

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-015 改11
提出年月日	2023年2月9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)

2023年2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. 防護すべき設備
 - 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. 想定破損による溢水評価
 - 2.1 想定破損による溢水評価における溢水源
 - 2.2 高エネルギー及び低エネルギー配管の分類
 - 2.3 高エネルギー配管及び低エネルギー配管の応力評価
 - 2.4 想定破損における減肉の考慮
3. 消火水の放水による溢水評価
 - 3.1 消火水の放水による溢水評価の概要
4. 地震起因による溢水評価
 - 4.1 地震起因による溢水評価における溢水源
 - 4.2 溢水防護に関する施設等の耐震評価対象設備・部位の代表性及び網羅性
 - 4.3 燃料プール等のスロッシングによる溢水量の算出
 - 4.4 溢水源としないB, Cクラス機器の耐震評価の内容
 - 4.5 溢水源としないB, Cクラス土木構造物の耐震評価の内容
 - 4.6 溢水源としないB, Cクラス配管の耐震評価の考え方
5. 溢水評価（没水、被水及び蒸気影響評価）
 - 5.1 溢水伝播経路概念図
 - 5.2 溢水伝播経路モデル図
 - 5.3 想定破損による溢水に対する没水影響評価
 - 5.4 想定破損による溢水に対する被水影響評価
 - 5.5 想定破損による溢水に対する溢水評価結果（溢水防護対象設備）
 - 5.6 想定破損による溢水に対する溢水評価結果（重大事故等対処設備）
 - 5.7 消火水の放水による溢水に対する溢水評価結果（溢水防護対象設備）
 - 5.8 消火水の放水による溢水に対する溢水評価結果（重大事故等対処設備）
 - 5.9 地震起因による溢水に対する溢水評価結果（溢水防護対象設備）
 - 5.10 地震起因による溢水に対する溢水評価結果（重大事故等対処設備）
6. その他の溢水評価
 - 6.1 タービン建物からの溢水に対する評価
 - 6.2 屋外タンク等からの溢水評価
 - 6.3 地下水による溢水影響
 - 6.4 放射性物質を含む液体の管理区域外漏えい防止評価
7. 全般
 - 7.1 溢水防護区画毎における機能喪失高さ
 - 7.2 ケーブルの被水影響評価

- 7.2 ケーブルの被水影響評価
- 7.3 没水影響評価における水上高さ及び滞留面積
- 7.4 貫通部止水処置に関する健全性
- 7.5 地下水位低下設備
- 7.6 その他漏えい事象に対する確認
- 7.7 排水を期待する流下開口
- 7.8 鉄筋コンクリート壁の止水性
- 7.9 経年劣化事象と保全内容
- 7.10 エキспанションジョイント止水板の性能
- 7.11 水密扉の開閉運用
- 7.12 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

7.12 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) 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) 地震力が復水器鉛直方向に作用した場合
 - (4) 細管軸方向, 細管軸直方向及び鉛直方向地震力による応力の足し合わせ
 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, 基礎コンクリート, 復水器水室フランジと復水器前後板リブの評価部位・評価条件
 - (1) 構造概要及び評価部位
 - (2) 設計用地震力
 - (3) 評価部位及び許容応力
 3. 復水器基礎 (No. ⑦⑧⑩⑪) の評価
 - (1) 耐震サポート (No. ⑦⑧⑩⑪) に作用する荷重の算出
 - (2) 地震力が復水器細管軸方向に作用したキーサポート⑦⑧の応力
 - (3) 地震力が復水器細管軸直方向に作用したキーサポート⑦⑧の応力
 - (4) 地震力が復水器鉛直方向に作用したキーサポート⑦⑧の応力
 - (5) 地震力が復水器細管軸方向に作用したキーサポート⑩⑪の応力
 - (6) 地震力が復水器細管軸直方向に作用したキーサポート⑩⑪の応力
 - (7) 地震力が復水器鉛直方向に作用したキーサポート⑩⑪の応力
 - (8) 細管軸方向, 細管軸直方向及び鉛直方向地震力による応力の足し合わせ

4. 復水器基礎 (No. ①～④) の評価
 - (1)鉛直下向き荷重を受ける基礎台配置
 - (2)復水器基礎の評価
 - (3)基礎コンクリートの圧縮評価
5. 鉄筋コンクリート基礎の評価
6. 復水器水室フランジ変位量の評価
7. 復水器前後板リブ変位量の評価
8. 評価結果
 - (1)復水器基礎 (キーサポート⑦⑧)
 - (2)復水器基礎 (キーサポート⑩⑪)
 - (3)復水器基礎コンクリート (No. ①～④コーナサポート)
 - (4)鉄筋コンクリート基礎の評価
 - (5)復水器水室フランジ変位量
 - (6)復水器前後板リブ変位量

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
7. 復水器前後板リブの変位量の算出
8. 復水器コーナサポートの浮き上り量の算出

D. まとめ

1. 概要

タービン建物復水器エリアに設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、循環水ポンプ出口弁及び復水器水室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。

循環水系隔離システムについては、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にシステムの設計方針を示しており、溢水量算出においては復水器水室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、Bクラス施設である復水器を対象に、基準地震動 S_s による地震力に対して、復水器の損傷による当該弁への影響を及ぼさ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 7.12-1 表に示す。

第 7.12-1 表 構造概要 (1/3)

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面に据え付ける。また、復水器下面四隅にコーナサポートを据え付ける。前水室及び後水室は、復水器前後板に面しており、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。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>	<p>構造概略図</p> <p>(平面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(正面図)</p> <p>(基礎平面図)</p> <p>後水室耐震サポート</p> <p>後水室</p> <p>端胴</p> <p>前水室</p> <p>復水器前後板リブ</p> <p>後水室下部サポート</p> <p>細管軸直方向</p> <p>センタサポート</p> <p>コーナサポート</p> <p>キーサポート (細管軸直方向)</p> <p>キーサポート (細管軸方向)</p> <p>細管軸方向</p>

第 7.12-1 表 構造概要 (2/3)

概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
		<p>復水器水室フランジ</p> <p>復水器前後板</p> <p>後水室耐震サポート</p> <p>(平面図)</p> <p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(正面図)</p> <p>復水器水室フランジ</p> <p>後水室下部サポート</p> <p>復水器前後板リブ</p> <p>復水器前後板</p> <p>(側面図)</p> <p>(正面図)</p> <p>後水室サポート詳細</p>

第 7.12-1 表 構造概要 (3/3)

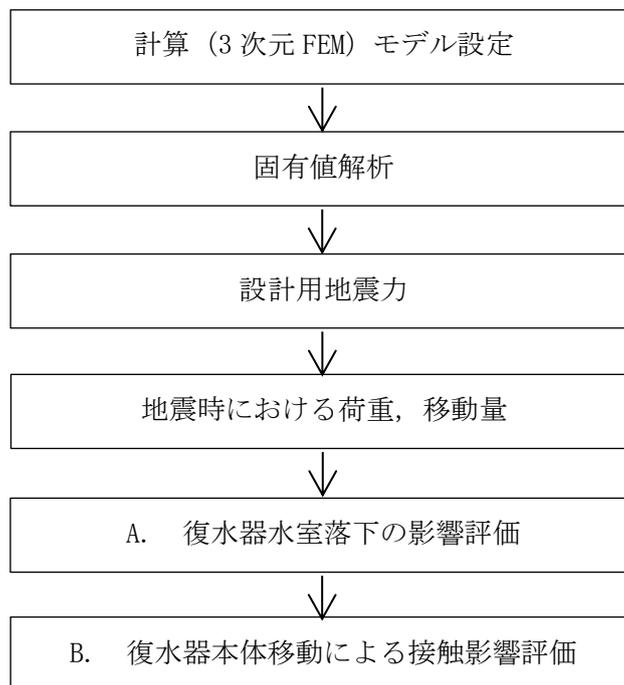
概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
床面（基礎スラブ）に設置した鉄筋コンクリート基礎で，サポートを介して復水器を支持する。	コンクリート及び鉄筋により構成する。	<p>平面図</p> <p>A-A 断面図</p>

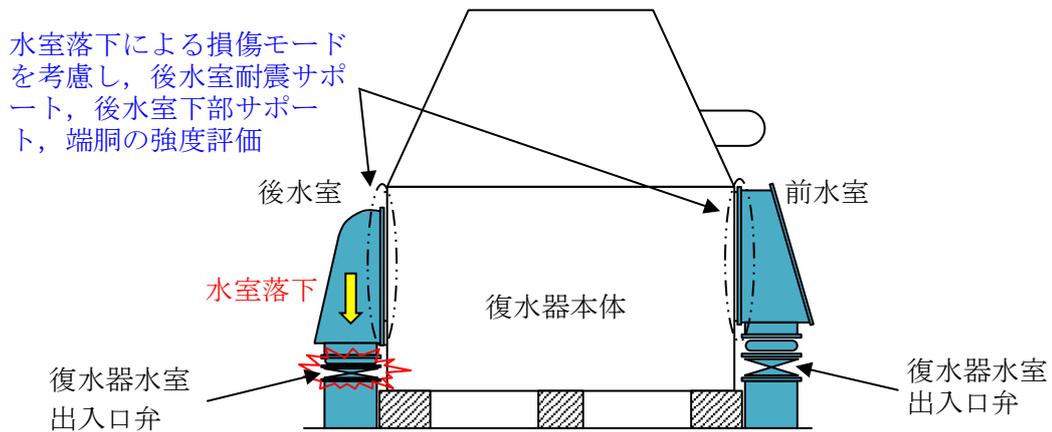
3. 復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響モード

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及び復水器本体が地震による移動によって、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 7.12-1 図～第 7.12-2 図に示す。

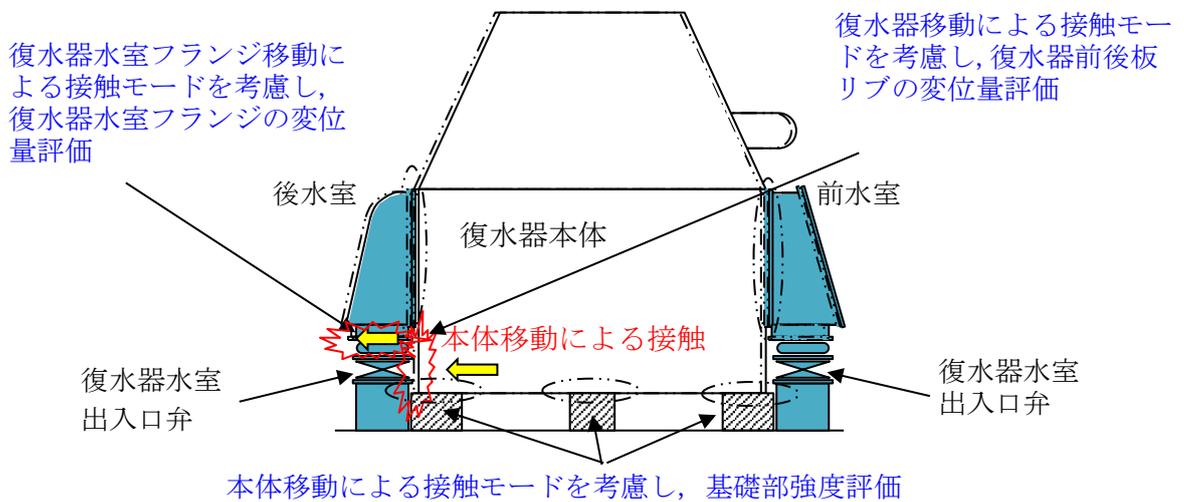
影響評価に当たっては、実機構造を反映した 3 次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析を実施し、地震により復水器水室および基礎部に生じる荷重や復水器水室フランジ変位量及び復水器前後板リブ変位量を算出し、これを用いて評価を行う。評価で用いる荷重及び変位を算定するための復水器の時刻歴応答解析のイメージを第 7.12-3 図に示す。

復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響モードの評価フローを下記に示す。

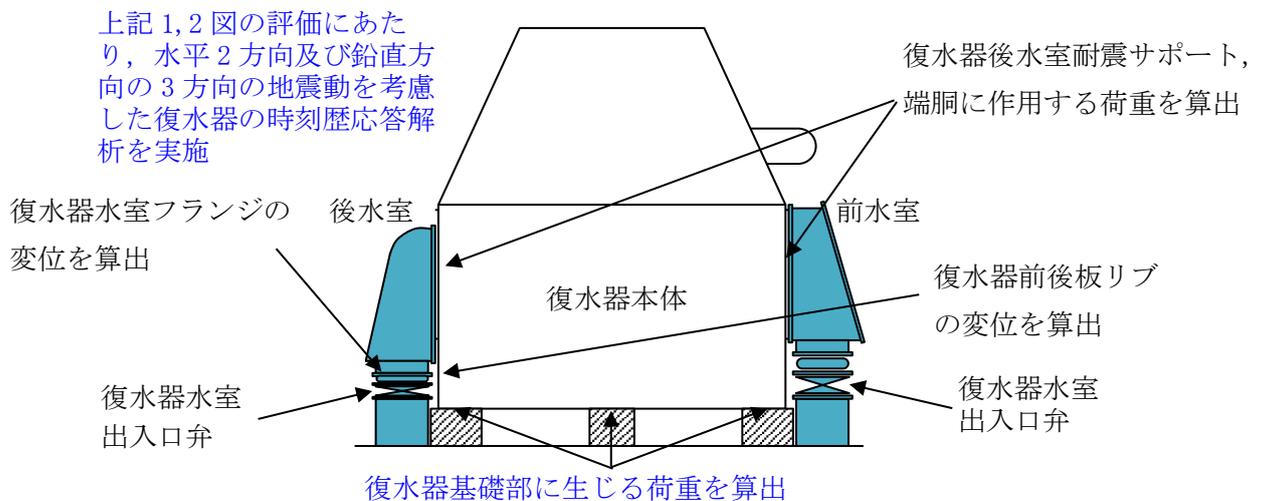




第 7.12-1 図 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ
(A. 復水器水室落下の影響)



第 7.12-2 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)



第 7.12-3 図 地震時の復水器時刻歴応答解析のイメージ
(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、復水器水室の支持部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

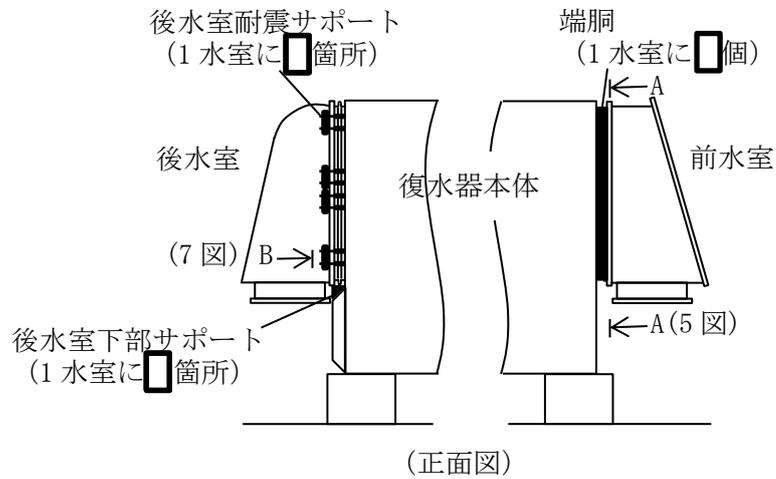
本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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 ー許容応力度設計法ー
- ・鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)

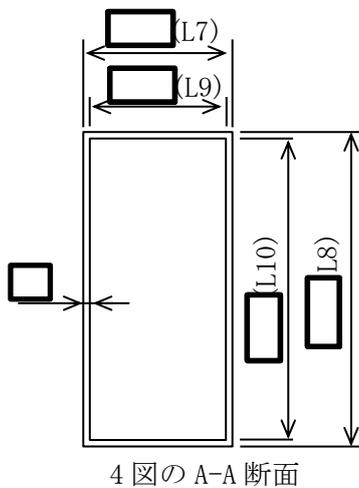
2. 復水器水室の評価部位・評価条件

(1) 構造概要及び評価部位

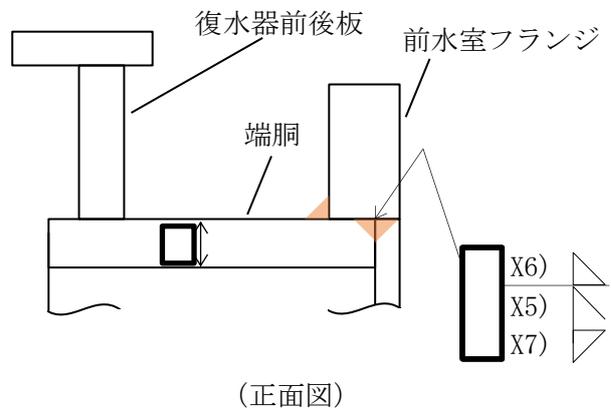
第 7.12-4 図に示す通り、後水室は水室を支持する後水室耐震サポート及び後水室下部サポートを評価部位とし、前水室は水室を支持する端胴を評価部位とする。なお、後水室耐震サポートは復水器本体と後水室にボルトで固定、後水室下部サポートは復水器本体と溶接で固定されており、前水室の端胴は復水器本体と溶接で固定されている。サポート、端胴の形状と溶接部について第 7.12-5 図～第 7.12-8 図に示す。



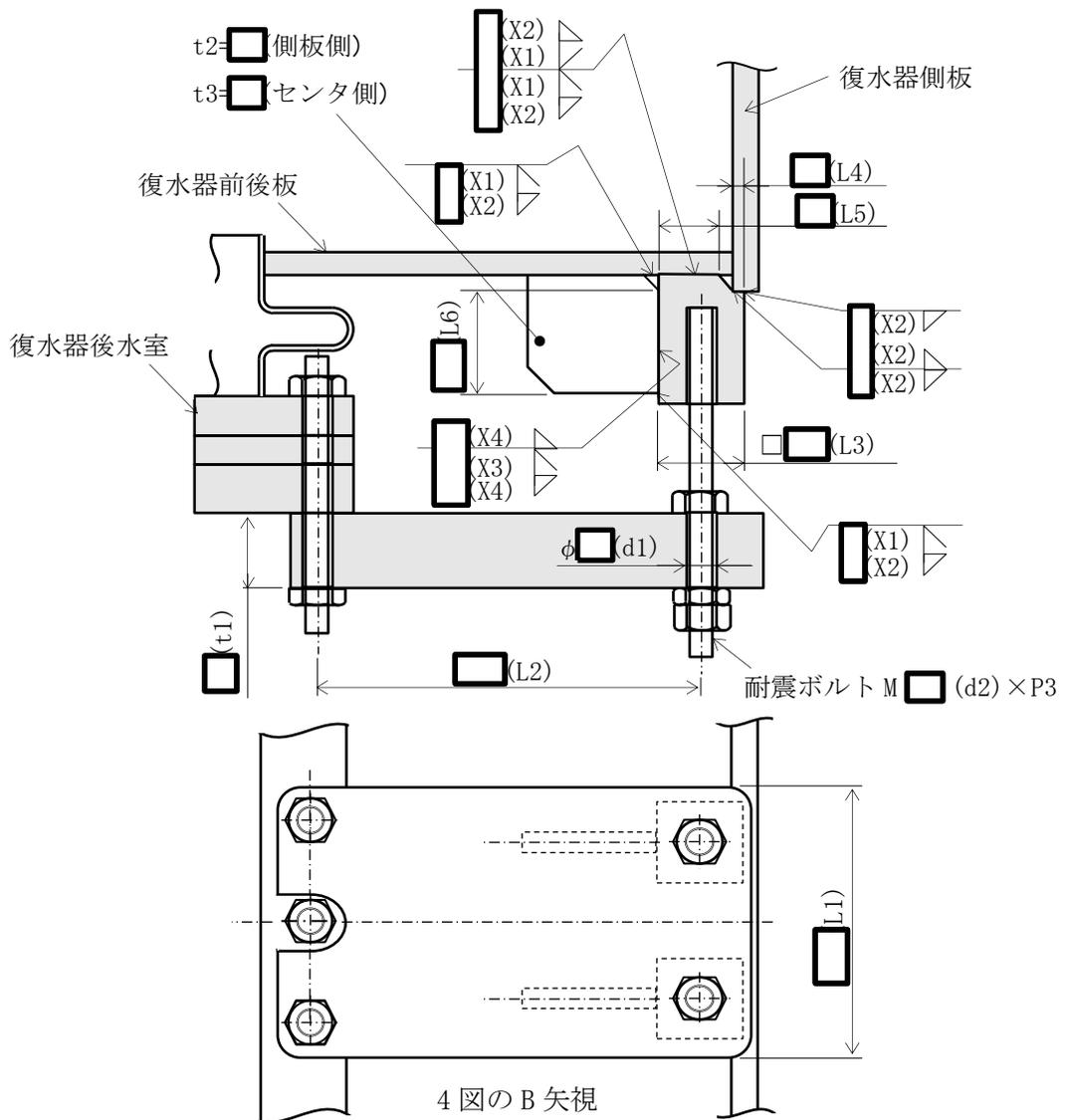
第 7.12-4 図 評価部位取付形状



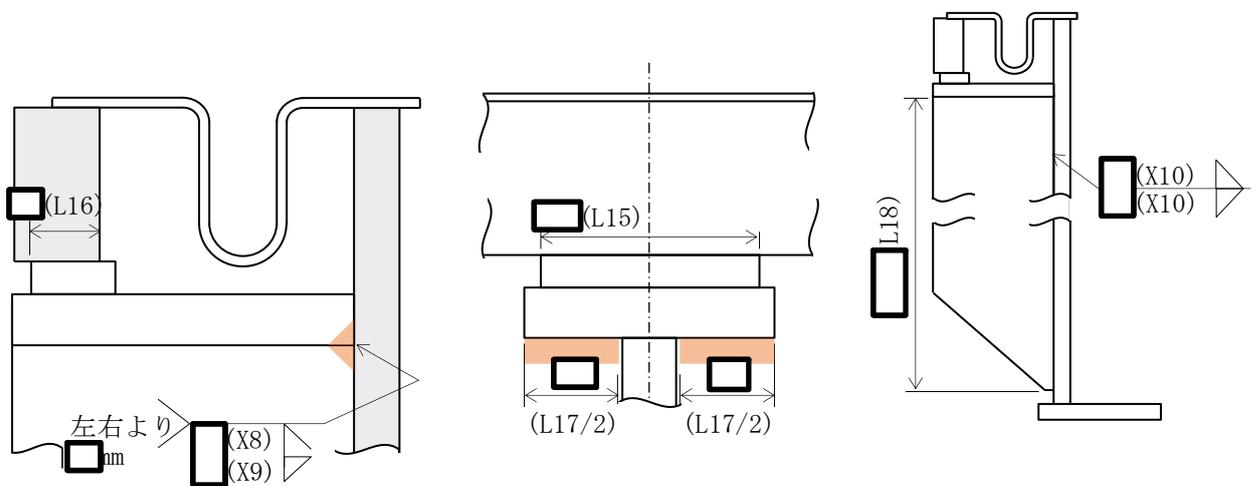
第 7.12-5 図 端胴の形状



第 7.12-6 図 端胴の溶接形状



第 7. 12-7 図 後水室耐震サポートの形状 (代表例)



第 7. 12-8 図 後水室下部サポートの形状

(2) 設計用地震力

評価に用いる復水器後水室耐震サポート及び端胴に作用する荷重は、細管軸方向（NS 方向）及び、細管軸直方向（EW 方向）に卓越する 2 ケースの地震動による時刻歴応答解析より算出し、評価が厳しくなるケースの算出結果を記載する。

設計用地震力としては、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。

復水器の 3 次元 FEM モデルを用い、基準地震動 S_s の水平 2 方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し、後水室及び前水室に作用する荷重を算出する。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。

(3) 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 7.12-2 表に，許容応力評価条件を第 7.12-3 表に示す。

第 7.12-2 表 水室評価部位 許容応力

評価部位	算出応力	機器区分	許容限界 (許容応力状態IV _A S)
後水室耐震サポート 応力	σA : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_{sm}=1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室耐震サポート 応力	σB : 曲げ	クラス 2 支持 構造物	$f_{bm}=1.5 \times F^* / 1.3$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室耐震サポート ボルト応力	σC : 引張 ^{*3}	クラス 2 支持 構造物	$f_{tm}=1.5 \times F^* / 2$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
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	$f_{sm}=1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
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	$f_{sm}=1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
前水室端胴 応力	σF : 組合せ (引張, 曲げ)	クラス 2 支持 構造物	$f_{tm}=1.5 \times F^* / 1.5^{*1}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
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	$f_{sm}=1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室下部サポート 応力	σH : 支圧	クラス 2 支持 構造物	$f_{pm}=1.5 \times F^* / 1.1$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
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	$f_{sm}=1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}^{*2}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

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。

*3 : 第 7.12-7 図の通り，ボルト固定部からサポートまで十分な距離があることから，せん断は作用しない。水室への地震荷重はボルトの引張荷重として評価する。

第 7.12-3 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) *	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
後水室耐震サポート	SM570	60	420	552	386
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 (SMA400AP)	60	227	389	272
前水室端胴溶接部	SM400A 相当 (SMA400AP)	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* : 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。

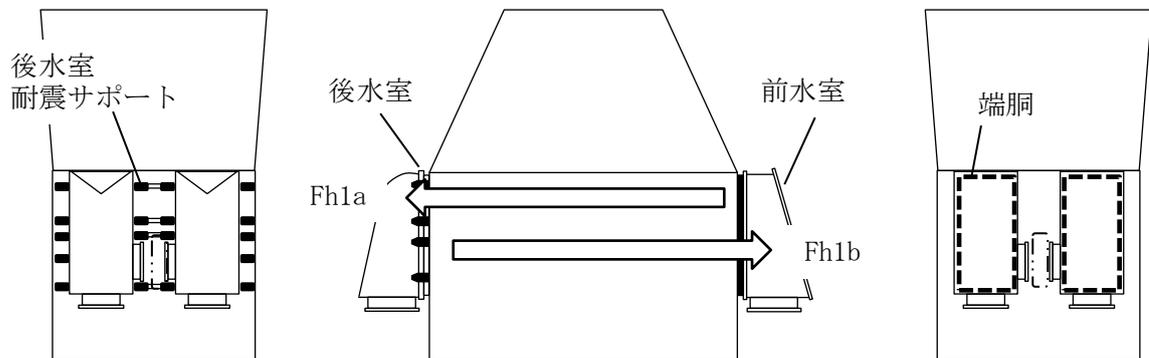
各水室に作用する最大荷重を第 7.12-4 表に示す。なお、鉛直方向発生荷重には、自重が含まれている。

第 7.12-4 表 後水室および前水室に作用する最大荷重

評価部位		算出荷重	発生荷重 (kN)
後水室	細管軸方向	Fh1a	1.131×10^3
	細管軸直方向	Fh2a	1.557×10^3
	鉛直方向	Fh3a	2.157×10^3
前水室	細管軸方向	Fh1b	8.454×10^3
	細管軸直方向	Fh2b	1.984×10^3
	鉛直方向	Fh3b	3.606×10^3

(1) 地震力が復水器細管軸方向に作用した場合

細管軸方向の地震力により、復水器本体内の細管の運転時質量が、第 7.12-9 図に示す地震力によって、前水室及び後水室に作用する細管軸方向の荷重から後水室耐震サポート及び端胴部のせん断応力、曲げ応力と引張応力を算出する。



第 7.12-9 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、

$$F1a = \frac{Fh1a}{\text{}}$$

$$= \frac{1.131 \times 10^3}{\text{}}$$

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

後水室耐震サポートが水平力 F1a を受ける断面積 A1 は、

$$A1 = (L1 - 2 \cdot d1) \cdot t1$$

$$= \text{}$$

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

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、

$$\sigma 1 = \frac{F1a}{A1}$$

$$= \text{}$$

$$= 6 \text{ MPa}$$

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、

$$M1 = F1a \cdot L2$$

$$= \text{}$$

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

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、

$$Z1 = \frac{L1 \cdot t1^2}{6}$$

$$= \frac{\text{}}{6}$$

$$= \text{} \text{ mm}^3$$

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、

$$\sigma 2 = \frac{M1}{Z1}$$

$$= \text{}$$

$$= 107 \text{MPa}$$

後水室耐震サポートのボルトの断面積 A2 は,

$$A2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$= \frac{\pi \times \square}{4}$$

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

水平力 F1a は 2 本のボルトの引張方向に作用することから, ボルトの引張応力 σ_3 は,

$$\sigma_3 = \frac{F1a}{2 \cdot A2}$$

$$= \square$$

$$= 62 \text{MPa}$$

後水室耐震サポート (側板側) の溶接部の断面積 A3 は,

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

$$= \square$$

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

よって, 2 箇所では水平力 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 σ_4 は,

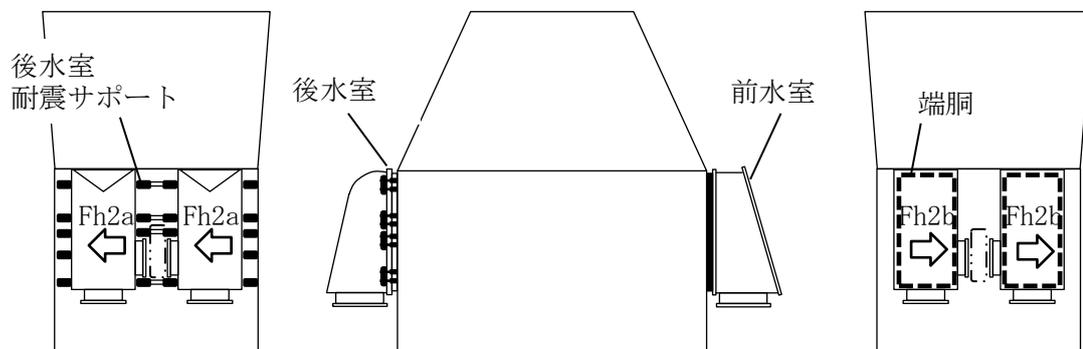
$$\sigma_4 = \frac{F1a}{2 \cdot A3}$$

$$= \square$$

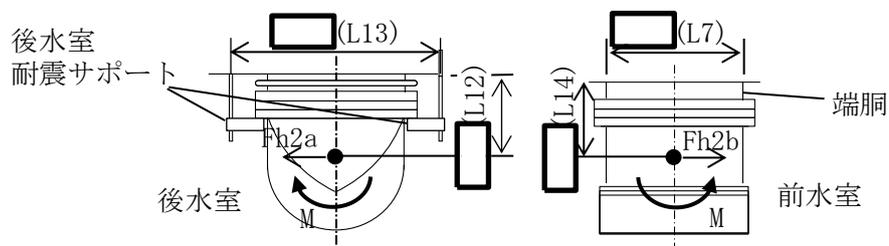
$$= 9 \text{MPa}$$

(2) 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合

第 7.12-10 図に示す通り，細管軸直方向の地震力により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の引張応力，曲げ応力とせん断応力を算出する。



第 7.12-10 図 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合



第 7.12-11 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,

$$\begin{aligned} M2a &= Fh2a \cdot L12 \\ &= 1.557 \times 10^3 \times \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

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,

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

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,

$$\begin{aligned} \sigma 8 &= \frac{F2a}{A1} \\ &= \boxed{} \\ &= 5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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,

$$\begin{aligned} \sigma 9 &= \frac{M2}{Z1} \\ &= \boxed{} \\ &= 103 \text{ MPa} \end{aligned}$$

後水室耐震サポートのボルトの引張応力 σ_{10} は,

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

$$= \boxed{}$$

$$= 60\text{MPa}$$

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,

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

$$= \boxed{}$$

$$= 9\text{MPa}$$

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,

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

$$= \boxed{}$$

$$= 8\text{MPa}$$

後水室耐震サポート 1 個あたりのせん断応力 σ_8	5 (MPa)
後水室耐震サポート 1 個あたりの曲げ応力 σ_9	103 (MPa)
後水室耐震サポートボルト 1 本あたり引張応力 σ_{10}	60 (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}	9 (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}	8 (MPa)

端洞溶接部にかかる曲げ応力 σ_{14} は、

$$\sigma_{14} = \frac{M_{2b1}}{Z_3}$$

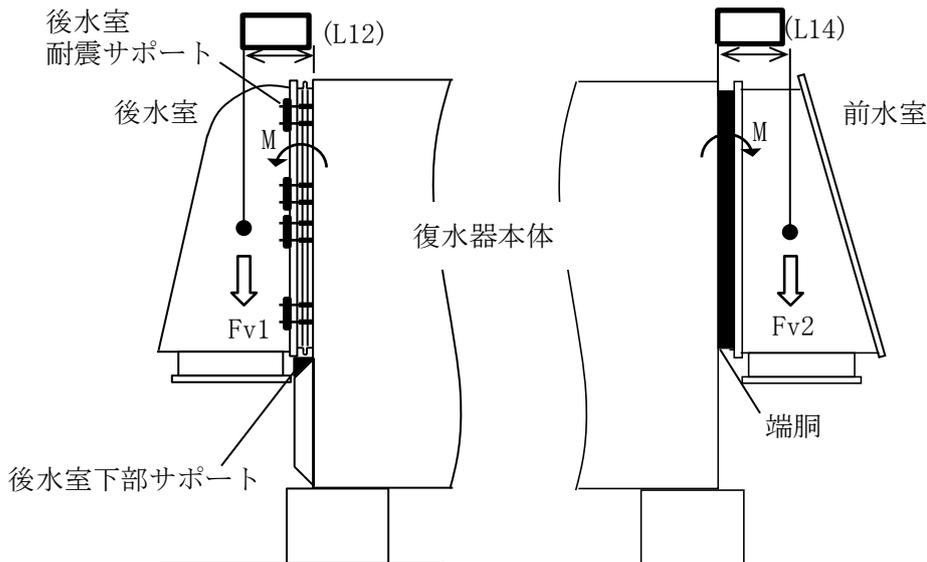


= 7MPa

端洞部の曲げ応力 σ_{13}	5 (MPa)
端洞溶接部の曲げ応力 σ_{14}	7 (MPa)

(3) 地震力が復水器鉛直方向に作用した場合

第 7.12-12 図に示す通り、鉛直方向の地震力及び自重により水室に与えられる曲げモーメントから、後水室耐震サポートと端洞部のせん断応力、曲げ応力と引張応力を算出する。また、下向き荷重によって後水室下部サポートが受ける支圧応力と付け根溶接部のせん断応力を算出する。



第 7.12-12 図 地震力が鉛直方向に作用した場合

a) 後水室側の評価

鉛直力 F_{v1} は、

$$F_{v1} = F_{h3a}$$

$$= 2.157 \times 10^3 \text{ kN}$$

鉛直方向地震力による後水室の下方向のモーメント M_{v1} は、

$$M_{v1} = F_{v1} \cdot L_{12}$$

=

= kN・mm

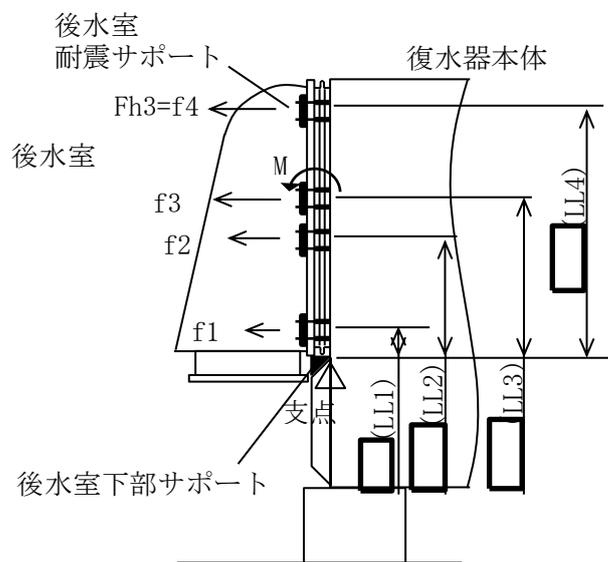
ここで、下方向モーメント $Mv1$ により、第 7.12-13 図に示すように各後水室耐震サポートに水平力がかかる。

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、

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

$$Fh3 = f4$$

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



第 7.12-13 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,

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

$$=$$

$$= 131 \text{MPa}$$

後水室耐震サポートのボルトの引張応力 σ_{17} は,

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

$$=$$

$$= 76 \text{MPa}$$

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,

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

$$=$$

$$= 11 \text{MPa}$$

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,

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

$$=$$

$$= 9 \text{MPa}$$

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}	131 (MPa)
後水室耐震サポート ボルト 1 本あたり引張応力 σ_{17}	76 (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}	11 (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) による後水室下部サポート 1 個の支圧応力 σ_{20} は,

$$\begin{aligned}
 \sigma_{20} &= \frac{Fv1}{A7} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 208 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

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,

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

後水室下部サポート 1 個の溶接部のせん断応力 σ_{21} は,

$$\begin{aligned}
 \sigma_{21} &= \frac{Fv1}{A8} \\
 &= \boxed{} \\
 &= 15 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

後水室下部サポート 1 個の支圧応力 σ_{20}	208 (MPa)
後水室下部サポート 1 個の溶接部のせん断応力 σ_{21}	15 (MPa)

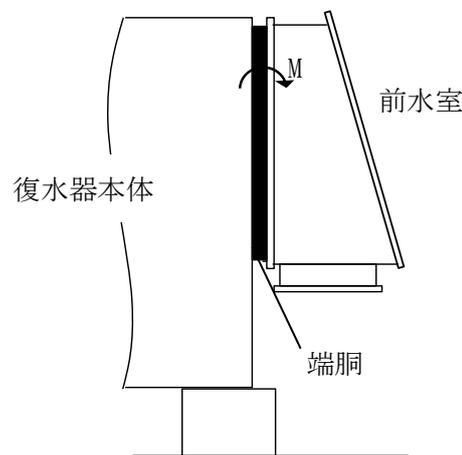
b) 前水室側の評価

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,

$$\begin{aligned} Mv2 &= Fh3b \cdot L14 \\ &= 3.606 \times 10^3 \times \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ kN}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

第 7.12-14 図に示す通り, 前水室 $\boxed{}$ 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 7.12-14 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 >

$$\begin{aligned}\sigma C &= \sigma 3 + \sigma 10 + \sigma 17 \\ &= 62 + 60 + 76 \\ &= 198\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室耐震サポート（側板側）溶接部にかかる応力 σD >

$$\begin{aligned}\sigma D &= \sigma 4 + \sigma 11 + \sigma 18 \\ &= 9 + 9 + 11 \\ &= 29\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室耐震サポート（センタ側）溶接部にかかる応力 σE >

$$\begin{aligned}\sigma E &= \sigma 5 + \sigma 12 + \sigma 19 \\ &= 8 + 8 + 9 \\ &= 25\text{MPa}\end{aligned}$$

<端胴部にかかる応力 σF >

$$\begin{aligned}\sigma F &= \sigma 6 + \sigma 13 + \sigma 22 \\ &= 16 + 5 + 7 \\ &= 28\text{MPa}\end{aligned}$$

<端胴溶接部にかかる応力 σG >

$$\begin{aligned}\sigma G &= \sigma 7 + \sigma 14 + \sigma 23 \\ &= 16 + 7 + 9 \\ &= 32\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室下部サポートにかかる応力 σH >

$$\begin{aligned}\sigma H &= \sigma 20 \\ &= 208\text{MPa}\end{aligned}$$

<後水室下部サポート溶接部にかかる応力 σI >

$$\begin{aligned}\sigma I &= \sigma 21 \\ &= 15\text{MPa}\end{aligned}$$

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，第 7.12-5 表の通り算出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 7.12-5 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	18	222
後水室耐震サポート 応力	σB : 曲げ	341	445
後水室耐震サポート ボルト応力	σC : 引張	198	462
後水室耐震サポート (側 板側) 溶接部応力	σD : せん断	29	157
後水室耐震サポート (セ ンタ側) 溶接部応力	σE : せん断	25	157
前水室端胴応力	σF : 組合せ (引張, 曲げ)	28	272
前水室端胴溶接部応力	σG : 組合せ (せん断, 曲げ)	32	157
後水室下部サポート応力	σH : 支圧	208	370
後水室下部サポート溶接 部応力	σI : せん断	15	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

復水器底板及び復水器下部中央部のコンクリート基礎には、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キーサポートを設置し、キーサポートは鉛直下向き荷重を受ける構造としている。また、復水器の四隅に設置されたコンクリート基礎は、鉛直下向き荷重を受ける構造としている（センタサポートと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、並びに、復水器水室フランジ及び復水器前後板リブ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。

(2) 適用規格・基準等

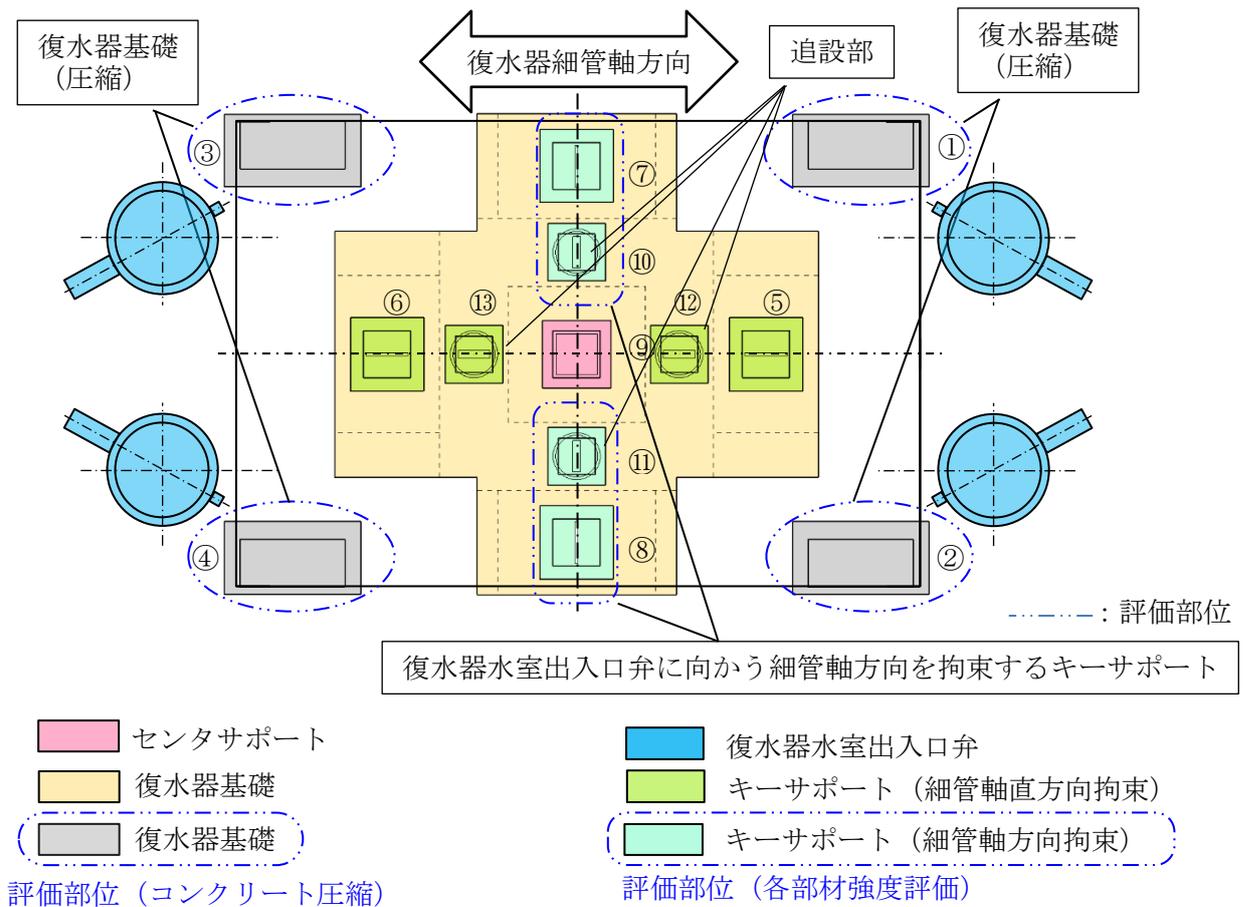
本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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）
- ・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，基礎コンクリート，復水器水室フランジと復水器前後板リブの評価部位・評価条件

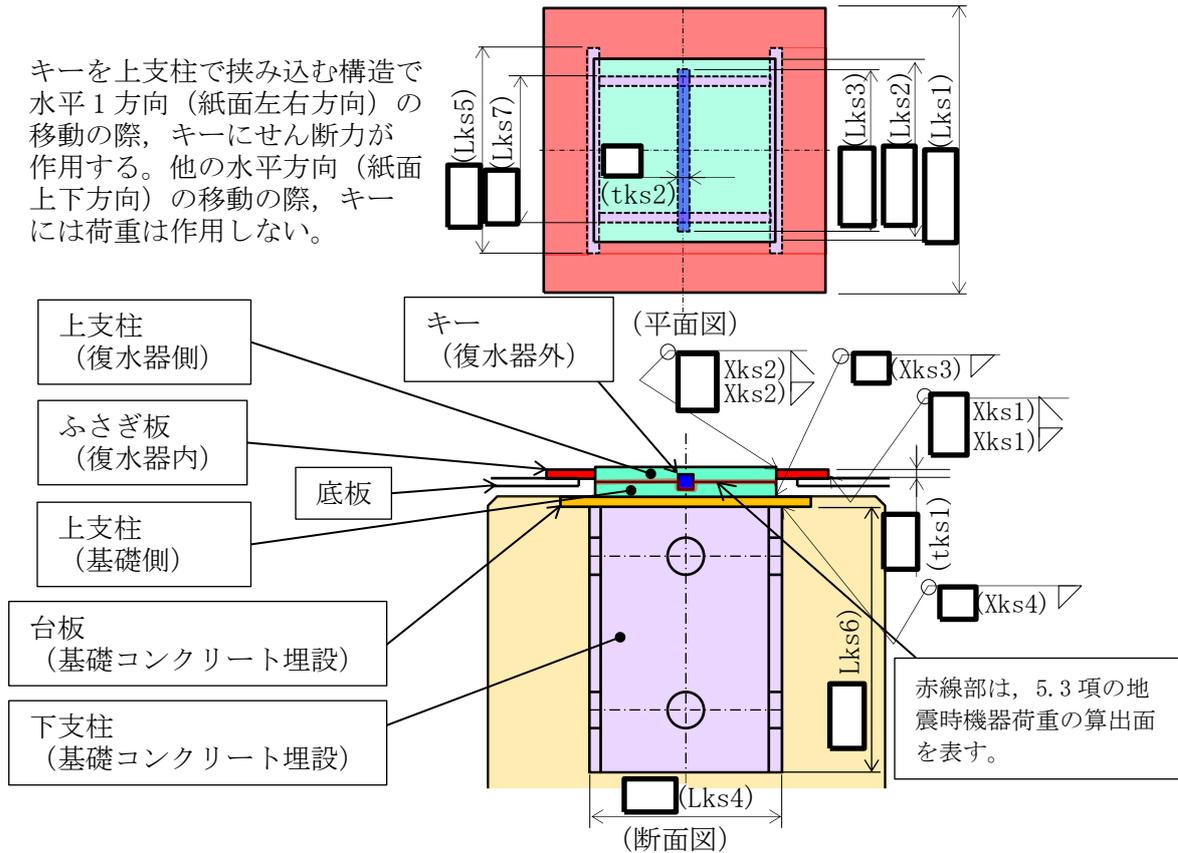
(1) 構造概要及び評価部位

復水器基礎，基礎コンクリート，復水器水室フランジと復水器前後板リブの評価部位を第7.12-15図～第7.12-20図に示す。復水器水室出入口弁への影響評価の観点から，細管軸方向の地震荷重を受けるキーサポート⑦⑧⑩⑪を評価対象とする。



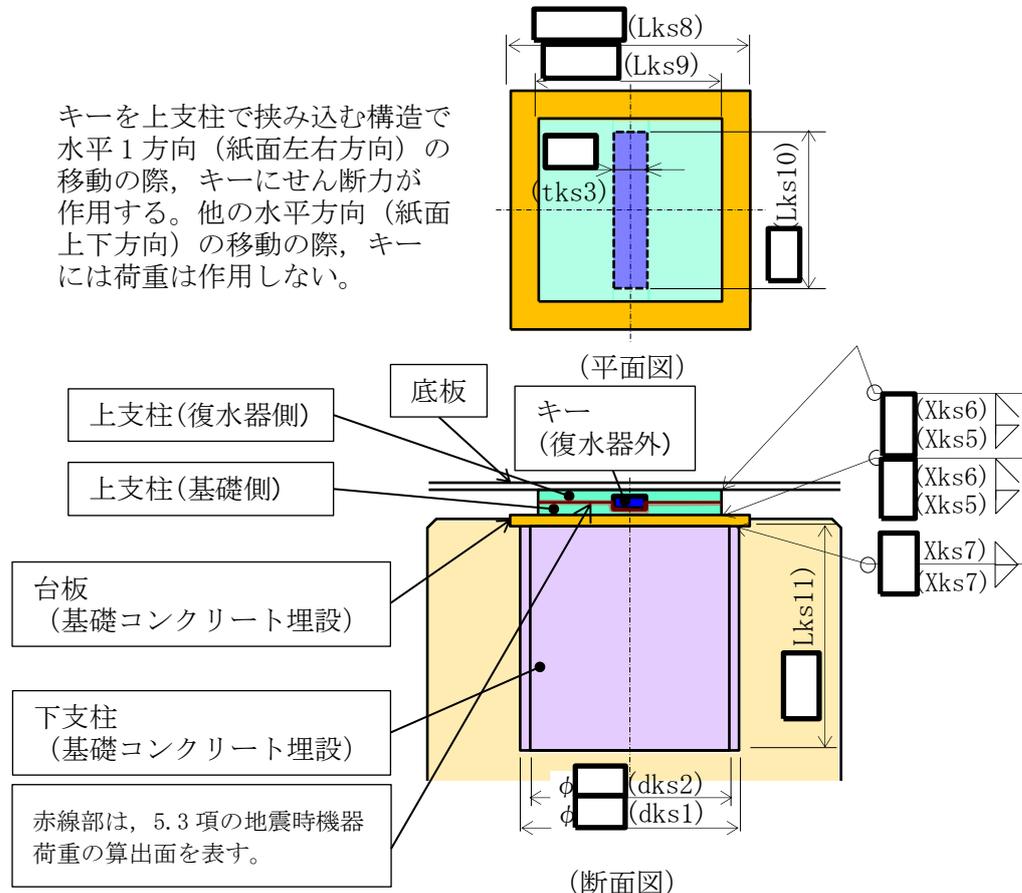
第7.12-15図 復水器基礎平面図(復水器1胴分を示す)

キーを上支柱で挟み込む構造で水平1方向（紙面左右方向）の移動の際、キーにせん断力が作用する。他の水平方向（紙面上下方向）の移動の際、キーには荷重は作用しない。

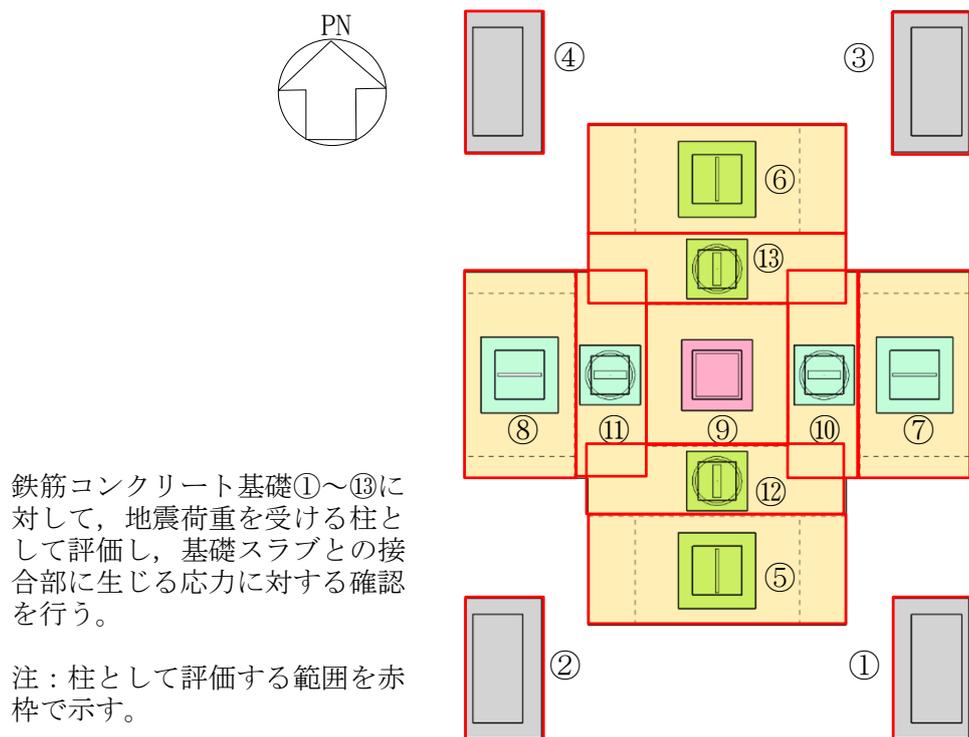


第 7.12-16 図 キーサポート⑦⑧平面図, 断面図

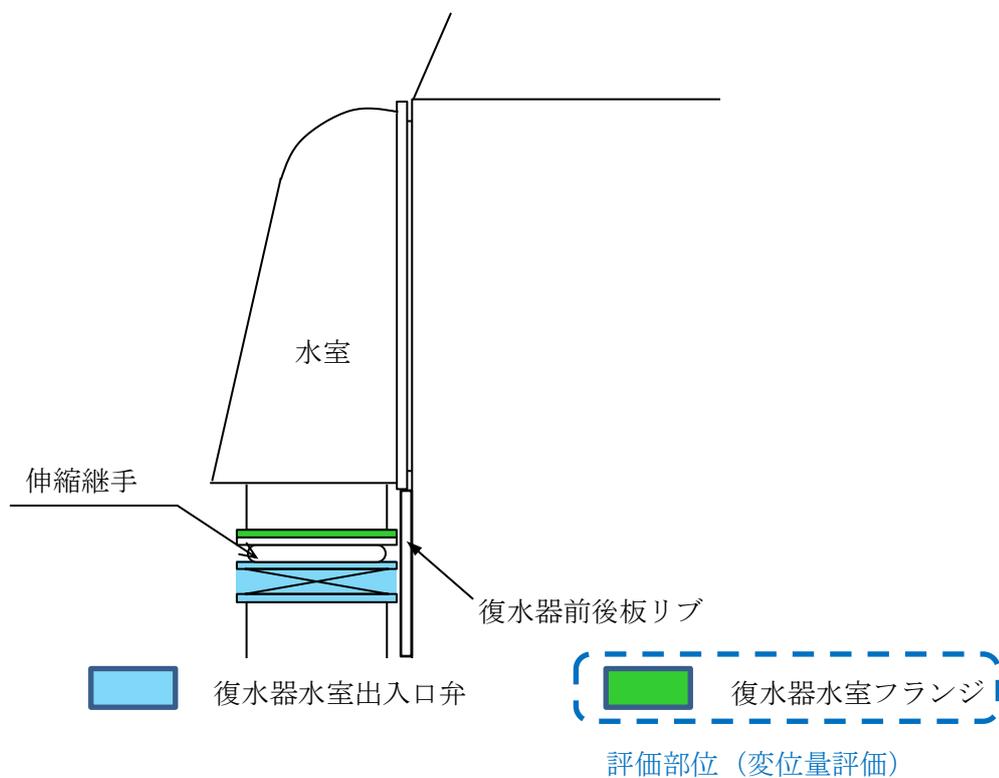
キーを上支柱で挟み込む構造で水平1方向（紙面左右方向）の移動の際、キーにせん断力が作用する。他の水平方向（紙面上下方向）の移動の際、キーには荷重は作用しない。



第 7.12-17 図 キーサポート⑩⑪平面図, 断面図

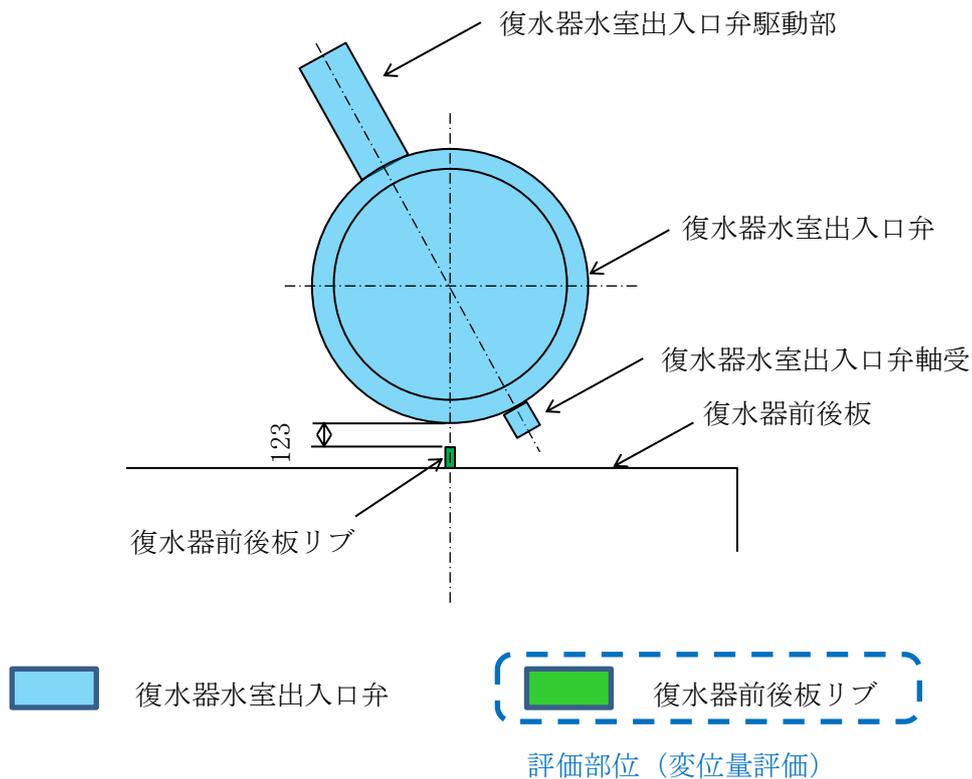


第 7.12-18 図 基礎コンクリートの評価



(正面図)

第 7.12-19 図 復水器水室出入口弁，復水器水室フランジ



(断面図)

第 7.12-20 図 復水器水室出入口弁，復水器前後板リブ

(2) 設計用地震力

評価に用いる復水器基礎に作用する荷重，復水器水室フランジや復水器前後板リブの変位量は，細管軸方向（NS 方向）及び，細管軸直方向（EW 方向）に卓越する 2 ケースの地震動による時刻歴応答解析より算出し，評価が厳しくなるケースの算出結果を記載する。

設計用地震力としては，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。

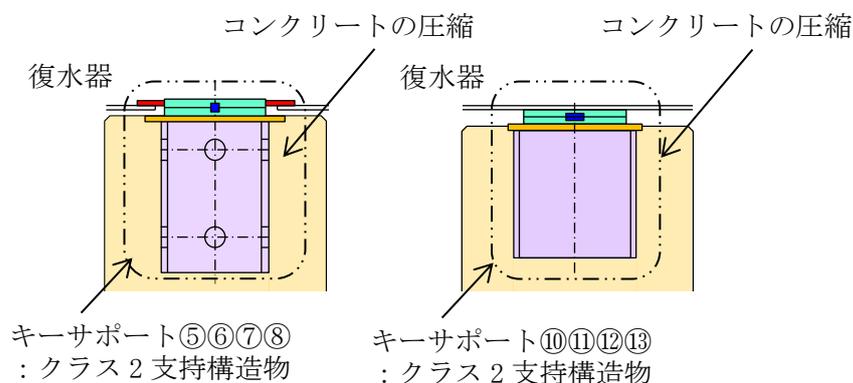
復水器本体移動による接触影響の評価においては，実構造を反映した耐震評価を実施することを目的として，3次元 FEM モデルを用い，基準地震動 S_s の水平 2 方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し，基礎発生荷重，復水器水室フランジ部と復水器前後板リブの変位を算出する。解析の詳細は「C.3 次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析」に示す。

(3) 評価部位及び許容応力

基礎部耐震サポートの評価部位と評価条件は第 7.12-21 図に，許容応力については第 7.12-6 表～第 7.12-8 表に示す。

- ・ J E A G 4 6 0 1-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。

- ・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 7.12-21 図 基礎部耐震サポートの評価部位と評価条件

第 7.12-6 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	機器区分 応力分類	許容限界 (許容応力状態IV _A S)
キー	σJ	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
ふさぎ板	σK	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
ふさぎ板と上支柱の溶接	σL	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
底板とふさぎ板の溶接	σM	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上支柱と台板の溶接	σN	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
台板と下支柱の溶接	σO	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリートの圧縮	σP	埋込金物コンクリート部 の許容圧縮強度 圧縮	$0.75F_c$

第 7.12-7 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	機器区分 応力分類	許容限界 (許容応力状態Ⅳ _A S)
底板と上支柱の溶接	σQ	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
キー	σR	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上支柱と台板の溶接	σS	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
台板と下支柱の溶接	σT	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_{sm} = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリートの圧縮	σU	埋込金物コンクリート部 の許容圧縮強度 圧縮	$0.75F_c$

第 7.12-8 表 復水器基礎（コンクリート） 許容応力

評価部位	算出 応力	機器区分 応力分類	許容限界 (許容応力状態Ⅳ _A S)
基礎コンクリート	σV	埋込金物コンクリート部の許 容圧縮強度 圧縮	$0.75F_c$

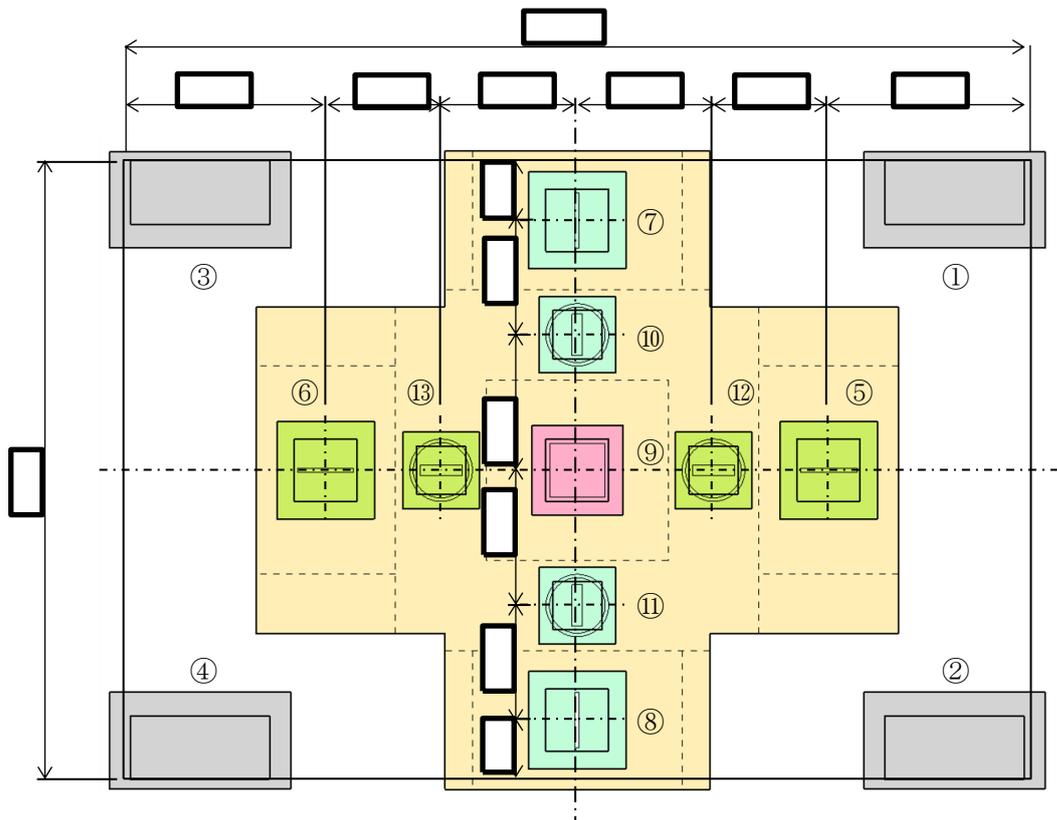
3. 復水器基礎 (No. ⑦⑧⑩⑪) の評価

(1) 耐震サポート (No. ⑦⑧⑩⑪) に作用する荷重の算出

第 7.12-22 図に示す耐震サポートに作用する最大荷重を第 7.12-9 表に示す。なお、鉛直方向の発生荷重には自重が含まれている。

第 7.12-9 表 各耐震サポートに作用する最大荷重

評価部位		算出荷重	発生荷重 (kN)
キーサポート ⑦, ⑧	細管軸方向	RKS ϵ 1	5.333×10^3
	細管軸直方向	RKS γ 1	1.042×10^3
	鉛直方向	RKS ζ 1	4.015×10^3
キーサポート ⑩, ⑪	細管軸方向	RKS ϵ 2	1.890×10^3
	細管軸直方向	RKS γ 2	2.820×10^2
	鉛直方向	RKS ζ 2	4.820×10^2



第 7.12-22 図 基礎部耐震サポート配置図

(2) 地震力が復水器細管軸方向に作用したキーサポート⑦⑧の応力

a) キーのせん断応力

幅 t_{ks2} , 長さ L_{ks3} のキーのせん断断面積 A_{ks1} は,

$$\begin{aligned} A_{ks1} &= t_{ks2} \cdot L_{ks3} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

キーにかかるせん断応力 σ_{24} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{24} &= \frac{RKS \varepsilon 1}{A_{ks1}} \\ &= \frac{5.333 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 112 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) ふさぎ板のせん断応力

ふさぎ板 (厚さ t_{ks1} , 幅 $(L_{ks1} - L_{ks2})$), ふさぎ板と上支柱の溶接部 (開先深さ X_{ks2} , すみ肉脚長 X_{ks2} , 溶接線長さ $(L_{ks2} \times 2)$) を足した有効断面積 A_{ks2} は,

$$\begin{aligned} A_{ks2} &= t_{ks1} \cdot (L_{ks1} - L_{ks2}) \cdot 2 + X_{ks2} \cdot \sqrt{2} \cdot L_{ks2} \cdot 2 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ふさぎ板にかかるせん断応力 σ_{25} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{25} &= \frac{RKS \varepsilon 1}{A_{ks2}} \\ &= \frac{5.333 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 74 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c) ふさぎ板と上支柱の溶接部のせん断応力

開先深さ X_{ks2} , すみ肉脚長 X_{ks2} , 上支柱幅 L_{ks2} の4辺を溶接線長さとする, ふさぎ板と上支柱の溶接部の断面積 A_{ks3} は,

$$\begin{aligned} A_{ks3} &= 4 \cdot (X_{ks2} \cdot \sqrt{2}) \cdot L_{ks2} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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、

$$\begin{aligned}\sigma_{26} &= \frac{RKS \varepsilon 1}{Aks3} \\ &= \frac{5.333 \times 10^3 \times 1000}{} \\ &= 66 \text{MPa}\end{aligned}$$

d) 底板とふさぎ板の溶接部のせん断応力

開先深さ $Xks1$, すみ肉脚長 $Xks1$, ふさぎ板幅 $Lks1$ 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 $Aks4$ は、

$$\begin{aligned}Aks4 &= 4 \cdot (Xks1 \cdot \sqrt{2}) \cdot Lks1 \\ &= \\ &= \text{mm}^2\end{aligned}$$

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、

$$\begin{aligned}\sigma_{27} &= \frac{RKS \varepsilon 1}{Aks4} \\ &= \frac{5.333 \times 10^3 \times 1000}{} \\ &= 42 \text{MPa}\end{aligned}$$

e) 上支柱と台板の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 $Xks3$, 上支柱幅 $Lks2$ 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 $Aks5$ は、

$$\begin{aligned}Aks5 &= 4 \cdot \frac{Xks3}{\sqrt{2}} \cdot Lks2 \\ &= \\ &= \text{mm}^2\end{aligned}$$

よって、上支柱と台板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{28} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{28} &= \frac{RKS \varepsilon 1}{Aks5} \\ &= \frac{5.333 \times 10^3 \times 1000}{} \\ &= 70 \text{MPa}\end{aligned}$$

b) ふさぎ板と上支柱の溶接部のせん断応力

ふさぎ板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{32} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{32} &= \frac{RKS \gamma 1}{Aks3} \\ &= \frac{1.042 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 13 \text{MPa}\end{aligned}$$

c) 底板とふさぎ板の溶接部のせん断応力

底板とふさぎ板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{33} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{33} &= \frac{RKS \gamma 1}{Aks4} \\ &= \frac{1.042 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 9 \text{MPa}\end{aligned}$$

d) 上支柱と台板の溶接部のせん断応力

上支柱と台板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{34} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{34} &= \frac{RKS \gamma 1}{Aks5} \\ &= \frac{1.042 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 14 \text{MPa}\end{aligned}$$

e) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

台板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{35} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{35} &= \frac{RKS \gamma 1}{Aks6} \\ &= \frac{1.042 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 13 \text{MPa}\end{aligned}$$

f) コンクリートの圧縮応力

1辺 $Lks4$ 、長さ $Lks6$ の支柱によるコンクリートの受圧面積 $Aks8$ は、

$$\begin{aligned}Aks8 &= Lks4 \cdot Lks6 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{mm}^2\end{aligned}$$

受圧面積 Aks8 にかかる圧縮応力 σ_{36} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{36} &= \frac{RKS \gamma 1}{Aks8} \\ &= \frac{1.042 \times 10^3 \times 1000}{} \\ &= 1\text{MPa}\end{aligned}$$

(4) 地震力が復水器鉛直方向に作用したキーサポート⑦⑧の応力

a) ふさぎ板と上支柱の溶接部のせん断応力

ふさぎ板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{37} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{37} &= \frac{RKS \zeta 1}{Aks3} \\ &= \frac{4.015 \times 10^3 \times 1000}{} \\ &= 50\text{MPa}\end{aligned}$$

b) 底板とふさぎ板の溶接部のせん断応力

底板とふさぎ板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{38} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{38} &= \frac{RKS \zeta 1}{Aks4} \\ &= \frac{4.015 \times 10^3 \times 1000}{} \\ &= 32\text{MPa}\end{aligned}$$

c) 上支柱と台板の溶接部のせん断応力

上支柱と台板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{39} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{39} &= \frac{RKS \zeta 1}{Aks5} \\ &= \frac{4.015 \times 10^3 \times 1000}{} \\ &= 53\text{MPa}\end{aligned}$$

d) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

台板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{40} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{40} &= \frac{RKS \zeta 1}{Aks6} \\ &= \frac{4.015 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 50\text{MPa}\end{aligned}$$

e) コンクリートの圧縮応力

長辺 $Lks4$, 短辺 $Lks7$ の長方形によるコンクリートの受圧面積 $Aks9$ は,

$$\begin{aligned}Aks9 &= Lks4 \cdot Lks7 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{mm}^2\end{aligned}$$

受圧面積 $Aks9$ にかかる圧縮応力 σ_{41} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{41} &= \frac{RKS \zeta 1}{Aks9} \\ &= \frac{4.015 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 7\text{MPa}\end{aligned}$$

(5) 地震力が復水器細管軸方向に作用したキーサポート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_{ks9} 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_{ks10} は,

$$\begin{aligned} A_{ks10} &= 4 \cdot (X_{ks6} \cdot \sqrt{2}) \cdot L_{ks9} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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,

$$\begin{aligned} \sigma_{42} &= \frac{RKS \varepsilon 2}{A_{ks10}} \\ &= \frac{1.890 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= \boxed{27} \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) キーのせん断応力

幅 t_{ks3} , 長さ L_{ks10} のキーのせん断断面積 A_{ks11} は,

$$\begin{aligned} A_{ks11} &= t_{ks3} \cdot L_{ks10} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

キーにかかるせん断応力 σ_{43} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{43} &= \frac{RKS \varepsilon 2}{A_{ks11}} \\ &= \frac{1.890 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= \boxed{21} \text{ MPa} \end{aligned}$$

c) 上支柱と台板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_{ks9} 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 A_{ks12} は,

$$\begin{aligned} A_{ks12} &= 4 \cdot (X_{ks6} \cdot \sqrt{2}) \cdot L_{ks9} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

よって、台板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{44} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{44} &= \frac{RKS \ \varepsilon \ 2}{Aks12} \\ &= \frac{1.890 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 27 \text{MPa}\end{aligned}$$

d) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

すみ肉脚長 $Xks7$ 、外径 $dks1$ 、内径 $dks2$ の下支柱の内外周の長さを溶接線長とすると、台板と下支柱の溶接部の断面積 $Aks13$ は、

$$\begin{aligned}Aks13 &= \left(\frac{Xks7}{\sqrt{2}} \right) \cdot \{ (dks1 + dks2) \cdot \pi \} \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{mm}^2\end{aligned}$$

よって、台板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{45} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{45} &= \frac{RKS \ \varepsilon \ 2}{Aks13} \\ &= \frac{1.890 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 17 \text{MPa}\end{aligned}$$

e) コンクリートの圧縮応力

外径 $dks1$ 、長さ $Lks11$ の支柱によるコンクリートの受圧面積 $Aks14$ は、

$$\begin{aligned}Aks14 &= dks1 \cdot Lks11 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{mm}^2\end{aligned}$$

受圧面積 $Aks14$ にかかるコンクリートの圧縮応力 σ_{46} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{46} &= \frac{RKS \ \varepsilon \ 2}{Aks14} \\ &= \frac{1.890 \times 10^3 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 3 \text{MPa}\end{aligned}$$

(6) 地震力が復水器細管軸直方向に作用したキーサポート⑩⑪の応力

a) 底板と上支柱の溶接部のせん断応力

底板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{47} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{47} &= \frac{RKS \gamma 2}{Aks10} \\ &= \frac{2.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 4\text{MPa}\end{aligned}$$

b) 上支柱と台板の溶接部のせん断応力

上支柱と台板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{48} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{48} &= \frac{RKS \gamma 2}{Aks12} \\ &= \frac{2.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 4\text{MPa}\end{aligned}$$

c) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

台板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{49} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{49} &= \frac{RKS \gamma 2}{Aks13} \\ &= \frac{2.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 3\text{MPa}\end{aligned}$$

d) コンクリートの圧縮応力

受圧面積 $Aks14$ にかかるコンクリートの圧縮応力 σ_{50} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{50} &= \frac{RKS \gamma 2}{Aks14} \\ &= \frac{2.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 1\text{MPa}\end{aligned}$$

(7) 地震力が復水器鉛直方向に作用したキーサポート⑩⑪の応力

a) 底板と上支柱の溶接部のせん断応力

底板と上支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{51} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{51} &= \frac{RKS \zeta 2}{Aks10} \\ &= \frac{4.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 7\text{MPa}\end{aligned}$$

b) 上支柱と台板の溶接部のせん断応力

上支柱と台板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{52} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{52} &= \frac{RKS \zeta 2}{Aks12} \\ &= \frac{4.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 7\text{MPa}\end{aligned}$$

c) 台板と下支柱の溶接部のせん断応力

台板と下支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{53} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{53} &= \frac{RKS \zeta 2}{Aks13} \\ &= \frac{4.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 5\text{MPa}\end{aligned}$$

d) コンクリートの圧縮応力

外径 $dks1$ の支柱によるコンクリートの受圧面積 $Aks15$ は,

$$\begin{aligned}Aks15 &= \frac{\pi}{4} \cdot dks1^2 \\ &= \boxed{} \\ &= \boxed{} \text{mm}^2\end{aligned}$$

受圧面積 $Aks15$ にかかるコンクリートの圧縮応力 σ_{54} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{54} &= \frac{RKS \zeta 2}{Aks15} \\ &= \frac{4.820 \times 10^2 \times 1000}{\boxed{}} \\ &= 1\text{MPa}\end{aligned}$$

(8) 細管軸方向, 細管軸直方向及び鉛直方向地震力による応力の足し合わせ

(2)～(4)により, 細管軸方向, 細管軸直方向地震力と鉛直方向地震力を考慮したキーサポート⑦⑧の各応力は次に示す通りである。

<キーのせん断応力 σJ >

$$\begin{aligned}\sigma J &= \sigma 24 \\ &= 112\text{MPa}\end{aligned}$$

<ふさぎ板のせん断応力 σK >

$$\begin{aligned}\sigma K &= \sigma 25 + \sigma 31 \\ &= 74 + 15 \\ &= 89\text{MPa}\end{aligned}$$

<ふさぎ板と上支柱の溶接のせん断応力 σL >

$$\begin{aligned}\sigma L &= \sigma 26 + \sigma 32 + \sigma 37 \\ &= 66 + 13 + 50 \\ &= 129\text{MPa}\end{aligned}$$

<底板とふさぎ板の溶接のせん断応力 σM >

$$\begin{aligned}\sigma M &= \sigma 27 + \sigma 33 + \sigma 38 \\ &= 42 + 9 + 32 \\ &= 83\text{MPa}\end{aligned}$$

<上支柱と台板の溶接のせん断応力 σN >

$$\begin{aligned}\sigma N &= \sigma 28 + \sigma 34 + \sigma 39 \\ &= 70 + 14 + 53 \\ &= 137\text{MPa}\end{aligned}$$

<台板と下支柱の溶接のせん断応力 σO >

$$\begin{aligned}\sigma O &= \sigma 29 + \sigma 35 + \sigma 40 \\ &= 66 + 13 + 50 \\ &= 129\text{MPa}\end{aligned}$$

<コンクリートの圧縮応力 σP >

$$\begin{aligned}\sigma P &= \sigma 30 + \sigma 36 + \sigma 41 \\ &= 4 + 1 + 7 \\ &= 12\text{MPa}\end{aligned}$$

(5)～(7)により，細管軸方向，細管軸直方向地震力と鉛直方向地震力を考慮したキーサポート⑩⑪の各応力は以下に示す通りである。

<底板と上支柱の溶接のせん断応力 σQ >

$$\begin{aligned}\sigma Q &= \sigma 42 + \sigma 47 + \sigma 51 \\ &= 27 + 4 + 7 \\ &= 38\text{MPa}\end{aligned}$$

<キーのせん断応力 σR >

$$\begin{aligned}\sigma R &= \sigma 43 \\ &= 21\text{MPa}\end{aligned}$$

<上支柱と台板の溶接のせん断応力 σS >

$$\begin{aligned}\sigma S &= \sigma 44 + \sigma 48 + \sigma 52 \\ &= 27 + 4 + 7 \\ &= 38\text{MPa}\end{aligned}$$

<台板と下支柱の溶接のせん断応力 σT >

$$\begin{aligned}\sigma T &= \sigma 45 + \sigma 49 + \sigma 53 \\ &= 17 + 3 + 5 \\ &= 25\text{MPa}\end{aligned}$$

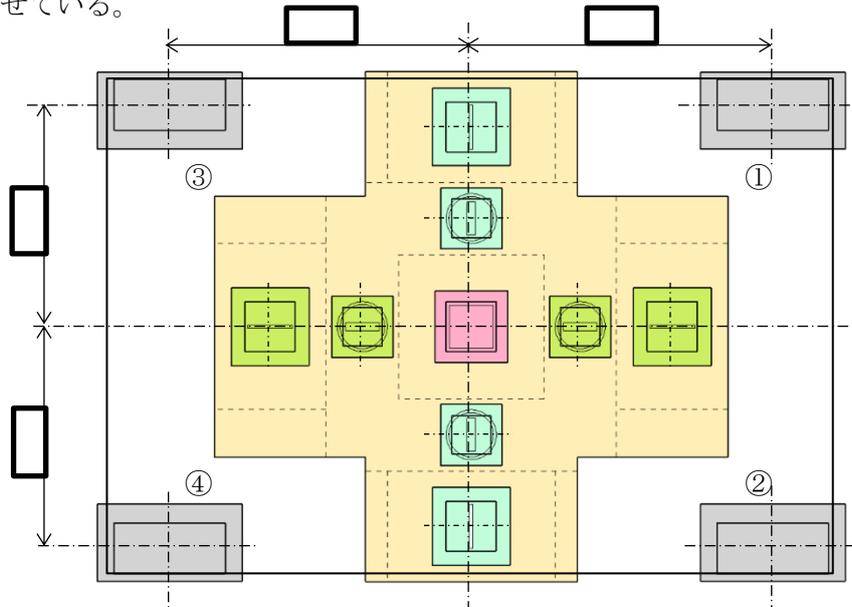
<コンクリートの圧縮応力 σU >

$$\begin{aligned}\sigma U &= \sigma 46 + \sigma 50 + \sigma 54 \\ &= 3 + 1 + 1 \\ &= 5\text{MPa}\end{aligned}$$

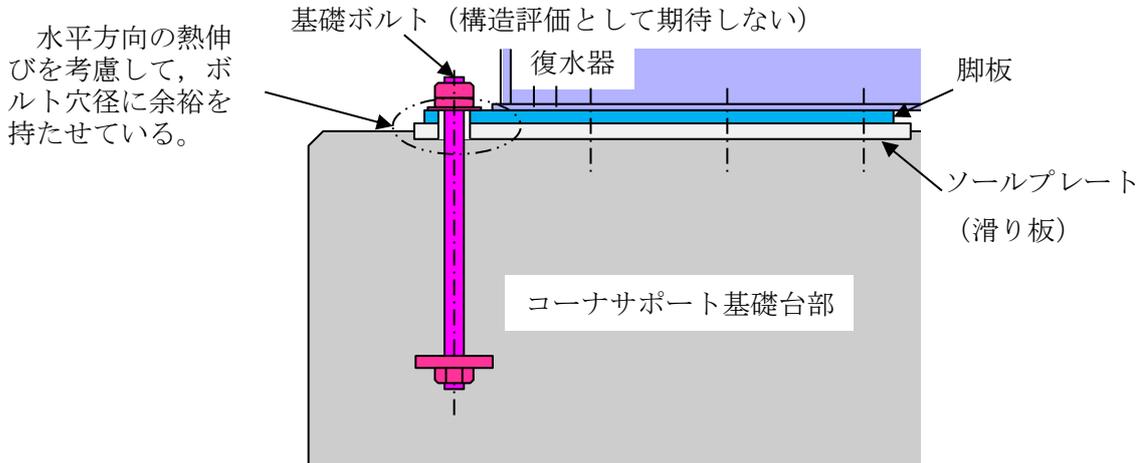
4. 復水器基礎 (No. ①~④) の評価

(1) 鉛直下向き荷重を受ける基礎台配置

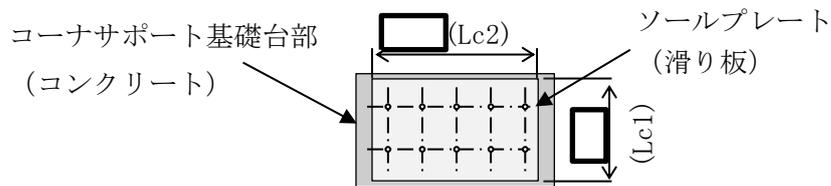
復水器の鉛直下向き荷重を受ける基礎台は、第 7.12-23 図に示すコーナサポート基礎台①~④であり、復水器 1 台につき 4 個の基礎台で下向き荷重を受ける。なお、復水器運転中の胴体熱伸びを吸収するため、第 7.12-24 図及び第 7.12-25 図に示すとおり、復水器脚板とコーナサポート基礎台間にソールプレート (滑り板) を設置するとともに、ボルト固定部は穴径に余裕を持たせている。



第 7.12-23 図 鉛直下向き荷重を受ける復水器基礎台配置図 (平面図)



第 7.12-24 図 鉛直下向き荷重を受ける基礎台の概略断面図



第 7.12-25 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

各復水器基礎に作用する最大荷重を第 7.12-10 表に示す。発生荷重の最も大きいコーナサポート①の荷重を評価する。

第 7.12-10 表 各復水器基礎に作用する最大荷重

評価部位	算出荷重	発生荷重(kN)
コーナサポート ①	F	2.059×10^4
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、

$$A = Lc1 \cdot Lc2$$

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

よって、基礎コンクリートにかかる圧縮応力 σV は、

$$\sigma V = \frac{F}{A} \\ = \frac{2.059 \times 10^4 \times 1000}{\boxed{}} \\ = 12 \text{ MPa}$$

基礎コンクリートにかかる圧縮応力 σV	12 (MPa)
-----------------------------	----------

5. 鉄筋コンクリート基礎の評価

復水器を支持する鉄筋コンクリート基礎について、基準地震動 S_s によるせん断力並びに軸力及び曲げモーメントに対して十分な構造強度を有していることを確認する。

5.1 構造概要

復水器を支持する鉄筋コンクリート基礎の構造概要を第 7.12-11 表に示す。

第 7.12-11 表 鉄筋コンクリート基礎の構造概要

概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
床面（基礎スラブ）に設置した鉄筋コンクリート基礎で、サポートを介して復水器を支持する。	コンクリート及び鉄筋により構成する。	<p>平面図</p> <p>A-A 断面図</p>

5.2 設計用地震力

鉄筋コンクリート基礎の基準地震動 S_s による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。設計震度を第 7.12-12 表に示す。

第 7.12-12 表 コンクリート基礎の設計震度

構造物名	標高 EL (m)	設計震度 (S_s)	
		水平方向*	鉛直方向
タービン建物	2.000	1.18	0.68

注記* : NS 方向及び EW 方向の最大値を用いる。

5.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として鉄筋コンクリート基礎の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

鉄筋コンクリート基礎に直接作用する地震荷重は「5.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、 S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

また、復水器よりサポートを介して鉄筋コンクリート基礎に伝わる以下に示す荷重について、各方向の地震時機器荷重の最大値を第 7.12-26 図に示す。

○コーナサポートの荷重 (①～④)

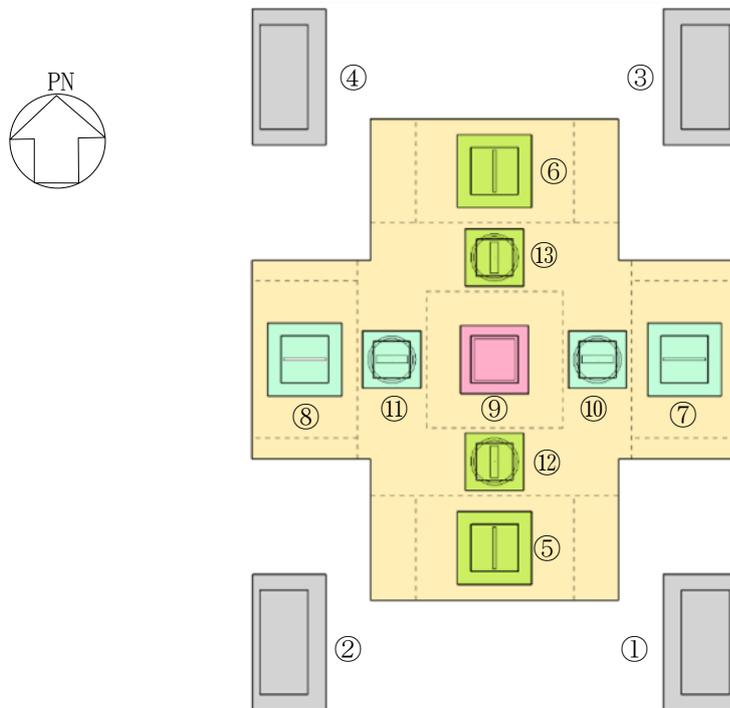
- ・復水器（脚板）との荷重伝達面であるソールプレート上面においてコーナサポート基礎台に作用する荷重により評価する。（第 7.12-24 図参照）
- ・復水器とコーナサポートは接触のみの設置であるため、上向き荷重は発生しない。

○キーサポートの荷重 (⑤～⑧, ⑩～⑬)

- ・復水器（上支柱及びキー）との荷重伝達面である上支柱（基礎側）の上面においてキーサポート基礎台に作用する荷重により評価する。（第 7.12-16 図, 第 7.12-17 図参照）
- ・キーサポートはキーを介しての設置であるため、キー溝側面における摩擦により上向き荷重が発生している。

(単位：kN)

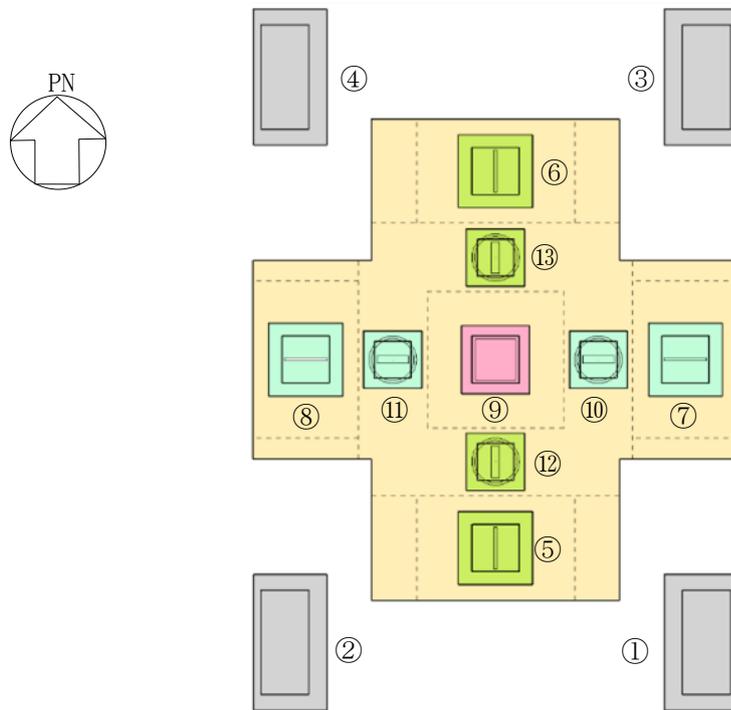
サポート番号	NS 方向		EW 方向		鉛直方向	
	S→N 方向	N→S 方向	E→W 方向	W→E 方向	下向き	上向き
①	977	1985	2018	1407	20597	0
②	500	1726	822	2264	15326	0
③	1547	604	980	892	11833	0
④	2186	654	743	2452	16174	0
⑤	1357	1466	5348	4844	5189	48
⑥	1282	811	4857	4983	3586	62
⑦	4269	4454	1042	581	2666	32
⑧	3385	5333	603	931	4015	37
⑨	-	-	-	-	-	-
⑩	1372	1580	261	274	469	70
⑪	1213	1890	219	282	482	42
⑫	264	417	1854	1676	1765	51
⑬	361	254	1621	1132	1180	44



第 7.12-26 図 細管軸方向 (NS 方向) に卓越した地震動による地震時機器荷重(1/2)

(単位：kN)

サポート番号	NS 方向		EW 方向		鉛直方向	
	S→N 方向	N→S 方向	E→W 方向	W→E 方向	下向き	上向き
①	656	998	1064	624	9403	0
②	416	1613	589	1238	13362	0
③	491	369	1078	327	8247	0
④	878	489	529	1912	13398	0
⑤	692	847	5225	3267	3363	17
⑥	990	755	4672	4045	3175	37
⑦	3427	2999	610	690	2746	28
⑧	2433	3641	620	1152	3036	17
⑨	-	-	-	-	-	-
⑩	1085	1025	190	227	284	32
⑪	700	1004	116	284	337	42
⑫	310	201	1380	1117	1103	29
⑬	368	183	1480	1260	1249	22



第 7. 12-26 図 細管軸直方向 (EW 方向) に卓越した地震動による地震時機器荷重(2/2)

(2) 荷重の組合せ

鉄筋コンクリート基礎の評価に用いる荷重の組合せを次式に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (地震時機器荷重を含む) (kN)

5.4 許容限界

(1) コンクリート

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定) 」 (以下「RC規準」という。) に基づき算定した短期許容応力度を第 7.12-13 表に示す。

第 7.12-13 表 コンクリートの短期許容応力度

材料		短期許容応力度
		せん断 (N/mm ²)
設計基準強度 F_c	23.5	1.08
	24	1.09

(2) 鉄筋

「RC規準」に基づく短期許容応力度を第 7.12-14 表に示す。

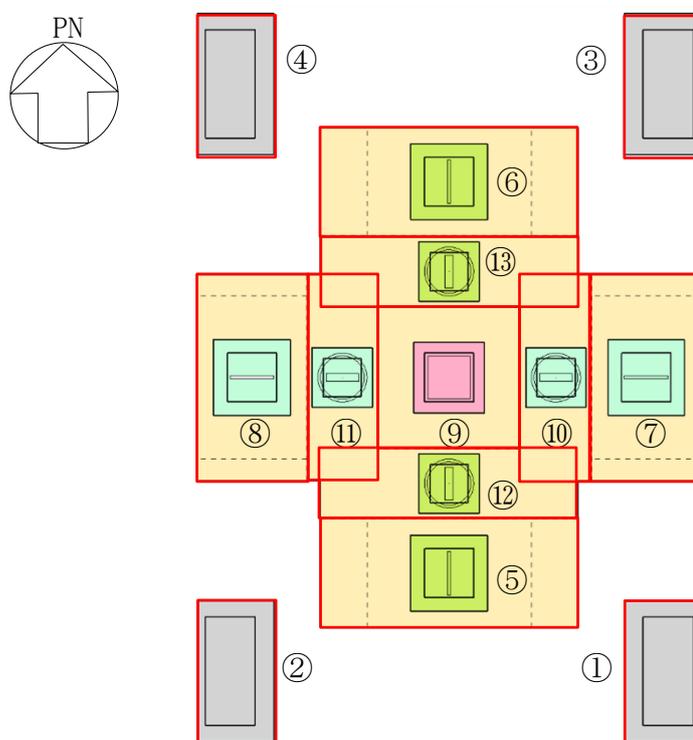
第 7.12-14 表 鉄筋の短期許容応力度

材料	短期許容応力度	
	引張 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
SD345	345*	345

注記* : 材料強度は「平 12 建告第 2464 号」に基づき、許容応力度を 1.1 倍して算定する。

5.5 評価方法

鉄筋コンクリート基礎は、地震荷重を受ける柱として評価し、基礎スラブとの接合部に生じる応力に対する確認を行う。評価における基礎形状を第 7. 12-27 図に示す。



注：柱として評価する範囲を赤枠で示す。

基礎番号	基礎サイズ(mm)	基礎高さ(mm)
①	2600×1300	1480
②	2600×1600	1480
③	2600×1300	1480
④	2600×1600	1480
⑤	2000×4700	1480
⑥	2000×4700	1480
⑦	3800×2000	1480
⑧	3800×2000	1480
⑨	2600×2600	1480
⑩	3800×1300	1390
⑪	3800×1300	1390
⑫	1300×4700	1390
⑬	1300×4700	1390

第 7. 12-27 図 評価における基礎形状

(1) 荷重ケース

鉄筋コンクリート基礎は次の荷重を組み合わせて評価する。

G : 固定荷重

S_sS_{SN} : S→N方向 S_s地震荷重 (地震時機器荷重を含む)

S_sS_{NS} : N→S方向 S_s地震荷重 (地震時機器荷重を含む)

S_sS_{EW} : E→W方向 S_s地震荷重 (地震時機器荷重を含む)

S_sS_{WE} : W→E方向 S_s地震荷重 (地震時機器荷重を含む)

S_sS_{UD} : 鉛直方向 (下向き) S_s地震荷重 (地震時機器荷重を含む)

S_sS_{DU} : 鉛直方向 (上向き) S_s地震荷重 (地震時機器荷重を含む)

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを第 7.12-15 表に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1-2008 ((社) 日本電気協会)」を参考に、鉄筋コンクリート基礎の慣性力による地震荷重に組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。なお、地震時機器荷重は復水器 3 次元 F E Mモデルによる 3 方向時刻歴解析結果である第 7.12-26 図の値を組み合わせる。

第 7.12-15 表 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	1	$G + 1.0 S_{NS} + 0.4 S_{UD}$
	2	$G + 1.0 S_{SN} + 0.4 S_{UD}$
	3	$G + 1.0 S_{NS} + 0.4 S_{DU}$
	4	$G + 1.0 S_{SN} + 0.4 S_{DU}$
	5	$G + 1.0 S_{EW} + 0.4 S_{UD}$
	6	$G + 1.0 S_{WE} + 0.4 S_{UD}$
	7	$G + 1.0 S_{EW} + 0.4 S_{DU}$
	8	$G + 1.0 S_{WE} + 0.4 S_{DU}$
	9	$G + 0.4 S_{NS} + 1.0 S_{UD}$
	10	$G + 0.4 S_{SN} + 1.0 S_{UD}$
	11	$G + 0.4 S_{NS} + 1.0 S_{DU}$
	12	$G + 0.4 S_{SN} + 1.0 S_{DU}$
	13	$G + 0.4 S_{EW} + 1.0 S_{UD}$
	14	$G + 0.4 S_{WE} + 1.0 S_{UD}$
	15	$G + 0.4 S_{EW} + 1.0 S_{DU}$
	16	$G + 0.4 S_{WE} + 1.0 S_{DU}$

注：鉄筋コンクリート基礎の慣性力による地震荷重に組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。なお、地震時機器荷重は 3 方向時刻歴解析によるため組合せ係数は表中の数値によらず 1.0 とする。

(3) 断面の評価方法

a. せん断力に対する検討

各断面は、せん断力を受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定し、基礎底面のせん断力がコンクリートの短期許容せん断力を超えないことを確認する。コンクリートの短期許容せん断力を超える場合は、「RC-規準」に基づき、次式を基に算定した場合の短期許容せん断力 Q_A を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ f_s + 0.5 \cdot w \cdot f_t (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

$w \cdot f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

b. 軸力及び曲げモーメントに対する検討

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定し、基礎底面の軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

5.6 評価結果

評価結果については、せん断力に対する検討並びに軸力及び曲げモーメントに対する検討において、検定値が最大となる基礎をそれぞれ選定する。

鉄筋コンクリート基礎の耐震評価結果を第7.12-16表に示す。鉄筋コンクリート基礎は基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

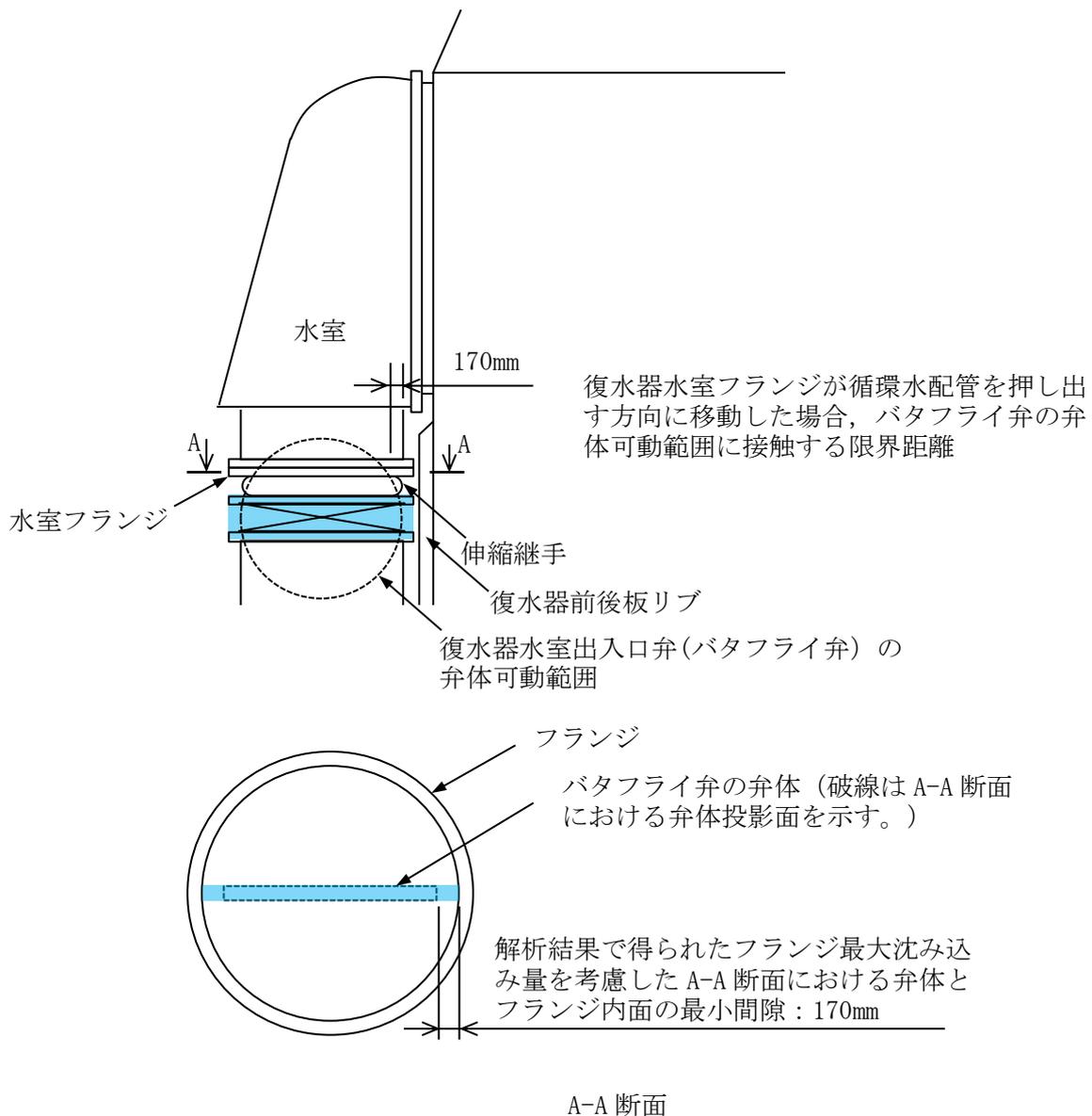
第7.12-16表 鉄筋コンクリート基礎の耐震評価結果

せん断力	基礎番号	⑤
	地震動 (ケース No.)	細管軸方向 (NS 方向) に 卓越した地震動 (5, 7)
	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	5.68
	許容限界 ($\times 10^3 \text{kN}$)	5.81
	検定値	0.98
軸力 + 曲げモーメント	基礎番号	①
	配筋図	
	地震動 (ケース No.)	細管軸方向 (NS 方向) に 卓越した地震動 (7)
	必要鉄筋比 (%)	0.219
	設計鉄筋比 (%)	0.226
	検定値	0.97

6. 復水器水室フランジ変位量の評価

地震力による復水器水室フランジの変位によって、復水器水室出入口弁の弁体と接触しないことを確認する。復水器水室フランジの変位量 L_{a1} を以下に示す。また、復水器水室フランジの許容変位量は第 7.12-28 図より、170mm とする。

復水器水室フランジの変位量 L_{a1}	33.10 (mm)
------------------------	------------

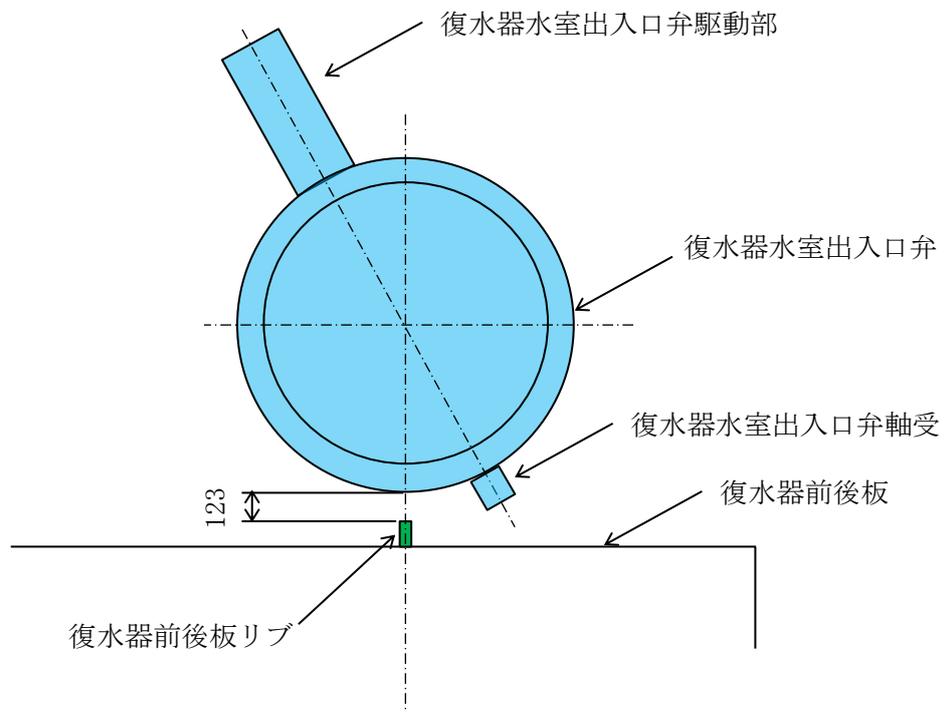


第 7.12-28 図 復水器水室フランジ許容変位

7. 復水器前後板リブ変位量の評価

地震力による復水器の変位によって、復水器水室出入口弁外周と接触しないことを確認する。復水器前後板リブの変位量 La_2 を以下に示す。また、復水器前後板リブの許容変位量は第 7.12-29 図より、123mm とする。

復水器前後板リブの変位量 La_2	22.59 (mm)
---------------------	------------



第 7.12-29 図 復水器前後板リブ許容変位

8. 評価結果

(1) 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）の強度評価を実施し、第7.12-17表の通り、算出応力は許容応力以下であることから、地震時に本体移動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7.12-17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)
キー (せん断)	σJ	112	143	SS400	60
ふさぎ板 (せん断)	σK	89	157	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
ふさぎ板と上支柱の溶接 (せん断)	σL	129	143	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
底板とふさぎ板の溶接 (せん断)	σM	83	157	SM400A 相当 (SMA400AP)	60
上支柱と台板の溶接 (せん断)	σN	137	143	SS400	60
台板と下支柱の溶接 (せん断)	σO	129	143	SS400	60
コンクリートの圧縮 (圧縮)	σP	12	17	$F_c=23.5$ (MPa)	60

(2) 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）の強度評価を実施し、第7.12-18表の通り、算出応力は許容応力以下であることから、地震時に本体移動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7.12-18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)
底板と上支柱の溶接 (せん断)	σQ	38	143	SS400	60
キー (せん断)	σR	21	143	SS400	60
上支柱と台板の溶接 (せん断)	σS	38	143	SS400	60
台板と下支柱の溶接 (せん断)	σT	25	143	SS400	60
コンクリートの圧縮 (圧縮)	σU	5	17	Fc=23.5(MPa)	60

(3) 復水器基礎コンクリート（No. ①～④コーナサポート）

復水器鉛直下向き荷重を受ける基礎（No. ①～④コーナサポート）のコンクリート圧縮評価を実施し、第7.12-19表の通り、算出応力は許容応力以下であることから、地震時に本体移動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7.12-19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)
基礎コンクリート (圧縮)	σV	12	17	Fc=23.5(MPa)	60

(4) 鉄筋コンクリート基礎の評価

鉄筋コンクリート基礎の強度評価を実施し、第 7.12-20 表の通り、基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

第 7.12-20 表 鉄筋コンクリート基礎の耐震評価結果

せん断力	基礎番号	⑤
	地震動 (ケース No.)	細管軸方向 (NS 方向) に 卓越した地震動 (5, 7)
	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	5.68
	許容限界 ($\times 10^3 \text{kN}$)	5.81
	検定値	0.98
軸力 + 曲げモーメント	基礎番号	①
	地震動 (ケース No.)	細管軸方向 (NS 方向) に 卓越した地震動 (7)
	必要鉄筋比 (%)	0.219
	設計鉄筋比 (%)	0.226
	検定値	0.97

(5) 復水器水室フランジ変位量

地震力による復水器水室フランジの変位量評価を実施し、第 7.12-21 表の通り、算出量は許容変位量未満であることから、地震時に本体移動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 7.12-21 表 復水器水室フランジの変位量

評価部位	算出量 (mm)		許容変位量 (mm)
復水器水室フランジ (変位量)	La1	33.10	170

(6) 復水器前後板リブ変位量

地震力による復水器前後板リブの変位量評価を実施し、第 7.12-22 表の通り、算出量は許容変位量未満であることから、地震時に本体移動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 7.12-22 表 復水器前後板リブの変位量

評価部位	算出量 (mm)		許容変位量 (mm)
	La2	22.59	
復水器前後板リブ (変位量)	La2	22.59	123

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」による非線形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。

(1) 解析条件

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、質点、はり要素、シェル要素及びソリッド要素にて作成し、キーサポート等の摺動部分には摩擦要素を適用した。また、センタサポートと基礎ボルトの拘束は、保守的に考慮しないこととする。解析モデル鳥瞰図を第7.12-30図に、解析モデル作成における設定条件を第7.12-23表に、解析モデルに用いた要素を第7.12-31図に示す。

設計用地震力としては、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。

解析には復水器の3次元FEMモデルを用い、基準地震動 S_s の水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施する。

(2) 評価用地震動の選定

第7.12-32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方向で復水器応答が卓越する地震動と、細管軸直方向であるEW方向で復水器応答が卓越する地震動の2ケースで解析を実施する。選定した評価用地震動を第7.12-24表に示す。

<NS方向卓越地震動の選定>

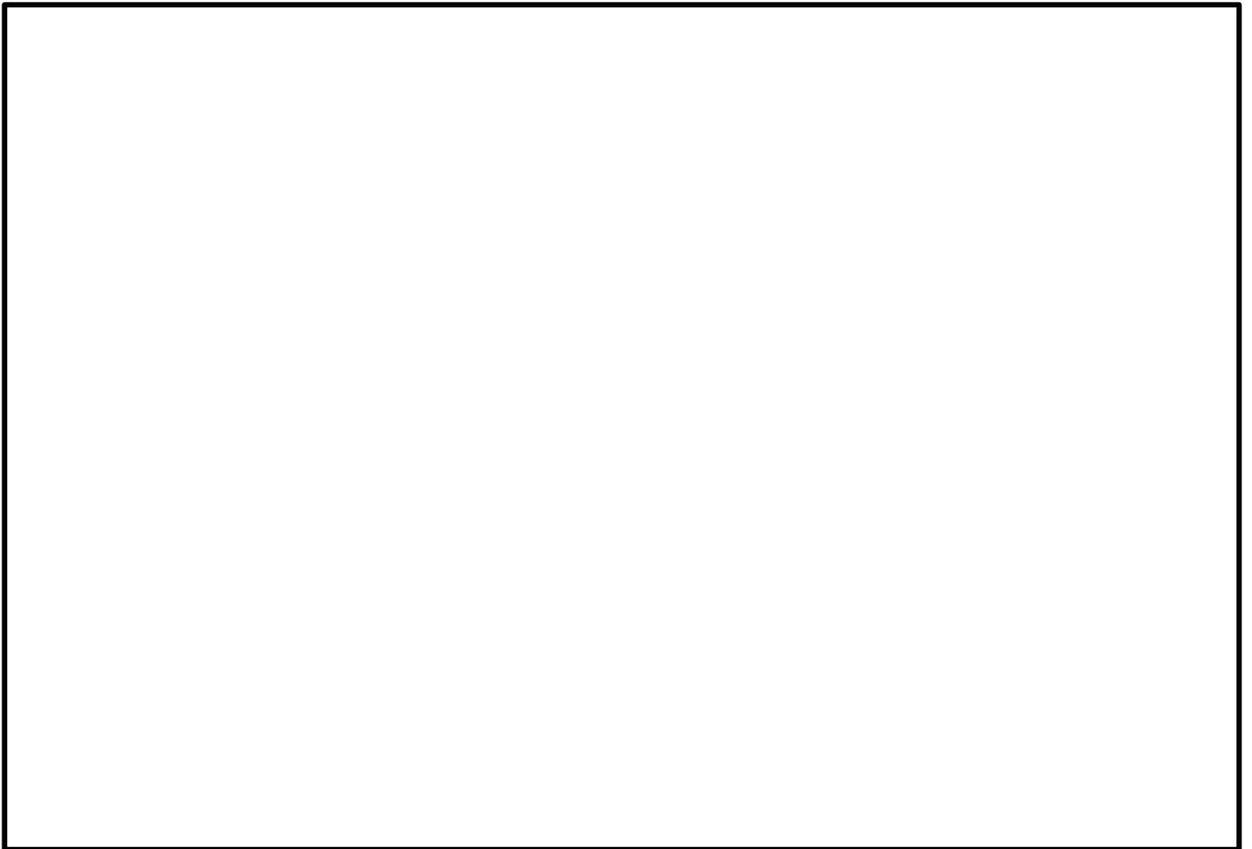
標準ケース、地盤剛性 $\pm\sigma$ 地盤のケースでの S_s -D, S_s -F1, S_s -F2, S_s -N1, S_s -N2(NS), S_s -N2(EW)の床応答スペクトルに対し、復水器NS方向の全体応答の固有周期(0.141秒) $\pm 10\%$ の範囲で最大となるケースの地震動として地盤剛性 $+\sigma$ の S_s -Dを選定した。また、当該応答スペクトルの最大となる固有周期(0.130秒)が復水器の卓越固有周期に合うように各方向の地震動の時間刻みを0.141/0.130倍して解析を実施した。

<EW方向卓越地震動の選定>

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EW方向の全体応答の固有周期(0.194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 -N2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(0.180秒)が復水器の卓越固有周期に合うように各方向の地震動の時間刻みを0.194/0.180倍して解析を実施した。

また、時刻歴応答解析に対する保守性の考慮として、基準となる時刻歴加速度波(固有周期シフトを考慮していないもの)による解析に加えて、ASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadeningの規定を参考にすると、時刻歴加速度波を時間軸方向に**拡幅条件相当**をシフトさせた時刻歴加速度波による解析も実施することとしている。また、ASMEの規定によれば、**拡幅条件相当**をシフトさせ

た範囲の中に設計用応答スペクトルのピークがある場合はピーク位置を考慮した解析を行うこととしている。なお、拡張条件相当（±10%）シフトとピーク位置を考慮した時刻歴加速度波では、ピーク的位置を考慮した方がより厳しい評価結果となると考えられるため、本評価では、スペクトルのピーク位置に合うように地震動の刻みを係数倍して解析を実施する。



第 7.12-30 図 復水器解析モデル鳥瞰図

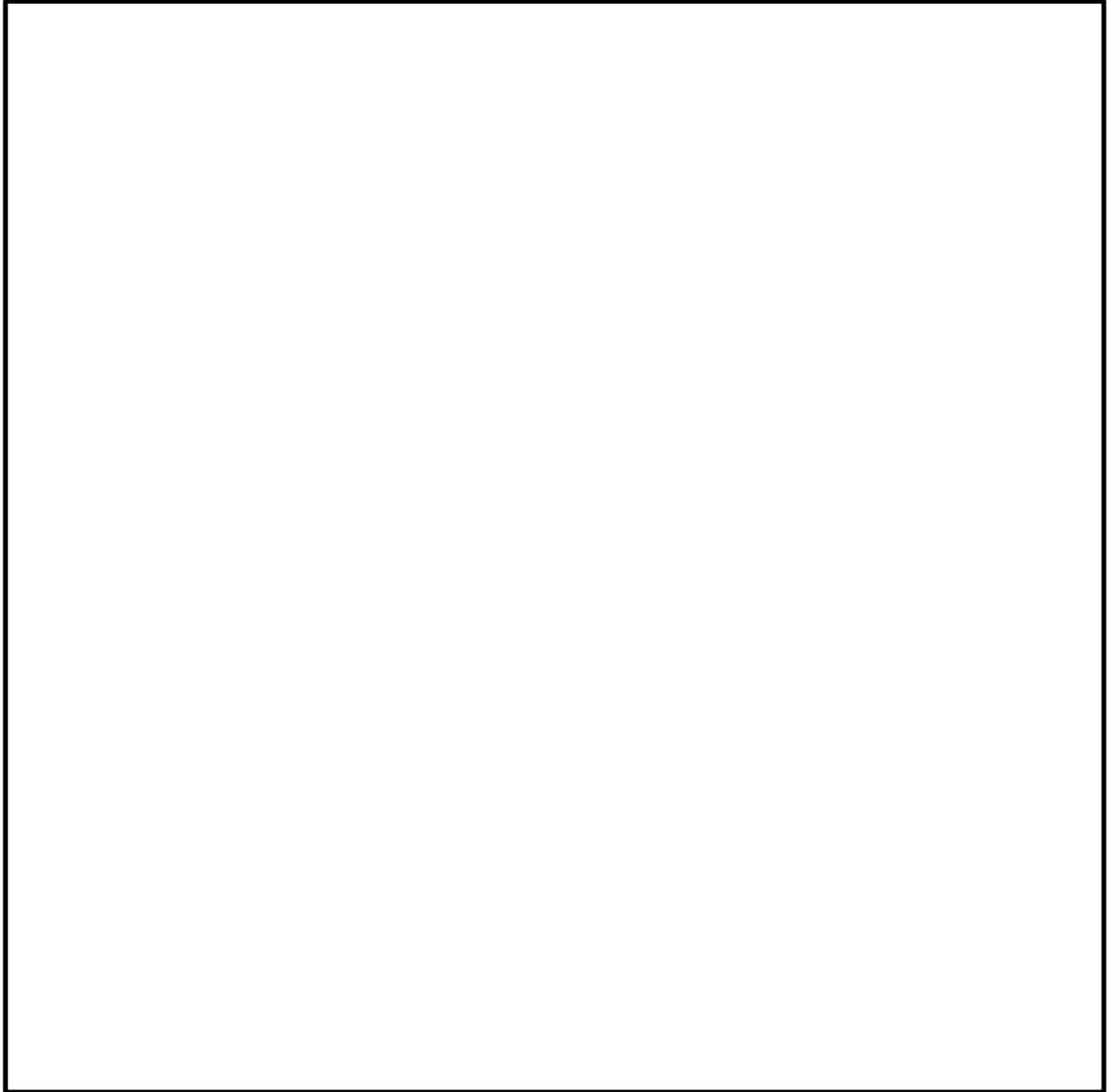
第 7.12-23 表 復水器解析条件

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	
	後水室下部サポート	
	細管-支え板接触部	
	給水加熱器摺動脚	
減衰定数		
モデル節点数		
モデル要素数		
要素の種類	質点	
	はり要素	
	シェル要素	
	ソリッド要素	

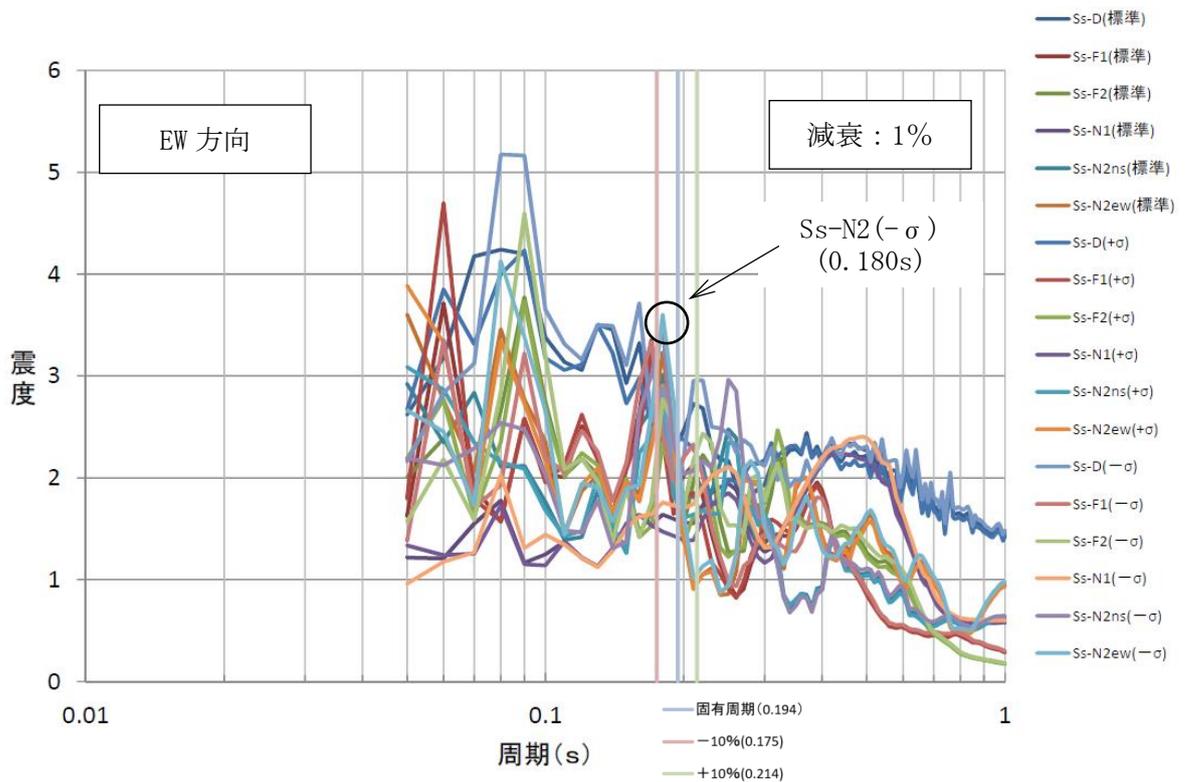
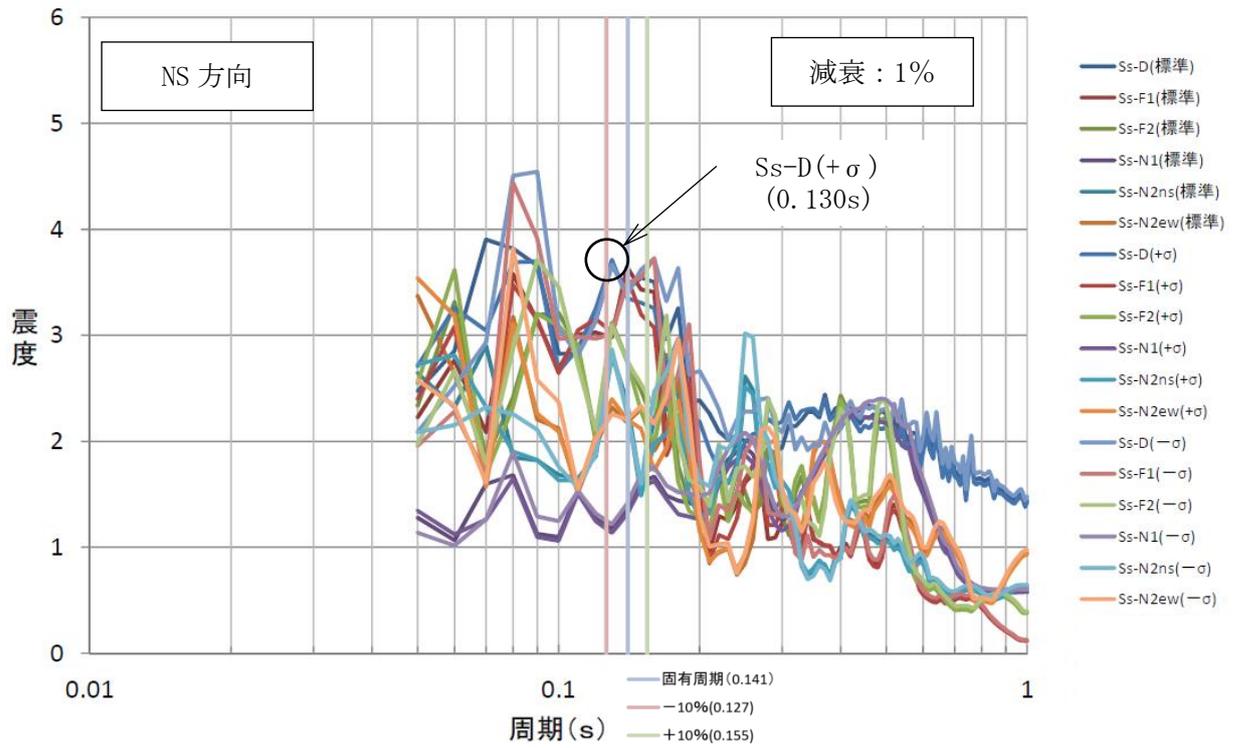
注記*1: 「機械工学便覧 基礎編 日本機械学会編 2007」によると鉄の摩擦係数は 0.52 であるが、摩擦係数の小さい方が摩擦によるエネルギー吸収は小さく、復水器本体の移動量は大きいため、保守的に とした。

*2: 地震応答解析に用いる減衰定数は、VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向ともに 1.0% を用いる。なお、減衰定数はレーリー減衰により、減衰定数 1.0% となる固有周期点を復水器の固有周期に合わせて設定することで与える。復水器全体の評価では、減衰定数 1.0% となる固有周期点を復水器全体の 1 次固有周期 0.194s 及び 0.050s に設定する。細管と管板の評価では、減衰定数 1.0% となる固有周期点を細管の 1 次固有周期 0.480s 及び 0.050s に設定する。

*3: コンクリート、コーナサポート基礎のソールプレート、キーサポート基礎の台板他、基礎を構成する部材を含む。



第 7.12-31 図 解析モデルに用いた要素



第 7.12-32 図 床応答スペクトル

第 7.12-24 表 評価用地震動

	NS	EW	UD	備考
ケース 1 : NS 方向卓越 地震動	Ss-D (地盤物性+ σ)			A S M E の規定に基づき 0.141/0.130 のピークシフト を考慮
ケース 2 : EW 方向卓越 地震動	Ss-N2 (地盤物性- σ)			A S M E の規定に基づき 0.194/0.180 のピークシフト を考慮

2. 固有値解析結果

固有値解析結果を第 7.12-25 表に，復水器の代表的なモードの固有値を第 7.12-26 表に示す。また，復水器の代表的な全体モードの振動モード図を第 7.12-33 図，第 7.12-34 図及び第 7.12-35 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細管軸方向 0.060 秒，細管軸直方向 0.062 秒と算出していたが，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 7.12-25 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	0.194			
10	0.193			
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* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

第 7.12-25 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	0.141			
60	0.134			

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

第 7.12-25 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	0.114			
74	0.110			
75	0.110			
76	0.104			
77	0.104			
78	0.103			
79	0.101			
80	0.098			
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* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

第 7.12-25 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	0.095			
103	0.091			
104	0.090			
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	0.085			
114	0.084			
115	0.083			
116	0.081			
117	0.079			
118	0.077			
119	0.077			
120	0.077			

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

第 7.12-25 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* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

第 7.12-25 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	0.076			
152	0.076			
153	0.076			
154	0.076			
155	0.075			
156	0.075			
157	0.075			
158	0.075			
159	0.074			
160	0.074			
161	0.074			
162	0.074			
163	0.074			
164	0.074			
165	0.074			
166	0.074			
167	0.074			
168	0.073			
169	0.073			
170	0.073			
171	0.073			
172	0.073			
173	0.073			
174	0.071			
175	0.071			
176	0.070			
177	0.069			
178	0.069			
179	0.068			
180	0.068			

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

第 7.12-25 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	0.055			
206	0.054			
207	0.054			
208	0.054			
209	0.053			
210	0.053			

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

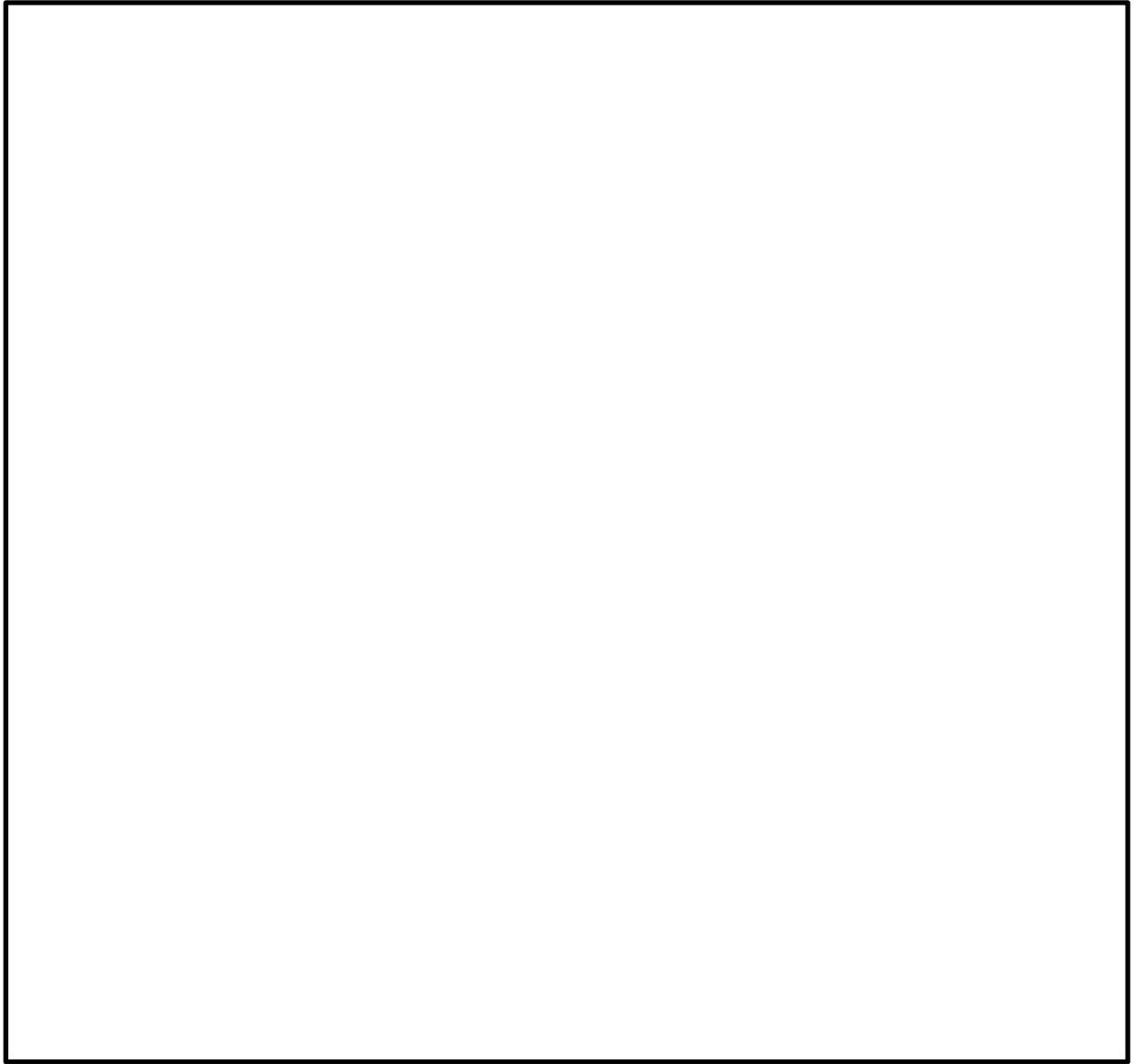
第 7.12-25 表 固有値解析結果 (8/8)

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			
222	0.050			

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

第 7.12-26 表 復水器の代表的なモードの固有値

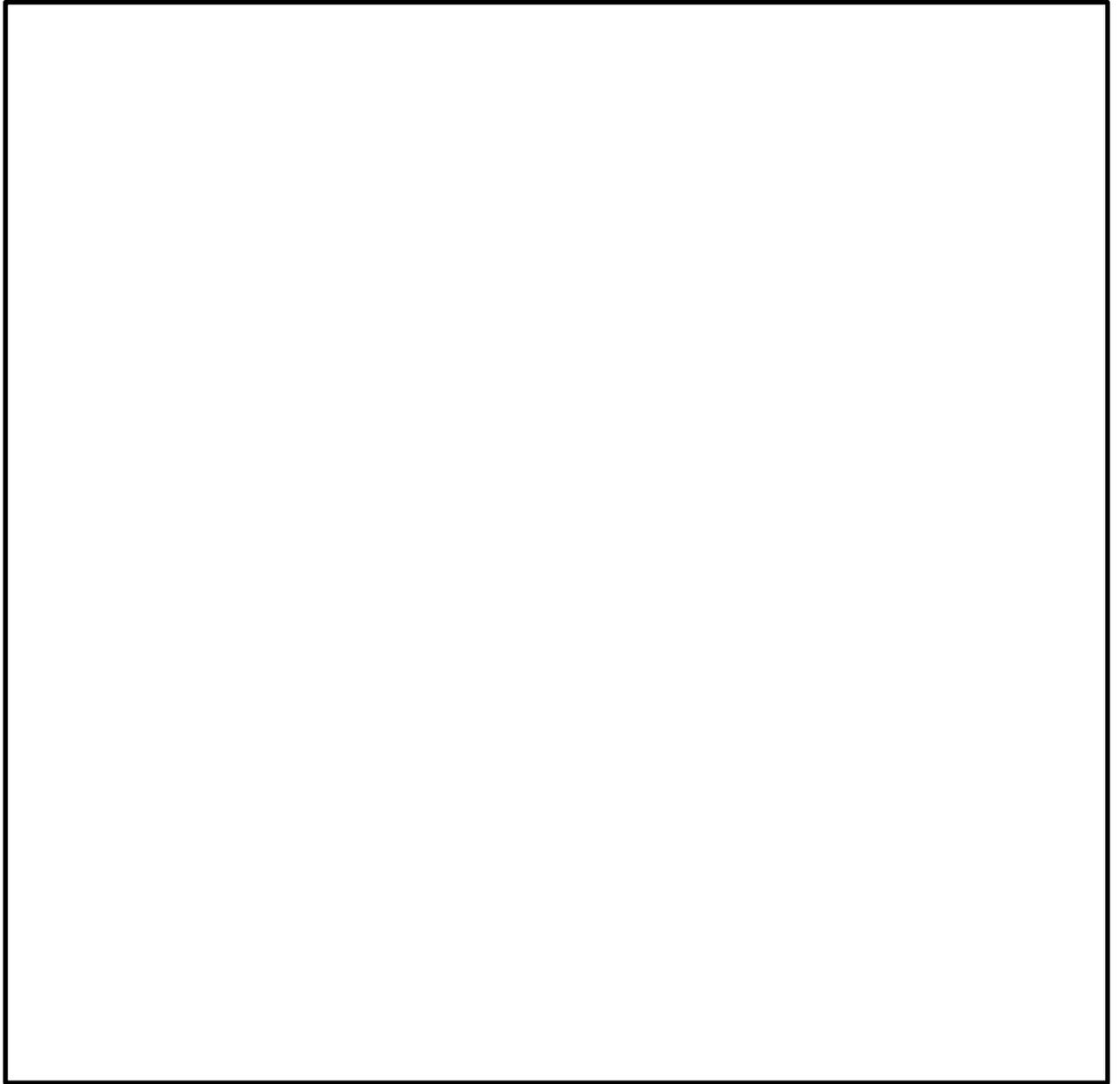
次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	有効質量比(%)		応答卓越 部位
			NS 方向 (細管軸方向)	EW 方向 (細管軸直方向)	
2	2.0813				細管(NS)
8	5.1498				全体(EW)
59	7.1148				全体(NS)



第 7.12-33 図 細管軸方向に卓越する振動モード (2 次モード)



第 7.12-34 図 細管軸直方向に卓越する振動モード (8 次モード)



第 7.12-35 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

復水器の3次元FEMモデルを用い，基準地震動S_sの水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し，後水室及び前水室に作用する最大荷重を算出した。各水室に作用する最大荷重を第7.12-27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7.12-27表 後水室および前水室に作用する最大荷重

評価部位		算出荷重	発生荷重(kN)
後水室	細管軸方向	Fh1a	1.131×10^3
	細管軸直方向	Fh2a	1.557×10^3
	鉛直方向	Fh3a	2.157×10^3
前水室	細管軸方向	Fh1b	8.454×10^3
	細管軸直方向	Fh2b	1.984×10^3
	鉛直方向	Fh3b	3.606×10^3

4. 耐震サポートに発生する荷重の算出

復水器の3次元FEMモデルを用い，基準地震動S_sの水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し，耐震サポートに作用する最大荷重を算出した。算出した荷重値を第7.12-28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。評価部位の付番は第7.12-15図に従う。

第7.12-28表 各耐震サポートに作用する最大荷重

評価部位		算出荷重	発生荷重(kN)
キーサポート ⑦，⑧	細管軸方向	RKS _ε 1	5.333×10^3
	細管軸直方向	RKS _γ 1	1.042×10^3
	鉛直方向	RKS _ζ 1	4.015×10^3
キーサポート ⑩，⑪	細管軸方向	RKS _ε 2	1.890×10^3
	細管軸直方向	RKS _γ 2	2.820×10^2
	鉛直方向	RKS _ζ 2	4.820×10^2

5. 復水器基礎に発生する荷重の算出

復水器の3次元FEMモデルを用い、基準地震動 S_s の水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し、鉛直下向き荷重を受ける復水器基礎に発生する最大荷重を算出した。算出した荷重値を第7.12-29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。評価部位の付番は第7.12-15図に従う。

第7.12-29表 各復水器基礎に作用する最大荷重

評価部位	算出荷重	発生荷重 (kN)
コーナサポート ①	F	2.059 × 10 ⁴
コーナサポート ②		
コーナサポート ③		
コーナサポート ④		

6. 復水器水室フランジの変位量の算出

復水器の3次元FEMモデルを用い、基準地震動 S_s の水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し、軸方向変位量及び軸直方向変位量を算出し、復水器水室フランジの最大変位量をベクトル和にて算出した。算出した最大変位量を第7.12-30表に示す。

第7.12-30表 復水器水室フランジの最大変位量

復水器水室フランジの変位量 La1	33.10 (mm)
-------------------	------------

7. 復水器前後板リブの変位量の算出

復水器の3次元FEMモデルを用い、基準地震動 S_s の水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し、軸方向変位量及び軸直方向変位量を算出し、復水器前後板リブの最大変位量をベクトル和にて算出した。算出した最大変位量を第7.12-31表に示す。

第7.12-31表 復水器前後板リブの最大変位量

復水器前後板リブの変位量 La2	22.59 (mm)
------------------	------------

8. 復水器コーナサポートの浮き上り量の算出

復水器の3次元FEMモデルを用い、基準地震動 S_s の水平2方向及び鉛直方向の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を実施し、復水器コーナサポートの最大浮き上り量を算出した。算出した変位量を第7.12-32表に示す。なお、本浮き上り量を直接評価には用いていないが、評価に使用しているコーナサポートに作用する基礎荷重には、浮き上り後の着座を考慮しており、コーナサポート基礎は問題ないことを確認している。

第7.12-32表 復水器コーナサポートの最大浮き上り量

復水器コーナサポートの浮き上り量 La3	84(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。