

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6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-015 改2
提出年月日	2024年2月9日

KK6 補足-015 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)

2024年2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

今回提出範囲：

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 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 使用済燃料貯蔵プールのスロッシングによる溢水量の算出

7.5 溢水源としない耐震B, Cクラス機器の耐震評価の内容

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 淡水貯水池の溢水による影響について
- 8.5 その他の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 浸水防護施設の止水性について
- 9.6 蒸気防護カバーの性能試験について
- 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 水密扉の開閉運用について
- 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

- 9.18 貫通部止水処置, 床ドレンライン浸水防止治具及び地下水排水設備の登録号機の整理について

9.19 気体廃棄物処理系設備エリア廃棄放射線モニタ蒸気防護カバーの近傍蒸気系配管破損時の直接噴出に対する影響評価について

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-1-1-9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】

添付VI-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】

工認添付資料		工認補足説明資料
VI-1-1-9-1	溢水等による損傷防止の基本方針	－
VI-1-1-9-2	防護すべき設備の設定	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
		9.1 溢水防護区画毎における機能喪失高さについて
VI-1-1-9-3	溢水評価条件の設定	2.1 溢水伝播経路概念図
		2.2 溢水伝播経路モデル図
		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
		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
		6.1 消火水の放水による溢水に対する評価の概要について
		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 使用済燃料貯蔵プールのスロッシングによる溢水量の算出
		7.5 溢水源としない耐震B,Cクラス機器の耐震評価の内容
		7.6 溢水源としない耐震B,Cクラス配管の耐震評価の考え方
		8.5 その他の漏えい事象に対する確認について
9.10 流下開口を考慮した没水高さについて		
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		

添付VI-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】

	工認添付資料	工認補足説明資料
VI-1-1-9-4	溢水影響に関する評価	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）
		3.2 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）
		4.1 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）
		6.2 消火水の放水による溢水に対する評価例
		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		

添付VI-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】

工認添付資料		工認補足説明資料
VI-1-1-9-4	溢水影響に関する評価	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
		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
		9.8 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
		9.11 鉄筋コンクリート壁の水密性について
		9.13 エキспанションジョイント止水板の性能について
VI-1-1-9-5	溢水防護に係る施設の設計方針	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 蒸気防護カバーの性能試験について
		9.7 地下水排水設備について
		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
		9.12 経年劣化事象と保全内容
		9.15 水密扉の開閉運用について
		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
		9.18 貫通部止水処置、床ドレンライン浸水防止治具及び地下水排水設備の登録号機の整理について
9.19 気体廃棄物処理系設備エリア廃棄放射線モニタ蒸気防護カバーの近傍蒸気系配管破損時の直接噴出に対する影響評価について		

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

原子炉建屋（原子炉格納容器除く）、コントロール建屋及びタービン建屋（海水熱交換器区域）内に敷設されている流体を内包する機器（配管、容器）のうち、基準地震動 **S s** による地震力によって破損が生じるとされる機器（耐震 B, C クラス機器）について溢水を想定する。

ただし、B, C クラス機器であっても、基準地震動 **S s** による地震力に対して耐震性が確保されるものについては、溢水源として考慮しない。

地震に起因する溢水時の溢水源を表 7.1-1、表 7.1-2 に示す。

表 7.1-1 6号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建屋	設置エリア		機器情報		Sクラス : ○ Sクラス以外 : ×	溢水源としない (耐震性を確認) : ○ 溢水源とする : × *
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
原子炉建屋	地下3階	R-B3-3 R-B3-10	CRD	水圧制御ユニット	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-4	HNCW	CRD HCU (A), (B) 室冷却コイル	×	×
原子炉建屋	地下3階	R-B3-4	CRD	制御棒駆動水加熱器	×	○
原子炉建屋	地下3階	R-B3-4	CRD	サクシヨンプイルタ (A), (B)	×	○
原子炉建屋	地下3階	R-B3-4	CRD	制御棒駆動水ポンプ (A), (B)	×	○
原子炉建屋	地下3階	R-B3-4	CUW RCW	原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器 (A), (B)	×	×
原子炉建屋	地下3階	R-B3-4	CUW RCW	原子炉冷却材浄化系ポンプ (A), (B)	×	×
原子炉建屋	地下3階	R-B3-4	RCW	CRD ポンプ油冷却器 (A), (B)	×	×
原子炉建屋	地下3階	R-B3-5 R-B3-8 R-B3-11	RCW	RHR ポンプ (A) ~ (C) 室空調機	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-5 R-B3-8 R-B3-11	RHR	残留熱除去系封水ポンプ (A) ~ (C)	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-5 R-B3-8 R-B3-11	RHR RCW	残留熱除去系ポンプ (A) ~ (C)	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-5 R-B3-8 R-B3-11	RHR RCW	残留熱除去系熱交換器 (A) ~ (C)	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-6	RCIC	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-6	RCIC	真空タンク	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-6	RCIC	バロメトリックコンデンサ	○	-

表 7.1-1 6号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建屋	設置エリア		機器情報		Sクラス Sクラス以外	溢水源としない (耐震性を確認) 溢水源とする*
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
原子炉建屋	地下3階	R-B3-6	RCIC	復水ポンプ	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-6	RCW	RCIC ポンプ室空調機	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-7 R-B3-12	HPCF RCW	HPCF ポンプ (B), (C)	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-7 R-B3-12	RCW	HPCF ポンプ (B), (C) 室空調機	○	-
原子炉建屋	地下3階	R-B3-9	CRD	制御棒駆動水フィルタ (A), (B)	×	○
原子炉建屋	地下3階	R-B3-3 R-B3-10	CRD	アキムレータ (充填水ライン)	×	○
原子炉建屋	地下3階	R-B3-13	RCW	SPCU ポンプ室空調機	×	○
原子炉建屋	地下3階	R-B3-13	SPCU RCW	サブレーションプール浄化系ポンプ	×	○
原子炉建屋	地下2階	R-B2-2	CUW	原子炉冷却材浄化系再生熱交換器	×	×
原子炉建屋	地下2階	R-B2-2	CUW	保持ポンプ (A), (B)	×	×
原子炉建屋	地下2階	R-B2-2	FPC	保持ポンプ (A), (B)	×	×
原子炉建屋	地下2階	R-B2-2	HNCW	R I P / F M C R D 取扱装置制御室空調機	×	×
原子炉建屋	地下1階	R-B1-2	CUW	ろ過脱塩器 (A), (B)	×	×
原子炉建屋	地下1階	R-B1-2	FPC	ろ過脱塩器 (A), (B)	×	×
原子炉建屋	1階	R-1F-3 R-1F-5 R-1F-6	RCW	D/G (A) ~ (C) 発電機軸受潤滑油冷却器	○	-
原子炉建屋	1階	R-1F-3 R-1F-5 R-1F-6	RCW	D/G (A) ~ (C) 潤滑油冷却器	○	-

表 7.1-1 6号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建屋	設置エリア		機器情報		Sクラス Sクラス以外	溢水源としない (耐震性を確認) 溢水源とする*
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
原子炉建屋	1階	R-1F-3 R-1F-5 R-1F-6	RCW	D/G (A) ~ (C) 機関付空気冷却器	○	-
原子炉建屋	1階	R-1F-3 R-1F-5 R-1F-6	RCW	D/G (A) ~ (C) 清水冷却器	○	-
原子炉建屋	1階	R-1F-12	RCW	FCS 室空調機 (A), (B)	○	-
原子炉建屋	2階	R-2F-1	FPC RCW	燃料プール冷却浄化系熱交換器 (A), (B)	×	○
原子炉建屋	2階	R-2F-2 共2	RCW	FPC ポンプ室空調機 (A), (B)	×	×
原子炉建屋	2階	R-2F-4	FPC RCW	燃料プール冷却浄化系ポンプ (A), (B)	×	○
原子炉建屋	3階	R-3F-1 共	HNCW	ISI 室空調機	×	×
原子炉建屋	3階	R-3F-1 共	SLC	ほう酸水注入ポンプ (A), (B)	○	-
原子炉建屋	3階	R-3F-1 共	SLC	ほう酸水注入系貯蔵タンク	○	-
原子炉建屋	3階	R-3F-1 共	SLC	ほう酸水注入系テストタンク	×	×
原子炉建屋	3階	R-3F-4	RCW	SGTS 室空調機 (A), (B)	○	-
原子炉建屋	3階	R-3F-5	HWH RCW	所内温水系温水熱交換器 (A), (B)	×	○
原子炉建屋	3階	R-3F-5	HWH	所内温水系バックアップ熱交換器	×	○
原子炉建屋	3階	R-3F-5	HWH	所内温水系ループポンプ (A), (B)	×	○
原子炉建屋	3階 中4階	R-3F-6 R-M4F-1	RCW	格納容器内雰囲気モータ冷却器 (A), (B)	○	-
原子炉建屋	3階 中4階	R-3F-6 R-M4F-1	RCW	CAMS (A), (B) 室空調機	○	-
原子炉建屋	中4階	R-M4F-3	HNCW	R/A MS トンネル空調機	×	×

表 7.1-1 6号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建屋	設置エリア		機器情報		Sクラス Sクラス以外	溢水源としない (耐震性を確認) 溢水源とする*
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
原子炉建屋	中4階	R-M4F-4A R-M4F-5B	HECW	D/G (A), (B) /Z 冷却コイル	○	-
原子炉建屋	中4階	R-M4F-4C	HNCW	D/G (C) /Z 冷却コイル	×	○
原子炉建屋	4階	R-4F-2	HNCW	ASD (A), (B) /Z 冷却コイル	×	○
原子炉建屋	4階	R-4F-2	HWH	ASD (A), (B) 送風機室加熱コイル	×	○
原子炉建屋	4階	R-4F-2 R-4F-3C	RCW	原子炉補機冷却水系サージタンク (A) ~ (C)	○	-
原子炉建屋	4階	R-4F-3 共	FPC	スキマサージタンク (A), (B)	○	-
原子炉建屋	4階	R-4F-3 共	HNCW	燃料取替機制御室空調機	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-1	FEI	電解槽	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-1	FEI	海水供給ポンプ	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-1	FEI	海水ストレーナ (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-3	C_FD	復水器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-3	C_FD TCW	低圧復水ポンプ (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-3	C_FD	復水回収タンク	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-3	C_FD HD TCW	高圧ドレンポンプ (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-3	HD TCW	低圧ドレンポンプ (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-3	TCW	高圧ドレンポンプ油冷却器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-4	TCW	タービン補機冷却水ポンプ (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-4	TCW TSW	タービン補機冷却水系熱交換器 (A) ~ (C)	×	×

表 7.1-1 6号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建屋	設置エリア		機器情報		Sクラス Sクラス以外	溢水源としない (耐震性を確認) 溢水源とする*
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
タービン建屋	地下2階	T-B2-4	TSW	タービン補機冷却海水ストレーナ (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	HNCW	IA, SA 圧縮機室空調機	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	RCW	IA 空気圧縮機 (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下2階	T-B2-3	RCW	VGL T/B 弁漏えい蒸気復水器	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	RCW	OG 冷凍機凝縮器 (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	RCW	OG 排ガス復水器	×	×
タービン建屋	地下1階	T-1F-3	RCW	OG 排ガスブロワ後置冷却器	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	RCW	SA 空気圧縮機 (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	TCW	復水器真空ポンプ封水冷却器	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	TCW	EHC 油冷却器 (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	TCW	EHC 冷却水回収タンク	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	TCW	EHC 冷却水回収ポンプ	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	TCW	原子炉給水ポンプ駆動用タービン油冷却器	×	×
タービン建屋	地下中2階	T-MB2-2	C_FDW	CD 再循環ポンプ	×	×
タービン建屋	地下2階 地下1階	T-B2-2 T-B1-2A T-B1-4b1	RCW	原子炉補機冷却水ポンプ (A) ~ (F)	○	-
タービン建屋	地下2階 地下1階	T-B2-2 T-B1-2A T-B1-4b1	RCW RSW	原子炉補機冷却水系熱交換器 (A) ~ (F)	○	-
タービン建屋	地下2階 地下1階	T-B2-2 T-B1-2A T-B1-4b1	RSW	海水ストレーナ (A) ~ (F)	○	-

表 7.1-1 6号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建屋	設置エリア		機器情報		Sクラス Sクラス以外	溢水源としない (耐震性を確認) 溢水源とする*
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
タービン建屋	地下1階	T-B1-2A T-B1-2C T-B1-4b1	RSW	原子炉補機冷却海水ポンプ (A) ~ (F)	○	-
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	C_FDW	グラント蒸気復水器	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	C_FDW	復水ろ過装置 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	C_FDW	復水脱塩装置 (A) ~ (F)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	C_FDW TCW	高圧復水ポンプ (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	C_FDW	タービン駆動原子炉給水ポンプ (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	C_FDW TCW	電動機駆動原子炉給水ポンプ (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	C_FDW	樹脂ストレータ (A) ~ (F)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	HD	高圧ドレンタンク	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	HD	低圧ドレンタンク	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	HNCW	T/D RFP 室空調機	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	TCW	高圧復水ポンプ油冷却器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-3	TCW	電動機駆動原子炉給水ポンプ油冷却器 (A), (B)	×	×
タービン建屋	地下1階	T-B1-4b3	TSW	タービン補機冷却海水ポンプ (A) ~ (C)	×	○
タービン建屋	中2階	T-1F-3	C_FDW HD	第5給水加熱器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	中2階	T-1F-3	C_FDW HD	第6給水加熱器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	中2階	T-1F-3	HD	湿分離器ドレンタンク (A1) (A2) (B1) (B2)	×	×

表 7.1-1 6号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建屋	設置エリア		機器情報		Sクラス Sクラス以外	溢水源としない (耐震性を確認) 溢水源とする*
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
タービン建屋	中2階	T-1F-3	HD	第1段加熱器ドレンタンク (A1) (A2) (B1) (B2)	×	×
タービン建屋	中2階	T-1F-3	HD	第2段加熱器ドレンタンク (A1) (A2) (B1) (B2)	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	C_FDW	蒸気式空気抽出器	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	C_FDW HD	第3給水加熱器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	C_FDW HD	第4給水加熱器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	C_FDW HD	第1給水加熱器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	C_FDW HD	第2給水加熱器 (A) ~ (C)	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	HNCW HWH	Hx/A 冷却加熱コイル	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	TCW	固定子冷却水冷却器 (A), (B)	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	TCW	相分離母線用冷却装置	×	×
タービン建屋	1階	T-2F-1 共	TCW	発電機水素ガス冷却器 (A) ~ (D)	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-3	HNCW	IPB/Z (A), (B) 空調機	×	×
タービン建屋	1階	T-1F-4②	TCW	主タービン油冷却器 (A), (B)	×	×
タービン建屋	2階	T-2F-1 共	HD MUWC	グラント蒸気蒸化器	×	×
タービン建屋	2階	T-2F-1 共	HD	蒸化器ドレンタンク	×	×
タービン建屋	2階	T-2F-1 共	HD	湿分離加熱器 (A), (B)	×	×
タービン建屋	2階	T-2F-1 共	HNCW	湿分離加熱器 (A), (B) 室空調機	×	×

表 7.1-1 6 号機地震時に溢水源とする機器としない機器 (ポンプ, 容器等)

建物	設置エリア		機器情報		Sクラス : ○ Sクラス以外 : ×	溢水源としない (耐震性を確認) : ○ 溢水源とする : × *
	フロア	区画 No.	溢水源の 系統	機器名称		
タービン建屋	3階	T-2F-1 共	HNCW HWH	R/A・T/A 冷却加熱コイル	×	×
タービン建屋	3階	T-2F-1 共	HNCW	R/A・T/A 送風機室空調機	×	×
タービン建屋	3階	T-2F-1 共	HNCW	R/A・T/A 排風機室空調機	×	×
タービン建屋	屋上階	T-2F-1 共	TCW HNCW	タービン補機冷却水系サージタンク	×	×
コントロール建屋	地下2階	C-B2-4 C-B2-5	HECW RCW	HECW 冷凍機 (A) ~ (D)	○	-
コントロール建屋	地下2階	C-B2-4 C-B2-5	HECW	HECW ポンプ (A) ~ (D)	○	-
コントロール建屋	地下中2階	C-MB2-2④	HNCW	C/B 常用電気品区域冷却コイル	×	○
コントロール建屋	地下中2階	C-MB2-2③	HNCW	C/B 計測制御電源盤区域 (C) 冷却コイル	×	○
コントロール建屋	地下1階 1階	C-B1-8A C-1F-10	HECW	C/B 計測制御電源盤区域 (A), (B) 冷却コイル	○	-
コントロール建屋	2階	C-2F-1	HECW	MCR 冷却コイル	○	-

注記*: ーは耐震Sクラスのため, 溢水源としない機器

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【原子炉建屋】

区画 No	配管系統																		
	CRD	CUW	DW	C_FDW	FP	FPC	HD	HNCW	HSCR	HWH	MSC	MUWC	MUWP	RCW	RD	SPCU	TCW	TSW	FEI
R-4F-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-4F-2	-	-	-	-	○	-	○	-	○	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-4F-3C	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-4F-3 共	-	-	-	-	○	-	×	-	-	×	-	○	○	○	-	-	-	-	-
R-M4F-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
R-M4F-3	-	-	-	-	○	×	×	-	-	×	-	○	○	×	-	○	-	-	-
R-M4F-4A	-	-	-	-	○	-	○	-	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-M4F-4C	-	-	-	-	○	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-M4F-4 共	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-M4F-5B	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-M4F-5 共 1	-	-	-	-	○	-	○	-	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-M4F-5 共 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-3F-1A	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-
R-3F-1 共	-	-	-	-	○	×	×	-	-	×	-	○	○	×	-	○	-	-	-
R-3F-2	-	-	-	-	○	-	○	-	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-3F-3	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-3F-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-3F-5	-	-	-	-	○	-	○	-	-	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【原子炉建屋】

区画 No	配管系統																		
	CRD	CUW	DW	C_FDW	FP	FPC	HD	HNCW	HSCR	HWH	MSC	MUWC	MUWP	RCW	RD	SPCU	TCW	TSW	FEI
R-3F-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
R-2F-1	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	○	-	○	-	○	-	-	-
R-2F-2p1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-2p2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-2 共 1	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-2F-2 共 2	-	-	-	-	○	×	-	×	-	×	-	○	-	×	-	-	-	-	-
R-2F-2 共 3	-	-	-	-	○	×	-	×	-	×	-	○	-	×	-	-	-	-	-
R-2F-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-4	-	-	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	-
R-2F-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
R-2F-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-2F-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-9 上	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-9 下	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-10 上	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-10 下	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-11	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-2F-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【原子炉建屋】

区画 No	配管系統																		
	CRD	CUW	DW	C_FDW	FP	FPC	HD	HNCW	HSCR	HWH	MSC	MUWC	MUWP	RCW	RD	SPCU	TCW	TSW	FEI
R-1F-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-1F-2p1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
R-1F-2p2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-1F-2p3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-1F-2p4	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-1F-2 共	○	×	-	-	○	×	-	-	×	-	-	○	○	×	-	○	-	-	-
R-1F-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
R-1F-4	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-1F-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-1F-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-1F-7	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-1F-8	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-1F-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
R-1F-10	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-1F-11	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-1F-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
R-B1-2	○	×	-	-	○	×	-	-	×	×	×	○	○	×	×	○	-	-	-
R-B1-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【原子炉建屋】

区画 No	配管系統																		
	CRD	CUW	DW	C_FDW	FP	FPC	HD	HNCW	HSCR	HWH	MSC	MUWC	MUWP	RCW	RD	SPCU	TCW	TSW	FEI
R-B1-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-B1-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-B1-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-B1-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B1-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B1-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-B1-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-B1-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B1-13	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
R-B-14	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B-15a	○	○	-	-	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-
R-B-15b	○	○	-	-	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
R-B1-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-
R-B1-17	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B1-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B2-2	○	×	-	-	○	×	-	-	-	×	-	○	○	×	×	○	-	-	-
R-B2-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【原子炉建屋】

区画 No	配管系統 【○：溢水源としない (耐震性を確認), ×溢水源とする, -：当該区画に水を内包する配管が存在しない】																		
	CRD	CUW	DW	C_FDW	FP	FPC	HD	HNCW	HSCR	HWH	MSC	MUWC	MUWP	RCW	RD	SPCU	TCW	TSW	FEI
R-B2-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R-B3-2	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-
R-B3-3	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
R-B3-4	○	×	-	-	○	×	-	-	-	-	-	○	○	×	×	○	-	-	-
R-B3-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-
R-B3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-
R-B3-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-
R-B3-8	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	-	-
R-B3-9	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-
R-B3-10	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
R-B3-11	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-
R-B3-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-
R-B3-13	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	-	-	-

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【タービン建屋】

区画 No	配管系統																		
	CRD	CUW	DW	C_FDW	FP	FPC	HD	HNCW	HSCR	HWH	MSC	MUWC	MUWP	RCW	RD	SPCU	TCW	TSW	FEI
T-2F-1A	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-2F-1 共	—	—	—	×	×	—	×	×	×	—	—	×	×	—	×	—	×	—	—
T-1F-1	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—
T-1F-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-1F-3	—	—	×	×	×	—	×	×	×	×	×	×	×	×	×	—	×	○	—
T-1F-4①	—	—	○	—	○	—	○	○	○	○	○	—	○	○	—	—	×	—	—
T-1F-4②	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	—	—
T-B1-2A	—	—	○	—	○	—	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	—	—	○
T-B1-2C	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	○
T-B1-3	×	—	×	×	×	—	×	—	—	—	×	×	×	×	×	—	×	—	—
T-B1-4b1	—	—	○	—	○	—	—	—	—	—	○	—	○	○	—	—	○	—	○
T-B1-4b2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-B1-4b3	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	○
T-MB2-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-MB2-2	×	—	×	×	×	—	×	—	—	×	×	×	×	×	×	—	×	—	—
T-B2-1	—	—	×	—	×	—	×	×	—	—	×	—	—	×	—	—	×	×	×
T-B2-2	—	—	○	—	○	—	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—	—	—	○
T-B2-3	×	×	×	×	×	—	×	—	—	—	×	×	×	×	×	—	×	—	—

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【タービン建屋】

区画 No	配管系統 【○：溢水源としない (耐震性を確認), ×溢水源とする, -：当該区画に水を内包する配管が存在しない】																			
	CRD	CUW	DW	C_FDW	FP	FPC	HD	HNCW	HSCR	HWH	MSC	MUWC	MUWP	RCW	RD	SPCU	TCW	TSW	FEI	
T-B2-4	—	—	×	—	×	—	—	×	—	—	×	—	—	×	—	—	×	×	×	×

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【コントロール建屋】

区画 No	配管系統										
	DW	FP	HNCW	MSC	MUWP	RCW	RD	TCW	飲料水系		
C-2F-1	—	○	—	—	—	—	—	—	—	○	—
C-2F-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-2F-3	—	○	—	—	—	—	—	—	—	○	—
C-1F-1	○	○	—	○	○	—	○	○	○	○	○
C-1F-2	—	○	—	—	—	—	—	—	—	○	○
C-1F-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-4A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-4B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-7	—	○	—	—	○	—	—	—	—	—	—
C-1F-8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-1F-11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-B1-1	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-B1-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-B1-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【コントロール建屋】

区画 No	配管系統 【○：溢水源としない (耐震性を確認), ×溢水源とする, -：当該区画に水を内包する配管が存在しない】										
	DW	FP	HNCW	MSC	MUWP	RCW	RD	TCW	飲料水系		
C-B1-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-B1-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-B1-6	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	
C-B1-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	
C-B1-8A	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	
C-B1-8C	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	
C-B1-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-B1-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-B1-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-MB2-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-MB2-2①	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	
C-MB2-2②	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-MB2-2③	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	
C-MB2-2④	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	
C-MB2-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-B2-1	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
C-B2-2	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	
C-B2-3	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	

表 7.1-2 地震時に溢水源とする機器としない機器 (配管系) 【コントロール建屋】

区画 No	配管系統 【○：溢水源としない (耐震性を確認), ×溢水源とする, -：当該区画に水を内包する配管が存在しない】									
	DW	FP	HNCW	MSC	MUWP	RCW	RD	TCW	飲料水系	
C-B2-4	—	○	—	—	—	○	—	—	—	
C-B2-5	—	—	—	—	—	○	—	—	—	

7.2 耐震 B, C クラス機器の耐震工事の内容

1. 概要

「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」では、耐震 B, C クラス機器であっても基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性が確保される機器については、漏水を考慮しないことができる」とされている。

本資料では、地震時に溢水源となり得る耐震 B, C クラス機器について、実施する耐震工事の内容を示す。

機器の耐震評価においては、耐震工事後の状態、基準地震動 S_s に対する応力発生値と評価基準値を比較することにより行い、評価基準値は J E A G 等の規格基準で規定されている値を用いる。

耐震工事を実施した機器を表 7.2-1 に示す。

表 7.2-1 耐震 B, C クラスのうち耐震工事を実施した機器

機器名称	工事概要
タービン補機冷却海水ポンプ	・ 中間支持サポート追設

2. 工事内容

2.1 タービン補機冷却海水ポンプ

タービン補機冷却海水ポンプは、ポンプ下部に中間支持サポートを追設することにより耐震性の向上を図る。追設する中間支持サポートの構造図を図 7.2-1 に示す。ポンプ分解・組立の作業性の目的で、中間支持サポートのサポートリングと耐震サポートガイドの間に隙間を持たせた構造・設計としている。

なお、タービン補機冷却海水ポンプの構造及び耐震性に係る仕様はA号機、B号機及びC号機で同じである。工事内容を表 7.2-2 に示し、固有周期を表 7.2-3 に、モード図を表 7.2-4 に、機器仕様を表 7.2-5 に、応力評価結果を表 7.2-6 に示す。なお、表 7.2-6 においては、発生応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい箇所の結果について記載する。

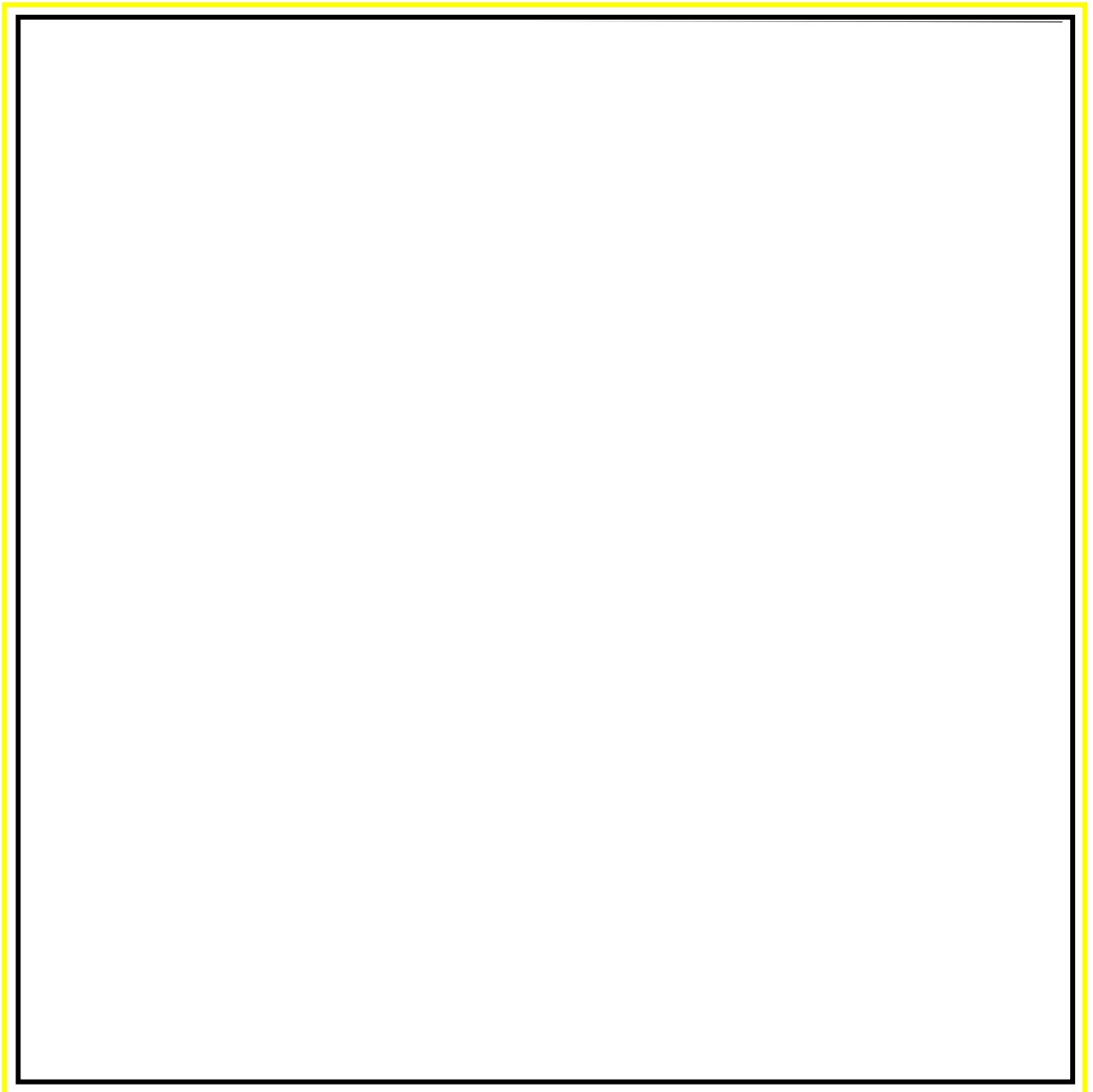


図 7.2-1 中間支持サポート 構造図

表 7.2-2 タービン補機冷却海水ポンプの工事内容

耐震補強前	耐震補強後

表 7.2-3 固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)	
		耐震補強前	耐震補強後
1次	水平	0.343	0.051
2次	水平	0.050	0.029

表 7.2-4 モード図

耐震補強前	耐震補強後

表 7.2-5 機器仕様

設備名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度* (°C)	使用材料
			基礎ボルト
タービン補機冷却 海水ポンプ (A)	0.64	40	SUS304
タービン補機冷却 海水ポンプ (B)	0.64	40	SUS304
タービン補機冷却 海水ポンプ (C)	0.64	40	SUS304

注記* : 最高使用温度 40°C より、周囲環境温度 50°C の方が温度が高いことから、保守的な評価となるよう周囲環境温度にて評価した。

表 7.2-6 応力評価結果

設備名称	評価部材	応力	発生値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
タービン補機 冷却海水ポンプ	原動機取付ボルト	引張	$\sigma_b = 33$	$f_{ts} = 184$
		せん断	$\tau_b = 19$	$f_{sb} = 142$

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

1. 概要

溢水防護に係わる設備（貫通部止水処置，循環水系隔離システム，タービン補機冷却海水系隔離システム，地下水排水設備）及び基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することから溢水源としない耐震 B, C クラス機器における，対象設備・部位の代表性及び網羅性について説明する。

2. 溢水防護に係わる設備

2.1 貫通部止水処置

貫通部止水処置については，モルタル，ブーツ，閉止板（鉄板），シール材（ケーブルトレイ金属ボックス，充填，コーキング）を用いる方法があり，耐震評価は以下の理由によりモルタルと閉止板及びシール材（ケーブルトレイ金属ボックス）を評価対象とする。

[モルタル，シール材（ケーブルトレイ金属ボックス）を評価対象にする理由]

モルタルについては，地震時に貫通する配管等の反力が直接作用することが考えられるため，評価対象とする。また，モルタルの評価部位については，最大荷重が作用する部位を代表として評価する。なお，モルタルを充填した貫通口に計装配管・電線管もあるが，種別・口径毎に網羅的に検討した結果，管の反力が大きい水を内包する配管に包絡されるため計算書の対象からは除外した。

ブーツについては，伸縮性ゴムを使用しており，配管の地震変位に対しても十分な伸縮性を有している。このため，地震による影響は軽微であることから評価対象としない。

閉止板（鉄板）については，貫通する配管がなく，地震による閉止板（鉄板）への影響がないことから評価対象としない。

シール材（ケーブルトレイ金属ボックス）については，ケーブルトレイ貫通部においてシール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁又は床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填，もしくは塗布する構造であることから，金属ボックスを固定するアンカーボルトを評価対象部位とする。また，アンカーボルトに対して引張力がかかる方向からの水圧が，最も大きく作用する貫通部を代表として評価する。なお，耐震評価の対象外としたシール材充填構造についても，強度評価において静水圧に対する止水性について評価を実施している。

シール材（充填，コーキング）については，貫通部直近に支持構造物を設置しており，地震時は建屋壁と配管系が一体で動く事から，相対変位が軽微な箇所に設置している。また，電線管・ケーブルトレイ内に適用するシール材は，柔軟性及び余長を有するケーブル隙間に充填することとしており，地震時にケーブルに発生する荷重は小さく軽微である。このため，地震によるシール材への影響は軽微であることから評価対象としない。

表 7.3-1 に貫通部止水処置の構造計画を示す。

表 7.3-1 貫通部止水処置の構造計画 (1/2)

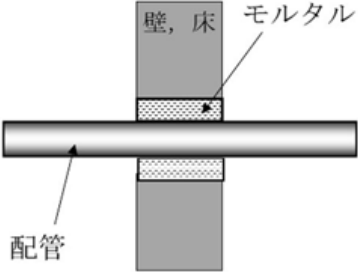
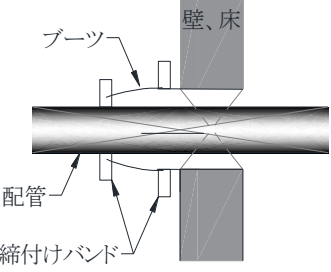
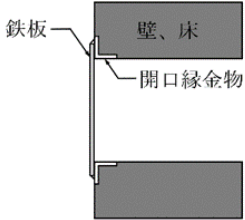
設備名称	計画の概要		対策説明図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面に溶接した取付用座と配管にて締付けバンドにて締結する。	
	鉄板にて閉止する構成する。	開口部に鉄板を挿入し、溶接によって接合する。	

表 7.3-1 貫通部止水処置の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		対策説明図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置		<p>ケーブルトレイ貫通部については、シーリング材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックスにシーリング材を充填、もしくは塗布する。シーリング材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。</p>	
	<p>充填タイプのシーリング材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部にシーリング材を充填する。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	
	<p>コーキングタイプのシーリング材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	

2.2 循環水系隔離システム，タービン補機冷却海水系隔離システム

循環水系隔離システム，タービン補機冷却海水系隔離システムは，「V-2-1-14 計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，ボルトの応力評価及び漏えい検出器の電氣的機能維持確認を実施している。

図 7.3-1 及び図 7.3-2 に漏えい検出器の概略を示す。

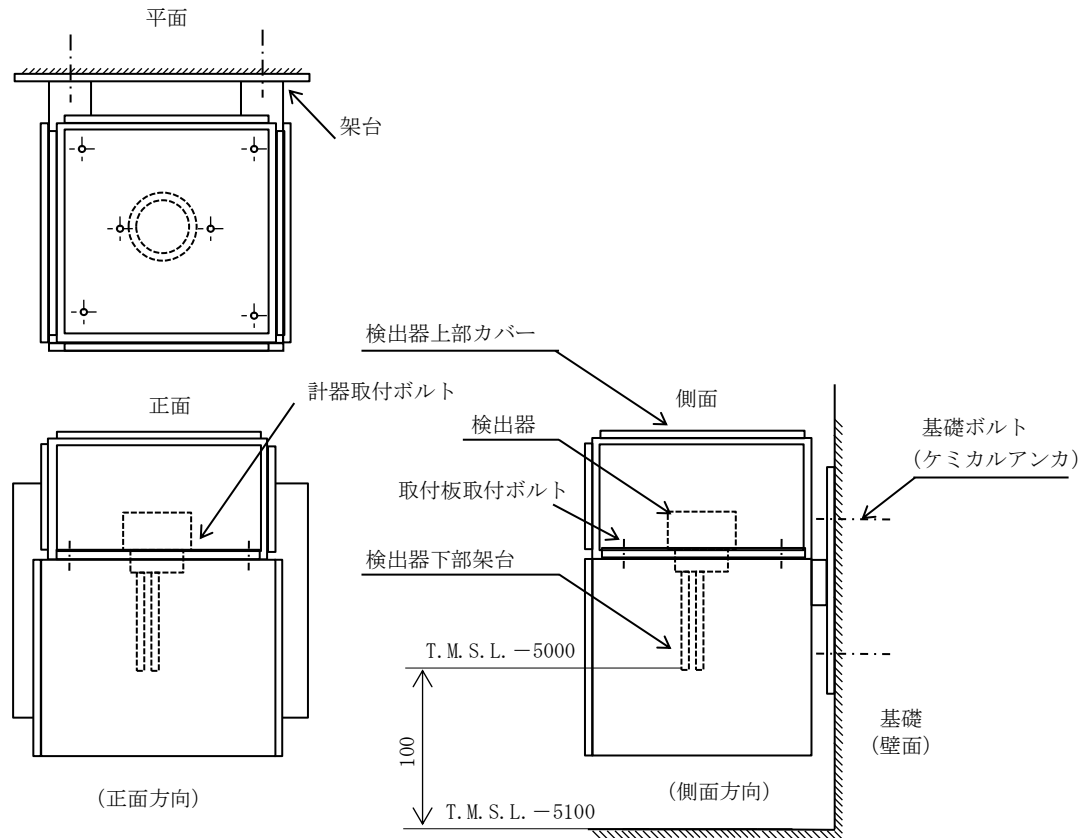


図 7.3-1 漏えい検出器概略図 (循環水系隔離システム)

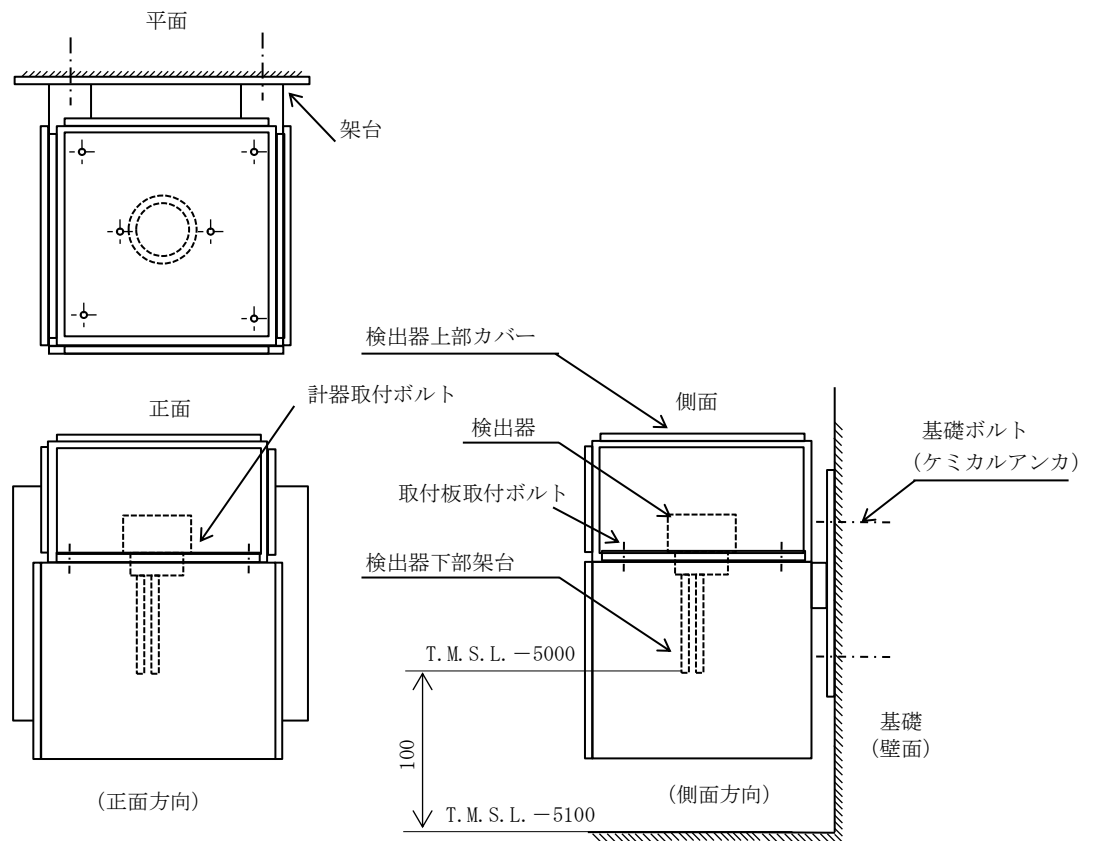


図 7.3-2 漏えい検出器概略図 (タービン補機冷却海水系隔離システム)

2.3 地下水排水設備

地下水排水設備のうちサブドレンポンプは、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（（社）日本電気協会）立型ポンプの耐震評価手法に基づき、ボルトの応力評価並びにポンプ及び電動機の地震時及び地震後において要求される機能が損なわれないことの確認を実施している。

図 7.3-3 に地下水排水設備のうちサブドレンポンプの概略を示す。

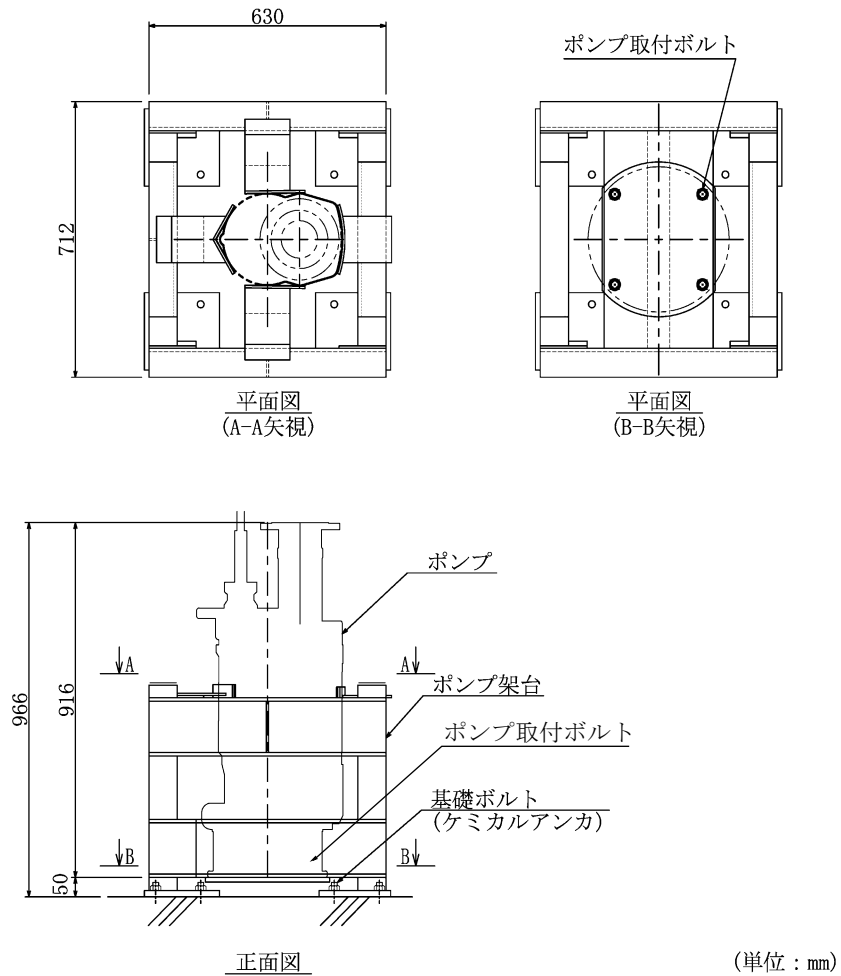


図 7.3-3 地下水排水設備のうちサブドレンポンプの概要図

3. 溢水源としない耐震 B, C クラス機器

3.1 機器（容器類・ポンプ類）

耐震評価対象の容器類，ポンプ類については，V-2「耐震性に関する説明書」のうちV-2-1-14「計算書作成の方法」にて示している構造と同様であることから，それら方針書に基づき以下に示す部位を評価部位として選定している。

- ・胴板
- ・脚
- ・台座
- ・基礎ボルト
- ・固定ボルト
- ・原動機取付ボルト
- ・取付ボルト

3.2 配管（配管，弁及び支持構造物）

耐震評価対象の配管系については，「V-2-1-14 計算書作成の方法」にて示す配管，弁及び支持構造物の構造と同様であることから，それら方針書に基づき，以下に示す部位を評価部位として選定している。

- ・配管本体
- ・支持構造物

なお，配管の耐震性評価については，設置許可では「3次元はりモデルを用いた評価，もしくは，地震加速度評価及び配管スパン評価を組み合わせた簡便法による評価を実施する」*としていたが，V-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」に示す通り，3次元はりモデルを用いた評価（スペクトルモーダル解析法）により評価を実施している。

注記*：発電用原子炉設置変更許可申請（原管発官 25 第 192 号）に係る審査資料「KK67-0090 設計基準対象施設について」の「第 9 条 溢水による損傷の防止等」の「別添 1 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 内部溢水の影響評価について」の 7.3.2 配管の耐震性評価

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

1. 概要

使用済燃料貯蔵プールの冷却機能及び給水機能を有する系統の防護対象設備については、溢水の影響を評価するために想定する機器の破損により生じる溢水及び地震時の機器の破損による溢水に対して機能喪失しないことを確認している。

ここでは、基準地震動 Ss におけるスロッシングによる使用済燃料貯蔵プールからの溢水量を評価するとともに、スロッシングによる溢水量と機器の破損による溢水量を合計したものに對し、プールの冷却機能及び給水機能を有する系統の防護対象設備が没水により機能喪失しない事を確認した。また、溢水後の水位に對し、使用済燃料貯蔵プールの冷却機能（保安規定で定められた水温 65℃以下）及び燃料体等からの放射線に對する使用済燃料貯蔵プールからの放射線に對する遮蔽水位（オーバーフロー水位付近）を維持できることを確認した。

2. 使用済燃料貯蔵プールのスロッシングによる溢水量の評価

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に当たっては、基準地震動 Ss による地震力により生じるスロッシング現象を 3 次元流動解析により評価し、使用済燃料貯蔵プール外へ漏えいする水量を溢水量として算出する。

2.1 解析方法

(1) 固有周期

使用済燃料貯蔵プールの固有周期は、単純な矩形構造を想定し、「機械工学便覧」より、次式を用いて算出する。

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1.571 \cdot g}{L} \tanh\left(\frac{1.571 \cdot H}{L}\right)}}$$

ここで、T：固有周期[s]

g：重力加速度[m/s²]

H：水深[m]

L：代表長さ（振動方向の長さの 1/2）[m]

上記の式において、水深は使用済燃料貯蔵プール通常水位（底面から 11.5m）とする。

また、代表長さは使用済燃料貯蔵プールの NS 方向長さ（14.0m）及び EW 方向長さ（17.9m）の 1/2 を設定する。使用済燃料貯蔵プールの固有周期算出結果を表 7.4-1 に示す。

表 7.4-1 使用済燃料貯蔵プールの固有周期算出結果

	プール幅[m]	代表長さ L[m]	水深 H[m]	固有周期 T[s]
EW 方向	14.0	7	11.5	4.3
NS 方向	17.9	8.95	11.5	4.9

(2) スロッシング解析

使用済燃料貯蔵プール及び上部空間をモデル化範囲とし、初期液面水位はスキマサージタンクへのオーバーフロー水位で水張りされた状態で 3 次元流動解析により溢水量を算出する。

解析に用いる地震動は、使用済燃料貯蔵プールのスロッシング周期が 3 秒から 5 秒の長周期領域であることから、基準地震動 S_s のうち、図 7.4-1 及び図 7.4-2 に示す通り最も長周期成分が卓越している基準地震動 S_s-7 を用いて溢水量を算出し、溢水量を算出する。

原子炉建屋の使用済燃料貯蔵プールの配置図を図 7.4-3 に、原子炉建屋断面図を図 7.4-4 に、使用済燃料貯蔵プールの概要図を図 7.4-5 に示す。

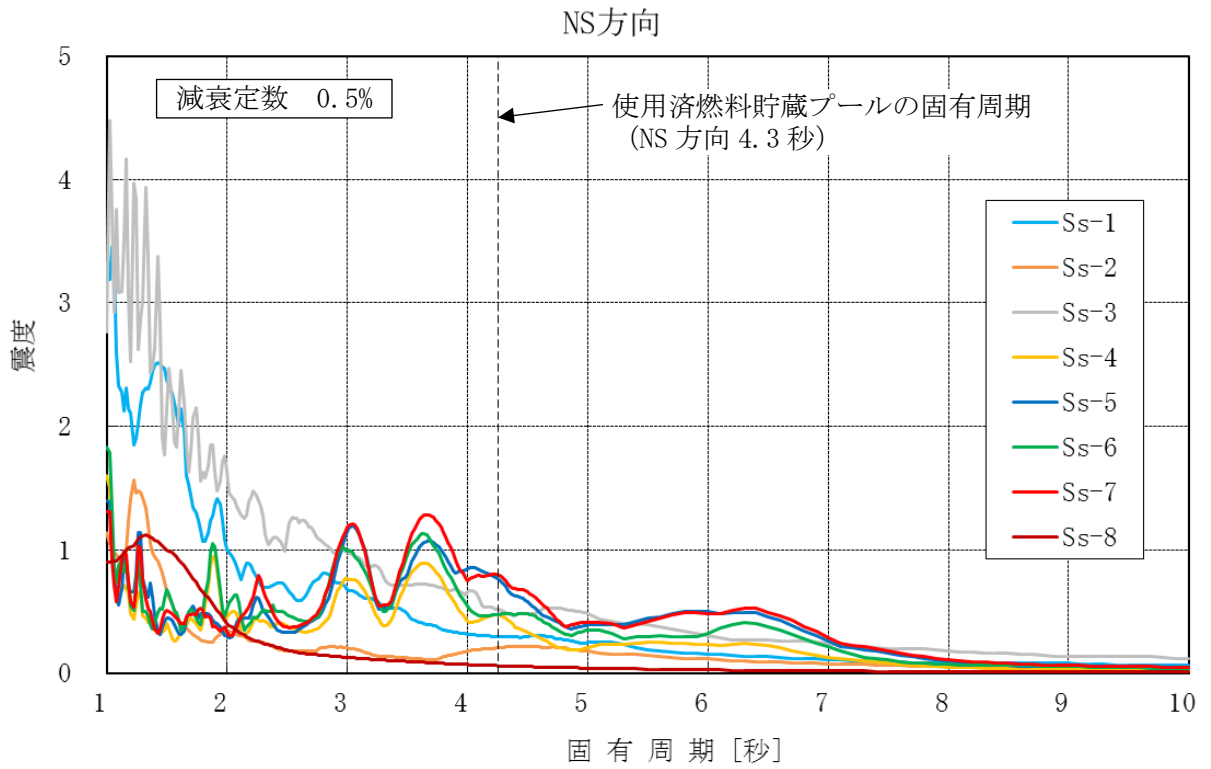


図 7.4-1 基準地震動 Ss-1～Ss-8 の比較と使用済燃料貯蔵プールの固有周期との関係 (NS)

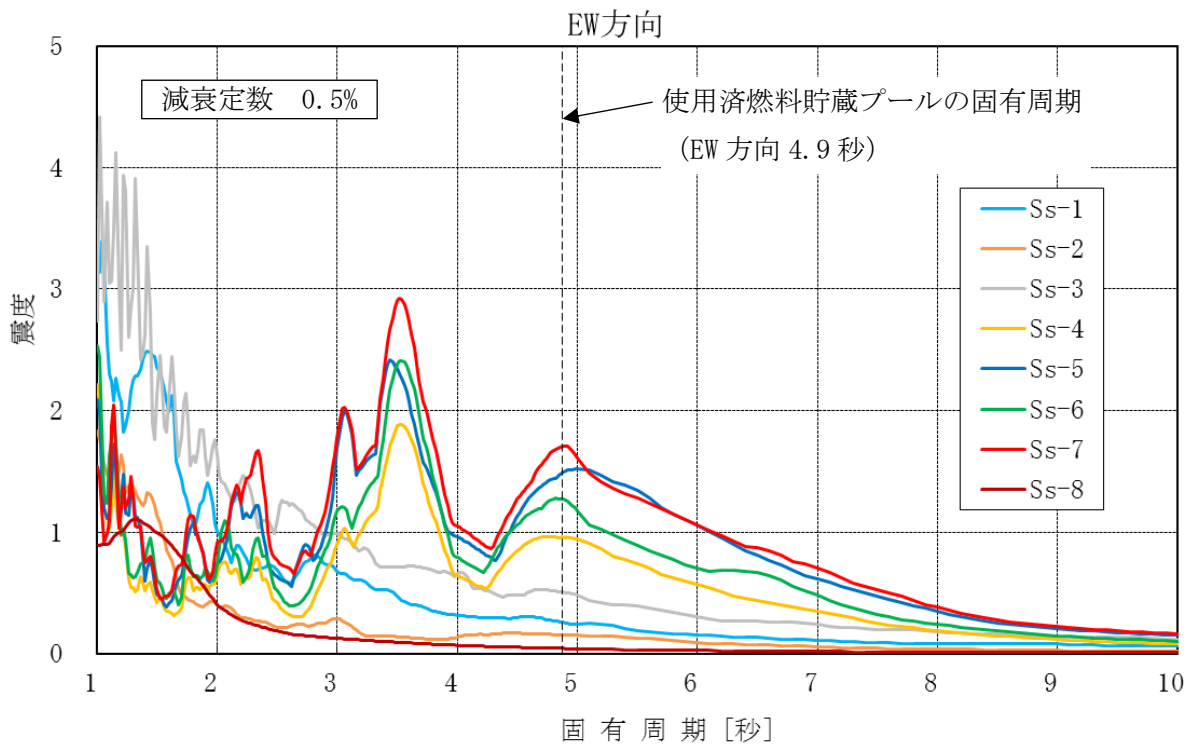


図 7.4-2 基準地震動 Ss-1～Ss-8 の比較と使用済燃料貯蔵プールの固有周期との関係 (EW)

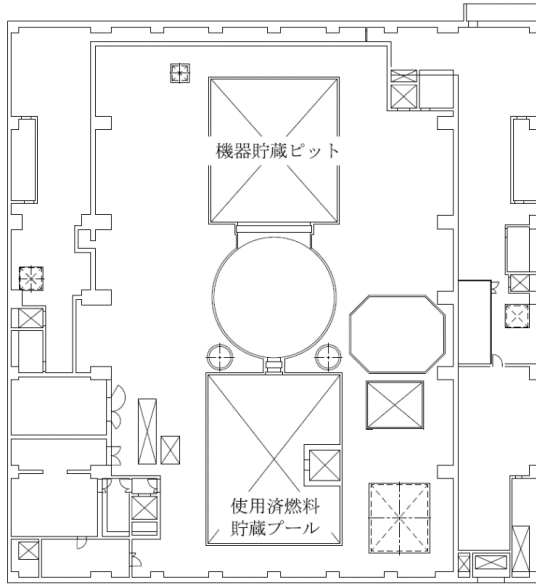


図 7.4-3 使用済燃料貯蔵プール配置図

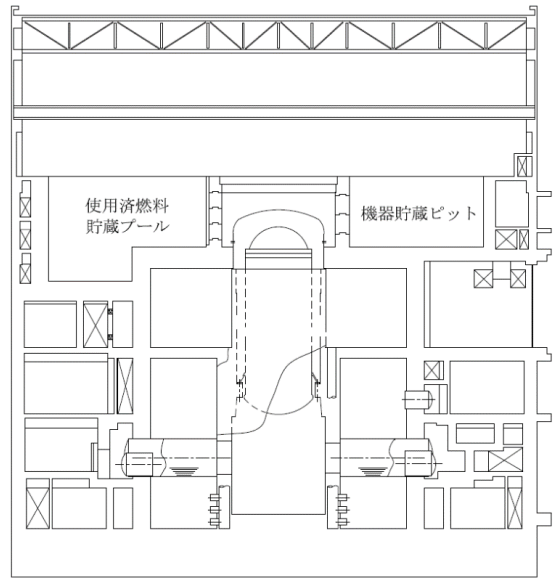


図 7.4-4 原子炉建屋断面図 (EW 断面)

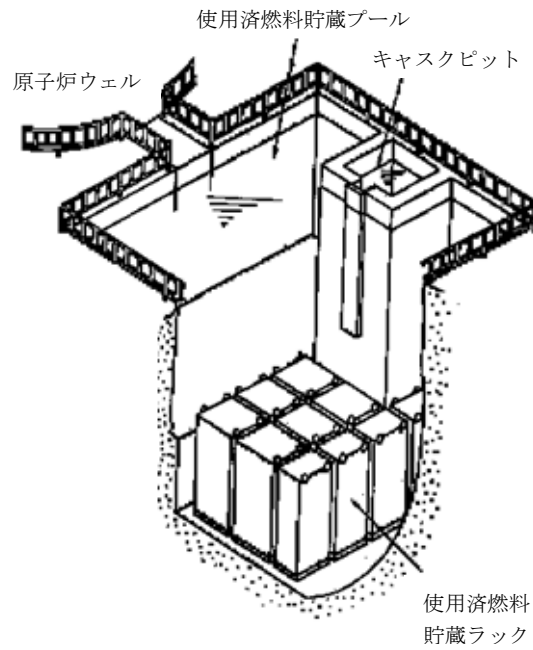


図 7.4-5 使用済燃料貯蔵プール概念図

2.2 解析条件

解析条件は表 7.4-2 に示す通り。解析モデル図を図 7.4-6 に示す。

表 7.4-2 解析条件

モデル化範囲	・使用済燃料貯蔵プール，上部空間，キャスクピット
境界条件	・使用済燃料貯蔵プールの外側に溢れた水を溢水量として計算
初期液面水位	・通常水位 (使用済燃料貯蔵プールの水位は一定水位に管理されている。)
解析コード	・汎用熱流体解析コード Fluent Ver. 19.1
評価用地震動	・Ss-7 を入力した 3 方向同時刻歴解析
解析時間	・160 秒 (溢水量に有意な増加が確認できなくなった時間。)
プール内部構造図	・一般的に，使用済燃料貯蔵ラック等のプール内構造物がスロッシングに与える影響は小さいと判断し，モデル化しない。
溢水低減用柵	・溢水量の低減を目的として使用済燃料貯蔵プール廻りに設置されている柵についてはモデル化せず，解析上は柵の溢水量低減効果を期待しない。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・一度使用済燃料貯蔵プール外へ溢水した水は，再度プール内に戻ることも想定されるが，解析上は再びプール内に戻らないこととする。 ・解析に使用する物性値は以下の通りとする。 <ul style="list-style-type: none"> (1) 密度 水：992[kg/m³]，空気：1.205[kg/m³] (2) 粘性係数 水：6.72×10⁻⁴[Pa・S]，空気：1.82×10⁻⁵[Pa・S]

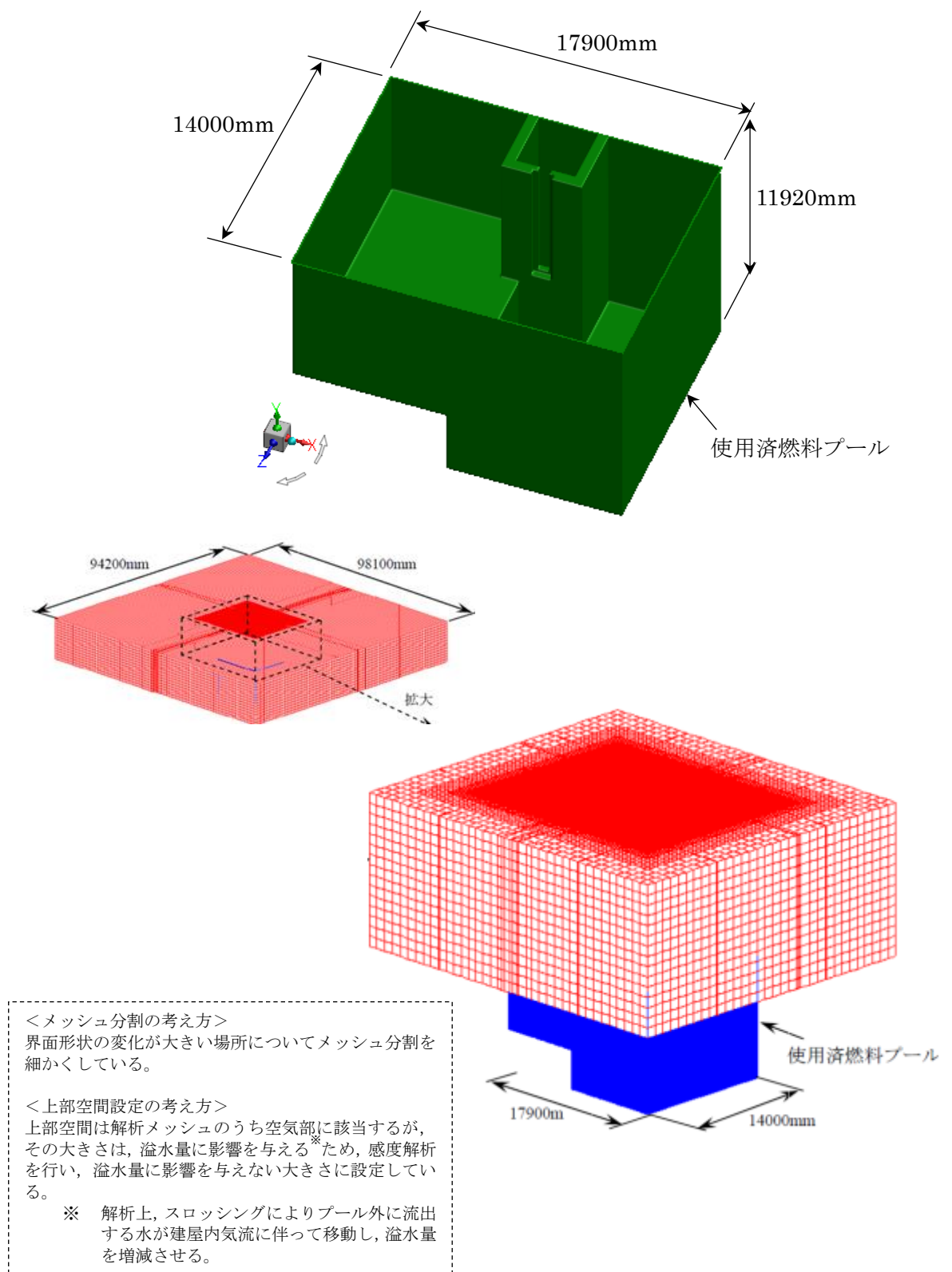


図 7.4-6 メッシュ図等を含む解析に必要な図面

2.3 入力地震動

入力する地震動は、基準地震動 Ss（全 8 波）のうち地震継続時間及び応答加速度の観点から最も長周期成分が卓越している Ss-7 を評価用代表波として選定し、原子炉建屋地震応答解析結果から求まる原子炉建屋 T. M. S. L. +31700 の応答波を用いて、3 方向（NS 方向、EW 方向及び UD 方向）同時入力時刻歴解析を実施した。

Ss-7 の継続時間を表 7.4-3 に示す。Ss-7 による入力地震動を図 7.4-7 に示す。

表 7.4-3 地震波と解析ケース

入力地震動	継続時間	加振する方向成分
Ss-7	160 秒	3 方向

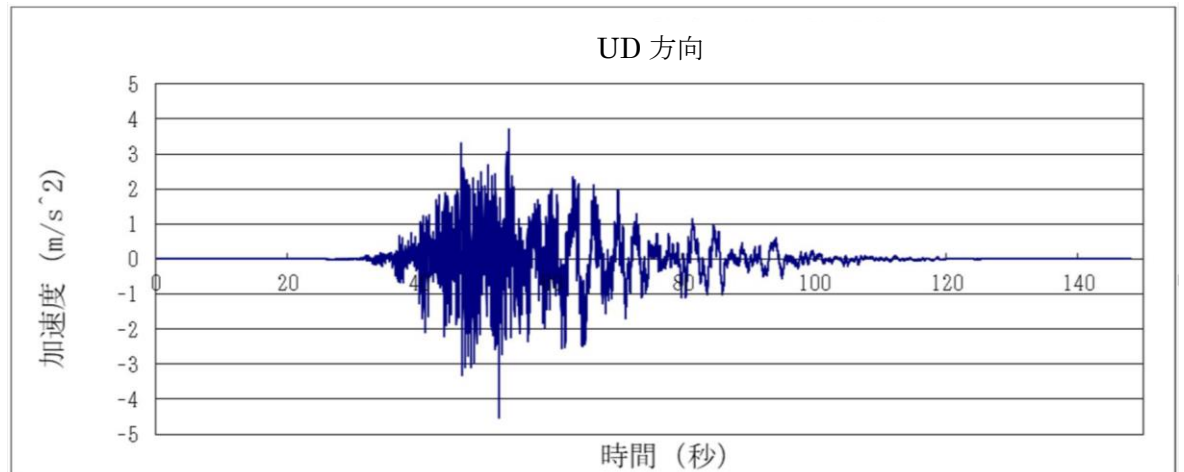
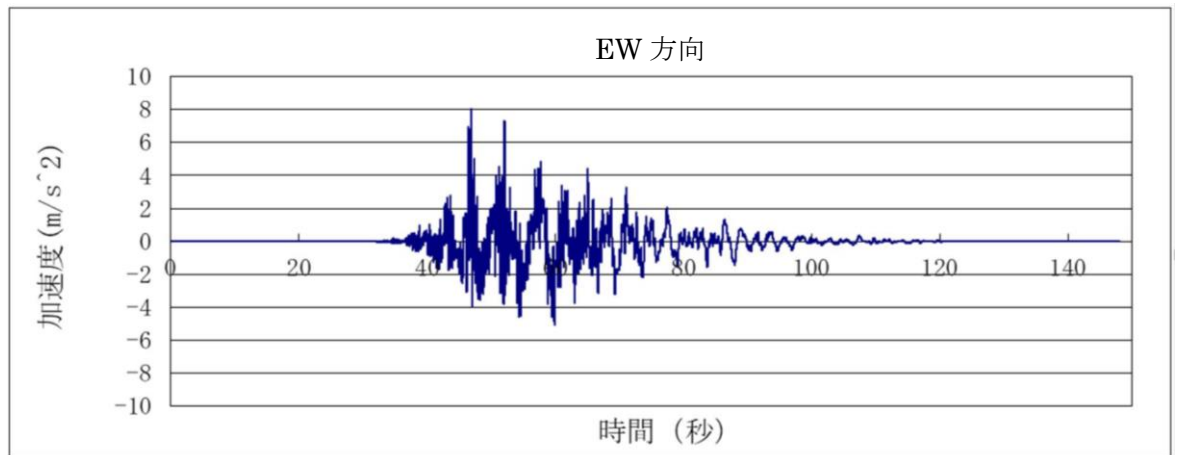
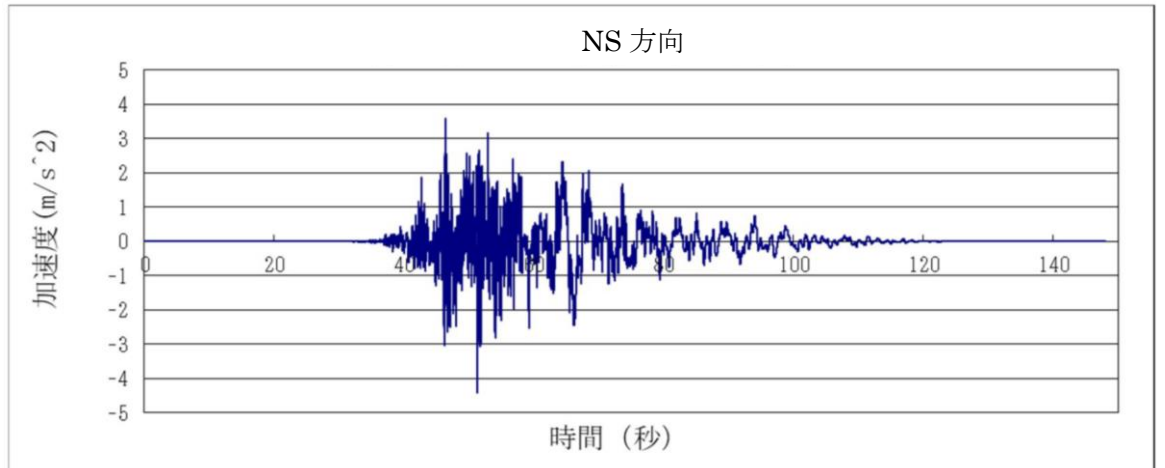


圖 7.4-7 基準地震動 Ss-7 時刻歷加速度

2.4 評価結果

各評価ケースにおける使用済燃料貯蔵プールのスロッシングによる溢水量と水位を表 7.4-4 に示す。なお、スロッシング後の水位の算出にあたっては、プール水位を一定に保っていることから通常水位とする。

また、使用済燃料貯蔵プールからの溢水量合計が最大となる溢水量の変化を図 7.4-8、使用済燃料貯蔵プールの液面形状を図 7.4-9 に示す。

表 7.4-4 使用済燃料貯蔵プール水位

号機	6 号機
溢水量 [m ³](解析値)	631
溢水量 [m ³](内部溢水影響評価用)	700*3
通常時使用済燃料貯蔵プール水位[m]	11.5
水位低下量*1[m]	2.9
溢水後使用済燃料貯蔵プール水位*2[m]	8.6
使用済燃料貯蔵ラック高さ*2[m]	4.54

注記*1：内部溢水影響評価用溢水量(700m³)を使用済燃料貯蔵プールの面積(244.12m²)で除し、小数点第2位を切上げた値。

*2：使用済燃料貯蔵プール底部を基準とする。

*3：保守性を考慮し、解析値を1.1倍し、1の位を切上げた値。1.1倍の倍率は、解析コードの検証結果における、試験値と解析値の差を踏まえて保守的に設定した。
なお、解析結果に対する余裕の考え方として、解析コードの検証の概要について別紙に示す。

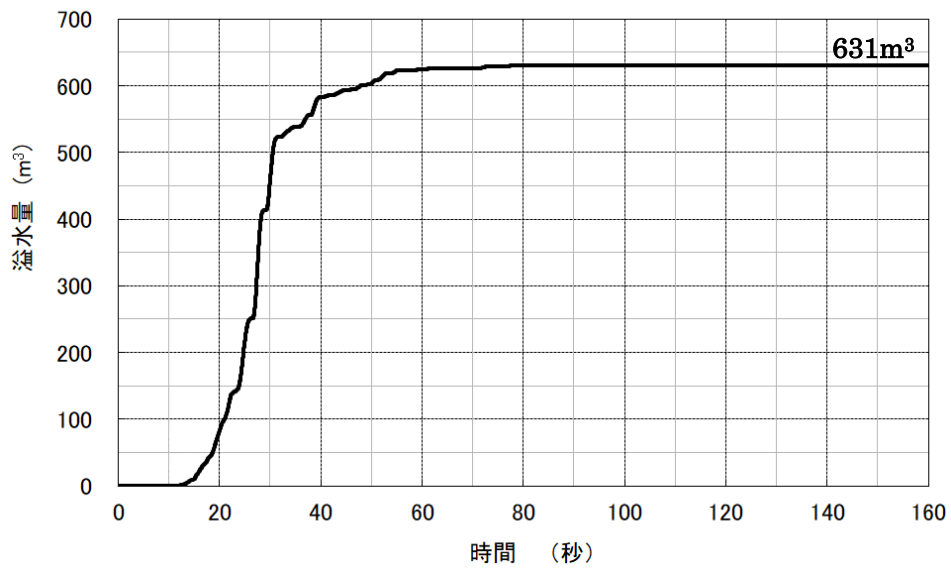


図 7.4-8 使用済燃料貯蔵プールからの溢水量の時間変化

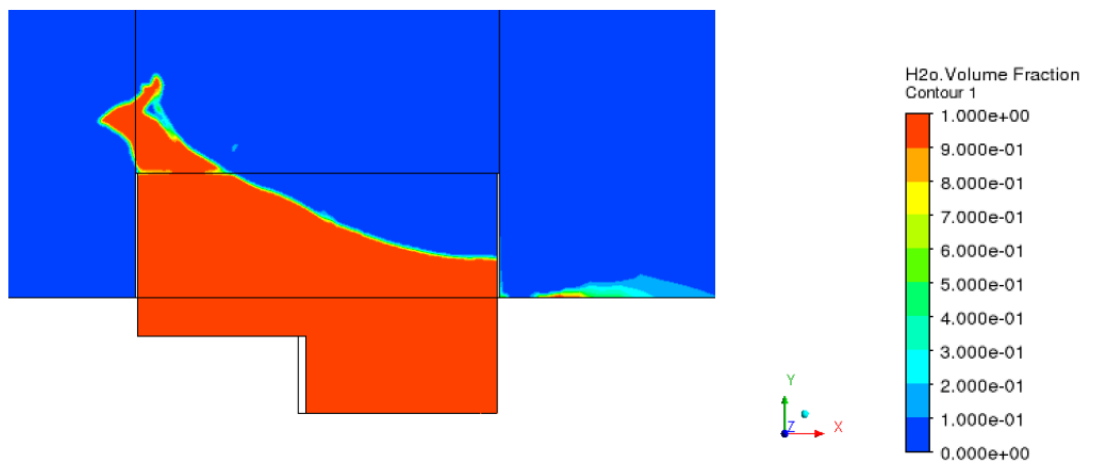


図 7.4-9 使用済燃料貯蔵プールの液面状況（最高液位発生時）

3. 使用済燃料貯蔵プールのスロッシングに対する冷却機能、給水機能及び遮蔽機能の維持の確認

3.1 使用済燃料貯蔵プールの冷却機能及び給水機能の維持

地震起因による溢水影響評価において、残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールへの冷却機能及び給水機能が維持されることを確認しているが、表 7.4-4 より地震後の使用済燃料プール水位が一時的にプール冷却に必要な水位 (11.5m オーバーフロー水位) を下回るため、使用済燃料貯蔵プールの温度上昇に対する時間余裕と、系統切替操作にかかる時間を評価し、使用済燃料プール水温が保安規定で定める水温 (65℃) を上回らないことを、以下のとおり確認した。

3.1.1 使用済燃料貯蔵プール水の温度上昇に対する時間余裕と系統切替操作にかかる時間

使用済燃料貯蔵プール水の温度上昇に対する時間余裕については、有効性評価で想定している、原子炉停止後に最短時間 (原子炉停止後 10 日) で取り出された全炉心分の燃料と、過去に取り出された貯蔵燃料が、使用済燃料貯蔵ラックに最大数保管されていることを想定し、また地震に伴うスロッシングによる溢水量 700(m³) を使用済燃料貯蔵プールの初期保有水量から差し引いた状態にて算出した。使用済燃料貯蔵プール水温が保安規定で定める水温 (65℃) に到達するまでの時間余裕を表 7.4-5 にまとめる。なお、初期水温は 40℃ と想定した。また、残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールへの給水に要する時間を表 7.4-6 に示す。

以上より、使用済燃料貯蔵プール水の温度上昇に対する時間余裕の中で、残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールへの給水が完了し、また使用済燃料貯蔵プールの冷却機能も維持されていることから、使用済燃料貯蔵プール水温が保安規定で定める水温 (65℃) を上回ることはない。

表 7.4-5 使用済燃料貯蔵プール水温と時間余裕

使用済燃料貯蔵プール水	65℃到達時間 (h)	100℃到達時間 (h)
	5.6	13.4

表 7.4-6 残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールへの給水に要する時間

現場所要時間 (min)	約 30
給水流量 (m ³ /h)	954 ^{*1}
給水完了時間 (h)	約 1.3 ^{*2}

注記*1：残留熱除去系ポンプ 1 台の定格流量

*2：現場所要時間及び給水時間に余裕を考慮して設定

3.2 使用済燃料貯蔵プールのスロッシングに対する遮蔽機能の維持

使用済燃料貯蔵プールからのスロッシングによる溢水量がプール外へ流出した際に、使用済燃料の遮蔽機能に必要なプール水位が確保されているかを確認した。確認結果を表7.4-7に示す。

スロッシング発生後の使用済燃料貯蔵プールの水位低下量は 2.9m^* となり、一時的に使用済燃料貯蔵プール周辺の線量率が 10mSv/h 相当となる水位低下量である 2.1m^{*2} を下回るものの、表7.4-6に示すとおり、残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールへの給水作業により、約1.3時間でオーバーフロー水位に回復することから、遮蔽機能維持への影響はない。

なお、残留熱除去系により使用済燃料貯蔵プールへの給水を実施する場合には、現場での手動弁操作が必要となるが、手動弁は原子炉建屋地上2階及び地下中1階に設置されており、アクセスルートとして使用済燃料貯蔵プールの設置されているオペレーティングフロアを通過しないため、一時的に使用済燃料貯蔵プール周辺の線量率が上昇したとしても、現場へのアクセス及び手動弁操作は可能である。

現場操作が必要な手動弁を表7.4-8及び図7.4-10に、現場操作に伴うアクセスルートを図7.4-11に示す。

表7.4-7 溢水時における使用済燃料プールの遮蔽機能維持の確認結果

スロッシング発生後の使用済燃料貯蔵プールの水位低下量(m)	2.9^{*1}
使用済燃料貯蔵プール周辺の線量率が 10mSv/h 相当となる水位低下量(m)	2.1^{*2}

注記*1：内部溢水影響評価用溢水量(700m^3)を使用済燃料貯蔵プールの面積 244.12m^2 で除し、小数点第2位を切上げた値。

*2：「VI-1-3-5 使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書」で設定している、使用済燃料貯蔵プール周辺の線量率を基準線量率(10mSv/h)*3以下とする放射線遮蔽の維持に必要な水遮蔽厚とオーバーフロー水位の差

*3：原子炉建屋最上階で実施する可能性のある、使用済燃料貯蔵プールの近傍にある燃料プール冷却浄化系の手動弁の閉操作又は可搬型スプレイヘッド及びホースの設置作業であっても、1時間を越える長時間の操作とはならず、事故発生時に原子炉建屋最上階にいる一般作業員の待避についても、1時間以内で実施可能であることから、目安とする線量率は、緊急作業時の被ばく限度(100mSv)に対して余裕のある値である 10mSv/h と設定している。

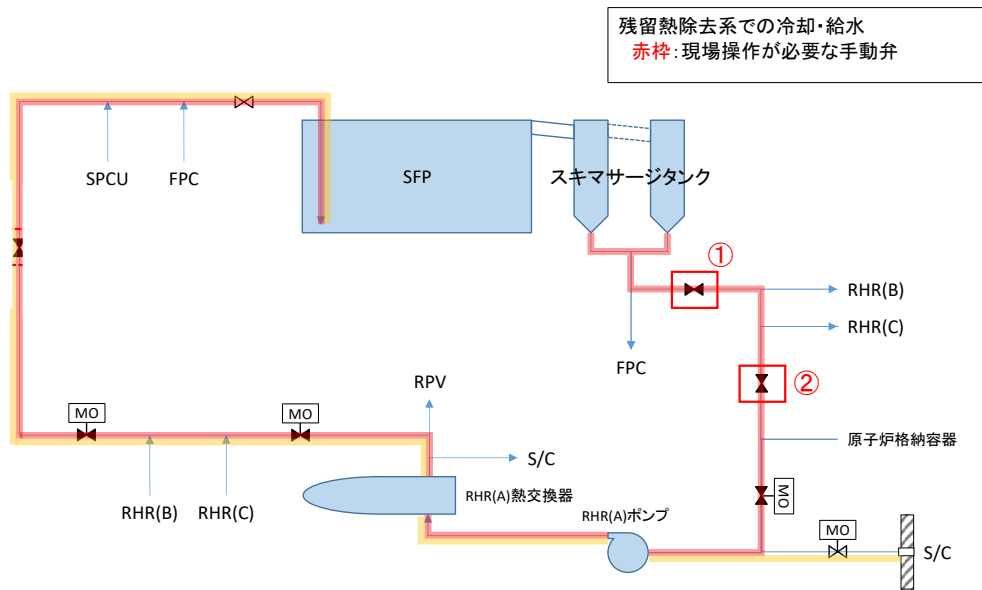


図 7.4-10 残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールの冷却・給水ライン

表 7.4-8 現場操作が必要な手動弁 (6号機)

	現場操作手動弁	溢水防護区画	設置エリア
①	G41-F020	R-2F-1	原子炉建屋 地上 2 階
②	E11-F016A	R-B-15a	原子炉建屋 地下中 1 階
	E11-F016B	R-B-15b	原子炉建屋 地下中 1 階
	E11-F016C	R-B-14	原子炉建屋 地下中 1 階

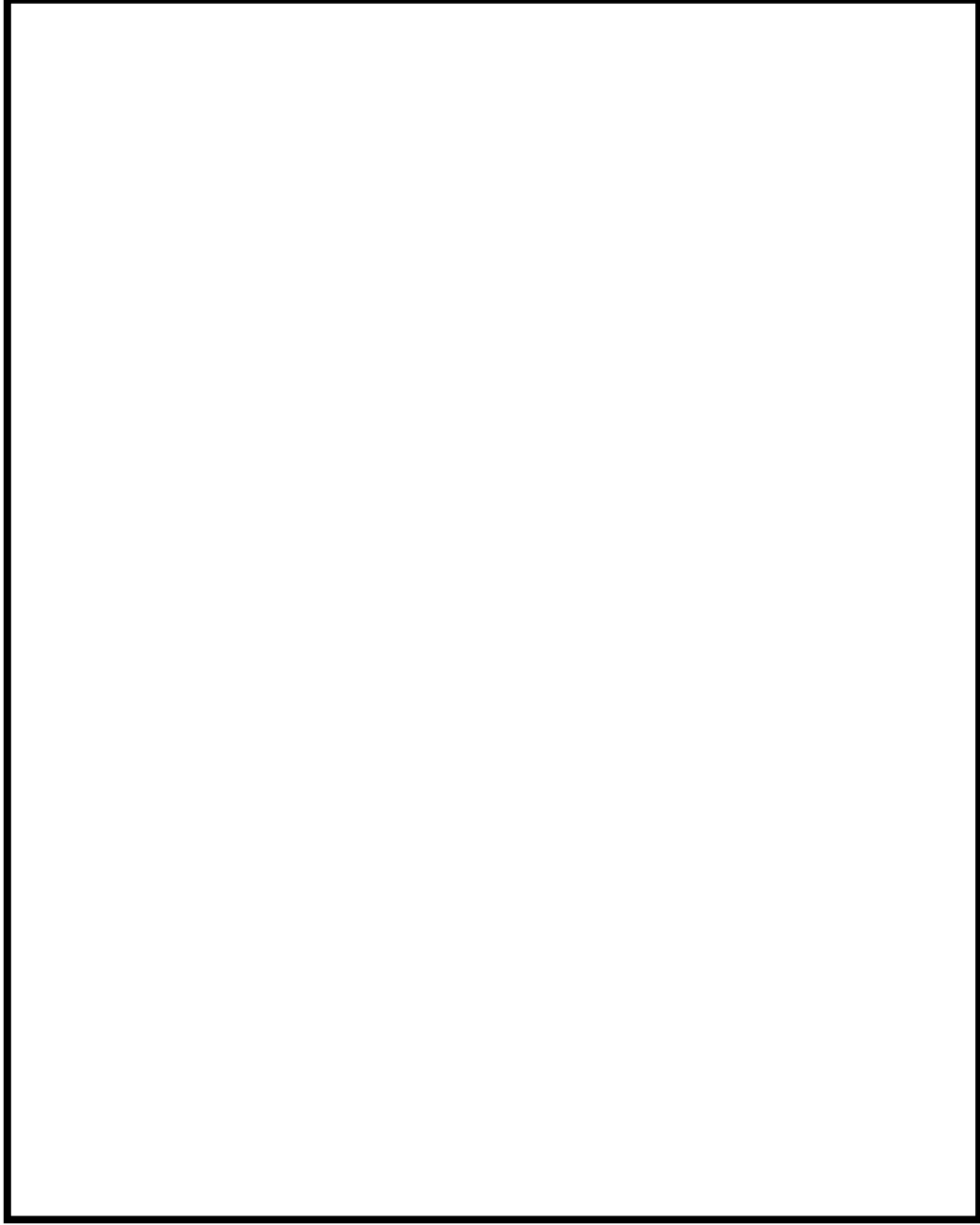


図 7.4-11 6号機 残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールの冷却・給水のための現場操作に伴うアクセスルート (1/4)

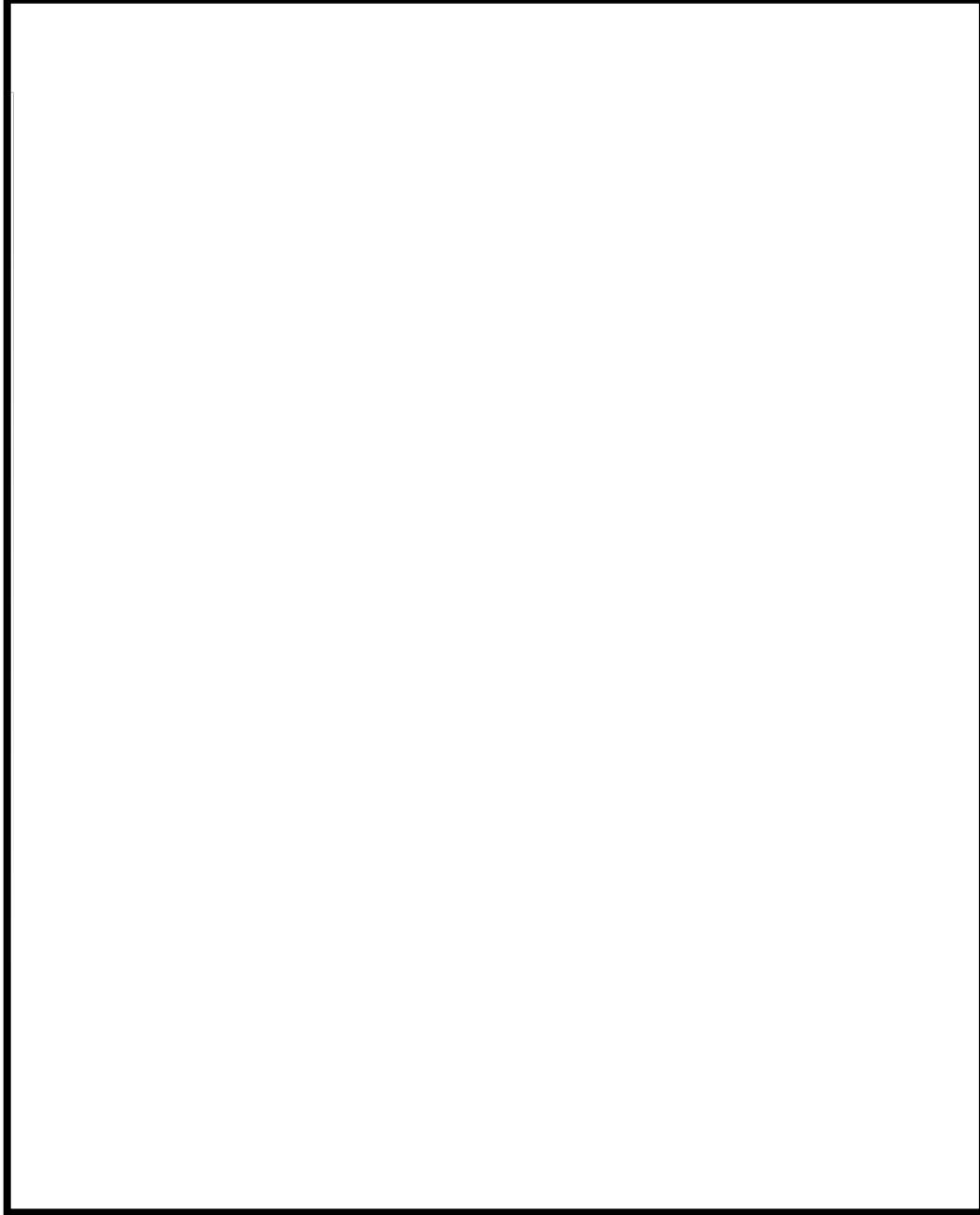


図 7.4-11 6号機 残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールの冷却・給水のための現場操作に伴うアクセスルート (2/4)

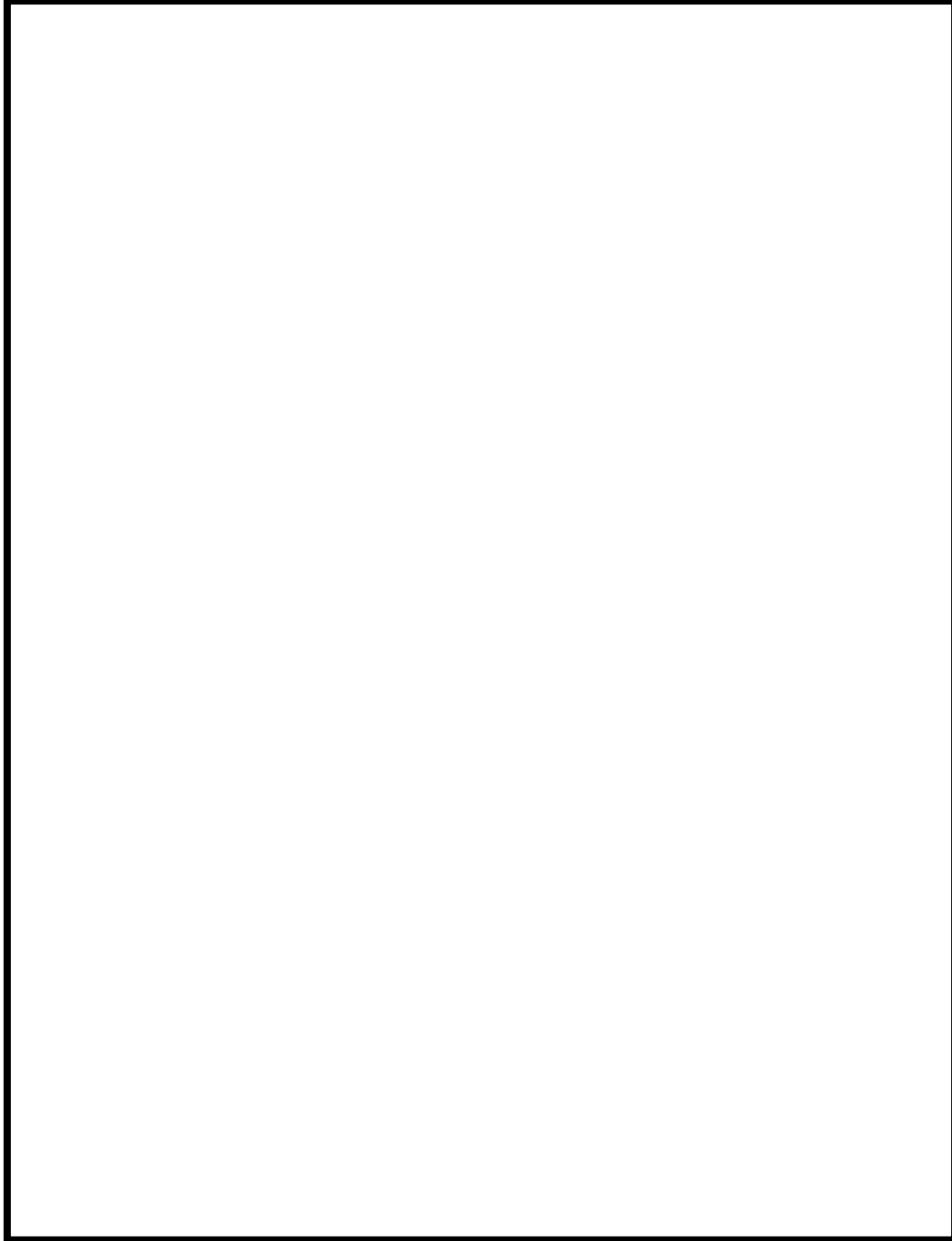


図 7.4-11 6号機 残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールの冷却・給水のための現場操作に伴うアクセスルート (3/4)

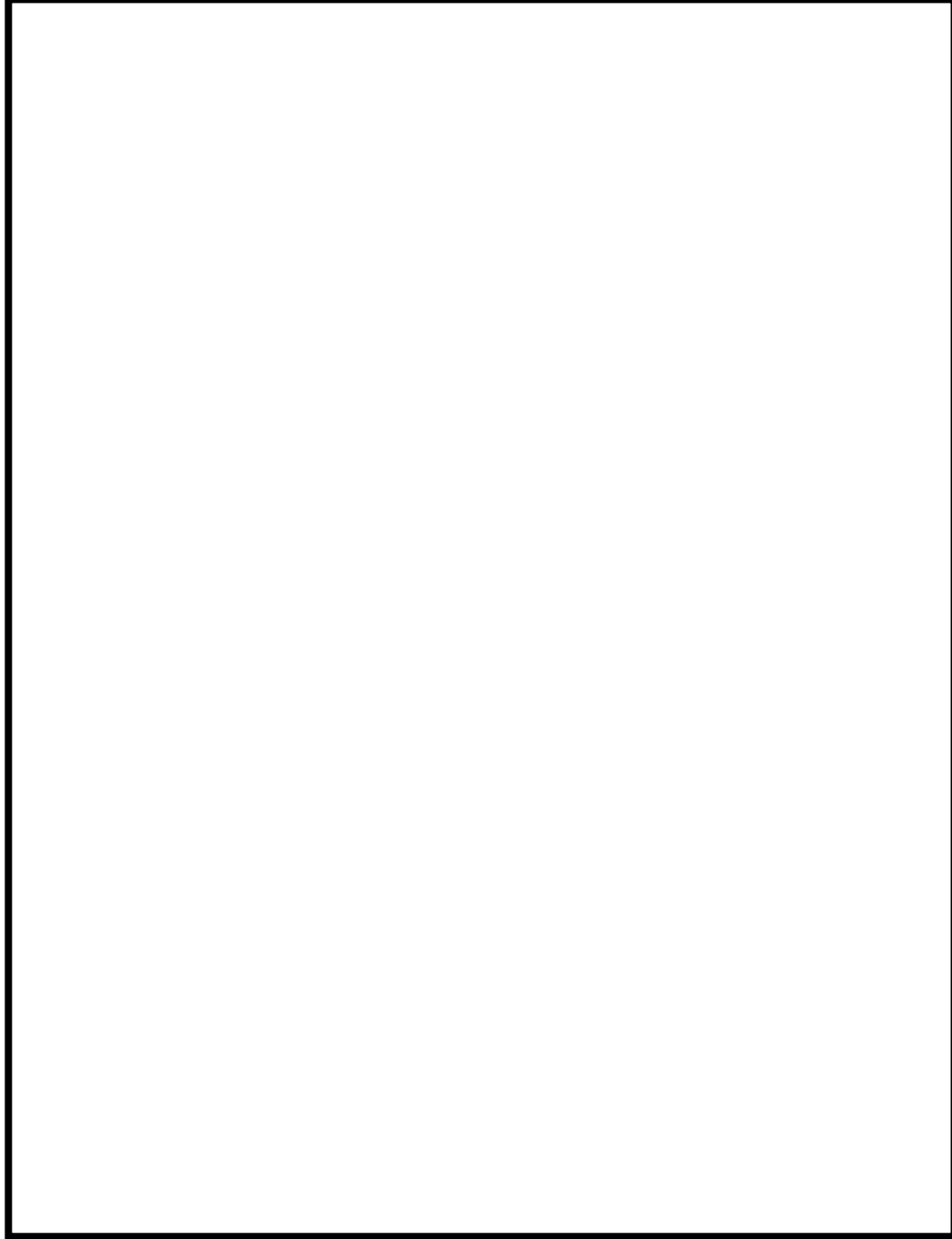


図 7.4-11 6号機 残留熱除去系による使用済燃料貯蔵プールの冷却・給水のための現場操作に伴うアクセスルート (4/4)

4. 原子炉ウェル，機器貯蔵ピットを考慮した溢水量について

4.1 原子炉ウェル，機器貯蔵ピットを考慮した溢水量に対する冷却機能及び給水機能の維持

使用済燃料貯蔵プール，原子炉ウェル及び機器貯蔵ピットに水が張られた状態において地震時の機器の破損による溢水が発生した場合に必要な安全機能が損なわれないことを確認する。

原子炉ウェル及び機器貯蔵ピットに水が張られた状態における溢水量については、「2. 使用済燃料貯蔵プールのスロッシングによる溢水量の評価」に記載した解析より算出された溢水量（631m³）の約1.5倍と過去の解析結果を基に設定し，溢水量は950m³とする。

この溢水量に対する原子炉建屋4階のスロッシングに影響する区画の溢水水位は約1.2mと評価している。

これに対し，原子炉建屋4階のスロッシングに影響する区画の必要な伝播経路に対する止水対策高さは1.5mまで実施しており，十分な保守性を有している。また，止水対策を実施していない階段室，エレベータ室及び床ドレンラインを介して下階へ伝播したとしても，その伝播先の区画における溢水水位に対して必要な止水対策を実施しており，使用済燃料貯蔵プールのみからのスロッシングにより発生する溢水と比較しても溢水の伝播範囲が拡大することはないことから，使用済燃料貯蔵プールの冷却機能及び使用済燃料貯蔵プールへの給水機能を有する系統に影響はない。

また，原子炉ウェル及び機器貯蔵ピットに水が張られた状態は定期検査時にあたるが，何らかの作業により溢水影響評価上設定したプラント状態と一時的に異なる状態となった場合においても，重大事故等対処施設の利用も含めた現実的な対応も考慮し，その状態を踏まえた必要な安全機能が損なわれない運用を定めることとしている。

汎用熱流体解析コード「Fluent」の検証の概要

使用済燃料貯蔵プールのスロッシング解析は、汎用流体解析コード「Fluent」(Ver19.1) (以下「Fluent」という。)を用いて実施している。この汎用熱流体解析コードの検証として、矩形プールのスロッシング試験結果について本解析コードで解析した結果、プール内部の液面変動および溢水量が試験とよく一致する。

検証の概要

矩形プールのスロッシング試験結果を基に、スロッシング解析に対する Fluent コードの適用性を検証した。

水流動試験

(1) 試験装置
矩形プールを模擬した試験体を図-1に示す。

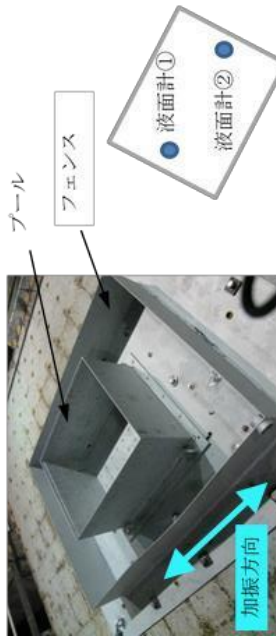


図-1 試験体形状

- (2) 試験体寸法
プール寸法は900mm×700mm×413mm、基準水位は350mm (水量約0.22m³)である。
- (3) 加振条件
プール長辺方向のスロッシング1次固有振動数は0.85Hzである。この時の共振振動数による正弦5波で長辺方向に加振する。

(4) 計測項目

- 液面変動：試験体短辺の中心付近に設置した液面計により計測
- 溢水量：加振後の水位低下量を計測

解析解析

- (1) 解析モデル
試験体プールの形状を模擬した3次元モデルを作成した。解析モデルの概要を図-2に示す。

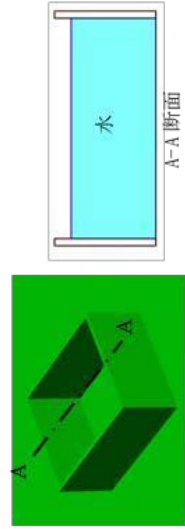


図-2 解析モデル概要

(2) 解析結果

- 液面変動の比較
プール長辺方向の液面変動について、試験と解析を比較した結果を図-3に示す。解析は試験とほぼ同じ液面変動を示す。

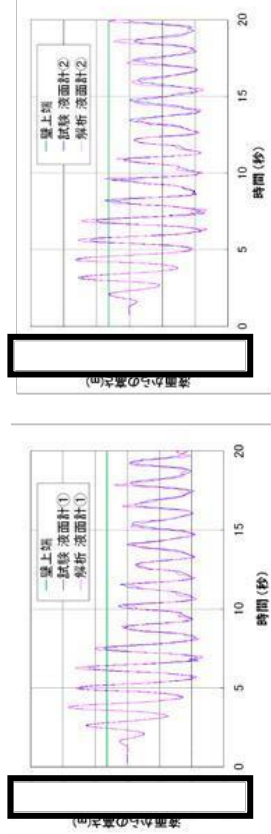


図-3 液面変動比較結果

- 溢水量比較
試験と解析の溢水量を比較した結果を表-1に示す。解析の溢水量は試験の約97%である。

表-1 溢水量比較

試験	0.079m ³
解析	0.077m ³

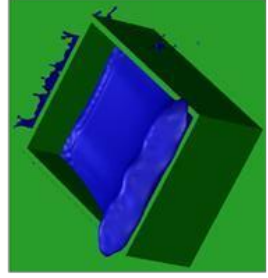
- スロッシング挙動比較

液面挙動の比較を以下に示す (液位がほぼ最高を示す時点)。

試験 (ビデオ)



解析 (VOF=0.5)



7.5 溢水源としない耐震B, Cクラス機器の耐震評価の内容

1. 概要

地震時、溢水源としない耐震B, Cクラス機器については、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震B, Cクラス機器の耐震計算書」にて、耐震評価結果を纏めている。

本資料は、添付書類「VI-2-別添 2-2 溢水源としない耐震B, Cクラス機器の耐震計算書」にて評価対象とした耐震B, Cクラス機器（容器、ポンプ）の耐震評価内容について補足するものである。

2. 対象機器

確認対象機器を表 7.5-1 及び表 7.5-2 に示す。溢水源としない耐震B, Cクラス機器は、剛構造及び柔構造に分類されることから、剛構造機器は代表 1 機器、柔構造機器は全ての機器を対象に、耐震評価内容を示す。

表 7.5-1 確認対象機器(柔設備)*1

機器名称	モード	固有周期*2 (s)	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3
			NS 方向	EW 方向	
タービン補機冷却海水系 ポンプ(A)～(C)	1次	0.051	2.77	2.77	—
	2次	0.029	—	—	—
	動的震度*4		1.37	1.37	1.17

注記 *1：剛構造機器は代表して 1 機器を確認対象とする。また、柔構造機器は全て確認対象とする。

*2：柔構造のみ固有周期を記載。

*3：設計用床応答曲線Ⅱ（基準地震動 S s）より得られる震度を示す。

*4：設計用最大床応答加速度Ⅱ（基準地震動 S s）を示す。

表 7.5-2 確認対象機器(剛設備)*1

機器名称	設計震度		固有周期(s)*2		対象機器
	水平	鉛直	水平	鉛直	
燃料プール冷却浄化系ポンプ(A), (B)	1.13*3	1.09*3	—	—	○

注記 *1：剛構造機器は代表して 1 機器を確認対象とする。また、柔構造機器は全て確認対象とする。

*2：柔構造のみ固有周期を記載。

*3：設計用最大床応答加速度Ⅰ（基準地震動 S s）を示す。

3. 荷重及び荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、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」の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (D)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

(2) 内圧荷重 (P_D)

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(3) 機械的荷重 (M_D)

当該設備に設計上定められた機械的荷重

(4) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s により定まる地震力とする。

3.2 荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せは、各機器の評価部位ごとに設定する。各機器の評価部位における荷重の組合せを表 7.5-3～表 7.5-5 に示す。

表 7.5-3 容器類の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	D + P _D + M _D + S _s	胴板

表 7.5-4 配管の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	D + P _D + M _D + S _s	配管, 弁

表 7.5-5 支持構造物の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
IV _A S	D + P _D + M _D + S _s	脚, 台座, 支持構造物, ボルト等

4. 耐震評価内容

「2.対象機器」において選定した機器について、耐震評価内容を以下に示す。

4.1 タービン補機冷却海水系ポンプ(A)～(C)

4.1.1 構造計画

タービン補機冷却海水ポンプの構造計画を表 7.5-6 に示す。

表 7.5-6 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形 (ターボ形たて軸ポンプ)	

4.1.2 評価対象部品

タービン補機冷却海水ポンプの評価対象部位を表 7.5-7 に示す。

表 7.5-7 評価対象部位

機器名称	評価部位
タービン補機冷却海水系ポンプ (A)～(C)	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機台取付ボルト
	原動機取付ボルト

4.1.3 計算方法

基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性が確保され、溢水に至らないことを確認するために、スペクトルモーダル解析による地震応答解析により、許容応力 IV_{AS} の許容限界を満足することを確認する。また、解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.1.4 許容応力

評価の許容限界は、許容応力状態 IV_{AS} の許容応力を用いる。評価に用いる許容限界を表 7.5-8 に示す。

表 7.5-8 許容応力

荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界	
		引張	せん断
$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

4.1.5 使用材料の許容応力評価条件

使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を表 7.5-9 に示す。

表 7.5-9 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)
タービン補機冷却海水系 ポンプ(A)～(C)	基礎ボルト			198	504
	ポンプ取付 ボルト			198	504
	原動機台取 付ボルト			198	504
	原動機取付 ボルト			198	504

4.1.6 解析モデル

タービン補機冷却海水ポンプの解析モデルを、図7.5-1に示す。解析モデルは、ロータ部、コラムパイプ部、原動機～原動機台部を考慮した多質点系モデルとする。また、解析モデルは水平方向及び鉛直方向の応答を考慮した2次元の解析モデルとする。

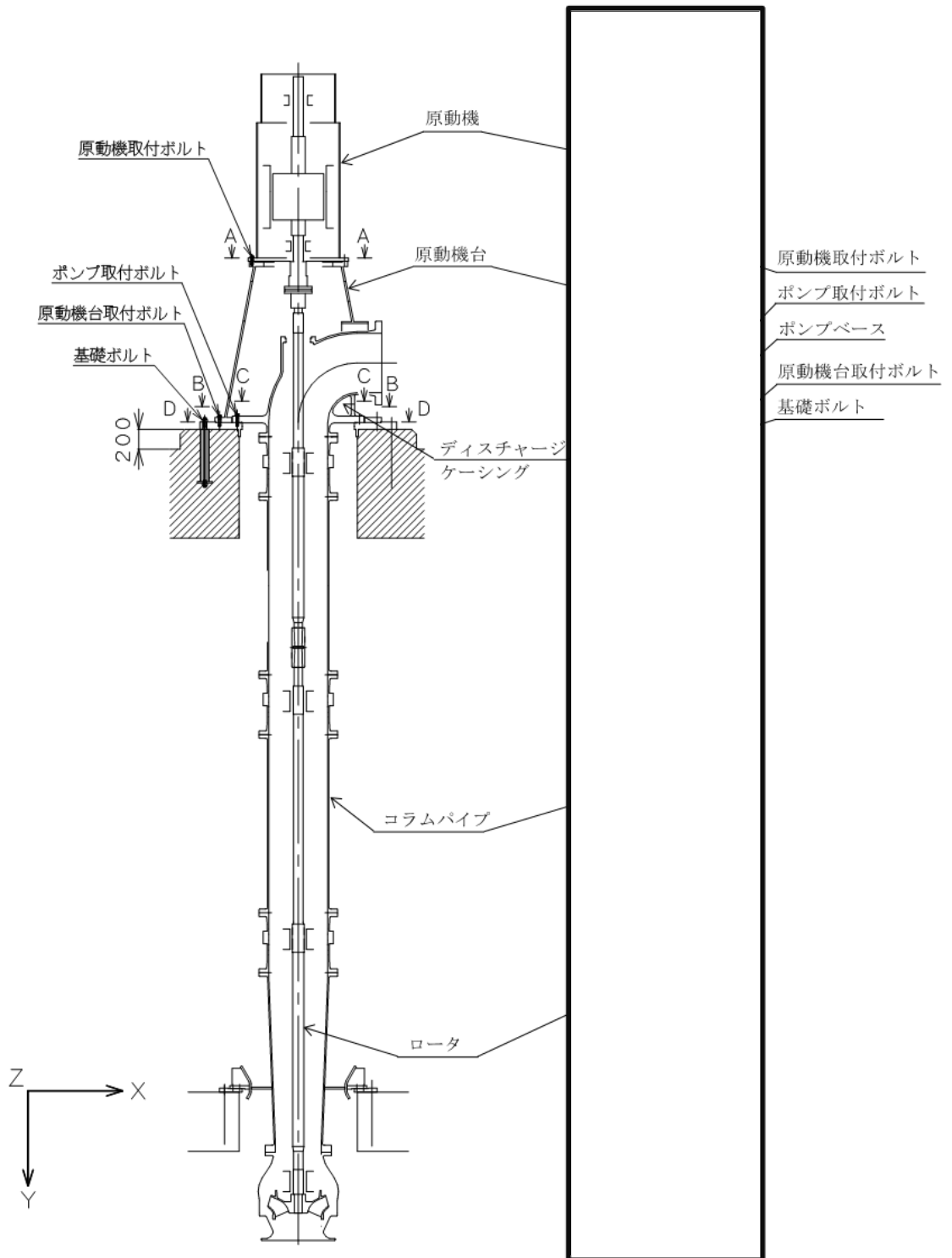


図 7.5-1 タービン補機冷却海水ポンプ 解析モデル

4.1.7 固有周期

固有値解析の結果を表 7.5-10 に示す。

表 7.5-10 タービン補機冷却海水ポンプの固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.051	0.458	0.458	-0.000
2 次	水平	0.029	—	—	—

4.1.8 振動モード図

振動モード図を図 7.5-2 及び図 7.5-3 に示す。



図 7.5-2 タービン補機冷却海水ポンプ 振動モード (1次モード)



図 7.5-3 タービン補機冷却海水ポンプ 振動モード (2次モード)

4.1.9 設計用地震力

本資料において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線及び設計震度を表 7.5-11 に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 7.5-11 設計用床応答曲線及び設計震度

建物・構造物		タービン建屋		
標高 T.M.S.L. (m)		4.9		
減衰定数 (%)		1.0		
適用する地震動等		基準地震動 $S_s \times 1.3$		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*1}		応答鉛直 震度 ^{*1}
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.051	2.77	2.77	—
2 次	0.029	—	—	—
動的震度 ^{*2}		1.37	1.37	1.17

注記 *1：設計用床応答曲線 II（基準地震動 S_s ）より得られる震度を示す。

*2：設計用最大床応答加速度 II（基準地震動 S_s ）を示す。

4.1.10 評価結果

表 7.5-12 に示すとおり、算出応力は許容応力を超えず、基準地震動 $S_s \times 1.3$ に対し、耐震性を有することを確認した。

表 7.5-12 評価結果^{*1}

評価対象設備	評価部位	応力種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
タービン補機冷却海水系ポンプ (A)～(C)	原動機取付ボルト	引張	33	184
		せん断	19	142

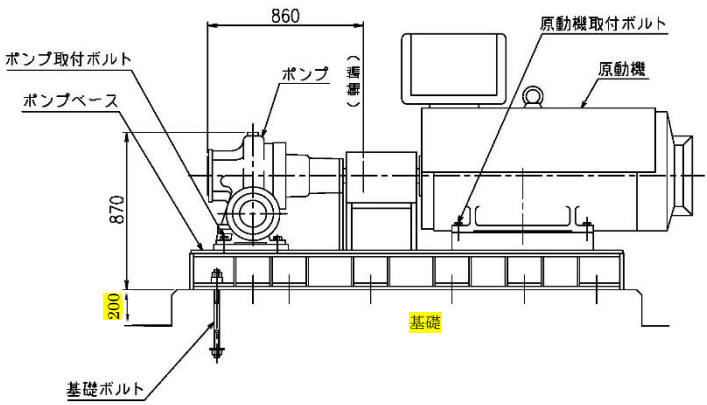
注記 *1：評価結果は、算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい箇所の結果について記載する。

4.2 燃料プール冷却浄化系ポンプ(A), (B)

4.2.1 構造計画

燃料プール冷却浄化系ポンプの構造計画を表 7.5-13 に示す。

表 7.5-13 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ポンプ等はポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	うず巻形（うず巻形横軸ポンプ）	 <p>(単位：mm)</p>

4.2.2 評価対象部品

燃料プール冷却浄化系ポンプの評価対象部位を表 7.5-14 に示す。

表 7.5-14 評価対象部位

機器名称	評価部位
燃料プール冷却浄化系ポンプ (A), (B)	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト

4.2.3 計算方法

基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性が確保され、溢水に至らないことを確認するために、許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を満足することを確認する。

4.2.4 許容応力

評価の許容限界は、許容応力状態IV_ASの許容応力を用いる。評価に用いる許容限界を表7.5-15に示す。

表 7.5-15 許容応力

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
		一次応力	
		引張	せん断
D + P _D + M _D + S _s	IV _A S	1.5 · f _t *	1.5 · f _s *

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

4.2.5 使用材料の許容応力評価条件

使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を表7.5-16に示す。

表 7.5-16 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件

評価対象設備	評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
燃料プール冷却浄化系ポンプ(A), (B)	基礎ボルト		66		
	ポンプ取付ボルト		66		
	原動機取付ボルト		66		

4.2.6 設計用地震力

評価に用いる設計震度を表7.5-17に示す。

表 7.5-17 設計用地震力

建物・構築物	標高 T. M. S. L. (m)	設計震度	
原子炉建屋	18.1	水平方向	鉛直方向
		1.13*	1.09*

注記 *：設計用最大床応答加速度 I（基準地震動 S_s）を示す。

4.2.7 評価結果

表 7.5-18 に示すとおり，算出応力は許容応力を超えず，基準地震動 S_s に対し，耐震性を有することを確認した。

表 7.5-18 評価結果*1

評価対象施設	評価部位	応力種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
燃料プール冷却浄化系 ポンプ(A)，(B)	原動機取付ボルト	引張	27	185
		せん断	18	142

注記 *1：評価結果は，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。

9.17 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. 復水器の構造計画
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角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) 水室自重が作用した場合
 - (5) 水平 2 方向地震力と鉛直方向地震力の組合せ
 4. 評価結果
- B. 復水器本体移動による接触影響評価
 1. 評価方針
 - (1) 評価方針
 - (2) 適用規格・基準等
 2. 復水器基礎部と復水器本体前後板の評価部位・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. 復水器基礎 (No. ⑦～⑪) の評価
 - (1) 耐震サポートに作用する荷重の算出
 - (2) 各耐震サポートに作用する荷重の算出
 - (3) No. ⑨センタサポートの応力
 - (4) No. ⑦⑧既設キーサポートの応力
 - (5) No. ⑩⑪追設キーサポートの応力
 4. 復水器本体前後板の評価
 - (1) 復水器本体前後板 (後水室側) の評価
 - (2) 復水器本体前後板 (前水室側) の評価

5. 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 (No. ①～④) の評価
 - (3) 基礎コンクリートの圧縮評価
6. 復水器基礎コンクリート (せん断耐力評価)
 - (1) 基礎コンクリートと埋込金物について
 - (2) No. ⑦⑧既設キーサポートの基礎コンクリートのせん断耐力
 - (3) No. ⑨センタサポートの基礎コンクリートのせん断耐力
 - (4) No. ⑩⑪追設キーサポートの基礎コンクリートのせん断耐力
 - (5) 基礎コンクリートのせん断耐力の合計
7. 評価結果
 - (1) 復水器基礎 (No. ⑨センタサポート)
 - (2) 復水器基礎 (No. ⑦⑧既設キーサポート)
 - (3) 復水器基礎 (No. ⑩⑪追設キーサポート)
 - (4) 復水器本体前後板
 - (5) 復水器基礎コンクリート (No. ①～④コーナサポート)
 - (6) 復水器基礎コンクリート (せん断耐力)

C. まとめ

- (別紙 1) 復水器水室フランジ変位量算出に関する補足
- (別紙 2) 本計算の記号に用いる添字及び数値の丸めに関する補足
- (別紙 3) 復水器の補強部位について
- (別紙 4) 後水室固定用耐震サポートによる熱伸びの影響

1. 概要

タービン建屋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. 復水器の構造計画

復水器の構造計画について表 9.17-1 に示す。

表 9.17-1 構造計画 (1/2)

計画の概要		概略構造図	
<p>基礎・支持構造</p> <p>復水器は、細管軸方向及び細管軸直角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。</p> <p>また、復水器下面四隅にコーササポートを据え付ける。</p> <p>前水室及び後水室は、復水器本体前後板に面しており、後水室は、後水室固定用耐震サポートと後水室下側サポートを介して復水器に伝達する構造とする。</p>	<p>主体構造</p> <p>復水器に作用する荷重は、センタサポートおよびキーサポートを介して躯体に伝達する。</p> <p>また、復水器前水室に作用する荷重は端洞を介して、復水器後水室に作用する荷重は後水室固定用耐震サポートと後水室下側サポートを介して復水器に伝達する構造とする。</p>		<p>(側面図) 前水室側</p> <p>(側面図) 後水室側</p> <p>(基礎平面図)</p>

表 9.17-1 構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<p>後水室 前後板 復水器本体 側板</p> <p>後水室下側サポート 復水器本体 前後板</p> <p>後水室固定用耐震サポート</p> <p>後水室下側サポート</p> <p>295 400 25 36</p> <p>130 150 32 40</p> <p>130 150 32 40</p> <p>後水室固定用耐震サポート詳細</p> <p>後水室下側サポート詳細</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。

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図 9.17-1 に、当該弁への影響イメージを図 9.17-2～図 9.17-3 に示す。

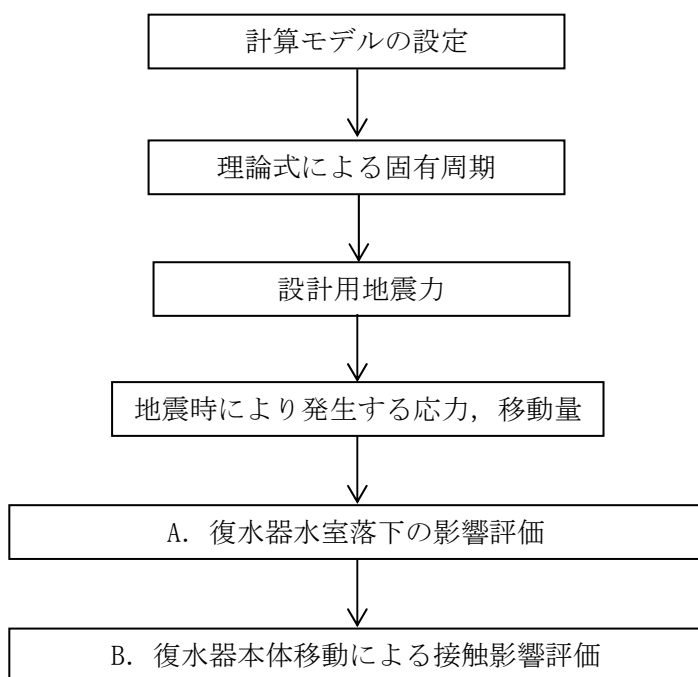


図 9.17-1 復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響モードの評価フロー

復水器水室落下による復水器水室出入口弁への影響を考慮し、後水室固定用耐震サポート、後水室下側サポート、端胴の強度評価を実施

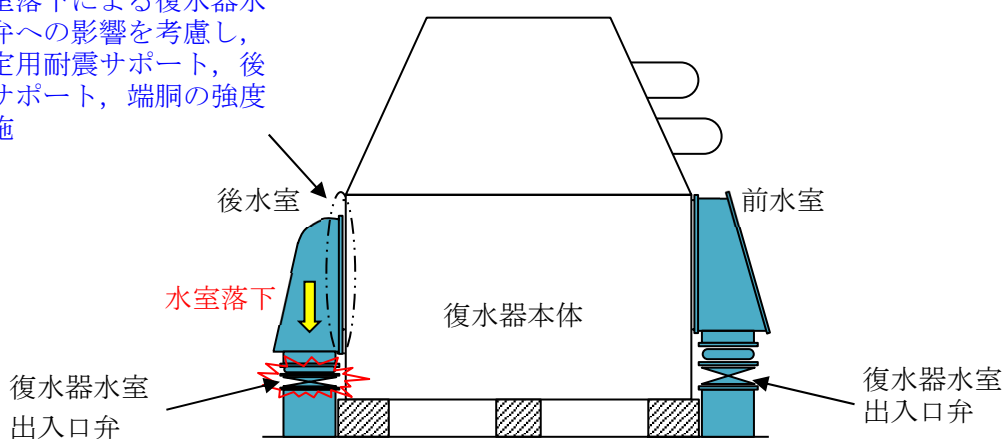


図 9.17-2 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ
(A. 復水器水室落下の影響)

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、復水器本体前後板のたわみ量評価及び復水器本体前後板の強度評価を実施

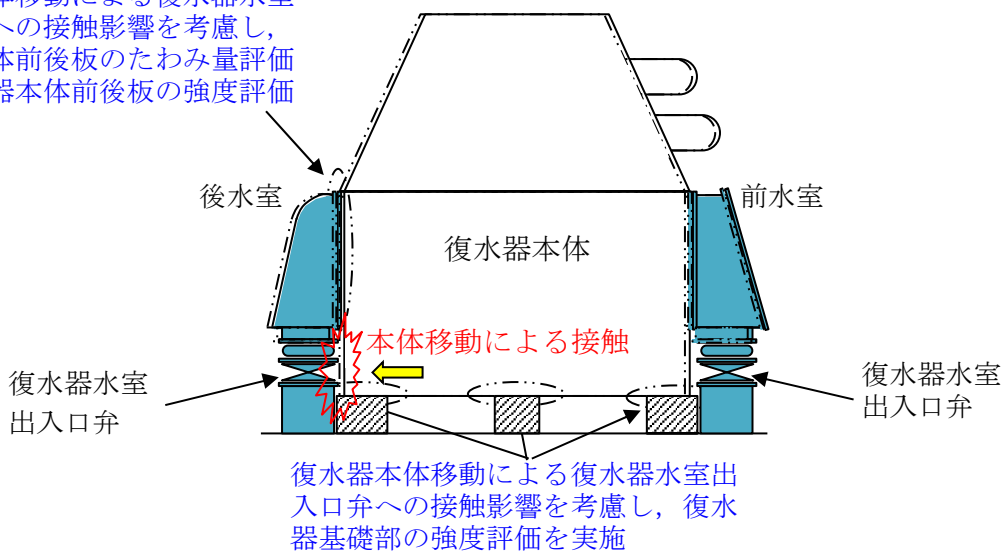


図 9.17-3 地震時の復水器水室出入口弁への影響イメージ
(B. 復水器本体移動による接触影響)

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、後水室は後水室固定用耐震サポート及び後水室下側サポートにより、前水室は端胴により復水器本体に支持される構造としている。

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)
- ・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 —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 9.17-4 に示すとおり，後水室は水室を支持する後水室固定用耐震サポート及び後水室下側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，後水室固定用耐震サポートは復水器本体と後水室に溶接で固定，後水室下側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，端胴の形状について図 9.17-5～図 9.17-7 に示す。

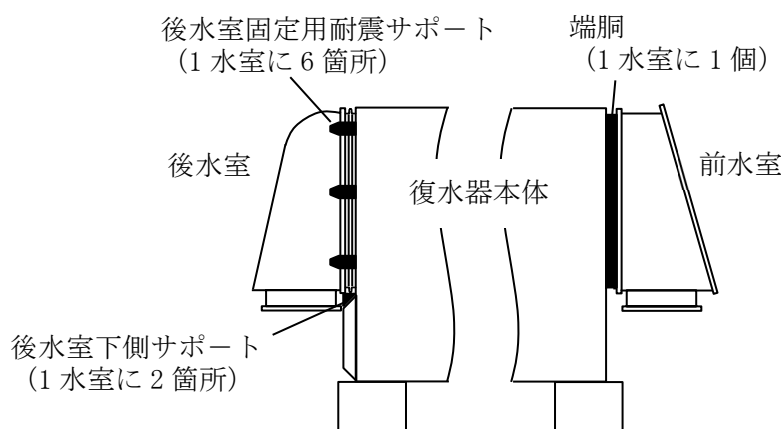


図 9.17-4 評価部位取付形状

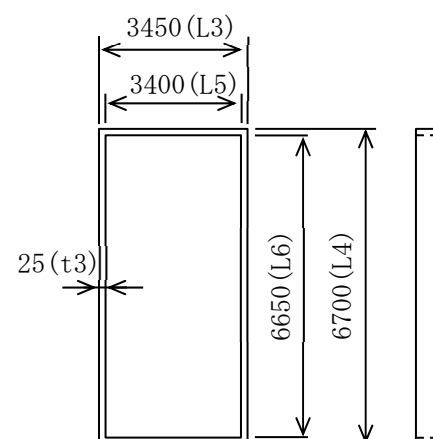


図 9.17-5 端胴の形状

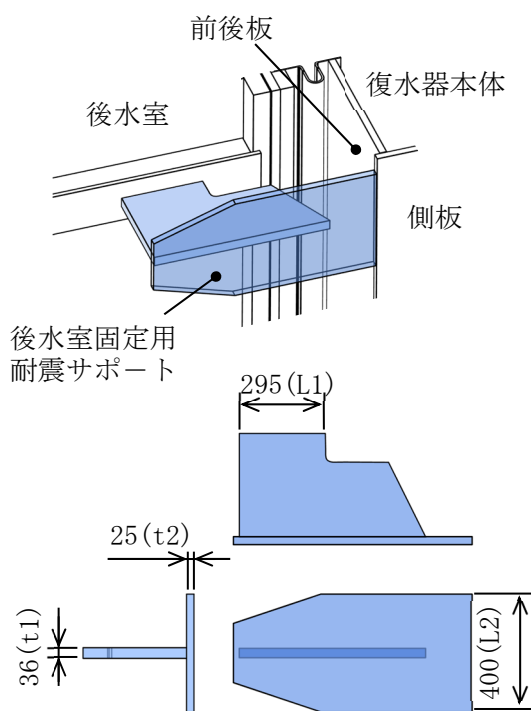


図 9.17-6 後水室固定用耐震サポートの形状 (代表例)

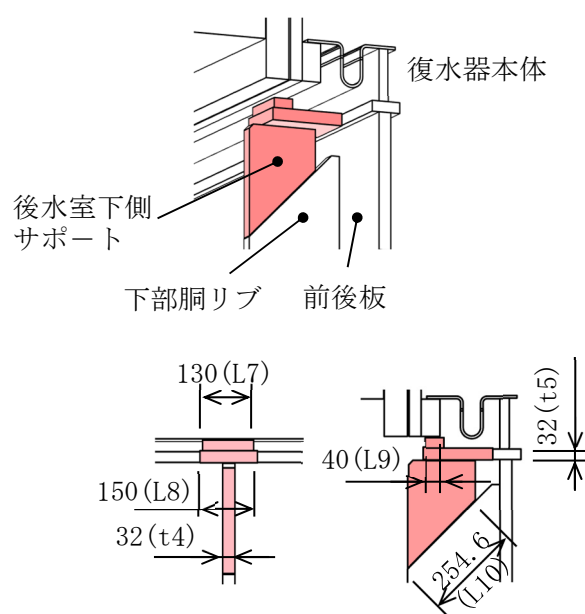


図 9.17-7 後水室下側サポートの形状

(2) 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 9.17-2 に示す。

基準地震動 S_s による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。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。

表 9.17-2 設計用地震力

据付場所及び 床面高さ (m)		タービン建屋 T.M.S.L. -3.15* ¹ (T.M.S.L. -5.1* ²)		
固有周期 (s)		水平 : 0.074* ³ 鉛直 : 0.033		
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : —		
地震力		基準地震動 S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.074	1.63	1.61	—
動的震度* ⁴		0.98	0.98	0.90
設計震度* ⁵		1.63		0.90

注記*1 : 復水器基礎台高さを示す。

注記*2 : 基準床レベルを示す。

注記*3 : 建設時工認耐震計算書 (建設時工認図書番号 : K6③IV-3-15) に示す値

注記*4 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

注記*5 : 水平方向は動的震度の NS 方向及び EW 方向の最大とする。

鉛直方向固有周期の算出

$$\begin{aligned}
 T_v &= 2 \times \pi \times \sqrt{(W_{CD} / (1000 \times E \times A / L_{CD}))} \\
 &= 2 \times \pi \times \sqrt{(1681.8 \times 10^3 / (1000 \times 1.91 \times 10^5 \times 2.378 \times 10^6 / 7441))} \\
 &= 0.033 \text{ (s)}
 \end{aligned}$$

運転時質量 $W_{CD} = 1681.8 \times 10^3$ (kg) 縦弾性係数 $E = 1.91 \times 10^5$ (MPa)

重心高さ $L_{CD} = 7441$ (mm) 復水器断面積 $A = 2.378 \times 10^6$ (mm²)

復水器断面積 A は図 9.17-8 の建設時工認耐震計算書 (建設時工認図書番号 : K6③IV-3-15) と同様に算出。

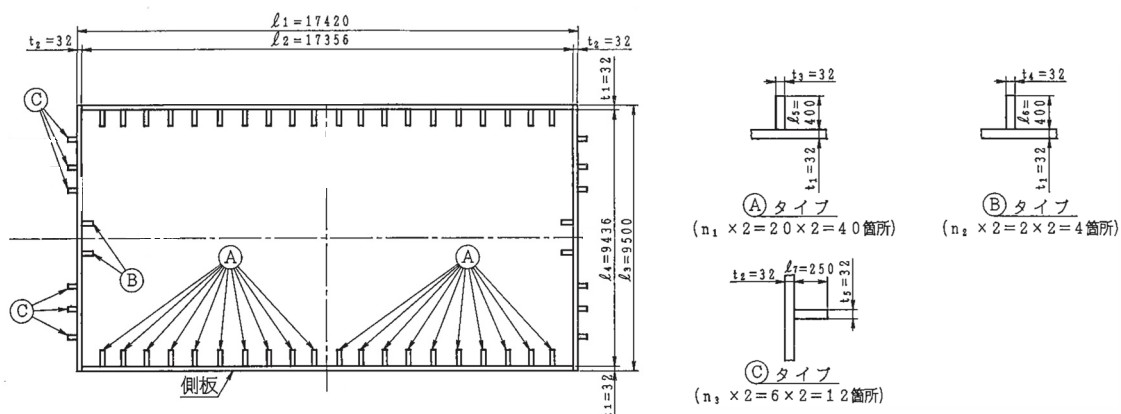


図 9.17-8 建設時工認耐震計算書抜粋図 復水器横断面
資料 1-9.17-11

(3) 評価部位の許容応力

後水室固定用耐震サポート、後水室下側サポート及び端胴とそれぞれの溶接部の許容応力を表 9.17-3 に示す。また、許容応力評価条件を表 9.17-4 に示す。

表 9.17-3 水室評価部位 許容応力

評価部位	算出応力	機器区分	適用式 (許容応力状態Ⅳ _{AS})
後水室固定用耐震サポート	σA : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室固定用耐震サポートの溶接部	σB : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
端胴	σC : 組合せ (引張, 曲げ)	クラス 2 支持 構造物	$f_t = 1.5 \times F^* / 1.5^*$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
端胴の溶接部	σD : 組合せ (せん断, 曲げ)	クラス 2 支持 構造物	$f_t = 1.5 \times F^* / 1.5$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室下側サポート	σE : 支圧	クラス 2 支持 構造物	$f_p = 1.5 \times F^* / 1.1$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
後水室下側サポートの溶接部	σF : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

注記* : 保守的に引張の許容応力を適用する。

表 9.17-4 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)
		最高使用温度	66			
後水室固定用 耐震サポート	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	225	385	270
後水室固定用 耐震サポート の溶接部	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	225	385	270
端胴	SM400A 相当 (SMA400AP) (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	206	385	247
端胴の溶接部	SM400A 相当 (SMA400AP) (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	206	385	247
後水室下側 サポート	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	225	385	270
後水室下側 サポートの 溶接部	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	66	225	385	270

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、後水室固定用耐震サポート、端胴及び後水室下側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に与える水平力から後水室固定用耐震サポート及び端胴に発生するせん断応力と引張応力を算出する。

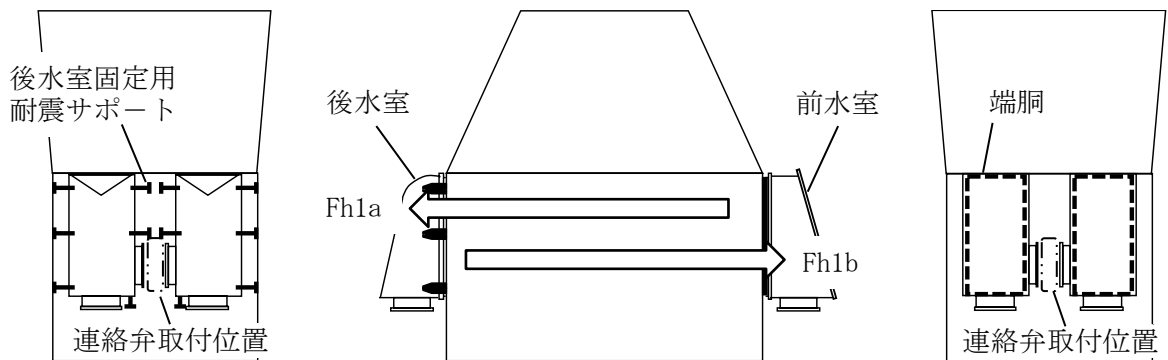


図 9.17-9 地震力が復水器細管軸方向に作用した場合

a) 後水室側の評価

水平方向設計震度を C_H ，地震時の後水室 1 個にかかる細管軸方向荷重を W_1 ，通常運転時の後水室 1 個にかかる細管軸方向荷重を W_2 とすると，後水室側にかかる水平力 F_{h1a} は，

$$\begin{aligned} F_{h1a} &= C_H \times W_1 + W_2 \\ &= (1.63 \times 2.922 \times 10^6 + 1.668 \times 10^6) / 1000 \\ &= 6.431 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

水平方向設計震度 $C_H = 1.63$

$$\begin{aligned} \text{地震時の後水室 1 個にかかる細管軸方向荷重 } W_1 &= 298.0 \times 10^3 \text{ (kg)} \times 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)} \\ &= 2.922 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

細管内圧 $P = 0.26 \text{ (MPa)}$

$$\begin{aligned} \text{通常運転の後水室 1 個にかかる細管軸方向荷重 } W_2 &= 0.26 \text{ (MPa)} \times 6.415 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)} \\ &= 1.668 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

後水室 1 個に後水室固定用耐震サポートは 6 個あるため，後水室固定用耐震サポート 1 個にかかる水平力 F_{1a} は，

$$\begin{aligned} F_{1a} &= F_{h1a} / 6 \\ &= 6.431 \times 10^3 / 6 \\ &= 1.072 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポート 1 個にかかる水平力 F_{1a} が受ける断面積 A_1 は、

$$\begin{aligned} A_1 &= t_1 \times L_1 \\ &= 36 \times 295 \\ &= 1.062 \times 10^4 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

よって、細管軸方向地震により後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 σ_1 は、

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= F_{1a}/A_1 \\ &= 1.072 \times 10^3 \times 1000 / 1.062 \times 10^4 \\ &= 101 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートは、サポート両辺にて溶接されているため、溶接線長さ $\ell_1 (=L_1 \times 2)$ 、開先深さ X_1 、溶接脚長 X_2 の溶接部に発生するせん断応力 σ_2 は、

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= F_{1a} / (\ell_1 \times (X_1 + X_2) / \sqrt{2}) \\ &= 1.072 \times 10^3 \times 1000 / (590 \times (10 + 10) / \sqrt{2}) \\ &= 129 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 σ_1	101 (MPa)
後水室固定用耐震サポートの溶接部に発生するせん断応力 σ_2	129 (MPa)

b) 前水室側の評価

水平方向設計震度を C_H 、地震時の前水室 1 個にかかる細管軸方向荷重を W_3 、通常運転時の前水室 1 個にかかる細管軸方向荷重を W_4 とすると、前水室側にかかる水平力 F_{h1b} は、

$$\begin{aligned} F_{h1b} &= C_H \times W_3 + W_4 \\ &= (1.63 \times 3.060 \times 10^6 + 1.668 \times 10^6) / 1000 \\ &= 6.656 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

水平方向設計震度 $C_H = 1.63$

$$\begin{aligned} \text{地震時の前水室 1 個にかかる細管軸方向荷重 } W_3 &= 312.0 \times 10^3 \text{ (kg)} \times 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)} \\ &= 3.060 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

細管内圧 $P = 0.26 \text{ (MPa)}$

$$\begin{aligned} \text{通常運転の前水室 1 個にかかる細管軸方向荷重 } W_4 &= 0.26 \text{ (MPa)} \times 6.415 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)} \\ &= 1.668 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

前水室 1 個に端胴は 1 個あるため、端胴 1 個にかかる水平力 F_{1b} は、

$$\begin{aligned} F_{1b} &= F_{h1b} \\ &= 6.656 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

端洞 1 個にかかる水平力 F_{1b} が受ける断面積 A_2 は、

$$\begin{aligned} A_2 &= L_3 \times L_4 - L_5 \times L_6 \\ &= 3450 \times 6700 - 3400 \times 6650 \\ &= 5.050 \times 10^5 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

よって、細管軸方向地震により端洞に発生する引張応力 σ_3 は、

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= F_{1b}/A_2 \\ &= 6.656 \times 10^3 \times 1000 / 5.050 \times 10^5 \\ &= 14 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

また、端洞～復水器本体前後板の溶接部は、端洞全周で溶接されているため、溶接線長さ $\varnothing_3 (= (L_3 + L_4) \times 2)$ 、開先深さ X_3 、溶接脚長 X_4 、 X_5 のため、溶接部に発生するせん断応力 σ_4 は、

$$\begin{aligned} \sigma_4 &= F_{1b} / (\varnothing_3 \times (X_4 / \sqrt{2} + \sqrt{X_3^2 + X_5^2})) \\ &= 6.656 \times 10^3 \times 1000 / (20300 \times (14 / \sqrt{2} + \sqrt{8^2 + 14^2})) \\ &= 13 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

端洞に発生する引張応力 σ_3	14 (MPa)
端洞～復水器本体前後板の溶接部に発生するせん断応力 σ_4	13 (MPa)

(2) 地震力が復水器細管軸直角方向に作用した場合

水室及び内包水が水平地震動（細管軸直角方向）により運転中の水室にかかる曲げモーメントから後水室固定用耐震サポート及び端洞に発生する曲げ応力を算出する。

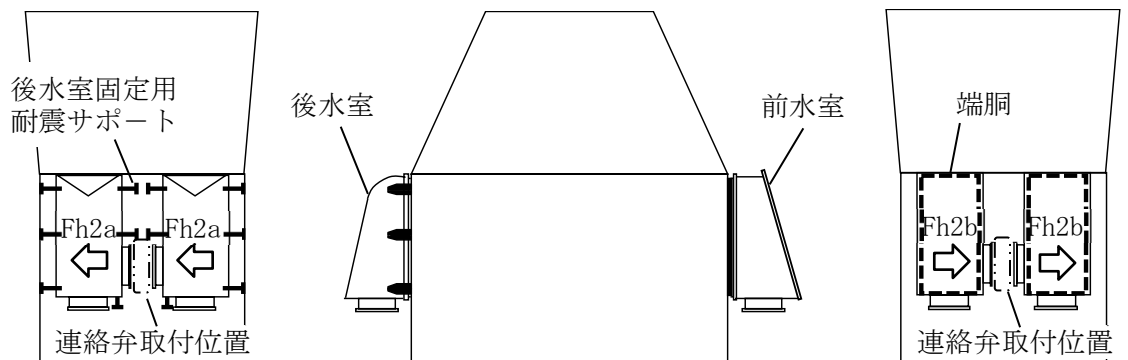


図 9.17-10 地震力が復水器細管軸直角方向に作用した場合

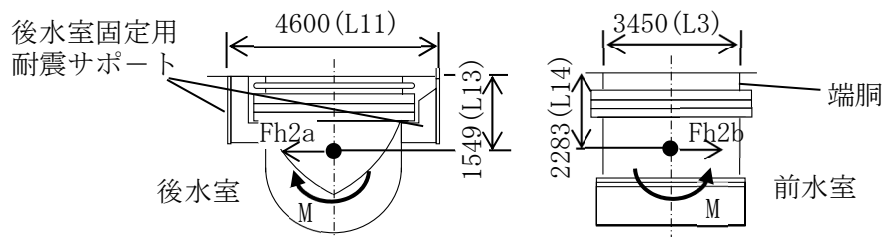


図 9.17-11 水室上から見た図(水平曲げモーメント)

a) 後水室側の評価

水平方向設計震度を C_H 、地震時の後水室 1 個にかかる細管軸直角方向荷重を $W5$ とすると、後水室側にかかる水平力 $Fh2a$ は、

$$\begin{aligned} Fh2a &= C_H \times W5 \\ &= 1.63 \times 9.611 \times 10^5 / 1000 \\ &= 1.567 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

水平方向設計震度 $C_H = 1.63$

$$\begin{aligned} \text{地震時の後水室 1 個にかかる細管軸直角方向荷重 } W5 &= 98.0 \times 10^3 \text{ (kg)} \times 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)} \\ &= 9.611 \times 10^5 \text{ (N)} \end{aligned}$$

後水室 1 個にかかる曲げモーメント $M2a$ は、

$$\begin{aligned} M2a &= Fh2a \times L13 \\ &= 1.567 \times 10^3 \times 1000 \times 1549 \\ &= 2.427 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

後水室 1 個に後水室固定用耐震サポートは 3 個あるため、後水室固定用耐震サポート 1 個にかかる水平力 $F2a$ は、

$$\begin{aligned} F2a &= M2a / L11 \times (1/3) \\ &= 2.427 \times 10^9 / 1000 / 4600 \times (1/3) \\ &= 1.759 \times 10^2 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

よって、細管軸直角方向地震力により後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 5$ は、

$$\begin{aligned} \sigma 5 &= F2a / A1 \\ &= 1.759 \times 10^2 \times 1000 / 1.062 \times 10^4 \\ &= 17 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートは、サポート両辺にて溶接されているため、溶接線長さ $\varnothing 1 (=L1 \times 2)$ 、開先深さ $X1$ 、溶接脚長 $X2$ の溶接部に発生するせん断応力 $\sigma 6$ は、

$$\begin{aligned} \sigma 6 &= F2a / (\varnothing 1 \times (X1 + X2) / \sqrt{2}) \\ &= 1.759 \times 10^2 \times 1000 / (590 \times (10 + 10) / \sqrt{2}) \\ &= 21 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 5$	17 (MPa)
後水室固定用耐震サポートの溶接部に発生するのせん断応力 $\sigma 6$	21 (MPa)

b) 前水室側の評価

水平方向設計震度を C_H 、地震時の前水室 1 個にかかる細管軸直角方向荷重を $W6$ とすると、前水室側にかかる水平力 F_{h2b} は、

$$\begin{aligned} F_{h2b} &= C_H \times W6 \\ &= 1.63 \times 1.226 \times 10^6 / 1000 \\ &= 1.998 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

水平方向設計震度 $C_H = 1.63$

$$\begin{aligned} \text{地震時前水室 1 個にかかる細管軸直角方向荷重 } W6 &= 125.0 \times 10^3 \text{ (kg)} \times 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)} \\ &= 1.226 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

前水室 1 個にかかる曲げモーメント M_{2b} は、

$$\begin{aligned} M_{2b} &= F_{h2b} \times L_{14} \\ &= 1.998 \times 10^3 \times 1000 \times 2283 \\ &= 4.561 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

水室 1 個に端胴は 1 個あるため、端胴 1 個にかかる曲げモーメント M_{2b1} は、

$$\begin{aligned} M_{2b1} &= M_{2b} \\ &= 4.561 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

端胴の横幅（外側 L_3 、内側 L_5 ）を h (h_1)、高さ（外側 L_4 、内側 L_6 ）を b (b_1) とした場合の垂直軸回りの断面係数 Z_1 は、

$$\begin{aligned} Z_1 &= (bh^3 - b_1h_1^3) / (6h) \\ &= (6700 \times 3450^3 - 6650 \times 3400^3) / (6 \times 3450) \\ &= 6.645 \times 10^8 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

端胴に発生する曲げ応力 σ_7 は、

$$\begin{aligned} \sigma_7 &= M_{2b1} / Z_1 \\ &= 4.561 \times 10^9 / 6.645 \times 10^8 \\ &= 7 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

端胴の溶接部の横幅（外側 $L_3 + (X_4/\sqrt{2} \times 2)$ 、内側 $L_3 - (X_5/\sqrt{2} \times 2)$ ）を h (h_1)、高さ（外側 $L_4 + (X_4/\sqrt{2} \times 2)$ 、内側 $L_4 - (X_5/\sqrt{2} \times 2)$ ）を b (b_1) とした場合の垂直軸回りの断面係数 Z_{1w} は、

$$\begin{aligned} Z_{1w} &= (bh^3 - b_1h_1^3) / (6h) \\ &= ((6700 + (14/\sqrt{2} \times 2)) \times (3450 + (14/\sqrt{2} \times 2))^3 - (6700 - (14/\sqrt{2} \times 2)) \\ &\quad \times (3450 - (14/\sqrt{2} \times 2))^3) / (6 \times (3450 + (14/\sqrt{2} \times 2))) \\ &= 5.332 \times 10^8 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

端胴の溶接部に発生する曲げ応力 σ_8 は、

$$\begin{aligned}\sigma_8 &= M2b1/Z1w \\ &= 4.561 \times 10^9 / 5.332 \times 10^8 \\ &= 9 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

端胴に発生する曲げ応力 σ_7	7 (MPa)
端胴の溶接部に発生するの曲げ応力 σ_8	9 (MPa)

(3) 地震力が復水器鉛直方向に作用した場合

水室に鉛直方向地震動が作用した際の曲げモーメントから、後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力と、端胴に発生する曲げ応力を算出する。また、下向き荷重によって後水室下側サポートに発生する支圧応力と付け根溶接部のせん断応力を算出する。

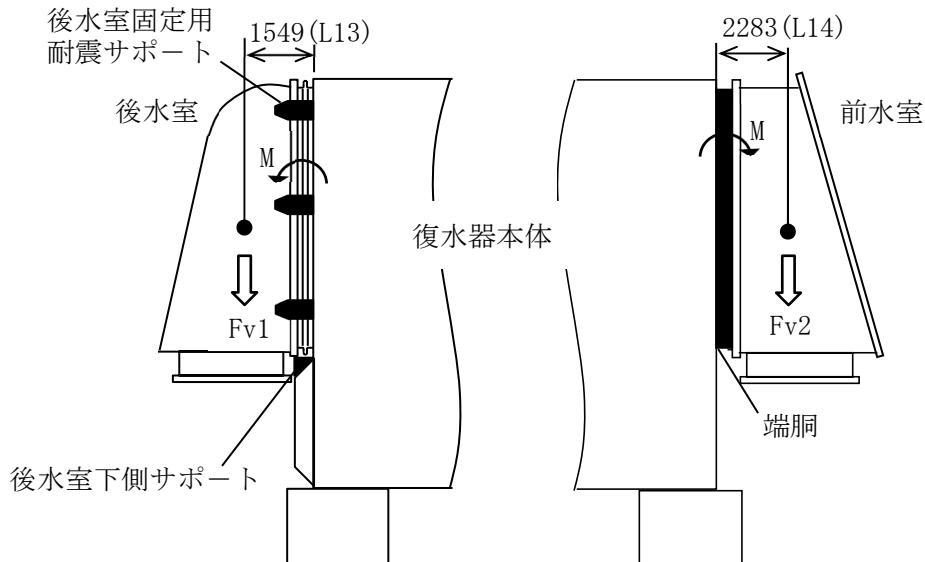


図 9.17-12 地震力が鉛直方向に作用した場合

a) 後水室側の評価

鉛直方向設計震度を C_v 、通常運転時の後水室 1 個にかかる鉛直方向荷重を $W7$ とすると、後水室側にかかる鉛直力 $Fv1$ は、

$$\begin{aligned}Fv1 &= C_v \times W7 \\ &= 0.9 \times 9.611 \times 10^5 / 1000 \\ &= 8.650 \times 10^2 \text{ (kN)}\end{aligned}$$

鉛直方向設計震度 $C_v = 0.9$

$$\begin{aligned}\text{通常運転時の後水室 1 個にかかる鉛直方向荷重 } W7 &= 98.0 \times 10^3 \text{ (kg)} \times 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)} \\ &= 9.611 \times 10^5 \text{ (N)}\end{aligned}$$

鉛直方向地震力により後水室にかかる下方向のモーメント $Mv1$ は,

$$\begin{aligned} Mv1 &= Fv1 \times L13 \\ &= 8.650 \times 10^2 \times 1000 \times 1549 \\ &= 1.340 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

下方向のモーメント $Mv1$ によって生じる水平力は、支点より最も遠い2個の後水室固定用耐震サポートにかかるすると、後水室固定用耐震サポート1個にかかる水平荷重 $Fh3$ は,

$$\begin{aligned} Fh3 &= Mv1 / L15 \times 1/2 \\ &= 1.340 \times 10^9 / 1000 / 6258 \times 1/2 \\ &= 1.071 \times 10^2 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

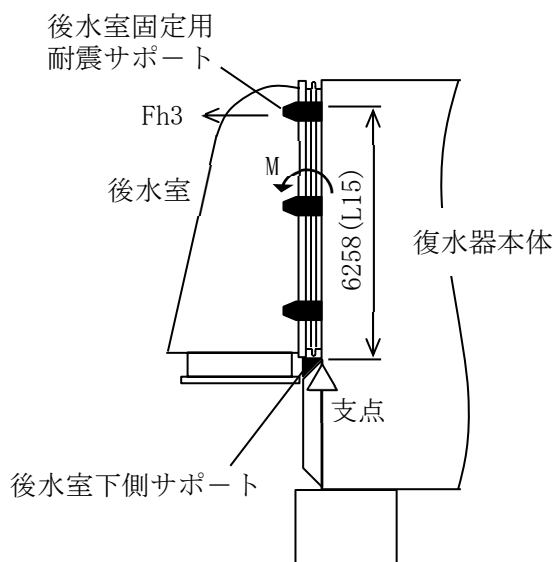


図 9.17-13 後水室固定用耐震サポートにかかる水平力（鉛直曲げモーメント）

後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 9$ は,

$$\begin{aligned} \sigma 9 &= Fh3 / A1 \\ &= 1.071 \times 10^2 \times 1000 / 1.062 \times 10^4 \\ &= 10 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートの溶接部に発生するせん断応力 $\sigma 10$ は,

$$\begin{aligned} \sigma 10 &= Fh3 / (\phi 1 \times (X1 + X2) / \sqrt{2}) \\ &= 1.071 \times 10^2 \times 1000 / (590 \times (10 + 10) / \sqrt{2}) \\ &= 13 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 9$	10 (MPa)
後水室固定用耐震サポート溶接部に発生するのせん断応力 $\sigma 10$	13 (MPa)

後水室 1 個に後水室下側サポートは 2 個あるため、鉛直方向地震動により後水室下側サポート 1 個にかかる鉛直力 F4 は、

$$\begin{aligned} F4 &= Fv1/2 \\ &= 8.650 \times 10^2 / 2 \\ &= 4.325 \times 10^2 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

後水室下側サポート受台部の長さ L7、支圧幅 L9 の範囲に発生する支圧応力 σ_{11} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= F4 / (L7 \times L9) \\ &= 4.325 \times 10^2 \times 1000 / (130 \times 40) \\ &= 84 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室下側サポートの溶接部は、溶接線長さ $\phi 4$ (L10 \times 2)、開先寸法 X6 及び溶接線長さ L8、開先寸法 X7 のため、溶接部に発生するせん断応力 σ_{12} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{12} &= F4 / (\phi 4 \times X6 + L8 \times X7) \\ &= 4.325 \times 10^2 \times 1000 / (509.2 \times 15 + 150 \times 23) \\ &= 39 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

後水室下側サポートに発生する支圧応力 σ_{11}	84 (MPa)
後水室下側サポートの溶接部に発生するせん断応力 σ_{12}	39 (MPa)

b) 前水室側の評価

鉛直方向設計震度を C_v 、通常運転時の前水室 1 個にかかる鉛直方向荷重を W8 とすると、前水室側にかかる鉛直力 Fv2 は、

$$\begin{aligned} Fv2 &= C_v \times W8 \\ &= 0.9 \times 1.226 \times 10^6 / 1000 \\ &= 1.103 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

鉛直方向設計震度 $C_v = 0.9$

$$\begin{aligned} \text{通常運転時の前水室 1 個あたりの鉛直方向荷重 } W8 &= 125.0 \times 10^3 \text{ (kg)} \times 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)} \\ &= 1.226 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

鉛直方向地震力により前水室 1 個にかかる下向き曲げモーメント Mv2 は、

$$\begin{aligned} Mv2 &= Fv2 \times L14 \\ &= 1.103 \times 10^3 \times 1000 \times 2283 \\ &= 2.518 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

前水室 1 個に端胴は 1 個あるため、鉛直方向地震動により端胴にかかる下向き曲げモーメント M_2 は、

$$\begin{aligned} M_2 &= Mv_2 \\ &= 2.518 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

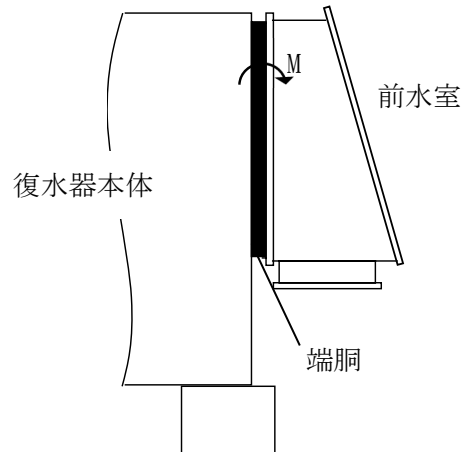


図 9.17-14 端胴にかかる曲げモーメント（鉛直曲げモーメント）

端胴の横幅（外側 L_3 ，内側 L_5 ）を b (b_1)，高さ（外側 L_4 ，内側 L_6 ）を h (h_1) とした場合の水平軸回りの断面係数 Z_2 は、

$$\begin{aligned} Z_2 &= (bh^3 - b_1h_1^3) / (6h) \\ &= (3450 \times 6700^3 - 3400 \times 6650^3) / (6 \times 6700) \\ &= 9.393 \times 10^8 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

端胴に発生する曲げ応力 σ_{13} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{13} &= M_2 / Z_2 \\ &= 2.518 \times 10^9 / 9.393 \times 10^8 \\ &= 3 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

端胴の溶接部の横幅（外側 $L_3 + (X_4 / \sqrt{2} \times 2)$ ，内側 $L_3 - (X_5 / \sqrt{2} \times 2)$ ）を b (b_1)，高さ（外側 $L_4 + (X_4 / \sqrt{2} \times 2)$ ，内側 $L_4 - (X_5 / \sqrt{2} \times 2)$ ）を h (h_1) とした場合の水平軸回りの断面係数 Z_{2w} は、

$$\begin{aligned} Z_{2w} &= (bh^3 - b_1h_1^3) / (6h) \\ &= ((3450 + (14 / \sqrt{2} \times 2)) \times (6700 + (14 / \sqrt{2} \times 2))^3 - (3450 - (14 / \sqrt{2} \times 2)) \\ &\quad \times (6700 - (14 / \sqrt{2} \times 2))^3) / (6 \times (6700 + (14 / \sqrt{2} \times 2))) \\ &= 7.517 \times 10^8 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

端胴の溶接部に発生する曲げ応力 σ_{14} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{14} &= M_2/Z_2w \\ &= 2.518 \times 10^9 / 7.517 \times 10^8 \\ &= 4 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

端胴に発生する曲げ応力 σ_{13}	3 (MPa)
端胴の溶接部に発生する曲げ応力 σ_{14}	4 (MPa)

(4) 水室自重が作用した場合

水室に自重が作用した際の曲げモーメントから、後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力と、端胴に発生する曲げ応力を算出する。また、下向き荷重によって後水室下側サポートに発生する支圧応力と付け根の溶接部に発生するせん断応力を算出する。

a) 後水室側の評価

後水室 1 個にかかる鉛直力 F_{v3} は、

$$\begin{aligned}F_{v3} &= W_7 \\ &= 9.611 \times 10^5 / 1000 \\ &= 9.611 \times 10^2 \text{ (kN)}\end{aligned}$$

自重により後水室 1 個にかかる下向き曲げモーメント M_{v3} は、

$$\begin{aligned}M_{v3} &= F_{v3} \times L_{13} \\ &= 9.611 \times 10^2 \times 1000 \times 1549 \\ &= 1.489 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)}\end{aligned}$$

下向き曲げモーメント M_{v3} によって生じる水平力は、支点より最も遠い 2 個の後水室固定用耐震サポートにかかるすると、後水室固定用耐震サポート 1 個にかかる水平荷重 F_{h4} は、

$$\begin{aligned}F_{h4} &= M_{v3} / L_{15} \times 1/2 \\ &= 1.489 \times 10^9 / 6258 \times 1/2 \\ &= 1.190 \times 10^5 \text{ (N)}\end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 σ_{15} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{15} &= F_{h4} / A_1 \\ &= 1.190 \times 10^5 / 1.062 \times 10^4 \\ &= 12 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートは、サポート両辺にて溶接されているため、溶接線長さ $\varnothing 1 (=L1 \times 2)$ 、開先深さ $X1$ 、溶接脚長 $X2$ の溶接部に発生するせん断応力 $\sigma 16$ は、

$$\begin{aligned}\sigma 16 &= Fh4 / (\varnothing 1 \times (X1 + X2) / \sqrt{2}) \\ &= 1.190 \times 10^5 / (590 \times (10 + 10) / \sqrt{2}) \\ &= 15 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートに発生するせん断応力 $\sigma 15$	12 (MPa)
後水室固定用耐震サポートの溶接部に発生するせん断応力 $\sigma 16$	15 (MPa)

後水室 1 個に後水室下側サポートは 2 個あるため、自重により後水室下側サポート 1 個にかかる鉛直力 $F5$ は、

$$\begin{aligned}F5 &= Fv3 / 2 \\ &= 9.611 \times 10^2 / 2 \\ &= 4.806 \times 10^2 \text{ (kN)}\end{aligned}$$

後水室下側サポート受台部の長さ $L7$ 、支圧幅 $L9$ の範囲に発生する支圧応力 $\sigma 17$ は、

$$\begin{aligned}\sigma 17 &= F5 / (L7 \times L9) \\ &= 4.806 \times 10^2 / 1000 / (130 \times 40) \\ &= 93 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

後水室下側サポートの溶接部は、溶接線長さ $\varnothing 4 (L10 \times 2)$ 、開先寸法 $X6$ 及び溶接線長さ $L8$ 、開先寸法 $X7$ のため、溶接部に発生するせん断応力 $\sigma 18$ は、

$$\begin{aligned}\sigma 18 &= F5 / (\varnothing 4 \times X6 + L8 \times X7) \\ &= 4.806 \times 10^2 / 1000 / (509.2 \times 15 + 150 \times 23) \\ &= 44 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

後水室下側サポートに発生する支圧応力 $\sigma 17$	93 (MPa)
後水室下側サポートの溶接部に発生するせん断応力 $\sigma 18$	44 (MPa)

b) 前水室側の評価

前水室 1 個にかかる鉛直力 $Fv4$ は、

$$\begin{aligned}Fv4 &= W8 \\ &= 1.226 \times 10^6 / 1000 \\ &= 1.226 \times 10^3 \text{ (kN)}\end{aligned}$$

自重により前水室 1 個にかかる下向き曲げモーメント $Mv4$ は,

$$\begin{aligned} Mv4 &= Fv4 \times L14 \\ &= 1.226 \times 10^3 \times 1000 \times 2283 \\ &= 2.799 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

前水室 1 個に端胴は 1 個あるため, 自重により端胴にかかる下向き曲げモーメント $M4$ は,

$$\begin{aligned} M4 &= Mv4 \\ &= 2.799 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

端胴の横幅 (外側 $L3$, 内側 $L5$) を $b(b1)$, 高さ (外側 $L4$, 内側 $L6$) を $h(h1)$ とした場合の水平軸回りの断面係数 $Z2$ は,

$$\begin{aligned} Z2 &= (bh^3 - b1h1^3) / (6h) \\ &= (3450 \times 6700^3 - 3400 \times 6650^3) / (6 \times 6700) \\ &= 9.393 \times 10^8 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

端胴に発生する曲げ応力 $\sigma 19$ は,

$$\begin{aligned} \sigma 19 &= M4 / Z2 \\ &= 2.799 \times 10^9 / 9.393 \times 10^8 \\ &= 3 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

端胴の溶接部の横幅 (外側 $L3 + (X4/\sqrt{2} \times 2)$, 内側 $L3 - (X5/\sqrt{2} \times 2)$) を $h(h1)$, 高さ (外側 $L4 + (X4/\sqrt{2} \times 2)$, 内側 $L4 - (X5/\sqrt{2} \times 2)$) を $b(b1)$ とした場合の水平軸回りの断面係数 $Z2w$ は,

$$\begin{aligned} Z2w &= (bh^3 - b1h1^3) / (6h) \\ &= ((3450 + (14/\sqrt{2} \times 2)) \times (6700 + (14/\sqrt{2} \times 2))^3 - (3450 - (14/\sqrt{2} \times 2)) \\ &\quad \times (6700 - (14/\sqrt{2} \times 2))^3) / (6 \times (6700 + (14/\sqrt{2} \times 2))) \\ &= 7.517 \times 10^8 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

端胴の溶接部に発生する曲げ応力 $\sigma 20$ は,

$$\begin{aligned} \sigma 20 &= M4 / Z2w \\ &= 2.799 \times 10^9 / 7.517 \times 10^8 \\ &= 4 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

端胴に発生する曲げ応力 $\sigma 19$	3 (MPa)
端胴の溶接部に発生する曲げ応力 $\sigma 20$	4 (MPa)

(5) 水平2方向地震力と鉛直方向地震力の組合せ

(1)～(4)により，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である。

<後水室固定用耐震サポートに発生する応力 σA >

$$\begin{aligned}\sigma A &= \sqrt{(\sigma 1^2 + \sigma 5^2 + \sigma 9^2)} + \sigma 15 \\ &= \sqrt{(101^2 + 17^2 + 10^2)} + 12 \\ &= 115(\text{MPa})\end{aligned}$$

<後水室固定用耐震サポートの溶接部に発生する応力 σB >

$$\begin{aligned}\sigma B &= \sqrt{(\sigma 2^2 + \sigma 6^2 + \sigma 10^2)} + \sigma 16 \\ &= \sqrt{(129^2 + 21^2 + 13^2)} + 15 \\ &= 147(\text{MPa})\end{aligned}$$

<端胴に発生する応力 σC >

$$\begin{aligned}\sigma C &= \sqrt{(\sigma 3^2 + \sigma 7^2 + \sigma 13^2)} + \sigma 19 \\ &= \sqrt{(14^2 + 7^2 + 3^2)} + 3 \\ &= 19(\text{MPa})\end{aligned}$$

<端胴の溶接部に発生する応力 σD >

$$\begin{aligned}\sigma D &= \sqrt{((\sqrt{(\sigma 8^2 + \sigma 14^2)})^2 + \sigma 20)^2 + 3\sigma 4^2)} \\ &= \sqrt{((\sqrt{(9^2 + 4^2)})^2 + 4)^2 + 3 \times 13^2)} \\ &= 27(\text{MPa})\end{aligned}$$

<後水室下側サポートに発生する応力 σE >

$$\begin{aligned}\sigma E &= \sigma 11 + \sigma 17 \\ &= 84 + 93 \\ &= 177(\text{MPa})\end{aligned}$$

<後水室下側サポートの溶接部に発生する応力 σF >

$$\begin{aligned}\sigma F &= \sigma 12 + \sigma 18 \\ &= 39 + 44 \\ &= 83(\text{MPa})\end{aligned}$$

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，表 9.17-5 のとおり算出応力は許容応力以下であり，地震時に水室落下が生じないことから水室出入口弁への影響を及ぼさないことを確認した。

表 9.17-5 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)	材質
後水室固定用耐震サポート	σA : せん断	115	155	SS400
後水室固定用耐震サポートの溶接部	σB : せん断	147	155	SS400
端胴	σC : 組合せ (引張, 曲げ)	19	270	SM400A 相当 (SMA400AP)
端胴の溶接部	σD : 組合せ (せん断, 曲げ)	27	270	SM400A 相当 (SMA400AP)
後水室下側サポート	σE : 支圧	177	368	SS400
後水室下側サポートの溶接部	σF : せん断	83	155	SS400

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角方向をそれぞれ拘束するキーサポートを設置し，キーサポートは復水器下部のコンクリート基礎により固定する構造としている。また，復水器の四隅に設置されたコンクリート基礎により，鉛直方向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本体前後板がたわんで，水室と伸縮継手を復水器水室出入口弁方向へ押し出した場合に，復水器水室出入口弁の弁体可動域に接触する限界距離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. 復水器基礎部と復水器本体前後板の評価部位・評価条件

(1) 構造概要及び評価部位

復水器基礎部と復水器本体前後板の評価部位を図 9.17-15～図 9.17-19 に示す。サポートの評価については、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 No. ⑨ センタサポート、No. ⑦⑧ 既設キーサポート及び No. ⑩⑪ 追設キーサポートを評価対象とする。なお、センタサポートは、細管軸直角方向の地震荷重も受ける。

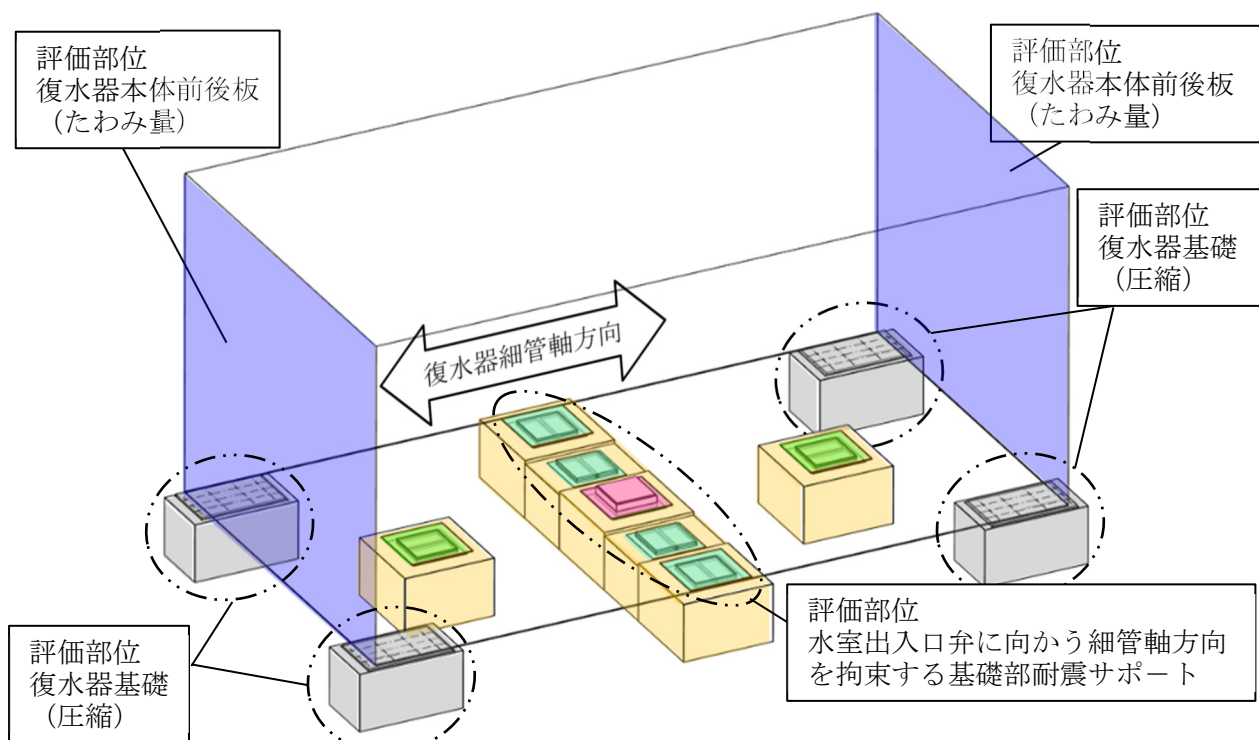


図 9.17-15 復水器評価部位配置図

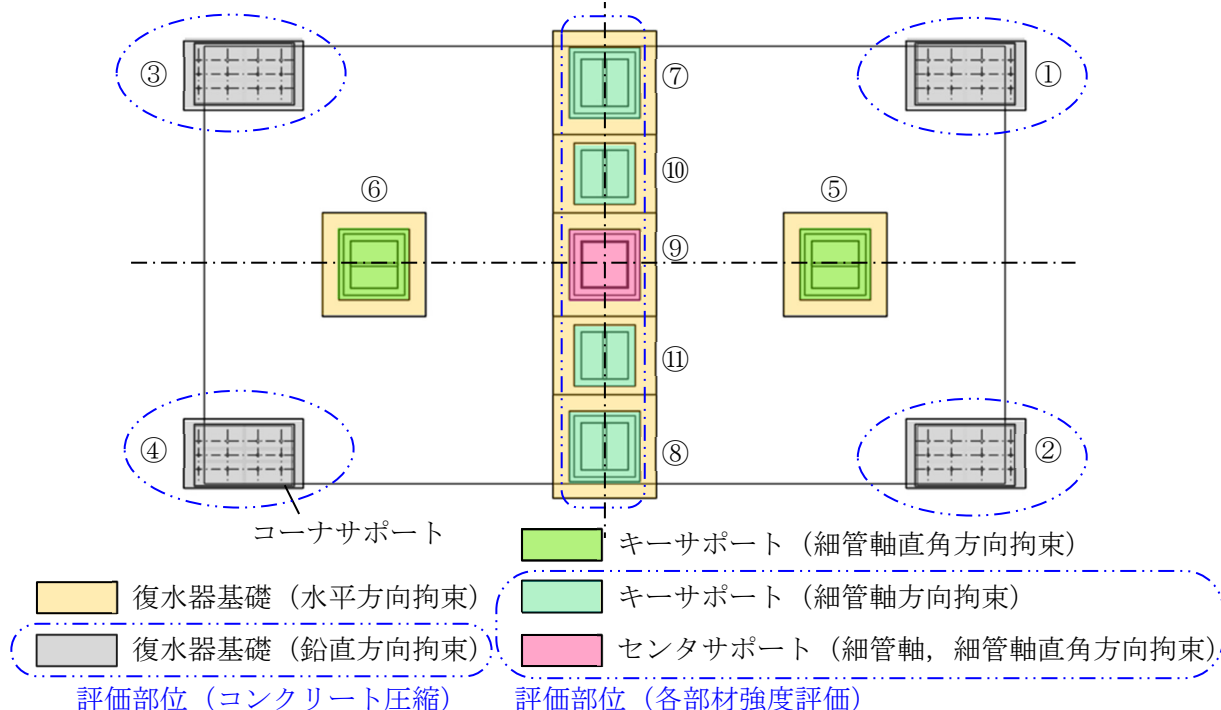


図 9.17-16 復水器基礎平面図 (復水器 1 胴分を示す)

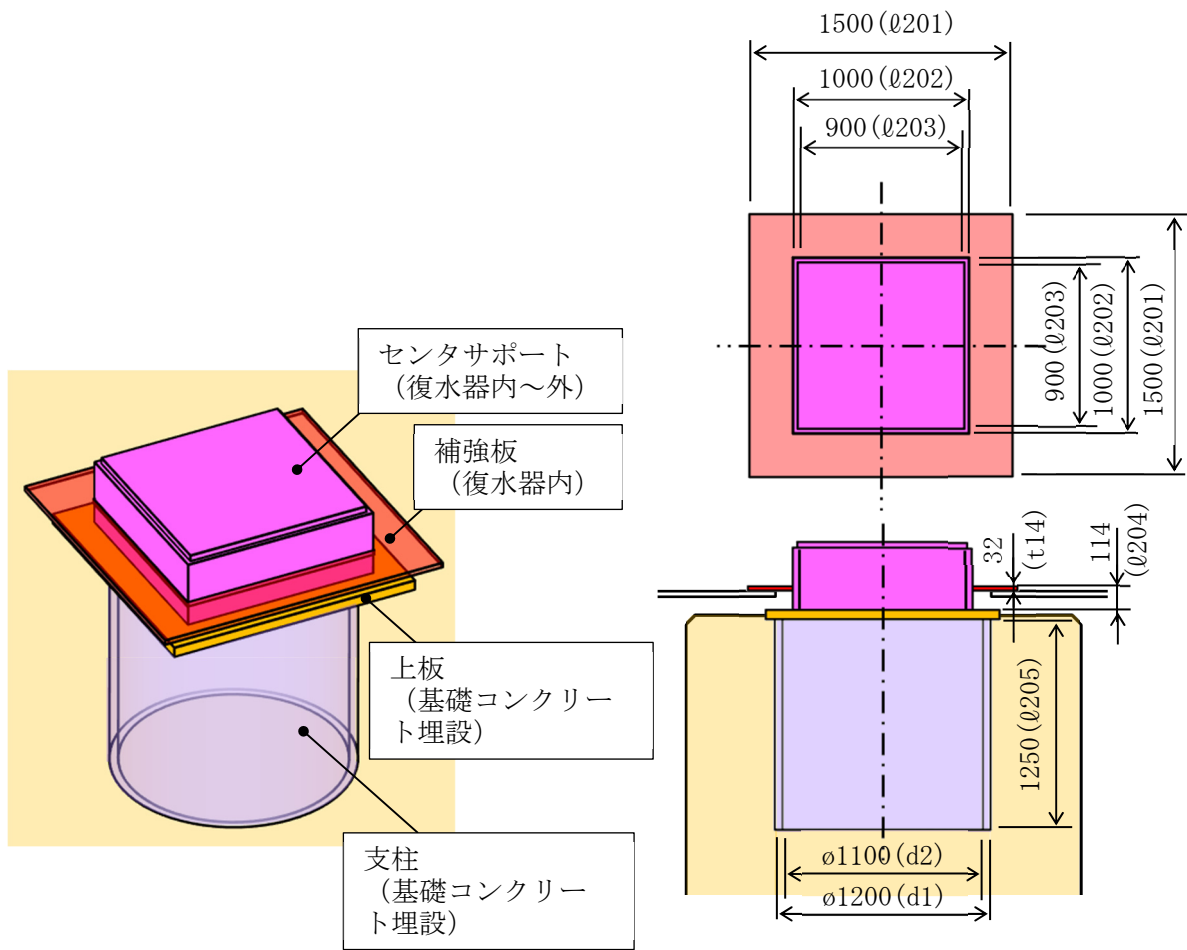


図 9.17-17 No. ⑨センタサポート鳥瞰図，平面図，断面図

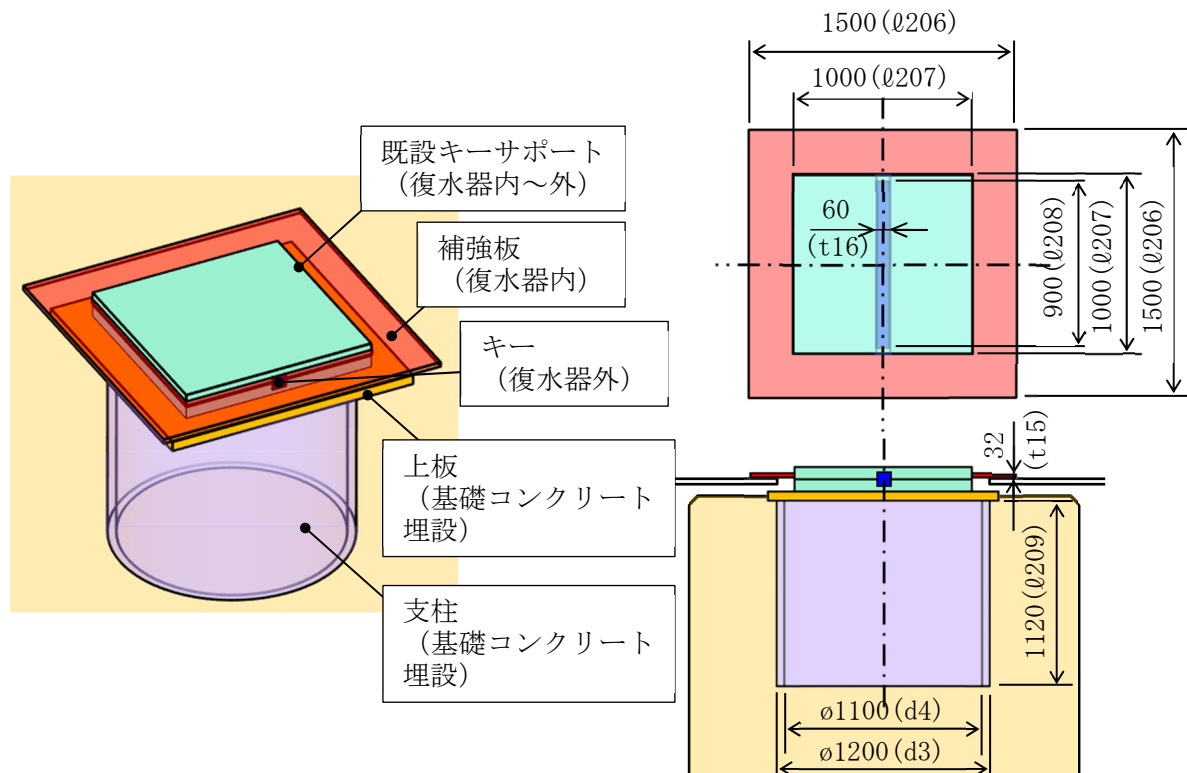


図 9.17-18 No. ⑦⑧既設キーサポート鳥瞰図，平面図，断面図

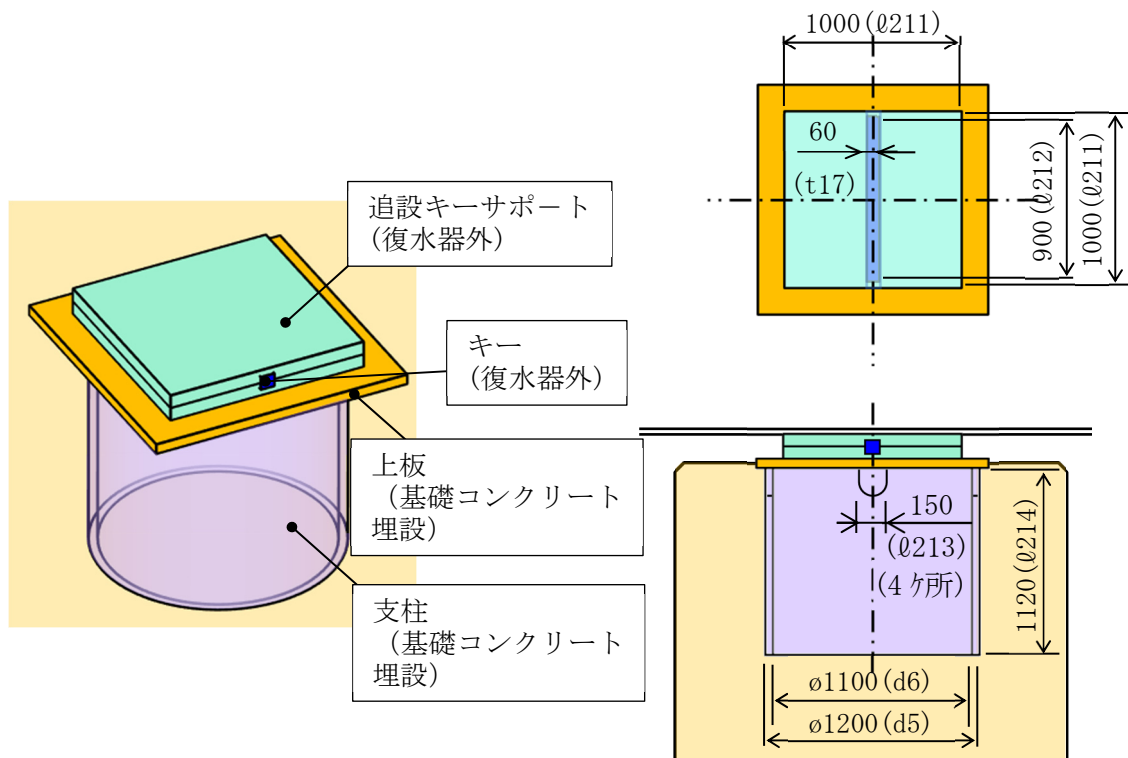


図 9.17-19 No. ⑩⑪追設キーサポート鳥瞰図，平面図，断面図

(2) 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 9.17-6 に示す。

基準地震動 S_s による地震力は，VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。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。

表 9.17-6 設計用地震力

据付場所及び床面高さ (m)		タービン建屋 T. M. S. L. -3.15* ¹ (T. M. S. L. -5.1* ²)		
固有周期 (s)		水平 : 0.074* ³ 鉛直 : 0.033		
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : —		
地震力		基準地震動 S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.074	1.63	1.61	—
動的震度* ⁴		0.98	0.98	0.90
設計震度* ⁵		1.63		0.90

注記*1 : 復水器基礎台高さを示す。

注記*2 : 基準床レベルを示す。

注記*3 : 建設時工認耐震計算書 (建設時工認図書番号 : K6③IV-3-15) に示す値

注記*4 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

注記*5 : 水平方向は動的震度の NS 方向及び EW 方向の最大とする。

(3) 評価部位の許容応力

基礎部耐震サポートの評価部位と評価条件は図 9.17-20 に、許容応力については、表 9.17-7～表 9.17-11 に示す。また、許容応力評価条件を表 9.17-12～表 9.17-16 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 $IV_A S$ とする。
- ・ センタ及びキーサポートは、クラス 2 支持構造物の許容応力状態 $IV_A S$ とする。
- ・ コンクリートの圧縮は、許容応力状態 $IV_A S$ とする。

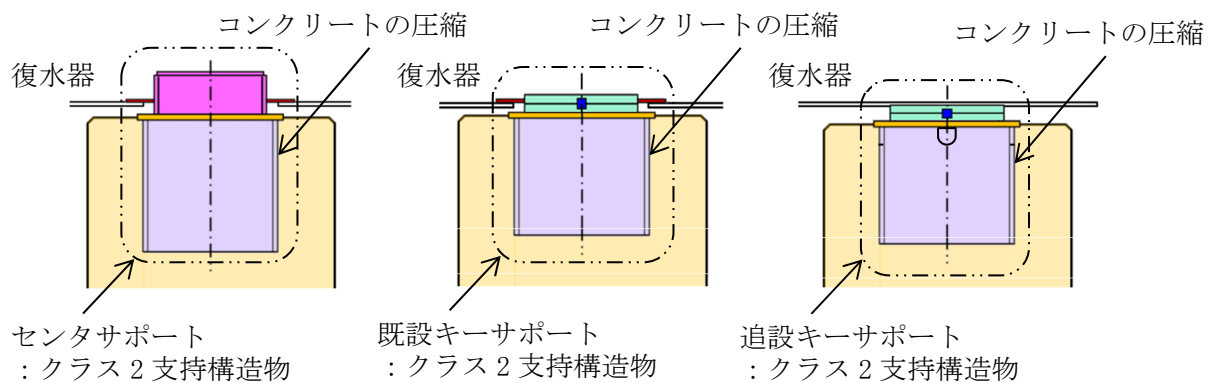


図 9.17-20 基礎部耐震サポートの評価部位と評価条件

表 9.17-7 復水器基礎 (No. ⑨ センタサポート) 許容応力

評価部位	算出応力	機器区分	適用式 (許容応力状態Ⅳ _A S)
底板と補強板の溶接部	σ_{21} : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
補強板	σ_{22} : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
補強板とサポートの溶接部	σ_{23} : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
サポート	σ_{24} : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
サポートと埋込金具の溶接部	σ_{25} : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
サポートと埋込金具の溶接部 (すみ肉溶接)	σ_{26} : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_b = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上板と支柱の溶接部	σ_{27} : せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリート	σ_{28} : 圧縮	埋込金物コン クリート部の 許容圧縮度	$0.75F_c$
支柱付根部 (すみ肉溶接)	σ_{29} : 曲げ	クラス 2 支持 構造物	$f_b = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

表 9.17-8 復水器基礎 (No. ⑦⑧既設キーサポート) 許容応力

評価部位	算出応力	機器区分	適用式 (許容応力状態IV _A S)
底板と補強板の溶接部	$\sigma 30$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
補強板	$\sigma 31$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
補強板とサポートの溶接部	$\sigma 32$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
キー	$\sigma 33$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
サポートと埋込金具の 溶接部	$\sigma 34$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上板と支柱の溶接部	$\sigma 35$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリート	$\sigma 36$: 圧縮	埋込金物コン クリート部の 許容圧縮度	$0.75F_c$

表 9.17-9 復水器基礎 (No. ⑩⑪追設キーサポート) 許容応力

評価部位	算出応力	機器区分	適用式 (許容応力状態IV _A S)
底板とサポートの溶接部	$\sigma 37$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
キー	$\sigma 38$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
サポートと埋込金具の 溶接部	$\sigma 39$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
上板と支柱の溶接部	$\sigma 40$: せん断	クラス 2 支持 構造物	$f_s = 1.5 \times F^* / 1.5\sqrt{3}$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$
コンクリート	$\sigma 41$: 圧縮	埋込金物コン クリート部の 許容圧縮度	$0.75F_c$

表 9.17-10 復水器本体前後板 許容応力

評価部位	算出応力	機器区分	適用式 (許容応力状態IV _A S)
復水器本体前後板	σ_{42} : 曲げ σ_{43} : 曲げ	クラス 2 支持 構造物	$f_b = 1.5 \times F^* / 1.5^*$ $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u)$

注記* : 保守的に引張の許容応力を適用する。

表 9.17-11 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	適用式 (許容応力状態IV _A S)
基礎コンクリート	σ_{44} : 圧縮	埋込金物コン クリート部の 許容圧縮度	$0.75F_c$

表 9.17-12 復水器基礎 (No. ⑨) センタサポート 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)
		最高使 用温度				
底板と補強板の 溶接部	SM400A 相当 (SMA400AP) (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	最高使 用温度	66	225	385	270
補強板	SM400A 相当 (SMA400AP) (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	最高使 用温度	66	225	385	270
補強板とサポートの 溶接部	SM400A 相当 (SMA400AP) (40mm < 厚さ ≤ 75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
サポート	SM400A 相当 (SMA400AP) (40mm < 厚さ ≤ 75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
サポートと埋込金具 の溶接部	SS400 (40mm < 厚さ ≤ 75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
上板と支柱の溶接部	SS400 (40mm < 厚さ ≤ 75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
コンクリート	—	F _c =32 (MPa)				
支柱付根部	SS400 (40mm < 厚さ ≤ 75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247

表 9.17-13 復水器基礎 (No. ⑦⑧既設キーサポート) 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)
		最高使 用温度	66			
底板と補強板の 溶接部	SM400A 相当 (SMA400AP) (16mm<厚さ≤40mm)	最高使 用温度	66	225	385	270
補強板	SM400A 相当 (SMA400AP) (16mm<厚さ≤40mm)	最高使 用温度	66	225	385	270
補強板とサポートの 溶接部	SM400A 相当 (SMA400AP) (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
キー	SS400 (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
サポートと埋込金具 の溶接部	SS400 (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
上板と支柱の溶接部	SS400 (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
コンクリート	—			F _c =32 (MPa)		

表 9.17-14 復水器基礎 (No. ⑩⑪追設キーサポート) 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)
		最高使 用温度	66			
底板とサポートの 溶接部	SS400 (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
キー	SS400 (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
サポートと埋込金具 の溶接部	SS400 (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
上板と支柱の溶接部	SS400 (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247
コンクリート	—			F _c =32 (MPa)		

表 9.17-15 復水器本体前後板 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)
		最高使 用温度	66			
復水器本体前後板	SM400A 相当 (SMA400AP) (40mm<厚さ≤75mm)	最高使 用温度	66	206	385	247

表 9.17-16 復水器基礎コンクリート 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)
基礎コンクリート	—			F _c =32 (MPa)		

3. 復水器基礎 (No. ⑦~⑪) の評価

(1) 耐震サポートに作用する荷重の算出

水平方向設計震度を C_H 、運転時質量を W_{CD} とすると、地震による水平力 F は、

$$\begin{aligned} F &= W_{CD} \times C_H \times g \\ &= 1681.8 \times 10^3 / 1000 \times 1.63 \times 9.80665 \\ &= 2.688 \times 10^4 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

水平方向設計震度 $C_H = 1.63$

運転時質量 $W_{CD} = 1681.8 \times 10^3 \text{ (kg)}$

重力加速度 $g = 9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

幅 $\varnothing 3$ の復水器底板における水平方向(細管軸方向)の等分布荷重 $\omega_{\varepsilon 4}$ は、

$$\begin{aligned} \omega_{\varepsilon 4} &= F / \varnothing 3 \\ &= 2.688 \times 10^4 \times 1000 / 9500 \\ &= 2829.5 \text{ (N/mm)} \end{aligned}$$

長さ $\varnothing 1$ の復水器底板における地震による水平力 F に、均圧胴による細管軸直角方向荷重 $FBB \beta$ を加えた水平方向(細管軸直角方向)の等分布荷重 $\omega_{\gamma 2}$ は、

$$\begin{aligned} \omega_{\gamma 2} &= (F + FBB \beta) / \varnothing 1 \\ &= (2.688 \times 10^4 \times 1000 + 3.267 \times 10^6) / 17420 \\ &= 1730.6 \text{ (N/mm)} \end{aligned}$$

細管軸直角方向荷重 $FBB \beta = 3.267 \times 10^6 \text{ (N)}$

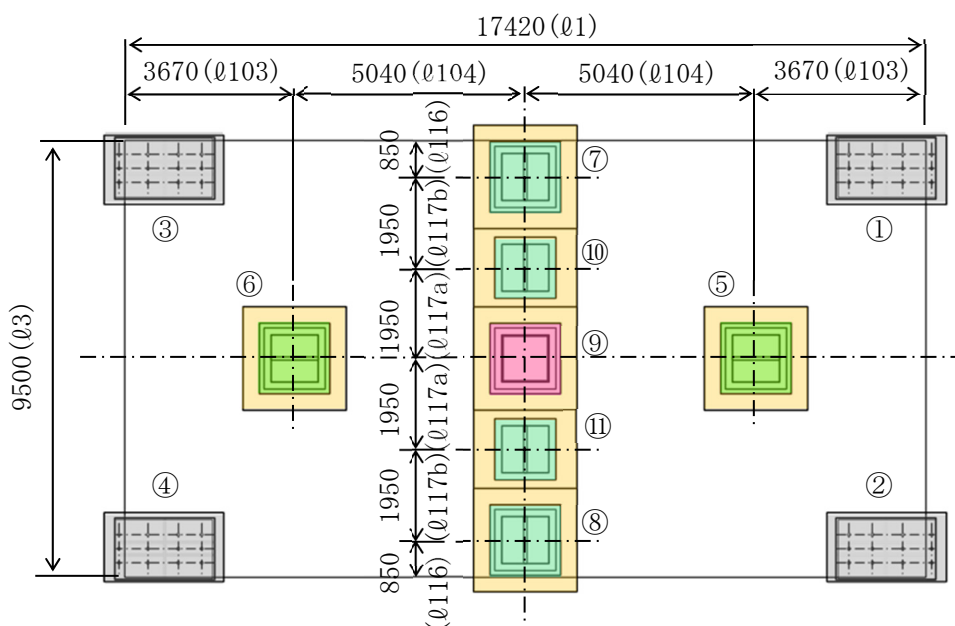


図 9.17-21 基礎部耐震サポート配置図

(2) 各耐震サポートに作用する荷重の算出

各耐震サポートの受ける水平力は、底板支持点における反力に相当する。各耐震サポートの細管軸方向にかかる反力を3モーメントの式により計算すると、

No. ⑨センタサポートにかかる水平荷重 RSS_{ε} は、

$$\begin{aligned}
 RSS_{\varepsilon} &= \frac{6 \times \omega_{\varepsilon 4}}{\varnothing 117a \times (3 \times \varnothing 117a + 4 \times \varnothing 117b)} \times \left(\frac{\varnothing 117a^3}{4} + \frac{\varnothing 117b \times \varnothing 117a^2}{2} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\varnothing 117b \times \varnothing 116^2}{2} - \frac{\varnothing 117b^3}{4} \right) + \frac{\omega_{\varepsilon 4} \times \varnothing 117a}{2} \\
 &= \frac{6 \times 2829.5}{1950 \times (3 \times 1950 + 4 \times 1950)} \times \left(\frac{1950^3}{4} + \frac{1950 \times 1950^2}{2} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1950 \times 850^2}{2} - \frac{1950^3}{4} \right) + \frac{2829.5 \times 1950}{2} \\
 &= 5.573 \times 10^6 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

No. ⑦⑧既設キーサポートにかかる水平荷重 $RKS_{\varepsilon 1}$ は、

$$\begin{aligned}
 RKS_{\varepsilon 1} &= \frac{\omega_{\varepsilon 4}}{\varnothing 117b \times (3 \times \varnothing 117a + 4 \times \varnothing 117b)} \times \left(\frac{\varnothing 117a^3}{2} + \varnothing 117b \times \varnothing 117a^2 \right. \\
 &\quad \left. + \varnothing 117b \times \varnothing 116^2 - \frac{\varnothing 117b^3}{2} \right) - \frac{\omega_{\varepsilon 4}}{4 \times \varnothing 117b} \\
 &\quad \times (\varnothing 117a^2 - 2 \times \varnothing 116^2 - 2 \times \varnothing 117b^2 - 4 \times \varnothing 117b \times \varnothing 116) \\
 &= \frac{2829.5}{1950 \times (3 \times 1950 + 4 \times 1950)} \times \left(\frac{1950^3}{2} + 1950 \times 1950^2 \right. \\
 &\quad \left. + 1950 \times 850^2 - \frac{1950^3}{2} \right) - \frac{2829.5}{4 \times 1950} \\
 &\quad \times (1950^2 - 2 \times 850^2 - 2 \times 1950^2 - 4 \times 1950 \times 850) \\
 &= 5.247 \times 10^6 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

No. ⑩⑪追設キーサポートにかかる水平荷重 $RKS_{\varepsilon 2}$ は,

$$\begin{aligned}
 RKS_{\varepsilon 2} &= \frac{-(2 \times 0117a + 3 \times 0117b) \times \omega_{\varepsilon 4}}{(3 \times 0117a + 4 \times 0117b) \times 0117a \times 0117b} \times \left(\frac{0117a^3}{4} + \frac{0117b \times 0117a^2}{2} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{0117b \times 0116^2}{2} - \frac{0117b^3}{4} \right) + \frac{\omega_{\varepsilon 4}}{4 \times 0117b} \\
 &\quad \times (3 \times 0117a \times 0117b + 0117a^2 - 2 \times 0116^2 + 2 \times 0117b^2) \\
 &= \frac{-(2 \times 1950 + 3 \times 1950) \times 2829.5}{(3 \times 1950 + 4 \times 1950) \times 1950 \times 1950} \times \left(\frac{1950^3}{4} + \frac{1950 \times 1950^2}{2} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1950 \times 850^2}{2} - \frac{1950^3}{4} \right) + \frac{2829.5}{4 \times 1950} \\
 &\quad \times (3 \times 1950 \times 1950 + 1950^2 - 2 \times 850^2 + 2 \times 1950^2) \\
 &= 5.407 \times 10^6 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

キーサポートにかかる最大水平荷重 RKS_{ε} は,

$$\begin{aligned}
 RKS_{\varepsilon} &= \text{Max}(RKS_{\varepsilon 1}, RKS_{\varepsilon 2}) \\
 &= \text{Max}(5.247 \times 10^6, 5.407 \times 10^6) \\
 &= 5.407 \times 10^6 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

また、復水器の細管軸直角方向には駆体（TG 架台，柱等）があるため大きな移動はなく，細管軸方向にある出入口弁への影響はないものと考えられるため，細管軸方向用と共用のセンターサポートのみ 3 モーメントの式で反力を計算すると，

センターサポートにかかる水平荷重 RSS_{γ} は，

$$\begin{aligned}
 RSS_{\gamma} &= \omega_{\gamma 2} \times 0104 - (2 \times (-\omega_{\gamma 2} \times (0104^2 - 2 \times 0103^2) / 8) - (-\omega_{\gamma 2} \times 0103^2) / 2 \\
 &\quad - (-\omega_{\gamma 2} \times 0103^2) / 2) / 0104 \\
 &= 1730.6 \times 5040 - (2 \times (-1730.8 \times (5040^2 - 2 \times 3670^2) / 8) - (-1730.6 \times 3670 \\
 &\quad ^2) / 2 \\
 &\quad - (-1730.6 \times 3670^2) / 2) / 5040 \\
 &= 3.965 \times 10^6 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

センタサポートにかかる水平 2 方向の組合せ荷重 RSS は、

$$\begin{aligned} \text{RSS} &= \sqrt{(\text{RSS}_\varepsilon)^2 + (\text{RSS}_\gamma)^2} \\ &= \sqrt{(5.573 \times 10^6)^2 + (3.965 \times 10^6)^2} \\ &= 6.840 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

なお、センタサポート支柱は円筒のため、水平 2 方向の影響は軽微と考えられることから細管軸方向の水平荷重 RSS_ε による検討とする。

(3) No. ⑨センタサポートの応力

a) 底板と補強板の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉溶接長さ C3, 補強板幅 $\varnothing 201$ の 4 辺を有効長とすると、底板と補強板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{21} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{21} &= \text{RSS} / (4 \times C3 / \sqrt{2} \times \varnothing 201) \\ &= 6.840 \times 10^6 / (4 \times 16 / \sqrt{2} \times 1500) \\ &= 101 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

b) 補強板に発生するせん断応力

補強板 (厚さ t14, 幅 ($\varnothing 201 - \varnothing 202$)), 補強板とセンタサポートの溶接部 (開先 C4, すみ肉脚長 C5, 溶接長 ($\varnothing 202 \times 2$)) を足した有効断面積 A1 は、

$$\begin{aligned} A1 &= t14 \times (\varnothing 201 - \varnothing 202) \times 2 + ((C4 + C5) / \sqrt{2}) \times \varnothing 202 \times 2 \\ &= 32 \times (1500 - 1000) \times 2 + ((16 + 16) / \sqrt{2}) \times 1000 \times 2 \\ &= 7.725 \times 10^4 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

補強板に発生するせん断応力 σ_{22} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{22} &= \text{RSS} / A1 \\ &= 6.840 \times 10^6 / 7.725 \times 10^4 \\ &= 89 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

c) 補強板とセンタサポートの溶接部に発生するせん断応力

開先深さ C4, すみ肉脚長 C5, センタサポート幅 $\varnothing 202$ の 4 辺を有効長とすると、補強板とセンタサポートの溶接部に発生するせん断応力 σ_{23} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{23} &= \text{RSS} / (4 \times (C4 + C5) / \sqrt{2} \times \varnothing 202) \\ &= 6.840 \times 10^6 / (4 \times (16 + 16) / \sqrt{2} \times 1000) \\ &= 76 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

d) センタサポートに発生するせん断応力

外側の1辺 $\varnothing 202$ 、内側の1辺 $\varnothing 203$ の正方形のセンタサポートの断面積 A_2 は、

$$\begin{aligned} A_2 &= \varnothing 202^2 - \varnothing 203^2 \\ &= 1000^2 - 900^2 \\ &= 1.900 \times 10^5 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

センタサポートに発生するせん断応力 σ_{24} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{24} &= \text{RSS}/A_2 \\ &= 6.840 \times 10^6 / 1.900 \times 10^5 \\ &= 36 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

e) センタサポートと埋込金具の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉脚長 C_6 、溶接長さが外側の1辺 $\varnothing 202$ 、内側の1辺 $\varnothing 203$ の正方形であることから、センタサポートと埋込金具の溶接部に発生するせん断応力 σ_{25} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{25} &= \text{RSS} / (C_6 / \sqrt{2} \times (\varnothing 202 + \varnothing 203) \times 4) \\ &= 6.840 \times 10^6 / (20 / \sqrt{2} \times (1000 + 900) \times 4) \\ &= 64 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

f) センタサポートと埋込金具の溶接部に発生する曲げ応力

すみ肉脚長 C_6 、溶接長さが外側の1辺 $\varnothing 202$ 、内側の1辺 $\varnothing 203$ の正方形であることから、センタサポートのすみ肉部の断面係数 Z_{SS1} は、

$$\begin{aligned} Z_{SS1} &= 1/6 \times 1 / (\varnothing 202 + 2 \times C_6 / \sqrt{2}) \times ((\varnothing 202 + 2 \times C_6 / \sqrt{2})^4 - \varnothing 202^4) \\ &\quad + (\varnothing 203^4 - (\varnothing 203 - 2 \times C_6 / \sqrt{2})^4) \\ &= 1/6 \times 1 / (1000 + 2 \times 20 / \sqrt{2}) \times (((1000 + 2 \times 20 / \sqrt{2})^4 - 1000^4) \\ &\quad + (900^4 - (900 - 2 \times 20 / \sqrt{2})^4)) \\ &= 3.188 \times 10^7 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

埋込金具からセンタサポート補強板上面の高さ $\varnothing 204$ までの曲げモーメント M_{SS1} は、

$$\begin{aligned} M_{SS1} &= \text{RSS} \times \varnothing 204 \\ &= 6.840 \times 10^5 \times 114 \\ &= 7.798 \times 10^8 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

センタサポートと埋込金具の溶接部に発生する曲げ応力 σ_{26} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{26} &= M_{SS1} / Z_{SS1} \\ &= 7.798 \times 10^8 / 3.188 \times 10^7 \\ &= 25 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

g) 上板と支柱の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉脚長 C7, 溶接長さが外径 d1, 内径 d2 の支柱の内外周とすると, 上板と支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{27} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{27} &= \text{RSS}_{\varepsilon} / (C7/\sqrt{2} \times (d1+d2) \times \pi) \\ &= 5.573 \times 10^6 / (20/\sqrt{2} \times (1200+1100) \times \pi) \\ &= 55 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

h) コンクリートに発生する圧縮応力

外径 d1, 長さ ℓ_{205} の支柱によるコンクリートの受圧面積 A3 は,

$$\begin{aligned}A3 &= d1 \times \ell_{205} \\ &= 1200 \times 1250 \\ &= 1.500 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

受圧面積 A3 のコンクリートに発生する圧縮応力 σ_{28} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{28} &= \text{RSS}_{\varepsilon} / A3 \\ &= 5.573 \times 10^6 / 1.500 \times 10^6 \\ &= 4 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

i) 支柱付け根部に発生する曲げ応力

長さ ℓ_{205} の支柱にかかる等分布荷重 $\omega_{\varepsilon 5}$ は,

$$\begin{aligned}\omega_{\varepsilon 5} &= \text{RSS}_{\varepsilon} / \ell_{205} \\ &= 5.573 \times 10^6 / 1250 \\ &= 4458.4 \text{ (N/mm)}\end{aligned}$$

支柱を長さ ℓ_{205} の片持ち梁と仮定したモーメント $MSS_{\varepsilon 2}$ は,

$$\begin{aligned}MSS_{\varepsilon 2} &= \omega_{\varepsilon 5} \times \ell_{205}^2 / 2 \\ &= 4458.4 \times 1250^2 / 2 \\ &= 3.483 \times 10^9 \text{ (N}\cdot\text{mm)}\end{aligned}$$

すみ肉脚長 C7, 溶接長さが外径 d1, 内径 d2 の支柱の内外周の断面係数 ZSS2 は,

$$\begin{aligned}ZSS2 &= \pi / 32 \times (((d1+2 \times C7/\sqrt{2})^4 - d1^4) / (d1+2 \times C7/\sqrt{2})) \\ &\quad + ((d2^4 - (d2-2 \times C7/\sqrt{2})^4) / d2) \\ &= \pi / 32 \times (((1200+2 \times 20/\sqrt{2})^4 - 1200^4) / (1200+2 \times 20/\sqrt{2})) \\ &\quad + ((1100^4 - (1100-2 \times 20/\sqrt{2})^4) / 1100) \\ &= 2.912 \times 10^7 \text{ (mm}^3\text{)}\end{aligned}$$

支柱付け根部に発生する曲げ応力 σ_{29} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{29} &= \text{MSS} \varepsilon / \text{ZSS2} \\ &= 3.483 \times 10^9 / 2.912 \times 10^7 \\ &= 120 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

(4) No. ⑦⑧既設キーサポートの応力

a) 底板と補強板の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉溶接長さ C9, 補強板幅 $\varnothing 206$ の 4 辺を有効長とすると, 底板と補強板の溶接部に発生するせん断応力 σ_{30} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{30} &= \text{RKS} \varepsilon / (4 \times C9 / \sqrt{2} \times \varnothing 206) \\ &= 5.407 \times 10^6 / (4 \times 16 / \sqrt{2} \times 1500) \\ &= 80 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

b) 補強板に発生するせん断応力

補強板 (厚さ t15, 幅 $\varnothing 206 - \varnothing 207$), 補強板とキーサポートの溶接部 (開先 C11, すみ肉脚長 C10, 溶接長 $(\varnothing 207 \times 2)$) を足した有効断面積 A4 は,

$$\begin{aligned}A4 &= t15 \times (\varnothing 206 - \varnothing 207) \times 2 + ((C10 + C11) / \sqrt{2}) \times \varnothing 207 \times 2 \\ &= 32 \times (1500 - 1000) \times 2 + ((16 + 16) / \sqrt{2}) \times 1000 \times 2 \\ &= 7.725 \times 10^4 \text{ (mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

補強板に発生するせん断応力 σ_{31} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{31} &= \text{RKS} \varepsilon / A4 \\ &= 5.407 \times 10^6 / 7.725 \times 10^4 \\ &= 70 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

c) 補強板とキーサポートの溶接部に発生するせん断応力

開先深さ C11, すみ肉脚長 C10, キーサポート幅 $\varnothing 207$ の 4 辺を有効長とすると, 補強板とキーサポートの溶接部に発生するせん断応力 σ_{32} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{32} &= \text{RKS} \varepsilon / ((C10 + C11) / \sqrt{2} \times \varnothing 207 \times 4) \\ &= 5.407 \times 10^6 / ((16 + 16) / \sqrt{2} \times 1000 \times 4) \\ &= 60 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

d) キーに発生するせん断応力

幅 t16, 長さ $\varnothing 208$ のキーのせん断断面積 A5 は,

$$\begin{aligned}A5 &= t16 \times \varnothing 208 \\ &= 60 \times 900 \\ &= 5.400 \times 10^4 \text{ (mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

キーに発生するせん断応力 σ_{33} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{33} &= RKS_{\epsilon} / A_5 \\ &= 5.407 \times 10^6 / 5.400 \times 10^4 \\ &= 101 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

e) キーサポートと埋込金具の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉脚長 C12, キーサポート幅 $\phi 207$ の 4 辺を有効長とすると, キーサポートと埋込金具の溶接部に発生するせん断応力 σ_{34} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{34} &= RKS_{\epsilon} / (C12 / \sqrt{2} \times \phi 207 \times 4) \\ &= 5.407 \times 10^6 / (25 / \sqrt{2} \times 1000 \times 4) \\ &= 77 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

f) 上板と支柱の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉脚長 C13, 溶接長さが外径 d_3 , 内径 d_4 の支柱の内外周とすると, 上板と支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{35} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{35} &= RKS_{\epsilon} / (C13 / \sqrt{2} \times (d_3 + d_4) \times \pi) \\ &= 5.407 \times 10^6 / (20 / \sqrt{2} \times (1200 + 1100) \times \pi) \\ &= 53 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

g) コンクリートに発生する圧縮応力

外径 d_3 , 長さ $\phi 209$ の支柱によるコンクリートの受圧面積 A_6 は,

$$\begin{aligned}A_6 &= d_3 \times \phi 209 \\ &= 1200 \times 1120 \\ &= 1.344 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

受圧面積 A_6 のコンクリートに発生する圧縮応力 σ_{36} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{36} &= RKS_{\epsilon} / A_6 \\ &= 5.407 \times 10^6 / 1.344 \times 10^6 \\ &= 4 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

(5) No. ⑩⑪ 追設キーサポートの応力

a) 底板とキーサポートの溶接部に発生するせん断応力

すみ肉脚長 C14, 幅 $\phi 211$ のキーサポートの 4 辺を有効長とすると, 底板とキーサポートの溶接部に発生するせん断応力 σ_{37} は,

$$\begin{aligned}\sigma_{37} &= RKS_{\epsilon} / (C14 / \sqrt{2} \times \phi 211 \times 4) \\ &= 5.407 \times 10^6 / (25 / \sqrt{2} \times 1000 \times 4) \\ &= 77 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

b) キーに発生するせん断応力

幅 t_{17} , 長さ l_{212} のキーのせん断断面積 A_7 は,

$$\begin{aligned} A_7 &= t_{17} \times l_{212} \\ &= 60 \times 900 \\ &= 5.400 \times 10^4 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

キーに発生するせん断応力 σ_{38} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{38} &= RKS_{\epsilon} / A_7 \\ &= 5.407 \times 10^6 / 5.400 \times 10^4 \\ &= 101 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

c) キーサポートと埋込金具の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉脚長 C_{15} , 幅 l_{211} のキーサポートの4辺を有効長とすると, キーサポートと埋込金具の溶接部に発生するせん断応力 σ_{39} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{39} &= RKS_{\epsilon} / (C_{15} / \sqrt{2} \times l_{211} \times 4) \\ &= 5.407 \times 10^6 / (25 / \sqrt{2} \times 1000 \times 4) \\ &= 77 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

d) 上板と支柱の溶接部に発生するせん断応力

すみ肉脚長 C_{16} , 外径 d_5 , 内径 d_6 の支柱の内外周から幅 l_{213} のコンクリート注入穴4カ所分を引いた長さを溶接長さとして, 上板と支柱の溶接部に発生するせん断応力 σ_{40} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{40} &= RKS_{\epsilon} / ((C_{16} / \sqrt{2}) \times ((d_5 + d_6) \times \pi - l_{213} \times 4 \times 2)) \\ &= 5.407 \times 10^6 / ((20 / \sqrt{2}) \times ((1200 + 1100) \times \pi - 150 \times 4 \times 2)) \\ &= 64 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

e) コンクリートに発生する圧縮応力

外径 d_5 , 長さ l_{214} の支柱によるコンクリートの受圧面積 A_8 は,

$$\begin{aligned} A_8 &= d_5 \times l_{214} \\ &= 1200 \times 1120 \\ &= 1.344 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

受圧面積 A_8 のコンクリートに発生する圧縮応力 σ_{41} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{41} &= RKS_{\epsilon} / A_8 \\ &= 5.407 \times 10^6 / 1.344 \times 10^6 \\ &= 4 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

4. 復水器本体前後板の評価

復水器本体前後板に水平地震による荷重が作用したときに、循環水出入口弁への影響を与えないことを確認するために、復水器本体前後板の強度評価及びたわみ量の算出を行う。

(1) 復水器本体前後板（後水室側）の評価

後水室固定用耐震サポートの接続により復水器本体前後板にかかる荷重を、復水器本体前後板と内部補強板で受けるときの強度を評価する。

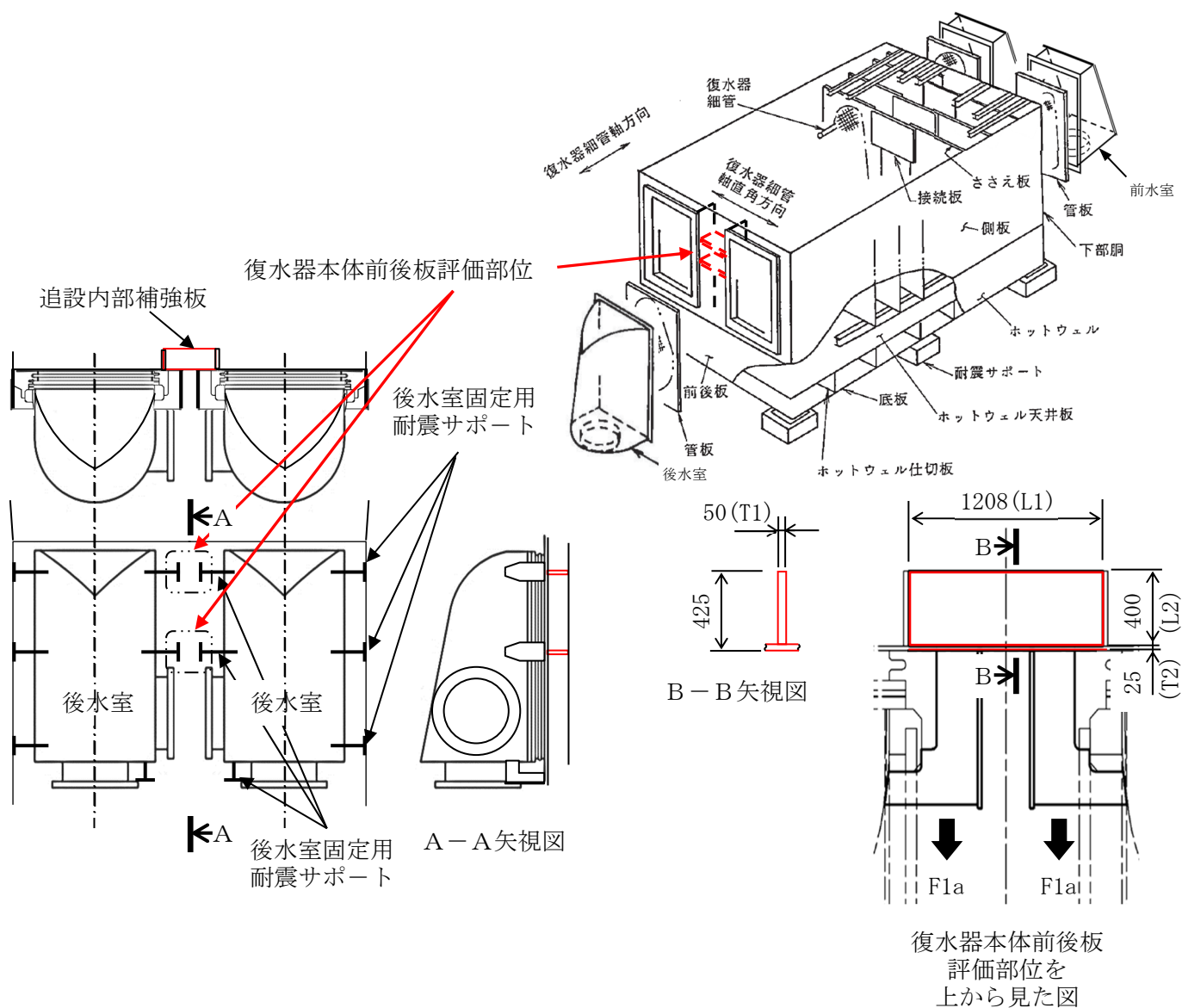


図 9.17-22 復水器本体前後板評価部位（後水室側）

後水室 1 個に後水室固定用耐震サポートは 6 個あるため、後水室固定用耐震サポート 1 個にかかる水平力 F_{1a} は、

$$\begin{aligned} F_{1a} &= F_{h1a}/6 \\ &= 6.431 \times 10^3 / 6 \\ &= 1.072 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

復水器本体前後板中間の、左右の水室固定サポートから荷重を受ける部位にかかる荷重 P は、

$$\begin{aligned} P &= F_{1a} \times 2 \\ &= 1.072 \times 10^3 \times 1000 \times 2 \\ &= 2.144 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

当該部の復水器本体前後板の内側にある補強板を含め、両端固定、長さ L_1 のはりとしたときの等分布荷重 q は、

$$\begin{aligned} q &= P/L_1 \\ &= 2.144 \times 10^6 / 1208 \\ &= 1774.8 \text{ (N/mm)} \end{aligned}$$

モーメント M_{\max} は、

$$\begin{aligned} M_{\max} &= q \times L_1^2 / 12 \\ &= 1774.8 \times 1208^2 / 12 \\ &= 2.158 \times 10^8 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

補強板の厚み T1 を b, 補強板幅 L2 と復水器本体前後板厚み T2 の合計を h とした断面係数 Z と断面二次モーメント I は,

$$\begin{aligned} Z &= b \times h^2 / 6 \\ &= 50 \times (400 + 25)^2 / 6 \\ &= 1.505 \times 10^6 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= b \times h^3 / 12 \\ &= 50 \times (400 + 25)^3 / 12 \\ &= 3.199 \times 10^8 \text{ (mm}^4\text{)} \end{aligned}$$

よって, 補強板を含めた復水器本体前後板に発生する曲げ応力 σ_{42} は,

$$\begin{aligned} \sigma_{42} &= M_{\max} / Z \\ &= 2.158 \times 10^8 / 1.505 \times 10^6 \\ &= 144 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

たわみ量 v_1 は,

$$\begin{aligned} v_1 &= qL^4 / 384EI \\ &= 1774.8 \times 1208^4 / (384 \times 1.910 \times 10^5 \times 3.199 \times 10^8) \\ &= 0.17 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

たわみ許容量は第 9.17-23 図による。

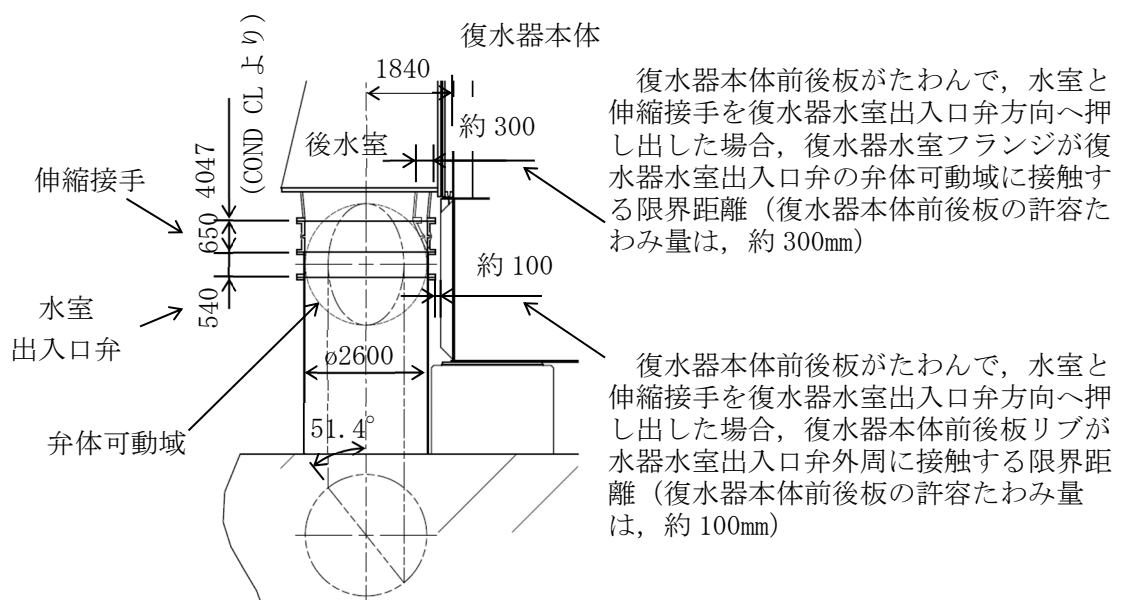


図 9.17-23 復水器本体前後板許容たわみ量概要図 (後水室側)

(2) 復水器本体前後板（前水室側）の評価

復水器本体前後板（前水室側）の強度は，図 9.17-24 で示すように端胴からの細管軸方向荷重を受ける補強管の付け根を拘束点とする片持ち梁モデルとして評価を行う。

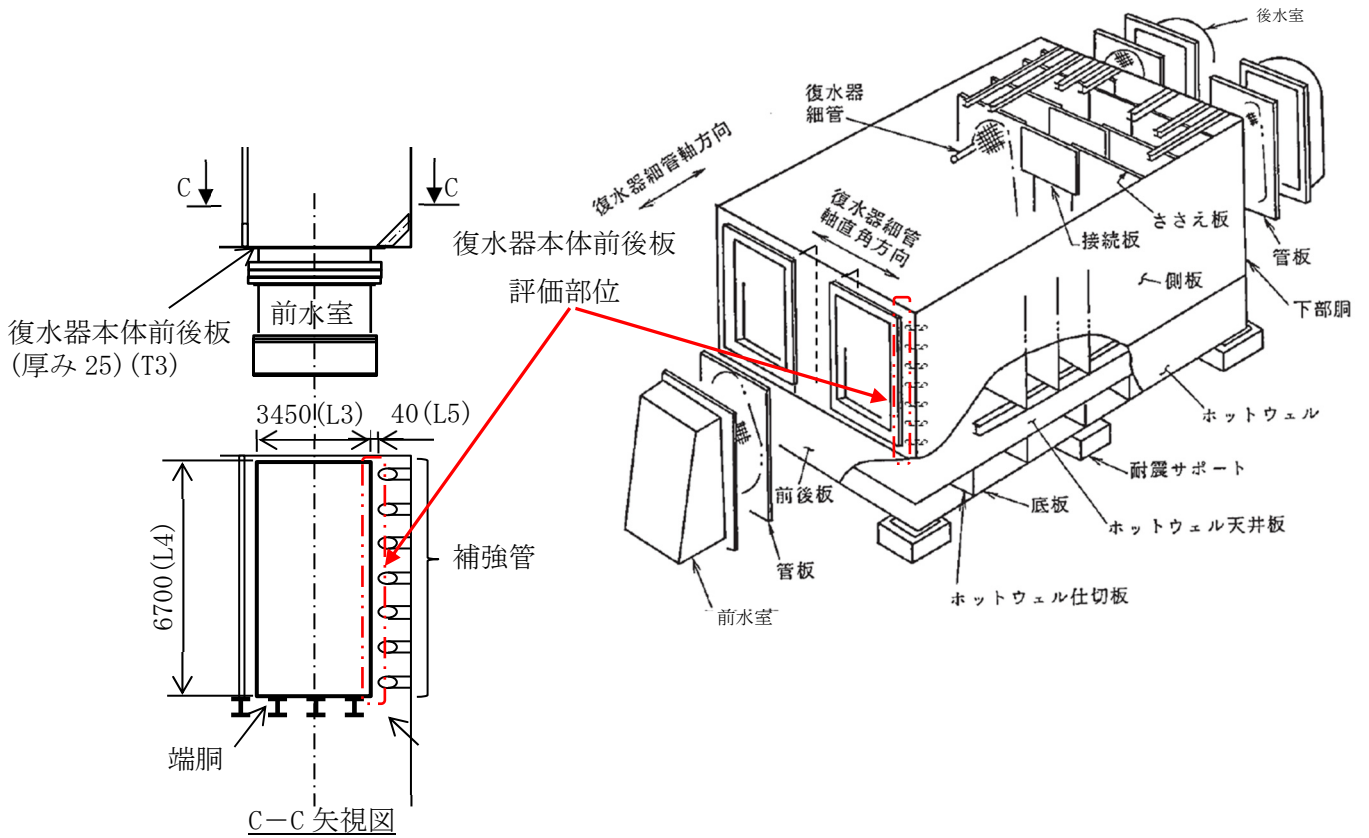


図 9.17-24 復水器本体前後板評価部位（前水室側）

前水室 1 個に端胴は 1 個あるため、端胴 1 個当たりの水平力 F_{1b} は、

$$\begin{aligned} F_{1b} &= F_{h1b} \\ &= 6.656 \times 10^3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

端胴にかかる等分布荷重 P_2 は、

$$\begin{aligned} P_2 &= F_{1b} / (L_3 \times 2 + L_4 \times 2) \\ &= 6.656 \times 10^3 \times 1000 / (3450 \times 2 + 6700 \times 2) \\ &= 327.9 \text{ (N/mm)} \end{aligned}$$

端胴長辺にかかる荷重 P は、

$$\begin{aligned} P &= P_2 \times L_4 \\ &= 327.9 \times 6700 \\ &= 2.197 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

復水器本体前後板の端胴～補強管部分を片持ち梁モデルとしたときのモーメント M は、

$$\begin{aligned} M &= P \times L_5 \\ &= 2.197 \times 10^6 \times 40 \\ &= 8.788 \times 10^7 \text{ (N}\cdot\text{mm)} \end{aligned}$$

復水器本体前後板の厚さ T_3 を h 、端胴高さ L_5 を b とした断面係数 Z 及び断面二次モーメント I は、

$$\begin{aligned} Z &= bh^2/6 \\ &= 6700 \times 25^2/6 \\ &= 6.979 \times 10^5 \text{ (mm}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= bh^3/12 \\ &= 6700 \times 25^3/12 \\ &= 8.724 \times 10^6 \text{ (mm}^4\text{)} \end{aligned}$$

よって、復水器本体前後板に発生する曲げ応力 σ_{43} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{43} &= M/Z \\ &= 8.788 \times 10^7 / 6.979 \times 10^5 \\ &= 126 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

たわみ量 v_2 は,

$$\begin{aligned} v_2 &= PL^3/3EI \\ &= 2.197 \times 10^6 \times 40^3 / (3 \times 1.910 \times 10^5 \times 8.724 \times 10^6) \\ &= 0.03 (\text{mm}) \end{aligned}$$

たわみ許容量は図 9.17-25 による。

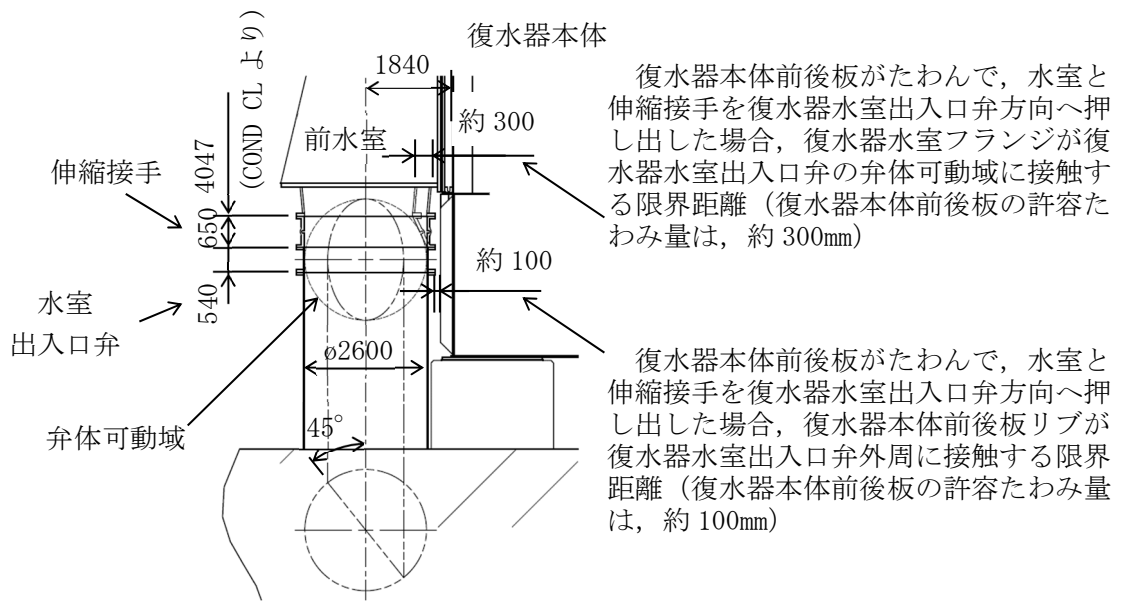


図 9.17-25 復水器本体前後板許容たわみ量概要図（前水室側）

5. 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、図 9.17-26 に示す基礎台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、図 9.17-27 に示すとおり、復水器脚板と基礎台間にソールプレート (滑り板) を設置するとともに、ボルト固定部は穴径に余裕を持たせている。

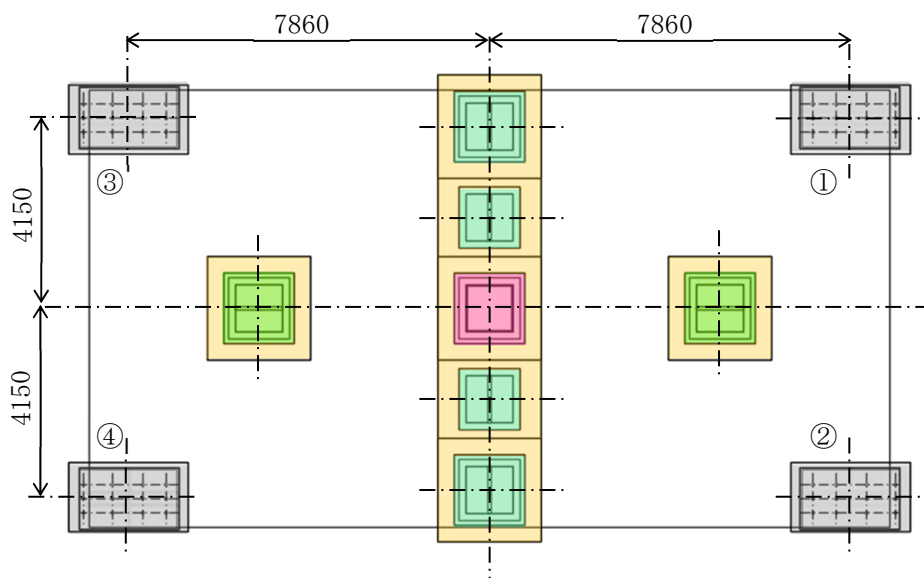


図 9.17-26 鉛直下向き荷重を受ける復水器基礎台配置図 (平面図)

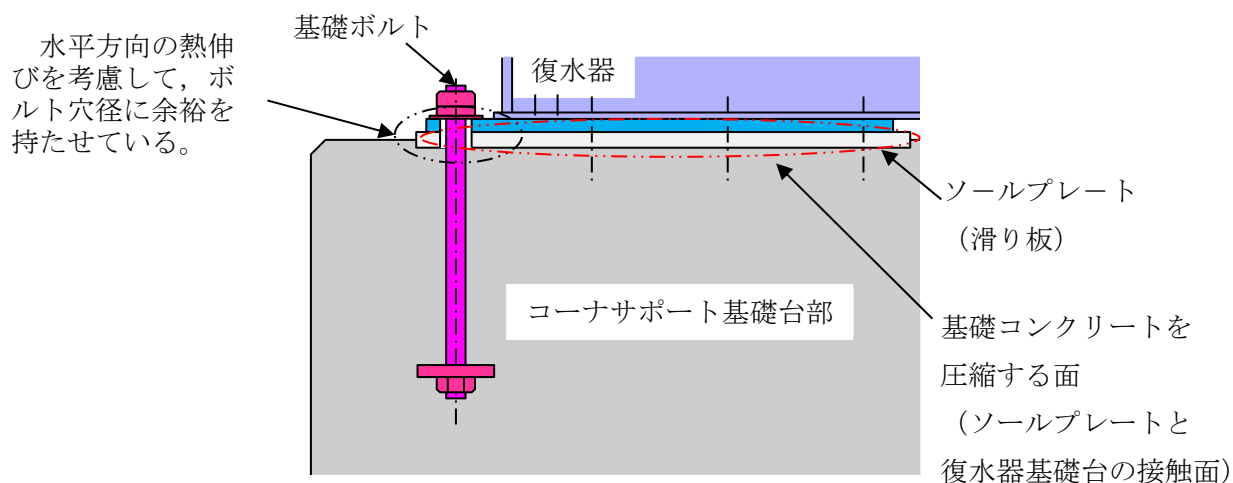


図 9.17-27 鉛直下向き荷重を受ける構造の基礎台の概略断面図

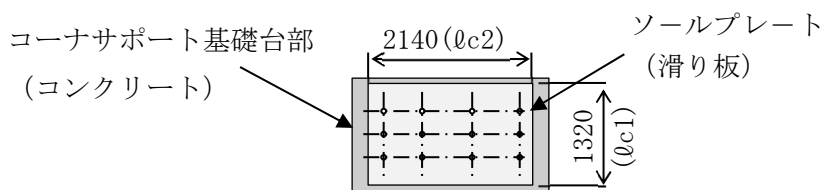


図 9.17-28 コーナサポート部ソールプレート寸法図

(2) 復水器基礎 (No. ①～④) の評価

水平方向設計震度 C_H 、鉛直方向設計震度 C_V での圧縮を評価する。なお、タービン排気口による復水器の上向き荷重は非保守的(自重が減る)となるため、考慮しない。

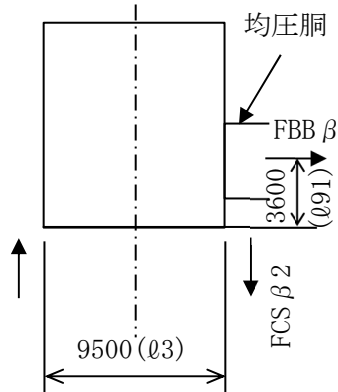


図 9.17-29
復水器の細管軸直角方向への
転倒 (均圧胴真空横向荷重に
よる)

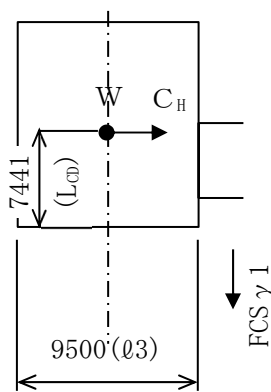


図 9.17-30
復水器の細管軸直角方向への
転倒 (地震動による)

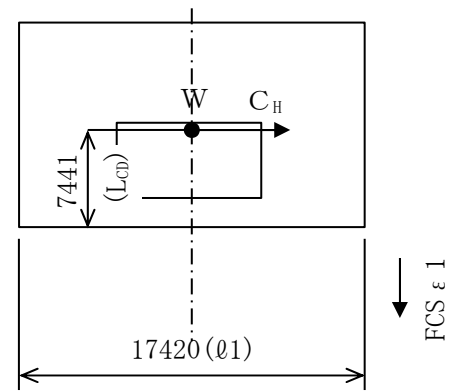


図 9.17-31
復水器の細管軸方向への
転倒 (地震動による)

a) 復水器の運転時自重による下向き荷重

通常運転時の復水器の質量 W_{CD} による鉛直下向き荷重 W は、

$$\begin{aligned} W &= W_{CD} \times g \\ &= 1681.8 \times 1000 \times 9.80665 \\ &= 1.649 \times 10^7 \text{ (N)} \end{aligned}$$

b) 均圧胴の真空横向き荷重による下向き荷重

均圧胴の細管軸直角方向の真空横向き荷重による復水器の倒れこみにより、上図に示す
とおり基礎台の引張と圧縮が発生する。下向き荷重 $FCS \beta 2$ は、

$$\begin{aligned} FCS \beta 2 &= FBB \beta \times g \times l_{91} / l_3 \\ &= 3.267 \times 10^6 \times 3600 / 9500 \\ &= 1.238 \times 10^6 \text{ (N)} \end{aligned}$$

c) 水平方向の地震力による下向き荷重

水平方向設計震度 C_H の重心位置 L_{CD} への水平力による復水器の倒れこみにより、上図のとおり基礎台の引張と圧縮が発生する。細管軸方向の水平力による下向き荷重 $F_{CS\ \varepsilon\ 1}$ は、

$$\begin{aligned} F_{CS\ \varepsilon\ 1} &= C_H \times W \times L_{CD} / \ell_1 \\ &= 1.63 \times 1.649 \times 10^7 \times 7441 / 17420 \\ &= 1.148 \times 10^7 \text{ (N)} \end{aligned}$$

細管軸直角方向の水平力による下向き荷重 $F_{CS\ \gamma\ 1}$ は、

$$\begin{aligned} F_{CS\ \gamma\ 1} &= C_H \times W \times L_{CD} / \ell_3 \\ &= 1.63 \times 1.649 \times 10^7 \times 7441 / 9500 \\ &= 2.105 \times 10^7 \text{ (N)} \end{aligned}$$

d) 鉛直方向の地震力による下向き荷重

鉛直方向設計震度 C_V により基礎台にかかる下向き荷重 F_V は、

$$\begin{aligned} F_V &= W \times C_V \\ &= 1.649 \times 10^7 \times 0.90 \\ &= 1.484 \times 10^7 \text{ (N)} \end{aligned}$$

(3) 基礎コンクリートの圧縮評価

復水器1台の下方方向にかかる荷重 F は、

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{(F_{CS\ \beta\ 2} + F_{CS\ \gamma\ 1})^2 + F_{CS\ \varepsilon\ 1}^2 + F_V^2} + W \\ &= \sqrt{(1.238 \times 10^6 + 2.105 \times 10^7)^2 + (1.148 \times 10^7)^2 + (1.484 \times 10^7)^2} + 1.649 \times 10^7 \\ &= 4.562 \times 10^7 \text{ (N)} \end{aligned}$$

基礎コンクリートを圧縮するソールプレートの圧縮面積 A は、

$$\begin{aligned} A &= \ell_{c1} \times \ell_{c2} \\ &= 1320 \times 2140 \\ &= 2.825 \times 10^6 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

復水器1台に基礎台は4つあるが、保守的に1個の基礎台で荷重を受けた時に基礎コンクリートに発生する圧縮応力 σ_{44} は、

$$\begin{aligned} \sigma_{44} &= F/A \\ &= 4.562 \times 10^7 \times 1000 / 2.825 \times 10^6 \\ &= 17 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

6. 復水器基礎コンクリート（せん断耐力評価）

水平方向に水平方向設計震度 C_H を入力し，図 9.17-21 に示す，基礎コンクリート（No. ⑨ センタサポート，No. ⑦⑧ 既設キーサポート，No. ⑩⑪ 追設キーサポート）のせん断耐力を評価する。

(1) 基礎コンクリートと埋込金物について

復水器の細管軸方向を拘束する基礎コンクリートは，第 9.17-21 図に示す⑦～⑪である。

復水器基礎コンクリートのせん断耐力は，基礎コンクリートとせん断補強筋の合計による。せん断補強筋の断面積は 287mm^2 ，キーサポートとセンタサポートのせん断補強筋本数は 74 本，追設キーサポートせん断補強筋本数は 86 本である。

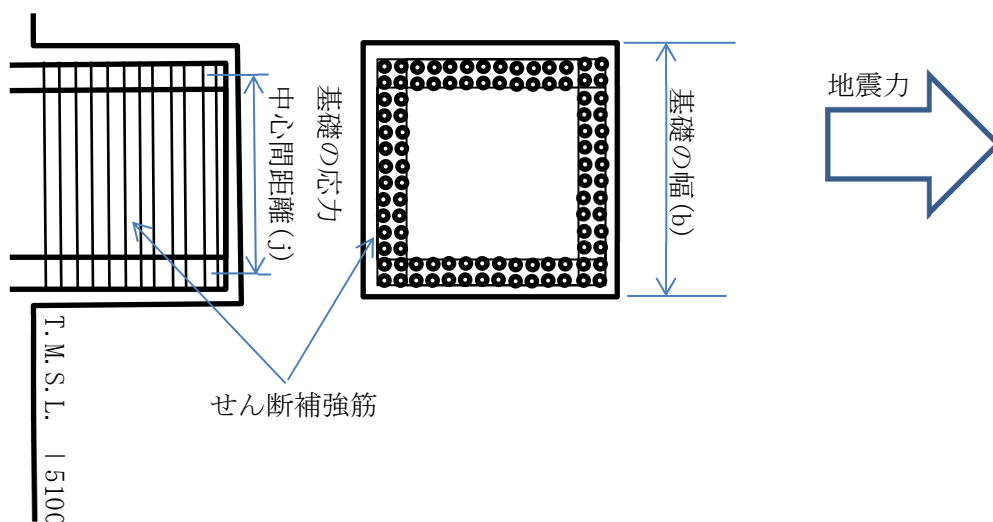


図 9.17-32 基礎形状とせん断補強筋

(2) No. ⑦⑧ 既設キーサポートの基礎コンクリートのせん断耐力

基礎コンクリート（No. ⑦⑧ 既設キーサポート）のせん断耐力 Q_{ak} は，

$$Q_{ak} = b_k \cdot j_k (f_{sk} + 0.5w_{ftk} (p_{wk} - 0.002))$$

基礎の幅 (b_k) = 2200 (mm)

基礎の応力中心間距離 (j_k) = 1855 (mm)

コンクリートの許容せん断応力度 (f_{sk}) = 1.21 (MPa)

せん断補強筋の許容引張応力度 (w_{ftk}) = 345 (MPa)

せん断補強筋の鉄筋比 (p_{wk}) = 0.0052

基礎コンクリート（No. ⑦⑧ 既設キーサポート）の基礎せん断耐力 (Q_{ak})

= 7.190×10^3 (kN)

- (3) No. ⑨セクタサポートの基礎コンクリートのせん断耐力
基礎コンクリート (No. ⑨セクタサポート) のせん断耐力 Q_{ac} は,

$$Q_{ac} = bc \cdot jc (f_{sc} + 0.5w_{ftc} (p_{wc} - 0.002))$$

基礎の幅 (bc)	=2200 (mm)
基礎の応力中心間距離(jc)	=1855 (mm)
コンクリートの許容せん断応力度(f_{sc})	=1.21 (MPa)
せん断補強筋の許容引張応力度(w_{ftc})	=345 (MPa)
せん断補強筋の鉄筋比(p_{wc})	=0.0052
基礎コンクリート (No. ⑨セクタサポート) せん断耐力(Q_{ac})	=7.190×10 ³ (kN)

- (4) No. ⑩⑪追設キーサポートの基礎コンクリートのせん断耐力
基礎コンクリート (No. ⑩⑪既設キーサポート) のせん断耐力 Q_{ak}' は,

$$Q_{ak}' = bk' \cdot jk' (f_{sk}' + 0.5w_{ftk}' (p_{wk}' - 0.002))$$

基礎の幅 (bk')	=1700 (mm)
基礎の応力中心間距離(jk')	=1417 (mm)
コンクリートの許容せん断応力度(f_{sk}')	=1.21 (MPa)
せん断補強筋の許容引張応力度(w_{ftk}')	=345 (MPa)
せん断補強筋の鉄筋比(p_{wk}')	=0.0102
基礎コンクリート (No. ⑩⑪既設キーサポート) のせん断耐力(Q_{ak}')	=6.322×10 ³ (kN)

- (5) 基礎コンクリートのせん断耐力の合計
復水器細管軸方向の基礎コンクリートのせん断耐力の合計 Q_a は,

$$\begin{aligned} Q_a &= 2 \cdot Q_{ak} + Q_{ac} + 2 \cdot Q_{ak}' \\ &= 2 \times 7.190 \times 10^3 + 7.190 \times 10^3 + 2 \times 6.322 \times 10^3 \\ &= 3.421 \times 10^4 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

7. 評価結果

(1) 復水器基礎 (No. ⑨センタサポート)

復水器水平方向を拘束する基礎 (No. ⑨センタサポート) の強度評価を行い、表 9.17-17 のとおり、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。

表 9.17-17 復水器基礎 (No. ⑨センタサポート) の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質
	σ			
底板と補強板の 溶接部	σ 21	101	155	SM400A 相当 (SMA400AP)
補強板	σ 22	89	155	SM400A 相当 (SMA400AP)
補強板とサポートの 溶接部	σ 23	76	142	SM400A 相当 (SMA400AP)
サポート	σ 24	36	142	SM400A 相当 (SMA400AP)
サポートと埋込金具の 溶接部	σ 25	64	142	SS400
サポートと埋込金具の 溶接部(すみ肉溶接)	σ 26	25	142	SS400
上板と支柱の溶接部	σ 27	55	142	SS400
コンクリート	σ 28	4	24	$F_c=32$ (MPa)
支柱付根部	σ 29	120	142	SS400

(2) 復水器基礎 (No. ⑦⑧既設キーサポート)

復水器水平方向を拘束する基礎 (No. ⑦⑧既設キーサポート) の強度評価を行い, 表 9.17-18 のとおり, 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。

表 9.17-18 復水器基礎 (No. ⑦⑧既設キーサポート) の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質
	σ	値		
底板と補強板の溶接部	σ 30	80	155	SM400A 相当 (SMA400AP)
補強板	σ 31	70	155	SM400A 相当 (SMA400AP)
補強板とサポートの 溶接部	σ 32	60	142	SM400A 相当 (SMA400AP)
キー	σ 33	101	142	SS400
サポートと埋込金具の 溶接部	σ 34	77	142	SS400
上板と支柱の溶接部	σ 35	53	142	SS400
コンクリート	σ 36	4	24	$F_c=32$ (MPa)

(3) 復水器基礎 (No. ⑩⑪追設キーサポート)

復水器水平方向を拘束する基礎 (No. ⑩⑪追設キーサポート) の強度評価を行い, 表 9.17-19 のとおり, 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。

表 9.17-19 復水器基礎 (No. ⑩⑪追設キーサポート) の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質
	σ			
底板とサポートの溶接部	σ 37	77	142	SS400
キー	σ 38	101	142	SS400
サポートと埋込金具の溶接部	σ 39	77	142	SS400
上板と支柱の溶接部	σ 40	64	142	SS400
コンクリート	σ 41	4	24	Fc=32 (MPa)

(4) 復水器本体前後板

前後板の強度評価を行い、表 9.17-20 のとおり、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。また、地震力による前後板のたわみ量の評価を行い、表 9.17-21 のとおり、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。

表 9.17-20 復水器本体前後板の応力

評価部位	算出応力 (MPa)		許容応力 (MPa)	材質
	σ			
前後板(後水室側)	42	144	247	SM400A 相当 (SMA400AP)
前後板(前水室側)	43	126	247	SM400A 相当 (SMA400AP)

表 9.17-21 復水器本体前後板のたわみ量

評価部位	算出量 (mm)		許容変位量(mm)	
			復水器水室フランジ と復水器水室出入口 弁の弁体との接触	復水器本体前後板リブ と復水器水室出入口弁 外周との接触
前後板(後水室側)	v 1	0.17	300	100
前後板(前水室側)	v 2	0.03	300	100

(5) 復水器基礎コンクリート (No. ①～④コーナサポート)

復水器鉛直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行い、表 9.17-22 のとおり、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。

表 9.17-22 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
	σ			
基礎コンクリート	44	17	24	Fc=32 (MPa)

(6) 復水器基礎コンクリート（せん断耐力）

基礎コンクリート（No. ⑨センタサポート，No. ⑦⑧既設キーサポート，No. ⑩⑪追設キーサポート）のせん断耐力の評価を行い，表 9.17-23 のとおり，算出荷重は許容せん断荷重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。

表 9.17-23 復水器基礎コンクリート（せん断耐力評価）

評価部位	算出荷重 (kN)		許容せん断荷重 (kN)	
	F		Qa	
基礎コンクリート	F	2.688×10^4	Qa	3.421×10^4

C. 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，評価対象部位に発生す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。

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評価」においては、細管軸方向に復水器本体前後板がたわんで水室と伸縮継手を復水器水室出入口弁方向へ押し出した場合の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、復水器基礎部の基礎ボルトにおける拘束を考慮せず、復水器本体が復水器水室出入口弁に対して転倒することを想定した場合の復水器水室フランジ部の変位量を確認する。なお、周辺構造物として点検架台が設置されていることを考慮する。

転倒を想定した場合の復水器の概略図を図 9.17-33 に示す。

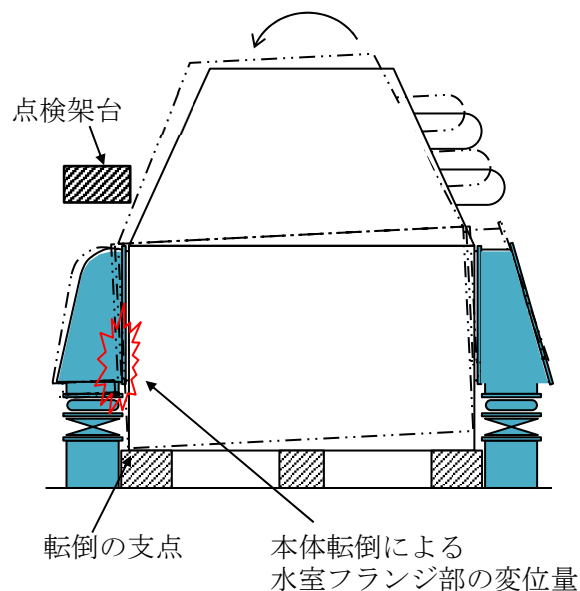


図 9.17-33 転倒を想定した場合の復水器の概略図

2. 確認結果

復水器基礎部の基礎ボルトによる拘束に考慮せず、復水器本体が復水器水室出入口弁に対して転倒することを想定した場合の復水器水室フランジ部の変位量は、復水器とその周辺構造物の位置関係を踏まえると、復水器水室フランジと復水器水室出入口弁の弁体での変位量は 20mm、復水器本体前後板リブと復水器水室出入口弁外周での変位量は 14mm であり、水器水室フランジと復水器水室出入口弁の弁体での許容変位量 300mm 及び復水器本体前後板リブと復水器水室出入口弁外周での許容変位量 100mm を越えないことを確認した。

本計算の記号に用いる添字及び数値の丸めに関する補足

本計算の記号に用いる添字の意味を表 9.17-24 に示す。

表 9.17-24 本計算における添字の意味

添字	添字の説明
BB	均圧胴
CD	復水器全体
CS	コーナサポート
KS	キーサポート及び追設キーサポート
SS	センタサポート
β	外圧力
ε	復水器細管軸方向地震力
γ	復水器細管軸直角方向地震力

本計算で表示する数値の丸め方を表 9.17-25 に示す。

表 9.17-25 本計算で表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
水平力	kN	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
鉛直力	kN	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
荷重	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
単位長さ当たりの荷重	N/mm	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
算出荷重	kN	有効数字 5 桁目	切上げ	有効数字 4 桁
たわみの算出量	mm	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切下げ	整数位
許容荷重	kN	有効数字 5 桁目	切下げ	有効数字 4 桁
許容変位量	mm	小数点以下第 3 位	切下げ	小数点以下第 2 位

復水器の補強部位について

1. 概要

復水器において、耐震補強を目的として以下のとおり構造変更を実施している。

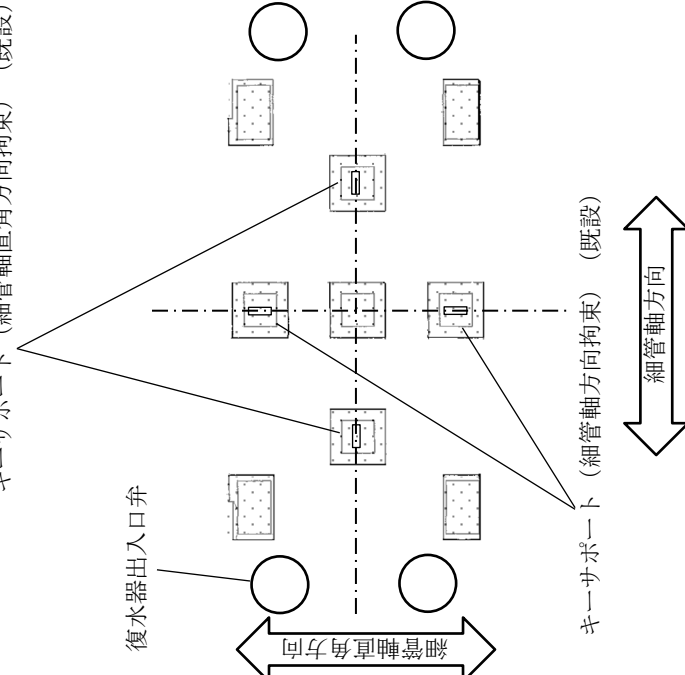
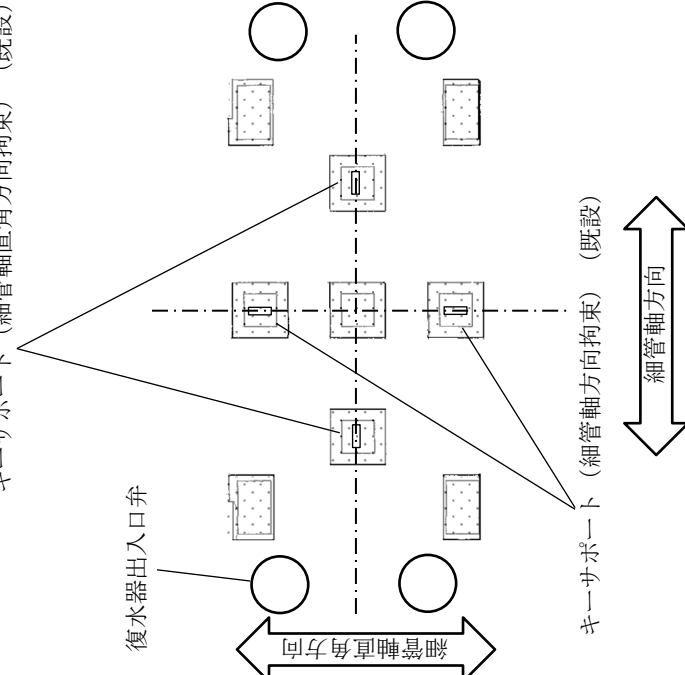
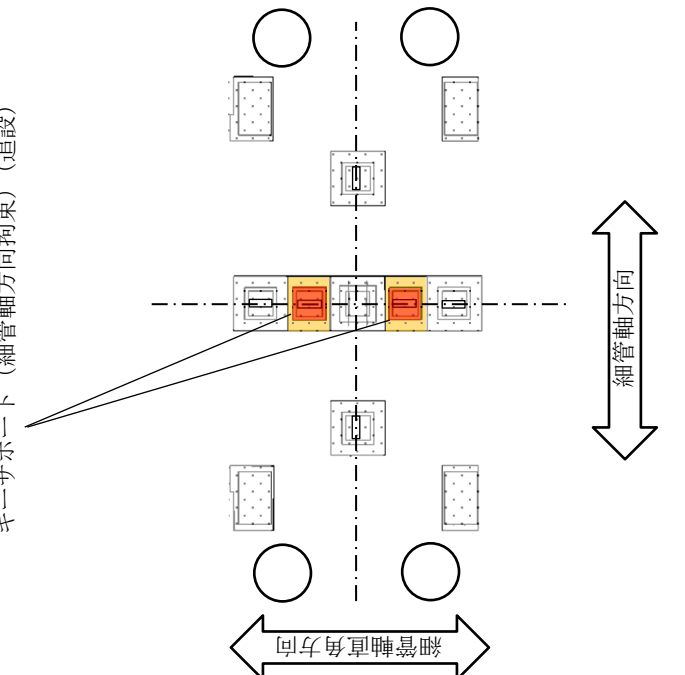
- ・後水室固定用耐震サポート
- ・キーサポート追設
- ・基礎コンクリート拡張

表 1 に構造変更内容を示す。

表 1 構造変更内容(1/2)

変更前	変更後	備考
		<p>耐震補強を目的とし、以下の構造変更を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・復水器本体と後水室の間の胴体伸縮接手を固定するよう後水室固定用耐震サポートを設置

表1 構造変更内容(2/2)

変更前	変更後	備考
<p>キーサポート (細管軸直角方向拘束) (既設)</p> <p>復水器出入口弁</p>  <p>細管軸直角方向</p> <p>キーサポート (細管軸方向拘束) (既設)</p>  <p>細管軸方向</p> <p>□ : 基礎コンクリート (基礎平面図)</p>	<p>キーサポート (細管軸方向拘束) (追設)</p>  <p>細管軸直角方向</p> <p>細管軸方向</p> <p>□ : 基礎コンクリート ■ : 基礎コンクリート拡張範囲 (基礎平面図)</p>	<p>耐震補強を目的とし、以下の構造変更を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・キーサポート (細管軸方向拘束) (既設) に加え、キーサポート (細管軸方向拘束) (追設) を追設、基礎コンクリートを拡張

後水室固定用耐震サポートによる熱伸びの影響

1. 概要

初期の国内 BWR 向け復水器は、細管にアルミニウム黄銅、胴体に炭素鋼を採用しており、運転時における熱伸び量の差を緩和するために胴体伸縮継手を設置した。1980 年代中ごろから細管内部を流れる海水による腐食を防止するために、アルミニウム黄銅からチタンに切り替えたが、胴体伸縮継手を引き続き採用した。

今回、波及的影響評価に基づき、後水室と胴体間に後水室固定用耐震サポートを追加した。これにより、胴体伸縮継手は固定され、変位吸収性はなくなる。

以下に、後水室固定用耐震サポートによる熱伸びの影響を説明する。

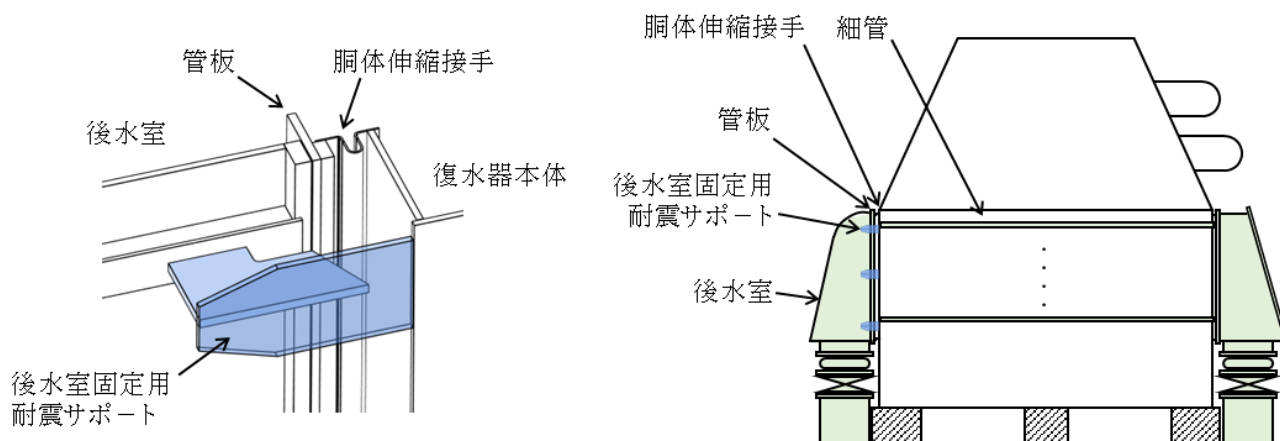


図1 後水室固定用耐震サポート周辺の概要図

2. 後水室固定用耐震サポートによる熱伸びの影響評価

後水室と胴体間に後水室固定用耐震サポートを追加した現構造の場合、細管と胴体胴板の熱膨張係数と温度差により、細管では引張の熱応力、胴体胴板では圧縮の熱応力が生じる。後水室固定用耐震サポートは、細管と胴体胴板の熱伸び量の差を無くすために働く力が圧縮応力として生じる。また、運転時、細管では内圧による応力が発生する。

後水室固定用耐震サポートによる熱伸びが本体への影響を与えないことを確認するために、運転時に、細管、胴体胴板および後水室固定用耐震サポートに発生する応力が許容応力を超えないことを確認する。

(1) 計算条件

後水室固定用耐震サポートによる熱伸びの影響評価の計算条件を表1に示す。

表1 後水室固定用耐震サポートによる熱伸びの影響評価の計算条件

評価対象部位	最低温度 (°C)	最高温度 (°C)	内圧 (MPa)
細管	8.0 ^{*1}	20.0 ^{*2}	0.464 ^{*3}
胴体胴板	20.0 ^{*2}	51.5 ^{*4}	— ^{*5}
後水室固定用耐震サポート	20.0 ^{*2}		—

注記*1：発電所周囲海域における水温調査結果を反映した温度

注記*2：据付時の想定温度

注記*3：最高使用圧力

注記*4：排気真空度低警報設定値 660mmHg. Vac (3.9inchHg-abs.)に相当する飽和温度

注記*5：胴体の内圧は熱伸び量の差を無くすために働く力の逆向き作用するため
保守的に考慮しない。

(2) 許容応力

本評価の許容応力評価条件を表2に示す。なお、熱膨張により生じる応力は二次応力に分類されるため、許容応力の適用式は設計・設計・建設規格 クラス1支持構造物 SSB-3122「一次+二次応力に対する許容応力」を準用する。

表2 後水室固定用耐震サポートによる熱伸びの影響評価の許容応力

評価対象部位	算出応力	機器区分	適用式 ^{*1} (共用状態 A および B)
細管	σA : 組合せ (引張)	クラス2 支持構造物	$fA = 3 \times S$ ^{*2}
胴体胴板	σB : 圧縮	クラス2 支持構造物	$fB = 3 \times ft$ ^{*3} $ft = 3 \times F / 1.5$ $F = \min(Sy, 0.7Su)$
後水室固定用耐震サポート	σC : 圧縮	クラス2 支持構造物	$fC = 1.5 \times fc$ ^{*4} $fc = (1 - 0.4(\lambda / \Lambda)^2) / \nu \times F$ $F = \min(Sy, 0.7Su)$

注記*1：SSB-3122「一次+二次応力に対する許容応力」のうち、SSB-3122.1「共用状態 A および B での許容応力」に記載の式

注記*2：SSB-3122.1「共用状態 A および B での許容応力」(1)「引張応力および圧縮応力」に従う。なお、細管の材質 (TH340W) は設計・建設規格に設計降伏点 Sy と設計引張強さ Su の記載がないため、設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 6 に規定の許容引張応力 S を SSB-3121.1 に規定の許容引張応力 ft とした。

注記*3：SSB-3122.1「共用状態 A および B での許容応力」(1)「引張応力および圧縮応力」の規定に従う。

注記*4：SSB-3122.1「共用状態 A および B での許容応力」(5)「座屈応力」の規定に従う。

(3) 算出応力

本評価の計算モデルを図2に示す。本モデルは、細管と胴体の縦弾性係数、線膨張係数と断面積は一定とみなし、後水室側では管板及び後水室固定用耐震サポートで、前水室側では管板で固定するものである。

細管の縦弾性係数 E_t と線膨張係数 α_t は JIS B 8265 表 D.2 に記載の値を、胴体の縦弾性係数 E_s と線膨張係数 α_s は、設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表 2 に記載の値を用いる。

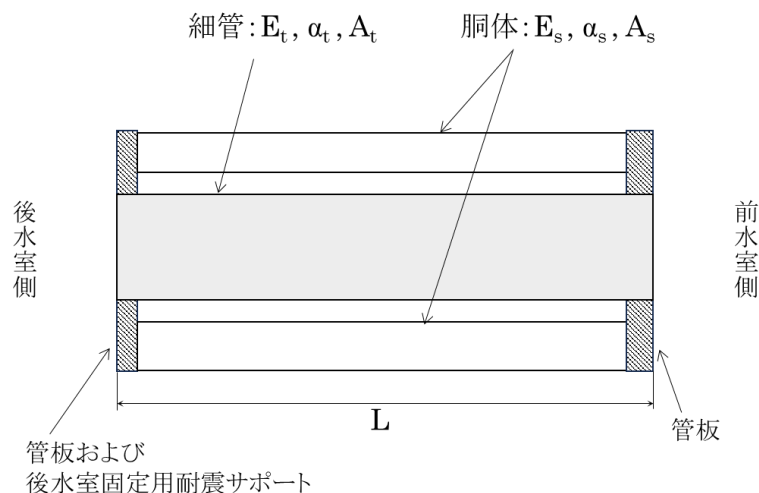


図2 熱応力の計算モデル

図2の計算モデル細管において、胴体及び細管の熱伸び量 ΔL は、

$$\begin{aligned}\Delta L &= (E_t \times A_t \times \alpha_t \times \Delta T_t + E_s \times A_s \times \alpha_s \times \Delta T_s) / (E_t \times A_t + E_s \times A_s) \times L \\ &= (107000 \times 10^6 \times 849997 \times 10^{-6} \times 8.386 \times 10^{-6} \times (-12.0) + \\ &\quad 200940 \times 10^6 \times 825000 \times 10^{-6} \times 10.477 \times 10^{-6} \times 31.5) / \\ &\quad (107000 \times 10^6 \times 849997 \times 10^{-6} + 200940 \times 10^6 \times 825000 \times 10^{-6}) \times 17904 \\ &= 3.177 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

細管の縦弾性係数 $E_t = 107000 \text{ MPa}$

細管の断面積 $A_t = 849997 \text{ mm}^2$

細管の線膨張係数 $\alpha_t = 8.386 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$

細管の温度変化 $\Delta T_t = -12.0^\circ\text{C}$

胴体の縦弾性係数 $E_s = 200940 \text{ MPa}$

胴体の断面積 $A_s = 825000 \text{ mm}^2$

胴体の線膨張係数 $\alpha_s = 10.477 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$

胴体の温度変化 $\Delta T_s = 31.5^\circ\text{C}$

胴体及び細管の長さ $L = 17904 \text{ mm}$

細管で生じる熱応力 σ_t と胴体胴板に生じる熱応力 σ_s は、

$$\begin{aligned}\sigma_t &= Et \times (\Delta L - \alpha_t \times L \times \Delta T_t) / L \\ &= 107000 \times 10^6 \times (3.177 - 8.386 \times 10^{-6} \times 17904 \times (-12.0)) / 17904 \\ &= 29.8 \text{ (MPa)} \\ \sigma_s &= Es \times (\alpha_s \times L \times \Delta T_s - \Delta L) / L \\ &= 200940 \times 10^6 \times (10.477 \times 10^{-6} \times 17904 \times 31.5 - 3.177) / 17904 \\ &= 30.7 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

後水室固定用耐震サポートに生じる荷重は細管に生じる引張荷重に等しいことから、後水室固定用耐震サポートに生じる引張応力 σ_{sp} は、

$$\begin{aligned}\sigma_{sp} &= \sigma_t \times A_t / A_{sp} \\ &= 29.8 \times 849997 \times 10^{-6} / 120000 \times 10^{-6} \\ &= 211.0 \text{ (MPa)} \\ &\text{後水室固定用耐震サポートの断面積 } A_{sp} = 120000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

細管の内圧によって生じる細管の周方向応力 σ_{tc} は設計・建設規格 PVC-3122 「円筒形の胴の厚さ」 PVC-3 式に基づく式とし、軸方向応力 σ_{ta} は周方向応力 σ_{tc} の半分とし、

$$\begin{aligned}\sigma_{tc} &= (P \times d - 0.8 \times P \times t) / (2 \times t) \\ &= (0.464 \times 10^6 \times 31.75 - 0.8 \times 0.464 \times 10^6 \times 0.5) / (2 \times 0.5) \times 10^{-6} \\ &= 14.6 \text{ (MPa)} \\ \sigma_{ta} &= \sigma_{tc} / 2 \\ &= 14.6 / 2 \\ &= 7.3 \text{ (MPa)} \\ &\text{細管の内圧 } P = 0.464 \text{ MPa} \\ &\text{細管の外径 } d = 31.75 \text{ mm} \\ &\text{細管の厚さ } t = 0.5 \text{ mm}\end{aligned}$$

評価部位の算出応力は以下に示すとおりである。

<細管>

$$\begin{aligned}\sigma_A &= \sqrt{((\sigma_t + \sigma_{ta})^2 + \sigma_{tc}^2)} \\ &= \sqrt{((29.8 + 7.3)^2 + 14.6^2)} \\ &= 40 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

<胴体胴板>

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \sigma_s \\ &= 31 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

<胴体胴板>

$$\begin{aligned}\sigma_C &= \sigma_{sp} \\ &= 211 \text{ (MPa)}\end{aligned}$$

(4) 評価結果

細管、胴体胴板および後水室固定用耐震サポートの強度評価を実施し、表3のとおり算出応力は許容応力以下であることを確認した。

表 9.17-5 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)	材質
細管	σA : 組合せ (引張) 40	222	TTH340W
胴体胴板	σB : 圧縮 31	461	SM400A 相当 (SMA400AP)
後水室固定用耐震サポート	σC : 圧縮 211	226	SS400

3. 結論

後水室固定用耐震サポートの拘束によって生じる熱応力を含む算出応力は、許容応力以下であることから、後水室固定用耐震サポートによる熱伸びが本体への影響を与えないことを確認した。

9.19 気体廃棄物処理系設備エリア廃棄放射線モニタ蒸気防護カバーの
近傍蒸気系配管破損時の直接噴出に対する影響評価について

目 次

1. 概要
2. 一般事項
 - 2.1 気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタの構成と配置
 - 2.2 気体廃棄物処理系設備エリア廃棄放射線モニタ蒸気防護カバーの近傍蒸気系配管
 - 2.3 構造計画
 - 2.4 評価方針
 - 2.5 適用規格・基準等
 - 2.6 記号の説明
 - 2.7 計算精度と数値の丸め方
3. 強度評価方法
 - 3.1 評価対象部位及び評価対象設備
 - 3.2 荷重及び荷重の組合せ
 - 3.2.1 蒸気防護カバー外板に作用する単位面積当たりの荷重
 - 3.2.2 荷重の組合せ
 - 3.3 許容応力
 - 3.3.1 蒸気防護カバーの許容応力評価条件
 - 3.4 評価方法
 - 3.4.1 蒸気防護カバーの評価方法
 - 3.5 評価条件
4. 応力の評価
5. 評価結果

1. 概要

本資料は、気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタに設ける蒸気防護カバーが、近傍蒸気系配管破損時の直接噴出による影響に対して蒸気防護機能を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタの構成と配置

気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタは、タービン建屋のうち排ガス再結合器、除湿冷却器、活性炭希ガスホールドアップ塔等の機器が設置されるエリア（以下、「OG系機器エリア」という。）及び空気抽出器の設置されるエリア（以下、「SJAEエリア」という。）の2箇所に設置されており、各設置箇所において2チャンネルを有する構成としている。

気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタは、共通要因である蒸気影響に対しても、各設置箇所において気体廃棄物処理系設備からの漏えい及び異常の検知機能を維持する必要があることから、OG系機器エリア及びSJAEエリアのうちそれぞれ1チャンネルに蒸気防護カバーを設置する設計としている。

気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタの構成を図2-1、配置を図2-2に示す。

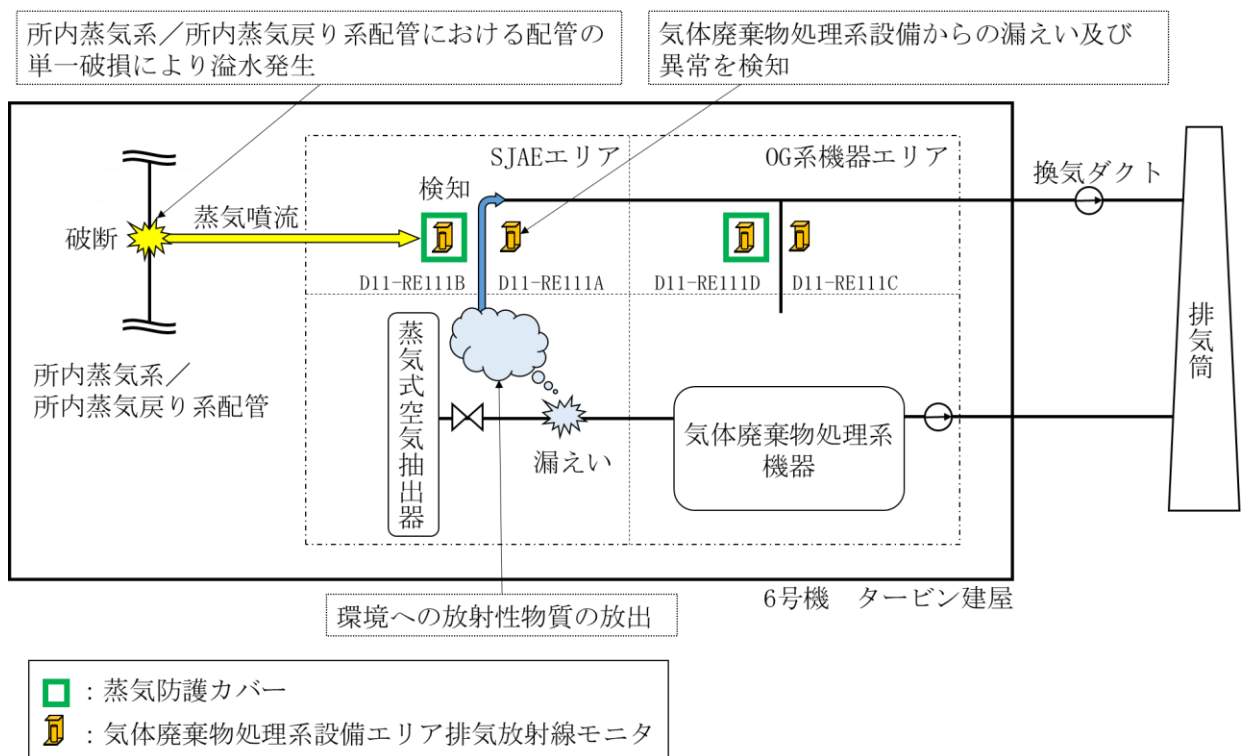


図2-1 気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタの構成（6号機 タービン建屋）

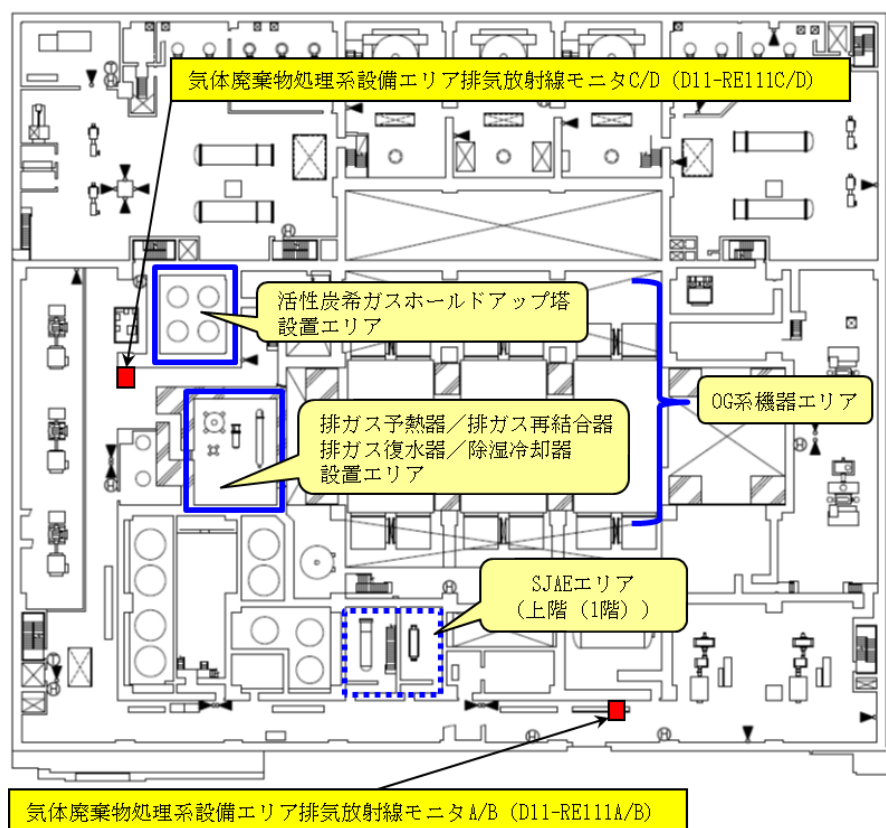


図 2-2 気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタの配置 (6号機 タービン建屋 地下1階)

2.2 気体廃棄物処理系設備エリア廃棄放射線モニタ蒸気防護カバーの近傍蒸気系配管

漏えい蒸気の直接噴出による影響が考えられる気体廃棄物処理系設備エリア廃棄放射線モニタ蒸気防護カバーの近傍蒸気系配管としては、OG系機器エリア及びSJAEエリアのそれぞれにおいて、所内蒸気戻り系の1配管が対象となる。近傍蒸気系配管を表2-1に示す。

表 2-1 強度評価で考慮する近傍蒸気系配管

系統名	配管番号	設置場所
所内蒸気戻り系	20A-HSCR-46	OG系機器エリア 気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ (D11-RE111D) 近傍
所内蒸気戻り系	50A-HSCR-67	SJAEエリア 気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ (D11-RE111B) 近傍

2.3 構造計画

蒸気防護カバーの構造計画を表2-2、表2-3に示す。

表 2-2 蒸気防護カバーの構造計画（気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ（D11-RE111D）側）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
蒸気防護カバーはタービン建屋の壁に固定される。	パネル (SUS304)	<p>正面図</p> <p>側面図</p>

表 2-3 蒸気防護カバールの構造計画（気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ（D11-RE111B）側）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
蒸気防護カバールはタービン建屋の壁に固定される。	パネル (SUS304)	

2.4 評価方針

蒸気防護カバーの強度評価は、「3.3 許容応力」にて設定している荷重の許容応力を踏まえて、蒸気防護カバーの評価対象部位に作用する応力が許容応力内にあることを「3.4 評価方法」に示す方法により、「3.5 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 評価結果」にて確認する。蒸気防護カバーの強度評価フローを図 2-2 に示す。

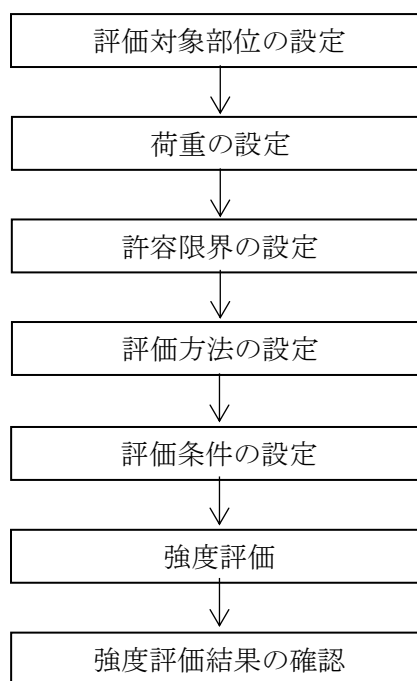


図 2-2 蒸気防護カバーの強度評価フロー

2.5 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。

- ・発電用原子力設備規格 配管破損防護設計規格（(社) 日本機械学会，2002）
（以下、「配管破損防護設計規格」という。）
- ・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。）
- ・機械工学便覧（(社) 日本機械学会）
（以下、「機械工学便覧」という。）
- ・原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド（原子力規制委員会，2020）
（以下、「内部溢水影響評価ガイド」という。）

2.6 記号の説明

強度評価に用いる記号を表 2-4 に示す。

表 2-4 蒸気防護カバーの強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A	蒸気防護カバーの評価部位の面積	mm ²
A ₀	流路断面積	mm ²
A _{jet}	噴出影響断面積	mm ²
A _{target}	ジェットが蒸気防護カバーの評価部位にあたる断面積	mm ²
L	蒸気防護カバーから蒸気源までの距離	mm
a	蒸気防護カバーの評価部位の短辺方向長さ	mm
b	蒸気防護カバーの評価部位の長辺方向長さ	mm
C _T	定常トラスト係数	—
D	近傍配管の外径	mm
F _{imp}	蒸気防護カバーに作用するジェットの衝突荷重	N
F _{jet}	ジェットの噴出荷重	N
K	形状係数	—
P ₀	破断開口発生前の配管圧力	MPa
P _{imp}	蒸気防護カバー外板に作用する単位面積当たりの荷重	N/mm ²
t	近傍配管の肉厚	mm
t ₁	蒸気防護カバー外板の肉厚	mm
β ₁	応力係数	—
σ	蒸気防護カバー外板にかかる発生応力	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.2に定める値	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _b	供用状態Cでの許容曲げ応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa

2.7 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-5 に示すとおりとする。

表 2-5 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	有効数字 2 桁
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	整数位* ¹
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1: 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 強度評価方法

蒸気防護カバーの強度評価は、「3.1 評価対象部位及び評価対象設備」に示す評価対象部位に対し、「3.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.3 許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力を踏まえ、「3.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1 評価対象部位及び評価対象設備

対象設備と設置場所を表 3-1 に、評価対象部位を図 3-1 に示す。

表 3-1 対象設備と設置場所

対象設備	設置場所
蒸気防護カバー	タービン建屋

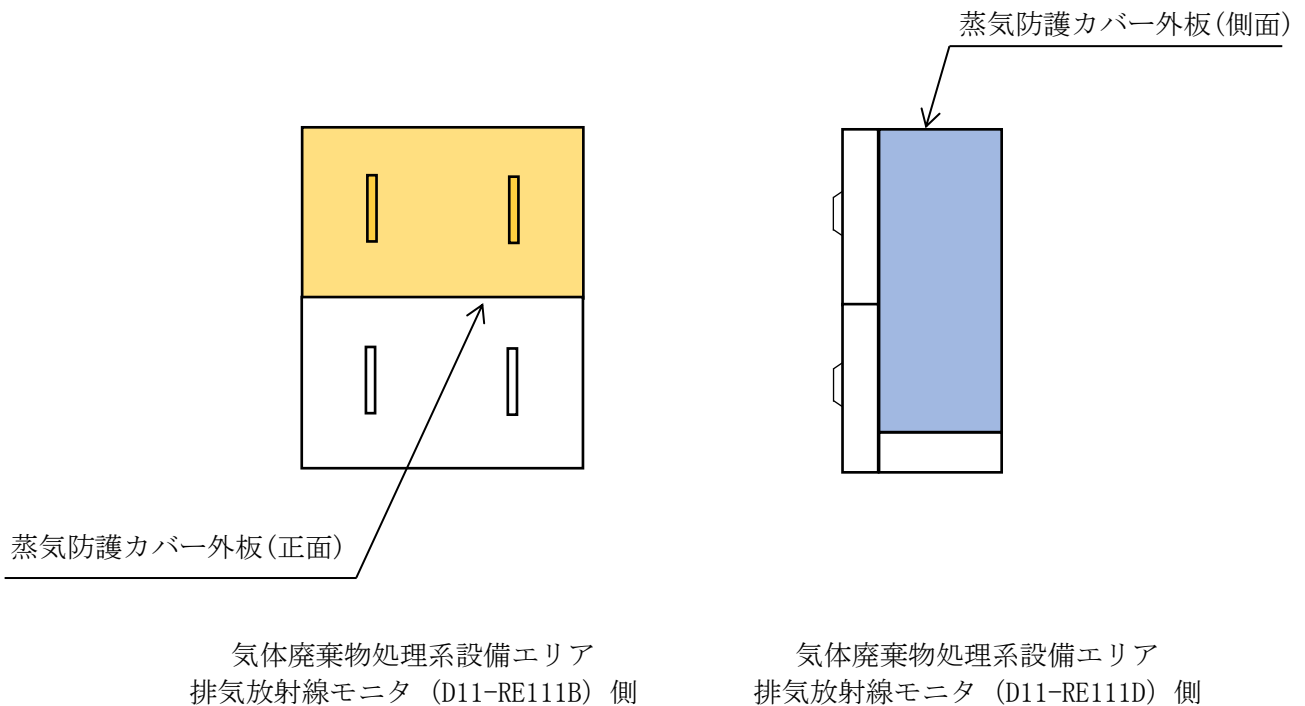


図 3-1 評価対象部位

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「3.2.1 蒸気防護カバー外板に作用する単位面積当たりの荷重」及び「3.2.2 荷重の組合せ」にて示している蒸気防護カバー近傍の配管破損時のジェット荷重を踏まえて設定する。

3.2.1 蒸気防護カバー外板に作用する単位面積当たりの荷重

蒸気防護カバーに作用する蒸気系配管破損時のジェットの衝突荷重 F_{imp} と、蒸気防護カバーの評価部位の面積 A から、蒸気防護カバー外板に作用する単位面積当たりの荷重 P_{imp} を次式により算定する。

$$P_{imp} = \frac{F_{imp}}{A}$$

3.2.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、「3.2.1 蒸気防護カバー外板に作用する単位面積当たりの荷重」にて設定している荷重を踏まえて設定する。荷重の組合せを表3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

強度評価の対象設備	荷重の組合せ
蒸気防護カバー	P_{imp}

3.3 許容応力

蒸気系配管破損時のジェットにより蒸気防護カバー外板にかかる発生応力が、許容応力以下であれば、蒸気防護機能維持を図ることができるため、設計・建設規格に規定される供用状態CとDの許容応力を準用する。ただし、Cの応力で代表可能であるため、供用状態Dの評価を省略する。蒸気防護カバーの許容応力を表3-3に示す。

表3-3 許容応力

供用状態	許容限界
	曲げ
C	$1.5 \cdot f_b$

3.3.1 蒸気防護カバーの許容応力評価条件

蒸気防護カバー外板について、設計・建設規格に基づく許容応力評価条件を表3-4に示す。

表 3-4 使用材料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)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	188*			
蒸気防護カバー外板	SUS304	最高使用温度	188*	146	406	205

注記*:許容応力は、気体廃棄物処理系設備エリア廃棄放射線モニタ蒸気防護カバーの近傍蒸気系配管である所内蒸気戻り系が破断し、蒸気噴流が蒸気防護カバーに当たることを考慮し、所内蒸気戻り系の最高使用温度 188°Cを考慮した値とした。

3.4 評価方法

蒸気防護カバー強度評価は、「3.4.1 蒸気防護カバーの評価方法」にて設定している評価式を用いる。

3.4.1 蒸気防護カバーの評価方法

配管破損時のジェット荷重を受ける平板モデルに置き換え、蒸気防護カバーに発生する応力を算定し、許容応力との比較により強度評価を行う。

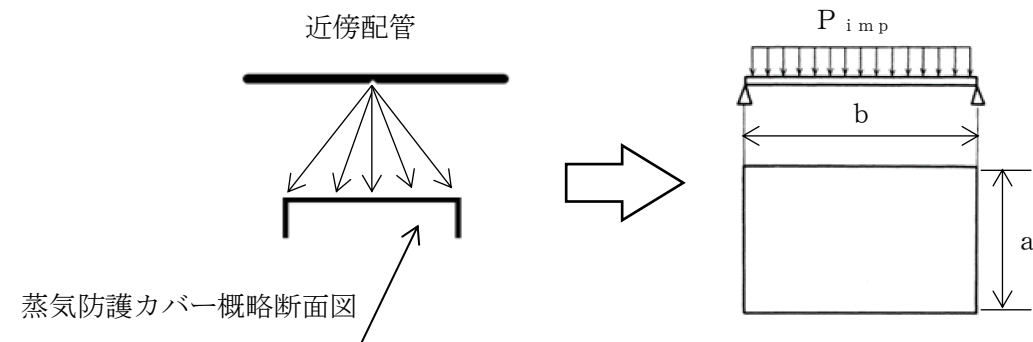


図 3-2 概略図と平板モデル化

(1) 外板に作用する単位面積当たりの荷重

ジェットの衝突荷重と蒸気防護カバーの評価部位から外板に作用する単位面積当たりの荷重を配管破損防護設計規格に基づき次式により算出する。

噴出影響断面積 (A_{jet}) が蒸気防護カバーの評価部位の面積 (A) より大きい場合、次式により算定する。

$$P_{imp} = \frac{F_{imp}}{A}$$

また、噴出影響断面積 (A_{jet}) が蒸気防護カバーの評価部位の面積 (A) より小さい場合、保守的に次式により算定する。

$$P_{imp} = \frac{F_{imp}}{A_{target}}$$

a. ジェットの噴出荷重

流路断面積 A_0 、破断開口発生前の配管圧力 P_0 、定常スラスト係数 C_T から配管破損時のジェットの噴出荷重 F_{jet} を算出する。なお、定常スラスト係数 C_T は、保守的に配管破損防護設計規格上の最大値である 2.0 とする。

$$F_{jet} = C_T \cdot P_0 \cdot A_0$$

b. 噴出影響断面積

配管破損口からの距離と衝突荷重の関係を算出する。具体的には、配管破損口から 10° の広がり角度をもって噴出するものとし、保守的に周囲環境によるエネルギーの減衰はないものとする。配管の破損は内部溢水影響評価ガイドに規定される高エネルギー配管と低エネルギー配管の2種類に分類して破損を想定する。

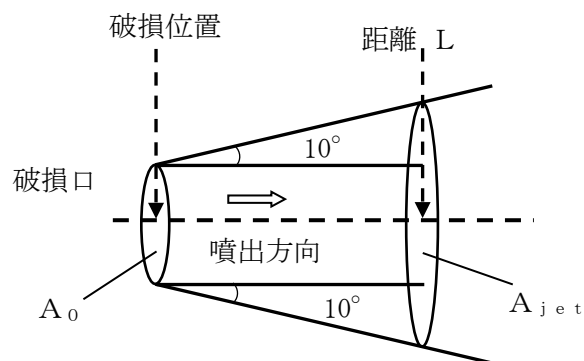


図 3-3 影響評価図

高エネルギー配管時：完全全周破断

$$A_{jet} = ((\tan(10^\circ) \cdot L \cdot 2 + (D - t \cdot 2)) \cdot \frac{1}{2})^2 \cdot \pi$$

低エネルギー配管時：貫通クラック

$$A_{jet} = (\tan(10^\circ) \cdot L \cdot 2 + \frac{t}{2}) \cdot (\tan(10^\circ) \cdot L \cdot 2 + \frac{D - t \cdot 2}{2})$$

また、高エネルギー配管であるが、配管軸方向にジェットが噴出する完全全周破断では蒸気防護カバーに直撃せず、配管径方向にジェットが噴出する貫通クラックでは直撃する場合、貫通クラックを想定する。

c. 蒸気防護カバーに作用する衝突荷重

形状係数K，ジェットの噴出荷重 F_{jet} ，ジェットが蒸気防護カバーの評価部位にあたる断面積 A_{target} ，噴出影響断面積 A_{jet} から蒸気防護カバーに作用する衝突荷重 F_{imp} を算出する。なお，形状係数Kは，保守的に配管破損防護設計規格上の最大値である1.0とする。

$$F_{imp} = K \cdot F_{jet} \cdot \frac{A_{target}}{A_{jet}}$$



図3-4 蒸気防護カバーに作用する衝突荷重（配管破損防護設計規格より抜粋して引用）

(2) 外板にかかる発生応力

蒸気防護カバーの評価対象部位にかかる発生応力を機械工学便覧の最大曲げ応力の式（長方形板（等分布荷重、四辺支持））に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot P_{imp} \cdot \frac{a^2}{t_1^2}$$

3.5 評価条件

蒸気防護カバー近傍の配管 20A-HSCR-46 配管破損時の蒸気防護カバーの強度評価に用いる入力値を表 3-5 に、50A-HSCR-67 配管破損時の蒸気防護カバーの強度評価に用いる入力値を表 3-6 に示す。

また、20A-HSCR-46 配管及び 50A-HSCR-67 配管は高エネルギー配管であるが、位置関係から貫通クラックを想定する。

表 3-5 20A-HSCR-46 配管破損時の気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ (D11-RE111D)

側蒸気防護カバー外板 (側面) の強度評価に用いる入力値

記号	単位	記号の説明	数値
L	(mm)	蒸気防護カバーから蒸気源までの距離	445
t_1	(mm)	蒸気防護カバー外板の板厚	1.5
a	(mm)	蒸気防護カバーの評価部位の短辺方向長さ	350
b	(mm)	蒸気防護カバーの評価部位の長辺方向長さ	915
C_T	—	定常トラスト係数	2*
K	—	形状係数	1*
β_1	—	応力係数	0.69
D	(mm)	近傍配管の外径	27.2
t	(mm)	近傍配管の肉厚	3.9
P_0	(MPa)	破断開口発生前の配管圧力	0.96

注記*: 保守的に配管破損防護設計規格の最大値とした。

表 3-6 50A-HSCR-67 配管破損時の気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ (D11-RE111B)

側蒸気防護カバー外板 (正面) の強度評価に用いる入力値

記号	単位	記号の説明	数値
L	(mm)	蒸気防護カバーから蒸気源までの距離	4064
t_1	(mm)	蒸気防護カバー外板の板厚	1.5
a	(mm)	蒸気防護カバーの評価部位の短辺方向長さ	515
b	(mm)	蒸気防護カバーの評価部位の長辺方向長さ	800
C_T	—	定常トラスト係数	2*
K	—	形状係数	1*
β_1	—	応力係数	0.51
D	(mm)	近傍配管の外径	60.5
t	(mm)	近傍配管の肉厚	5.5
P_0	(MPa)	破断開口発生前の配管圧力	0.96

注記*: 保守的に配管破損防護設計規格の最大値とした。

4. 応力の評価

「3. 強度評価方法」に示す方法を用いて求めた応力が設計・建設規格に規定される下表で定めた許容応力以下であること。

	蒸気系配管破損時のジェット荷重による荷重との組合せの場合
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.3} \cdot 1.5$

5. 評価結果

20A-HSCR-46 配管破損時の蒸気防護カバーの強度評価結果を表 5-1 に、50A-HSCR-67 配管破損時の蒸気防護カバーの強度評価結果を表 5-2 に示す。発生値は許容応力値以下であり、蒸気防護カバー近傍の蒸気系配管破損時のジェット荷重に対して、防水機能を維持するために、十分な構造強度を有することを確認した。

表 5-1 20A-HSCR-46 配管破損時の気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ (D11-RE111D) 側蒸気防護カバー外板 (側面) の強度評価結果

(単位: MPa)

評価対象部位	応力	配管破損形状	発生応力	許容応力
蒸気防護カバー外板	曲げ	貫通クラック	52	228

表 5-2 50A-HSCR-67 配管破損時の気体廃棄物処理系設備エリア排気放射線モニタ (D11-RE111B) 側蒸気防護カバー外板 (正面) の強度評価結果

(単位: MPa)

評価対象部位	応力	配管破損形状	発生応力	許容応力
蒸気防護カバー外板	曲げ	貫通クラック	4	228