大事故等時についてPCV本体と原子炉建屋シェル壁に想定する温度と圧力の組合せを表10のとおり整理した。

表10 PCV本体及び原子炉建屋シェル壁の重大事故等時の温度，圧力

PCV本体		原子炉建屋
温度	圧力	温度

※1：変位0の状態として基準温度 とする。

※2：PCV壁面での最大温度

※3：通常時運転温度

表10の整理に基づき、シアラグ部のクリアランスを評価した。評価結果を表11に示す。評価の結果、重大事故時等において、シアラグ部のクリアランスが確保されていることを確認した。

表11 シアラグ部のクリアランス評価

	クリアランス (mm)
上部シアラグ	
下部シアラグ	