

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-015改16
提出年月日	2020年08月14日

工事計画に係る説明資料

(発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書)

2020年 8月

東京電力ホールディングス株式会社

補足説明資料目次

1. 溢水影響評価
 - 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
 - 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
 - 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 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 使用済燃料貯蔵プール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
 - 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 淡水貯水池の溢水による影響について
 - 8.5 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
 - 9.2 ケーブル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 浸水防護施設の止水性について
 - 9.6 蒸気防護カバーの耐蒸気性能について
 - 9.7 地下水排水設備について
 - 9.8 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
 - 9.9 床ドレンラインからの排水に期待する区画について
 - 9.10 流下開口を考慮した没水高さについて
 - 9.11 鉄筋コンクリート壁の水密性について
 - 9.12 経年劣化事象と保全内容
 - 9.13 エキスパンションジョイント止水板の性能について
 - 9.14 溢水流量算出式における損失係数の妥当性について
 - 9.15 水密扉の開閉状態の監視について
 - 9.16 床ドレンラインの応力評価について
 - 9.17 循環水系隔離システムの復水器水室出入口弁への地震時の悪影響について

: 今回説明範囲

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V-1-1-9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】

9.17 循環水系隔離システムの復水器水室出入口弁への地震時の悪影響について

目 次

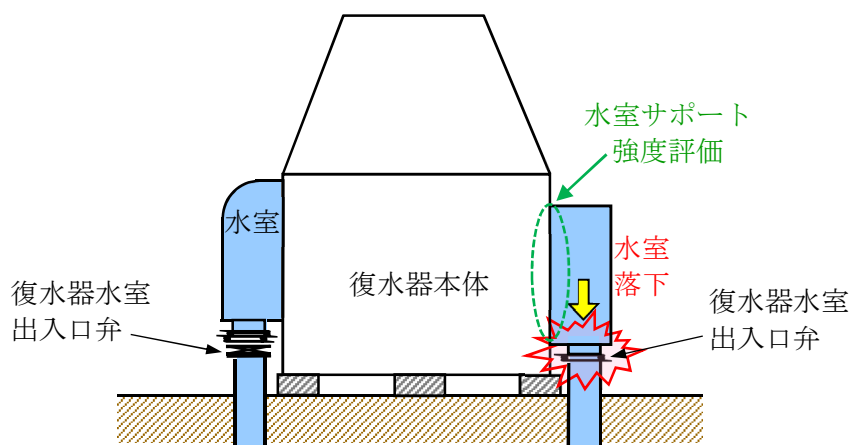
1. 概要
2. 復水器水室出入口弁への悪影響モード
- A. 復水器水室落下の影響評価**
 1. 復水器水室の取付構造と評価部位
 2. 復水器水室サポートの評価条件
 3. 復水器水室サポートの評価方法
 - (1) 水室サポートの許容応力
 - (2) 地震力が復水器細管軸方向に作用した場合
 - (3) 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合
 - (4) 地震力が鉛直方向に作用した場合
 - (5) 水室自重の作用
 - (6) 組合せ応力
 4. 評価結果
- B. 復水器本体移動による接触影響評価**
 1. 復水器基礎部の評価条件と許容応力
 2. 復水器基礎ずれ止め (No. VI, VIII) の評価方法
 - (1) 地震力に対するずれ止めの強度評価
 - (2) 本体胴側板側のずれ止め (2ヶ所) (地震力が復水器細管軸方向に働く場合)
 - (3) 底板と補強板の圧縮 (引張) 応力
 - (4) ずれ止め金具の曲げ応力
 - (5) I 形補強の圧縮 (引張) 応力
 - (6) すみ肉溶接の応力
 3. 復水器基礎 (No. VI, VIII) の評価方法
 - (1) ずれ止め金具
 - (2) ずれ止め金具のすみ肉溶接の応力
 - (3) コンクリートの圧縮応力 ((C) 部)
 - (4) 基礎ボルトの強度
 - (5) 基礎ボルトとコンクリートの付着力
 - (6) I 形鋼の曲げ応力
 - (7) I 形鋼取付溶接部の応力
 - (8) I 形鋼フランジ部の曲げの強さ
 - (9) 板の強度
 - (10) コンクリートの圧縮応力 ((K) 部)
 4. 復水器本体端板の評価方法
 5. 復水器基礎 (No. I ~IV) の評価方法
 - (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
 6. 復水器基礎のずれ止め基礎評価 (コーン破壊評価)
 - (1) ずれ止め基礎の配置と形状
 - (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
 7. 評価結果

1. 概要

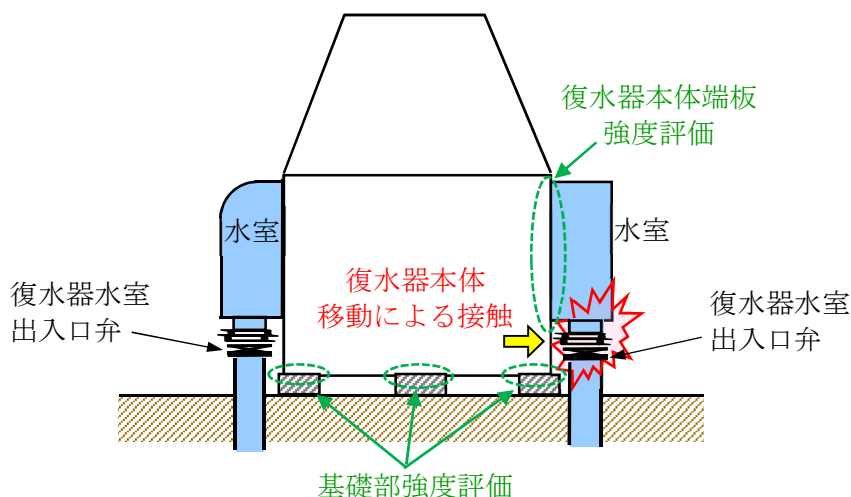
タービン建屋復水器エリアに配置する循環水系配管が、地震起因の破損時には海洋を溢水源とする溢水が発生する。この溢水量低減を目的として、当該エリアの漏えいを検知し、復水器水室出入口弁を自動閉止する循環水系隔離システムを設置している。当該弁は地震後に弁閉止機能が必要とすることから、地震時の周辺機器損傷からの悪影響を受けないよう評価を行う。

2. 復水器水室出入口弁への悪影響モード

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と、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が悪影響となる。なお、当該弁への悪影響イメージを第9.17-1図～第9.17-2図に示す。



第9.17-1図 地震時の復水器水室出入口弁への悪影響イメージ
(A. 復水器水室落下の影響)

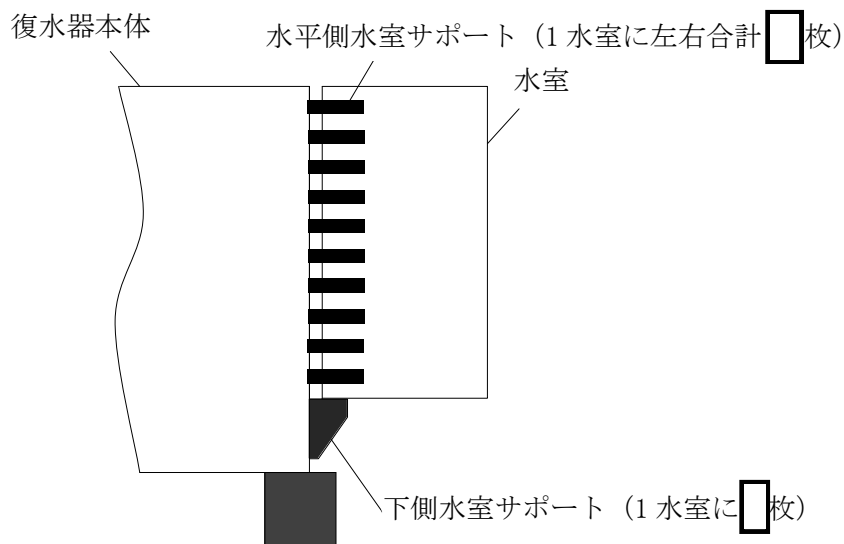


第9.17-2図 地震時の復水器水室出入口弁への悪影響イメージ
(B. 復水器本体移動による接触影響)

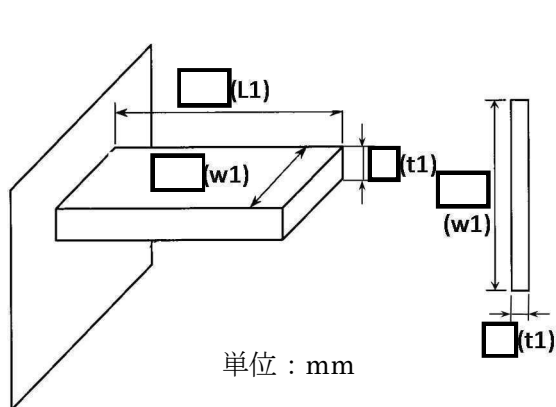
A. 復水器水室落下の影響評価

1. 復水器水室の取付構造と評価部位

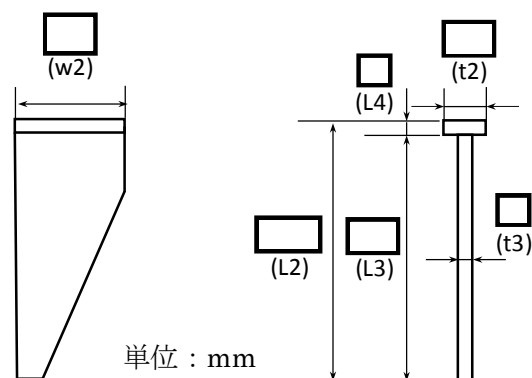
第9.17-3図に示すとおり，復水器水室を支持する水平側水室サポート，下側水室サポートを評価部位とする。なお，各サポート形状を第9.17-4図～第9.17-5図に示す。



第9.17-3図 水室サポート取付状況



第9.17-4図 水平側水室サポートの形状



第9.17-5図 下側水室サポートの形状

2. 復水器水室サポートの評価条件

復水器据付床面高さ（タービン建屋 T. M. S. L. -5100：基準床レベル）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の大きい方を選択し、水室サポート及び溶接部の強度評価を行う。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 S R S S にて組み合わせる。

第 9.17-1 表 強度評価条件

設計震度：床応答スペクトル水平方向	1.92
設計震度：床応答最大加速度の上下方向	0.89
復水器本体の固有周期（水平方向）	0.092 s

3. 復水器水室サポートの評価方法

(1) 水室サポートの許容応力

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。許容応力は第 9.17-2 表に示す。

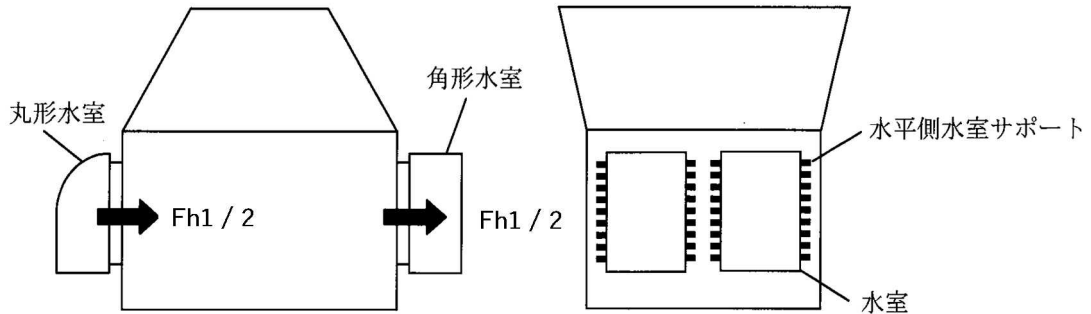
第 9.17-2 表 水室サポート 許容応力

	算出応力	応力 (S_s 評価)	適用式
水平側水室サポート 組合せ応力	σA ：引張	A クラス 第 1 種支持構造物	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
水平側水室サポート溶接部 組合せ応力	σB ：せん断	A クラス 第 1 種支持構造物	$f_s = 1.5 \times \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
下側水室サポート 組合せ応力	σC ：曲げ	A クラス 第 1 種支持構造物	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
下側水室サポート溶接部 組合せ応力	σD ：せん断	A クラス 第 1 種支持構造物	$f_s = 1.5 \times \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ $F = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

- JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物（引張，せん断）
- JSME SSB-3121.3

(2) 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）運転時重量が水平地震動により水室へあたえる水平力から、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。



第 9.17-6 図 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 CH, 復水器運転時管束重量を W1 とおくと, 復水器 1 基の管束水平力 Fh1 は,

$$Fh1 = CH \cdot W1$$

設計震度 (CH) = 1.92

復水器運転時管束重量 (W1) = kg

地震による水平力 (Fh1) = kg

復水器 1 基あたり 4 水室あり, 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 F1 は,

$$F1 = \frac{Fh1}{4 \times \text{枚数}}$$

=

=

水平側水室サポートが水平力F1を受ける断面積Aは,

$$A = t1 \cdot w1$$

=

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 σ_1 は,

$$\sigma_1 = \frac{F1}{A}$$

= = 61 MPa

また、水平側水室サポートの溶接線長さ $L5 (=w1 \times 2)$ 、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 $\sigma2$ は、

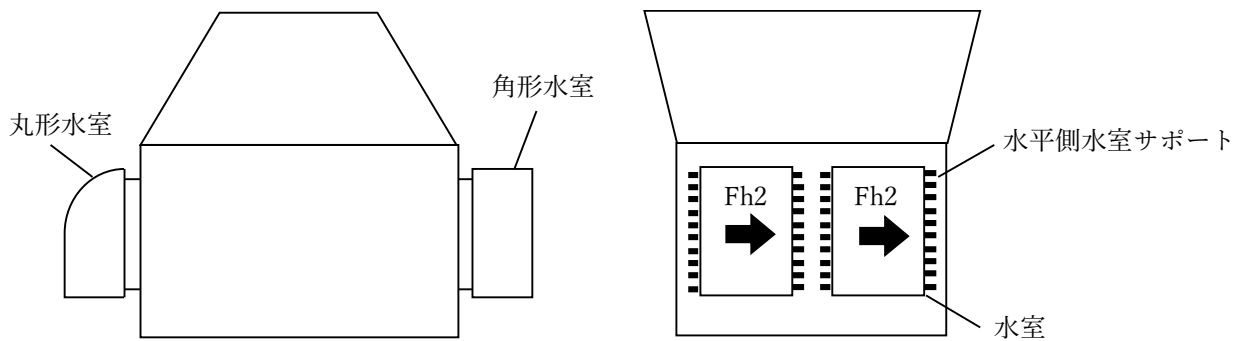
$$\sigma 2 = \frac{F1}{L5 \cdot \frac{X1}{\sqrt{2}}}$$

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

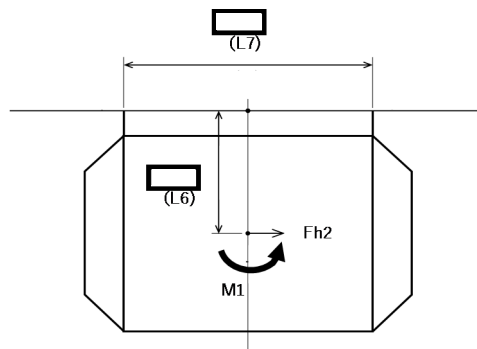
水平側水室サポート 1 枚あたりの引張応力 $\sigma 1$	61 (MPa)
水平側水室サポート 1 枚溶接部のせん断応力 $\sigma 2$	59 (MPa)

(3) 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平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。



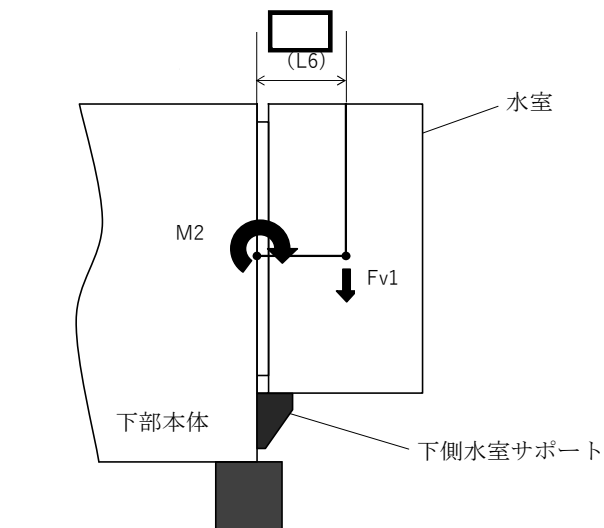
第 9.17-7 図 地震力が復水器細管軸直方向に作用した場合



第 9.17-8 図 水室上から見た図 (水平曲げモーメント)

(4) 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。



第 9.17-9 図 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水室あたりの重量 W_2 ，1水室あたりの鉛直力 F_{v1} は，

$$F_{v1} = C_v \cdot W_2$$

設計震度 (C_v) = 0.89

1水室あたりの運転時重量 (W_2) = kg

地震による鉛直力 (F_{v1}) = kg

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
水室にかかる曲げモーメント M_2 は，

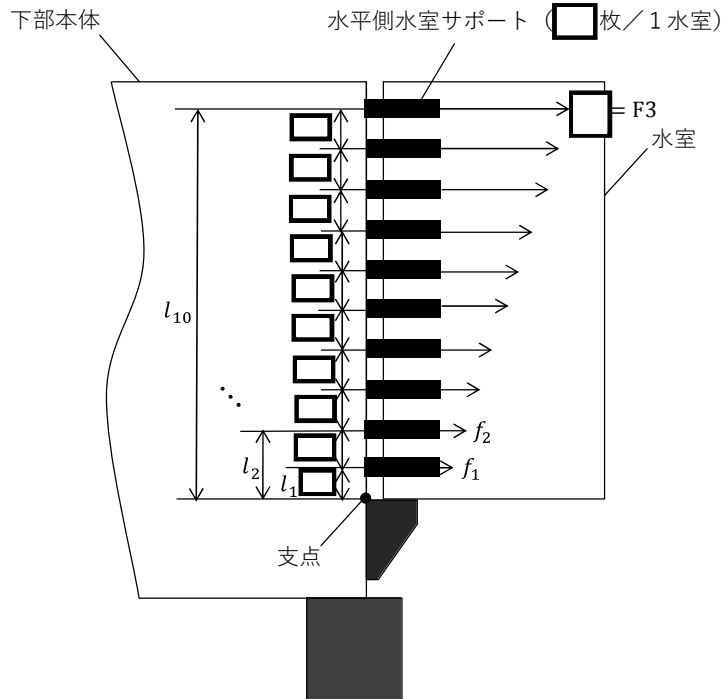
$$M_2 = F_{v1} \cdot L_6$$

=

ここで、水室に係る曲げモーメント $M2$ により、第 9.17-9 図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 $F3$ は、

$$M2 = \sum_{k=1} l_k \cdot f_k \cdot 2$$

$$F3 = \boxed{}$$



第 9.17-10 図 各水平側水室サポートにかかる水平力(鉛直曲げモーメント)

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 $\sigma5$ は、

$$\sigma5 = \frac{F3}{A}$$

$$= \boxed{} = 13 \text{ MPa}$$

水平側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 $\sigma6$ は、

$$\sigma6 = \frac{F3}{L5 \cdot \frac{X1}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 13 \text{ MPa}$$

水平側水室サポート 1 枚あたりの引張応力 $\sigma5$	13 (MPa)
水平側水室サポート 1 枚溶接部のせん断応力 $\sigma6$	13 (MPa)

b) 鉛直方向地震力（下向き）が下側水室サポートに作用した場合
 水室に鉛直地震動が作用した際の下側水室サポート付け根部に係る鉛直曲げモーメントから、
 下側水室サポートが受ける 1 枚あたりの曲げ応力と溶接部のせん断応力を算出。

1 水室あたり下側水室サポートが n 箇所あるため、下側水室サポートにかかる鉛直力 $F4$ は、

$$F4 = \frac{Fv1}{n}$$

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

$$= \text{[]}$$

下側水室サポート付け根部にかかる曲げモーメント $M3$ は、

$$M3 = F4 \cdot w2$$

$$= \text{[]}$$

断面係数 $Z2$ は第 9.17-5 図より、

$$Z2 = \min \left\{ \frac{I}{e_1}, \frac{I}{e_2} \right\}$$

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

$$e_1 = \text{[]}$$

$$e_2 = \text{[]}$$

$$Z2 = \min \left\{ \frac{I}{e_1}, \frac{I}{e_2} \right\}$$

$$= \text{[]}$$

下側水室サポートが鉛直地震力によりかかる曲げ応力 σ_7 は,

$$\sigma_7 = \frac{M3}{Z2}$$
$$= \boxed{} = 42 \text{ MPa}$$

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_8 は,

$$\sigma_8 = \frac{F4}{L8 \cdot \frac{X2}{\sqrt{2}}}$$
$$\sigma_8 = \boxed{} = 39 \text{ MPa}$$

下側水室サポート 1 枚あたりの曲げ応力 σ_7	42 (MPa)
下側水室サポート 1 枚溶接部のせん断応力 σ_8	39 (MPa)

(5) 水室自重の作用

1 水室あたりの自重による鉛直力 $Fv2$ は,

$$1 \text{ 水室あたりの運転時重量 (W2)} = \boxed{} \text{ kg}$$
$$\text{自重による鉛直力 (Fv2)} = \boxed{} \text{ kN}$$

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,

$$M4 = Fv2 \cdot L6$$
$$= \boxed{}$$

ここで、(4)項と同様に水室に係る曲げモーメント $M4$ により、第 9.17-10 図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 $F5$ は,

$$F5 = \boxed{}$$

水平側水室サポートが自重によりかかる引張応力 σ_9 は,

$$\sigma_9 = \frac{F5}{A}$$
$$= \boxed{} = 15 \text{ MPa}$$

水平側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 σ_{10} は、

$$\sigma_{10} = \frac{F5}{L5 \cdot \frac{X1}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 15 \text{ MPa}$$

水平側水室サポート 1 枚あたりに自重の作用する引張応力 σ_9	15 (MPa)
水平側水室サポート 1 枚溶接部に自重の作用するせん断応力 σ_{10}	15 (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 $\boxed{}$ 箇所あるため下側水室サポートにかかる鉛直力 $F6$ は、

$$F6 = \frac{Fv2}{\boxed{}}$$

$$= \boxed{}$$

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、

$$M5 = F6 \cdot w2$$

$$= \boxed{}$$

下側水室サポートが自重によりかかる曲げ応力 σ_{11} は、

$$\sigma_{11} = \frac{M5}{Z2}$$

$$= \boxed{} = 48 \text{ MPa}$$

下側水室サポートのすみ肉溶接部の応力 σ_{12} は、

$$\sigma_{12} = \frac{F6}{L8 \cdot \frac{X2}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 44 \text{ MPa}$$

下側水室サポート 1 枚あたりに自重の作用する曲げ応力 σ_{11}	48 (MPa)
下側水室サポート 1 枚溶接部に自重の作用するせん断応力 σ_{12}	44 (MPa)

(6) 組合せ応力

(2)～(5)より水平側水室サポート／すみ肉溶接部にかかる組合せ応力，下側水室サポート／すみ肉溶接部にかかる組合せ応力は，以下に示す通り。

<水平側水室サポートにかかる組合せ応力 σA >

$$\begin{aligned}\sigma A &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + \sigma_5^2 + \sigma_9} \\ &= \sqrt{61^2 + 22^2 + 13^2 + 15} = 82 \text{ MPa}\end{aligned}$$

<水平側水室サポートすみ肉溶接部にかかる組合せ応力 σB >

$$\begin{aligned}\sigma B &= \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_4^2 + \sigma_6^2 + \sigma_{10}} \\ &= \sqrt{59^2 + 21^2 + 13^2 + 15} = 79 \text{ MPa}\end{aligned}$$

<下側水室サポートにかかる組合せ応力 σC >

$$\begin{aligned}\sigma C &= \sigma_7 + \sigma_{11} \\ &= 42 + 48 = 90 \text{ MPa}\end{aligned}$$

<下側水室サポートすみ肉溶接部にかかる組合せ応力 σD >

$$\begin{aligned}\sigma D &= \sigma_8 + \sigma_{12} \\ &= 39 + 44 = 83 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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悪影響を及ぼさないことを確認した。

第 9.17-3 表 水室サポートにかかる応力

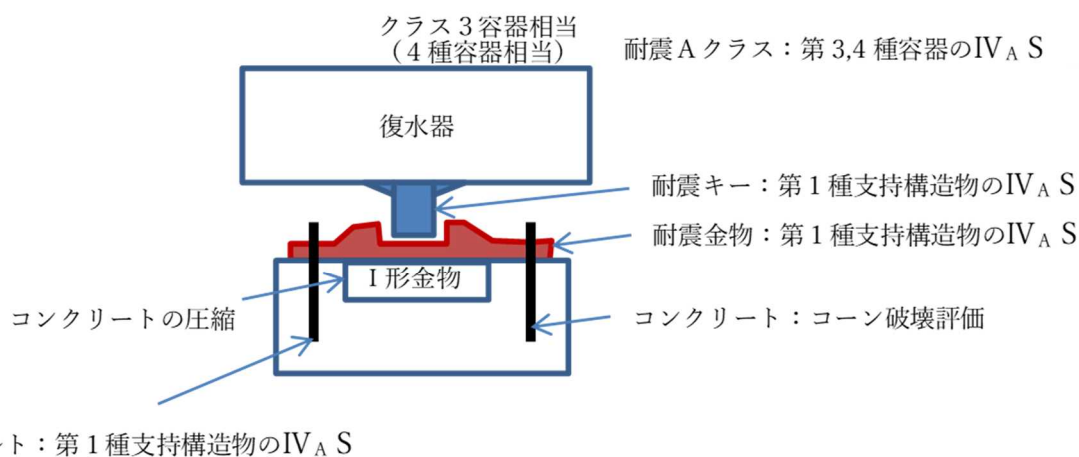
評価部位		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	材質	最高 使用 温度 (°C)
水平側水室サポート 組合せ応力	σA : 引張	82	270	SS400	66
水平側水室サポート溶接部 組合せ応力	σB : せん断	79	155	SS400 相当	66
下側水室サポート 組合せ応力	σC : 曲げ	90	270	SS400	66
下側水室サポート溶接部 組合せ応力	σD : せん断	83	155	SS400 相当	66

B. 復水器本体移動による接触影響評価

1. 復水器基礎部の評価条件と許容応力

復水器基礎部の評価条件を以下に示す。なお、各評価部位は第 9.17-11 図に、許容応力については第 9.17-4 表～第 9.17-8 表に示す。

- ・復水器は耐震Bクラス設計のため、基準地震動 S_s での耐震評価手法はAクラスを準用する。
- ・JEAG4601-補 1984 許容応力編 に従う。
- ・復水器本体は、耐震Aクラスの第3,4種容器の許容応力の $IV_A S$ とする。
- ・耐震キー、耐震金物、基礎ボルトは、第1種支持構造物の許容応力の $IV_A S$ とする。
- ・コンクリートの圧縮の許容応力は $IV_A S$ とする。



第 9.17-11 図 各評価部位の許容応力

第 9.17-4 表 許容応力算出式 (一般)

	Aクラス ($IV_A S$)	
	第3,4種容器	第1種支持構造物
	1次膜応力+1次曲げ応力	引張, 曲げ
JEAG4601 補 1984 (旧告示)	0.9Su	$f_t = 1.5 \times \frac{F}{1.5} \text{ (引張)}$ $f_b = 1.5 \times \frac{F}{1.3} \text{ (曲げ (面外))}$ $F = \text{MIN}(1.2S_y, 0.7S_u)$

第 9.17-5 表 復水器基礎（ずれ止め金具 No. VI, VIII）許容応力

評価部位	算出応力	応力 (Ss 評価)	適用式	出典根拠
底板と補強板 (圧縮)	σ_{21}	A クラス 第 1 種支持構造物 引張	$ft = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	・ JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物 (引張, せん断, 曲げ(面外))
ずれ止め金具 (曲げ)	σ_{22}	A クラス 第 1 種支持構造物 曲げ (面外)	$fb = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	・ JSME SSB-3121.3
I 形補強 (圧縮)	σ_{23}	A クラス 第 1 種支持構造物 引張	$ft = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	
すみ肉溶接 (応力)	MAX ($\sigma_{24}, 25$)	A クラス 第 1 種支持構造物 せん断	$fs = 1.5 \times \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	

第 9.17-6 表 復水器基礎 許容応力<1/2>

評価部位	算出応力	応力 (Ss 評価)	適用式	出典根拠
ずれ止め金具 (圧縮)	σ_{31}	A クラス 第 1 種支持構造物 引張	$ft = 1.5 \times \frac{F}{1.5}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	・ JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物 (引張, せん断)
ずれ止め金具の すみ肉溶接 (せん断)	σ_{32}	A クラス 第 1 種支持構造物 せん断	$fs = 1.5 \times \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	・ JSME SSB-3121.3
コンクリート (圧縮) (C部)	σ_{33}	埋設金物コンクリ ート部の 許容応力度IV _A S	0.75Fc	・ JEAG4601 補 1984 2.9.4 a 表 2.9-1 IV _A S
基礎ボルト (引張)	σ_{34}	A クラス 第 1 種支持構造物 ボルト材許容応力	$ft = 1.5 \times \frac{F}{2}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	・ JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物 (ボルト等) ・ JSME SSB-3133
基礎ボルトと コンクリートの (付着)	σ_{35}	—	—	—
I 形鋼 (曲げ)	σ_{36}	A クラス 第 1 種支持構造物 曲げ (面外)	$fb = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	・ JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物 (曲げ (面外)) ・ JSME SSB-3121.3
I 形鋼 取付すみ肉溶接 (せん断)	σ_{37}	A クラス 第 1 種支持構造物 せん断	$fs = 1.5 \times \frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	・ JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物 (せん断) ・ JSME SSB-3121.3

第 9.17-6 表 復水器基礎 許容応力<2/2>

評価部位	算出応力	応力 (Ss 評価)	適用式	出典根拠
I 形鋼フランジ部 (曲げ)	$\sigma 38$	A クラス 第 1 種支持構造物 曲げ (面外)	$fb = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	<ul style="list-style-type: none"> • JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物 (曲げ (面外)) • JSME SSB-3121.3
板 (曲げ)	$\sigma 39$	A クラス 第 1 種支持構造物 曲げ (面外)	$fb = 1.5 \times \frac{F}{1.3}$ $F = \min(1.2Sy, 0.7Su)$	<ul style="list-style-type: none"> • JEAG4601 補 1984 2.8.1 第 1 種支持構造物 (曲げ (面外)) • JSME SSB-3121.3
コンクリート (圧縮) (K部)	$\sigma 40$	埋設金物コンクリート部の 許容応力度IV _A S	$0.75Fc$	<ul style="list-style-type: none"> • JEAG4601 補 1984 2.9.4 a 表 2.9-1 IV_AS

第 9.17-7 表 復水器本体端板 許容応力

評価部位	算出応力	応力 (Ss 評価)	適用式	出典根拠
端板 (曲げ)	$\sigma 51$	A クラス 第 4 種容器相当 1 次膜応力+1 次曲げ応力	$0.9Su$	<ul style="list-style-type: none"> • JEAG4601 補 1984 2.1.3 第 3, 4 種容器 1 次膜応力+1 次曲げ応力

第 9.17-8 表 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 (Ss 評価)	適用式	出典根拠
基礎コンクリート (圧縮)	$\sigma 61$	埋設金物コンクリート部の 許容応力度IV _A S	$0.75Fc$	<ul style="list-style-type: none"> • JEAG4601 補 1984 2.9.4 a 表 2.9-1 IV_AS

第 9.17-9 表 復水器ずれ止め基礎コンクリート (No. VI, VIII) コーン破壊 許容応力

評価部位	算出応力	応力 (Ss 評価)	適用式	出典根拠
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	$P \leq Pa = \min(Pa1, Pa2)$ $Pa1 = K1 \times Ac1 \times \sqrt{Fc}$ $Pa2 = K2 \times \alpha \times A0 \times Fc$	<ul style="list-style-type: none"> • JEAG4601 追補 1991 2.2.1(1)

2. 復水器基礎（ずれ止め No. VI, VIII）の評価方法

(1) 地震力に対するずれ止めの強度評価

設計震度(水平方向)を CH, 運転時全重量を W_0 とおくと, 地震による水平力 F_0 は,

$$F_0 = CH \cdot W_0$$

$$\text{設計震度 (CH)} = 1.92$$

$$\text{運転時全重量 (} W_0 \text{)} = 1846 \times 10^3 \text{ kg}$$

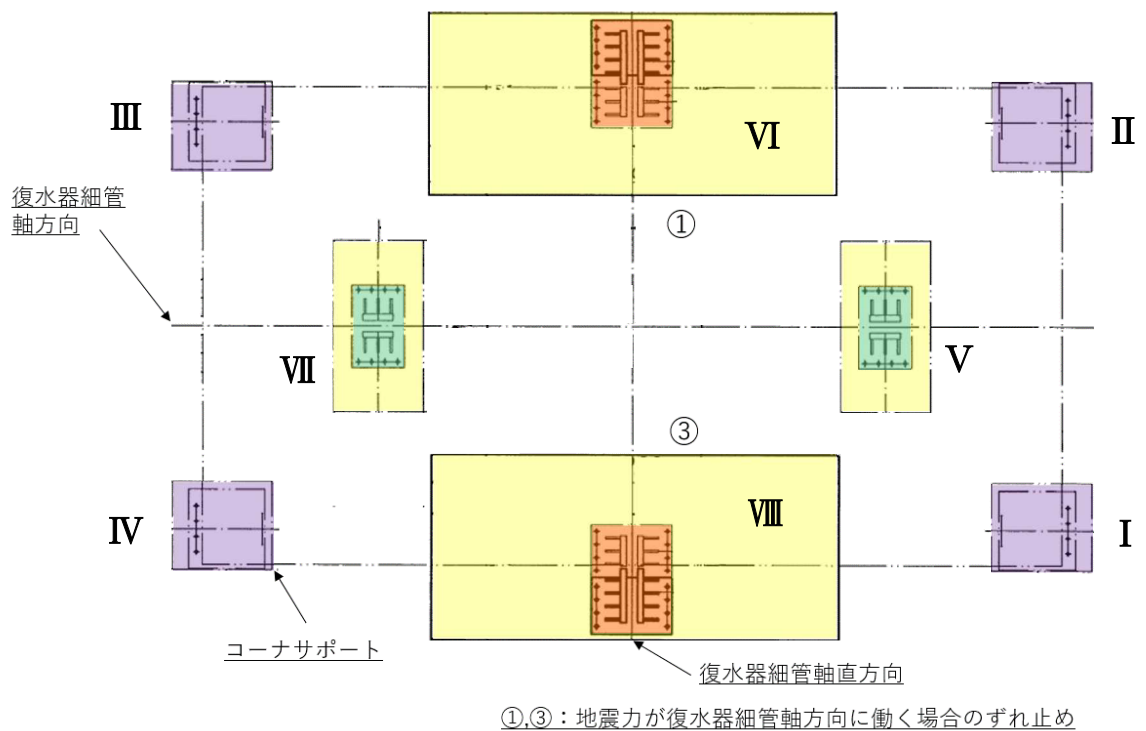
$$\text{地震による水平力 (} F_0 \text{)} = 3544.32 \times 10^3 \text{ kg}$$

復水器細管軸直角方向中心線にあるずれ止め中心振分けの位置は, 第 9.17-12 図の①③に示す。ずれ止め 1 個あたりの水平力 F は,

$$F = \frac{F_0}{2}$$

$$F = 3544.32 \times 10^3 \times \frac{1}{2}$$

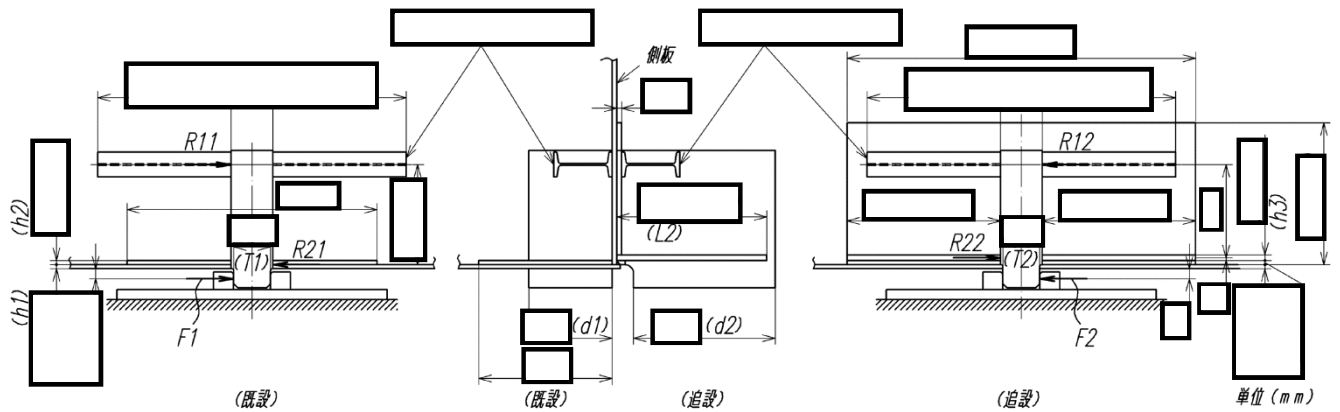
$$= 1772.16 \times 10^3 \text{ kg} = 17379 \text{ kN}$$



- | | |
|--|--|
| 復水器基礎 (水平方向拘束) | ずれ止め (細管軸方向拘束) |
| 復水器基礎 (鉛直方向拘束) | ずれ止め (細管軸直方向拘束) |

第 9.17-12 図 復水器基礎／ずれ止め配置図

(2) 本体胴側板側のずれ止め (2ヶ所) (地震力が復水器細管軸方向に働く場合)



第 9.17-13 図 ずれ止め金具断面図

第 9.17-13 図より、地震によるずれ止め 1 個あたりの水平力 F は、 $d1+d2$ の長さのずれ止め金具に等分布荷重として作用する。既設ずれ止め金具の長さを $d1$ (mm)、追設ずれ止め金具の長さを $d2$ (mm) とした場合、水平力 F は ($d1 : d2$) の比で分散される。

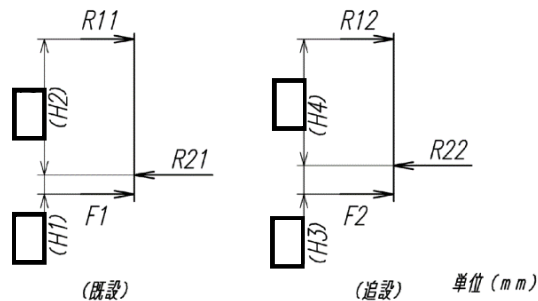
よって、既設ずれ止め金具にかかる水平力 $F1$ 、追設ずれ止め金具にかかる水平力 $F2$ は、

$$F1 = F \cdot \frac{d1}{d1 + d2}$$

$$=$$

$$F2 = F \cdot \frac{d2}{d1 + d2}$$

$$=$$



第 9.17-14 図 ずれ止め金具のモーメントつり合い図

第 9. 17-14 図より、ずれ止め金具のモーメントつり合いから、
既設ずれ止め金具にかかる反力 R11, R21 は、

$$R11 = F1 \cdot \frac{H1}{H2}$$

$$= \boxed{}$$

$$R21 = F1 + R11$$

$$= \boxed{}$$

追設ずれ止め金具にかかる反力 R12, R22 は、

$$R12 = F2 \cdot \frac{H3}{H4}$$

$$= \boxed{}$$

$$R22 = F2 + R12$$

$$= \boxed{}$$

(3) 底板と補強板の圧縮（引張）応力

第 9. 17-13 図より、底板の厚さ h1, 既設補強板の厚さ h2, 既設補強板の有効長さ L1 とすると、底板と既設補強板の圧縮（引張）応力 σ_{21} は、

$$\sigma_{21} = \frac{R21}{(h1 + h2) \cdot L1 \cdot 2}$$

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

また、追設補強板の厚さ h3, 追設補強板の有効長さ L2 とすると、追設補強板の圧縮（引張）応力 σ_{21}' は、

$$\sigma_{21}' = \frac{R22}{h3 \cdot L2 \cdot 2}$$

$$= \boxed{} = 233 \text{ MPa}$$

既設補強板の圧縮（引張）応力 σ_{21}	147 (MPa)
追設補強板の圧縮（引張）応力 σ_{21}'	233 (MPa)

(4) ずれ止め金具の曲げ応力

第 9.17-14 図より, 既設ずれ止め金具, 追設ずれ止め金具にかかる曲げモーメント M_1 , M_2 はそれぞれ,

$$M_1 = R_{21} \cdot H_1$$
$$= \boxed{}$$

$$M_2 = R_{22} \cdot H_3$$
$$= \boxed{}$$

断面係数 Z_1 , Z_2 はそれぞれ,

$$Z_1 = \frac{d_1 \cdot T_1^2}{6}$$
$$= \boxed{}$$

$$Z_2 = \frac{d_2 \cdot T_2^2}{6}$$
$$= \boxed{}$$

このとき, T_1 , T_2 はそれぞれ既設ずれ止め金具, 追設ずれ止め金具の厚さである。
以上より, 既設ずれ止め金具, 追設ずれ止め金具の曲げ応力 σ_{24} , σ_{24}' はそれぞれ,

$$\sigma_{22} = \frac{M_1}{Z_1}$$
$$= \boxed{} = 155 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{22}' = \frac{M_2}{Z_2}$$
$$= \boxed{} = 247 \text{ MPa}$$

既設ずれ止め金具の曲げ応力 σ_{22}	155 (MPa)
追設ずれ止め金具の曲げ応力 σ_{22}'	247 (MPa)

(5) I 形補強の圧縮（引張）応力

既設 I 形補強，追設 I 形補強の断面積をそれぞれ A1, A2 をすると，既設 I 形補強，追設 I 形補強の圧縮（引張）応力 σ_{23} ， σ_{23}' はそれぞれ，

$$\sigma_{23} = \frac{R11}{A1 \cdot 2}$$
$$= \boxed{} = 41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{23}' = \frac{R12}{A2 \cdot 2}$$
$$= \boxed{} = 111 \text{ MPa}$$

既設 I 形補強の圧縮（引張）応力 σ_{23}	41 (MPa)
追設 I 形補強の圧縮（引張）応力 σ_{23}'	111 (MPa)

(6) すみ肉溶接の応力

① I 形補強から側板（既設）または当板（追設）への力の伝達によるすみ肉溶接の応力

既設 I 形補強と側板のすみ肉溶接長さを L3，すみ肉溶接脚長 X1，追設 I 形補強と当板のすみ肉溶接長さ L4，すみ肉溶接脚長 X2 とすると，既設 I 形補強から側板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 σ_{24} は，

$$\sigma_{24} = \frac{R11}{\frac{L3 \cdot X1}{\sqrt{2}}}$$
$$= \boxed{} = 34 \text{ MPa}$$

追設 I 形補強から当板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 σ_{24}' は，

$$\sigma_{24}' = \frac{R12}{\frac{L4 \cdot X2}{\sqrt{2}}}$$
$$= \boxed{} = 122 \text{ MPa}$$

既設 I 形補強すみ肉溶接の応力 σ_{24}	34 (MPa)
追設 I 形補強すみ肉溶接の応力 σ_{24}'	122 (MPa)

② 補強板から底板（既設）または側板（追設）への力の伝達によるすみ肉溶接の応力

既設補強板と底板のすみ肉溶接長さ L5, すみ肉溶接脚長 X3, 追設補強板と側板のすみ肉溶接長さ L6, すみ肉溶接脚長 X4 とすると, 既設補強板から底板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 σ_{25} は,

$$\sigma_{25} = \frac{R21}{\frac{L5 \cdot X3}{\sqrt{2}}}$$

= = 135 MPa

追設補強板から側板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 σ_{25}' は,

$$\sigma_{25}' = \frac{R22}{\frac{L6 \cdot X4}{\sqrt{2}}}$$

= = 138 MPa



第 9.17-15 図 すみ肉溶接断面図

既設補強板から底板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 σ_{25}	135 (MPa)
追設補強板から側板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 σ_{25}'	138 (MPa)

③ 当板（追設）から側板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力

反力 (R22) は当板から側板へ分散されるため反力 (R22) の 1/2 を受ける。すみ肉溶接長さ L7, すみ肉溶接脚長 X5 とすると, 当板（追設）から側板への力の伝達によるすみ肉溶接の応力 σ_{25}'' は,

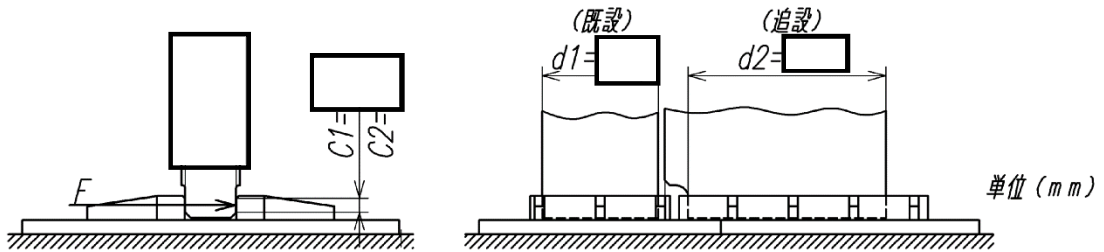
$$\sigma_{25}'' = \frac{\frac{R22}{2}}{\frac{L7 \cdot X5}{\sqrt{2}}}$$

= = 90 MPa

3. 復水器基礎の評価方法

地震力が復水器細管軸方向に働く場合の復水器基礎（ずれ止め金具）改造の強度評価を実施する。細管軸方向の地震力水平 1.92，耐震基礎に働く地震力 F は 2. (1) 項より F =

(1) ずれ止め金具



第 9.17-16 図 ずれ止め金具寸法（側面図）

復水器基礎に働く地震力 F はずれ止め金具の長さ（d1 : d2）の比で分散される。

既設基礎，追設基礎に働く地震力 F1，F2 はそれぞれ，

$$F1 = F \cdot \frac{d1}{d1 + d2}$$

$$= \text{$$

$$F2 = F \cdot \frac{d2}{d1 + d2}$$

$$= \text{$$

第 9.17-16 図より，既設基礎，追設基礎に働く地震力による圧縮応力 σ_{31} ， σ_{31}' はそれぞれ，

$$\sigma_{31} = \frac{F1}{c1 \cdot d1}$$

$$= \text{$$
 = 215 MPa

$$\sigma_{31}' = \frac{F2}{c2 \cdot d2}$$

$$= \text{$$
 = 215 MPa

既設基礎に働く地震力による圧縮応力 σ_{31}	215 (MPa)
追設基礎に働く地震力による圧縮応力 σ_{31}'	215 (MPa)

(2) ずれ止め金具のすみ肉溶接の応力



第 9.17-17 図 ずれ止め金具寸法 (平面図)

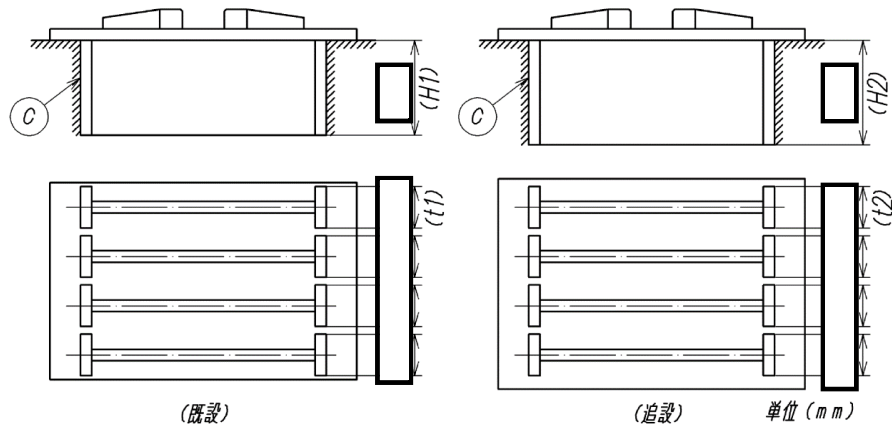
第 9.17-17 図より, 既設ずれ止め金具のすみ肉溶接長さ L1, すみ肉溶接脚長 X1, 追設ずれ止め金具のすみ肉溶接長さ L2, すみ肉溶接脚長 X2 とすると, すみ肉溶接せん断応力 σ_{32} は,

$$\sigma_{32} = \frac{F}{\frac{L1 \cdot X1}{\sqrt{2}} + \frac{L2 \cdot X2}{\sqrt{2}}}$$

= = 125 MPa

すみ肉溶接せん断応力 σ_{32}	125 (MPa)
--------------------------	-----------

(3) コンクリートの圧縮応力 ((C)部)



第 9.17-18 図 I 形鋼寸法 (断面図/平面図)

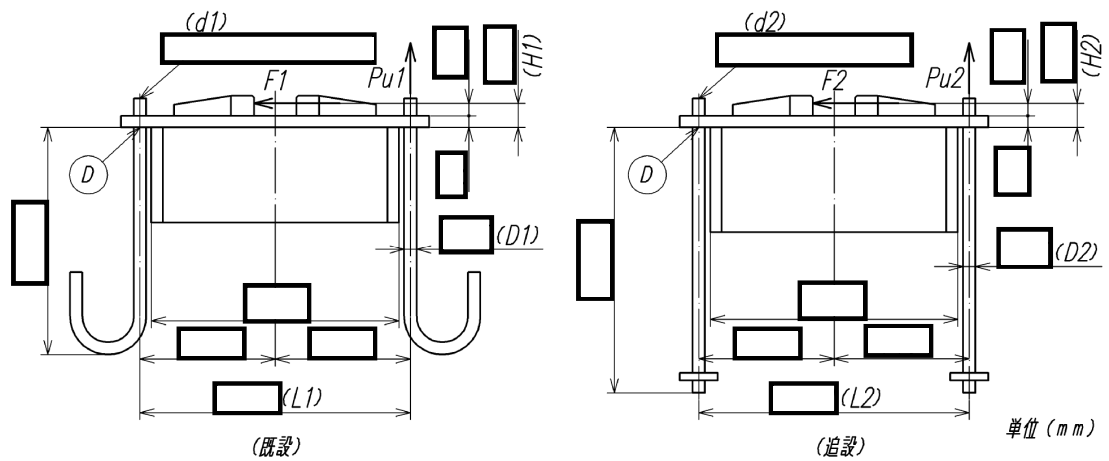
第 9.17-18 図より, 既設 I 形鋼の数量 A1, 高さ H1, 幅 t1, 追設 I 形鋼の数量 A2, 高さ H2, 幅 t2 とすると, コンクリートに働く圧縮応力 σ_{33} は,

$$\sigma_{33} = \frac{F}{A1 \cdot H1 \cdot t1 + A2 \cdot H2 \cdot t2}$$

= = 19 MPa

コンクリートに働く圧縮応力 σ_{33}	19 (MPa)
-----------------------------	----------

(4) 基礎ボルトの強度



第 9.17-19 図 基礎ボルト埋込断面図

第 9.17-19 図より、既設 I 形鋼の (D) 点高さ H1、基礎ボルト間距離 L1、基礎ボルト呼び径 d1、基礎ボルト数量 B1 とする。

また、追設 I 形鋼の (D) 点高さ H2、基礎ボルト間距離 L2、基礎ボルト呼び径 d2、基礎ボルト数量 B2 とする。

既設 I 形鋼、追設 I 形鋼 (D) 点回りに働くモーメントはそれぞれ、

$$M1 = F1 \cdot H1$$

$$= \boxed{}$$

$$M2 = F2 \cdot H2$$

$$= \boxed{}$$

既設基礎ボルト、追設基礎ボルトに働く力 Pu1、Pu2 はそれぞれ、

$$Pu1 = \frac{M1}{L1}$$

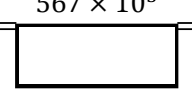
$$= \boxed{} \text{ 567 kN}$$

$$Pu2 = \frac{M2}{L2}$$

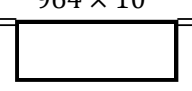
$$= \boxed{} = 964 \text{ kN}$$

以上より、基礎ボルトに働く引張応力 σ_{34} 、 σ_{34}' はそれぞれ、

$$\sigma_{34} = \frac{Pu1}{\frac{\pi}{4} \cdot d1^2 \cdot B1}$$

$$\frac{567 \times 10^3}{\quad} = 44 \text{ MPa}$$


$$\sigma_{34}' = \frac{Pu2}{\frac{\pi}{4} \cdot d2^2 \cdot B2}$$

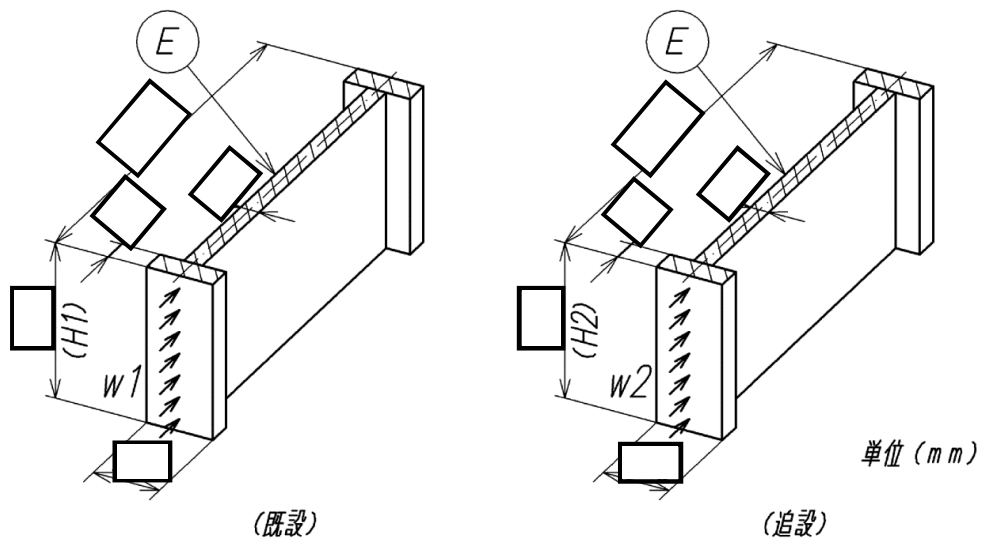
$$\frac{964 \times 10^3}{\quad} = 75 \text{ MPa}$$


既設基礎ボルトに働く引張応力 σ_{34}	44 (MPa)
追設基礎ボルトに働く引張応力 σ_{34}'	75 (MPa)

(5) 基礎ボルトとコンクリートの付着力

後段で示す、6. 項 復水器基礎のずれ止め基礎評価（コーン破壊評価）にて行う。

(6) I 形鋼の曲げ応力



第 9.17-20 図 I 形鋼寸法

既設 I 形鋼，追設 I 形鋼にかかる地震力 F_1 ， F_2 は(1)項の式により求める。

第 9.17-20 図より既設 I 形鋼の数量 A_1 ，高さ H_1 とし，追設 I 形鋼の数量 A_2 ，高さ H_2 とする。

既設 I 形鋼，追設 I 形鋼の等分布荷重 w_1 ， w_2 はそれぞれ，

$$w_1 = \frac{F_1}{A_1 \cdot H_1}$$

$$=$$

$$w_2 = \frac{F_2}{A_2 \cdot H_2}$$

$$=$$

既設 I 形鋼，追設 I 形鋼つけ根部 \textcircled{E} におけるモーメント M_1 ， M_2 はそれぞれ，

$$M_1 = w_1 \cdot \frac{H_1^2}{2}$$

$$=$$

$$M_2 = w_2 \cdot \frac{H_2^2}{2}$$

$$=$$

既設 I 形鋼，追設 I 形鋼の断面係数をそれぞれ Z1，Z2 とすると，既設 I 形鋼，追設 I 形鋼の曲げ応力 σ_{36} ， σ_{36}' はそれぞれ，

$$\sigma_{36} = \frac{M1}{Z1}$$

$$= \boxed{} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{36}' = \frac{M2}{Z2}$$

$$= \boxed{} = 27 \text{ MPa}$$

既設 I 形鋼の曲げ応力 σ_{36}	15 (MPa)
追設 I 形鋼の曲げ応力 σ_{36}'	27 (MPa)

(7) I 形鋼取付溶接部の応力

既設 I 形鋼，追設 I 形鋼にかかる地震力 F1，F2 は(1)項の式により求める。

既設 I 形鋼の数量 A1，溶接線長さ L1，溶接脚長 X1 とし，追設 I 形鋼の数量 A2，溶接線長さ L2，溶接脚長 X2 とすると，既設 I 形鋼，追設 I 形鋼にかかる荷重 W1，W2 はそれぞれ，

$$W1 = \frac{F1}{A1}$$

$$= \boxed{}$$

$$W2 = \frac{F2}{A2}$$

$$= \boxed{}$$

既設 I 形鋼，追設 I 形鋼のすみ肉溶接部の応力 σ_{37} ， σ_{37}' はそれぞれ，

$$\sigma_{37} = \frac{W1}{L1 \cdot \frac{X1}{\sqrt{2}}}$$

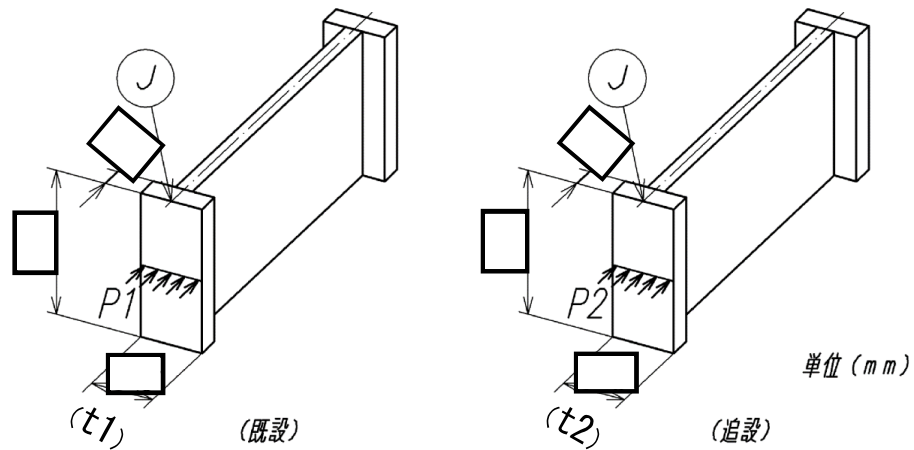
$$= \boxed{} = 28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{37}' = \frac{W2}{L2 \cdot \frac{X2}{\sqrt{2}}}$$

$$= \boxed{} = 77 \text{ MPa}$$

既設 I 形鋼のすみ肉溶接部の応力 σ_{37}	28 (MPa)
追設 I 形鋼のすみ肉溶接部の応力 σ_{37}'	77 (MPa)

(8) I 形鋼フランジ部の曲げの強さ



第 9.17-21 図 I 形鋼寸法

既設 I 形鋼，追設 I 形鋼の等分布荷重 w_1 ， w_2 は(6)項にて算出する。
 第 9.17-21 図より，既設 I 形鋼，追設 I 形鋼の幅をそれぞれ t_1 ， t_2 とすると，単位面積に働く荷重 P_1 ， P_2 はそれぞれ，

$$P_1 = \frac{w_1}{t_1}$$

=

$$P_2 = \frac{w_2}{t_2}$$

=

既設フランジ，追設フランジ 付け根部 (J) における曲げモーメント M_1 ， M_2 は，

$$M_1 = \frac{P_1}{2} \cdot \left(\frac{t_1}{2}\right)^2$$

=

$$M_2 = \frac{P_2}{2} \cdot \left(\frac{t_2}{2}\right)^2$$

=

既設フランジ，追設フランジの断面係数をそれぞれ Z1，Z2 とすると，既設フランジ，追設フランジの曲げ応力 σ_{38} ， σ_{38}' はそれぞれ，

$$\sigma_{38} = \frac{M1}{Z1}$$

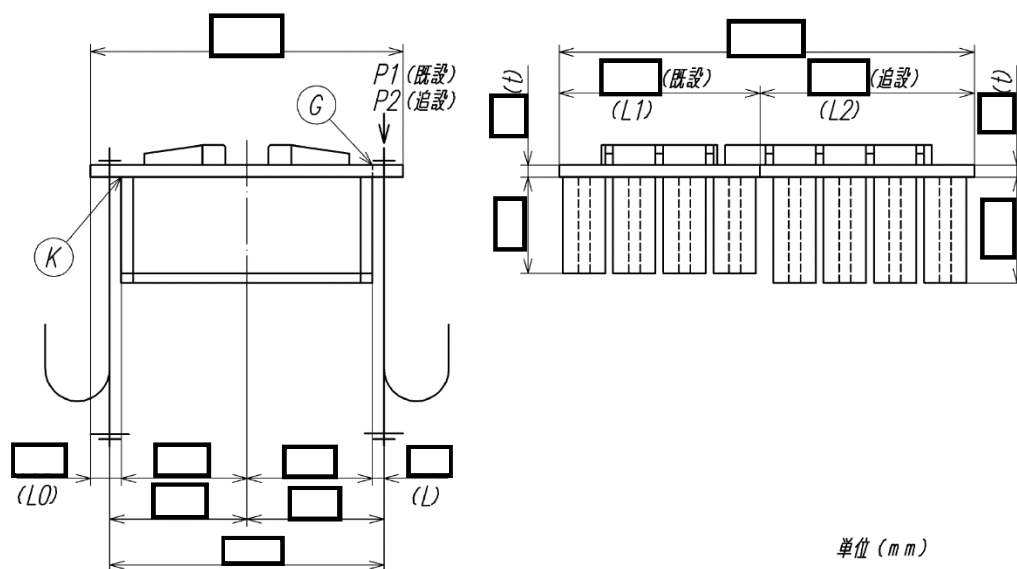
$$= \boxed{} \quad 148 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{38}' = \frac{M2}{Z2}$$

$$= \boxed{} = 228 \text{ MPa}$$

既設フランジの曲げ応力 σ_{38}	148 (MPa)
追設フランジの曲げ応力 σ_{38}'	228 (MPa)

(9) 板の強度



第 9.17-22 図 板寸法

基礎ボルトに働く力 P1，P2 は(4)項にて算出した Pu1，Pu2 である。

第 9.17-22 図より，既設板，追設板共に板の厚さ t とすると，既設，追設板のⒺにおける曲げモーメントはそれぞれ，

$$M1 = P1 \cdot L \quad (P1 = Pu1)$$

$$= 567 \times \boxed{} = \boxed{}$$

$$M2 = P2 \cdot L \quad (P2 = Pu2)$$

$$= 964 \times \boxed{} = \boxed{}$$

既設板，追設板の長さを L1，L2，Ⓔにおける断面係数を Z とすると，

$$\sigma_{39} = \frac{M1 + M2}{Z}$$

$$= \boxed{} = 72 \text{ MPa}$$

断面Ⓔにおける曲げ応力 σ_{39} は，

$$Z = \frac{1}{6} \cdot (L1 + L2) \cdot t^2$$

$$= \boxed{}$$

断面Ⓔにおける曲げ応力 σ_{39}	72 (MPa)
---------------------------	----------

(10) コンクリートの圧縮応力 (Ⓕ部)

圧縮力＝基礎ボルトに働く力 P1，P2 である。

第 9.17-22 図よりⒻ点から板端の距離を L0，既設，追設板の長さをそれぞれ L1，L2 とすると，Ⓕ部受圧面積は，

$$A = L0 \cdot (L1 + L2)$$

$$= \boxed{}$$

コンクリートの圧縮応力 σ_{40} は，

$$\sigma_{40} = \frac{P1 + P2}{A}$$

$$= \boxed{} = 5 \text{ MPa}$$

コンクリートの圧縮応力 σ_{40}	5 (MPa)
---------------------------	---------

4. 復水器本体端板の評価

水室と内部補強間の端板強度を評価部位とする。

設計震度(水平方向)を CH とし、管束にかかる復水器各部位の運転時質量 W0 および水平力 F0 は以下とする。

$$\begin{aligned} \text{設計震度 (CH)} &= 1.92 \\ \text{復水器運転時管束重量 (W0)} &= \boxed{} \text{ kg} \\ \text{地震による水平力 (F0)} &= \boxed{} \text{ kg} \end{aligned}$$

管束水平力を 4 分割で受けるものとし、1 分割あたりに係る水平力 F1 は、

$$\begin{aligned} F1 &= \frac{F0}{4} \\ &= \boxed{} \times \frac{1}{4} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

管束水平力を端板と繋がる補強管（耐震部材除く）及びホットウェル中央仕切板で受けるとし、ホットウェル中央仕切板で受け持つ 1 分割あたりの圧縮荷重 F2 を求める。

ホットウェル中央仕切板の厚さ t1(mm)，高さ h1(mm)，許容引張応力 f (MPa) とすると、

$$\begin{aligned} F2 &= \frac{t1 \cdot h1 \cdot f}{4} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

1 分割あたりの端板と繋がる補強管（耐震部材除く）で受け持つ荷重 F3 は、補強管本数 n とすると、

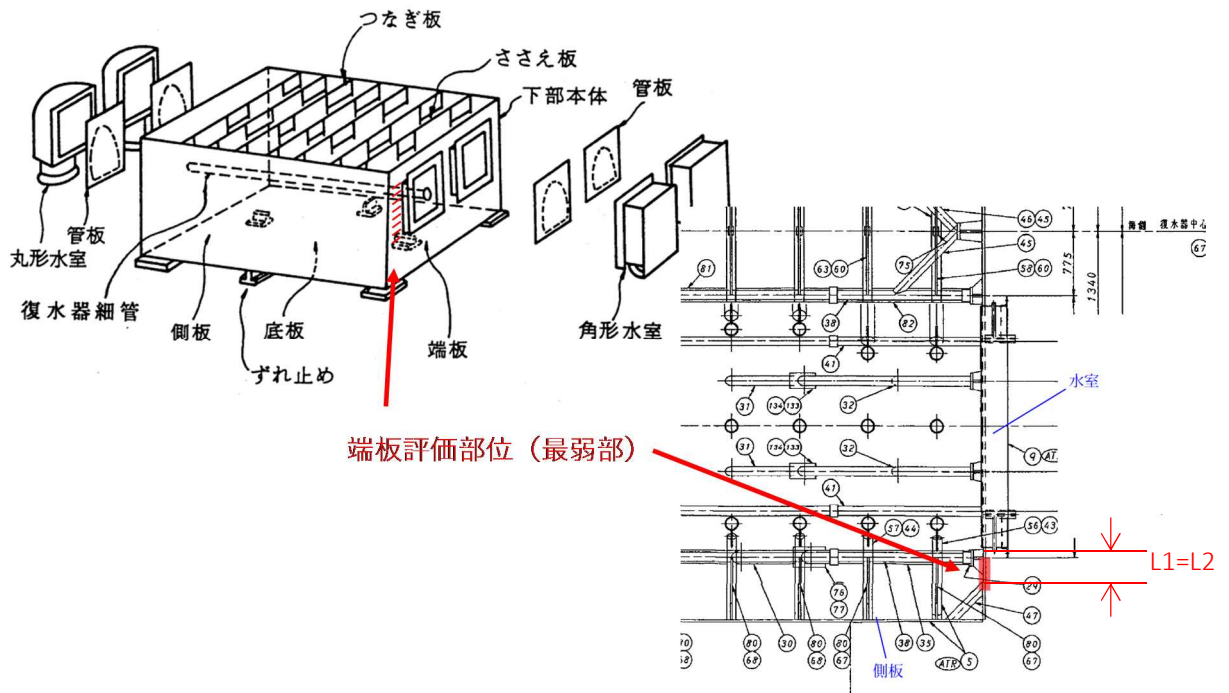
$$\begin{aligned} F3 &= \frac{F1 - F2}{n} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

このとき、補強管の許容圧縮荷重は JSME2005 SSB-3121.1(3)に従い 383kN であり、圧縮荷重について許容応力未満となる。

また、補強管断面積 A とすると補強管 1 本に係る引張応力 σ は、

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F3}{A} \\ &= \boxed{} = 116 \text{ MPa} \end{aligned}$$

このとき、補強管の許容応力は 270MPa であり、引張応力について許容応力未滿となる。



第 9.17-23 図 端板評価部位

端板の強度評価は、第 9.17-23 図で示す長手管束補強を受ける端板 I ビーム付け根部を拘束点として、両端固定の集中荷重のはりモデルとして評価を行う。

縦弾性係数 E は、

$$E = 19500 \text{ kg/mm}^2$$

$$= 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$

また、端板厚さ h、補強管間高さ b として、断面係数 Z 及び断面二次モーメント I は、

$$Z = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$= \boxed{}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$= \boxed{}$$

よって、端板にかかる曲げモーメント M は、

$$M = \frac{2 \cdot F_3 \cdot L_1 \cdot L_2^2}{(L_1 + L_2)^2}$$

$$= \boxed{}$$

端板にかかる曲げ応力 σ_{51} は,

$$\sigma_{51} = \frac{M}{Z}$$

$$= \boxed{} = 258 \text{ MPa}$$

端板にかかる曲げ応力 σ_{51}	258 (MPa)
--------------------------	-----------

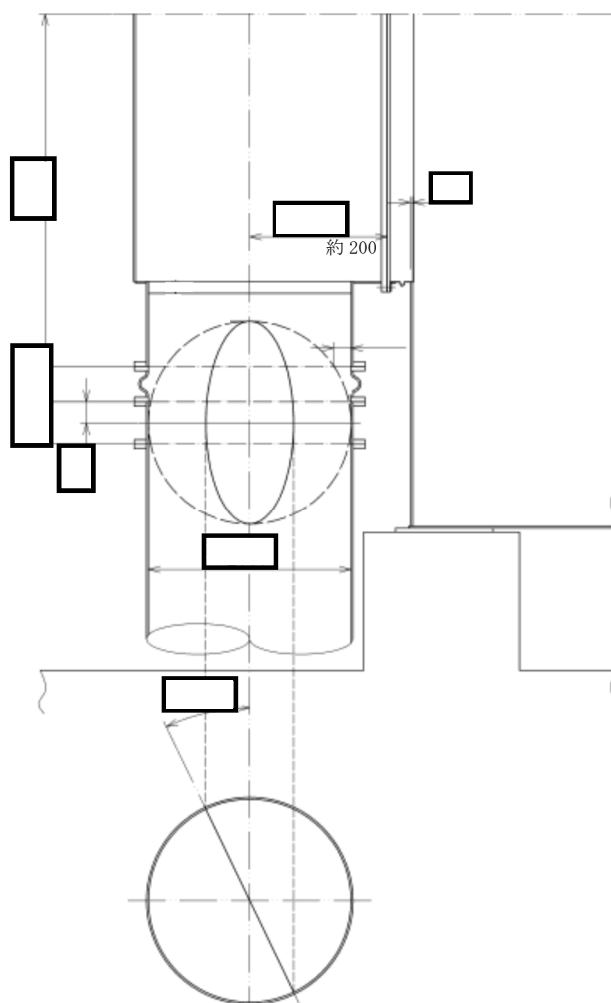
また、端板の最大たわみ量 v_{\max} は,

$$v_{\max} = \frac{2 \cdot 2 \cdot F_3 \cdot L_1^3 \cdot L_2^2}{3 \cdot E \cdot I \times (3 \cdot L_1 + L_2)^2}$$

$$= \boxed{} = 1.90 \text{ mm}$$

端板の最大たわみ量 v_{\max}	1.90 (mm)
----------------------	-----------

なお、たわみ許容量は第 9.17-24 図による。(出展：TNM-2013-000060)

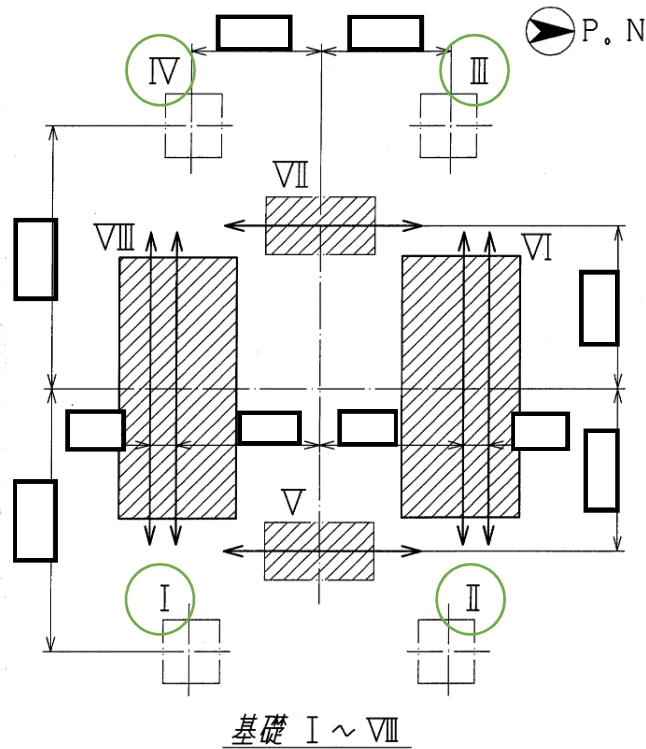


第 9.17-24 図 端板許容たわみ量

5. 復水器基礎 (No. I ~IV) の評価方法

(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、第 9.17-25 図に示す基礎台 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。



第 9.17-25 図 鉛直方向を拘束する復水器基礎台 (平面図)

(2) 復水器基礎の評価条件

水平方向に 1.92, 上下方向に 0.89 を入力し、第 9.17-25 図に示す基礎台 No. I ~IV の圧縮を評価する。

・通常運転時の復水器の重量

復水器の真空荷重 V は、非保守的 (自重が減る) となるため考慮しない。

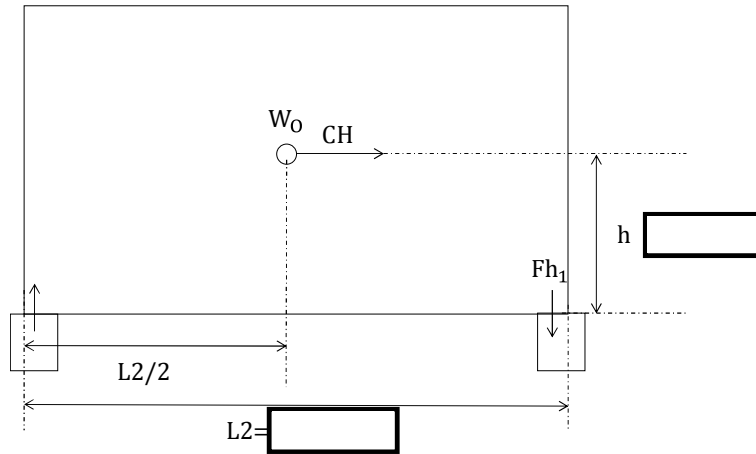
通常運転時の復水器の重量 W による鉛直下向き荷重 FD は以下となる。

$$FD = W_0 = \boxed{}$$

・水平方向の地震力について

水平方向の設計震度 CH は 1.92 であり、重心位置への水平力による倒れこみにより、基礎台の引張と圧縮が発生する (第 9.17-26 図, 第 9.17-27 図)。

[細管軸方向]

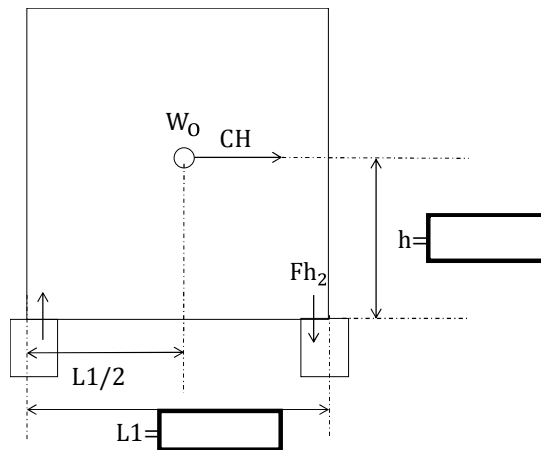


第 9.17-26 図 復水器の細管軸方向への転倒

$$F_{h1} = \frac{CH \times W_0 \times h}{L2}$$



[細管軸直角方向]



第 9.17-27 図 復水器の細管軸直角方向への転倒

$$F_{h2} = \frac{CH \times W_0 \times h}{L1}$$

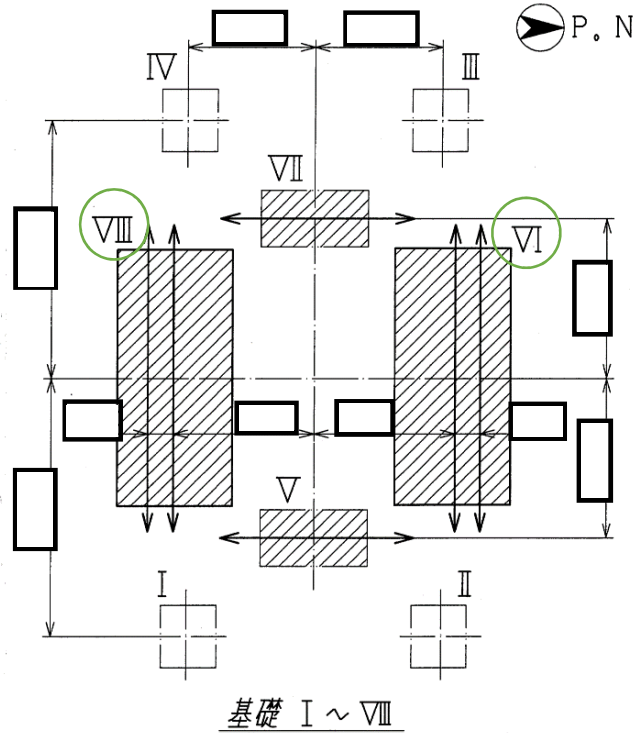


6. 復水器基礎のずれ止め基礎評価（コーン破壊評価）

水平方向に 1.92 を入力し、第 9.17-28 図に示す基礎台 No. VI, VIII のずれ止め基礎の基礎ボルトの引張（コーン破壊）を評価する。

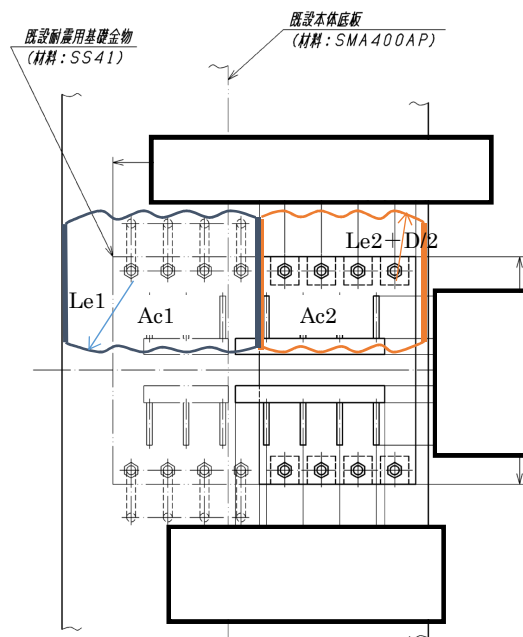
(1) ずれ止め基礎の配置と形状

復水器の細管軸方向を拘束する基礎台は、第 9.17-28 図に示す基礎台 No. VI, VIII である。



第 9.17-28 図 細管軸方向を拘束する復水器ずれ止め基礎台

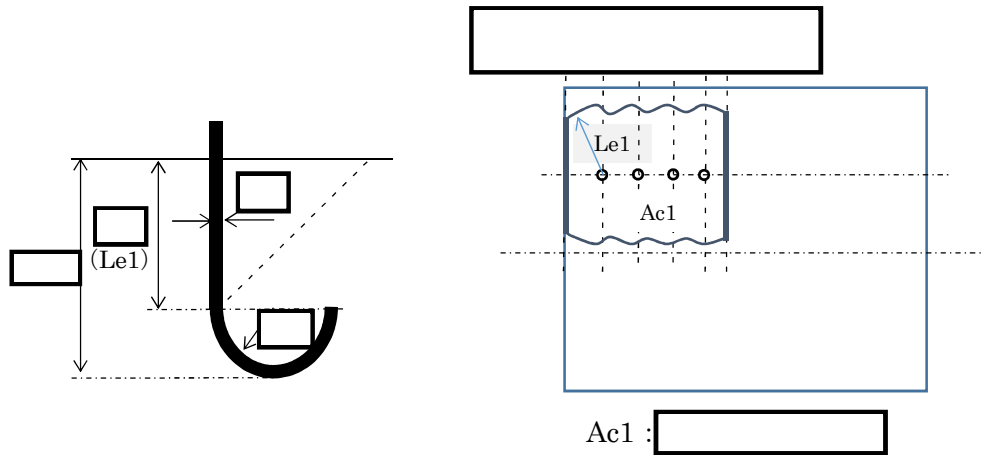
ずれ止め基礎の形状を第 9.17-29 図に示す。なお、ずれ止め基礎の既設基礎ボルトと追設基礎ボルトを評価する。



第 9.17-29 図 復水器ずれ止め基礎

(2) 既設基礎ボルトのコーン破壊評価

- ・コーン部面積が隣り合うボルトと重なるため、ボルト4本分で評価（第9.17-30図）
- ・ボルト引抜力は、片側4本に作用する。



第9.17-30図 既設基礎ボルトの形状と配置

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,

$$\begin{aligned} Pa1 &= K1 \times Ac1 \times \sqrt{F_c} \\ &= 0.6 \times 2.823 \times 10^4 \times \sqrt{330} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

よって、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,

$$\frac{Pa1}{4} = 754 \text{ kN}$$

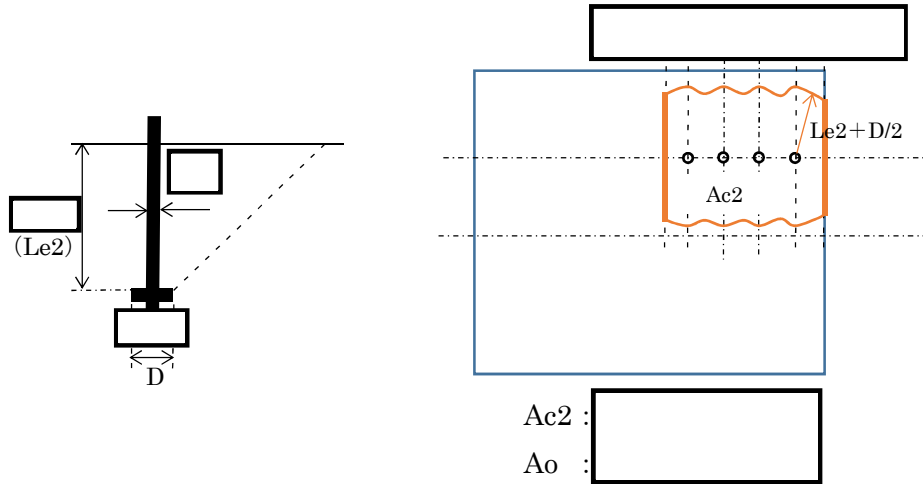
また、3.項より基礎ボルト(4本)に働く力Pu1は567kNとなるため、基礎ボルト(1本)に働く力は,

$$\frac{Pu1}{4} = 142 \text{ kN}$$

既設基礎ボルト(1本)に働く力	142(kN)
-----------------	---------

(3) 追設基礎ボルトのコーン破壊評価

- ・コーン部面積が隣り合うボルトと重なるため、ボルト4本分で評価（第9.17-31図）
- ・ボルト引抜力は、片側4本に作用する。



第 9.17-31 図 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,

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

$$\alpha = \sqrt{Ac2/A_0} = \boxed{}$$

JEAG4601-1991 より,

$$Pa1 = K1 \times Ac2 \times \sqrt{F_c}$$

$$= \boxed{}$$

$$Pa2 = K2 \times \alpha \times A_0 \times F_c$$

$$= \boxed{}$$

$$Pa = \text{Min}(Pa1, Pa2) = 3136 \text{ kN}$$

よって、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、

$$\frac{Pa}{4} = 784 \text{ kN}$$

また、3.項より基礎ボルト(4本)に働く力Pu1は964kNとなるため、基礎ボルト(1本)に働く力は、

$$\frac{Pu1}{4} = 241 \text{ kN}$$

追設基礎ボルト (1本) に働く力	241 (kN)
-------------------	----------

7. 評価結果

(1) 復水器基礎（ずれ止め金具 No. VI, VIII）

復水器のずれ止め基礎（No. VI, VIII）及び本基礎につながる復水器構造体（耐震キヤ、耐震金物他）の強度評価を行い、許容応力以下であることを確認した。

第 9.17-10 表 復水器基礎（ずれ止め金具 No. VI, VIII）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)
底板と補強板 (圧縮)	既設	σ_{21}	147	270	SM400A 相当 (SMA400AP)	66
	追設		233		SS400	
ずれ止め金具 (曲げ)	既設	σ_{22}	155	285	SM400A 相当 (SMA400AP)	66
	追設		247		SS400	
I 形補強 (圧縮)	既設	σ_{23}	41	270	SM400A 相当 (SMA400AP)	66
	追設		111		SS400	
すみ肉溶接 (せん断)	既設	MAX $\sigma_{24, 25}$	135	155	SM400A 相当	66
	追設		138		SS400 相当	

(2) 復水器基礎

復水器基礎の強度評価を行い、許容応力以下であることを確認した。

第 9.17-11 表 復水器基礎の応力

評価部位		算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質	最高使用 温度(°C)
ずれ止め金具 (圧縮)	既設	$\sigma 31$	215	247	SS400	66
	追設		215			
ずれ止め金具の すみ肉溶接 (せん断)	既設	$\sigma 32$	125	142	SS400 相当	66
	追設					
コンクリート (圧縮) (C部)	既設	$\sigma 33$	19	24	Fc=330kg/cm ²	66
	追設					
基礎ボルト (引張)	既設	$\sigma 34$	44	185	SS400	66
	追設		75	392	SNB7	
基礎ボルトと コンクリート (付着)	既設	—	—	—	—	—
	追設					
I 形鋼 (曲げ)	既設	$\sigma 36$	15	285	SS400	66
	追設		27			
I 形鋼 取付すみ肉溶接 (せん断)	既設	$\sigma 37$	28	142	SS400 相当	66
	追設		77			
I 形鋼フランジ部 (曲げ)	既設	$\sigma 38$	148	285	SS400	66
	追設		228			
板 (曲げ)	既設	$\sigma 39$	72	285	SS400	66
	追設					
コンクリートの (圧縮) (K部)	既設	$\sigma 40$	5	24	Fc=330kg/cm ²	66
	追設					

(3) 復水器本体端板

端板の強度評価を行い，許容応力以下であることを確認した。また，端板のたわみ量を評価し，許容値以下であることを確認した。

第 9.17-12 表 復水器本体端板にかかる応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質	最高使用 温度(°C)
端板 (曲げ)	σ 51	258	347	SM400A 相当 (SMA400AP)	66

第 9.17-13 表 復水器本体端板のたわみ量

評価部位	算出量 (mm)		許容値 (mm)
端板 (たわみ量)	δ	1.90	200

(4) 復水器基礎コンクリート (No. I ~IV)

基礎 (No. I ~IV) の圧縮を評価し，許容応力以下であることを確認した。

第 9.17-14 表 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)
基礎コンクリート (圧縮)	σ 61	23	24

(5) 復水器ずれ止め基礎コンクリート (No. VI, VIII) コーン破壊評価

ずれ止め基礎 (No. VI, VIII) の基礎ボルトの引張力を評価し，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。

第 9.17-15 表 復水器ずれ止め基礎コンクリート (No. VI, VIII) 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)
基礎コンクリートコーン破壊 既設基礎ボルト (1 本)	142	754
基礎コンクリートコーン破壊 追設基礎ボルト (1 本)	241	784