

本資料のうち、枠囲みの内容は
商業機密の観点から公開できま
せん。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-01-0220-1_改3
提出年月日	2021年8月25日

補足-220-1 発電用原子炉施設の溢水防護に関する補足説明資料

目 次

1. 没水影響評価
 - 1.1 機能喪失高さについて
 - 1.2 防護すべき設備のうち溢水影響評価対象外とする設備について
2. 没水影響評価について
 - 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 想定破損により生じる溢水に対する没水影響評価について
 - 2.4 想定破損により生じ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 想定破損により生じ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 消火栓からの放水による没水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 2.7 消火栓からの放水による没水影響評価結果（重大事故等対処設備）
 - 2.8 地震に起因する溢水による没水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 2.9 地震に起因する溢水による没水影響評価結果（重大事故等対処設備）
3. 被水影響評価について
 - 3.1 想定破損により生じる溢水に対する被水影響評価について
 - 3.2 想定破損により生じ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 想定破損により生じ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 地震に起因する溢水による被水影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 3.5 地震に起因する溢水による被水影響評価結果（重大事故等対処設備）
4. 蒸気影響評価について
 - 4.1 想定破損により生じ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 想定破損により生じ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 地震に伴い発生する溢水による蒸気影響評価結果（溢水防護対象設備）
 - 4.4 地震に伴い発生する溢水によ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影響評価について
 - 5.1 想定破損により生じる溢水影響評価における溢水源リスト
 - 5.2 高エネルギー及び低エネルギー配管の分類について
 - 5.3 高エネルギー及び低エネルギー配管の応力評価について
 - 5.4 想定破損における減肉の考慮について
6. 消火水の放水による溢水の影響評価について
 - 6.1 消火水の放水による溢水に対する評価の概要について
 - 6.2 消火水の放水による溢水に対する評価例
7. 地震起因による溢水影響評価について
 - 7.1 地震に起因する溢水源について
 - 7.2 耐震 B, C クラス機器の耐震工事の内容
 - 7.3 溢水防護に係わる設備の耐震評価対象設備・部位の代表性及び網羅性について
 - 7.4 使用済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影響評価について
 - 8.1 タービン建屋内で発生する溢水の溢水影響評価について
 - 8.2 屋外タンクからの溢水影響評価について
 - 8.3 地下水の溢水による影響について
 - 8.4 その他漏えい事象に対する確認について
9. 全般
 - 9.1 溢水防護区画毎における機能喪失高さについて
 - 9.2 ケーブルの被水影響評価について
 - 9.3 没水評価における床勾配について
 - 9.4 貫通部止水処置に関する健全性について
 - 9.5 蒸気防護カバーの性能試験について
 - 9.6 放射性物質を含む液体の管理区域外漏えい防止評価について
 - 9.7 床ドレンラインからの排水に期待する区画について
 - 9.8 流下開口を考慮した没水高さについて
 - 9.9 鉄筋コンクリート壁の水密性について
 - 9.10 経年劣化事象と保全内容
 - 9.11 水密扉の開閉運用について
 - 9.12 床ドレンラインの応力評価について
 - 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について
 - 9.14 浸水防護施設の止水性について
 - 9.15 水密扉の設計に関する補足説明
 - 9.16 堰の設計に関する補足説明
 - 9.17 逆流防止装置を構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について
 - 9.18 内部溢水影響評価に用いる各項目の保守性と有効数字の処理について
 - 9.19 現場操作の実施可能性について
 - 9.20 ほう酸水漏えい等による影響について
 - 9.21 漏えい系統の検知時間及び溢水量評価について
 - 9.22 溢水発生後の復旧について
 - 9.23 内部溢水影響評価における判定表
 - 9.24 建屋地下外壁の地下水に対する健全性について

別紙（１）工認添付資料と設置許可まとめ資料との関係【溢水防護に関する施設】

別紙（２）添付VI-1-1-8 の各資料と工認補足説明資料との関係【溢水防護に関する施設】

: 今回提出範囲

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について

目次

1. 概要
2. 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) 水室サポート部の許容応力
 3. 復水器水室サポート部の評価
 - (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) 水室自重の作用
 - (5) 水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力を考慮した応力
 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. 復水器基礎部（No. V，VI，VII 耐震ずれ止め側）の評価
 - (1) 耐震ずれ止めに作用する荷重
 - (2) 既設の耐震ずれ止めに作用する荷重
 - (3) 既設の底板と補強板の圧縮（引張）応力
 - (4) 既設の耐震ずれ止めの曲げ応力
 - (5) 既設の I 形補強の圧縮（引張）応力
 - (6) 追設の耐震ずれ止めの曲げ応力
 - (7) 追設の平板溶接部の応力

4. 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側) の評価

- (1) 耐震基礎のずれ止めの圧縮応力
- (2) 基礎ボルトの引張応力
- (3) 基礎ボルトとコンクリートの付着力
- (4) 埋設 I 形鋼の曲げ応力
- (5) 埋設 I 形鋼フランジ部の曲げ応力
- (6) 板の曲げ応力

5. 復水器水室フランジ変位量の評価

6. 復水器基礎 (No. I ~ IV) の評価

- (1) 鉛直方向を拘束する基礎台配置
- (2) 復水器基礎の評価条件
- (3) 基礎コンクリート圧縮の評価

7. 復水器基礎 (No. V, VI, VII) 評価 (コーン破壊評価)

- (1) 水平方向を拘束する基礎台及び耐震基礎のずれ止めの配置
- (2) 既設基礎ボルトのコーン破壊評価
- (3) 追設基礎ボルトのコーン破壊評価

8. 評価結果

- (1) 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震ずれ止め側)
- (2) 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側)
- (3) 復水器水室フランジ変位量
- (4) 復水器基礎 (No. I ~ IV) コンクリート
- (5) 復水器基礎 (No. V, VI, VII) コンクリート

C. 3次元 FEM 解析

1. 解析条件
2. 固有値解析結果
3. 耐震ずれ止めに発生する荷重の算出
4. 復水器基礎部に発生する荷重の算出
5. 復水器水室フランジの変位量の算出

(別紙) 復水器水室フランジ変位量算出に関する補足

1. 概要

タービン建屋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。溢水量算出においては循環水ポンプ停止（吐き出し停止）までの時間としているが、復水器水室出入口弁を閉止することにより、海洋と隔離し、その後の溢水量増加を防止している。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真下に配置され、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図 9.13-1～図 9.13-3 に示す。

なお、復水器本体移動による接触影響に対しては、実機構造を反映した 3 次元 FEM 解析を実施し、地震により復水器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。

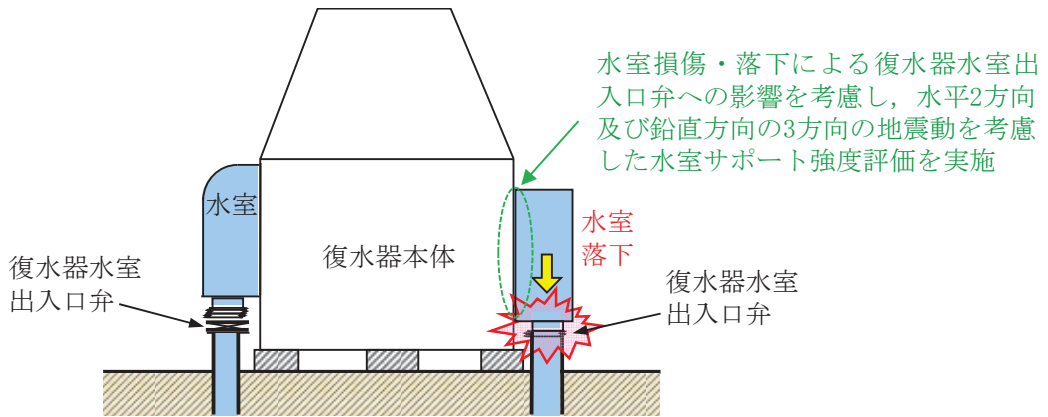
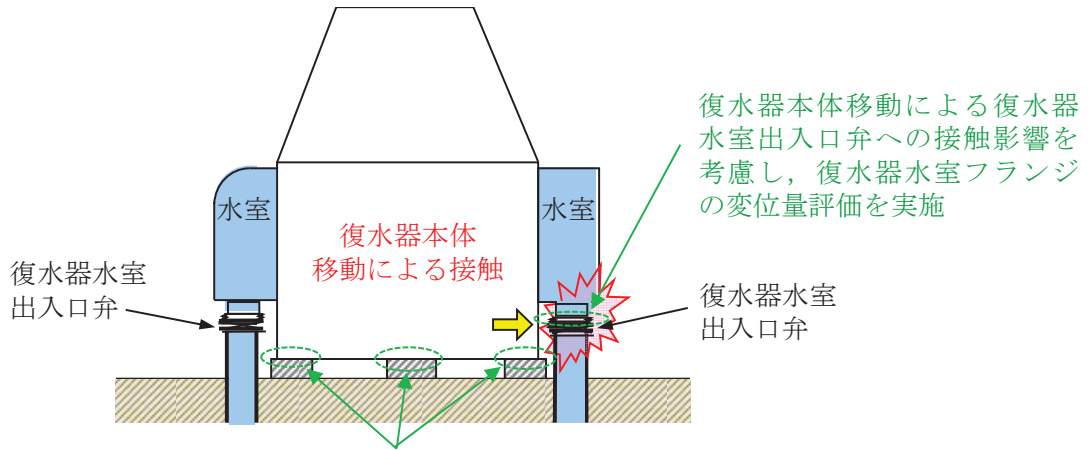


図 9.13-1 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ
(A. 復水器水室落下の影響)



復水器本体移動による復水器水室出入口弁への接触影響を考慮し、復水器基礎部の評価を実施

図 9.13-2 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)

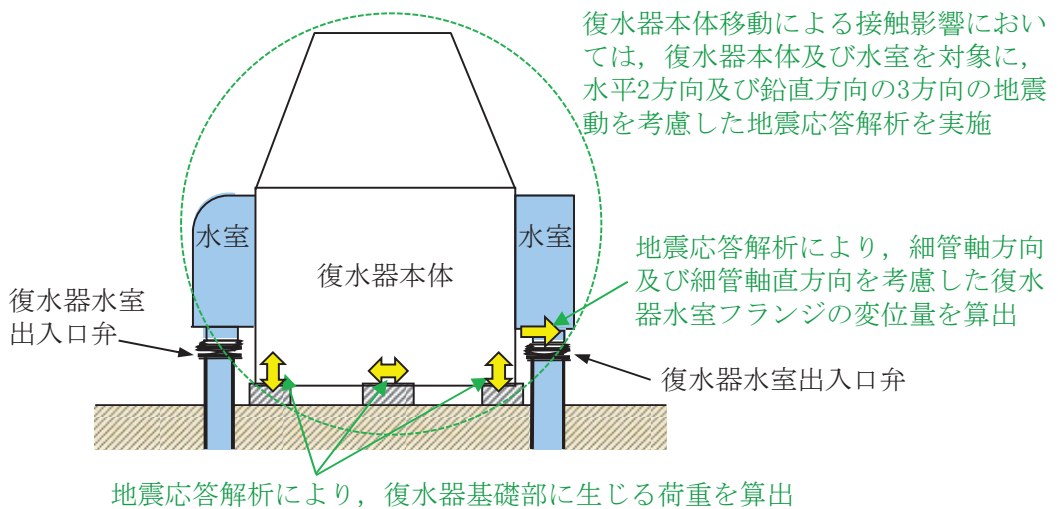


図 9.13-3 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ
(C. 3次元 FEM 解析)

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、水平側水室サポート及び下部水室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。

なお、復水器水室落下の影響評価においては、「C. 3次元 FEM 解析」に示す解析結果は用いず、復水器基礎台高さにおける設計震度を用いて簡便に評価する。

(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）
- ・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）
- ・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）
- ・J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-

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

図 9.13-4 に示すとおり，復水器水室を支持する水平側水室サポート，下側水室サポートを評価部位とする。なお，各サポートは復水器本体と復水器水室に溶接で固定している。サポート形状と溶接固定面を図 9.13-5 及び図 9.13-6 に示す。

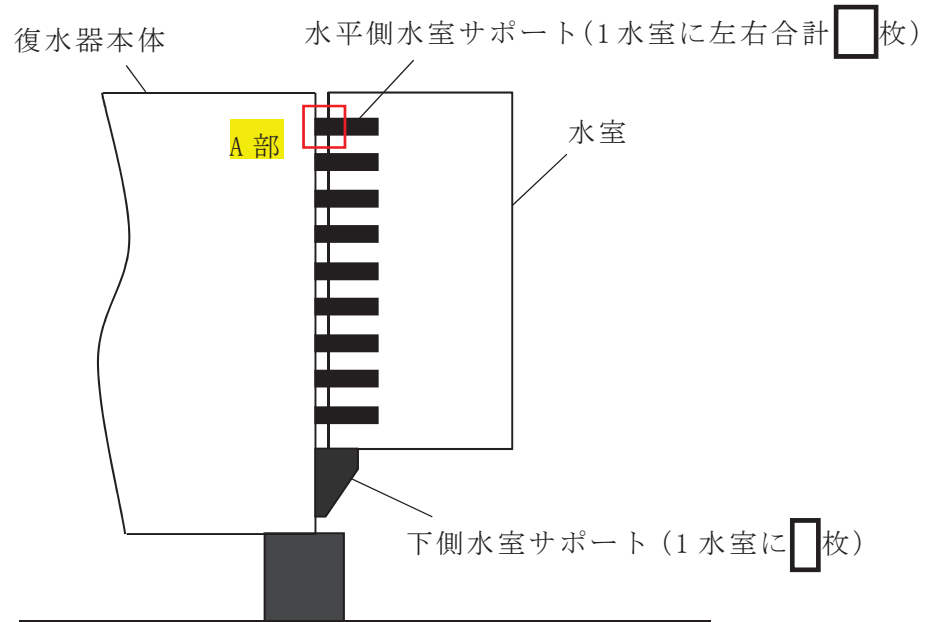
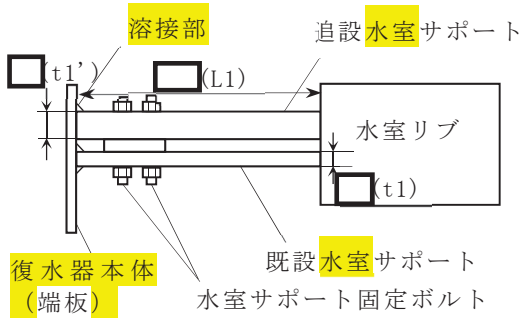
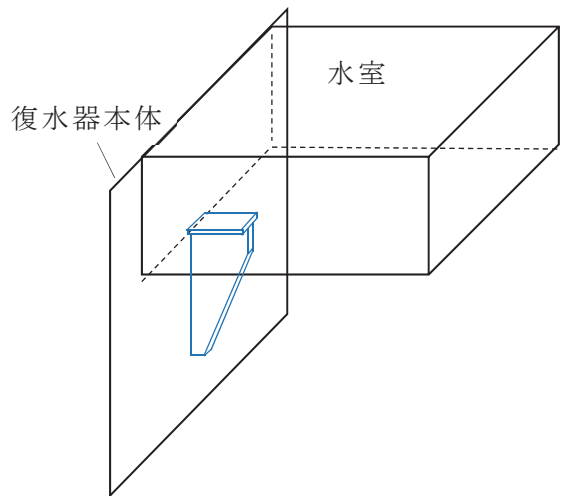
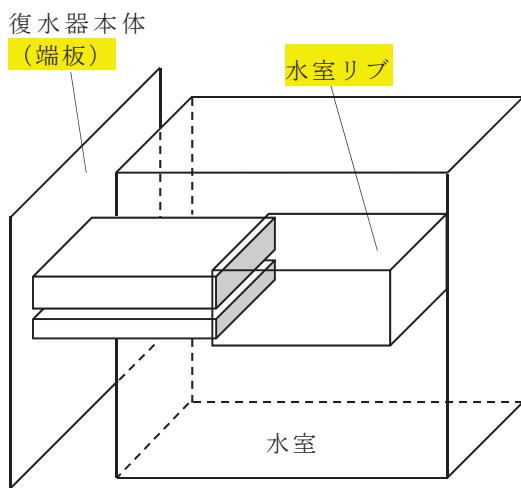
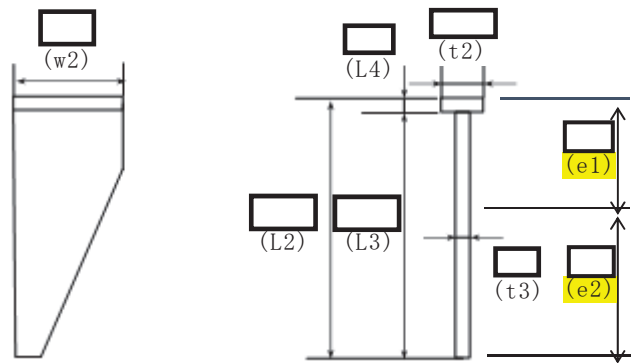


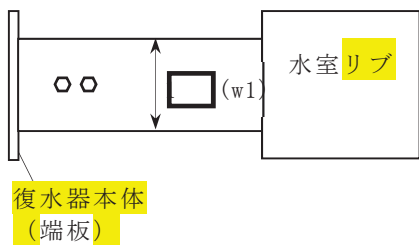
図 9.13-4 水室サポート取付状況



単位：mm



単位：mm



単位：mm

図 9.13-5 水平側水室サポートの形状 (A 部詳細)

図 9.13-6 下側水室サポートの形状

(2) 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力は、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき設定する。復水器基礎台高さ（O.P. 2300mm）における基準地震動 S_s の床応答スペクトル又は床応答最大加速度を表 9.13-1 に示す。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。

表 9.13-1 設計用震度

地震動	場所	床面高さ (復水器基礎台 高さ) (mm)	固有周期*1 (s)		地震による 設計震度	
			水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
基準地震動 S_s	タービン 建屋	O.P. 800 (O.P. 2300)	0.097	0.043	$C_H=6.43$	$C_V=0.75$

注記*1：復水器本体の水平方向固有周期 0.097s は、建設時工認耐震計算書（建設時工認図書番号：02 IV-3-15）に示す値であり柔構造である。

また、鉛直方向固有周期は次式より 0.043s となり剛構造のため最大床応答加速度の 1.2 倍を適用する。

鉛直方向固有周期の算出

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot \left(\frac{E \cdot A}{L}\right)}} = 2\pi \times \boxed{} = 0.043 \text{ (S)}$$

m：運転時質量 <input type="text"/> (kg)	E：縦弾性係数 191000 (MPa)
L：重心高さ <input type="text"/> (mm)	A：復水器断面積 <input type="text"/> (mm ²)

復水器断面積 A の算出は、下図の建設時工認耐震計算書（建設時工認図書番号：02 IV-3-15）と同様に算出。

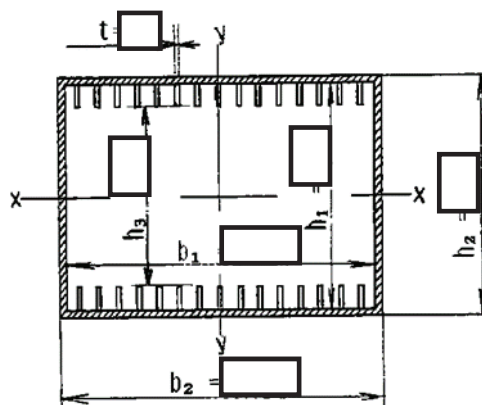


図 9.13-7 建設時工認耐震計算書抜粋図 復水器断面

(3)水室サポート部の許容応力

水平側水室サポート,下側水室サポートとそれぞれ溶接部の許容応力を表 9.13-2 に示す。また,許容応力評価条件を表 9.13-3 に示す。

表 9.13-2 水室サポート 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
水平側水室 サポート応力	σA: 引張, 曲げ	クラス 2 支持構造物	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
水平側水室 サポート固定ボルト応力	σB: せん断	クラス 2 支持構造物	$f_s = 1.5 \times \frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
水平側水室 サポート溶接部応力	σC: せん断	クラス 2 支持構造物	$f_s = 1.5 \times \frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
下側水室 サポート応力	σD: 曲げ	クラス 2 支持構造物	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
下側水室 サポート溶接部応力	σE: せん断	クラス 2 支持構造物	$f_s = 1.5 \times \frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

表 9.13-3 水室サポートの許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
水平側水室サポート	SS400	66*1	225	385	270
水平側水室サポート固 定ボルト	SCM440	66*1	777	913	639
水平側水室サポート溶 接部*2	SS400 相当	66*1	225	385	270
下部水室サポート	SS400	66*1	225	385	270
下部水室サポート溶接 部*2	SS400 相当	66*1	225	385	270

注記*1: 最高使用温度

*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. 復水器水室サポート部の評価

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評価するため、水平側水室サポートと下側水室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（管束）運転時質量が水平地震動により水室へ与える水平力から、水平側水室サポートが受ける1枚あたりの引張応力と溶接部のせん断応力を算出。

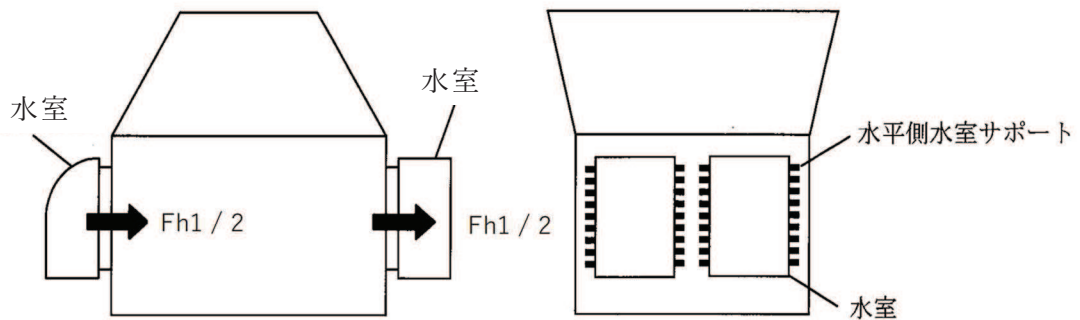


図 9.13-8 地震力が復水器細管軸方向に作用した場合

設計震度（水平方向）を C_H 、復水器運転時管束質量を m_1 とおくと、復水器 1 基の管束水平力 F_{h1} は、

$$F_{h1} = C_H \cdot m_1 \cdot g$$

設計震度 (C_H)	= 6.43
復水器運転時管束質量 (m_1)	= <input type="text"/> kg
重力加速度 (g)	= 9.80665 m/s ²
地震による水平力 (F_{h1})	= <input type="text"/> kN

復水器 1 基に水室は 4 個あり、1 水室あたり水平側水室サポートは 枚であるため、水平側水室サポート 1 枚あたりの水平力 F_1 は、

$$F_1 = \frac{F_{h1}}{4 \times \text{枚数}}$$

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

水平側水室サポートが水平力 F_1 を受ける断面積 A_1 は、

$$A_1 = (t_1 + t_1') \cdot w_1$$

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

よって、復水器細管軸方向地震力により水平側水室サポートにかかる引張応力 $\sigma 1$ は、

$$\sigma 1 = \frac{F1}{A1}$$

$$= \boxed{} = 56 \text{ MPa}$$

水室サポート 1 つあたりの固定ボルトは 2 本であるため、水室サポート固定ボルト 1 本にかかる水平力 $F2$ は、

$$F2 = \frac{F1}{2}$$

$$= \frac{\boxed{}}{2} = \boxed{} \text{ kN}$$

固定ボルトの呼び径は M42 であるため、固定ボルトの断面積 $A2$ は、

$$A2 = \frac{\pi}{4} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

固定ボルトのせん断力 $\sigma 2$ は、

$$\sigma 2 = \frac{F2}{A2} = \boxed{} = 230 \text{ MPa}$$

水平側水室サポートと復水器は、既設水室サポート上下及び追設サポート上部にて溶接されているため、水平側水室サポートの溶接線長さ $L5 (=w1 \times 3)$ 、溶接脚長を $X1$ 、水平側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 $\sigma 3$ は、

$$\sigma 3 = \frac{F1}{L5 \cdot \frac{X1}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 110 \text{ MPa}$$

水平側水室サポート 1 枚あたりの引張応力 $\sigma 1$	56 (MPa)
水平側水室サポート固定ボルトのせん断応力 $\sigma 2$	230 (MPa)
水平側水室サポート 1 枚溶接部のせん断応力 $\sigma 3$	110 (MPa)

(2)地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合

水室に水平地震動が作用した際の水室サポートに生じるモーメントから、水平側水室サポートが受ける1枚あたりの引張応力と溶接部のせん断応力を算出。

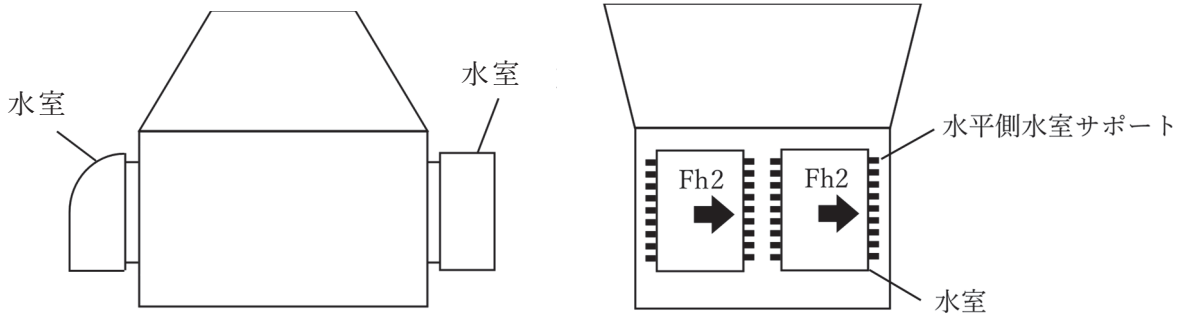


図 9.13-9 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合

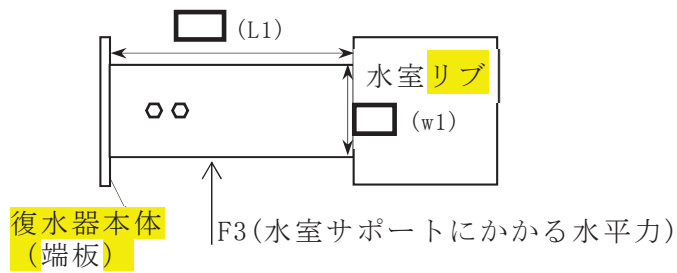


図 9.13-10 水室サポートを上から見た図

設計震度(水平方向)を C_H 、1水室あたりの質量を m_2 とおくと1水室あたりの水平力 F_{h2} は、

$$F_{h2} = C_H \cdot m_2 \cdot g$$

設計震度 (CH) = 6.43

1水室あたりの運転時質量 (m_2) = kg

重力加速度 (g) = 9.80665 m/s²

地震による水平力 (F_{h2}) = kN

水室サポート1枚あたりの水平力 F_3 は、1水室に水室サポートが 枚あることから、

$$F_3 = \frac{F_{h2}}{\text{枚数}}$$

$$= \text{[]} = \text{[]} \text{ kN}$$

水室サポートに生じるモーメント M1 は,

$$M1 = \frac{F3 \times L1}{4} = \frac{\boxed{}}{4} = \boxed{} \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

水室サポートの断面係数 Z1 は,

$$Z1 = \frac{t1 \times L1^2 + t1' \times L1^2}{6}$$

$$= \frac{\boxed{}}{6} = \boxed{} \text{ mm}^3$$

水室サポートの曲げ応力 $\sigma 4$ は,

$$\sigma 4 = \frac{M1}{Z1} = \boxed{} = 195 \text{ MPa}$$

水室サポート 1 つあたりの固定ボルトは 2 本であるため, 水室サポート固定ボルト 1 本にかかる水平力 F4 は,

$$F4 = \frac{F3}{2}$$

$$= \frac{\boxed{}}{2} = \boxed{} \text{ kN}$$

固定ボルトのせん断力 $\sigma 5$ は,

$$\sigma 5 = \frac{F4}{A2} = \boxed{} = 143 \text{ MPa}$$

水平側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 $\sigma 6$ は,

$$\sigma 6 = \frac{F3}{L5 \cdot \frac{X1}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 69 \text{ MPa}$$

水平側水室サポート 1 枚あたりの曲げ応力 $\sigma 4$	195 (MPa)
水平側水室サポート固定ボルトのせん断応力 $\sigma 5$	143 (MPa)
水平側水室サポート 1 枚溶接部のせん断応力 $\sigma 6$	69 (MPa)

(3)地震力が鉛直方向に作用した場合

水室に鉛直地震動が作用した際の鉛直曲げモーメントから、水平側水室サポートが受ける1枚あたりの引張応力と溶接部のせん断応力を算出。

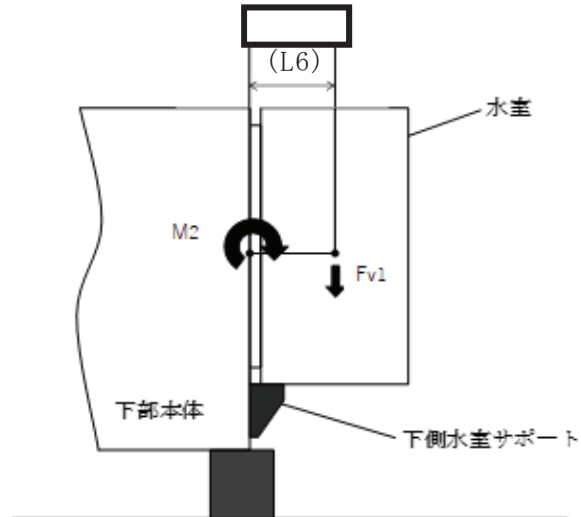


図 9.13-11 地震力が鉛直方向下向きに作用した場合

設計震度(鉛直方向) C_v 、1水室あたりの質量 m_2 、1水室あたりの鉛直力 F_{v1} は、

$$F_{v1} = C_v \cdot m_2 \cdot g$$

設計震度 (C_v) = 0.75

1水室あたりの運転時質量 (m_2) = kg

重力加速度 (g) = 9.80665m/s²

地震による鉛直力 (F_{v1}) = kN

a) 鉛直方向地震力(下向き)が水平側水室サポートに作用した場合水室にかかる鉛直力による、端板と水室サポートの接続面まわりのモーメント M_2 は、

$$M_2 = F_{v1} \cdot L_6$$

= = kN · m

ここで、モーメント M2 により、図 9.13-12 に示すように各水平側水室サポートに水平力がかかる。

よって、水平側水室サポートが受け持つ最大の水平荷重 F5 は、

$$M2 = \sum_{k=1}^9 l_k \times f_k \times 2$$

$$F5 = f9 = \boxed{} \text{ kN}$$

水平側水室サポートが鉛直方向地震力によりかかる引張応力 $\sigma 7$ は、

$$\sigma 7 = \frac{F5}{A1} = \boxed{} = 4 \text{ MPa}$$

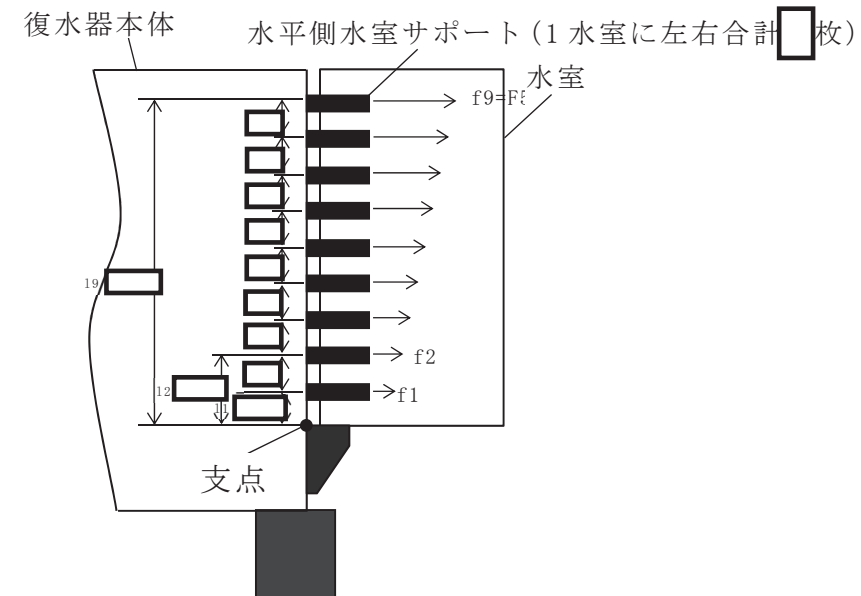


図 9.13-12 各水平側水室サポートにかかる水平力(鉛直モーメント)

水室サポート 1 つあたりの固定ボルトは 2 本であるため、水室サポート固定ボルト 1 本にかかる水平力 F6 は、

$$F6 = \frac{F5}{2}$$

$$\frac{\boxed{}}{2} = \boxed{} \text{ kN}$$

固定ボルトのせん断力 $\sigma 8$ は、

$$\sigma 8 = \frac{F6}{A2} = \boxed{} = 16 \text{ MPa}$$

$$e_1 = \frac{L^2 \cdot t_3 + L^4 \cdot (t_2 - t_3)}{2 \cdot (t_2 \cdot L^4 + L^3 \cdot t_3)}$$

$$= \boxed{\hspace{4cm}} = \boxed{\hspace{1cm}}$$

$$e_2 = L^2 - \frac{L^2 \cdot t_3 + L^4 \cdot (t_2 - t_3)}{2 \cdot (t_2 \cdot L^4 + L^3 \cdot t_3)}$$

$$= \boxed{\hspace{4cm}} = \boxed{\hspace{1cm}}$$

$$Z_2 = \min \left\{ \frac{I}{e_1}, \frac{I}{e_2} \right\}$$

$$= \boxed{\hspace{4cm}}$$

$$= \boxed{\hspace{4cm}} = \boxed{\hspace{1cm}} \text{ mm}^3$$

下側水室サポートに鉛直地震力によりかかる曲げ応力 σ_{10} は、

$$\sigma_{10} = \frac{M3}{Z2}$$

$$= \boxed{} = 34 \text{ MPa}$$

また、下側水室サポートの溶接線長さ $L8 (=L2 \times 2 + t2 \times 2)$ 、溶接脚長を $X2$ 、
下側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 σ_{11} は、

$$\sigma_{11} = \frac{F7}{L8 \cdot \frac{X2}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 30 \text{ MPa}$$

下側水室サポート 1 枚あたりの曲げ応力 σ_{10}	34 (MPa)
下側水室サポート 1 枚溶接部のせん断応力 σ_{11}	30 (MPa)

(4) 水室自重の作用

1 水室あたりの自重による鉛直力 $Fv2$ は、

1 水室あたりの運転時質量 (m2) = $\boxed{}$ kg
 重力加速度 (g) = 9.80665 m/s²
 自重による鉛直力 ($Fv2$) = $\boxed{}$ kN

a) 自重が水平側水室サポートに作用した場合

水室の自重により水平側水室サポート付け根部に発生する曲げモーメント $M4$ は、

$$M4 = Fv2 \cdot L6$$

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

ここで、(3) 項と同様に曲げモーメント $M4$ により、図 9.13-12 に示すように各水平側水室サポートに水平力がかかる。

よって、水平側水室サポートが受けもつ最大の水平荷重 $F8$ は、

$$F8 = \frac{M4}{6 \times L7} = \frac{\boxed{}}{6 \times \boxed{}} = \boxed{} \text{ kN}$$

水平側水室サポートが自重によりかかる引張応力 σ_{12} は、

$$\sigma_{12} = \frac{F_8}{A_1}$$

$$= \boxed{} = 7 \text{ MPa}$$

水室サポート 1 つあたりの固定ボルトは 2 本であるため、水室サポート固定ボルト 1 本にかかる水平力 F_9 は、

$$F_9 = \frac{F_8}{2}$$

$$= \frac{\boxed{}}{2} \text{ kN}$$

固定ボルトのせん断力 σ_{13} は、

$$\sigma_{13} = \frac{F_9}{A_2} = \boxed{} = 28 \text{ MPa}$$

水平側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 σ_{14} は、

$$\sigma_{14} = \frac{F_8}{L_5 \cdot \frac{X_1}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 14 \text{ MPa}$$

水平側水室サポート 1 枚あたりの引張応力 σ_{12}	7 (MPa)
水平側水室サポート固定ボルトのせん断応力 σ_{13}	28 (MPa)
水平側水室サポート 1 枚溶接部のせん断応力 σ_{14}	14 (MPa)

b) 自重が下側水室サポートに作用した場合

1 水室あたり下側水室サポートが 箇所あるため下側水室サポートにかかる鉛直力 F10 は、

$$F10 = \frac{Fv2}{\text{}}$$

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

水室の自重により下側水室サポート付け根部に発生する曲げモーメント M5 は、

$$M5 = F10 \cdot w2$$

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

下側水室サポートが自重によりかかる曲げ応力 $\sigma 15$ は、

$$\sigma 15 = \frac{M5}{Z2}$$

$$= \text{} = 45 \text{ MPa}$$

下側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 $\sigma 16$ は、

$$\sigma 16 = \frac{F10}{L8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}}}$$

$$= \text{} = 40 \text{ MPa}$$

下側水室サポート 1 枚あたりに自重により作用する曲げ応力 $\sigma 15$	45 (MPa)
下側水室サポート 1 枚溶接部に自重により作用するせん断応力 $\sigma 16$	40 (MPa)

(5) 水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力を考慮した応力

(1)～(4)より，水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力を考慮した各応力は以下に示すとおり。

< 水平側水室サポートにかかる応力 σA >

$$\begin{aligned}\sigma A &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_4^2 + \sigma_7^2 + \sigma_{12}} \\ &= 210 \text{ MPa}\end{aligned}$$

< 水平側水室サポート固定ボルトにかかる応力 σB >

$$\begin{aligned}\sigma B &= \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_5^2 + \sigma_8^2 + \sigma_{13}} \\ &= 300 \text{ MPa}\end{aligned}$$

< 水平側水室サポートすみ肉溶接部にかかる応力 σC >

$$\begin{aligned}\sigma C &= \sqrt{\sigma_3^2 + \sigma_6^2 + \sigma_9^2 + \sigma_{14}} \\ &= 143 \text{ MPa}\end{aligned}$$

< 下側水室サポートにかかる応力 σD >

$$\begin{aligned}\sigma D &= \sigma_{10} + \sigma_{15} \\ &= 78 \text{ MPa}\end{aligned}$$

< 下側水室サポートすみ肉溶接部にかかる応力 σE >

$$\begin{aligned}\sigma E &= \sigma_{11} + \sigma_{16} \\ &= 70 \text{ MPa}\end{aligned}$$

4. 評価結果

水室サポート及び溶接部の強度評価を実施し発生応力が許容応力以下であることから、復水器水室出入口弁への地震時の水室落下により影響を及ぼさないことを確認した。

表 9.13-4 水室サポートにかかる応力

評価部位	算出応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
水平側水室サポート応力	σA : 引張, 曲げ	210	270
水平側水室サポート固定 ボルト応力	σB : せん断	300	369
水平側水室サポート溶接 部応力	σC : せん断	143	155
下側水室サポート応力	σD : 曲げ	78	270
下側水室サポート溶接部 応力	σE : せん断	70	155

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ずれ止め金具を設置し、ずれ止め金具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4隅に設置されたコンクリート基礎により、鉛直方向を拘束する構造としている。

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。なお、復水器水室フランジの変位量算出に関する補足を別紙に示す。

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 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）
- ・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）
- ・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）
- ・J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-

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水室フランジの構造概要及び各評価部位は図 9.13-13～図 9.13-17 に示す。

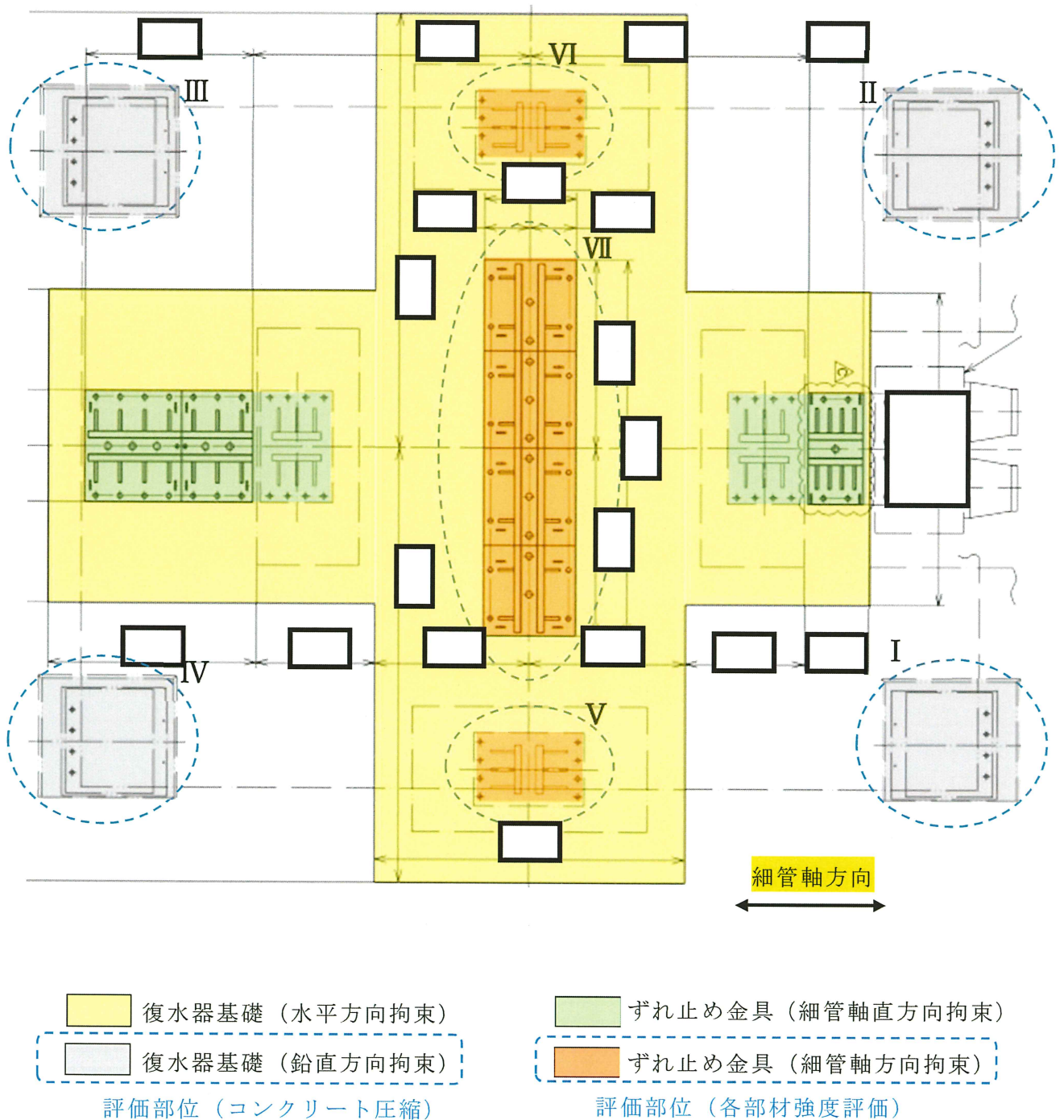
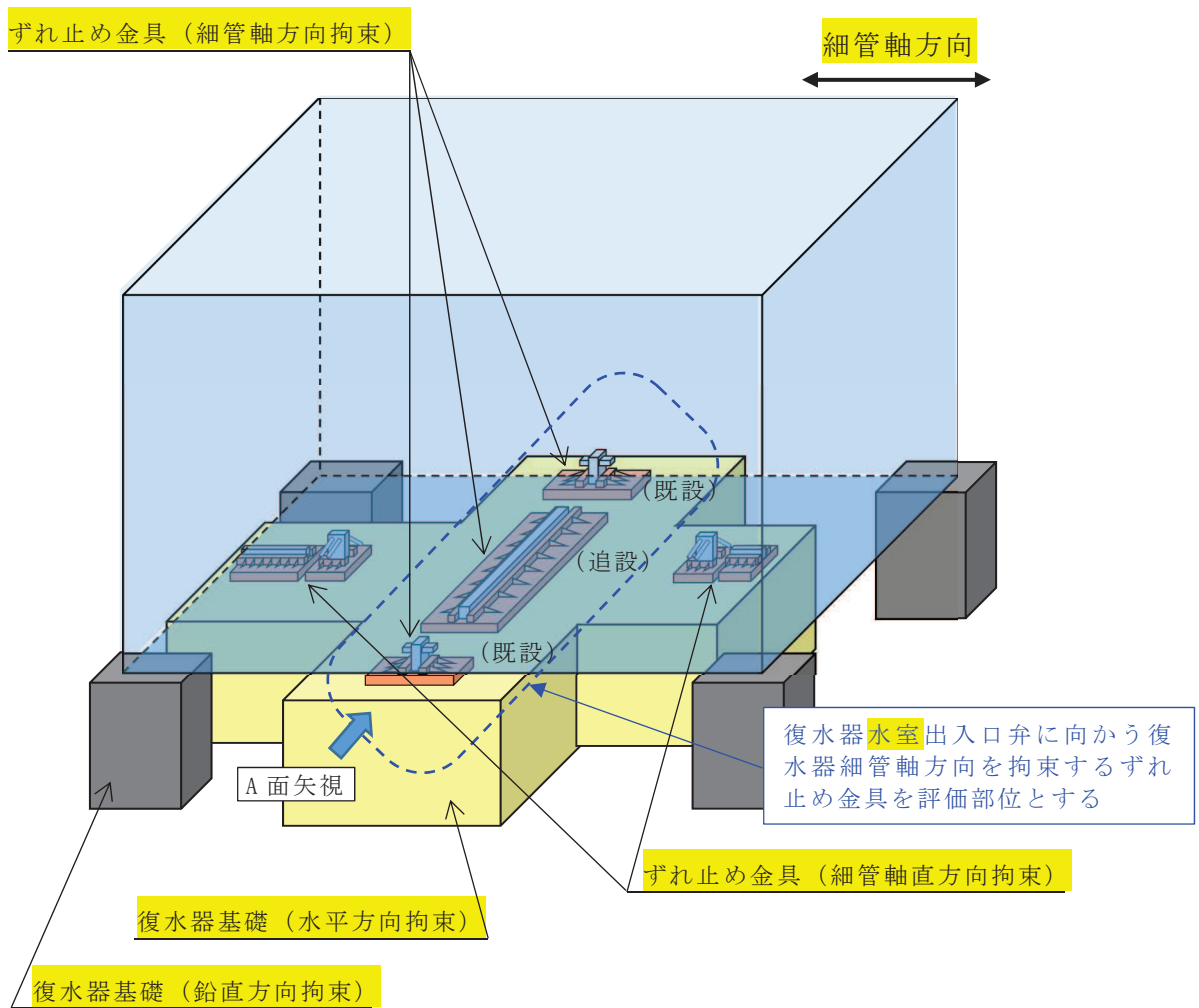
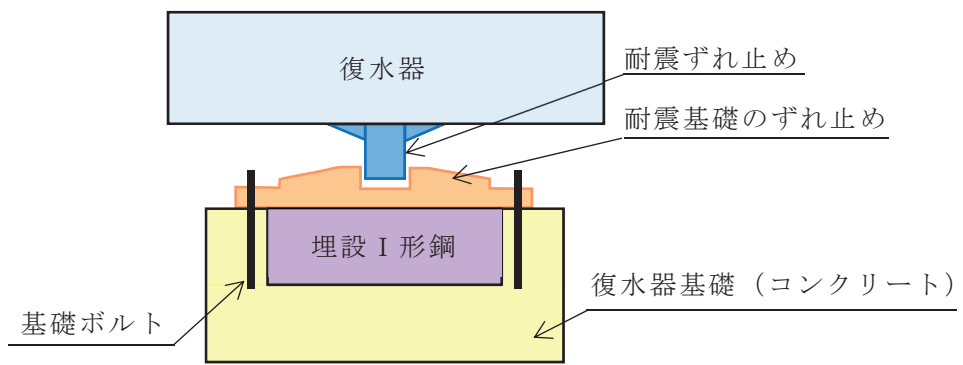


図 9.13-13 復水器基礎平面図



(復水器基礎部鳥瞰図)



(ずれ止め金具の概要 (A面矢視))

図 9.13-14 復水器ずれ止め金具配置図

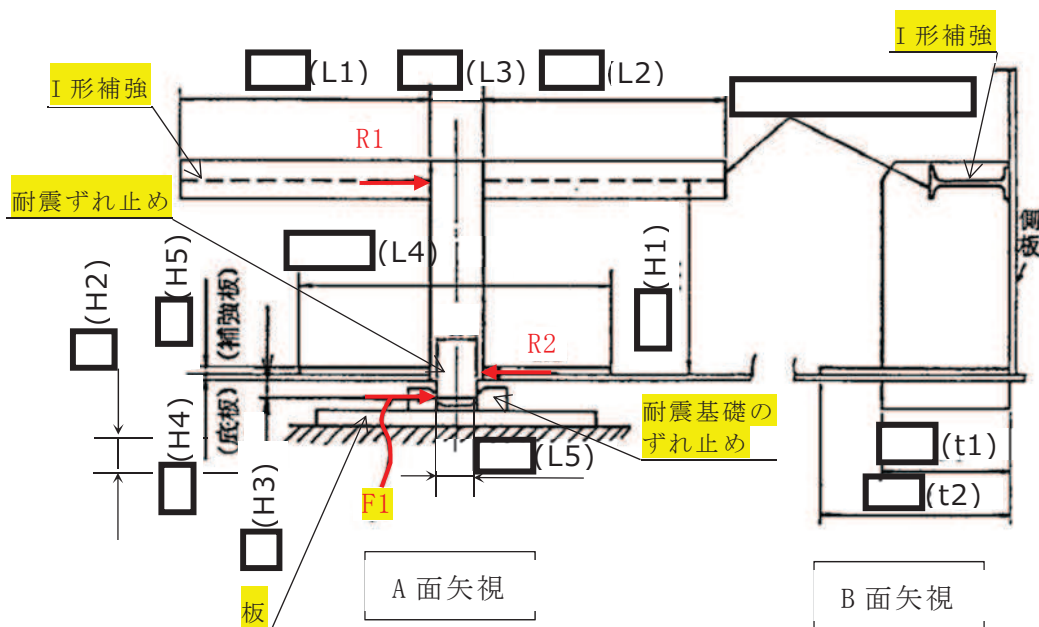
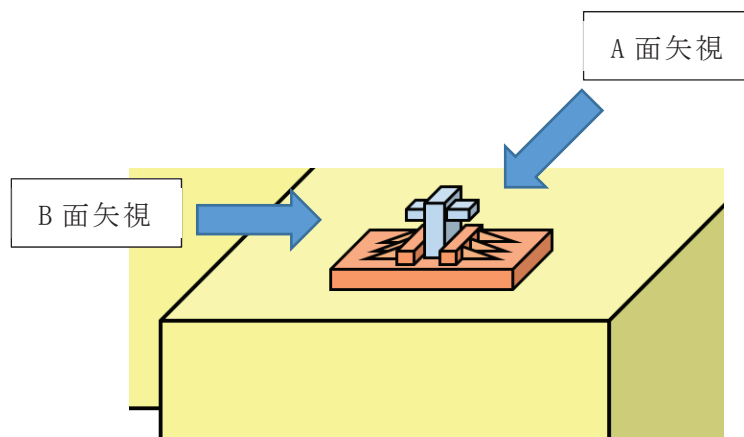
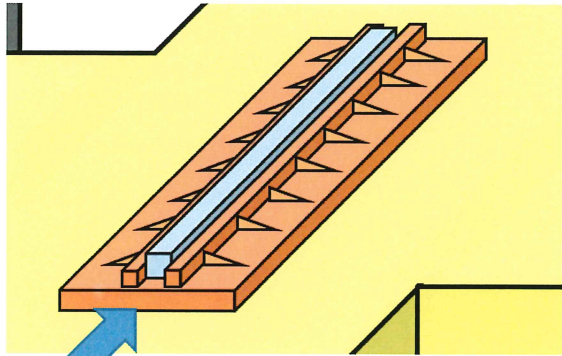
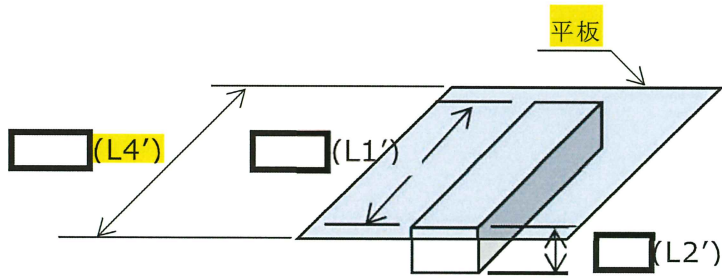


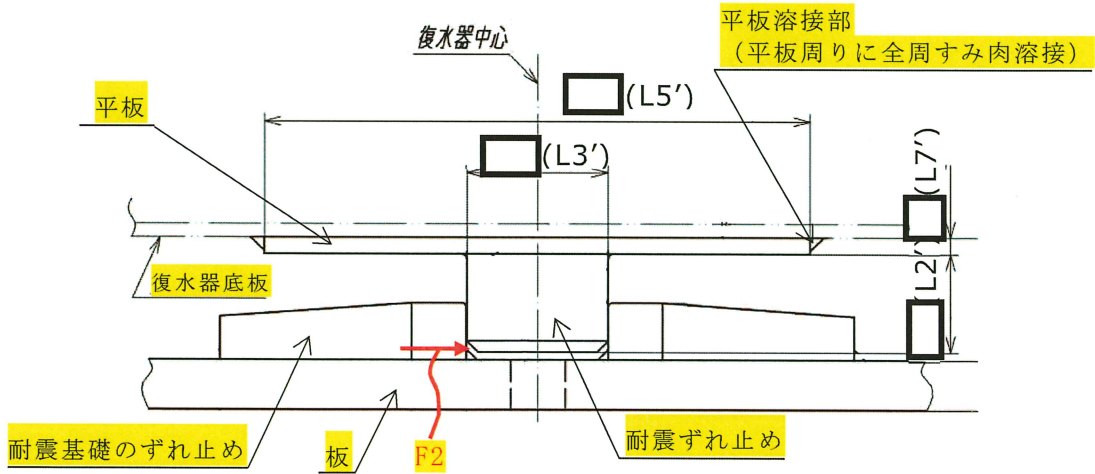
図 9.13-15 既設ずれ止め金具断面図



A 面矢視



耐震ずれ止め, 平板寸法



A 面矢視

図 9.13-16 追設ずれ止め金具断面図

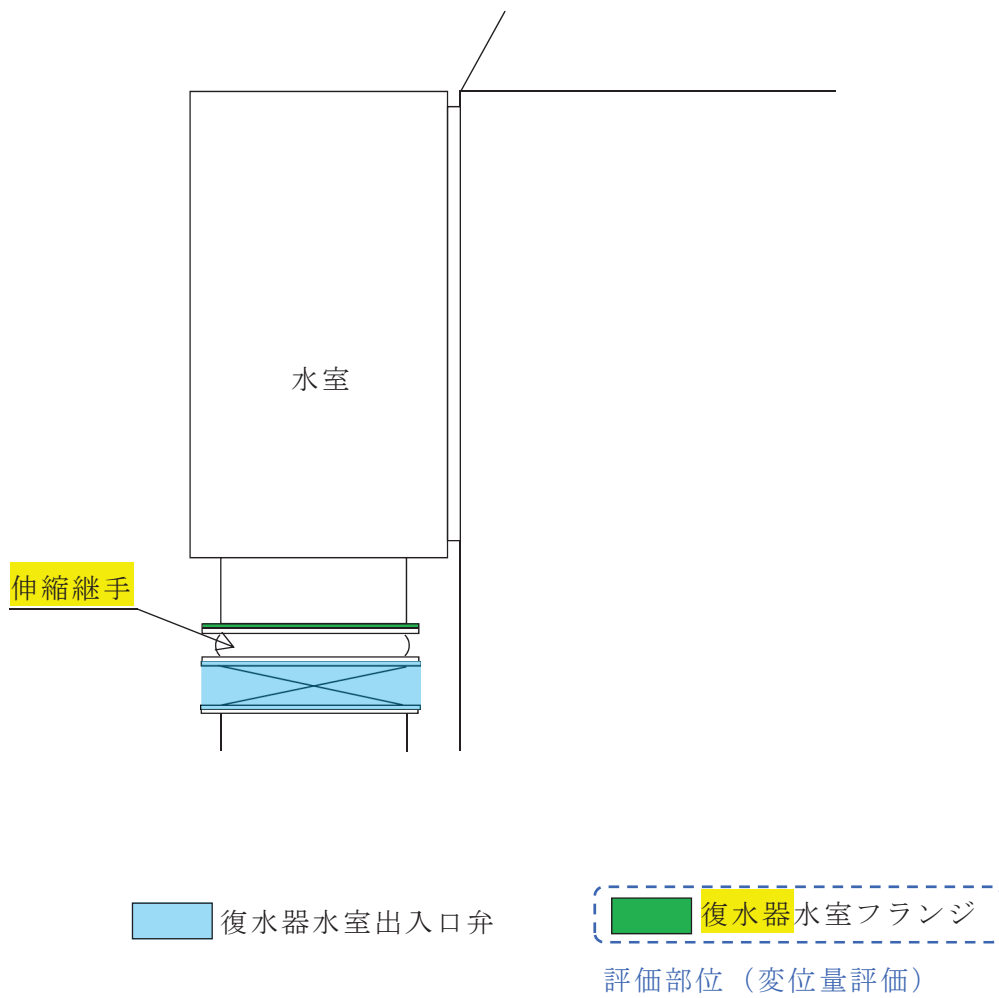


図 9.13-17 復水器水室出入口弁，復水器水室フランジ

(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 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。設計用地震力としては、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき、復水器基礎台高さ (O.P. 800) における基準地震動 S_s の床応答スペクトルを適用する。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 解析」に示す。

(3) 評価条件及び許容応力

ずれ止め金具の評価部位と評価条件は図 9.13-18 に、許容応力については表 9.13-5～表 9.13-9 に示す。また、許容応力評価条件を表 9.13-10～表 9.13-12 に示す。

- ・ JEG4601-補 1984 許容応力編 に従う。
- ・ 耐震ずれ止め、基礎ボルトは、クラス 2 支持構造物の許容応力状態 $IV_A S$ とする。
- ・ コンクリートの圧縮の許容応力状態 $IV_A S$ とする。

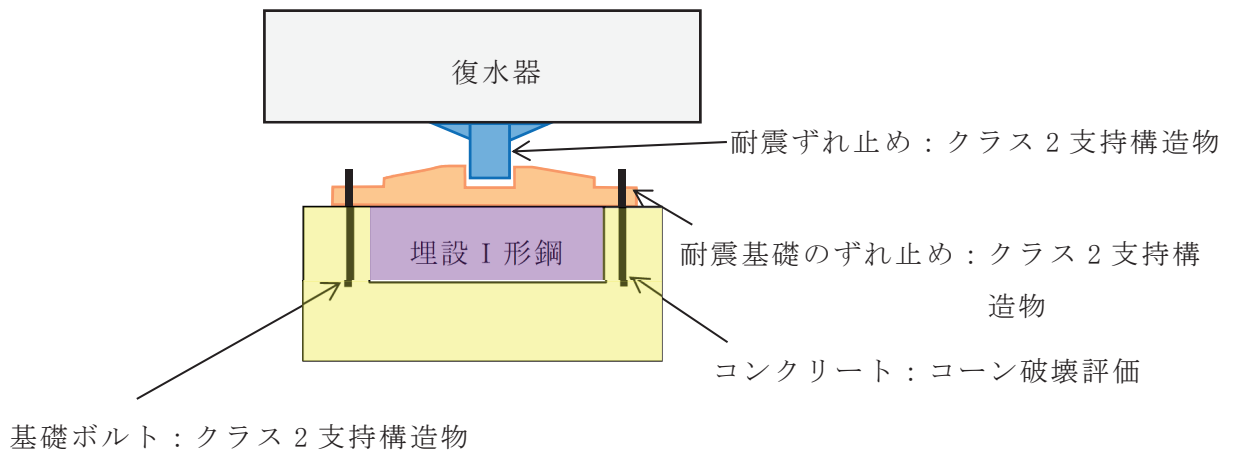


図 9.13-18 ずれ止め金具の評価部位と評価条件

表 9.13-5 復水器基礎部 (No. V, VI耐震ずれ止め側) 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
底板と補強板 (圧縮)	σ_{21}	クラス 2 支持構造物 引張	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
耐震ずれ止め (曲げ)	σ_{22}	クラス 2 支持構造物 曲げ (面外)	$f_b = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
I 形補強 (圧縮)	σ_{23}	クラス 2 支持構造物 引張	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

表 9.13-6 復水器基礎部 (No. VII 耐震ずれ止め側) 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
耐震ずれ止め (曲げ)	σ_{22}'	クラス 2 支持構造物 曲げ (面外)	$f_b = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
平板溶接部 (圧縮)	σ_{24}	クラス 2 支持構造物 せん断	$f_s = 1.5 \times \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

表 9.13-7 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側) 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
耐震基礎のずれ止め (圧縮)	σ_{31}	クラス 2 支持構造物 引張	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
基礎ボルト (引張)	σ_{32}	クラス 2 支持構造物 引張	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{2}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
埋設 I 形鋼 (曲げ)	σ_{33}	クラス 2 支持構造物 曲げ (面外)	$f_b = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
埋設 I 形鋼 フランジ部 (曲げ)	σ_{34}	クラス 2 支持構造物 曲げ (面外)	$f_b = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
板 (曲げ)	σ_{35}	クラス 2 支持構造物 曲げ (面外)	$f_b = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

表 9.13-8 復水器基礎コンクリート (No. I ~ IV) 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 (圧縮)	σ_{41}	埋設金物コンクリート部の 許容応力度 圧縮	$0.75F_c$

表 9.13-9 復水器基礎 (No. V, VI, VII) コンクリートのコーン破壊 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 基礎ボルト部の コーン破壊	—	基礎ボルトが引張荷重を受け る場合のコンクリートの評価	$P \leq P_a = \min(P_{a1}, P_{a2})$ $P_{a1} = K_1 \times A_{c1} \times \sqrt{F_c}$ $P_{a2} = K_2 \times \alpha \times A_0 \times F_c$

表 9.13-10 復水器基礎部 (No. V, VI耐震ずれ止め側) 許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
底板と補強板	SM400A 相当 (SMA400AP)	66*	225	385	270
耐震ずれ止め	SS400	66*	206	385	247
I 形補強	SS400	66*	225	385	270

注記* : 最高使用温度

表 9.13-11 復水器基礎部 (No. VII 耐震ずれ止め側) 許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
耐震ずれ止め	SF490A	66* ¹	236	451	283
平板溶接部* ²	SF490A 相当	66* ¹	236	451	283

注記*1 : 最高使用温度

*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。

表 9.13-12 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側) 許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
耐震基礎のずれ止め	SS400	66*	206	385	247
基礎ボルト	既設 : SS400	66*	206	385	247
	追設 : SCM435	66*	777	913	639
埋設 I 形鋼	SS400	66*	206	385	247
埋設 I 形鋼フランジ部	SS400	66*	206	385	247
板	SS400	66*	206	385	247

注記* : 最高使用温度

3. 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震ずれ止め側) の評価

(1) 耐震ずれ止めに作用する荷重

復水器の強度部材を考慮した 3 次元モデルを作成し、3 次元 FEM 解析により各耐震ずれ止めに作用する荷重を算出する。水平 2 方向それぞれに対し応答スペクトル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。各耐震ずれ止めに作用する荷重を表 9.13-13 に示す。既設耐震ずれ止め (No. V, VI) は同構造であることから、発生荷重の大きい No. V の値の荷重が、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 解析」に示す。

表 9.13-13 各耐震ずれ止めに作用する荷重

評価部位	算出荷重	発生荷重 (kN)
No. V	F1	
No. VI		
No. VII	F2	

(2) 既設の耐震ずれ止めに作用する荷重

図 9.13-15 より、耐震ずれ止めの底板上面 (R2 の作用する面) を軸とするモーメントつり合いから、既設耐震ずれ止めにかかる反力 R1, R2 は、

$$R1 = F1 \cdot \frac{H2}{H1}$$

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

$$R2 = F1 + R1$$

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

(3) 既設の底板と補強板の圧縮 (引張) 応力

図 9.13-15 より、底板の厚さ H4, 既設補強板の厚さ H5, 既設補強板の有効長さ t1 とすると、底板と既設補強板の圧縮 (引張) 応力 σ_{21} は、

$$\sigma_{21} = \frac{R2}{(H4+H5) \times t1 \times 2}$$

$$= \boxed{} = 152 \text{ MPa}$$

既設 補強板の圧縮 (引張) 応力 σ_{21}	152 (MPa)
---------------------------------	-----------

(4) 既設の耐震ずれ止めの曲げ応力

図 9.13-15 より、既設の耐震ずれ止めの曲げモーメント M1 は、

$$M1 = F1 \times (H3 + H4)$$

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

既設の耐震ずれ止めの厚さ L5 は $\boxed{}$ mm であり、断面係数 Z1 は、

$$Z1 = \frac{t1 \cdot L5^2}{6}$$

$$= \frac{\boxed{}}{6} = \boxed{} \text{ mm}^3$$

以上より、既設の耐震ずれ止めの曲げ応力 $\sigma 22$ は、

$$\sigma 22 = \frac{M1}{Z1}$$

$$= \boxed{} = 166 \text{ MPa}$$

既設 耐震ずれ止めの曲げ応力 $\sigma 22$	166 (MPa)
----------------------------	-----------

(5) 既設の I 形補強の圧縮（引張）応力

図 9.13-15 より、既設の I 形補強 $\boxed{}$ の断面積を A1 とすると、既設の I 形補強の圧縮（引張）応力 $\sigma 23$ は、

$$\sigma 23 = \frac{R1}{A1 \cdot 2}$$

$$= \boxed{} = 79 \text{ MPa}$$

既設 I 形補強の圧縮（引張）応力 $\sigma 23$	79 (MPa)
-------------------------------	----------

(6) 追設の耐震ずれ止めの曲げ応力

図 9.13-16 より，追設の耐震ずれ止めの曲げモーメント $M1'$ は，

$$M1' = F2 \times L2'$$

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

追設の耐震ずれ止め厚さ $L3'$ は $\boxed{}$ mm であり，断面係数 $Z1'$ は，

$$Z1' = \frac{L1' \cdot L3'^2}{6}$$

$$= \frac{\boxed{}}{6} = \boxed{} \text{ mm}^3$$

以上より，追設の耐震ずれ止めの曲げ応力 $\sigma 22'$ は，

$$\sigma 22' = \frac{M1'}{Z1'}$$

$$= \boxed{} = 86 \text{ MPa}$$

追設 耐震ずれ止めの曲げ応力 $\sigma 22'$	86 (MPa)
-----------------------------	----------

(7) 追設の平板溶接部の応力

図 9.13-16 より，追設の耐震ずれ止め平板部と底板とのすみ肉溶接長さ $L6'$ ($= (L4' + L5') \times 2$)，すみ肉溶接脚長 $X1'$ とすると，追設ずれ止め金具平板部から底板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 $\sigma 25$ は，

$$\sigma 25 = \frac{F2}{\frac{L6' \cdot X1'}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 99 \text{ MPa}$$

追設 耐震ずれ止め平板のすみ肉溶接の応力 $\sigma 25$	99 (MPa)
----------------------------------	----------

4. 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側) の評価
 地震力が復水器細管軸方向に働く場合の復水器基礎部 (耐震基礎のずれ止め側) の強度評価を実施する。

耐震基礎のずれ止めに働く地震力 F1, F2 は表 9.13-13 に示す値を適用する。

(1) 耐震基礎のずれ止めの圧縮応力

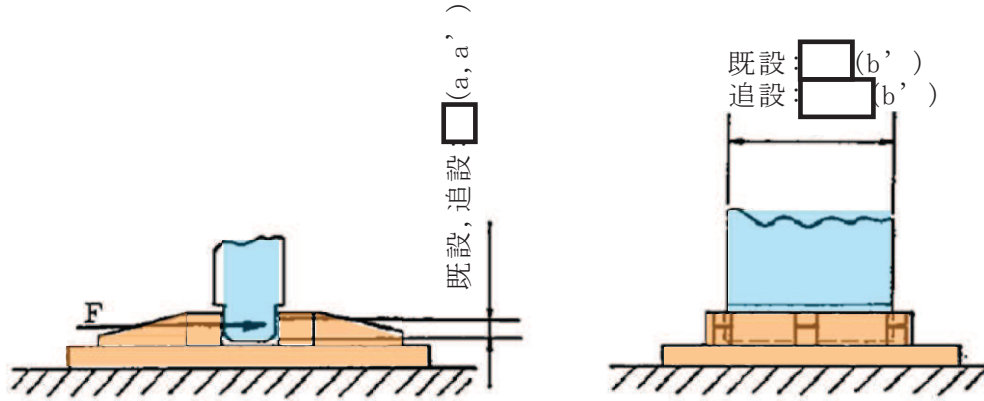


図 9.13-19 耐震基礎のずれ止め寸法 (側面図)

図 9.13-19 より、既設と追設の耐震基礎のずれ止めそれぞれに働く地震力の圧縮応力 σ_{31} , σ_{31}' は、

$$\sigma_{31} = \frac{F1}{a \cdot b}$$

$$= \boxed{} = 218 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{31}' = \frac{F2}{a' \cdot b'}$$

$$= \boxed{} = 59 \text{ MPa}$$

既設	耐震基礎のずれ止めに働く地震力による圧縮応力 σ_{31}	218 (MPa)
追設	耐震基礎のずれ止めに働く地震力による圧縮応力 σ_{31}'	59 (MPa)

(2) 基礎ボルトの引張応力

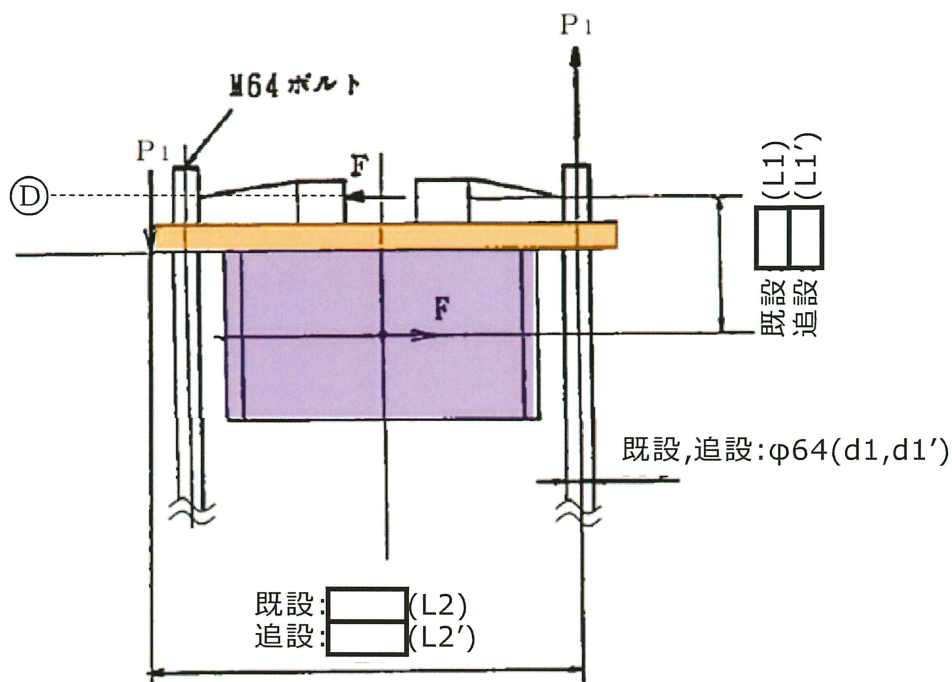


図 9.13-20 基礎ボルト埋込断面図

図 9.13-20 より，既設埋設 I 形鋼の◎点高さ L_1 ，基礎ボルト間の距離 L_2 ，呼び径 d_1 ，数量 n_1 とし，追設埋設 I 形鋼の◎点高さ L_1' ，基礎ボルト間の距離 L_2' ，呼び径 d_1' ，数量 n_1' とする。

既設と追設の基礎ボルトそれぞれに働く力 P_1 ， P_1' は，

$$P_1 = \frac{F_1 \times L_1}{L_2}$$

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

$$P_1' = \frac{F_2 \times L_1'}{L_2'}$$

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

以上より、既設と追設の基礎ボルトそれぞれに働く引張応力 σ_{32} 、 σ_{32}' は、

$$\sigma_{32} = \frac{P_1}{\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \cdot n_1} = \boxed{} = 158 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{32}' = \frac{P_1'}{\frac{\pi}{4} \cdot d_1'^2 \cdot n_1'} = \boxed{} = 218 \text{ MPa}$$

既設 基礎ボルトに働く引張応力 σ_{32}	158 (MPa)
追設 基礎ボルトに働く引張応力 σ_{32}'	218 (MPa)

(3) 基礎ボルトとコンクリートの付着力

後段で示す、7. 項復水器基礎 (No. V, VI, VII) 評価 (コーン破壊評価) にて行う。

(4) 埋設 I 形鋼の曲げ応力

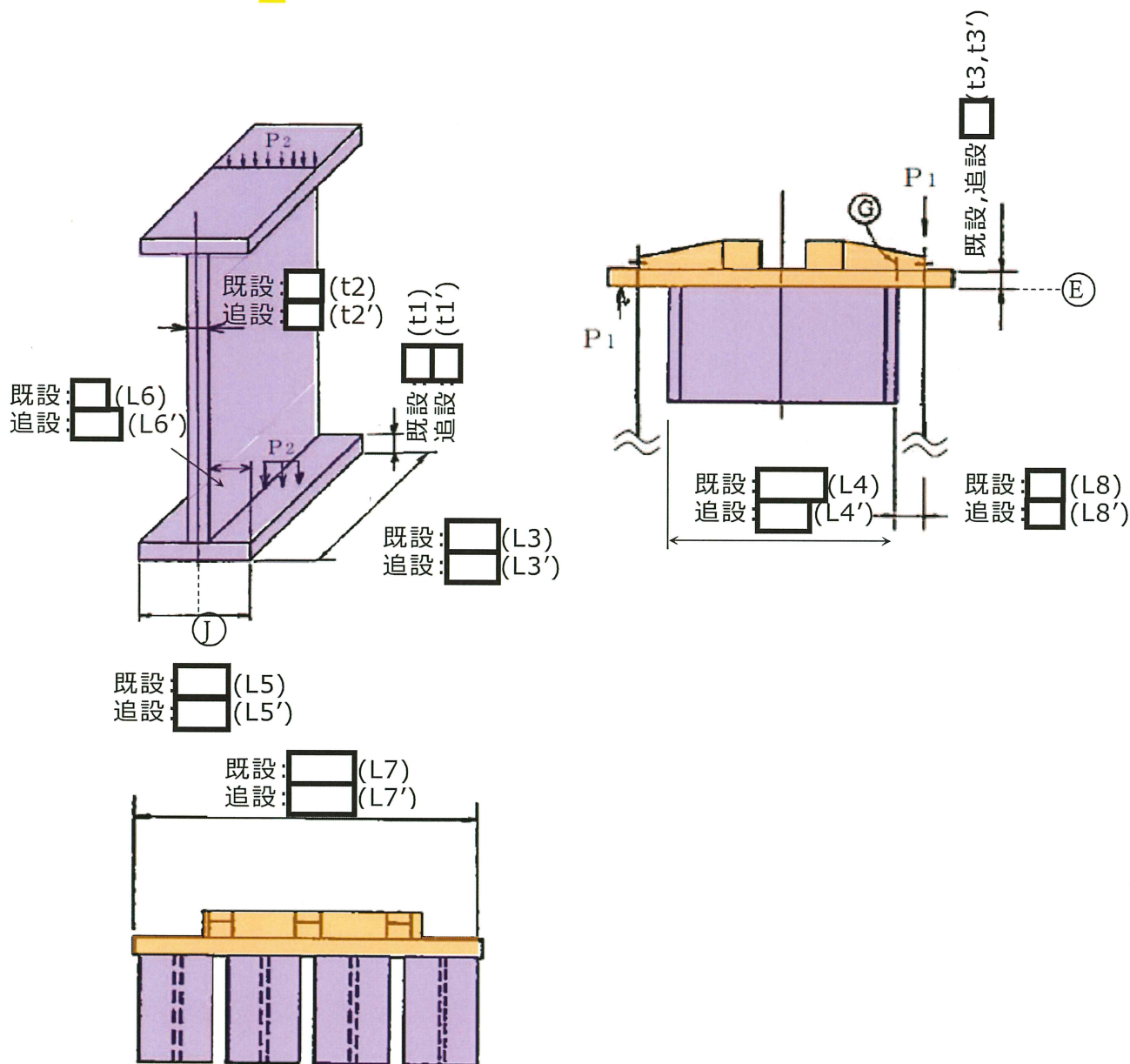


図 9.13-21 ずれ止め埋設金物寸法

図 9.13-21 より，既設埋設 I 形鋼の数量 n_2 ，高さ L_3 とし，追設埋設 I 形鋼の数量 n_2' ，高さ L_3' とする。既設埋設 I 形鋼，追設埋設 I 形鋼それぞれの等分布荷重 w_1 ， w_1' は，

$$w_1 = \frac{F_1}{n_2 \cdot L_3}$$

$$= \text{[]} = \text{[]} \text{ N/mm}$$

$$w1' = \frac{F2}{n2' \cdot L3'}$$

$$= \boxed{} = \boxed{} \text{ N/mm}$$

既設埋設 I 形鋼，追設埋設 I 形鋼それぞれのつけ根部㊦におけるモーメント M1，M1' は，

$$M1 = w1 \cdot \frac{L3^2}{2}$$

$$= \boxed{} = \boxed{} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M1' = w1' \cdot \frac{L3'^2}{2}$$

$$= \boxed{} = \boxed{} \text{ N} \cdot \text{mm}$$

既設と追設の埋設 I 形鋼の断面係数をそれぞれ Z1，Z1' とすると，既設と追設の埋設 I 形鋼それぞれの曲げ応力 σ_{33} ， σ_{33}' は，

$$\sigma_{33} = \frac{M1}{Z1}$$

$$= \boxed{} = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{33}' = \frac{M1'}{Z1'}$$

$$= \boxed{} = 29 \text{ MPa}$$

既設 埋設 I 形鋼の曲げ応力 σ_{33}	18 (MPa)
追設 埋設 I 形鋼の曲げ応力 σ_{33}'	29 (MPa)

(5) 埋設 I 形鋼フランジ部の曲げ応力

既設と追設の埋設 I 形鋼の等分布荷重 w_1 , w_1' は(4)項にて算出する。

図 9.13-21 より, 既設と追設の埋設 I 形鋼のフランジ部のつばの長さをそれぞれ L_6 , L_6' とすると, 既設と追設それぞれの単位面積に働く荷重 P_2 , P_2' は,

$$P_2 = \frac{w_1}{L_5 + L_6 \times 2}$$
$$= \boxed{} = \boxed{} \text{ MPa}$$

$$P_2' = \frac{w_1'}{L_5' + L_6' \times 2}$$
$$= \boxed{} = \boxed{} \text{ MPa}$$

既設と追設のフランジ付け根部①におけるそれぞれの曲げモーメント M_3 , M_3' は,

$$M_3 = \frac{P_2}{2} \cdot L_6^2$$
$$= \boxed{} = \boxed{} \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

$$M_3' = \frac{P_2'}{2} \cdot L_6'^2$$
$$= \boxed{} = \boxed{} \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

既設と追設のフランジ断面係数をそれぞれ Z_2 , Z_2' とすると, 既設と追設それぞれのフランジ曲げ応力 σ_{34} , σ_{34}' は,

$$\sigma_{34} = \frac{M_3}{Z_2}$$
$$= \boxed{} = 62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{34}' = \frac{M_{34}'}{Z_{34}'}$$

$$= \boxed{} = 98 \text{ MPa}$$

既設 埋設 I 形鋼フランジの曲げ応力 σ_{34}	62 (MPa)
追設 埋設 I 形鋼フランジの曲げ応力 σ_{34}'	98 (MPa)

(6) 板の曲げ応力

基礎ボルトに働く力 P_1, P_1' は(2)項にて算出した値である。

図 9.13-21 より、既設と追設のフランジから基礎ボルトまでの長さをそれぞれ L_8, L_8' とすると、既設と追設の板③におけるそれぞれの曲げモーメントは、

$$M_4 = P_1 \cdot L_8$$

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

$$M_4' = P_1' \cdot L_8'$$

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

既設と追設の板の厚さをそれぞれ t_3, t_3' , 既設と追設の板長さをそれぞれ L_7, L_7' , 既設と追設の③における断面係数をそれぞれ Z_3, Z_3' とすると、

$$Z_3 = \frac{1}{6} \cdot L_7 \cdot t_3^2$$

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

$$Z_3' = \frac{1}{6} \cdot L_7' \cdot t_3'^2$$

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

既設と追設の断面③における曲げ応力 $\sigma_{35}, \sigma_{35}'$ は、

$$\sigma_{35} = \frac{M_4}{Z_3}$$

$$= \boxed{} = 195 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{35'} = \frac{M4'}{Z3'}$$

$$= \boxed{} = 147 \text{ MPa}$$

既設の断面㊸における曲げ応力 σ_{35}	195 (MPa)
追設の断面㊸における曲げ応力 $\sigma_{35'}$	147 (MPa)

5. 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 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 解析」に示す。

復水器水室フランジの変位量 L	25 (mm)
-----------------	---------

なお、復水器水室フランジの許容変位量は図 9.13-22 より、150mm とする。

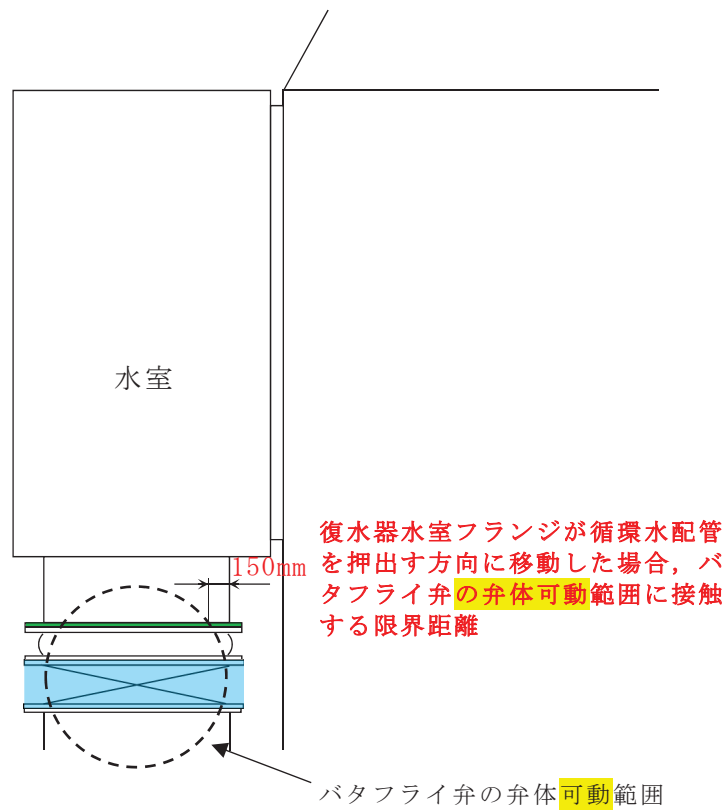


図 9.13-22 復水器水室フランジ許容変位

6. 復水器基礎 (No. I ~ IV) の評価

(1) 鉛直方向を拘束する基礎台配置

復水器の鉛直方向を拘束する基礎台は、図 9.13-23 に示す基礎台 No. I ~ IV 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、復水器運転中の熱伸びを吸収するため図 9.13-24 に示すとおり、復水器本体と基礎台間にすべり板を設置するとともにボルト固定部は穴に余裕を持たせている。

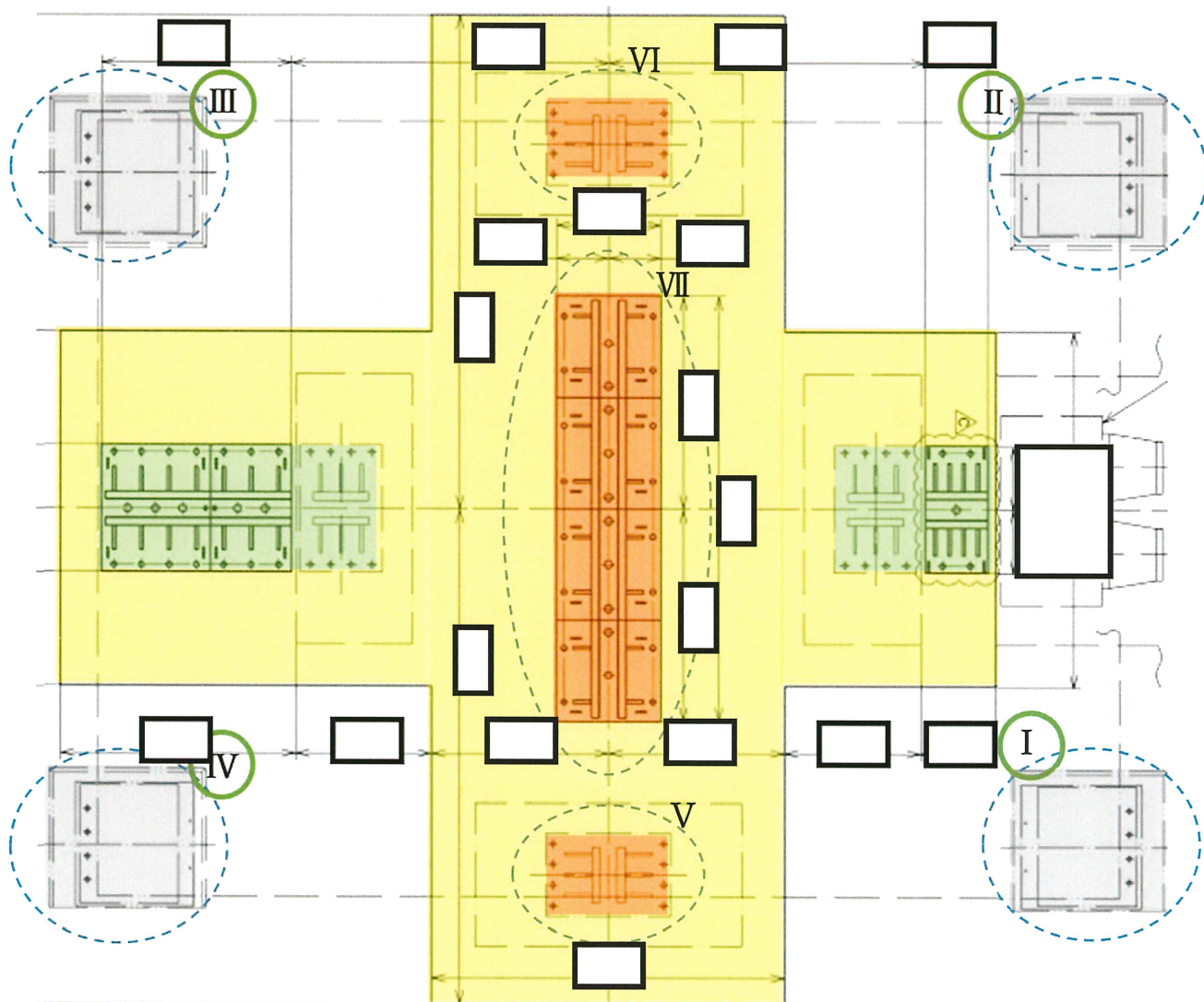


図 9.13-23 鉛直方向を拘束する復水器基礎台 (平面図)

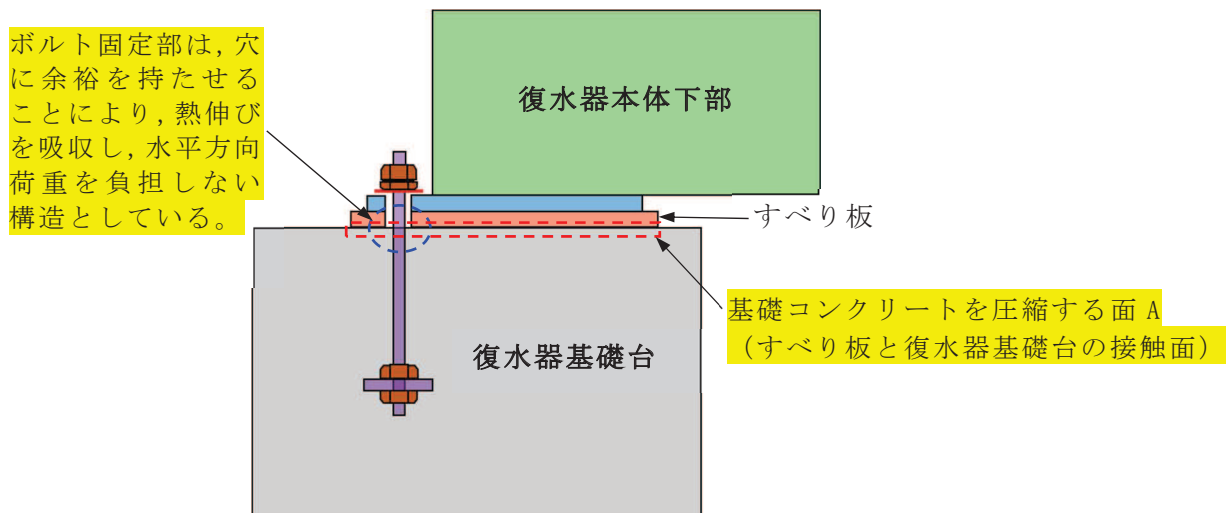


図 9.13-24 鉛直方向のみ拘束する構造の概略断面図

(2) 復水器基礎の評価条件

復水器の強度部材を考慮した 3 次元モデルを作成し、3 次元 FEM 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応答スペクトル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表 9.13-14 に示す。発生荷重の最も大きい No. IV 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 解析」に示す。

表 9.13-14 各復水器基礎に作用する荷重

評価部位	算出荷重	発生荷重(kN)
No. I	F	
No. II		
No. III		
No. IV		

(3) 基礎コンクリート圧縮の評価

基礎コンクリートを圧縮する面 A は、

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

よって、基礎コンクリートにかかる圧縮応力 σ_{41} は、

$$\sigma_{41} = \frac{F}{A}$$

$$= \boxed{} = 16 \text{ MPa}$$

基礎コンクリートにかかる圧縮応力 σ_{41}	16 (MPa)
--------------------------------	----------

7. 復水器基礎 (No. V, VI, VII) 評価 (コーン破壊評価)

表 9.13-13 に示す荷重値を使用し、復水器の水平方向 (細管軸方向) を拘束する基礎台 No. V, VI, VII の基礎ボルトの引張 (コーン破壊) を評価する。

(1) 水平方向を拘束する基礎台及び耐震基礎のずれ止めの配置

復水器の水平方向 (細管軸方向) を拘束する基礎台は、図 9.13-25 に示す基礎台 No. V, VI, VII である。

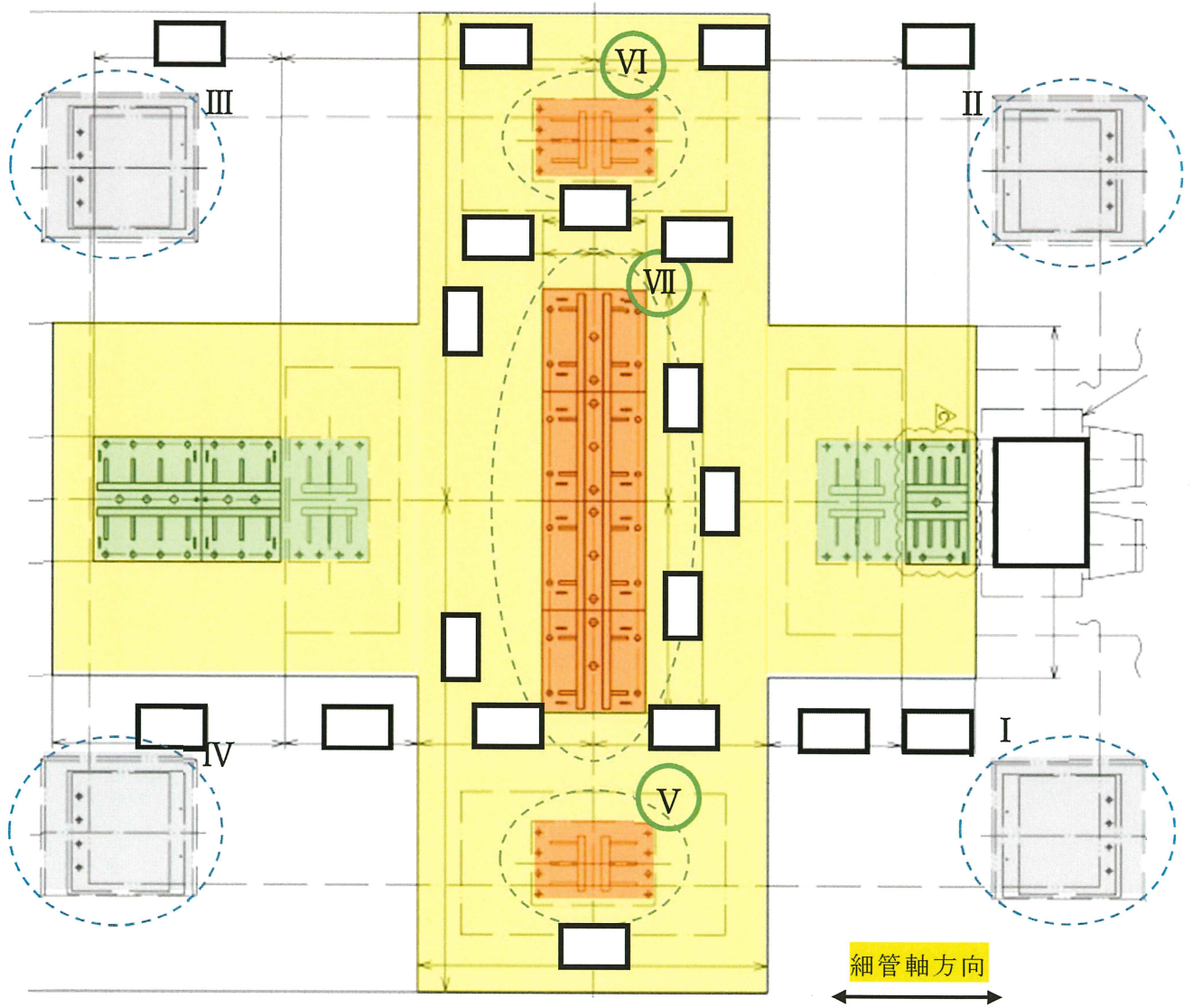


図 9.13-25 水平方向 (細管軸方向) を拘束する復水器基礎台

耐震基礎のずれ止め形状と基礎ボルト配置寸法を図 9.13-26 に示し、既設と追設の基礎ボルトを評価する。コーン破壊評価上最も厳しい評価として、図中斜線部で示す投影面積を評価対象とする。

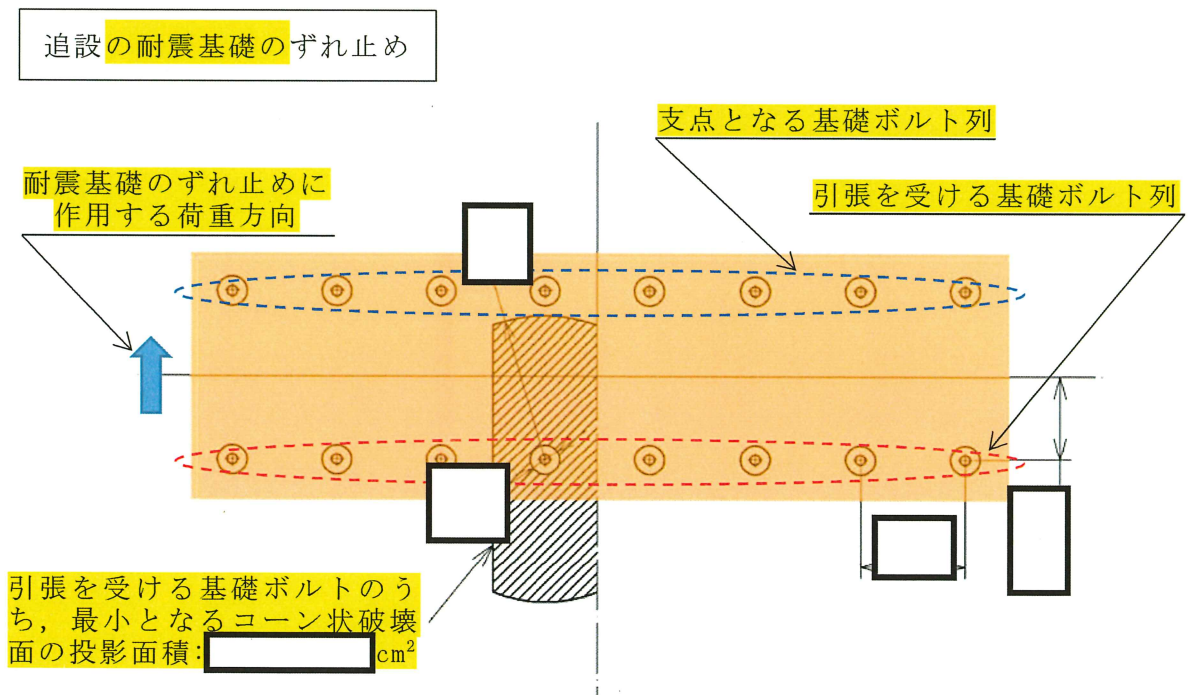
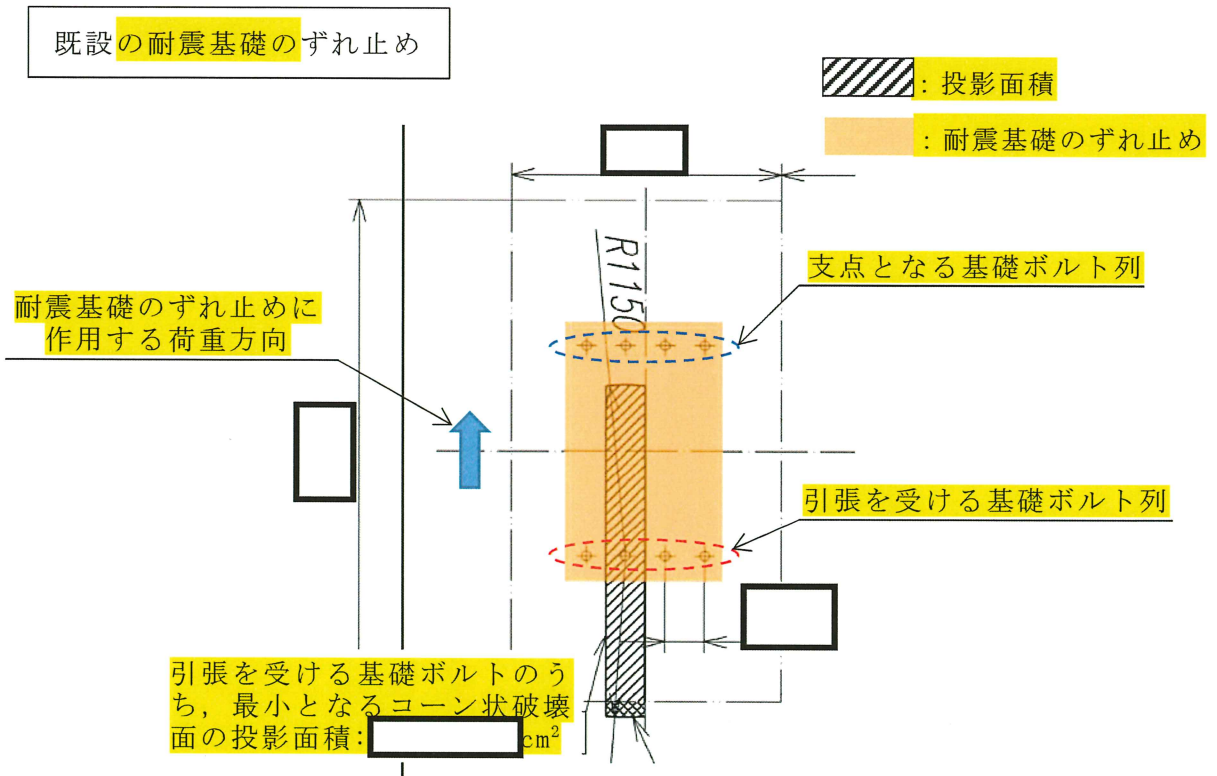


図 9.13-26 耐震基礎のずれ止め形状と基礎ボルト配置寸法

(2) 既設基礎ボルトのコーン破壊評価

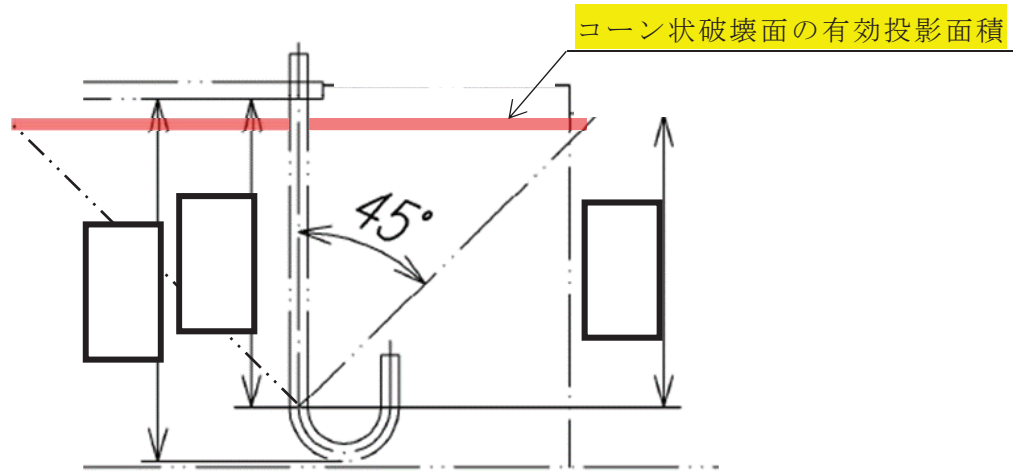


図 9.13-27 既設基礎ボルトの形状

供用状態 D (IV_AS) : K1=0.6 … JEAG4601-1991 表 2.2-1 より

$$F_c = 330 \text{ kgf/cm}^2$$

JEAG4601-1991 より, 基礎ボルト 1 本あたりの基礎コンクリートの許容引張荷重は,

$$P_{a1} = K1 \times A_{c1} \times \sqrt{F_c} \times g$$

$$= 0.6 \times \boxed{} \times \sqrt{330} \times 9.80665 = \boxed{} \text{ kN}$$

また, 4. 項より基礎ボルト (4 本) に働く力 P1 は $\boxed{}$ kN となるため, 基礎ボルト (1 本) に働く力は,

$$\frac{P1}{4} = \boxed{} \text{ kN}$$

既設基礎ボルト (1 本) に働く力 $\boxed{}$ (kN)

(3) 追設基礎ボルトのコーン破壊評価

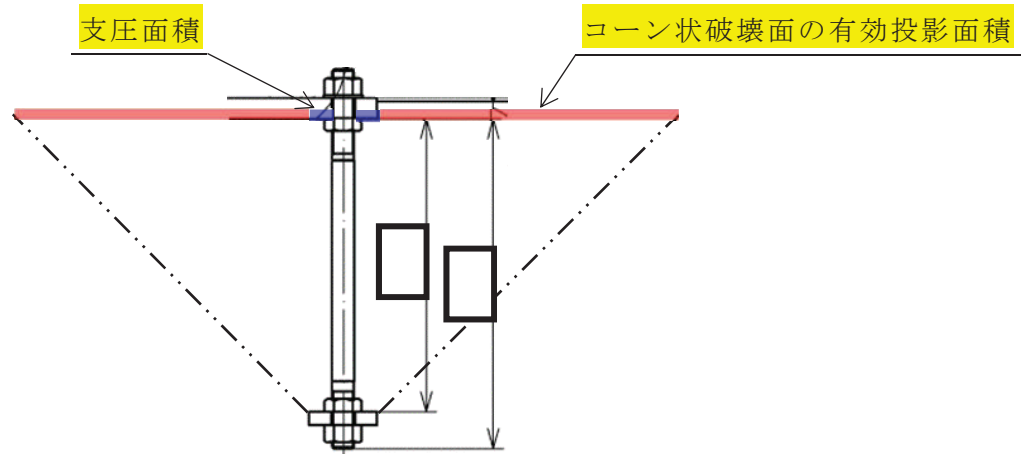


図 9.13-28 追設基礎ボルトの形状と配置

供用状態D (IV_AS) : K1=0.6, K2=0.75 ……JEAG4601-1991 表 2.2-1 より,

$$F_c' = 337 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\alpha' = \sqrt{A_{c2}' / A_0'} = \boxed{}$$

JEAG4601-1991 より, 基礎ボルト 1 本あたりの基礎コンクリートの許容引張荷重は,

$$Pa1' = K1 \times A_{c1}' \times \sqrt{F_c'} \times g$$

$$= \boxed{} = 1.399 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$Pa2' = K2 \times \alpha' \times A_{o}' \times F_c' \times g$$

$$= \boxed{} = 4.724 \times 10^3 \text{ kN}$$

$$Pa' = \text{Min}(Pa1', Pa2') = 1.399 \times 10^3 \text{ kN}$$

また, 4. 項より基礎ボルト(8本)に働く力 P1' は $\boxed{}$ となるため, 基礎ボルト(1本)に働く力は,

$$\frac{P1'}{8} = \boxed{} \text{ kN}$$

追設基礎ボルト (1 本) に働く力 $\boxed{}$ (kN)

8. 評価結果

(1) 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震ずれ止め側)

復水器水平方向を拘束する基礎部 (No. V, VI, VII 耐震ずれ止め側) の強度評価を行い、許容応力以下であることを確認した。

表 9.13-15 復水器基礎部 (No. V, VI 耐震ずれ止め側) の応力

評価部位		算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
底板と補強板 (圧縮)	既設	σ_{21}	152	270
耐震用ずれ止め (曲げ)	既設	σ_{22}	166	247
I形補強 (圧縮)	既設	σ_{23}	79	270

表 9.13-16 復水器基礎部 (No. VII 耐震ずれ止め側) の応力

評価部位		算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
耐震用ずれ止め (曲げ)	追設	$\sigma_{22'}$	86	283
平板溶接部 (せん断)	追設	σ_{24}	99	163

(2) 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側)

復水器水平方向を拘束する基礎 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側) の強度評価を行い、許容応力以下であることを確認した。

表 9.13-17 復水器基礎部 (No. V, VI, VII 耐震基礎のずれ止め側) の応力

評価部位		算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
耐震基礎のずれ止め (圧縮)	既設	σ_{31}	218	247
	追設		59	
基礎ボルト (引張)	既設	σ_{32}	158	185
	追設		218	479
基礎ボルトとコンクリート (付着) *	既設	—	—	—
	追設		—	—
埋設 I 形鋼 (曲げ)	既設	σ_{33}	18	247
	追設		29	
埋設 I 形鋼 フランジ部 (曲げ)	既設	σ_{34}	62	247
	追設		98	
板 (曲げ)	既設	σ_{35}	195	247
	追設		147	

注記* : 復水器基礎 (No. V, VI, VII) コンクリートのコーン破壊評価にて確認。

(3) 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。

表 9.13-18 復水器水室フランジの変位量評価

評価部位	算出変位量 (mm)		許容変位量 (mm)
	L	25	
復水器水室フランジ (変位量)	L	25	150

(4) 復水器基礎 (No. I ~ IV) コンクリート

復水器鉛直方向を拘束する基礎 (No. I ~ IV) のコンクリート圧縮を評価し、許容応力以下であることを確認した。

表 9.13-19 復水器基礎 (No. I ~ IV) のコンクリート破壊評価

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	σ_{41}	16	
基礎コンクリート (圧縮)	σ_{41}	16	24

(5) 復水器基礎 (No. V, VI, VII) コンクリート

耐震基礎のずれ止め (No. V, VI, VII) の基礎ボルトの引張力を評価し、コンクリートのコーン破壊に対して許容引張荷重以下であることを確認した。

表 9.13-20 復水器基礎 (No. V, VI, VII) コンクリートのコーン破壊評価

評価部位	算出引張荷重 (kN)	許容引張荷重 (kN)
基礎コンクリート既設基礎ボルト部 (1本) のコーン破壊	5.064×10^2	6.225×10^2
基礎コンクリート追設基礎ボルト部 (1本) のコーン破壊	6.990×10^2	1.399×10^3

C. 3次元 FEM 解析

1. 解析条件

「B. 復水器本体移動による接触影響の評価」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」による応答スペクトル解析により耐震ずれ止め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。

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た。解析モデル鳥瞰図を図 9.13-29 に示す。また、解析モデル作成における設定条件を表 9.13-21 に示す。

設計用地震力としては、添付書類「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に基づき設定した、復水器基礎台高さ (O.P. 800) における基準地震動 S_s の床応答スペクトルを適用した。

なお、「A. 復水器水室落下の影響評価」においては、本解析結果は用いず、復水器基礎台高さにおける設計震度を用いて簡便に評価している。

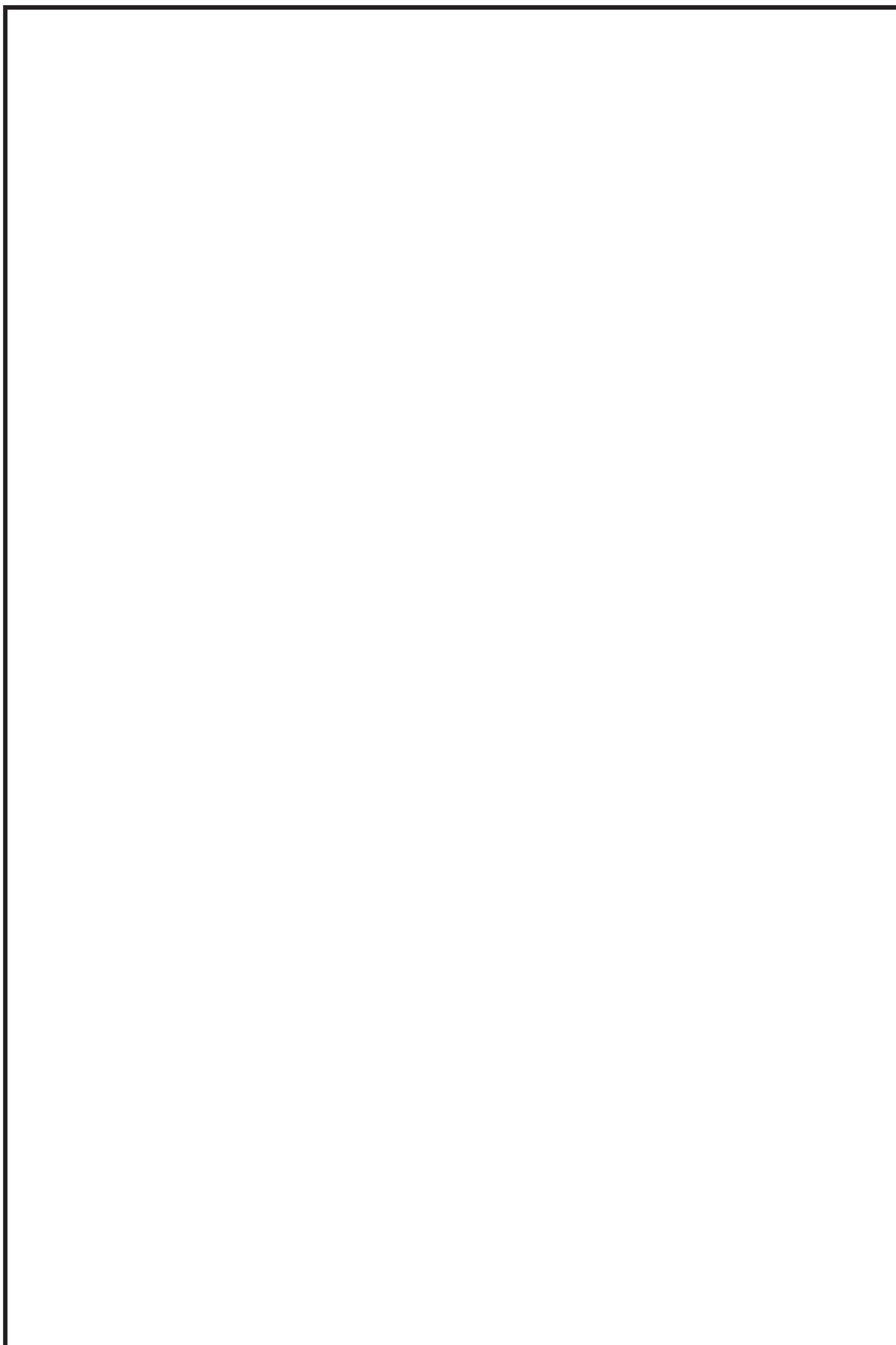


図 9.13-29 復水器解析モデル鳥瞰図

表 9.13-21 復水器解析モデル条件

温度条件		66 °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	耐震ずれ止め	
	復水器基礎 (鉛直方向拘束)	
モデル要素数		

2. 固有値解析結果

固有値解析結果を表 9.13-22 に示す。また、振動モード図を図 9.13-30 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角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 9.13-22 表 固有値解析結果 (1/3)

次数	固有周期 (s)	刺激係数		
		水平方向		鉛直方向
		EW 方向 (細管軸方向)	NS 方向 (細管軸直方向)	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

第 9.13-22 表 固有値解析結果 (2/3)

次数	固有周期 (s)	刺激係数		
		水平方向		鉛直方向
		EW 方向 (細管軸方向)	NS 方向 (細管軸直方向)	
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				

第 9.13-22 表 固有値解析結果 (3/3)

次数	固有周期 (s)	刺激係数		
		水平方向		鉛直方向
		EW 方向 (細管軸方向)	NS 方向 (細管軸直方向)	
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				

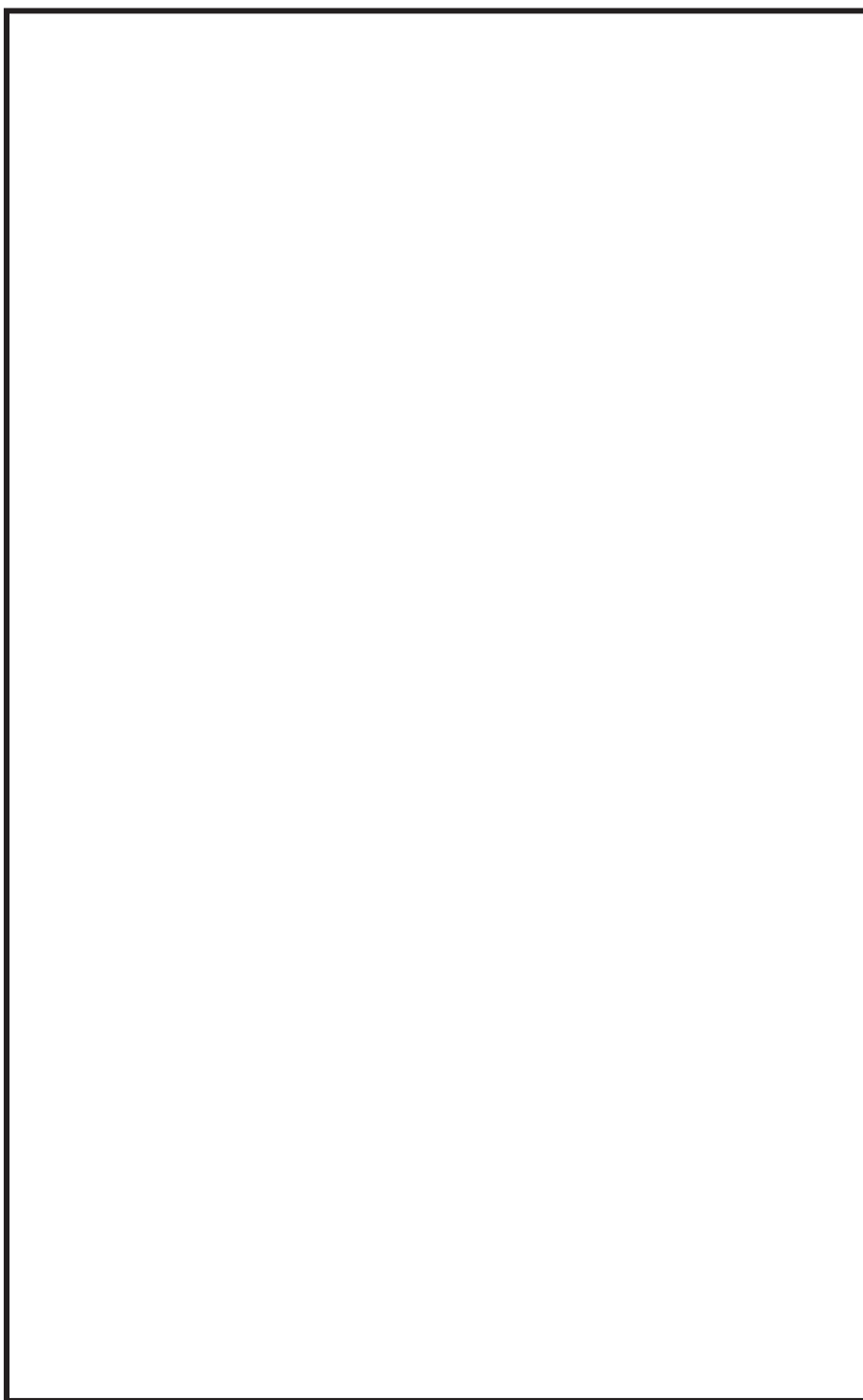


図 9.13-30 振動モード図

3. 耐震ずれ止めに発生する荷重の算出

水平2方向それぞれに対し応答スペクトル解析により耐震ずれ止め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。算出した荷重値を表9.13-23に示す。なお、評価部位の付番は図9.13-13に従う。

表 9.13-23 各耐震ずれ止めに作用する荷重

評価部位	発生荷重(kN)
No. V	
No. VI	
No. VII	

4. 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応答スペクトル解析により、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。算出した荷重値を表9.13-24に示す。なお、評価部位の付番は図9.13-13に従う。

表 9.13-24 各復水器基礎に作用する荷重

評価部位	発生荷重(kN)
No. I	
No. II	
No. III	
No. IV	

5. 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応答スペクトル解析により、復水器水室フランジの変位量を算出した。算出した変位量を表9.13-25に示す。

表 9.13-25 水室フランジ変位量

評価部位	変位量(mm)
復水器水室フランジの変位量	25

復水器水室フランジ変位量算出に関する補足

1. 概要

「B. 復水器本体移動による接触影響の評価」においては、「C. 3次元 FEM 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部の変位量を算出し、復水器が復水器水室出入口弁に対して接触影響を及ぼさないことを確認している。

ここでは、参考として、仮に復水器基礎の拘束機能が喪失し、復水器本体が転倒することを想定した場合の復水器水室フランジの変位量を確認する。

(1) 復水器細管軸方向

復水器細管軸方向断面の概略を図-1 に示す。

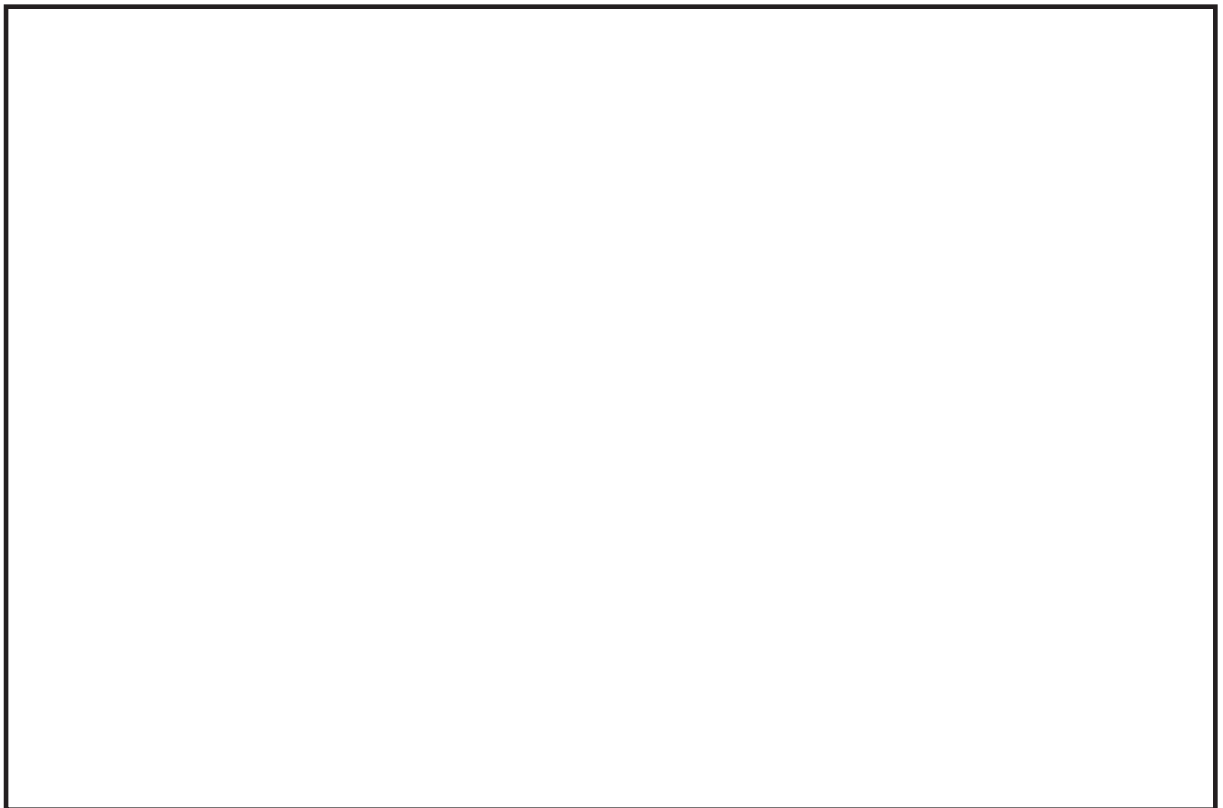


図-1 復水器細管軸方向断面の概略図

(2) 復水器細管軸直方向

復水器細管軸直方向断面の概略を図-2 に示す。



図-2 復水器細管軸直方向断面の概略図

2. 確認結果

図-1 及び図-2 に示すとおり、復水器細管軸方向及び軸直方向それぞれに対して、復水器とその周辺構造物の位置関係を踏まえた復水器水室フランジの変位量を算出した。また、算出結果に対して「C. 3次元 FEM 解析」による解析結果を考慮しても、復水器水室フランジの変位量は、許容変位 150mm を超えないことを確認した。