

VI-2-12 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

目 次

1. 概要	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果	1
3.1 建物・構築物	1
3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出	1
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果	13
3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	15
3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果	16
3.1.5 原子炉建物 3 次元 F E M モデルによる面外応答の耐震壁への影響検討結果	39
3.2 機器・配管系	43
3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出	43
3.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物等，津波防護施設，浸水防止設備及び 津波監視設備の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	46
3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出結果	46
3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	46
3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果	47
3.2.6 まとめ	47
3.3 屋外重要土木構造物等	61
3.3.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出	61
3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	81
3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	106
3.3.4 機器・配管系への影響	125
3.3.5 まとめ	126
3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備	127
3.4.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	127
3.4.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	155
3.4.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	156
3.4.4 機器・配管系への影響	166
3.4.5 まとめ	166

1. 概要

本資料は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち「4.1 地震力の算定法 (2) 動的地震力」及びVI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 S_s を用いる。基準地震動 S_s は、VI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」による。

ここで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮したうえで確認し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表 3-1-1 に示す。

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建物挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表 3-1-2 及び表 3-1-3 に示す。

なお、隣接する上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、はり）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 3-1-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定

される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-4 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、排気筒及び 1 号機排気筒の柱（隅部）並びに原子炉建物、制御室建物、タービン建物、廃棄物処理建物、排気筒、緊急時対策所及びガスタービン発電機建物の基礎（矩形）を抽出した。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、燃料プールの壁（一般部）並びに原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、1 号機原子炉建物、1 号機タービン建物及び 1 号機廃棄物処理建物の壁（地下部）を抽出した。

(4) 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表 3-1-3 に示す 3 次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-5 に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）を抽出した。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位として、抽出する部位はなかった。

表 3-1-1(1) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位

耐震性評価部位	原子炉建物			制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物
	RC 造	燃料 プール RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造		RC 造	RC 造				
柱	一般部	○	—	○	○	○	○	○ (筒身, 補助柱)	○	○
	隅部	○	—	○	○	○	○	○ (主柱材)	○	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—	—
はり	一般部	○	—	○	○	○	○	○ (水平材)	○	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	—	○	—	—	○	—	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	—	○	○
	円筒部	○	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	—	—	—	—	—	○ (斜材)	—	—
床・ 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	—	○	○
基礎	矩形	○	—	—	○	○	—	○	○	○
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の構造部材なし

表 3-1-1(2) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位

耐震性評価部位		1号機原子炉建物		1号機タービン建物		1号機 廃棄物 処理建物	サイトバンカ 建物	サイトバンカ 建物(増築部)	1号機 排気筒	排気筒 モニタ室	燃料移送ポンプ エリア竜巻防護 対策設備
		RC造	上部鉄骨	RC造	上部鉄骨						
		RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造 RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造
柱	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○(筒身)	—	○
	隅部	○	○	○	○	○	○	○	○(支柱材)	—	○
	地下部	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
はり	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○(水平材)	○	○
	地下部	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	○	—	○	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	○	—	○	—
	円筒部	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	○	—	—	—	—	—	○(斜材)	—	○
床・ 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	—	○	—
基礎	矩形	○	—	○	—	○	○	○	○	○	—
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の構造部材なし

表 3-1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

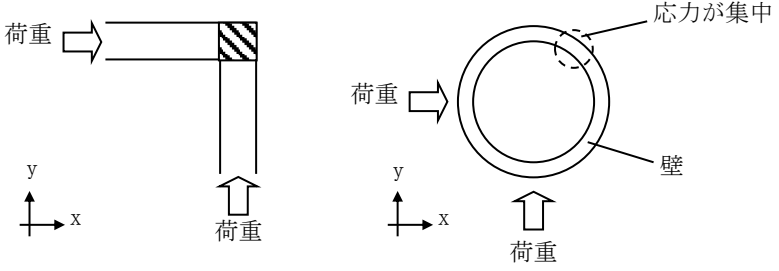
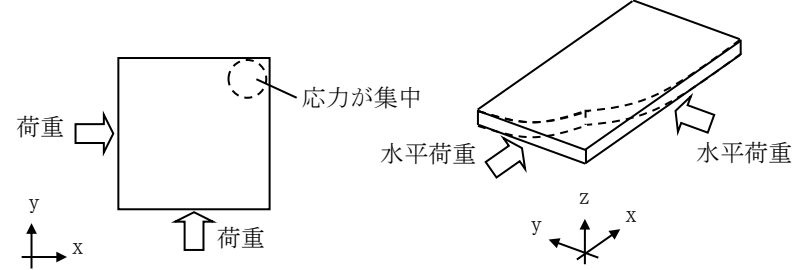
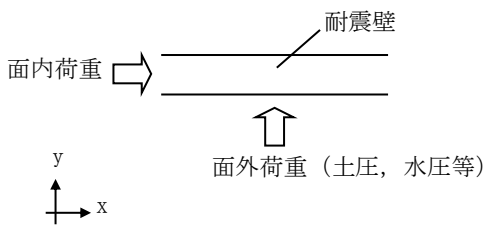
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>(隅柱) (円筒壁)</p>  <p>(矩形の基礎スラブ)</p>
①-2	面内方向の 荷重を負担 しつつ、 面外方向の 荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等 (例)</p>  <p>耐震壁 面内荷重 面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

表 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

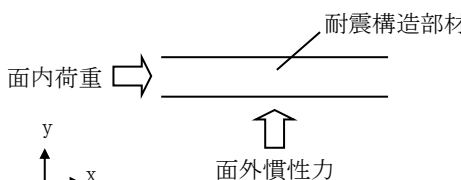
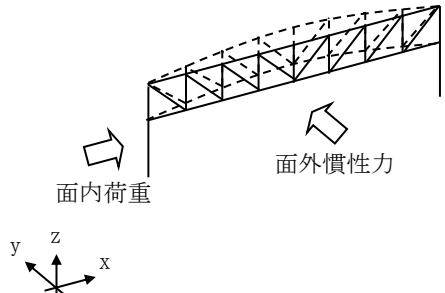
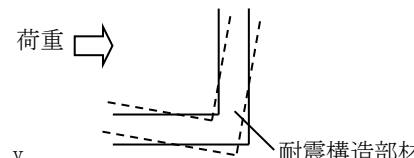
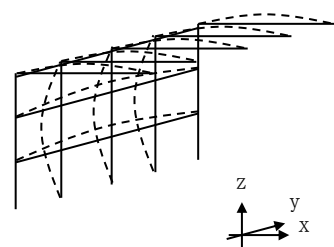
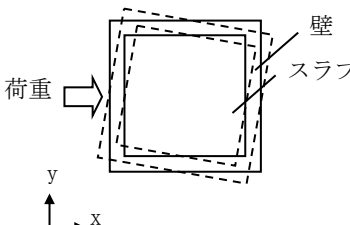
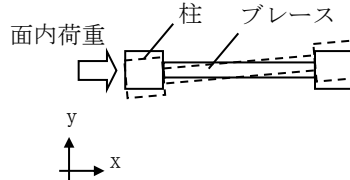
3 次元的な応答特性		影響想定部位
②-1	面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震構造部材 ↑ 面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力 ←</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
②-2	加振方向以外の方向に励起される振動	<p>塔状構造物等を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重 → 耐震構造部材</p> <p>(壁)</p>  <p>(鉄骨架構)</p>  <p>荷重 → 壁 スラブ</p> <p>(床・屋根)</p>  <p>面内荷重 → 柱 ブレース</p> <p>(ブレース)</p>

表 3-1-4(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	原子炉建物			制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物	
		燃料 プール	上部鉄骨			上部鉄骨					
	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造		RC 造	RC 造, SRC 造 RC 造					RC 造
柱	一般部	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	要①-1	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—
はり	一般部	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—	—	—	—
壁	一般部	該当なし	要①-2	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし
	円筒部	該当なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	—	—	—	—	—	—	該当なし	—	—
床・ 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし	
基礎	矩形	要①-1	—	—	要①-1	要①-1	—	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・要：評価必要

・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

・不要：評価不要

・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3-1-4(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		1号機原子炉建物		1号機タービン建物		1号機 廃棄物 処理建物	サイトバンカ 建物	サイトバンカ 建物(増築部)	1号機 排気筒	排気筒 モニタ室	燃料移送ポン プエリア竜巻 防護対策設備
		RC造	上部鉄骨	RC造	上部鉄骨						
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	要①-1	—	該当なし
	地下部	該当なし	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	—
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	—
	円筒部	該当なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	要①-2	—	要①-2	—	—	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—	該当なし
床・ 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	—
基礎	矩形	不要*	—	不要*	—	不要*	不要*	不要*	不要*	不要*	—
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・要：評価必要

・不要：評価不要

・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注記*：上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建物及び 1 号機排気筒は、上部躯体を評価対象としているため、基礎は対象外とする。

表 3-1-5(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	原子炉建物			制御室建物	タービン建物			廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物
	燃料 プール	上部鉄骨			上部鉄骨						
	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	S 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	
柱	一般部	不要	—	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	
	隅部	不要	—	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	不要	
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	不要	—	—	
はり	一般部	不要	—	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	不要	—	—	
	鉄骨 トラス	—	—	不要	—	—	不要	—	—	—	
壁	一般部	要②-1	要①-2	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	
	円筒部	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	要①-2	—	—	
	鉄骨 ブレース	—	—	—	—	—	—	—	不要	—	
床・ 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要	
基礎	矩形	要①-1	—	—	要①-1	要①-1	—	要①-1	要①-1	要①-1	
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

凡例 ・要：評価必要又は荷重組の合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み

- ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」
- ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・不要：評価不要

- ・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
- ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 3-1-5(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	1号機原子炉建物		1号機タービン建物		1号機 廃棄物 処理建物	サイトバンカ 建物	サイトバンカ 建物(増築部)	1号機 排気筒	排気筒 モニタ室	燃料移送ポンプ エリア竜巻防護 対策設備
	RC造	上部鉄骨	RC造	上部鉄骨						
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	—	不要
	地下部	不要	—	不要	—	不要	—	—	—	—
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	不要	—	不要	—	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	不要	—	不要	—	—	—	—	—
壁	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—
	円筒部	不要	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	要①-2	—	要①-2	—	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	不要	—	—	—	—	不要	—	不要
床・ 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—
基礎	矩形	不要*	—	不要*	—	不要*	不要*	不要*	不要*	—
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・要: 評価必要又は荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み ・不要: 評価不要
 ・「①-1」: 応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」 ・「①-2」: 応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 ・「②-1」: 応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」 ・「②-2」: 応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記*: 上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建物及び 1 号機排気筒は、上部躯体を評価対象としているため、基礎は対象外とする。

(5) 3次元FEMモデルによる精査方法

上記(4)で抽出した3次元的な応答特性が想定される部位について、3次元FEMモデルにより精査を行う。精査方法を表3-1-6に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位については、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）に対して3次元FEMモデルによる精査を行う。

また、原子炉建物の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行う。精査は、地震応答解析により水平2方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行う。

(6) 3次元FEMモデルによる精査結果

3次元FEMモデルによる精査の結果、建物・構築物の有している耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価が必要な部位は抽出されなかった。精査した結果を表3-1-6に示す。

ただし、原子炉建物の燃料取替階レベルの東西面の壁には面外方向に大きな加速度が生じていることから、詳細評価を実施することとする。具体的には、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）に対して、面外慣性力による応答が面内応答へ及ぼす影響検討を実施する。

表 3-1-6 3次元FEMモデルによる精査

耐震評価部位	対象 建物・構築物	3次元的な応答特性	3次元FEMモデルによる 精査方法	3次元FEMモデルによる 精査結果
壁 (一般部)	原子炉建物 (燃料取替階レベル)	②-1 「面内方向の荷重に加え、面外 慣性力の影響が大きい」	水平2方向及び鉛直方向入力 時の応答の水平1方向入力時 の応答に対する増分が小さい ことを確認する。	水平2方向及び鉛直方向地震 力の組合せによる左記の対象 の耐震性への影響が想定され ないため抽出しない。
耐震評価部位 全般	原子炉建物	局所的な応答	同上	水平2方向及び鉛直方向地震 力の組合せによる左記の対象 の耐震性への影響が想定され ないため抽出しない。

3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるところとして抽出した部位を表 3-1-7 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位のうち、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒の支柱材及び建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建物の基礎を代表として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として施設の重要性、建物規模及び構造特性を考慮し、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建物（燃料プール）の壁（一般部）を代表として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

原子炉建物の基礎及び排気筒の支柱材については、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建物（燃料プール）の壁（一般部）については、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

表 3-1-7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象 建物・構築物	代表評価部位
	①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>排気筒</u> ・ 1 号機排気筒
基礎		矩形	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>原子炉建物</u> ・ 制御室建物 ・ タービン建物 ・ 廃棄物処理建物 ・ 排気筒 ・ 緊急時対策所 ・ ガスタービン発電機建物 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建物の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	一般部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>燃料プール</u> ・ 原子炉建物 ・ タービン建物 ・ 廃棄物処理建物 ・ 1 号機原子炉建物 ・ 1 号機タービン建物 ・ 1 号機廃棄物処理建物 	上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する燃料プールの壁を代表として評価する。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。評価は、従来設計手法に基づいた各部位の解析モデルによる水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を用いる。また、影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向を同時入力する時刻歴応答解析による評価又は基準地震動 S_s の各方向地震成分により個別に計算した最大応答値を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいた評価により実施する。

注記* : Regulatory Guide 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果

(1) 排気筒の支柱材の評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である排気筒の支柱材について評価を行う。

評価にあたっては、基準地震動 S_s を用い、水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力（以下「3 方向同時入力」という。）する時刻歴応答解析に基づき、支柱材（鉄塔脚部を含む）の断面算定結果（検定値）が、1.0 を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」（以下「排気筒の地震応答計算書」という。）及びVI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」（以下「排気筒の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

排気筒の概要図を図 3-1-1 に、解析モデルを図 3-1-2 に示す。

排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、基準地震動 S_s を用いて評価を行うが、基準地震動 $S_s - D$ 及び $S_s - N1$ については、水平方向成分に直交する方向の地震動に位相特性の異なる地震波を入力する。

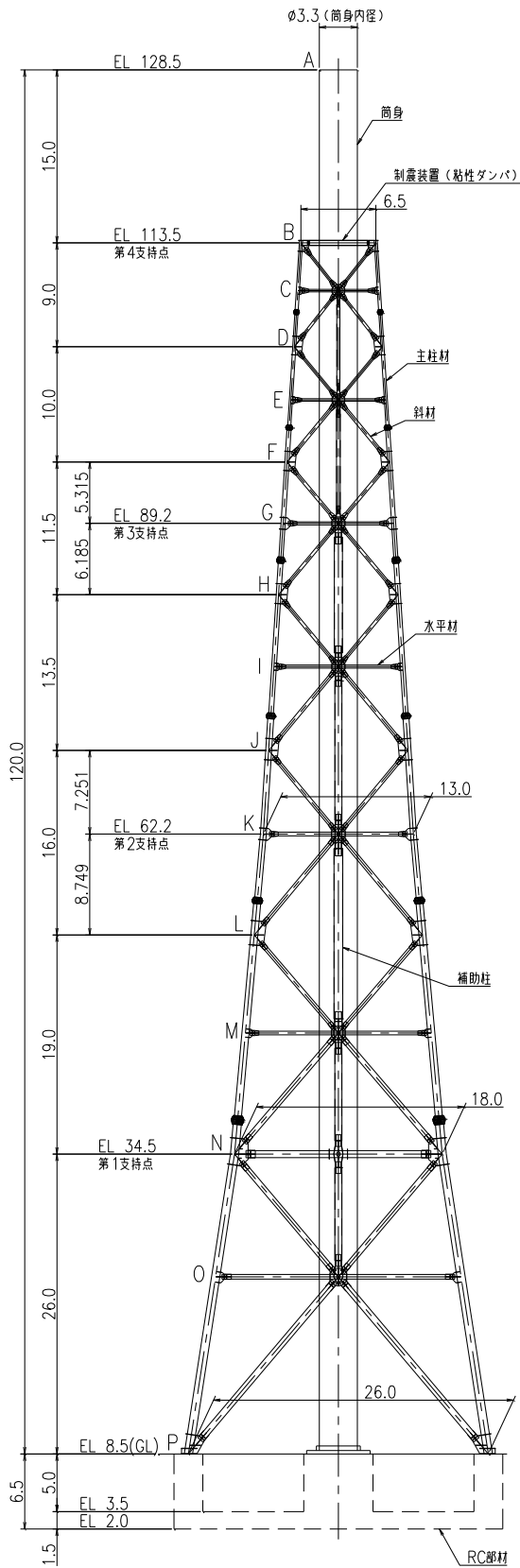
地震動の入力方法は、排気筒の地震応答計算書に基づくものとする。

鋼材の許容応力度及び使用材料の物性値は、排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

3 方向同時入力時及び排気筒の耐震計算書に記載のケース（以下「工認ケース」という。）における支柱材の評価結果を表 3-1-8 に、鉄塔脚部の評価結果を表 3-1-9 に示す。

評価の結果、工認ケースの検定値と比較し、3 方向同時入力時の検定値は増加傾向にあるが、支柱材及び鉄塔脚部の検定値が 1.0 を超えないことを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、排気筒の支柱材が有する耐震性への影響がないことを確認した。



部材リスト (単位:mm)				
主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
-	-	-	10	-
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	H-450×300 x10×15*2	12	-
φ355.6×6.4	φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	10	φ267.4×6.0
φ406.4×7.9	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	12	φ318.5×6.0
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	10	φ711.2×7.9
φ609.6×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	12	φ609.6×12.7
φ711.2×12.7 8PLs-22x100*1	φ457.2×9.5	φ318.5×6.9	10	φ609.6×12.7*3
φ558.8×9.5	φ609.6×9.5	φ406.4×9.5	12	φ609.6×12.7*3
φ406.4×9.5	φ609.6×9.5	φ406.4×9.5	t=10	φ609.6×12.7*3
STK41 (STK400相当)				STK400

注記*1: SS400材を示す。
 *2: SS41材 (SS400相当) を示す。
 *3: STK490材を示す。

図 3-1-1 排気筒の概要図 (単位:m)

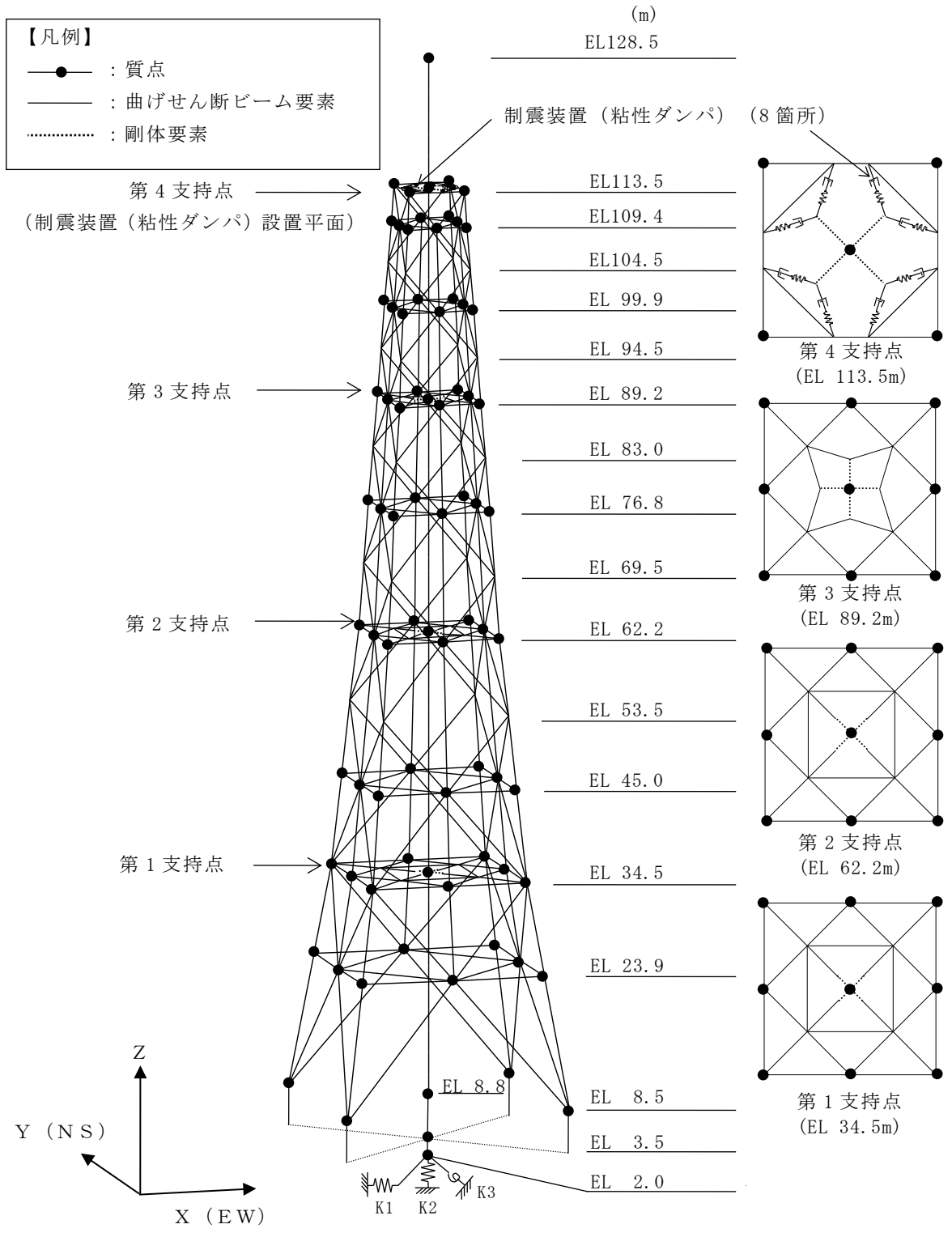


図 3-1-2 排気筒の地震応答解析モデル

表 3-1-8 主柱材の評価結果

高さ EL (m)	区間	使用部材 (mm)	工認ケース	3方向同時入力*
113.5-104.5	B-D	φ 267.4× 6.6	0.18	<u>0.20</u>
104.5- 94.5	D-F	φ 267.4× 6.6	0.48	<u>0.52</u>
94.5- 83.0	F-H	φ 355.6× 6.4	0.49	<u>0.56</u>
83.0- 69.5	H-J	φ 406.4× 7.9	0.48	<u>0.65</u>
69.5- 53.5	J-L	φ 508.0× 9.5	0.50	<u>0.77</u>
53.5- 34.5	L-N	φ 609.6× 12.7	0.42	<u>0.65</u>
34.5- 8.5	N-P	φ 711.2× 12.7	0.34	<u>0.52</u>

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

注記*：風荷重との重畳を考慮する。

表 3-1-9 鉄塔脚部の評価結果

評価部位	応力分類	工認ケース	3方向同時入力*
コンクリート（せん断プレート側面）	圧縮	0.39	<u>0.55</u>
せん断プレート	曲げ	0.18	<u>0.25</u>
コンクリート（ベースプレート下面）	圧縮	0.18	<u>0.25</u>
フランジプレート，ベースプレート及び ウェブプレートから成る合成断面	曲げ	0.19	<u>0.32</u>
	せん断	0.23	<u>0.41</u>
	組合せ	0.30	<u>0.52</u>
ベースプレート	曲げ	0.46	<u>0.66</u>
リブプレート	圧縮	0.20	<u>0.29</u>
アンカー部（アンカー材）	引張	0.09	<u>0.15</u>
アンカー部（アンカーボルト）	せん断	0.27	<u>0.47</u>

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

注記*：風荷重との重畳を考慮する。

(2) 燃料プールの壁の評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する燃料プールの壁について評価を行う。

評価にあたっては、 S_s 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、VI-2-4-2-1「燃料プール（キャスク置場を含む）の耐震性についての計算書」（以下「燃料プールの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図及び概略断面図を図 3-1-3 及び図 3-1-4 に、燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-5 及び図 3-1-6 に示す。

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、燃料プールの耐震計算書の「3.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデルの概要図を図 3-1-7 に示す。解析モデルの詳細は、燃料プールの耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s 地震時の応力は、燃料プールの耐震計算書の「3.5.1 応力解析方法」に示す次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- $S_{S_{SN}}$: $S \rightarrow N$ 方向 S_s 地震荷重（ S_s 地震時動水圧荷重を含む）
- $S_{S_{WE}}$: $W \rightarrow E$ 方向 S_s 地震荷重（ S_s 地震時動水圧荷重を含む）
- $S_{S_{UD}}$: 鉛直方向（下向き） S_s 地震荷重

燃料プールの壁の評価は、燃料プールの耐震計算書の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断力及び面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-8 及び図 3-1-9 に、評価結果を表 3-1-10 及び表 3-1-11 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断力及び面外せん断力が各許容値を超えないことを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、燃料プールの壁が有する耐震性への影響がないことを確認した。

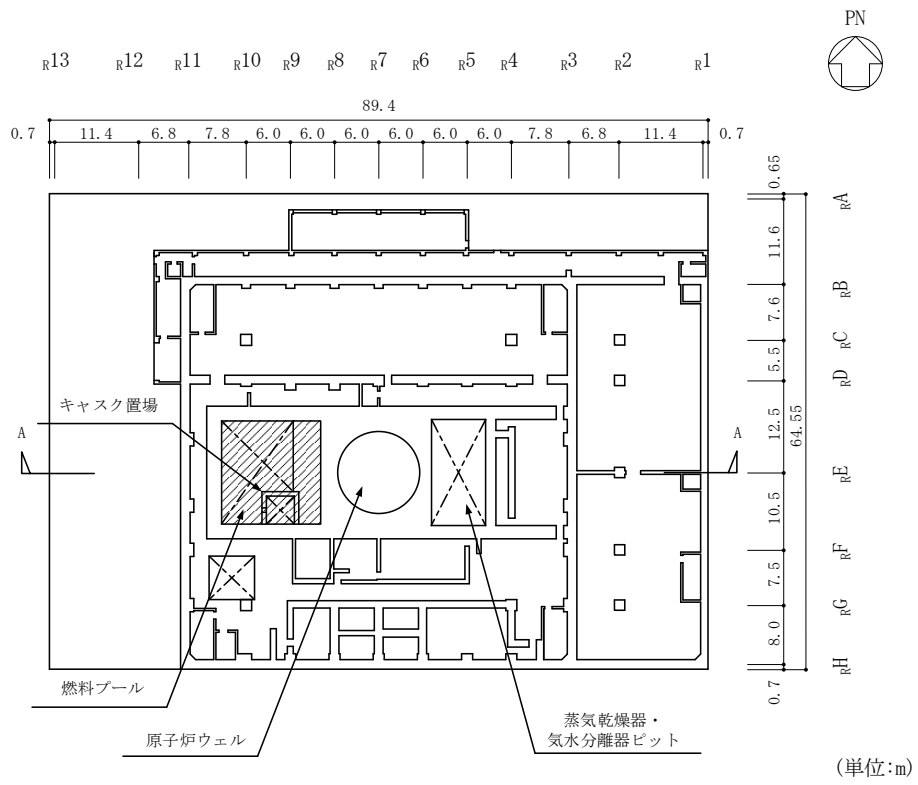


図 3-1-3 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図
(EL 34.8m)

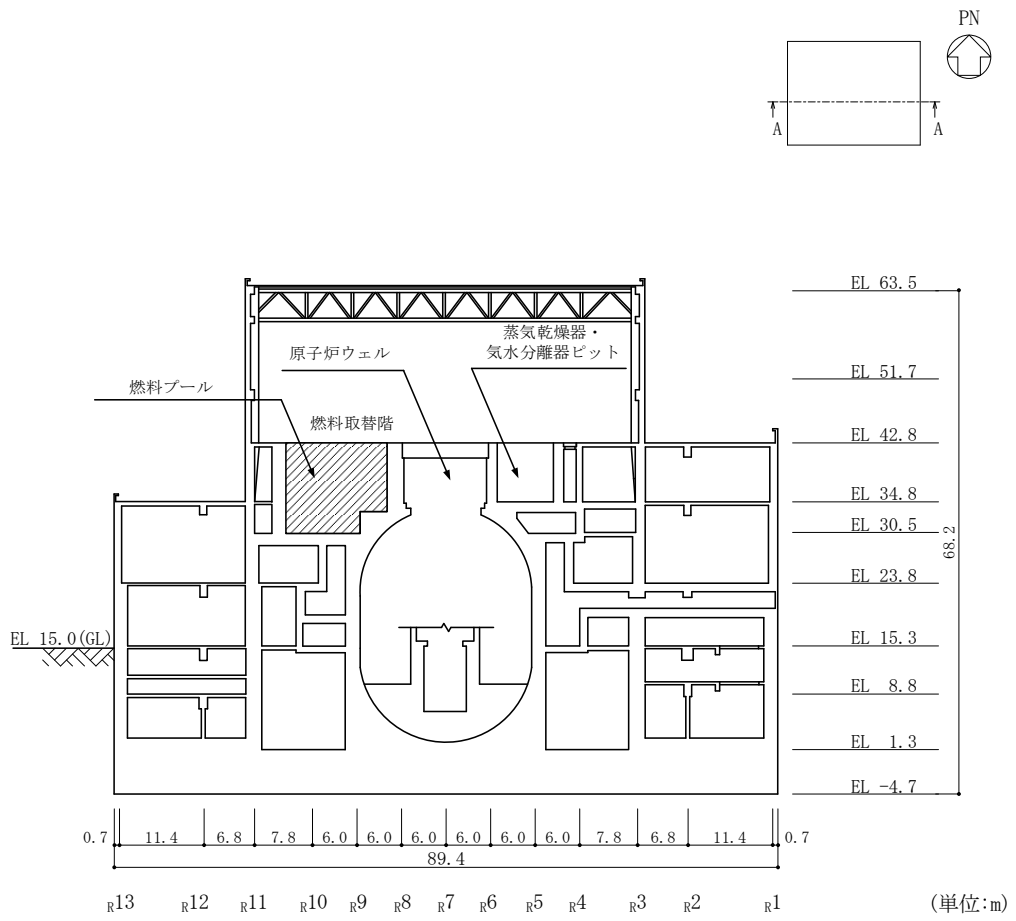
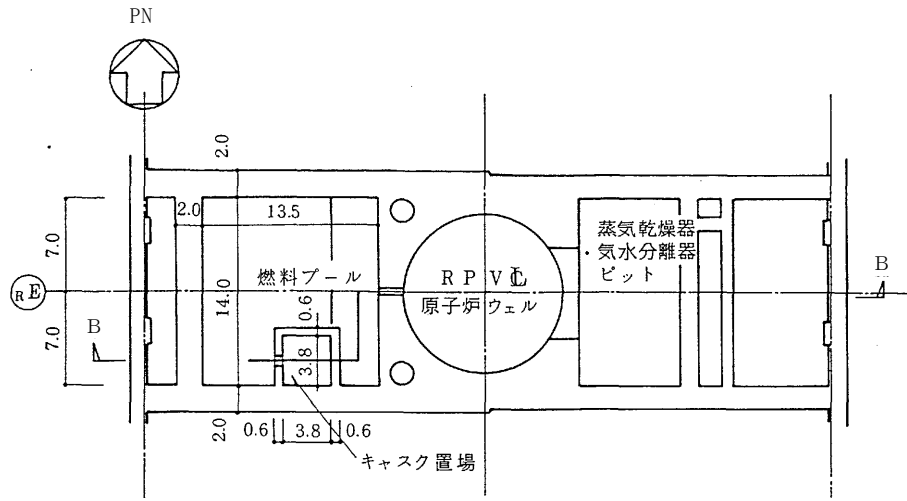
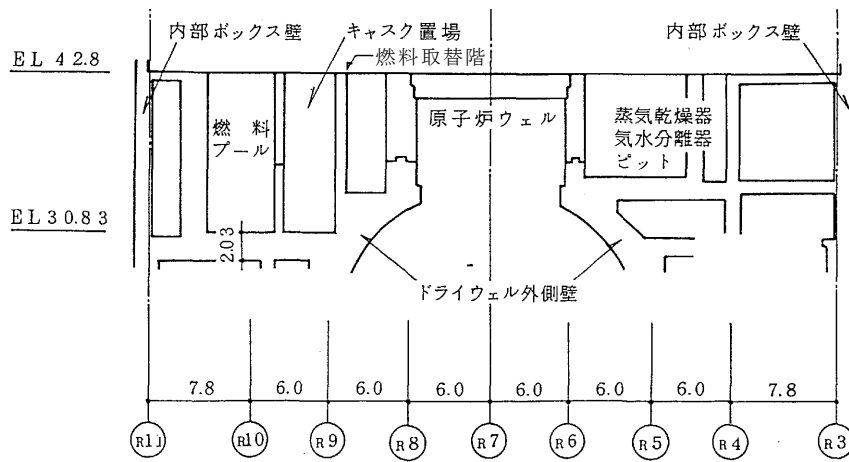


図 3-1-4 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略断面図
(A-A断面, EW方向)



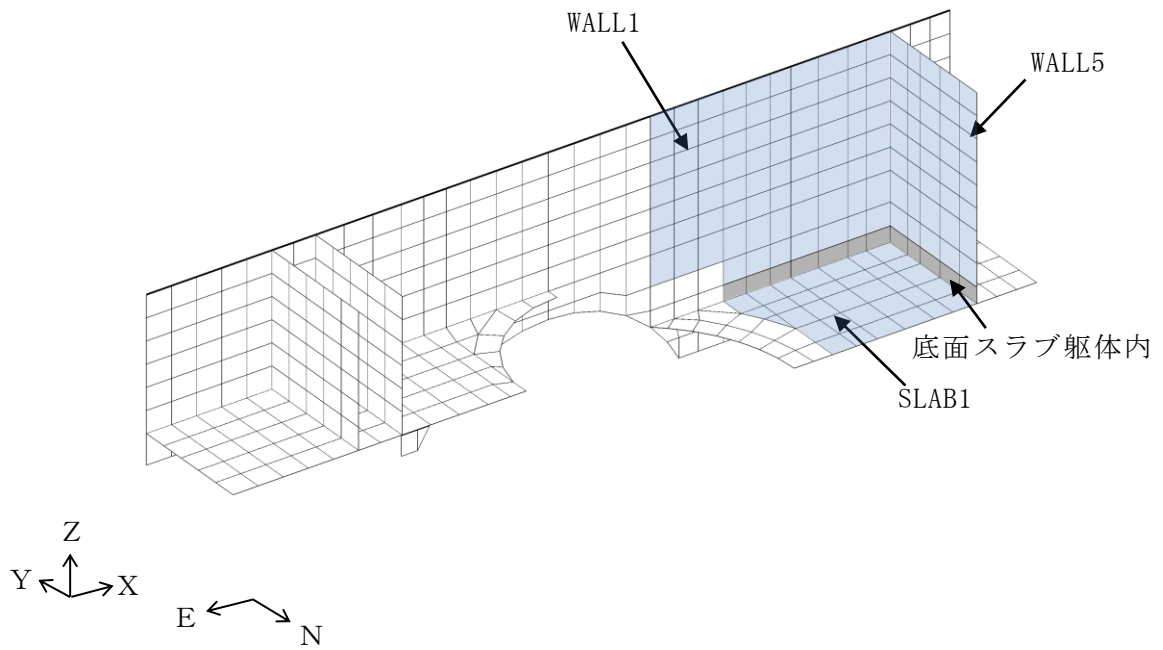
(単位：m)

図 3-1-5 燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図

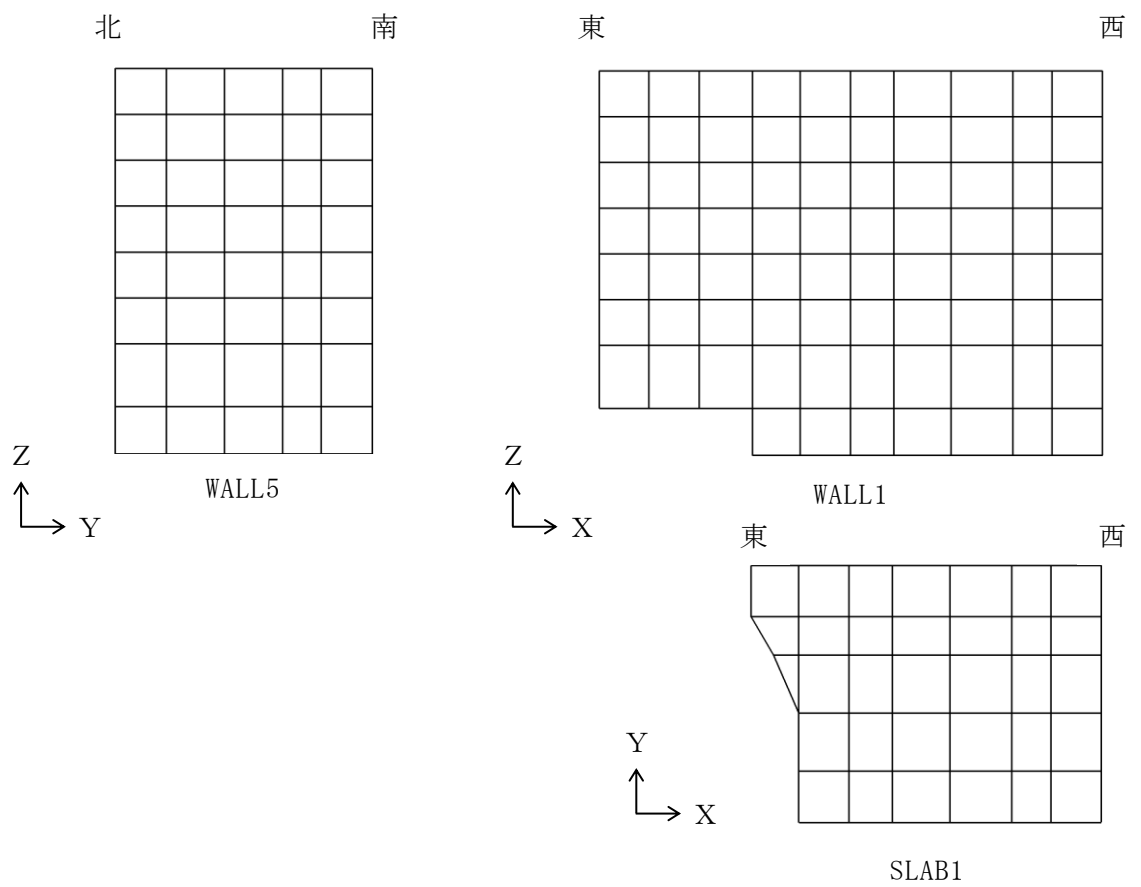


(単位：m)

図 3-1-6 燃料プール及びキャスク置場周りの概略断面図
(B-B断面)

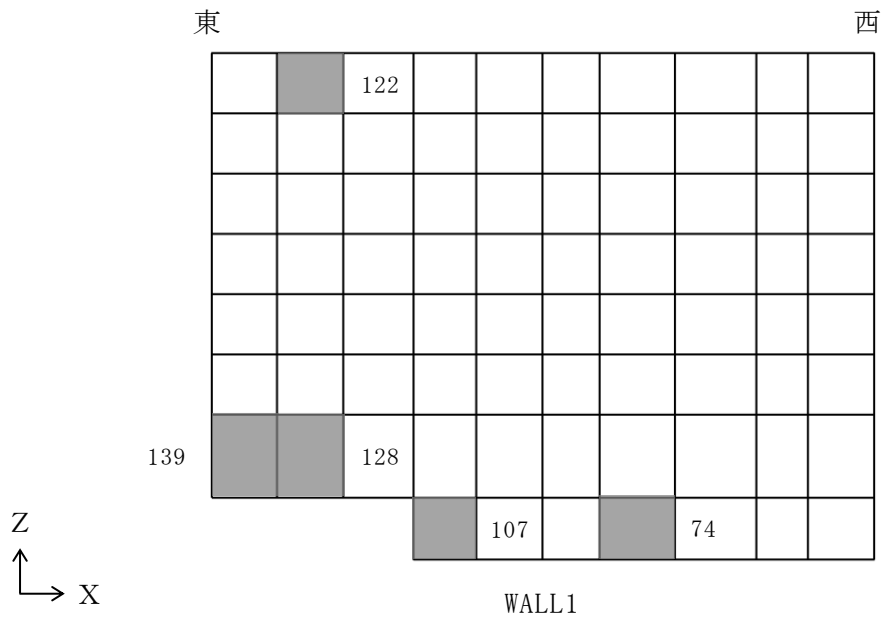


(a) 全体鳥瞰図

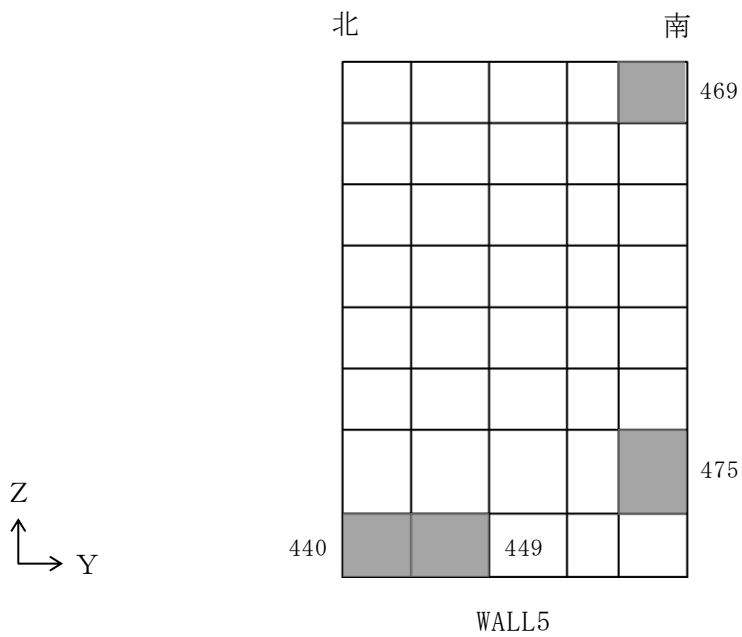


(b) 燃料プール要素分割図

図 3-1-7 解析モデルの概要図

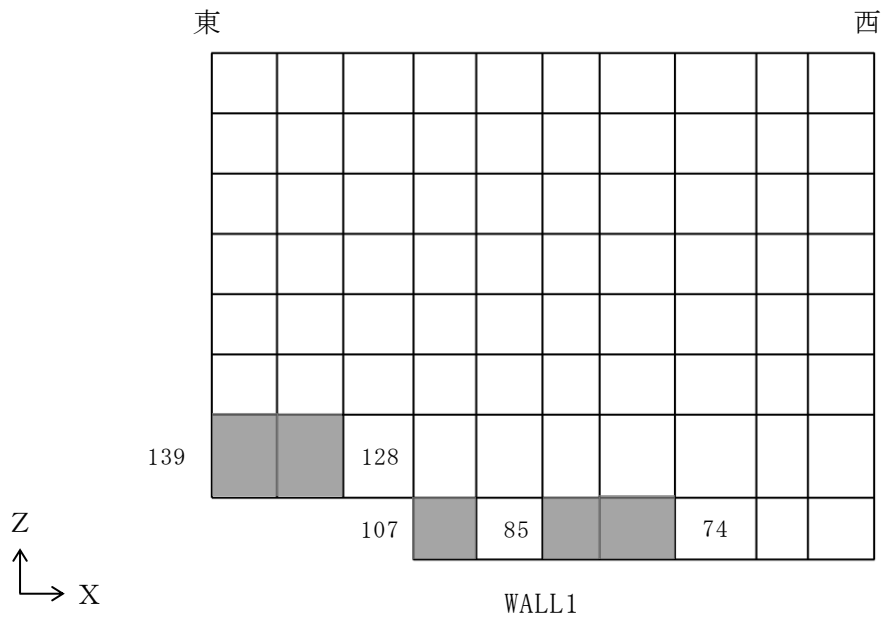


(a) 南側壁

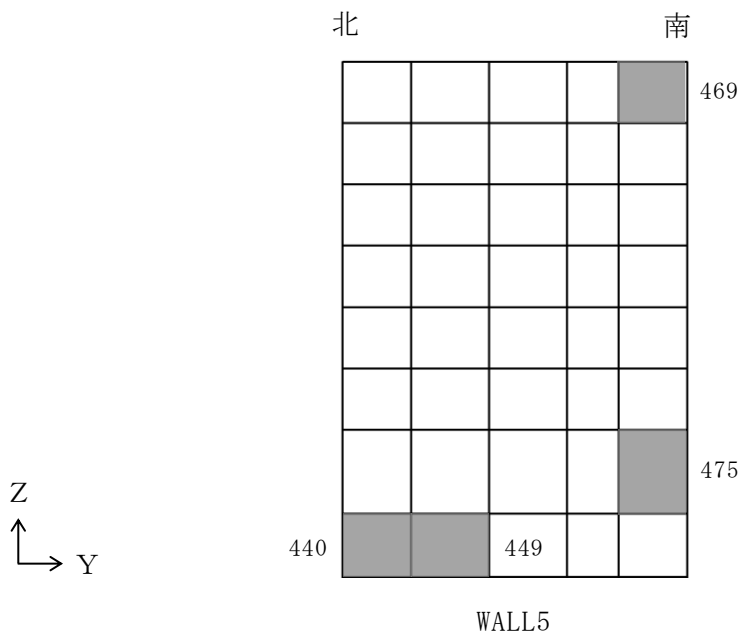


(b) 西側壁

図 3-1-8 選定した要素の位置
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)



(a) 南側壁



(b) 西側壁

図 3-1-9 選定した要素の位置
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

表 3-1-10 燃料プールの壁の評価結果
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
南側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	128	3-20	0.180	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	122	3-8	1.46	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	139	3-8	3.55	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	107	3-20	2.58	4.39
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	74	3-17	0.557	1.41
西側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	449	3-19	0.270	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	449	3-19	1.78	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	469	3-12	1.38	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	475	3-19	1.34	3.04
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	440	3-17	0.695	1.22

表 3-1-11 燃料プールの壁の評価結果
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
南側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	128	2-12	0.170	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	85	2-10	1.40	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	139	2-4	3.31	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	107	2-12	2.37	4.39
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	74	2-9	0.550	1.42
西側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	449	2-11	0.261	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	449	2-11	1.68	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	469	2-6	1.38	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	475	2-9	1.31	3.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	440	2-11	0.694	1.22

(3) 原子炉建物基礎スラブの評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である原子炉建物基礎スラブについて評価を行う。

評価にあたっては、 S_s 地震時に対して、3次元 FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、VI-2-9-3-4「原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書」（以下「基礎スラブの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

原子炉建物基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-10 及び図 3-1-11 に示す。

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎スラブの耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデルの概要図を図 3-1-12 に示す。解析モデルの詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s 地震時の応力は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
$S_{S_{SN}}$: S→N方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む）
$S_{S_{NS}}$: N→S方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む）
$S_{S_{EW}}$: E→W方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む）
$S_{S_{WE}}$: W→E方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む）
$S_{S_{UD}}$: 鉛直方向（下向き） S_s 地震荷重
$S_{S_{DU}}$: 鉛直方向（上向き） S_s 地震荷重

基礎スラブの評価は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-13 及び図 3-1-14 に、評価結果を表 3-1-12 及び表 3-1-13 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が各許容値を超えないことを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉建物基礎スラブが有する耐震性への影響がないことを確認した。

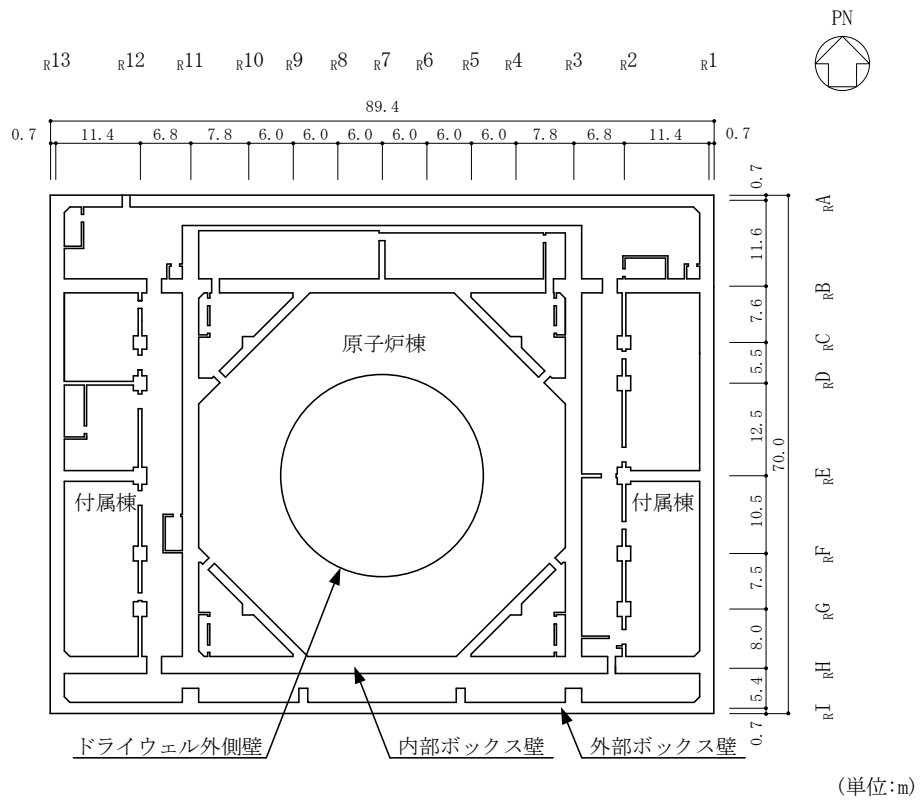
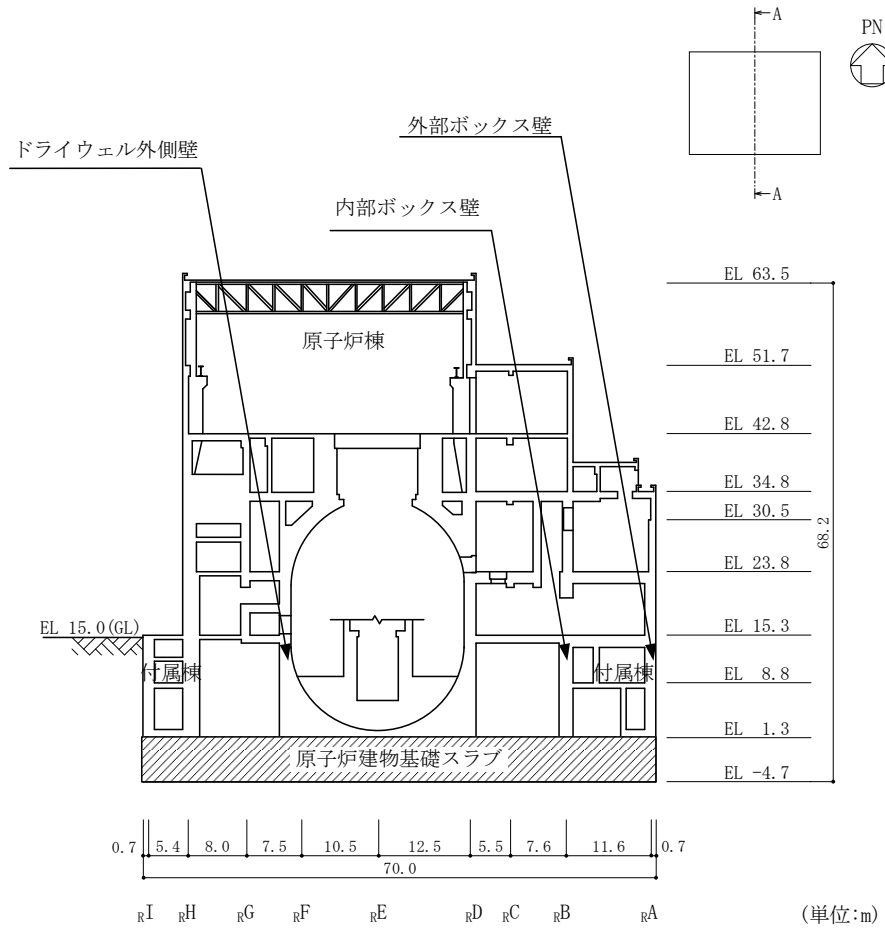
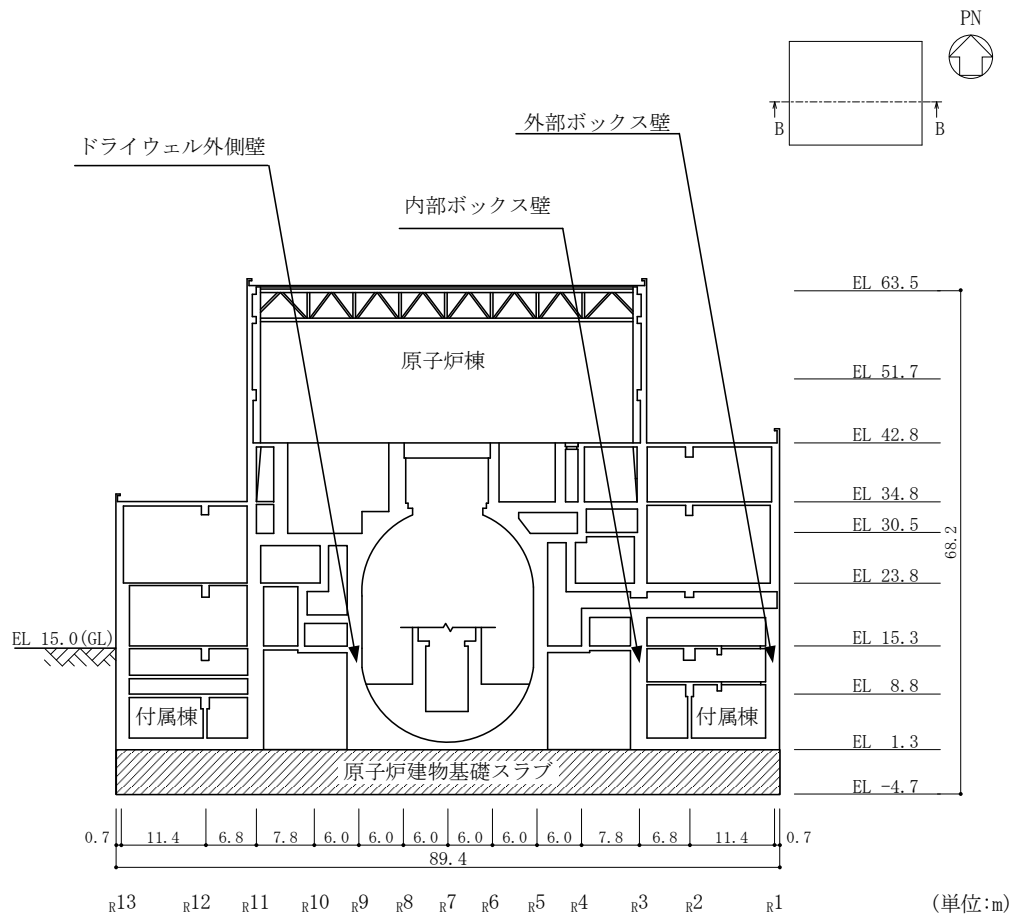


図 3-1-10 原子炉建物基礎スラブの概略平面図 (EL 1.3m)



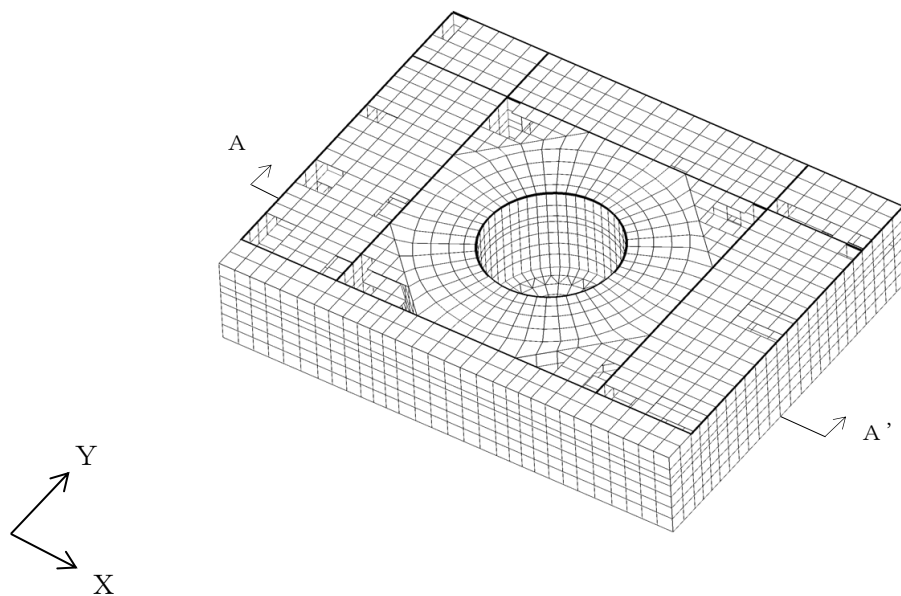
(a) A-A断面, NS方向

図 3-1-11(1) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図

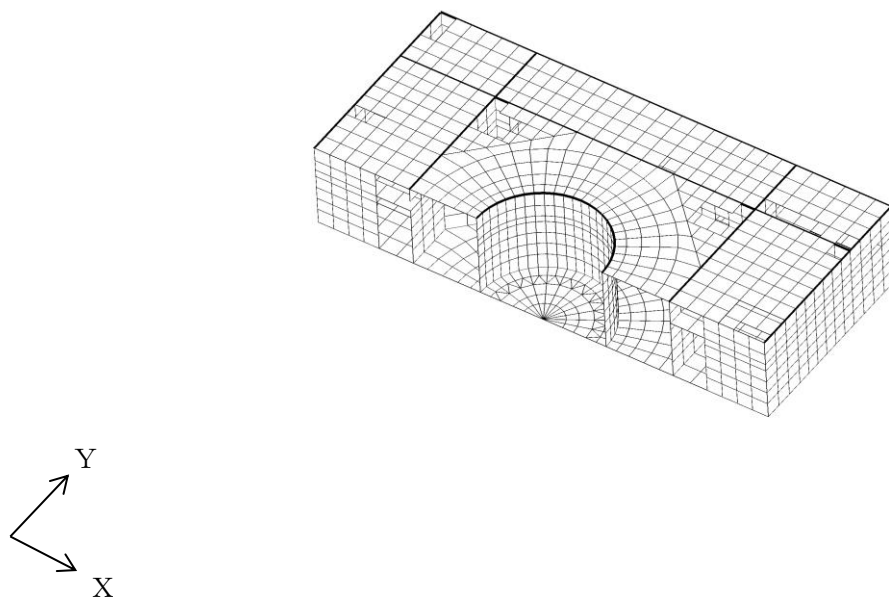


(b) B - B 断面, EW 方向

図 3-1-11(2) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図

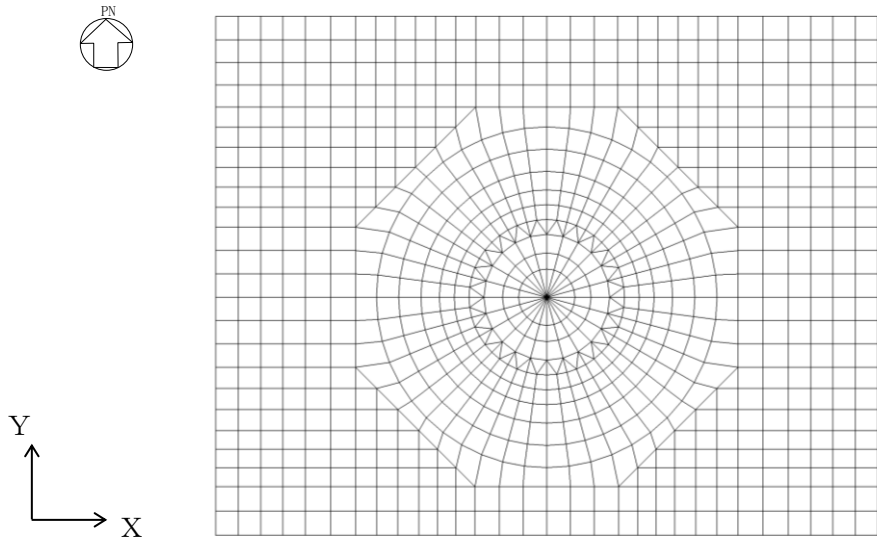


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 3-1-12(1) 解析モデルの概要図



(c) 基礎スラブ要素分割図

図 3-1-12(2) 解析モデルの概要図

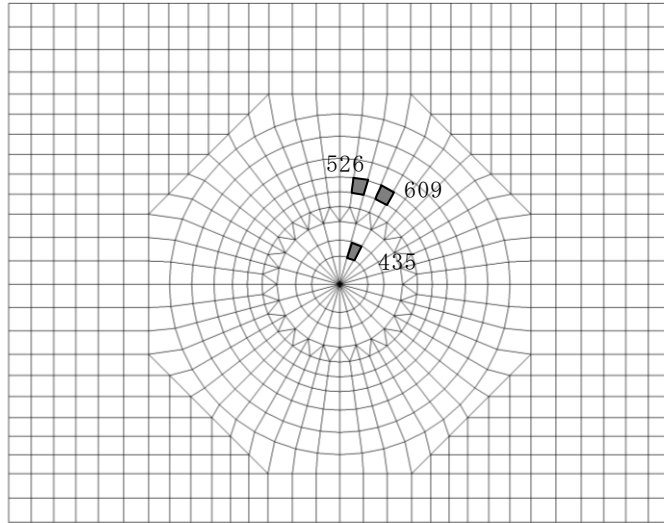


図 3-1-13 選定した要素の位置
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

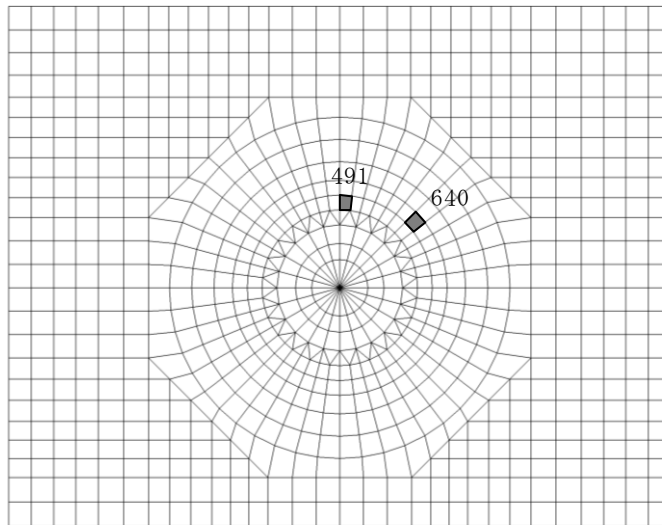


図 3-1-14 選定した要素の位置
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

表 3-1-12 原子炉建物基礎スラブの評価結果
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	609	3-9	0.376	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	435	3-10	0.317	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$)	N S	526	3-10	13.0	16.7

表 3-1-13 原子炉建物基礎スラブの評価結果
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	640	1-2	0.297	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	491	1-2	0.221	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$)	N S	491	1-1	7.79	10.4

3.1.5 原子炉建物 3次元FEMモデルによる面外応答の耐震壁への影響検討結果

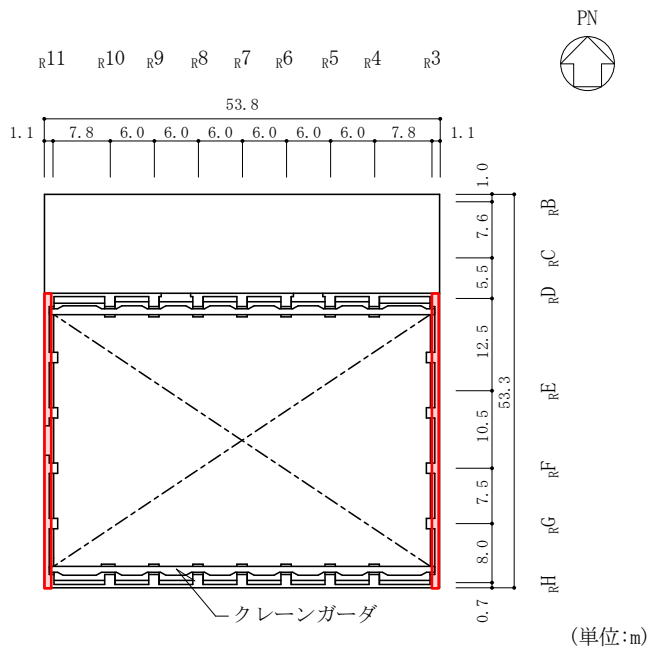
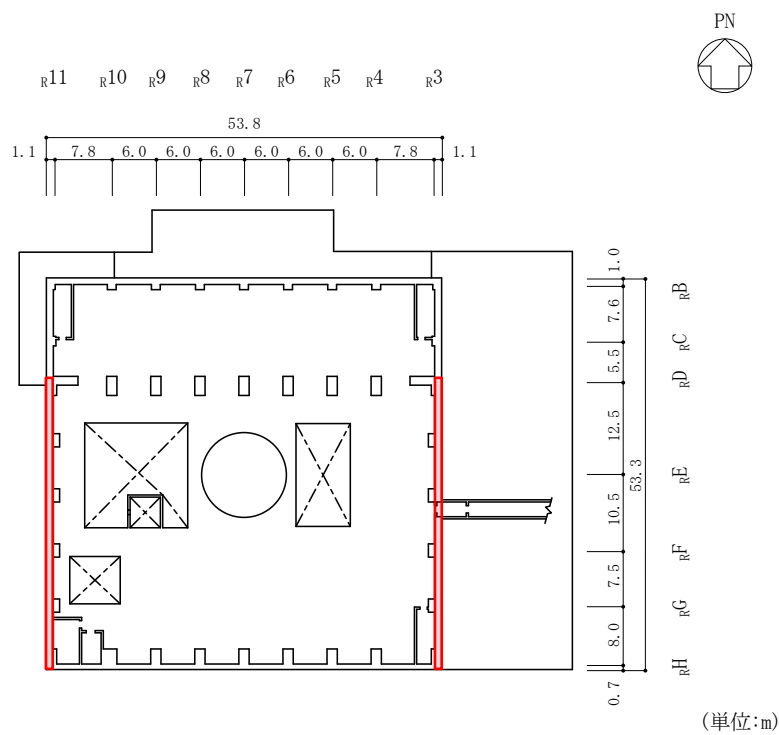
3次元FEMモデルの面外応答による影響検討対象として、原子炉建物燃料取替階レベルの壁を抽出し、面外応答による影響検討を行った結果、原子炉建物の燃料取替階レベルの東西面の壁には面外方向に大きな加速度が生じていることから、当該壁に対して、面外慣性力に対する断面の評価を行う。

S_s地震時の耐震壁の評価については、「VI-2-9-3-1 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」において、面内に生じるせん断ひずみが許容限界である 2.0×10^{-3} を超えないことを確認している。そこで、原子炉建物燃料取替階レベルの壁に対する面外慣性力の検討にあたっては、S_s地震時の面外慣性力により鉄筋に生じる応力度が弾性範囲内であることを確認することで、面内に生じるせん断ひずみの評価に対して面外慣性力の影響が小さいことを確認する。

原子炉建物燃料取替階上部の概略平面図を図3-1-15に、解析モデルを図3-1-16に示す。解析モデルは、柱、はり及び床を境界条件として固定する。

評価結果を記載する部位は、面外慣性力によって生じる鉄筋応力度及び面外せん断力が最大となる部位とする。

評価結果を表3-1-14に示す。S_s地震時の面外慣性力に対する原子炉建物燃料取替階レベルの壁の断面評価の結果、鉄筋に生じる応力度が弾性範囲内であり、面内に生じるせん断ひずみの評価に対して面外慣性力の影響は小さいことを確認した。



: 検討対象の壁を示す

図 3-1-15 原子炉建物燃料取替階上部の概略平面図

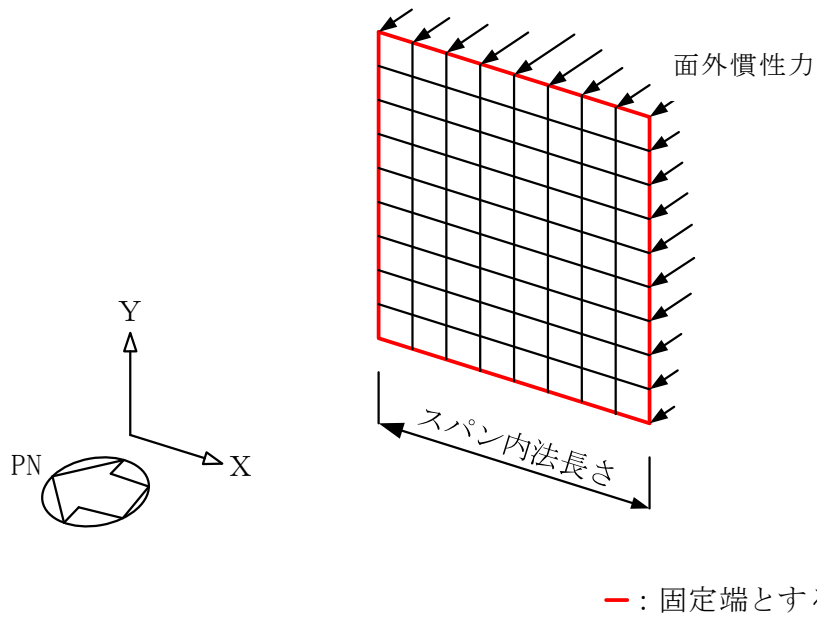


図 3-1-16 原子炉建物 3次元 F E Mモデルによる面外応答の影響検討の解析モデル

表 3-1-14 耐震壁の評価結果
(S s 地震時, 面外慣性力)

検討ケース		S s 地震時			
検討位置		東面壁 (R3 通り)		西面壁 (R11 通り)	
厚さ t (mm) ×幅 b (mm)		□ × 1000	□ × 1000	□ × 1000	□ × 1000
有効せい d (mm)		□	□	□	□
配筋	縦筋 (鉄筋断面積)	D29@200 (3210 mm ² /m)	D35@200 (4785 mm ² /m)	D29@200 (3210 mm ² /m)	D35@200 (4785 mm ² /m)
	横筋 (鉄筋断面積)	D25@200 (2535 mm ² /m)	D32@200 (3970 mm ² /m)	D25@200 (2535 mm ² /m)	D32@200 (3970 mm ² /m)
曲げモーメント	方向	X 方向	X 方向	X 方向	X 方向
	発生曲げ モーメント M (kN・m/m)	283.8	155.5	217.9	195.8
	許容限界 (kN・m/m)	462.3	1105.9	462.3	1105.9
	検定値	0.62	0.15	0.48	0.18
面外せん断力	方向	X 方向	X 方向	X 方向	Y 方向
	発生せん断力 Q (kN/m)	368.2	257.4	304.3	288.0
	許容限界 (kN/m)	867.9	1587.6	956.3	1587.6
	検定値	0.43	0.17	0.32	0.19
判定		可	可	可	可

3.2 機器・配管系

3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を表 3-2-1 に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平 2 方向の地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点

水平 1 方向の地震力に加えて、更に水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平 2 方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性のある設備を抽出する。以下の場合には、水平 2 方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。

なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が 1 割程度以下となる機器を分類しているが、水平 1 方向地震力による裕度が 1.1 未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

a. 水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置き容器等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、水平 1 方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平 1 方向の地震力しか負担しないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 1 方向の地震力しか負担しないものを分類した。

b. 水平 2 方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。

c. 水平 2 方向の地震力を組み合わせても水平 1 方向の地震による応力と同等といえるもの

原子炉圧力容器スタビライザ、原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグは、

周方向 8 箇所を支持する構造で配置され、水平 1 方向の地震力を 6 体で支持する設計としており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。

d. 保守性（水平 2 方向の考慮を含む）を考慮した評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から保守性を考慮した評価を実施しており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものを分類した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は発生しない。

一方、3 次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は、従来設計より 3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される設備はなかった。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)(2)において影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平 1 方向に対する水平 2 方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平 2 方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮した Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「SRSS 法」

という。)又は組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

- 従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみ組み合わせた後、地震以外による応力と組み合わせで算出する。
- 設備(部位)によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、上記組合せによる発生値を設計荷重が上回ることを確認したものは、水平2方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- 応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

3.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物等，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1 項，3.3 項及び 3.4 項における建物・構築物，屋外重要土木構造物等，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果，耐震性への影響が懸念される部位は抽出されなかった。

3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出結果

3.2.1 項で検討した，水平 2 方向の地震力が重畳する観点，水平方向とその直行方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点，水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力増分の観点で，水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出した結果を表 3-2-2 に示す。

3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

3.2.1 項の観点から抽出される設備について，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せは，米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法又は組合せ係数法を適用する。

(1) 従来評価データを用いた算出

従来 of 水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて，以下の条件により水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平 1 方向と鉛直方向の地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を各方向で算出している設備は，鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平方向を包絡した地震力と鉛直方向地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を算出している設備は，鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

また，算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・発生値が地震以外の応力成分を含む場合，地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果

3.2.1項の観点から3.2.3項で抽出した以下の設備に対して、3.2.4項の影響評価条件で算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認した。評価した内容を設備ごとに以下に示し、その影響評価結果については重大事故時等の状態も考慮した結果を表3-2-3に示す。

(1) 制御棒挿入性

工認耐震計算書では、地震応答解析により算定される水平1方向の燃料集合体の相対変位を用いて評価を実施している。水平2方向地震力による評価は、組合せ係数法(1.0:0.4)を用いて燃料集合体相対変位を算出し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

3.2.6 まとめ

機器・配管系において、水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備(部位)について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、工認耐震計算書の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため、工認耐震計算書の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

- ・工認耐震計算書の発生値(水平1方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ)に対して、係数($\sqrt{2}$)を乗じて水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため、係数を乗じる必要のない鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分についても係数を乗じている。
- ・工認耐震計算書において水平各方向を包絡した床応答スペクトルを各方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平2方向に働くことを想定した発生値として算出している。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力については、機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (1/11)

設備		部位
燃料集合体		燃料被覆管
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴
		下部胴
		中間胴
		上部格子板支持面 炉心支持板支持面
	シュラウドサポート	レグ
		シリンダ プレート 下部胴
		上部格子板
	炉心支持板	グリッドプレート
補強ビーム 支持板 スタッド		
燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	
原子炉圧力容器	円筒胴	円筒胴
	下鏡	下鏡
		下鏡と円筒胴の接合部 原子炉圧力容器支持スカートと円筒胴の接合部
	制御棒貫通孔	ハウジング
		スタブチューブ
	原子炉中性子計装孔	原子炉中性子計装ハウジング
	ノズル	各部位
	ブラケット類	スタビライザブラケット
		蒸気乾燥器支持ブラケット
		炉心スプレイブラケット
給水スパージャブラケット		
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	
原子炉圧力容器支持スカート	支持スカート	

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (2/11)

設備		部位
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド
		ブラケット
	原子炉格納容器スタビライザ	パイプ
		フランジボルト
		ガセットプレート
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレントビーム一般部
		レストレントビーム端部
ジェットポンプ計測配管貫通部シール	貫通部シール	
差圧検出・ほう酸水注入系配管(ティーよりN11ノズルまでの外管)	差圧検出管	
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	蒸気乾燥器ユニット
		耐震用ブロック
	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 原子炉中性子計装案内管	各部位
	スパージャ 炉内配管	各部位
	ジェットポンプ	ライザ ディフューザ ライザブレース
使用済燃料貯蔵ラック	ラック部材 (板, シートプレート及びラックベース)	
	ラック取付ボルト 基礎ボルト	
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック	
	サポート	
	底部基礎ボルト	
	サポート部基礎ボルト	
燃料プール水位・温度 (S A)	架構	
	基礎ボルト	

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (3/11)

設備	部位
燃料プール水位 (S A)	検出器保護管
	検出器架台基礎ボルト
燃料プール監視カメラ	基礎ボルト
	取付ボルト
燃料プール監視カメラ用冷却設備	取付ボルト
アキュムレータ	胴板
	脚
残留熱除去系熱交換器	胴板
	ラグ
	基礎ボルト
	追設基礎ボルト
立形ポンプ	コラムパイプ
	バレルケーシング
	基礎ボルト
	取付ボルト
ECCS ストレーナ 原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	各部位 (フランジ, 取付ボルト以外)
	フランジ
	ボルト
ECCS ストレーナ部ティー 原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	ティー
	フランジ
ECCS ストレーナ取付部コネクタ	コネクタ
	フランジ
ECCS ストレーナ取付部サポート	サポートパイプ
	サポートパイプ溶接部
	サポートプレート
	サポートボルト
横形ポンプ 補機海水 ストレーナ ポンプ駆動用タービン 空調ファン 空調ユニット	基礎ボルト
	取付ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (4/11)

設備	部位
原子炉補機冷却系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
	連結板
横置円筒形容器	胴板
	脚
	基礎ボルト
たて置円筒形容器 (スカート支持)	胴板
	スカート
	基礎ボルト
制御棒駆動機構	フランジ
水圧制御ユニット	フレーム
	取付ボルト
平底たて置円筒形容器	胴板
	基礎ボルト
核計測装置	各部位
伝送器 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
伝送器 (矩形壁掛)	基礎ボルト
	溶接部
伝送器 (サポート鋼材固定)	取付ボルト
	溶接部
制御盤, 電気盤 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
制御盤, 電気盤 (矩形壁掛)	取付ボルト
モニタリング設備 (矩形床置)	取付ボルト
モニタリング設備 (矩形壁掛)	基礎ボルト
	取付ボルト
通信連絡設備 (アンテナ類) (矩形床置)	基礎ボルト
通信連絡設備 (アンテナ類) (矩形壁掛)	基礎ボルト
中央制御室空調換気系配管	ダクト本体 (矩形)
	ダクト本体 (円形)
	サポート

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (5/11)

設備		部位
中央制御室待避室遮蔽		構造フレーム (鉄骨, 鋼板)
		基礎ボルト
		遮蔽パネル接合部ボルト
		構造フレーム接合部高力ボルト
		遮蔽パネル 気密用鋼板
原子炉格納容器	ドライウエル	ドライウエル上ふた球形部とナックル部の接合部
		円筒部とナックル部の接合部
		ナックル部と球形部の接合部
		球形部の板厚変化部
		球形部と円筒部の接合部
		円筒部と球形部の接合部
		円筒部
	基部	
	サプレッションチェンバ	サプレッションチェンバ胴中央部上部
		サプレッションチェンバ胴中央部下部
		サプレッションチェンバ胴中央部内側
		サプレッションチェンバ胴中央部外側
サプレッションチェンバ胴エビ継部上部		
サプレッションチェンバ胴エビ継部下部		
サプレッションチェンバ胴エビ継部内側		
サプレッションチェンバ胴エビ継部外側		
ベント管	ヘッダ接続部	
	ベント管円筒部	
	ベント管とドライウエルとの接合部	

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (6/11)

設備		部位
原子炉格納容器	サプレッションチェンバサポート	サポート
		ベースとベースプレートの接合部
		シアキー
		ベースプレート
		シアプレート
		コンクリート
	ボルト	
	基礎ボルト	
	シヤラグ	内側メイルシヤラグ
		外側メイルシヤラグ
		内側フィメイルシヤラグ
		内側フィメイルシヤラグリブ付根部
		外側フィメイルシヤラグ
		内側メイルシヤラグ接触部
		外側メイルシヤラグ接触部
		内側フィメイルシヤラグ接触部
		外側フィメイルシヤラグ接触部
		コンクリート(ベースプレート部, シヤプレート部)
	基礎ボルト	
	ベースプレート	
シヤプレート		
内側シヤラグサポート		
シヤラグ取付部		
ハッチ類	ハッチ円筒胴	
	ハッチ本体と補強板との結合部	
原子炉格納容器配管貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	
原子炉格納容器電気配線貫通部	ドライウェルとスリーブとの結合部	
真空破壊装置	スリーブ	
	スリーブとベント管との結合部	
ダウンカマ	ダウンカマ	
	ベントヘッドとダウンカマの結合部	

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (7/11)

設備	部位
ベントヘッド	ベントヘッド
	ベントヘッド強め輪取付部
	ベントヘッドサポート
	強め輪
	ピン
ドライウェルスプレイ管	上部スプレイ管案内管
	上部スプレイ管ティー部
	上部スプレイ管案内管サポート
	下部スプレイ管
	下部スプレイ管案内管
	下部スプレイ管ティー部
	下部スプレイ管サポート
サブプレッションチェンバスプレイ管	スプレイ管
	スプレイ管えび状の管部
	スプレイ管ティー部
	スプレイ管案内管
	スプレイ管サポート
ブローアウトパネル閉止装置	シャフト
	コネクタ
	軸受取付ボルト
	駆動部取付ボルト 取付ボルト
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース
	ベース取付溶接部
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	基礎ボルト
静的触媒式水素処理装置	静的触媒式水素処理装置本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
遠隔手動弁操作設備	基礎ボルト
	取付ボルト
ディーゼル発電機	基礎ボルト
	取付ボルト
ガスタービン発電機	基礎ボルト
	取付ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (8/11)

設備	部位
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト
配管本体, サポート (多質点はりモデル解析)	配管, サポート
防波壁通路防波扉 (1号機北側, 2号機北側)	ヒンジ部 (ヒンジ板)
	ヒンジ部 (ヒンジピン)
	ヒンジ部 (ヒンジボルト)
	カンヌキ部
	アンカーボルト
1号機取水槽流路縮小工	縮小板
	ボルト
屋外排水路逆止弁	扉体
	固定部
取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	ヒンジ部 締付装置 アンカーボルト
取水槽除じん機エリア水密扉 (東) 取水槽除じん機エリア水密扉 (西)	壁部 固定部 アンカーボルト
水密扉 (建物内, 燃料移送ポンプエリア)	ヒンジ部
	カンヌキ部
	アンカーボルト
	パネル部 (パネル板)
	パネル部 (パネル芯材)
	パネル部 (柱, はり)
	パネル部 (アンカーボルト)
床ドレン逆止弁	弁本体
	フロートガイド
	基礎ボルト
漏えい検知器	基礎ボルト
堰 (柱支持型)	鋼板
	はり材
	柱材
	アンカーボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (9/11)

設備	部位
堰 (鋼板折曲げ型)	鋼板
	アンカーボルト
堰 (鉄筋コンクリート製)	アンカー筋
	主筋
	堰底部のコンクリート
防水板	鋼板
	芯材
	アンカーボルト
貫通部止水処置	モルタル
	電路貫通部金属ボックスのアンカーボルト
取水槽水位計	取付ボルト
津波監視カメラ	据付ボルト
原子炉本体の基礎	円筒部
	たてリブ
	基礎ボルト
	ベースプレート
建物開口部竜巻防護対策設備 (竜巻防護ネット対策設備)	フレーム
	アンカーボルト
建物開口部竜巻防護対策設備 (竜巻防護鋼板対策設備)	フレーム
	アンカーボルト
取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備	鋼板
	架構
	アンカーボルト
取水槽海水ポンプエリア竜巻防護対策設備	鋼板
	架構
	アンカーボルト
原子炉建物天井クレーン	クレーン本体ガーダ
	落下防止ラグ
	トロリストッパ
	トロリ
	吊具

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (10/11)

設備	部位
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム
	ブリッジ脱線防止ラグ (本体)
	トロリ脱線防止ラグ (本体)
	走行レール 横行レール
チャンネル着脱装置	ブリッジ脱線防止ラグ (取付ボルト)
	トロリ脱線防止ラグ (取付ボルト)
	吊具 (ワイヤロープ)
	吊具 (先端金具)
チャンネル取扱ブーム	ガイドレール
	カート
	固定ボルト
	ローラチェーン
制御棒貯蔵ハンガ	ブーム
	回転ポスト
	固定ポスト
	基礎ボルト
原子炉浄化系補助熱交換器	制御棒落下防止ポール
	ポール支持金具
	基礎ボルト
中央制御室天井照明	胴板
	脚
	基礎ボルト
	追設基礎ボルト
タービン補機冷却系熱交換器	補強材
	支持鋼材
	補強斜材
	取付ボルト (照明ボルト)
	継手ボルト
	基礎ボルト
タービン補機冷却系熱交換器	溶接部
	脚
	基礎ボルト
タービン補機冷却系熱交換器	追設基礎ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (11/11)

設備	部位
主排気ダクト	ダクト本体
	支持構造物部材
	支持装置
取水槽ガントリクレーン	ガーダ
	脚
	転倒防止装置
	トロリ
	吊具
	制震ダンパ
除じん機	フレーム取付ボルト
	フレーム耐震サポート
	フレーム耐震ピン
	アジャストボルト
	尾軸受取付ボルト
原子炉ウェルシールドプラグ	シールドプラグ本体
	支持部
耐火障壁	フレーム部材
	基礎ボルト
ガンマ線遮蔽壁	胴基部
	開口集中部

表3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

(1) 構造強度評価
対象設備なし

(2) 機能維持評価

(凡例) ○：影響の可能性あり

△：影響軽微

設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1 項(1)水平2方向の地震力が重畳する観点及び(2)の観点水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点	3.2.1 項(3)水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点	検討結果
制御棒挿入性	○	○	影響評価結果は表3-2-3参照

表3-2-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

(1) 構造強度評価
対象設備なし

(2) 機能維持評価

評価対象設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				備考
	1方向入力 相対変位	2方向想定 相対変位	確認済相対変位	判定	
制御棒挿入性	35.0	35.8	40	○	単位：mm

3.3 屋外重要土木構造物等

3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

(1) 構造形式の分類

図3-3-1に屋外重要土木構造物等*の配置図を示す。

屋外重要土木構造物等は、その構造形式より1)箱型構造物、2)線状構造物、3)円筒状構造物、4)直接基礎、5)管路構造物及び6)鉄骨構造の6つに大別される。

屋外重要土木構造物等の構造形式を表3-3-1に示す。

注記*：屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設のうち土木構造物及び波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

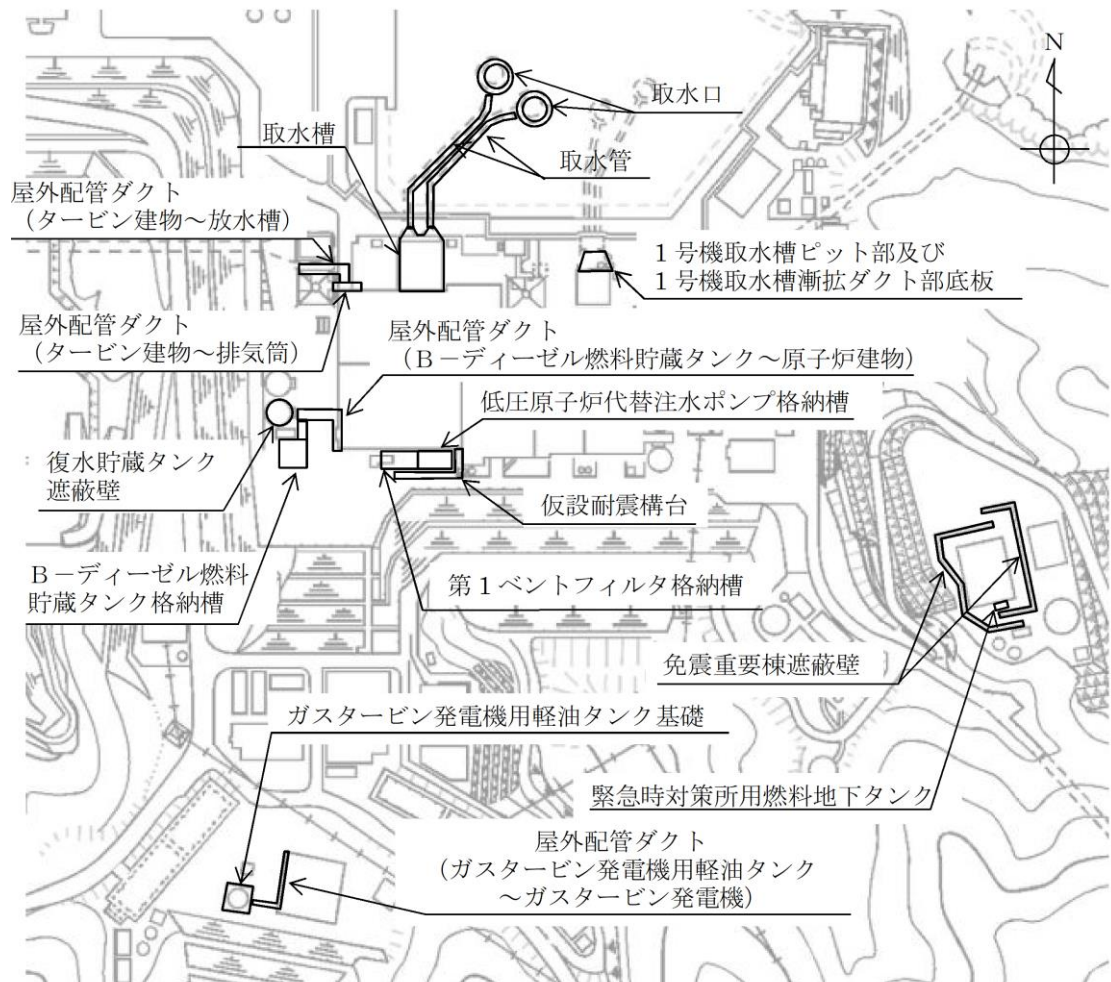


図3-3-1 屋外重要土木構造物等 配置図

表 3-3-1 屋外重要土木構造物等の構造形式

構造物名称	要求機能					
	1)箱型 構造物	2)線状 構造物	3)円筒状 構造物	4)直接 基礎	5)管路 構造物	6)鉄骨 構造
取水槽	○					
屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)		○				
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	○					
屋外配管ダクト (B-ディ ーゼル燃料貯蔵タンク ～原子炉建物)		○				
屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)		○				
取水管					○	
取水口			○			
第1ベントフィルタ格納槽	○					
低圧原子炉代替 注水ポンプ格納槽	○					
緊急時対策所用 燃料地下タンク	○					
ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎				○		
屋外配管ダクト (ガスター ビン発電機用軽油タンク ～ガスタービン発電機)		○				
免震重要棟遮蔽壁		○				
復水貯蔵タンク遮蔽壁			○			
1号機取水槽ピット部及び 1号機取水槽漸拡ダクト部 底版	○					
仮設耐震構台						○

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3-3-2 に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。
 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧、摩擦力、慣性力が挙げられる。

表 3-3-2 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ*
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
③慣性力	躯体に作用する慣性力	

注記*：作用荷重のイメージ図は平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 3-3-3 に、3.3.1(1)で整理した構造形式ごとに、3.3.1(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

評価対象構造物の地震時の挙動は、躯体が主に地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.1(2)で整理した荷重のうち「②摩擦力」や「③慣性力」は、「①動土圧及び動水圧」と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「①動土圧及び動水圧」による影響を考慮する。ただし、「3)円筒状構造物」及び「4)直接基礎」のうち、地上に設置されている構造物の場合、「③慣性力」の影響が大きくなることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「③慣性力」による影響を考慮する。

「1)箱型構造物」は、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有することから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用する。

「2)線状構造物」については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻壁（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」は作用しない。

「3)円筒状構造物」及び「4)直接基礎」については、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用し、図 3-3-2 に示すように水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。同様に、「3)円筒状構造物」及び「4)直接基礎」のうち地上に設置されている構造物については、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「③慣性力」が作用することによる応力の集中が考えられる。

「5)管路構造物」については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻側（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」は作用しない。一方、取水管は延長が長い構造であることから、従来設計手法において、管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っている。

「6)鉄骨構造」については、その構造上の特徴として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位として支持杭が考えられる。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、「1)箱型構造物」、「3)円筒状構造物」、「4)直接基礎」、「5)管路構造物」及び「6)鉄骨構造」を抽出する。

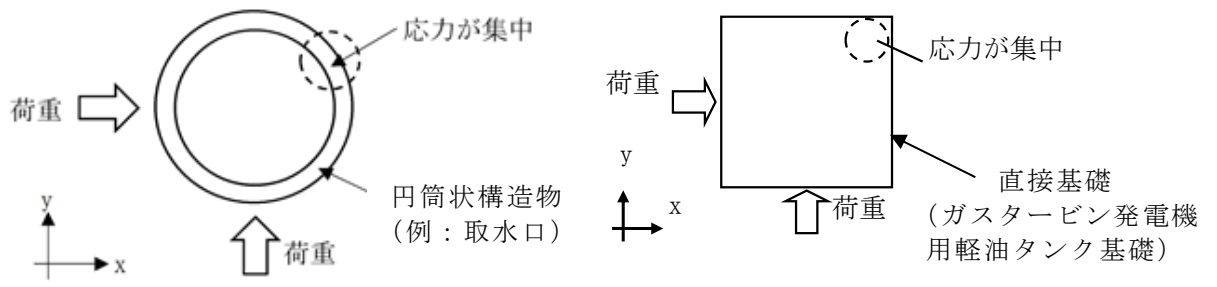


図 3-3-2 円筒状構造物及び直接基礎にかかる応答特性

表 3-3-3(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

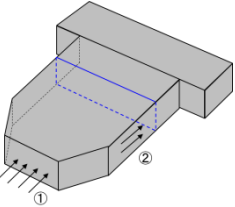
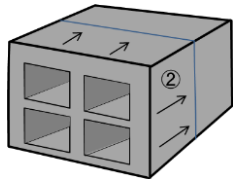
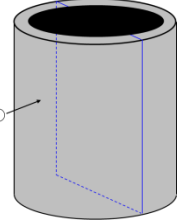
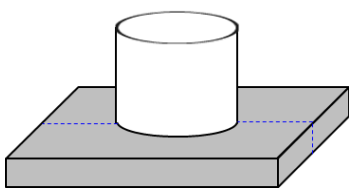
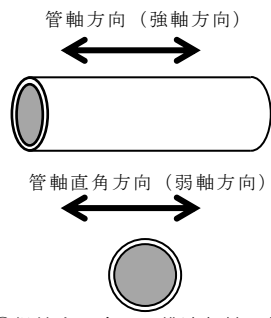
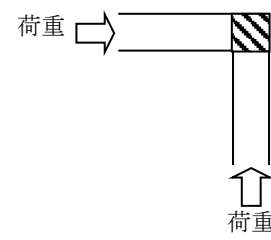
構造形式の分類	1) 箱型構造物 <ul style="list-style-type: none"> 取水槽 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 第1ベントフィルタ格納槽 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 緊急時対策所用燃料地下タンク 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版 	2) 線状構造物 <ul style="list-style-type: none"> 屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒) 屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物) 屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽) 屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機) 免震重要棟遮蔽壁 	3) 円筒状構造物 <ul style="list-style-type: none"> 取水口 復水貯蔵タンク遮蔽壁 			
荷重の作用状況	<p>— 従来設計手法における評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p>	<p>— 従来設計手法における評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p>	<p>— 従来設計手法における評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p>			
	①動土圧及び動水圧	妻壁に作用	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用する
	②摩擦力	側壁に作用	②摩擦力	側壁、頂版に作用	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材(妻壁)を有し、「①動土圧及び動水圧」による荷重が作用するため影響大。		従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず、「①動土圧及び動水圧」による荷重が作用しないため影響小。		従来設計手法における耐震評価に対して、直交する荷重として「①動土圧及び動水圧」又は「③慣性力」による荷重が作用するため影響大。	
抽出結果	○		×		○	

表 3-3-3(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

構造形式の分類	4) 直接基礎 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎		5) 管路構造物 取水管		6) 鉄骨構造 仮設耐震構台	
荷重の作用状況	 --- 従来設計手法における評価対象断面 (注) ③慣性力は全ての構造部材に作用		 管軸方向 (強軸方向) 管軸直角方向 (弱軸方向) (注) ③慣性力は全ての構造部材に作用		応力の集中する支持杭  荷重	
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用しない
	②摩擦力	作用しない	②摩擦力	側壁, 頂版に作用	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における耐震評価に対して, 直交する荷重として「①動土圧及び動水圧」又は「③慣性力」による荷重が作用するため影響大。		従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。 また, 管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており, 従来設計手法において水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せが考慮されている。		従来設計手法における耐震評価に対して, 直交する荷重として「③慣性力」による荷重が作用するため影響大。	
抽出結果	○		○		○	

- (4) 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所
の抽出

(3)で抽出しなかった構造形式である線状構造物について、構造物ごとの平面図及び断面図を以下に示す。各構造物の構造、地盤条件等を考慮したうえで、従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所を抽出する。

a. 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）

図 3-3-3～3-3-7 に屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3 次元的な応答特性は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

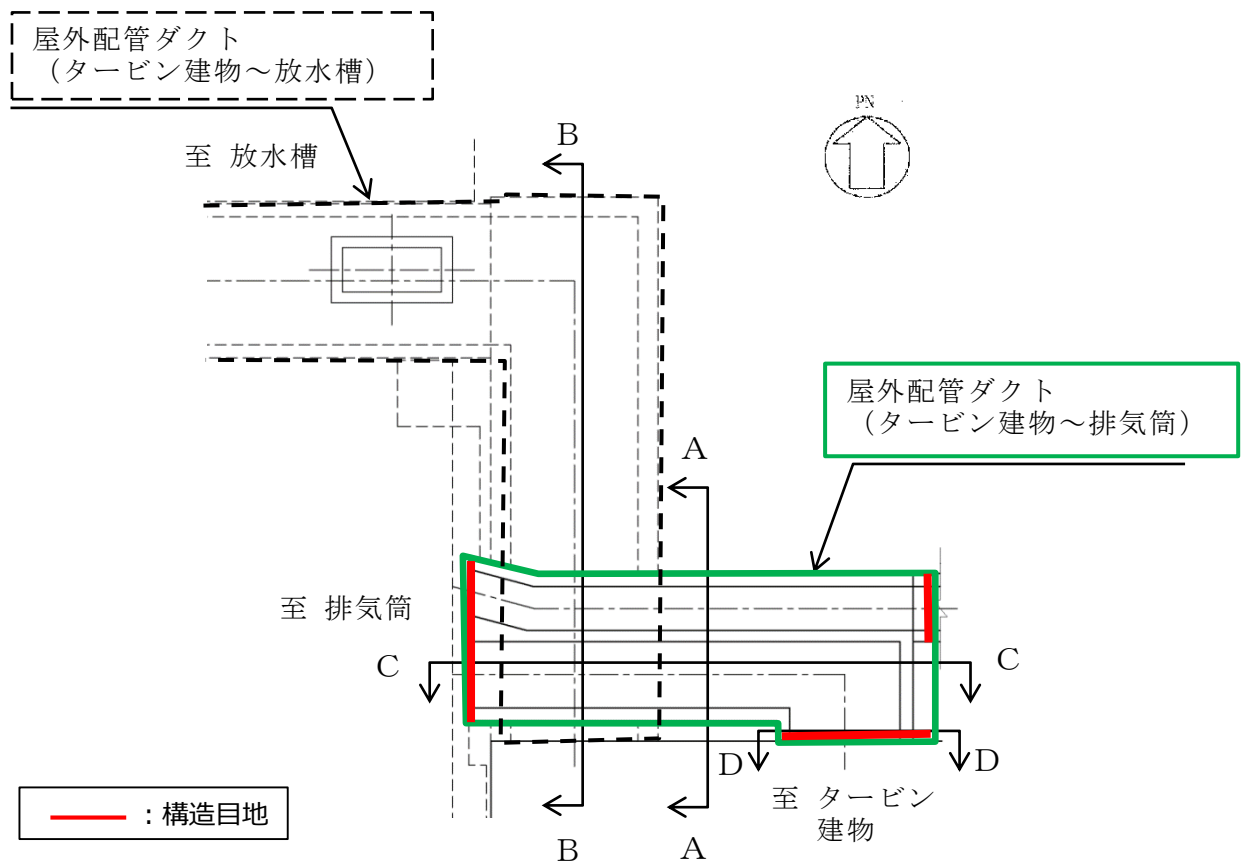


図 3-3-3 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 平面図

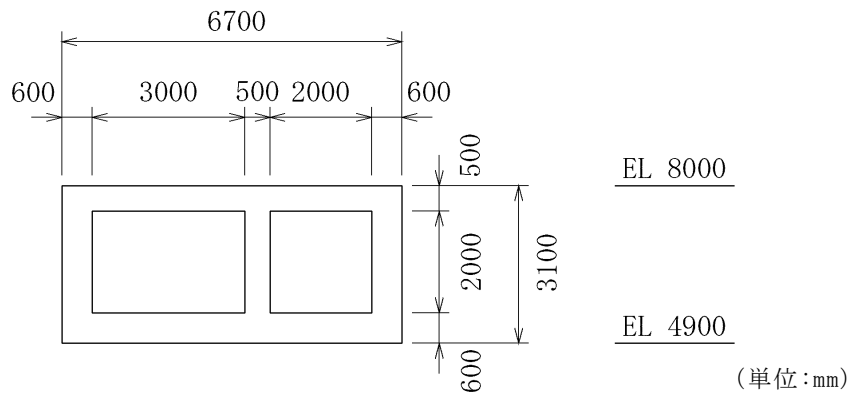


図 3-3-4 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 断面図（A-A 断面）

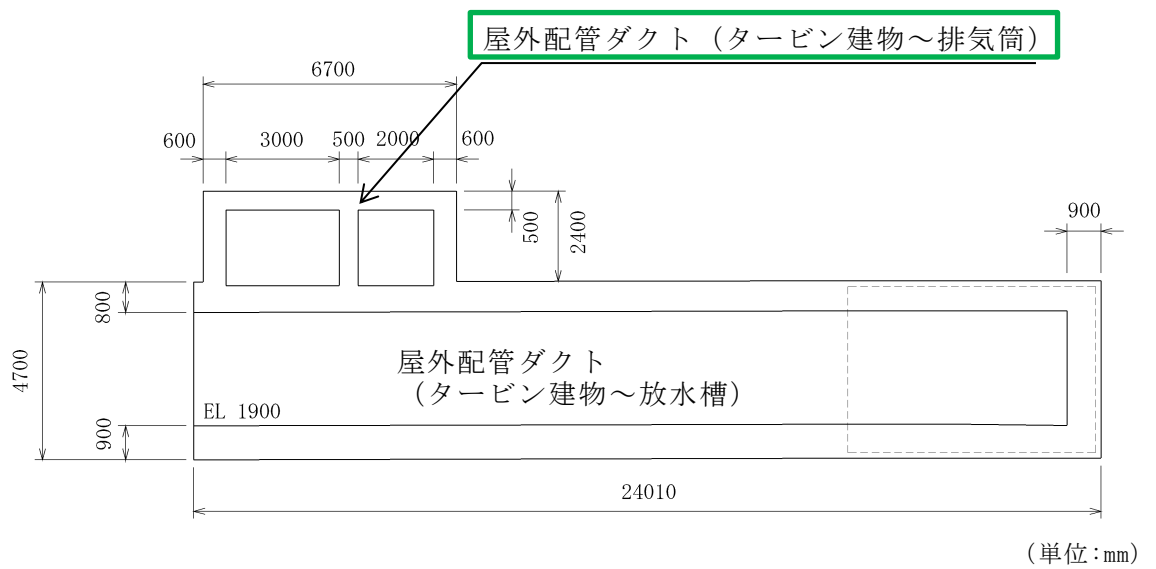


図 3-3-5 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 断面図（B-B 断面）

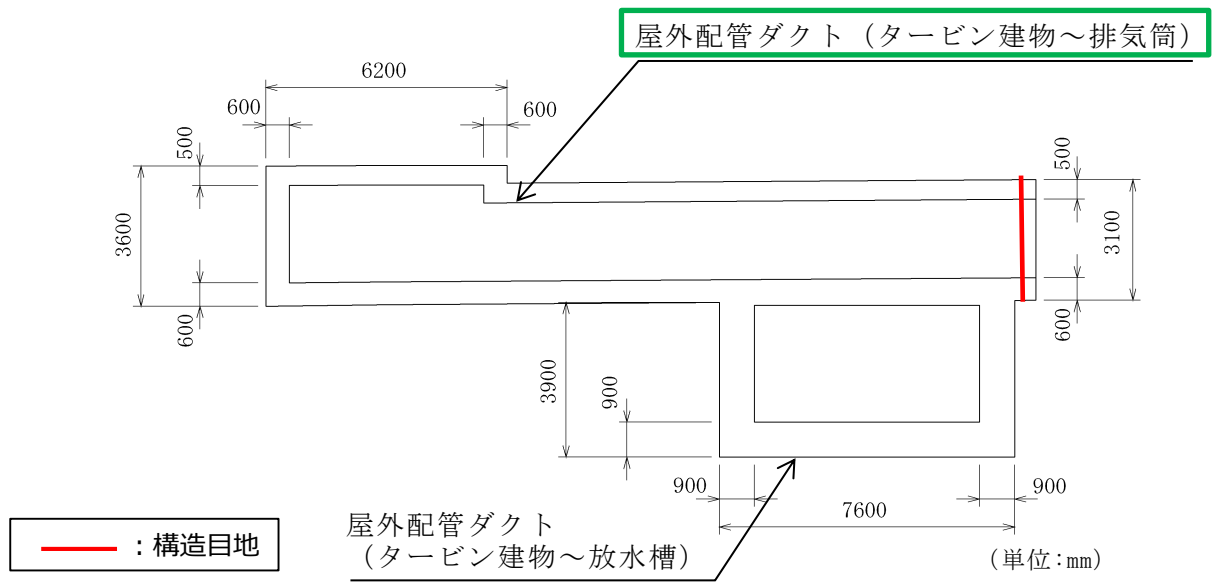


図 3-3-6 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (C-C 断面)

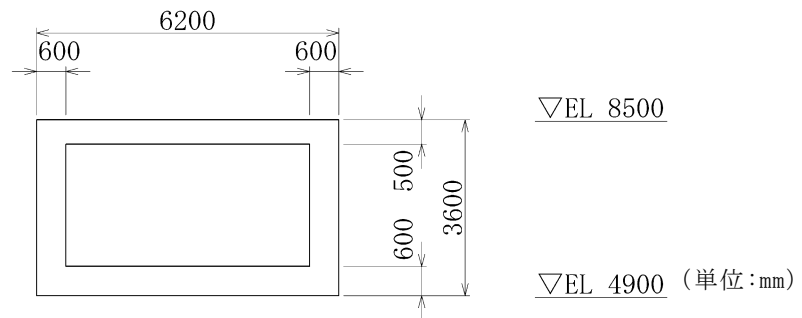


図 3-3-7 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (D-D 断面)

b. 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）

図 3-3-8～3-3-13 に屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3次元的な応答特性は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

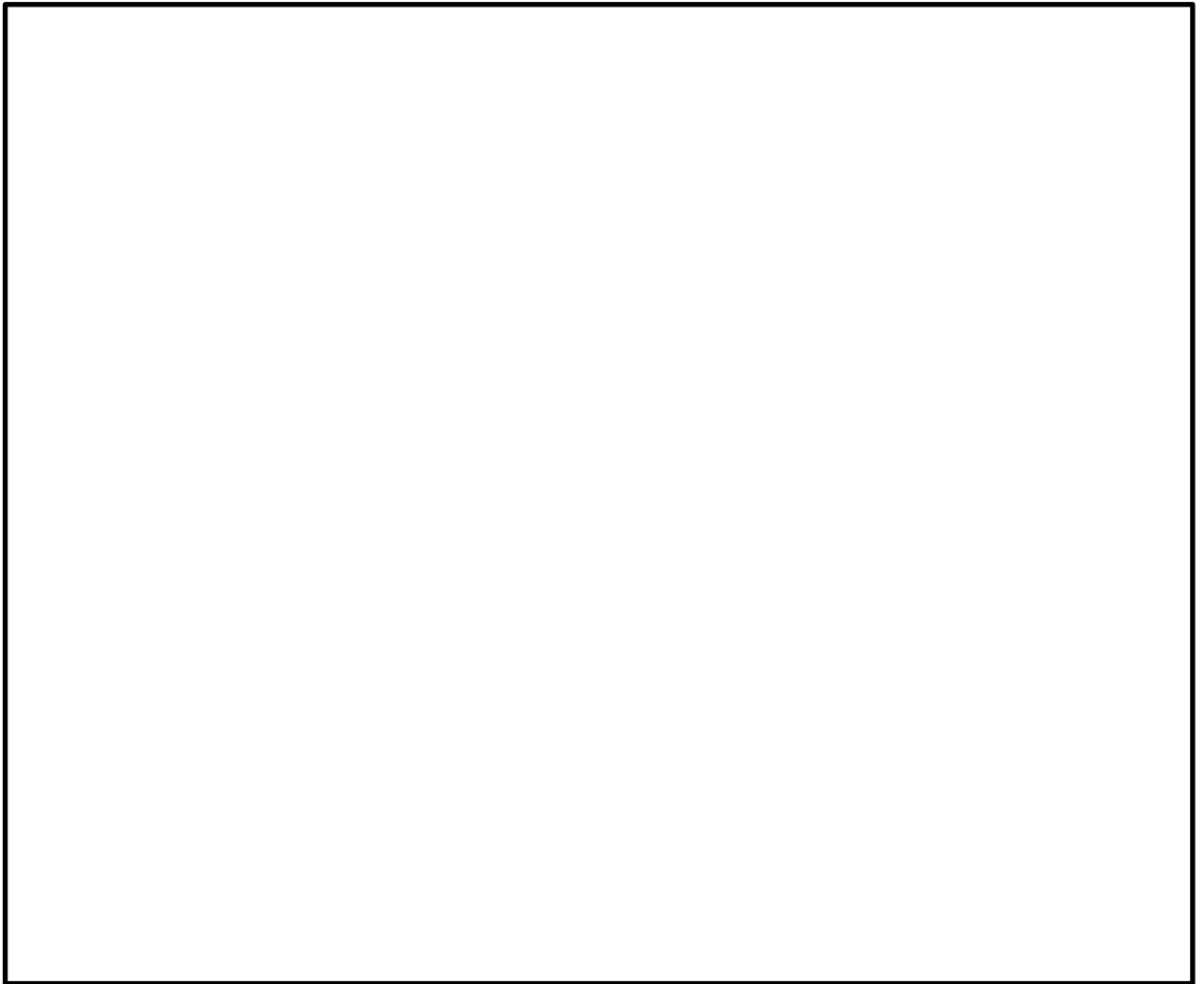


図 3-3-8 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）
平面図

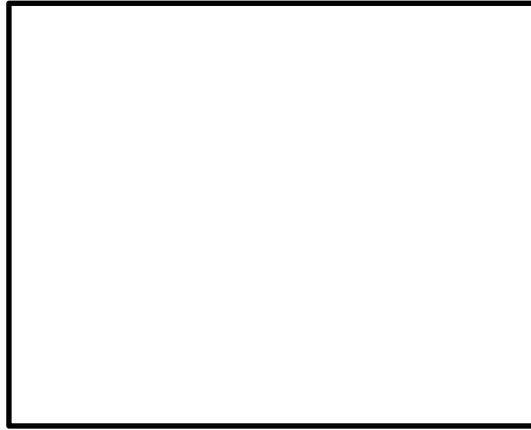


図 3-3-9 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (A-A 断面)

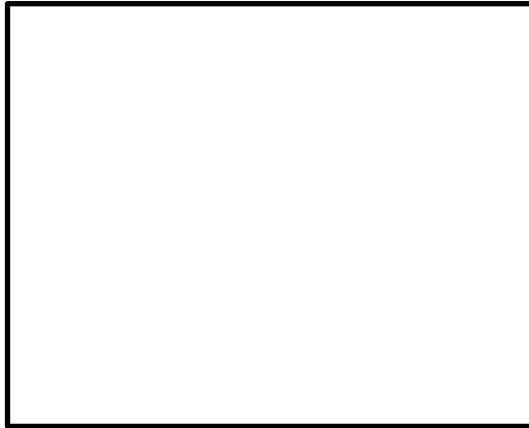


図 3-3-10 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (B-B 断面)



図 3-3-11 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (C-C 断面)



図 3-3-12 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (D-D 断面)

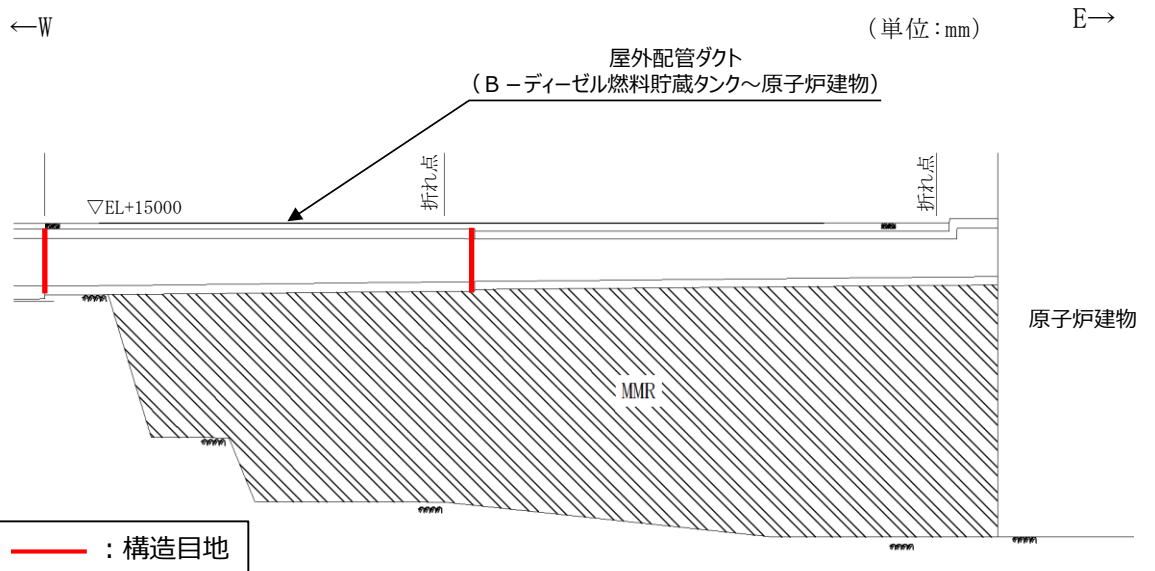


図 3-3-13 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (E-E 断面)

c. 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）

図 3-3-14～3-3-18 に屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3次元的な応答特性は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

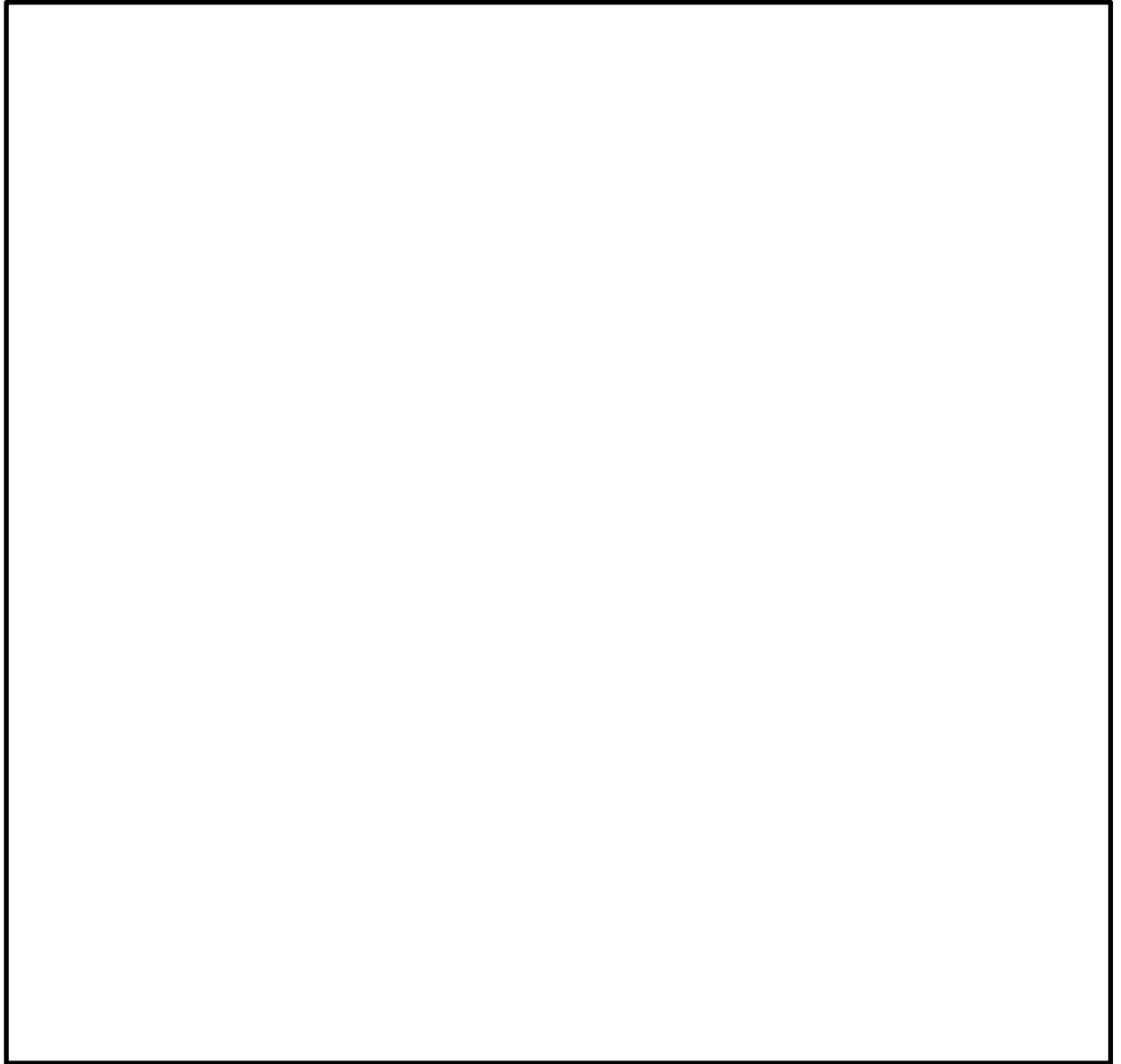


図 3-3-14 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 平面図

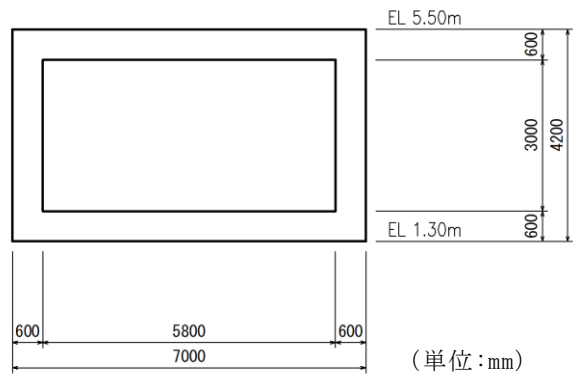


図 3-3-15 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 断面図（A-A断面）

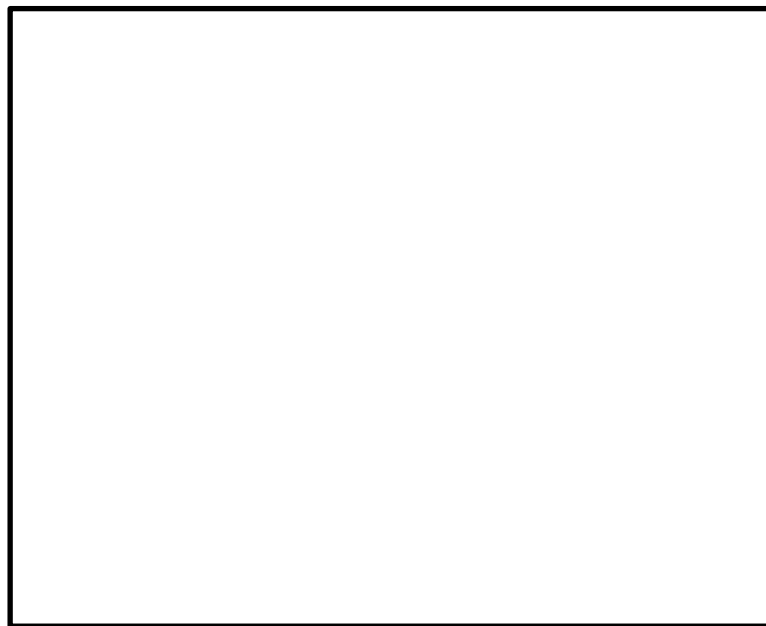


図 3-3-16 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 断面図（B-B断面）

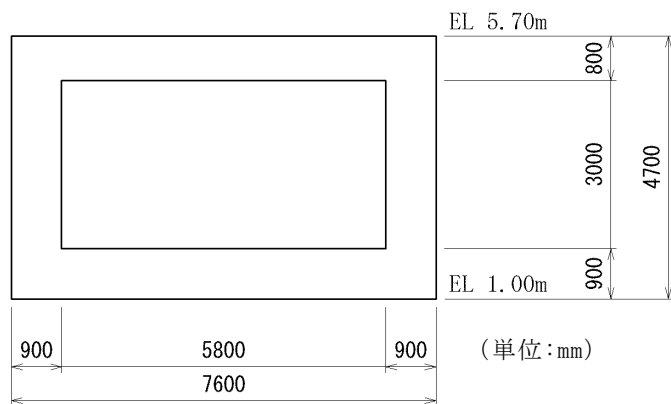


図 3-3-17 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 断面図（C-C断面）

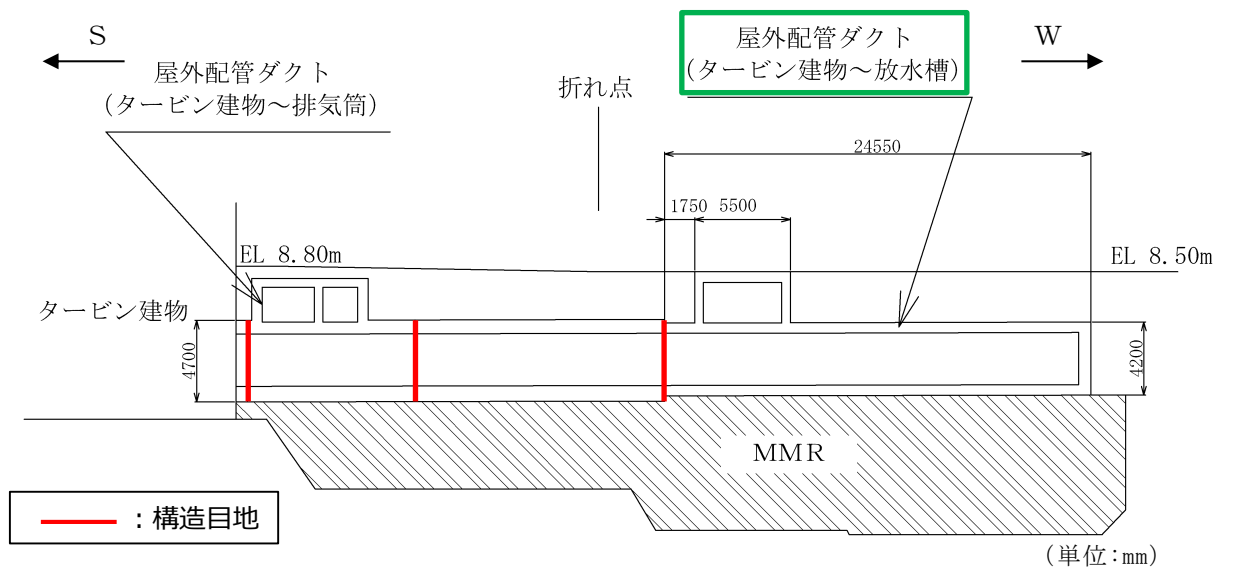


図 3-3-18 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 断面図 (D-D断面)

d. 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）

図 3-3-19 及び図 3-3-20 に屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3 次元的な応答特性は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

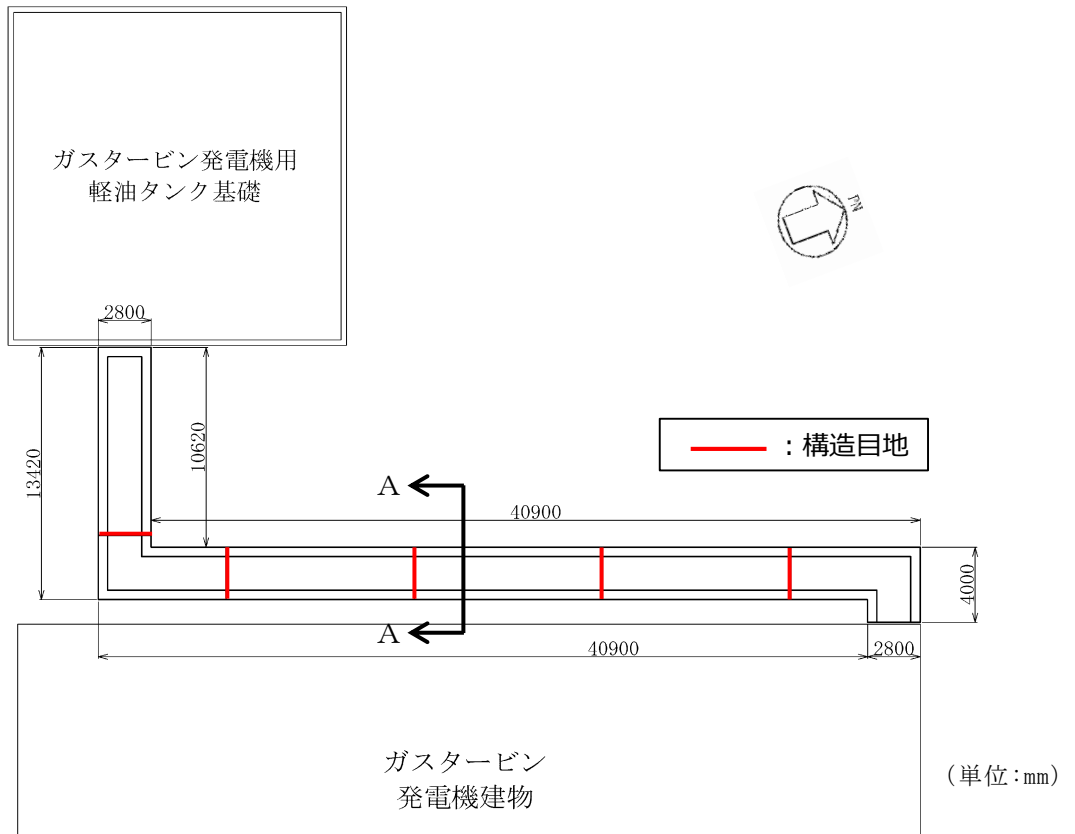


図 3-3-19 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
平面図

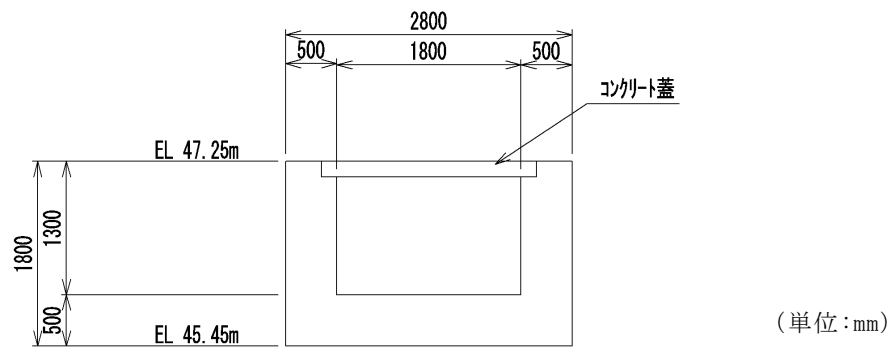


図 3-3-20 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
断面図（A-A断面）

e. 免震重要棟遮蔽壁

免震重要棟遮蔽壁については、図 3-3-21 の平面図に示すとおり、屋外の上位クラスの施設である緊急時対策所に波及的影響を及ぼす範囲に屈曲部や隅角部は存在しないことから、3次元的な応答特性が想定される箇所としては対象外である。

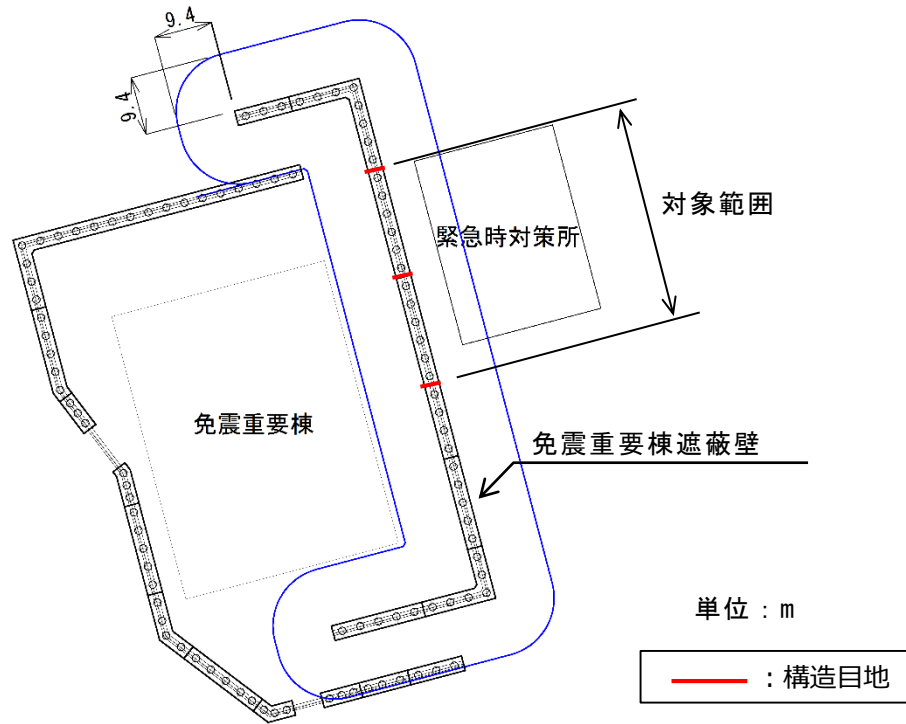


図 3-3-21 免震重要棟遮蔽壁 平面図

線状構造物として分類した屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物），屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽），屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）及び免震重要棟遮蔽壁について、各構造物の構造，地盤条件等を考慮したうえで、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所を確認した。

その結果、これらの構造物については、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所がないことを確認した。

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

図 3-3-22 に示すとおり，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版の一部が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の頂板の一部と一体化している部位については，妻壁に相当する部位があり，3 次元的な拘束効果が発生するため，従来設計では評価していない配力鉄筋への影響を確認する必要がある。よって，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部については，弱軸方向への変形により発生する軸方向の引張力が配力鉄筋に与える影響を確認するため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

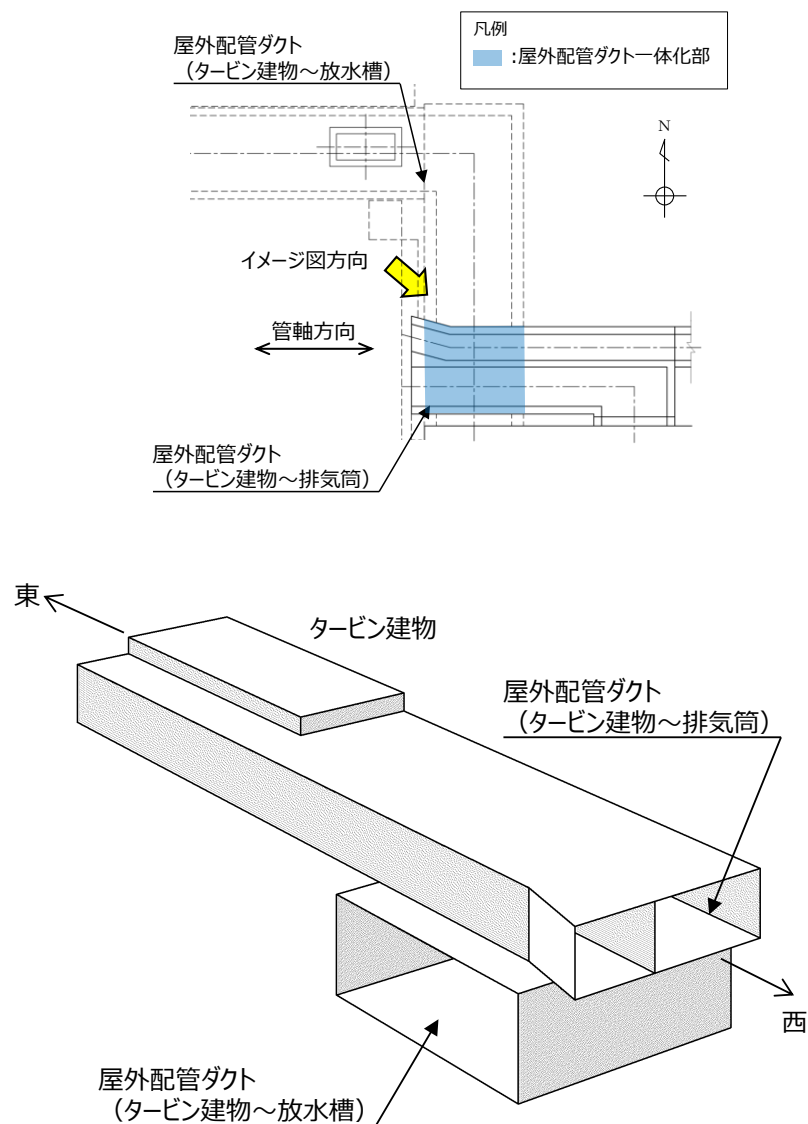


図 3-3-22 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部イメージ

3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

3.3.1の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討すべき構造形式として、構造及び作用荷重の観点から、箱型構造物及び線状構造物を抽出した。以下に、構造形式ごとの選定結果を示す。

(1) 箱型構造物

箱型構造物については、取水槽、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、緊急時対策所用燃料地下タンク、1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版)の全ての構造物に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。箱形構造物の平面図及び断面図を図3-3-23～図3-3-47に示す。

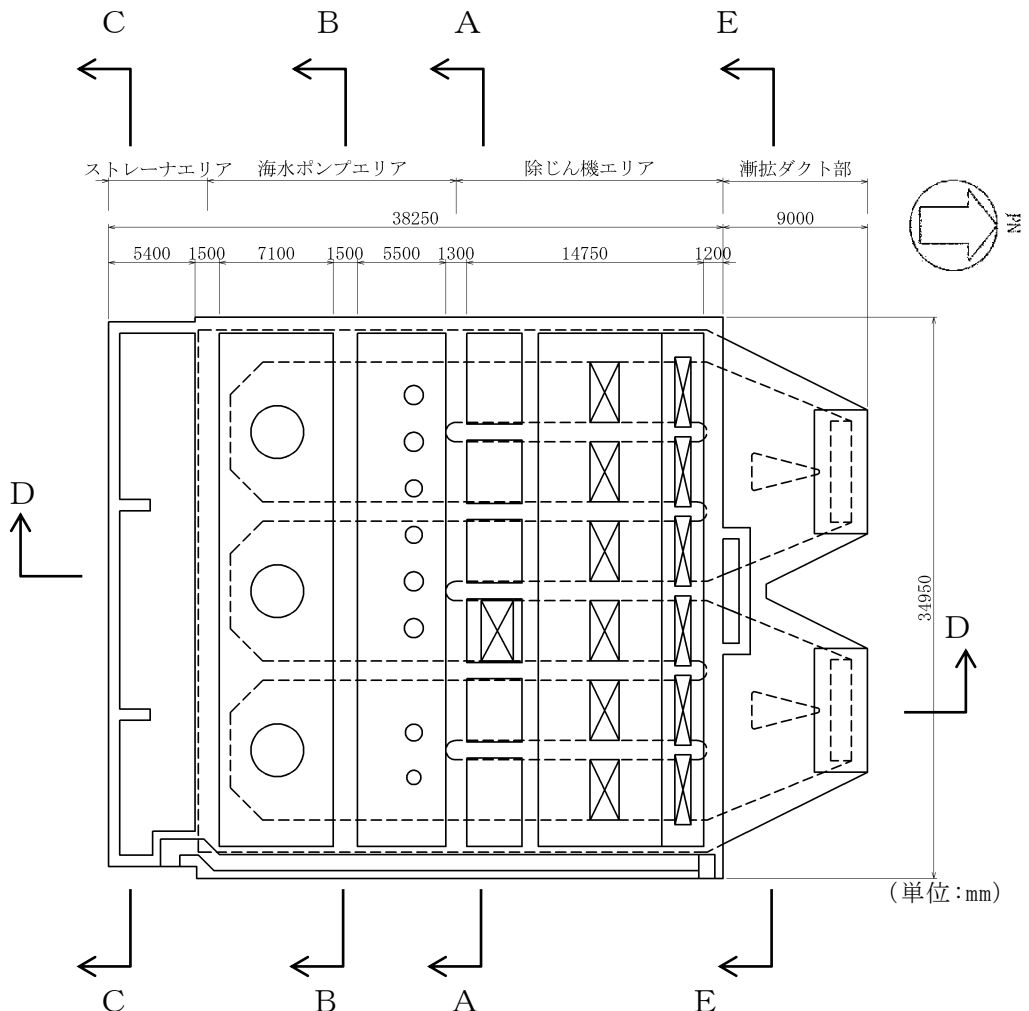


図 3-3-23 取水槽 平面図

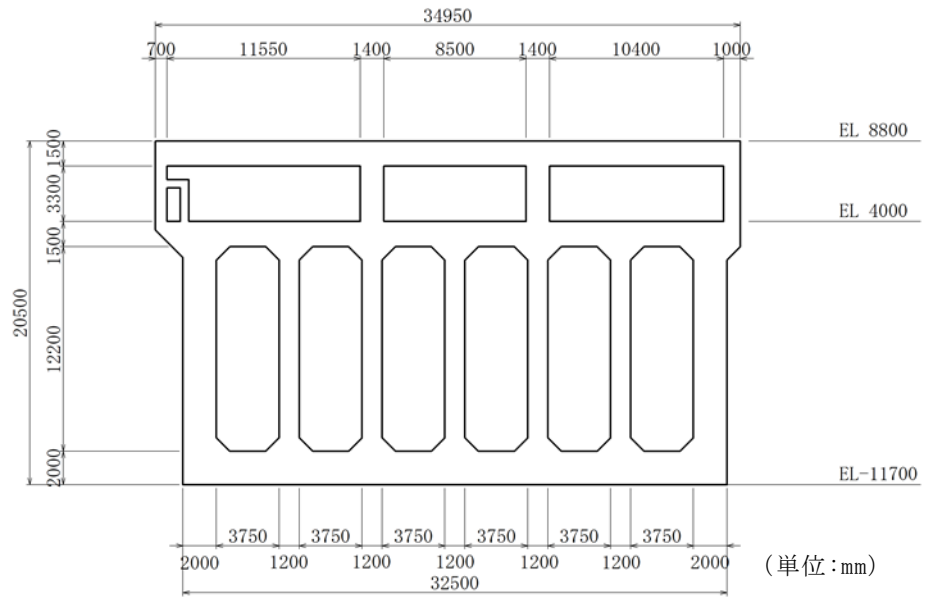


图 3-3-24 取水槽 断面图(A-A 断面)

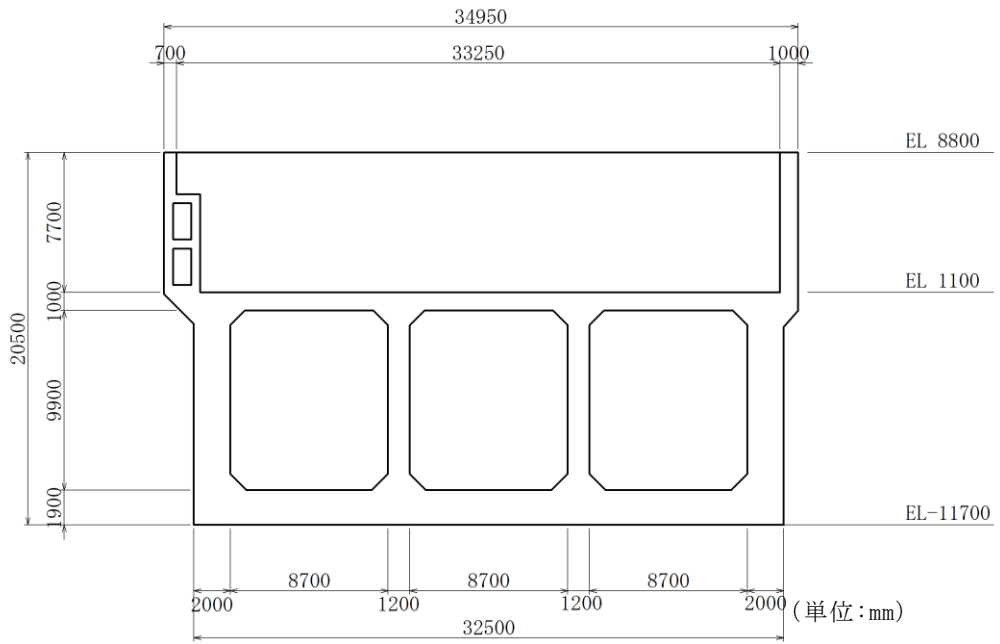
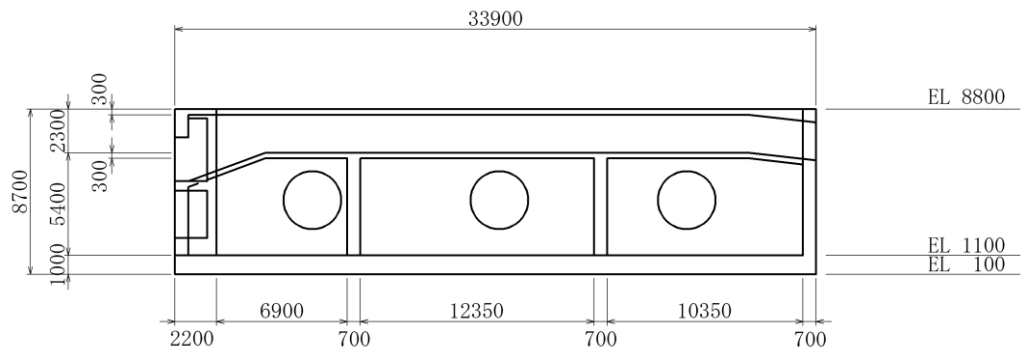
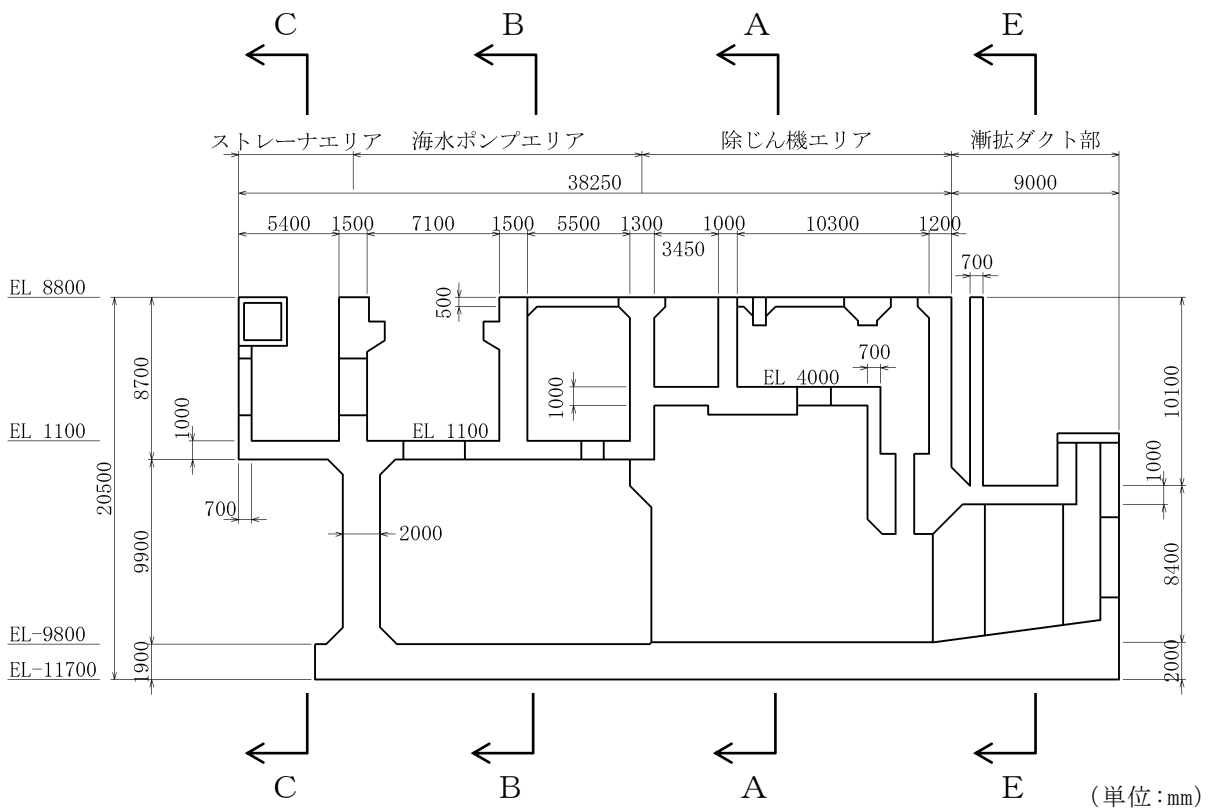


图 3-3-25 取水槽 断面图(B-B 断面)



(単位: mm)

図 3-3-26 取水槽 断面図(C-C断面)



(単位: mm)

図 3-3-27 取水槽 断面図(D-D断面)

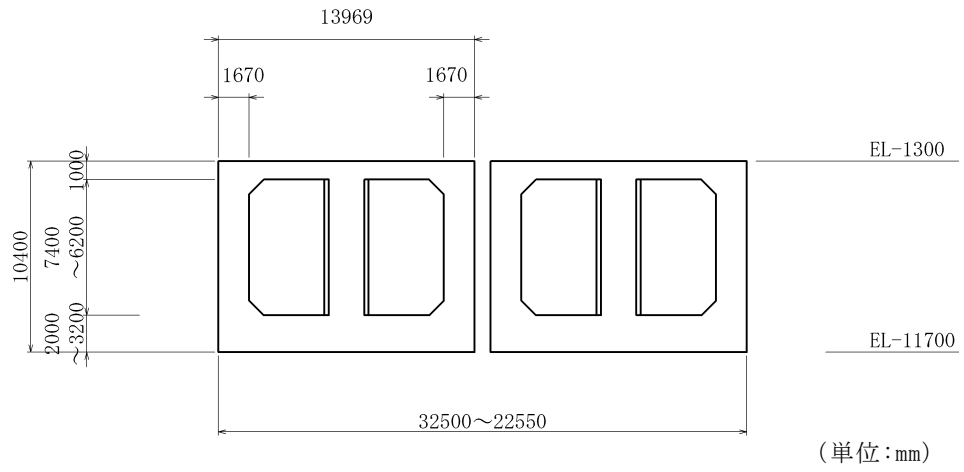


图 3-3-28 取水槽 断面图(E-E断面)

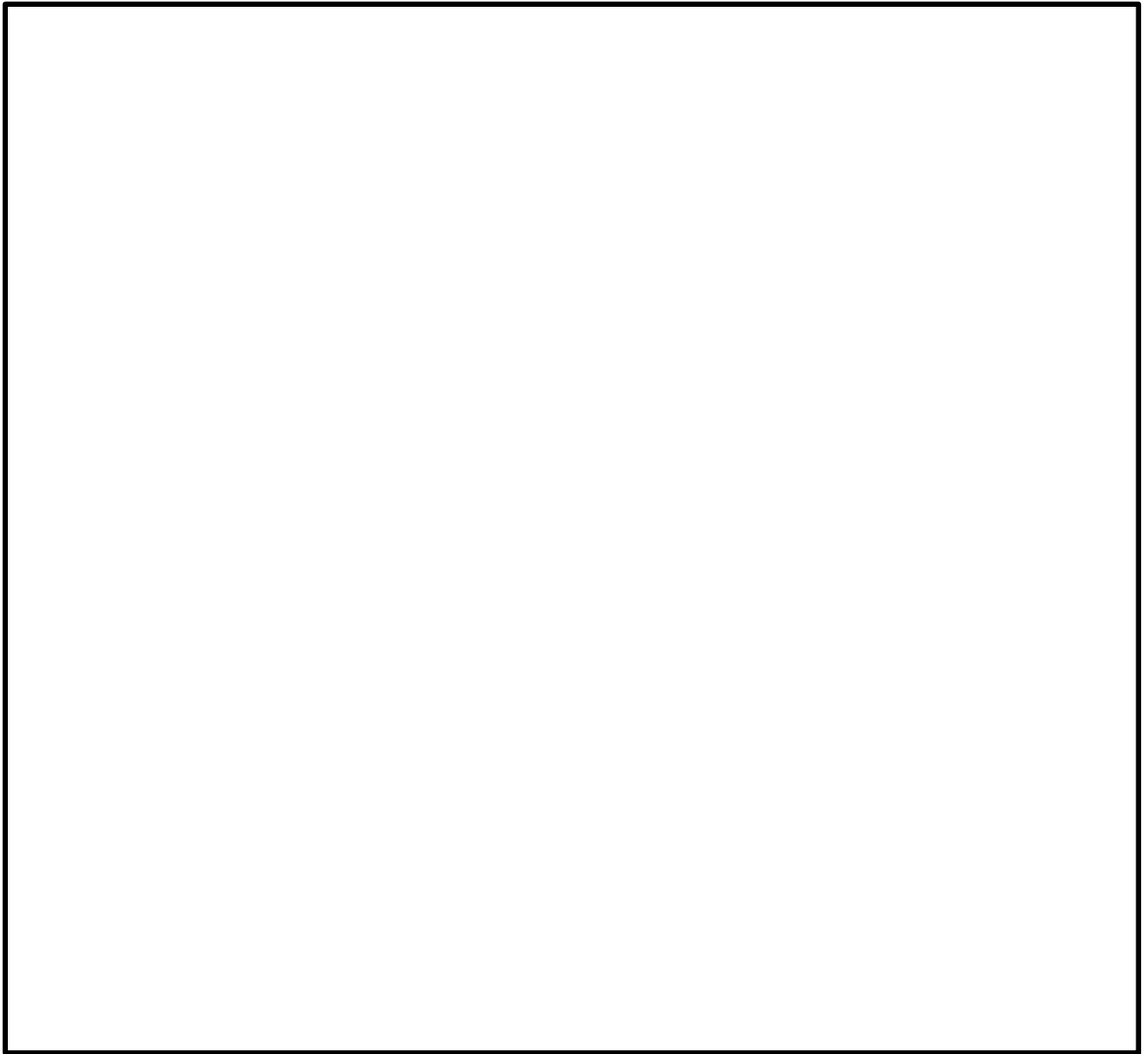


図 3-3-29 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 平面図



図 3-3-30 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (A-A断面)

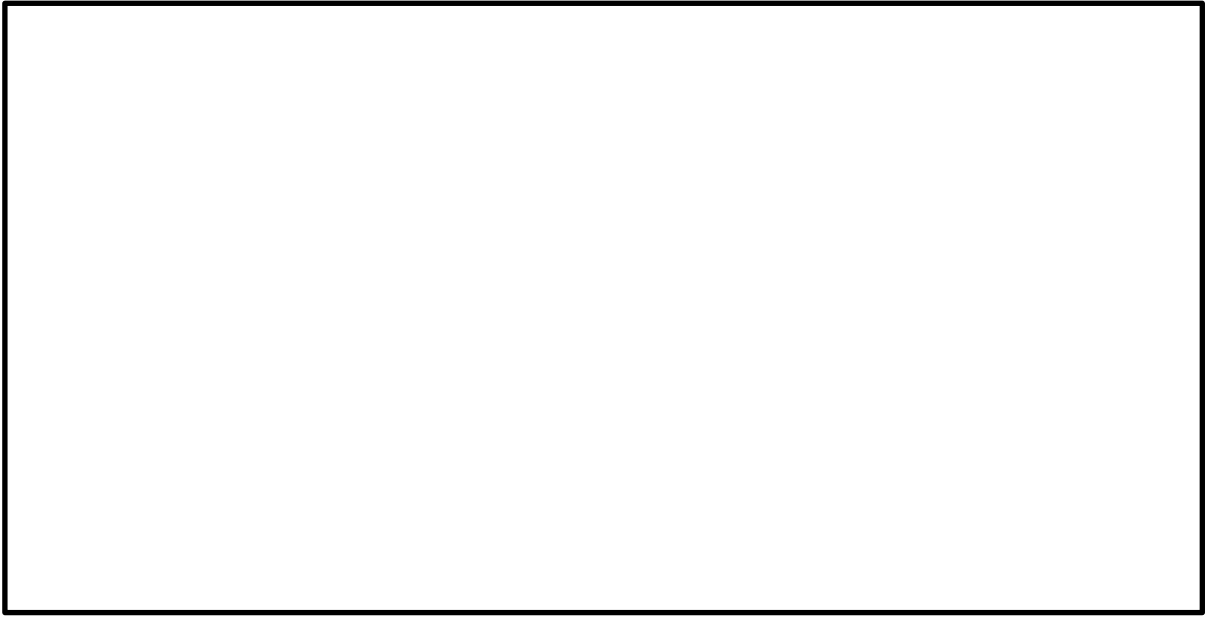


図 3-3-31 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (B-B 断面)

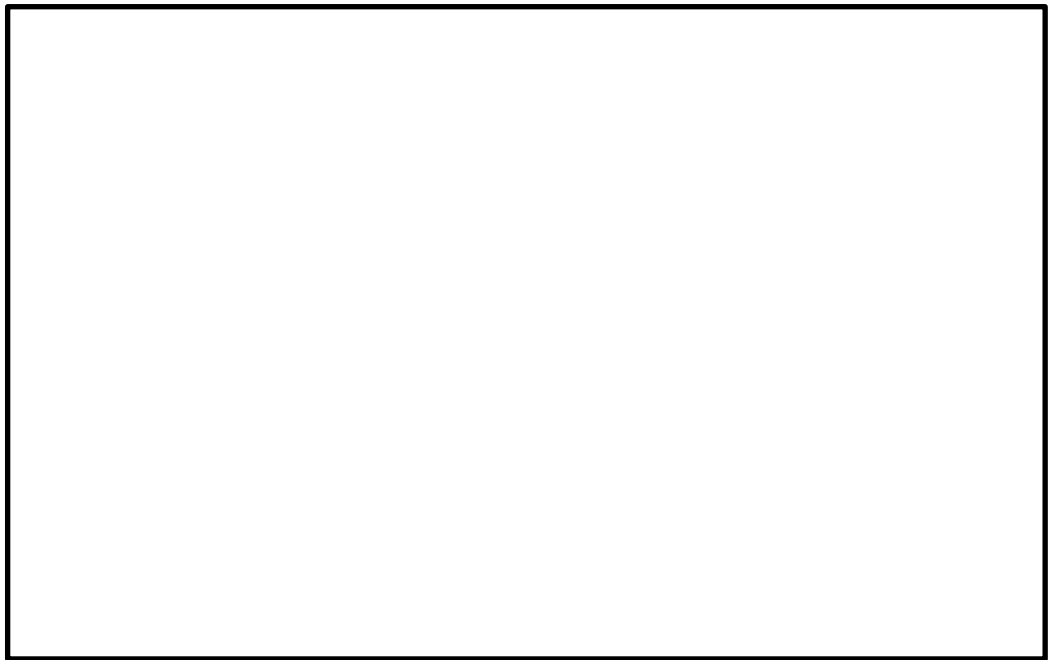


図 3-3-32 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (C-C 断面)

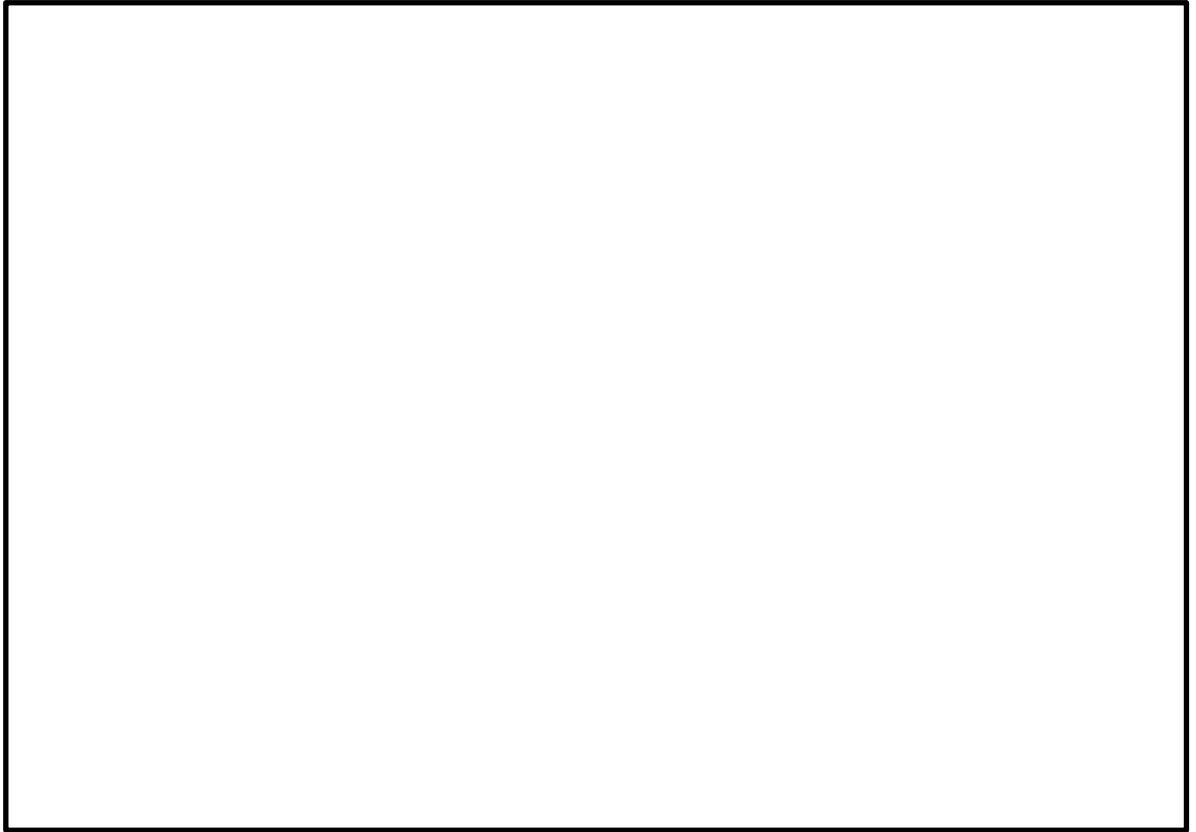


図 3-3-33 第 1 ベントフィルタ格納槽 平面図

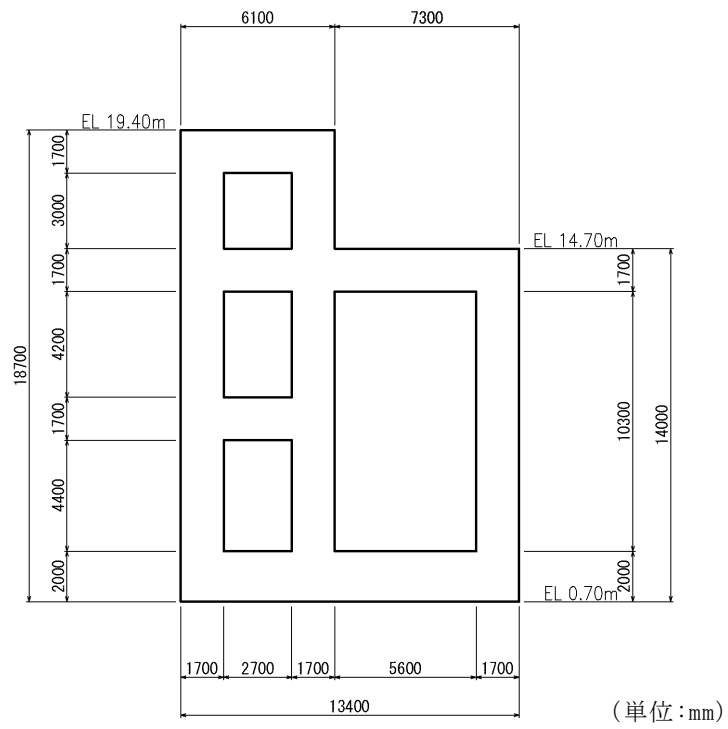


図 3-3-34 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (A-A断面)

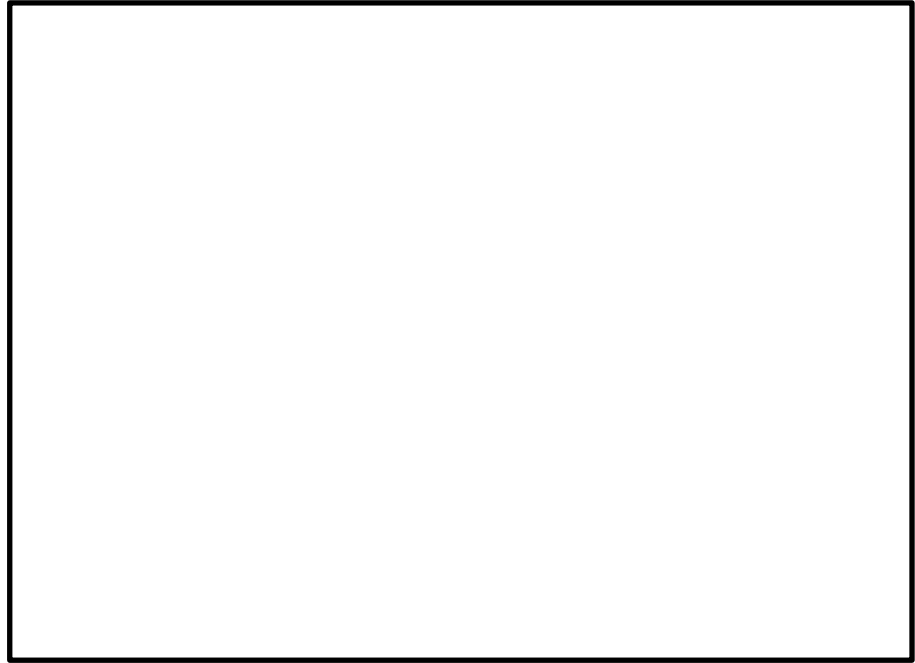


図 3-3-35 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (B-B 断面)

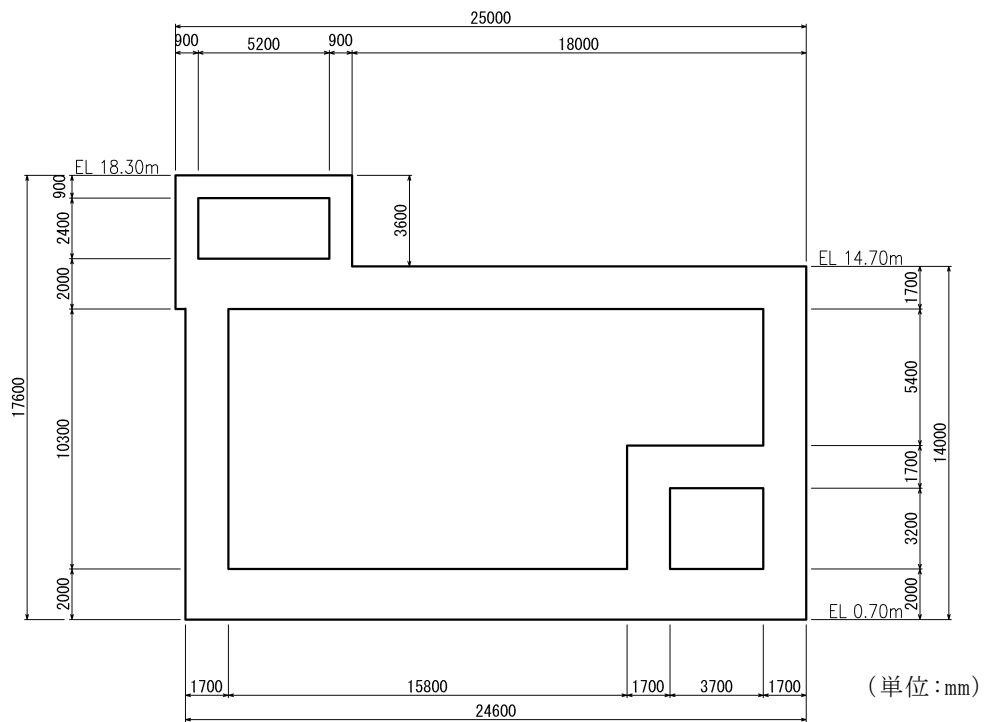


図 3-3-36 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (C-C 断面)

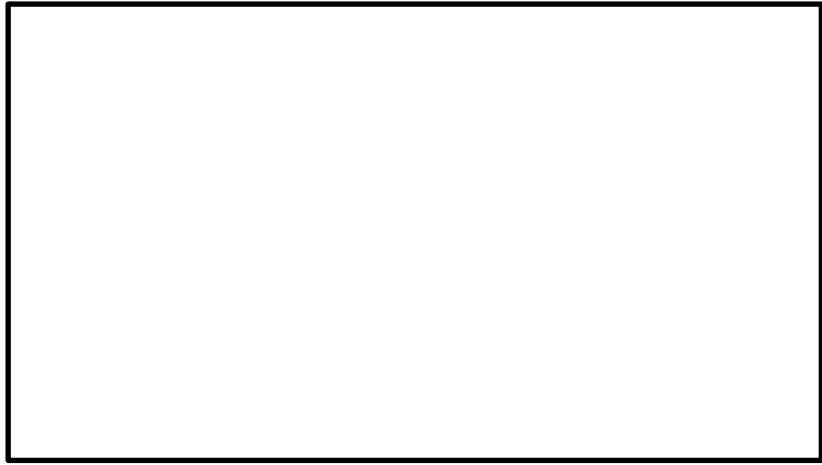


図 3-3-37 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (D-D 断面)

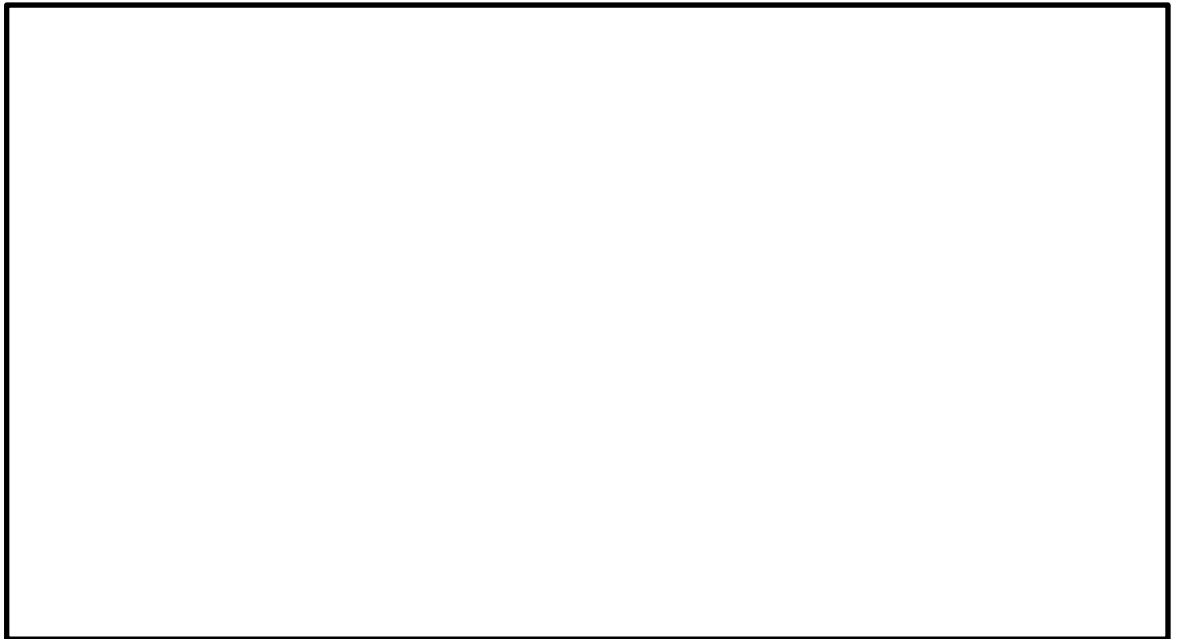


図 3-3-38 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

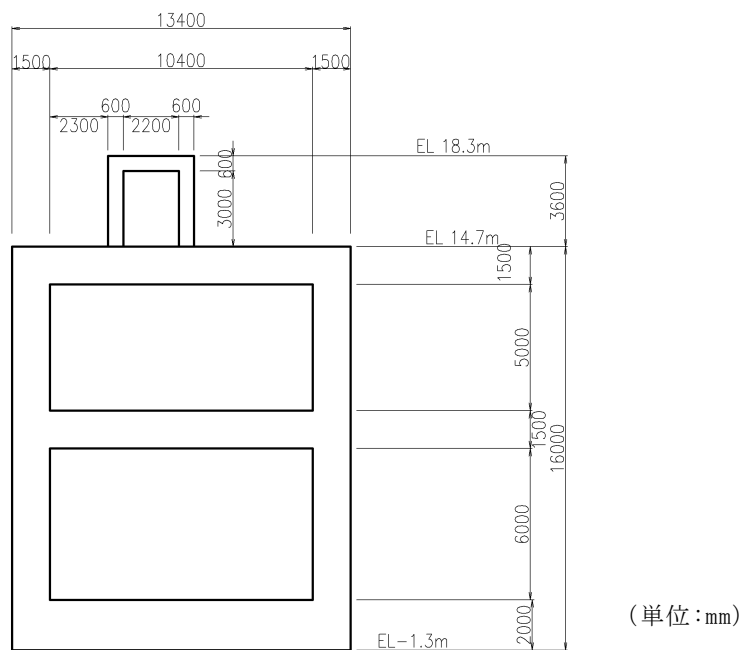


図 3-3-39 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A 断面)

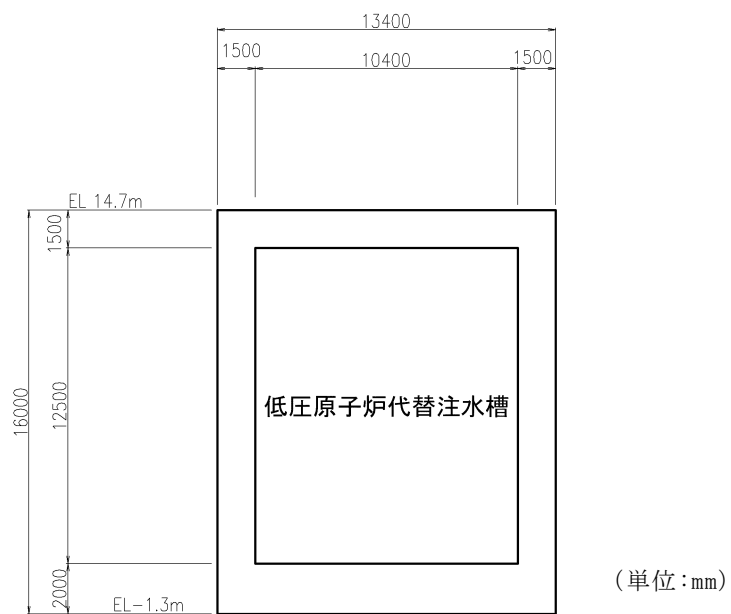


図 3-3-40 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B 断面)

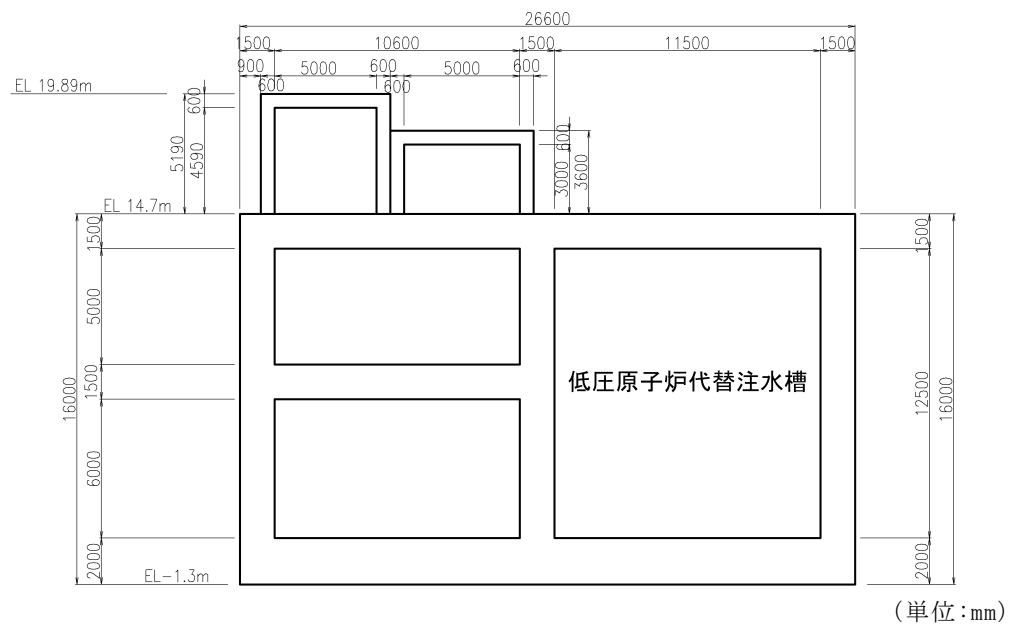


図 3-3-41 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C断面)

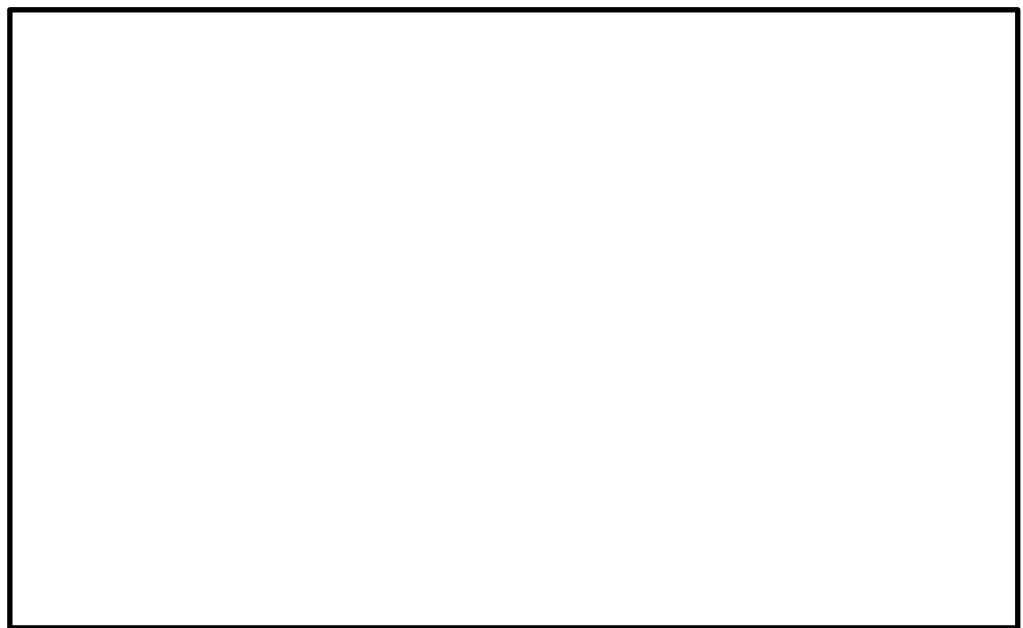


図 3-3-42 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (D-D断面)

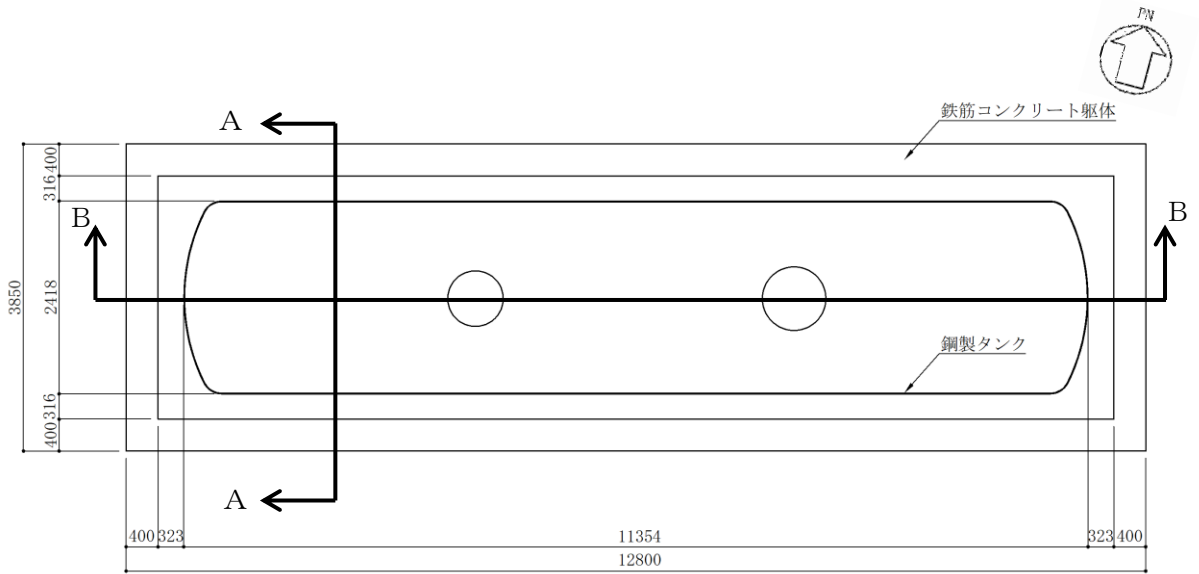
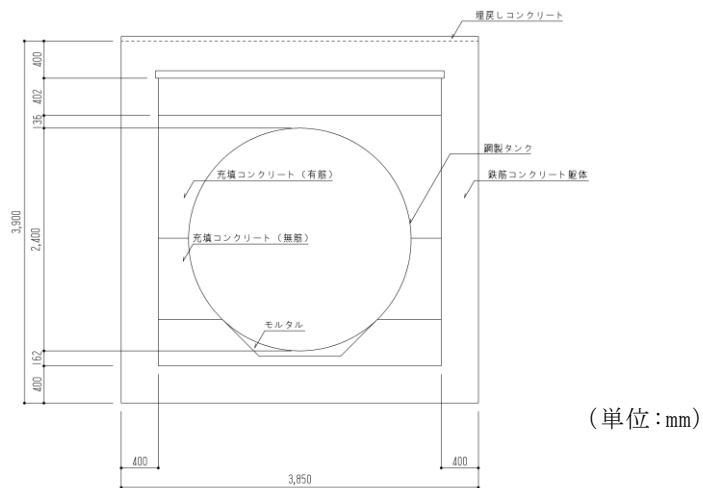
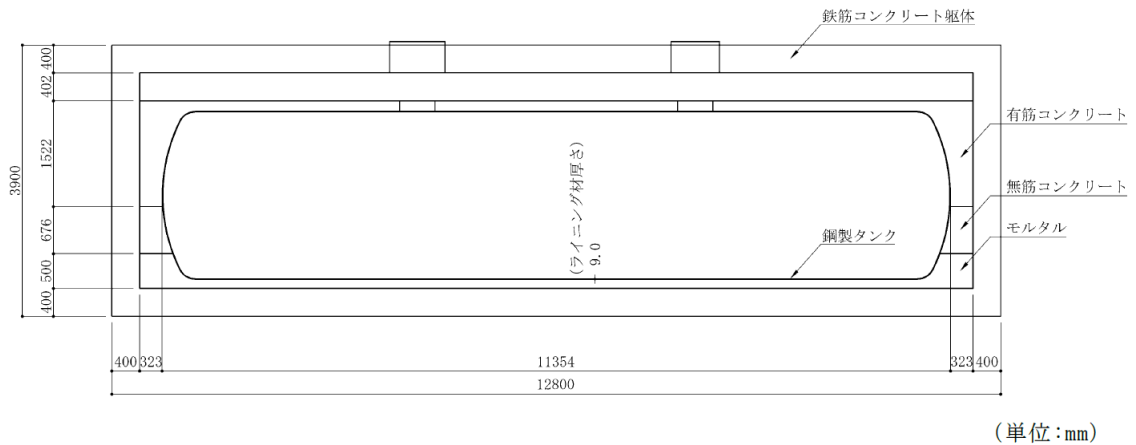


図 3-3-43 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図



(単位: mm)

図 3-3-44 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (A-A断面)



(単位: mm)

図 3-3-45 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (B-B断面)

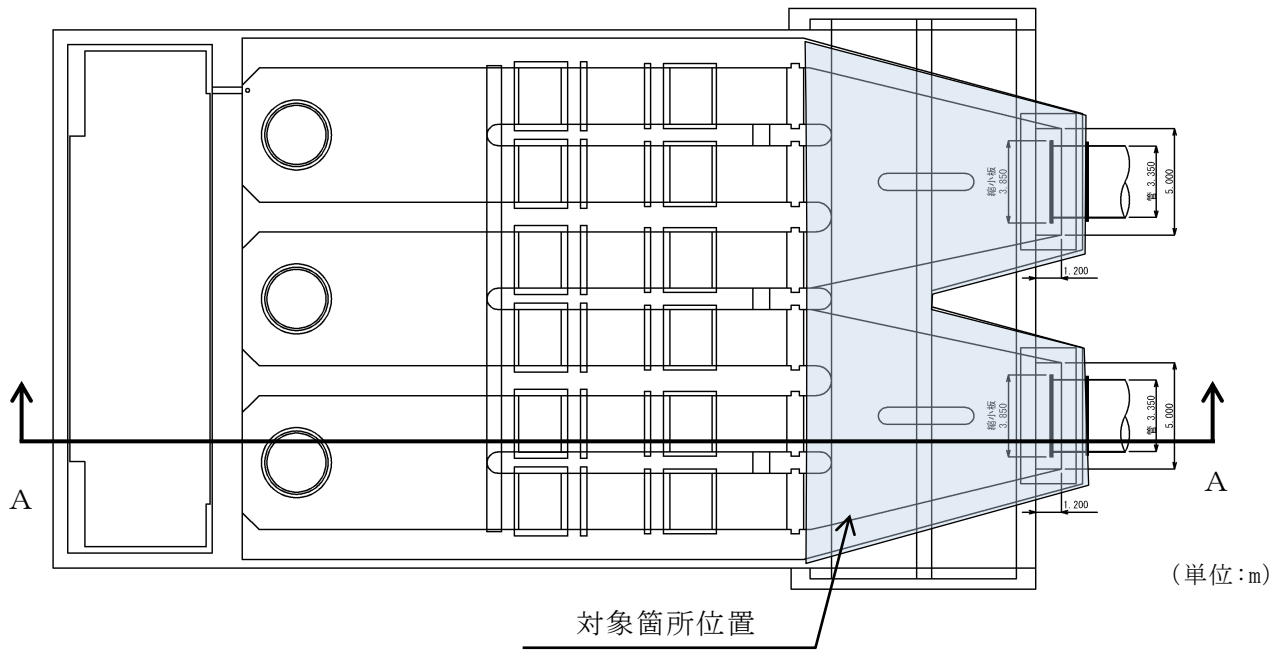


図 3-3-46 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版平面図

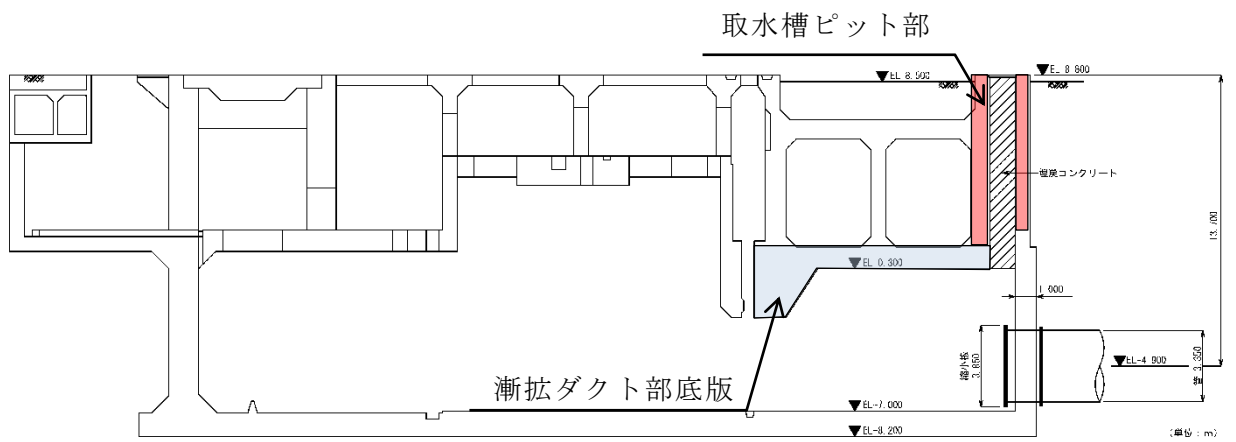


図 3-3-47 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版断面図
(A-A断面)

(2) 線状構造物

線状構造物については，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版の一部が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の頂板の一部と一体化している部位に，妻壁に相当する部位があり，3次元的な拘束効果が発生するため，一体化部に対して水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の平面図及び断面図を図3-3-48～図3-3-50に示す。断面図は一体化部が関係するB-B断面及びC-C断面のみ示す。断面図には，一体化部として影響評価を行う屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版を示す。

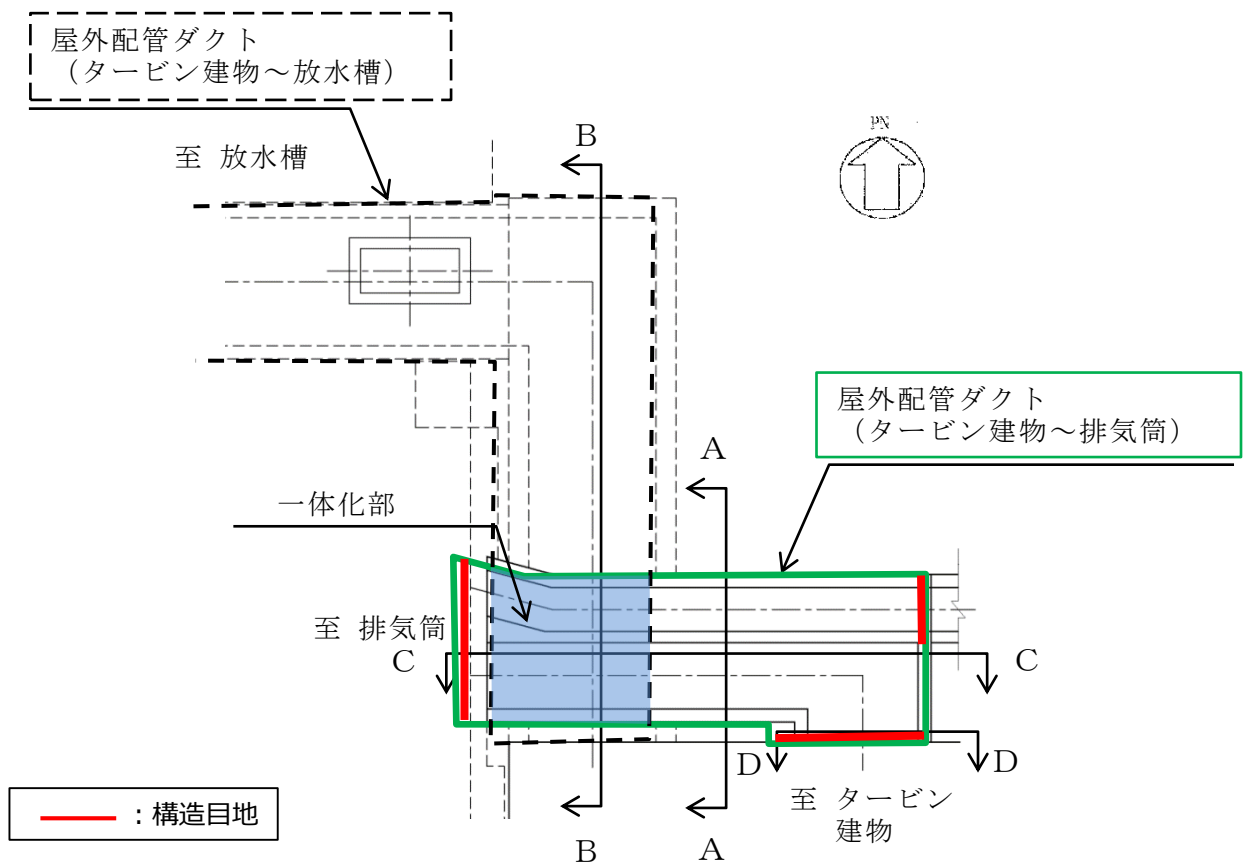


図3-3-48 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 平面図

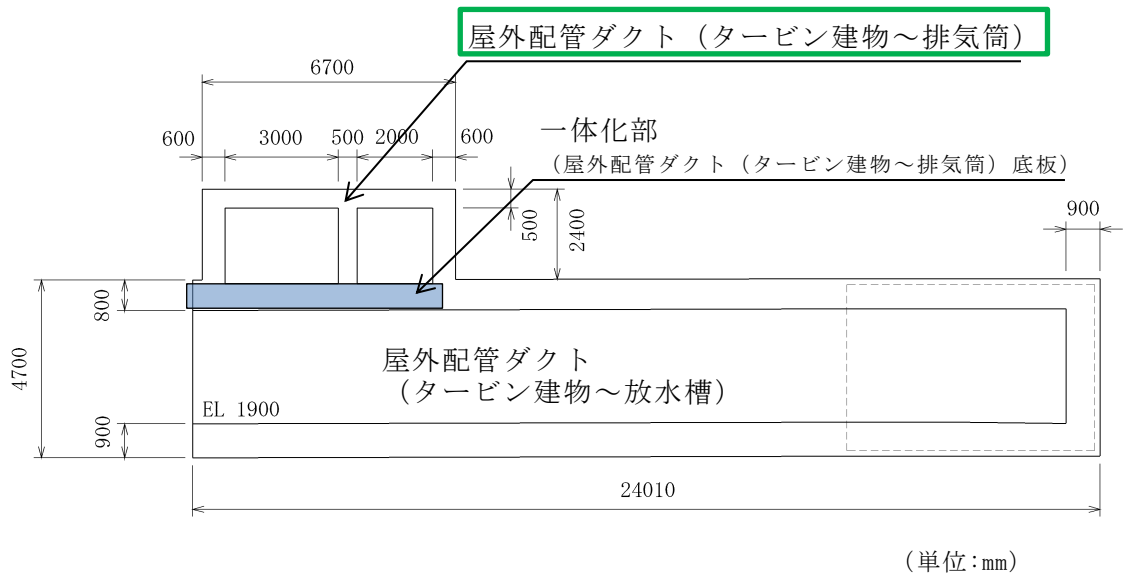


図 3-3-49 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (B-B 断面)

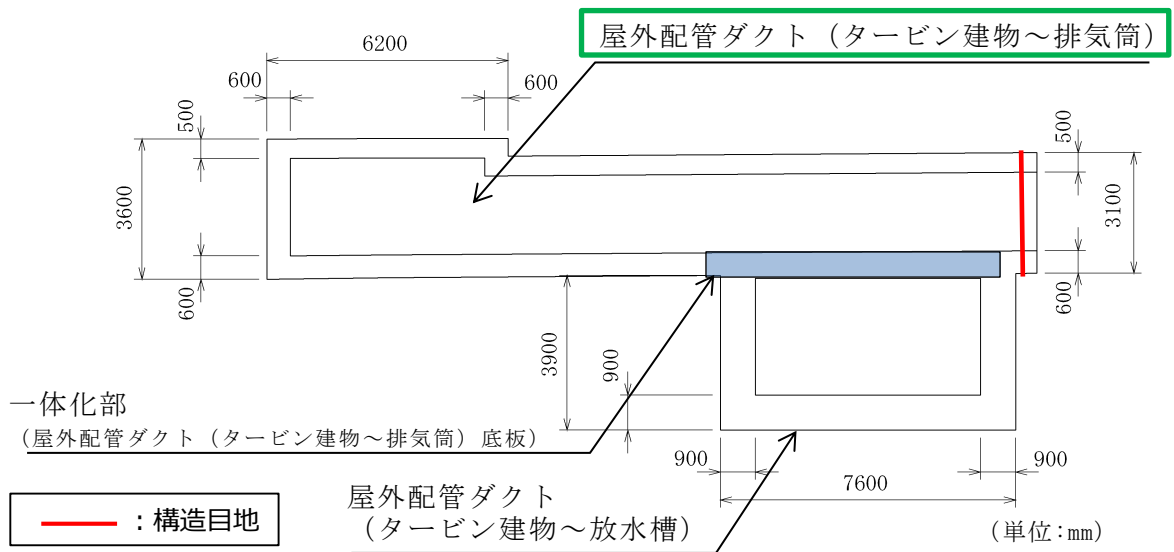


図 3-3-50 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (C-C 断面)

(3) 円筒状構造物

円筒状構造物については、取水口及び復水貯蔵タンク遮蔽壁に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。円筒状構造物の平面図及び断面図を図3-3-51～図3-3-55に示す。

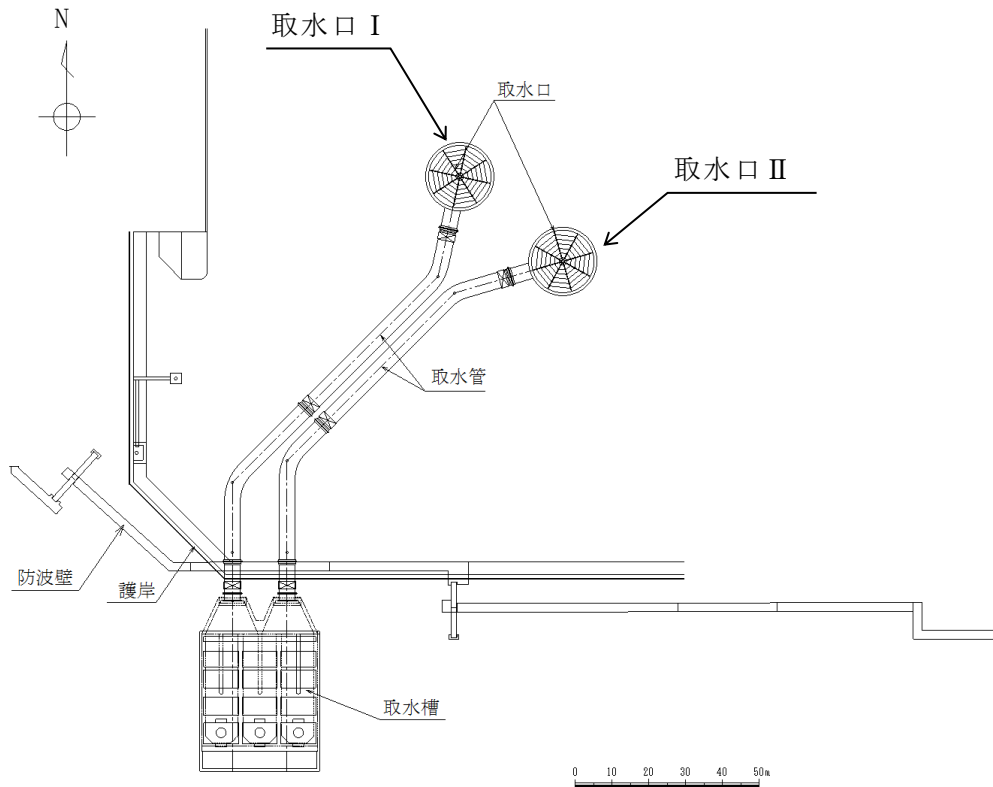


図3-3-51 取水口 平面図

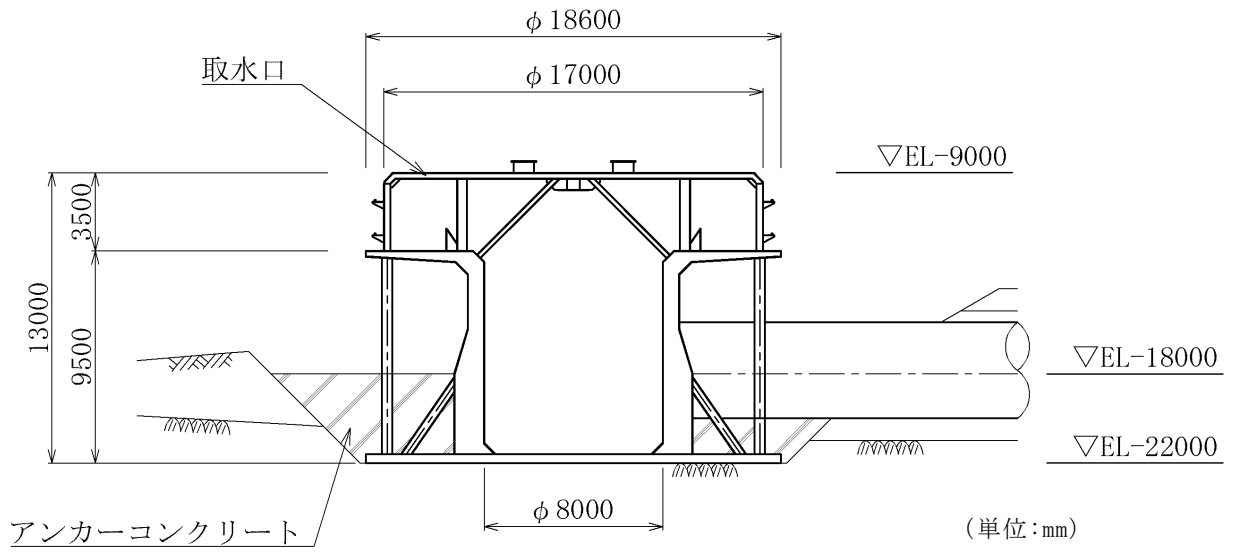


図 3-3-52 取水口 断面図 (A-A 断面)

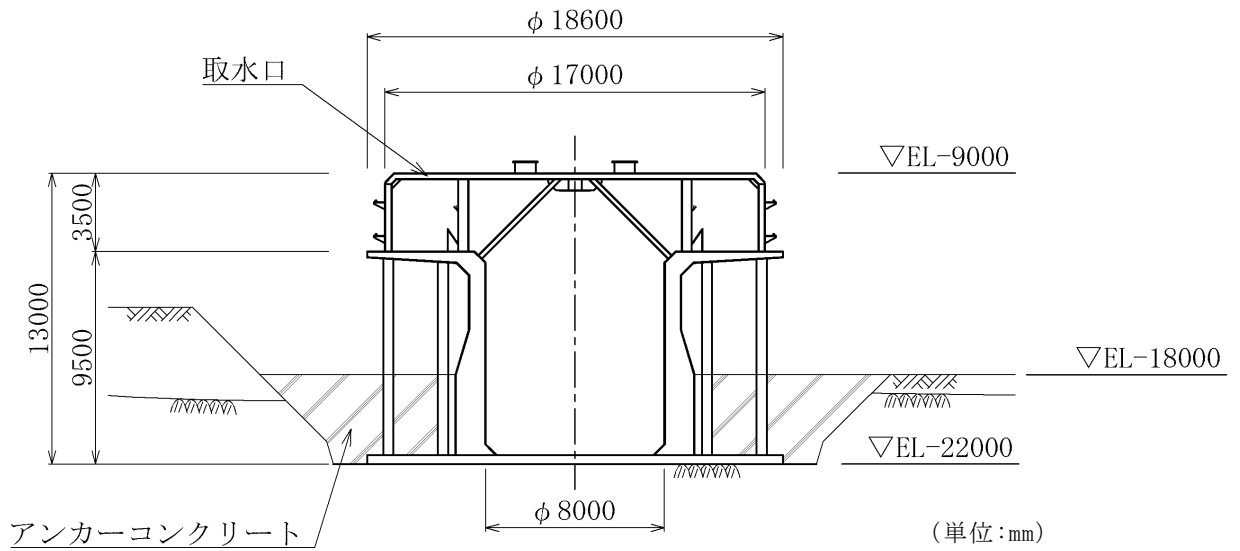


図 3-3-53 取水口 断面図 (B-B 断面)

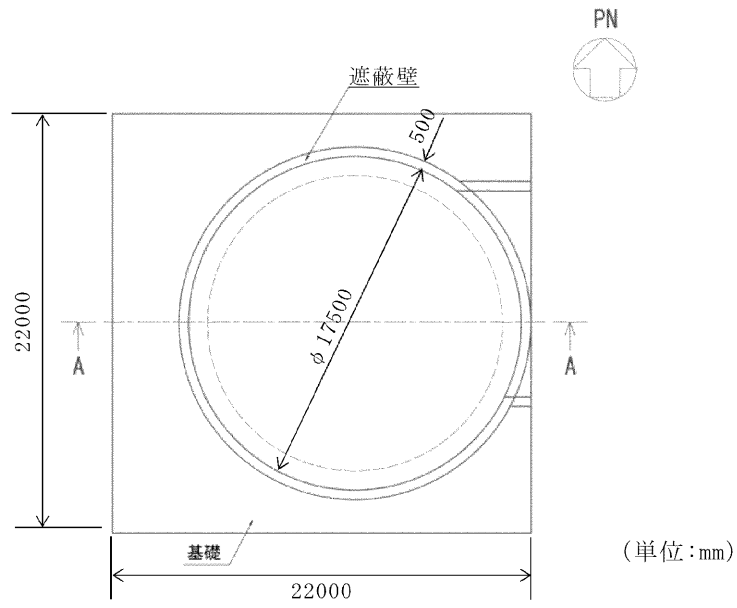


図 3-3-54 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

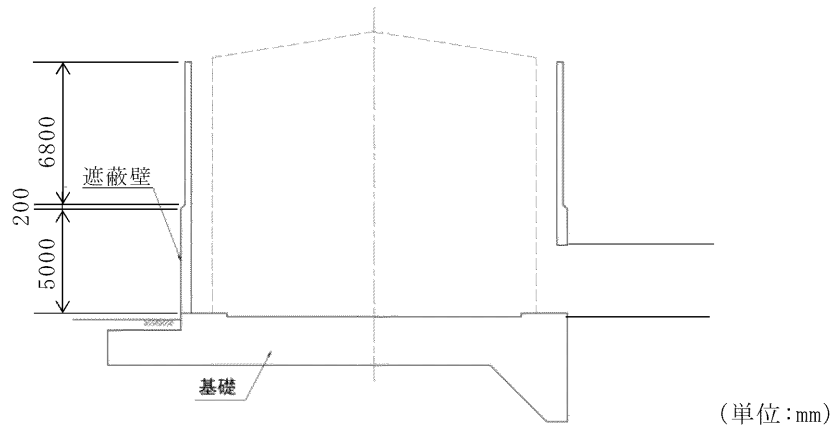


図 3-3-55 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A断面)

(4) 直接基礎

直接基礎については、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の平面図及び断面図を図3-3-56～図3-3-58に示す。

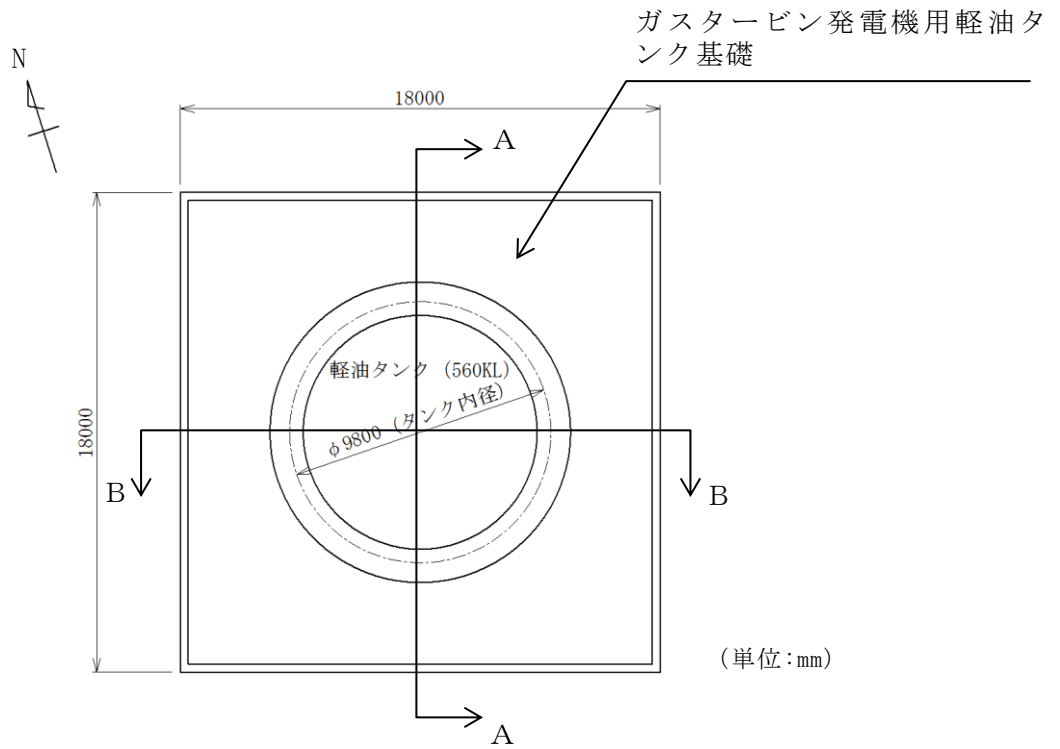


図3-3-56 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図

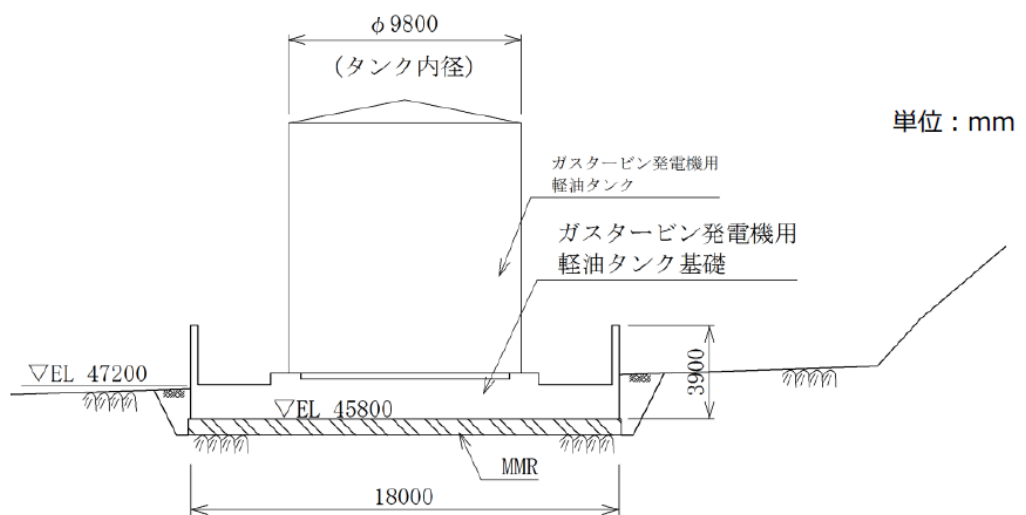


図3-3-57 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (A-A断面)

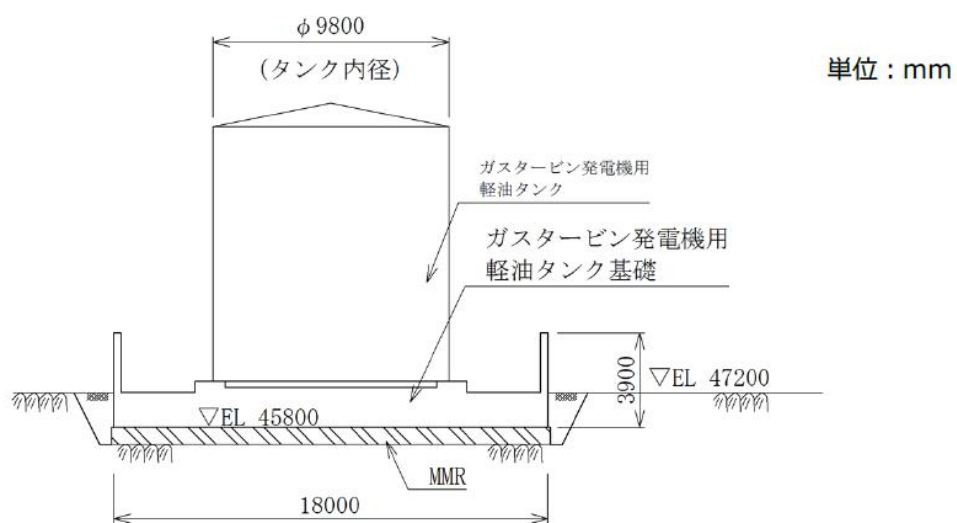


図 3-3-58 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (B-B断面)

(5) 管路構造物

管路構造物については，取水管に対して，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。取水管の平面図及び断面図を図 3-3-59～図 3-3-62 に示す。

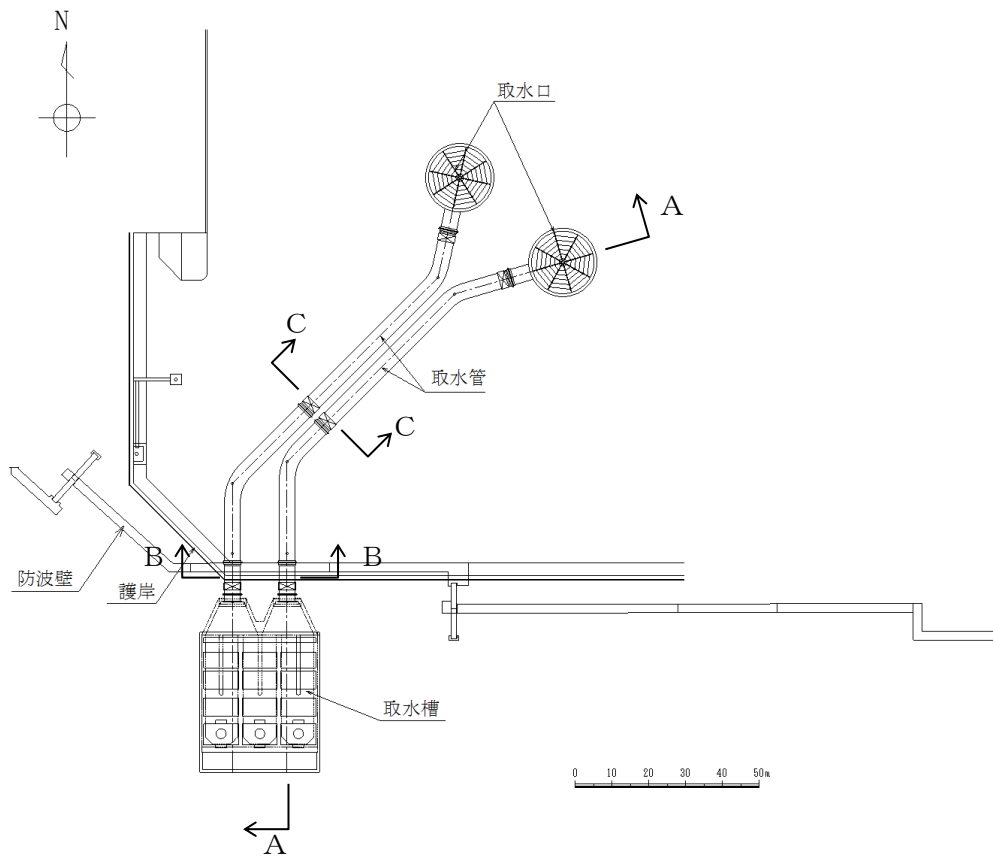


図 3-3-59 取水管 平面図

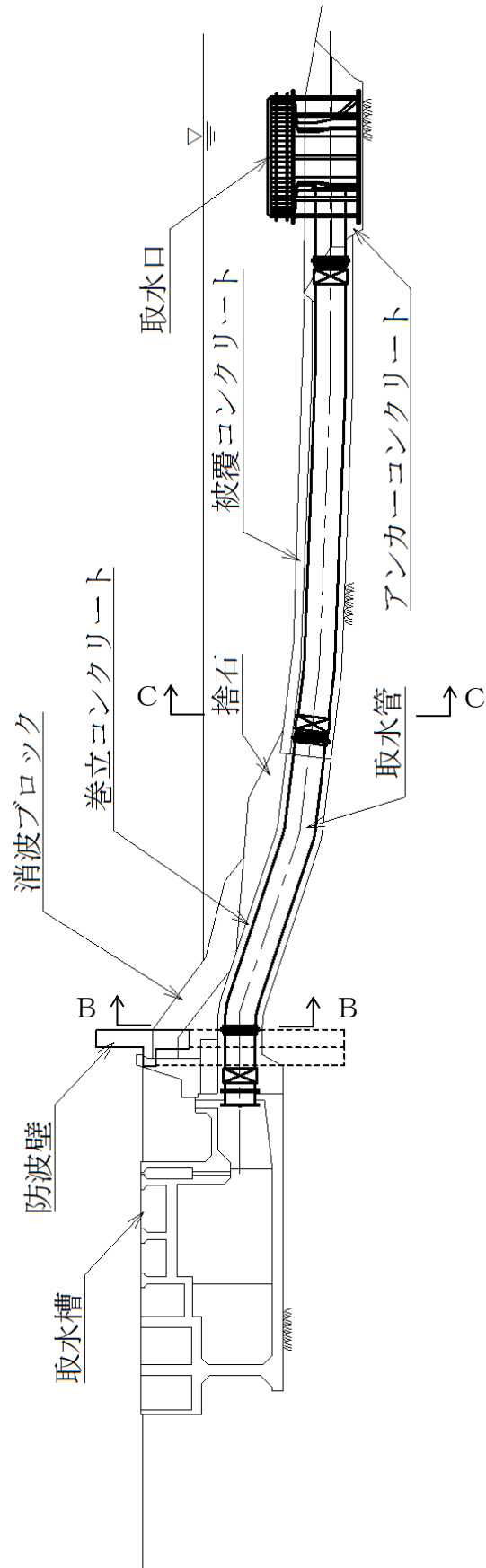


図 3-3-60 取水管 断面図 (A-A断面)

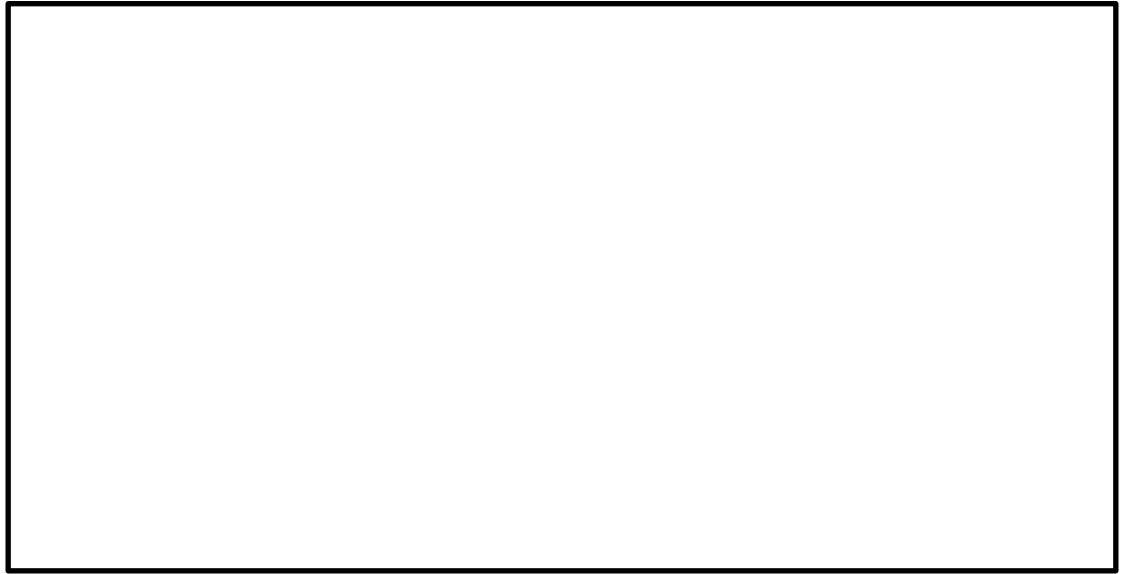


図 3-3-61 取水管 断面図 (B-B 断面)



図 3-3-62 取水管 断面図 (C-C 断面)

(6) 鉄骨構造

鉄骨構造については、仮設耐震構台の支持杭に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。仮設耐震構台の平面図及び断面図を図 3-3-63～65 に示す。

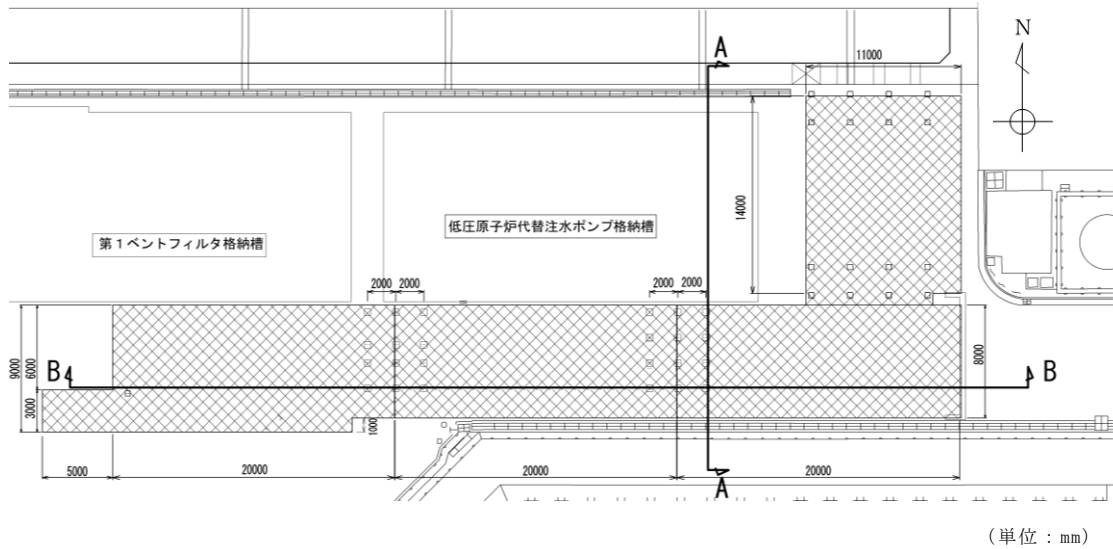


図 3-3-63 仮設耐震構台 平面図

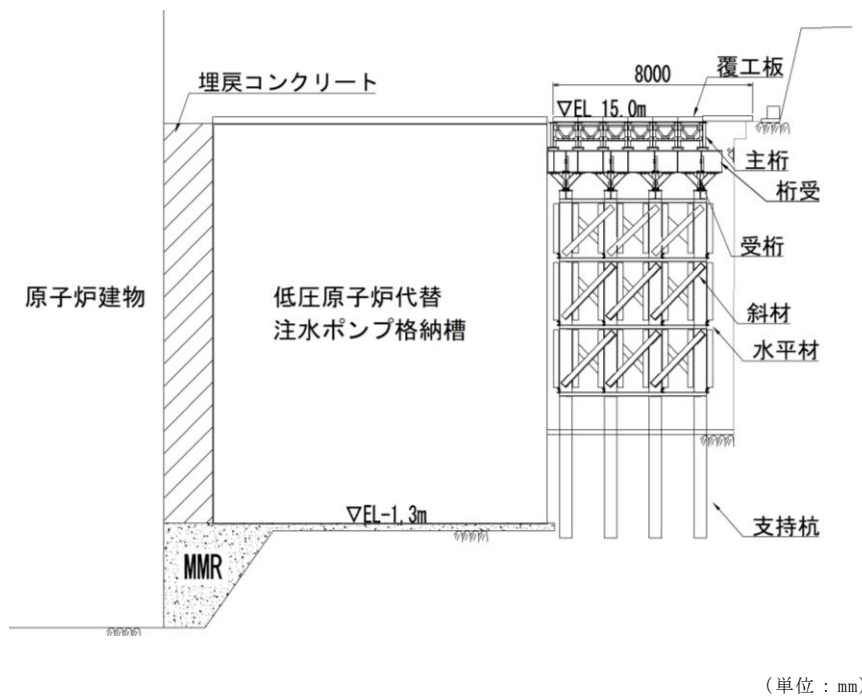
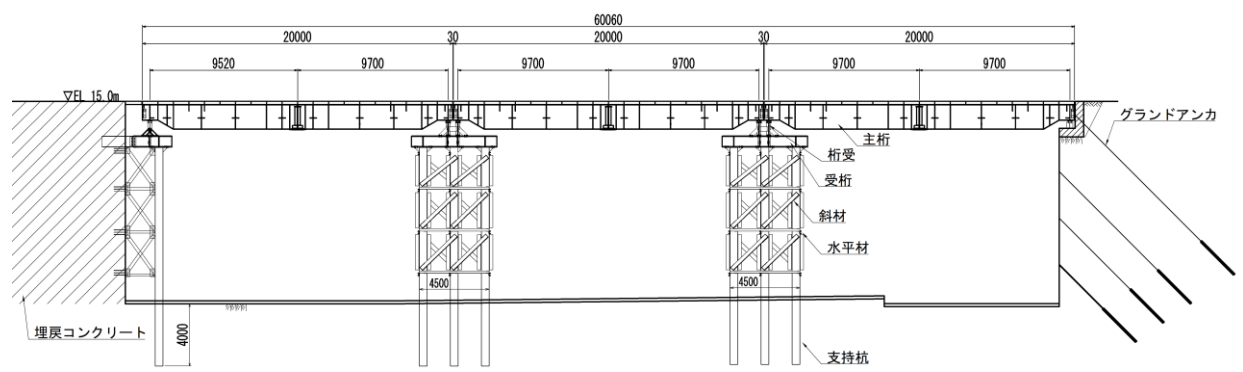


図 3-3-64 仮設耐震構台 断面図 (A-A 断面)



(単位：mm)

図 3-3-65 仮設耐震構台 断面図 (B-B 断面)

3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 箱型構造物

a. 評価方法

箱型構造物のうち、本書においては、矩形の構造物のうち構造が単純で水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が明確な B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽，第 1 ベントフィルタ格納槽，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽及び緊急時対策所用燃料地下タンクの評価結果を示す。

なお，取水槽については，VI-2-2-19「取水槽の耐震性についての計算書」において，1 号機取水槽ピット部及び 1 号機取水槽漸拡ダクト部底版については，VI-2-11-2-4「1 号機取水槽ピット部及び 1 号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性についての計算書」において，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認している。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については，箱型構造物の弱軸方向断面及び強軸方向断面におけるそれぞれの 2 次元地震応答解析にて，互いに干渉し合う断面力や応力を選定し，弱軸方向加振における部材照査において，強軸方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸方向加振については，箱型構造物の隔壁・側壁が，強軸方向加振にて耐震壁としての役割を担うことから，当該構造部材を耐震壁と見なし，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999）」（以下「RC 規準」という。）に準拠し耐震評価を実施する。

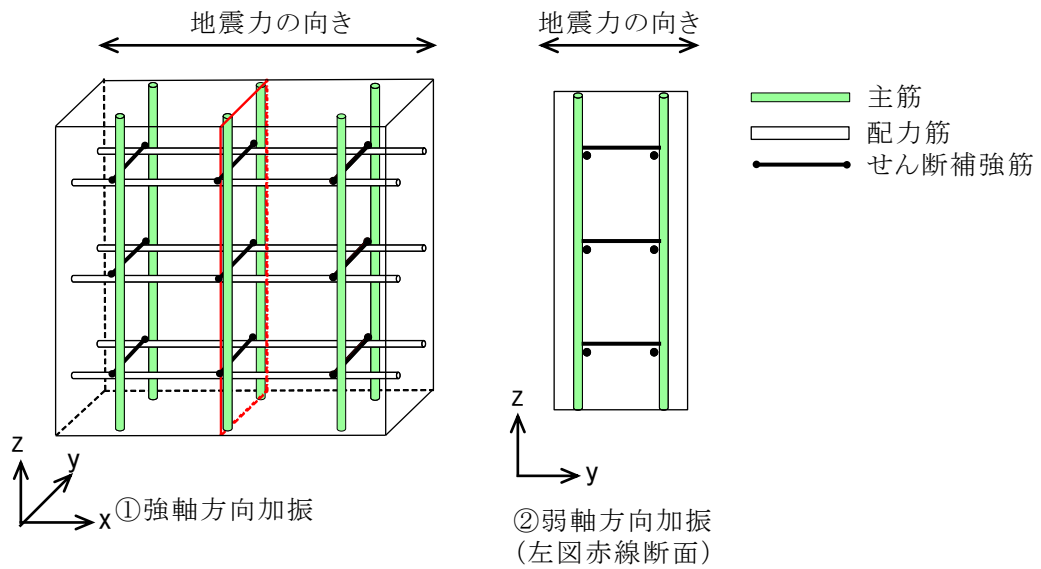
RC 規準では，耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して，コンクリートのみで負担できるせん断耐力と，鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって，壁部材に生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば，鉄筋によるせん断負担はなく鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

一方，強軸方向加振にて生じるせん断力を，箱型構造物の隔壁・側壁のコンクリートのみで負担できず，鉄筋に負担させる場合，図 3-3-66 に示すとおり，強軸方向加振にて発生する側壁・隔壁の主筋の発生応力が，弱軸方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

したがって，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては，強軸方向加振にて発生する応力を，弱軸方向における構造部材の照査に付加することで，その影響の有無を検討する。

弱軸方向及び強軸方向の地震応答解析では，保守的に両方とも基準地震動 S_s を用いる。

図 3-3-67 に水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価フローを示す。

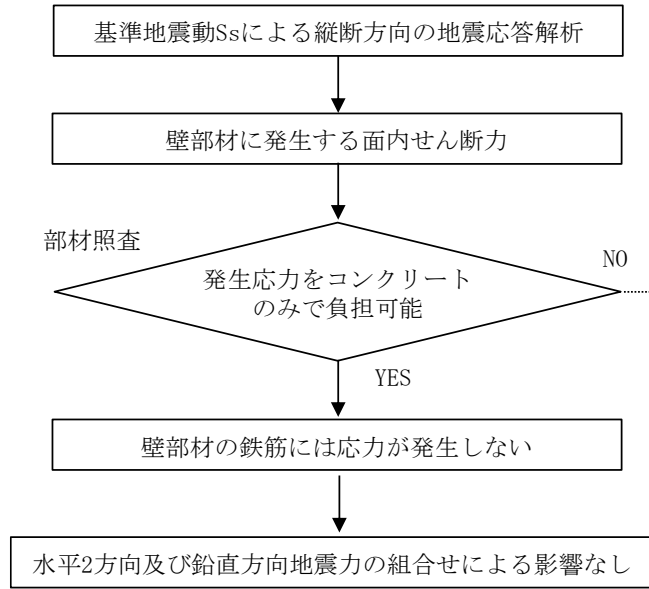


		①強軸方向加振	②弱軸方向加振	備考
断面力	My (y軸まわりの曲げモーメント)	△	×	
	Mx (x軸まわりの曲げモーメント)	×	○	
	Nz (鉛直方向軸力)	○	○	互いに干渉する可能性あり
	Nzx (zx平面内せん断)	○	×	
	Qz (z方向面外せん断)	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

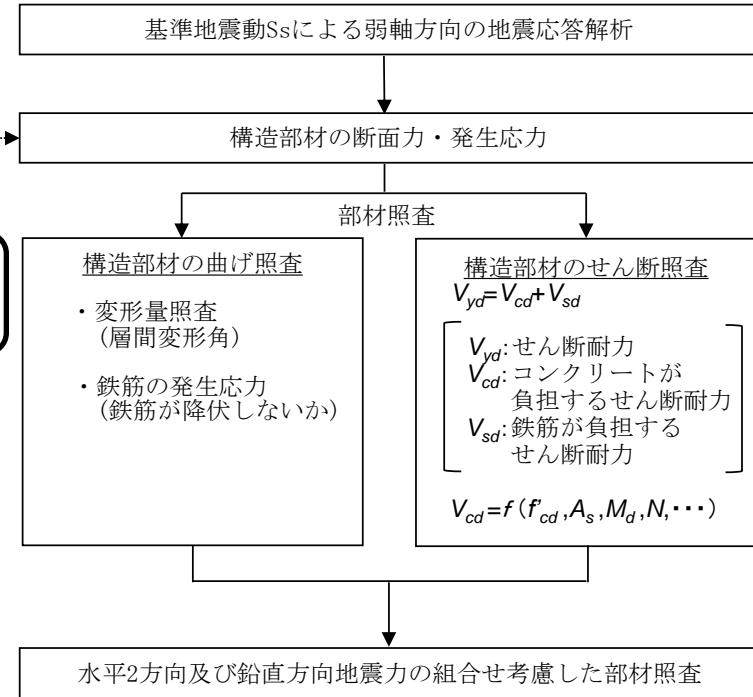
(○：発生する可能性あり，△：発生する可能性があるが極めて軽微，×：発生しない)

図 3-3-66 強軸方向加振及び弱軸方向加振において発生する断面力・応力

○強軸方向での地震応答解析及び部材照査



○弱軸方向での地震応答解析及び部材照査



強軸方向加振による発生応力を考慮

：両加振の耐震評価の関連性

図 3-3-67 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

b. 評価条件

箱型構造物の評価条件については、各構造物それぞれに対応する地震応答計算書に記載の解析手法、解析モデルの設置、解析ケース及び地震動とする。

c. 許容限界

許容限界は、RC規準を参考に、以下の式で求まるコンクリートの許容せん断力 (Q_1) から算定する短期許容せん断応力度 τ_A とする。

$$Q_1 = t \cdot l \cdot f_s$$

ここで、

t : 壁の厚さ

l : 壁部材の幅

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

(($F_c/30$ かつ $0.5 + F_c/100$ 以下) の 1.5 倍)

d. 評価結果

(a) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

強軸方向断面（B-B断面）にて発生する面内せん断応力度は、表3-3-4に示すとおり最大で0.47（N/mm²）である。一方で、RC規準による許容限界である短期許容せん断応力度は1.11（N/mm²）であり、照査値は1.0を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表3-3-4 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	τ_{\max} / τ_A
①	S s - D	++	0.39	1.11	0.36
		-+	0.34		0.31
		+ -	0.40		0.37
		--	0.34		0.31
	S s - F 1	++	0.26		0.24
	S s - F 2	++	0.29		0.27
	S s - N 1	++	0.25		0.23
		-+	0.33		0.30
	S s - N 2 (N S)	++	0.25		0.23
		-+	0.28		0.26
S s - N 2 (E W)	++	0.25	0.23		
	-+	0.28	0.25		
②	S s - D	+ -	0.37	0.34	
③	S s - D	+ -	0.47	0.43	

注：評価位置を図3-3-68に示す。

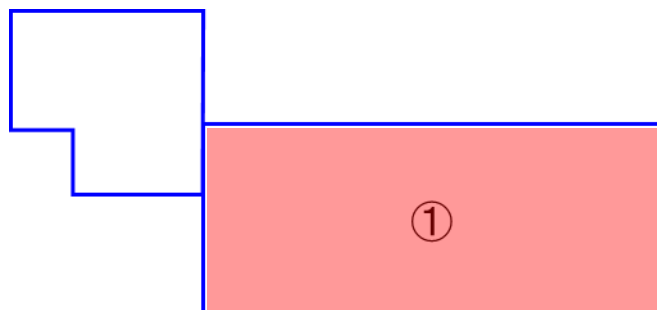


図3-3-68 評価位置図

(b) 第1ベントフィルタ格納槽

強軸方向断面（C-C断面）にて発生する面内せん断応力度は、表3-3-5～表3-3-8に示すとおり最大で0.76（N/mm²）である。一方で、RC規準による許容限界である短期許容せん断応力度は1.11（N/mm²）であり、照査値は1.0を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表3-3-5 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{\max}/τ_A
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.20	1.11	0.18
		-+	0.20		0.19
		+ -	0.20		0.18
		--	0.18		0.16
	S _s -F 1	++	0.16		0.15
	S _s -F 2	++	0.14		0.13
	S _s -N 1	++	0.14		0.13
		-+	0.13		0.13
	S _s -N 2 (NS)	++	0.13		0.12
		-+	0.13		0.12
	S _s -N 2 (EW)	++	0.14		0.13
		-+	0.12		0.11
②	S _s -N 1	-+	0.13	0.12	
③	S _s -N 1	-+	0.14	0.13	
④	S _s -N 1	-+	0.21	0.19	
⑤	S _s -N 1	-+	0.21	0.19	

注：評価位置を図3-3-69に示す。

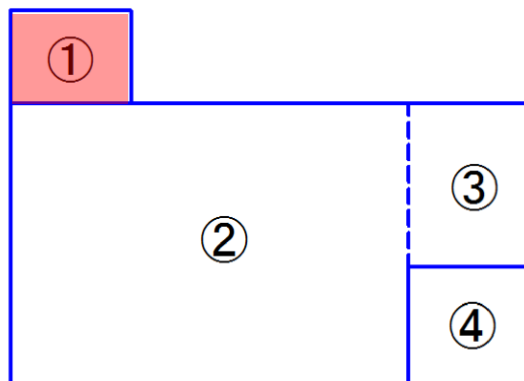


図3-3-69 評価位置図

表 3-3-6 面内せん断に対する照査結果 (対象部位②)

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{\max} / τ_A
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.53	1.11	0.48
		-+	0.45		0.41
		+ -	0.52		0.47
		--	0.45		0.41
	S _s -F 1	++	0.38		0.34
	S _s -F 2	++	0.35		0.32
	S _s -N 1	++	0.36		0.33
		-+	0.39		0.36
	S _s -N 2 (NS)	++	0.34		0.31
		-+	0.34		0.31
	S _s -N 2 (EW)	++	0.35		0.32
		-+	0.33		0.30
	②	S _s -N 1	-+		0.39
③	S _s -N 1	-+	0.39	0.36	
④	S _s -N 1	-+	0.44	0.40	
⑤	S _s -N 1	-+	0.44	0.40	

注：評価位置を図 3-3-70 に示す。

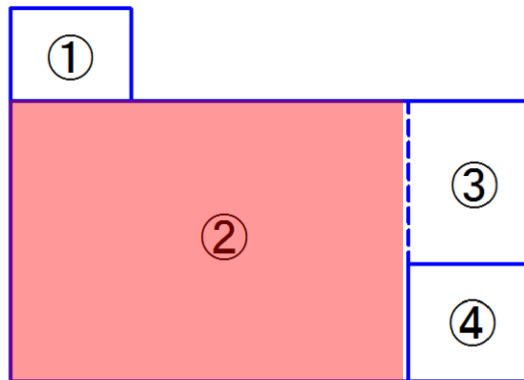


図 3-3-70 評価位置図

表 3-3-7 面内せん断に対する照査結果（対象部位③）

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{\max} / τ_A
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.61	1.11	0.55
		-+	0.57		0.52
		+ -	0.59		0.54
		--	0.57		0.52
	S _s -F 1	++	0.44		0.40
	S _s -F 2	++	0.42		0.38
	S _s -N 1	++	0.37		0.34
		-+	0.46		0.41
	S _s -N 2 (NS)	++	0.37		0.34
		-+	0.37		0.34
	S _s -N 2 (EW)	++	0.35		0.32
		-+	0.39		0.36
②	S _s -N 1	-+	0.45	0.41	
③	S _s -N 1	-+	0.46	0.42	
④	S _s -N 1	-+	0.45	0.45	
⑤	S _s -N 1	-+	0.45	0.45	

注：評価位置を図 3-3-71 に示す。

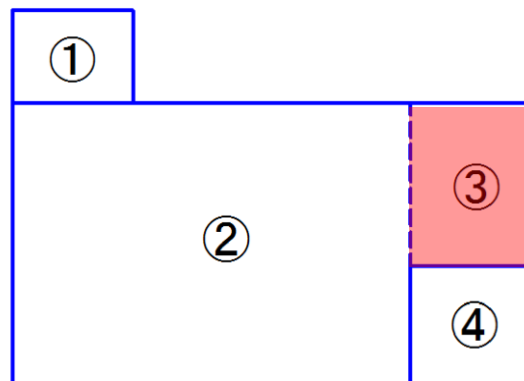


図 3-3-71 評価位置図

表 3-3-8 面内せん断に対する照査結果 (対象部位④)

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{\max} / τ_A
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.76	1.11	0.69
		-+	0.66		0.60
		+ -	0.75		0.68
		--	0.71		0.64
	S _s -F 1	++	0.51		0.46
	S _s -F 2	++	0.55		0.50
	S _s -N 1	++	0.48		0.44
		-+	0.56		0.50
	S _s -N 2 (NS)	++	0.47		0.43
		-+	0.47		0.43
	S _s -N 2 (EW)	++	0.47		0.43
		-+	0.45		0.41
②	S _s -N 1	-+	0.55	0.50	
③	S _s -N 1	-+	0.57	0.52	
④	S _s -N 1	-+	0.59	0.53	
⑤	S _s -N 1	-+	0.58	0.53	

注：評価位置を図 3-3-72 に示す。

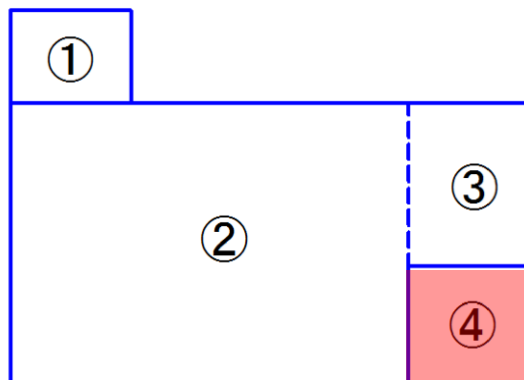


図 3-3-72 評価位置図

(c) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

強軸方向断面（C-C断面）にて発生する面内せん断応力度は、表3-3-9～表3-3-13に示すとおり最大で0.96（N/mm²）である。一方で、RC規準による許容限界である短期許容せん断応力度は1.11（N/mm²）であり、照査値は1.0を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表3-3-9 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{max} / τ_A
			τ_{max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.44	1.11	0.40
		-+	0.35		0.32
		+ -	0.29		0.27
		--	0.37		0.34
	S _s -F 1	++	0.24		0.22
	S _s -F 2	++	0.26		0.24
	S _s -N 1	++	0.23		0.22
		-+	0.23		0.22
	S _s -N 2 (NS)	++	0.23		0.21
		-+	0.21		0.19
	S _s -N 2 (EW)	++	0.25		0.23
		-+	0.21		0.19
②	S _s -D	+ -	0.29	0.27	
③	S _s -D	+ -	0.29	0.27	
④	S _s -D	+ -	0.40	0.37	
⑤	S _s -D	+ -	0.40	0.37	

注：評価位置を図3-3-73に示す。

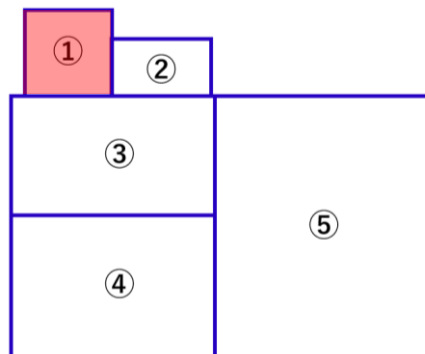


図3-3-73 評価位置図

表 3-3-10 面内せん断に対する照査結果 (対象部位②)

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{max} / τ_A
			τ_{max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.13	1.11	0.12
		-+	0.11		0.11
		+ -	0.10		0.09
		--	0.13		0.12
	S _s -F 1	++	0.08		0.08
	S _s -F 2	++	0.09		0.09
	S _s -N 1	++	0.08		0.08
		-+	0.08		0.08
	S _s -N 2 (NS)	++	0.07		0.07
		-+	0.06		0.06
	S _s -N 2 (EW)	++	0.07		0.07
		-+	0.07		0.07
	②	S _s -D	+ -		0.10
③	S _s -D	+ -	0.10	0.09	
④	S _s -D	+ -	0.11	0.11	
⑤	S _s -D	+ -	0.11	0.10	

注：評価位置を図 3-3-74 に示す。

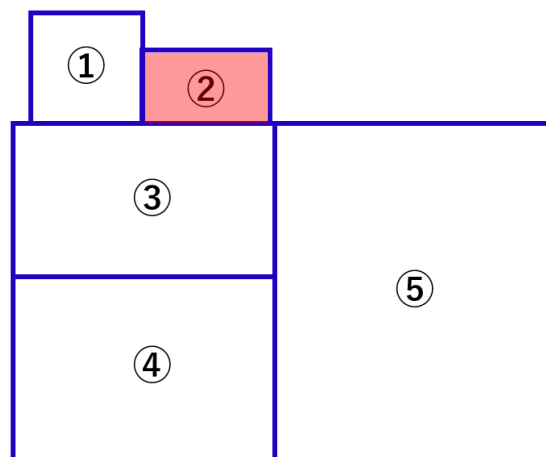


図 3-3-74 評価位置図

表 3-3-11 面内せん断に対する照査結果（対象部位③）

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{max} / τ_A
			τ_{max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.61	1.11	0.55
		-+	0.57		0.51
		+ -	0.56		0.51
		--	0.58		0.53
	S _s -F 1	++	0.42		0.38
	S _s -F 2	++	0.47		0.43
	S _s -N 1	++	0.40		0.37
		-+	0.46		0.42
	S _s -N 2 (NS)	++	0.39		0.36
		-+	0.38		0.34
	S _s -N 2 (EW)	++	0.36		0.33
		-+	0.38		0.35
②	S _s -D	+ -	0.57	0.52	
③	S _s -D	+ -	0.57	0.52	
④	S _s -D	+ -	0.69	0.63	
⑤	S _s -D	+ -	0.70	0.63	

注：評価位置を図 3-3-75 に示す。

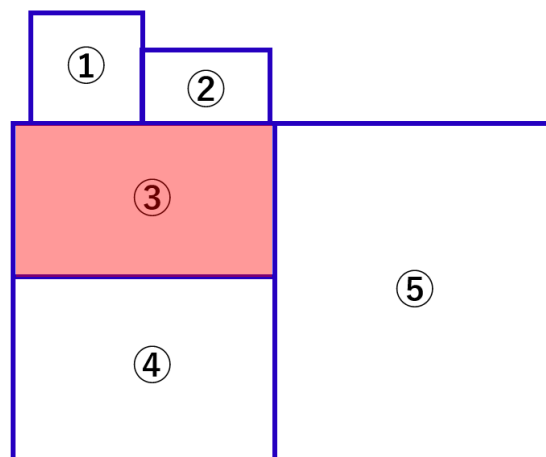


図 3-3-75 評価位置図

表 3-3-12 面内せん断に対する照査結果 (対象部位④)

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{\max} / τ_A
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.88	1.11	0.80
		-+	0.96		0.87
		+ -	0.88		0.80
		--	0.94		0.85
	S _s -F 1	++	0.65		0.59
	S _s -F 2	++	0.74		0.67
	S _s -N 1	++	0.63		0.58
		-+	0.67		0.60
	S _s -N 2 (NS)	++	0.59		0.53
		-+	0.61		0.55
	S _s -N 2 (EW)	++	0.59		0.53
		-+	0.58		0.53
	②	S _s -D	+ -		0.88
③	S _s -D	+ -	0.88	0.80	
④	S _s -D	+ -	0.93	0.84	
⑤	S _s -D	+ -	0.93	0.84	

注：評価位置を図 3-3-76 に示す。

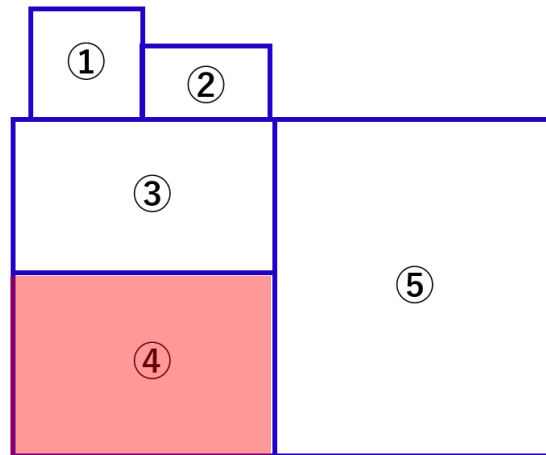


図 3-3-76 評価位置図

表 3-3-13 面内せん断に対する照査結果 (対象部位⑤)

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{max} / τ_A
			τ_{max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S _s -D	++	0.65	1.11	0.59
		-+	0.68		0.61
		+-	0.55		0.50
		--	0.70		0.63
	S _s -F 1	++	0.45		0.41
	S _s -F 2	++	0.59		0.53
	S _s -N 1	++	0.54		0.49
		-+	0.37		0.34
	S _s -N 2 (NS)	++	0.47		0.43
		-+	0.42		0.38
	S _s -N 2 (EW)	++	0.45		0.41
		-+	0.42		0.38
②	S _s -D	+-	0.56	0.51	
③	S _s -D	+-	0.57	0.51	
④	S _s -D	+-	0.71	0.64	
⑤	S _s -D	+-	0.70	0.64	

注：評価位置を図 3-3-77 に示す。

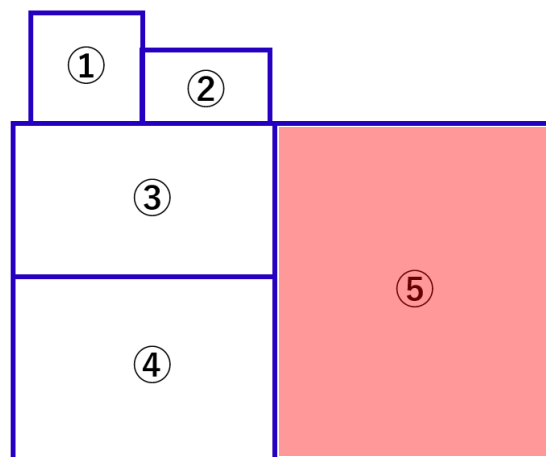


図 3-3-77 評価位置図

(d) 緊急時対策所用燃料地下タンク

強軸方向断面（B－B断面）にて発生する面内せん断応力度は、表 3－3－14 に示すとおり最大で 0.23（N/mm²）である。一方で、RC 規準による許容限界である短期許容せん断応力度は 1.11（N/mm²）であり、照査値は 1.0 を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表 3－3－14 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値 τ_{\max} / τ_A
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	
①	S s - D	++	0.22	1.11	0.20
		-+	0.20		0.18
		+-	0.23		0.21
		--	0.20		0.18
	S s - F 1	++	0.01		0.01
	S s - F 2	++	0.01		0.01
	S s - N 1	++	0.19		0.17
		-+	0.20		0.19
	S s - N 2 (NS)	++	0.15		0.14
		-+	0.18		0.17
	S s - N 2 (EW)	++	0.14		0.13
		-+	0.16		0.14
②	S s - D	+-	0.23	0.20	
③	S s - D	+-	0.22	0.20	

注：評価位置を図 3－3－78 に示す。

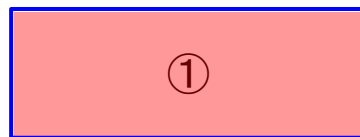


図 3－3－78 評価位置図

(2) 線状構造物

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）については、VI-2-2-21「屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(3) 円筒状構造物

取水口については、VI-2-2-29「取水口の耐震性についての計算書」において、復水貯蔵タンク遮蔽壁については、VI-2-11-2-12「復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(4) 直接基礎

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎については、VI-2-2-36「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(5) 管路構造物

取水管については、VI-2-2-28「取水管の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(6) 鉄骨構造

仮設耐震構台の支持杭

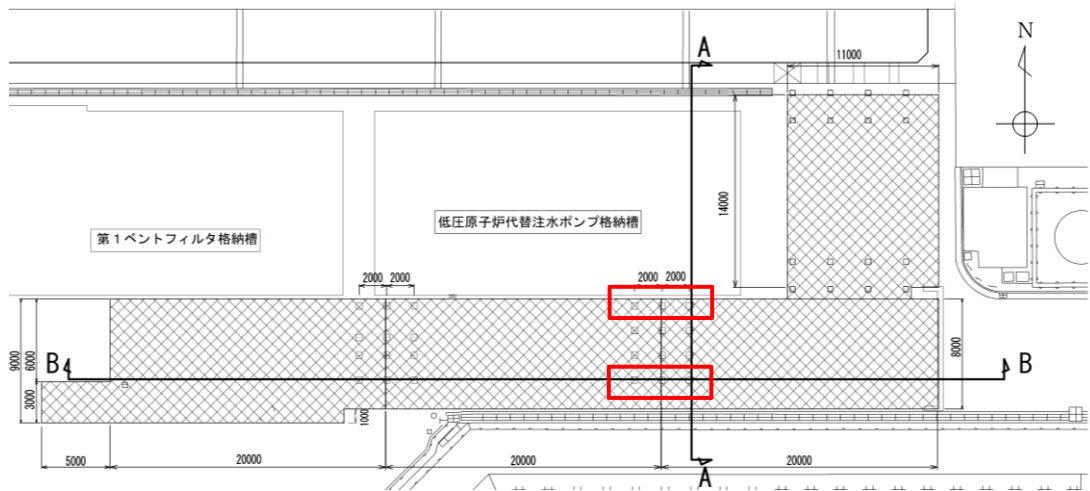
(a) 評価内容

仮設耐震構台の支持杭の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、弱軸方向における構造解析にて評価した断面力を用いることで、照査値が基準値以下であることを確認する。

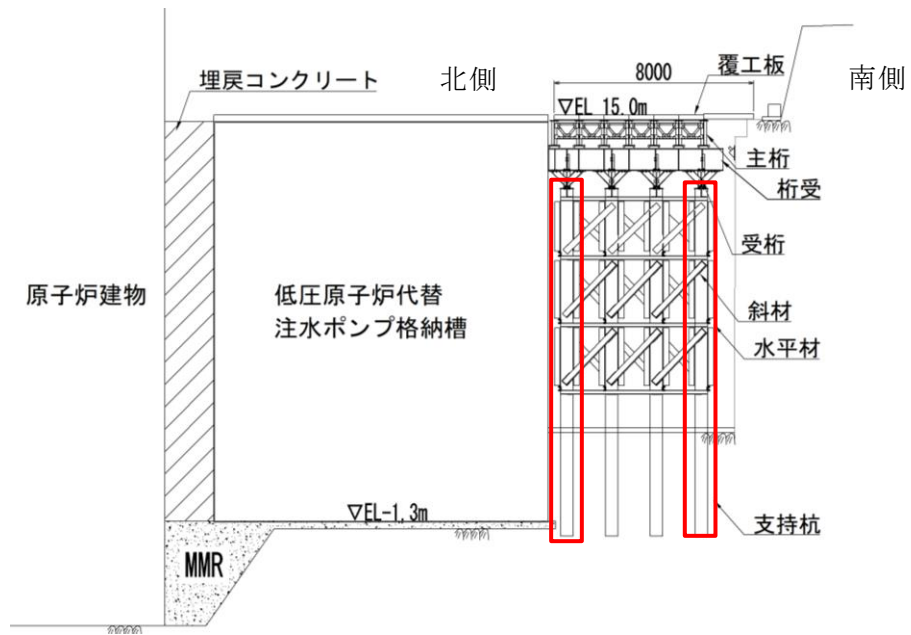
(b) 評価対象

評価対象は、VI-2-11-2-13「仮設耐震構台の耐震性についての計算書」に示す評価対象部位である水平材、斜材及び支持杭のうち、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である南側及び北側の支持杭を対象とする。

仮設耐震構台の支持杭の評価対象部位を図3-4-1に示す。



(単位：mm)



(単位：mm)

評価対象部位 (支持杭)

図 3-4-1 仮設耐震構台の支持杭の評価対象部位

(c) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の評価方法

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査は、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に、評価対象部位である支持杭に作用する荷重や応力を考慮し、(d) 評価条件に示す②発生応力度／許容限界の基準値で設定する値を用いて影響を検討する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査方法、解析ケースについては、VI-2-11-2-13「仮設耐震構台の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

(d) 評価条件

①評価項目

地震応答解析は、VI-2-11-2-13「仮設耐震構台の耐震性についての計算書」に示す、地震応答解析により得られる評価対象部位の曲げ軸力及びせん断応力とする。

②発生応力度／許容限界の基準値

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの裕度の基準値については、VI-2-11-2-13「仮設耐震構台の耐震性についての計算書」に示す発生応力度／許容限界の照査値 1.0 以下に対し、水平 2 方向の地震力を考慮した基準値として $1/\sqrt{2}$ ($\doteq 0.70$) 以下とする。

(e) 評価結果

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく影響評価結果を表3-4-1-1に示す。支持杭に発生する曲げ軸力及びせん断力の照査値は基準値0.70以下であることを確認した。

表3-4-1(1) 影響評価結果（曲げ軸力に対する照査値）

地震動*		部位	断面力		照査値
			曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
S _s -D	++	支持杭 (南側)	333	-1814	0.49 < 0.7

注記*：発生応力度が最大となる地震動を示す。

表3-4-1(2) 影響評価結果（せん断力に対する照査値）

地震動*		部位	発生応力 度 (N/mm ²)	許容応力 度 (N/mm ²)	照査値
S _s -D	++	支持杭 (南側)	28	120	0.24 < 0.7

注記*：発生応力度が最大となる地震動を示す。

3.3.4 機器・配管系への影響

屋外重要土木構造物等において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した構造物について、機器・配管系への影響の可能性について検討した。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響については、構造物にねじれが発生する場合、応答に影響を与えられられる。

(1) 箱型構造物

箱型構造物については、鉄筋コンクリート部材の底版や側壁が厚く、全体の剛性が大きいことから、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

(2) 線状構造物

線状構造物のうち、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の一体化部については、直交するダクトが交差する箇所であり、剛性が大きいことから、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

(3) 円筒状構造物

円筒状構造物である取水口及び復水貯蔵タンク遮蔽壁については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

(4) 直接基礎

直接基礎であるガスタービン発電機用軽油タンク基礎については、鉄筋コンクリート部材の底版が厚く、全体の剛性が大きい。また、鉛直部材が左右対称に配置されており、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

(5) 管路構造物

管路構造物である取水管については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

(6) 鉄骨構造

鉄骨構造である仮設耐震構台については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

3.3.5 まとめ

屋外重要土木構造物等において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し、施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1) 評価対象となる施設の整理

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する対象設備は，津波防護施設である防波壁，防波壁通路防波扉及び1号機取水槽流路縮小工，浸水防止設備である防水壁，屋外排水路逆止弁，水密扉，床ドレン逆止弁，隔離弁，貫通部止水処置，ポンプ及び配管，津波監視設備である津波監視カメラ及び取水槽水位計とする。各構造物の位置図を図3.4.1-1に，評価対象施設を表3.4.1-1に示す。

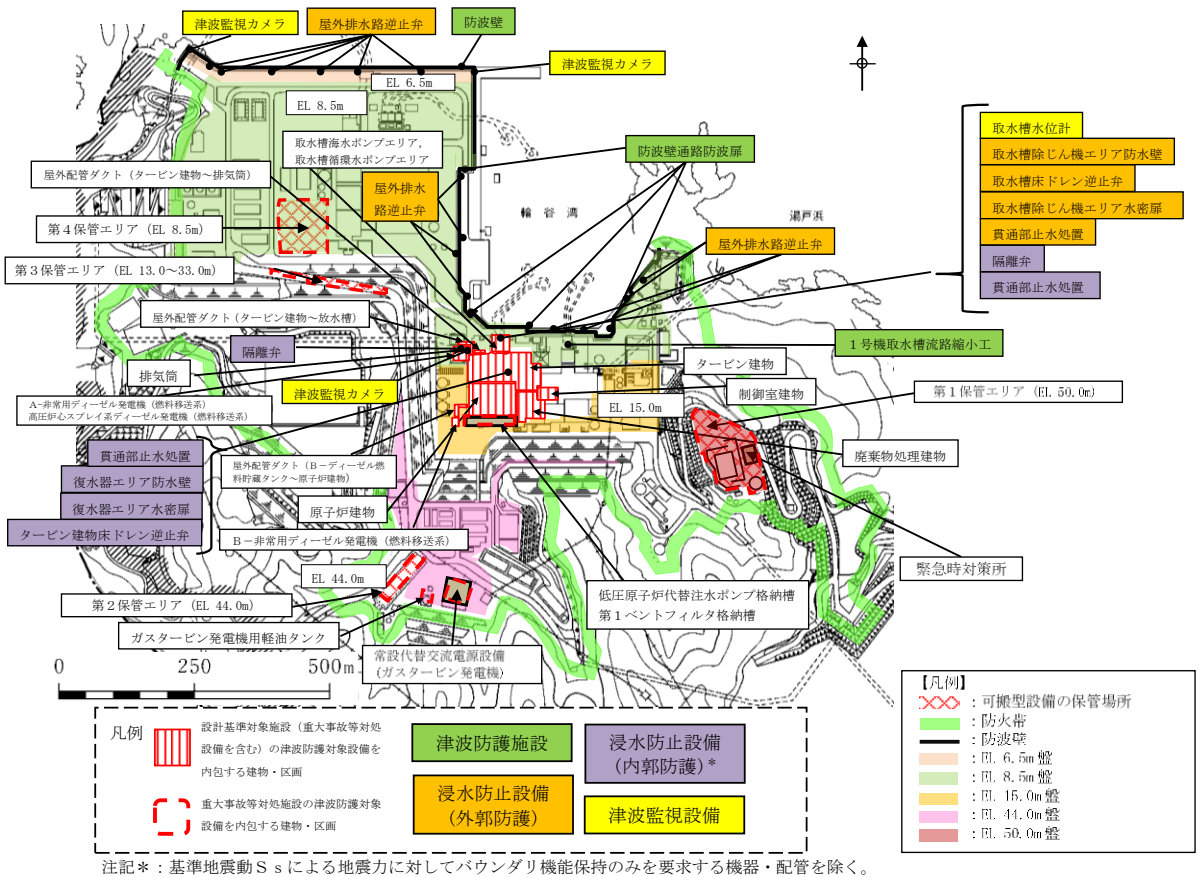


図 3.4.1-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図（1/5）

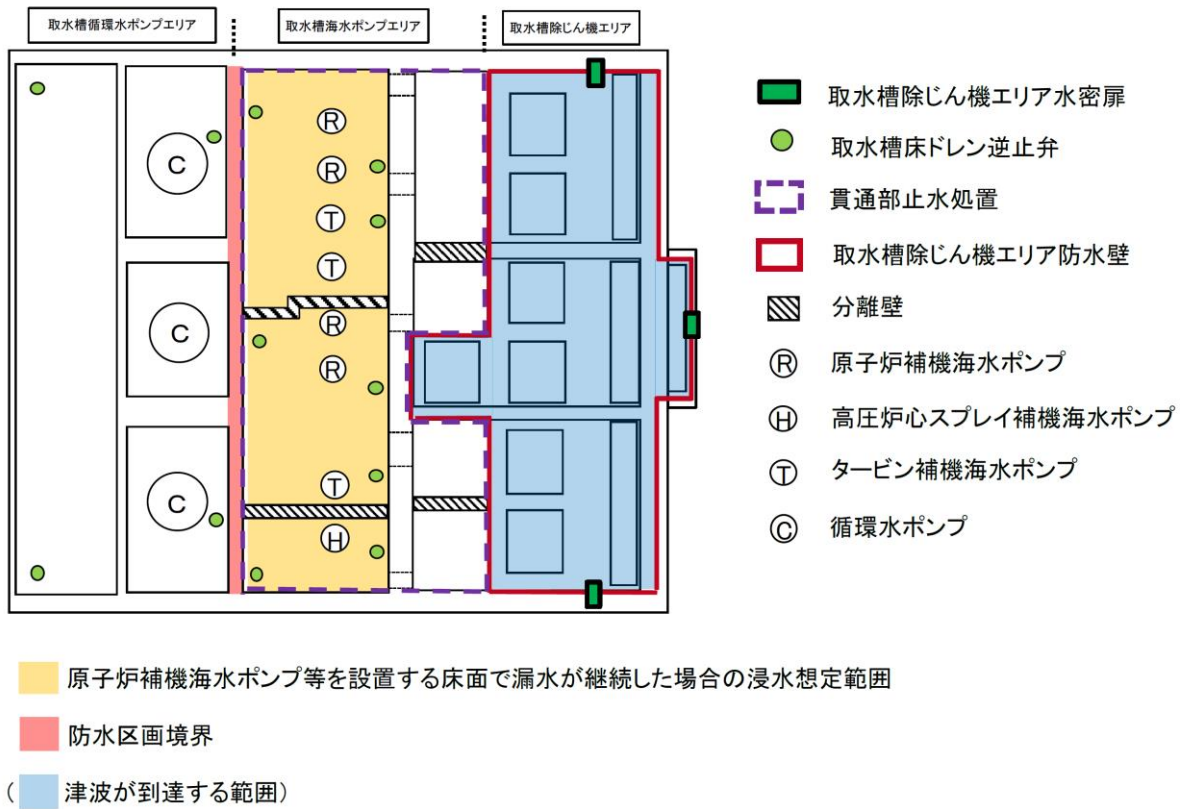


図 3.4.1-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (2/5)

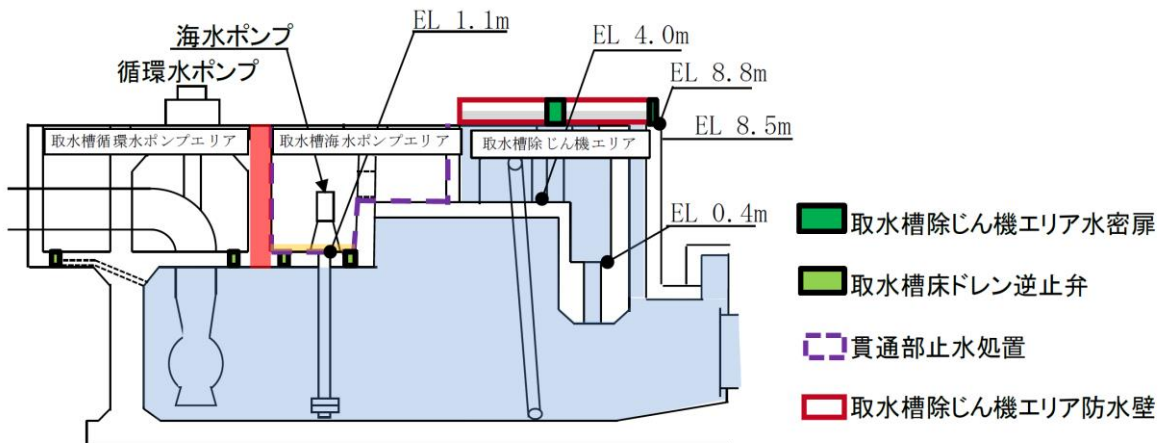


図 3.4.1-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (3/5)

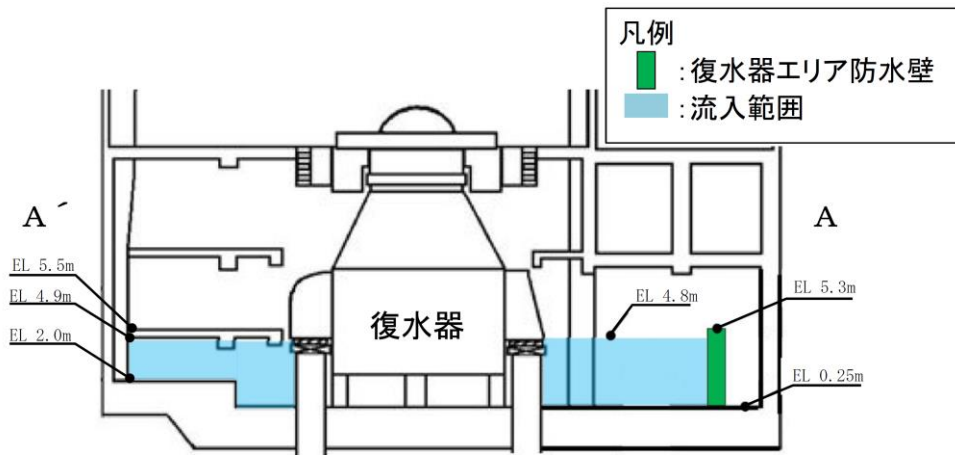
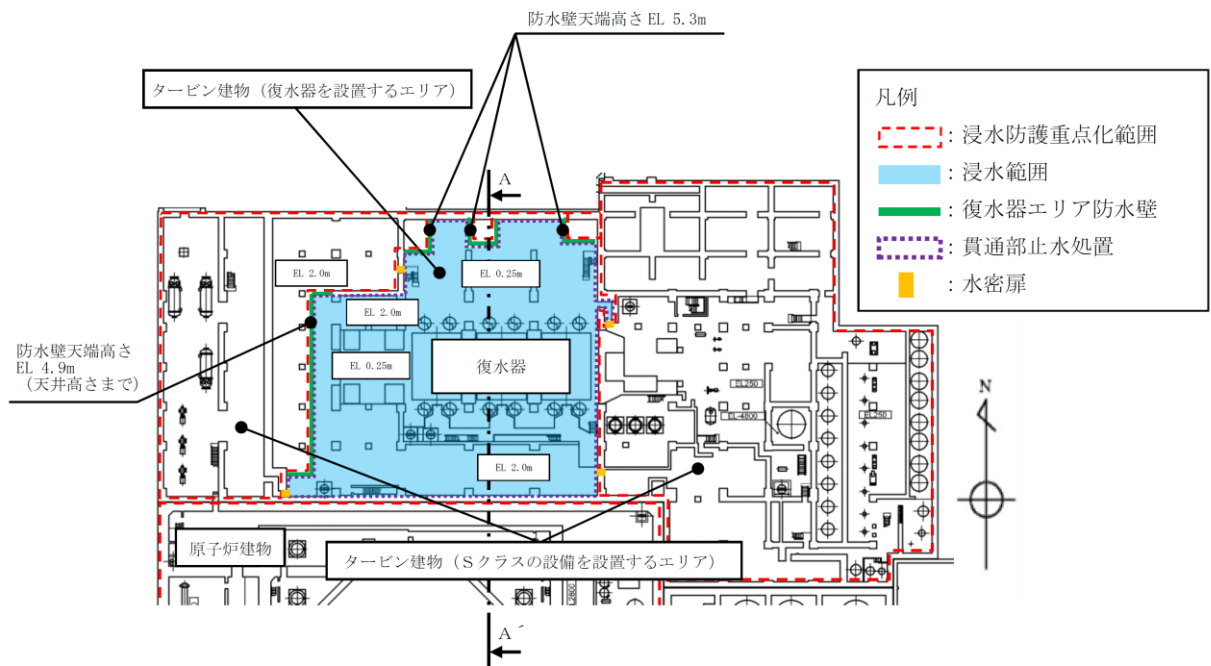
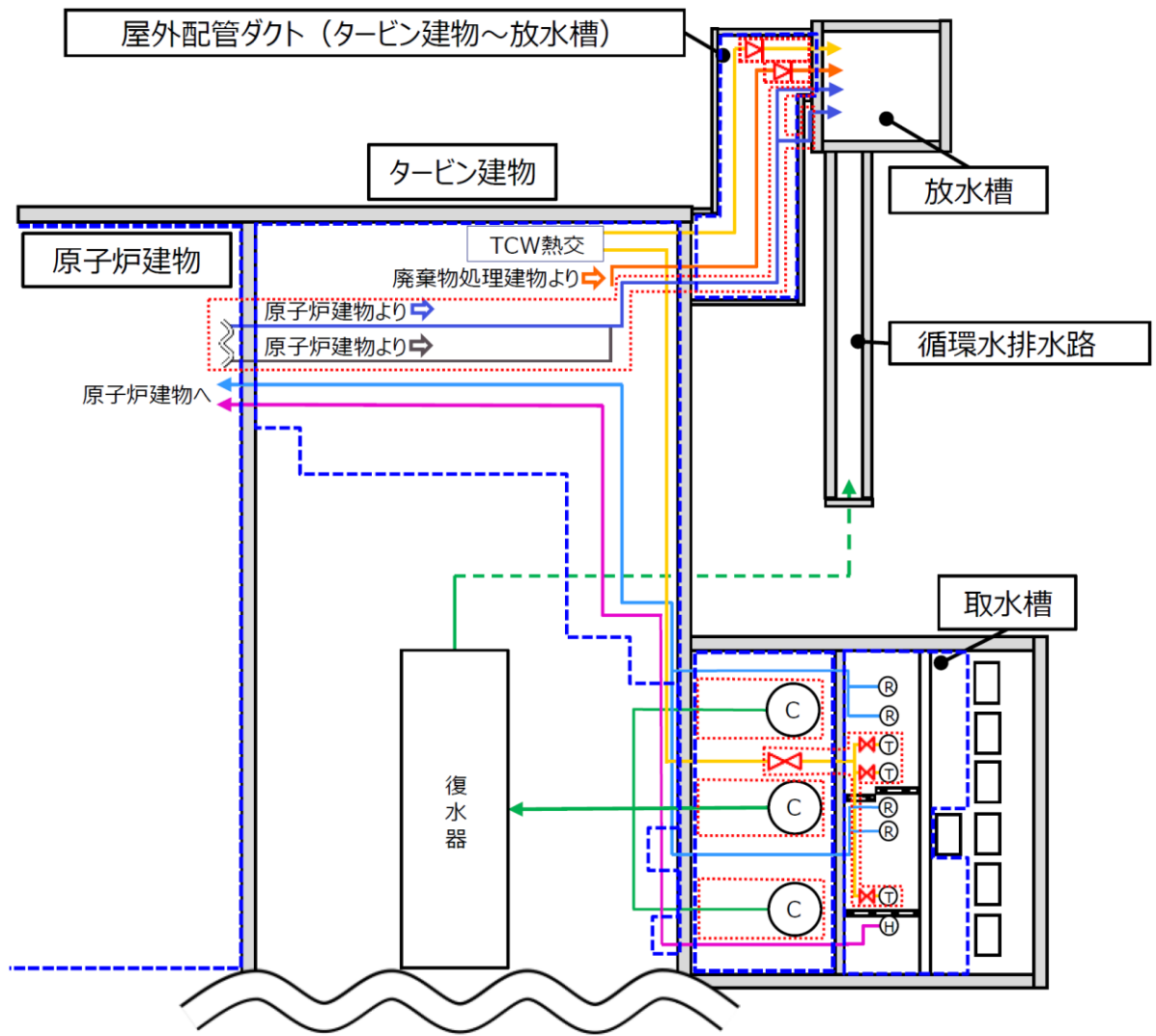


図 3.4.1-1 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (4/5)



【凡例】

- : Sクラスとする範囲
 - : 浸水防護重点化範囲
 - ← : 原子炉補機海水系配管 (Sクラス)
 - ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系配管 (Sクラス)
 - ← : 原子炉補機海水系放水配管 (Cクラス)
 - ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系放水配管 (Cクラス)
 - ← : タービン補機海水系配管 (Cクラス)
 - ← : 循環水系配管 (Cクラス) (点線部は埋設配管を示す)
 - ← : 液体廃棄物処理系配管 (Cクラス)
- : 隔離弁 (電動弁, 逆止弁)
 - : 原子炉補機海水ポンプ (Sクラス)
 - : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (Sクラス)
 - : タービン補機海水ポンプ (Cクラス)
 - : 循環水ポンプ (Cクラス)
- 注) 浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図 3.4.1-1 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (5/5)

表 3.4.1-1 評価対象施設

設備名称		施設分類	
防波壁	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	津波防護施設	
	防波壁（逆T擁壁）		
	防波壁（波返重力擁壁）		
防波壁通路防波扉	防波壁通路防波扉（1号機北側）		
	防波壁通路防波扉（2号機北側）		
	防波壁通路防波扉（荷揚場南）		
	防波壁通路防波扉（3号機東側）		
1号機取水槽流路縮小工			
防水壁	取水槽除じん機エリア防水壁		浸水防止設備
	復水器エリア防水壁		
屋外排水路逆止弁			
水密扉	取水槽除じん機エリア水密扉		
	復水器エリア水密扉		
床ドレン逆止弁	取水槽床ドレン逆止弁		
	タービン建物床ドレン逆止弁		
隔離弁	タービン補機海水系隔離システム （電動弁，漏えい検知器，制御盤）		
	逆止弁		
ポンプ及び配管			
貫通部止水処置			
津波監視カメラ		津波監視設備	
取水槽水位計			

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価は、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」、「4.3 屋外重要土木構造物等」に分類し評価を行っていることから、その分類を表 3.4.1-2 に示す。

浸水防止設備及び津波監視設備のうち、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」に基づき、「3.2 機器・配管系」にて評価結果を示している施設については、本章では評価は省略する。浸水防止設備の間接支持構造物のうち、「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物等」にて評価結果を示している施設についても、本章では評価は省略する。

表 3.4.1-2 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備の分類

分類	名称		区分
津波防護施設	防波壁		「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については「3.4.5」に整理する。
	防波壁通路 防波扉	1号機北側	「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.4.4」に整理する。
		2号機北側	
		荷揚場南	「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については「3.4.5」に整理する。
		3号機東側	
1号機取水槽流路縮小工		「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.3.4」に整理する。	
浸水防止設備	防水壁		「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については「3.4.5」に整理する。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.1.4」及び「3.3.4」に整理する。
	屋外排水路逆止弁		「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.1.4」、「3.3.4」又は「3.4.4」に整理する。
	水密扉		
	床ドレン逆止弁		
	隔離弁		
	ポンプ及び配管		
	貫通部止水処置		
津波監視設備	津波監視カメラ		「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.3.4」又は「3.4.4」に整理する。
	取水槽水位計		

(2) 構造形式の分類

本章における評価対象構造物である津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備並びにその間接支持構造物の構造形式の分類を表 3.4.1-3 に示す。

構造形式により線状構造物及び鋼管杭基礎の 2 つの構造形式に分類される。

表 3.4.1-3 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備
並びにその間接支持構造物の構造形式の分類

分類	構造物		線状構造物	鋼管杭基礎
津波防護施設	防波壁	多重鋼管杭式擁壁	○ (上部工)	○ (鋼管杭)
		逆T擁壁	○ (上部工)	
		波返重力擁壁	○ (上部工・下部工)	
	防波壁通路 防波扉	1号機北側	○ (防波壁(多重鋼管杭式擁壁)* ¹)	
		2号機北側	○ (防波壁(多重鋼管杭式擁壁)* ¹)	
		荷揚場南	○ (上部工* ²)	○ (鋼管杭)
		3号機東側	○ (上部工* ²)	
浸水防止設備	防水壁	取水槽除じん機 エリア防水壁	○ (防水壁)	
		復水器エリア 防水壁	○ (防水壁)	
津波監視設備	津波監視カメラ		○ (防波壁(波返重力擁壁)* ¹)	

注記*1：間接支持構造物を示す。なお、本表に示している設備以外の浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物については「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示していることから、本章では評価は省略する。

*2：主たる止水構造である防波扉（鋼製扉体）については，従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向（強軸方向）の断面係数が相対的に大きいため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さいことから評価は省略する。一方，防波扉（鋼製扉体）を支持する左右のRC支柱については，線状構造物である防波壁と一体構造であり，強軸方向の慣性力等の荷重が作用することで，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるため，評価対象とする。

(3) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3.4.1-4 に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。
 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧、動水圧、
 摩擦力及び慣性力が挙げられる。

表 3.4.1-4 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧 及び 動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
③慣性力	躯体に作用する慣性力	

(4) 荷重の組合せによる応答特性が想定される箇所

表 3.4.1-5 に、3.4.1(2)で整理した構造形式、3.4.1(3)で整理した荷重作用による影響程度と、各構造物の概略図と特徴を示す。

また、荷重の組合せによる応答特性が想定される箇所として、鋼管杭基礎の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁通路防波扉（荷揚場南）の下部工を抽出する。

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (1/10)

構造形式の分類		線状構造物 (防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 上部工)	
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	作用しない
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度	<p>・従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p>		
水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性	<p>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の上部工</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び面内荷重として強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 	
抽出結果	×		

表 3.4.1-5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (2/10)

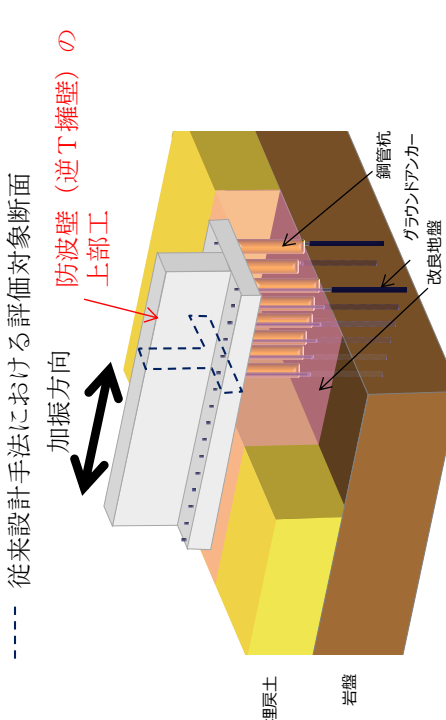
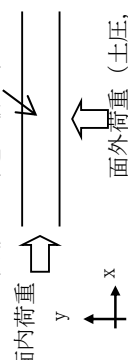
構造形式の分類	線状構造物 (防波壁 (逆T擁壁) 上部工)	
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	①動土圧及び動水圧	作用しない
水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性	②摩擦力	作用しない
抽出結果	③慣性力	全ての部材に作用
<p>従来設計手法における評価断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> <p>防波壁 (逆T擁壁) の上部工</p> 		<ul style="list-style-type: none"> 防波壁 (逆T擁壁) の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。
抽出結果		x

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (3/10)

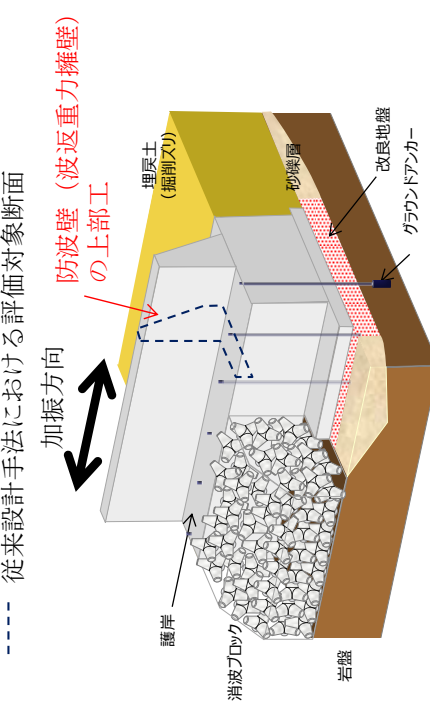
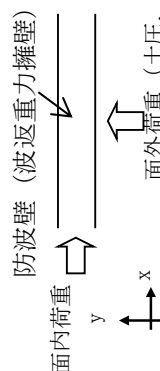
構造形式の分類	線状構造物 (防波壁 (波返重力擁壁) 上部工)	
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況	 <p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>防波壁 (波返重力擁壁) の上部工</p> <p>埋戻土 (掘削スリ)</p> <p>砂礫層</p> <p>改良地盤</p> <p>グラウンドアンカー</p> <p>護岸</p> <p>消波ブロック</p> <p>岩盤</p>	
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度	<p>① 動土圧及び動水圧</p> <p>② 摩擦力</p> <p>③ 慣性力</p>	<p>作用しない</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用する</p> <p>全ての部材に作用</p>
水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性	<p>防波壁 (波返重力擁壁) の上部工</p> 	<p>・ 従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> <p>・ 防波壁 (波返重力擁壁) の上部工には、左記に示すような水平方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。</p> <p>・ 上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。</p>
抽出結果	<p style="text-align: center;">×</p>	

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (4/10)

構造形式の分類		線状構造物 (防波壁 (波返重力擁壁) 下部工)	
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用する
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p>	
水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性	<p>防波壁 (波返重力擁壁) の下部工</p>	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁 (波返重力擁壁) の下部工には, 左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 下部工は強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 	
抽出結果	X		

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (5/10)

構造形式の分類	線状構造物 (防波壁通路防波扉 (荷揚場南) 上部工)	①動土圧及び動水圧	作用しない
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		②摩擦力	作用しない
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	<p>・ 従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p>	③慣性力	全ての部材に作用
水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性		<ul style="list-style-type: none"> 防波壁通路防波扉 (荷揚場南) の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び面内荷重として強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 	X
抽出結果	X		

表 3. 4. 1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (6/10)

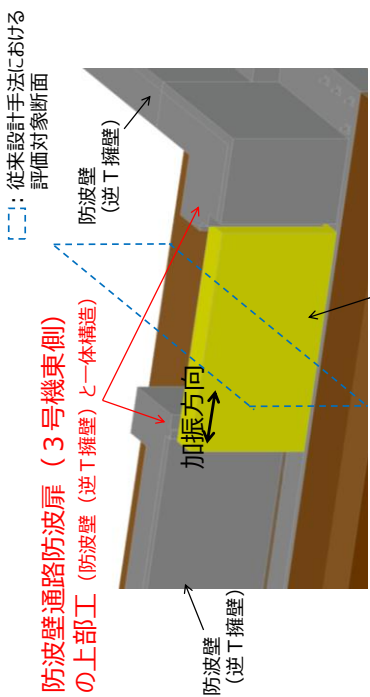
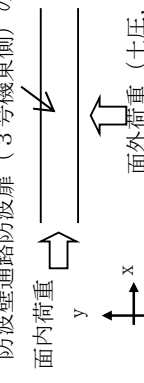
構造形式の分類	線状構造物 (防波壁通路防波扉 (3号機東側) 上部工)	
<p>従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況</p>		
<p>従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>①動土圧及び動水圧</p>	<p>作用しない</p>
<p>水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性</p>	<p>②摩擦力</p>	<p>作用しない</p>
<p>抽出結果</p>	<p>③慣性力</p>	<p>全ての部材に作用</p>
<p>防波壁通路防波扉 (3号機東側) の上部工</p> 		<ul style="list-style-type: none"> 防波壁通路防波扉 (3号機東側) の上部工には, 左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。
<p>抽出結果</p>		<p>X</p>

表 3.4.1-5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (7/10)

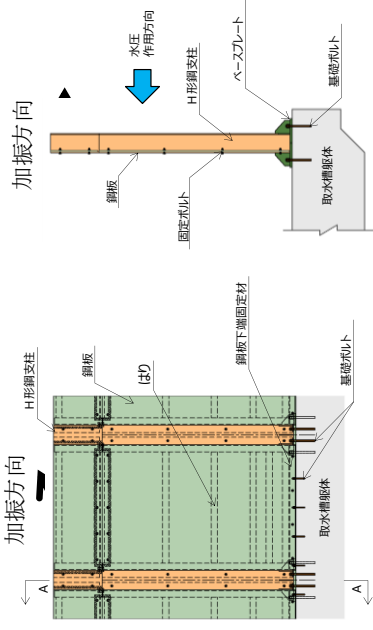
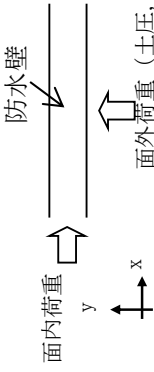
構造形式の分類	線状構造物 (取水槽除じん機エリア防水壁)	
<p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況</p>	<p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p> 	
<p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>①動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>②摩擦力 作用しない</p> <p>③慣性力 全ての部材に作用</p>	
<p>水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性</p>		<p>・防水壁には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。</p> <p>・防水壁には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。</p>
<p>抽出結果</p>	<p style="text-align: center;">×</p>	

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (8/10)

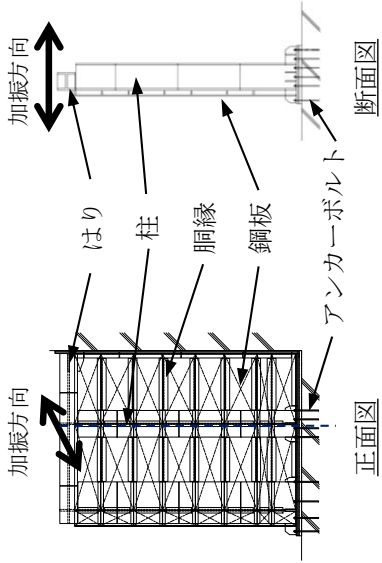
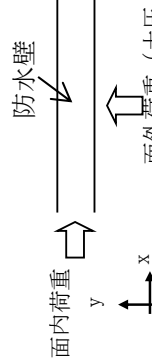
構造形式の分類	線状構造物 (復水器エリア防水壁)	
<p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況</p>	<p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p> 	
<p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>①動土圧及び動水圧</p>	<p>作用しない</p>
<p>水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性</p>		<p>②摩擦力</p> <p>作用しない</p>
<p>抽出結果</p>	<p>③慣性力</p>	<p>全ての部材に作用</p>
<p>・従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p>		<p>・防水壁には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・防水壁には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。</p>
<p>抽出結果</p>		<p>X</p>

表 3.4.1-5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (9/10)

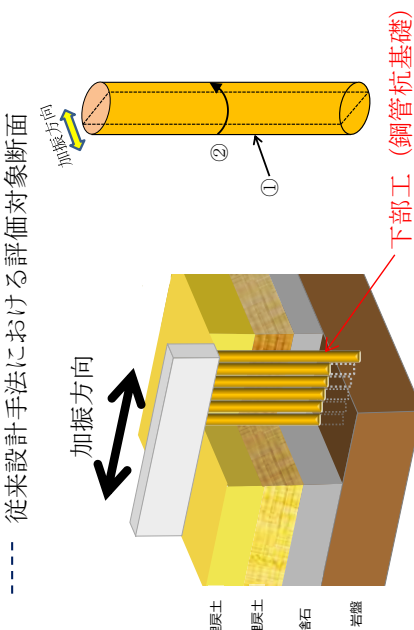
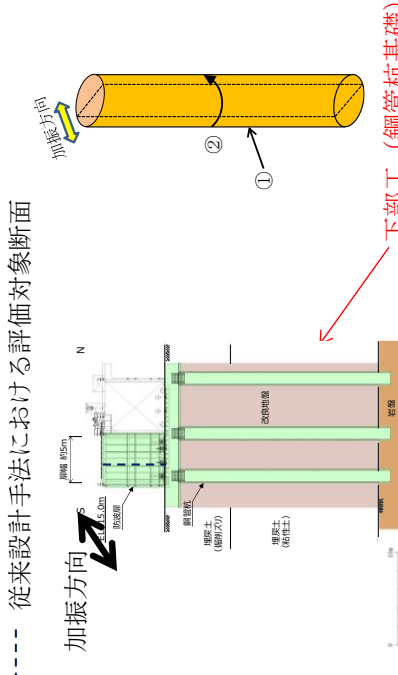
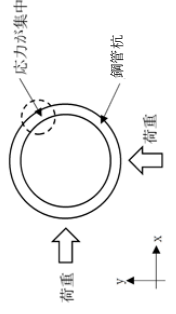
構造形式の分類	鋼管杭基礎 (防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 下部工)	
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況	<p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p> 	
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度	<p>① 動土圧及び動水圧</p> <p>作用する</p>	
水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性	<p>② 摩擦力</p> <p>作用する</p>	
抽出結果	<p>③ 慣性力</p> <p>全ての部材に作用</p>	<p>○</p>

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (10/10)

構造形式の分類	鋼管杭基礎 (防波壁通路防波扉 (荷揚場南) 下部工)	
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況	<p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p> 	<p>①動土圧及び動水圧</p> <p>作用する</p>
		<p>②摩擦力</p> <p>作用する</p>
		<p>③慣性力</p> <p>全ての部材に作用</p>
従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度	<p>・胴体部において、①動土圧及び動水圧による荷重，上部工からの荷重が作用するため影響の程度が大きい。</p>	
水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性		<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭基礎である防波壁通路防波扉 (荷揚場南) の下部工には、左記に示すような水平2方向入力による応力の集中が考えられる。 ・下部工では、上部工法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と上部工からの荷重による発生応力，並びに上部工法線直交方向の水平地震力による動土圧及び動水圧による発生応力が足し合わされるため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。
抽出結果	○	

(5) 従来設計手法における評価対象以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

(4)で抽出しなかった線状構造物のうち、防波壁（多重鋼管杭式擁壁，逆T擁壁，波返重力擁壁）の上部工及び防波壁（波返重力擁壁）の下部工は、構造物の配置上、屈曲部や隅角部を有する。また、浸水防止設備のうち取水槽除じん機エリア防水壁及び復水器エリア防水壁は隅角部を有する。

以上の構造物の構造等を考慮したうえで、従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性を以下に示す。

a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

図 3.4.1-2 に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地の平面図を示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の屈曲部及び隅角部では、妻壁に相当する部位を有する。

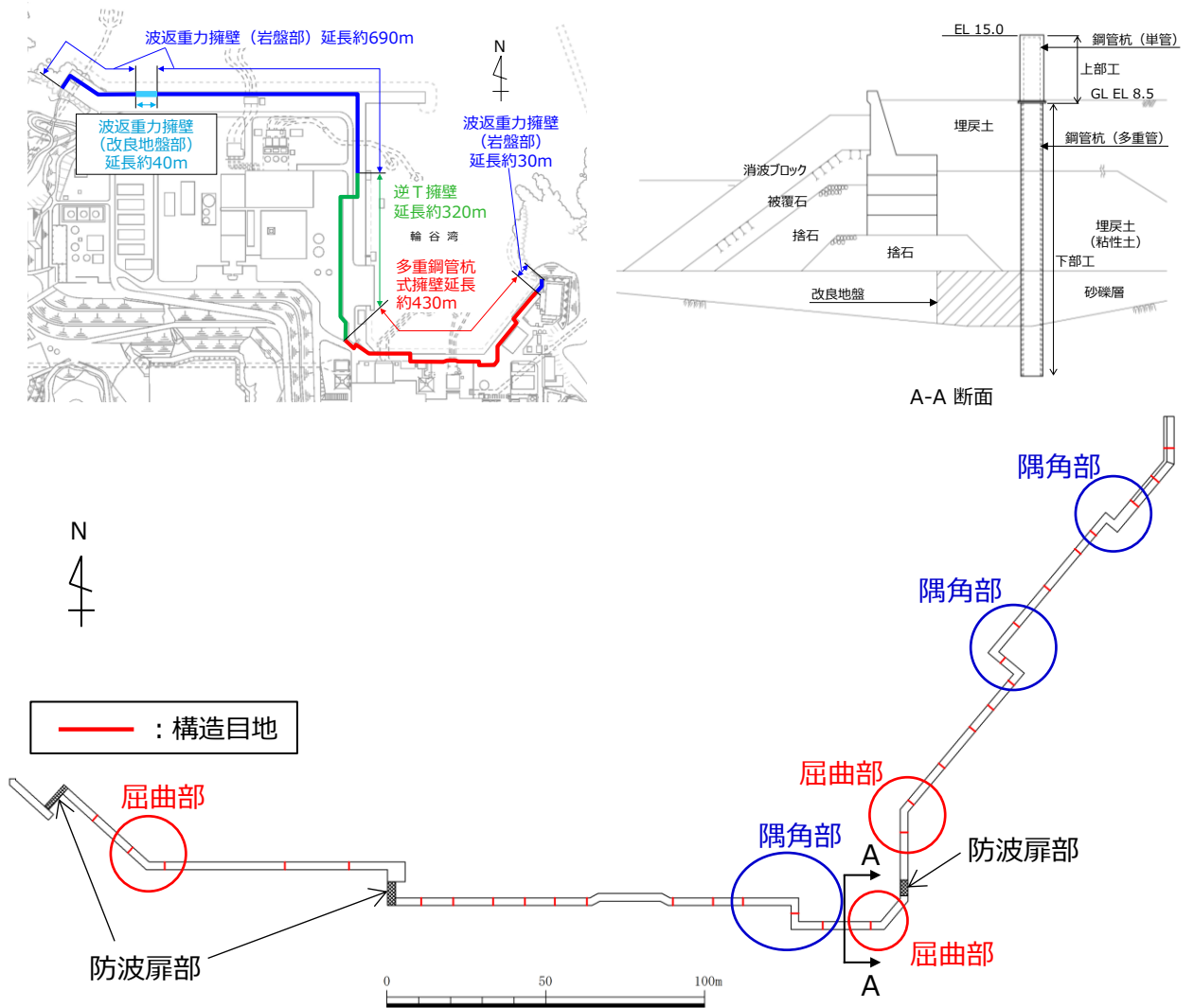
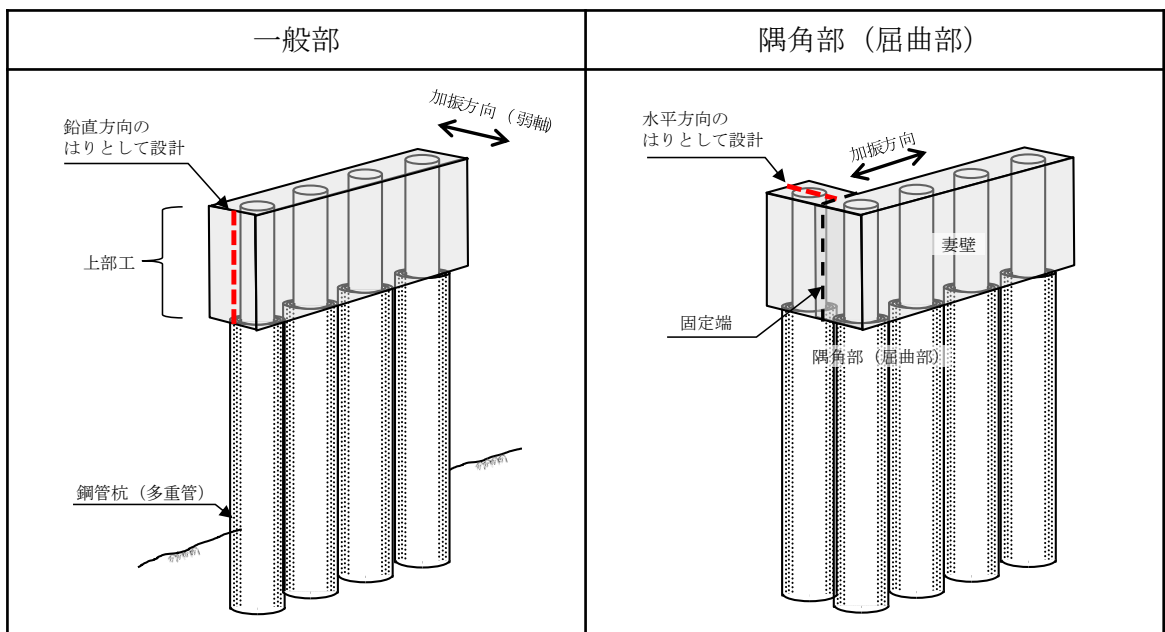


図 3.4.1-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地（平面図）

表 3.4.1-6 に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は下部工と一体構造であることから、これを適切にモデル化し、上部工を鉛直方向のはりとして設計する。屈曲部や隅角部では、妻壁側も同様に設計するが、妻壁と交差する壁は妻壁側を固定端とし、上部工が下部工と一体構造であることを適切にモデル化し、上部工を水平方向のはりとして設計する。

したがって、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価は不要と判断する。

表 3.4.1-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の設計概要図



b. 防波壁（逆T擁壁）の上部工

図 3.4.1-3 に，防波壁（逆T擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（逆T擁壁）の上部工の屈曲部では，妻壁に相当する部位の面積が小さく，慣性力の影響も小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については，隅角部に構造目地を設けるため，独立した線状構造物が接しているのみであり，3次元的な応答特性は想定されず，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

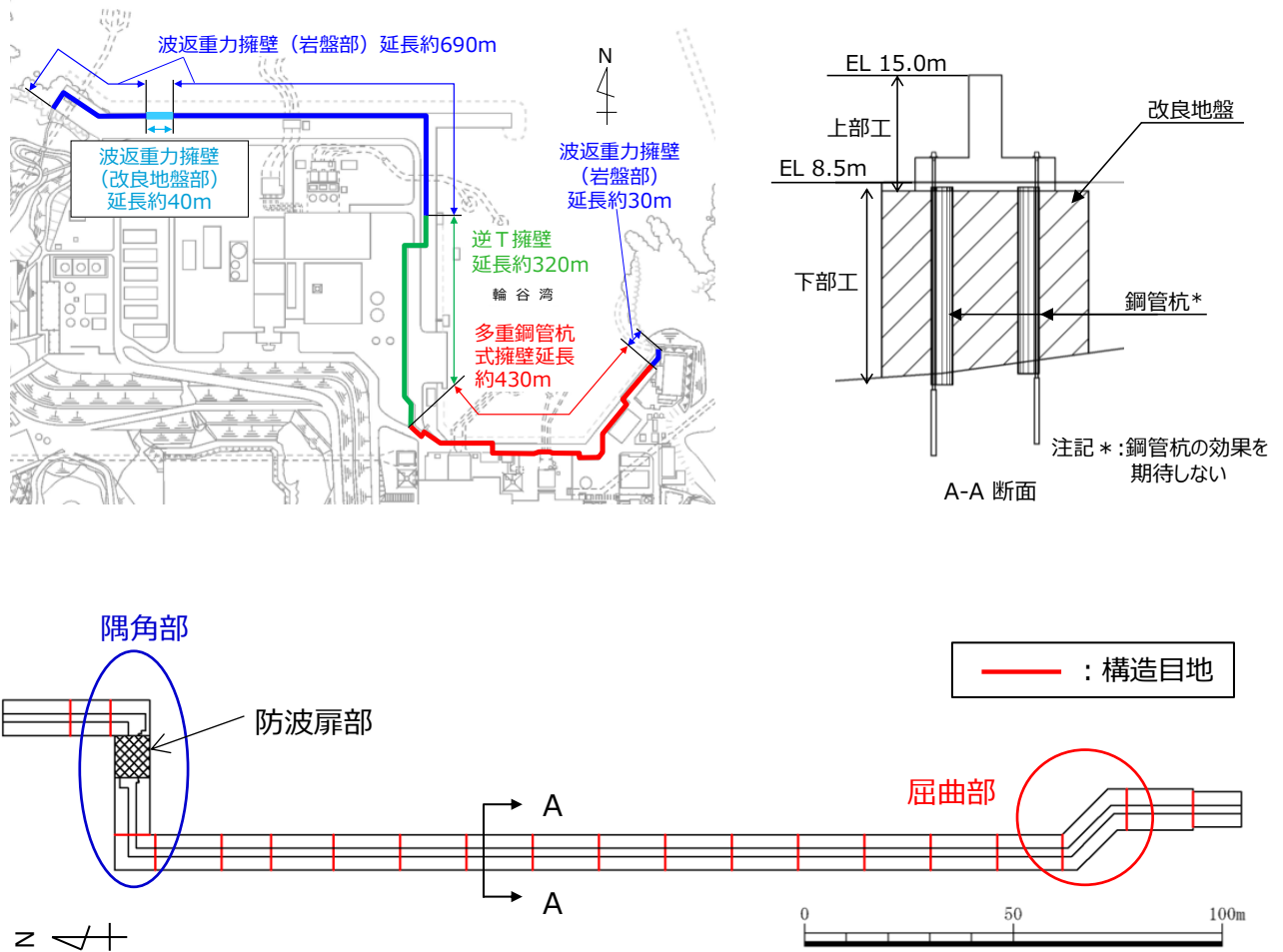


図 3.4.1-3 防波壁（逆T擁壁）の構造目地（平面図）

c. 防波壁（波返重力擁壁）の上部工及び下部工

図 3.4.1-4 に，防波壁（波返重力擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の上部工の屈曲部では，妻壁に相当する部位の面積が小さく，慣性力の影響も小さいことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については，隅角部に構造目地を設けるため，独立した線状構造物が接しているのみであり，3 次元的な応答特性は想定されず，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

また，防波壁（波返重力擁壁）の下部工の屈曲部や隅角部では，独立した線状構造物が接しているのみであり，3 次元的な応答特性は想定されず，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

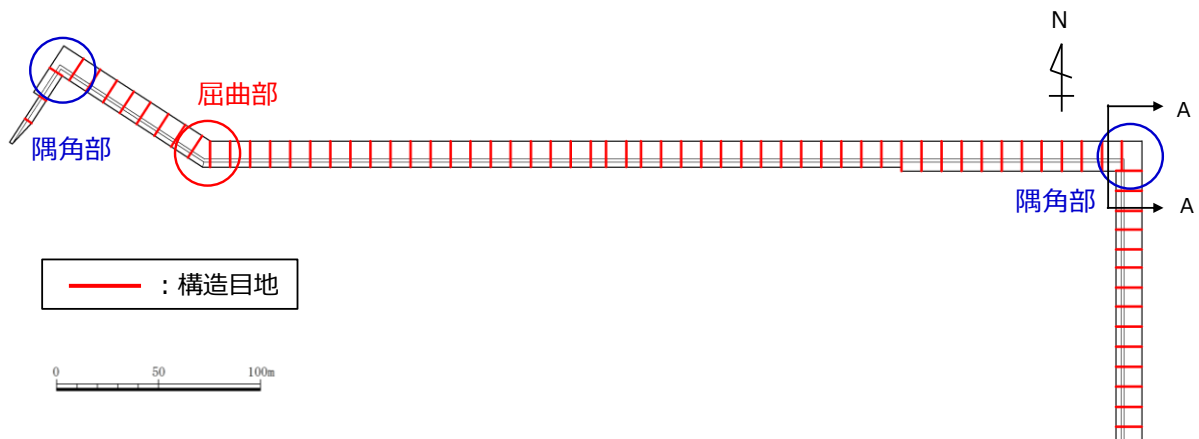
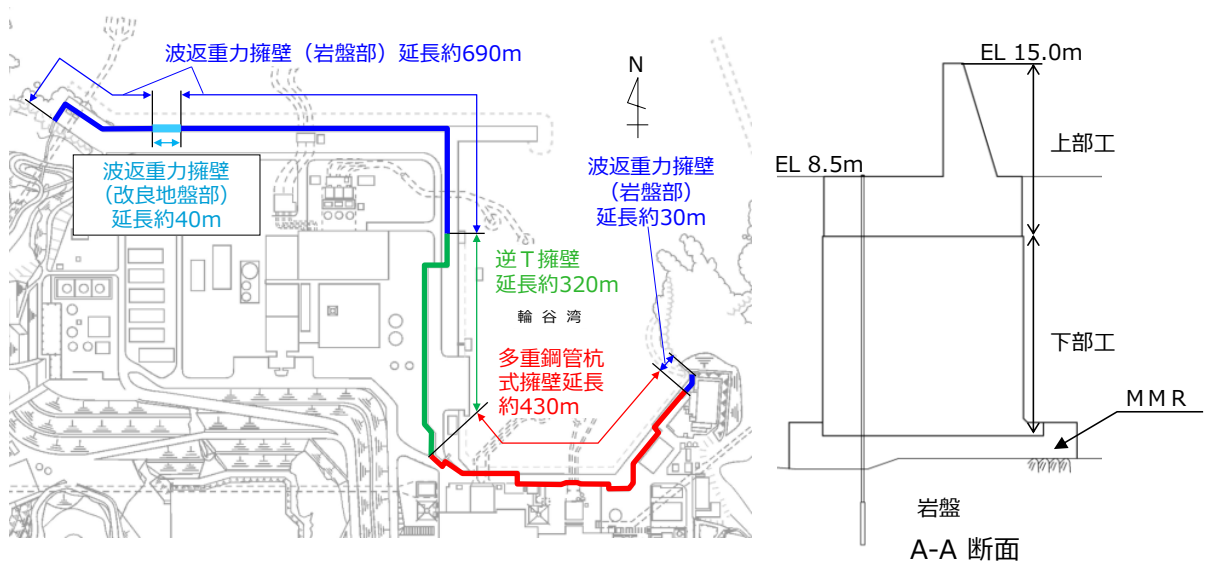
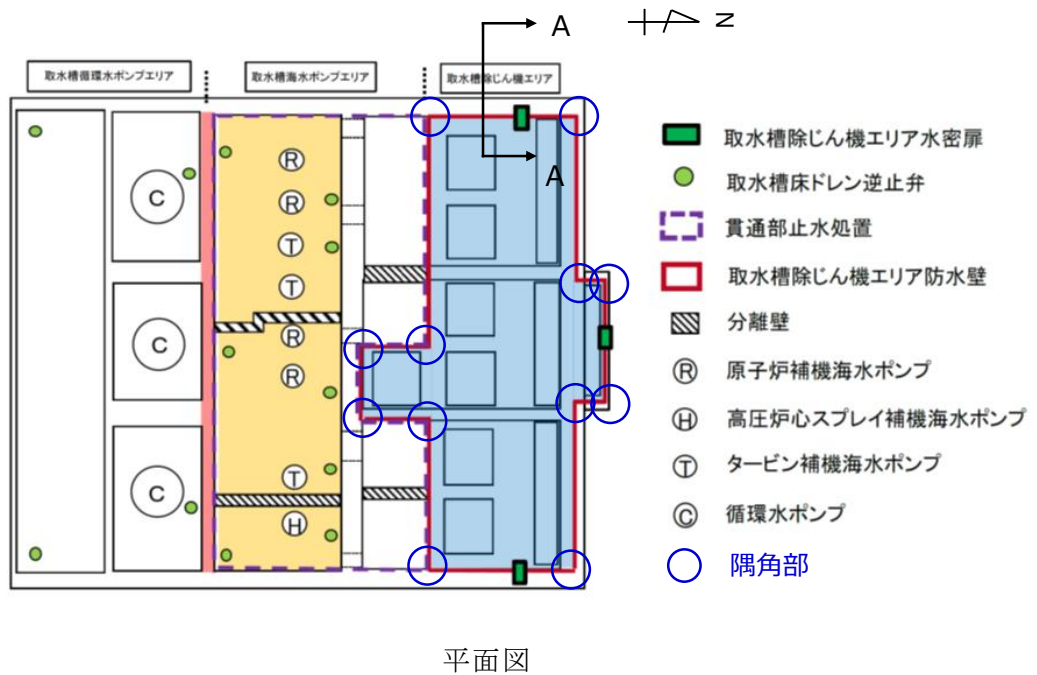


図 3.4.1-4 防波壁(波返重力擁壁)の構造目地(平面図)

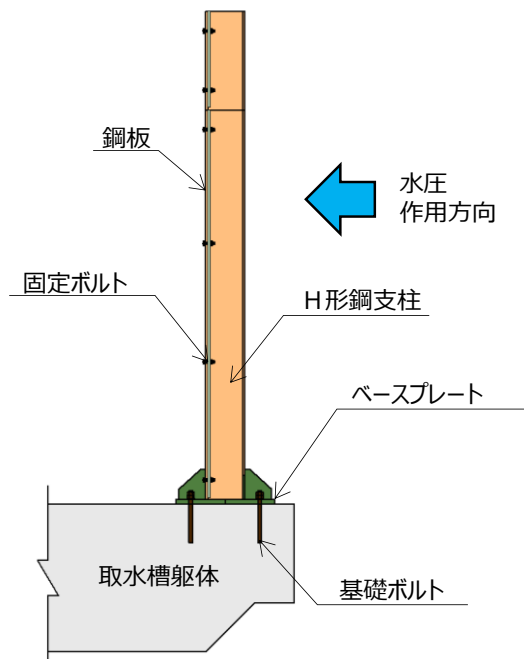
d. 取水槽除じん機エリア防水壁の隅角部

図 3.4.1-5 に、取水槽除じん機エリア防水壁の平面図及び断面図を示す。

防水壁の隅角部では、妻壁に相当する部位を有することから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が懸念される。



平面図



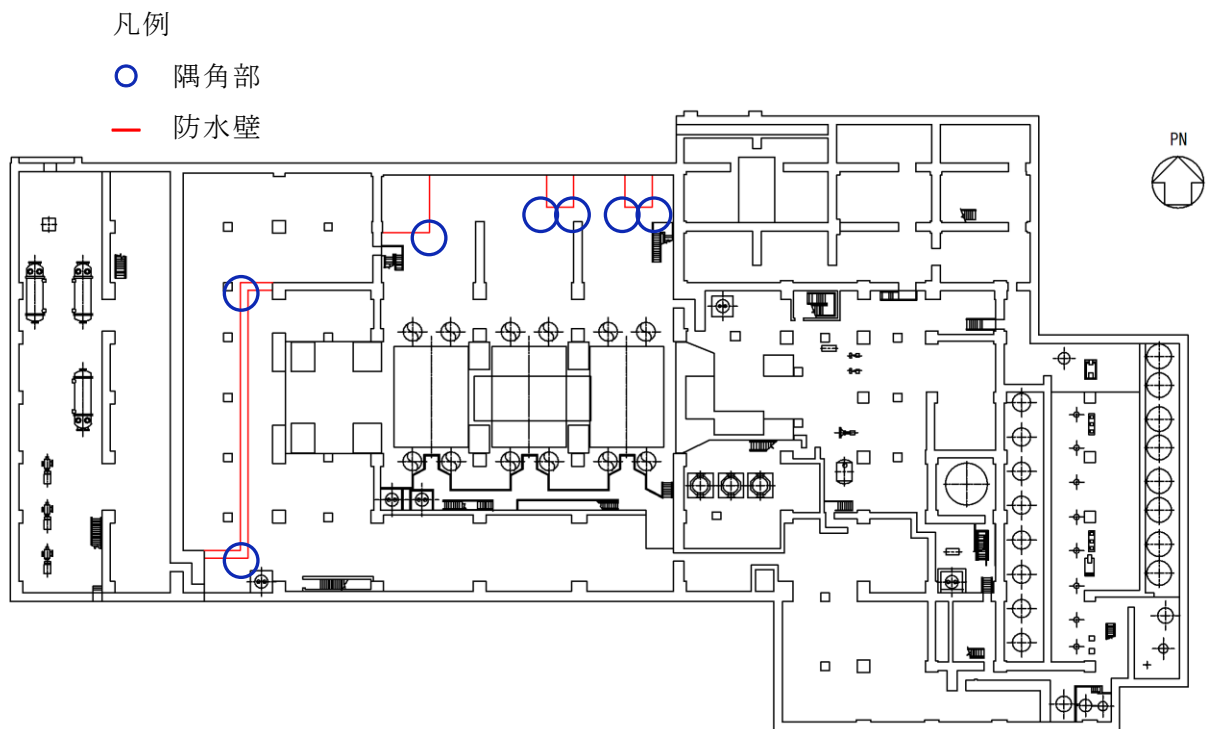
A-A断面図

図 3.4.1-5 取水槽除じん機エリア防水壁平面図及び断面図

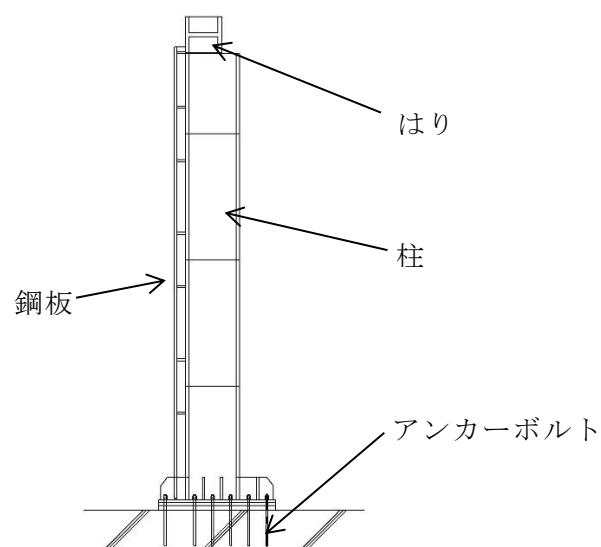
e. 復水器エリア防水壁の隅角部

図 3.4.1-6 に、復水器エリア防水壁の設置位置図及び断面図を示す。

復水器エリア防水壁の隅角部では、妻壁に相当する部位を有することから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が懸念される。



設置位置図



断面図

図 3.4.1-6 復水器エリア防水壁の設置位置図及び断面図

3.4.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

3.4.1の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果を以下に示す。

(1) 線状構造物

構造及び作用荷重の観点から、取水槽除じん機エリア防水壁及び復水器エリア防水壁の隅角部を抽出する。また、従来の設計手法で対応している防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工についても、その妥当性を確認する。

(2) 鋼管杭基礎

構造及び作用荷重の観点から、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁通路防波扉（荷揚場南）の下部工を抽出する。

ここで、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は防波壁通路防波扉（荷揚場南）の上部工よりも重量があり慣性力がより大きくなることで相対的に影響が大きいと考えられることから、鋼管杭基礎は防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工を代表に評価する。

3.4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 線状構造物

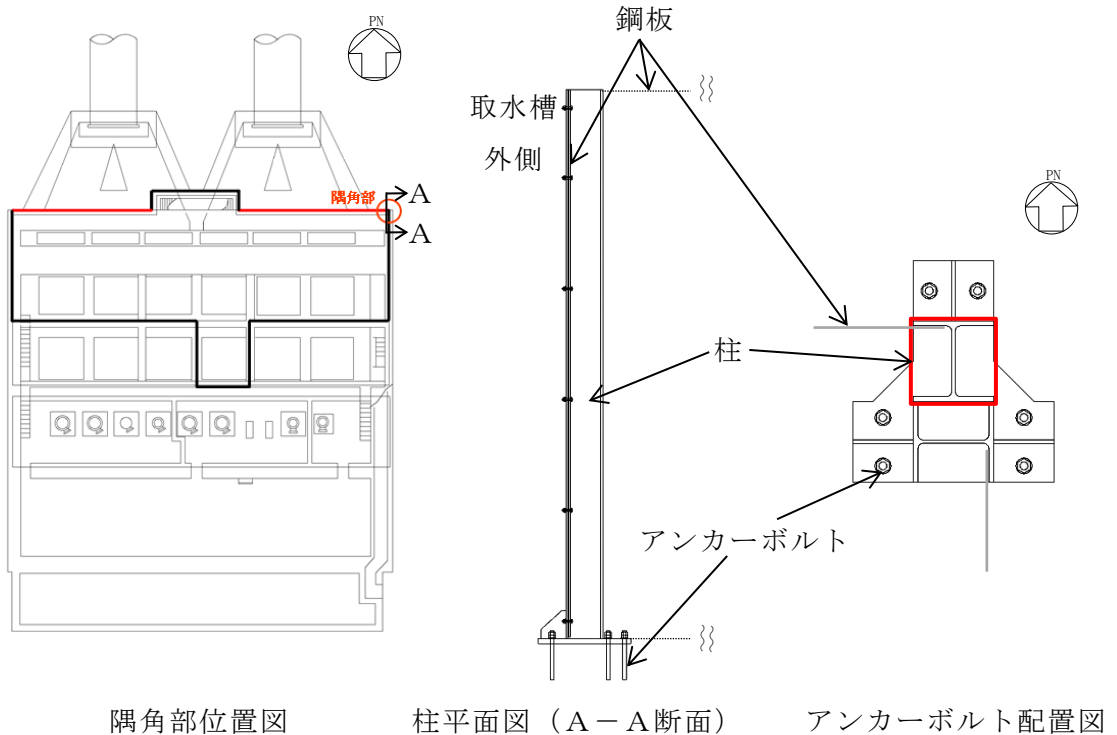
a. 取水槽除じん機エリア防水壁の隅角部

(a) 評価内容

取水槽除じん機エリア防水壁の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、弱軸方向における構造解析にて評価した断面力を用いることで、発生値/許容限界値が基準値以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」に示す全区間の鋼板、柱、水平材及びアンカーボルトの発生値/許容限界値のうち、最も厳しい区間の隅角部に位置する柱及びアンカーボルトを選定する。取水槽除じん機エリア防水壁の評価対象を図3.4.3-1に示す。



隅角部位置図 柱平面図 (A-A断面) アンカーボルト配置図
 図 3.4.3-1 取水槽除じん機エリア防水壁 構造概要図 (隅角部)

(c) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の評価方法

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査は、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に、評価対象部位である柱及びアンカーボルトにかかる荷重や応力を考慮し、(d) 評価条件の②発生値／許容限界値の基準値で設定する値を用いて影響を検討する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査の算定式は VI-2-10-2-8 「防水壁の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

柱及びアンカーボルトに作用する荷重を図 3.4.3-2 に示す。

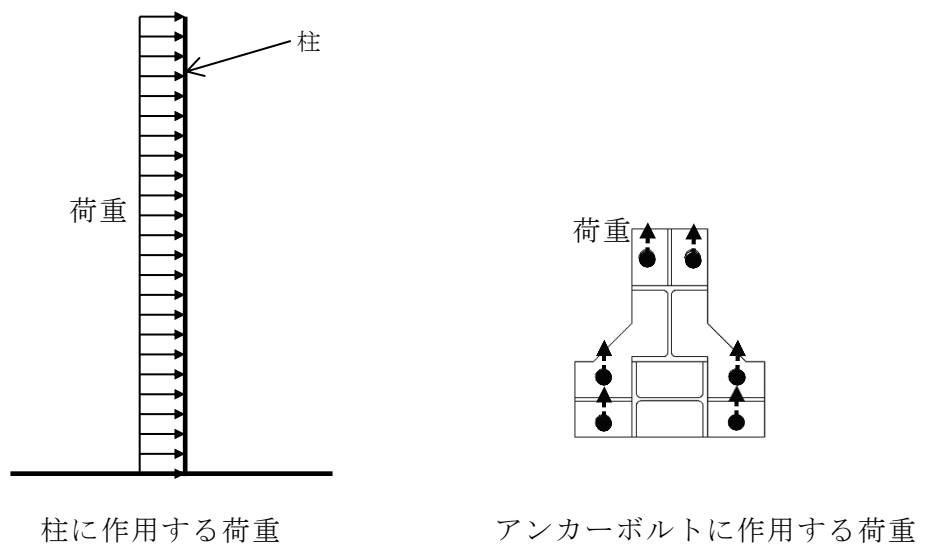


図 3.4.3-2 柱及びアンカーボルトに作用する荷重

(d) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は、VI-2-10-2-8 「防水壁の耐震性についての計算書」に示すとおり水平方向の設計震度を 1.8，鉛直方向の設計震度を 0.9 とする。

②発生値／許容限界値の基準値

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの裕度の基準値については、VI-2-10-2-8 「防水壁の耐震性についての計算書」の発生値／許容限界値 1.0 以下に対し、水平 2 方向の地震力を考慮した発生値／許容限界値の基準値として $1/\sqrt{2}$ (0.70) 以下とする。

③評価結果

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく影響評価結果を表 3.4.3-1 に示す。発生値/許容限界値は基準値 0.70 以下であることを確認した。

表 3.4.3-1 耐震評価結果（取水槽除じん機エリア防水壁）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
柱	曲げ	45	N/mm ²	235	N/mm ²	0.20 < 0.70
	せん断	10	N/mm ²	135	N/mm ²	0.08 < 0.70
	組合せ（上向き） （曲げ+引張）	—	—	—	—	0.19 < 0.70
	組合せ（下向き） （曲げ+圧縮）	—	—	—	—	0.20 < 0.70
	組合せ （曲げ+せん断）	48	N/mm ²	235	N/mm ²	0.21 < 0.70
	組合せ（上向き） （曲げ+引張 +せん断）	49	N/mm ²	235	N/mm ²	0.21 < 0.70
	組合せ（下向き） （曲げ+圧縮 +せん断）	50	N/mm ²	235	N/mm ²	0.22 < 0.70
アンカーボルト	引張	21	kN	40	kN	0.53 < 0.70
	せん断	3	kN	35	kN	0.09 < 0.70
	組合せ （引張+せん断）	—	—	—	—	0.26 < 0.70

b. 復水器エリア防水壁の隅角部

(a) 評価内容

復水器エリア防水壁の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」に示す水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する発生値／許容限界値が基準値 $1/\sqrt{2}$ (0.70) 以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」に示す復水器エリア防水壁のうち、発生値／許容限界値が最も大きい柱及びアンカーボルトを選定する。

(c) 評価結果

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく影響評価結果を表 3.4.3-2 に示す。発生値/許容限界値は基準値 0.70 以下であることを確認した。

表 3.4.3-2 耐震評価結果（復水器エリア防水壁）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
柱	曲げ（強軸）	6	N/mm ²	304	N/mm ²	0.02 < 0.70
	曲げ（弱軸）	42	N/mm ²	325	N/mm ²	0.13 < 0.70
	せん断	4	N/mm ²	187	N/mm ²	0.03 < 0.70
	圧縮	2	N/mm ²	217	N/mm ²	0.01 < 0.70
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.16 < 0.70
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	51	N/mm ²	325	N/mm ²	0.16 < 0.70
アンカーボルト	引張	24	kN	71	kN	0.34 < 0.70
	せん断	1	kN	49	kN	0.03 < 0.70
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.12 < 0.70

c. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工における屈曲部や隅角部における妻壁について、図 3.4.3-3 に示すように、一般部と同様に鉛直方向のはりとしての設計する場合は弱軸方向の応答を用いており、妻壁と交差する壁は妻壁側を固定端とし、上部工を水平方向のはりとして設計する場合は強軸方向の応答を用いている。

弱軸方向及び強軸方向の最大加速度を表 3.4.3-3 に示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工における屈曲部や隅角部における妻壁について、強軸方向と比較して弱軸方向の加速度が大きくなること、弱軸方向の応答を用いて評価する一般部のうち最も厳しい結果であった曲げ軸力の照査値は 0.23 であることから、一般部と同様に設計することで照査値に十分な裕度があるため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計となっていることを確認した。

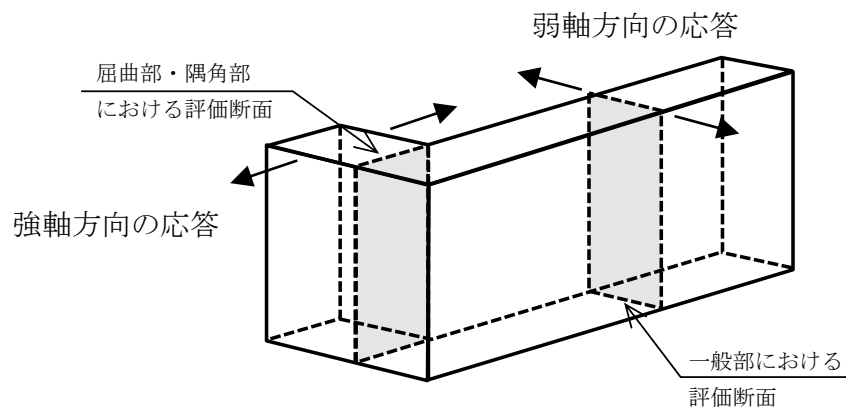


図 3.4.3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工における
屈曲部や隅角部の設計イメージ

表 3.4.3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における
弱軸方向及び強軸方向の最大加速度

	地震動	弱軸方向 加速度 (m/s^2)	強軸方向 加速度 (m/s^2)
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) (②-②断面)	S s - D (-+)	24.78	13.83

(2) 鋼管杭基礎

a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工

(a) 評価内容

鋼管杭基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、弱軸方向（評価対象断面）と強軸方向（評価対象断面に直交する断面）におけるそれぞれの2次元動的有限要素法解析（有効応力解析）にて評価した同部位及び同時刻の断面力を組み合わせる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、VI-2-10-2-3-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書」に示す評価対象断面のうち、改良地盤部（②-②断面）及びその強軸方向断面を選定する。

改良地盤部（②-②断面）において、図3.4.3-4に示すように隣接するブロックは屈曲部又は隅角部であるが、妻壁による効果を考慮せず強軸方向断面をモデル化することで、強軸方向断面の断面力を保守的に算定し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。本断面における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価の程度を踏まえ、他断面の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

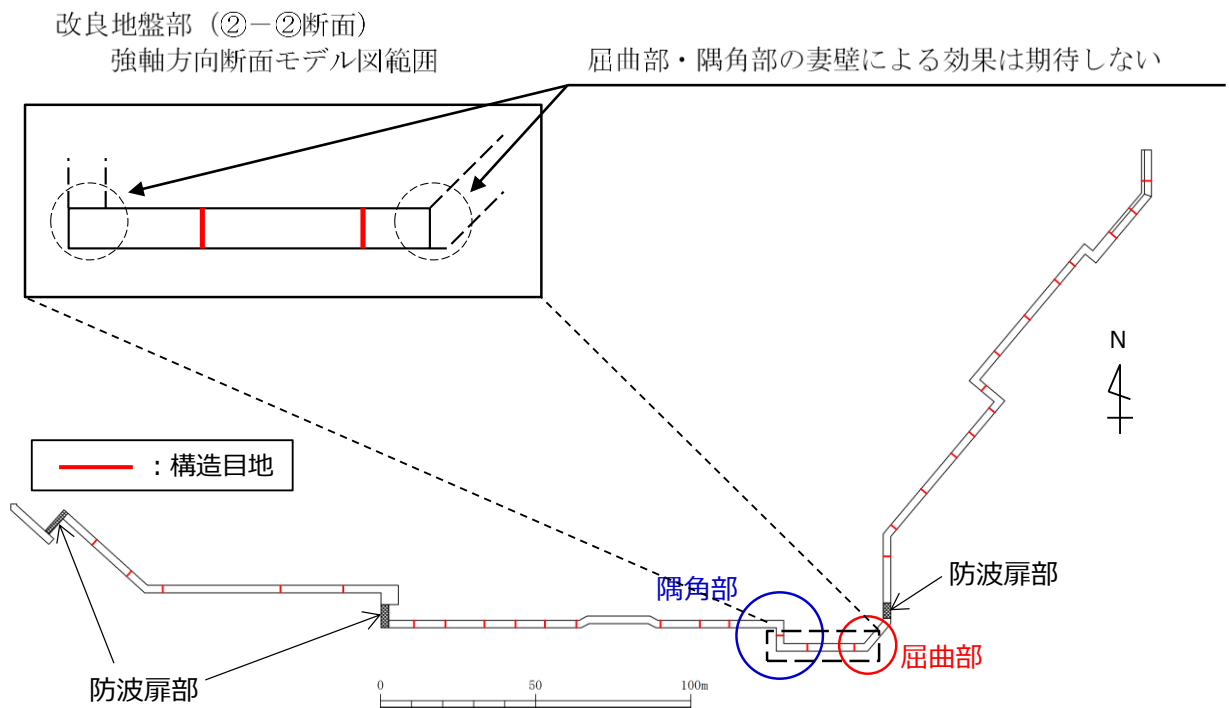


図 3.4.3-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②-②断面）モデル化範囲

(c) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の算定方法

本評価においては、鋼管杭基礎の水平 1 方向照査において最も厳しい結果であった曲げ軸力照査にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査の算定式を以下に示す。

$$R_{max} = \max\left(\frac{\sigma(t)_1}{\sigma_a}, \frac{\sigma(t)_2}{\sigma_a}\right)$$

$$\sigma(t)_1 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{弱})}{A}$$

$$\sigma(t)_2 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{強})}{A}$$

$M(t)_{弱}$: 時刻 t における弱軸方向の曲げモーメント

$M(t)_{強}$: 時刻 t における強軸方向の曲げモーメント

$N(t)_{弱}$: 時刻 t における弱軸断面の軸力

$N(t)_{強}$: 時刻 t における強軸断面の軸力

Z : 鋼管杭の断面係数 A : 鋼管杭の断面積

$\sigma(t)$: 時刻 t における曲げ軸応力 σ_a : 短期許容応力度

R_{max} : 時刻歴最大照査値

(d) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は、VI-2-10-2-3-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

②検討ケース

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しい地震動を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

表3.4.3-4に示す改良地盤部（②-②断面）の曲げ軸力照査結果より、地震動はS_s-D（-+）を選定する。

表 3.4.3-4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを実施する地震動の選定（②-②断面）

評価部位	地震動	照査値 (曲げ軸力照査)	選定結果
鋼管杭	S _s -D（++）	0.62	
	S _s -D（-+）	0.85	○
	S _s -D（+-）	0.68	
	S _s -D（--）	0.81	
	S _s -F1（++）	0.19	
	S _s -F2（++）	0.23	
	S _s -N1（++）	0.51	
	S _s -N1（-+）	0.51	
	S _s -N2（NS）（++）	0.31	
	S _s -N2（NS）（-+）	0.48	
	S _s -N2（EW）（++）	0.46	
	S _s -N2（EW）（-+）	0.34	

③評価結果

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）鋼管杭に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査結果を表 3.4.3-5 に示す。水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。また、水平 1 方向及び鉛直方向地震力において最も厳しい照査値 0.85 に対し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力では照査値が 0.86 となった。よって、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による鋼管杭への影響は、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の照査と比較して約 1.0% となった。

表 3.4.3-5 鋼管杭の曲げ軸力照査結果（改良地盤部（②-②断面））

地震動	解析ケース	発生断面力		降伏曲げ モーメント (kN・m)	照査値
		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)		
S _s -D (-+)	弱軸方向の軸力を用いた場合	75783	795	89056	0.85
	強軸方向の軸力を用いた場合	75783	2326	88320	0.86

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における評価対象断面のうち、最も照査結果が厳しい施設護岸前出し部（③-③断面）においても水平 2 方向の影響を確認する。施設護岸前出し部（③-③断面）の鋼管杭における水平 1 方向及び鉛直方向地震力の照査値に、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響を考慮しても照査値は許容限界以下であることを確認した（表 3.4.3-6）。

表 3.4.3-6 鋼管杭の曲げ軸力照査結果（施設護岸前出し部（③-③断面））

	水平 1 方向及び 鉛直方向地震力 (a)	水平 2 方向及び 鉛直方向地震力 (a) × 1.01
照査値	0.94	0.95

3.4.4 機器・配管系への影響

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響に対する評価対象構造物のうち、間接支持構造物である防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工について、隅角部又は屈曲部に支持される機器・配管系を支持していないことから影響はない。

3.4.5 まとめ

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し、施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

VI-2-別添 1 火災防護設備の耐震性についての計算書

VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 評価方針	2
2.2 評価対象設備	2
2.4 記号の説明	20
2.5 計算精度と数値の丸め方	35
3. 評価部位	41
4. 固有周期	44
5. 構造強度評価	44
5.1 構造強度評価方法	44
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	45
5.3 設計用地震力	50
5.4 計算方法	50
6. 機能維持評価	62
6.1 火災感知器	63
6.2 火災受信機盤	63
6.3 ボンベラック	63
6.4 選択弁	63
6.5 制御盤（全域ガス消火設備）	63

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 11 条，第 52 条及びそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」にて適合することを要求している「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（令和 2 年 3 月 31 日原子力規制委員会制定）」（以下「火災防護に係る審査基準」という。）に適合する設計とするため，VI-1-1-8「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」（以下「VI-1-1-8」という。）に示す火災感知設備及び消火設備が，火災防護上重要な機器等の耐震クラス及び重大事故等対処施設の区分に応じた地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

火災防護設備の計算結果は，VI-2-別添 1-2-1「火災感知器の耐震性についての計算書」，VI-2-別添 1-2-2「火災受信機盤の耐震性についての計算書」，VI-2-別添 1-3-1「ボンベラックの耐震性についての計算書」，VI-2-別添 1-3-2「選択弁の耐震性についての計算書」，VI-2-別添 1-3-3「制御盤の耐震性についての計算書」及びVI-2-別添 1-3-4「管の耐震性についての計算書（消火設備）」に示すとともに，動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果をVI-2-別添 1-4「火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」に示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

応力評価は、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、機能維持評価は、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

耐震評価フローを図2-1 に示す。

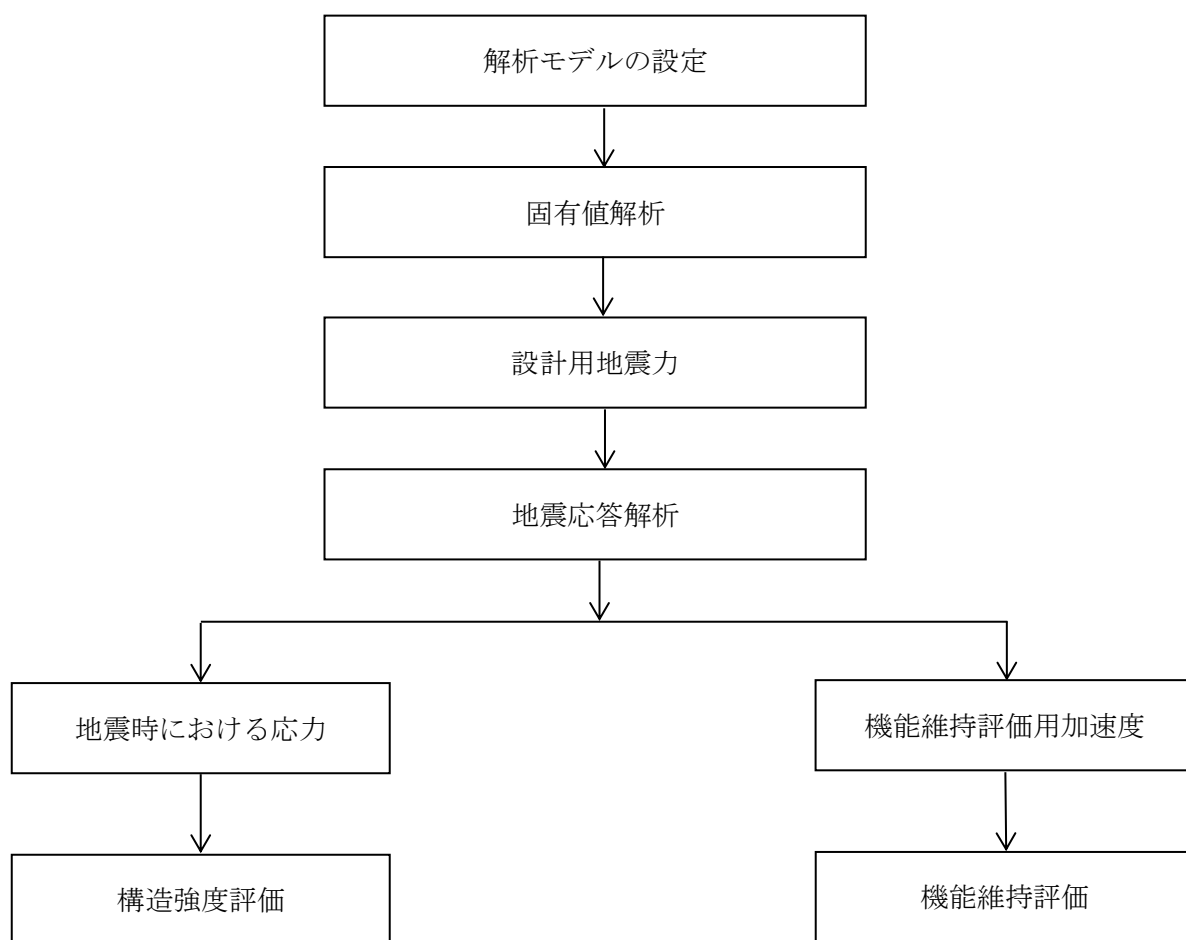


図 2-1 耐震評価フロー

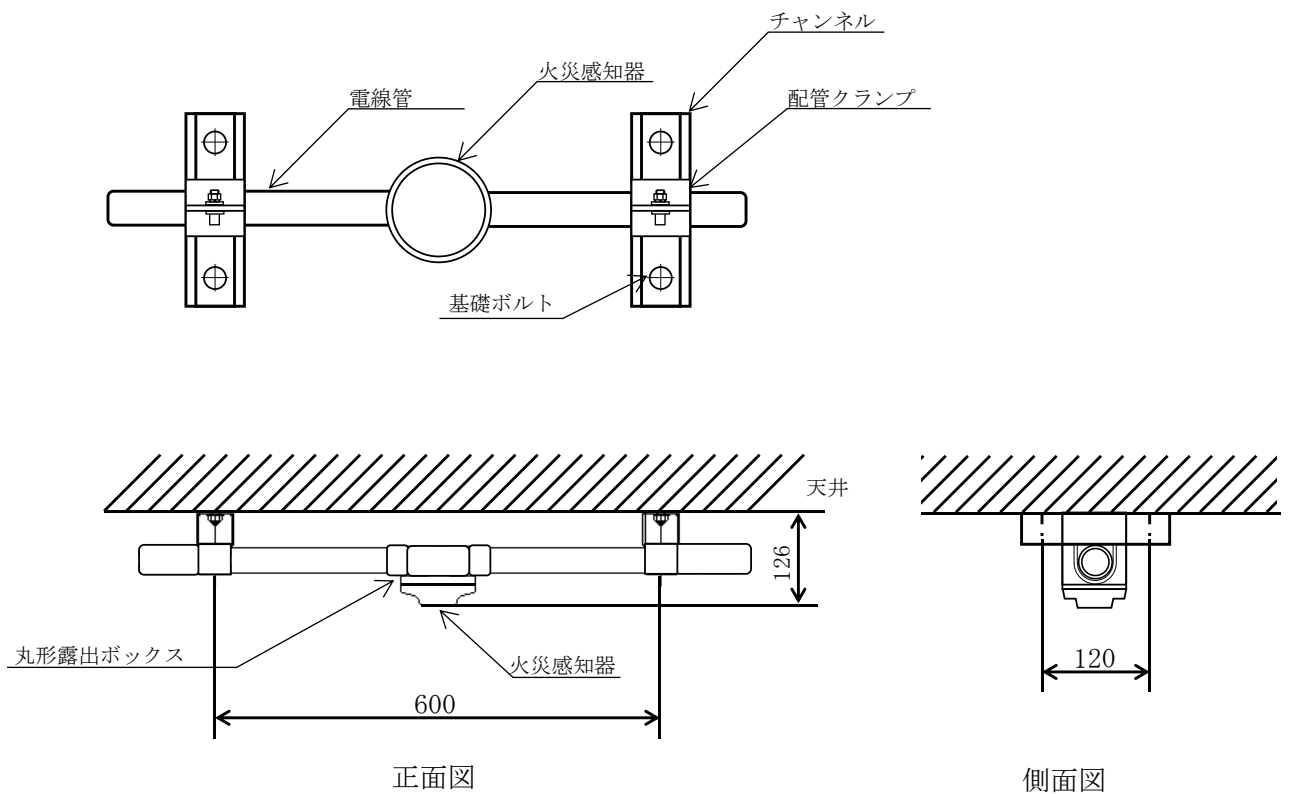
2.2 評価対象設備

評価対象設備は、VI-1-1-8のうち「5.1 火災感知設備について」に示す火災感知設備のうち火災感知器及び火災受信機盤及び「5.2 消火設備について」に示す消火設備のうちポンベラック、選択弁、制御盤（全域ガス消火設備）及び配管（消火設備）を対象とする。

火災感知設備の構造計画を表2-1から表2-2に、消火設備の構造計画を表2-3から表2-6に示す。

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画 (1/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器①	火災感知器①は、丸形露出ボックスに取り付け、丸形露出ボックスに接続された電線管を配管クランプにてチャンネルに固定する。チャンネルは、基礎ボルトにて天井に固定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・煙感知器 ・熱感知器 	図 2-2



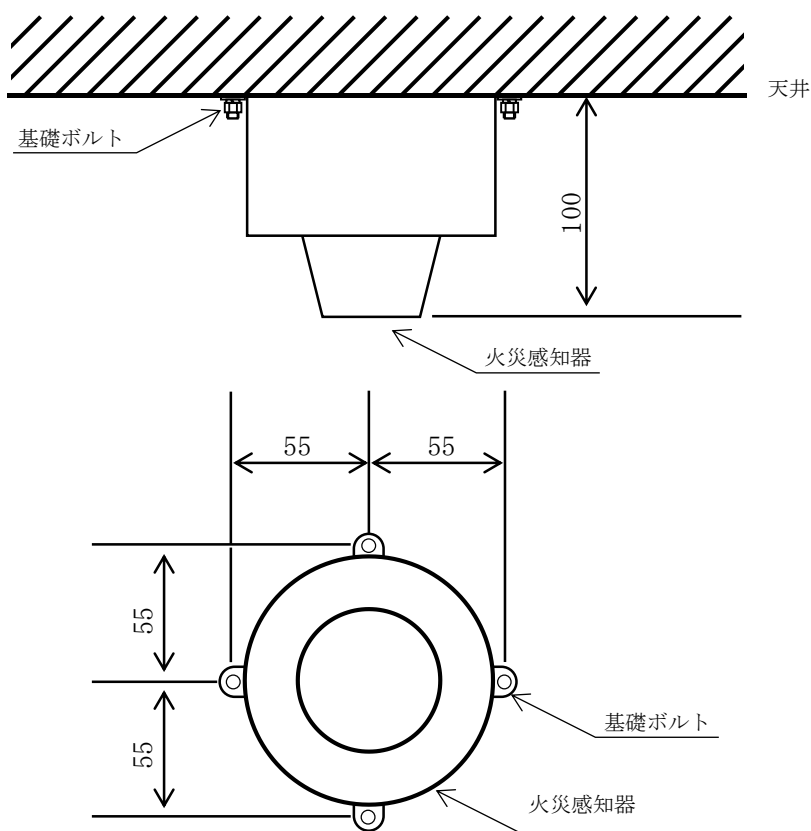
(単位：mm)

機器名称	重量 (kg)
煙感知器	0.125
熱感知器	0.137

図 2-2 火災感知器①の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画 (2/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器②	火災感知器②は、基礎ボルトにて、天井に固定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・煙感知器 (防爆) ・熱感知器 (防爆) 	図 2-3



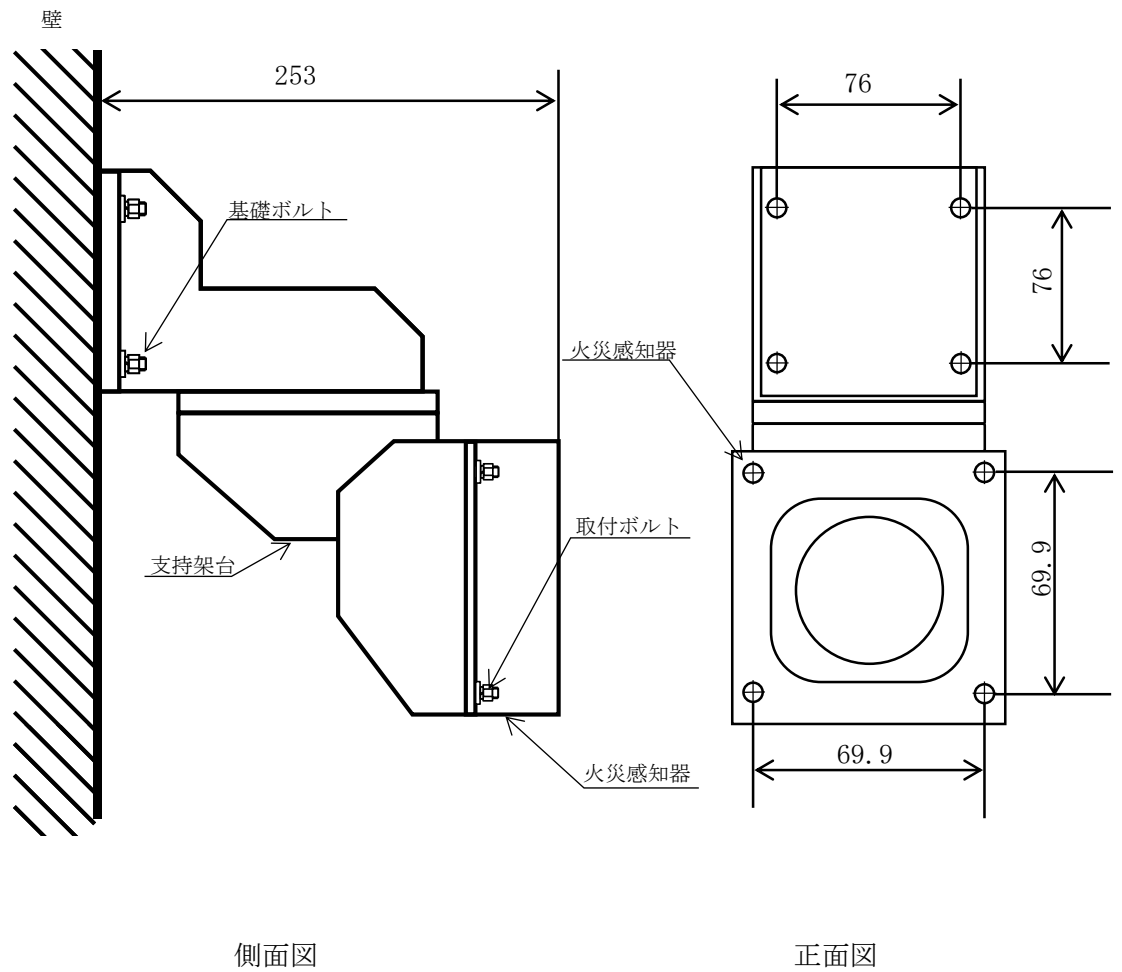
(単位：mm)

機器名称	重量 (kg)
煙感知器 (防爆)	3.0
熱感知器 (防爆)	2.5

図2-3 火災感知器②の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画 (3/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器③	火災感知器③は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を基礎ボルトにて壁に固定する。	・炎感知器	図 2-4



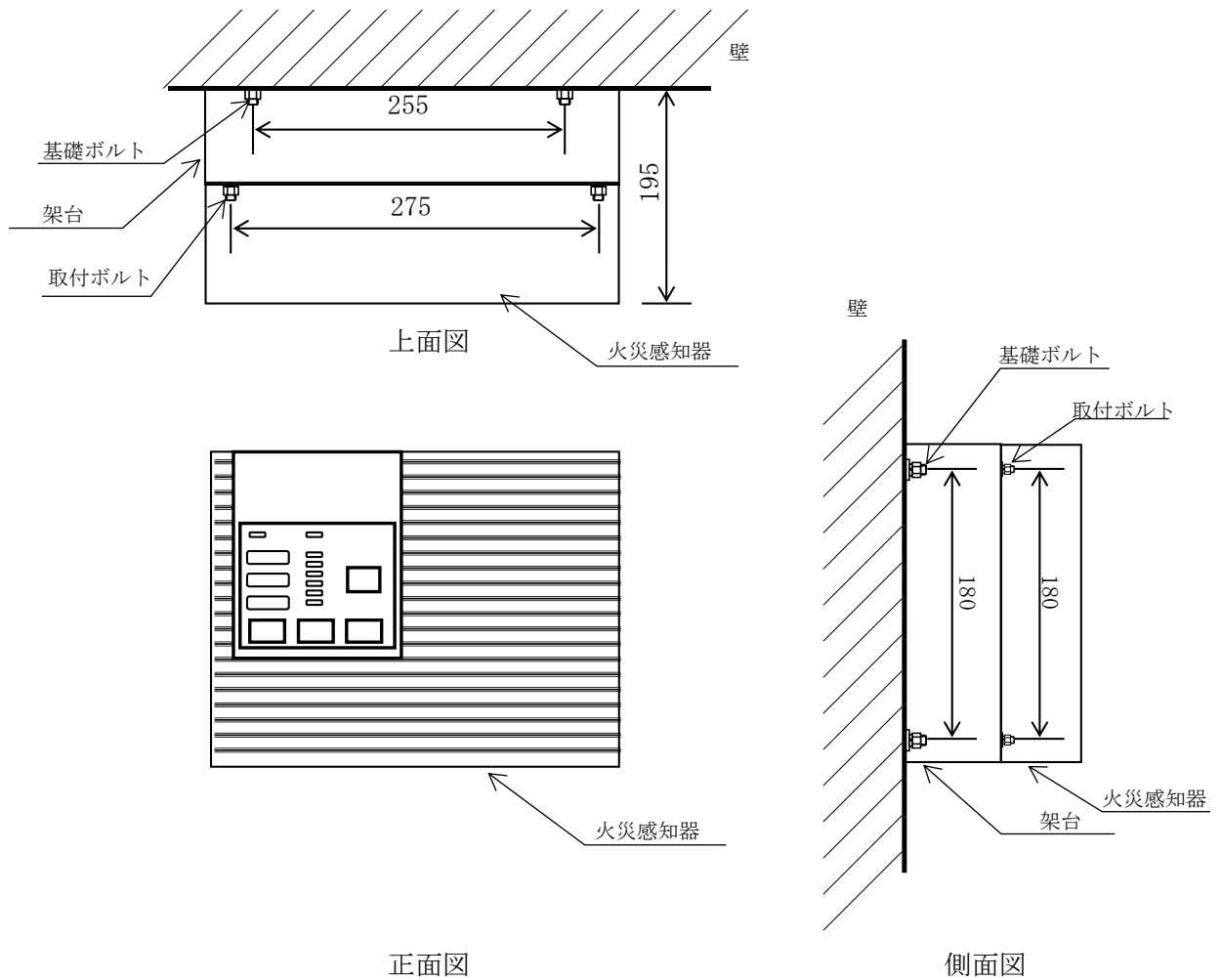
(単位：mm)

機器名称	重量 (kg)
炎感知器	0.65

図2-4 火災感知器③の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画 (4/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器④	火災感知器④は、取付ボルトにて架台に取り付け、架台を基礎ボルトにて壁に固定する。	・煙吸引式検出設備	図 2-5



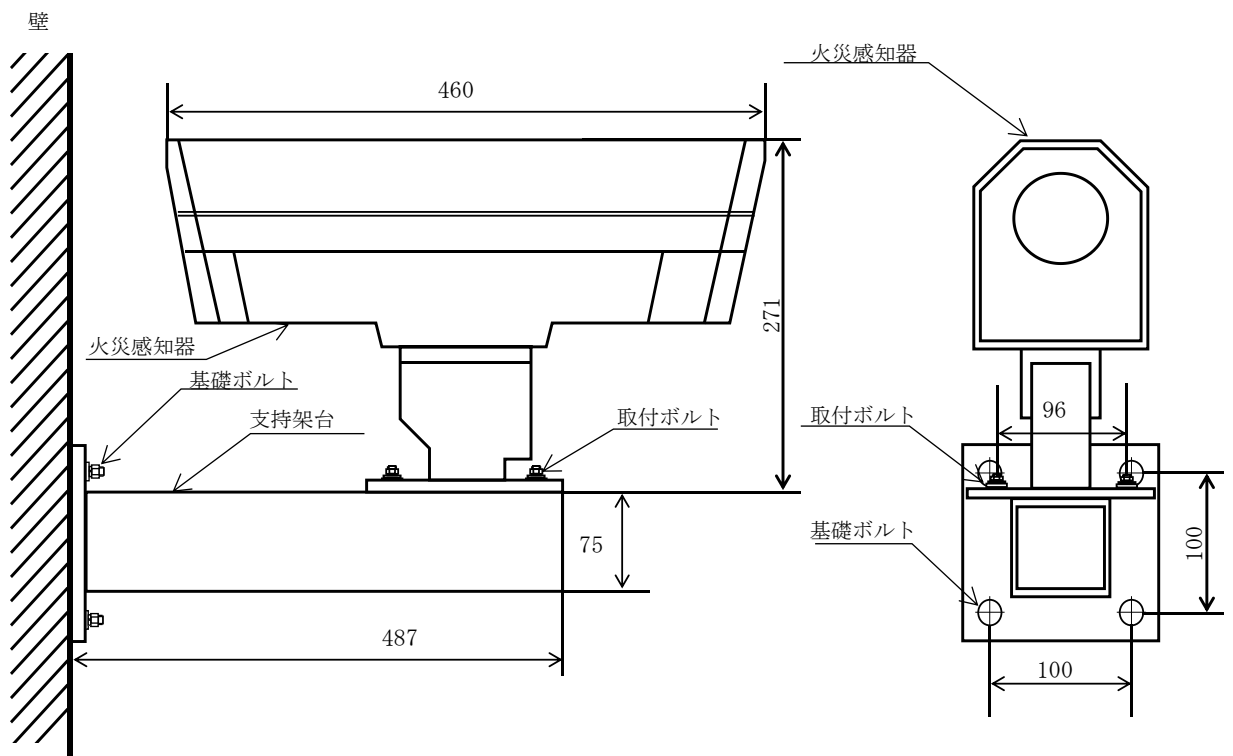
(単位：mm)

機器名称	重量 (kg)
煙吸引式検出設備	2.0

図 2-5 火災感知器④の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画 (5/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器⑤	火災感知器⑤は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を基礎ボルトにて壁に固定する。	・熱感知カメラ	図 2-6



側面図

正面図

(単位：mm)

機器名称	重量 (kg)
熱感知カメラ	5.0

図 2-6 火災感知器⑤の概要図

表 2-2 火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画 (1/3)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤①	火災受信機盤①は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)	図 2-7

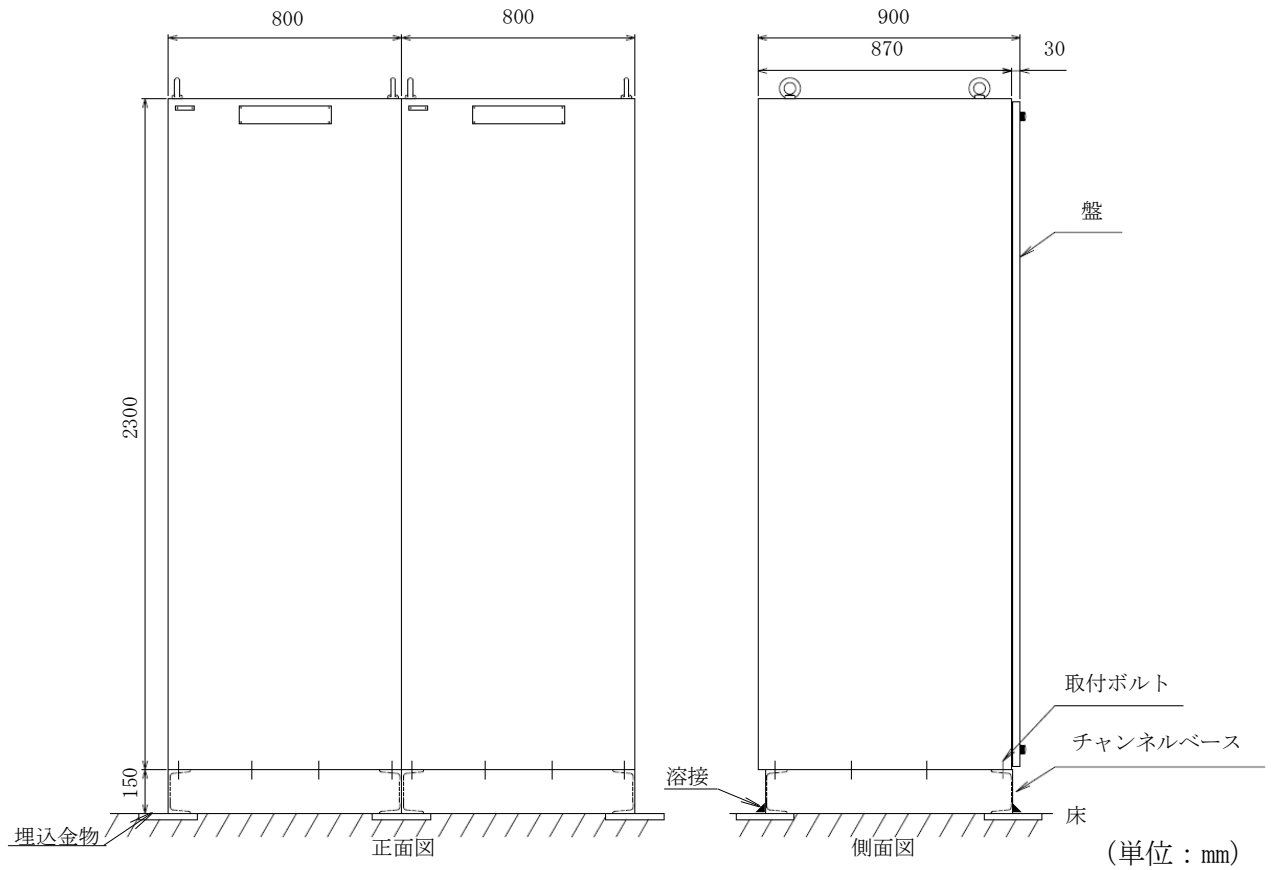


図 2-7 火災受信機盤①の概要図

表 2-2 火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画 (2/3)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤②	火災受信機盤②は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎架台に固定され、基礎架台は基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)	図 2-8

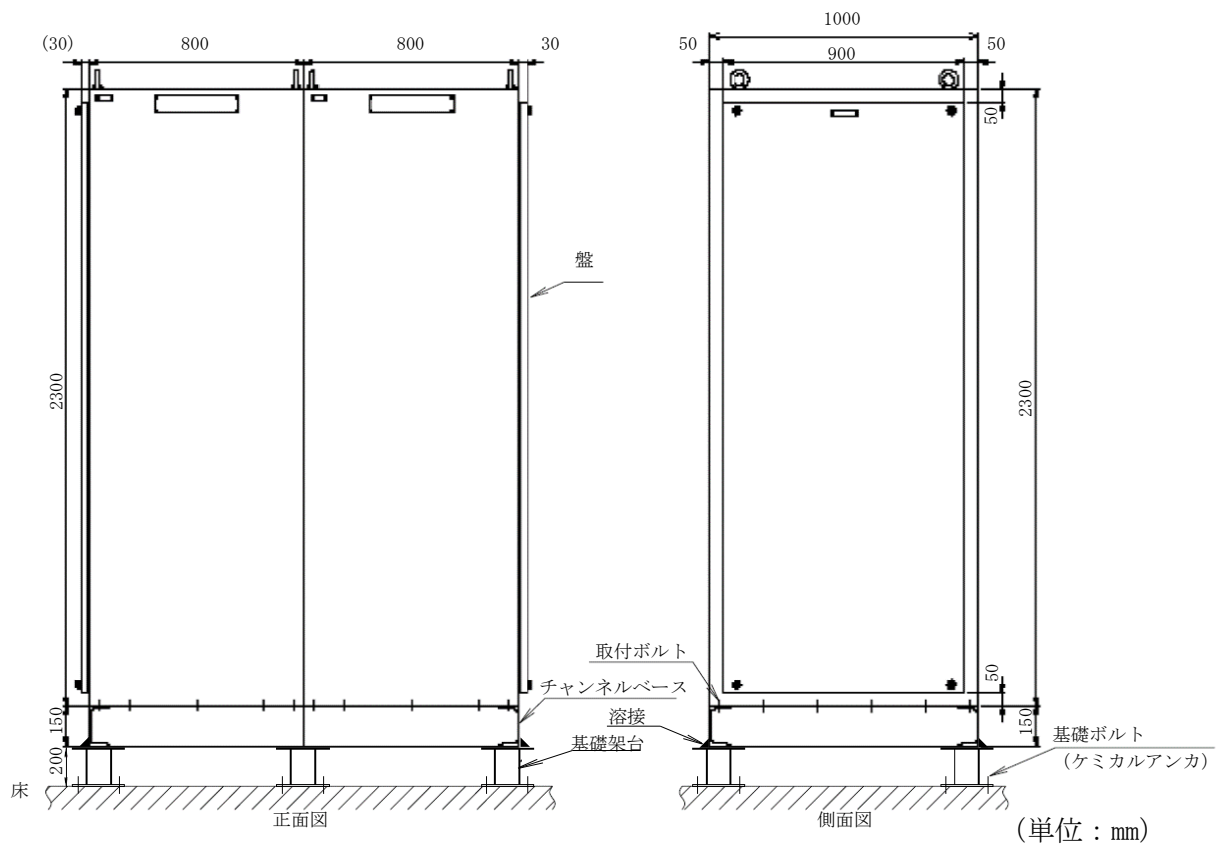
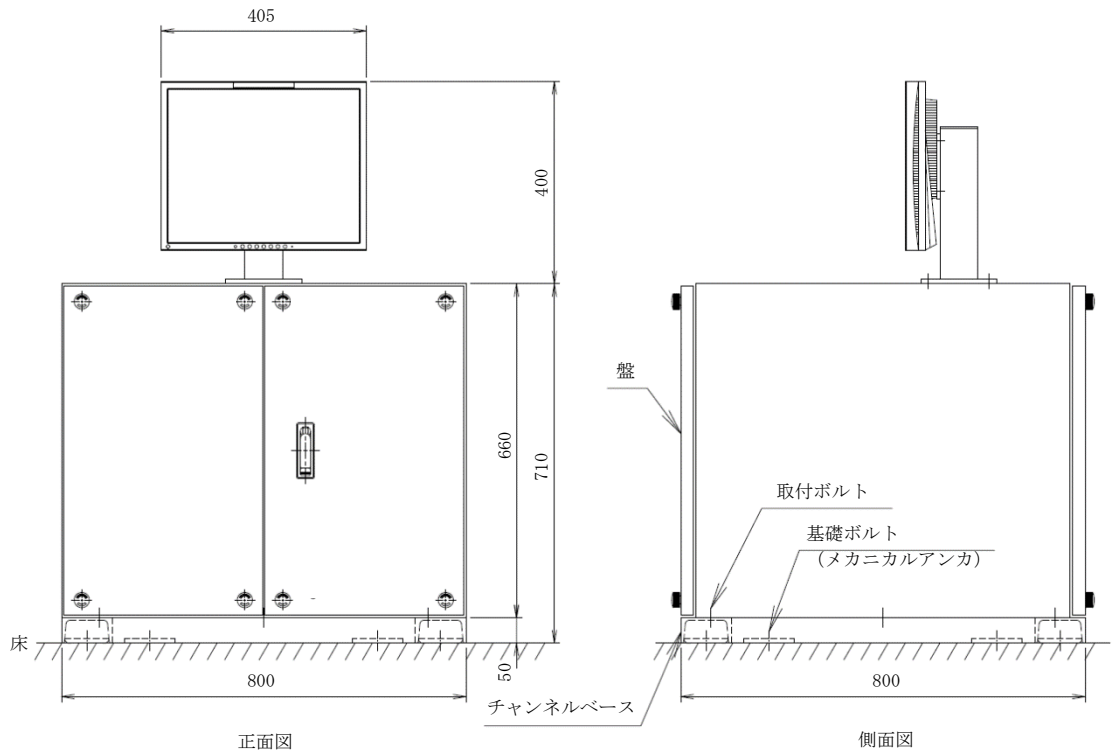


図 2-8 火災受信機盤②の概要図

表 2-2 火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画 (3/3)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤③	火災受信機盤③は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)	図 2-9

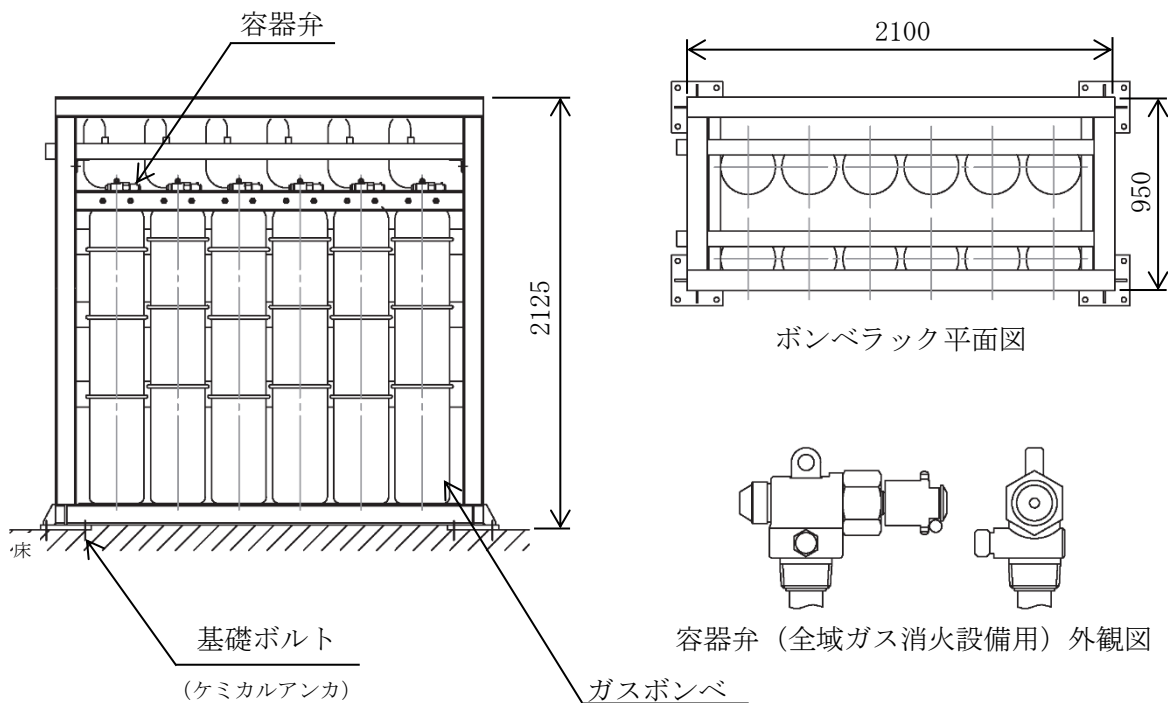


(単位：mm)

図 2-9 火災受信機盤③の概要図

表 2-3 火災防護設備のうちボンベラックの構造計画 (1/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック (68ℓ 2列6本用)	容器弁は、ガスボンベにねじ込み固定する。 ガスボンベは、ボンベラックに固定し、ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ 及び容器弁 (直立形)	図 2-10



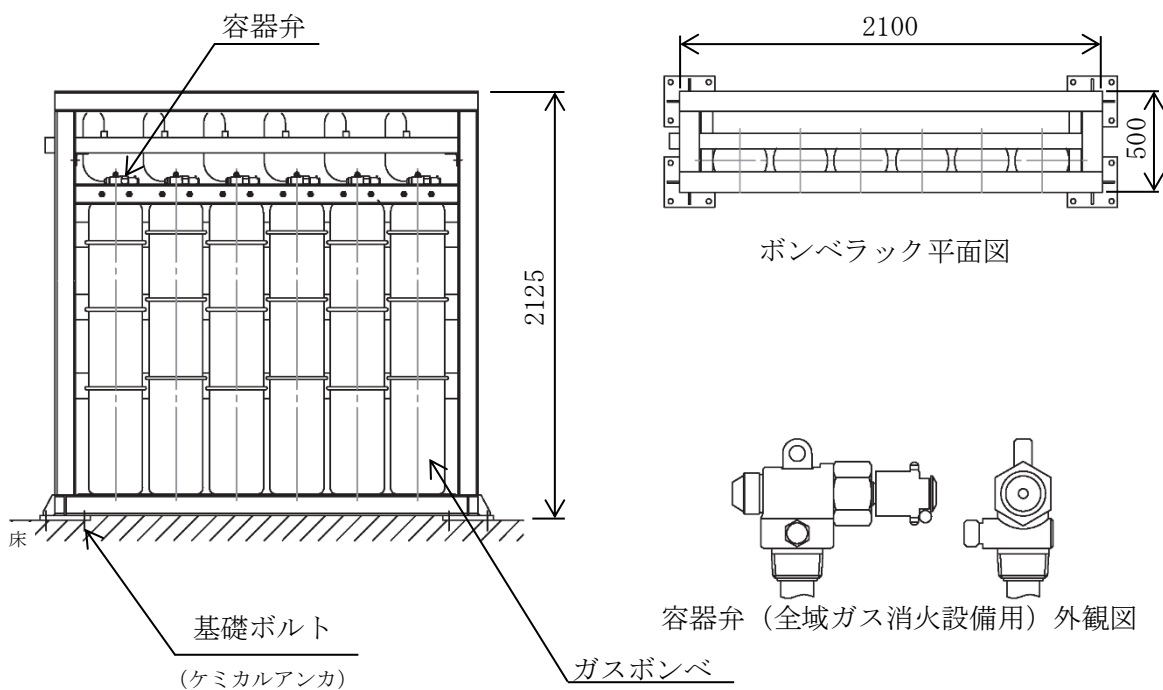
68ℓ 2列6本用ボンベラック外観図

(単位：mm)

図 2-10 ボンベラック (68ℓ 2列6本用) の概要図

表 2-3 火災防護設備のうちボンベラックの構造計画 (2/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック (680 1列6本用)	容器弁は、ガスボンベにねじ込み固定する。 ガスボンベは、ボンベラックに固定し、ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ 及び容器弁 (直立形)	図 2-11



680 1列6本用ボンベラック外観図

(単位：mm)

図 2-11 ボンベラック (680 1列6本用) の概要図

表 2-3 火災防護設備のうちボンベラックの構造計画 (3/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック (240 壁掛 5 本用)	容器弁は、ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは、ボンベラックに固定し、ボンベラックは基礎ボルトにて壁に設置する。なお、容器弁の形状が全域ガス消火設備用とケーブルトレイ消火用で異なるが、ガスボンベ及びボンベラックは同じ構造である。	ガスボンベ 及び容器弁 (壁掛形)	図 2-12

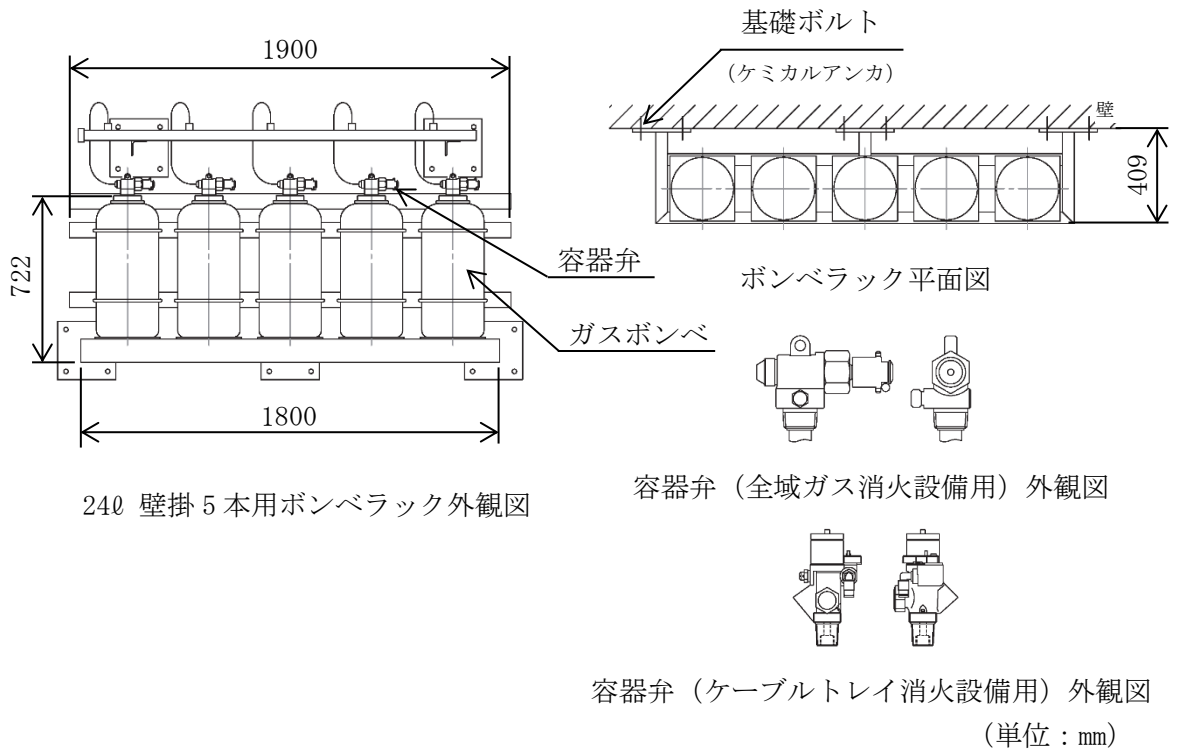
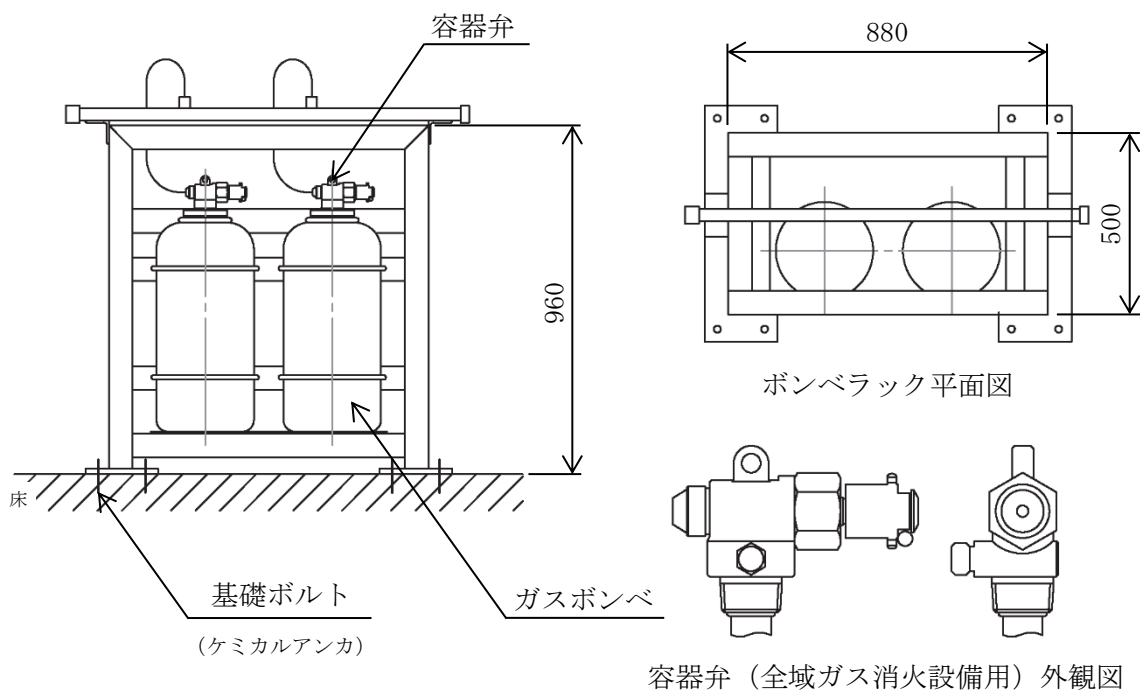


図 2-12 ボンベラック (240 壁掛 5 本用) の概要図

表 2-3 火災防護設備のうちボンベラックの構造計画 (4/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック (240 1列2本用)	容器弁は、ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは、ボンベラックに固定し、ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ及び容器弁 (直立形)	図 2-13



240 1列2本用ボンベラック外観図

(単位 : mm)

図 2-13 ボンベラック (240 1列2本用) の概要図

表 2-3 火災防護設備のうちボンベラックの構造計画 (5/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック (68ℓ 2列5本用)	容器弁は、ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは、ボンベラックに固定し、ボンベラックは基礎ボルトにて基礎及び壁に設置する。	ガスボンベ及び容器弁 (壁支持を含む直立形)	図 2-14

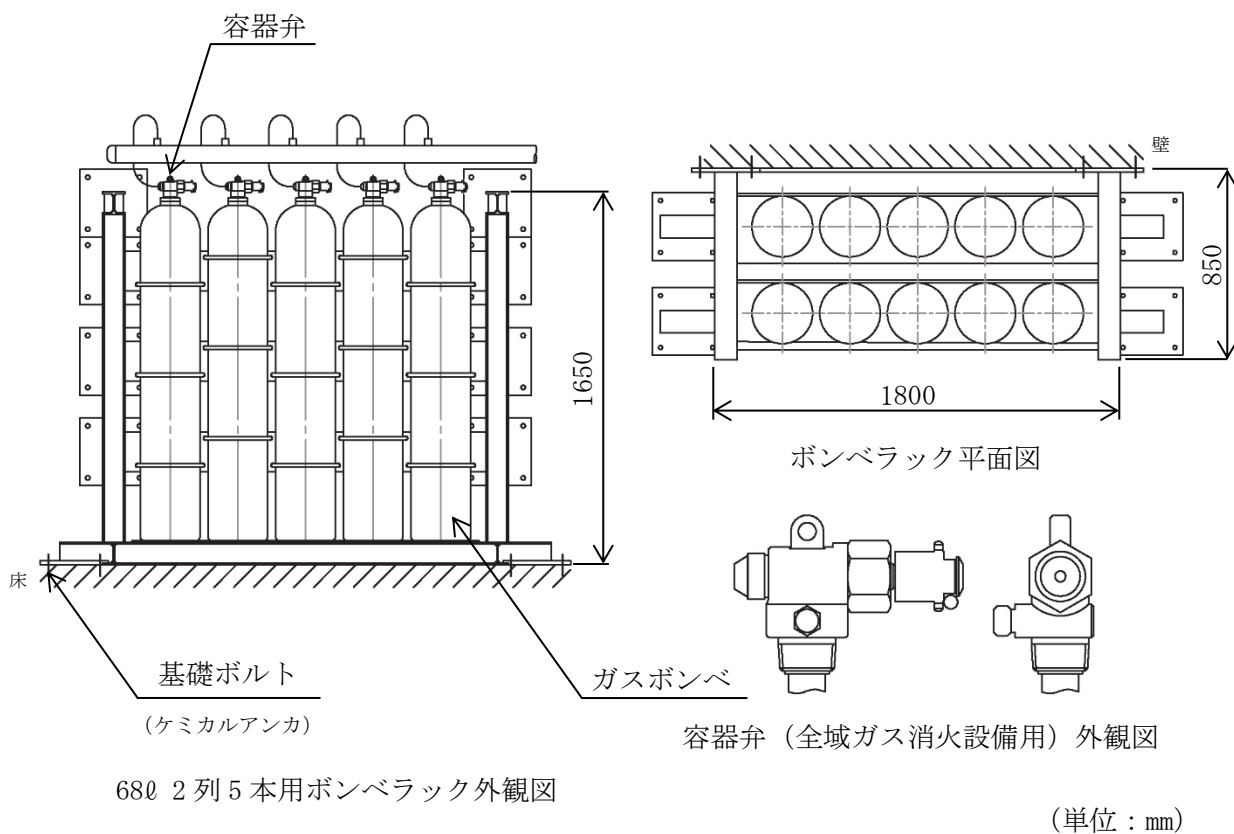
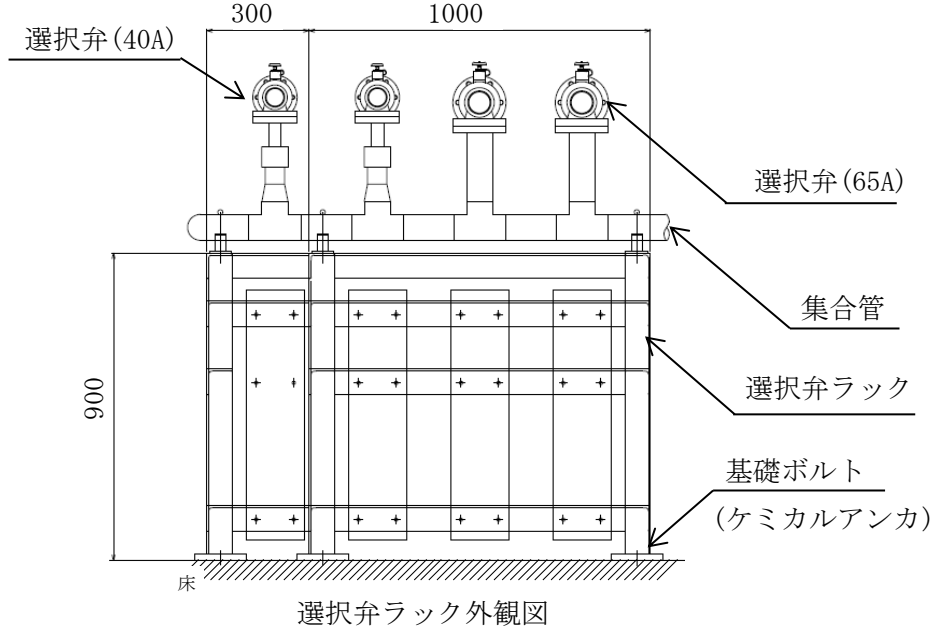
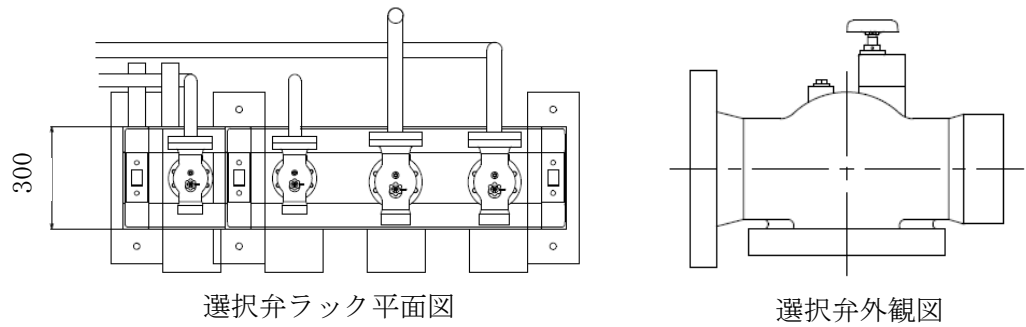


図 2-14 ボンベラック (68ℓ 2列5本用) の概要図

表 2-4 火災防護設備のうち選択弁の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
選択弁	選択弁は、集合管に取り付けて固定する。 集合管は、選択弁ラックに固定し、選択弁ラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	選択弁、 集合管及び 選択弁ラック (直立形)	図 2-15



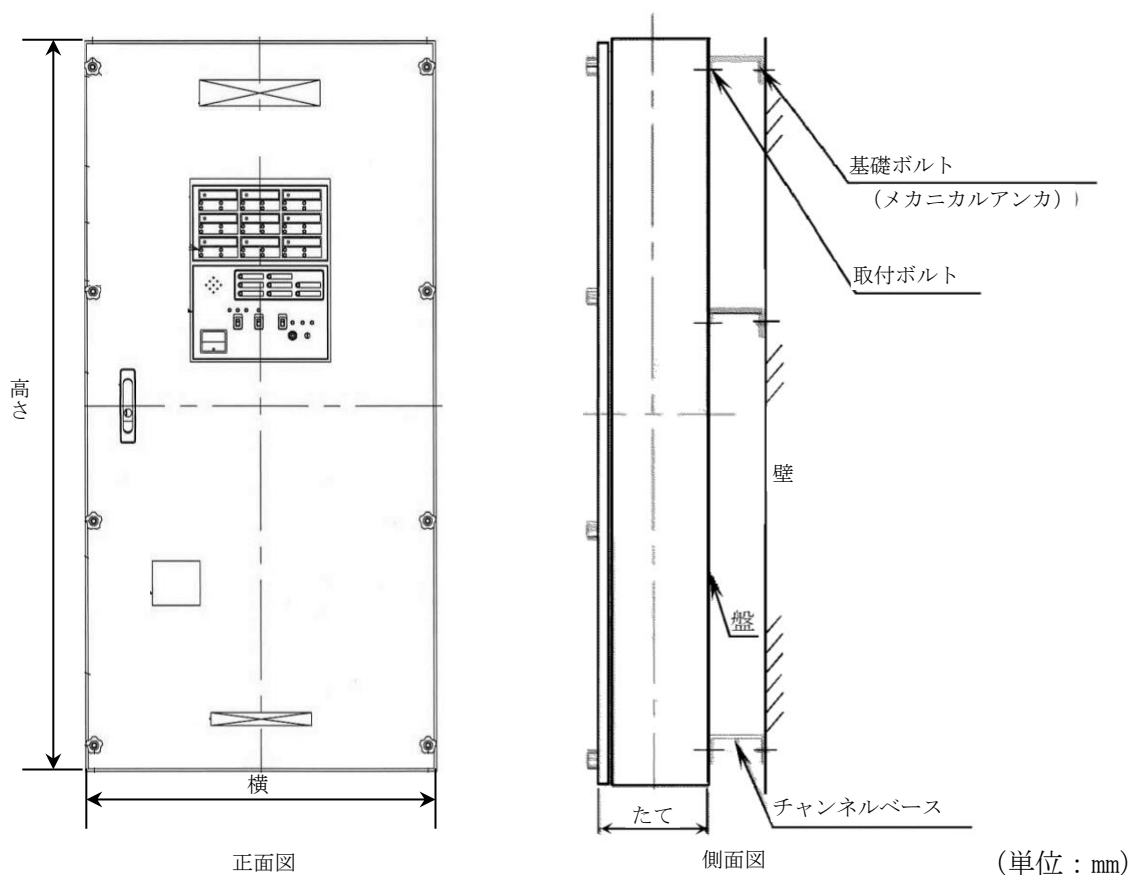
(単位：mm)

図 2-15 選択弁の概要図

S2 補 VI-2-別添 1-1 R0

表 2-5 火災防護設備のうち制御盤（全域ガス消火設備）の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
制御盤 (全域ガス消火設備)	制御盤（全域ガス消火設備）は、チャンネルベースに取付ボルトで設置する。チャンネルベースは基礎ボルトにて壁に設置する。	壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤)	図 2-16



正面図

側面図

(単位：mm)

機器名称	制御盤（全域ガス消火設備） 自動 3 回線	制御盤（全域ガス消火設備） 自動 9 回線
たて	200	200
横	550	700
高さ	950	1400

図 2-16 制御盤（全域ガス消火設備）の概要図*

注記*：制御盤（全域ガス消火設備）のうち自動 9 回線の制御盤（全域ガス消火設備）を代表に記載する。

表 2-6 火災防護設備のうち配管（消火設備）の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
配管 (ケーブルトレイ消火設備)	配管（ケーブルトレイ消火設備）はケーブルトレイ外において、配管の自在性を活かすために、UボルトやUバンド等にて支持することなくパンチングトレイ内に設置する。	配管	図 2-17

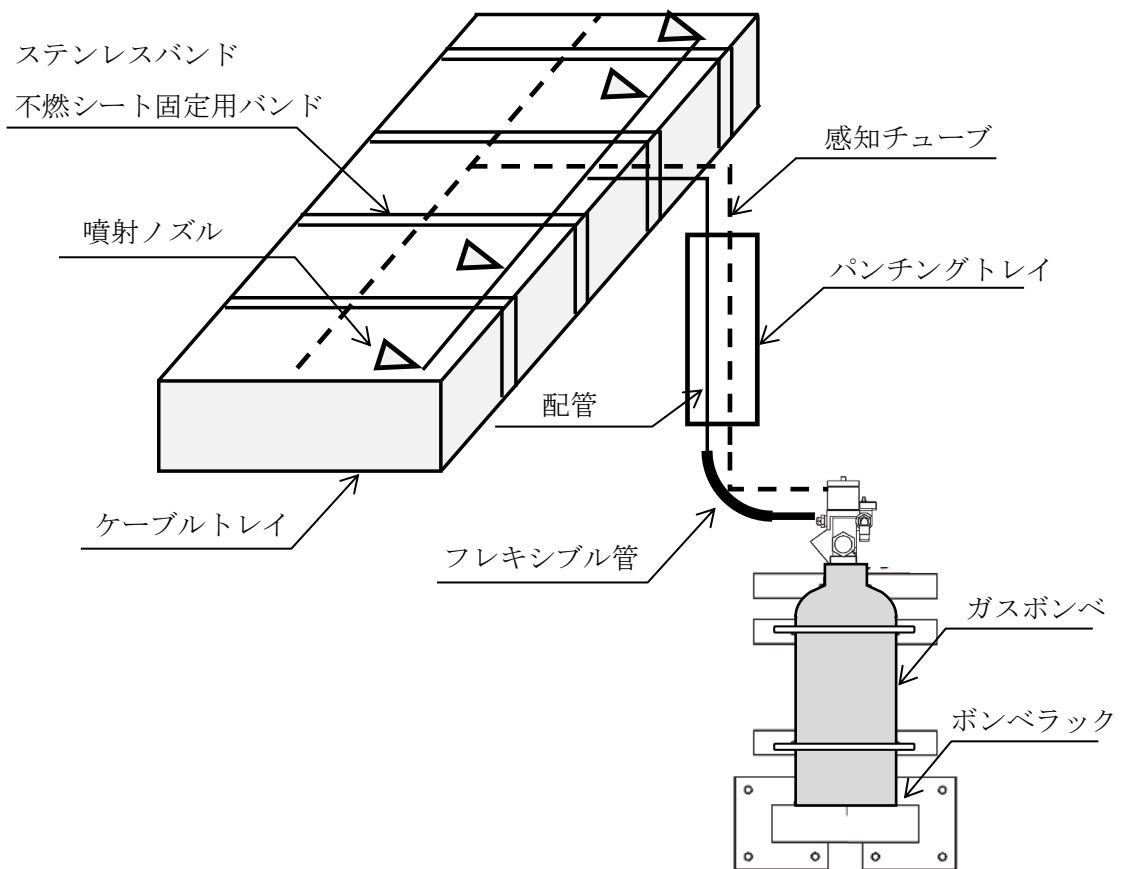


図 2-17 配管（ケーブルトレイ消火設備）の概要図

2.3 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 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 -1987 （（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年度版（2007年追補版を含む））（以下「設計・建設規格」という。）
- ・鋼構造設計基準 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，2005改定）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）
- ・日本産業規格（J I S）

2.4 記号の説明

表 2-7 火災感知器①の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
m_i	火災感知器及び支持架台又は固定金具の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} ,

S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

表 2-8 火災感知器②の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	火災感知器及び支持架台又は固定金具の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} ,

S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

表 2-9 火災感知器③の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{ai}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離* ¹	mm
l_{bi}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離* ¹	mm
l_{3i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離* ¹	mm
m_i	火災感知器及び支持架台又は固定金具の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fvi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (側面方向) * ¹	—
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (正面方向) * ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	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* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{ai} , l_{bi} , l_{3i} , n_i , n_{fvi} , n_{fHi} , Q_{bi} , Q_{b1i} , Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

表 2-10 火災感知器④の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{ai}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離* ¹	mm
l_{bi}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離* ¹	mm
l_{3i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離* ¹	mm
m_i	火災感知器及び支持架台又は固定金具の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fvi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (側面方向) * ¹	—
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (正面方向) * ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	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* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{ai} , l_{bi} , l_{3i} , n_i , n_{fvi} , n_{fHi} , Q_{bi} , Q_{b1i} , Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

表 2-11 火災感知器⑤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{ai}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離* ¹	mm
l_{bi}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離* ¹	mm
l_{3i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離* ¹	mm
m_i	火災感知器及び支持架台又は固定金具の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
n_{fvi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (側面方向) * ¹	—
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (正面方向) * ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	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* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , l_{ai} , l_{bi} , l_{3i} , n_i , n_{fvi} , n_{fHi} , Q_{bi} , Q_{b1i} , Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$,

σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

表 2-12 火災受信機盤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離 (直立形) * ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離 (直立形) * ¹ , * ³	mm
m_i	盤の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (直立形) * ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} ,

S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

表2-13 ボンベラックの応力評価に用いる記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	ボンベラック部材の断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _{s x}	ボンベラック部材のせん断断面積 (x 方向)	mm ²
A _{s y}	ボンベラック部材のせん断断面積 (y 方向)	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _o	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _x	ボンベラック部材のせん断力 (x 方向)	N
F _y	ボンベラック部材のせん断力 (y 方向)	N
F _{s b}	基礎ボルトのせん断力	N
F _t	ボンベラック部材の軸力	N
F _{t b}	基礎ボルトの引張力	N
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t m}	ボンベラック部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
J	ボンベラック部材のねじり定数	mm ⁴
M _x	ボンベラック部材の曲げモーメント (x 方向)	N・mm
M _y	ボンベラック部材の曲げモーメント (y 方向)	N・mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	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 (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	ボンベラック部材のねじりモーメント	N・mm
t	ボンベラック部材の最大板厚	mm
Z _x	ボンベラック部材の断面係数 (x 方向)	mm ³
Z _y	ボンベラック部材の断面係数 (y 方向)	mm ³
σ _b	ボンベラック部材に生じる曲げ応力	MPa
σ _f	ボンベラック部材に生じる組合せ応力	MPa
σ _{f a}	ボンベラック部材に生じる軸応力と曲げ応力の和	MPa
σ _t	ボンベラック部材に生じる軸応力	MPa
σ _{t b}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	ボンベラック部材に生じるせん断応力	MPa
τ _b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

表2-14 選択弁の応力評価に用いる記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	選択弁ラック部材の断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _{s x}	選択弁ラック部材のせん断断面積 (x 方向)	mm ²
A _{s y}	選択弁ラック部材のせん断断面積 (y 方向)	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _o	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _x	選択弁ラック部材のせん断力 (x 方向)	N
F _y	選択弁ラック部材のせん断力 (y 方向)	N
F _{s b}	基礎ボルトのせん断力	N
F _{t m}	選択弁ラック部材の軸力	N
F _{t b}	基礎ボルトの引張力	N
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	選択弁ラック部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
J	選択弁ラック部材のねじり定数	mm ⁴
M _x	選択弁ラック部材の曲げモーメント (x 方向)	N・mm
M _y	選択弁ラック部材の曲げモーメント (y 方向)	N・mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	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 (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	選択弁ラック部材のねじりモーメント	N・mm
t	選択弁ラック部材の最大板厚	mm
Z _x	選択弁ラック部材の断面係数 (x 方向)	mm ³
Z _y	選択弁ラック部材の断面係数 (y 方向)	mm ³
σ _b	選択弁ラック部材に生じる曲げ応力	MPa
σ _f	選択弁ラック部材に生じる組合せ応力	MPa
σ _{f a}	選択弁ラック部材に生じる軸応力と曲げ応力の和	MPa
σ _t	選択弁ラック部材に生じる軸応力	MPa
σ _{t b}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	選択弁ラック部材に生じるせん断応力	MPa
τ _b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

表 2-15 制御盤（全域ガス消火設備）の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）* ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* ¹	mm
l_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* ¹	mm
l_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）* ¹	mm
m_i	盤の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fvi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（側面方向）（壁掛形）* ¹	—
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（正面方向）（壁掛形）* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	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* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , l_{3i} , n_i , n_{fvi} , n_{fHi} , Q_{bi} , Q_{b1i} , Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

表 2-16 配管（消火設備）の応力評価に用いる記号の定義（1/2）

記号	記号の説明	単位
$B_1, B_2,$ B_{2b}, B_{2r}	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）	—
$C_2, C_{2b},$ C_{2r}	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（一次＋二次応力の計算に使用するもの）	—
D_0	管の外径	mm
E	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数	MPa
i_1	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値	—
i_2	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値	—
$K_2, K_{2b},$ K_{2r}	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）	—
M_a	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生じるモーメント	N・mm
M_b	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント	N・mm
M_b^*	地震による慣性力により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_{bp}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生じるモーメント	N・mm
M_{bs}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_c	耐震性についての計算：地震による相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_{ip}	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生じるモーメント	N・mm
M_{is}	耐震性についての計算：管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
M_{rp}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生じるモーメント	N・mm

表2-16 配管（消火設備）の応力評価に用いる記号の定義（2/2）

記号	記号の説明	単位
M_{rs}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N・mm
n_i	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数	回
N_i	繰返し荷重 i に対し、設計・建設規格 PPB-3534 に従って算出された許容繰返し回数	回
P	耐震性についての計算：地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
S	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
S_l	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1 に規定する材料の設計応力強さ	MPa
S_n	一次＋二次応力	MPa
S_p	ピーク応力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
S_t	ねじりによる応力	MPa
$S_t + S_b$	曲げとねじりによる応力	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に規定する材料の設計降伏点	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に規定する材料の設計引張強さ	MPa
t	管の厚さ	mm
U	運転状態 I, II における疲労累積係数	—
U_{sd}	S_d 地震動のみによる疲労累積係数	—
U_{ss}	S_s 地震動のみによる疲労累積係数	—
Z, Z_i	管の断面係数	mm ³
Z_b	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数	mm ³
Z_r	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数	mm ³
ϵ_e	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、弾性解析により計算したときのひずみであり、次の計算式により計算した値 $\epsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ $\bar{\sigma}^*$ ：弾性解析によるミーゼス相当応力	—
ϵ_{ep}	S_p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、材料の応力－ひずみ関係として、降伏応力を S_m の 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり、次の計算式により計算した値 $\epsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\epsilon}_p$ $\bar{\sigma}$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当応力 $\bar{\epsilon}_p$ ：弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	—

2.5 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2-17から表2-22に示すとおりである。

表 2-17 火災感知器の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
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s ²	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
機能確認済加速度	×9.8m/s ²	—	—	小数点以下第2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：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、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。

表2-18 火災受信機盤の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
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	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：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、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。

表 2-19 ボンベラックの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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位* ¹
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位* ¹
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位* ²	四捨五入 小数点以下第 1 位* ³
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ⁴
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ⁴
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ⁴
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ⁵	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
機能維持評価用加速度	×9.8m/s ²	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s ²	—	—	小数点以下第 2 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：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*5：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引張強さ及び降伏点は、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。

表 2-20 選択弁の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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位* ¹
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位* ¹
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位* ²	四捨五入 小数点以下第 1 位* ³
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ⁴
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ⁴
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ⁴
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ⁵	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
機能維持評価用加速度	×9.8m/s ²	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s ²	—	—	小数点以下第 2 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：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*5：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引張強さ及び降伏点は、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。

表 2-21 制御盤（全域ガス消火設備）の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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	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：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，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。

表 2-22 配管（消火設備）の表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
計算条件	圧力	MPa	小数点第 3 位	四捨五入	小数点第 2 位* ¹
	温度	℃	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	厚さ	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	縦弾性係数	MPa	小数点第 1 位* ²	四捨五入	整数位* ²
	質量	kg	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	方向余弦	—	小数点第 5 位	四捨五入	小数点第 4 位
	許容応力* ³	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	減衰定数	%	—	—	小数点第 1 位
解析結果 及び評価	固有周期	s	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	震度	—	小数点第 3 位	切上げ	小数点第 2 位
	刺激係数	—	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	計算応力	MPa	小数点第 1 位	切上げ	整数位
	許容応力* ²	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	計算荷重及び反力	kN	小数点第 1 位	切上げ	整数位* ⁴
	モーメント	kN・m	小数点第 1 位	切上げ	整数位* ⁴
	許容荷重	kN	小数点第 1 位	切捨て	整数位* ⁴
	疲労累積係数	—	小数点第 5 位	切上げ	小数点第 4 位
	機能維持評価用 加速度	×9.8m/s ²	小数点第 3 位	切上げ	小数点第 2 位
	機能確認済加速度	×9.8m/s ²	—	—	小数点第 2 位

注記*1：必要に応じて小数点第 3 位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

*2：必要に応じて処理桁を有効数字 4 桁、表示桁を有効数字 3 桁とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、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。

*4：必要に応じて小数点第 1 位表示とする。

3. 評価部位

火災防護設備の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、以下について評価を実施する。

(1) 火災感知器

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

火災感知器は、耐震性を有する原子炉建物等にボルト等で固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災感知器は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、火災感知器を固定する基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(2) 火災受信機盤

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

火災受信機盤は、耐震性を有する廃棄物処理建物等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災受信機盤は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、火災受信機盤を固定する火災受信機盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(3) ボンベラック

a. ボンベラック及び基礎ボルト

ボンベラックは、耐震性を有する原子炉建物等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具

体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

ボンベラックは、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、ボンベラックの構成品であるボンベラック部材及び基礎ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(4) 選択弁

a. 選択弁ラック及び基礎ボルト

選択弁ラックは、耐震性を有する原子炉建物等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

選択弁は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、選択弁の構成品である選択弁ラック及び基礎ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(5) 制御盤（全域ガス消火設備）

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

制御盤（全域ガス消火設備）は、耐震性を有する原子炉建物等に支持構造物を介してボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

制御盤（全域ガス消火設備）は、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、制御盤（全域ガス消火設備）を固定する制御盤（全域ガス消火設備）の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(6) 配管（消火設備）

a. 管及び支持構造物

配管（ケーブルトレイ消火設備を除く。）は、耐震性を有する原子炉建物等に支持構造物を介してボルトで固定し、主要な構造部材が、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、管及び支持構造物の許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみを生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

配管のうちケーブルトレイ消火設備は、配管の自在性を活かすために、配管をUボルトやUバンド等にて支持することなく、パンチングトレイ内に設置することで基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部材が火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

4. 固有周期

火災感知設備及び消火設備の固有周期は、振動試験、3次元多質点系はりモデル又は、はり・シェルモデルによる解析により求める。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

5.1.1 火災感知器

- (1) 火災感知器及び支持架台又は固定金具の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は火災感知器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 火災感知器は、取付ボルトにて固定金具又は支持架台に取付けられている。固定金具又は支持架台は、基礎ボルトにて建物躯体部に固定されているため、固定金具又は支持架台と建物躯体部との固定部を固定端とする。
- (4) 天井取付型の火災感知器については、図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 壁掛型の火災感知器については図 5-3 から図 5-5 における左右方向及び前後方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (6) 火災感知器及び固定金具又は支持架台の重心位置については、転倒方向を考慮して、実機での重心位置又は計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行う。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.1.2 火災受信機盤

火災受信機盤の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

5.1.3 ボンベラック

- (1) ボンベラックについては、3次元多質点系はりモデル又は、はり・シェルモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。
- (2) ガスボンベは、ボンベラックに固定され、ボンベラックは、基礎ボルトにより建物躯体である壁若しくは床に固定される。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として最大応答加速度の1.2倍の加速度による静的解析を行い、20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.1.4 選択弁

- (1) 選択弁ラックについては、3次元多質点系はりモデルによる地震応答解析から求めた荷

重を用いて構造強度評価を実施する。

- (2) 選択弁は、集合管に固定され、選択弁ラックは、基礎ボルトにより建物躯体である床に固定される。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として最大応答加速度の1.2倍の加速度による静的解析を行い、20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.1.5 制御盤（全域ガス消火設備）

制御盤（全域ガス消火設備）の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

5.1.6 配管（消火設備）

- (1) 配管及び支持構造物の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。
- (2) ケーブルトレイ消火設備の配管については、配管の自在性を活かした設置方法であり、解析による評価が困難であることから、加振試験を行い、加振試験後の外観検査及び気密試験による健全性の確認及び設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較により、耐震評価を実施する。

耐震評価に用いる設置位置での加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度とし、評価対象フロアは各配管の中で最上階に設置されたフロアを対象とするが、配管は建物壁に支持されていることから、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の応答加速度を適用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の種類

荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す荷重を用いる。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、火災起因の荷重は発生しないため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す、機器、配管系の荷重の組合せを用いる。

評価対象部位ごとの荷重の組合せを表5-1に示す。

5.2.3 許容応力

許容限界は、VI-1-1-8の「5.1 火災感知設備について」及び「5.2 消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標に従い、評価対象部位ごとに設定する。

各評価項目の許容限界を表5-2から表5-5に示す。

5.2.4 ボルト許容引張応力

ボルトの許容引張応力 f_{ts} を次式に示す。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.2.4.1)$$

許容引張応力 f_{to} は下表による。

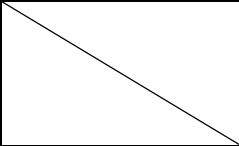
	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

表 5-1 設備ごとの荷重の組合せ及び許容応力状態

施設分類	機器名称	耐震重要度 分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
DB	火災感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
	火災受信機盤	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
	ボンベラック	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
	選択弁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
	制御盤 (全域ガス消 火設備)	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
	配管 (消火設備)	C	クラス3管	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 火災感知器の許容限界

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
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

表 5-3 火災受信機盤の許容限界

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
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

表 5-4 ボンベラックの許容限界

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (部材)	許容限界 ^{*1, *2} (基礎ボルト)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

表 5-5 選択弁の許容限界

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (部材)	許容限界 ^{*1, *2} (基礎ボルト)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

表 5-6 制御盤（全域ガス消火設備）の許容限界

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
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

表 5-7 配管（消火設備）の許容限界

許容応力状態	許容限界		
	一次応力 (曲げ応力含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
IV _A S	$0.9 \cdot S_u$	<p>S_s地震動のみによる疲労解析*を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が$2 \cdot S_y$以下であれば、疲労解析は行わない。</p>	

注記* : $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (ただし, S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える) の簡易弾塑性解析を用いる。

5.3 設計用地震力

地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づく地震力又はそれを上回る地震力を設定する。

5.4 計算方法

5.4.1 火災感知器①の計算方法

基礎ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。計算モデルを図5-1に示す。

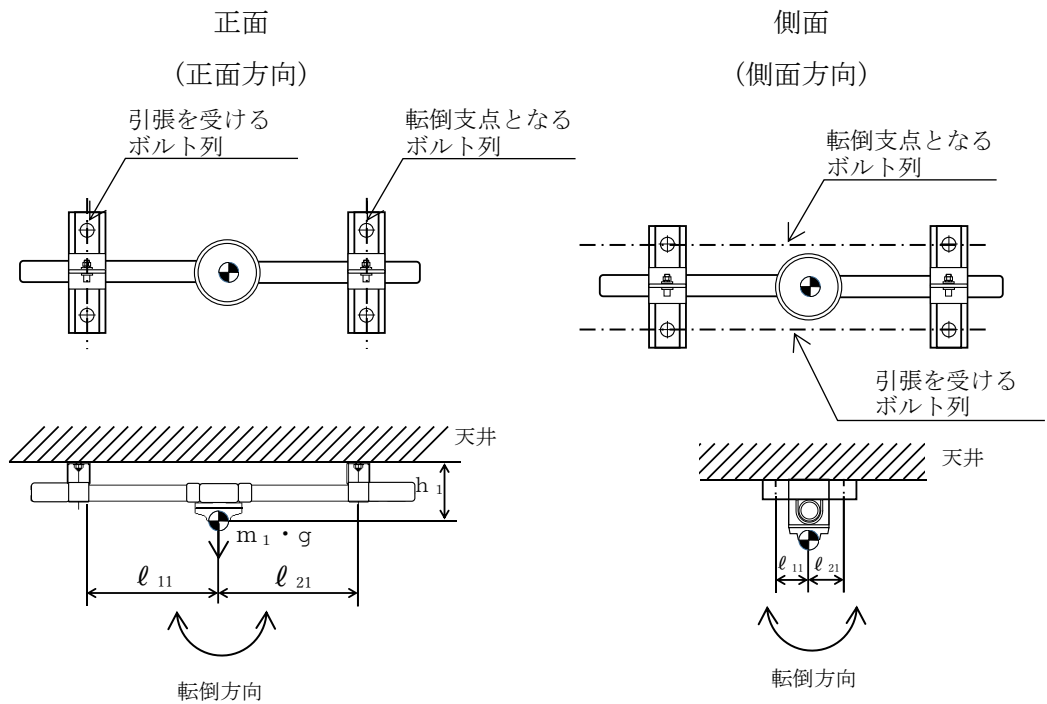


図5-1 火災感知器①の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-1で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot (1 + C_V) \cdot l_{2i} \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

5.4.2 火災感知器②の計算方法

基礎ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。計算モデルを図5-2に示す。

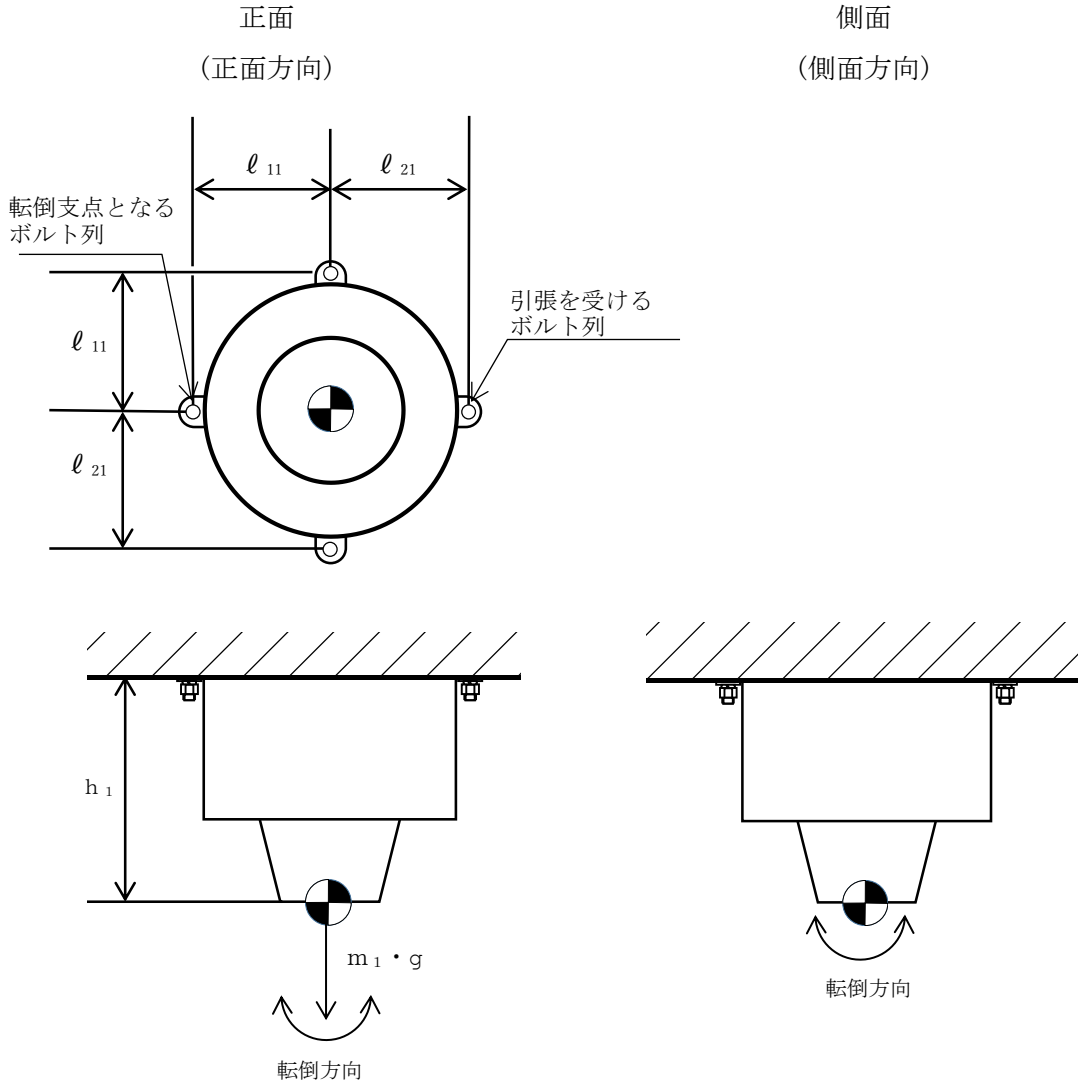


図5-2 火災感知器②の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-2で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b_i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_v) \cdot l_{2i} \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{f_i} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (5.4.2.2)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.2.3)$$

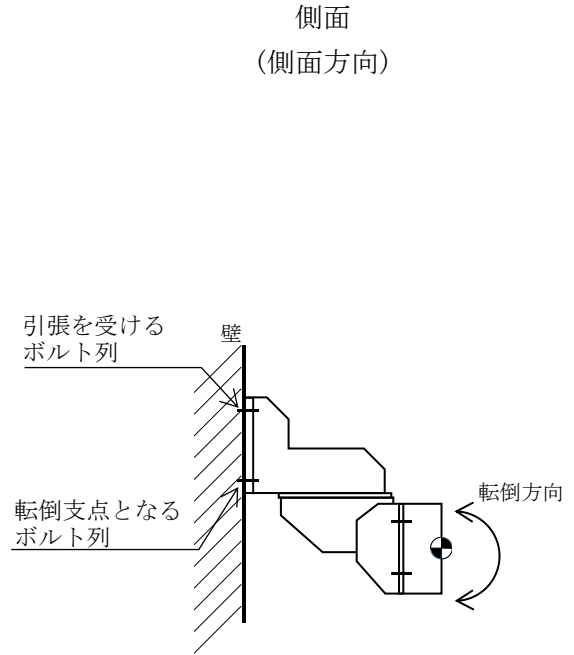
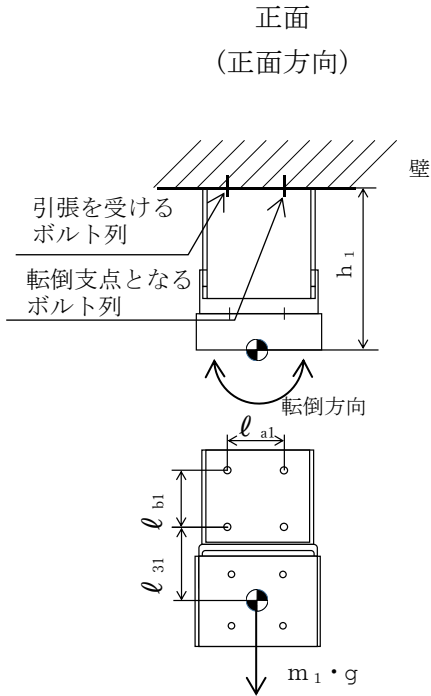
せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (5.4.2.4)$$

5.4.3 火災感知器③の計算方法

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。計算モデルを図5-3に示す。

基礎ボルト ($i = 1$)



取付ボルト ($i = 2$)

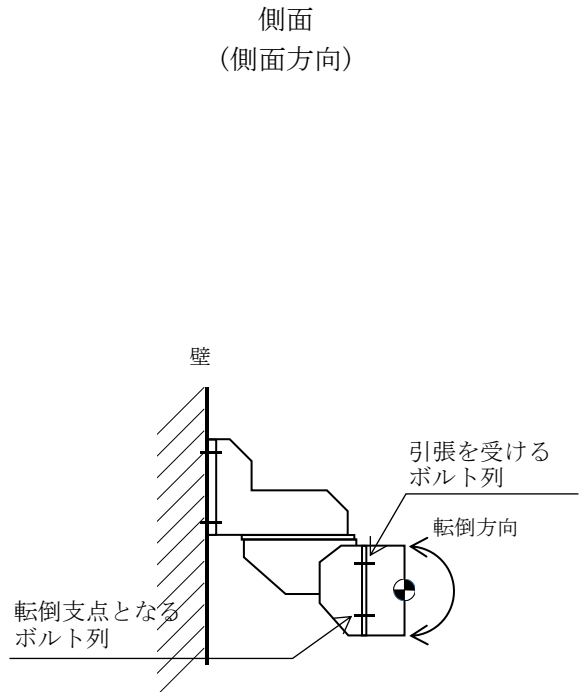
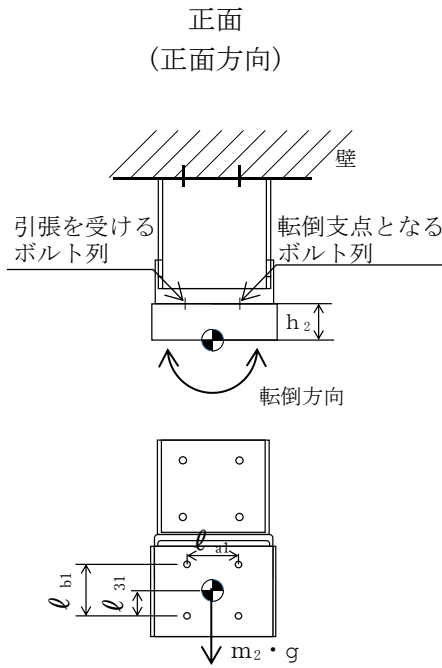


図 5-3 火災感知器③の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-3で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot (1+Cv) \cdot h_i \cdot g}{n_{fvi} \cdot \ell_{bi}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fHi} \cdot \ell_{ai}} \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

$$F_{b2i} = \frac{m_i \cdot (1+Cv) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{3i} \cdot g}{n_{fvi} \cdot \ell_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.3.2)$$

$$F_{bi} = \text{Max} (F_{b1i}, F_{b2i}) \dots\dots\dots (5.4.3.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.3.4)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.3.5)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1+Cv) \cdot g \dots\dots\dots (5.4.3.6)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \dots\dots\dots (5.4.3.7)$$

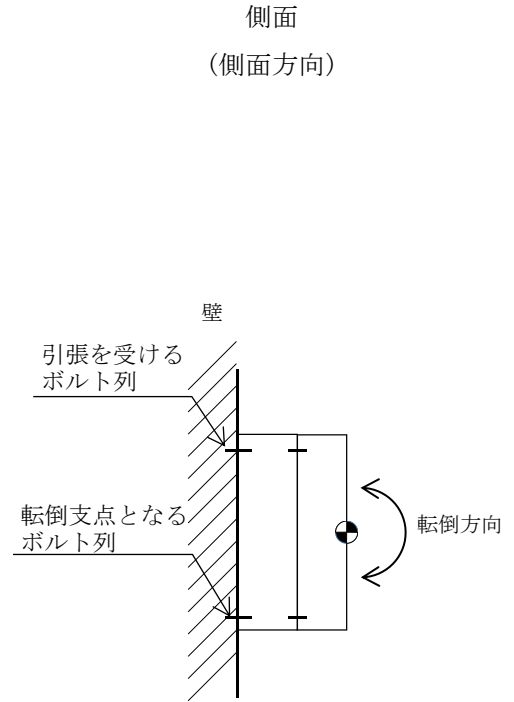
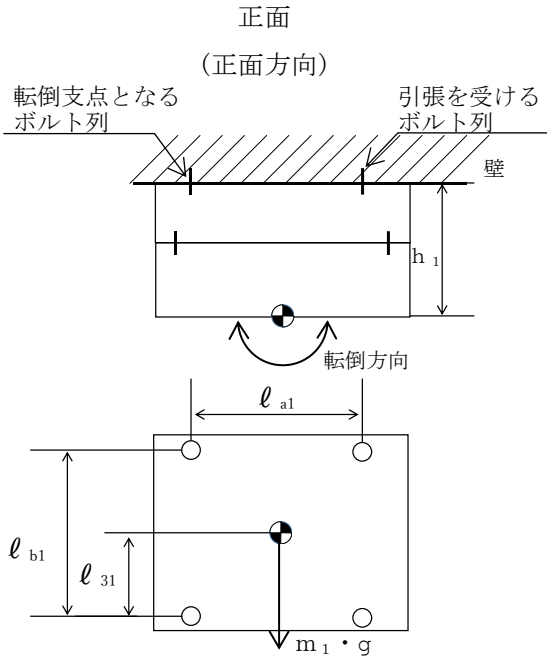
せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.3.8)$$

5.4.4 火災感知器④の計算方法

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-4に示す。

基礎ボルト (i = 1)



取付ボルト (i = 2)

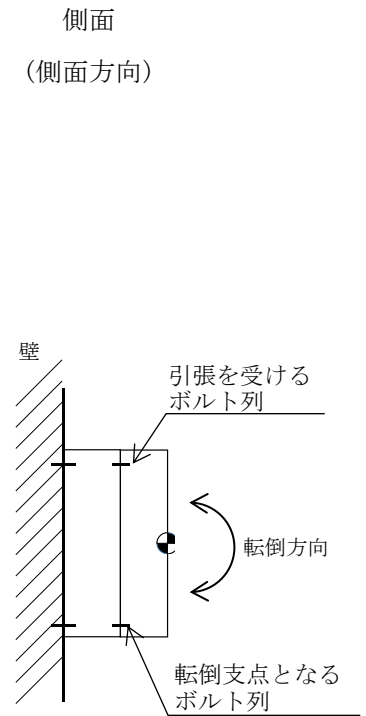
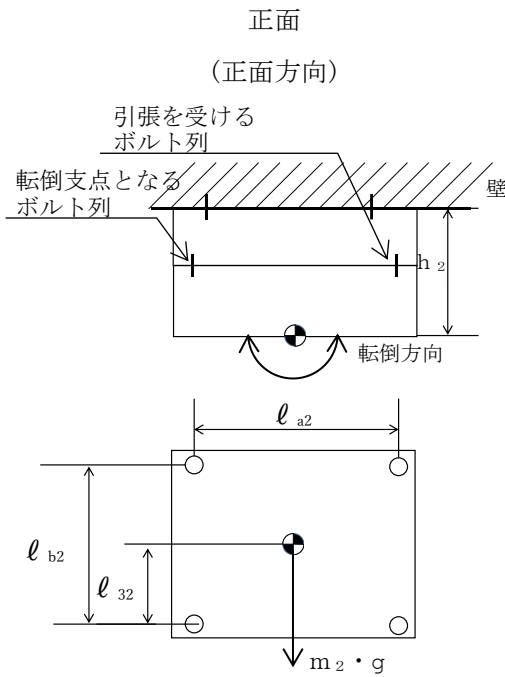


図5-4 火災感知器④の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-4で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot (1+Cv) \cdot h_i \cdot g}{n_{fvi} \cdot \ell_{bi}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fHi} \cdot \ell_{ai}} \dots\dots\dots (5.4.4.1)$$

$$F_{b2i} = \frac{m_i \cdot (1+Cv) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{3i} \cdot g}{n_{fvi} \cdot \ell_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.4.2)$$

$$F_{bi} = \text{Max} (F_{b1i}, F_{b2i}) \dots\dots\dots (5.4.4.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.4.4)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.4.5)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1+Cv) \cdot g \dots\dots\dots (5.4.4.6)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \dots\dots\dots (5.4.4.7)$$

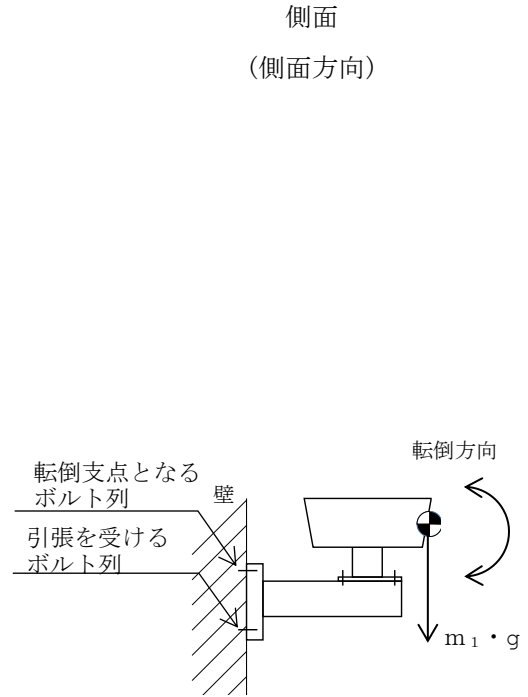
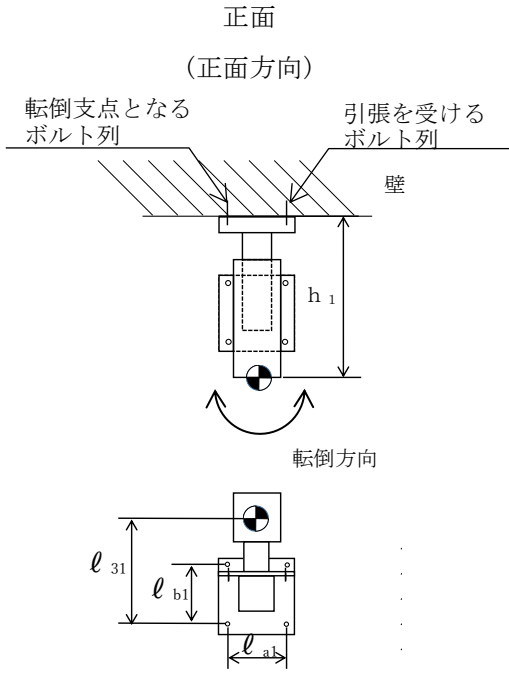
せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.4.8)$$

5.4.5 火災感知器⑤の計算方法

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。計算モデルを図5-5に示す。

基礎ボルト ($i = 1$)



取付ボルト ($i = 2$)

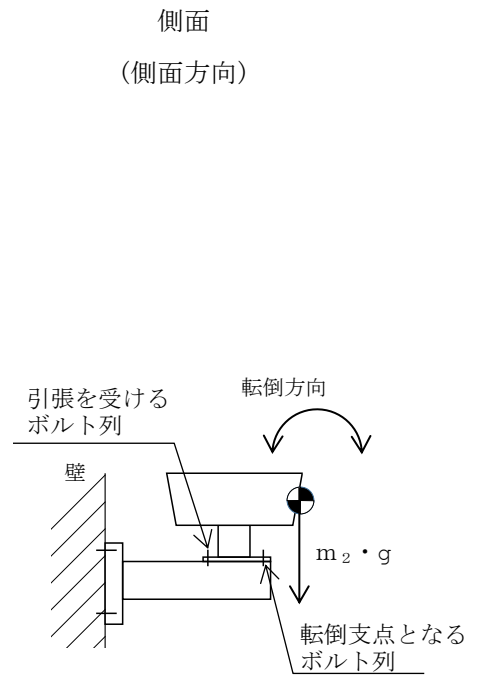
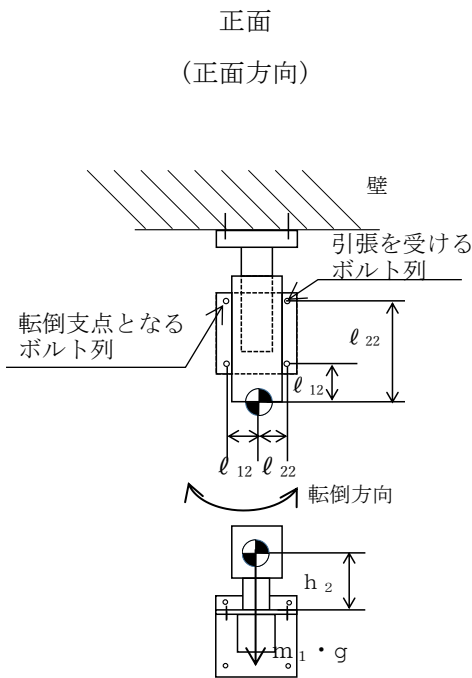


図5-5 火災感知器⑤の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-5で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

基礎ボルト ($i=1$) の引張力

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot (1+C_v) \cdot h_i \cdot g}{n_{fv_i} \cdot \ell_{bi}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fHi} \cdot \ell_{ai}} \dots\dots\dots (5.4.5.1)$$

$$F_{b2i} = \frac{m_i \cdot (1+C_v) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{3i} \cdot g}{n_{fv_i} \cdot \ell_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.5.2)$$

$$F_{bi} = \text{Max}(F_{b1i}, F_{b2i}) \dots\dots\dots (5.4.5.3)$$

取付ボルト ($i=2$) の引張力

(重心がボルト間の外にある場合)

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot (1+C_v) \cdot \ell_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \dots\dots\dots (5.4.5.4)$$

(重心がボルト間の内にある場合)

$$F_{b1i} = \frac{m_i \cdot (1+C_v) \cdot \ell_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} + \ell_{1i})} \dots\dots\dots (5.4.5.5)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.5.6)$$

ただし、 F_{bi} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

基礎ボルト ($i=1$) のせん断力

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.5.7)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1+C_v) \cdot g \dots\dots\dots (5.4.5.8)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \dots\dots\dots (5.4.5.9)$$

取付ボルト (i =2) のせん断力

$$Q_{b i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.5.10)$$

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (5.4.1.11)$$

5.4.1 火災受信機盤の計算方法

火災受信機盤の計算方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

5.4.2 ボンベラックの計算方法

ボンベラックについては、3次元FEMモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また、「2.2 評価対象設備」の表2-2に示すとおり、容器弁は、ガスボンベにねじ込み固定し、ガスボンベは、ボンベラックに固定し、ボンベラックを基礎ボルトにより据え付けるため、ボンベラック及び基礎ボルト、それぞれに対し構造強度評価を実施する。

(1) ボンベラックの構造強度評価

a. ボンベラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めたボンベラック部材の軸応力、曲げ応力及びせん断応力を用いて、以下の式によりボンベラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} \quad \dots\dots\dots (5.4.2.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_y} + \frac{M_y}{Z_x} \quad \dots\dots\dots (5.4.2.2)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{F_x}{A_{s x}} + \frac{F_y}{A_{s y}} + \frac{T \cdot t}{J} \quad \dots\dots\dots (5.4.2.3)$$

ボンベラックの組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.2.4)$$

ここで、

$$\sigma_{fa} = \sigma_t + \sigma_b \quad \dots\dots\dots (5.4.2.5)$$

(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{tb}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.2.6)$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.2.7)$$

5.4.3 選択弁ラックの計算方法

選択弁ラックについては、3次元FEMモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また、「2.2 評価対象設備」の表2-3に示すとおり、選択弁を取り付けた集合管を選択弁ラックに固定し、選択弁ラックを基礎ボルトにより据え付けるため、選択弁ラック及び基礎ボルト、それぞれに対し構造強度評価を実施する。

(1) 選択弁ラックの構造強度評価

a. 選択弁ラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めた選択弁ラック部材の軸応力、曲げ応力及びせん断応力を用いて、以下の式により選択弁ラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} \quad \dots\dots\dots (5.4.3.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_y} + \frac{M_y}{Z_x} \quad \dots\dots\dots (5.4.3.2)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{F_x}{A_{sx}} + \frac{F_y}{A_{sy}} + \frac{T \cdot t}{J} \quad \dots\dots\dots (5.4.3.3)$$

選択弁ラックの組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.3.4)$$

ここで、

$$\sigma_{fa} = \sigma_t + \sigma_b \quad \dots\dots\dots (5.4.3.5)$$

(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{tb}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.3.6)$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.3.7)$$

5.4.4 制御盤（全域ガス消火設備）の計算方法

制御盤（全域ガス消火設備）の計算方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

5.4.5 配管（消火設備）の計算方法

配管（消火設備）の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。（ケーブルトレイ消火設備の配管については、配管の自在性を活かした設置方法であり、解析による評価が困難であるため加振試験により耐震評価を行う。）

6. 機能維持評価

火災感知設備及び消火設備は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能及び電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6.1 火災感知器

火災感知器は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6.2 火災受信機盤

火災受信機盤は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6.3 ボンベラック

ボンベラックのうち容器弁は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6.4 選択弁

選択弁は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度又は配管の応答解析により定まる選択弁の応答加速度のいずれか大きい値を設定する。

機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

6.5 制御盤（全域ガス消火設備）

制御盤（全域ガス消火設備）は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較によ

り，地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

VI-2-別添 1-2 火災感知設備の耐震性についての計算書

VI-2-別添 1-2-1 火災感知器の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画.....	1
3. 固有周期	7
3.1 固有周期の確認方法.....	7
3.2 固有周期の確認結果.....	7
3.3 設計用地震力.....	8
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法.....	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力状態.....	8
4.3 計算条件.....	8
5. 機能維持評価	11
5.1 電氣的機能維持評価方法.....	11
6. 評価結果	12

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の基本方針」（以下「VI-2-別添 1-1」という。）に示すとおり、火災感知器が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に感知する機能を維持することを説明するものである。

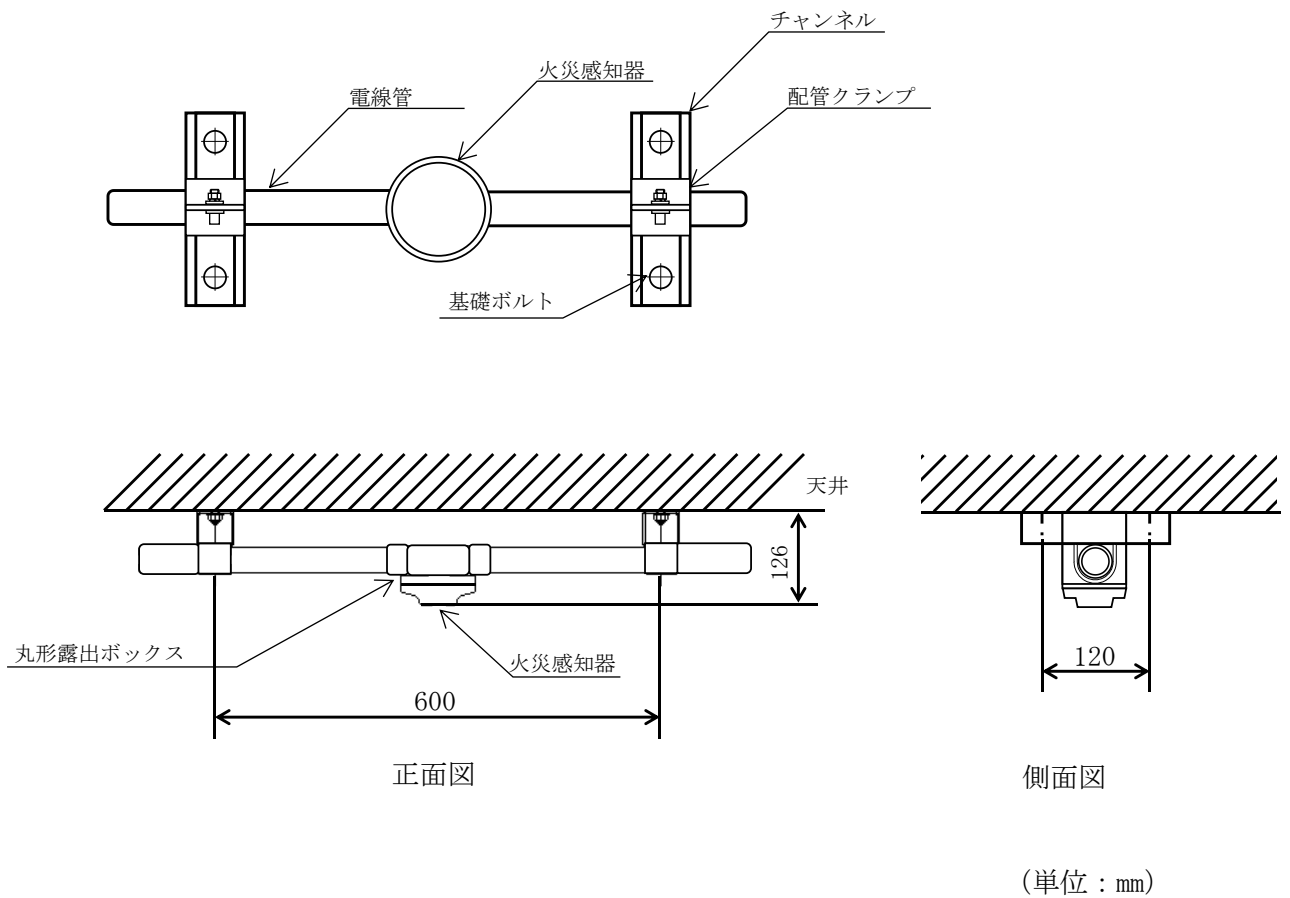
2. 一般事項

2.1 構造計画

火災感知器の構造計画を表 2-1 から表 2-5 に示す。

表 2-1 火災感知器①の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器①は、丸形露出ボックスに取り付け、丸形露出ボックスに接続された電線管を配管クランプにてチャンネルに固定する。チャンネルは、基礎ボルトにて天井に固定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・煙感知器 ・熱感知器 	図 2-1

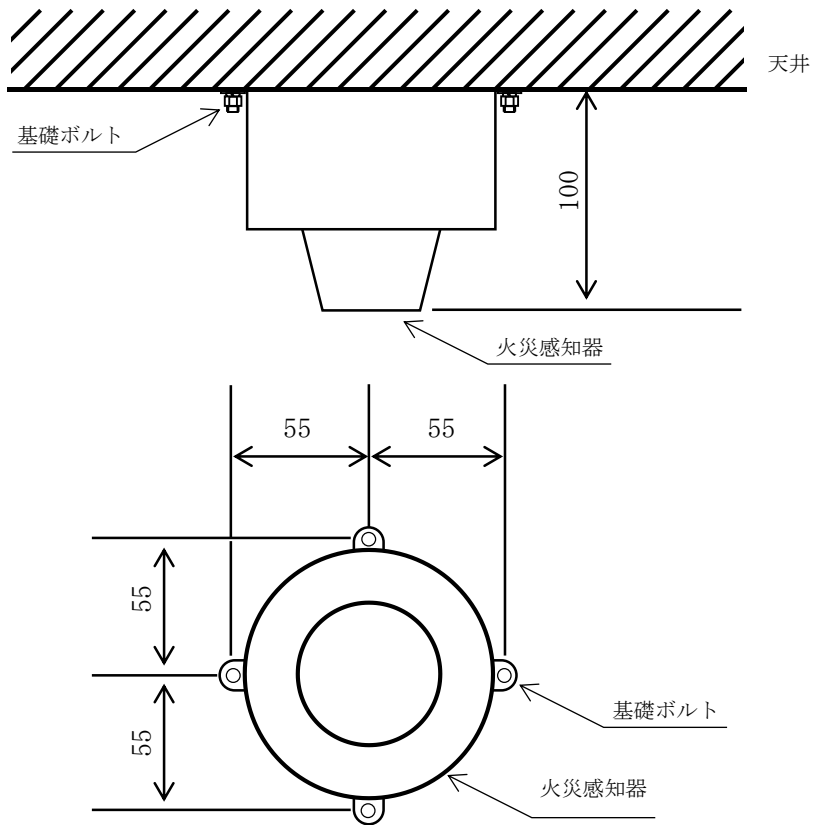


機器名称	質量 (kg)
煙感知器	0.125
熱感知器	0.137

図 2-1 火災感知器①の概要図

表 2-2 火災感知器②の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器②は、基礎ボルトにて、天井に固定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・煙感知器(防爆) ・熱感知器(防爆) 	図 2-2



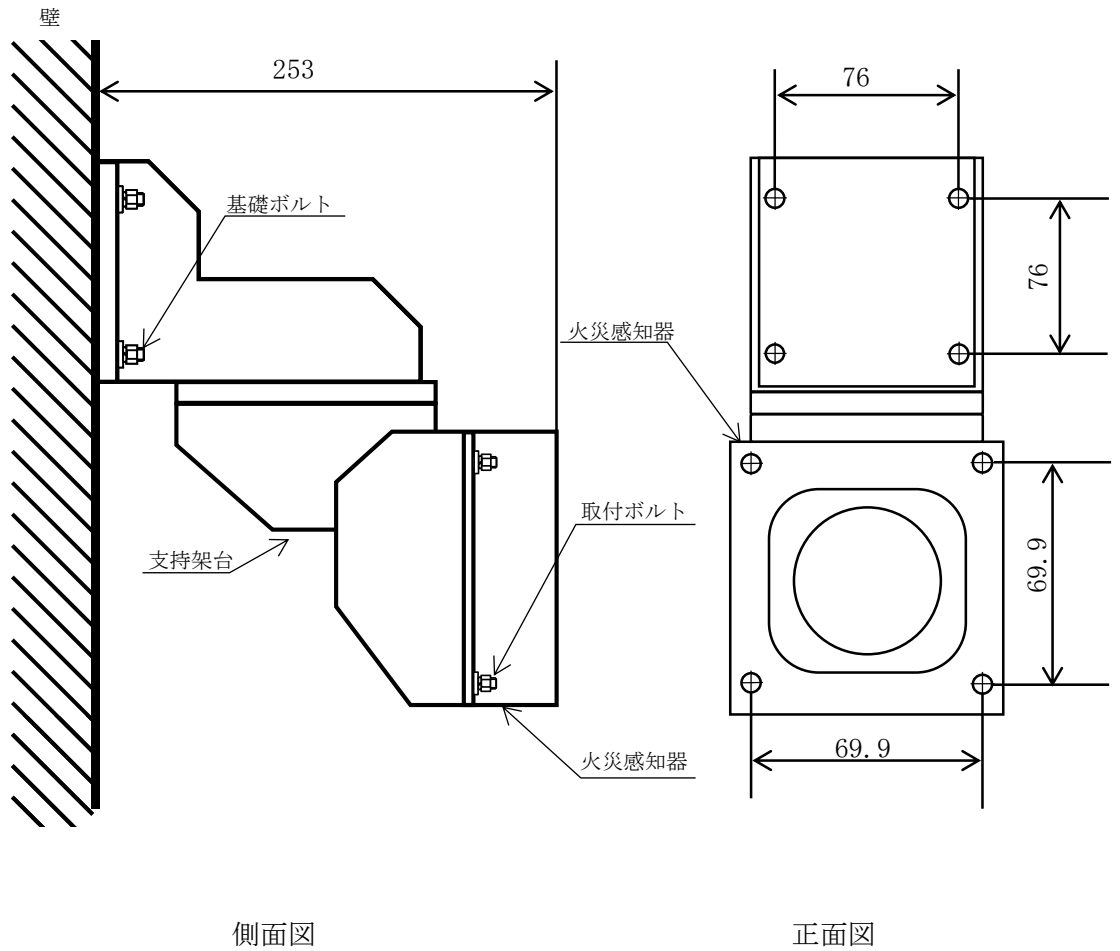
(単位：mm)

機器名称	質量 (kg)
煙感知器 (防爆)	3.0
熱感知器 (防爆)	2.5

図 2-2 火災感知器②の概要図

表 2-3 火災感知器③の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器③は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を基礎ボルトにて壁に固定する。	・炎感知器	図 2-3



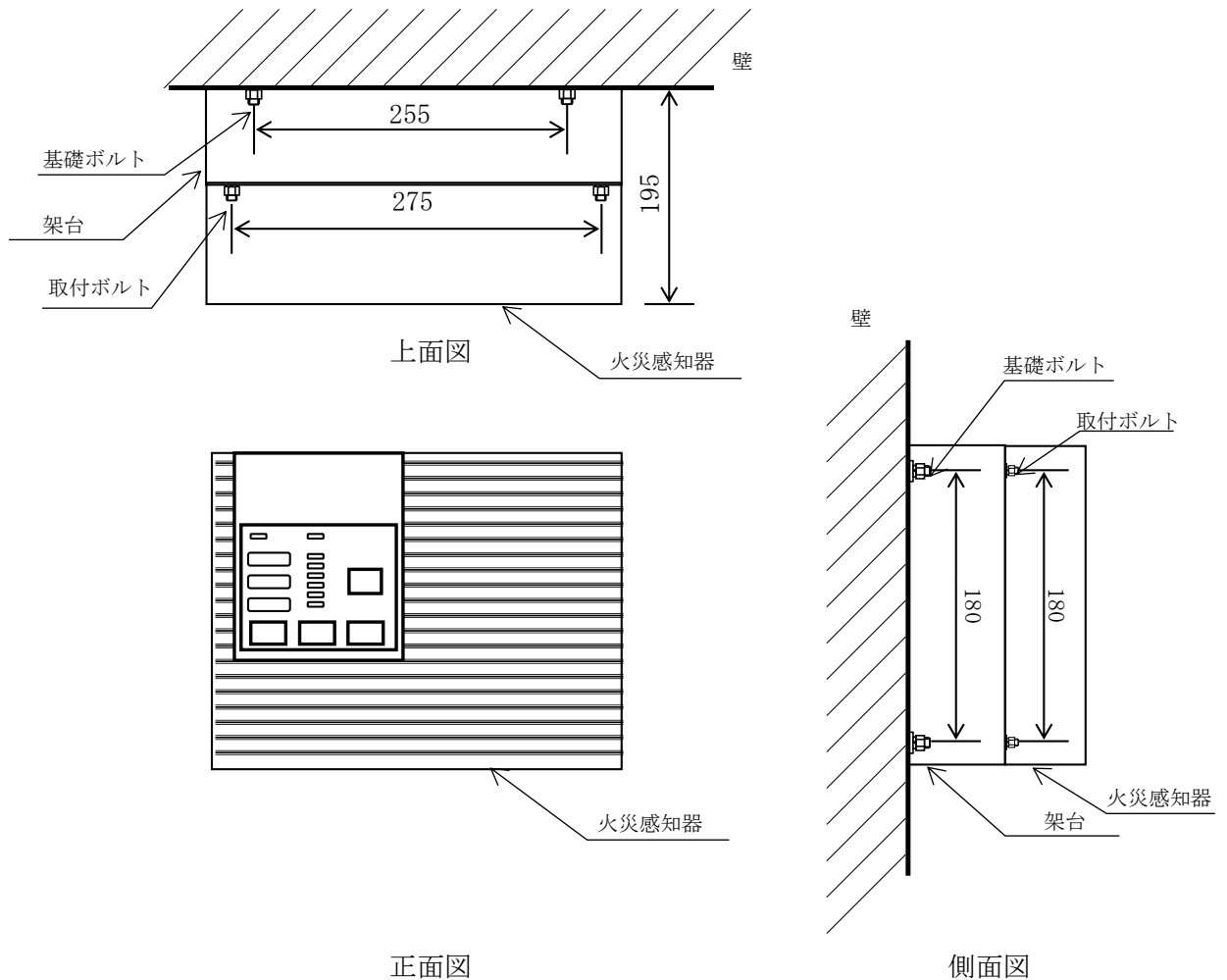
(単位：mm)

機器名称	質量 (kg)
炎感知器	0.65

図 2-3 火災感知器③の概要図

表 2-4 火災感知器④の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器④は，取付ボルトにて架台に取付け，架台を基礎ボルトにて壁に固定する。	・煙吸引式検出設備	図 2-4



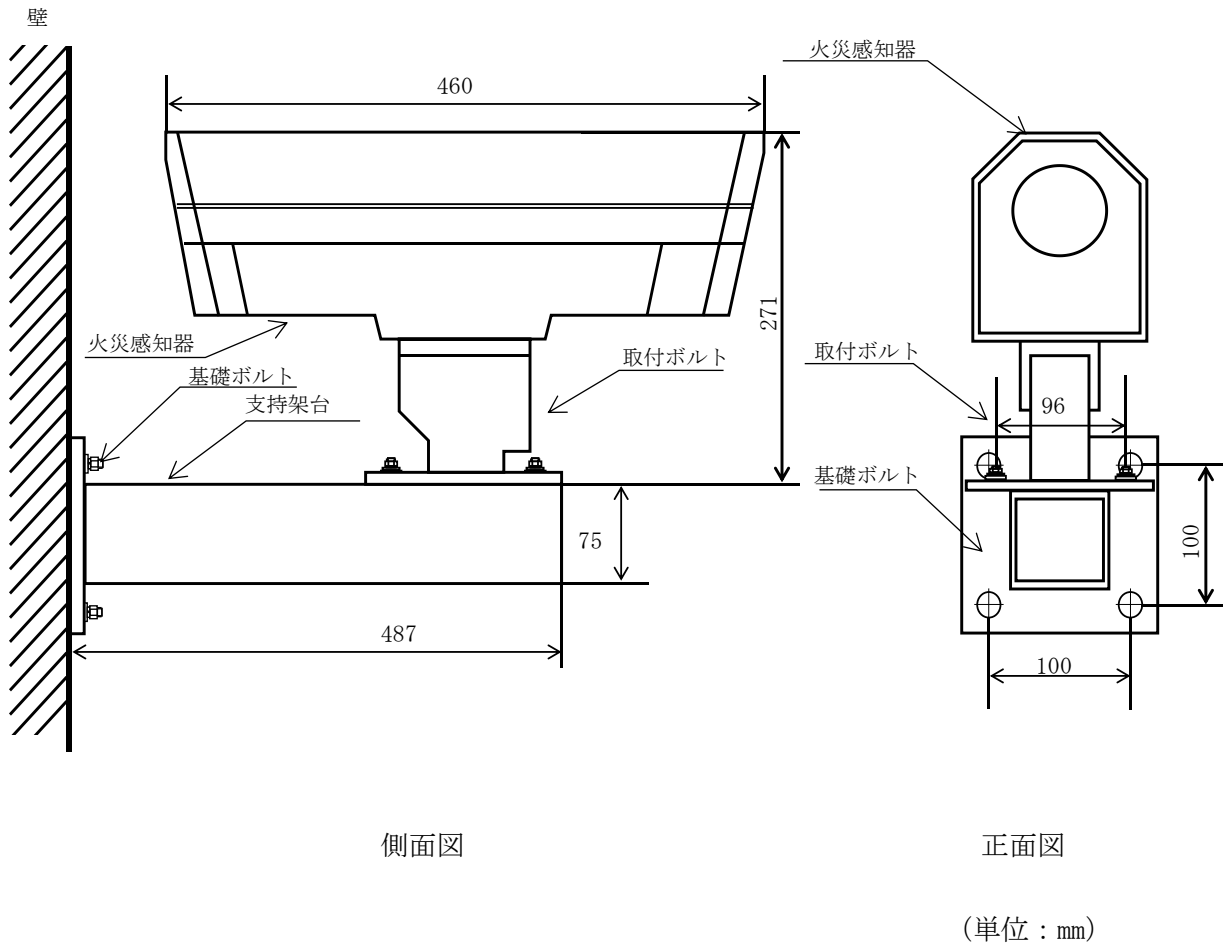
(単位：mm)

機器名称	質量 (kg)
煙吸引式検出設備	2.0

図 2-4 火災感知器④の概要図

表 2-5 火災感知器⑤の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災感知器⑤は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を基礎ボルトにて壁に固定する。		図 2-5



S2 補 VI-2-別添 1-2-1 R0

機器名称	質量 (kg)
熱感知カメラ	5.0

図 2-5 火災感知器⑤の概要図表

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認方法

火災感知器の固有周期は、VI-2-別添 1-1 の「4. 固有周期」に示す算出方法に基づき、振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

火災感知器の固有周期は、火災感知器①～⑤共に 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表3-1 固有周期

(単位：s)

機器名称	方 向	固有周期
火災感知器①	水平	0.030 以下
	鉛直	0.030 以下
火災感知器②	水平	0.020 以下
	鉛直	0.020 以下
火災感知器③	水平	0.020 以下
	鉛直	0.020 以下
火災感知器④	水平	0.020 以下
	鉛直	0.020 以下
火災感知器⑤	水平	0.030 以下
	鉛直	0.020 以下

3.3 設計用地震力

火災感知器の評価に用いる「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

火災感知器の構造強度評価は、VI-2-別添 1-1 の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-2-別添 1-1 の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を火災受信機盤の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

火災感知器の基礎ボルト及び取付ボルトにおける許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。また、基礎ボルト及び取付ボルトの許容応力評価条件を表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の以下項目の設計条件及び機器要目に示す。

【火災感知器①の耐震性についての計算結果】

【火災感知器②の耐震性についての計算結果】

【火災感知器③の耐震性についての計算結果】

【火災感知器④の耐震性についての計算結果】

【火災感知器⑤の耐震性についての計算結果】

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他 発電用原子炉 の附属施設	火災 防護設備	火災感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 許容応力（その他の支持構造物）

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
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SWRCH8A*	周囲環境温度	40	235	400	—
取付ボルト	SWRCH8A*	周囲環境温度	40	235	400	—
	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

注記* : SS400 相当 (16mm < 径 ≤ 40mm)

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

火災感知器はVI-2-別添 1-1 の「6. 機能維持評価」に示す評価方法に従い、機能維持評価を実施する。

火災感知器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
火災感知器①	水平	7.0
	鉛直	4.0
火災感知器②	水平	7.0
	鉛直	4.0
火災感知器③	水平	6.0
	鉛直	3.0
火災感知器④	水平	6.0
	鉛直	3.0
火災感知器⑤	水平	7.3
	鉛直	1.6

6. 評価結果

火災感知器の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に感知する機能を維持することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災感知器①の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
火災感知器①	C	第1ベントフィルタ格納槽* ¹ EL 17.4* ²	0.030以下	0.030以下	—	—	C _H =4.20* ³	C _V =3.12* ³	40

注記*1：最も設計震度が大きい据付場所における基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。

*2：基準床レベルを示す。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	5	126	10 (M10)	78.54	4	235 (16mm<径≤40mm)	400

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	60	60	2	—	280	—	長辺方向転倒
	300	300	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	158.6	—	205.9

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SWRCH8A	引張	—	—	$\sigma_{b1}=3$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=1$	$f_{sb1}=128$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災感知器①	水平方向	3.50	7.0
	鉛直方向	2.60	4.0

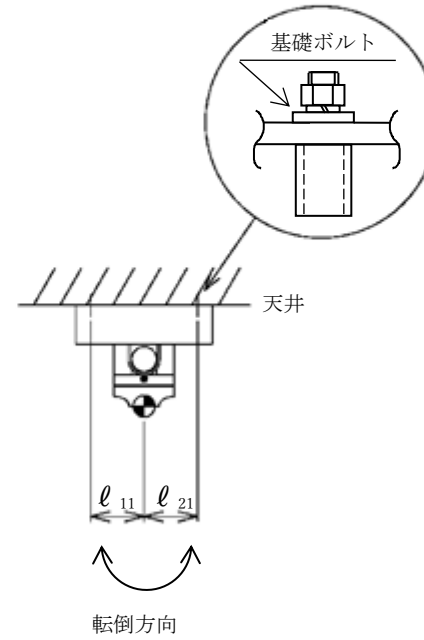
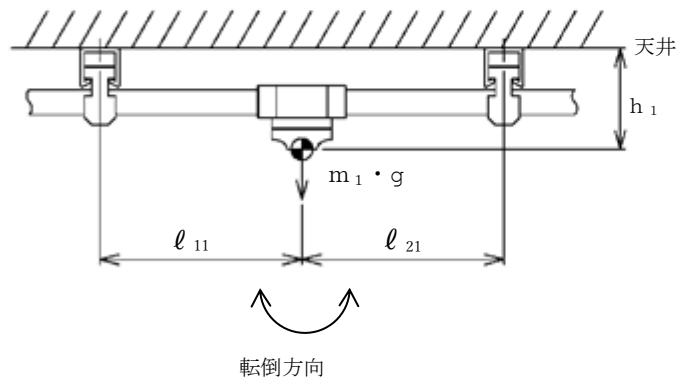
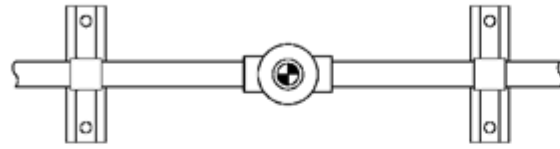
注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

火災感知器①

正面
(長辺方向)

側面
(短辺方向)



【火災感知器②の耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)		固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
火災感知器②	C	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽*1 EL 18.3*3	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽*2 EL 15.3*3	0.020以下	0.020以下	—	—	C _H =3.57*4	C _V =4.29*4	40

注記*1：最も水平方向設計震度が大きい据付場所における基準地震動 S s により定まる応答加速度を用いる。

*2：最も鉛直方向設計震度が大きい据付場所における基準地震動 S s により定まる応答加速度を用いる。

*3：基準床レベルを示す。

*4：設計用震度 II（基準地震動 S s）

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	4	100	6 (M6)	28.27	4	235 (16mm<径≤40mm)	400

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	55	55	1	—	280	—	長辺方向転倒
	55	55	1				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	231.1	—	140.0

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SWRCH8A	引張	—	—	$\sigma_{b1}=9$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=128$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

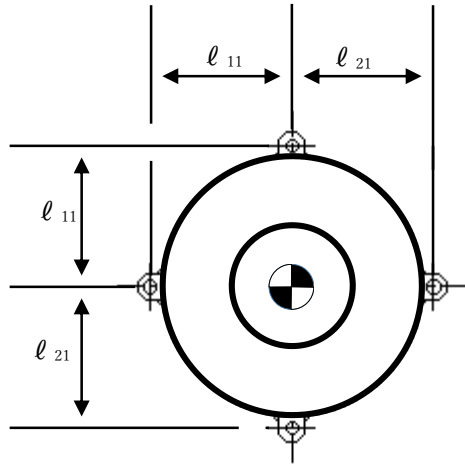
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災感知器②	水平方向	2.97	7.0
	鉛直方向	3.57	4.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度

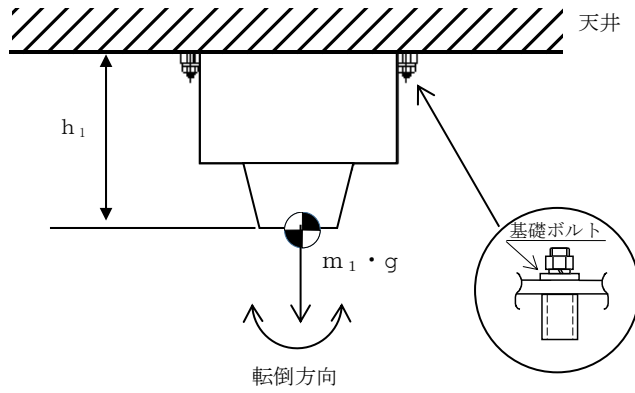
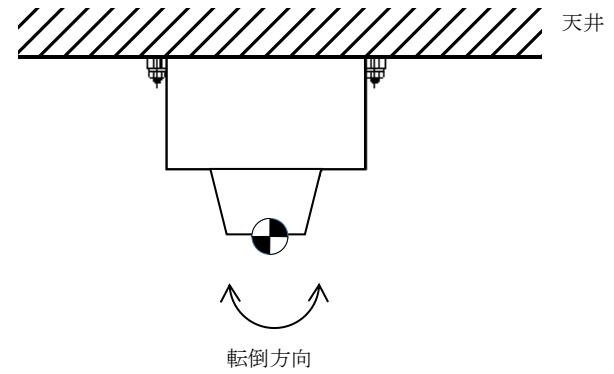
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

火災感知器②

正面
(長辺方向)



側面
(短辺方向)



【火災感知器③の耐震性についての計算結果】

3. 設計基準対象施設
3.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)		固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
火災感知器③	C	ガスタービン 発電機建物*1 EL 54.5 (EL 61.5*3)	原子炉建物*2 EL 42.8 (EL 51.7*3)	0.020以下	0.020以下	—	—	C _H =3.72*4	C _V =2.46*4	40

注記*1：最も水平方向設計震度が大きい据付場所における基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。
 *2：最も鉛直方向設計震度が大きい据付場所における基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。
 *3：基準床レベルを示す。
 *4：設計用震度 II（基準地震動 S_s）

3.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	7	253	8 (M8)	50.27	4	235 (16mm<径≦40mm)	400
取付ボルト (i=2)	2	87	5 (M5)	19.63	4	205	520

部材	l _{a i} * (mm)	l _{b i} * (mm)	l _{3 i} * (mm)	n _{f v i} *	n _{f H i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	76	76	84.50	2	2	—	280	—	正面方向転倒
	76	76	84.50	2	—				
取付ボルト (i=2)	69.9	69.9	34.95	2	2	—	205	—	正面方向転倒
	69.9	69.9	34.95	2	—				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

3.3 計算数値

3.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	820.4	—	348.7
取付ボルト (i=2)	—	87.64	—	99.64

3.4 結論

3.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SWRCH8A	引張	—	—	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=128$
取付ボルト (i=2)	SUS304	引張	—	—	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=117$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

3.4.2 電氣的機能維持の評価結果

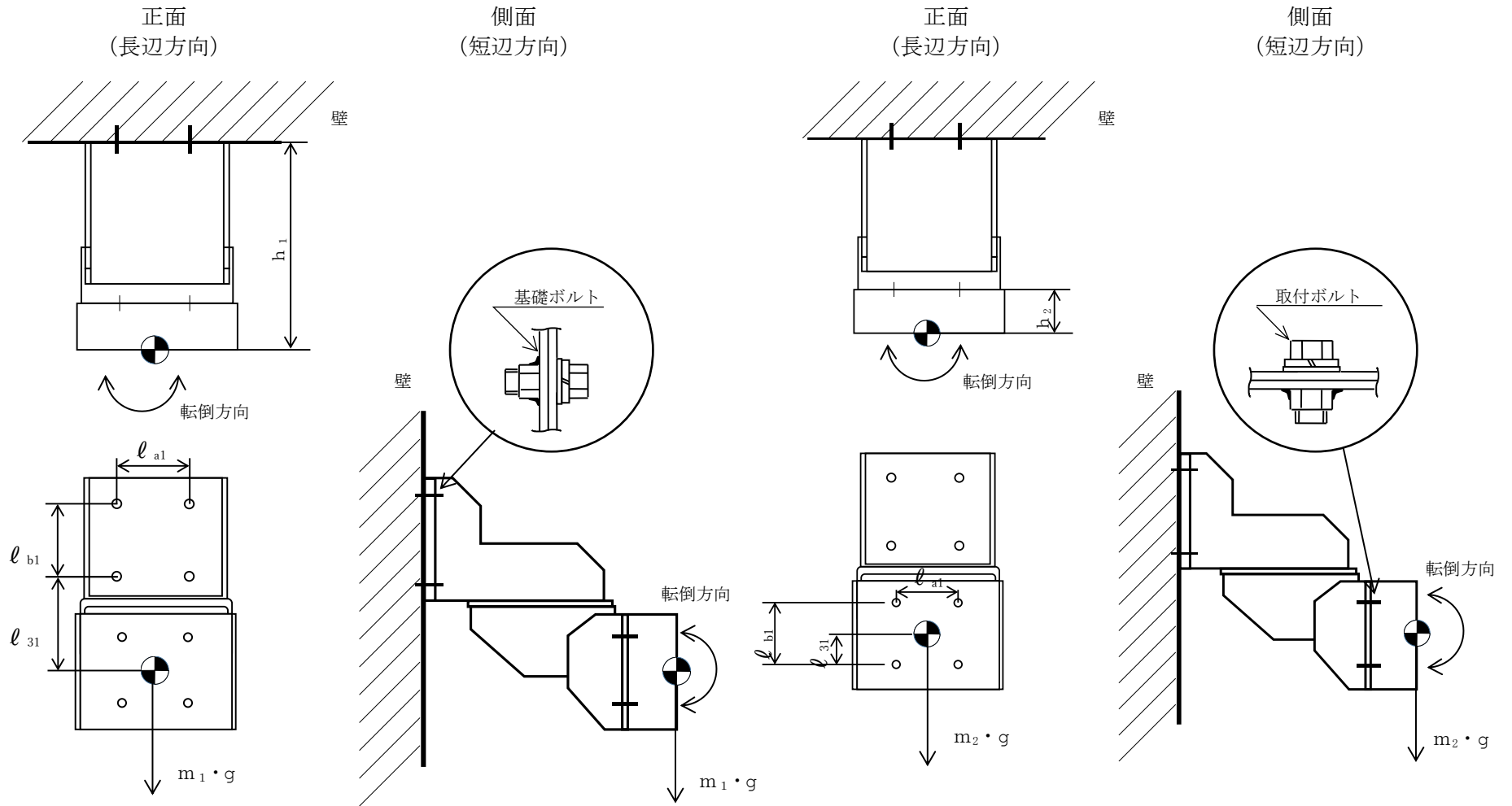
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災感知器③	水平方向	3.11	6.0
	鉛直方向	2.06	3.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

火災感知器③



S2 補 VI-2-別添 1-2-1 R0

【火災感知器④の耐震性についての計算結果】

4. 設計基準対象施設

4.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
火災感知器④	C	原子炉建物*1 EL 15.3 (EL 23.8*2)	0.020以下	0.020以下	—	—	C _H =1.73*3	C _V =2.07*3	40

注記*1：最も設計震度が大きい据付場所における基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。

*2：基準床レベルを示す。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

4.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	11	195	8 (M8)	50.27	4	235 (16mm<径≤40mm)	400
取付ボルト (i=2)	3	95	6 (M6)	28.27	4	235 (16mm<径≤40mm)	400

部材	l _{a i} * (mm)	l _{b i} * (mm)	l _{3 i} * (mm)	n _{f v i} *	n _{f H i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	255	180	90	2	2	—	280	—	側面方向転倒
	255	180	90	2	—				
取付ボルト (i=2)	275	180	90	2	2	—	280	—	側面方向転倒
	275	180	90	2	—				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

S2 補 VI-2-別添 1-2-1 R0

4.3 計算数値

4.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	250.7	—	380.1
取付ボルト (i=2)	—	36.56	—	103.7

4.4 結論

4.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SWRCH8A	引張	—	—	$\sigma_{b1}=5$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=2$	$f_{sb1}=128$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=2$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=1$	$f_{sb2}=160$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

4.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

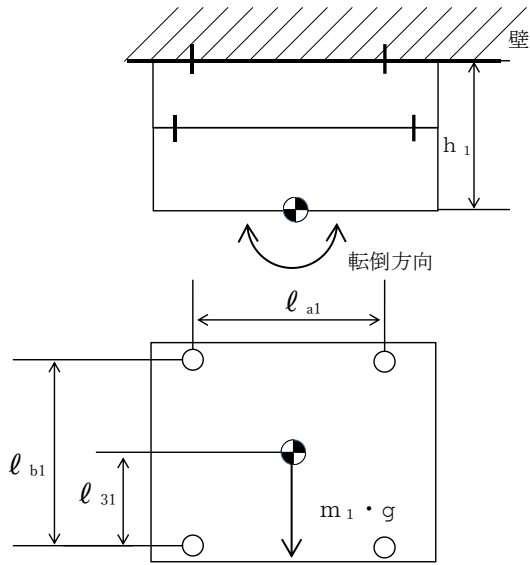
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災感知器④	水平方向	1.44	6.0
	鉛直方向	1.73	3.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度

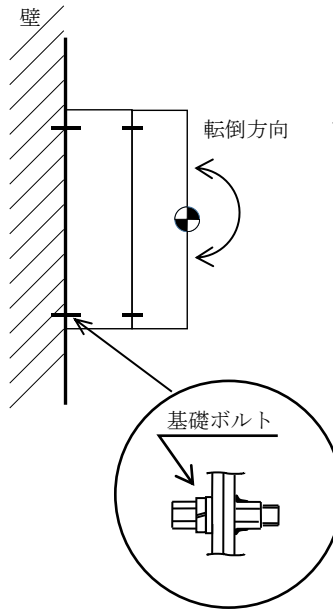
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

火災感知器④

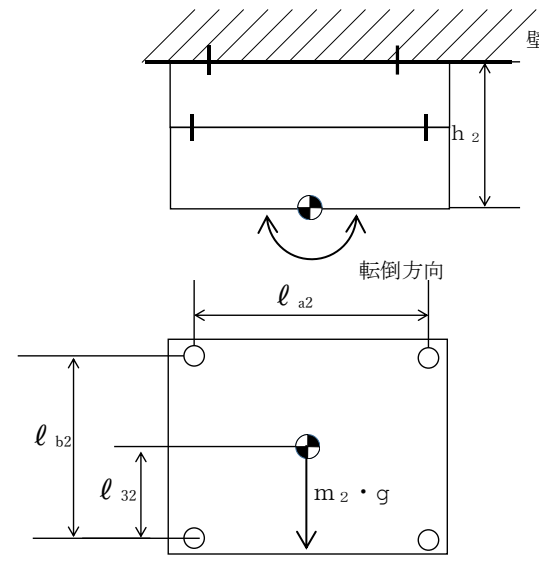
正面
(長辺方向)



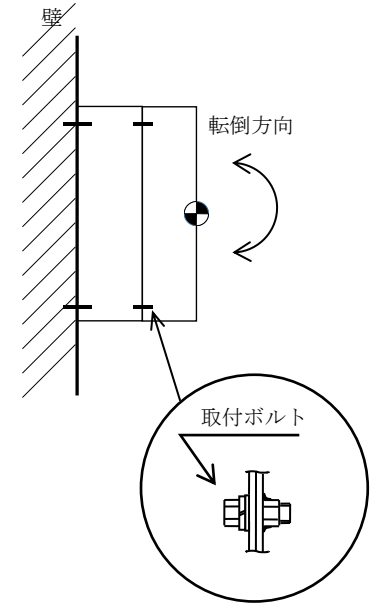
側面
(短辺方向)



正面
(長辺方向)



側面
(短辺方向)



【火災感知器⑤の耐震性についての計算結果】

5. 設計基準対象施設

5.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
火災感知器⑤	C	ガスタービン発電機建物*1 EL 54.5 (EL 61.5*2)	0.023	0.020以下	—	—	C _H =3.72*3	C _V =1.47*3	40

注記*1：最も設計震度が大きい据付場所における基準地震動 S s により定まる応答加速度を用いる。

*2：基準床レベルを示す。

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）

5.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	17	624	10 (M10)	78.54	4	235 (16mm<径≦40mm)	400
取付ボルト (i=2)	8	191	6 (M6)	28.27	4	235 (16mm<径≦40mm)	400

部材	l _{a i} * (mm)	l _{b i} * (mm)	l _{3 i} * (mm)	n _{f v i} *	n _{f H i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	100	100	285	2	2	—	280	—	長辺方向転倒
	100	100	285	2	—				

部材	l _{1 i} *1 (mm)	l _{2 i} *1 (mm)	n _{f i} *1	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト (i=2)	48	48	2	—	280	—	長辺方向転倒
	202	258	2				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

5.3 計算数値

5.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	3.220×10 ³	—	744.4
取付ボルト (i=2)	—	847.2	—	291.8

5.4 結論

5.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SWRCH8A	引張	—	—	σ _{b1} =42	f _{ts1} =168*
		せん断	—	—	τ _{b1} =3	f _{sb1} =128
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	σ _{b2} =30	f _{ts2} =210*
		せん断	—	—	τ _{b2} =3	f _{sb2} =160

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

5.4.2 電氣的機能維持の評価結果

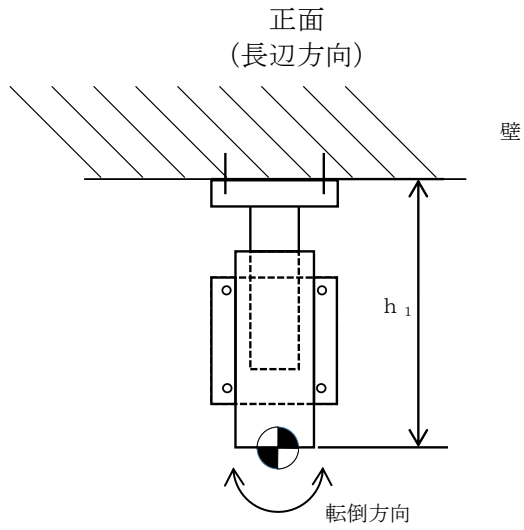
(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災感知器⑤	水平方向	3.11	7.3
	鉛直方向	1.22	1.6

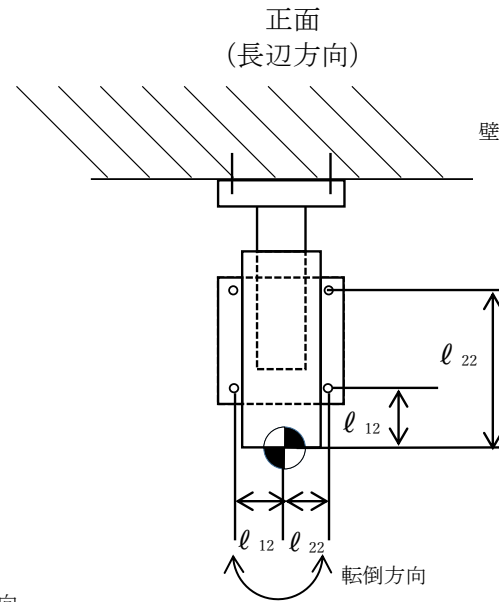
注記* : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

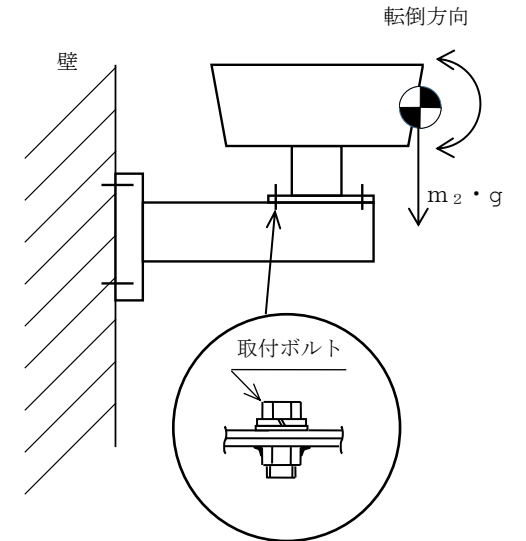
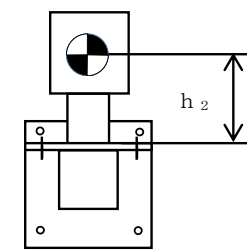
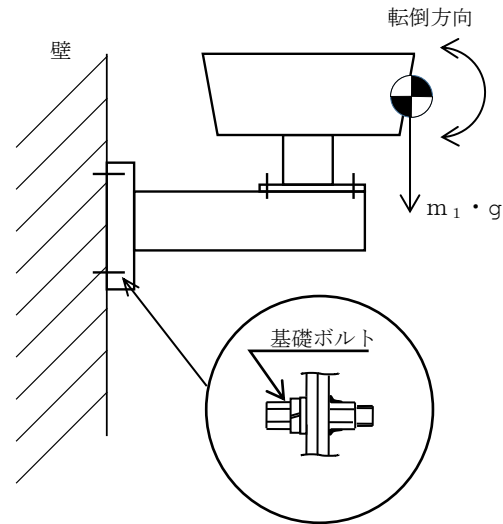
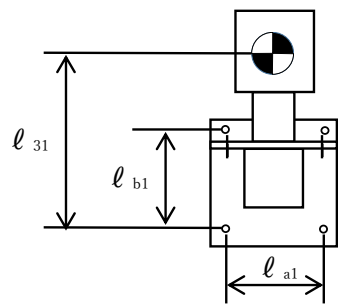
火災感知器⑤



側面
(短辺方向)



側面
(短辺方向)



VI-2-別添 1-3 消火設備の耐震性についての計算書

VI-2-別添 1-3-4 管の耐震性についての計算書（消火設備）

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	38
3. 計算条件	42
3.1 計算方法	42
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	42
3.3 設計条件	42
3.4 材料及び許容応力	45
3.5 設計用地震力	45
4. 解析結果及び評価	46
4.1 固有周期及び設計震度	46
4.2 評価結果	49

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の基本方針」（以下「VI-2-別添 1-1」という。）にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、管及び支持構造物が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.3 に記載する。

(2) 支持構造物






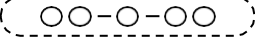



工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式ごとに反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

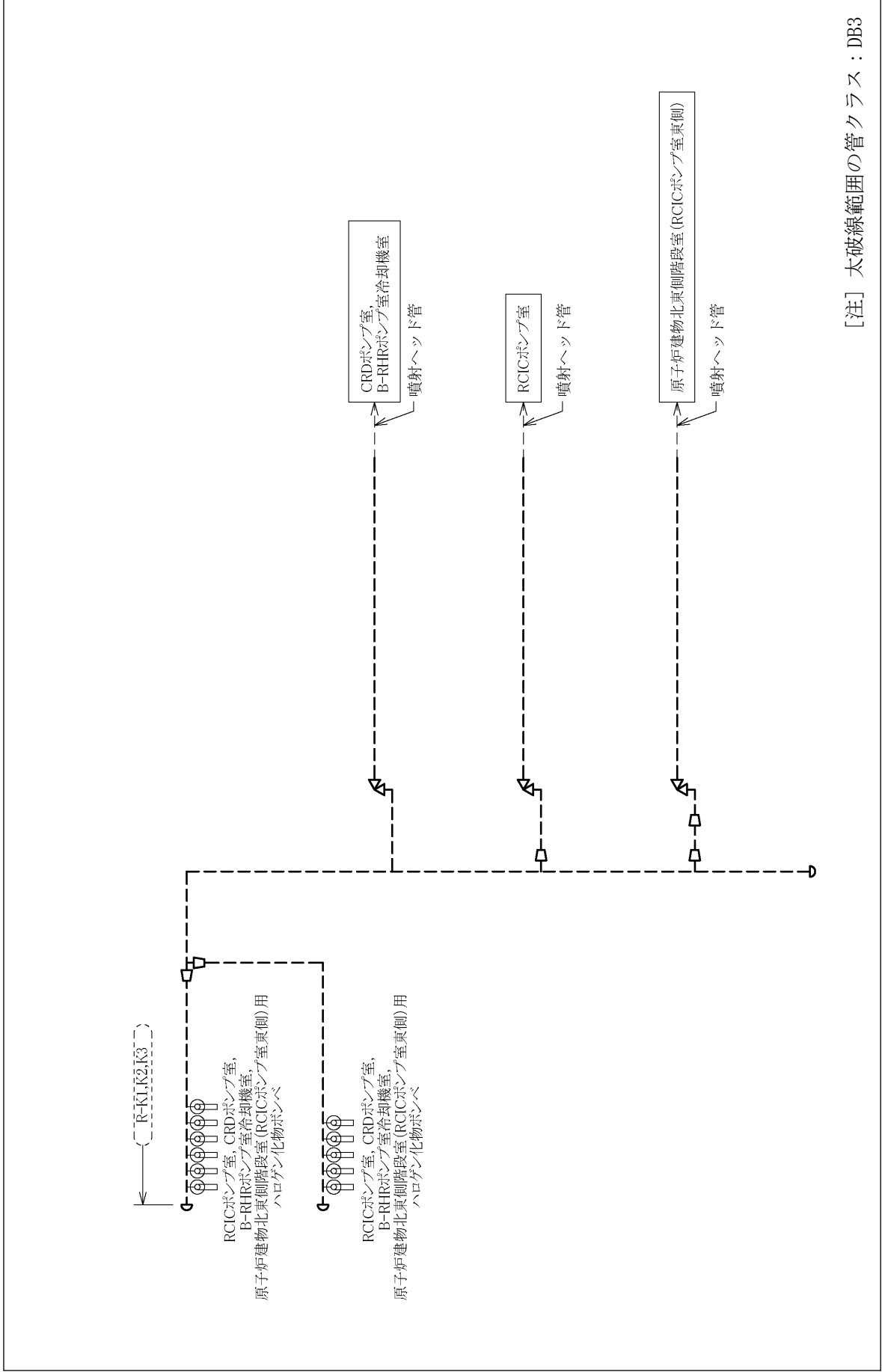
(3) 耐震評価

消火配管のうち、ケーブルトレイ消火設備については、基準地震動 S_s による耐震性を有していることを消火配管設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較による評価する。

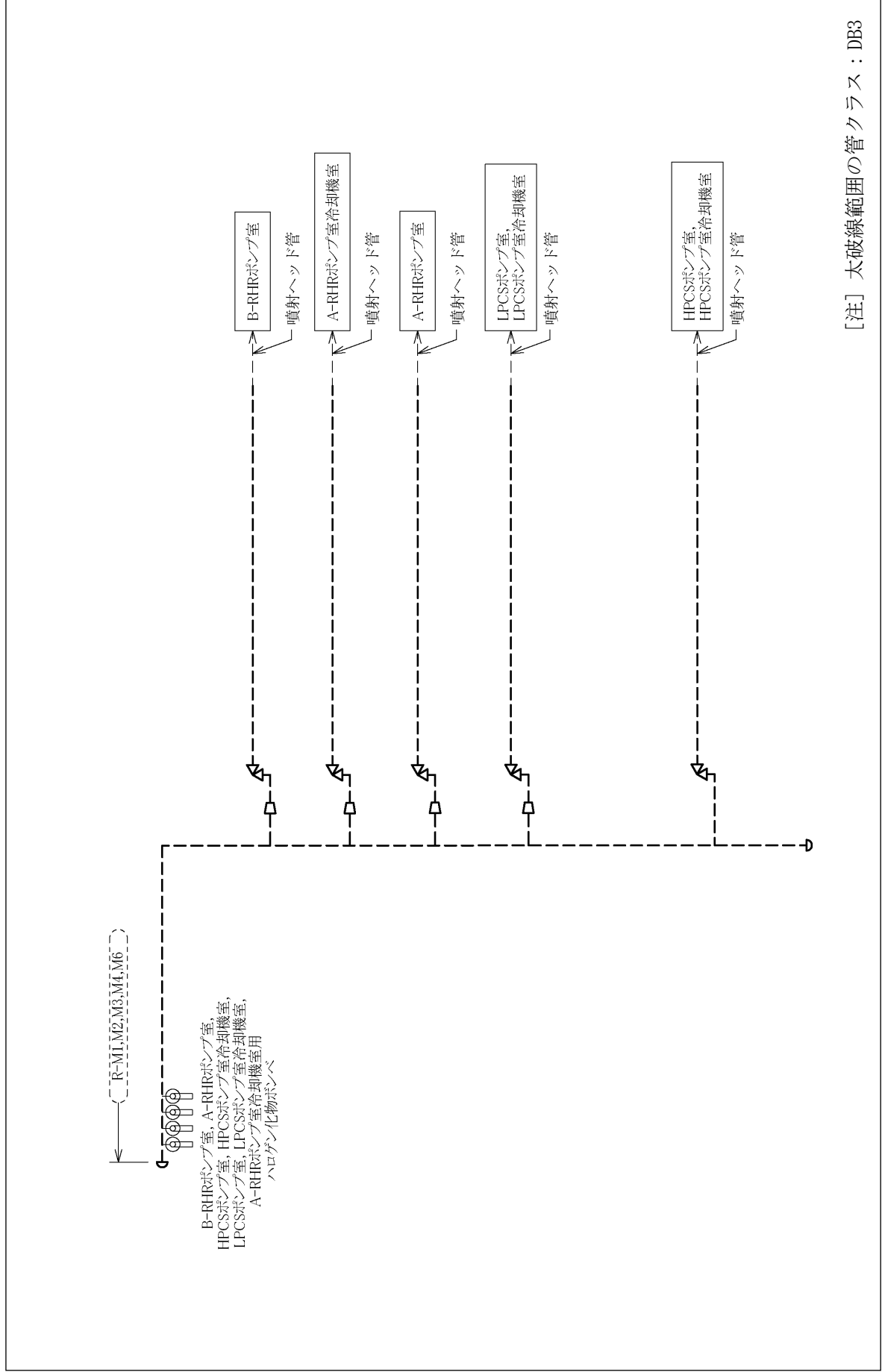
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

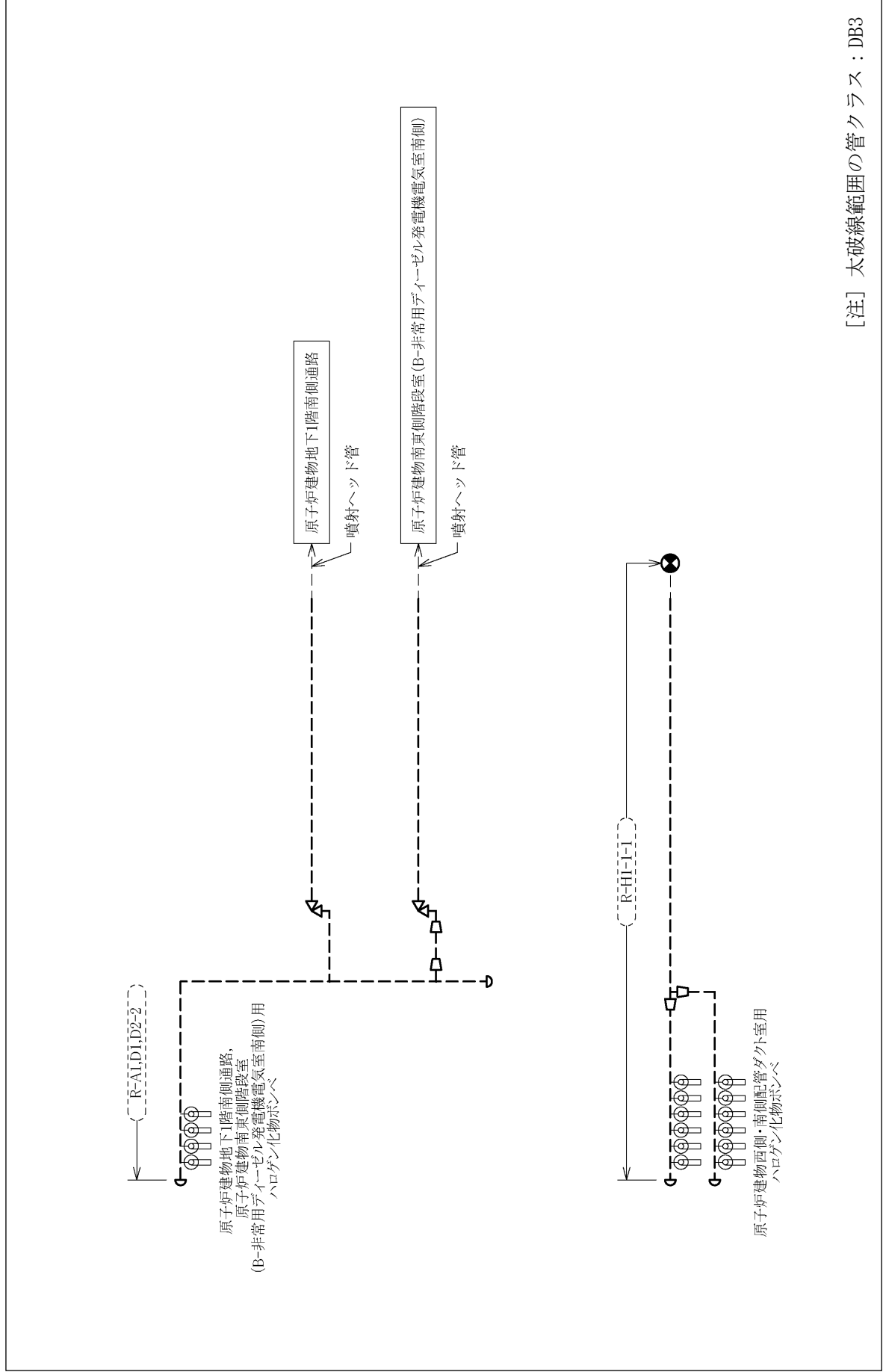
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって、系統の概略を示すために 表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
DB1	クラス1管
DB2	クラス2管
DB3	クラス3管
DB4	クラス4管
SA2	重大事故等クラス2管
SA3	重大事故等クラス3管
DB1/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス1管
DB2/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス2管
DB3/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス3管
DB4/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス4管
	キャップ
	ハロン容器



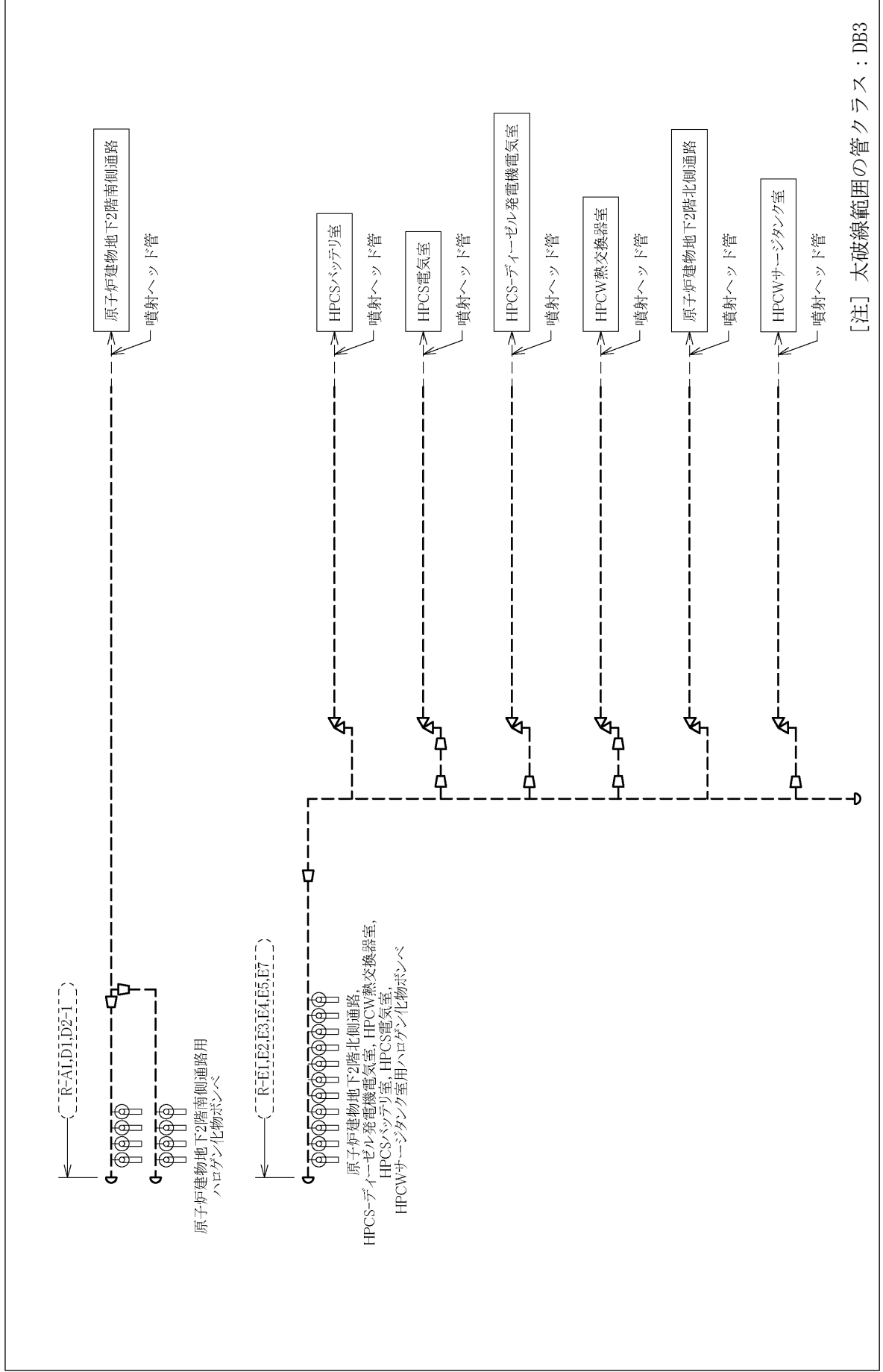
[注] 太破線範囲の管クラス：DB3



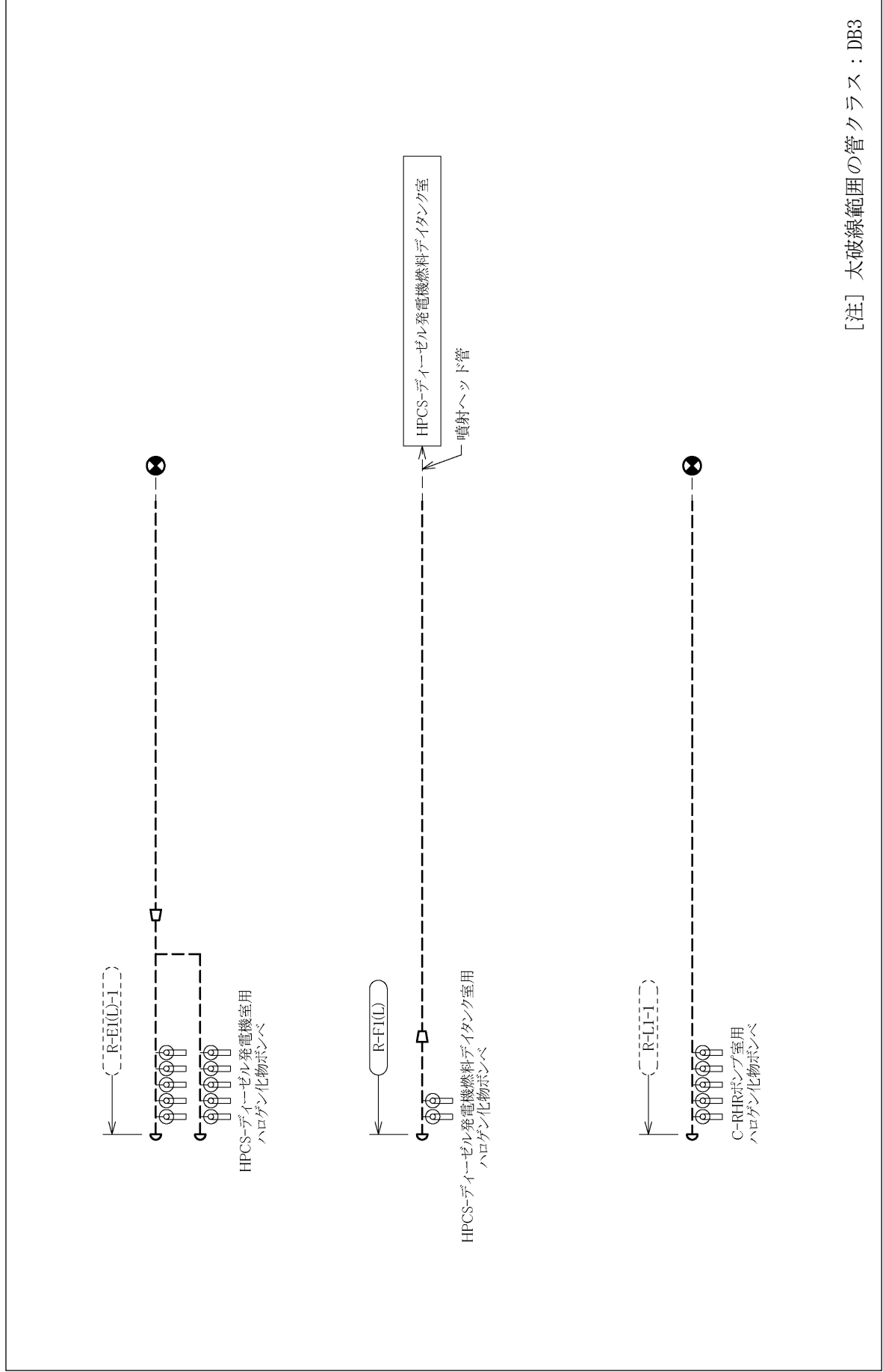
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その2)



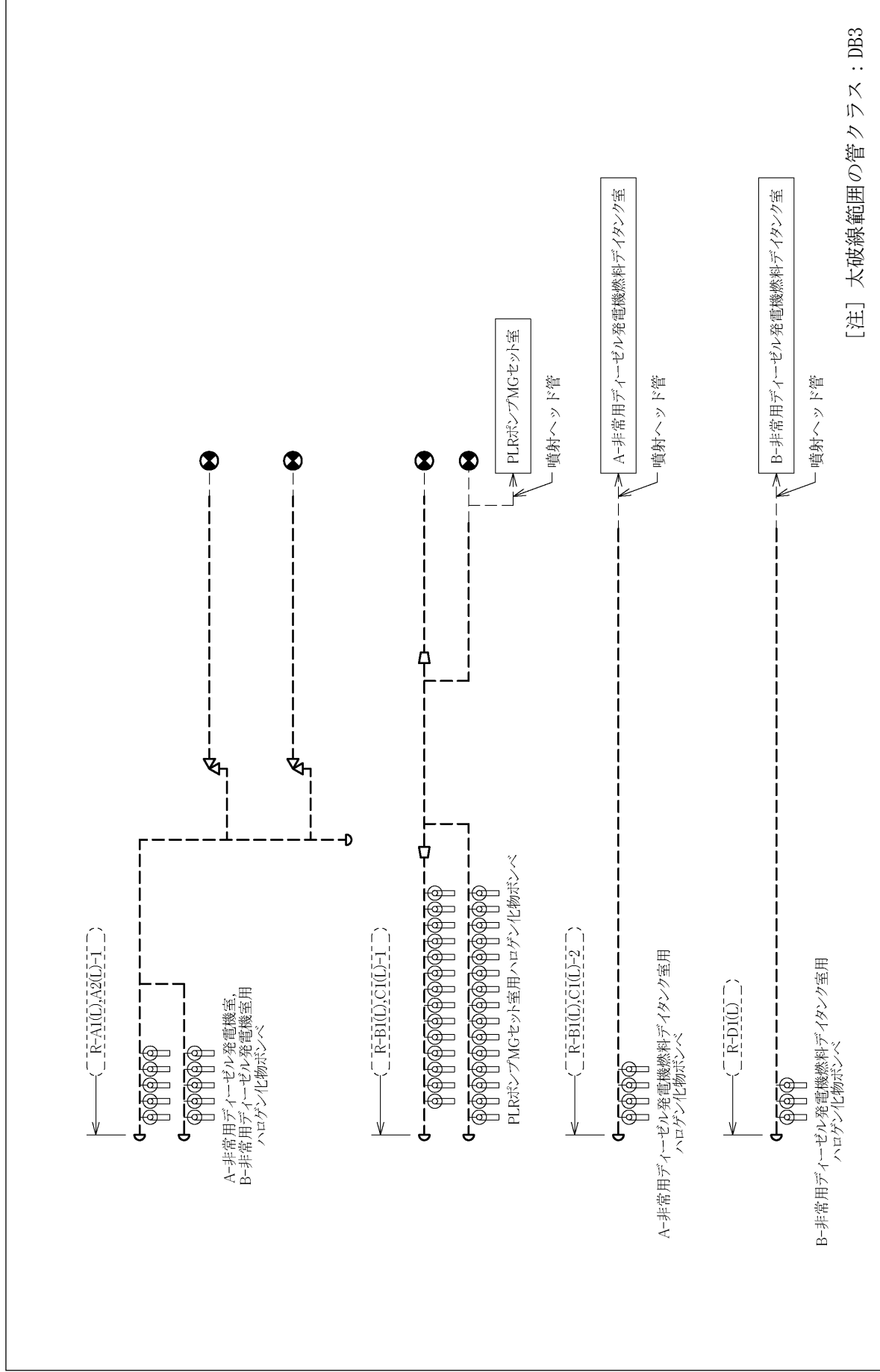
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その3)



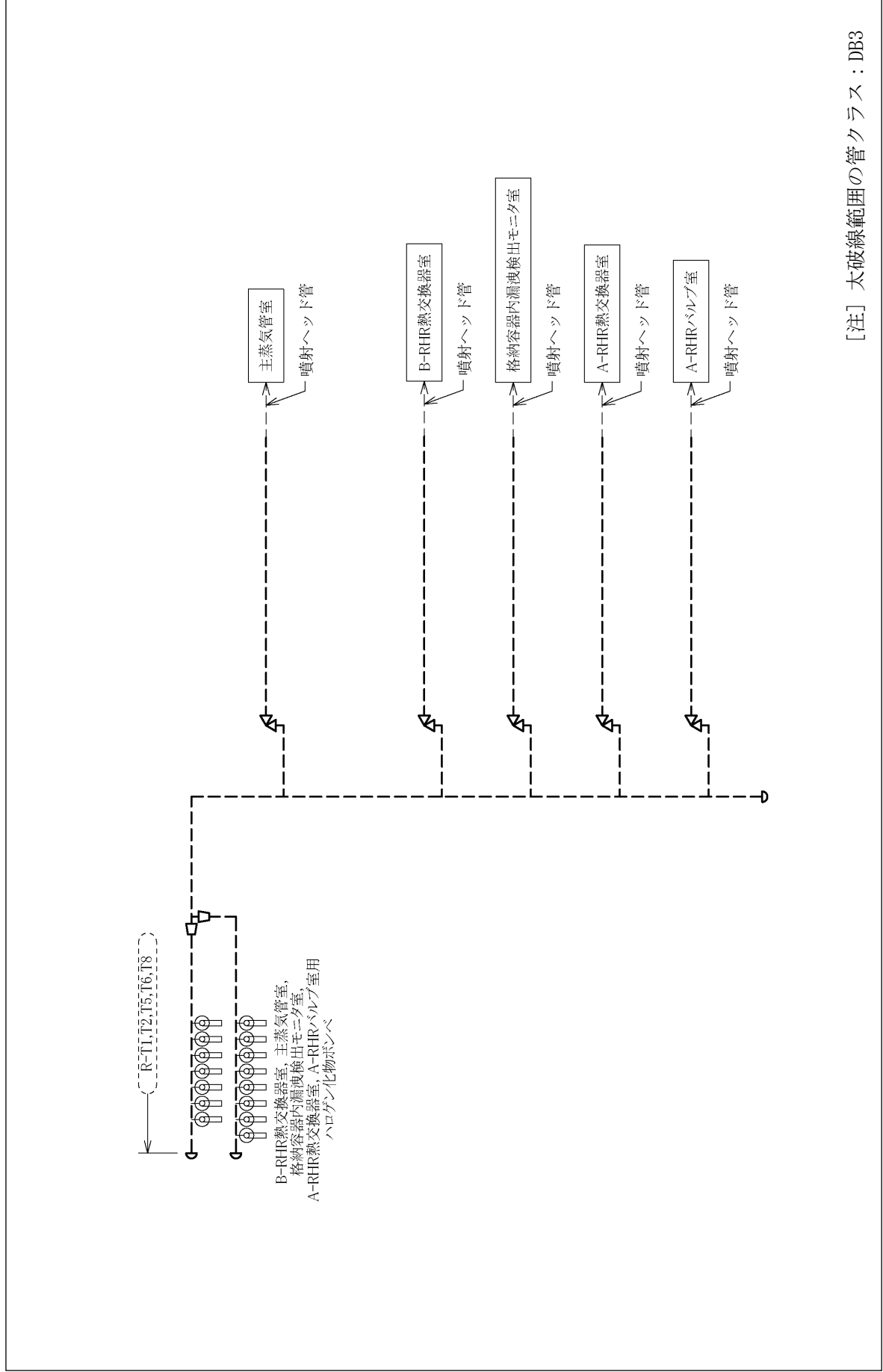
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その4)



ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その5)

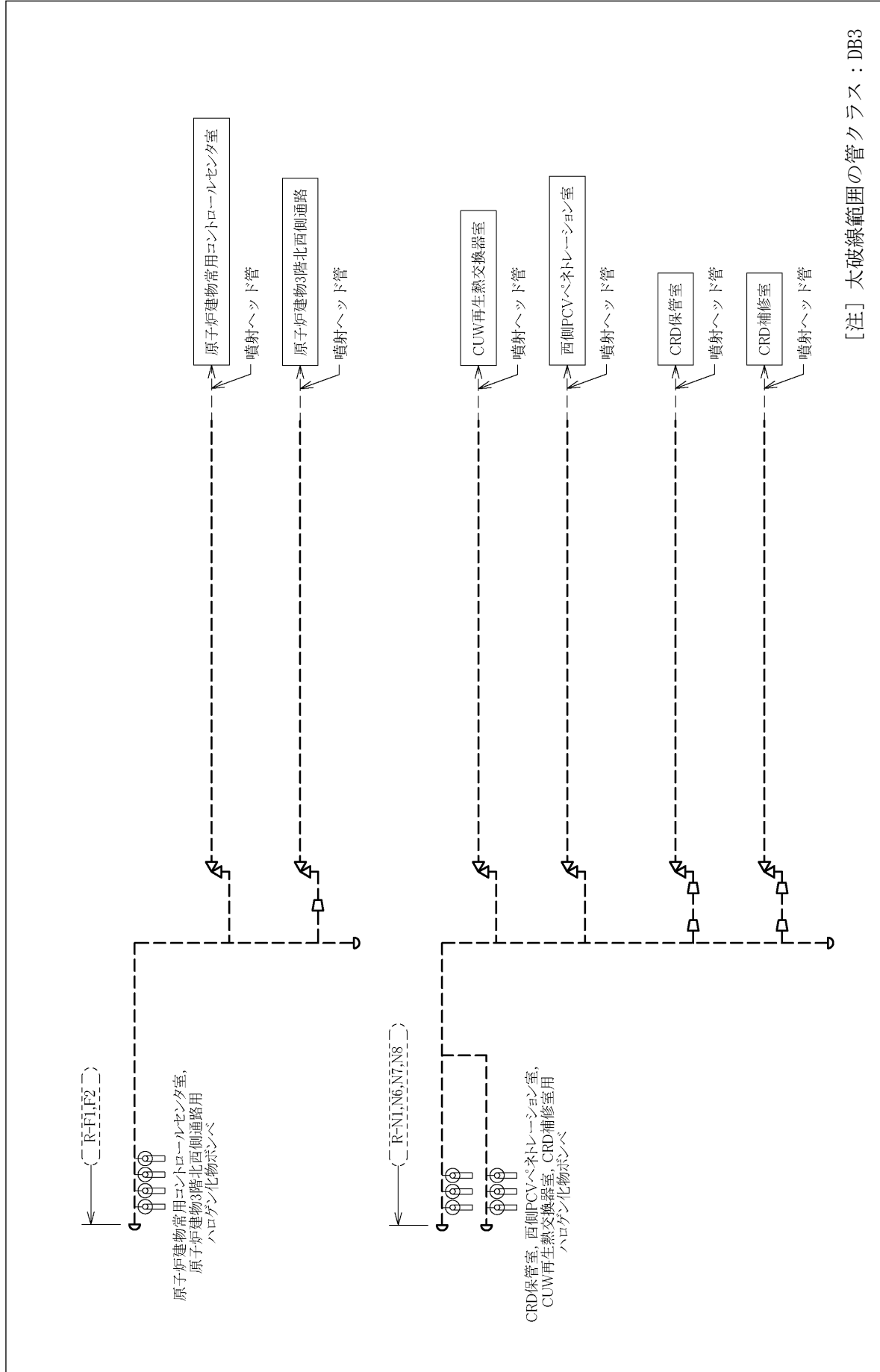


ハロゲン化物物消火設備 概略系統図 (その6)

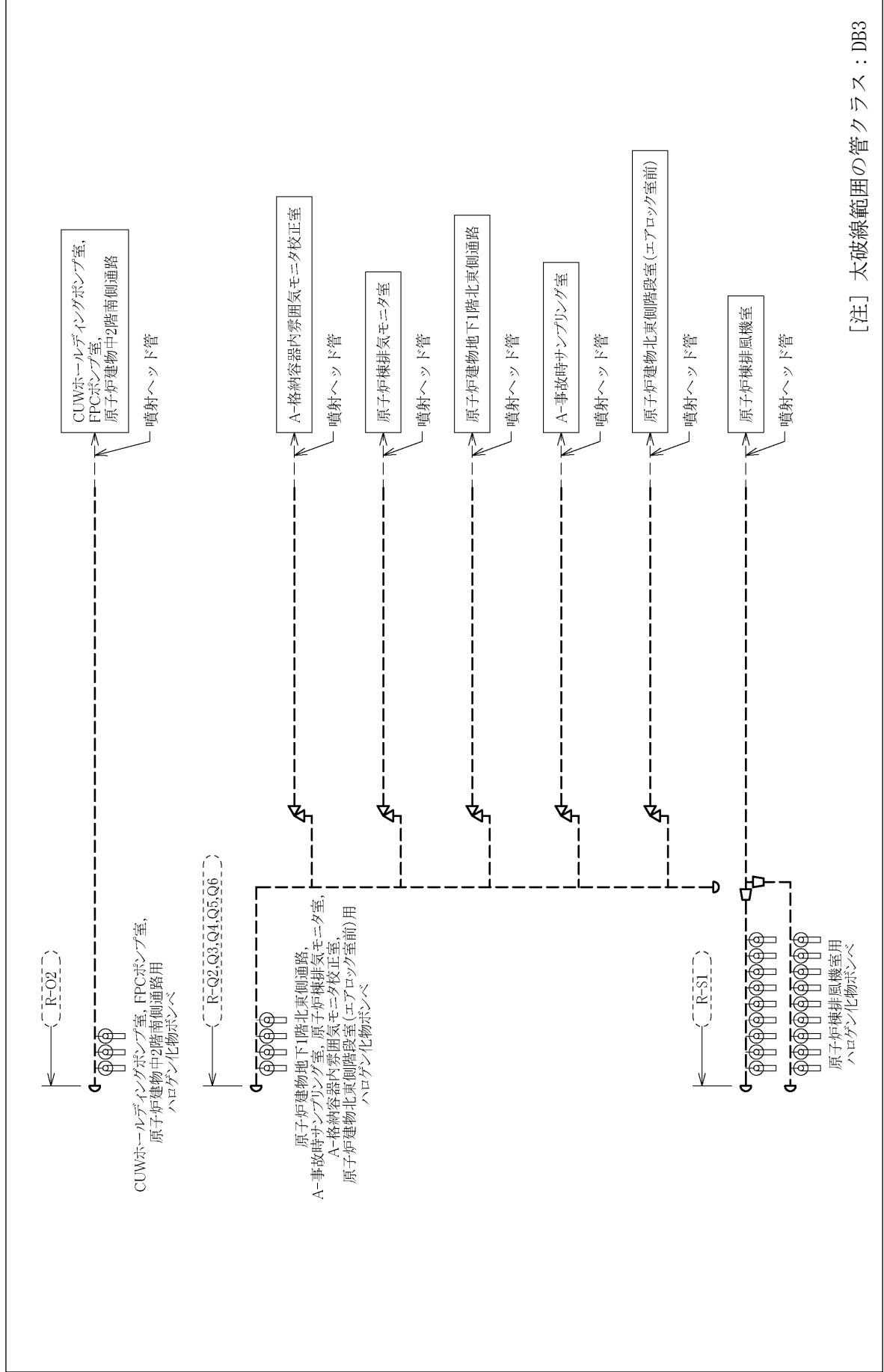


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

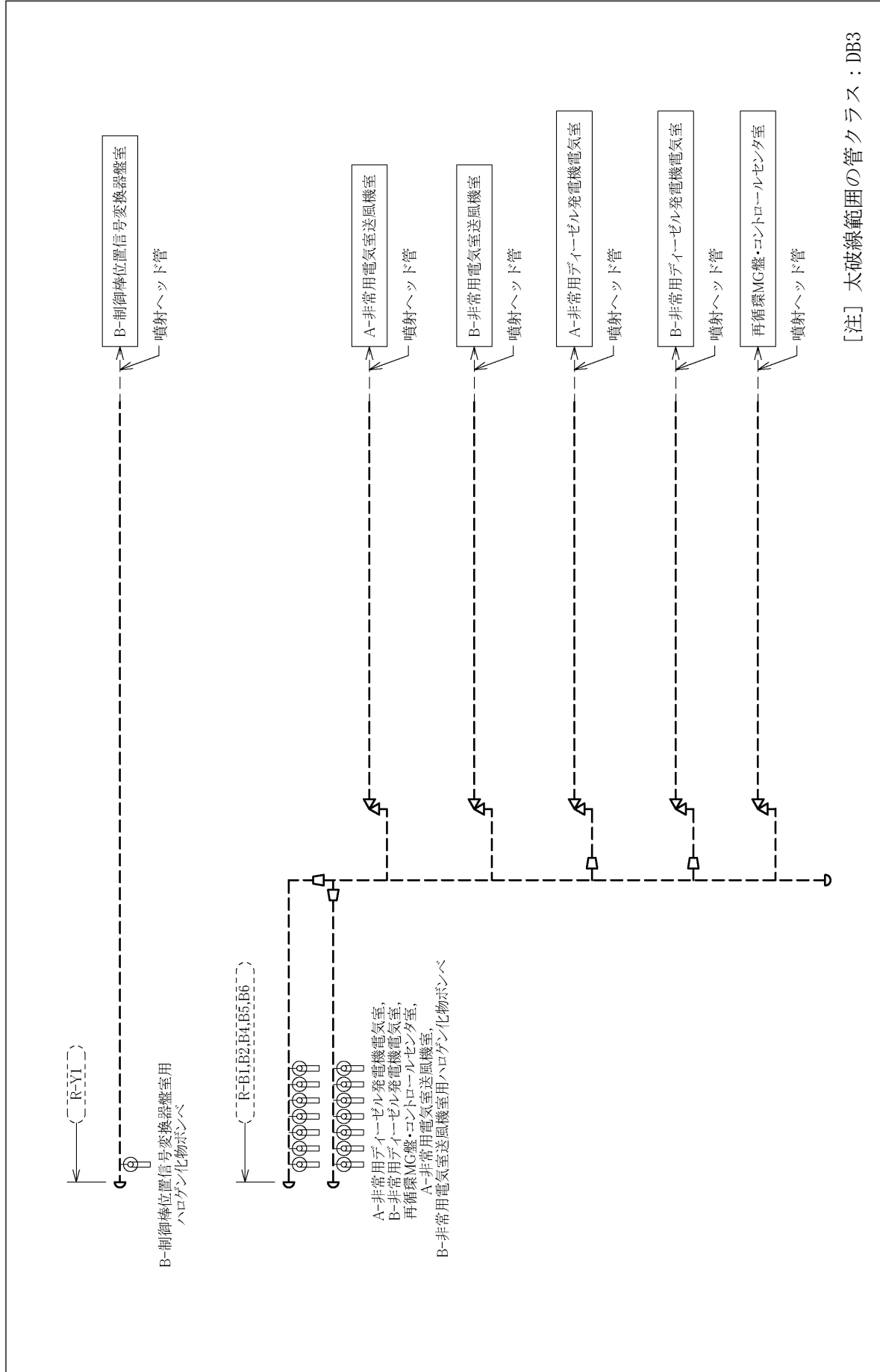
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その7)



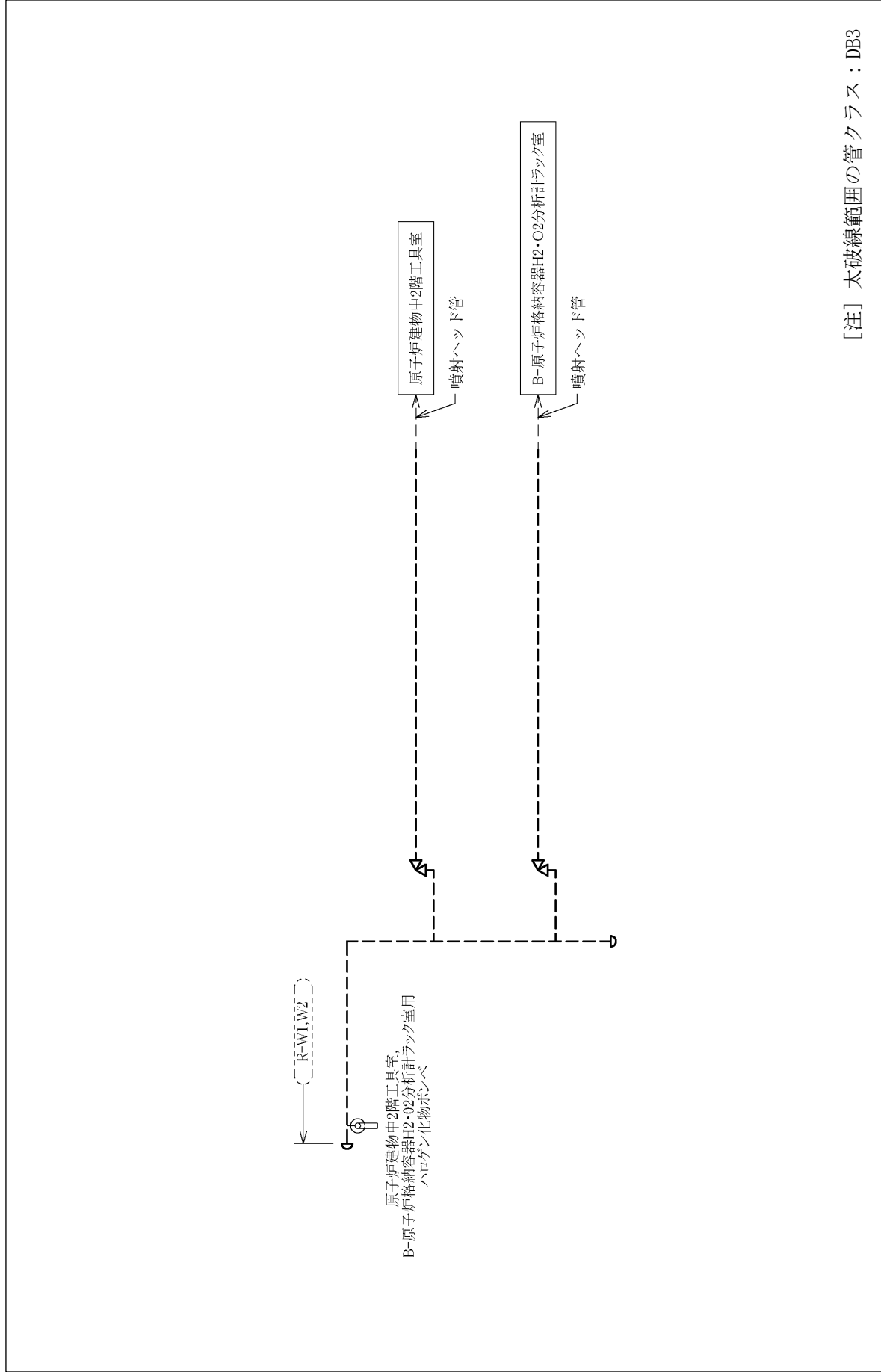
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その8)



ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その9)

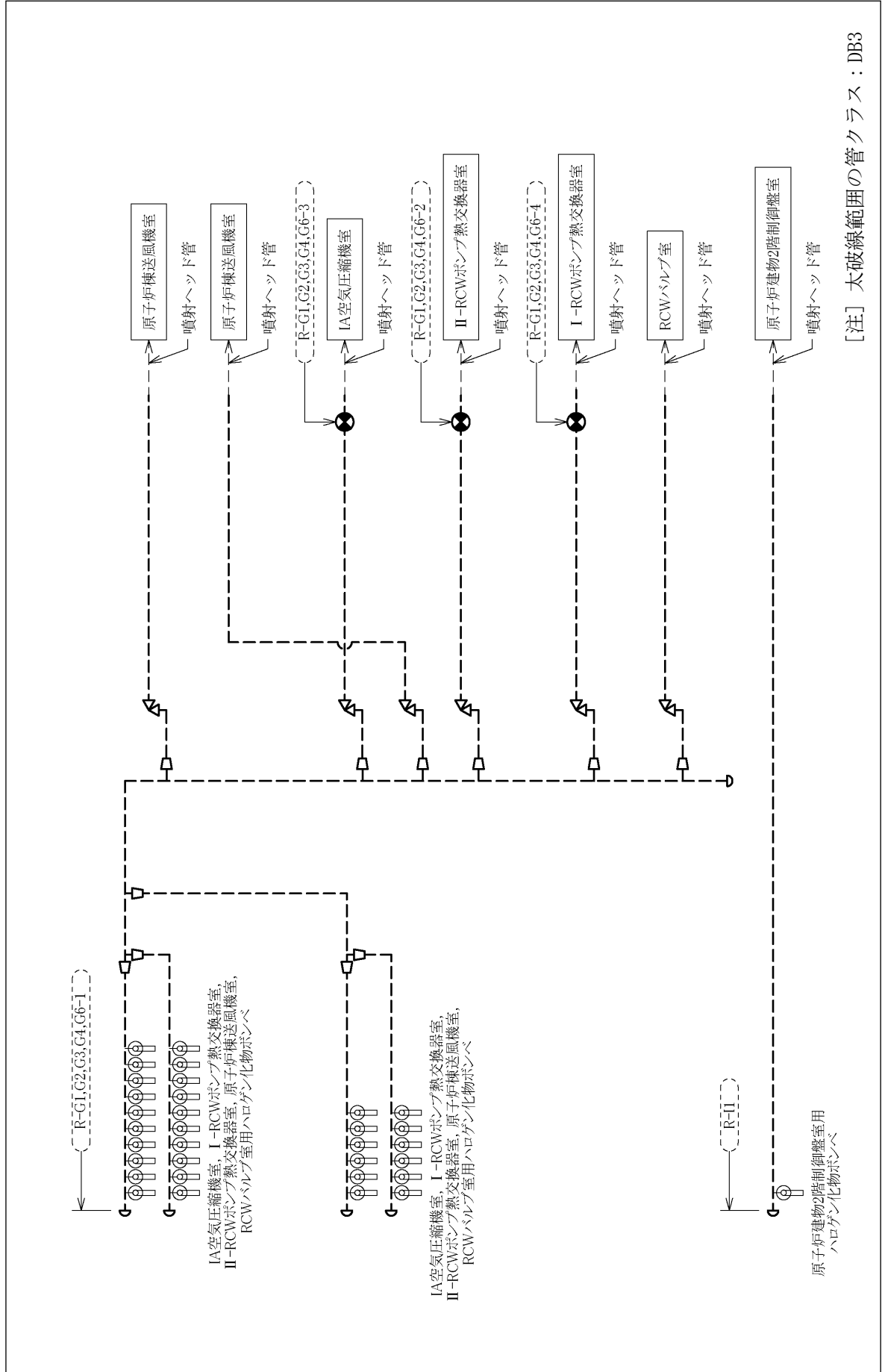


ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その10)

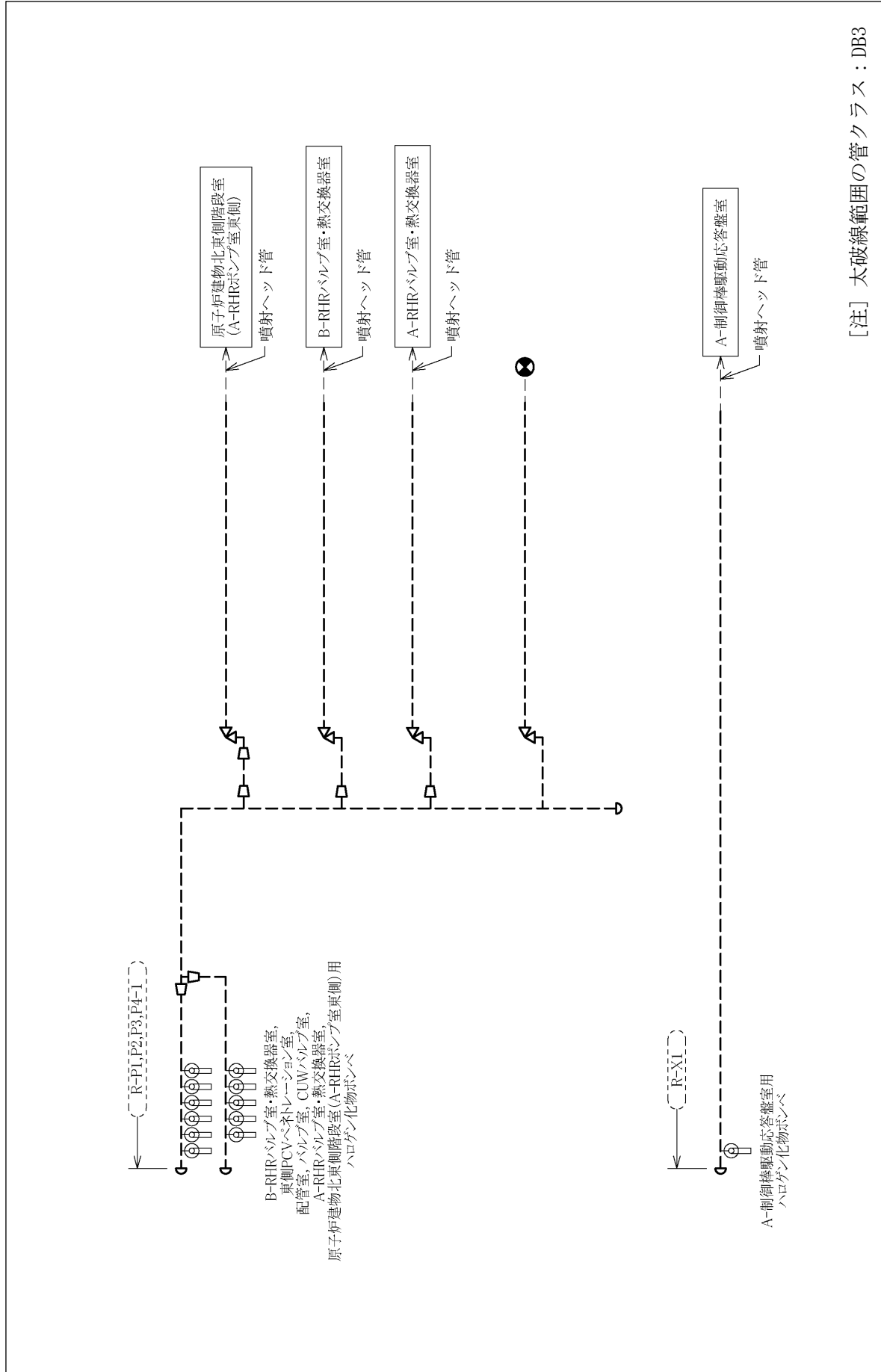


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

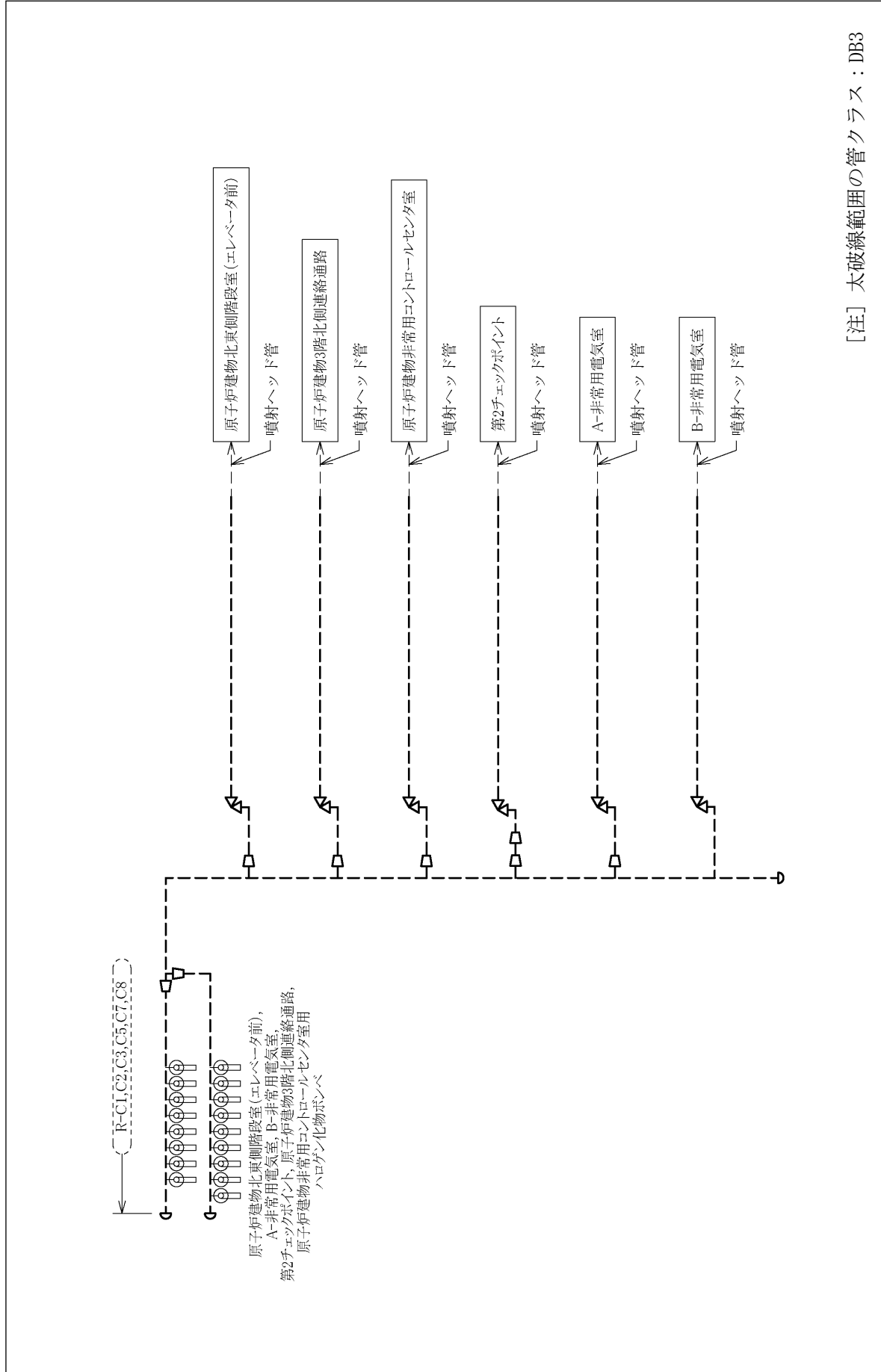
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その11)



ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その1 2)

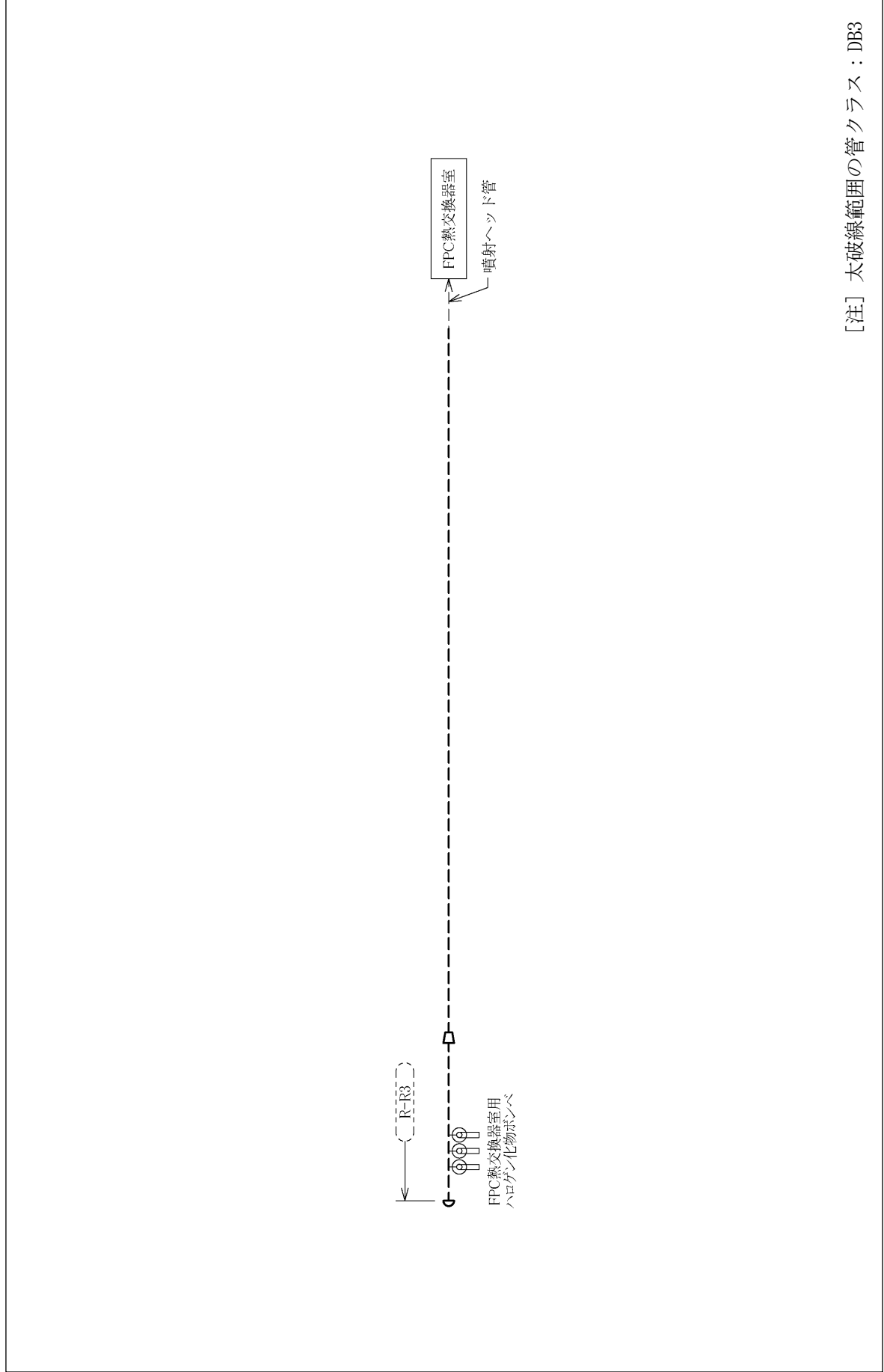


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

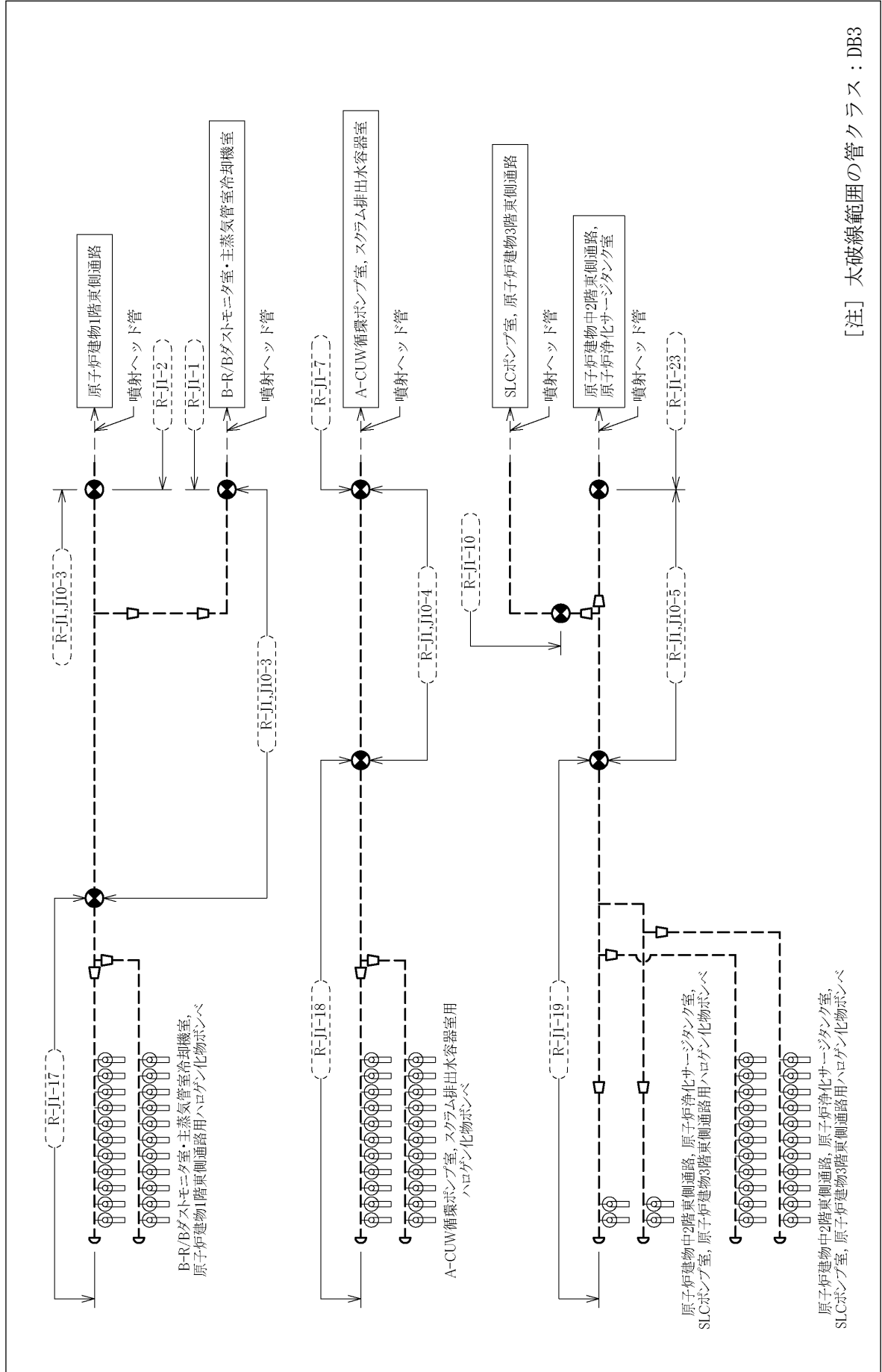


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

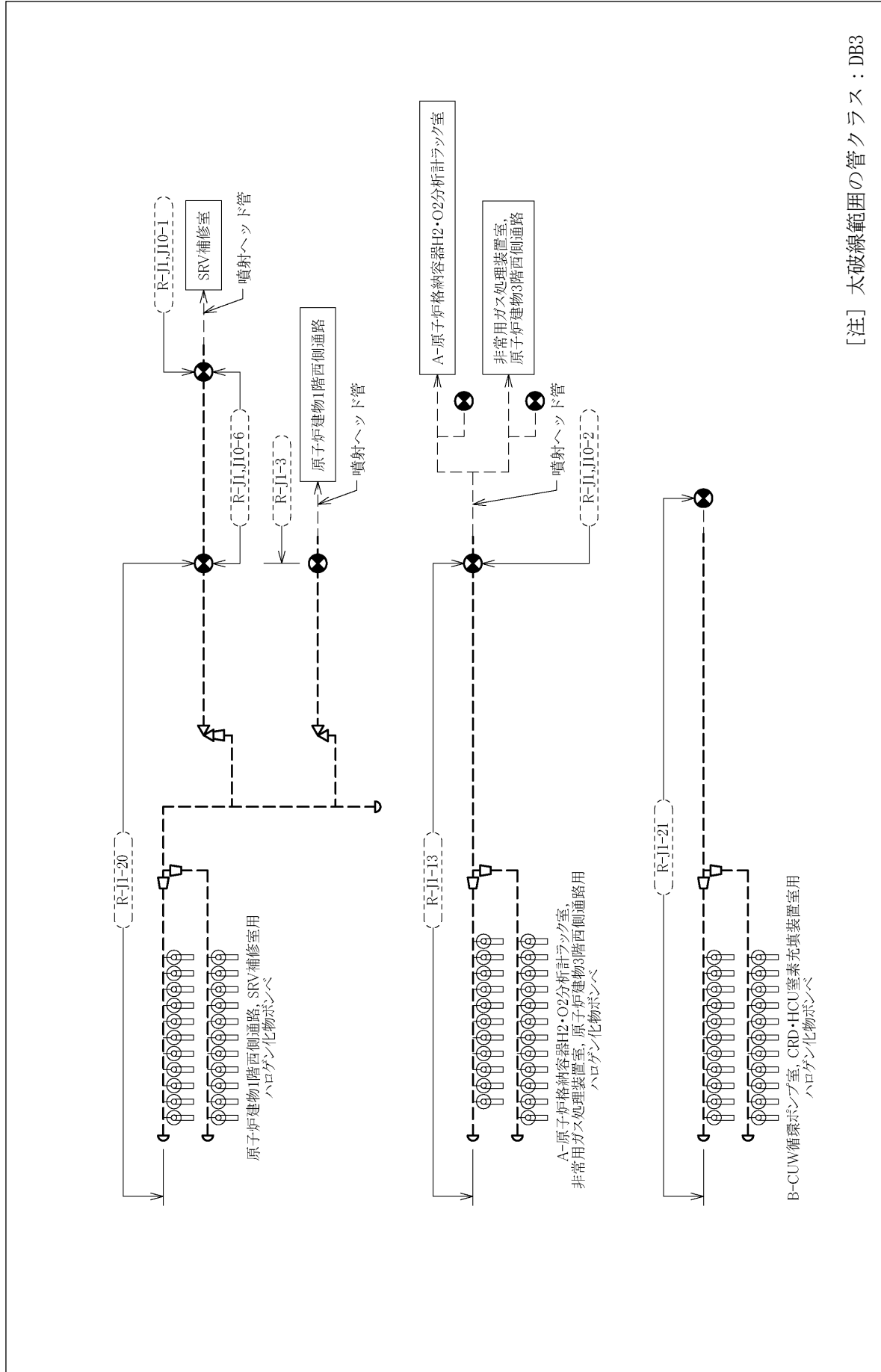
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その14)



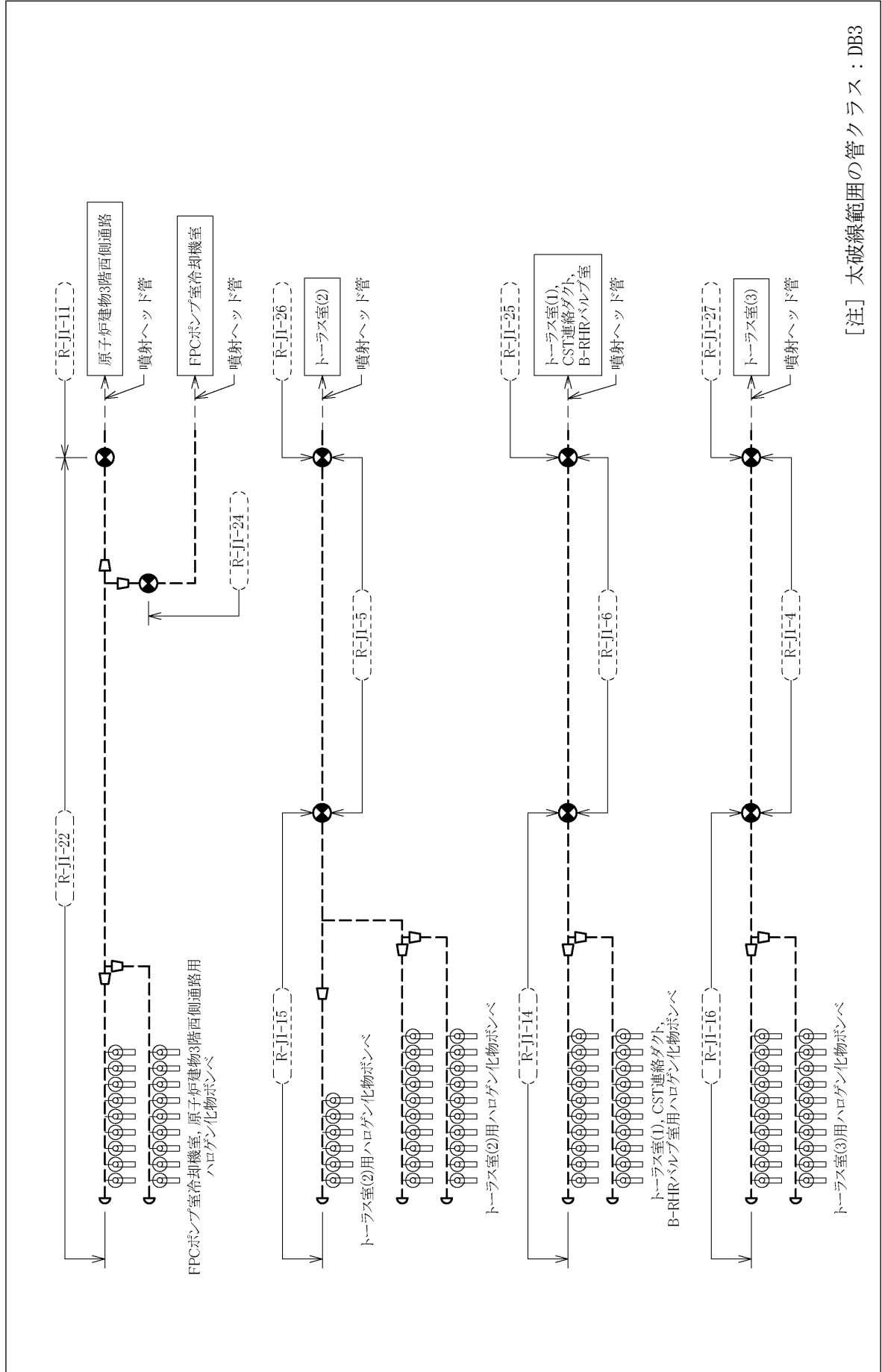
[注] 太破線範囲の管クラス：DB3



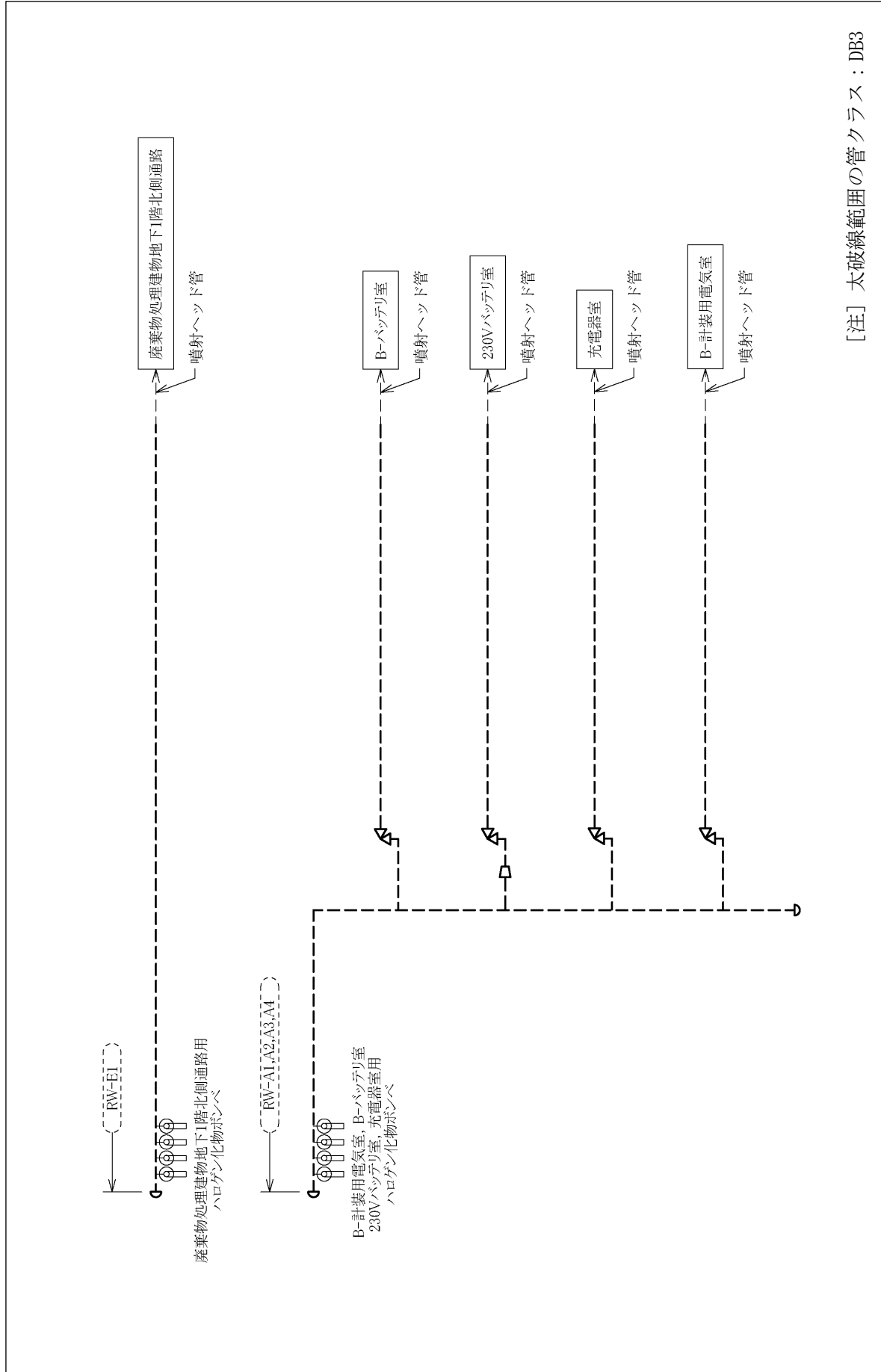
[注] 太破線範囲の管クラス : DB3

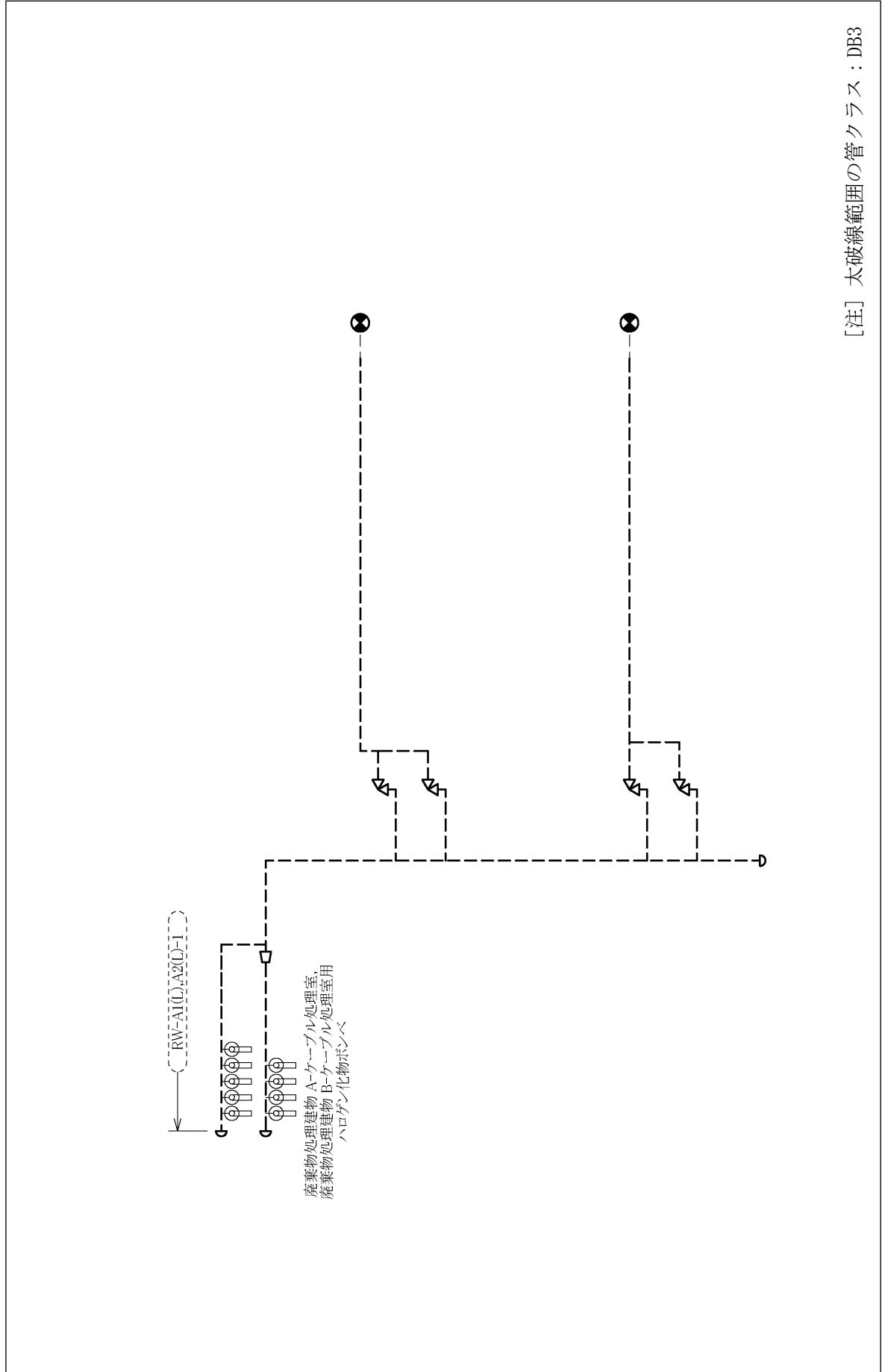


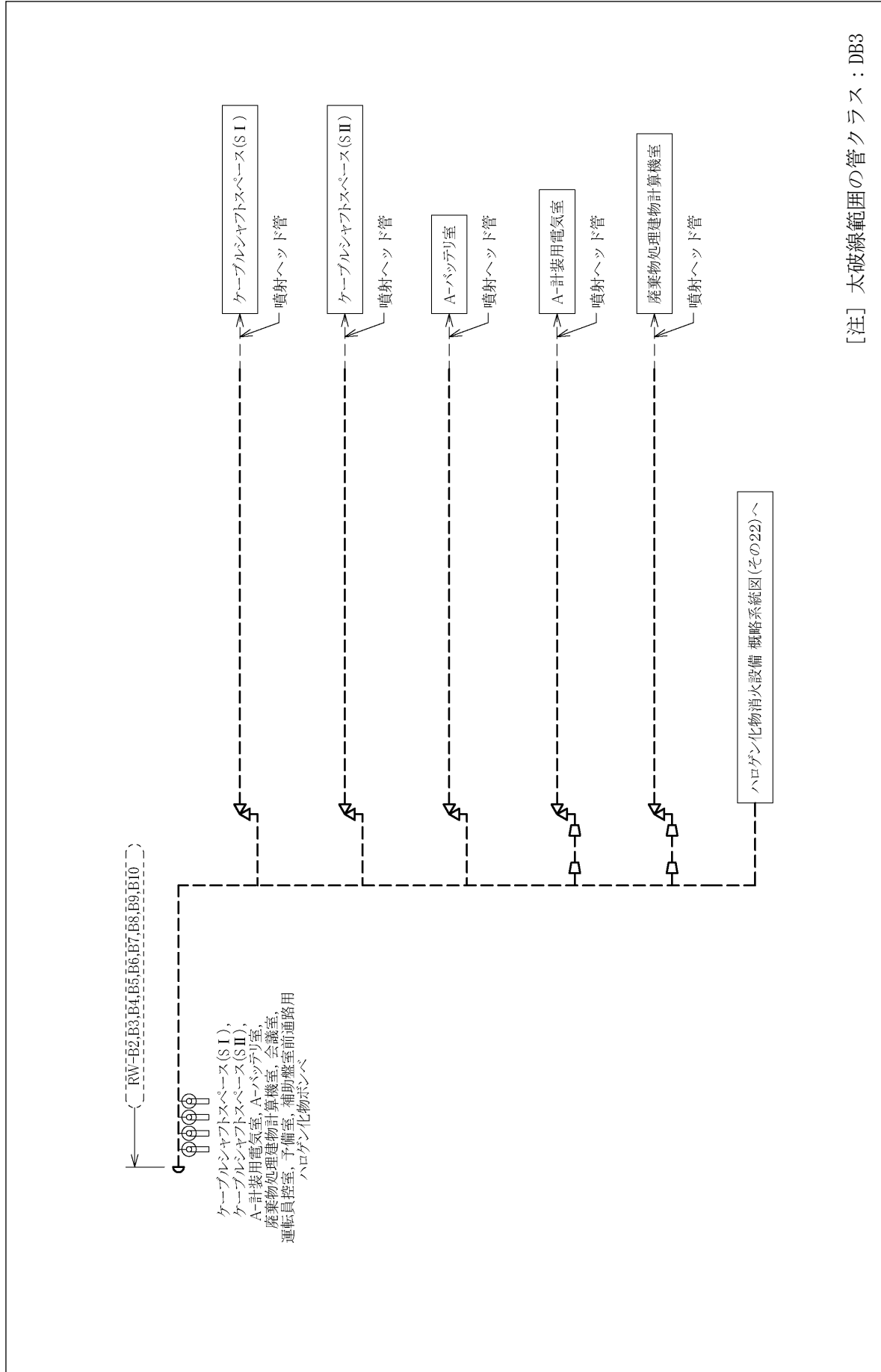
[注] 太破線範囲の管クラス：DB3



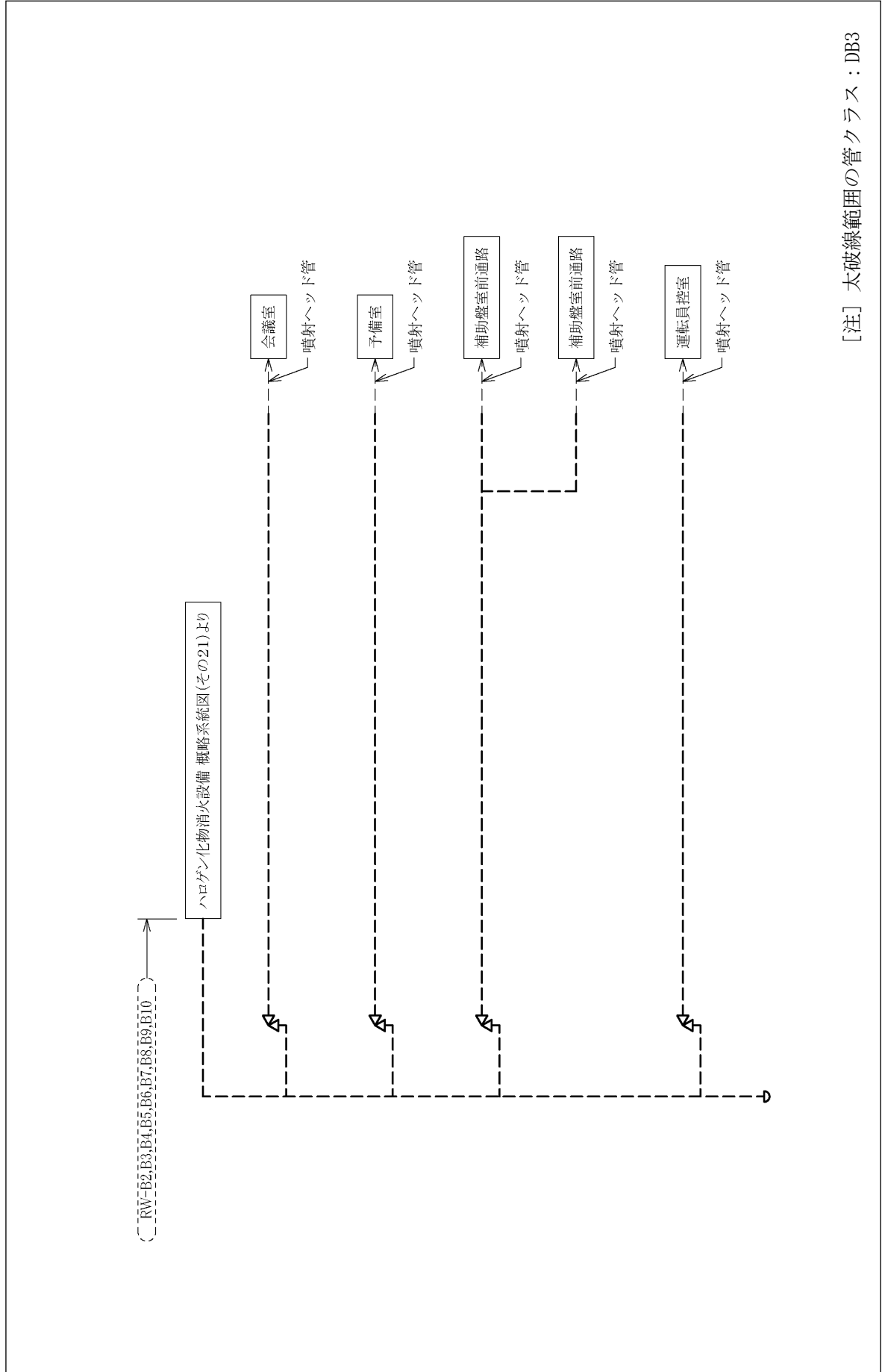
[注] 太破線範囲の管クラス：DB3





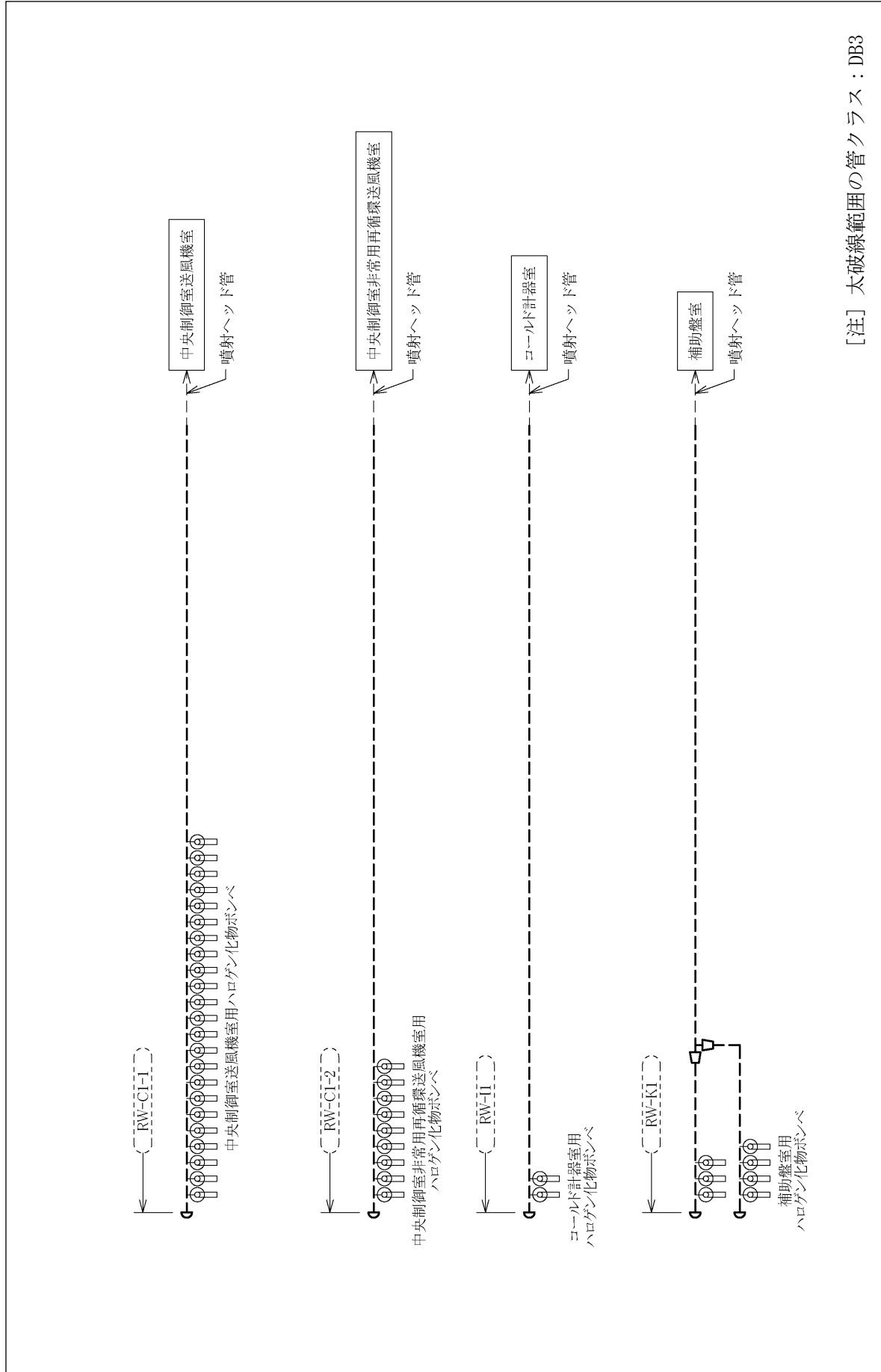


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

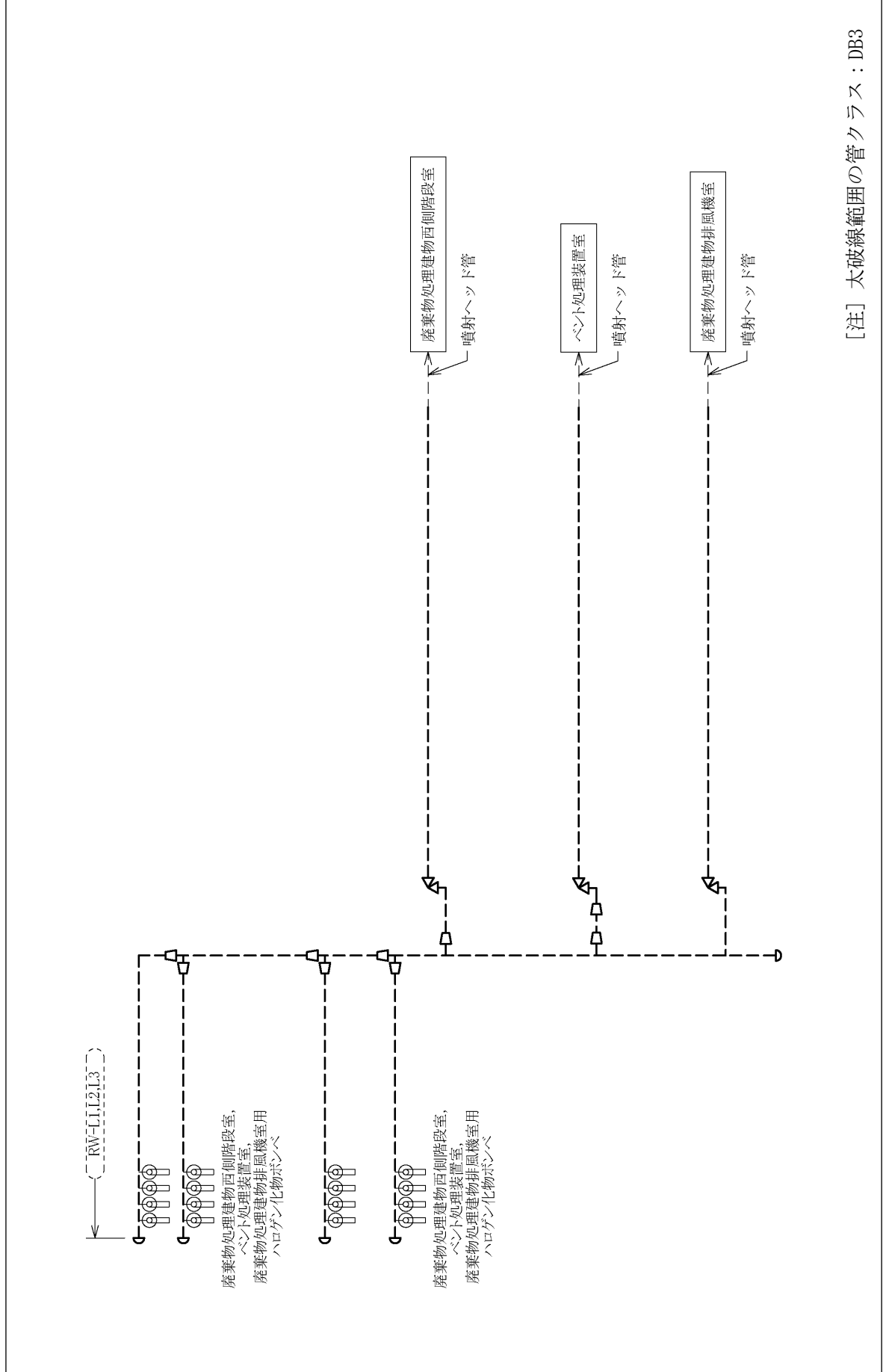


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

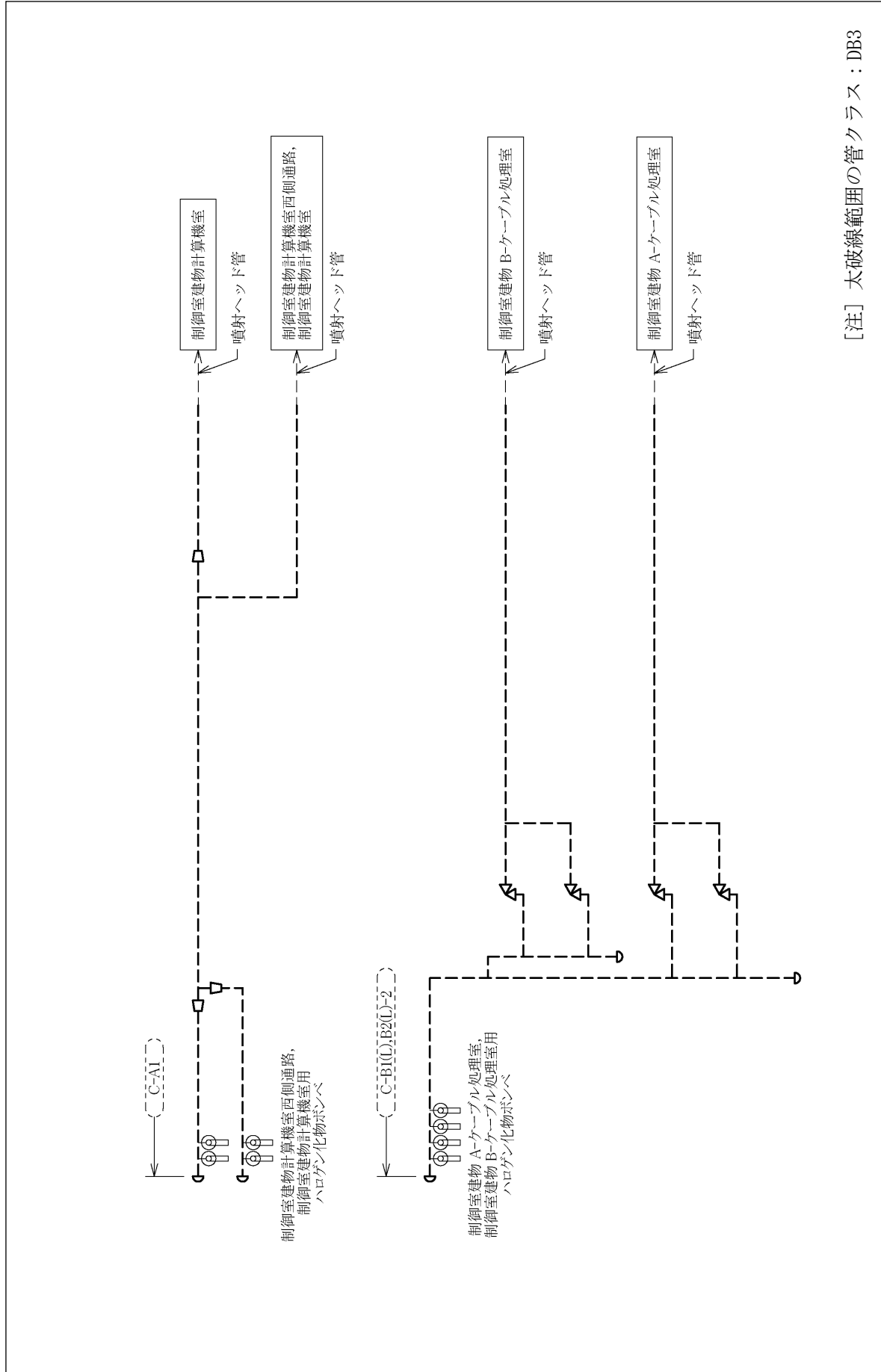
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その 2 2)



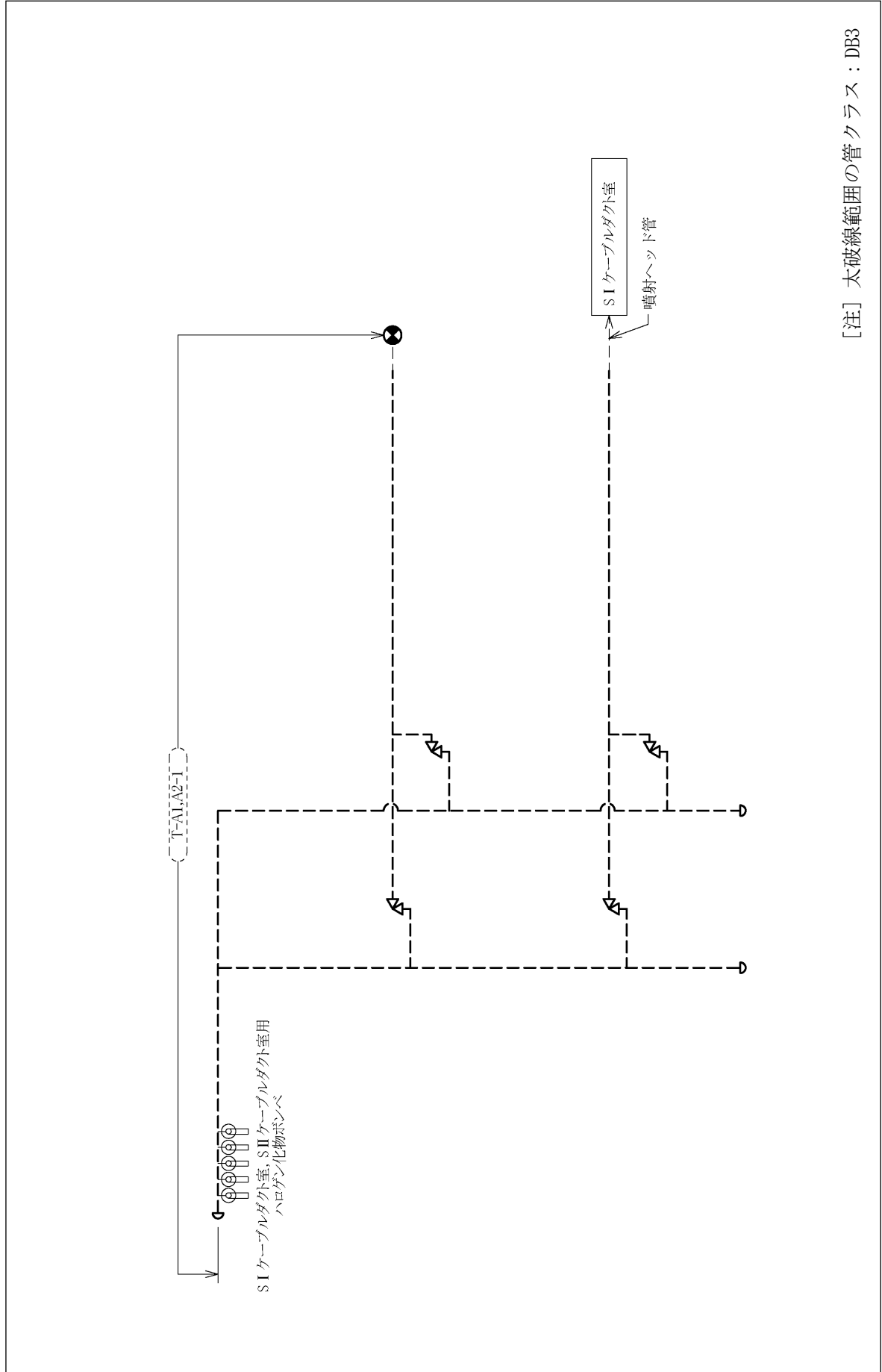
[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

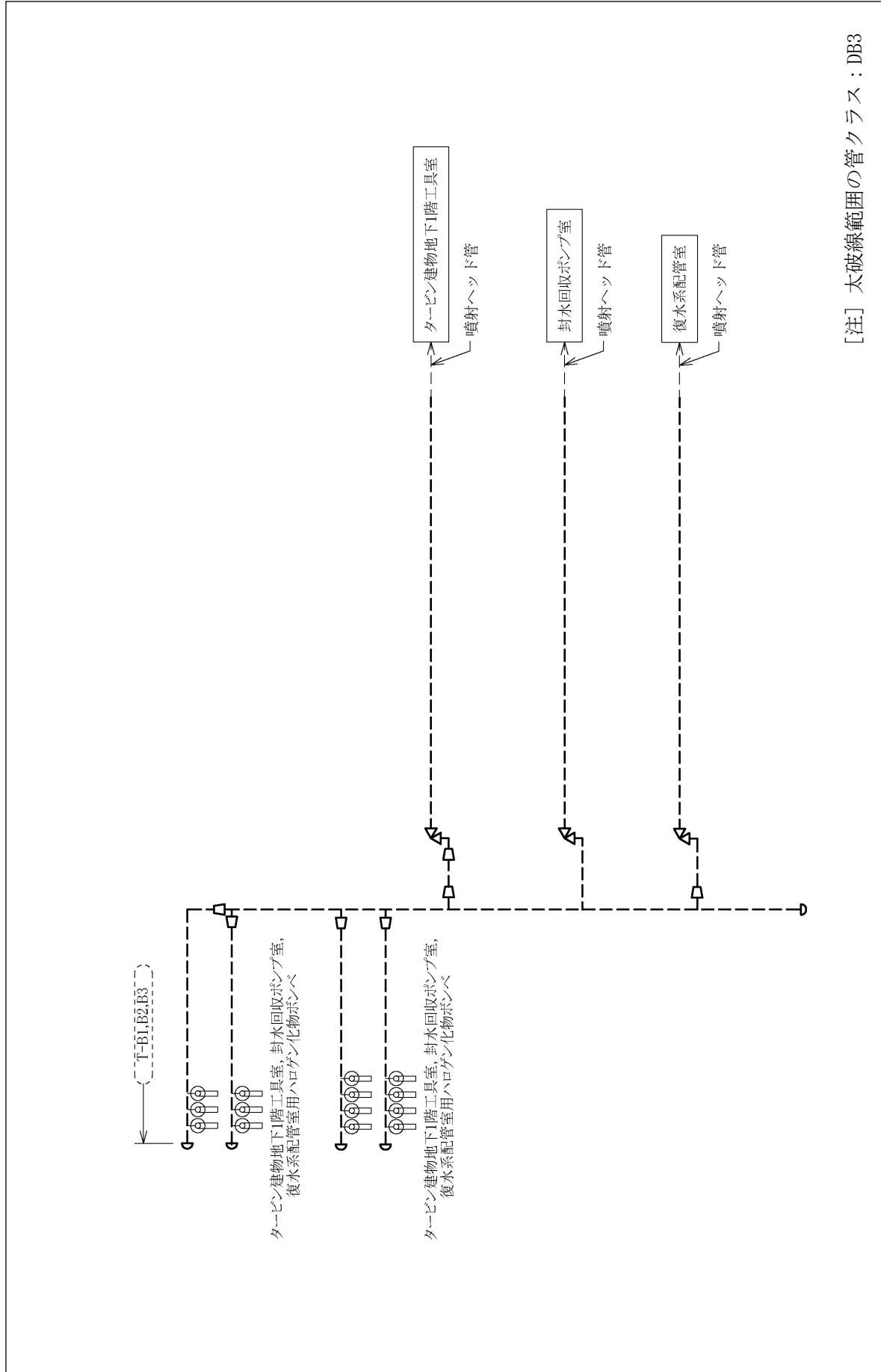


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

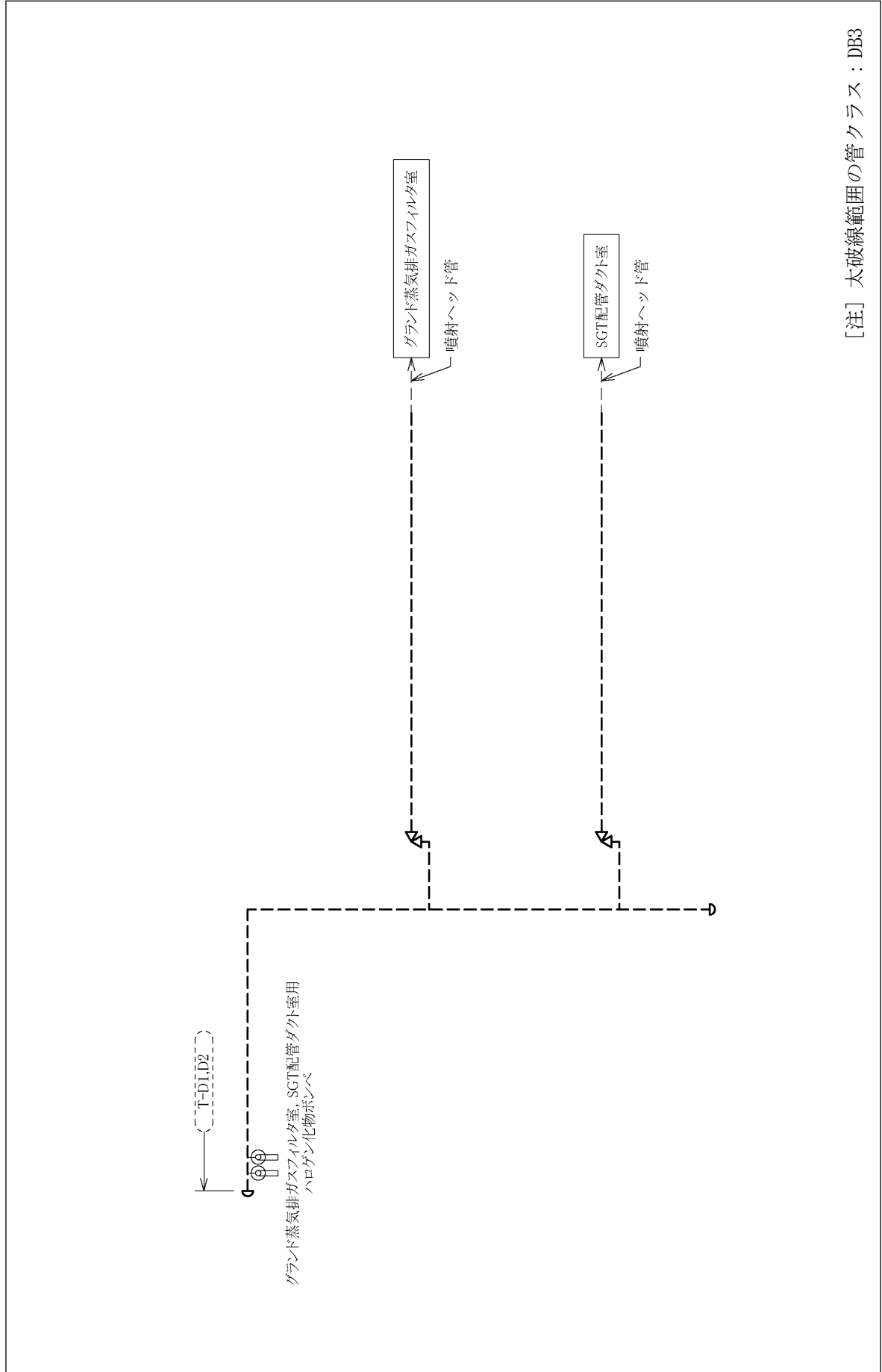


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

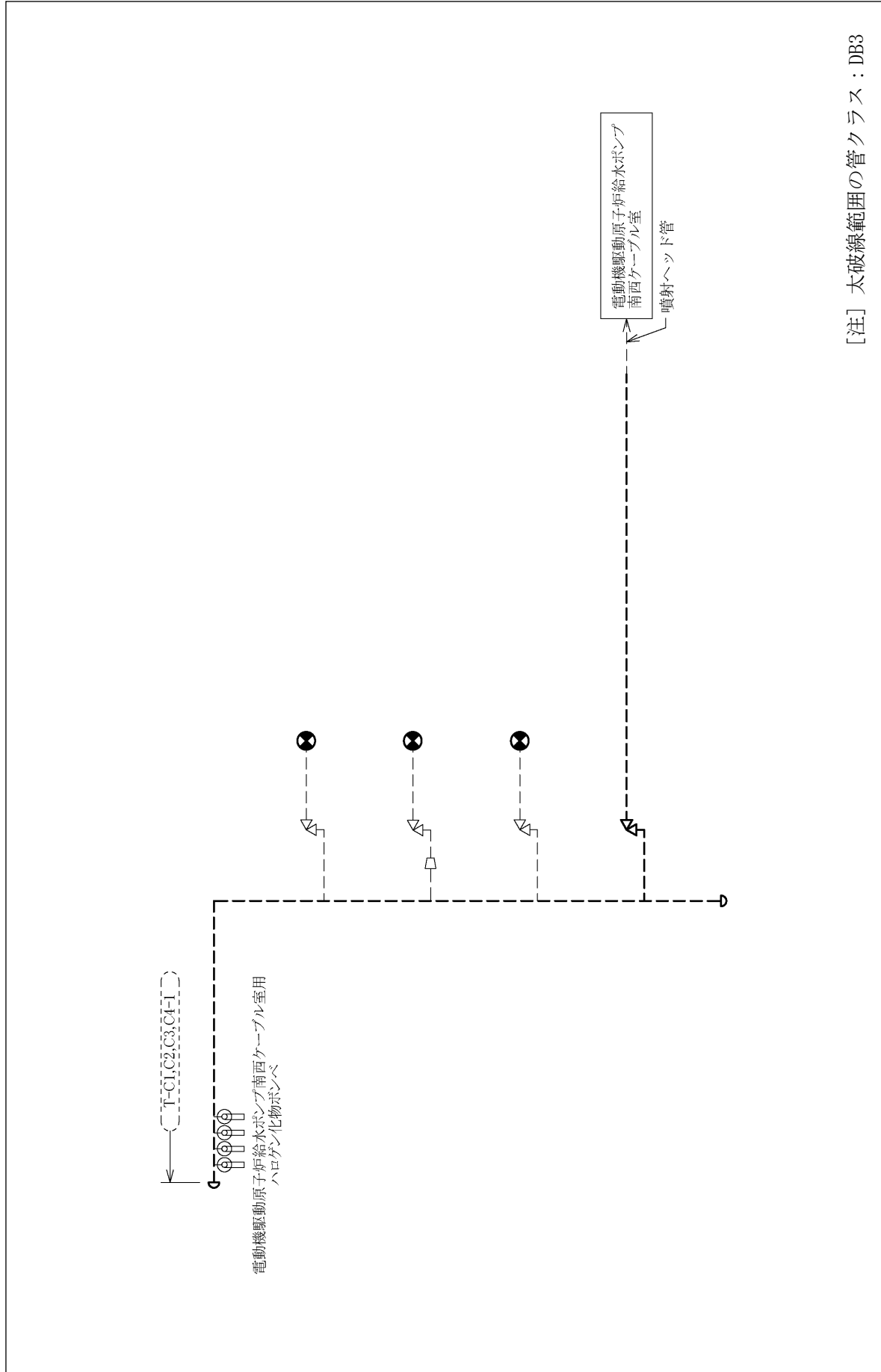




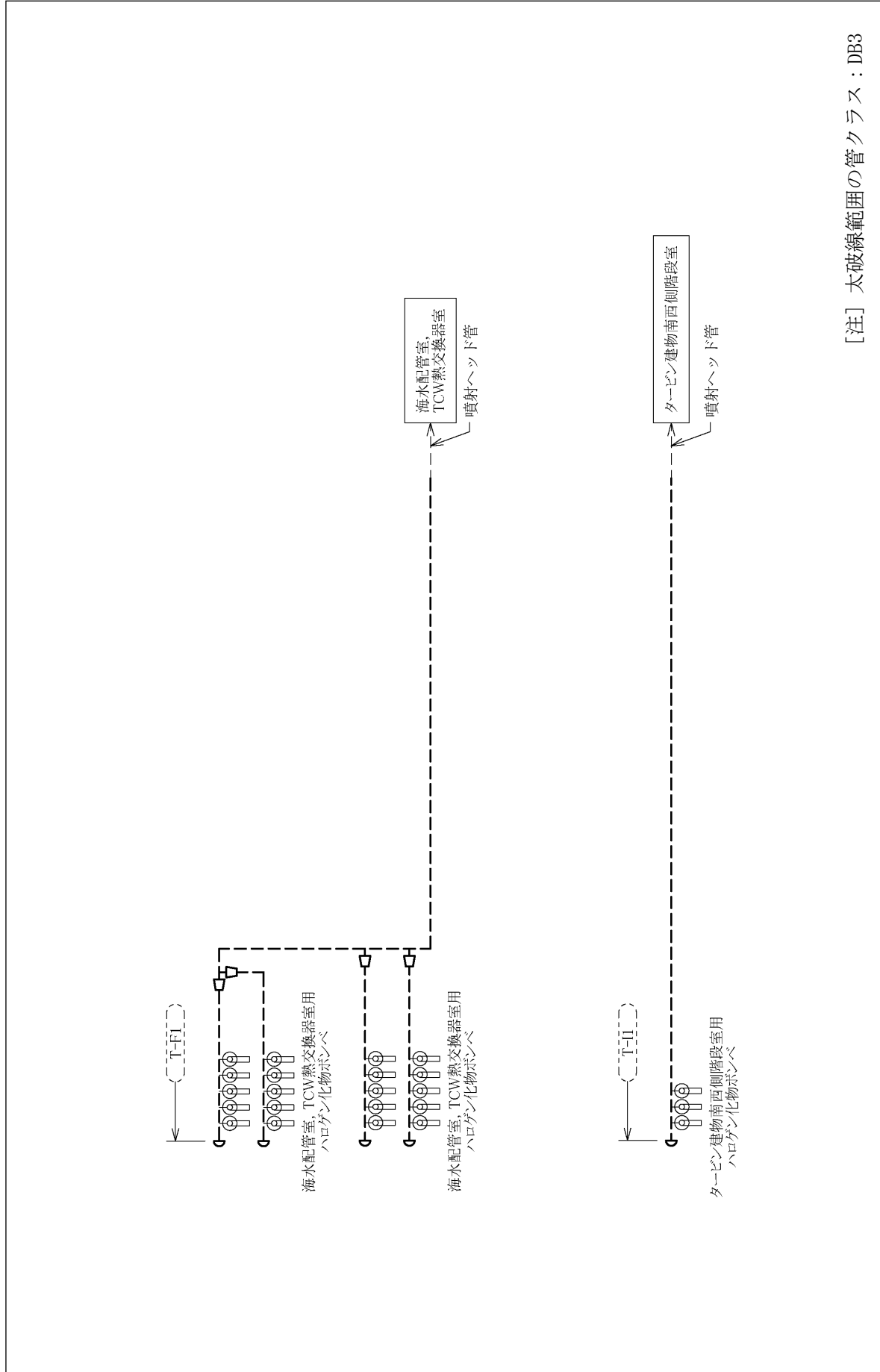
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その27)

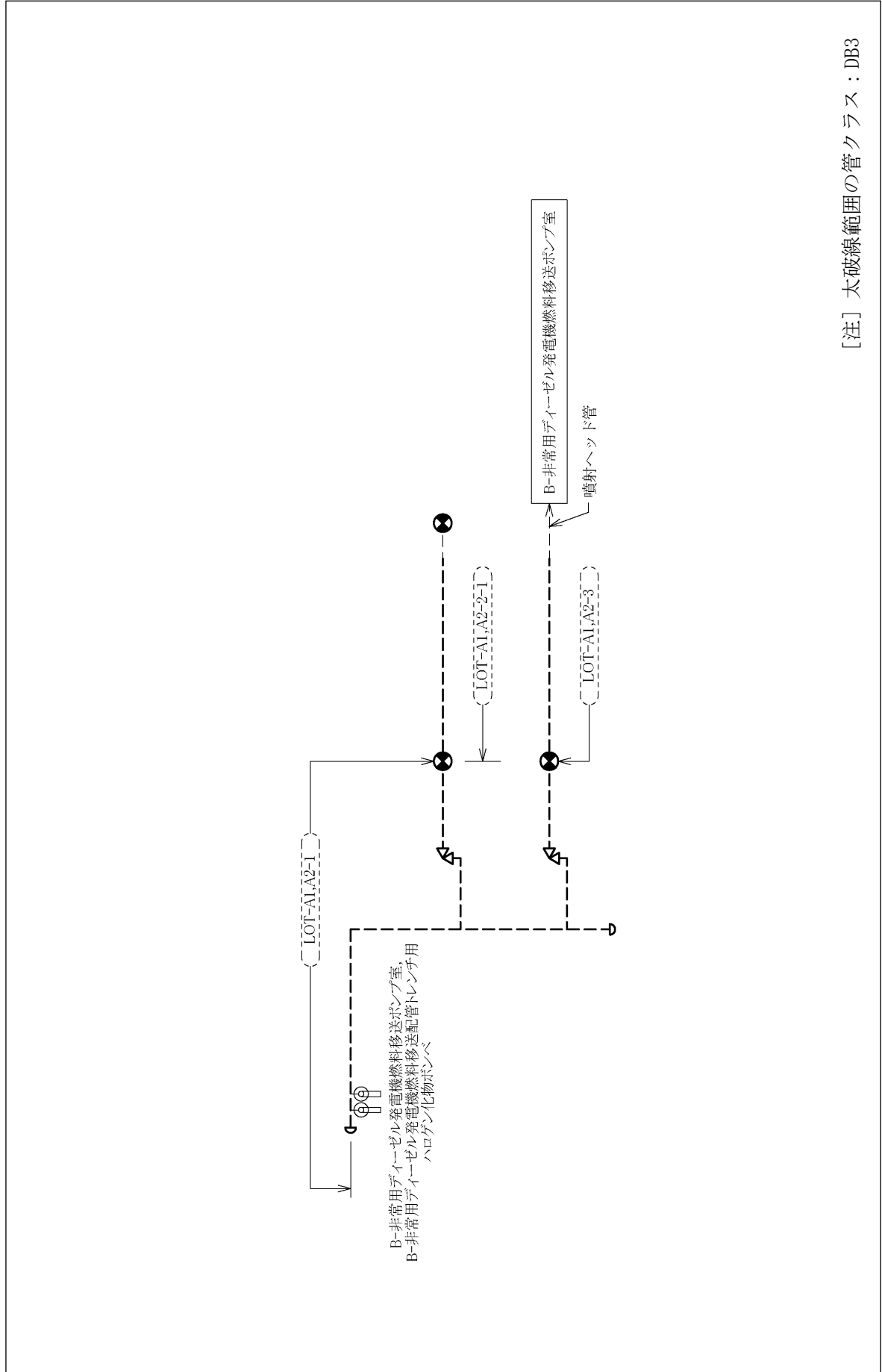


ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その28)

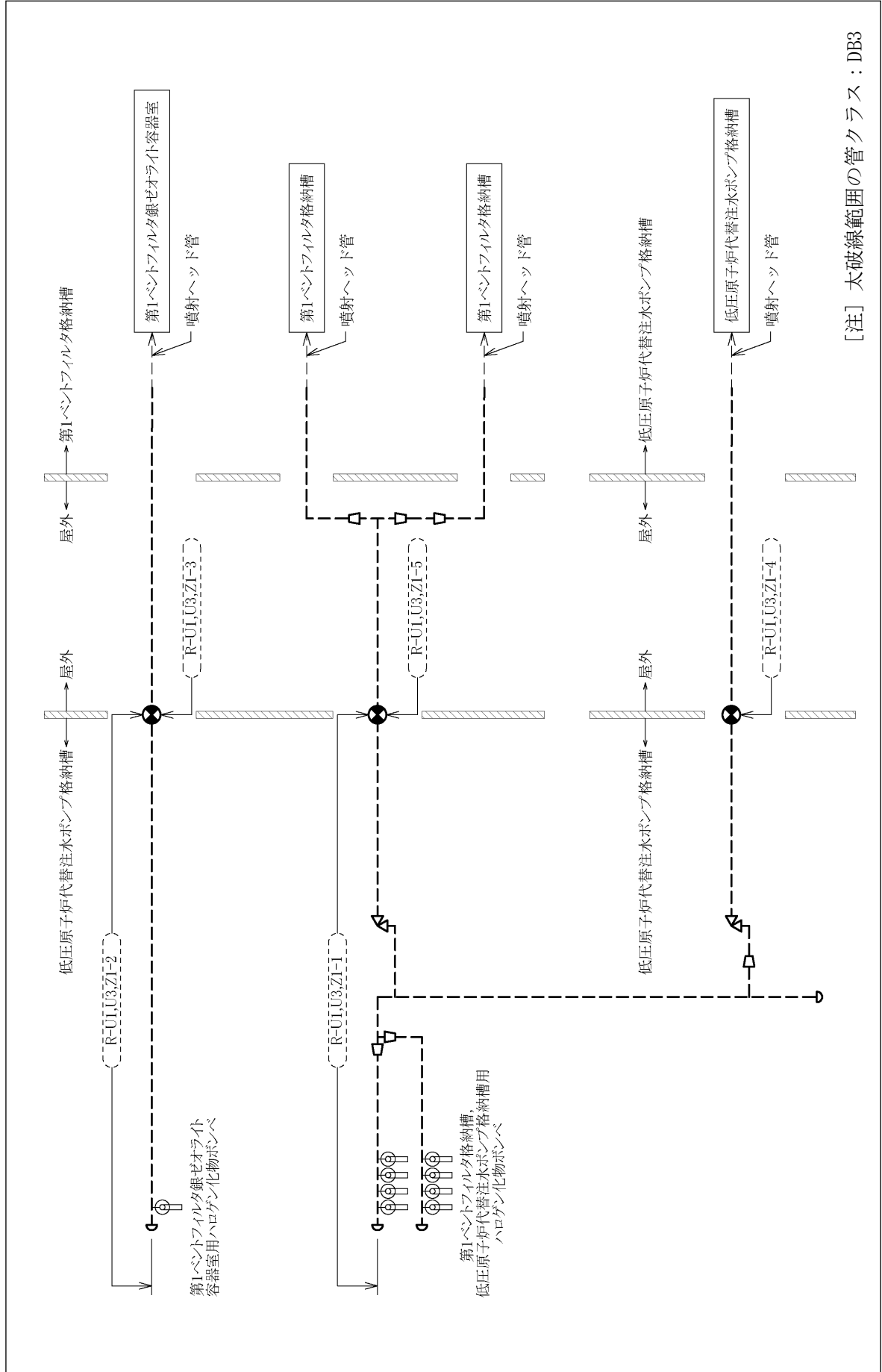


ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その29)

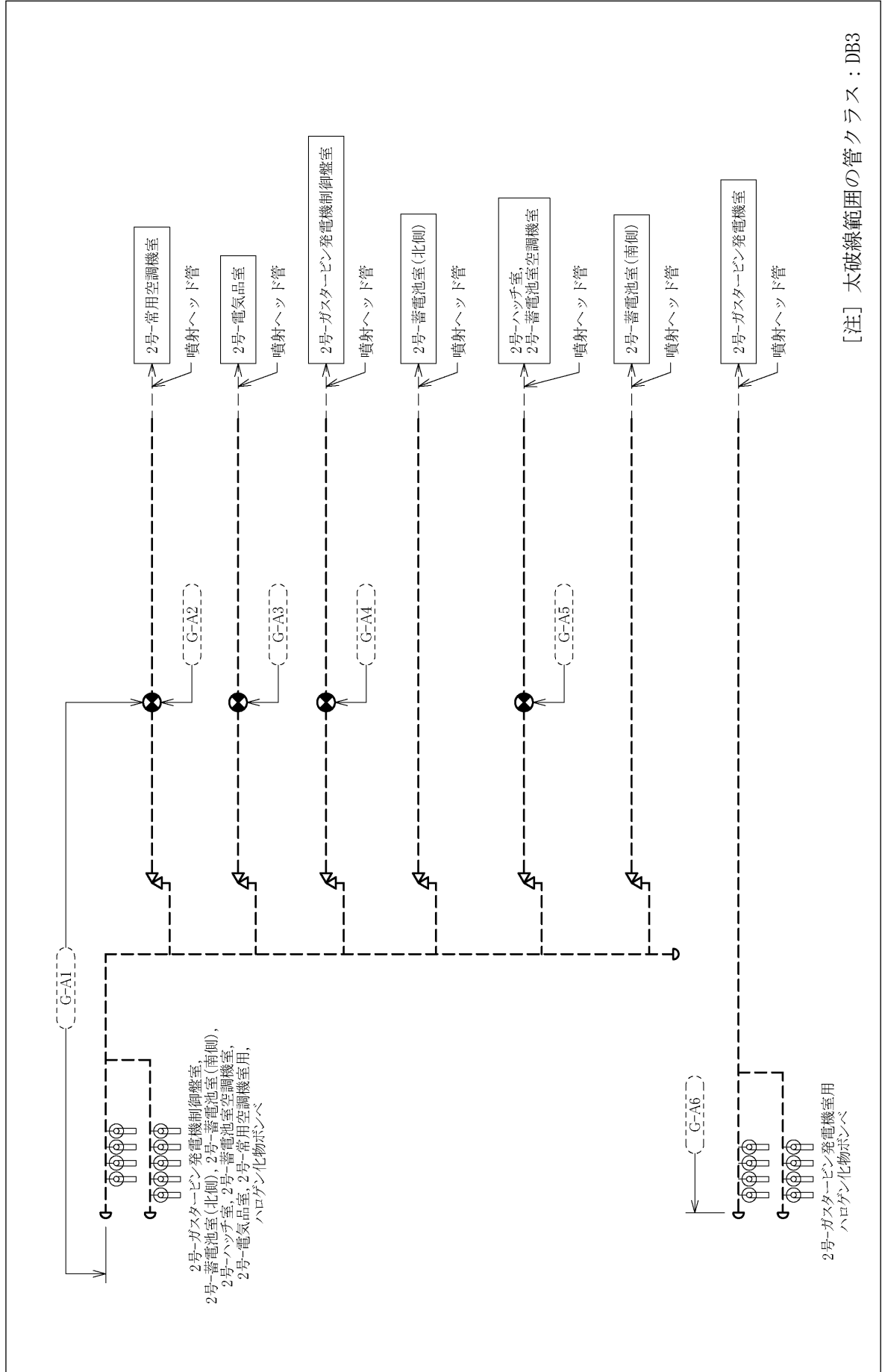




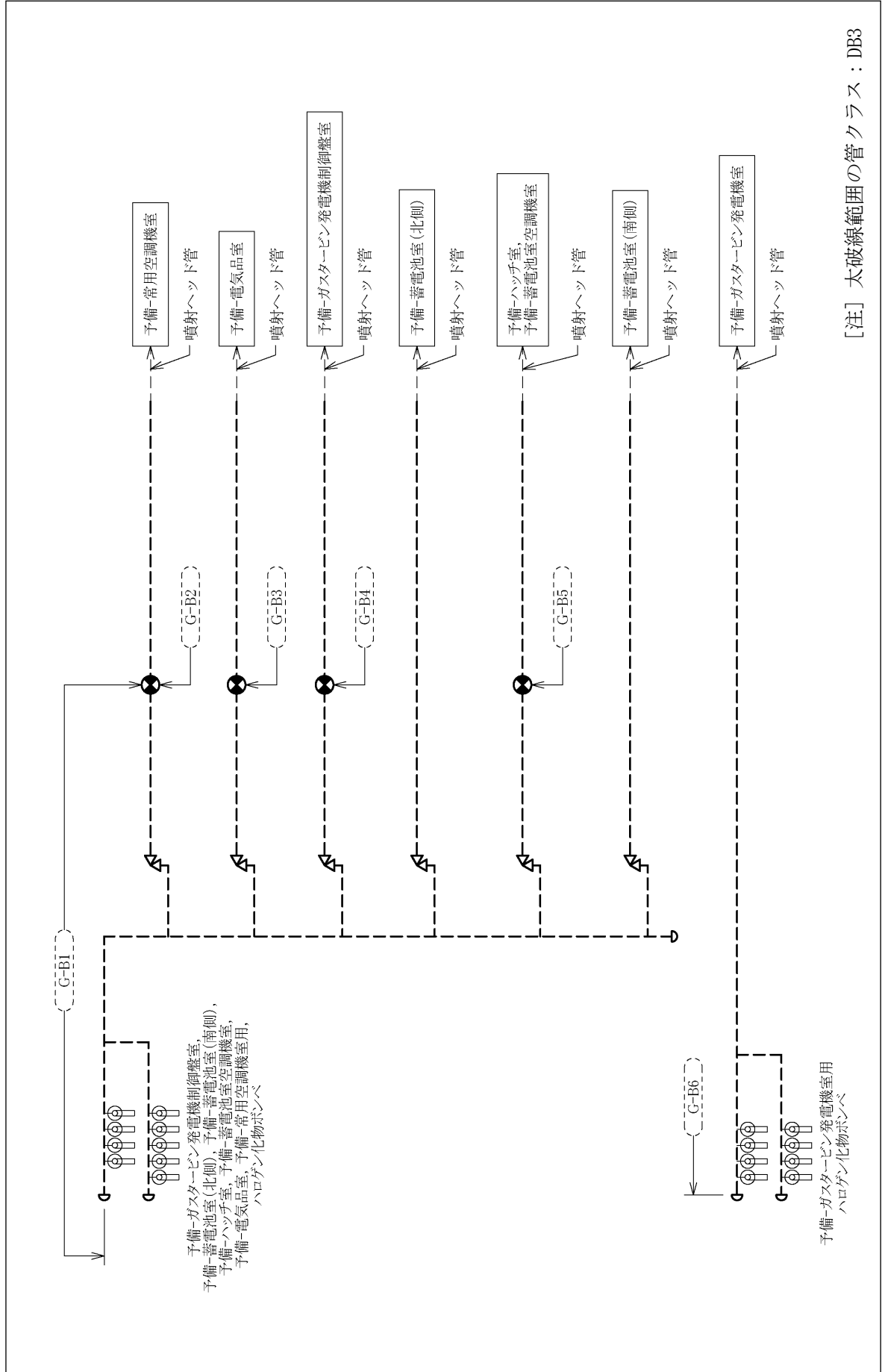
[注] 太破線範囲の管クラス：DB3



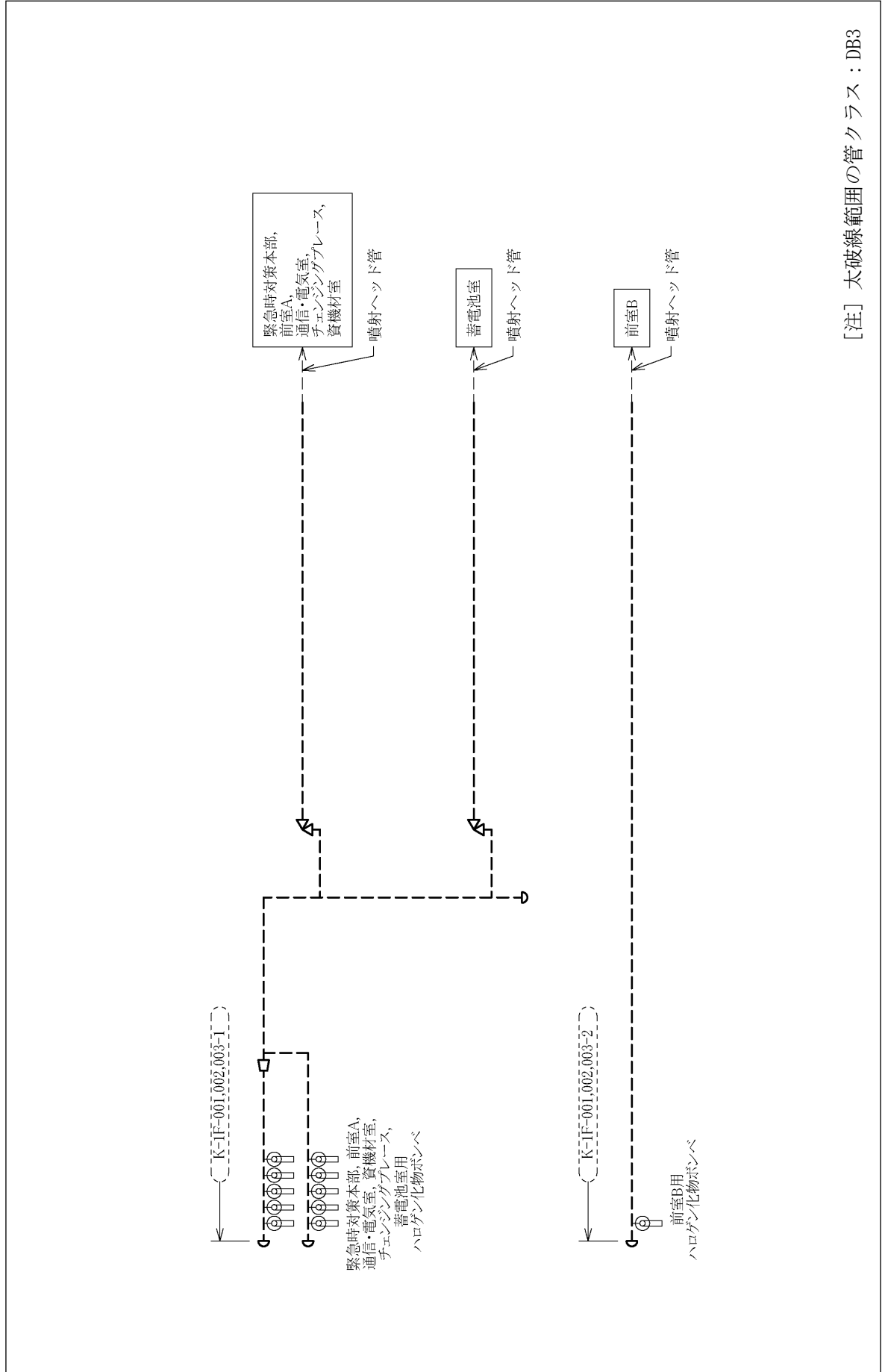
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その3 2)



[注] 太破線範囲の管クラス：DB3



[注] 太破線範囲の管クラス：DB3



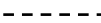


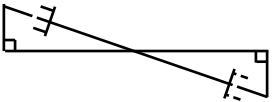
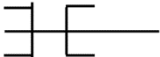
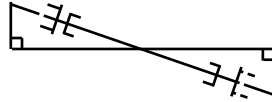

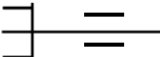
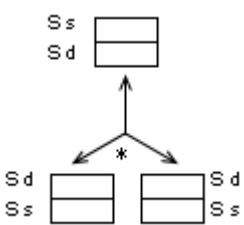


[注] 太破線範囲の管クラス：DB3

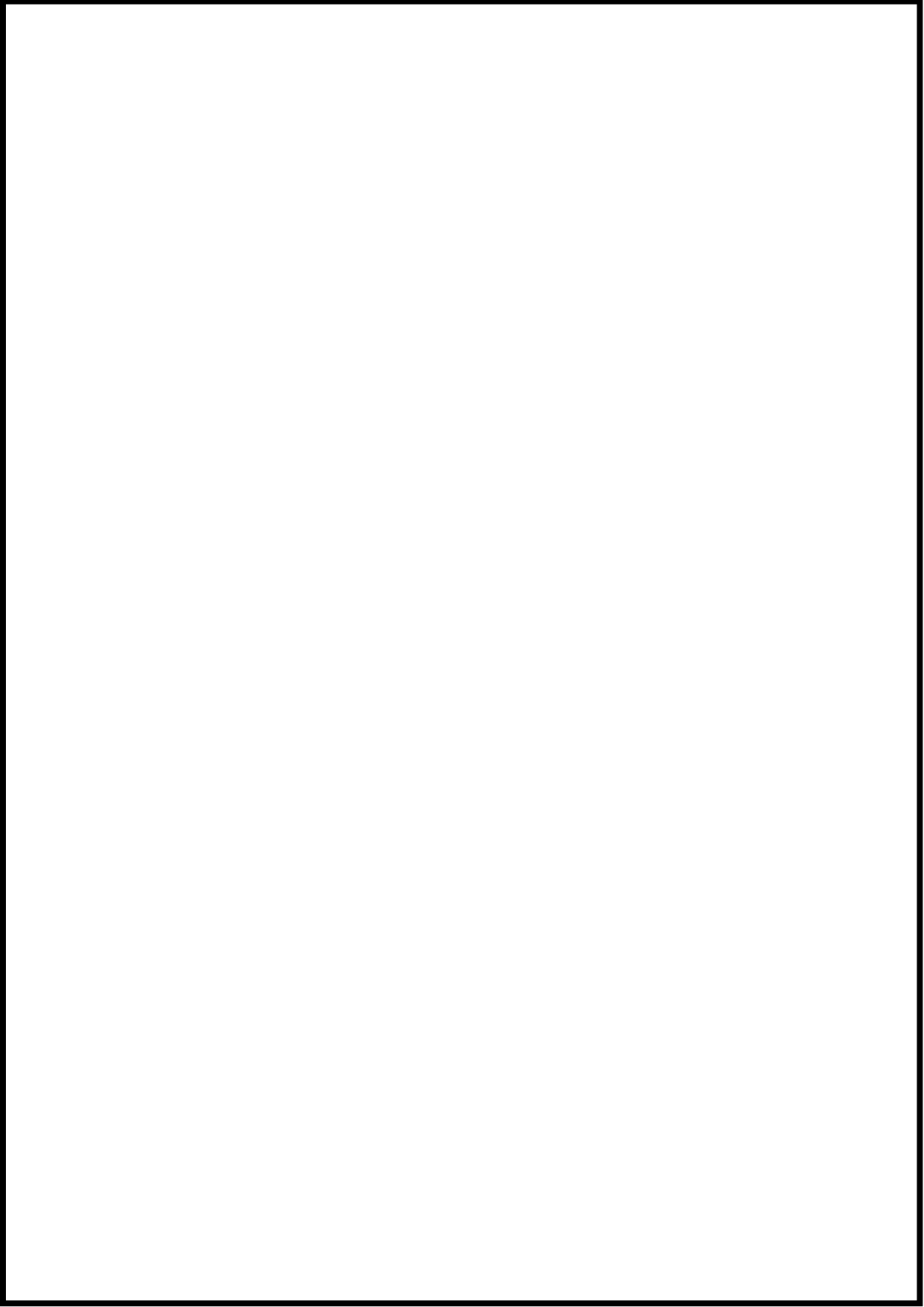
ハロゲン化物消火設備 概略系統図 (その35)

2.2 鳥瞰図

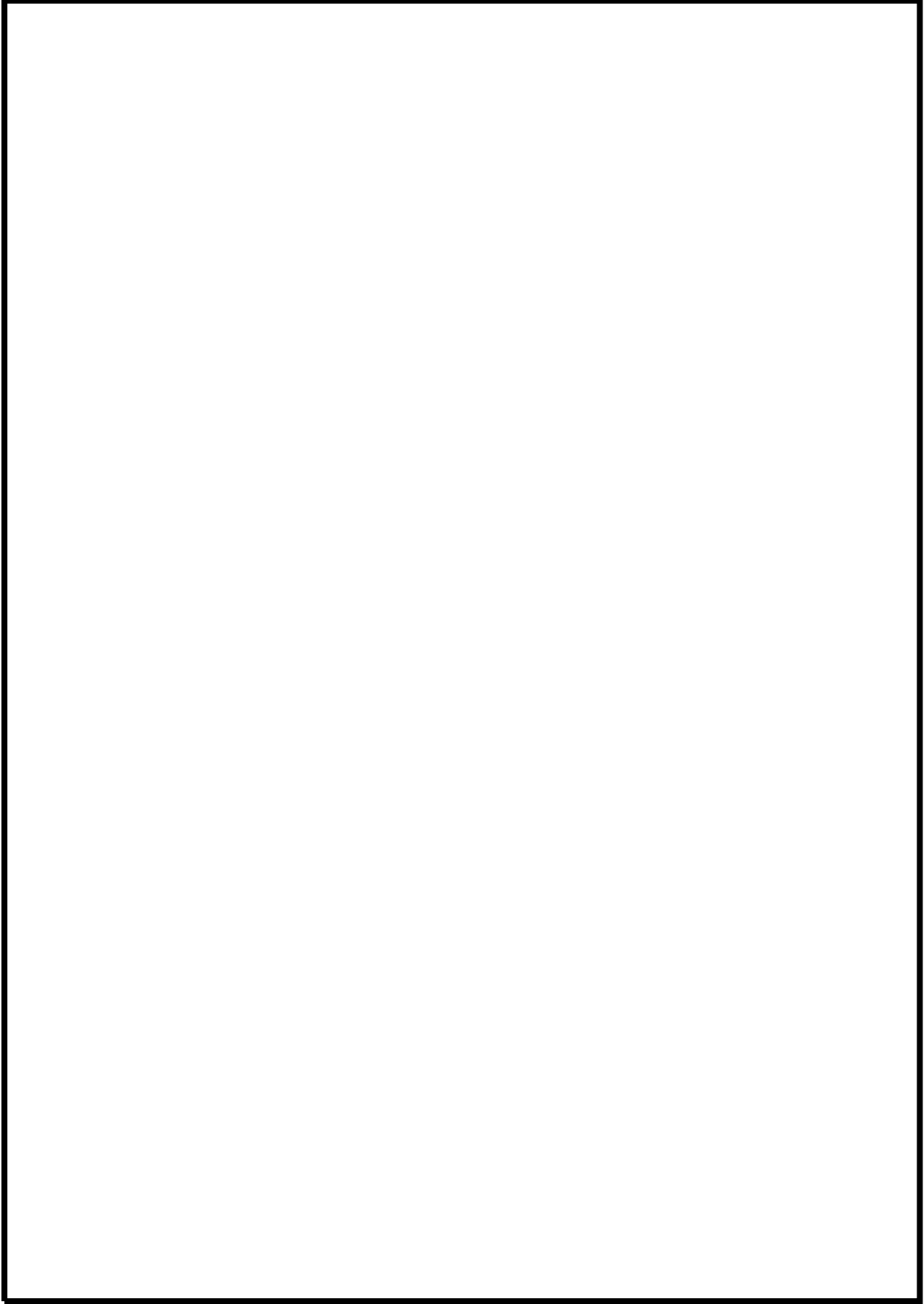
評価結果記載の解析モデル図を添付する。鳥瞰図に示す記号例を下表に示す。

記号	内容
 (太線)	工事計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち, 他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, □ 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)

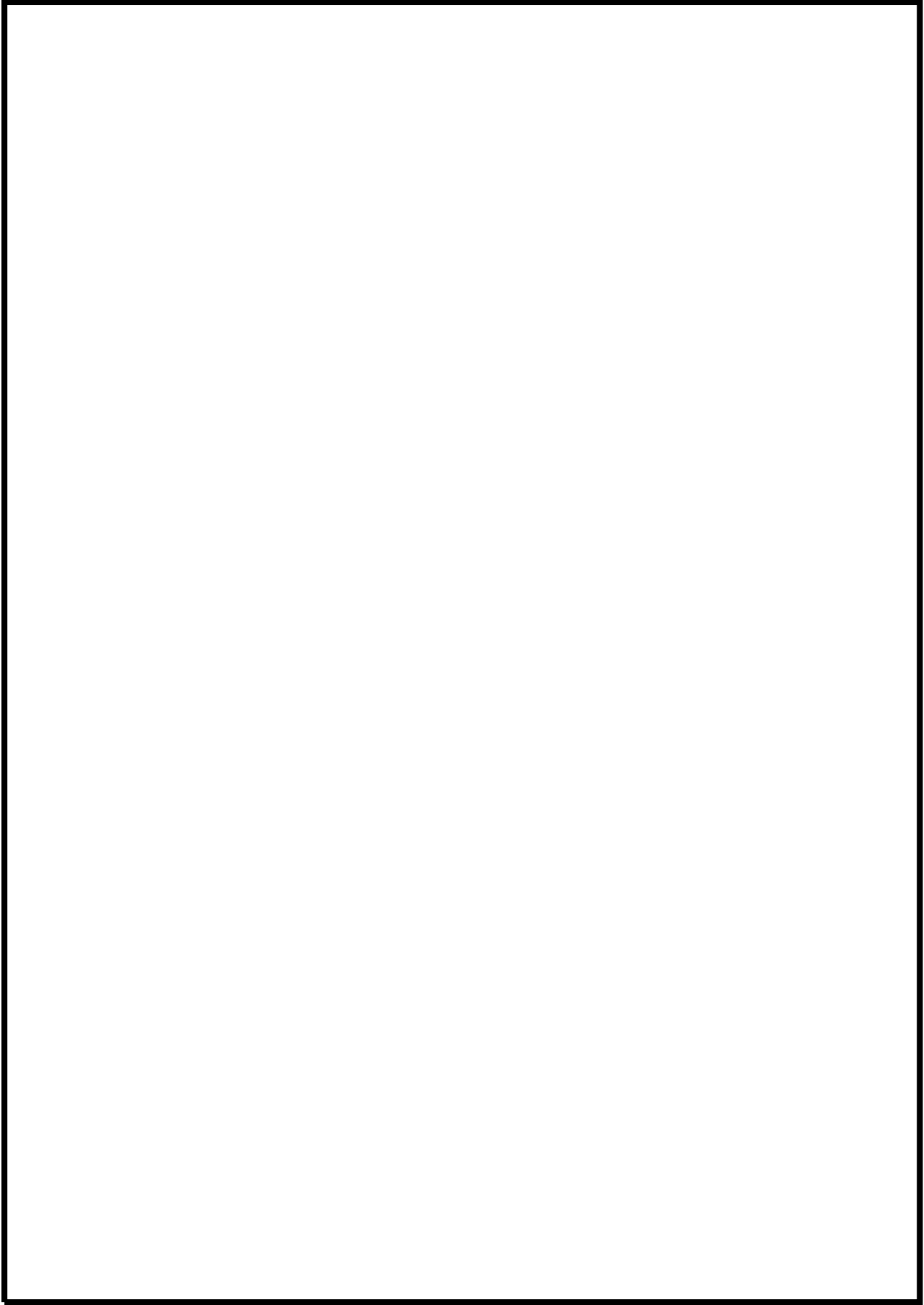
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図 R-F1 (L) (DB) (1/3)



鳥瞰図 R-F1 (L) (DB) (2/3)



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-別添 1-1 に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「MSAP」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	消火系	DB	—	クラス3管	C	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重が作用している状態を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R-F1(L)

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	501～ 201	5.20	40	34.0	3.4	STPG370	C	202000
2	202～ 402	5.20	40	27.2	2.9	STPG370	C	202000

配管の付加質量

鳥 瞰 図 R-F1(L)

質量	対応する評価点
—	—

フランジ部等の質量

鳥 瞰 図 R-F1(L)

質量	対応する評価点
	501, 502, 503

弁部の質量

鳥 瞰 図 R-F1(L)

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
—	—	—	—

弁部の寸法

鳥 瞰 図 R-F1(L)

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
—	—	—	—

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R-F1(L)

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
801						
802						
803						
804						
805						
806						
807						
808						
809						
810						
811						
812						
813						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S
STPG370	40	—	215	370	—

3.5 設計用地震力

本計算書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スペクトルを下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は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。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
R-F1(L)	原子炉建物	EL 15.3m	0.5	—	—
		EL 10.1m	0.5	—	—
		EL 8.8m	0.5	—	—

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R-F1(L)

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次	0.060	8.37	12.19	11.51
2次	0.054	6.41	9.81	7.57
動的震度*3, *4		1.73	1.74	1.58

注記*1:固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2:各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3:設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*4:最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

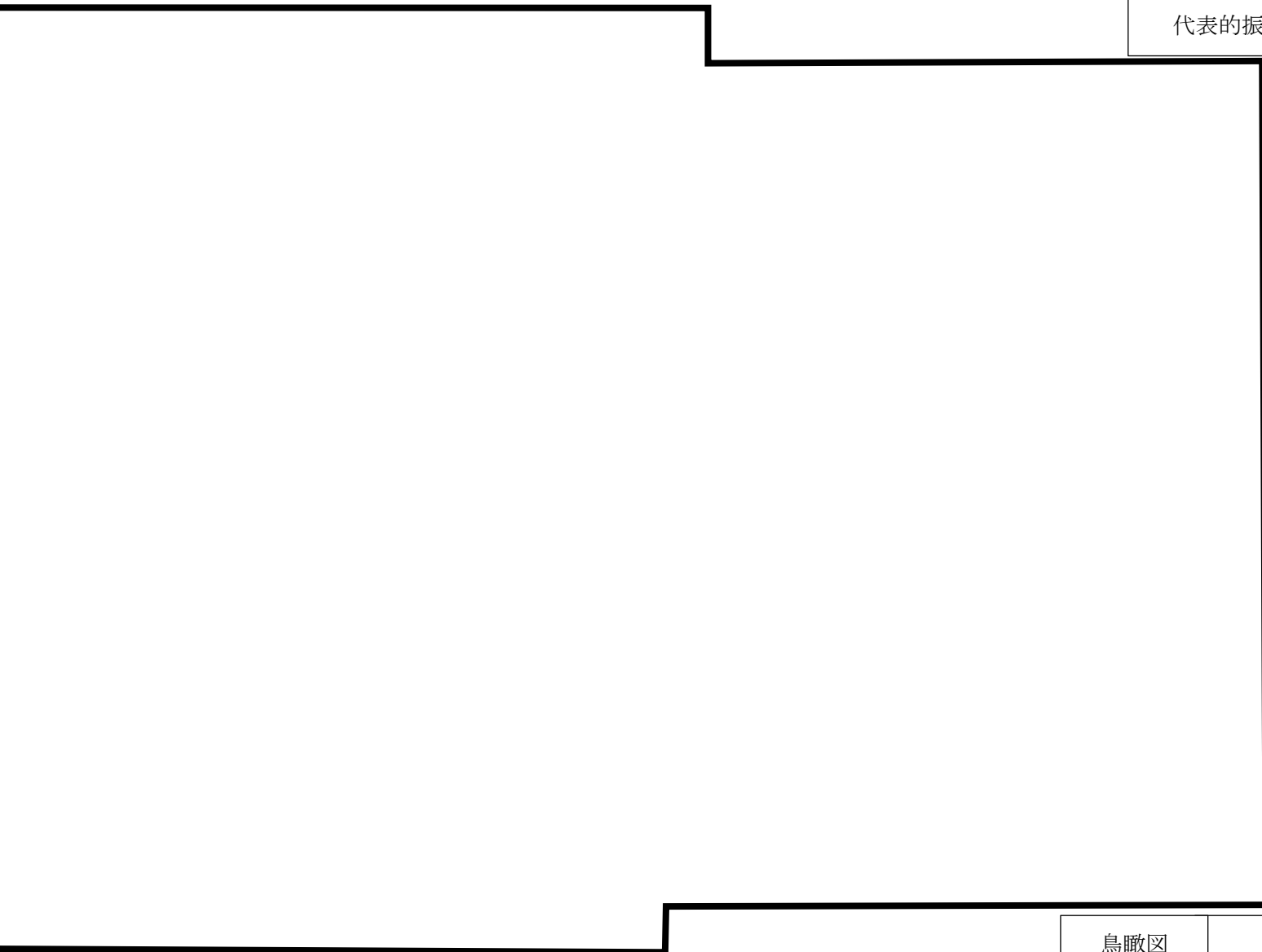
鳥 瞰 図 R-F1(L)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.060	0.003	-1.324	-0.019
2次	0.054	0.984	-0.006	-0.075

注記*:刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。



代表的振動モード図 (1次)

47

鳥瞰図

R - F 1 (L)

代表的振動モード図 (2次)

48

鳥瞰図

R - F 1 (L)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 2 以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IV _A S	一次応力($0.9 \cdot S_u$)	R-F1(L)	1	159	333	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	R-F1(L)	1	292	430	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	荷重評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
PS-005	レストレイント	Uボルト	SS400	40	1	0	1	—	—	—	組合せ	63	258

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IVAS												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	R-A1, D1, D2-1	2001	33	468	14.18	—	2001	28	410	14.64	—	—	—	—
2	R-A1, D1, D2-2	225	40	468	11.70	—	225	39	410	10.51	—	—	—	—
3	R-B1, B2, B4, B5, B6	2011	49	468	9.55	—	2011	57	410	7.19	—	—	—	—
4	R-C1, C2, C3, C5, C7, C8	24	67	468	6.98	—	24	88	410	4.65	—	—	—	—
5	R-E1, E2, E3, E4, E5, E7	4001	146	468	3.20	—	4001	246	410	1.66	—	—	—	—
6	R-F1, F2	21	51	468	9.17	—	24	61	410	6.72	—	—	—	—
7	R-G1, G2, G3, G4, G6-1	4071	56	468	8.35	—	4071	55	410	7.45	—	—	—	—
8	R-G1, G2, G3, G4, G6-2	8126	31	468	15.09	—	8126	15	410	27.33	—	—	—	—
9	R-G1, G2, G3, G4, G6-3	436	39	468	12.00	—	436	19	410	21.57	—	—	—	—
10	R-G1, G2, G3, G4, G6-4	6010	27	468	17.33	—	6010	11	410	37.27	—	—	—	—
11	R-I1	9	41	468	11.41	—	9	51	410	8.03	—	—	—	—
12	R-U1, U3, Z1-1	2022	36	468	13.00	—	2022	32	410	12.81	—	—	—	—
13	R-U1, U3, Z1-2	8903	22	333	15.13	—	30	17	410	24.11	—	—	—	—

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅣΔS												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
14	R-U1, U3, Z1-3	213	79	468	5.92	—	8504	228	410	1.79	—	—	—	—
15	R-U1, U3, Z1-4	8159	33	468	14.18	—	8159	26	410	15.76	—	—	—	—
16	R-U1, U3, Z1-5	621	88	468	5.31	—	8008	213	410	1.92	—	—	—	—
17	R-H1-1-1	2001	32	468	14.62	—	2001	25	410	16.40	—	—	—	—
18	R-J1-1	2	32	468	14.62	—	2	26	410	15.76	—	—	—	—
19	R-J1-2	4021	35	468	13.37	—	4021	19	410	21.57	—	—	—	—
20	R-J1-3	83	30	468	15.60	—	83	9	410	45.55	—	—	—	—
21	R-J1-4	74	34	468	13.76	—	74	17	410	24.11	—	—	—	—
22	R-J1-5	8021	41	468	11.41	—	8021	30	410	13.66	—	—	—	—
23	R-J1-6	6003	33	468	14.18	—	6002	12	410	34.16	—	—	—	—
24	R-J1, J10-1	6001	22	468	21.27	—	6001	4	410	102.50	—	—	—	—
25	R-J1-7	8001	28	468	16.71	—	8001	5	410	82.00	—	—	—	—
26	R-J1-10	601	25	468	18.72	—	601	7	410	58.57	—	—	—	—
27	R-J1, J10-2	6001	26	468	18.00	—	6001	2	410	205.00	—	—	—	—
28	R-J1, J10-3	174	46	468	10.17	—	174	30	410	13.66	—	—	—	—
29	R-J1, J10-4	222	44	468	10.63	—	222	29	410	14.13	—	—	—	—
30	R-J1, J10-5	2162	47	468	9.95	—	2162	41	410	10.00	—	—	—	—
31	R-J1, J10-6	260	54	468	8.66	—	260	49	410	8.36	—	—	—	—

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅣA S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
32	R-J1-11	8001	24	468	19.50	—	8001	4	410	102.50	—	—	—	—
33	R-J1-13	2001	39	468	12.00	—	2001	38	410	10.78	—	—	—	—
34	R-J1-14	2021	51	468	9.17	—	2021	59	410	6.94	—	—	—	—
35	R-J1-15	4021	57	468	8.21	—	4021	62	410	6.61	—	—	—	—
36	R-J1-16	232	52	468	9.00	—	232	54	410	7.59	—	—	—	—
37	R-J1-17	2091	41	468	11.41	—	2091	43	410	9.53	—	—	—	—
38	R-J1-18	2111	69	468	6.78	—	2111	99	410	4.14	—	—	—	—
39	R-J1-19	4081	45	468	10.40	—	4081	40	410	10.25	—	—	—	—
40	R-J1-20	2141	58	468	8.06	—	2141	76	410	5.39	—	—	—	—
41	R-J1-21	2181	67	468	6.98	—	2181	95	410	4.31	—	—	—	—
42	R-J1-22	1142	49	468	9.55	—	1142	51	410	8.03	—	—	—	—
43	R-J1-23	8001	22	468	21.27	—	8001	2	410	205.00	—	—	—	—
44	R-J1-24	8008	34	468	13.76	—	11	24	410	17.08	—	—	—	—
45	R-J1-25	8001	26	468	18.00	—	8001	2	410	205.00	—	—	—	—
46	R-J1-26	8087	33	468	14.18	—	8087	16	410	25.62	—	—	—	—
47	R-J1-27	8160	34	468	13.76	—	8160	18	410	22.77	—	—	—	—
48	R-K1, K2, K3	278	47	468	9.95	—	278	61	410	6.72	—	—	—	—
49	R-L1-1	8003	40	468	11.70	—	8003	38	410	10.78	—	—	—	—

S2 補 IV-2-別添 1-3-4 R0

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
50	R-M1, M2, M3, M4, M6	8162	59	468	7.93	—	8162	85	410	4.82	—	—	—	—
51	R-N1, N6, N7, N8	857	144	468	3.25	—	857	236	410	1.73	—	—	—	—
52	R-O2	3	40	468	11.70	—	3	37	410	11.08	—	—	—	—
53	R-P1, P2, P3, P4-1	176	61	468	7.67	—	176	81	410	5.06	—	—	—	—
54	R-X1	3	41	468	11.41	—	3	53	410	7.73	—	—	—	—
55	R-Y1	6	36	468	13.00	—	3	44	410	9.31	—	—	—	—
56	R-Q2, Q3, Q4, Q5, Q6	326	77	468	6.07	—	326	127	410	3.22	—	—	—	—
57	R-R3	3	41	468	11.41	—	3	47	410	8.72	—	—	—	—
58	R-S1	5	34	468	13.76	—	8025	26	410	15.76	—	—	—	—
59	R-T1, T2, T5, T6, T8	4031	57	468	8.21	—	2011	72	410	5.69	—	—	—	—
60	R-W1, W2	4021	79	468	5.92	—	4021	95	410	4.31	—	—	—	—
61	T-A1, A2-1	4031	46	468	10.17	—	44	60	410	6.83	—	—	—	—
62	T-B1, B2, B3	2181	45	468	10.40	—	2162	50	410	8.20	—	—	—	—
63	T-C1, C2, C3, C4-1	4031	66	468	7.09	—	4031	90	410	4.55	—	—	—	—
64	T-D1, D2	4011	59	468	7.93	—	4011	69	410	5.94	—	—	—	—
65	T-F1	8006	35	468	13.37	—	8003	22	410	18.63	—	—	—	—
66	T-I1	8003	52	468	9.00	—	8003	66	410	6.21	—	—	—	—
67	RW-A1, A2, A3, A4	6008	41	468	11.41	—	6003	46	410	8.91	—	—	—	—

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
68	RW-B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10	213	60	468	7.80	—	213	92	410	4.45	—	—	—	—
69	RW-C1-1	8009	58	468	8.06	—	8009	66	410	6.21	—	—	—	—
70	RW-C1-2	304	65	468	7.20	—	304	85	410	4.82	—	—	—	—
71	RW-I1	9	35	468	13.37	—	9	36	410	11.38	—	—	—	—
72	RW-K1	3	39	468	12.00	—	3	37	410	11.08	—	—	—	—
73	RW-E1	3	30	468	15.60	—	3	25	410	16.40	—	—	—	—
74	RW-L1, L2, L3	184	71	468	6.59	—	184	105	410	3.90	—	—	—	—
75	C-A1	3	60	468	7.80	—	3	85	410	4.82	—	—	—	—
76	LOT-A1, A2-1	4011	47	468	9.95	—	4011	53	410	7.73	—	—	—	—
77	LOT-A1, A2-2-1	62	53	468	8.83	—	62	76	410	5.39	—	—	—	—
78	LOT-A1, A2-3	98	89	468	5.25	—	98	143	410	2.86	—	—	—	—
79	K-1F-001, 002, 003-1	4021	86	468	5.44	—	4021	126	410	3.25	—	—	—	—
80	K-1F-001, 002, 003-2	217	48	468	9.75	—	217	68	410	6.02	—	—	—	—
81	C-B1 (L), B2 (L)-2	4101	65	468	7.20	—	4101	86	410	4.76	—	—	—	—
82	R-A1 (L), A2 (L)-1	8505	119	333	2.79	—	8505	193	430	2.22	—	—	—	—
83	R-B1 (L), C1 (L)-1	8608	127	333	2.62	—	8608	196	430	2.19	—	—	—	—

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
84	R-B1(L), C1(L)-2	700	135	333	2.46	—	700	228	430	1.88	—	—	—	—
85	R-D1(L)	8509	133	333	2.50	—	8509	224	430	1.91	—	—	—	—
86	R-E1(L)-1	2502	110	333	3.02	—	2502	180	430	2.38	—	—	—	—
87	R-F1(L)	1	159	333	2.09	○	1	292	430	1.47	○	—	—	—
88	RW-A1(L), A2(L)-1	2021	49	333	6.79	—	2021	62	430	6.93	—	—	—	—
89	G-A1	8030	134	468	3.49	—	8030	241	410	1.70	—	—	—	—
90	G-A2	676	118	468	3.96	—	676	195	410	2.10	—	—	—	—
91	G-A3	39	90	468	5.20	—	36	137	410	2.99	—	—	—	—
92	G-A4	28	110	468	4.25	—	28	179	410	2.29	—	—	—	—
93	G-A5	7	92	468	5.08	—	7	142	410	2.88	—	—	—	—
94	G-A6	7	35	468	13.37	—	7	26	410	15.76	—	—	—	—
95	G-B1	54	149	468	3.14	—	54	262	410	1.56	—	—	—	—
96	G-B2	8014	106	468	4.41	—	8014	180	410	2.27	—	—	—	—
97	G-B3	25	136	468	3.44	—	25	233	410	1.75	—	—	—	—
98	G-B4	8004	46	468	10.17	—	8004	41	410	10.00	—	—	—	—
99	G-B5	617	75	468	6.24	—	617	106	410	3.86	—	—	—	—
100	G-B6	7	35	468	13.37	—	7	26	410	15.76	—	—	—	—

4.2.4 ケーブルトレイ消火設備耐震評価結果

設置位置での加速度と加振台の最大加速度

		設置位置での加速度	加振台の最大加速度
消火配管 (原子炉建物*1 EL 42.8m)	水平方向	2.93*2	5.0
	鉛直方向	2.06*2	3.0

注記*1：消火配管は建物壁に設置されるため、評価対象フロアの上下階のうち、いずれか大きい方の基準地震動 S_s により定まる応答加速度を用いる。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s ）により定まる加速度

VI-2-別添 1-4 火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ
に関する影響評価

目 次

1. 概要	1
2. 影響評価	1
2.1 基本方針	1
2.2 評価条件及び評価方法	1
3. 評価結果	4
3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	4
3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の 検討結果	4
3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	4
3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果	4
3.5 まとめ	5

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」(以下「VI-2-別添 1-1」という。)にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、火災防護設備について設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能及び動的機能を有することを確認するため、動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 影響評価

2.1 基本方針

火災防護設備に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ耐震計算(以下「従来の計算」という。)に対して、設備の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価フローを図 2-1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

火災防護設備のうち、基準地震動 S_s による地震力に対してその機能が維持できることを確認する設備を評価対象とする。(図 2-1①)

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重畳する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。(図 2-1②)

(3) 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性へ

の影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（図2-1③）

（4） 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

（3）の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を検討する。（図2-1④）

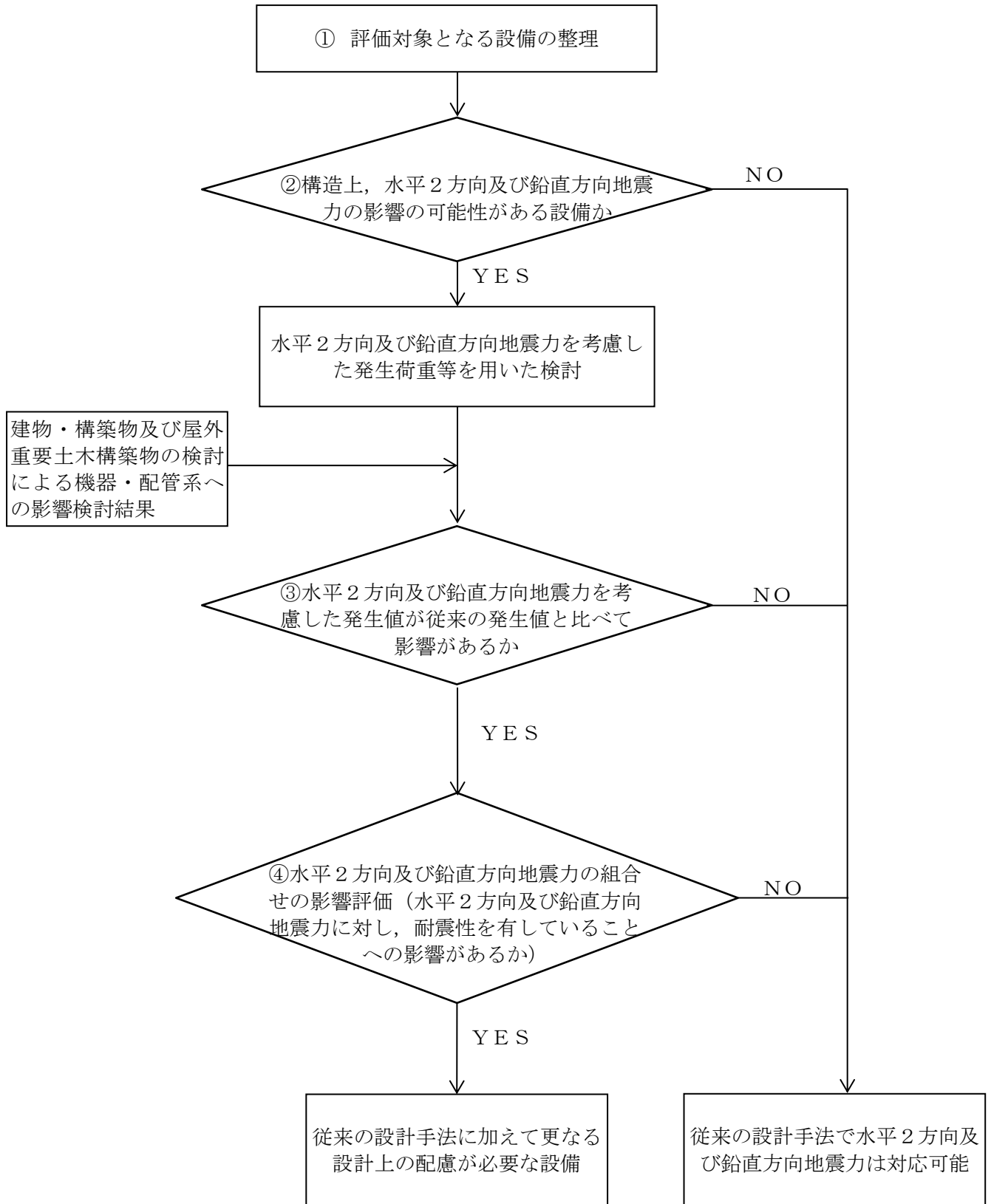


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

3. 評価結果

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備を表3-1に示す。VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性のある設備の抽出結果を表3-2に示す。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の計算による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において、火災防護設備への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表3-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力をVI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果

「3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算出した発生値に対して、設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表3-3に示す。

3.5 まとめ

火災防護設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも火災防護設備が有する耐震性への影響がないことを確認したため、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表 3-1 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備

設備名称	評価部位
火災感知器	基礎ボルト 取付ボルト
火災受信機盤	基礎ボルト 取付ボルト
ボンベラック	ボンベラック部材 基礎ボルト
選択弁	選択弁ラック部材 基礎ボルト
制御盤（全域ガス消火設備）	基礎ボルト 取付ボルト
消火配管	消火配管

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (1/4)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				抽出結果
	3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点 (以下「重畳の観点」という。) ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (以下「ねじれ振動等の観点」という。) ×：発生しない ○：発生する	3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 (以下「増分の観点」という。) ○：影響あり —：該当なし		
火災感知器	△ (基礎ボルト) 一次応力 (引張) *	×	—		火災感知器は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
火災受信機盤	△ (基礎ボルト) 一次応力 (引張) *	×	—		火災受信機盤は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
ボンベラック	△ (ボンベラック部材) 一次応力 (組合せ) *	×	—		ボンベラックは、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
選択弁 (選択弁ラック)	△ (選択弁ラック部材) 一次応力 (組合せ) *	×	—		選択弁ラックは、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。

注記*：VI-2-別添 1-2-1～2, VI-2-別添 1-3-1～4 の各耐震計算書のうち、評価上厳しい応力を記載する。

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (2/4)

(1) 構造強度評価 (続き)

設備名称		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
		3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点 (以下「重畳の観点」という。) ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (以下「ねじれ振動等の観点」という。) ×：発生しない ○：発生する	3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 (以下「増分の観点」という。) ○：影響あり —：該当なし	
制御盤 (全域ガス消火設備)		△ (基礎ボルト) 一次応力 (引張) *	×	—	制御盤 (全域ガス消火設備) は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
消火配管	ハロン消火配管	△ (配管本体) 一次+二次応力*	○	—	ハロン消火配管は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は、三次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	ケーブルトレイ消火配管	○ (配管本体)	○	○	影響評価結果は表 3-3 を参照。

注記*：VI-2-別添 1-2-1~2, VI-2-別添 1-3-1~4 の各耐震計算書のうち、評価上厳しい応力を記載する。

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (3/4)

(2) 機能維持評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			検討結果
	3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2) ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.1(3) 増分の観点 ○：影響あり —：該当なし	
火災感知器	△	×	—	火災感知器は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
火災受信機盤	△	×	—	盤内に取付けられている電気品は、基本的に一次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平 1 方向の地震力を負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による構造強度評価結果 (4/4)

(2) 機能維持評価 (続き)

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			検討結果
	3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2) ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.1(3) 増分の観点 ○：影響あり —：該当なし	
容器弁	△	×	—	容器弁は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
選択弁	△	○	—	選択弁は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 選択弁は配管系の三次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
制御盤 (全域ガス消火設備)	△	×	—	盤内に取付けられている電気品は、基本的に一次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平 1 方向の地震力を負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

表 3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の構造強度評価結果

(1) 構造強度評価

(×9.8m/s²)

設備名称		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性						
		加速度 評価部位	設置位置	水平方向加速度				判定
				1 方向入力 発生加速度		2 方向想定 発生加速度	影響確認済 加速度	
				NS 方向	EW 方向			
消 火 配 管	ケーブルトレイ 消火配管	配管本体	原子炉建物* ¹ EL 42.8m	2.27	2.40	3.40* ²	5.0	○

○ 発生加速度はすべて影響確認済加速度以下とする。

注記* 1 : 機器の設置位置のうち最も加速度が大きい階の基準値振動 S_s により定める応答加速度を用いる。

* 2 : 「1 方向入力発生加速度」のうち大きいものに対して、 $\sqrt{2}$ を乗じたものを記載している。

VI-2-別添2 溢水防護に係る施設の耐震性についての計算書

VI-2-別添2-2 溢水源としないB, Cクラス機器の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 機器・配管系の評価	1
2.1 一般事項	1
2.1.1 配置概要	1
2.1.2 構造計画	1
2.1.3 評価方針	1
2.1.4 適用規格・基準等	1
2.2 評価部位	2
2.3 地震応答解析及び構造強度評価	2
2.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	2
2.3.2 荷重及び荷重の組合せ	6
2.3.3 許容限界	7
2.3.4 計算方法	13
2.3.5 計算条件	14
2.4 評価結果	17
3. 土木構造物の評価	23
3.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁	23
3.1.1 一般事項	23
3.1.2 評価部位	31
3.1.3 地震応答解析及び構造強度評価	32
3.1.4 評価結果	45
3.2 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁, トーラス水受入タンク遮蔽壁	46
3.2.1 一般事項	46
3.2.2 評価部位	58
3.2.3 地震応答解析及び構造強度評価	59
3.2.4 評価結果	72
3.3 非常用ろ過水タンク	73
3.3.1 一般事項	73
3.3.2 評価部位	81
3.3.3 地震応答解析及び構造強度評価	82
3.3.4 評価結果	98
3.4 輪谷貯水槽 (西側)	100
3.4.1 一般事項	100
3.4.2 評価部位	107
3.4.3 地震応答解析及び構造強度評価	108
3.4.4 評価結果	116

3.5 輪谷貯水槽（東側）	118
3.5.1 一般事項	118
3.5.2 評価部位	125
3.5.3 地震応答解析及び構造強度評価.....	126
3.5.4 評価結果	133

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」の「2. 耐震評価の基本方針」に基づき、溢水源となり得る流体を内包する機器のうち溢水源として設定しない機器（以下「B、Cクラス機器」という。）が、基準地震動 S_s による地震力に対して、十分な耐震性を有することを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

B、Cクラス機器は、設計基準対象施設においてはBクラス施設又はCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 機器・配管系の評価

2.1 一般事項

2.1.1 配置概要

B、Cクラス機器は、原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物、取水槽、ガスタービン発電機建物及び屋外に設置する。各機器の具体的な設置建物及び設置高さは、表 2.3-1 に示し、据付場所及び床面高さに応じた評価を行う。

2.1.2 構造計画

B、Cクラス機器のうち、熱交換器等（以下「容器類」という。）、ポンプ（以下「ポンプ類」という。）、配管、弁及び支持構造物の構造は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」を適用できる構造である。

2.1.3 評価方針

B、Cクラス機器の応力評価は、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」及び「3.2 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、B、Cクラス機器の評価対象部位に作用する応力が許容限界内にあることを、「2.3 地震応答解析及び構造強度評価」に示す方法により計算し、「2.4 評価結果」にて確認する。

B、Cクラス機器の容器類、ポンプ類、配管、弁及び支持構造物については、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」にて示している構造と同様であることから、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態 $IV_A S$ における荷重の組合せを踏まえて、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」等の評価式及び解析方法を用いて評価する。

2.1.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 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)
- (2) 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)

- (3) 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)
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007
((社) 日本機械学会, 2005/2007)
- (5) 機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)
- (6) 日本産業規格 (J I S)

2.2 評価部位

B, Cクラス機器のうち, 容器類及びポンプ類については, VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」等により, 胴板, 脚, 支持構造物及びボルト等を評価部位とする。

配管, 弁及び支持構造物については, VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」により配管, 弁及び支持構造物を評価部位とする。

評価結果は, 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。

2.3 地震応答解析及び構造強度評価

2.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 地震応答解析方法

基準地震動 S_s による設計用地震力は, VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。等価繰返し回数は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

B, Cクラス機器の地震応答解析は, VI-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」の「4.1 地震応答解析」にて設定している評価方針に従い実施する。なお, 図 2.3-1(1)~(3)に 3号復水貯蔵タンク, 3号補助復水貯蔵タンク及び 1号復水貯蔵タンク(以下「屋外タンク」という。)の地震応答解析に用いた解析モデル図について 3号復水貯蔵タンクを代表で示す。

表 2.3-1 に B, Cクラス容器類及びポンプ類の設計震度を示す。

表 2.3-1 B, Cクラス容器類及びポンプ類の設計震度

評価対象設備	据付場所	床面高さ EL(m)	設計震度		固有周期(s)	
			水平 方向	鉛直 方向	水平 方向	鉛直 方向
再循環ポンプ MG セット空気冷却器 (電動機用)	原子炉建物	15.3	3.17	1.50	0.05 以下	0.05 以下
再循環ポンプ MG セット空気冷却器 (発電機用)	原子炉建物	15.3	1.10	1.16	0.05 以下	0.05 以下
再循環ポンプ MG セット油冷却器	原子炉建物	15.3	1.10	1.16	0.05 以下	0.05 以下
再循環ポンプ MG セット室冷却機	原子炉建物	15.3	3.17	1.50	0.05 以下	0.05 以下
原子炉浄化循環ポンプ	原子炉建物	23.8	3.00	1.95	0.05 以下	0.05 以下
原子炉浄化ろ過脱塩装置ホールディングポンプ	原子炉建物	30.5	3.61	2.23	0.05 以下	0.05 以下
復水輸送ポンプ	原子炉建物	8.8	2.13	0.99	0.05 以下	0.05 以下
原子炉浄化補助ポンプ	原子炉建物	8.8	2.13	0.99	0.05 以下	0.05 以下
制御棒駆動水圧ポンプ油冷却器	原子炉建物	8.8	1.06	0.77	0.05 以下	0.05 以下
CRD ポンプ室冷却機	原子炉建物	8.8	1.71	0.77	0.05 以下	0.05 以下
RCIC ポンプ室冷却機	原子炉建物	8.8	1.71	0.77	0.05 以下	0.05 以下
3号復水貯蔵タンク	屋外	7.0	解析値	1.00	—*	0.05 以下
3号補助復水貯蔵タンク	屋外	7.0	解析値	1.00	—*	0.05 以下
1号復水貯蔵タンク	屋外	15.0	解析値	1.10	—*	0.05 以下

注記* : 地震応答解析に基づく断面力を用いて応力評価を実施することから算出は不要

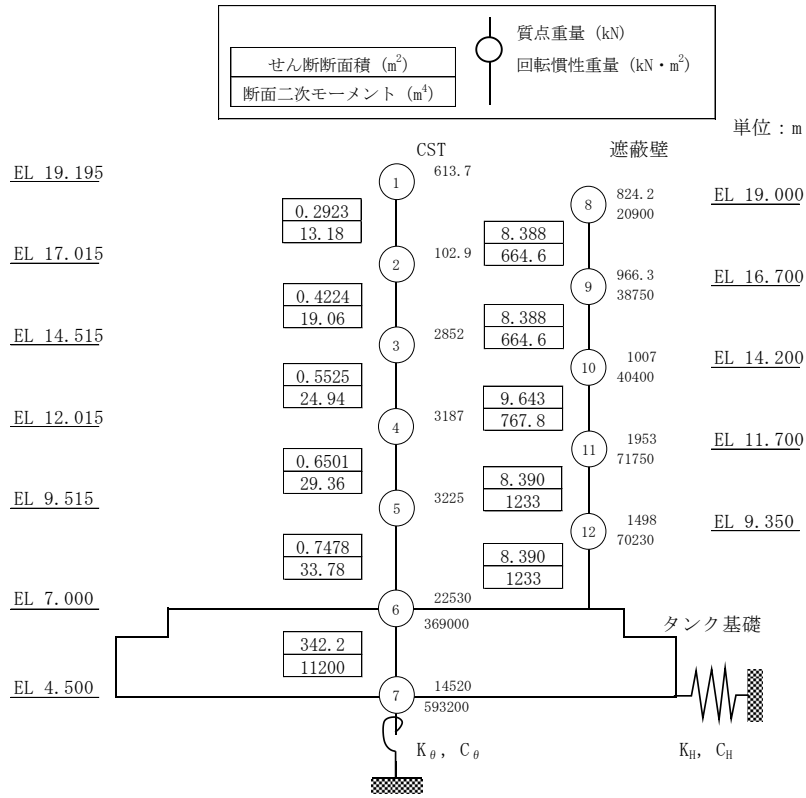


図 2.3-1(1) 3号復水貯蔵タンク地震応答解析モデル (水平方向 (NS方向))

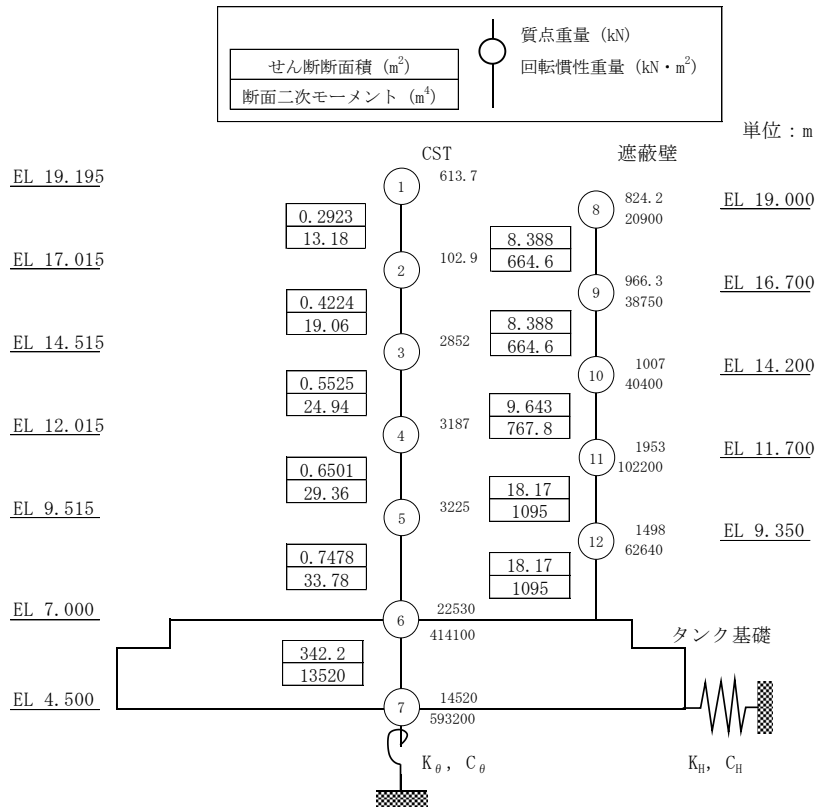


図 2.3-1(2) 3号復水貯蔵タンク地震応答解析モデル (水平方向 (EW方向))

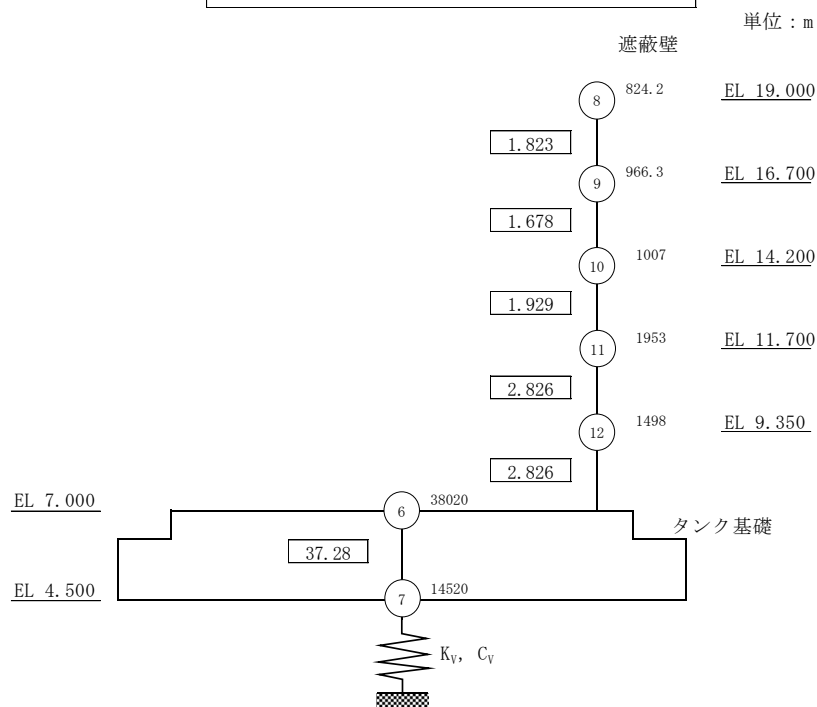
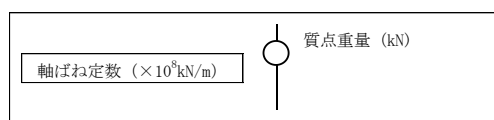


図 2.3-1(3) 3号復水貯蔵タンク地震応答解析モデル (鉛直方向)

S2 補 VI-2-別添 2-2 R0

(2) 構造強度評価方法

B, Cクラス機器の応力評価は, VI-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」の「4.2 耐震評価」にて設定している評価方針を踏まえ, 応力評価を実施する。

B, Cクラス機器の応力評価は, 「2.2 評価部位」に示す評価部位に対し, 「2.3.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「2.3.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ, 「2.3.4 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

2.3.2 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、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。

(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。

a. 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。

b. 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。

c. 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。

d. 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。

e. 積雪荷重 (P_S)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m² の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

f. 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(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。荷重の組合せを表 2.3-2、表 2.3-3 及び表 2.3-4 に示す。なお、ポンプ類の評価部位はボルトのみのため、荷重の組合せは表 2.3-4 による。

表 2.3-2 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_{AS}	$D + P_D + M_D + S_s + P_{S^*} + P_{K^*}$	胴板

注記*：屋外タンクについて考慮する。ただし、3号復水貯蔵タンク及び3号補助復水貯蔵タンクは遮蔽壁が設置されていることから、風荷重は考慮不要とする。

表 2.3-3 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_{AS}	$D + P_D + M_D + S_s$	配管
		弁

表 2.3-4 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_{AS}	$D + P_D + M_D + S_s + P_{S^*} + P_{K^*}$	脚
		支持構造物
		ボルト等

注記*：屋外タンクについて考慮する。ただし、3号復水貯蔵タンク及び3号補助復水貯蔵タンクは遮蔽壁が設置されていることから、風荷重は考慮不要とする。

2.3.3 許容限界

B, Cクラス機器の評価の許容限界は、VI-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」の「3.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「2.2 評価部位」にて設定している評価部位ごとに、許容応力状態 IV_{AS} の許容応力を用いる。

各機器の評価部位ごとの許容限界を表 2.3-5、表 2.3-6 及び表 2.3-7 に、使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を表 2.3-8 に示す。

表2.3-5 容器類の許容限界

区分	耐震重要度 分類	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2		
				一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力
容器類	B, C	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_S^{*4} + P_K^{*4}$	$IV_A S$	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S_s のみによる疲労解析を 行い、疲労累積係数が 1.0 以下である こと。ただし、地震動のみによる一次応 力+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下で あれば疲労解析は不要。 *3

注記*1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC 容器の座屈に対する評価式による。

*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。

*3： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

*4：屋外タンクについて考慮する。ただし、3号復水貯蔵タンク及び3号補助復水貯蔵タンクは遮蔽壁が設置されていることから、風荷重は考慮不要とする。

表 2.3-6 配管の許容限界

区分	耐震重要度 分類	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界		
				一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力含む)	一次+二次応力 ピーク応力
配管	B, C	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	$0.6 \cdot S_u^{*1}$	左欄の 1.5 倍の値	一次+二次+ ピーク応力
						*2 基準地震動 S_s のみによる疲労解析 を行い、疲労累積係数が 1.0 以下で あること。ただし、地震動のみによ る一次応力+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。

注記*1：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_A Sの一次一般膜応力の許容値の0.8倍の値とする。

*2：2・ S_y を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (ただし, S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 2.3-7 支持構造物の許容限界

区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2, *3, *9 (ボルト等以外)						許容限界*2, *4, *9 (ボルト等)	形式試験による場合								
				一次応力			一次+二次応力												
				引張	せん断	圧縮	引張	せん断	曲げ			支圧	座屈*5						
支持構造物	B, C	D+P _D +M _D +S _S +P _S *10 +P _k *10	IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _c [*]	1.5・f _b [*]	1.5・f _p [*]	3・f _t	3・f _s ^{*6}	3・f _b ^{*7}	1.5・f _p ^{*8}	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	引張	せん断	一次応力	許容	形式試験による場合

注記*1：鋼構造設計規程（2002年 日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：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。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：コンクリートに埋込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のばらつき等を考慮して、III_ASの許容応力を一次引張応力に対してはf_t、一次せん断応力に対してはf_sとして、また、IV_AS→III_ASとして応力評価を行う。

*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して1.5・f_sとする。

*7：設計・建設規程 SSB-3121.1(4)により求めたf_bとする。

*8：自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

*9：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。

*10：屋外タンクについて考慮する。ただし、3号水貯蔵タンク及び3号補助水貯蔵タンクは遮蔽壁が設置されていることから、風荷重は考慮不要とする。

表 2.3-8 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件 (1/2)

評価対象設備	評価部位	材料	温度 条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
再循環ポンプ MG セット空気冷却器 (電動機用)	サポート	S20C	50	241	391
再循環ポンプ MG セット空気冷却器 (発電機用)	取付ボルト	SS400	50	211	394
再循環ポンプ MG セット油冷却器	胴板	SM400B	66	234	385
	脚	SS400	50	241	394
	基礎ボルト	S30CN (S30C 相当)	50	328	526
再循環ポンプ MG セット室冷却機	基礎ボルト	SS41 (SS400 相当)	50	211	394
	ファン取付ボルト	SWRCH10R (SS400 相当)			
	原動機取付ボルト	SWCH8R (SS400 相当)			
原子炉浄化循環ポンプ	基礎ボルト	SS400	55	209	391
	ポンプ取付ボルト	SCM435	66	730	868
	原動機取付ボルト	SS400	55	209	391
原子炉浄化ろ過脱塩装置ホールディングポンプ	基礎ボルト	SS400	50	231	394
	ポンプ取付ボルト				
復水輸送ポンプ	基礎ボルト	SS400	55	229	391
	ポンプ取付ボルト	SCM435	66	730	868
	原動機取付ボルト	SS400	55	229	391
原子炉浄化補助ポンプ	基礎ボルト	SS400	50	211	394
	ポンプ取付ボルト	SCM435	302	591	847
	原動機取付ボルト	SS400	50	211	394
制御棒駆動水圧ポンプ油冷却器	胴板	STPT42 (STPT410 相当)	85	224	406
	脚	SS41 (SS400 相当)	55	239	391
	取付ボルト	SS41 (SS400 相当)	85	199	377

表 2.3-8 使用材料及び使用材料の許容応力評価条件 (2/2)

評価対象設備	評価部位	材料	温度 条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
CRD ポンプ室冷却機	基礎ボルト	SS41 (SS400 相当)	55	209	391
	ファン取付ボルト	SWCH10R (SS400 相当)			
	原動機取付ボルト	SWCH8R (SS400 相当)			
RCIC ポンプ室冷却機	基礎ボルト	SS41 (SS400 相当)	55	209	391
	ファン取付ボルト	SS41 (SS400 相当)			
	原動機取付ボルト	SWCH8R (SS400 相当)			
3号復水貯蔵タンク	胴板	SUS304	66	188	479
	基礎ボルト	SCM435	50	764	906
3号補助復水貯蔵タンク	胴板	SUS304	66	188	479
	基礎ボルト	SCM435	50	764	906
1号復水貯蔵タンク	胴板	SS41 (SS400 相当)	40	245	400
	基礎ボルト	S15CN (S15C 相当)	50	231	362

2.3.4 計算方法

- (1) 溢水防護として要求する機能を踏まえ、VI-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」の「3.2 許容限界」より、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 $IV_A S$ で、許容限界を満足することを確認する。また、支持装置については、VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、使用される支持装置の許容荷重以下となることを確認する。
- (2) 減衰定数については、VI-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」の「4.1.3 設計用減衰定数」に示す値を適用する。
- (3) 評価に用いる解析コード及びその適用機器並びに使用目的を以下に記す。

屋外タンクの地震応答解析に用いる「SHAKE」、「d m a i n 2」及び「DYN A 2 E」の検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。配管、弁及び支持構造物の固有値解析等に用いる「H I S A P」及び「A u t o P I P E」の検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.3.5 計算条件

三次元はりモデル解析により応力計算を行った配管について、解析モデル図を図 2.3-2 に示し、配管諸元の一覧表を表 2.3-9 に示す。
なお、図 2.3-2 及び表 2.3-9 は、表 2.4-2 で評価結果を示す原子炉補機冷却系を代表で示す。

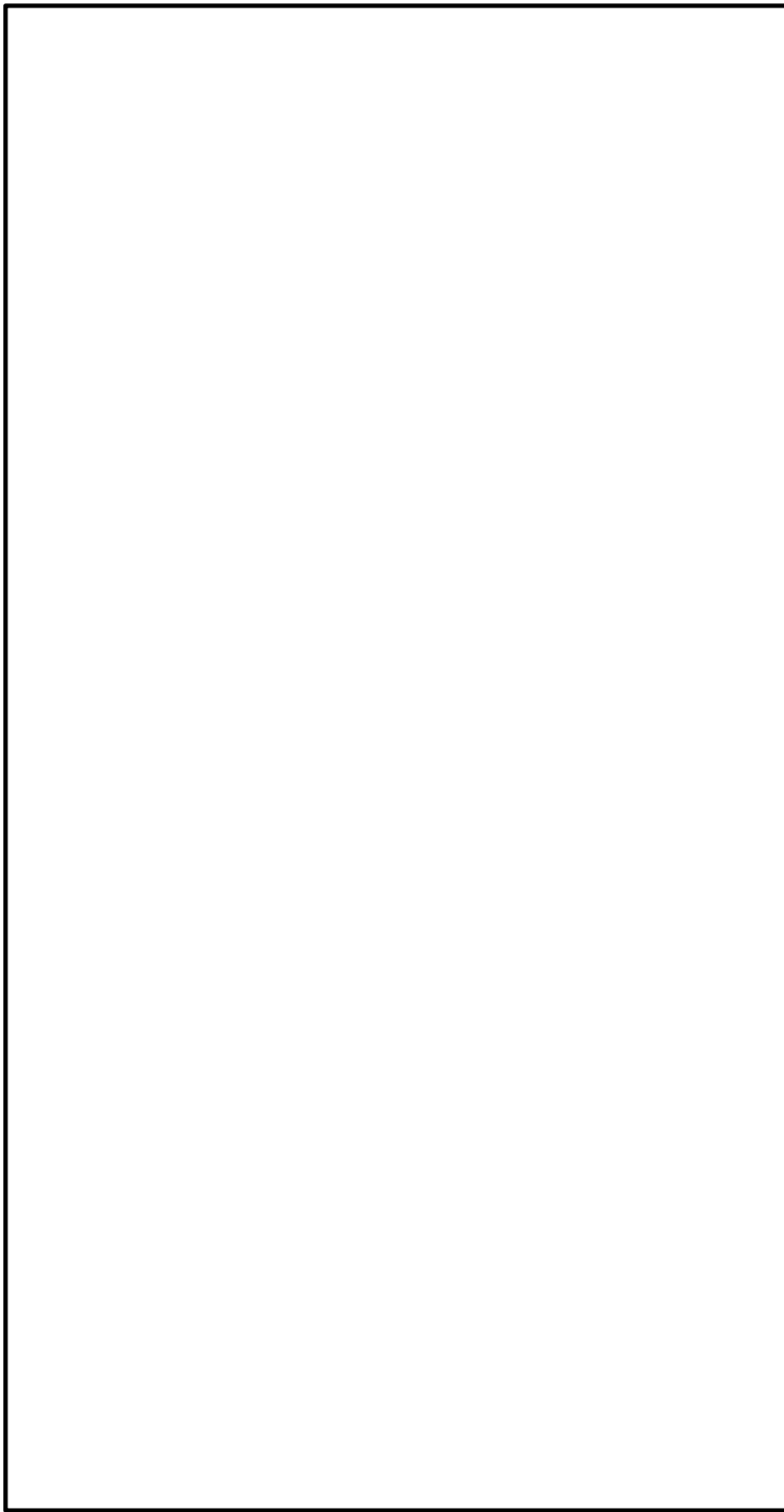


図 2.3-2 解析モデル図 (1/2)

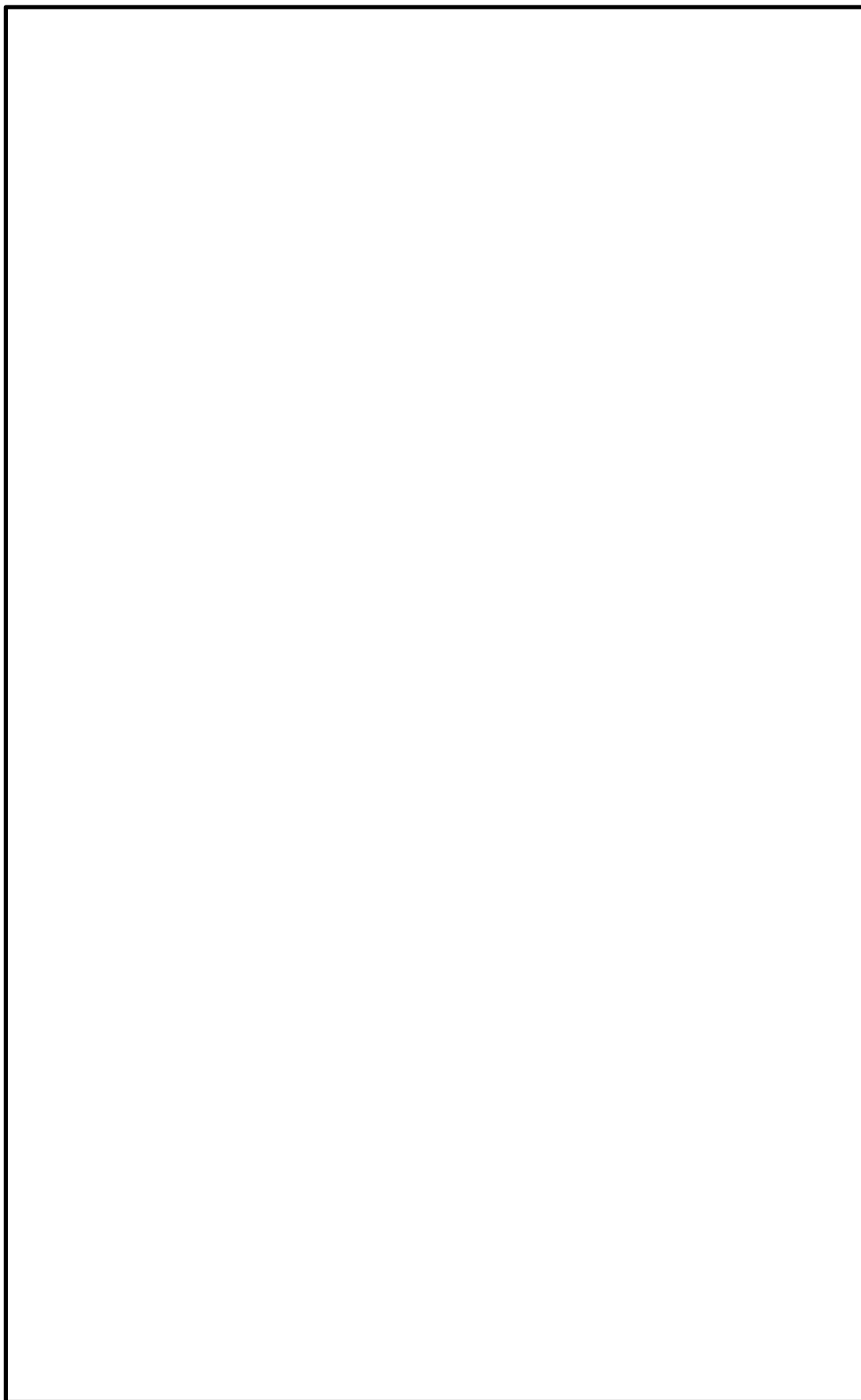


図 2.3-2 解析モデル図 (2/2)

表 2.3-9 配管諸元

鳥瞰図 RCW-W-6

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~22, 23~28	1.37	85	318.5	10.3	STPG38	C	201267

2.4 評価結果

表 2.4-1 及び表 2.4-2 に示すとおり B, C クラス機器が基準地震動 S s による地震力に対し, 耐震性を有することを確認した。
 なお, 表 2.4-1 及び表 2.4-2 においては, 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。

表 2.4-1 基準地震動 S s に対する容器類・ポンプ類の応力評価結果 (1/2)

区分	評価対象設備	耐震重 要度 分類	設置 建物	設置高さ		評価対象 部位	応力の 種類	算出応力		許容応力
				EL (m)				(MPa)	(MPa)	
容器類・ポンプ類	再循環ポンプ MG セット空気 冷却器 (電動機用)	C	原子炉建物	15.3		サポート	組合せ (圧縮, 曲げ)	0.16*1	1*1	
	再循環ポンプ MG セット空気 冷却器 (発電機用)	C	原子炉建物	15.3		取付ボルト	引張	13	189*2	
	再循環ポンプ MG セット油冷却器	C	原子炉建物	15.3		胴板	一次+二次	331	469	
	再循環ポンプ MG セット室冷却機	C	原子炉建物	15.3		基礎ボルト	引張	140	159*2	
	原子炉浄化循環ポンプ	B	原子炉建物	23.8		基礎ボルト	引張	59	188*2	
	原子炉浄化ろ過脱塩装置ホールディング ポンプ	B	原子炉建物	30.5		ポンプ取付 ボルト	引張	27	207*2	
	復水輸送ポンプ	B	原子炉建物	8.8		ポンプ取付 ボルト	引張	61	455*2	
	原子炉浄化補助ポンプ	B	原子炉建物	8.8		基礎ボルト	せん断	32	146	

注記*1: 評価式にて 1 以下を満たしていることを確認しており, 単位は「- (無次元)」とする。

*2: $f t s = \text{Min}[1.4 \cdot f t o - 1.6 \cdot \tau b, f t o]$

表 2.4-1 基準地震動 S s に対する容器類・ポンプ類の応力評価結果 (2/2)

区分	評価対象設備	耐震重 要度 分類	設置 建物	設置高さ		評価対象 部位	応力の 種類	算出応力		許容応力
				EL (m)				(MPa)	(MPa)	
容器類・ポンプ類	制御棒駆動水圧ポンプ油冷却器	B	原子炉建物	8.8		胴板	一次一般膜	16	243	
	CRD ポンプ室冷却機	C	原子炉建物	8.8		基礎ボルト	せん断	25	145	
	RCIC ポンプ室冷却機	C	原子炉建物	8.8		基礎ボルト	引張	67	188*2	
	3号復水貯蔵タンク	B	屋外	7.0		基礎ボルト	せん断	226	366	
	3号補助復水貯蔵タンク	B	屋外	7.0		基礎ボルト	せん断	226	366	
	1号復水貯蔵タンク	B	屋外	15.0		胴板	座屈	0.66*1	1*1	

注記*1：評価式にて 1 以下を満たしていることを確認しており，単位は「-（無次元）」とする。

*2： $f t s = \text{Min}[1.4 \cdot f t o - 1.6 \cdot \tau b, f t o]$

表 2.4-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果 (1/4)

区分	評価対象系統	設置建物	設置高さ EL (m)	耐震 重要度分類	評価対象 部位	応力の 種類	算出応力		許容応力	
							(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
配管・弁及び支持構造物	制御棒駆動水圧系	原子炉建物		B	配管本体	一次+二次	307	316		
					支持構造物	一次+二次	158	252		
	原子炉浄化系	原子炉建物		B	配管本体	一次+二次	490 (0.6608)	462 (1.0)		
					支持構造物	一次+二次	141	146		
	原子炉補機冷却系	原子炉建物		C	配管本体	一次+二次	503 (0.0573)*	354 (1.0)		
					支持構造物	一次	63	67		
	燃料プール冷却系	原子炉建物		B	配管本体	一次+二次	297	462		
					支持構造物	一次+二次	233	269		
	高圧炉心スプレイ系	原子炉建物		B	配管本体	一次+二次	281	376		
					支持構造物	一次+二次	130	142		
	原子炉隔離時冷却系	原子炉建物		B	配管本体	一次+二次	219	376		
					支持構造物	一次+二次	133	155		
	液体廃棄物処理系 (機器ドレン系)	原子炉建物		B	配管本体	一次+二次	393	462		
					支持構造物	一次+二次	234	269		

注記* : 本疲労評価は、個別に設定した等価繰返し回数 150 回を適用し評価を実施している。

表 2.4-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果 (2/4)

区分	評価対象系統	設置建物	設置高さ EL (m)	耐震 重要度分類	評価対象 部位	応力の 種類	算出応力		許容応力	
							(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
配管・弁及び支持構造物	ドライウエル冷却系	原子炉建物		C	配管本体	一次+二次	327		354	
					支持構造物	一次	96		122	
	空調換気設備冷却水系	原子炉建物		C	配管本体	一次+二次	481 (0.8475)*1		448 (1.0)	
					支持構造物	一次+二次	118		122	
	復水輸送系	原子炉建物		B	配管本体	一次+二次	381 (0.3178)*1		378 (1.0)	
					支持構造物	一次	119		130	
	消火系	原子炉建物		C	配管本体	一次+二次	384 (0.1566)*2		378 (1.0)	
					支持構造物	一次	250		269	
	補給水系	原子炉建物		C	配管本体	一次+二次	451 (0.2609)*1		410 (1.0)	
					支持構造物	一次+二次	270		280	

注記*1：本疲労評価は、個別に設定した等価繰返し回数 150 回を適用し評価を実施している。

*2：本疲労評価は、個別に設定した等価繰返し回数 160 回を適用し評価を実施している。

表 2.4-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果 (3/4)

区分	評価対象系統	設置建物	設置高さ		耐震重要度分類	評価対象部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
			EL (m)						
配管・弁及び支持構造物	復水給水系	タービン建物			B	配管本体	一次＋二次	128	458
						支持構造物	荷重*	212*	240*
	タービンヒータドレン系	タービン建物			B	配管本体	一次＋二次	251	410
						支持構造物	一次＋二次	120	131
	タービン補機冷却系	タービン建物			C	配管本体	一次＋二次	338	370
						支持構造物	一次＋二次	255	268
	補給水系	タービン建物			C	配管本体	一次＋二次	312	410
						支持構造物	一次＋二次	99	161
	消火系	タービン建物			C	配管本体	一次＋二次	330	378
						支持構造物	一次＋二次	256	269

注記*：支持装置の評価は定格荷重を発生荷重を満たしていることを確認しているため、応力の種類は荷重とし、単位は kN とする。

表 2.4-2 基準地震動 S s に対する配管、弁及び支持構造物の応力評価結果 (4/4)

区分	評価対象系統	設置建物	設置高さ		耐震重要度分類	評価対象部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
			EL (m)						
配管・弁及び支持構造物	原子炉補機冷却系, ドライウェル冷却系, 空調換気設備冷却系	廃棄物処理 建物			C	配管本体	一次+二次	471 (0.7772)*1	354 (1.0)
						支持構造物	荷重*2	92*2	108*2
	中央制御室空調換気系	廃棄物処理 建物			C	配管本体	一次+二次	136	342
						支持構造物	一次+二次	77	205
	消火系	廃棄物処理 建物			C	配管本体	一次+二次	249	378
						支持構造物	一次	238	269
	消火系	制御室建物			C	配管本体	一次+二次	70	378
						支持構造物	一次	267	269
	補給水系	取水槽			C	配管本体	一次+二次	642 (0.0445)*1	410 (1.0)
						支持構造物	一次+二次	200	205
	ガスタービン発電機 建物消火系	ガスタービン 発電機建物			C	配管本体	一次+二次	285	378
						支持構造物	一次	267	269

注記*1：本疲労評価は、個別に設定した等価繰返し回数 150 回を適用し評価を実施している。

*2：支持装置の評価は定格荷重≧発生荷重を満たしていることを確認しているため、応力の種類は荷重とし、単位は kN とする。

3. 土木構造物の評価

3.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁

3.1.1 一般事項

本章では復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、地震応答解析により得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用い、線形シェル要素による3次元静的FEM解析により応答値を算定し、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対して発生応力が許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能評価にあたっては、地震応答解析により得られた基礎地盤の接地圧が、許容限界を下回ることを確認する。

(1) 配置概要

復水貯蔵タンク遮蔽壁の位置図を図3.1-1に示す。

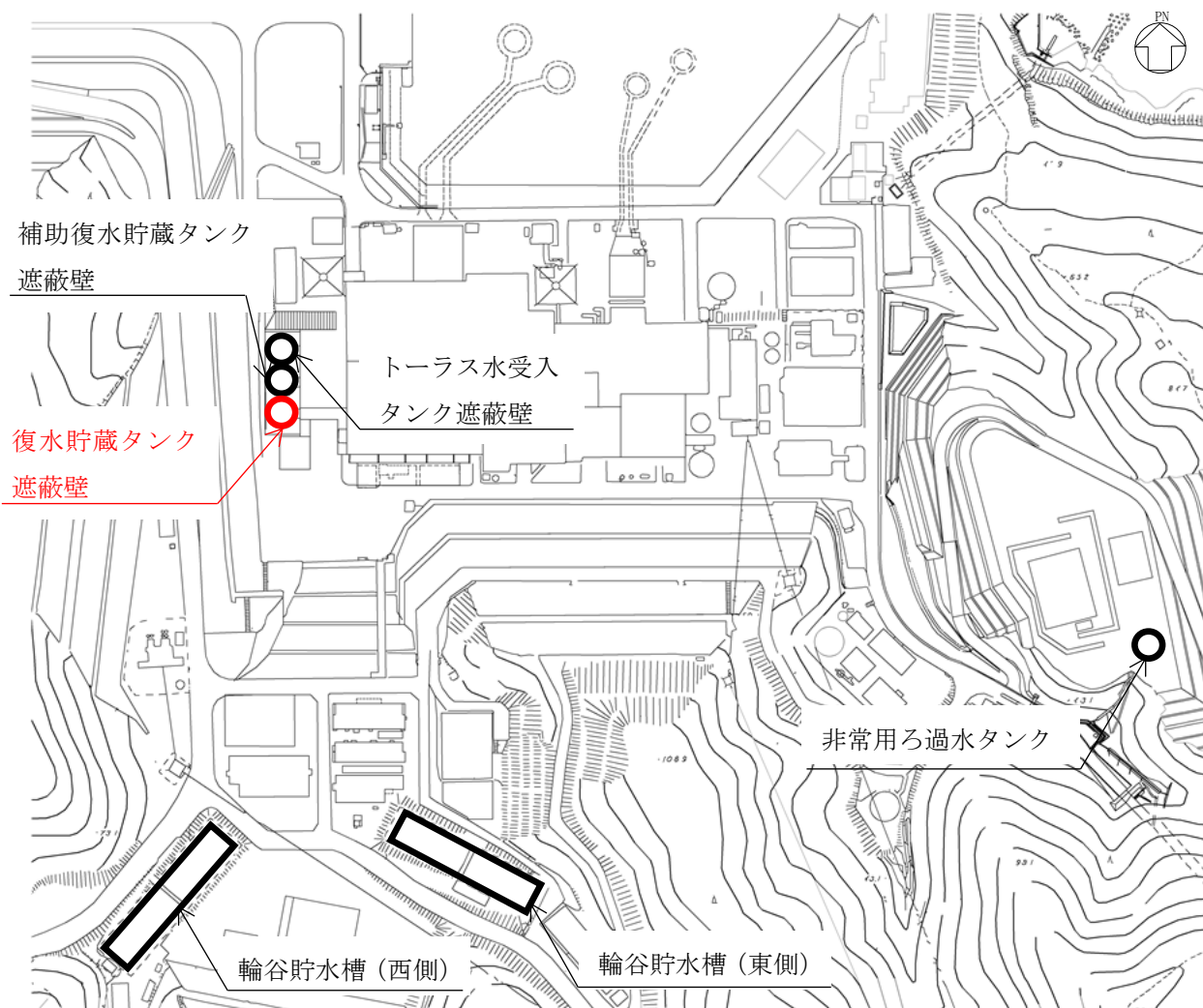


図 3.1-1 復水貯蔵タンク遮蔽壁 位置図

(2) 構造計画

復水貯蔵タンク遮蔽壁の平面図を図 3.1-2 に、断面図を図 3.1-3 に、耐震補強箇所を図 3.1-4 に、耐震補強鋼材を図 3.1-5 に、概略配筋図を図 3.1-6 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造であり、基礎は、幅 22m（東西）×22m（南北）、遮蔽壁は、内径 17.5m、壁厚 0.3～0.5m、高さ 12m の円筒状の地上構造物で、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置している。

なお、復水貯蔵タンク遮蔽壁については、せん断破壊に対する耐震補強として、耐震補強鋼材及び後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）（以下「PHb 工法」という。）による補強を行っている。

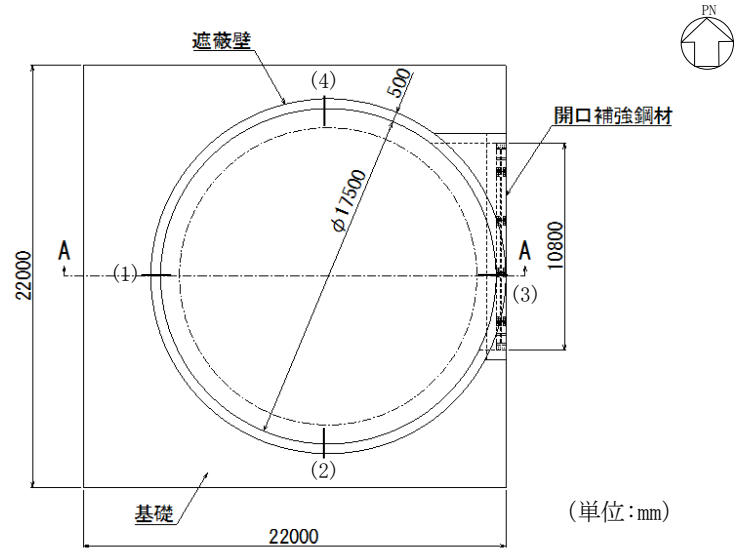


図 3.1-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

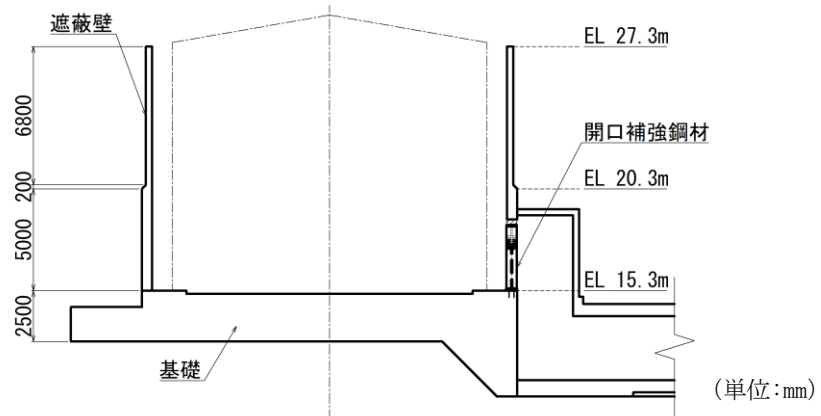
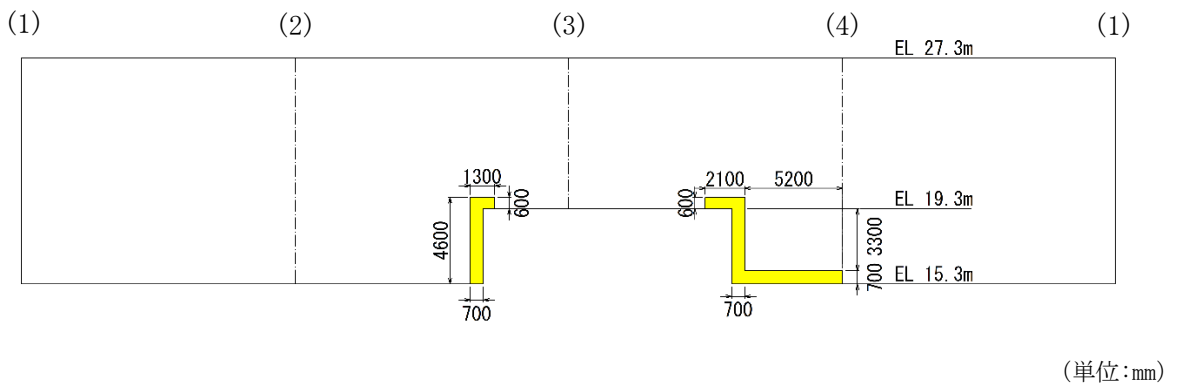


図 3.1-3 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)



■ : PHb による補強箇所

図 3.1-4 復水貯蔵タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所 (展開図)

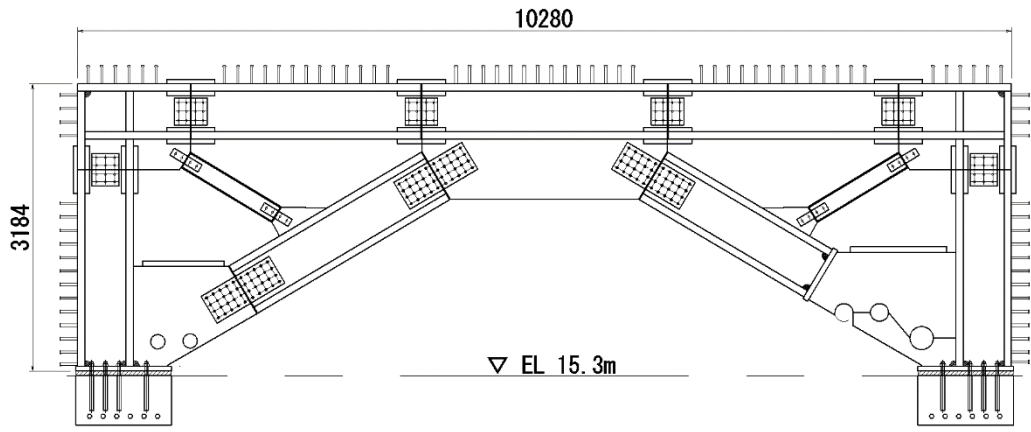


図 3.1-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強（正面図）

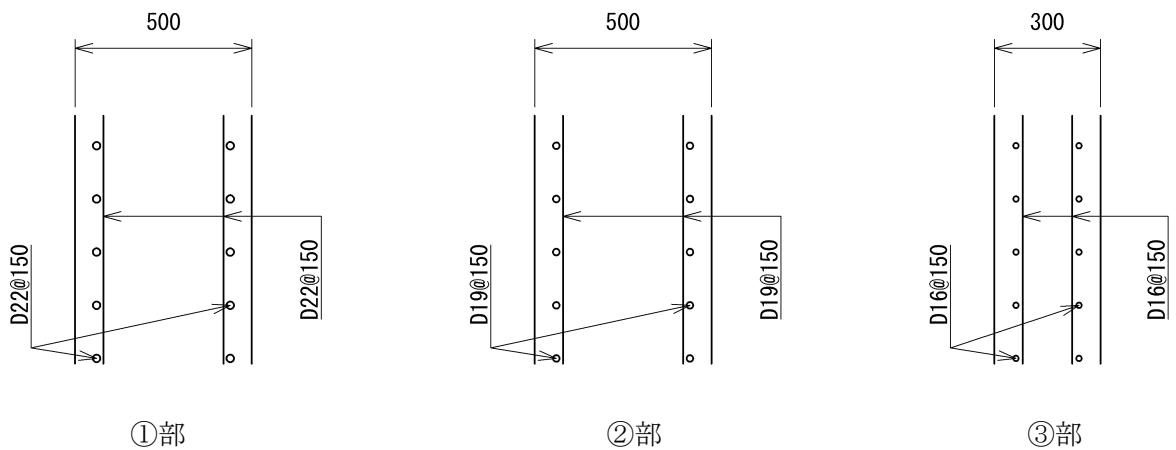
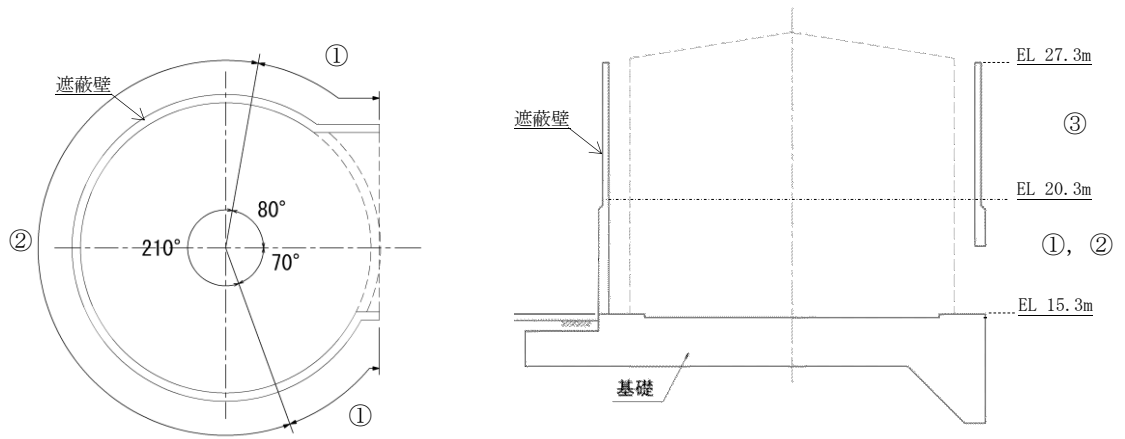


図 3.1-6 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図

(3) 評価方針

復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価フローを図 3.1-7 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価は、地震応答解析及び3次元構造解析により得られた解析結果に基づき、表 3.1-1(1)の復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（構造部材）に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。また、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 3.1-1(2)の復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（基礎地盤）に示すとおり、基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、「3.1.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いて、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。なお、せん断破壊に対する補強として PHb 工法を用いているため、構造部材に対して PHb 工法の適用条件を満たしていることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、「3.1.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

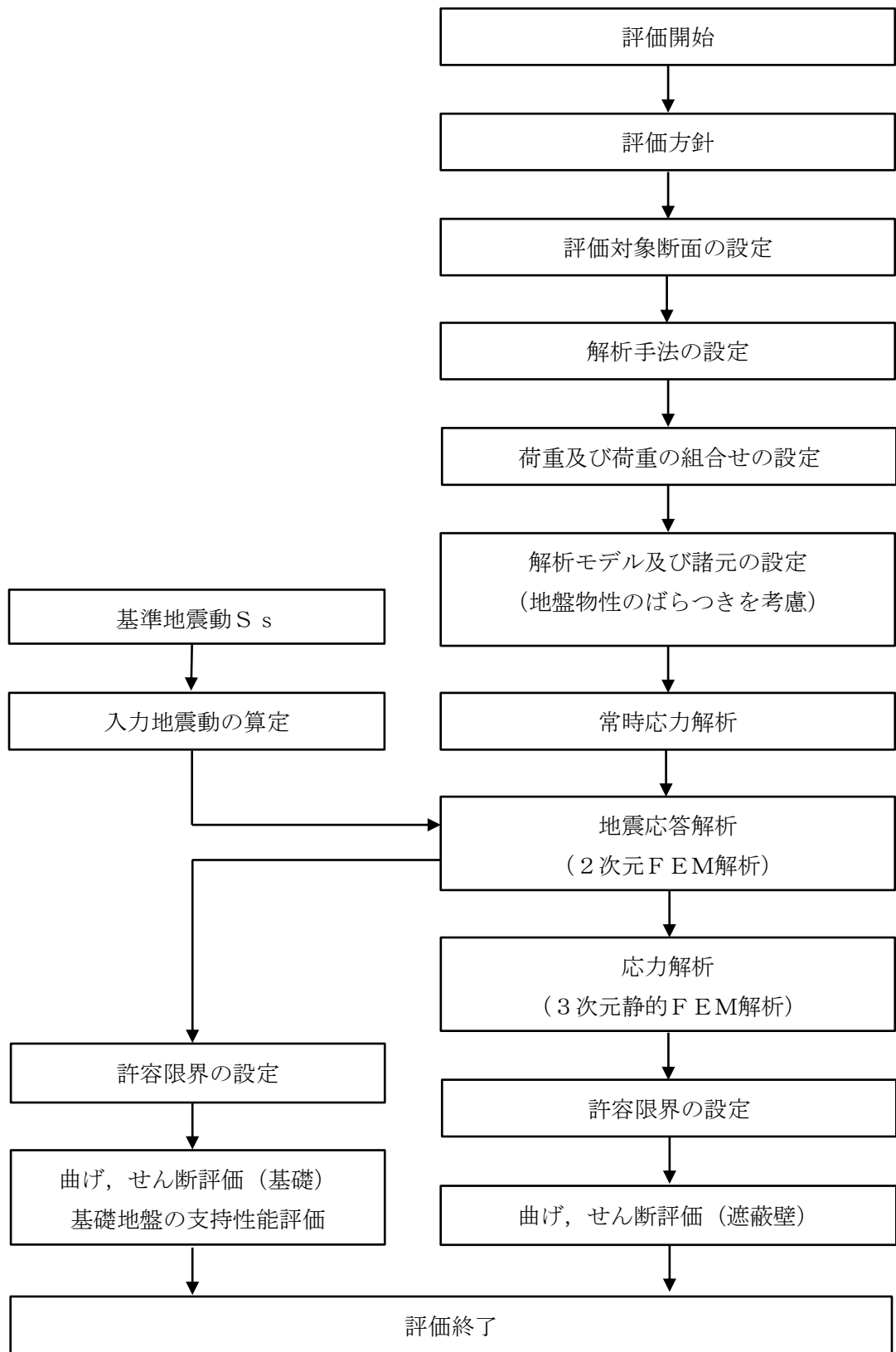


図 3.1-7 復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価フロー

表 3.1-1(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（構造部材）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	遮蔽壁	曲げ軸力	終局耐力*
				せん断力	短期許容応力度
			基礎	曲げ軸力	終局耐力*
				せん断力	短期許容応力度

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

表 3.1-1(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（基礎地盤）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	基礎地盤の支持性能	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	基礎地盤	接地圧	極限支持力度*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

(4) 適用規格・基準等

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 (日本電気協会)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)
- ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編) (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)

3.1.2 評価部位

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、遮蔽壁及び基礎とする。評価対象部位を図 3.1-8 に示す。

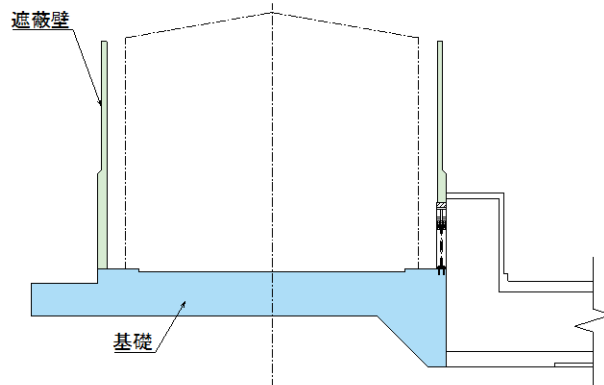


図 3.1-8 評価対象部位

3.1.3 地震応答解析及び構造強度評価

(1) 地震応答解析及び構造強度評価方法

a. 地震応答解析方法

(a) 解析方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形解析により行う。復水貯蔵タンク遮蔽壁は、施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析については、解析コード「TDA P III」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

(b) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

イ. 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(イ) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(ロ) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(ハ) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(ニ) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(ホ) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

ロ. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.1-2 に示す。

表 3.1-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含む。)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

(c) 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3.1-9 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

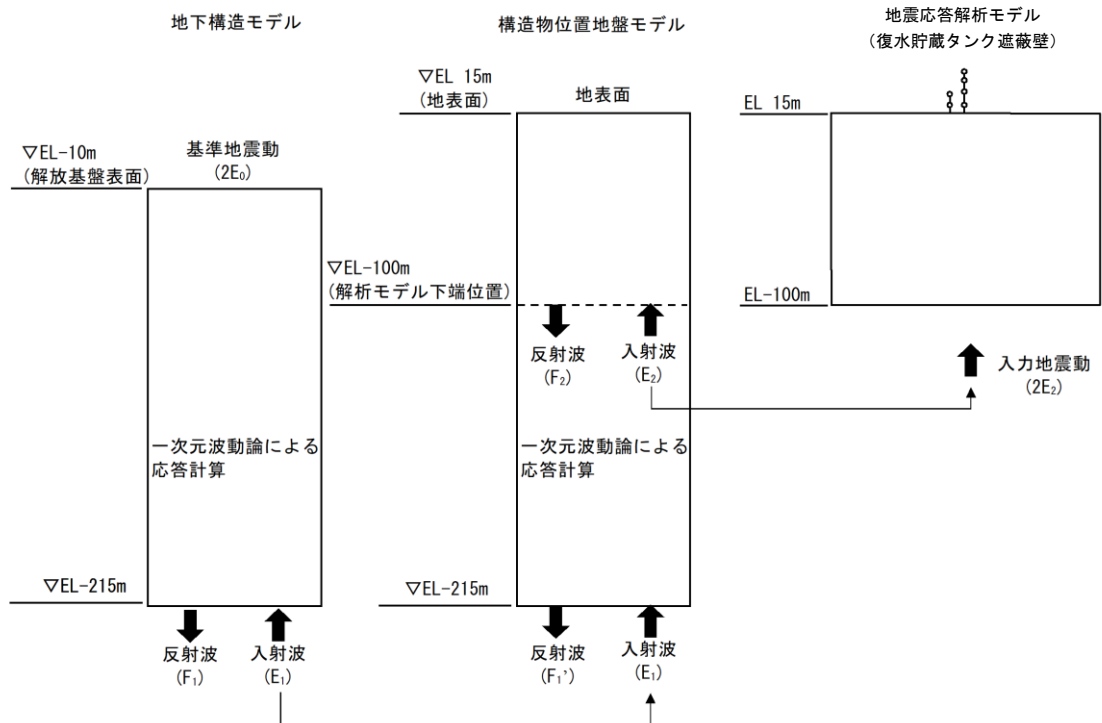


図 3.1-9 入力地震動算定の概念図

(d) 解析モデル及び諸元

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析モデルを図 3.1-10 に示す。

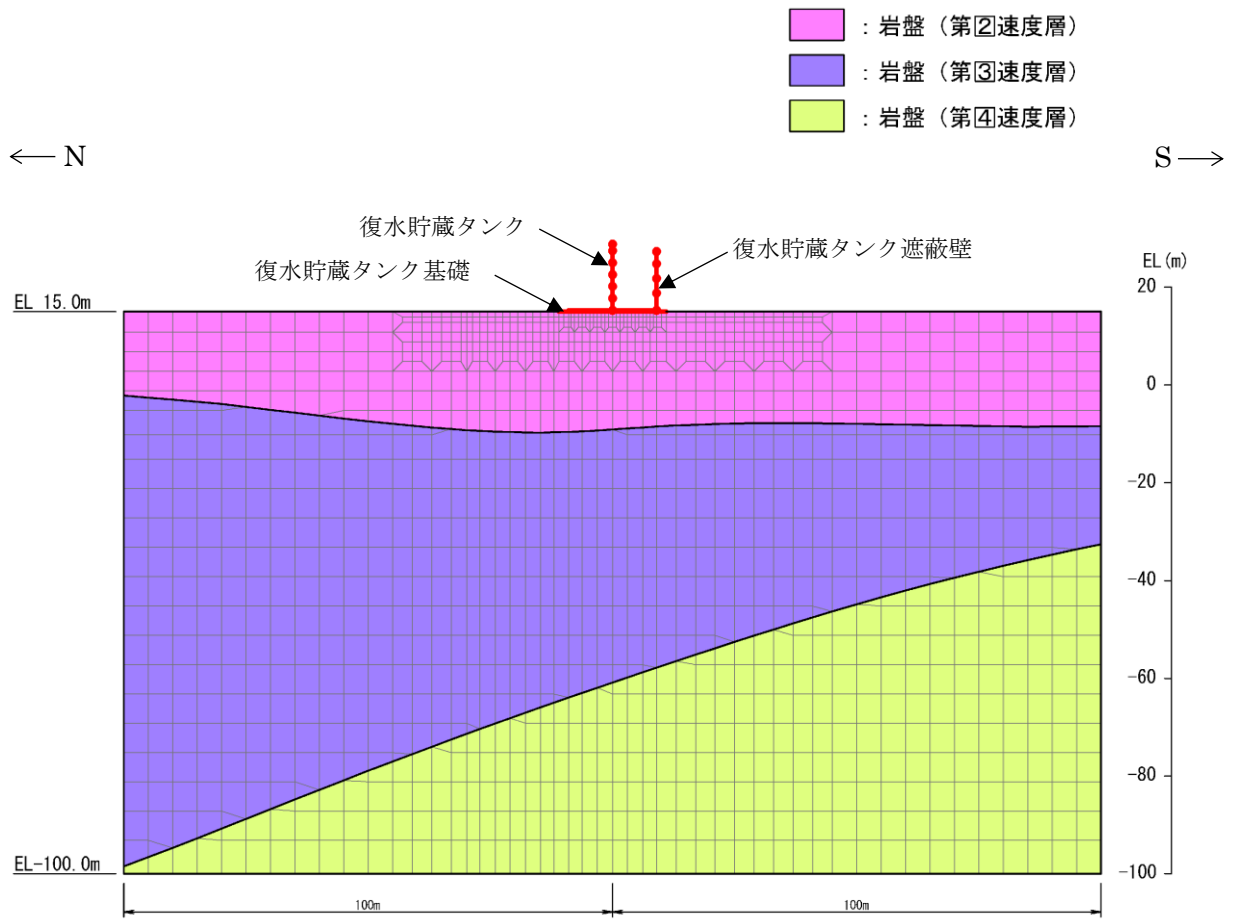


図 3.1-10 復水貯蔵タンク遮蔽壁 地震応答解析モデル図

ロ. 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3.1-3 に、材料の物性値を表 3.1-4 に示す。

表 3.1-3 使用材料

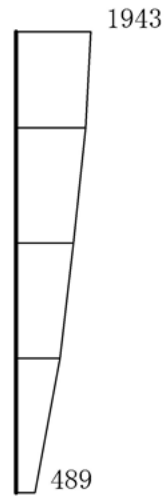
材料		仕様
復水貯蔵タンク遮蔽壁	コンクリート	設計基準強度 23.5N/mm ²
	鉄筋	SD345

表 3.1-4 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
復水貯蔵タンク 遮蔽壁	2.48×10 ⁴	24.0	0.2

(e) 地震応答解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、すべての基準地震動 S_s に対する応答加速度分布図のうち遮蔽壁の耐震性に最も影響を及ぼすものを図 3.1-11 に示す。



(a) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3.1-11 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図

b. 構造強度評価方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析として、遮蔽壁をシェル要素でモデル化した3次元静的FEM解析を行う。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析は、「3.1.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」より遮蔽壁の耐震性に最も影響を及ぼす地震動 ($S_s - D(-+)$) から求めた震度 (水平・鉛直) を躯体重量に掛け合わせ、3次元静的FEM解析の解析モデルに作用させる慣性力を算定する。慣性力については、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて検討する。

(a) 解析方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析は、「3.1.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」にて得られた荷重を考慮する。

応力解析には「NX NASTRAN」を使用する。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。

(b) 解析モデル及び諸元

復水貯蔵タンク遮蔽壁の3次元構造解析モデルを図3.1-12及び図3.1-13に、各部材の要素座標系を図3.1-14に示す。

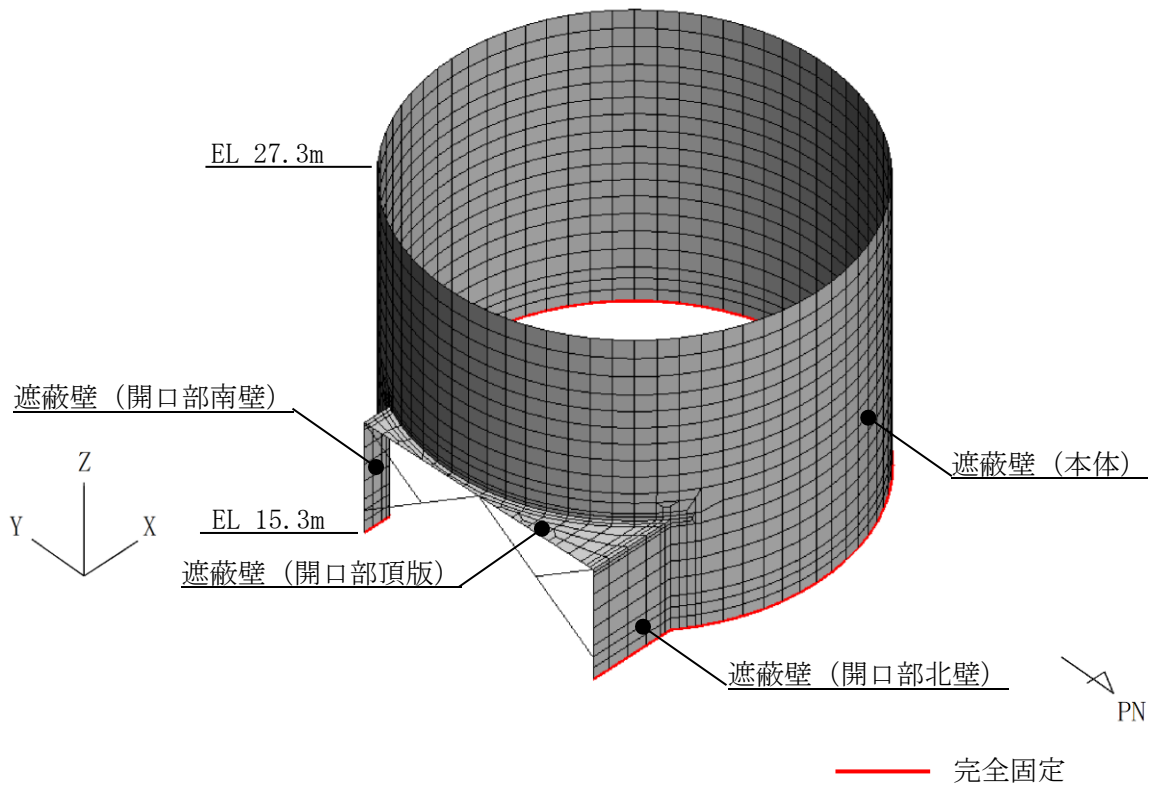


図 3.1-12 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 北東側から望む)

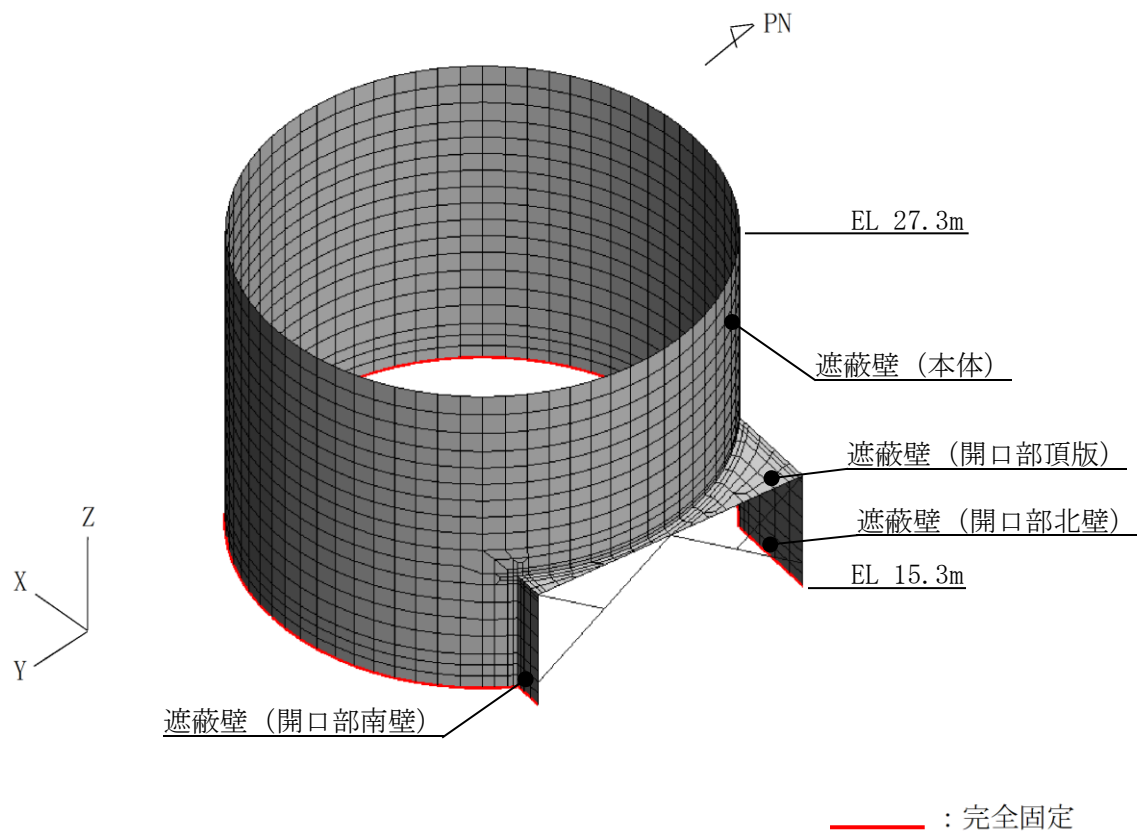
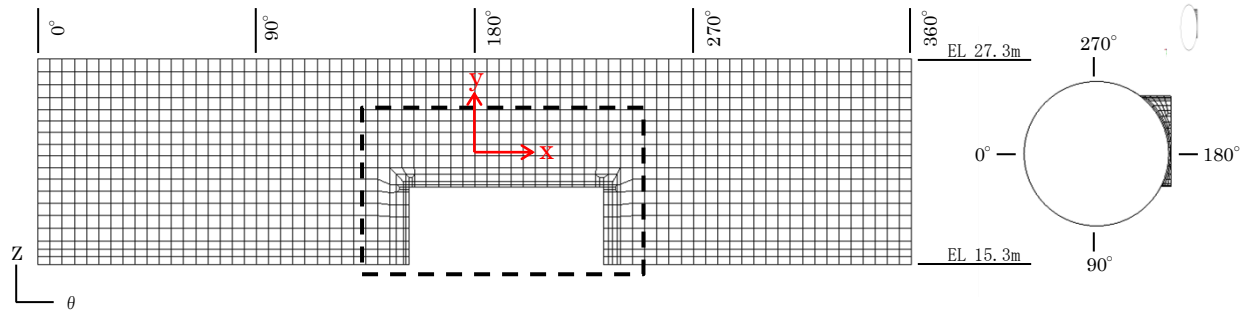
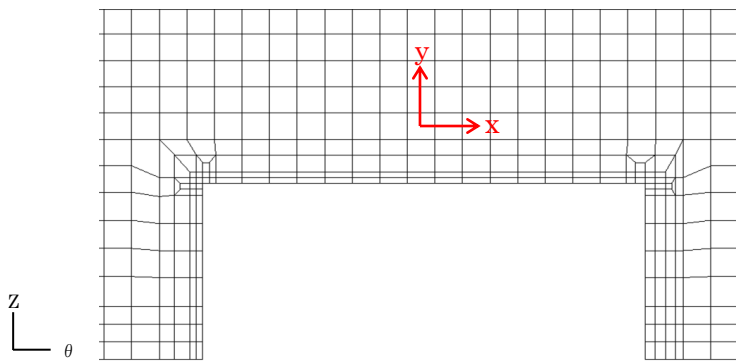


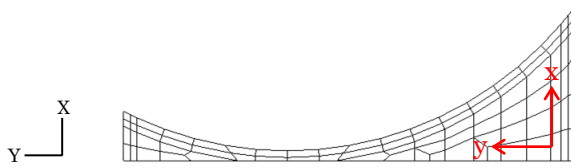
図 3.1-13 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 南東側から望む)



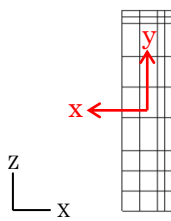
遮蔽壁（本体）



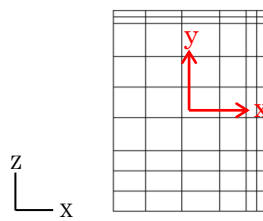
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 3.1-14 各部材の要素座標系（遮蔽壁）

(c) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

イ. 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁の応力解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(イ) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(ロ) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(ハ) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

(ニ) 地震荷重 (S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。なお、躯体重量に2次元有限要素解析で求めた震度(水平・鉛直)を掛け合わせ、3次元静的FEM解析の解析モデルに作用させる慣性力を算定する。

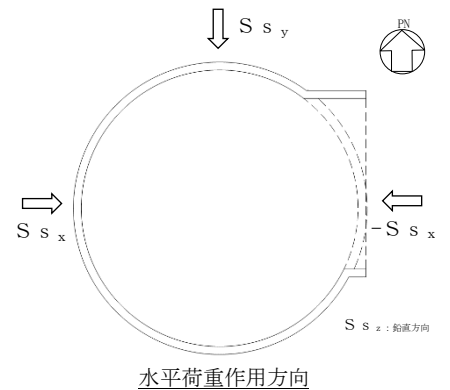
(i) 地震荷重の作用方向

復水貯蔵タンク遮蔽壁は円筒状構造物であり、明確に強軸及び弱軸の区別ができないため、応力解析を行う地震時荷重は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる。なお、南北方向の水平地震力を保守的に東西方向にも設定し、鉛直地震力は南北方向の水平地震力と同時刻の地震力を選定している。

表3.1-5に水平2方向の応力解析における検討ケースを示す。

表 3.1-5 水平2方向の応力解析における検討ケース

ケース	地震力の方向及び組合せ	
	水平	鉛直
ケースA	$1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$
ケースB	$-1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$



ロ. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.1-6 に示す。

表 3.1-6 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

(d) 解析ケース

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁の応力解析を実施する解析ケースは、「3.1.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」より、 $S_s - D(-+)$ である。それぞれの解析ケースについて、「3.1.3 (1) b. (c) イ. (ニ) (i) 地震荷重の作用方向」の表 3.1-5 に記載した 2 ケースに分けて応力解析を行う。

(2) 許容限界

a. 復水貯蔵タンク遮蔽壁の健全性に対する許容限界

(a) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）に基づき、曲げ耐力とする。

(b) せん断破壊に対する許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁のせん断破壊に対する許容限界を表 3.1-7 に示す。

せん断破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）に基づき、短期許容応力度とする。

表 3.1-7 せん断破壊に対する許容限界

確認項目	部位	許容限界 (N/mm ²)	
構造強度を有すること	遮蔽壁	短期許容応力度	0.66 (2.97) *
	基礎		0.66

注記*：（）内は、せん断補強筋を考慮する場合の数値を示す。

b. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3.1-8 に示す。

表 3.1-8 復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

3.1.4 評価結果

構造部材の応力度に対する最大照査値を表 3.1-9～表 3.1-13 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の照査用応力が許容限界以下であることを確認した。

表 3.1-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

地震応答 解析	応力解析	曲げモーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	曲げ耐力 M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
地震動	解析 ケース				
S s - D (-+)	ケースA	101	-1070	139	0.73

表 3.1-10 せん断破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

地震応答 解析	応力解析	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
地震動	解析 ケース			
S s - D (-+)	ケースA	91	241	0.38

表 3.1-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎）

地震動	曲げモーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	曲げ耐力 M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
S s - F 2 (++)	867	217	2310	0.38

表 3.1-12 せん断破壊に対する最大照査値（基礎）

地震動	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
S s - D (-+)	620	901	0.69

表 3.1-13 支持性能に対する最大照査値（基礎地盤）

地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P/P_u
S s - N 2 (EW) (++)	0.39	9.8	0.04

3.2 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁，トーラス水受入タンク遮蔽壁

3.2.1 一般事項

本章では補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、地震応答解析により得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用い、線形シェル要素による3次元静的FEM解析により応答値を算定し、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対して発生応力が許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能評価にあたっては、地震応答解析により得られた基礎地盤の接地圧が、許容限界を下回ることを確認する。

なお、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁は、それぞれの遮蔽壁の厚さ及び径、基礎の構造が同一であるため、開口部寸法の大きい補助復水貯蔵タンク遮蔽壁を代表させて本検討を行う。

(1) 配置概要

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁の位置図を図3.2-1に示す。

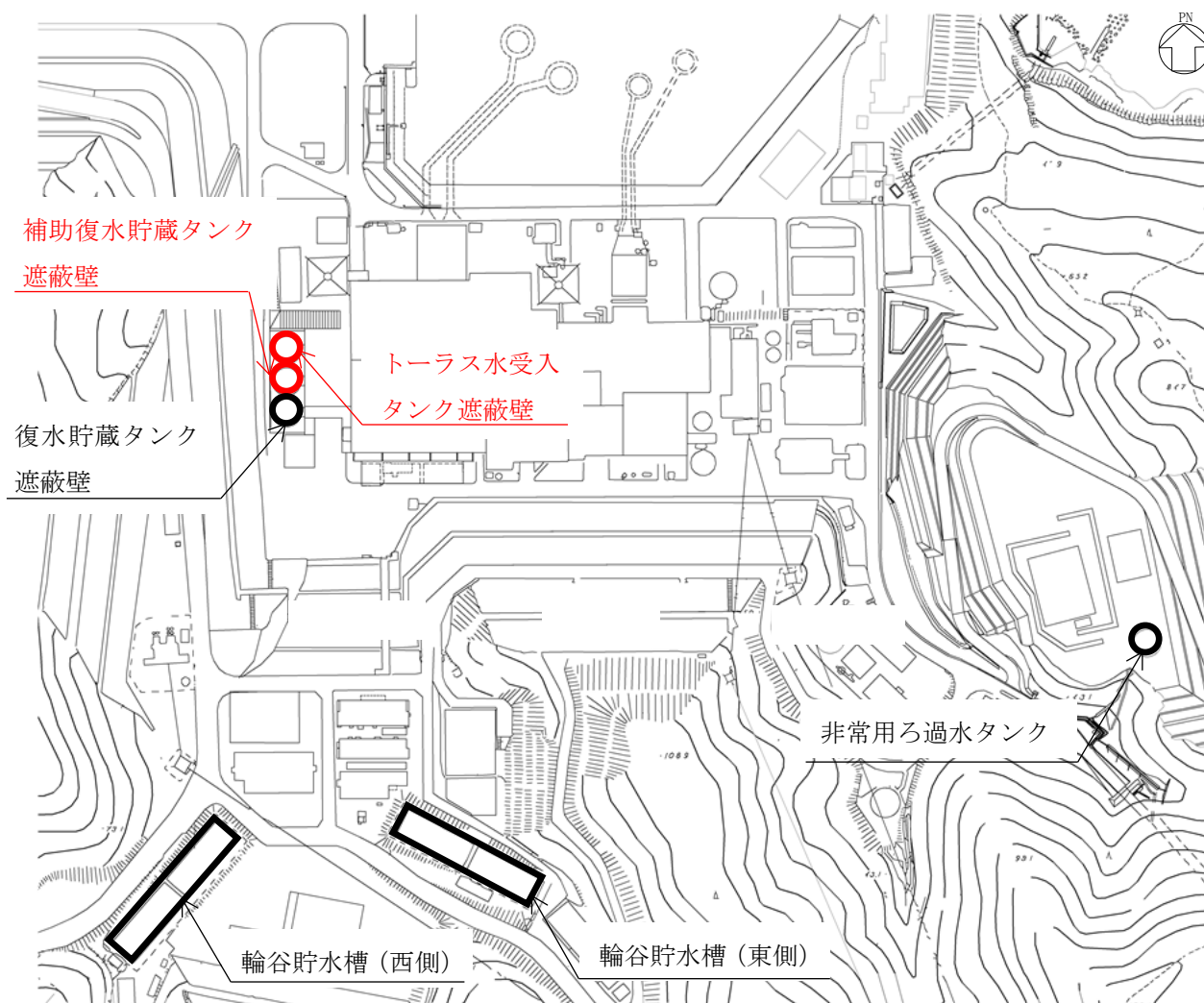


図 3.2-1 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁 位置図

(2) 構造計画

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の平面図を図 3.2-2 に、断面図を図 3.2-3 に、耐震補強箇所を図 3.2-4 に、耐震補強鋼材を図 3.2-5 に、概略配筋図を図 3.2-6 に、トーラス水受入タンク遮蔽壁の平面図を図 3.2-7 に、断面図を図 3.2-8 に、耐震補強箇所を図 3.2-9 に、耐震補強鋼材を図 3.2-10 に、概略配筋図を図 3.2-11 に示す。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造であり、基礎は、幅 18.5m（東西）×18.5m（南北）、遮蔽壁は、内径 17.5m、壁厚 0.3m、高さ 12m の円筒状の地上構造物で、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置している。

なお、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁については、せん断破壊に対する耐震補強として、耐震補強鋼材及び PHb 工法による補強を行っている。

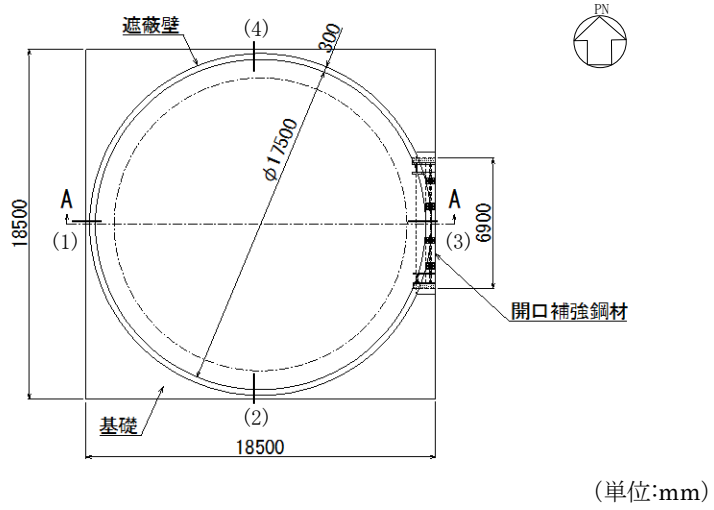


図 3.2-2 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

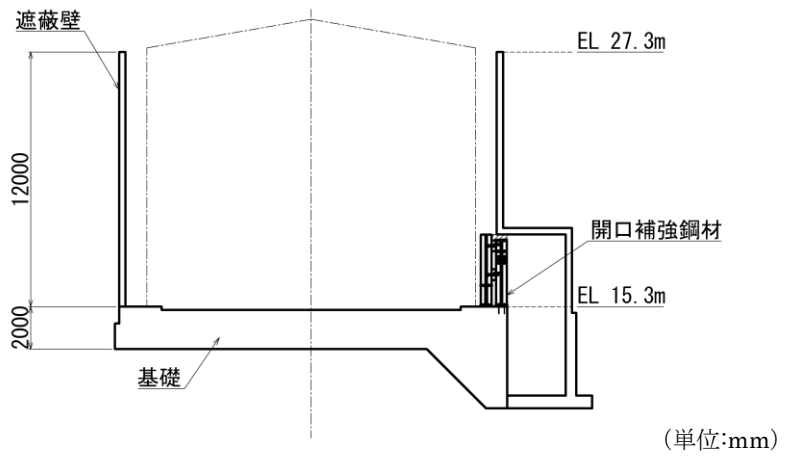


図 3.2-3 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)

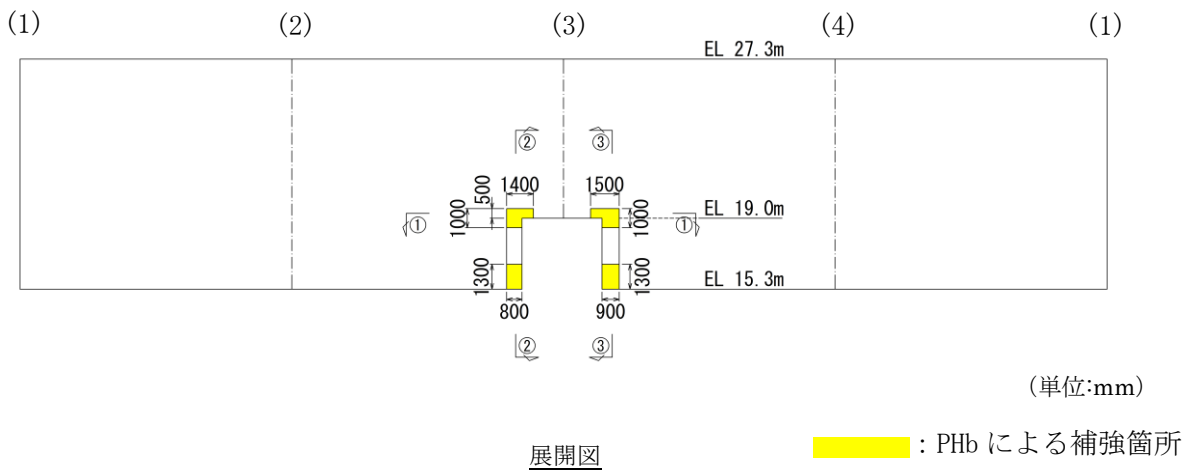
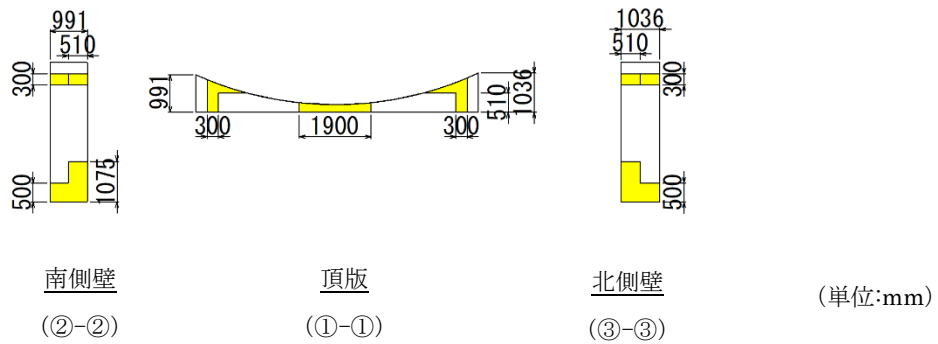


図 3.2-4(1) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所 (展開図)



■ : PHb による補強箇所

図 3.2-4(2) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁（開口部） PHb による耐震補強箇所

S2 補 VI-2-別添 2-2 R0

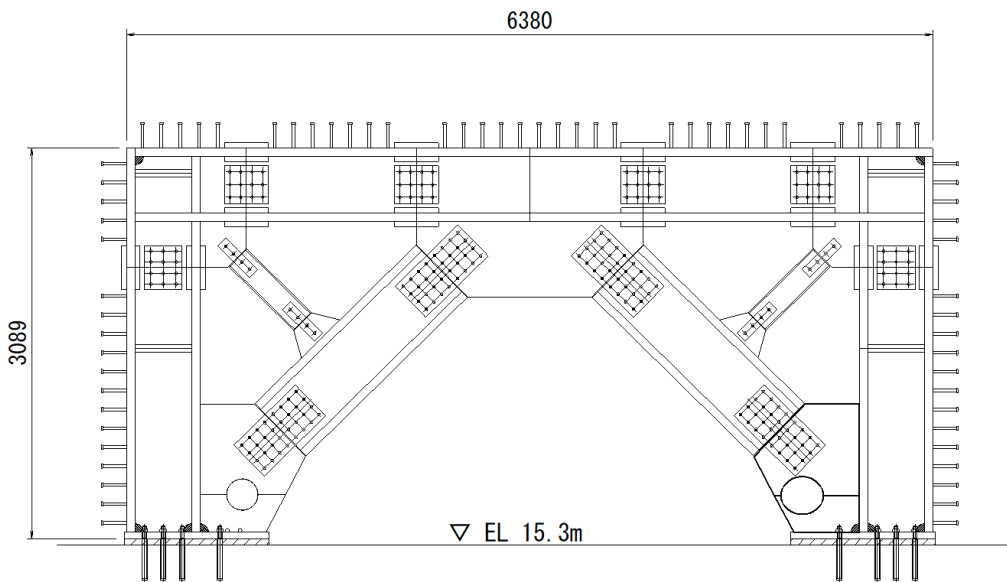


図 3.2-5 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強（正面図）

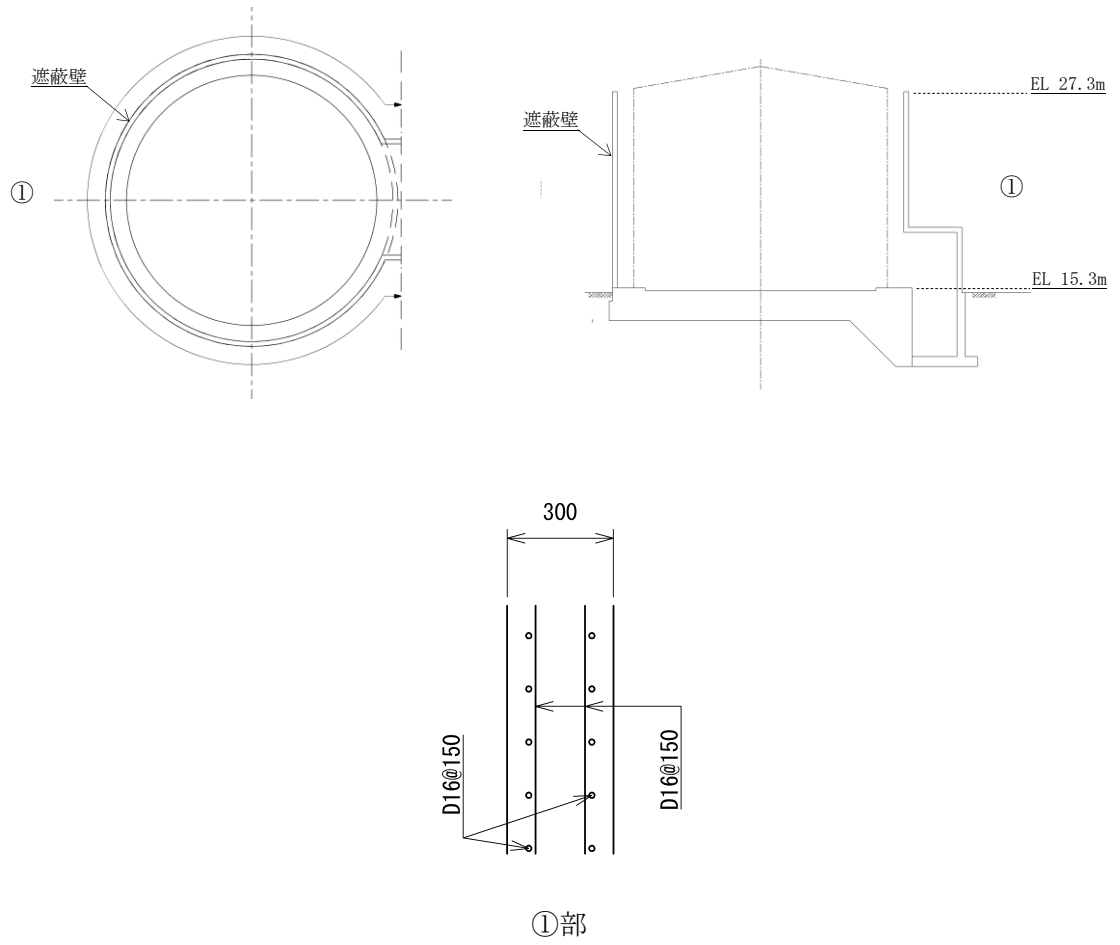


図 3.2-6 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図

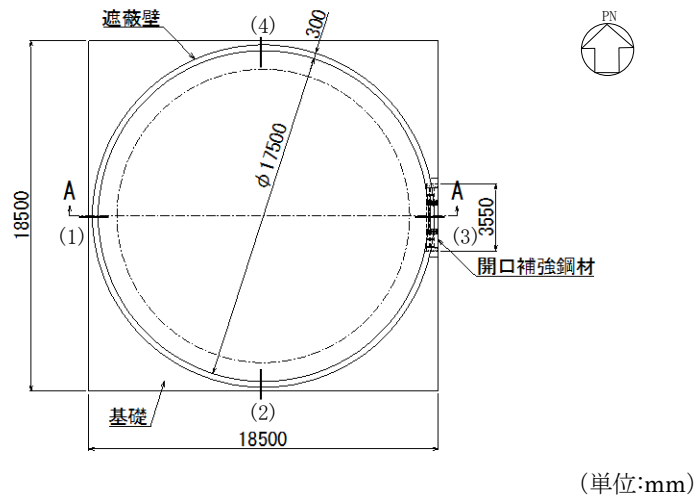


図 3.2-7 トーラス水受入タンク遮蔽壁 平面図

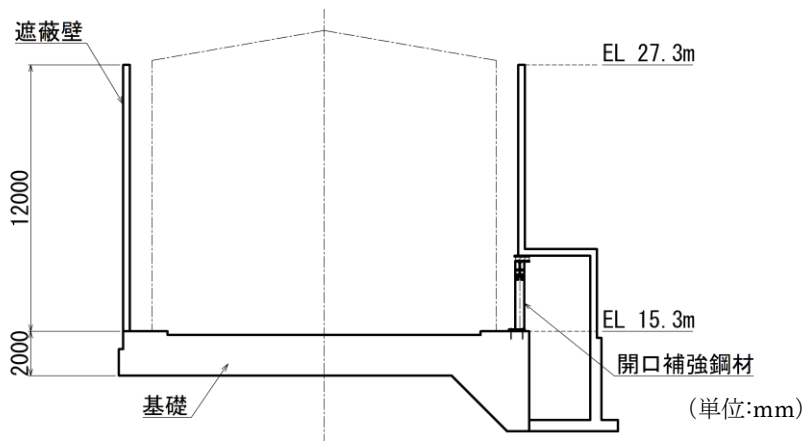


図 3.2-8 トーラス水受入タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)

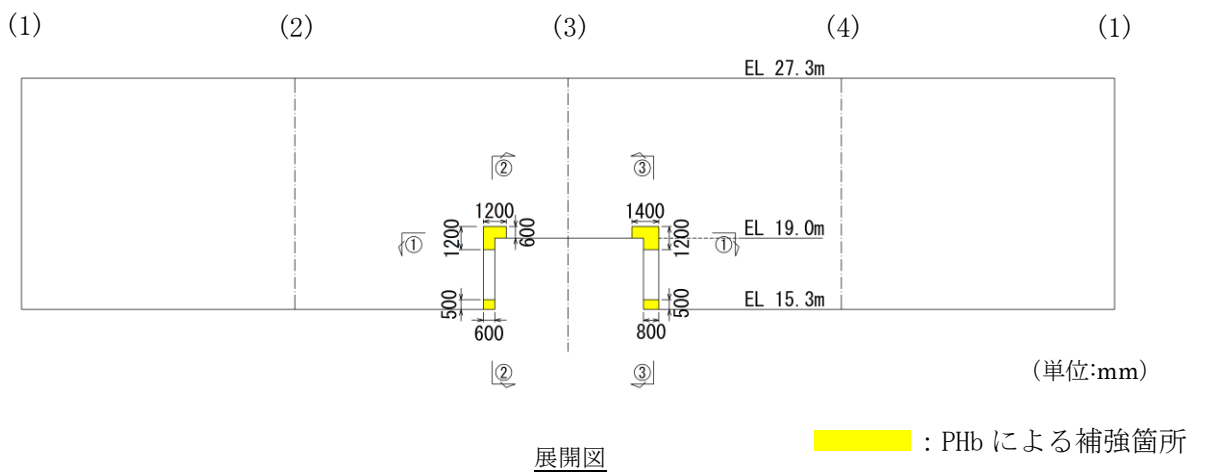
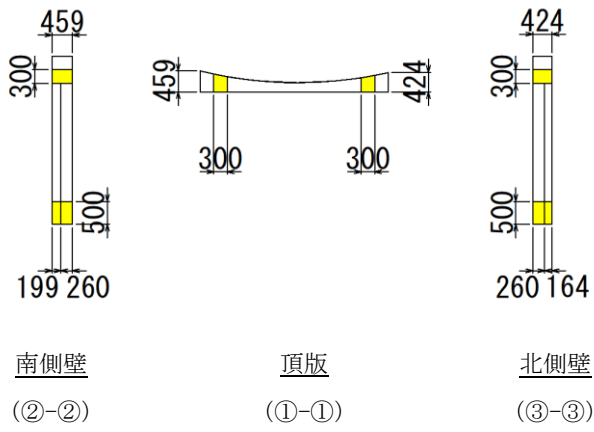


図 3.2-9(1) トーラス水受入タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所



(単位:mm)

■ : PHb による補強箇所

図 3.2-9(2) トーラス水受入タンク遮蔽壁 (開口部) PHb による耐震補強箇所

S2 補 VI-2-別添 2-2 R0

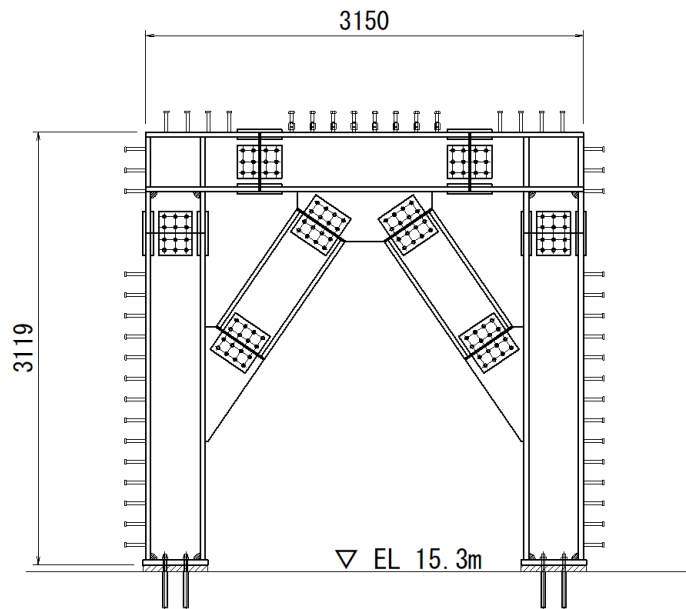


図 3.2-10 トーラス水受入タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強 (正面図)

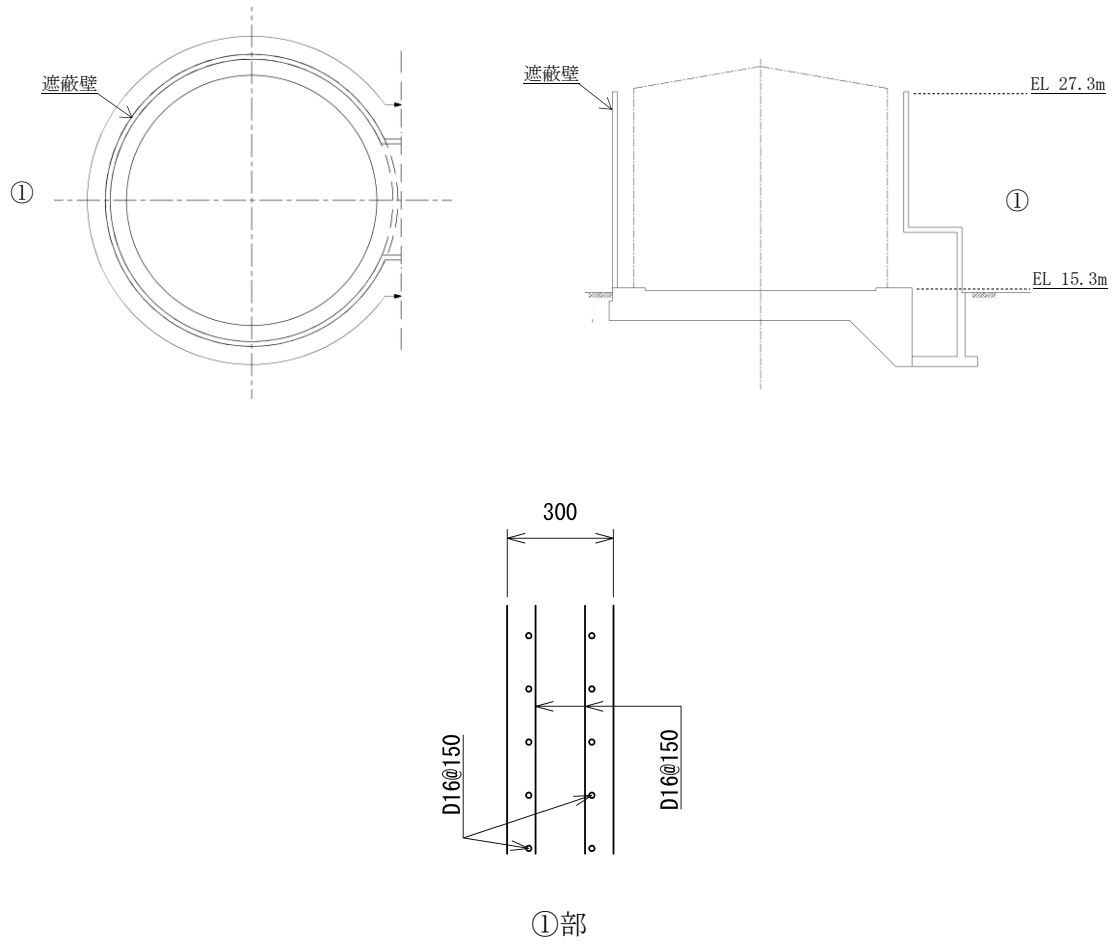


図 3.2-11 トーラス水受入タンク遮蔽壁 概略配筋図

(3) 評価方針

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価フローを図 3.2-12 に示す。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価は、地震応答解析及び3次元構造解析により得られた解析結果に基づき、表 3.2-1(1)の補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（構造部材）に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。また、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 3.2-1(2)の補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（基礎地盤）に示すとおり、基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、「3.2.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いて、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。なお、せん断破壊に対する補強として PHb 工法を用いているため、構造部材に対して PHb 工法の適用条件を満たしていることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、「3.2.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

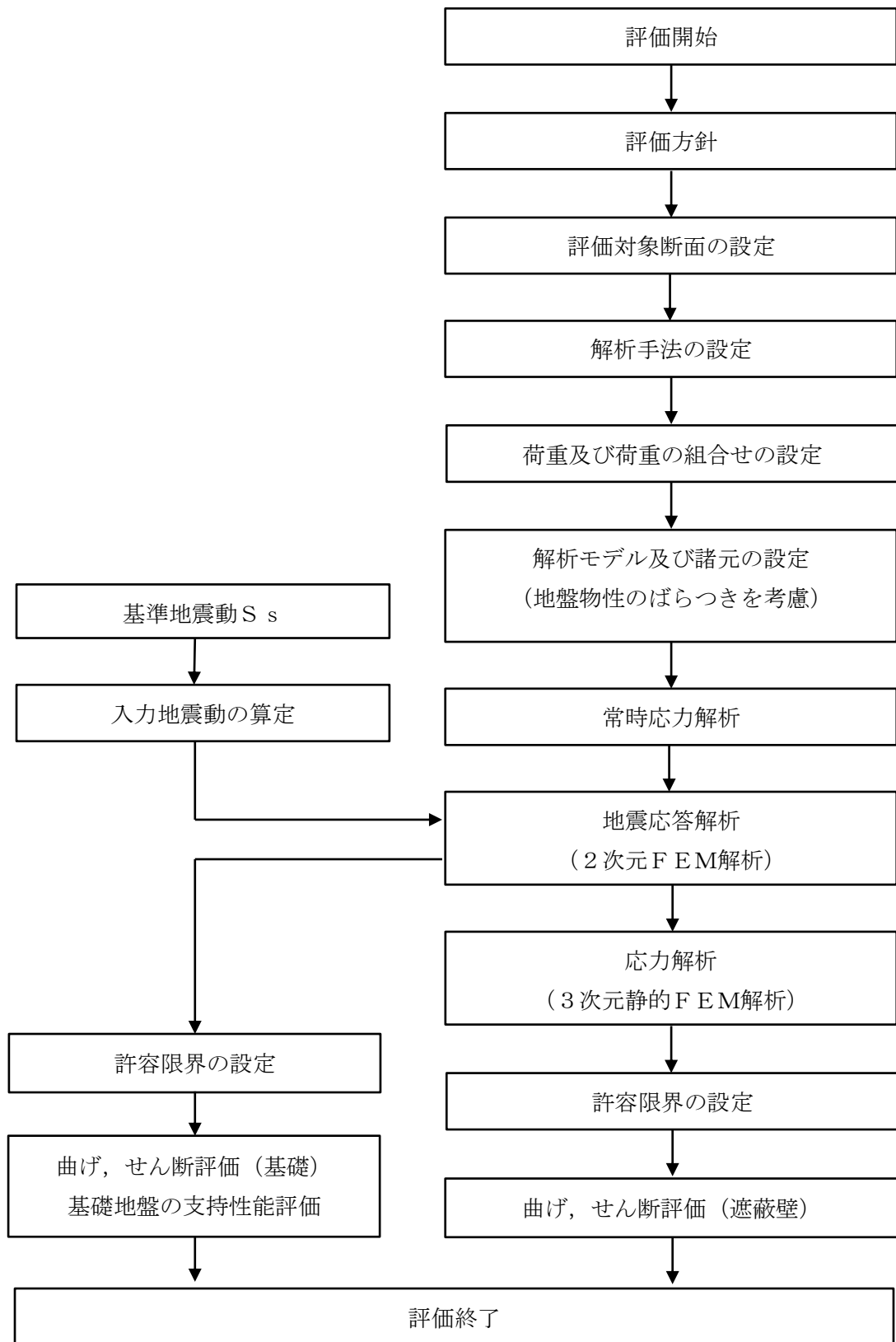


図 3.2-12 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価フロー

表 3.2-1(1) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（構造部材）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	遮蔽壁	曲げ軸力	終局耐力*
				せん断力	短期許容応力度
			基礎	曲げ軸力	終局耐力*
				せん断力	短期許容応力度

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

表 3.2-1(2) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目（基礎地盤）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	基礎地盤の支持性能	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	基礎地盤	接地圧	極限支持力度*

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

(4) 適用規格・基準等

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 (日本電気協会)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年)
- ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編) (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)

3.2.2 評価部位

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、遮蔽壁及び基礎とする。評価対象部位を図 3.2-13 に示す。

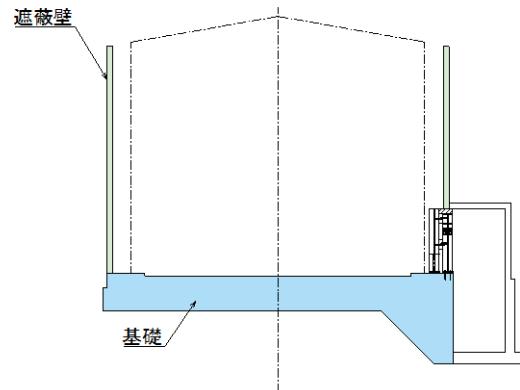


図 3.2-13 評価対象部位

3.2.3 地震応答解析及び構造強度評価

(1) 地震応答解析及び構造強度評価方法

a. 地震応答解析方法

(a) 解析方法

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形解析により行う。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁は、施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析については、解析コード「TDA P III」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

(b) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

イ. 荷重

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(イ) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(ロ) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(ハ) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(ニ) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(ホ) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

ロ. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含む。)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

(c) 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3. 2-14 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

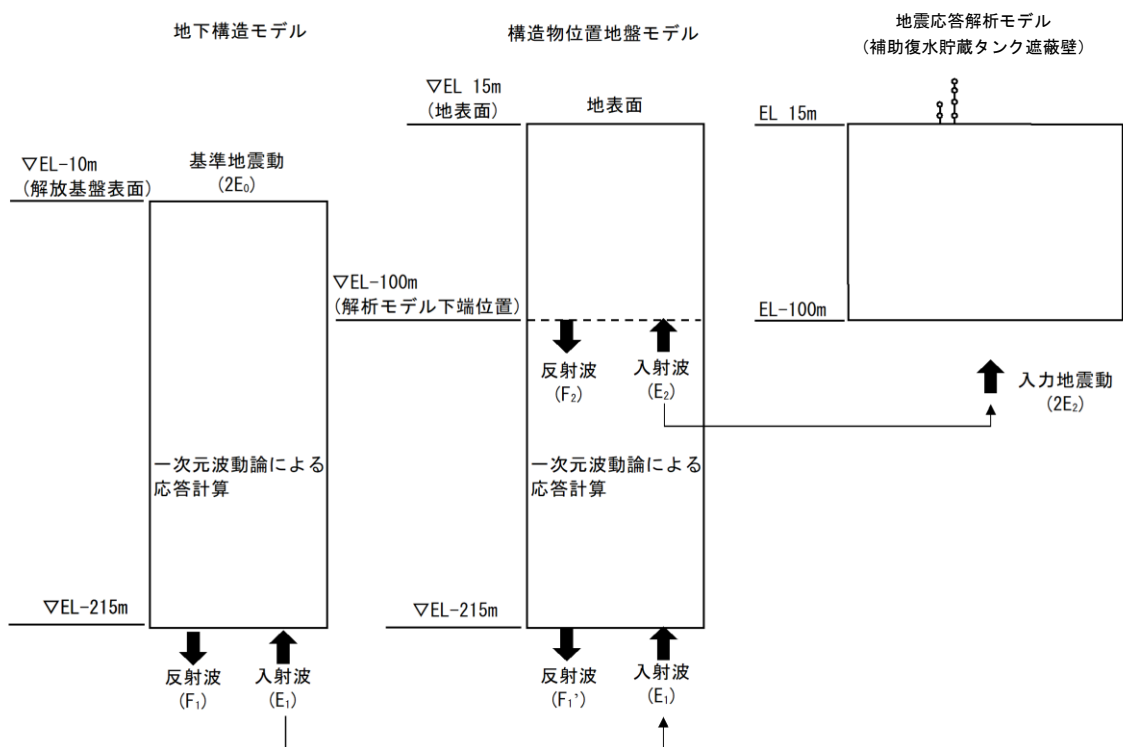


図 3. 2-14 入力地震動算定の概念図

(d) 解析モデル及び諸元

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析モデルを図 3.2-15 に示す。

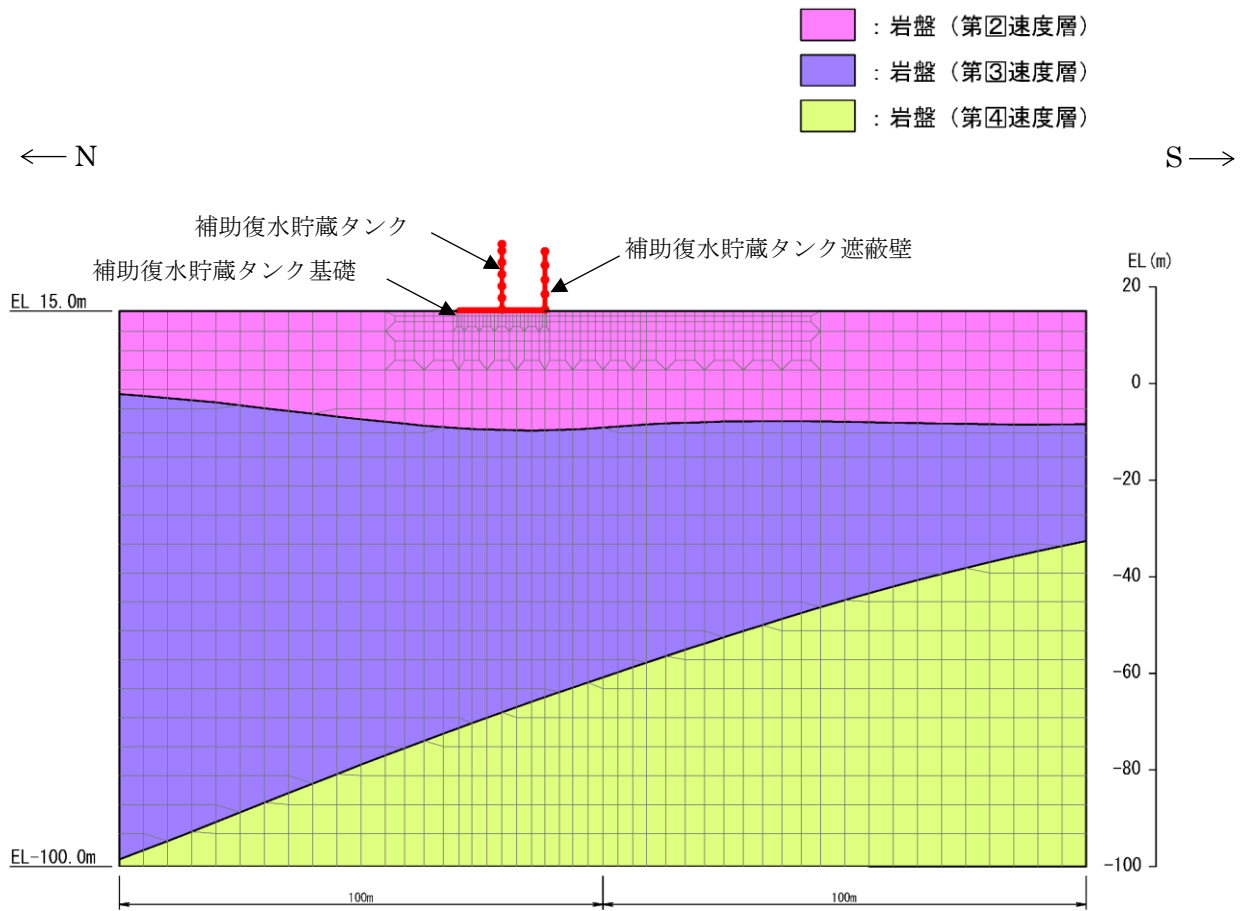


図 3.2-15 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 地震応答解析モデル図

イ. 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3.2-3 に、材料の物性値を表 3.2-4 に示す。

表 3.2-3 使用材料

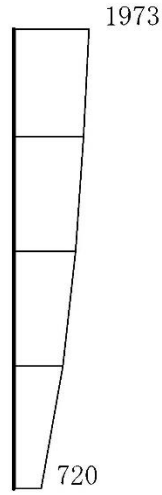
材料		仕様
補助復水貯蔵タンク 遮蔽壁	コンクリート	設計基準強度 23.5N/mm ²
	鉄筋	SD345

表 3.2-4 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
補助復水貯蔵タンク 遮蔽壁	2.48×10 ⁴	24.0	0.2

(e) 地震応答解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、すべての基準地震動 S_s に対する応答加速度分布図のうち応力解析における影響が最も大きくなるものを図 3.2-16 に示す。



(a) $S_s - D(++)$, 8.83 秒, 水平



(b) $S_s - D(++)$, 8.83 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s^2)

図 3.2-16 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図

b. 構造強度評価方法

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析として、遮蔽壁をシェル要素でモデル化した3次元静的FEM解析を行う。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析は、「3.2.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」より遮蔽壁の耐震性に最も影響を及ぼす地震動 (S s -D (++)) から求めた震度 (水平・鉛直) を躯体重量に掛け合わせ、3次元静的FEM解析の解析モデルに作用させる慣性力を算定する。慣性力については、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて検討する。

(a) 解析方法

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析は、「3.2.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」にて得られた荷重を考慮する。

応力解析には「NX NASTRAN」を使用する。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。

(b) 解析モデル及び諸元

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の3次元構造解析モデルを図3.2-17及び図3.2-18に、各部材の要素座標系を図3.2-19に示す。

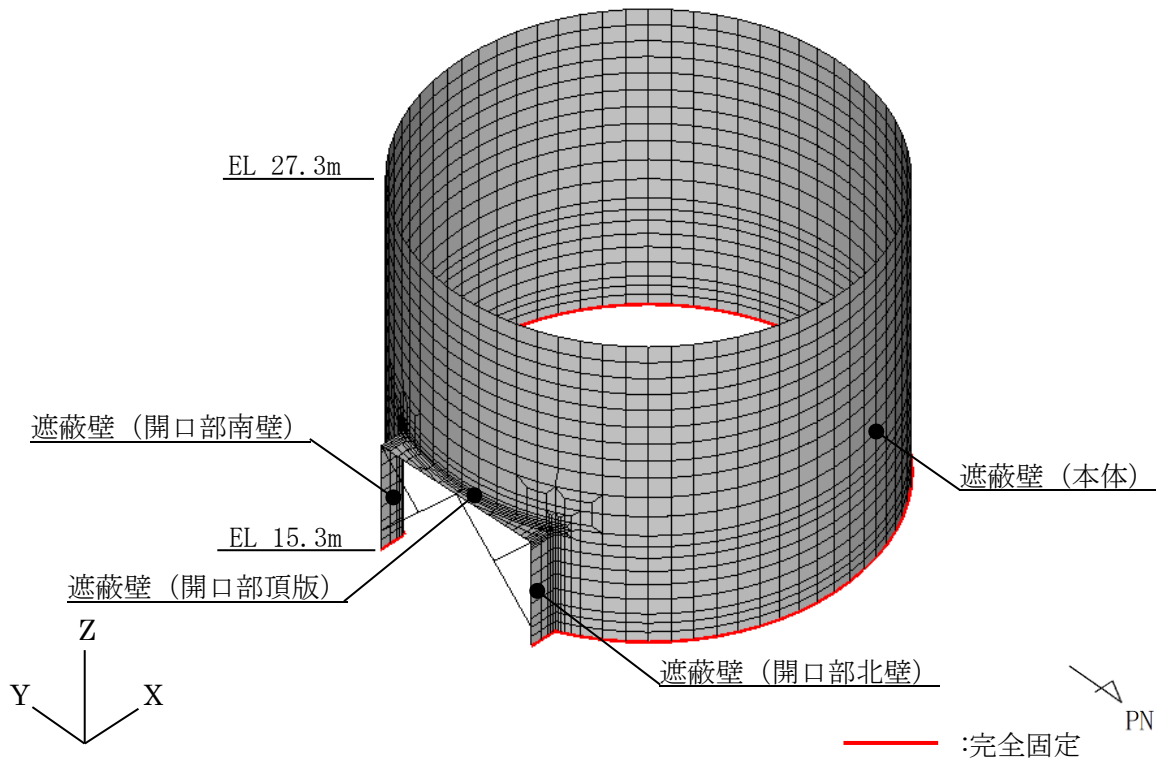


図 3.2-17 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 北東側から望む)

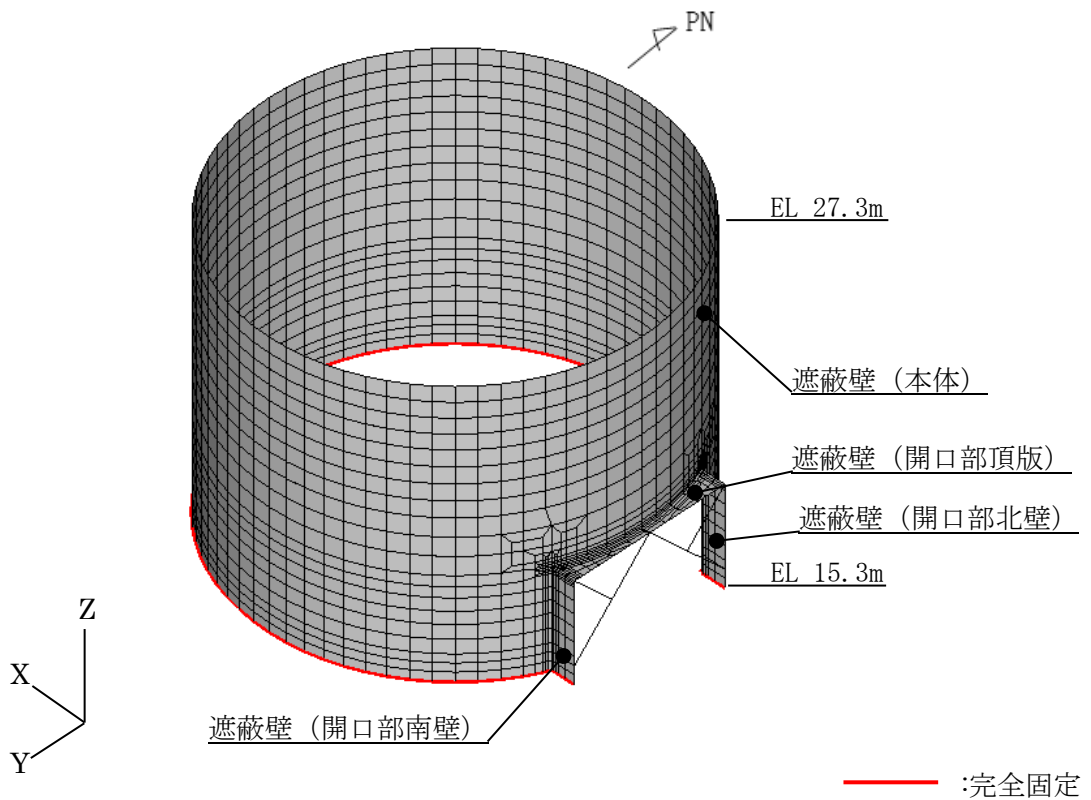
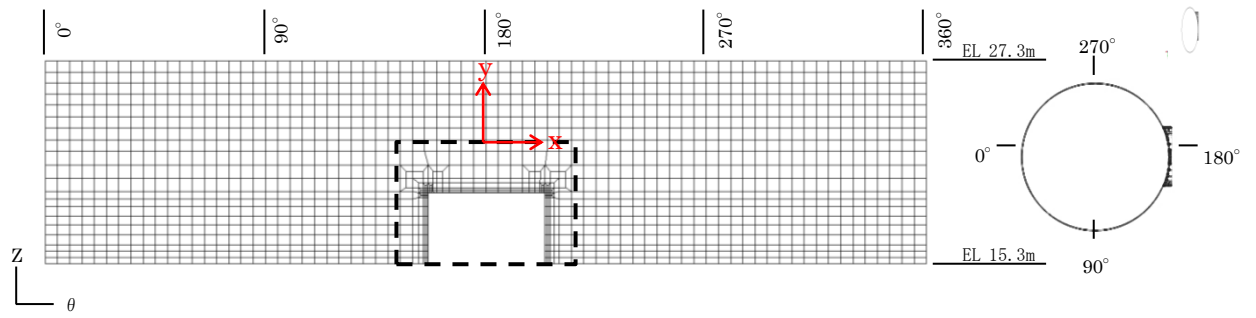
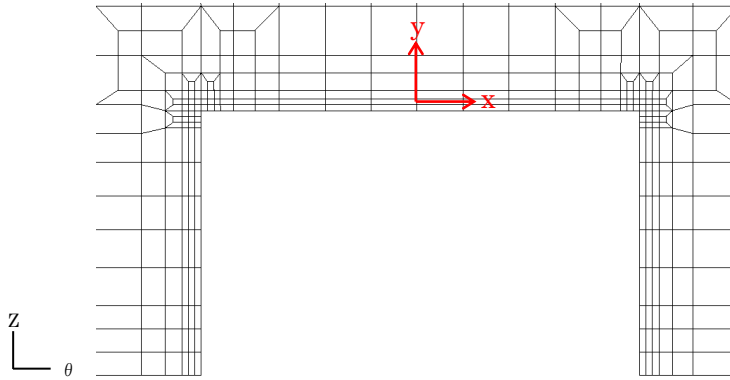


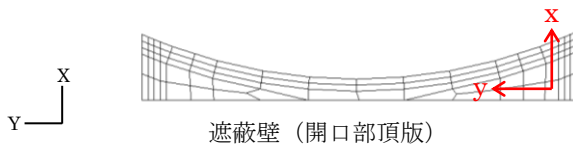
図 3.2-18 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 南東側から望む)



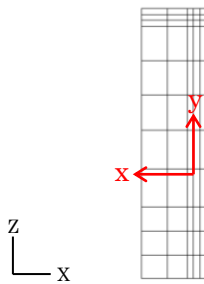
遮蔽壁（本体）



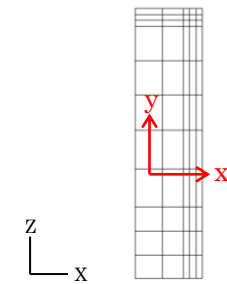
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 3.2-19 各部材の要素座標系

(c) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

イ. 荷重の種類

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁の応力解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(イ) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重，機器・配管荷重を考慮する。

(ロ) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江市地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(ハ) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

(ニ) 地震荷重 (S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。なお、躯体重量に2次元有限要素解析で求めた震度(水平・鉛直)を掛け合わせ、3次元静的FEM解析の解析モデルに作用させる慣性力を算定する。

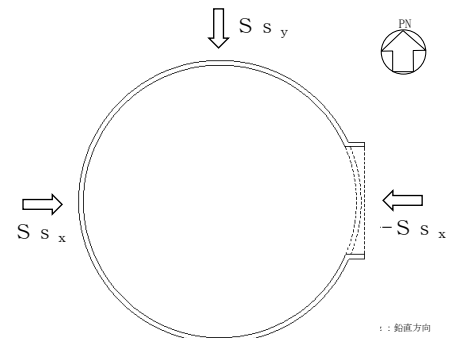
(i) 地震荷重の作用方向

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁は円筒状構造物であり、明確に強軸及び弱軸の区別ができないため、応力解析を行う地震時荷重は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる。なお、南北方向の水平地震力を保守的に東西方向にも設定し、鉛直地震力は南北方向の水平地震力と同時刻の地震力を選定している。

表3.2-5に水平2方向の応力解析における検討ケースを示す。

表 3.2-5 水平2方向の応力解析における検討ケース

ケース	地震力の方向及び組合せ	
	水平	鉛直
ケースA	$1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$
ケースB	$-1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$



水平荷重作用方向

ロ. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.2-6 に示す。

表 3.2-6 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

(d) 解析ケース

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁の応力解析を実施する解析ケースは、「3.2.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」より、 $S_s - D(++)$ である。それぞれの解析ケースについて、「3.2.3 (1) b. (c) イ. (ニ) (i) 地震荷重の作用方向」の表 3.2-5 に記載した 2 ケースに分けて応力解析を行う。

(3) 許容限界

a. 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の健全性に対する許容限界

(a) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）に基づき、曲げ耐力とする。

(b) せん断破壊に対する許容限界

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のせん断破壊に対する許容限界を表 3.2-7 に示す。

せん断破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）に基づき、短期許容応力度とする。

表 3.2-7 せん断破壊に対する許容限界

確認項目	部位	許容限界 (N/mm ²)	
構造強度を有すること	遮蔽壁	短期許容応力度	0.66 (2.97) *
	基礎		0.66

注記*：（）内は、せん断補強筋を考慮する場合の数値を示す。

b. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3.2-8 に示す。

表 3.2-8 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

3.2.4 評価結果

構造部材の応力度に対する最大照査値を表 3.2-9～表 3.2-13 に示す。
補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の照査用応力が許容限界以下であることを確認した。

表 3.2-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

地震応答 解析	応力解析	曲げ モーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	曲げ耐力 M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
地震動	解析 ケース				
S s - D (++)	A	-42	142	103	0.41

表 3.2-10 せん断破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

地震応答 解析	応力解析	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
地震動	解析 ケース			
S s - D (++)	A	168	243	0.70

表 3.2-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎）

地震動	曲げ モーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	曲げ耐力 M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
S s - D (++)	775	-620	1518	0.52

表 3.2-12 せん断破壊に対する最大照査値（基礎）

地震動	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
S s - D (++)	663	958	0.70

表 3.2-13 支持性能に対する最大照査値（基礎地盤）

地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P/P_u
S s - D (++)	0.60	9.8	0.07

3.3 非常用ろ過水タンク

3.3.1 一般事項

本章では非常用ろ過水タンクの構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、地震応答解析により得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用い、線形シェル要素による3次元静的FEM解析により応答値を算定し、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対して発生応力が許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能評価にあたっては、地震応答解析により得られた基礎地盤の接地圧が、許容限界を下回ることを確認する。

(1) 配置概要

非常用ろ過水タンクの位置図を図3.3-1に示す。

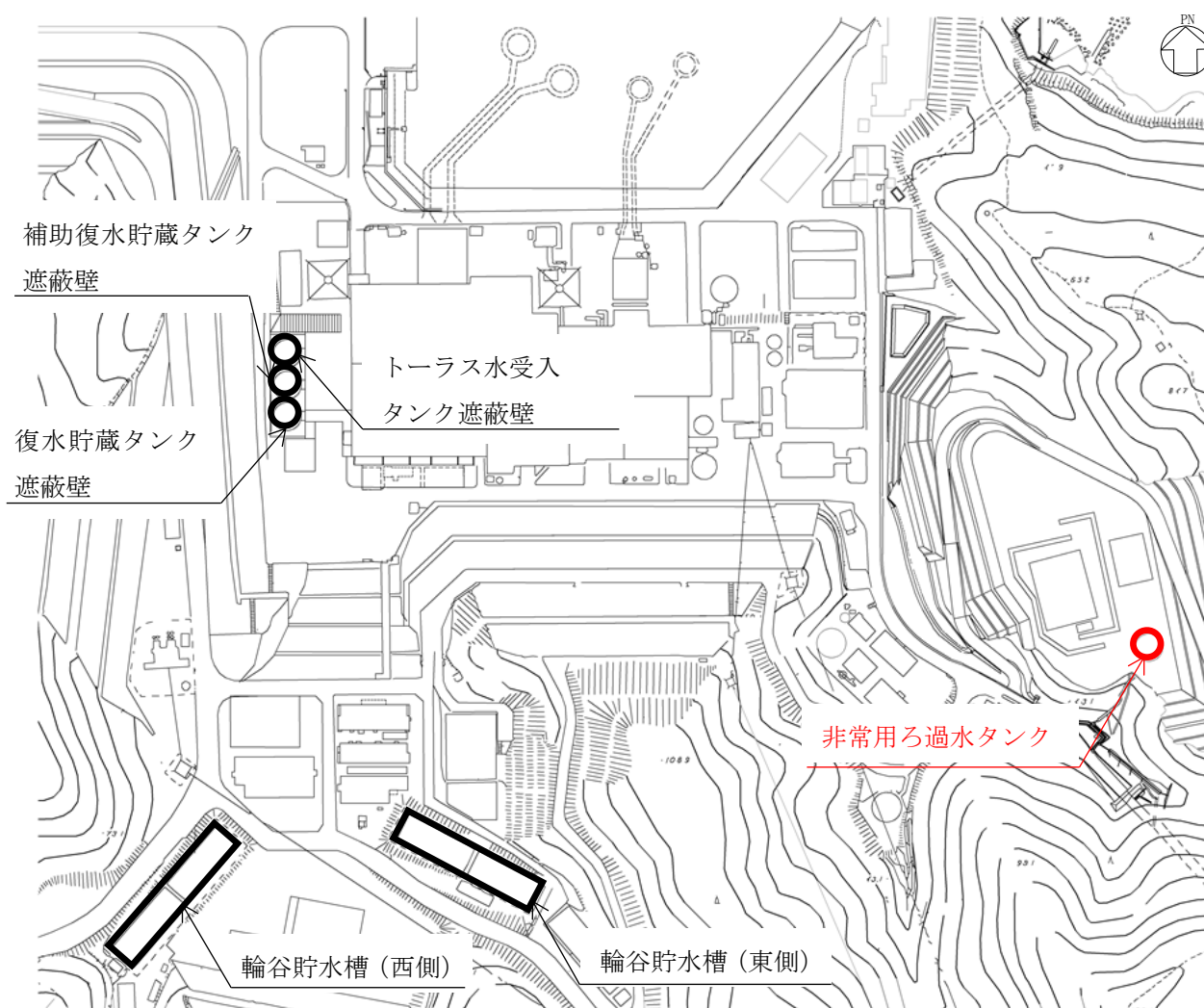


図 3.3-1 非常用ろ過水タンク 位置図

(2) 構造計画

非常用ろ過水タンクの平面図を図 3.3-2 に、断面図を図 3.3-3 に、概略配筋図を図 3.3-4 に、PC 鋼材配置図を図 3.3-5 に示す。

非常用ろ過水タンクは、直径 20.4m、高さ 10.4m の鉄筋コンクリート及びプレストレストコンクリート造の円筒状の構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置されている。

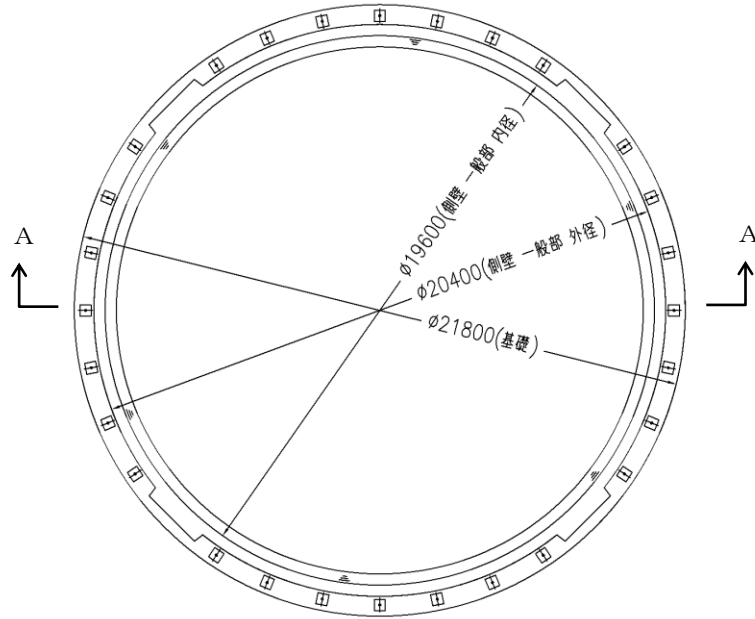


図 3.3-2 非常用ろ過水タンク 平面図

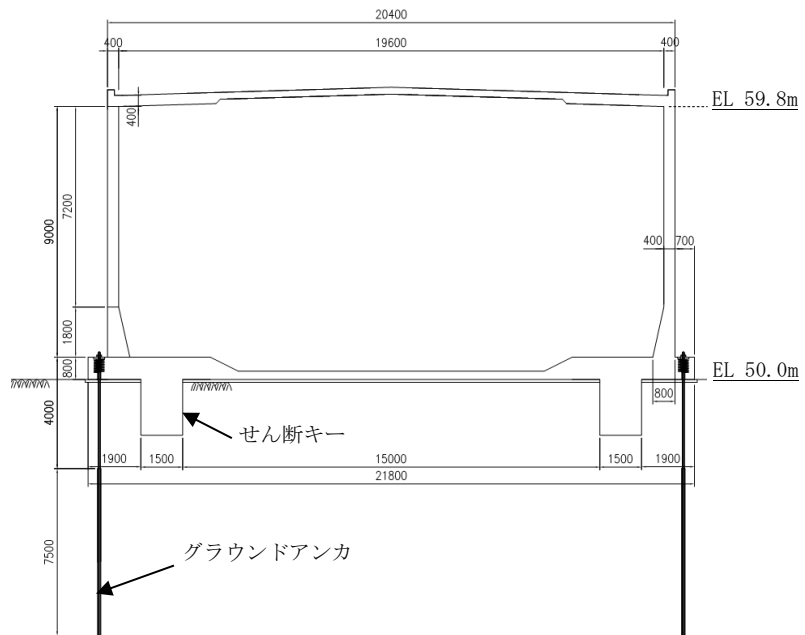
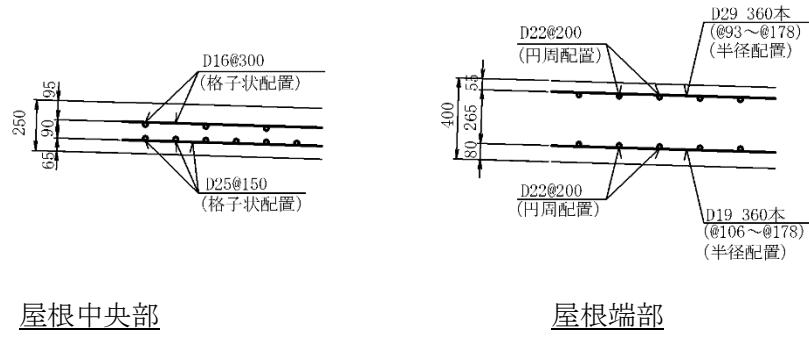
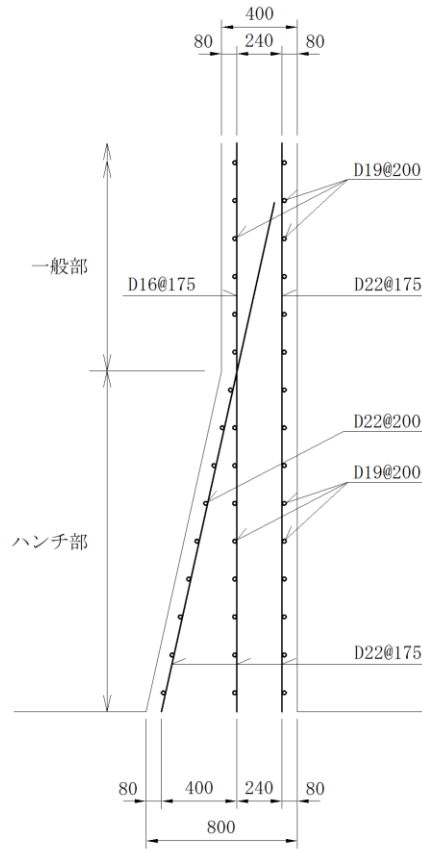


図 3.3-3 非常用ろ過水タンク 断面図

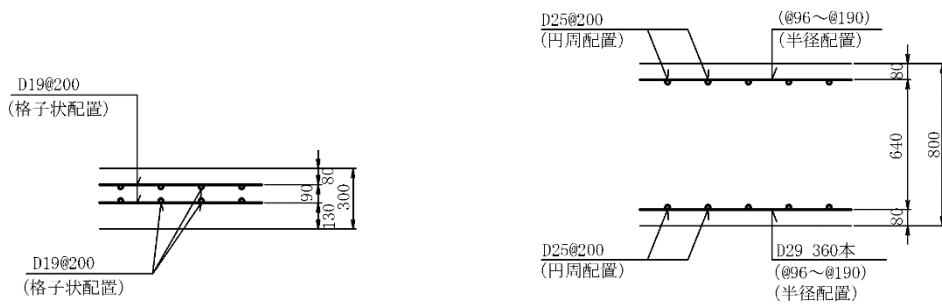


屋根中央部

屋根端部



側壁一般部 / 側壁ハンチ部



底版中央部

底版端部

図 3.3-4 非常用ろ過水タンク 概略配筋図

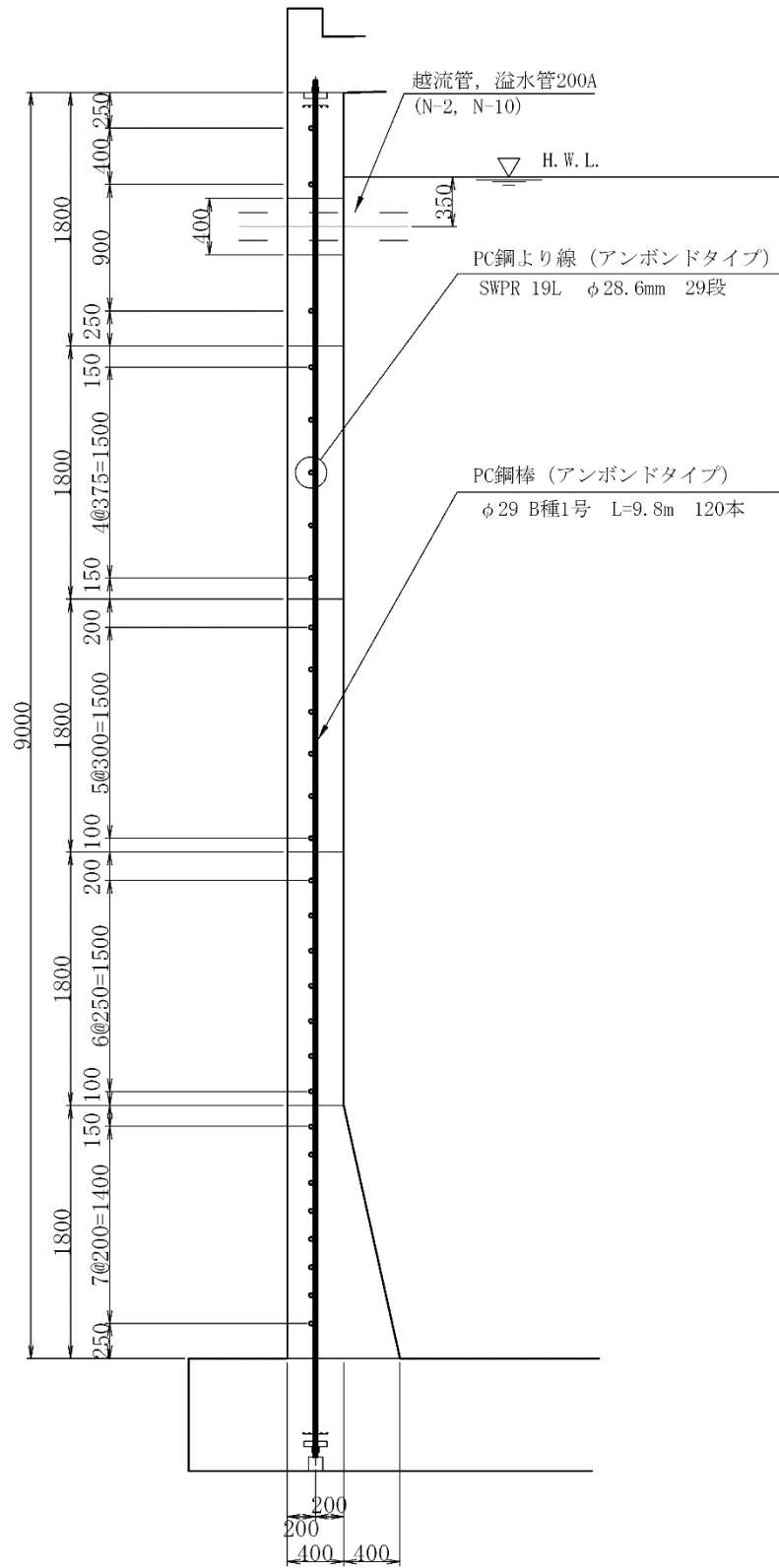


図 3.3-5 非常用ろ過水タンク PC 鋼材配置図

(3) 評価方針

非常用ろ過水タンクの評価フローを図 3.3-6 に示す。

非常用ろ過水タンクの耐震評価は、地震応答解析及び 3 次元構造解析により得られた解析結果に基づき、表 3.3-1(1)の非常用ろ過水タンクの評価項目（構造部材）に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。また、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 3.3-1(2)の非常用ろ過水タンクの評価項目（基礎地盤）に示すとおり、基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、「3.3.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いて、3次元構造解析により応答値を算定し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、各部材ごとに定める照査項目に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、「3.3.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

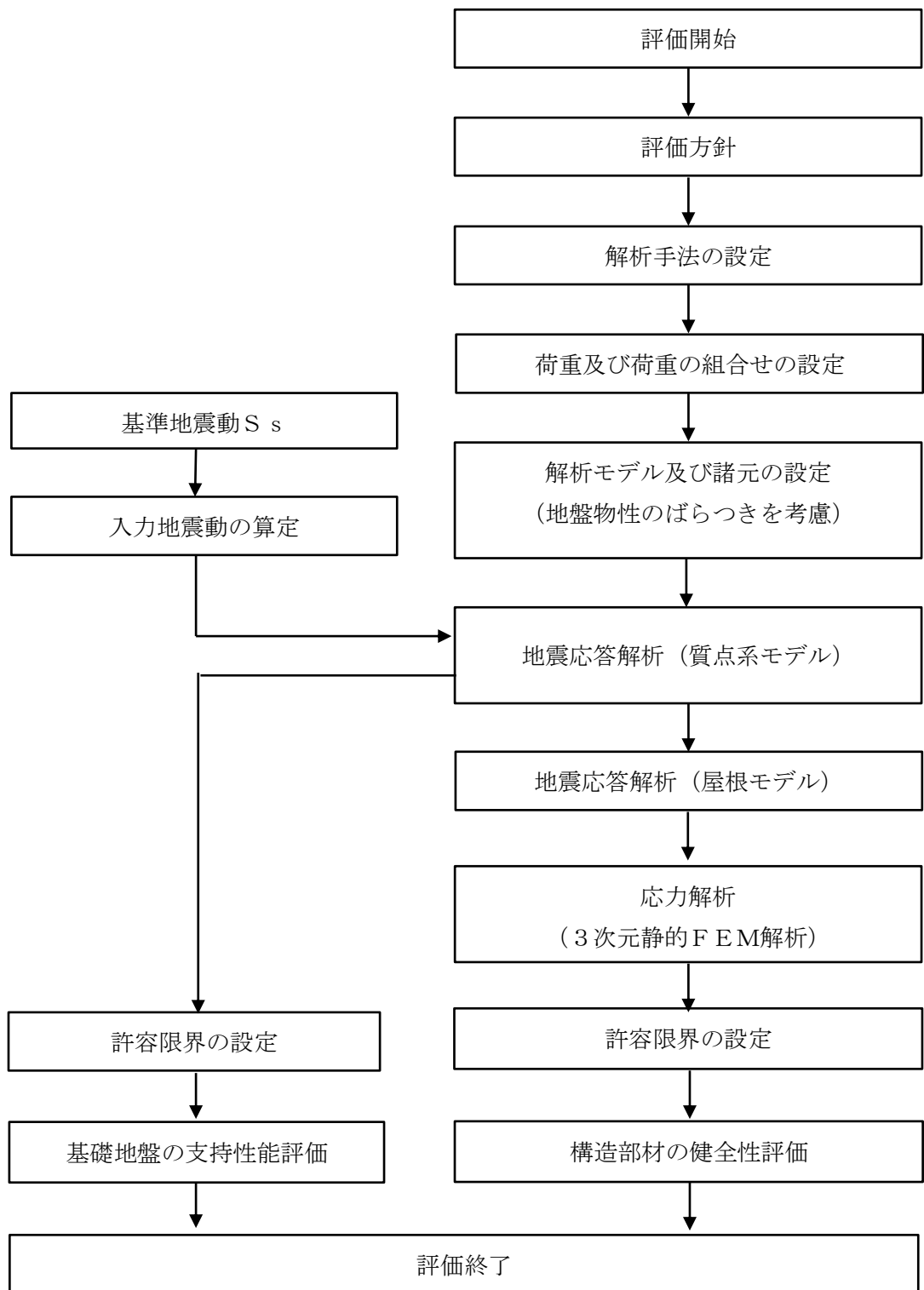


図 3.3-6 非常用ろ過水タンク 耐震評価フロー

表 3.3-1(1) 非常用ろ過水タンクの評価項目（構造部材）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	発生する応力又はひずみが許容限界を下回ることを確認	屋根 側壁 底版	曲げ軸力	終局耐力*
				せん断力	短期許容応力度

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

表 3.3-1(2) 非常用ろ過水タンクの評価項目（基礎地盤）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	基礎地盤の支持性能	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	基礎地盤	接地圧	極限支持力度*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

(4) 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針・解説
(日本水道協会, 1998年制定)
- ・水道施設耐震工法指針 (日本水道協会, 1997年制定)
- ・グラウンドアンカ設計・施工基準, 同解説 (地盤工学会, 2012年制定)
- ・建築物荷重指針 (日本建築学会, 2004年制定)
- ・容器構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010年制定)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)
- ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編) (日本道路協会, 平成14年3月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定)

3.3.2 評価部位

非常用ろ過水タンクの評価対象部材は、屋根、側壁、底版とする。評価対象部材を図 3.3-7 に示す。

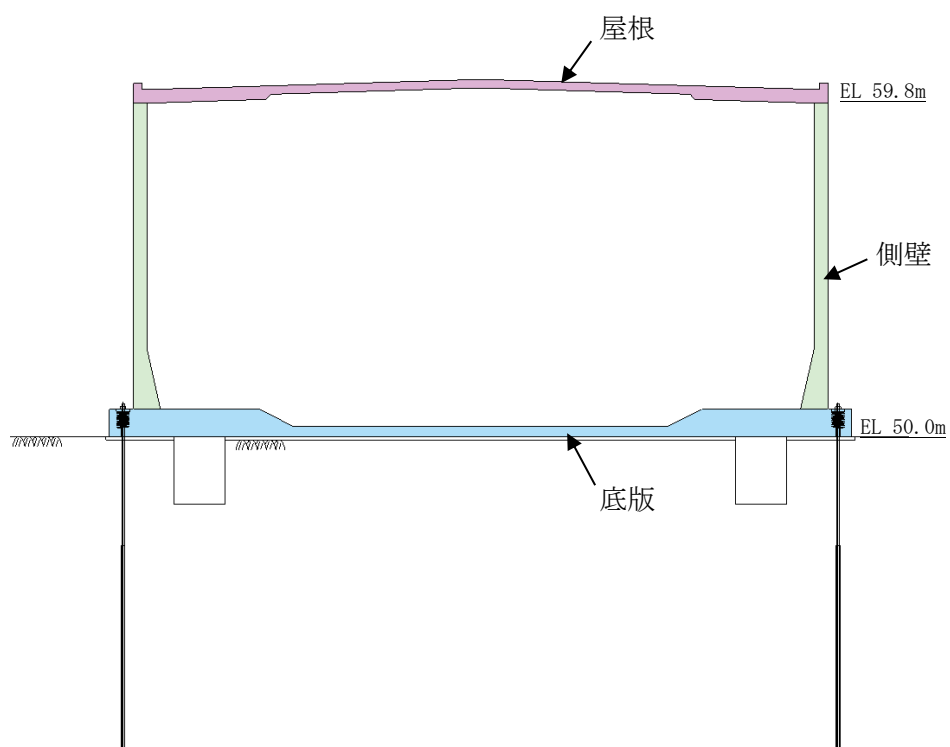


図 3.3-7 評価対象部材

3.3.3 地震応答解析及び構造強度評価

(1) 地震応答解析及び構造強度評価方法

a. 地震応答解析方法（質点系モデル）

(a) 解析方法

非常用ろ過水タンクの地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる構造物－地盤連成モデルを用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動に対してそれぞれ逐次時間積分の時刻歴応答解析を行う。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(b) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

イ. 荷重

非常用ろ過水タンクの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(イ) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(ロ) 積載荷重 (P)

積載荷重として、積雪荷重 P_s 及び「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針」における上載荷重 0.5kN/m^2 を考慮する。

(ハ) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(ニ) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

(ホ) 貯留水荷重 (W_L)

貯留水荷重については、水の単位体積重量を 9.81kN/m^3 として考慮する。

ロ. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + S_s + W_L$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

W_L : 貯留水荷重

(c) 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3.3-8 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「micorSHAKE/3D」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

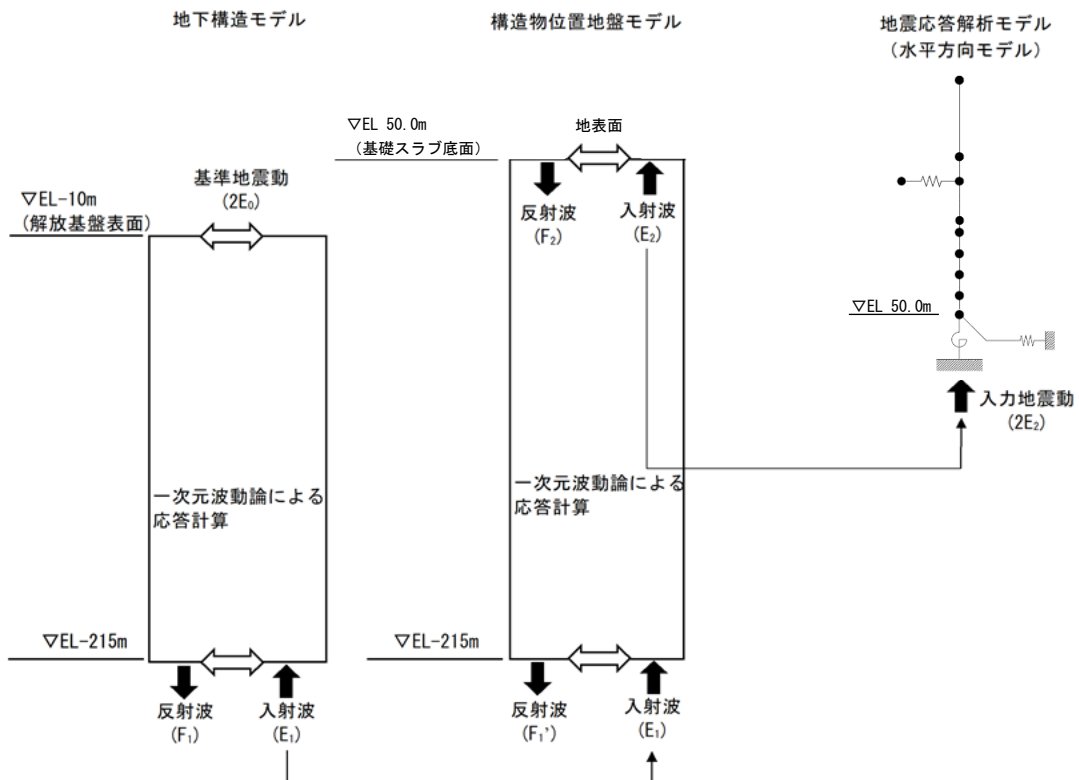
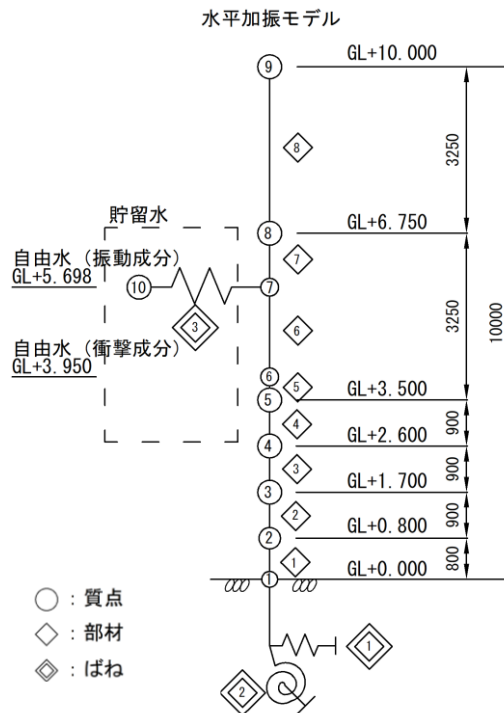


図 3.3-8 入力地震動算定の概念図

(d) 解析モデル及び諸元

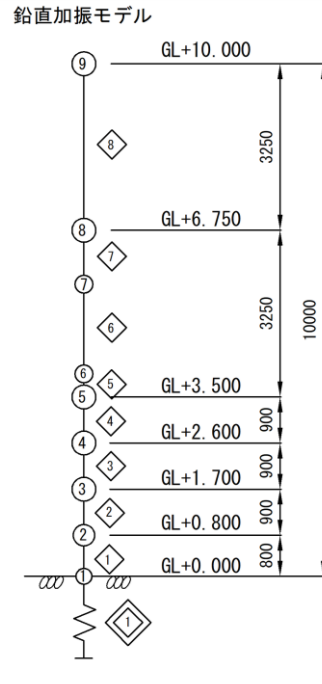
非常用ろ過水タンクの地震応答解析モデルを図 3.3-9 及び図 3.1-10 に示す。



質点 No.	レベル (G L + m)	付加重量 (kN)	回転慣性重量 (kN・m ²)
⑨	10.000	4.238×10^3	1.340×10^5
⑧	6.750	2.239×10^3	1.018×10^5
⑦・⑩	5.698 *	8.356×10^3 *	-
⑥	3.950 *	1.172×10^4 *	-
⑤	3.500	1.433×10^3	6.490×10^4
④	2.600	6.543×10^2	2.937×10^4
③	1.700	8.893×10^2	4.050×10^4
②	0.800	3.516×10^3	1.289×10^6
①	0.000	3.513×10^3	1.069×10^5

注記* : スロッシングによる影響を考慮した貯留水の等価質量及び荷重作用高さ

図 3.3-9 非常用ろ過水タンクの地震応答解析モデル (水平モデル)



質点 No.	レベル (G L + m)	付加重量 (kN)
⑨	10.000	4.238×10^3
⑧	6.750	2.239×10^3
⑦	5.698	-
⑥	3.950	-
⑤	3.500	1.433×10^3
④	2.600	6.543×10^2
③	1.700	8.893×10^2
②	0.800	2.805×10^4
①	0.000	3.513×10^3

図 3.3-10 非常用ろ過水タンクの地震応答解析モデル (鉛直モデル)

イ. 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3.3-3 に、材料の物性値を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-3 使用材料

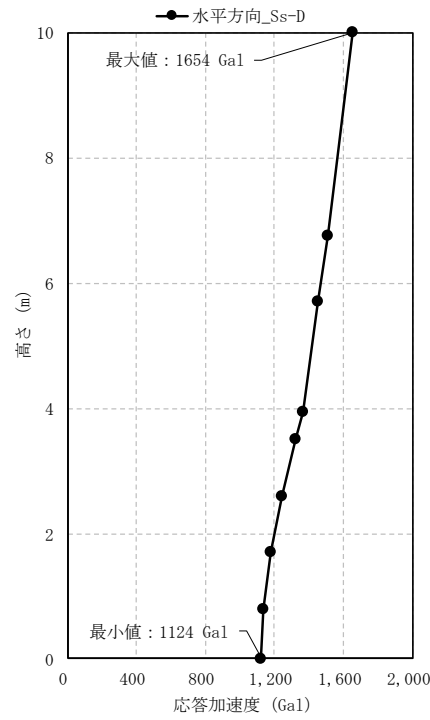
材料		仕様
屋根及び底版	コンクリート	設計基準強度 30.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
側壁	コンクリート	設計基準強度 36.0N/mm ²
	鉄筋	SD345

表 3.3-4 材料の物性値

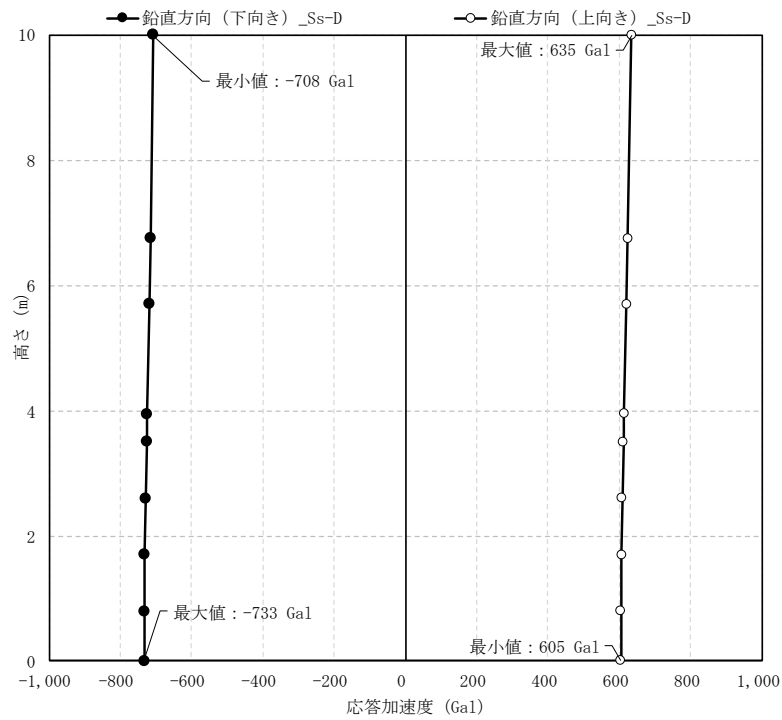
材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
屋根及び底版	2.80×10 ⁴	24.5	0.2
側壁	2.98×10 ⁴	24.5	0.2

(e) 地震応答解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、すべての基準地震動 S s に対する応答加速度分布図のうち応力解析における影響が最も大きくなるものを図 3.3-11 に示す。



(a) S s - D 水平



(b) S s - D 鉛直

図 3.3-11 最大応答加速度分布図

b. 地震応答解析方法（屋根モデル）

非常用ろ過水タンクの屋根部の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

当該タンクの屋根について、屋根端部に対して屋根中央部の応答が大きくなるといった現実的な挙動を再現するため、3次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した鉛直地震動に対して逐次時間積分の時刻歴応答解析を行う。

なお、モデル化の対象は、側壁の屋根に対する影響を考慮するため、屋根及び側壁とする。屋根及び側壁については、線形シェル要素でモデル化する。

(a) 解析方法

非常用ろ過水タンクの屋根部の地震応答解析は、「3.3.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」にて得られた応答を考慮する。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

(b) 解析モデル及び諸元

非常用ろ過水タンクの屋根部の3次元地震応答解析モデルを図3.3-12に示す。

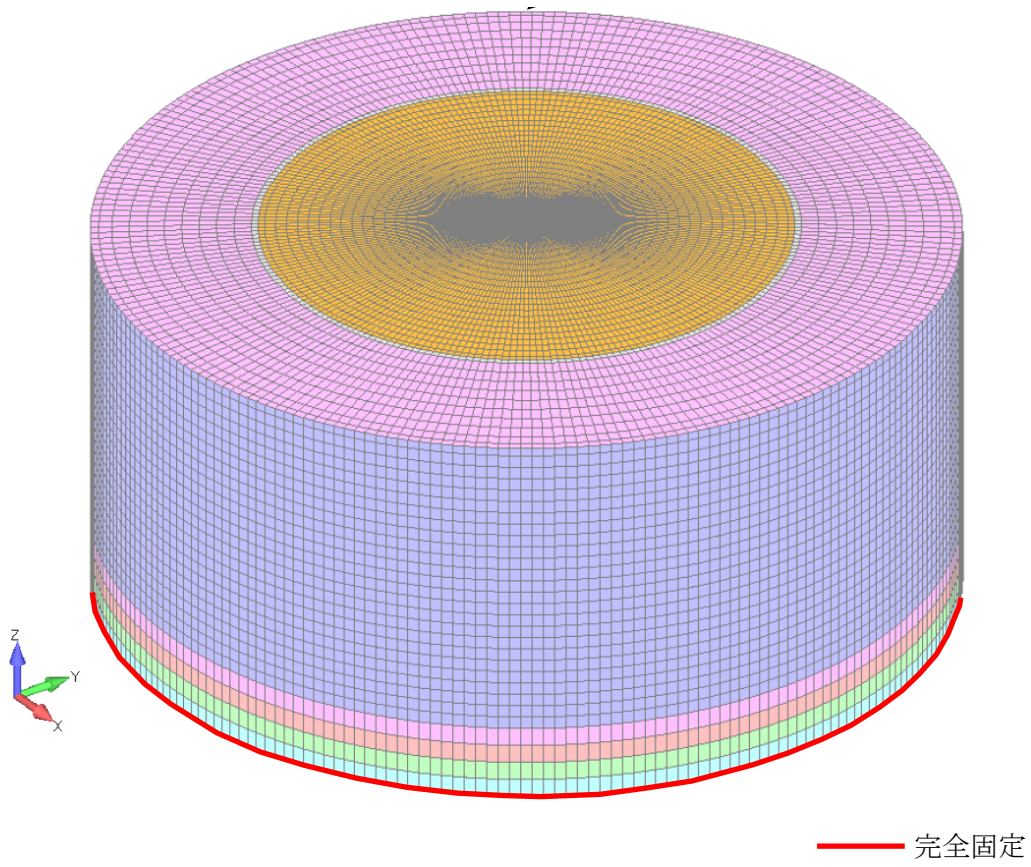


図 3.3-12 3次元地震応答解析モデル図

(c) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

イ. 荷重の種類

非常用ろ過水タンクの応力解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(イ) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(ロ) 積載荷重 (P)

積載荷重として、水圧、積雪荷重 P_s 及び「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針」における上載荷重 0.5kN/m^2 を考慮する。

(ハ) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(ニ) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。本荷重は、「3.3.3 (1) a. (a) 地震応答解析方法 (質点系モデル)」の解析結果により得られる、側壁下端部に位置する質点系モデル (鉛直) の質点2の応答加速度とする。

図 3.3-13 に、屋根モデルの入力地震動の概念図を示す。

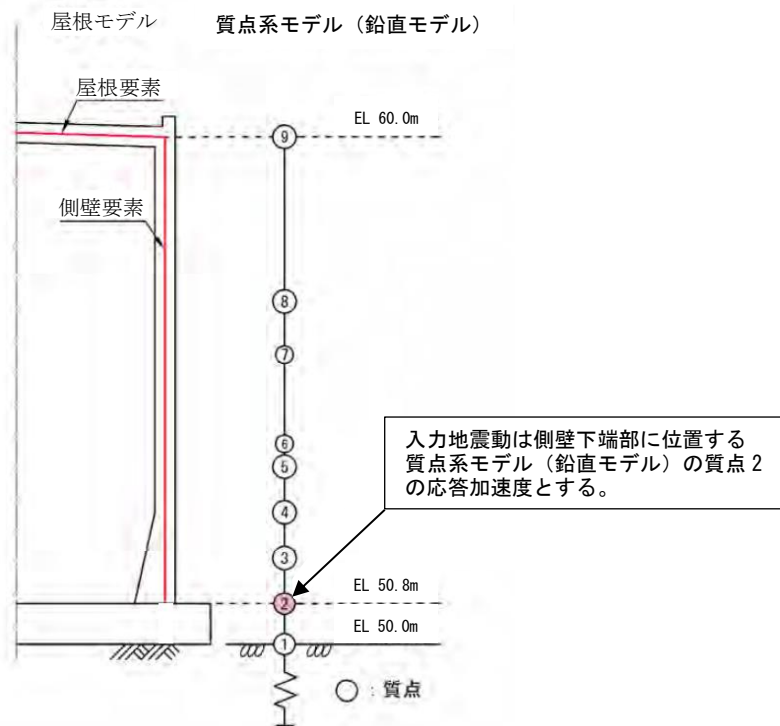


図 3.3-13 屋根モデルの入力地震動の概念図

ロ. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.3-5 に示す。

表 3.3-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + S_s$

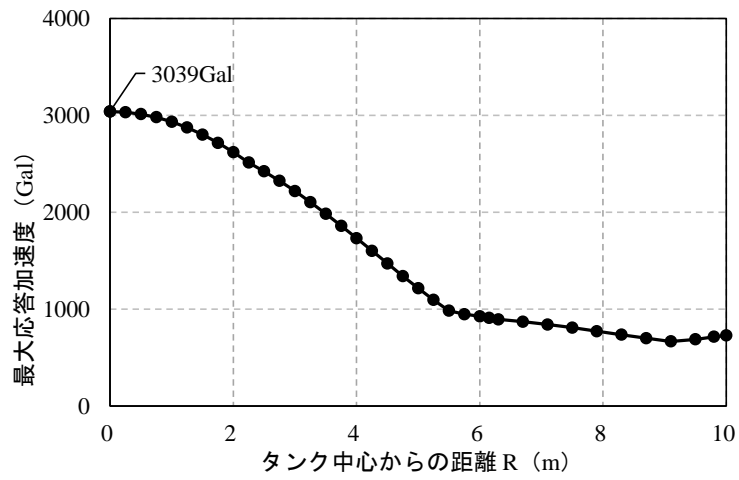
G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含む)

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

(d) 地震応答解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、すべての基準地震動 S_s に対する応答加速度分布図のうち応力解析における影響が最も大きくなるものを図 3.3-14 に示す。



(a) $S_s - D$ 鉛直

図 3.3-14 最大応答加速度分布図

c. 構造強度評価方法

非常用ろ過水タンクの応力解析として、非常用ろ過水タンクをシェル要素でモデル化した3次元静的FEM解析を行う。

非常用ろ過水タンクの応力解析は、「3.3.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」より、非常用ろ過水タンクの耐震性に最も影響を及ぼす地震動（S_s-D）から求めた震度（水平・鉛直）を躯体重量に掛け合わせ、3次元静的FEM解析の解析モデルに作用させる慣性力を算定する。

慣性力については、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて検討する。

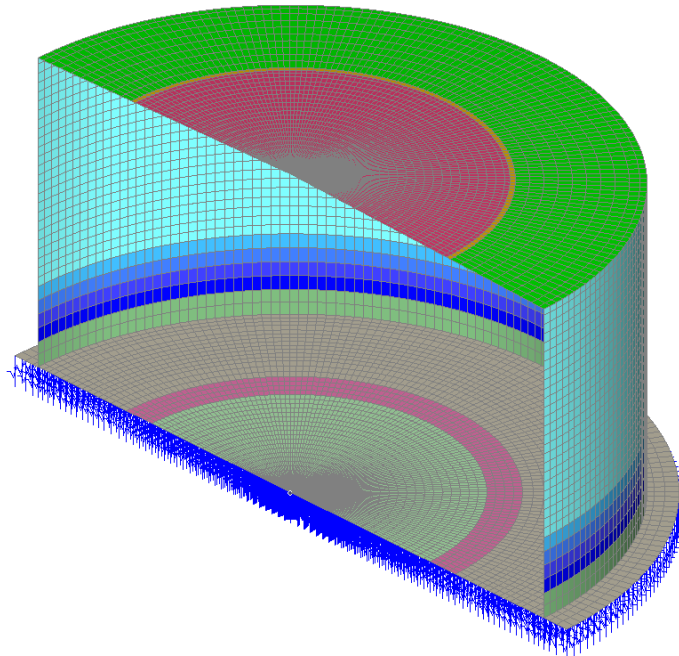
(a) 解析方法

非常用ろ過水タンクの3次元構造解析は、「3.3.3 (1) a. (e) 地震応答解析結果」及び「3.3.3 (1) b. (d) 地震応答解析結果」により得られた応答値に基づき、水平2方向及び鉛直方向の地震荷重を設定し、各構造部材について、曲げ軸力及びせん断力に対する照査を実施する。

応力解析には「TDAPIII」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(b) 解析モデルの諸元

非常用ろ過水タンクの解析モデルを図3.3-15に示す。



注：解析モデルの内、0°～180°範囲のみ表示している。

図 3.3-15 解析モデル

(c) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

イ. 荷重の種類

非常用ろ過水タンクの耐震安全性評価において、考慮する荷重を以下に示す。

(イ) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(ロ) 積載荷重 (P)

積載荷重として、水圧、積雪荷重 P_s 及び「水道用プレストレストコンクリートタンク設計施工指針」における上載荷重 0.5kN/m^2 を考慮する。

(ハ) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(ニ) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(ホ) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

(ヘ) プレストレス力 (PS)

解析に inputs プレストレス力は、鉛直方向プレストレスは軸方向力として、円周方向プレストレスは腹圧 (タンク中心へ向かう方向の荷重) として入力する。なお、プレストレスの導入は、屋根を打設する前に行うため、プレストレス力を載荷する際の解析モデルは、屋根をモデル化しないものとする。

(ト) せん断キー荷重 (SK)

せん断キーによる非常用ろ過水タンクとの接続部に生じる反力として、せん断力及び曲げモーメントを考慮することとし、「道路橋示方書・同解説 (IV 下部構造編)」に基づき設定する。

(チ) グラウンドアンカ力 (GA)

グラウンドアンカによる荷重は、1本あたり $1,300\text{kN}$ とする。

ロ. 荷重の組合せ

荷重の組合せを 3.3-6 に示す。

表 3.3-6(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + P _k + S _s + P _S + S _K + G _A

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含む)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

P_S : プレストレス力

S_K : せん断キー荷重

G_A : グラウンドアンカ力

表 3.3-6(2) 荷重の組合せ (解析ケース一覧)

地震荷重の組合せ*	解析ケース番号
H+1.0, H+0.4, V+0.4	①-1
H+1.0, H+0.4, V-0.4	①-2
H+0.4, H+0.4, V+1.0	①-3
H+0.4, H+0.4, V-1.0	①-4

注記* : Hは水平地震動による荷重, Vは鉛直動による荷重を示す。

鉛直方向の符号は, +が上向きの荷重, -が下向きの荷重を示す。

(d) 許容限界

イ. 非常用ろ過水タンクの健全性に対する許容限界

(イ) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

非常用ろ過水タンクの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）に基づき、曲げ耐力とする。

(ロ) せん断破壊に対する許容限界

非常用ろ過水タンクのせん断破壊に対する許容限界を表 3.3-7 に示す。せん断破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）に基づき、短期許容応力度とする。

表 3.3-7 せん断破壊に対する許容限界

確認項目	部位	許容限界 (N/mm ²)	
構造強度を有すること	屋根及び底版	短期許容応力度	0.75
	側壁		0.76

ロ. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3.3-8 に示す。

表 3.3-8 非常用ろ過水タンクの許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _L 級岩盤	3.9

3.3.4 評価結果

(1) 構造部材の健全性に対する評価結果（屋根、側壁及び底版）

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 3.3-9 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 3.3-10 に示す。

非常用過水タンクの構造部材の発生応力度又は発生力が許容限界以下であることを確認した。

表 3.3-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	曲げ耐力 (kN・m/m)	照査値
屋根	1	①-4	Ss-D (++)	88	139	0.64
側壁	2	①-1	Ss-D (++)	636	884	0.72
底版	3	①-2	Ss-D (++)	227	316	0.72

注記*：評価位置は図 3.3-16 に示す。

表 3.3-10 せん断破壊に対する最大照査値

評価位置*		解析 ケース	地震動	発生応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	照査値
屋根	1	①-4	Ss-D (++)	0.40	0.75	0.54
側壁	2	①-4	Ss-D (++)	0.64	0.76	0.85
底版	3	①-1	Ss-D (++)	0.55	0.75	0.74

注記*：評価位置は図 3.3-16 に示す。

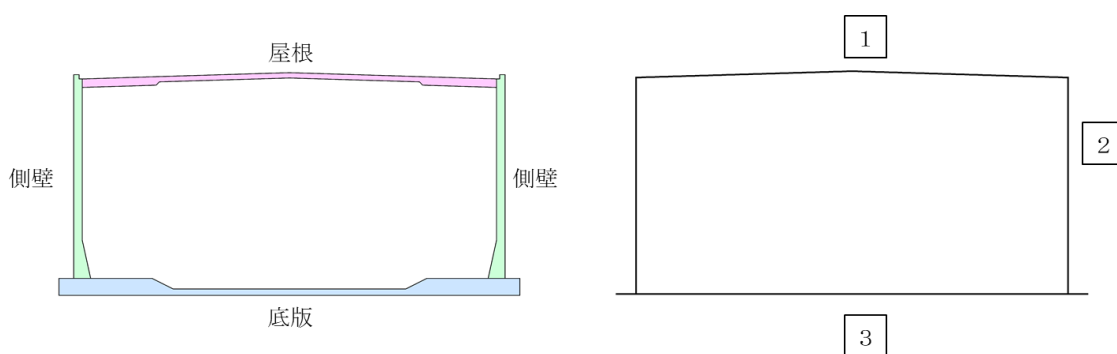


図 3.3-16 評価位置

(2) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 3.3-11 に示す。

非常用過水タンクの基礎地盤に発生する最大接地圧が、許容限界を下回ることを確認した。

表 3.3-11 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

解析 ケース	地震動	最大接地圧 (N/mm ²)	極限支持力度 (N/mm ²)	照査値
①-2	Ss-D (++)	1.1	3.9	0.29

3.4 輪谷貯水槽（西側）

3.4.1 一般事項

本章では輪谷貯水槽（西側）の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対して発生応力が許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能評価にあたっては、地震応答解析により得られた基礎地盤の接地圧が、許容限界を下回ることを確認する。

(1) 配置概要

輪谷貯水槽（西側）の位置図を図 3.4-1 に示す。

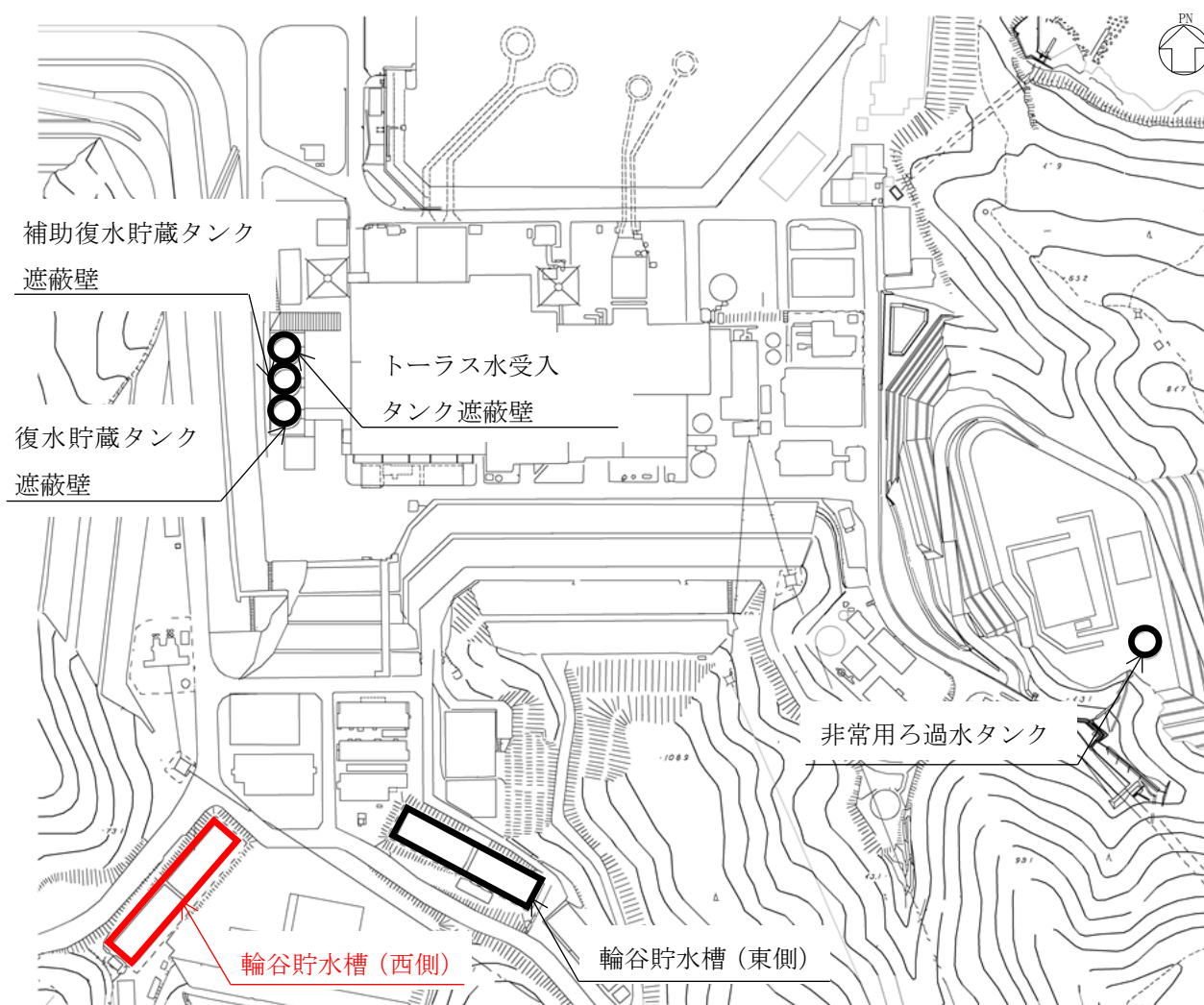


図 3.4-1 輪谷貯水槽（西側）位置図

(2) 構造計画

輪谷貯水槽（西側）の平面図を図 3.4-2 に、断面図を図 3.4-3 に、概略配筋図を図 3.4-4 に示す。

輪谷貯水槽（西側）は、既設輪谷貯水槽内に新設された鉄筋コンクリート造の箱型構造物である。

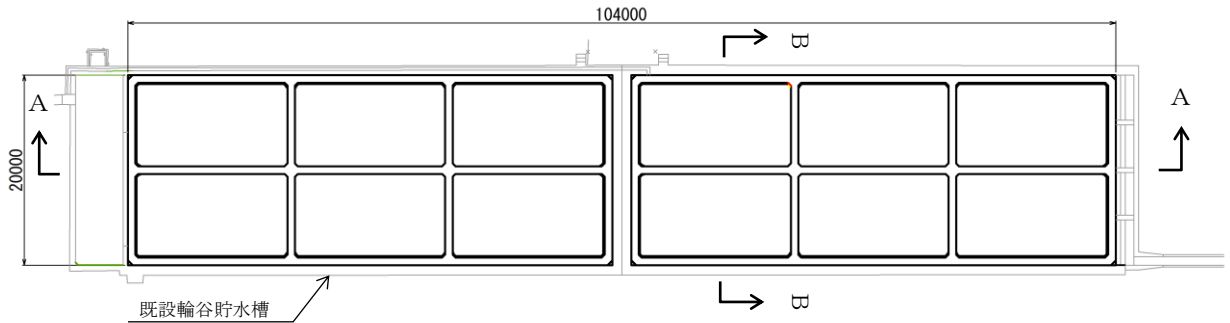


図 3.4-2 輪谷貯水槽（西側） 平面図 (単位: mm)

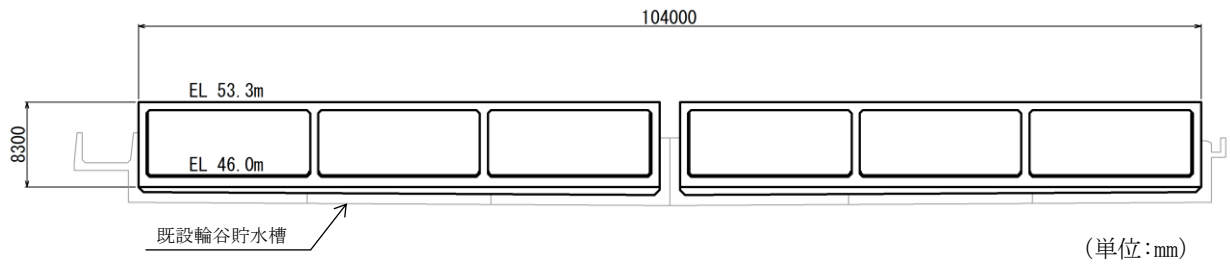


図 3.4-3(1) 輪谷貯水槽（西側） 断面図（A-A断面）

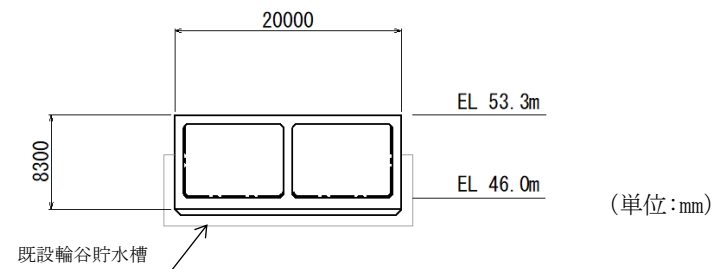
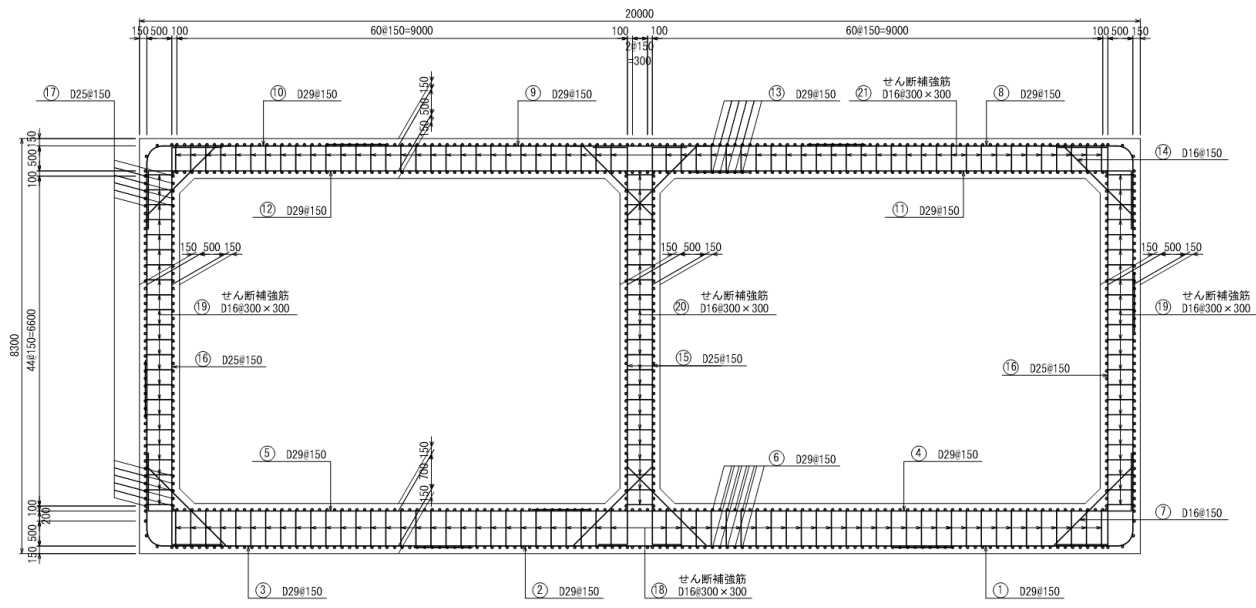


図 3.4-3(2) 輪谷貯水槽（西側） 断面図（B-B断面）



(單位: mm)

図 3.4-4 輪谷貯水槽 (西側) 概略配筋図

(2) 評価方針

輪谷貯水槽（西側）の耐震評価フローを図 3.4-5 に示す。

輪谷貯水槽（西側）の耐震評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 3.4-1(1)の輪谷貯水槽（西側）の評価項目（構造部材）に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。また、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 3.4-1(2)の輪谷貯水槽（西側）の評価項目（基礎地盤）に示すとおり、基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、「3.4.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いて応答値を算定し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、「3.4.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

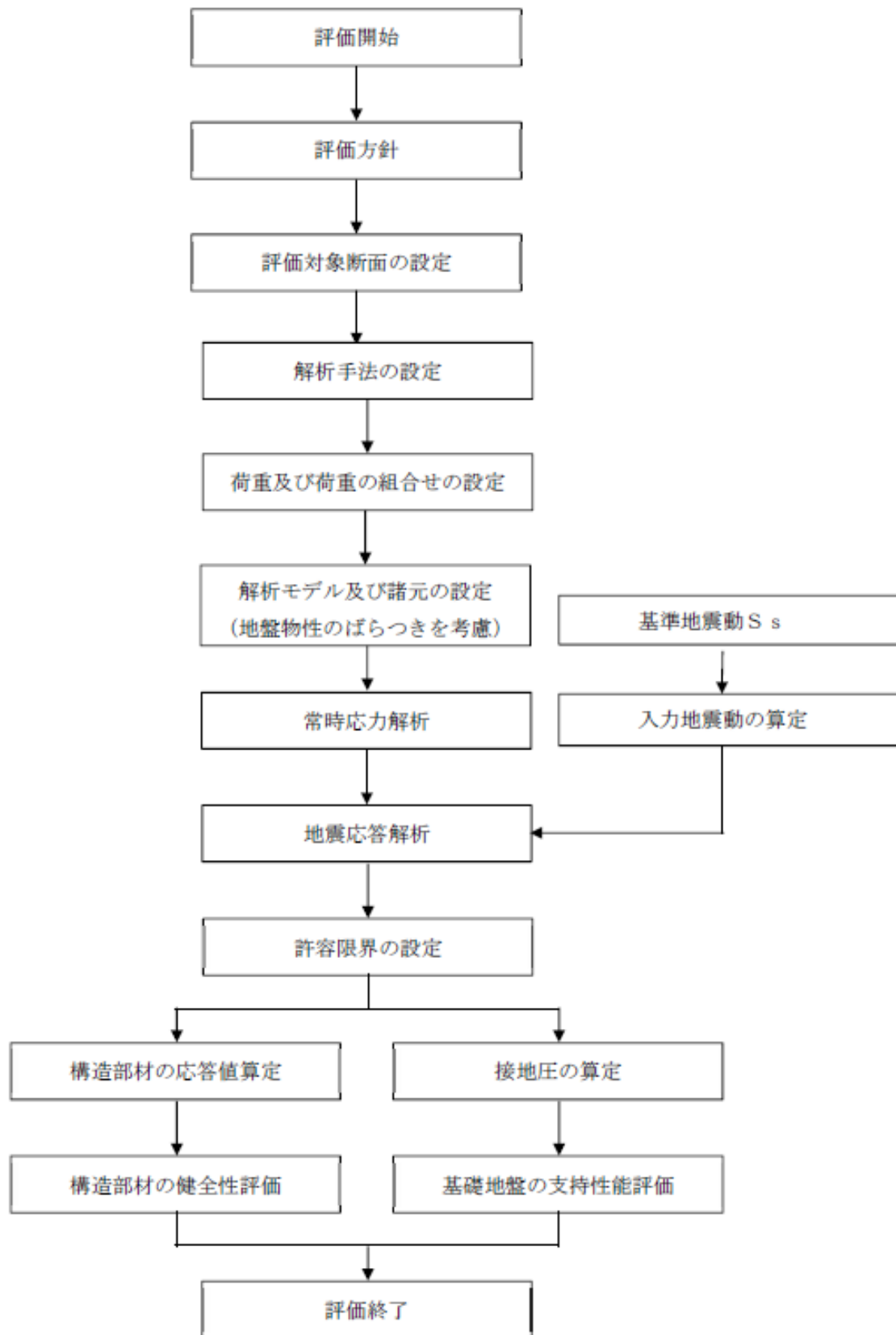


図 3.4-5 輪谷貯水槽（西側）の耐震評価フロー

表 3.4-1(1) 輪谷貯水槽（西側）の評価項目（構造部材）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	頂版 側壁 隔壁 底版	曲げ軸力	圧縮縁コンクリートひずみ*
				せん断力	せん断耐力*

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

表 3.4-1(2) 輪谷貯水槽（西側）の評価項目（基礎地盤）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	基礎地盤の支持性能	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	基礎地盤	接地圧	極限支持力度*

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

(4) 適用規格・基準等

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 (日本電気協会)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)
- ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編) (日本道路協会, 平成 14 年 3月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)
- ・コンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会, 2007 年制定)

3.4.2 評価部位

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、頂版、側壁、隔壁及び底版とする。評価対象部位を図 3.4-6 に示す。

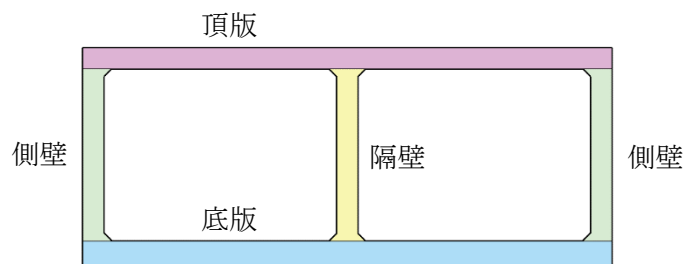


図 3.4-6 評価対象部位

3.4.3 地震応答解析及び構造強度評価

(1) 地震応答解析及び構造強度評価方法

a. 地震応答解析方法

(a) 解析方法

輪谷貯水槽（西側）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形解析により行う。輪谷貯水槽（西側）は、施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析については、解析コード「TDA P III」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(b) 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3.4-7 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

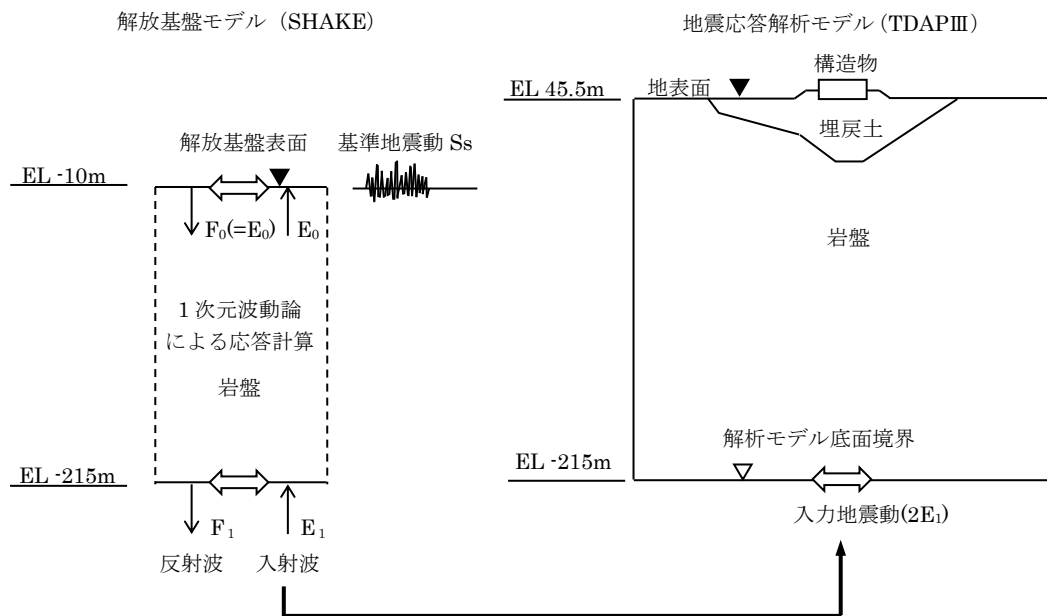


図 3.4-7 入力地震動作成の概念図

d. 解析モデル及び諸元

輪谷貯水槽（西側）の地震応答解析モデルを図 3.4-8 に示す。

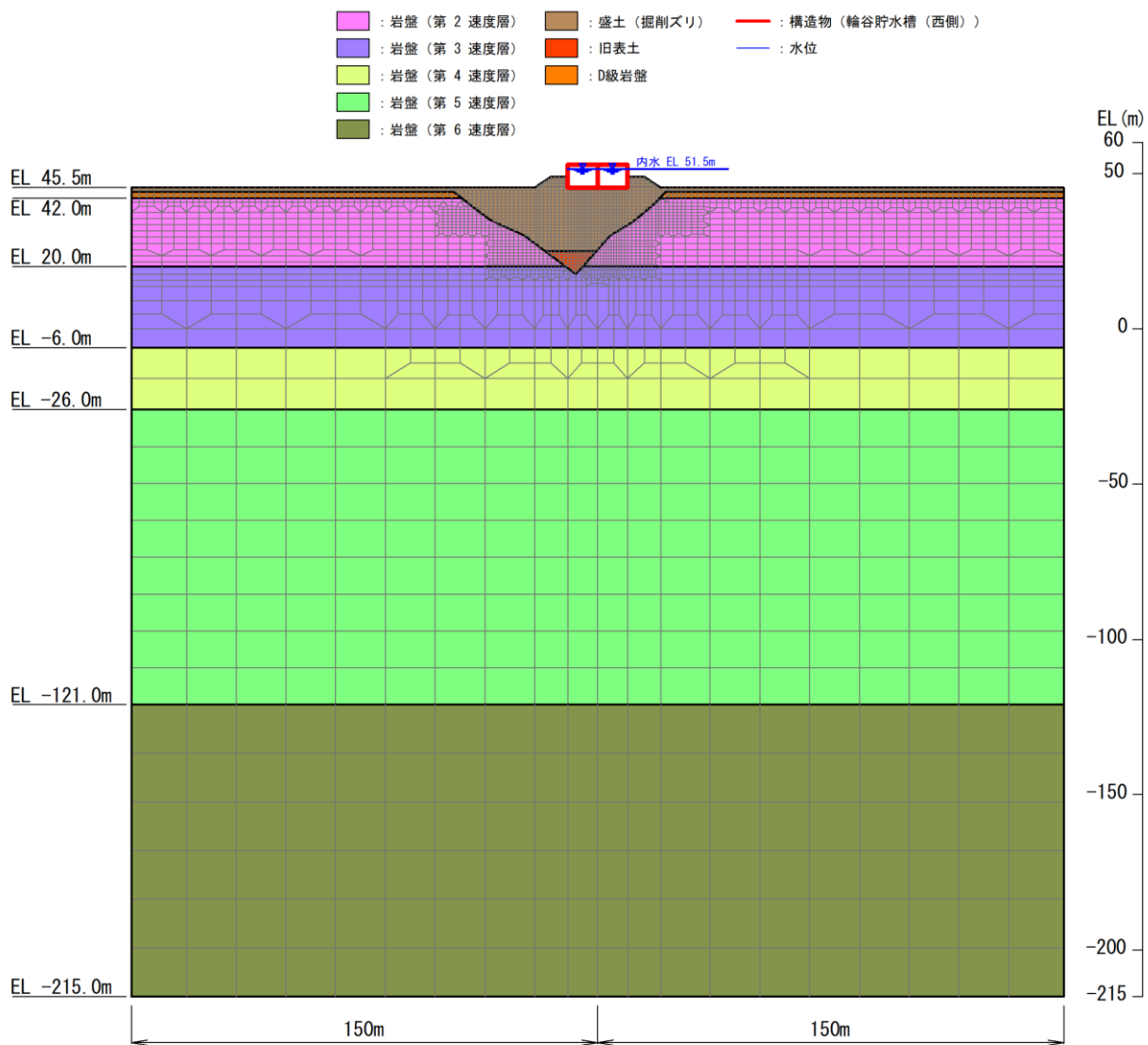


図 3.4-8(1) 輪谷貯水槽（西側） 地震応答解析モデル図（弱軸方向断面）

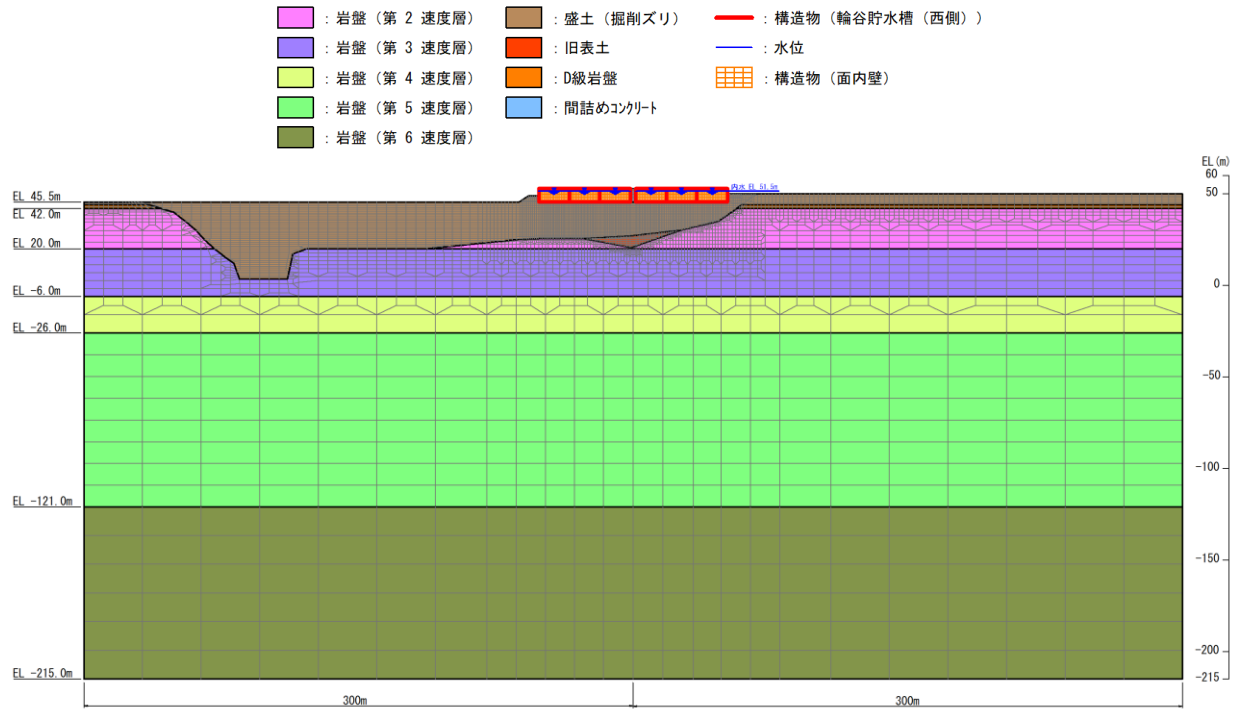


図 3.4-8(2) 輪谷貯水槽 (西側) 地震応答解析モデル図 (強軸方向断面)

イ. 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3.4-2 に、材料の物性値を表 3.4-3 に示す。

表 3.4-2 使用材料

材料		仕様
輪谷貯水槽（西側）	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD345

表 3.4-3 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
輪谷貯水槽（西側）	2.5×10 ⁴	24.0	0.2

(2) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

a. 荷重の種類

輪谷貯水槽（西側）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(a) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重，機器・配管荷重を考慮する。

(b) 積載荷重（P）

積載荷重として，土圧，水圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(c) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として，発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については，松江市建築基準法施行細則により，積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(d) 風荷重（ P_k ）

風荷重については，設計基準風速を 30m/s とし，建築基準法に基づき算定する。

(e) 土石流堆積荷重（ P_{Ed} ）

輪谷貯水槽（西側）周辺は，国土数値情報 土砂災害危険箇所データ（国土交通省国土政策局）によると土石流危険区域にあることから，土石流堆積荷重を考慮する。

(f) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.4-4 に示す。

表 3.4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + P_{Ed} + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含む。)

P_k : 風荷重

P_{Ed} : 土石流堆積荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

(3) 許容限界

a. 輪谷貯水槽（西側）の健全性に対する許容限界

(a) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（西側）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%）とする。

(b) せん断破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（西側）のせん断破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2007年）に基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

b. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、基礎地盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3.4-5 に示す。

表 3.4-5 輪谷貯水槽（西側）の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	埋戻土	1.2

3.4.4 評価結果

弱軸方向断面の照査結果の最大照査値を表 3.4-6～表 3.4-8 に示す。また、強軸方向断面の照査結果の最大照査値を表 3.4-9～表 3.4-11 に示す。

(1) 弱軸方向断面

表 3.4-6 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

地震動	照査用ひずみ* ε_d (—)	限界ひずみ ε_a (—)	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_a$
S s - F 2 (++)	897 μ	10000 μ	0.09

注記*：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ ε × 構造解析係数 γ_a

表 3.4-7 せん断破壊に対する最大照査値

地震動	せん断力* V_d (kN/m)	せん断耐力 V_a (kN/m)	照査値 V_d / V_a
S s - N 1 (++)	363	653	0.57

注記*：照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

表 3.4-8 支持性能に対する最大照査値

地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P / P_u
S s - F 2 (++)	0.76	1.2	0.64

(2) 強軸方向断面

表 3.4-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

地震動	照査用ひずみ* ε_d (-)	限界ひずみ ε_a (-)	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_a$
S s - D (++)	56 μ	10000 μ	0.01

注記* : 照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ ε × 構造解析係数 γ_a

表 3.4-10 せん断破壊に対する最大照査値

地震動	せん断力* V_d (kN/m)	せん断耐力 V_a (kN/m)	照査値 V_d / V_a
S s - D (++)	130	844	0.16

注記* : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

表 3.4-11 支持性能に対する最大照査値

地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P / P_u
S s - D (++)	0.75	1.2	0.63

3.5 輪谷貯水槽（東側）

3.5.1 一般事項

本章では輪谷貯水槽（東側）の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対して発生応力が許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能評価にあたっては、地震応答解析により得られた基礎地盤の接地圧が、許容限界を下回ることを確認する。

(1) 配置概要

輪谷貯水槽（東側）の位置図を図 3.5-1 に示す。

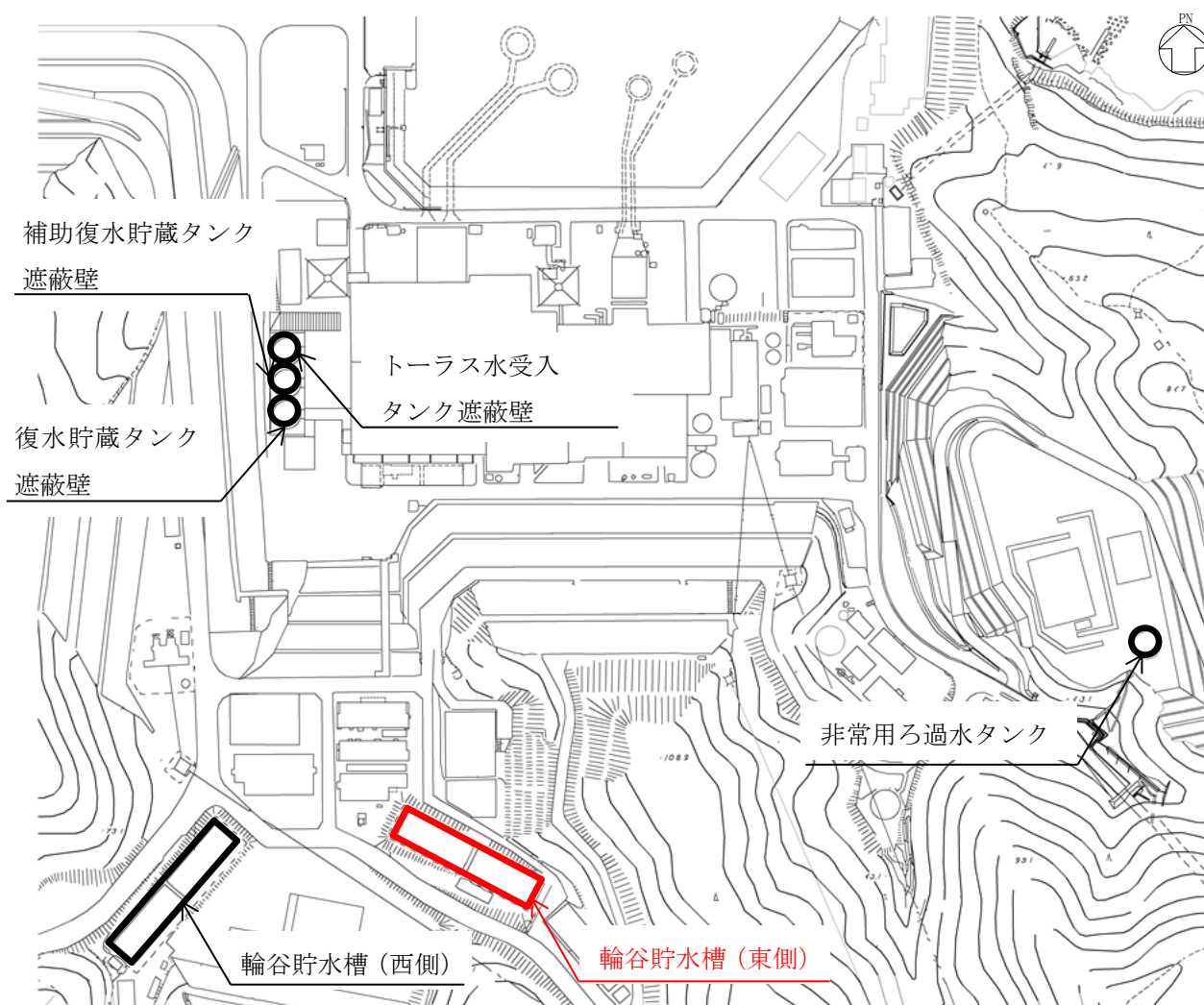


図 3.5-1 輪谷貯水槽（東側）位置図

(2) 構造計画

輪谷貯水槽（東側）の平面図を図 3.5-2 に、断面図を図 3.5-3 に、概略配筋図を図 3.5-4 に示す。

輪谷貯水槽（東側）は、鉄筋コンクリート造の箱型構造物である。

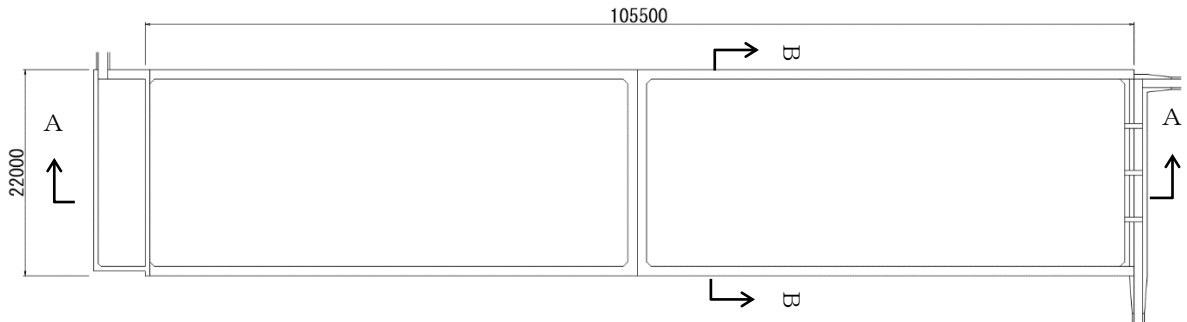
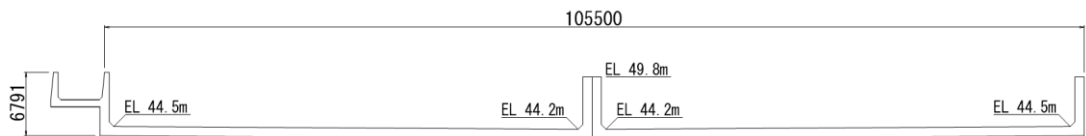


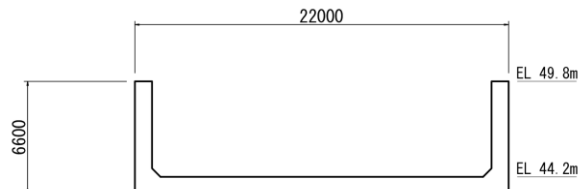
図 3.5-2 輪谷貯水槽（東側） 平面図

(単位:mm)



(単位:mm)

図 3.5-3(1) 輪谷貯水槽（東側） 断面図（A-A断面）



(単位:mm)

図 3.5-3(2) 輪谷貯水槽（東側） 断面図（B-B断面）

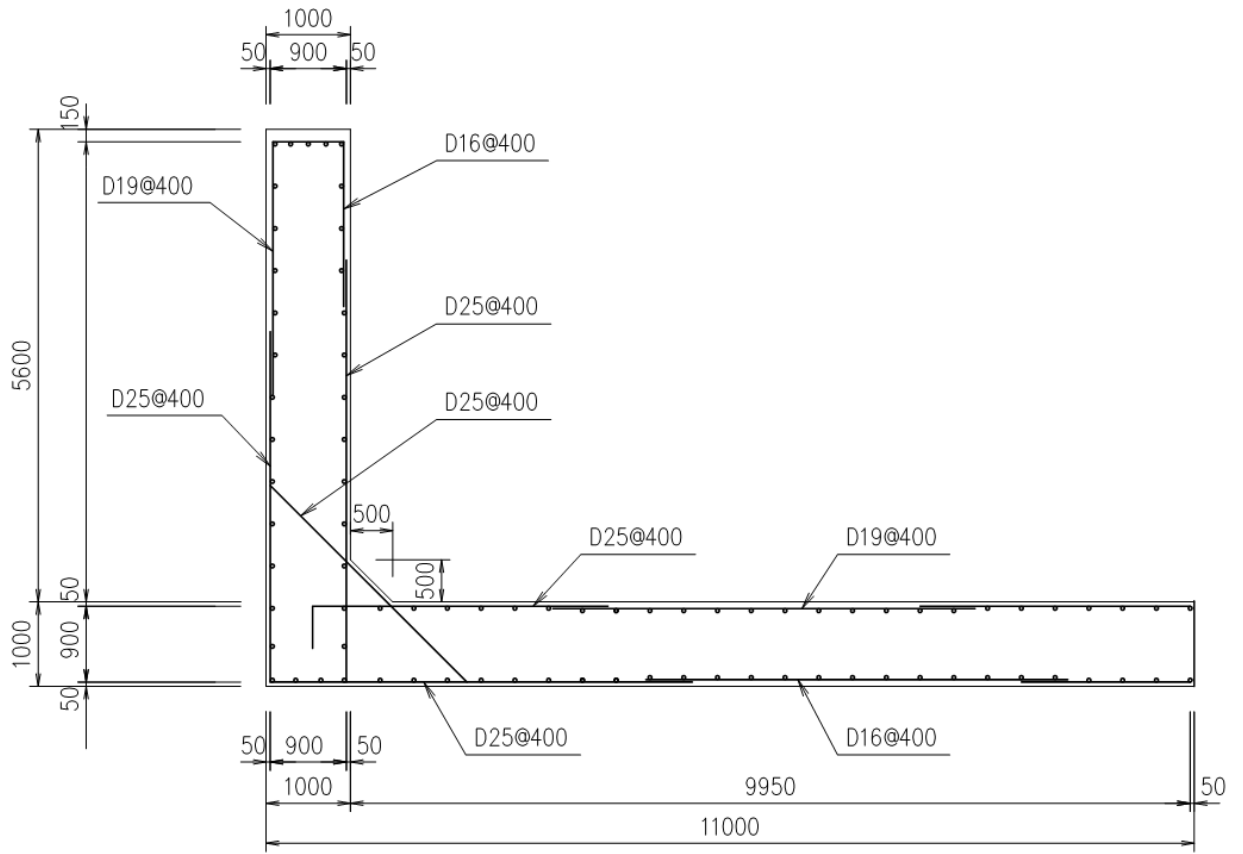


図 3.5-4 輪谷貯水槽（東側） 概略配筋図

(3) 評価方針

輪谷貯水槽（東側）の耐震評価フローを図 3.5-5 に示す。

輪谷貯水槽（東側）の耐震評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 3.5-1(1)の輪谷貯水槽（東側）の評価項目（構造部材）に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。また、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 3.5-1(2)の輪谷貯水槽（東側）の評価項目（基礎地盤）に示すとおり、基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、「3.5.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いて応答値を算定し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、「3.5.3 地震応答解析及び構造強度評価」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

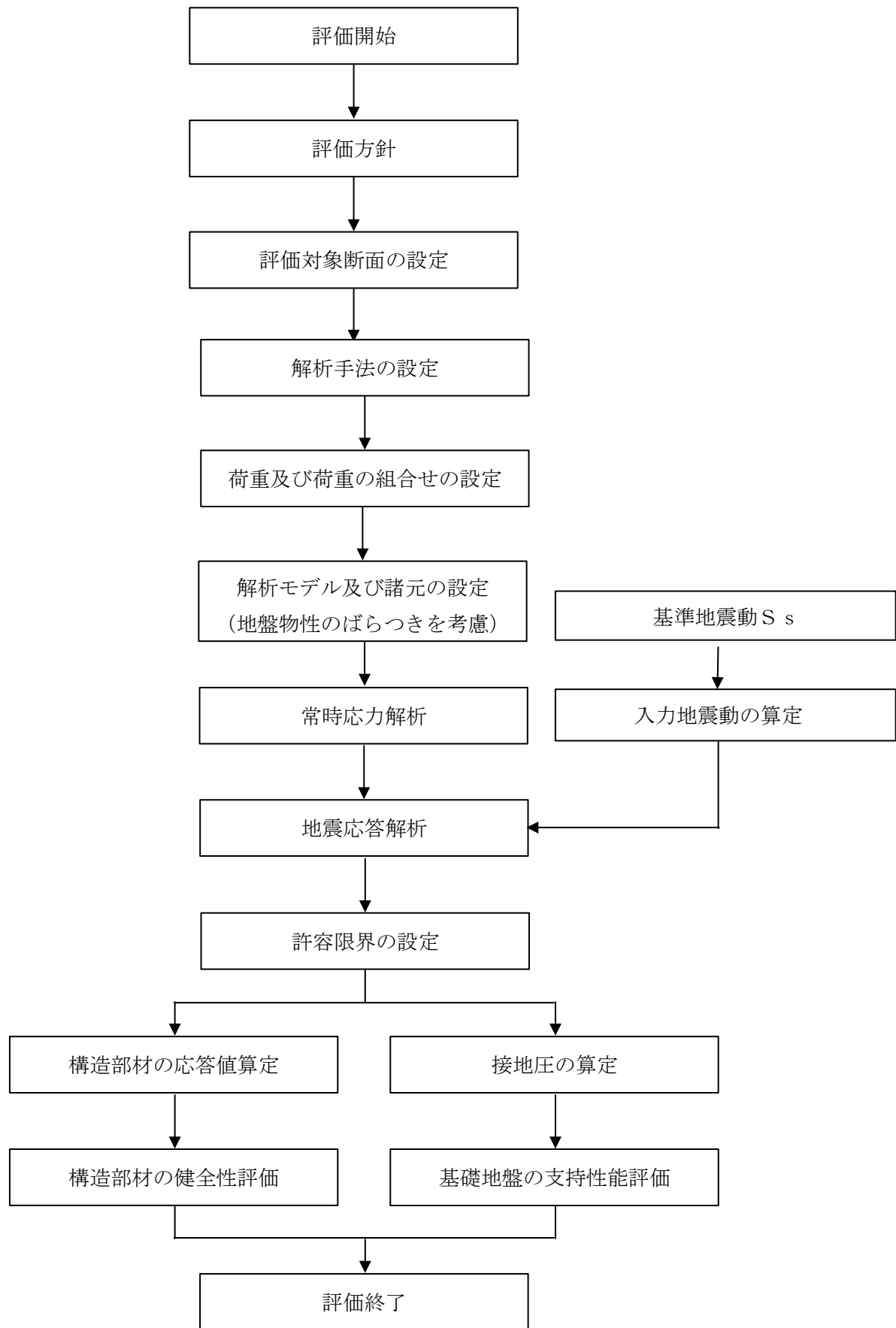


図 3.5-5 輪谷貯水槽（東側）の耐震評価フロー

表 3.5-1(1) 輪谷貯水槽（東側）の評価項目（構造部材）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	側壁 底版	曲げ軸力	圧縮縁コンクリートひずみ*
				せん断力	せん断耐力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

表 3.5-1(2) 輪谷貯水槽（東側）の評価項目（基礎地盤）

評価方針	評価項目	評価方法	部位	許容限界	
構造強度を有すること	基礎地盤の支持性能	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	基礎地盤	接地圧	極限支持力度*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

(4) 適用規格・基準等

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 (日本電気協会)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)
- ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編) (日本道路協会, 平成 14 年 3月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)
- ・コンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会, 2007 年制定)

3.5.2 評価部位

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、側壁及び底版とする。評価対象部位を図3.5-6に示す。

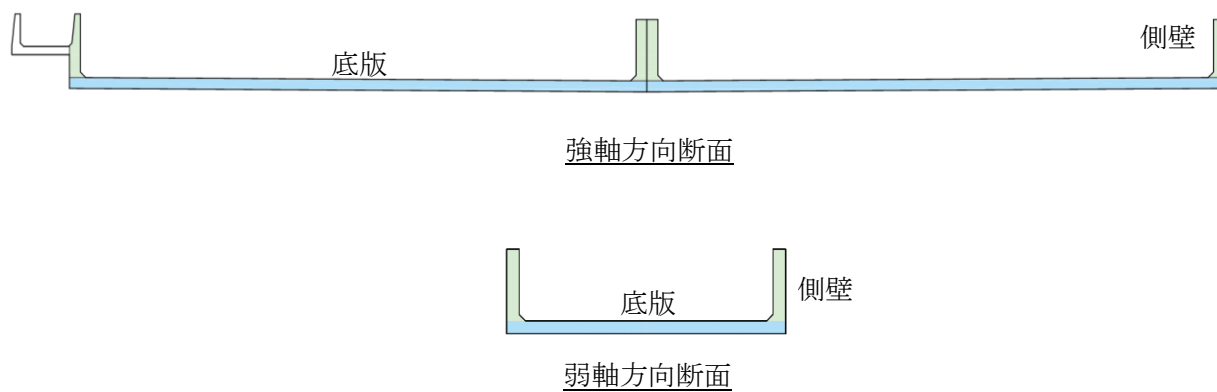


図 3.5-6 評価対象部位

3.5.3 地震応答解析及び構造強度評価

(1) 地震応答解析及び構造強度評価方法

a. 地震応答解析方法

(a) 解析方法

輪谷貯水槽（東側）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形解析により行う。輪谷貯水槽（東側）は、施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(b) 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3.5-7 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

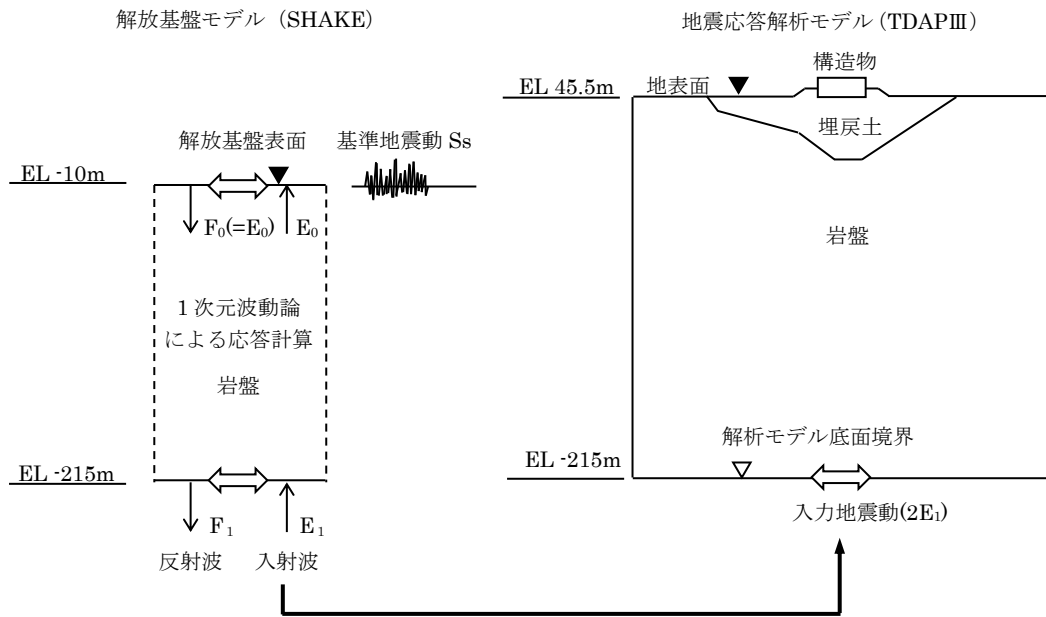


図 3.5-7 入力地震動作成の概念図

d. 解析モデル及び諸元

輪谷貯水槽（東側）の地震応答解析モデルを図 3.5-8 に示す。

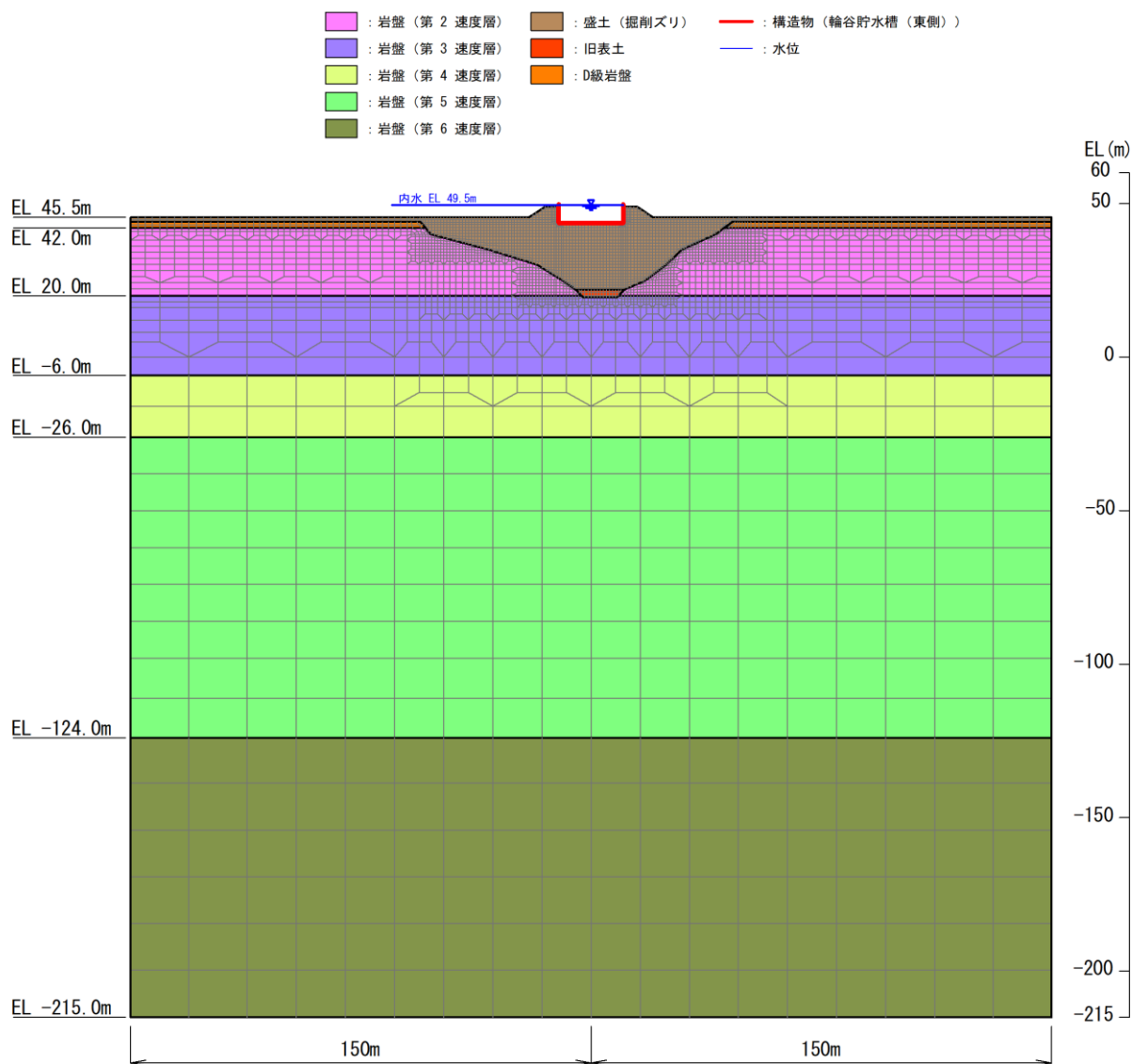


図 3.5-8(1) 輪谷貯水槽（東側） 地震応答解析モデル図（弱軸方向断面）

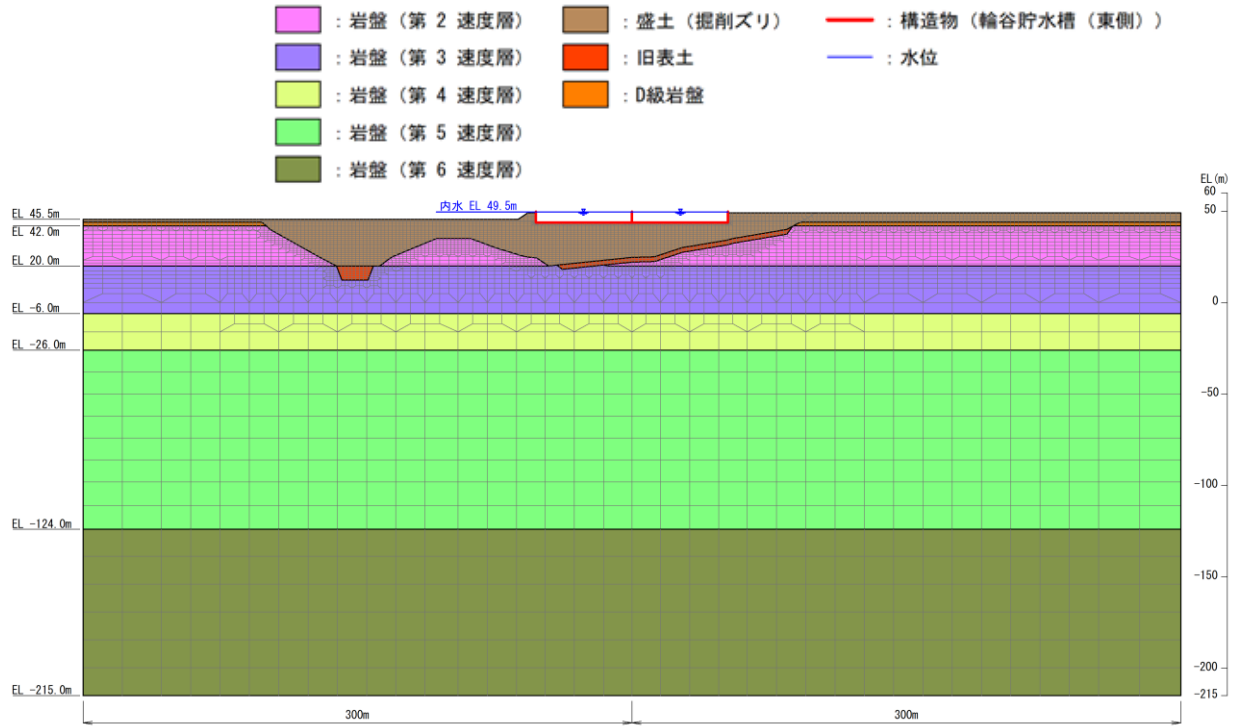


図 3.5-8(2) 輪谷貯水槽 (東側) 地震応答解析モデル図 (強軸方向断面)

イ. 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3.5-2 に、材料の物性値を表 3.5-3 に示す。

表 3.5-2 使用材料

材料		仕様
輪谷貯水槽（東側）	コンクリート	設計基準強度 17.7N/mm ²
	鉄筋	SR235

表 3.5-3 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
輪谷貯水槽（東側）	2.19×10 ⁴	24.0	0.2

(2) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

a. 荷重の種類

輪谷貯水槽（東側）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(a) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(b) 積載荷重（P）

積載荷重として、土圧、水圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(c) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(d) 風荷重（ P_k ）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

(e) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3.5-4に示す。

表 3.5-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（ S_s ）	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重（積雪荷重 P_s を含む。）

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重（基準地震動 S_s ）

(3) 許容限界

a. 輪谷貯水槽（東側）の健全性に対する許容限界

(a) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（東側）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

(b) せん断破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（東側）のせん断破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2007年）に基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

b. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、基礎地盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表3.5-5に示す。

表 3.5-5 輪谷貯水槽（東側）の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	埋戻土	1.2

3.5.4 評価結果

弱軸方向断面の照査結果の最大照査値を表 3.5-6～表 3.5-8 に示す。また、強軸方向断面の照査結果の最大照査値を表 3.5-9～表 3.5-11 に示す。

(1) 弱軸方向断面

表 3.5-6 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

地震動	照査用ひずみ* ε_d (—)	限界ひずみ ε_a (—)	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_a$
S s - D (++)	473 μ	10000 μ	0.05

注記* : 照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ ε × 構造解析係数 γ_a

表 3.5-7 せん断破壊に対する最大照査値

地震動	せん断力* ¹ V_d (kN/m)	せん断耐力* ² V_a (kN/m)	照査値 V_d / V_a
S s - D (++)	20.8	39.6	0.53

注記* 1 : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

* 2 : 線形被害則によるせん断耐力

表 3.5-8 支持性能に対する最大照査値

地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P / P_u
S s - F 1 (++)	0.61	1.2	0.52

(2) 強軸方向断面

表 3.5-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

地震動	照査用ひずみ* ε_d (-)	限界ひずみ ε_a (-)	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_a$
S s - D (++)	908 μ	10000 μ	0.10

注記* : 照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ ε × 構造解析係数 γ_a

表 3.5-10 せん断破壊に対する最大照査値

地震動	せん断力* ¹ V_d (kN/m)	せん断耐力* ² V_a (kN/m)	照査値 V_d / V_a
S s - D (++)	1.2	31.4	0.04

注記* 1 : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

* 2 : 線形被害則によるせん断耐力

表 3.5-11 支持性能に対する最大照査値

地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P / P_u
S s - D (++)	0.67	1.2	0.56

VI-2-別添 2-8 溢水防護に係る施設の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の
組合せに関する影響評価結果

目 次

1. 概要	1
2. 機器・配管系の影響評価	1
2.1 基本方針	1
2.2 評価条件及び評価方法	1
2.3 評価結果	4
2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出.....	4
2.3.2 建物・建築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果.....	4
2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価.....	4
2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果.....	4
2.3.5 まとめ	5
3. 土木構造物の影響評価	21
3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出.....	21
3.3.1 構造形式の分類	21
3.3.2 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理.....	23
3.3.3 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出.....	24
3.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果.....	26
(1) 箱型構造物	26
(2) 円筒状構造物	28
3.3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果.....	32
(1) 箱型構造物	32
(2) 円筒状構造物	36
3.3.6 機器・配管系への影響	37
(1) 箱型構造物	37
(2) 円筒状構造物	37
3.3.7 まとめ	38

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」の「2. 耐震評価の基本方針」に基づき、溢水防護に関する施設及びB, Cクラス機器について、基準地震動 S_s による地震力に対して、溢水伝播を防止する機能を維持するために、耐震性を有することを確認しているため、動的地震動の水平2方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 機器・配管系の影響評価

2.1 基本方針

溢水防護に関する施設及びB, Cクラス機器に関する水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性への影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して、設備の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図2-1に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

溢水防護に関する設備及びB, Cクラス機器のうち、基準地震動 S_s による地震力に対して構造強度又は機能維持及び波及的影響を確認する設備を評価対象とする。(図2-1①)

(2) 構造上の特徴による抽出

機種ごとに構造上の特徴から水平2方向の地震力が重複する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。(図2-1②)

(3) 発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討により、機器・配管系への影響の可

能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（図 2-1③）

(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

「(3) 発生値の増分による抽出」の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を確認する。（図 2-1④）

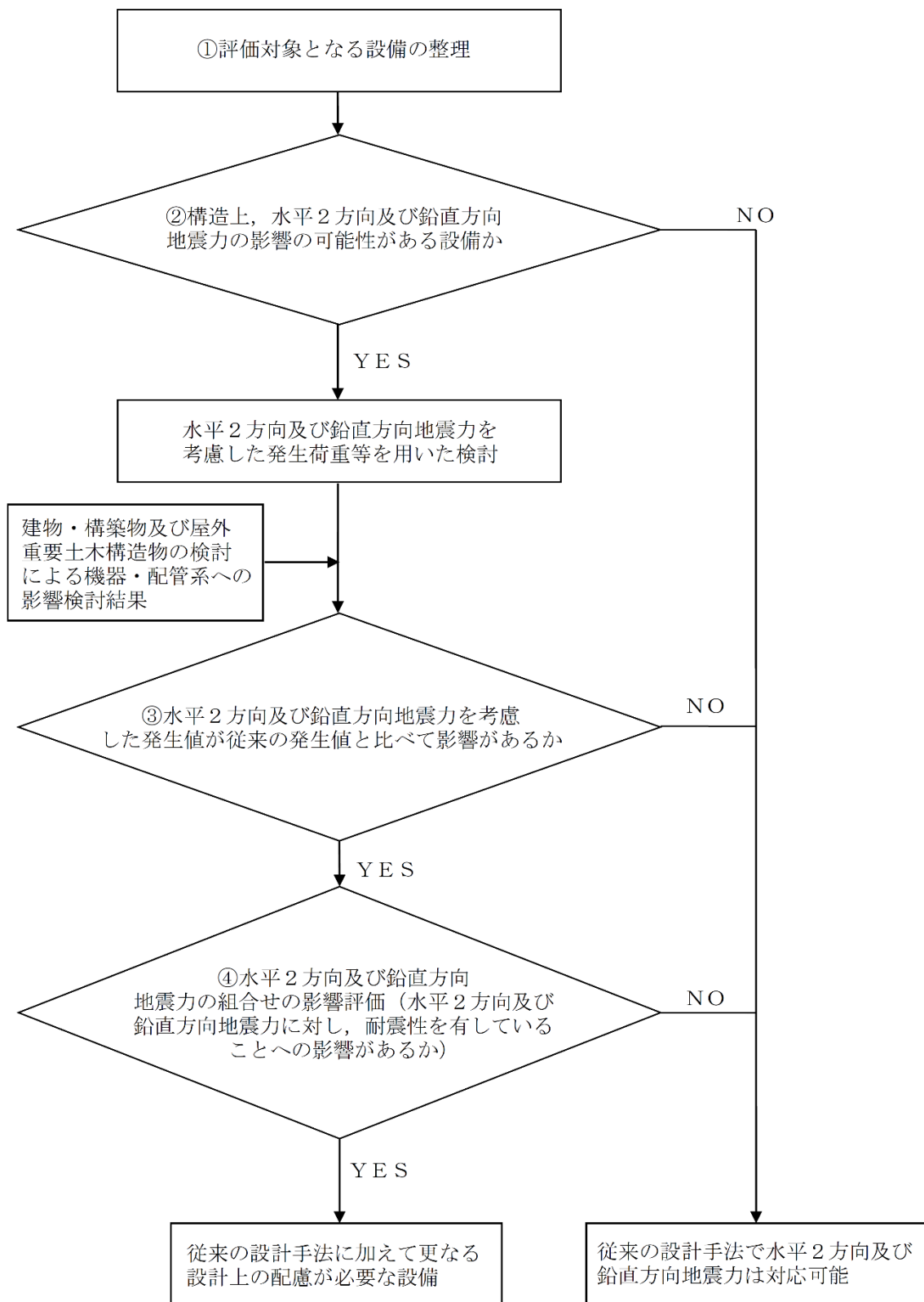


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

2.3 評価結果

2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

溢水防護に関する施設及びB，Cクラス機器の評価対象設備を表2-1に示す。VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位及び応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震力に加えて、更に水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。抽出結果を表2-2に示す。なお、ここで影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出する。抽出結果を表2-2に示す。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)において影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。抽出結果を表2-2に示す。

2.3.2 建物・建築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・建築物及び屋外重要土木構造物の検討において、溢水防護に関する施設及びB，Cクラス機器への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表2-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を、VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算

出した発生値に対して、設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表 2-3 に示す。

2.3.5 まとめ

溢水防護に関する施設及びB、Cクラス機器について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも溢水防護に関する施設が有する耐震性への影響がないことを確認したため、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表 2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (1/2)

(1) 構造強度評価対象設備

設備名称	評価対象部位
再循環ポンプ MG セット空気冷却器 (電動機用)	サポート
再循環ポンプ MG セット空気冷却器 (発電機用)	取付ボルト
再循環ポンプ MG セット油冷却器	胴板
再循環ポンプ MG セット室冷却機	基礎ボルト
原子炉浄化循環ポンプ	基礎ボルト
原子炉浄化ろ過脱塩装置ホールディングポンプ	ポンプ取付ボルト
復水輸送ポンプ	ポンプ取付ボルト
原子炉浄化補助ポンプ	基礎ボルト
制御棒駆動水圧ポンプ油冷却器	胴板
CRD ポンプ室冷却機	基礎ボルト
RCIC ポンプ室冷却機	基礎ボルト
3号復水貯蔵タンク	基礎ボルト
3号補助復水貯蔵タンク	基礎ボルト
1号復水貯蔵タンク	胴板
配管 (制御棒駆動水圧系)	配管本体, 支持構造物
配管 (原子炉浄化系)	配管本体, 支持構造物
配管 (原子炉補機冷却系)	配管本体, 支持構造物
配管 (燃料プール冷却系)	配管本体, 支持構造物
配管 (高圧炉心スプレイ系)	配管本体, 支持構造物
配管 (原子炉隔離時冷却系)	配管本体, 支持構造物
配管 (液体廃棄物処理系 (機器ドレン系))	配管本体, 支持構造物
配管 (ドライウェル冷却系)	配管本体, 支持構造物
配管 (空調換気設備冷却水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (復水輸送系)	配管本体, 支持構造物
配管 (消火系)	配管本体, 支持構造物
配管 (復水給水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (タービンヒータドレン系)	配管本体, 支持構造物
配管 (タービン補機冷却系)	配管本体, 支持構造物
配管 (補給水系)	配管本体, 支持構造物
配管 (中央制御室空調換気系)	配管本体, 支持構造物
配管 (ガスタービン発電機建物消火系)	配管本体, 支持構造物
被水防護カバー	基礎ボルト
通水扉	丁番, ラッチボルト

表 2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (2/2)

(2) 機能維持評価対象設備

設備名称	評価対象部位
大型タンク遮断弁	弁
燃料プール冷却系弁	弁
循環水ポンプ出口弁	弁
復水器水室入口弁	弁
復水器水室出口弁	弁

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (1/12)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点(以下「重畳の観点」という。) ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(以下「ねじれ振動等の観点」という。) ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点(以下「増分の観点」という。) ○：影響あり -：該当なし	
再循環ポンプ MG セット 空気冷却器 (電動機用)	△ サポート 組合せ応力 (圧縮, 曲げ*)	×	-	再循環ポンプ MG セット空気冷却器 (電動機用) は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
再循環ポンプ MG セット 空気冷却器 (発電機用)	△ 取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	-	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。

注記*：「VI-2-別添 2-2 溢水源としない B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 2.4-1 及び表 2.4-2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (2/12)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分の 観点 ○：影響あり －：該当なし	
再循環ポンプ MG セット 油冷却器	△ 胴板 一次＋二次応力	×	－	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
再循環ポンプ MG セット室 冷却機	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	－	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。
原子炉浄化循環 ポンプ	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	－	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。

注記*：ボルトについては、「VI-2-別添 2-2 溢水源としない B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 2.4-1 及び表 2.4-2 に示す算出
 応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (3/12)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分 の観点 ○：影響あり －：該当なし	
原子炉浄化ろ過 脱塩装置ホール ダイングポンプ	△ ポンプ取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	－	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。
復水輸送ポンプ	△ ポンプ取付ボルト 一次応力 (引張*)	×	－	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。
原子炉浄化補助 ポンプ	△ 基礎ボルト 一次応力 (せん断*)	×	－	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。

注記*：ボルトについては、「VI-2-別添 2-2 溢水源としない B、C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 2.4-1 及び表 2.4-2 に示す算出
 応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (4/12)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分 の観点 ○：影響あり －：該当なし	
制御棒駆動水圧 ポンプ油冷却器	△ 胴板 一次一般膜応力	×	－	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
CRD ポンプ室 冷却機	△ 基礎ボルト 一次応力 (せん断*)	×	－	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。
RCIC ポンプ室 冷却機	△ 基礎ボルト 一次応力 (引張*)	×	－	評価対象のボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。

注記*：ボルトについては、「VI-2-別添 2-2 溢水源としない B, C クラス機器の耐震性についての計算書」の表 2.4-1 及び表 2.4-2 に示す算出
 応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (5/12)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分 の観点 ○：影響あり －：該当なし	
3号水貯蔵 タンク	△ 基礎ボルト 一次応力 (せん断*)	×	－	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
3号補助復水 貯蔵タンク	△ 基礎ボルト 一次応力 (せん断*)	×	－	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。
1号水貯蔵 タンク	△ 胴板 (座屈)	×	－	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。

注記*：ボルトについては、「VI-2-別添 2-2 溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書」の表 2.4-1 及び表 2.4-2 に示す算出
 応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい応力を記載する。

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (6/12)

(1) 構造強度評価

		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
設備名称	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分 の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果	
配管 (制御棒駆動 系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (原子炉浄化 系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (原子炉補機冷 却系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (7/12)

(1) 構造強度評価

		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
設備名称	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分の 観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果	
配管 (燃料プール冷却系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (高圧炉心スプレイス系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (原子炉隔離時冷却系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (8/12)

(1) 構造強度評価

		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
設備名称	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分 の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果	
配管 (液体廃棄物処理系 (機器ドレン系))	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (ドライウエル 冷却系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (空調換気設備 冷却水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (9/12)

(1) 構造強度評価

		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
設備名称	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分の 観点 ○：影響あり －：該当なし		
配管 (復水輸送系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (消火系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (タービンヒー タドレン系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。	
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (10/12)

(1) 構造強度評価

		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
設備名称	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分の 観点 ○：影響あり －：該当なし		
配管 (タービン補機 冷却系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－		配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (補給水系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－		配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				
配管 (中央制御室 空調換気系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－		配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力				

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (11/12)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分の 観点 ○：影響あり －：該当なし	
配管 (ガスタワービン 発電機建物 消火系)	△ 配管本体 一次＋二次応力	○	－	配管系は、従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は 3 次元モデルを用いた解析により、従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため、水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	△ 支持構造物 一次＋二次応力			
被水防護カバー	○ 基礎ボルト 一次応力 (引張)	×	○	評価結果は表 2-3 参照
	○ 丁番 一次応力 (せん断)	×	○	
通水扉	△ ラッチボルト 一次応力 (せん断)	×	－	水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しない

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (12/12)

(2) 機能維持評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ 振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分 の観点 ○：影響あり －：該当なし	
大型タンク 遮断弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認 済加速度以下であること及び構造強度評価を満足することを確 認している。
燃料プール 冷却系弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認 済加速度以下であること及び構造強度評価を満足することを確 認している。
循環水ポンプ 出口弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認 済加速度以下であること及び構造強度評価を満足することを確 認している。
復水器水室 入口弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認 済加速度以下であること及び構造強度評価を満足することを確 認している。
復水器水室 出口弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認 済加速度以下であること及び構造強度評価を満足することを確 認している。

表 2-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

(1) 構造強度評価

(単位：MPa)

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	評価部位	応力分類	1 方向入力発生値*1	2 方向想定発生値*2	許容値	判定
通水扉	丁番 (本体)	せん断	14	20	101	○
	丁番 (小扉)	せん断	7	10	118	○
被水防護カバー	基礎ボルト	引張	3	5	135	○

注記*1：基準地震動 S_s による地震力において発生する応力値を記載している。

*2：「1 方向入力発生値」に対して、 $\sqrt{2}$ を乗じた値を記載している。

3. 土木構造物の影響評価

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

3.3.1 構造形式の分類

図3-1に土木構造物の配置図を示す。また、表3-1に土木構造物の構造形式を示す。土木構造物は、その構造形式より 1)箱型構造物, 2)円筒状構造物の2つに大別される。

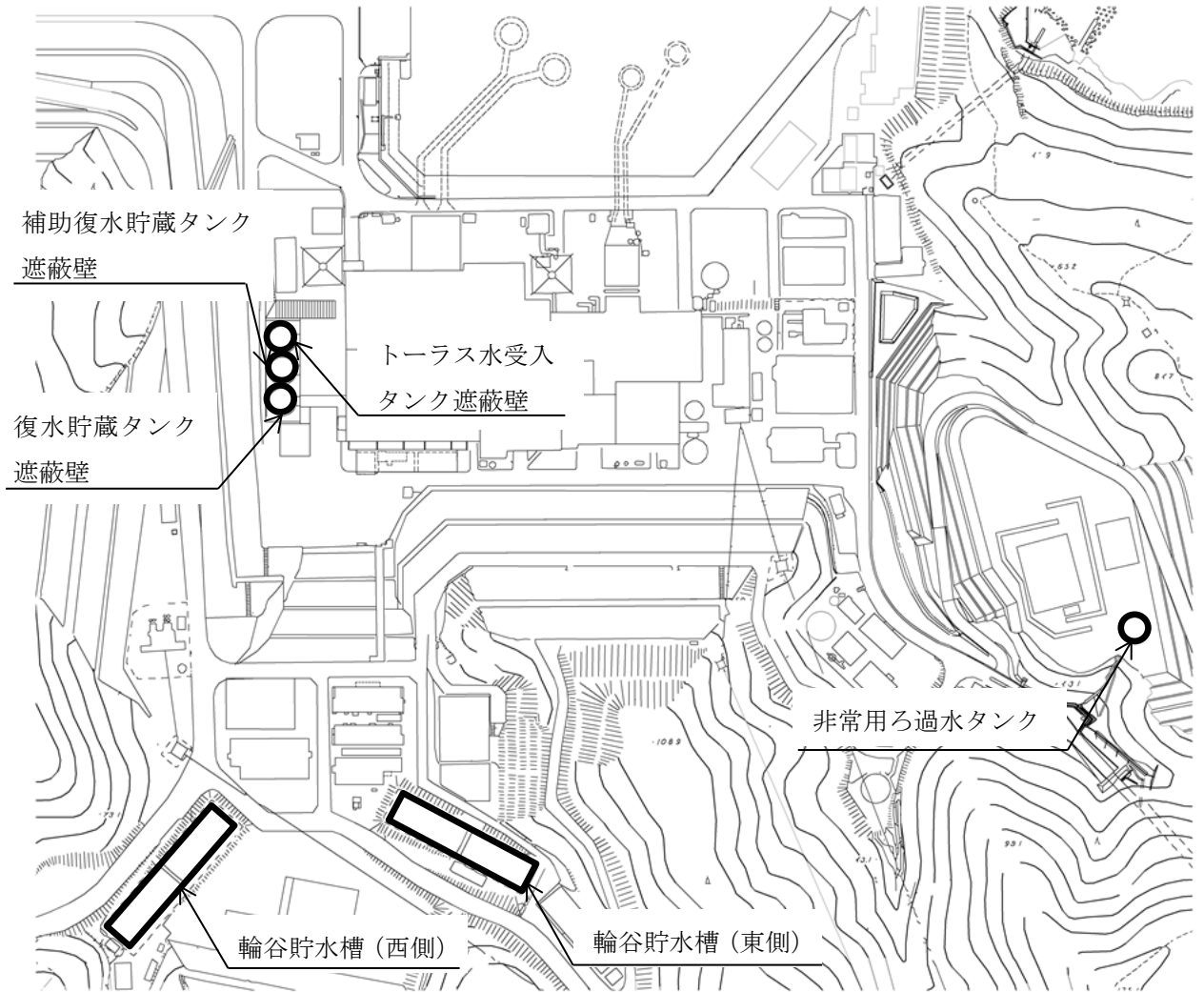


図3-1 土木構造物の配置図

表 3-1 土木構造物の構造形式

構造物名称	要求機能	
	1) 箱型 構造物	2) 円筒状 構造物
輪谷貯水槽（西側）	○	
輪谷貯水槽（東側）	○	
復水貯蔵タンク遮蔽壁		○
補助復水貯蔵タンク遮蔽壁		○
トーラス水受入タンク遮蔽壁		○
非常用ろ過水タンク		○

3.3.2 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3-2 に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧，摩擦力，慣性力が挙げられる。

表 3-2 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重	作用荷重のイメージ*
<p>① 動土圧及び動水圧</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して，平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧</p>	
<p>② 摩擦力</p> <p>周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力</p>	
<p>③ 慣性力</p> <p>躯体に作用する慣性力</p>	

注記*：作用荷重のイメージ図は平面図を示す。

3.3.3 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 3-3 に、3.3.1 で整理した構造形式ごとに、3.3.2 で整理した荷重作用による影響程度を示す。

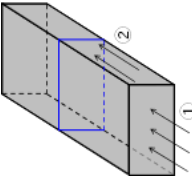
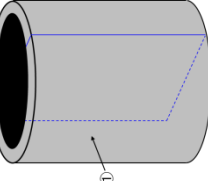
評価対象構造物の地震時の挙動は、躯体が主に地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.2 で整理した荷重のうち「②摩擦力」や「③慣性力」は、「①動土圧及び動水圧」と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「①動土圧及び動水圧」による影響を考慮する。ただし、「2)円筒状構造物」のうち、地上に設置されている構造物の場合、「③慣性力」の影響が大きくなることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「③慣性力」による影響を考慮する。

「1)箱型構造物」は、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有することから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用する。

「2)円筒状構造物」のうち地上に設置されている構造物については、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「③慣性力」が作用することによる応力の集中が考えられる。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、「1)箱型構造物」、「2)円筒状構造物」を抽出する。

表 3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

構造形式の分類	1) 箱型構造物 ・ 輪谷貯水槽 (西側) ・ 輪谷貯水槽 (東側)	2) 円筒状構造物 ・ 復水貯蔵タンク 遮蔽壁 ・ 補助復水貯蔵タンク 遮蔽壁 ・ トーラス水受入タンク 遮蔽壁 ・ 非常用ろ過水タンク																	
荷重の作用状況	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>																	
	<table border="1"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>妻壁に作用</td> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>側壁に作用</td> <td>②摩擦力</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>すべての部材に作用</td> <td>③慣性力</td> <td>すべての部材に作用</td> </tr> </table>	①動土圧及び動水圧	妻壁に作用	①動土圧及び動水圧	作用しない	②摩擦力	側壁に作用	②摩擦力	作用しない	③慣性力	すべての部材に作用	③慣性力	すべての部材に作用	<table border="1"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>すべての部材に作用</td> </tr> </table>	①動土圧及び動水圧	作用しない	②摩擦力	作用しない	③慣性力
①動土圧及び動水圧	妻壁に作用	①動土圧及び動水圧	作用しない																
②摩擦力	側壁に作用	②摩擦力	作用しない																
③慣性力	すべての部材に作用	③慣性力	すべての部材に作用																
①動土圧及び動水圧	作用しない																		
②摩擦力	作用しない																		
③慣性力	すべての部材に作用																		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材(妻壁)を有し、「①動土圧及び動水圧」による荷重が作用するため影響大。	従来設計手法における耐震評価に対して、直交する荷重として「①動土圧及び動水圧」又は「③慣性力」による荷重が作用するため影響大。																	
抽出結果	○	○																	

3.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

3.3.1, 3.3.2 及び 3.3.3 の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討すべき構造形式として、構造及び作用荷重の観点から、箱型構造物及び円筒状構造物を抽出した。以下に、構造形式ごとの選定結果を示す。

(1) 箱型構造物

箱型構造物については、輪谷貯水槽（西側）及び輪谷貯水槽（東側）に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。箱型構造物の平面図及び断面図を図3-2～図3-7に示す。

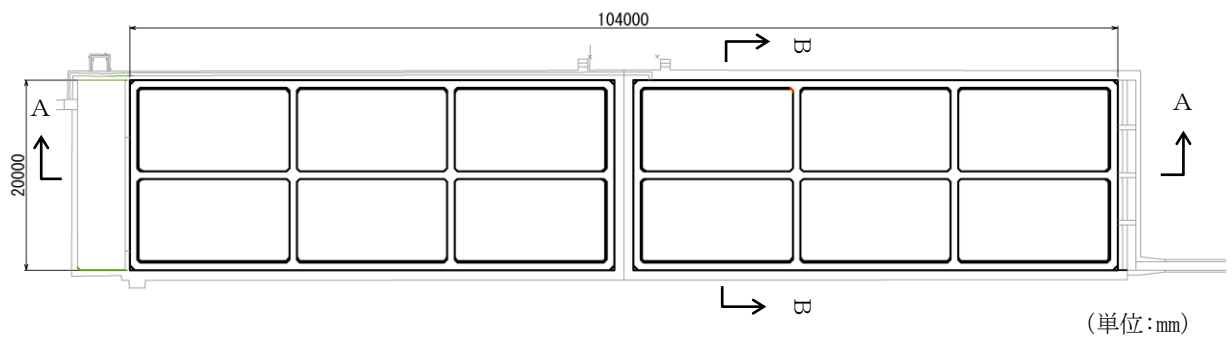


図3-2 輪谷貯水槽（西側） 平面図

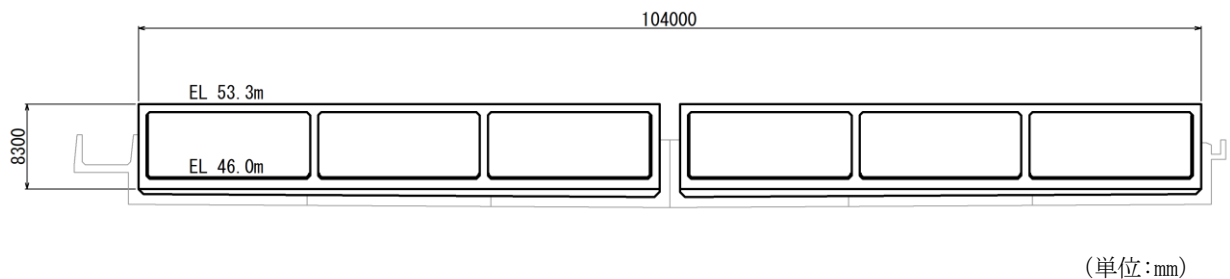


図3-3 輪谷貯水槽（西側） 断面図（A-A断面）

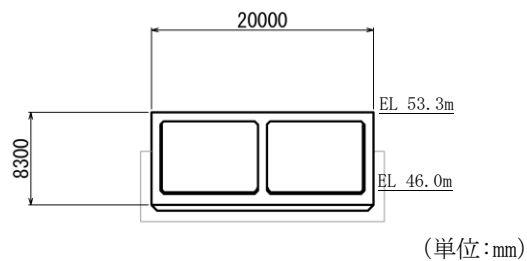


図3-4 輪谷貯水槽（西側） 断面図（B-B断面）

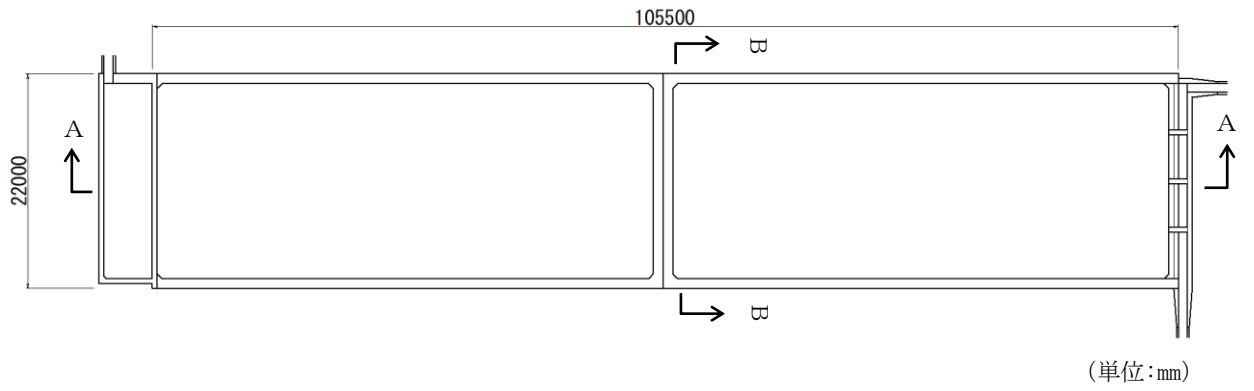


図 3-5 輪谷貯水槽 (東側) 平面図

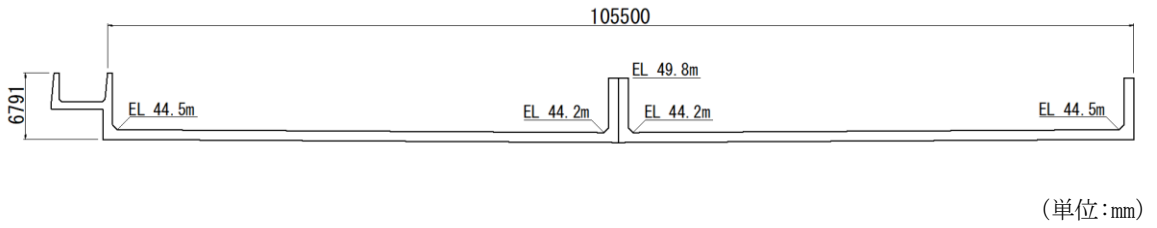


図 3-6 輪谷貯水槽 (東側) 断面図 (A-A断面)

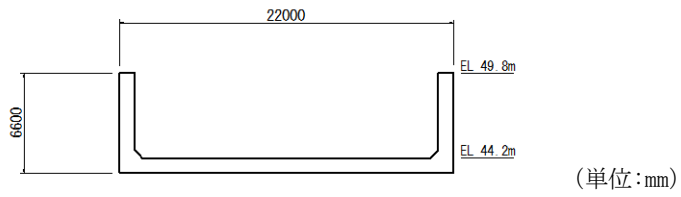


図 3-7 輪谷貯水槽 (東側) 断面図 (B-B断面)

(2) 円筒状構造物

円筒状構造物については、復水貯蔵タンク遮蔽壁，補助復水貯蔵タンク遮蔽壁，トールス水受入タンク遮蔽壁，非常用ろ過水タンクに対して，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。箱形構造物の平面図及び断面図を図 3-8～図 3-15 に示す。

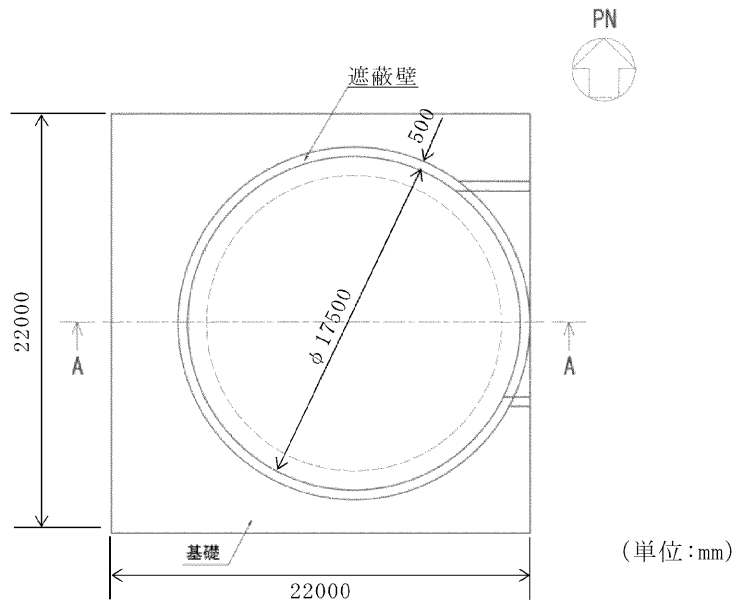


図 3-8 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

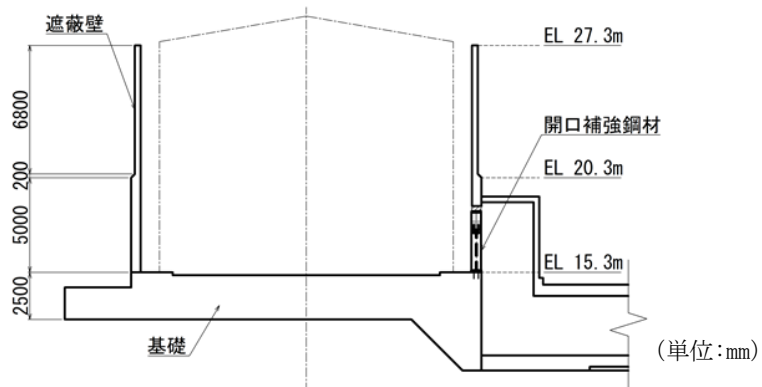


図 3-9 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A断面)

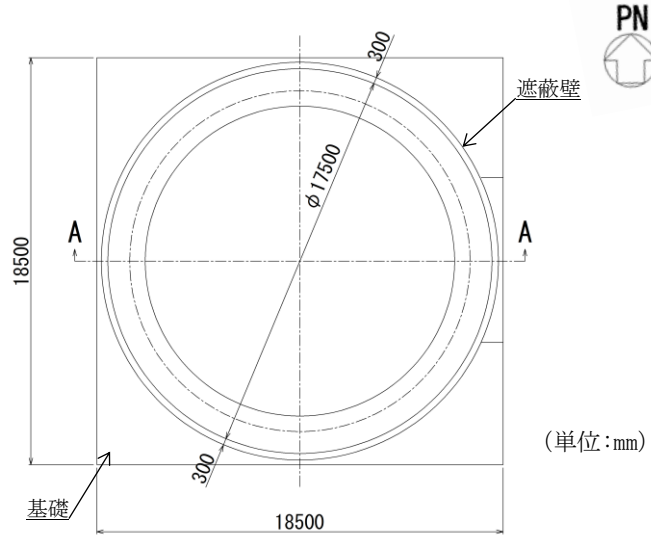


図 3-10 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

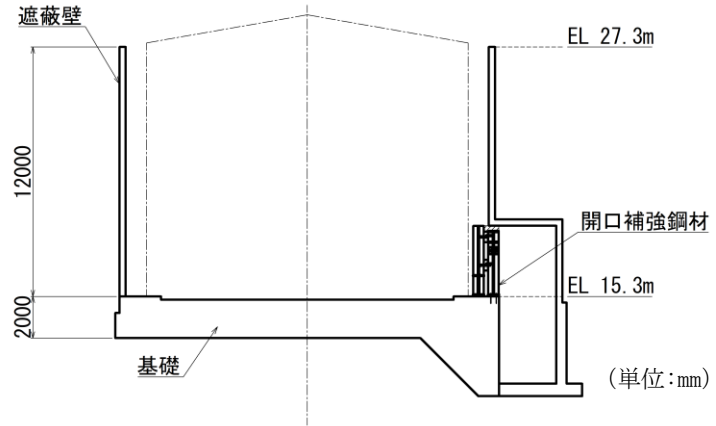


図 3-11 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図 (A-A断面)

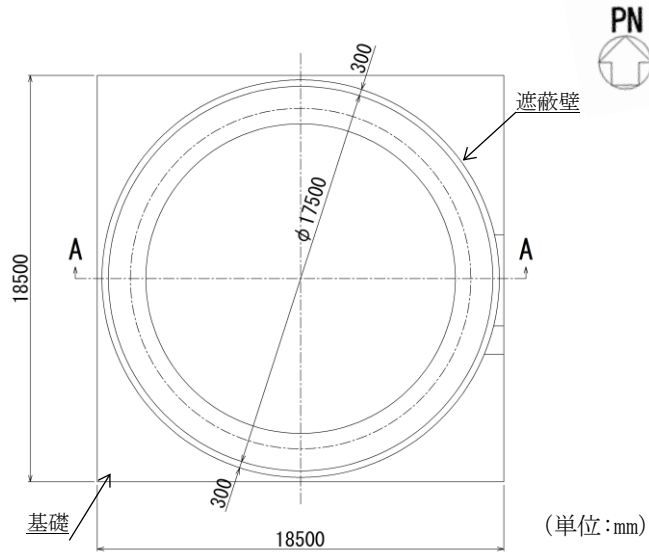


図 3-12 トーラス水受入タンク遮蔽壁 平面図

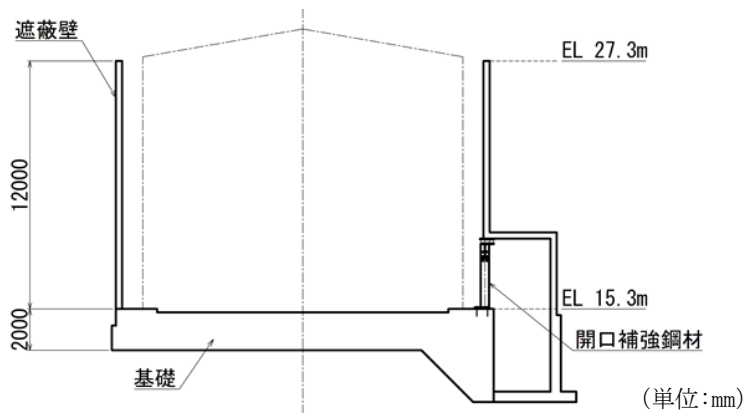


図 3-13 トーラス水受入タンク遮蔽壁 断面図 (A-A断面)

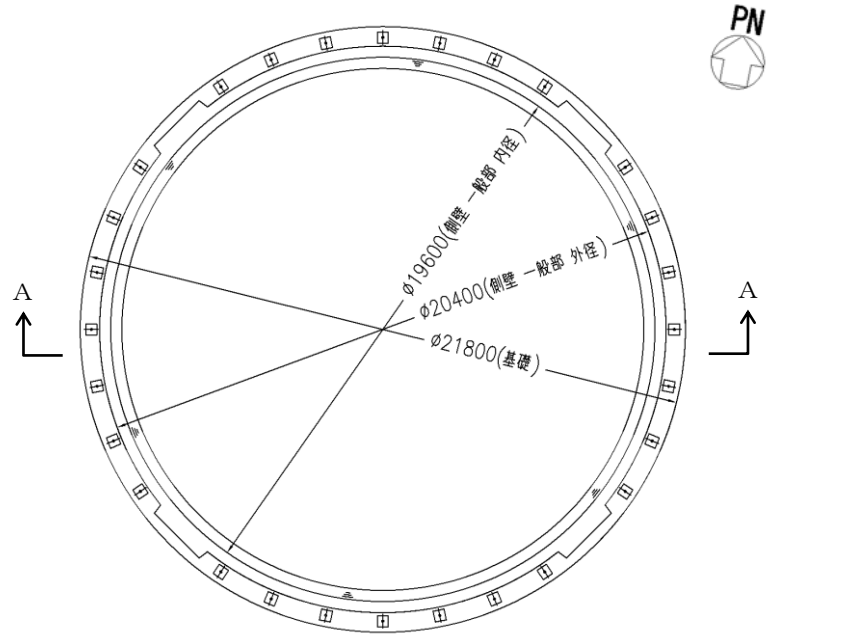


図 3-14 非常用ろ過水タンク 平面図 (単位:mm)

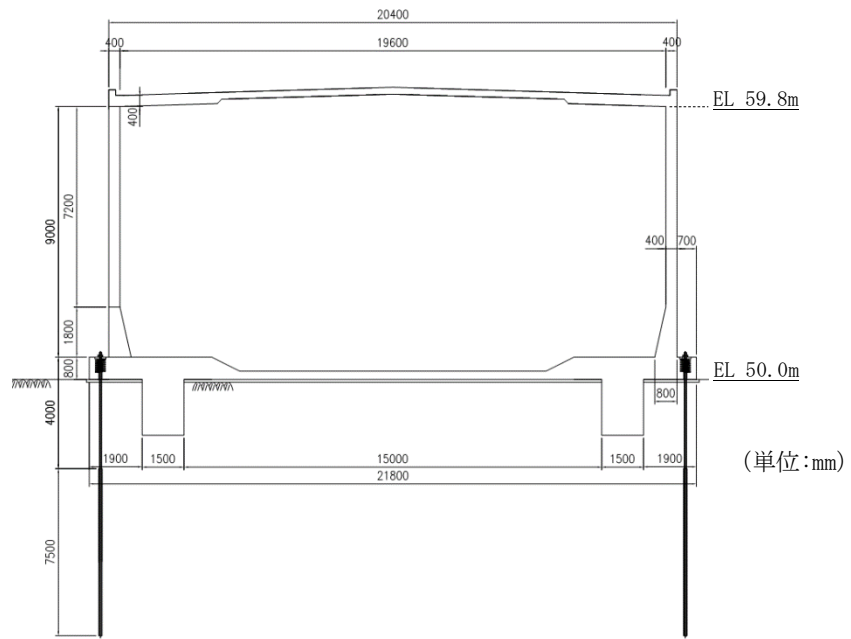


図 3-15 非常用ろ過水タンク 断面図 (A-A断面)

3.3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 箱型構造物

a. 評価方法

箱型構造物については、輪谷貯水槽（西側）の評価結果を示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、箱型構造物の弱軸方向断面及び強軸方向断面におけるそれぞれの2次元地震応答解析にて、互いに干渉し合う断面力や応力を選定し、弱軸方向加振における部材照査において、強軸方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸方向加振については、箱型構造物の隔壁・側壁が、強軸方向加振にて耐震壁としての役割を担うことから、当該構造部材を耐震壁と見なし、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—（日本建築学会，1999）」（以下「RC規準」という。）に準拠し耐震評価を実施する。

RC規準では、耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して、コンクリートのみで負担できるせん断耐力と、鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって、壁部材に生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば、鉄筋によるせん断負担はなく鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

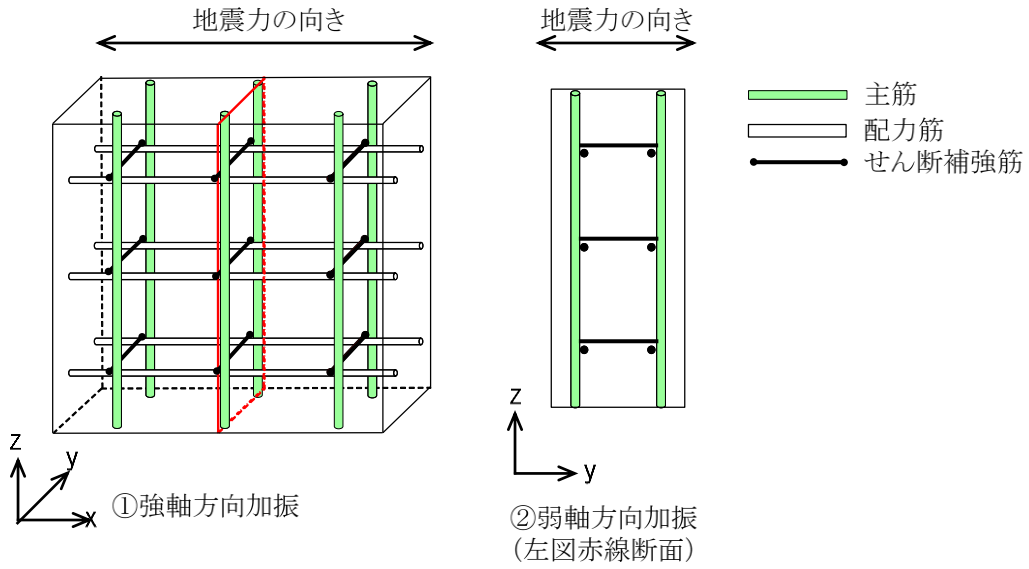
一方、強軸方向加振にて生じるせん断力を、箱型構造物の隔壁・側壁のコンクリートのみで負担できず、鉄筋に負担させる場合、図3-16に示すとおり、強軸方向加振にて発生する側壁・隔壁の主筋の発生応力が、弱軸方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

したがって、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、強軸方向加振にて発生する応力を、弱軸方向における構造部材の照査に付加することで、その影響の有無を検討する。

弱軸方向及び強軸方向の地震応答解析では、保守的に両方とも基準地震動 S_s を用いる。

図3-17に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価フローを示す。

なお、輪谷貯水槽（東側）については、VI-2-別添 2-2「溢水源としないB、Cクラス機器の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。



		①強軸方向加振	②弱軸方向加振	備考
断面力	M_y (y軸まわりの曲げモーメント)	△	×	
	M_x (x軸まわりの曲げモーメント)	×	○	
	N_z (鉛直方向軸力)	○	○	互いに干渉する可能性あり
	N_{zx} (zx平面内せん断)	○	×	
	Q_z (z方向面外せん断)	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

(○ : 発生する可能性あり, △ : 発生する可能性があるが極めて軽微, × : 発生しない)

図 3-16 強軸方向加振及び弱軸方向加振において発生する断面力・応力

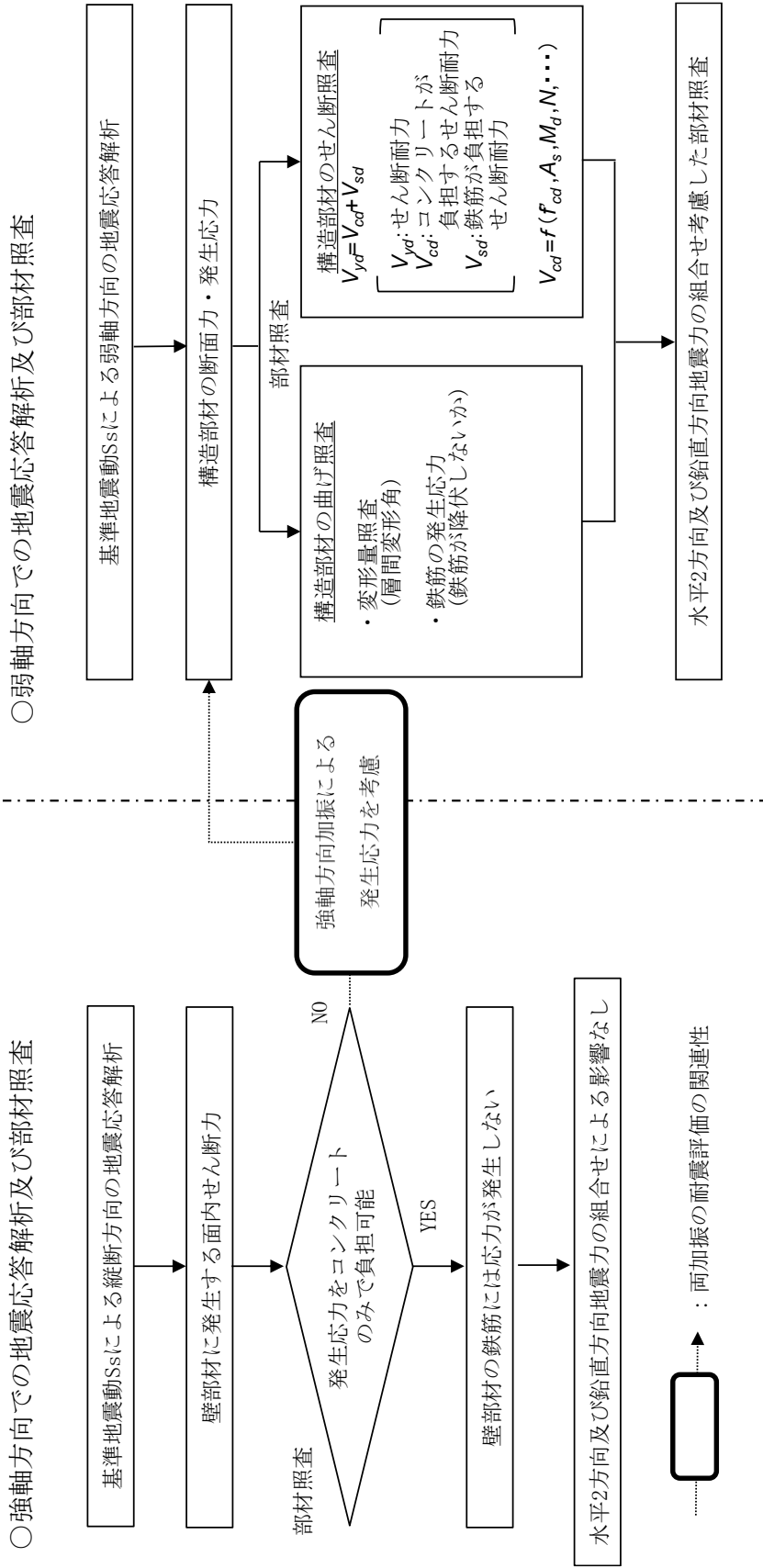


図 3-17 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

b. 評価条件

箱型構造物である輪谷貯水槽（西側）の評価条件については、その構造物に対応する地震応答計算書に記載の解析手法、解析モデルの設置とする。なお、すべての基準地震動に対し、地盤物性が平均値のケース（ケース①）を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目に照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いて地盤物性のばらつき（ $\pm 1 \sigma$ ）を考慮したケース（ケース②（平均値 + 1σ ）及び③（平均値 - 1σ ））を実施する。

すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。

c. 評価条件

許容限界は、RC 規準を参考に、以下の式で求まるコンクリートの許容せん断力（ Q_1 ）から算定する短期許容せん断応力度 τ_A とする。

$$Q_1 = t \cdot l \cdot f_s$$

ここで、

t : 壁の厚さ

l : 壁部材の幅

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

(($F_c/30$ かつ $0.5 + F_c/100$ 以下) の 1.5 倍)

d. 評価結果

(a) 輪谷貯水槽（西側）

強軸方向断面（A-A断面）にて発生する面内せん断応力度は，表 3-4 に示すとおり最大で 0.55 (N/mm²) である。一方で，RC 規準による許容限界である短期許容せん断応力度は 1.11 (N/mm²) であり，照査値は 1.0 を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は，弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表 3-4 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

解析 ケース	地震動		面内せん断 応力度	短期許容 せん断応力度	照査値
			τ_{\max} (N/mm ²)	τ_A (N/mm ²)	τ_{\max} / τ_A
①	S s - D	++	0.52	1.11	0.47
	S s - F 1	++	0.40		0.37
	S s - F 2	++	0.36		0.33
	S s - N 1	++	0.38		0.35
	S s - N 2 (NS)	++	0.43		0.39
	S s - N 2 (EW)	++	0.43		0.39
②	S s - D	++	0.47		0.43
③	S s - D	++	0.55		0.50

(2) 円筒状構造物

円筒状構造物については，VI-2-別添 2-2「溢水源としないB，Cクラス機器の耐震性についての計算書」において，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認している。

3.3.6 機器・配管系への影響

土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した構造物について、機器・配管系への影響の可能性について検討した。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響については、構造物にねじれが発生する場合、応答に影響を与えられられる。

(1) 箱型構造物

箱型構造物については、鉄筋コンクリート部材の底版や側壁が厚く、全体の剛性が大きいことから、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

(2) 円筒状構造物

円筒状構造物については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

3.3.7 まとめ

土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し、施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

VI-2-別添 6 漂流防止装置の耐震性に関する説明書

VI-2-別添 6-1 漂流防止装置の耐震計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	4
3.1 荷重及び荷重の組合せ	4
3.1.1 荷重の種類	4
3.1.2 荷重の組合せ	4
3.2 許容限界	4
4. 耐震評価方法	6
4.1 地震応答解析	6
4.1.1 入力地震動	6
4.1.2 解析方法及び解析モデル	6
4.2 耐震評価	7
4.2.1 耐震評価方法	7
4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮	7
5. 適用規格・基準等	8

1. 概要

本資料は、漂流防止装置が「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第6条及び51条並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する解釈」に適合する設計とするため、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」のうちVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設的设计方針」にて設定している漂流防止装置が基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。漂流防止装置への基準地震動 S_s による地震力に対する耐震性の要求は、技術基準規則の第5条及び第50条の対象ではない。

漂流防止装置の耐震計算結果は、VI-2-別添6-2「漂流防止装置の耐震性についての計算書」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果はVI-2-別添6-3「漂流防止装置に係る施設の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す基準地震動 S_s による地震力と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重により生じる応力又は荷重が、「3.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを「4. 耐震評価方法」に示す評価方法を使用し、「5. 適用規格・基準等」に示す適用規格・基準等を用いて確認する。

漂流防止装置及び基礎は、基準地震動 S_s による地震力に対して、その機能を維持できる設計とすることを踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせ評価を実施する。影響評価方法は「4.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1 評価対象施設

評価対象施設は、漂流防止装置を構成する漂流防止装置（係船柱）を対象とする。漂流防止装置の構造を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造概要（漂流防止装置（係船柱））

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
漂流防止装置（係船柱）は、アンカーボルトにより基礎に据え付ける構造とする。	漂流防止装置（係船柱）は、係船柱及びアンカーボルトから構成する。	<p>(平面図)</p> <p>(アンカー図)</p> <p>(正面図)</p>

3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

漂流防止装置の耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

3.1.1 荷重の種類

耐震評価において考慮する荷重は以下のとおり。

(1) 常時作用する荷重 (D), 固定荷重 (G)

常時作用する荷重又は固定荷重は、持続的に生じる荷重であり、当該設備の自重や土圧とする。

(2) 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。

3.1.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2 許容限界

許容限界は、漂流防止装置を構成する設備ごとに設定する。

漂流防止装置を構成する漂流防止装置 (係船柱) 及び基礎の荷重の組合せ及び許容限界を表 3-1 に示す。

表 3-1 漂流防止装置（係船柱）の荷重の組合せ及び許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価部位	要求機能	機能維持のための考え方	許容限界
漂流防止装置（係船柱）	G + S s	係船柱	漂流防止機能	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（曲げ軸力）が許容限界以下であることを確認 許容限界には短期許容応力度を採用 	短期許容応力度
		アンカーボルト	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（引張力、せん断力）が許容限界以下であることを確認 許容限界には短期許容応力度を採用 	短期許容応力度
		アンカー板		<ul style="list-style-type: none"> 発生する応力（曲げ軸力）が許容限界以下であることを確認 許容限界には短期許容応力度を採用 	短期許容応力度
漂流防止装置基礎	G + S s	基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> 地震後においても構造を保持し，係船柱を支持する必要があることから，残留変形量が許容限界以下であることを確認 	残留変形量

4. 耐震評価方法

漂流防止装置の耐震評価は、「4.1 地震応答解析」, 「4.2 耐震評価」に従って実施する。

4.1 地震応答解析

漂流防止装置の地震応答解析は「4.1.1 入力地震動」に示す入力地震動及び「4.1.2 解析方法及び解析モデル」に示す解析方法に従い実施する。漂流防止装置の耐震評価に用いる地震応答解析フローを図4-1に示す。

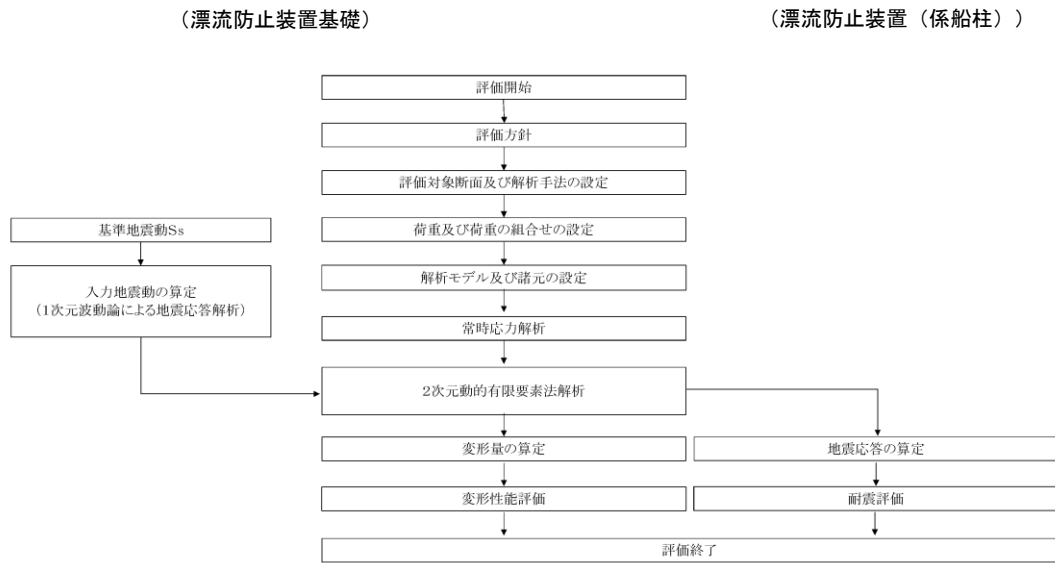


図4-1 漂流防止装置の地震応答解析フロー

4.1.1 入力地震動

漂流防止装置の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤面で定義される標準地震動 S_s をもとに、対象構造物の地盤条件を適切に評価したうえで、必要に応じて2次元FEM解析または1次元波動理論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した地震動を設定する。

4.1.2 解析方法及び解析モデル

漂流防止装置の解析方法については、構造物と地盤の相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形、非線形解析のいずれかにて行う。

評価手法は、J E A G 4 6 0 1に基づき実施することを基本とする。

4.2 耐震評価

漂流防止装置は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して、「4.1 地震応答解析」で示した地震応答解析により変形量等を算出し、「3.2 許容限界」にて設定している許容限界内であることを確認する。

4.2.1 耐震評価方法

漂流防止装置（係船柱）及び基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）の評価方法について示す。

(1) 漂流防止装置（係船柱）

評価対象の漂流防止装置（係船柱）については，日本港湾協会の標準設計に準拠した評価方法により評価を行う。

評価については，漂流防止装置基礎の地震応答解析で評価された評価対象位置の加速度を抽出し，設計用水平加速度及び設計用鉛直加速度として設定し，構造強度評価を行う。

(2) 基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）

評価対象の基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）については，時刻歴応答解析法等を用いた解析により，変形性能評価を行う。

4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮

漂流防止装置に関する水平2方向及び鉛直方向地震動の影響評価については，VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

5. 適用規格・基準等

適用する規格としては、既工事計画で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。適用する規格、基準、指針等を以下に示す。

- ・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 -1987 ((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)
- ・日本産業規格 (J I S)
- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 年改訂)
- ・港湾構造物標準設計 (第 1 集) ((社) 日本港湾協会, 1971 年)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 ((社) 日本港湾協会, 平成 19 年 7 月)

VI-2-別添 6-2 漂流防止装置の耐震性についての計算書

漂流防止装置の耐震性についての計算書

1. 漂流防止装置（係船柱）の耐震性についての計算書
2. 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震性についての計算書
3. 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震性についての計算書

1. 漂流防止装置（係船柱）の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 構成要素の構造計画	4
2.4 評価方針	6
2.5 適用規格・基準等	7
3. 耐震評価	8
3.1 記号の定義	8
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1 荷重の設定	11
3.3.2 荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	12
3.5 設計用地震力	14
3.6 評価方法	16
4. 評価条件	24
5. 評価結果	25

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に設定している構造強度及び機能保持の設計方針に基づき、漂流防止装置（係船柱）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

漂流防止装置（係船柱）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

漂流防止装置（係船柱）及び基礎の位置を図 2-1 に示す。漂流防止装置（係船柱）の設置位置の詳細は「2.2 構造概要」で示す。

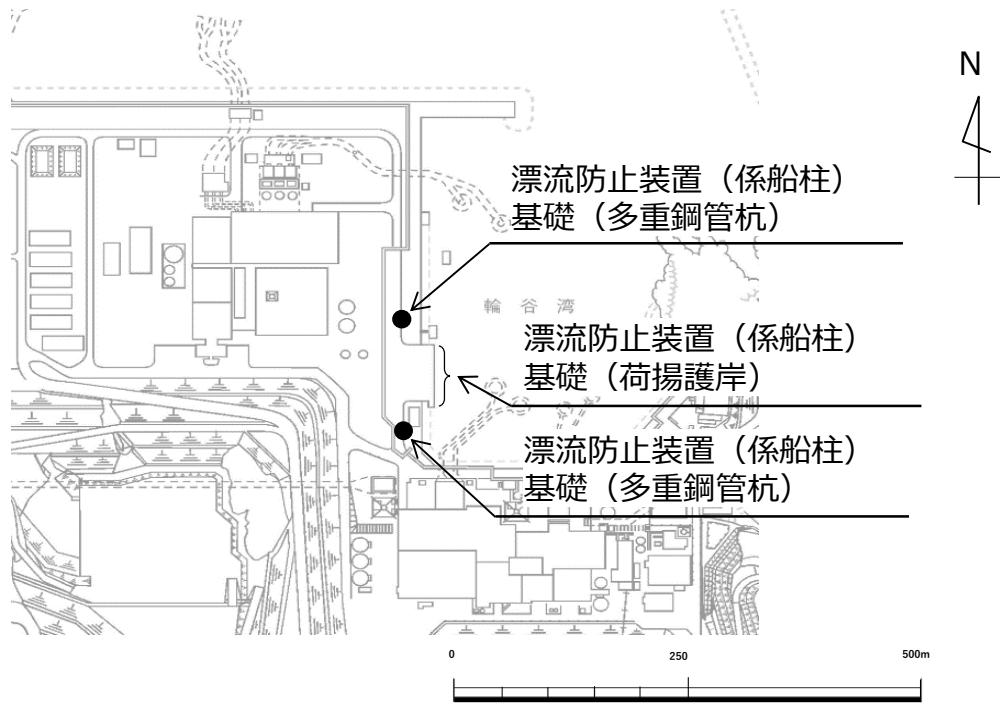


図 2-1 漂流防止装置位置図

2.2 構造概要

漂流防止装置は、燃料等輸送船の係留索を固定材である係船柱と接続し、係船柱と基礎をアンカーボルトで固定する構造である。漂流防止装置の概要図を図 2-2 に示す。

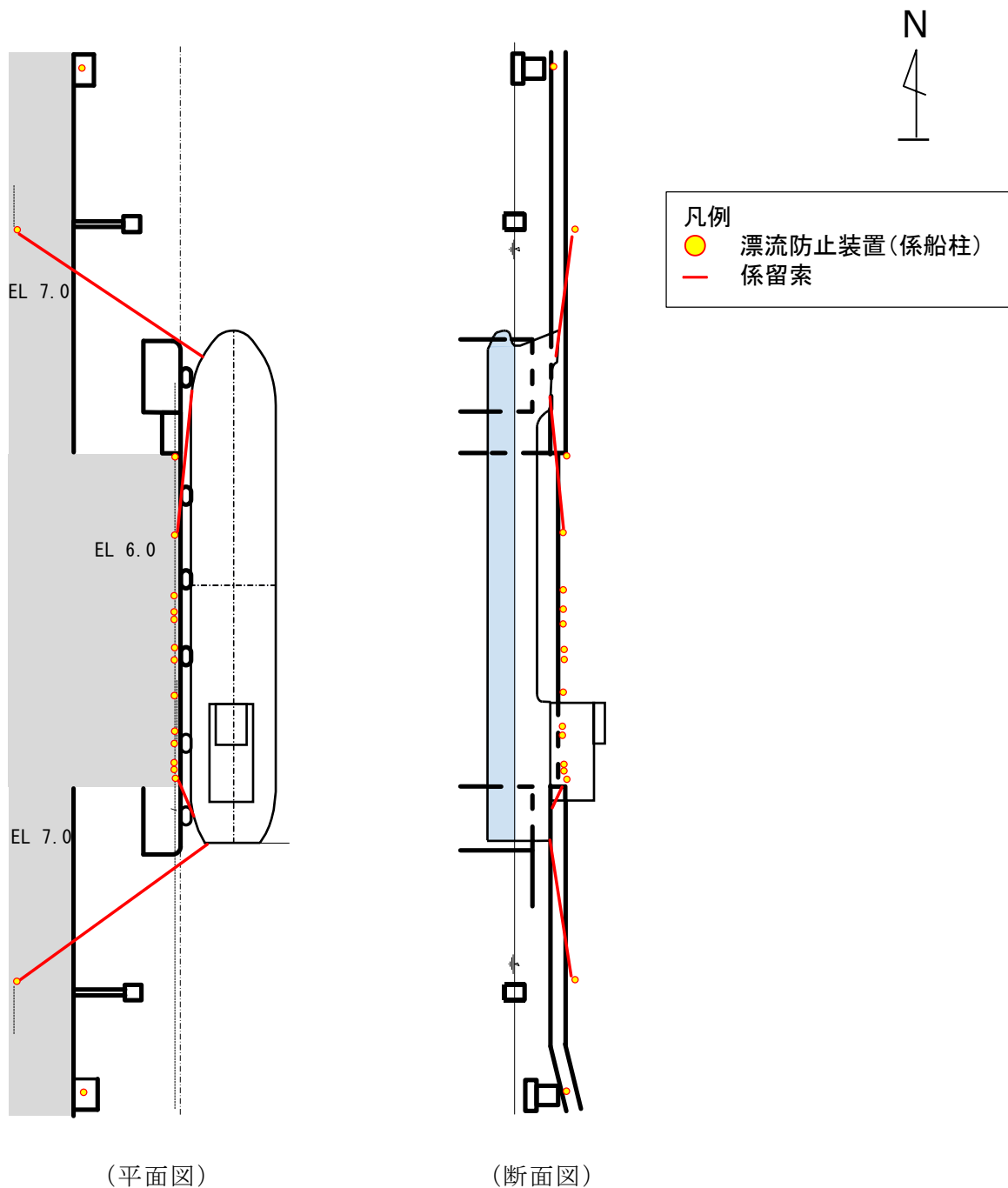


図 2-2 漂流防止装置の概要図

2.3 構成要素の構造計画

漂流防止装置は、係船柱，アンカーボルト及びアンカー板から構成される。

漂流防止装置の構造図を図 2-3 に示す。

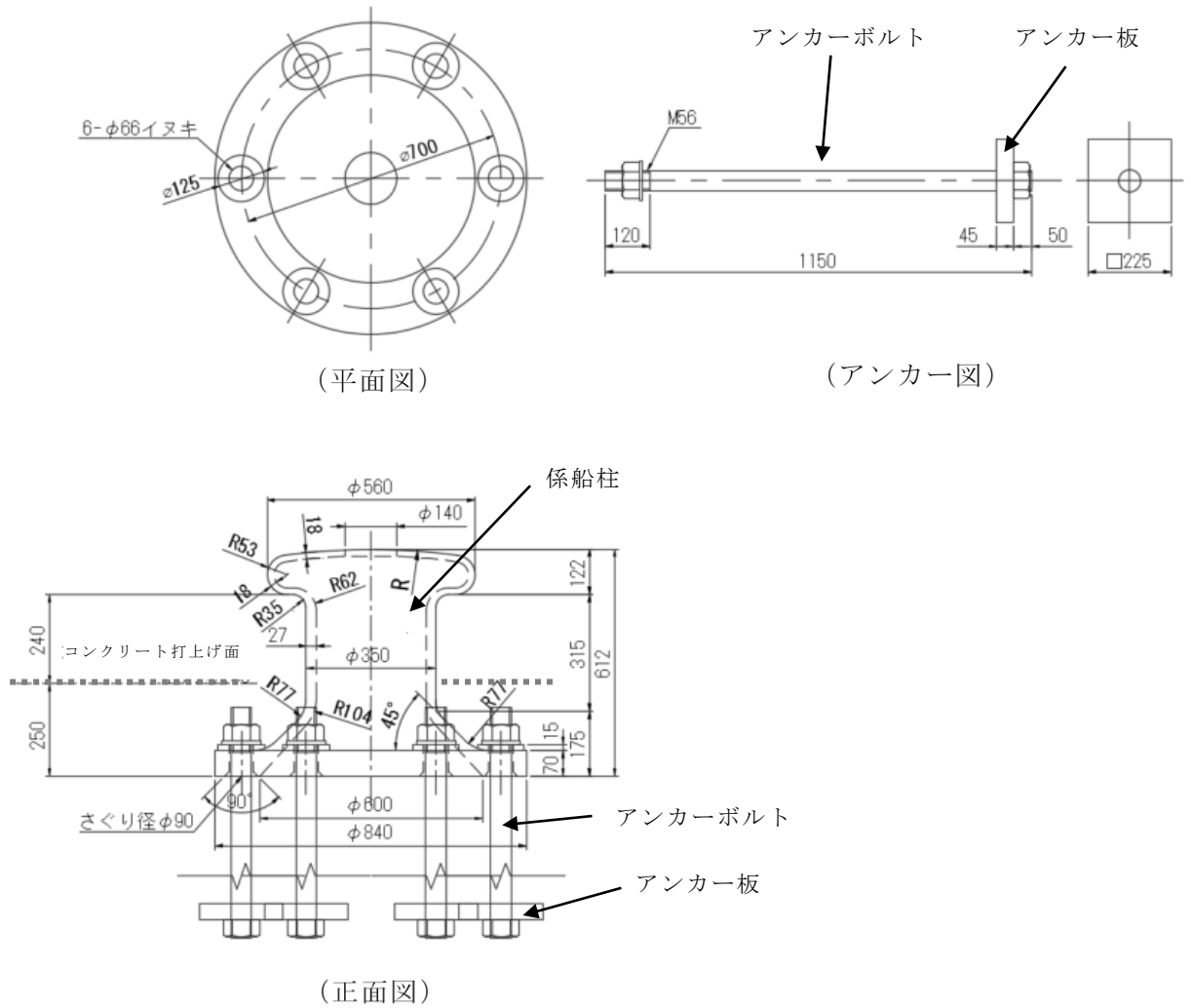
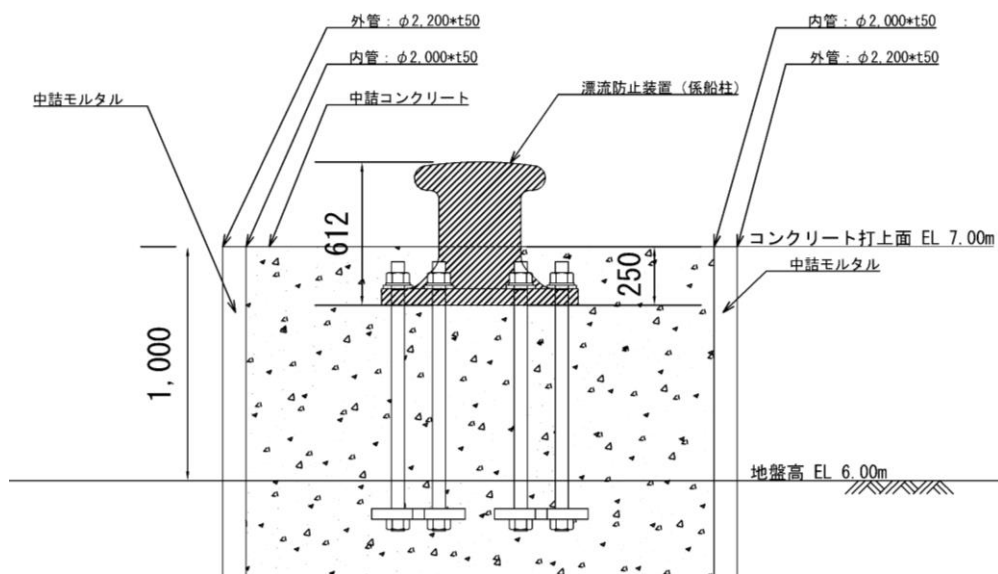
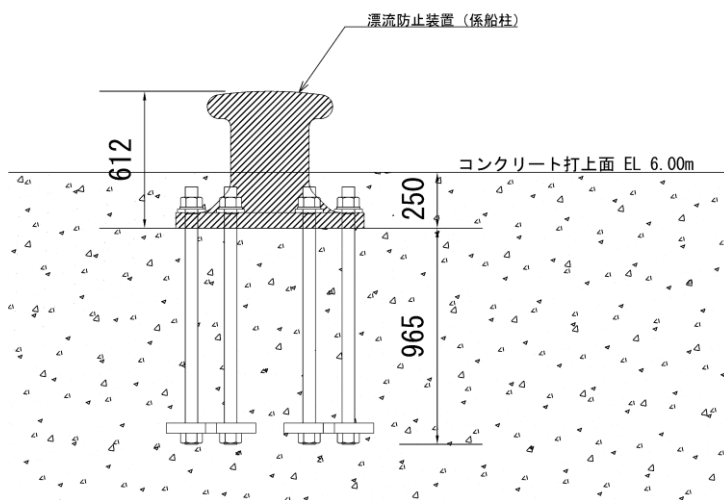


図 2-3(1) 漂流防止装置の構造図



漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）



漂流防止装置基礎（荷揚護岸）

図 2-3(2) 漂流防止装置の構造図

2.4 評価方針

漂流防止装置の耐震評価は、基準地震動 S_s による慣性力が係留索を介して漂流防止装置に作用することにより評価対象部位に生ずる応力が「3.4 許容限界」に収まることを「3.6 評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

漂流防止装置の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

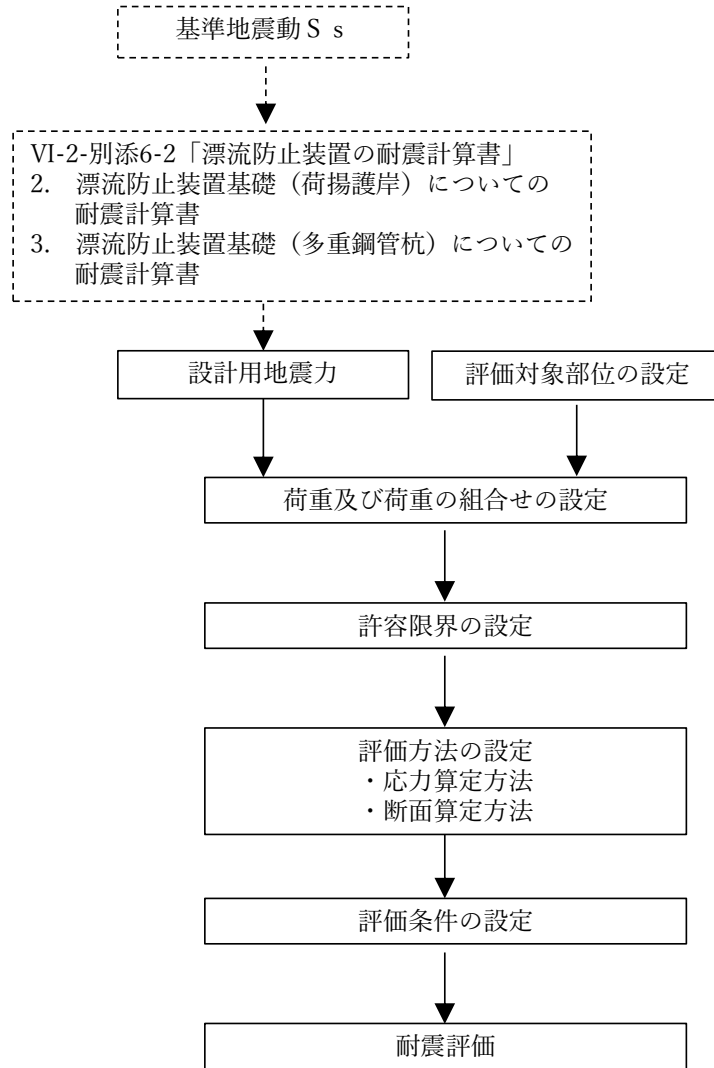


図 2-4 漂流防止装置の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・港湾技研資料 NO.102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改訂）
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年）
- ・日本産業規格（J I S）
- ・港湾構造物標準設計（第1集）（（社）日本港湾協会，1971年）

3. 耐震評価

3.1 記号の定義

漂流防止装置の耐震評価に用いる記号を表 3—1 に示す。

表 3—1(1) 漂流防止装置の耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
σ_s	N/mm ²	係船柱の胴部縁応力度
$M_{s a}$	N・mm	係船柱の胴部転倒モーメント
D	mm	係船柱の胴部径
$Z_{s a}$	mm ³	係船柱の断面係数
P_v	N	基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分
$A_{s a}$	mm ²	係船柱の断面積
σ_{c1}	N/mm ²	底板下面のコンクリートの支圧応力度
R_1	mm	中心軸から底板端までの距離
y	mm	中心軸と中立軸の距離
n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比
G_s	mm ³	引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
G_c	mm ³	圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
σ_{c2}	N/mm ²	底板前面のコンクリートの支圧応力度
P_H	N	基準地震動 S_s による慣性力の水平成分
μ	—	底板とコンクリートの摩擦係数
P_{vc}	N/mm ²	コンクリートの支圧力 ($\approx 0.7 \times P_H$)
H_1	mm	底板厚さ
σ_{s2}	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に生じる引張応力度
R_1'	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離
τ_s	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に生じるせん断応力度
N	本	アンカーボルトの本数
ϕ_b	mm	アンカーボルトの谷径
p	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 P_v が作用した時にアンカー板に働く等分布荷重
ϕ_a	mm	アンカーボルトの呼び径
σ_{st}	N/mm ²	アンカー板の応力度

表 3-1(2) 漂流防止装置の耐震評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
b	mm	ナット二面幅
a	mm	アンカー板幅
t	mm	アンカー板厚
τ_c	N/mm ²	アンカー板コンクリートのせん断応力度
L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ

3.2 評価対象部位

漂流防止装置の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

漂流防止装置に生じる基準地震動 S_s による慣性力に伴う荷重は係船柱、アンカーボルト及びアンカー板を介して基礎に伝達されることから、評価対象部位を係船柱、アンカーボルト及びアンカー板とする。評価対象部位を図 3-1 に示す。

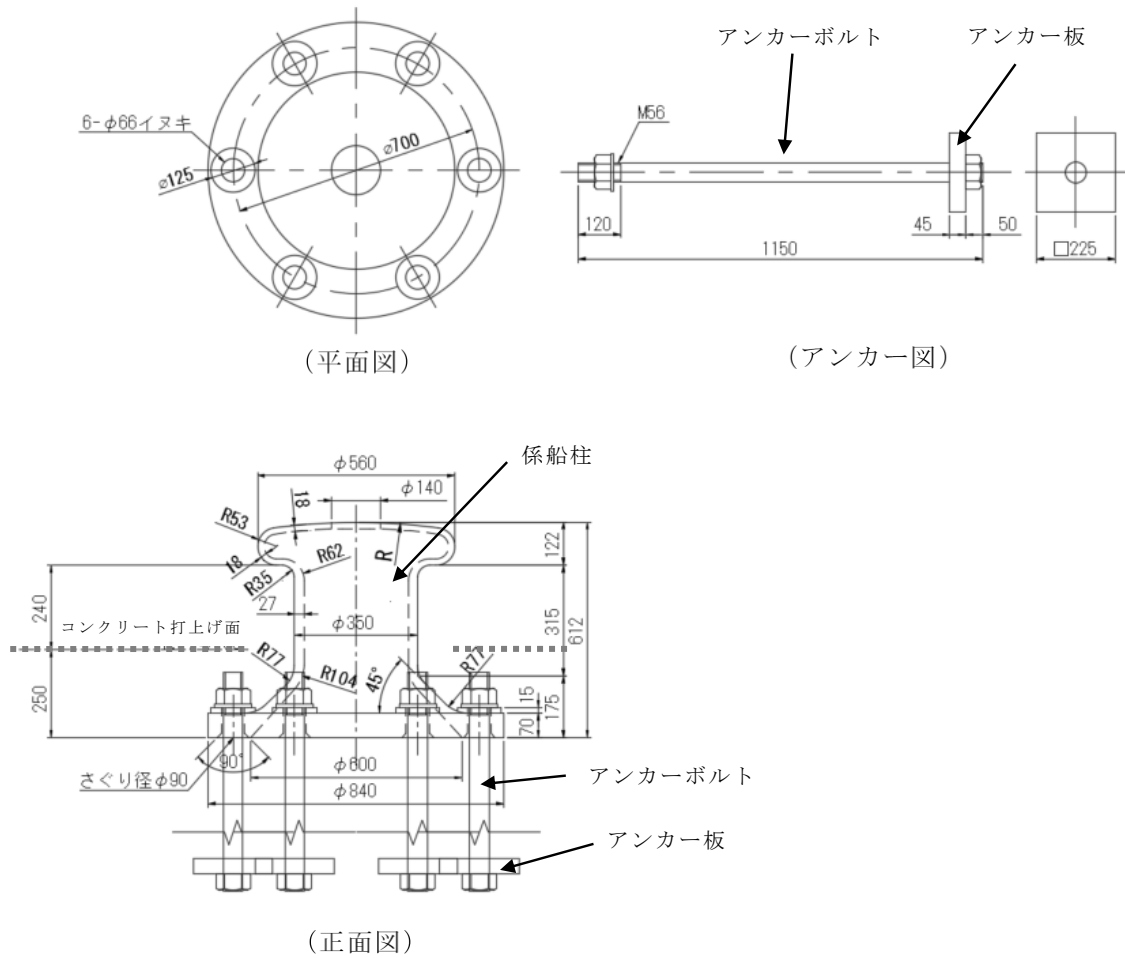


図 3-1 評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

3.3.1 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流防止装置（係船柱）の自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3.5 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて次式により算出する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k ; 設計震度 (G)

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-2 に示す。なお、その構造から風荷重及び積雪荷重は考慮しない。

表 3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 S _s	G + S _s

G : 漂流防止装置（係船柱）の固定荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重

3.4 許容限界

(1) 使用材料

漂流防止措置を構成する係船柱、アンカーボルト及びアンカー板の使用材料を表 3-3 に示す。

また、漂流防止装置の基礎で使用するコンクリートは設計基準強度 24N/mm^2 とする。

表 3-3 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
係船柱	SC450	$\phi 350$
アンカーボルト	SS400	M56 \times 1150
アンカー板	SS400	$\square 225 \times t45$

(2) 許容限界

a. 係船柱

係船柱の許容応力度は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年改訂）」及び「JIS G 5101 炭素鋼鋳鋼品」を踏まえて表 3-4 の値とする。

表 3-4 係船柱の許容応力度

材質	許容応力度 (N/mm^2)	
	曲げ・引張	せん断
SC450	205	—

b. アンカーボルト及びアンカー板

アンカーボルト及びアンカー板の許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した，表3-5の値とする。

表3-5 アンカーボルト及びアンカー板の許容応力度

材質		許容応力度 (N/mm ²)	
		曲げ・引張	せん断
SS400	$t \leq 40$	234	136
	$40 < t \leq 100$	215	124

c. コンクリート

漂流防止装置（係船柱）の周囲に打設するコンクリートの許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年）に基づき，表3-6に示す許容応力度とする。

表3-6 漂流防止装置（係船柱）の基礎の許容応力度

材質	許容応力度 (N/mm ²)	
	支圧	せん断
コンクリート（設計基準強度 24N/mm ² ）	17.5	0.67

3.5 設計用地震力

漂流防止装置（係船柱）の耐震計算に用いる設計震度は，VI-2-別添 6-2「漂流防止装置の耐震計算書」の「2. 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）についての耐震計算書」，「3. 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）についての耐震計算書」に示す漂流防止装置（係船柱）設置位置の最大応答加速度に基づき設定した表 3-7 の値とする。地震応答解析に用いた断面位置の平面図及び解析モデル図を図 3-2～3 に示す。

表 3-7 設計用地震力

地震動	設置場所及び 設置高さ (m)	地震による設計震度	
		水平方向 k_H	鉛直方向 k_{UD}
基準地震動 S_s	漂流防止装置基礎（荷揚護岸）：EL 6.0m 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）：EL 7.0m	2.3	0.5

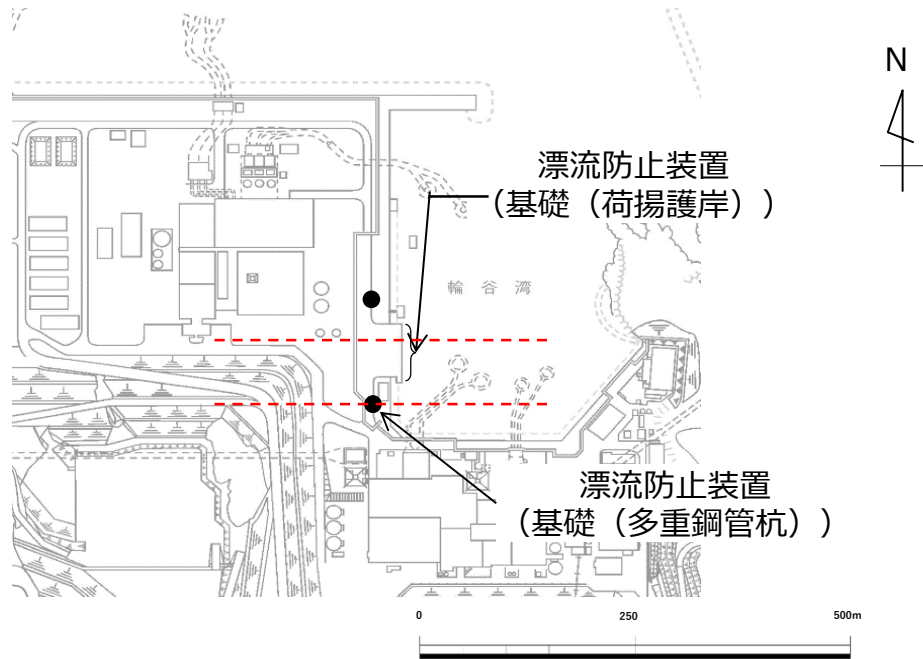


図 3-2 地震応答解析に用いた断面位置図

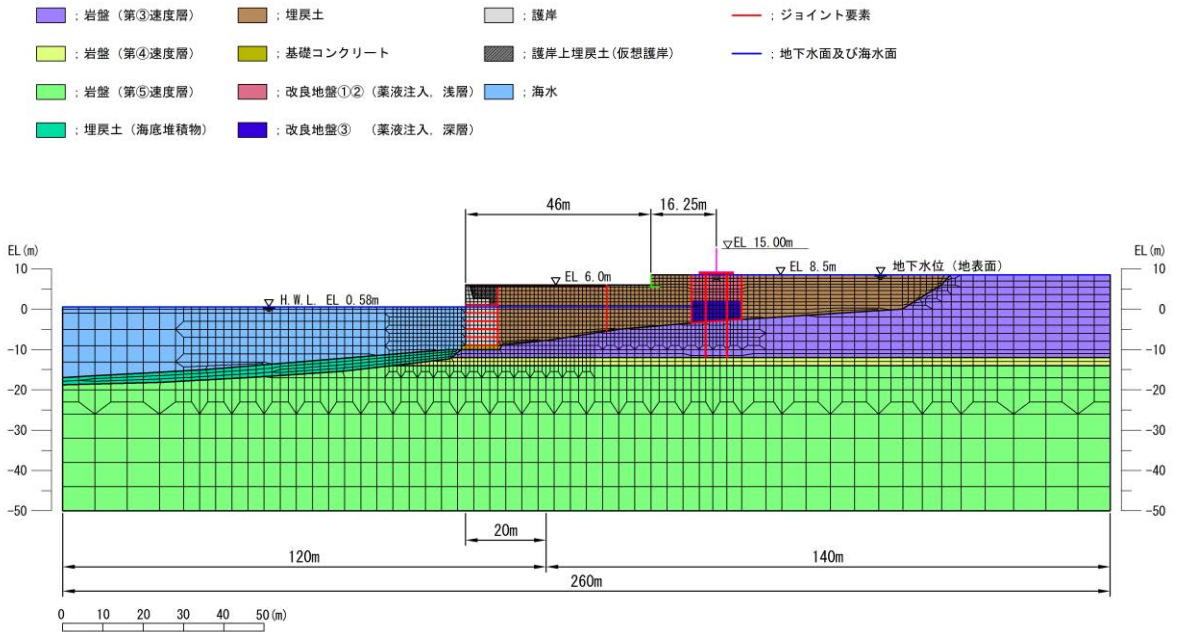


図 3-3(1) 地震応答解析モデル (漂流防止装置基礎 (荷揚護岸))

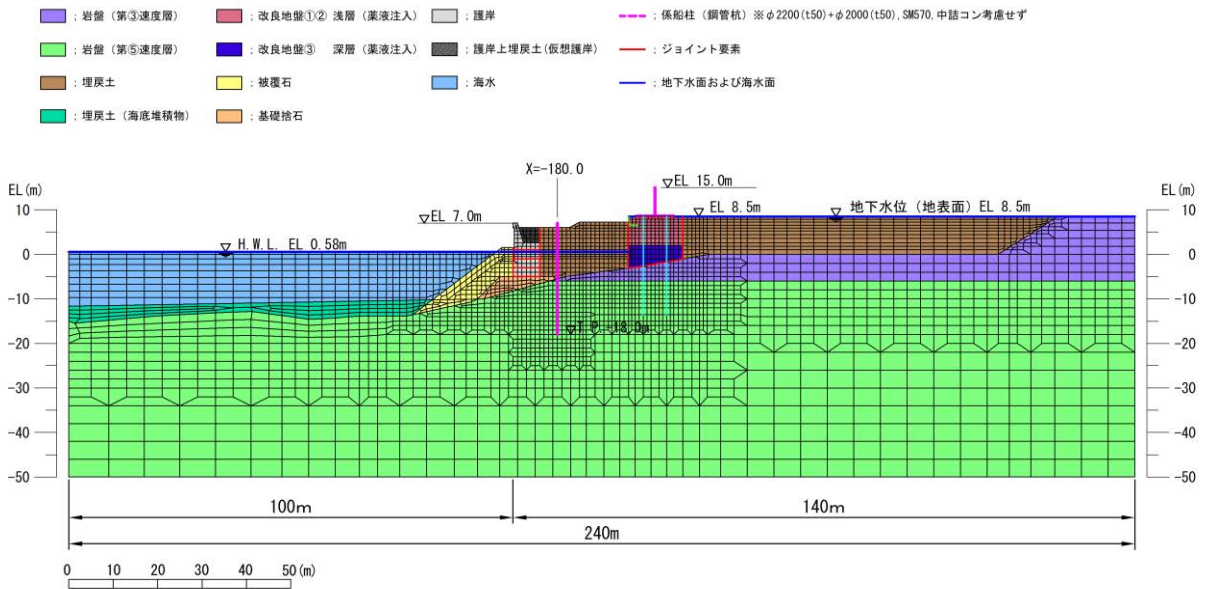


図 3-3(2) 地震応答解析モデル (漂流防止装置基礎 (多重鋼管杭))

3.6 評価方法

当該漂流防止装置を構成する係船柱，アンカーボルト及びアンカー板に発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 係船柱

係船柱の応力度の評価対象を図 3-4 に示す。

a. 係船柱

係船柱に生じる応力は，係船柱を片持ち梁として次式により算出し，係船柱の許容限界以下であることを確認する。なお，保守的に転倒モーメントを算出するため，慣性力の作用点は直胴部の上端とする。

$$\sigma_s = M_{s a} / Z_{s a} + P_v / A_{s a}$$

σ_s : 係船柱の胴部縁応力度 (N/mm²)

$M_{s a}$: 係船柱の胴部転倒モーメント (N・mm)

$$(M_{s a} = P_H \cdot 0.9D)$$

$Z_{s a}$: 係船柱の断面係数 (mm³)

P_v : 基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 (N)

$A_{s a}$: 係船柱の断面積 (mm²)

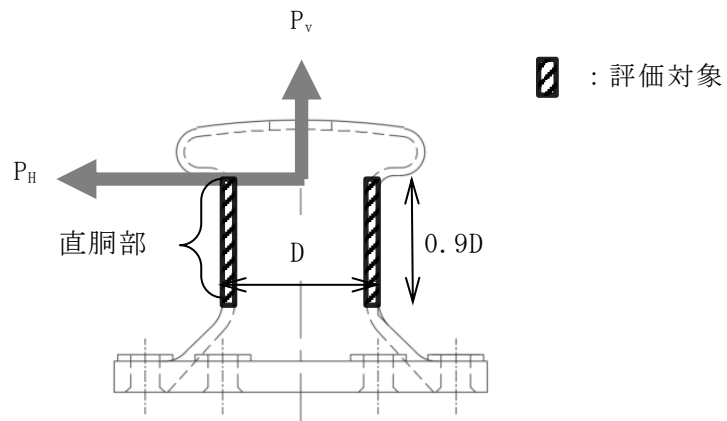


図 3-4 係船柱の応力度の評価対象

b. 係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度

係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度については、底板下面外のコンクリートを考慮せず、コンクリートの偏心荷重を心外に受けた円形梁の計算式を準用する。係船柱に作用する転倒モーメントにより生じる底板下面のコンクリートの支圧応力度を算出し、許容限界以下であることを確認する。

係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所を図 3-5 に示す。

$$\sigma_{c1} = P_v \cdot (R_1 - y) / (n \cdot G_s - G_c)$$

σ_{c1} : 底板下面のコンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 (N)

R_1 : 中心軸から底板端までの距離 (mm)

y : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

n : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

G_s : 引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

G_c : 圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

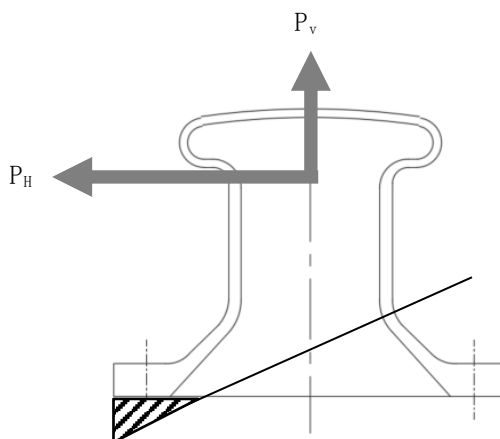


図 3-5 係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所

c. 係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度

係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度はアンカーボルトの水平力を考慮せず算出し、許容限界以下であることを確認する。

係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所を図 3-6 に示す。

$$\sigma_{c2} = (P_H - \mu \cdot P_{vc}) / (H_1 \cdot 2R_1)$$

σ_{c2} : 底板前面のコンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_H : 基準地震動 S_s による慣性力の水平成分 (N)

μ : 底板とコンクリートの摩擦係数

P_{vc} : コンクリートの支圧力 ($\approx 0.7 \times P_H$) (N/mm²)

H_1 : 底板厚さ (mm)

R_1 : 中心軸から底板端までの距離 (mm)

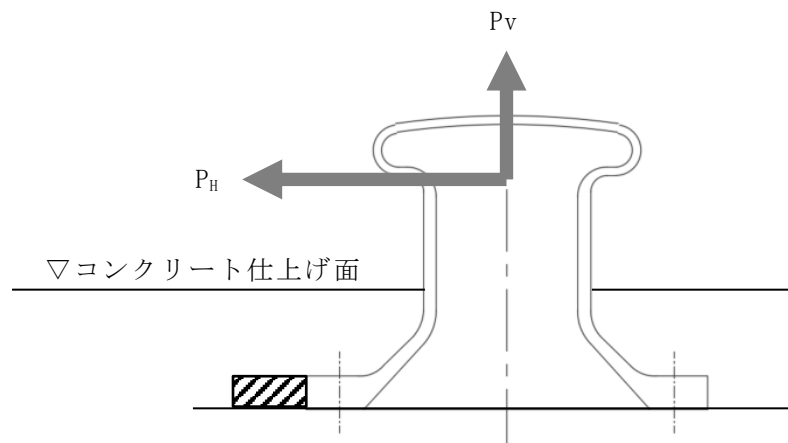


図 3-6 係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所

(2) アンカーボルト

アンカーボルトのせん断力度の評価対象を図 3-7 に示す。

a. アンカーボルトに生じる引張応力度

アンカーボルトの引張応力度については、底板下面外のコンクリートを考慮せず、コンクリートの偏心荷重を心外に受けた円形梁の計算式を準用する。係船柱に作用する転倒モーメントにより生じるアンカーボルトの引張応力度を算出し、許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_{s2} = P_v \cdot (R_1' + y) / (G_s - G_c / n)$$

σ_{s2} : アンカーボルト 1 本に生じる引張応力度 (N/mm²)

P_v : 基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 (N)

R_1' : 中心軸からアンカーボルト位置までの距離 (mm)

y : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

G_s : 引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

G_c : 圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

n : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

b. アンカーボルトに生じるせん断応力度

アンカーボルトのせん断応力度については、底板前面のコンクリートの支圧応力及び摩擦抵抗力を考慮せず計算し、許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_s = (P_H / N) / (\pi / 4 \cdot \phi_b^2)$$

τ_s : アンカーボルト 1 本に生じるせん断応力度 (N/mm²)

P_H : 基準地震動 S_s による慣性力の水平成分 (N)

N : アンカーボルトの本数 (本)

ϕ_b : アンカーボルトの谷径 (mm)

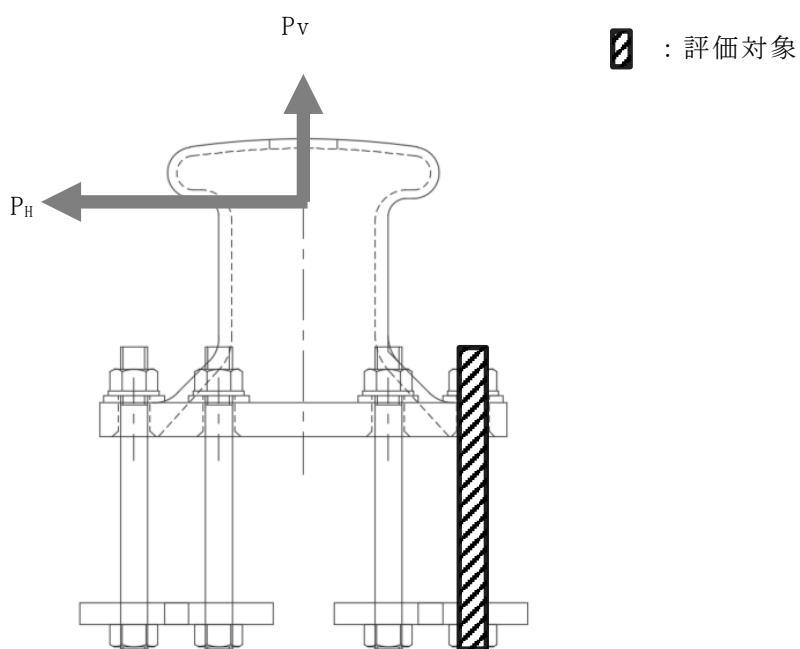


図 3-7 アンカーボルトのせん断力度の評価対象

(3) アンカー板

a. アンカー板の応力度

アンカー板の応力は、アンカーボルト 1 本に基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 P_v が作用した時にアンカー板に等分布荷重 p が働くとしてアンカー板の曲げモーメントを計算し、許容限界以下であることを確認する。

アンカー板の応力度の評価対象を図 3-8 に示す。

$$p = P_v / \{ \pi / 4 \cdot (4 \cdot \phi_a)^2 - (\pi / 4 \times \phi_a^2) \}$$

p : 等分布荷重 (N/mm²)

P_v : 基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 (N)

ϕ_a : アンカーボルトの呼び径 (mm)

$$\sigma_{st} = \beta \cdot p \cdot (a / 2)^2 / t^2$$

σ_{st} : アンカー板の応力度 (N/mm²)

β : 最大応力係数 (= b / a)

b : ナット二面幅 (mm)

a : アンカー板幅 (mm)

t : アンカー板厚 (mm)

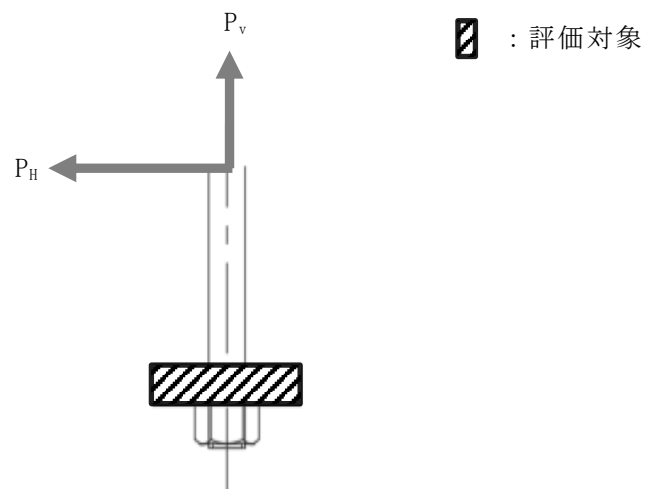


図 3-8 アンカー板の応力度の評価対象

b. アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度

アンカーボルトの引張力によるアンカー板上面のコンクリートの支圧応力度を計算し、許容限界以下であることを確認する。

アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度の評価対象を図 3-9 に示す。

$$\sigma_c = P_v \cdot (\pi / 4) \cdot a^2$$

σ_c : アンカー板上面コンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 (N)

a : アンカー板幅 (mm)

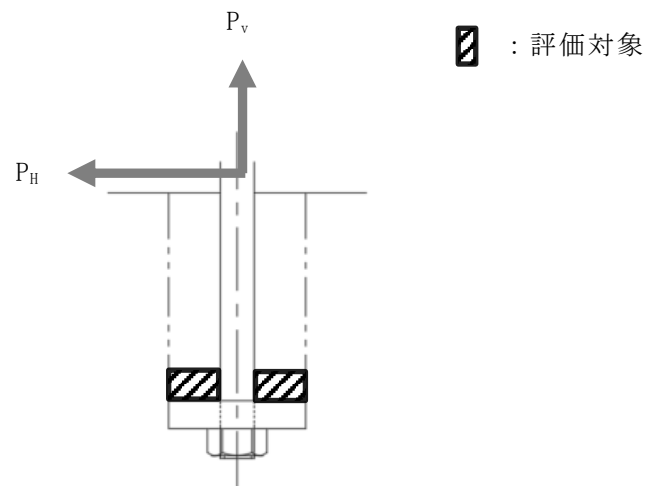


図 3-9 アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度の評価対象

c. アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度

アンカーボルトの引張力によるアンカー板上方のコンクリートのせん断応力度を計算し、許容限界以下であることを確認する。アンカーボルトの引張力によるアンカー板上方のコンクリートのせん断応力度の評価対象を図 3-10 に示す。

$$\tau_c = P_v / (L \cdot \pi \cdot a)$$

τ_c : アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

P_v : 基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 (N)

L : アンカーボルトの埋込み長さ (mm)

a : アンカー板幅 (mm)

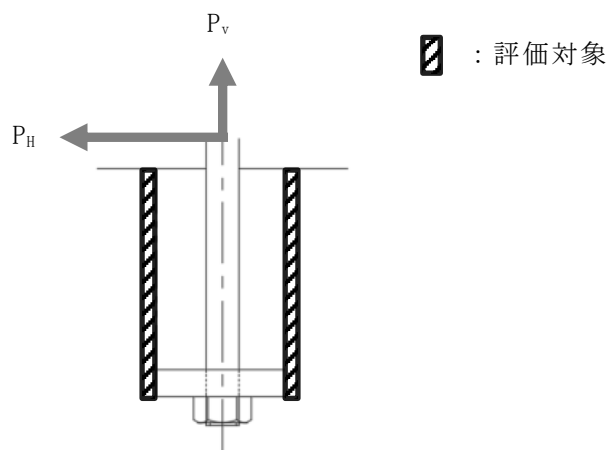


図 3-10 アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度の評価対象

4. 評価条件

「3. 耐震評価」に用いる評価条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 耐震評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	値
係船柱	$M_{s a}$	N・mm	係船柱の胴部転倒モーメント	2524410
	P_v	N	基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分	5411
	D	mm	係船柱の胴部径	350
	$Z_{s a}$	mm ³	係船柱の断面係数	2055972.3
	$A_{s a}$	mm ²	係船柱の断面積	27397.8
	y	mm	中心軸と中立軸の距離	115.9
	R_1	mm	中心軸から底板端までの距離	420.0
	n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比	15
	G_c	mm ³	圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント	17289181.7
	G_s	mm ³	引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント	2108687.8
	P_H	N	基準地震動 S_s による慣性力の水平成分	8014
	μ	—	底板とコンクリートの摩擦係数	0.3
H_1	mm	底板厚さ	70	
アンカーボルト	R_1'	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離	350.0
	N	本	アンカーボルトの本数	6
	ϕ_b	mm	アンカーボルトの谷径	50.0
	ϕ_a	mm	アンカーボルトの呼び径	56.0
アンカー板	β	—	最大応力係数	3
	b	mm	ナット二面幅	85.0
	t	mm	アンカー板厚	45.0
	p	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に基準地震動 S_s による慣性力の鉛直成分 P_v が作用した時にアンカー板に働く等分布荷重	0.15
	a	mm	アンカー板幅	225.0
	L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ	850.0

5. 評価結果

漂流防止装置の耐震評価結果を表 5-1 に示す。漂流防止装置の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、漂流防止装置が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 漂流防止装置の照査結果

評価対象部位		発生値 (応力度)		許容限界		照査値
係船柱	胴部縁応力度	1.43	N/mm ²	205	N/mm ²	0.007
	底版下面のコンクリートの支圧応力度	0.11	N/mm ²	17.5	N/mm ²	0.007
	底版前面のコンクリートの支圧応力度	0.11	N/mm ²	17.5	N/mm ²	0.007
アンカー ボルト	引張応力度	2.64	N/mm ²	215	N/mm ²	0.013
	せん断応力度	0.68	N/mm ²	124	N/mm ²	0.006
アンカー 板	アンカー板の 応力度	2.75	N/mm ²	215	N/mm ²	0.013
	コンクリートの 支圧応力度	0.14	N/mm ²	17.5	N/mm ²	0.008
	コンクリートの せん断応力度	0.01	N/mm ²	0.67	N/mm ²	0.015

2. 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	6
3.	耐震評価	7
3.1	評価対象断面	7
3.2	解析方法	8
3.2.1	施設	8
3.2.2	減衰係数	8
3.2.3	解析ケース	9
3.3	荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	11
3.3.2	荷重	11
3.3.3	荷重の組合せ	12
3.4	入力地震動	13
3.5	解析モデル及び諸元	26
3.5.1	解析モデル	26
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	28
3.5.3	地盤及び改良地盤の物性値	28
3.5.4	地下水位	29
3.6	評価対象部位	29
3.7	許容限界	29
3.8	評価方法	29
4.	耐震評価結果	30

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、漂流防止装置（係船柱）を設置する漂流防止装置基礎（荷揚護岸）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく施設の変形性評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の位置を図 2-1 に示す。

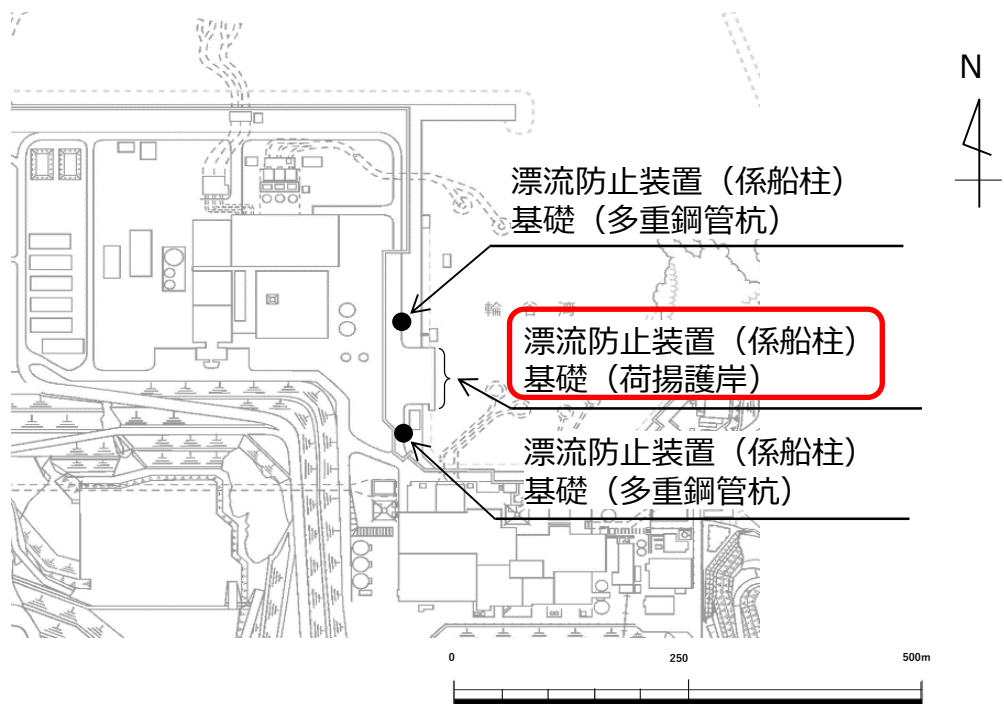


図 2-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）位置

2.2 構造概要

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の構造図を図2-2に示す。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は岩盤上に設置され、基礎コンクリート、セルラーブロック及び上部工からなる。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、上部に漂流防止装置（係船柱）を設置する。

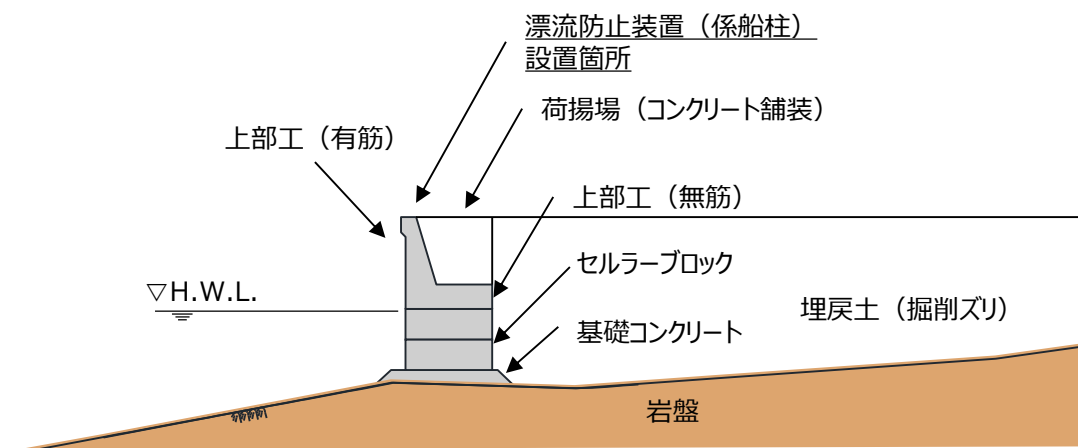


図2-2 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の構造図

2.3 評価方針

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、漂流防止装置（係船柱）を支持する。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の役割を表 2-1 に示す。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価として、地震応答解析の結果に基づき、表 2-2 に示すとおり、施設の変形性能評価を行い、構造強度を有することを確認する。

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

表 2-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の役割

名称	地震時の役割	津波時の役割
漂流防止装置基礎（荷揚護岸）	・漂流防止装置基礎として係留機能を喪失するような変形を抑止する。	・役割に期待しない。

表 2-2 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の変形性能	漂流防止装置基礎（荷揚護岸）	漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の残留水平変形量が許容限界を超えないことを確認	残留変形量

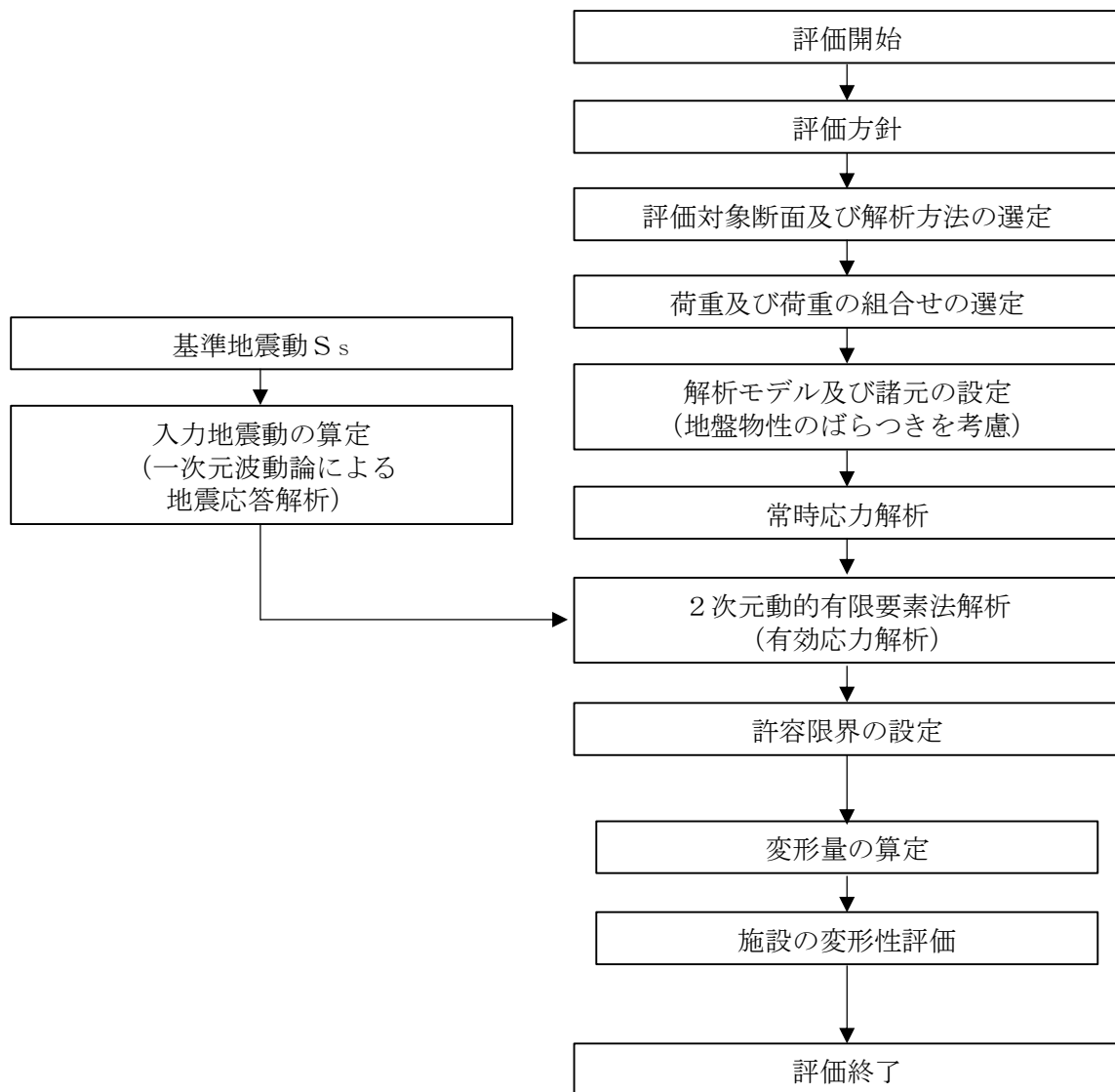


図 2-3 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）
- ・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）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成19年7月）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価対象断面は、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。図3-1に漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価対象断面位置図を、図3-2に⑥-⑥断面の横断図を示す。

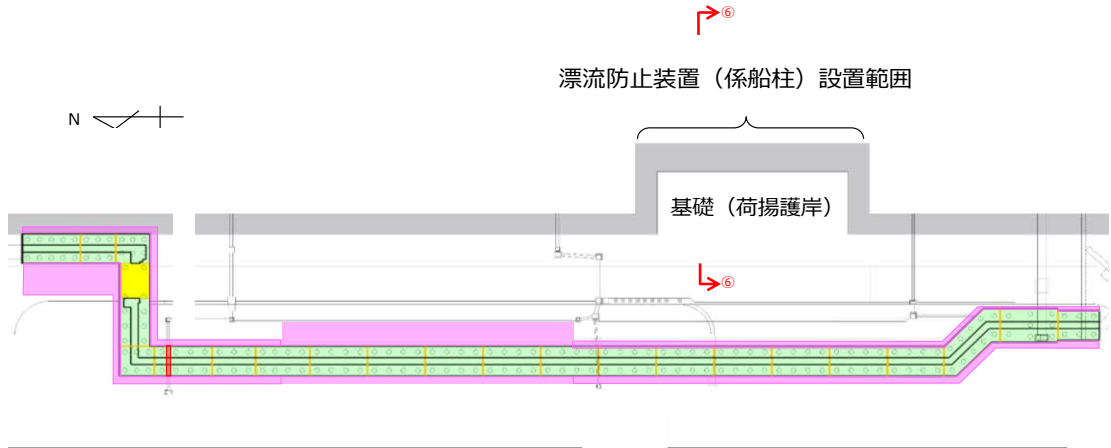


図3-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の評価対象断面位置図

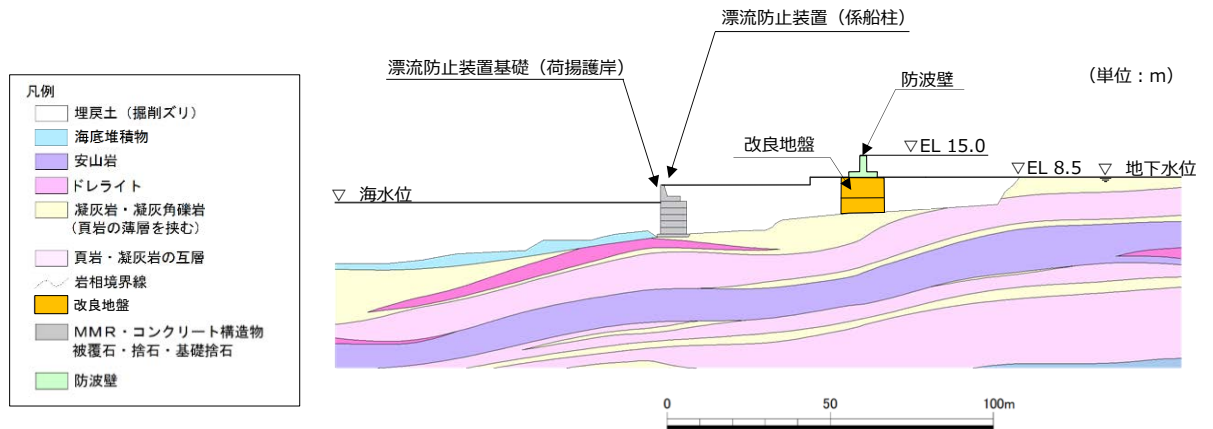


図3-2 ⑥-⑥断面横断図

3.2 解析方法

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素及び平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 施設

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、平面ひずみ要素としてモデル化する。

3.2.2 減衰係数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰を設定する。

3.2.3 解析ケース

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震時の応答は周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表 3-1 に示す解析ケースにおいて考慮する。

図 3-2 に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が、地震時に漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。耐震評価においては、全ての評価対象断面及び基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動 S_s に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。

表 3-1 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1σ	平均値
ケース③	平均値 - 1σ	平均値

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本 ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した 解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した 解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動 (位相)	S _s -D	++*	○	基準地震動 S _s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、残留変形量の照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	
	S _s -F 1	++*	○	
	S _s -F 2	++*	○	
	S _s -N 1	++*	○	
		-+*	○	
	S _s -N 2 (NS)	++*	○	
		-+*	○	
S _s -N 2 (EW)	++*	○		
	-+*	○		

注記* : 地震動の位相について、(++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の自重を考慮する。

(2) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s の荷重を考慮する。

(3) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施工細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + S _s + P _s

G : 固定荷重

S_s : 地震時荷重

P_s : 積雪荷重

3.4 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を、一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4～図 3-15 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

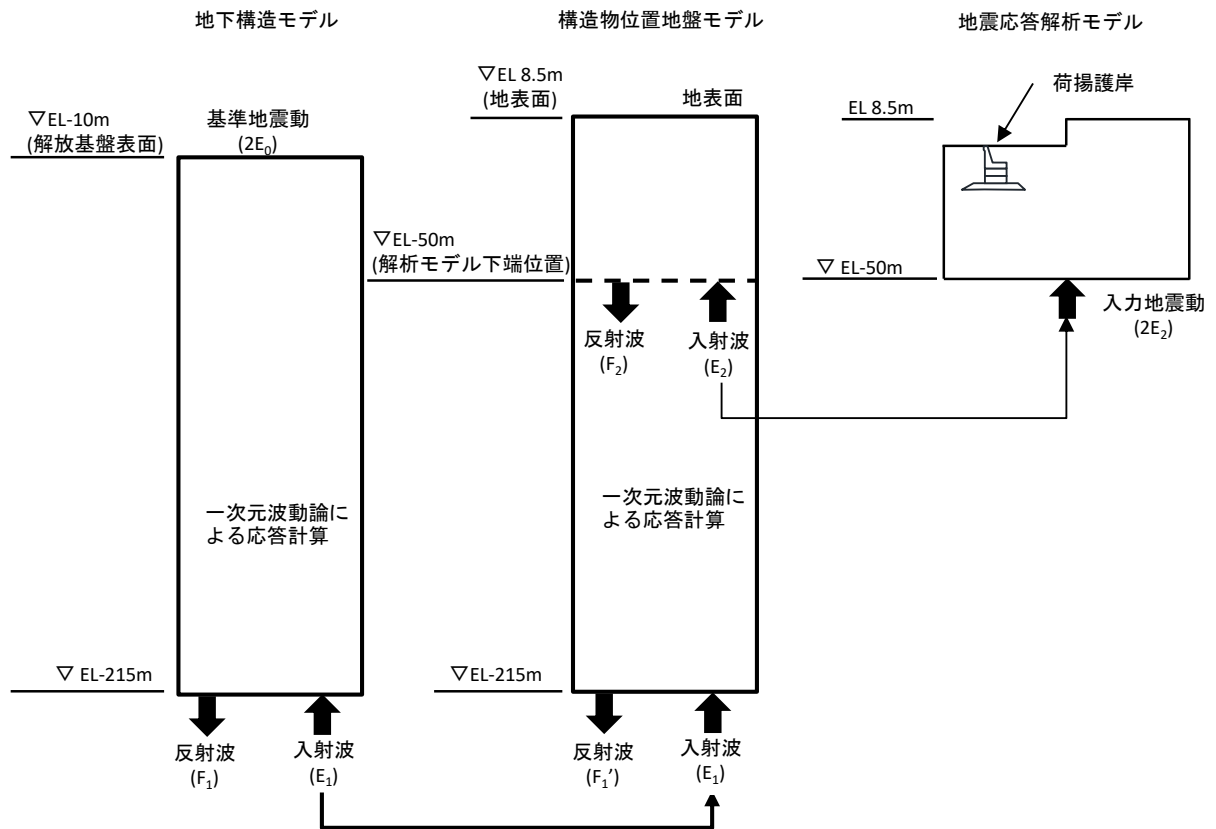
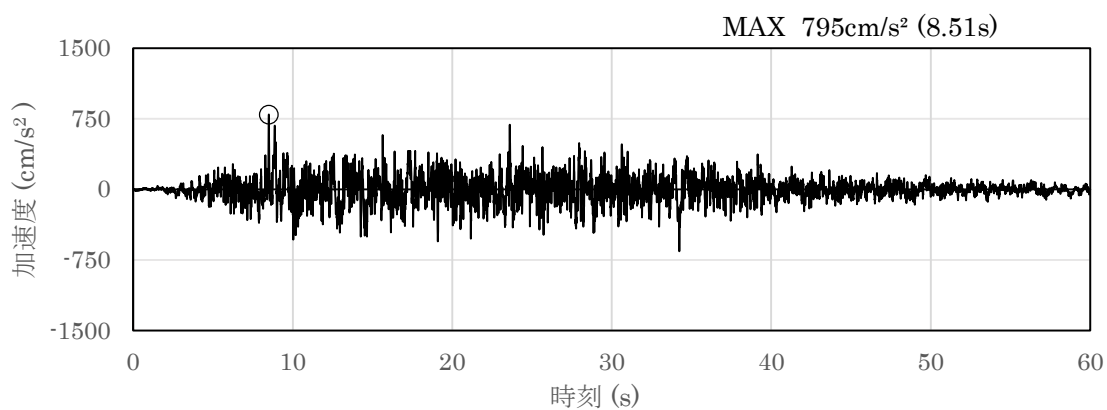
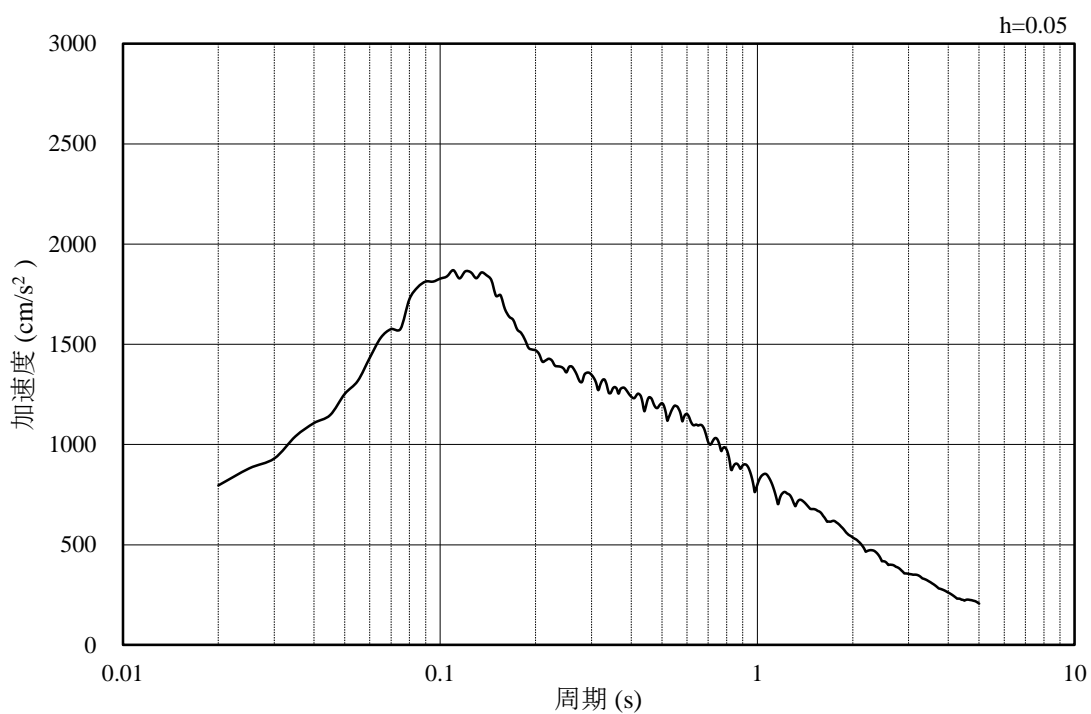


図 3-3 入力地震動算定の概念図

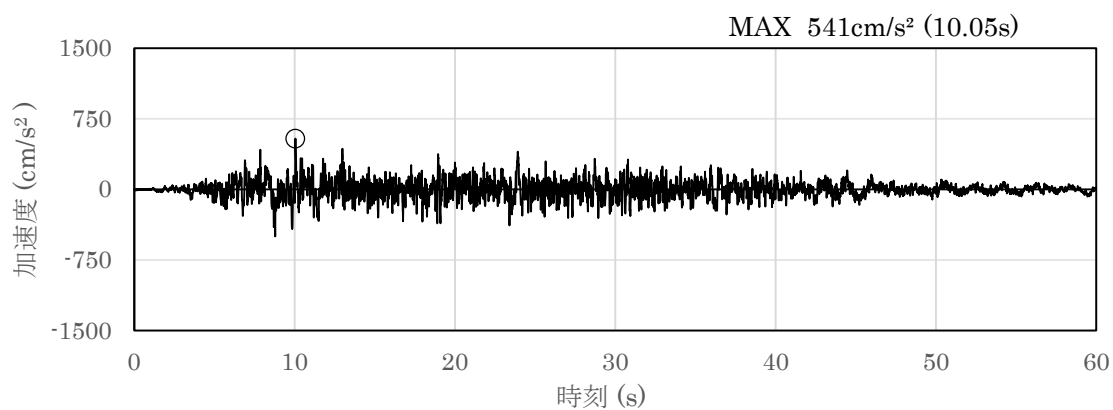


(a) 加速度時刻歴波形

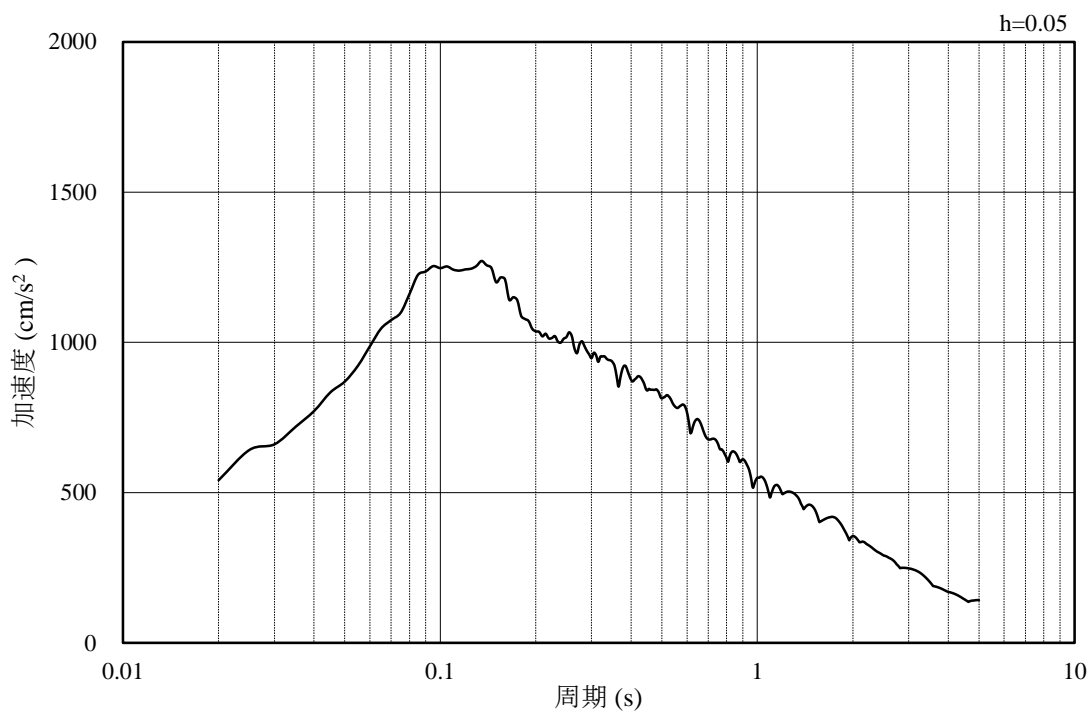


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - D)

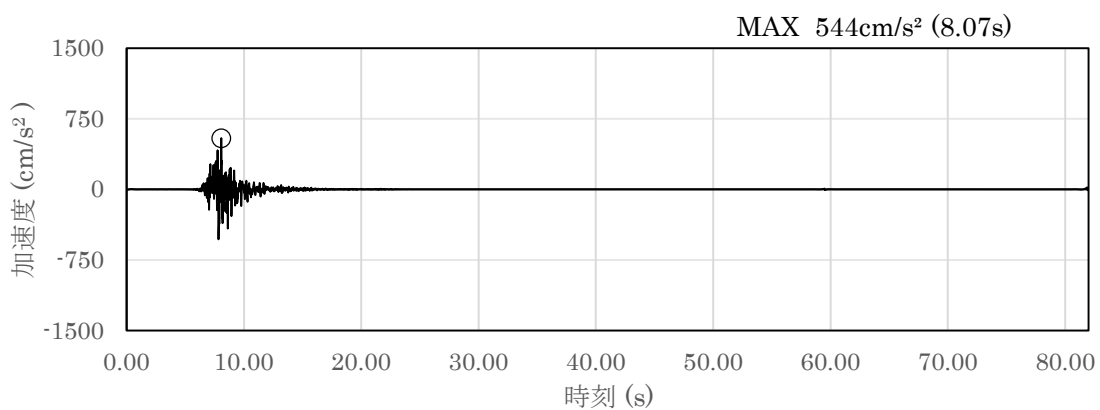


(a) 加速度時刻歴波形

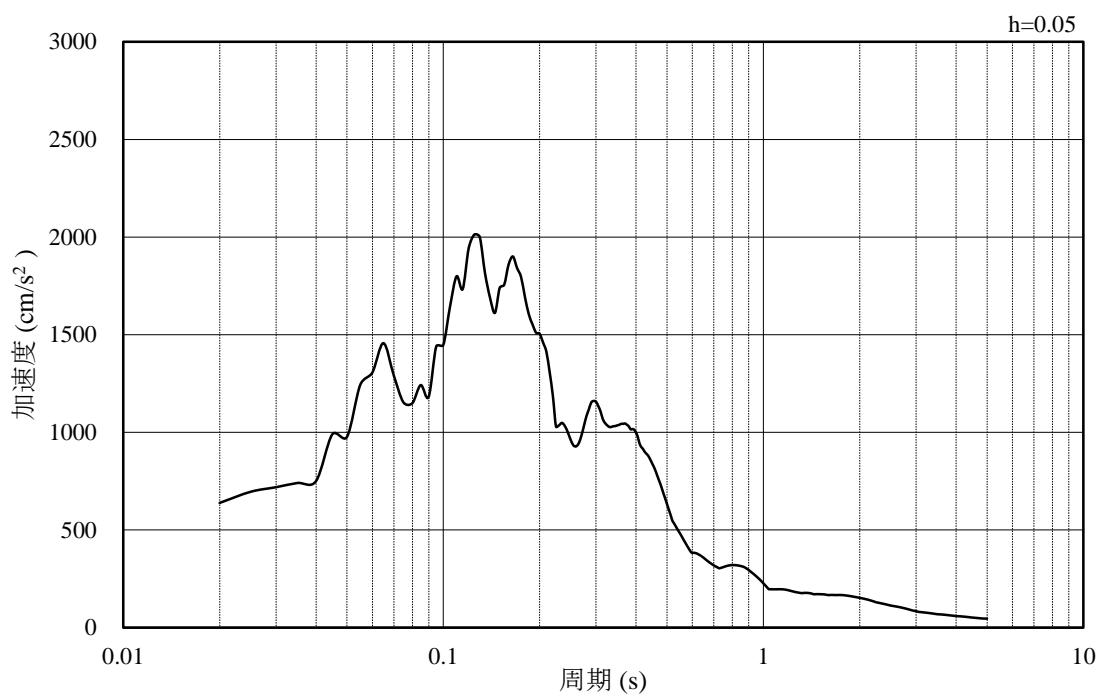


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

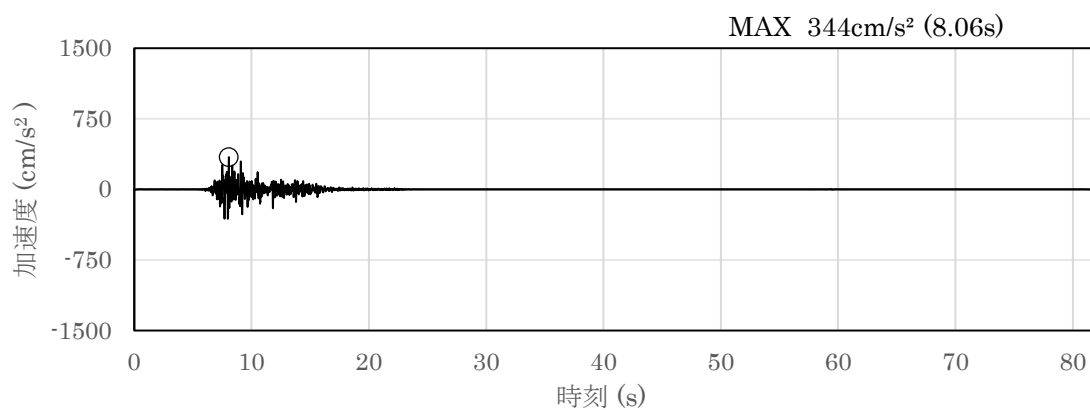


(a) 加速度時刻歴波形

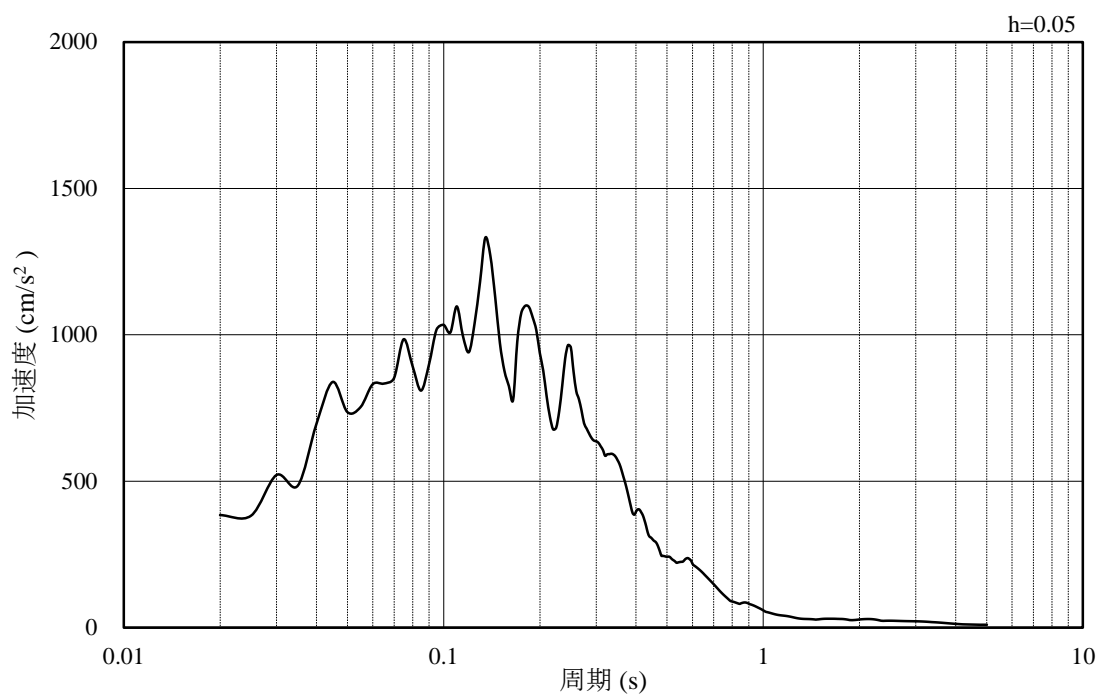


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

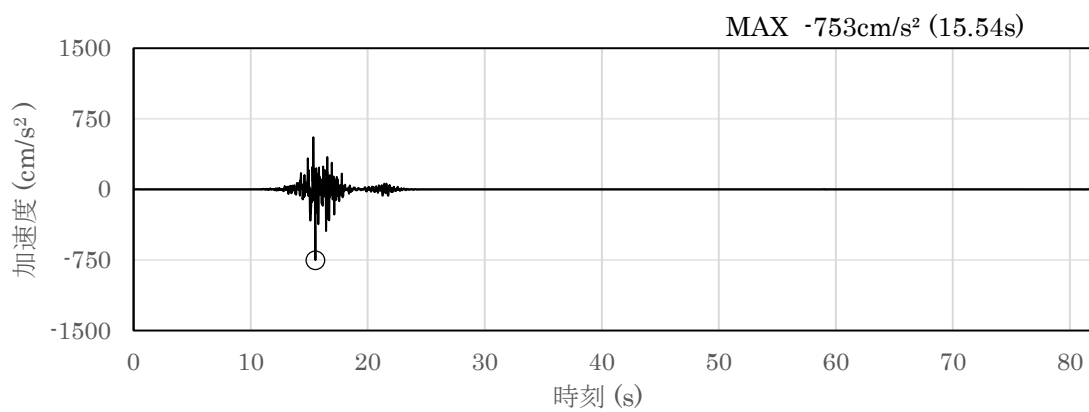


(a) 加速度時刻歴波形

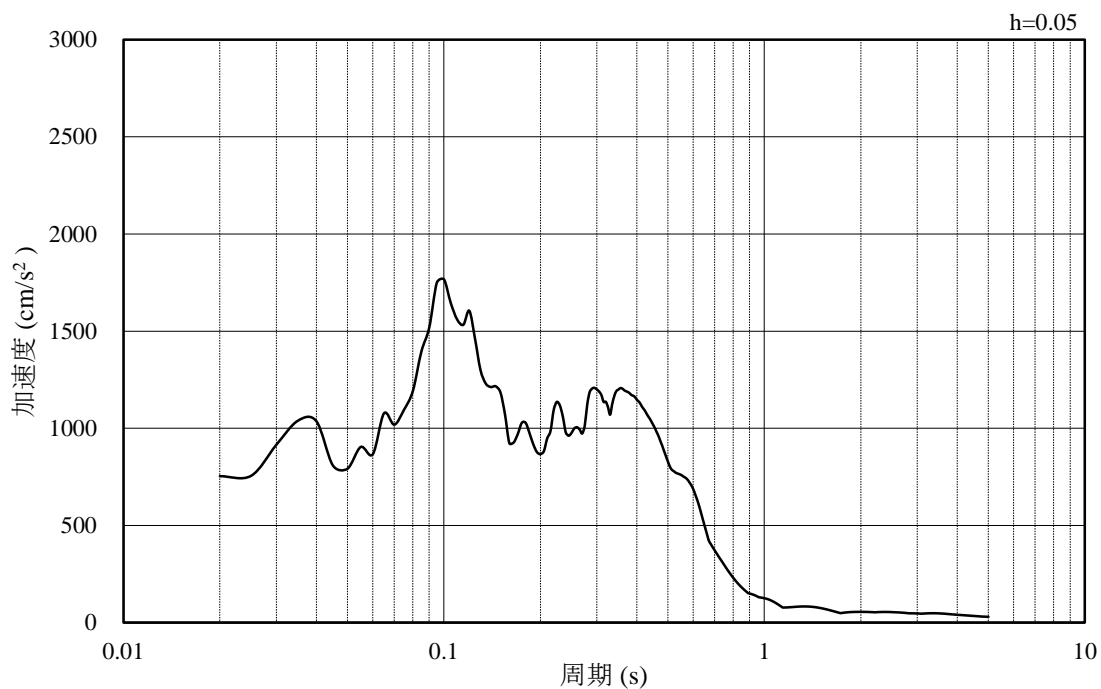


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

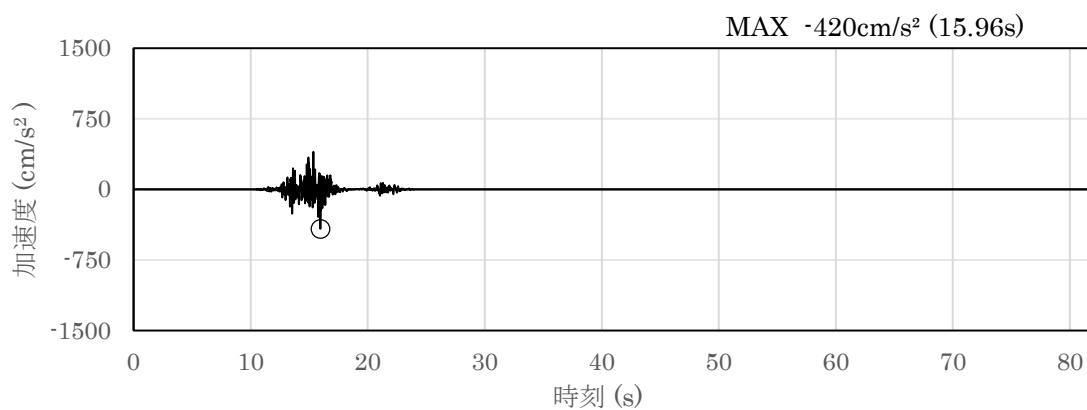


(a) 加速度時刻歴波形

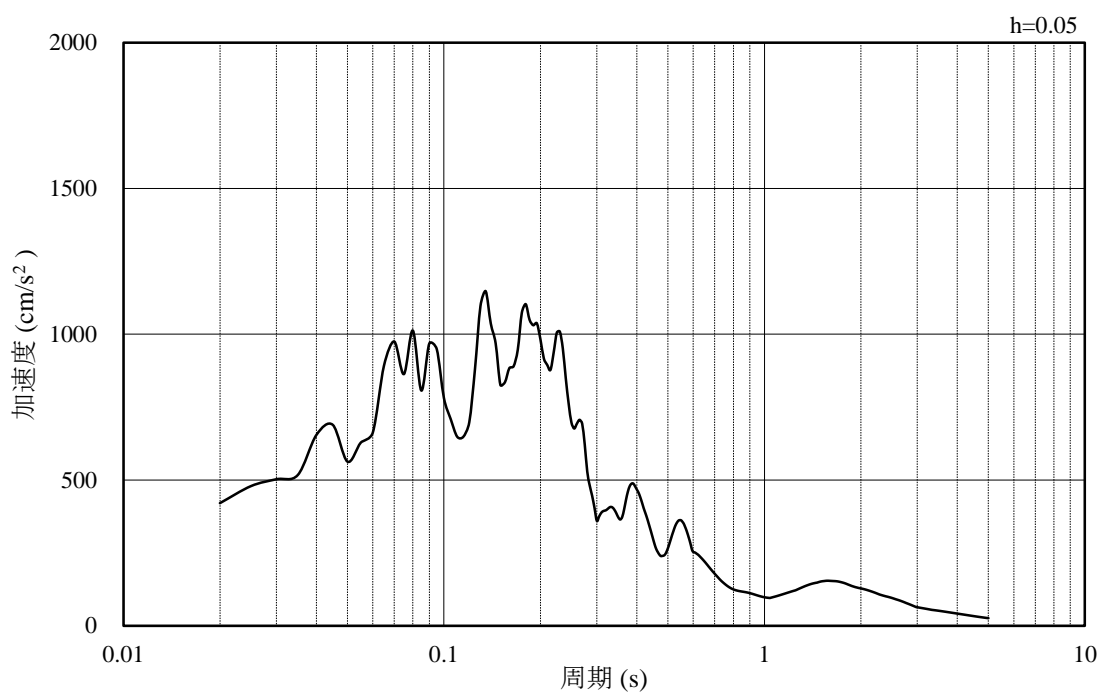


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

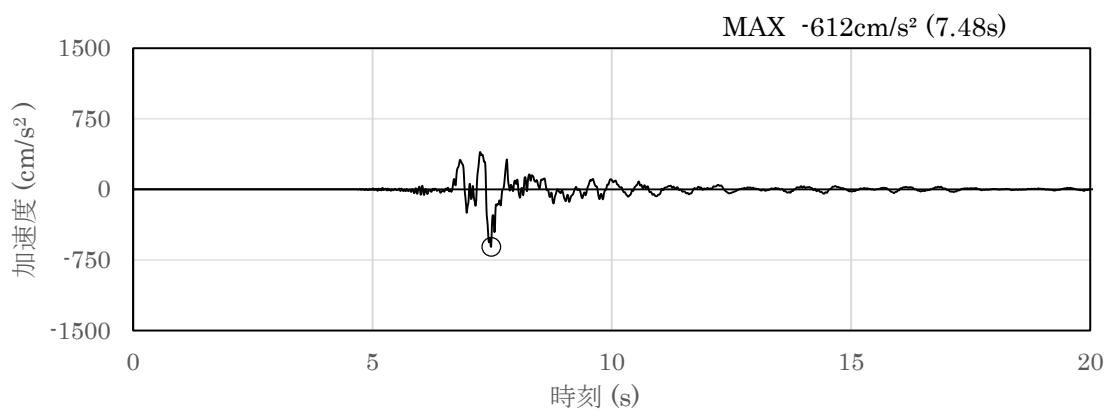


(a) 加速度時刻歴波形

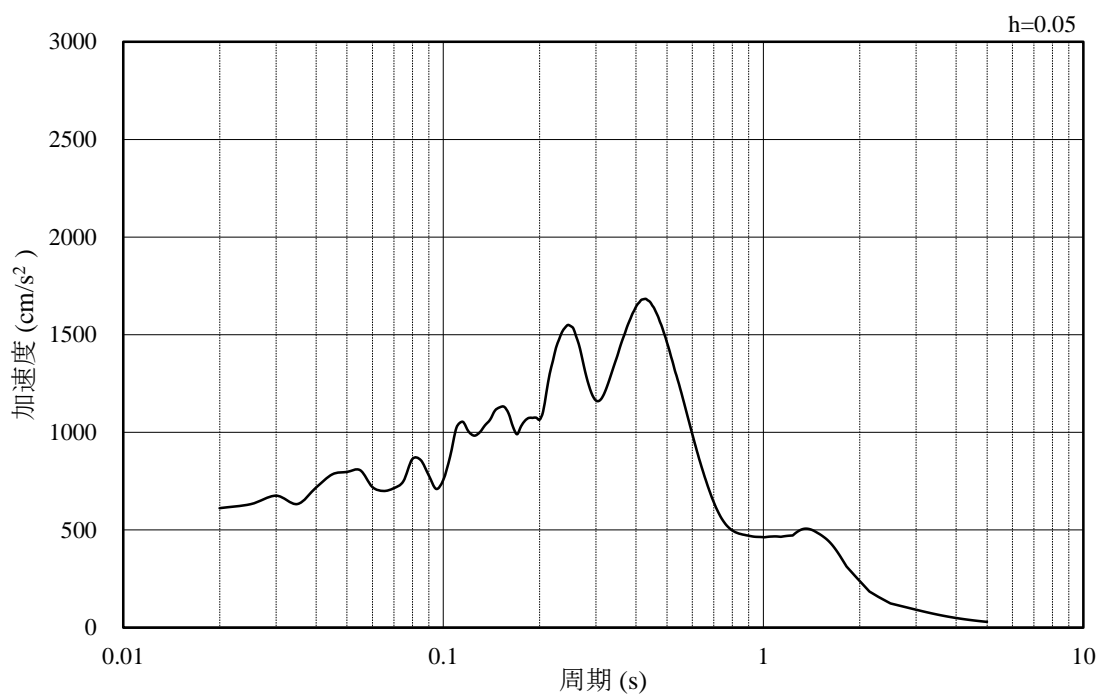


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

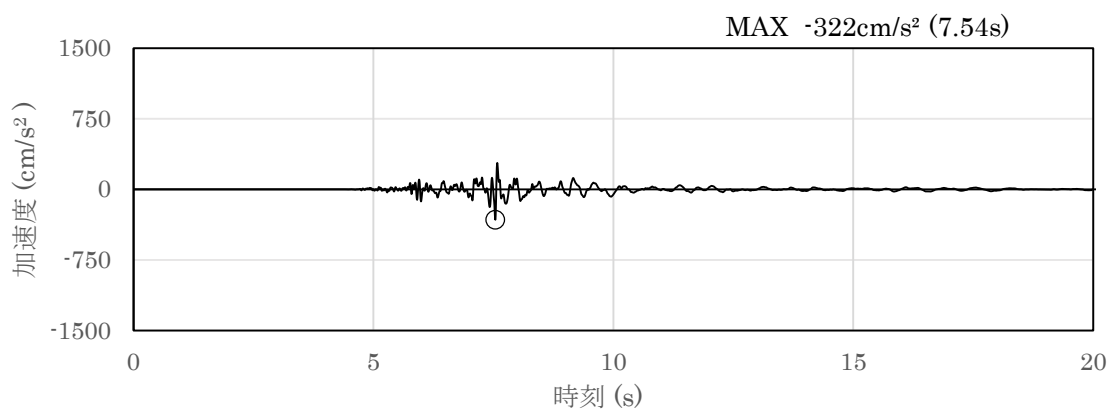


(a) 加速度時刻歴波形

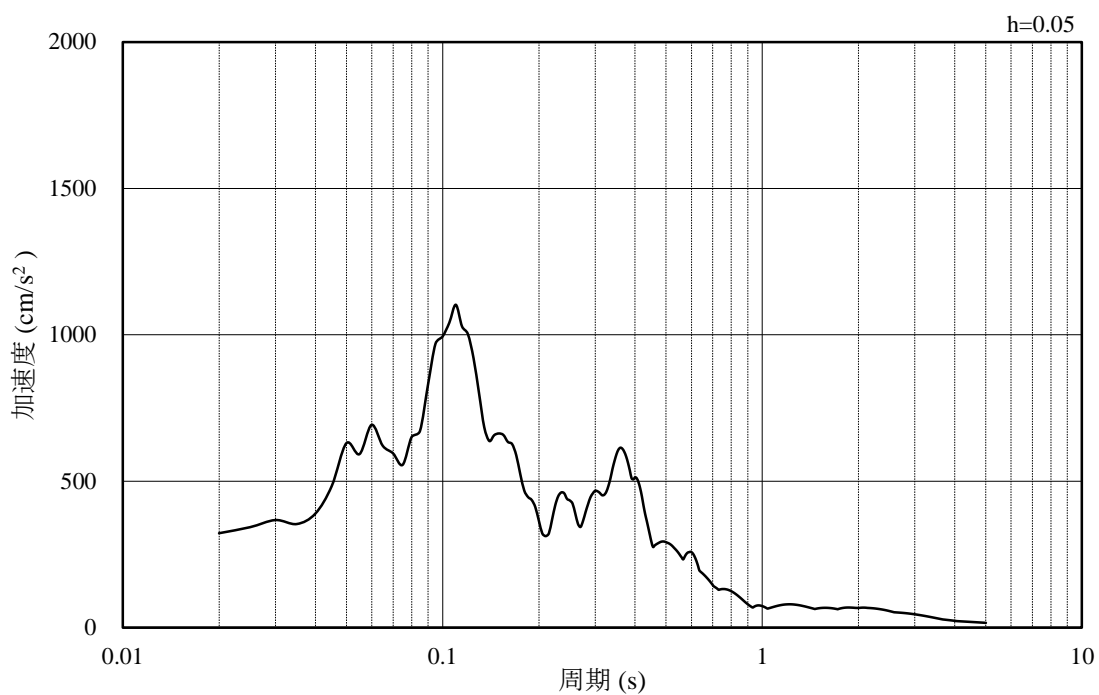


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

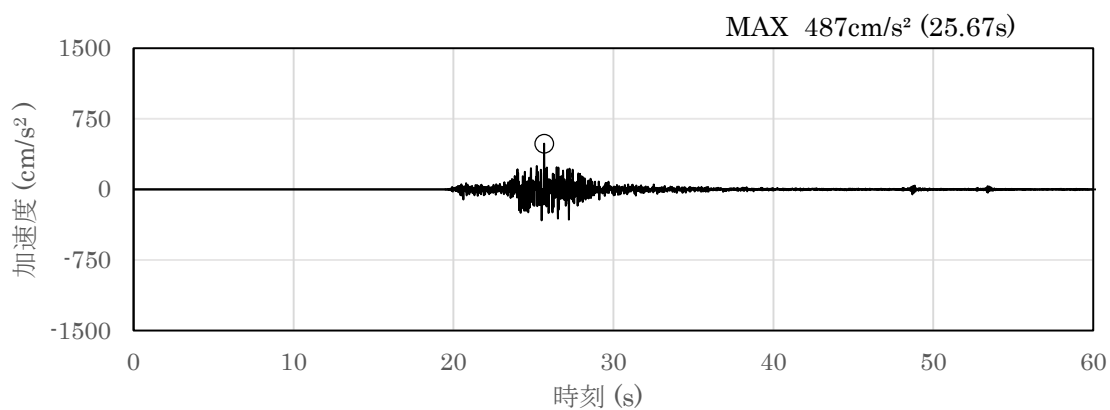


(a) 加速度時刻歴波形

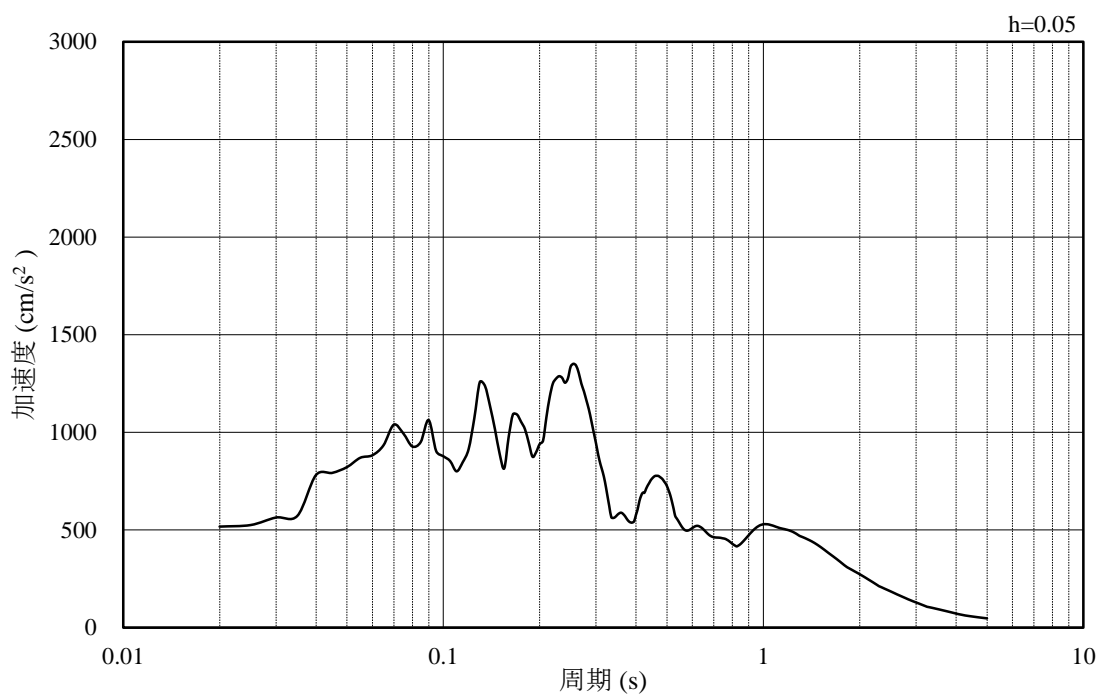


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

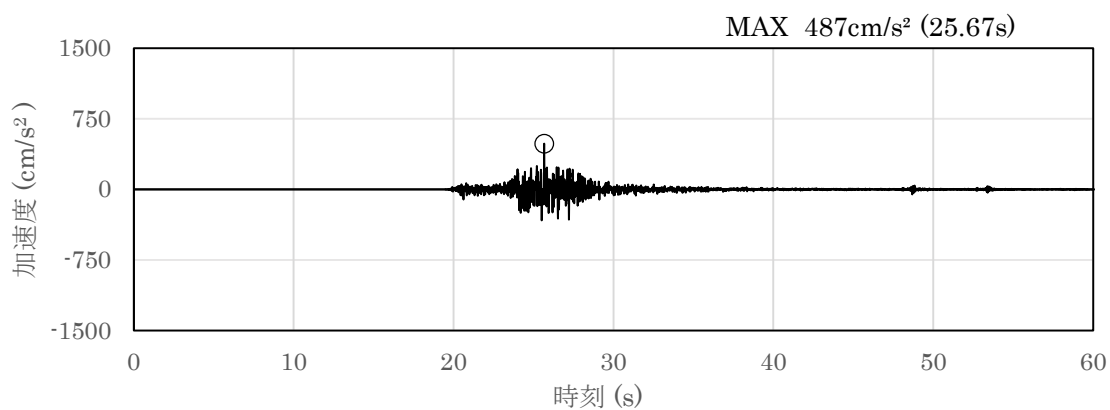


(a) 加速度時刻歴波形

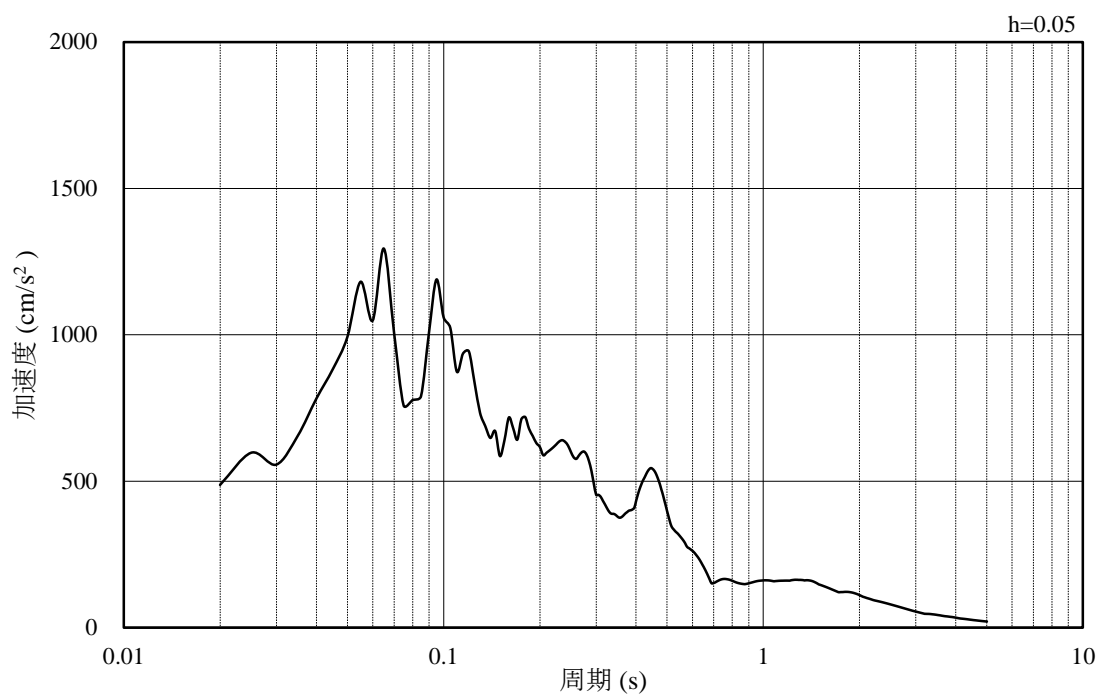


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S_s-N2(N S))

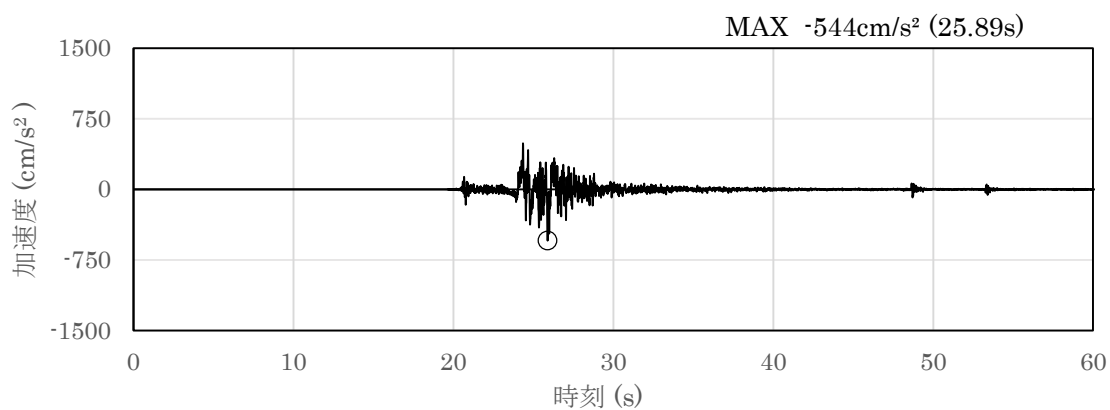


(a) 加速度時刻歴波形

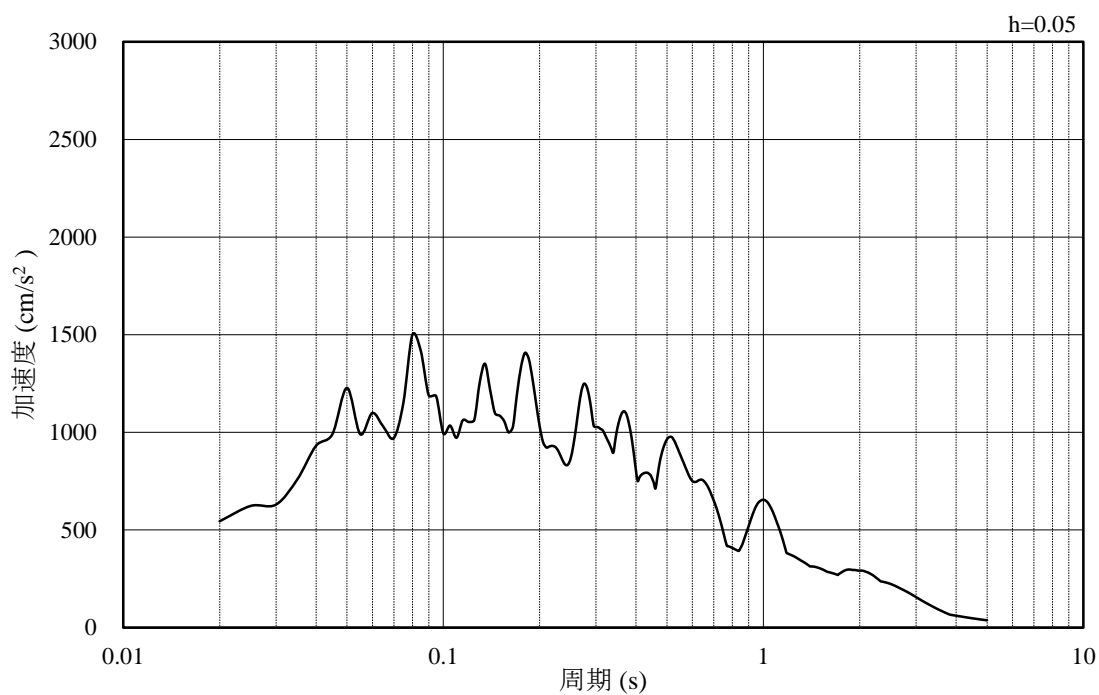


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

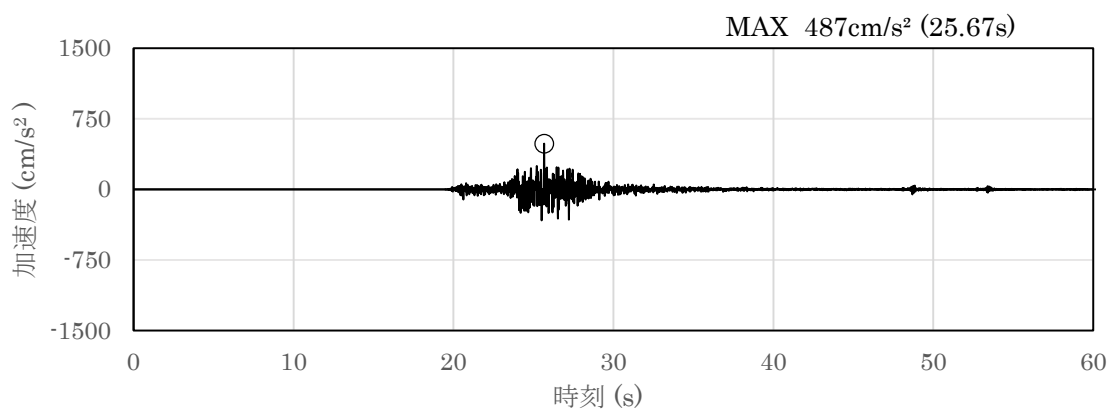


(a) 加速度時刻歴波形

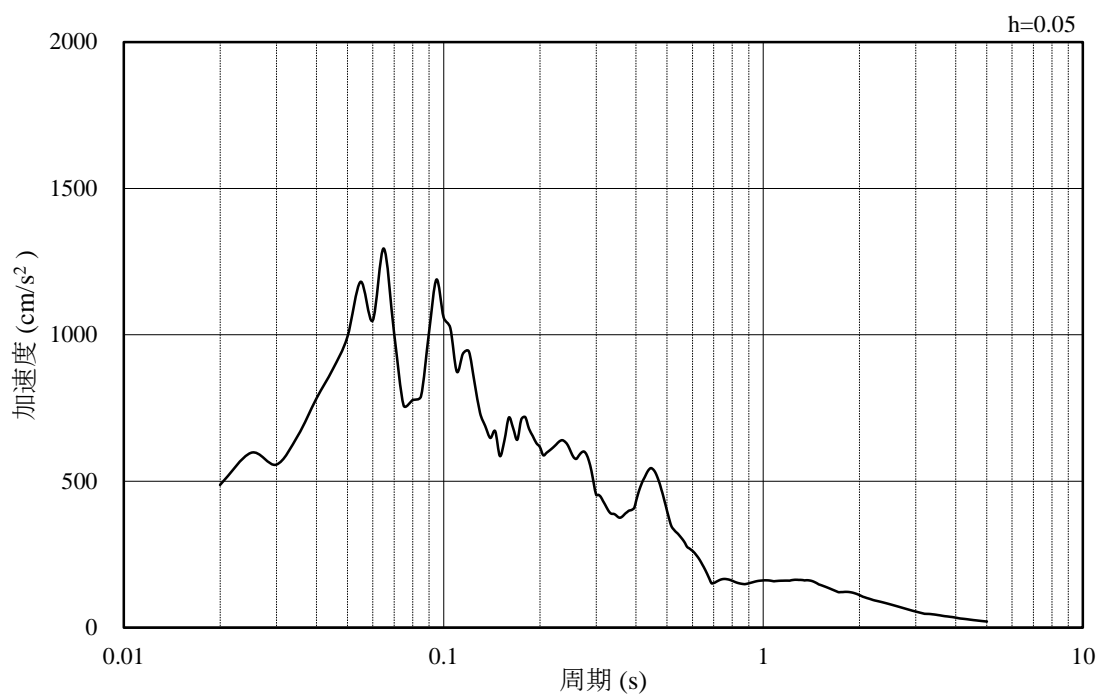


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

3.5 解析モデル及び諸元

使用材料，材料の物性値及び地下水位については，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について以下に示す。

3.5.1 解析モデル

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析モデルを図 3-17 に示す。

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

(2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については，有限要素解析における半無限地盤を模擬するため，粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）はコンクリート造であり，平面ひずみ要素でモデル化する。漂流防止装置（係船柱）は，基礎に比較し十分に重量が小さいことから考慮しない。

(4) 地盤のモデル化

地盤は，マルチスプリング要素および間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「荷揚護岸と埋戻土」及び「荷揚護岸の構造間」の接合面における剥離及びすべりを考慮するため，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

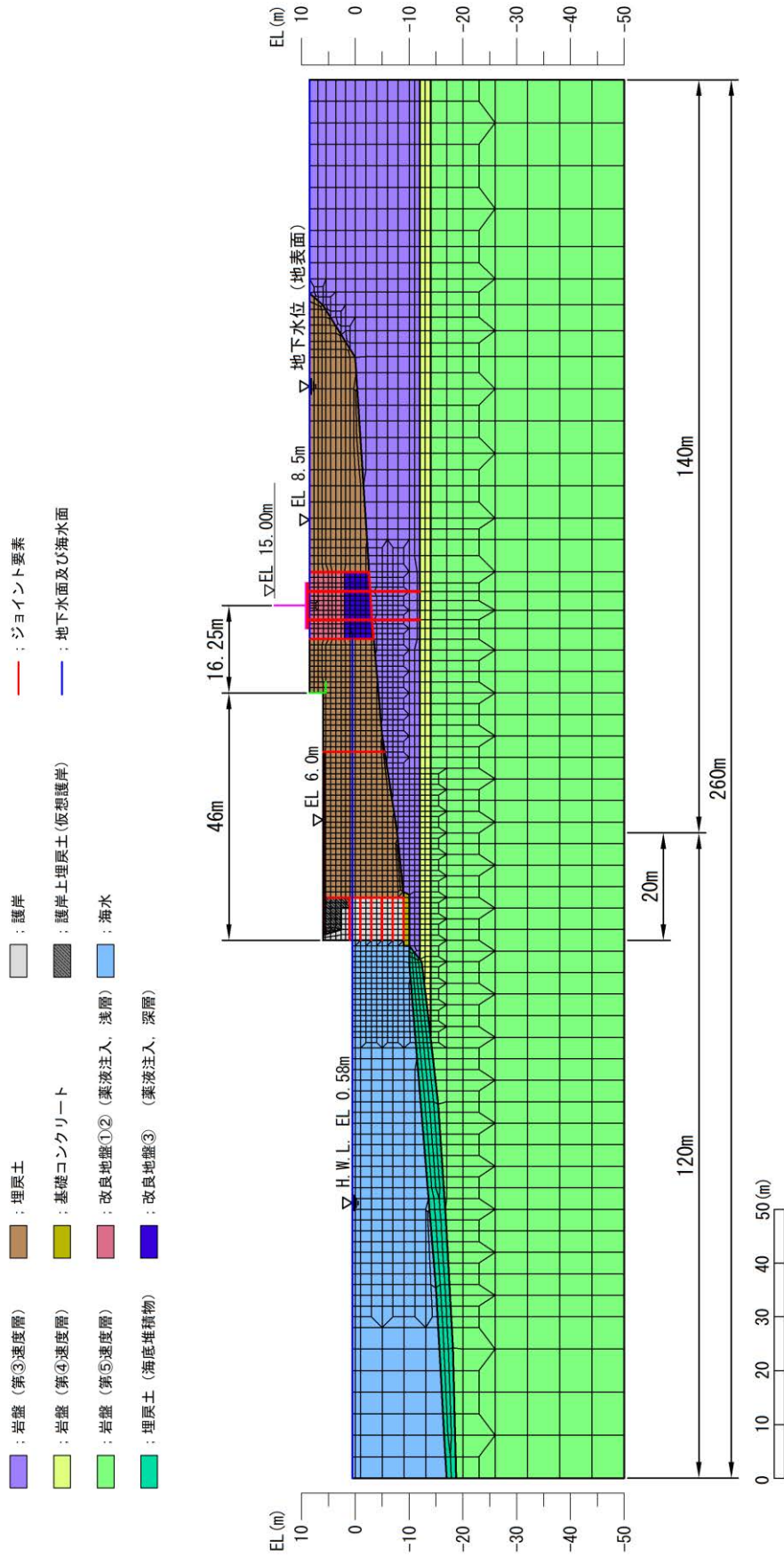


図 3-16 地震応答解析モデル

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-4 及び表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料	部位		諸元
コンクリート	パラペット（有筋）		設計基準強度 20.6N/mm ²
	上部コンクリート（無筋）		設計基準強度 14.7N/mm ²
	セルラー ブロック	気中	設計基準強度 20.6N/mm ²
		水中	設計基準強度 20.6N/mm ²
	基礎コンクリート		設計基準強度 14.7N/mm ²

表 3-5 材料の物性値

材料	部位	単位体積重量 (kN/m ³)		ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン 比
		飽和, 湿潤	水中		
コンクリート	パラペット（有筋）	24.0	-	23.3	0.2
	上部コンクリート （無筋）	22.6	-	20.4	0.2
	セルラーブロック （コンクリート詰）	23.0	12.9	23.3	0.2
	セルラーブロック （栗石詰）	22.0	11.9	23.3	0.2
	基礎コンクリート	22.6	12.5	20.4	0.2

3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表3-6に示す。

表3-6 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
漂流防止装置基礎（荷揚護岸）	防波壁より陸側：EL 8.5m* 防波壁より海側：EL 0.58m

注記*：地表面がEL 8.5mよりも低い地点については、地下水位を地表面とする。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）とする。

3.7 許容限界

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の許容限界は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成19年7月）」の耐震強化岸壁に求められる耐震性能（0.3～1m）を許容残留変形量とし、1mと設定する。表3-7に漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の許容限界を示す。

表3-7 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の許容限界

断面	許容残留変形量 (m)
⑥—⑥断面	1.0

3.8 評価方法

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の耐震評価では、地震応答解析に基づいて算定した残留変形量が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

4. 耐震評価結果

基準地震動 S_s から得られる漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の残留変形量について照査を行った。漂流防止装置基礎（荷揚護岸）天端の残留変形量に対する照査値を表4-1に示す。

この結果から、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）天端の残留変形量が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の変形量評価結果

地震動	解析ケース	残留変形量 δ (m)	許容 残留変形量 δ_a (m)	照査値 δ / δ_a
$S_s - D$ (---)	③	0.04	1.0	0.04

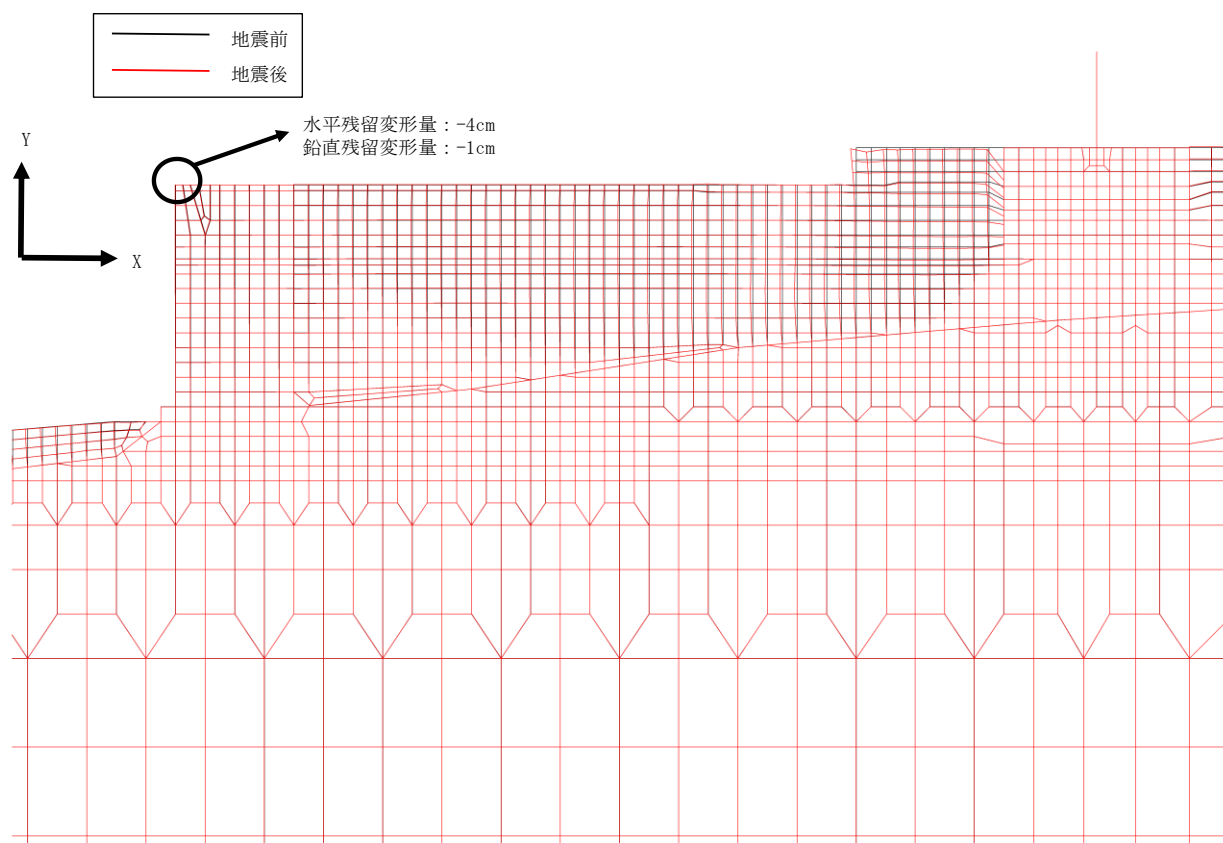


図 4-1 残留変形量図 ($S_s - D$ (---), 解析ケース: ③地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 -1σ))

3. 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震性に関する計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 耐震評価	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	10
3.2.1 施設	10
3.2.2 減衰係数	10
3.2.3 解析ケース	11
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	13
3.3.2 荷重	13
3.3.3 荷重の組合せ	14
3.4 入力地震動	15
3.5 解析モデル及び諸元	28
3.5.1 解析モデル	28
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	30
3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値	30
3.5.4 地下水位	30
3.6 評価対象部位	31
3.6.1 施設の健全性評価	31
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	31
3.7 許容限界	32
3.7.1 多重鋼管杭（曲げ・軸力，せん断力）	32
3.7.2 基礎地盤	32
3.8 評価方法	32
4. 耐震評価結果	33
4.1 曲げ・軸力照査	33
4.2 せん断力照査	34
4.3 基礎地盤	35

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく施設の変形性能評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の位置を図 2-1 に示す。

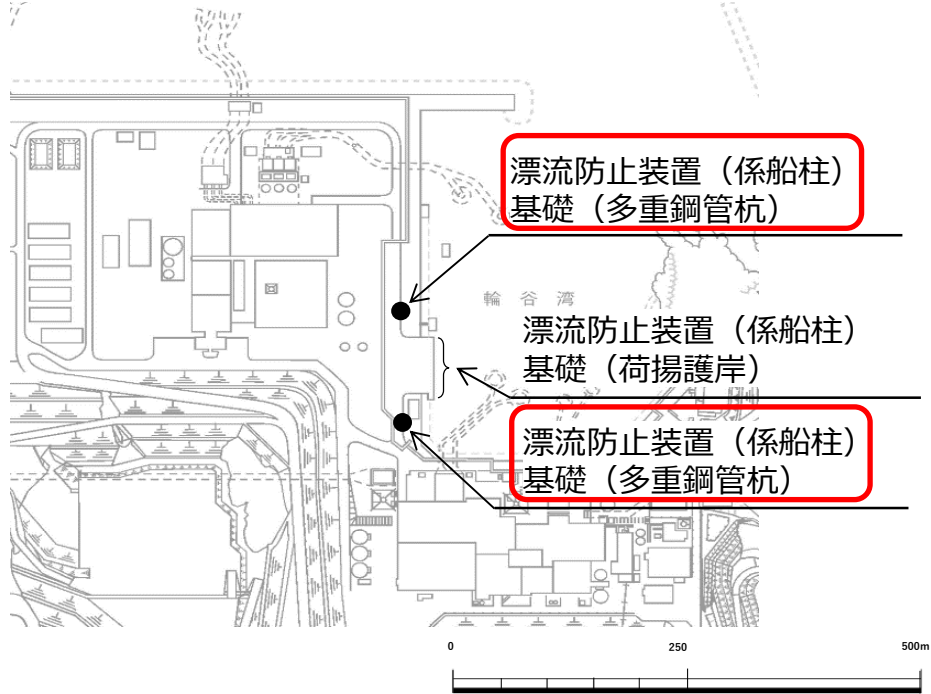
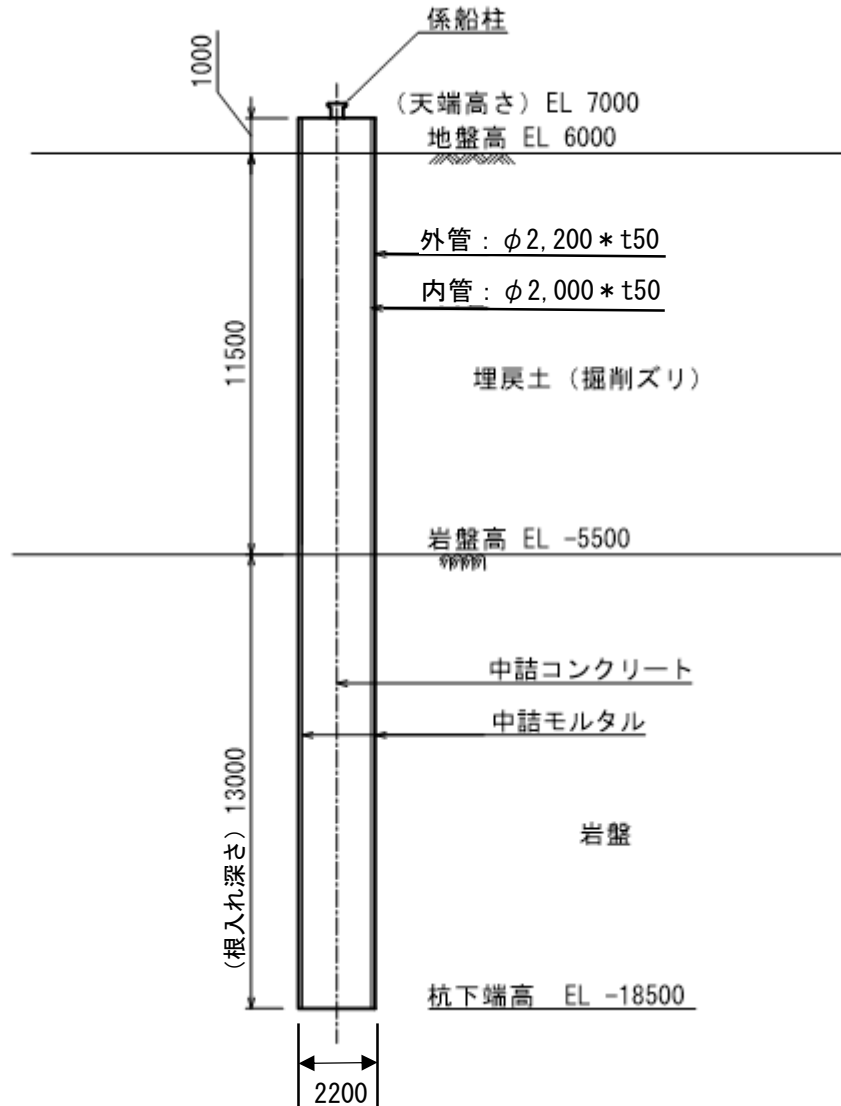


図 2-1 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）位置図

2.2 構造概要

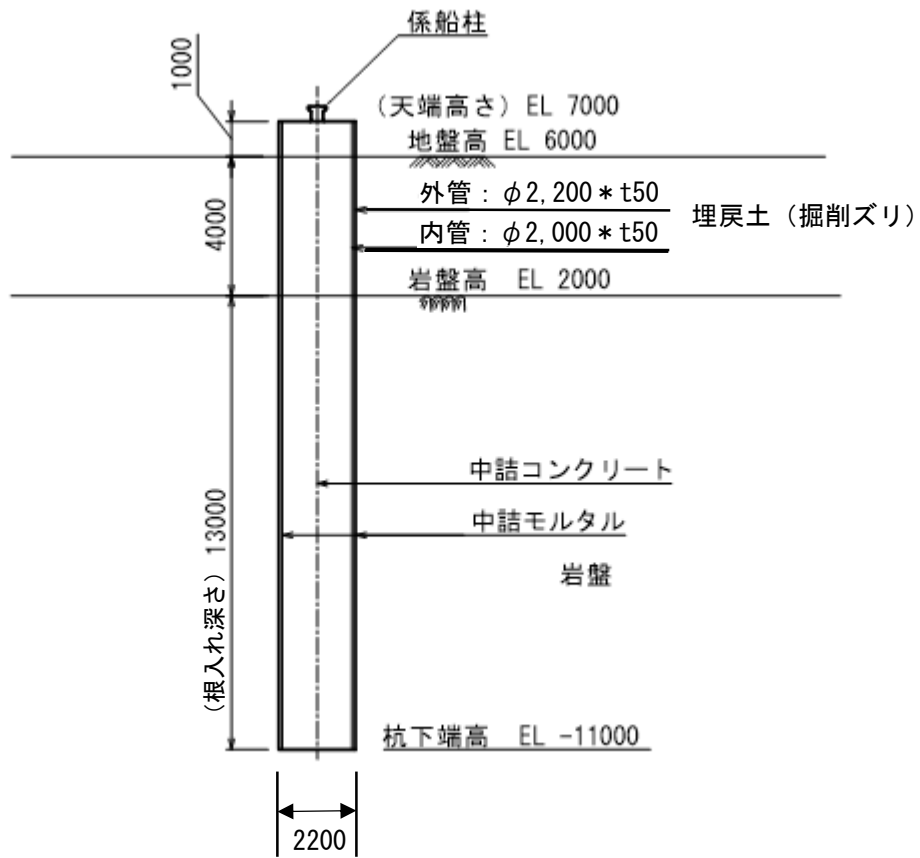
漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の構造図を図 2-2 及び図 2-3 に、漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）への漂流防止装置（係船柱）の設置時の概要を図 2-4 に示す。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）は、鋼管を多重化して鋼管内をコンクリート及びモルタルで充填した多重鋼管構造とする。鋼管杭は岩盤に支持させる構造（根入れ深さ：13.0m）とし、上部に漂流防止装置として係船柱を設置する。



(単位：mm)

図 2-2 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の構造図（南側）



(単位 : mm)

図 2-3 漂流防止装置基礎 (多重鋼管杭) の構造図 (北側)

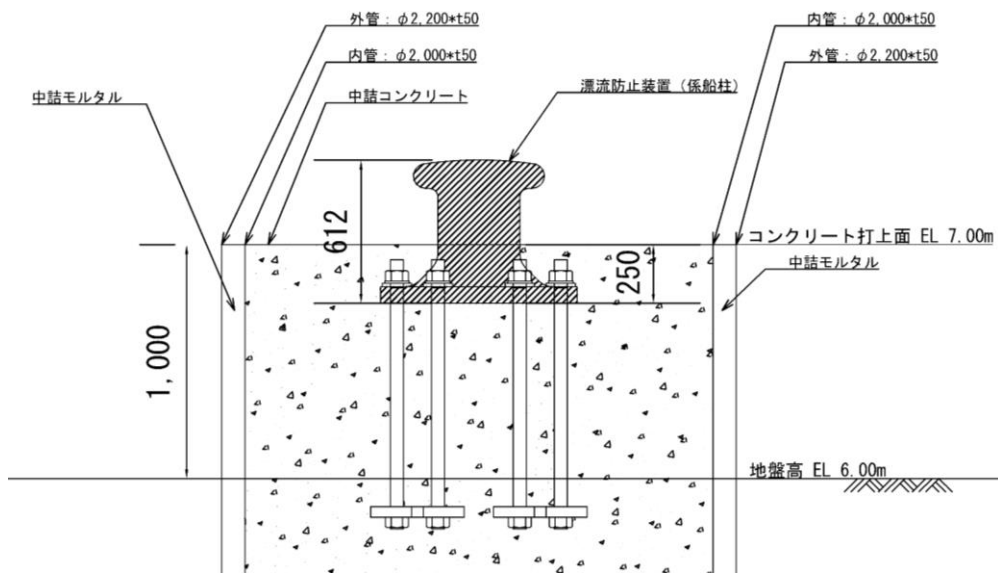


図 2-4 漂流防止装置基礎 (多重鋼管杭) への漂流防止装置 (係船柱) 設置図

2.3 評価方針

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）は、漂流防止装置（係船柱）を支持する。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の各部位の役割を表 2-1 に示す。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価として、地震応答解析の結果に基づき、表 2-2 に示すとおり、施設の変形性能評価及び基礎地盤の支持性能評価を行い、構造強度を有することを確認する。なお、施設の変形性能評価にあたっては、保守的に施設がおおむね弾性状態に留まることを確認する。

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

表 2-1 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の部位の役割

部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
漂流防止装置基礎 （多重鋼管杭）	・漂流防止装置基礎として係留機能を喪失するような変形を抑制する。	・役割に期待しない。
岩盤	・多重鋼管杭を鉛直支持する。	・役割に期待しない。

表 2-2 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の変形性能	漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）	発生する応力（曲げ，軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ）及びせん断応力度（せん断）
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度

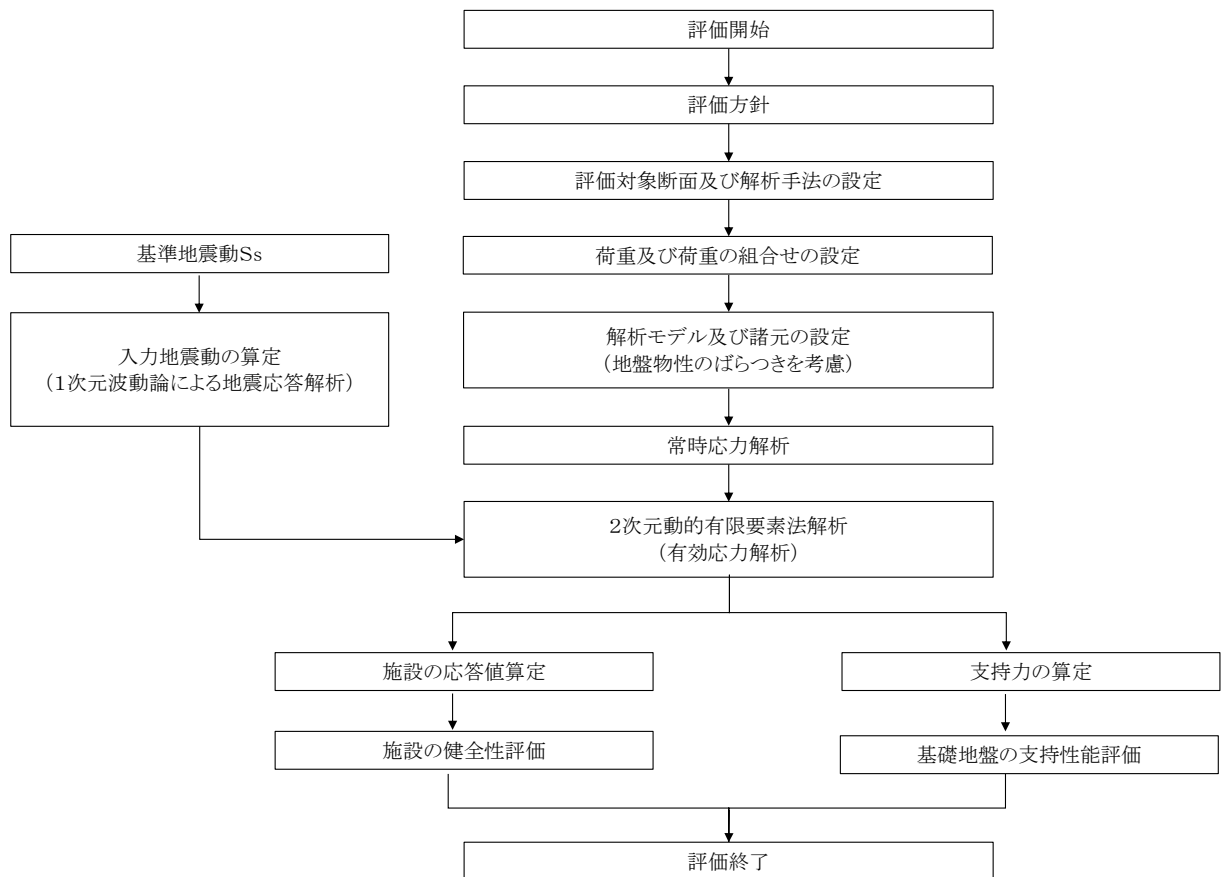


図 2-5 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会 平成 14 年 3 月）
- ・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）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の評価対象断面は、漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の評価対象断面位置図を図 3-1 に、各横断面を図 3-2 及び図 3-3 に示す。以下の理由から、①-①断面を評価対象断面として選定する。

- ・ ②-②断面，①-①断面の多重鋼管杭及び係船柱において，岩盤の根入れ深さ等構造上の差異はない。
- ・ ①-①断面は②-②断面と比べ岩盤深さが深いため，土圧が大きくなると考えられることから，評価対象断面として選定した。

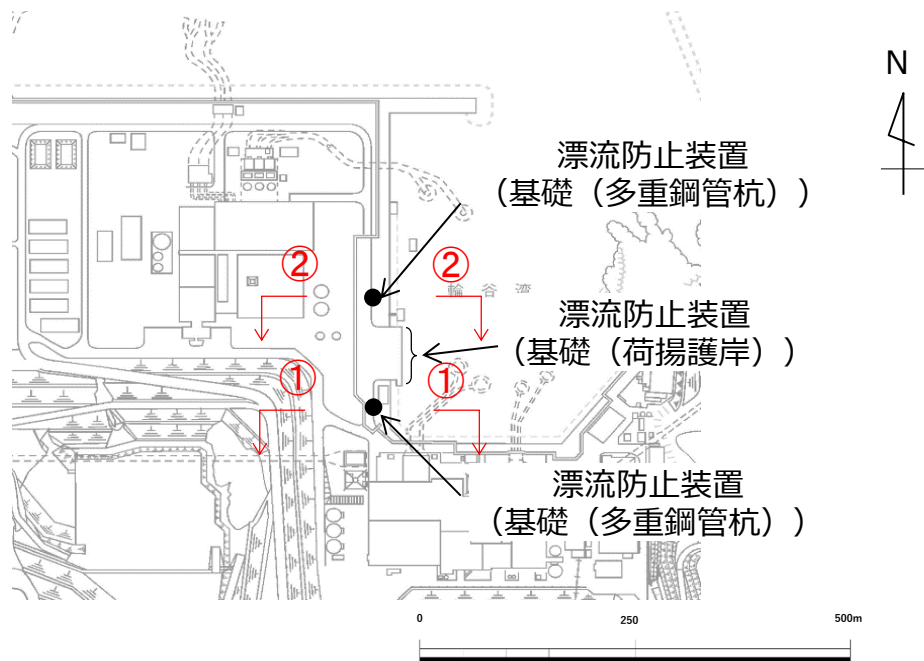


図 3-1 漂流防止装置の基礎（多重鋼管杭）の評価対象断面位置図

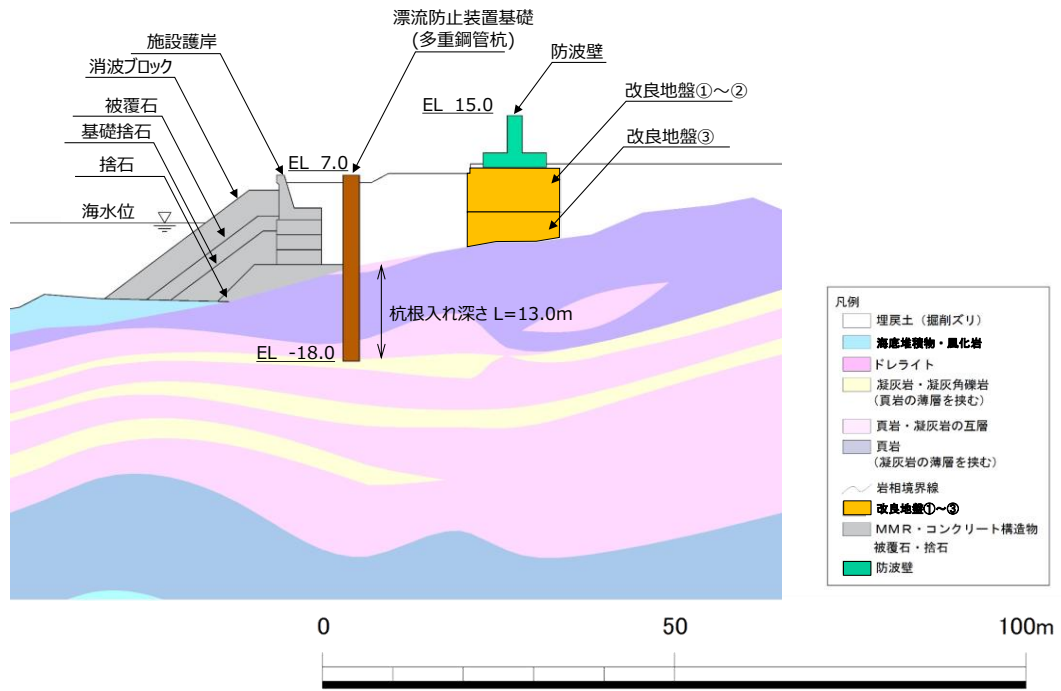


図 3-2 漂流防止装置の基礎（多重鋼管杭）の横断図（①-①断面）

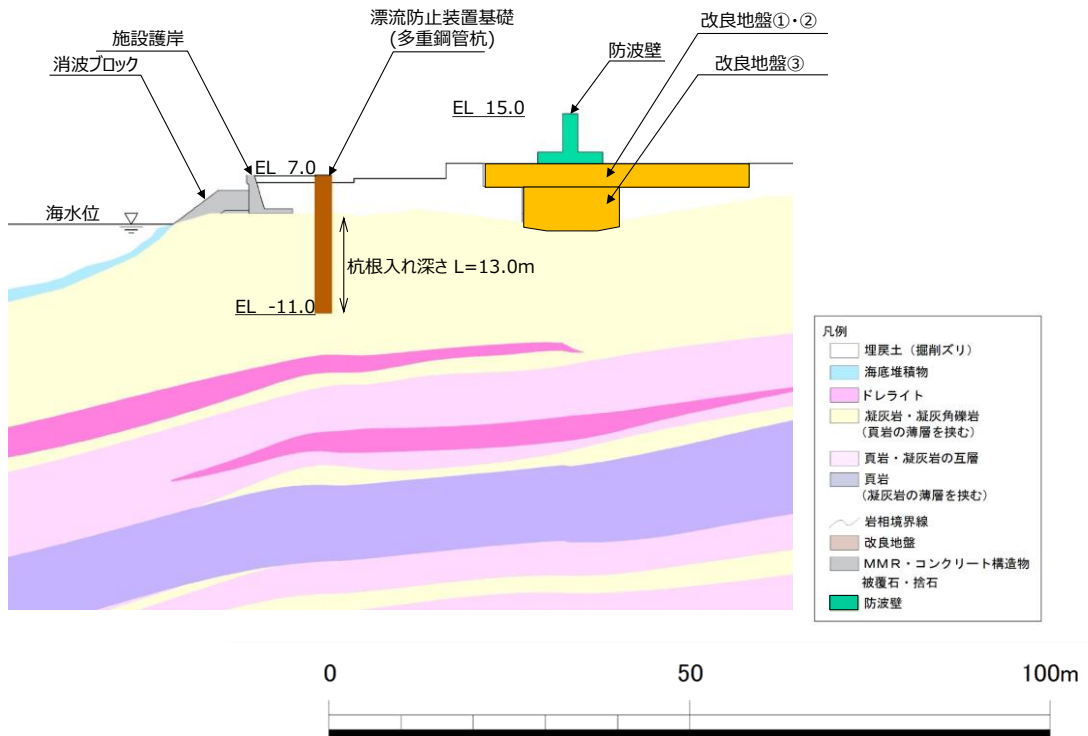


図 3-3 漂流防止装置の基礎（多重鋼管杭）の横断図（②-②断面）

3.2 解析方法

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素及び平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 施設

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は、線形はり要素としてモデル化する。

3.2.2 減衰係数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰を設定する。

3.2.3 解析ケース

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震時の応答は周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表 3-1 に示す解析ケースにおいて考慮する。

図 3-2 に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が、地震時に漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動 S_s に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②及び③を実施する。

表 3-1 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1σ	平均値
ケース③	平均値 - 1σ	平均値

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ)を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
地震動 (位相)	S _s -D	++*	○	基準地震動 S _s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。全ての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	
	S _s -F 1	++*	○	
	S _s -F 2	++*	○	
	S _s -N 1	++*	○	
		-+*	○	
	S _s -N 2 (NS)	++*	○	
		-+*	○	
	S _s -N 2 (EW)	++*	○	
		-+*	○	

注記* : 地震動の位相について、(++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せを以下に示す。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体の自重を考慮する。

(2) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s の荷重を考慮する。

(3) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施工細則により、積雪量1cmごとに $20\text{N}/\text{m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + S _s + P _s

G : 固定荷重

S_s : 地震時荷重

P_s : 積雪荷重

3.4 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を、一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-4 に入力地震動算定の概念図を、図 3-5～図 3-16 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

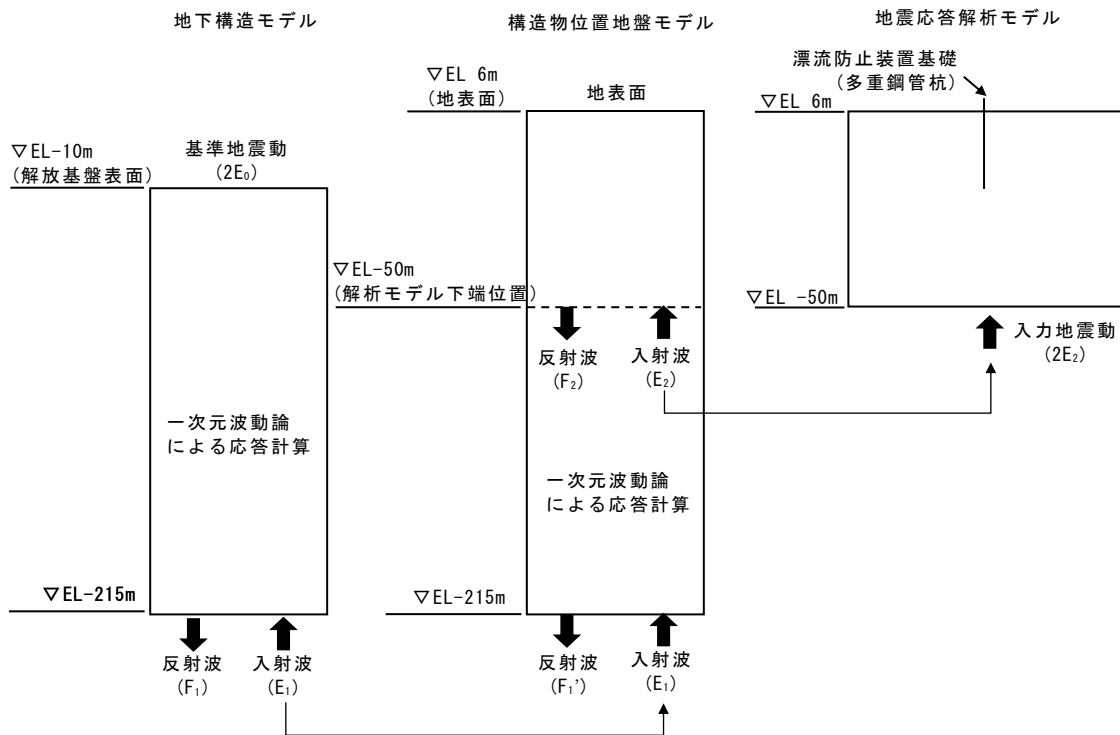
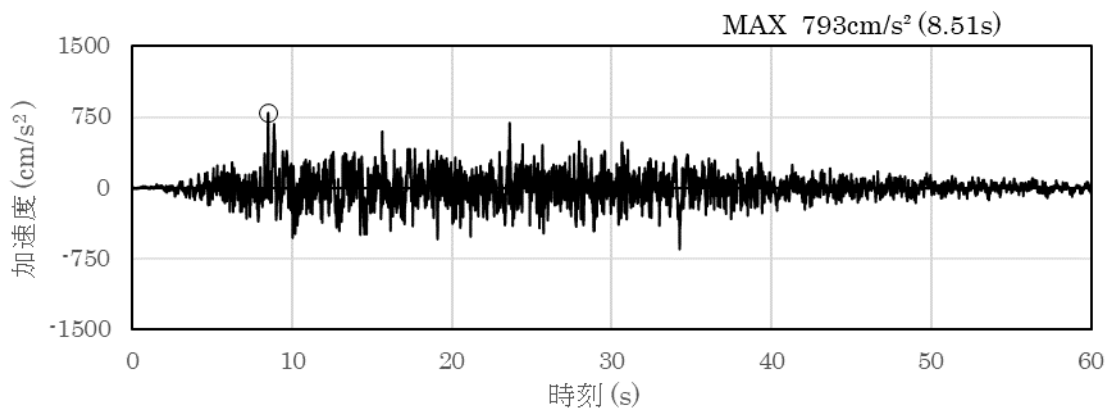
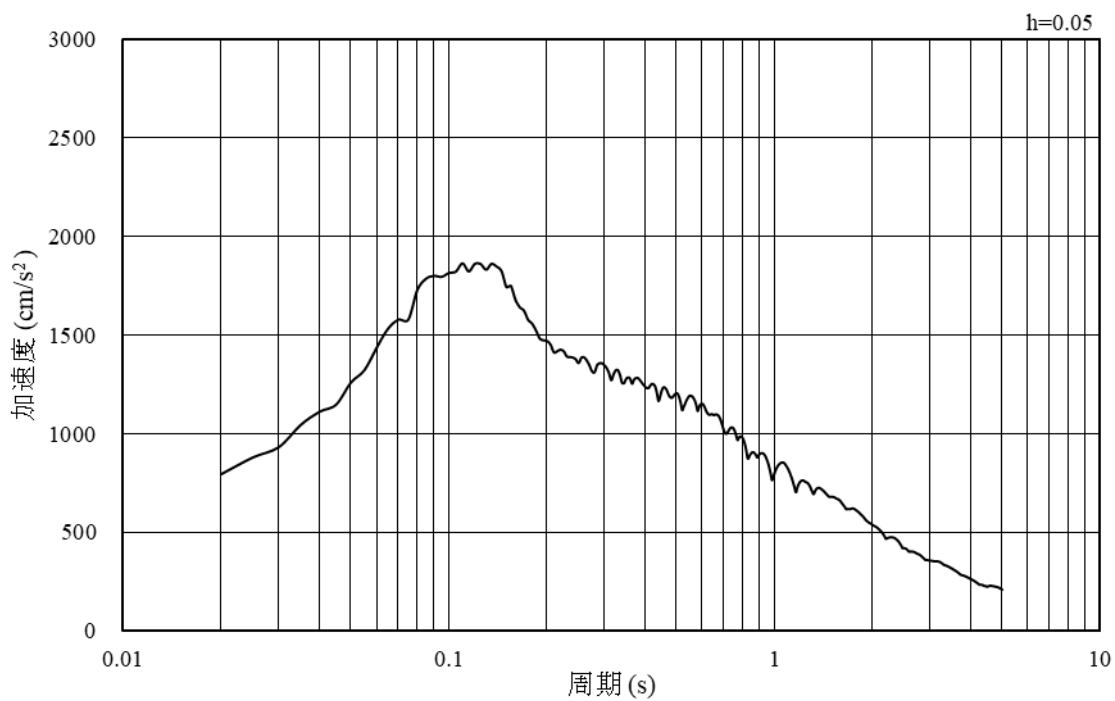


図 3-4 入力地震動算定の概念図

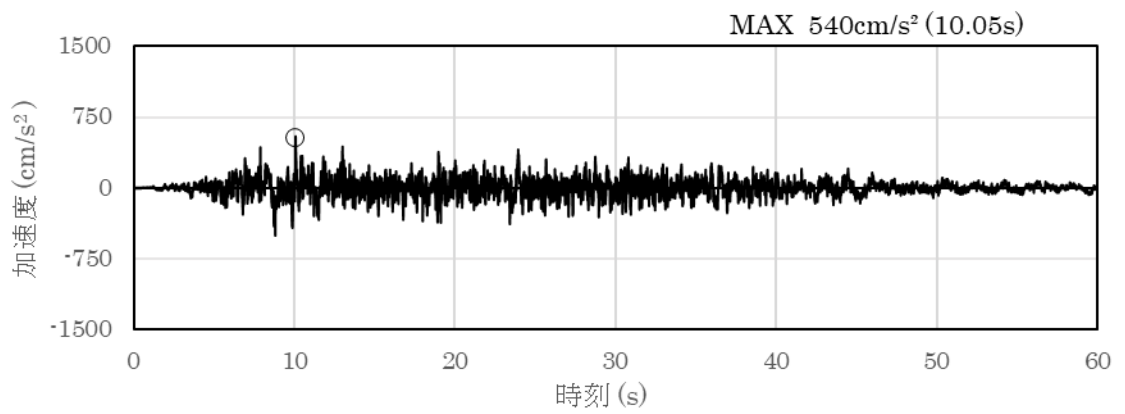


(a) 加速度時刻歴波形

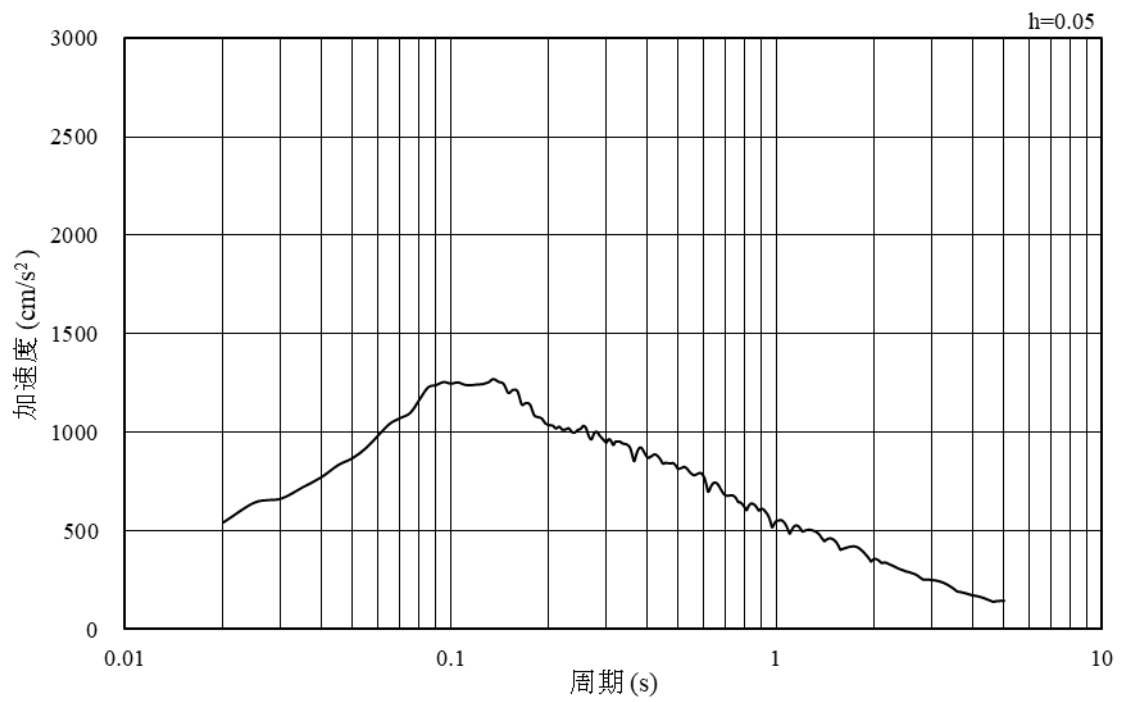


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - D)

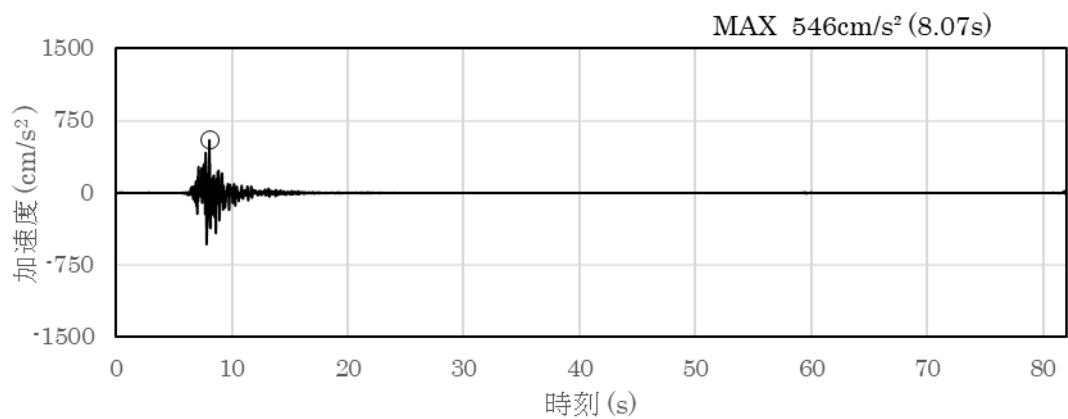


(a) 加速度時刻歴波形

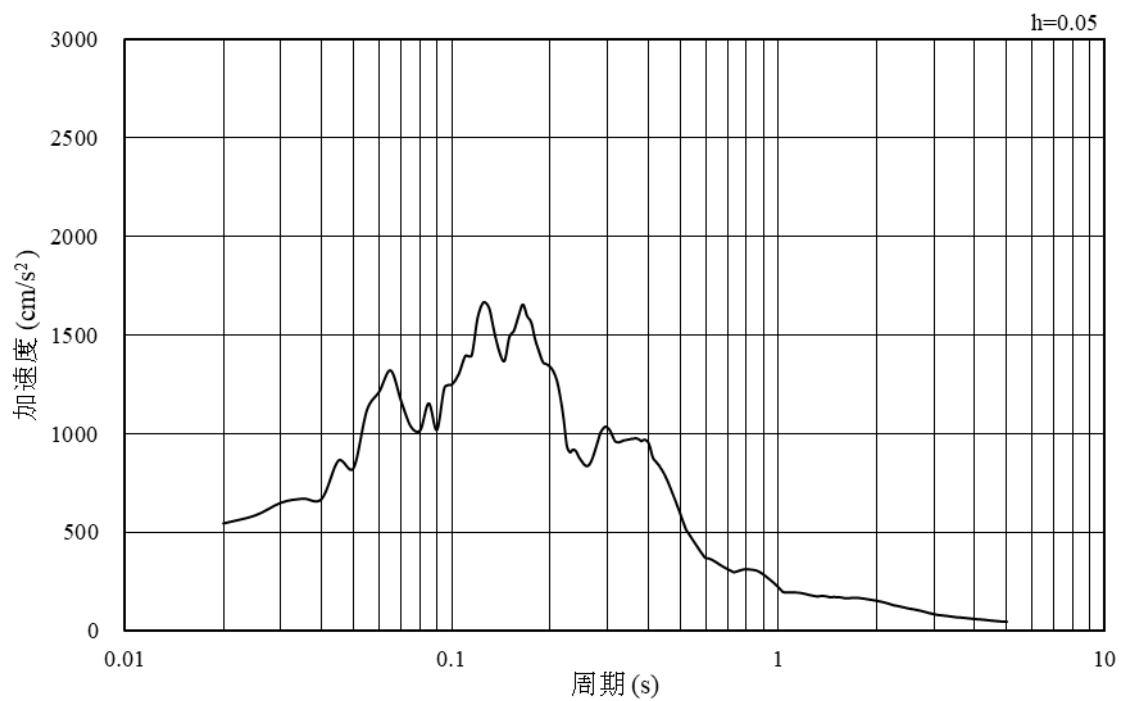


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

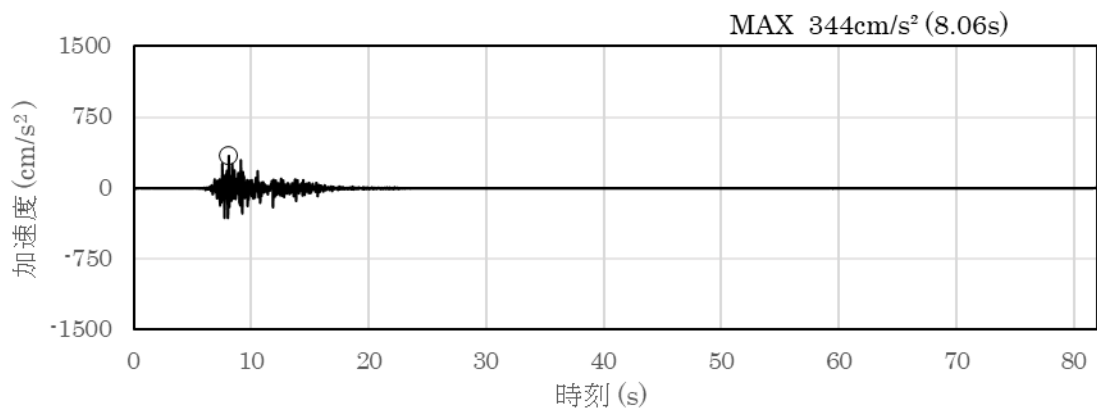


(a) 加速度時刻歴波形

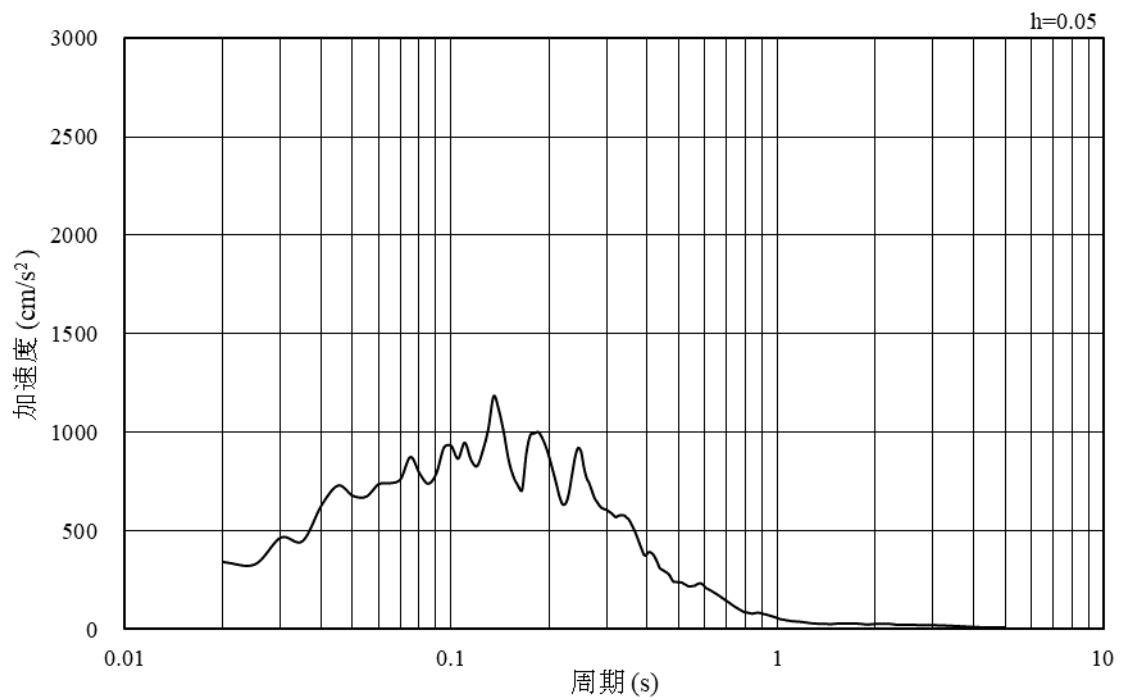


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

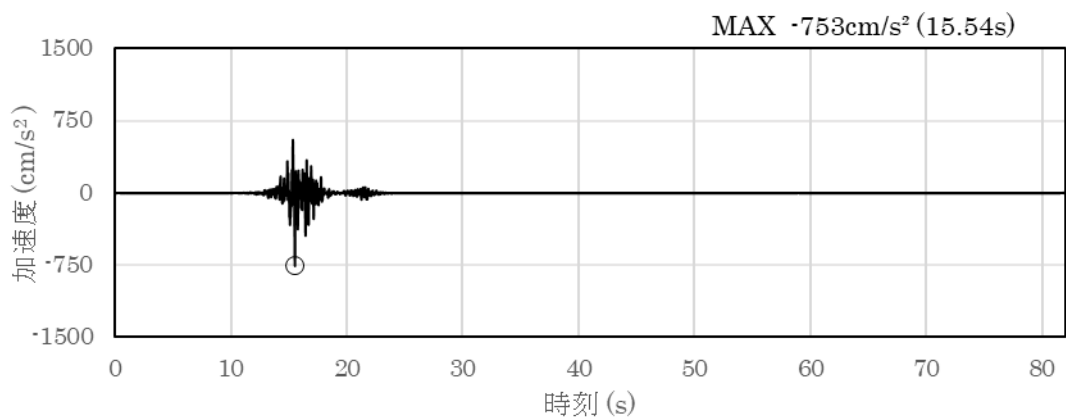


(a) 加速度時刻歴波形

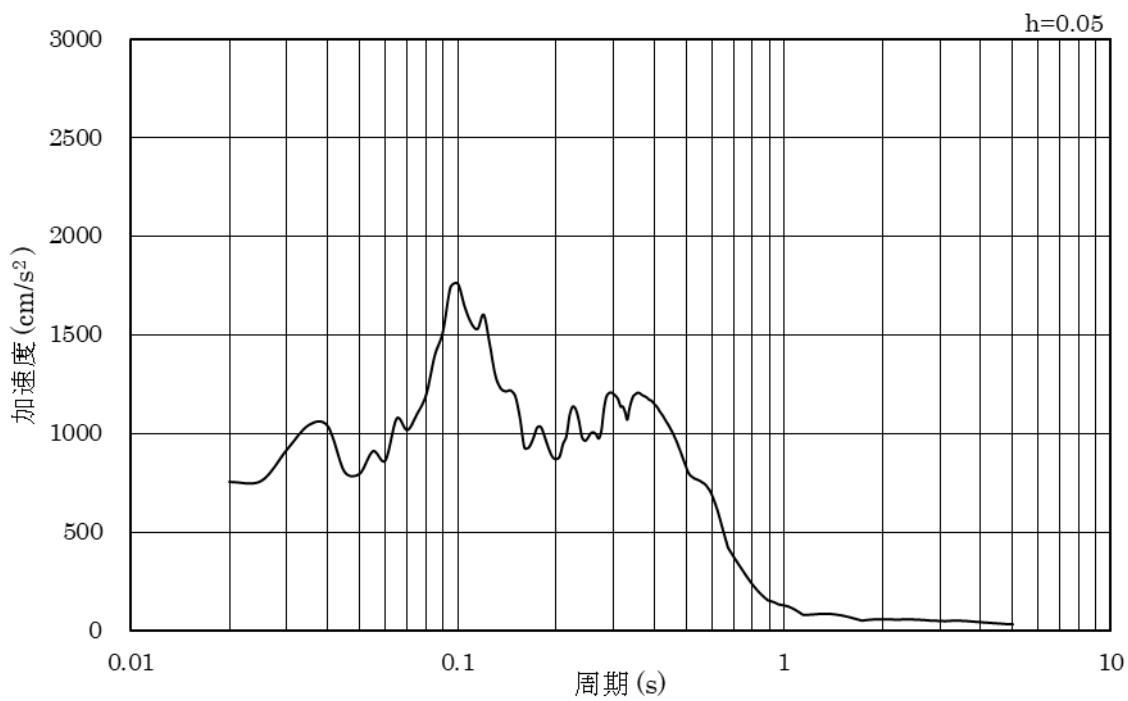


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

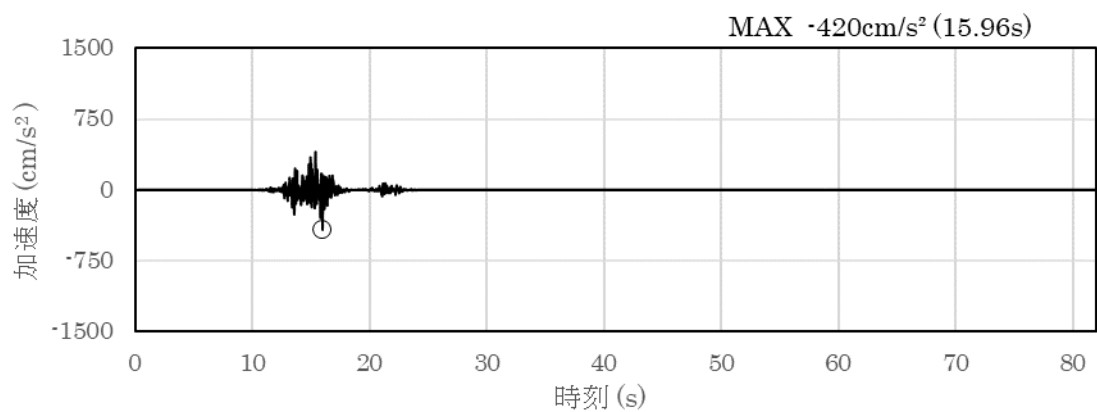


(a) 加速度時刻歴波形

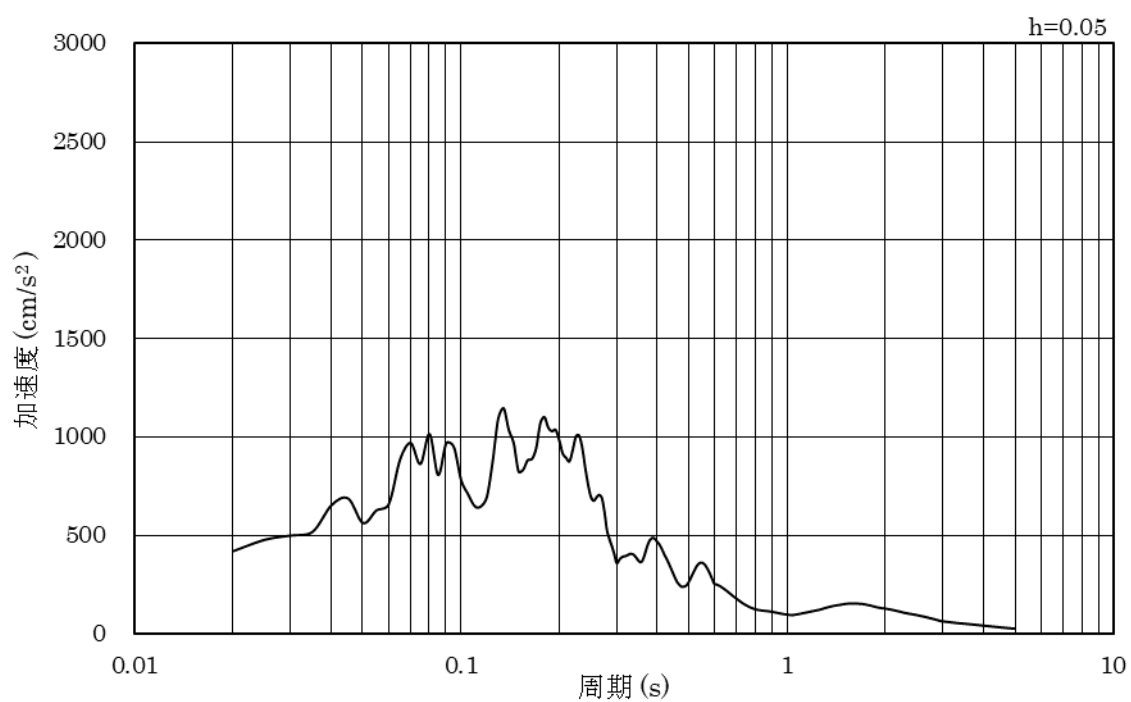


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

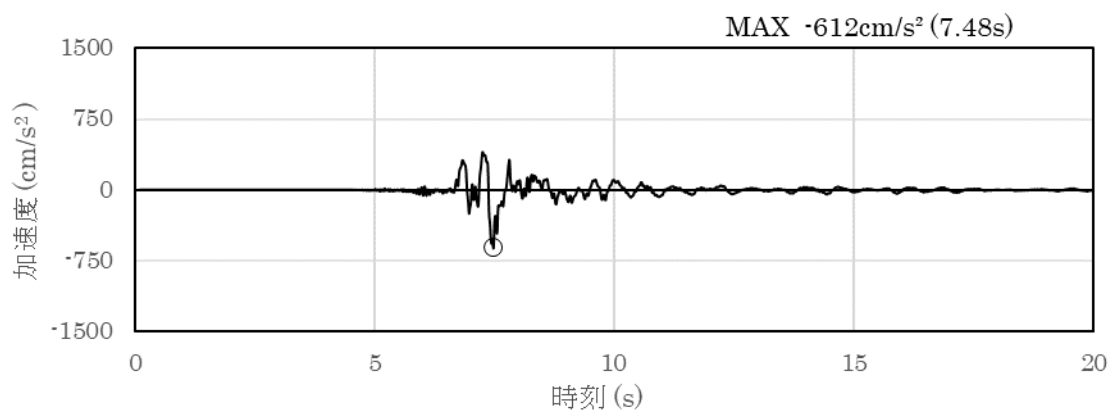


(a) 加速度時刻歴波形

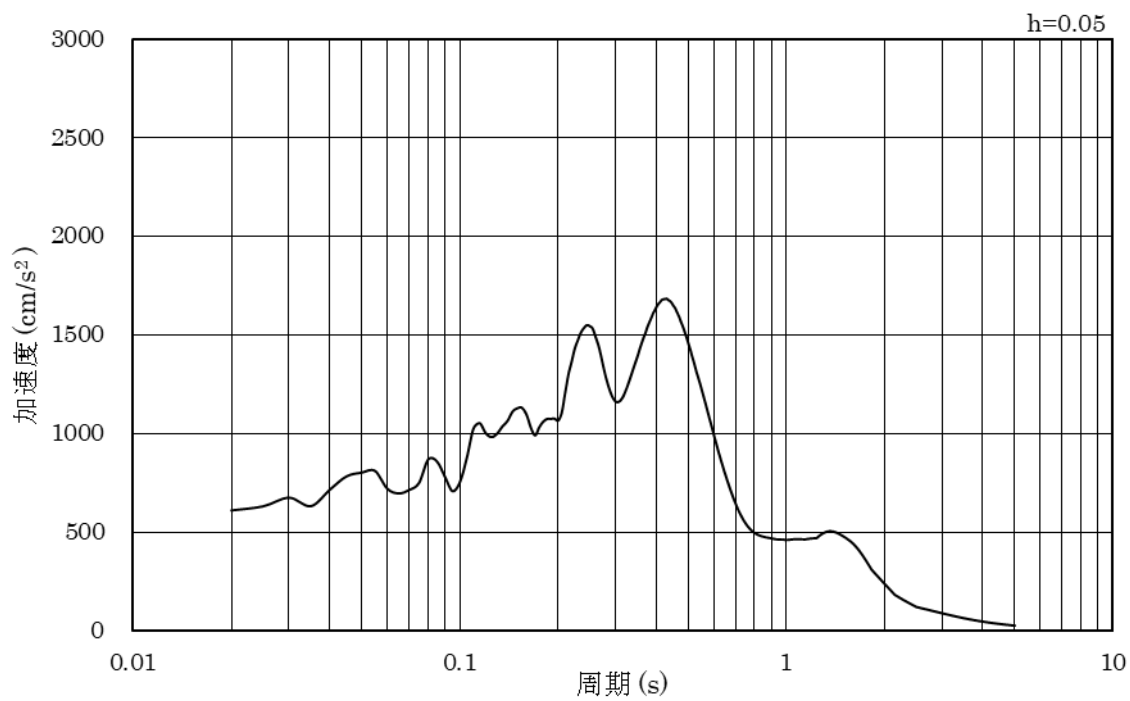


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

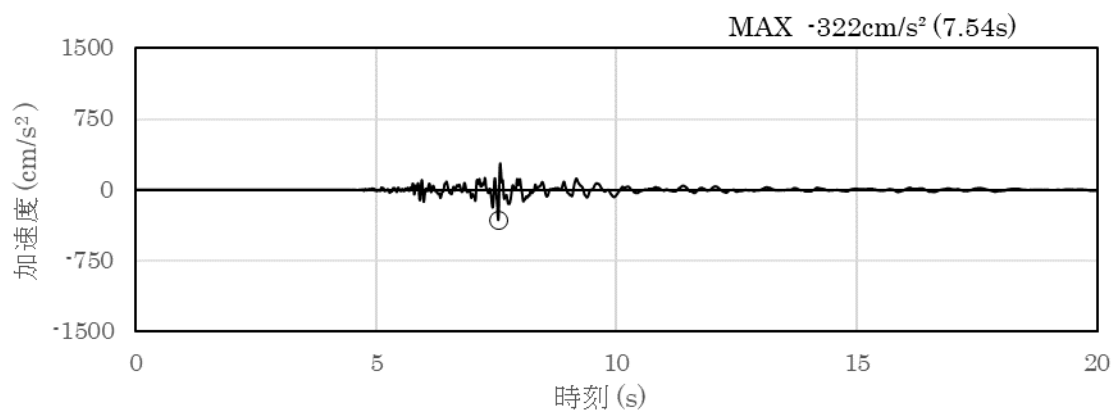


(a) 加速度時刻歴波形

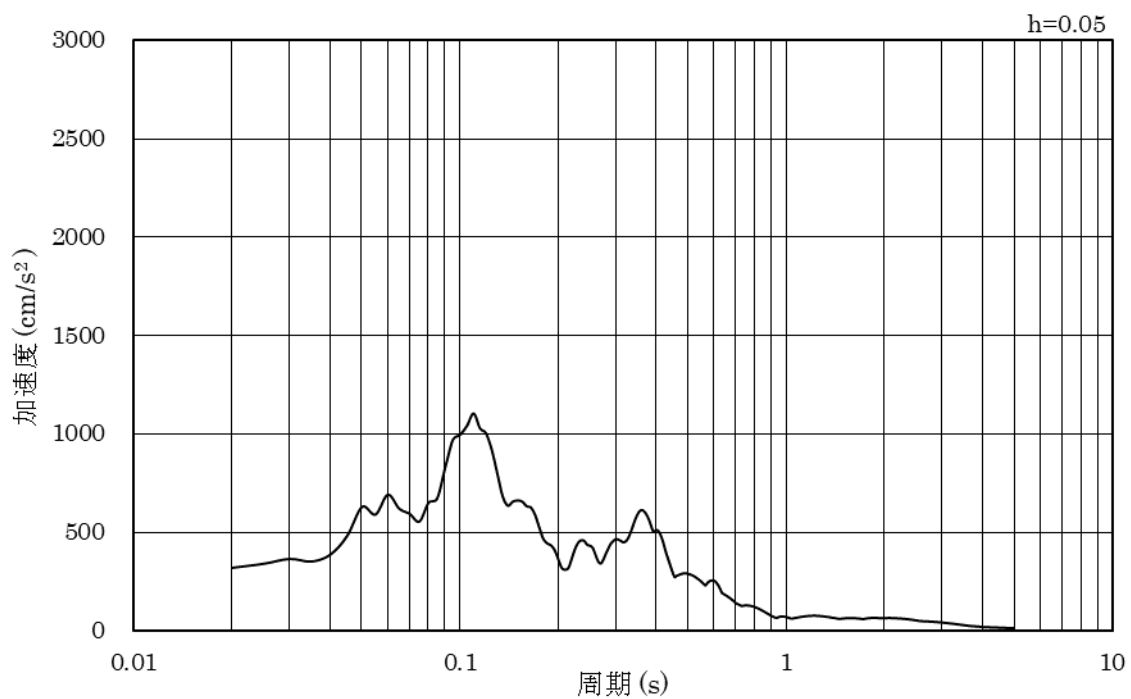


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

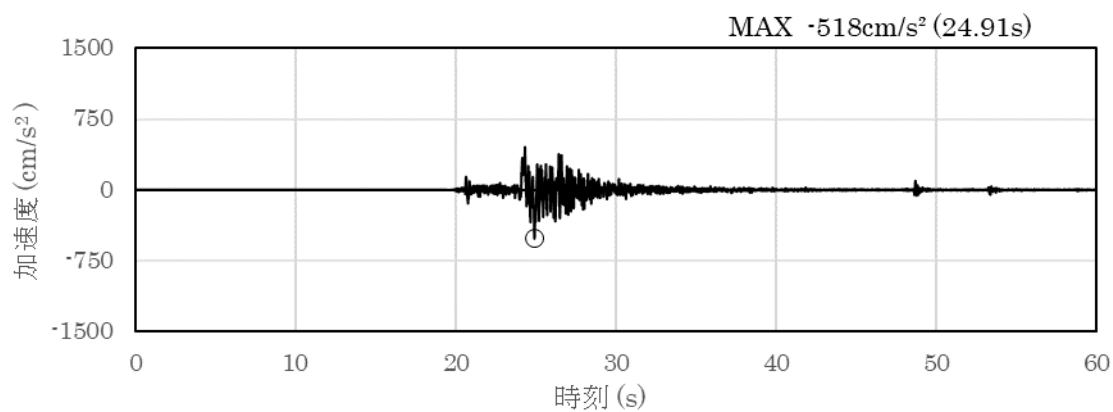


(a) 加速度時刻歴波形

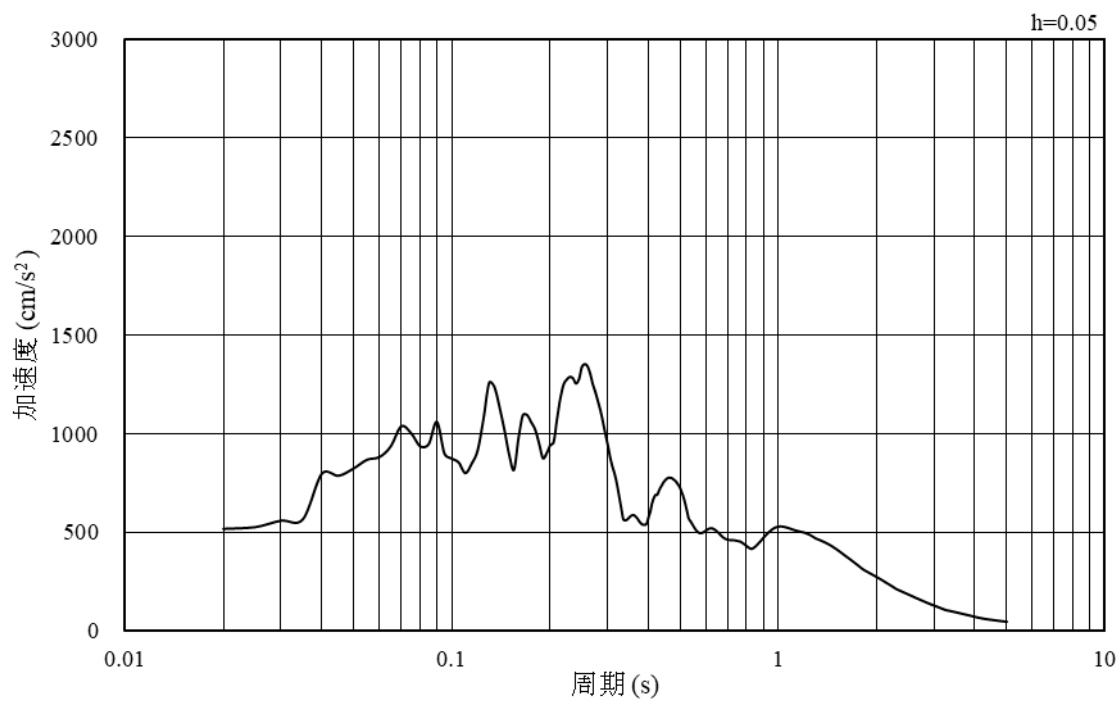


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

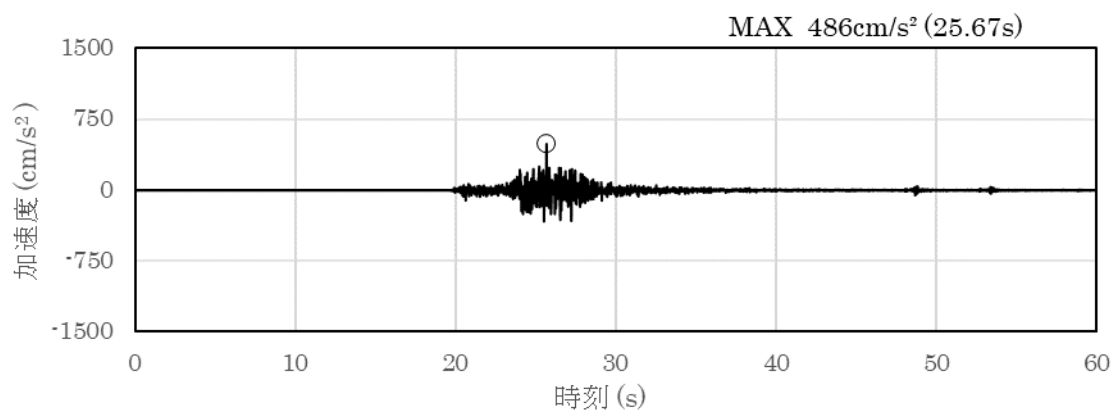


(a) 加速度時刻歴波形

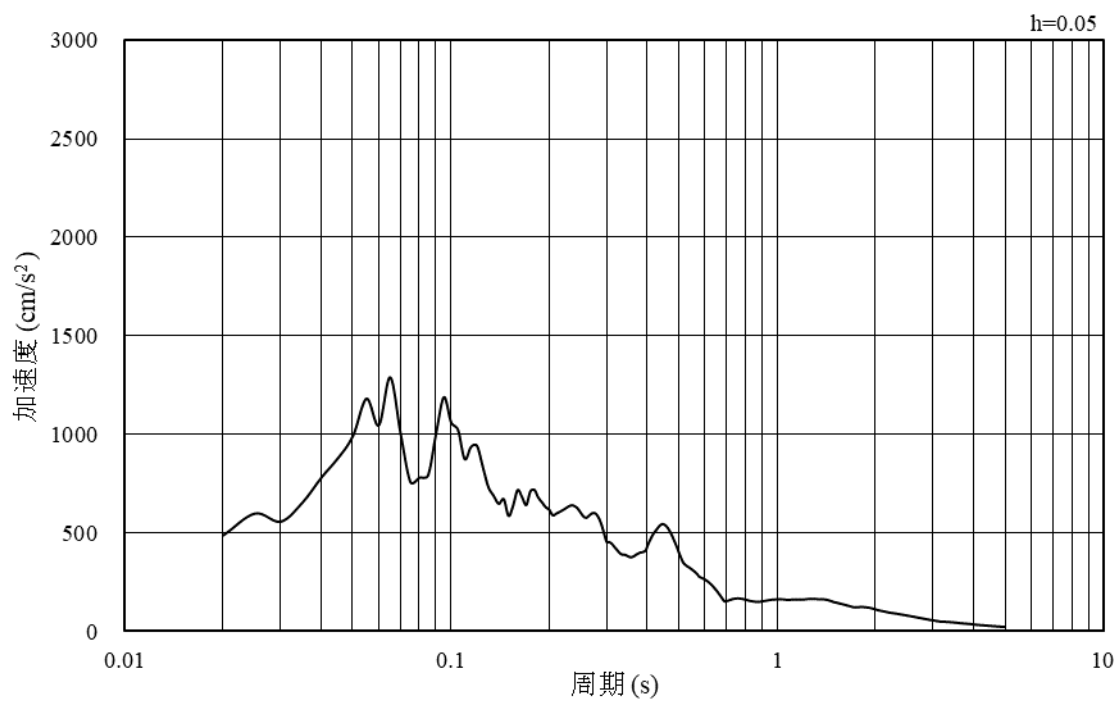


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 2 (N S))

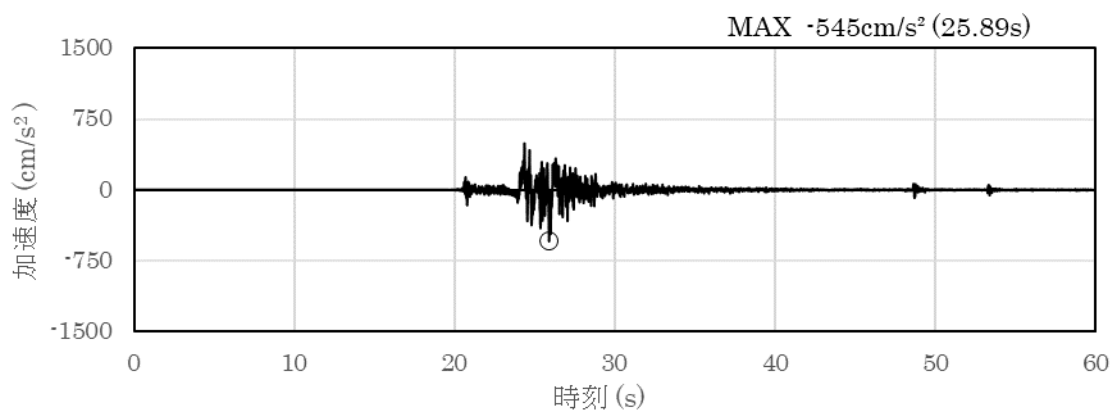


(a) 加速度時刻歴波形

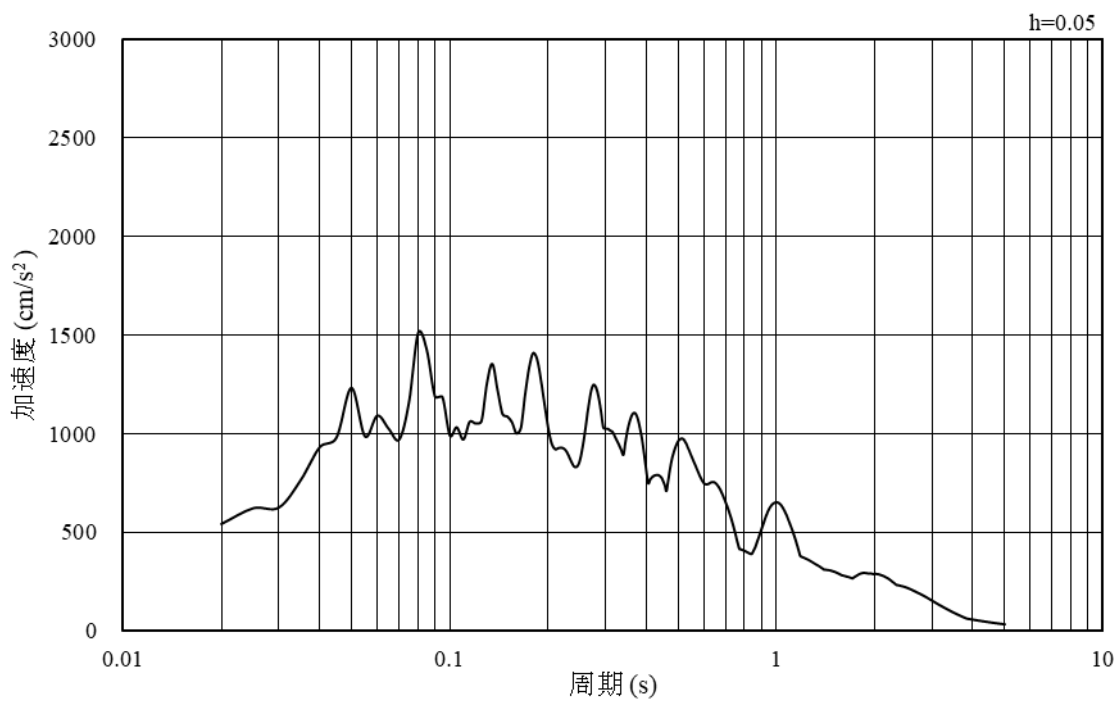


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分 : S s - N 2 (N S))

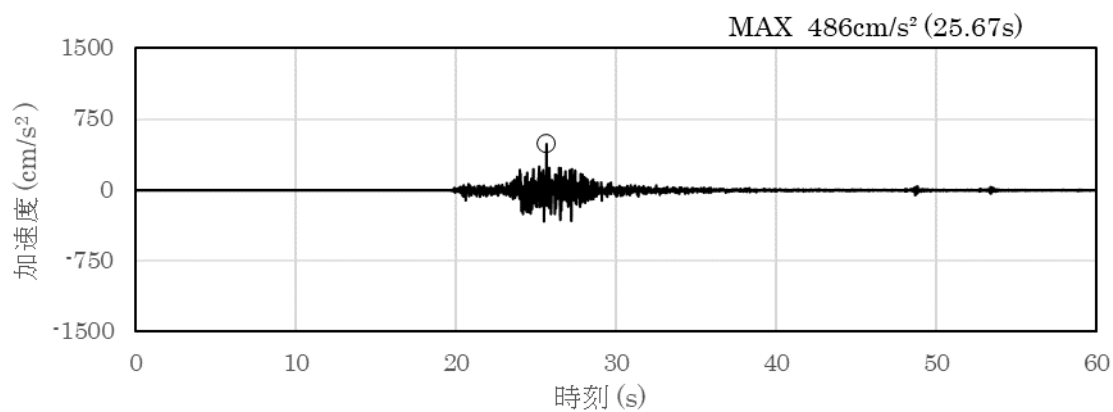


(a) 加速度時刻歴波形

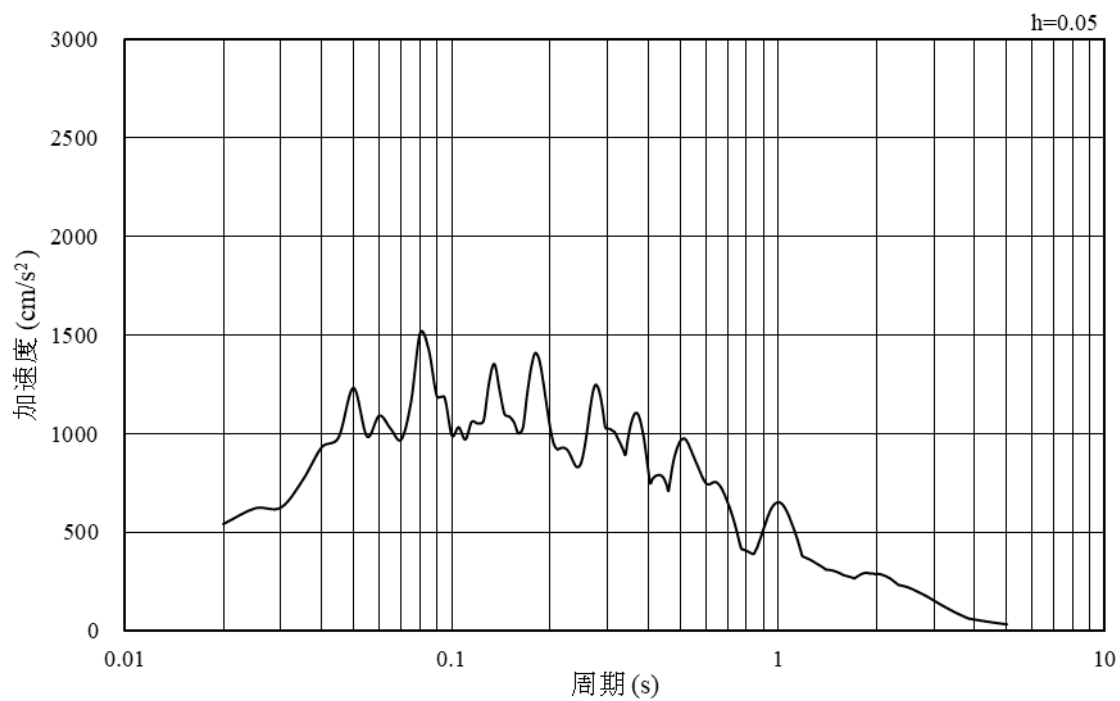


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

3.5 解析モデル及び諸元

使用材料，材料の物性値及び地下水位については，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について以下に示す。

3.5.1 解析モデル

評価対象断面（①－①断面）の地震応答解析モデルを図 3-17 に示す。

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

(2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については，有限要素解析における半無限地盤を模擬するため，粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）は，線形はり要素でモデル化する。漂流防止装置（係船柱）は，付加重量として考慮する。

(4) 地盤のモデル化

地盤は，マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「荷揚護岸と埋戻土」及び「荷揚護岸の構造間」の接合面における剥離及びすべりを考慮するため，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

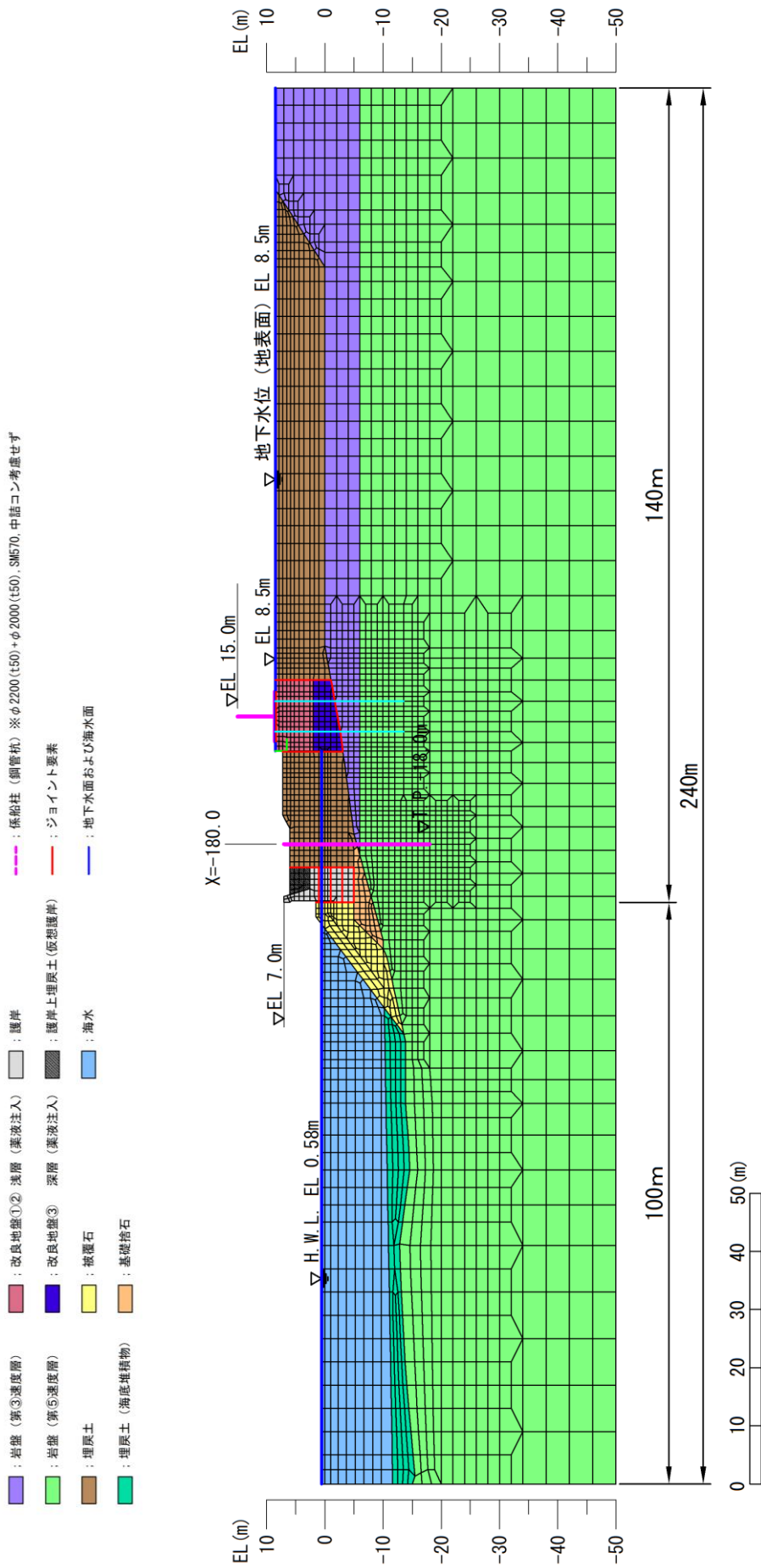


図 3-17 地震応答解析モデル (①-①断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-4 及び表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料		諸元
多重鋼管杭	鋼管杭 (SM570)	外管：φ 2200 * t50, 内管：φ 2000 * t50, L=25.0m 中詰コンクリート

表 3-5 材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
多重鋼管杭	鋼管杭 (SM570)	77.0*	2.0 × 10 ⁵ *	0.3*

注記*：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表 3-6 に示す。

表 3-6 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
漂流防止装置基礎 (多重鋼管杭)	防波壁より陸側：EL 8.5m* 防波壁より海側：EL 0.58m

注記*：地表面が EL 8.5m よりも低い地点については、地下水位を地表面とする。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、構造上の特徴を踏まえ設定する。

3.6.1 施設の健全性評価

施設の健全性評価に係る評価対象部位は、多重鋼管杭とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、多重鋼管杭を支持する多重鋼管杭直下の基礎地盤とする。

3.7 許容限界

3.7.1 多重鋼管杭（曲げ・軸力，せん断力）

鋼管杭の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，降伏基準点より算定される降伏モーメント及び短期許容せん断応力度とする。表 3-7 に鋼管杭の許容限界を示す。

表 3-7 鋼管杭の許容限界

断面	鋼種	降伏曲げモーメント (kN・m)	短期許容せん断 応力度 (N/mm ²)
①—①断面	SM570	134667	210

3.7.2 基礎地盤

基礎地盤に発生する軸力に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	

3.8 評価方法

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の耐震評価では，地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 曲げ・軸力照査

多重鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 4-1 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 4-1 に示す。

この結果から、多重鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

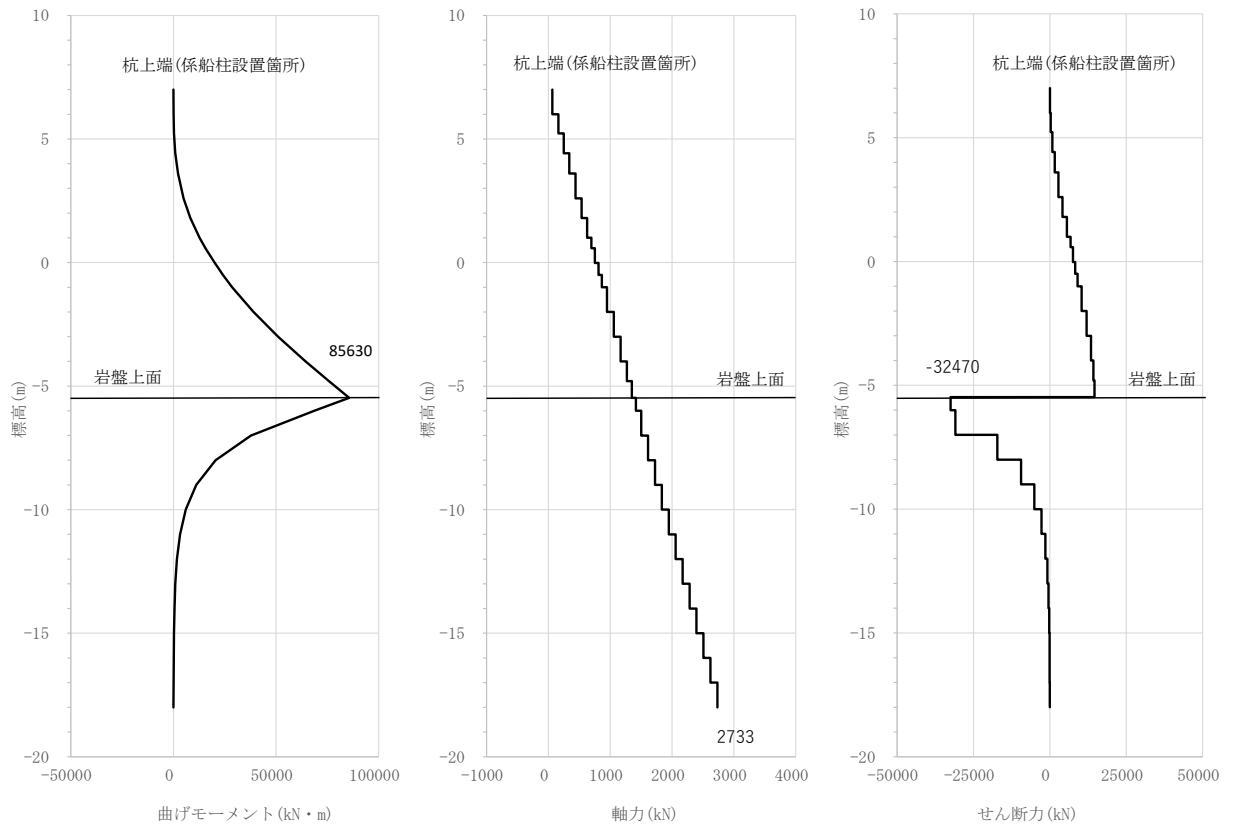


図 4-1 多重鋼管杭の曲げ・軸力系に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(①-①断面, $S_s - N_1 (-+)$, $t=7.68s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

表 4-1 多重鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏曲げ モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
$S_s - N_1 (-+)$	②	85630	2733	134667	0.64

4.2 せん断力照査

多重鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図4-2に、せん断破壊に対する照査値を表4-2に示す。

この結果から、多重鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

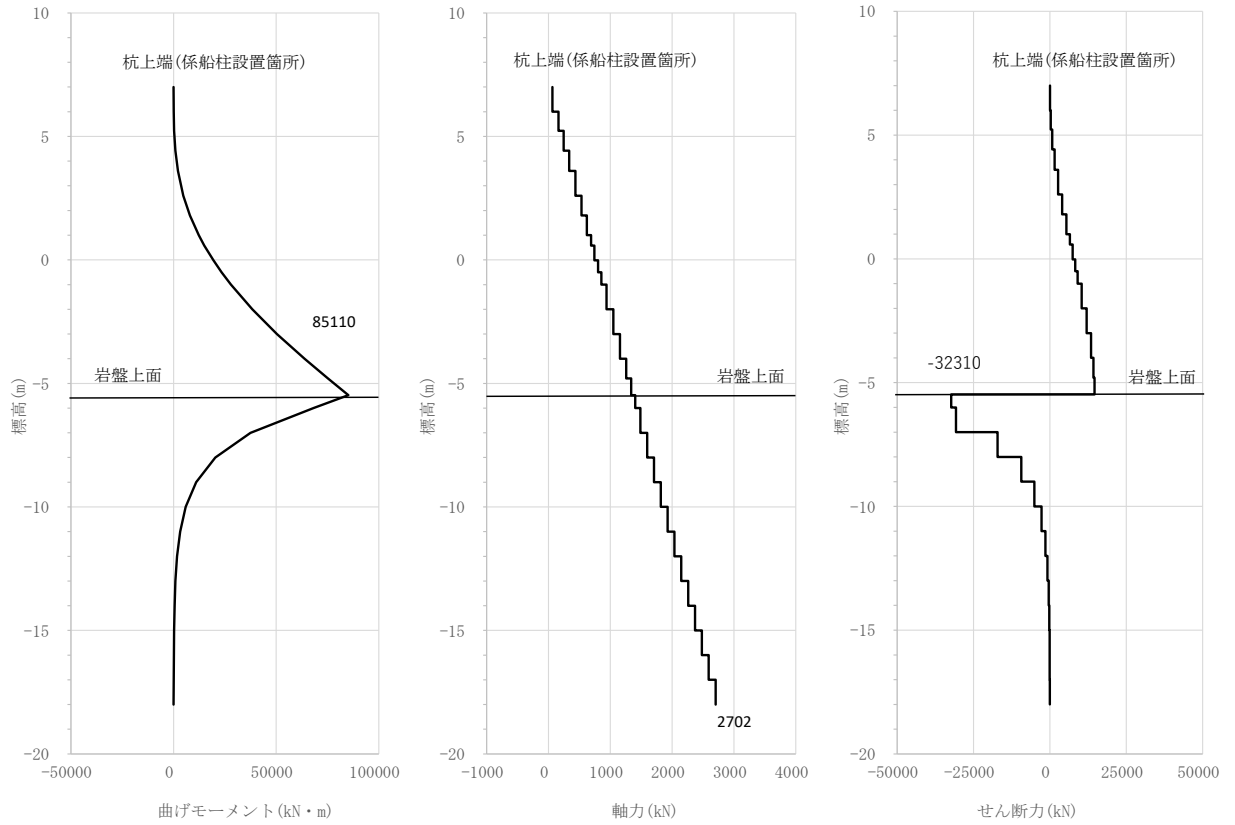


図4-2 多重鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(①-①断面, S_s-N1 (-+), t=7.69s)

解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しない解析ケース (平均値)

表4-2 多重鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (①-①断面)

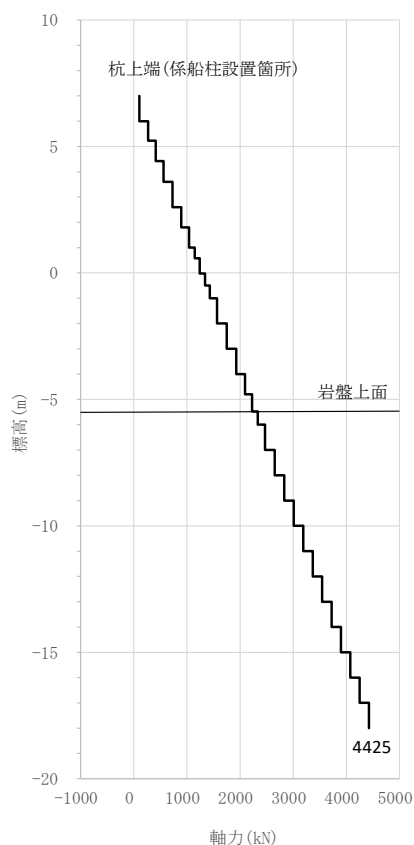
地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -N1 (-+)	①	32310	51	210	0.25

4.3 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-3 に、支持地盤の軸力分布図を図 4-3 に示す。
この結果から、多重鋼管杭直下の基礎地盤に生じる軸力が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能評価結果 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸応力度 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
		杭先端軸力 (kN)			
S _s -D (++)	①	4425	1.2	9.8	0.12



35

図 4-3 支持地盤の軸力分布図 (①-①断面)
(S_s-D (++))

解析ケース①：地盤物性のばらつきを考慮しない解析ケース (平均値)

VI-2-別添 6-3 漂流防止装置の水平 2 方向及び

鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

目 次

1. 概要	1
2. 機器・配管系の影響評価	1
2.1 基本方針	1
2.2 評価条件及び評価方法	1
2.3 評価結果	4
2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	4
2.3.2 土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	4
2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	4
2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	5
2.3.5 まとめ	5
3. 土木構造物の影響評価	8
3.1 基本方針	8
3.2 評価条件及び評価方法	8
3.3 評価結果	8
3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	8
3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	9
3.3.3 まとめ	9

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」の「4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮」に基づき、漂流防止装置について、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を確認しているため、水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 機器・配管系の影響評価

2.1 基本方針

漂流防止装置に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算(以下「従来の計算」という。)に対して、設備の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図 2-1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

基準地震動 S_s による地震力に対して構造強度又は機能維持を確認する設備を評価対象とする。(図 2-1①)

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重畳する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。(図 2-1②)

(3) 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部位に作用する荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念さ

れる設備を抽出する。

また、土木構造物の検討において、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。（図 2-1③）

(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

「(3) 発生値の増分による抽出」の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を検討する。（図 2-1④）

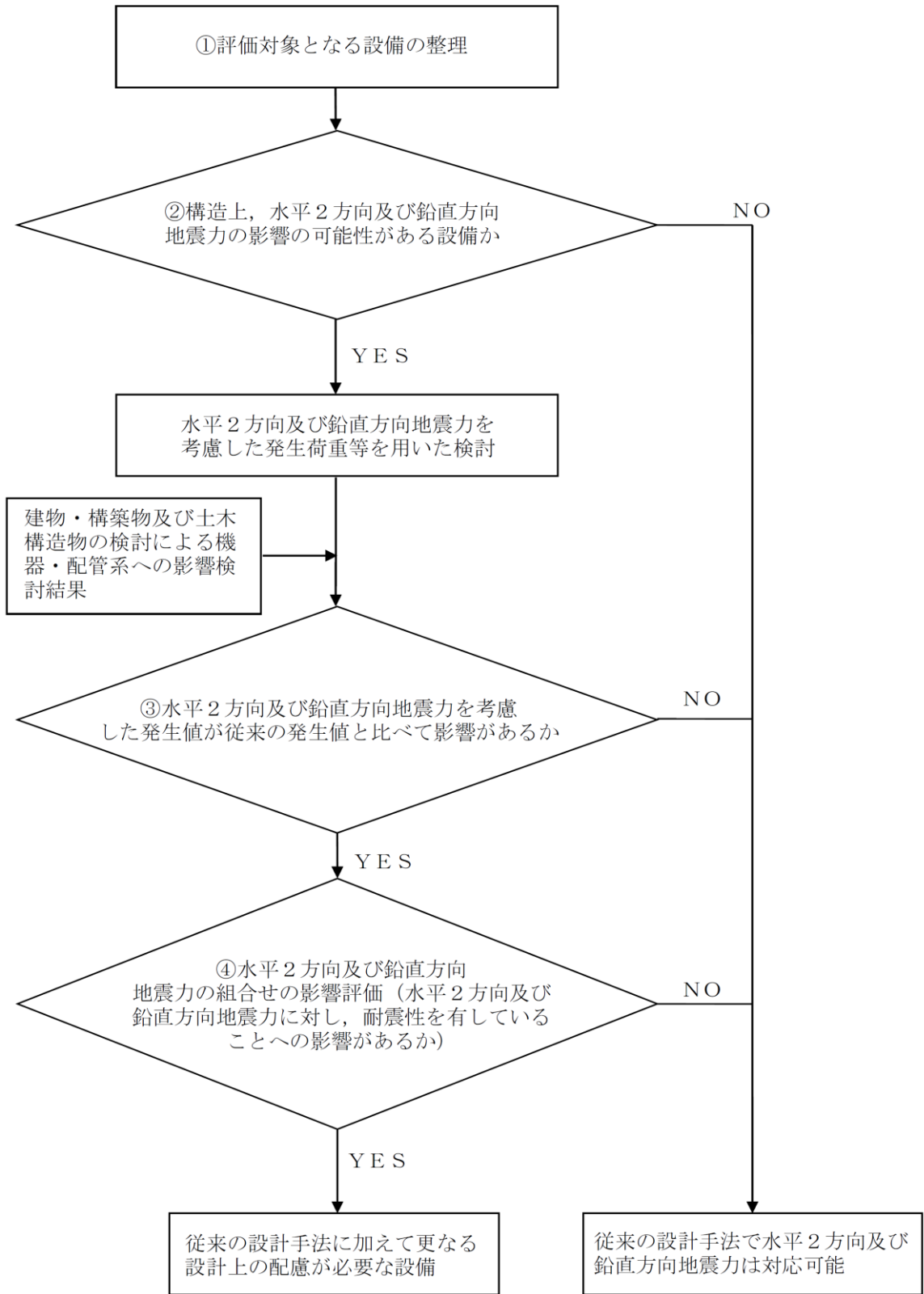


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

2.3 評価結果

2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

漂流防止装置の評価対象設備を表2-1に示す。VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性がある設備を抽出した。抽出結果を表2-2に示す。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震に加えて、更に水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点 水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性がある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の計算による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

2.3.2 土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.3.2項における土木構造物の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される設備は抽出されなかった。

2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表2-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を、VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算出した発生値に対して、設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表2-3に示す。

2.3.5 まとめ

漂流防止装置について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも、耐震性への影響がないことを確認したため、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表2-1 水平2方向入力の影響検討対象設備

設備名称	評価対象部位
漂流防止装置（係船柱）	係船柱，アンカーボルト， アンカー板

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	2.3.1(1) 重畳の観 点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2) ねじれ振 動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3) 増分の観 点 ○：影響あり －：該当なし	
漂流防止装 置（係船柱）	○ （係船柱, アンカーボ ルト, アンカー板）	×	－	水平方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 水平 2 方向の影響について, 評価結果は表 2-3 参照。

表 2-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

評価対象部位		発生値（応力度）		許容限界		照査値
係船柱	胴部縁応力度	1.43	N/mm ²	205	N/mm ²	0.007 < 0.70
	底版下面のコンクリートの支圧応力度	0.11	N/mm ²	17.5	N/mm ²	0.007 < 0.70
	底版前面のコンクリートの支圧応力度	0.11	N/mm ²	17.5	N/mm ²	0.007 < 0.70
アンカー ボルト	引張応力度	2.64	N/mm ²	215	N/mm ²	0.013 < 0.70
	せん断応力度	0.68	N/mm ²	124	N/mm ²	0.006 < 0.70
アンカー 板	アンカー板の 応力度	2.75	N/mm ²	215	N/mm ²	0.013 < 0.70
	コンクリートの 支圧応力度	0.14	N/mm ²	17.5	N/mm ²	0.008 < 0.70
	コンクリートの せん断応力度	0.01	N/mm ²	0.67	N/mm ²	0.015 < 0.70

注：基準地震動 S_s による地震力において発生する応力値を記載している。水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する照査値が、基準値 $1/\sqrt{2}$ (0.70) 以下であることを確認する。

3. 土木構造物の影響評価

3.1 基本方針

漂流防止装置に関する，水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については，VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.3 屋外重要土木構造物等」の評価方針及び評価方法を踏まえて，設備が有する耐震性への影響を評価する。

3.2 評価条件及び評価方法

基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち，従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して，設備の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し，影響を評価する。

3.3 評価結果

3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある設備を抽出する。抽出した設備を表3-1に示す。

また，影響評価結果を表3-2に示す。

表3-1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある設備

設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響	影響評価の必要性
基礎(多重鋼管杭)	基礎(多重鋼管杭)については，土木構造物である多重鋼管杭の上部に係船柱を設置することから，直交する水平2方向の地震力により，応力が集中作用することにより水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける。	要

表 3-2(1) 基礎（多重鋼管杭）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値）

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏曲げ モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
$S_s - N1$ (-+)	②	85630	2733	134667	0.64 < 0.70

表 3-2(2) 基礎（多重鋼管杭）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果
（せん断破壊に対する照査における最大照査値）

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
$S_s - N1$ (-+)	①	32310	51	210	0.25 < 0.70

注：基準地震動 S_s による地震力において発生する応力値を記載している。水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する照査値が、基準値 $1/\sqrt{2}$ (0.70) 以下であることを確認する。

3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

土木構造物の影響評価において、機器・配管系への影響がある部位として漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）が抽出されたが、漂流防止装置基礎に支持される設備（係船柱，アンカーボルト，アンカー板）は2.3項に示す通り評価結果に十分な裕度を有しており耐震評価に影響がないことを確認した。

3.3.3 まとめ

漂流防止装置の土木構造物について、水平2方向及び鉛直方向の組合せを考慮した評価を行い、全ての評価対象部位で、許容値以下となることを確認した。

VI-3 強度に関する説明書

VI-3-3 強度計算書

VI-3-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書

VI-3-3-3-6 原子炉補機冷却設備の強度計算書

VI-3-3-3-6-1 原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系の強度計算書

VI-3-3-3-6-1-6 管の強度計算書
(原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系)

VI-3-3-3-6-1-6-2 管の応力計算書
(原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系)

(1) 原子炉補機冷却系

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
RCW-R-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	85	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCW-R-4	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	85	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCW-R-6	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	85	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
RCW-R-7	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	85	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RCW-R-8	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-9	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-10	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-11	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-12	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	85	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
RCW-R-13	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-14	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-15	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-16	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-17	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-18	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.37	85	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-21	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
RCW-R-22	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-36	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-37	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-38	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-39	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-40	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RCW-R-41	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	9
3. 計算条件	14
3.1 計算条件	14
3.2 材料及び許容応力	19
4. 評価結果	21
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	23

1. 概要

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。




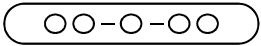
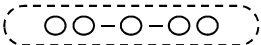

(1) 管

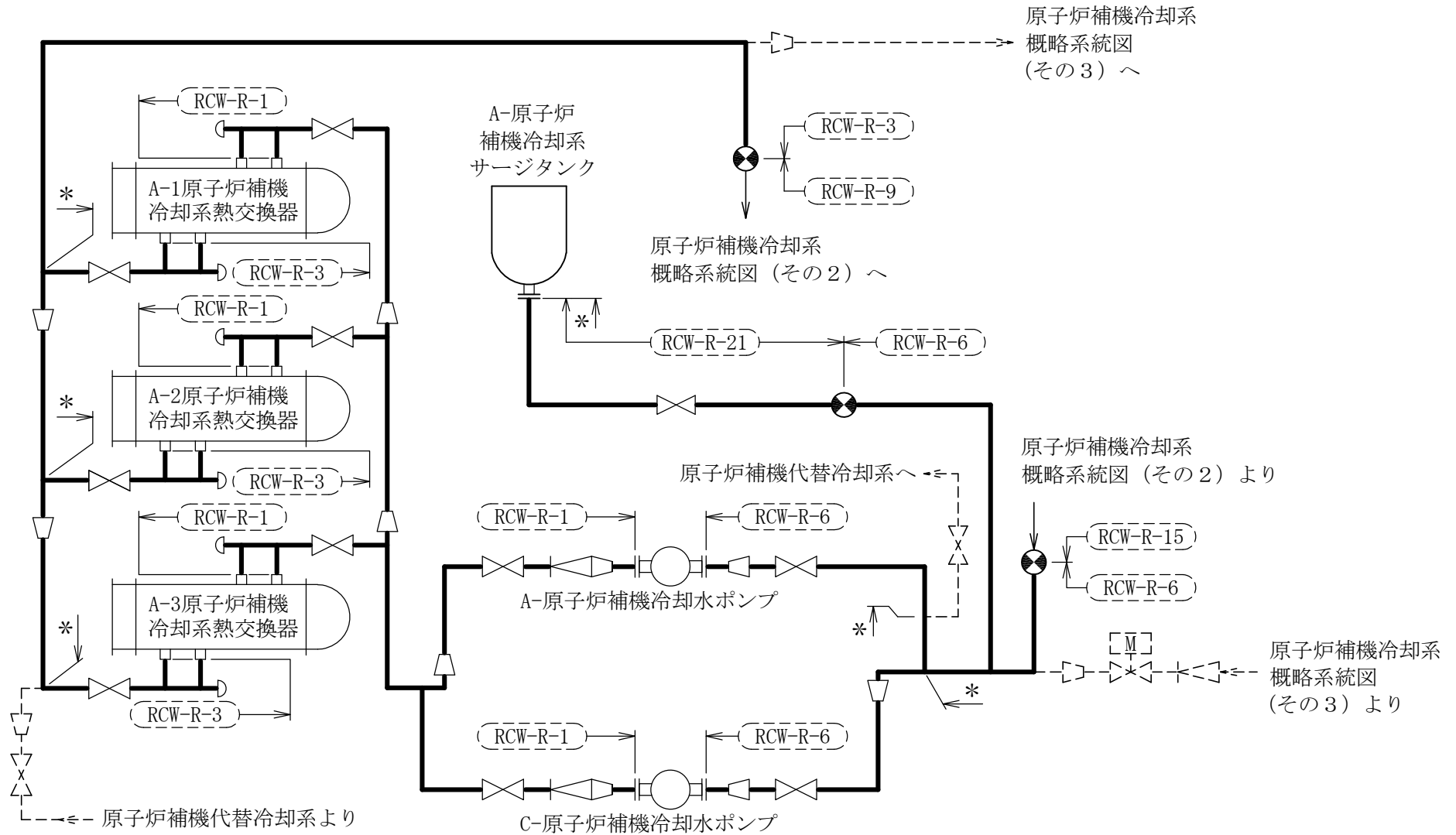
工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全25モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

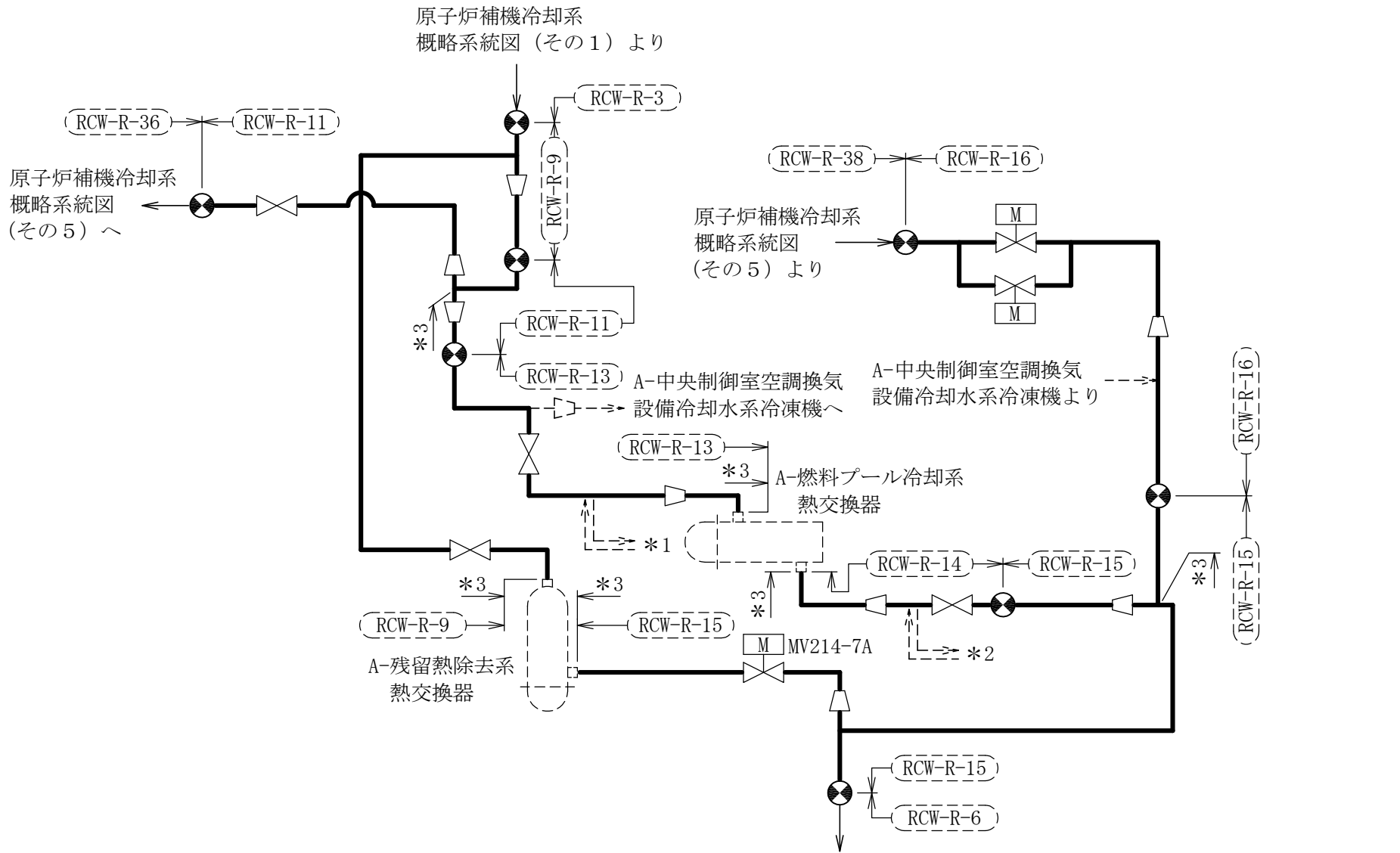
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
<p>[管クラス]</p> <p>DB1</p> <p>DB2</p> <p>SA2</p> <p>DB1/SA2</p> <p>DB2/SA2</p>	<p>クラス1管</p> <p>クラス2管</p> <p>重大事故等クラス2管</p> <p>重大事故等クラス2管であってクラス1管</p> <p>重大事故等クラス2管であってクラス2管</p>



[注] 太線範囲の管クラス : SA2

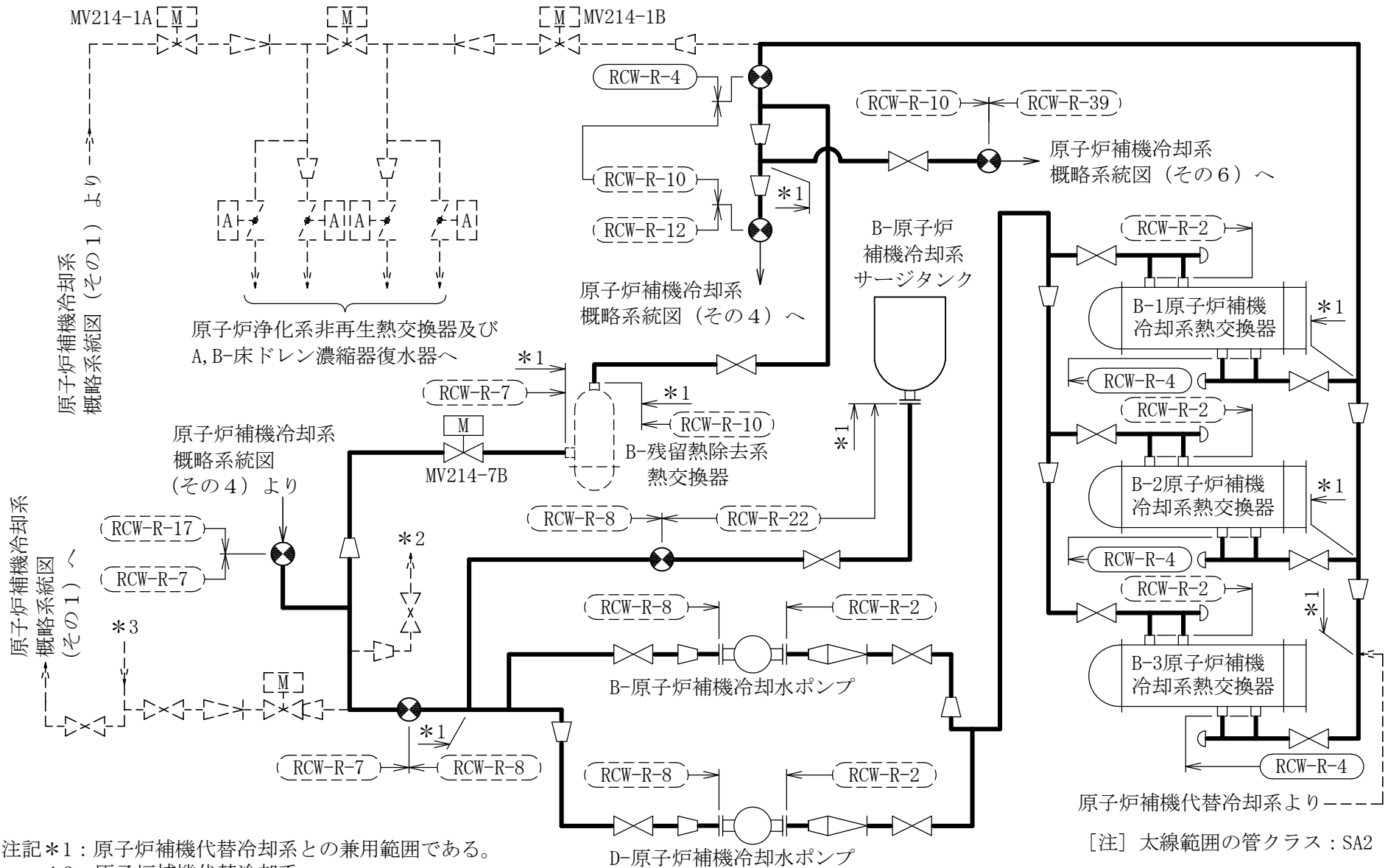
原子炉補機冷却系概略系統図(その1)

注記* : 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。

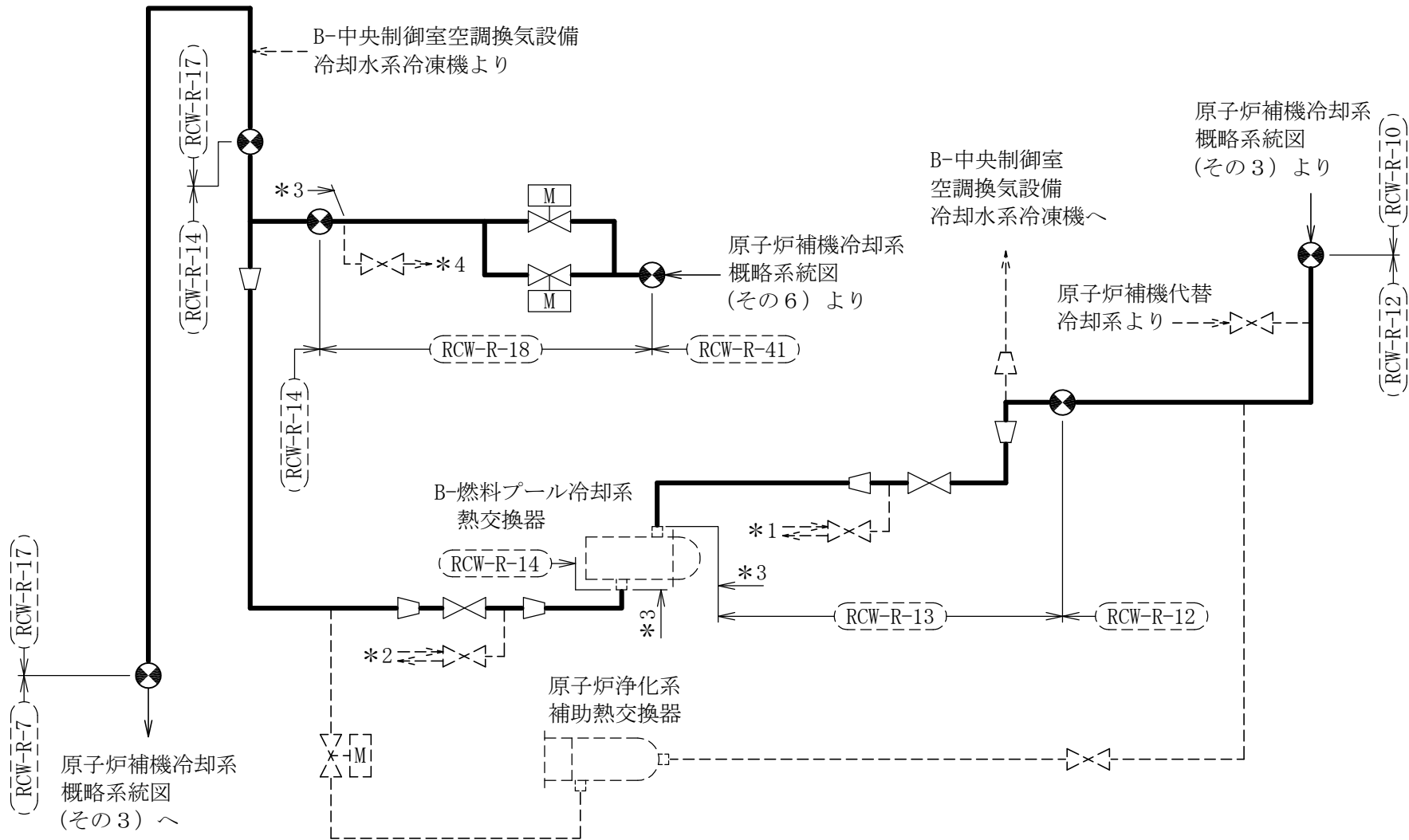


注記*1：原子炉補機冷却系概略系統図(その4)の*1より(～)
 *2：原子炉補機冷却系概略系統図(その4)の*2より(～)
 *3：原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。

[注] 太線範囲の管クラス：SA2
 原子炉補機冷却系概略系統図(その1)～ 原子炉補機冷却系概略系統図(その2)



原子炉補機冷却系概略系統図 (その3)

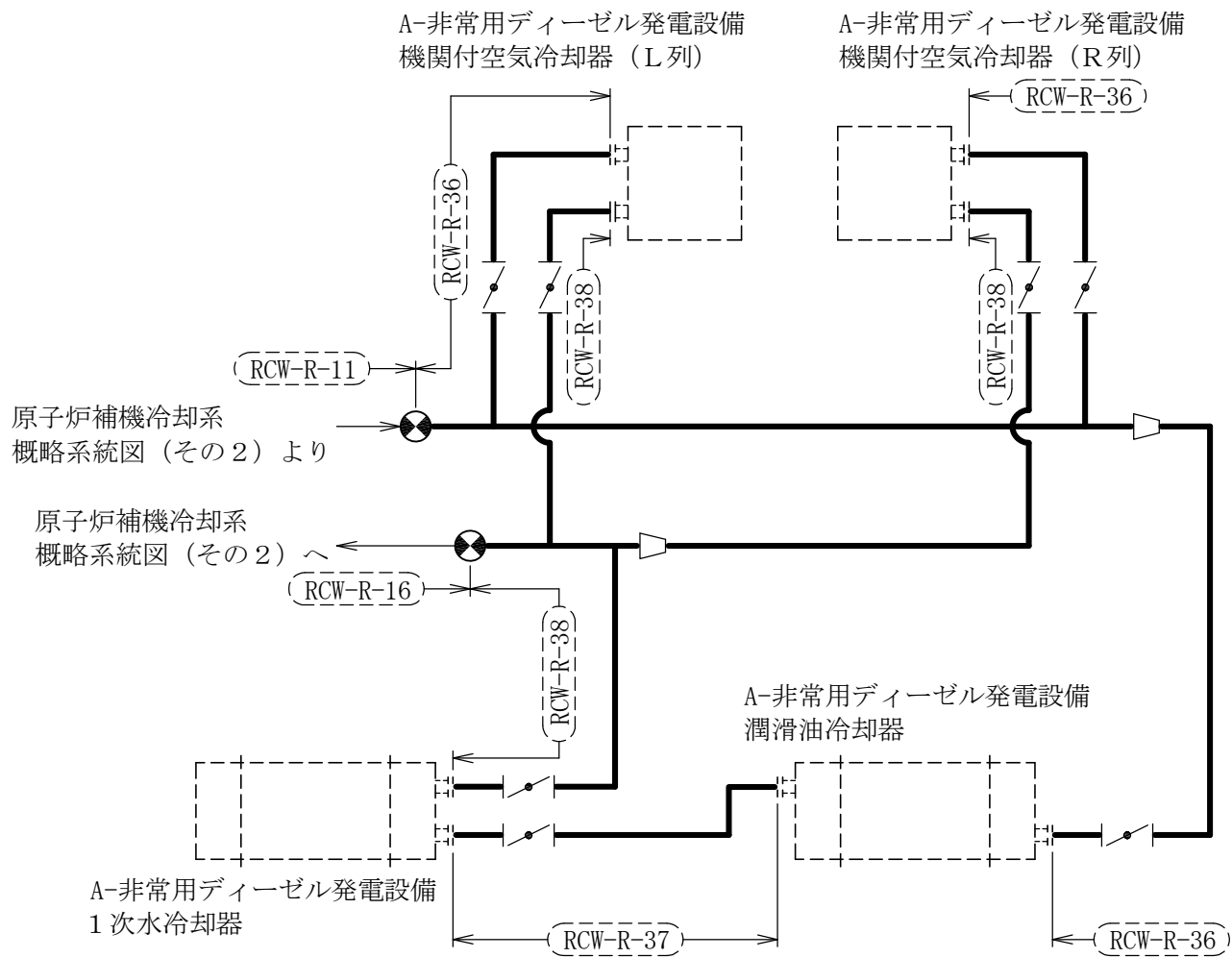


9

- 注記*1：原子炉補機冷却系概略系統図（その2）の*1より（～）
- *2：原子炉補機冷却系概略系統図（その2）の*2より（～）
- *3：原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。
- *4：原子炉補機代替冷却系へ

[注] 太線範囲の管クラス：SA2

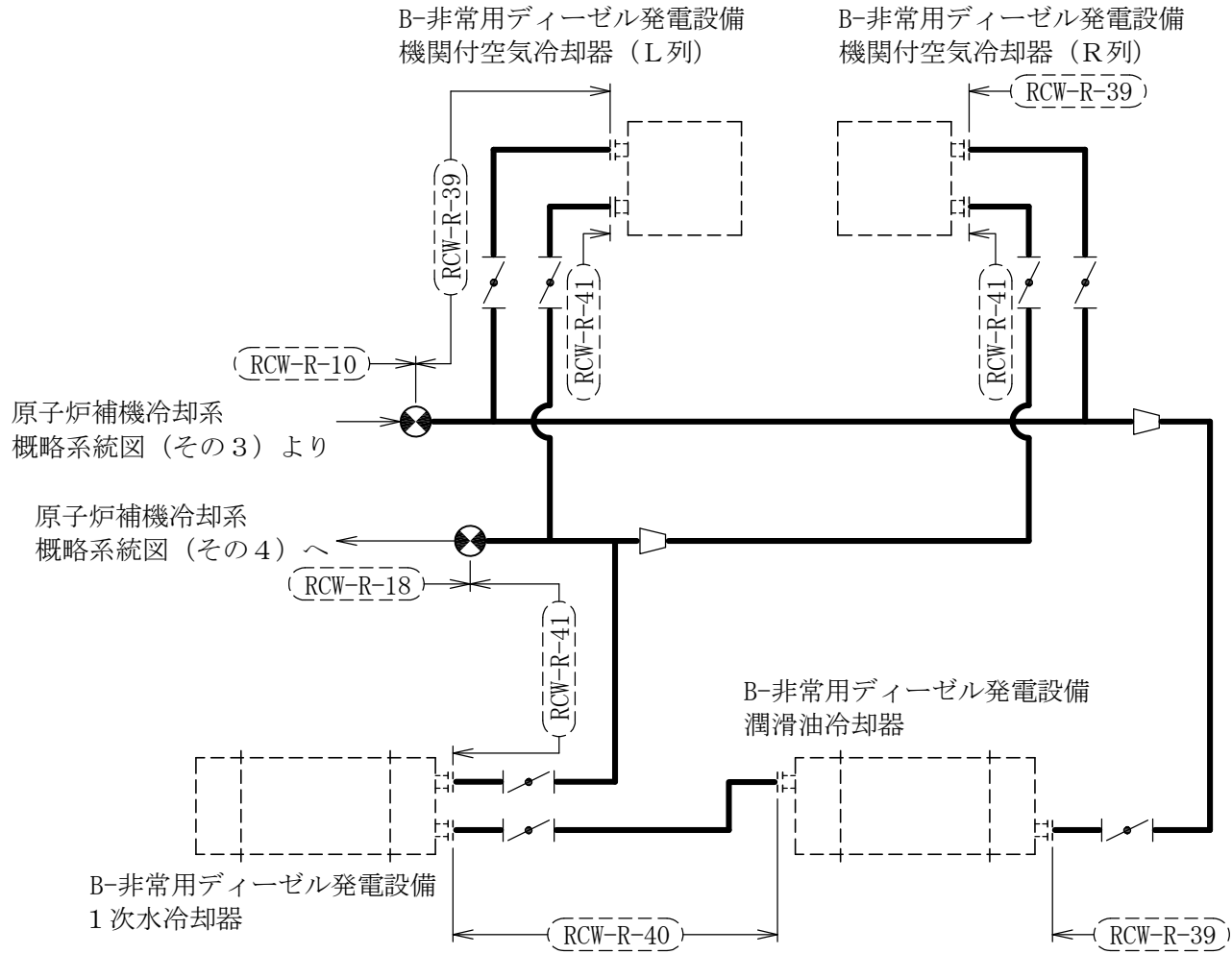
原子炉補機冷却系概略系統図（その4）



7

[注] 太線範囲の管クラス : SA2

原子炉補機冷却系概略系統図 (その5)





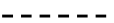


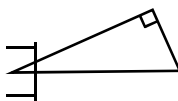
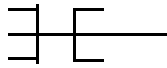

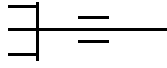
8

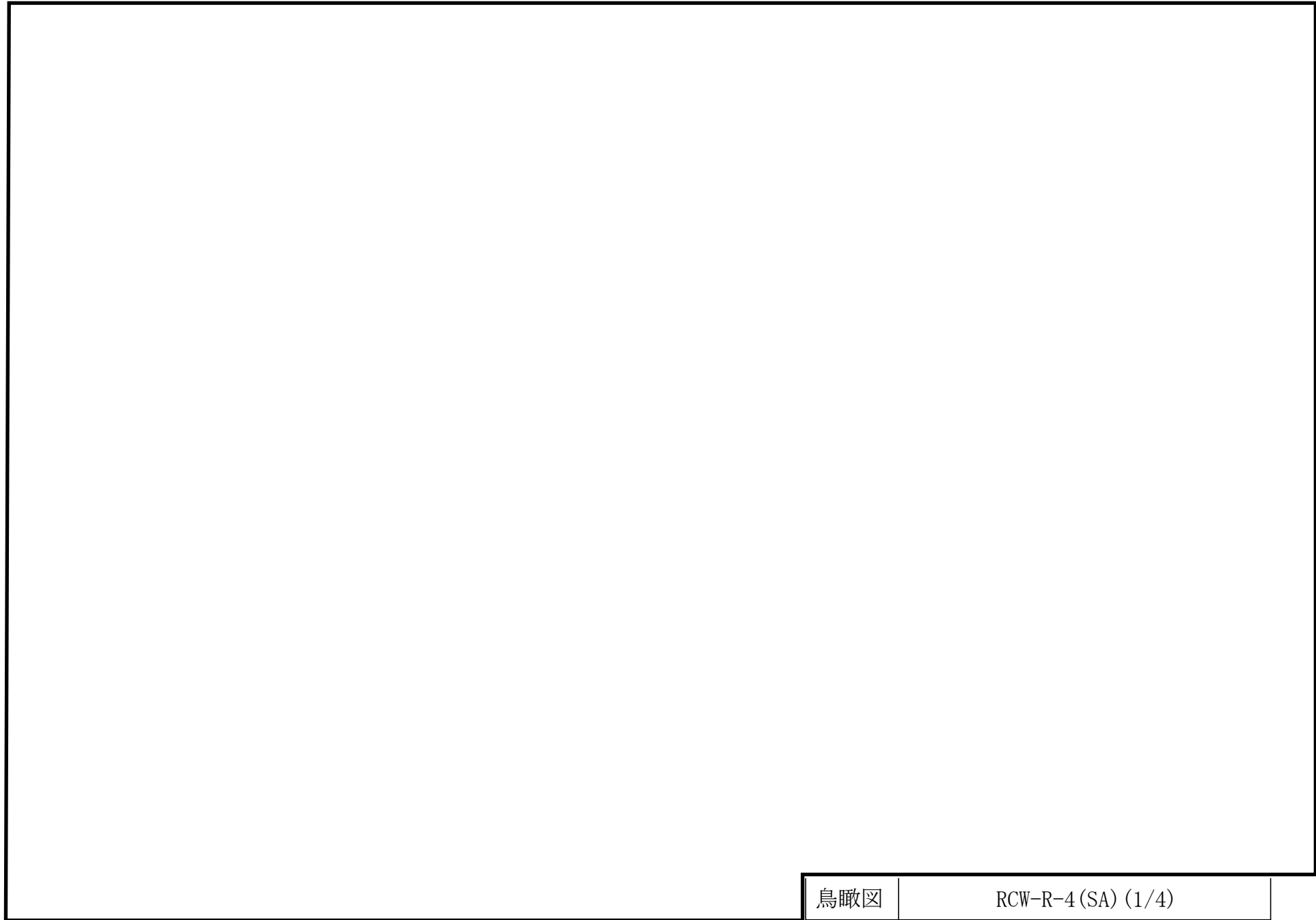
[注] 太線範囲の管クラス : SA2

原子炉補機冷却系概略系統図 (その6)

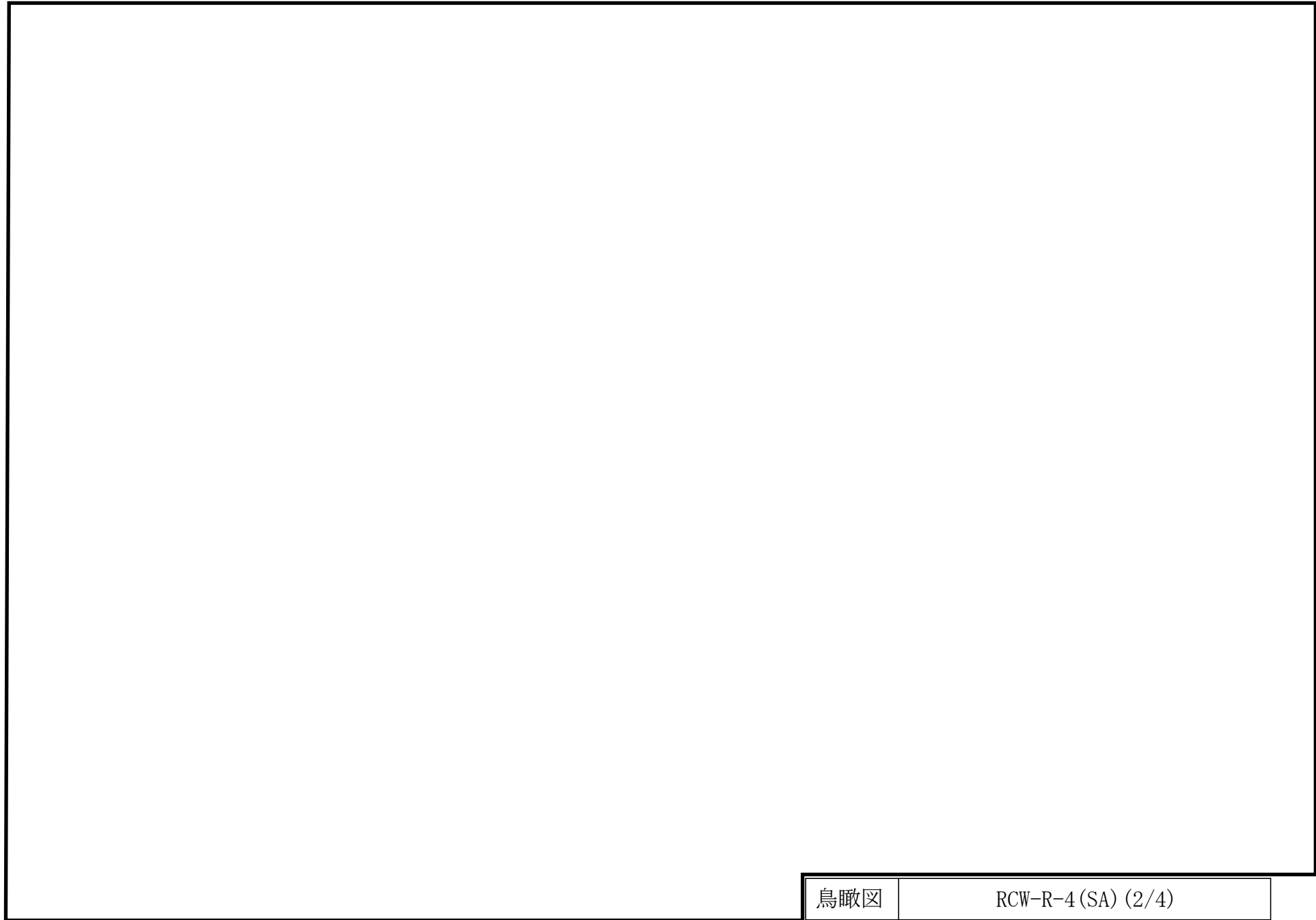
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

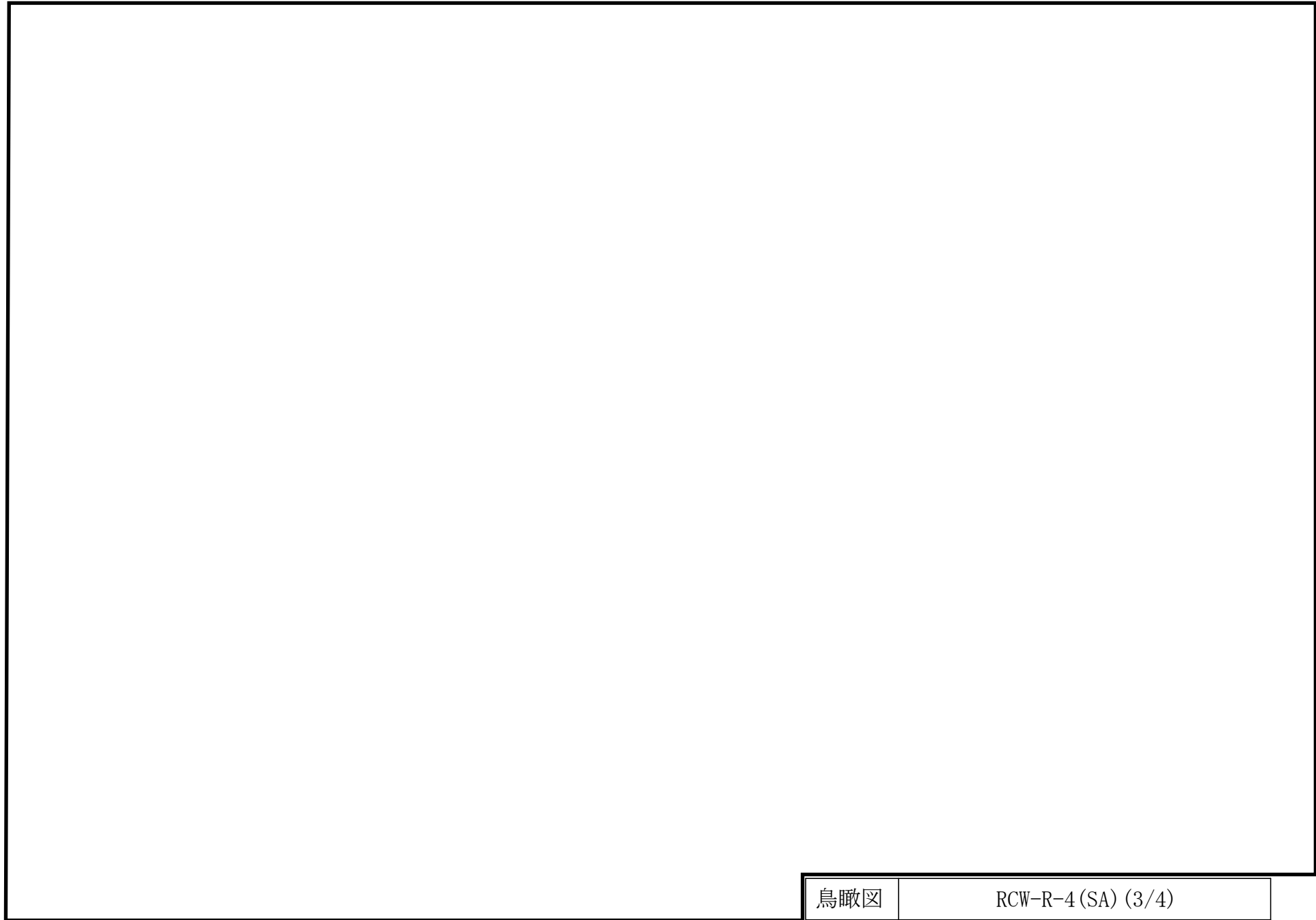
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」, 重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナツバについても同様とする。)
	スナツバ
	ハンガ
	リジットハンガ
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	



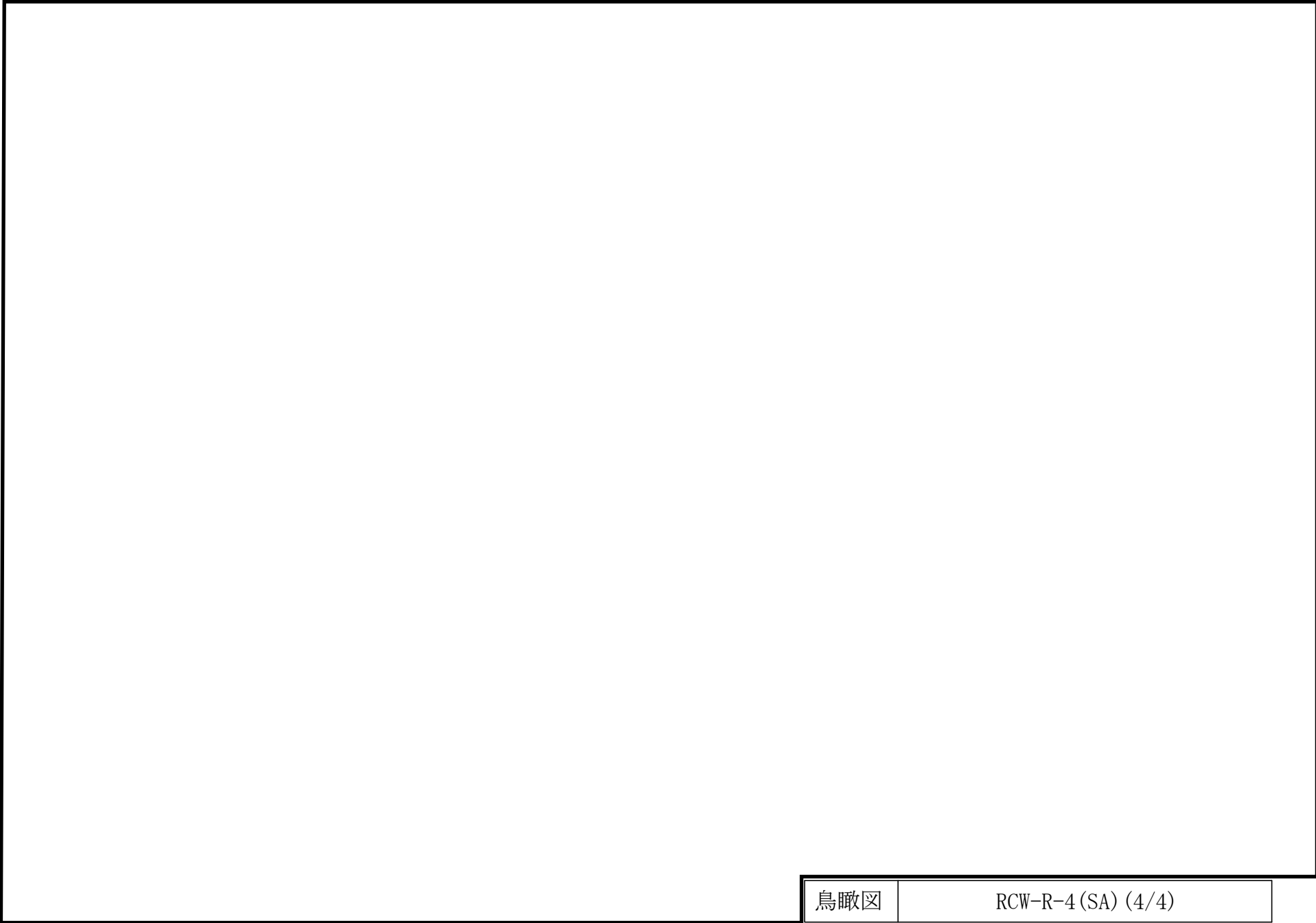
鳥瞰図	RCW-R-4(SA) (1/4)
-----	-------------------



鳥瞰図	RCW-R-4(SA) (2/4)
-----	-------------------



鳥瞰図	RCW-R-4(SA) (3/4)
-----	-------------------



3. 計算条件

3.1 計算条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-4

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~4, 3~11N 9~14, 16~2201 2203~26, 30~35 37~42N, 40~48N 46~49, 57~62 64~69N, 67~75N 73~76	1.37	85	406.4	12.7	STPT42
2	2201~2203	1.37	85	406.4	12.7	STPT410
3	27~29, 29~53 98~105A	1.37	85	558.8	12.7	SM41C
4	29~30, 56~57	1.37	85	406.4	12.7	SM41C
5	54~56, 56~98	1.37	85	711.2	12.7	SM41C

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCW-R-4

質量	対応する評価点
	1N～4, 3～11N, 9～14, 16～26, 29～35
	37～42N, 40～48N, 46～49, 56～62, 64～69N
	67～75N, 73～76
	27～29, 29～53, 98～105A
	54～56, 56～98

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14~16, 35~37		62~64

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCW-R-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14~16				35~37			
62~64							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCW-R-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
11N						
19						
22						
32						
42N						
48N						
52						
59						
69N						
75N						
80						
80						
89						
105A						

S2 補 VI-3-3-3-6-1-6-2(1) (重) R0

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	85	—	—	—	103
STPT410	85	—	—	—	103
SM41C	85	—	—	—	100

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	85	—	—	—	103
SM41C	85	—	—	—	100

4. 評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
RCW-R-4	56	$S_{pr m}^{*1}$	142	150
RCW-R-4	56	$S_{pr m}^{*2}$	174	180

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

告示第501号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{perm}^{*1} S_{perm}^{*2}	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
RCW-R-4	56	S_{perm}^{*1}	75	100
RCW-R-4	56	S_{perm}^{*2}	75	120

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。なお、保守的な評価となる告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	RCW-R-1	設計・建設規格	18	76	150	1.97	—	18	80	180	2.25	—
		告示第501号	18	44	100	2.27	—	18	44	120	2.72	—
2	RCW-R-2	設計・建設規格	16	141	150	1.06	—	16	144	180	1.25	—
		告示第501号	16	62	100	1.61	—	16	62	120	1.93	—
3	RCW-R-3	設計・建設規格	31	87	150	1.72	—	31	90	180	2.00	—
		告示第501号	47	47	100	2.12	—	47	47	120	2.55	—
4	RCW-R-4	設計・建設規格	56	142	150	1.05	○	56	174	180	1.03	○
		告示第501号	56	75	100	1.33	—	56	75	120	1.60	—
5	RCW-R-6	設計・建設規格	9	120	150	1.25	—	9	148	180	1.21	—
		告示第501号	28	74	100	1.35	—	28	74	120	1.62	—
6	RCW-R-7	設計・建設規格	129	104	150	1.44	—	129	107	180	1.68	—
		告示第501号	76	51	100	1.96	—	76	51	120	2.35	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
7	RCW-R-8	設計・建設規格	50	112	150	1.33	—	50	114	180	1.57	—
		告示第501号	50	48	100	2.08	—	50	48	120	2.50	—
8	RCW-R-9	設計・建設規格	101	75	150	2.00	—	101	76	180	2.36	—
		告示第501号	101	51	100	1.96	—	101	51	120	2.35	—
9	RCW-R-10	設計・建設規格	37	90	150	1.66	—	37	93	180	1.93	—
		告示第501号	37	59	100	1.69	—	37	59	120	2.03	—
10	RCW-R-11	設計・建設規格	21	48	154	3.20	—	21	50	185	3.70	—
		告示第501号	24A	41	103	2.51	—	24A	41	123	3.00	—
11	RCW-R-12	設計・建設規格	33	51	154	3.01	—	33	52	185	3.55	—
		告示第501号	33	30	103	3.43	—	33	30	123	4.10	—
12	RCW-R-13	設計・建設規格	126	42	154	3.66	—	126	44	185	4.20	—
		告示第501号	174	34	103	3.02	—	174	34	123	3.61	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
13	RCW-R-14	設計・建設規格	89	65	154	2.36	—	89	66	185	2.80	—
		告示第501号	89	40	103	2.57	—	89	40	123	3.07	—
14	RCW-R-15	設計・建設規格	56	89	150	1.68	—	56	92	180	1.95	—
		告示第501号	56	46	100	2.17	—	56	46	120	2.60	—
15	RCW-R-16	設計・建設規格	110	27	154	5.70	—	110	28	185	6.60	—
		告示第501号	96	24	103	4.29	—	96	24	123	5.12	—
16	RCW-R-17	設計・建設規格	18	51	150	2.94	—	18	56	180	3.21	—
		告示第501号	42A	44	100	2.27	—	42A	44	120	2.72	—
17	RCW-R-18	設計・建設規格	74	29	154	5.31	—	74	30	185	6.16	—
		告示第501号	82	26	103	3.96	—	82	26	123	4.73	—
18	RCW-R-21	設計・建設規格	23	34	154	4.52	—	23	36	185	5.13	—
		告示第501号	58	26	103	3.96	—	58	26	123	4.73	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
19	RCW-R-22	設計・建設規格	38	34	154	4.52	—	38	34	185	5.44	—
		告示第501号	38	23	103	4.47	—	38	23	123	5.34	—
20	RCW-R-36	設計・建設規格	112N	18	154	8.55	—	33	21	185	8.80	—
		告示第501号	13	16	103	6.43	—	13	16	123	7.68	—
21	RCW-R-37	設計・建設規格	35	32	154	4.81	—	35	32	185	5.78	—
		告示第501号	35	23	103	4.47	—	35	23	123	5.34	—
22	RCW-R-38	設計・建設規格	27	26	154	5.92	—	27	28	185	6.60	—
		告示第501号	25	17	103	6.05	—	25	17	123	7.23	—
23	RCW-R-39	設計・建設規格	12	24	154	6.41	—	12	26	185	7.11	—
		告示第501号	12	21	103	4.90	—	12	21	123	5.85	—
24	RCW-R-40	設計・建設規格	35	32	154	4.81	—	35	32	185	5.78	—
		告示第501号	35	23	103	4.47	—	35	23	123	5.34	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
25	RCW-R-41	設計・建設規格	58	30	154	5.13	—	58	32	185	5.78	—
		告示第501号	73	21	103	4.90	—	73	21	123	5.85	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

(2) 原子炉補機海水系

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
RSW-R-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-R-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-R-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-R-4	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-T-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-T-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-T-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-T-4	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
RSW-I-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-I-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-Y-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.98	40	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RSW-Y-1A	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.98	40	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RSW-Y-1C	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
RSW-Y-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
RSW-Y-2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.98	40	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RSW-Y-2A	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.98	40	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
RSW-Y-2C	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	7
3.1 計算条件	7
3.2 材料及び許容応力	13
4. 評価結果	15
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	17

1. 概要

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。




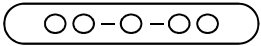
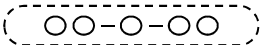

(1) 管

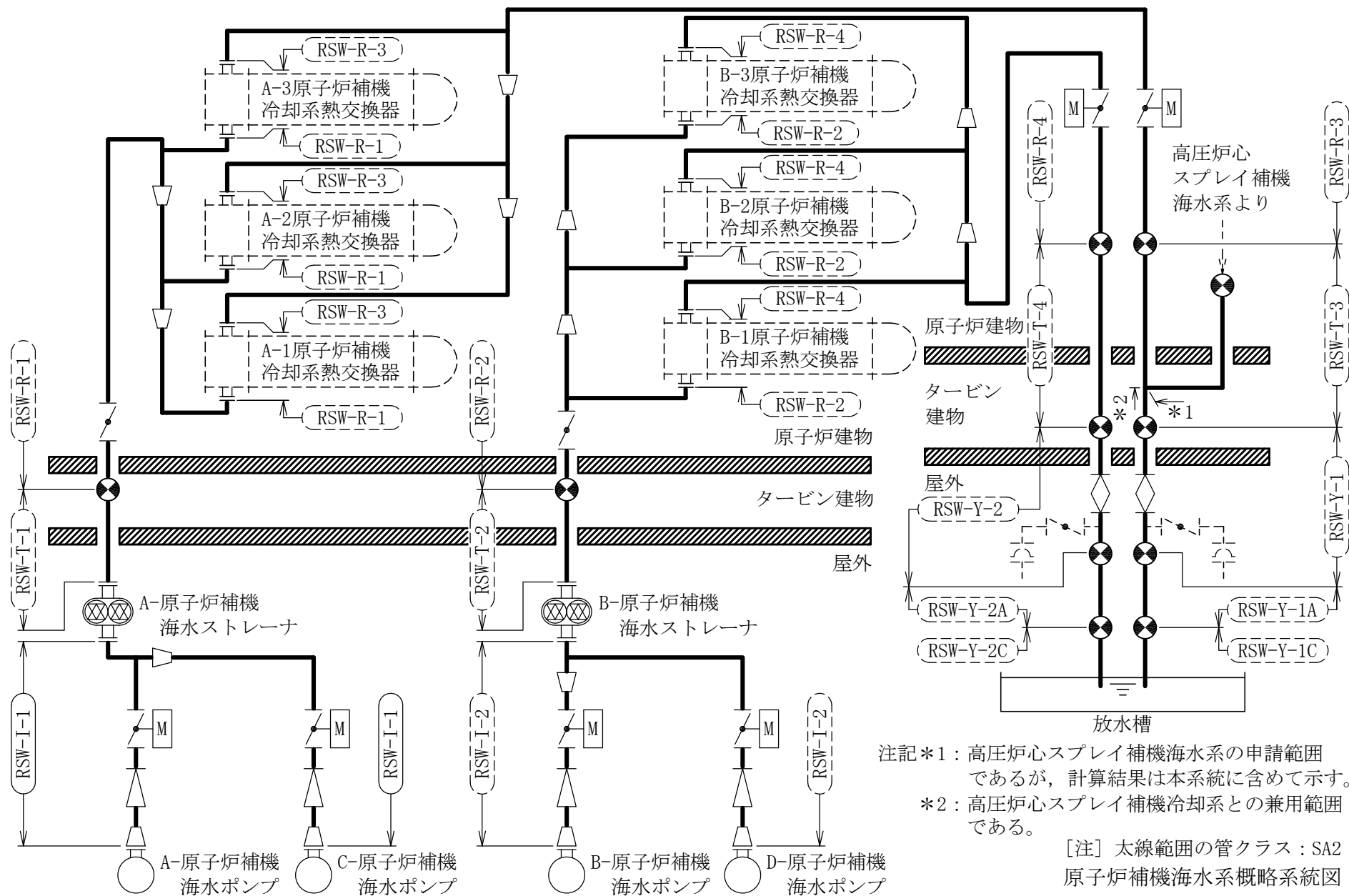
工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全16モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図



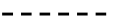


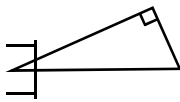
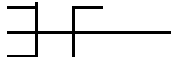

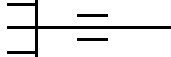
概略系統図記号凡例

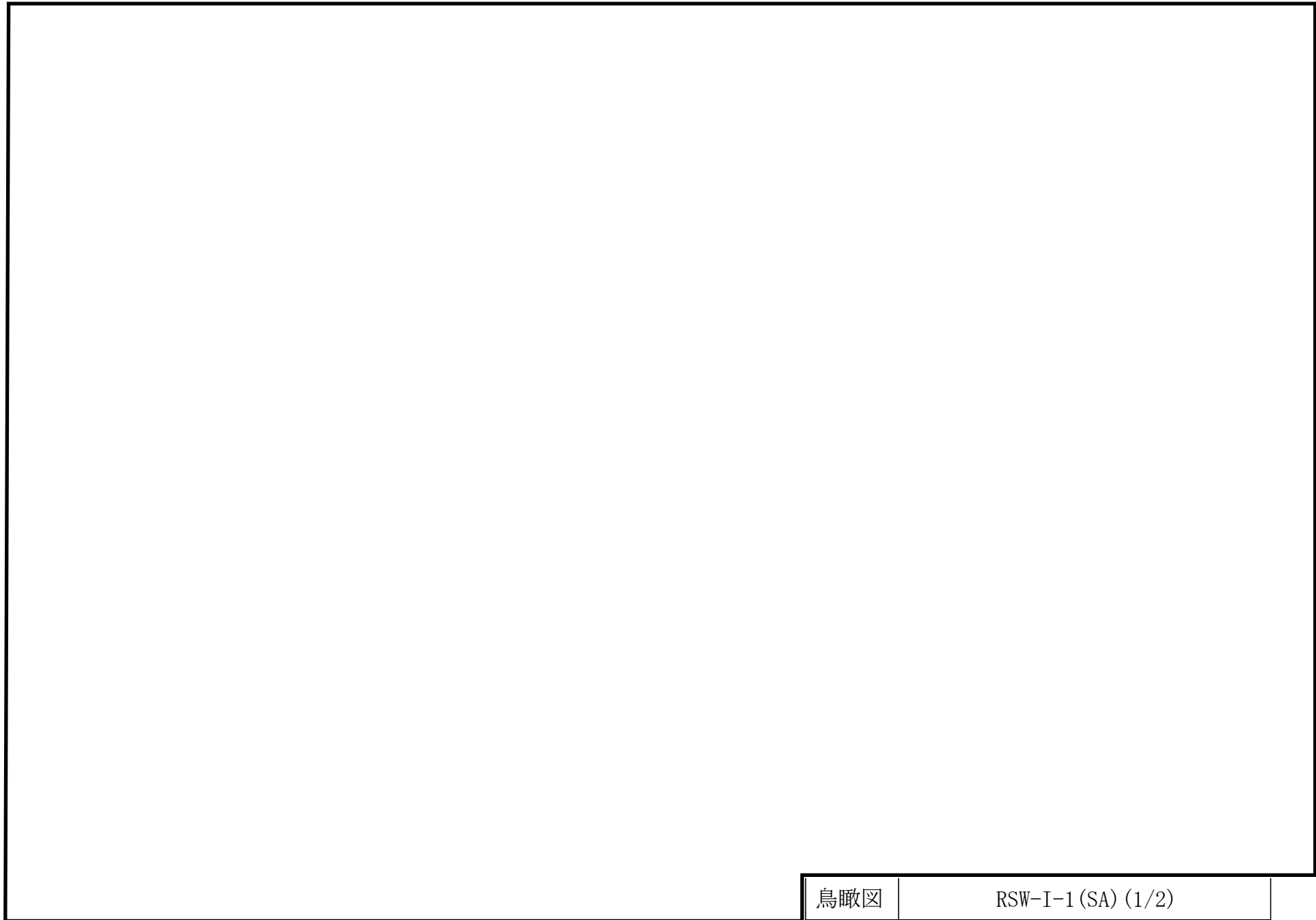
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管



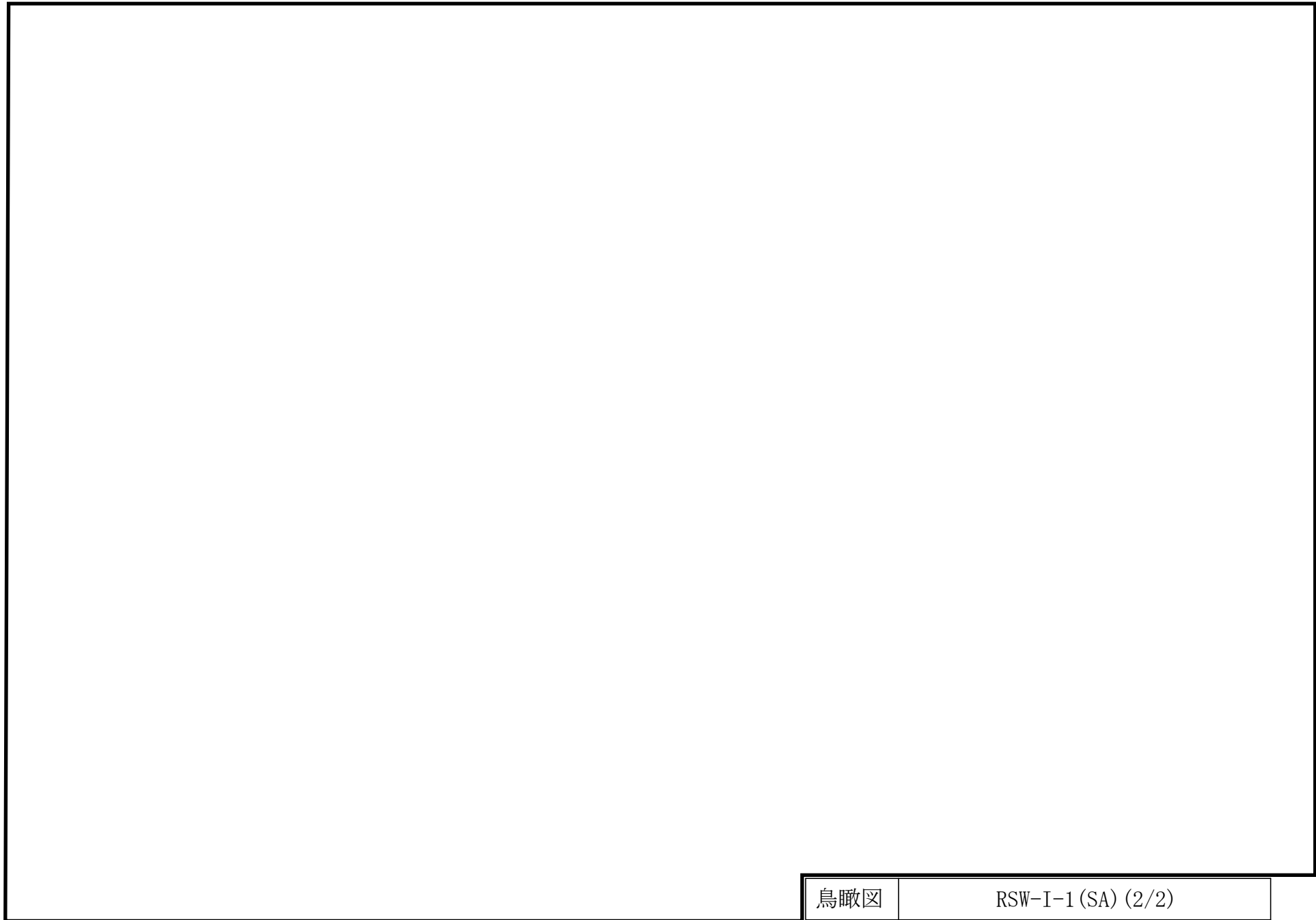
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」, 重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	



鳥瞰図	RSW-I-1 (SA) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図	RSW-I-1 (SA) (2/2)
-----	--------------------

3. 計算条件

3.1 計算条件

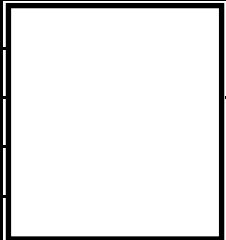
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-I-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~100, 4207~43N	0.98	40	558.8	9.5	SM41C
2	2~4, 5~6 7~12, 15~37 38~39, 40~42	0.98	40	508.0	9.5	SM41C
3	13~34N	0.98	40	711.2	9.5	SM41C

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-I-1

質量	対応する評価点
	1N, 43N
	4, 5, 6, 7, 37, 38, 39, 40
	701, 1001, 3601
	1301, 1701, 1901, 2101, 2401, 26, 29, 3101
	34N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-I-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	4~5, 39~40		6001, 3701
	6003, 3703		6004, 3704
	6002, 3702		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-I-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4~5				6~6001			
6001~6003				6003~6004			
6004~6002				6001~7			
37~3701				3701~3703			
3703~3704				3704~3702			
3701~38				39~40			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-I-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
** 1N **						
** 1N **						
2005						
** 2005 **						
** 8 **						
** 8 **						
11						
17						
** 1902 **						
** 1902 **						
2102						
24						
2501						
3102						
3102						
34N						
36						
4205						
** 4205 **						
43N						

S2 補 VI-3-3-3-6-1-6-2(2) (重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-I-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 43N **						
** 43N **						

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SM41C	40	—	—	—	100

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SM41C	40	—	—	—	100

4. 評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 S_{perm}^{*1} S_{perm}^{*2}	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
RSW-I-1	15	S_{perm}^{*1}	100	150
RSW-I-1	15	S_{perm}^{*2}	102	180

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

告示第501号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 S_{perm}^{*1} S_{perm}^{*2}	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
RSW-I-1	15	S_{perm}^{*1}	54	100
RSW-I-1	15	S_{perm}^{*2}	54	120

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。なお、保守的な評価となる告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	RSW-R-1	設計・建設規格	52	51	150	2.94	—	52	52	180	3.46	—
		告示第501号	8	36	100	2.77	—	8	36	120	3.33	—
2	RSW-R-2	設計・建設規格	59	63	150	2.38	—	59	65	180	2.76	—
		告示第501号	59	39	100	2.56	—	59	39	120	3.07	—
3	RSW-R-3	設計・建設規格	15	65	150	2.30	—	15	68	180	2.64	—
		告示第501号	44	41	100	2.43	—	44	41	120	2.92	—
4	RSW-R-4	設計・建設規格	55	81	150	1.85	—	55	83	180	2.16	—
		告示第501号	55	56	100	1.78	—	55	56	120	2.14	—
5	RSW-T-1	設計・建設規格	24	70	150	2.14	—	24	71	180	2.53	—
		告示第501号	12	52	100	1.92	—	12	52	120	2.30	—
6	RSW-T-2	設計・建設規格	250F	47	150	3.19	—	250F	51	180	3.52	—
		告示第501号	26	42	100	2.38	—	26	42	120	2.85	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
7	RSW-T-3	設計・建設規格	29	84	150	1.78	—	29	87	180	2.06	—
		告示第501号	28F	60	100	1.66	—	28F	60	120	2.00	—
8	RSW-T-4	設計・建設規格	10	59	150	2.54	—	10	62	180	2.90	—
		告示第501号	10	44	100	2.27	—	10	44	120	2.72	—
9	RSW-I-1	設計・建設規格	15	100	150	1.50	○	15	102	180	1.76	○
		告示第501号	15	54	100	1.85	—	15	54	120	2.22	—
10	RSW-I-2	設計・建設規格	25	41	150	3.65	—	31N	44	180	4.09	—
		告示第501号	25	34	100	2.94	—	25	34	120	3.52	—
11	RSW-Y-1	設計・建設規格	606	60	150	2.50	—	606	60	180	3.00	—
		告示第501号	802	30	70	2.33	—	802	30	84	2.80	—
12	RSW-Y-1A	設計・建設規格	503	36	105	2.91	—	503	36	126	3.50	—
		告示第501号	812	28	70	2.50	—	812	28	84	3.00	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
13	RSW-Y-1C	設計・建設規格	508	36	105	2.91	—	508	36	126	3.50	—
		告示第501号	6	28	70	2.50	—	6	28	84	3.00	—
14	RSW-Y-2	設計・建設規格	511	45	105	2.33	—	511	45	126	2.80	—
		告示第501号	511	35	70	2.00	—	511	35	84	2.40	—
15	RSW-Y-2A	設計・建設規格	506	38	105	2.76	—	506	38	126	3.31	—
		告示第501号	814	28	70	2.50	—	814	28	84	3.00	—
16	RSW-Y-2C	設計・建設規格	507	36	105	2.91	—	507	36	126	3.50	—
		告示第501号	6	28	70	2.50	—	6	28	84	3.00	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

VI-3-3-3-6-2 高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ
補機海水系の強度計算書

VI-3-3-3-6-2-6 管の強度計算書
(高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系)

VI-3-3-3-6-2-6-2 管の応力計算書

(高圧炉心スプレィ補機冷却系及び高圧炉心スプレィ補機海水系)

(1) 高压炉心スプレイ補機冷却系

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
HPCW-R-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	66	0.98	66	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCW-R-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	66	0.98	66	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCW-R-3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	66	0.98	66	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCW-R-4	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	66	0.98	66	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCW-R-5	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	66	0.98	66	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPCW-R-6	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	66	0.98	66	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	9
3.1 計算条件	9
3.2 材料及び許容応力	15
4. 評価結果	17
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	19

1. 概要

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。




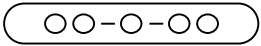
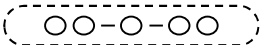

(1) 管

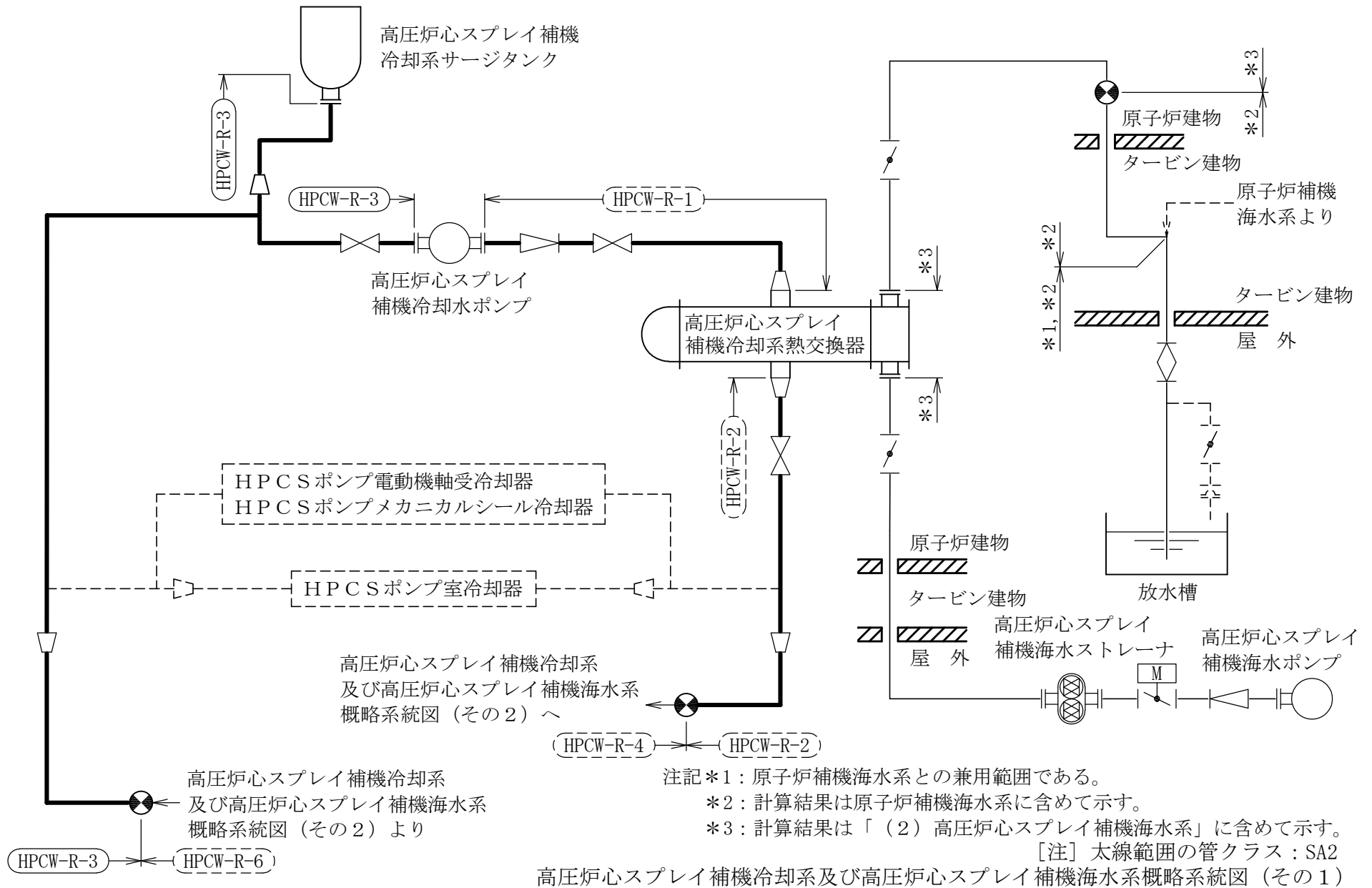
工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全6モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

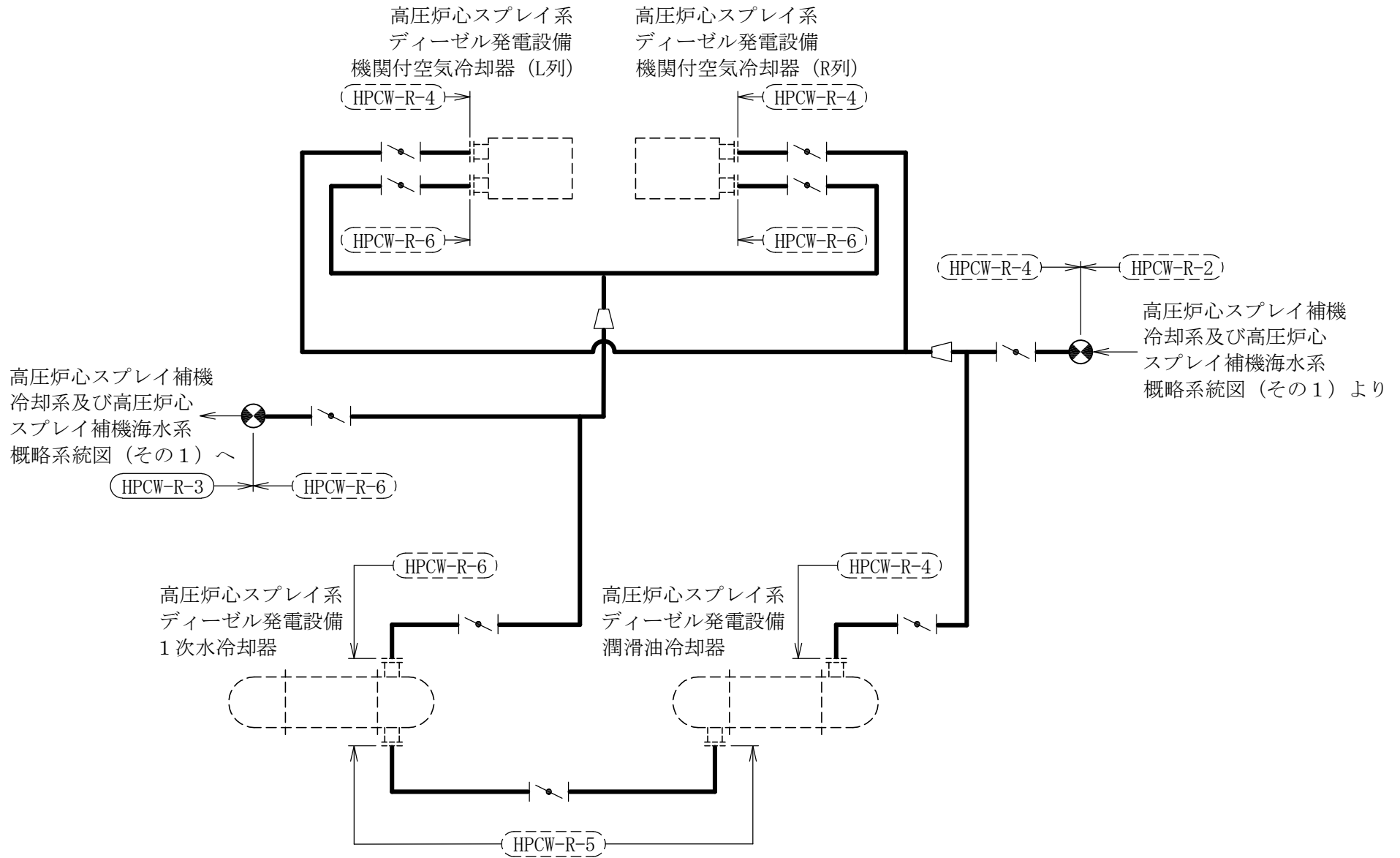
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管





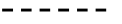


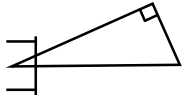
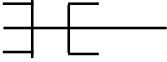

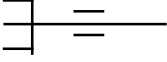
4

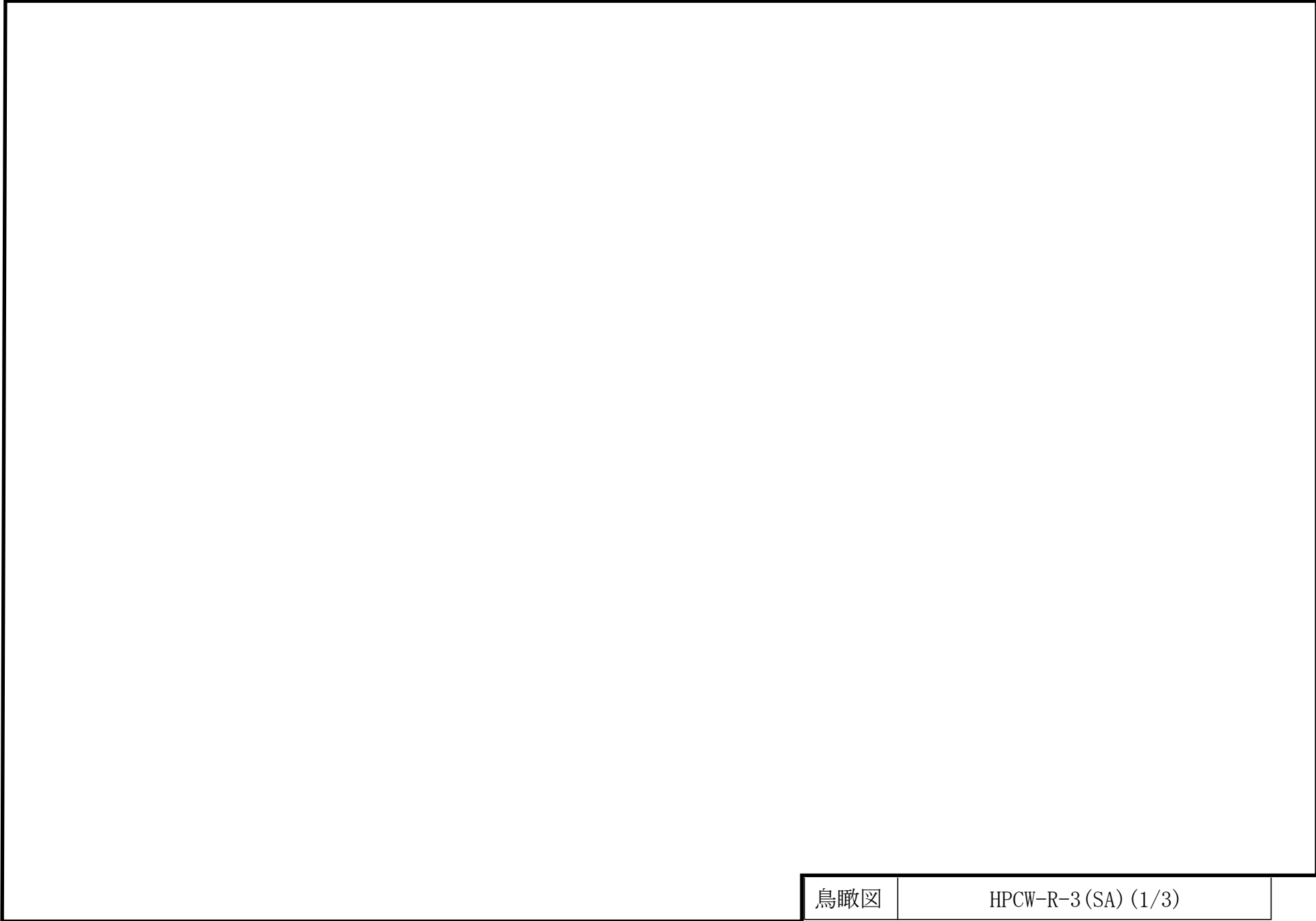


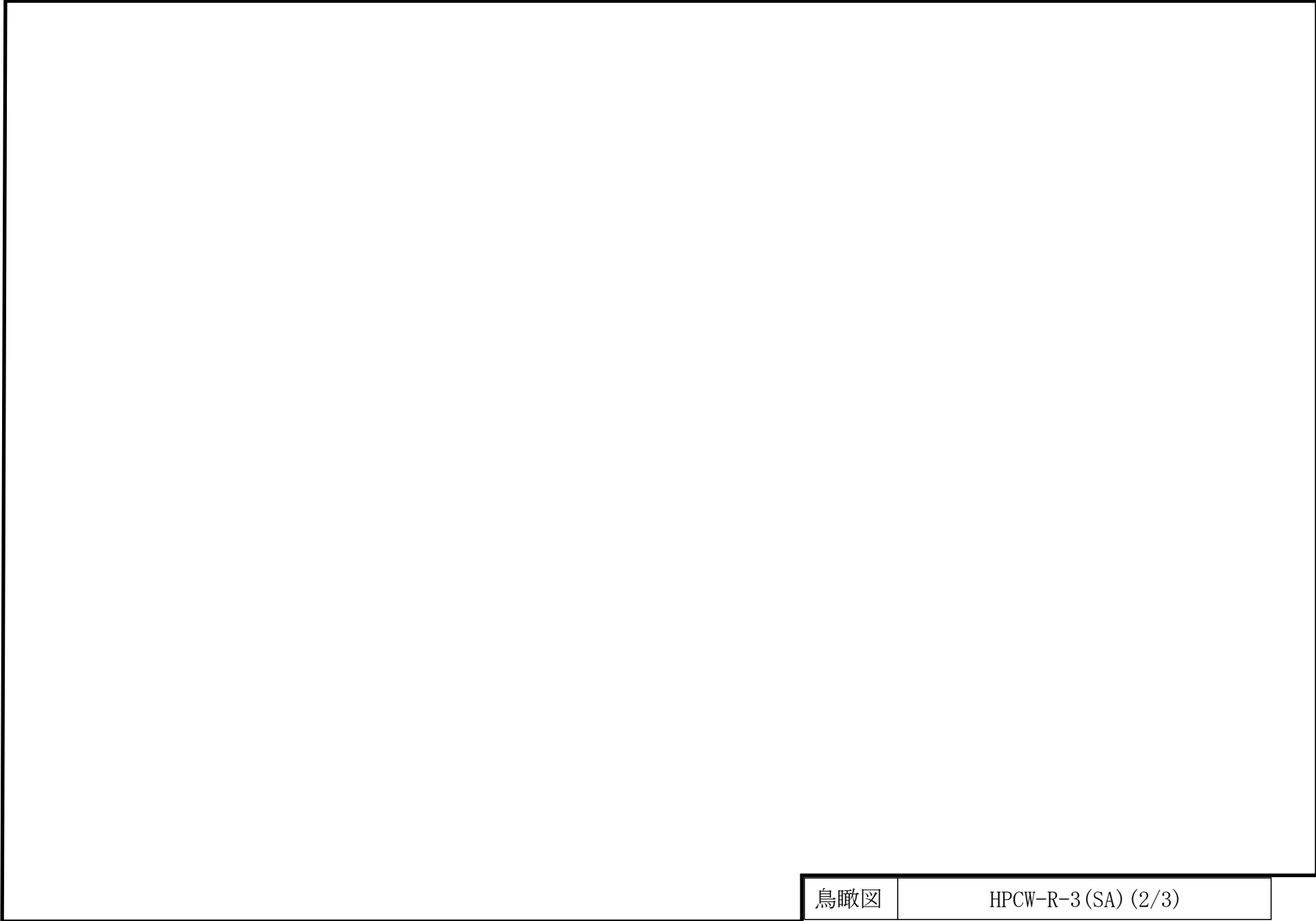
[注] 太線範囲の管クラス : SA2
高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」, 重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	





∞

鳥瞰図

HPCW-R-3(SA)(3/3)

3. 計算条件

3.1 計算条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1A~2	0.98	66	165.2	7.1	STPT42
2	3~48, 49~53N 42~57	0.98	66	216.3	8.2	STPT42
3	58~84N	0.98	66	114.3	6.0	STPT42

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
	1A～2, 3～48, 49～53N, 42～57
	58～84N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
	51, 52
	53N
	84N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
	48～49

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
48~49			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
8001						
11						
17						
22						
28						
35						
50						
53N						
61						
68						
73						
77						
84N						

S2 補 VI-3-3-3-6-2-6-2(1) (重) R0

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	66	—	—	—	103

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	66	—	—	—	103

4. 評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
HPCW-R-3	59	$S_{pr m}^{*1}$	39	154
HPCW-R-3	59	$S_{pr m}^{*2}$	39	185

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

告示第501号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
HPCW-R-3	50	$S_{pr m}^{*1}$	28	103
HPCW-R-3	50	$S_{pr m}^{*2}$	28	123

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。なお、保守的な評価となる告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	HPCW-R-1	設計・建設規格	14	22	154	7.00	—	14	23	185	8.04	—
		告示第501号	14	23	103	4.47	—	14	23	123	5.34	—
2	HPCW-R-2	設計・建設規格	22	39	154	3.94	—	22	39	185	4.74	—
		告示第501号	38	26	103	3.96	—	38	26	123	4.73	—
3	HPCW-R-3	設計・建設規格	59	39	154	3.94	—	59	39	185	4.74	—
		告示第501号	50	28	103	3.67	○	50	28	123	4.39	○
4	HPCW-R-4	設計・建設規格	16	17	154	9.05	—	16	17	185	10.88	—
		告示第501号	1A	17	103	6.05	—	1A	17	123	7.23	—
5	HPCW-R-5	設計・建設規格	38	26	154	5.92	—	38	27	185	6.85	—
		告示第501号	361	21	103	4.90	—	361	21	123	5.85	—
6	HPCW-R-6	設計・建設規格	39	17	154	9.05	—	39	17	185	10.88	—
		告示第501号	115A	17	103	6.05	—	115A	17	123	7.23	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

(2) 高压炉心スプレイ補機海水系

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
HPSW-R-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPSW-R-2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPSW-T-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
HPSW-I-1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	0.98	40	0.98	40	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	9
3.1 計算条件	9
3.2 材料及び許容応力	13
4. 評価結果	15
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	17

1. 概要

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。



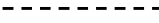
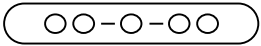
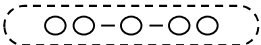

(1) 管

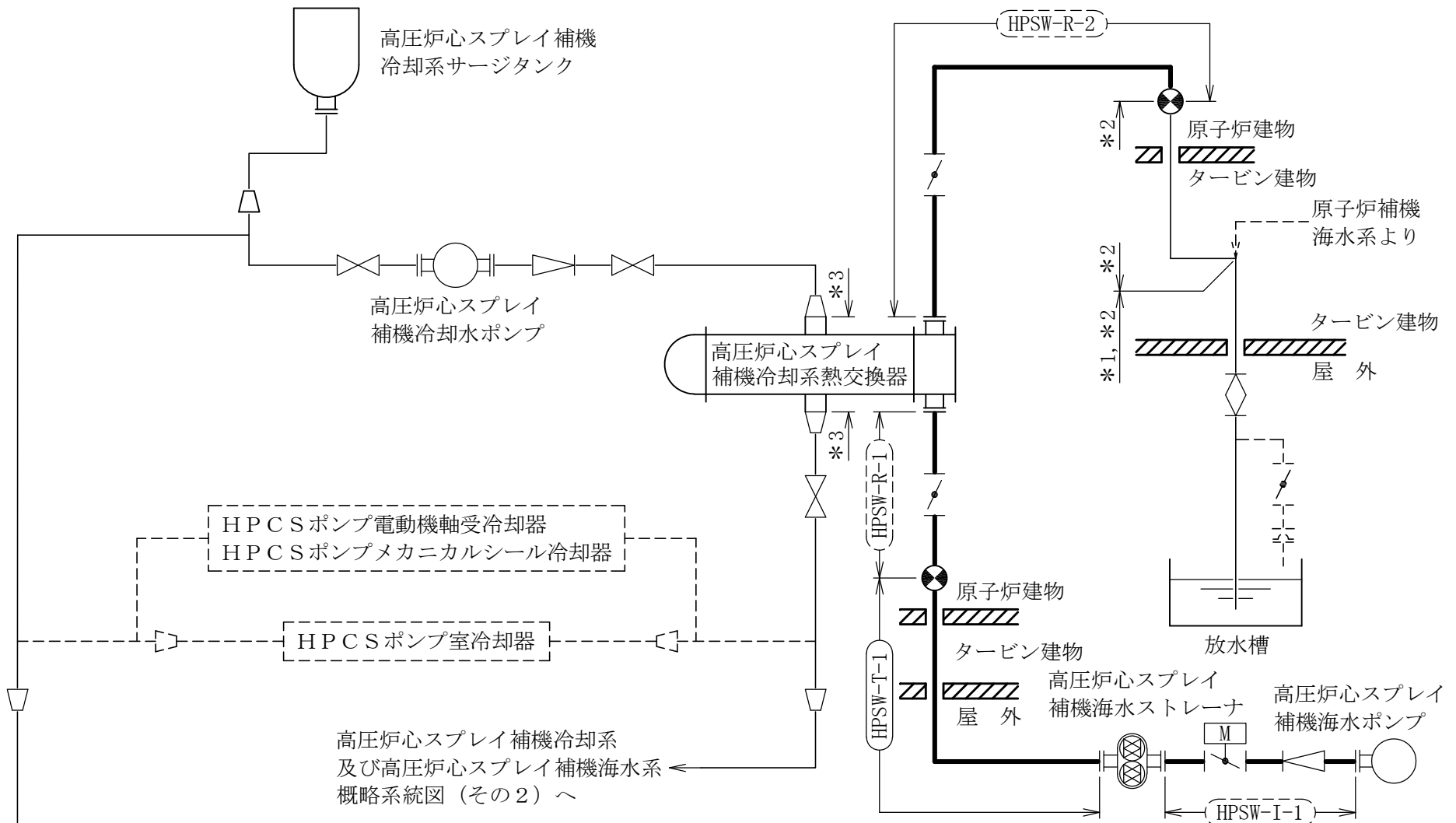
工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
<p>[管クラス]</p> DB1 DB2 SA2 DB1/SA2 DB2/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管



高圧炉心スプレイ補機冷却系
及び高圧炉心スプレイ補機海水系
概略系統図 (その2) より

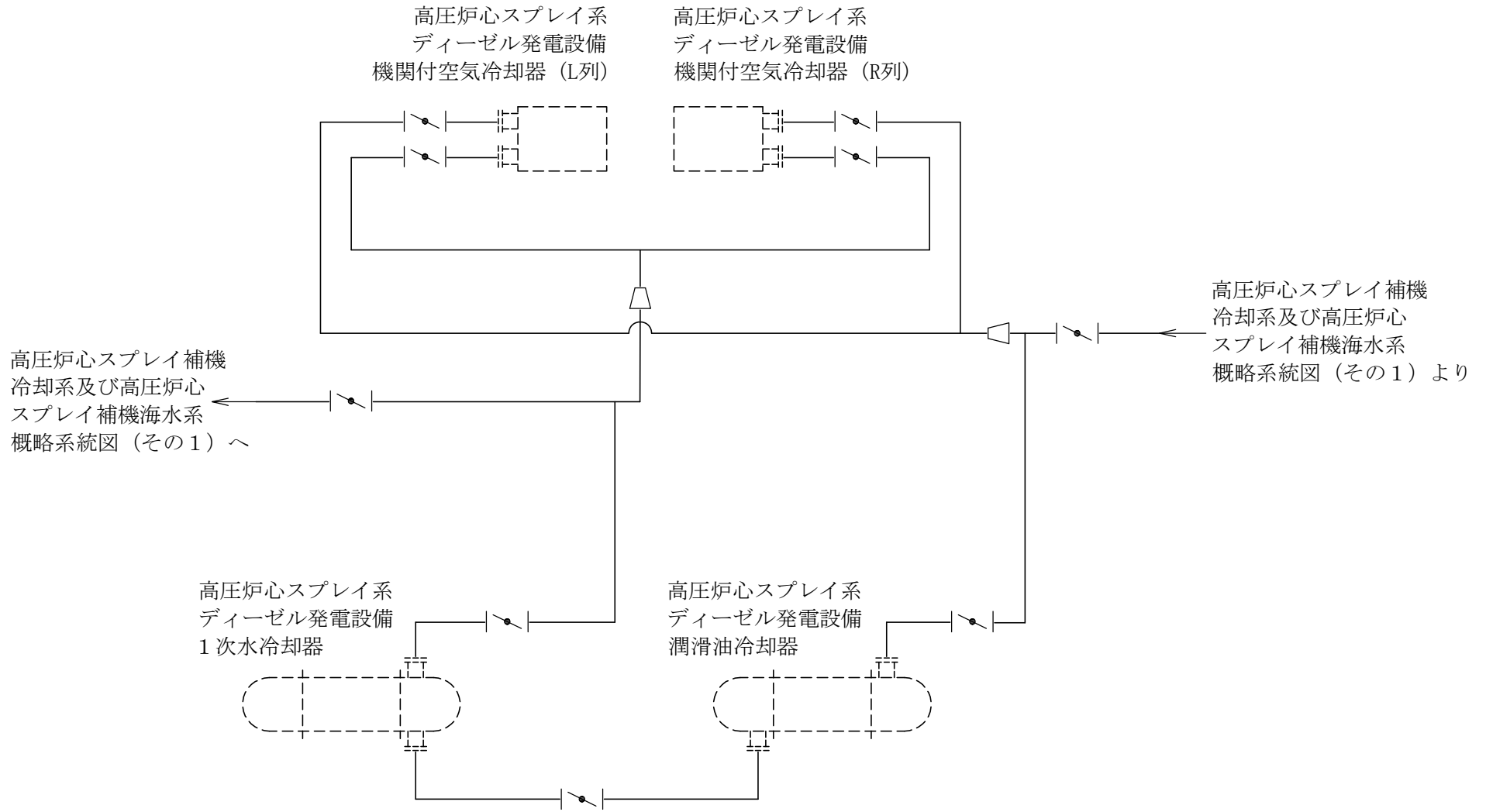
注記*1: 原子炉補機海水系との兼用範囲である。

*2: 計算結果は原子炉補機海水系に含めて示す。

*3: 計算結果は「(1) 高圧炉心スプレイ補機冷却系」に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス: SA2



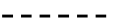


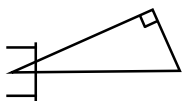
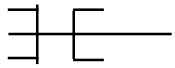

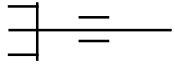
高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図 (その1)

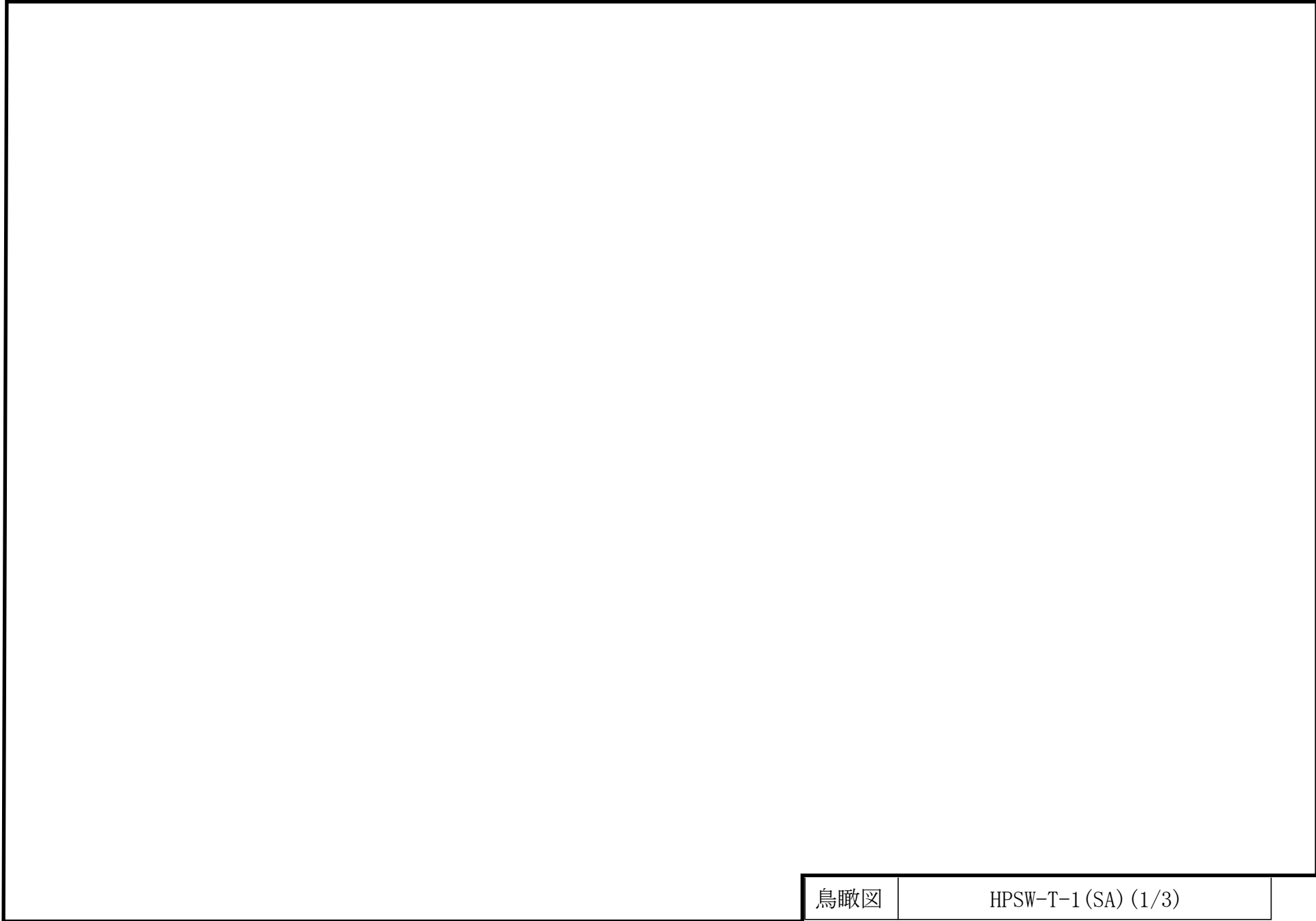


高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図（その2）

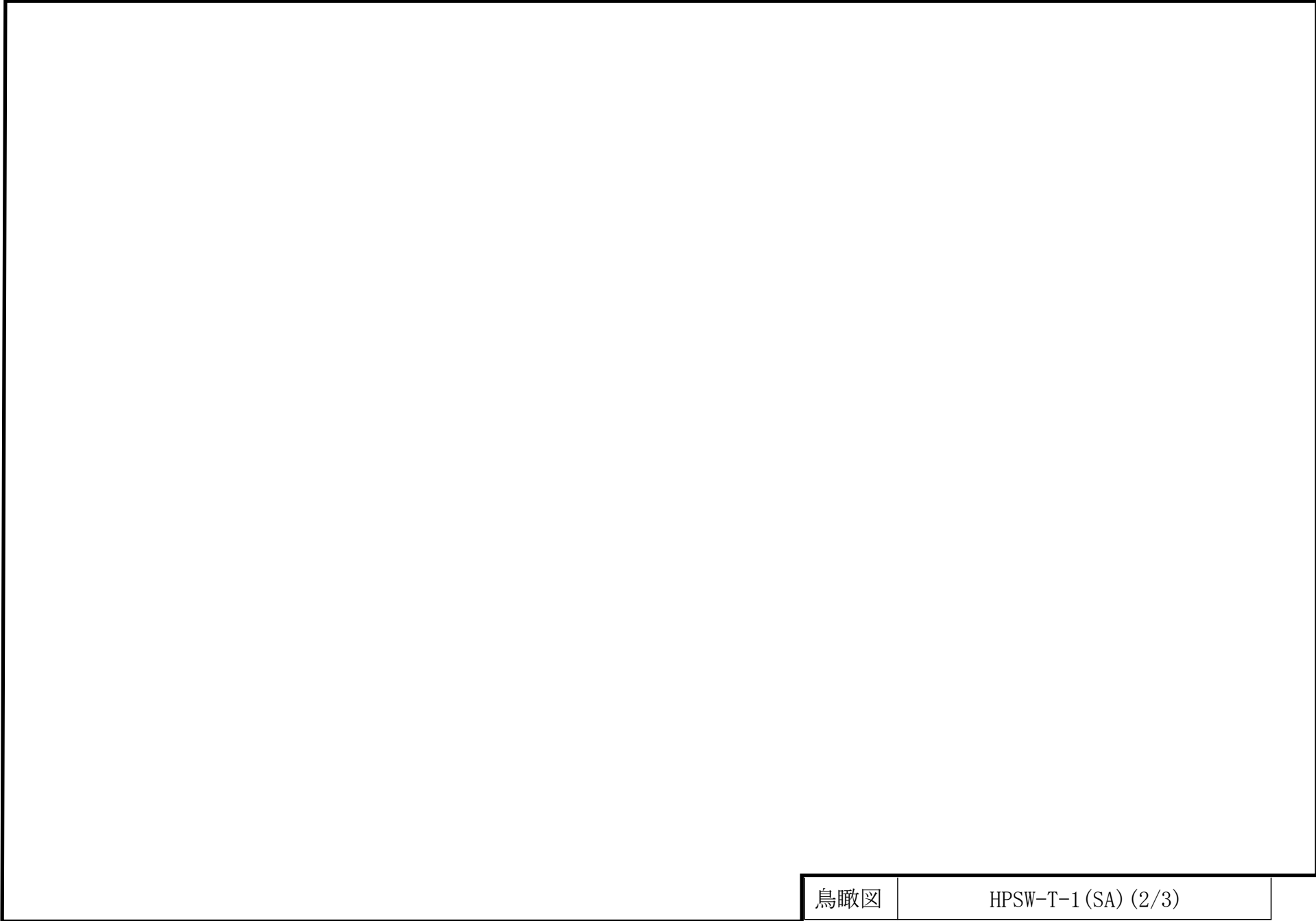
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」, 重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナツバについても同様とする。)
	スナツバ
	ハンガ
	リジットハンガ
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	



鳥瞰図	HPSW-T-1 (SA) (1/3)
-----	---------------------



鳥瞰図	HPSW-T-1 (SA) (2/3)
-----	---------------------

∞

鳥瞰図

HPSW-T-1 (SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~106A	0.98	40	267.4	9.3	STPT42

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

質量	対応する評価点
	9S~106A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

質量	対応する評価点
	1N
	301, 401, 601, 1111, 1201, 1301, 1701, 2101, 2601, 2801, 3101, 3601
	3901, 4101, 4301, 4401, 4601, 4801, 4901, 5101, 5501, 5801, 6001, 6201
	6301, 6501, 68, 7201, 7601, 8001, 8301, 8501, 8601, 8801, 8901, 9101
	9401, 9601, 1011, 1021, 1041
	1001

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
1102						
1202						
14						
16						
18						
20						
22						
26						
29						
34						
38						
44						
52						
56						
63						
69						
73						
77						
81						
89						
94						
1042						
106A						

S2 補 VI-3-3-3-6-2-6-2(2) (重) R0

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	40	—	—	—	103

材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

告示第501号に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT42	40	—	—	—	103

4. 評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
HPSW-T-1	8001	$S_{pr m}^{*1}$	34	154
HPSW-T-1	8001	$S_{pr m}^{*2}$	35	185

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

告示第501号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 S_h $1.2 \cdot S_h$
HPSW-T-1	8001	$S_{pr m}^{*1}$	32	103
HPSW-T-1	8001	$S_{pr m}^{*2}$	32	123

注記*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。なお、保守的な評価となる告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	HPSW-R-1	設計・建設規格	16	23	154	6.69	—	16	24	185	7.70	—
		告示第501号	20	21	103	4.90	—	20	21	123	5.85	—
2	HPSW-R-2	設計・建設規格	20	27	139	5.14	—	35F	28	167	5.96	—
		告示第501号	20	28	93	3.32	—	20	28	111	3.96	—
3	HPSW-T-1	設計・建設規格	8001	34	154	4.52	—	8001	35	185	5.28	—
		告示第501号	8001	32	103	3.21	○	8001	32	123	3.84	○
4	HPSW-I-1	設計・建設規格	2	24	154	6.41	—	2	26	185	7.11	—
		告示第501号	1N	23	103	4.47	—	1N	23	123	5.34	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

VI-3-3-7 原子炉格納施設の強度に関する説明書

VI-3-3-7-5 圧力逃がし装置の強度計算書

VI-3-3-7-5-1 格納容器フィルタベント系の強度計算書

VI-3-3-7-5-1-2 管の強度計算書
(格納容器フィルタベント系)

VI-3-3-7-5-1-2-2 管の応力計算書
(格納容器フィルタベント系)

まえがき

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-R-1	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-3	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-4	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-5	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-6	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-7	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-8	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-R-9	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-10	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-11	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-12	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-13	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-14	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-15	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-16	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-R-17	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-18	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-19	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-20	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-21	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-22	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-1SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.93	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-2SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.93	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-R-3SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.93	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-4SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.93	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-5SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.93	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-11SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.93	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-R-12SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.93	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
SGT-R-1	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
SGT-R-6	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-F-1	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-3	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-4	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-5	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.853	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-F-5	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-6	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-5SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	大気圧	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-6SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	大気圧	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-7SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	大気圧	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

・評価条件整理表

配管モデル	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 におけ る評価 結果の 有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-F-8SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	大気圧	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-F-9SP	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.427	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	大気圧	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	6
3. 計算条件	16
3.1 計算条件	16
3.2 材料及び許容応力	22
4. 評価結果	23
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	24

1. 概要

本計算書は、VI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。




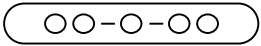
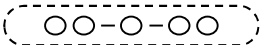

(1) 管

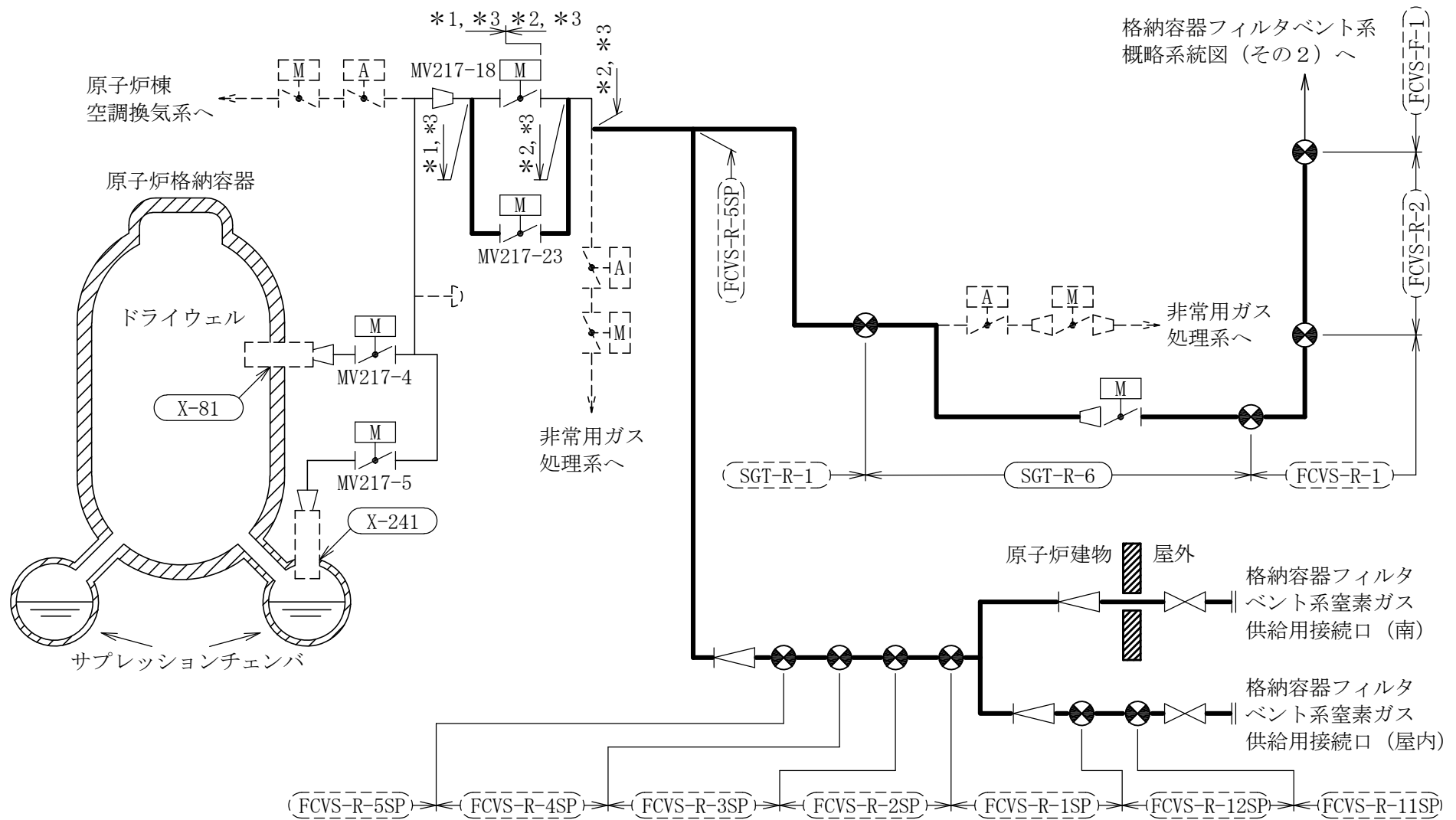
工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全42モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

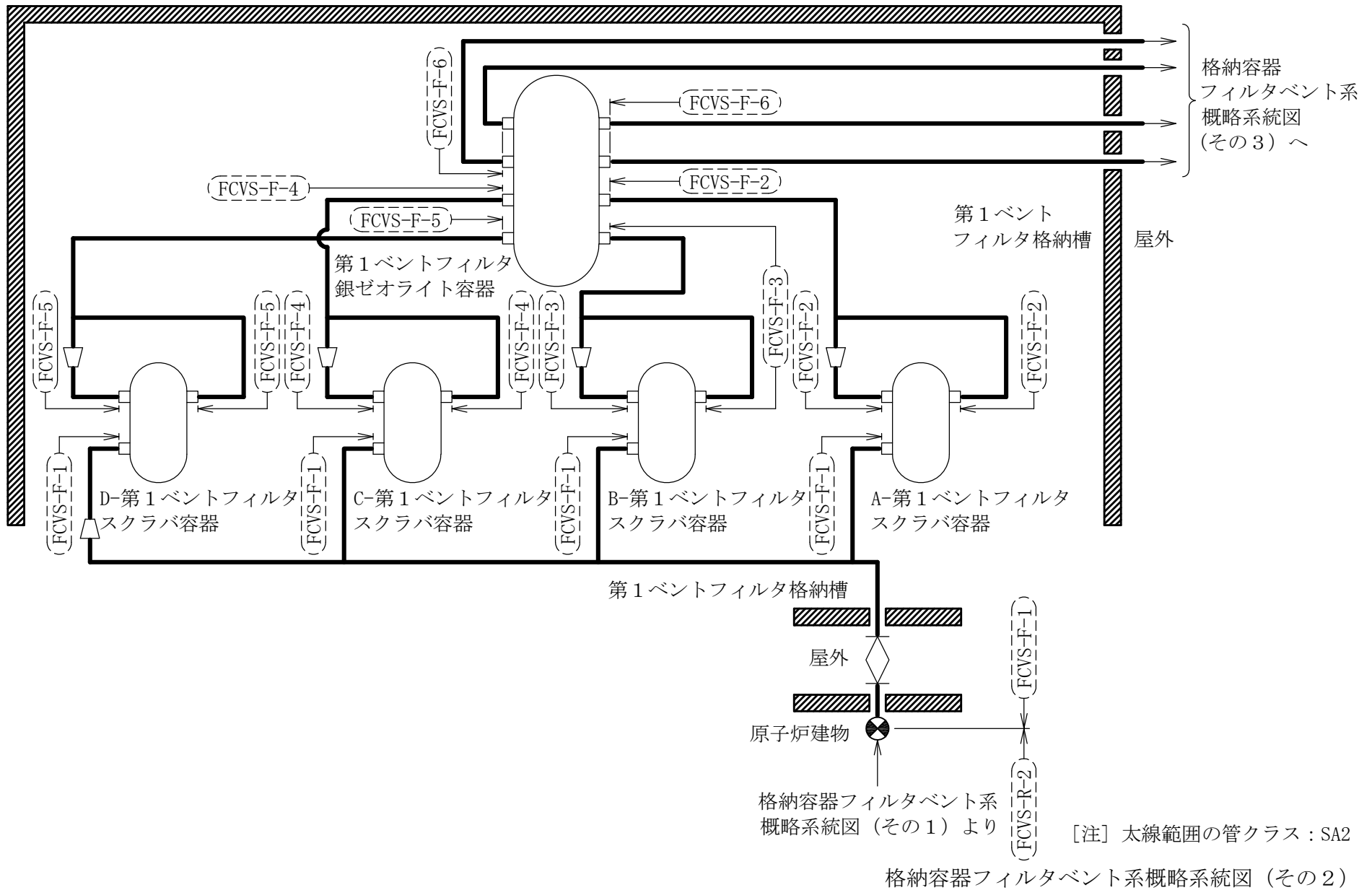
概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管

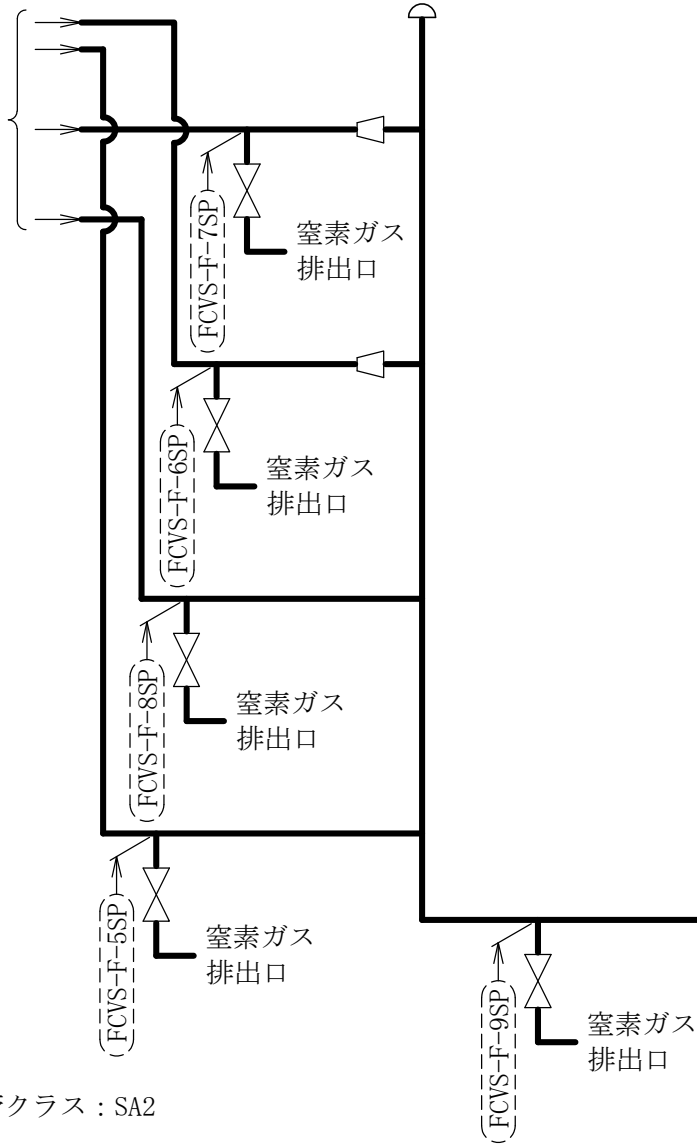


注記*1：窒素ガス制御系との兼用範囲である。
 *2：非常用ガス処理系との兼用範囲である。
 *3：計算結果は非常用ガス処理系に含めて示す。

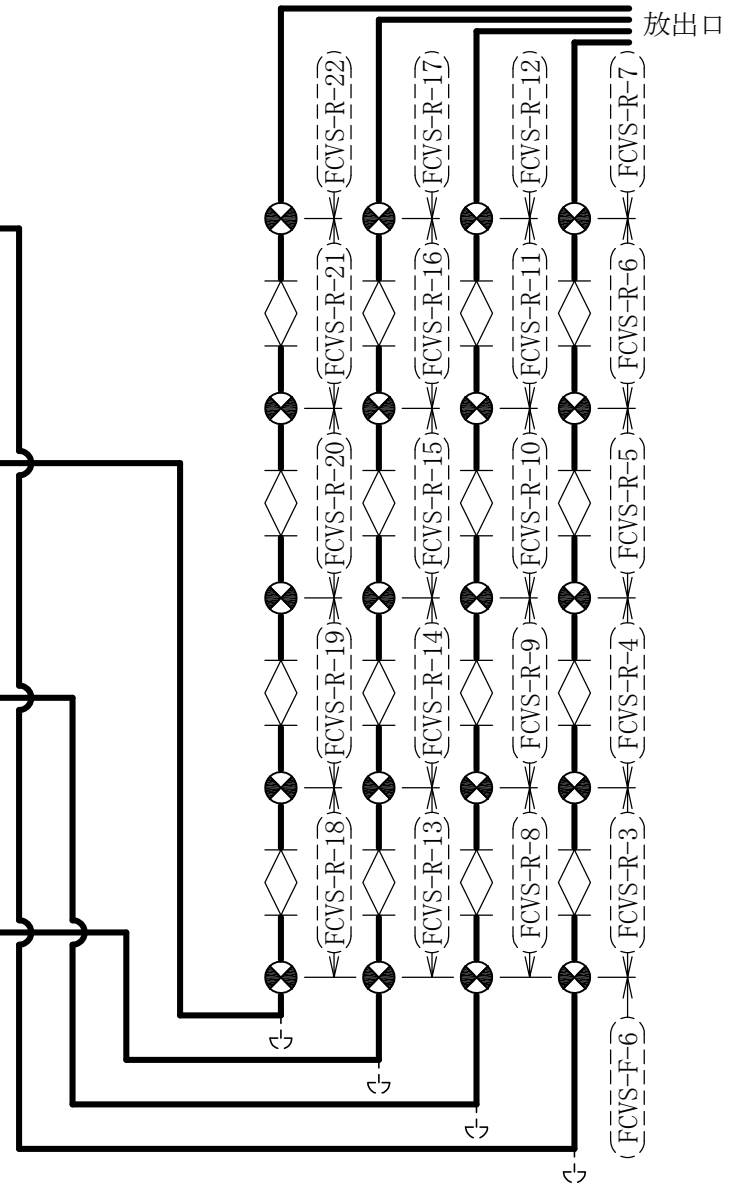
[注] 太線範囲の管クラス：SA2
 格納容器フィルタベント系概略系統図 (その1)



格納容器
フィルタベント系
概略系統図
(その2) より





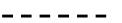


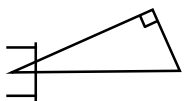
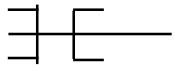

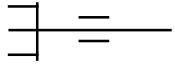
[注] 太線範囲の管クラス : SA2

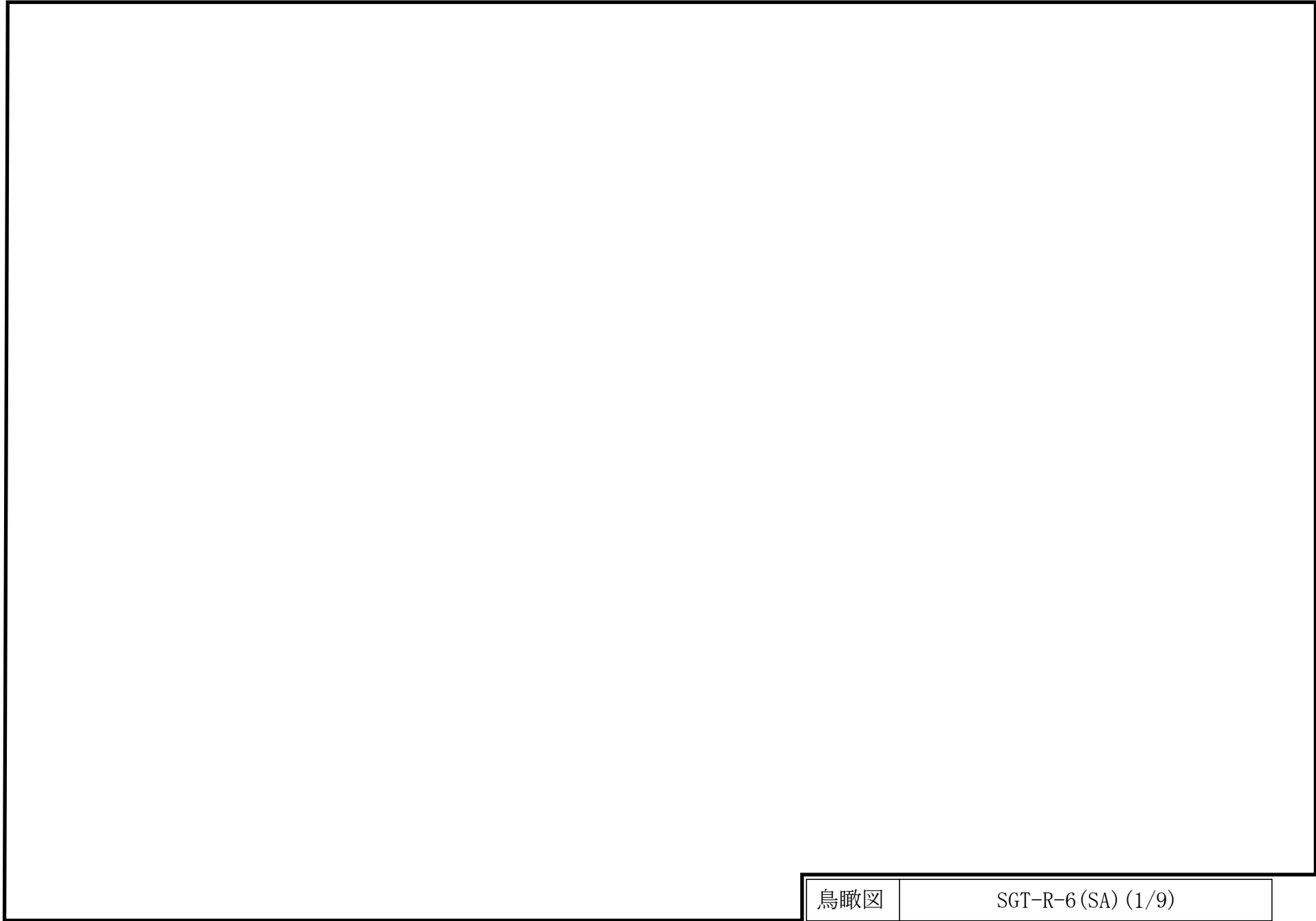


格納容器フィルタベント系概略系統図 (その3)

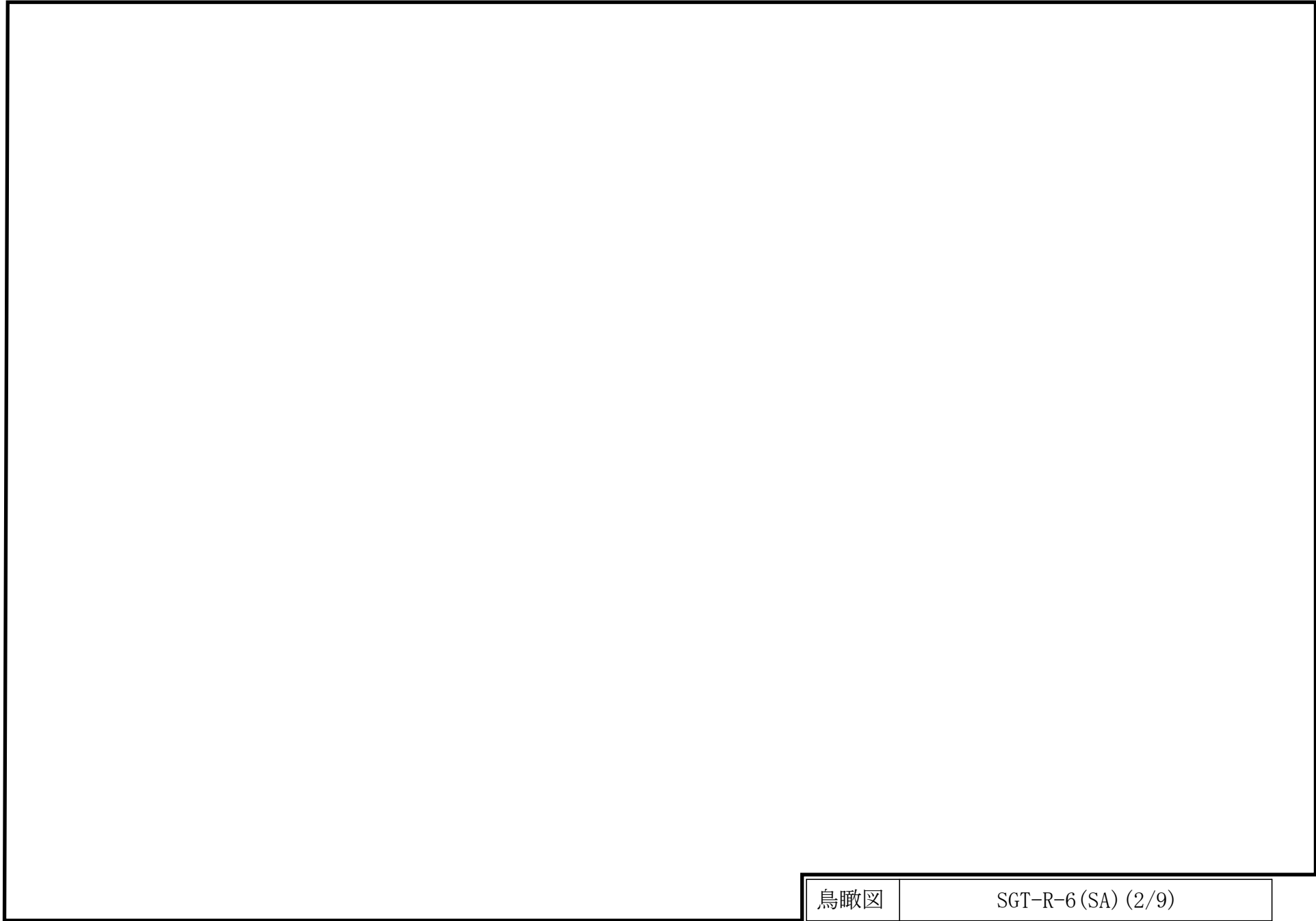
2.2 鳥瞰図

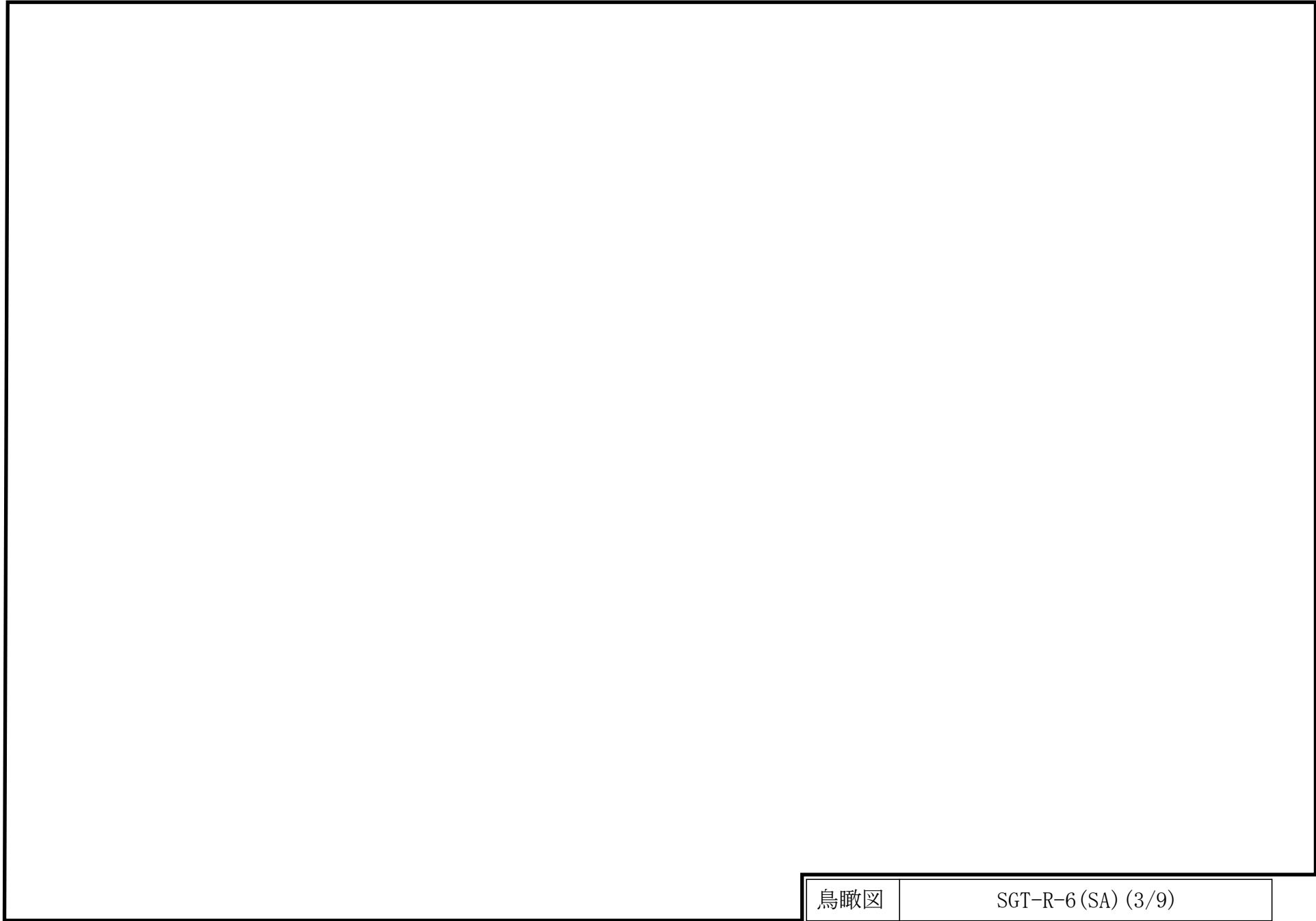
鳥瞰図記号凡例

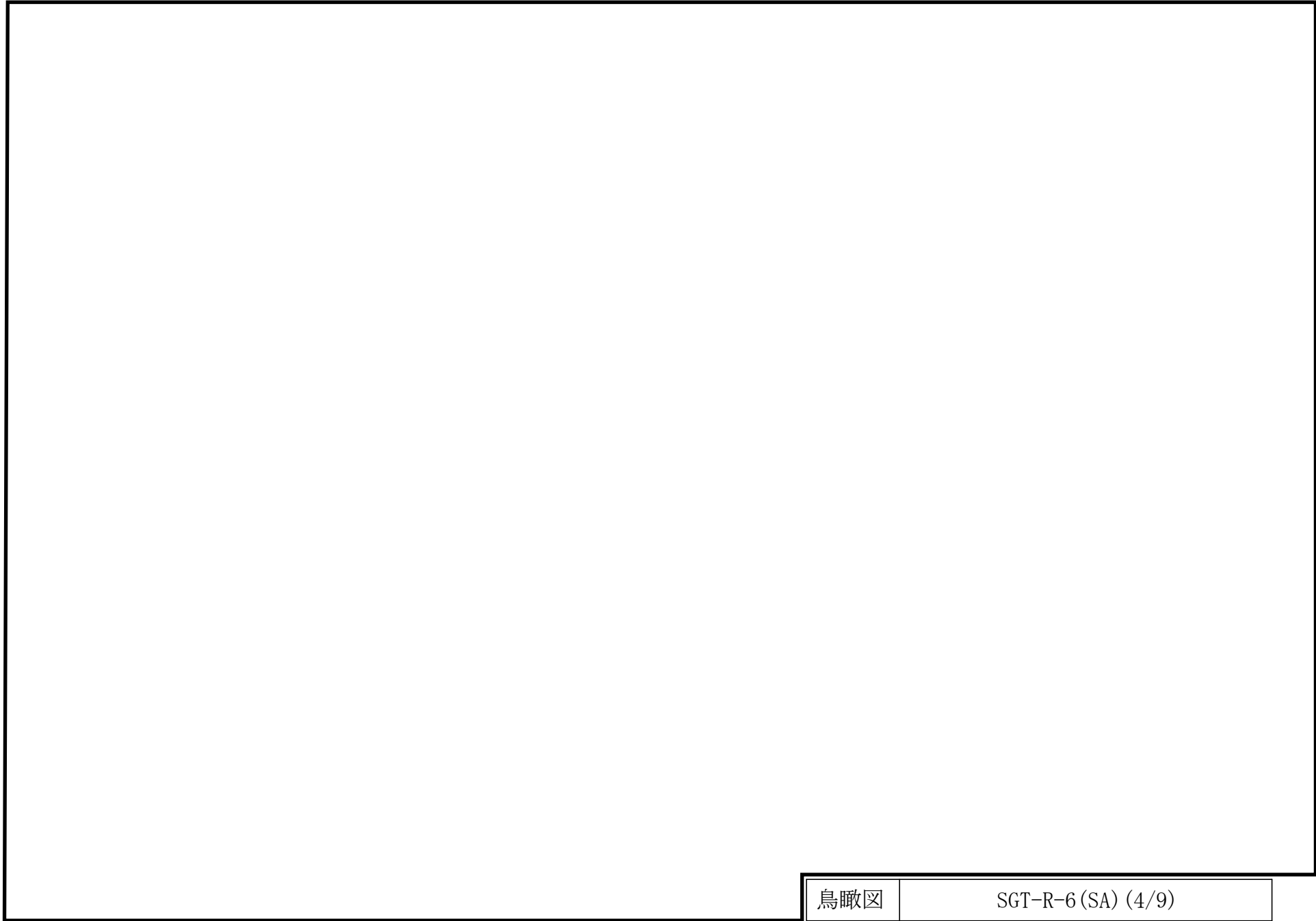
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」, 重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	

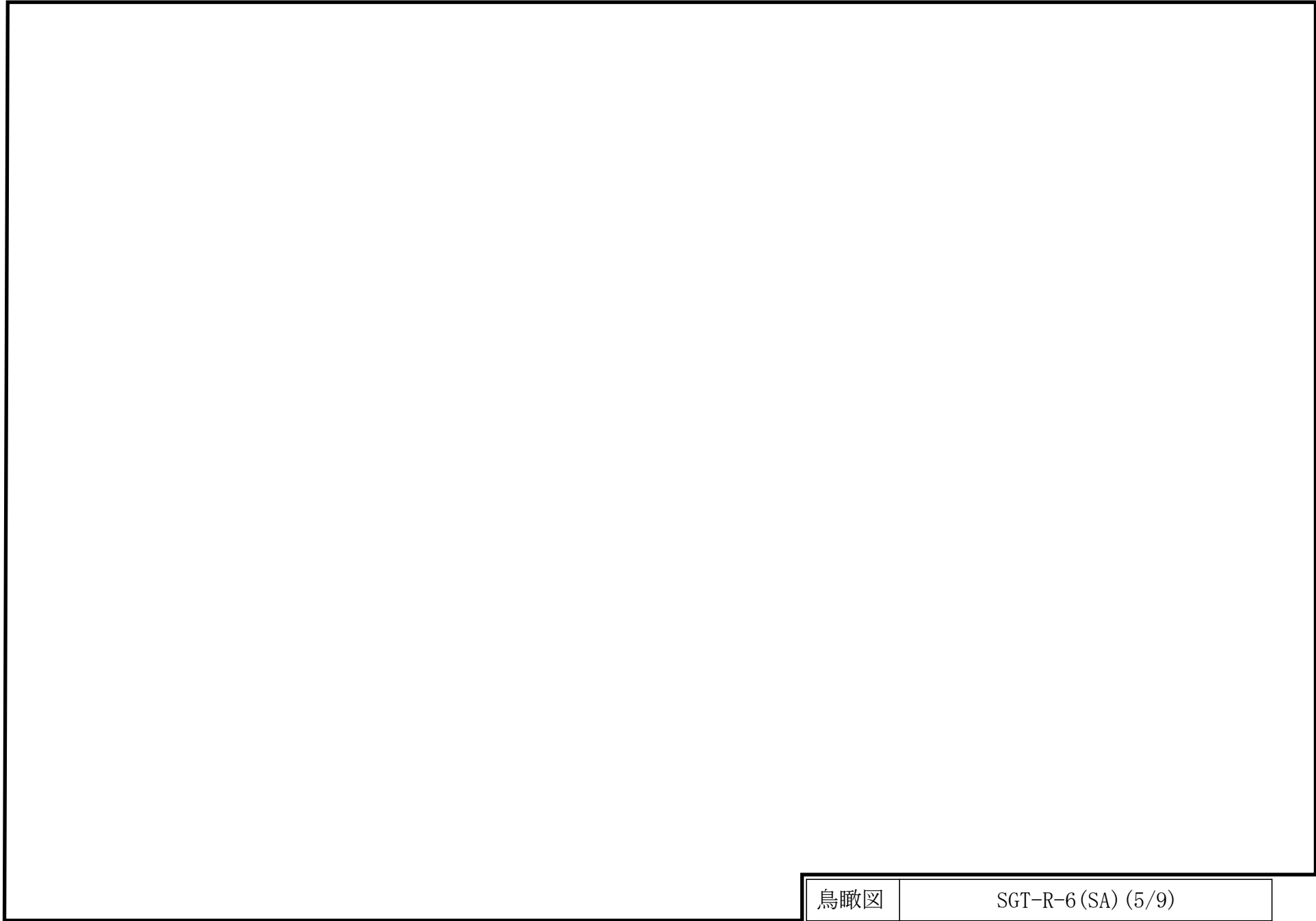


∞

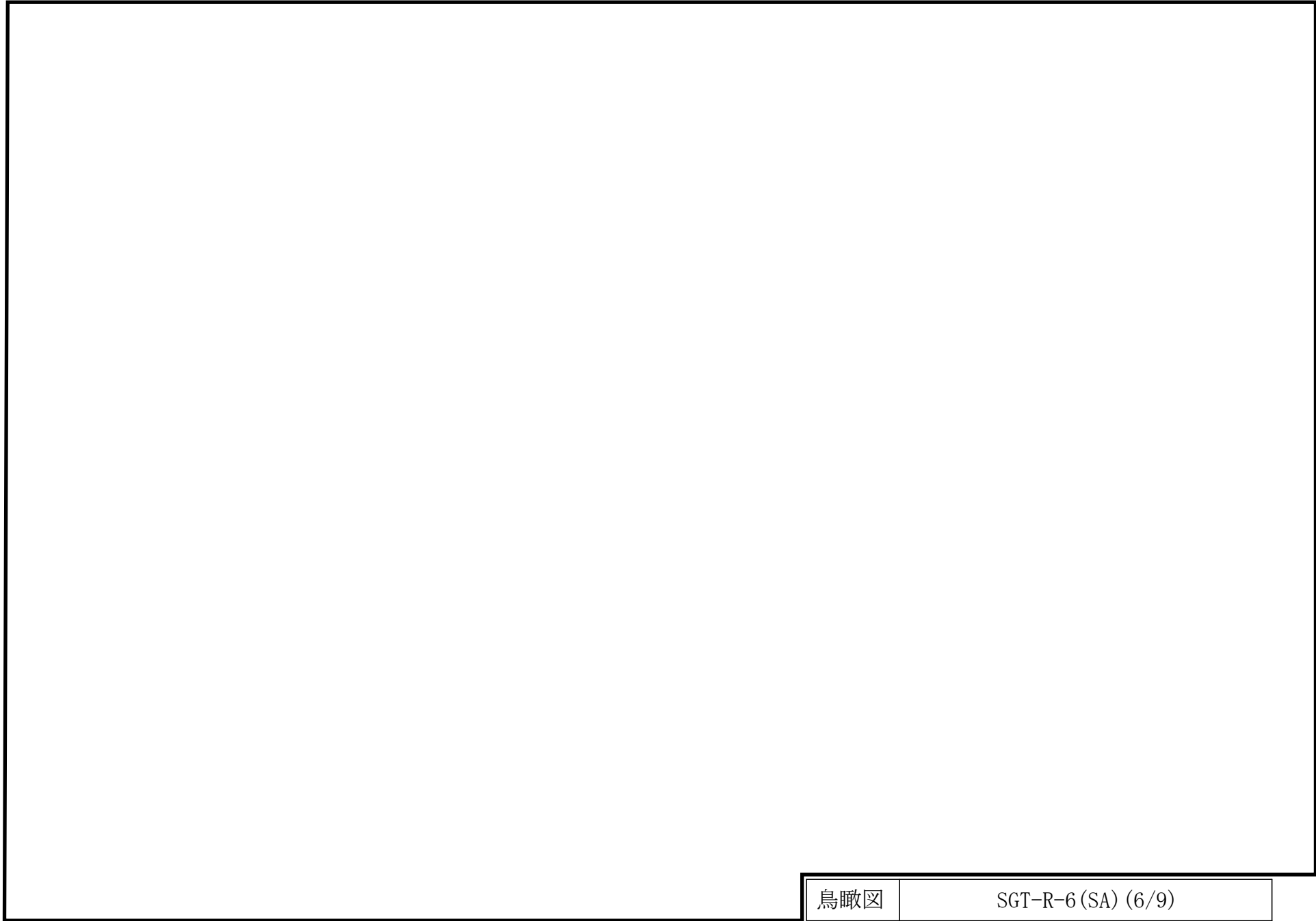


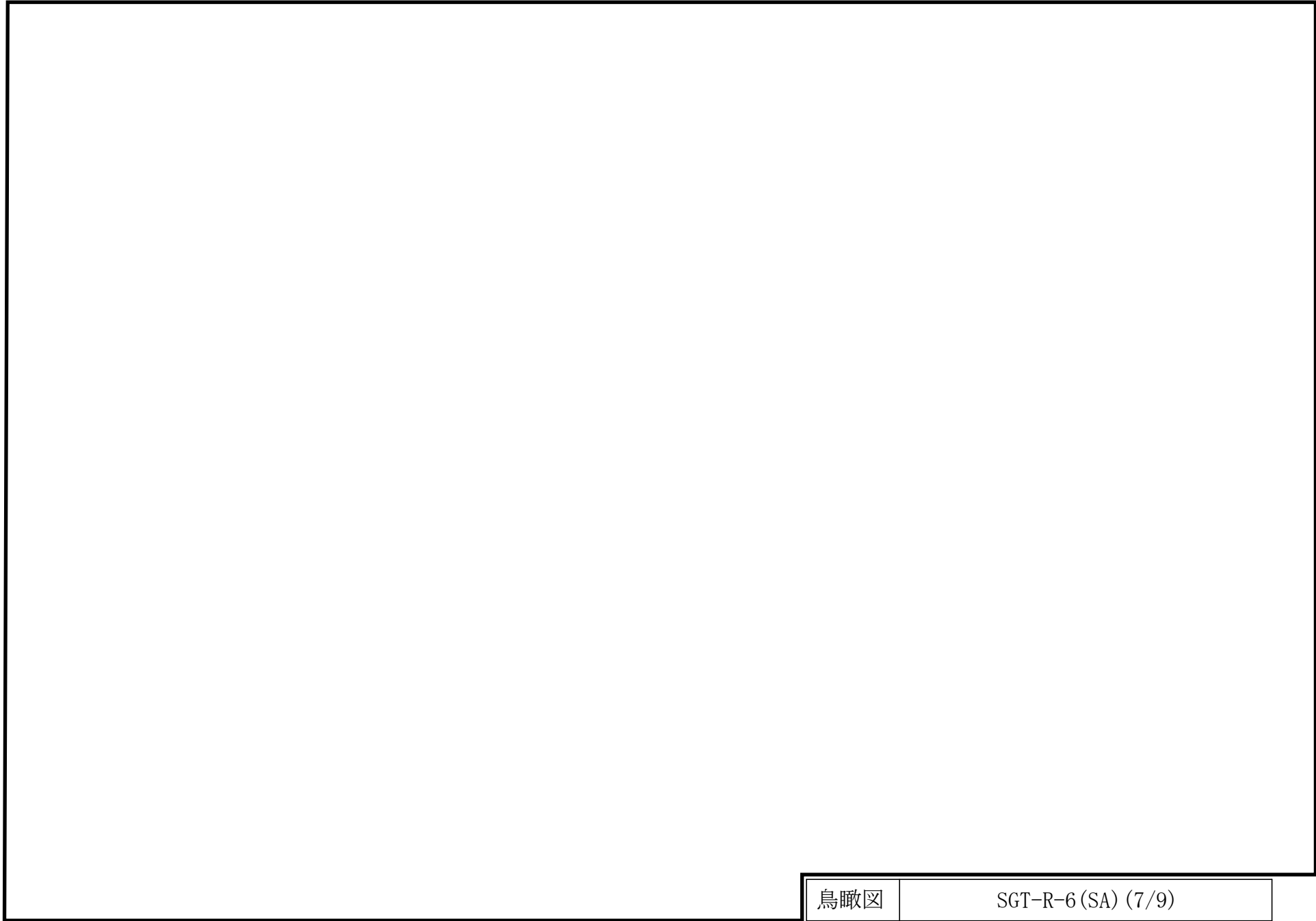


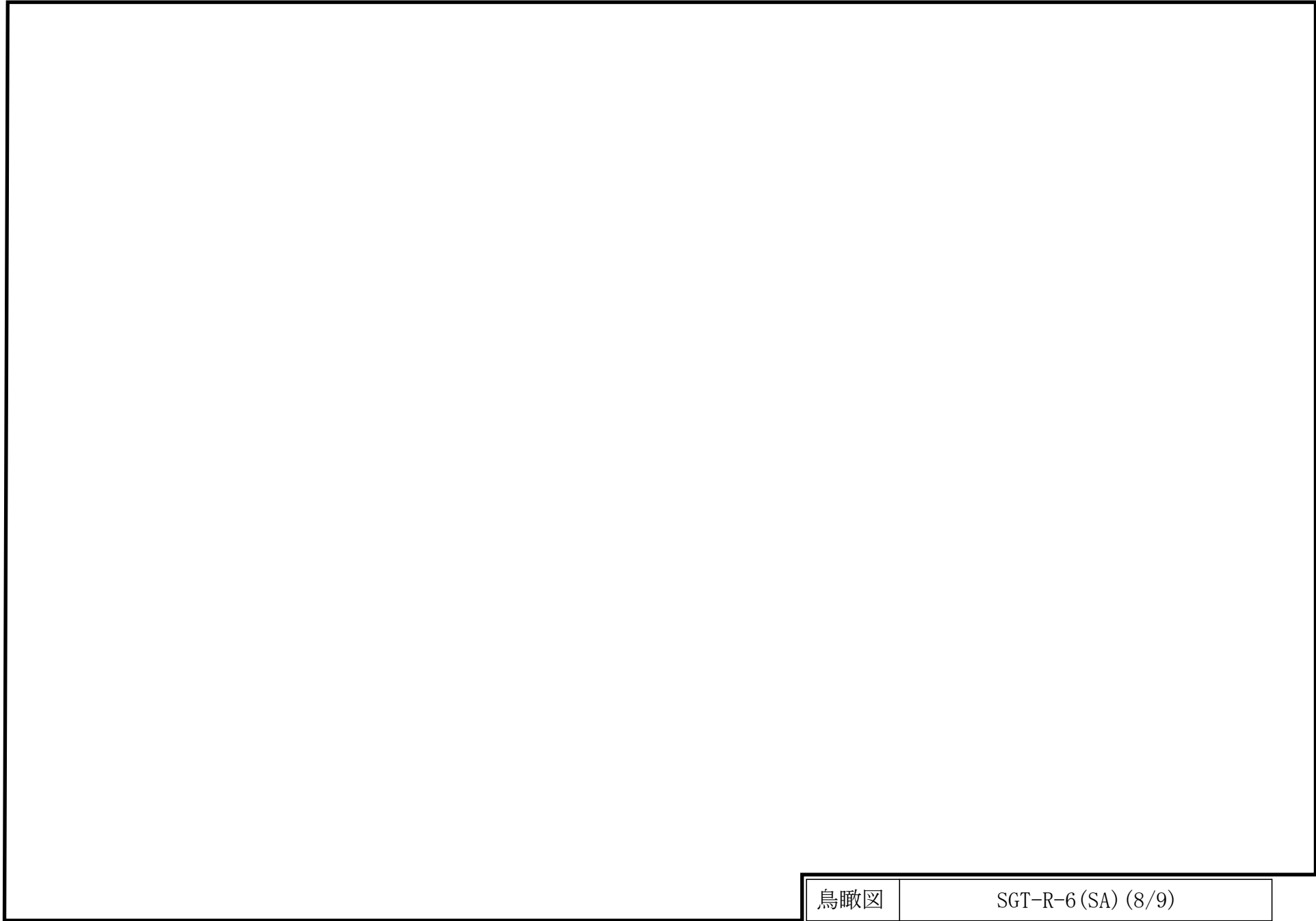


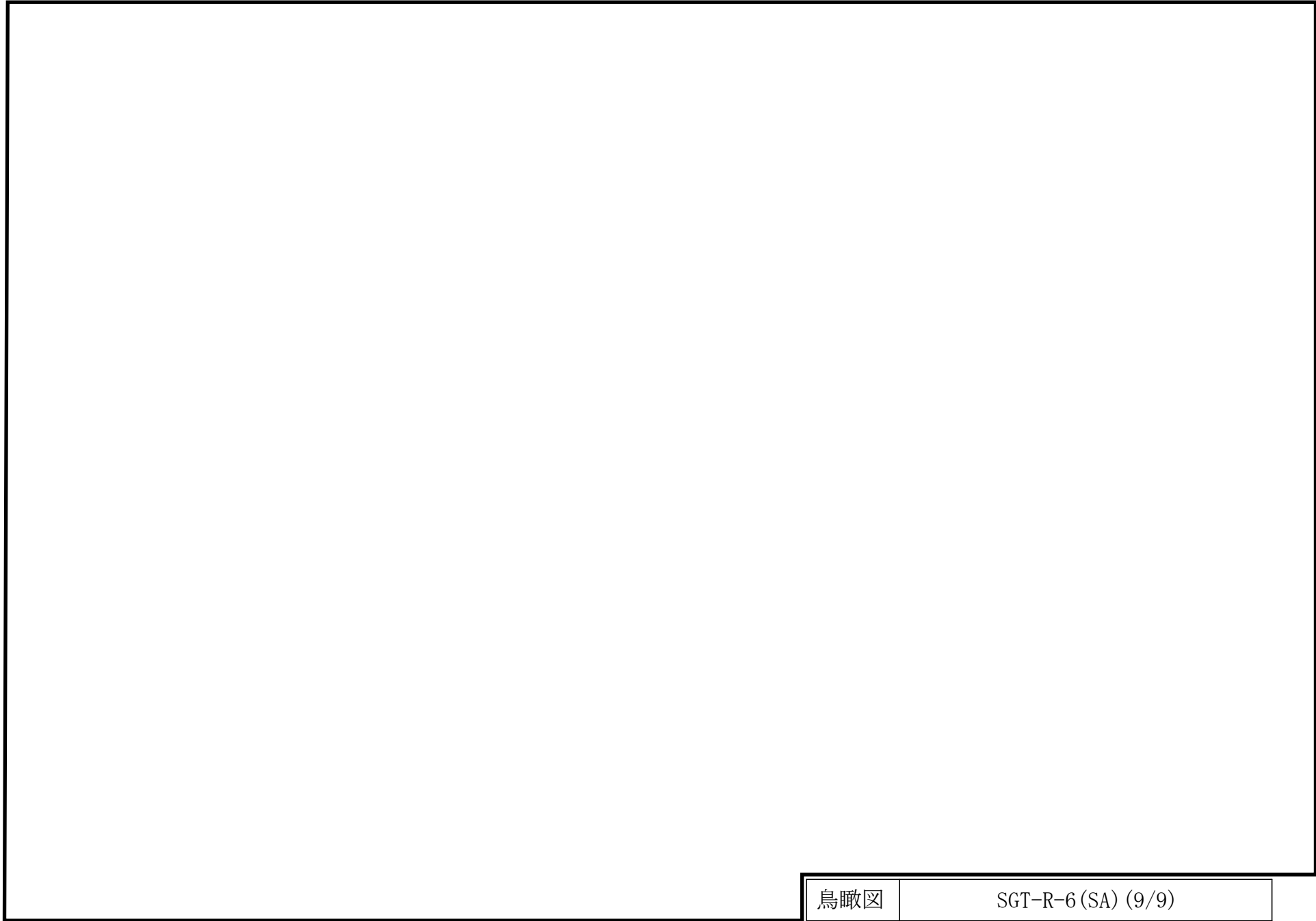


鳥瞰図	SGT-R-6 (SA) (5/9)
-----	--------------------









3. 計算条件

3.1 計算条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-R-6

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	414~425A, 414~505	0.853	200	267.4	9.3	STPT410
2	5051~506F, 507F~530A	0.853	200	318.5	10.3	STPT410

配管の付加質量

鳥 瞰 図 SGT-R-6

質量	対応する評価点
	5051～506F, 507F～530A
	414～425A, 414～505

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 SGT-R-6

質量	対応する評価点
	506F, 507F

弁部の質量

鳥 瞰 図 SGT-R-6

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	5061		5062
	5063		5065

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SGT-R-6

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
506F~5061				5061~5062			
5062~5063							
5064~5065				5061~507F			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-R-6

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
425A						
** 5064 **						
5064						
512						
514						
517						
527						
530A						

S2 補 VI-3-3-7-5-1-2-2 (重) R0

3.2 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	200	—	—	—	103

4. 評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管

設計・建設規格 PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $1.5 \cdot S_h$ $1.8 \cdot S_h$
SGT-R-6	423	$S_{pr m}^{*1}$	53	154
SGT-R-6	423	$S_{pr m}^{*2}$	53	185

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
1	FCVS-R-1	設計・建設規格	65	34	154	4.52	—	65	35	185	5.28	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	FCVS-R-2	設計・建設規格	3	22	154	7.00	—	3	23	185	8.04	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	FCVS-R-3	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	FCVS-R-4	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	FCVS-R-5	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	FCVS-R-6	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
7	FCVS-R-7	設計・建設規格	5	16	154	9.62	—	5	16	185	11.56	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	FCVS-R-8	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	FCVS-R-9	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	FCVS-R-10	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	FCVS-R-11	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	FCVS-R-12	設計・建設規格	5	16	154	9.62	—	5	16	185	11.56	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
13	FCVS-R-13	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	FCVS-R-14	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	FCVS-R-15	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	FCVS-R-16	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	FCVS-R-17	設計・建設規格	5	16	154	9.62	—	5	16	185	11.56	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	FCVS-R-18	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
19	FCVS-R-19	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	FCVS-R-20	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	FCVS-R-21	設計・建設規格	702	17	160	9.41	—	702	18	192	10.66	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	FCVS-R-22	設計・建設規格	5	16	154	9.62	—	5	16	185	11.56	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	FCVS-R-1SP	設計・建設規格	21W	14	189	13.50	—	21W	15	226	15.06	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	FCVS-R-2SP	設計・建設規格	54W	30	154	5.13	—	54W	32	185	5.78	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
25	FCVS-R-3SP	設計・建設規格	76W	14	154	11.00	—	76W	15	185	12.33	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	FCVS-R-4SP	設計・建設規格	76W	9	154	17.11	—	76W	9	185	20.55	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	FCVS-R-5SP	設計・建設規格	27W	24	154	6.41	—	27W	24	185	7.70	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	FCVS-R-11SP	設計・建設規格	13W	21	154	7.33	—	13W	22	185	8.40	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	FCVS-R-12SP	設計・建設規格	25W	20	154	7.70	—	25W	20	185	9.25	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	SGT-R-1	設計・建設規格	1155	35	154	4.40	—	1155	36	185	5.13	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
31	SGT-R-6	設計・建設規格	423	53	154	2.90	○	423	53	185	3.49	○
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	FCVS-F-1	設計・建設規格	110	42	160	3.80	—	110	44	192	4.36	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	FCVS-F-2	設計・建設規格	10	34	166	4.88	—	10	35	199	5.68	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	FCVS-F-3	設計・建設規格	12	40	166	4.15	—	12	41	199	4.85	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	FCVS-F-4	設計・建設規格	13	38	166	4.36	—	13	39	199	5.10	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
36	FCVS-F-5	設計・建設規格	59	27	166	6.14	—	59	27	199	7.37	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管）

No.	配管 モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V _A									
			一次応力(1) ^{*1}					一次応力(2) ^{*2}				
			評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表
37	FCVS-F-6	設計・建設規格	314	24	154	6.41	—	314	26	185	7.11	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	FCVS-F-5SP	設計・建設規格	102	12	154	12.83	—	102	12	185	15.41	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	FCVS-F-6SP	設計・建設規格	102	12	154	12.83	—	102	12	185	15.41	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	FCVS-F-7SP	設計・建設規格	2W	10	154	15.40	—	2W	10	185	18.50	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41	FCVS-F-8SP	設計・建設規格	7W	8	160	20.00	—	7W	8	192	24.00	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	FCVS-F-9SP	設計・建設規格	3W	47	154	3.27	—	3W	47	185	3.93	—
		告示第501号	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

VI-3-別添 3 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-3-別添 3-2 津波への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-3-別添 3-2-1 防波壁の強度計算書

VI-3-別添 3-2-1-1 防波壁（波返重力擁壁）の
強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	10
2.4	適用規格・基準等	15
3.	強度評価方法	16
3.1	記号の定義	16
3.2	評価対象断面及び部位	17
3.2.1	評価対象断面	17
3.2.2	評価対象部位	23
3.3	荷重及び荷重の組合せ	24
3.3.1	荷重	24
3.3.2	荷重の組合せ	25
3.4	許容限界	27
3.4.1	重力擁壁	27
3.4.2	ケーソン	28
3.4.3	H形鋼	30
3.4.4	MMR	30
3.4.5	改良地盤⑥	31
3.4.6	止水目地	31
3.4.7	基礎地盤	31
3.5	評価方法	32
3.5.1	津波時	32
3.5.2	重畳時	45
4.	評価条件	47
4.1	津波時	47
4.2	重畳時	49
5.	評価結果	51
5.1	津波時	51
5.1.1	重力擁壁	51
5.1.2	ケーソン	55
5.1.3	H形鋼	63
	(1) せん断照査	63

5.1.4	MMR	64
5.1.5	改良地盤⑥	68
5.1.6	止水目地	69
5.1.7	基礎地盤	69
5.2	重畳時	75
5.2.1	重力擁壁	75
5.2.2	ケーソン	78
5.2.3	MMR	86
5.2.4	改良地盤⑥	90
5.2.5	止水目地	91
5.2.6	基礎地盤	92

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示すとおり、防波壁（波返重力擁壁）が地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、施設・地盤の構造健全性を保持すること、十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形にとどまることを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（波返重力擁壁）の位置図を図 2-1 に示す。

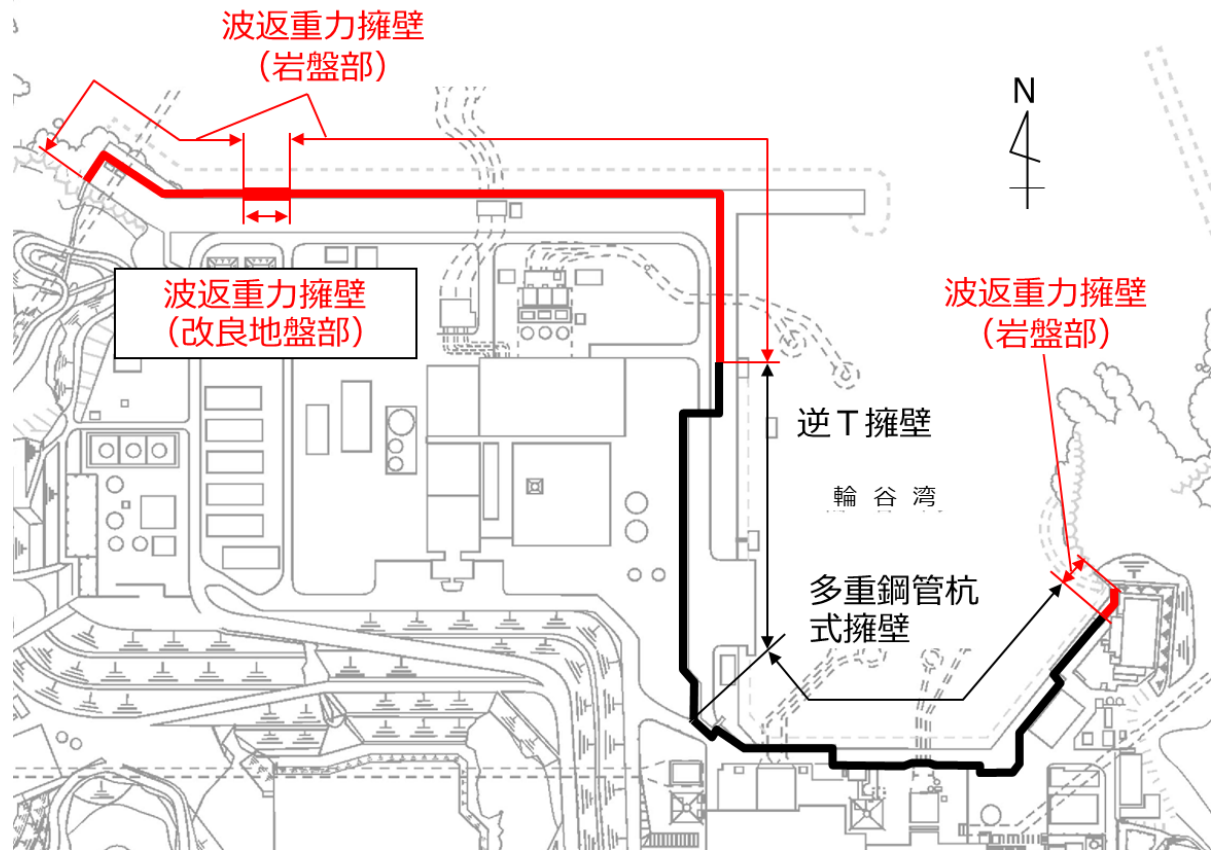


図 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の位置図

2.2 構造概要

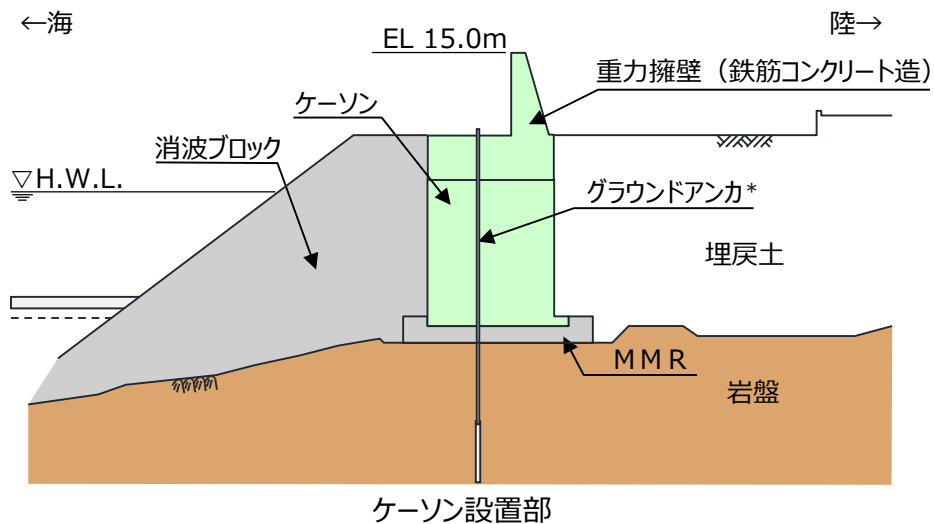
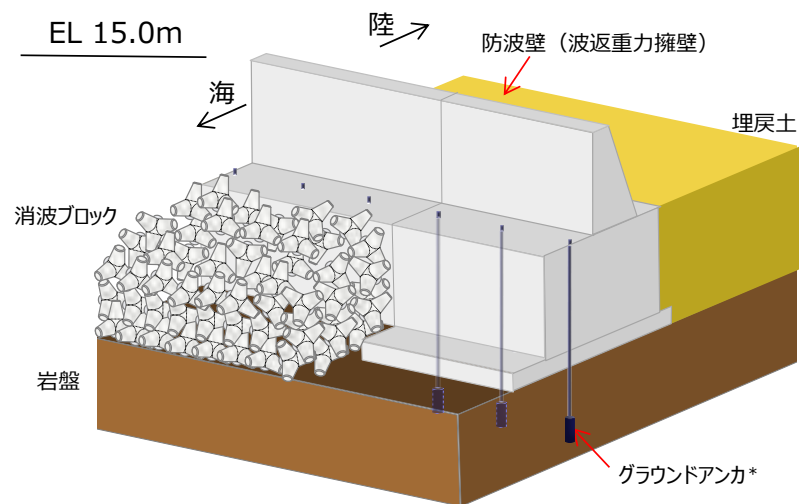
防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図を図 2-2 に，構造図を図 2-3 に，概略配筋図を図 2-4 に，止水目地の配置位置図を図 2-5 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）は，入力津波高さ（EL 11.9m）に対して余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波壁（波返重力擁壁）は，マンメイドロック（以下「MMR」という。）等を介して堅固な地山の岩盤に支持され，鉄筋コンクリート造のケーソン及び重力擁壁から構成されるケーソン設置部と，重力擁壁が岩盤に直接支持される岩盤直接支持部に分類される。

構造体の境界には，止水性を保持するための止水目地を重力擁壁の陸側に設置する。

なお，構造概要図にはグラウンドアンカを示しているが，その効果を期待しない設計とする。



注記*：防波壁（波返重力擁壁）は，グラウンドアンカの効果을期待しない設計とする。

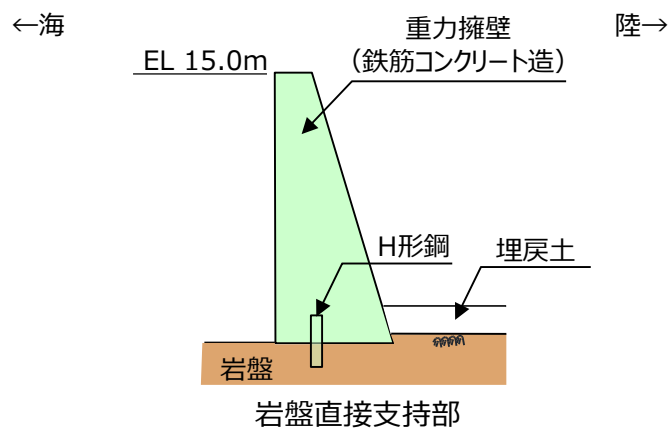


図 2-2 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図

(単位：mm)

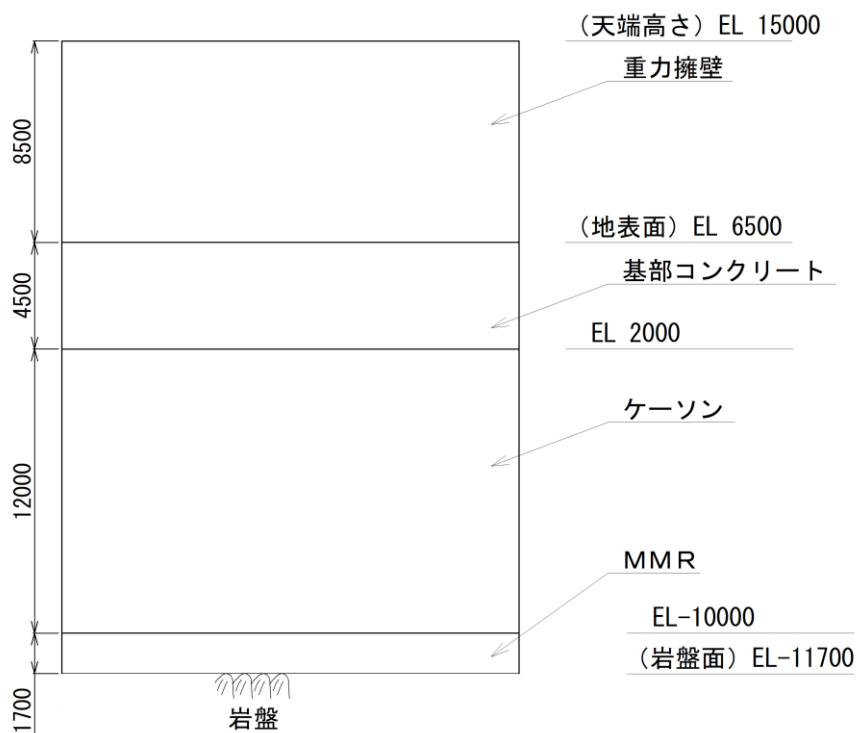


図 2-3(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

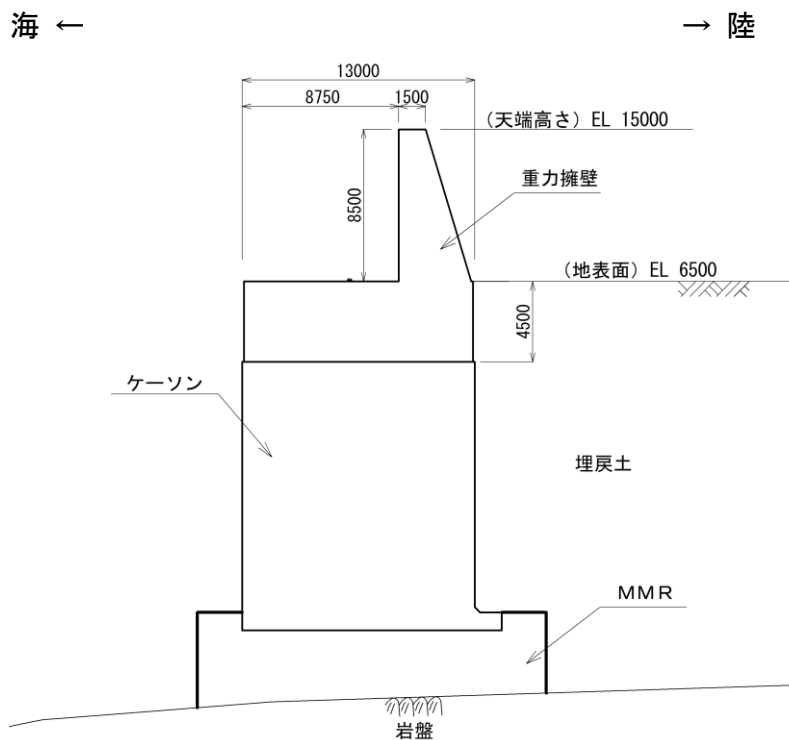


図 2-3(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（断面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

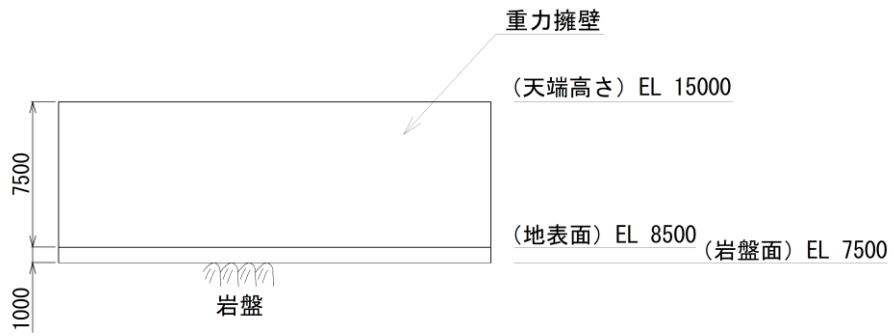


図 2-3(3) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（岩盤直接支持部）

(単位：mm)

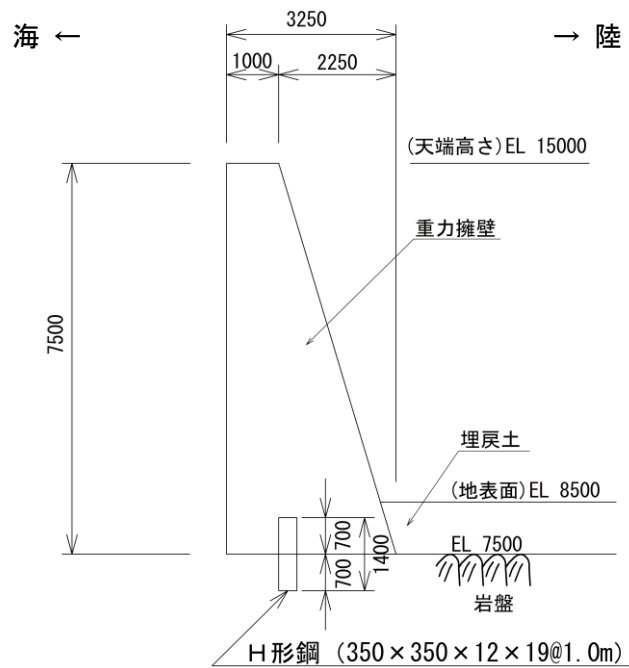


図 2-3(4) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（断面図）（岩盤直接支持部）

(単位：mm)

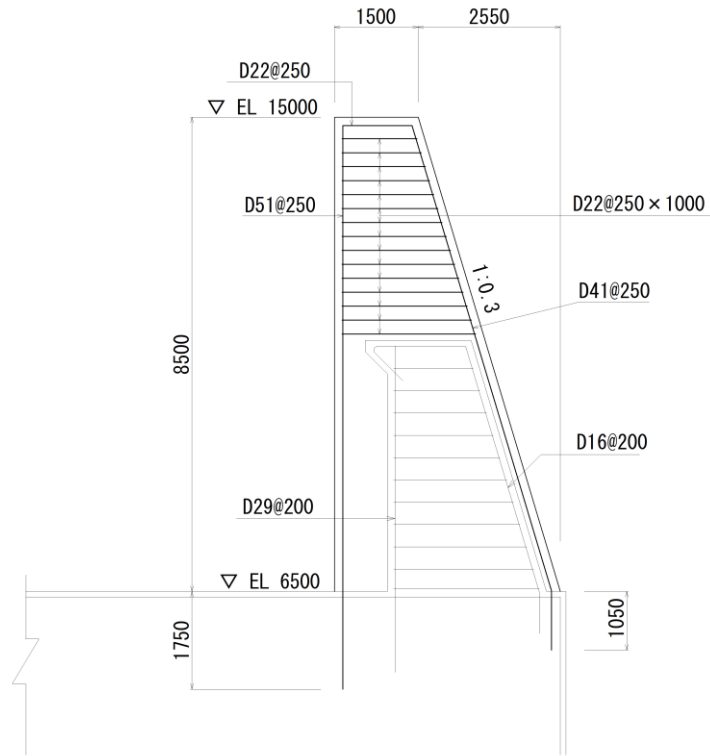


図 2-4(1) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(1)）

(単位：mm)

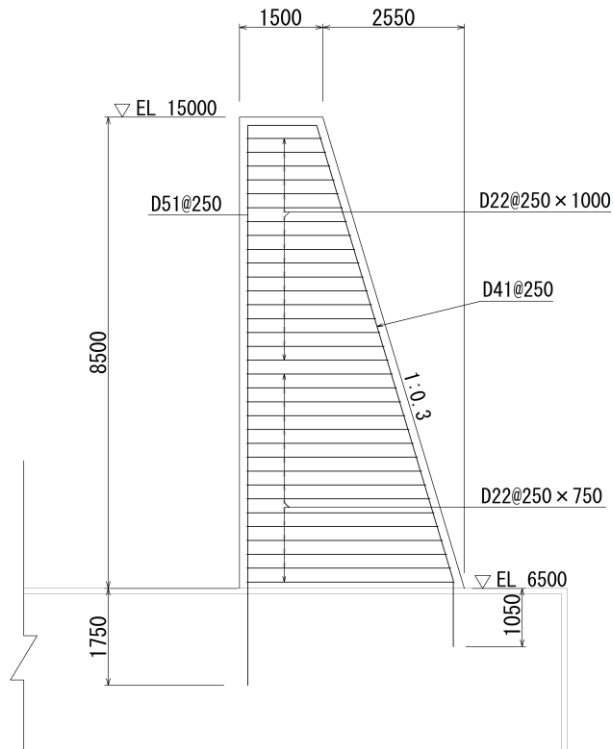


図 2-4(2) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(2)）

(単位 : mm)

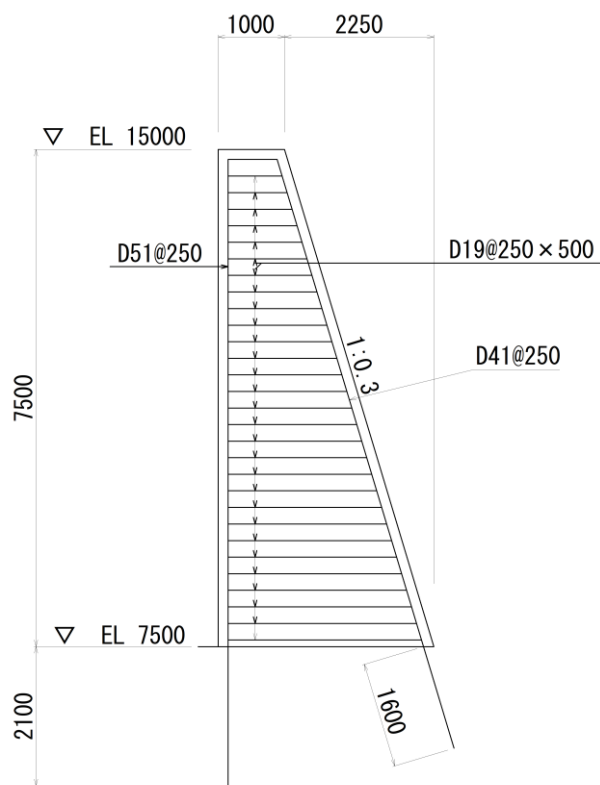


図 2-4(3) 防波壁 (波返重力擁壁) の概略配筋図 (岩盤直接支持部)

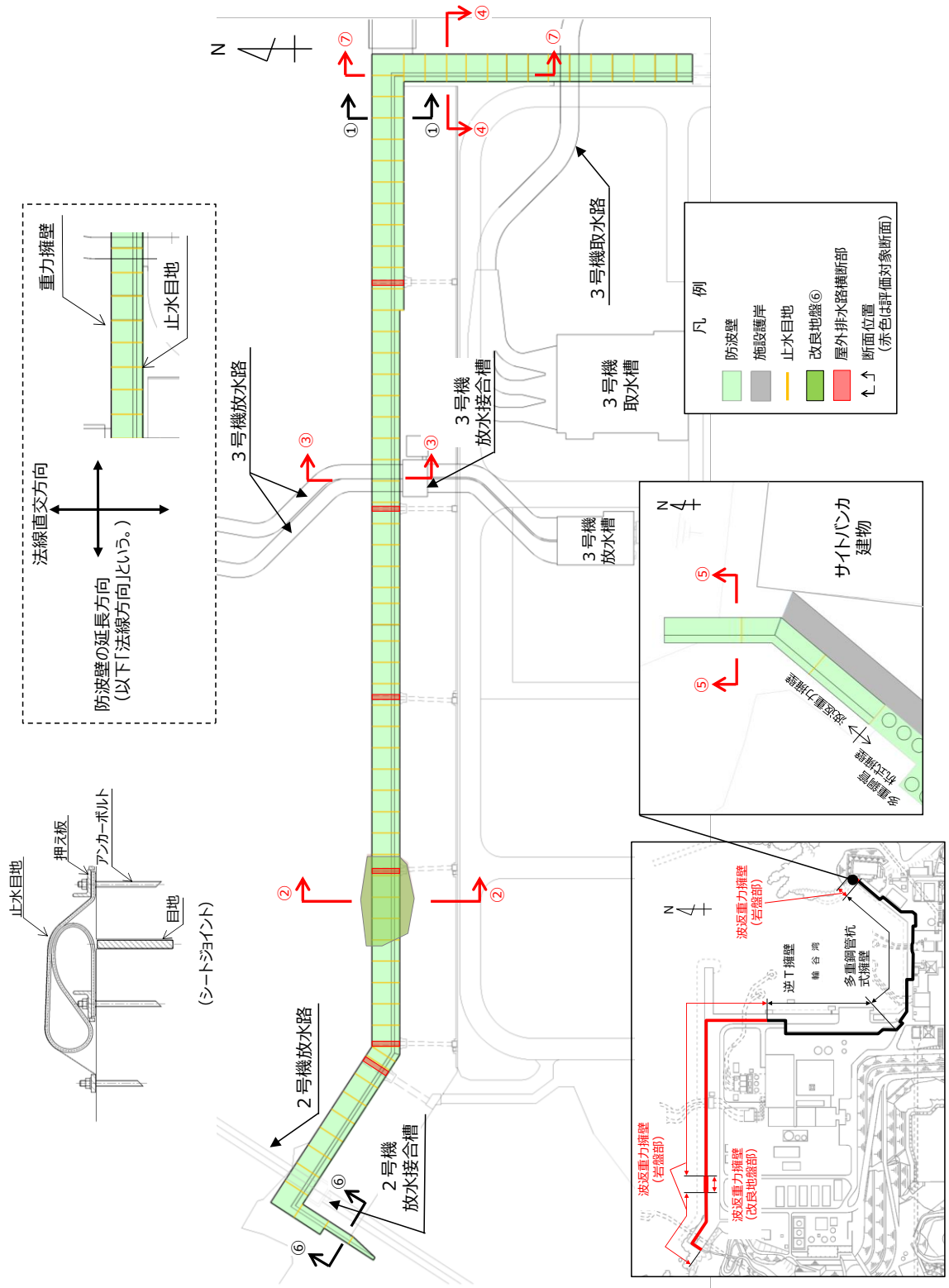


図 2-5 防波壁（波返重力擁壁）止水目地の配置位置図

2.3 評価方針

防波壁（波返重力擁壁）はSクラス施設である津波防護施設に分類される。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

また、防波壁（波返重力擁壁）の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」において設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 評価結果」より、防波壁（波返重力擁壁）の評価対象部位の発生応力度、すべり安全率及び発生変形量が許容限界を満足することを確認する。

防波壁（波返重力擁壁）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）について行う。

防波壁（波返重力擁壁）の強度評価は、設計基準対象施設として表 2-3 の防波壁（波返重力擁壁）の評価項目に示すとおり、施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することにより、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

防波壁（波返重力擁壁）の強度評価フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	重力擁壁	・止水目地及び漂流物対策工を支持する。	・止水目地及び漂流物対策工を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。 ・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁及び漂流物対策工を支持するとともに、遮水性を保持する。 ・重力擁壁を支持する。
	H形鋼	・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁を支持する。
	漂流物対策工	・役割に期待しない。	・漂流物衝突荷重を分散して防波壁（波返重力擁壁）に伝達する。 ・漂流物衝突荷重による防波壁（波返重力擁壁）の局所的な損傷を防止する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤⑥	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。
	埋戻土， 砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁（波返重力擁壁）への相互作用を考慮する）。	・津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

表 2-2 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (透水性, 難透水性)
施設	重力擁壁	—	—	構造部材の健全性を保持するために、重力擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。	止水目地の支持機能を喪失して重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、重力擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
	ケーソン			構造部材の健全性を保持するために、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持し、有意な漏えいを生じないために、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。
	H形鋼			構造部材の健全性を保持するために、H形鋼がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、H形鋼がおおむね弾性状態にとどまること。
	漂流物対策工			—	—
地盤	MMR	ケーソン及び重力擁壁を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安定性を保持すること。	—	地盤中からの回り込みによる流入を防止（難透水性を保持）するため、MMR及び改良地盤⑥が破壊しないこと。（内的安定を保持）
	改良地盤⑥				
	岩盤				—

表 2-3 防波壁(波返重力擁壁)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	重力擁壁	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		ケーソン	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力(面内, 面外))が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度 材料強度
		H形鋼	発生する応力度(せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		MMR	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		改良地盤⑥	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		漂流物対策工	発生する応力度(押抜きせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力度(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	重力擁壁	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		ケーソン	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度 材料強度
		H形鋼	発生する応力度(せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		MMR	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		改良地盤⑥	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		漂流物対策工	—	—
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力度(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*
施設の変形性	止水目地	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

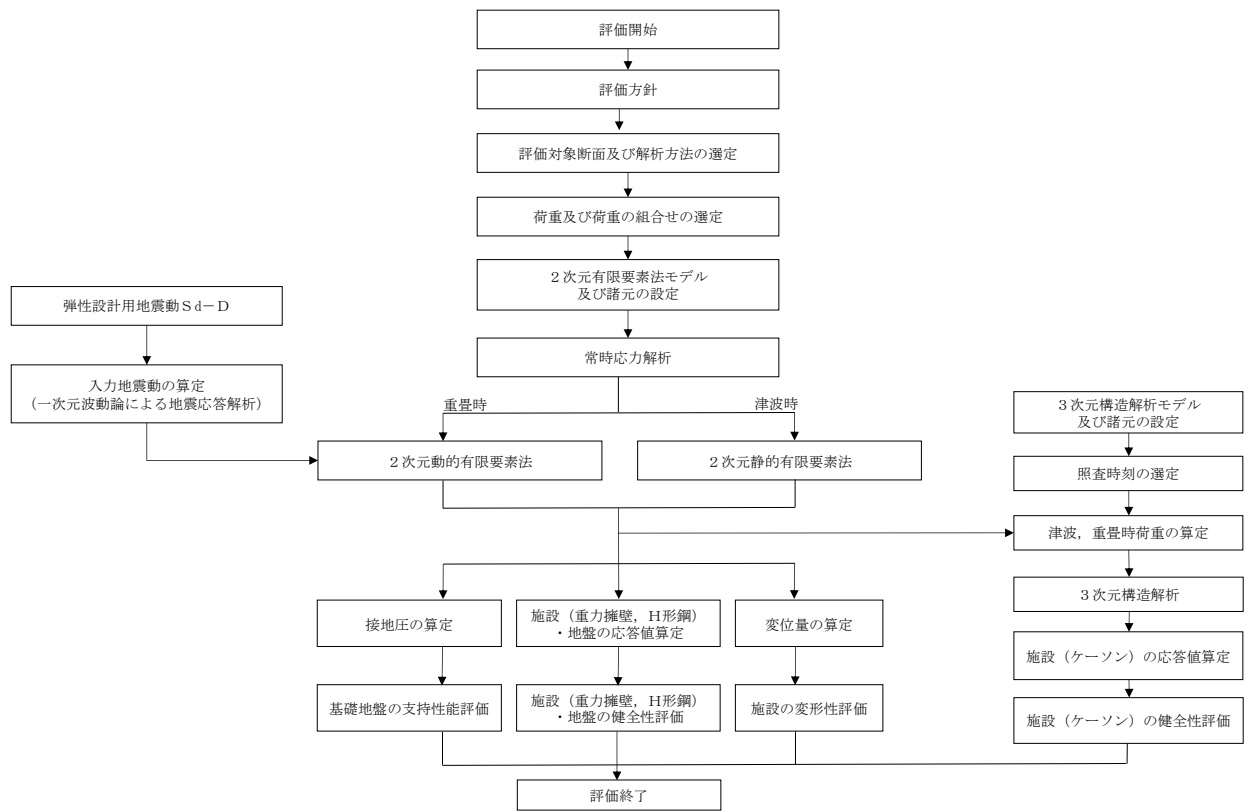


図 2-6 防波壁（波返重力擁壁）の強度評価の検討フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド(平成25年6月19日, 原管地発第1306196号)
- ・道路橋示方書(I 共通編・IV 下部構造編)・同解説((社)日本道路協会, 平成14年3月)
- ・防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局, 平成27年12月)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987(日本電気協会)
- ・松江市建築基準法施行細則(平成17年3月31日松江市規則第234号)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会, H19年版)
- ・港湾構造物設計事例集(沿岸技術研究センター, 平成19年3月)
- ・コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編](土木学会, 2013年制定)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN/m ²	積載荷重
P _t	kN/m ²	遡上津波荷重
K _{Sd}	—	余震荷重
P _c	kN/m	衝突荷重
P _k	kN/m ²	風荷重
P _s	kN/m ²	積雪荷重
γ _w	kN/m ³	海水の単位体積重量
ρ	ton/m ³	海水の密度
σ _{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容曲げ圧縮応力度
τ _{al}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度
σ _{sa}	N/mm ²	鉄筋の許容曲げ引張応力度
τ _l	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度(面内)
f' _{ak}	N/mm ²	コンクリートの圧縮強度
f _{tk}	N/mm ²	コンクリートの引張強度
τ _{ca}	N/mm ²	コンクリートのせん断強度
τ _{sa}	N/mm ²	H形鋼の許容せん断応力度
δ _x	mm	止水目地の x 方向の変位
δ _y	mm	止水目地の y 方向の変位
δ _z	mm	止水目地の z 方向の変位
δ _x (T)	mm	止水目地の x 方向の最大相対変位
δ _y (T)	mm	止水目地の y 方向の最大相対変位
δ _z (T)	mm	止水目地の z 方向の最大相対変位
P	N/mm ²	最大接地圧
P _u	N/mm ²	極限支持力度

3.2 評価対象断面及び部位

3.2.1 評価対象断面

防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面は、防波壁（波返重力擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図を図 3-1 に、縦断面図を図 3-2 に、防波壁（波返重力擁壁）の各区分における横断面図を図 3-3～図 3-8 に示す。以下の理由から、②-②断面、③-③断面、④-④断面、⑤-⑤断面及び⑦-⑦断面を評価対象断面として選定する。

- ・②-②断面は、支持構造がケーソンとなる断面のうち、ケーソン高さに対するケーソン幅が狭く、地表面から岩盤上面までの深さが最も深いことに加え、ケーソン直下に改良地盤⑥が配置されているため、評価対象断面として選定した。
- ・③-③断面は、ケーソンに開口部（放水路）を有するため、評価対象断面として選定した。
- ・④-④断面は、地表面高さが最も高いため、評価対象断面として選定した。
- ・⑤-⑤断面は、重力擁壁が岩盤上に直接設置され、支持構造がH形鋼であり、重力擁壁の天端幅及び下端幅が狭いため、評価対象断面として選定した。
- ・⑦-⑦断面は④-④断面に直交する縦断方向の断面である。④-④断面位置における縦断方向の止水目地の変形量を求めるため、変形性評価の評価対象断面に選定した。

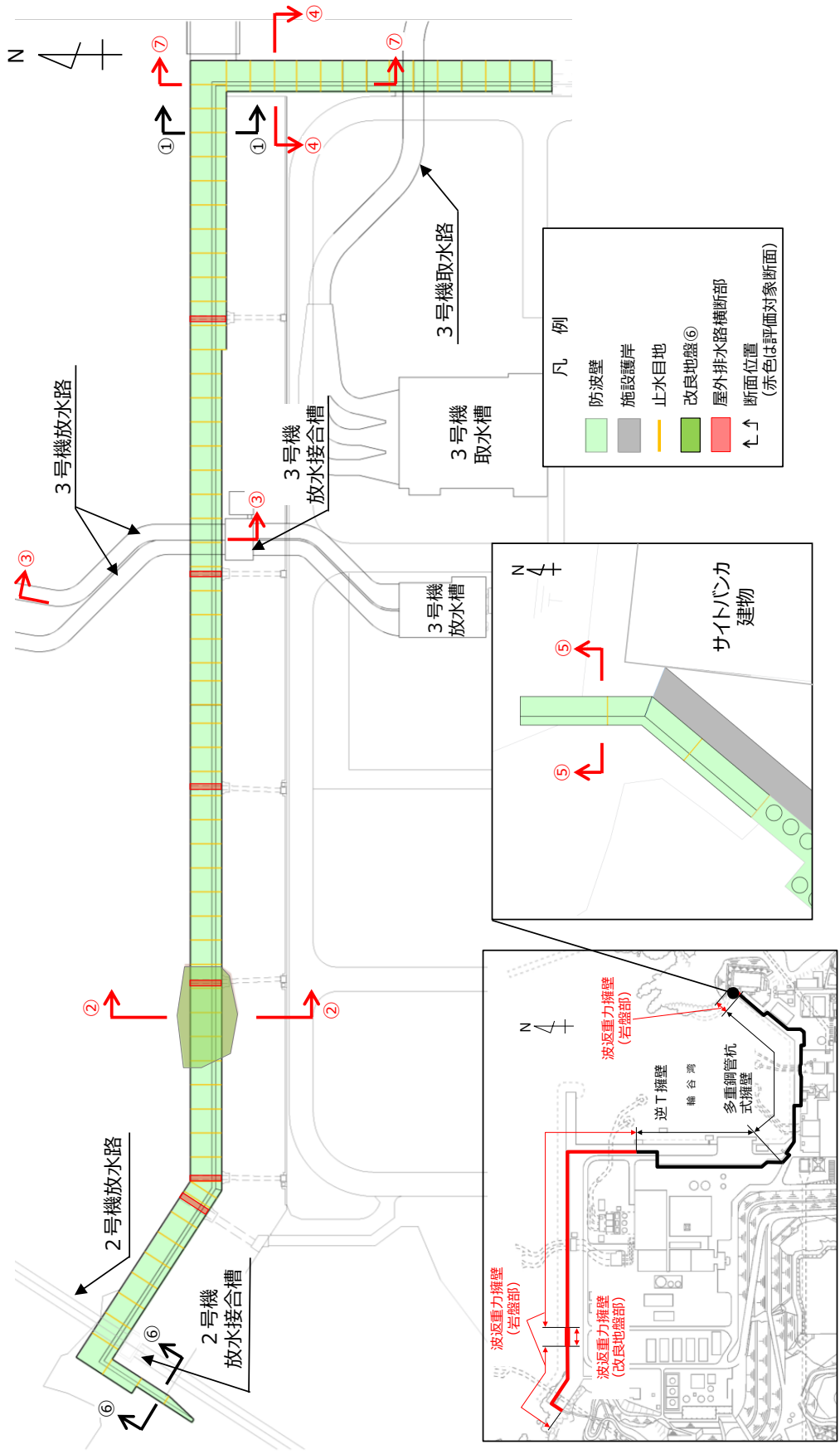


図 3-1 防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図

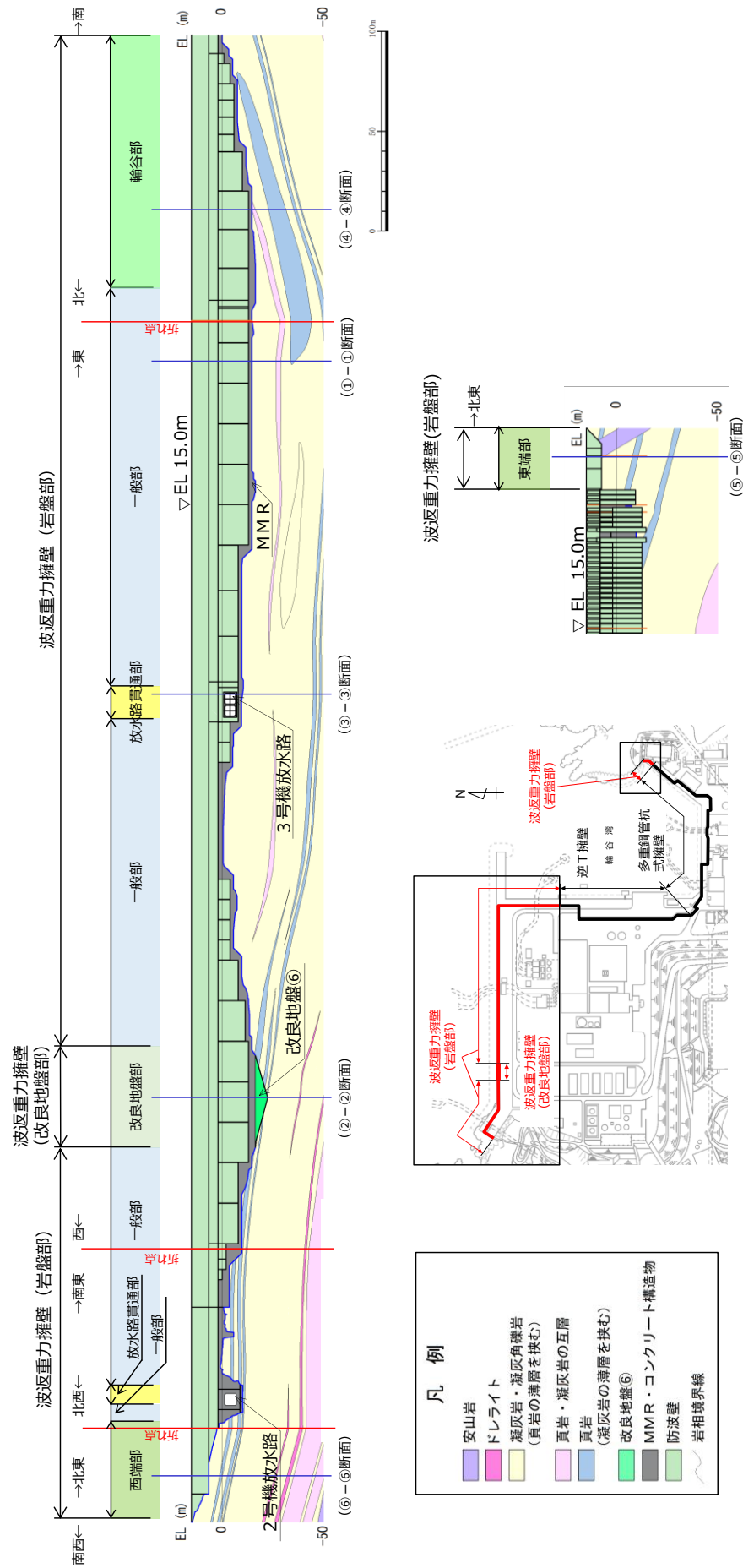


図 3-2 防波壁（波返重力擁壁）の縦断面図

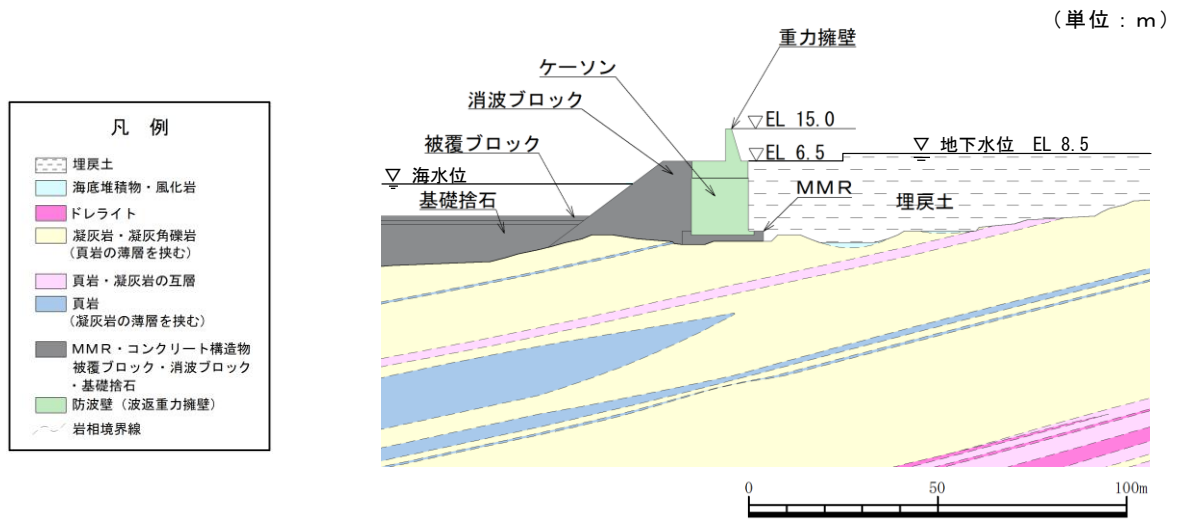


図 3-3 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (①-①断面)

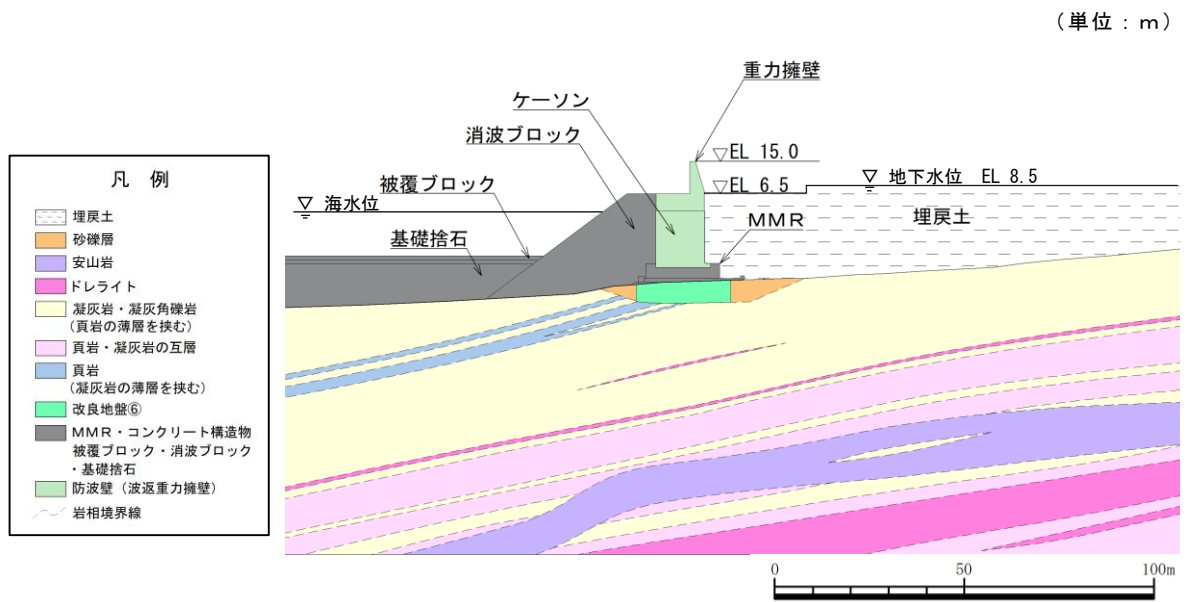


図 3-4 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (②-②断面)

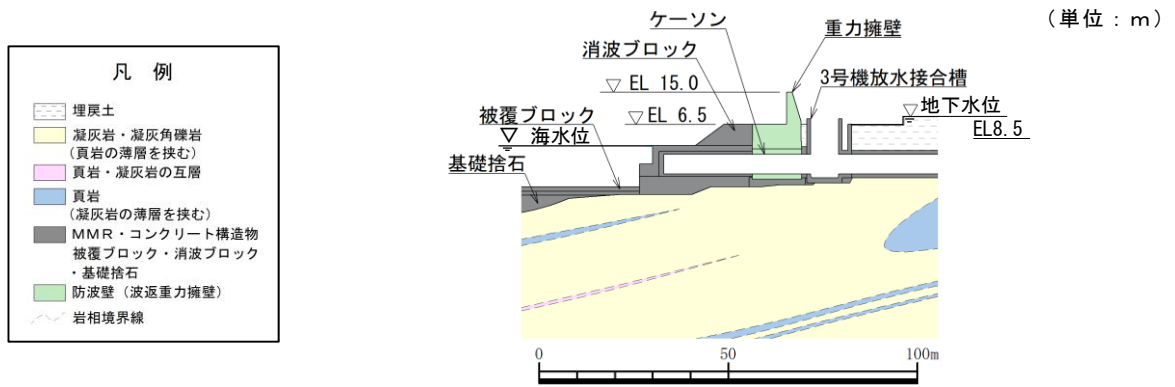


図 3-5 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（③-③断面）

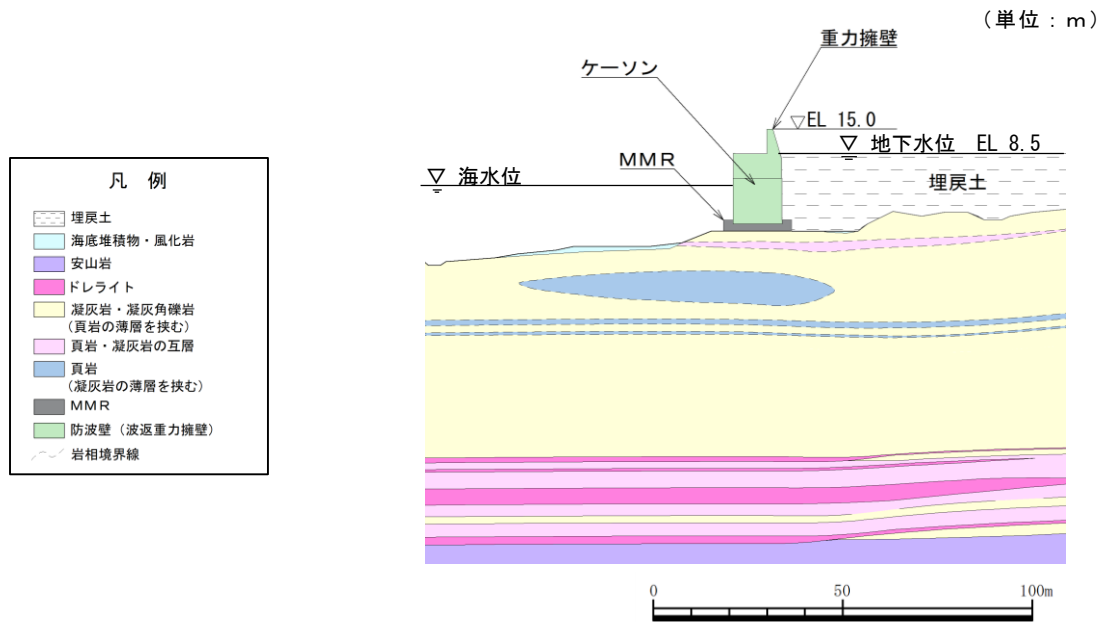


図 3-6 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（④-④断面）

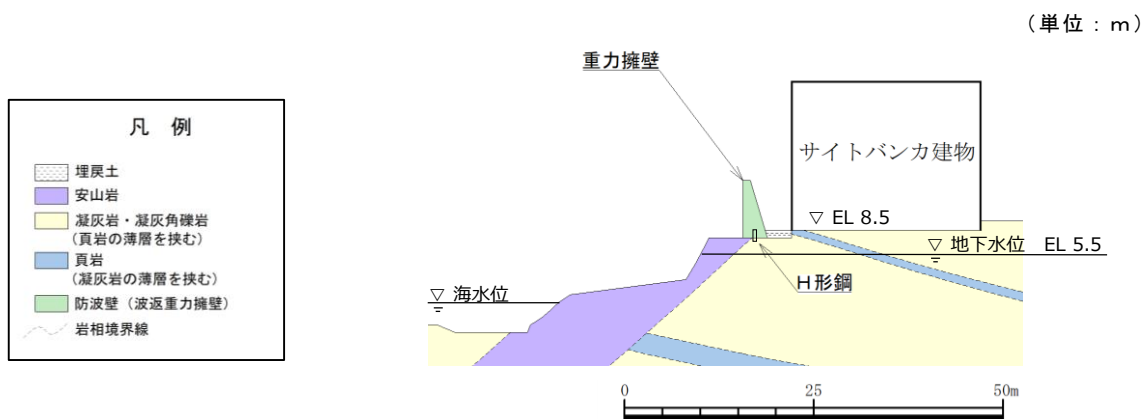


図 3-7 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (⑤-⑤断面)

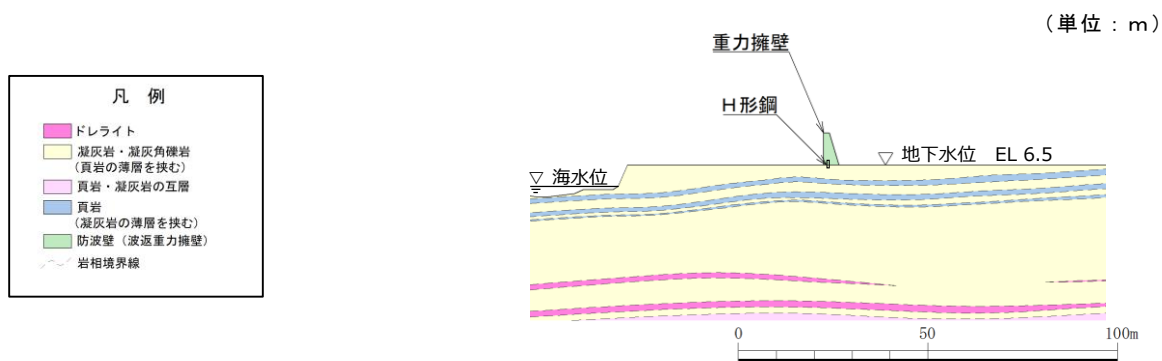


図 3-8 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (⑥-⑥断面)

3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（波返重力擁壁）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1) 施設・地盤の健全性評価

2次元動的有限要素法による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、重力擁壁，H形鋼，MMR及び改良地盤⑥とする。

3次元構造解析による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は，ケーソンとする。

(2) 施設の変形性評価

2次元動的有限要素法による施設の変形性評価に係る評価対象部位は，構造物間に設置する止水目地とする。

(3) 基礎地盤の支持性能評価

2次元動的有限要素法による基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は，防波壁（波返重力擁壁）を支持する基礎地盤（MMR，改良地盤⑥及び岩盤）とする。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 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踏まえて設定する。

3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (G , P)

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び積載荷重とする。

(2) 遡上津波荷重 (P_t)

敷地高以上については、朝倉式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波の水位と各施設の設置高さの差分の 1/2 倍を浸水深として、浸水深の 3 倍で作用する水圧として算定する。

敷地高以深については、谷本式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波高さの 1/2 を入射津波高さとして定義し、静水面上の波圧作用高さは入射津波高さの 3 倍とし、静水面における波圧は入射津波高さに相当する静水圧の 2.2 倍として算定する。

(3) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として、弾性設計用地震動 $S_d - D$ による地震力及び動水圧を考慮する。

(4) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重は、津波漂流物による衝突荷重を選定し、設定する。

衝突荷重は表 3-2 に示すとおり、施設の延長に応じて設定する。

衝突荷重を施設に作用させる際は、漂流物対策工による荷重分散を考慮する。

表 3-2 施設に作用する漂流物衝突荷重

評価対象断面	衝突荷重 (kN/m)
②-②断面	430
③-③断面	450
④-④断面	430
⑤-⑤断面	810

(5) 風荷重 (P_k)

風荷重は、平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1 4 5 4 号に定められた松江市の基準風速 30m/s を使用する。浸水防護施設が設置される状況に応じて、建築基準法及び建設省告示第 1 4 5 4 号に基づき、ガスト影響係数等を適切に設定して算出する。

(6) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重は、発電所に最も近い気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018 年）より、観測史上 1 位の月最深積雪 100cm（1971 年 2 月 4 日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を基本とし、積雪量 1 cm ごとに 20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し、各施設の積雪面積を乗じて設定する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の作用図を図 3-9 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t + P_c + P_k + P_s$
重畳時	$G + P + P_t + K_{sd} + P_k + P_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_t : 遡上津波荷重

K_{sd} : 余震荷重

P_c : 衝突荷重

P_k : 風荷重

P_s : 積雪荷重

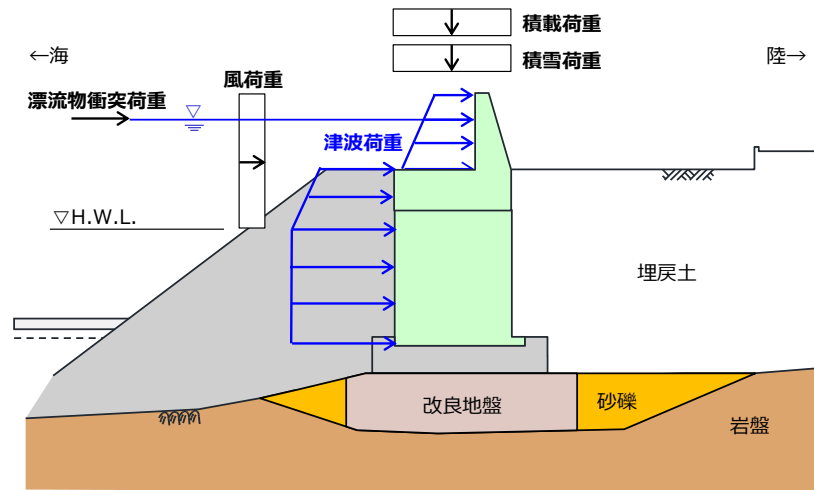


図 3-9(1) 防波壁（波返重力擁壁）の荷重作用図（津波時）

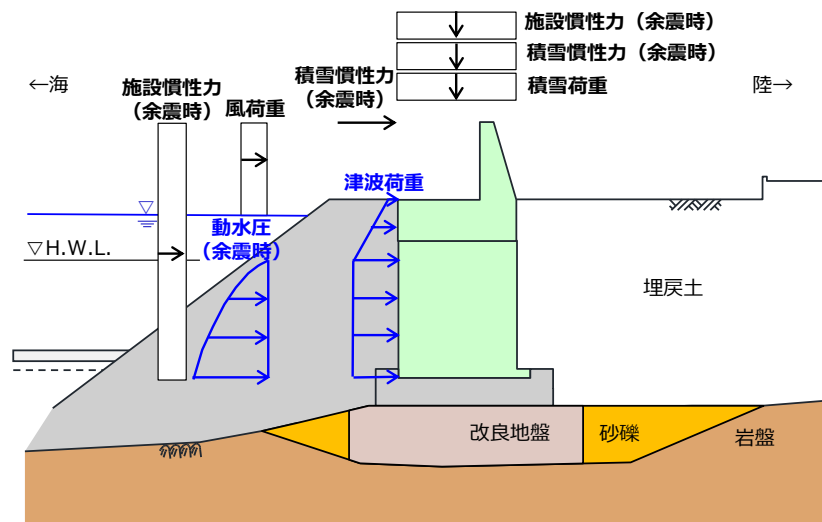


図 3-9(2) 防波壁（波返重力擁壁）の荷重作用図（重畳時）

3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.4.1 重力擁壁

重力擁壁の許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)」に基づき、表3-4に示す短期許容応力度とする。

表 3-4 重力擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ¹ (N/mm ²)
	コンクリート (f' _{ck} =24N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9.0
許容せん断応力度 τ_{a1} * ²		0.45	0.67
コンクリート	許容せん断応力度 τ_{a1} * ³	0.43* ⁴	0.64
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*1：短期許容応力度は、コンクリート標準示方書より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

*2：④-④断面の評価に用いる。

*3：設計基準強度の異なるコンクリートが重力擁壁に混在している②-②断面及び③-③断面の評価に用いる。

*4：設計基準強度 21N/mm² 及び 24N/mm² の各々の許容せん断応力度を用い、評価断面の面積案分により算定

3.4.2 ケーソン

(1) ②-②断面及び④-④断面

ケーソンの許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」に基づき、表 3-5 に示す短期許容応力度とする。

せん断破壊(面内)に対しては、図 3-10 に示す J E A G 4 6 0 1 -1987 に規定されているスケルトンカーブの第 1 折点の許容せん断応力度(面内)を下回ることを許容限界とし、(式 1)に基づき設定する。

表 3-5 ケーソンの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート (f' _{ck} =24N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9.0
許容せん断応力度 τ_{a1}		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記* : 短期許容応力度は、コンクリートの標準示方書より許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

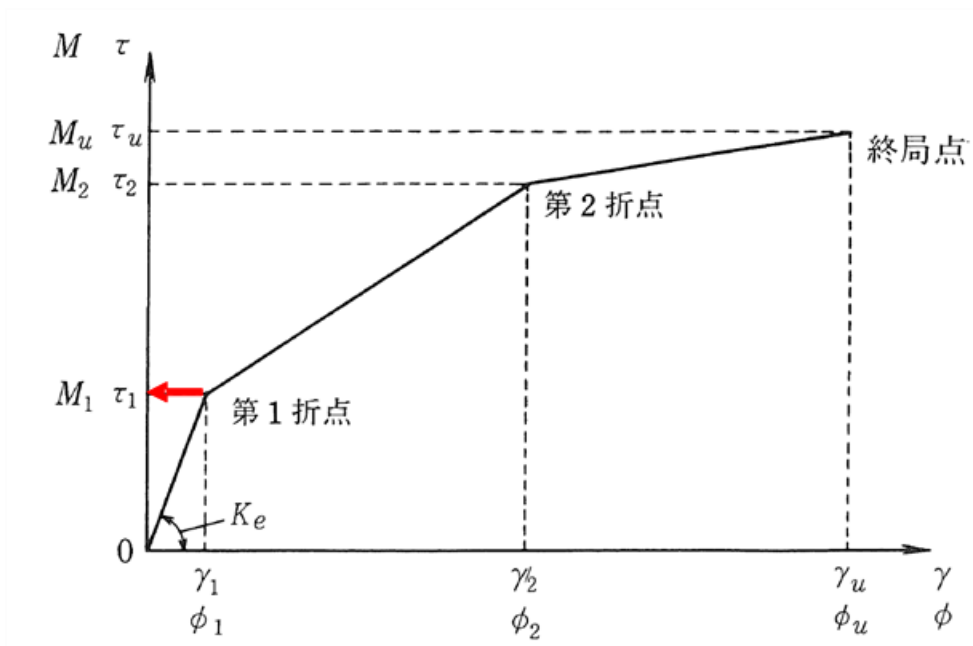


図 3-10 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ 関係）と評価式
（J E A G 4 6 0 1 -1987 に加筆）

$$\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)} \quad (\text{式 1})$$

ここに、

τ_1 : 許容せん断応力度（面内）(N/mm²)

F_c : 設計基準強度 (N/mm²)

σ_v : 鉛直方向軸応力度 (N/mm²)

(2) ③-③断面

ケーソンの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）」及び「コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013年制定）」に基づき，表3-6に示す強度とする。

表3-6 ケーソンの許容限界

	算定式	強度 (N/mm ²)	準拠図書
圧縮強度 f'_{ak}	$\eta f'_{ck}$	24.0	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
引張強度 f_{tk}	$0.23f'_{ck}{}^{2/3}$	1.91	
せん断強度 τ_{ca}	$1/5f'_{ck}$	4.8	コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013年制定）

注記*1：圧縮強度の算定に用いる係数 η は保守的に 1 とする。

*2：ここで f'_{ck} はコンクリートの設計基準強度

3.4.3 H形鋼

H形鋼の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，表3-7に示す短期許容応力度とする。

表3-7 H形鋼の許容限界

種別	許容せん断応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	H形鋼 (SM490)	許容せん断応力度 τ_{sa}	105

注記*：短期許容応力度は，道路橋示方書の許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

3.4.4 MMR

MMRの施設・地盤の健全性評価に用いる許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日，原管地発第1306196号）」を準拠し，すべり安全率とする。表3-8にMMRの許容限界を示す。

表3-8 MMRの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.4.5 改良地盤⑥

改良地盤⑥の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成 25 年 6 月 19 日，原管地発第 1306196 号）」を準拠し，すべり安全率とする。表 3-9 に改良地盤⑥の許容限界を示す。

表 3-9 改良地盤⑥の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.4.6 止水目地

止水目地の許容限界は，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。評価対象断面である④-④断面及び⑦-⑦断面位置における止水目地の変形量に対する許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 止水目地の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1960

3.4.7 基礎地盤

基礎地盤のうち岩盤及び改良地盤⑥に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，岩盤は支持力試験，改良地盤⑥は一軸圧縮試験により設定する。

MMRに発生する接地圧に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）」に基づき，コンクリートの支圧強度とする。

基礎地盤の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤⑥		3.0
支圧強度	MMR		24.0

3.5 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位のうち、重力擁壁、H形鋼、MMR及び改良地盤⑥の健全性評価、止水目地の変形性評価並びに基礎地盤の支持性能評価については、2次元静的有限要素法（有効応力解析及び全応力解析）による強度評価を行う。津波時の2次元静的有限要素法において、②-②断面、③-③断面及び④-④断面は、津波時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とし、⑤-⑤断面は、地下水位以深に液状化対象層が分布しないことから、解析方法は全応力解析とする。

ケーソンについては、ケーソンが複数の隔壁を有しており、その影響を考慮する必要があることから、3次元構造解析により健全性評価を行う。

3.5.1 津波時

(1) 2次元静的有限要素法

a. 解析方法

津波時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元静的有限要素法により算定する。なお、衝突荷重は入力津波高さ EL 11.9mに余裕を考慮した津波高さ EL 12.6mに作用させる。

2次元静的有限要素法のうち有効応力解析に用いる解析コードは「FLIP」を使用し、全応力解析に用いる解析コードは、「TDAPⅢ」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b. 施設

重力擁壁及びケーソンは、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

漂流物対策工は、重力擁壁及びケーソン壁に固定して設置することから、機器荷重として考慮する。

c. 解析モデル

評価対象断面のうち②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面の地震応答解析モデルは，VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

(a) 解析領域

解析領域は，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

(b) 境界条件

境界条件は，2次元有限要素法における半無限地盤を模擬するため，粘性境界を設ける。

(c) 構造物のモデル化

重力擁壁は，線形平面ひずみ要素としてモデル化する。

ケーソンは，構造部材を線形平面ひずみ要素でモデル化し，3次元構造解析モデルとの変位を整合させるためのヤング係数の調整を行い，3次元構造モデルと等価な剛性となるようモデル化する。また，地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

機器・配管荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

(d) 地盤のモデル化

イ 有効応力解析

岩盤及びMMRは線形平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤はマルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

消波ブロック，基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

ロ 全応力解析

岩盤及びMMRは線形平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤はマルチスプリング要素にてモデル化する。

消波ブロック，基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

(e) 海水のモデル化

イ 有効応力解析

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

ロ 全応力解析

海水はモデル化しない。

(f) ジョイント要素

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

d. 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 3-12 に、材料の物性値を表 3-13 に示す。

表 3-12 使用材料

材料		仕様
コンクリート	重力擁壁 (基部コンクリート)	設計基準強度 18.0 N/mm ²
	重力擁壁 ケーソン	設計基準強度 24.0 N/mm ²
鉄筋		SD345
H形鋼		SM490

表 3-13 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*
無筋コンクリート	22.6*	2.2×10 ⁴ *	0.2*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会，2002年制定)

e. 地盤及び改良地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤のうち改良地盤⑥及びMMRの残留強度及び引張強度を表 3-14 のとおり設定する。

表 3-14 改良地盤⑥及びMMRの残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 σ_t (N/mm ²)
	c' (N/mm ²)	ϕ' (°)	
改良地盤⑥	0.0	48.80	436
MMR	4.8	0.00	1.91

f. 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位を表 3-15 に示す。

表 3-15 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
防波壁（波返重力擁壁） （②-②断面，③-③断面，④-④断面）	EL 8.5m*
防波壁（波返重力擁壁） （⑤-⑤断面）	EL 5.5m

注記*：地表面が 8.5m よりも低い地点については、地下水位を地表面とする。

g. 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）の津波時の強度評価は，VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

(a) 重力擁壁

重力擁壁の評価は，曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度，曲げ引張応力度及びせん断力により算定されるせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

重力擁壁の応力度算定には，解析コード「EMR G I N G」を使用する。なお，解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

イ 曲げ・軸力照査

コンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認する。

ロ せん断照査

コンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認する。

(b) H形鋼

H形鋼の評価は，⑤－⑤断面において，擁壁下端に発生するせん断力から算定されるせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

(c) MMR

MMRの評価は，②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，すべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。すべり安全率は，想定したすべり線上の応力状態をもとに，すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め，最小すべり安全率を算定する。

(d) 改良地盤⑥

改良地盤⑥の評価は、②-②断面において、改良地盤⑥を通るすべり面のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を求め、最小すべり安全率を算定する。

(e) 止水目地

止水目地の津波時の評価は、④-④断面において、防波壁（波返重力擁壁）の縦断方向及び横断方向ともに、津波荷重による最大変位が許容限界以下であることを確認する。

x方向（法線直交方向）及びz方向（深度方向）の変位は、図3-11に示すとおり、重力擁壁天端とケーソン下端における相対変位量とし、保守的に各ケーソンの位相が逆になったことを考慮し、最大の変位量を2倍したものを算定する。

y方向（法線方向）の変位は、隣接する重力擁壁の天端間の相対変位とする。相対変位の抽出位置を図3-12に示す。

$$\begin{aligned} x \text{ 方向（法線直交方向）の変位} & \quad \delta_x : \delta_x = |\delta_x(T)| \times 2 \\ y \text{ 方向（法線方向）の変位} & \quad \delta_y : \delta_y = |\delta_y(T)| \\ z \text{ 方向（深度方向）の変位} & \quad \delta_z : \delta_z = |\delta_z(T)| \times 2 \end{aligned}$$

ここで、

$\delta_x(T)$: x方向の最大相対変位

$\delta_y(T)$: y方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$: z方向の最大相対変位

法線直交方向、法線方向及び深度方向の変位量を用い、下式のとおり合成方向（3方向合成）の変位量を求め、止水目地の津波荷重による最大変位とする。

$$\text{最大変位 } \delta : \delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$

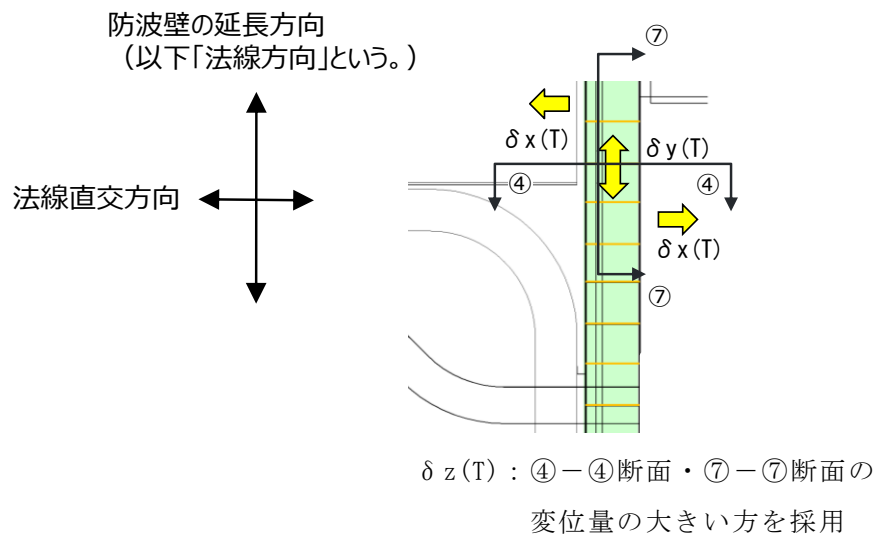


図 3-11 地震時の変位の概念図

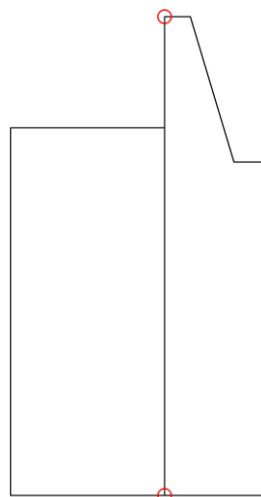


図 3-12 相対変位抽出位置

(f) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価は、②-②断面、③-③断面、④-④断面及び⑤-⑤断面において、MMR、改良地盤⑥及び防波壁直下の岩盤に生じる設置圧の最大値が許容限界以下であることを確認する。

(2) 3次元構造解析

a. 解析方法

②-②断面、③-③断面及び④-④断面は、隔壁を有したケーソンが設置されており、ケーソンは複雑な構造をしていることから、3次元構造解析によりケーソンの構造部材の健全性評価を行う。

津波時にケーソンに発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて3次元構造解析により算定する。衝突荷重は入力津波高さEL 11.9mに余裕を考慮した津波高さEL 12.6mに作用させる。

3次元構造解析に用いる解析コードは、「FINAS/STAR」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b. 施設

(a) ②-②断面及び④-④断面

ケーソンは線形シェル要素でモデル化する。

(b) ③-③断面

ケーソンは線形ソリッド要素でモデル化する。

c. 解析モデル

防波壁（波返重力擁壁）の3次元構造解析における解析モデルを図3-13～図3-15に示す。

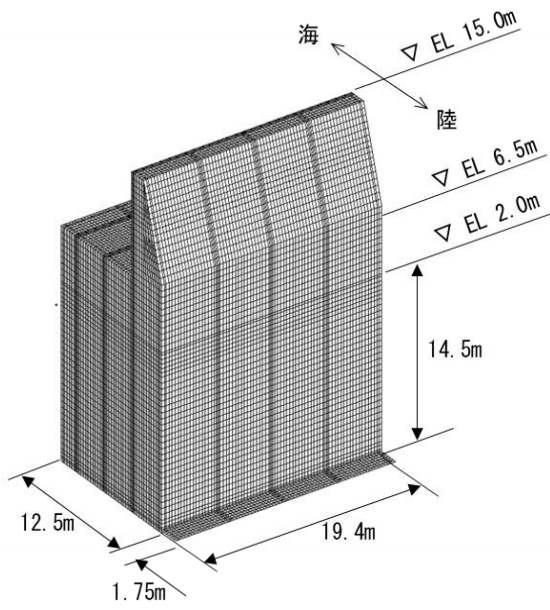
(a) 構造物のモデル化

②-②断面及び④-④断面の3次元構造解析モデルにおいて、ケーソンの壁は線形シェル要素でモデル化し、その他は線形ソリッド要素でモデル化する。

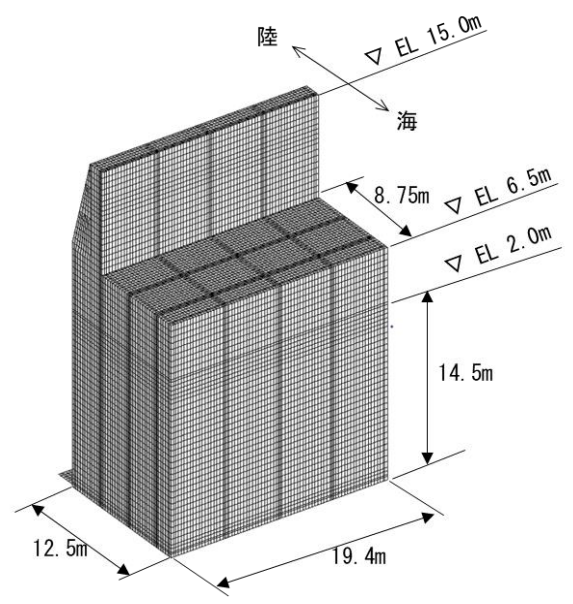
③-③断面の3次元構造解析モデルにおいて、ケーソン及び重力擁壁は線形ソリッド要素でモデル化する。

(b) 地盤ばね

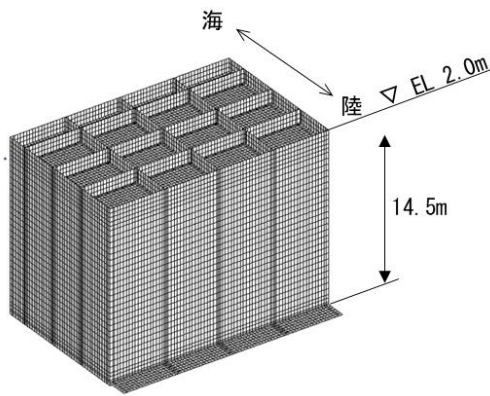
3次元構造解析モデルのうち、構造物とMMRの境界には地盤ばねを設置する。



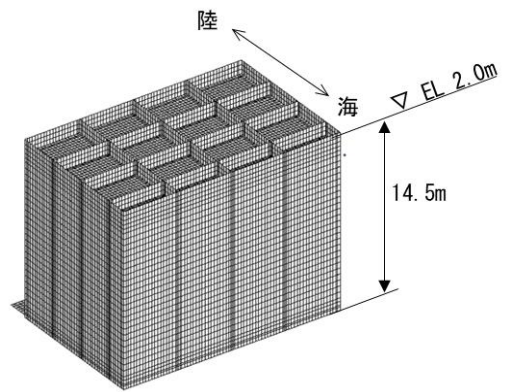
モデル全体図（陸側）



モデル全体図（海側）



ケージのモデル図（陸側）*



ケージのモデル図（海側）*

注記* : ケージはシェル要素のみ表示

図 3-13 3次元構造解析モデル（②-②断面）

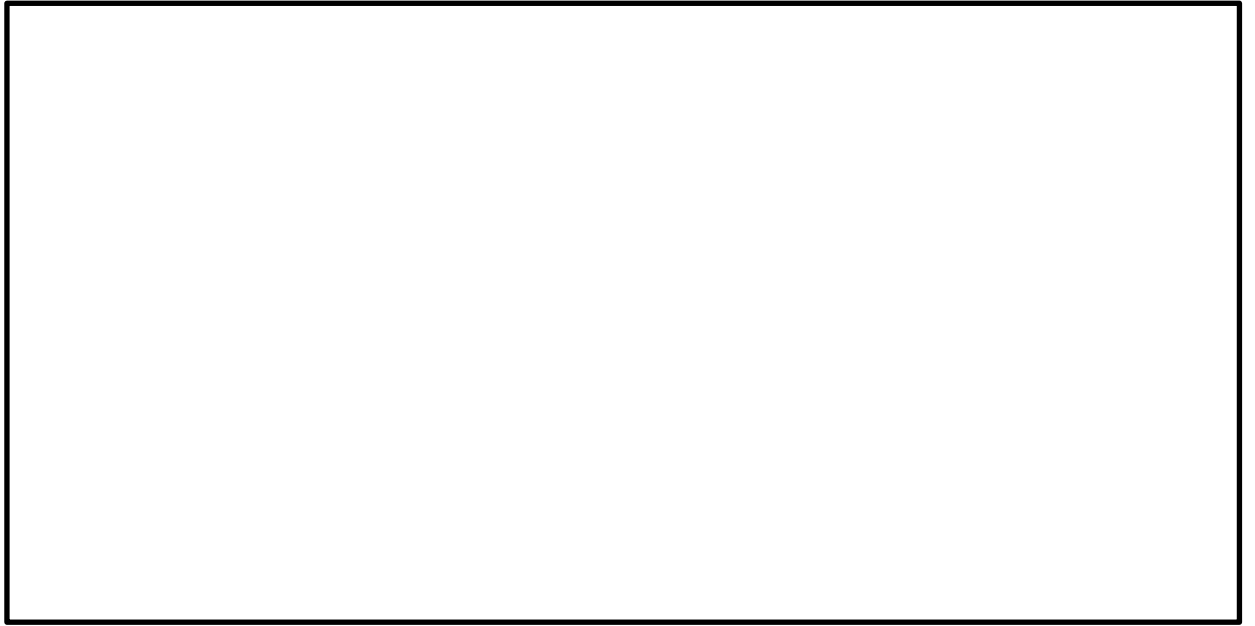
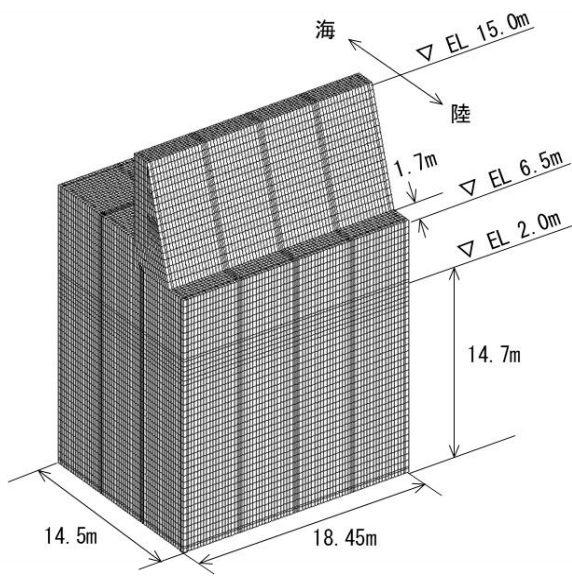
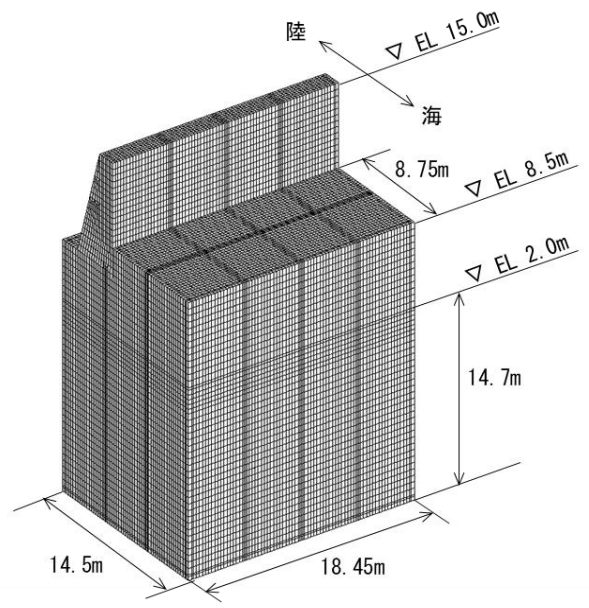


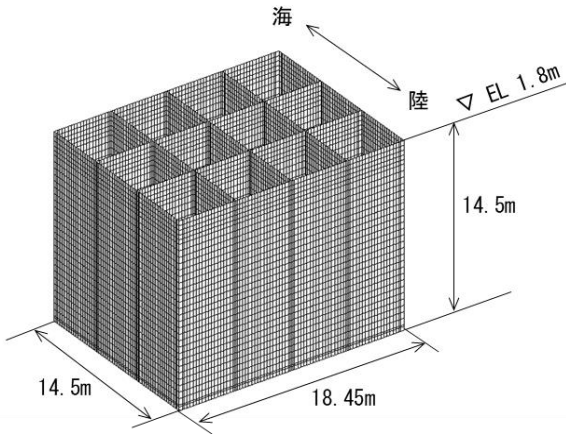
図 3-14 3次元構造解析モデル (③-③断面)



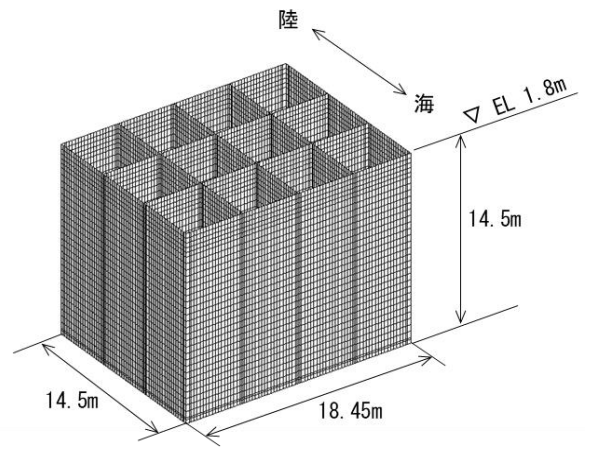
モデル全体図（陸側）



モデル全体図（海側）



ケーソンのモデル図（陸側）*



ケーソンのモデル図（海側）*

注記*：ケーソンはシェル要素のみ表示

図 3-15 3次元構造解析モデル（④-④断面）

d. 使用材料及び材料の物性値

ケーソンの使用材料を表 3-16 に、材料の物性値を表 3-17 に示す。重力擁壁の使用材料は、「(1) 2次元静的有限要素法」に示したものをを用いる。

表 3-16 使用材料

材料	諸元
コンクリート	24.0 N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-17 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）

e. 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）の津波時の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

(a) ケーソン

イ ②-②断面及び④-④断面

②-②断面及び④-④断面のケーソンの評価は、曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度、曲げ引張応力度及びせん断力より算定されるせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。応力度算定には、解析コード「EMR G I N G」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

ロ ③-③断面

③-③断面のケーソンの評価は、3次元構造解析に基づいて算定した圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

3.5.2 重畳時

(1) 2次元動的有限要素法

a. 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元動的有限要素法により算定する。

2次元動的有限要素法において、②-②断面、③-③断面及び④-④断面の解析方法は有効応力解析とする。

2次元動的有限要素法に用いる解析コードは、「FLIP」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b. 施設

施設のモデル化については、「3.5.1 津波時」と同様とする。

c. 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) を設定する。

d. 解析ケース

重畳時においては、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に基づき、弾性設計用地震動 S d - D に対して、ケース①（基本ケース）を実施する。

e. 入力地震動

入力地震動は、弾性設計用地震動 S d - D について、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に基づき設定する。

f. 解析モデル

解析モデルは、「3.5.1 津波時」と同様である。

g. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

h. 地盤の物性値

地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

i. 地下水位

地下水位については、「3.5.1 津波時」と同様である。

j. 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）の重畳時の強度評価は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(2) 3次元構造解析

a. 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて3次元構造解析により算定する。

3次元構造解析に用いる解析コードは、「FINAS/STAR」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、部材の評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から選定する。

b. 施設

施設のモデル化については、「3.5.1 津波時」と同様とする。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 構造物のモデル化

解析モデル及び構造物のモデル化については、「3.5.1 津波時」と同様である。

(b) 地盤ばね

地盤ばねについては、「3.5.1 津波時」と同様である。

d. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

e. 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）の重畳時の強度評価は、「3.5.1 津波時」と同様である。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

4.1 津波時

表 4-1(1) 強度評価に用いる条件 (②-②断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3237	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	3122	kN/m ²
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	2.117	kN/m ²
P_c	衝突荷重	430	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³

表 4-1(2) 強度評価に用いる条件 (③-③断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	1967	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	2449	kN/m ²
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	2.117	kN/m ²
P_c	衝突荷重	450	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³

表 4-1(3) 強度評価に用いる条件 (④-④断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	491	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3542	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	3097	kN/m ²
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	2.117	kN/m ²
P_c	衝突荷重	430	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³

表 4-1(4) 強度評価に用いる条件 (⑤-⑤断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	383	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	39	kN/m ²
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	1.764	kN/m ²
P_c	衝突荷重	810	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³

4.2 重畳時

表 4-2(1) 強度評価に用いる条件 (②-②断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3237	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P _t	遡上津波荷重	888	kN/m ²
P _s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P _k	風荷重	2.117	kN/m ²
γ _w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³

表 4-2(2) 強度評価に用いる条件 (③-③断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	1967	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P _t	遡上津波荷重	662	kN/m ²
P _s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P _k	風荷重	2.117	kN/m ²
γ _w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³

表 4-2(3) 強度評価に用いる条件 (④-④断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	491	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3542	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	831	kN/m ²
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	2.117	kN/m ²
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³

5. 評価結果

5.1 津波時

5.1.1 重力擁壁

(1) 曲げ・軸力照査

②－②断面，③－③断面，④－④断面及び⑤－⑤断面において，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-1 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-2 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋における発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-5200	793	3.3	13.5	0.25

表 5-1(2) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(③-③断面)

発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-5182	846	3.1	13.5	0.24

表 5-1(3) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-3113	666	2.5	13.5	0.19

表 5-1(4) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(⑤-⑤断面)

発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-4066	707	3.6	13.5	0.27

表 5-2(1) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-5200	793	123.2	294	0.42

表 5-2(2) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-5182	846	105.9	294	0.36

表 5-2(3) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面)

発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-3113	666	89.2	294	0.31

表 5-2(4) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
-4066	707	135.7	294	0.47

(2) せん断照査

②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面において，重力擁壁のコンクリートのせん断破壊に対する照査を行った。

コンクリートのせん断破壊に対する照査結果を表 5-3 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリートにおける発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-3(1) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

発生断面力	せん断 応力度	短期許容 応力度	照査値
せん断力 Q (kN)	τ_c (N/mm ²)	τ_{a1} (N/mm ²)	τ_c / τ_{a1}
1232	0.32	0.64	0.50

表 5-3(2) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

発生断面力	せん断 応力度	短期許容 応力度	照査値
せん断力 Q (kN)	τ_c (N/mm ²)	τ_{a1} (N/mm ²)	τ_c / τ_{a1}
1218	0.31	0.64	0.49

表 5-3(3) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面)

発生断面力	せん断 応力度	短期許容 応力度	照査値
せん断力 Q (kN)	τ_c (N/mm ²)	τ_{a1} (N/mm ²)	τ_c / τ_{a1}
1060	0.31	0.64	0.46

表 5-3(4) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

発生断面力	せん断 応力度	短期許容 応力度	照査値
せん断力 Q (kN)	τ_c (N/mm ²)	τ_{a1} (N/mm ²)	τ_c / τ_{a1}
1128	0.36	0.67	0.63

5.1.2 ケーソン

(1) ②-②断面及び④-④断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、前壁、後壁、側壁、隔壁、底版及びフーチングとした。評価対象位置図を図5-1に示す。

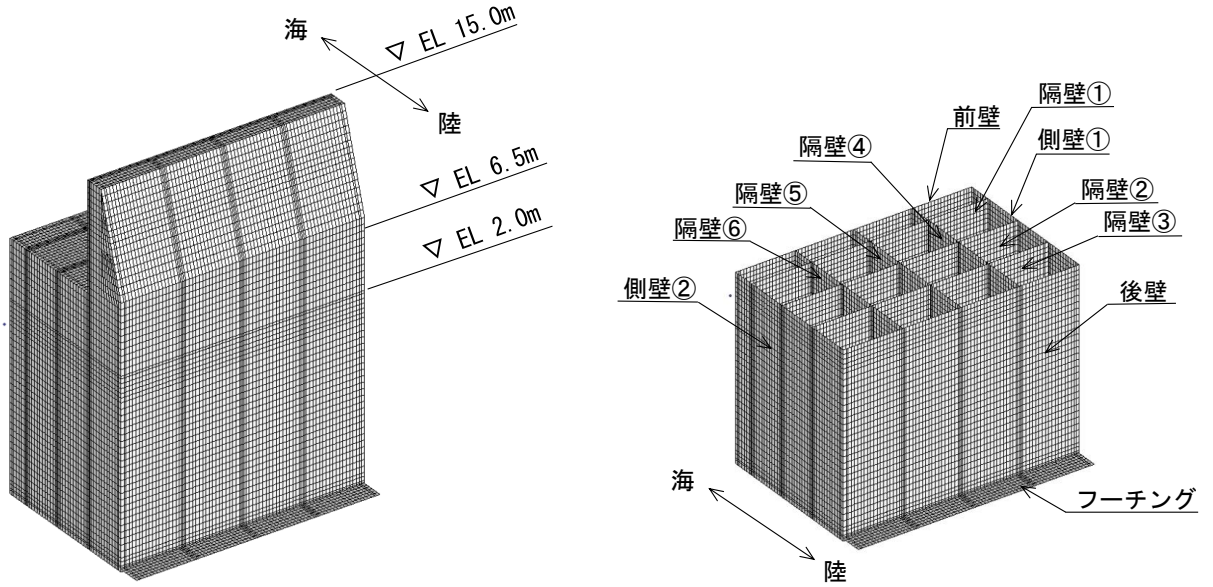


図5-1(1) 評価対象位置図(②-②断面)

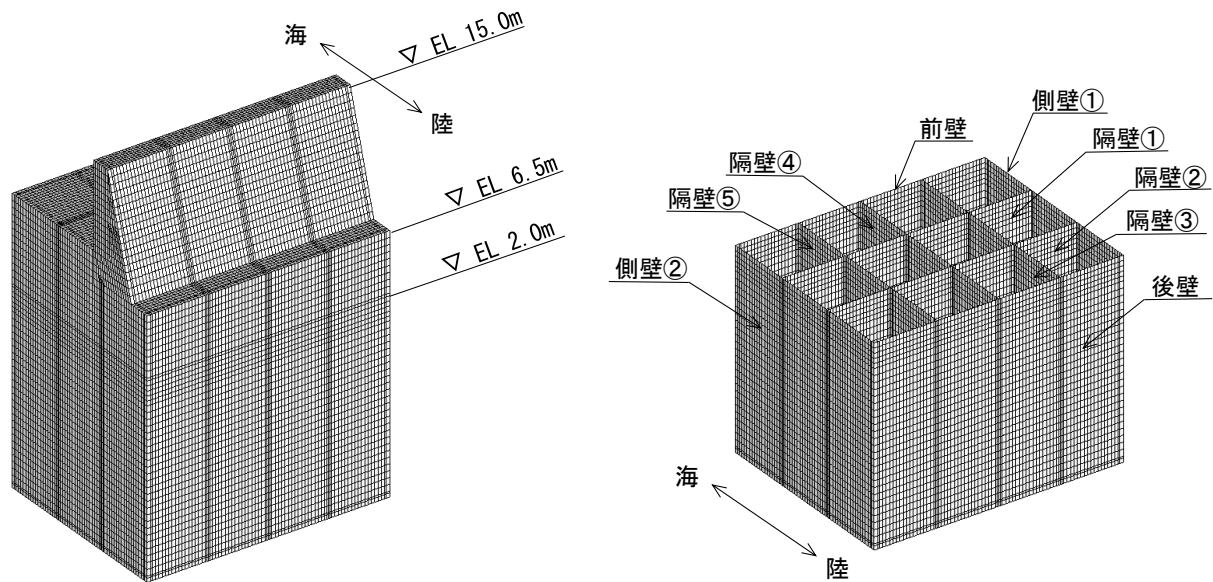


図5-1(2) 評価対象位置図(④-④断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

②－②断面及び④－④断面において、ケーソンのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-4 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-5 に、コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査結果を表 5-6 に、コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査結果を表 5-7 に示す。

表 5-4(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	52	-55	1.1	13.5	0.09
フーチング	36	8	0.3	13.5	0.03
前壁	-4	-6	0.2	13.5	0.02
後壁	-2	761	1.5	13.5	0.12
側壁①	11	619	1.5	13.5	0.11
側壁②	11	619	1.5	13.5	0.11
隔壁①	1	-23	0.5	13.5	0.04
隔壁②	1	-8	0.5	13.5	0.05
隔壁③	0	261	0.9	13.5	0.07
隔壁④	0	359	1.3	13.5	0.10
隔壁⑤	0	365	1.3	13.5	0.10
隔壁⑥	0	359	1.3	13.5	0.10

表 5-4(2) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	47	-40	0.7	13.5	0.05
前壁	13	20	0.4	13.5	0.03
後壁	0	601	1.2	13.5	0.09
側壁①	17	453	1.3	13.5	0.09
側壁②	17	453	1.3	13.5	0.09
隔壁①	0	161	0.6	13.5	0.04
隔壁②	1	229	0.9	13.5	0.07
隔壁③	0	314	1.0	13.5	0.08
隔壁④	0	322	1.0	13.5	0.08
隔壁⑤	0	314	1.0	13.5	0.08

表 5-5(1) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	52	-55	84.0	294	0.29
フーチング	50	-105	38.9	294	0.14
前壁	2	-177	60.7	294	0.21
後壁	4	-110	36.2	294	0.13
側壁①	1	-162	70.4	294	0.24
側壁②	1	-162	70.4	294	0.24
隔壁①	0	-34	28.0	294	0.10
隔壁②	0	-57	48.2	294	0.17
隔壁③	0	-71	57.1	294	0.20
隔壁④	0	-54	22.1	294	0.08
隔壁⑤	0	-48	19.8	294	0.07
隔壁⑥	0	-54	22.1	294	0.08

表 5-5(2) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	47	-43	46.7	294	0.16
前壁	7	-93	35.9	294	0.13
後壁	6	-117	41.0	294	0.14
側壁①	1	-29	10.0	294	0.04
側壁②	1	-29	10.0	294	0.04
隔壁①	0	-63	40.7	294	0.14
隔壁②	0	-75	47.1	294	0.17
隔壁③	0	-4	1.1	294	0.01
隔壁④	0	-1	0.3	294	0.01
隔壁⑤	0	-4	1.1	294	0.01

表 5-6(1) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（②-②断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	54	0.12	0.67	0.18
フーチング	60	0.07	0.67	0.12
前壁	10	0.02	0.67	0.04
後壁	18	0.05	0.67	0.08
側壁①	28	0.07	0.67	0.10
側壁②	28	0.07	0.67	0.10
隔壁①	3	0.03	0.67	0.05
隔壁②	7	0.06	0.67	0.10
隔壁③	3	0.03	0.67	0.04
隔壁④	3	0.02	0.67	0.04
隔壁⑤	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑥	3	0.02	0.67	0.04

表 5-6(2) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（④-④断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	51	0.11	0.67	0.17
前壁	23	0.06	0.67	0.09
後壁	24	0.06	0.67	0.09
側壁①	17	0.05	0.67	0.07
側壁②	17	0.05	0.67	0.07
隔壁①	4	0.03	0.67	0.06
隔壁②	3	0.03	0.67	0.04
隔壁③	2	0.02	0.67	0.04
隔壁④	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑤	2	0.02	0.67	0.04

表 5-7(1) コンクリートせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
 (②-②断面)

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 (面内) τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 (面内) τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	45	0.07	1.51	0.05
フーチング	138	0.14	1.51	0.10
前壁	15	0.03	1.51	0.02
後壁	170	0.34	1.98	0.18
側壁①	156	0.31	1.52	0.21
側壁②	156	0.31	1.52	0.21
隔壁①	16	0.06	1.51	0.05
隔壁②	47	0.19	1.73	0.11
隔壁③	76	0.30	1.93	0.16
隔壁④	74	0.30	1.56	0.20
隔壁⑤	76	0.31	1.57	0.20
隔壁⑥	74	0.30	1.56	0.20

表 5-7(2) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
 (④-④断面)

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 (面内) τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 (面内) τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	68	0.11	1.51	0.08
前壁	27	0.05	1.54	0.04
後壁	96	0.19	1.89	0.11
側壁①	83	0.17	1.60	0.11
側壁②	83	0.17	1.60	0.11
隔壁①	53	0.21	1.78	0.12
隔壁②	75	0.30	1.87	0.17
隔壁③	42	0.17	1.62	0.11
隔壁④	41	0.16	1.62	0.11
隔壁⑤	42	0.17	1.62	0.11

(2) ③-③断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、頂版、底版、側壁及び隔壁とした。評価対象位置図を図5-2に示す。

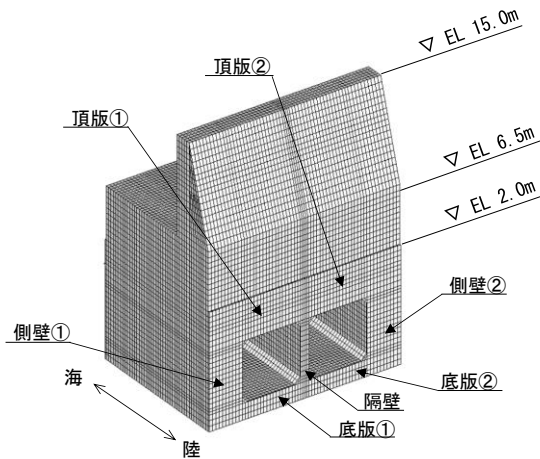


図5-2 評価対象位置図 (③-③断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

③-③断面において、ケーソンのコンクリートの圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度に対する照査を行った。

コンクリートの圧縮応力度に対する照査結果を表5-8に、コンクリートの引張応力度に対する照査結果を表5-9に、コンクリートのせん断応力度に対する照査結果を表5-10に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリートにおける発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-8 コンクリートの圧縮応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	圧縮強度 f'_{ak} (N/mm ²)	照査値 σ_c/f'_{ak}
	圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
底版①	2.6	24.0	0.11
底版②	2.6	24.0	0.11
側壁①	4.2	24.0	0.18
側壁②	4.2	24.0	0.18
隔壁	5.6	24.0	0.24
頂版①	1.5	24.0	0.07
頂版②	1.5	24.0	0.07

表 5-9 コンクリートの引張応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	引張強度 f_{tk} (N/mm ²)	照査値 σ_s/f_{tk}
	引張応力度 σ_s (N/mm ²)		
底版①	0.50	1.91	0.27
底版②	0.50	1.91	0.27
側壁①	0.64	1.91	0.34
側壁②	0.64	1.91	0.34
隔壁	1.28	1.91	0.68
頂版①	0.67	1.91	0.36
頂版②	0.67	1.91	0.36

表 5-10 コンクリートのせん断応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	せん断強度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{ca}
	せん断応力度 τ_c (N/mm ²)		
底版①	1.2	4.8	0.25
底版②	1.2	4.8	0.25
側壁①	0.8	4.8	0.17
側壁②	0.8	4.8	0.17
隔壁	0.9	4.8	0.20
頂版①	0.7	4.8	0.14
頂版②	0.7	4.8	0.14

5.1.3 H形鋼

(1) せん断照査

⑤－⑤断面に設置しているH形鋼のせん断破壊に対する照査を行った。

H形鋼のせん断破壊に対する照査値を表5-11に示す。

この結果から、H形鋼に発生する応力度が許容限界以下であることを確認した。

表5-11 H形鋼のせん断破壊に対する照査における最大照査値（⑤－⑤断面）

発生断面力 せん断力 Q (kN)	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s/τ_{sa}
1128	84.8	157	0.55

5.1.4 MMR

②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，MMRのすべり安全率による評価を行った。

MMRのすべり安全率による評価結果を表5-12に，最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図を図5-3に示す。

この結果から，MMRのすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表5-12(1) MMRのすべり安全率評価結果(②－②断面)

最小すべり安全率
70.17

表5-12(2) MMRのすべり安全率評価結果(③－③断面)

最小すべり安全率
100.00

表5-12(3) MMRのすべり安全率評価結果(④－④断面)

最小すべり安全率
60.80

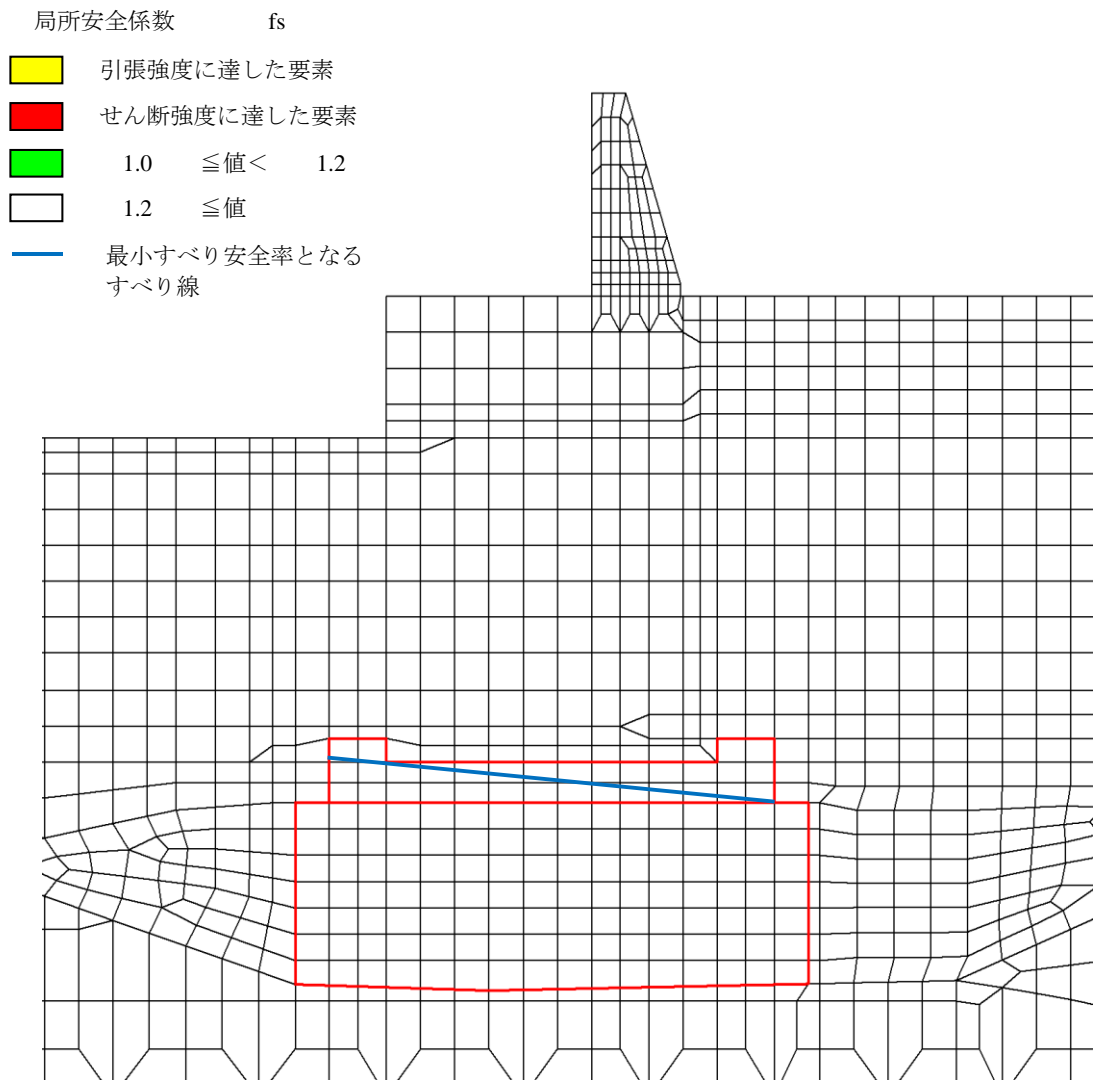


図 5-3(1) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(②-②断面)

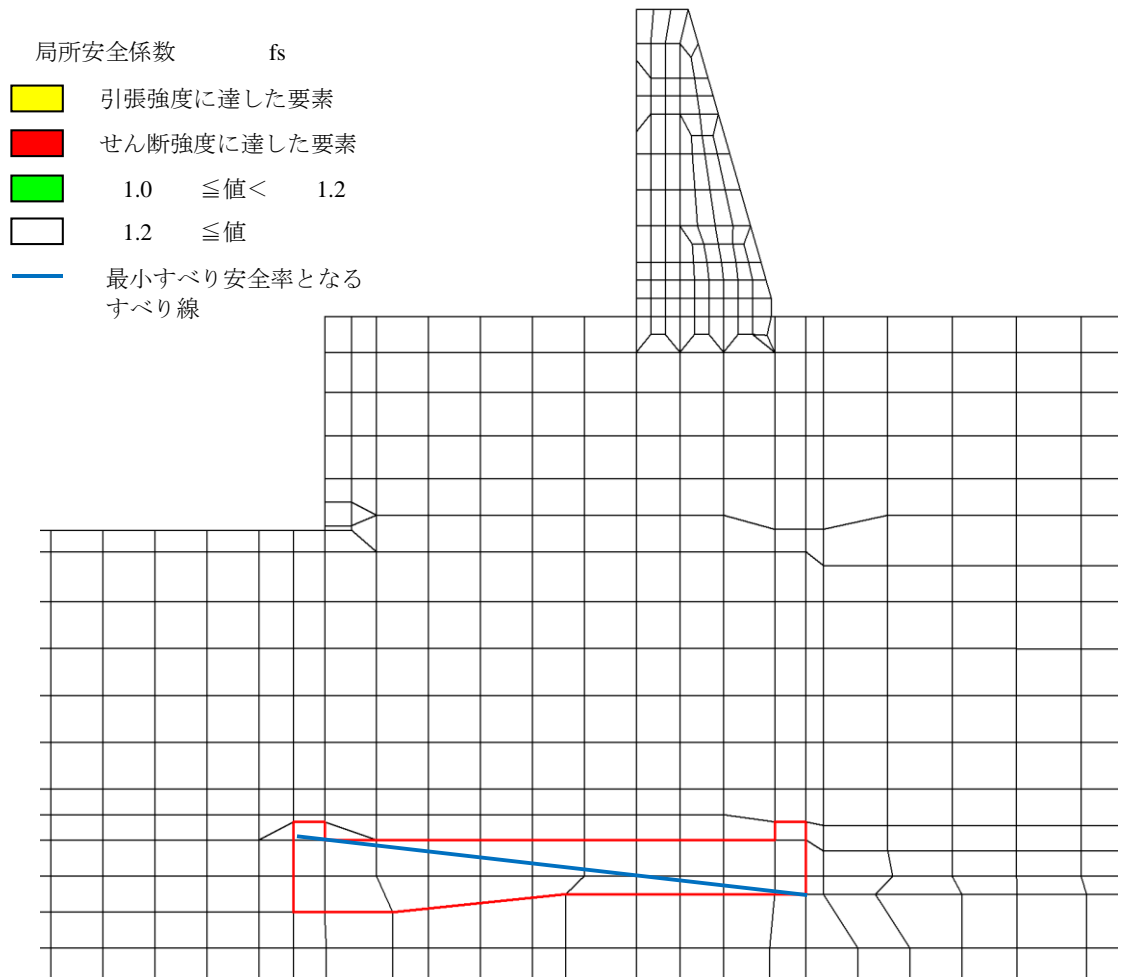


図 5-3(2) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(③-③断面)

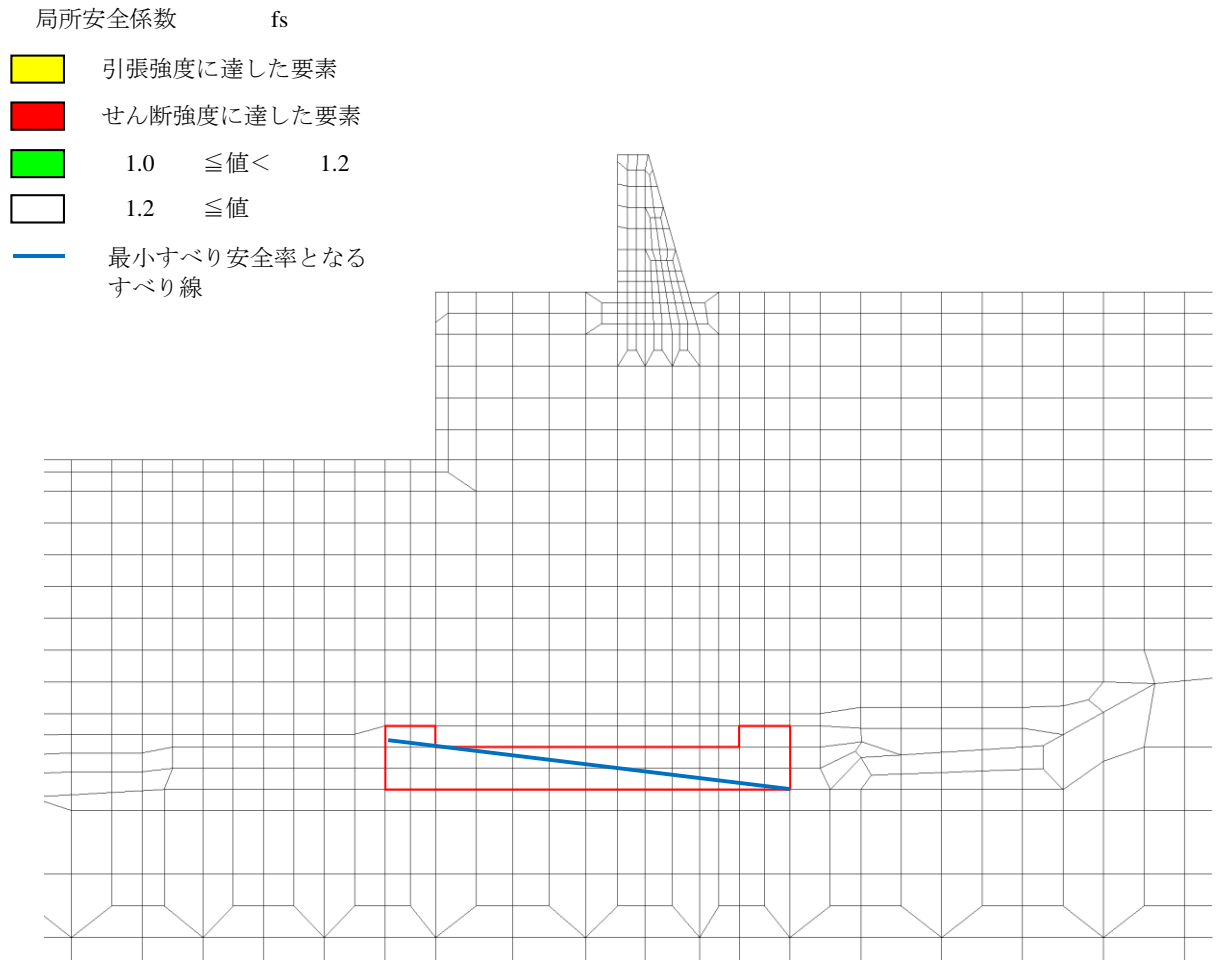


図 5-3(3) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(④-④断面)

5.1.5 改良地盤⑥

②-②断面において，改良地盤⑥のすべり安全率による評価を行った。

改良地盤⑥のすべり安全率による評価結果を表 5-13 に，最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図を図 5-4 に示す。

これらの結果から，改良地盤⑥のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-13 改良地盤⑥のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

最小すべり安全率
25.00

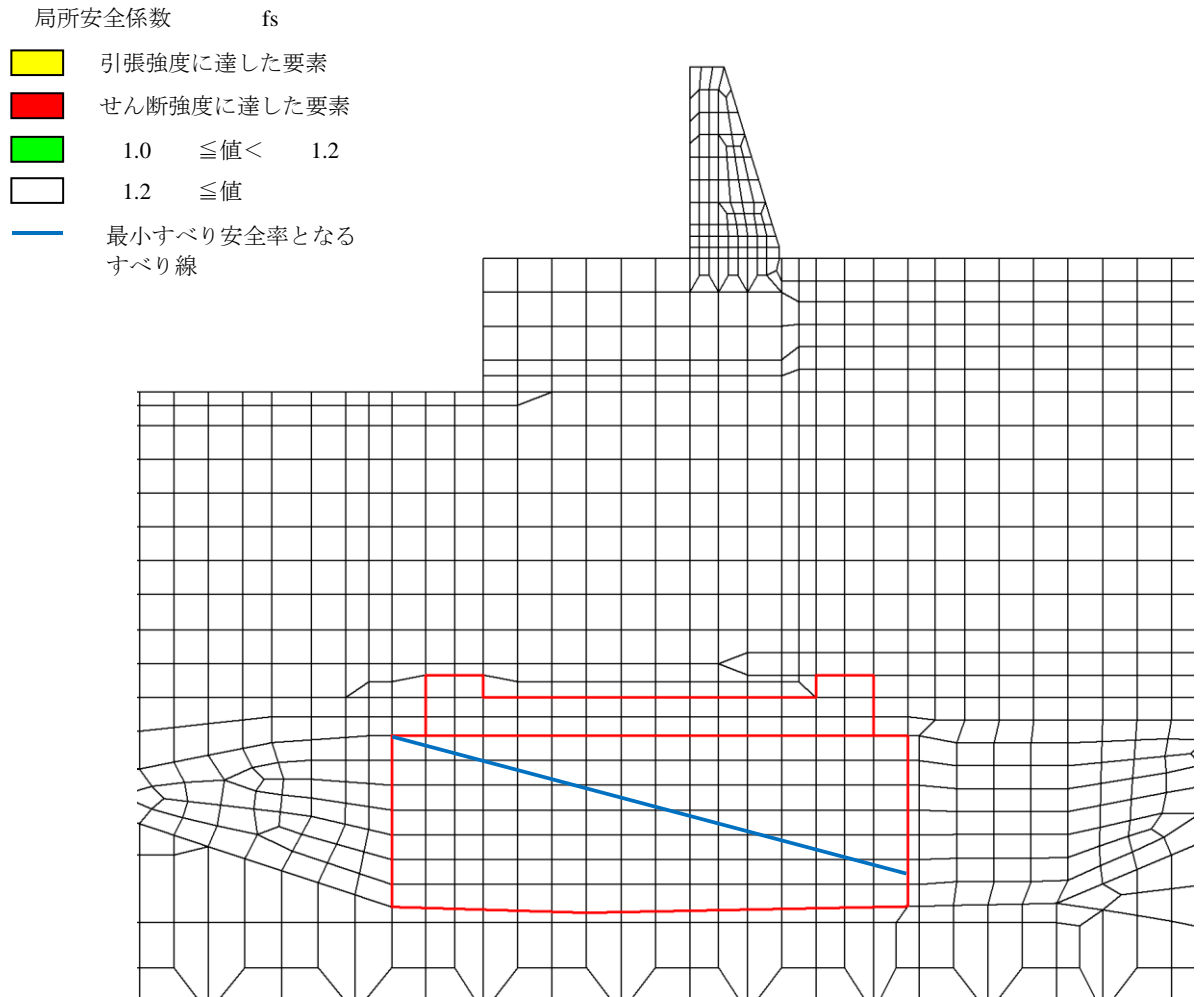


図 5-4 改良地盤⑥の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図 (②-②断面)

5.1.6 止水目地

③-③断面において、止水目地の相対変位量に対する照査を行った。

止水目地の相対変位量に対する照査結果を表5-14に示す。

止水目地の相対変位量に対する照査を行った結果、相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表5-14 止水目地設置個所の津波時相対変位量

方向	津波時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δ_x : ③-③断面 (横断方向)	106.55	—
δ_z : ③-③断面 (横断方向)	0.62	—
合成方向 (3方向合成)	106.55	1960

5.1.7 基礎地盤

②-②断面、③-③断面、④-④断面及び⑤-⑤断面において、基礎地盤の支持性能評価を行った。

基礎地盤の支持性能評価結果を表5-15～表5-18に、支持地盤の接地圧分布図を図5-5～図5-8に示す。

この結果から、防波壁（波返重力擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表5-15(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面，MMR）

最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P_u (N/mm ²)	照査値 P/P_u
0.9	24.0	0.04

表5-15(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面，改良地盤⑥）

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P/P_u
0.2	3.0	0.08

表 5-15(3) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.3	9.8	0.04

表 5-16(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.2	24.0	0.01

表 5-16(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.7	9.8	0.07

表 5-17(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.7	24.0	0.03

表 5-17(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.5	9.8	0.05

表 5-18 基礎地盤の支持性能評価結果 (⑤-⑤断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.5	9.8	0.16

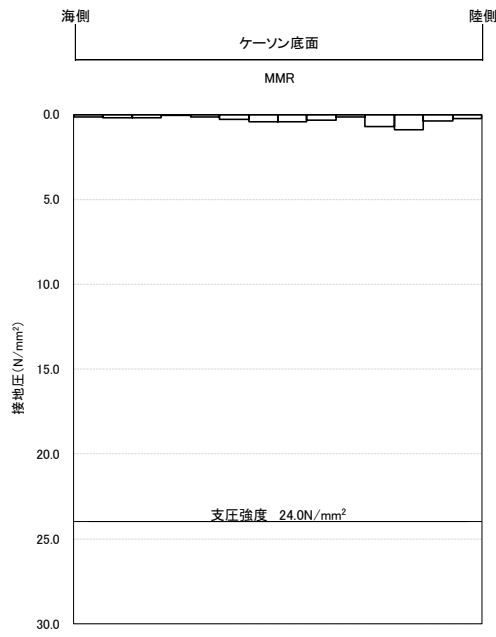


図 5-5(1) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, MMR)

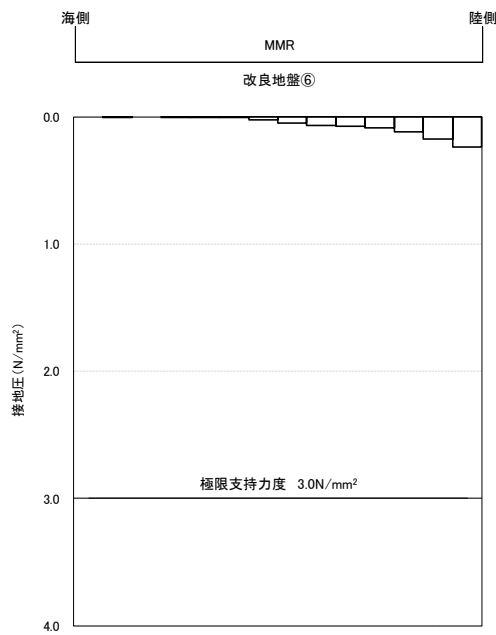


図 5-5(2) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 改良地盤⑥)

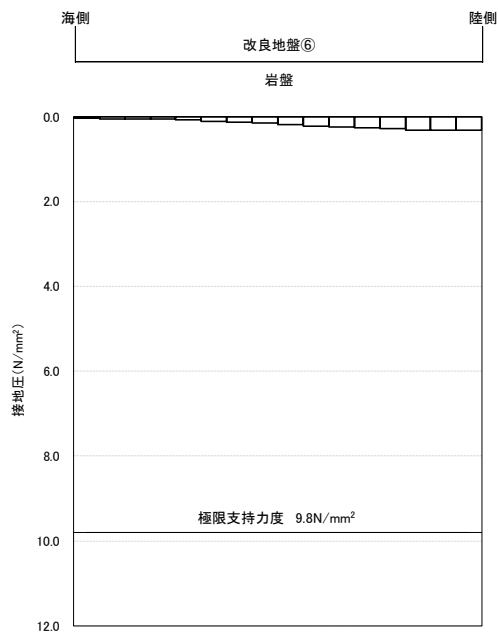


図 5-5(3) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 岩盤)

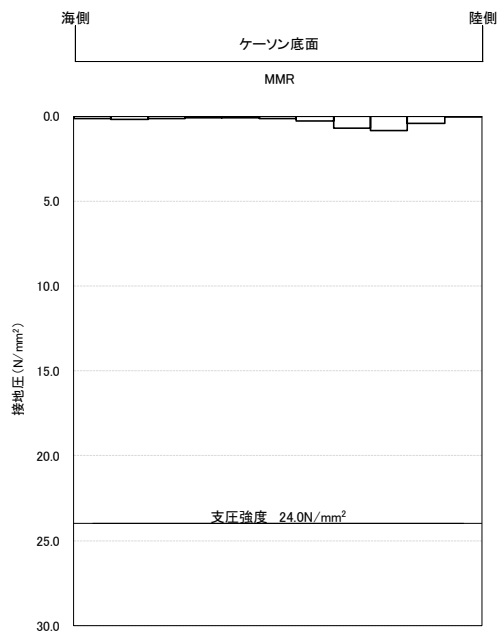


図 5-6(1) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, MMR)

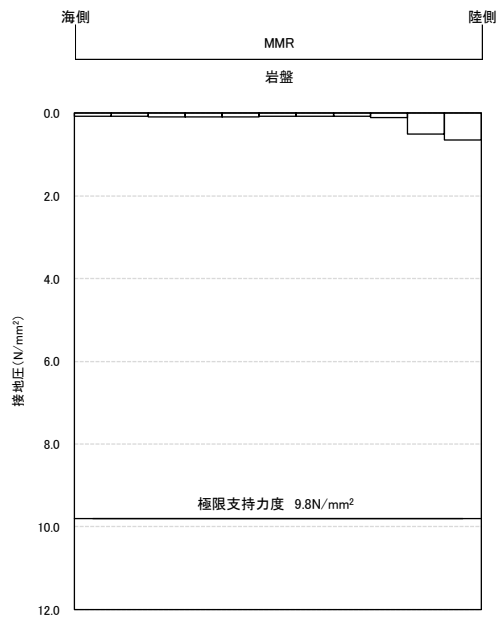


図 5-6(2) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, 岩盤)

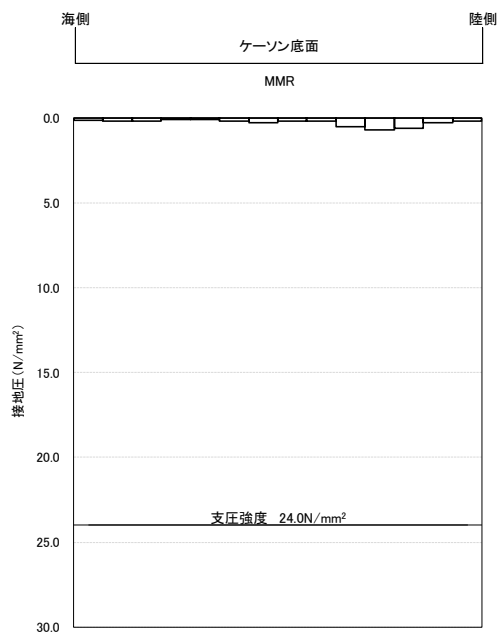


図 5-7(1) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, MMR)

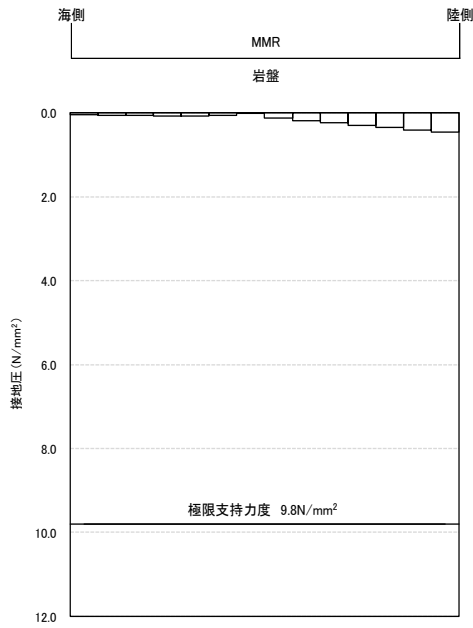


図 5-7(2) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)

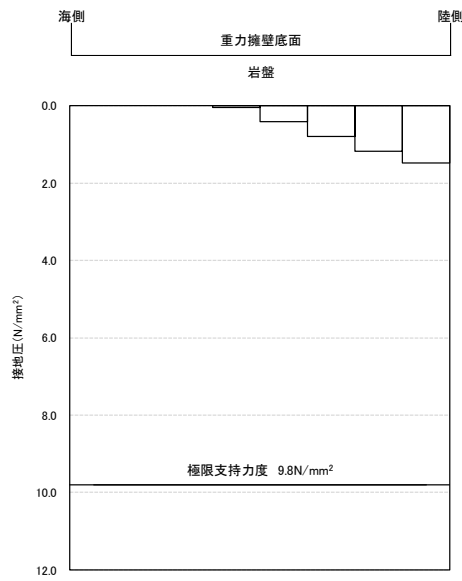


図 5-8 支持地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)

5.2 重畳時

5.2.1 重力擁壁

(1) 曲げ照査

②-②断面，③-③断面及び④-④断面において，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-19 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-20 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋における発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-19(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
2791	965	1.9	13.5	0.15

表 5-19(2) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(③-③断面)

発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
2848	1034	1.9	13.5	0.15

表 5-19(3) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
2495	1083	2.1	13.5	0.16

表 5-20(1) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
2791	965	61.8	294	0.21

表 5-20(2) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
2848	1034	57.3	294	0.20

表 5-20(3) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面)

発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
2495	1083	62.5	294	0.22

(2) せん断照査

②-②断面，③-③断面及び④-④断面において，重力擁壁のコンクリートのせん断破壊に対する照査を行った。

コンクリートのせん断破壊に対する照査結果を表 5-21 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリートにおける発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-21(1) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
610	0.16	0.64	0.25

表 5-21(2) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
506	0.13	0.64	0.21

表 5-21(3) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
461	0.13	0.64	0.20

5.2.2 ケーソン

(1) ②-②断面及び④-④断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、前壁、後壁、側壁、隔壁、底版及びフーチングとした。評価対象位置図を図5-9に示す。

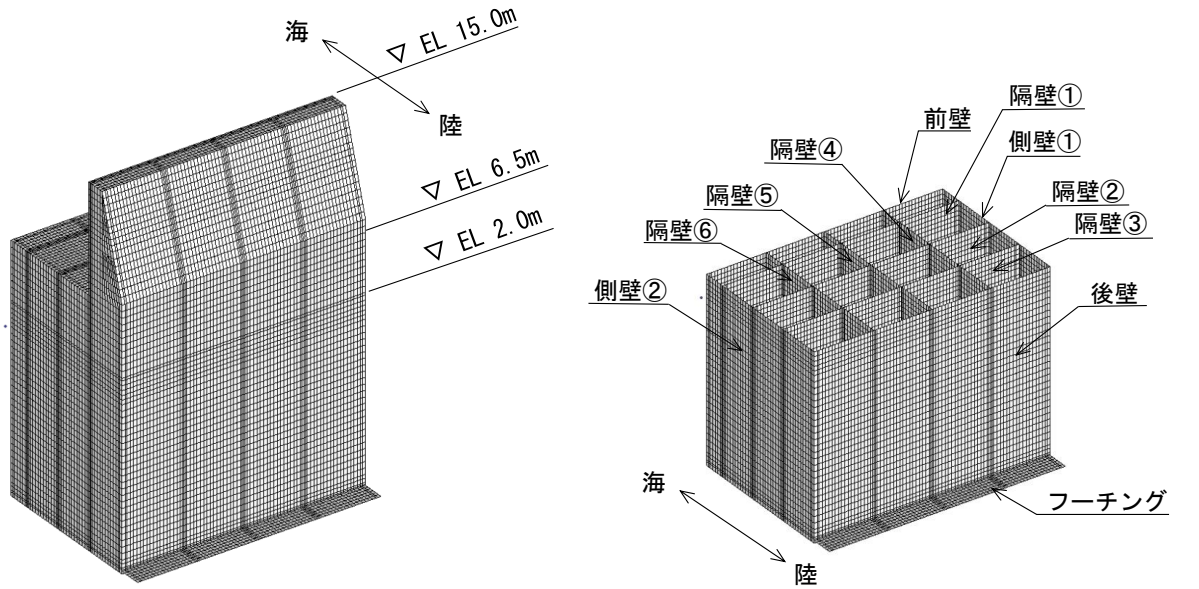


図5-9(1) 評価対象位置図(②-②断面)

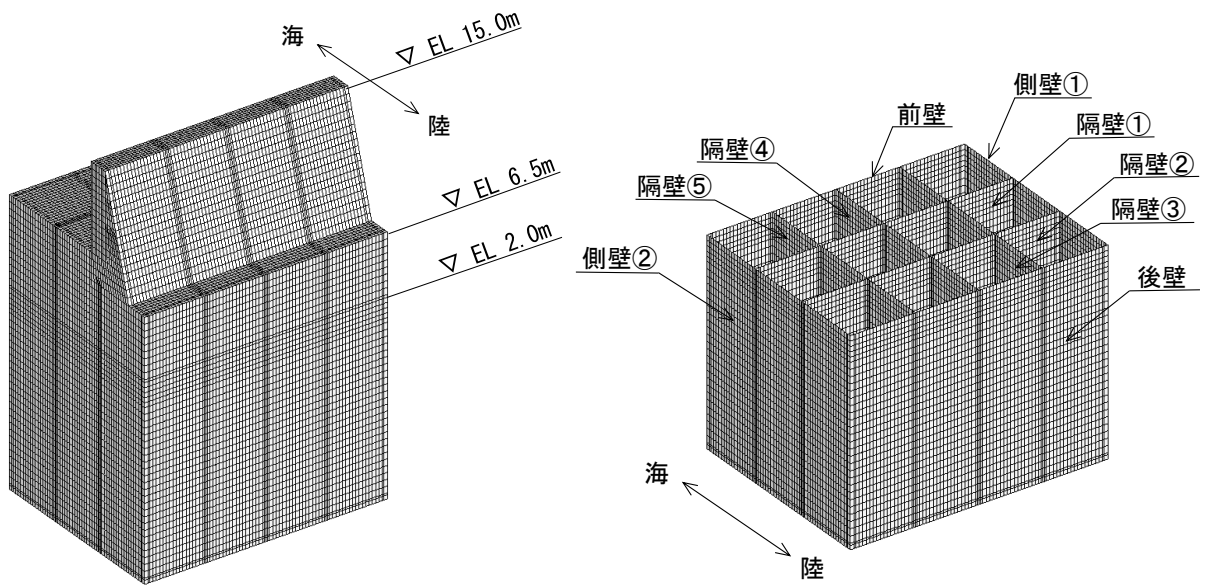


図5-9(2) 評価対象位置図(④-④断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

②－②断面及び④－④断面において、ケーソンのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-22 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-23 に、コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査結果を表 5-24 に、コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査結果を表 5-25 に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリート及び鉄筋における発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-22(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	45	-48	1.0	13.5	0.08
フーチング	-7	61	0.2	13.5	0.02
前壁	1	525	1.0	13.5	0.08
後壁	4	567	1.2	13.5	0.10
側壁①	15	439	1.2	13.5	0.09
側壁②	15	439	1.2	13.5	0.09
隔壁①	3	208	1.0	13.5	0.08
隔壁②	5	222	1.2	13.5	0.09
隔壁③	4	224	1.2	13.5	0.09
隔壁④	2	255	1.1	13.5	0.08
隔壁⑤	0	290	1.0	13.5	0.08
隔壁⑥	2	255	1.1	13.5	0.08

表 5-22(2) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	73	53	1.4	13.5	0.11
前壁	8	874	2.0	13.5	0.15
後壁	28	822	2.2	13.5	0.17
側壁①	29	787	2.2	13.5	0.17
側壁②	29	787	2.2	13.5	0.17
隔壁①	6	396	1.9	13.5	0.14
隔壁②	5	381	1.8	13.5	0.14
隔壁③	2	483	1.8	13.5	0.14
隔壁④	0	483	1.6	13.5	0.12
隔壁⑤	2	483	1.8	13.5	0.14

表 5-23(1) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	45	-48	72.4	294	0.25
フーチング	-3	-218	36.9	294	0.13
前壁	1	-78	25.5	294	0.09
後壁	5	-98	33.7	294	0.12
側壁①	-2	-63	31.4	294	0.11
側壁②	-2	-63	31.4	294	0.11
隔壁①	0	-38	30.6	294	0.11
隔壁②	0	-57	44.8	294	0.16
隔壁③	0	-63	50.3	294	0.18
隔壁④	0	-13	5.6	294	0.02
隔壁⑤	0	-12	5.1	294	0.02
隔壁⑥	0	-13	5.6	294	0.02

表 5-23(2) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

評価対象 部材	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント M _{max} (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	77	-47	72.0	294	0.25
前壁	0	-122	41.1	294	0.14
後壁	6	-147	49.0	294	0.17
側壁①	2	-50	18.1	294	0.07
側壁②	2	-50	18.1	294	0.07
隔壁①	0	-95	58.7	294	0.20
隔壁②	0	-95	58.8	294	0.20
隔壁③	0	-28	17.9	294	0.07
隔壁④	0	-33	20.3	294	0.07
隔壁⑤	0	-28	17.9	294	0.07

表 5-24(1) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（②-②断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	46	0.10	0.67	0.16
フーチング	44	0.05	0.67	0.09
前壁	24	0.07	0.67	0.11
後壁	40	0.10	0.67	0.15
側壁①	25	0.06	0.67	0.09
側壁②	25	0.06	0.67	0.09
隔壁①	2	0.02	0.67	0.03
隔壁②	5	0.05	0.67	0.07
隔壁③	5	0.04	0.67	0.07
隔壁④	2	0.02	0.67	0.04
隔壁⑤	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑥	2	0.02	0.67	0.04

表 5-24(2) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（④-④断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	77	0.17	0.67	0.26
前壁	36	0.09	0.67	0.14
後壁	37	0.09	0.67	0.14
側壁①	26	0.07	0.67	0.10
側壁②	26	0.07	0.67	0.10
隔壁①	8	0.07	0.67	0.11
隔壁②	7	0.06	0.67	0.10
隔壁③	3	0.03	0.67	0.05
隔壁④	0	0.00	0.67	0.01
隔壁⑤	3	0.03	0.67	0.05

表 5-25(1) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
（②-②断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 （面内） τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 （面内） τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	122	0.20	1.51	0.14
フーチング	128	0.13	1.51	0.09
前壁	53	0.11	1.84	0.06
後壁	147	0.29	1.93	0.16
側壁①	199	0.40	1.80	0.23
側壁②	199	0.40	1.80	0.23
隔壁①	40	0.16	1.85	0.09
隔壁②	63	0.25	1.89	0.14
隔壁③	69	0.27	1.89	0.15
隔壁④	105	0.42	1.82	0.23
隔壁⑤	102	0.41	1.82	0.23
隔壁⑥	105	0.42	1.82	0.23

表 5-25(2) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
（④-④断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 （面内） τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 （面内） τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	162	0.27	1.51	0.18
前壁	135	0.27	2.09	0.13
後壁	152	0.30	2.15	0.15
側壁①	251	0.50	2.00	0.26
側壁②	251	0.50	2.00	0.26
隔壁①	106	0.42	2.11	0.21
隔壁②	110	0.44	2.06	0.22
隔壁③	148	0.59	2.02	0.30
隔壁④	149	0.60	2.01	0.30
隔壁⑤	148	0.59	2.02	0.30

(2) ③-③断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、頂版、底版、側壁及び隔壁とした。評価対象位置図を図5-10に示す。

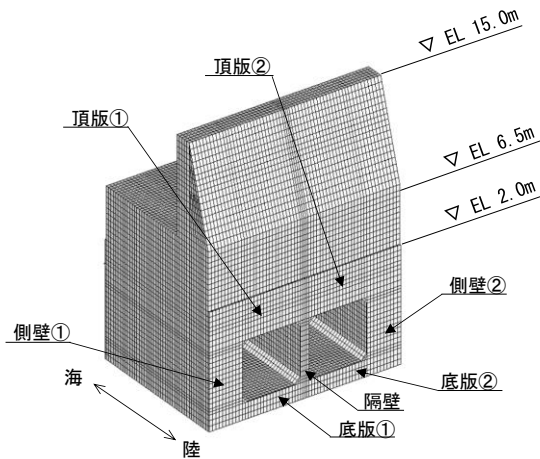


図5-10 評価対象位置図(③-③断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

③-③断面において、ケーソンのコンクリートの圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度に対する照査を行った。

コンクリートの圧縮応力度に対する照査結果を表5-26に、コンクリートの引張応力度に対する照査結果を表5-27に、コンクリートのせん断応力度に対する照査結果を表5-28に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリートにおける発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-26 ケーソンの圧縮応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	圧縮強度 f'_{ak} (N/mm ²)	照査値 σ_c/f'_{ak}
	圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
底版①	2.0	24.0	0.09
底版②	2.0	24.0	0.09
側壁①	3.4	24.0	0.15
側壁②	3.4	24.0	0.15
隔壁	4.6	24.0	0.20
頂版①	1.4	24.0	0.06
頂版②	1.4	24.0	0.06

表 5-27 コンクリートの引張応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	引張強度 f_{tk} (N/mm ²)	照査値 σ_s/f_{tk}
	引張応力度 σ_s (N/mm ²)		
底版①	0.47	1.91	0.25
底版②	0.47	1.91	0.25
側壁①	0.57	1.91	0.30
側壁②	0.57	1.91	0.30
隔壁	1.16	1.91	0.61
頂版①	0.67	1.91	0.35
頂版②	0.67	1.91	0.35

表 5-28 コンクリートのせん断応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	せん断強度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{ca}
	せん断応力度 τ_c (N/mm ²)		
底版①	0.9	4.8	0.19
底版②	0.9	4.8	0.19
側壁①	0.5	4.8	0.12
側壁②	0.5	4.8	0.12
隔壁	0.7	4.8	0.16
頂版①	0.6	4.8	0.13
頂版②	0.6	4.8	0.13

5.2.3 MMR

②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，MMRのすべり安全率による評価を行った。

MMRのすべり安全率による評価結果を表5-29に，最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図5-11に示す。

これらの結果から，MMRのすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表5-29(1) MMRのすべり安全率評価結果(②－②断面)

最小すべり安全率
15.86

表5-29(2) MMRのすべり安全率評価結果(③－③断面)

最小すべり安全率
29.49

表5-29(3) MMRのすべり安全率評価結果(④－④断面)

最小すべり安全率
13.73

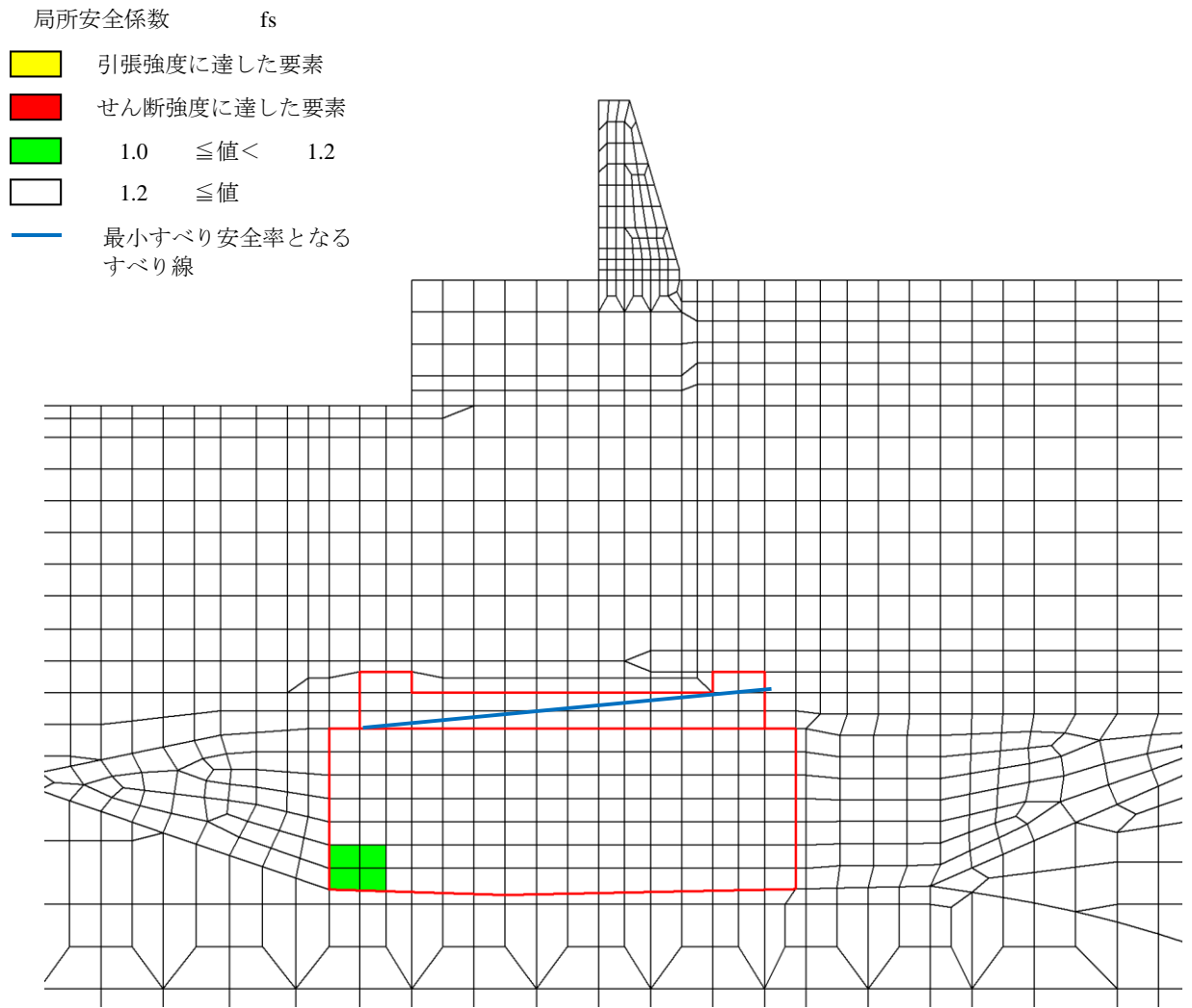


図 5-11(1) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(②-②断面)

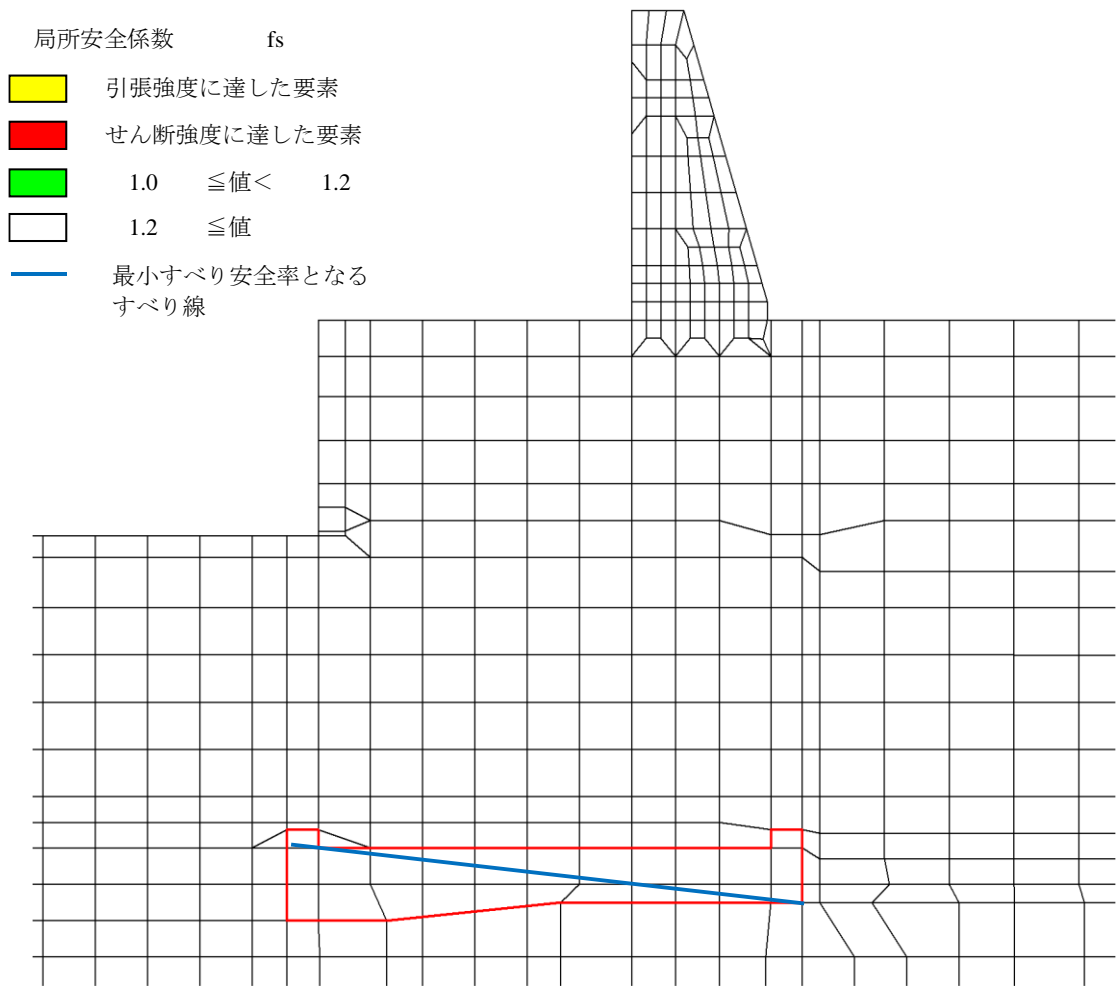


図 5-11 (2) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(③-③断面)

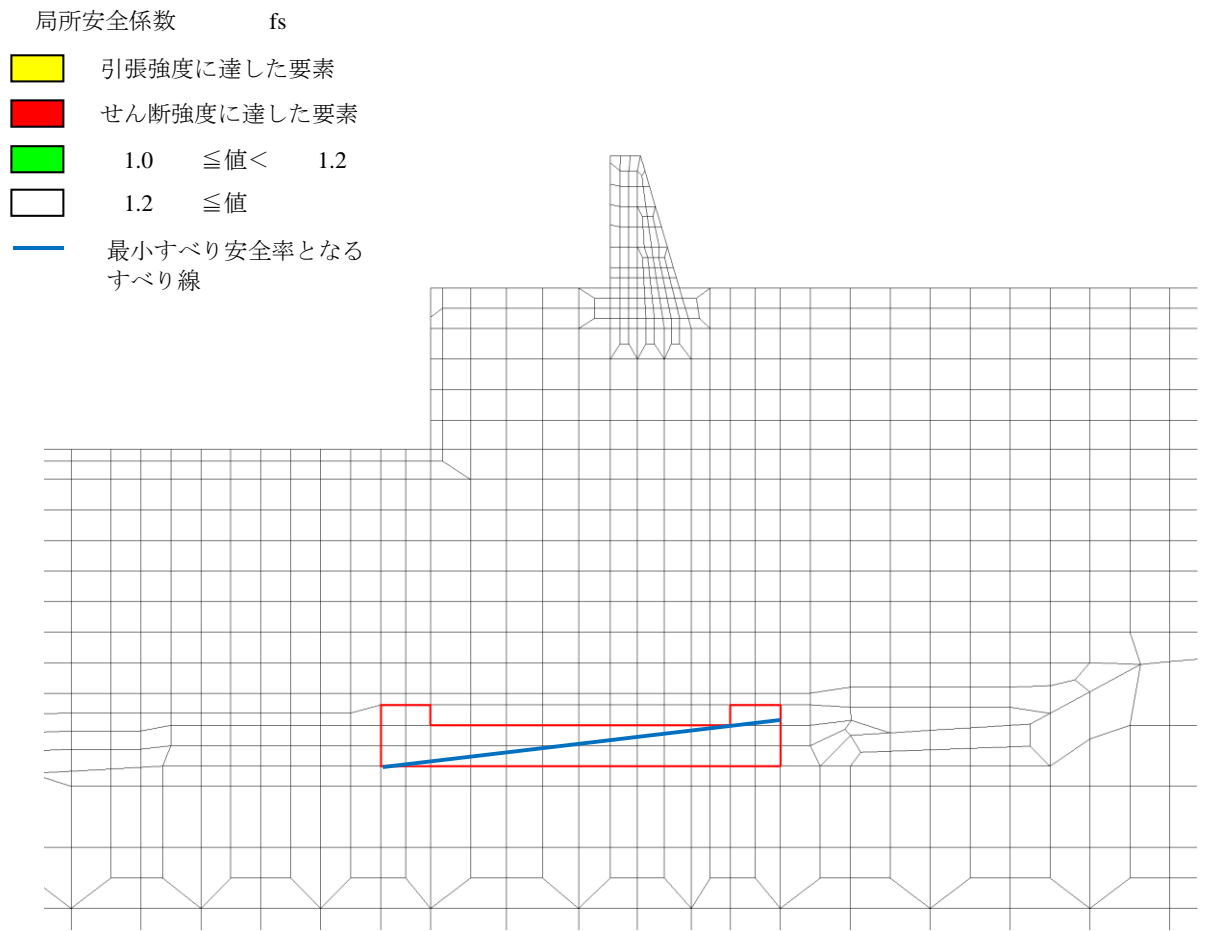


図 5-11 (3) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(④-④断面)

5.2.4 改良地盤⑥

②-②断面において，改良地盤⑥のすべり安全率による評価を行った。

改良地盤⑥のすべり安全率による評価結果を表 5-30 に，最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図 5-12 に示す。これらの結果から，改良地盤⑥のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-30 改良地盤⑥のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

最小すべり安全率
3.40

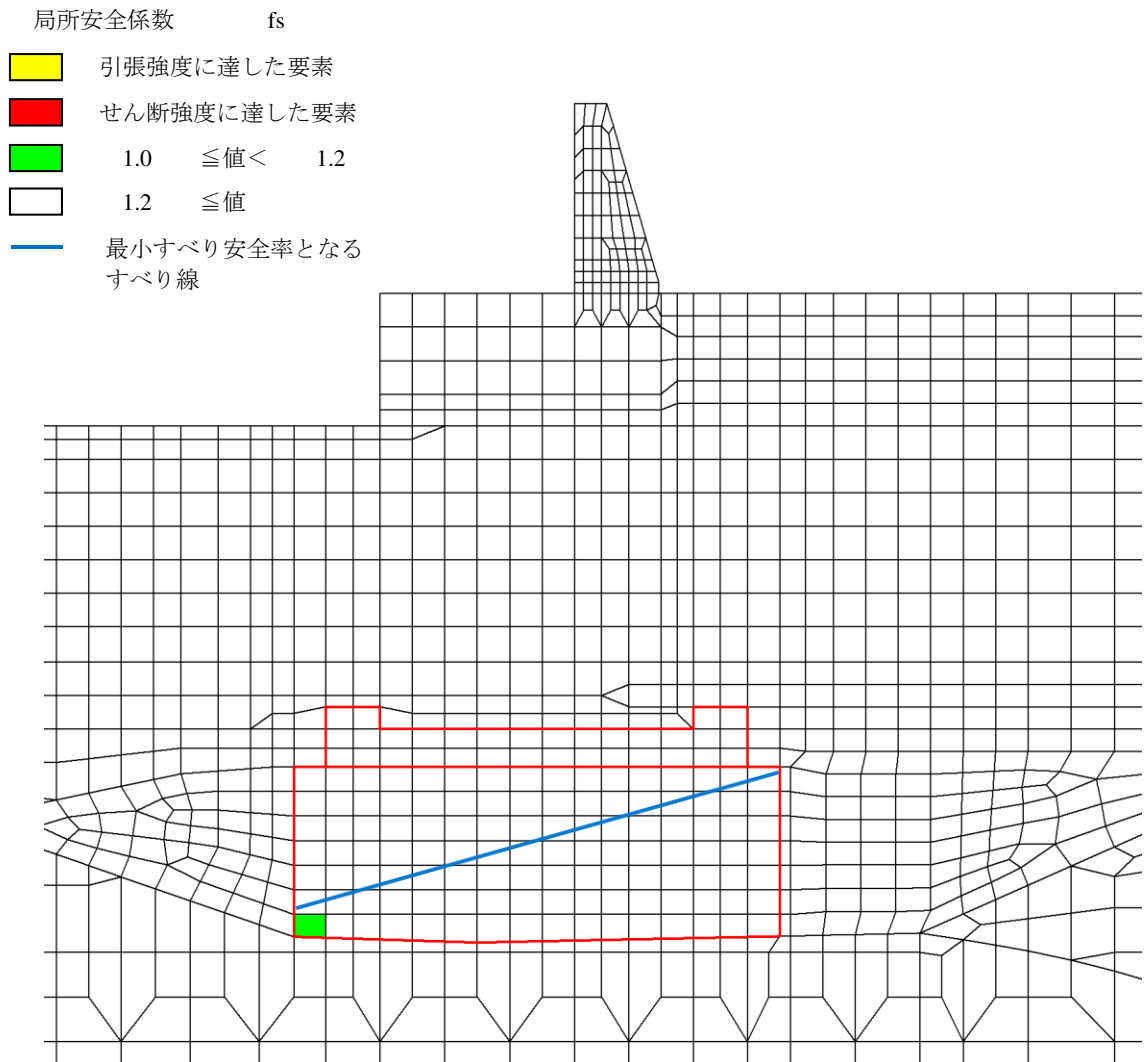


図 5-12 改良地盤⑥の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図 (②-②断面)

5.2.5 止水目地

④－④断面において，止水目地の相対変位量に対する照査を行った。

止水目地の相対変位量に対する照査結果を表 5-31 に示す。

止水目地の相対変位量に対する照査を行った結果，相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-31 止水目地設置個所の重畳時変位量

方向	津波時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ④－④断面 (横断方向)	64.94	—
δz : ⑦－⑦断面* (縦断方向)	81.97	—
δz : ⑦－⑦断面 (鉛直方向)	0.49	—
合成方向 (3方向合成)	104.58	1960

注記*：縦断方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

5.2.6 基礎地盤

②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，基礎地盤の支持性能評価を行った。

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-32～表 5-34 に，支持地盤の接地圧分布図を図 5-13～図 5-15 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-32(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.2	24.0	0.06

表 5-32(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, 改良地盤⑥)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.5	3.0	0.49

表 5-32(3) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.9	9.8	0.09

表 5-33(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.5	24.0	0.03

表 5-33(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.1	9.8	0.11

表 5-34(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.5	24.0	0.07

表 5-34(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.3	9.8	0.14

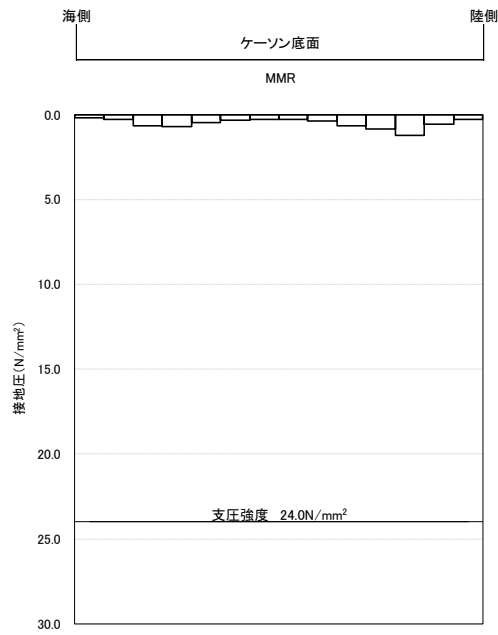


図 5-13(1) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, MMR)

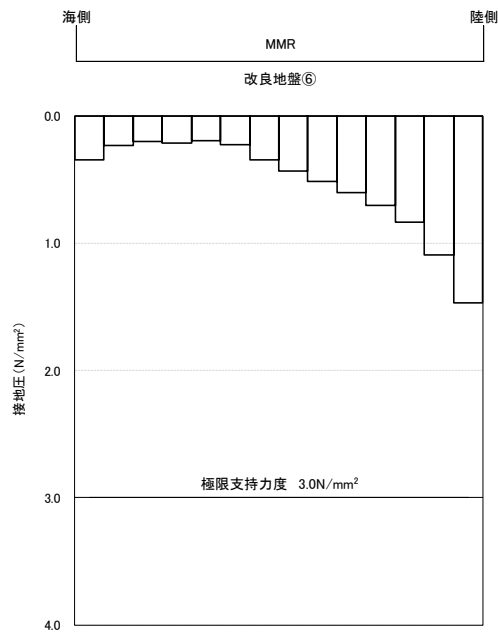


図 5-13(2) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 改良地盤⑥)

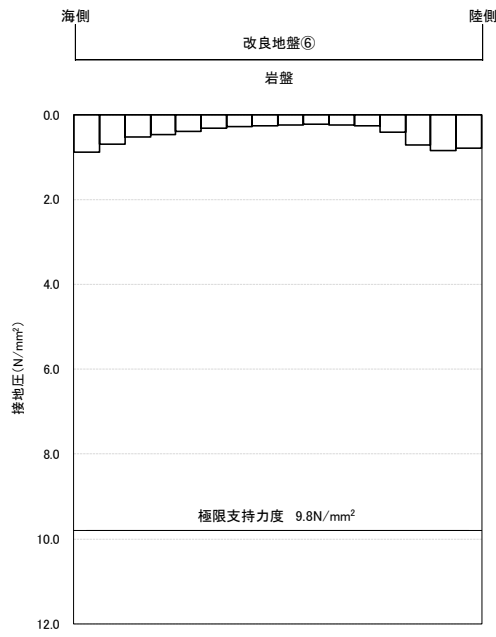


図 5-13(3) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 岩盤)

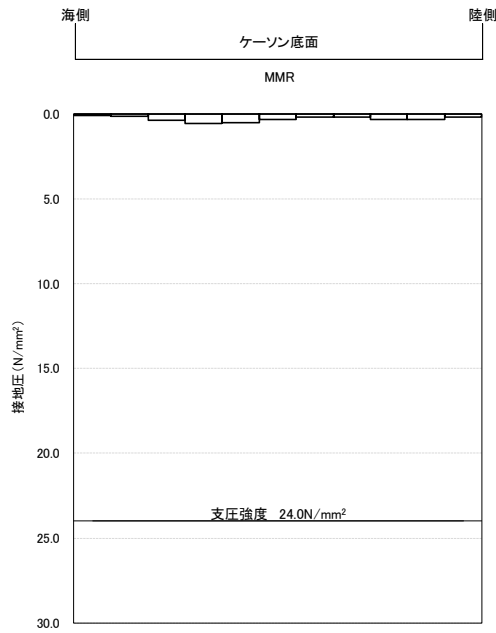


図 5-14(1) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, MMR)

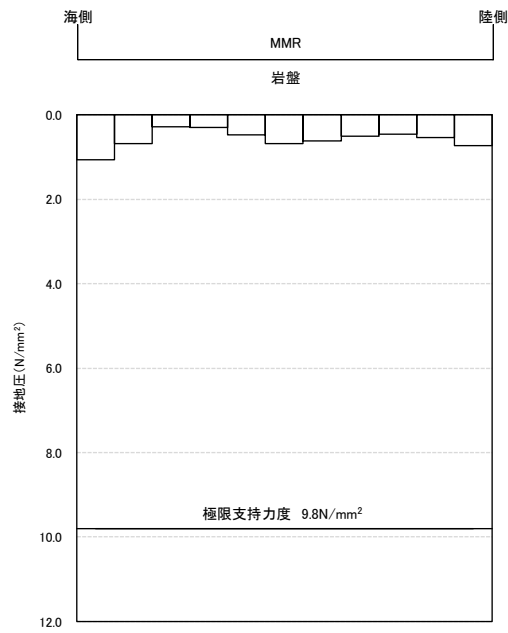


図 5-14(2) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, 岩盤)

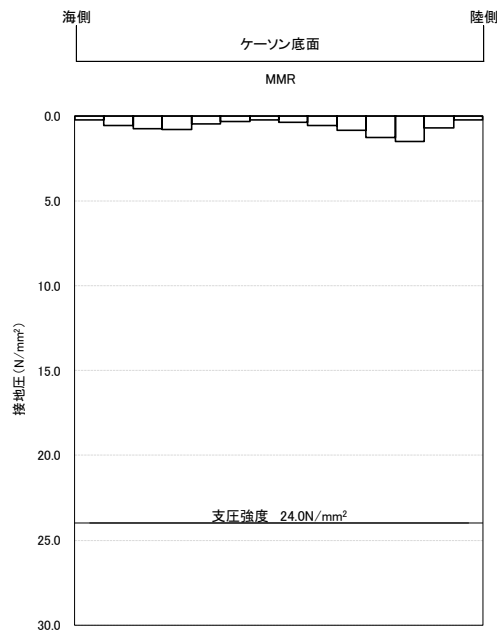


図 5-15(1) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, MMR)

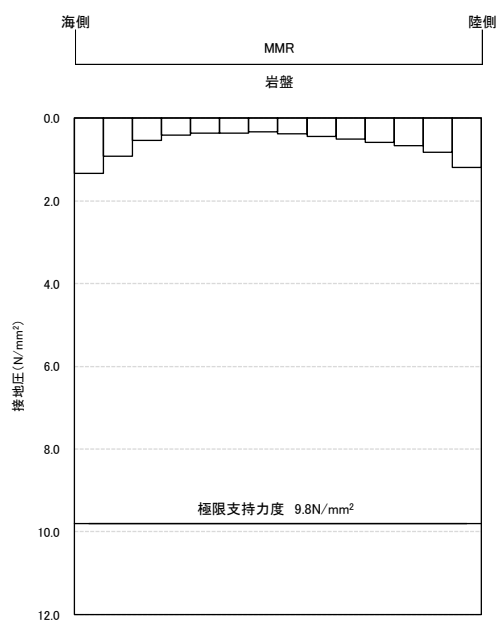


図 5-15(2) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)

VI-3-別添 3-2-8 隔離弁，機器・配管の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. タービン補機海水ポンプ	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 配置概要	2
2.2.2 構造計画	3
2.2.3 評価方針	5
2.2.4 適用規格・基準等	6
2.2.5 記号の説明	7
2.2.6 計算精度と数値の丸め方	9
2.3 評価部位	10
2.4 固有周期	10
2.4.1 固有値解析方法	10
2.4.2 解析モデル及び諸元	10
2.4.3 固有値解析結果	10
2.5 構造強度評価	12
2.5.1 構造強度評価方法	12
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
2.5.3 設計用地震力	16
2.5.4 計算方法	17
2.5.5 計算条件	20
2.5.6 応力の評価	20
2.6 評価結果	21
2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21

3.	循環水ポンプ	34
3.1	概要	34
3.2	一般事項	34
3.2.1	配置概要	34
3.2.2	構造計画	35
3.2.3	評価方針	37
3.2.4	適用規格・基準等	38
3.2.5	記号の説明	39
3.2.6	計算精度と数値の丸め方	41
3.3	評価部位	42
3.4	固有周期	42
3.4.1	固有値解析方法	42
3.4.2	解析モデル及び諸元	42
3.4.3	固有値解析結果	42
3.5	構造強度評価	47
3.5.1	構造強度評価方法	47
3.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	47
3.5.3	設計用地震力	51
3.5.4	計算方法	53
3.5.5	計算条件	56
3.5.6	応力の評価	56
3.6	評価結果	57
3.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	57
4.	配管及び隔離弁	84
4.1	概要	84
4.2	配置概要, 概略系統図及び鳥瞰図	85
4.2.1	配置概要	85
4.2.2	概略系統図	86
4.2.3	鳥瞰図	91
4.3	計算条件	93
4.3.1	計算方法	93
4.3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	94
4.3.3	設計条件	95
4.3.4	材料及び許容応力	101
4.3.5	設計用地震力	102
4.4	解析結果及び評価	103
4.4.1	固有周期及び設計震度	103
4.4.2	評価結果	109

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に基づき、浸水防止設備のうち隔離弁，機器・配管が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，十分な構造健全性を有していることを説明するものである。

隔離弁，機器・配管の構成を表 1-1 に示す。また，概要図を図 1-1 に示す。

表 1-1 隔離弁，機器・配管の構成

機器名称		据付場所
隔離弁	タービン補機海水ポンプ出口弁	取水槽
	タービン補機海水ポンプ第二出口弁	取水槽
	タービン補機海水系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
	液体廃棄物処理系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
機器	循環水ポンプ	取水槽
	タービン補機海水ポンプ	取水槽
配管	原子炉補機海水系配管	原子炉補機冷却系熱交換器～放水槽
	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器～ 原子炉補機海水系配管合流部
	循環水系配管	循環水ポンプ～取水槽
	タービン補機海水系配管	タービン補機海水ポンプ～タービン補機 海水ポンプ第二出口弁 タービン補機海水系逆止弁～放水槽
	液体廃棄物処理系配管	液体廃棄物処理系逆止弁～放水槽

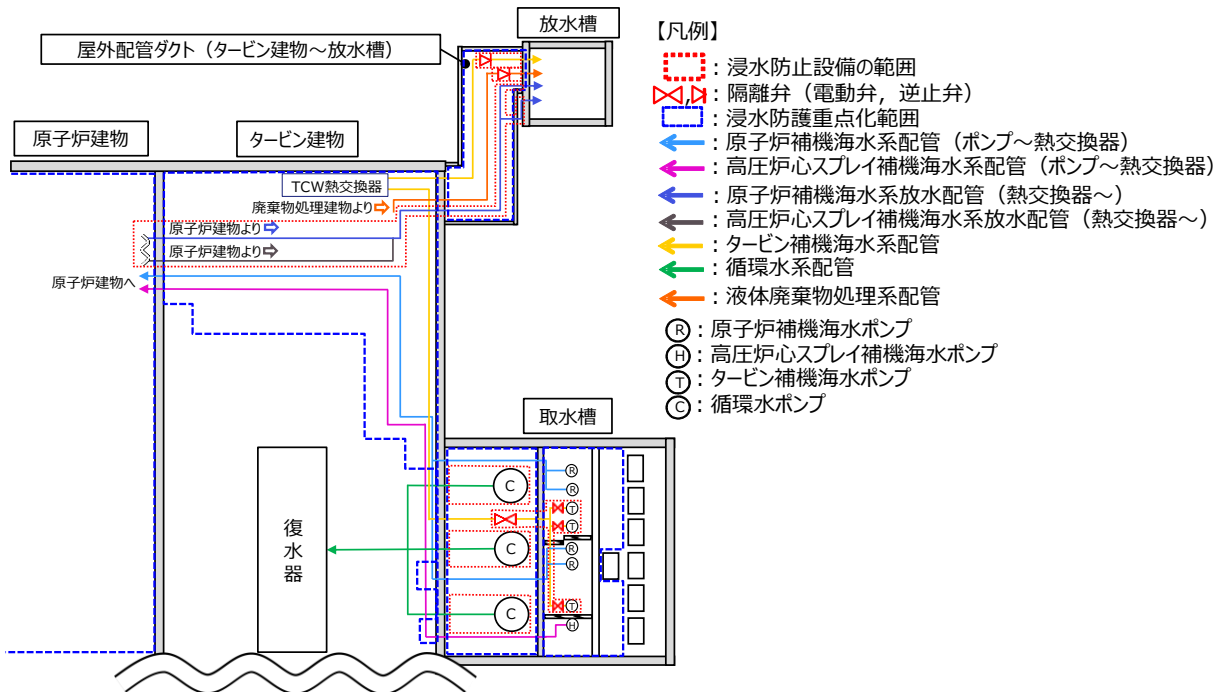


図 1-1 隔離弁，機器・配管の概要図

2. タービン補機海水ポンプ

2.1 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している強度評価に示すとおり、タービン補機海水ポンプが津波の流入に伴う津波荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 配置概要

タービン補機海水ポンプの配置図を図2.2-1に示す。

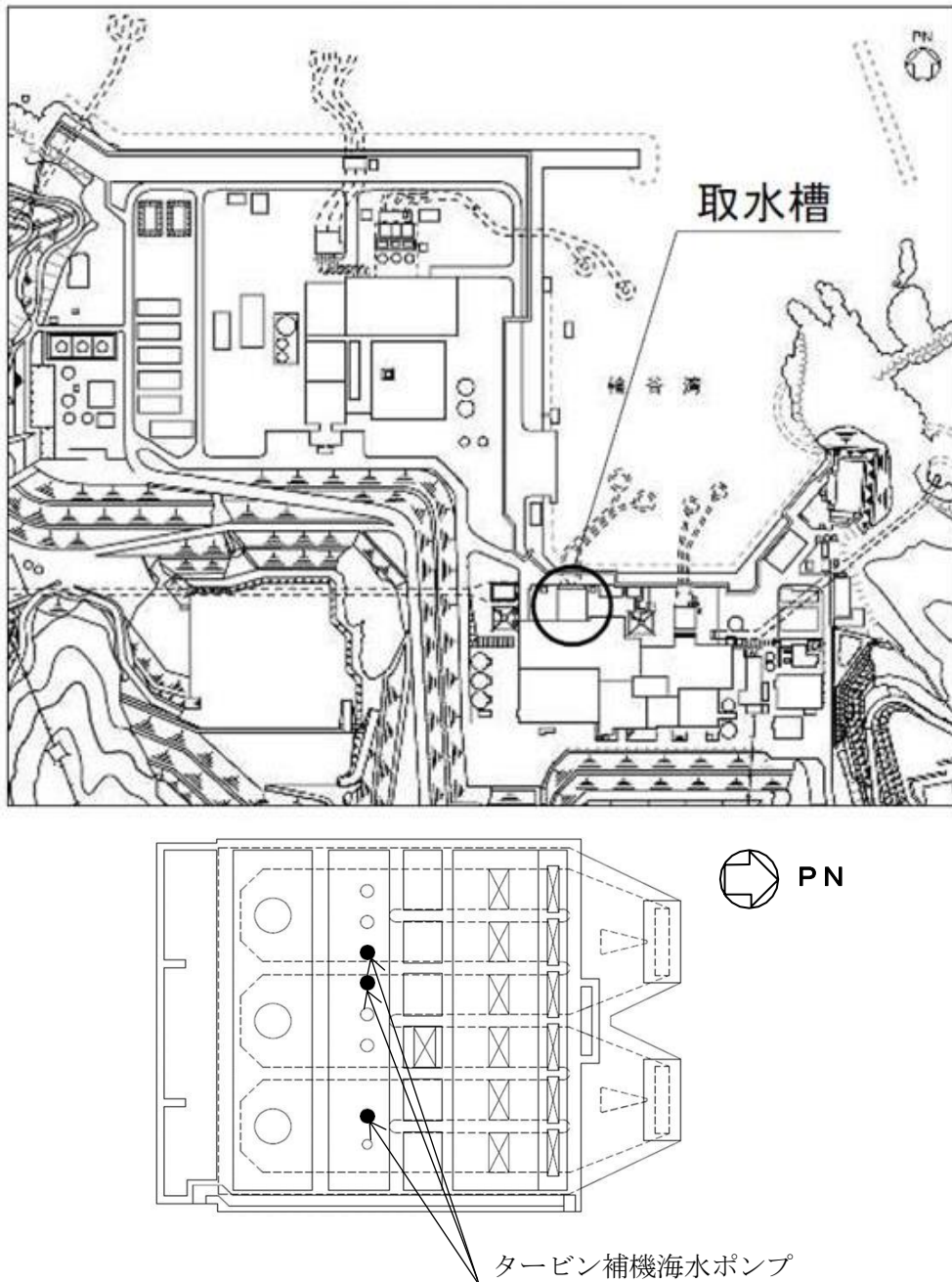


図 2.2-1 タービン補機海水ポンプ配置図

2.2.2 構造計画

タービン補機海水ポンプは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」で設定している荷重を踏まえ鋼製とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける構造としている。

タービン補機海水ポンプの構造計画を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ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。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>The diagram shows a vertical pump assembly. At the top is the '原動機' (motor). Below it is the 'ポンプ' (pump). The pump is connected to a 'ポンプベース' (pump base) which is secured to a '基礎' (foundation) by '基礎ボルト' (foundation bolts). The pump base is also secured to the motor by '原動機取付ボルト' (motor mounting bolts). The pump base is further secured to the pump by 'ポンプ取付ボルト' (pump mounting bolts). A '軸受' (bearing) and 'ロータ' (rotor) are shown in the middle section. A 'コラムパイプ' (column pipe) extends downwards from the pump base. At the bottom, there is a 'バルマウス' (ball mouse) component. The entire assembly is supported by a '基礎' (foundation). Dimensions are indicated by arrows and the unit is '(単位: mm)'.</p>

2.2.3 評価方針

タービン補機海水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、応力評価を実施する。応力評価では、タービン補機海水ポンプの評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「2.5 構造強度評価」にて示す方法により、「2.5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて確認する。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

タービン補機海水ポンプの強度評価フローを図 2.2-2 に示す。

タービン補機海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。

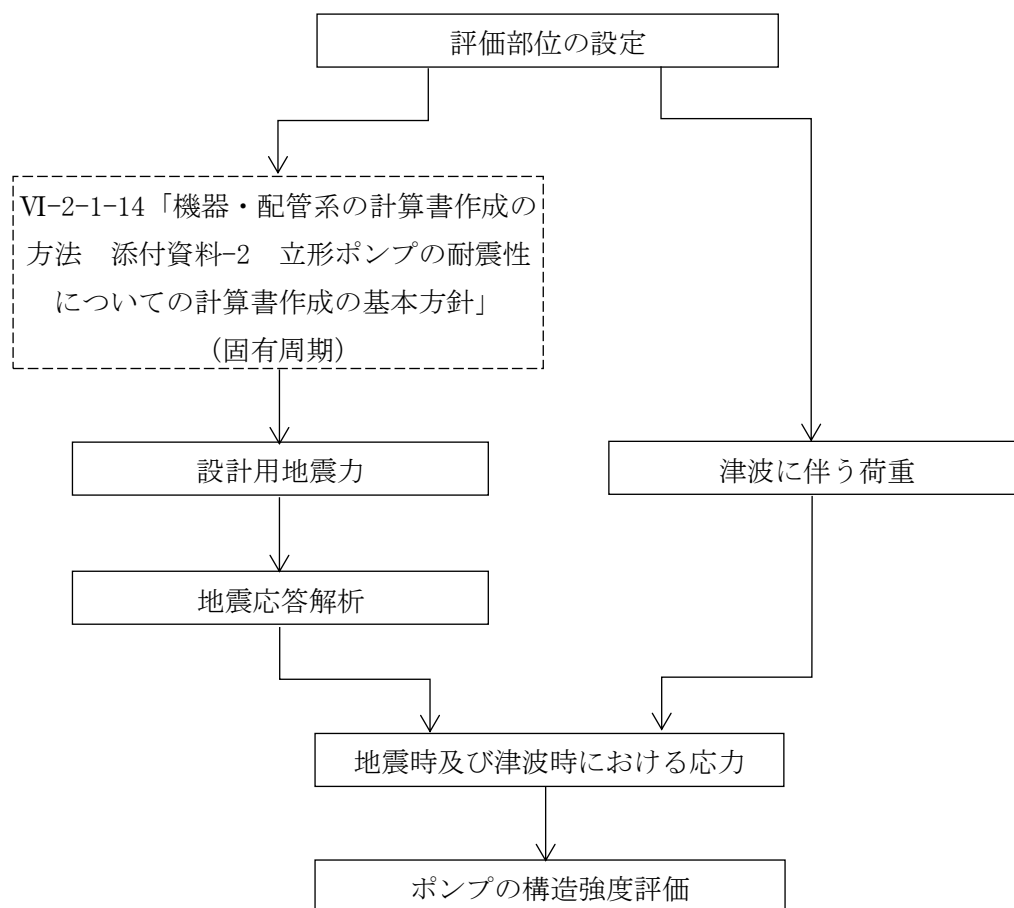


図 2.2-2 タービン補機海水ポンプの強度評価フロー

2.2.4 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 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 -1987 ((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。)

2.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b a s	津波荷重を受ける面積	m ²
A b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C D	抗力係数	—
C H	水平方向設計震度	—
C p	ポンプ振動による震度	—
C v	鉛直方向設計震度	—
D	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D c m o	コラムパイプ外径	mm
D d	ディスチャージケーシングの内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値	MPa
F a	ポンプ据付部の反力	N
F b	地震による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F b t	津波による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F D	水平津波荷重による単位長さ当たりの流体抗力	N/mm
F u	津波による静水圧荷重	N
f s b	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f t o	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f t s	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H p	予想最大両振幅	μm
h	津波最大到達レベル	m
L	ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	mm
M a	ポンプ据付部の曲げモーメント	N・mm
M c p	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向のポンプ振動による転倒モーメント	N・mm
M d	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M d C p	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
M f b	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平津波荷重による転倒モーメント	N・mm
M p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{pm}	ディスチャージケーシングに作用する水平津波荷重によるモーメント	N・mm
M_0	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向地震による転倒モーメント	N・mm
m	据付面の運転時質量	kg
m_d	ポンプ床下部質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
P_d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q_b	水平方向地震及び水平方向のポンプ振動により基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_{bt}	水平津波荷重による基礎ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_{da}	ディスチャージケーシングの許容応力	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
t_d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
V	津波流速	m/s
Z_d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
z	評価対象部位のレベル	m
π	円周率	—
ρ	海水の密度	kg/m ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{dCH1}	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ_{dCH2}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dCV1}	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa
σ_{dCV2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{pm}	水平津波荷重によりディスチャージケーシングに生じる曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.6 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 2.2-2 に示すとおりである。

表 2.2-2 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
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2, *3}
力	N	有効数字 5 桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2, *3}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	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：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字 4 桁未満となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：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引張強さ及び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。

2.3 評価部位

タービン補機海水ポンプは、浸水防止設備であるため、耐震評価上及び津波に伴う荷重評価上で厳しくなる基礎ボルト及びディスチャージケーシングについて構造強度の評価を行う。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

タービン補機海水ポンプの固有値解析方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」による。

2.4.2 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

2.4.3 固有値解析結果

取水槽が満水状態の固有値解析の結果を表 2.4-1、振動モード図を図 2.4-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 2.4-1 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.252	2.048	2.048	—

注記*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

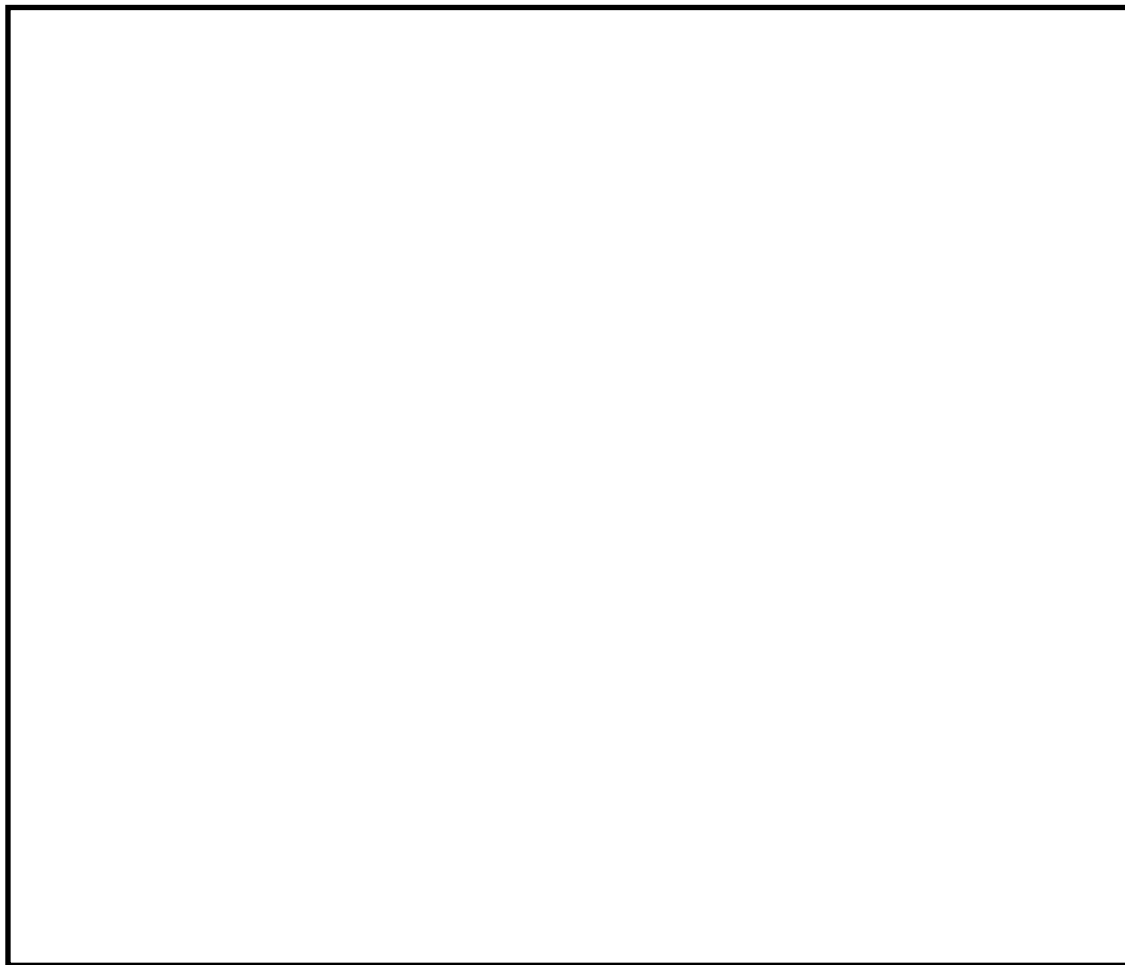


図 2.4-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.252s)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力に対する構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき行う。
- (2) 津波荷重は、ポンプ据付部より下のディスチャージケーシング，コラムパイプ等に作用するものとする。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ

タービン補機海水ポンプの強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。タービン補機海水ポンプの荷重の組合せを表 2.5-1 に示す。

2.5.2.2 許容応力

タービン補機海水ポンプの許容応力は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容応力に基づき表 2.5-2 及び表 2.5-3 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2.5-4 に示す。

表 2.5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	タービン補機海水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_t + P_h + S_d$	Ⅲ△S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 2.5-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容限界			
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
III A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_t$ の大きい方	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次応力
			一次 + 二次 + ピーク応力
			* 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要

注記*: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 2.5-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	引張	せん断
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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。

表 2.5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境温度	最高使用温度				
タービン補機 海水ポンプ	基礎ボルト		□		—	198	504	205
				30	—	245	400	—

□

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2.5-5 に示す。

弾性設計用地震動 S d は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は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 2.5-5 タービン補機海水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}		
固有周期(s)		水平：0.252 ^{*2} 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動 S d		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.252	2.84	3.34	—
動的震度 ^{*5, *6}		0.80	0.95	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 津波荷重の計算方法

(1) 津波による静水圧荷重

ポンプに作用する静水圧荷重の計算式は下式になる。

$$F_u = \rho \cdot g \cdot (h - z) \cdot A_{bas} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1)$$

(2) 津波による水平津波荷重

水平津波荷重によるポンプが受ける単位長さ当たりの流体抗力(等分布荷重)は下式になる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D_{cmo}}{1000} \right) / 1000 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2)$$

この流体抗力によりポンプ据付部を固定端とする片持ちはりに等分布荷重が作用するので反力と曲げモーメントは下式となる。

反力と曲げモーメント計算式

$$F_a = F_D \cdot L \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3)$$

$$M_a = \frac{1}{2} F_D \cdot L^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.4)$$

2.5.4.2 基礎ボルトの応力計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れた基礎ボルトについて計算する。

地震による引張力

$$F_b = \frac{\sqrt{M_0^2 + \left(C_v \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2} \right)^2} + M_{cp} + (C_p - 1) \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.1)$$

ここで、 M_0 及び M_{cp} は解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.2)$$

津波による引張力

$$F_{bt} = \frac{M_{fb} + \frac{3}{8} F_u \cdot D}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b + F_{bt}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.5)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。なお、基礎ボルトについては、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力は地震応答解析により求める Q_b 、ポンプ回転により作用するモーメント M_p 及び水平津波荷重による反力を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + 2 \cdot M_p / D + Q_{bt}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.6)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.7)$$

$$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$$

2.5.4.3 ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた結果により、ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

(1) ポンプ振動による震度による水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCp}}{Z_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.1)$$

(2) 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.2)$$

(3) 自重及びポンプ振動による震度による鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1 + C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.3)$$

(4) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.4)$$

(5) 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.6)$$

(6) 水平津波荷重による応力

$$\sigma_{pm} = \frac{M_{pm}}{Z_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.7)$$

以上の(1)～(6)の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} \\ + \sigma_{pm} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots\dots\dots (2.5.4.3.8)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.5.6.2 ディスチャージケーシングの応力評価

2.5.4.3項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、 S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S_{da}
	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機海水ポンプの設計基準対象施設としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
タービン補機海水ポンプ	S	取水槽 EL. 1.1*1	0.252	0.05 以下	C _H =0.95* ² 又は*3	C _V =0.63* ²	C _P =0.04	30	<input type="text"/>	0.54

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度

*3：設計用床芯答スペクトルⅠ（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計用床芯答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	8	8	—	198*	504*	205	205

注記*：周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージャージョーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージャージョーシング	—	245* (厚さ≤16mm)	400* (厚さ≤16mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	Mo (N・mm)		MCp (N・mm)	Mfb (N・mm)	Fb (N)	Fbt (N)	Qb (N)	Qbt (N)
	弾性設計用地震動 Sd	津波に伴う荷重 によるモーメント						
基礎ボルト								

(2) ディスチャージケーシングに作用する力

部材	Md (N・mm)		Mdcp	Mpm
	弾性設計用地震動 Sd	津波に伴う荷重 によるモーメント		
ディスチャージ ケーシング				

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.252
鉛直方向	0.05 以下

1.4.2 基礎ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 14$	$f_{sb} = 118$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 ディスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S _d	一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
ディスチャージケーシング			$\sigma_d = 116$	$S_{da} = 240$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

1.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C _D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.37
コラムパイプ外径	D _{cmo}	mm	558.8
ポンプ据付部からバルマウス先端までの長さ	L	mm	5770
津波荷重を受ける面積	A _{bas}	m ²	1.131

1.5.2 耐震モデル関連

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		4.909×10 ⁶
2	2-3	1		4.909×10 ⁶
3	3-4	1		4.528×10 ⁶
4	4-5	1		4.528×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	46-8	1		7.187×10 ⁶
8	8-9	1		7.187×10 ⁶
9	9-10	1		1.018×10 ⁷
10	10-11	1		1.018×10 ⁷
11	11-12	1		4.528×10 ⁶
12	12-13	1		4.528×10 ⁶
13	13-14	1		4.909×10 ⁶
14	14-15	1		4.909×10 ⁶
15	15-16	4		5.750×10 ⁷
16	16-17	6		3.221×10 ⁶
17	17-18	6		1.886×10 ⁷
18	18-19	6		1.886×10 ⁷
19	19-20	6		1.018×10 ⁷
20	21-22	1		2.195×10 ⁹
21	22-23	1		3.578×10 ⁹
22	23-24	1		3.578×10 ⁹
23	24-25	3		8.896×10 ⁸
24	25-26	3		8.896×10 ⁸
25	26-27	3		8.896×10 ⁸
26	27-28	3		8.896×10 ⁸
27	47-29	3		8.896×10 ⁸
28	29-30	3		8.896×10 ⁸
29	30-31	3		8.896×10 ⁸
30	31-32	3		8.896×10 ⁸
31	32-33	2		8.127×10 ⁸
32	33-34	2		8.127×10 ⁸
33	34-35	2		8.127×10 ⁸
34	44-36	4		5.075×10 ¹¹
35	36-37	2		9.799×10 ⁹
36	37-38	2		9.799×10 ⁹
37	38-39	2		9.799×10 ⁹
38	39-40	5		2.246×10 ⁹
39	40-41	5		2.246×10 ⁹
40	41-42	5		2.246×10 ⁹
41	42-43	5		9.684×10 ⁸
42	7-46	1		7.187×10 ⁶
43	28-47	3		8.896×10 ⁸

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	23		
6	27		
10	31		
17	40		
19	42		
19	42		
33	36		
33	36		

(4) 節点の質量

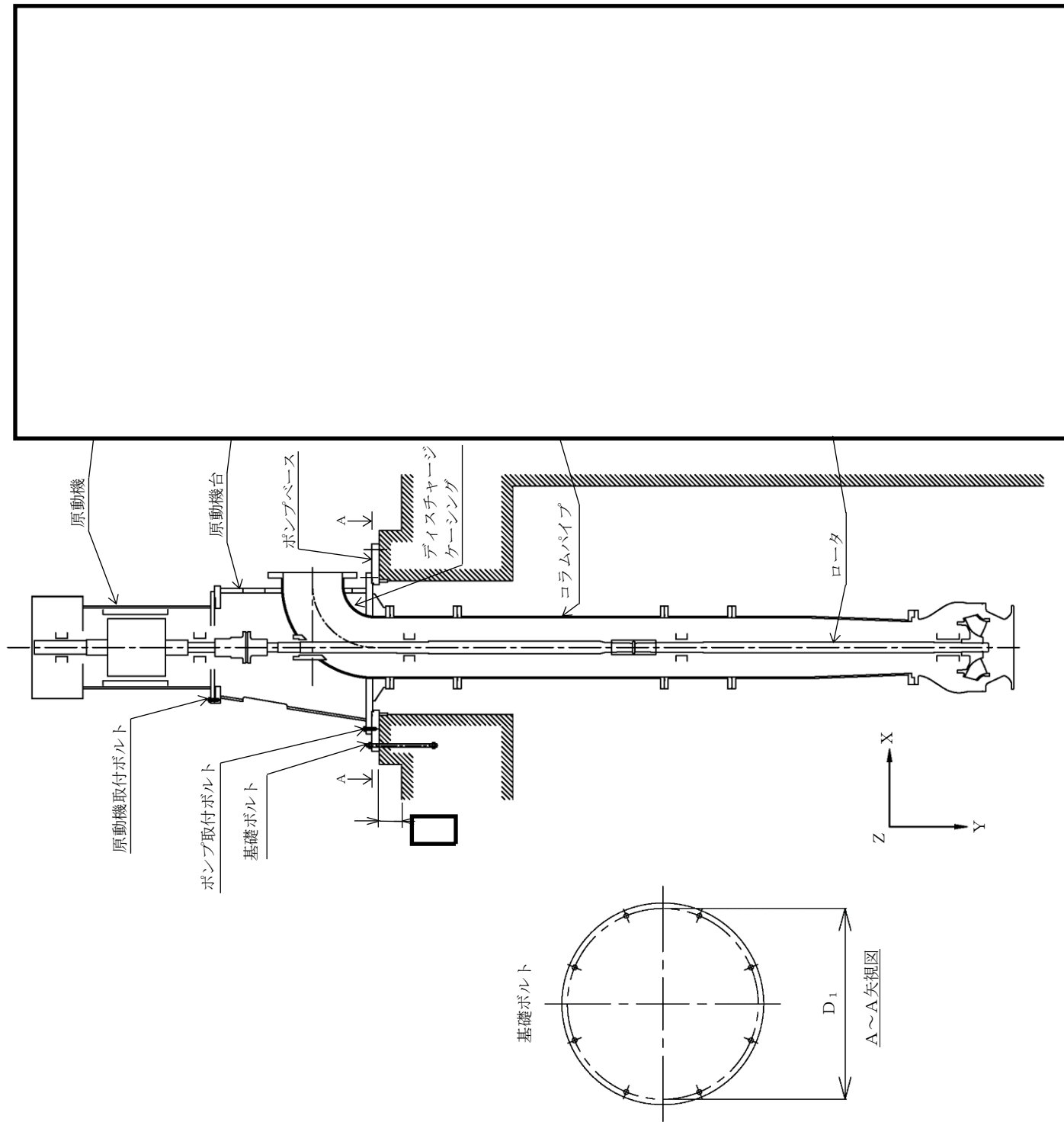
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
46	
47	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.02×10^5		0.3	
4	<input type="checkbox"/>	2.01×10^5		0.3	
5	—	1.98×10^5		0.3	
6	—	2.00×10^5		0.3	



3. 循環水ポンプ

3.1 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している強度評価に示すとおり、循環水ポンプが津波の流入に伴う津波荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

3.2 一般事項

3.2.1 配置概要

循環水ポンプの配置図を図3.2-1に示す。

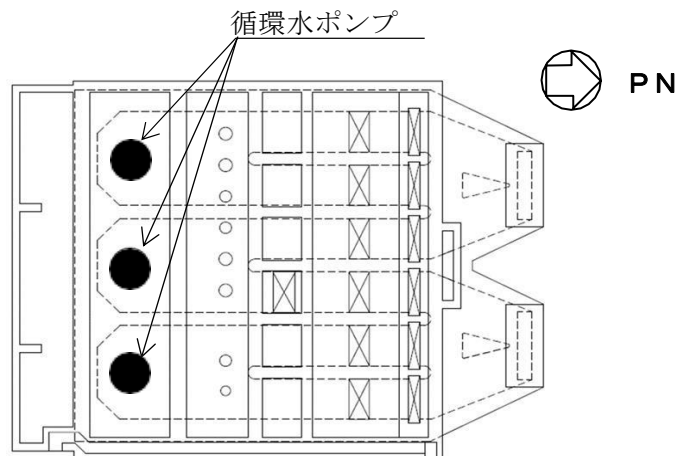
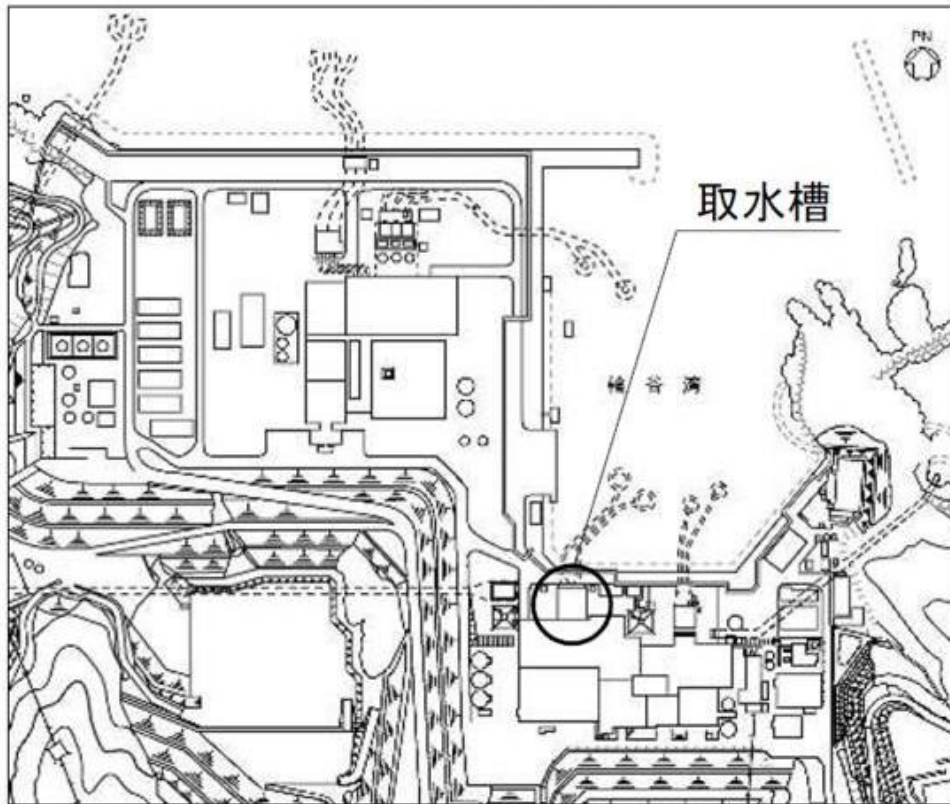


図 3.2-1 循環水ポンプ配置図

3.2.2 構造計画

循環水ポンプは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」で設定している荷重を踏まえ鋼製とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける構造としている。

循環水ポンプの構造計画を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定される。ポンプベースは円筒形のリブを介して水平方向の荷重を基礎に伝達する構造とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> <p>デイスチャージャは短管に接続され、短管は壁に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>ポンプ</p> <p>短管</p> <p>壁</p> <p>デイスチャージャ</p> <p>ケーシング</p> <p>保護管</p> <p>ロータ</p> <p>バルマウス</p> <p>ポンプ取付ボルト</p> <p>ポンプベース</p> <p>基礎</p> <p>基礎ボルト</p> <p>コラムパイプ</p> <p>ポンプベース部拡大図</p> <p>ポンプベース</p> <p>基礎</p> <p>ボルト</p> <p>基礎</p> <p>リブ</p> <p>(単位：mm)</p>

3.2.3 評価方針

循環水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、応力評価を実施する。応力評価では、循環水ポンプの評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「3.5 構造強度評価」にて示す方法により、「3.5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて確認する。確認結果を「3.6 評価結果」に示す。

循環水ポンプの強度評価フローを図 3.2-2 に示す。

循環水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。

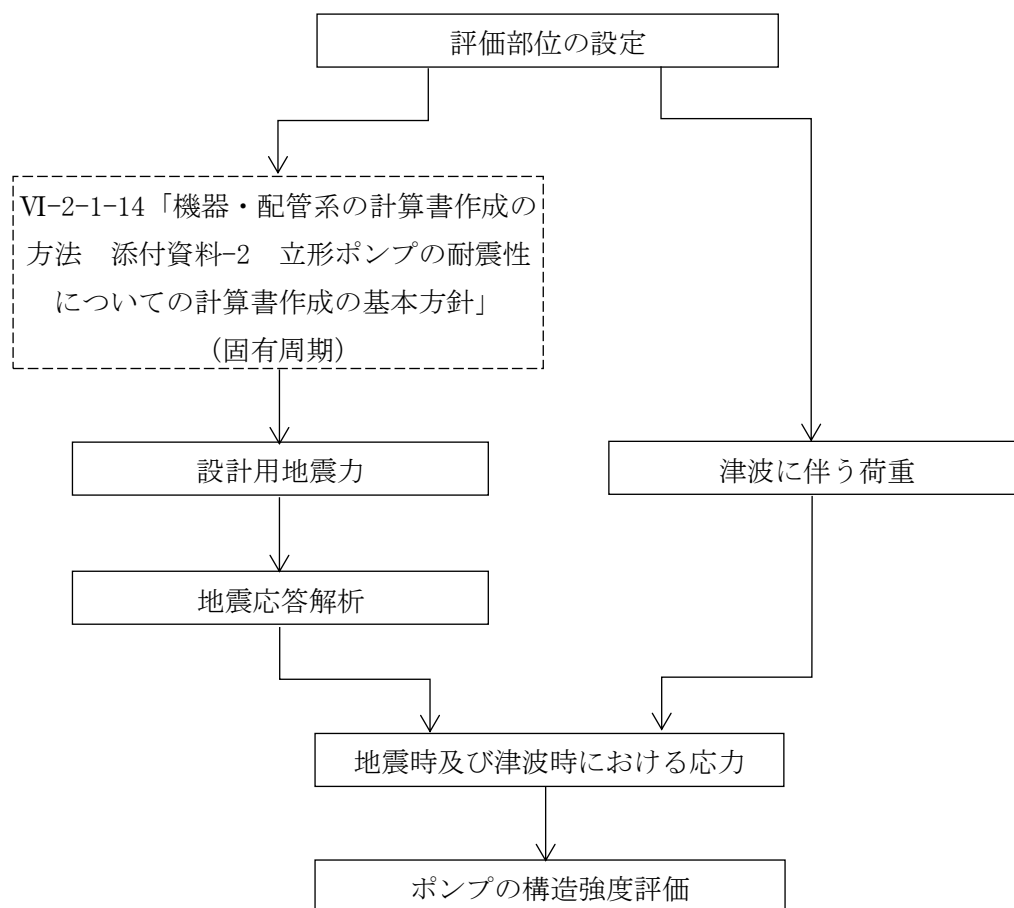


図 3.2-2 循環水ポンプの強度評価フロー

3.2.4 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 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 -1987 ((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。)

3.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b a s	津波荷重を受ける面積	m ²
A b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C D	抗力係数	—
C H	水平方向設計震度	—
C p	ポンプ振動による震度	—
C v	鉛直方向設計震度	—
D	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D c m o	コラムパイプ外径	mm
D d	ディスチャージケーシングの内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値	MPa
F a	ポンプ据付部の反力	N
F b	地震による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F b t	津波による基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F D	水平津波荷重による単位長さ当たりの流体抗力	N/mm
F u	津波による静水圧荷重	N
f s b	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f t o	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f t s	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H p	予想最大両振幅	μm
h	津波最大到達レベル	m
L	ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	mm
M a	ポンプ据付部の曲げモーメント	N・mm
M c p	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向のポンプ振動による転倒モーメント	N・mm
M d	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M d C p	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
M f b	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平津波荷重による転倒モーメント	N・mm
M p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{pm}	ディスチャージケーシングに作用する水平津波荷重によるモーメント	N・mm
M_0	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向地震による転倒モーメント	N・mm
m	据付面の運転時質量	kg
m_d	ポンプ床下部質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
P_d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q_b	水平方向地震及び水平方向のポンプ振動により基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_{bt}	水平津波荷重による基礎ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_{da}	ディスチャージケーシングの許容応力	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
t_d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
V	津波流速	m/s
Z_d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
z	評価対象部位のレベル	m
π	円周率	—
ρ	海水の密度	kg/m ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{dCH1}	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ_{dCH2}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dCV1}	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa
σ_{dCV2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{pm}	水平津波荷重によりディスチャージケーシングに生じる曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

3.2.6 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3.2-2に示すとおりである。

表3.2-2 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
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
力	N	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	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：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字4桁未満となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び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。

3.3 評価部位

循環水ポンプは、浸水防止設備であるため、耐震評価上及び津波に伴う荷重評価上で厳しくなる基礎ボルト及びディスチャージケーシングについて構造強度の評価を行う。

3.4 固有周期

3.4.1 固有値解析方法

循環水ポンプの固有値解析方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」による。

3.4.2 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【循環水ポンプの強度についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

3.4.3 固有値解析結果

取水槽が満水状態の固有値解析のうちNS方向モデルの結果を表3.4-1に、EW方向モデルの結果を表3.4-2に示す。振動モード図のうちNS方向モデルの図を図3.4-1、図3.4-2及び図3.4-3に、EW方向モデルの図を図3.4-4、図3.4-5及び図3.4-6に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は7次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表 3.4-1 固有値解析結果 (NS 方向モデル)

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	0.145	9.347	—	—
2次	水平	0.129	2.638	—	—
3次	水平	0.073	1.871	—	—
4次	水平	0.059	0.538	—	—
5次	水平	0.051	-0.072	—	—
6次	水平	0.038	—	—	—

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

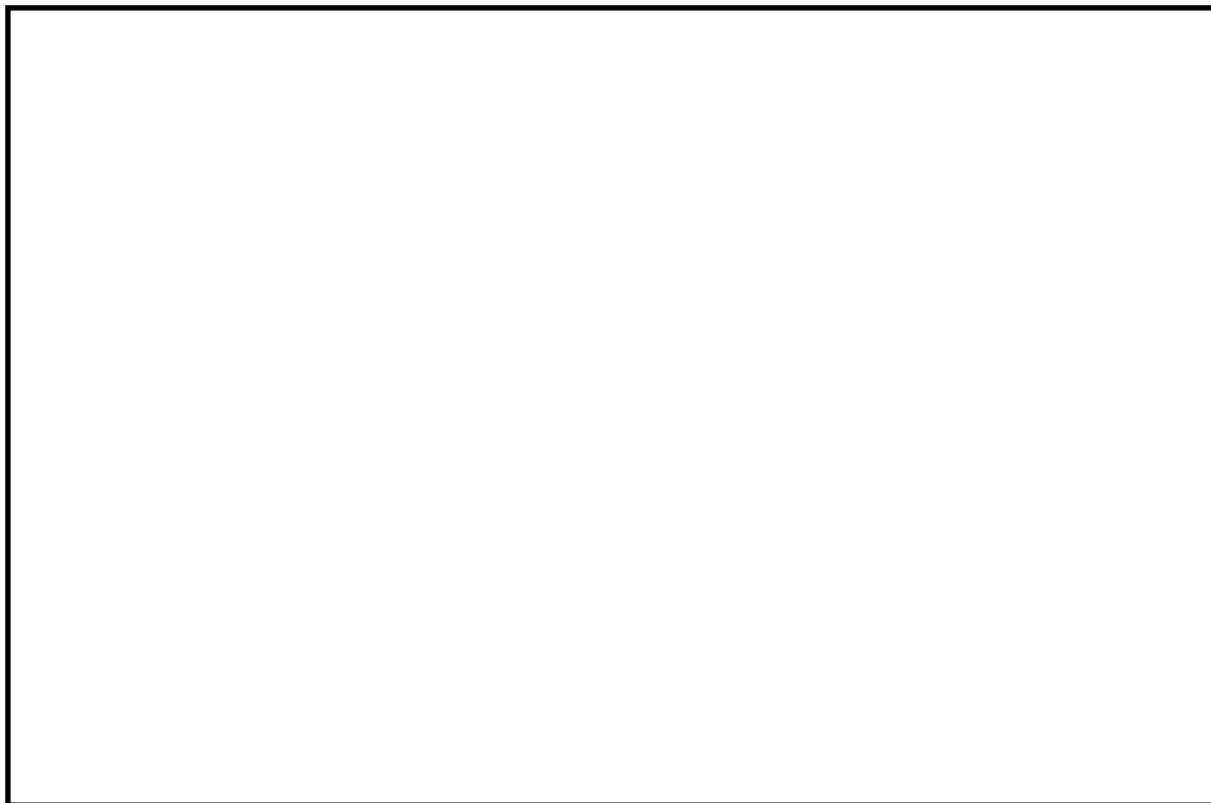


図 3.4-1 振動モード (NS 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.145s)



図 3.4-2 振動モード (NS 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

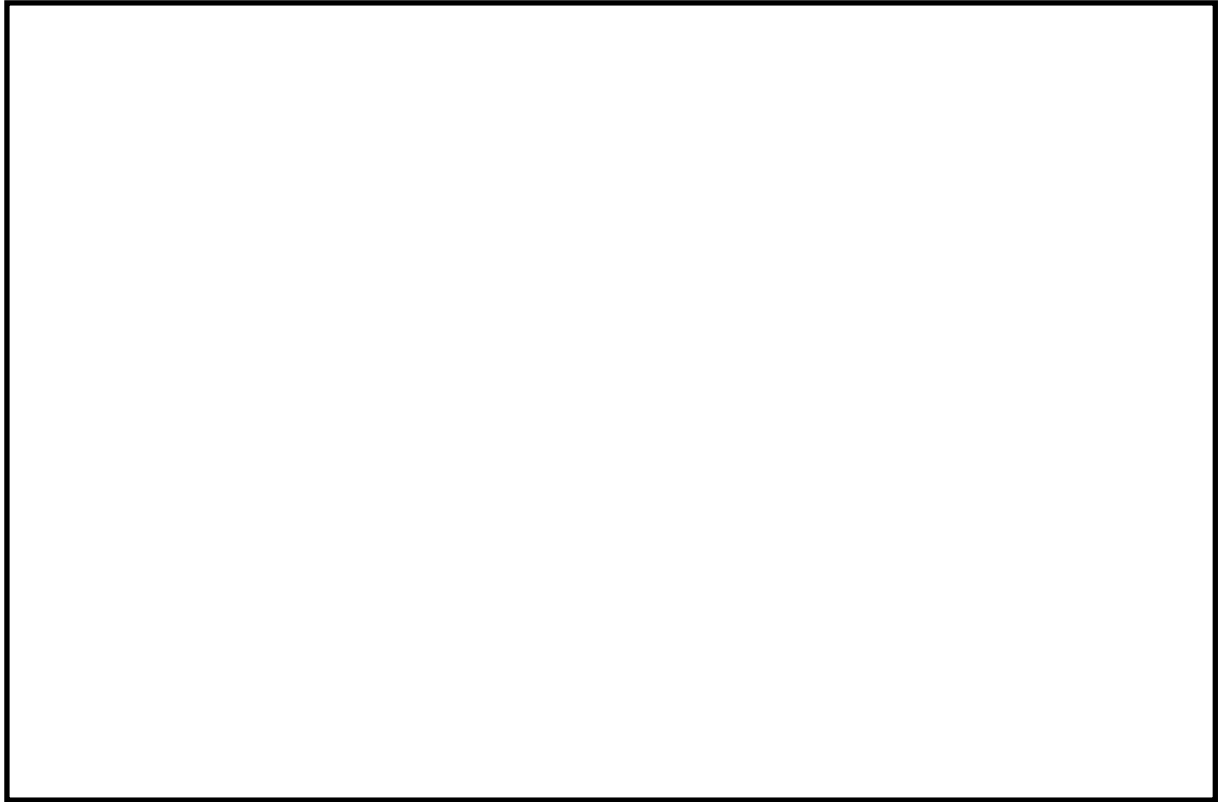


図 3.4-3 振動モード (NS 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

表 3.4-2 固有値解析結果 (EW 方向モデル)

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	0.146	—	9.345	—
2 次	水平	0.129	—	2.586	—
3 次	水平	0.073	—	1.857	—
4 次	水平	0.059	—	0.517	—
5 次	水平	0.051	—	-0.068	—
6 次	水平	0.038	—	—	—

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

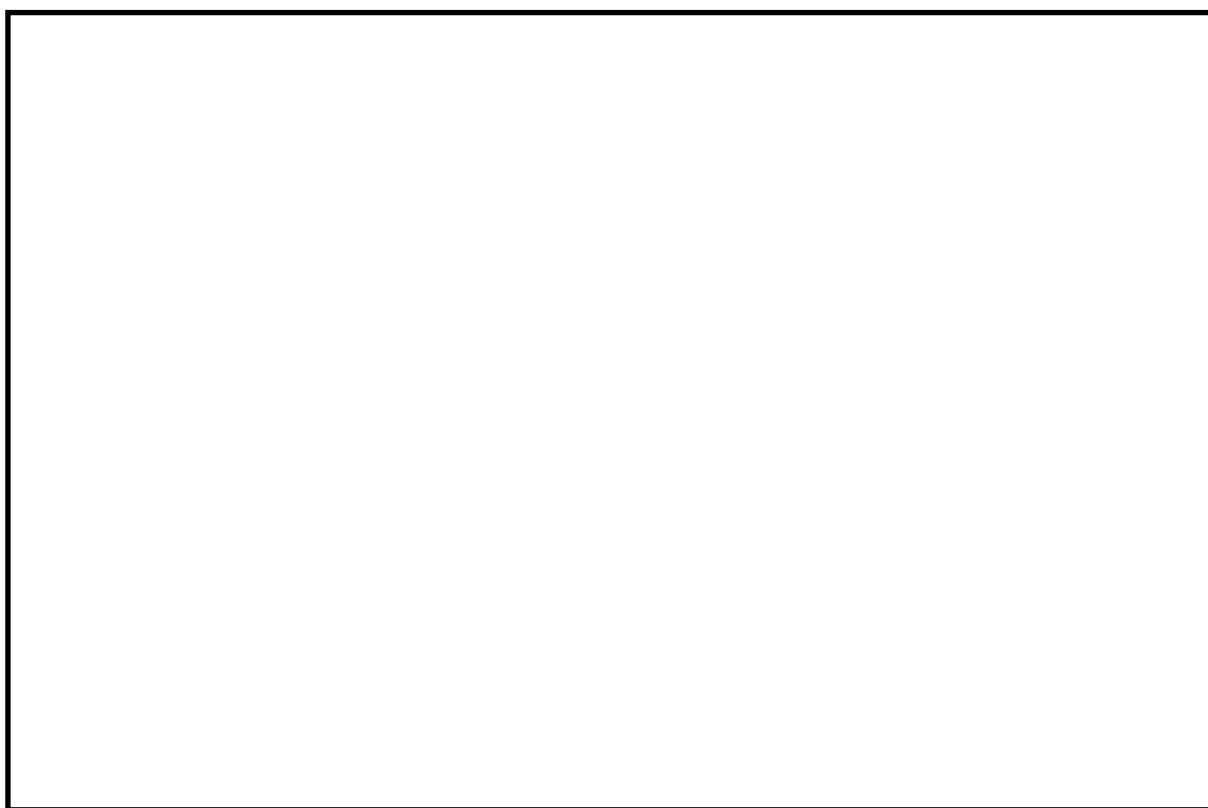


図 3.4-4 振動モード (EW 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.146s)

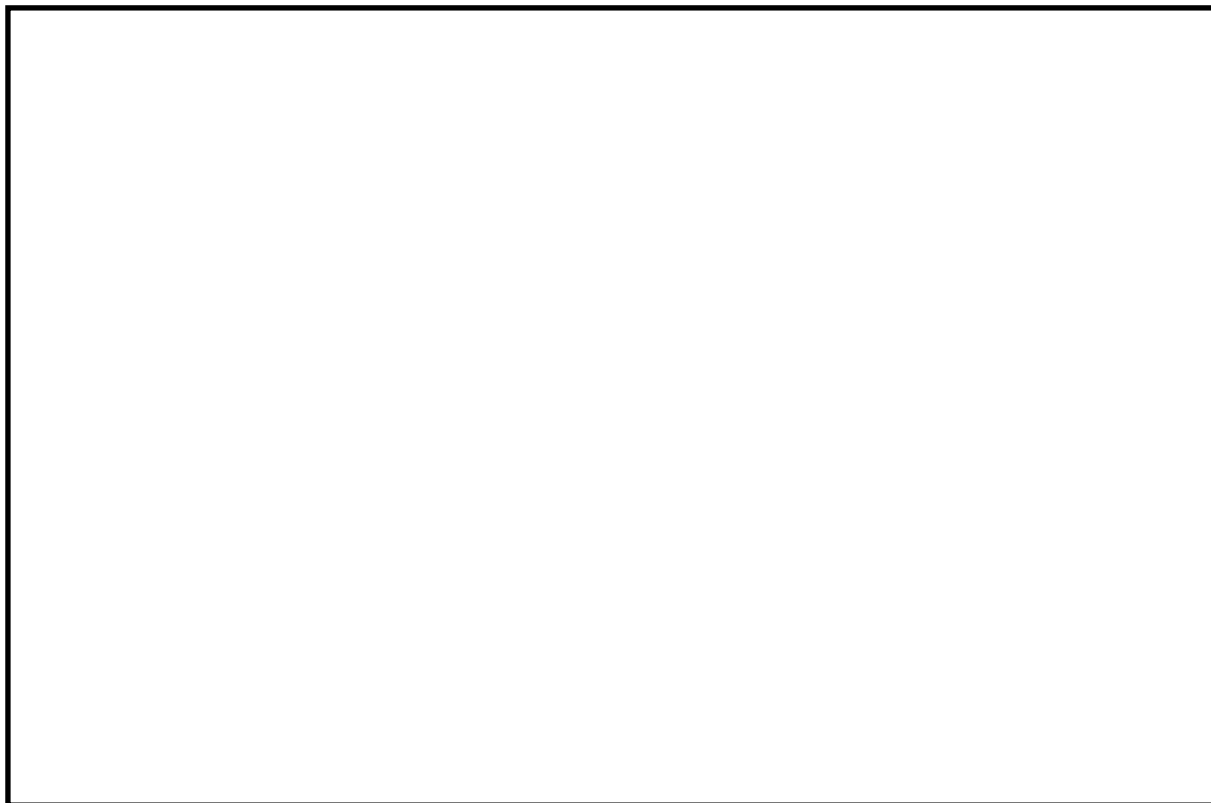


図 3.4-5 振動モード (EW 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

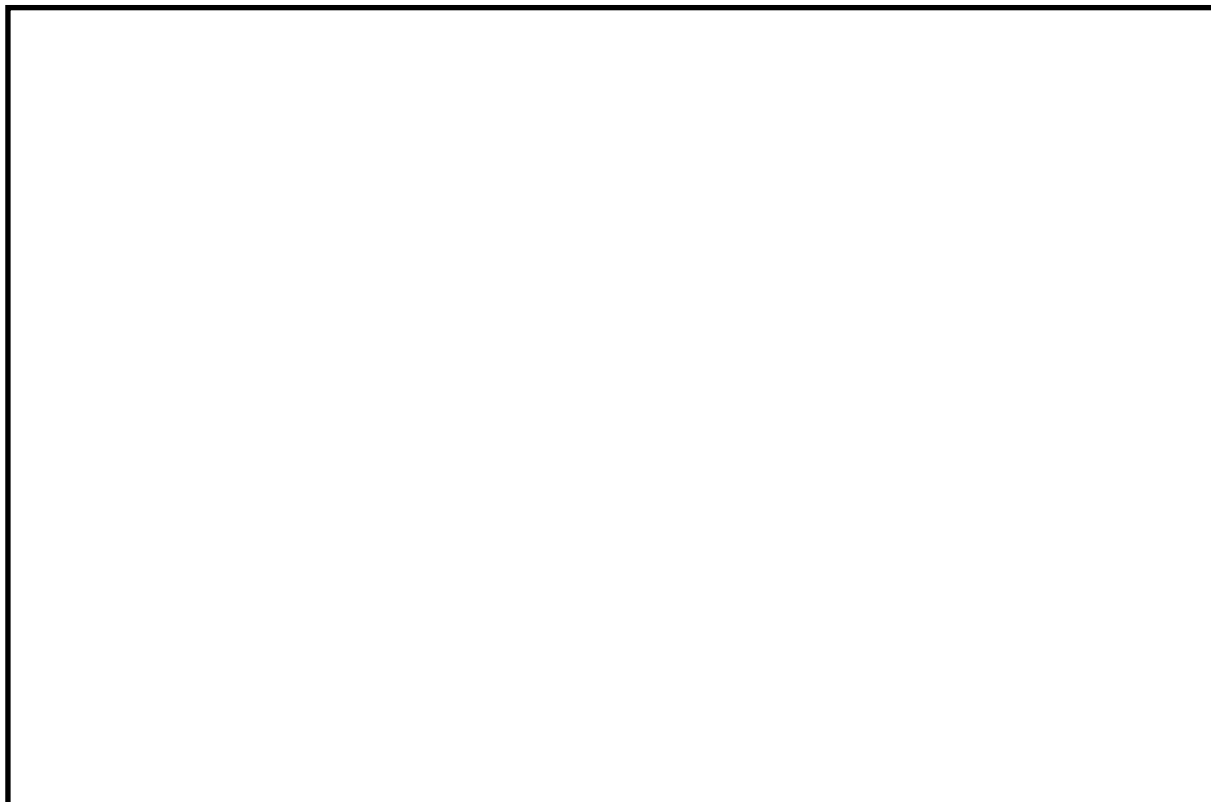


図 3.4-6 振動モード (EW 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力に対する構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき行う。
- (2) 津波荷重は、ポンプ据付部より下のディスチャージケーシング、コラムパイプ等に作用するものとする。
- (3) 基礎ボルトの構造強度評価において、水平方向の地震荷重、ポンプ振動によりポンプベースに作用する荷重及び津波による荷重は、ポンプベースのリブを介して基礎に伝達されるため基礎ボルトに作用しない。また、循環水ポンプは電動機とポンプが独立した基礎を有する構造であることから、ポンプ回転により作用するモーメントを考慮して基礎ボルトの評価を行う。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ

循環水ポンプの強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。循環水ポンプの荷重の組合せを表 3.5-1 に示す。

3.5.2.2 許容応力

循環水ポンプの許容応力は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容応力に基づき表 3.5-2 及び表 3.5-3 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

循環水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3.5-4 に示す。

表 3.5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	循環水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_t + P_h + S_d$	Ⅲ [△] S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 3.5-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容限界			
許容応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
III A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_t$ の大きい方	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次応力
			一次 + 二次 + ピーク応力
			* 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要

注記*: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3.5-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	引張	せん断
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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。

表 3.5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境温度	最高使用温度				
循環水ポンプ	基礎ボルト		□		—	198	504	205
	ディスクヤジケージング			30	—	235	400	—

□

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうちNS方向を表3.5-5に、EW方向を表3.5-6に示す。

弾性設計用地震動S_dによる地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は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 3.5-5 循環水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）（NS 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}		
固有周期(s)		水平：0.145 ^{*2} 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動S _d		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.145	4.04	—	—
2 次	0.129	4.04	—	—
3 次	0.073	2.44	—	—
4 次	0.059	1.48	—	—
5 次	0.051	1.13	—	—
動的震度 ^{*5, *6}		0.80	—	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルI（弾性設計用地震動S_d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度II（弾性設計用地震動S_d）又は設計用震度II（弾性設計用地震動S_d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 3.5-6 循環水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）（EW 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}		
固有周期(s)		水平：0.146 ^{*2} 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動 S d		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.146	—	4.80	—
2 次	0.129	—	4.70	—
3 次	0.073	—	2.38	—
4 次	0.059	—	1.60	—
5 次	0.051	—	1.28	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	0.95	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 津波荷重の計算方法

(1) 津波による静水圧荷重

ポンプに作用する静水圧荷重の計算式は下式になる。

$$F_u = \rho \cdot g \cdot (h - z) \cdot A_{bas} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1)$$

(2) 津波による水平津波荷重

水平津波荷重によるポンプが受ける単位長さ当たりの流体抗力(等分布荷重)は下式になる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D_{cmo}}{1000} \right) / 1000 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.2)$$

この流体抗力によりポンプ据付部を固定端とする片持ちはりに等分布荷重が作用するので反力と曲げモーメントは下式となる。

反力と曲げモーメント計算式

$$F_a = F_D \cdot L \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.3)$$

$$M_a = \frac{1}{2} F_D \cdot L^2 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.4)$$

3.5.4.2 基礎ボルトの応力計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れた基礎ボルトについて計算する。

地震による引張力

$$F_b = \frac{\sqrt{M_0^2 + \left(C_v \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2} \right)^2} + M_{cp} + (C_p - 1) \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.1)$$

ここで、 M_0 及び M_{cp} は解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.2)$$

津波による引張力

$$F_{bt} = \frac{M_{fb} + \frac{3}{8} F_u \cdot D}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b + F_{bt}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.5)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力は地震応答解析により求める Q_b 、ポンプ回転により作用するモーメント M_p 及び水平津波荷重による反力を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + 2 \cdot M_p / D + Q_{bt}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.6)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.7)$$

$$(1kW = 10^6 N \cdot mm / s)$$

3.5.4.3 ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた結果により、ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

(1) ポンプ振動による震度による水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.3.1)$$

(2) 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.3.2)$$

(3) 自重及びポンプ振動による震度による鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1 + C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.3.3)$$

(4) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.3.4)$$

(5) 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.6)$$

(6) 水平津波荷重による応力

$$\sigma_{pm} = \frac{M_{pm}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.7)$$

以上の(1)～(6)の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{pm} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots\dots\dots (3.5.4.3.8)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】、の設計条件及び機器要目に示す。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

3.5.4.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S _d による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.5.6.2 ディスチャージケーシングの応力評価

3.5.4.3 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S _{da}
	弾性設計用地震動 S _d による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・S との大きい方とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.6 評価結果

3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環水ポンプの設計基準対象施設としての強度評価結果を以下に示す。循環水ポンプはNS方向及びEW方向で解析モデルが異なるため、各方向に対する強度評価結果を記載する。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設 (NS 方向)

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
循環水ポンプ	S	取水槽 EL. 1.1*1	0.145	0.05 以下	$C_H=0.80^{*2}$ 又は *3	$C_V=0.63^{*2}$	$C_p=0.01$	30	<input type="text"/>	0.31

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) 又は設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12	12	1.337×10^8	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージケーシング	—	235* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	400* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M ₀ (N・mm)		M _{CP} (N・mm)	F _b (N)	Q _b (N)	Q _{bt} (N)
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d				
基礎ボルト						

(2) デイスチャージングに作用する力

部材	M _d		M _{DCP}	M _{pm}
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d		
デイスチャージ ケーシング				

(単位：N・mm)

1.4 結論 (単位：s)

1.4.1 固有周期

方向	固有周期
水平方向	0.145
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 基礎ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 70$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 118$

すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.3 ディスチャージケーシングの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
ディスチャージケーシング		弾性設計用地震動 S _d	S _{da} = 235
		$\sigma_d = 74$	

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

1.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C _D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.45
コラムパイプ外径	D _{cmo}	mm	2644
ポンプ据付部からバルマウス先端までの長さ	L	mm	9850
津波荷重を受ける面積	A _{bas}	m ²	8.553

1.5.2 耐震モデル関連
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	3		6.182×10 ⁸
2	2-3	3		6.182×10 ⁸
3	3-4	3		6.182×10 ⁸
4	4-5	3		6.182×10 ⁸
5	5-6	3		6.182×10 ⁸
6	6-7	3		6.182×10 ⁸
7	7-8	3		6.182×10 ⁸
8	8-9	3		6.182×10 ⁸
9	9-10	3		6.182×10 ⁸
10	10-11	3		6.182×10 ⁸
11	11-12	3		6.182×10 ⁸
12	12-13	3		3.321×10 ⁹
13	13-50	3		6.182×10 ⁸
14	14-15	3		4.833×10 ⁸
15	15-16	4		2.013×10 ⁹
16	16-17	4		3.017×10 ⁸
17	17-18	6		5.510×10 ⁸
18	19-20	1		3.595×10 ¹⁰
19	20-21	2		7.821×10 ⁹
20	21-22	2		7.821×10 ⁹
21	22-23	2		1.343×10 ⁹
22	23-24	2		1.343×10 ⁹
23	24-25	2		1.343×10 ⁹
24	25-26	2		7.550×10 ⁹
25	26-27	2		1.486×10 ⁹
26	27-28	2		1.486×10 ⁹
27	28-29	2		1.486×10 ⁹
28	29-51	2		1.486×10 ⁹
29	31-32	1		6.765×10 ¹⁰
30	32-33	1		9.954×10 ¹⁰
31	33-34	1		2.053×10 ¹¹
32	34-35	1		2.053×10 ¹¹
33	35-36	2		1.557×10 ¹¹
34	36-37	2		1.557×10 ¹¹
35	37-38	2		1.557×10 ¹¹
36	38-39	2		1.557×10 ¹¹
37	39-40	2		1.557×10 ¹¹
38	40-41	2		1.778×10 ¹¹
39	41-42	2		1.778×10 ¹¹
40	42-43	2		1.557×10 ¹¹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

(4) 節点の質量

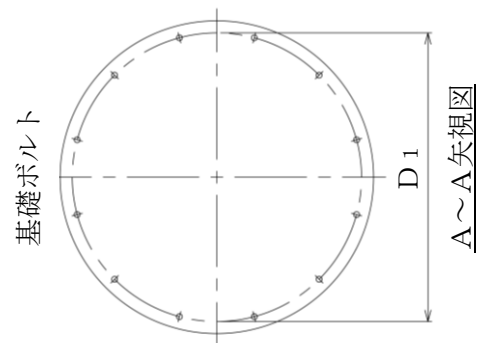
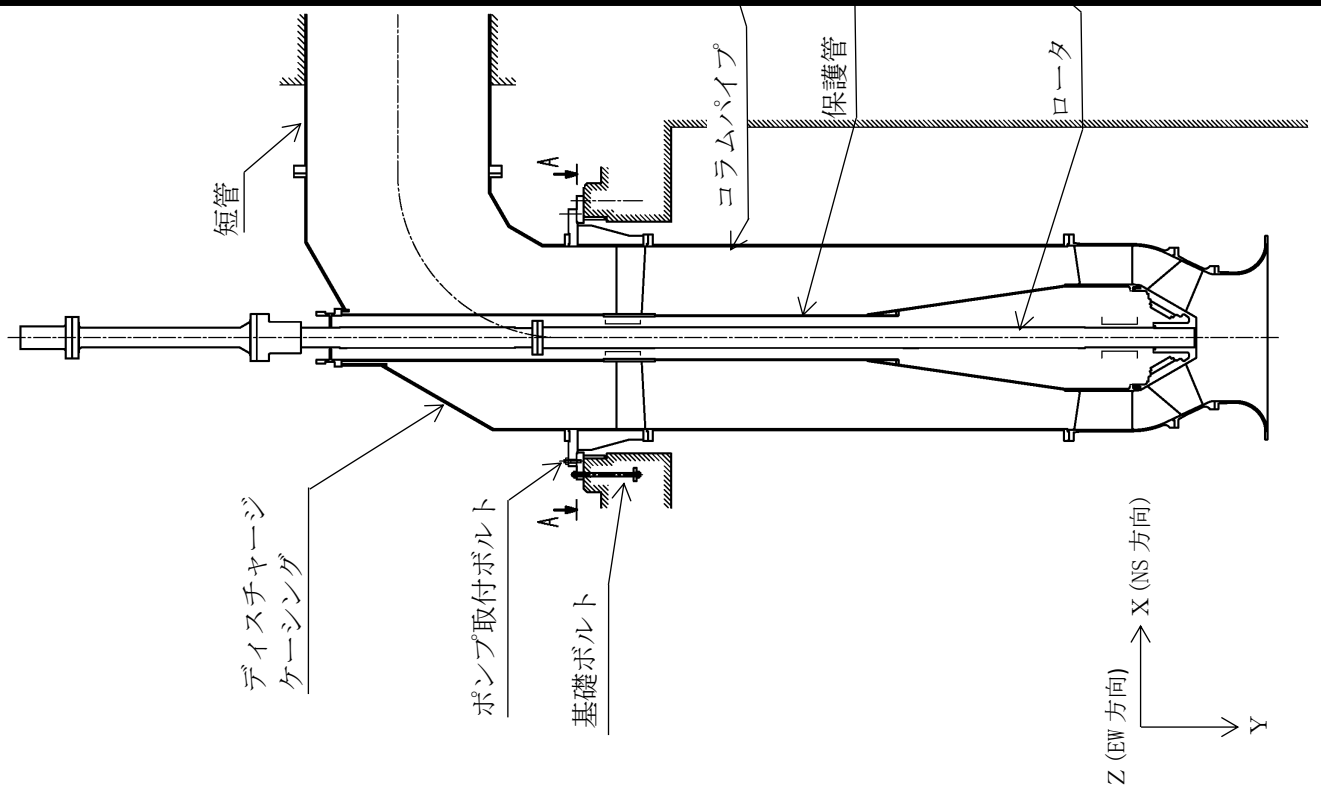
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4	□	2.00×10^5		0.3	
5	□	2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	



【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設 (EW 方向)

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
循環水ポンプ	S	取水槽 EL. 1.1*1	0.146	0.05 以下	$C_H = 0.95^{*2}$ 又は *3	$C_V = 0.63^{*2}$	$C_p = 0.01$	30	□	0.31

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度

*3: 設計用床芯答スベクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床芯答スベクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト	□	□	□	□	12	12	1.337×10^8	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージャージケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージャージケーシング	—	235* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	400* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	□	□

注記*: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)
□	□

2.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M ₀ (N・mm)		M _{CP} (N・mm)	M _{fb} (N・mm)	F _{bt} (N)	Q _{bd} (N)	Q _{bt} (N)
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d					
基礎ボルト							

(2) ディスチャージングに作用する力

部材	M _d		M _{dCP}	M _{pbm}
	弾性設計用地震動 S _d	弾性設計用地震動 S _d		
ディスチャージ ケーシング				

(単位：N・mm)

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)	
方向	固有周期
水平方向	0.146
鉛直方向	0.050 以下

2.4.2 基礎ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 89$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 118$

すべて許容応力以下である。 注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2.4.3 デイスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
ディスチャージケーシング		弾性設計用地震動 S _d	S _{da} = 235
		$\sigma_d = 84$	

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

2.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C _D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.45
コラムパイプ外径	D _{cmo}	mm	2644
ポンプ据付部からバルマウス先端までの長さ	L	mm	9850
津波荷重を受ける面積	A _{bas}	m ²	8.553

2.5.2 耐震モデル関連
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)
1	1-2	3		6.182×10^8
2	2-3	3		6.182×10^8
3	3-4	3		6.182×10^8
4	4-5	3		6.182×10^8
5	5-6	3		6.182×10^8
6	6-7	3		6.182×10^8
7	7-8	3		6.182×10^8
8	8-9	3		6.182×10^8
9	9-10	3		6.182×10^8
10	10-11	3		6.182×10^8
11	11-12	3		6.182×10^8
12	12-13	3		3.321×10^9
13	13-50	3		6.182×10^8
14	14-15	3		4.833×10^8
15	15-16	4		2.013×10^9
16	16-17	4		3.017×10^8
17	17-18	6		5.510×10^8
18	19-20	1		3.595×10^{10}
19	20-21	2		7.821×10^9
20	21-22	2		7.821×10^9
21	22-23	2		1.343×10^9
22	23-24	2		1.343×10^9
23	24-25	2		1.343×10^9
24	25-26	2		7.550×10^9
25	26-27	2		1.486×10^9
26	27-28	2		1.486×10^9
27	28-29	2		1.486×10^9
28	29-51	2		1.486×10^9
29	31-32	1		6.765×10^{10}
30	32-33	1		9.954×10^{10}
31	33-34	1		2.053×10^{11}
32	34-35	1		2.053×10^{11}
33	35-36	2		1.557×10^{11}
34	36-37	2		1.557×10^{11}
35	37-38	2		1.557×10^{11}
36	38-39	2		1.557×10^{11}
37	39-40	2		1.557×10^{11}
38	40-41	2		1.778×10^{11}
39	41-42	2		1.778×10^{11}
40	42-43	2		1.557×10^{11}

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

(4) 節点の質量

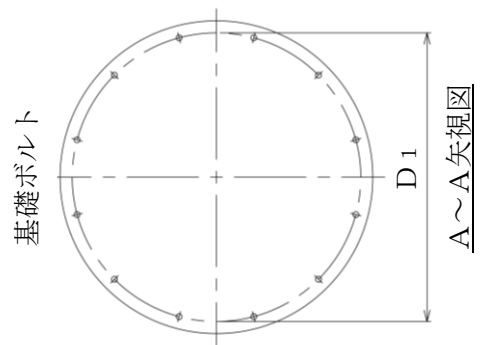
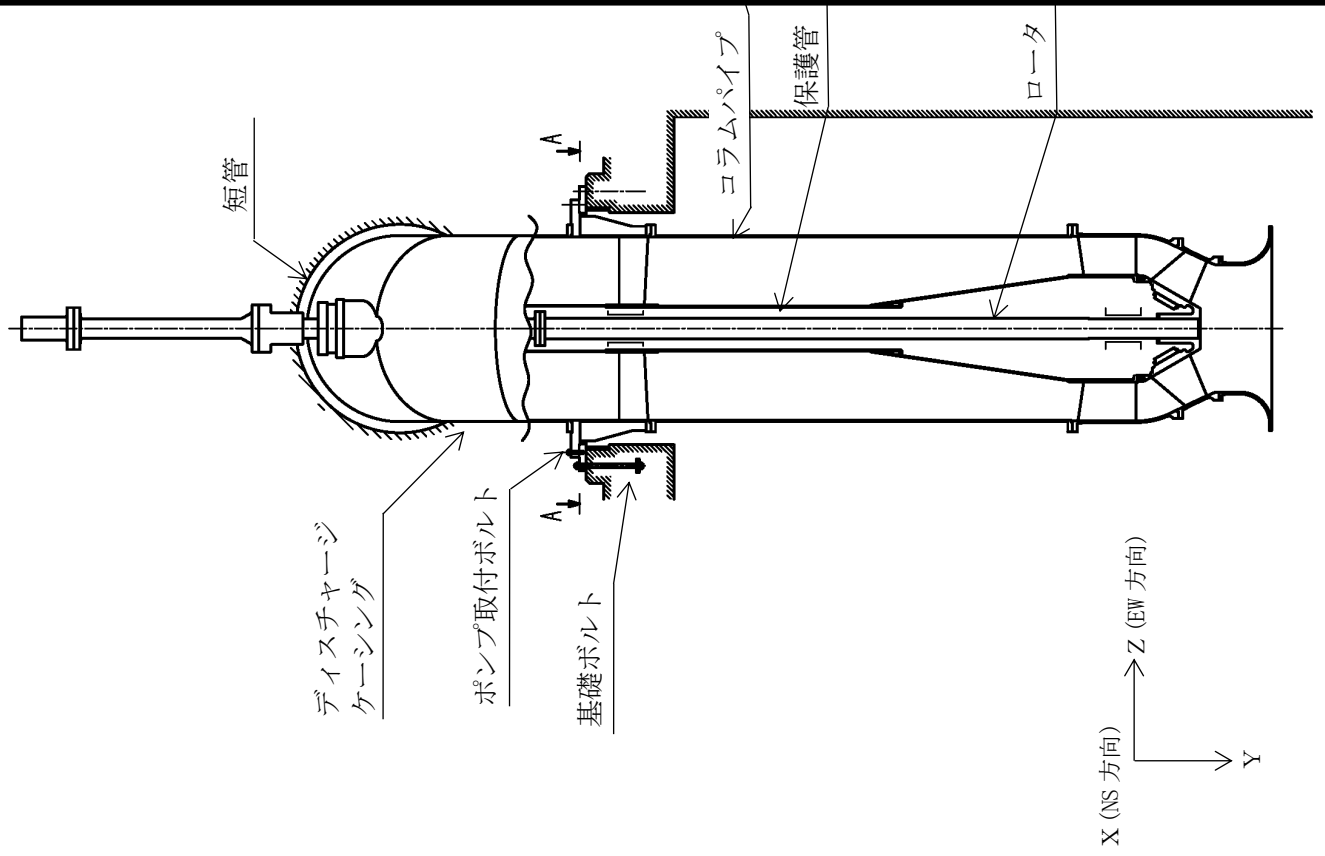
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4	□	2.00×10^5		0.3	
5	□	2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	



4. 配管及び隔離弁

4.1 概要

本計算書は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、浸水防護施設のうち配管及び隔離弁が津波によって生じる静水圧及び余震を考慮した荷重に対して十分な構造強度を有し、浸水防止機能を保持することを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

浸水防護施設の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全24モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.4.2(3)に記載する。

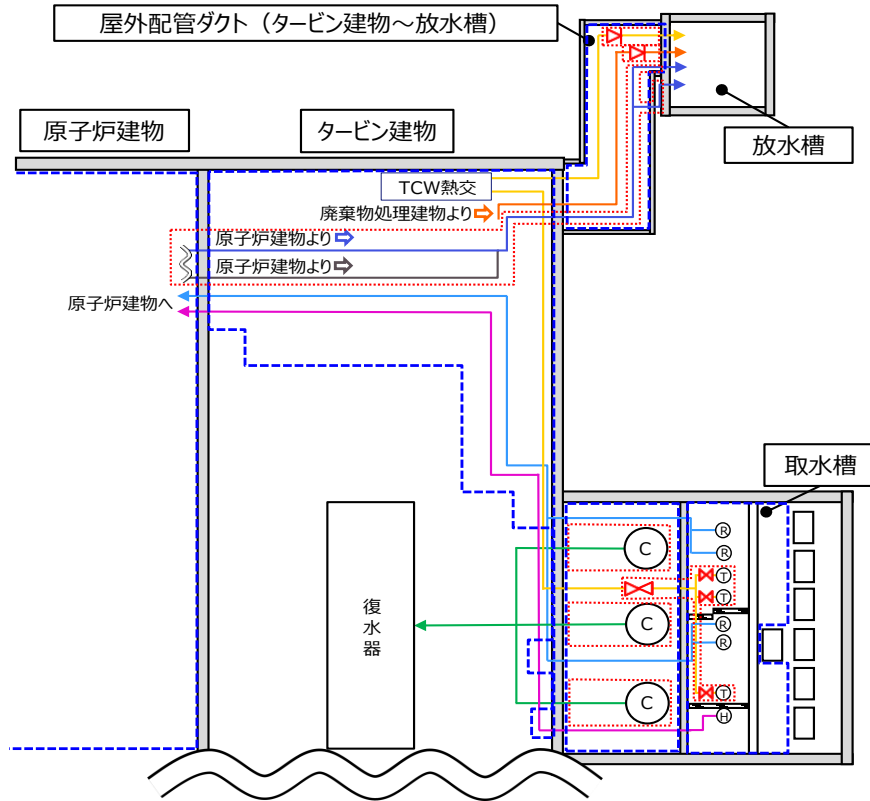
(2) 隔離弁

水圧試験により確認した圧力の弁本体に想定される算出圧力に対する裕度が最小となる弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

4.2 配置概要，概略系統図及び鳥瞰図

4.2.1 配置概要

図4.2-1に示すとおり，浸水防護重点化範囲への津波の流入を防止するため，隔離弁を設置するとともに，バウンダリ機能を保持する配管を設置する。



【凡例】

- : Sクラスとする範囲
- X ▷ : 隔離弁（電動弁，逆止弁）
- : 浸水防護重点化範囲
- ← : 原子炉補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 原子炉補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : タービン補機海水系配管（Cクラス）
- ← : 循環水系配管（Cクラス）（点線部は埋設配管を示す）
- ← : 液体廃棄物処理系配管（Cクラス）


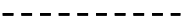
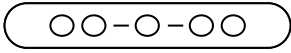


- R : 原子炉補機海水ポンプ（Sクラス）
- H : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（Sクラス）
- T : タービン補機海水ポンプ（Cクラス）
- C : 循環水ポンプ（Cクラス）

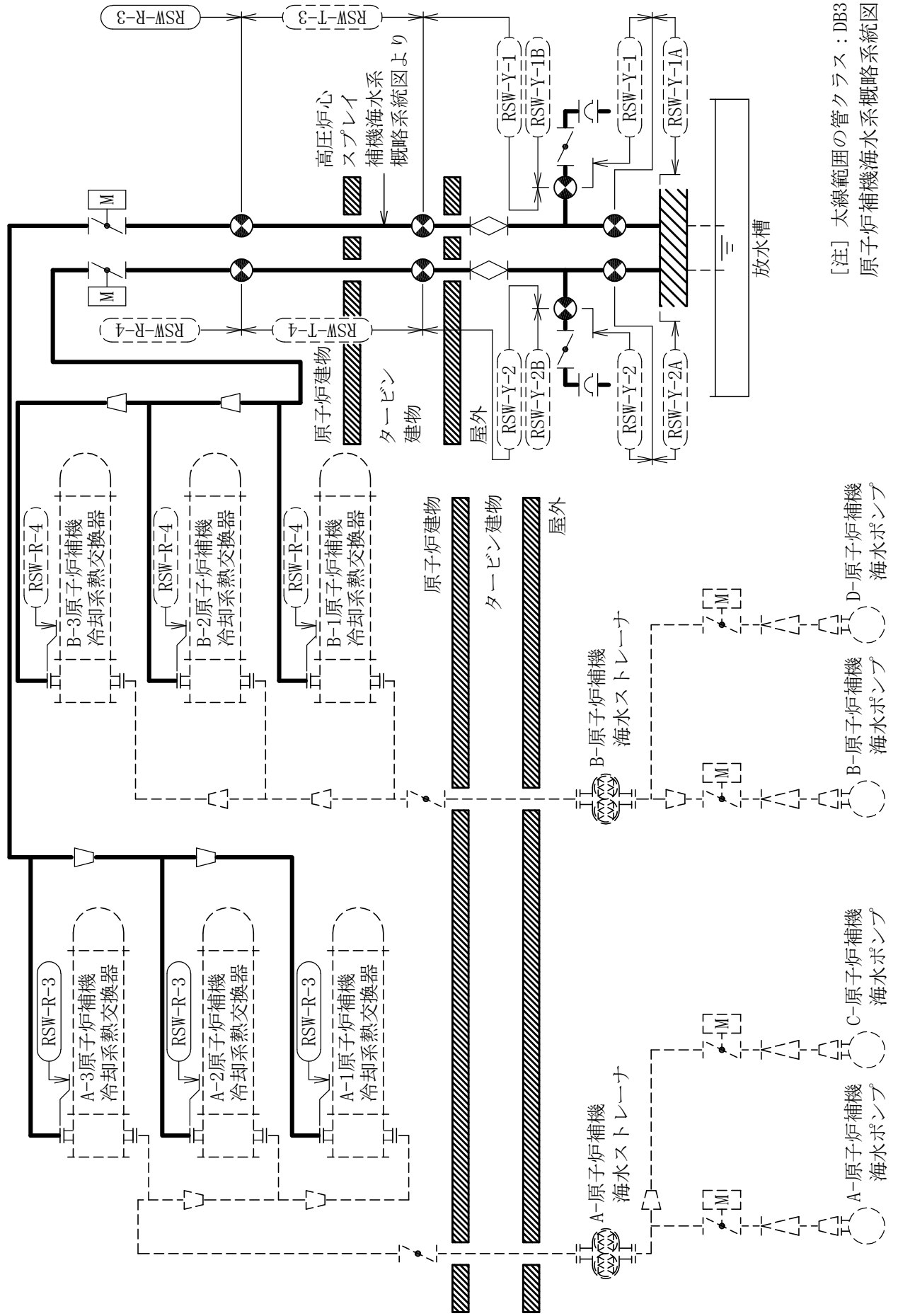
注) 浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図4.2-1 配置概要

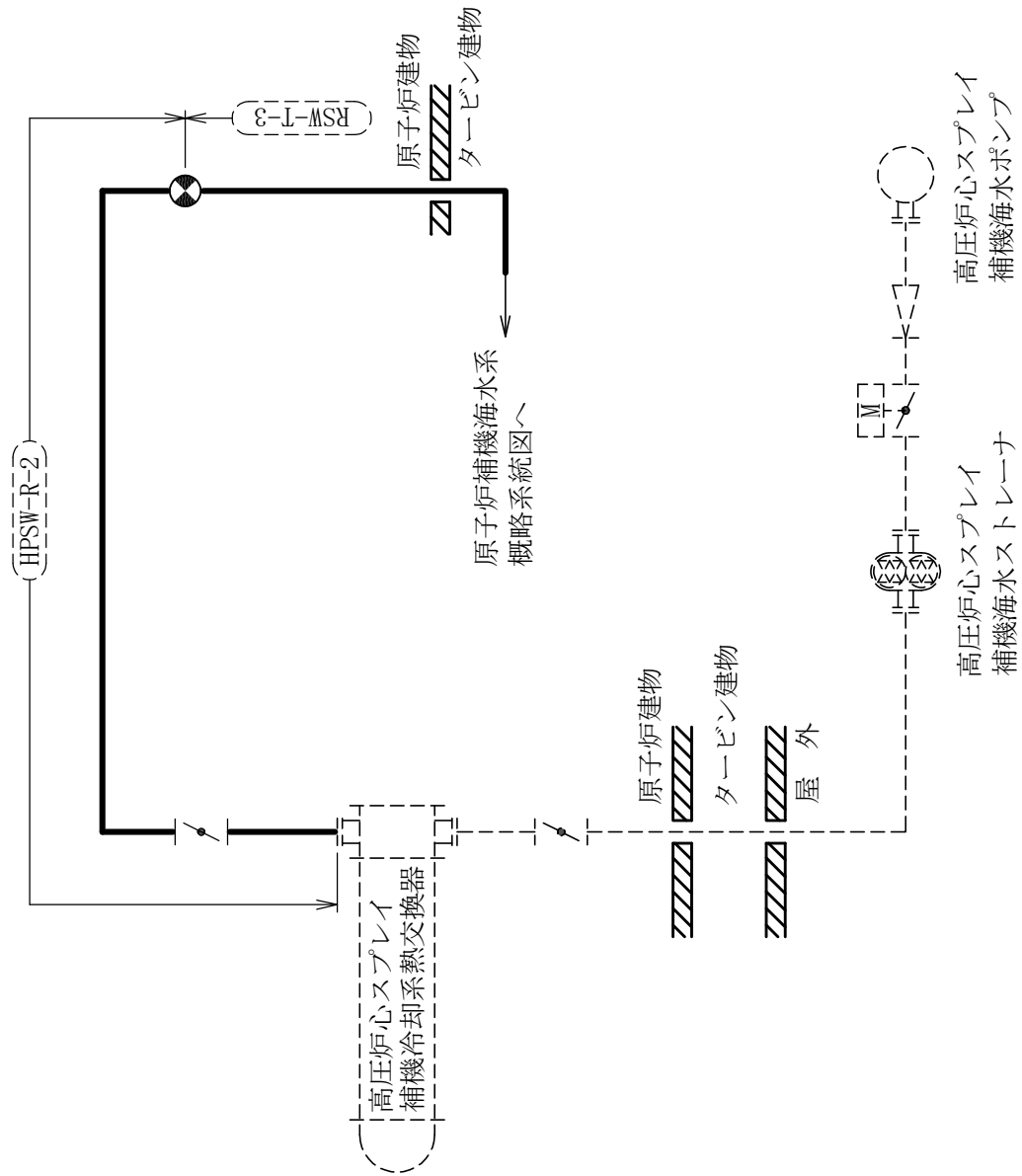
4.2.2 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
<p>[管クラス]</p> DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

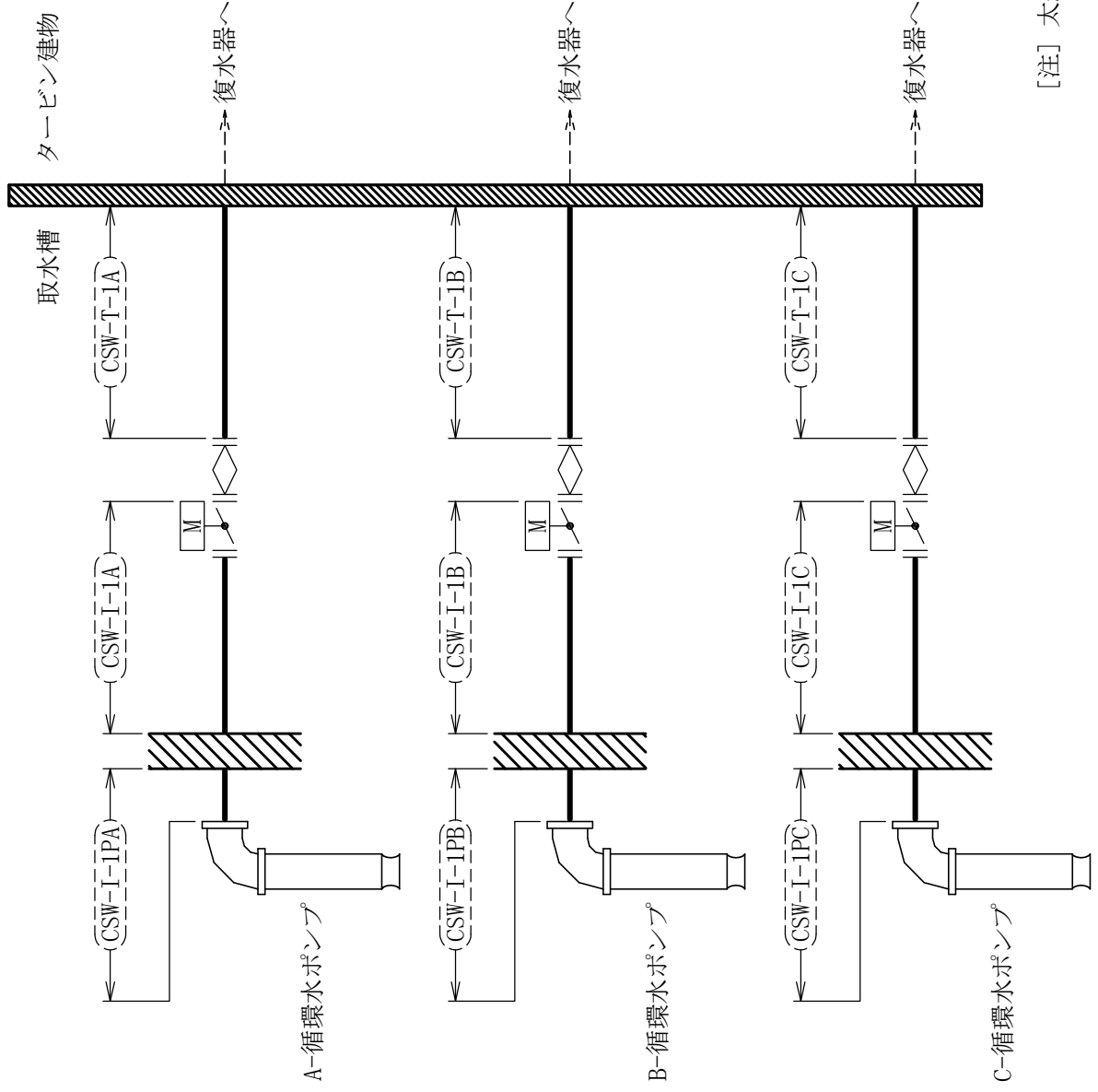


[注] 太線範囲の管クラス：DB3
原子炉補機海水系概略系統図

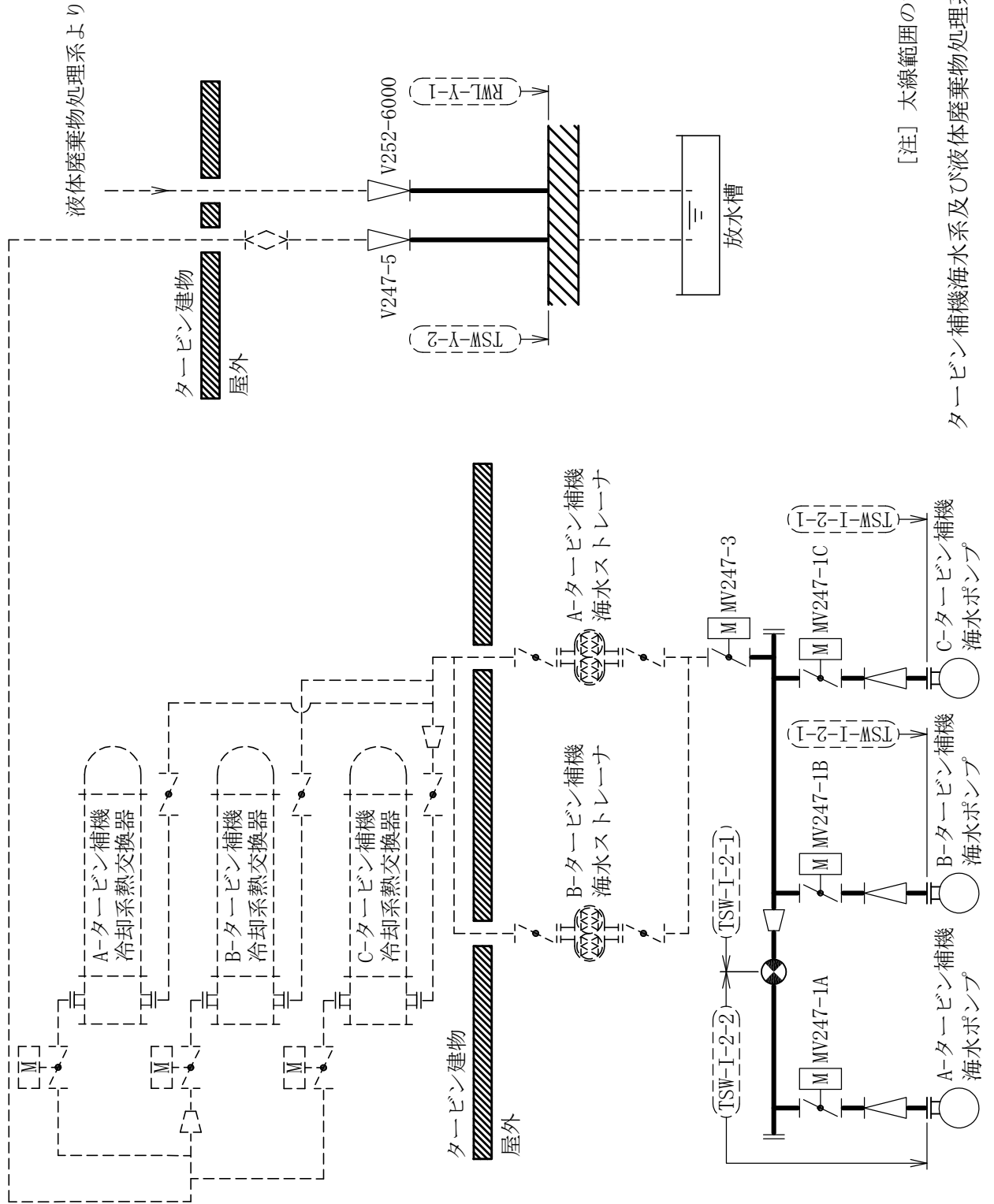


[注] 太線範囲の管クラス：DB3

高圧炉心スプレー補機海水系概略系統図



[注] 太線範囲の管クラス：DB3
循環水系概略系統図
(取水槽廻り)


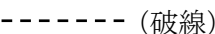


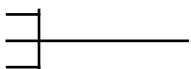
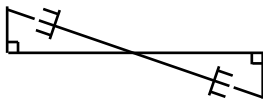
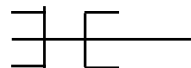
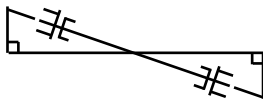

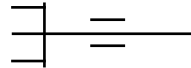
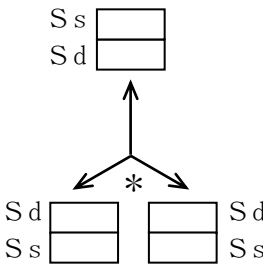


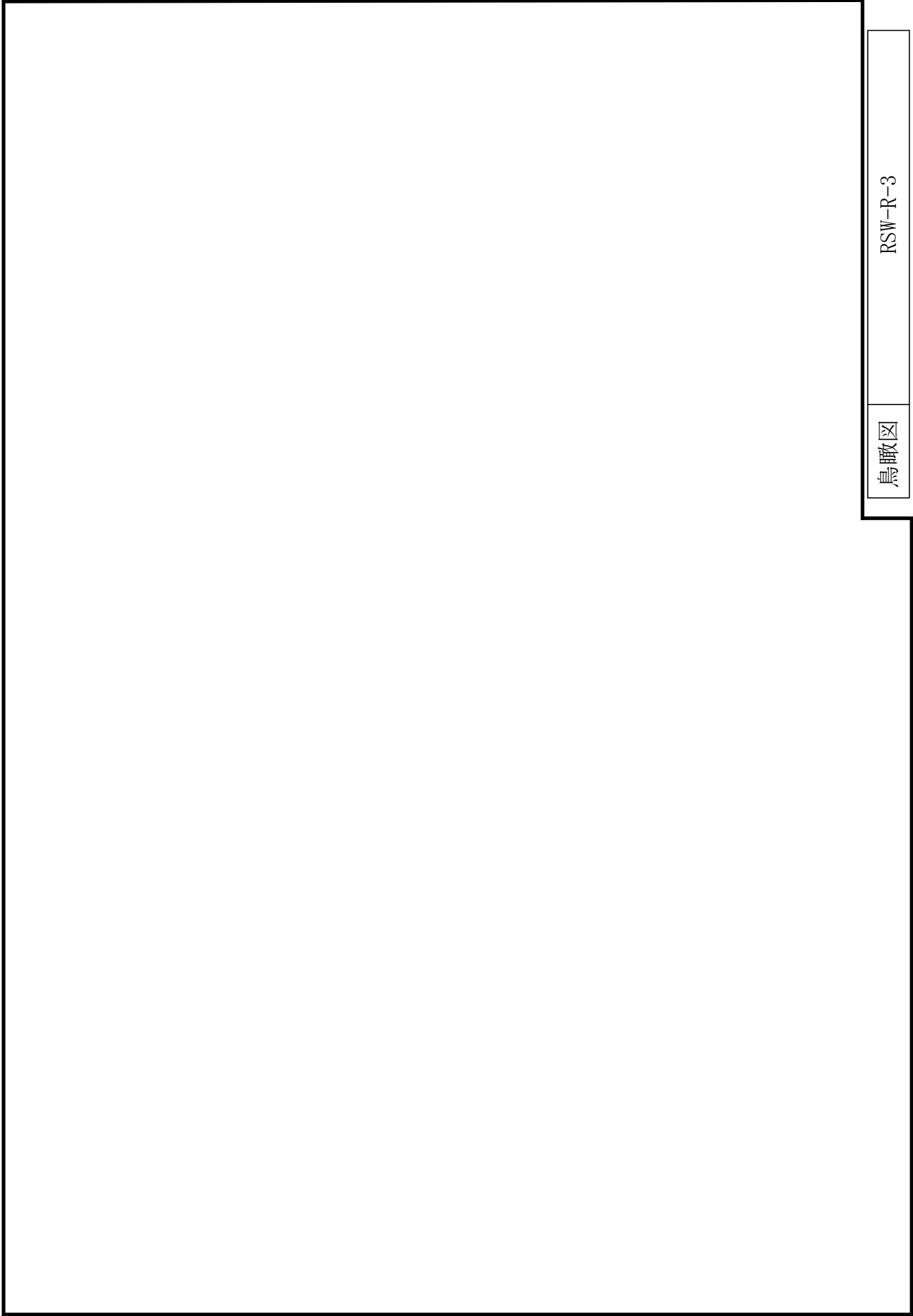
[注] 太線範囲の管クラス：DB3

タービン補機海水系及び液体廃棄物処理系概略系統図

4.2.3 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図

RSW-R-3

4.3 計算条件

4.3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」又は「M S A P」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

また、隔離弁は、弁体に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認する。

なお、津波によって生じる静水圧 P_h は、基準津波による水位を考慮する。津波によって生じる静水圧 P_h は以下の式により算出する。ここで、 ρ は海水密度、 g は重力加速度、 h は津波評価高さを示す。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*1	許容応力状態*2
浸水防護施設 (浸水防止設備)	—	原子炉補機海水系	クラス3管	S	D+Ph+Sd	ⅢAS
		高压炉心スプレイ補機海水系				
		循環水系				
		タービン補機海水系				
		液体廃棄物処理系				

注記*1：Dは自重荷重，Phは津波による静水圧荷重，Sdは余震荷重（動水圧含まない。）を示す。自重荷重（D）及び余震荷重（Sd）の組合せが，静水圧による荷重を緩和する方向に作用する場合は，保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

*2：管の許容限界は，VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に基づき，許容応力状態ⅢASを用いる。なお，隔離弁の許容限界は，水圧試験により確認した圧力とする。水圧試験では，隔離弁の閉状態に対して，静水圧を負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

4.3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-R-3

管 番 号	対応する評価点	最高 使用 圧力* (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~12, 15~73N 22~79N	0.98	40	457.2	9.5	SM41A
2	13~19	0.98	40	558.8	9.5	SM41A
3	20~52F, 60F~67A	0.98	40	711.2	9.5	SM41A
4	55F~60F	0.98	40	711.2	9.5	SM400A

注記*：最高使用圧力が運転圧力と津波による静水圧が同時に作用する場合の圧力を包絡しているため，最高使用圧力を適用する。

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
□	1N～12, 15～73N, 22～79N
□	13～19
□	20～52F, 55F～67A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
	1N, 73N, 79N
	5F, 8F, 10F, 69F, 75F
	14F, 17F
	21F, 24F, 27F, 30F, 34F, 37F, 40F, 43F, 46F, 49F, 63F, 66F
	52F
	55F
	60F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	53		540
	5401		54

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
52F~53				53~540			
540~5401				5401~54			
53~55F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
401						
** 6001 **						
11						
18						
2201						
29						
33						
42						
50						
58						
64						
67A						
73N						
79N						

S2 補 VI-3-別添3-2-8 R0

4.3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41A	40	—	245	—	—
SM400A	40	—	245	—	—

隔離弁の許容限界を下表に示す。

弁番号	型式	評価部位	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.81
MV247-3	電動弁	弁本体	2.10
V247-5	逆止弁	弁本体	0.81
V252-6000	逆止弁	弁本体	1.47

4.3.5 設計用地震力

本計算書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スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお，設計用床応答スペクトルは，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は，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。等価繰返し回数は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RSW-R-3	原子炉建物				

4.4 解析結果及び評価

4.4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d ^{*2}			基準地震動 S _s		
モード ^{*1}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直震度 ^{*3}	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度 ^{*4, *5}							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：余震条件として弾性設計用地震動 S_dを考慮する。

*3：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

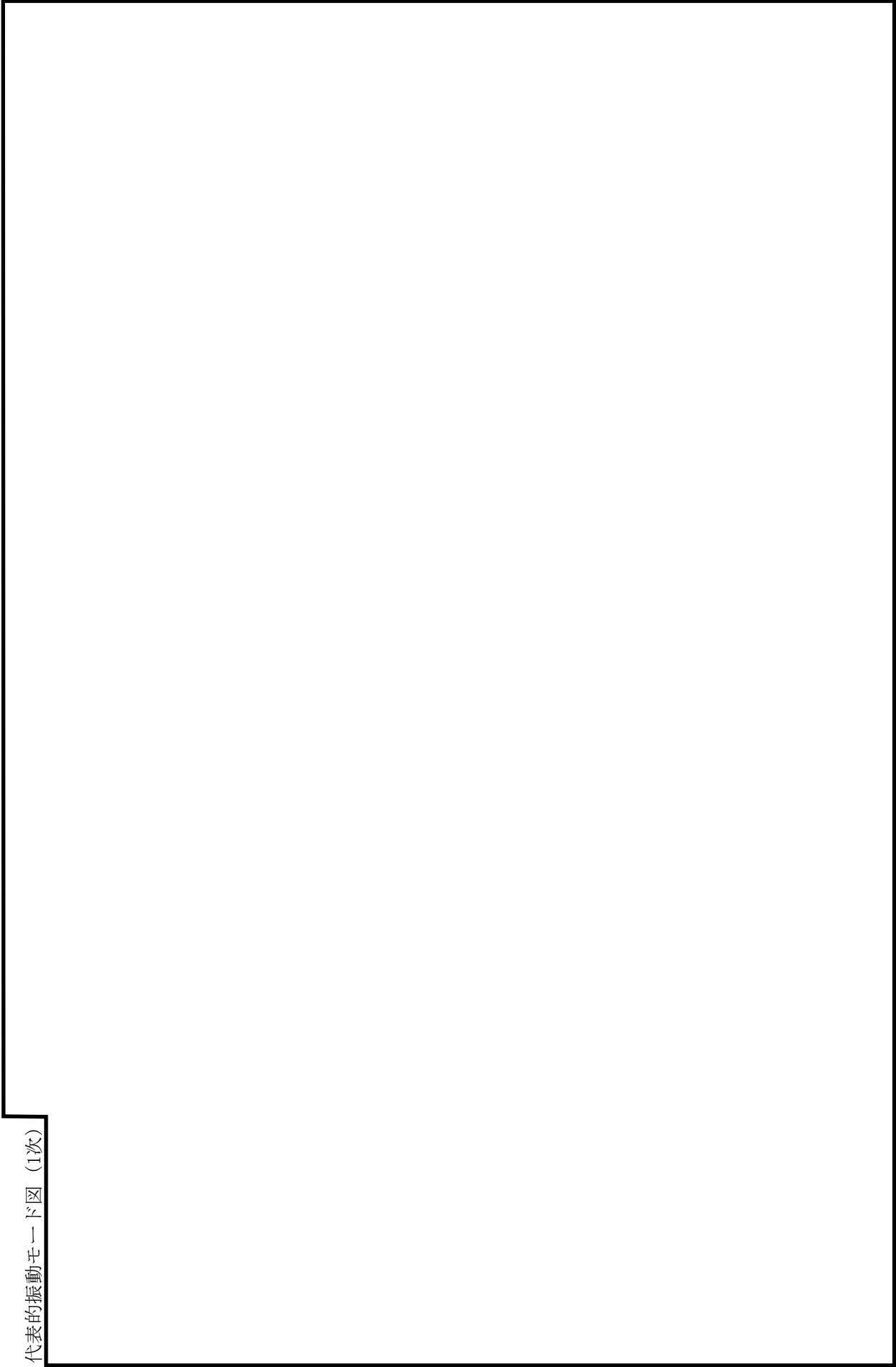
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

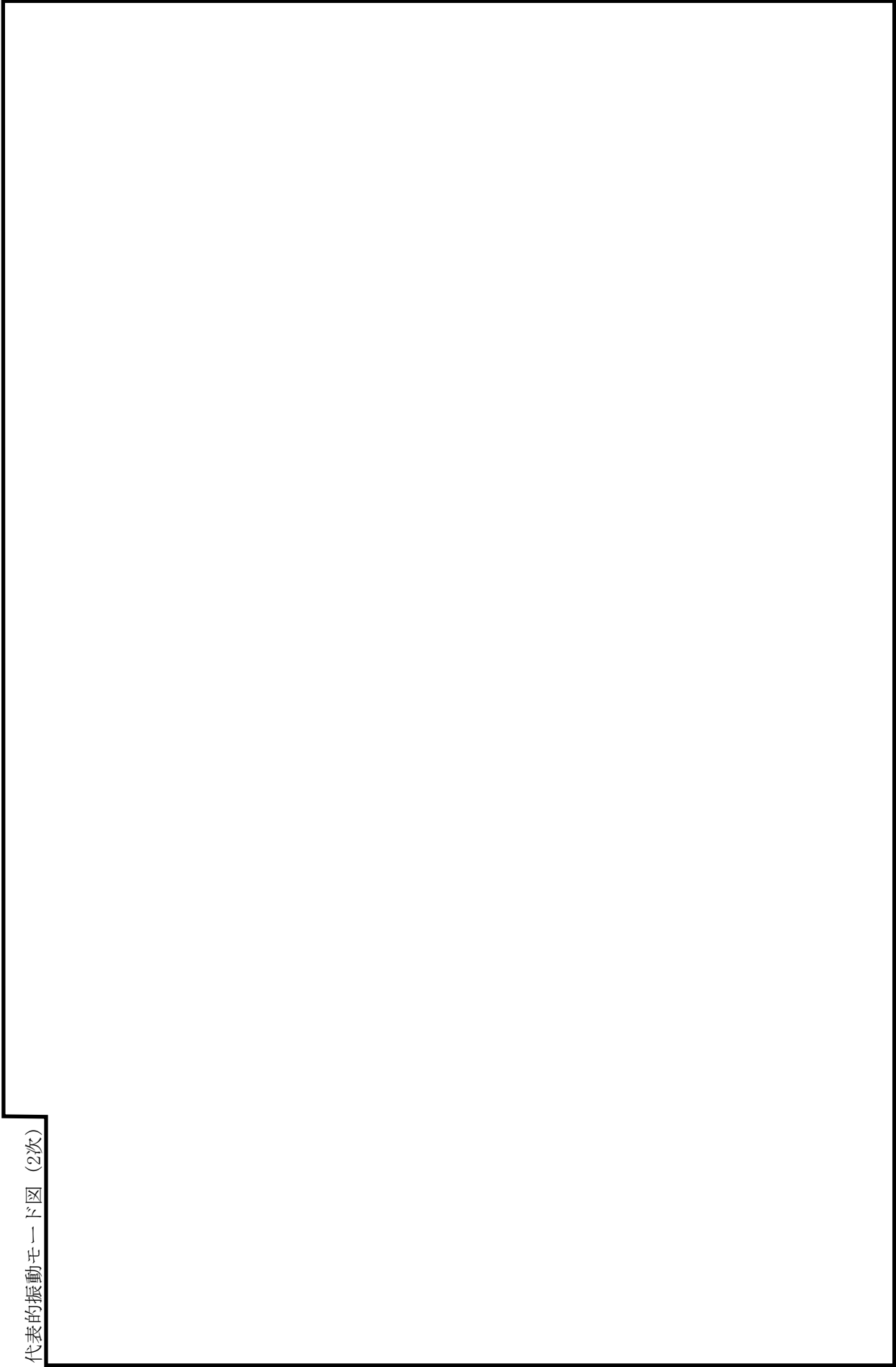
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

RSW-R-3

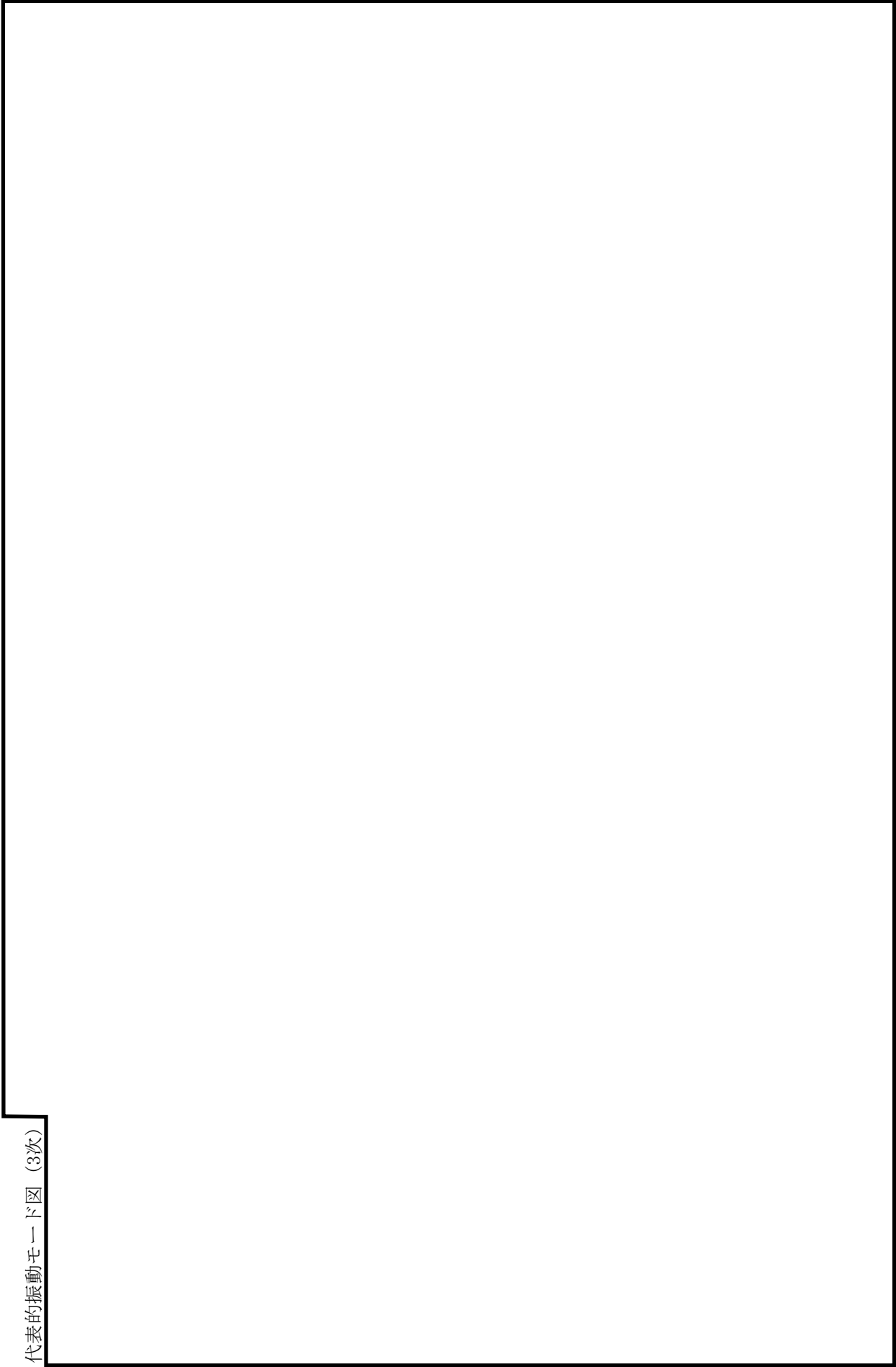
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

R S W - R - 3

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

RSW-R-3

4.4.2 評価結果

(1) 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力は許容値以下である。

クラス3管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価	
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
III _A S	一次応力 $S_{p r m}(S y^*)$	RSW-R-3	22	148	245

注記*：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $S y$ と1.2・ S のうち大きい方とする。

(2) 弁の健全性評価結果

下表に示すとおり発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることを確認した。

弁番号	型式	評価部位	発生圧力 (MPa)	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.17	0.81
V247-5	逆止弁	弁本体	0.31	0.81

(3) 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S				
		一次応力評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1	RSW-R-3	22	148	245	1.65	○
2	RSW-R-4	16	113	245	2.16	—
3	RSW-T-3	66	92	215	2.33	—
4	RSW-T-4	10	56	245	4.37	—
5	RSW-Y-1	411	50	245	4.90	—
6	RSW-Y-1A	813	35	245	7.00	—
7	RSW-Y-1B	816	47	245	5.21	—
8	RSW-Y-2	511	48	245	5.10	—
9	RSW-Y-2A	814	34	245	7.20	—
10	RSW-Y-2B	2	35	245	7.00	—
11	HPSW-R-2	36	71	215	3.02	—
12	CSW-T-1A	8A	32	235	7.34	—
13	CSW-T-1B	8A	32	235	7.34	—
14	CSW-T-1C	8A	32	235	7.34	—
15	CSW-I-1A	1A	16	235	14.68	—
16	CSW-I-1B	1A	16	235	14.68	—
17	CSW-I-1C	1A	16	235	14.68	—
18	CSW-I-1PA	4A	33	235	7.12	—
19	CSW-I-1PB	4A	33	235	7.12	—
20	CSW-I-1PC	4A	33	235	7.12	—
21	TSW-I-2-1	441	62	245	3.95	—
22	TSW-I-2-2	401	57	245	4.29	—
23	TSW-Y-2	7	63	245	3.88	—
24	RWL-Y-1	852	44	231	5.25	—

VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要

VI-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ T D A P III

目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	4
2.1 TDAPIII Ver. 3.04	4
2.2 TDAPIII Ver. 3.05	6
2.3 TDAPIII Ver. 3.08	7
2.4 TDAPIII Ver. 3.11	8
2.5 TDAPIII Ver. 3.12, Ver. 3.13, Ver. 3.13.01	9

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）TDAPⅢについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-18	取水槽の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-2-20	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答計算書	Ver. 3.08 Ver. 3.12
VI-2-2-22	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-2-24	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-2-26	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-29	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 3.08 Ver. 3.13
VI-2-2-30	第1ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-32	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-34	緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-37	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-10-2-5	1号機取水槽の地震応答計算書	Ver. 3.13.01
VI-2-11-2-3	免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 3.04
VI-2-11-2-12	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 3.04
VI-2-別添2-2	溢水源としないB、Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 3.04 Ver. 3.05 Ver. 3.11 Ver. 3.12
VI-2-別添2-8	溢水防護に係る施設の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	Ver. 3.11 Ver. 3.12
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 3.04
VI-2-別添4-2	地下水位低下設備の地震応答計算書	Ver. 3.12
VI-2-別添4-3-5	揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 3.12

使用添付書類		バージョン
VI-2-別添4-3-6	ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-3-別添1-13-5	復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度計算書	Ver. 3.04
VI-3-別添2-9	ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度計算書	Ver. 3.04

2. 解析コードの概要

2.1 TDAPⅢ Ver. 3.04

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.04
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第3号機において、海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水取水トンネル、燃料油貯油そう基礎の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード(Ver. 3.05)が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、高浜発電所第3号機の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	静的応力解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.04
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）、常設低圧代替注水系ポンプ室、代替淡水貯槽の静的応力解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.2 TDAPⅢ Ver. 3.05

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	地震応答解析 3次元静的線形FEM解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.05
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第3号機において、海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水取水トンネル、燃料油貯油そう基礎の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード(Ver. 3.05)が使用された実績がある。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.3 TDAPⅢ Ver. 3.08

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.08
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑥ 2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ⑦ 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ⑧ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ⑨ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑩ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.4 TDAPⅢ Ver. 3.11

コード名 項目	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.11
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.11）が使用された実績がある。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.5 TDAPⅢ Ver. 3.12, Ver. 3.13, Ver. 3.13.01

コード名 項目	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.12, Ver. 3.13, Ver. 3.13.01
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、女川原子力発電所第2号機の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	静的応力解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.12
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしており，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は，以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素，平面要素，立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁，橋脚，地盤～構造物連成，地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており，十分な使用実績があるため，信頼性があると判断できる。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部），常設低圧代替注水系ポンプ室，代替淡水貯槽の静的応力解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは，東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

VI-5-31 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ANSYS

目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 ANSYS Ver. 13.0	3
2.2 ANSYS Ver. 14.0	4
2.3 ANSYS Ver. 15.0	6
2.4 ANSYS Ver. 17.2	7

1. はじめに

本資料は、添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）ANSYSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-2-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	Ver. 13.0, Ver. 14.0
VI-2-6-7-3-3-5	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの耐震性についての計算書	Ver. 15.0
VI-2-4-2-5	燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 17.2

2. 解析コードの概要

2.1 ANSYS Ver. 13.0

項目	コード名 ANSYS
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 13.0
コードの概要	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。) は、スワンソン・アナリシス・システムズ (現、ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、伝熱、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、9×9燃料 (B型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。

2.2 ANSYS Ver. 14.0

項目	コード名 ANSYS
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 14.0
コードの概要	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。)は、スワンソン・アナリシス・システムズ (現, ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、伝熱、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。 ・本コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageを入力とした解析により、上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、9×9燃料 (B型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 本解析コードは、既認可の下部端栓溶接部応力解析において使用実績のあるMARCと応力評価モデルは同一であり、同等な解析条件（有限要素モデル、ペレットやジルカロイ被覆管の物性値、荷重条件及び境界モデル）を設定可能なこと、MARCと本解析コードとで同等な解析が可能であることを確認している。
--	--

2.3 ANSYS Ver. 15.0

項目	コード名 ANSYS
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による固有値解析，応答解析
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 15.0
コードの概要	<p>ANSYS（以下「本解析コード」という。）は，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，ANSYS Inc.）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは，広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは，伝熱，構造，マルチフィジックス，流体，陽解法による動的，電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは，ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの検証は，開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されており，理論解と解析解が一致していることを確認している。 ・本解析コードが適正であることは，コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageにより確認している。 ・本解析コードの運用環境については，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは，原子力分野では，原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。

2.4 ANSYS Ver. 17.2

項目	コード名 ANSYS
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，応答解析
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 17.2
コードの概要	<p>ANSYS（以下「本解析コード」という。）は，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，ANSYS Inc.）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは，広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは，伝熱，構造，マルチフィジックス，流体，陽解法による動的，電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは，ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの検証は，開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されており，理論解と解析解が一致していることを確認している。 ・本解析コードが適正であることは，コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageにより確認している。 ・本解析コードの運用環境については，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは，原子力分野では，原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。

VI-5-54 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ V A

目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 VA Ver.2	3
3. 解析手法	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	4
3.4 解析フローチャート	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証	7
3.5.2 妥当性確認	12
3.5.3 評価結果	12

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）VAについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 2

2. 解析コードの概要

2.1 VA Ver. 2

項目	コード名
	VA
使用目的	振動アドミッタンス理論に基づく地盤ばね（実部，虚部）の算定
開発機関	大成建設株式会社
開発時期	1991年
使用したバージョン	Ver. 2
コードの概要	VAは，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>VA（以下「本解析コード」という。）は，非常用ろ過水タンクの地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析における水平，鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。</p> <p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードを用いて評価した地盤ばねが薄層法及びDGC（ダイナミック・グラウンド・コンプライアンス）（以下「DGC」という。）で算出した結果と概ね一致していることを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</p> <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，水平，鉛直及び回転に対する地盤ばねについて検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 ・非常用ろ過水タンクの地震応答解析における地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。</p>

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、振動アドミッタンス理論に基づき、基礎の水平、鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。本解析コードは、非常用ろ過水タンクの地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析における水平、鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・振動アドミッタンス理論に基づき、底面地盤ばねを振動数領域で算定できる。
- ・点加振解を用いているため、高振動数領域に対しても適用可能である。
- ・任意の正方形要素を組み合わせて表現することができるため、任意の基礎形状にも対応可能である。

3.3 解析手法

多治見の振動アドミッタンス理論においては、半無限弾性体上の基礎マット面に、鉛直、水平、回転の動的な力 $Pe^{i\omega t}$ を加えたとき、それに対応する変位 W との関係を以下の式で表せる。

$$W = \frac{Pe^{i\omega t}}{K_f} \{g_1(\omega) - ig_2(\omega)\} \quad (3.1)$$

ここで、 K_f ：静的地盤ばね剛性

この $g_1(\omega) - ig_2(\omega)$ を多治見は振動アドミッタンスと名付けている。これより地盤ばねは振動アドミッタンスの逆数を用いて以下の式で表される。

$$K(\omega) = K_f \cdot \frac{1}{g_1(\omega) - ig_2(\omega)} \quad (3.2)$$

ここで、 $K(\omega)$ ：動的抵抗係数

(3.2) 式を変形すると、地盤ばねは複素剛性の形にすることができ、実数部を剛性成分、虚数部を減衰成分として、以下の式で表される。

$$K(\omega) = K_R(\omega) + iK_I(\omega) \quad (3.3)$$

振動アドミッタンスでは点加振解が必要である。多治見は、妹沢の解として知られている三次元波動方程式の解を用い、境界条件を満たす鉛直及び水平の点加振解を求めている。図3-1に示すとおり、 x 方向の点加振 $P_x e^{i\omega t}$ が作用するときの地表面の任意点 (r, θ) における x 方向変位 u_x 及び y 方向変位 u_y は次式で与えられる。

$$u_x = \frac{P_x \cdot e^{i\omega t}}{4\pi G} \frac{1}{r} \left\{ (2-\nu)(f_{H1} + i \cdot f_{H2}) + \nu \cos 2\theta (g_{H1} + i \cdot g_{H2}) \right\} \quad (3.4)$$

$$u_y = \frac{P_x \cdot e^{i\omega t}}{4\pi G} \frac{1}{r} \nu \sin 2\theta (g_{H1} + i \cdot g_{H2}) \quad (3.5)$$

同様に、z 方向の点加振 $P_z e^{i\omega t}$ が作用するときの z 方向変位 u_z は次式のように示される。

$$u_z = \frac{P_z \cdot e^{i\omega t}}{2\pi G} \frac{1-\nu}{r} (f_{V1} + i \cdot f_{V2}) \quad (3.6)$$

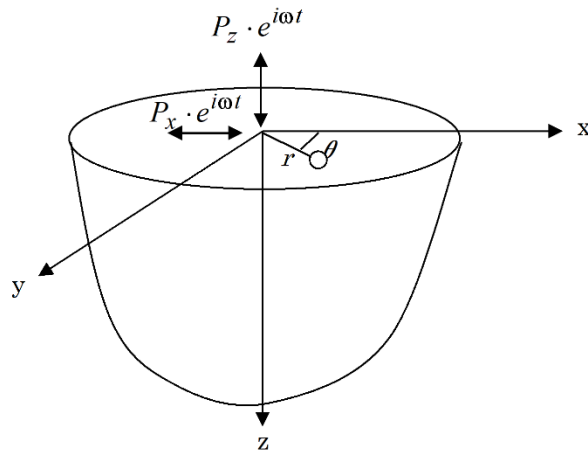


図 3-1 座標系

振動アドミタンス理論では、図 3-2 に示すように基礎を小領域に分割し、小領域に点加振した場合の変位から、基礎全体の力-変位関係を基礎の条件、基礎下の地反力分布を一様分布（水平ばね及び鉛直ばね）、三角形分布（回転ばね）とする、又は、基礎を剛体と仮定し、変位分布を一様分布（水平ばね及び鉛直ばね）、三角形分布（回転ばね）とする条件のもとで求めるものである。

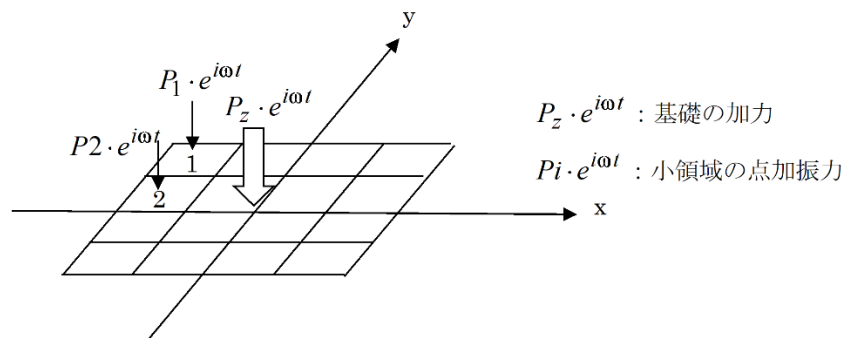


図 3-2 基礎の分割

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-3 に示す。

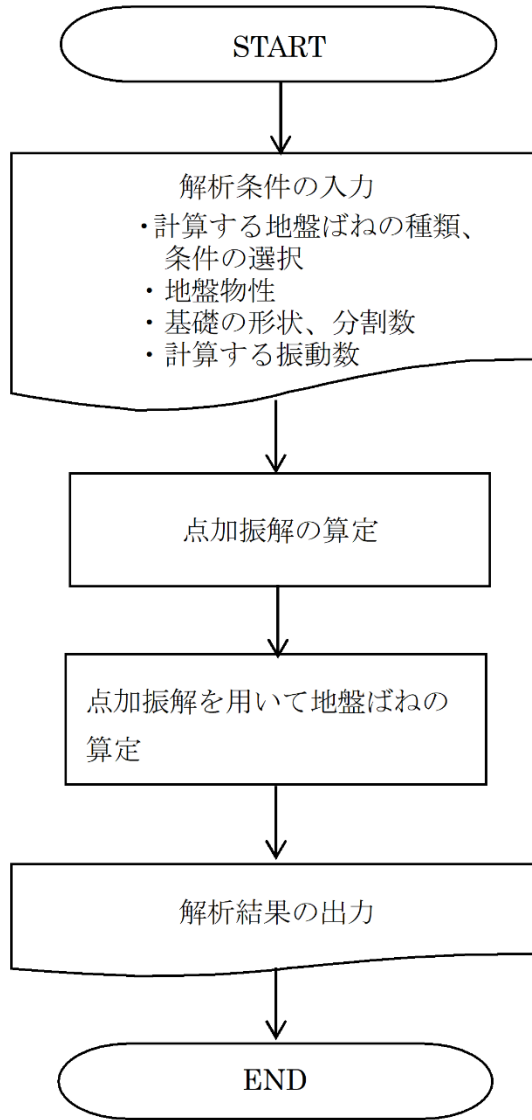


図 3-3 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

3.5.1 検証

本解析コードの検証は、薄層法及びDGCで計算された結果と比較により行う。

解析モデルは40m×40mの基礎とする。図3-4に振動アドミタンス用に12×12にメッシュ分割したモデル図及び地盤条件を示す。

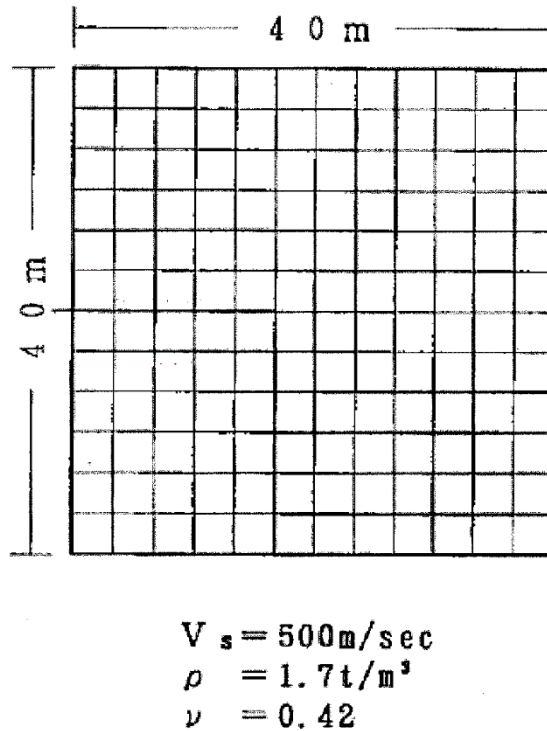


図3-4 振動アドミタンス用モデル及び地盤条件

(a) 薄層法との比較

薄層法は、水平方向には半無限状態を表現できるが、地盤下方に対しては有限要素でモデル化されるため、基礎幅の約2倍にあたる4m×21 = 84mの薄層地盤を設け、その下に粘性境界を付けることで半無限状態を表現する。図3-5に薄層法用の解析モデルを示す。

薄層法による結果と本解析コードによる結果を比較したものを表3-1に示す。両者は概ね一致していることが確認できる。

なお、境界条件は剛体変位仮定である。

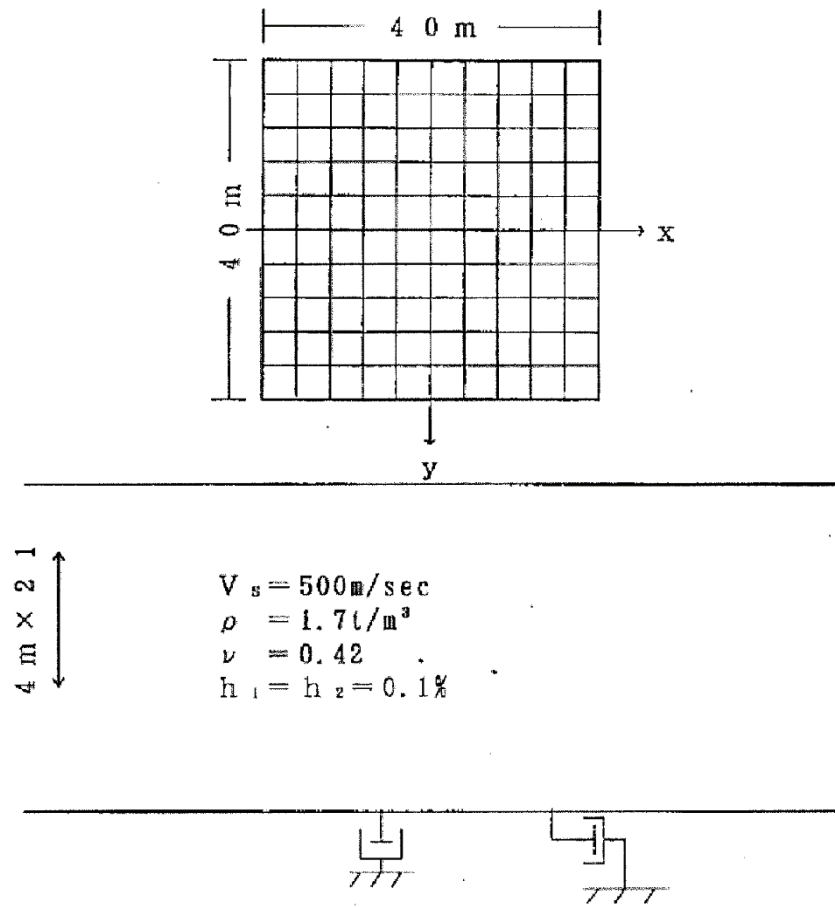


図 3-5 薄層法用の解析モデル

表 3-1 薄層法との比較 (単位系 : tf/m)

(1) 水平ばね

振動数 (Hz)	本プログラム		薄層法	
	実部	虚部	実部	虚部
0.0	5.28×10^6	0.0	—	—
1.0	5.26×10^6	9.04×10^5	5.28×10^6	9.46×10^5
2.0	5.21×10^6	1.83×10^6	5.10×10^6	1.63×10^6
3.0	5.15×10^6	2.77×10^6	4.99×10^6	2.58×10^6
4.0	5.08×10^6	3.76×10^6	4.94×10^6	3.47×10^6
5.0	5.03×10^6	4.77×10^6	4.82×10^6	4.40×10^6
6.0	5.02×10^6	5.79×10^6	4.80×10^6	5.45×10^6
7.0	5.05×10^6	6.79×10^6	4.93×10^6	6.31×10^6
8.0	5.09×10^6	7.76×10^6	4.79×10^6	7.08×10^6
9.0	5.14×10^6	8.68×10^6	4.67×10^6	8.17×10^6
10.0	5.17×10^6	9.55×10^6	4.90×10^6	9.13×10^6

(2) 回転ばね

振動数 (Hz)	本プログラム		薄層法	
	実部	虚部	実部	虚部
0.0	2.78×10^9	0.0	—	—
1.0	2.71×10^9	1.59×10^7	2.34×10^9	5.01×10^7
2.0	2.54×10^9	1.11×10^8	2.24×10^9	8.43×10^7
3.0	2.35×10^9	2.96×10^8	2.06×10^9	1.91×10^8
4.0	2.17×10^9	5.41×10^8	1.89×10^9	3.98×10^8
5.0	2.01×10^9	8.21×10^8	1.77×10^9	6.24×10^8
6.0	1.86×10^9	1.12×10^9	1.66×10^9	8.43×10^8
7.0	1.73×10^9	1.43×10^9	1.55×10^9	1.07×10^9
8.0	1.60×10^9	1.75×10^9	1.43×10^9	1.31×10^9
9.0	1.49×10^9	2.08×10^9	1.32×10^9	1.55×10^9
10.0	1.38×10^9	2.40×10^9	1.21×10^9	1.80×10^9

(3) 鉛直ばね

振動数 (Hz)	本プログラム		薄層法	
	実部	虚部	実部	虚部
0.0	7.18×10^6	0.0	—	—
1.0	7.09×10^6	1.72×10^6	7.45×10^6	2.41×10^6
2.0	6.82×10^6	3.49×10^6	7.23×10^6	2.85×10^6
3.0	6.39×10^6	5.34×10^6	6.16×10^6	4.20×10^6
4.0	5.82×10^6	7.30×10^6	5.36×10^6	6.35×10^6
5.0	5.17×10^6	9.38×10^6	5.04×10^6	8.43×10^6
6.0	4.48×10^6	1.16×10^7	4.63×10^6	1.02×10^7
7.0	3.80×10^6	1.39×10^7	3.87×10^6	1.20×10^7
8.0	3.13×10^6	1.62×10^7	2.95×10^6	1.40×10^7
9.0	2.46×10^6	1.86×10^7	2.14×10^6	1.63×10^7
10.0	1.76×10^6	2.10×10^7	1.38×10^6	1.86×10^7

(a) DGCとの比較

DGC は、基礎の代表変位を鉛直及び水平ばねの場合は相加平均変位、回転ばねについては荷重重み付平均変位とした場合の理論解である。よって、この場合、本解析コードでは、境界条件としては、応力一定仮定として評価する。同じ地盤条件でも境界条件が異なるため、表 3-1 の値とは異なっている。

表 3-2 には DGC の結果と本解析コードによる結果を比較したものを示す。両者は概ね一致していることが確認できる。

表 3-2 DGC との比較 (単位系 : tf/m)

(1) 水平ばね

振動数 (Hz)	本プログラム		DGC	
	実部	虚部	実部	虚部
0.0	5.05×10^6	0.0	4.66×10^6	0.0
1.0	5.03×10^6	8.28×10^6	4.64×10^6	7.11×10^5
2.0	4.96×10^6	1.67×10^6	4.60×10^6	1.42×10^6
3.0	4.85×10^6	2.53×10^6	4.51×10^6	2.14×10^6
4.0	4.70×10^6	3.42×10^6	4.40×10^6	2.87×10^6
5.0	4.51×10^6	4.35×10^6	4.25×10^6	3.64×10^6
6.0	4.31×10^6	5.34×10^6	4.07×10^6	4.44×10^6
7.0	4.11×10^6	6.39×10^6	3.88×10^6	5.28×10^6
8.0	3.94×10^6	7.51×10^6	3.69×10^6	6.17×10^6
9.0	3.85×10^6	8.68×10^6	3.50×10^6	7.14×10^6
10.0	3.86×10^6	9.84×10^6	3.35×10^6	8.15×10^6

(2) 回転ばね

振動数 (Hz)	本プログラム		DGC	
	実部	虚部	実部	虚部
0.0	2.65×10^9	0.0	2.13×10^9	0.0
1.0	2.59×10^9	1.43×10^7	2.09×10^9	1.38×10^7
2.0	2.42×10^9	1.02×10^8	1.97×10^9	7.20×10^7
3.0	2.23×10^9	2.71×10^8	1.83×10^9	1.87×10^8
4.0	2.04×10^9	4.96×10^8	1.68×10^9	3.45×10^8
5.0	1.85×10^9	7.51×10^8	1.54×10^9	5.29×10^8
6.0	1.67×10^9	1.02×10^9	1.39×10^9	7.28×10^8
7.0	1.47×10^9	1.31×10^9	1.24×10^9	9.34×10^8
8.0	1.26×10^9	1.61×10^9	1.08×10^9	1.15×10^9
9.0	1.03×10^9	1.93×10^9	9.04×10^8	1.38×10^9
10.0	7.68×10^8	2.29×10^9	7.07×10^8	1.63×10^9

(3) 鉛直ばね

振動数 (Hz)	本プログラム		DGC	
	実部	虚部	実部	虚部
0.0	6.88×10^6	0.0	6.32×10^6	0.0
1.0	6.78×10^6	1.58×10^6	6.21×10^6	1.37×10^6
2.0	6.48×10^6	3.17×10^6	6.01×10^6	2.70×10^6
3.0	5.95×10^6	4.80×10^6	5.60×10^6	4.09×10^6
4.0	5.20×10^6	6.48×10^6	5.03×10^6	5.51×10^6
5.0	4.19×10^6	8.26×10^6	4.26×10^6	7.01×10^6
6.0	2.90×10^6	1.02×10^7	3.28×10^6	8.61×10^6
7.0	1.29×10^6	1.24×10^7	2.07×10^6	1.04×10^7
8.0	-6.08×10^5	1.50×10^7	6.35×10^5	1.24×10^7
9.0	-2.70×10^6	1.82×10^7	-9.73×10^5	1.49×10^7
10.0	-4.60×10^6	2.24×10^7	-2.64×10^6	1.79×10^7

3.5.2 妥当性確認

本解析コードの検証は、水平、鉛直及び回転に対する地盤ばねに対してなされており、本解析の適用範囲と合致している。したがって、検証結果より、本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

水平、鉛直及び回転に対する地盤ばねに対する本解析コードの解析結果が、薄層法及びDGCの理論解と概ね一致していることを確認した。

上記、検証は、本解析の適用範囲に対して実施されたものであることから、本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。

VI-5-64 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ A u t o P I P E

目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 AutoPIPE Ver. 12.00.00.14	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）AutoPIPEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 12. 00. 00. 14

2. 解析コードの概要

2.1 AutoPIPE Ver. 12.00.00.14

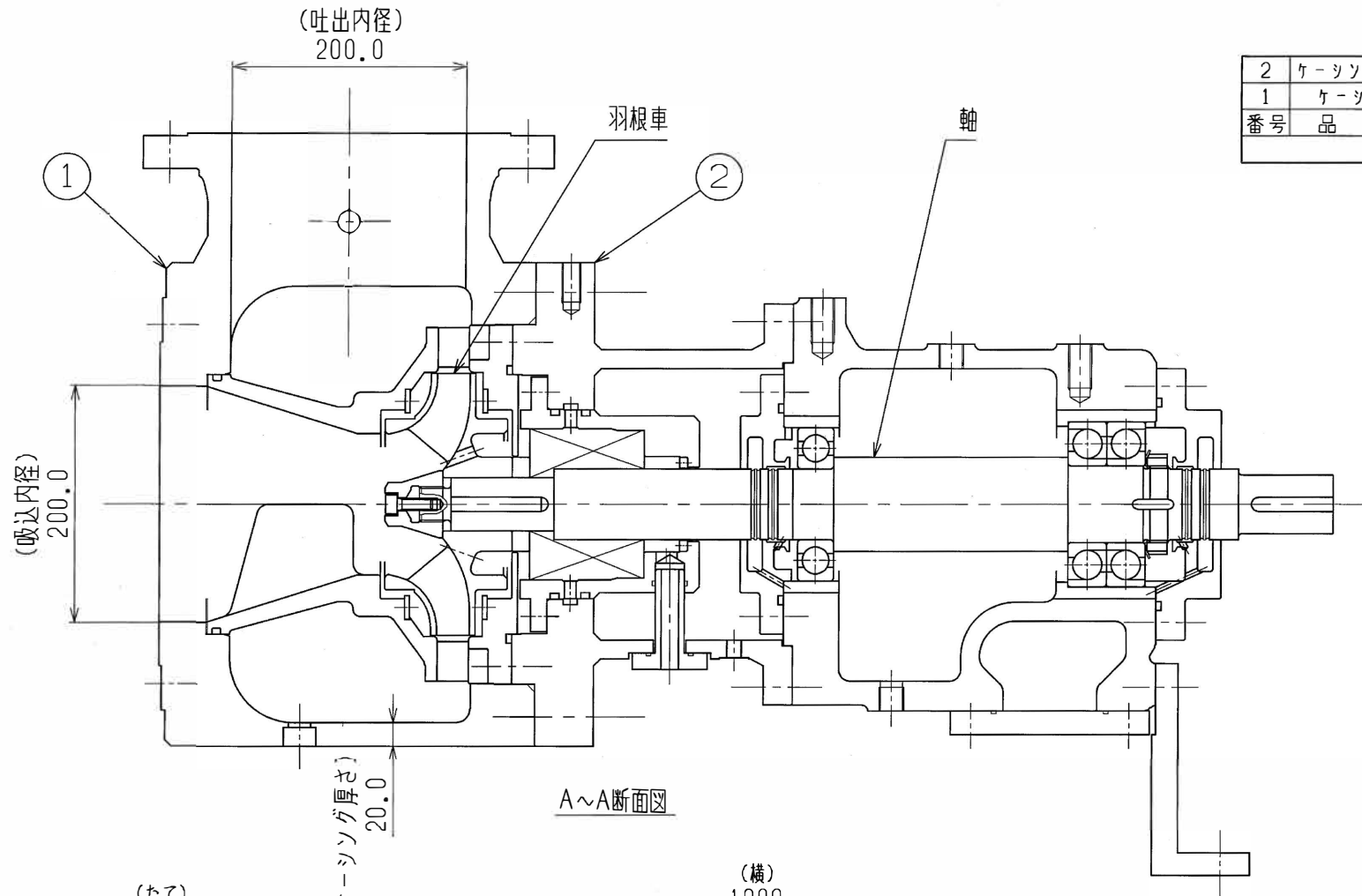
項目 \ コード名	AutoPIPE
使用目的	有限要素法（はりモデル）による機器の固有値解析及び応力解析
開発機関	株式会社ベントレー・システムズ
開発時期	1986年
使用したバージョン	Ver. 12.00.00.14
コードの概要	<p>AutoPIPE（以下「本解析コード」という。）は、静的及び動的荷重に対する配管の応力を解析する計算機プログラムである。任意形状の3次元モデルに対して、有限要素法により静的解析及び動的解析を行い、応力、反力、変位等を算出することができる。</p> <p>主な解析機能として、内圧・熱膨張・強制変位・摩擦力等を考慮した線形・非線形の静的解析、固有値解析・時刻歴応答解析等の動解析、そしてハンガーサポートの自動選定があり、本解析コードは、工業用配管システム設計、建築・土木工学等の分野において、多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、発電、石油・ガス、原子力等の様々な分野の配管解析に使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、溢水源としないB、Cクラスの配管の有限要素法（はりモデル）による地震応答解析に本解析コード（Ver. 12.00.00.14）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、女川原子力発電所第2号機の既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画の解析の用途及び適用範囲が妥当性確認の範囲内であることを確認している。

VI-6 図面

3. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設

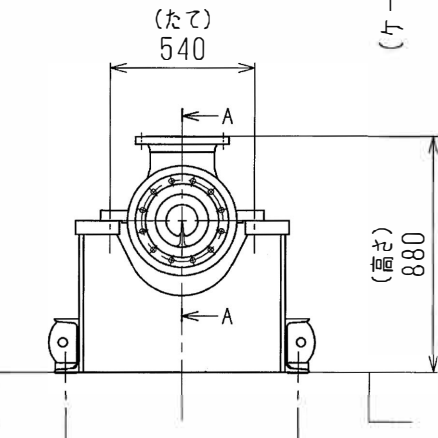
3.2 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備

3.2.1 燃料プール冷却系

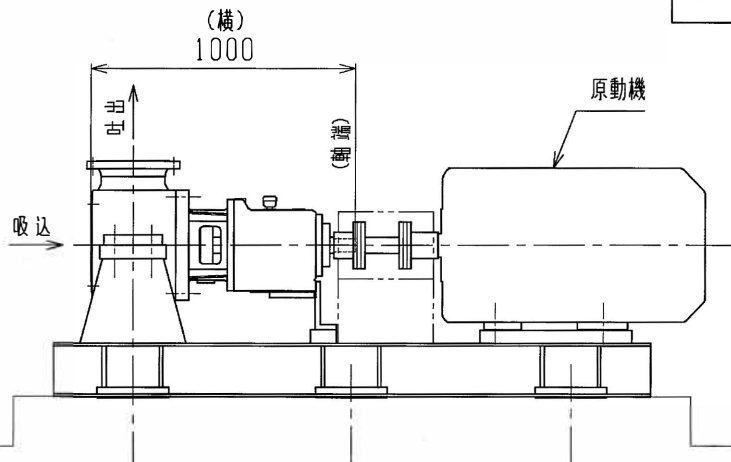


A~A断面図

2	ケーシングカバー	1	
1	ケーシング	1	
番号	品名	個数	材料
部品表			



外形図



注1：寸法はmmを示す。
注2：特記なき寸法は公称値を示す。

工事計画認可申請	第3-2-1-4-2図
島根原子力発電所第2号機	
名称	燃料プール冷却ポンプ構造図
中国電力株式会社	

第 3-2-1-4-2 図 燃料プール冷却ポンプ構造図 別紙

工事計画記載の公称値の許容範囲

[燃料プール冷却ポンプ]

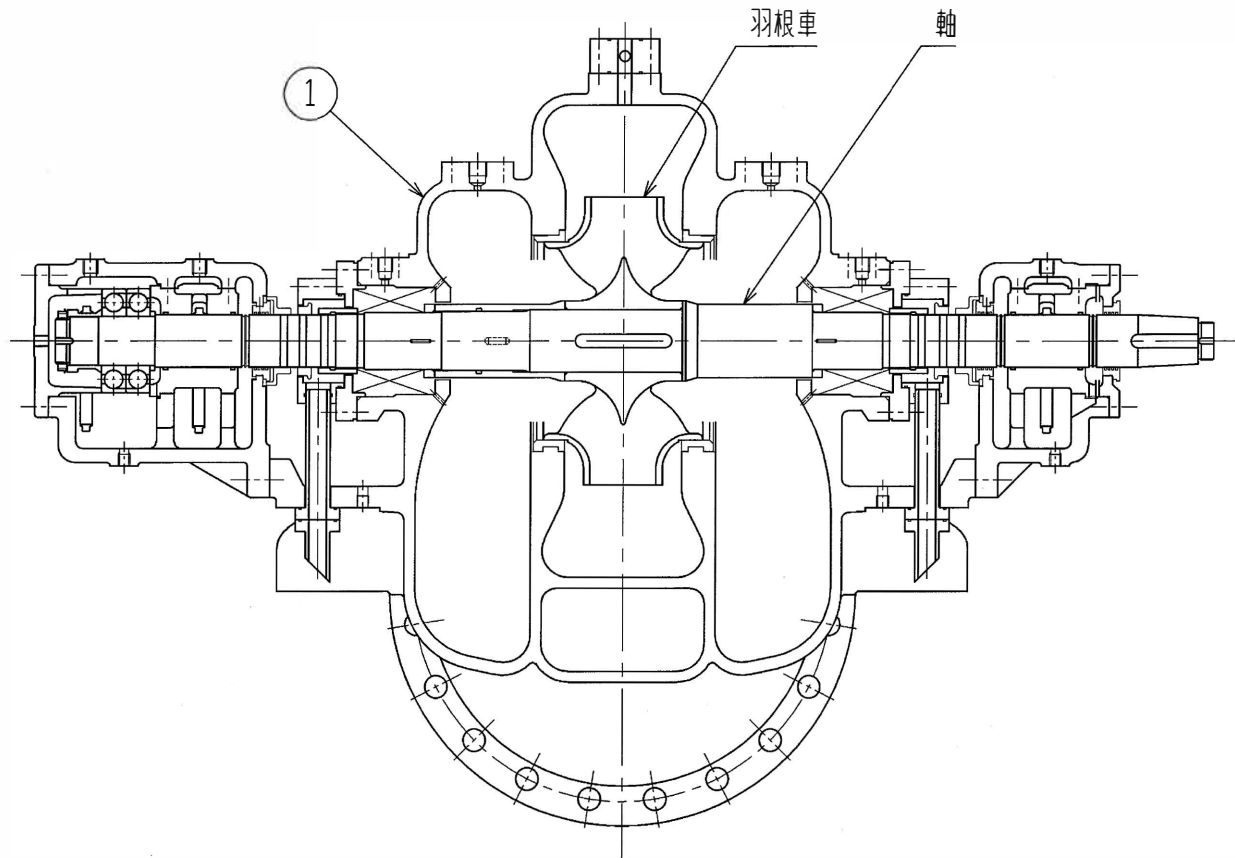
主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
吸込内径	200.0	<input type="text"/> mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカ基準
吐出内径	200.0	<input type="text"/> mm	同上
ケーシング厚さ	20.0	<input type="text"/> mm <input type="text"/> mm	同上
たて	540	<input type="text"/> mm	同上
横	1000	<input type="text"/> mm	同上
高さ	880	<input type="text"/> mm	同上

注：主要寸法は，工事計画記載の公称値

4. 原子炉冷却系統施設

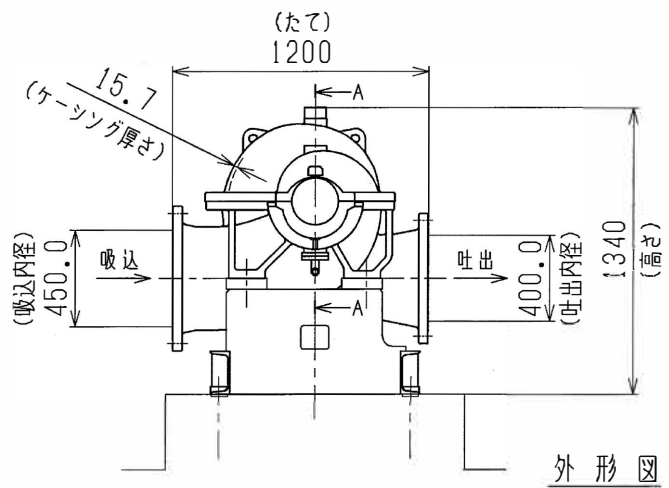
4.6 原子炉補機冷却設備

4.6.1 原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系

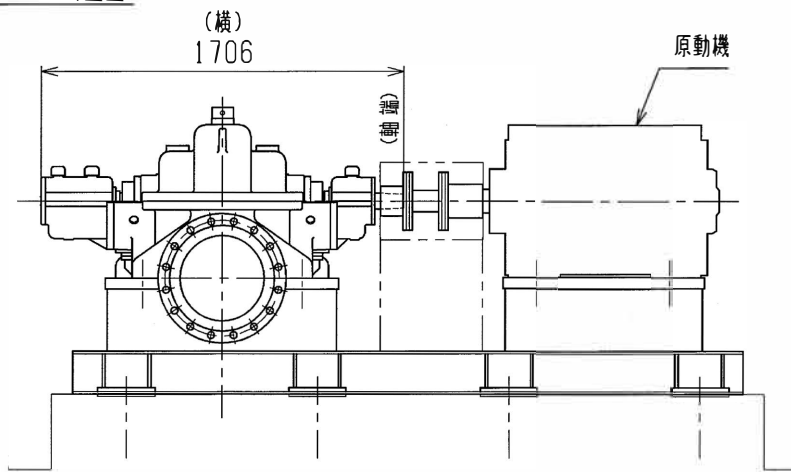


1	ケーシング	1	
番号	品名	個数	材料
部品表			

A~A断面図



外形図



注1: 寸法はmmを示す。
注2: 特記なき寸法は公称値を示す。

工事計画認可申請	第4-6-1-4-2図
島根原子力発電所第2号機	
名称	原子炉補機冷却水ポンプ構造図
中国電力株式会社	

第 4-6-1-4-2 図 原子炉補機冷却水ポンプ構造図 別紙

工事計画記載の公称値の許容範囲

[原子炉補機冷却水ポンプ]

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
吸込内径	450.0	<input type="text"/> mm	製造能力, 製造実績を考慮したメーカ基準
吐出内径	400.0	<input type="text"/> mm	同上
ケーシング厚さ	15.7	<input type="text"/> mm <input type="text"/> mm	同上
たて	1200	<input type="text"/> mm	同上
横	1706	<input type="text"/> mm	同上
高さ	1340	<input type="text"/> mm	同上

注：主要寸法は，工事計画記載の公称値