

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 26 |
| 提出年月日 | 平成 30 年 7 月 27 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 7 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振幅マージンの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価について
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、動的機能維持が必要な設備の検討方針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機種の範囲が定められている。本資料では、J E A G 4601 に定められた適用機種の範囲から外れ新たな検討（評価項目の検討）が必要な設備と、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、抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。

2.1 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

(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。

(2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

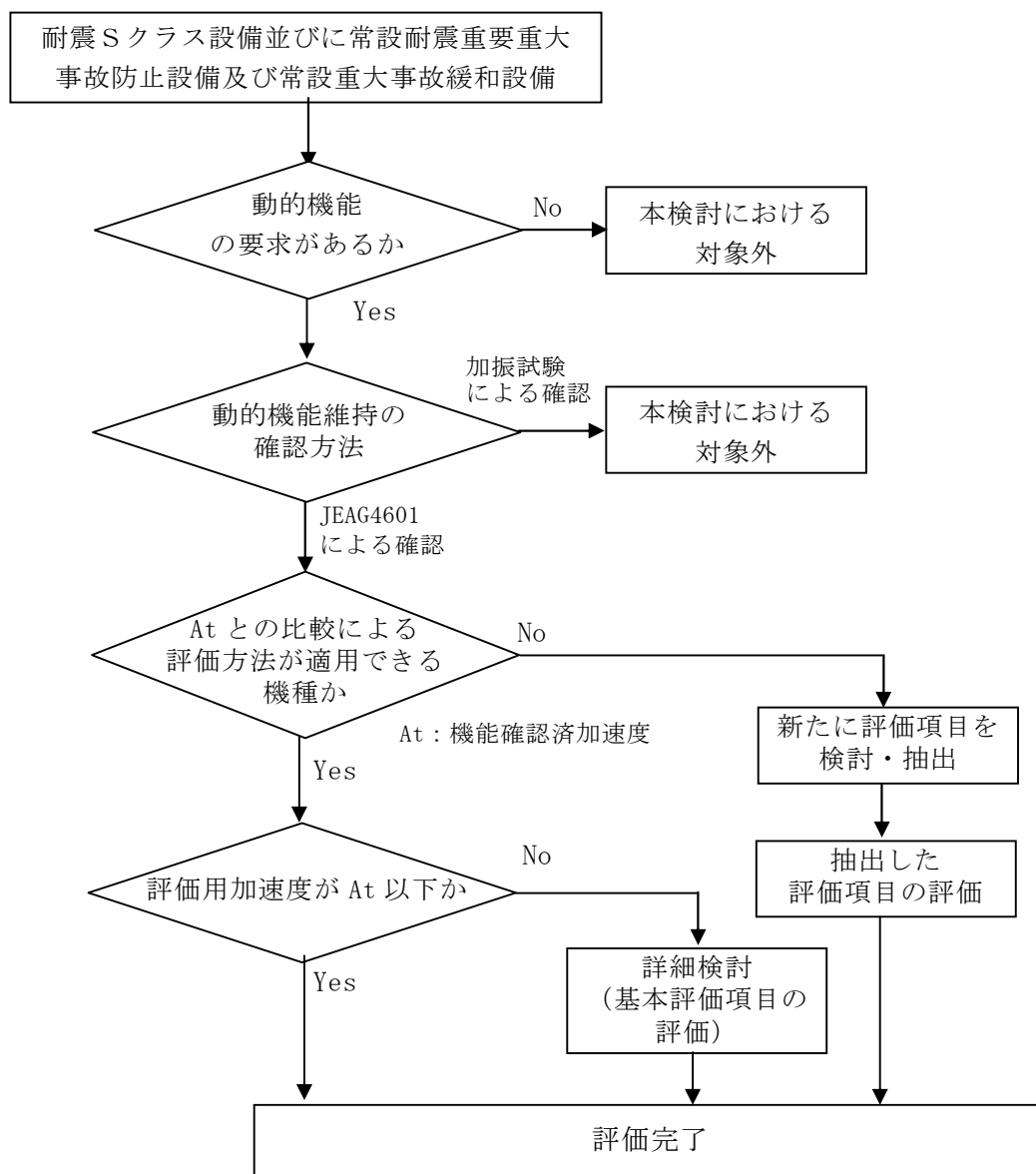
第 1 図にて設備の抽出及び検討のフローを示す。検討対象設備について、J E A G 4601 に定める機能確認済加速度（ A_t ）との比較による評価方法が適用できる機種に対して構造、作動原理等が同じであることを確認する。同じであることが確認できない場合は、新たに評価項目の検討が必要な設備として抽出する。

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）」



第 1 図 動的機能維持評価フロー

(3) 抽出結果

別表 1 をもとに新たな検討又は詳細検討が必要な設備を抽出した結果を第 1 表に示す。

新たに評価項目の検討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。

また、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、詳細検討を実施していたが、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であることが確認できたため、詳細検討は不要となった。

3. 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 | At との比較 が可能か ○：可 ×：否（新たな 評価項目の検 討が必要） | At 確認 ○：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 | ○ | ○ |
| | 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 | At との比較 が可能か ○：可 ×：否（新たな 評価項目の検 討が必要） | At 確認 ○：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 | ○ | ○ |
| | 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 | At との比較 が可能か ○：可 ×：否（新たな 評価項目の検 討が必要） | At 確認 ○：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

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の範囲から外れ、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の検討方針

1. はじめに

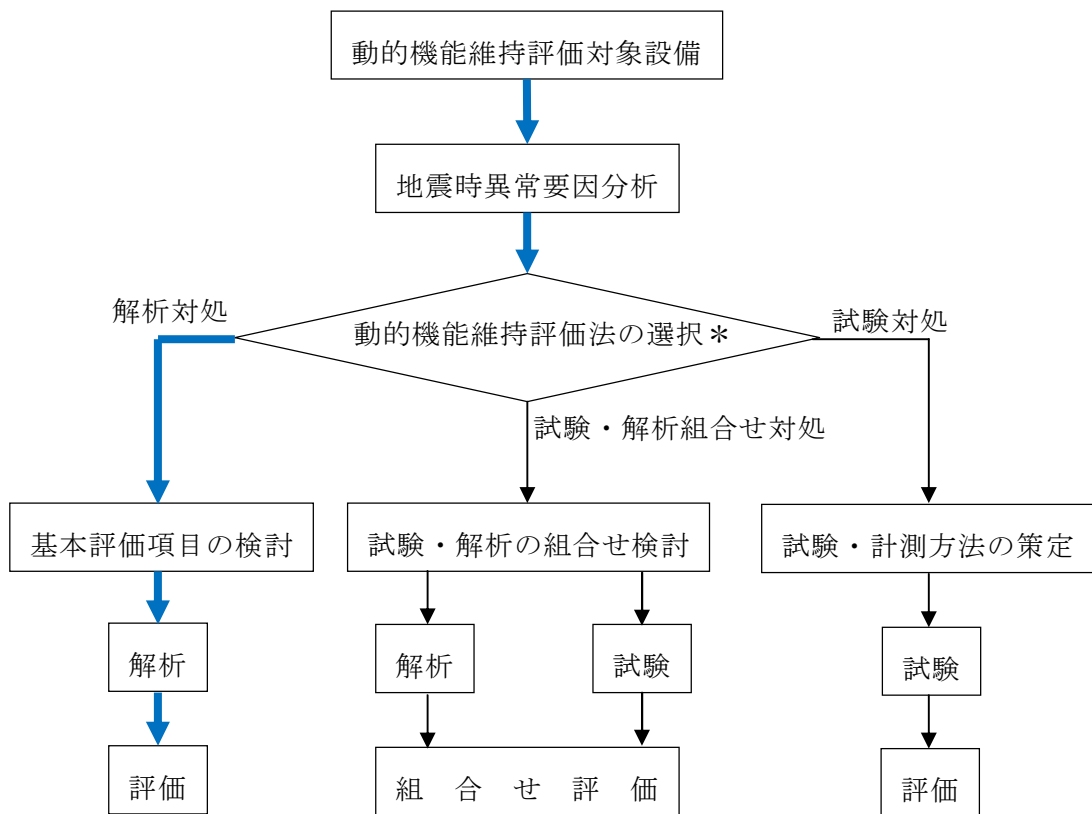
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプの動的機能維持評価について、J E A G 4601 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種の範囲から外れ、新たに評価項目の検討が必要となる。本資料では、それら設備の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 評価項目の抽出方針

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の範囲から外れた設備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。

今回 J E A G 4601 に定められた適用機種の範囲から外れた設備については、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

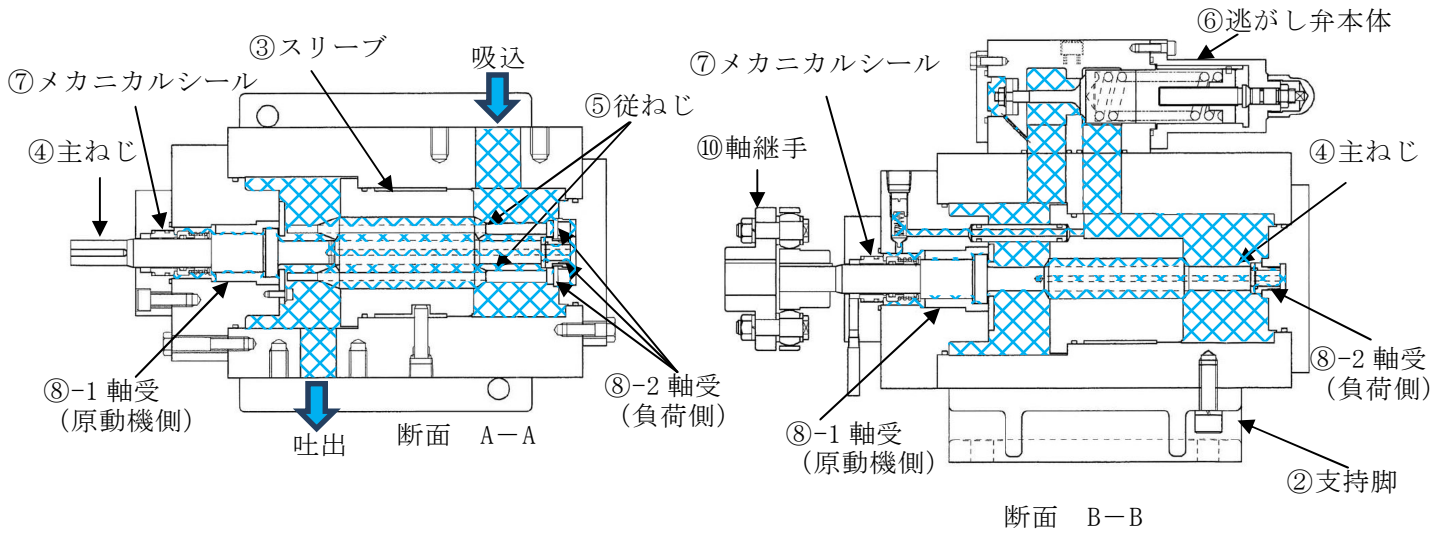
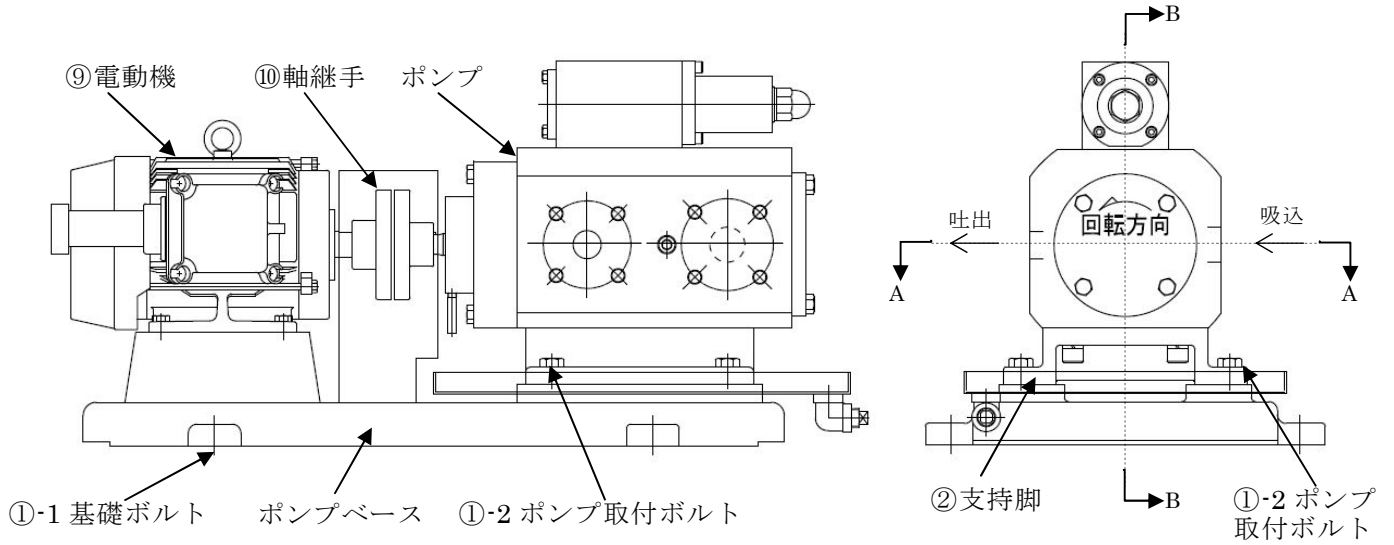
地震時異常要因分析を検討するに当たり、参考とする機種／型式を第1表に示すとともに、第2図、第3図及び第4図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。また、主要仕様を第2表及び第3表に示す。

スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、共に容積式の横形ポンプであり、一定容積の液をスクリー又はギヤにて押し出す構造のポンプである。一方、遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）はインペラの高速回転により液を吸込み・吐出すポンプであり内部流体の吐出構造が異なるが、ケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有していること、固定方法については、基礎ボルトで周囲を固定した架台の上に、駆動機器である横形ころがり軸受の電動機とポンプが取付ボルトにより設置され、電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること、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地震荷重はメカニカルシール部には負荷されず、軸受を通してケーシングに伝達されることから、基本構造が同じといえる。このため、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプについては、遠心式横形ポンプを参考とし、地震時異常要因分析を実施する。

なお、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については、新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり、評価する設備となる。

第1表 新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

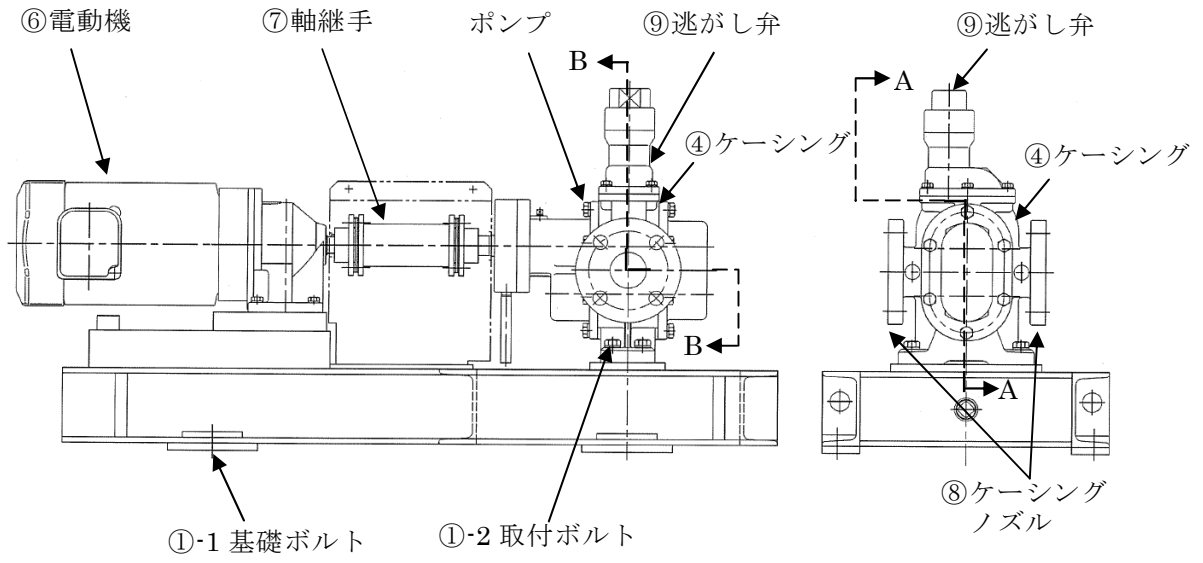
| 新たな検討が必要な設備 | 機種／型式 | 参考とする機種／型式 |
|--|-------------|-------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ | 横形ポンプ／スクリー式 | 横形ポンプ／単段遠心式 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・緊急時対策所用発電機給油ポンプ | 横形ポンプ／ギヤ式 | |



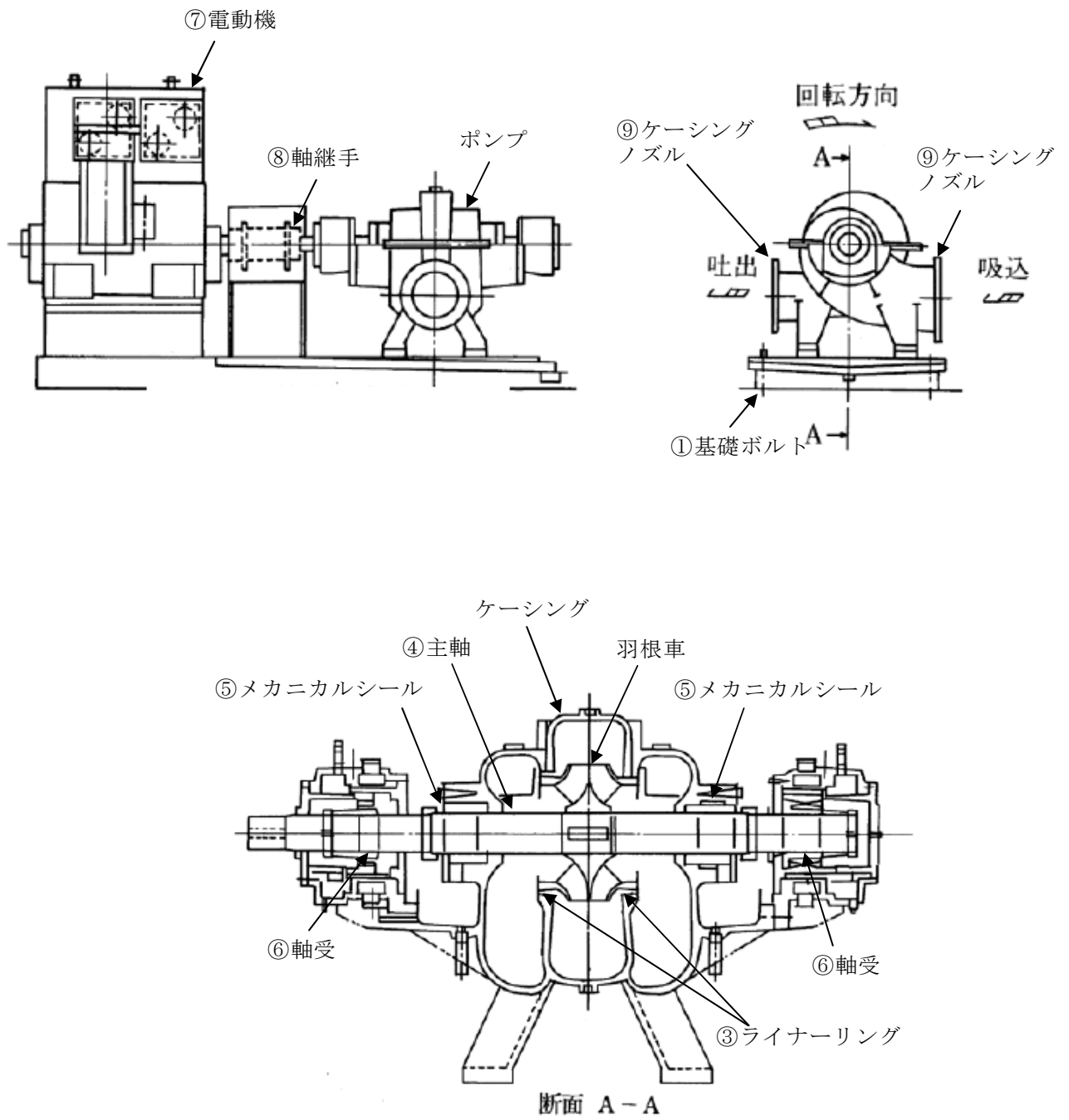
XXXX: 接液部

注: スリーブ内に納められた主ねじと従ねじはかみ合って回転しており、ねじの1リードごとに作られる密閉される空間に入った流体は、ねじ面に沿って吐出側へ移動する。

第2図 スクリュー式ポンプ構造概要図



第3図 ギヤ式ポンプ構造概要図



第4図 遠心式ポンプ構造概要図

第2表 スクリュー式ポンプの主要仕様

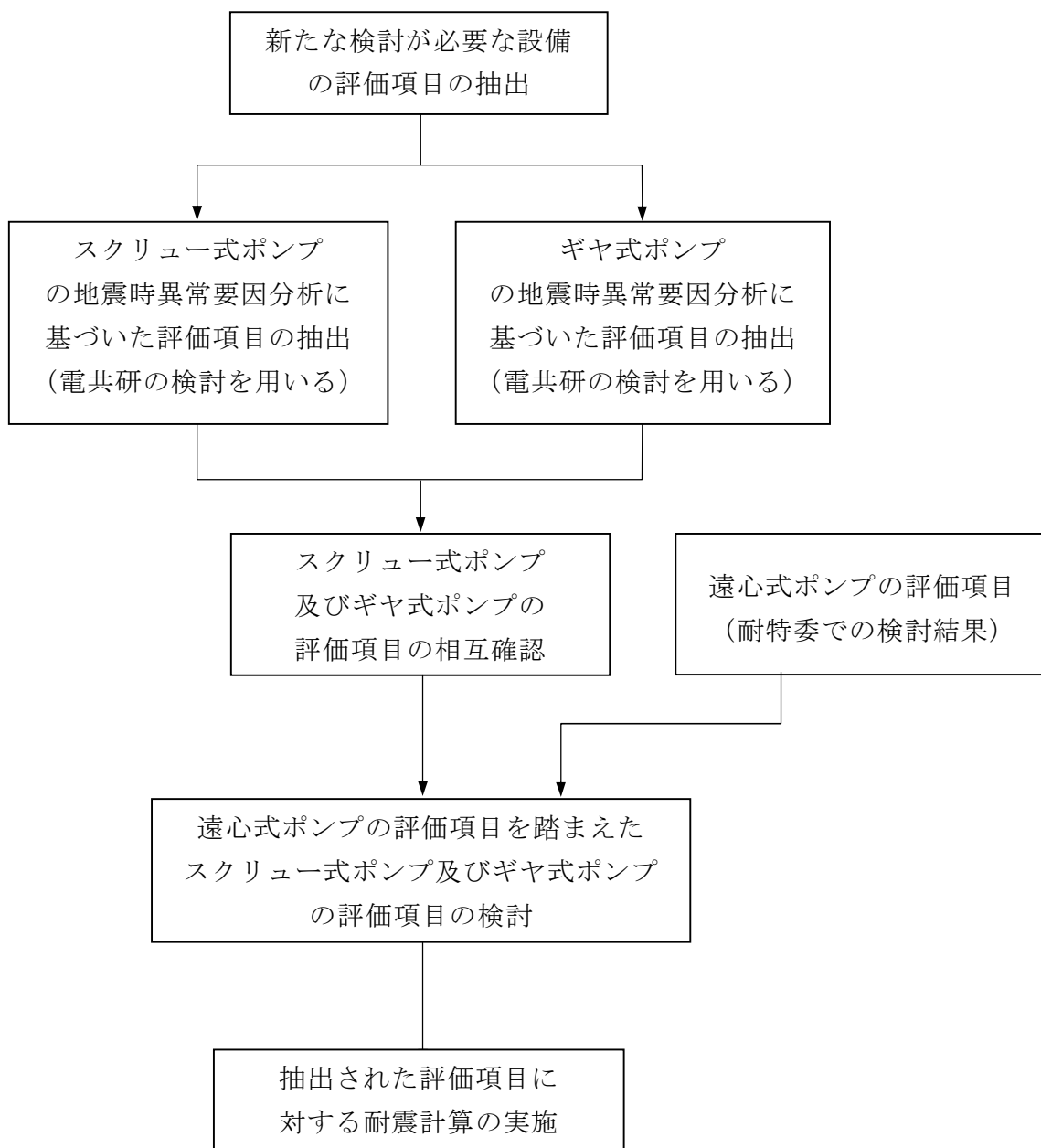
| | | 非常用ディーゼル 発電機燃料移送 ポンプ | 高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料移送ポンプ | 常設代替高圧電源 装置用燃料移送 ポンプ |
|--------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 容 量 | m ³ /h/個 | 1.92 以上 | 1.04 以上 | 3.02 以上 |
| 揚 程 | MPa | 0.195 以上(2C 用) 0.156 以上(2D 用) | 0.190 以上 | 0.285 以上 |
| 最高使用 圧 力 | MPa | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 最高使用 温 度 | ℃ | 55 | 55 | 55 |
| 原 動 機 出 力 | kW/個 | 1.2 | 1.2 | 2.2 |

第3表 ギヤ式ポンプの主要仕様

| | | 緊急時対策所用発電機給油ポンプ |
|-----------|---------------------|-----------------|
| 容 量 | m ³ /h/個 | 1.3 以上 |
| 揚 程 | MPa | 0.3 |
| 最高使用圧力 | MPa | 0.5 |
| 最高使用温度 | ℃ | 45 |
| 原 動 機 出 力 | kW/個 | 1.5 |

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

新たな検討が必要な設備として、スクリー式ポンプ及びギヤ式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5図に示す。



第5図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

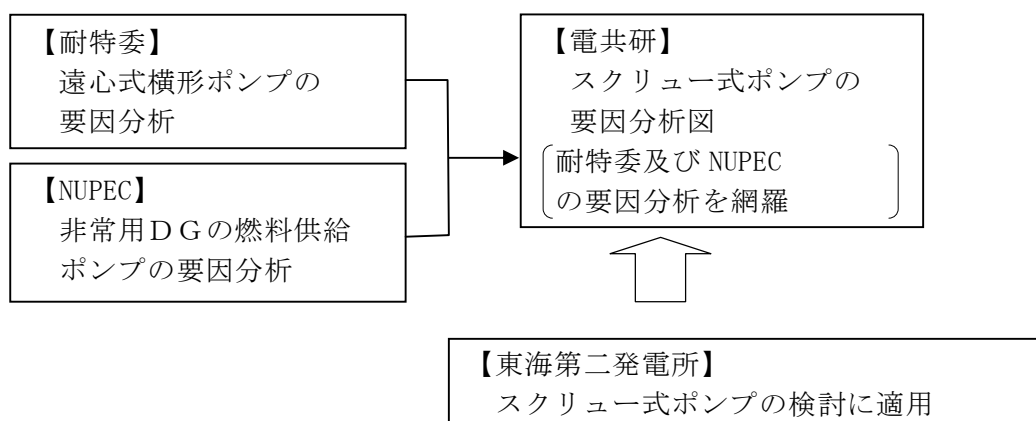
a. スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の抽出

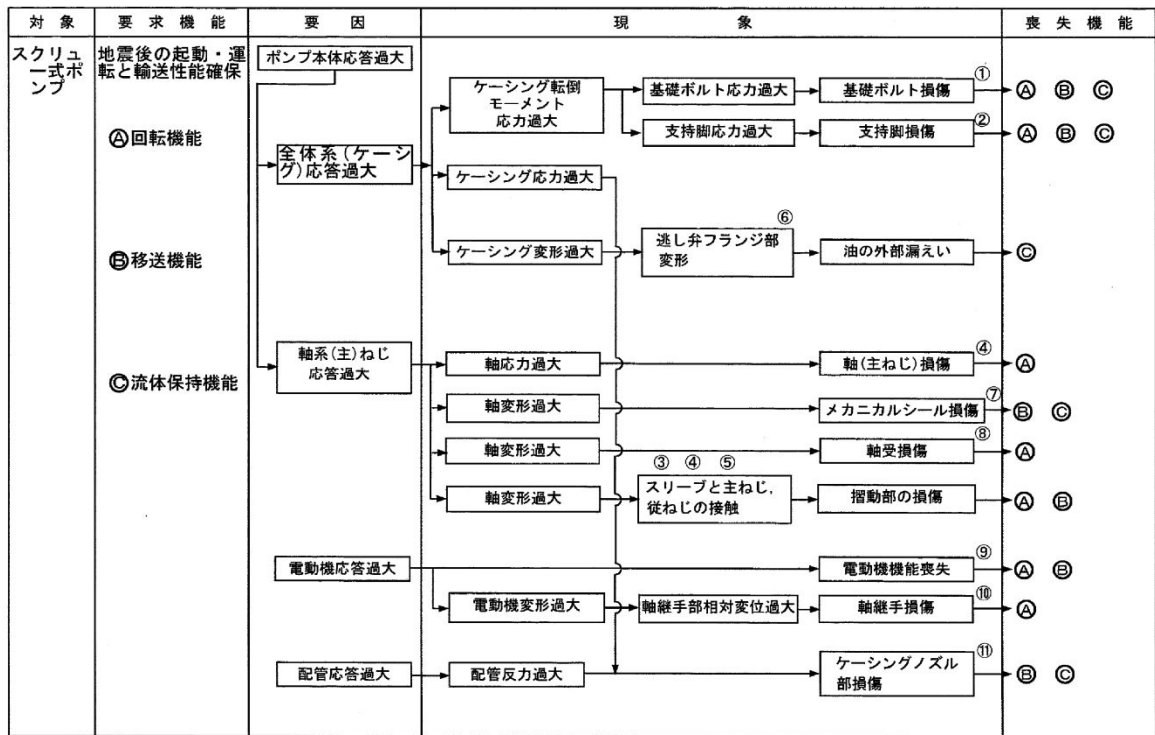
スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研では第6図に示すとおり、耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992年3月））を網羅するように、スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

スクリュー式ポンプの要因分析図を第7図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第4表のとおりである。

※ 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）



第6図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）



第7図 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図

第4表 スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

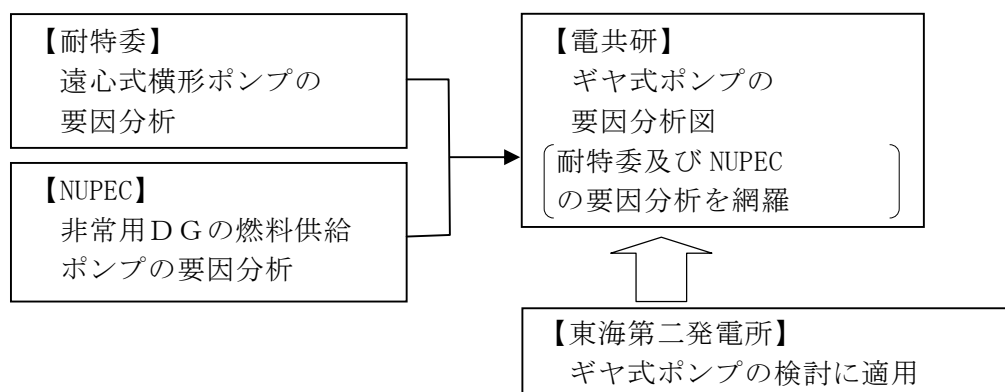
| | 評価項目 | 異常要因 |
|-------------|-----------------------------------|---|
| ① | 基礎ボルト (取付ボルト含む) | ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。 |
| ② | 支持脚 | ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。 |
| ③ ④ ⑤ | 摺動部 (③スリーブ④主ねじ ⑤従ねじのクリアランス) | 軸系(主)ねじの応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。 |
| ④ | 軸系(主ねじ) | 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移送機能が喪失する。 |
| ⑥ | 逃がし弁 | ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部が変形し油の外部漏えいに至る。 |
| ⑦ | メカニカルシール | 軸系(主)ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。 |
| ⑧ | 軸受 | 軸変形が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。 |
| ⑨ | 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、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑩ | 軸継手 | 電動機の変形過大により軸受部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。 |
| ⑪ | 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) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

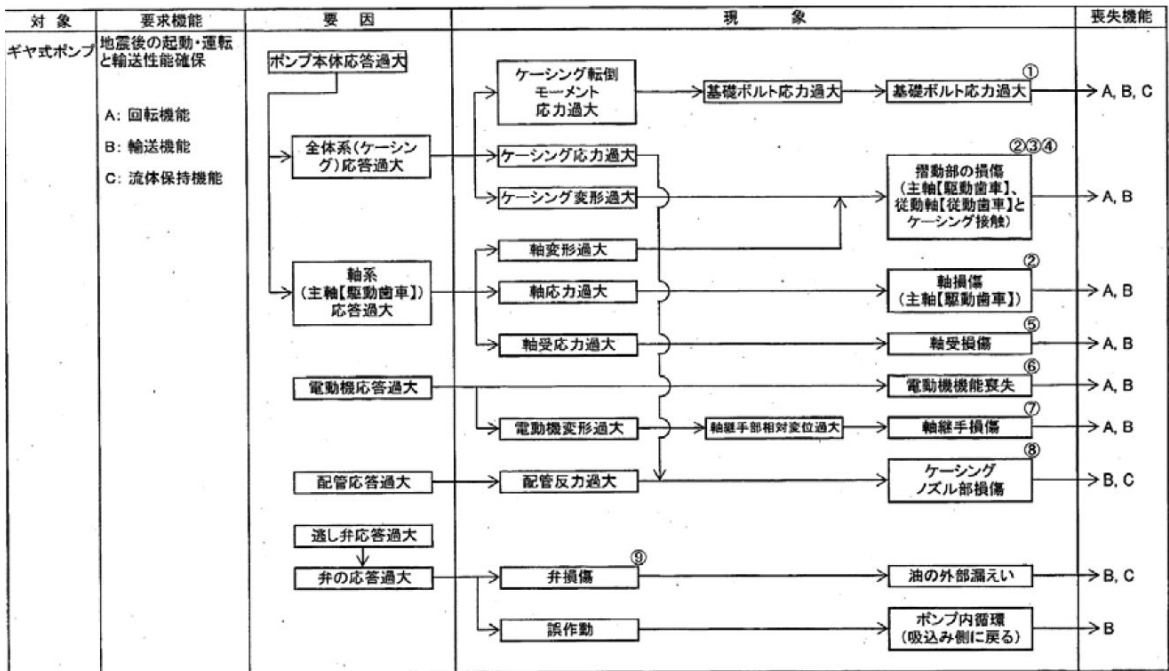
ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研では、第8図に示すとおり耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果(非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験(1992年3月))を網羅するように、ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

ギヤ式ポンプの要因分析図を第9図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第5表のとおりである。

※ 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)



第8図 地震時異常要因分析の適用(ギヤ式ポンプ)



第9図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第5表 ギヤ式ポンプ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 (取付ボルト含む) | 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(取付ボルトを含む)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。 |
| ② ③ ④ | 摺動部 (②主軸又は③従動軸 と④ケーシングのクリアランス) | ポンプ全体系の応答が過大となることで、主軸(主動歯車)及び従動軸(従動歯車)の応答が過大となり軸部の変形により、ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ② | 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輸送機能が喪失する。 |
| ⑤ | 軸受 | 軸受応力(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輸送機能が喪失する。 |
| ⑥ | 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、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑦ | 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及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑧ | 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輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 |
| ⑨ | 逃がし弁 | 弁の応答が過大となり、弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい、ポンプ内循環が発生し、輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 |

(c) スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの抽出した評価項目に対する相互確認

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、ポンプ構造が類似していることを踏まえて、各ポンプの評価項目の抽出結果を比較することにより、その検討結果について相互の確認を行う。

i) スクリュー式ポンプで抽出した評価項目に対してギヤ式ポンプで抽出されなかった評価項目

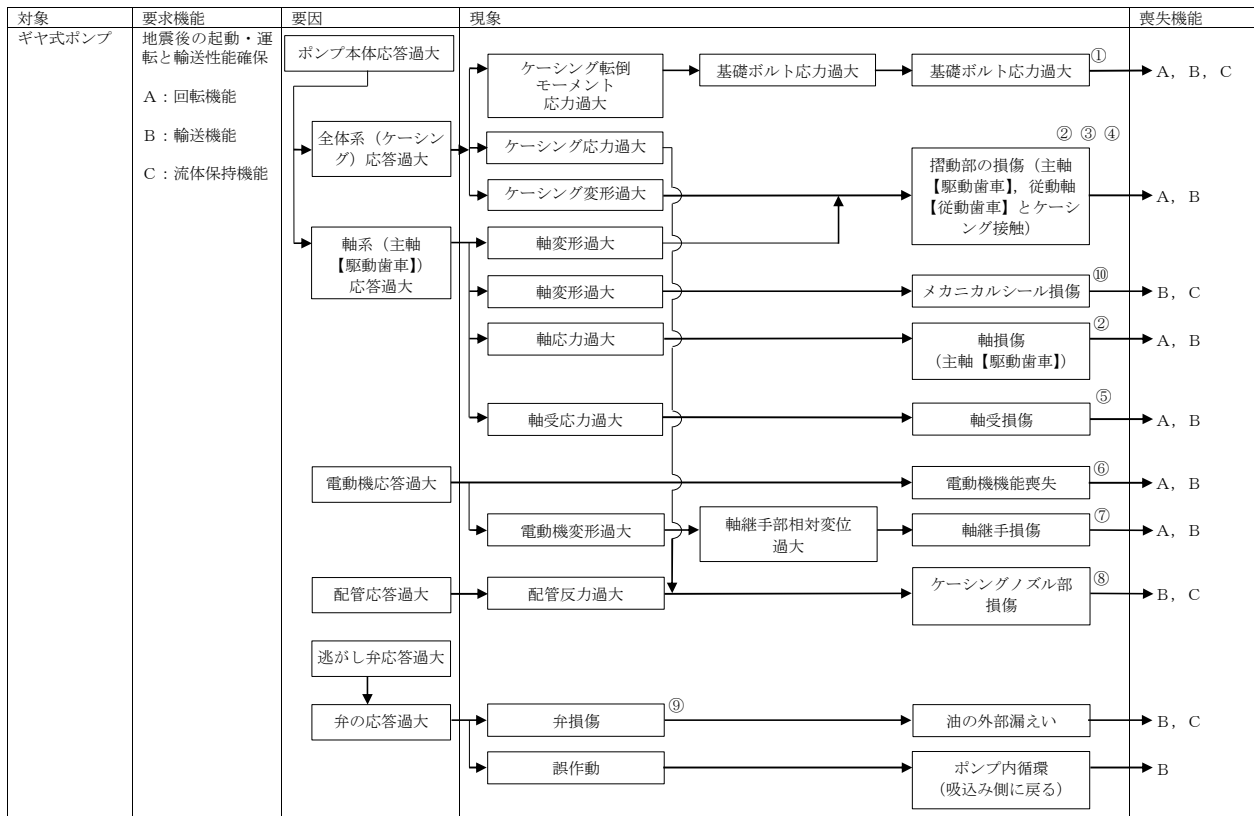
① 支持脚

ギヤ式ポンプはポンプケーシングに取付ボルト用のフランジが直接取り付けられており構造上存在しない。

② メカニカルシール

ギヤ式ポンプについてもメカニカルシールが設置されており、損傷すれば

スクリー式ポンプと同様に輸送機能及び流体保持機能に影響を与えることからギヤ式ポンプについても評価項目として選定する。メカニカルシールを追加したギヤ式ポンプの要因分析図を第 10 図に示す。

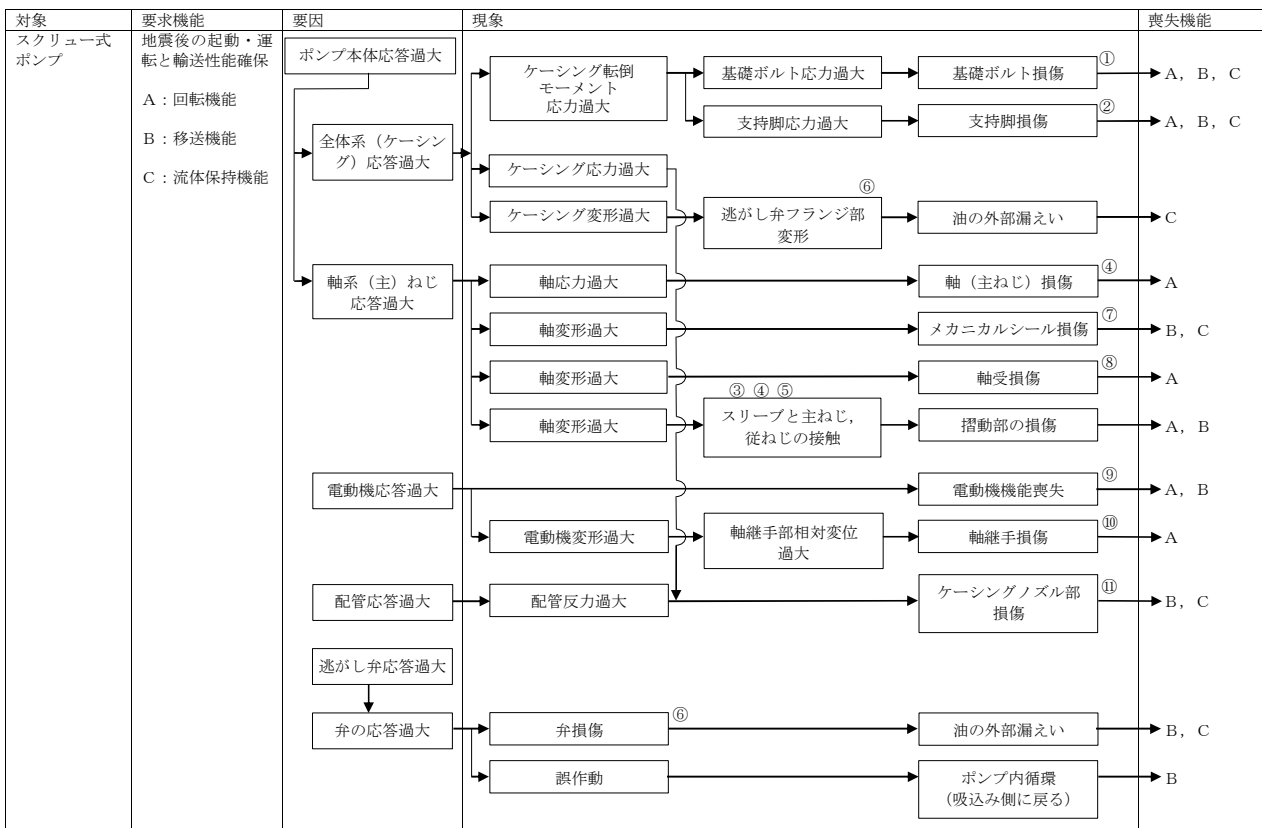


第 10 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

ii) ギヤ式ポンプで抽出した評価項目に対してスクリー式ポンプで抽出されなかった評価項目

③ 逃がし弁（移送機能）

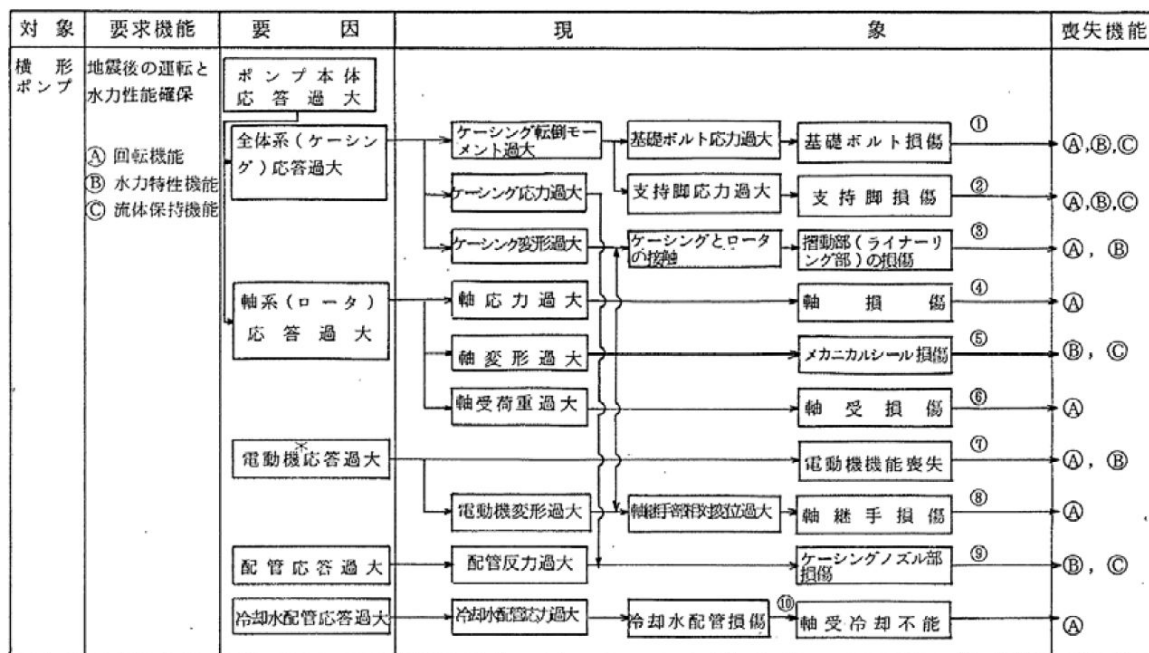
スクリー式ポンプについても逃がし弁が設置されており，誤作動すればギヤ式ポンプと同様に移送機能に影響を与えることからスクリー式ポンプについても評価項目として選定する。逃がし弁を追加したスクリー式ポンプの要因分析図を第 11 図に示す。



第 11 図 スクリー式ポンプの地震時異常要因分析図

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

新たな検討が必要な設備としてスクリー式ポンプ及びギヤ式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の要因分析図を第12図に、要因分析図から抽出される評価項目を第6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12図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第6表 遠心式ポンプ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 (インペラとライナーリングのクリアランス) | 軸変形が過大となり, インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り, 回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| 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輸送機能が喪失する。 |
| 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輸送機能が喪失する。 |
| 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, 回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| 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及び輸送機能が喪失する。 |
| 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輸送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。 |

c. 遠心式ポンプの評価項目を踏まえたスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討

(a) スクリー式ポンプの評価項目の検討

スクリー式ポンプの要因分析結果について, 耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果, スクリー式ポンプの評価項目は, 遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリー式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スクリー式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通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくスクリー式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（スクリー式ポンプ及び遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（スクリー式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリー式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、スクリー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

スクリー式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、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、スクリー式ポンプと遠心式ポンプ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。

③④⑤ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、スクリー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

スクリー式ポンプのスクリー部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、スリーブ部については、ケーシング部に設置されている。

軸系（主ねじ）についてはラジアル軸受で支持されており、軸変形によりスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため、動的機能維持の評価項目として選定する。

④ 軸系の評価

スクリー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり、一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが、軸系の損傷によって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、スクリー式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、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。

⑥ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であり、弁に作用する最大加速度が、安全弁の機能確認済加速度以下であることを確認する。

⑦ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

⑧ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はスクリー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより、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。

⑨ 電動機の評価

スクリー式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑩ 軸継手の評価

スクリー式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑪ ケーシングノズルの評価

東海第二発電所で使用するスクリー式ポンプの吸込、吐出部は直接配管のフランジを接続する構造でありノズル形状を有さないため、計算書の対象外とする。

以上から、スクリー式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通りである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
- ・摺動部（軸系）の評価
- ・軸系としてねじの評価
- ・逃がし弁の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価

評価項目における評価基準値の説明を第7表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第12表に示す。

第7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。 |
| ③④ 摺動部 | 主ねじとスリーブ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，主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。 |
| ④ 軸 | 回転機能の確保の観点から，軸（主ねじ）の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ _A Sを評価基準値とした。 |
| ⑥ 逃がし弁 | 移送機能の確保の観点から，機能確認済加速度は，水平方向 1.0[G]，鉛直方向 1.0[G]を評価基準とした。（注1） |
| ⑧ 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面圧を評価基準とした。 |
| ⑨ 電動機 | 回転機能，移送機能の確保の観点から，水平方向は J E A G 4601 に記載の電動機（横形ころがり軸受機）の機能確認済加速度である 4.7[G]，鉛直方向は 1.0[G]を評価基準とした。 |

（注1）

逃がし弁の機能確認済加速度は以下の考えで定めた。

機能確認済加速度は，J E A G 4601 の表 3.5.10-8「弁駆動部の機能確認済加速度」に定められた安全弁のうち，最も小さいPWR加圧器安全弁の 5.0[G]を参考に設定する（第8表）。

第8表 J E A G 4601 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

| 種別 | 弁型式 | | 機能確認済加速度[G] |
|-----|-----|--------------|-------------|
| 特殊弁 | 安全弁 | BWR主蒸気逃がし安全弁 | 9.6 |
| | | PWR加圧器安全弁 | 5.0 |
| | | PWR主蒸気安全弁 | 10.0 |

J E A G 4601 に定められた安全弁とスクリー式ポンプの逃がし弁の構造は第9表に示すとおりであり，両者の構造は以下の通り同等である。

- 構造はシート部を構成する弁座（本体）と弁体，圧力バウンダリとなる本体とふたにより構成される。
- 内部流体圧力と，ばねによる弁体押付け力との釣り合いにより開閉動作を行う。
- J E A G 4601 に記載の安全弁の例として口径 200A 以下と記載されていることに対し，スクリー式ポンプ逃がし弁のポンプとの取り付け部の口径はすべて 200A 以下とな

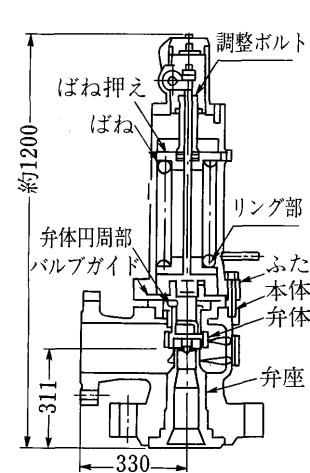
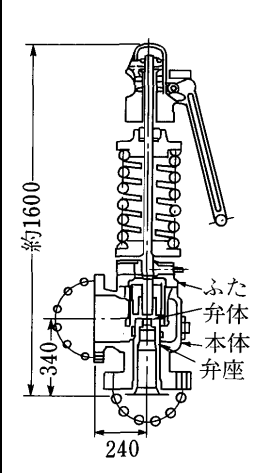
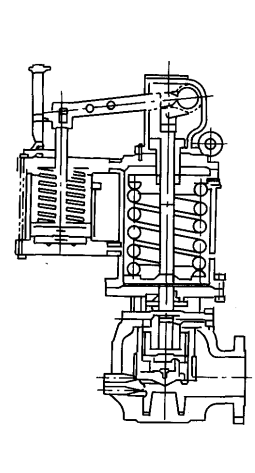
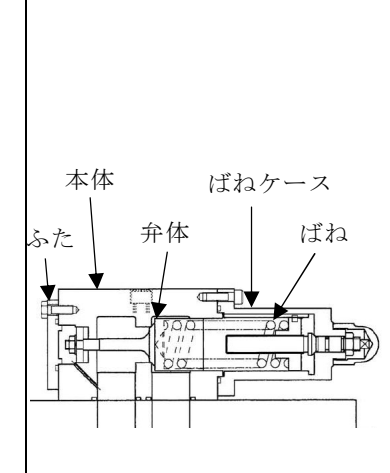
っている。

ただし、機能確認済加速度を設定するに当たっては、PWR加圧器安全弁が縦置きであるのに対し、スクリー式ポンプ逃がし弁は横置き設置であるため、以下のように配慮する（第10表）。

- PWR加圧器安全弁の水平方向の機能確認済加速度を90°変換して鉛直方向の機能確認済加速度として5.0[G]を適用（①'）することが可能と考えるが、設置向きの違いを勘案して安全側に1.0[G]を許容値として評価する。
- PWR加圧器安全弁で規定していない鉛直方向（弁軸方向）が、スクリー式ポンプ逃がし弁の水平方向（弁軸方向）になる（③'）ことから、水平方向の許容値に1.0[G]を適用する。

なお、原子力発電所耐震設計技術規定J E A C 4601-2008（以下「J E A C 4601-2008」という）においては、第11表に示す機能確認済加速度が規定されており、原子力発電所耐震設計技術規定J E A C 4601-2015では燃料移送ポンプ（スクリー式）の機能確認済加速度として水平：4.5[G]、鉛直：2.0[G]が定められている。

第9表 J E A G 4601 で定める安全弁とスクリー式ポンプ逃がし弁の構造比較

| J E A G 4601 | | | スクリー式ポンプ 逃がし弁 |
|---|---|--|---|
| PWR 加圧器安全弁 | PWR 主蒸気安全弁 | BWR 主蒸気逃がし安全弁 | |
|  |  |  |  |

第10表 スクリー式ポンプ逃がし弁の機能確認済加速度の設定の考え方

| J E A G 4601 PWR加圧器安全弁 | スクリー式ポンプ逃がし弁 |
|---|--|
| <p>【縦置き】</p> <p>③ Z (UD) 鉛直：規定なし</p> <p>② Y (EW) 水平：5 G</p> <p>① X (NS) 水平：5 G</p> <p>調整ボルト ばね押え ばね リング部 弁体円周 バルブガイド ふた 本体 弁体 弁座</p> <p>約1200 311 330</p> | <p>【横置き】</p> <p>① Z (UD) 鉛直：5 G</p> <p>② Y (EW) 水平：5 G</p> <p>③ X (NS) 水平：規定なし</p> <p>本体 弁体 ふた ばね ばねケー</p> |
| 水平：5.0[G] 鉛直：1.0[G] | 水平：1.0[G] 鉛直：1.0[G] |

第 1 1 表 J E A C 4601-2008 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

| 弁型式 | 機能確認済加速度[G] | |
|--------------------------------|-------------|-----|
| | 水平 | 鉛直 |
| BWR主蒸気逃がし安全弁 | 9.6 | 6.1 |
| PWR加圧器安全弁 | 13.0 | 3.0 |
| PWR主蒸気安全弁 | 13.0 | 3.0 |
| PWR主蒸気安全弁 (固有周期が20Hz未満の安全弁) | 10.0 | 3.0 |

第12表(1) 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ 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 | 4 MPa | 184 MPa | ○ |
| | | せん断 | 4 MPa | 142 MPa | ○ |
| ①-2 ポンプ取付ボルト | 応力 | 引張 | 3 MPa | 433 MPa | ○ |
| | | せん断 | 2 MPa | 333 MPa | ○ |
| ③スリーブ ④主ねじ | 変位 | — | | | ○ |
| ④ 軸 | 応力 | せん断 | 8 MPa | 495 MPa | ○ |
| ⑥ 逃がし弁 | 加速度 | 水平 | $0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| | | 鉛直 | $0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| ⑧ 軸受 | 面圧 | ⑧-1 ラジアル (原動機側) | 0.0790 MPa | | ○ |
| | | ⑧-2 ラジアル (負荷側) | 0.1356 MPa | | ○ |
| | | ⑧-2 スラスト | 0.1588 MPa | | ○ |
| ⑨ 原動機 | 加速度 | 水平 | $0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| | | 鉛直 | $0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |

第12表(2) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ 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 | 4 MPa | 184 MPa | ○ | |
| | | せん断 | 4 MPa | 142 MPa | ○ | |
| ①-2 ポンプ取付ボルト | 応力 | 引張 | 3 MPa | 433 MPa | ○ | |
| | | せん断 | 2 MPa | 333 MPa | ○ | |
| ③スリーブ ④主ねじ | 変位 | — | | | ○ | |
| ④ 軸 | 応力 | せん断 | 8 MPa | 495 MPa | ○ | |
| ⑥ 逃がし弁 | 加速度 | 水平 | $0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ | |
| | | 鉛直 | $0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ | |
| ⑧ 軸受 | 面圧 | ⑧-1 ラジアル (原動機側) | 0.0790 MPa | | | ○ |
| | | ⑧-2 ラジアル (負荷側) | 0.1356 MPa | | | ○ |
| | | ⑧-2 スラスト | 0.1588 MPa | | | ○ |
| ⑨ 原動機 | 加速度 | 水平 | $0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ | |
| | | 鉛直 | $0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ | |

第12表(3) 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ 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 | 4 MPa | 184 MPa | ○ |
| | | せん断 | 4 MPa | 142 MPa | ○ |
| ①-2 ポンプ取付ボルト | 応力 | 引張 | 3 MPa | 433 MPa | ○ |
| | | せん断 | 3 MPa | 333 MPa | ○ |
| ③スリーブ ④主ねじ | 変位 | — | | | ○ |
| ④ 軸 | 応力 | せん断 | 6 MPa | 495 MPa | ○ |
| ⑥ 逃がし弁 | 加速度 | 水平 | $0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| | | 鉛直 | $0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| ⑧ 軸受 | 面圧 | ⑧-1 ラジアル (原動機側) | 0.0678 MPa | | ○ |
| | | ⑧-2 ラジアル (負荷側) | 0.0835 MPa | | ○ |
| | | ⑧-2 スラスト | 0.1769 MPa | | ○ |
| ⑨ 電動機 | 加速度 | 水平 | $0.81 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| | | 鉛直 | $0.71 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の検討

ギヤ式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、ギヤ式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式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ギヤ式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通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくギヤ式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でギヤ式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、ギヤ式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、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。

②③④ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

ギヤ式ポンプのギヤ部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、ケーシングについては、横形ポンプと同様に耐圧構造であり、使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。

主軸又は従動軸については、損傷によってギヤがケーシングと接触することで回転

機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は、従動軸の重量に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、評価項目は、主軸（ギヤ部）を対象として行う。

② 主軸の評価

ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり、一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが、主軸の重量は、従動軸に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、主軸の健全性確認を行うことによって、一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため、ギヤ式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は「回転機能の保持」であり、その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。

当該軸受が損傷することにより、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。

⑥ 電動機の評価

ギヤ式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、機能確認済加速度との比較により評価を行う。

⑦ 軸継手の評価

ギヤ式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つことから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑧ ケーシングノズルの評価

ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、機器と配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため、計算書の評価対象外とする。

⑨ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であるため、弁に作用する最大加速度が、安全弁の機能確認済加

速度以下であることを確認する。

⑩ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

以上から、ギヤ式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通りである。

- ・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価
- ・主軸（ギヤ部）の評価
- ・主軸の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価
- ・逃がし弁の評価

評価項目における評価基準値の説明を第13表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第16表に示す。

第13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。 |
| ②④ 主軸 (ギヤ部) | 主軸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, 主ねじとスリーブのクリアランスを評価基準値とした。 |
| ② 主軸 | 回転機能の確保の観点から, 主軸の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ _A Sを評価基準値とした。 |
| ⑤ 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面圧を評価基準とした。 |
| ⑥ 電動機 | 回転機能, 移送機能の確保の観点から, 水平方向はJ E A G 4601に記載の電動機 (横形ころがり軸受機) の機能確認済加速度である4.7[G], 鉛直方向は1.0[G]を評価基準とした。 |
| ⑨ 逃がし弁 | 移送機能の確保の観点から, 水平方向はJ E A G 4601に記載の安全弁の機能確認済加速度である5.0[G], 鉛直方向及び軸方向は1.0[G]を評価基準とした。(注1) |

(注1)

逃がし弁の機能確認済加速度は以下の考えで定めた。

機能確認済加速度は, J E A G 4601 の表 3.5.10-8「弁駆動部の機能確認済加速度」に定められた安全弁のうち, 最も小さいPWR加圧器安全弁の5.0[G]を参考に適用する (第14表)。

第14表 J E A G 4601 で定める弁駆動部の機能確認済加速度

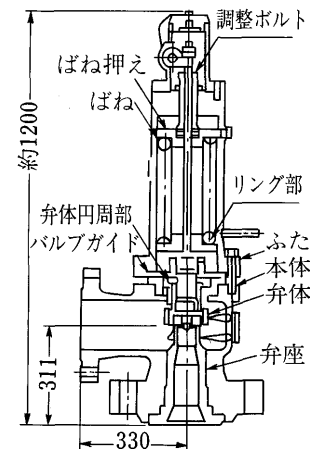
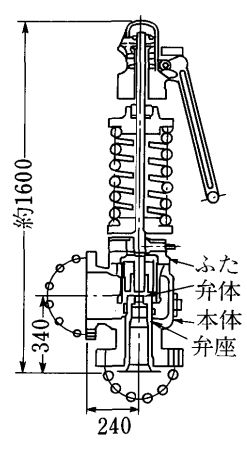
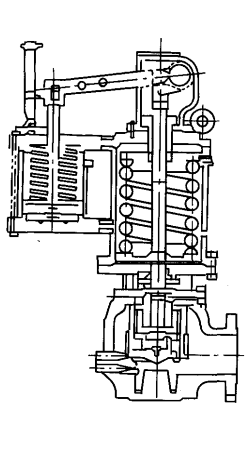
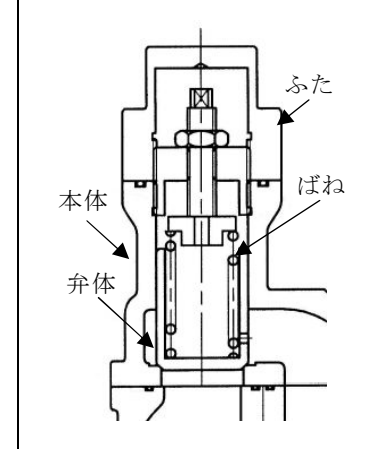
| 種別 | 弁型式 | | 機能確認済加速度[G] |
|-----|-----|--------------|-------------|
| 特殊弁 | 安全弁 | BWR主蒸気逃がし安全弁 | 9.6 |
| | | PWR加圧器安全弁 | 5.0 |
| | | PWR主蒸気安全弁 | 10.0 |

J E A G 4601 に定められた安全弁とギヤ式ポンプの逃がし弁の構造は第15表に示すとおりであり, 両者の構造は以下の通り同等であるため, J E A G 4601 に定められた安全弁の機能確認済加速度が適用可能と考える。

- 構造はシート部を構成する弁座 (本体) と弁体, 圧力バウンダリとなる本体とふたにより構成される。
- 内部流体圧力と, ばねによる弁体押付け力との釣り合いにより開閉動作を行う。

- J E A G 4601 に記載の安全弁の例として口径 200A 以下と記載されていることに対し、ギヤ式ポンプ逃がし弁のポンプとの取り付け部の口径はすべて 200A 以下となっている。

第 15 表 J E A G 4601 で定める安全弁とギヤ式ポンプ逃がし弁の構造比較

| J E A G 4601 | | | ギヤ式ポンプ 逃がし弁 |
|--|--|---|--|
| PWR 加圧器安全弁 | PWR 主蒸気安全弁 | BWR 主蒸気逃がし安全弁 | |
|  |  |  |  |

第16表 緊急時対策所用発電機給油ポンプ 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 | 6 MPa | 475 MPa | ○ |
| | | せん断 | 5 MPa | 366 MPa | ○ |
| ①-2 ポンプ取付ボルト | 応力 | 引張 | 12 MPa | 205 MPa | ○ |
| | | せん断 | 2 MPa | 157 MPa | ○ |
| ②④ 主軸 (ギヤ部) | 変位 | — | | | ○ |
| ② 主軸 | 応力 | 組合せ | 4 MPa | 858 MPa | ○ |
| ⑤ 軸受 | 面圧 | — | 1 MPa | | ○ |
| ⑥ 電動機 | 加速度 | 水平 | $1.2 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $4.7 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| | | 鉛直 | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| ⑨ 逃がし弁 | 加速度 | 水平 | $1.2 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $5.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |
| | | 鉛直 | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | $1.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ | ○ |

4. まとめ

新たな検討が必要な設備について、地震時要因分析を行い、基本的な機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。

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J EAG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 | | |
|----------------------|-------------|--------------------|--|--|-------------------------------|-----------------|--------|------------|------------------------|
| | | | | | 機種 | 型式 | 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 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 1.31 | 3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向) |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.92 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 1.31 | 4.7 |
| | | | | | | | 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 | - | - | - | - | - | - | - |
| 代替燃料プール冷却系 | | | | | | | | | |
| 代替燃料プール冷却系ポンプ | 有 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.86 | 3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向) |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.65 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.86 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.65 | 1.0 |
| 原子炉冷却系統施設 | | | | | | | | | |
| 原子炉冷却材再循環設備 | | | | | | | | | |
| 原子炉冷却材再循環系 | | | | | | | | | |
| 原子炉冷却材再循環ポンプ | 無 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 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 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | ビットパレル形 | 水平 | 0.48 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 水平 | 0.48 | 2.5 |
| | | | | | | | 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 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.44 | 3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向) |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.44 | 4.7 |
| | | | | | | | 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 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | ビットパレル形 | 水平 | 0.48 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形すべり軸受 | 水平 | 0.48 | 2.5 |
| | | | | | | | 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 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | ビットパレル形 | 水平 | 0.48 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 水平 | 0.48 | 2.5 |
| | | | | | | | 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 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.48 | 3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向) |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| | | | | | ポンプ駆動用タービン | R C I C ポンプ用 | 水平 | 0.48 | 2.4 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| 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 | - | - | - | - | - | - | - |

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。

| 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超過時の評価方法がJ EAG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 EAG4601機種/型式(注1) | | A t 確認 | | | |
|------------------|-------------|----------------|--|--|--------------------|----------|--------|-----------------------------------|------------------------|--|
| | | | | | 機種 | 型式 | 方向 | 評価用加速度 | 機能確認済加速度 | |
| 低下代替注水系 | | | | | | | | | | |
| 常設低下代替注水系ポンプ | | | | | - (前段で整理済) | | | | | |
| 可搬型代替注水大型ポンプ | | | | | - (前段で整理済) | | | | | |
| 代替循環冷却系 | | | | | | | | | | |
| 代替循環冷却系ポンプ | 有 | J EAG4601による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.48 | 3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向) | |
| | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | | |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形斜流式 | 水平 | 0.91 | 10.0 | |
| | | | | | | 鉛直 | 0.86 | 1.0 | | |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形斜流式 | 水平 | 1.52 | 10.0 | |
| | | | | | | 鉛直 | 0.87 | 1.0 | | |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 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 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 鉛直方向地震による影響は、「8.制御棒挿入性評価について」に整理。 | | |
| 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | 往復動式ポンプ | 横形 | 水平 | 0.93 | 1.6 | |
| | | | | | | 鉛直 | 0.80 | 1.0 | | |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 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機ファン | 有 | J EAG4601による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直結式 | 水平 | 1.29 | 2.3 | |
| | | | | | | 鉛直 | 0.98 | 1.0 | | |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直動式 | 水平 | 1.29 | 2.6 | |
| | | | | | | 鉛直 | 0.98 | 1.0 | | |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 1.29 | 4.7 | |
| | | | | | | 鉛直 | 0.98 | 1.0 | | |

注1：検討対象とする設備の内、J EAG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J EAG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 EAG4601機種/型式(注1) | | A t 確認 | | |
|--------------------------------------|-------------|----------------|--|--|--------------------|----------|------------|--------|----------|
| | | | | | 機種 | 型式 | 方向 | 評価用加速度 | 機能確認済加速度 |
| 緊急時対策所換気系 | | | | | | | | | |
| 緊急時対策所非常用送風機 | 有 | J EAG4601による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直動式 | 水平 | 0.90 | 2.6 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.78 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.90 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.78 | 1.0 |
| 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) | | |
| 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) | | |
| 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直結式 | 水平 | 0.99 | 2.3 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.89 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直動式 | 水平 | 0.99 | 2.6 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.89 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直動式 | 水平 | 1.11 | 2.6 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.84 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 1.11 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.84 | 1.0 |
| 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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | 非常用ディーゼル発電機 | 機関本体 | 水平 | 0.72 | 1.1 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.75 | 1.0 |
| | | | | | 調速装置 | U G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 | J EAG4601による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | - | - | - | - |
| | | | | | | | - | - | - |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.81 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.71 | 1.0 |

注1：検討対象とする設備の内、J EAG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J EAG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 EAG4601 機種/型式 (注1) | | A t 確認 | | |
|------------------------------|-----------------|--------------------|--|--|----------------------------|--------------|--------|------------|--------------|
| | | | | | 機種 | 型式 | 方向 | 評価用 加速度 | 機能確認済 加速度 |
| 非常用ディーゼル発電機 用海水ポンプ | 有 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形 斜流式 | 水平 | 0.91 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.86 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころ がり軸受 | 水平 | 0.91 | 2.5 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.86 | 1.0 |
| 高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機 | | | | | | | | | |
| 高圧炉心スプレィ系ディーゼル 発電機 | 有 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 非常用ディー ゼル 発電機 | 機関本体 | 水平 | 0.72 | 1.1 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.75 | 1.0 |
| | | | | | 調速装置 | U G型 | 水平 | 0.72 | 1.8 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.75 | 1.0 |
| 高圧炉心スプレィ系ディーゼル 発電機燃料移送ポンプ | 有 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | - | - | - | - |
| | | | | | | | - | - | - |
| | | | | | 電動機 | 横形ころ がり軸受 | 水平 | 0.81 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.71 | 1.0 |
| 高圧炉心スプレィ系ディーゼル 発電機用海水ポンプ | 有 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形 斜流式 | 水平 | 0.91 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.86 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころ がり軸受 | 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 | - | - | - | - | - | - | - |
| 常設代替高圧電源装置燃料 移送ポンプ | 有 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | - | - | - | - |
| | | | | | | | - | - | - |
| | | | | | 電動機 | 横形ころ がり軸受 | 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 | - | - | - | - | - | - | - |
| 緊急時対策用発電機給油 ポンプ | 有 | J EAG4601 による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | - | - | - | - |
| | | | | | | | - | - | - |
| | | | | | 電動機 | 横形ころ がり軸受 | 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 | - | - | - | - | - | - | - |
| タンクローリー | 有 | 加振試験 による確認 | - | - | - | - | - | - | - |
| 可搬型窒素供給装置用電源車 | | | | | | | | | |
| 可搬型窒素供給装置用電源車 | 有 | 加振試験 による確認 | - | - | - | - | - | - | - |
| タンクローリー | | | | | - (前段で整理済) | | | | |
| 補機駆動用燃料設備 | | | | | | | | | |
| 可搬型 | | | | | | | | | |
| タンクローリー | | | | | - (前段で整理済) | | | | |
| 弁 | | | | | | | | | |
| 一般弁 | | | | | | | | | |
| グローブ弁 | 有 | J EAG4601 による確認 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| ゲート弁 | 有 | J EAG4601 による確認 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| バタフライ弁 | 有 | J EAG4601 による確認 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| 逆止弁 | 有 | J EAG4601 による確認 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| 特殊弁 | | | | | | | | | |
| 主蒸気隔離弁 | 有 | J EAG4601 による確認 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| 安全弁 | 有 | J EAG4601 による確認 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| 制御棒駆動系スクラム弁 | 有 | J EAG4601 による確認 | ○ | - | - | - | - | - | - |

注1：検討対象とする設備の内、J EAG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。

7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について

1. はじめに

既工認との手法の相違点の整理において、今回工認に適用する評価手法が既工認で適用した評価手法と異なる場合には、他プラント既工認での評価手法の適用実績を確認することとしている。東海第二発電所（以下「東海第二」という。）では、以下に示す原子炉格納容器及びその他関連設備を除いて基本的に平成18年9月の耐震設計審査指針改訂後のプラントとして大間原子力発電所1号機（以下「大間1号機」という。）を適用実績確認の対象としている。

一方で、大間1号機はABWRであり、東海第二とは炉型が異なることから、原子炉格納容器及びその他関連設備については、その参照を適切に考慮する必要がある。このため、本資料においては既工認での適用例を参照するプラントについて整理するとともに、評価方針及び評価内容の概要について示す。

2. 他プラントでの適用例を参照する項目及びその説明

原子炉格納容器及びその他関連設備について、東海第二における既工認の手法と今回工認の手法との相違点に対して、他プラントでの適用例を参考とする項目を記載するとともに、参照するプラント名及びその説明を表1に整理した。

表 1 原子炉格納容器及びその他関連設備において参照するプラント及びその説明

| No. | 評価対象項目 | 他プラントでの適用例を参考する項目 | 参照するプラント | 説明 | 備考 |
|---------|-----------------|-------------------|----------|--|----------|
| 原子炉格納容器 | | | | | |
| 1 | ドライウエル | 応答解析 | 美浜3号機 | 東海第二の鉛直方向の原子炉格納容器本体（ドライウエル部）の地震力を算定するにあたって、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋と大型機器系を連成させた地震応答解析（以下「建屋－機器連成解析」という。）を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。 | 3.1 項に示す |
| | | 減衰定数（鉛直） | 美浜3号機 | 東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。 | |
| 2 | サブプレッショントン・チェンバ | 応力解析 | － | － | － |
| | | 応答解析 | 美浜3号機 | 東海第二の鉛直方向の原子炉格納容器本体（サブプレッショントン・チェンバ部）の地震力を算定するにあたって、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。 東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。 | 3.1 項に示す |
| | | 減衰定数（鉛直） | 美浜3号機 | 東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。 | － |
| | | 応力解析 | － | － | － |

| No. | 評価対象項目 | 他プラントでの適用例を参考する項目 | 参照するプラント | 説明 | 備考 |
|-----|-------------------|-------------------|----------|--|----------|
| 3 | 上部シアラグ及びスラビライザ | 応答解析 | 美浜3号機 | 東海第二の上部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して、当該箇所鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。 | 3.1 項に示す |
| | | 減衰定数(鉛直) | 美浜3号機 | 東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。 | |
| 4 | 下部シアラグとダイヤフラムブレード | 応答解析 | 柏崎刈羽5号機 | 原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽5号機を参照する。 | 3.2 項に示す |
| | | 解析手法 | 柏崎刈羽5号機 | 同上 | |
| 4 | 下部シアラグとダイヤフラムブレード | 応答解析 | 美浜3号機 | 東海第二の下部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して、当該箇所鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。 | 3.1 項に示す |
| | | 減衰定数(鉛直) | 美浜3号機 | 東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。 | |
| 4 | 下部シアラグとダイヤフラムブレード | 応答解析 | 柏崎刈羽5号機 | 原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽5号機を参照する。 | 3.2 項に示す |
| | | 解析手法 | 柏崎刈羽5号機 | 同上 | |

| No. | 評価対象項目 | 他プラントを参考する項目 | プラントでの適用例を参考する項目 | 参照するプラント | 説明 | 備考 |
|-----|----------------------|--------------|------------------|----------|--|---------|
| 5 | 胴アンカー部 | 応答解析 | 解析モデル (鉛直) | 美浜3号機 | 東海第二の原子炉格納容器本体底部の鉛直方向の地震力を算定するにあたって、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋-機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。 | 3.1項に示す |
| | | | 減衰定数 (鉛直) | 美浜3号機 | 東海第二の建屋-機器連成解析に用いている原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。 | |
| 6 | 機器搬入用ハッチ | 応力解析 | - | - | - | - |
| | | 応答解析 | - | - | - | - |
| 7 | 所員用エアロック | 応力解析 | 解析手法 | 大間1号機 | 鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号機を参照する。また、大間1号機はコンクリート製格納容器であるが、下部ドライウエルアクセスパネル鏡板に機器搬入用ハッチを取り付けており、東海第二と同様の形状を有している。 | 3.3項に示す |
| | | 応答解析 | 解析モデル | 大間1号機 | 同上 | |
| 8 | サブレーション・チェンバアークセスハッチ | 応力解析 | - | - | - | - |
| | | 応力解析 | 解析手法 | 大間1号機 | 鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号機を参照する。 ただし、大間1号炉のサブレーション・チェンバ用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付く構造であるため、当該部の評価は、類似設備として機器搬入用ハッチを参照する。 | 3.3項に示す |
| | | | 解析モデル | 大間1号機 | 同上 | |

| No. | 評価対象項目 | 他プラントを参考する項目 | 参照するプラント | 説明 | 備考 |
|-----|---------|--------------|----------------------|--|---------|
| 9 | 配管貫通部 | 応答解析 | 大間1号機 | 配管貫通部に発生する反力は、配管解析により算出する。配管解析は炉型に関係なく同様に実施するため大間1号機を参照する。 配管貫通部の構造は、鋼製格納器プラントでは同一構造であるため、最新プラントである東通1号機を参照する。 同上 | - |
| | | 応力解析 | 東北電力 東通1号機 | | |
| | | | 東北電力 東通1号機 | | |
| 10 | 電気配線貫通部 | 応答解析 | 福島第一4号 (H22年改造工認) | 東海第二と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。 * 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いたFEM解析の実施 同上 同上 東海第二と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。 * 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いたFEM解析の実施 同上 | 3.5項に示す |
| | | | 福島第一4号 (H22年改造工認) | | |
| | | | 福島第一4号 (H22年改造工認) | | |
| | | 減衰定数 | 福島第一4号 (H22年改造工認) | | |
| | | 応力解析 | 福島第一4号 (H22年改造工認) | | |
| | | | 福島第一4号 (H22年改造工認) | | |

| No. | 評価対象項目 | 他プラントでの適用例を参考する項目 | 参照するプラント | 説明 | 備考 |
|------------------|-----------------|---|----------------------------|---|---------|
| 圧力低減装置その他関連の安全設備 | | | | | |
| 11 | ダイヤフラム・フロア | 応答解析 解析モデル (鉛直) (設置位置 の応答加速 度算出) | 大飯3, 4号 | 東海第二のダイヤフラム・フロアの評価に際しては、当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度を用いる。原子炉本体の基礎の鉛直方向加速度の算定にあたっては、多質点系モデルにモデル化し、建屋-機器連成解析を実施する。なお、原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度は、原子炉建屋の地震応答解析結果を用いる(別途整理済み)。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鉄筋コンクリートが多質点系モデルにモデル化している大飯3, 4号としている。 | 3.7項に示す |
| | | 減衰定数 (鉛直) | 大飯3, 4号 | 東海第二の建屋-機器連成解析に用いる原子炉本体の基礎の鉛直方向の減衰定数として、鉄筋コンクリートの5%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鉄筋コンクリートの鉛直方向の減衰定数として、5%を適用している大飯3, 4号としている。 | |
| | | 応力解析 解析モデル (モデル形状の変更) | 柏崎刈羽 4号機 | 原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽4号機を参照する。 | 3.7項に示す |
| 12 | ベント管 | 応答解析 解析手法 解析モデル | 柏崎刈羽 4号機 柏崎刈羽 4号機 | 原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽4号機を参照する。 | 3.8項に示す |
| | | 応力解析 | — | 同上 | |
| | | 応力解析 | — | — | — |
| 13 | 格納容器スプレイ ヘッド | 応答解析 減衰定数 (鉛直) | 大間1号機 | 一般的な配管解析であるため、大間1号機を参照する。 | 3.9項に示す |
| | | 応力解析 | — | — | — |

3. 各評価対象項目の評価方針及び評価内容

2. 項で整理した参照プラント及びその説明を基に、以降に東海第二の評価方針及び評価内容を示す。

3.1 原子炉格納容器の応答解析手法について

今回工認では鉛直方向に動的地震動が導入され、原子炉格納容器の耐震性評価に適用する鉛直方向の地震荷重を新たに設定するため、原子炉格納容器をモデル化した建屋－機器連成解析モデルを追加している。つぎの評価対象項目について、追加した建屋－機器連成解析モデルの応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

【評価対象項目】

- ・ドライウエル（応答解析）
- ・サプレッション・チェンバ（応答解析）
- ・上部シアラグ及びスタビライザ（応答解析）
- ・下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応答解析）
- ・胴アンカー部（応答解析）

(1) 構造

原子炉格納容器の概要図を図 1 に示す。原子炉格納容器は、全高 m の鋼製の容器であり、ドライウエルトップヘッド、ドライウエル本体、サプレッション・チェンバ本体及び付属構造物から構成されている。ドライウエルトップヘッドは内径 m、板厚 mm の円筒胴及びその上に板厚 mm の鏡板を有している。ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の基本形状は各々円錐形、円筒形で、サプレッション・チェンバ本体は円筒内径 m であり、原子炉格納容器の板厚は mm である。また、サプレッション・チェンバの基部である胴アンカー部は、原子炉建屋基礎に埋設されている。アンカー部は、ベースプレート、アンカープレート及びベースプレートとアンカープレートとを接続する基礎ボルトで構成されている。

主要な付属構造物として、上部シアラグ、下部シアラグ、ダイヤフラムブラケット、機器搬入用ハッチ、所員用エアロック、サプレッション・チェンバアクセスハッチ及

び複数の配管貫通部，電気配線貫通部等がある。

原子炉格納容器の内部には，主要構造物として原子炉圧力容器，原子炉遮蔽，原子炉本体の基礎，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，ダイヤフラム・フロアがある。また，サプレッション・チェンバ内に ton の水を保有している。

上部及び下部シアラグ部は，原子炉格納容器側のメイルシアラグと原子炉建屋遮蔽側のフィメールシアラグとの嵌め合い構造を有しており，水平方向変位を拘束している。また，原子炉格納容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され，トラス構造の片持ち梁でその端部は原子炉格納容器の上部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している。原子炉圧力容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され，原子炉圧力容器のスタビライザブラケットを介して水平方向変位を拘束している。

水平地震力は，上部シアラグ，下部シアラグ及びサプレッション・チェンバの基部から伝達され，鉛直地震力は，サプレッション・チェンバの基部から伝達される。

応答解析で参照プラントとした美浜3号機の原子炉格納容器は，鋼製の円筒形で上下に鏡板を有する容器である。基本形状が円筒形である点で，東海第二の原子炉格納容器は美浜3号機の原子炉格納容器と大きな構造の差を有していない。

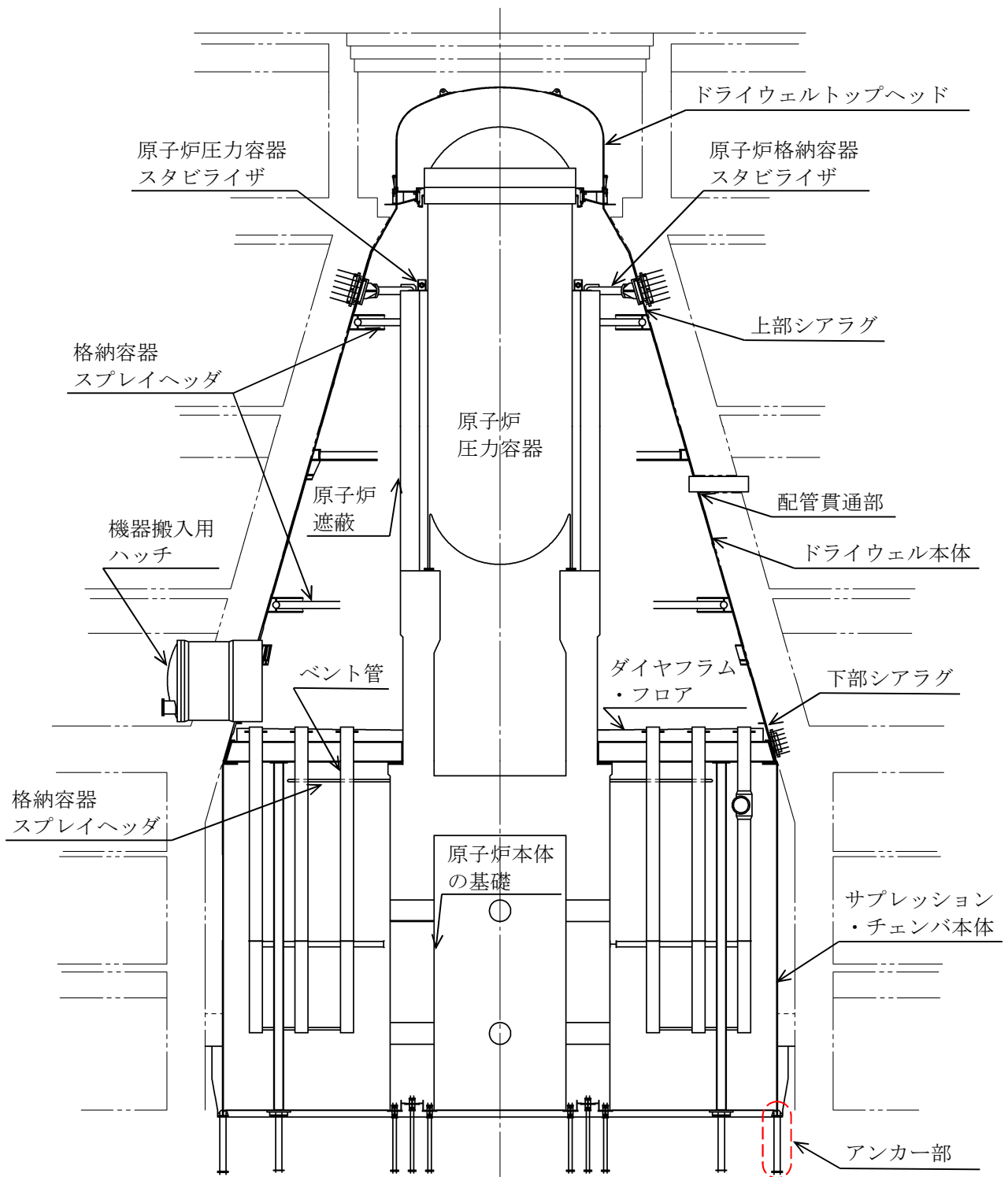


図1 原子炉格納容器の概要図

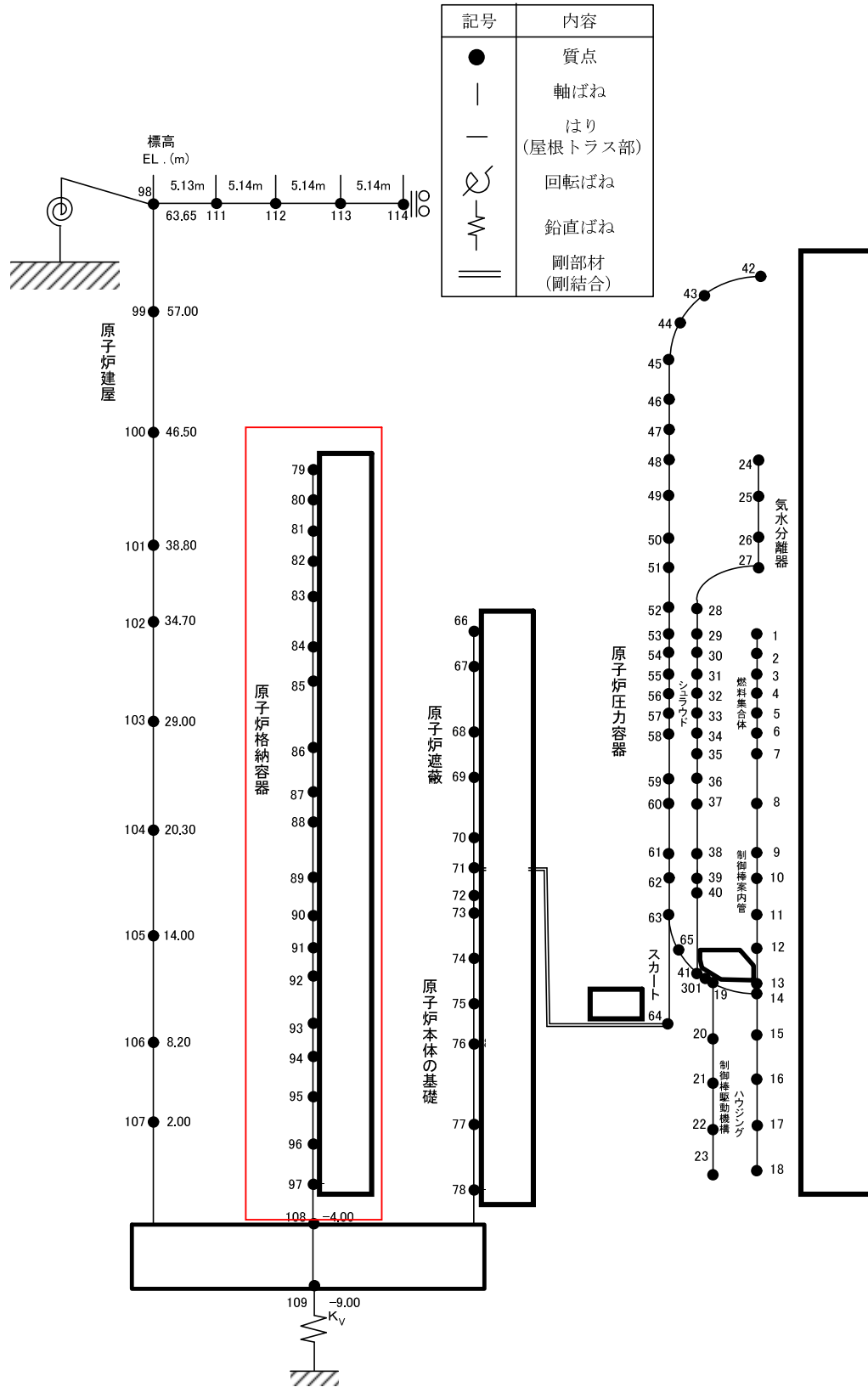
(2) 地震応答解析モデル及び減衰定数

原子炉格納容器の地震応答解析モデルは、水平方向及び鉛直方向共に、ドライウェルトップヘッド、ドライウェル本体、サプレッション・チェンバ本体を多質点系はりモデルにてモデル化し、原子炉格納容器の質量分布は質点質量に置き換える。質点位置は、水平方向地震応答解析モデルと鉛直方向地震応答解析モデルとで同じであり、形状不連続部、ハッチ類等の付加物接合部などを選定している。

水平方向地震応答解析モデルは、各質点間を等価な曲げ及びせん断剛性を有する無質量のばねにより結合する多質点系はりモデルであり、既工認と同じモデルである。鉛直方向地震応答解析モデルは、各質点間を等価な軸方向剛性を有する無質量のばねにより結合する多質点系はりモデルである。なお、球殻部及び円錐殻部は、質点間の平均断面における曲げ、せん断及び軸方向剛性としている。

原子炉格納容器のモデルを含んだ鉛直方向の建屋－機器連成解析モデル図を図 2 に示す。原子炉格納容器を多質点系はりモデルにてモデル化する考え方は、美浜 3 号機と同様である。

また、減衰定数については、溶接構造物であるため 1.0%を適用しており、美浜 3 号機の減衰定数と同様である。



原子炉格納容器モデル化の範囲

図2 鉛直方向の建屋-機器地震応答解析モデル

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、既工認では軸対称殻要素であるのに対し、今回工認ではシェル要素による三次元モデルにてモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及びビームシート等付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。全周の 180° 分をモデル化し、境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

東海第二の三次元シェルモデル図を図 3 に示す。原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、トップヘッドやサプレッション・チェンバアクセストンネル鏡板を三次元シェルモデルでモデル化する大間 1 号機の考え方と同様である。なお、東海第二と同じ原子炉格納容器構造（MARK-II 型）のプラントでは、原子炉格納容器本体の応力解析に適用するモデルは軸対称殻要素を採用している。また、MARK-I 型原子炉格納容器構造の一部のプラントでは、三次元シェルモデルを採用している。

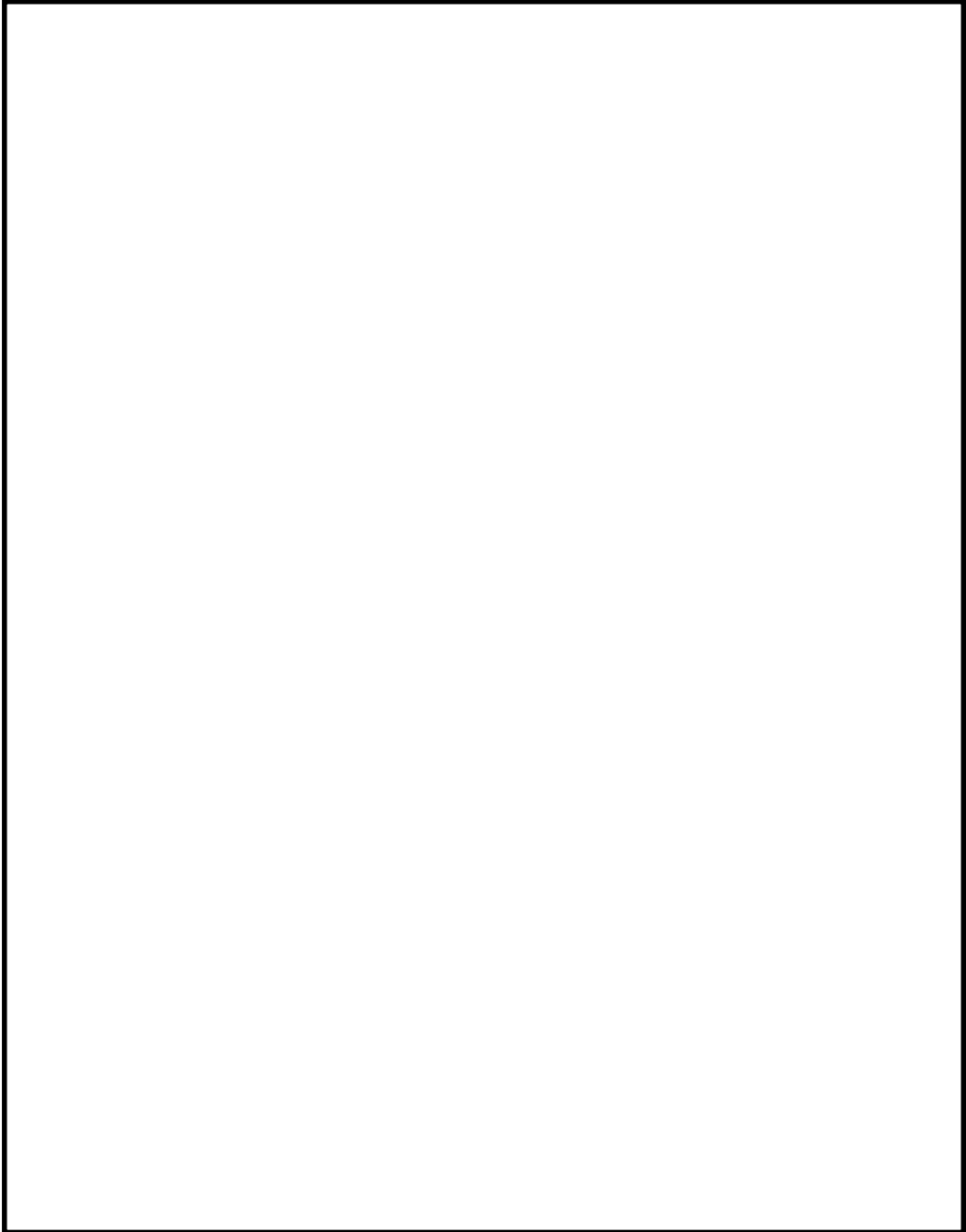


図 3 三次元シェルモデル図 (原子炉格納容器)

3.2 シアラグ部等の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、シアラグ部等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 上部シアラグ及びスタビライザ（応力解析）
- ・ 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応力解析）

(1) 構造

上部シアラグ部及び下部シアラグ部の概要図を図4及び図5に示す。

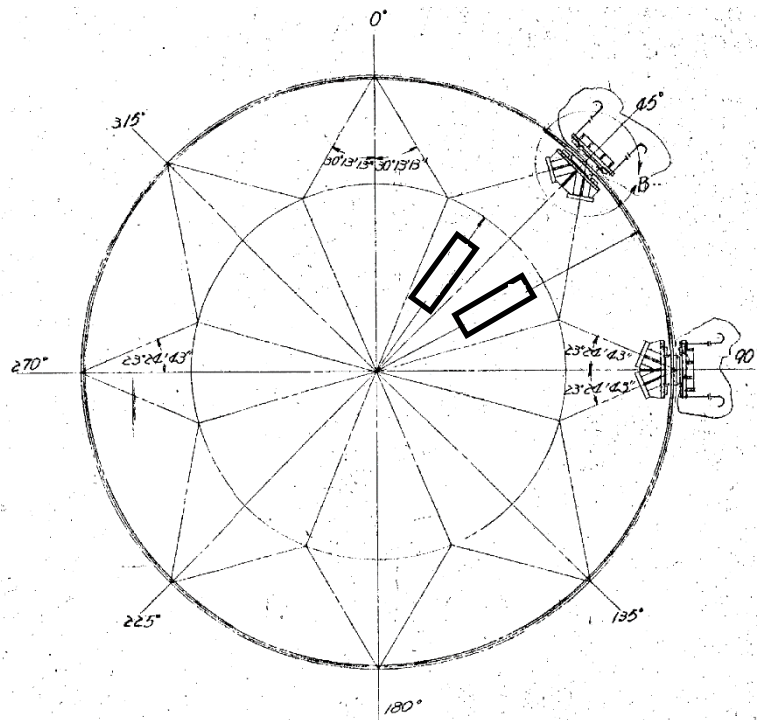
上部シアラグ及び下部シアラグは、ドライウエル水平方向地震力を原子炉建屋に伝達するために設置している。

上部シアラグ及びスタビライザは、ドライウエル円錐胴の上部に周方向に8ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のマイルシアラグは原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造に、また、原子炉格納容器内側のマイルシアラグはスタビライザ側のフィメールシアラグと嵌め合い構造になっており、水平方向変位を拘束する一方で、鉛直方向には変位拘束はない。マイルシアラグはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されており、原子炉建屋側のフィメールシアラグはベースプレートを通じてアンカーボルトで原子炉建屋に固定され、スタビライザ側のフィメールシアラグはウェブを介して原子炉格納容器スタビライザとフランジ構造で接続されている。

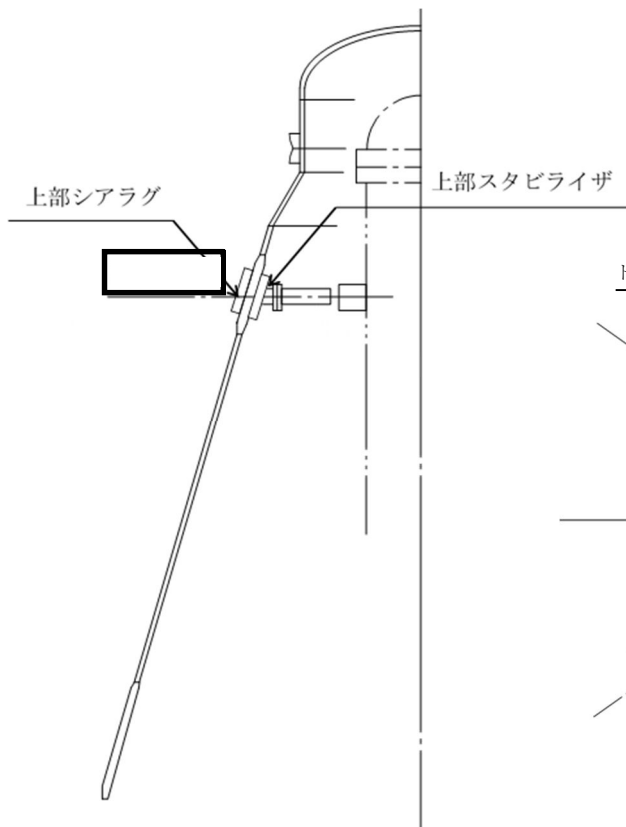
下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットは、ドライウエル円錐胴の下部に周方向に18ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のマイルシアラグは原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造に、また、原子炉格納容器内側のダイヤフラムブラケットはダイヤフラム・フロアの半径方向大梁と嵌め合い構造になっており、水平方向変位を拘束する一方で、鉛直方向には変位拘束はない。マイルシアラグはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されており、原子炉建屋側のフィメールシアラグはベースプレートを通じてアンカーボルトで原子炉建屋に固定され、ダイヤフラムブラケットはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されている。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽5号機は原子炉格納容器構造（MARK-

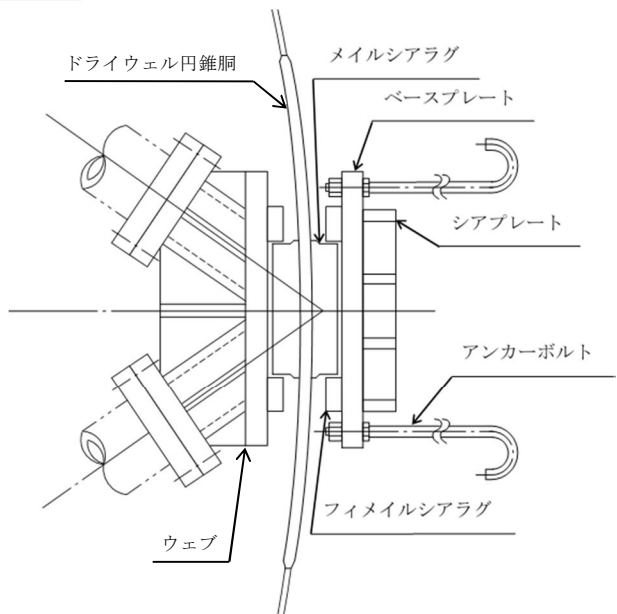
II型)が同じであり、シアラグ部を含めて大きな構造の差を有していない。なお、同じ原子炉格納容器構造を有するプラントには柏崎刈羽4号機があるが、工認計算書を添付していないことから、参照プラントは柏崎刈羽5号機としている。



(a) 水平断面図

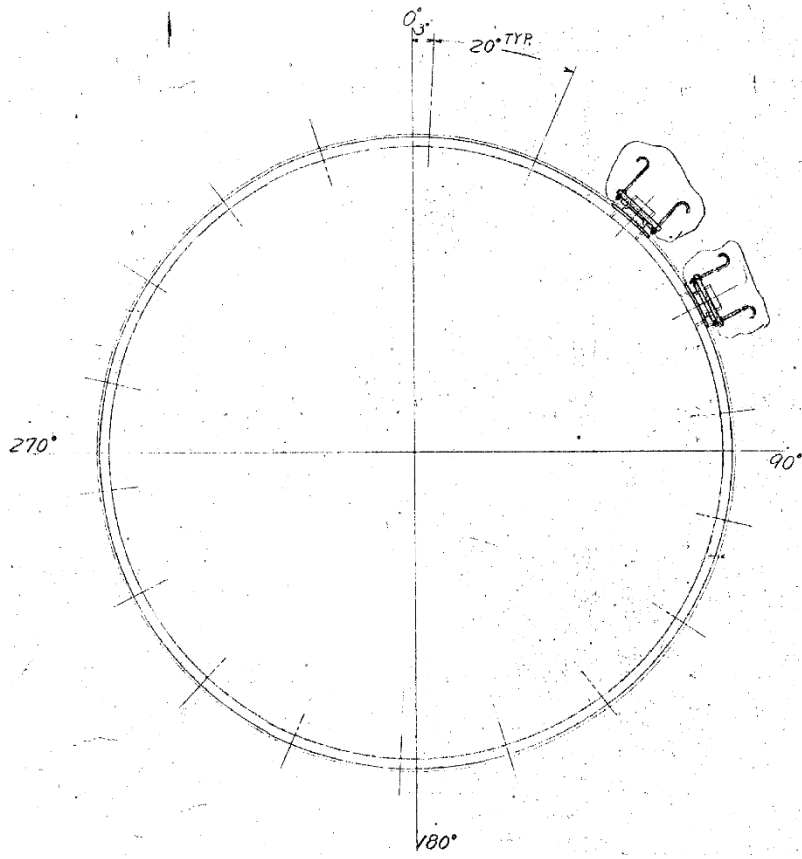


(b) 垂直断面図

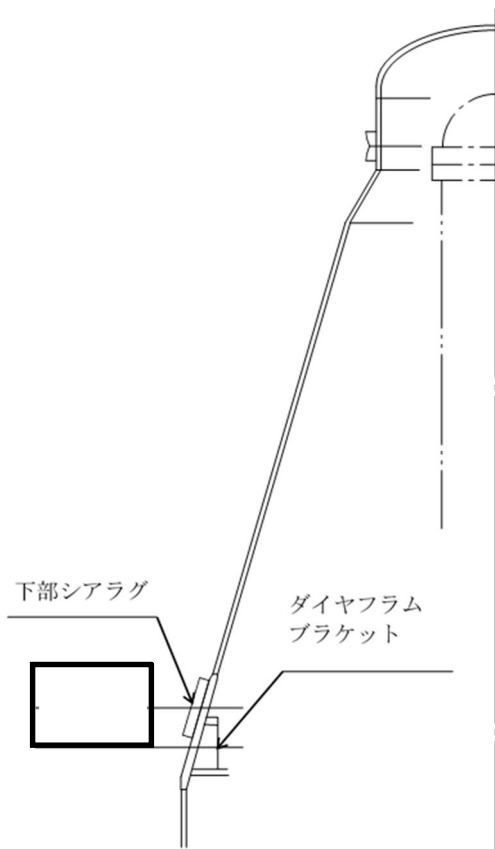


(c) 上部シアラグ詳細平面図

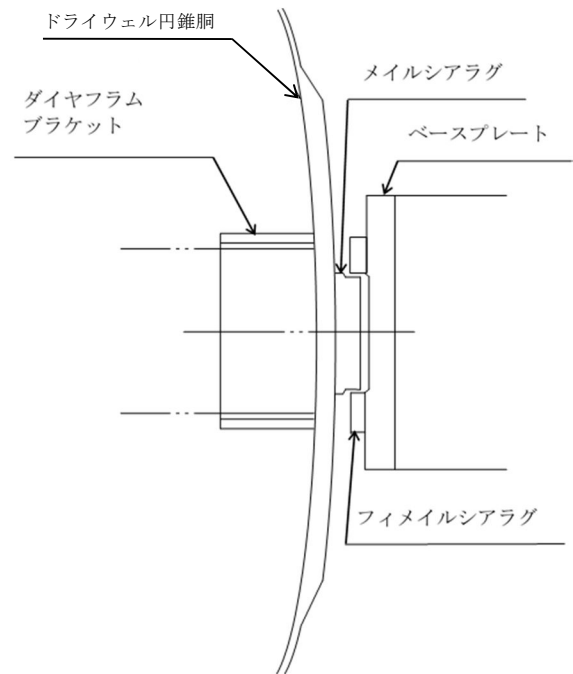
図4 上部シアラグ及びスタビライザの概要図



(a) 水平断面図



(b) 垂直断面図



(c) 下部シアラグ詳細平面図

図5 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。原子炉格納容器胴板、シアラグ取付厚板部及びメイルシアラグをシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。シアラグ部 1 基に作用する水平方向地震力により発生するシアラグ部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

シアラグ部等を含んだ三次元シェルモデル図を図 6 及び図 7 に示す。シアラグ部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、柏崎刈羽 5 号機の考え方と同様である。

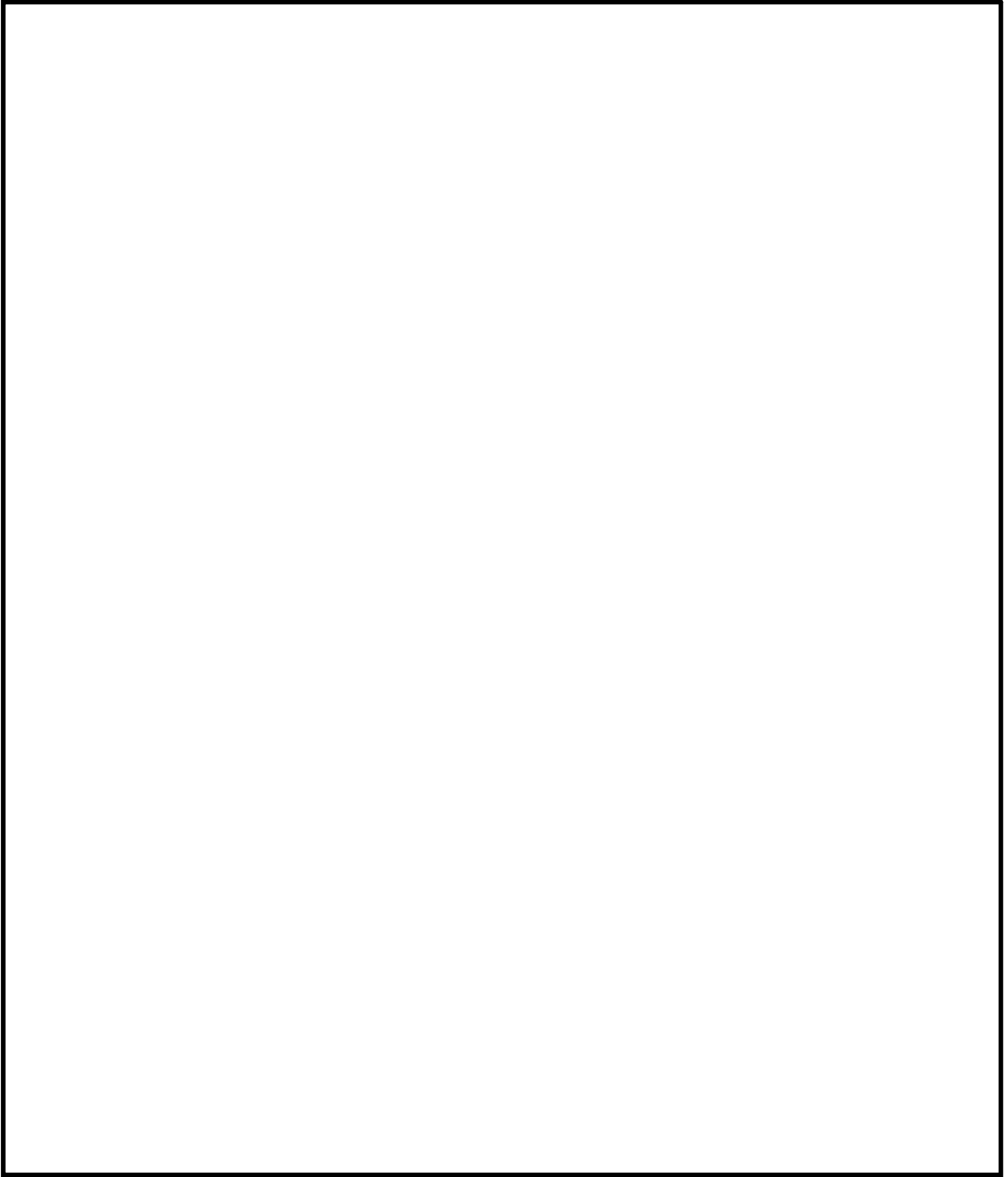


図 6 三次元シェルモデル (上部シアラグ部)

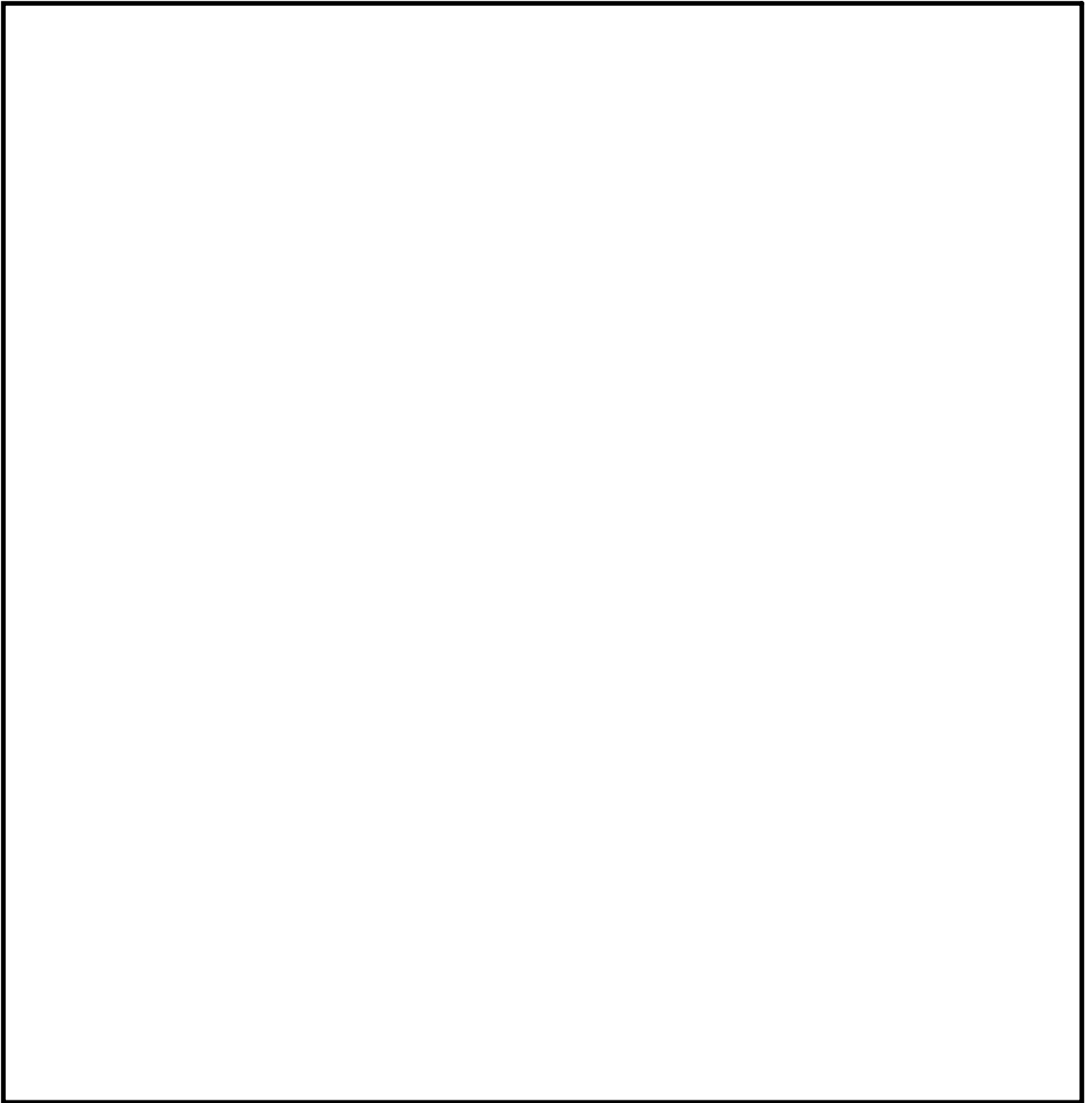


図 7 三次元シェルモデル (下部シアラグ部)

3.3 機器搬入用ハッチ等の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、機器搬入用ハッチ等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 機器搬入用ハッチ（応力解析）
- ・ 所員用エアロック（応力解析）
- ・ サプレッション・チェンバアクセスハッチ（応力解析）

(1) 構造

機器搬入用ハッチ等の概要図を図8から図10に示す。機器搬入用ハッチ等は鋼製円筒形の構造であり、機器搬入用ハッチ及び所員用エアロックはドライウエル円錐胴部に、サプレッション・チェンバアクセスハッチはサプレッション・チェンバ円筒胴部にそれぞれ溶接により取り付けられている。機器搬入用ハッチは内径 mm、板厚 mm の円筒胴及びフランジ接続の板厚 mm の球形鏡板を、所員用エアロックは内径 mm、板厚 mm の円筒胴で原子炉格納容器の内側及び外側に扉を、サプレッション・チェンバアクセスハッチは内径 mm、板厚 mm の円筒胴及びフランジ接続の板厚 mm の球形鏡板を有している。

大間1号機と東海第二発電所の機器搬入用ハッチ等は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。ただし、大間1号機のサプレッション・チェンバ用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付く構造であるため、当該部の評価は類似設備として機器搬入用のハッチを参照する。

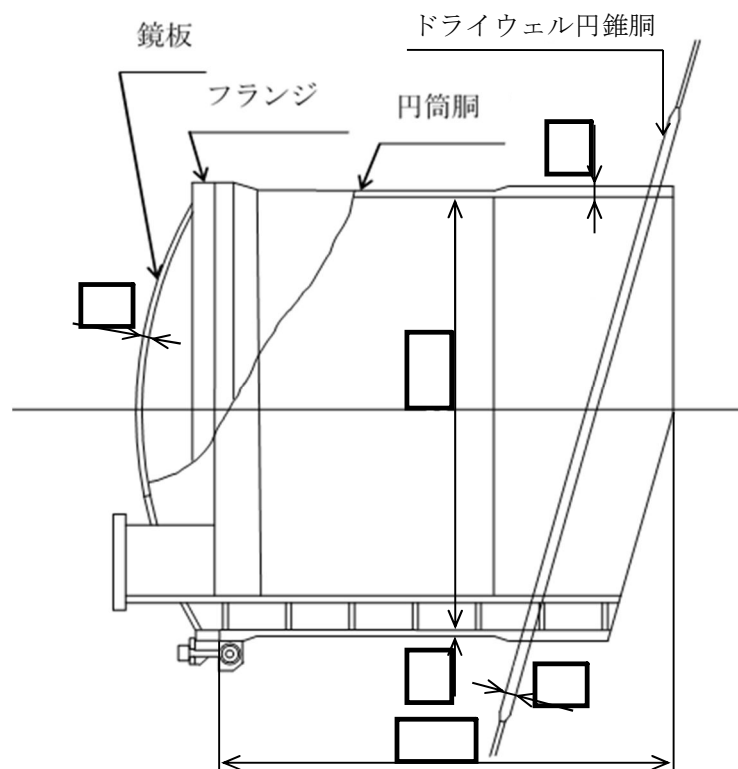


図8 機器搬入用ハッチの概要図

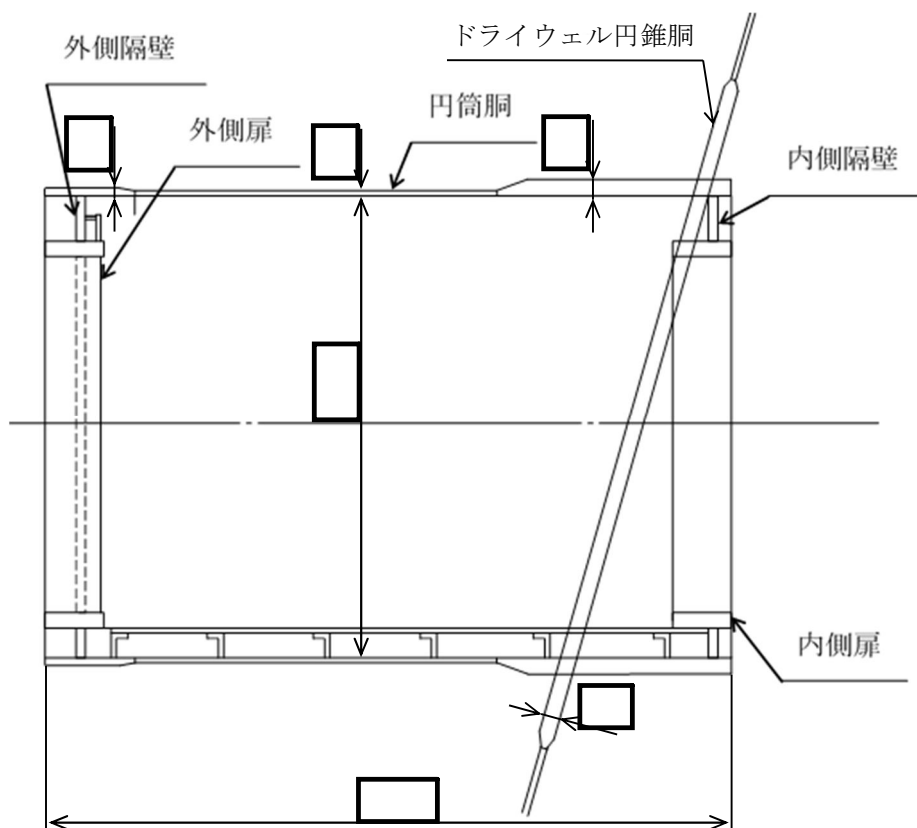


図9 所員用エアロックの概要図

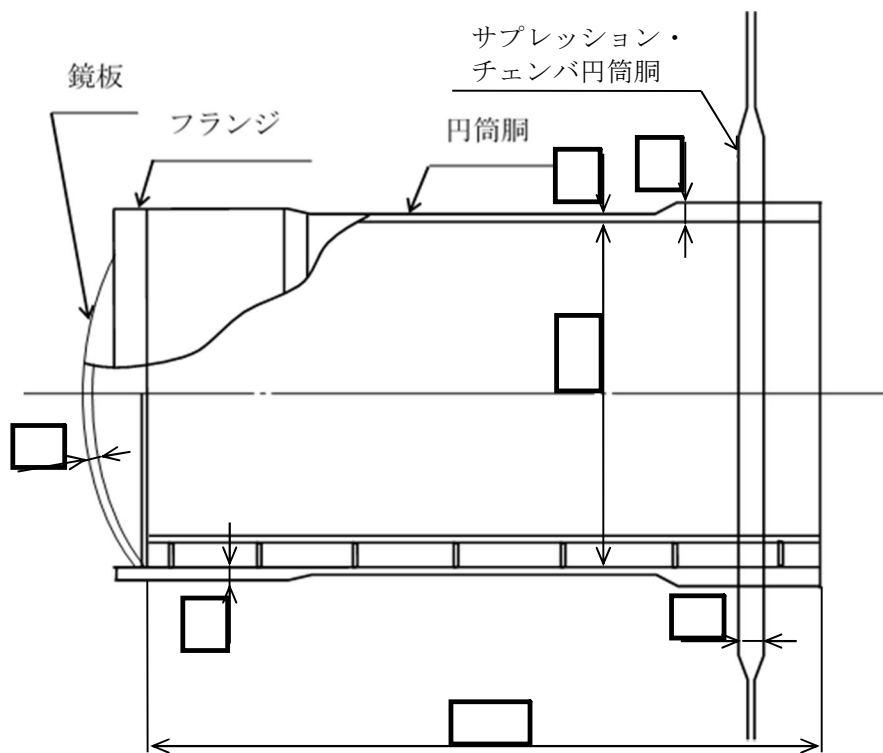


図 10 サプレッション・チェンバアクセスハッチの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。機器搬入用ハッチ等の主要構造部材及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。原子炉格納容器の円周方向全体の変形挙動に着目してモデル化し、基部は固定条件である。

機器搬入用ハッチ等を含んだ三次元シェルモデル図を図 11 から図 13 に示す。機器搬入用ハッチ等を含んだ原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、大間 1 号機と同様である。

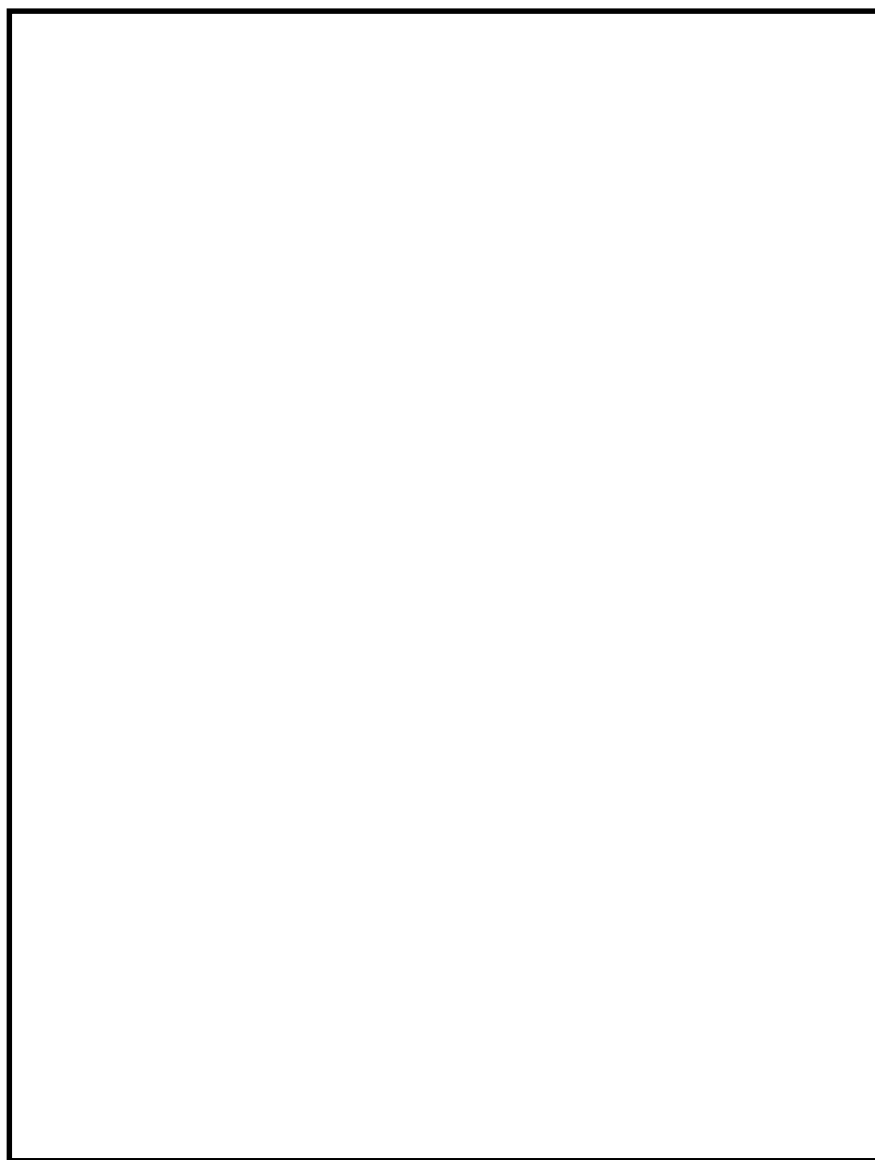


図 11 三次元シェルモデル（機器搬入用ハッチ）

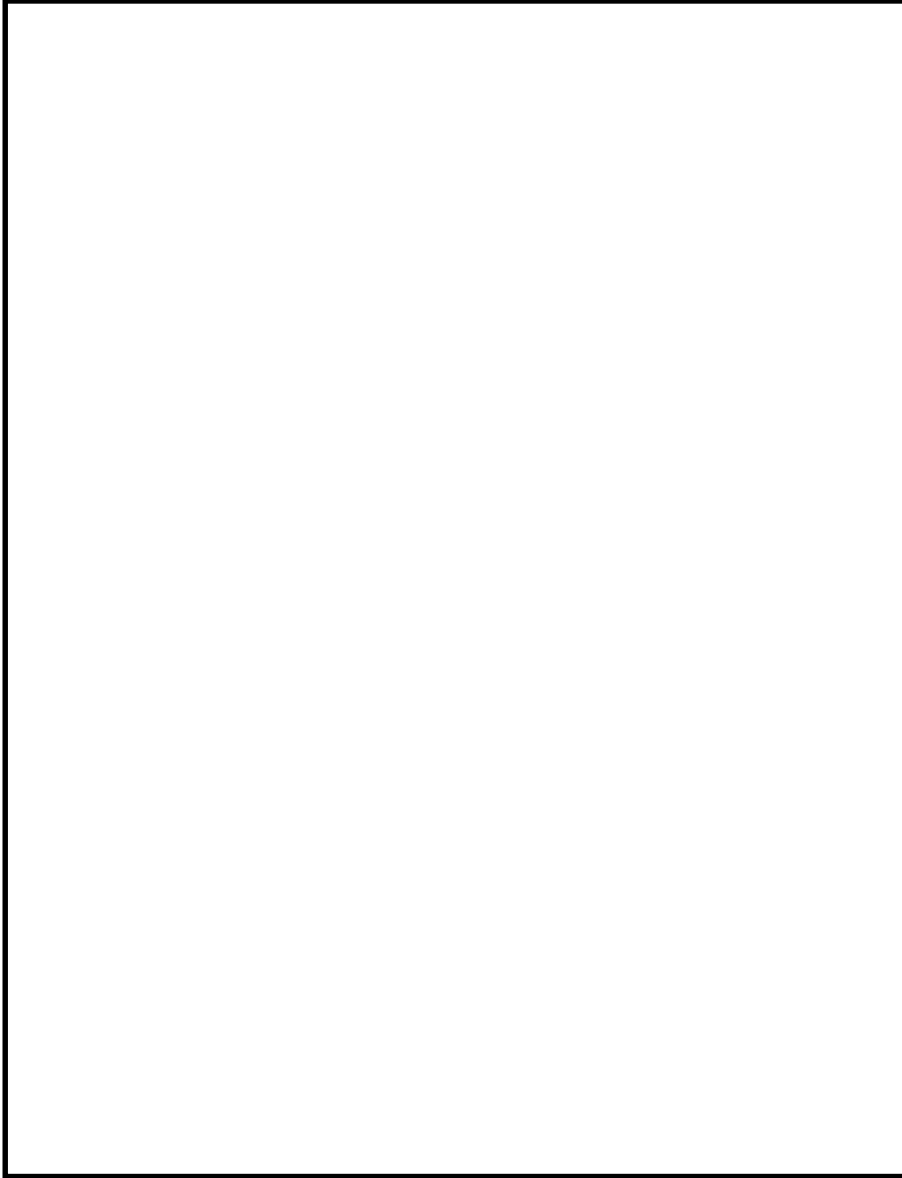


図 12 三次元シェルモデル (所員用エアロック)

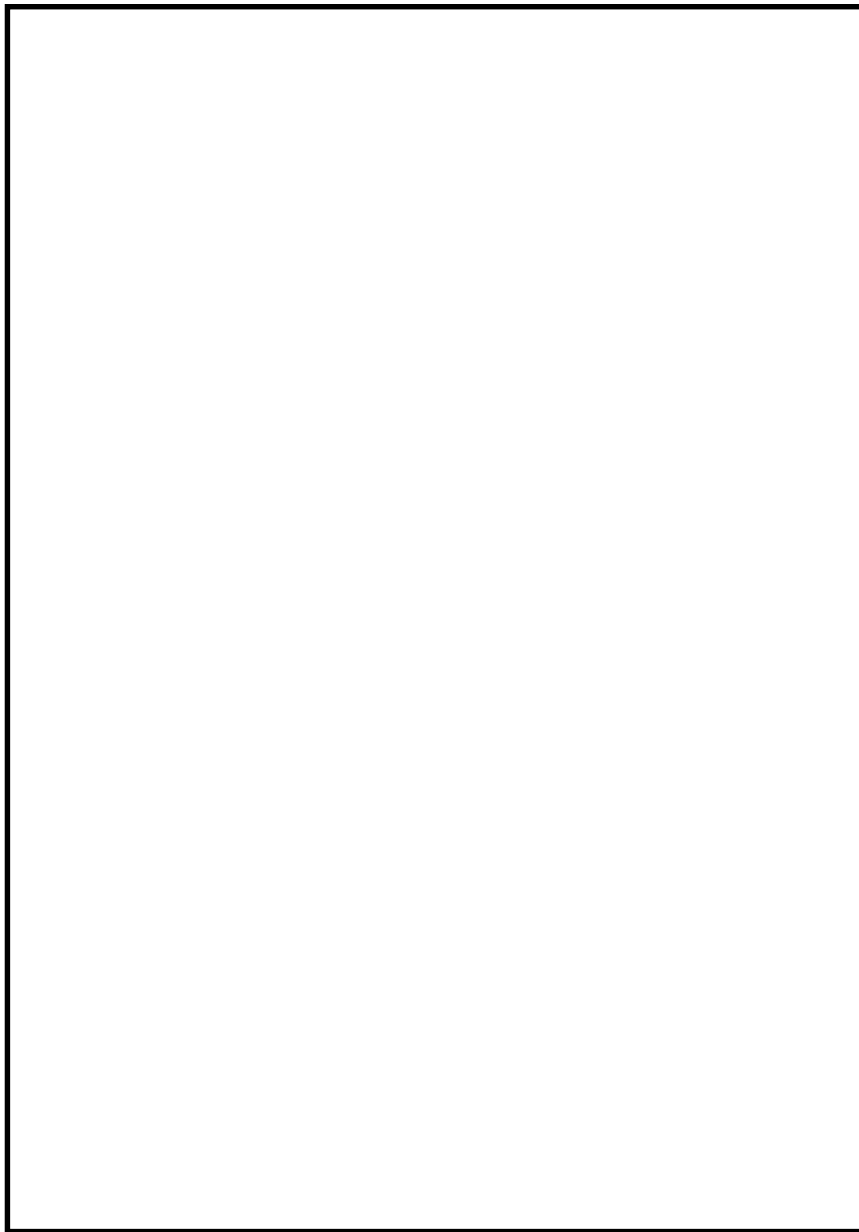


図 13 三次元シェルモデル (サプレッション・チェンバアクセスハッチ)

3.4 配管貫通部の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、配管貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・配管貫通部（応力解析）

(1) 構造

配管貫通部の概要図を図 14 に示す。配管貫通部は鋼製円筒形の構造であり、原子炉格納容器を貫通する配管が直接溶接にて接合する型式と、原子炉格納容器に接合されたスリーブを介して、配管とスリーブとを接合する型式とがある。

東北電力東通 1 号機と東海第二の配管貫通部は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。

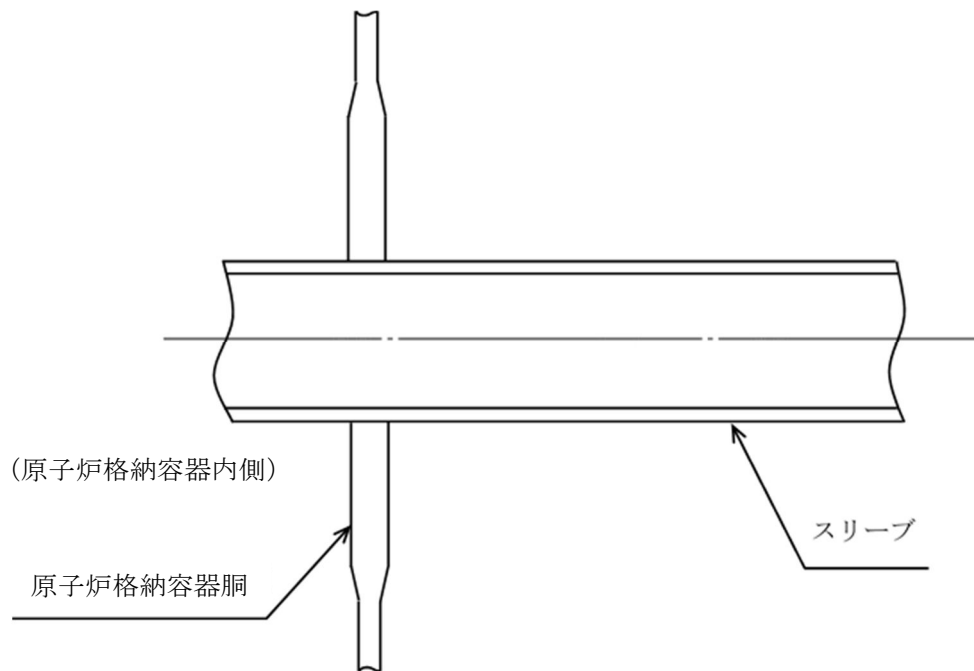


図 14 配管貫通部の概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。配管貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるように要素分割する。配管貫通部に作用する地震力により発生する配管貫通部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

配管貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 15 に示す。配管貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、東北電力東通 1 号機と同様である。

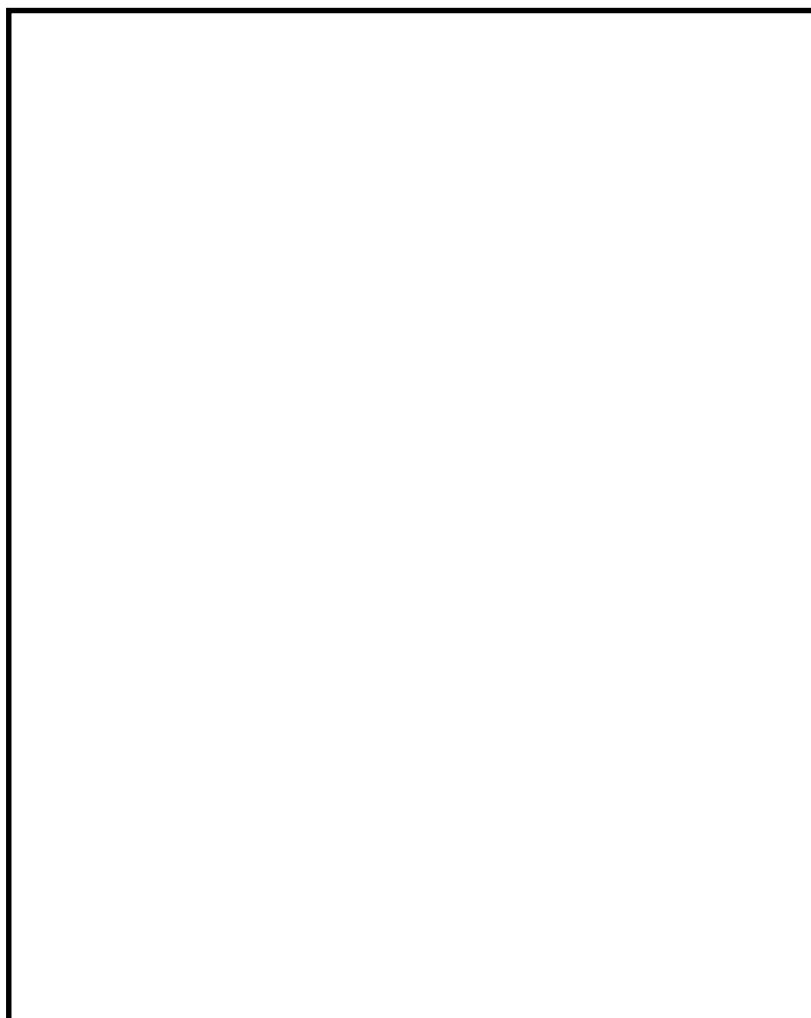


図 15 三次元シェルモデル例（配管貫通部）

3.5 電気配線貫通部の解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化した電気配線貫通部の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、電気配線貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 電気配線貫通部（応答解析）
- ・ 電気配線貫通部（応力解析）

(1) 構造

電気配線貫通部の概要図を図 16 に示す。電気配線貫通部は、原子炉格納容器を貫通するスリーブの外側端部に溶接したアダプタ・ヘッドを介して接続箱を、スリーブの内側端部に接続箱を取り付けている。

福島第一 4 号機と東海第二の電気配線貫通部は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。

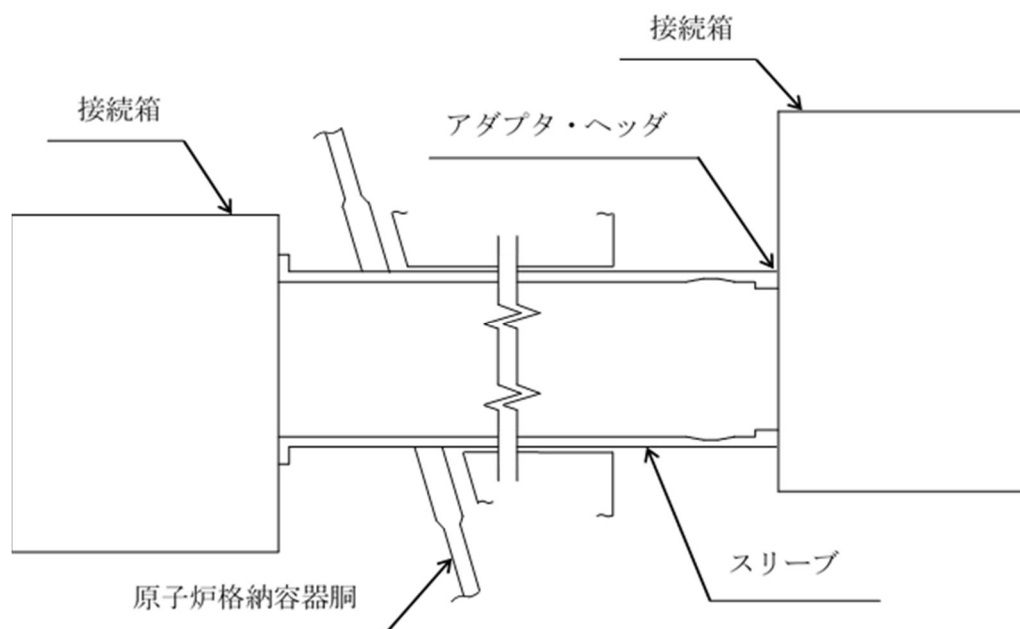


図 16 電気配線貫通部の概要図

(2) 応答解析モデル及び減衰定数

スペクトルモーダル解析に適用するモデルは、多質点系はりモデルにてモデル化する。接続箱の質量は質点に、スリーブの質量は等分布に置き換え、原子炉格納容器剛性を模擬したシェルばねにより結合する。ここで、シェルばねは、電気配線貫通部を含めた原子炉格納容器の三次元シェルモデル（応力解析モデルと同一）を用いて算出する。

電気配線貫通部の三次元ビームモデル図を図 17 に示す。電気配線貫通部のモデル化の考え方は福島第一 4 号機（改造工認）と同様である。

また、減衰定数については、溶接構造物であるため 1.0%を適用しており、福島第一 4 号機（改造工認）の減衰定数と同様である。

なお、福島第一 4 号機（改造工認）より以前のプラントでは、理論式に基づき固有周期を算出し、適用する設計用床応答曲線から応答加速度を設定している。

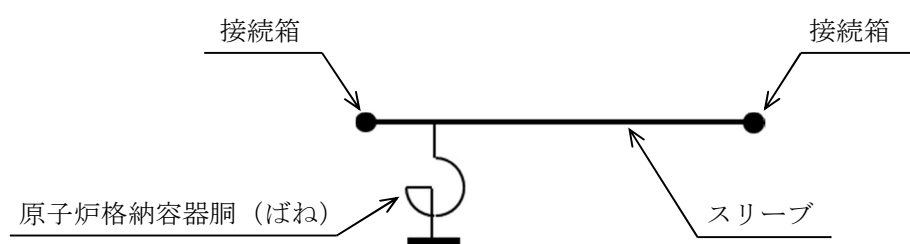


図 17 三次元ビームモデル（電気配線貫通部）

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。電気配線貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。電気配線貫通部に作用する地震力により発生する電気配線貫通部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

電気配線貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 18 に示す。電気配線貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、福島第一 4 号機と同様である。

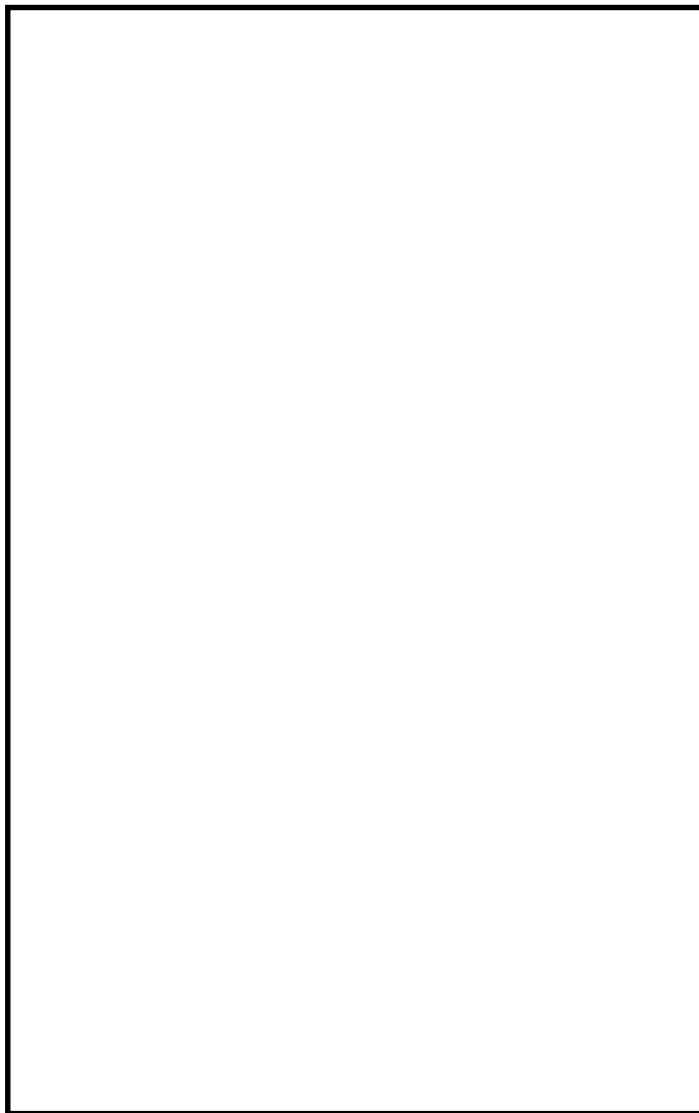


図 18 三次元シェルモデル例（電気配線貫通部）

3.6 ダイヤフラム・フロアの解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、建屋－機器連成解析モデルにてモデル化したダイヤフラム・フロア設置位置での応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また、三次元シェル及びはりモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、ダイヤフラム・フロアに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針、並びに固有振動数について示す。

【評価対象項目】

- ・ダイヤフラム・フロア（応答解析）
- ・ダイヤフラム・フロア（応力解析）

(1) 構造

ダイヤフラム・フロアの概要図を図 19 に示す。ダイヤフラム・フロアは、ドライウエ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軸対称形の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配置した鋼製大梁及び大梁間に円周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。

また、ダイヤフラム・フロアの内周端を支持する原子炉本体の基礎は、鉄筋コンクリート製の円筒形の構造物である。

応答解析で使用する鉛直方向解析モデルでは、ダイヤフラム・フロアの質量を鉄筋コンクリート製の原子炉本体の基礎に付加している。

応答解析で参照プラントとした大飯 3，4 号機は鉄筋コンクリート製の円筒形構造物で、東海第二の原子炉本体の基礎と同じであり、大きな構造の差を有していない。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 4 号機は原子炉格納容器構造（MARK-II 型）と同じであり、ダイヤフラム・フロアに大きな構造の差を有していない。

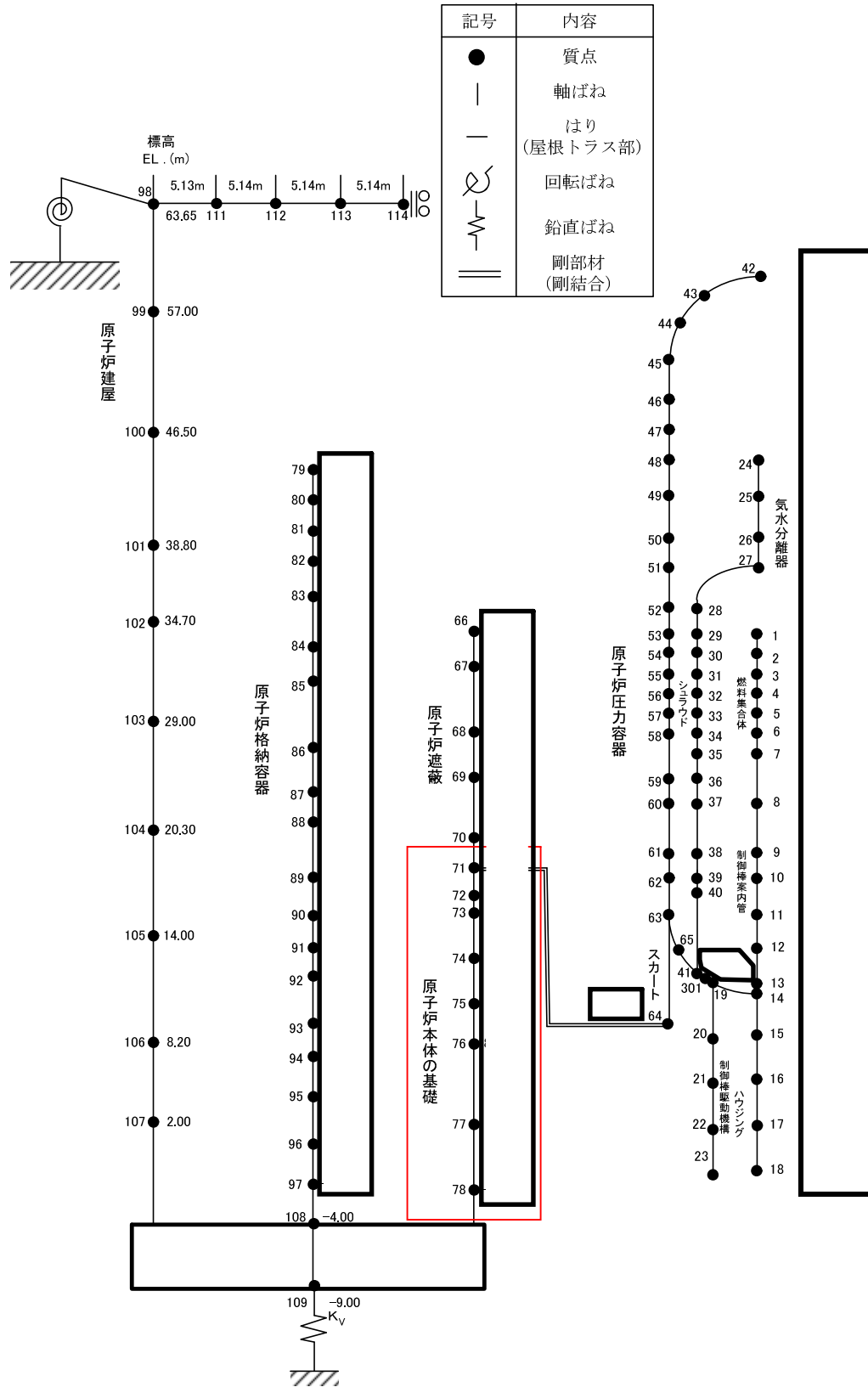
(2) 応答解析モデル及び減衰定数

ダイヤフラム・フロアは、本項「(4) 固有振動数」に記載のとおり剛構造であることを確認していることから、鉛直方向の応答増幅はない。よって、ダイヤフラム・フロアの評価に際して鉛直方向加速度は、当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び原子炉建屋基礎版の最大応答加速度を適用する。

鉛直方向応答解析に適用するモデルは、原子炉本体の基礎を多質点系はりモデルにてモデル化し、ダイヤフラム・フロアの質量は原子炉本体の基礎の質点及び原子炉建屋基礎版に付加している。

ダイヤフラム・フロアを含む建屋－機器連成解析モデル図を図 20 に示す。原子炉本体の基礎を多質点系はりモデルにてモデル化する考え方は、大飯 3，4 号機と同様である。

また、減衰定数については、鉄筋コンクリートであるため 5%を適用しており、大飯 3，4 号機の減衰定数と同様である。



原子炉本体の基礎モデル化の範囲

図 20 建屋—機器連成解析モデル図

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェル及びビームモデルにてモデル化する。鉄筋コンクリートスラブをシェル要素で、鉄骨の大梁、小梁及び柱をビーム要素でモデル化する。ベント管、格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）等の構造物を付加質量として考慮する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。ダイヤフラム・フロアに作用する地震力により発生する応力に着目し、原子炉本体の基礎との接合部及び柱基部を固定条件とし、大梁外周端を自由条件としている。

ダイヤフラム・フロアの解析モデル図を図 21 に示す。ダイヤフラム・フロアを三次元シェル及びビームモデルでモデル化する考え方は、柏崎刈羽 4 号機と同じである。

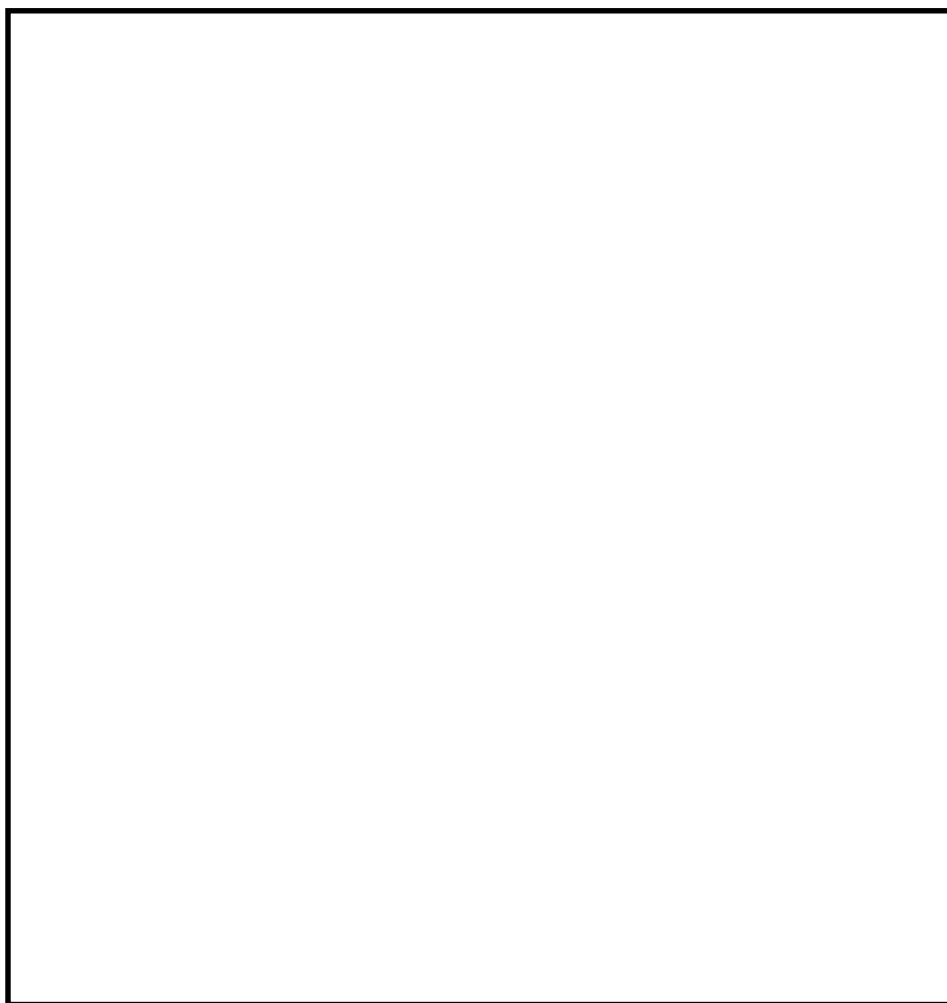


図 21 三次元シェル及びビームモデル（ダイヤフラム・フロア）

(4) 固有振動数

三次元シェル及びビームモデルにてモデル化したダイヤフラム・フロアの固有値解析を実施した。得られた固有値の中で、ダイヤフラム・フロア全体の振動が卓越する固有振動数を表 2 に、振動モードを図 22 から図 24 に示す。解析の結果、固有振動数は 20Hz を超えており、ダイヤフラム・フロアは剛構造である。なお、鉛直方向の卓越モードは 1 次、2 次ともに床スラブが面外(鉛直方向)に変形するモードとなっている。1 次モードは外周端側の変形が卓越し、2 次モードは内周端と柱との間の領域の変形が卓越している。

表 2 固有振動数

| 次数 | 固有振動数 (Hz) | 卓越モード |
|----|------------|-------|
| | | |



図 22 振動モード図 ()



図 23 振動モード図 ()

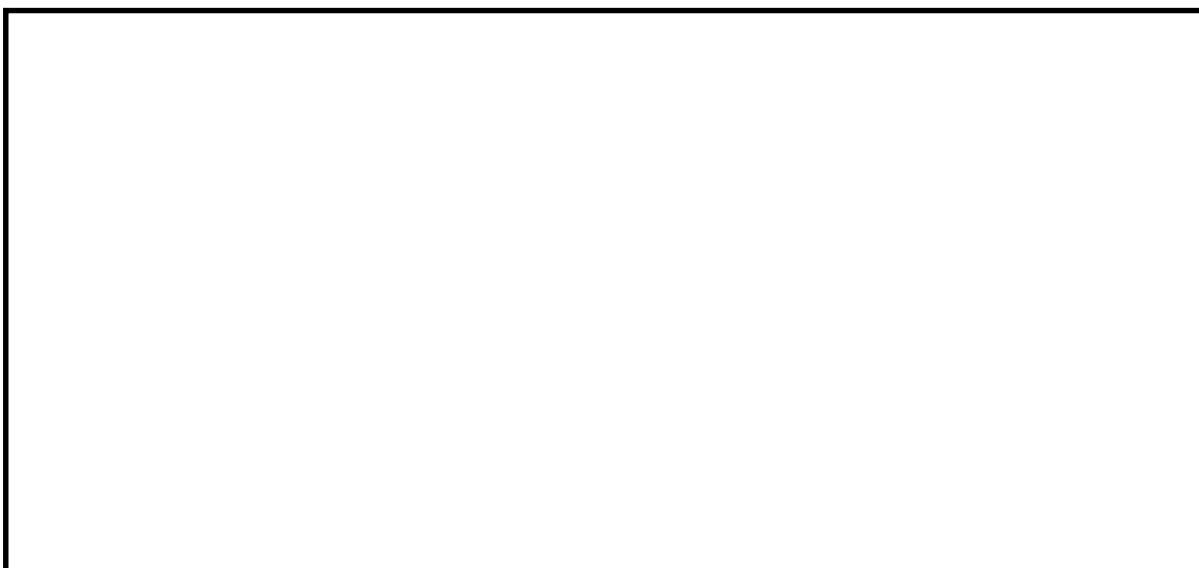


図 24 振動モード図 ()

3.7 ベント管の応答解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化したベント管の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

【評価対象項目】

- ・ベント管（応答解析）

(1) 構造

ベント管の概要図を図 25 に示す。ベント管は、外径 mm, 板厚 mm, 長さ m の管で、通常時、下部 m が水中に入っている。ベント管のダイヤフラム・フロア貫通部上部には、事故時ジェット力が作用しないようジェットデフレクタが設置されており、鉄筋コンクリート製床スラブに固定されている。ベント管の最下部（水中部）にはベント管相互を少なくとも 3 本接続する水平ブレーシングを、ベント管下部（気中部）にはベント管相互及び原子炉本体の基礎を接続する水平ブレースを設置している。

これにより、ベント管が独立して振動することを抑制すると共に、原子炉本体の基礎と接続することで水平方向の過大な振動を抑えることができる。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 4 号機は原子炉格納容器構造（MARK-II 型）が同じであり、ベント管に大きな構造の差を有していない。

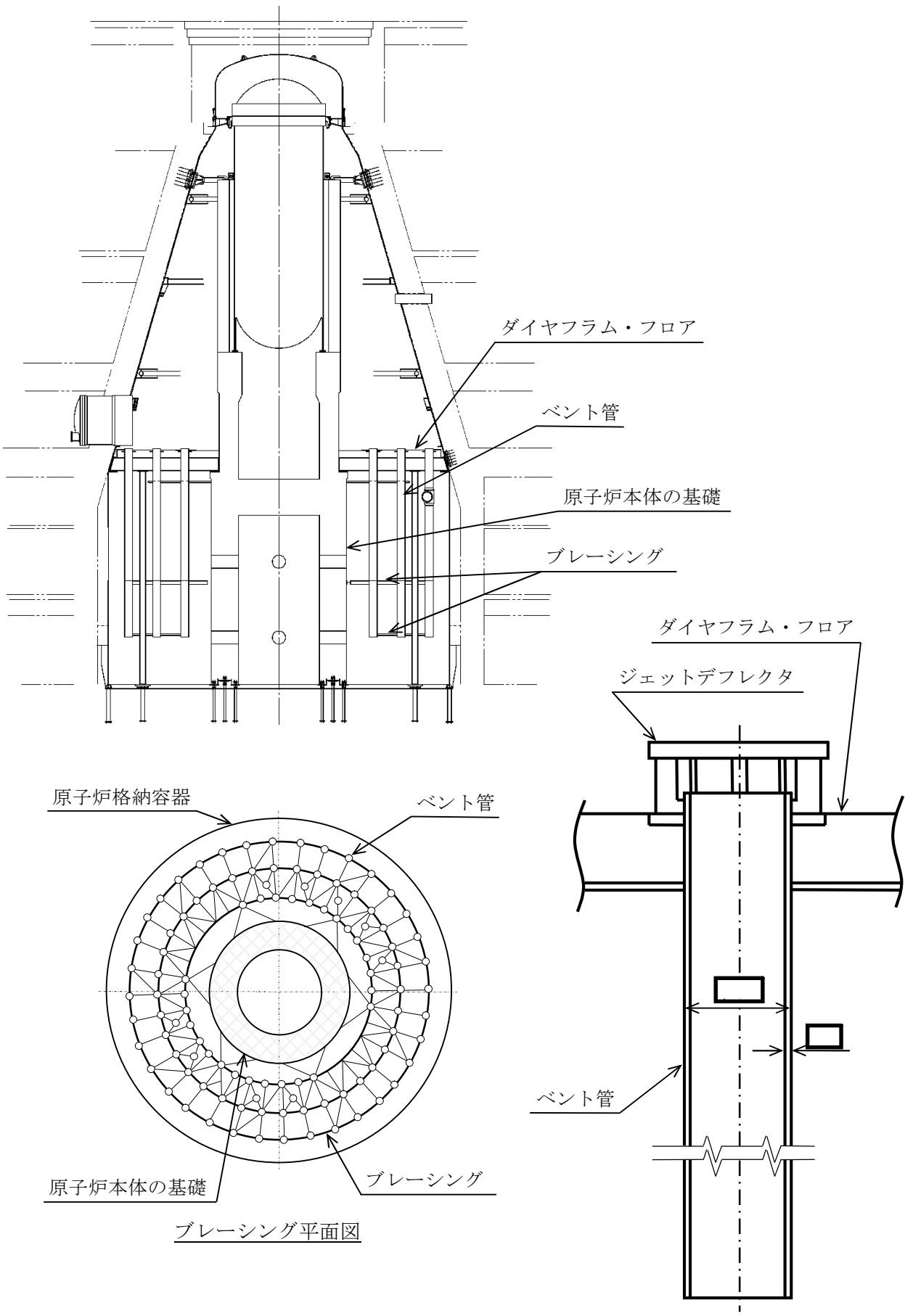


図 25 ベント管の概要図

3.8 格納容器スプレイヘッドの応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、格納容器スプレイヘッドに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

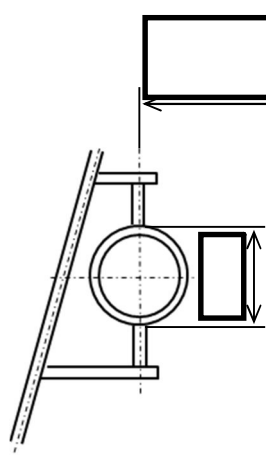
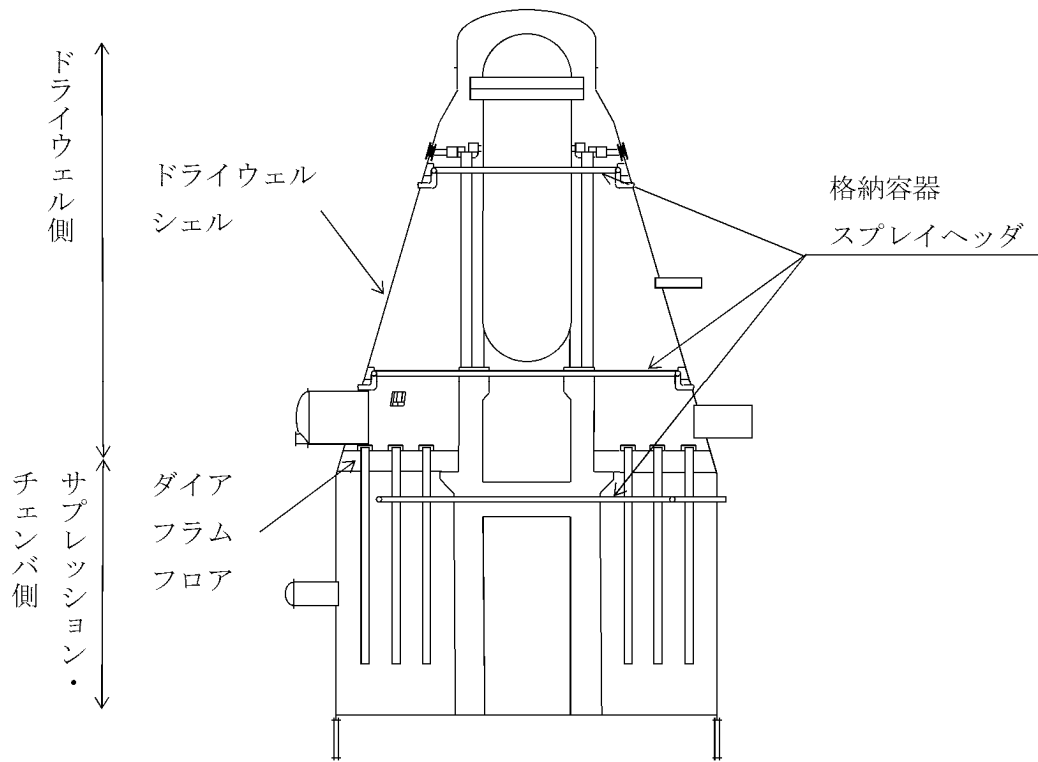
【評価対象項目】

- ・格納容器スプレイヘッド（応力解析）

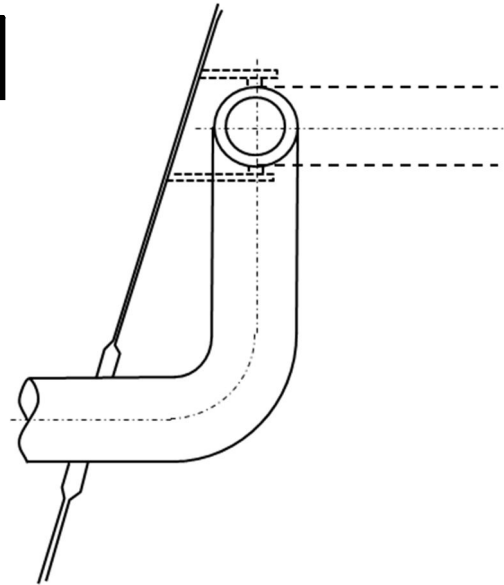
(1) 構造

格納容器スプレイヘッドの概要図を図 27 に示す。ドライウエルの上部及び下部に格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）が、サブプレッション・チェンバに格納容器スプレイヘッド（サブプレッション・チェンバ側）が各々設置されている。格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）は、外径 []mm の管で作られ、上部スプレイヘッドは直径約 []mm、下部スプレイヘッドは直径約 []mm の円環構造となっていて、案内管により配管貫通部を介して、原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分はドライウエル部に接合されており、ドライウエルと一体で挙動する。格納容器スプレイヘッド（サブプレッション・チェンバ側）は、外径 []mm の管で作られ、直径約 []mm の円環構造となっていて、案内管により配管貫通部を介して、原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分がダイヤフラム・フロアの柱に支持されている。

応答解析で参照プラントとした大間 1 号機の格納容器スプレイヘッドは、配管支持構造物が鉄筋コンクリート製原子炉格納容器やダイヤフラム・フロアに設置されている円環構造の配管である。基本形状が円環構造の配管である点で、東海第二の格納容器スプレイヘッドは大間 1 号機の格納容器スプレイヘッドと大きな構造の差を有していない。



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（ドライウエル側）案内管

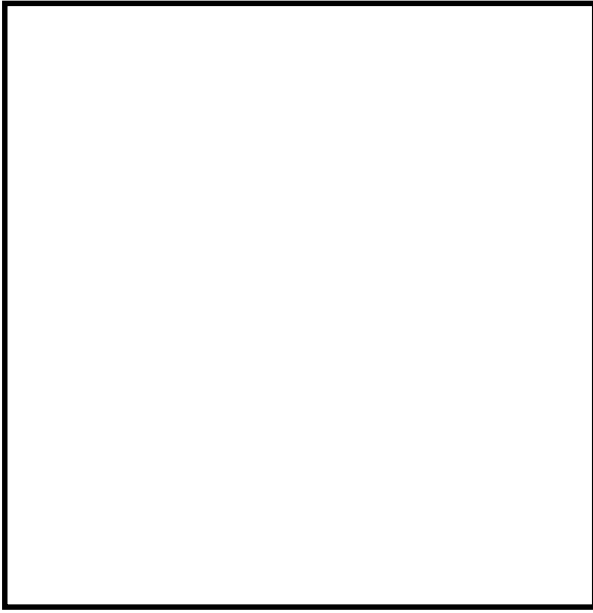
図 27 格納容器スプレイヘッドの概要図

(2) 応答解析モデル

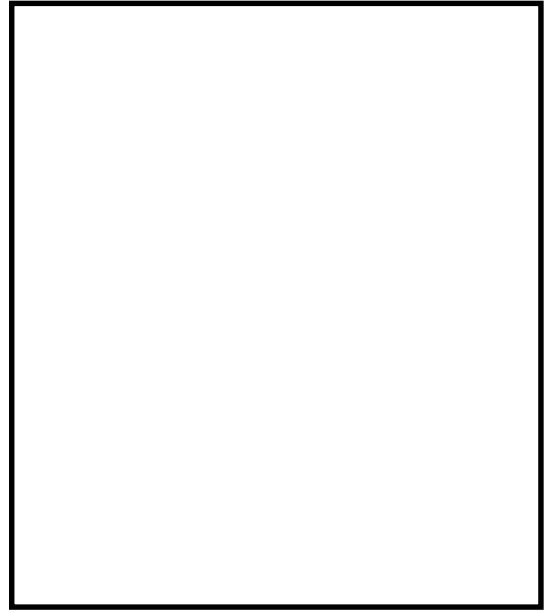
格納容器スプレイヘッダ（ドライウエル側）のうち、円環部は原子炉格納容器と一体で挙動することから、案内管に**対する**地震応答を取得する。案内管の応答解析手法は静的解析である。格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）**について**の応答解析手法はスペクトルモーダル解析である。減衰定数については、J E A G 4601-1991 **の配管系の設計用減衰定数における規定の適用条件を満足していないこと**から 0.5%**と**している。

応答解析に適用するモデルは、三次元ビーム要素でモデル化し格納容器スプレイヘッダの質量は等分布に置き換え、各節点間を等価な剛性で結合する。

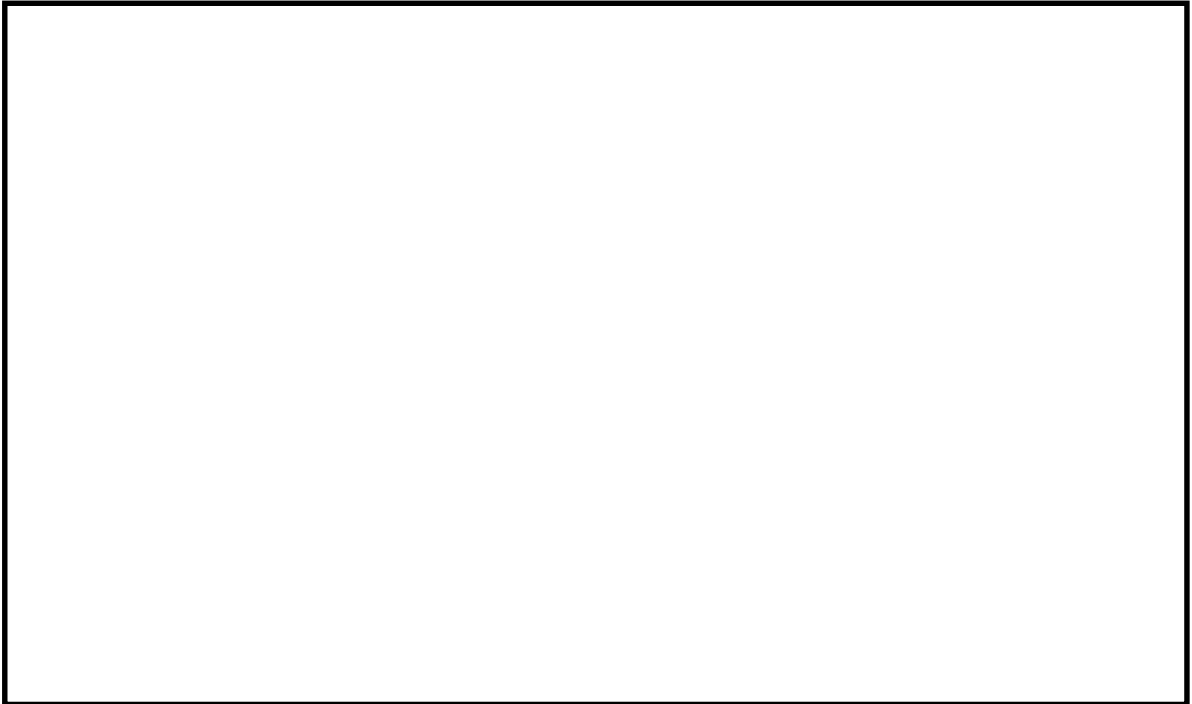
三次元ビームモデル図を図 28 に示す。格納容器スプレイヘッダの減衰定数を 0.5% とする考え方は、大間 1 号機と同じである。



上部ドライウェルスプレイヘッド
案内管



下部ドライウェルスプレイヘッド
案内管



格納容器スプレイヘッド (サブプレッション・チェンバ側)

図 28 三次元ビームモデル (格納容器スプレイヘッド)

8. 制御棒の挿入性評価について

目 次

| | |
|--------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 制御棒挿入性評価について | 2 |
| 3. 鉛直地震動の影響について | 5 |
| 3.1 既往研究の制御棒挿入性の整理 | 5 |
| 3.2 鉛直地震動の影響評価 | 6 |
| 3.2.1 制御棒に作用する荷重 | 6 |
| 3.2.2 燃料集合体の浮上り | 11 |
| 4. まとめ | 15 |

1. はじめに

制御棒挿入性への鉛直方向加速度の影響については、社団法人日本電気協会原子力発電耐震設計専門部会「水平・上下地震動に対する機器の機能維持評価法の検討に関する調査報告書」（以下「耐専報告書」という。）並びに独立行政法人原子力安全基盤機構「原子炉施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その2（BWR制御棒挿入性）に係る報告書」（以下「機器耐力その2報告書」という。）及び「原子炉施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力その3（総合評価）に係る報告書」（以下「機器耐力その3報告書」という。）にて整理されている。東海第二発電所（以下「東海第二」という。）における鉛直方向加速度による制御棒挿入性の影響評価について、既往検討成果に基づき影響評価を実施した。

2. 制御棒挿入性評価について

今回工認における制御棒挿入性評価については、J EAG4601-1991 追補版での B W R 用制御棒の評価手法を適用する。J EAG4601-1991 追補版の制御棒挿入性の評価手順を図 1 に示す。

制御棒の耐震性についての計算書では、建屋・機器連成系応答解析から得られた燃料集合体の相対変位が、制御棒の挿入試験で得られた燃料集合体の相対変位（約 40mm）以内であることを確認している。東海第二の制御棒の耐震性についての評価概要を表 1 に示す。

表 1 制御棒の耐震性についての評価概要

| 燃料集合体相対変位 | 機能確認済相対変位 | 鉛直方向震度 (上部格子板位置) |
|----------------------|----------------------|---|
| 16.8mm ^{*1} | 約 40mm ^{*3} | 0.83 ^{*2} (1.24 ^{*1}) |

*1： 資料 V-2-3-2「炉心，原子炉压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」の基準地震動 S₀における地震応答解析結果に，設計上の配慮を考慮して 1.5 倍した値

*2： 資料 V-2-3-2「炉心，原子炉压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」の基準地震動 S₀における地震応答解析結果

*3： 機能確認済相対変位は，昭和 53 年まで当時の株式会社 日立製作所（現在の日立 G E ニュークリア・エナジー株式会社）にて実施した挿入性試験で取得したもの。燃料集合体の相対変位が約 40mm においても，90% ストロークスクラム時間が 3.5 秒以内である。挿入性試験の内容は，資料 V-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」に記載がある。

なお，挿入性試験は，フォロー付制御棒で実施している。（図 2 参照）フォローとは，制御棒先端にあるステンレス鋼製のハンドル部を延長した部分のことであり，その設置目的は，制御棒先端部の出力分布の勾配を緩やかにして，制御棒引抜時の出力変動幅を低減し，燃料の健全性向上を図ることである。また，フォロー付制御棒が国内プラントに採用されたのは東海第二の運転開始以

降であるため、東海第二にはフォロー付制御棒は採用されていないが、フォロー付の方が制御棒の質量が増加する分、挿入時間は増す方向であり、試験としては安全側である。

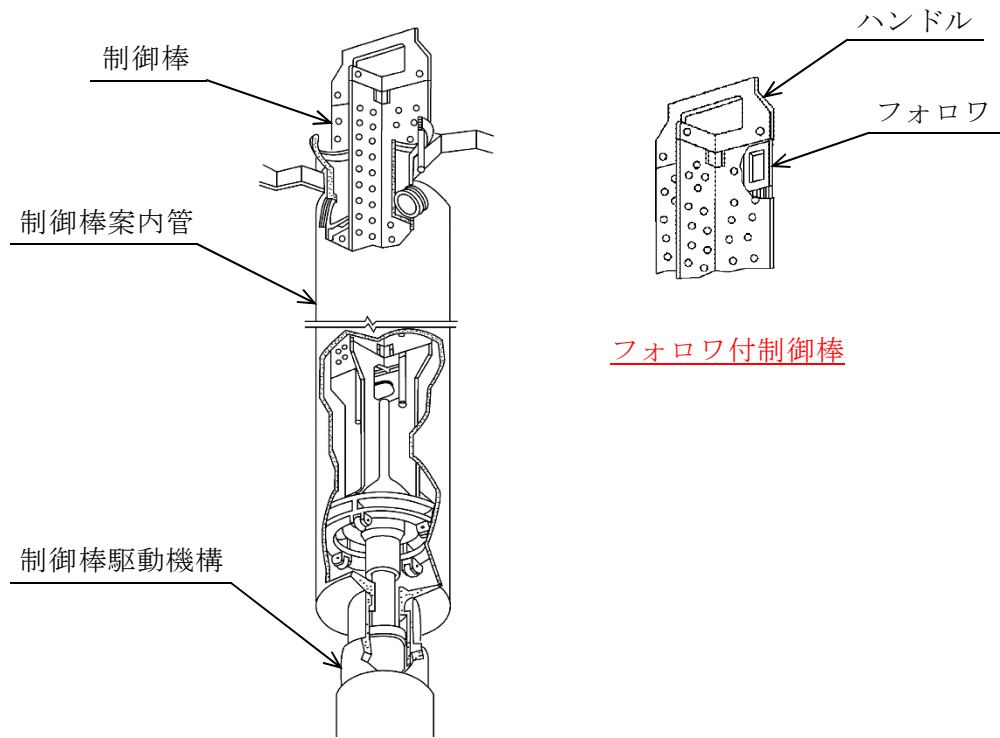


図 2 制御棒概略構造図

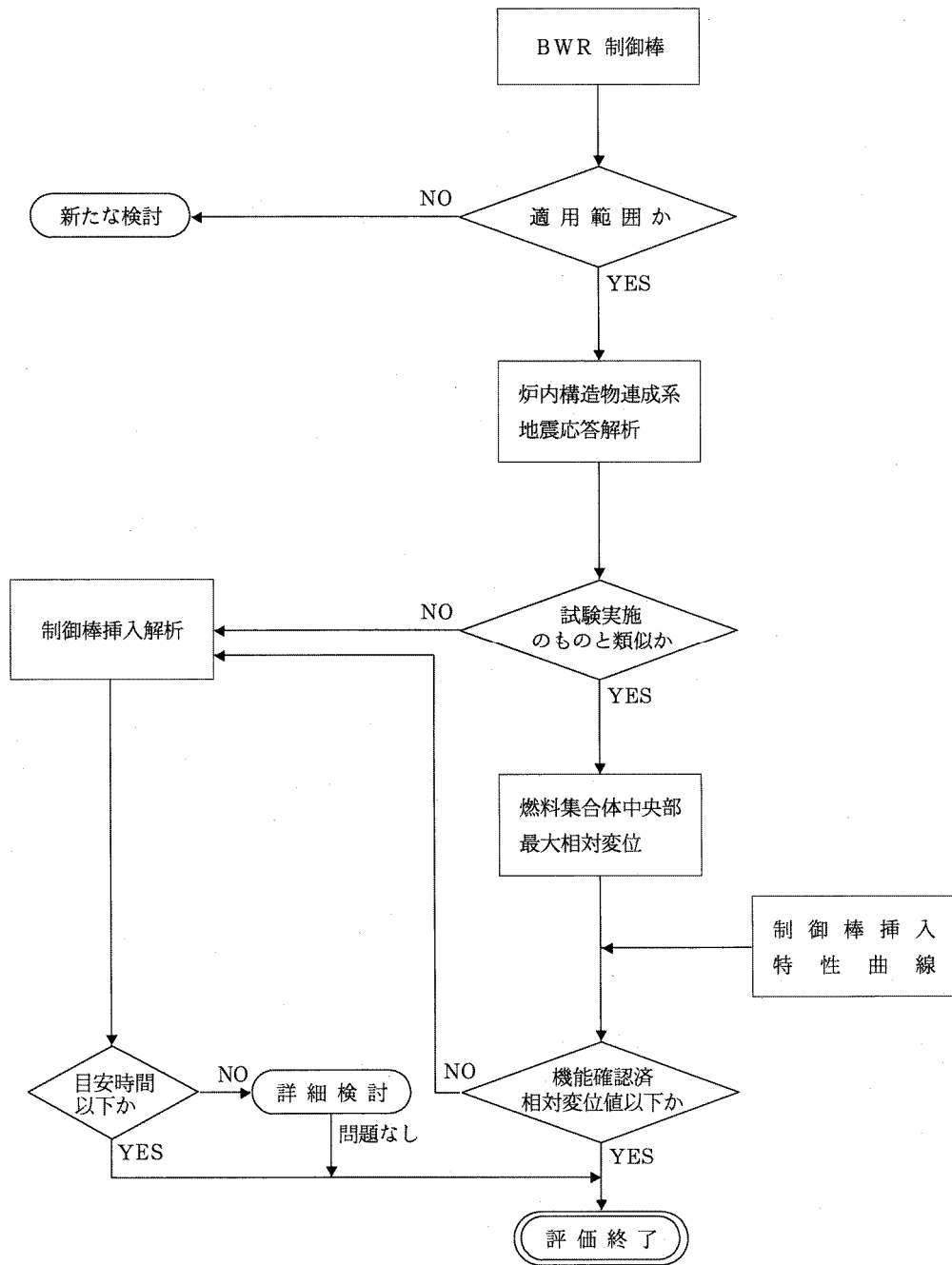


図1 制御棒挿入性の評価手順（BWR）（JEAG 4601-1991 追補版）

3. 鉛直地震動の影響について

3.1 既往研究の制御棒挿入性の整理

- (1) NUPEC 実証試験では、最大約 $0.3 \times 9.8 \text{m/s}^2$ までの上下地震動による試験を行い、上下方向の地震加速度が作用しても挿入性に影響しないことが確認されている。
- (2) 耐専報告書では、制御棒挿入時に制御棒に作用する挿入力とその他作用力を算出し、その大小関係と方向から上下地震動に対する影響を評価し、 $1.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$ に対して影響は小さく無視できるとしている。なお、ここでは、水平地震力による燃料中央部のたわみ変位は 34mm である。
- (3) 機器耐力その 2 報告書では、 $1.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 以上の上下方向加速度が燃料集合体に作用する場合には、燃料集合体が浮上る可能性があることから、制御棒挿入性への影響として、制御棒の挿入現象・挿入時間及び燃料集合体の浮上りについて検討し、解析による制御棒挿入時間の評価及び $2.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$ が作用し仮に燃料集合体に浮上りが生じた場合でも、燃料支持金具から離脱することはないことを報告している。
- (4) 機器耐力その 3 報告書では、上下地震動として最大加速度 $2.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$ に対する検討を実施し、上下地震動による制御棒挿入性への影響はきわめて小さいことを報告している。

3.2 鉛直地震動の影響評価

制御棒挿入性に対する鉛直方向加速度による影響については、次の項目について評価する。

- ① 制御棒に作用する荷重
- ② 燃料集合体の浮上り

3.2.1 制御棒に作用する荷重

(1) 評価方針

耐専報告書における影響評価と同様に制御棒挿入時に制御棒に作用する荷重を静的荷重と扱い、また各荷重の作用方法は安全側の評価となるように設定する。ここで設定した条件において制御棒に作用する上下方向の荷重から、鉛直方向加速度が制御棒挿入性に与える影響を評価する。表2に影響評価で考慮する荷重と設定方針を示す。

表2 制御棒挿入性影響評価で考慮する荷重と設定方針

| No. | 制御棒に作用する荷重の種類 | 設定方法 |
|-----|-----------------|---|
| 1 | 制御棒自重 | 下向きに働く力として設定 |
| 2 | 制御棒駆動機構の挿入圧及び炉圧 | 定格炉圧時の炉圧スクラムでの挿入力として設定 |
| 3 | 炉水による浮力 | 制御棒に生じる浮力を制御棒の体積に基づき設定 |
| 4 | 上下地震力による抗力 | 炉心支持板位置の鉛直方向加速度から下向きに作用する力として設定 |
| 5 | 水平地震力による抗力 | 耐専報告書で算定された水平地震力による抗力（摩擦力）を用いる。 * この算定では燃料中央部でのたわみ変位は34mmである。一方、東海第二の燃料集合体相対変位は16.8mmである。 |

*： 耐専報告書記載の文献（“BWR CONTROL ROD DRIVE SCRAMMABILITY DURING EARTHQUAKES”，ASME PVP Vol.182）における、水平方向加振中の制御棒挿入試験での計測結果から解析した制御棒に生じる水平力を基にしている。

(2) 評価結果

表 2 の設定方針により算出した制御棒に作用する各鉛直方向荷重を表 3 及び図 3 に示す。制御棒挿入機構の挿入力为主体の上向きの力は 5155N である。一方、自重や鉛直地震動による下向きの力は 3783N である。よって、方向性を考慮した荷重の総和は上向きの力が 1372N 上回っている。

表 3 制御棒挿入性影響評価で考慮する荷重と算出根拠

| No. | 制御棒に作用する荷重の種類 | 荷重 (N) * | 算出根拠 |
|--------|-------------------|----------|---|
| 1 | 制御棒自重 | - 814 | 〔東海第二〕 制御棒質量：83kg |
| 2 | 制御棒駆動機構の挿入圧及び炉圧 | + 5061 | 〔東海第二〕 定格圧力 (6.93MPa) 時の挿入力 |
| 3 | 炉水による浮力 | + 94 | 〔東海第二〕 制御棒体積に炉水密度を考慮 |
| 4 | 上下地震力による抗力 (別紙参照) | - 1460 | 〔東海第二〕 鉛直方向加速度 $1.24 \times 9.8 \text{m/s}^2$ が制御棒及び制御棒駆動機構部に作用するとして算定 |
| 5 | 水平地震力による抗力 (摩擦力) | - 1509 | 〔耐専報告書〕 水平地震動による燃料中央部のたわみ変位が 34mm になる状態で、50%ストロークのスクラムした場合に、制御棒に生じる水平力の解析値が約 15092N であり、一般的な動摩擦係数 0.1 として抗力を算定 |
| 作用力の合計 | | + 1372 | — |

*：荷重の方向を、上向き+、下向き-とした。

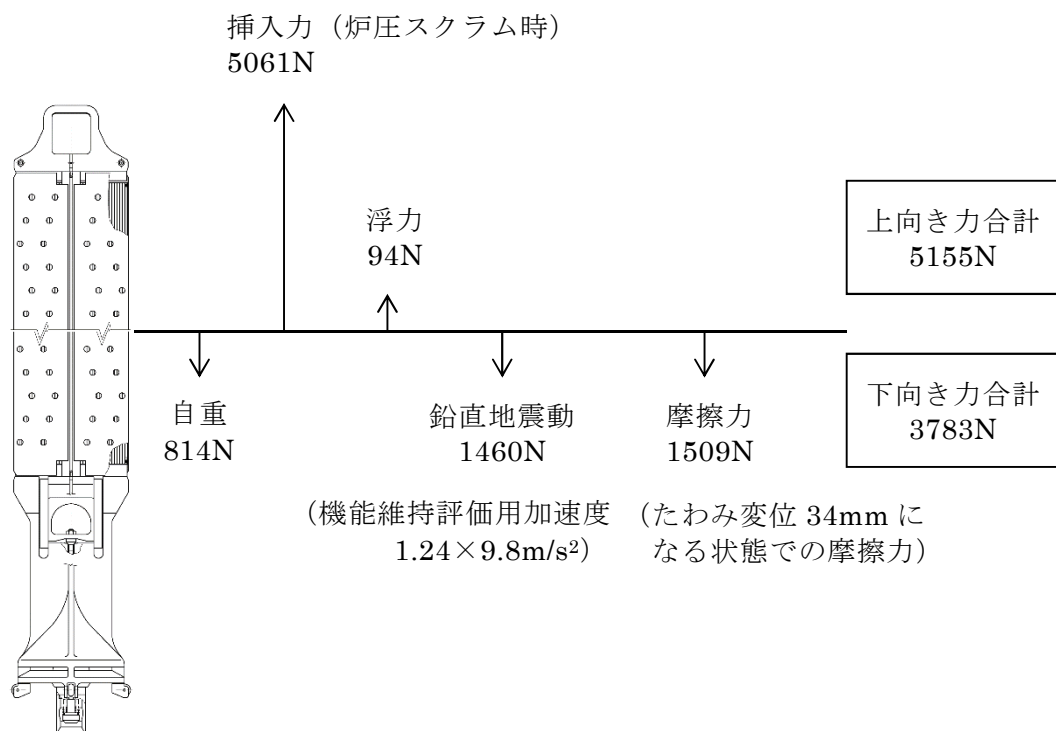


図 3 制御棒に作用する鉛直方向荷重

[上下地震動による抗力で生じるスクラム時間遅れ]

(1) 評価方針

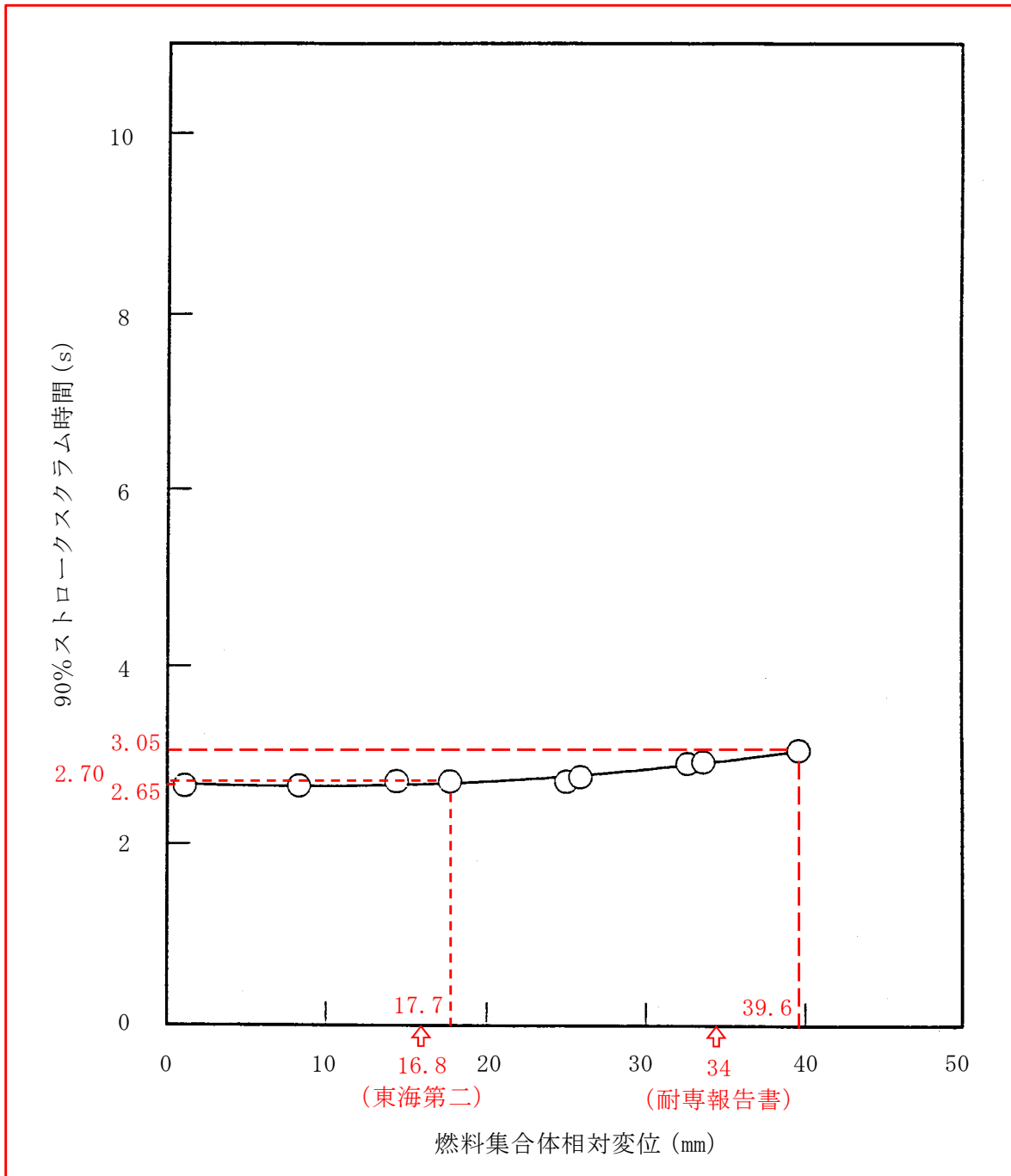
鉛直地震力による抗力でスクラム時間に遅れが生じることから、燃料のたわみ変位によって生じる下向き抗力とスクラム遅れ時間との相関を仮定し、整理する。

(2) 評価結果

資料V-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」の「図4-3 燃料集合体相対変位と90%ストロークスクラム時間の関係」(別図1参照)によると、非加振時(□mm変位時)のスクラム時間は□秒であるのに対し、相対変位□mmにおけるスクラム時間は□秒であり、スクラム時間は□秒増加している。一方、耐専報告書によると、燃料中央部のたわみ変位34mmでの抗力(摩擦力)は1509Nであることから、制御棒挿入に対する抗力(摩擦力)1509Nが常時下向きに作用する場合、スクラム時間は保守的に捉えて□秒増加すると推定できる。

次に、「表3 制御棒挿入性影響評価で考慮する荷重と算出根拠」より鉛直方向加速度 $1.24 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 作用時には抗力1460Nが生じることから、この時のスクラム時間の遅れは、摩擦力と時間遅れが対比するとして□(秒)となる。

東海第二の相対変位16.8mmに対するスクラム時間(90%ストローク)は、別図1の相対変位□mmでのスクラム時間を保守的に用いて□秒であるとする、鉛直地震力による影響を考慮したスクラム時間は□(秒)となる。これは、90%ストロークスクラムの目安時間3.5秒以内である。



別図1 燃料集合体相対変位と90%ストロークスクラム時間の関係

(資料V-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」に加筆)

3.2.2 燃料集合体の浮上り

(1) 評価方針

制御棒上部は、スクラム開始前の初期状態においても燃料集合体間に挿入されており、仮に上下地震動による浮上りが生じた場合でも燃料集合体下部の水平方向の移動は制御棒により拘束されるため、制御棒挿入が不可能になることはないと考えられる。

本項では、機器耐力その2報告書を基に、仮に上下地震動により燃料集合体に浮上りが生じた場合として、次の2ケースについて検討する。

- ① 上下地震動による燃料集合体の浮上り
- ② 水平及び上下地震動による燃料集合体の浮上り

(2) 評価結果

a. 上下地震動による燃料集合体の浮上り

機器耐力その2報告書では、上下地震動による燃料集合体の燃料支持金具からの浮上り量について、1自由度1質点の簡易解析モデルに正弦波を入力する解析により検討している。モデルを図4に、解析結果を図5に示す。浮上り量の最大は、入力加速度 $2.0 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 、周波数 5Hz の場合で浮上り量は 68mm となっている。

東海第二の鉛直方向震度は 1.24G であり、機器耐力その2報告書の解析結果における $1.5 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ での浮上り量 37mm を超えることはなく、燃料支持金具設置深さ 60mm の約 1/2 以下の浮上り量と推定される。

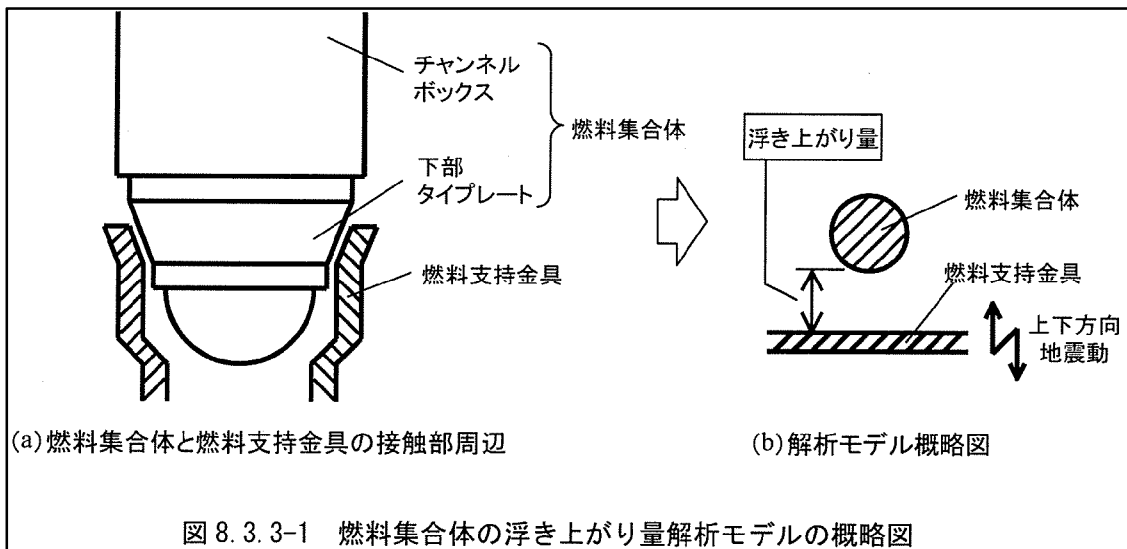


図 4 燃料集合体の浮上り量解析モデルの概略図（機器耐力その 2 報告書）

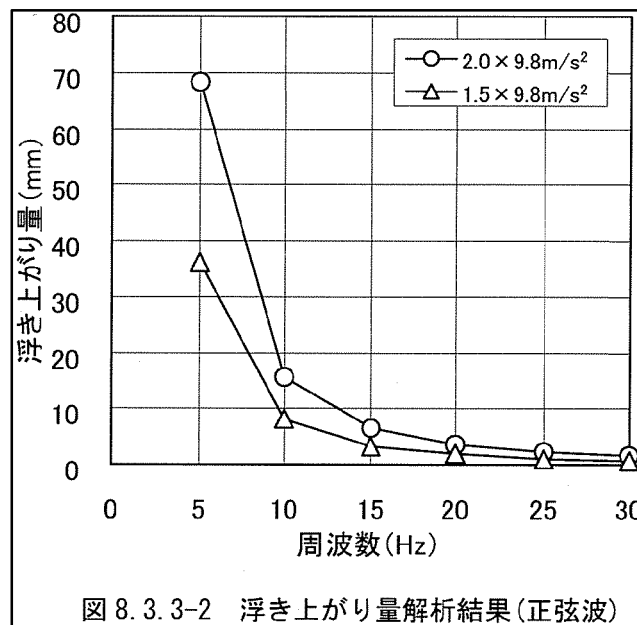


図 5 浮上り量解析結果（正弦波）（機器耐力その 2 報告書）

b. 水平及び上下地震動による燃料集合体の浮上り

機器耐力その2報告書では、上下方向に加えて水平方向の地震力を考慮し、燃料集合体が燃料支持金具から離脱する可能性について検討している。燃料集合体が上下地震動により浮上り、水平地震動の加速度により燃料支持金具の面に沿って上方方向に移動する事象を考えている。概要図を図6に示す。

図6の条件において力学的検討を行い、上下地震動によって燃料集合体が浮上った状態で水平方向の地震動の影響を受けた場合の水平動による上方方向の移動量を求めている。実プラントの基準地震動条件での検討では、移動量評価条件は表4に示すとおりで、水平動に対する評価結果では、上下動が $1.5 \times 9.8\text{m/s}^2$ のときの水平動による上方方向の移動量は1.1mm、 $2.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ のときの移動量は1.3mmとなっている。結果として、水平及び上下地震動による上方方向の移動量は、上下動が $1.5 \times 9.8\text{m/s}^2$ のときは $5.8\text{mm} + 1.1\text{mm} = 6.9\text{mm}$ 、上下動が $2.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ のときは $21.2\text{mm} + 1.3\text{mm} = 22.5\text{mm}$ となり、上下地震動に加え水平地震動を考慮した場合でも、燃料支持金具設置深さ60mmに対し十分小さい値となることが確認されている。

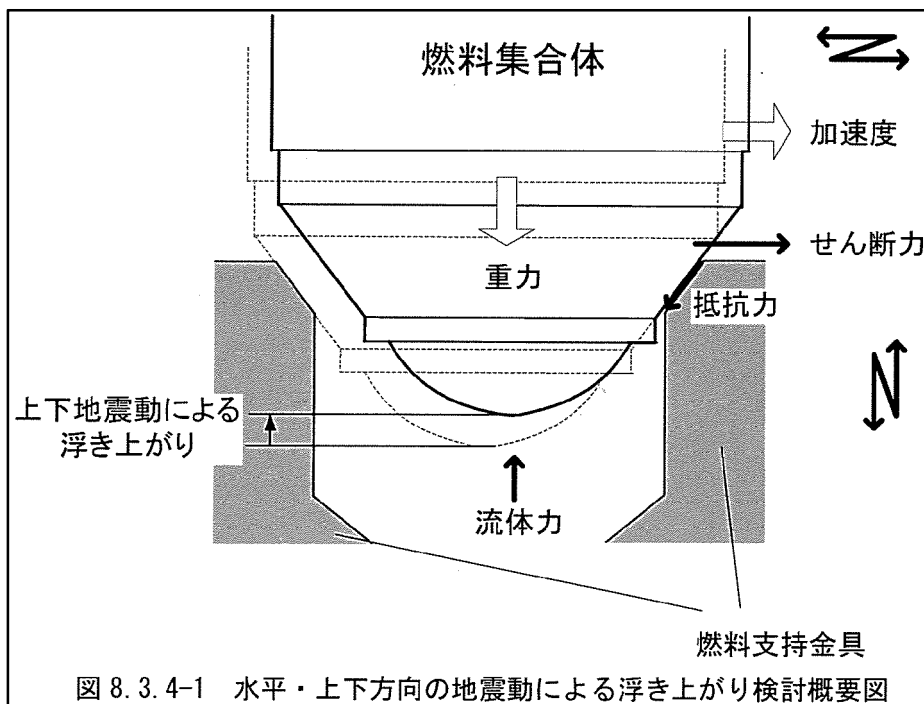


図6 水平・上下方向の地震動による浮上り検討概要図 (機器耐力その2報告書)

表 4 2.0×9.8m/s²及び1.5×9.8m/s²のときの移動量評価条件（機器耐力その2報告書）

| 上下地震動 最大加速度 [m/s ²] | 燃料集合体下端 加速度最大値 (水平方向) [m/s ²] | 燃料集合体下端 せん断力最大値 (水平方向) [N] | 上下地震動による 浮き上がり量 [mm] |
|---------------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------|
| 1.5×9.8 | 7.62×9.8 | 5.23×10 ⁶ | 5.8 |
| 2.0×9.8 | 10.0×9.8 | 5.50×10 ⁶ | 21.2 |

次に東海第二の基準地震動条件での移動量評価条件を整理し、機器耐力その2報告書の移動量評価条件と対比して、表5に示す。機器耐力その2報告書の検討条件に対し、東海第二の基準地震動S_sの条件の方が、燃料集合体下端の加速度最大値及びせん断力最大値ともに小さい。このため、水平及び上下地震動による上方向の移動量は、機器耐力その2報告書で算出された6.9mm（1.5×9.8m/s²の場合）より小さくなり、浮上りによる燃料支持金具からの離脱の影響はないと考える。

表 5 東海第二の移動量評価条件（機器耐力その2報告書と対比）

| | 上下地震動 最大加速度 (m/s ²) | 燃料集合体下端 加速度最大値 (水平方向) (m/s ²) | 燃料集合体下端 せん断力最大値 (水平方向) (N) |
|----------------|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| 機器耐力その2 報告書 | 1.5×9.8 | 7.62×9.8 | 5.23×10 ⁶ |
| | 2.0×9.8 | 10.0×9.8 | 5.50×10 ⁶ |
| 東海第二 | 1.24×9.8 | 1.25×9.8 | 2.01×10 ⁶ |

4. まとめ

鉛直地震動が作用した場合を想定し、制御棒に作用する荷重、燃料集合体の浮上りについて影響を検討した。

まず、制御棒に作用する荷重について、制御棒に作用する上下方向地震力と地震スクラムにより生じるその他作用力との大小関係を評価し、影響を検討した。その結果、交番荷重である鉛直地震動の加速度 $1.24 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ が、仮に常時下向きに作用するとした場合でも、制御棒の上向き挿入力は下向きの力に対して、十分大きくなっている。なお、今回の影響評価では、下記①、②に示すように保守性を有している。

- ① 制御棒駆動機構による上向きの挿入力として、水圧制御ユニットアキュムレータによるスクラムよりも低い炉圧スクラム (6.93MPa) による挿入力を用いている。
- ② 水平地震力による抗力として、耐専報告書記載の文献に基づき、燃料中央部のたわみ変位が 34mm になる状態でスクラムした場合に制御棒に生じる水平力を使用している。一方、東二の燃料集合体相対変位は 16.8mm であり、この時の水平地震力による抗力は 34mm での抗力より小さい。

また、鉛直地震動による抗力で生じるスクラム時間の遅れについて、燃料のたわみ変位によって生じる下向き抗力とスクラム遅れ時間との相関を仮定し検討した。その結果、常時下向きの地震力によるスクラム時間の遅れを加算してもスクラム目安時間を超えることはなく、実際には鉛直地震動は交番荷重として作用することから、挿入時間の遅れに対し影響はないと考える。

さらに、燃料集合体に浮上りが生じた場合の評価について、機器耐力その2報告書を参照して検討した。燃料支持金具から燃料集合体が離脱する可能性は極めて小さいとしている機器耐力その2報告書における耐震評価条件と、東海第二の基準地震動 S_s の評価条件を比較し、東海第二の耐震評価条件は機器耐力その2報告書の耐震評価条件より小さいことから、燃料集合体の浮上りによる影響はないと考える。

以上のことから、制御棒の挿入性に対する鉛直方向地震による影響は小さく問題ないと考える。

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 |
| 1.6 ダイヤフラム・フロア質量のモデル化 | 21 |
| 1.7 原子炉本体の基礎のコンクリート物性 | 22 |
| 1.8 解析モデルの扱い | 26 |
| 2. シアラグ部のクリアランスについて | 30 |
| 2.1 はじめに | 30 |
| 2.2 シアラグ部概略構造とクリアランス評価 | 30 |

下線：本日ご提出資料

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。

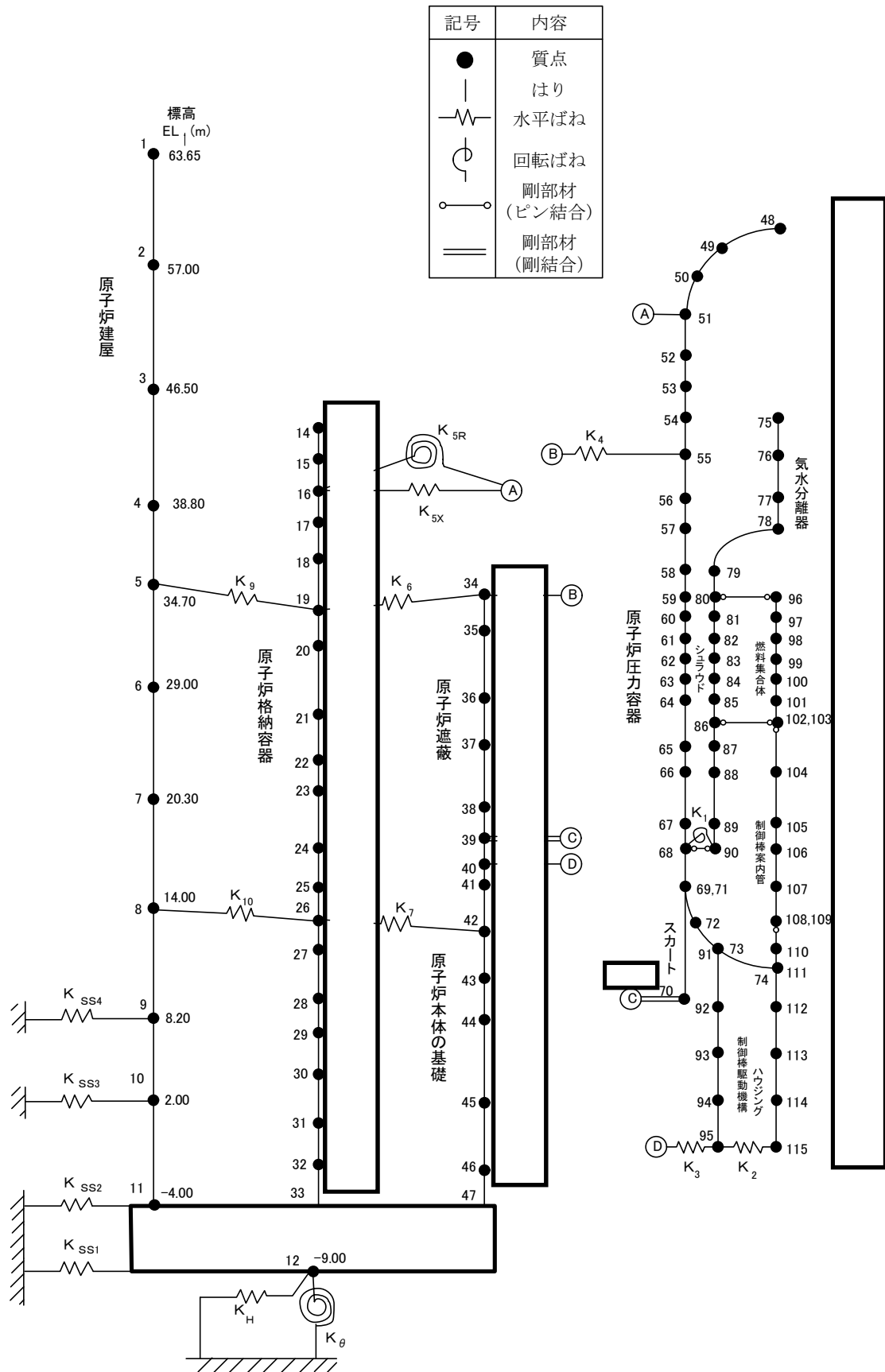


図 1 (1) 大型機器，構造物の地震応答解析モデル（水平方向）

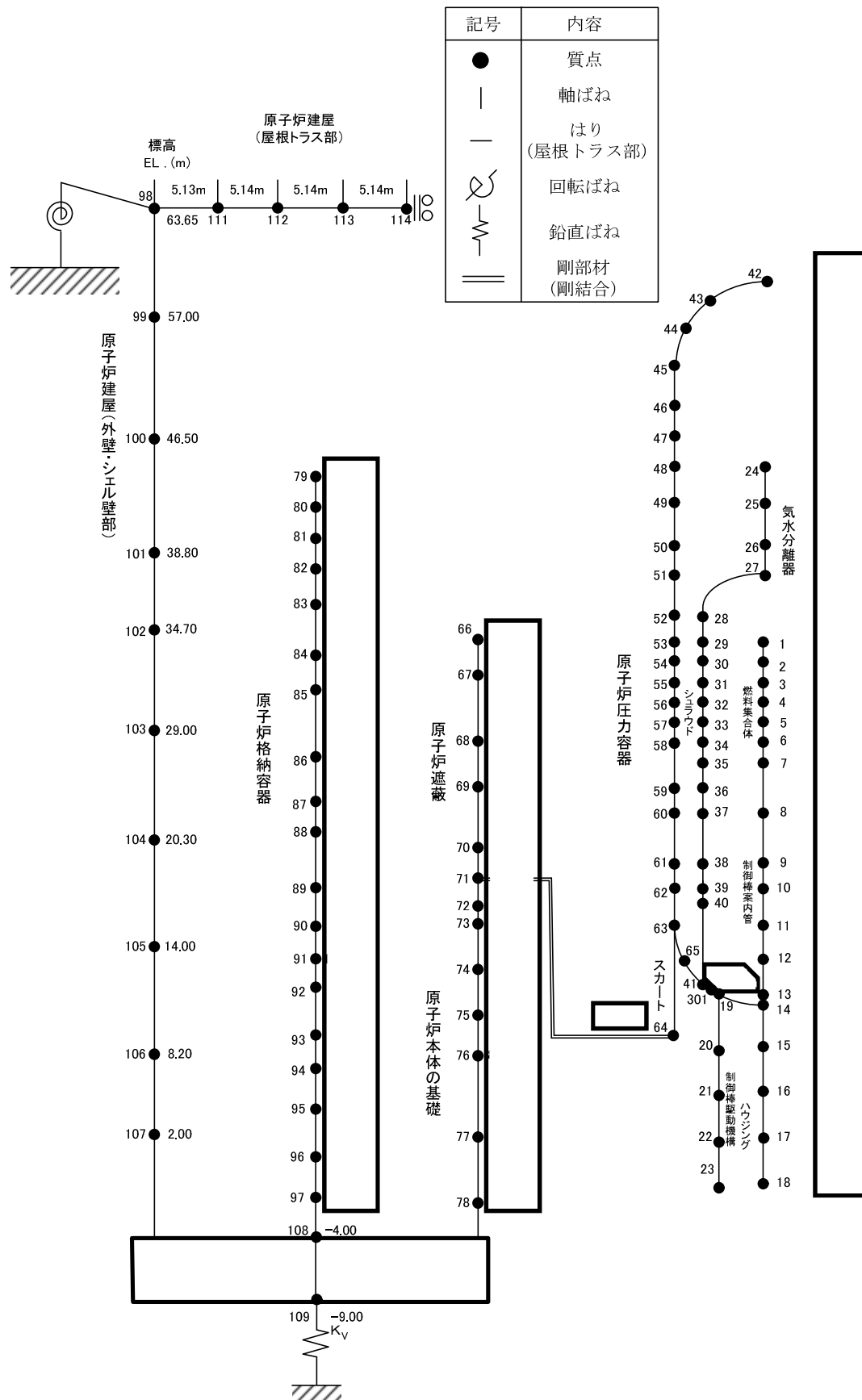


図 1(2) 大型機器, 構造物の地震応答解析モデル (鉛直方向)

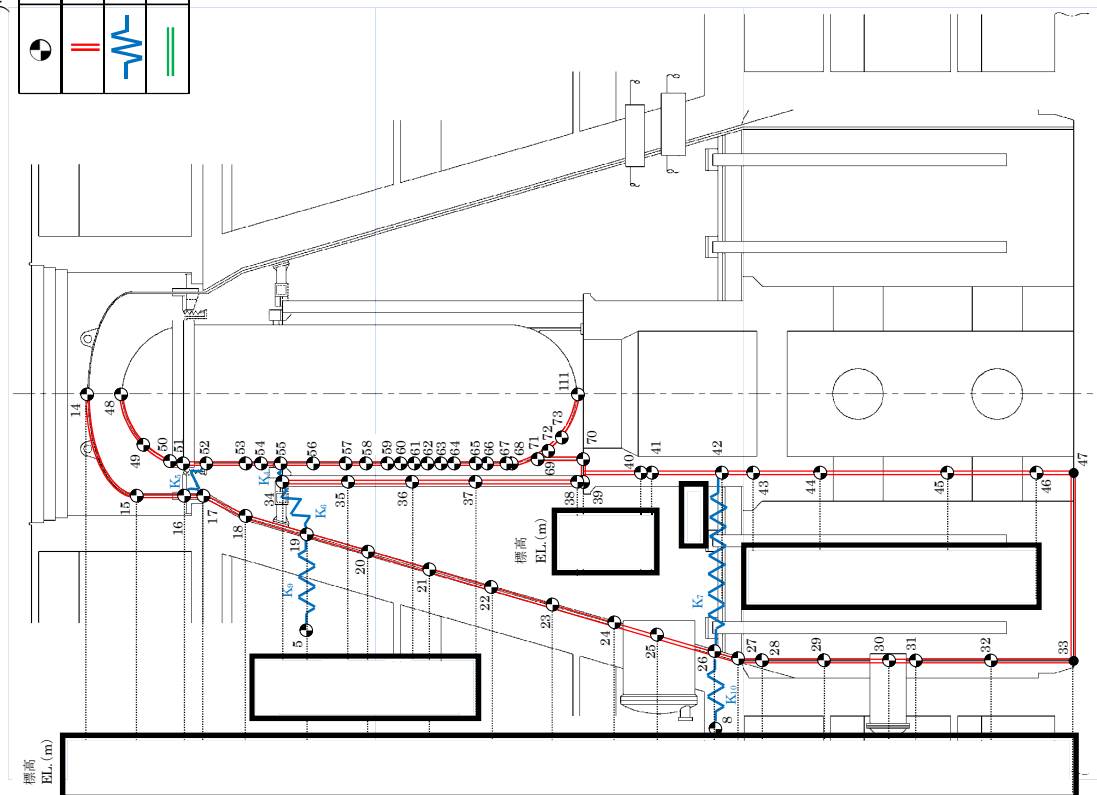
1.2 質点位置

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。

凡例

| | |
|--|-----|
| | 質点 |
| | はり |
| | ばね |
| | 剛部材 |



| 構造物 | 質点番号 | 標高 EL. (m) | 設定根拠 | |
|---------|------|------------|------------------|----------------------|
| 原子炉格納容器 | 14 | | P CV 頂部 | |
| | 15 | | 鏡板と円筒部の境界 | |
| | 16 | | シールペロー取合部 | |
| | 17 | | トップヘッドフランジ部 | |
| | 18 | | 円錐角度切り替わり部 | |
| | 19 | | 上部シアラグ・スタビライザ取合部 | |
| | 20 | | | |
| | 21 | | | |
| | 22 | | | |
| | 23 | | | 円錐部を等間隔に分割 |
| | 24 | | | |
| | 25 | | | 板厚切り替わり部 |
| | 26 | | | シアラグ取合部 |
| | 27 | | | 同一板厚部を等間隔に分割 |
| | 28 | | | |
| | 29 | | | 同一板厚部を等間隔に分割 |
| | 30 | | | サブレーション・チェンバアクセスハッチ部 |
| | 31 | | | |
| | 32 | | | 没水部を等間隔に分割 |
| | 33 | | | 基礎盤上端 |

| 構造物 | 質点番号 | 標高 EL. (m) | 設定根拠 |
|----------|------|------------|--------------------------|
| 原子炉遮蔽 | 34 | | 頂部 |
| | 35 | | |
| | 36 | | 等間隔に分割 |
| | 37 | | |
| | 38 | | 原子炉遮蔽下端から最も近い補強リングまでの中間点 |
| 原子炉本体の基礎 | 39 | | R P V スカート取合部 |
| | 40 | | ハウジングレストレントビーム取合部 |
| | 41 | | 人員用開口の上端 |
| | 42 | | ダイヤフラムフロア取合部 |
| | 43 | | ペデスタル中間スラブ |
| | 44 | | 中間スラブと上部開口との中間 |
| | 45 | | ペデスタル上部開口と下部開口との中間 |
| | 46 | | ペデスタル下部開口と基礎盤上端の中間 |
| | 47 | | 基礎盤上端 |

(1) 原子炉格納容器, 原子炉遮蔽及び原子炉本体の基礎

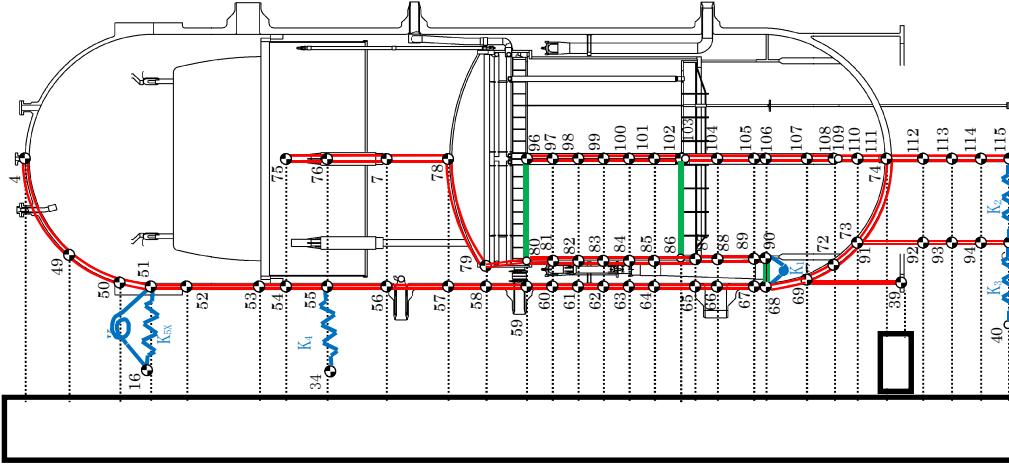
図 2 地震応答解析モデル (水平方向)

標高
EL. (m)

| 構造物 | 質点 番号 | 標高 EL. (m) | 設定根拠 |
|---------|----------|---------------|---------------------|
| 原子炉圧力容器 | 48 | | RPV頂部 |
| | 49 | | 等間隔に分割 |
| | 50 | | フランジと上鏡板の取合い部 |
| | 51 | | フランジシート面 |
| | 52 | | フランジと胴板の取合い部 |
| | 53 | | 主蒸気ノズルの外径中心近傍 |
| | 54 | | 炉内質点75位置と合せている |
| | 55 | | スタビライザブライケット位置 |
| 原子炉圧力容器 | 56 | | 質点番号77と同一標高 |
| | 57 | | 質点番号78と同一標高 |
| | 58 | | 質点番号79と同一標高 |
| | 59 | | |
| | 60 | | |
| | 61 | | 燃料集合体と同一標高 |
| | 62 | | |
| | 63 | | |
| | 64 | | |
| | 65 | | 質点番号87と同一標高 |
| 原子炉圧力容器 | 66 | | 再循環水出口ノズル位置 |
| | 67 | | 質点番号89と同一標高 |
| | 68 | | シュラウドサポートプレートとの接続位置 |
| | 69 | | スカート付け根位置 |
| | 70 | | スカート下端位置 |
| | 71 | | スカート付け根位置 |
| | 72 | | 質点番号108, 109と同一標高 |
| | 73 | | スタブ上端 |
| | 74 | | RPV底部 |

凡例

| | |
|--|-----|
| | 質点 |
| | はり |
| | ばね |
| | 剛部材 |



| 構造物 | 質点 番号 | 標高 EL. (m) | 設定根拠 |
|------------|----------|---------------|---------------------|
| 気水分離器 | 75 | | 設定根拠 |
| | 76 | | 気水分離器上端 |
| | 77 | | 気水分離器中央 |
| | 78 | | 気水分離器 (インナーチューブ) 下端 |
| シュラウド | 79 | | シュラウド上端 |
| | 80 | | シュラウド上部胴上端 |
| | 81 | | |
| | 82 | | 燃料集合体と同一標高 |
| | 83 | | |
| | 84 | | |
| | 85 | | |
| | 86 | | |
| | 87 | | シュラウド中間胴下端 |
| | 88 | | 質点番号66と同一標高 |
| シュラウド下部胴下端 | 89 | | シュラウド下部胴下端 |
| | 90 | | パツフルプレート位置 |

| 構造物 | 質点 番号 | 標高 EL. (m) | 設定根拠 |
|-------------|----------|---------------|---------|
| 制御棒案内管 (外側) | 91 | | 設定根拠 |
| | 92 | | スタブ上端位置 |
| | 93 | | 等間隔に分割 |
| | 94 | | |
| | 95 | | ハウジング下端 |

| 構造物 | 質点 番号 | 標高 EL. (m) | 設定根拠 |
|-------------|----------|---------------|-------------|
| 燃料集合体 | 96 | | 上部格子板位置 |
| | 97 | | |
| | 98 | | 等間隔に分割 |
| | 99 | | |
| | 100 | | |
| | 101 | | 炉心支持板位置 |
| | 102 | | 炉心支持板位置 |
| 制御棒案内管 | 103 | | 等間隔に分割 |
| | 104 | | シュラウド下部胴下端 |
| | 105 | | パツフルプレート位置 |
| | 106 | | 質点番号69と同一標高 |
| | 107 | | ハウジング上端 |
| | 108 | | ハウジング上端 |
| | 109 | | スタブ上端 |
| 制御棒案内管 (内側) | 110 | | RPV底部 |
| | 111 | | 等間隔に分割 |
| | 112 | | |
| | 113 | | |
| | 114 | | |
| | 115 | | ハウジング下端 |

(2) 原子炉圧力容器, 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

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

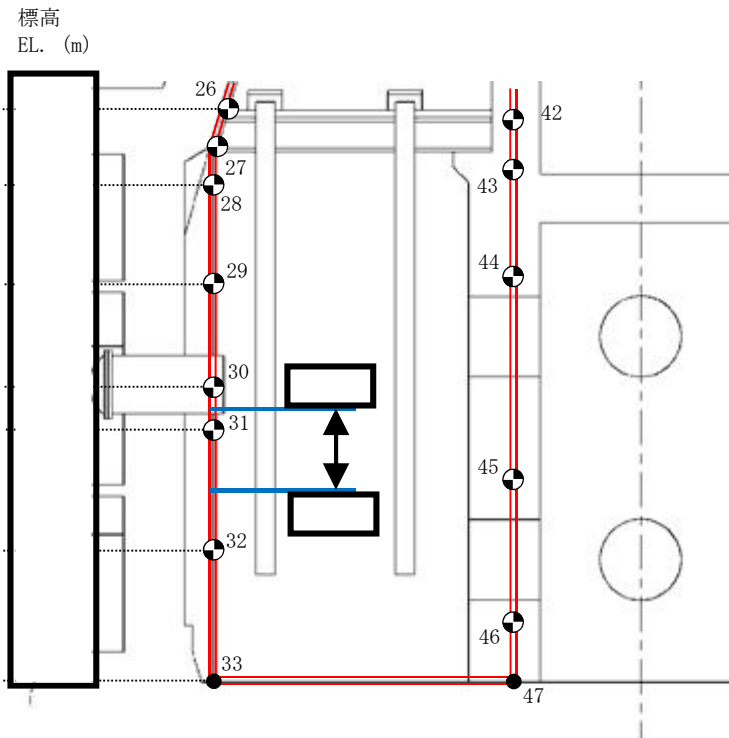


図3 質点質量の算出例 (質点 No. 31)

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 質点間のはりばりは、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。

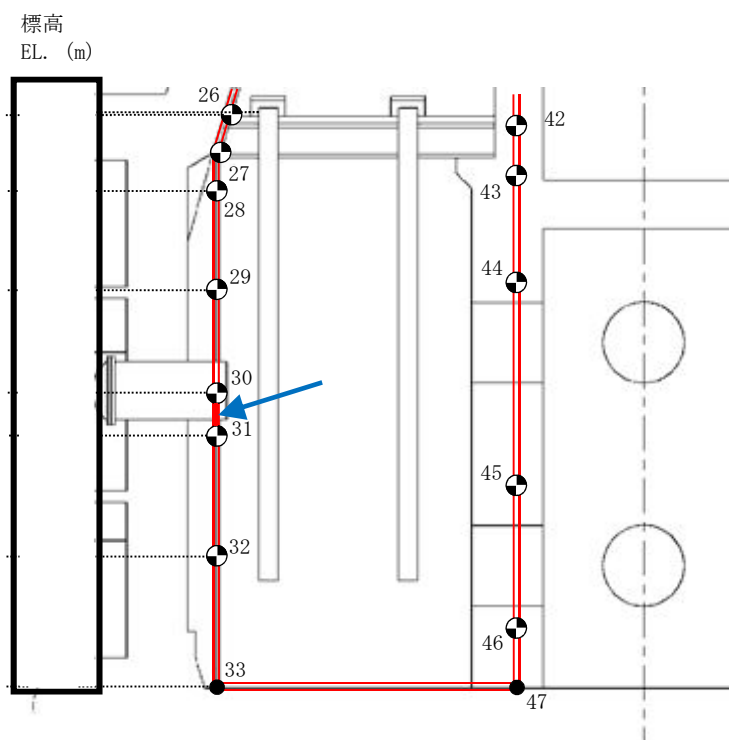
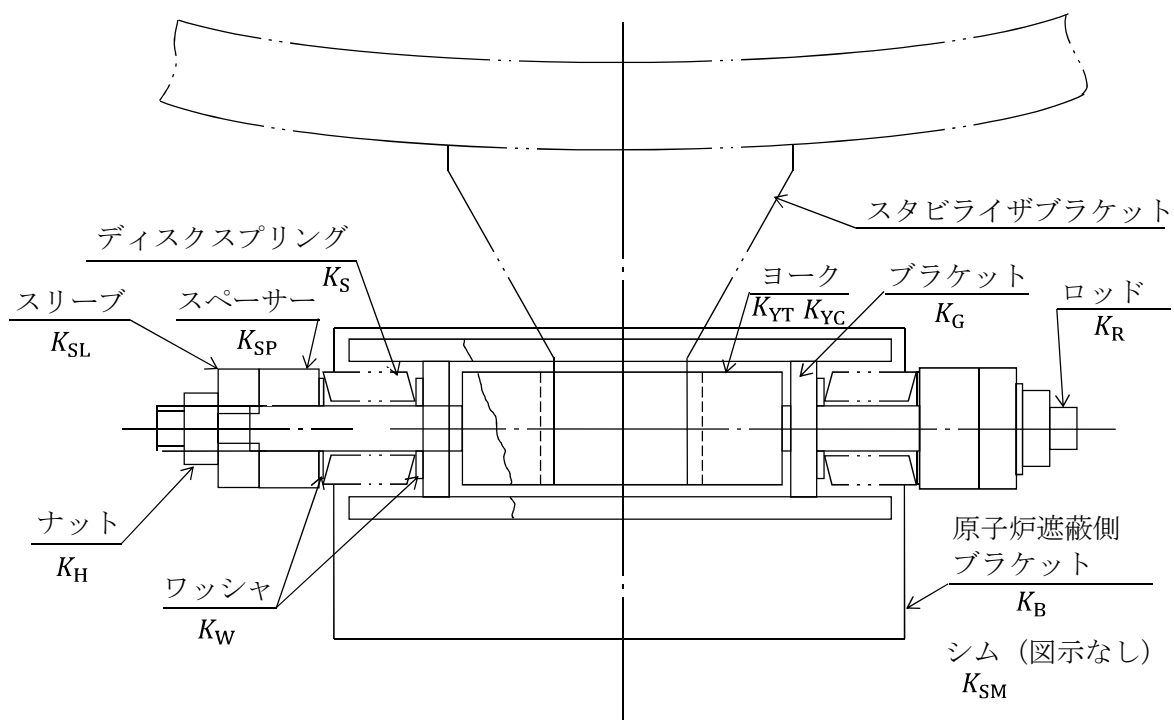
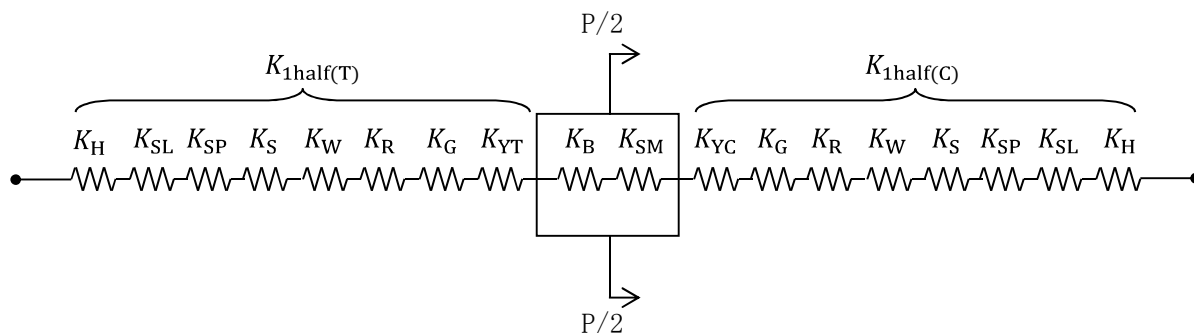


図 4 断面剛性の算出例（質点 No. 30～31）

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。

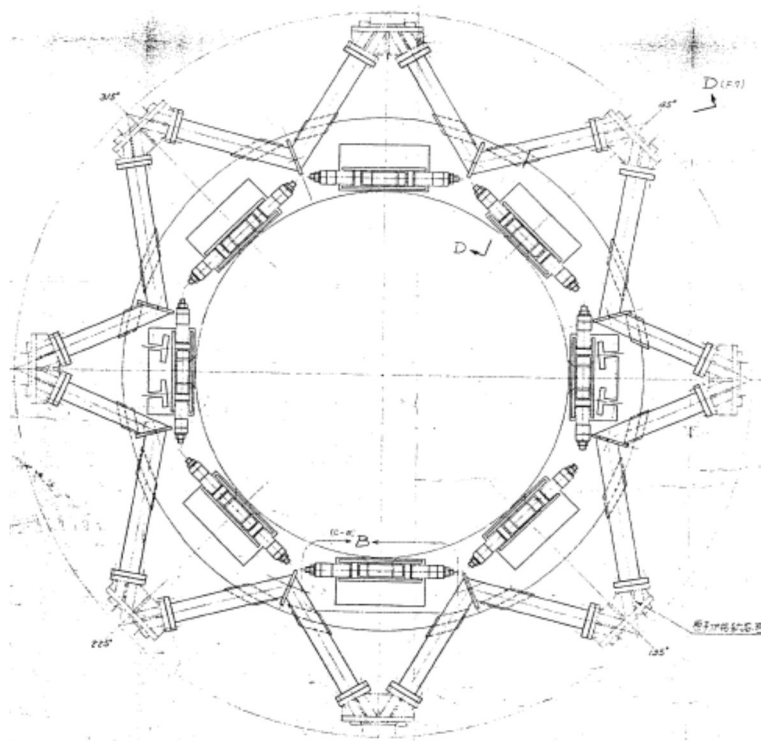
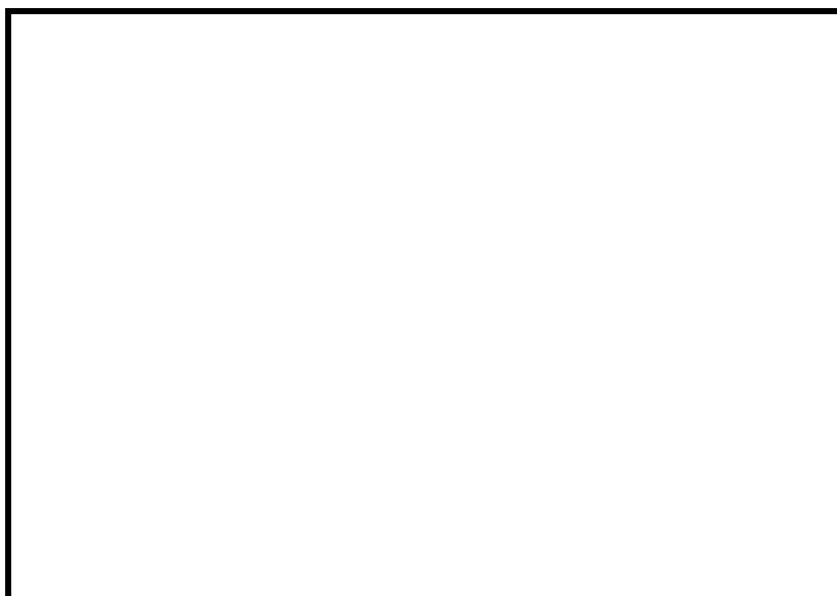


図6 PCVスタビライザ概要図(平面図)

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 P C V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 (K₇)

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。

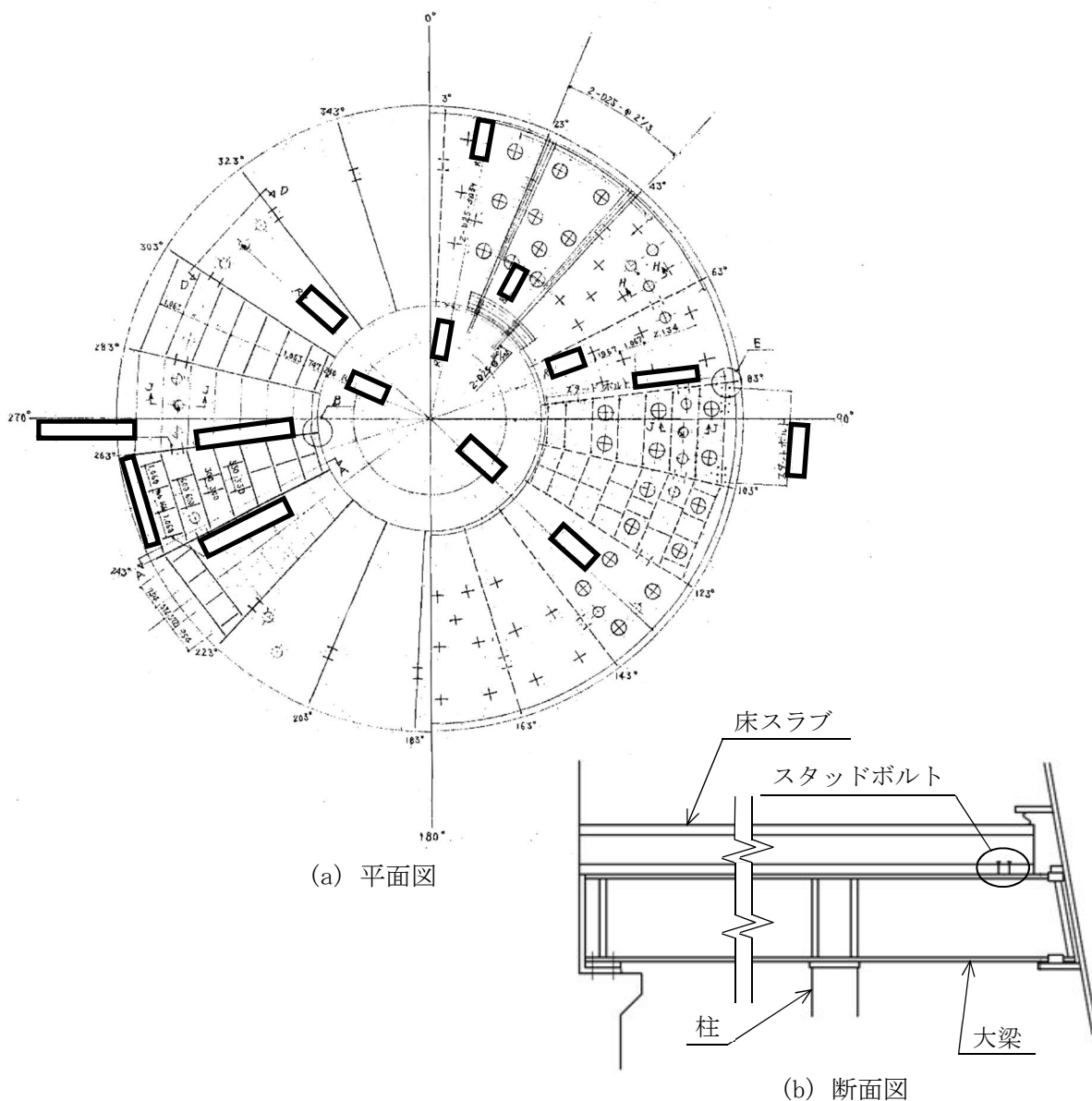


図 9 ダイヤフラム・フロア概要図

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)

ここで,

- ν : 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

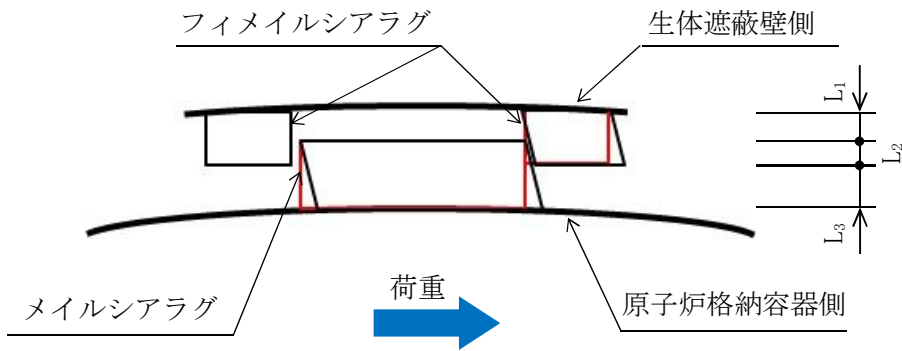
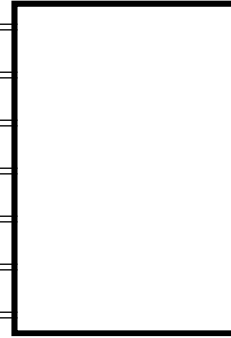


図 13 上部シアラグばね定数算出概念図

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

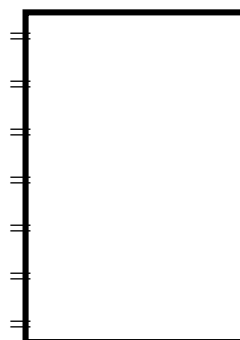
A_1 : フィメールシアラグの断面積

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配置した鋼製大梁及び大梁間に円周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。(図15参照)

ダイアフラム・フロア自重は、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する。柱は円周状に 20° 間隔で 18 本設置しており、ダイアフラム・フロア自重を原子炉本体の基礎及び柱 18 本とで、 の割合で分担する。

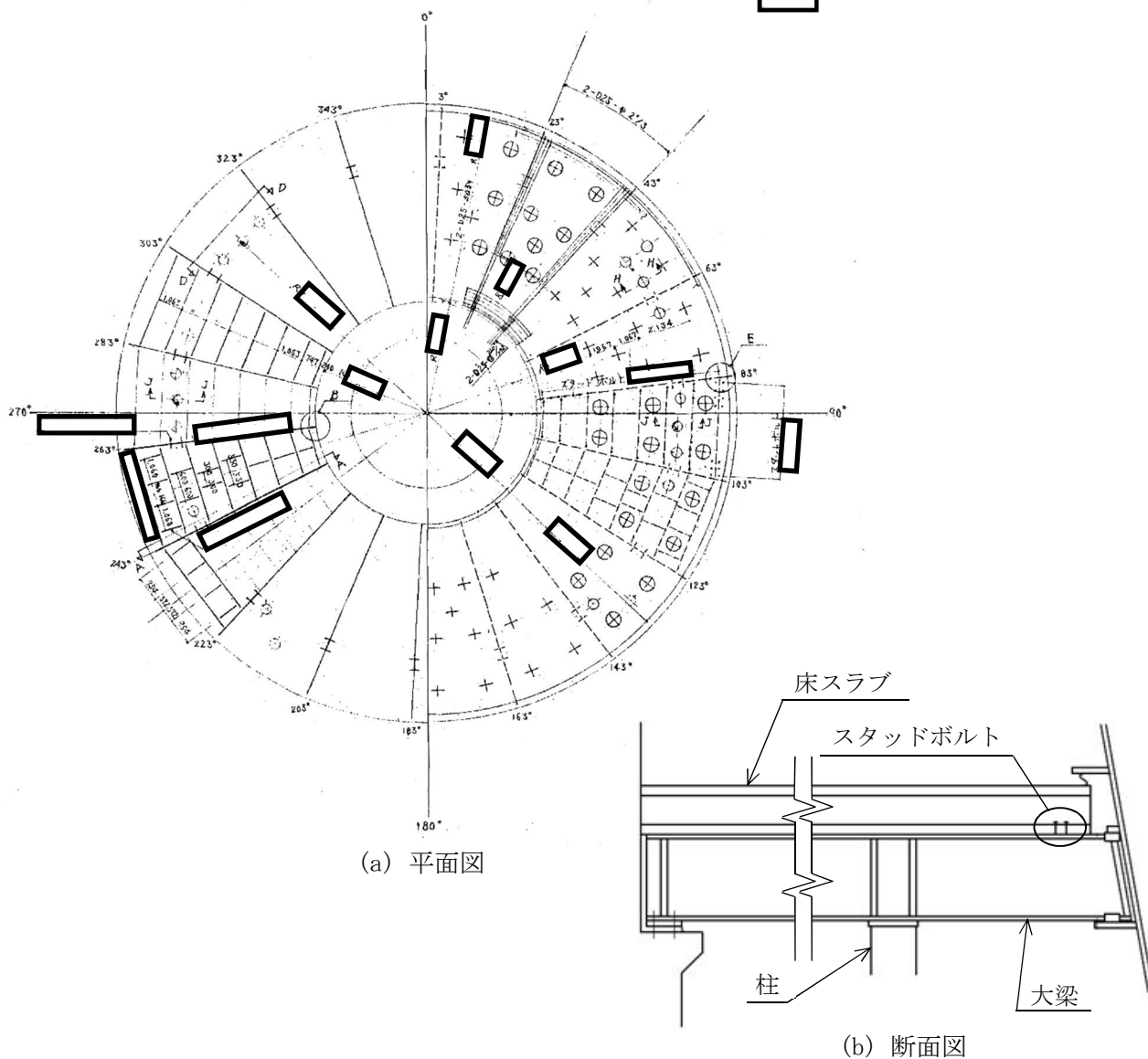


図 15 ダイアフラム・フロア概要図

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 RPV 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 RPV 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。

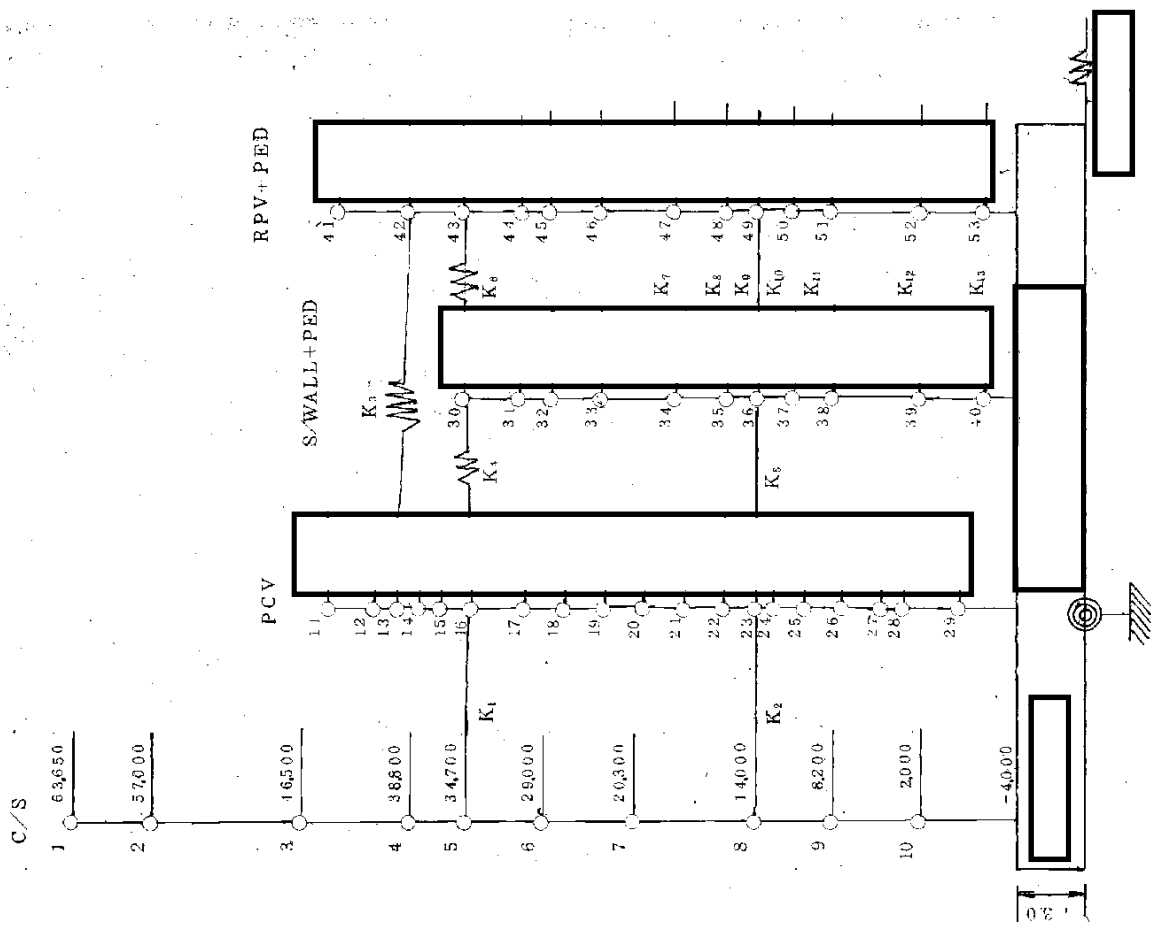


図 16 地震応答解析モデル：モデル①（既工認：分割申請第 1 回）

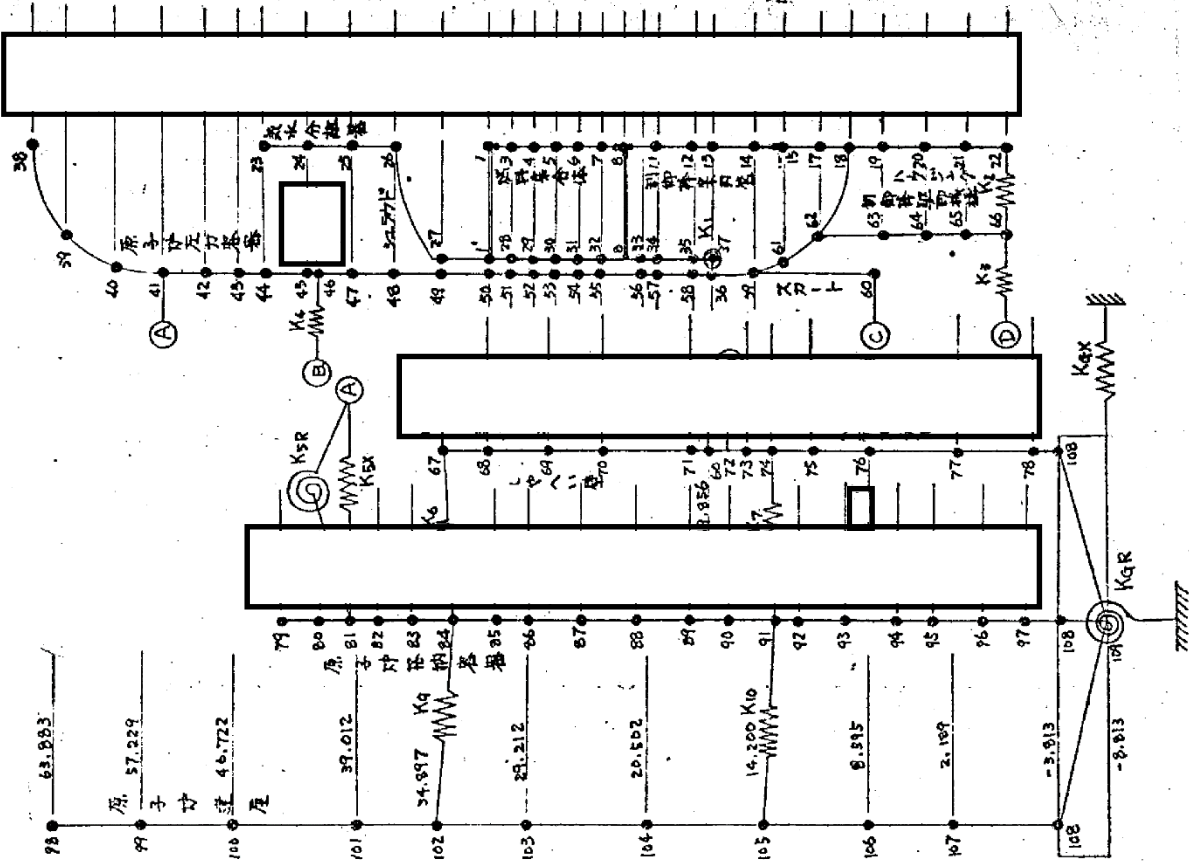


図 17 地震応答解析モデル：モデル②（既工認：分割申請第 20 回）

| 記号 | 内容 |
|-------|------------|
| ● | 質点 |
| — — | はり |
| — — — | 水平ばね |
| ⊕ | 回転ばね |
| ○—○ | 剛部材 (ピン結合) |
| ≡ | 剛部材 (剛結合) |

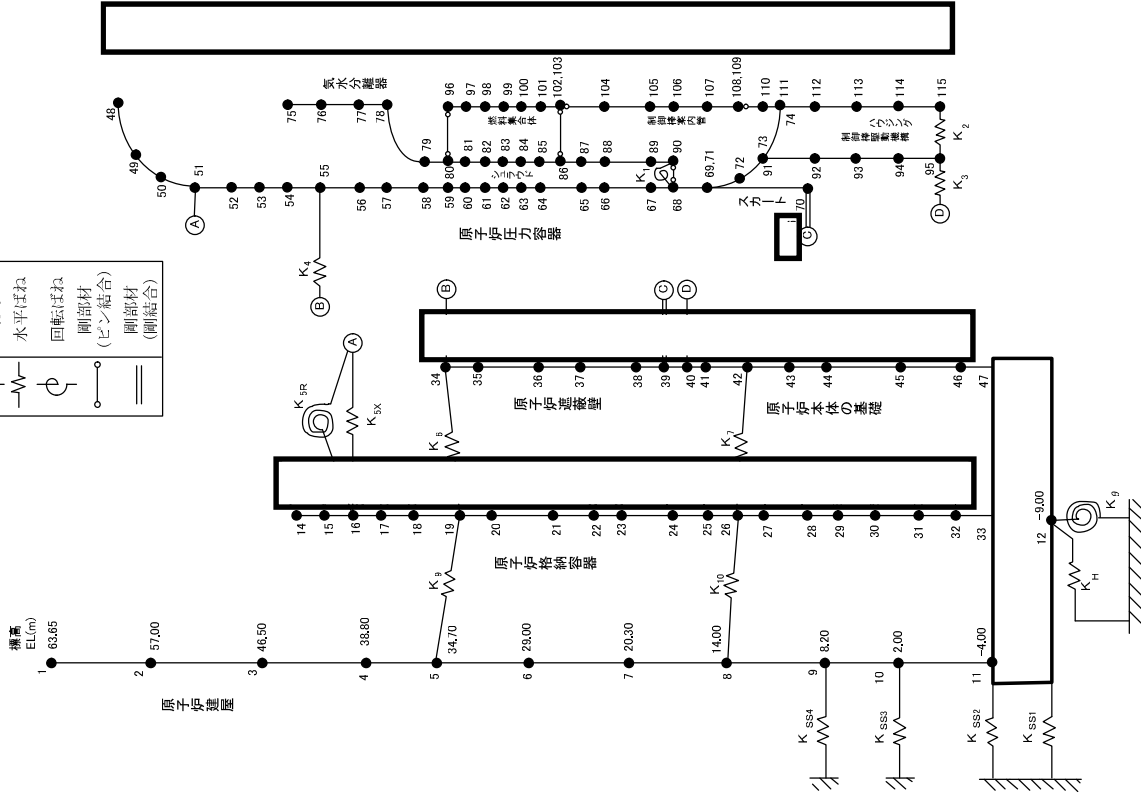


図 18 地震応答解析モデル：モデル②（今回工認）

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、ドライウエ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。

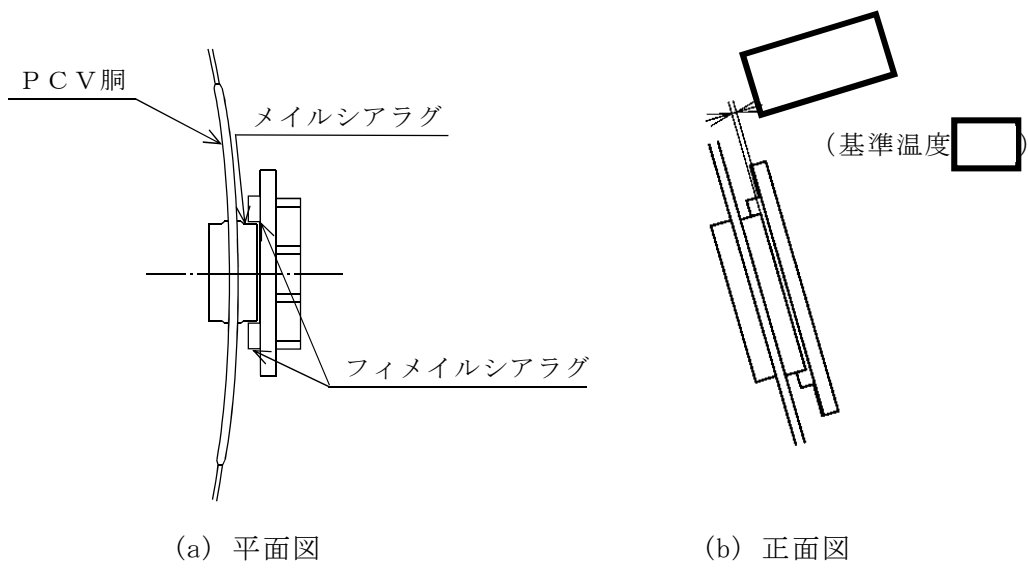


図 19 上部シアラグ概略図

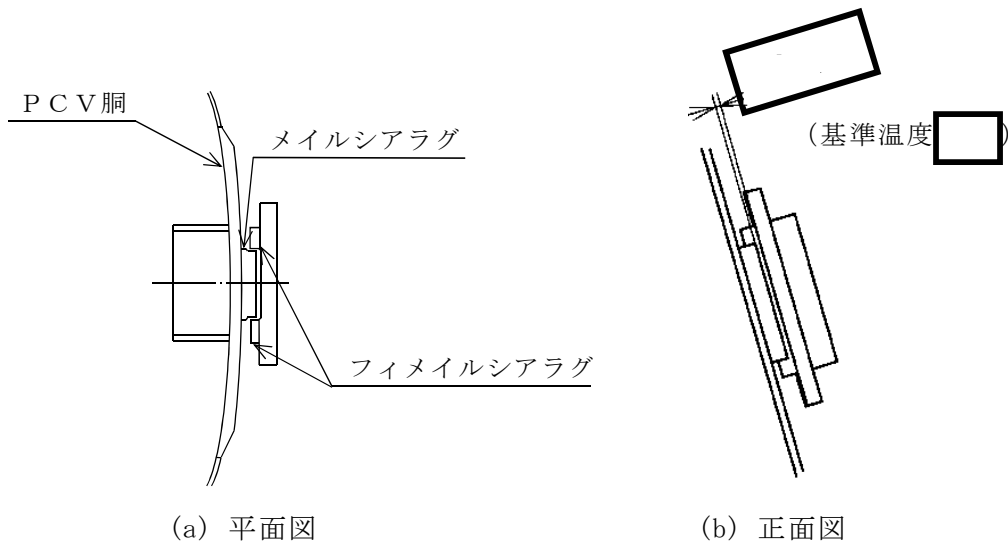


図 20 下部シアラグ概略図

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5のとおり整理した。

表5 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5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6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6 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 | |