

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-015 改 01
提出年月日	2022年3月1日

工事計画に係る補足説明資料

(発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書)

2022年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

補足説明資料目次

今回提出範囲：



1. 溢水評価
 - 1.1 機能喪失高さ
 - 1.2 防護すべき設備のうち溢水評価対象外とする設備
2. 没水影響評価
 - 2.1 溢水伝播経路概念図
 - 2.2 溢水伝播経路モデル図
 - 2.3 想定破損による溢水に対する没水影響評価
 - 2.4 想定破損による溢水に対する没水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 2.5 想定破損による溢水に対する没水影響評価結果（重大事故等対処設備）
 - 2.6 消火水の放水による溢水に対する没水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 2.7 消火水の放水による溢水に対する没水影響評価結果（重大事故等対処設備）
 - 2.8 地震起因による溢水に対する没水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 2.9 地震起因による溢水に対する没水影響評価結果（重大事故等対処設備）
3. 被水影響評価
 - 3.1 想定破損による溢水に対する被水影響評価
 - 3.2 想定破損による溢水に対する被水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 3.3 想定破損による溢水に対する被水影響評価結果（重大事故等対処設備）
 - 3.4 地震起因による溢水に対する被水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 3.5 地震起因による溢水に対する被水影響評価結果（重大事故等対処設備）
4. 蒸気影響評価
 - 4.1 想定破損による溢水に対する蒸気影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 4.2 想定破損による溢水に対する蒸気影響評価結果（重大事故等対処設備）
 - 4.3 地震起因による溢水に対する蒸気影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 4.4 地震起因による溢水に対する蒸気影響評価結果（重大事故等対処設備）
5. 想定破損による溢水評価
 - 5.1 想定破損による溢水評価における溢水源
 - 5.2 高エネルギー及び低エネルギー配管の分類
 - 5.3 低エネルギー配管の応力評価
 - 5.4 想定破損における減肉の考慮
6. 消火水の放水による溢水評価
 - 6.1 消火水の放水による溢水評価の概要
 - 6.2 消火水の放水による溢水評価例
7. 地震起因による溢水評価
 - 7.1 地震起因による溢水評価における溢水源
 - 7.2 溢水防護に係る設備の耐震評価対象設備・部位の代表性及び網羅性

- 7.3 燃料プール等のスロッシングによる溢水量の算出
- 8. その他の溢水による溢水評価
 - 8.1 タービン建物内で発生する溢水の溢水評価
 - 8.2 屋外タンク等からの溢水評価
 - 8.3 地下水による溢水影響
 - 8.4 その他漏えい事象に対する確認
- 9. 全般
 - 9.1 溢水防護区画毎における機能喪失高さ
 - 9.2 ケーブルの被水影響評価
 - 9.3 没水影響評価における床勾配
 - 9.4 貫通部止水処置に関する健全性
 - 9.5 浸水防護施設の止水性
 - 9.6 地下水位低下設備
 - 9.7 放射性物質を含む液体の管理区域外漏えい防止評価
 - 9.8 排水を期待する流下開口
 - 9.9 鉄筋コンクリート壁の止水性
 - 9.10 経年劣化事象と保全内容
 - 9.11 エキスパンションジョイント止水板の性能
 - 9.12 水密扉の開閉運用
 - 9.13 循環水系隔離システムの内、復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響

別紙（１）工認添付資料と設置許可まとめ資料との関係

別紙（２）添付VI-1-1-9 の各資料と工認補足説明資料との関係

9.13 循環水系隔離システムの内，復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響

目 次

1. 概要
2. 復水器の構造概要
3. 復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響モード
- A. 復水器水室落下の影響評価
 1. 評価方針
 - (1) 評価方針
 - (2) 適用規格・基準等
 2. 復水器水室の評価部位・評価条件
 - (1) 構造概要及び評価部位
 - (2) 設計用地震力
 - (3) 水室評価部位の許容応力
 3. 復水器水室評価部位の評価
 - (1) 地震力が復水器細管軸方向に作用した場合
 - (2) 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合
 - (3) 地震力が鉛直方向に作用した場合
 - (4) 水平2方向地震力と鉛直方向地震力の組合せ
 4. 評価結果
- B. 復水器本体移動による接触影響評価
 1. 評価方針
 - (1) 評価方針
 - (2) 適用規格・基準等
 2. 復水器基礎部と復水器水室フランジの評価部位・評価条件
 - (1) 構造概要及び評価部位
 - (2) 設計用地震力
 - (3) 評価条件及び許容応力
 3. 復水器基礎 (No. ⑦～⑪) の評価
 - (1) 耐震サポート (No. ⑦～⑪) に作用する荷重の算出
 - (2) センタサポート⑨の応力
 - (3) キーサポート⑦⑧の応力
 - (4) キーサポート⑩⑪の応力
 4. 復水器水室フランジ変位量の評価
 5. 復水器基礎 (No. ①～④) の評価
 - (1) 鉛直方向受側を拘束する基礎台配置
 - (2) 復水器基礎の評価
 - (3) 基礎コンクリートの圧縮評価

6. 評価結果

- (1) 復水器基礎（センタサポート⑨）
- (2) 復水器基礎（キーサポート⑦⑧）
- (3) 復水器基礎（キーサポート⑩⑪）
- (4) 復水器水室フランジ変位量
- (5) 復水器基礎コンクリート（No. ①～④コーナサポート）

C. 3次元FEMモデルを用いた時刻歴応答解析

1. 解析条件
2. 固有値解析結果
3. 後水室，前水室に作用する荷重の算出
4. 耐震サポートに発生する荷重の算出
5. 復水器基礎に発生する荷重の算出
6. 復水器水室フランジの変位量の算出

D. まとめ

1. 概要

タービン建物（復水器を設置するエリア）復水器エリアに配置する循環水系配管の地震起因の破損時には、海洋を溢水源とする溢水が発生する。この溢水量低減を目的として、当該エリアの漏えいを検知し、循環水ポンプ停止、復水器水室出入口弁及び循環水ポンプ出入口弁を自動閉止する循環水系隔離システムを設置している。溢水量算出においては復水器出入口弁の閉止までの時間としている。したがって、当該弁は地震後に弁閉止機能を必要とすることから、基準地震動 S_s による地震力に対して、復水器損傷による影響を受けないことを確認する。

2. 復水器の構造概要

復水器の構造概要について第 9.13-1 表に示す。

第 9.13-1 表 構造概要 (1/2)

概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>復水器は、細管軸方向及び細管軸直方向をそれぞれ拘束するセンタサポートとキーサポートを復水器下部中央部の基礎に据え付ける。また、復水器は、基礎ボルトにより復水器四隅の基礎に据え付ける。</p> <p>後水室は後水室耐震サポート及び後水室下部サポートにより、前水室は端胴により復水器から支持される。</p>	<p>復水器に作用する荷重は、センタサポートおよびキーサポートを介して躯体に伝達する。</p> <p>また、復水器前水室に作用する荷重は端胴を介して、復水器後水室に作用する荷重は後水室耐震サポートと後水室下部サポートを介して復水器に伝達する構造とする。</p>	

第 9.13-1 表 構造概要 (2/2)

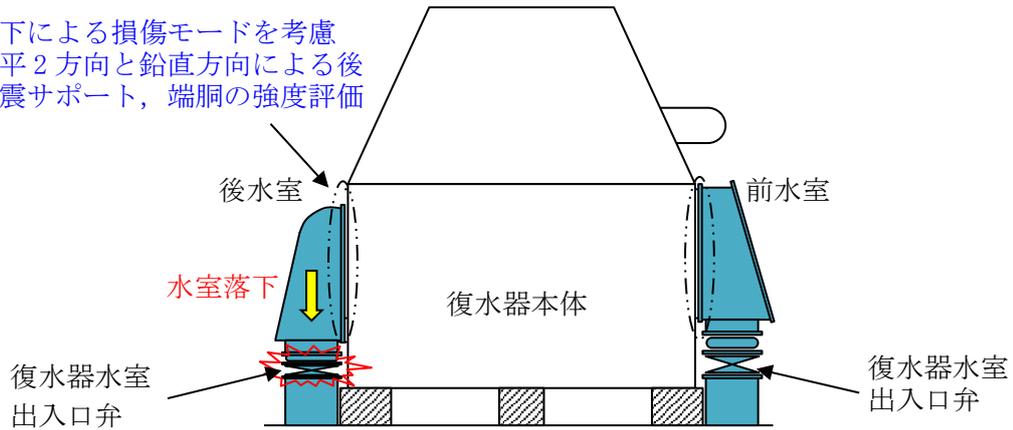
概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>復水器は、細管軸方向及び細管軸直方向をそれぞれ拘束するセンタサポートとキーサポートを復水器下部中央部の基礎に据え付ける。また、復水器は、基礎ボルトにより復水器四隅の基礎に据え付ける。</p> <p>後水室は後水室耐震サポート及び後水室下部サポートにより、前水室は端胴により復水器から支持される。</p>	<p>復水器に作用する荷重は、センタサポートおよびキーサポートを介して躯体に伝達する。</p> <p>また、復水器前水室に作用する荷重は端胴を介して、復水器後水室に作用する荷重は後水室耐震サポートと後水室下部サポートを介して復水器に伝達する構造とする。</p>	

3. 復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響モード

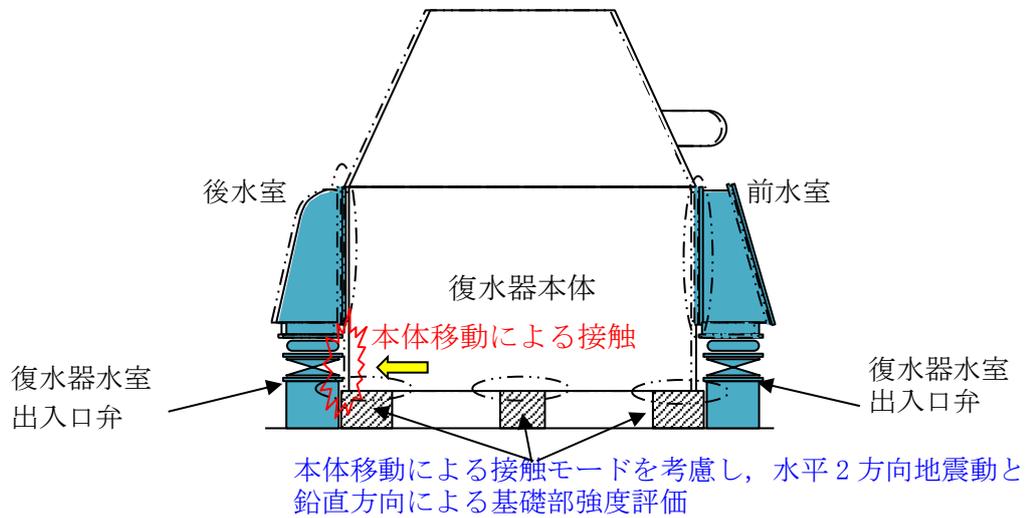
復水器水室出入口弁は復水器水室の直下に配置され、復水器水室が地震により損傷し落下する事象、復水器本体が地震により移動して当該弁へ接触する事象の影響がある。当該弁への影響イメージを第 9.13-1 図～第 9.13-3 図に示す。

影響評価に当たっては、実機構造を反映した 3 次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析を実施し、地震により復水器水室および基礎部に生じる荷重や復水器水室フランジ変位量を算出し、これを用いて評価を行う。

水室落下による損傷モードを考慮し、水平2方向と鉛直方向による後水室耐震サポート、端胴の強度評価



第 9.13-1 図 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ (A. 復水器水室落下の影響)

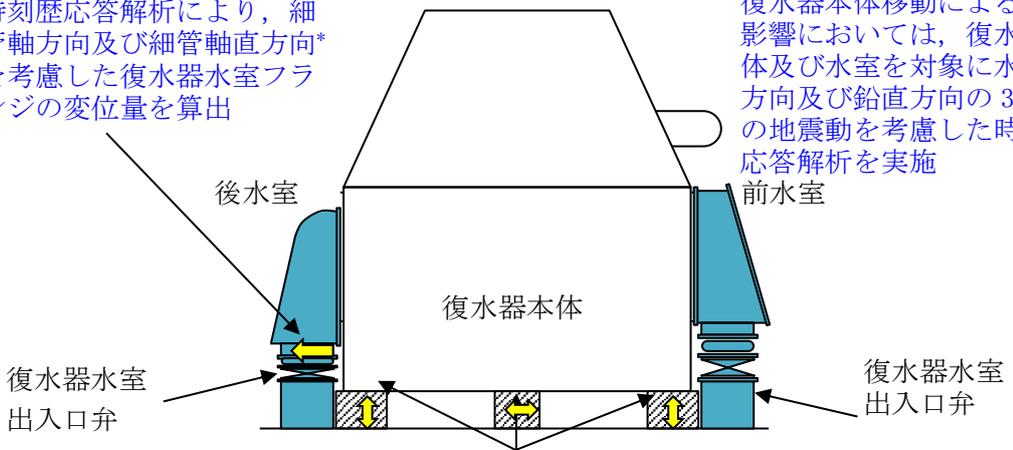


本体移動による接触モードを考慮し、水平2方向地震動と鉛直方向による基礎部強度評価

第 9.13-2 図 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ (B. 復水器本体移動による接触影響)

時刻歴応答解析により、細管軸方向及び細管軸直方向*を考慮した復水器水室フランジの変位量を算出

復水器本体移動による接触影響においては、復水器本体及び水室を対象に水平2方向及び鉛直方向の3方向の地震動を考慮した時刻歴応答解析を実施



地震応答解析により、復水器基礎部に生じる荷重を算出

注記*: 細管軸方向：紙面左右方向，細管軸直方向：紙面奥行方向

第 9.13-3 図 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ (C. 3次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析)

A. 復水器水室落下の影響評価

1. 評価方針

(1) 評価方針

復水器水室は、復水器水室出入口弁上部に設置され、後水室耐震サポート及び後水室下部サポートにより復水器本体に支持させる構造としている。

復水器水室落下の影響評価は、基準地震動 S_s による地震力に対して、復水器水室各サポートの評価部位に発生する応力が許容応力を超えないことを評価することにより、復水器水室出入口弁の機能が損なわれないことを確認する。

(2) 適用規格・基準等

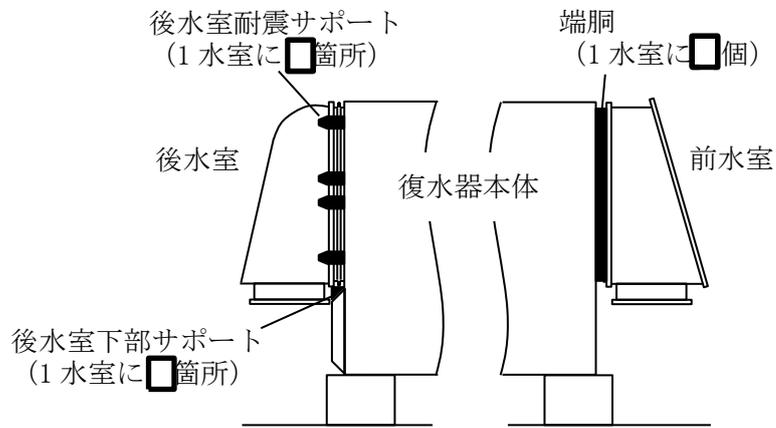
本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一

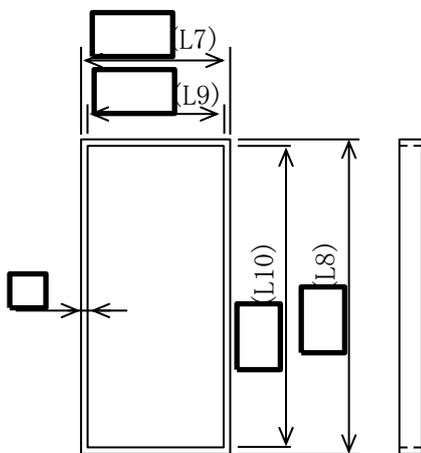
2. 復水器水室の評価部位・評価条件

(1) 構造概要及び評価部位

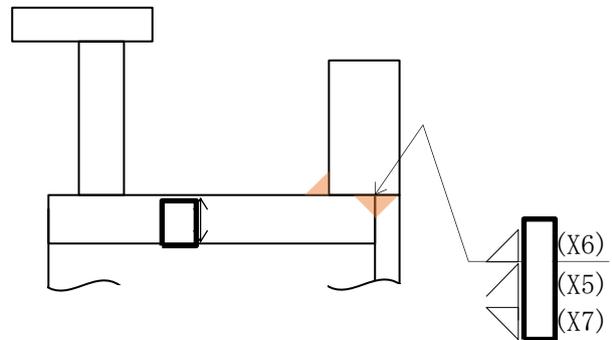
第 9.13-4 図に示す通り，後水室は水室を支持する後水室耐震サポート及び後水室下部サポートを評価部位とし，前水室は水室を支持する端胴を評価部位とする。なお，後水室耐震サポートは復水器本体と後水室に溶接で固定，後水室下部サポートは復水器本体と溶接で固定されており，前水室の端胴は復水器本体と溶接で固定されている。サポート，端胴の形状と溶接部については第 9.13-5 図～第 9.13-8 図に示す。



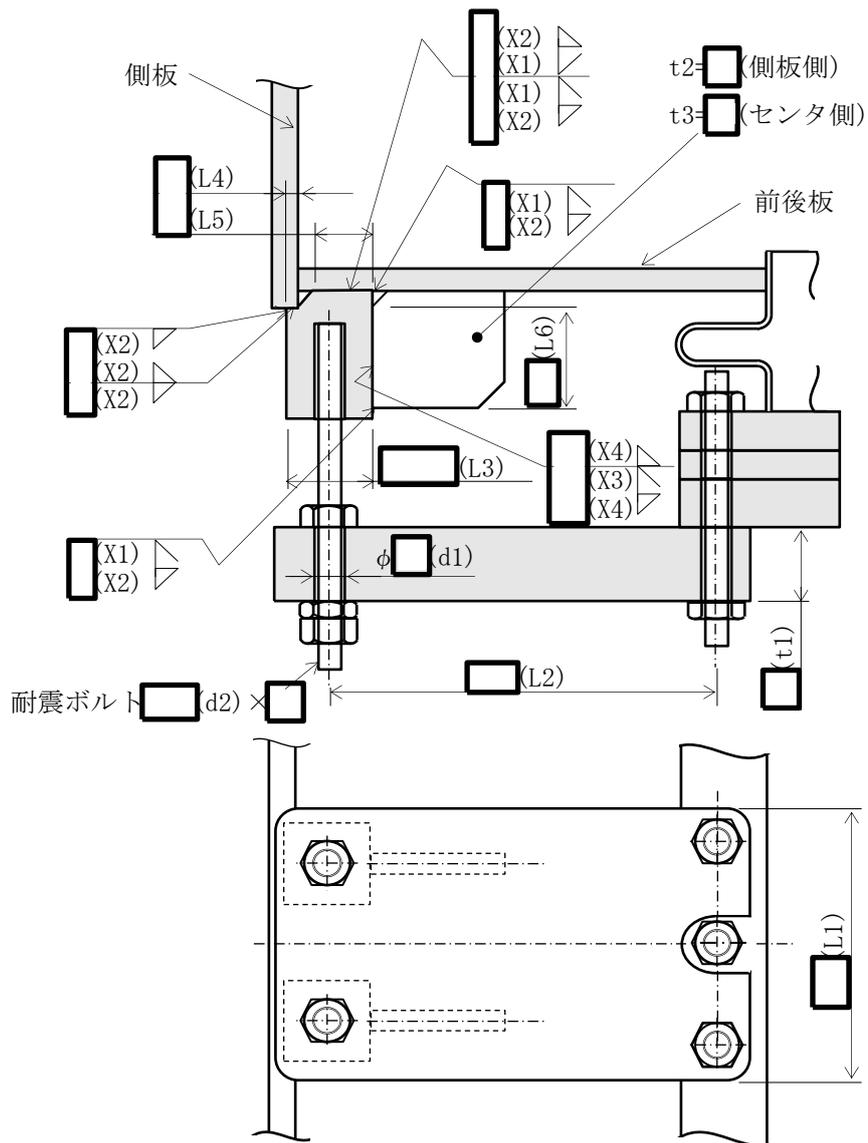
第 9.13-4 図 評価部位取付形状



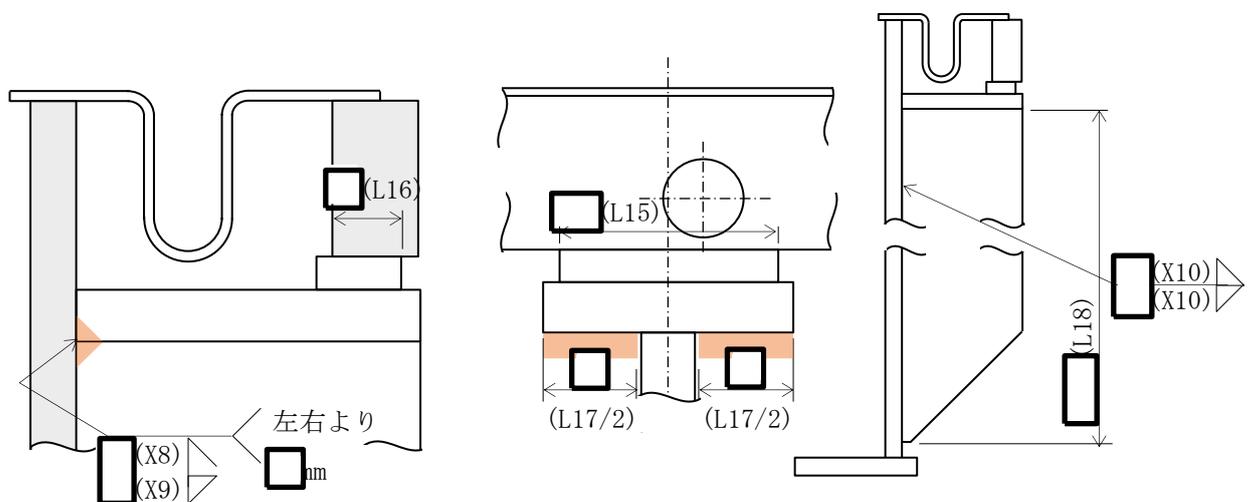
第 9.13-5 図 端胴の形状



第 9.13-6 図 端胴の溶接形状



第 9.13-7 図 後水室耐震サポートの形状 (代表例)



第 9.13-8 図 後水室下部サポートの形状

(2) 設計用地震力

復水器の強度部材を考慮した 3次元 FEM モデルを作成し、時刻歴応答解析により後水室、前水室に作用する荷重を算出する。水平 2 方向及び鉛直方向それぞれに対し荷重を求め、各方向による荷重を SRSS にて組み合わせる。各水室に作用する荷重を第 9.13-2 表に示す。なお、鉛直方向発生荷重には、自重が含まれている。

解析の詳細は「C. 3次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析」に示す。

第 9.13-2 表 後水室および前水室に作用する荷重

評価部位		算出荷重	発生荷重(kN)
後水室	細管軸方向	Fh1a	
	細管軸直方向	Fh2a	
	鉛直方向	Fh3a	
前水室	細管軸方向	Fh1b	
	細管軸直方向	Fh2b	
	鉛直方向	Fh3b	

(3) 水室評価部位の許容応力

後水室耐震サポート，後水室下部サポート及び前水室端胴とそれぞれの溶接部の許容応力を第9.13-3表に示す。

第9.13-3表 水室評価部位 許容応力

評価部位	算出応力	応力 (Ss 評価) 許容応力状態IV _A S	適用式
後水室耐震サポート 応力	σA : せん断	クラス2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室耐震サポート 応力	σB : 曲げ	クラス2 支持 構造物	$f_b = 1.5 \times F^* / 1.3$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室耐震サポート ボルト応力	σC : 引張	クラス2 支持 構造物	$f_t = 1.5 \times F^* / 2$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室耐震サポート (側板 側) 溶接部応力	σD : せん断	クラス2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室耐震サポート (セン タ側) 溶接部応力	σE : せん断	クラス2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
前水室端胴応力	σF : 組合せ (引張, 曲げ)	クラス2 支持 構造物	$f_t = 1.5 \times F^* / 1.5^{*1}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
前水室端胴溶接部応力	σG : 組合せ (せん断, 曲げ)	クラス2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室下部サポート応力	σH : 支圧	クラス2 支持 構造物	$f_p = 1.5 \times F^* / 1.1$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室下部サポート溶接部 応力	σI : せん断	クラス2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

注記*1 : 保守的に引張の許容応力を適用する。

*2 : 溶接部の許容応力は，接合される母材の許容せん断応力とする。

第9.13-4表 水室評価部位 許容応力評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C) *1	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
後水室耐震サポート	SCM440	60	790	929	650
後水室耐震サポートボルト	SCM435	60	743	882	617
後水室耐震サポート溶接部	SS400 相当	60	227	389	272
前水室端胴	SM400A 相当 (SMA400)	60	227	389	272
前水室端胴溶接部	SM400A 相当 (SMA400)	60	227	389	272
後水室下部サポート	SS400	60	227	389	272
後水室下部サポート溶接部	SS400 相当	60	227	389	272

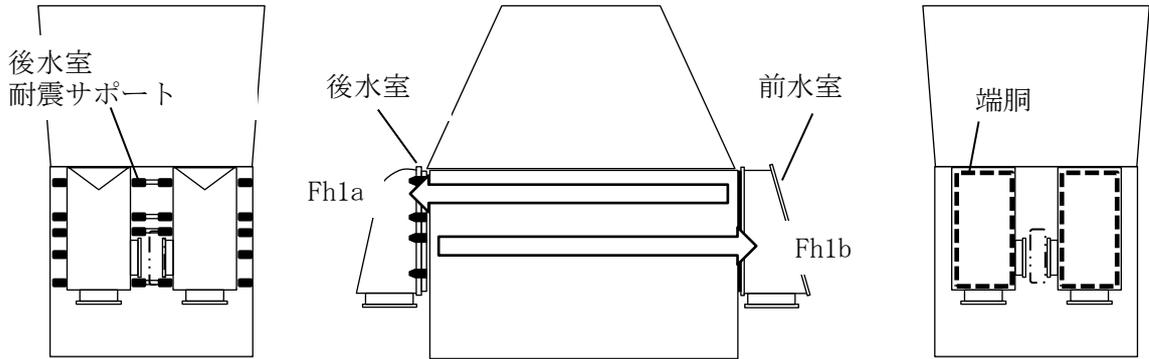
注記*1 : 最高使用温度

3. 復水器水室評価部位の評価

水室に地震力及び自重が作用したときに水室が落下しないことを確認するため、後水室耐震サポート、端胴部及び後水室下部サポートの強度評価を行う。

(1) 地震力が復水器細管軸方向に作用した場合

復水器本体内の細管の運転時質量が、水平地震動により水室に与える水平力から後水室耐震サポート及び端胴部が受けるせん断応力と引張応力を算出。



第 9.13-9 図 地震力が復水器細管軸方向に作用した場合

a) 後水室側の評価

後水室 1 個に後水室耐震サポートは 個あるため、後水室耐震サポート 1 個当たりの水平力 F1a は、

$$\begin{aligned}
 F1a &= \frac{Fh1a}{\input{type="text"}} \\
 &= \input{type="text"} \\
 &= \input{type="text"} \text{ kN}
 \end{aligned}$$

後水室耐震サポートが水平力 F1a を受ける断面積 A1 は、

$$\begin{aligned}
 A1 &= (L1 - 2 \cdot d1) \cdot t1 \\
 &= \input{type="text"} \\
 &= \input{type="text"} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

よって、細管軸方向地震により後水室耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 1$ は、

$$\begin{aligned}
 \sigma 1 &= \frac{F1a}{A1} \\
 &= \input{type="text"}
 \end{aligned}$$

$$= 5\text{MPa}$$

水平力 F1a による後水室耐震サポートの曲げモーメント M1 は,

$$\begin{aligned} M1 &= F1a \cdot L2 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{kN} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

後水室耐震サポートが曲げモーメント M1 を受ける断面係数 Z1 は,

$$\begin{aligned} Z1 &= \frac{L1 \cdot t1^2}{6} \\ &= \frac{\boxed{}}{6} \\ &= \boxed{} \text{mm}^3 \end{aligned}$$

よって、細管軸方向地震により後水室耐震サポートに発生する曲げ応力 $\sigma 2$ は,

$$\begin{aligned} \sigma 2 &= \frac{M1}{Z1} \\ &= \boxed{} \\ &= 97\text{MPa} \end{aligned}$$

後水室耐震サポートのボルト (M36) の断面積 A2 は,

$$\begin{aligned} A2 &= \frac{\pi \cdot d^2}{4} \\ &= \frac{\pi \times \boxed{}}{4} \\ &= \boxed{} \text{mm}^2 \end{aligned}$$

よって、2本で水平力 F1a を受け持つから、ボルトの引張応力 $\sigma 3$ は,

$$\begin{aligned} \sigma 3 &= \frac{F1a}{2 \cdot A2} \\ &= \boxed{} \\ &= 56\text{MPa} \end{aligned}$$

後水室耐震サポート（側板側）の溶接部の断面積 A3 は、

$$A3 = \frac{X2}{\sqrt{2}} \cdot (L3 + 2 \cdot L4) + \left(X1 + \frac{X2}{\sqrt{2}} \right) \cdot (2 \cdot L5 + L3 + t2) + \left(X3 + \frac{X4}{\sqrt{2}} \right) \cdot L6 + \frac{X4}{\sqrt{2}} \cdot L6$$

$$= \boxed{\hspace{15em}} \\ = \boxed{\hspace{2em}} \text{mm}^2$$

よって、2箇所水平力 F1a を受け持つから、後水室耐震サポート（側板側）の溶接部のせん断応力 $\sigma 4$ は、

$$\sigma 4 = \frac{F1a}{\frac{2}{A3}}$$

$$= \boxed{\hspace{10em}} \\ = 7 \text{MPa}$$

後水室耐震サポート（センタ側）の溶接部（耐震ボルト受台全周溶接）の断面積 A4 は、

$$A4 = \left(X1 + \frac{X2}{\sqrt{2}} \right) \cdot (4 \cdot L3 + t3) + \left(X3 + \frac{X4}{\sqrt{2}} \right) \cdot L6 + \frac{X4}{\sqrt{2}} \cdot L6$$

$$= \boxed{\hspace{15em}} \\ = \boxed{\hspace{2em}} \text{mm}^2$$

よって、2箇所水平力 F1a を受け持つから、後水室耐震サポート（センタ側）の溶接部のせん断応力 $\sigma 5$ は、

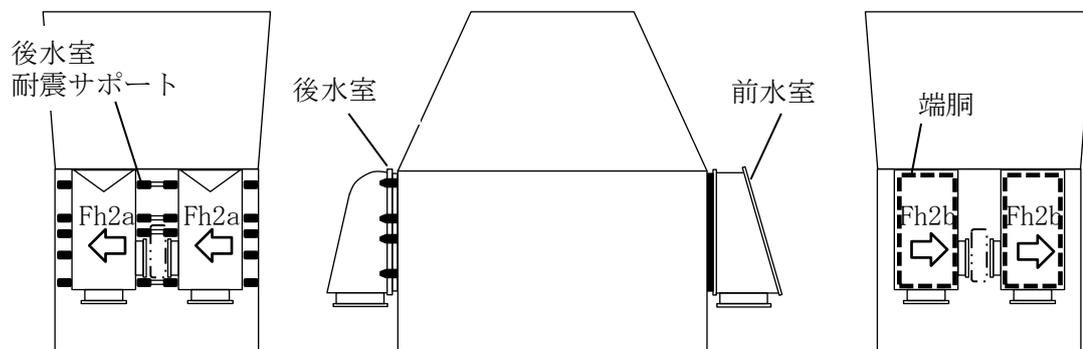
$$\sigma 5 = \frac{F1a}{\frac{2}{A4}}$$

$$= \boxed{\hspace{10em}} \\ = 6 \text{MPa}$$

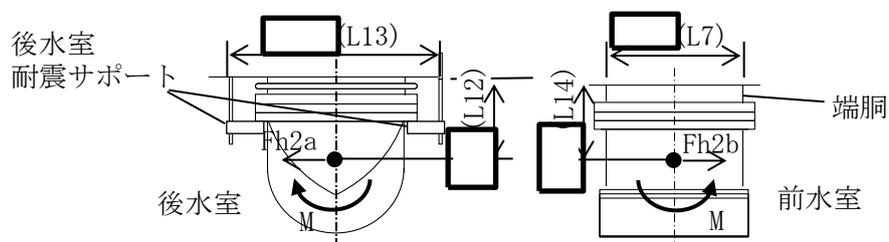
後水室耐震サポート 1 個あたりのせん断応力 $\sigma 1$	5 (MPa)
後水室耐震サポート 1 個あたりの曲げ応力 $\sigma 2$	97 (MPa)
後水室耐震サポートボルト 1 本あたり引張応力 $\sigma 3$	56 (MPa)
後水室耐震サポート（側板側）1 個の溶接部のせん断応力 $\sigma 4$	7 (MPa)
後水室耐震サポート（センタ側）1 個の溶接部のせん断応力 $\sigma 5$	6 (MPa)

(2) 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合

水室及び内包水が水平地震動（細管軸直方向）により運転中の水室に与える曲げモーメントから後水室耐震サポート及び端胴部が受ける曲げ応力を算出。



第 9.13-10 図 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合



第 9.13-11 図 水室上から見た図(水平曲げモーメント)

a) 後水室側の評価

後水室 1 個にかかる曲げモーメント M2a は,

$$\begin{aligned}
 M2a &= Fh2a \cdot L12 \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

後水室耐震サポート 1 個にかかる水平力 F2a は, 後水室片側に $\boxed{}$ 個耐震サポートがあることから,

$$\begin{aligned}
 F2a &= \frac{M2a}{L13} \cdot \frac{1}{\boxed{}} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ kN}
 \end{aligned}$$

水平力 F2a による後水室耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 8$ は,

$$\begin{aligned}
 \sigma 8 &= \frac{F2a}{A1} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

水平力 F2a による後水室耐震サポートの曲げモーメント M2 は,

$$\begin{aligned}
 M2 &= F2a \cdot L2 \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{mm}
 \end{aligned}$$

曲げモーメント M2 により後水室耐震サポートに発生する曲げ応力 $\sigma 9$ は,

$$\begin{aligned}
 \sigma 9 &= \frac{M2}{Z1} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 111 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

後水室耐震サポートのボルトの引張応力 σ_{10} は,

$$\sigma_{10} = \frac{\frac{F2a}{2}}{A2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 64 \text{MPa}$$

後水室耐震サポート（側板側）の溶接部のせん断応力 σ_{11} は,

$$\sigma_{11} = \frac{\frac{F2a}{2}}{A3}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 8 \text{MPa}$$

後水室耐震サポート（センタ側）の溶接部のせん断応力 σ_{12} は,

$$\sigma_{12} = \frac{\frac{F2a}{2}}{A4}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 7 \text{MPa}$$

後水室耐震サポート 1 個あたりのせん断応力 σ_8	6 (MPa)
後水室耐震サポート 1 個あたりの曲げ応力 σ_9	111 (MPa)
後水室耐震サポートボルト 1 本あたり引張応力 σ_{10}	64 (MPa)
後水室耐震サポート（側板側）1 個の溶接部のせん断応力 σ_{11}	8 (MPa)
後水室耐震サポート（センタ側）1 個の溶接部のせん断応力 σ_{12}	7 (MPa)

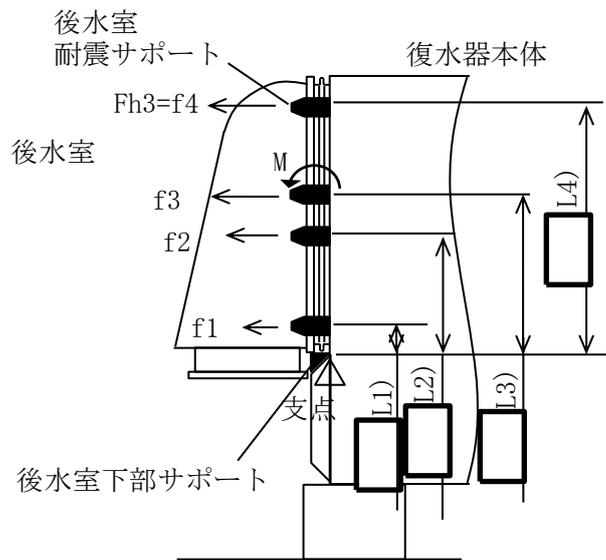
ここで、下方向モーメント $Mv1$ により、第 9.13-13 図に示すように各後水室耐震サポートに水平力がかかる。

よって、後水室耐震サポートが受け持つ最大の水平荷重 $Fh3$ は、

$$Mv1 = \sum_{k=1}^{\square} Lk \times fk \times 2$$

$$Fh3 = f4$$

$$= \square \text{ kN}$$



第 9.13-13 図 後水室耐震サポートにかかる水平力（鉛直曲げモーメント）

最大の水平荷重 $Fh3$ による後水室耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 15$ は、

$$\sigma 15 = \frac{Fh3}{A1}$$

$$= \square$$

$$= 7\text{MPa}$$

水平荷重 $Fh3$ による後水室耐震サポートの曲げモーメント $M3$ は、

$$M3 = Fh3 \cdot L2$$

$$= \square$$

$$= \square \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

曲げモーメント M3 により後水室耐震サポートに発生する曲げ応力 σ_{16} は,

$$\sigma_{16} = \frac{M3}{Z1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 140\text{MPa}$$

後水室耐震サポートのボルトの引張応力 σ_{17} は,

$$\sigma_{17} = \frac{Fh3}{2A2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 81\text{MPa}$$

後水室耐震サポート（側板側）の溶接部のせん断応力 σ_{18} は,

$$\sigma_{18} = \frac{Fh3}{2A3}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 10\text{MPa}$$

後水室耐震サポート（センタ側）の溶接部のせん断応力 σ_{19} は,

$$\sigma_{19} = \frac{Fh3}{2A4}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 9\text{MPa}$$

後水室耐震サポート 1 個あたりのせん断応力 σ_{15}	7 (MPa)
後水室耐震サポート 1 個あたりの曲げ応力 σ_{16}	140 (MPa)
後水室耐震サポート ボルト 1 本あたり引張応力 σ_{17}	81 (MPa)
後水室耐震サポート (側板側) 1 個の溶接部のせん断応力 σ_{18}	10 (MPa)
後水室耐震サポート (センタ側) 1 個の溶接部のせん断応力 σ_{19}	9 (MPa)

後水室下部サポート受台部の長さ L15, 支圧幅 L16 の支圧断面積 A7 は,

$$\begin{aligned}
 A7 &= L15 \cdot L16 \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

1 個の後水室には $\boxed{}$ 個の後水室下部サポートがあるため, 地震動 (鉛直方向) により後水室下部サポート 1 個の支圧応力 σ_{20} は,

$$\begin{aligned}
 \sigma_{20} &= \frac{Fv1}{A7} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 222 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

後水室下部サポートの溶接部の溶接線長さ L17, 開先深さ X8, すみ肉脚長 X9, リブ溶接部の溶接線長さ L18, すみ肉脚長 X10 の時, 溶接部の断面積 A8 は,

$$\begin{aligned}
 A8 &= L17 \cdot \left(X8 + \frac{X9}{\sqrt{2}} \right) + L18 \cdot 2 \cdot \frac{X10}{\sqrt{2}} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

後水室下部サポート 1 個の溶接部のせん断応力 σ_{21} は,

$$\begin{aligned}
 \sigma_{21} &= \frac{Fv1}{A8} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 16 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

後水室下部サポート 1 個の支圧応力 σ_{20}	222 (MPa)
後水室下部サポート 1 個の溶接部のせん断応力 σ_{21}	16 (MPa)

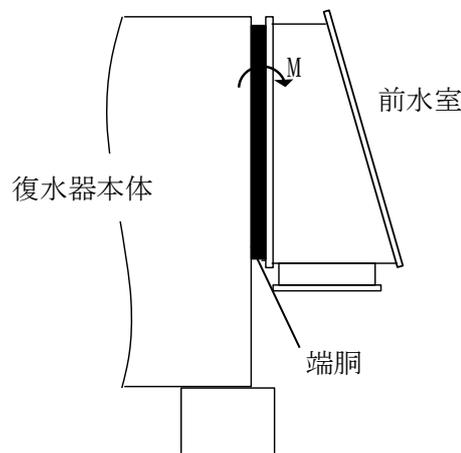
b) 前水室側の評価

前水室にかかる鉛直方向地震力による下向きモーメント $Mv2$ は,

$$\begin{aligned}
 Mv2 &= Fh3b \cdot L14 \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ kN} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

前水室 1 個につき端胴は 1 個あることから、端胴にかかる下向き曲げモーメント $M4$ は,

$$\begin{aligned}
 M4 &= Mv2 \\
 &= \boxed{} \text{ kN} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$



第 9. 13-14 図 端胴にかかる曲げモーメント (鉛直曲げモーメント)

端胴の横幅 (外側 $L7$, 内側 $L9$) を $b(b1)$, 高さ (外側 $L8$, 内側 $L10$) を $h(h1)$ とした場合の水平軸回りの断面係数 $Z4$ は,

$$\begin{aligned}
 Z4 &= \frac{b \cdot h^3 - b1 \cdot h1^3}{6 \cdot h} \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

端胴にかかる曲げ応力 $\sigma 22$ は,

$$\begin{aligned}
 \sigma 22 &= \frac{M4}{Z4} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 7 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

<後水室耐震サポートボルトにかかる応力 σC >

$$\begin{aligned}\sigma C &= \sqrt{\sigma 3^2 + \sigma 10^2 + \sigma 17^2} \\ &= \sqrt{56^2 + 64^2 + 81^2} \\ &= 118\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室耐震サポート（側板側）溶接部にかかる応力 σD >

$$\begin{aligned}\sigma D &= \sqrt{\sigma 4^2 + \sigma 11^2 + \sigma 18^2} \\ &= \sqrt{7^2 + 8^2 + 10^2} \\ &= 15\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室耐震サポート（センタ側）溶接部にかかる応力 σE >

$$\begin{aligned}\sigma E &= \sqrt{\sigma 5^2 + \sigma 12^2 + \sigma 19^2} \\ &= \sqrt{6^2 + 7^2 + 9^2} \\ &= 13\text{MPa}\end{aligned}$$

<端胴部にかかる応力 σF >

$$\begin{aligned}\sigma F &= \sqrt{\sigma 6^2 + \sigma 13^2 + \sigma 22^2} \\ &= \sqrt{16^2 + 5^2 + 7^2} \\ &= 19\text{MPa}\end{aligned}$$

<端胴溶接部にかかる応力 σG >

$$\begin{aligned}\sigma G &= \sqrt{\sigma 7^2 + \sigma 14^2 + \sigma 23^2} \\ &= \sqrt{14^2 + 7^2 + 10^2} \\ &= 19\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室下部サポートにかかる応力 σ_H >

$$\begin{aligned}\sigma_H &= \sigma_{20} \\ &= 222\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室下部サポート溶接部にかかる応力 σ_I >

$$\begin{aligned}\sigma_I &= \sigma_{21} \\ &= 16\text{MPa}\end{aligned}$$

4. 評価結果

後水室のサポートと溶接部，端胴と溶接部の強度評価を実施し，発生応力は許容応力以下であることから，地震時に水室落下による水室出入口弁への影響を及ぼさないことを確認した。

第 9.13-5 表 水室評価部位にかかる応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
後水室耐震サポート 応力	σA : せん断	11	375
後水室耐震サポート 応力	σB : 曲げ	204	750
後水室耐震サポート ボルト応力	σC : 引張	118	462
後水室耐震サポート (側 板側) 溶接部応力	σD : せん断	15	157
後水室耐震サポート (セ ンタ側) 溶接部応力	σE : せん断	13	157
前水室端胴応力	σF : 組合せ (引張, 曲げ)	19	272
前水室端胴溶接部応力	σG : 組合せ (せん断, 曲げ)	19	157
後水室下部サポート応力	σH : 支圧	222	370
後水室下部サポート溶接 部応力	σI : せん断	16	157

B. 復水器本体移動による接触影響評価

1. 評価方針

(1) 評価方針

復水器底板には、復水器細管軸方向及び細管軸直方向をそれぞれ拘束するセンタサポートおよびキーサポートを設置し、センタサポートおよびキーサポートは復水器下部中央部のコンクリート基礎により固定する構造としている。また、復水器の四隅に設置されたコンクリート基礎により、鉛直方向受側を拘束する構造としている（基礎ボルトによる拘束は期待しない）。

復水器本体移動による接触影響評価は、基準地震動 S_s による地震力に対して、復水器基礎部の各評価部位に発生する応力が許容応力を超えないこと及び復水器水室フランジの変位量が許容変位量を超えないことを評価することにより、復水器水室出入口弁の機能が損なわれないことを確認する。

復水器本体は種々の部材により構成され、複雑な構造の機器であるため、地震により復水器基礎部に与える荷重や復水器水室フランジ変位について、実機構造を反映して詳細評価を行う方針とする。評価条件として、3次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析を実施することにより、復水器基礎部に生じる荷重及び復水器水室フランジ部の変位を求め、これを用いて評価する。

(2) 適用規格・基準等

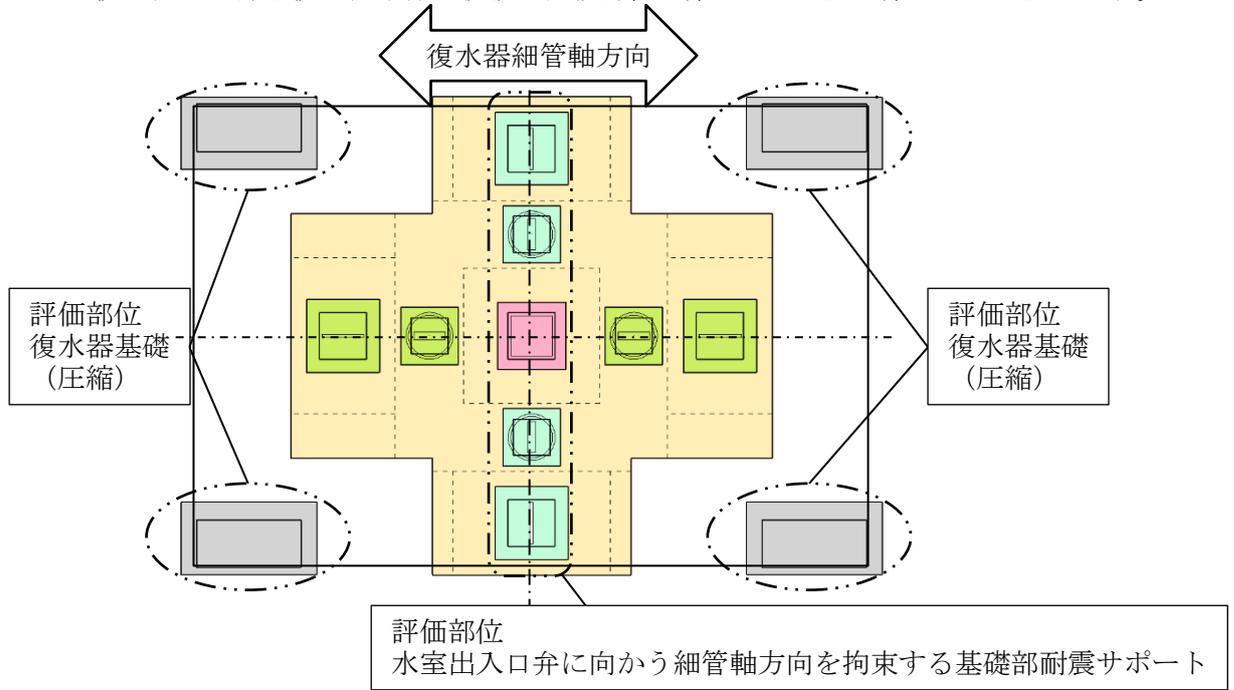
本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一

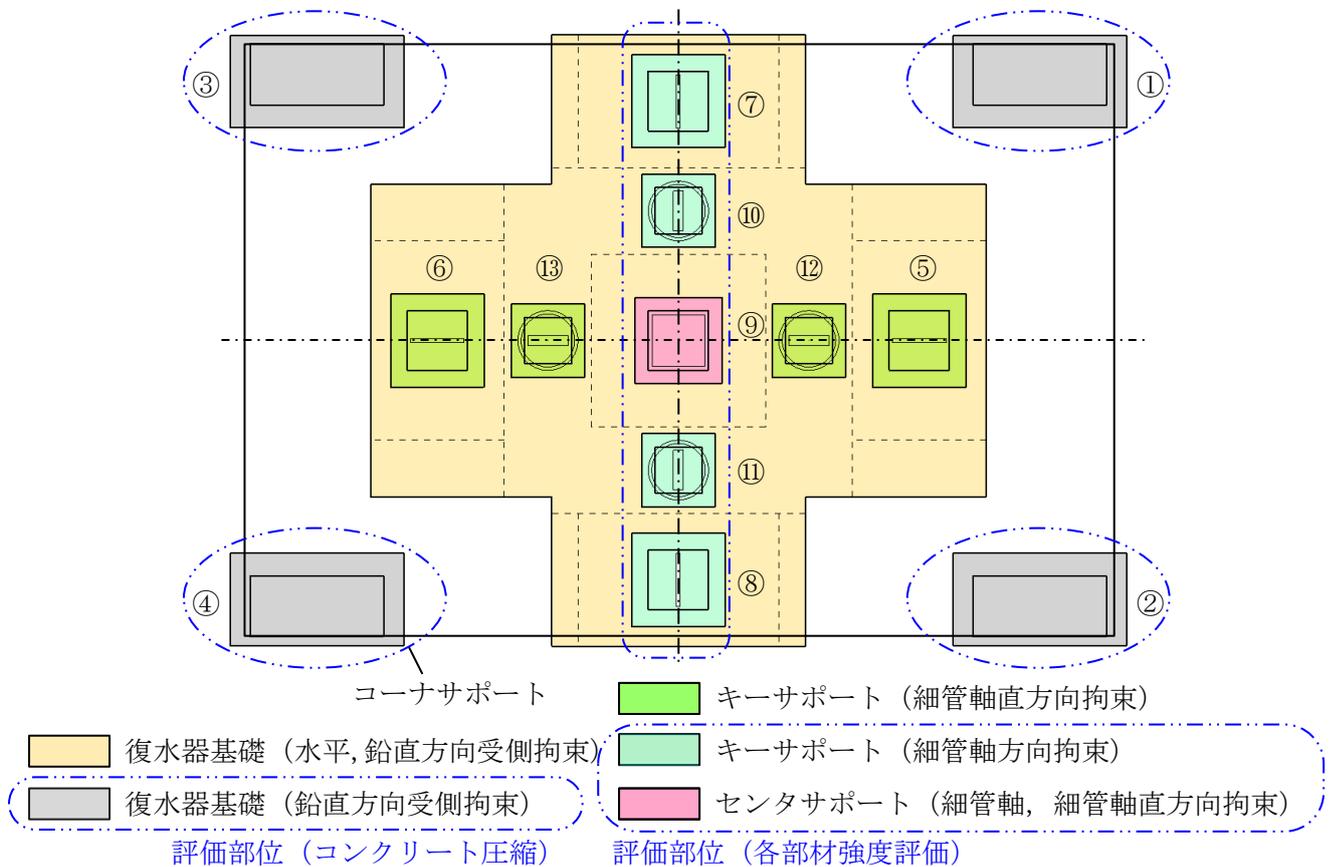
2. 復水器基礎部と復水器水室フランジの評価部位・評価条件

(1) 構造概要及び評価部位

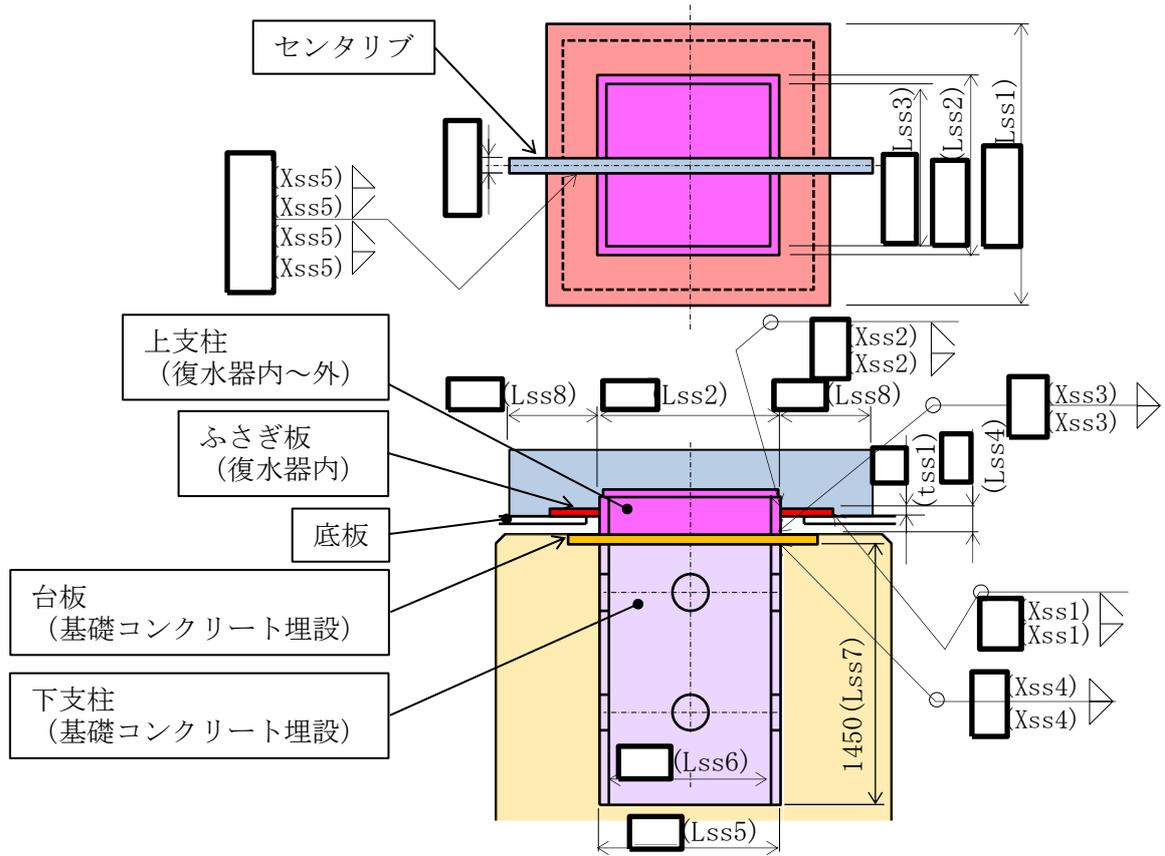
復水器基礎部と復水器本体前後板の評価部位を第 9. 13-15 図～第 9. 13-20 図に示す。



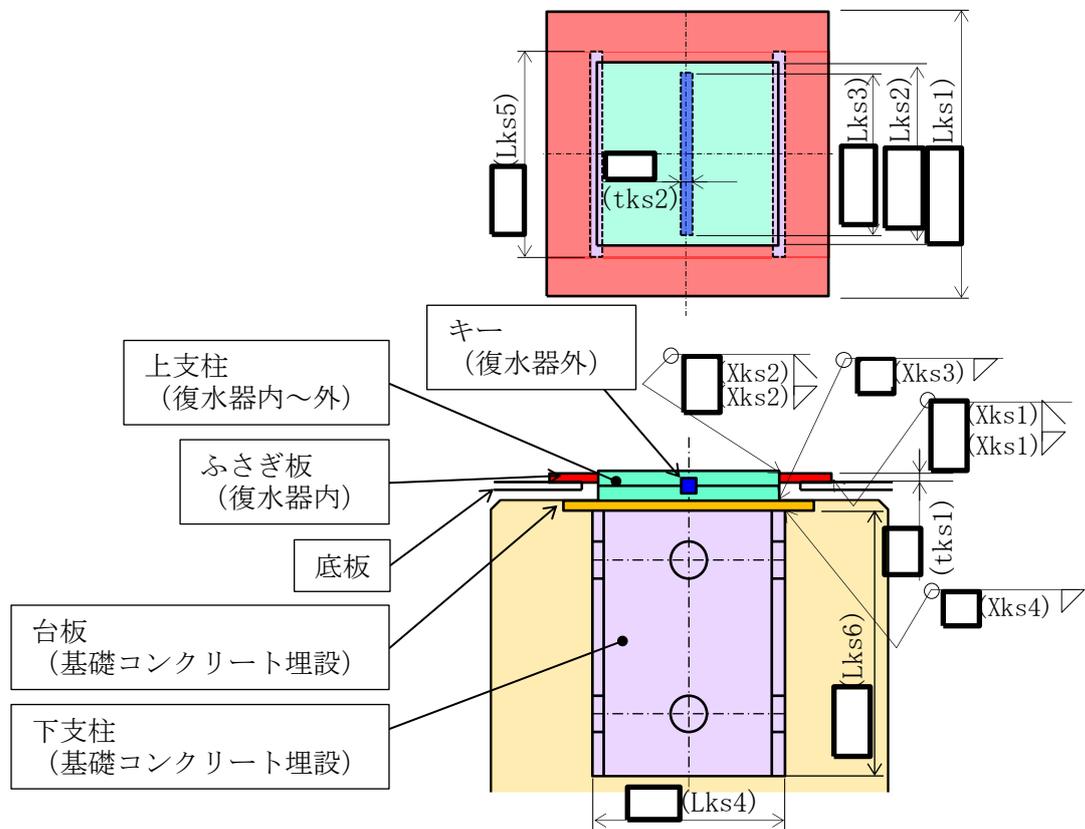
第 9. 17-15 図 復水器評価部位配置図



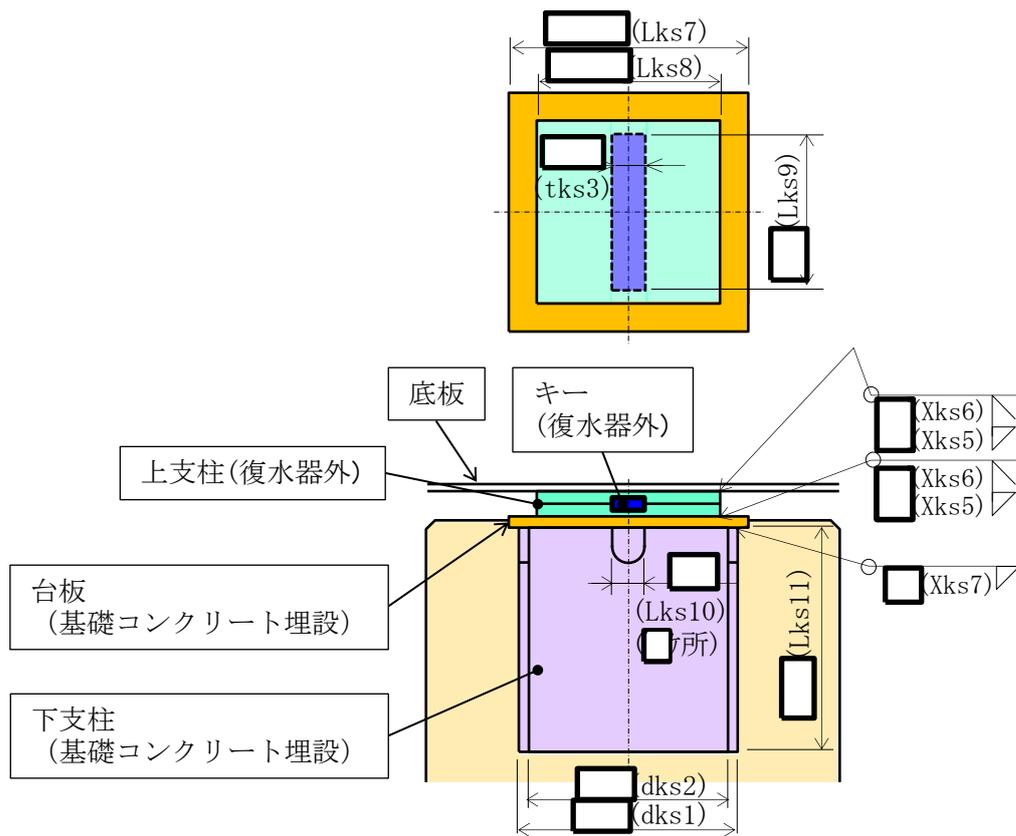
第 9. 17-16 図 復水器基礎平面図(復水器 1 胴分を示す)



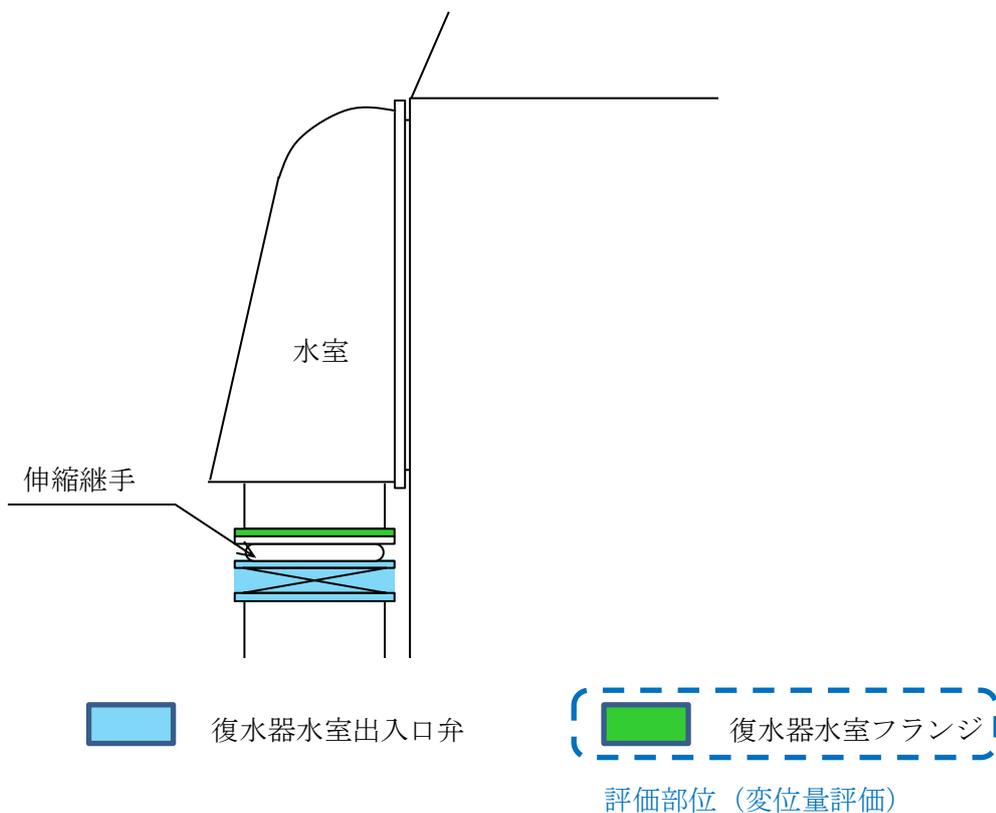
第 9.13-17 図 センタサポート⑨平面図，断面図



第 9.13-18 図 キーサポート⑦⑧平面図，断面図



第 9.13-19 図 キーサポート⑩⑪平面図，断面図



第 9.13-20 図 復水器水室出入口弁，復水器水室フランジ

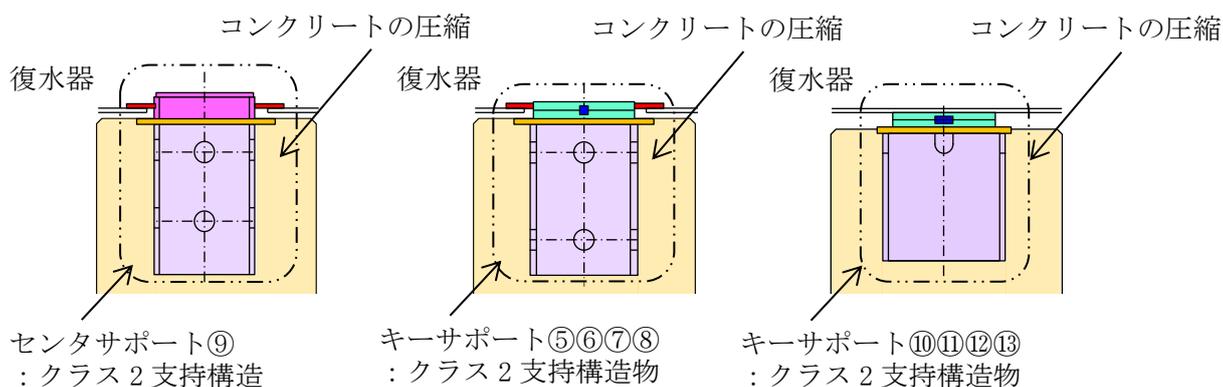
(2) 設計用地震力

復水器本体移動による接触影響の評価においては、実構造を反映した耐震評価を実施することを目的として、3次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析により発生荷重及び復水器水室フランジ部の変位を求める。なお、地震力については、水平2方向地震力と鉛直方向地震力をSRSSにて組み合わせる。解析の詳細は「C.3次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析」に示す。

(3) 評価条件及び許容応力

基礎部耐震サポートの評価部位と評価条件は第 9.13-21 図に、許容応力については第 9.13-6 表～第 9.13-10 表に示す。

- ・ JEAG4601-補 1984 の許容応力編に従う。
- ・ 復水器本体は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態IV_AS とする。
- ・ センタ及びキーサポートは、クラス 2 支持構造物の許容応力状態IV_AS とする。
- ・ コンクリートの圧縮は、許容応力状態IV_AS とする。



第 9.13-21 図 基礎部耐震サポートの評価部位と評価条件

第 9.13-6 表 許容応力 (一般)

JEAG4601 補 1984	クラス 2 支持構造物
	許容応力状態IV _A S せん断, 曲げ, 圧縮

第 9.13-7 表 復水器基礎（センタサポート⑨） 許容応力

評価部位	算出 応力	応力（Ss 地震力評価） 許容応力状態IV _{AS}	適用式
上支柱	σ_{24}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
ふさぎ板	σ_{25}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
ふさぎ板と上支柱の溶接	σ_{26}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
底板とふさぎ板の溶接	σ_{27}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上支柱と台板の溶接	σ_{28}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上支柱と台板の溶接	σ_{29}	クラス 2 支持構造物 曲げ	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*1}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
台板と下支柱の溶接	σ_{30}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリートの圧縮	σ_{31}	埋込金物コンクリート 部の許容圧縮強度 圧縮	$0.75F_c$
下支柱付根部の溶接	σ_{32}	クラス 2 支持構造物 曲げ	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*1}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

注記*1：溶接部の許容応力は、接合される母材の許容せん断応力とする。

第 9.13-8 表 復水器基礎（キーサポート⑦⑧） 許容応力

評価部位	算出 応力	応力 (S _s 地震力評価) 許容応力状態IV _A S	適用式
キー	σ_{33}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
ふさぎ板	σ_{34}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
ふさぎ板と上支柱の溶接	σ_{35}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
底板とふさぎ板の溶接	σ_{36}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上支柱と台板の溶接	σ_{37}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
台板と下支柱の溶接	σ_{38}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリートの圧縮	σ_{39}	埋込金物コンクリート部 の許容圧縮強度 圧縮	$0.75F_c$

第 9.13-9 表 復水器基礎（キーサポート⑩⑪） 許容応力

評価部位	算出 応力	応力 (S _s 地震力評価) 許容応力状態IV _A S	適用式
底板と上支柱の溶接	σ_{40}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
キー	σ_{41}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上支柱と台板の溶接	σ_{42}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
台板と下支柱の溶接	σ_{43}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリートの圧縮	σ_{44}	埋込金物コンクリート部 の許容圧縮強度 圧縮	$0.75F_c$

第 9.13-10 表 復水器基礎（コンクリート） 許容応力

評価部位	算出 応力	応力（S _s 地震力評価） 許容応力状態Ⅳ _A S	適用式
基礎コンクリート	σ 45	埋込金物コンクリート部の許 容圧縮強度 圧縮	0.75F _c

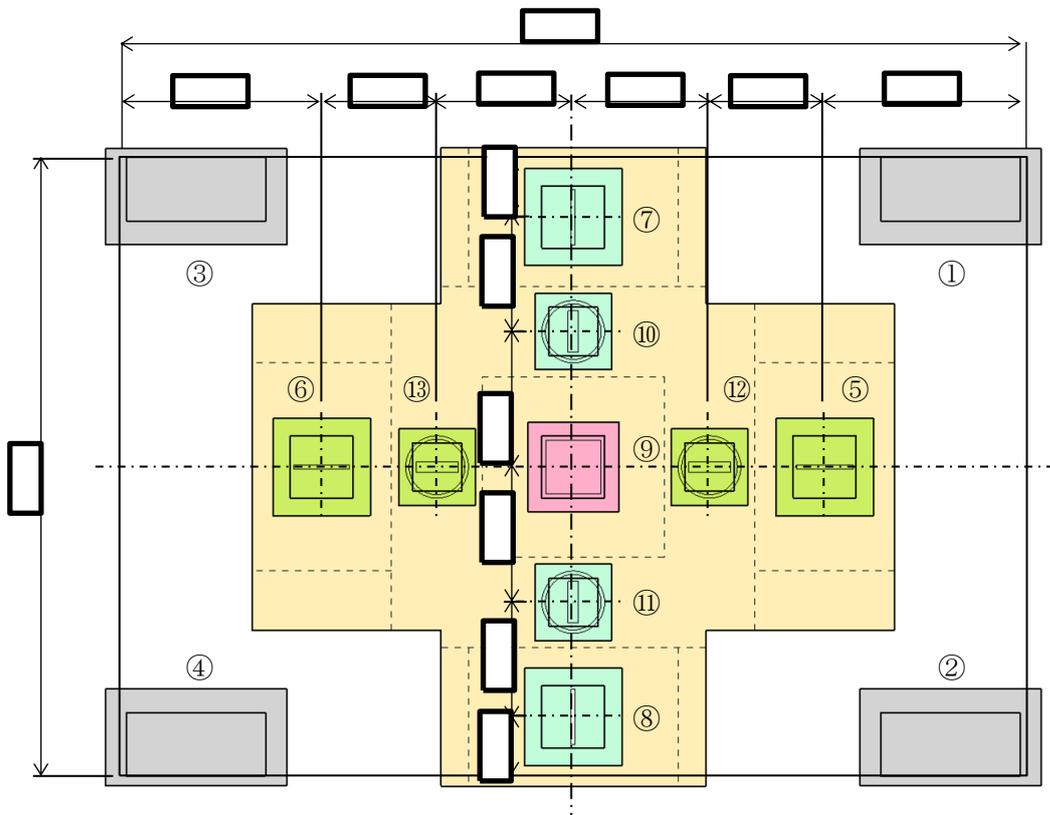
3. 復水器基礎 (No. ⑦~⑪) の評価

(1) 耐震サポート (No. ⑦~⑪) に作用する荷重の算出

復水器の強度部材を考慮した 3 次元モデルを作成し、時刻歴応答解析により各耐震サポートに作用する荷重を算出する。センタサポートに関しては、水平 2 方向それぞれに対し荷重を求め、各方向による荷重を SRSS にて組み合わせる。各耐震サポートに作用する荷重を第 9.13-11 表 に示す。キーサポート (⑦, ⑧) は同構造であることから、2 つの内、大きい発生荷重が、細管軸方向に作用するものとして評価する。また、キーサポート (⑩, ⑪) は同構造であることから、2 つの内、大きい発生荷重が、細管軸方向に作用するものとして評価する。解析の詳細は「C. 3 次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析」に示す。

第 9.13-11 表 各耐震サポートに作用する荷重

評価部位	算出荷重	発生荷重 (kN)
センタサポート ⑨	RSS ϵ	
キーサポート ⑦, ⑧	RKS ϵ 1	
キーサポート ⑩, ⑪	RKS ϵ 2	



第 9.13-22 図 基礎部耐震サポート配置図

よって、ふさぎ板に発生するせん断応力 σ_{25} は、

$$\sigma_{25} = \frac{RSS}{Ass2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 76\text{MPa}$$

c) ふさぎ板と上支柱の溶接部のせん断応力

開先深さ X_{ss2} 、すみ肉脚長 X_{ss2} 、上支柱幅 L_{ss2} の 4 辺を溶接線長さとして、ふさぎ板と上支柱の溶接部の断面積 $Ass3$ は、

$$Ass3 = 4 \cdot \left(X_{ss2} + \frac{X_{ss2}}{\sqrt{2}} \right) \cdot L_{ss2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって、ふさぎ板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{26} は、

$$\sigma_{26} = \frac{RSS}{Ass3}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 70\text{MPa}$$

d) 底板とふさぎ板の溶接部のせん断応力

開先深さ X_{ss1} 、すみ肉脚長 X_{ss1} 、ふさぎ板幅 L_{ss1} の 4 辺を溶接線長さとして、底板とふさぎ板の溶接部の断面積 $Ass4$ は、

$$Ass4 = 4 \cdot \left(X_{ss1} + \frac{X_{ss1}}{\sqrt{2}} \right) \cdot L_{ss1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって、底板とふさぎ板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{27} は、

$$\sigma_{27} = \frac{RSS}{Ass4}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 49\text{MPa}$$

曲げ応力 σ_{29} は,

$$\sigma_{29} = \frac{M_{ss1}}{Z_{ss1}}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 32\text{MPa}$$

g) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 X_{ss4} , 溶接線長さが外側の 1 辺 L_{ss5} の正方形の下支柱の溶接部の断面積 A_{ss6} は,

$$A_{ss6} = 4 \cdot 2 \cdot \frac{X_{ss4}}{\sqrt{2}} \cdot L_{ss5}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって, 台板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{30} は,

$$\sigma_{30} = \frac{R_{SS}}{A_{ss6}}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 45\text{MPa}$$

h) コンクリートの圧縮応力

1 辺 L_{ss5} , 長さ L_{ss7} の支柱によるコンクリートの受圧面積 A_{ss7} は,

$$A_{ss7} = L_{ss5} \cdot L_{ss7}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

受圧面積 A_{ss7} にかかる圧縮応力 σ_{31} は,

$$\sigma_{31} = \frac{R_{SS}}{A_{ss7}}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 6\text{MPa}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって、ふさぎ板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{35} は、

$$\sigma_{35} = \frac{RKS \varepsilon 1}{Aks3}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 39 \text{ MPa}$$

d) 底板とふさぎ板の溶接部のせん断応力

開先深さ X_{ks1} , すみ肉脚長 X_{ks1} , ふさぎ板幅 L_{ks1} の 4 辺を溶接線長さとする、底板とふさぎ板の溶接部の断面積 A_{ks4} は、

$$A_{ks4} = 4 \cdot \left(X_{ks1} + \frac{X_{ks1}}{\sqrt{2}} \right) \cdot L_{ks1}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって、底板とふさぎ板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{36} は、

$$\sigma_{36} = \frac{RKS \varepsilon 1}{A_{ks4}}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 25 \text{ MPa}$$

e) 上支柱と台板の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 X_{ks3} , 上支柱幅 L_{ks2} の 4 辺を溶接線長さとする、上支柱と台板の溶接部の断面積 A_{ks5} は、

$$A_{ks5} = 4 \cdot \frac{X_{ks3}}{\sqrt{2}} \cdot L_{ks2}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって、上支柱と台板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{37} は、

$$\sigma_{37} = \frac{RKS \varepsilon 1}{A_{ks5}}$$

$$= \boxed{}$$

$$=50\text{MPa}$$

f) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 X_{ks4} , 溶接線長さ $(L_{ks4}+L_{ks5}) \times 2$ の下支柱の溶接部の断面積 A_{ks6} は

$$A_{ks6} = \frac{X_{ks4}}{\sqrt{2}} \cdot (L_{ks4} + L_{ks5}) \cdot 2$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって, 台板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{38} は,

$$\sigma_{38} = \frac{R_{KS} \varepsilon_1}{A_{ks6}}$$

$$= \boxed{}$$

$$=47\text{MPa}$$

g) コンクリートの圧縮応力

1辺 L_{ks5} の正方形, 長さ L_{ks6} の支柱によるコンクリートの受圧面積 A_{ks7} は,

$$A_{ks7} = L_{ks5} \cdot L_{ks6}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

受圧面積 A_{ks7} にかかる圧縮応力 σ_{39} は,

$$\sigma_{39} = \frac{R_{KS} \varepsilon_1}{A_{ks7}}$$

$$= \boxed{}$$

$$=3\text{MPa}$$

(4) キーサポート⑩⑪の応力

a) 底板と上支柱の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 X_{ks5} , 開先深さ X_{ks6} , 幅 L_{ks8} の上支柱の4辺を溶接線長さとする, 底板と上支柱の溶接部の断面積 A_{ks8} は,

$$A_{ks8} = 4 \cdot \left(\frac{X_{ks5}}{\sqrt{2}} + X_{ks6} \right) \cdot L_{ks8}$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって、底板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{40} は、

$$\sigma_{40} = \frac{RKS \varepsilon 2}{Aks8}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 11 \text{ MPa}$$

b) キーのせん断応力

幅 $tks3$ 、長さ $Lks9$ のキーのせん断断面積 $Aks9$ は、

$$Aks9 = tks3 \cdot Lks9$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

キーにかかるせん断応力 σ_{41} は、

$$\sigma_{41} = \frac{RKS \varepsilon 2}{Aks9}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 11 \text{ MPa}$$

c) 上支柱と台板の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 $Xks5$ 、開先深さ $Xks6$ 、幅 $Lks8$ の上支柱の4辺を溶接線長さとする、上支柱と台板の溶接部の断面積 $Aks10$ は

$$Aks10 = 4 \cdot \left(\frac{Xks5}{\sqrt{2}} + Xks6 \right) \cdot Lks8$$

$$= \boxed{}$$

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

よって、底板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{42} は、

$$\sigma_{42} = \frac{RKS \varepsilon 2}{Aks10}$$

$$= \boxed{}$$

$$= 11 \text{ MPa}$$

d) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 X_{ks7} , 外径 d_{ks1} , 内径 d_{ks2} の下支柱の内外周から幅 L_{ks10} のコンクリート注入穴 カ所分を引いた長さを溶接線長さとする, 台板と下支柱の溶接部の断面積 A_{ks11} は,

$$A_{ks11} = \left(\frac{X_{ks7}}{\sqrt{2}} \right) \cdot \{ (d_{ks1} + d_{ks2}) \cdot \pi - L_{ks10} \cdot 4 \cdot 2 \}$$

$$= \text{}$$

$$= \text{} \text{ mm}^2$$

よって, 底板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{43} は,

$$\sigma_{43} = \frac{RKS \cdot \varepsilon \cdot 2}{A_{ks11}}$$

$$= \text{}$$

$$= 11 \text{ MPa}$$

e) コンクリートの圧縮応力

外径 d_{ks1} , 長さ L_{ks11} の支柱によるコンクリートの受圧面積 A_{ks12} は,

$$A_{ks12} = d_{ks1} \cdot L_{ks11}$$

$$= \text{}$$

$$= \text{} \text{ mm}^2$$

受圧面積 A_{ks12} にかかるコンクリートの圧縮応力 σ_{44} は,

$$\sigma_{44} = \frac{RKS \cdot \varepsilon \cdot 2}{A_{ks12}}$$

$$= \text{}$$

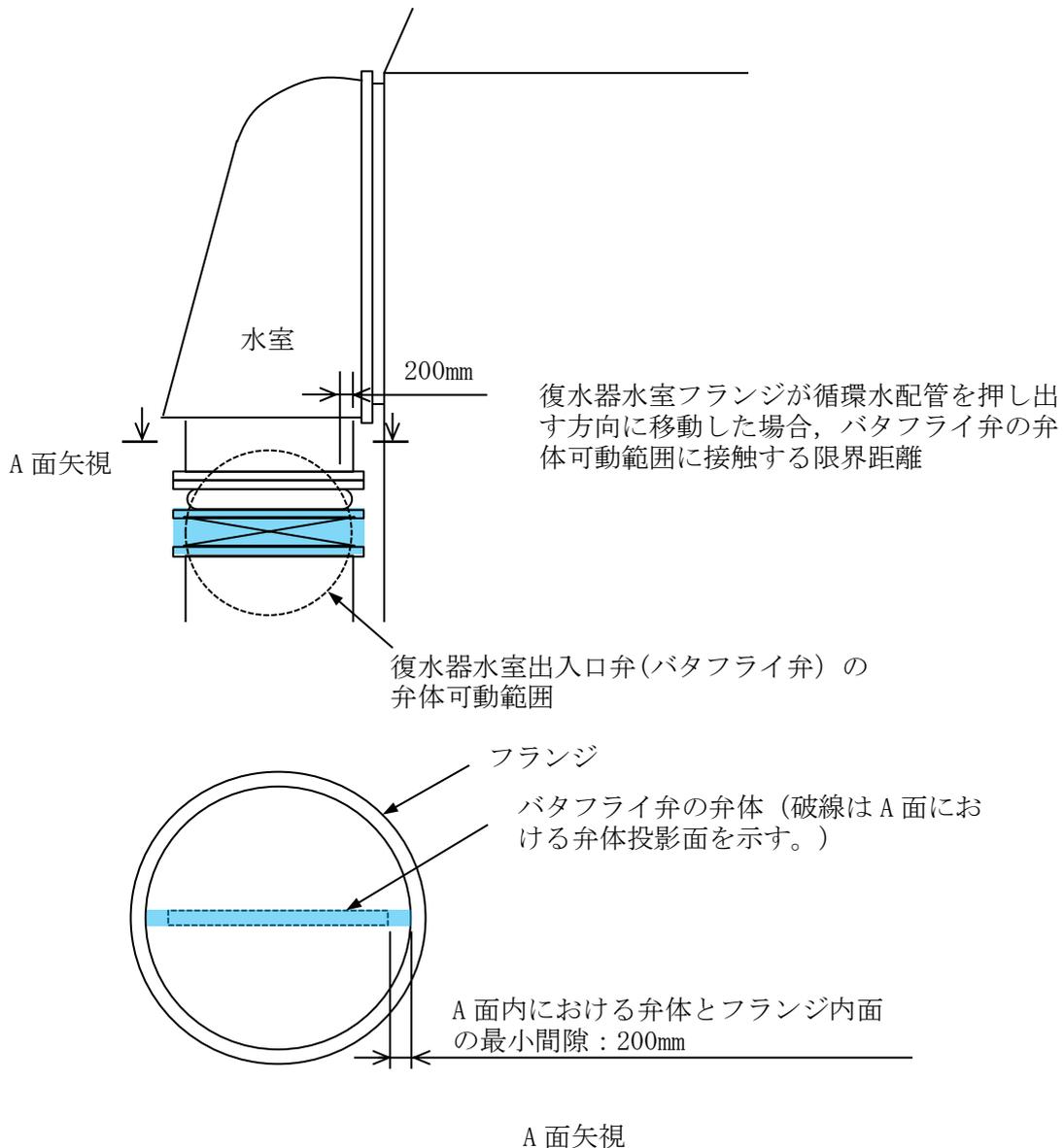
$$= 1 \text{ MPa}$$

4. 復水器水室フランジ変位量の評価

地震荷重による復水器水室フランジの変位によって、水室出入口弁の弁体と接触しないことを確認する。3次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析を適用し、復水器水室フランジの変位量 L を求めた。解析の詳細は「C. 3次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析」に示す。

復水器水室フランジの変位量 L	16.12 (mm)
-----------------	------------

復水器水室フランジの許容変位量は第 9.13-23 図より、200mm とする。

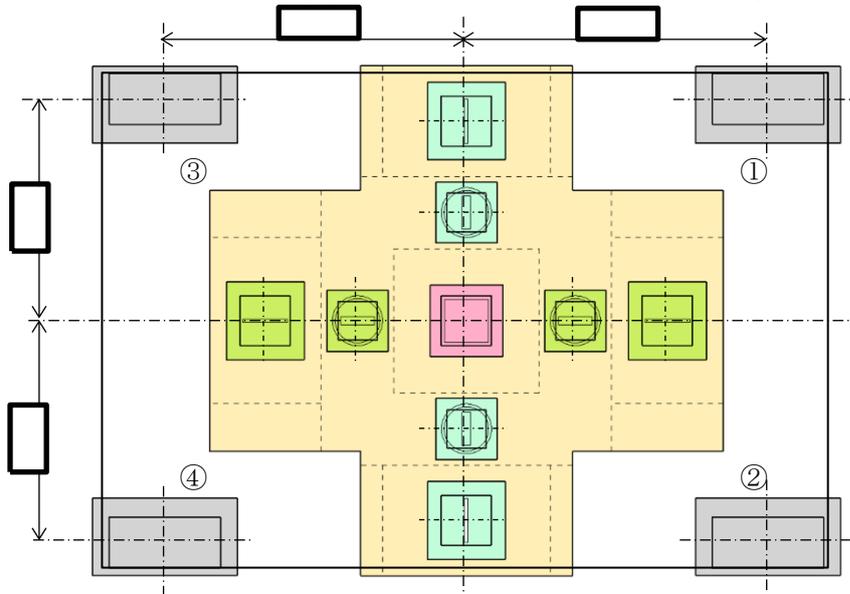


第 9.13-23 図 復水器水室フランジ許容変位

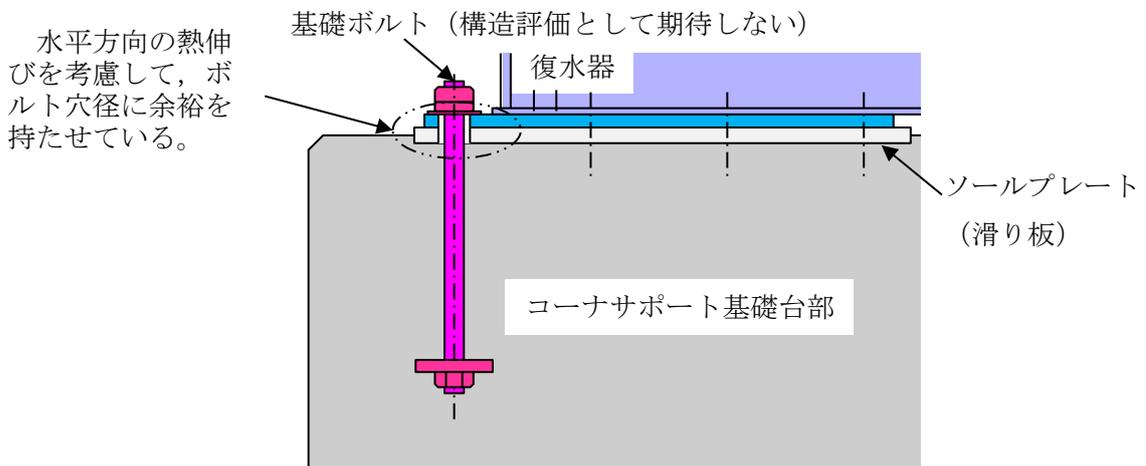
5. 復水器基礎 (No. ①~④) の評価

(1) 鉛直方向受側を拘束する基礎台配置

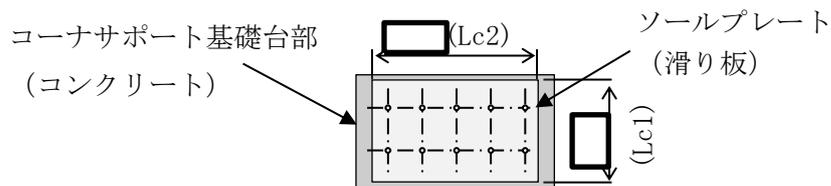
復水器の鉛直方向受側を拘束する基礎台は、第 9.13-24 図に示すコーナサポート基礎台①~④であり、復水器 1 台につき 4 個の基礎台で拘束している。なお、復水器運転中の胴体熱伸びを吸収するため、第 9.13-25 図に示すとおり、復水器脚板と基礎台間にソールプレート (滑り板) を設置するとともに、ボルト固定部は穴径に余裕を持たせている。



第 9.13-24 図 鉛直方向を拘束する復水器基礎台配置図 (平面図)



第 9.13-25 図 鉛直方向受側のみ拘束する構造の基礎台の概略断面図



第 9.13-26 図 コーナサポート部ソールプレート寸法図

(2) 復水器基礎の評価

復水器の強度部材を考慮した 3 元モデルを作成し、時刻歴応答解析により各復水器基礎に作用する荷重を算出する。水平 2 方向及び鉛直方向それぞれに対し時刻歴弾性解析により荷重を求め、各方向による荷重を SRSS にて組み合わせる。各復水器基礎に作用する荷重を第 9.13-13 表 に示す。発生荷重の最も大きい コーナサポート②の値の荷重が、鉛直方向に作用するものとして評価する。解析の詳細は「C.3 次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析」に示す。

第 9.13-13 表 各耐震サポートに作用する荷重

評価部位	算出荷重	発生荷重 (kN)
コーナサポート ①	F	
コーナサポート ②		
コーナサポート ③		
コーナサポート ④		

(3) 基礎コンクリートの圧縮評価

基礎コンクリートを圧縮するソールプレートの圧縮面積 A は、

$$\begin{aligned}
 A &= Lc1 \cdot Lc2 \\
 &= \boxed{} \\
 &= \boxed{} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

よって、基礎コンクリートにかかる圧縮応力 σ_{45} は、

$$\begin{aligned}
 \sigma_{45} &= \frac{F}{A} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 11 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

基礎コンクリートにかかる圧縮応力 σ_{45}	11 (MPa)
--------------------------------	----------

6. 評価結果

(1) 復水器基礎（センタサポート⑨）

復水器水平方向を拘束する基礎（センタサポート⑨）の強度評価を行い、許容応力以下であることを確認した。

第 9.13-14 表 復水器基礎（センタサポート⑨）の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質	最高使用 温度(°C)
	σ				
上支柱 (せん断)	σ 24	34	143	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
ふさぎ板 (せん断)	σ 25	76	157	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
ふさぎ板と上支柱の溶接 (せん断)	σ 26	70	143	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
底板とふさぎ板の溶接 (せん断)	σ 27	49	157	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
上支柱と台板の溶接 (せん断)	σ 28	72	143	SS400	60
上支柱と台板の溶接 (曲げ)	σ 29	32	143	SS400	60
台板と下支柱の溶接 (せん断)	σ 30	45	143	SS400	60
コンクリートの圧縮 (圧縮)	σ 31	6	17	Fc=23.5 (MPa)	60
下支柱付根部の溶接 (曲げ)	σ 32	136	143	SS400	60

(2) 復水器基礎（キーサポート⑦⑧）

復水器水平方向を拘束する基礎（キーサポート⑦⑧）の強度評価を行い，許容応力以下であることを確認した。

第 9.13-15 表 復水器基礎（キーサポート⑦⑧）の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質	最高使用 温度(°C)
	σ				
キー (せん断)	σ 33	80	143	SS400	60
ふさぎ板 (せん断)	σ 34	47	157	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
ふさぎ板と上支柱の溶接 (せん断)	σ 35	39	143	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
底板とふさぎ板の溶接 (せん断)	σ 36	25	157	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
上支柱と台板の溶接 (せん断)	σ 37	50	143	SS400	60
台板と下支柱の溶接 (せん断)	σ 38	47	143	SS400	60
コンクリートの圧縮 (圧縮)	σ 39	3	17	$F_c=23.5$ (MPa)	60

(3) 復水器基礎（キーサポート⑩⑪）

復水器水平方向を拘束する基礎（キーサポート⑩⑪）の強度評価を行い，許容応力以下であることを確認した。

第 9.13-16 表 復水器基礎（キーサポート⑩⑪）の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質	最高使用 温度(°C)
	σ				
底板と上支柱の溶接 (せん断)	σ 40	11	143	SS400	60
キー (せん断)	σ 41	11	143	SS400	60
上支柱と台板の溶接 (せん断)	σ 42	11	143	SS400	60
台板と下支柱の溶接 (せん断)	σ 43	11	143	SS400	60
コンクリートの圧縮 (圧縮)	σ 44	1	17	Fc=23.5 (MPa)	60

(4) 復水器水室フランジ変位量

地震荷重による復水器水室フランジの変位量を評価し，許容変位量以下であることを確認した。

第 9.13-17 表 復水器水室フランジの変位量評価

評価部位	算出量 (mm)		許容変位量 (mm)
	L		
復水器水室フランジ (変位量)	L	16.12	200

(5) 復水器基礎コンクリート（No. ①～④コーナサポート）

復水器鉛直方向を拘束する基礎（No. ①～④コーナサポート）のコンクリート圧縮評価を行い，許容応力以下であることを確認した。

第 9.13-18 表 復水器基礎コンクリート（No. ①～④コーナサポート）の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質	最高使用 温度(°C)
	σ				
基礎コンクリート (圧縮)	σ 45	11	17	Fc=23.5 (MPa)	60

C. 3次元FEMモデルを用いた時刻歴応答解析

1. 解析条件

本評価において、実態に近い耐震評価を実施することを目的として、解析コード「ABAQUS」による時刻歴応答解析を実施し、復水器水室に作用する荷重、耐震サポート及び復水器基礎部に発生する荷重、復水器水室フランジ部の変位を求めた。

復水器の解析モデルは、耐震上考慮すべき復水器の強度部材を考慮し、3次元解析モデルをはり要素及びシェル要素にて作成し、キーサポート等の摺動部分には摩擦要素を適用した。解析モデル鳥瞰図を第9.13-27図に、解析モデル作成における設定条件を第9.13-19表に示す。

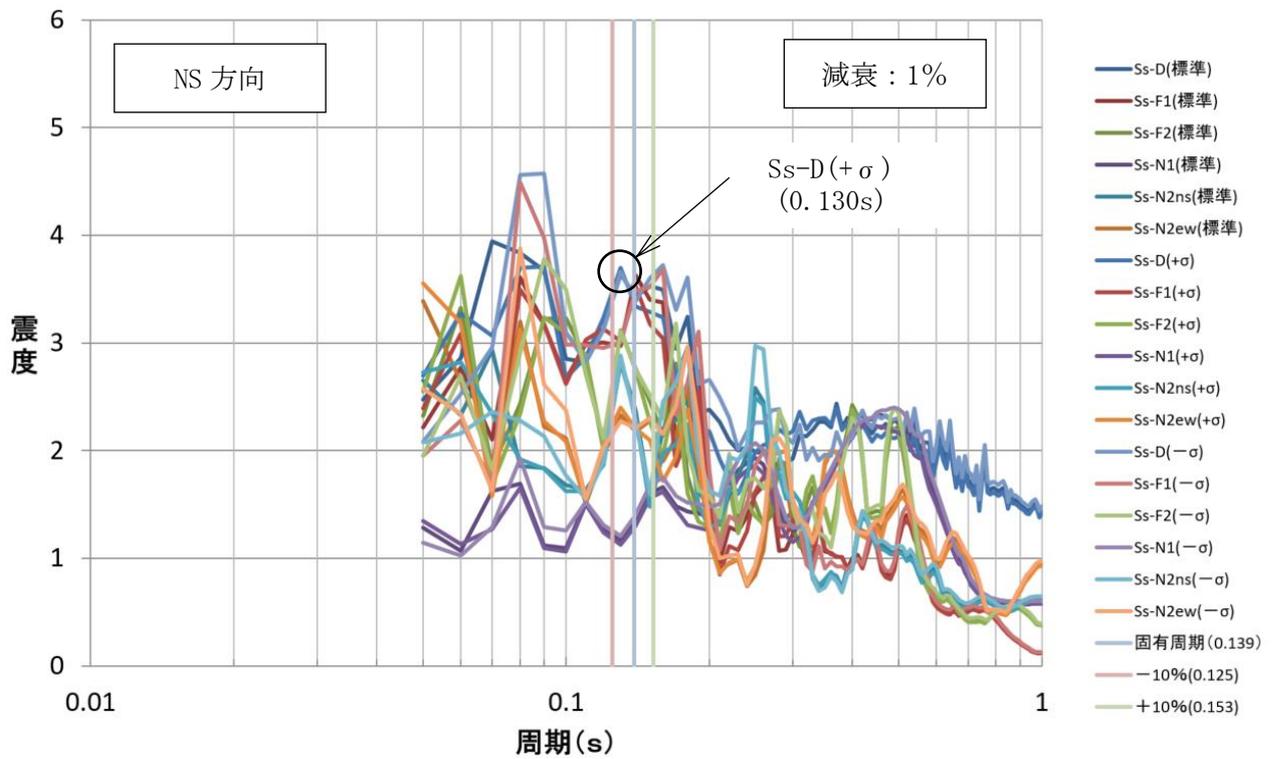
設計用地震力としては、添付書類「VI-2-2-7 タービン建物の地震応答計算書」に基づき設定した、復水器基礎台高さ (EL 1.800m) 近傍の EL 2.000m における基準地震動 S_s の加速度応答時刻歴を適用した。第9.13-28図に床応答スペクトルを示す。地震動の選定は、細管軸方向である NS 方向について、標準ケース、地盤剛性 $\pm \sigma$ 地盤のケースでの S_s -D, S_s -F1, S_s -F2, S_s -N1, S_s -N2 (NS), S_s -N2 (EW) の床応答スペクトルに対し、復水器 NS 方向の全体応答の固有周期 (0.139 秒) $\pm 10\%$ の範囲で最大となるケースの地震動として地盤剛性 $+\sigma$ の S_s -D を選定した。また、当該応答スペクトルの最大となる固有周期 (0.130 秒) が復水器の卓越固有周期に合うように地震動の時間刻みを 0.130/0.139 倍して解析を実施した。



第9.13-27図 復水器解析モデル鳥瞰図

第 9.13-19 表 復水器解析モデル条件

温度条件		60°C (最高使用温度)
材料物性	縦弾性係数	
	ポアソン比	
境界条件	センタサポート	
	キーサポート	
	コーナサポート	
摩擦条件	キーサポート, コーナサポート, 水室受け台 細管-支え板接触部 給水加熱器摺動脚	
減衰定数		
モデル要素数		



第 9.13-28 図 床応答スペクトル

2. 固有値解析結果

固有値解析結果を第 9.13-20 表 に示す。また、また、復水器全体モードの振動モード図を第 9.13-29 図及び第 9.13-30 図に示す。建設時工認における固有値評価では、復水器下部本体の曲げ・せん断剛性を考慮し細管軸方向及び軸直方向それぞれの固有周期を算出していたが、本評価では、復水器の構造を詳細にモデル化し固有値解析を実施したことにより、より長周期の振動モードが確認されている。

第 9.13-20 表 固有値解析結果 (1/8)

次数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
1	0.481			
2	0.480			
3	0.352			
4	0.352			
5	0.244			
6	0.244			
7	0.195			
8	0.194			
9	0.193			
10	0.192			
11	0.192			
12	0.191			
13	0.190			
14	0.190			
15	0.189			
16	0.189			
17	0.189			
18	0.189			
19	0.188			
20	0.188			
21	0.188			
22	0.187			
23	0.187			
24	0.187			
25	0.187			
26	0.186			
27	0.186			
28	0.186			
29	0.186			
30	0.181			

注記 *: 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

第 9.13-20 表 固有値解析結果 (2/8)

次数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
31	0.180			
32	0.169			
33	0.168			
34	0.168			
35	0.157			
36	0.157			
37	0.146			
38	0.145			
39	0.145			
40	0.144			
41	0.144			
42	0.144			
43	0.143			
44	0.143			
45	0.143			
46	0.143			
47	0.143			
48	0.143			
49	0.142			
50	0.142			
51	0.142			
52	0.142			
53	0.142			
54	0.142			
55	0.142			
56	0.142			
57	0.141			
58	0.141			
59	0.139			
60	0.134			

注記 *: 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

第 9.13-20 表 固有値解析結果 (3/8)

次数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
61	0.134			
62	0.134			
63	0.133			
64	0.133			
65	0.131			
66	0.131			
67	0.130			
68	0.129			
69	0.129			
70	0.125			
71	0.120			
72	0.119			
73	0.111			
74	0.110			
75	0.110			
76	0.104			
77	0.104			
78	0.102			
79	0.101			
80	0.097			
81	0.097			
82	0.096			
83	0.096			
84	0.096			
85	0.096			
86	0.096			
87	0.096			
88	0.096			
89	0.096			
90	0.096			

注記 * : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

第 9.13-20 表 固有値解析結果 (4/8)

次 数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
91	0.096			
92	0.096			
93	0.096			
94	0.096			
95	0.095			
96	0.095			
97	0.095			
98	0.095			
99	0.095			
100	0.095			
101	0.095			
102	0.094			
103	0.090			
104	0.089			
105	0.089			
106	0.089			
107	0.089			
108	0.088			
109	0.087			
110	0.087			
111	0.087			
112	0.086			
113	0.084			
114	0.083			
115	0.083			
116	0.080			
117	0.079			
118	0.077			
119	0.077			
120	0.076			

注記 * : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

第 9.13-20 表 固有値解析結果 (5/8)

次数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
121	0.076			
122	0.076			
123	0.076			
124	0.076			
125	0.075			
126	0.075			
127	0.075			
128	0.075			
129	0.074			
130	0.074			
131	0.074			
132	0.074			
133	0.074			
134	0.074			
135	0.074			
136	0.074			
137	0.074			
138	0.073			
139	0.073			
140	0.073			
141	0.073			
142	0.073			
143	0.073			
144	0.071			
145	0.071			
146	0.070			
147	0.069			
148	0.069			
149	0.068			
150	0.068			

注記 *: 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

第 9.13-20 表 固有値解析結果 (6/8)

次 数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
151	0.065			
152	0.065			
153	0.065			
154	0.065			
155	0.064			
156	0.064			
157	0.064			
158	0.064			
159	0.064			
160	0.064			
161	0.064			
162	0.064			
163	0.064			
164	0.063			
165	0.063			
166	0.063			
167	0.063			
168	0.063			
169	0.063			
170	0.063			
171	0.063			
172	0.063			
173	0.063			
174	0.063			
175	0.063			
176	0.063			
177	0.063			
178	0.063			
179	0.063			
180	0.063			

注記 *: 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

第 9.13-20 表 固有値解析結果 (7/8)

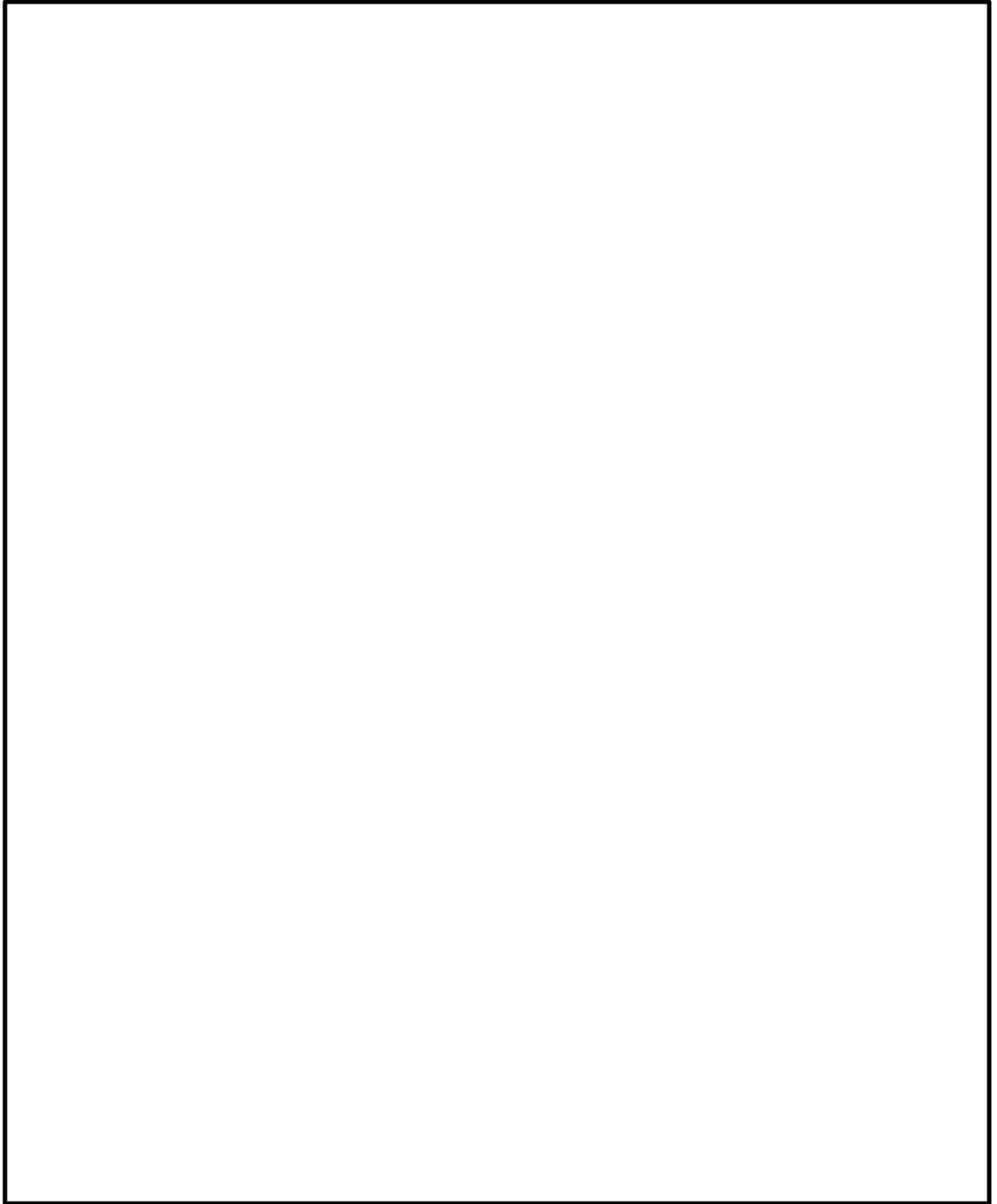
次数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
181	0.063			
182	0.063			
183	0.063			
184	0.063			
185	0.063			
186	0.062			
187	0.062			
188	0.062			
189	0.062			
190	0.062			
191	0.062			
192	0.062			
193	0.062			
194	0.062			
195	0.062			
196	0.062			
197	0.062			
198	0.062			
199	0.062			
200	0.062			
201	0.061			
202	0.059			
203	0.057			
204	0.057			
205	0.054			
206	0.054			
207	0.054			
208	0.054			
209	0.053			
210	0.053			

注記 *: 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

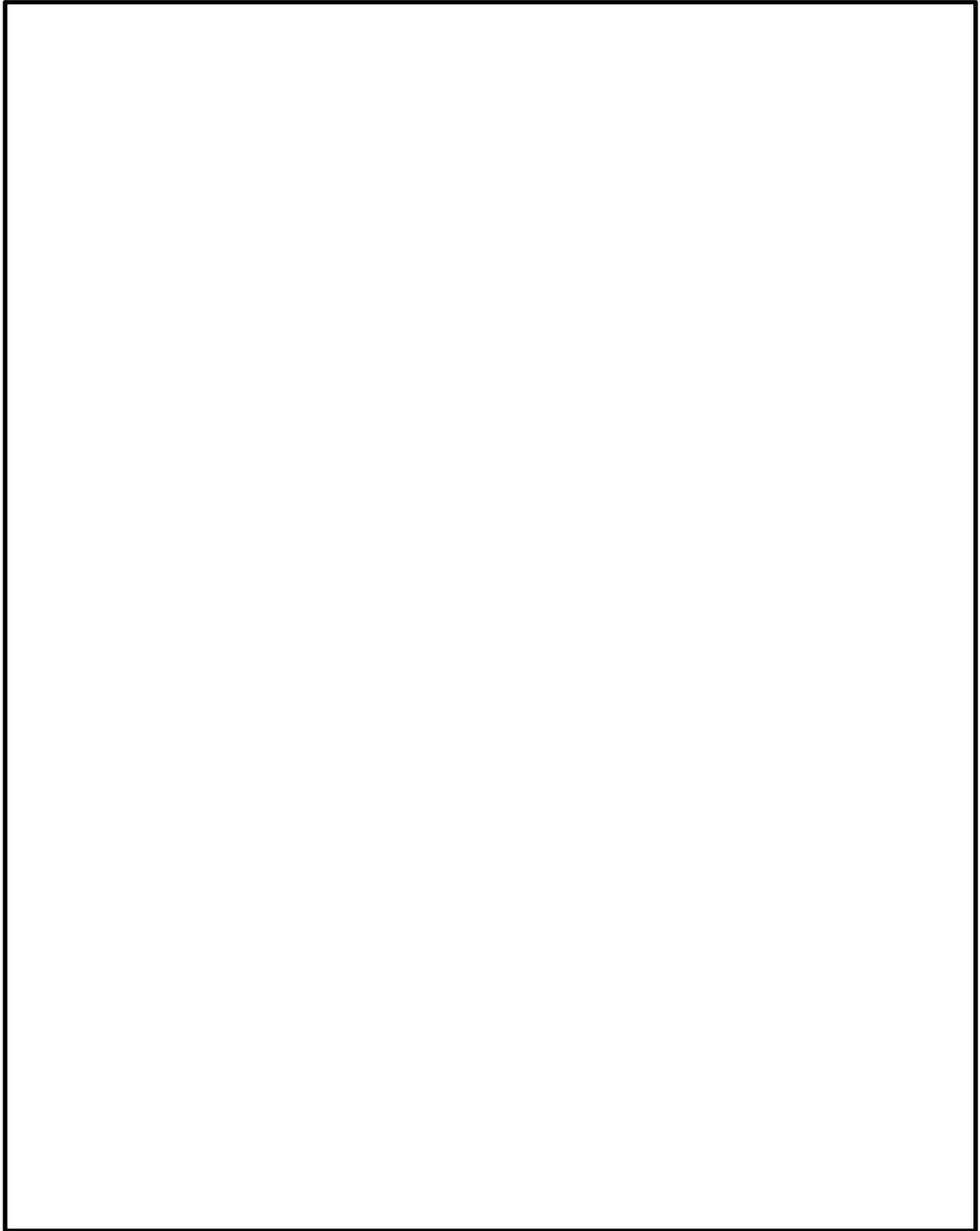
第 9.13-20 表 固有値解析結果 (8/8)

次数	固有周期 (s)	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
211	0.052			
212	0.052			
213	0.051			
214	0.051			
215	0.051			
216	0.051			
217	0.050			
218	0.050			
219	0.050			
220	0.050			
221	0.050			

注記 * : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



第 9.17-29 図 細管軸直方向に卓越する振動モード (10 次モード)



第 9.13-30 図 細管軸方向に卓越する振動モード (59 次モード)

3. 後水室，前水室に作用する荷重の算出

水平 2 方向及び鉛直方向それぞれに対し荷重を求め，各方向による荷重を SRSS にて組み合わせた。各水室に作用する荷重を第 9.13-21 表 に示す。なお，鉛直方向発生荷重には，自重が含まれている。

第 9.13-21 表 後水室および前水室に作用する荷重

評価部位		算出荷重	発生荷重 (kN)
後水室	細管軸方向		
	細管軸直方向		
	鉛直方向		
前水室	細管軸方向		
	細管軸直方向		
	鉛直方向		

4. 耐震サポーターに発生する荷重の算出

水平 2 方向それぞれに対し耐震サポーターに発生する荷重を求め、各方向による荷重を SRSS にて組み合わせることで、荷重を算出した。算出した荷重値を第 9.13-22 表に示す。なお、評価部位の付番は第 9.13-16 図に従う。

第 9.13-22 表 耐震サポーター作用する荷重 評価部位

評価部位	算出荷重	発生荷重 (kN)
センタサポーター ⑨	RSS ϵ	
キーサポーター ⑦, ⑧	RKS ϵ 1	
キーサポーター ⑩, ⑪	RKS ϵ 2	
センタサポーター ⑨	RSS γ	

5. 復水器基礎に発生する荷重の算出

水平 2 方向及び鉛直方向それぞれに対し、鉛直方向拘束の復水器基礎に発生する荷重を求め、各方向による荷重 SRSS にて組み合わせることで、荷重を算出した。算出した荷重値を第 9.13-23 表に示す。なお、評価部位の付番は第 9.13-16 図に従う。

第 9.13-23 表 各復水器基礎に作用する荷重 評価部位

評価部位	算出荷重	発生荷重 (kN)
コーナサポーター ①	F	
コーナサポーター ②		
コーナサポーター ③		
コーナサポーター ⑤		

6. 復水器水室フランジの変位量の算出

水平 2 方向及び鉛直方向それぞれに対し、軸方向加振時変位量及び軸直方向加振時変位量の和として、復水器水室フランジの変位量を算出した。算出した変位量を第 9.13-24 表に示す。

第 9.13-24 表 水室フランジ変位量

復水器水室フランジの変位量 L	16.12 (mm)
-----------------	------------

D. まとめ

復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響として、復水器水室落下の影響及び復水器本体移動による接触影響について評価を実施し、評価対象部位に生じる応力等は許容限界を超えず、復水器水室出入口弁は、地震時の復水器損傷による影響を受けないことを確認した。