Ⅴ-3-別添 2-7　廃棄物処理建屋の強度計算書

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 ····· 6
2.4　適用規格 ····· 8
3.　強度評価方法及び評価条件 ····· 9
3.1　評価対象部位 ····· 9
3.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 11
3.2.1　荷重 ····· 11
3.2.2　荷重の組合せ ····· 13
3.3　許容限界 ····· 14
3.4　解析モデル及び諸元 ····· 17
3.4.1　モデル化の基本方針 ····· 17
3.4.2　解析諸元 ····· 21
3.5　評価方法 ····· 21
3.5.1　屋根スラブの評価方法 ····· 21
3.5.2　屋根トラスの評価方法 ····· 22
3.5.3　鉄骨フレームの評価方法 ····· 25
3.5.4　耐震壁の評価方法 ····· 25
4.　強度評価結果 ····· 26
4.1　屋根スラブの評価結果 ····· 26
4.2　屋根トラスの評価結果 ····· 27
4.3　鉄骨フレームの評価結果 ····· 28
4.4　耐震壁の評価結果 ····· 28

別紙　年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」に示すとおり，廃棄物処理建屋が降下火砕物及び積雪の堆積時においても，内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して，建屋全体及び建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2.　基本方針

廃棄物処理建屋は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，本資料では，「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1　位置

廃棄物処理建屋は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。廃棄物処理建屋の配置を図 2－1 に示す。

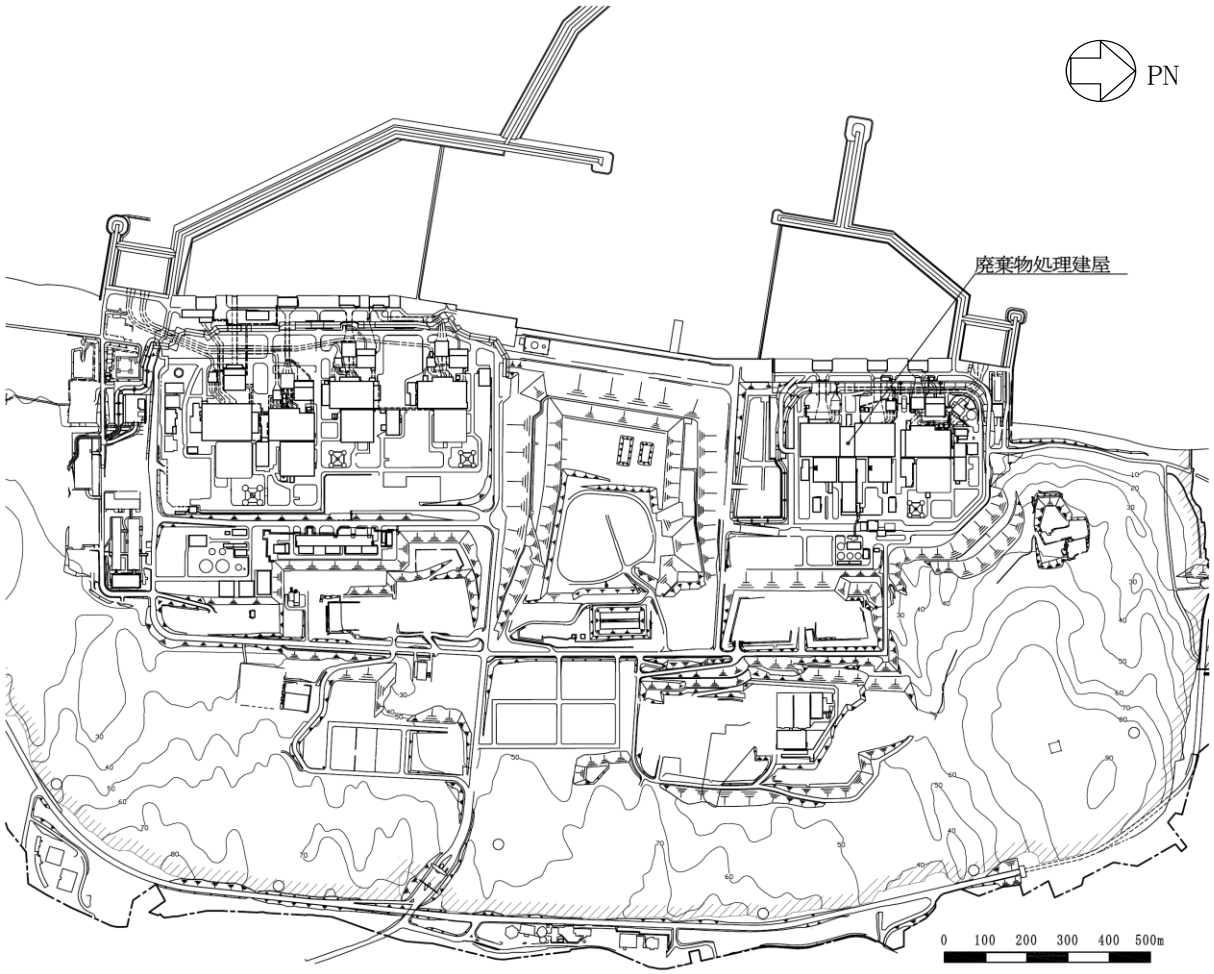


図 2－1　廃棄物処理建屋の配置図

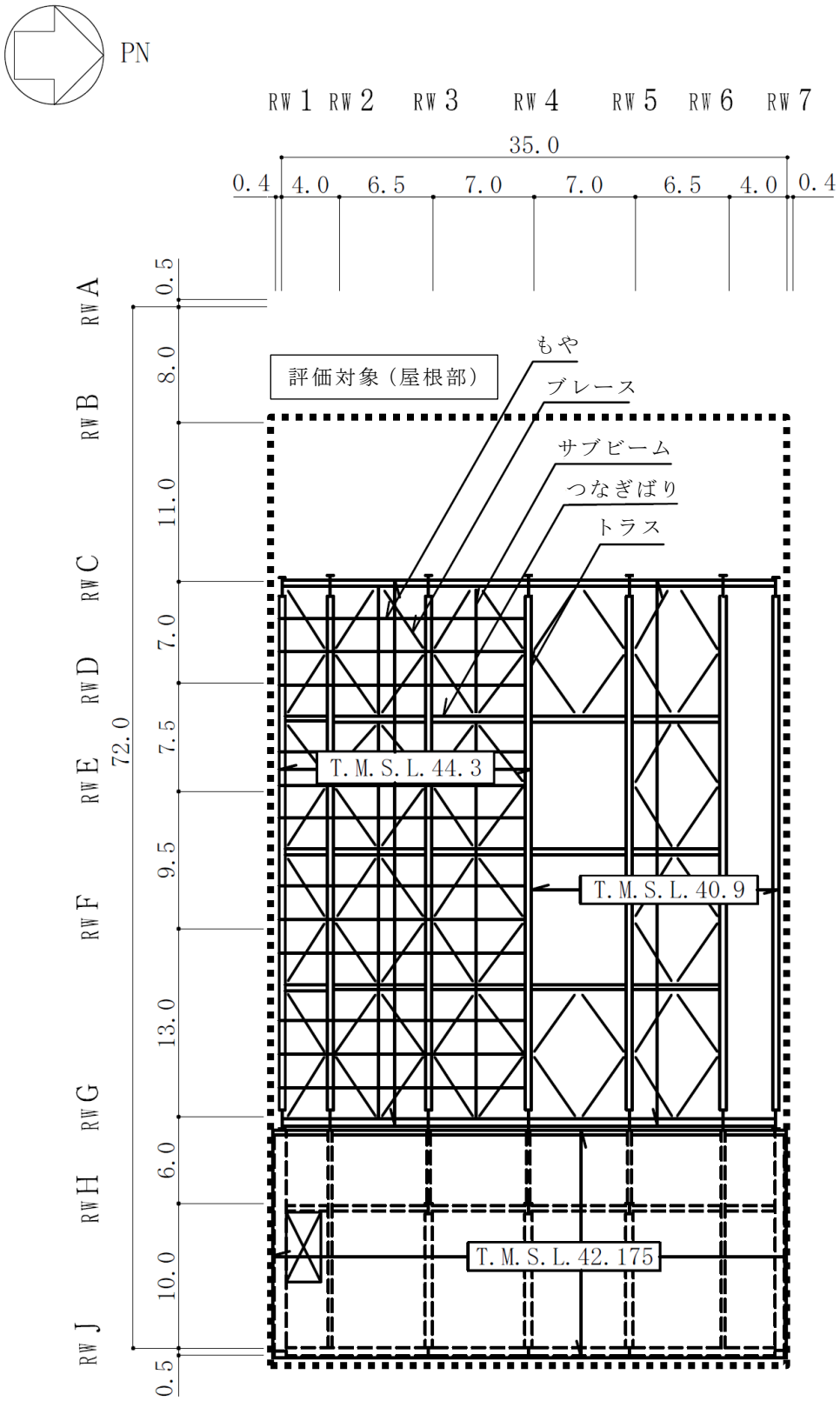
2.2　構造概要

廃棄物処理建屋は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

廃棄物処理建屋は，平面が 35.8m（NS 方向）×73.0m（EW 方向）で，主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地上 2 階（一部 3 階），地下 3 階の建物である。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は，35.0m（NS 方向）×37.0m（EW 方向）の長方形であり，2 階面（T.M.S.L.*20.4m）からの高さは 23.9m である。

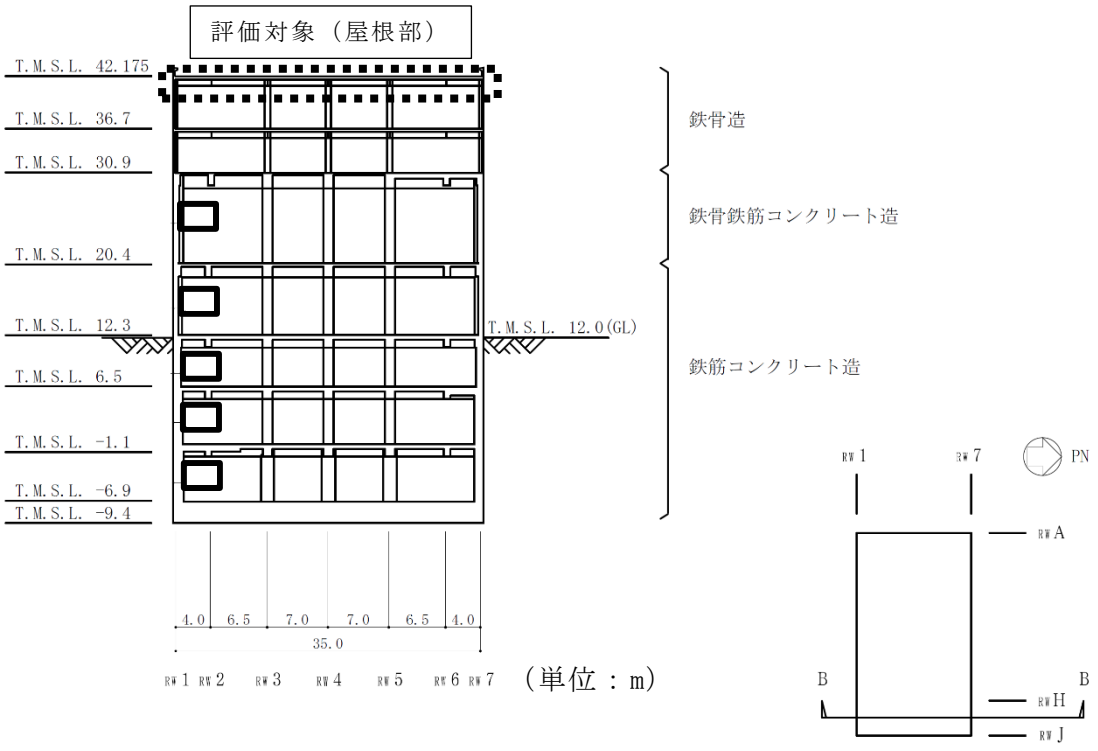
廃棄物処理建屋の屋根面の概略平面図を図 2－2 に，概略断面図を図 2－3 に示す。

注記＊：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

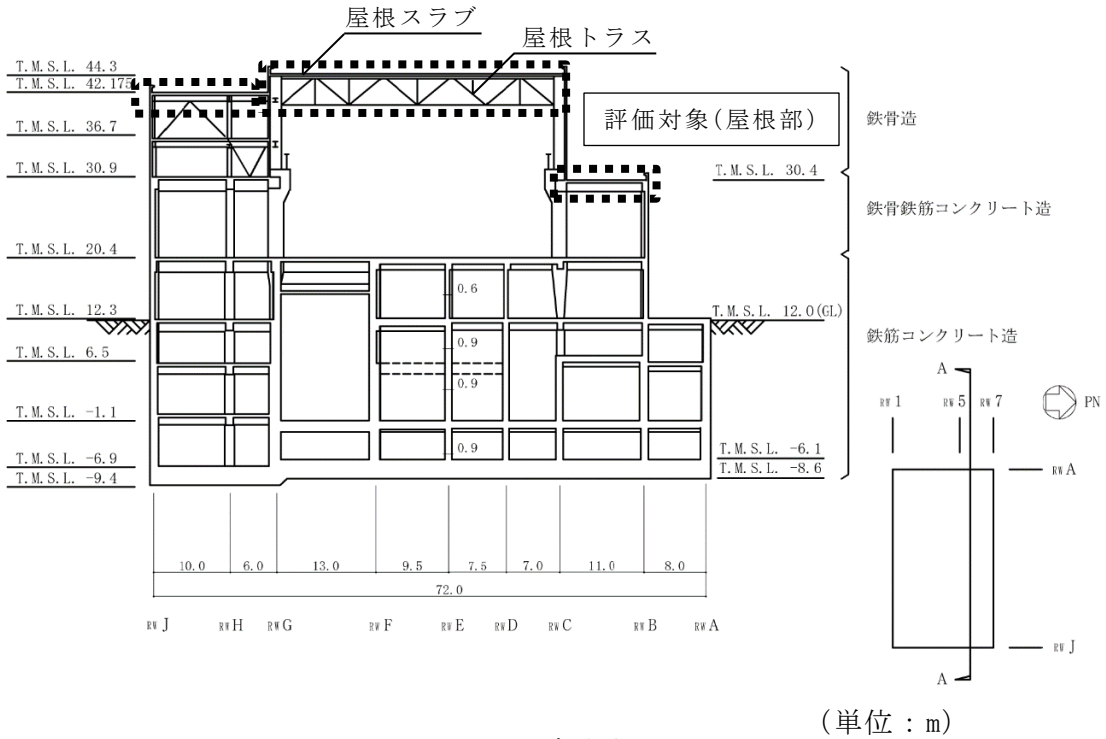


（単位：m）

図2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（T. M. S. L. 44. 3m）



NS 方向断面



EW 方向断面

図2－3　廃棄物処理建屋の概略断面図

2.3　評価方針

廃棄物処理建屋の強度評価は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」のうち「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重，荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて，建屋の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3.　強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し，「4.　強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2－4 に示す。

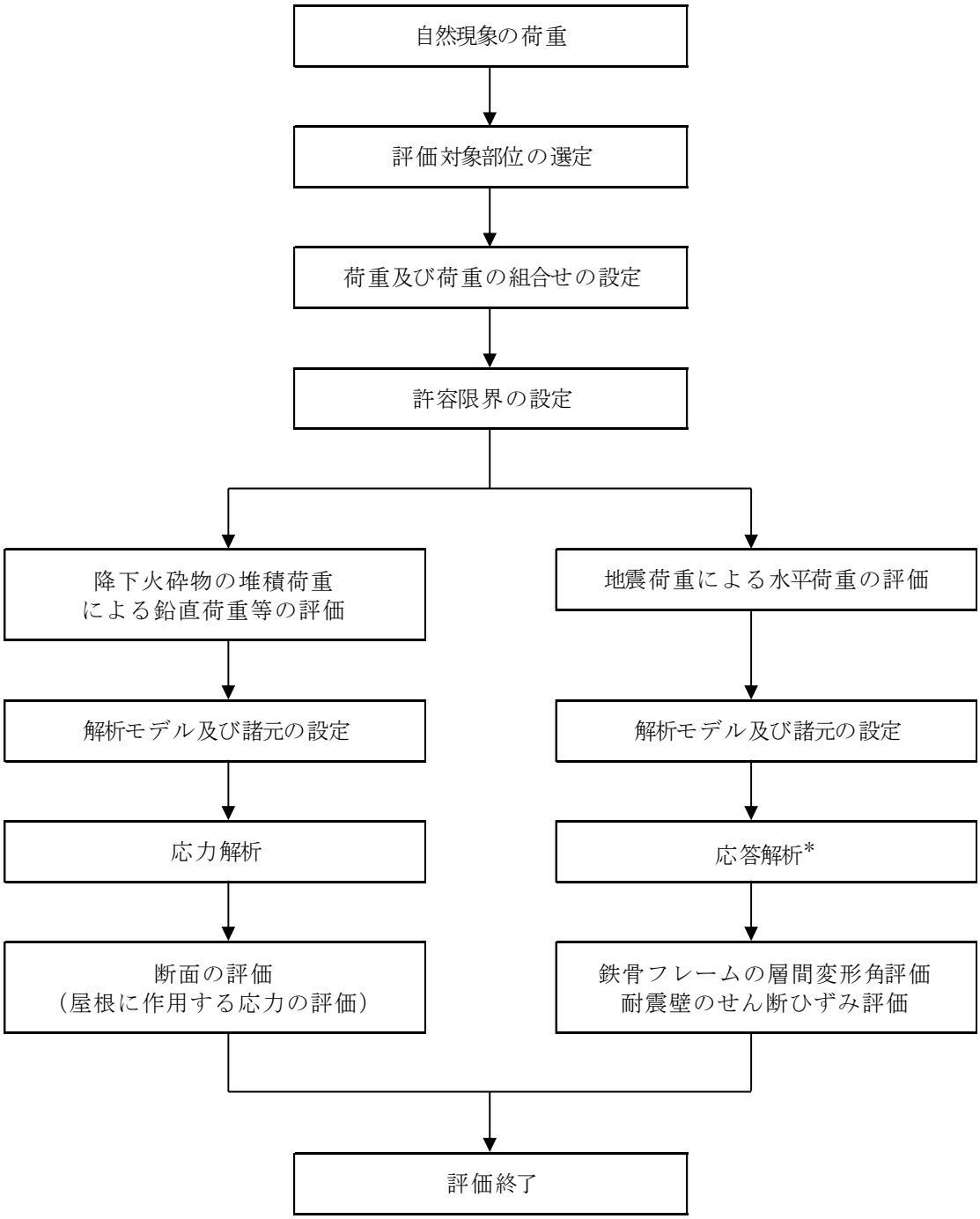
廃棄物処理建屋の強度評価においては，その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては，鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として，屋根スラブ及び屋根トラスを，水平荷重に抵抗する評価対象部位として鉄骨フレーム及び耐震壁を選定した。

設計荷重は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根，鉄骨フレーム及び耐震壁に作用する荷重は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」のうち「5.　強度評価条件及び強度評価方法」に従い，廃棄物処理建屋の質点系モデル及び応力解析モデルを用いて評価する。

許容限界は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に従い設定する。



注記＊：別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す。

図 2－4　強度評価フロー

2.4 適用規格

廃棄物処理建屋の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令
・新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1987（日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1991　追補版（日本電気協会）
・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 改定）
・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2005 制定）（以下「RC-N 規準」という。）
・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 改定）（以下「S 規準」という。）
・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ　４６０１・補-1984（日本電気協会）
・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 改定）（以下「合成構造指針」という。）
・2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

3.　強度評価方法及び評価条件

3.1　評価対象部位

廃棄物処理建屋の評価対象部位は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」のうち「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，屋根スラブ，屋根トラス，鉄骨フレーム及び耐震壁とする。

なお，屋根スラブの評価については，各断面についてスラブのスパン，スラブに作用する荷重等を考慮して，検定値が最も大きい部材を選定して示す。屋根スラブの評価対象部位を図 3－1 に示す。屋根トラスの評価については，検定値が最も大きい T.M.S.L.44.3m の $_{RW}$C 通り～$_{RW}$G 通りを代表して示す。

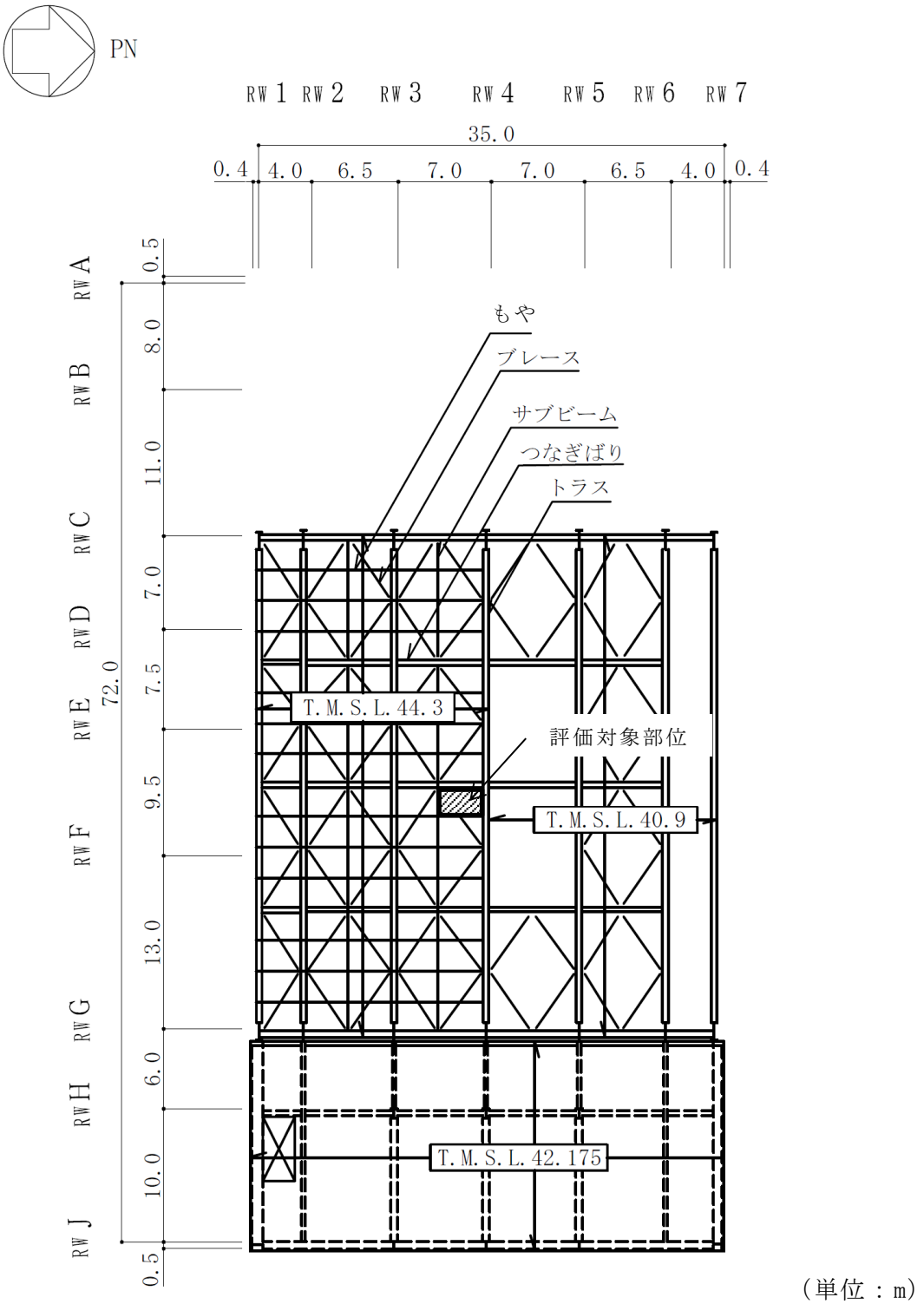


図 3－1　屋根スラブの評価対象部位（T.M.S.L.44.3m）

3.2　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1　荷重

(1)　屋根スラブ

a.　鉛直荷重

表 3－1 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は，常時作用する荷重（F_d），降下火砕物による荷重（F_a）及び積雪荷重（F_s，F_{sb}）を考慮する。常時作用する荷重は，固定荷重（G）及び積載荷重（P）とし，平成 4 年 10 月 13 日付け 4 資庁第 8732 号にて認可された工事計画の添付資料「Ⅳ-2-2-2　廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」（以下，「既工認」という。）に基づき設定する。

降下火砕物による荷重は，湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は積雪量 1cm ごとに 29.4N/m^2 とし，柏崎市における 1 日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重である降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重（F_s）とする。また，ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重（F_{sb}）として考慮する。

表 3－1　鉛直荷重一覧（屋根スラブ T.M.S.L.44.3m）

常時作用する荷重（F_d）	固定荷重（G）	屋根スラブ	2.896　kN/m^2
	積載荷重（P）		0.5884　kN/m^2
降下火砕物による荷重（F_a）			5.148　kN/m^2
積雪荷重	年超過確率 10^{-2}（F_s）		2.478　kN/m^2
	常時考慮する積雪荷重（F_{sb}）		0.9143　kN/m^2

b.　地震荷重

屋根スラブに考慮する地震荷重（F_k）は，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析から得られる屋根スラブレベル（RF，T.M.S.L.44.3m）の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。

(2) 屋根トラス

a. 鉛直荷重

表3－2に鉛直荷重の一覧を示す。屋根トラスに考慮する鉛直荷重は，常時作用する荷重（F_d），降下火砕物による荷重（F_a）及び積雪荷重（F_s，F_{sb}）を考慮する。常時作用する荷重は，固定荷重（G）及び積載荷重（P）とし，「既工認」に基づき設定する。降下火砕物による荷重は，湿潤密度1.5g/cm^{3}の降下火砕物が35cm堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は積雪量1cmごとに29.4N/m^{2}とし，柏崎市における1日当たりの積雪量の年超過確率10^{-2}規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重である降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重（F_s）とする。また，ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる31.1cmによる荷重を常時考慮する積雪荷重（F_{sb}）として考慮する。

表3－2　鉛直荷重一覧（屋根トラス）

常時作用する荷重（F_d）	固定荷重（G）	屋根スラブ	2.896　kN/m^2
		トラス鋼材	76.98　kN/m^3
	積載荷重（P）		0.5884　kN/m^2
降下火砕物による荷重（F_a）			5.148　kN/m^2
積雪荷重	年超過確率10^{-2}（F_s）		2.478　kN/m^2
	常時考慮する積雪荷重（F_{sb}）		0.9143　kN/m^2

b. 地震荷重

屋根トラスに考慮する地震荷重（F_k）のうち，水平地震荷重は，別紙「年超過確率10^{-2}相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大応答せん断力を用いて設定する。また，鉛直地震荷重は，別紙「年超過確率10^{-2}相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大鉛直加速度より鉛直震度を算定する。

(3) 鉄骨フレーム

鉄骨フレームの評価に考慮する荷重は，別紙「年超過確率10^{-2}相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す。

(4) 耐震壁

耐震壁の評価に考慮する荷重は，別紙「年超過確率10^{-2}相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す。

3.2.2　荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3－3 に示す。

ケース 1 は，従荷重として地震荷重を組み合わせ，鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため，屋根スラブ，屋根トラス，鉄骨フレーム及び耐震壁を評価対象とする。ケース 2 は，従荷重として積雪荷重を組み合わせ，鉛直荷重のみを用いて評価するため，屋根スラブ及び屋根トラスを評価対象とする。

表 3－3　荷重の組合せ

考慮する荷重の組合せ	荷　重					
	常時作用する荷重（F_d）		主荷重	従荷重		ベース負荷
	固定荷重	積載荷重	降下火砕物による荷重（F_a）	地震荷重（F_k）	積雪荷重（F_s）	常時考慮する積雪荷重（F_{sb}）
ケース１	○	○	○	○	―	○
ケース２	○	○	○	―	○	○

注：「○」は考慮する荷重を示す。

3.3　許容限界

廃棄物処理建屋の許容限界はⅤ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.1　評価対象部位」にて設定している建屋の評価対象部位ごとに設定する。なお，屋根スラブはデッキ構造スラブ用デッキプレートにより全荷重を負担している。

屋根スラブ，屋根トラス，鉄骨フレーム及び耐震壁の許容限界を表 3－4 に，鋼材の弾性限強度を表 3－5 に，デッキプレートの弾性限強度を表 3－6 に示す。

表 3－4　許容限界

要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
―	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「合成構造指針」に基づく弾性限強度*2
			屋根トラス（上弦材，下弦材，斜材，束材）		「S 規準」に基づく弾性限強度*3
		鉄骨フレーム		最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/30*4
		耐震壁*1		最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

注記＊1：建屋全体としては，地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており，柱，はり，間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること，また，全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため，各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば，建物・構築物に要求される機能は維持される。また，別紙「年超過確率10^{-2}相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」にて補助壁を耐震要素とした地震応答解析を行っているため，評価対象部位には補助壁を含む。

＊2：弾性限強度として「合成構造指針」のＦ値に「技術基準解説書」に基づき1.1倍の割増しを考慮する。

＊3：弾性限強度として「S規準」のＦ値に「技術基準解説書」に基づき1.1倍の割増しを考慮する。

＊4:「震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（(財）日本建築防災協会)」を参考に許容限界を設定している。なお，被災度区分判定基準においては，柱の残留傾斜角が1/30を超えた場合に大破と判定しているが，保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

表3－5　鋼材の弾性限強度

（単位：N/mm^2）

材　料	板　厚	基準強度 F値	弾性限強度		
			圧縮* 引張	曲げ*	せん断
SS41（SS400相当）	t≦40mm	235	258	258	135
SM41A（SM400A相当）	t≦40mm	235	258	258	135
SM50A（SM490A相当）	t≦40mm	325	357	357	187

注記＊：「技術基準解説書」に基づき，F値に1.1倍の割増しを考慮する。ただし，圧縮及び曲げの終局強度に対しては上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

表3－6　デッキプレートの弾性限強度

（単位：N/mm^2）

材　料	厚さ	基準強度 F値	弾性限強度*
SS41（SS400相当）	2.3mm	235	258

注記＊：「技術基準解説書」に基づき，F値に1.1倍の割増しを考慮する。

3.4　解析モデル及び諸元

3.4.1　モデル化の基本方針

(1)　屋根スラブ

屋根スラブはデッキ構造スラブ用デッキプレートにより全荷重を負担している。このため，もやで支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し，等分布荷重を受ける 2 スパンの連続ばりとしてデッキプレートの応力を算定する。なお，屋根スラブは，単一断面であり，屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから，支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

屋根スラブの評価モデル図を図 3－2 に，検討条件を表 3－7 に示す。また，デッキプレートの断面図を図 3－3 に示す。

【2 スパンの連続ばり】

・中央モーメント　$M_{x2} = \dfrac{wL^2}{8}$

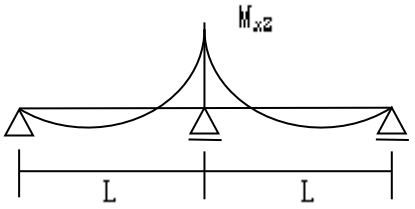


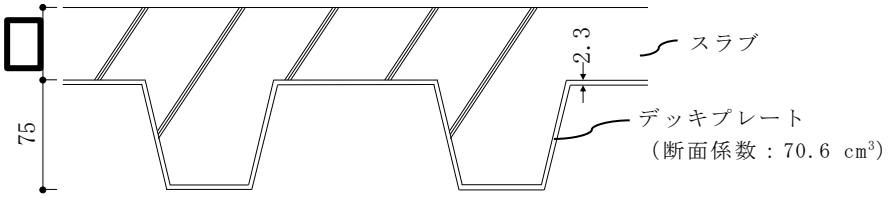
図 3－2　屋根スラブの評価モデル

表 3－7　屋根スラブの検討条件

評価対象部位*1	スラブ厚*2 (mm)	支持スパン (m)	デッキプレート厚 (mm)	断面係数 (cm^3)
T.M.S.L.44.3m	□	2.32	2.3	70.6

注記＊1：支持スパンの長い部位を記載。

＊2：デッキ構造スラブのため，全荷重をデッキプレートで負担する。なお，コンクリートのスラブ厚は□mm である。



(単位：mm)

図 3－3　デッキプレートの断面図

(2) 屋根トラス

応力解析は，2 次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは「Ｈｙｐｅｒ　Ｓｔａｔｉｃｓ　ａｎｄ　Ｄｙｎａｍｉｃｓ」である。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，Ⅴ-3「強度に関する説明書　別紙　計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。モデル化範囲は，屋根トラスの負担幅が最も大きくなる Rw4 フレームとする。

応力解析モデルは，T.M.S.L.20.4m より上部の耐震壁，柱，はり及び屋根トラスをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデル図を図 3－4 に，部材リストを表 3－8 に示す。

解析モデルに使用する要素は，はり要素，トラス要素及び壁エレメント要素とする。また，解析モデルの脚部は固定とする。解析モデルの節点数は 41，要素数は 66 である。

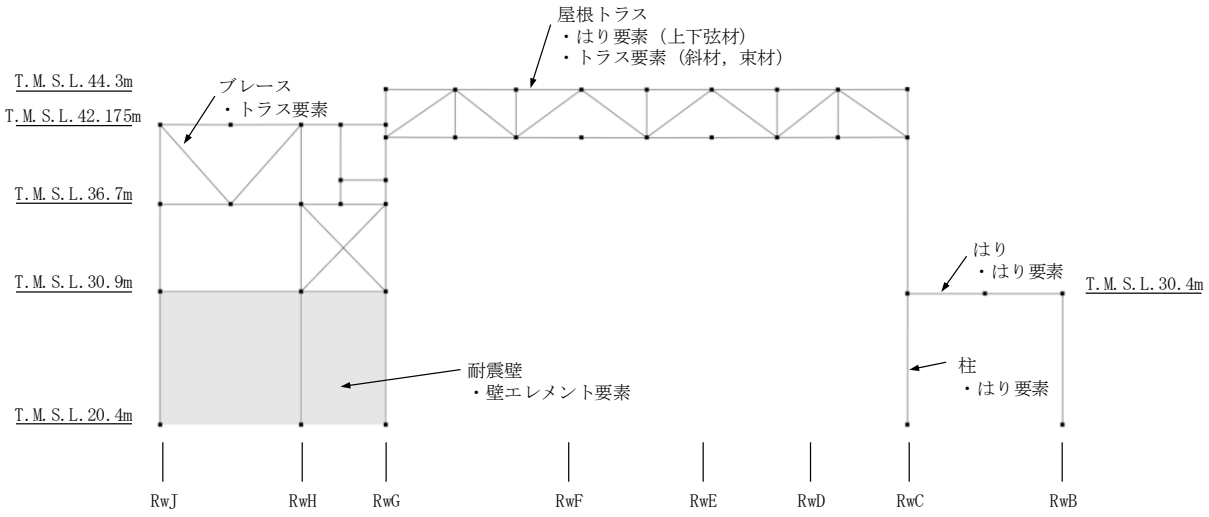


図 3－4　屋根トラスの解析モデル（Rw4 フレーム）

表 3－8　部材リスト（評価対象部位）

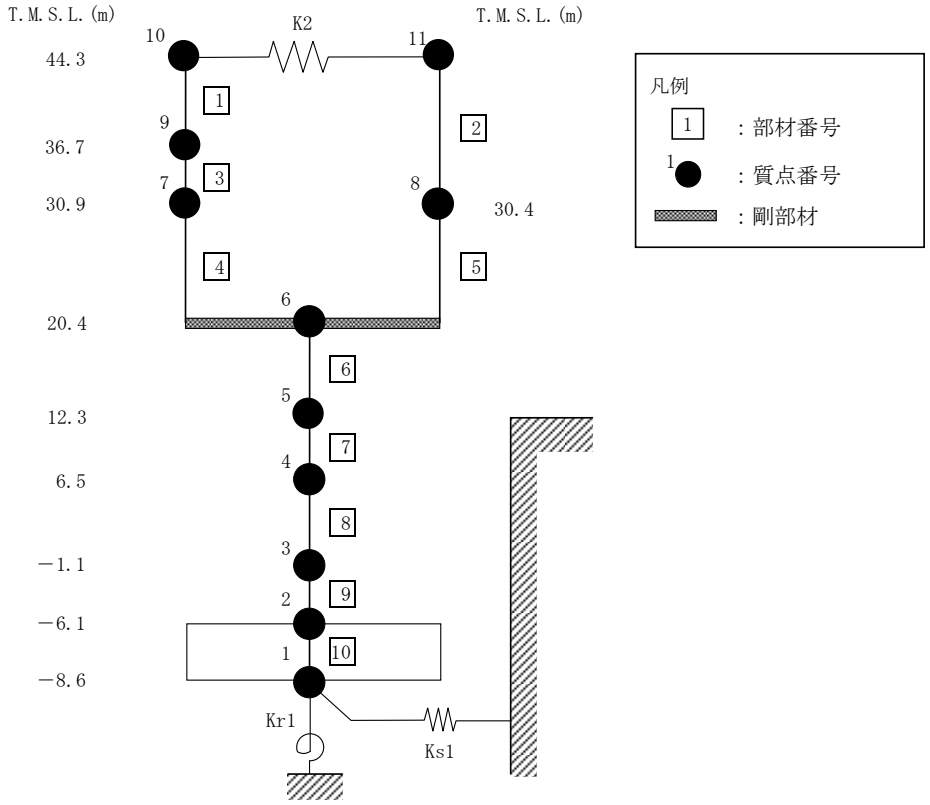
部位		使用部材	材質	断面積 ($\times 10^2$mm^2)	断面二次 モーメント ($\times 10^4$mm^4)
屋根 トラス	上弦材	H-400×400×13×21 BH-400×400(～570)×16×25	SM50A (SM490A相当)	214.5 341.0	65400 106000
	下弦材	H-400×400×13×21 BH-400×400(～570)×13×22	SM50A (SM490A相当)	214.5 297.1	65400 94600
	斜材	H-304×301×11×17 H-250×250×9×14	SM50A (SM490A相当)	132.0 89.98	―
	束材	2Ls－150×150×12 2Ls－90×90×10	SS41 (SS400相当)	69.54 34.00	―

(3)　鉄骨フレーム

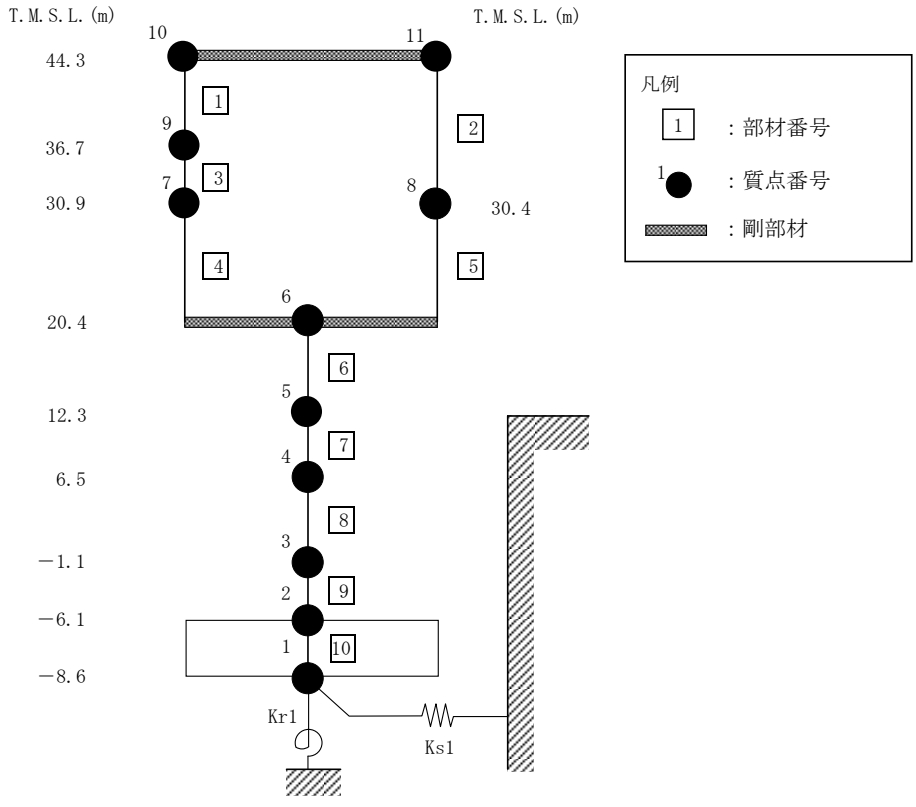
鉄骨フレームは，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。地震応答解析モデルを図 3－5 に示す。部材番号 1～3 が鉄骨フレームを示す。

(4)　耐震壁

耐震壁は，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。地震応答解析モデルを図 3－5 に示す。部材番号 4～9 が耐震壁を示す。



NS 方向



EW 方向

図 3－5　地震応答解析モデル（水平方向）

3.4.2　解析諸元

使用材料の物性値を表 3－9 に示す。

表 3－9　使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)
鉄筋コンクリート	28800	12000
鉄骨	205000	79000

3.5　評価方法

3.5.1　屋根スラブの評価方法

(1)　応力解析方法

a.　荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。また，鉛直震度算定のための最大鉛直加速度は，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により設定する。最大鉛直加速度及び鉛直震度を表 3－10 に示す。

F_d　：常時作用する荷重

F_a　：降下火砕物による荷重

F_k　：地震荷重（鉛直方向）

F_s　：積雪荷重（地震時以外）

F_{sb}　：積雪荷重（常時）

表 3－10　最大鉛直加速度及び鉛直震度

T.M.S.L. (m)	階	最大鉛直 加速度 (m/s^2)	鉛直震度
44.3	RF	8.19	0.84

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3－11 に示す。

表 3－11 荷重の組合せケース（屋根スラブ）

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_k + F_{sb}$
ケース 2	$F_d + F_a + F_s + F_{sb}$

(2) 断面の評価方法

廃棄物処理建屋の屋根スラブはデッキ構造スラブであるため，曲げモーメントに対してのみ評価する。

曲げモーメントに対する断面の評価は，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによるデッキプレートの引張応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_t ：デッキプレートの引張応力度（N/mm^2）

M ：曲げモーメント（N･mm）

Z ：デッキプレートの断面係数（mm^3）

3.5.2 屋根トラスの評価方法

(1) 応力解析方法

屋根トラスについては，2 次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により得られた部材の応力を評価する。

a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，次の荷重を 2 次元フレームモデルに入力して求める。荷重の記号を以下に示す。

F_d ：常時作用する荷重

F_a ：降下火砕物による荷重

F_{kH} ：地震荷重（水平方向）

F_{kV} ：地震荷重（鉛直方向）

F_s ：積雪荷重（地震時以外）

F_{sb} ：積雪荷重（常時）

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3－12 に示す。ケース 1 において，地震荷重の水平方向（F_{kH}）と鉛直方向（F_{kV}）は，組合せ係数法により組み合わせる。なお，鉛直方向地震荷重については，屋根部の応力及び変形が大きくなる下向き荷重のみを考慮する。

表 3－12　荷重の組合せケース（屋根トラス）

組合せケース	地震荷重の組合せ係数	荷重の組合せ
ケース 1	水平：＋1.0，鉛直：＋0.4	$F_d＋F_a＋F_{sb}＋F_{kH}＋0.4F_{kV}$
	水平：－1.0，鉛直：＋0.4	$F_d＋F_a＋F_{sb}－F_{kH}＋0.4F_{kV}$
	水平：＋0.4，鉛直：＋1.0	$F_d＋F_a＋F_{sb}＋0.4F_{kH}＋F_{kV}$
	水平：－0.4，鉛直：＋1.0	$F_d＋F_a＋F_{sb}－0.4F_{kH}＋F_{kV}$
ケース 2	―	$F_d＋F_a＋F_s＋F_{sb}$

注：地震荷重の水平方向は EW 方向を示し，＋は E から W への荷重，－は W から E への荷重を示す。

c. 荷重の入力方法

固定荷重及び積雪荷重は，対応する部材及び節点に分布荷重及び集中荷重として入力する。

水平地震荷重は，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大応答せん断力を分配して，対応する節点に集中荷重として入力する。鉛直地震荷重は，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大鉛直加速度より鉛直震度を設定する。

(2) 断面の評価方法

屋根トラスの評価は，2 次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお，許容限界については，終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界を設定し，その許容限界は，表 3－4 に示すように，弾性限強度として「S 規準」のＦ値に「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍の割増しを考慮する。ただし，斜材及び束材は軸応力度のみ評価する。

（圧縮）

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_c	：圧縮応力度（N/mm²）	σ_b	：曲げ応力度（N/mm²）
N_c	：圧縮軸力（N）	A	：軸断面積（mm²）
M	：曲げモーメント（N･mm）	Z	：断面係数（mm³）
f_c	：圧縮応力に関する評価基準値（N/mm²）		
f_b	：曲げ応力に関する評価基準値（N/mm²）		

（引張）

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leqq 1.0$$

ただし，

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ_t	：引張応力度（N/mm²）	σ_b	：曲げ応力度（N/mm²）
N_t	：引張軸力（N）	A	：軸断面積（mm²）
M	：曲げモーメント（N･mm）	Z	：断面係数（mm³）
f_t	：引張応力に関する評価基準値（N/mm²）		
f_b	：曲げ応力に関する評価基準値（N/mm²）		

3.5.3　鉄骨フレームの評価方法

鉄骨フレームの評価は，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に基づく鉄骨フレームの層間変形角が許容限界を超えないことを確認する。

3.5.4　耐震壁の評価方法

耐震壁の評価は，別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に基づく耐震壁のせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

4.　強度評価結果

4.1　屋根スラブの評価結果

「3.5　評価方法」に基づいた評価結果を表 4－1 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる曲げモーメントによるデッキプレートの引張応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4－1　屋根スラブ評価結果*（デッキ構造スラブ）

評価対象部位		T.M.S.L.44.3 m	
デッキプレート t=2.3mm		Z=70.6cm^3/m	
検討ケース		ケース 1	ケース 2
曲げモーメント	発生曲げモーメント M（kN・m/m）	11.79	8.091
	デッキプレート引張応力度 σ_t（N/mm^2）	167.0	114.6
	許容限界 （N/mm^2）	258	
	検定値	0.65	0.45

注記＊：屋根スラブはデッキ構造スラブ（全荷重をデッキプレートのみで負担する構造）のため，デッキプレートの発生応力を用いて評価。

4.2　屋根トラスの評価結果

「3.5　評価方法」に基づいた評価結果を表 4－2 に示す。なお，ケース 1 については，地震荷重の組合せ係数法による 4 ケースのうち，検定値が最大となるケースを示す。また，評価対象部位において複数の部材がある場合は，検定値が最大となる部材の値を示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって，評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4－2　屋根トラスの弾性限強度に基づく評価結果（T.M.S.L.44.3m）

検討ケース	評価対象部位	発生応力	応力度 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)	検定値
ケース 1	上弦材	圧縮	224.1	341	0.81
		曲げモーメント	54.41	357	
	下弦材	引張	166.7	357	0.61
		曲げモーメント	43.36	318	
	束材	圧縮	99.57	229	0.44
	斜材	圧縮	288.3	309	0.94
ケース 2	上弦材	圧縮	152.1	341	0.55
		曲げモーメント	36.09	357	
	下弦材	引張	116.8	357	0.43
		曲げモーメント	30.01	318	
	束材	圧縮	66.83	229	0.30
	斜材	圧縮	205.9	309	0.67

4.3　鉄骨フレームの評価結果

「3.5　評価方法」に基づいた評価結果を表 4－3 に示す。なお，各方向において，最大層間変形角が生じる部材のみを示す。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動による水平荷重等によって，評価対象部位に生じる層間変形角が許容限界を超えないことを確認した。

表 4－3　鉄骨フレームの評価結果

検討ケース	評価項目	方向	部材番号	層間変形角	許容限界
ケース 1	層間変形角	NS 方向	1	1/1190	1/30
		EW 方向	3	1/1400	

4.4　耐震壁の評価結果

「3.5　評価方法」に基づいた評価結果を表 4－4 に示す。なお，各方向において，最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動による水平荷重等によって，評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4－4　耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	部材番号	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
ケース 1	せん断ひずみ	NS 方向	4	0.0729	4.0
		EW 方向	4	0.0528	

別紙　年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答計算書

目　　次

1.　概要 ····· 別紙-1
2.　基本方針 ····· 別紙-1
2.1　位置 ····· 別紙-1
2.2　構造概要 ····· 別紙-2
2.3　解析方針 ····· 別紙-12
2.4　適用規格 ····· 別紙-14
3.　解析方法 ····· 別紙-15
3.1　検討用地震動 ····· 別紙-15
3.2　地震応答解析モデル ····· 別紙-18
3.2.1　水平方向モデル ····· 別紙-19
3.2.2　鉛直方向モデル ····· 別紙-19
3.3　解析方法 ····· 別紙-33
4.　解析結果 ····· 別紙-34
4.1　固有値解析結果 ····· 別紙-34
4.2　応答解析結果 ····· 別紙-34

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する廃棄物処理建屋の地震応答解析について説明するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

廃棄物処理建屋の設置位置を図 2－1 に示す。

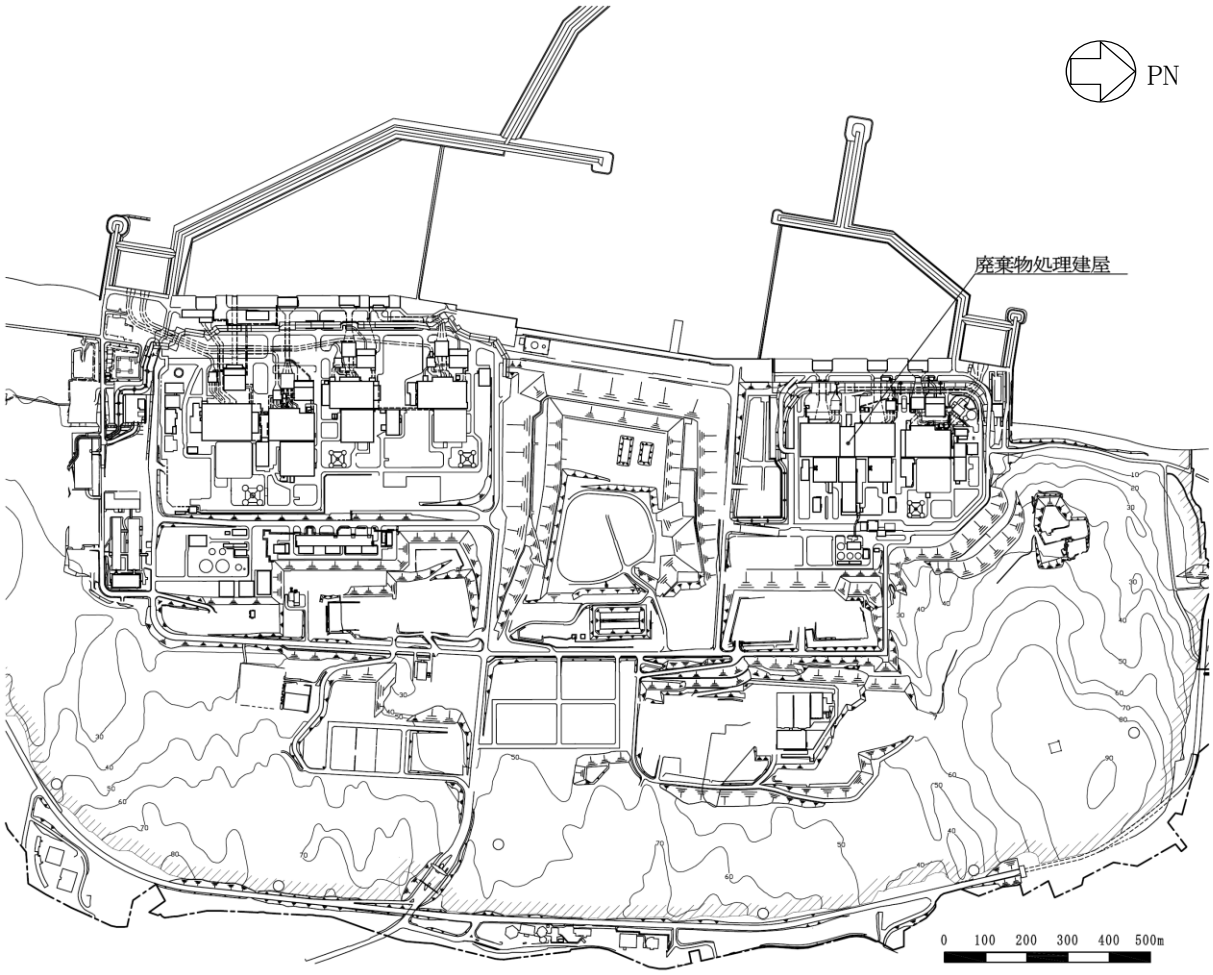


図 2－1 廃棄物処理建屋の設置位置

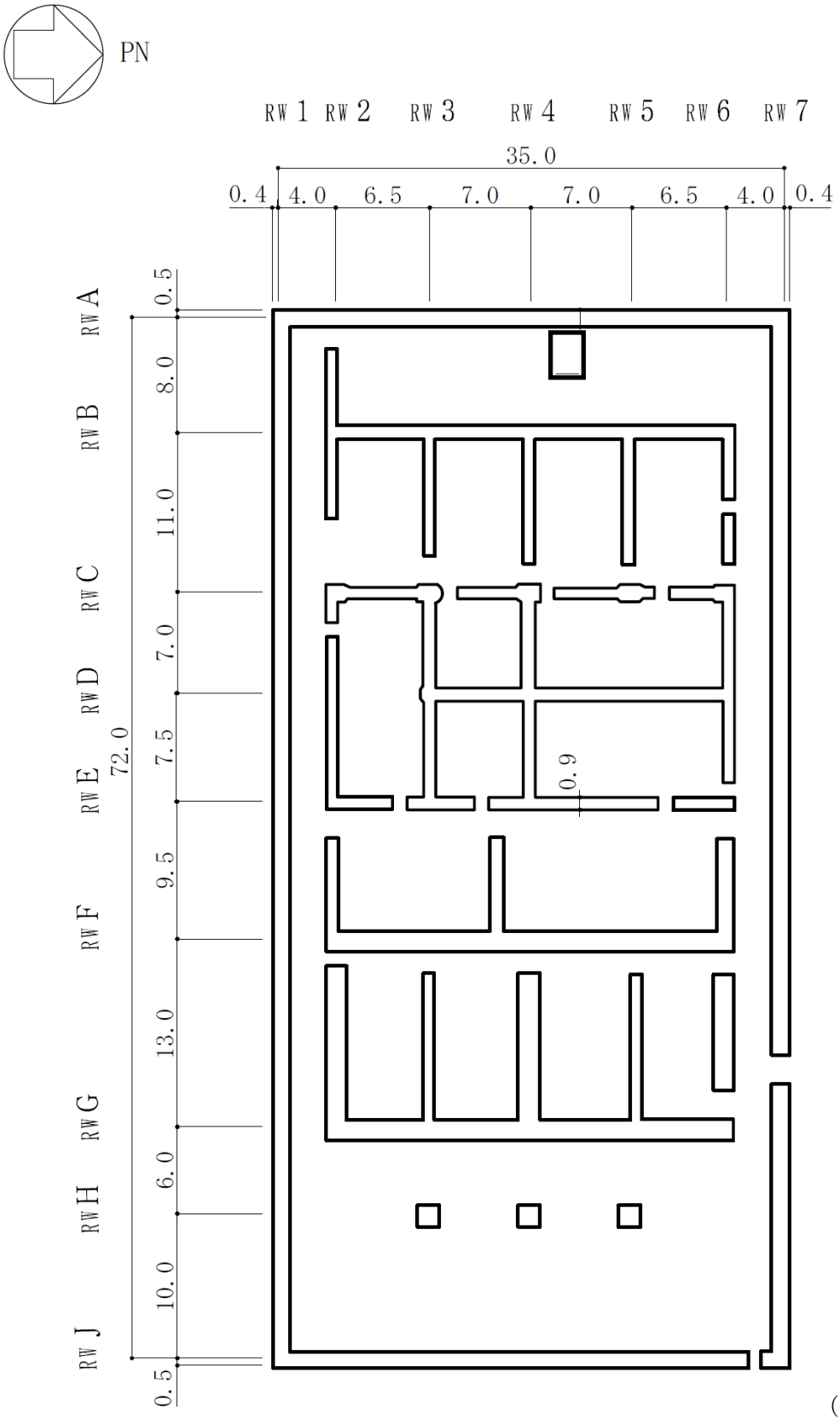
2.2　構造概要

廃棄物処理建屋は，地上 2 階（一部 3 階），地下 3 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で，屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。廃棄物処理建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2－2 及び図 2－3 に示す。

廃棄物処理建屋の平面は，35.8m（NS 方向）×73.0m（EW 方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 52.9m であり，地上高さは 32.3m である。また，廃棄物処理建屋は隣接する 6 号機タービン建屋，7 号機タービン建屋及びコントロール建屋と構造的に分離している。

廃棄物処理建屋の基礎は厚さ 2.5m のべた基礎で，支持地盤である泥岩上に設置している。

K7 ① V-3-別添 2-7 別紙 R1



（単位：m）

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（B3F，T.M.S.L.-6.1m）（1/8）

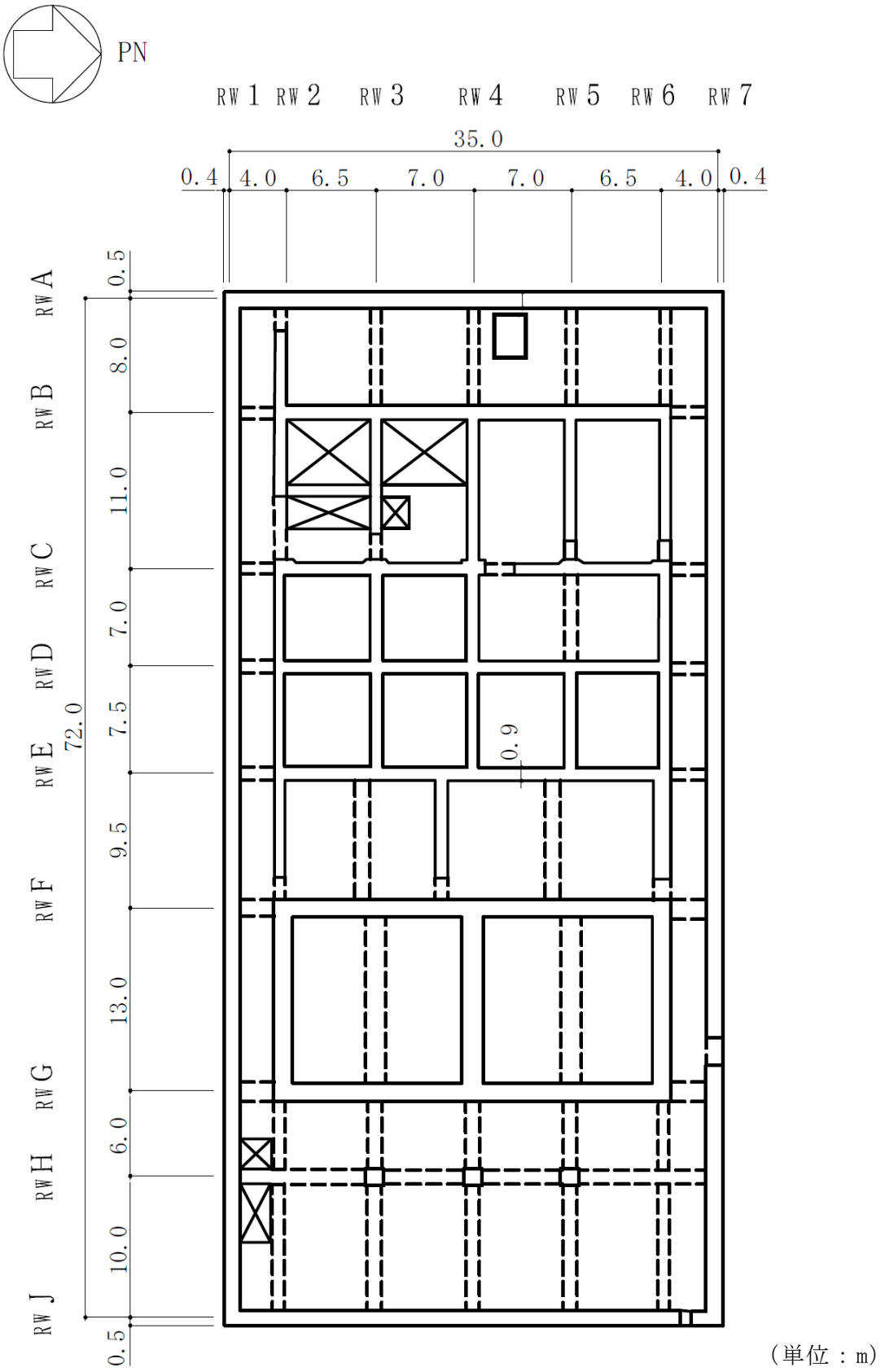


図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（B2F，T.M.S.L.-1.1m）(2/8)

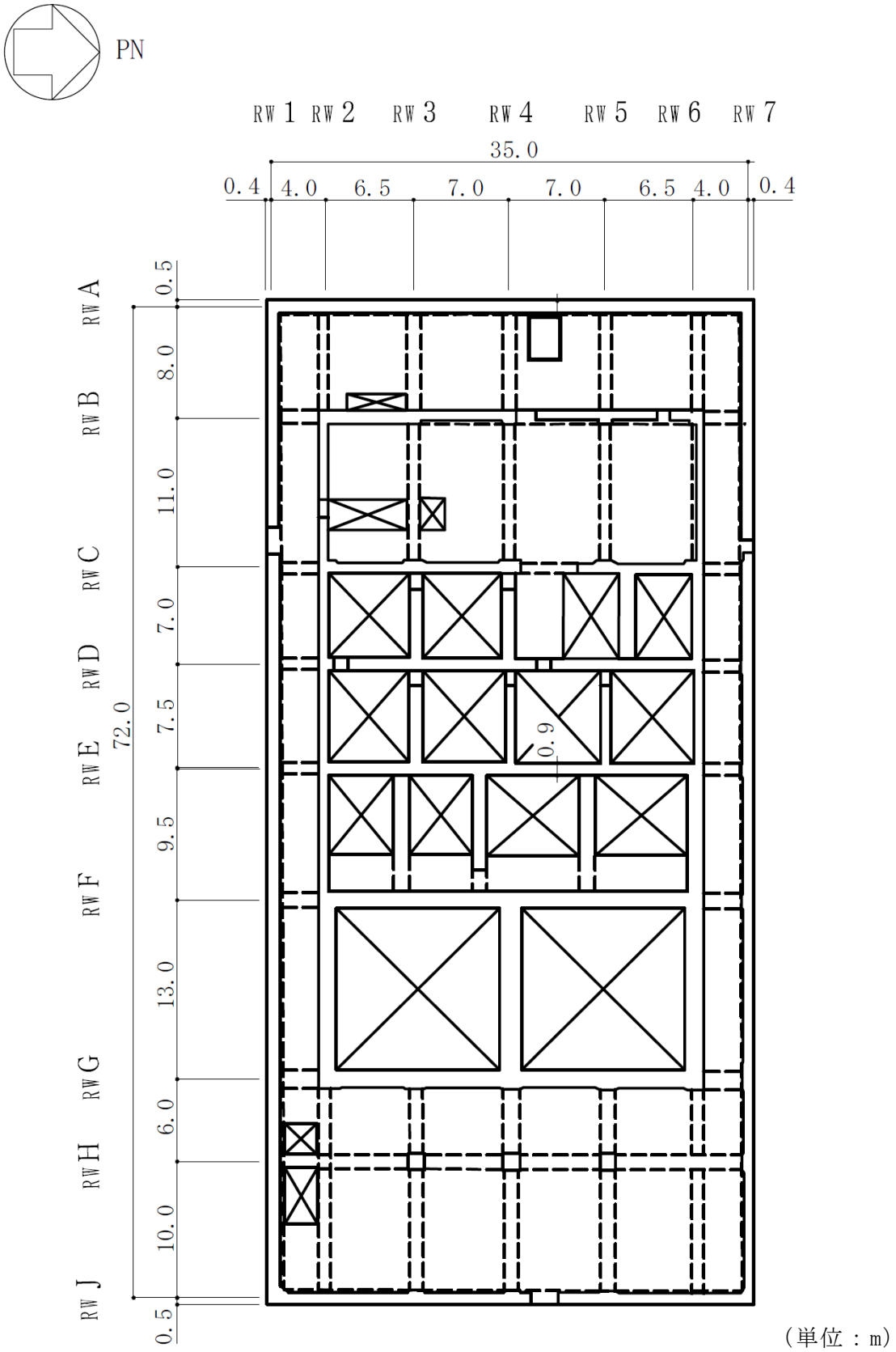
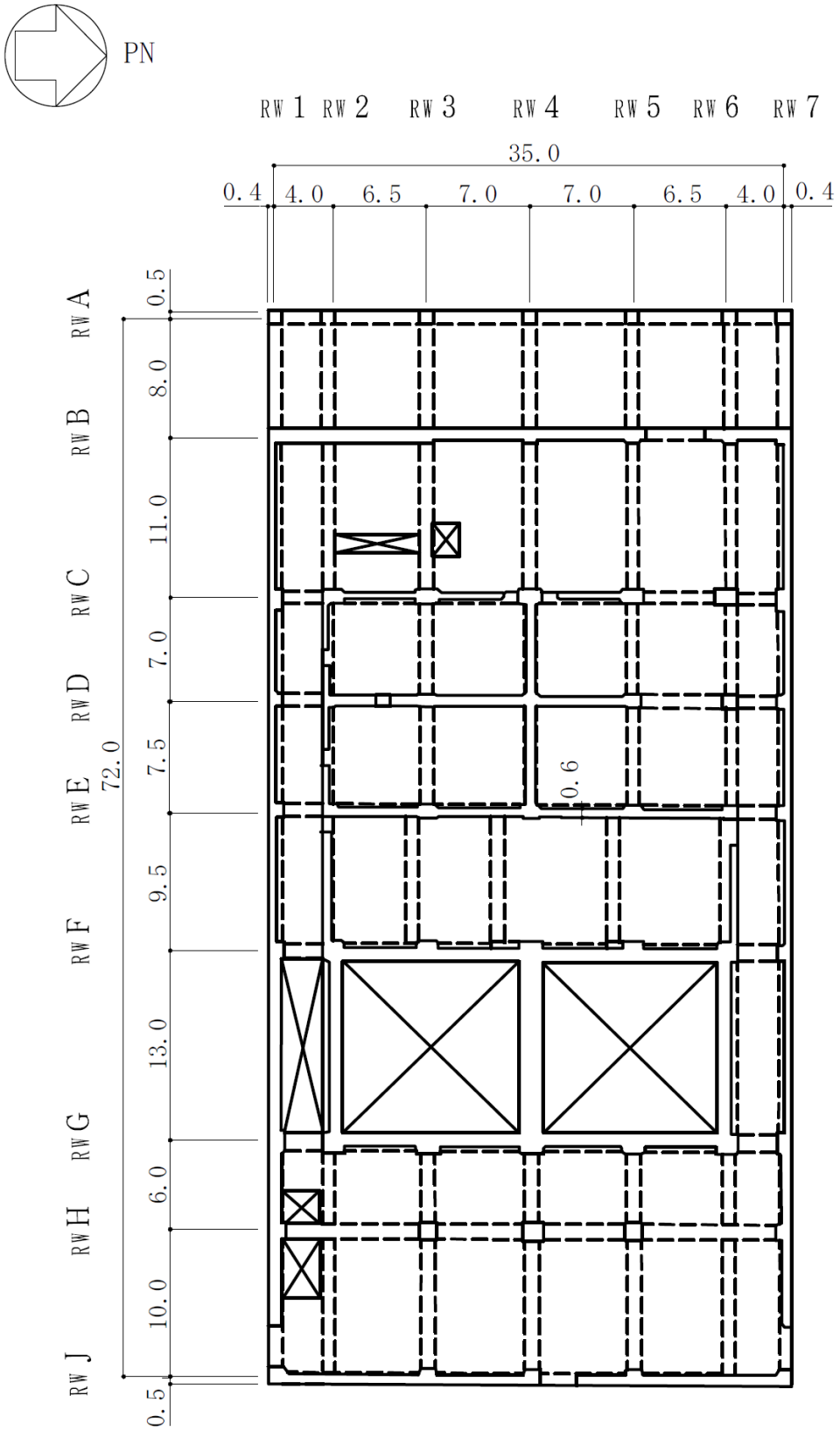


図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（B1F，T.M.S.L.6.5m）(3/8)



（単位：m）

図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（1F，T.M.S.L.12.3m）(4/8)

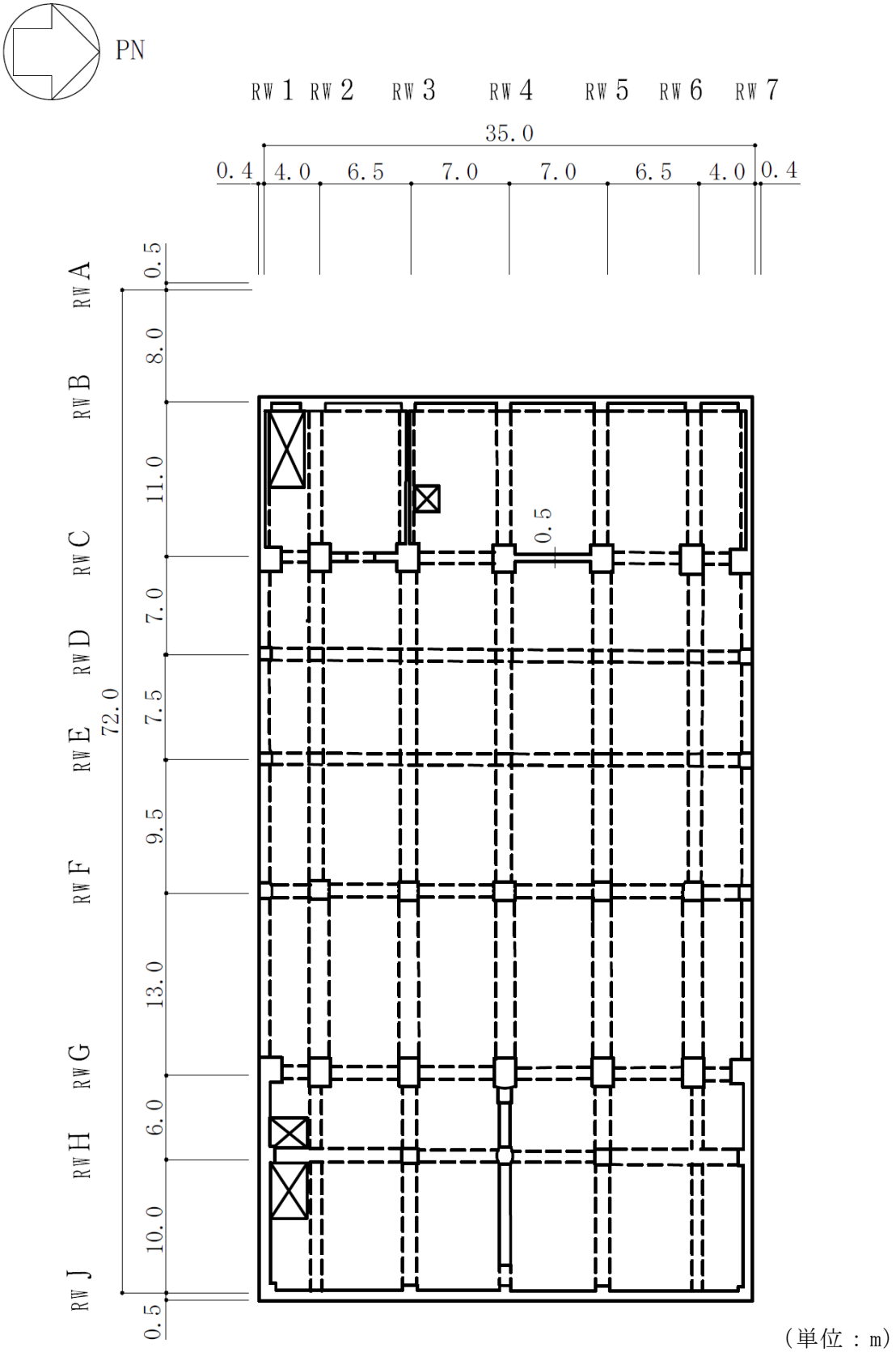
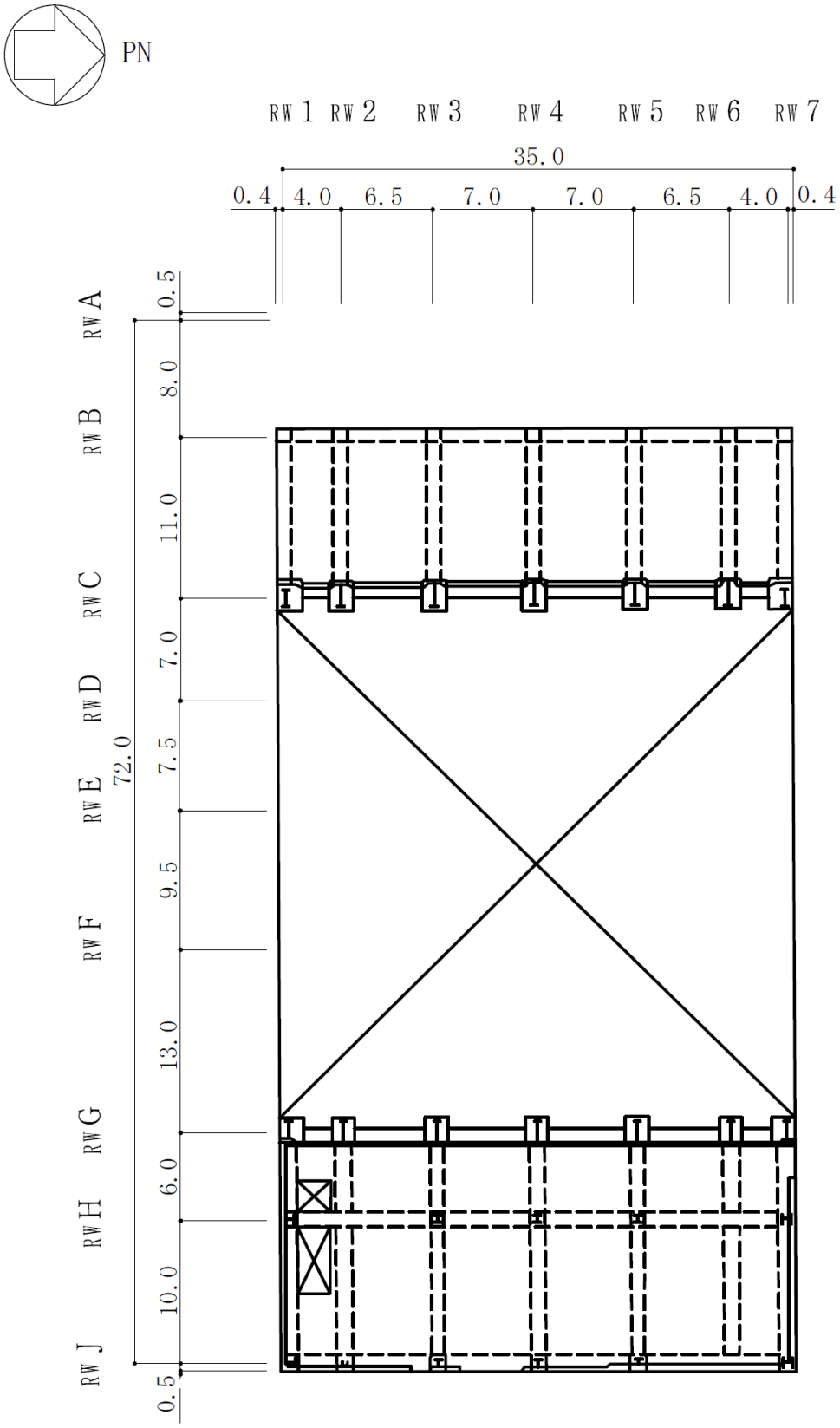


図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（2F，T.M.S.L.20.4m）(5/8)



（単位：m）

図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（3F，T.M.S.L.30.9m）(6/8)

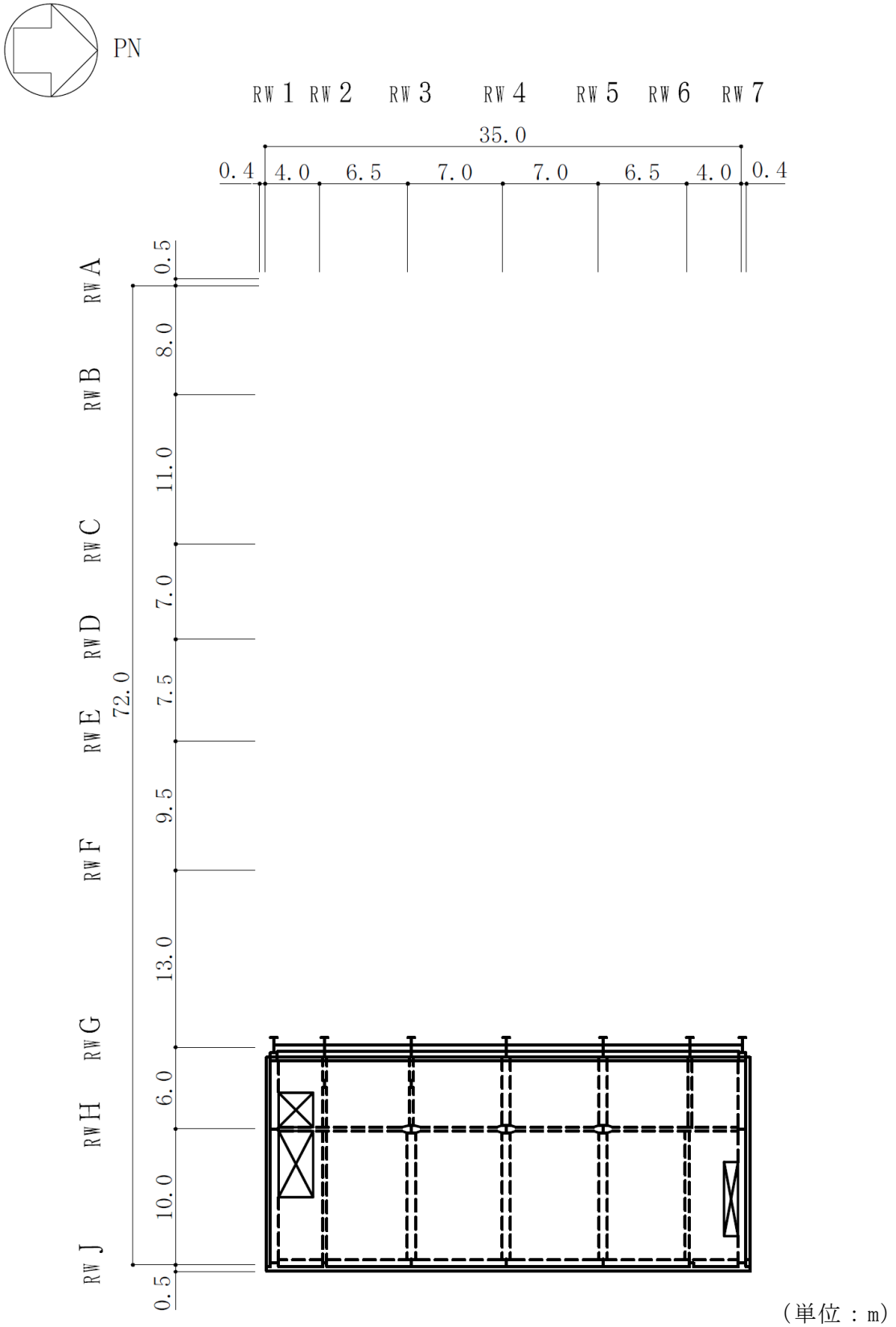


図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（4F，T.M.S.L.36.7m）（7/8）

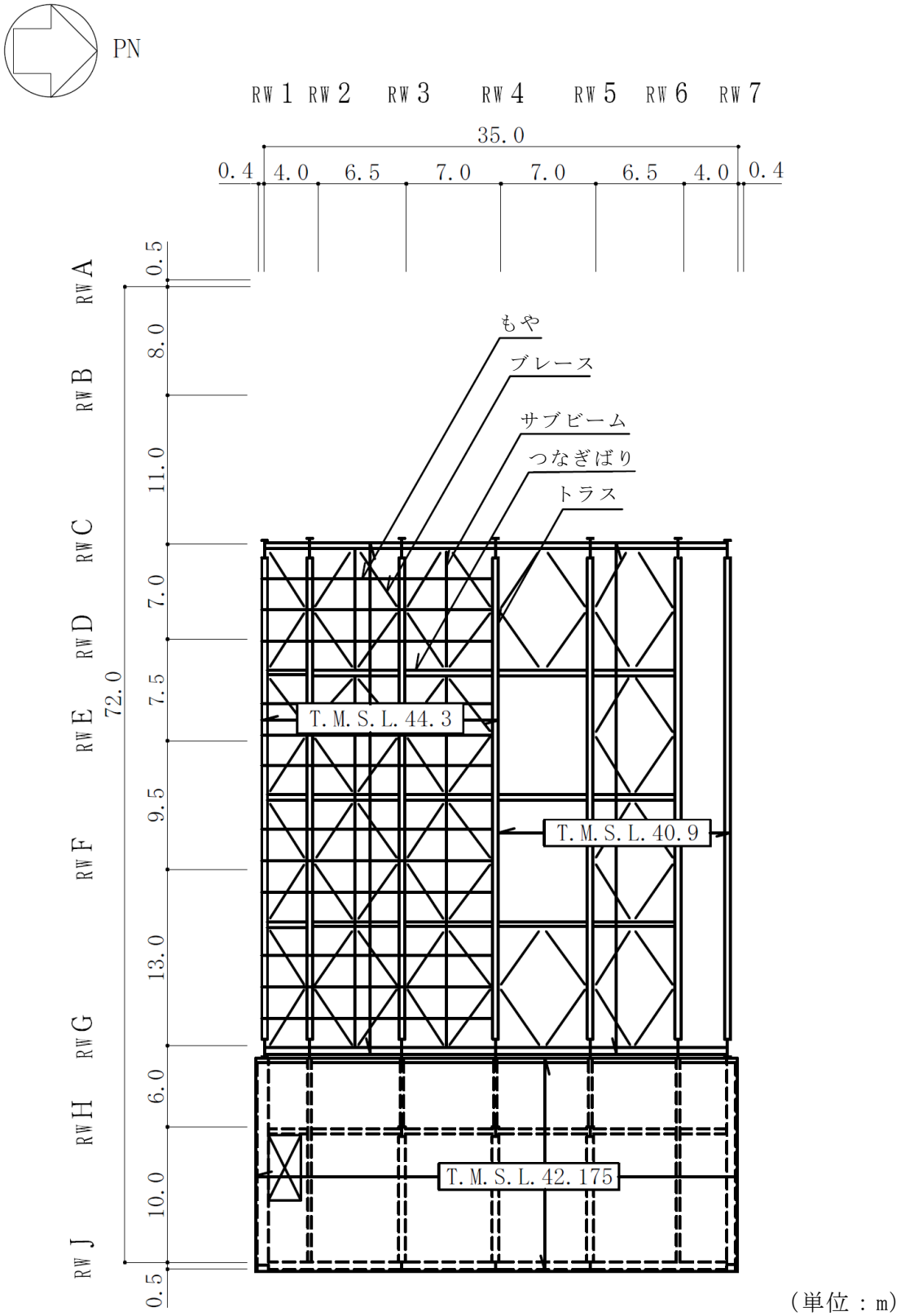
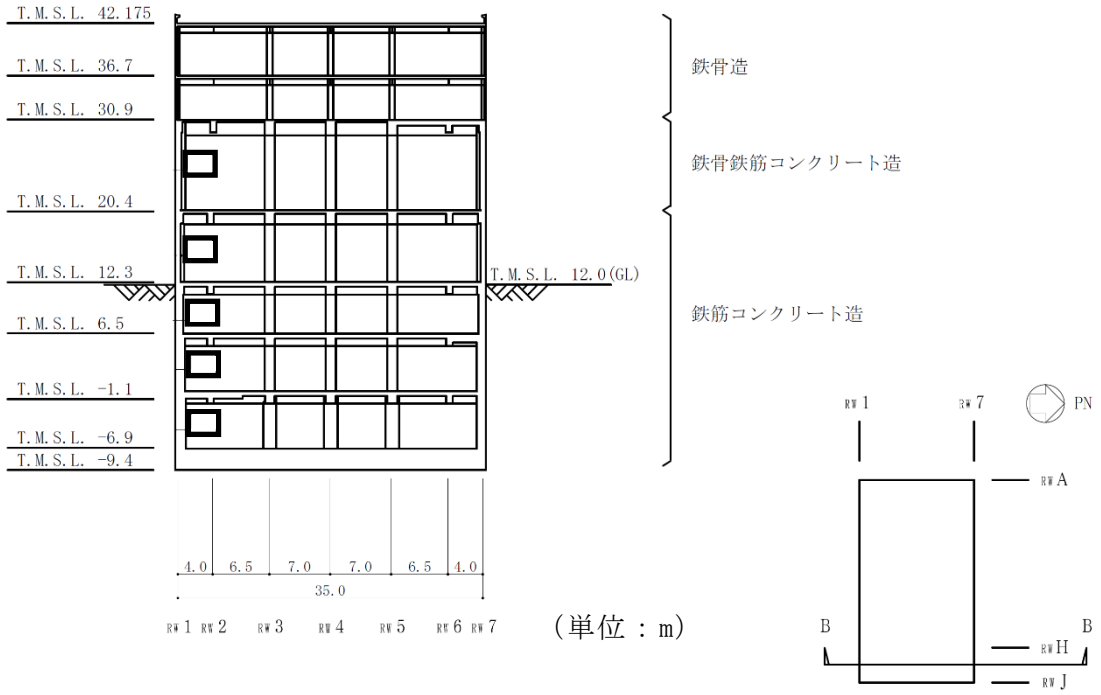
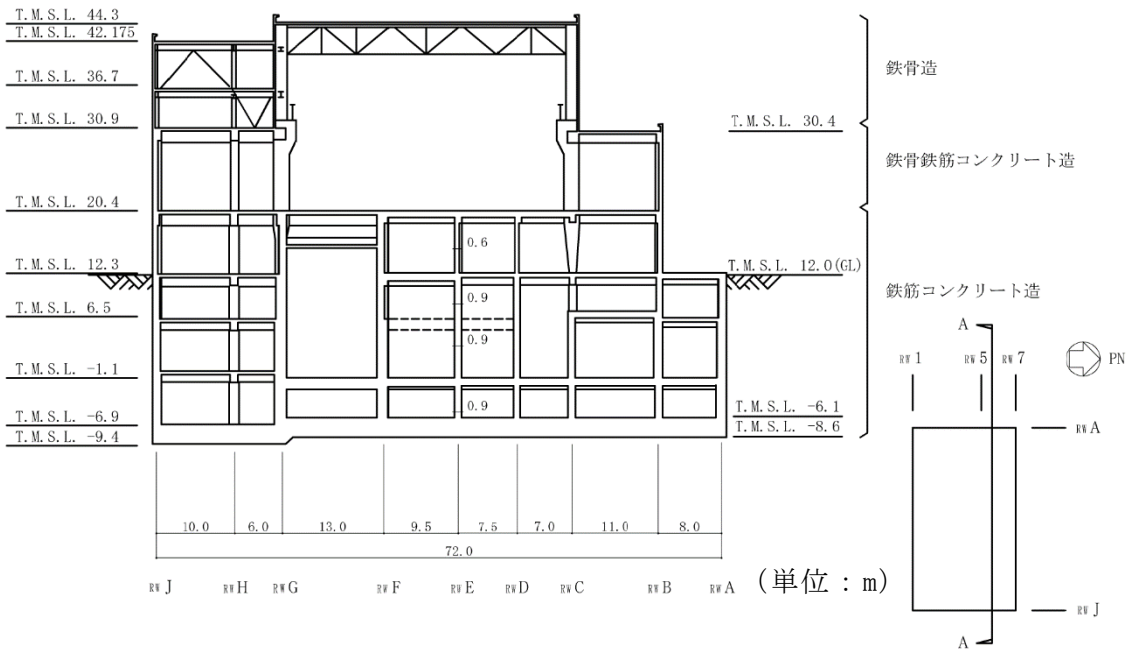


図 2－2　廃棄物処理建屋の概略平面図（RF，T. M. S. L. 44. 3m）（8/8）



NS 方向断面



EW 方向断面

図 2－3　廃棄物処理建屋の概略断面図

2.3　解析方針

廃棄物処理建屋の地震応答解析は，Ⅴ-2「耐震性に関する説明書」のうちⅤ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図 2－4 に廃棄物処理建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は，「3.1　検討用地震動」及び「3.2　地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし，「3.3　解析方法」に基づき，「4.　解析結果」において，加速度，変位，せん断ひずみ等を含む各種応答値を算出する。

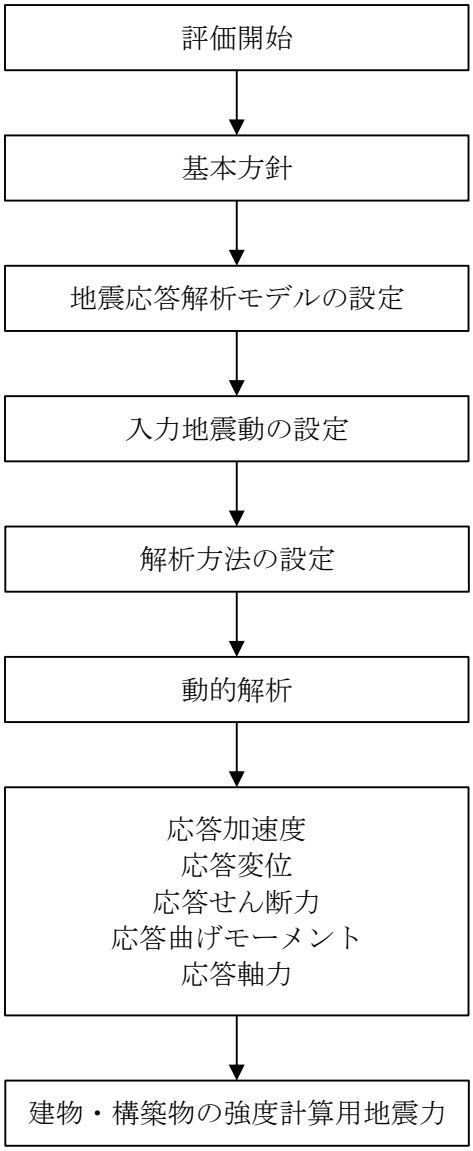


図 2－4　廃棄物処理建屋の地震応答解析フロー

2.4　適用規格

地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

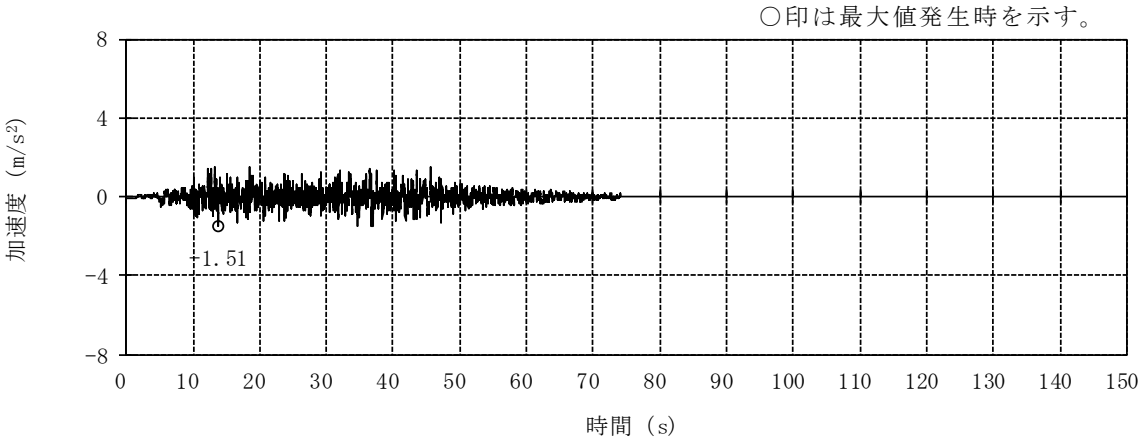
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999 改定）
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　（日本建築学会，2005 制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1987（日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1991　追補版（日本電気協会）
- ・鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 改定）

3. 解析方法

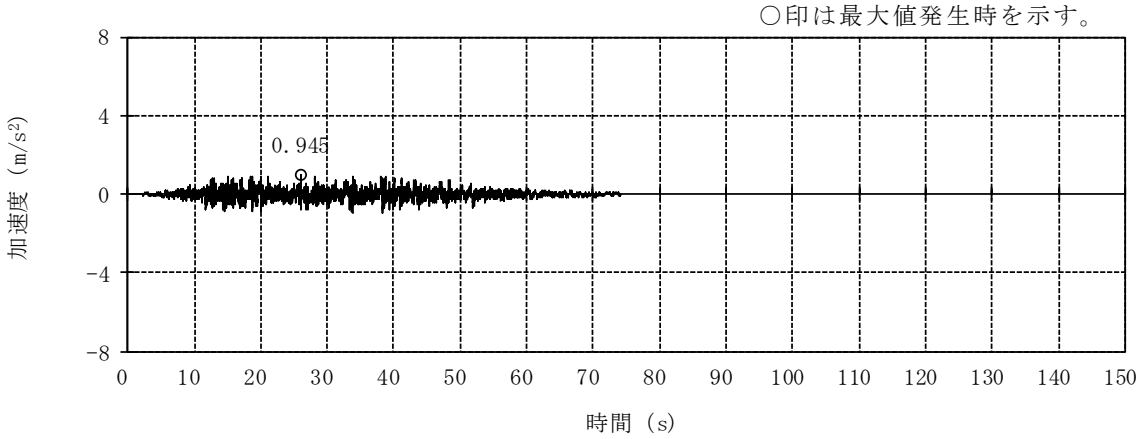
3.1 検討用地震動

廃棄物処理建屋の地震応答解析モデルは，建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この建屋－地盤連成モデルへの入力地震動は，Ⅴ-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動を用いることとする。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 3－1 及び図 3－2 に示す。

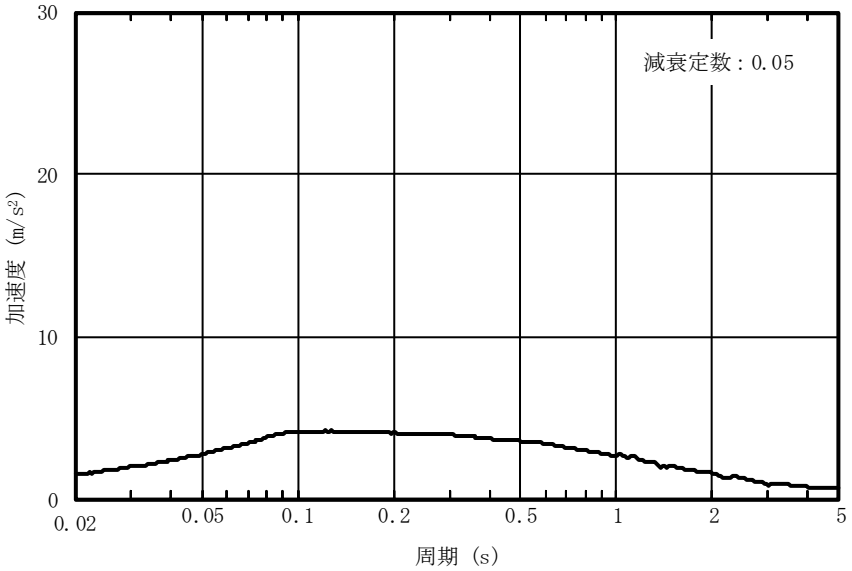


(a)　水平方向

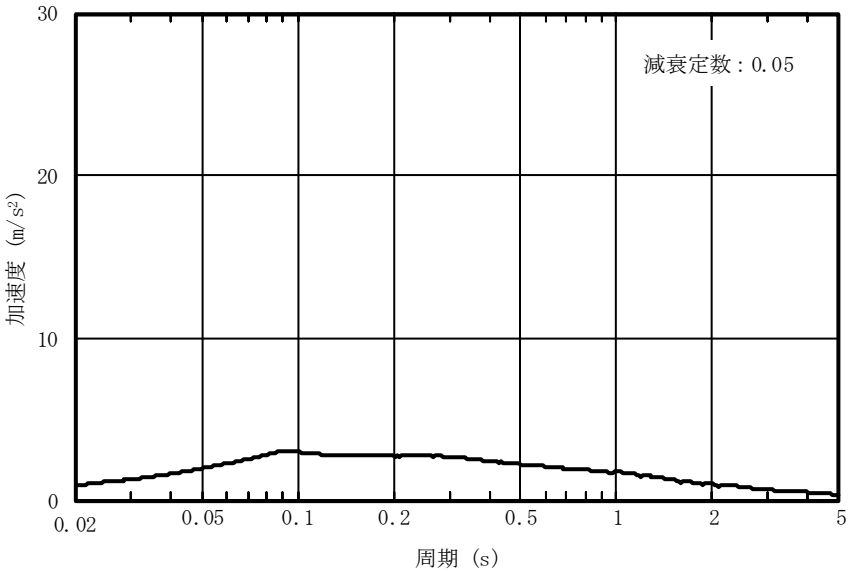


(b)　鉛直方向

図 3－1　加速度時刻歴波形（年超過確率 10^{-2} 相当地震動）



(a)　水平方向



(b)　鉛直方向

図 3－2　加速度応答スペクトル（年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

3.2　地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，Ⅴ-2「耐震性に関する説明書」のうちⅤ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定する。

地震応答解析モデルの設定に用いた建物・構築物の物性値を表 3－1 に示す。

ここで，コンクリート剛性については，実現象に近い応答を模擬するという観点から，建設時コンクリートの 91 日強度データを基に設定した実強度を用いて算定する。

表 3－1　建物・構築物の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート＊： σ_C＝43.1(N/mm^2) （σ_C＝440kgf/cm^2） 鉄筋：SD35 （SD345相当）	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート＊： σ_C＝39.2(N/mm^2) （σ_C＝400kgf/cm^2） 鉄筋：SD35 （SD345相当）	2.79×10^4	1.16×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨：SS41（SS400相当）	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨：SM41A（SM400A相当）	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨：SM50A（SM490A相当）	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記＊：実強度に基づくコンクリート強度。

3.2.1　水平方向モデル

水平方向の地震応答解析モデルは，地盤との相互作用を考慮し，曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし，弾性時刻歴応答解析を行う。

建屋のモデル化は NS 方向，EW 方向それぞれについて行っている。地震応答解析モデルを図 3－3 に，地震応答解析モデルの諸元を表 3－2 及び表 3－3 に示す。

地盤は，地盤調査に基づき水平成層地盤とし，基礎底面地盤ばねについては，「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1991　追補版」(以下「ＪＥＡＧ　４６０１-1991 追補版」という。）により，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ＳＴ－ＣＲＯＳＳ」を用いる。

水平方向モデルへの入力地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤の応答として評価する。また，基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより，地盤の切欠き効果を考慮する。図 3－4 に，地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には，解析コード「ＴＤＡＳ」を用いる。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤定数を表 3－4 に示す。なお，地盤定数は地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた等価地盤物性値を用いる。ひずみ依存特性については，Ⅴ-2「耐震性に関する説明書」のうちⅤ-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づく。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置（T.M.S.L.-8.6m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3－5 に示す。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表 3－5 に示す。

なお，水平方向の解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，Ⅴ-3「強度に関する説明書　別紙　計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.2　鉛直方向モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは，耐震壁の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を考慮した質点系モデルとし，弾性時刻歴応答解析を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3－6 に，地震応答解析モデルの諸元を表 3－6 に示す。

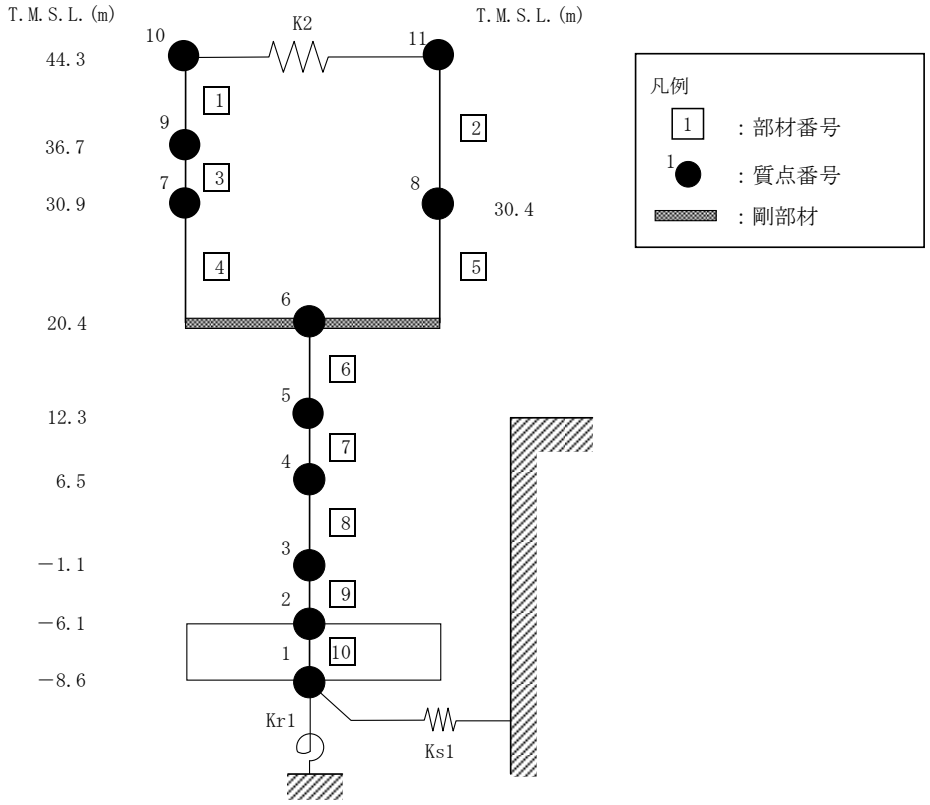
地盤は，地盤調査に基づき水平成層地盤とし，基礎底面地盤ばねについては，スウェイ及びロッキングばねの定数の評価法と同様，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づいて，鉛直ばねを近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ＳＴ－ＣＲＯＳＳ」を用いる。

鉛直方向モデルへの入力地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベ

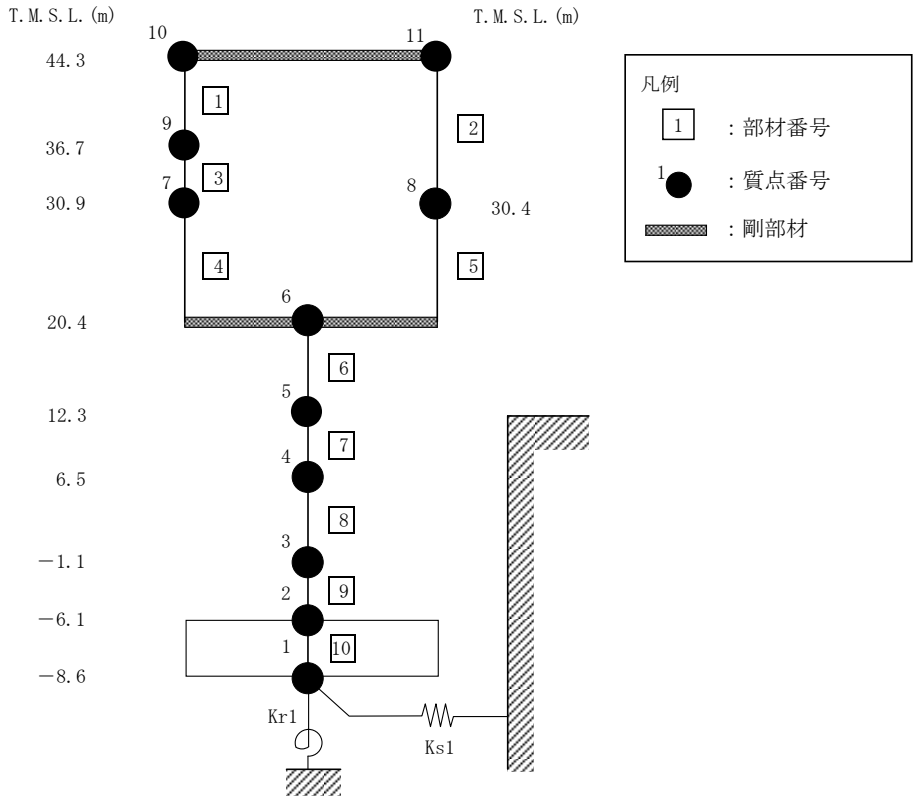
ルに想定する年超過確率10^{-2}相当地震動に対する地盤の応答として評価したものであり，基礎底面レベルに直接入力する。図3－7に，地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には，解析コード「ＳＨＡＫＥ」を用いる。

設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置（T.M.S.L.-8.6m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3－8に示す。なお，地盤定数は表3－4に示すとおりである。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表3－7に示す。

なお，鉛直方向の解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，Ⅴ-3「強度に関する説明書　別紙　計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



NS 方向



EW 方向

図 3－3　地震応答解析モデル（水平方向）

表 3－2　地震応答解析モデル諸元（NS 方向）

（a）重量・回転慣性重量

T.M.S.L. (m)	建屋	
44.3	10 28640 3.6	11 10630 1.4
36.7	9 21950 2.7	―
30.9	7 33800 4.0	
30.4	―	8 21140 2.5
20.4	6 125570 15.4	
12.3	5 168640 19.4	
6.5	4 185670 21.7	
-1.1	3 209330 23.0	
-6.1	2 138300 15.7	
-8.6	1 76880 8.2	

質点番号
重量(kN)
回転慣性重量（$\times 10^6$kN・m^2）

（b）せん断断面積・断面二次モーメント

T.M.S.L. (m)	建屋	
44.3	1 0.31 ―	2 0.19
36.7	3 0.55 ―	
30.9	4 36.5	―
30.4	4990	5 35.8 4230
20.4	6 192.0 25540	
12.3	7 271.4 44580	
6.5	8 305.1 49890	
-1.1	9 301.3 50620	
-6.1	10 2613.4 279100	

①コンクリート部　建屋
ヤング係数Ｅ 2.88　×10^4 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 1.20　×10^4 (N/mm^2)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数ｈ 5%
②コンクリート部　基礎スラブ
ヤング係数Ｅ 2.79　×10^4 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 1.16　×10^4 (N/mm^2)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数ｈ 5%
③鉄骨部
ヤング係数Ｅ 2.05　×10^5 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 7.90　×10^4 (N/mm^2)
ポアソン比 ν 0.30
減衰定数ｈ 2%

基礎形状 35.8m(NS方向)×73.0m(EW方向)×2.5m(厚さ)

K_2 ：屋根トラス部せん断ばね2.96×10^5 (kN/m)
K_{r2}：屋根トラス端部回転拘束ばね(G通り)1.71×10^7 (kN･m/rad)
K_{r3}：屋根トラス端部回転拘束ばね(C通り)1.15×10^7 (kN･m/rad)

部材番号
せん断断面積(m^2)
断面二次モーメント(m^4)

表 3－3　地震応答解析モデル諸元（EW 方向）

（a）　重量・回転慣性重量

T.M.S.L. (m)	建屋	
44.3	10 39270 0.5	11
36.7	9 21950 0.6	―
30.9	7 33800 1.3	
30.4	―	8 21140 0.2
20.4	6 125570 115.5	
12.3	5 168640 67.8	
6.5	4 185670 78.2	
-1.1	3 209330 86.1	
-6.1	2 138300 66.5	
-8.6	1 76880 34.2	

質点番号
重量(kN)
回転慣性重量（$\times 10^6$kN・m^2）

（b）　せん断断面積・断面二次モーメント

T.M.S.L. (m)	建屋	
44.3	1 0.40 ―	2 0.03
36.7	3 0.49 ―	
30.9	4 47.9	―
30.4	1775	5 24.6 541
20.4	6 187.7 82380	
12.3	7 329.8 163990	
6.5	8 381.7 214550	
-1.1	9 416.2 228710	
-6.1	10 2613.4 1160600	

①コンクリート部　建屋
　ヤング係数Ｅ 2.88　×10^4 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 1.20　×10^4 (N/mm^2)
　ポアソン比ν 0.20
　減衰定数ｈ 5%
②コンクリート部　基礎スラブ
　ヤング係数Ｅ 2.79　×10^4 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 1.16　×10^4 (N/mm^2)
　ポアソン比ν 0.20
　減衰定数ｈ 5%
③鉄骨部
　ヤング係数Ｅ 2.05　×10^5 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 7.90　×10^4 (N/mm^2)
　ポアソン比ν 0.30
　減衰定数ｈ 2%

基礎形状 35.8m(NS方向)×73.0m(EW方向)×2.5m(厚さ)

部材番号
せん断断面積(m^2)
断面二次モーメント(m^4)

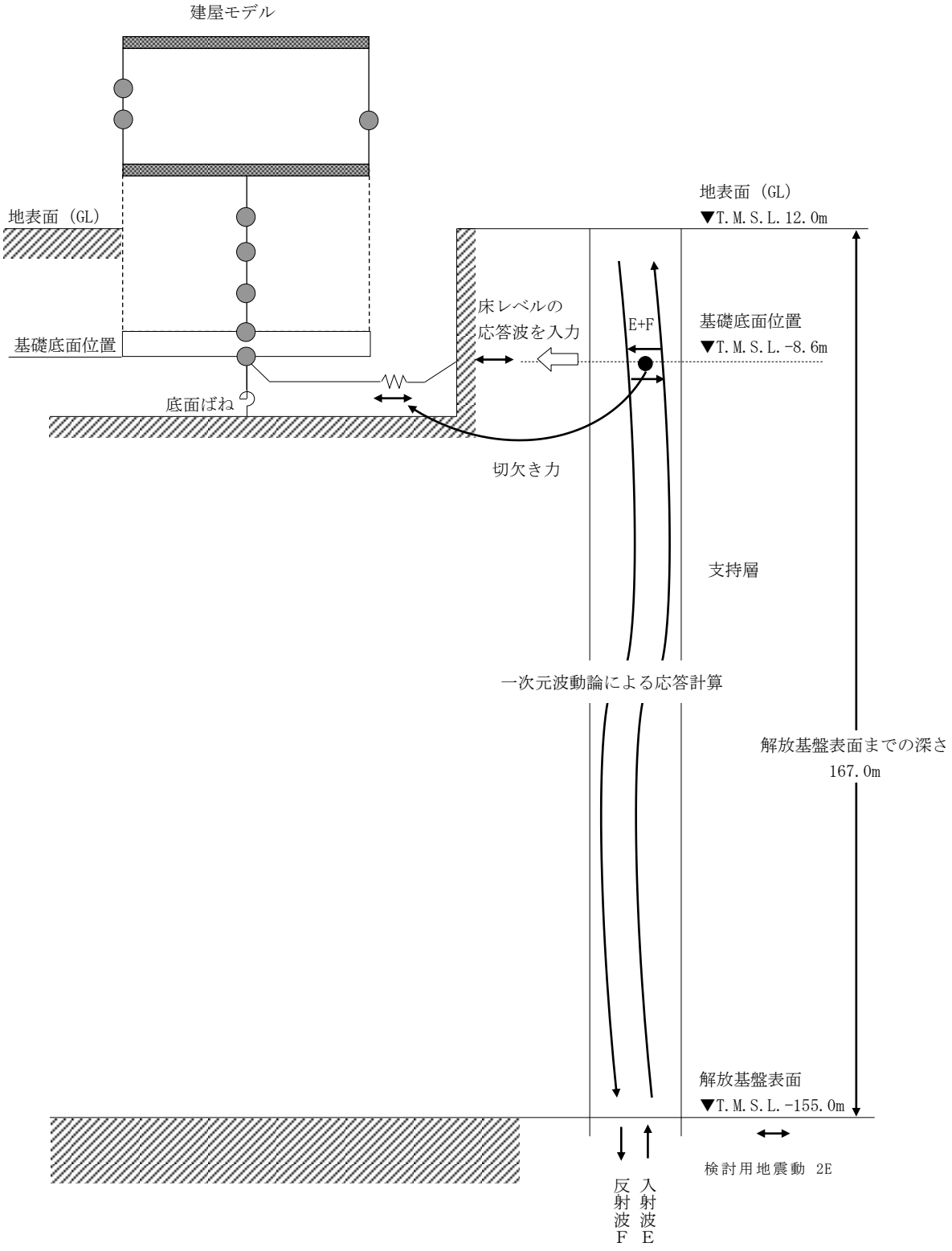


図 3－4　地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（水平方向）

表 3－4　地盤定数（年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.247	0.369	0.67	8
+8.0		200	16.1	0.308	0.374	0.657	0.57	11
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.53	1.92	0.80	3
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.07	4.16	0.98	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.60	4.75	0.97	3
-90.0		590	17.3	0.432	6.01	6.14	0.98	3
-136.0		650	19.3	0.424	8.15	8.32	0.98	3
-155.0 ∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

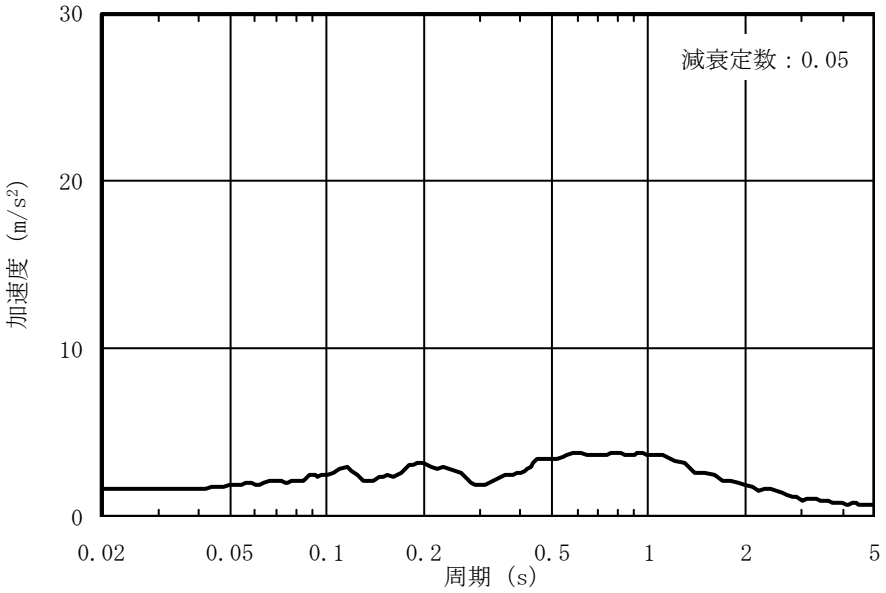


図 3－5　入力動の加速度応答スペクトル（水平方向）
（年超過確率 10^{-2} 相当地震動，T.M.S.L.-8.6m）

表 3－5　地盤のばね定数と減衰係数（年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

(a)　NS 方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	1	底面・並進	7.16×10^{7}	2.55×10^{6}
Kr1	1	底面・回転	3.15×10^{10}	1.52×10^{8}

注記*1：Ks1はkN/m　Kr1はkN･m/rad
　　*2：Ks1はkN･s/m　Kr1はkN･m･s/rad

(b)　EW 方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	1	底面・並進	6.56×10^{7}	2.13×10^{6}
Kr1	1	底面・回転	9.32×10^{10}	1.10×10^{9}

注記*1：Ks1はkN/m　Kr1はkN･m/rad
　　*2：Ks1はkN･s/m　Kr1はkN･m･s/rad

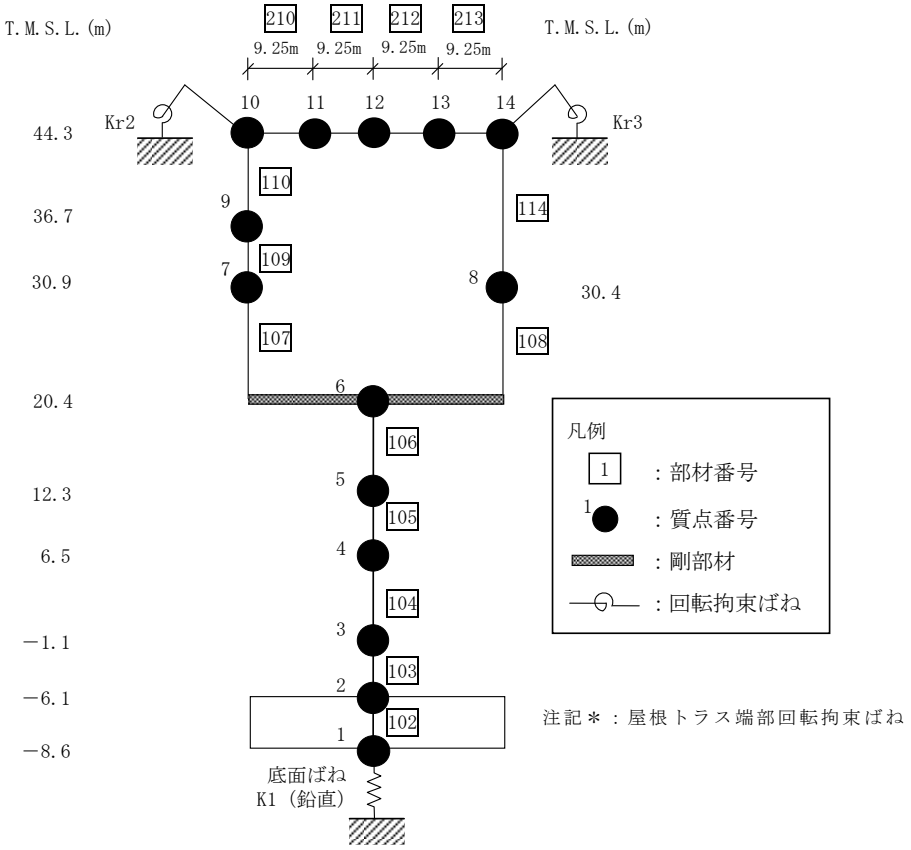


図 3－6　地震応答解析モデル（鉛直方向）

表 3－6　地震応答解析モデルの諸元（鉛直方向）

質点番号	10	11	12	13	14
重量(kN)	－	2330	2330	2330	－
部材番号	210	211	212	213	
せん断断面積 $A_s(\times 10^{-2}m^2)$	6.50	4.74	4.74	6.50	
断面二次モーメント $I_B(m^4)$	0.89	0.89	0.89	0.89	

質点番号	質点重量 W(kN)	部材番号	軸断面積 $A_0(m^2)$	質点番号	質点重量 W(kN)	部材番号	軸断面積 $A_0(m^2)$
10	25780	110	1.08	14	6500	114	0.872
9	21950						
		109	1.99				
7	33800			8	21140		
		107	91.3			108	68.39
6	125570						
		106	357.7				
5	168640						
		105	564.3				
4	185670						
		104	641.6				
3	209330						
		103	659.0				
2	138300						
		102	2613.4				
1	76880						
合計	1020550 (屋根トラス含む)						

①コンクリート部　建屋

ヤング係数Ｅ 2.88 ×10^4 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 1.20 ×10^4 (N/mm^2)
ポアソン比ν 0.20
減衰定数ｈ 5%

②コンクリート部　基礎スラブ

ヤング係数Ｅ 2.79 ×10^4 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 1.16 ×10^4 (N/mm^2)
ポアソン比ν 0.20
減衰定数ｈ 5%

③鉄骨部

ヤング係数Ｅ 2.05 ×10^5 (N/mm^2)
せん断弾性係数Ｇ 7.90 ×10^4 (N/mm^2)
ポアソン比ν 0.30
減衰定数ｈ 2%

基礎形状 35.8m(NS方向)×73.0m(EW方向)×2.5m(厚さ)

K_{r2}：屋根トラス端部回転拘束ばね(G通り)1.71×10^7 (kN･m/rad)
K_{r3}：屋根トラス端部回転拘束ばね(C通り)1.15×10^7 (kN･m/rad)

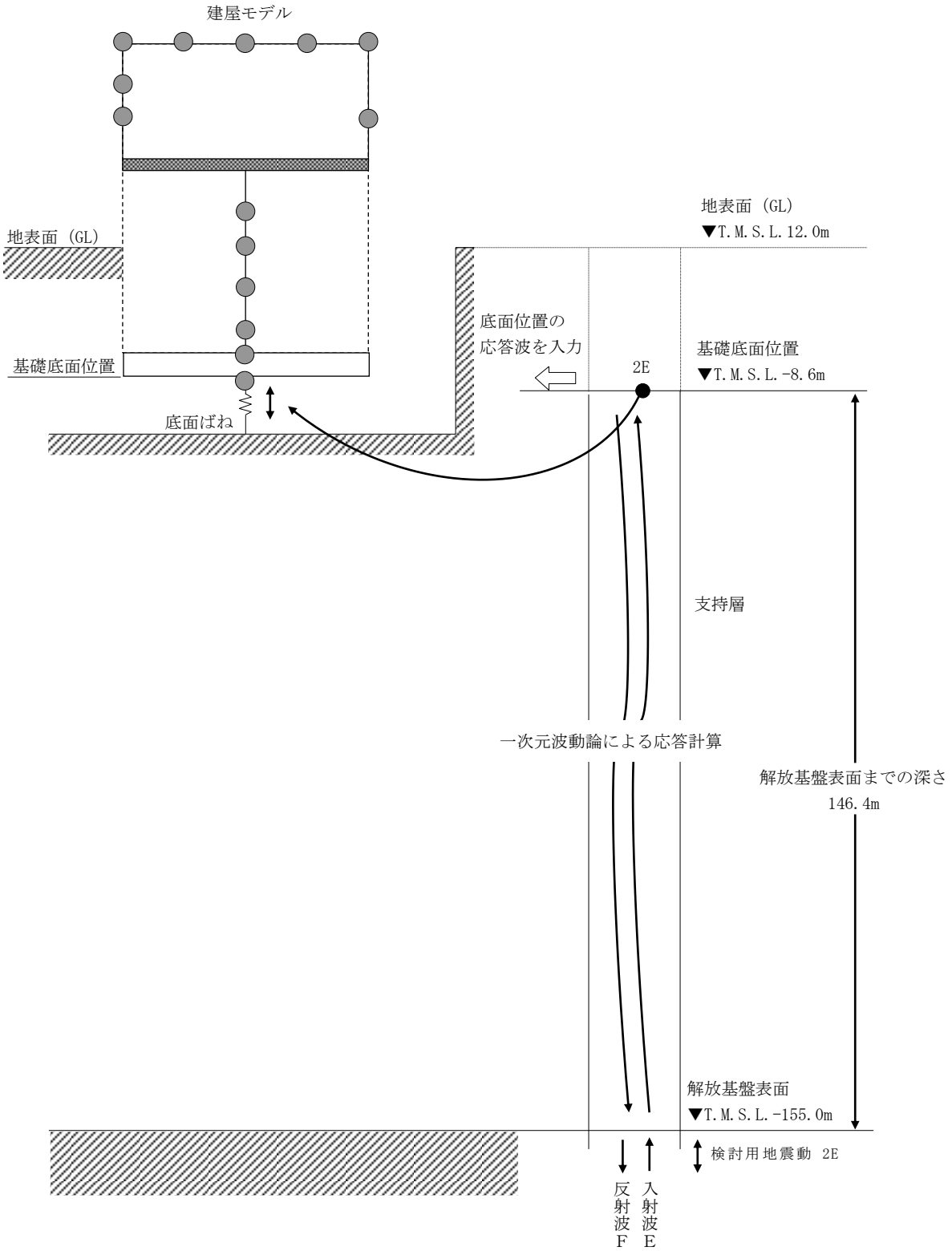


図 3－7　地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）

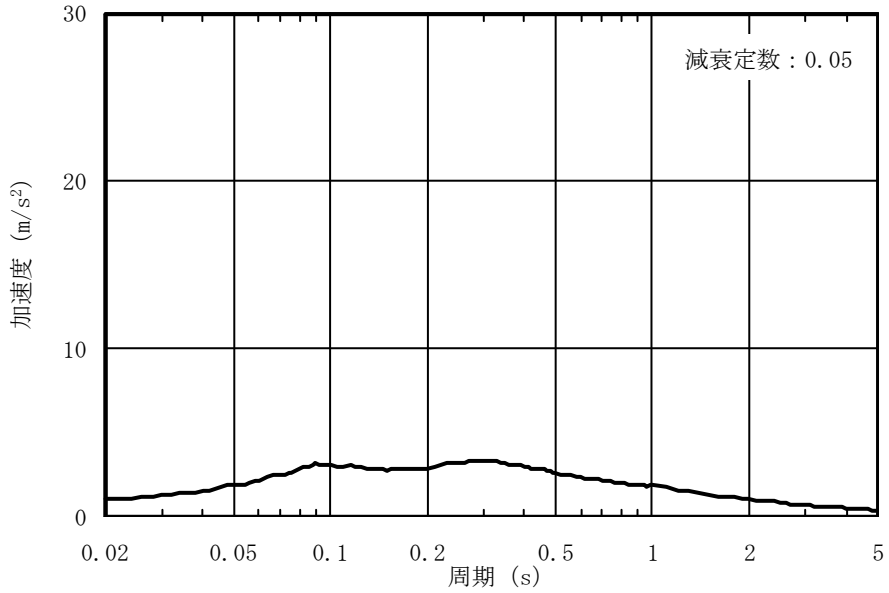


図 3－8　入力地震動の加速度応答スペクトル
（年超過確率 10^{-2} 相当地震動，鉛直方向，T.M.S.L.-8.6m）

表 3－7　地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	1	底面・鉛直	1.11×10^{8}	5.30×10^{6}

3.3　解析方法

廃棄物処理建屋の地震応答解析は，Ⅴ-2「耐震性に関する説明書」のうちⅤ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，時刻歴応答解析により実施する。時刻歴応答解析には，解析コード「ＴＤＡＳ」を用いる。なお，解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，Ⅴ-3「強度に関する説明書　別紙　計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4. 解析結果

4.1 固有値解析結果

固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）を表 4－1 に示す。刺激関数図を図 4－1 に示す。

なお，刺激係数は，モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。

4.2 応答解析結果

地震応答解析結果を図 4－2～図 4－12 及び表 4－2～表 4－4 に示す。

表 4－1　固有値解析結果

(a)　NS 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.395	2.53	2.367	建屋－地盤連成1次
2	0.219	4.57	-2.056	
3	0.178	5.63	-1.141	
4	0.135	7.40	0.650	
5	0.091	11.02	0.249	

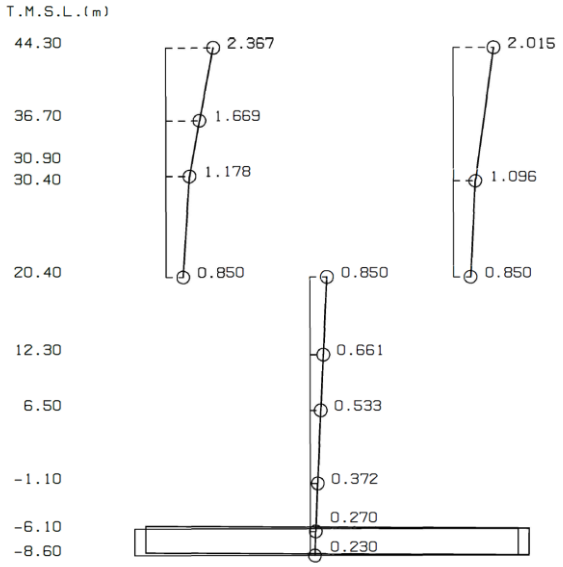
(b)　EW 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.346	2.89	2.628	建屋－地盤連成1次
2	0.237	4.22	-1.881	
3	0.147	6.81	-0.253	
4	0.090	11.05	-0.041	
5	0.064	15.58	-0.099	

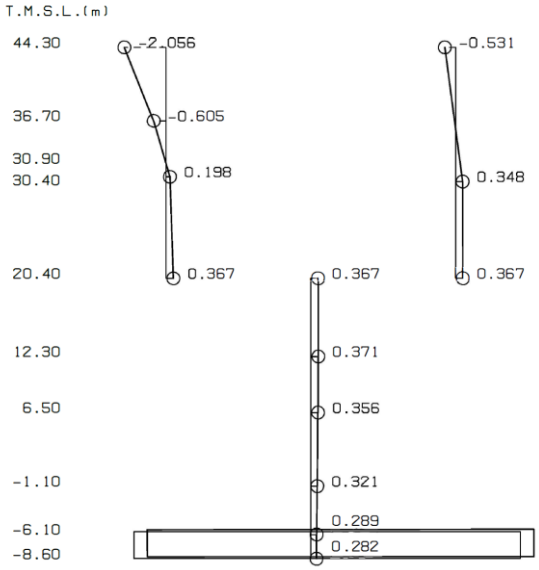
(c)　鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.297	3.37	2.375	屋根トラス1次
2	0.197	5.08	-1.505	建屋－地盤連成1次
3	0.125	8.01	-0.137	
4	0.089	11.22	0.219	
5	0.076	13.08	-0.277	

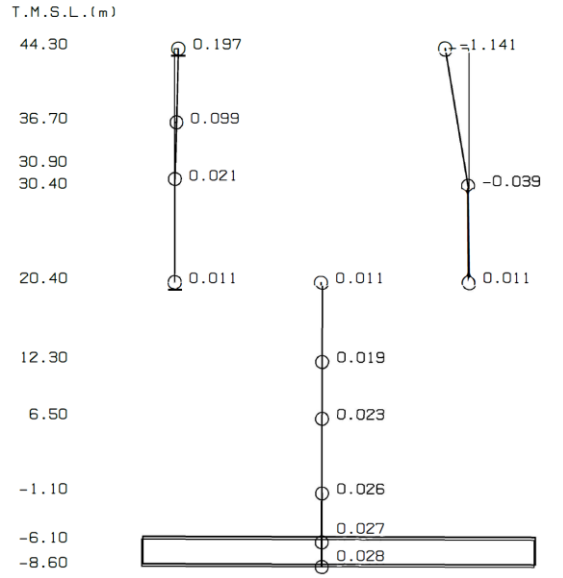
注：刺激係数は，モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。



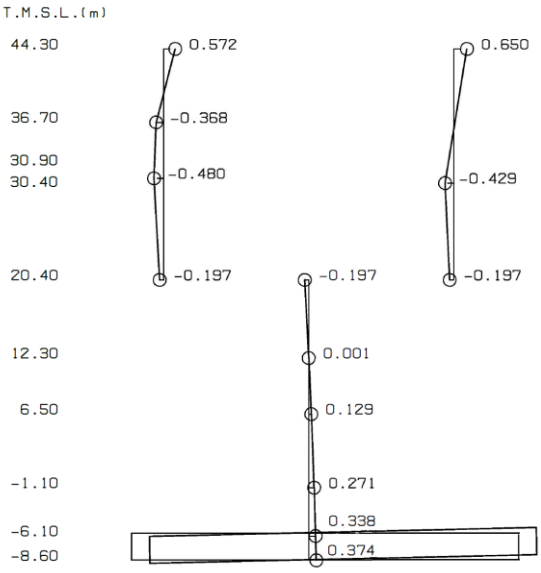
1 次



2 次

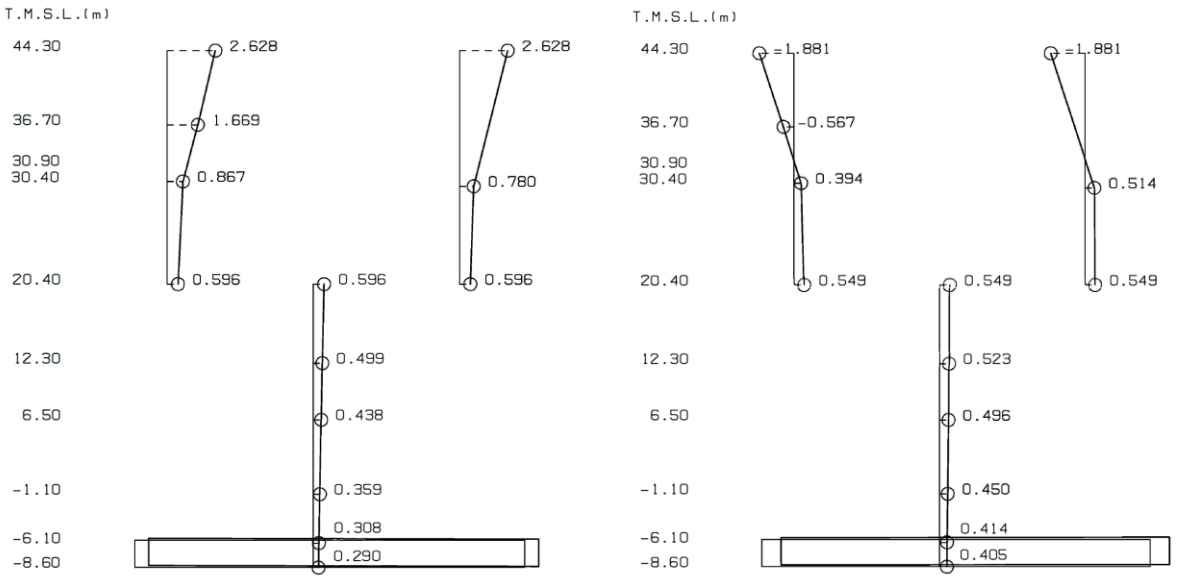


3 次



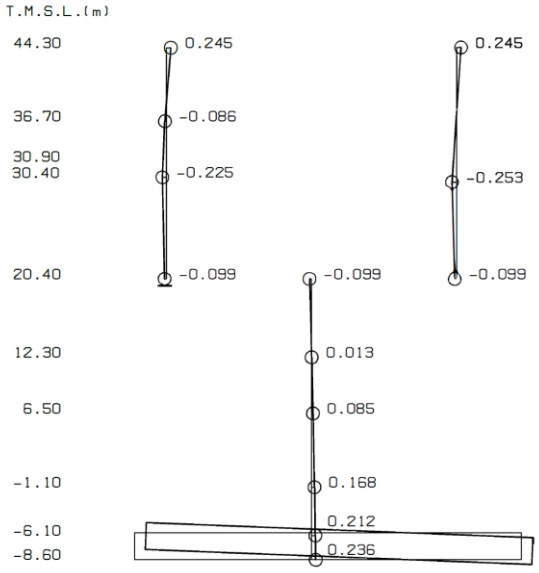
4 次

図 4－1　刺激関数図（NS 方向）（1/3）

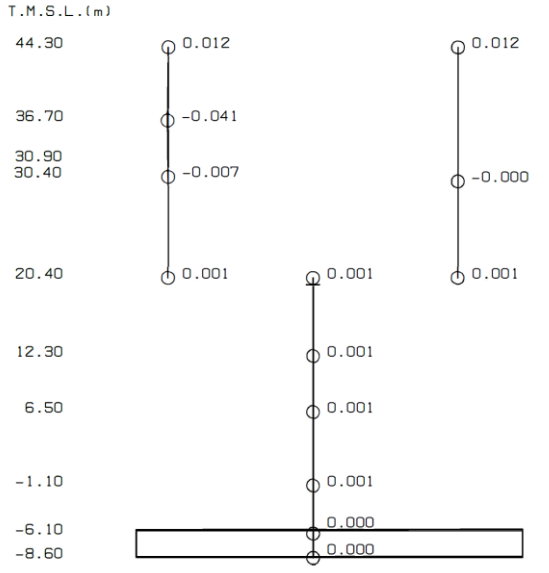


1 次

2 次

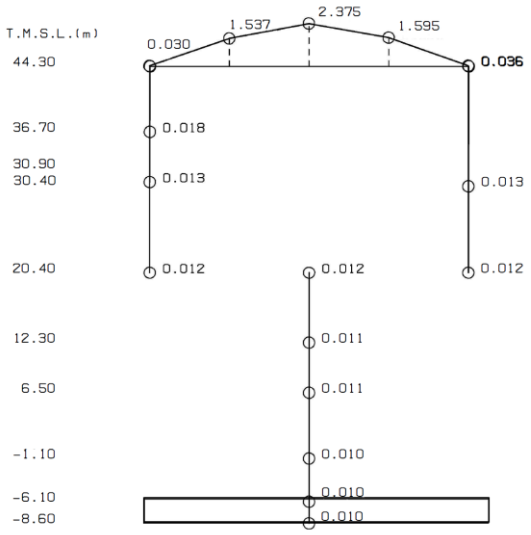


3 次

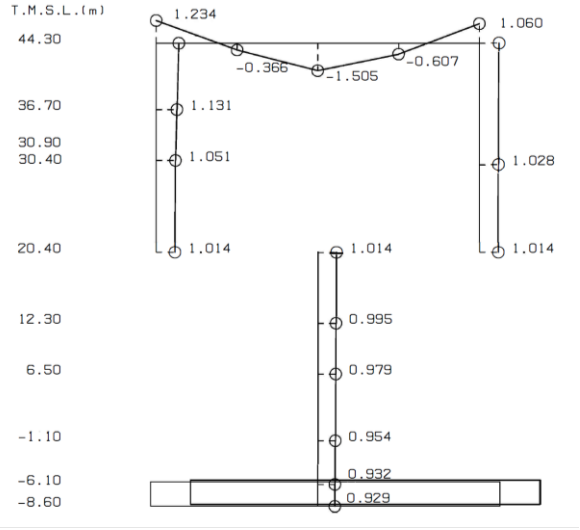


4 次

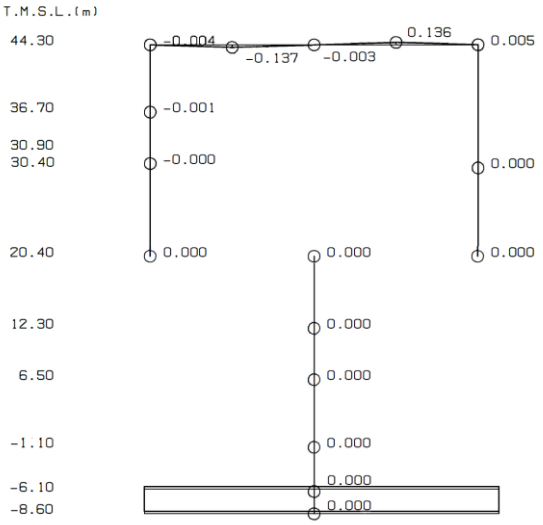
図 4－1　刺激関数図（EW 方向）（2/3）



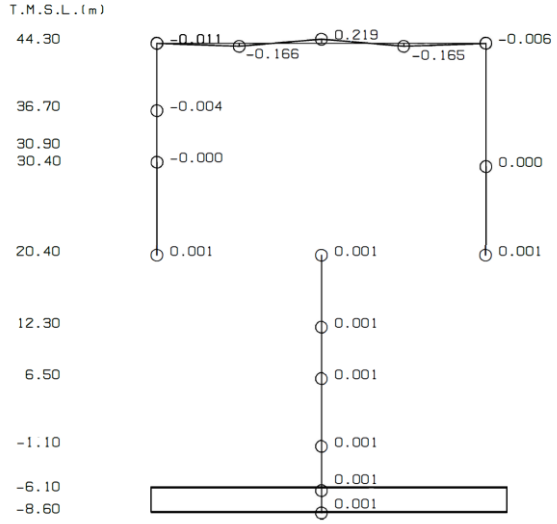
1 次



2 次



3 次



4 次

図 4－1　刺激関数図（鉛直方向）（3/3）

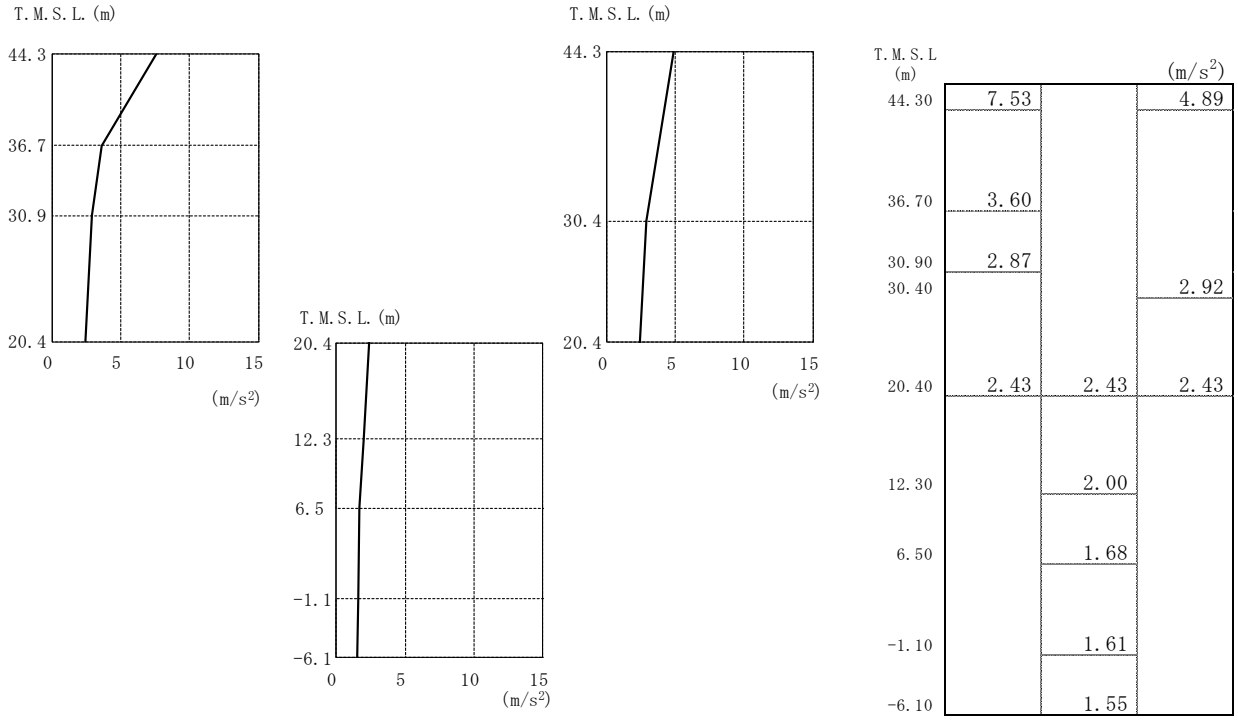


図 4－2　最大応答加速度（NS 方向）

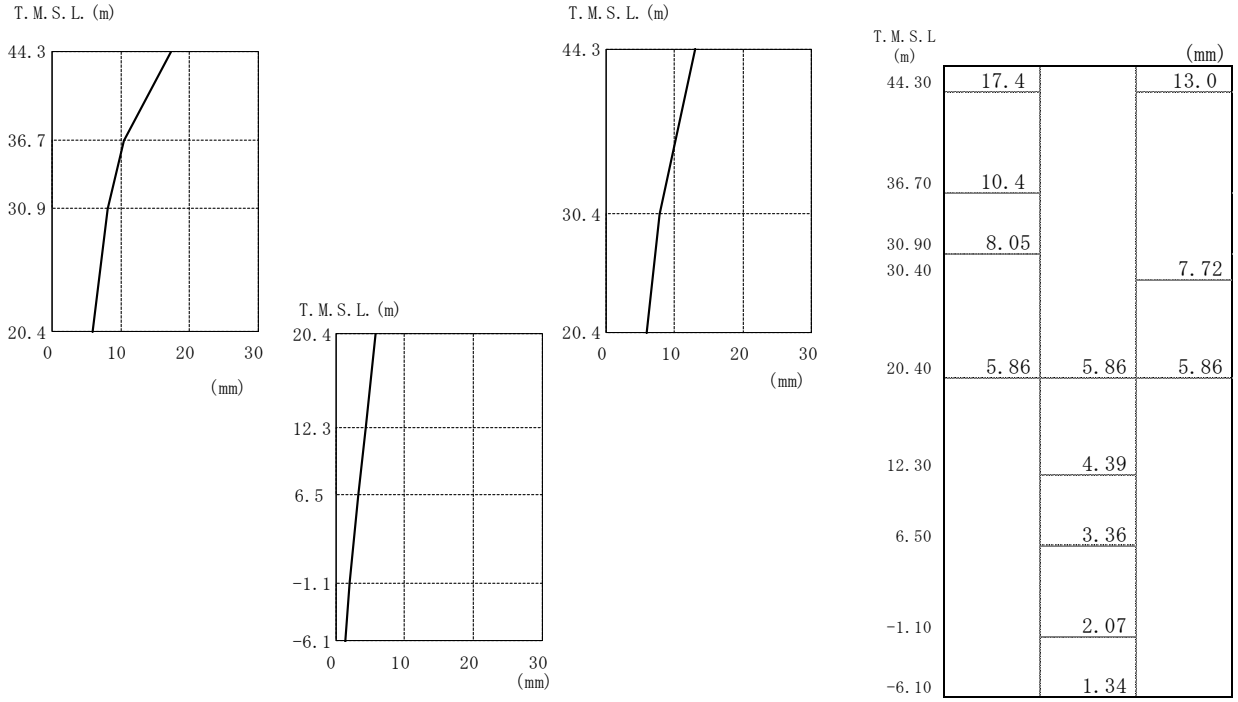


図 4－3　最大応答変位（NS 方向）

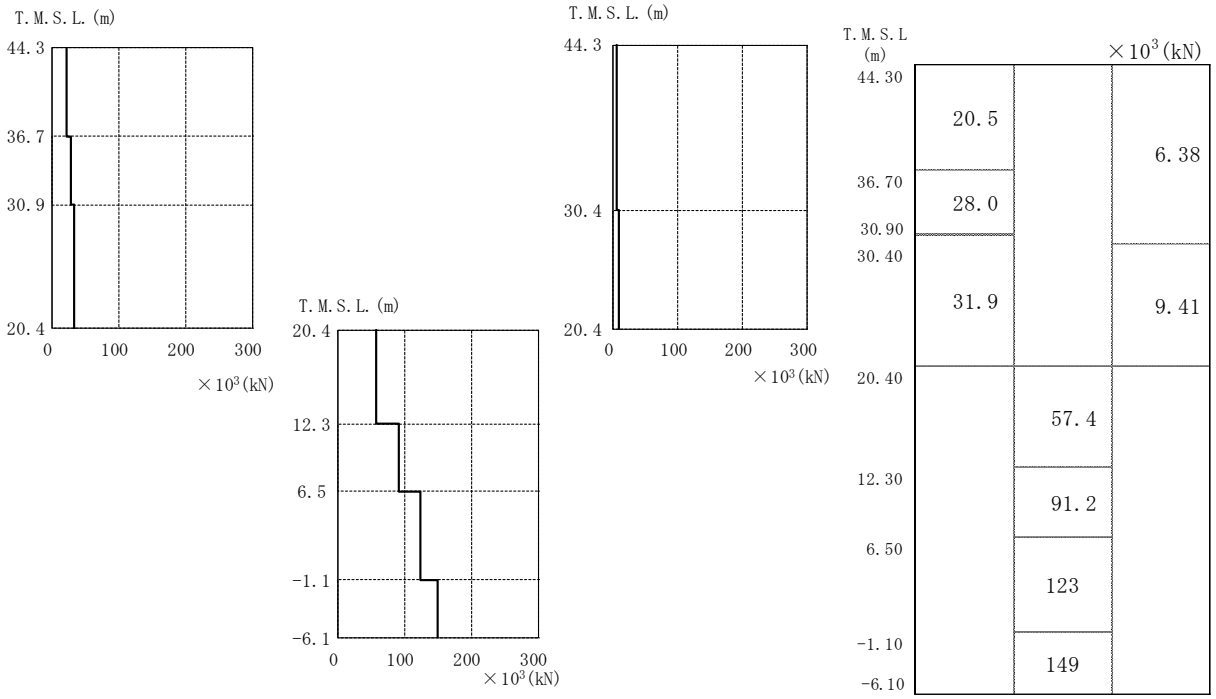


図 4－4　最大応答せん断力（NS 方向）

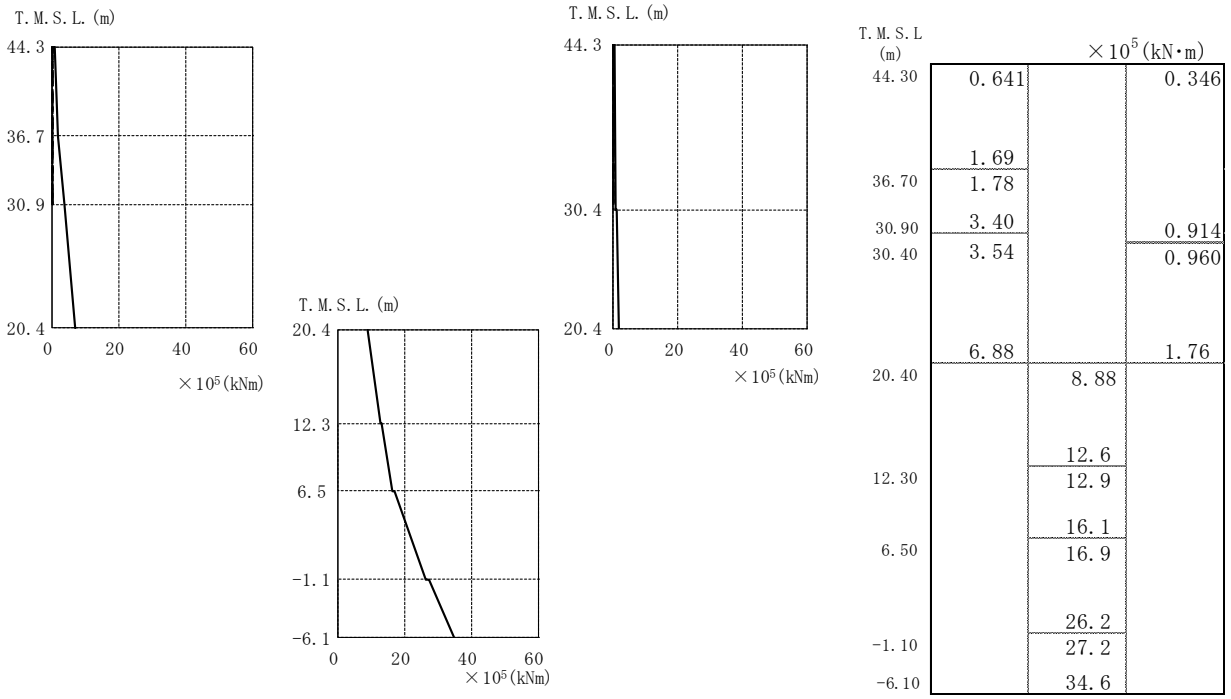


図 4－5　最大応答曲げモーメント（NS 方向）

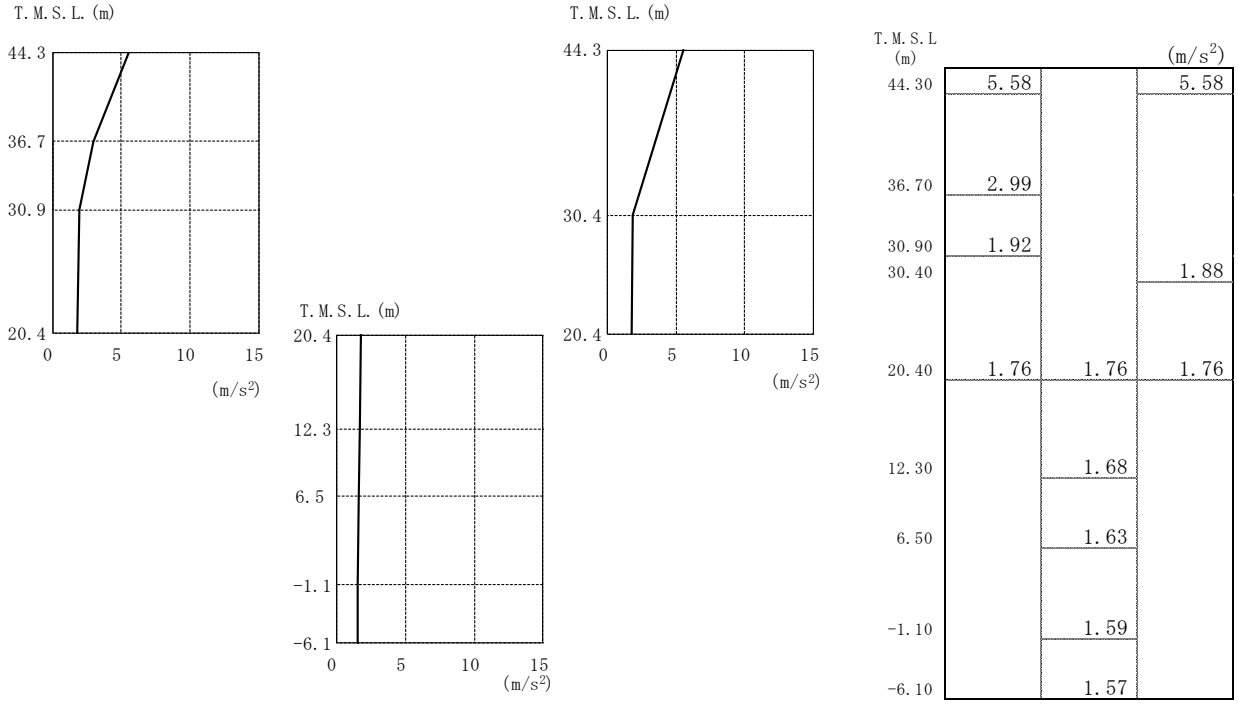


図 4－6　最大応答加速度（EW 方向）

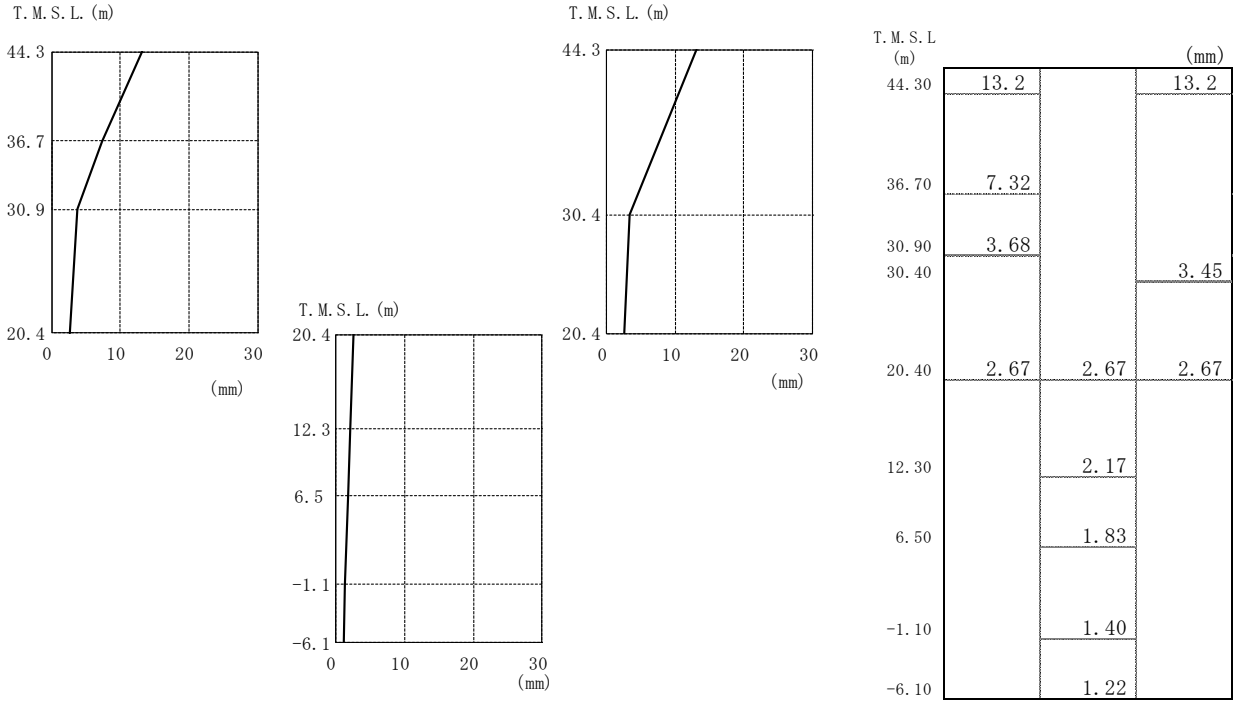


図 4－7　最大応答変位（EW 方向）

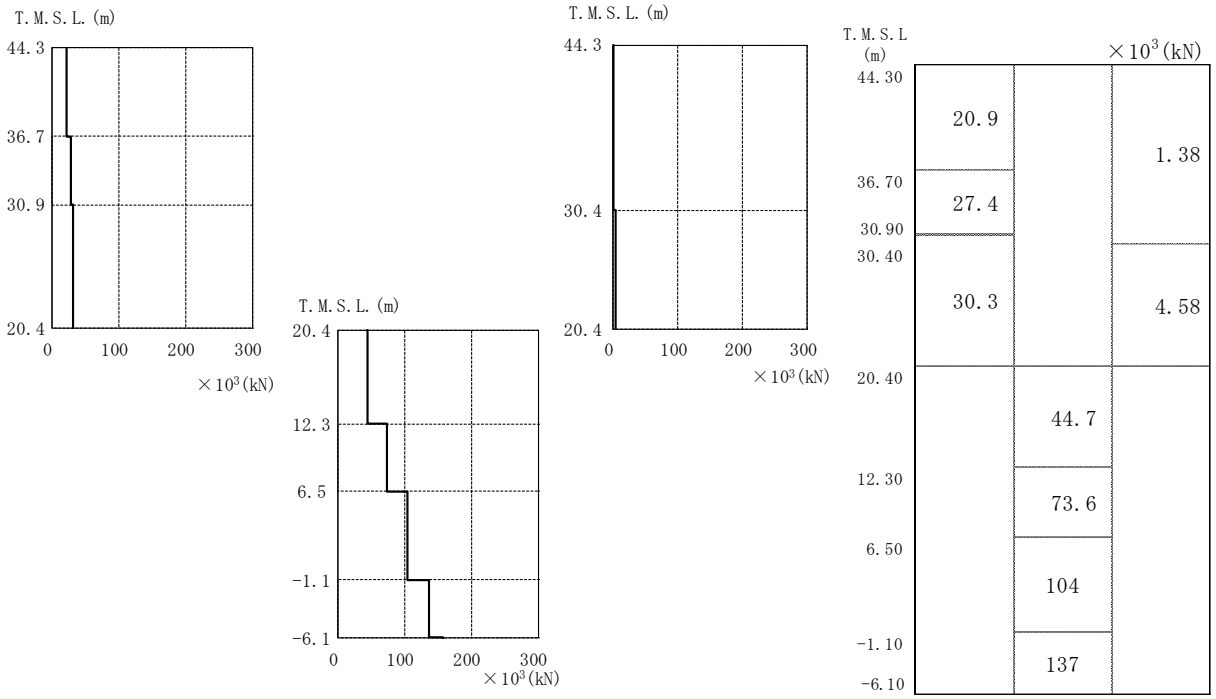


図 4－8　最大応答せん断力（EW 方向）

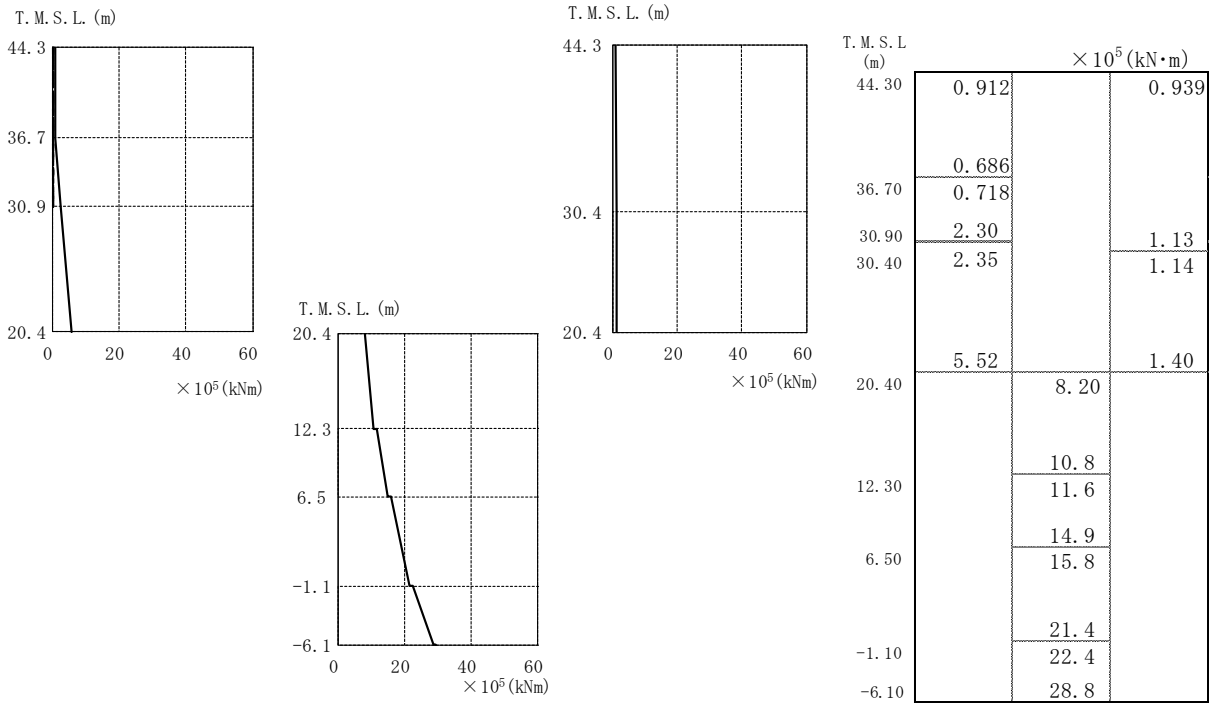
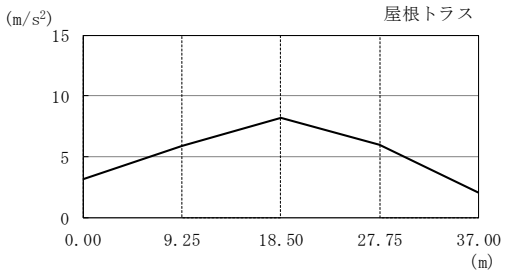


図 4－9　最大応答曲げモーメント（EW 方向）



水平位置（m）	0.00	9.25	18.50	27.75	37.00
最大応答加速度（m/s^2）					
屋根トラス	3.18	5.91	8.19	6.00	2.03

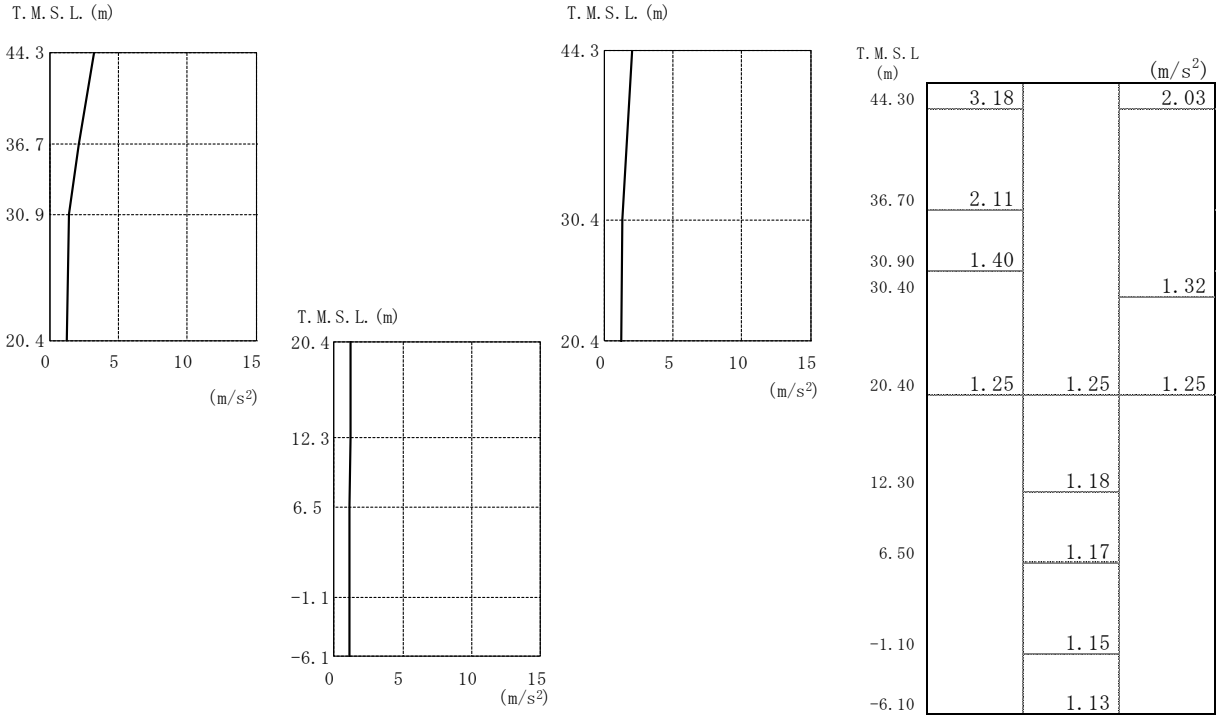
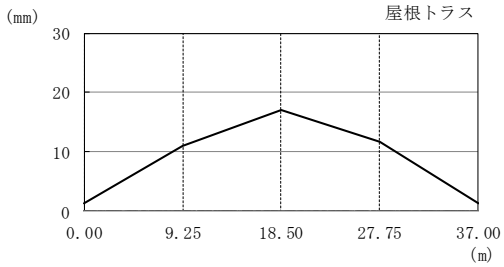


図 4－10　最大応答加速度（鉛直方向）



水平位置 (m)	0.00	9.25	18.50	27.75	37.00
最大応答変位 (mm)					
屋根トラス	1.42	11.0	17.0	11.7	1.27

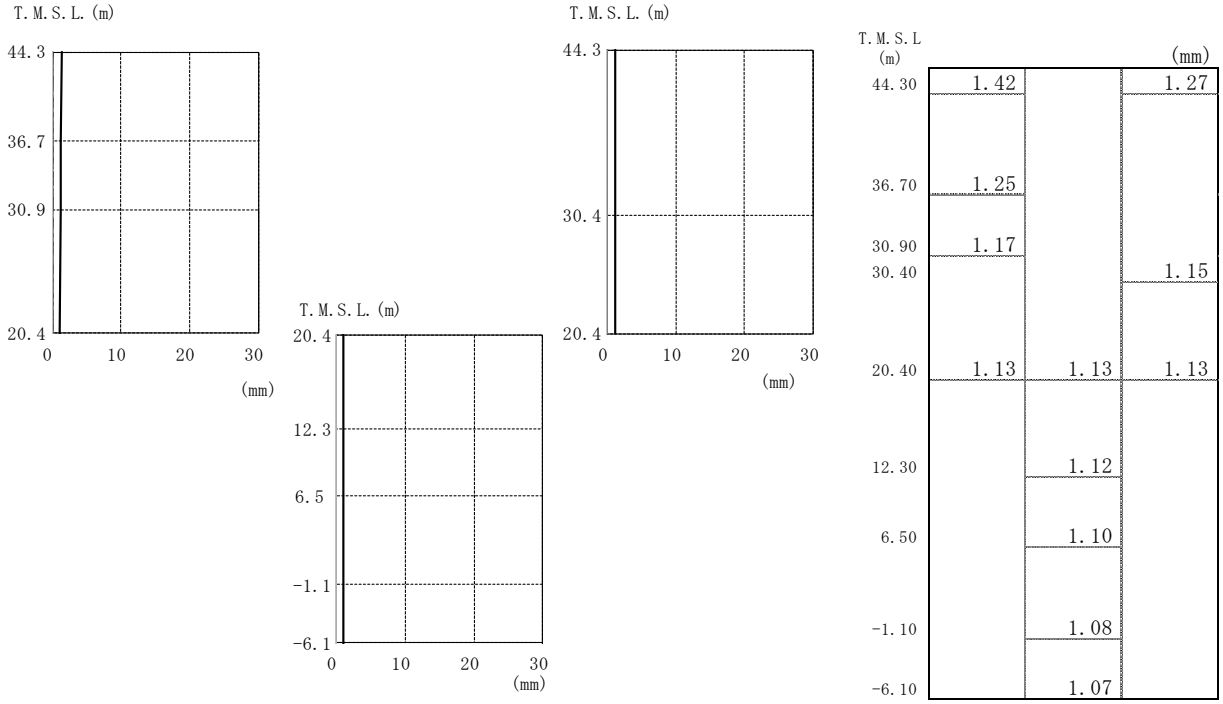


図 4－11　最大応答変位（鉛直方向）

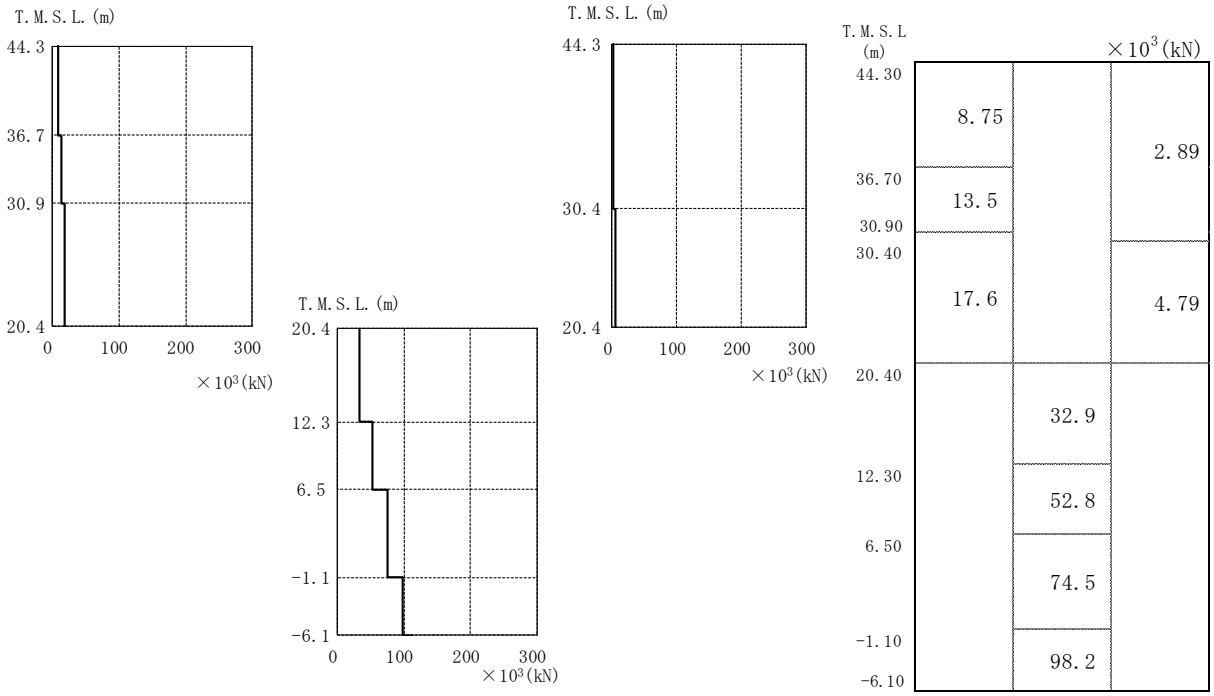


図 4－12　最大応答軸力（鉛直方向）

表 4－2　耐震壁の最大せん断ひずみ

(a)　NS 方向

T.M.S.L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
30.9～20.4	4	0.0729	4.0
30.4～20.4	5	0.0219	
20.4～12.3	6	0.0250	
12.3～6.5	7	0.0281	
6.5～-1.1	8	0.0336	
-1.1～-6.1	9	0.0414	

注：ハッチングは各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

(b)　EW 方向

T.M.S.L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
30.9～20.4	4	0.0528	4.0
30.4～20.4	5	0.0156	
20.4～12.3	6	0.0199	
12.3～6.5	7	0.0186	
6.5～-1.1	8	0.0228	
-1.1～-6.1	9	0.0275	

注：ハッチングは各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

表 4－3　鉄骨の層間変形角

(a)　NS 方向

T.M.S.L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	層間変形角	許容限界
44.3～36.7	1	1/1190	1/30
44.3～30.4	2	1/2350	
36.7～30.9	3	1/1530	

注：ハッチングは各階の最大層間変形角のうち最も大きい値を表示。

(b)　EW 方向

T.M.S.L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	層間変形角	許容限界
44.3～36.7	1	1/1490	1/30
44.3～30.4	2	1/1430	
36.7～30.9	3	1/1400	

注：ハッチングは各階の最大層間変形角のうち最も大きい値を表示。

表 4－4　地震応答解析結果に基づく接地率

方向	最大接地圧 (kN/m^2)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN･m)	最小接地率 (%)
NS方向	664	3.95	100
EW方向	514	3.29	100

Ⅴ-3-別添 2-8　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書

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 …… 5
2.4 適用規格 …… 6
3. 強度評価方法 …… 7
3.1 記号の定義 …… 7
3.2 評価対象部位 …… 8
3.3 荷重及び荷重の組合せ …… 9
3.4 許容限界 …… 11
3.5 評価方法 …… 12
4. 評価条件 …… 21
5. 強度評価結果 …… 22

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板が降下火砕物等の堆積時においても，外部事象防護対象施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認するものである。

2. 基本方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1 位置

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の軽油タンクエリアに設置する。軽油タンクエリアの位置図を図 2－1 に示す。

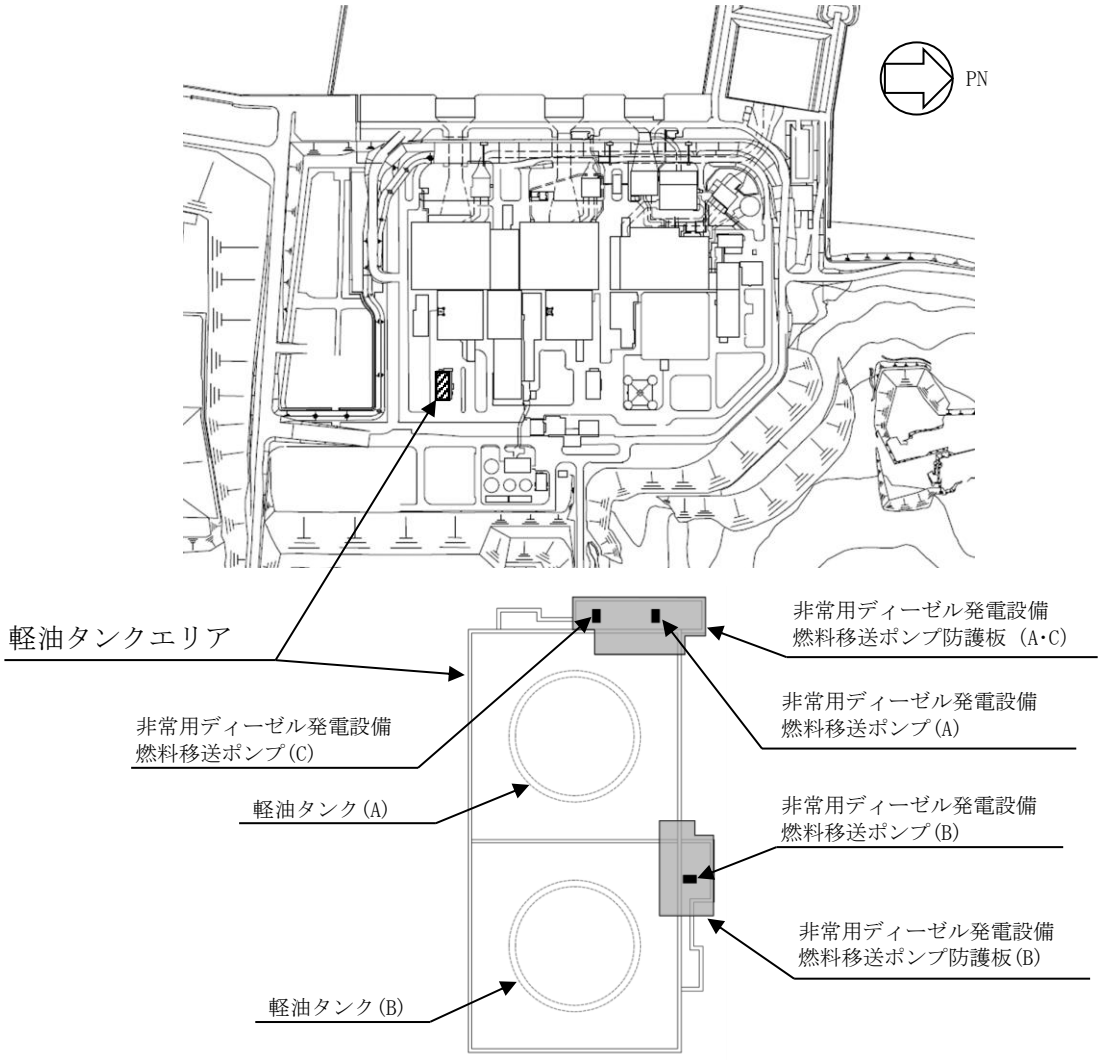


図 2－1　軽油タンクエリアの位置図

2.2　構造概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプに降下火砕物等が堆積することを防止する防護鋼板，防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する柱脚から構成される。非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の概要図を図 2－2 及び図 2－3 に示す。

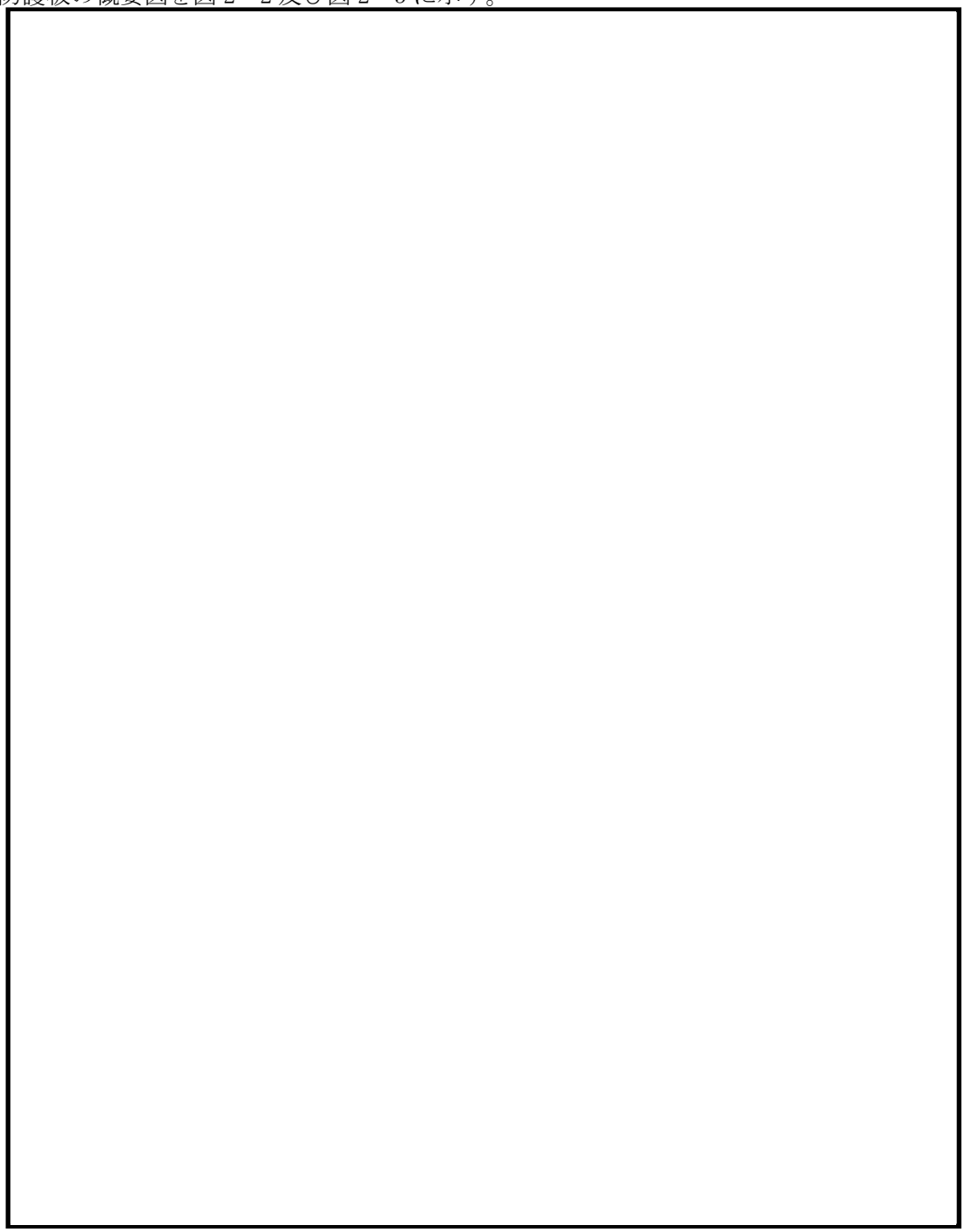


図 2－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板（A・C）の概要図

K7 ① Ⅴ-3-別添 2-8 R1

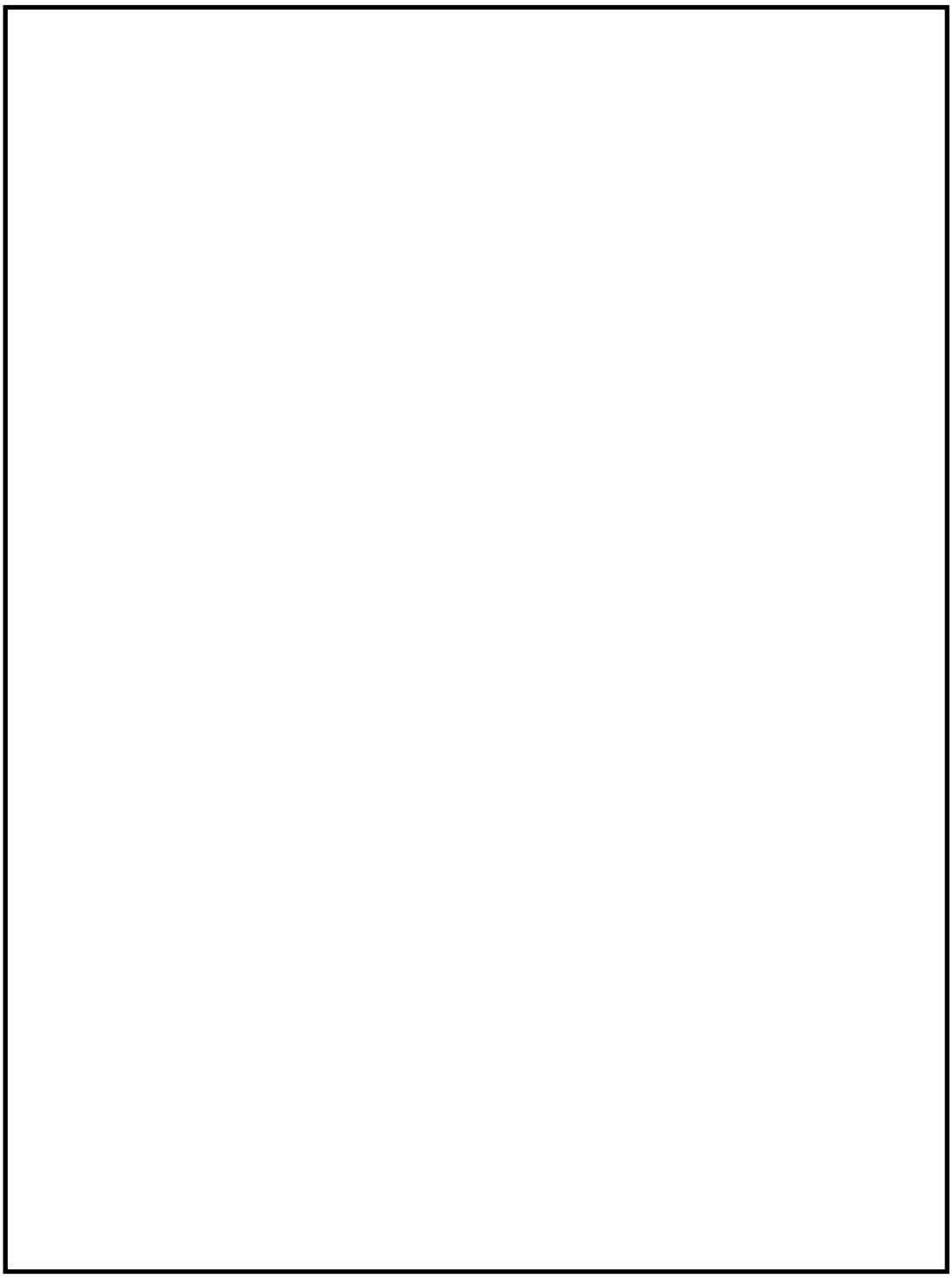


図 2－3　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(B)の概要図

2.3　評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価は，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「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計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価フローを図 2－4 に示す。非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については，建築基準法施行令第 86 条に基づき，防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出する。強度評価においては，降下火砕物等が堆積する防護鋼板については，等分布荷重が作用する長方形板として評価を行う。また，架構及び柱脚は，3 次元静的線形応力解析により構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。許容限界は，防護鋼板，架構及び柱脚共に，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.2.　許容限界」に示す許容限界である，「鋼構造設計規準―許容応力度設計法―（日本建築学会，2005 改定)」(以下「S 規準」という。)に基づく短期許容応力度とする。

なお，本強度評価においては水平 2 方向の地震力を考慮する。水平 2 方向の地震力を組み合わせる際に考慮する地震荷重は，水平 2 方向（NS 方向及び EW 方向）と鉛直方向（UD 方向）とする。3 方向地震荷重の組合せは簡便で保守的な手法である「絶対値の和」を用いた評価により実施する。

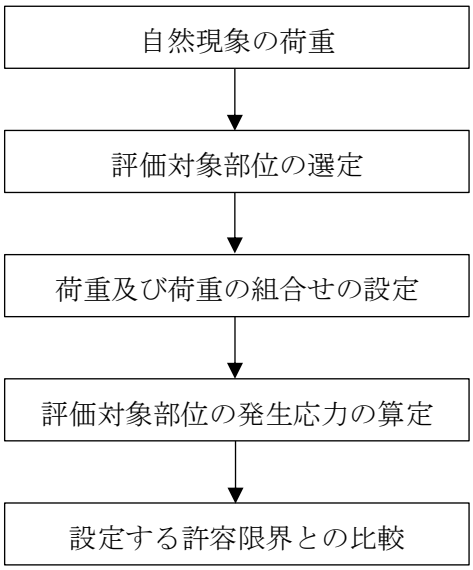


図 2－4　強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，規準等を以下に示す。

・建築基準法及び同施行令
・新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
・鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年改定）
・2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）
・挿入型鉄筋定着工法「Post-Head-Anchor 工法」（ＢＣＪ評定-SS0030-03）（日本建築センター）
・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，1999 年）
・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年改定）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号を表3－1に示す。

表3－1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	mm^2	単位面積当たりの断面積
A_g	mm^2	部材の断面積
A_w	mm^2	部材のウェブ断面積
A_F	mm^2	部材のフランジ断面積
F	N/mm^2	鋼材の基準強度
a_s	mm^2	基礎ボルトの断面積
f_b	N/mm^2	短期許容曲げ応力度
$f_{bx(y)}$	N/mm^2	X(Y)方向の短期許容曲げ応力度
$f_{c(t)}$	N/mm^2	短期許容圧縮（引張）応力度
f_{ts}	N/mm^2	基礎ボルトの短期許容引張応力度
f_s	N/mm^2	短期許容せん断応力度
$L_{x(y)}$	m	防護鋼板の短辺（長辺）の長さ
M	N･mm	曲げモーメント
$M_{1(2)}$	N･mm	図3－2に基づくMx（My）の値
$M_{x(y)}$	N･mm	X(Y)方向の曲げモーメント
N	N	軸力
p	N/m^2	等分布荷重
Q	N	せん断力
$Q_{x(y)}$	N	X(Y)方向のせん断力
Q_{DS}	N	基礎ボルト1本に負担させる設計用せん断力
Q_{ac}	kN	基礎ボルト1本あたりの短期許容せん断力
t	mm	部材の厚さ
T_{DS}	N	基礎ボルト1本に負担させる引張力
Z	mm^3	断面係数
$Z_{x(y)}$	mm^3	X(Y)方向の断面係数

表 3－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
σ_{b}	N/mm^2	曲げ応力度
$\sigma_{bx(y)}$	N/mm^2	X(Y)方向の曲げ応力度
$\sigma_{c(t)}$	N/mm^2	圧縮（引張）応力度
σ_{ts}	N/mm^2	基礎ボルトの設計用引張応力度
$\sigma_{x(y)}$	N/mm^2	X(Y)方向に作用する曲げ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
$\tau_{1(2)}$	N/mm^2	X(Y)方向のせん断応力度
τ_{ts}	N/mm^2	基礎ボルトの設計用せん断応力度

3.2　評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位は，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，防護鋼板，架構及び柱脚とする。架構については，構成部材であるはり，柱及びブレースの各部材に対して評価を実施し，柱脚については，構成部材であるベースプレート及び基礎ボルトの各部材に対して評価を実施する。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は，降下火砕物等が堆積する防護鋼板に作用する。また，地震荷重は，架構を介して柱脚に作用する。

このことから，防護鋼板，架構及び柱脚を評価対象部位として設定している。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価における評価対象部位を，図 3－1 に示す。

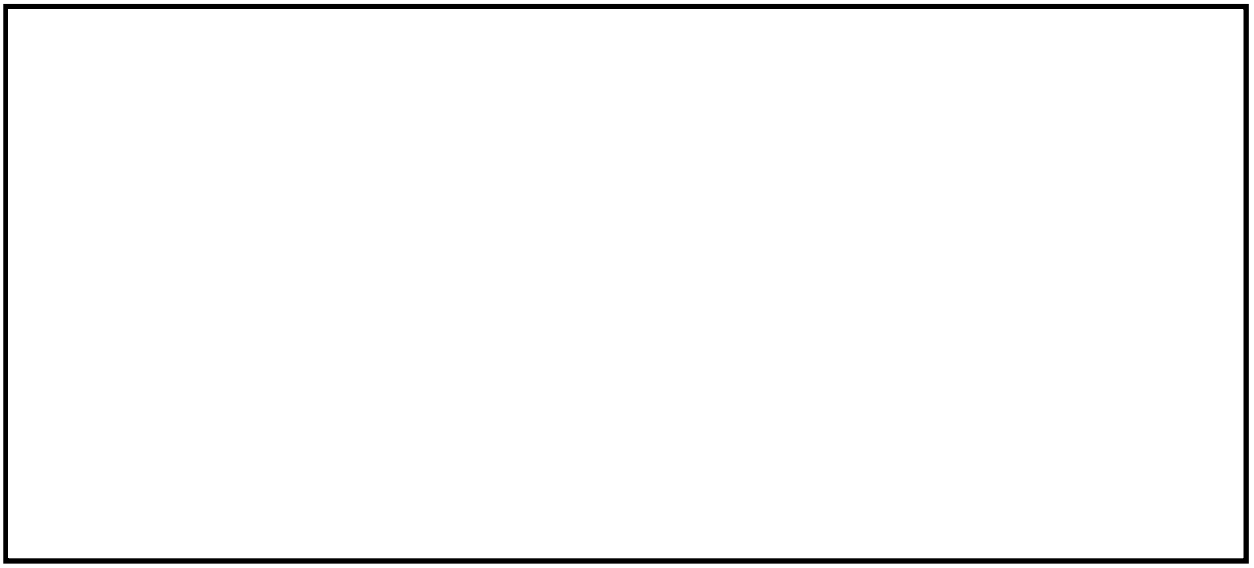


図 3－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，固定荷重及び積載荷重を考慮する。

b.　降下火砕物等の堆積による鉛直荷重（F_{Vk}，F_{Vs}）

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は，F_{Vk}＝6063N/m^2，F_{Vs}＝8542N/m^{2}とする。

c.　地震荷重（F_k）

地震荷重は，軽油タンク基礎の 2 次元 FEM モデルに対して，年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して算出した軽油タンク基礎版上の加速度応答スペクトルと架構の固有周期（(A・C)　水平(NS):0.104(s)，水平(EW):0.082(s)，鉛直:0.015(s)，(B)　水平(NS):0.109(s)，水平(EW):0.098(s)，鉛直:0.014(s)）に対応した保守的な設定として，設計震度C_H＝0.50，C_V＝0.40 を用いて算出する。

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位ごとに設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の防護鋼板には，固定荷重，積載荷重，降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の架構及び柱脚には，固定荷重，積載荷重，降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価にて考慮する荷重の組合せを表 3－2 に示す。

表 3－2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位		荷重
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板	防護鋼板		①固定荷重，積載荷重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
	架構	はり	①固定荷重，積載荷重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
		柱	
		ブレース	
	柱脚	ベースプレート	①固定荷重，積載荷重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
		基礎ボルト	

3.4　許容限界

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界値は，Ⅴ-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，S 規準に基づく短期許容応力度を用いる。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界について，表 3－3 から表 3－5 に示す。

表 3－3　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界（鋼材）

評価部位	材料 (寸法:mm)	基準強度 F (N/mm^2)	短期	
			引張 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
防護鋼板，架構 (はり，柱，ブレース)	SS400 (t≦40)	235	235	135
柱脚 (ベースプレート)	SN490B (t≦40)	325	325	187

表 3－4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界（鉄筋）

評価部位	材料	短期	
		引張および圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
柱脚（基礎ボルト）	SD390	390	390

表 3－5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界（コンクリート）

評価部位	材料	短期		
		圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	付着 (N/mm^2)
柱脚（基礎ボルト）	F_c23.5	15.6	1.08	1.48

3.5　評価方法

等分布荷重による評価と3次元静的線形応力解析による評価を行う。

(1)　荷重条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の荷重条件を表3－6に示す。

表3－6　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の荷重条件

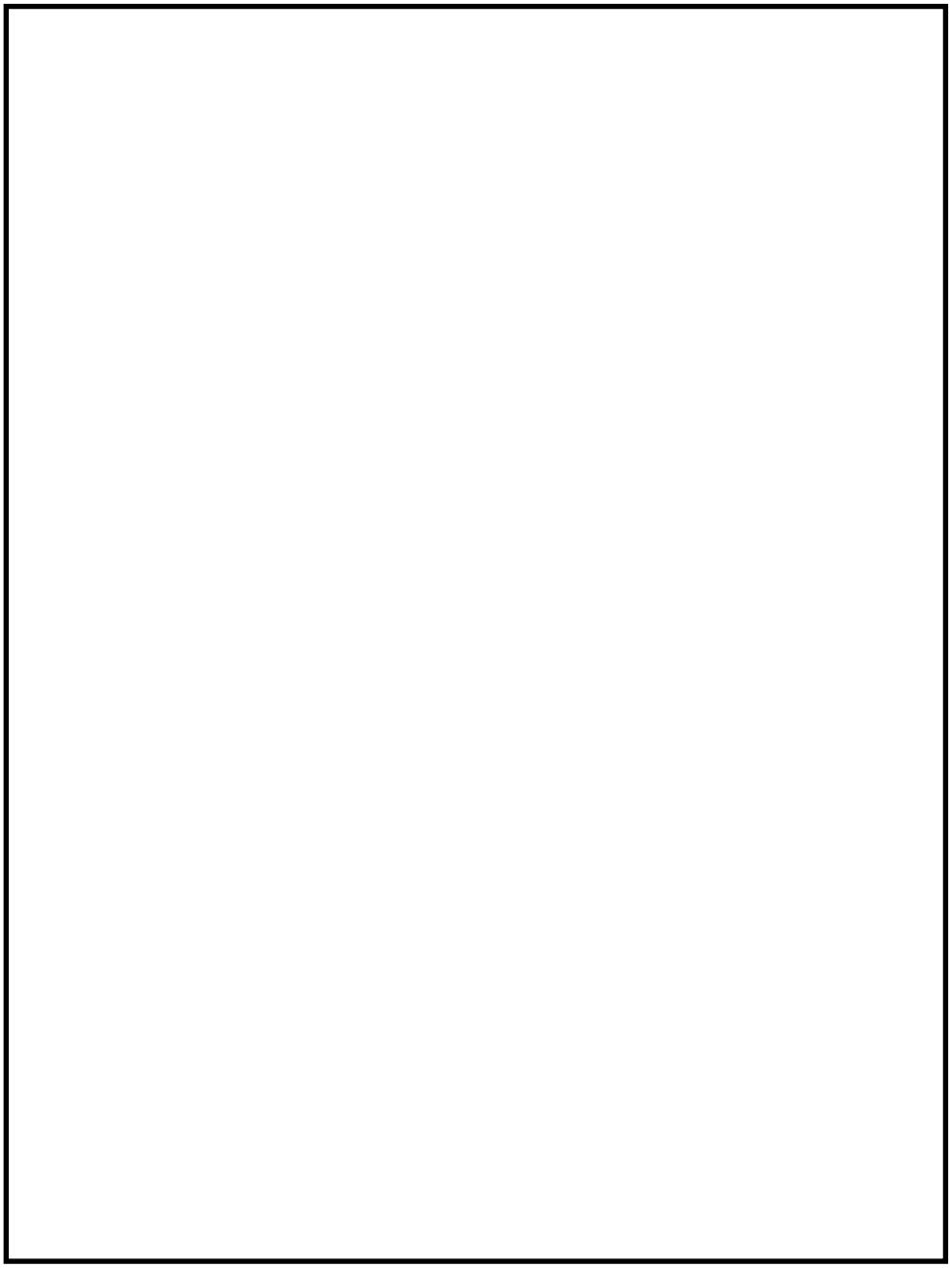
荷重条件	入力荷重 (N/m^2)
従荷重として地震荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重F_{Vk}	6063
従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重F_{Vs}	8542

(2)　等分布荷重による評価

防護鋼板の強度評価は等分布荷重により評価を行う。

a.　計算モデル

等分布荷重による評価を行う防護鋼板の強度評価は，長方形板（四辺単純支持）モデルとする。応力計算においては「建築構造学大系11巻，平板構造（彰国社，1970)」における等分布荷重時四辺単純支持スラブの曲げモーメントとたわみの図表を用いる。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図3－2に示す。



（建築構造学大系 11 巻，平板構造（彰国社，1970）より引用）

図 3－2　等分布荷重による評価に用いる計算モデル図（長方形板（四辺単純支持）モデル）

b.　防護鋼板に生じる応力度

(a)　曲げ応力度

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Z_x}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}$$

$$M_x = M_1 \cdot p \cdot L_x^2$$

$$M_y = M_2 \cdot p \cdot L_y^2$$

(b)　せん断応力度

$$\tau = \frac{Q_y}{A}$$

(3)　3 次元静的線形応力解析による評価

架構及び柱脚は 3 次元静的線形応力解析にて評価を行う。

3 次元静的線形応力解析に使用する解析コードは「Ｓｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３」である。

なお，評価に用いる解析コードＳｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３の検証及び妥当性確認の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a.　計算モデル

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の 3 次元静的線形応力解析に用いるモデル図を図 3－3 に示す。

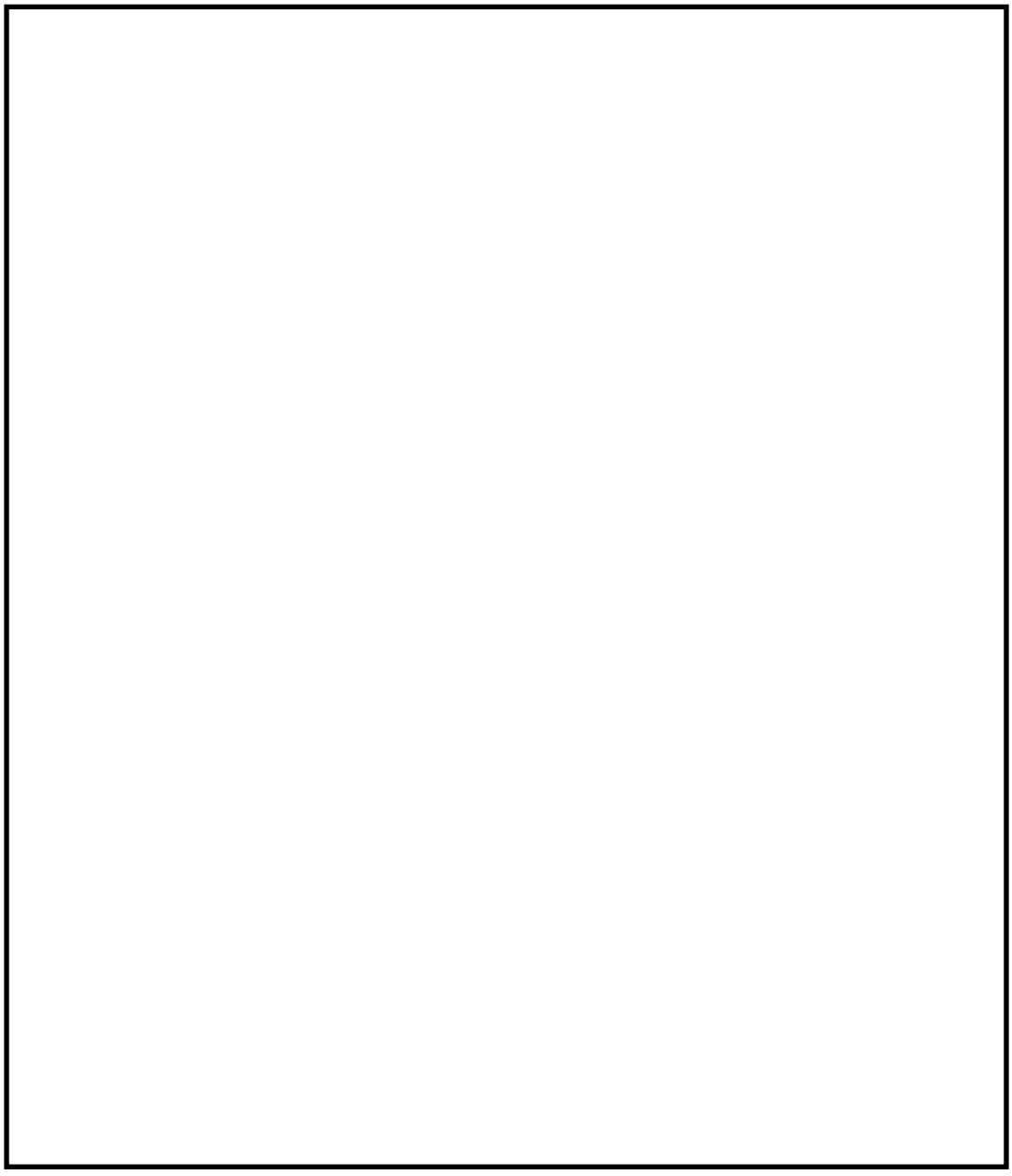


図 3－3　3 次元静的線形応力解析に用いるモデル図

b.　3 次元静的線形応力解析による評価における計算方法

(a)　架構の応力

イ.　はりに生じる応力度

（イ）　引張応力度又は圧縮応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}, \quad \sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

（ロ）　せん断応力度

$$\tau = \frac{Q}{A_w}$$

（ハ）　曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ロ.　柱に生じる応力度

（イ）　引張応力度又は圧縮応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}, \quad \sigma_c = = \frac{N}{A_g}$$

（ロ）　せん断応力度

$$\tau_1 = \frac{Q_x}{A_w}, \quad \tau_2 = \frac{Q_y}{A_F}$$

（ハ）　曲げ応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M}{Z_x}, \quad \sigma_{by} = \frac{M}{Z_y}$$

ハ.　ブレースに生じる応力度

（イ）　引張応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}$$

（ロ）　圧縮応力度

$$\sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

(b)　柱脚の応力

イ．　ベースプレートに生じる応力度

ベースプレートの応力度は，架構の応力算出に用いた 3 次元静的線形応力解析結果における柱脚部の支点反力と，基礎ボルトと柱軸芯間の距離から計算される曲げモーメントを用いて算出する。

（イ）　曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ロ．　基礎ボルトに生じる応力度

基礎ボルトに生じる応力度は，架構の応力算出に用いた 3 次元静的線形応力解析結果における柱脚部の支点反力から算出する。

（イ）　せん断応力度

$$\tau_{ts} = \frac{Q_{DS}}{a_s}$$

（ロ）　引張応力度

$$\sigma_{ts} = \frac{T_{DS}}{a_s}$$

(4)　強度評価方法

a.　防護鋼板の応力評価

「(2)b.　防護鋼板に生じる応力度」で定めた組合せ応力度が，表3－7に示す評価条件を満たすこと。

表3－7　防護鋼板の許容応力度

評価部位	応力	単位	評価条件
防護鋼板	組合せ	N/mm^2	$\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2+3\tau^2} \leqq f_t$

b.　架構の応力評価

「(3)b.(a)イ.　はりに生じる応力度」，「(3)b.(a)ロ.　柱に生じる応力度」及び「(3)b.(a)ハ.　ブレースに生じる応力度」で求めたはり，柱及びブレースに生じる各応力が，表3－8に示す評価条件を満たすこと。

表 3－8　架構の応力評価

評価部位	応力	単位	評価条件
はり	曲げ	N/mm^2	$\sigma_b \leqq f_b$
	圧縮	N/mm^2	$\sigma_c \leqq f_c$
	せん断	N/mm^2	$\tau \leqq f_s$
	組合せ （曲げ＋軸力）	－	$\frac{\sigma_b}{f_b}+\frac{\sigma_{c(t)}}{f_{c(t)}} \leqq 1.0$
	組合せ （曲げ＋せん断＋軸力）	N/mm^2	$\sqrt{\left(\sigma_b+\sigma_t\right)^2+3\tau^2} \leqq f_t$
柱	曲げ	N/mm^2	$\sigma_b \leqq f_b$
	引張/圧縮	N/mm^2	$\sigma_c \leqq f_c$（圧縮時） $\sigma_t \leqq f_t$（引張時）
	せん断	N/mm^2	$\tau_{1(2)} \leqq f_s$
	組合せ （曲げ＋軸力）	—	$\frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}}+\frac{\sigma_{by}}{{}_sf_{by}}+\frac{\sigma_{c(t)}}{f_{c(t)}} \leqq 1.0$
	組合せ （曲げ＋せん断＋軸力）	N/mm^2	$\max\left\{\begin{array}{l}\sqrt{\left(\sigma_{bx}+\sigma_c\right)^2+3\tau_1^2}\ , \\ \sqrt{\left(\sigma_{by}+\sigma_c\right)^2+3\tau_2^2}\end{array}\right\} \leqq f_t$
ブレース	引張/圧縮	N/mm^2	$\sigma_c \leqq f_c$（圧縮時） $\sigma_t \leqq f_t$（引張時）

c. 柱脚の応力評価

「(3)b.(b)イ. ベースプレートに生じる応力度」及び「(3)b.(b)ロ. 基礎ボルトに生じる応力度」で求めたベースプレート及び基礎ボルトに生じる各応力が，表3－9に示す評価条件を満たすこと。

表3－9 柱脚の評価条件

評価部位	応力	単位	評価条件
ベース プレート	曲げ	N/mm^2	$\sigma_b \leqq f_b$
基礎ボルト	引張	N/mm^2	$\sigma_{ts} \leqq f_{ts}$
	せん断応力度	N/mm^2	$\tau_{ts} \leqq f_{ts}/\sqrt{3}$
	せん断力	kN	$Q_{DS} \leqq Q_{ac}$
	組合せ (引張応力度)	N/mm^2	$\sigma_{ts} \leqq 1.2 \cdot f_{ts} - \sqrt{3} \cdot \tau_{ts}$
	組合せ (せん断力)	kN	$Q_{DS} \leqq (1.2 - \sigma_{ts}/f_{ts}) \cdot Q_{ac}$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4－1 から表 4－4 に示す。評価条件は非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板（A・C），(B)ともに同一である。

表 4－1 評価条件（防護鋼板）

部材	材料	A (mm^2)	Z (mm^3)
	SS400		

表 4－2 評価条件（架構）

部位		部材	材料	A_g (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)	A_w (mm^2)
はり			SS400				
柱			SS400				
			SS400				
ブレース	水平		SS400				
	鉛直		SS400				
			SS400				

表 4－3 評価条件（柱脚(ベースプレート)）

部材	材料	t (mm)
	SN490	

表 4－4 評価条件（柱脚(基礎ボルト)）

鉄筋径	材料	Aa (mm^2)
	SD390	

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時における強度評価結果を表 5－1 及び表 5－2 に示す。

防護鋼板，架構及び柱脚に発生する応力度は許容応力度以下である。

表 5－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果

（ケース 1：従荷重として地震荷重を組み合わせる場合）(1/2)

施設名称（系統名）	評価部位			材料	応力	発生応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板（A・C）	防護鋼板			SS400	組合せ		
	架構	はり		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1（曲げ＋軸力）		
					組合せ（曲げ＋せん断）		
		柱		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1（曲げ＋軸力）		
					組合せ（曲げ＋せん断）		
		ブレース	水平	SS400	引張		
			鉛直	SS400	圧縮		
	柱脚	ベースプレート		SN490	曲げ		
		基礎ボルト		SD390	引張		
					せん断応力度		
					せん断力*2		
					組合せ（引張応力度）		
					組合せ*2（せん断力）		

注記＊1 ：組合せ（曲げ＋軸力）は検定比による結果を示す。

＊2 ：単位は kN とする。

表 5－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果
（ケース 1：従荷重として地震荷重を組み合わせる場合）(2/2)

施設名称（系統名）	評価部位			材料	応力	発生応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(B)	防護鋼板			SS400	組合せ		
	架構	はり		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1 （曲げ＋軸力）		
					組合せ （曲げ＋せん断）		
		柱		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1 （曲げ＋軸力）		
					組合せ （曲げ＋せん断）		
		ブレース	水平	SS400	引張		
			鉛直	SS400	圧縮		
	柱脚	ベースプレート		SN490	曲げ		
		基礎ボルト		SD390	引張		
					せん断応力度		
					せん断力*2		
					組合せ （引張応力度）		
					組合せ*2 （せん断力）		

注記＊1 ：組合せ（曲げ＋軸力）は検定比による結果を示す。
＊2 ：単位は kN とする。

表5－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果

（ケース2：従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合）(1/2)

施設名称（系統名）	評価部位			材料	応力	発生応力度 (N/mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板（A・C）	防護鋼板			SS400	組合せ		
	架構	はり		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1（曲げ＋軸力）		
					組合せ（曲げ＋せん断）		
		柱		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1（曲げ＋軸力）		
					組合せ（曲げ＋せん断）		
		ブレース	水平	SS400	引張		
			鉛直	SS400	圧縮		
	柱脚	ベースプレート		SN490	曲げ		
		基礎ボルト		SD390	引張		
					せん断応力度		
					せん断力		
					組合せ（引張応力度）		
					組合せ（せん断力）		

注記＊1　：組合せ（曲げ＋軸力）は検定比による結果を示す。

＊2　：ケース2は鉛直荷重のみ作用するため，評価対象外。

表 5－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果

（ケース 2：従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合）(2/2)

施設名称（系統名）	評価部位			材料	応力	発生応力度 (N/mm²)	許容応力度 (N/mm²)
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(B)	防護鋼板			SS400	組合せ		
	架構	はり		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1（曲げ＋軸力）		
					組合せ（曲げ＋せん断）		
		柱		SS400	曲げ		
					圧縮		
					せん断		
					組合せ*1（曲げ＋軸力）		
					組合せ（曲げ＋せん断）		
		ブレース	水平	SS400	引張		
			鉛直	SS400	圧縮		
	柱脚	ベースプレート		SN490	曲げ		
		基礎ボルト		SD390	引張		
					せん断応力度		
					せん断力		
					組合せ（引張応力度）		
					組合せ（せん断力）		

注記＊1 ：組合せ（曲げ＋軸力）は検定比による結果を示す。

＊2 ：ケース 2 は鉛直荷重のみ作用するため，評価対象外。

Ⅴ-3-別添 2-9　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書

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 ····· 6
2.4　適用規格 ····· 7
3.　強度評価方法 ····· 8
3.1　記号の定義 ····· 8
3.2　評価対象部位 ····· 11
3.3　荷重及び荷重の組合せ ····· 12
3.4　許容限界 ····· 13
3.5　評価方法 ····· 15
4.　評価条件 ····· 22
5.　強度評価結果 ····· 27

1. 概要

本資料は，V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」に示すとおり，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板が降下火砕物等の堆積時においても，外部事象防護対象施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認するものである。

2. 基本方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格」を示す。

2.1 位置

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外の軽油タンクエリアに設置する。軽油タンクエリアの位置図を図 2－1 に示す。

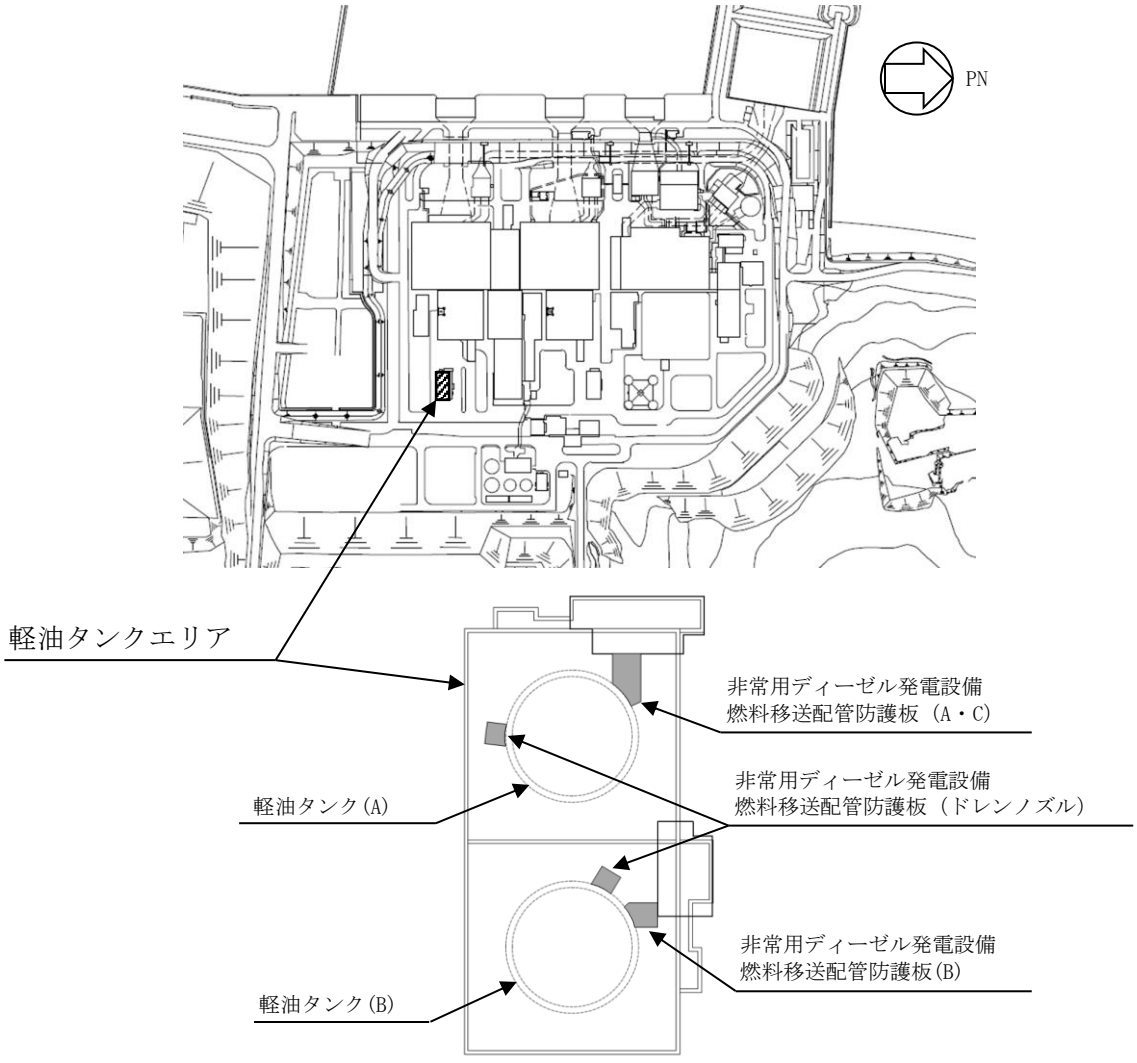


図 2－1　軽油タンクエリアの位置図

2.2　構造概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，Ⅴ-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管に降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板，防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する基礎ボルトから構成される。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の概要図を図 2－2 から図 2－4 に示す。

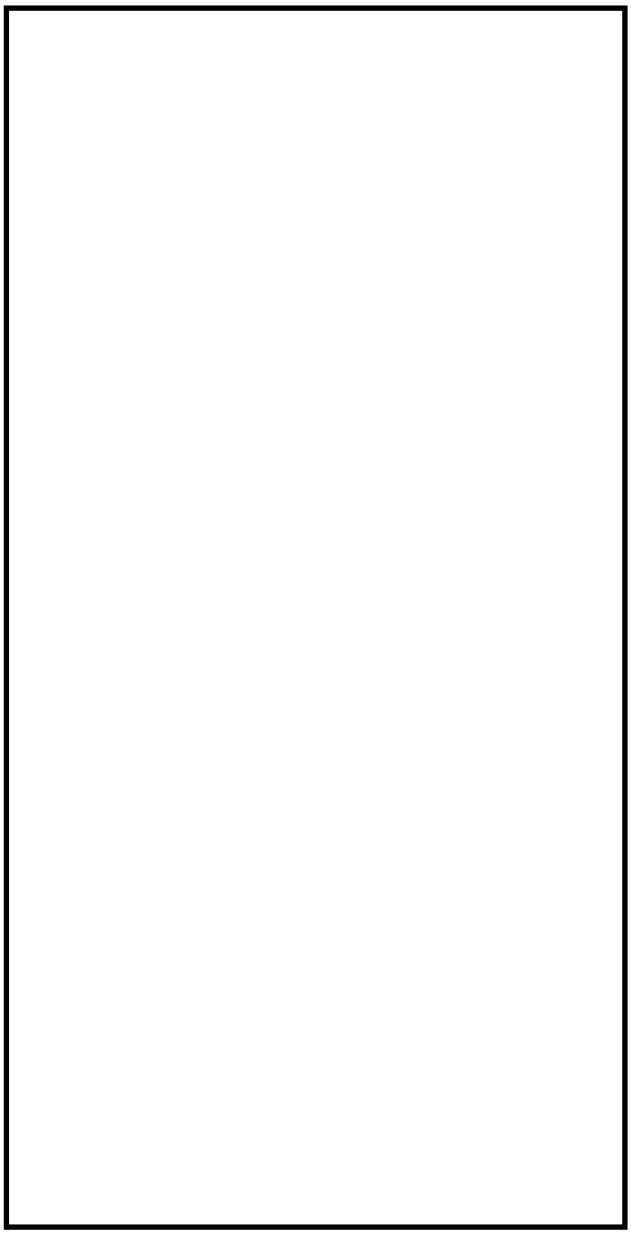


図 2－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（A・C）の概要図

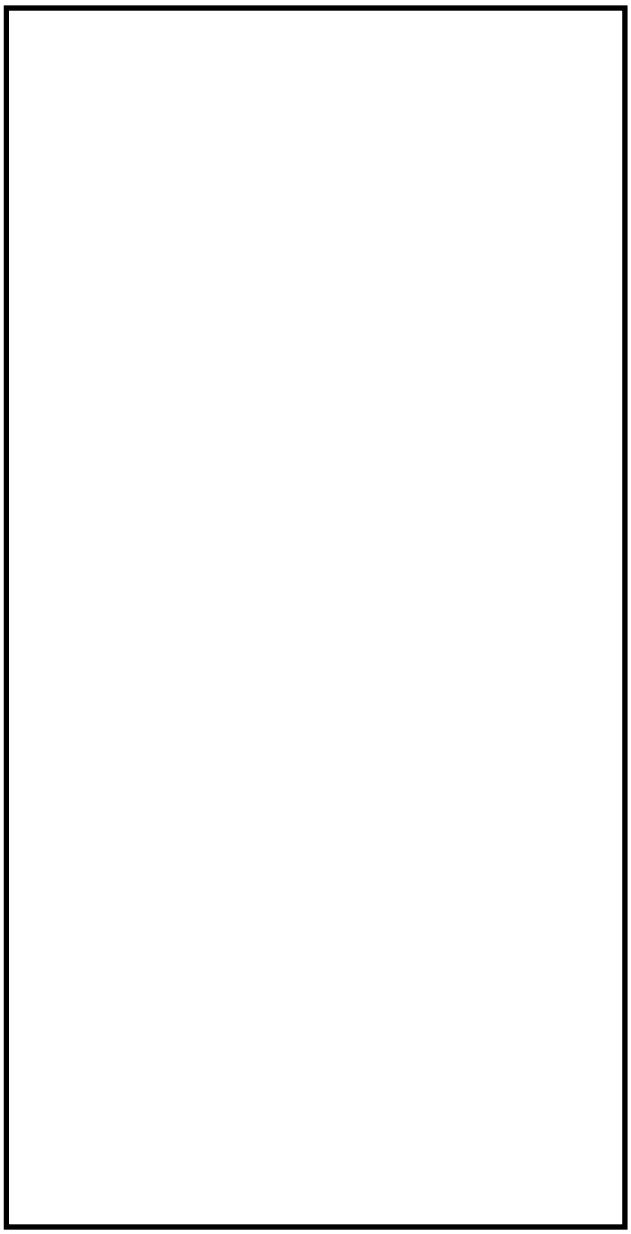


図 2－3　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)の概要図

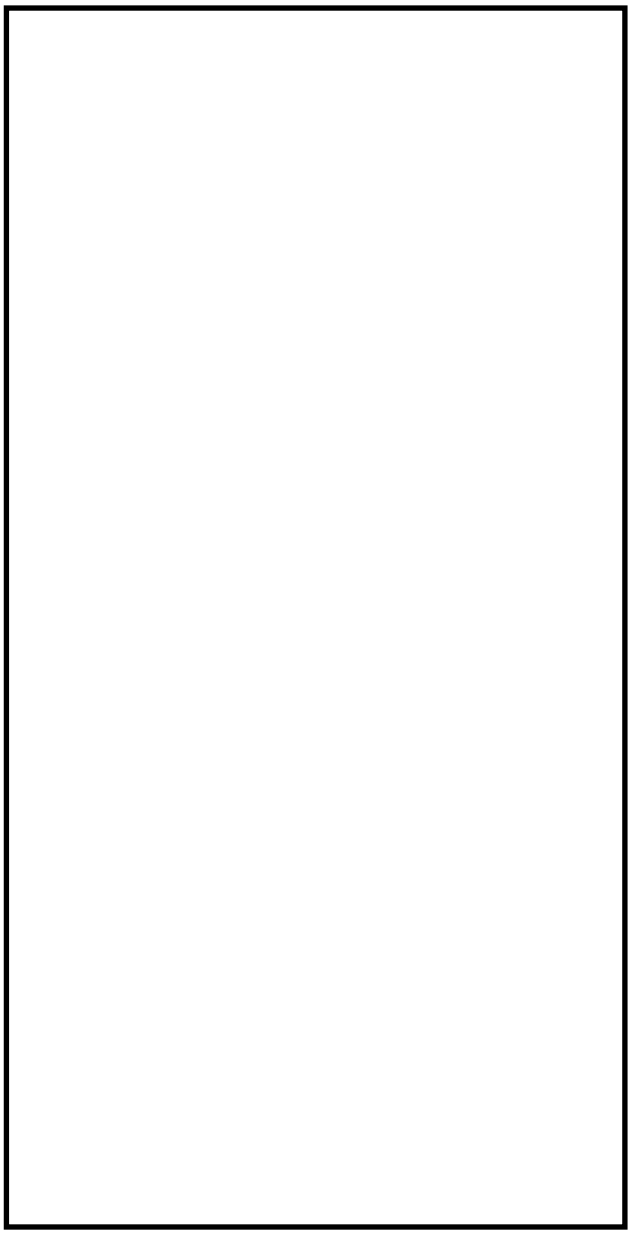


図 2－4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル）の概要図

2.3　評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価は，Ⅴ-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位に作用する応力が，許容限界に収まることを「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計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価フローを図 2－5 に示す。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価においては，その構造を踏まえ，降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については，建築基準法施行令第 86 条に基づき，防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出する。強度評価においては，FEM による応力解析を用いる。また，基礎ボルトに対して，「各種合成構造設計指針・同解説 2010 年改定」（日本建築学会）の評価方法を準用し，Ⅴ-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」に示す評価式を用いる。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界は，Ⅴ-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」に示す許容限界である，「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1987」（日本電気協会）（以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）の許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$とする。

「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007」（日本機械学会）（以下「ＪＳＭＥ」という。）付録材料図表 part5,6 の表にて許容応力を計算する際は，周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。

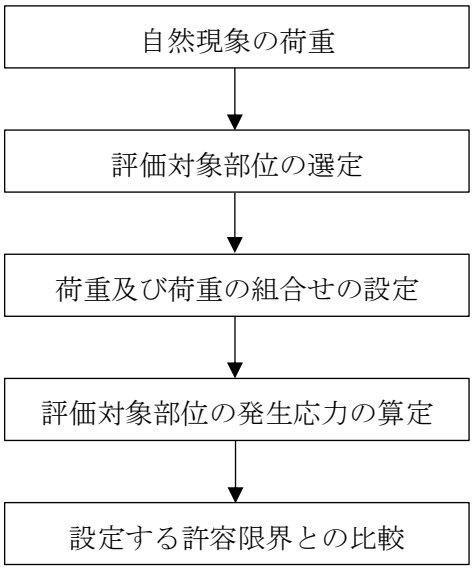


図 2－5　強度評価フロー

2.4　適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

・建築基準法及び同施行令
・新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
・発電用原子力設備規格　設計・建設規格ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007(日本機械学会)
・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ　４６０１・補-1984（日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1987（日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1991　追補版（日本電気協会）
・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年改定）
・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年改定）

3.　強度評価方法

3.1　記号の定義

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号を表3－1に示す。

表3－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
A	mm^2	架構の断面積
A_{qc}	mm^2	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
A_s	mm^2	鋼板の単位長さ当たりの断面積
A_{sy}	mm^2	架構のせん断断面積（ｙ軸）
A_{sz}	mm^2	架構のせん断断面積（ｚ軸）
$_{sc}a$	mm^2	基礎ボルトの断面積
C_H	—	弾性設計用地震動Ｓｄによる水平方向設計震度
C_V	—	弾性設計用地震動Ｓｄによる鉛直方向設計震度
d	mm	基礎ボルトの径
E	MPa	縦弾性係数
F	MPa	ＪＳＭＥ　SSB-3121.1(1)に定める値
F＊	MPa	ＪＳＭＥ　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値
F_{sx}	N	防護鋼板の膜力（ｘ軸）
F_{sy}	N	防護鋼板の膜力（ｙ軸）
F_{sxy}	N	防護鋼板のせん断力
F_{Vk}	N	従荷重として地震荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F_{Vs}	N	従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f_b＊	MPa	架構の許容曲げ応力
f_c＊	MPa	架構の許容圧縮応力
f_s＊	MPa	架構の許容せん断応力
f_t＊	MPa	架構又は防護鋼板の許容引張応力
g	m/s^2	重力加速度
i	mm	断面二次半径
L_{ce}	mm	基礎ボルトの強度算定用埋込み長さ
L_e	mm	基礎ボルトの有効埋込み長さ
ℓ_k	mm	座屈長さ

表 3－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
M_y	N･mm	架構の曲げモーメント（ｙ軸）
M_z	N･mm	架構の曲げモーメント（ｚ軸）
M_{sx}	N･mm	防護鋼板の曲げモーメント（ｘ軸）
M_{sy}	N･mm	防護鋼板の曲げモーメント（ｙ軸）
M_{sxy}	N･mm	防護鋼板のねじりモーメント
m	kg	解析モデル各節点の付加質量の合計
N_c	N	架構の軸力（圧縮）
N_t	N	架構の軸力（引張）
n	—	架構と壁及び床の取付部1箇所当たりの基礎ボルトの本数
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	N	ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトの引張力
p_a	N	ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトの許容引張力
p_{a1}	N	基礎ボルトの降伏により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張応力
p_{a3}	N	基礎ボルトの付着力により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張応力
Q_y	N	架構のせん断力（ｙ軸）
Q_z	N	架構のせん断力（ｚ軸）
q	N	ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトのせん断力
q_a	N	ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトの許容せん断力
q_{a1}	N	基礎ボルトのせん断強度により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断力
q_{a2}	N	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断力
q_{a3}	N	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断力
R_x	N	ベースプレート部の反力（ｘ軸）
R_y	N	ベースプレート部の反力（ｙ軸）
R_z	N	ベースプレート部の反力（ｚ軸）
S	MPa	ＪＳＭＥ　付録材料図表　Part5　表 5 に定める許容引張応力
S_u	MPa	ＪＳＭＥ　付録材料図表　Part5　表 9 に定める設計引張強さ
S_y	MPa	ＪＳＭＥ　付録材料図表　Part5　表 8 に定める設計降伏点

表 3－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
Ｓｙ（ＲＴ）	MPa	ＪＳＭＥ　付録材料図表　Part5　表８に定める材料の40℃における設計降伏点
Ｘ，Ｙ，Ｚ	―	絶対（節点）座標軸
ｘ，ｙ，ｚ	―	局所（要素）座標軸
Z_b	mm^3	鋼板の断面係数
Z_y	mm^3	架構の断面係数（ｙ軸）
Z_z	mm^3	架構の断面係数（ｚ軸）
Z_t	mm^3	鋼板のねじり断面係数
Λ	―	架構の限界細長比
λ	―	架構の有効細長比
ν	―	ポアソン比
ν'	―	座屈に対する安全率
π	―	円周率
σ	MPa	防護鋼板の組合せ応力
σ_x，σ_y	MPa	互いに直交する垂直応力
$_c\sigma_{qa}$	MPa	コンクリートの支圧強度
$_c\sigma_t$	MPa	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
$_s\sigma_{pa}$	MPa	基礎ボルトの引張強度
$_s\sigma_{qa}$	MPa	基礎ボルトのせん断強度
σ_{by}	MPa	架構に生じる曲げ応力（ｙ軸）
σ_{bz}	MPa	架構に生じる曲げ応力（ｚ軸）
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力
σ_t	MPa	架構に生じる引張応力
τ	MPa	防護鋼板に生じるせん断応力
τ_a	MPa	へりあき及び基礎ボルトのピッチを考慮した基礎ボルトの引張力に対する付着力
τ_y	MPa	架構に生じるせん断応力（ｙ軸）
τ_z	MPa	架構に生じるせん断応力（ｚ軸）
ϕ_1	―	低減係数　長期：2/3　短期：1.0
ϕ_2	―	低減係数　長期：1/3　短期：2/3
ϕ_3	―	低減係数　長期：1/3　短期：2/3

3.2　評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位は，Ⅴ-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位に従って，防護鋼板，架構及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は，「2.2　構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は，降下火砕物が堆積する防護鋼板及び防護鋼板と接続する架構に作用する。また，地震荷重は，架構を介して基礎ボルトに作用する。

このことから，防護鋼板，架構及び基礎ボルトを評価対象部位として設定している。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価における評価対象部位を，図 3－1 に示す。

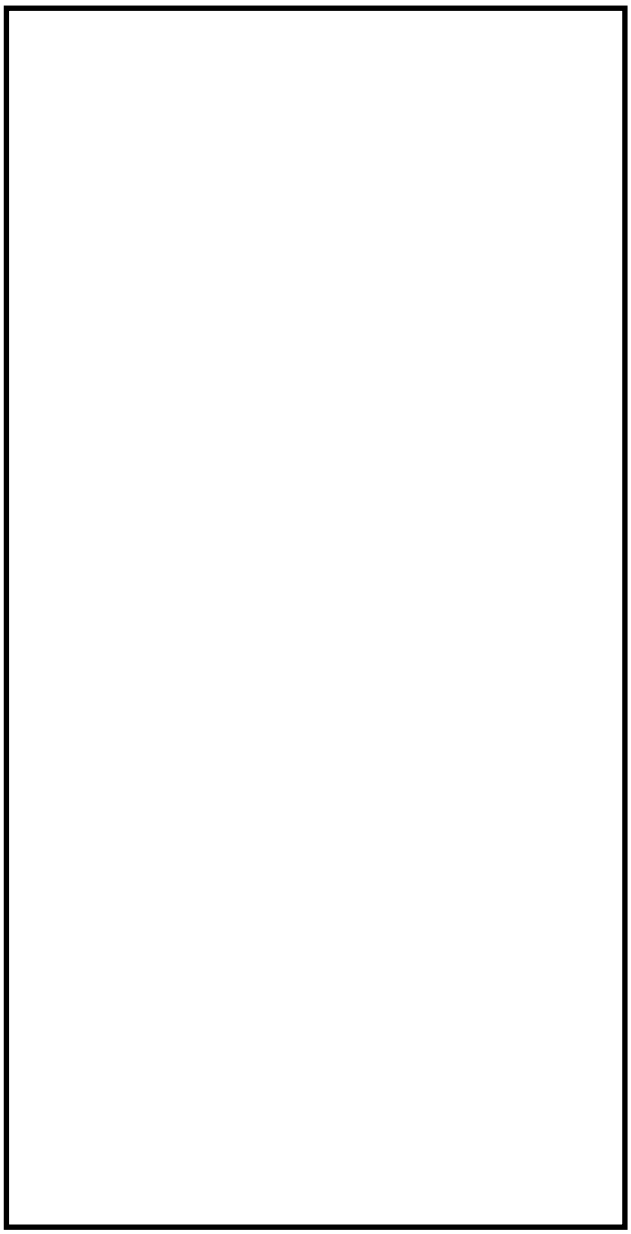


図 3－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1)　荷重の設定

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a.　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，自重及び積載荷重を考慮する。

b.　降下火砕物等の堆積による鉛直荷重（F_{Vk}，F_{Vs}）

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は，F_{Vk}＝6063N/m^2，F_{Vs}＝8542N/m^{2}とする。

c.　地震荷重（F_k）

地震荷重は，弾性設計用地震動Ｓｄによる地震力を考慮することを踏まえて，3 次元 FEM による固有値解析に基づき得られた固有周期に対応した設計震度（C_H＝0.89，C_V＝0.65）によって発生する水平荷重及び鉛直荷重を算出する。

(2)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位ごとに設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の防護鋼板には，積載荷重，自重，降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の架構及び基礎ボルトには，自重，降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価にて考慮する荷重の組合せを表 3－2 に示す。

表 3－2　荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板	防護鋼板	①自重，積載荷重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
	架構	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重

3.4　許容限界

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界値は，Ⅴ-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，ＪＥＡＧ４６０１に基づく許容応力状態$\mathrm{Ⅳ_A}$Ｓの許容応力及び「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会　2010 年改定)」に基づく短期荷重を用いる。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する防護鋼板及び架構の許容限界は，ＪＥＡＧ４６０１を準用し，「その他支持構造物」の許容応力を適用する。基礎ボルトの許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会　2010 年改定)」に基づき算出した短期荷重を許容限界として適用する。ＪＥＡＧ４６０１に従い，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度がＪＳＭＥ付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて評価する。ただし，ＪＳＭＥ付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界について，防護鋼板及び架構の許容限界を表 3－3，基礎ボルトの許容限界を表 3－4 に示す。

表 3－3　防護鋼板及び架構の許容限界

状態	温度条件（℃）	許容限界*1，*2（ボルト以外）			
		一次応力			
		引張	せん断	圧縮	曲げ
許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$	40	$1.5f_t$ *	$1.5f_s$ *	$1.5f_c$ *	$1.5f_b$ *

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 3－4　基礎ボルトの許容限界

区分	温度条件（℃）	許容限界*	
		1 次応力	
		引張	せん断
短期	40	p_a	q_a

注記＊：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。

3.5　評価方法

防護鋼板，架構及び基礎ボルトはFEM解析にて評価を行う。

FEM解析に使用する解析コードは「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」である。

なお，評価に用いる解析コードＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(1)　荷重条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重条件を表3－5に示す。

表3－5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重条件

荷重条件	入力荷重 (N/m^2)
従荷重として地震荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重F_{Vk}	6063
従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重F_{Vs}	8542

(2)　計算モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は防護鋼板及び架構から構成されることから，防護鋼板はシェル要素，架構は梁要素でモデル化して評価を行う。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板のFEM解析に用いるモデル図を図3－2から図3－4に，諸元を表3－6に示す。

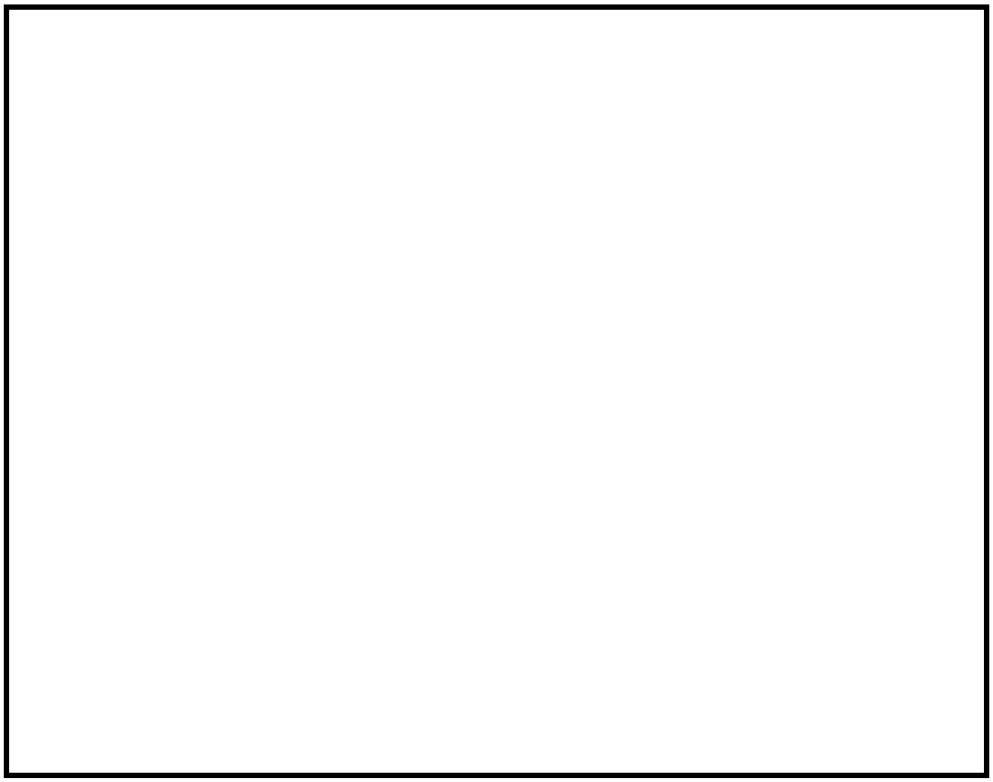


図 3－2　FEM 解析に用いるモデル図（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（A・C））

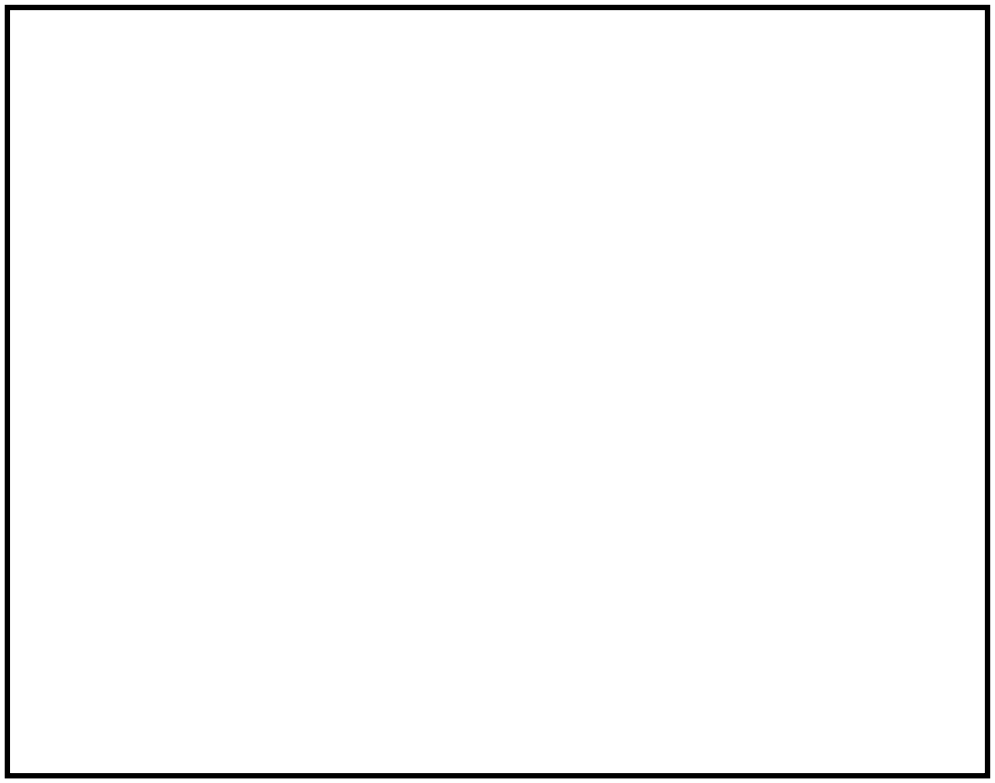


図 3－3　FEM 解析に用いるモデル図（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)）

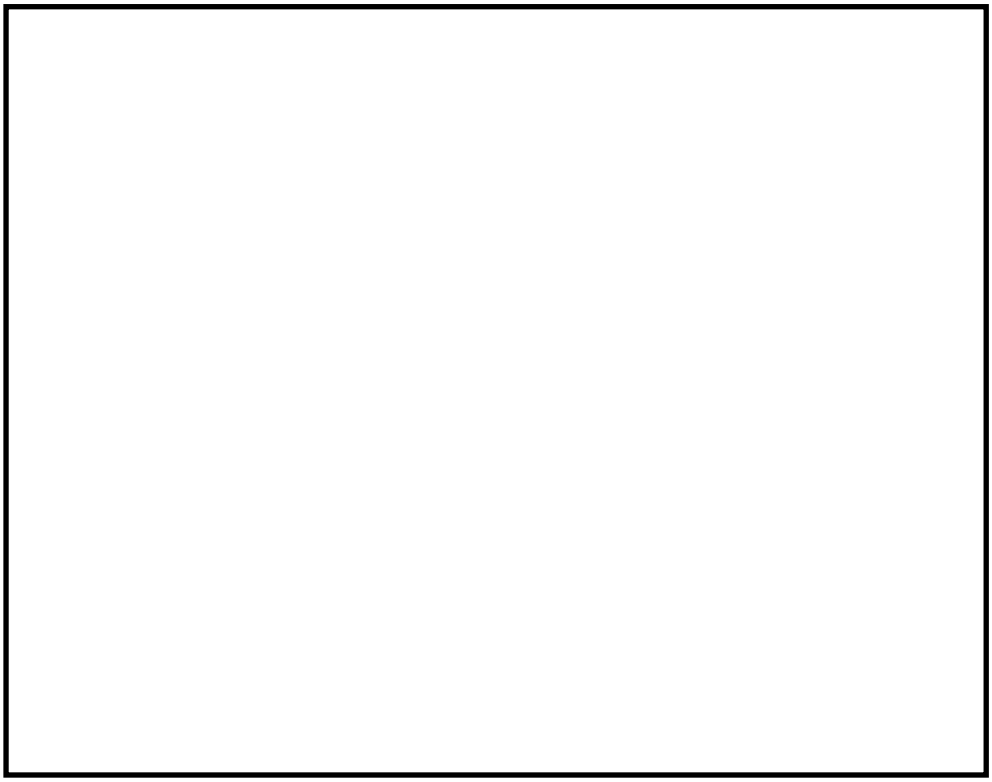


図 3－4　FEM 解析に用いるモデル図
（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル））

表 3－6　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の諸元

部材	材料	周囲環境温度 (℃)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν (—)
防護鋼板	SS400	40	2.02×10^5	0.3
架構	STKR400	40	2.02×10^5	0.3

(3) 応力の計算方法

a. 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は，解析による計算で得られる各要素での膜力F_{sx}，F_{sy}，せん断力F_{sxy}，曲げモーメントM_{sx}，M_{sy}及びねじりモーメントM_{sxy}により組合せ応力を次のように求める。

(a) 組合せ応力

$$\sigma=\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y+3\tau^2}$$

ここで，

$$\sigma_x=\frac{F_{sx}}{A_S}\pm\frac{M_{sx}}{Z_b},\quad \sigma_y=\frac{F_{sy}}{A_S}\pm\frac{M_{sy}}{Z_b}$$

$$\tau=\frac{F_{sxy}}{A_S}\pm\frac{M_{sxy}}{Z_t}$$

b. 架構の応力

架構の応力は，解析による計算で得られる各要素端での軸力N_t，N_c，せん断力Q_y，Q_z及び曲げモーメントM_y，M_zにより各応力を次のように求める。

(a) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t=\frac{N_t}{A},\quad \sigma_c=\frac{N_c}{A}$$

(b) せん断応力

$$\tau_y=\frac{Q_y}{A_{sy}},\quad \tau_z=\frac{Q_z}{A_{sz}}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_{by}=\frac{M_y}{Z_y},\quad \sigma_{bz}=\frac{M_z}{Z_z}$$

(d) 組合せ応力

イ. 圧縮＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*}+\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_b^*}\quad,\quad\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_c}{1.5f_t^*}\right)$$

ロ．　引張＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_t+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_t^*}\ ,\ \frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_t}{1.5f_b^*}\right)$$

ハ．　曲げ＋せん断

$$\max\left(\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_z^2}}{1.5f_t^*}\ ,\ \frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_y^2}}{1.5f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cをσ_tとする。

c.　基礎ボルトの荷重

基礎ボルトの荷重は，解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端の反力R_x，R_y及びR_zにより各荷重を次のように求める。

(a)　引張荷重

$$p=R_x$$

(b)　せん断荷重

$$q=\sqrt{R_y^2+R_z^2}$$

(4)　強度評価方法

a.　防護鋼板の応力評価

「(3)a.　防護鋼板の応力」で定めた組合せ応力が許容引張応力 $1.5f_t$ * 以下であること。

	許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓ
許容引張応力 $1.5f_t$ *	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

b.　架構の応力評価

「(3)b.　架構の応力」で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力は１以下であること。

	許容応力状態Ⅳ$_A$Ｓ
許容引張応力 $1.5f_t$ *	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 $1.5f_c$ *	$\left\{1-0.4\cdot\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\dfrac{F^*}{\nu'}\cdot 1.5$
許容せん断応力 $1.5f_s$ *	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容曲げ応力 $1.5f_b$ *	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i}$$

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}}$$

$$\nu'=1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

c. 基礎ボルトの評価

「(3)c. 基礎ボルトの荷重」で求めた基礎ボルトの引張荷重ｐ及びせん断荷重ｑが許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が１以下であること。

	短期荷重
許容引張力 p_a	$\min[p_{a1},\ p_{a3}]\cdot n_f$
許容せん断力 q_a	$\min[q_{a1},\ q_{a2},\ q_{a3}]\cdot n$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2\leqq 1$

ただし，

$p_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{pa}\cdot {}_{sc}a$

$p_{a3}=\phi_3\cdot \tau_a\cdot \pi\cdot d\cdot L_{ce}$

$q_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a2}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a3}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_t\cdot A_{qc}$

短期許容せん断力を確保するための基礎ボルトの有効埋め込み長さL_eは以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e\geqq\frac{{}_s\sigma_{pa}\cdot d}{4\cdot\tau_a}$$

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 示す。

表 4－1 許容応力評価に用いる条件（1/3）

（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（A・C））

材料	温度 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F＊ (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
SS400 （防護鋼板）	40					—	—
STKR400 （架構）	40					—	—
SS400 （基礎ボルト）	40			—	—		

材料	E (MPa)	ν' (—)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ (—)
STKR400	2.02×10^5	0.3			
STKR400	2.02×10^5	0.3			
	2.02×10^5	0.3			

材料	STKR400	STKR400	STKR400
A (mm^2)			
Z_y (mm^3)			
Z_z (mm^3)			

表 4－1　許容応力評価に用いる条件 (2/3)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B))

材料	温度 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F * (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
SS400 (防護鋼板)	40					—	—
STKR400 (架構)	40					—	—
SS400 (基礎ボルト)	40			—	—		

材料	E (MPa)	ν' (—)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ (—)
STKR400	2.02×10^5	0.3			
STKR400	2.02×10^5	0.3			
	2.02×10^5	0.3			

材料	STKR400	STKR400
A (mm^2)		
Z_y (mm^3)		
Z_z (mm^3)		

表 4－1　許容応力評価に用いる条件（3/3）

（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル））

材料	温度 (℃)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F * (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
SS400 （防護鋼板）	40					—	—
STKR400 （架構）	40					—	—
SS400 （基礎ボルト）	40			—	—		

材料	E (MPa)	ν' (—)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ (—)
STKR400	2.02×10^5	0.3			
	2.02×10^5	0.3			
STKR400	2.02×10^5	0.3			

材料	STKR400	STKR400
A (mm^2)		
Z_y (mm^3)		
Z_z (mm^3)		

表 4－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件（1/3）

（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（A・C））

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ(―)		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
7 号機軽油タンク基礎 T.M.S.L.12.0	0.042	0.015	C_H＝0.89	C_V＝0.65	―	40

m (kg)	d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n (―)	n_f (―)	g (m/s^2)
					9.80665

表 4－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件（2/3）

（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ(―)		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
7 号機軽油タンク基礎 T.M.S.L.12.0	0.038	0.020	C_H＝0.89	C_V＝0.65	―	40

m (kg)	d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n (―)	n_f (―)	g (m/s^2)
					9.80665

表 4－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件（3/3）

（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル））

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ(―)		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
7 号機軽油タンク基礎 T.M.S.L.12.0	0.044	0.015	C_H＝0.89	C_V＝0.65	―	40

m (kg)	d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n (―)	n_f (―)	g (m/s^2)
					9.80665

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5－1，表 5－2 に示す。

防護鋼板，架構及び基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
（ケース 1：従荷重として地震荷重を組み合わせる場合）(1/3)

施設名称（系統名）	評価部位	材料	応力又は荷重	発生応力又は発生荷重	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（A・C）	防護鋼板	SS400	組合せ		
	架構	STKR400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ*（圧縮＋曲げ）		
			組合せ*（引張＋曲げ）		
			組合せ*（曲げ＋せん断）		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		
			組合せ*（引張＋せん断）		

注記＊：組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
（ケース 1：従荷重として地震荷重を組み合わせる場合）(2/3)

施設名称（系統名）	評価部位	材料	応力又は荷重	発生応力又は発生荷重	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)	防護鋼板	SS400	組合せ		
	架構	STKR400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ*（圧縮＋曲げ）		
			組合せ*（引張＋曲げ）		
			組合せ*（曲げ＋せん断）		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		
			組合せ*（引張＋せん断）		

注記＊：組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
（ケース 1：従荷重として地震荷重を組み合わせる場合）(3/3)

施設名称（系統名）	評価部位	材料	応力又は荷重	発生応力又は発生荷重	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル）	防護鋼板	SS400	組合せ		
	架構	STKR400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ*（圧縮＋曲げ）		
			組合せ*（引張＋曲げ）		
			組合せ*（曲げ＋せん断）		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		
			組合せ*（引張＋せん断）		

注記＊：組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
（ケース 2：従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合）(1/3)

施設名称（系統名）	評価部位	材料	応力又は荷重	発生応力又は発生荷重	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（A・C）	防護鋼板	SS400	組合せ		
	架構	STKR400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ*（圧縮＋曲げ）		
			組合せ*（引張＋曲げ）		
			組合せ*（曲げ＋せん断）		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		
			組合せ*（引張＋せん断）		

注記＊：組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
（ケース 2：従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合）(2/3)

施設名称（系統名）	評価部位	材料	応力又は荷重	発生応力又は発生荷重	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)	防護鋼板	SS400	組合せ		
	架構	STKR400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ*（圧縮＋曲げ）		
			組合せ*（引張＋曲げ）		
			組合せ*（曲げ＋せん断）		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		
			組合せ*（引張＋せん断）		

注記＊：組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
（ケース 2：従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合）(3/3)

施設名称（系統名）	評価部位	材料	応力又は荷重	発生応力又は発生荷重	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル）	防護鋼板	SS400	組合せ		
	架構	STKR400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ*（圧縮＋曲げ）		
			組合せ*（引張＋曲げ）		
			組合せ*（曲げ＋せん断）		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		
			組合せ*（引張＋せん断）		

注記＊：組合せ応力は検定比による結果を示す。

Ⅴ-3-別添3　津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

Ⅴ-3-別添3-1　津波への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

Ⅴ-3-別添 3-1-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　強度評価の基本方針 ····· 1
2.1　評価対象施設 ····· 1
2.2　評価方針 ····· 4
3.　構造強度設計 ····· 4
3.1　構造強度の設計方針 ····· 4
3.1.1　津波防護施設 ····· 4
3.1.2　浸水防止設備 ····· 4
3.2　機能保持の方針 ····· 6
3.2.1　海水貯留堰 ····· 6
3.2.2　取水槽閉止板 ····· 10
3.2.3　水密扉 ····· 13
3.2.4　床ドレン浸水防止治具 ····· 18
3.2.5　貫通部止水処置 ····· 22
4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 ····· 28
4.1　荷重及び荷重の組合せ ····· 28
4.2　許容限界 ····· 34
4.2.1　施設ごとの代表的な評価対象部位の許容限界 ····· 34
5.　強度評価方法 ····· 45
5.1　津波防護施設に関する評価式 ····· 45
5.1.1　海水貯留堰 ····· 45
5.2　浸水防止設備に関する評価式 ····· 46
5.2.1　取水槽閉止板 ····· 46
5.2.2　水密扉 ····· 47
5.2.3　床ドレンライン浸水防止治具 ····· 48
5.2.4　貫通部止水処置 ····· 51
6.　適用規格 ····· 52

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」第 6 条及び第 51 条並びにそれらの「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」に適合する設計とするため，Ⅴ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に基づき設計する津波防護に関する浸水防護施設である津波防護施設及び浸水防止設備が，津波に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は，Ⅴ-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちⅤ-1-1-3-2-1「耐津波設計の基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

各施設の具体的な計算の方法及び結果は，Ⅴ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度計算は，「2.1　評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として，「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す津波による荷重と組合すべき他の荷重による組合せ荷重又は応力が許容限界内にあることを「5.　強度評価方法」に示す評価方法を使用し，「6.　適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

強度評価の対象施設とする浸水防護施設を表 2－1 に示す。また，強度評価の対象施設とする浸水防護施設の配置を図 2－1 に示す。

表 2－1　強度評価の対象施設

施設名称		施設分類
海水貯留堰	海水貯留堰（重大事故等時のみ 6,7 号機共用）	津波防護施設
	海水貯留堰（6 号機設備，重大事故等時のみ 6,7 号機共用）	－*
取水槽閉止板	タービン補機冷却用海水取水槽　閉止板	浸水防止設備
	補機冷却用海水取水槽（A）　閉止板	
	補機冷却用海水取水槽（B）　閉止板	
	補機冷却用海水取水槽（C）　閉止板	
水密扉	タービン建屋地下 2 階北西階段室　水密扉	
	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 1	
	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 2	
	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 3	
	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ）	
	原子炉補機冷却水系（C 系）熱交換器・ポンプ室　水密扉	
	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 1	
	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 2	
	タービン建屋地下中 2 階南西階段室　水密扉	
	タービン建屋地下中 2 階北西階段室　水密扉	
	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉	
	循環水配管メンテナンス室　水密扉 1	
	循環水配管メンテナンス室　水密扉 2	
	原子炉補機冷却水系（B 系）熱交換器・ポンプ室　水密扉	
	原子炉補機冷却水系（A 系）熱交換器・ポンプ室　水密扉 2	
貫通部止水処置		
床ドレンライン浸水防止治具		

注記＊：海水貯留堰（6 号機設備）については 7 号機における津波防護施設には該当しないが，津波による影響を考慮する必要があるため，津波防護施設と同等の設計を行う。

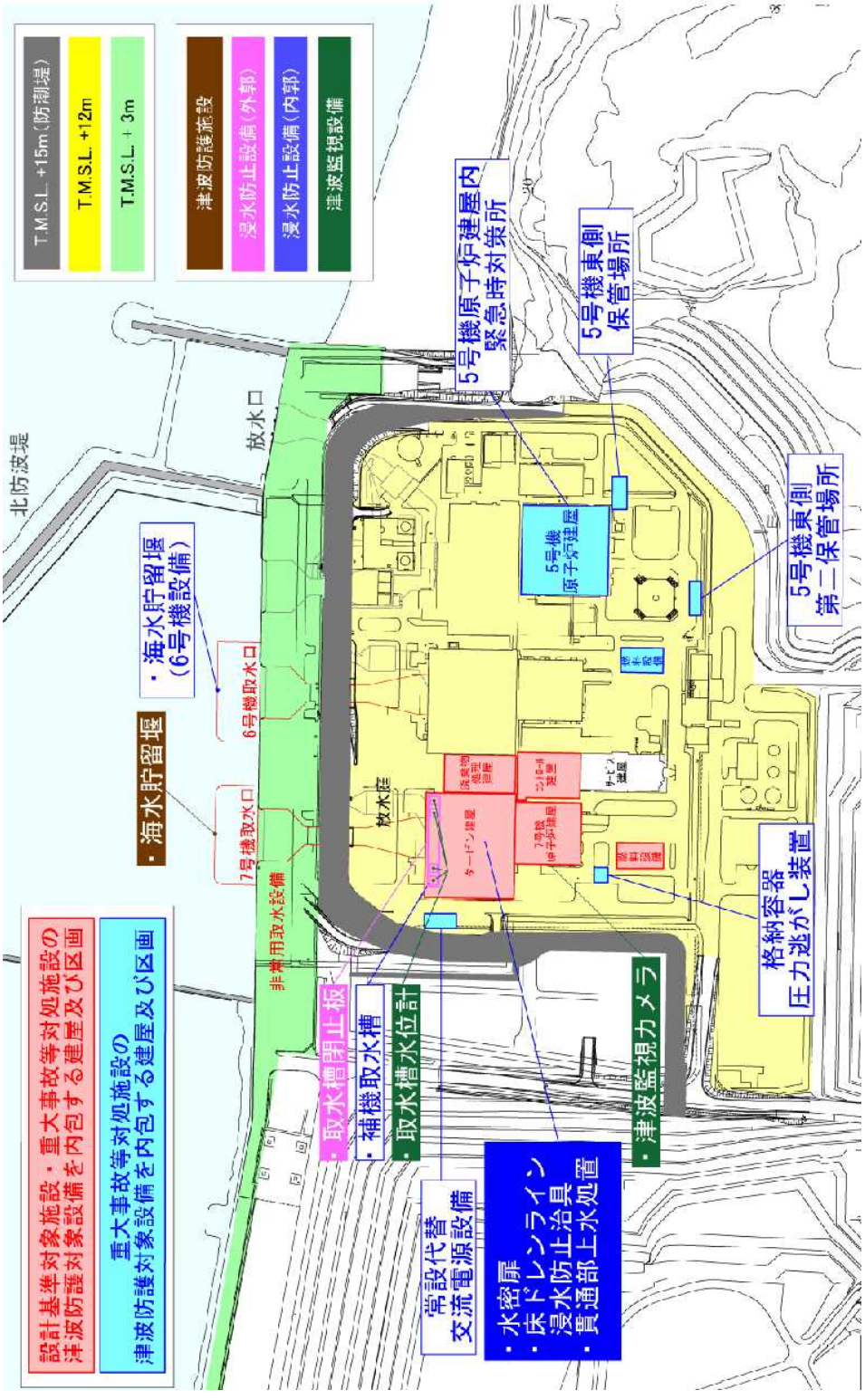


図 2－1　強度評価の対象施設配置図

2.2　評価方針

浸水防護施設は，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1　評価対象施設」で分類した施設ごとに，浸水防護に関する強度評価を実施する。

3.　構造強度設計

「2.1　評価対象施設」で設定している施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するよう，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「4. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて，構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し，想定する荷重及び荷重の組合せを設定し，それらの荷重に対し，各施設の構造強度を保持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1　構造強度の設計方針

Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を，「2.1　評価対象施設」ごとに示す。

3.1.1　津波防護施設

(1)　海水貯留堰

海水貯留堰は，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，古安田層中の粘性土もしくは西山層に支持される鋼製の鋼管矢板で構成し，地震後，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，ずれる又は浮き上がるおそれのない設計とするとともに，鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手を設置し，部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とする。また，取水護岸と海水貯留堰の接続部には，止水ゴムを設置し，部材を有意な漏えいを生じない相対変位に留める設計とする。

3.1.2　浸水防止設備

(1)　取水槽閉止板

取水槽閉止板は，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対

し，鋼製の閉止板で構成し，十分な支持性能を有するタービン建屋内の補機冷却用海水取水槽の上部床面に固定する構造とし，地震後，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(2) 水密扉

水密扉は，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼製の水密扉で構成し，十分な支持性能を有する建屋に固定する構造とし，地震後，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(3) 床ドレンライン浸水防止治具

床ドレンライン浸水防止治具は，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，弁本体，フロートガイド等で構成し，十分な支持性能を有する建屋内の床面に固定する構造とし，地震後，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(4) 貫通部止水処置

貫通部止水処置は，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，以下の荷重（以下「考慮する荷重」という。）に対し，タービン建屋内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材，ブーツ，閉止板又はモルタルにより塞ぐ構造とし，止水性の保持を考慮して主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

・地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重
・津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重
・余震を考慮した荷重
・漂流物の衝突を考慮した荷重
・積雪を考慮した荷重

3.2　機能保持の方針

Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために，「3.1　構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ，Ⅴ-1-1-3-2-1「耐津波設計の基本方針」の「2.1.4 津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針 (2)　荷重の組合せ及び許容限界 b.　荷重の組合せ」及び「2.1.4　津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針 (2)　荷重の組合せ及び許容限界 c.　許容限界」で設定している荷重を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

3.2.1　海水貯留堰

(1)　構造設計

海水貯留堰は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

鋼製の鋼管矢板を古安田層中の粘性土もしくは西山層で支持し，海水を貯留する設計とする。鋼管矢板同士の接続部には，試験等により止水性を確認した鋼管矢板継手を設置し，鋼管矢板の境界部の止水性を保持する設計とする。また，取水護岸と海水貯留堰の接続部には，試験等により止水性を確認した止水ゴムを設置し，取水護岸と海水貯留堰の境界部の止水性を保持する設計とする。

海水貯留堰の構造計画を表 3.2－1 に示す。

(2)　評価方針

海水貯留堰は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを確認する。

貯留堰の強度評価は，構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価については，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については，止水ゴムの変形量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

表 3.2－1　構造計画（海水貯留堰）（1／3）

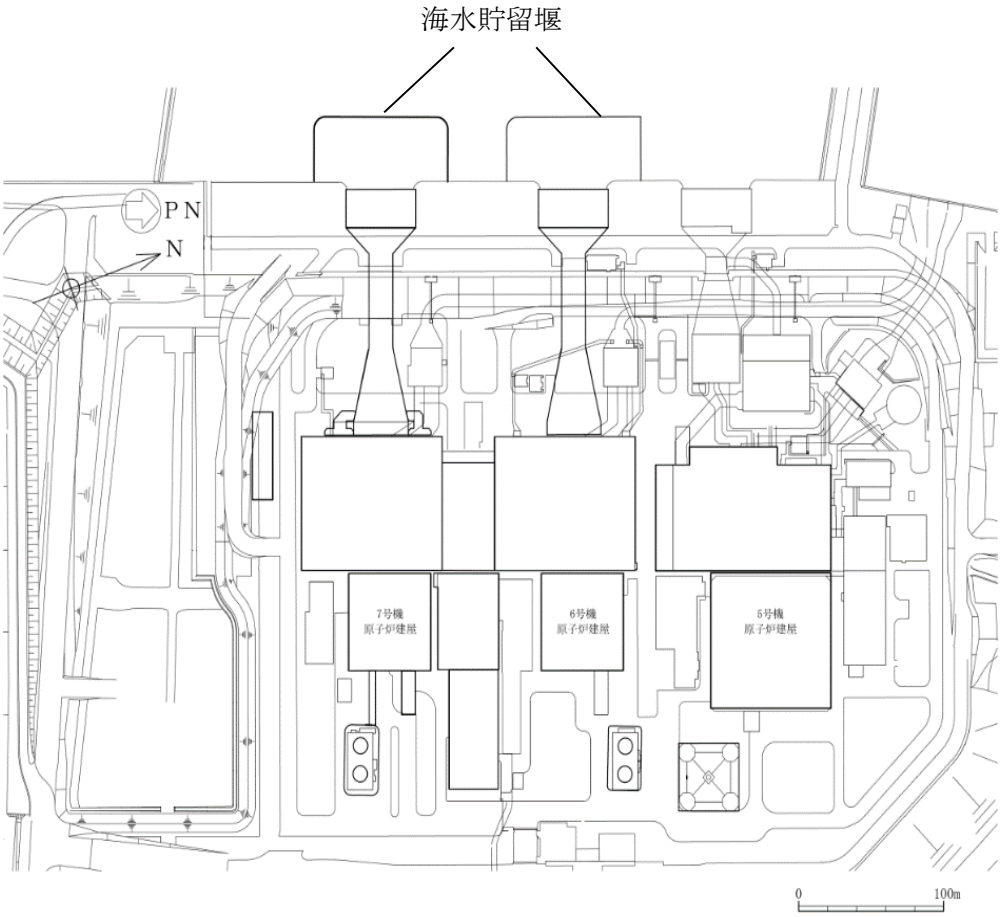
配置図


表 3.2－1　構造計画（海水貯留堰）（2／3）

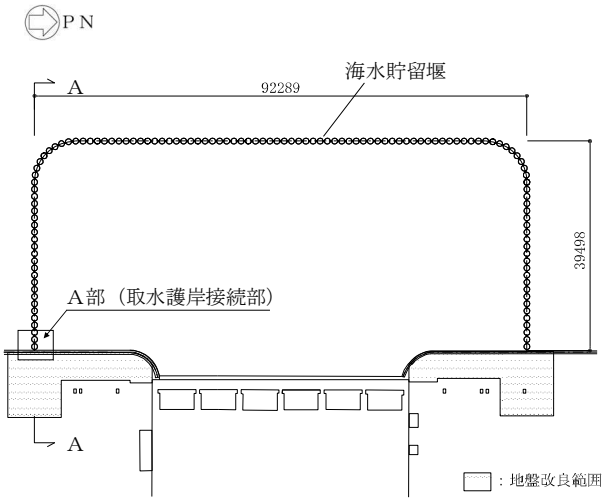
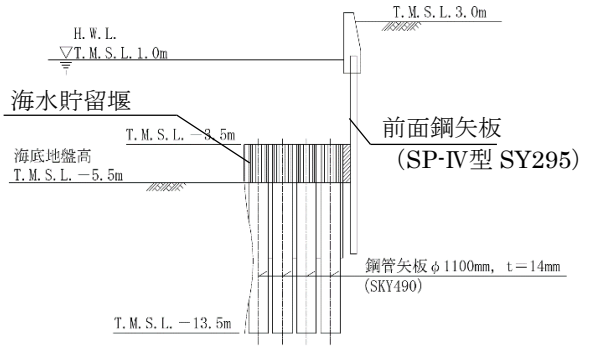
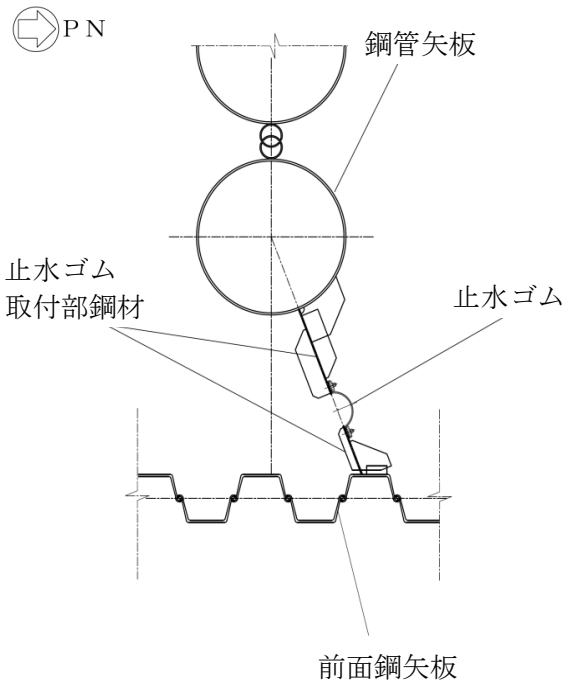
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手より構成する。	鋼管矢板下端を十分な支持性能を有する古安田層もしくは西山層に根入れする。	 (単位:mm) 平面図
		 Ａ－Ａ断面図

表 3.2－1　構造計画（海水貯留堰）（3／3）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材より構成する。	取水護岸及び海水貯留堰本体に支持する。	 平面図(A 部拡大)

3.2.2　取水槽閉止板

(1)　構造設計

取水槽閉止板は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

本体を補機冷却用海水取水槽最上部の上部床面に設置するアンカーボルトで固定する構造とする。

また，作用する荷重については，スキンプレート，主桁及び戸当りに伝わり，取水槽閉止板を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達する構造とする。

取水槽閉止板の構造計画を表3.2－2に示す。

(2)　評価方針

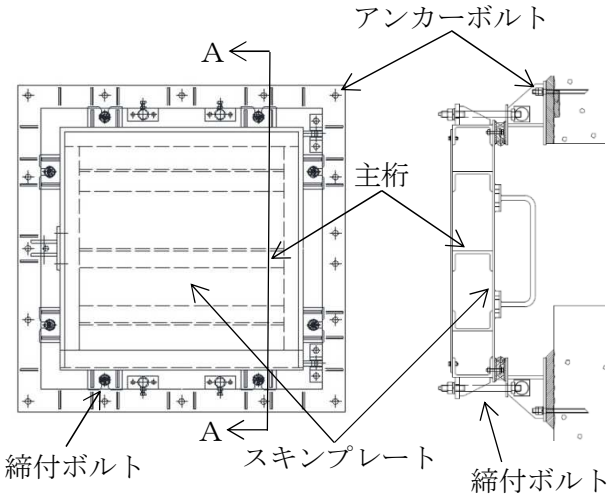
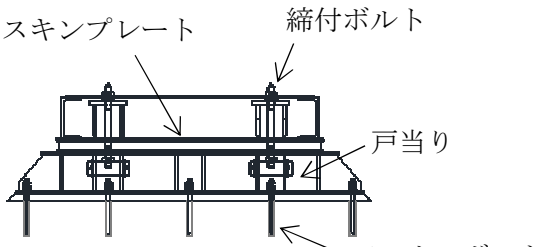
取水槽閉止板は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，評価対象部位に作用する応力等がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－2　構造計画（取水槽閉止板）（1／2）

配置図

表 3.2－2　構造計画（取水槽閉止板）（2／2）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
スキンプレート，主桁及び戸当りにより構成する。	補機冷却用海水取水槽の上部床面に設置するアンカーボルトで戸当りを躯体に固定し，締付ボルトによりスキンプレート，主桁を戸当りに固定する。	 平面図　　A－A断面図  側面図

3.2.3　水密扉

(1)　構造設計

水密扉は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

水密扉は，片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また,閉鎖状態において締付装置により固定され,水密性を確保しており,扉枠を介して建屋躯体にアンカーボルトで固定し,支持する構造とする。

また，作用する荷重については，扉板から芯材を介し締付装置，扉枠に伝わり，扉枠を固定するアンカーボルトを介し,開口部周囲の躯体に伝達する構造とする。

水密扉の構造計画を表 3.2－3 に示す。

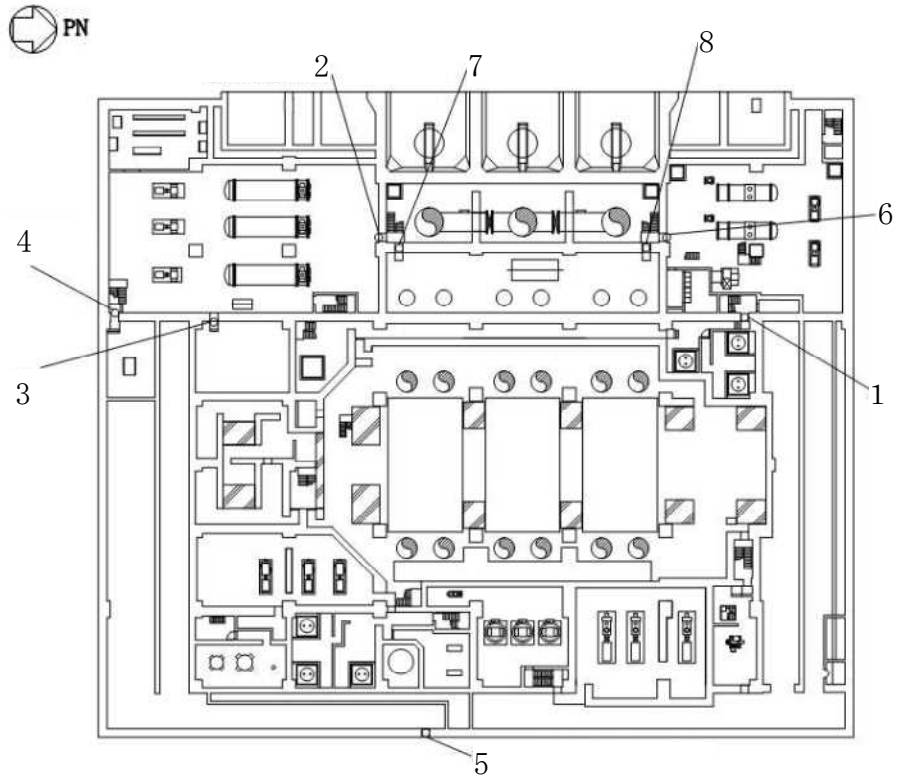
(2)　評価方針

水密扉は,「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，水密扉の評価対象部位に作用する応力等がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－3　構造計画（水密扉）（1／4）

配置図

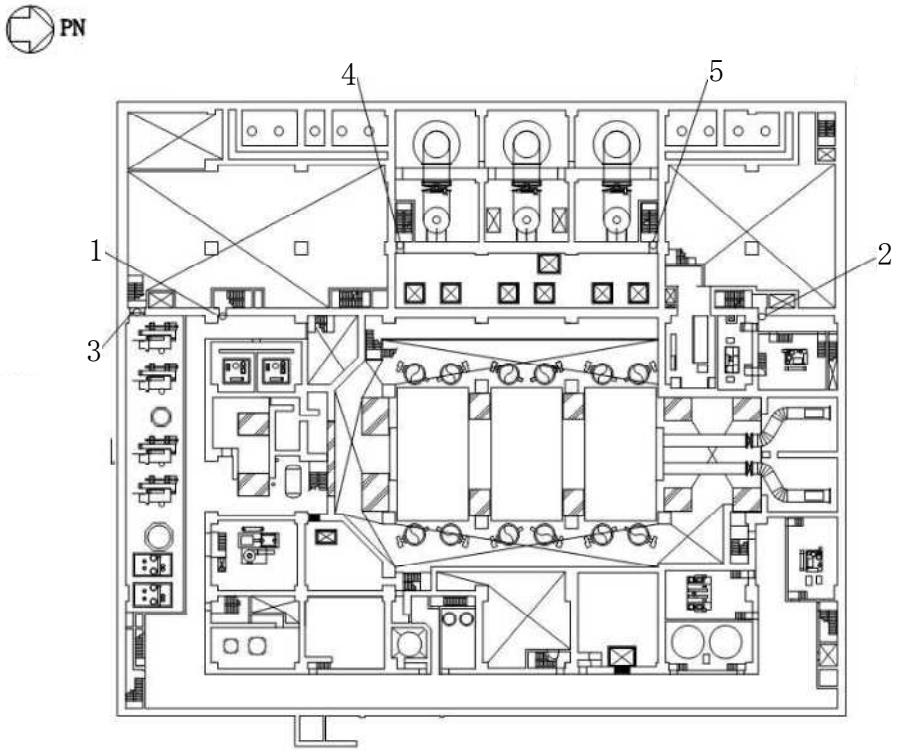


タービン建屋　T.M.S.L.－5100mm

1	タービン建屋地下 2 階北西階段室　水密扉
2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 1
3	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 2
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 3
5	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ）
6	原子炉補機冷却水系 [　] 熱交換器・ポンプ室　水密扉
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 1
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 2

表 3.2－3　構造計画（水密扉）（2／4）

配置図

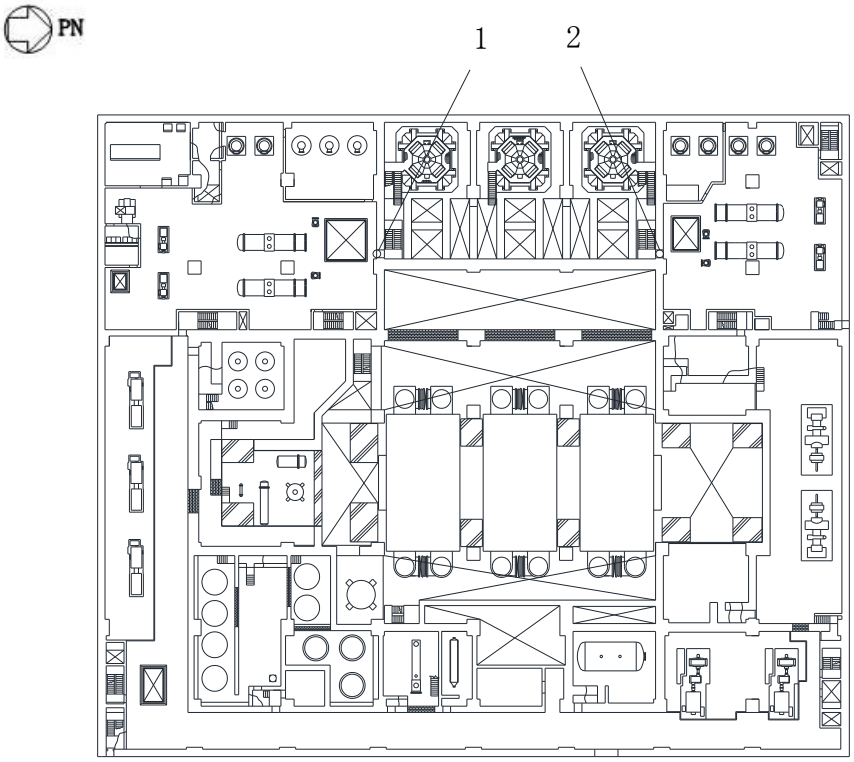


タービン建屋　T.M.S.L.－1100mm

1	タービン建屋地下中 2 階南西階段室　水密扉
2	タービン建屋地下中 2 階北西階段室　水密扉
3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉
4	循環水配管メンテナンス室　水密扉 1
5	循環水配管メンテナンス室　水密扉 2

表 3.2－3　構造計画（水密扉）(3／4)

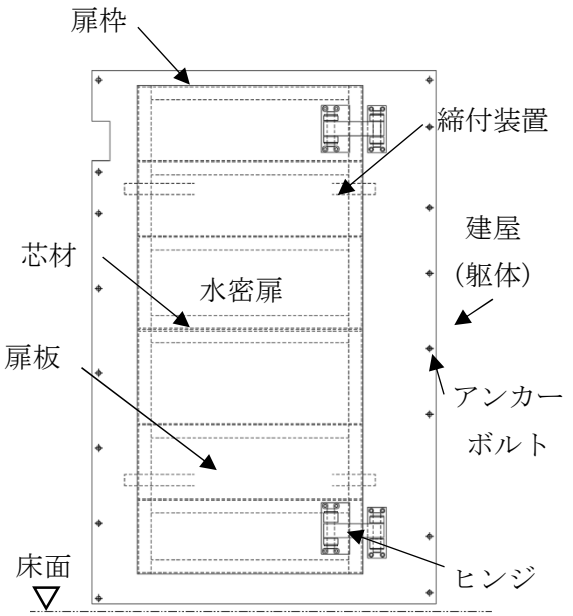
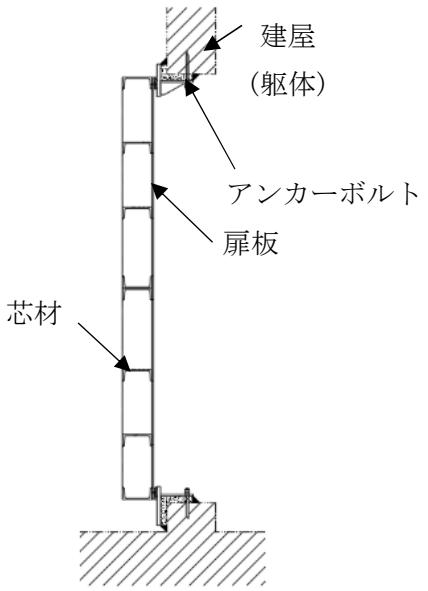
配置図



タービン建屋　T.M.S.L.4900mm

1	原子炉補機冷却水系		熱交換器・ポンプ室　水密扉
2	原子炉補機冷却水系		熱交換器・ポンプ室　水密扉 2

表 3.2－3　構造計画（水密扉）（4／4）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取付け，扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み，扉と扉枠を一体化させる構造とする。 また，扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。	扉開放時においては，ヒンジにより扉が扉枠に固定され，扉閉止時においては，締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。 扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。	 

3.2.4　床ドレンライン浸水防止治具

(1)　構造設計

床ドレンライン浸水防止治具は，フロート式治具，スプリング式治具，閉止キャップ，閉止栓があり，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

フロート式治具は，弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成し，床面設置の床ドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定する構造もしくは，台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する構造とする。また，フロート式治具に作用する荷重はねじ込みまたは接着で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

スプリング式治具は，弁本体，弁体及び弁体を弁座に導くガイドを主体構造とし，荷重が作用した場合でもスプリング式治具が動かないように床面設置の床ドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定する構造もしくは，台座と取付金具を接着剤で固定し，弁本体フランジと取付金具をボルトで固定する構造とする。また，スプリング式治具に作用する荷重はねじ込みまたは接着で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

閉止キャップは，閉止キャップで構成し，床面設置の床ドレン配管にねじ込み固定する構造とする。また，閉止キャップに作用する荷重はねじ込みで固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

閉止栓は，閉止栓で構成し，床面設置の床ドレン配管にゴムの圧着により固定する構造とする。また，閉止栓に作用する荷重はゴムの圧着で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

床ドレンライン浸水防止治具の構造計画を表3.2－4に示す。

(2)　評価方針

床ドレンライン浸水防止治具は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，床ドレンライン浸水防止治具の評価対象部位に作用する応力等がおおむね弾性状態にとどまること及び有意な漏えいが生じないことを確認する。

表 3.2－4　構造計画（床ドレンライン浸水防止治具）（1／3）

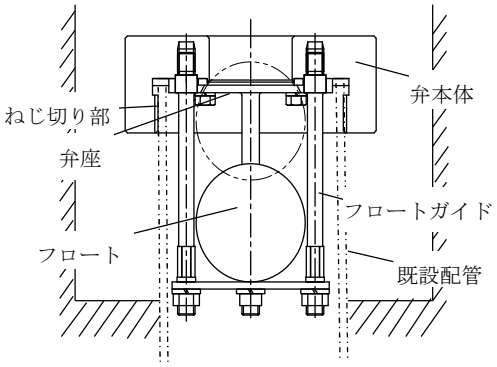
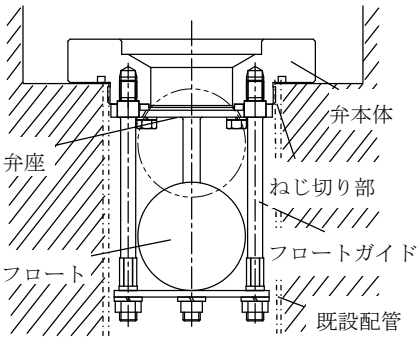
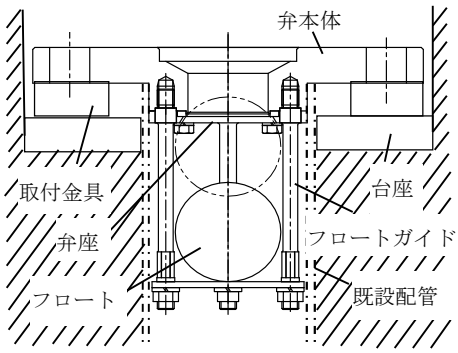
<table>
<tr><td colspan="5">設置位置図</td></tr>
<tr><td colspan="5">
<table>
<tr><td rowspan="3">床ドレンライン
浸水防止治具</td><td rowspan="3">タービン
建屋*</td><td>地下２階</td><td>T.M.S.L.－5100</td></tr>
<tr><td>地下中２階</td><td>T.M.S.L.－1100</td></tr>
<tr><td>地下１階</td><td>T.M.S.L.＋4900</td></tr>
</table>
注記＊：建屋外周エリアを含む
</td></tr>
<tr><td colspan="3">計画の概要</td><td rowspan="2">概略構造図</td></tr>
<tr><td colspan="2">型式</td><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td rowspan="3">フロート式治具</td><td>外ねじ取付型</td><td rowspan="3">弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。</td><td>配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。</td><td>
</td></tr>
<tr><td>内ねじ取付型</td><td>
</td></tr>
<tr><td>フランジ取付型</td><td>台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する。</td><td>
</td></tr>
</table>

表 3.2-4　構造計画（床ドレンライン浸水防止治具）（2／3）

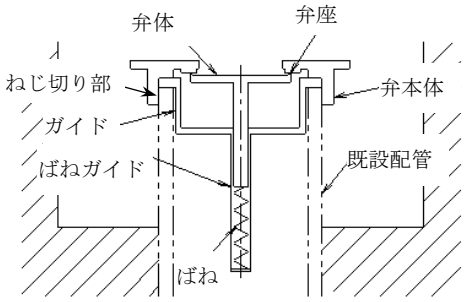
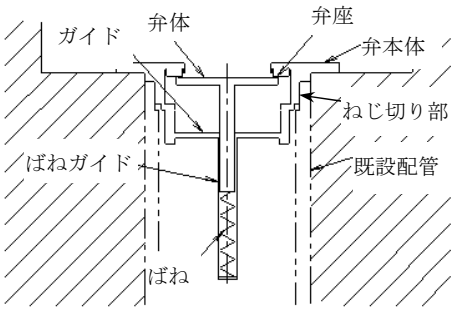
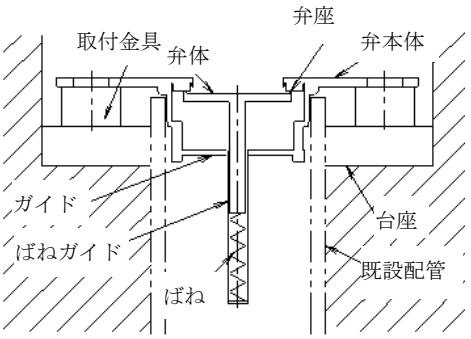
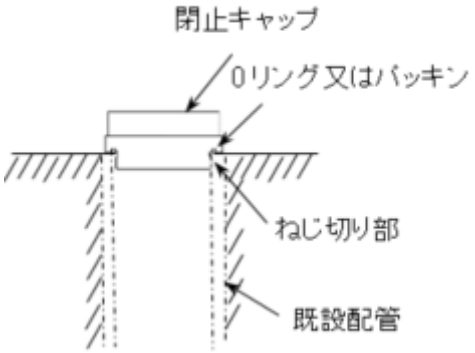
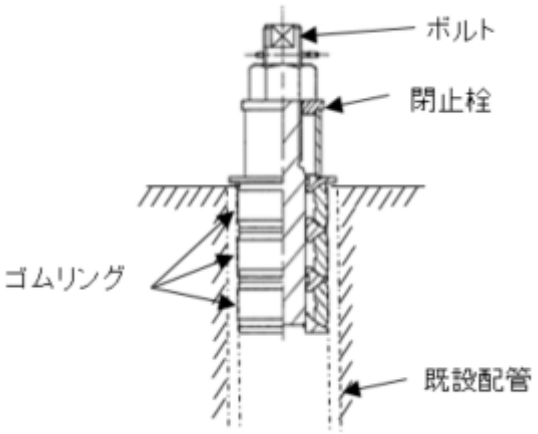
計画の概要				概略構造図
型式		主体構造	支持構造	
スプリング式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体，弁体，弁体を弁座に導くガイド，ばねが内挿されるばねガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型		台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する。	

表 3.2－4　構造計画（床ドレンライン浸水防止治具）（3／3）

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
閉止キャップ	閉止キャップで構成する。	配管にねじ込み固定する。	
閉止栓	閉止栓で構成する。	ゴムの圧着により固定する。	

3.2.5　貫通部止水処置

(1)　構造設計

貫通部止水処置は，「3.1　構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びⅤ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

貫通部止水処置は，タービン建屋内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材，ブーツ，閉止板又はモルタルにより，止水する構造とする。

なお，シール材をケーブルトレイ貫通部の止水に用いる場合は，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填，もしくは塗布する。

貫通部止水処置の構造計画を表3.2－5に示す。

(2)　評価方針

貫通部止水処置は，「(1)　構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

シール材及びブーツによる止水処置については，考慮する荷重に対し，シール材及びブーツに有意な漏洩が生じないことを確認する。

閉止板（鉄板，フラップゲート）による止水処置については，考慮する荷重に対し，鉄板及びフラップゲートがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

モルタルによる止水処置については，考慮する荷重に対し，モルタルがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

ケーブルトレイ金属ボックスによる止水処置については，考慮する荷重に対し，金属ボックス及びアンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－5　構造計画（貫通部止水処置）（1／5）

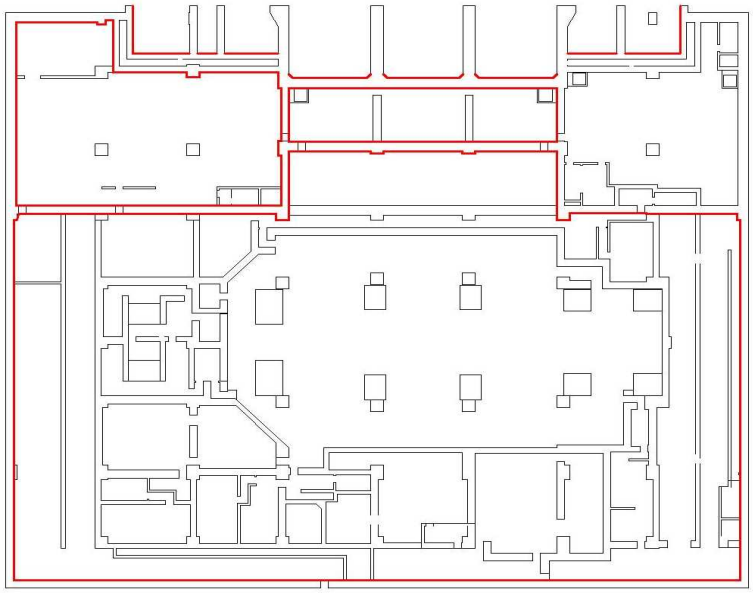
配置図
 タービン建屋　T.M.S.L.－5100mm  タービン建屋　T.M.S.L.－1100mm ：貫通部止水処置を実施する壁面 ：貫通部止水処置を実施する床面

表 3.2－5　構造計画（貫通部止水処置）（2／5）

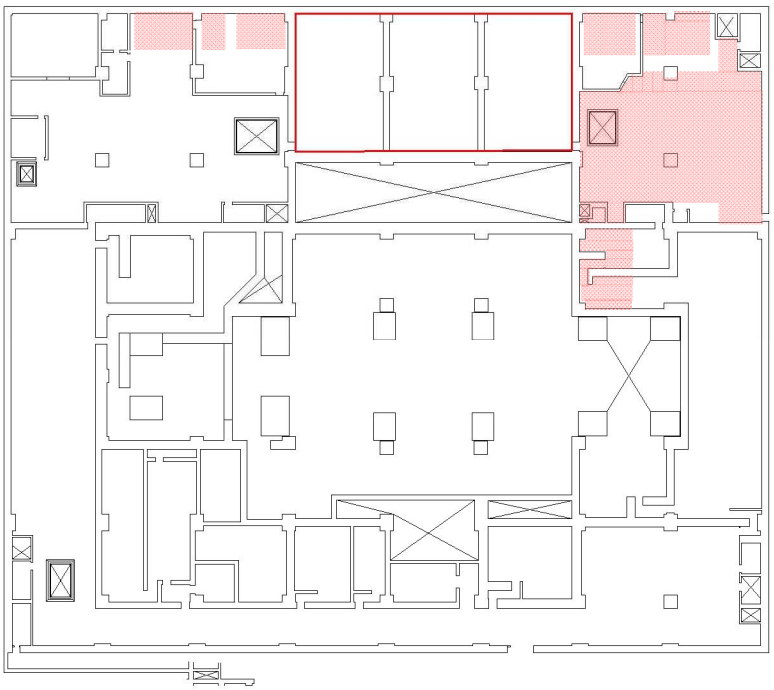
配置図
 タービン建屋　T.M.S.L.4900mm ：貫通部止水処置を実施する壁面 ：貫通部止水処置を実施する床面

表 3.2－5　構造計画（貫通部止水処置）（3／5）

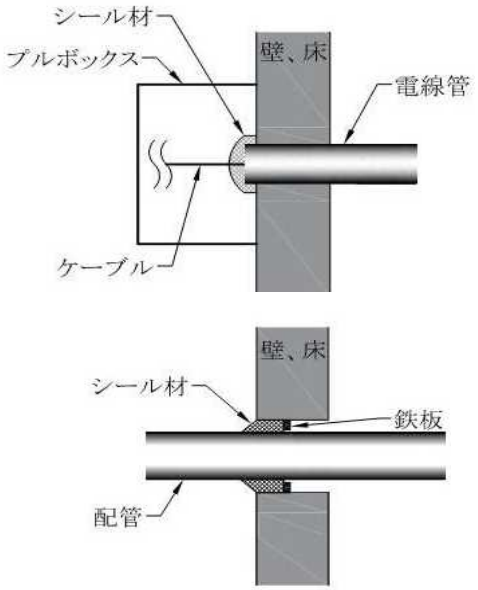
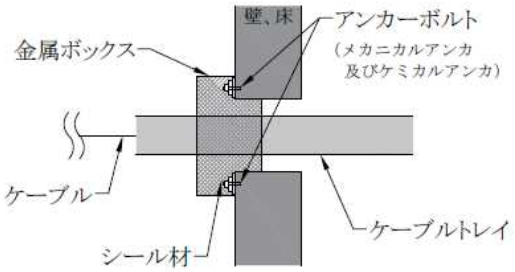
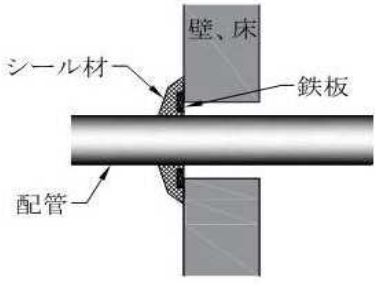
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填，もしくは塗布する。 シール材は，施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	
コーキングタイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の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

表 3.2－5　構造計画（貫通部止水処置）（4／5）

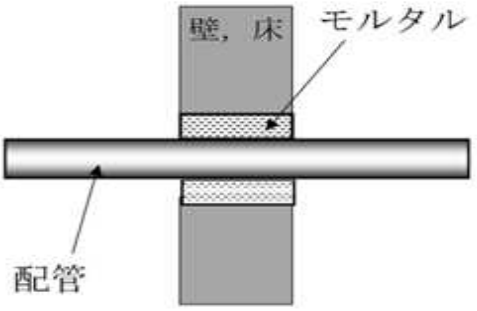
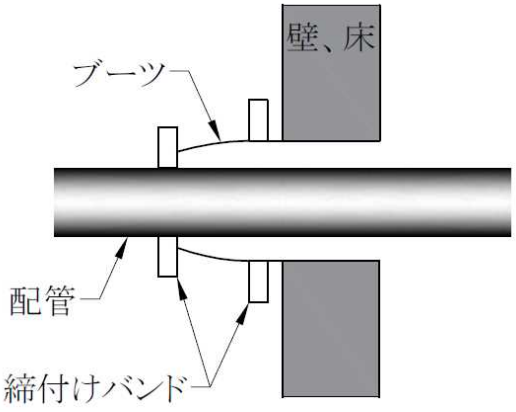
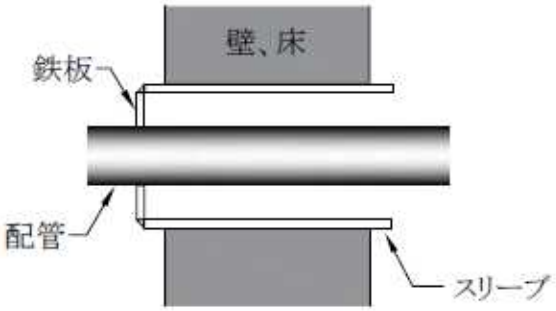
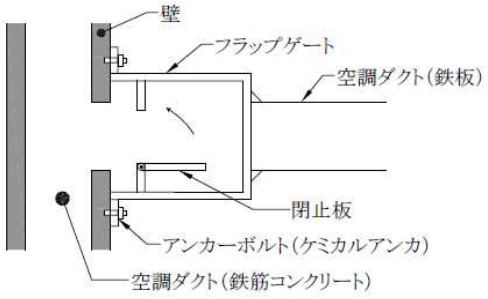
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁面又は床面に取付用座と配管に締付けバンドにて締結する。	

表 3.2－5　構造計画（貫通部止水処置）（5／5）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鉄板にて閉止する構成とする。	貫通部の開口部に鉄板を挿入し，溶接によって接合する。	
閉止板を内包するフラップゲートにて構成する。	空調ダクト（鉄筋コンクリート）と空調ダクト（鉄板）の間にフラップゲートを設置し、フラップゲートは空調ダクト（鉄筋コンクリート）壁面にアンカーボルトで固定する。	

4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

浸水防護施設の強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2　許容限界」に示す。

4.1　荷重及び荷重の組合せ

(1)　荷重の種類

a.　常時作用する荷重（D，G，P）

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重又は固定荷重，積載荷重とする。

b.　津波荷重（Ｐｔ，Ｐｈ，Ｐｈｙ）

津波荷重は，施設ごとに設置位置における津波の浸入形態に応じて，以下のとおり，遡上津波荷重，突き上げ津波荷重，静水圧荷重又は津波荷重（静水圧）として算定する。

(a)　遡上津波荷重（Ｐｔ）

遡上津波荷重は，遡上波により波圧として作用する荷重であり，「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 25 年 9 月（平成 27 年 12 月一部改訂））」によると津波が構造物を越流する場合の津波荷重の算定については，若干越流している状態に静水圧差による算定式を適用する場合は，それより水位の低い越流直前の状態の方が高い波力となる可能性があるので，両者を比較して高い方を採用する必要があるとしている。このため，海水貯留堰における津波波力としては，越流直前の波力及び越流時の静水圧差のうち保守的なものを適用することとする。

(b)　突き上げ津波荷重（Ｐｔ）

突き上げ津波荷重は，床面に設置されている施設に対して，経路からの津波が鉛直上向き方向に作用した場合の津波荷重であり，各施設の設置位置における経路からの津波高さ及び流速を用いて算定する。

(c)　静水圧荷重（Ｐｈ）

静水圧荷重は，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧として作用する荷重であり，各施設の設置位置における施設の設置高さ及び浸水深さを考慮して，静水圧として算定する。

(d)　津波荷重（静水圧）（Ｐｈｙ）

津波荷重（静水圧）は，津波により越流している状態で余震が発生することを想定し，津波荷重は平面 2 次元モデルによる津波シミュレーション解析により得られる最大内外水位差に応じた静水圧を算定し，越流時の津波波力（静水圧差）を適用する。

c.　余震荷重（Ｓｄ又はＫＳｄ）

余震荷重は，以下のいずれかを適用する。

・Ｓｄ－１に伴う地震力（動水圧含む。）
・Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」又はⅤ-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」により策定した弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力（動水圧含む。）

なお，記号については，Ｓｄ又はＫＳｄのいずれかを使用する。

d.　衝突荷重（Ｐｃ）

衝突荷重は，漂流物として最も重量が大きい 15ｔの航行不能船及び 0.14ｔの保安林及び１ｔの軽自動車を選定し，設定する。

e.　積雪荷重（Ｐｓ）

積雪荷重は，建築基準法の多雪区域における地震荷重と積雪荷重の組合せの考え方よりも保守的な値である，柏崎市における 1 日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値（84.3cm）とし，この値にベース負荷である常時考慮するとした積雪量（31.1cm）を合算した 115.4cm を組合せとして考慮する。ただし，積雪については，除雪による緩和措置が図られる場合にはその運用上の措置を踏まえた荷重を用いる。

(2)　荷重の組合せ

各施設の強度計算に用いる荷重の組合せは，施設の配置，構造計画に基づく形状及び評価部位を踏まえて，「(1)　荷重の種類」で示した荷重 a.～e.を常時作用する荷重，津波の形態に応じた津波荷重等及びその他自然現象による荷重に分けて適切に組み合わせる。荷重の組合せにおいては，まず，常時作用する荷重として，対象施設に応じて，以下の荷重の組合せを考慮する。構造物については，固定荷重（Ｇ）を考慮する。さらに，上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造である場合は，積載荷重（Ｐ）を組み合わせる。

一方，機器類については，自重（Ｄ）を考慮する。

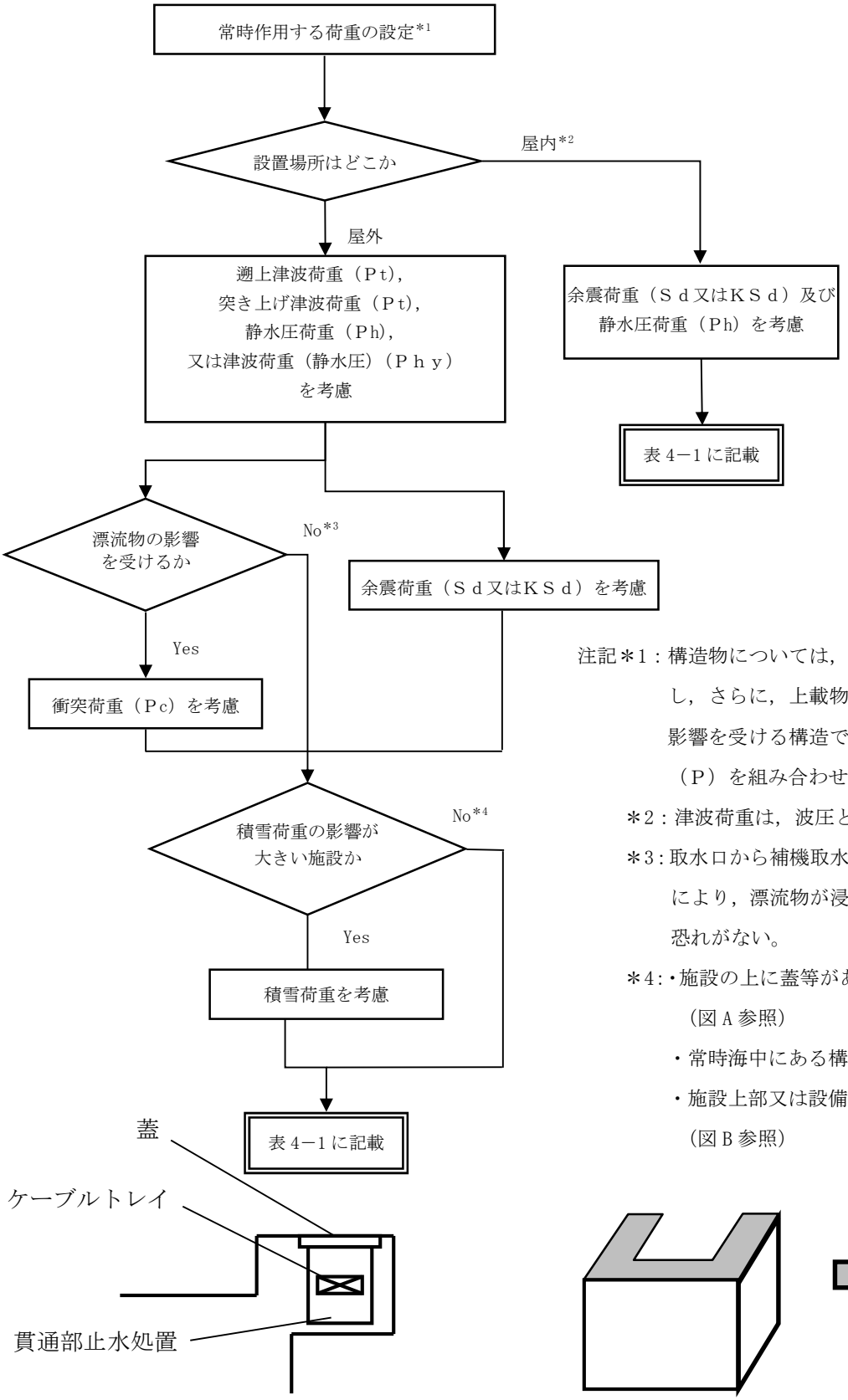
次に，津波の形態に応じた津波荷重等の組合せを考慮する。

津波荷重として，遡上津波荷重（Ｐｔ），突き上げ津波荷重（Ｐｔ），静水圧荷重（Ｐｈ）又は津波荷重（静水圧）（Ｐｈｙ）を考慮する場合（漂流物の影響を受ける位置に設置している施設については，衝突荷重（Ｐｃ）の組合せを考慮する。）と，遡上津波荷重（Ｐｔ），突き上げ津波荷重（Ｐｔ），静水圧荷重（Ｐｈ）又は津波荷重（静水圧）（Ｐｈｙ）と余震荷重（Ｓｄ又はＫＳｄ）の組合せを考慮する場合に分けて強度計算を行う。

最後に，施設の構造等を踏まえ，積雪荷重（Ｐｓ）の組合せを考慮する。

積雪荷重（Ｐｓ）については，屋外の積雪が生じる場所に設置している施設について，組合せを考慮する。ただし，自重（D）に対して積雪荷重（Ｐｓ）の割合が無視できる施設については，各強度計算書において積雪荷重（Ｐｓ）の影響が無視できることを確認したうえで，組合せ計算を実施しない。

以上を踏まえ，具体的に施設ごとの強度計算書において考慮すべき荷重の組合せを設定する。荷重の組合せの設定フローを図 4－1 に，フローに基づき設定した施設ごとの荷重の組合せ結果を表 4－1 に示す。



注記＊1：構造物については，固定荷重（G）を考慮し，さらに，上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造である場合は，積載荷重（P）を組み合わせる。

＊2：津波荷重は，波圧として考慮しない。

＊3：取水口から補機取水槽まで距離があることにより，漂流物が浸水防止設備に衝突する恐れがない。

＊4：・施設の上に蓋等があり施設に積雪しない。
（図 A 参照）
・常時海中にある構造物。
・施設上部又は設備の受圧面積が小さい。
（図 B 参照）

図 A：蓋等により積雪しない場合の例

図 B：上部の受圧面積が小さい場合の例

図 4－1　強度計算における荷重の組合せの設定フロー

表 4－1　津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ（1／2）

強度計算の対象施設	事象	荷重					
		自重（D）又は固定荷重（G）	積載荷重（P）	余震荷重（Ｓｄ又はＫＳｄ）	遡上津波荷重（Ｐｔ），突き上げ津波荷重（Ｐｔ），静水圧荷重（Ｐｈ），又は津波荷重（静水圧）（Ｐｈｙ）	衝突荷重（Ｐｃ）	積雪荷重（Ｐｓ）
海水貯留堰（重大事故等時のみ 6,7 号機共用）	津波時	○	－	－	○ 遡上津波（Ｐｔ）	○	－
	重畳時 1	○	－	○	○ 遡上津波（Ｐｔ）	－	－
	重畳時 2	○	－	○	○ 津波荷重（静水圧）（Ｐｈｙ）	○	－
海水貯留堰（6 号機設備，重大事故等時のみ 6,7 号共用）	津波時	○	－	－	○ 遡上津波（Ｐｔ）	○	－
	重畳時 1	○	－	○	○ 遡上津波（Ｐｔ）	－	－
	重畳時 2	○	－	○	○ 津波荷重（静水圧）（Ｐｈｙ）	○	－
取水槽閉止板	津波時	○	－	○	○ 突き上げ津波荷重（Ｐｔ）	－	－
水密扉	津波時	○	－	○	○ 静水圧荷重（Ｐｈ）	－	－

（○：考慮する荷重を示す。）

表 4－1　津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ（2／2）

強度計算の対象施設	事象	荷重					
		自重（D）又は固定荷重（G）	積載荷重（P）	余震荷重（Ｓｄ又はＫＳｄ）	遡上津波荷重（Ｐｔ），突き上げ津波荷重（Ｐｔ），静水圧荷重（Ｐｈ），又は津波荷重（静水圧）（Ｐｈｙ）	衝突荷重（Ｐｃ）	積雪荷重（Ｐｓ）
床ドレンライン浸水防止治具	津波時	○	－	○	○ 静水圧荷重（Ｐｈ）	－	－
貫通部止水処置	津波時	○	－	○	○ 静水圧荷重（Ｐｈ） 突き上げ津波荷重（Ｐｔ）	－	－

（○：考慮する荷重を示す。）

4.2　許容限界

許容限界は，Ⅴ-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」にて設定している。

津波荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能保持の評価方針を踏まえて，評価部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めて施設ごとの許容限界を表 4.2－1 に示す。

各施設の許容限界の詳細は，各計算書で評価部位の応力や変形の状態を考慮し，評価部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1　施設ごとの許容限界

(1)　海水貯留堰

a.　鋼管矢板

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，鋼管矢板がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「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，適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。

b.　止水ゴム

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置する止水ゴムが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ，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。

c.　止水ゴム取付部鋼材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，止水ゴム取付部鋼材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「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，適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。

(2)　取水槽閉止板

a.　スキンプレート，主桁，戸当り，締付ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，スキンプレート，主桁，戸当り，締付ボルトの構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，許容限界は，「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会,2005 改定))」を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b.　アンカーボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容耐力として設定する。

(3) 水密扉

a. 扉板，芯材及び締付装置部

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉板，芯材及び締付装置部の構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準−許容応力度設計法−((社)日本建築学会，2005 改定)」を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

b. アンカーボルト

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，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 改定)」に基づき算定し，許容耐力として設定する。

(4) 床ドレンライン浸水防止治具

a. フロート式治具

(a) 弁本体，フロートガイド

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁本体，フロートガイドの構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態 C の許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(b) フロート，取付部

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，フロート，取付部に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，フロート，取付部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ため，水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

b. スプリング治具

(a) 弁本体・ガイド，ばねガイド，弁体

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁本体・ガイド，ばねガイド，弁体の構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態 C の許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

(b) 弁体，取付部

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁体，取付部に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，弁体，取付部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ため，水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

c. 閉止キャップ

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，閉止キャップに有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，閉止キャップ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ため，水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

d. 閉止栓

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，閉止栓に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，閉止栓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ため，水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

(5) 貫通部止水処置

a. シール材

考慮する荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，シール材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ため，水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

考慮する荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツに有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，ブーツ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ため，水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

考慮する荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「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)」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

d. 鉄板

考慮する荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，貫通口と貫通物の隙間に施工する鉄板が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む)）ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（(社）日本機械学会)」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

e. フラップゲート

考慮する荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，貫通口に施工するフラップゲートに有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，フラップゲート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ため，水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

f.　ケーブルトレイ金属ボックス

考慮する荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，貫通口と貫通物の隙間に施工する金属ボックス及びアンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005／2007（(社）日本機械学会)」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

表 4.2－1　施設ごとの評価対象部位の許容限界（1／7）

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
海水貯留堰 （重大事故等時のみ 6,7 号機共用）	Ｇ＋Ｐｔ＋Ｐｃ Ｇ＋Ｐｔ＋ＫＳｄ Ｇ＋Ｐｈｙ＋ＫＳｄ＋Ｐｃ	鋼管矢板	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。
		止水ゴム	変形	有意な漏えいに至る変形	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。
		止水ゴム 取付部鋼材	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。

表 4.2－1　施設ごとの評価対象部位の許容限界（2／7）

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
海水貯留堰 （6 号機設備，重大事故等時のみ 6,7 号機共用）	Ｇ＋Ｐｔ＋Ｐｃ Ｇ＋Ｐｔ＋ＫＳｄ Ｇ＋Ｐｈｙ＋ＫＳｄ＋Ｐｃ	鋼管矢板	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。
		止水ゴム	変形	有意な漏えいに至る変形	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。
		止水ゴム 取付部鋼材	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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，短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。

表 4.2－1　施設ごとの評価対象部位の許容限界（3／7）

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水槽閉止板	Ｇ＋Ｐｔ＋ＫＳｄ	スキンプレート，主桁，戸当り	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえて，短期許容応力度以下とする。
		締付ボルト	引張り，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえて，短期許容応力度以下とする。
		アンカーボルト			「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定した，許容耐力以下とする。

表 4.2－1　施設ごとの評価対象部位の許容限界（4／7）

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
水密扉	Ｇ＋Ｐｈ＋ＫＳｄ	扉板，芯材	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえ，短期許容応力度以下とする。
		締付装置部	曲げ，せん断 引張り		
		アンカーボルト	引張り，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定した，許容耐力以下とする。

表 4.2－1　施設ごとの評価対象部位の許容限界（5／7）

設備名		荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
床ドレンライン浸水防止治具	フロート式治具	Ｄ＋Ｐｈ＋Ｓｄ	弁本体，フロートガイド	圧縮，曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力ⅢＡＳ）以下とする。
			フロート	圧縮	有意な漏えいに至る状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
			取付部	引張り		
	スプリング式治具		弁本体・ガイド，ばねガイド	圧縮，曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力$Ⅲ_A$Ｓ）以下とする。
			弁体	曲げ	有意な漏えいに至る変形	
			弁体，取付部	圧縮	有意な漏えいに至る状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。

表 4.2－1　施設ごとの評価対象部位の許容限界（6／7）

設備名		荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
床ドレンライン浸水防止治具	閉止キャップ	Ｄ＋Ｐｈ＋Ｓｄ	閉止キャップ	圧縮	有意な漏えいに至る状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
	閉止栓		閉止栓			

表 4.2－1　施設ごとの代表的な評価対象部位の許容限界（7／7）

設備名	荷重の組合せ	評価部位		機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
貫通部止水処置	G＋Ph＋Pt＋KSd	シール材		せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		ブーツ		せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		モルタル		圧縮，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書【構造性能照査】（(社) 土木学会，2002 年制定)」に基づいて算出される許容付着荷重以下とする。
		閉止板	鉄板	引張り，せん断，曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪSME ＳＮＣ1－2005/2007」(日本機械学会) に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力$Ⅲ_A$Ｓ）以下とする。
			フラップゲート	曲げ	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		金属ケーブルトレイ	金属ボックス	曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪSME ＳＮＣ1－2005/2007」(日本機械学会) に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力$Ⅲ_A$Ｓ）以下とする。
			アンカーボルト	引張り，せん断		

5. 強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・ＦＥＭ等を用いた解析法
・定式化された評価式を用いた解析法

余震荷重を基に設定した入力地震動に対する評価手法は，以下に示す解析法により，ＪＥＡＧ４６０１に基づき実施することを基本とする。

・時刻歴応答解析
・ＦＥＭ等を用いた解析法
・定式化された評価式を用いた解析法

5.1 津波防護施設に関する評価式

5.1.1 海水貯留堰

(1) 評価方針

海水貯留堰の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，津波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。
b. 荷重及び荷重の組合せは，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。
c. 評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.1－1 に示す。

表 5.1－1 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼管矢板	曲げ，せん断
止水ゴム	変形
止水ゴム取付部鋼材	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」及びⅤ-3-別添 3-1-3「海水貯留堰（6 号機）の強度計算書」に示す。

5.2　浸水防止設備に関する評価式

5.2.1　取水槽閉止板

(1)　評価方針

取水槽閉止板の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，津波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。

b.　荷重及び荷重の組合せは，地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－1 に示す。

表 5.2－1　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
スキンプレート， 主桁，戸当り	曲げ，せん断
アンカーボルト，締付ボルト	引張り，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-1-4「取水槽閉止板の強度計算書」に示す。

5.2.2　水密扉

(1)　評価方針

水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，静水圧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。
b.　荷重及び荷重の組合せは，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。
c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－2 に示す。

表 5.2－2　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉板，芯材	曲げ，せん断
締付装置部	曲げ，せん断，引張り
アンカーボルト	引張り，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-1-5「水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.3　床ドレンライン浸水防止治具

(1)　フロート式治具

a.　評価方針

床ドレンライン浸水防止治具の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　構造上の特徴,静水圧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。

(b)　荷重及び荷重の組合せは，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(c)　評価に用いる寸法については，公称値とする。

b.　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－3－1 に示す。

表 5.2－3－1　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体	圧縮、曲げ
フロートガイド	
フロート	圧縮
取付部	引張り

c.　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具強度計算書」に示す。

(2)　スプリング式治具

a.　評価方針

スプリング式治具の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　構造上の特徴,静水圧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。

(b)　荷重及び荷重の組合せは，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(c)　評価に用いる寸法については，公称値とする。

b. 評価部位
評価部位及び評価内容を表 5.2－3－2 に示す。

表 5.2－3－2　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体・ガイド	圧縮、曲げ
ばねガイド	
弁体	曲げ
弁体，取付部	圧縮

c. 強度評価方法
強度計算の方法及び結果については，V-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具強度計算書」に示す。

(3) 閉止キャップ
a. 評価方針
閉止キャップの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a) 構造上の特徴,静水圧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。
(b) 荷重及び荷重の組合せは，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。
(c) 評価に用いる寸法については，公称値とする。

b. 評価部位
評価部位及び評価内容を表 5.2－3－3 に示す。

表 5.2－3－3　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
閉止キャップ	圧縮

c. 強度評価方法
強度計算の方法及び結果については，V-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具強度計算書」に示す。

(4) 閉止栓

a. 評価方針

閉止栓の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a) 構造上の特徴,静水圧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。
(b) 荷重及び荷重の組合せは，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。
(c) 評価に用いる寸法については，公称値とする。

b. 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－3－4 に示す。

表 5.2－3－4 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
閉止栓	圧縮

c. 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-1-6 「床ドレンライン浸水防止治具強度計算書」に示す。

5.2.4　貫通部止水処置

(1)　評価方針

貫通部止水処置の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，静水圧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。
b.　荷重及び荷重の組合せは，考慮する荷重のうち，評価される最大荷重を設定する。
c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.2－4 に示す。

表 5.2－4　評価部位及び評価内容

評価部位		評価内容
シール材		せん断
ブーツ		せん断
モルタル		圧縮，せん断
閉止板	鉄板	引張り，せん断，曲げ
	フラップゲート	曲げ
ケーブルトレイ 金属ボックス	金属ボックス	曲げ
	アンカーボルト	引張り，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」に示す。

6. 適用規格

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）
・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 月一部改訂）
・港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版）
・港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，平成 19 年 7 月）
・原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１－1987（(社) 日本電気協会）
・各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定）
・建築基準法・同施行令
・鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 -許容応力度設計法-（(社) 日本建築学会，1999 改定）
・鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（(社) 日本建築学会，2005 改定）
・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（(社) 日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１－1991 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（2005 年版（2007 年追補含む）） ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１－2005／2007（(社) 日本機械学会）
・日本工業規格（ＪＩＳ）
・水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版（公益社団法人 日本水道協会）
・Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition（FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY , 2012）
・機械工学便覧（日本機械学会）

Ⅴ-3-別添 3-1-2　海水貯留堰の強度計算書

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 …… 5
2.4 適用基準 …… 8
3. 強度評価方法 …… 9
3.1 記号の定義 …… 9
3.2 評価対象断面及び部位 …… 11
3.2.1 評価対象断面 …… 11
3.2.2 評価対象部位 …… 13
3.3 荷重及び荷重の組合せ …… 14
3.3.1 荷重 …… 14
3.3.2 荷重の組合せ …… 15
3.4 許容限界 …… 20
3.4.1 鋼管矢板 …… 20
3.4.2 止水ゴム取付部鋼材 …… 21
3.4.3 止水ゴム …… 22
3.5 評価方法 …… 23
3.5.1 津波時 …… 23
3.5.2 重畳時 …… 37
4. 評価条件 …… 44
5. 強度評価結果 …… 56
5.1 津波時 …… 56
5.1.1 鋼管矢板 …… 56
5.1.2 止水ゴム取付部鋼材 …… 57
5.1.3 止水ゴム …… 57
5.2 重畳時 …… 58
5.2.1 1次元有効応力解析結果 …… 58
5.2.2 鋼管矢板 …… 59
5.2.3 止水ゴム取付部鋼材 …… 64
5.2.4 止水ゴム …… 67

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，海水貯留堰が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持す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留まることを確認するものである。

強度計算に当たっては，基準津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

ここで，余震とは，津波と組み合わせる地震のことであり，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，Ｓｄ－１を用いる。（以下，Ｓｄ－１という。）

2.　基本方針

2.1　位置

海水貯留堰の位置図を図 2－1 に示す。

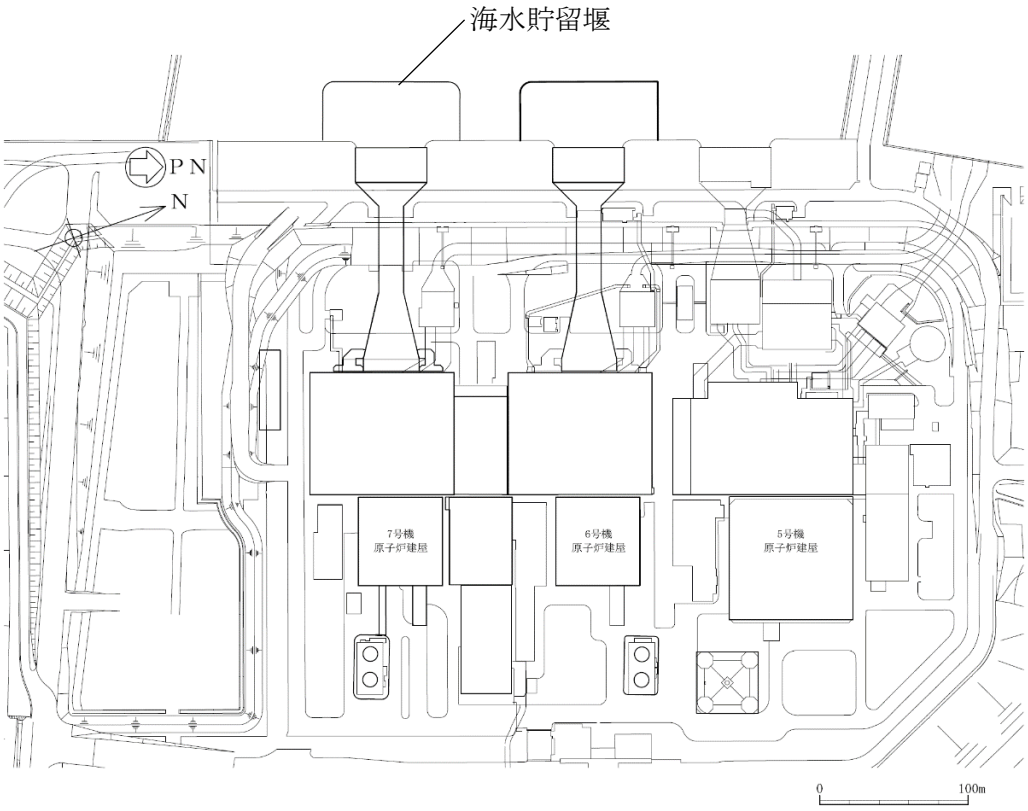


図 2－1(1)　海水貯留堰の位置図（全体平面図）

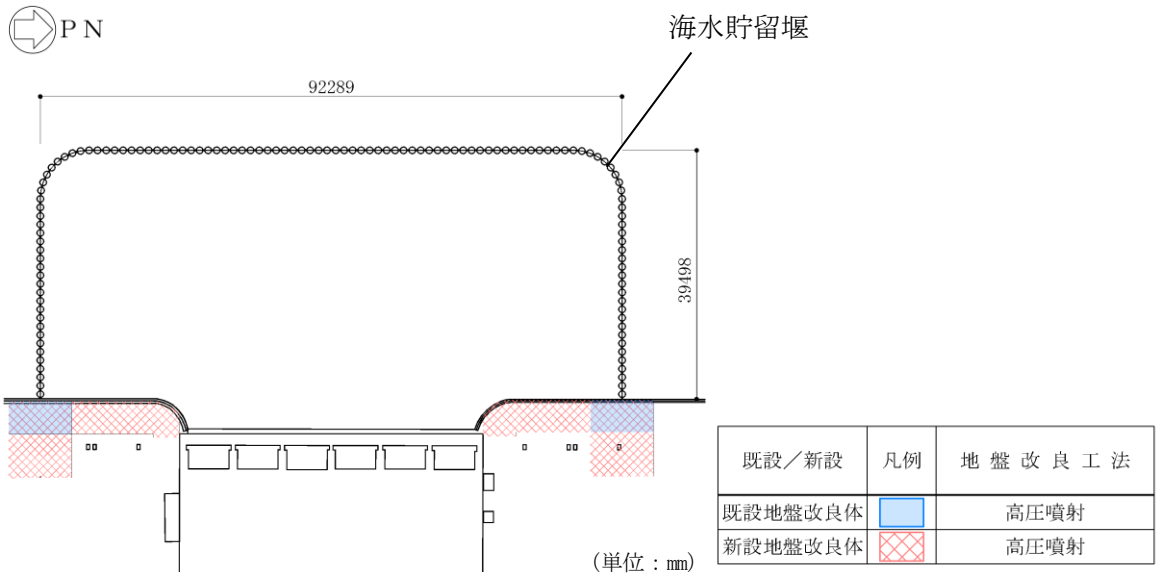


図 2－1(2)　海水貯留堰の位置図（拡大図）

2.2　構造概要

海水貯留堰の平面図を図 2－2 に，標準図を図 2－3 に示す。

海水貯留堰は，その機能及び目的から海水貯留堰本体及び取水護岸接続部に区分され，このうち海水貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手，取水護岸接続部は止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材より構成される。また，海水貯留堰には，海水による腐食防止のため，電気防食が施されている。取水護岸は，海水貯留堰の間接支持構造物であり，前面鋼矢板より構成される。また，前面鋼矢板には，海水による腐食防止のため，電気防食が施されている。

鋼管矢板は，φ1100mm の炭素鋼鋼管であり，全 122 本の鋼管矢板を連続的に打設することにより堰形状を構成する。鋼管矢板は，下端を十分な支持性能を有する古安田層もしくは西山層に支持される。天端は，原子炉補機冷却海水ポンプの取水に必要な水量を確保するため，海底地盤レベル T.M.S.L.－5.5m に対して天端高さを T.M.S.L.－3.5m としており，約 2m の堰高さを有する。海水貯留堰の寸法は，約 92m×約 40m である。

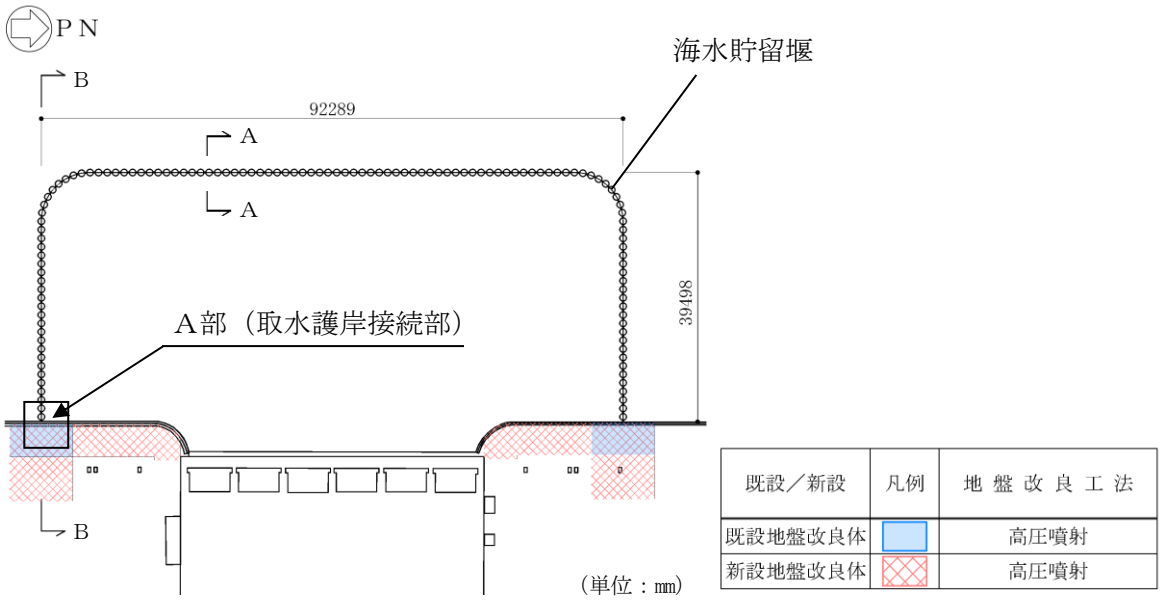


図 2－2(1)　海水貯留堰の平面図

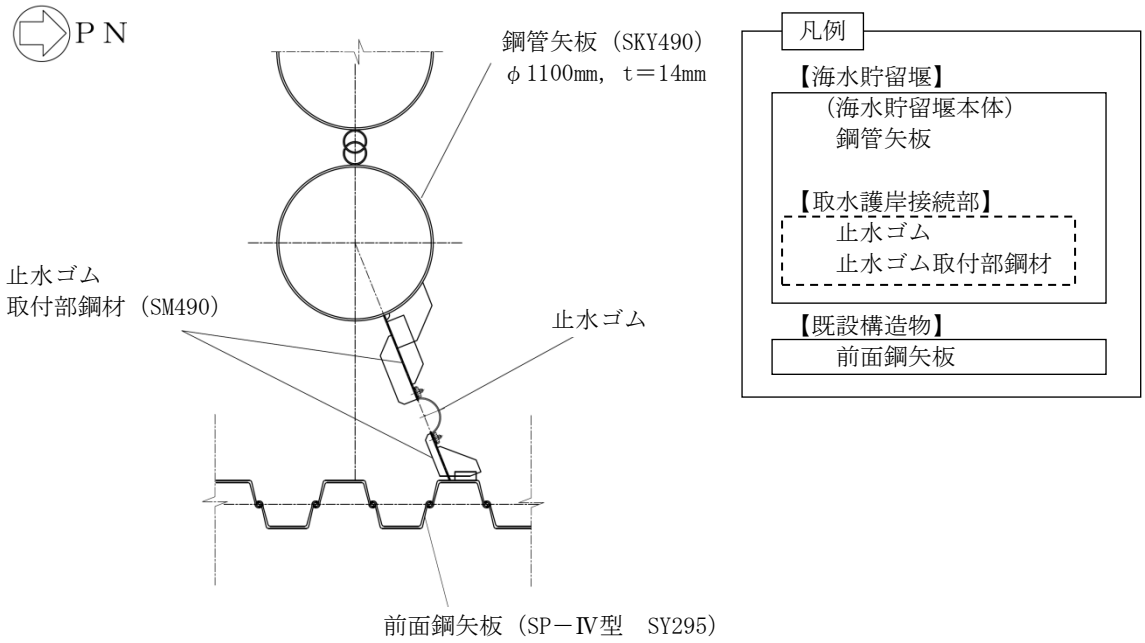
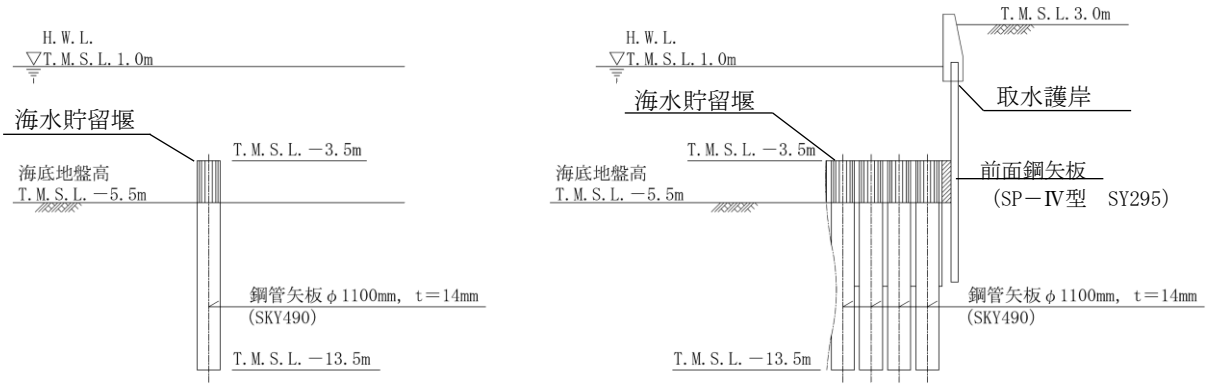
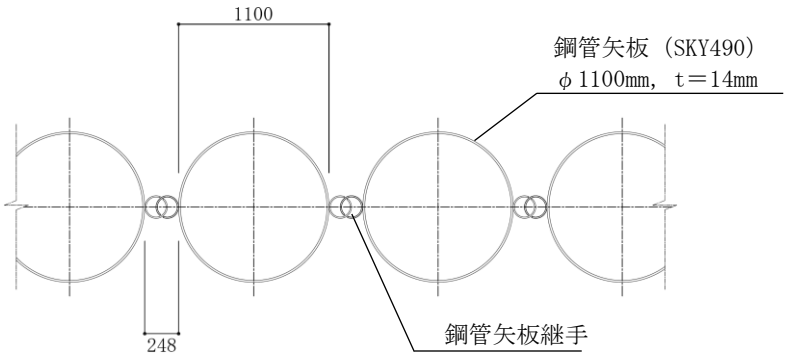


図 2－2(2)　海水貯留堰の平面図（A部拡大）



(a)　A－A断面図　　(b)　B－B断面図



(c)　鋼管矢板継手部平面図

（単位：mm）

図 2－3　海水貯留堰の標準図

2.3　評価方針

海水貯留堰は，設計基準対象施設においては，Ｓクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物に，重大事故等対処施設においては，常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

海水貯留堰の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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.　強度評価結果」より，海水貯留堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰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。

海水貯留堰の強度評価は，設計基準対象施設として表 2－1 の海水貯留堰の評価項目に示すとおり，構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価及び構造物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。

構造部材の健全性評価については，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については，海水貯留堰の鋼管矢板が 1 列に並んでいる構造であることから，津波荷重による接地圧への影響がほぼないこと及び重畳時の余震荷重よりも地震時の地震荷重の方が接地圧への影響が大きいことを考慮して，耐震計算書において実施する。

構造物の変形性評価については，止水ゴムの変形量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価のうち津波時の検討では，2 次元静的フレーム解析における地盤ばねの剛性を考慮した検討を実施し，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。また，重畳時の検討では，1 次元有効応力解析から地盤ばねの剛性を考慮した 2 次元静的フレーム解析を実施し，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認するとともに，地盤物性のばらつきの影響評価を実施する。

海水貯留堰の強度評価フローを図 2－4 に示す。

なお，重畳時の評価における入力地震動は，解放基盤表面で定義される余震（Ｓｄ－1）を 1 次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものを用いる。

表 2－1　海水貯留堰の評価項目

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	構造部材の健全性	鋼管矢板	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	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	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	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	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

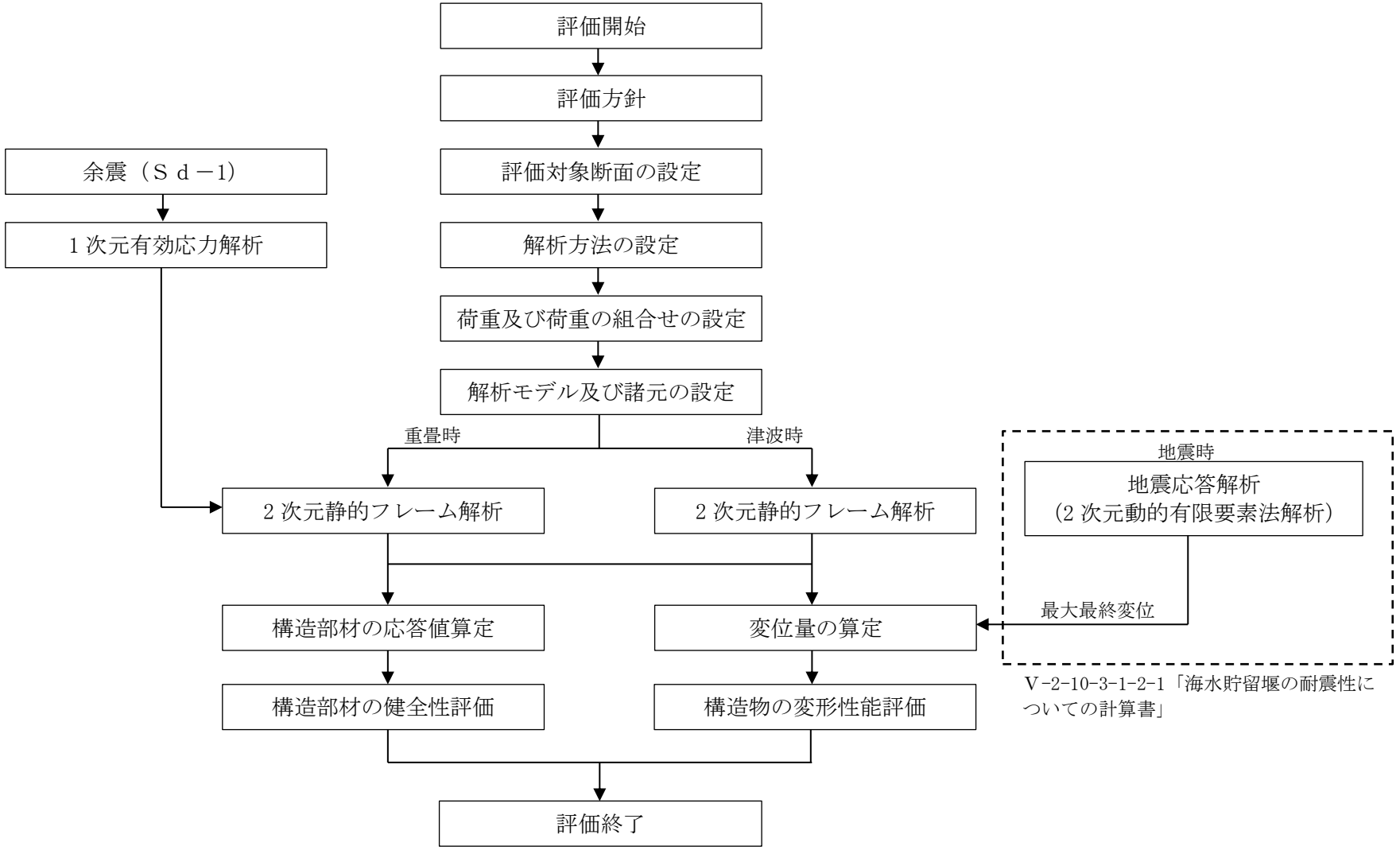


図 2－4　海水貯留堰の強度評価フロー

2.4　適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　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）

(2)　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）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会）

(4)　港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007版）

(5)　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月一部改訂）

(6)　港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009年版）

(7)　Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition(FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY , 2012)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

海水貯留堰の強度評価に用いる記号を表3－1に示す。

表3－1(1) 強度評価に用いる記号（1/2）

記号	定義	単位
g	重力加速度	m/s^2
k_h	水平震度	－
k_v	鉛直震度	－
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の天端面からの津波高さ	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	m
P_c	衝突荷重	kN
P_d	動水圧	kN/m^2
P_t	遡上津波荷重	kN/m^2
P_{hy}	津波荷重（静水圧）	kN/m^2
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	m/s
W_c	漂流物の重量	kN
y	動水圧の作用高さ	m
γ_w	海水の単位体積重量	kN/m^3
ρ	海水の密度	kg/m^3
G	固定荷重	kN
KS_d	余震荷重	kN
σ	曲げモーメント及び軸力による応力	N/mm^2
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	N/mm^2
M	最大曲げモーメント	kN･m

表 3－1(2)　強度評価に用いる記号（2/2）

記号	定義	単位
Z	断面係数	m^3
N	軸力	kN
A	有効断面積	m^2
τ	せん断応力	N/mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	N/mm^2
S	せん断力	kN
κ	せん断応力の分布係数	－

3.2　評価対象断面及び部位

3.2.1　評価対象断面

海水貯留堰は，取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり，取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは 8m であり，海水貯留堰は西山層もしくは古安田層中の粘性土に直接設置される。

海水貯留堰の評価対象断面位置を図 3－1 に示す。構造物の強度計算における評価対象断面は図 3－1 のＡ－Ａ断面（断面①）及びＢ－Ｂ断面（断面②）とする。また，評価対象断面図を図 3－2 に示す。

断面①：海水貯留堰の北側短手方向直線部の西側端部（岩盤上面標高が最も高い断面）

断面②：海水貯留堰の南側短手方向直線部の東側端部（岩盤上面標高が最も低い断面）

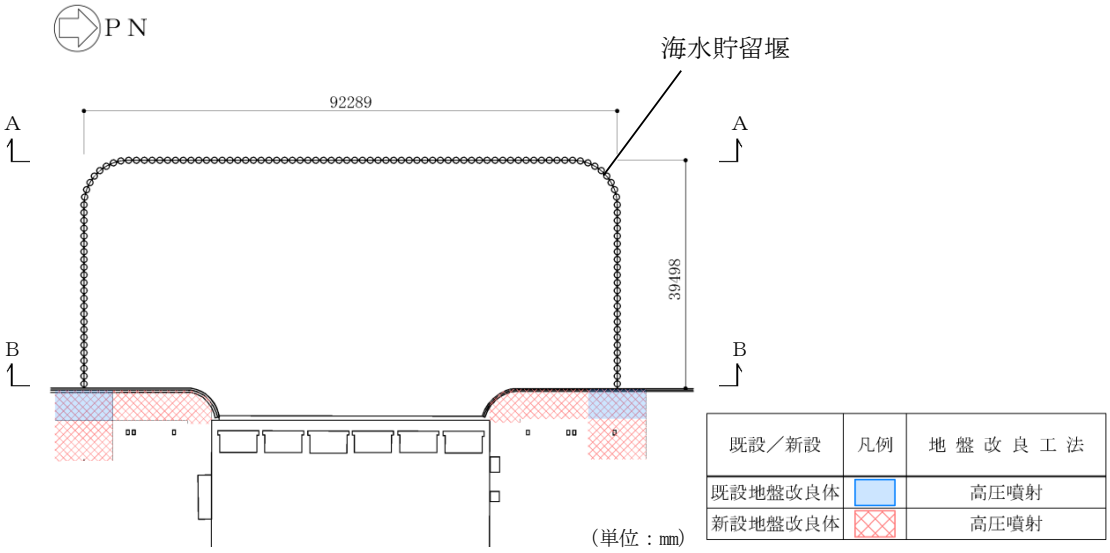
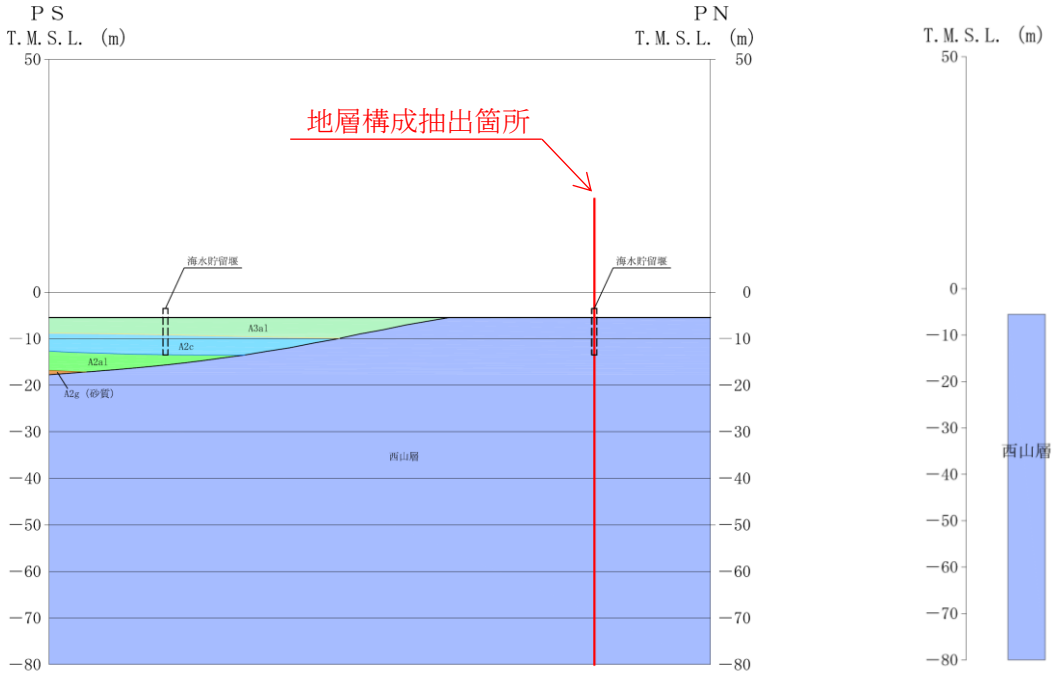
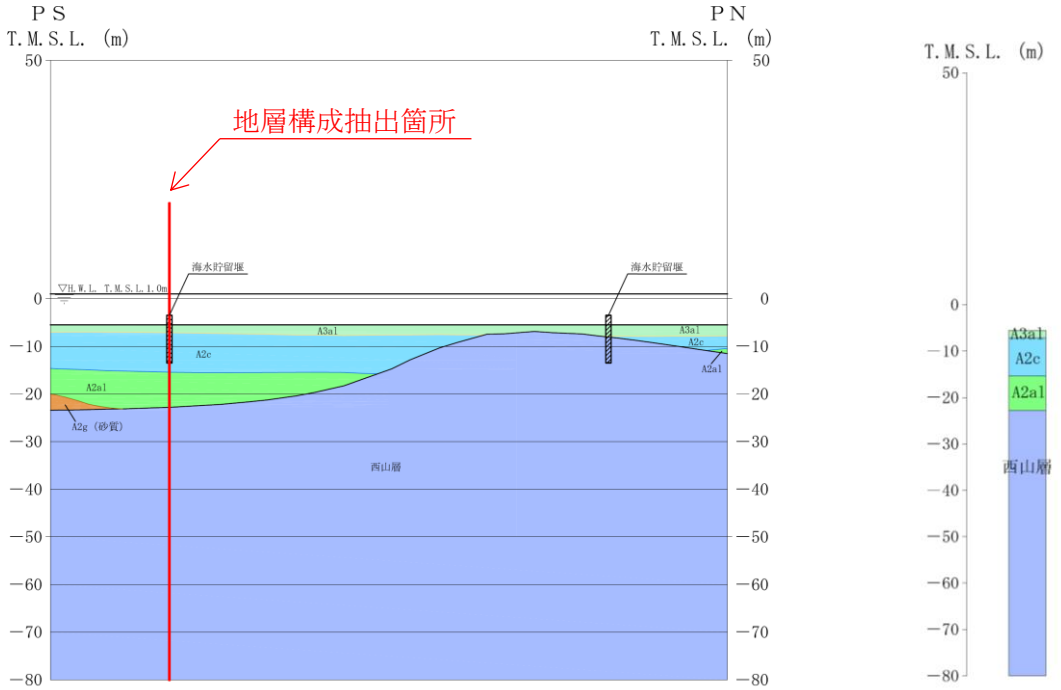


図 3－1　海水貯留堰の平面図



(a) 地質断面図　　(b) 地震応答解析モデル

図 3－2(1) 評価対象断面図（A－A断面（断面①））



(a) 地質断面図　　(b) 地震応答解析モデル

図 3－2(2) 評価対象断面図（B－B断面（断面②））

3.2.2　評価対象部位

評価対象部位は，海水貯留堰の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1)　鋼管矢板

構造部材の健全性が要求される鋼管矢板を評価対象部位とする。

(2)　止水ゴム取付部鋼材

海水貯留堰の取水護岸接続部に設置する止水ゴム取付部鋼材を評価対象部位とする。

(3)　止水ゴム

海水貯留堰の取水護岸接続部に設置する止水ゴムを評価対象部位とする。

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，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針　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

海水貯留堰の強度評価において，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，構造物の自重を考慮する。

(2)　遡上津波荷重（P_t）

遡上津波荷重として，保守的に津波による最大荷重（越流直前の津波波力）を適用する。

(3)　津波荷重（静水圧）（P_{hy}）

津波荷重（静水圧）として，津波により越流している状態で余震が発生することを想定し，津波荷重は平面 2 次元モデルによる津波シミュレーション解析により得られる最大内外水位差に応じた静水圧を算定し，越流時の津波波力（静水圧差）を適用する。

(4)　衝突荷重（P_c）

衝突荷重として，表 3－2 に示す軽自動車の FEMA（2012）で示された算定式による衝突荷重を考慮する。

表 3－2　衝突荷重

	流速（m/s）	衝突荷重（kN）
基準津波時	6	499

(5)　余震荷重（KS_d）

余震荷重として，構造物中心位置で実施した 1 次元有効応力解析の地表面最大加速度から水平震度及び鉛直震度を算定し，躯体慣性力や動水圧を考慮する。

なお，動水圧については，余震（Ｓｄ－１）を入力地震動とした，1 次元有効応力解析の地表面加速度に基づき設定した水平震度及び Westergaard の式を用いて設定する。

3.3.2　荷重の組合せ

海水貯留堰の強度評価において，考慮する荷重を以下に示す。

(1)　鋼管矢板

鋼管矢板の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，荷重の組合せを表 3－3 に，荷重作用図を図 3－3 から図 3－5 に示す。

なお，重畳時における津波荷重と余震荷重の作用方向に関して，海水貯留堰は地盤深度方向に長尺の鋼管矢板で構成されているため，津波荷重により鋼管矢板に発生する曲げモーメントによる影響が支配的であることから，津波荷重と余震荷重は同じ方向に作用させることが最も厳しい条件となる。

慣性力及び動水圧については，「3.5.2　重畳時　(1) 鋼管矢板　b.　2 次元静的フレーム解析」に示す解析ケース及び「3.5.2　重畳時　(1) 鋼管矢板　c.　1 次元有効応力解析　(c) 入力地震動」に示す余震（Ｓｄ－１）を考慮した 1 次元有効応力解析から得られる最大加速度より，断面①は水平震度 k_h＝0.42（③地盤物性のばらつき（-1σ）を考慮した解析ケース），断面②は水平震度 k_h＝0.52（③地盤物性のばらつき（-1σ）を考慮した解析ケース）を用いて算出する。

表 3－3　荷重の組合せ（鋼管矢板）

区分		荷重の組合せ
津波時		$G+P_t+P_c$
重畳時	重畳時 1	$G+P_t+KS_d$
	重畳時 2	$G+P_{hy}+KS_d+P_c$

G　　：固定荷重

P_t　　：遡上津波荷重

P_{hy}　：津波荷重（静水圧）

P_c　　：衝突荷重

KS_d　：余震荷重

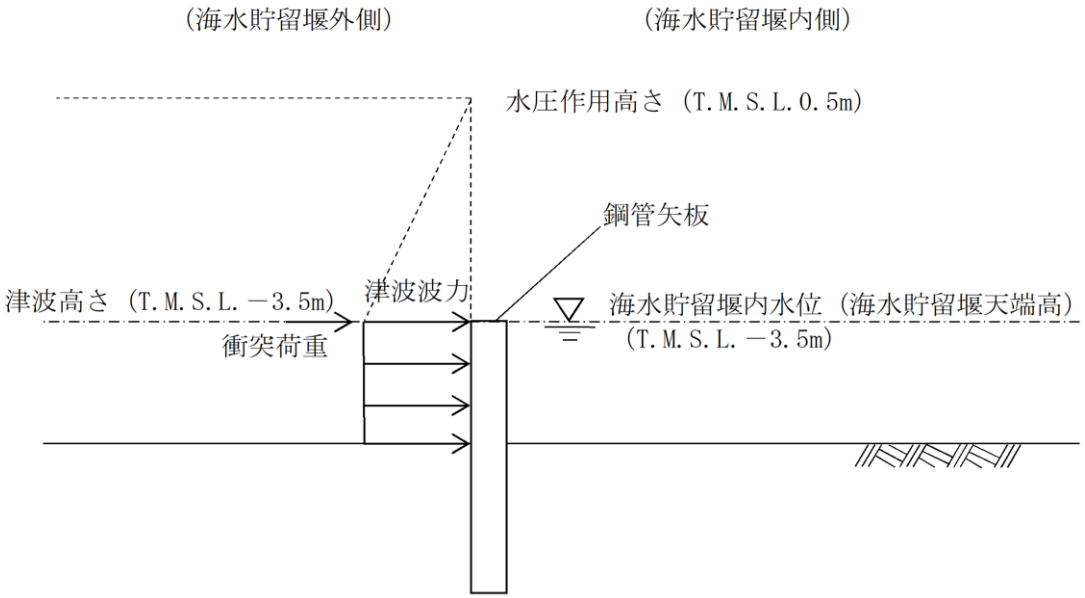


図 3－3　荷重作用図（鋼管矢板　津波時）

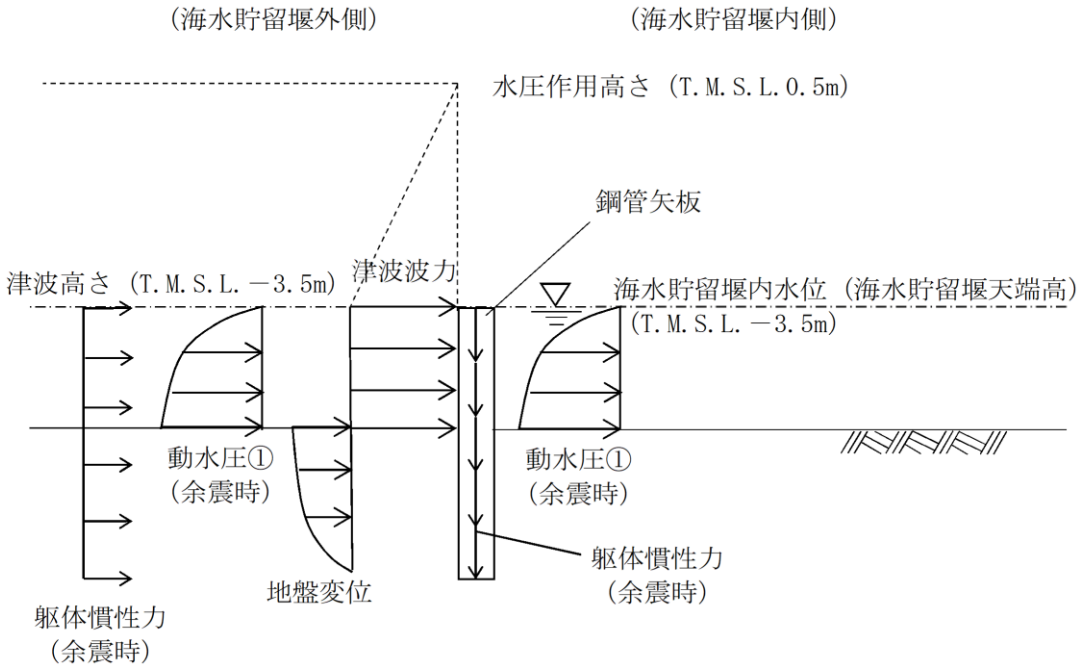


図 3－4　荷重作用図（鋼管矢板　重畳時 1）

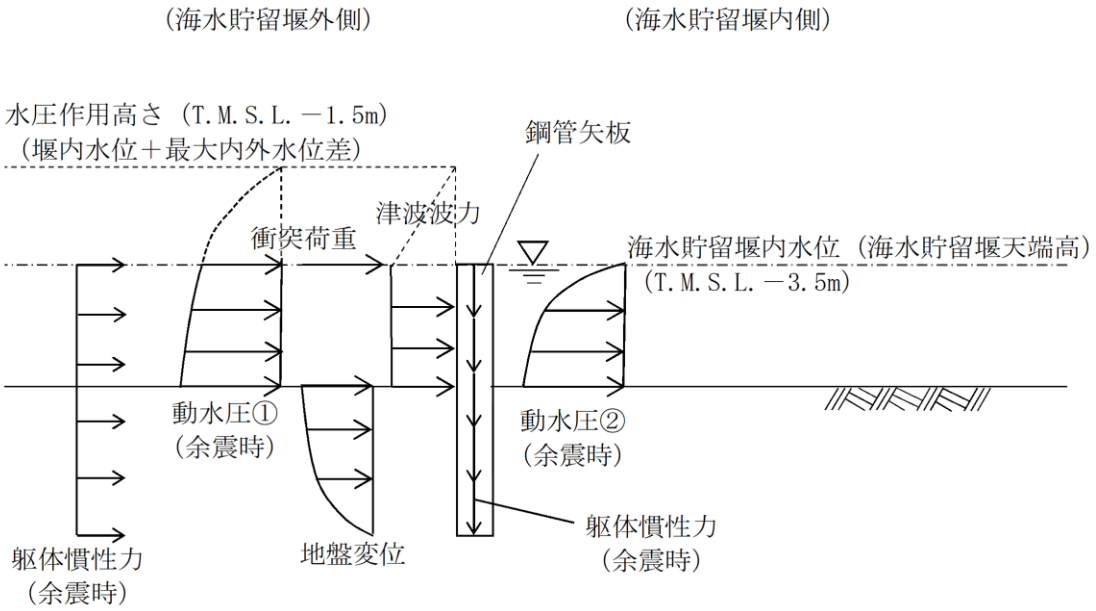


図 3－5　荷重作用図（鋼管矢板　重畳時 2）

(2)　止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の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，荷重の組合せを表 3－4 に，荷重作用図を図 3－6 から図 3－8 に示す。

止水ゴムからの作用荷重を保守的に評価するために，止水ゴム作用力を作用荷重として考慮する。

慣性力及び動水圧については，「3.5.2　重畳時　(1) 鋼管矢板　b.　2 次元静的フレーム解析」に示す解析ケース及び「3.5.2　重畳時　(1) 鋼管矢板　c.　1 次元有効応力解析　(c) 入力地震動」に示す余震（Ｓｄ－１）を考慮した 1 次元有効応力解析から得られる最大加速度より算出した，断面①の水平震度 k_h＝0.42 と断面②の水平震度 k_h＝0.52 を比較して，水平震度が大きい断面②（k_h＝0.52）を強度評価に用いることとし，作用荷重も水平震度 k_h＝0.52 を用いて算出する。

表 3－4　荷重の組合せ（止水ゴム取付部鋼材）

区分		荷重の組合せ
津波時		Ｇ＋P_t
重畳時	重畳時 1	Ｇ＋P_t＋ＫＳ$_d$
	重畳時 2	Ｇ＋P_{hy}＋ＫＳ$_d$

Ｇ　　：固定荷重

P_t　：遡上津波荷重

P_{hy}　：津波荷重（静水圧）

ＫＳ$_d$：余震荷重

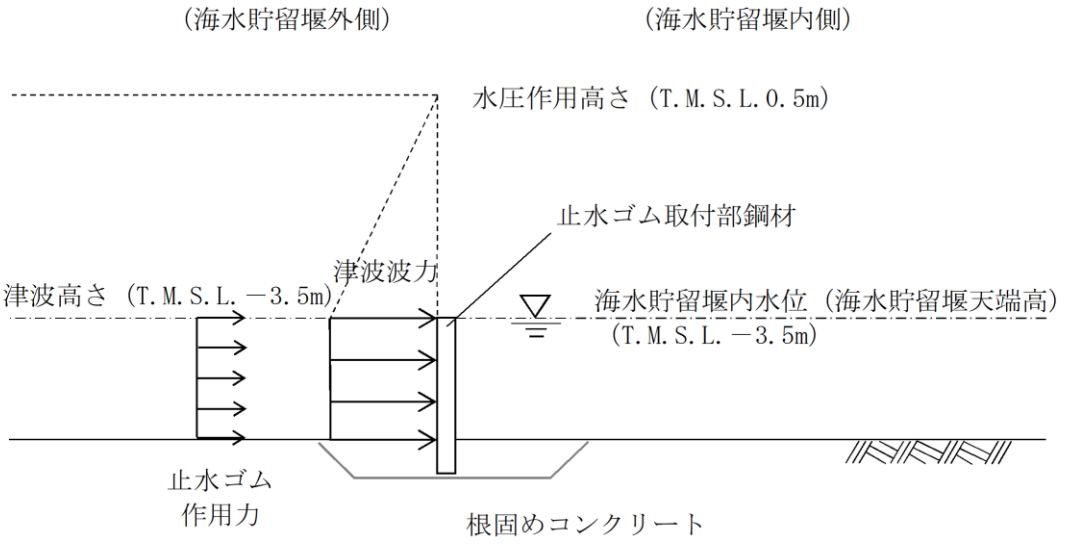


図 3－6　荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材　津波時）

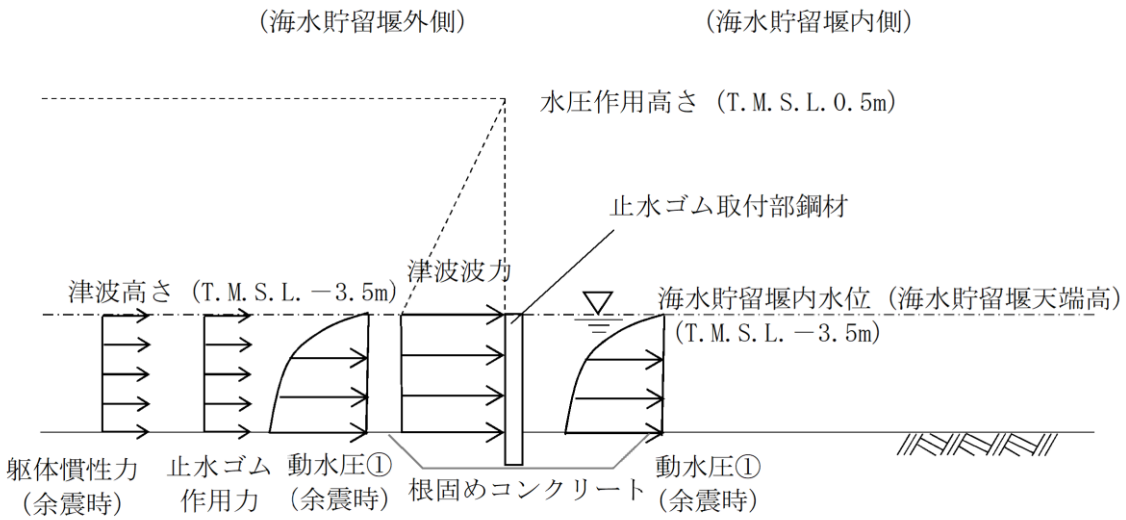


図 3－7　荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材　重畳時 1）

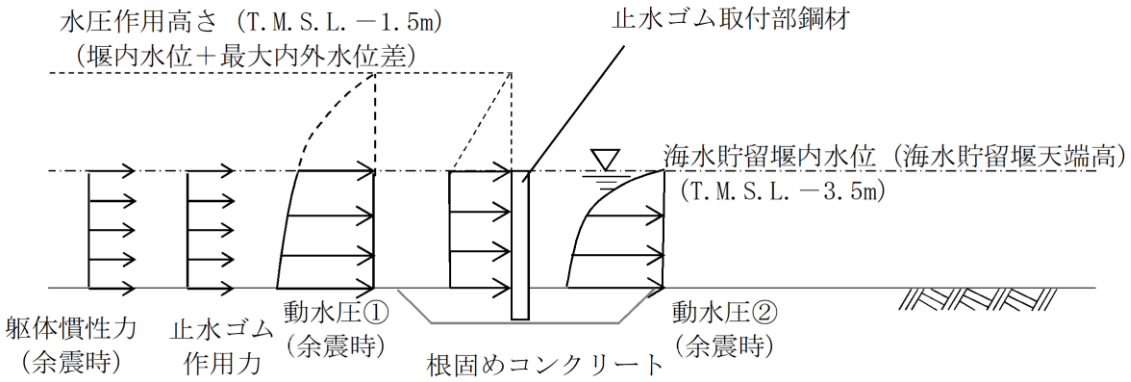


図 3－8　荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材　重畳時 2）

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，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.4.1　鋼管矢板

鋼管矢板の許容限界は，「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 3－5 に示す短期許容応力度とする。

表 3－5　鋼管矢板の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
鋼管矢板 ϕ 1100	SKY490	短期許容曲げ応力度　σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度　τ_a	157

3.4.2　止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の許容限界は，「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 3－6 に示す短期許容応力度とする。

また，止水ゴム取付部鋼材（SM490）は，鋼管矢板及び前面鋼矢板に水中溶接にて設置する。水中溶接の評価に用いる許容限界は，「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)」，「鋼矢板　設計から施工まで（鋼管杭協会，平成 12 年 3 月)」及び「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版)」に基づき，表 3－7 に示す短期許容応力度とする。

表 3－6　止水ゴム取付部鋼材の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
止水ゴム取付部鋼材	SM490	短期許容曲げ応力度　σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度　τ_a	157

表 3－7(1)　止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：鋼管矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
止水ゴム取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材（SM490）／鋼管矢板（SKY490）	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a （水中溶接部）	110

表 3－7(2)　止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：前面鋼矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
止水ゴム取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材（SM490）／前面鋼矢板（SY295）	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a （水中溶接部）	105

3.4.3　止水ゴム

止水ゴムの変形量の許容限界を表 3－8 に示す。止水ゴムの変形量の許容限界は，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。

表 3－8　止水ゴムの変形量の許容限界

部位	項目	許容限界	
止水ゴム	変形量	δ_x	9.5cm以上*
		δ_y	11.3cm以上*
		δ_z	12.2cm以上*

注記＊：

3.5　評価方法

評価方法は，「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，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき設定する。

3.5.1　津波時

(1)　鋼管矢板

a.　解析概要

津波時に発生する応答値は，固定荷重に加え，基準津波による津波荷重を作用させるとともに，衝突荷重を海水貯留堰に作用させた 2 次元静的フレーム解析より算定する。

2 次元静的フレーム解析には，解析コード「ＦＲＥＭＩＮＧ」を使用する。なお，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b.　2 次元静的フレーム解析

2 次元静的フレーム解析では，海水貯留堰を構成する鋼管矢板に継手間隔を加えた長さを鋼管矢板 1 本あたりの分担幅とし，鋼管矢板の断面積や断面二次モーメント等を単位奥行きあたりに換算した物性値を用いる。鋼管矢板を線形はり要素，地盤を線形ばね要素でモデル化する。津波時の検討で用いる解析モデルを図 3－9 に示す。

c.　解析ケース

津波時の地盤ばねは，地盤物性のばらつきを網羅的に考慮するために，地盤剛性のばらつき及び地盤の変形係数の違いの影響を考慮した 6 ケースについて，水平方向の地盤反力係数を算定し，地盤反力係数が小さくなるケースを決定ケースとし，地盤ばねを設定する。初期せん断弾性係数から算定した地盤ばねを地盤ばね 1，静弾性係数から算定した地盤ばねを地盤ばね 2 とする。解析ケースを表 3－9 に示す。

地盤剛性のばらつきは，各地層の PS 検層の結果から得られるせん断波速度の標準偏差σに基づいて設定する。

地盤ばねにおける水平方向の地盤反力係数は，「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）」に従って算出する。

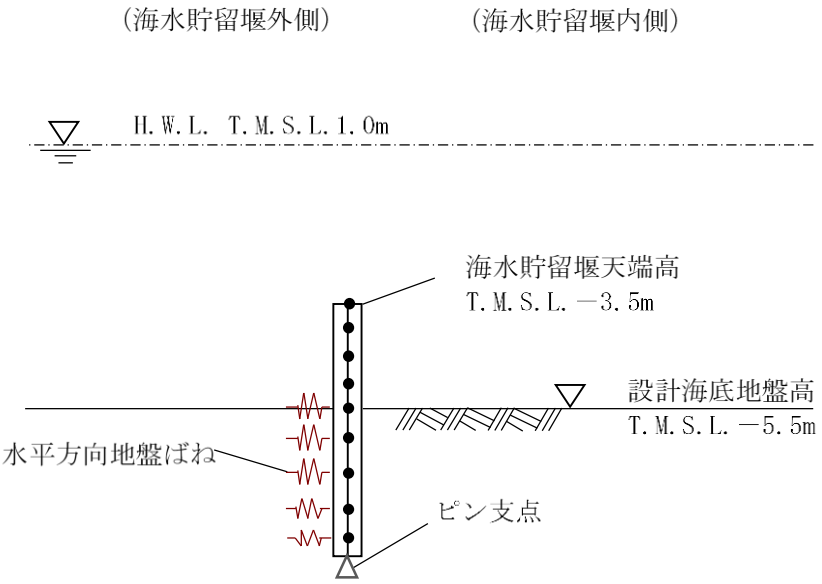


図 3－9　解析モデル

表 3－9　解析ケース（津波時）

ケース名	地盤反力係数		決定ケース	備考
	変形係数の算定方法	地盤剛性のばらつき		
地盤ばね 1	初期せん断弾性係数 G_0	平均値	地盤剛性（－1σ）	地盤抵抗のばらつきを考慮
		＋1σ		
		－1σ		
地盤ばね 2	静弾性係数 E_0	平均値	地盤剛性（－1σ）	
		＋1σ		
		－1σ		

c. 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3－10 に，材料の物性値を表 3－11 に示す。

表 3－10　使用材料

諸元		
海水貯留堰	鋼管矢板	φ1100 mm，t＝14 mm* （SKY490）

注記＊ ：外側 1 mm の腐食代を考慮する。

表 3－11　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
鋼管矢板	77.0	2.00×10^5	0.3

d. 地盤の物性値

地盤の物性値は，Ⅴ-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。

e. 評価方法

鋼管矢板の強度評価は，鋼管矢板の曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ	：	鋼管矢板の曲げモーメント及び軸力より算定した応力（N/mm^2）
M	：	最大曲げモーメント（N･mm）
Z	：	断面係数（mm^3）
N	：	軸力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \cdot \frac{S}{A}$$

ここで，

τ	：	鋼管矢板のせん断力より算定したせん断応力（N/mm^2）
S	：	せん断力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）
κ	：	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合 κ＝2.0）

(2)　止水ゴム取付部鋼材

a.　構造概要

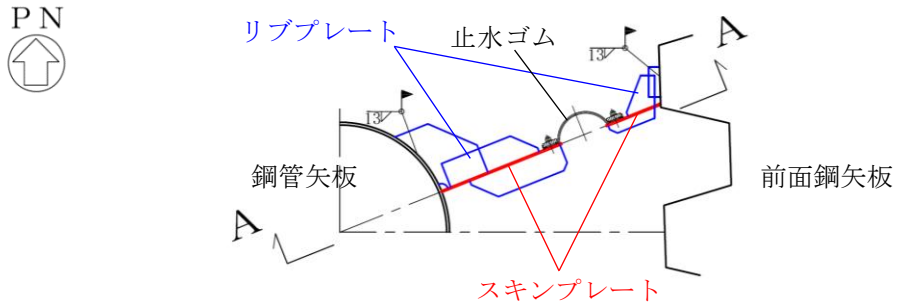
止水ゴム取付部鋼材の照査対象部材は，スキンプレート，リブプレート及びリブプレートと前面鋼矢板又は鋼管矢板との接合部とする。

止水ゴム取付部鋼材に関する使用材料を表 3－12 に，止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図を図 3－10 にそれぞれ示す。

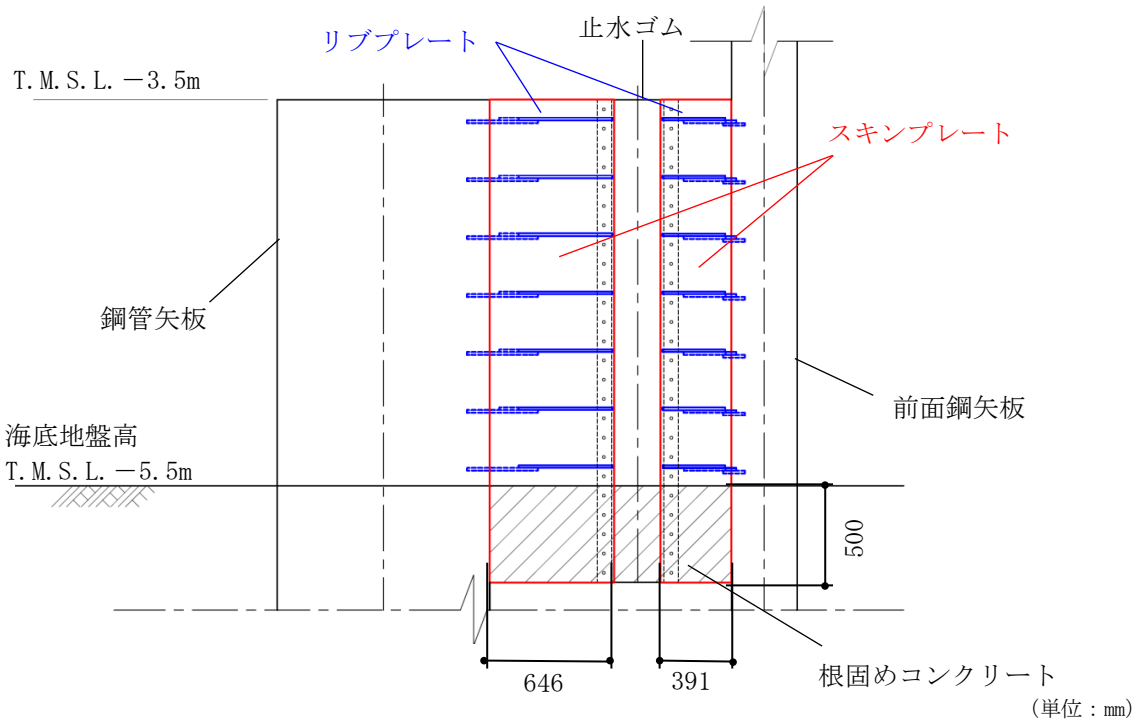
表 3－12　使用材料

部位	材料	諸元
止水ゴム取付部鋼材	スキンプレート	t＝9mm＊（SM490）
	リブプレート	t＝14mm＊（SM490）

注記＊：断面照査においては海水と接する面に対して 1mm の腐食代を考慮する。

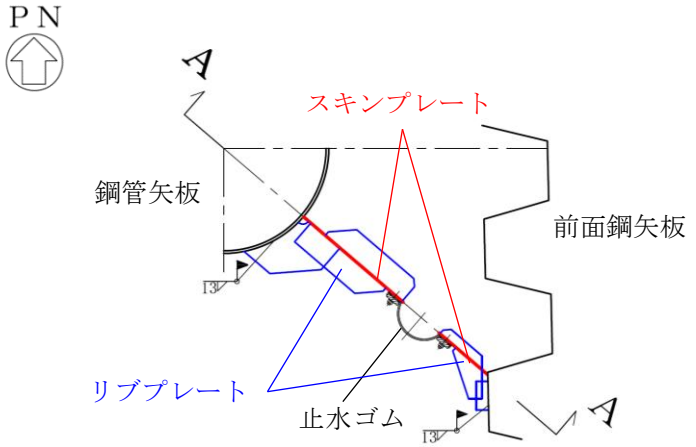


(a) 平面図

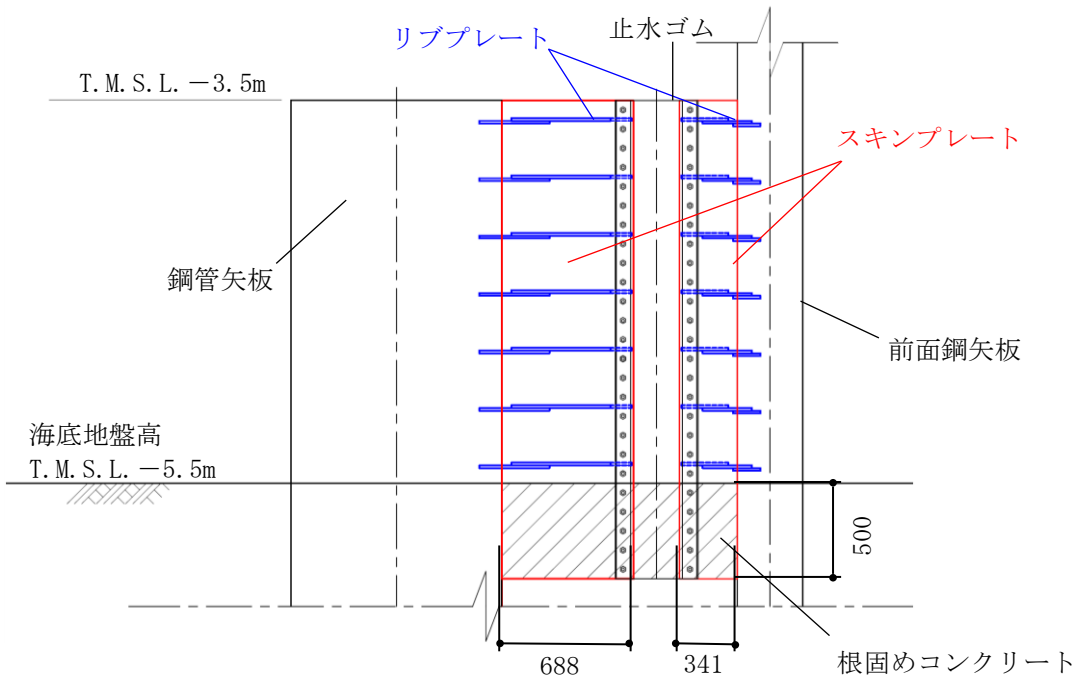


(b) Ａ－Ａ断面図

図 3－10(1)　止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図（南側）



(a) 平面図



(b) A－A断面図

図 3－10(2)　止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図（北側）

b.　解析概要

津波時に発生する応答値は，ゴム作用力及び基準津波による津波荷重を作用させて構造物を線形はり構造として解析を行う。

c.　止水ゴム取付部鋼材の解析方法

(a)　スキンプレート

スキンプレートは，取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰鋼管矢板側に設置する。スキンプレートの照査については，設置間隔 300㎜ のリブプレートで支持された両端固定梁として行う。

イ．　モデル化

スキンプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3－11 に示す。また，照査断面を図 3－12 に示す。

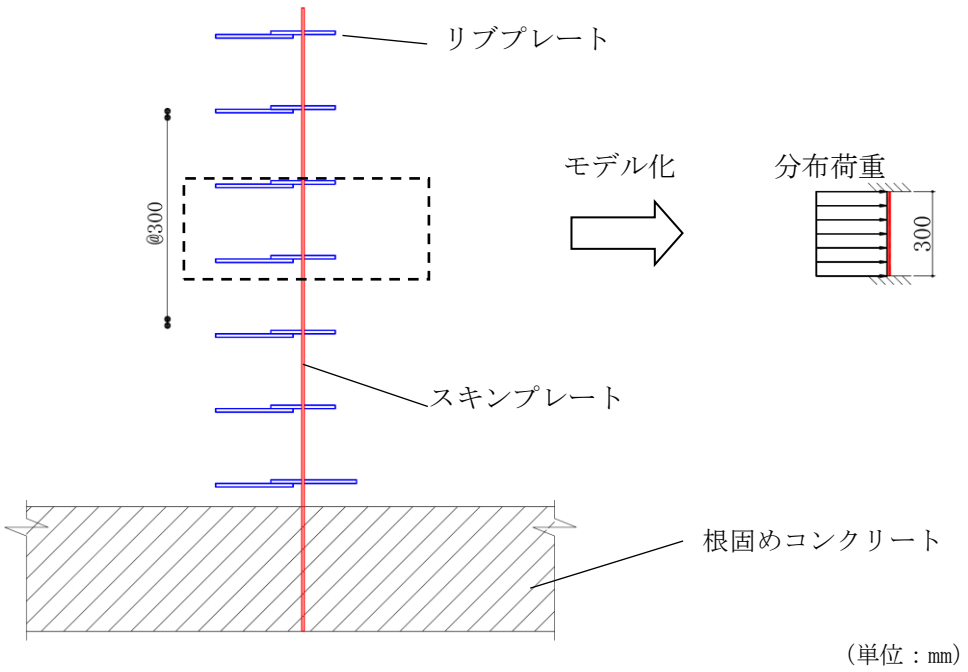


図 3－11　照査モデル図（スキンプレート）



注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3－12　照査断面（スキンプレート）

ロ．　断面照査方法

スキンプレートに発生する断面力算出式を以下に記す。

$$M_{max} = \frac{q \cdot l \cdot L^{2}}{12}$$

$$S_{max} = \frac{q \cdot l \cdot L}{2}$$

ここに，

M_{max}　：最大発生曲げモーメント（kN・m）

q　：分布荷重（kN/m^2）

L　：分布荷重載荷幅＝リブプレート間隔（m）

l　：スキンプレート奥行き（m）

S_{max}　：最大発生せん断力（kN）

(b) リブプレート

リブプレートは，取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰鋼管矢板側に設置する。リブプレートの照査については，止水ゴム取付部鋼材のリブプレート断面変化箇所に対して行う。

イ． モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3－13 に示す。また，照査断面を図 3－14 に示す。

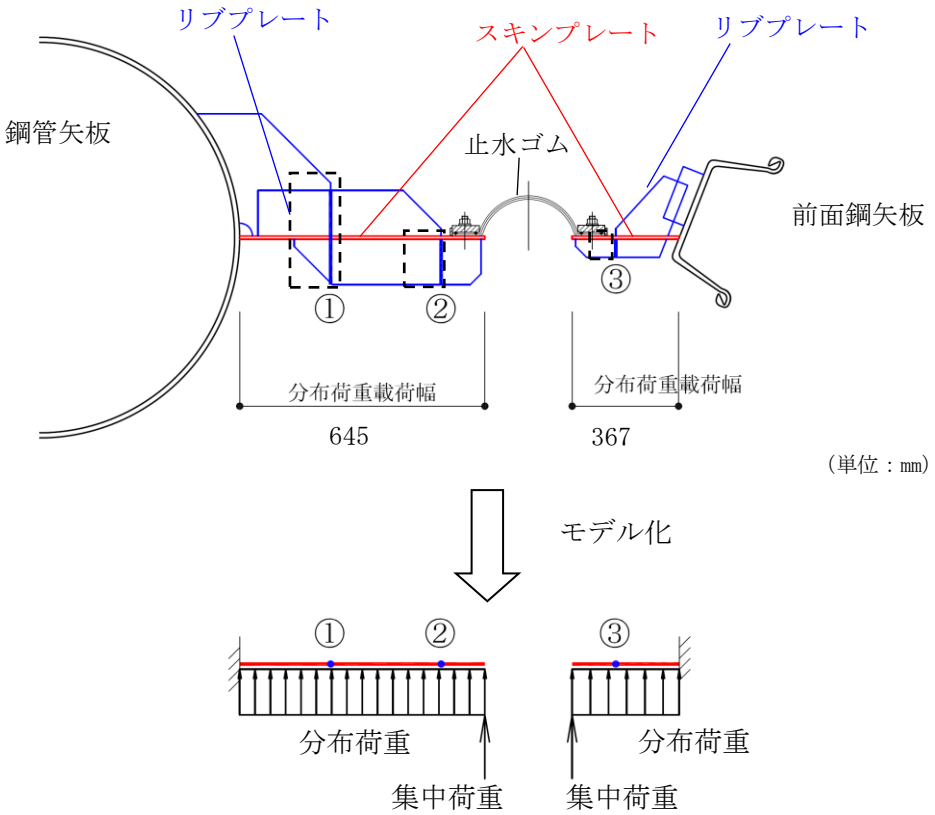
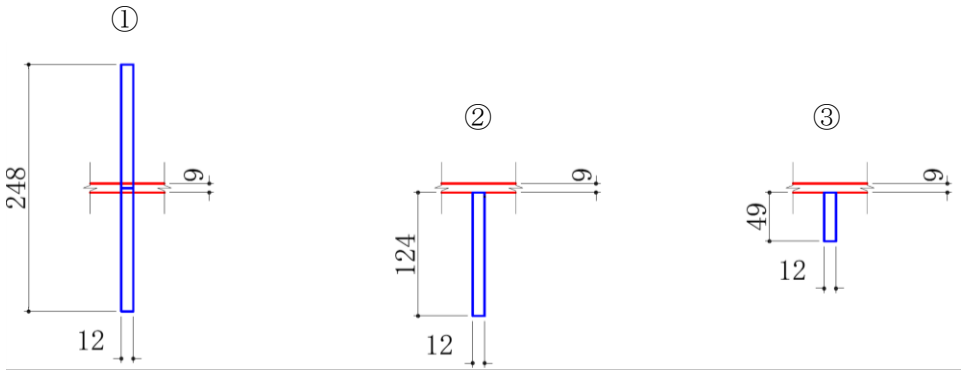


図 3－13　照査モデル図（リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板）



（単位：mm）

注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3－14　照査断面（リブプレート）

ロ．　断面照査方法

リブプレートに発生する断面力算出式を以下に記す。

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^{2} \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$

$$S_{max} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

ここに，

M_{max}　：最大発生曲げモーメント（kN･m）

q　：分布荷重（kN/m^2）

L　：分布荷重載荷幅＝検討箇所でのリブプレート張り出し長（m）

l　：リブプレート間隔（m）

P　：集中荷重（kN/m）

S_{max}　：最大発生せん断力（kN）

(c)　鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

止水ゴム取付部鋼材では，リブプレート部材と取水護岸前面鋼矢板及び海水貯留堰鋼管矢板との接合部において発生荷重を負担している。接合部の照査は，リブプレートと前面鋼矢板及びリブプレートと鋼管矢板との接合部に対して行う。

イ．　モデル化

鋼矢板及び鋼管矢板との接合部に作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3－15 に示す。また，照査断面を図 3－16 に示す。

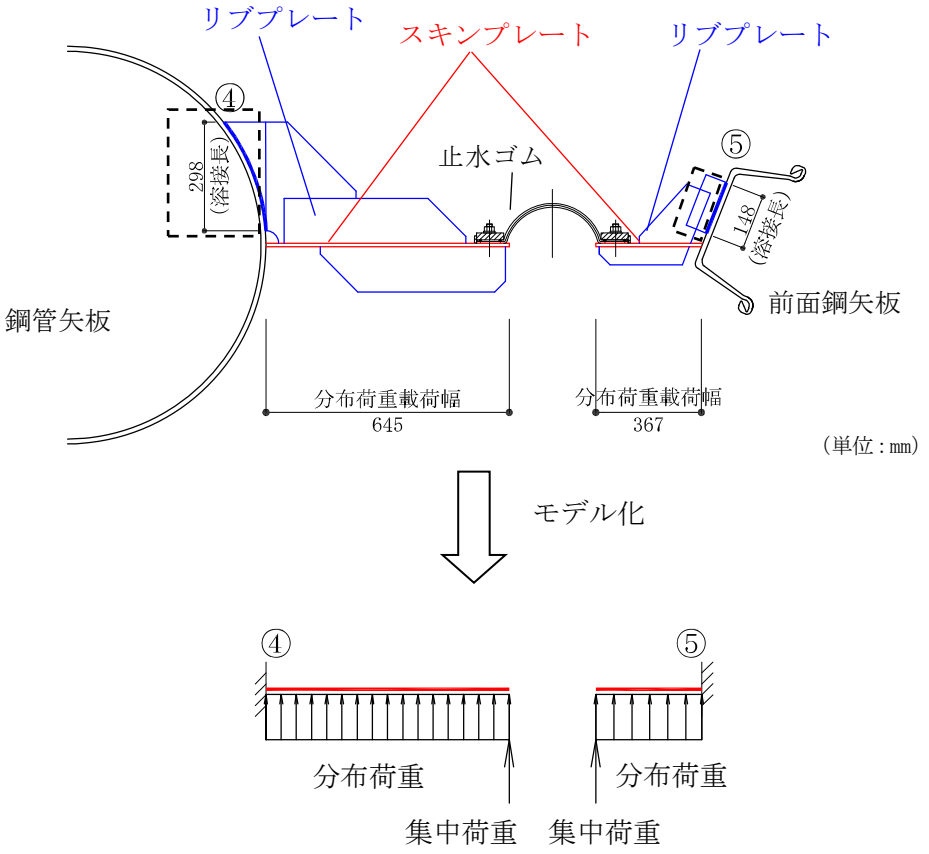
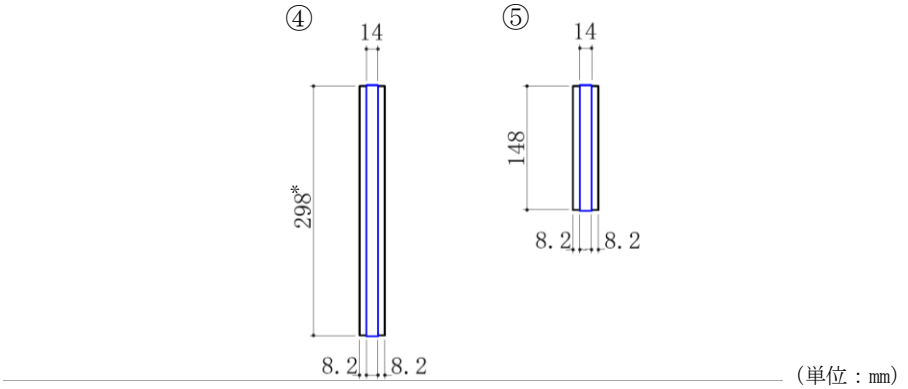


図 3－15　照査モデル図（前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部）



注記＊：④部は鋼管矢板の外面形状に沿って溶接しているが，保守的にプレート幅を溶接長さとして扱う。

図 3－16　照査断面（前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部）

ロ．　断面照査方法

リブプレートと前面鋼矢板の接合部及びリブプレートと鋼管矢板の接合部に発生する断面力算定式を以下に記す。また，リブプレートと前面鋼矢板の接合部は，発生せん断力に対して角度を有していることから，図 3－17 に示すように角度補正を行う。

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^{2} \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$

$$S_{max} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

リブプレートと前面鋼矢板接合部

$$S = S_{max} \cdot \cos\theta$$

$$N = S_{max} \cdot \sin\theta$$

ここに，

M_{max}	：	最大発生曲げモーメント（kN･m）
q	：	分布荷重（kN/m^2）
L	：	分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長（m）
l	：	リブプレート間隔（m）
P	：	集中荷重（kN/m）
S_{max}	：	最大発生せん断力（kN）
S	：	最大発生せん断力に対する分力（せん断力）（kN）
N	：	最大発生せん断力に対する分力（引張力）（kN）

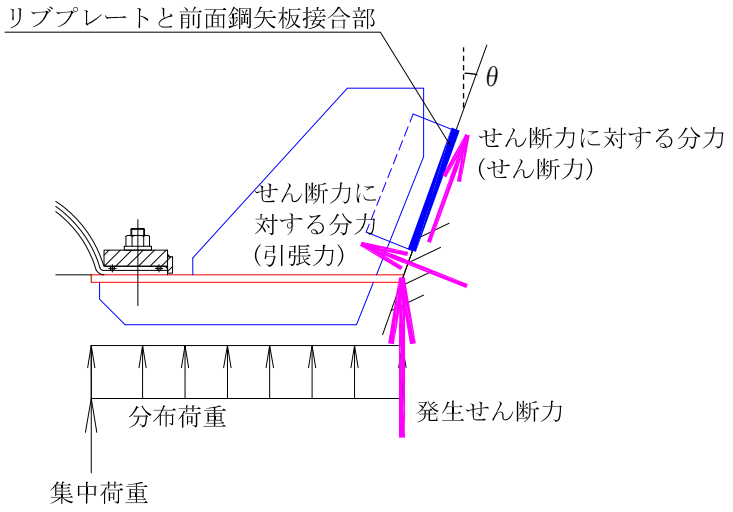


図 3－17　リブプレートと前面鋼矢板接合部におけるせん断力の補正について

d. 評価方法

止水ゴム取付部鋼材の強度評価は，曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ	：	鋼管矢板の曲げモーメント及び軸力より算定した応力（N/mm^2）
M	：	最大曲げモーメント（N･mm）
Z	：	断面係数（mm^3）
N	：	軸力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \cdot \frac{S}{A}$$

ここで，

τ	：	鋼管矢板のせん断力より算定したせん断応力（N/mm^2）
S	：	せん断力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）
κ	：	せん断応力の分布係数（κ＝1.5）

(3)　止水ゴム

a.　止水ゴムの発生変形量の考え方

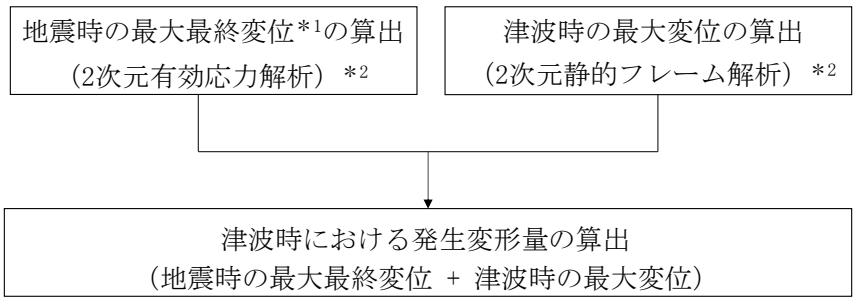
止水ゴムの変形性評価に用いる津波時の止水ゴムの発生変形量は，図 3－18 の止水ゴムの発生変形量算出フローに示すとおり，地震後に津波が襲来することを想定し，地震時における最大最終変位に，津波時の最大変位を加えることで，津波襲来時及び漂流物衝突時に発生する変位量を評価する。

(a)　地震時の最大最終変位

地震時の最大最終変位は，Ⅴ-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」に示す解析ケースのうち，地震時の 2 次元有効応力解析における各方向（δx，δy，δz）の最終時刻の変位が最大となる解析ケースの値を示す。

(b)　津波時の最大変位

津波時の止水ゴムの変位量は，津波荷重及び衝突荷重を用いた 2 次元静的フレーム解析で算出する。津波時の最大変位は，津波時のうち，津波時の 2 次元静的フレーム解析における各方向（δ_x，δ_y，δ_z）の変位が最大となる解析ケースの値を示す。



注記＊1 ：最大最終変位とは，地震時の2次元有効応力解析における最終時刻の変位が最大となる解析ケースの値である。
（参照：Ⅴ-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」）

＊2 ：（ ）内は，変位の算出に用いる解析手法を示している。

図 3－18　止水ゴムの発生変形量算出フロー（津波時）

b.　評価方法

止水ゴムの変形性評価は，津波時の止水ゴムの発生変形量が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

3.5.2　重畳時

(1)　鋼管矢板

a.　解析概要

鋼管矢板で津波荷重及び余震荷重に抵抗するため，鋼管矢板をモデル化した 2 次元静的フレーム解析を行い，重畳時の鋼管矢板の構造健全性を確認する。2 次元静的フレーム解析で考慮する余震（Ｓｄ－１）に伴う地盤変位や静的震度は，構造物中心位置の地盤モデルに対する 1 次元有効応力解析より設定する。

2 次元静的フレーム解析については，解析コード「ＦＲＥＭＩＮＧ」を，1 次元有効応力解析については，解析コード「ＦＬＩＰ」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，それぞれ，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b.　2 次元静的フレーム解析

2 次元静的フレーム解析モデルは，「3.5.1　津波時」と同様とする。

c.　解析ケース

重畳時の地盤ばねは，地盤物性のばらつきを網羅的に考慮するために，表 3－13 の解析ケースについて，余震（Ｓｄ－１）を用いて 1 次元有効応力解析を実施し，地盤剛性のばらつき及び 1 次元有効応力解析の着目時間の違いの影響を考慮した 9 ケースについて，水平方向の地盤反力係数を算定し，地盤反力係数が小さくなるケースを決定ケースとし，地盤ばねを設定する。地表面加速度が最大となる時刻の地盤剛性から設定した地盤ばねを地盤ばね 3，地表面変位が最大となる時刻の地盤剛性から設定した地盤ばねを地盤ばね 4，せん断ひずみが最大となる時刻の地盤剛性から設定した地盤ばねを地盤ばね 5 とする。

地盤剛性のばらつきは，各地層の PS 検層の結果から得られるせん断波速度の標準偏差 σ に基づいて設定する。

地盤の変形係数は，1 次元有効応力解析による地盤の応力ひずみ関係から算定する。

地盤ばねにおける水平方向の地盤反力係数は，「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）」に従って算出する。

表 3－13　解析ケース（重畳時）

ケース名	地盤反力係数		決定ケース	備考
	着目時刻	地盤剛性のばらつき		
地盤ばね 3	地表面加速度最大	平均値	地盤剛性（－1σ）	地盤抵抗のばらつきを考慮
		＋1σ		
		－1σ		
地盤ばね 4	地表面変位最大	平均値	地盤剛性（－1σ）	
		＋1σ		
		－1σ		
地盤ばね 5	せん断ひずみ最大	平均値	地盤剛性（－1σ）	
		＋1σ		
		－1σ		

c.　1 次元有効応力解析

(a)　解析モデル

解析モデルは，構造物設置位置の地層構成に基づきモデル化する。

(b)　地盤の物性値

地盤の物性値は，「3.5.1　津波時」と同様とする。

(c)　入力地震動

入力地震動は，V-2-1-6「地震応答解析の基本方針　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余震（Ｓｄ－１）を 1 次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものを用いる。

図 3－19 に入力地震動算定の概念図を，図 3－20 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「ＳＬＯＫ」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，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(d)　減衰定数

減衰特性は，柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析等を踏まえ，Rayleigh 減衰として，$\alpha=0$，$\beta=0.005$ を設定する。

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」と同じである。

e. 地盤の物性値

地盤の物性値は，「3.5.1　津波時」と同じである。

f. 評価方法

鋼管矢板の強度評価は，「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

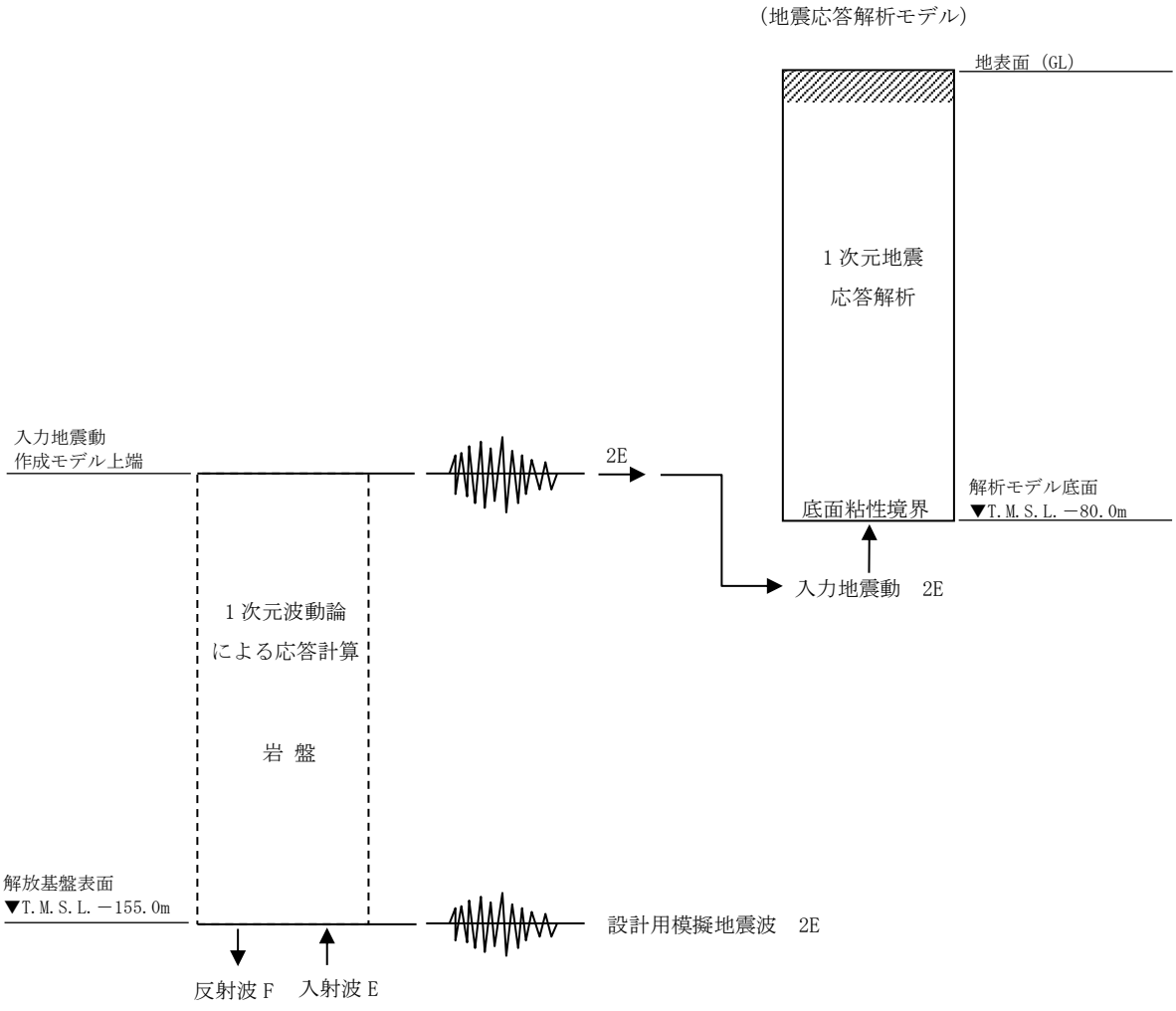
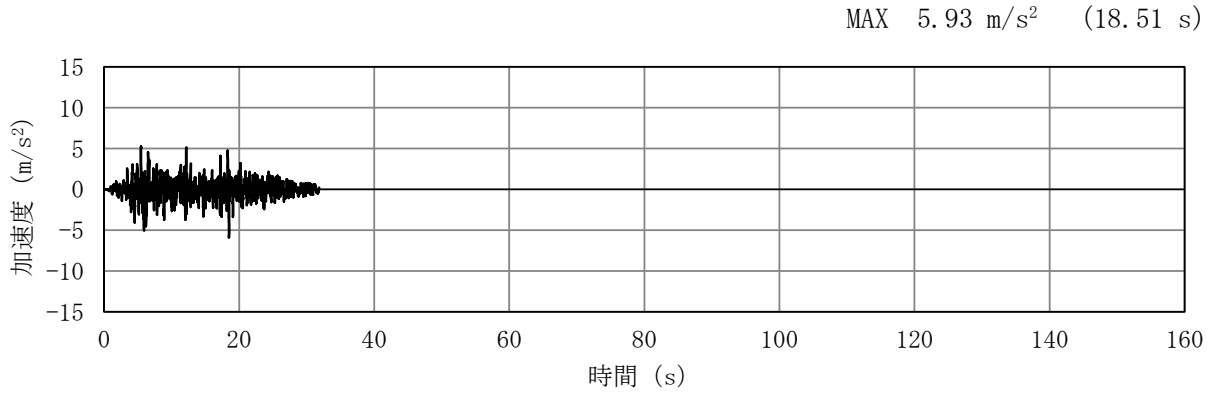
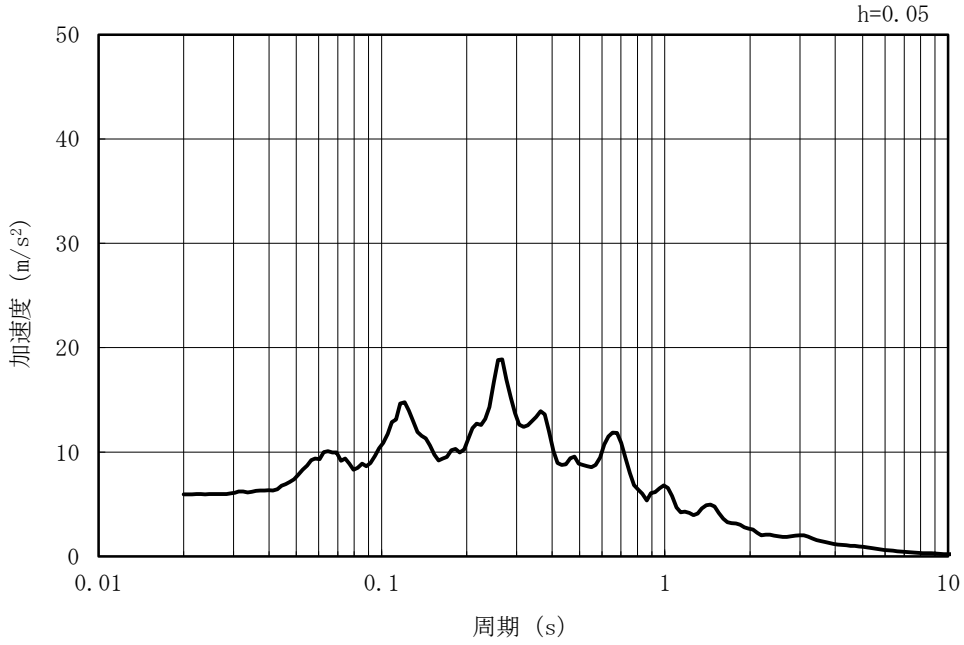


図 3－19　入力地震動算定の概念図

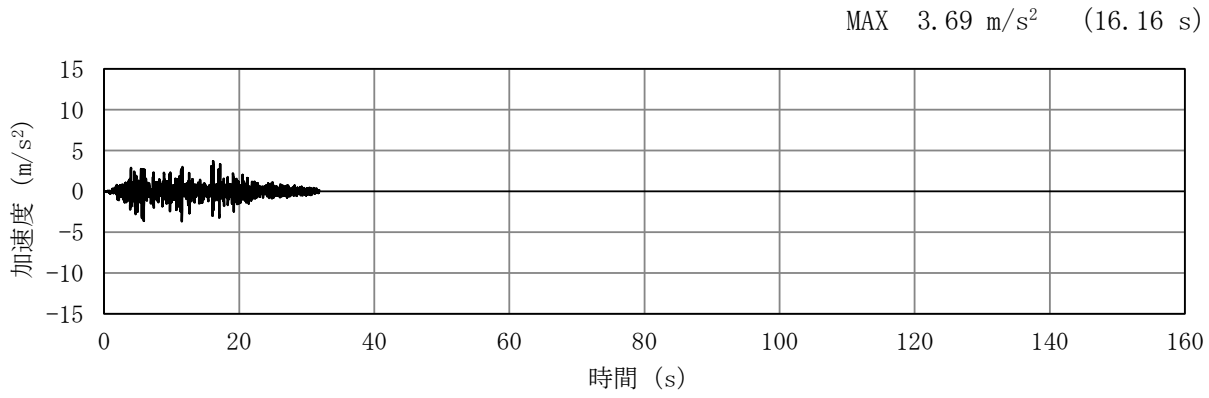


(a)　加速度時刻歴波形

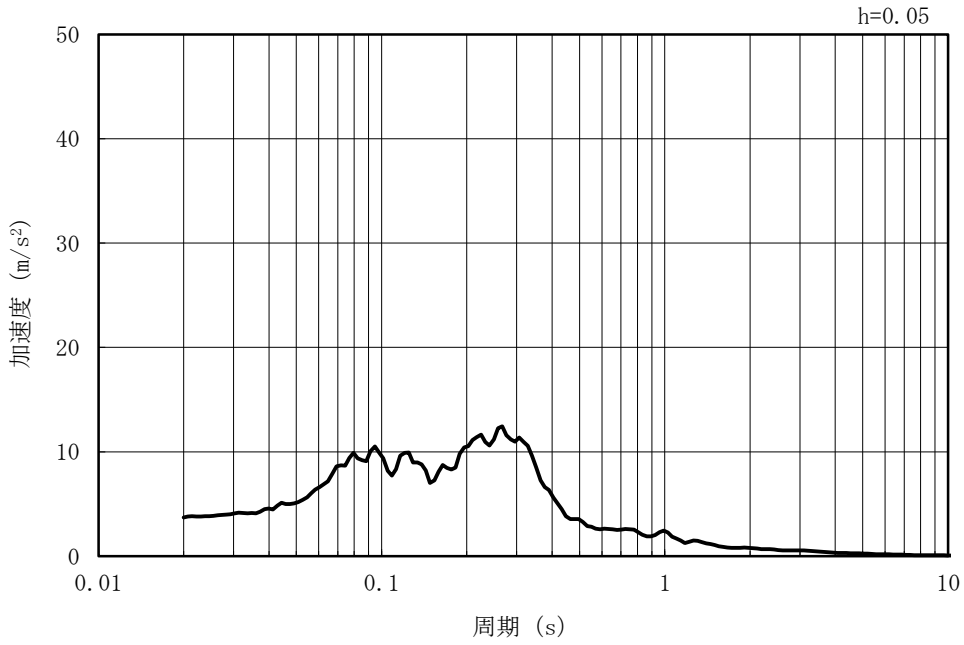


(b)　加速度応答スペクトル

図 3－20(1)　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
（水平方向：Sd-1）



(a)　加速度時刻歴波形



(b)　加速度応答スペクトル

図 3－20(2)　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
（鉛直方向：Sd-1）

(2)　止水ゴム取付部鋼材

a.　構造概要

止水ゴム取付部鋼材の構造概要は，「3.5.1　津波時」と同じである。

b.　解析概要

重畳時に発生する応答値は，ゴム作用力，余震（Ｓｄ－１）による慣性力及び動水圧，基準津波による津波荷重を作用させた線形はり構造として解析を行う。

c.　部材ごとの解析方法

部材ごとの解析方法は，「3.5.1　津波時」と同じである。

d.　評価方法

評価方法は，「3.5.1　津波時」と同じである。

(3)　止水ゴム

a.　止水ゴムの発生変形量の考え方

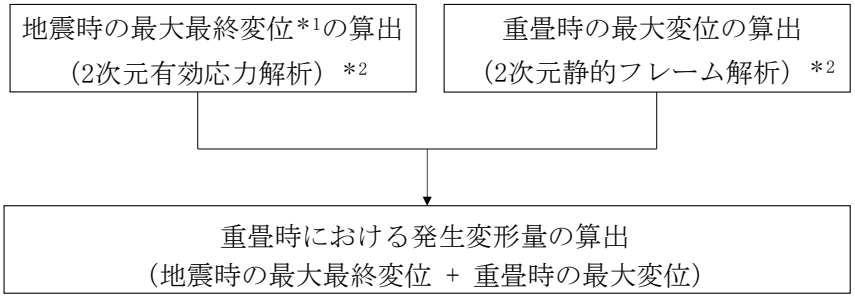
止水ゴムの変形性評価に用いる重畳時の止水ゴムの発生変形量は，図3－21の止水ゴムの発生変形量算出フローに示すとおり，地震後に津波が襲来することを想定し，地震時における最大最終変位に，重畳時の最大変位を加えることで，津波襲来時，余震時及び漂流物衝突時に発生する変位量を評価する。

(a)　地震時の最大最終変位

地震時の最大最終変位は，「3.5.1　津波時」と同じである。

(b)　重畳時の最大変位

重畳時の止水ゴムの変位量は，津波荷重，動水圧，余震荷重及び衝突荷重を用いた2次元静的フレーム解析で算出する。重畳時の最大変位は，重畳時1及び重畳時2のうち，2次元静的フレーム解析における各方向（δ_x，δ_y，δ_z）の変位が最大となる解析ケースの値を示す。



注記＊1：最大最終変位とは，地震時の2次元有効応力解析における最終時刻の変位が最大となる解析ケースの値である。
（参照：Ⅴ-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」）

＊2：（　）内は，変位の算出に用いる解析手法を示している。

図3－21　止水ゴムの発生変形量算出フロー（重畳時）

b. 評価方法

評価方法は，「3.5.1　津波時」と同じである。

4. 評価条件

(1) 津波時

津波時において，「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4－1 から表 4－4 に示す。

表 4－1 強度評価に用いる条件（津波時，断面①，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	40.4	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－2　強度評価に用いる条件（津波時，断面②，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	40.4	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－3　強度評価に用いる条件（津波時，断面①，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	407.7	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	67.1	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	61.0	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－4　強度評価に用いる条件（津波時，断面②，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	407.7	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	67.1	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	61.0	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

(2) 重畳時

重畳時において，「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4－5 から表 4－12 に示す。

表 4－5 強度評価に用いる条件（重畳時 1，断面①，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.42	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	19.1	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	40.4	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	―	kN
y	動水圧の作用高さ	0.80	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	15.4	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	11.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－6　強度評価に用いる条件（重畳時 1，断面②，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.52	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	23.7	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	40.4	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	―	kN
y	動水圧の作用高さ	0.80	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	19.1	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	11.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－7　強度評価に用いる条件（重畳時 1，断面①，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.42	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	31.7	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	67.1	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	―	kN
y	動水圧の作用高さ	0.80	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	61.0	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	25.6	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	18.3	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－8　強度評価に用いる条件（重畳時 1，断面②，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.52	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	39.3	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	67.1	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	―	kN
y	動水圧の作用高さ	0.80	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	61.0	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	31.7	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	18.3	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－9　強度評価に用いる条件（重畳時 2，断面①，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.42	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	4.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	35.1	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	20.2	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	0.91	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	15.4	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	11.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－10　強度評価に用いる条件（重畳時 2，断面②，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.52	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	4.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	43.5	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	20.2	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	0.91	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	19.1	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	11.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－11　強度評価に用いる条件（重畳時 2，断面①，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.42	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	4.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	407.7	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	58.4	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	33.6	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	0.91	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	61.0	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	25.6	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	18.3	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－12　強度評価に用いる条件（重畳時 2，断面②，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.52	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰外側の底面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_2	海水貯留堰外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰外側の底面における水深	4.00	m
h_2	海水貯留堰外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	407.7	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	72.3	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	33.6	kN/m
v	海水貯留堰位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	0.91	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	61.0	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	31.7	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	18.3	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

5. 強度評価結果

5.1 津波時

評価対象部位ごとに津波時の評価結果を示す。

5.1.1 鋼管矢板

津波時における鋼管矢板の解析結果を示す。なお，海水貯留堰の取水護岸側の端部の鋼管矢板は，止水ゴム等の付属物によって受圧面積が大きくなるため作用外力が一般部と比較して大きくなる。鋼管矢板の強度評価においては，その荷重増分を考慮しない鋼管矢板（一般部）と，その荷重増分を考慮する鋼管矢板（端部）に対する評価結果をそれぞれ整理する。

(1) 鋼管矢板（一般部）

a. 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表5－1に示す。

表5－1(1) 曲げ軸力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね1	822	37	95	277	0.35
地盤ばね2	822	37	95	277	0.35

表5－1(2) 曲げ軸力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね1	1195	37	137	277	0.50
地盤ばね2	1000	37	115	277	0.42

b.　せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－2 に示す。

表 5－2(1)　せん断力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 1	452	28	157	0.18
地盤ばね 2	452	28	157	0.18

表 5－2(2)　せん断力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 1	452	28	157	0.18
地盤ばね 2	452	28	157	0.18

(2)　鋼管矢板（端部）

津波時と重畳時（重畳時 2）を比較して，重畳時（重畳時 2）における作用外力が大きいため，津波時の検討を省略する。

5.1.2　止水ゴム取付部鋼材

津波時と重畳時（重畳時 1）を比較して，重畳時（重畳時 1）における作用外力が大きいため，津波時の検討を省略する。

5.1.3　止水ゴム

津波時と重畳時（重畳時 2）を比較して，重畳時（重畳時 2）における相対変位が大きいため，津波時の検討を省略する。

5.2　重畳時

評価対象部位ごとに重畳時の評価結果を示す。

5.2.1　1次元有効応力解析結果

1次元有効応力解析結果から地表面最大加速度，地表面最大変位，最大せん断ひずみをまとめたものを表5－3に示す。

表5－3(1)　1次元有効応力解析結果（断面①）

解析ケース		①	②	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
地盤ばね3	地表面最大加速度 (m/s^2)	3.96	3.87	4.06
地盤ばね4	地表面最大変位 (cm)	2.7	2.2	3.2
地盤ばね5	最大せん断ひずみ	5.06×10^{-4}	4.22×10^{-4}	6.20×10^{-4}

表5－3(2)　1次元有効応力解析結果（断面②）

解析ケース		①	②	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
地盤ばね3	地表面最大加速度 (m/s^2)	4.43	4.35	5.04
地盤ばね4	地表面最大変位 (cm)	4.7	3.9	6.0
地盤ばね5	最大せん断ひずみ	3.31×10^{-3}	2.53×10^{-3}	4.23×10^{-3}

表5－3より，断面①及び断面②における地盤ばねは，地表面加速度が最大，地表面変位が最大，せん断ひずみ最大が発生する「③地盤物性のばらつきを考慮（－1σ）した解析ケース」に基づき設定する。地盤ばねはそれぞれ，地表面加速度最大発生時刻，地表面変位最大発生時刻，せん断ひずみ最大発生時刻における平均有効主応力σ'_m及びせん断ひずみγの深度分布により求められる地盤剛性を用いて地盤ばねを設定する。

5.2.2　鋼管矢板

重畳時における鋼管矢板の解析結果を以下に示す。なお，重畳時1と重畳時2を比較して，重畳時2における作用外力が大きいため，重畳時2における鋼管矢板の評価結果を示す。海水貯留堰の取水護岸側端部の鋼管矢板は，止水ゴム等の付属物によって受圧面積が大きくなるため作用外力が一般部と比較して大きくなる。鋼管矢板の強度評価においては，その荷重増分を考慮しない鋼管矢板（一般部）と，その荷重増分を考慮する鋼管矢板（端部）に対する評価結果をそれぞれ整理する。

(1)　鋼管矢板（一般部）

地盤ばねの設定に用いた地盤物性を表5－4に示す。

表5－4　地盤ばねの設定に用いた地盤物性

解析ケース	検討断面	地盤物性
地盤ばね3	断面①	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
	断面②	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
地盤ばね4	断面①	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
	断面②	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
地盤ばね5	断面①	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
	断面②	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース

a. 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－5 に示す。

表 5－5(1)　曲げ軸力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	820	48	95	277	0.35
地盤ばね 4	820	48	95	277	0.35
地盤ばね 5	820	48	95	277	0.35

表 5－5(2)　曲げ軸力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	1258	48	145	277	0.53
地盤ばね 4	1256	48	144	277	0.52
地盤ばね 5*	－	－	－	－	－

注記＊：地盤ばね 3 とは地盤ばね 5 は着目時刻がほぼ同じため，1 次元有効応力解析による地盤の応力ひずみ関係から算定する地盤の変形係数が同値になるため照査を省略する。

b.　せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－6 に示す。

表 5－6(1)　せん断力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	452	28	157	0.18
地盤ばね 4	452	28	157	0.18
地盤ばね 5	452	28	157	0.18

表 5－6(2)　せん断力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	461	29	157	0.19
地盤ばね 4	461	29	157	0.19
地盤ばね 5*	－	－	－	－

注記＊：地盤ばね 3 とは地盤ばね 5 は着目時刻がほぼ同じため，1 次元有効応力解析による地盤の応力ひずみ関係から算定する地盤の変形係数が同値になるため照査を省略する。

(2) 鋼管矢板（端部）

海水貯留堰の前面鋼矢板側端部は，止水ゴム取付部鋼材等の付属物によって作用外力が一般部と比較して大きくなる。ここでは，それらの荷重を考慮した前面鋼管矢板端部の評価結果を示す。なお，地盤ばねは及び地盤物性は，照査が最も厳しい条件とした。

a. 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－7 に示す。

表 5－7(1) 曲げ軸力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	948	80	110	277	0.40

表 5－7(2) 曲げ軸力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	1488	80	172	277	0.63

b.　せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。せん断力に対する照査結果を表 5－8 に示す。

表 5－8(1)　せん断力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	543	33	157	0.22

表 5－8(2)　せん断力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	559	34	157	0.22

5.2.3　止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の作用断面力及び照査結果を表 5－9 から表 5－14 に示す。照査に用いる断面力は，海水貯留堰の南側及び北側の止水ゴム取付部鋼材のうち，卓越する断面力を用いる。なお，重畳時 1 と重畳時 2 を比較して，重畳時 1 における作用外力が大きいため，重畳時 1 における止水ゴム取付部鋼材の評価結果を示す。

止水ゴム取付部鋼材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

(1)　スキンプレート

表 5－9　作用断面力

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
0.448	―	9

表 5－10　照査結果

評価項目	発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
曲げモーメント	55	277	0.20
せん断力	2	157	0.02

(2)　リブプレート（海水貯留堰南側　検討断面③）

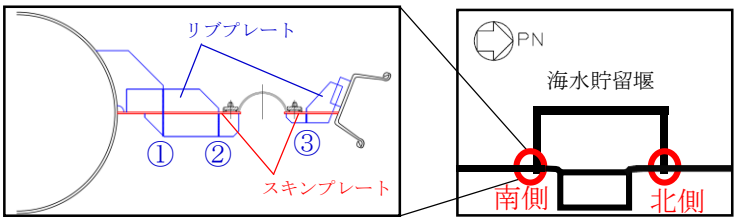
リブプレートの最大照査箇所は，海水貯留堰南側の検討断面③である。

表 5－11　作用断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
南側	③	0.419	—	5

表 5－12　照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント	南側	③	88	277	0.32
せん断力	南側	③	12	157	0.08



検討断面　　検討箇所

照査対象箇所

(3)　鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

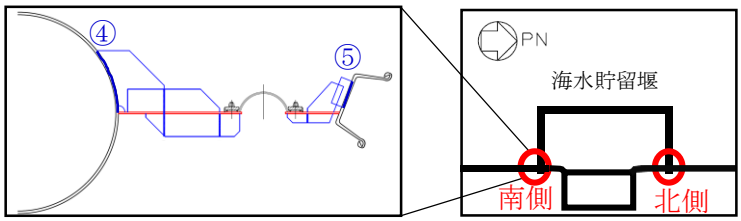
接合部における最大照査箇所は，海水貯留堰南側の検討断面⑤（リブプレートと前面鋼矢板接合部）である。

表 5－13　作用断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
南側	⑤	2.09	4	9

表 5－14　照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント	南側	⑤	37	105	0.36
せん断力	南側	⑤	6	105	0.06



照査対象箇所

5.2.4　止水ゴム

本照査では，止水ゴムの発生変形量が許容限界以下であることを確認する。

止水ゴムの変形性照査結果を表 5－15 に示す。各変位方向の最大最終変位は，地震時の 2 次元有効応力解析結果から算出し，δ_xは解析ケース「①Ss-3－＋」，δ_yは解析ケース「①Ss-3－＋」，δ_zは解析ケース「④Ss-1－＋」の値である。

また，各変位方向の最大変位は，2 次元静的フレーム解析結果から算出した。

以上より，止水ゴムの発生変形量が許容限界以下であることを確認した。

表 5－15　止水ゴムの変形性照査結果

変位方向	最大最終変位*1		最大変位*2		合計 (cm)	許容限界 (cm)
	解析ケース	変位（cm）	解析ケース	変位（cm）		
δ_x	①Ss-3－＋	1.1	重畳時 2	0.2	1.3	9.5 以上*3
δ_y	①Ss-3－＋	2.2	重畳時 2	0.0	2.2	11.3 以上*3
δ_z	④Ss-1－＋	0.4	重畳時 2	4.7	5.1	12.2 以上*3

注記＊1：2 次元有効応力解析から算定した値。

注記＊2：2 次元静的フレーム解析から算定した値。

注記＊3：

Ⅴ-3-別添3-1-3　海水貯留堰（6号機設備）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 …… 6
2.4 適用基準 …… 9
3. 強度評価方法 …… 10
3.1 記号の定義 …… 10
3.2 評価対象断面及び部位 …… 12
3.2.1 評価対象断面 …… 12
3.2.2 評価対象部位 …… 15
3.3 荷重及び荷重の組合せ …… 16
3.3.1 荷重 …… 16
3.3.2 荷重の組合せ …… 17
3.4 許容限界 …… 22
3.4.1 鋼管矢板 …… 22
3.4.2 止水ゴム取付部鋼材 …… 23
3.4.3 止水ゴム …… 24
3.5 評価方法 …… 25
3.5.1 津波時 …… 25
3.5.2 重畳時 …… 39
4. 評価条件 …… 46
5. 強度評価結果 …… 58
5.1 津波時 …… 58
5.1.1 鋼管矢板 …… 58
5.1.2 止水ゴム取付部鋼材 …… 59
5.1.3 止水ゴム …… 59
5.2 重畳時 …… 60
5.2.1 1次元有効応力解析結果 …… 60
5.2.2 鋼管矢板 …… 61
5.2.3 止水ゴム取付部鋼材 …… 66
5.2.4 止水ゴム …… 69

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，海水貯留堰（6 号機設備）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持す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留まることを確認するものである。

強度計算に当たっては，基準津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

ここで，余震とは，津波と組み合わせる地震のことであり，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，Ｓｄ－１を用いる。（以下，Ｓｄ－１という。）

2.　基本方針

2.1　位置

海水貯留堰（6 号機設備）の位置図を図 2－1 に示す。

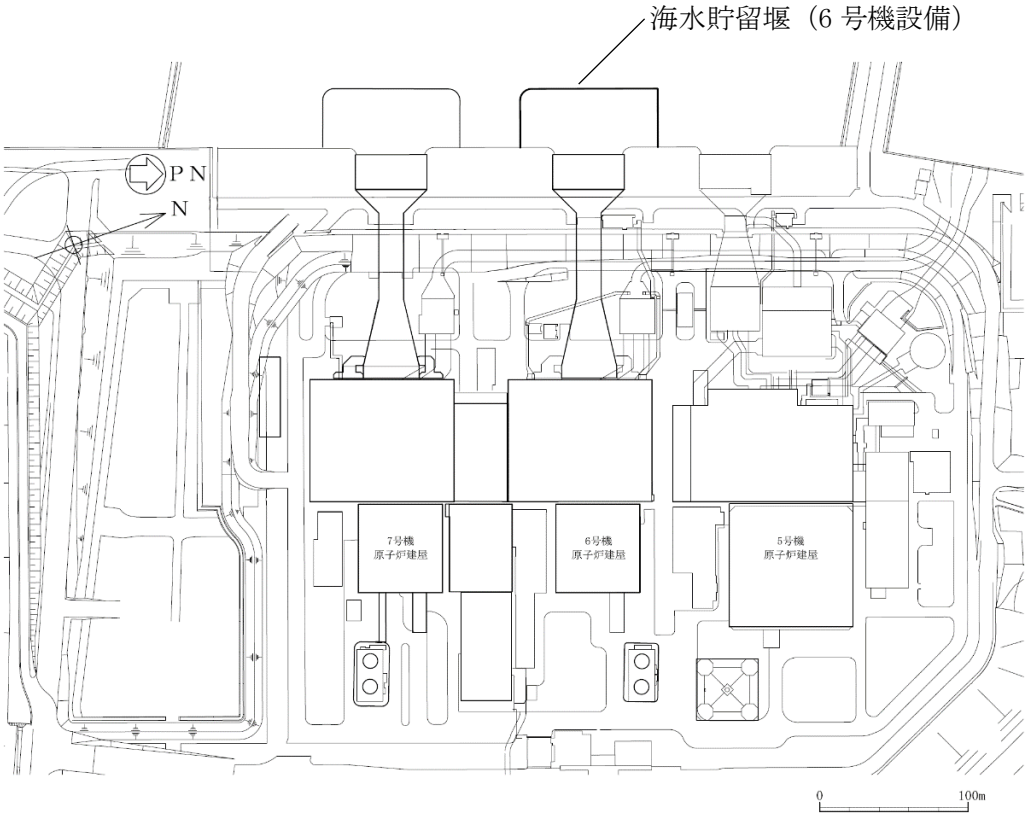


図 2－1(1)　海水貯留堰（6 号機設備）の位置図（全体平面図）

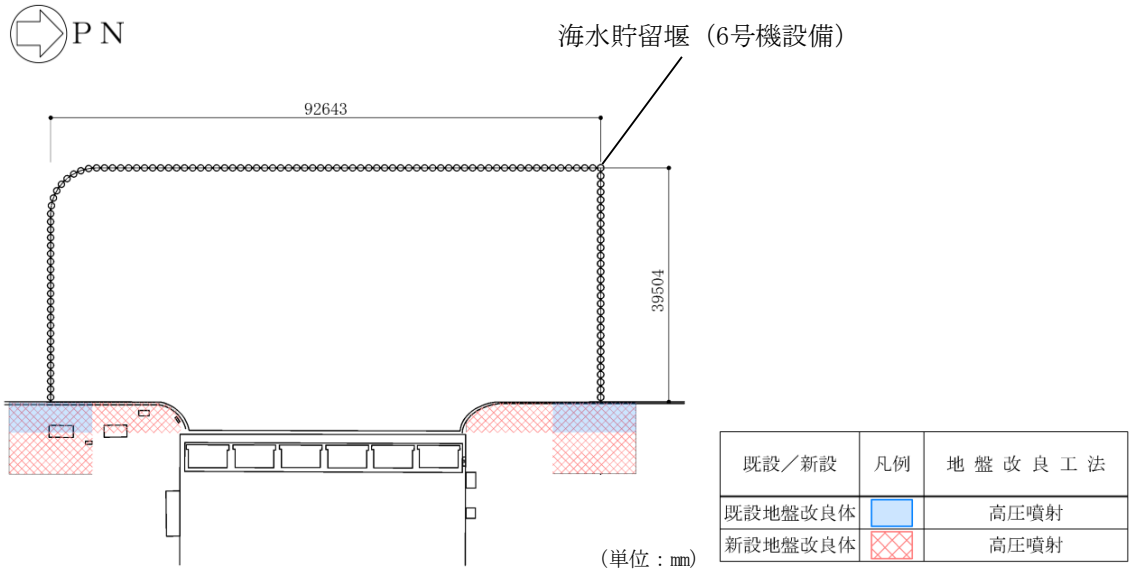


図 2－1(2)　海水貯留堰（6 号機設備）の位置図（拡大図）

2.2　構造概要

海水貯留堰（6 号機設備）の平面図を図 2－2 に，標準図を図 2－3 に示す。

海水貯留堰（6 号機設備）は，その機能及び目的から海水貯留堰（6 号機設備）本体及び取水護岸（6 号機設備）接続部に区分され，このうち海水貯留堰（6 号機設備）本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手，取水護岸（6 号機設備）接続部は止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材より構成される。また，鋼管矢板には，海水による腐食防止のため，電気防食が施されている。取水護岸（6 号機設備）は，海水貯留堰（6 号機設備）の間接支持構造物であり，前面鋼矢板より構成される。また，前面鋼矢板には，海水による腐食防止のため，電気防食が施されている。

鋼管矢板は，φ1100mm の炭素鋼鋼管であり，全 125 本の鋼管矢板を連続的に打設することにより堰形状を構成する。鋼管矢板は，下端を十分な支持性能を有する古安田層もしくは西山層に支持される。天端は，原子炉補機冷却海水ポンプの取水に必要な水量を確保するため，海底地盤レベル T.M.S.L.－5.5m に対して天端高さを T.M.S.L.－3.5m 及び T.M.S.L.－3.0m としており，約 2m 及び約 2.5m の堰高さを有する。海水貯留堰（6 号機設備）の寸法は，約 92m×約 40m である。

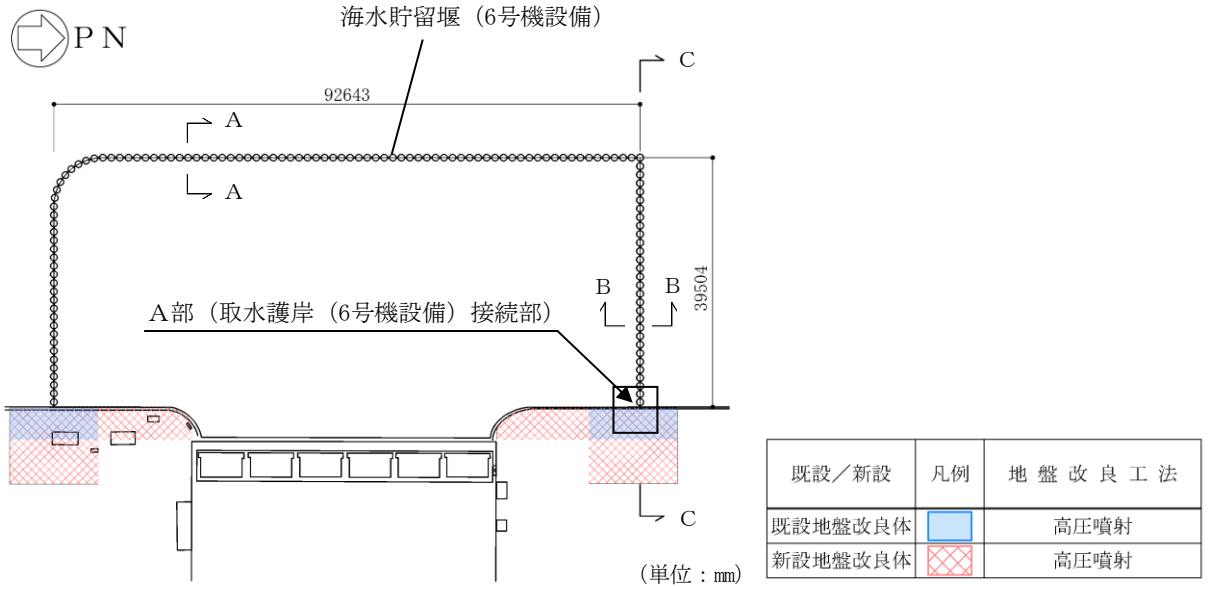


図 2－2(1)　海水貯留堰（6 号機設備）の平面図

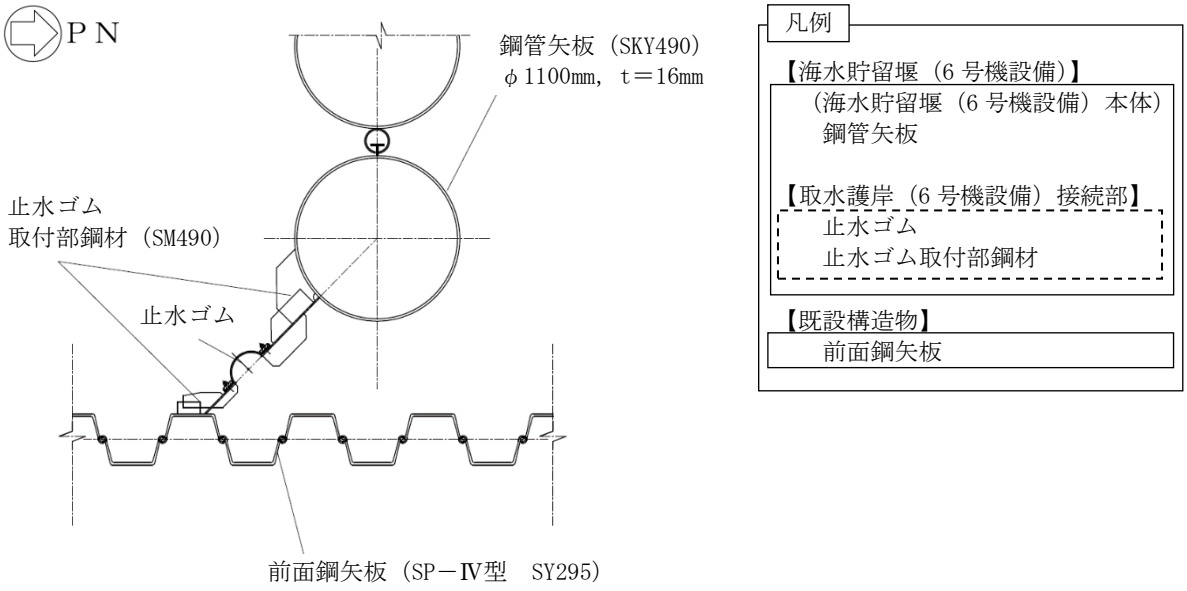
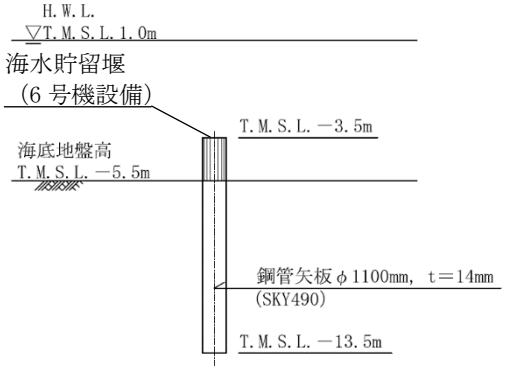
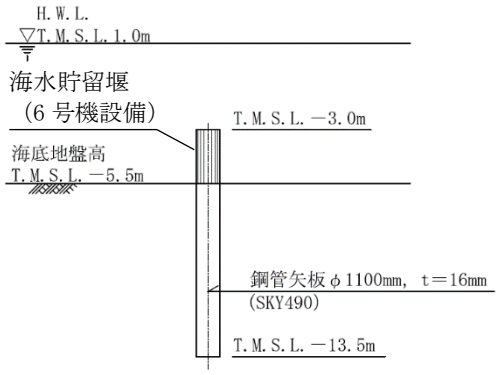


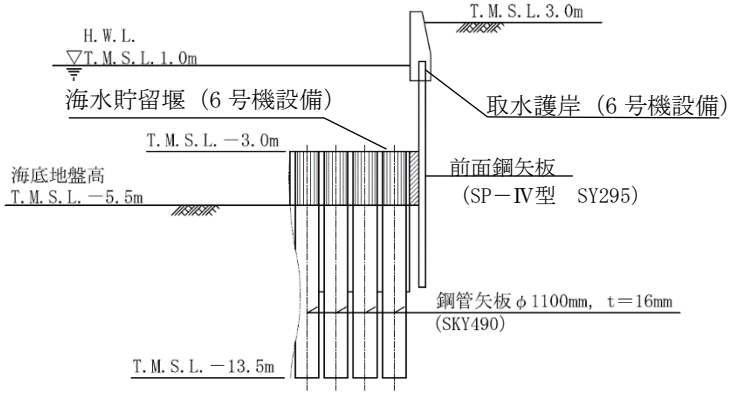
図 2－2(2)　海水貯留堰（6 号機設備）の平面図（A部拡大）



(a)　A－A断面図

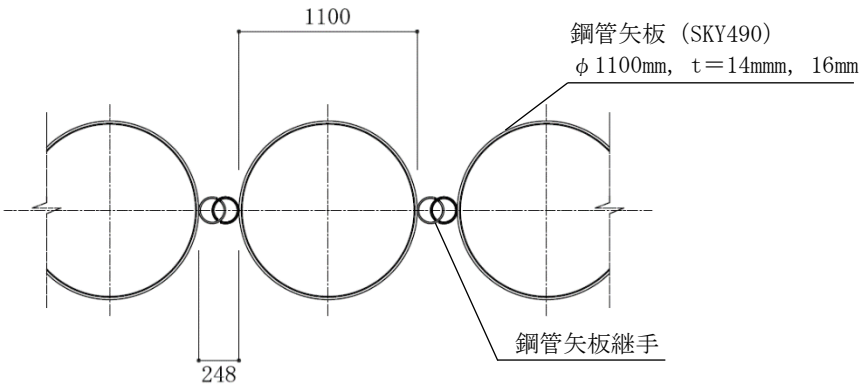


(b)　B－B断面図

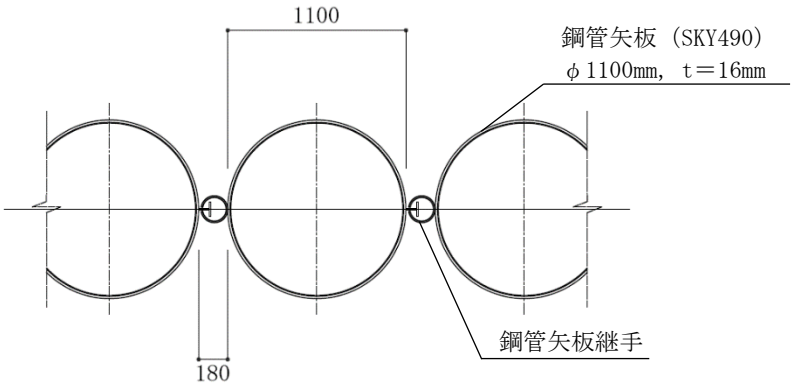


(c)　C－C断面図

図 2－3(1)　海水貯留堰（6 号機設備）の標準図



a.　P－P 継手



b.　P－T 継手

（単位：mm）

図 2－3(2)　海水貯留堰（6 号機設備）の標準図

2.3　評価方針

海水貯留堰（6 号機設備）は，常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

海水貯留堰（6 号機設備）の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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.　強度評価結果」より，海水貯留堰（6 号機設備）の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰（6 号機設備）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。

海水貯留堰（6 号機設備）の強度評価は，表 2－1 の海水貯留堰（6 号機設備）の評価項目に示すとおり，構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価及び構造物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。

構造部材の健全性評価については，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については，海水貯留堰の鋼管矢板が 1 列に並んでいる構造であることから，津波荷重による接地圧への影響がほぼないこと及び重畳時の余震荷重よりも地震時の地震荷重の方が接地圧への影響が大きいことを考慮して，耐震計算書において実施する。

構造物の変形性評価については，止水ゴムの変形量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価のうち津波時の検討では，2 次元静的フレーム解析における地盤ばねの剛性を考慮した検討を実施し，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。また，重畳時の検討では，1 次元有効応力解析から地盤ばねの剛性を考慮した 2 次元静的フレーム解析を実施し，構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認するとともに，地盤物性のばらつきの影響評価を実施する。

海水貯留堰（6 号機設備）の強度評価フローを図 2－4 に示す。

なお，重畳時の評価における入力地震動は，解放基盤表面で定義される余震（Ｓｄ－1）を 1 次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものを用いる。

表 2－1　海水貯留堰（6 号機設備）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	構造部材の健全性	鋼管矢板	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	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	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	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	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

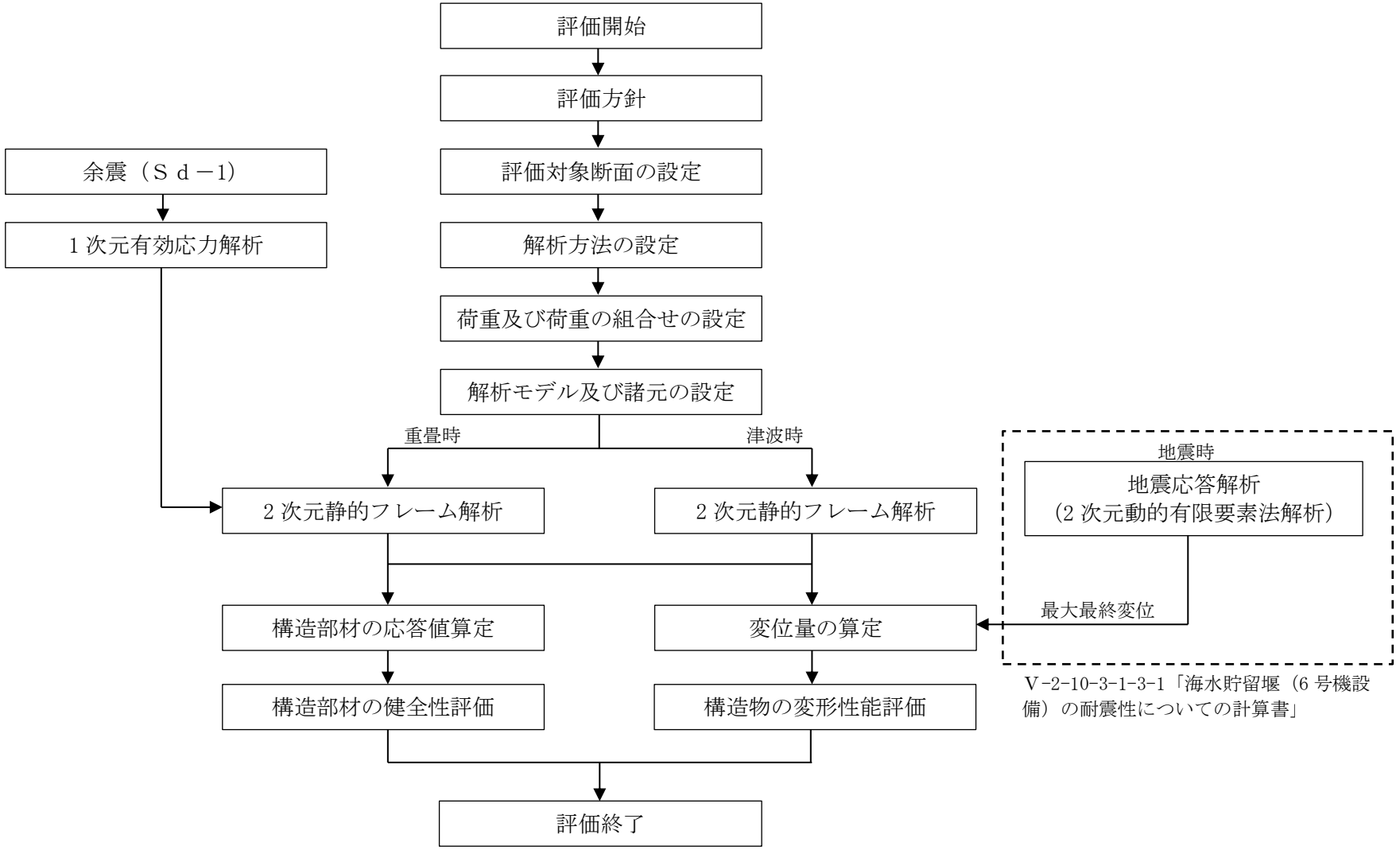


図 2－4　海水貯留堰（6 号機設備）の強度評価フロー

2.4　適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　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）

(2)　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）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会）

(4)　港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007版）

(5)　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月一部改訂）

(6)　港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009年版）

(7)　Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition(FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY , 2012)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

海水貯留堰（6 号機設備）の強度評価に用いる記号を表 3－1 に示す。

表 3－1(1) 強度評価に用いる記号（1/2）

記号	定義	単位
g	重力加速度	m/s^2
k_h	水平震度	－
k_v	鉛直震度	－
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面からの津波高さ	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	m
P_c	衝突荷重	kN
P_d	動水圧	kN/m^2
P_t	遡上津波荷重	kN/m^2
P_{hy}	津波荷重（静水圧）	kN/m^2
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	m/s
W_c	漂流物の重量	kN
y	動水圧の作用高さ	m
γ_w	海水の単位体積重量	kN/m^3
ρ	海水の密度	kg/m^3
G	固定荷重	kN
KS_d	余震荷重	kN
σ	曲げモーメント及び軸力による応力	N/mm^2
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	N/mm^2
M	最大曲げモーメント	kN･m

表 3－1(2)　強度評価に用いる記号（2/2）

記号	定義	単位
Z	断面係数	m^3
N	軸力	kN
A	有効断面積	m^2
τ	せん断応力	N/mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	N/mm^2
S	せん断力	kN
κ	せん断応力の分布係数	－

3.2　評価対象断面及び部位

3.2.1　評価対象断面

海水貯留堰（6 号機設備）は，取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり，取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは 8m であり，海水貯留堰（6 号機設備）は西山層もしくは古安田層中の粘性土に直接設置される。

海水貯留堰（6 号機設備）の平面図を図 3－1 に，地質断面図及び地層構成に着目した抽出箇所に基づく地震応答解析モデルを図 3－2 に示す。

断面①：海水貯留堰（6 号機設備）の南側短手方向直線部の西側端部
（岩盤上面標高が最も高い断面）

断面②：海水貯留堰（6 号機設備）の北側短手方向直線部の西側端部
（岩盤上面標高が最も低い断面）

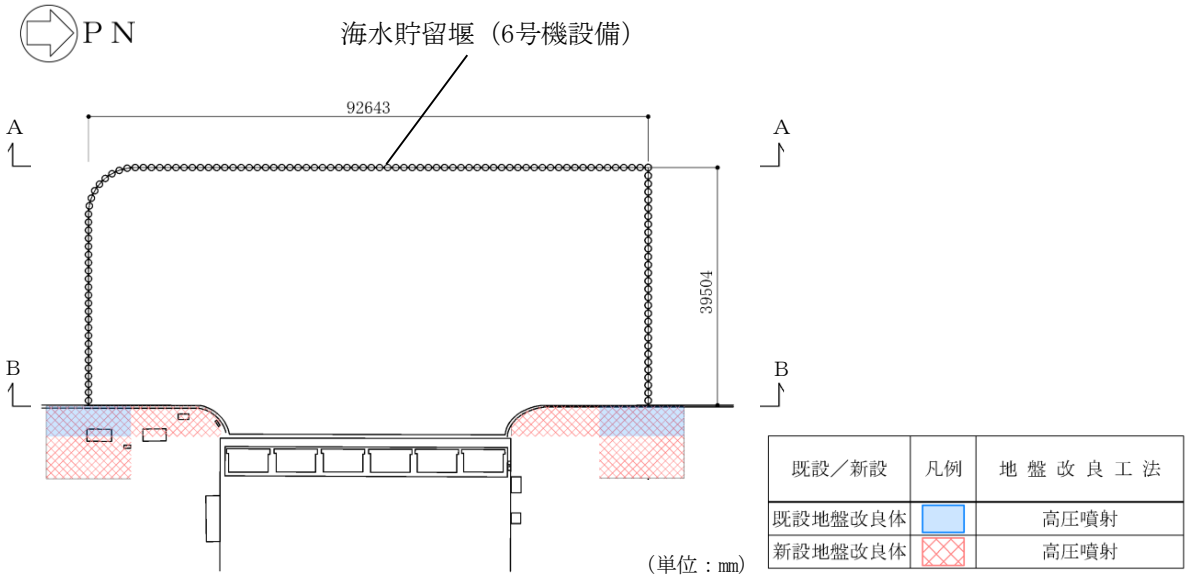


図 3－1　海水貯留堰（6 号機設備）の平面図

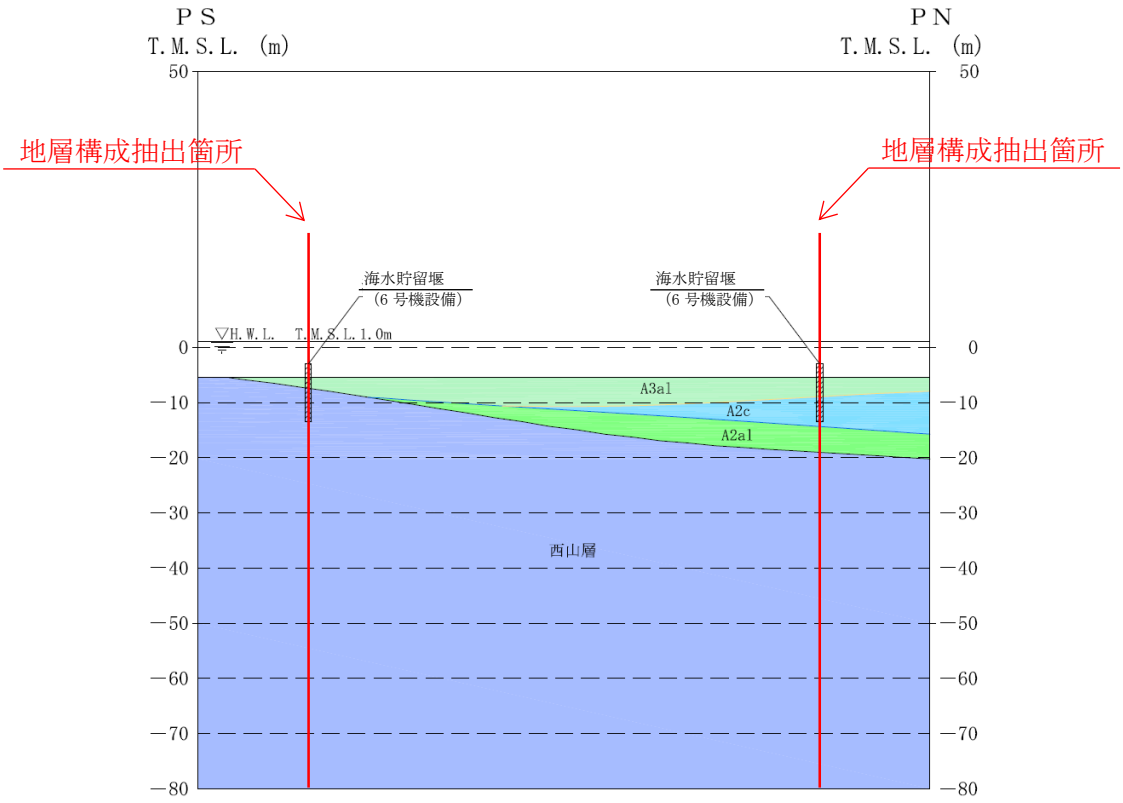


図 3－2(1)　地質断面図（Ａ－Ａ断面図）

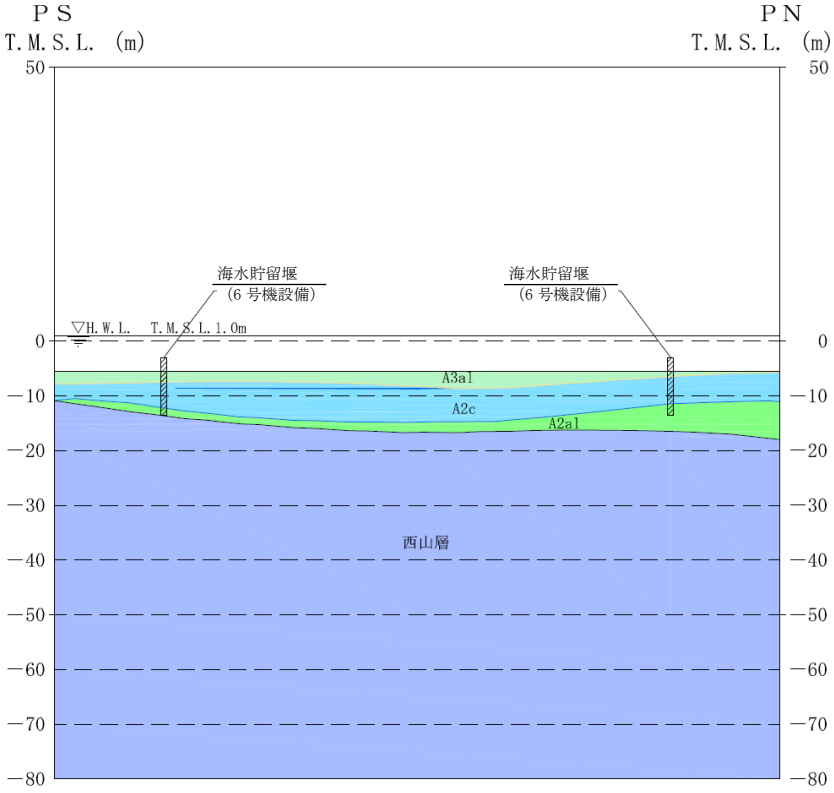


図 3－2(2)　地質断面図（Ｂ－Ｂ断面図）

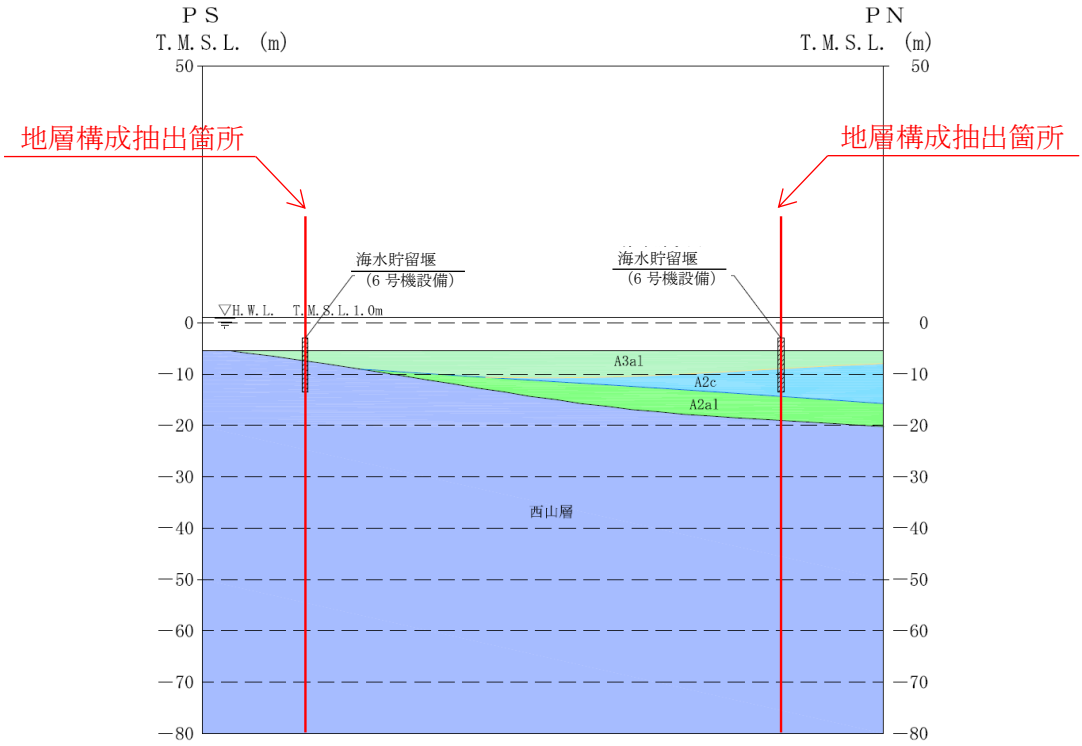


図 3－3(1)　地質断面図（Ａ－Ａ断面図）

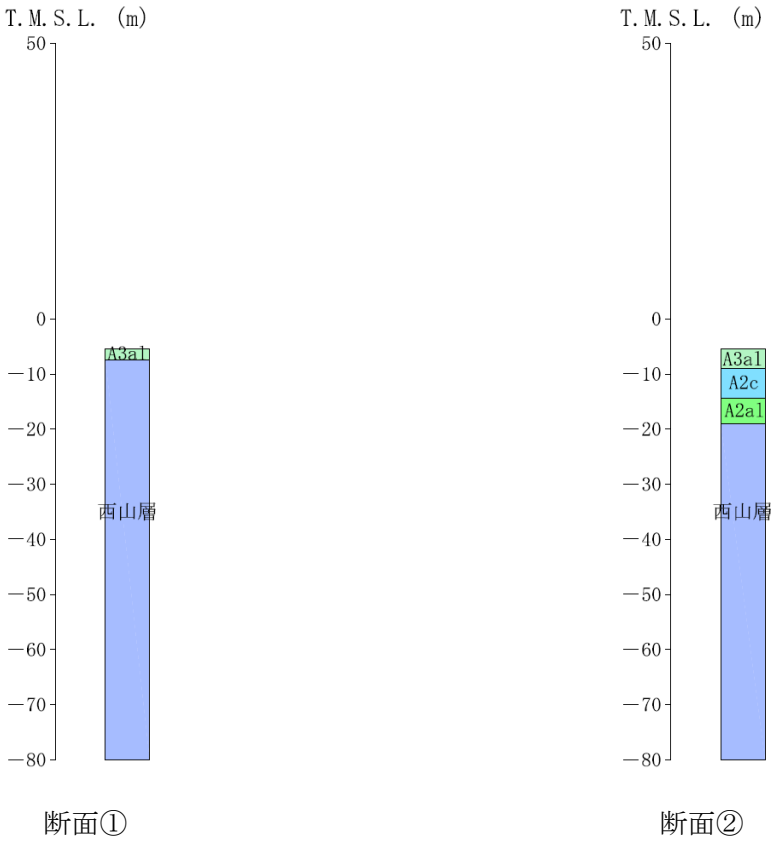


図 3－3(2)　評価対象断面図

3.2.2　評価対象部位

評価対象部位は，海水貯留堰（6 号機設備）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1)　鋼管矢板

構造部材の健全性が要求される鋼管矢板を評価対象部位とする。

(2)　止水ゴム取付部鋼材

海水貯留堰（6 号機設備）の取水護岸接続部に設置する止水ゴム取付部鋼材を評価対象部位とする。

(3)　止水ゴム

海水貯留堰（6 号機設備）の取水護岸接続部に設置する止水ゴムを評価対象部位とする。

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，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針　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

海水貯留堰（6 号機設備）の強度評価において，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，構造物の自重を考慮する。

(2)　遡上津波荷重（P_t）

遡上津波荷重として，保守的に津波による最大荷重（越流直前の波力）を適用する。

(3)　津波荷重（静水圧）（P_{hy}）

津波荷重（静水圧）として，津波により越流している状態で余震が発生することを想定し，津波荷重は平面 2 次元モデルによる津波シミュレーション解析により得られる最大内外水位差に応じた静水圧を算定し，越流時の津波波力（静水圧差）を適用する。

(4)　衝突荷重（P_c）

衝突荷重として，表 3－2 に示す軽自動車の FEMA（2012）で示された算定式による衝突荷重を考慮する。

表 3－2　衝突荷重

	流速（m/s）	衝突荷重（kN）
基準津波時	6	499

(5)　余震荷重（KS_d）

余震荷重として，構造物中心位置で実施した 1 次元有効応力解析の地表面最大加速度から水平震度及び鉛直震度を算定し，躯体慣性力や動水圧を考慮する。

なお，動水圧については，余震（Ｓｄ－１）を入力地震動とした，1 次元有効応力解析の地表面加速度に基づき設定した水平震度及び Westergaard の式を用いて設定する。

3.3.2　荷重の組合せ

海水貯留堰（6 号機設備）の強度評価において，考慮する荷重を以下に示す。

(1)　鋼管矢板

鋼管矢板の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，荷重の組合せを表 3－3 に，荷重作用図を図 3－4 から図 3－6 に示す。

なお，重畳時における津波荷重と余震荷重の作用方向に関して，海水貯留堰（6 号機設備）は地盤深度方向に長尺の鋼管矢板で構成されているため，津波荷重により鋼管矢板に発生する曲げモーメントによる影響が支配的であることから，津波荷重と余震荷重は同じ方向に作用させることが最も厳しい条件となる。

慣性力及び動水圧については，「3.5.2　重畳時　(1) 鋼管矢板　b.2 次元静的フレーム解析」に示す解析ケース及び「3.5.2　重畳時　(1)鋼管矢板　c.1 次元有効応力解析　(c) 入力地震動」に示す余震（Ｓｄ－１）を考慮した 1 次元有効応力解析から得られる最大加速度より，断面①は水平震度 k_h＝0.51（③地盤物性のばらつき（-1σ）を考慮した解析ケース），断面②は水平震度 k_h＝0.58（③地盤物性のばらつき（-1σ）を考慮した解析ケース）を用いて算出する。

表 3－3　荷重の組合せ（鋼管矢板）

区分		荷重の組合せ
津波時		$G＋P_t＋P_c$
重畳時	重畳時 1	$G＋P_t＋KS_d$
	重畳時 2	$G＋P_{hy}＋KS_d＋P_c$

G　　：固定荷重

P_t　　：遡上津波荷重

P_{hy}　：津波荷重（静水圧）

P_c　　：衝突荷重

KS_d　：余震荷重

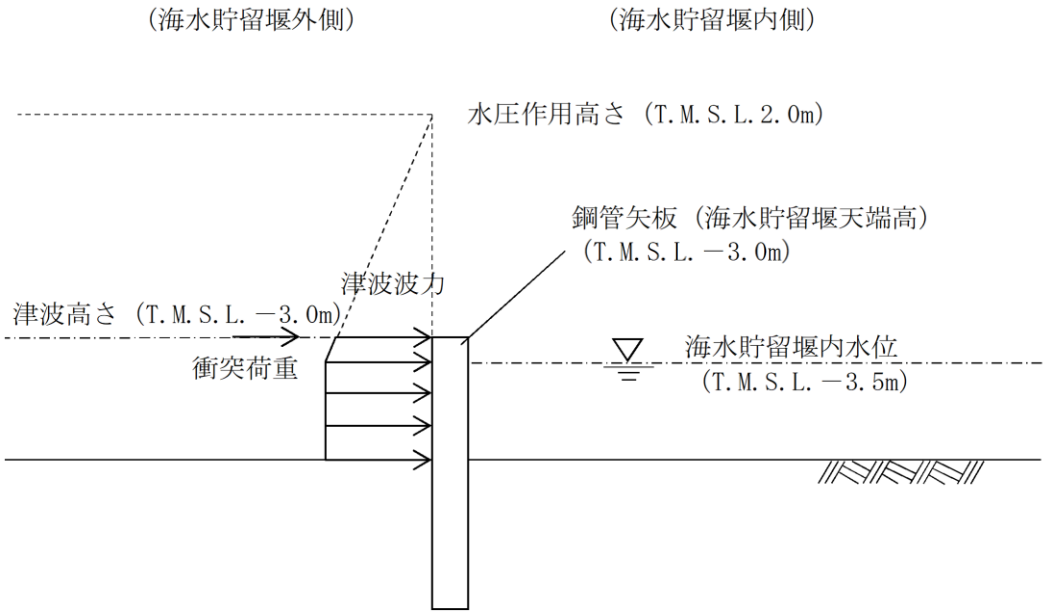


図 3－4　荷重作用図（鋼管矢板　津波時　北側）

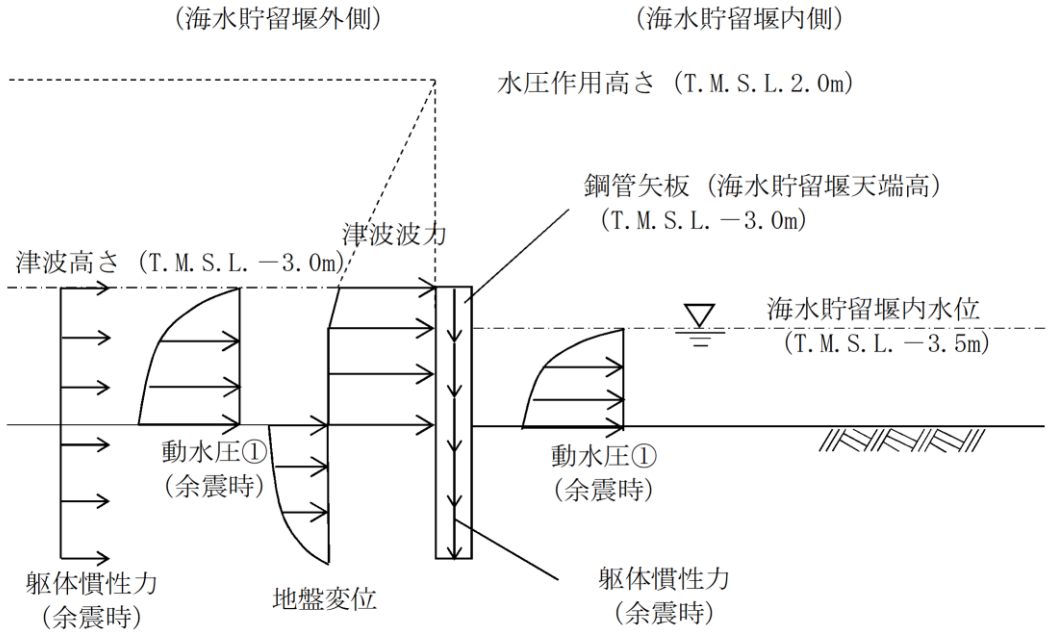


図 3－5　荷重作用図（鋼管矢板　重畳時 1　北側）

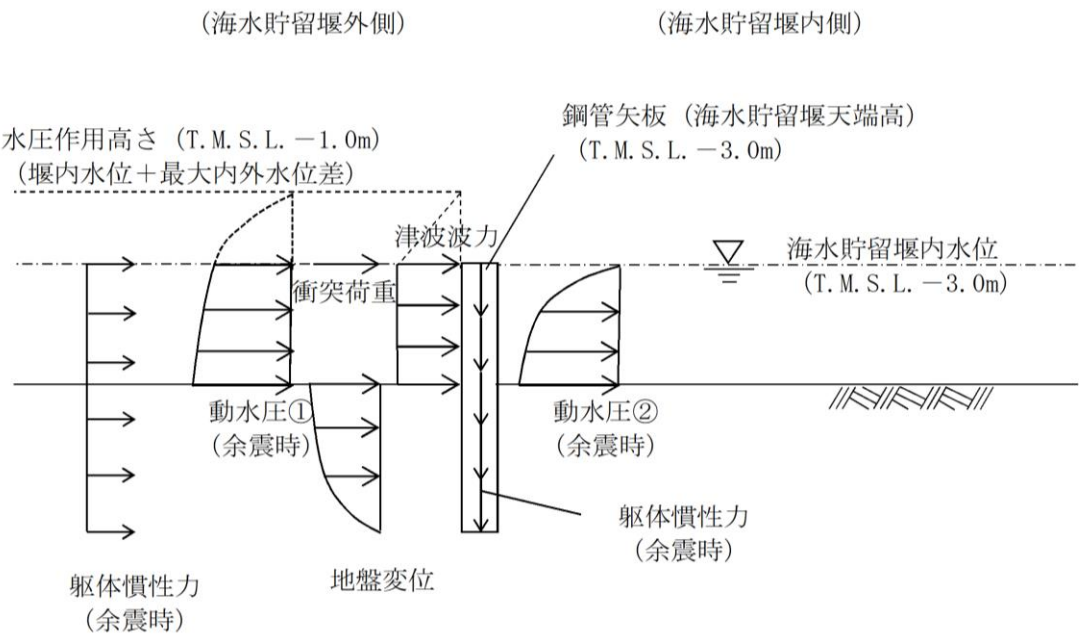


図 3－6　荷重作用図（鋼管矢板　重畳時 2　北側）

(2)　止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の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，荷重の組合せを表 3－4 に，荷重作用図を図 3－7 から図 3－9 に示す。

止水ゴムからの作用荷重を保守的に評価するために，止水ゴム作用力を作用荷重として考慮する。

慣性力及び動水圧については，「3.5.2　重畳時　(1) 鋼管矢板　b.2 次元静的フレーム解析」に示す解析ケース及び「3.5.2　重畳時　(1) 鋼管矢板　c.1 次元有効応力解析　(c) 入力地震動」に示す余震（Ｓｄ－１）を考慮した 1 次元有効応力解析から得られる最大加速度より算出した，断面①の水平震度 k_h＝0.51 と断面②の水平震度 k_h＝0.58 を比較して，水平震度が大きい断面②（k_h＝0.58）を強度評価に用いることとし，作用荷重も水平震度 k_h＝0.58 を用いて算出する。

表 3－4　荷重の組合せ（止水ゴム取付部鋼材）

区分		荷重の組合せ
津波時		$G＋P_t$
重畳時	重畳時 1	$G＋P_t＋KS_d$
	重畳時 2	$G＋P_{hy}＋KS_d$

G　　：固定荷重

P_t　：遡上津波荷重

P_{hy}　：津波荷重（静水圧）

KS_d　：余震荷重

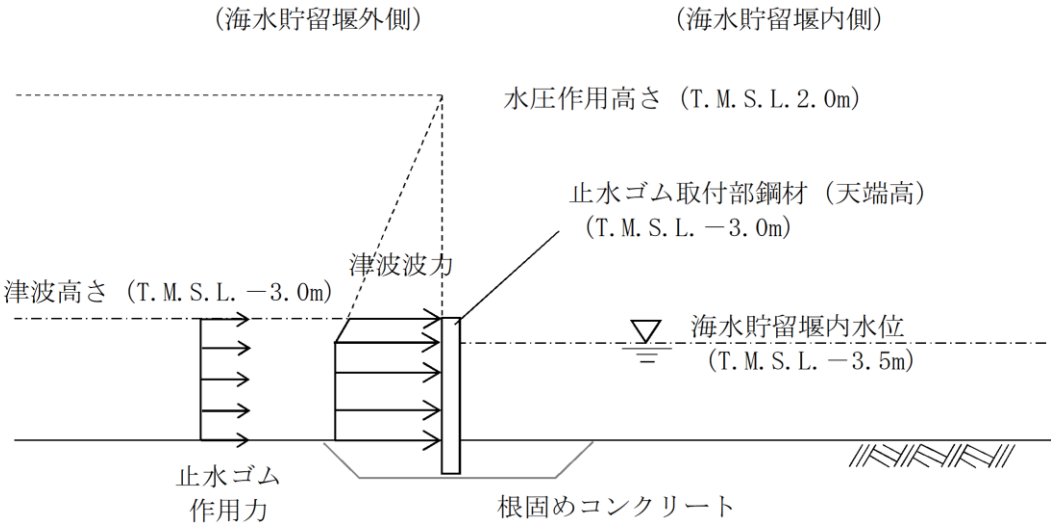


図 3－7　荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材　津波時　北側）

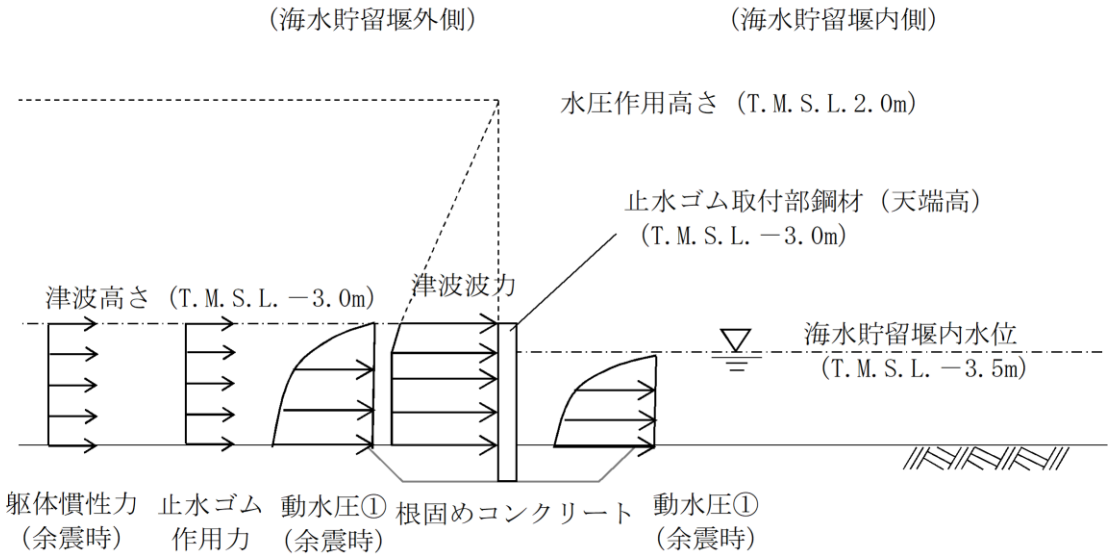


図 3－8　荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材　重畳時 1　北側）

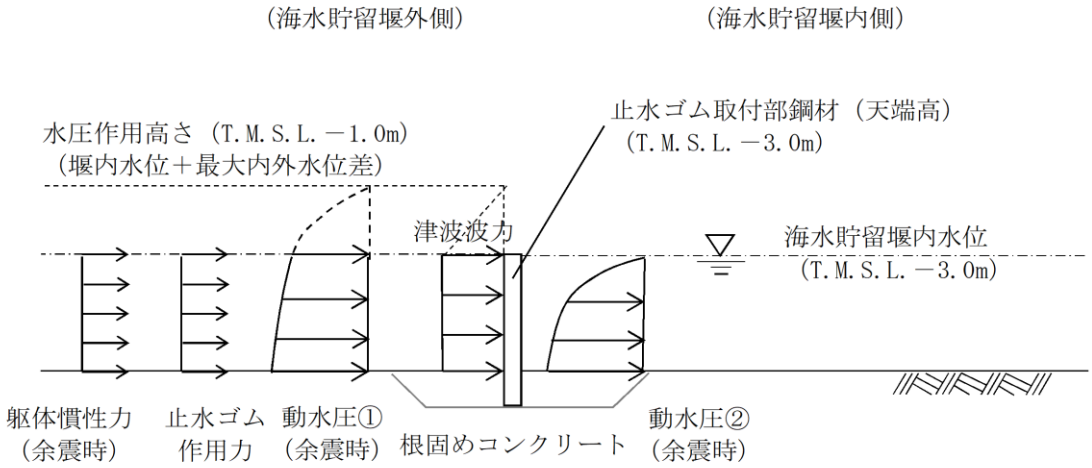


図 3－9　荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材　重畳時２　北側）

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，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.4.1　鋼管矢板

鋼管矢板の許容限界は，「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 3－5 に示す短期許容応力度とする。

表 3－5　鋼管矢板の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
鋼管矢板 ϕ1100	SKY490	短期許容曲げ応力度　σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度　τ_a	157

3.4.2　止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の許容限界は，「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 3－6 に示す短期許容応力度とする。

また，止水ゴム取付部鋼材（SM490）は，鋼管矢板及び前面鋼矢板に水中溶接にて設置する。水中溶接の評価に用いる許容限界は，「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)」，「鋼矢板　設計から施工まで（鋼管杭協会，平成 12 年 3 月)」及び「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版)」に基づき，表 3－7 に示す短期許容応力度とする。

表 3－6　止水ゴム取付部鋼材の許容限界

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
止水ゴム取付部鋼材	SM490	短期許容曲げ応力度　σ_{sa}	277
		短期許容せん断応力度　τ_a	157

表 3－7(1)　止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：鋼管矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
止水ゴム取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材（SM490）／鋼管矢板（SKY490）	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a （水中溶接部）	110

表 3－7(2)　止水ゴム取付部鋼材（水中溶接部）の許容限界（接続：前面鋼矢板）

部位	材料	項目	許容限界 (N/mm^2)
止水ゴム取付部鋼材	止水ゴム取付部鋼材（SM490）／前面鋼矢板（SY295）	短期許容曲げ応力度 σ_{sa} 及び 短期許容せん断応力度 τ_a （水中溶接部）	105

3.4.3　止水ゴム

止水ゴムの変形量の許容限界を表 3－8 に示す。止水ゴムの変形量の許容限界は，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。

表 3－8　止水ゴムの変形量の許容限界

部位	項目	許容限界	
止水ゴム	変形量	δ_x	9.5cm以上*
		δ_y	11.3cm以上*
		δ_z	12.2cm以上*

注記＊ :

3.5　評価方法

評価方法は，「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，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき設定する。

3.5.1　津波時

(1)　鋼管矢板

a.　解析概要

津波時に発生する応答値は，固定荷重に加え，基準津波による津波荷重を作用させるとともに，衝突荷重を海水貯留堰（6 号機設備）に作用させた 2 次元静的フレーム解析より算定する。

2 次元静的フレーム解析には，解析コード「ＦＲＥＭＩＮＧ」を使用する。なお，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b.　2 次元静的フレーム解析

2 次元静的フレーム解析では，海水貯留堰（6 号機設備）を構成する鋼管矢板に継手間隔を加えた長さを鋼管矢板 1 本あたりの分担幅とし，鋼管矢板の断面積や断面二次モーメント等を単位奥行きあたりに換算した物性値を用いる。鋼管矢板を線形はり要素，地盤を線形ばね要素でモデル化する。津波時の検討で用いる解析モデルを図 3－10 に示す。

c.　解析ケース

津波時の地盤ばねは，地盤物性のばらつきを網羅的に考慮するために，地盤剛性のばらつき及び地盤の変形係数の違いの影響を考慮した 6 ケースについて，水平方向の地盤反力係数を算定し，地盤反力係数が小さくなるケースを決定ケースとし，地盤ばねを設定する。初期せん断弾性係数から算定した地盤ばねを地盤ばね 1，静弾性係数から算定した地盤ばねを地盤ばね 2 とする。解析ケースを表 3－9 に示す。

地盤剛性のばらつきは，各地層の PS 検層の結果から得られるせん断波速度の標準偏差 σ に基づいて設定する。

地盤ばねにおける水平方向の地盤反力係数は，「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）」に従って算出する。

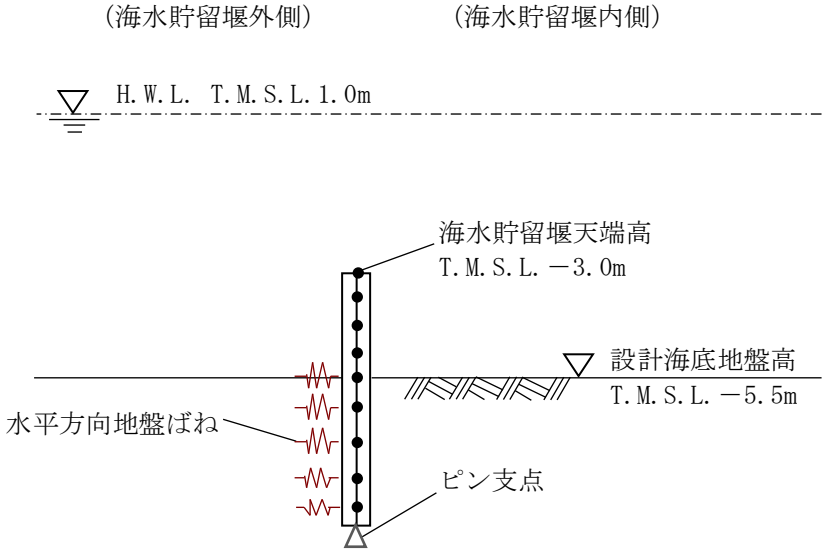


図 3－10　解析モデル

表 3－9　解析ケース（津波時）

ケース名	地盤反力係数		決定ケース	備考
	変形係数の算定方法	地盤剛性のばらつき		
地盤ばね 1	初期せん断弾性係数 G_0	平均値	地盤剛性（－1σ）	地盤抵抗のばらつきを考慮
		＋1σ		
		－1σ		
地盤ばね 2	静弾性係数 E_0	平均値	地盤剛性（－1σ）	
		＋1σ		
		－1σ		

c. 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3－10 に，材料の物性値を表 3－11 に示す。

表 3－10　使用材料

諸元		
海水貯留堰 (6 号機設備)	鋼管矢板	φ1100 mm，t＝14 mm*，16 mm* (SKY490)

注記＊：外側 1mm の腐食代を考慮する。

表 3－11　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
鋼管矢板	77.0	2.00×10^5	0.3

d. 地盤の物性値

地盤の物性値は，V-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。

e. 評価方法

鋼管矢板の強度評価は，鋼管矢板の曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで，

σ	：	鋼管矢板の曲げモーメント及び軸力より算定した応力（N/mm^2）
M	：	最大曲げモーメント（N･mm）
Z	：	断面係数（mm^3）
N	：	軸力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \cdot \frac{S}{A}$$

ここで，

τ	：	鋼管矢板のせん断力より算定したせん断応力（N/mm^2）
S	：	せん断力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）
κ	：	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合 κ＝2.0）

(2)　止水ゴム取付部鋼材

a.　構造概要

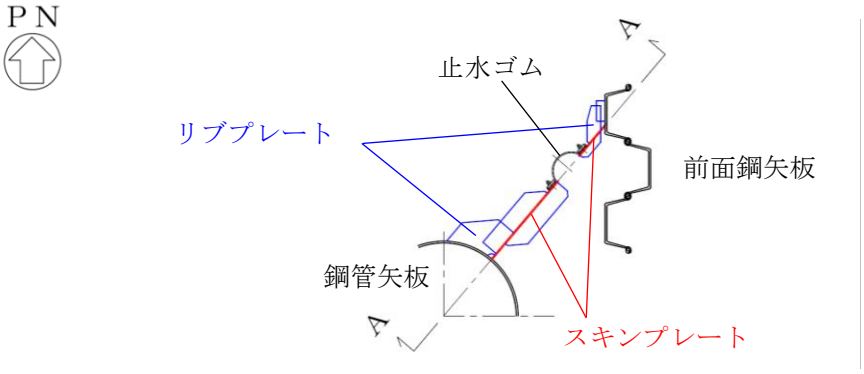
止水ゴム取付部鋼材の照査対象部材は，スキンプレート，リブプレート及びリブプレートと前面鋼矢板又は鋼管矢板との接合部とする。

止水ゴム取付部鋼材に関する使用材料を表 3－12 に，止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図を図 3－11 にそれぞれ示す。

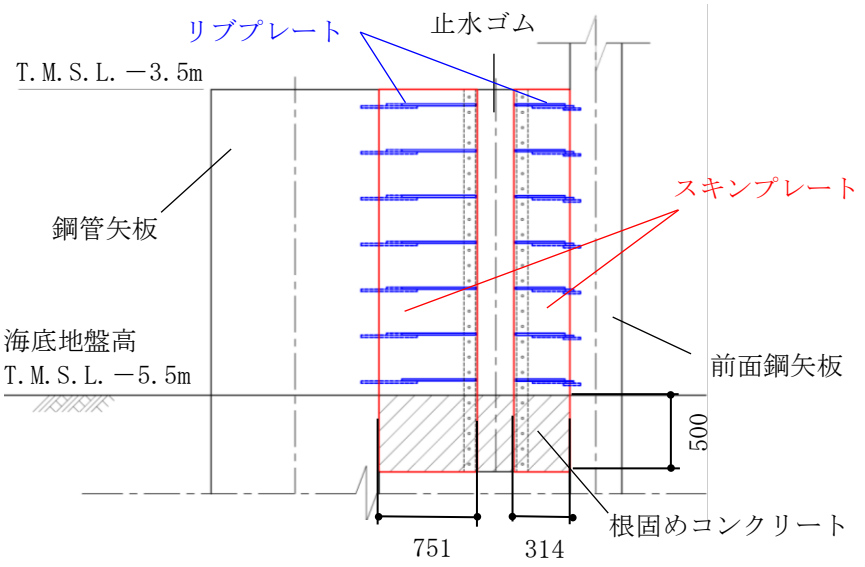
表 3－12　使用材料

部位	材料	諸元
止水ゴム取付部鋼材	スキンプレート	t＝9 mm* (SM490)
	リブプレート	t＝14 mm* (SM490)

注記＊：断面照査においては海水と接する面に対して 1 mm の腐食代を考慮する。



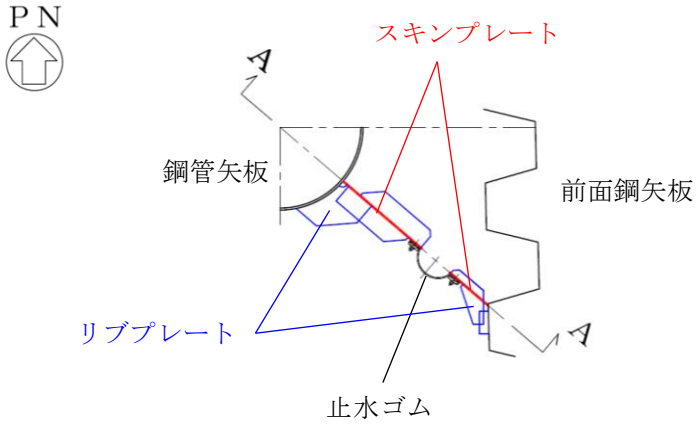
(a) 平面図



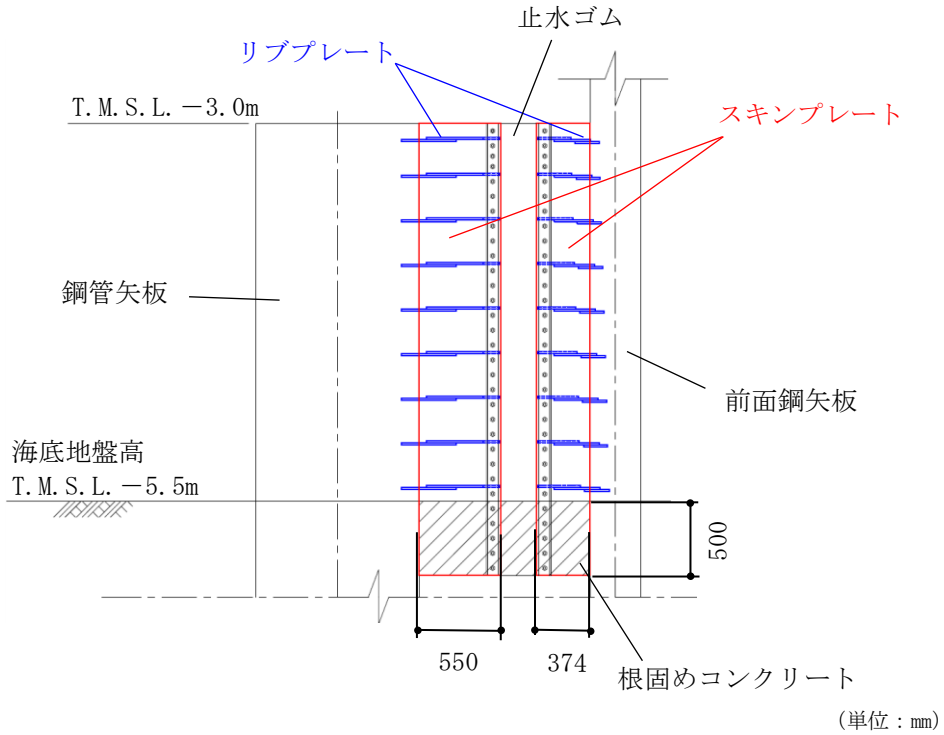
（単位：mm）

(b) Ａ－Ａ断面図

図 3－11(1)　　止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図（南側）



(a) 平面図



(b) Ａ－Ａ断面図

図 3－11(2)　止水ゴム取付部鋼材の詳細構造図（北側）

b.　解析概要

津波時に発生する応答値は，ゴム作用力及び基準津波による津波荷重を作用させて構造物を線形はり構造として解析を行う。

c.　止水ゴム取付部鋼材の解析方法

(a)　スキンプレート

スキンプレートは，取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰（6 号機設備）鋼管矢板側に設置する。スキンプレートの照査については，設置間隔 300㎜ のリブプレートで支持された両端固定梁として行う。

イ．　モデル化

スキンプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3－12 に示す。また，照査断面を図 3－13 に示す。

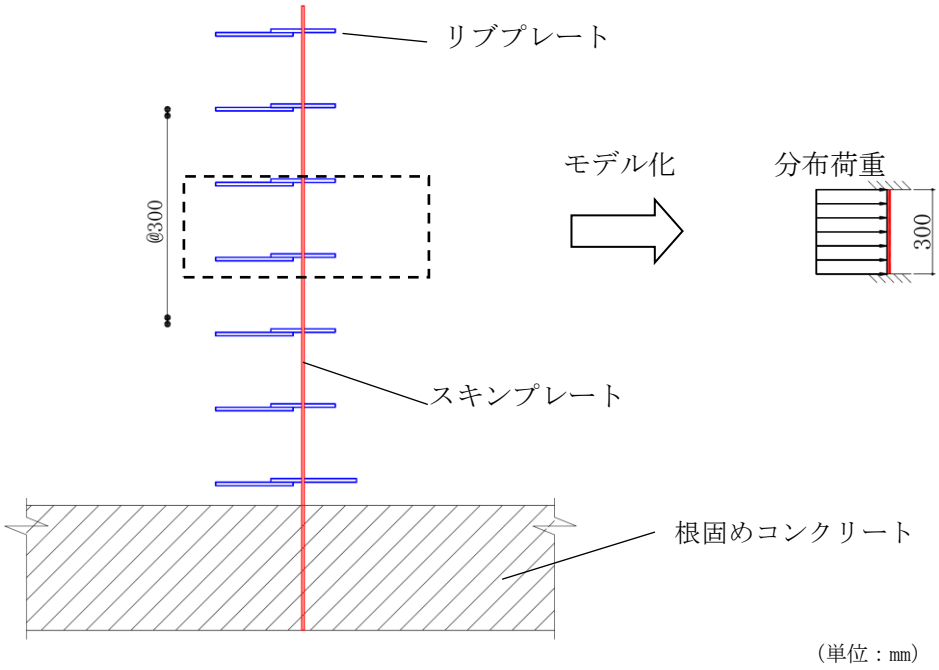


図 3－12　照査モデル図（スキンプレート）



注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3－13　照査断面（スキンプレート）

ロ．　断面照査方法

スキンプレートに発生する断面力算出式を以下に記す。

$$M_{max} = \frac{q \cdot l \cdot L^{2}}{12}$$

$$S_{max} = \frac{q \cdot l \cdot L}{2}$$

ここに，

M_{max}　：最大発生曲げモーメント（kN・m）

q　：分布荷重（kN/m^2）

L　：分布荷重載荷幅＝リブプレート間隔（m）

l　：スキンプレート奥行き（m）

S_{max}　：最大発生せん断力（kN）

(b) リブプレート

リブプレートは，取水護岸前面鋼矢板側と海水貯留堰（6 号機設備）鋼管矢板側に設置する。リブプレートの照査については，止水ゴム取付部鋼材のリブプレート断面変化箇所に対して行う。

イ． モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3－14 に示す。また，照査断面を図 3－15 に示す。

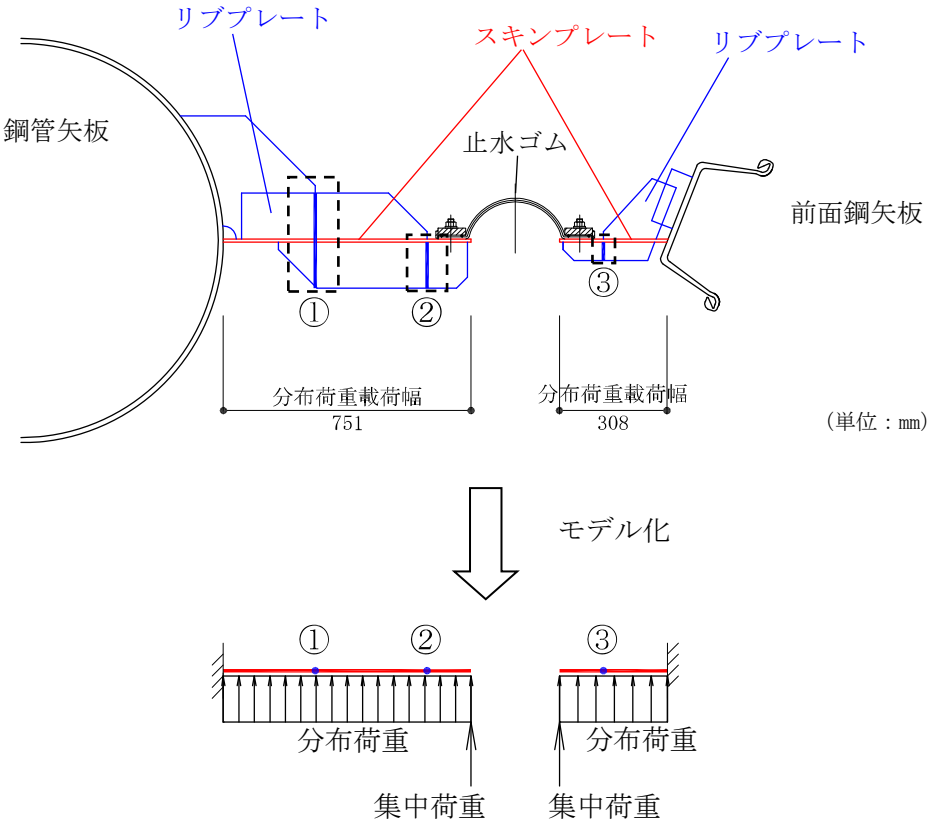
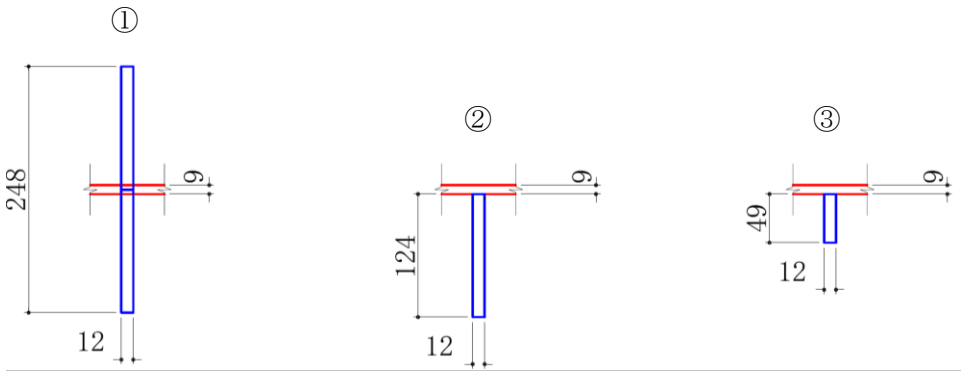


図 3－14　照査モデル図（リブプレートと鋼管矢板又は前面鋼矢板）



（単位：mm）

注：照査断面は腐食代を考慮した断面を示す。

図 3－15　照査断面（リブプレート）

ロ．　断面照査方法

リブプレートに発生する断面力算出式を以下に記す。

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^{2} \cdot l}{2} + P \cdot L \cdot l$$

$$S_{max} = q \cdot L \cdot l + P \cdot l$$

ここに，

M_{max}　：最大発生曲げモーメント（kN･m）

q　：分布荷重（kN/m^2）

L　：分布荷重載荷幅＝検討箇所でのリブプレート張り出し長（m）

l　：リブプレート間隔（m）

P　：集中荷重（kN/m）

S_{max}　：最大発生せん断力（kN）

(c)　鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

止水ゴム取付部鋼材では，リブプレート部材と取水護岸前面鋼矢板及び海水貯留堰（6 号機設備）鋼管矢板との接合部において発生荷重を負担している。接合部の照査は，リブプレートと前面鋼矢板及びリブプレートと鋼管矢板との接合部に対して行う。

イ．　モデル化

鋼矢板及び鋼管矢板との接合部に作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を図 3－16 に示す。また，照査断面を図 3－17 に示す。

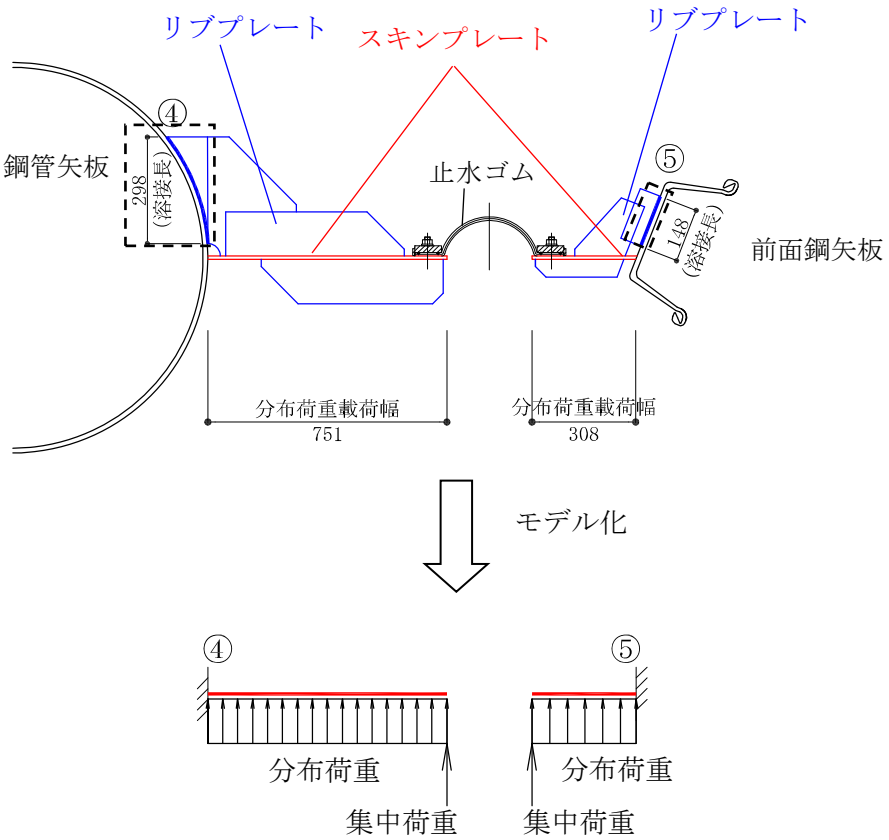
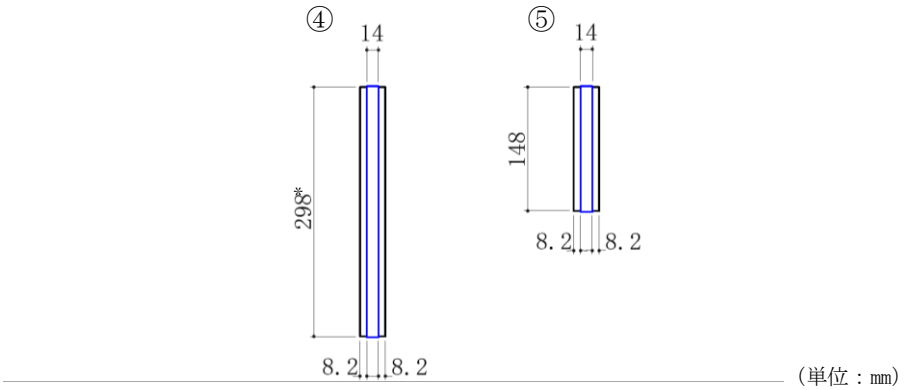


図 3－16　照査モデル図（前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部）



注記＊：④部は鋼管矢板の外面形状に沿って溶接しているが，保守的にプレート幅を溶接長さとして扱う。

図 3－17　照査断面（前面鋼矢板及び鋼管矢板との接合部）

ロ．　断面照査方法

リブプレートと前面鋼矢板の溶接部及びリブプレートと鋼管矢板の溶接部に発生する断面力算定式を以下に記す。また，リブプレートと前面鋼矢板の溶接部は，発生せん断力に対して角度を有していることから，図 3－18 に示すように角度補正を行う。

$$M_{max}=\frac{q\cdot L^{2}\cdot l}{2}+P\cdot L\cdot l$$

$$S_{max}=q\cdot L\cdot l+P\cdot l$$

リブプレートと前面鋼矢板溶接部

$$S=S_{max}\cdot \cos\theta$$

$$N=S_{max}\cdot \sin\theta$$

ここに，

M_{max}	：	最大発生曲げモーメント（kN･m）
q	：	分布荷重（kN/m²）
L	：	分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長（m）
l	：	リブプレート間隔（m）
P	：	集中荷重（kN/m）
S_{max}	：	最大発生せん断力（kN）
S	：	最大発生せん断力に対する分力（せん断力）（kN）
N	：	最大発生せん断力に対する分力（引張力）（kN）

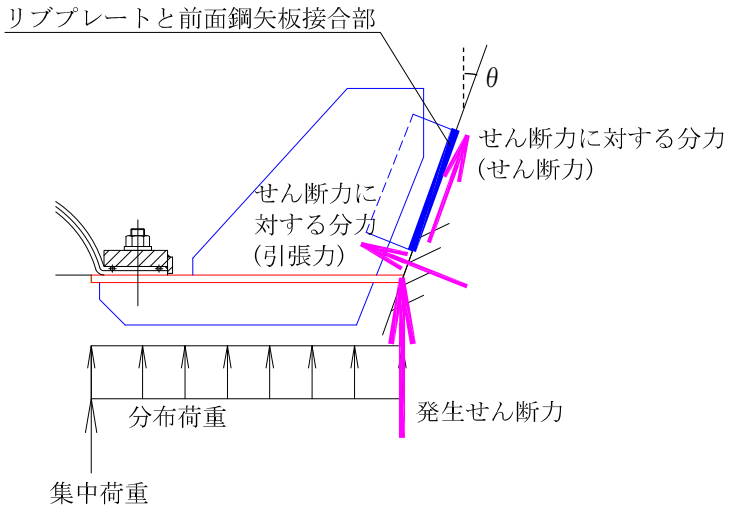


図 3－18　リブプレートと前面鋼矢板溶接部におけるせん断力の補正について

d. 評価方法

止水ゴム取付部鋼材の強度評価は，曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで,

σ	：	曲げモーメント及び軸力より算定した応力（N/mm^2）
M	：	最大曲げモーメント（N･mm）
Z	：	断面係数（mm^3）
N	：	軸力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \cdot \frac{S}{A}$$

ここで,

τ	：	せん断力より算定したせん断応力（N/mm^2）
S	：	せん断力（N）
A	：	有効断面積（mm^2）
κ	：	せん断応力の分布係数（κ＝1.5）

(3)　止水ゴム

a.　止水ゴムの発生変形量の考え方

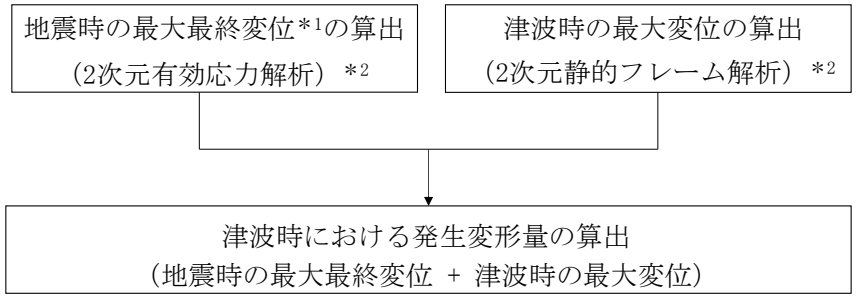
止水ゴムの変形性評価に用いる津波時の止水ゴムの発生変形量は，図 3－19 の止水ゴムの発生変形量算出フローに示すとおり，地震後に津波が襲来することを想定し，地震時における最大最終変位に，津波時の最大変位を加えることで，津波襲来時及び漂流物衝突時に発生する変位量を評価する。

(a)　地震時の最大最終変位

地震時の最大最終変位は，Ⅴ-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6 号機設備）の耐震性についての計算書」に示す解析ケースのうち，地震時の 2 次元有効応力解析における各方向（δx，δy，δz）の最終時刻の変位が最大となる解析ケースの値を示す。

(b)　津波時の最大変位

津波時の止水ゴムの変位量は，津波荷重及び衝突荷重を用いた 2 次元静的フレーム解析で算出する。津波時の最大変位は，津波時のうち，津波時の 2 次元静的フレーム解析における各方向（δ_x，δ_y，δ_z）の変位が最大となる解析ケースの値を示す。



注記＊1　：最大最終変位とは，地震時の2次元有効応力解析における最終時刻の変位が最大となる解析ケースの値である。
（参照：Ⅴ-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6 号機設備）の耐震性についての計算書」）

＊2　：(　)内は，変位の算出に用いる解析手法を示している。

図 3－19　止水ゴムの発生変形量算出フロー（津波時）

b.　評価方法

止水ゴムの変形性評価は，津波時の止水ゴムの発生変形量が「3.4　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

3.5.2　重畳時

(1)　鋼管矢板

a.　解析概要

鋼管矢板で津波荷重及び余震荷重に抵抗するため，鋼管矢板をモデル化した 2 次元静的フレーム解析を行い，重畳時の鋼管矢板の構造健全性を確認する。2 次元静的フレーム解析で考慮する余震（Ｓｄ－１）に伴う地盤変位や静的震度は，構造物中心位置の地盤モデルに対する 1 次元有効応力解析より設定する。

2 次元静的フレーム解析については，解析コード「ＦＲＥＭＩＮＧ」を，1 次元有効応力解析については，解析コード「ＦＬＩＰ」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，それぞれ，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b.　2 次元静的フレーム解析

2 次元静的フレーム解析モデルは，「3.5.1　津波時」と同様とする。

c.　解析ケース

重畳時の地盤ばねは，地盤物性のばらつきを網羅的に考慮するために，表 3－13 の解析ケースについて，余震（Ｓｄ－１）を用いて 1 次元有効応力解析を実施し，地盤剛性のばらつき及び 1 次元有効応力解析の着目時間の違いの影響を考慮した 9 ケースについて，水平方向の地盤反力係数を算定し，地盤反力係数が小さくなるケースを決定ケースとし，地盤ばねを設定する。地表面加速度が最大となる時刻の地盤剛性から設定した地盤ばねを地盤ばね 3，地表面変位が最大となる時刻の地盤剛性から設定した地盤ばねを地盤ばね 4，せん断ひずみが最大となる時刻の地盤剛性から設定した地盤ばねを地盤ばね 5 とする。

地盤剛性のばらつきは，各地層の PS 検層の結果から得られるせん断波速度の標準偏差 σ に基づいて設定する。

地盤の変形係数は，1 次元有効応力解析による地盤の応力ひずみ関係から算定する。

地盤ばねにおける水平方向の地盤反力係数は，「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）」に従って算出する。

表 3－13　解析ケース（重畳時）

ケース名	地盤反力係数		決定ケース	備考
	着目時刻	地盤剛性のばらつき		
地盤ばね 3	地表面加速度最大	平均値	地盤剛性（－1σ）	地盤抵抗のばらつきを考慮
		＋1σ		
		－1σ		
地盤ばね 4	地表面変位最大	平均値	地盤剛性（－1σ）	
		＋1σ		
		－1σ		
地盤ばね 5	せん断ひずみ最大	平均値	地盤剛性（－1σ）	
		＋1σ		
		－1σ		

c.　1 次元有効応力解析

(a)　解析モデル

解析モデルは，構造物設置位置の地層構成に基づきモデル化する。

(b)　地盤の物性値

地盤の物性値は，「3.5.1　津波時」と同様とする。

(c)　入力地震動

入力地震動は，V-2-1-6「地震応答解析の基本方針　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余震（Ｓｄ－１）を 1 次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものを用いる。

図 3－20 に入力地震動算定の概念図を，図 3－21 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「ＳＬＯＫ」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，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(d)　減衰定数

減衰特性は，柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析等を踏まえ，Rayleigh 減衰として，$\alpha=0$，$\beta=0.005$ を設定する。

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」と同じである。

e. 地盤の物性値

地盤の物性値は，「3.5.1　津波時」と同じである。

f. 評価方法

鋼管矢板の強度評価は，「3.5.1　津波時」と同じ方法により，許容限界以下であることを確認する。

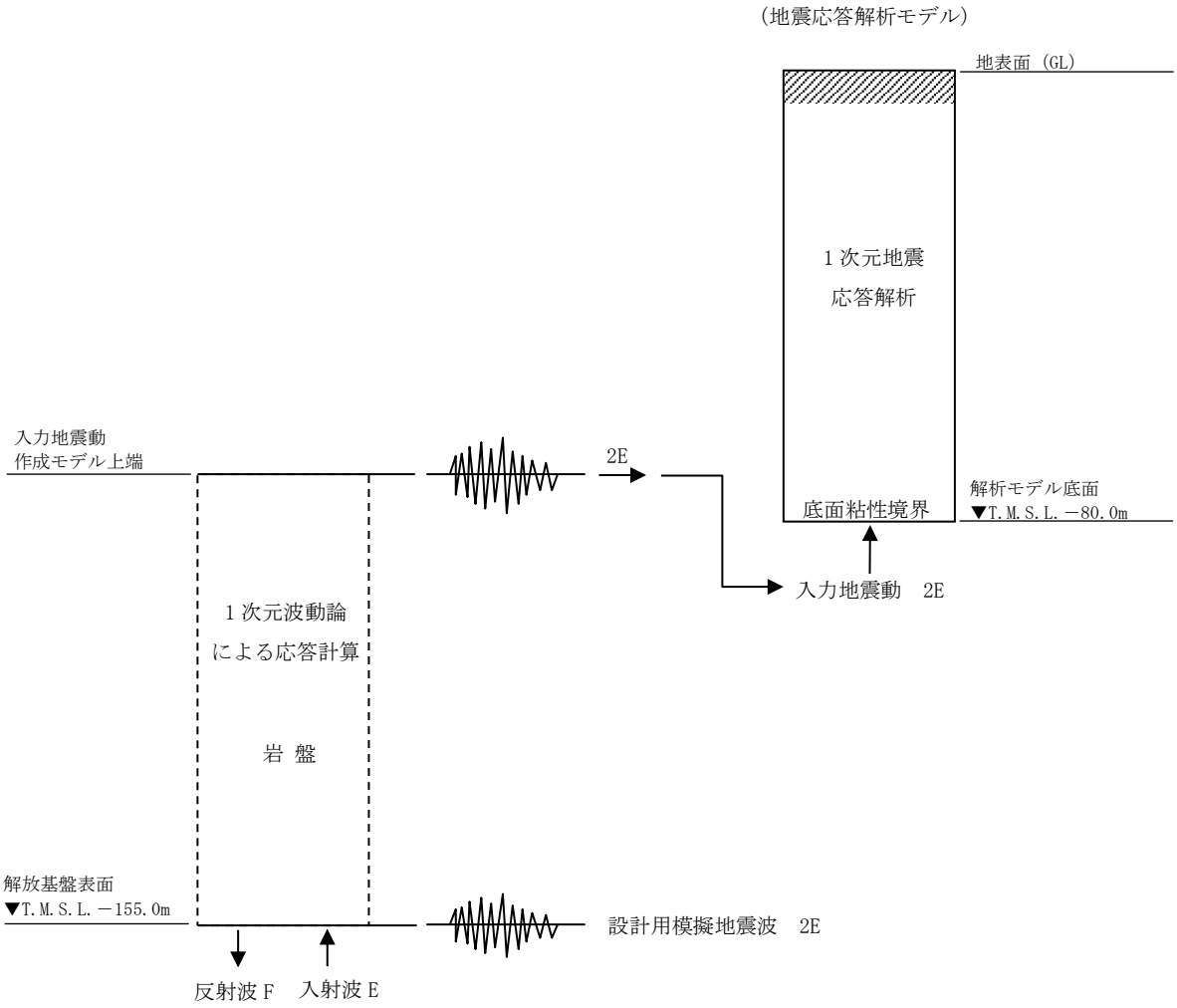
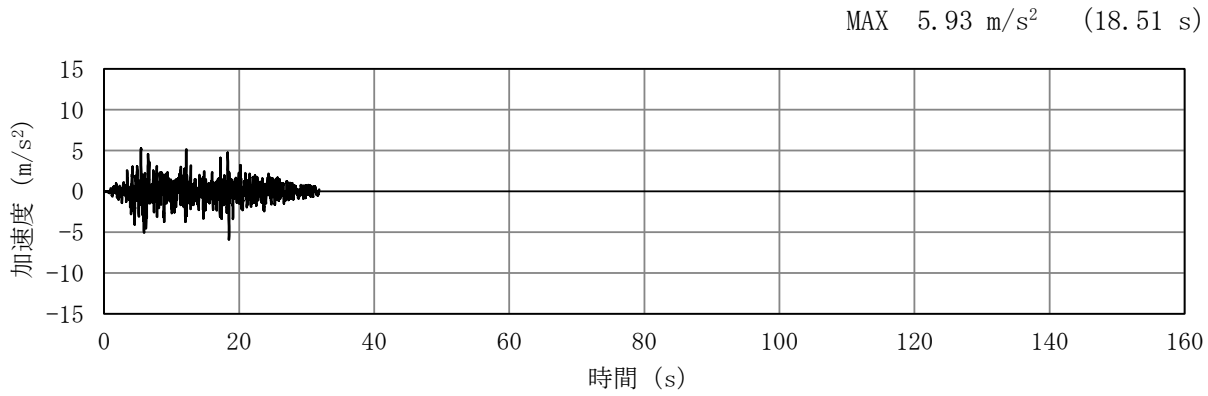
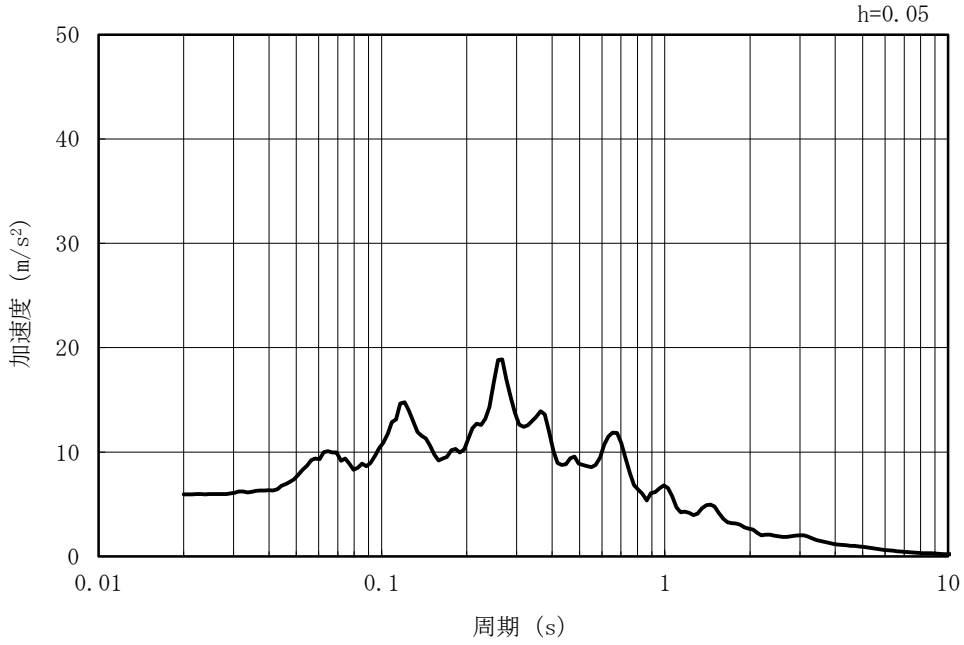


図 3－20　入力地震動算定の概念図

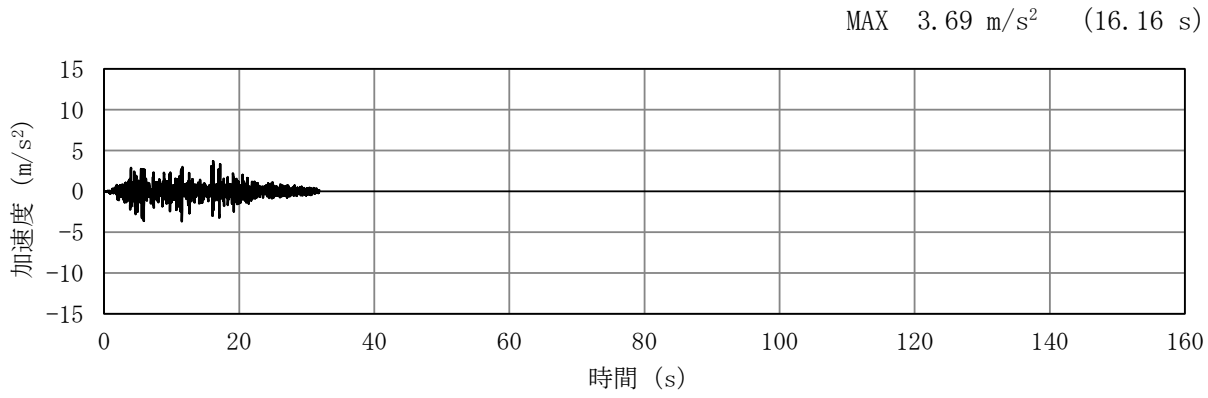


(a)　加速度時刻歴波形

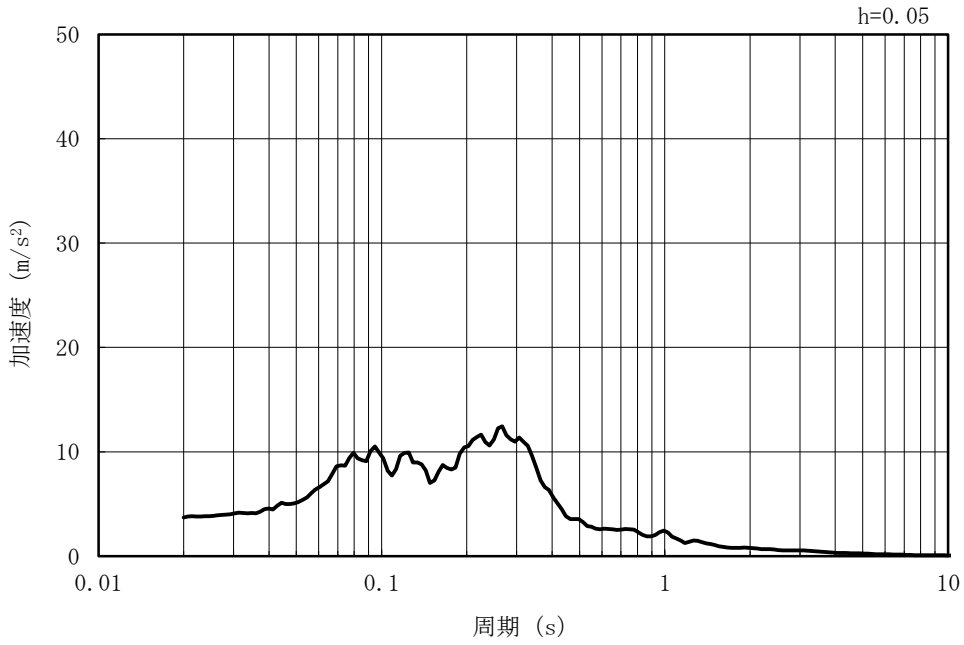


(b)　加速度応答スペクトル

図 3－21(1)　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
（水平方向：Sd-1）



(a)　加速度時刻歴波形



(b)　加速度応答スペクトル

図 3－21(2)　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
（鉛直方向：Sd-1）

(2)　止水ゴム取付部鋼材

a.　構造概要

止水ゴム取付部鋼材の構造概要は，「3.5.1　津波時」と同じである。

b.　解析概要

重畳時に発生する応答値は，ゴム作用力，余震（Ｓｄ－１）による慣性力及び動水圧，基準津波による津波荷重を作用させた線形はり構造として解析を行う。

c.　部材ごとの解析方法

部材ごとの解析方法は，「3.5.1　津波時」と同じである。

d.　評価方法

評価方法は，「3.5.1　津波時」と同じである。

(3)　止水ゴム

a.　止水ゴムの発生変形量の考え方

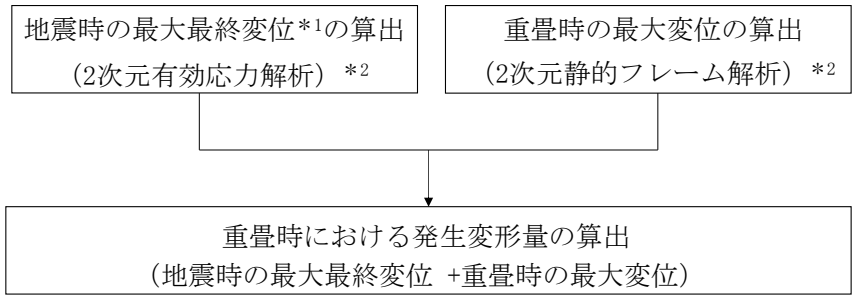
止水ゴムの変形性評価に用いる重畳時の止水ゴムの発生変形量は，図3－22の止水ゴムの発生変形量算出フローに示すとおり，地震後に津波が襲来することを想定し，地震時における最大最終変位に，重畳時の最大変位を加えることで，津波襲来時，余震時及び漂流物衝突時に発生する変位量を評価する。

(a)　地震時の最大最終変位

地震時の最大最終変位は，「3.5.1　津波時」と同じである。

(b)　重畳時の最大変位

重畳時の止水ゴムの変位量は，津波荷重，動水圧，余震荷重及び衝突荷重を用いた2次元静的フレーム解析で算出する。重畳時の最大変位は，重畳時1及び重畳時2のうち，2次元静的フレーム解析における各方向（δ_x，δ_y，δ_z）の変位が最大となる解析ケースの値を示す。



注記＊1：最大最終変位とは，地震時の2次元有効応力解析における最終時刻の変位が最大となる解析ケースの値である。
（参照：Ⅴ-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」）

＊2：（　）内は，変位の算出に用いる解析手法を示している。

図3－22　止水ゴムの発生変形量算出フロー（重畳時）

b. 評価方法

評価方法は，「3.5.1　津波時」と同じである。

4. 評価条件

(1) 津波時

津波時において，「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4－1 から表 4－4 に示す。

表 4－1 強度評価条件（津波時，断面①，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	40.4	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－2　強度評価条件（津波時，断面②，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	75.8	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	50.5	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	5.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	7.50	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	5.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	55.6	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	42.1	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0136	m^3
A	有効断面積	0.0511	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－3　強度評価条件（津波時，断面①，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	407.7	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	69.2	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	62.8	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－4　強度評価条件（津波時，断面②，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	―	―
k_v	鉛直震度	―	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	75.8	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	50.5	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	5.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	7.50	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	5.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	419.3	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	―	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	86.9	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	―	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	66.6	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	―	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	―	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0127	m^3
A	有効断面積	0.0475	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

(2) 重畳時

重畳時において，「3. 強度評価方法」に用いる強度評価条件を表 4－5 から表 4－12 に示す。

表 4－5 強度評価条件（重畳時 1，断面①，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.51	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	23.2	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	40.4	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	―	kN
y	動水圧の作用高さ	0.80	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	18.7	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	11.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－6　強度評価条件（重畳時 1，断面②，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.58	—
k_v	鉛直震度	0.30	—
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	75.8	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	50.5	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	5.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	7.50	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	5.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	—	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	34.0	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	55.6	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	—	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	0.90	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	42.1	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	24.4	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	12.6	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0136	m^3
A	有効断面積	0.0511	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－7　強度評価条件（重畳時 1，断面①，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.51	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	60.6	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	4.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	6.00	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	4.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	39.7	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	69.2	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	―	kN
y	動水圧の作用高さ	0.80	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	62.8	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	32.0	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	18.8	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－8　強度評価条件（重畳時 1，断面②，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.58	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	75.8	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	50.5	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	5.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	7.50	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	5.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	53.2	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	86.9	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	―	kN
y	動水圧の作用高さ	0.90	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	66.6	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	38.7	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	20.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0127	m^3
A	有効断面積	0.0475	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－9　強度評価条件（重畳時 2，断面①，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.51	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	4.00	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	42.7	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	20.2	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	0.91	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	36.7	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	18.7	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	11.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0119	m^3
A	有効断面積	0.0443	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－10　強度評価条件（重畳時 2，断面②，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.58	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	45.5	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	25.3	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	4.50	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.50	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	370.2	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	69.5	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	20.2	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	1.11	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	42.1	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	24.4	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	12.6	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0136	m^3
A	有効断面積	0.0511	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

表 4－11　強度評価条件（重畳時 2，断面①，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.51	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	40.4	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	20.2	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	4.00	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.00	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	407.7	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	73.0	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	34.6	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	0.91	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	62.8	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	32.0	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	18.8	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0108	m^3
A	有効断面積	0.0403	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	―
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	―
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	―

表 4－12　強度評価条件（重畳時 2，断面②，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
k_h	水平震度	0.58	―
k_v	鉛直震度	0.30	―
p_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における波圧強度	45.5	kN/m^2
p_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における波圧強度	20.2	kN/m^2
p_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における波圧強度	25.3	kN/m^2
η	海水貯留堰（6 号機設備）外側の貯留堰天端面からの津波高さ	2.00	m
h_1	海水貯留堰（6 号機設備）外側の底面における水深	4.50	m
h_2	海水貯留堰（6 号機設備）外側の天端面における水深	2.00	m
h_3	海水貯留堰（6 号機設備）内側の底面における水深	2.50	m
P_c	衝突荷重（荷重分担延長考慮）	419.3	kN/m
P_d	動水圧合力（荷重分担延長考慮）	108.7	kN
P_t	遡上津波荷重（荷重分担延長考慮）	―	kN/m
P_{hy}	津波荷重（静水圧）（荷重分担延長考慮）	31.6	kN/m
v	海水貯留堰（6 号機設備）位置での津波最大流速	6.00	m/s
W_c	漂流物の重量	10	kN
y	動水圧の作用高さ	1.11	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	66.6	kN
KS_d	余震荷重（水平方向慣性力）	38.7	kN
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	20.0	kN
σ_{sa}	短期許容曲げ応力度	277	N/mm^2
Z	断面係数	0.0127	m^3
A	有効断面積	0.0475	m^2
τ_a	短期許容せん断応力度	157	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	－
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	－
	せん断応力の分布係数（接合部の場合）	1.5	－

5. 強度評価結果

5.1 津波時

評価対象部位ごとに津波時の評価結果を示す。

5.1.1 鋼管矢板

津波時における鋼管矢板の解析結果を示す。なお，海水貯留堰の取水護岸側の端部の鋼管矢板は，止水ゴム等の付属物によって受圧面積が大きくなるため作用外力が一般部と比較して大きくなる。鋼管矢板の強度評価においては，その荷重増分を考慮しない鋼管矢板（一般部）と，その荷重増分を考慮する鋼管矢板（端部）に対する評価結果をそれぞれ整理する。

(1) 鋼管矢板（一般部）

a. 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表5－1に示す。

表5－1(1) 曲げ軸力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね1	1325	37	152	277	0.55
地盤ばね2	1066	37	123	277	0.45

表5－1(2) 曲げ軸力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね1	1528	43	153	277	0.56
地盤ばね2	1312	43	131	277	0.48

b.　せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－2 に示す。

表 5－2(1)　せん断力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 1	579	36	157	0.23
地盤ばね 2	570	35	157	0.23

表 5－2(2)　せん断力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 1	508	27	157	0.18
地盤ばね 2	508	27	157	0.18

(2)　鋼管矢板（端部）

津波時と重畳時（重畳時 2）を比較して，重畳時（重畳時 2）における作用外力が大きいため，津波時の検討を省略する。

5.1.2　止水ゴム取付部鋼材

津波時と重畳時（重畳時 1）を比較して，重畳時（重畳時 1）における作用外力が大きいため，津波時の検討を省略する。

5.1.3　止水ゴム

津波時と重畳時（重畳時 2）を比較して，重畳時（重畳時 2）における相対変位が大きいため，津波時の検討を省略する。

5.2　重畳時

評価対象部位ごとに重畳時の評価結果を示す。

5.2.1　1次元有効応力解析結果

1次元有効応力解析結果から地表面最大加速度，地表面最大変位，最大せん断ひずみをまとめたものを表5－3に示す。

表5－3(1)　1次元有効応力解析結果（断面①）

解析ケース		①	②	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
地盤ばね3	地表面加速度が最大となるケース（m/s^2）	4.55	4.25	4.95
地盤ばね4	地表面変位が最大となるケース（cm）	2.8	2.3	3.3
地盤ばね5	せん断ひずみが最大となるケース	7.47×10^{-4}	4.99×10^{-4}	1.21×10^{-3}

表5－3(2)　1次元有効応力解析結果（断面②）

解析ケース		①	②	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
地盤ばね3	地表面加速度が最大となるケース（m/s^2）	5.61	5.49	5.66
地盤ばね4	地表面変位が最大となるケース（cm）	4.3	3.3	5.5
地盤ばね5	せん断ひずみが最大となるケース	3.08×10^{-3}	2.57×10^{-3}	4.46×10^{-3}

表5－3より，断面①及び断面②における地盤ばねは，地表面加速度が最大，地表面変位が最大，せん断ひずみ最大が発生する「③地盤物性のばらつきを考慮（－1σ）した解析ケース」に基づき設定する。地盤ばねはそれぞれ，地表面加速度最大発生時刻，地表面変位最大発生時刻，せん断ひずみ最大発生時刻における平均有効主応力σ'_m及びせん断ひずみγの深度分布により求められる地盤剛性を用いて地盤ばねを設定する。

5.2.2　鋼管矢板

重畳時における鋼管矢板の解析結果を以下に示す。なお，重畳時1と重畳時2を比較して，重畳時2における作用外力が大きいため，重畳時2における鋼管矢板の評価結果を示す。海水貯留堰の取水護岸側端部の鋼管矢板は，止水ゴム等の付属物によって受圧面積が大きくなるため作用外力が一般部と比較して大きくなる。鋼管矢板の強度評価においては，その荷重増分を考慮しない鋼管矢板（一般部）と，その荷重増分を考慮する鋼管矢板（端部）に対する評価結果をそれぞれ整理する。

(1)　鋼管矢板（一般部）

地盤ばねの設定に用いた地盤物性を表5－4に示す。

表5－4　地盤ばねの設定に用いた地盤物性

解析ケース	検討断面	地盤物性
地盤ばね3	断面①	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
	断面②	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
地盤ばね4	断面①	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
	断面②	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
地盤ばね5	断面①	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース
	断面②	解析ケース③ 地盤物性のばらつき（－1σ）を考慮した解析ケース

a.　曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－5 に示す。

表 5－5(1)　曲げ軸力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	1437	48	165	277	0.60
地盤ばね 4	1433	48	165	277	0.60
地盤ばね 5*	－	－	－	－	－

表 5－5(2)　曲げ軸力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	1476	55	148	277	0.54
地盤ばね 4	1477	55	148	277	0.54
地盤ばね 5*	－	－	－	－	－

注記＊：地盤ばね 3 とは地盤ばね 5 は着目時刻がほぼ同じため，1 次元有効応力解析による地盤の応力ひずみ関係から算定する地盤の変形係数が同値になるため照査を省略する。

b.　せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－6 に示す。

表 5－6(1)　せん断力に対する照査結果（断面①）

ケース名	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	633	39	157	0.25
地盤ばね 4	631	39	157	0.25
地盤ばね 5*	－	－	－	－

表 5－6(2)　せん断力に対する照査結果（断面②）

ケース名	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	500	27	157	0.18
地盤ばね 4	500	27	157	0.18
地盤ばね 5*	－	－	－	－

注記＊：地盤ばね 3 とは地盤ばね 5 は着目時刻がほぼ同じため，1 次元有効応力解析による地盤の応力ひずみ関係から算定する地盤の変形係数が同値になるため照査を省略する。

(2) 鋼管矢板（端部）

海水貯留堰（6 号機設備）の前面鋼矢板側端部は，止水ゴム取付部鋼材等の付属物によって作用外力が一般部と比較して大きくなる。ここでは，それらの荷重を考慮した前面鋼管矢板端部の評価結果を示す。なお，地盤ばねは及び地盤物性は，照査が最も厳しい条件とした。

a. 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。照査結果を表 5－7 に示す。

表 5－7(1) 曲げ軸力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	1716	82	198	277	0.72

表 5－7(2) 曲げ軸力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	1803	87	172	277	0.63

b.　せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果，せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。せん断力に対する照査結果を表 5－8 に示す。

表 5－8(1)　せん断力に対する照査結果（断面①）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	757	47	157	0.30

表 5－8(2)　せん断力に対する照査結果（断面②）

解析ケース	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
地盤ばね 3	622	32	157	0.21

5.2.3　止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の作用断面力及び照査結果を表 5－9 から表 5－14 に示す。照査に用いる断面力は，海水貯留堰（6 号機設備）の南側及び北側の止水ゴム取付部鋼材のうち，卓越する断面力を用いる。なお，重畳時 1 と重畳時 2 を比較して，重畳時 1 における作用外力が大きいため，重畳時 1 における止水ゴム取付部鋼材の評価結果を示す。

止水ゴム取付部鋼材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

(1)　スキンプレート

表 5－9　作用断面力

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
0.598	―	12

表 5－10　照査結果

評価項目	発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
曲げモーメント	74	277	0.27
せん断力	3	157	0.02

(2)　リブプレート（海水貯留堰（6 号機設備）北側　検討断面③）

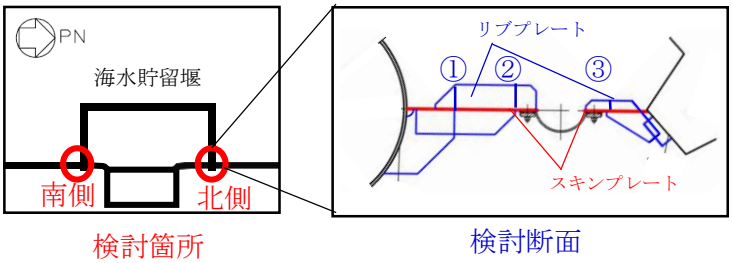
リブプレートの最大照査箇所は，海水貯留堰（6 号機設備）北側の検討断面③である。

表 5－11　作用断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
北側	③	0.590	—	7

表 5－12　照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント	北側	③	123	277	0.45
せん断力	北側	③	17	157	0.11



照査対象箇所

(3)　鋼矢板及び鋼管矢板との接合部

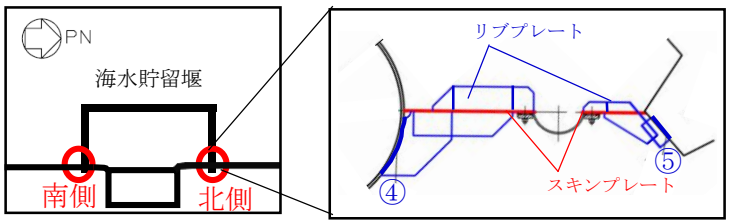
接合部における最大照査箇所は，海水貯留堰（6 号機設備）北側の検討断面⑤（リブプレートと前面鋼矢板接合部）である。

表 5－13　作用断面力

最大照査箇所		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
検討箇所	検討断面			
北側	⑤	2.75	8	10

表 5－14　照査結果

評価項目	最大照査箇所		発生応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	照査値
	検討箇所	検討断面			
曲げモーメント	北側	⑤	50	105	0.48
せん断力	北側	⑤	6	105	0.06



照査対象箇所

5.2.4　止水ゴム

本照査では，止水ゴムの発生変形量が許容限界以下であることを確認する。

止水ゴムの変形性照査結果を表 5－15 に示す。各変位方向の最大最終変位は，地震時の 2 次元有効応力解析結果から算出し，δ_xは解析ケース「①Ss-7」，δ_yは解析ケース「①Ss-7」，δ_zは解析ケース「③Ss-1＋＋」の値である。

また，各変位方向の最大変位は，2 次元静的フレーム解析結果から算出した。

以上より，止水ゴムの発生変形量が許容限界以下であることを確認した。

表 5－15　止水ゴムの変形性照査結果

変位方向	最大最終変位*1		最大変位*2		合計 (cm)	許容限界 (cm)
	解析ケース	変位（cm）	解析ケース	変位（cm）		
δ_x	①Ss-7	1.6	重畳時 2	0.2	1.8	9.5 以上*3
δ_y	①Ss-7	4.6	重畳時 2	0.0	4.6	11.3 以上*3
δ_z	③Ss-1＋＋	2.0	重畳時 2	7.0	9.0	12.2 以上*3

注記＊1　：2 次元有効応力解析から算定した値。

＊2　：2 次元静的フレーム解析から算定した値。

＊3　：

Ⅴ-3-別添3-1-4　取水槽閉止板の強度計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 3
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 5
2.5　記号の説明 ····· 6
3.　評価対象部位及び評価対象設備 ····· 7
4.　構造強度評価 ····· 9
4.1　構造強度評価方法 ····· 9
4.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 9
4.2.1　荷重の組合せ ····· 9
4.2.2　荷重の設定 ····· 9
4.3　許容限界 ····· 11
4.3.1　使用材料 ····· 11
4.3.2　許容限界 ····· 12
4.4　評価方法 ····· 13
4.4.1　主桁 ····· 13
4.4.2　スキンプレート ····· 16
4.4.3　締付ボルト ····· 18
4.4.4　戸当り ····· 19
4.4.5　アンカーボルト ····· 22
4.5　評価条件 ····· 23
5.　評価結果 ····· 24

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に基づき，浸水防護設備のうちタービン補機冷却用海水取水槽閉止板，補機冷却用海水取水槽(A)閉止板，補機冷却用海水取水槽(B)閉止板及び補機冷却用海水取水槽(C)閉止板（以下「取水槽閉止板」という。）が津波の冠水に伴う突き上げ荷重及び余震を考慮した荷重に対して，浸水防護重点化範囲であるタービン建屋内に津波が侵入することを防止するために，十分な構造健全性及び止水性を有していることを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　配置概要

取水槽閉止板は，タービン建屋の補機冷却用海水取水槽の上部床面に設置する。取水槽閉止板の設置位置図を図 2－1 に示す。

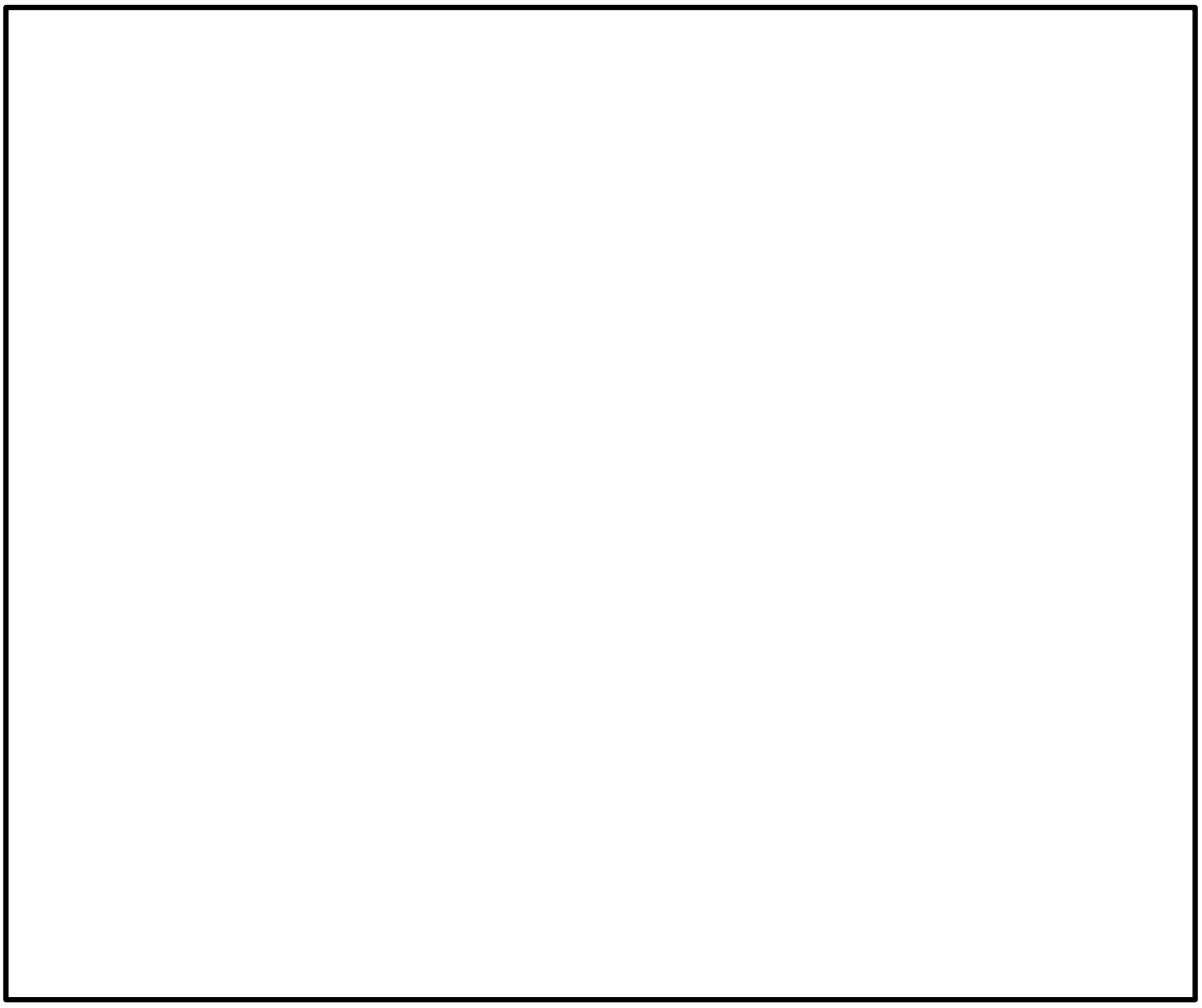


図 2－1　取水槽閉止板の設置位置図(タービン建屋 地下 1 階)

2.2　構造計画

取水槽閉止板の構造は，長方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼）を組合せた構造とする。

取水槽閉止板は，補機冷却用海水取水槽の上部床面に設置するアンカーボルトにて固定する。取水槽閉止板の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　取水槽閉止板の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
補機冷却用海水取水槽の上部床面に設置するアンカーボルトで戸当りを躯体に固定し，締付ボルトによりスキンプレート，主桁を戸当りに固定する。	スキンプレート，主桁及び戸当りにより構成する。	

2.3　評価方針

取水槽閉止板の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2 構造計画」に示す取水槽閉止板の構造を踏まえ，「3.　評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価部位において，「4.4　評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを，「4.　構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5.　評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2－2 に示す。

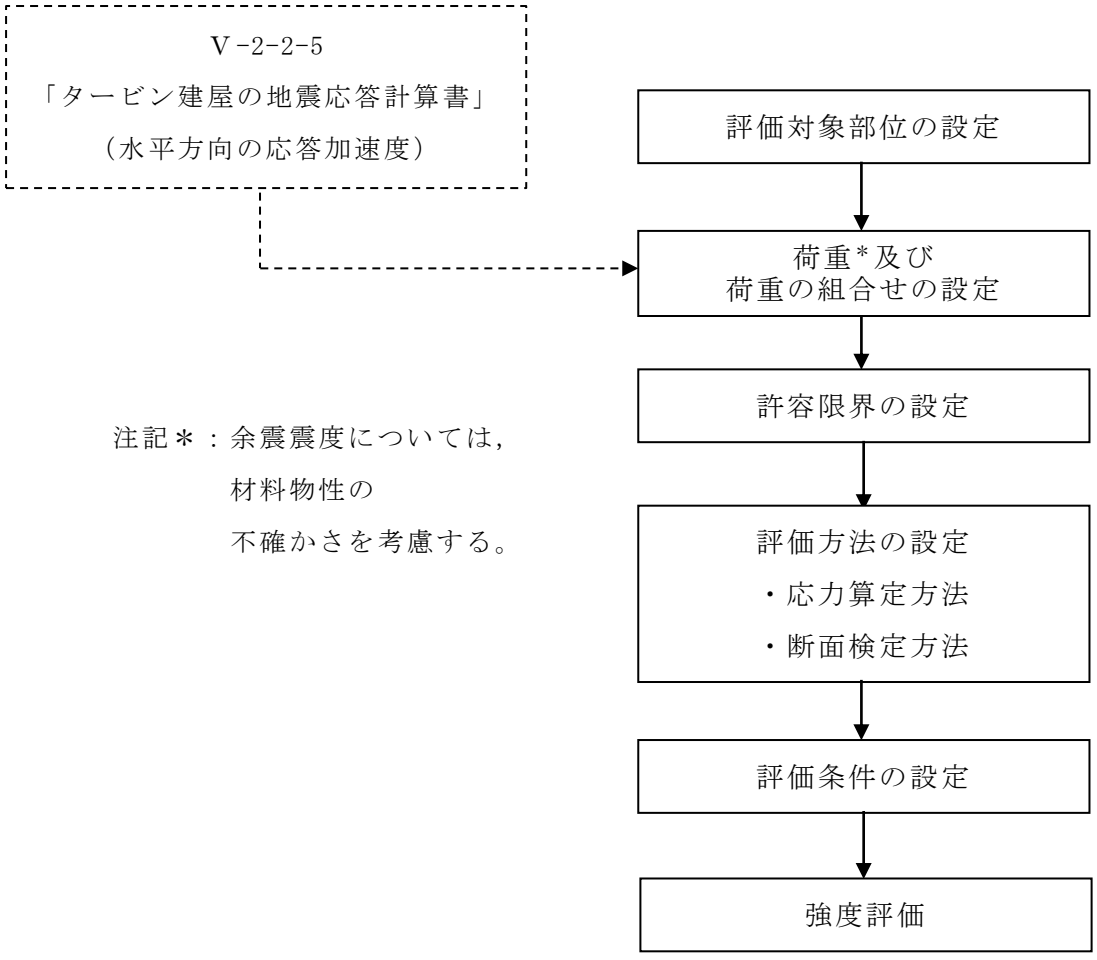


図 2－2　強度評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（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）

・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－
（（社）日本建築学会，1999 改定）

・日本工業規格（ＪＩＳ）

・原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1987
（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版
（（社）日本電気協会）

2.5　記号の説明

取水槽閉止板の強度評価に用いる記号を表 2－2 に示す。

表 2－2　強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
Ｐｔ	kN/m^2	突き上げ津波荷重
C_D	－	抗力係数
Ｕ	m/s	流速
ｇ	m/s^2	重力加速度
Ｈ	mm	評価高さ
ＫＳｄ	kN	余震荷重
Ｓｄ	kN	弾性設計用地震動Ｓｄに伴う水平方向の地震力
Ｐｖ	kN/m^2	弾性設計用地震動Ｓｄに伴う鉛直方向の動水圧荷重
α_H	－	水平方向の余震震度
α_V	－	鉛直方向の余震震度
w_{ss}	kN/m	単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重
w_{ss}'	kN/m	単位長さ当りの水平方向の等分布荷重
τ	N/mm^2	最大せん断応力度
σ	N/mm^2	最大曲げ応力度
Ｑ	kN	最大せん断力
Ｍ	kN・m	最大曲げモーメント
ｘ	N/mm^2	組合せ応力度
Ａｓ	mm^2	せん断断面積
Ｚ	mm^3	断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁と直交方向のスキンプレートの長さ
L_3	mm	主桁全長
L_4	mm	スキンプレートの負担幅
L_5	mm	戸当り全長
L_6	mm	戸当りウェブ中心から上フランジに等分布荷重が作用する位置までの距離
L_7	mm	アンカーボルト中心位置から戸当りウェブ中心位置までの距離
N_1	本	戸当り本数
N_2	本	評価する戸当りに取り付くアンカーボルト本数
N_3	本	閉止板に取り付くアンカーボルトの本数
T_d	kN	アンカーボルト1本当りに作用する引張力
ｑ	kN	アンカーボルト1本当りに作用するせん断力
T_s	kN	締付ボルト1本当りに作用する引張力
q_s	kN	締付ボルト1本当りに作用するせん断力
σ_t	N/mm^2	最大引張応力度
Ａ	mm^2	締付ボルトの有効断面積
n_s	本	締付ボルトの本数

3.　評価対象部位及び評価対象設備

取水槽閉止板の評価対象部位は，「2.2　構造計画」にて設定している構造を踏まえて，突き上げ津波荷重及び余震荷重の伝達過程を考慮し設定する。また，取水槽閉止板は構成部材の寸法，規格等が等しく，評価結果が変わらないことから，代表としてタービン補機冷却用海水取水槽閉止板を評価対象設備として選定する。

取水槽閉止板に生じる突き上げ津波荷重は，取水槽閉止板のスキンプレート，主桁，締付ボルト及び戸当りに伝わり，取水槽閉止板を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達され，取水槽閉止板に生じる余震荷重は，スキンプレート及び主桁の自重による慣性力として締付ボルト及び戸当りに伝わり，取水槽閉止板を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから，取水槽閉止板の評価対象部位は，スキンプレート，主桁，締付ボルト，戸当り及びアンカーボルトとし，評価対象部位を図3－1に示す。

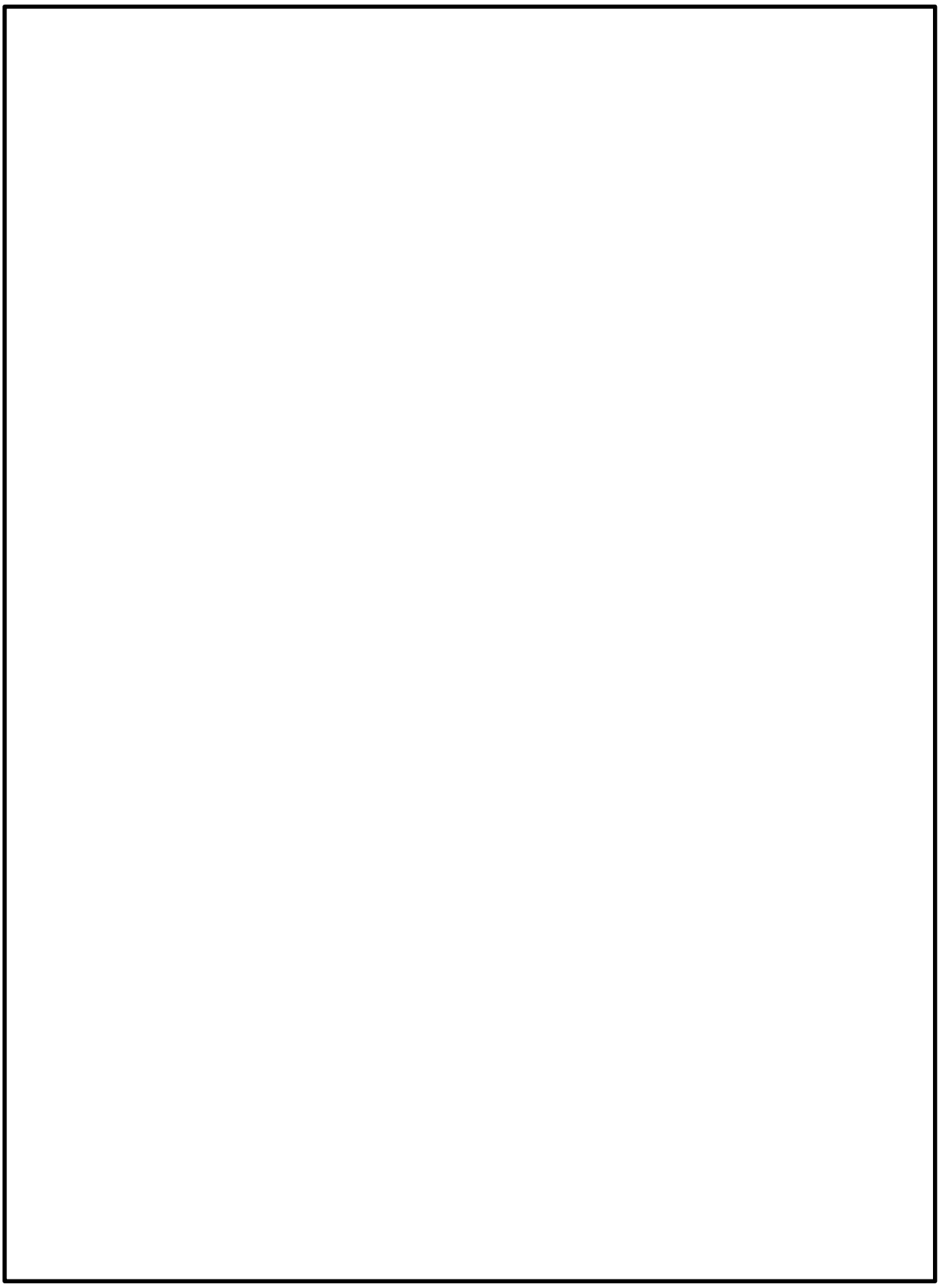


図 3―1　評価対象部位

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

取水槽閉止板の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，「3.　評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「4.3　許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2　荷重及び荷重の組合せ

4.2.1　荷重の組合せ

取水槽閉止板の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

Ｐｔ＋ＫＳｄ

ここで，Ｐｔ　　：突き上げ津波荷重(kN/m^2)

ＫＳｄ　：余震荷重（弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力(kN)及び動水圧荷重(kN/m^2)を考慮する）

なお，積載荷重は考慮しない。

4.2.2　荷重の設定

強度評価に用いる荷重は，以下のとおりとする。

(1)　突き上げ津波荷重（Ｐｔ）

突き上げ津波荷重は，取水槽閉止板の全面に作用するものとする。また，評価においては浸水津波荷重を含むものとし，以下の式により算出する。

$$Pt = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho_o \cdot U^2 + \rho_o \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ｐｔ　　：突き上げ津波荷重(kN/m^2)

C_D　　：抗力係数（＝2.01）

ρ_o　　：水の密度(t/m^3)

Ｕ　　：流速（＝1.5m/s）

ｇ　　：重力加速度（＝9.80665m/s^2）

Ｈ　　：評価高さ(mm)

(2) 余震荷重（ＫＳｄ）

余震荷重として，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし，水平方向については，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力を考慮する。鉛直方向については，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う動水圧荷重を考慮する。

なお，取水槽閉止板の強度評価に用いる余震震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとしてⅤ-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。ここで，地震力は取水槽閉止板の設置位置における水平方向の最大応答加速度から設定する震度を用いて評価するものとし，下記の通り算出する。

$$Sd = G \cdot \alpha_H$$

ここで，Ｓｄ　：弾性設計用地震動Ｓｄに伴う水平方向の地震力(kN)

Ｇ　：固定荷重(kN)

α_H　：水平方向の余震震度

また，表4－1の通り，鉛直方向の余震震度が1未満であることから，取水槽閉止板の自重と鉛直方向の地震力を足し合わせた荷重は，突き上げ津波荷重を相殺する向きに取水槽閉止板に作用するため，強度評価においては取水槽閉止板の自重と鉛直方向の地震力を保守的に考慮しないこととする。

動水圧荷重は，取水槽閉止板の設置位置における鉛直方向の最大応答加速度から設定する震度，水の密度及び評価高さを用いて評価するものとし，下記の通り算出する。

$$Pv = \rho_{\circ} \cdot \alpha_V \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

ここで，Ｐｖ　：弾性設計用地震動Ｓｄに伴う鉛直方向の動水圧荷重(kN/m^2)

$\rho_{\circ}$　：水の密度(t/m^3)

α_V　：鉛直方向の余震震度

ｇ　：重力加速度（＝9.80665m/s^2）

Ｈ　：評価高さ(mm)

余震震度α_H，α_Vを表 4－1 に示す。

表 4－1　余震震度

建屋	フロア	弾性設計用地震動 Ｓｄの余震震度	
		水平α_H	鉛直α_V
タービン建屋	B1F	0.453	0.375

4.3　許容限界

取水槽閉止板の許容限界は，「3.　評価対象部位及び評価対象設備」にて設定した部位に対し，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

4.3.1　使用材料

取水槽閉止板を構成するスキンプレート，主桁，戸当り，締付ボルト及びアンカーボルトの使用材料を表 4－2 に示す。

表 4－2　使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SUS304	厚さ[redacted]
主桁	SUS304	C-150×75×9×9（mm）
戸当り	SUS304	BH-150×(240-150)×9×9（mm）
締付ボルト	SUS304	M24
アンカーボルト	SUS304	M16

4.3.2　許容限界

(1)　スキンプレート，主桁，戸当り，締付ボルト

鋼材の許容応力度は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて表 4－3 の値とする。

表 4－3　鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm^2)		
	曲げ	引張	せん断
SUS304	205	205	118

注：許容応力度を決定する場合の基準値Ｆは，日本工業規格（ＪＩＳ）に基づく。

(2)　アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は，「3.　評価対象部位及び評価対象設備」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定する。

突き上げ津波荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容荷重を表4－4に示す。

なお，アンカーボルトは躯体に埋め込まれていることから，アンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4－4　アンカーボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重(kN)	
	引張	せん断
SUS304	32.1	22.4

4.4　評価方法

取水槽閉止板を構成する主桁，スキンプレート，戸当り，締付ボルト及びアンカーボルト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。主桁とスキンプレートについては，箇所によって評価結果に差異が生じることから，図 4－1，図 4－2 にそれぞれ評価の対象とする主桁，スキンプレートを示す。また，図 4－3 に，戸当り，締付ボルト及びアンカーボルトの納まりを示す。

4.4.1　主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし，図 4－1 に示す通り，主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1)　主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重w_{ss}

$w_{ss} = (Pt + Pv) \cdot L_1 \cdot 10^{-3}$

w_{ss}：主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_1：主桁の負担幅(mm)

(2)　主桁に作用する最大曲げ応力度σ

$\sigma = (M \cdot 10^{6}) / Z$

σ：主桁に作用する最大曲げ応力度(N/mm^2)

M：主桁に作用する最大曲げモーメント(kN・m)

Z：主桁の断面係数(mm^3)

ここで，$M = 1/8 \cdot w_{ss} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2$

M：主桁に作用する最大曲げモーメント(kN・m)

w_{ss}：主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_3：主桁全長(mm)

(3)　主桁に作用する最大せん断応力度 τ

τ　　＝（Ｑ・10^3）／Ａｓ

τ　　：主桁に作用する最大せん断応力度(N/mm^2)

Ｑ　　：主桁に作用する最大せん断力(kN)

Ａｓ　：主桁のせん断断面積(mm^2)

ここで，Ｑ　　＝1／2・w_{ss}・L_3・10^{-3}

Ｑ　　：主桁に作用する最大せん断力(kN)

w_{ss}　：主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_3　：主桁全長(mm)

(4)　主桁に作用する組合せ応力度

主桁に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$

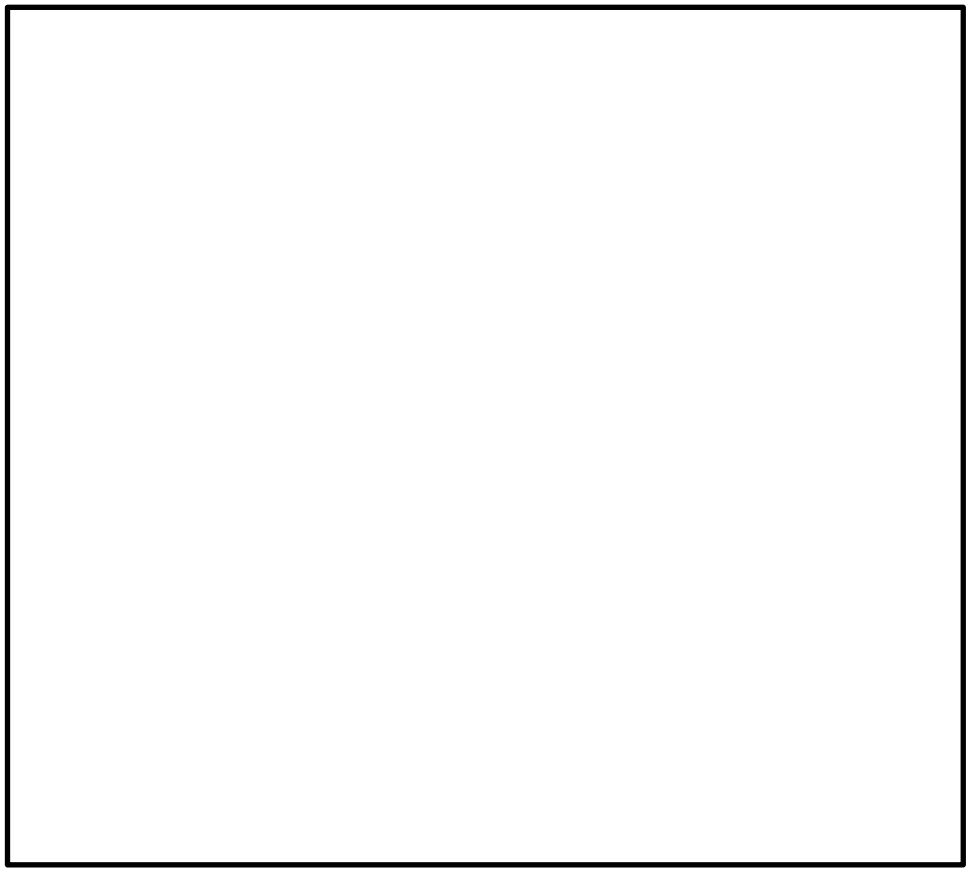
ｘ　　：組合せ応力度(N/mm^2)

σ　　：曲げ応力度　Ｍ／Ｚ(N/mm^2)

（Ｍ：曲げモーメント，Ｚ：断面係数）

τ　　：せん断応力度　Ｑ／Ａｓ(N/mm^2)

（Ｑ：せん断力，Ａｓ：せん断断面積）



：評価の対象とする主桁

図 4－1　評価の対象とする主桁

4.4.2　スキンプレート

図 4－2 に示す通り，スキンプレートが荷重を負担する範囲が最も大きくなり，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1)　スキンプレートに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重w_{ss}

$w_{ss} = (P_t + P_v) \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$

w_{ss}：スキンプレートに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_3：主桁全長(mm)

(2)　スキンプレートに作用する最大曲げ応力度σ

$\sigma = (M \cdot 10^{6}) / Z$

σ：スキンプレートに作用する最大曲げ応力度(N/mm^2)

M：スキンプレートに作用する最大曲げモーメント(kN・m)

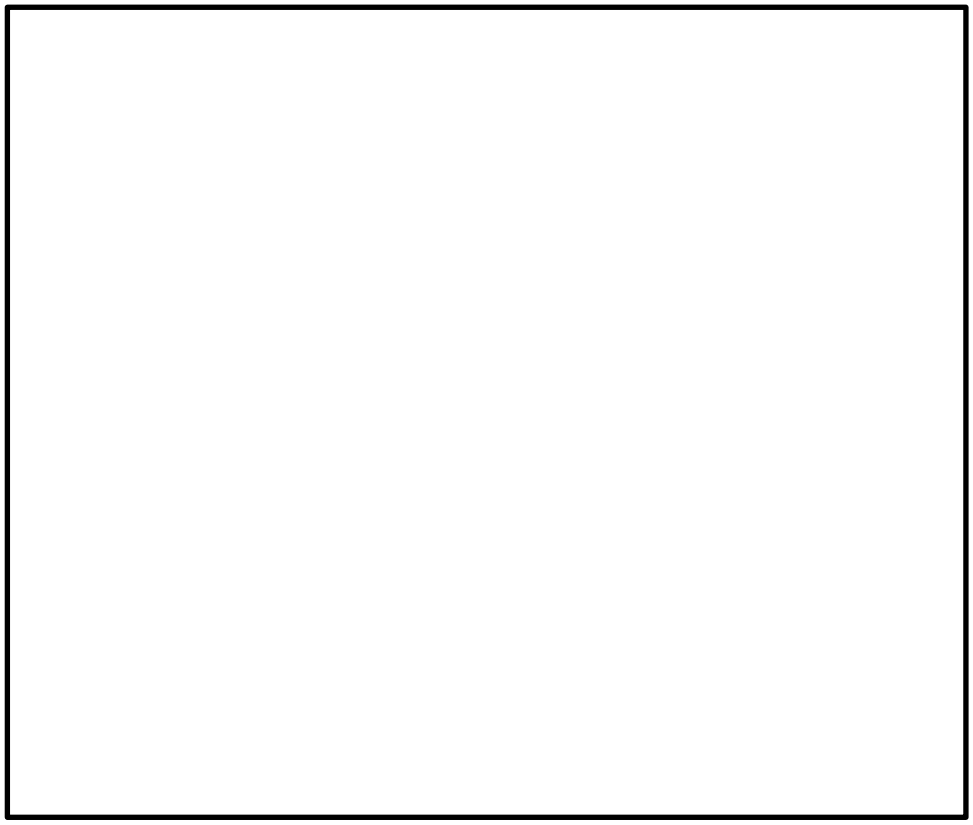
Z：スキンプレートの断面係数(mm^3)

ここで，$M = 1/12 \cdot w_{ss} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2$

M：スキンプレートに作用する最大曲げモーメント(kN・m)

w_{ss}：スキンプレートに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_4：スキンプレートの負担幅(mm)



：評価の対象とするスキンプレート

図 4－2　評価の対象とするスキンプレート

4.4.3　締付ボルト

(1)　締付ボルト１本当りに作用する鉛直方向の引張荷重Ｔｓ

$T_s = ((P_t + P_v) \cdot L_2^2 \cdot 10^{-6}) / n_s$

T_s　：締付ボルト１本当りに作用する引張力(kN)

P_t　：突き上げ津波荷重(kN/m^2)

P_v　：弾性設計用地震動Ｓｄに伴う鉛直方向の動水圧荷重(kN/m^2)

L_2　：主桁と直交方向のスキンプレートの長さ(mm)

n_s　：締付ボルトの本数(本)

(2)　締付ボルト１本当りに作用する鉛直方向の引張応力度σ_t

$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A$

σ_t　：締付ボルト１本当りに作用する鉛直方向の引張応力度(N/mm^2)

T_s　：締付ボルト１本当りに作用する引張力(kN)

Ａ　：締付ボルトの有効断面積(mm^2)

(3)　締付ボルト１本当りに作用する水平方向のせん断荷重q_s

$q_s = S_d / n_s$

Ｓｄ　：弾性設計用地震動Ｓｄに伴う水平方向の地震力(kN)

n_s　：締付ボルトの本数(本)

(4)　締付ボルト１本当りに作用する水平方向のせん断応力度τ

$\tau = q_s \cdot 10^3 / A$

τ　：締付ボルト１本当りに作用する水平方向のせん断応力度(N/mm^2)

q_s　：締付ボルト１本当りに作用する水平方向のせん断荷重(kN)

Ａ　：締付ボルトの有効断面積(mm^2)

4.4.4　戸当り

(1)　戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重w_{ss}

w_{ss}＝（（Ｐｔ＋Ｐｖ）・（$L_2 \cdot 10^{-3}$）^{2}）／（$N_1 \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$）

w_{ss}：戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_2　：主桁と直交方向のスキンプレートの長さ(mm)

L_5　：戸当り全長(mm)

N_1　：戸当り本数

(2)　戸当り上フランジに作用する単位長さ当りの最大曲げ応力度σ

σ　＝（M・10^6）／Z

σ　：戸当り上フランジに作用する最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：戸当り上フランジに作用する最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z　：戸当り上フランジの断面係数(mm^3/m)

ここで，M　＝$w_{ss} \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$

w_{ss}：戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_6　：戸当りウェブ中心から上フランジに等分布荷重が作用する位置までの距離(mm)

(3)　戸当り下フランジに作用する単位長さ当りの最大曲げ応力度σ

σ　＝（M・10^6）／Z

σ　：戸当り下フランジに作用する最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：戸当り下フランジに作用する最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z　：戸当り下フランジの断面係数(mm^3/m)

ここで，M　＝$w_{ss} \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$

w_{ss}：戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_7　：アンカーボルト中心位置から戸当りウェブ中心位置までの距離(mm)

(4)　水平方向の余震荷重が作用する戸当りウェブ部に作用する等分布荷重w_{ss}'

w_{ss}'　＝Ｓｄ／（$L_5 \cdot 10^{-3}$）

w_{ss}'　：戸当りウェブ部に作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重(kN/m)

Ｓｄ　：弾性設計用地震動Ｓｄに伴う水平方向の地震力(kN)

L_5　：戸当り全長(mm)

(5)　水平方向の余震荷重が作用する戸当りウェブ部に作用するせん断応力度τ

τ　＝（Ｑ・10^3）／Ａｓ

τ　：戸当りに作用する最大せん断応力度(N/mm^2)

Ｑ　：戸当りに作用する最大せん断力(kN)

Ａｓ　：戸当りのせん断断面積(mm^2)

ここで，Ｑ　＝w_{ss}'・$L_5 \cdot 10^{-3}$

L_5：戸当り全長(mm)

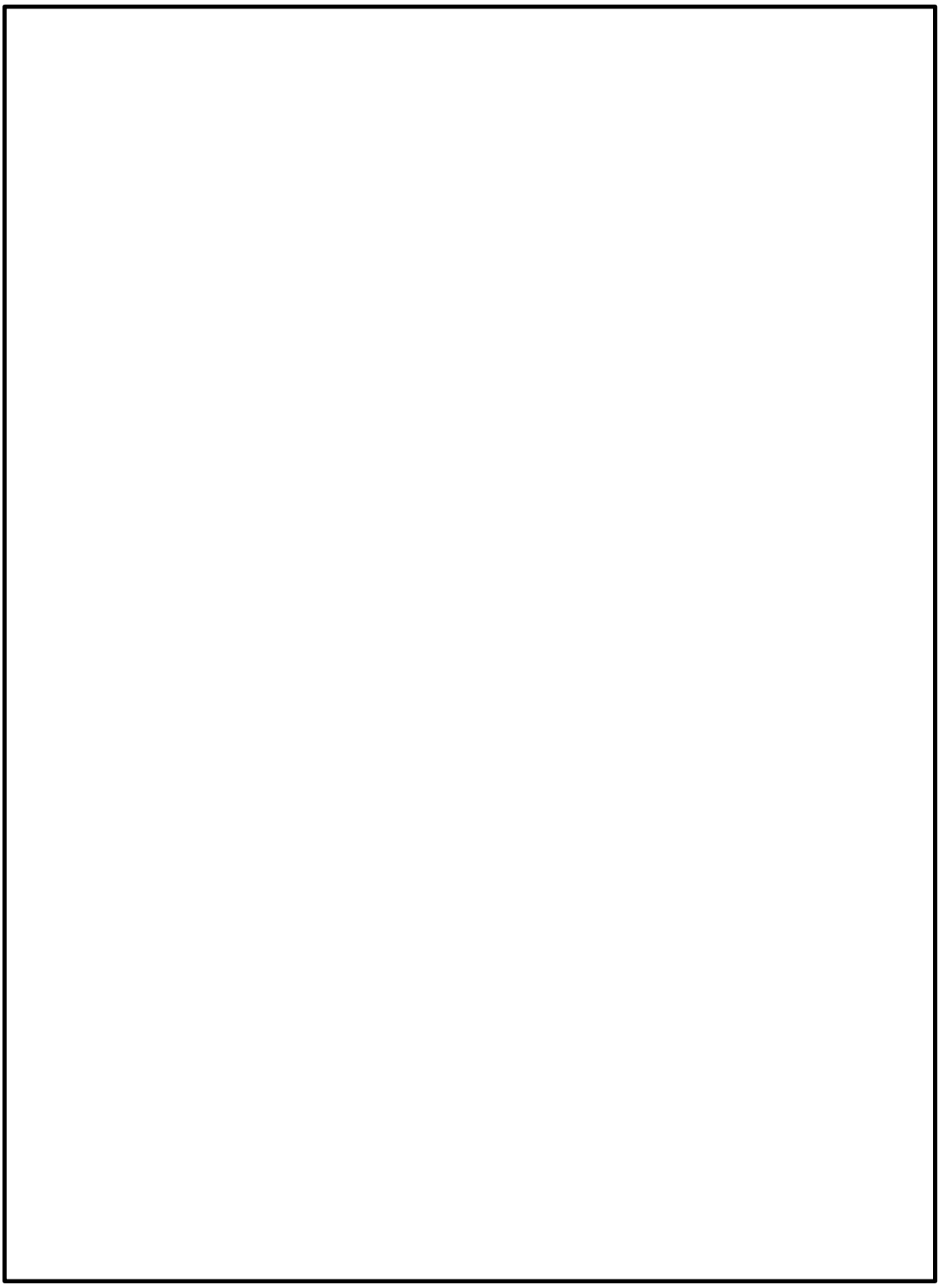


図 4－3　戸当り，締付ボルト及びアンカーボルトの納まり

4.4.5　アンカーボルト

(1)　戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重w_{ss}

w_{ss}　＝（（Ｐｔ＋Ｐｖ）・（$L_2 \cdot 10^{-3}$）^{2}）／（$N_1 \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$）

w_{ss}　：戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m)

L_2　：主桁と直交方向のスキンプレートの長さ(mm)

L_5　：戸当り全長(mm)

N_1　：戸当り本数

(2)　水平方向の余震荷重が作用する戸当りウェブ部に作用する等分布荷重w_{ss}’

w_{ss}’　＝Ｓｄ／（$L_5 \cdot 10^{-3}$）

w_{ss}’　：戸当りウェブ部に作用する単位長さ当りの等分布荷重(kN/m)

Ｓｄ　：弾性設計用地震動Ｓｄに伴う水平方向の地震力(kN)

L_5　：戸当り全長(mm)

(3)　アンカーボルトに作用する引張力T_d

T_d　＝（$w_{ss} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$）／$N_2$

T_d　：アンカーボルト１本当りに作用する引張力(kN)

N_2　：評価する戸当りに取り付くアンカーボルト本数

L_5　：戸当り全長(mm)

(4)　アンカーボルトに作用するせん断力ｑ

ｑ　＝w_{ss}’・$L_5 \cdot 10^{-3}$／N_3

ｑ　：アンカーボルト１本当りに作用するせん断力(kN)

w_{ss}’　：戸当りウェブ部に作用する単位長さ当りの等分布荷重(kN/m)

L_5　：戸当り全長(mm)

N_3　：閉止板に取り付くアンカーボルト本数

4.5　評価条件

取水槽閉止板の強度評価に用いる入力値を表 4－5 に示す。

表 4－5　取水槽閉止板の強度評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	H	mm	評価高さ	5500
	ρ_o	t/m^3	水の密度	1.03
	g	m/s^2	重力加速度	9.80665
主桁	L_1	mm	主桁の負担幅	300
	L_2	mm	主桁と直交方向のスキンプレートの長さ	800
	L_3	mm	主桁全長	950
	As	mm^2	せん断断面積	1.350×10^3
	Z	mm^3	断面係数	1.130×10^5
スキンプレート	L_4	mm	スキンプレートの負担幅	225
	Z	mm^3	断面係数	1.080×10^4
締付ボルト	L_2	mm	主桁と直交方向のスキンプレートの長さ	800
	n_s	本	締付ボルトの本数	8
	A	mm^2	締付ボルトの有効断面積	352.5
	G	kN	スキンプレート及び主桁の固定荷重	3.923
戸当り	L_5	mm	戸当り全長	1280
	L_6	mm	戸当りウェブ中心から上フランジに等分布荷重が作用する位置までの距離	37
	L_7	mm	アンカーボルト中心位置から戸当りウェブ中心位置までの距離	125
	As	mm^2	戸当りウェブ部のせん断断面積	1.152×10^4
	Z	mm^3/m	戸当りフランジ部の断面係数	1.350×10^4
アンカーボルト	G	kN	スキンプレート，主桁及び戸当りの固定荷重	6.865
	N_1	本	戸当り本数	4
	N_2	本	評価する戸当りに取り付くアンカーボルト本数	5
	N_3	本	閉止板に取り付くアンカーボルトの本数	17
	T_d	kN	アンカーボルト1本当りに作用する引張力	2.53
	q	kN	アンカーボルト1本当りに作用するせん断力	0.183

5. 評価結果

取水槽閉止板の強度評価結果を表 5－1 に示す。各部材の断面検定を行った結果，全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5－1　強度評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	23.7	N/mm^2	205	N/mm^2	0.12 ＜1.0
	せん断	8.32	N/mm^2	118	N/mm^2	0.08 ＜1.0
	組合せ	27.7	N/mm^2	205	N/mm^2	0.14 ＜1.0
スキンプレート	曲げ	30.6	N/mm^2	205	N/mm^2	0.15 ＜1.0
締付ボルト	引張	17.9	N/mm^2	205	N/mm^2	0.09 ＜1.0
	せん断	0.631	N/mm^2	118	N/mm^2	0.01 ＜1.0
戸当り	曲げ*1	91.9	N/mm^2	205	N/mm^2	0.45 ＜1.0
	せん断*2	0.271	N/mm^2	118	N/mm^2	0.01 ＜1.0
アンカーボルト	引張	2.53	kN	32.1	kN	0.08 ＜1.0
	せん断	0.183	kN	22.4	kN	0.01 ＜1.0
	組合せ	－		－		0.01 ＜1.0

注記＊1：上フランジと下フランジのうち厳しい評価結果を記載する。
注記＊2：ウェブ部を評価対象とする。

Ⅴ-3-別添 3-1-5　水密扉の強度計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　検討対象水密扉一覧 ····· 2
2.2　配置概要 ····· 3
2.3　構造計画 ····· 6
2.4　評価方針 ····· 7
2.5　適用規格・基準等 ····· 9
2.6　記号の説明 ····· 10
3.　強度評価方法 ····· 11
3.1　評価対象部位 ····· 11
3.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 14
3.2.1　荷重の設定 ····· 14
3.2.2　荷重の組合せ ····· 17
3.3　許容限界 ····· 18
3.3.1　使用材料 ····· 18
3.3.2　許容限界 ····· 19
3.4　評価方法 ····· 21
3.4.1　応力算定 ····· 21
3.4.2　断面検定 ····· 29
3.5　評価条件 ····· 32
3.6　評価結果 ····· 33

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防止設備であるタービン建屋に設置する水密扉が，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重に対して，浸水防護重点化範囲であるタービン建屋内に浸水することを防止するために，十分な構造健全性及び止水性を有していることを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　検討対象水密扉一覧

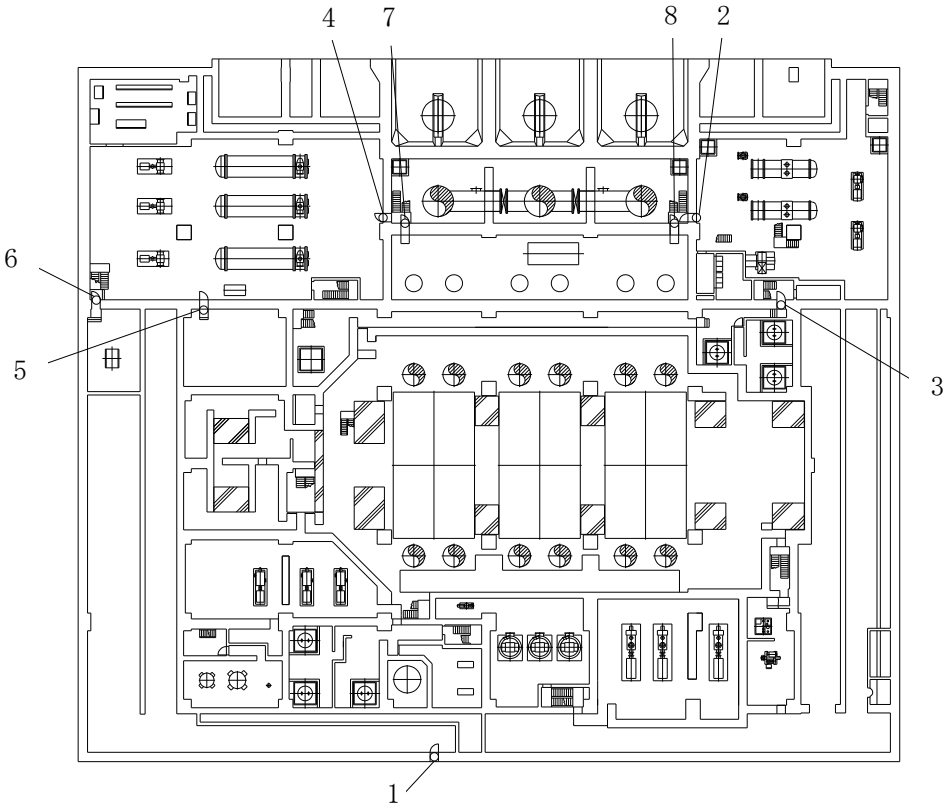
検討対象の水密扉を表 2－1 に示す。

表 2－1　検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	静水圧荷重 考慮時の床高さ
		T.M.S.L.
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	-5.1m
2	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	-4.8m
3	タービン建屋地下2階北西階段室　水密扉	-5.1m
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉1	-4.8m
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉2	-5.1m
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉3	-5.1m
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉1	-5.1m
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉2	-5.1m
9	タービン建屋地下中2階南西階段室　水密扉	-1.1m
10	タービン建屋地下中2階北西階段室　水密扉	-1.1m
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉	-4.8m
12	循環水配管メンテナンス室　水密扉1	-1.1m
13	循環水配管メンテナンス室　水密扉2	-1.1m
14	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉2	3.5m
15	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	3.5m

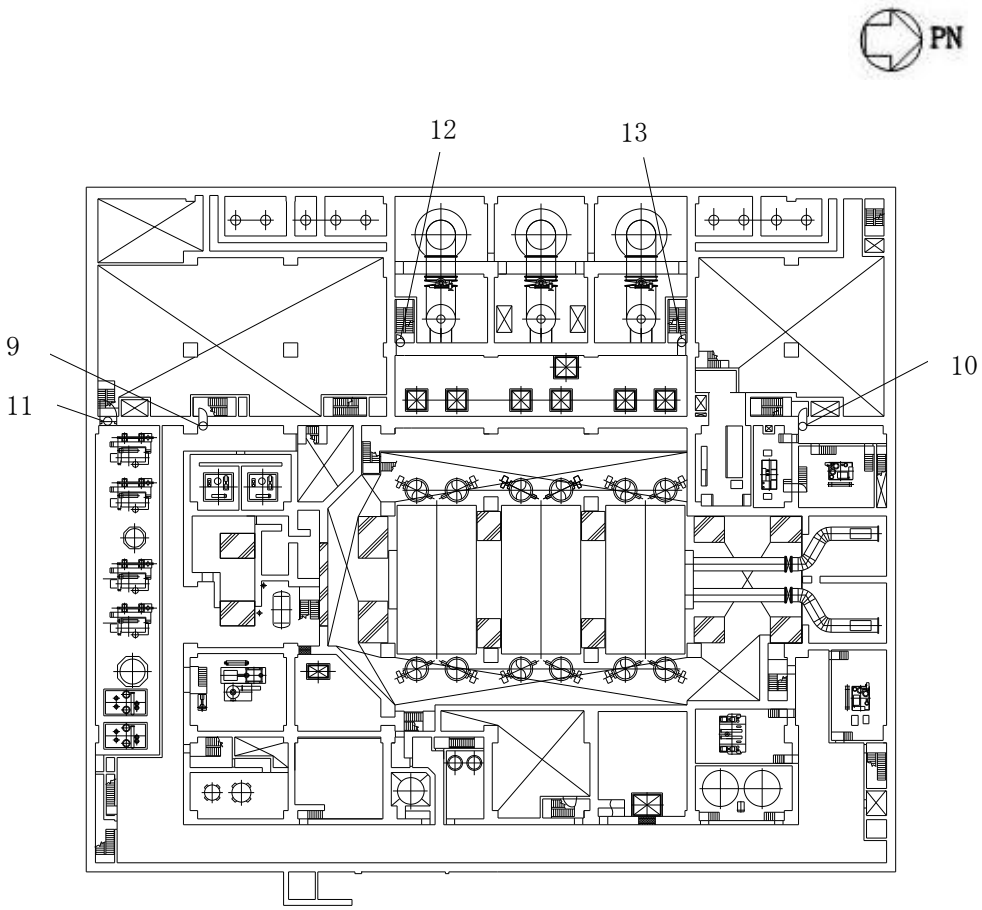
2.2　配置概要

水密扉の設置位置図を図 2－1 に示す。



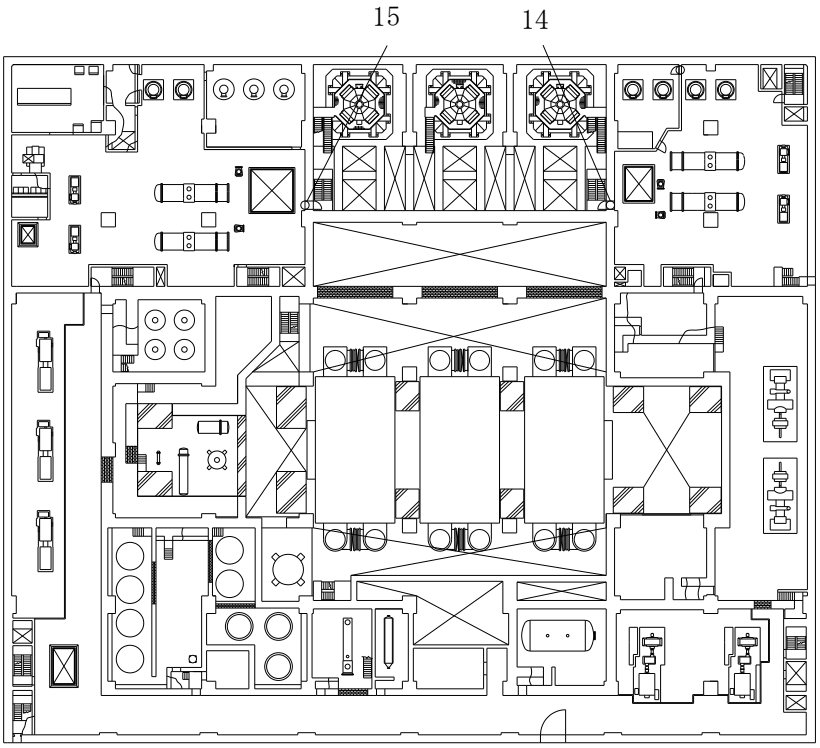
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ)
2	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉
3	タービン建屋地下 2 階北西階段室　水密扉
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 1
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 2
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 3
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 1
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 2

図 2－1（1／3）　水密扉の設置位置図（タービン建屋地下 2 階）



9	タービン建屋地下中 2 階南西階段室　水密扉
10	タービン建屋地下中 2 階北西階段室　水密扉
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉
12	循環水配管メンテナンス室　水密扉 1
13	循環水配管メンテナンス室　水密扉 2

図 2－1（2／3）　水密扉の設置位置図（タービン建屋地下中 2 階）



14	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉 2
15	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉

図 2－1（3／3）　水密扉の設置位置図（タービン建屋地下 1 階）

2.3　構造計画

水密扉は，片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また，閉鎖状態において締付装置により固定され水密性を確保しており，アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。水密扉の構造計画を表 2－2 に示す。

表 2－2　水密扉の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取付け，扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み，扉と扉枠を一体化させる構造とする。 また，扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。	扉開放時においては，ヒンジにより扉が扉枠に固定され，扉閉止時においては，締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。 扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。	

2.4　評価方針

水密扉の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，水密扉の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを，各設備の「3.　強度評価方法」に示す方法により，「3.5　評価条件」に示す評価条件を用いて評価し，応力評価の確認事項を「3.6　評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図 2－2 に示す。水密扉の強度評価においては，その構造を踏まえ，静水圧荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し，評価対象部位を設定する。

強度評価においては，荷重を静的に作用させることにより，扉板及び芯材の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し，許容限界との比較を行う。

なお，アンカーボルトは壁に埋め込まれた方向によって下記の通りに呼ぶこととする。

(a)0°　方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの直交方向に配置されている場合

(b)45°方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向から 45°傾斜して配置されている場合

(c)90°方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向に配置されている場合

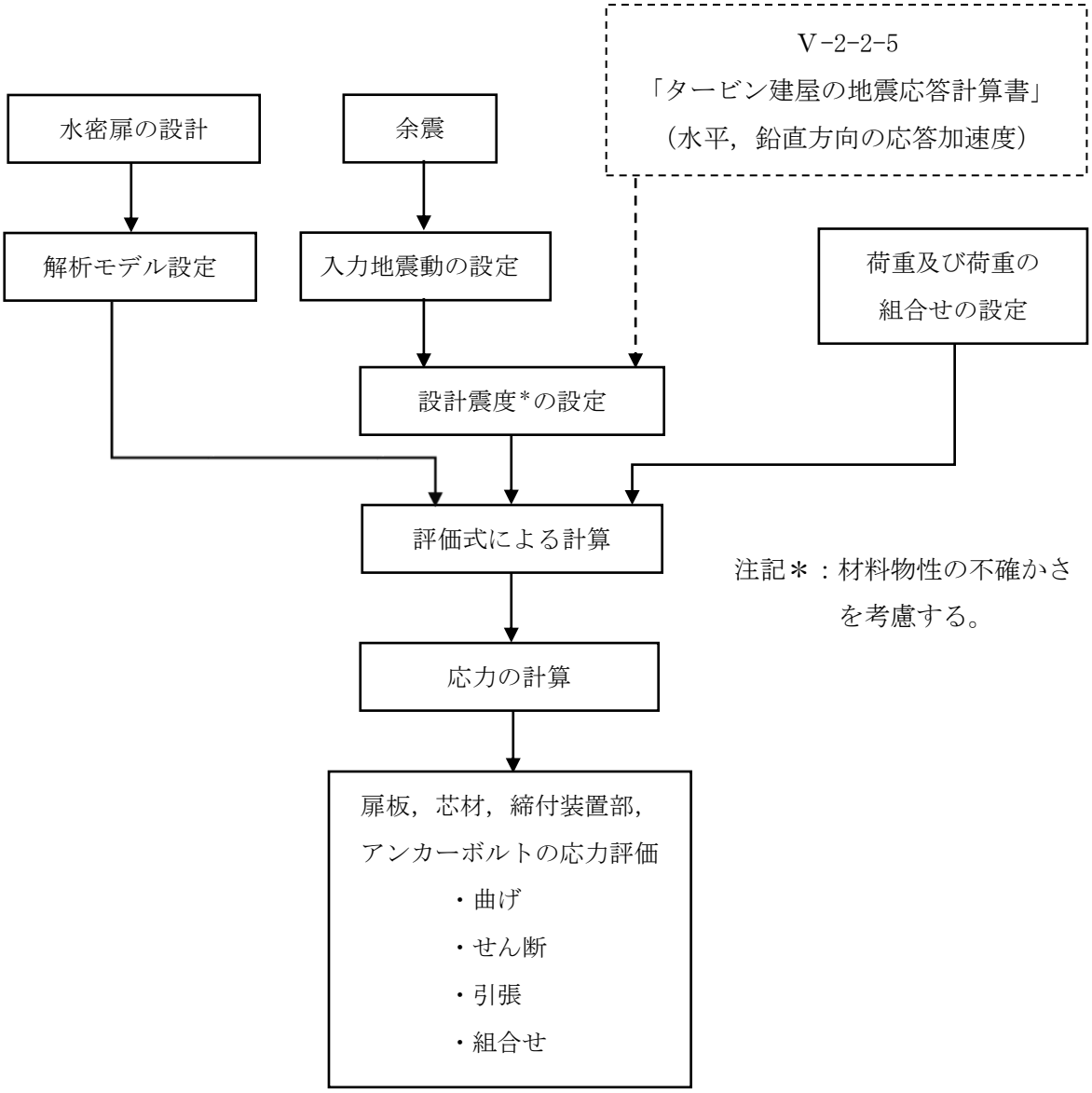


図 2－2　水密扉の強度評価フロー

2.5　適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・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－
（（社）日本建築学会，1999 改定）

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（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）

・日本工業規格（ＪＩＳ）

・水道施設耐震工法指針・解説　2009 年版（公益社団法人　日本水道協会）

2.6　記号の説明

水密扉の強度評価に用いる記号を表 2－3 に示す。

表 2－3　強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
h	mm	当該扉の浸水深さ
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
β	－	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数
t	mm	扉板の厚さ
ρ_s	t/m^3	扉板の密度
W_D	kN	扉重量
Z_1	mm^3	扉板の断面係数
w_1	kN/m^2	扉上端に作用する静水圧荷重
w_2	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
w_D	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w’	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
L	mm	芯材の支持スパン
Z_2	mm^3	芯材の断面係数
As	mm^2	芯材のせん断断面積
n_2	本	締付装置の本数
L_5	mm	締付装置の突出長さ
L_p	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離
b’	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ
n_b	本	締付装置受けボルトの本数
L_1	mm	躯体開口部の高さ
L_2	mm	躯体開口部の幅
M	kN・m	曲げモーメント
T	kN	引張力
Q	kN	せん断力
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_t	N/mm^2	引張応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
P	kN/m^2	動水圧荷重
S_d	kN/m^2	余震による地震荷重
m	kg/m	芯材の質量分布
Q_d	kN	アンカーボルト1本当りのせん断力
T_d	kN	アンカーボルト1本当りの引張力
Qa	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力
Ta	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容引張力
n	本	片側(左右もしくは上下)のアンカーボルトの本数

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は，「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重及び余震に伴う荷重は，扉板から芯材を介し扉枠に伝わり，扉枠を固定するアンカーボルトを介し，開口部周囲の躯体に伝達されることから，評価対象部位は扉板，芯材及びアンカーボルトとする。

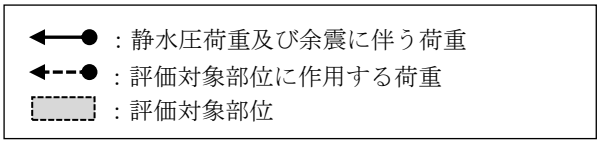
水密扉を開く方向に内部から生じる静水圧荷重は，扉板から芯材に伝わり，締付装置部(締付装置，締付装置受けピン，締付装置受けボルト)に伝達され，扉枠及び扉枠を固定するアンカーボルトを介し，開口部周囲の躯体に伝達されることから，評価対象部位は扉板，芯材，締付装置部及びアンカーボルトとする。

アンカーボルトについては，荷重を伝達する芯材の取付け方向又は扉板の辺長比を踏まえ，水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを，鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

なお，ヒンジは静水圧荷重及び余震に伴う荷重の伝達経路とならないため，評価対象外とする。

また，結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし，水密扉No.2，4を抽出した。

水密扉に作用する荷重の作用図を図3－1に示す。



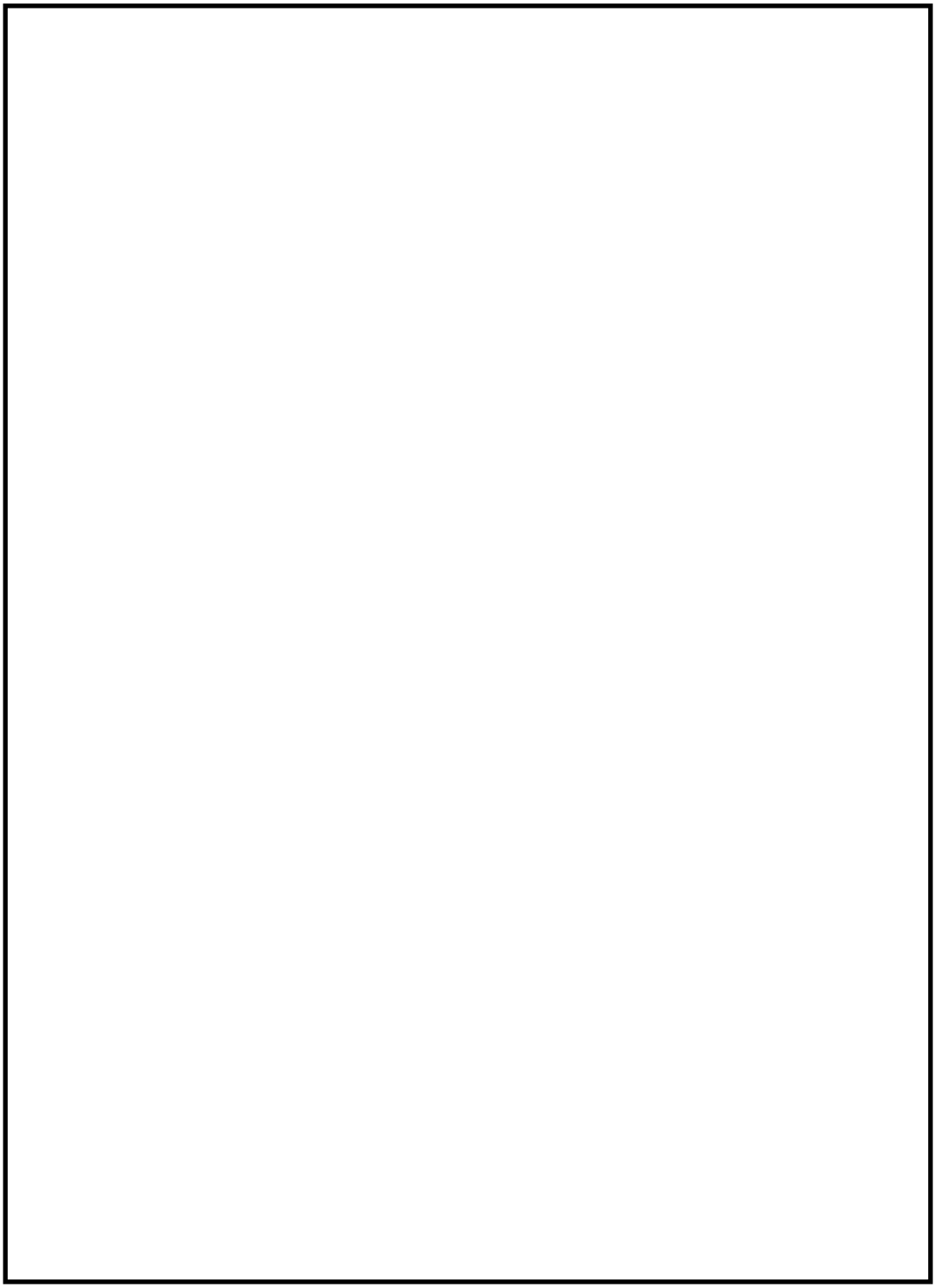


図 3－1（1／2）　水密扉に作用する荷重の作用図

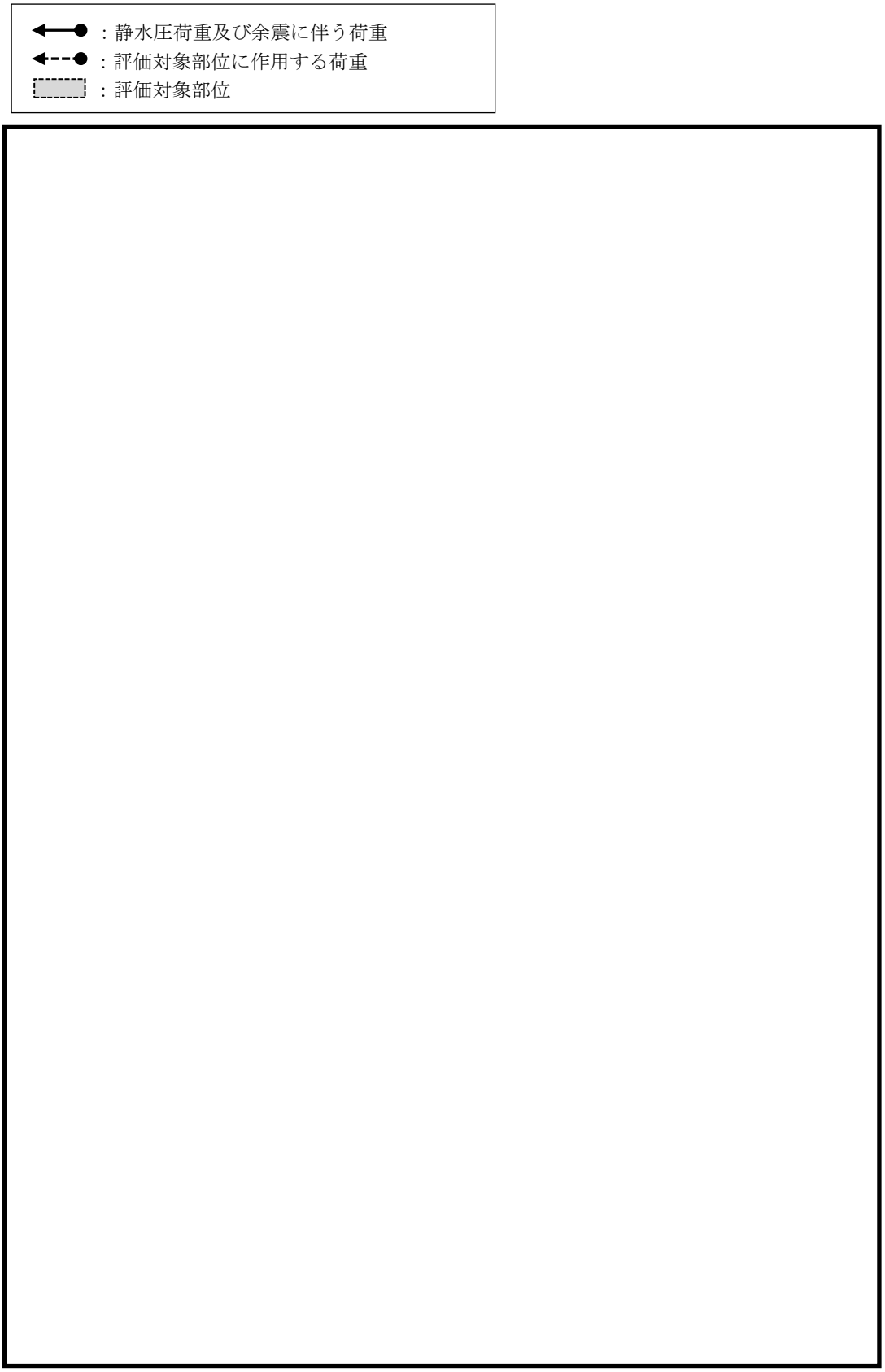


図 3－1（2／2）　水密扉に作用する荷重の作用図

3.2　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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踏まえて設定する。

3.2.1　荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1)　静水圧荷重（P_h）

浸水に伴う静水圧としての静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は，評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

P_h：静水圧荷重(kN/m^2)

静水圧荷重の算定に用いる水圧作用高さ及び水の密度を表 3－1 に示す。

表 3－1　水圧作用高さ及び水の密度

水密扉No.	扉名称	水圧作用高さ (mm)	水の密度 (t/m^3)
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	8600	1.03
2	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	17100	1.03
3	タービン建屋地下2階北西階段室　水密扉	8600	1.03
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉1	17100	1.03
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉2	8600	1.03
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉3	8600	1.03
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉1	17400	1.03
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉2	17400	1.03
9	タービン建屋地下中2階南西階段室　水密扉	4600	1.03
10	タービン建屋地下中2階北西階段室　水密扉	4600	1.03
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉	4800	1.03
12	循環水配管メンテナンス室　水密扉1	13400	1.03
13	循環水配管メンテナンス室　水密扉2	13400	1.03
14	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉2	8800	1.03
15	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	8800	1.03

(2) 余震荷重（ＫＳｄ）

余震荷重として，弾性設計用地震動Ｓｄによる地震力及び動水圧を考慮する。余震荷重は，水密扉の設置位置における水平方向の最大応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大応答加速度を保守的に評価するために，最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置階の上階の値とする。

強度評価に用いる震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとしてⅤ-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」によることとし，建屋の階ごとの設計震度を表 3－2 に示す。

また，動水圧荷重は「水道施設耐震工法指針・解説　2009 年版（公益社団法人　日本水道協会）」に基づき，扉が床面に設置されていることから浸水深さ（H）を扉の浸水深さ（h）とし，次式により算出する。動水圧荷重の算出結果は表 3-3 に示す。

$$P = \beta \cdot 7/8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot \sqrt{h \cdot h \cdot 10^{-6}}$$

β　：浸水エリアの幅と水深の比による補正係数（1.0）

α_H：水平方向の設計震度

表 3－2　各扉の設計震度

(a)　水平方向

建屋	階	T.M.S.L.	弾性設計用地震動Ｓｄの設計震度 α_H
タービン建屋	1F	12.3m	0.551
	B1F	4.9m	0.453
	MB2F	-1.1m	0.421
	B2F	-5.1m	0.394

(b)　鉛直方向

建屋	階	T.M.S.L.	弾性設計用地震動Ｓｄの設計震度 α_{UD}
タービン建屋	1F	12.3m	0.395
	B1F	4.9m	0.375
	MB2F	-1.1m	0.365
	B2F	-5.1m	0.366

表 3－3　動水圧荷重の算出結果

水密扉No.	扉名称	動水圧荷重 (kN/m2)
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	32.0
2	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	63.7
3	タービン建屋地下2階北西階段室　水密扉	32.0
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉1	63.7
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉2	32.0
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉3	32.0
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉1	64.8
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉2	64.8
9	タービン建屋地下中2階南西階段室　水密扉	18.5
10	タービン建屋地下中2階北西階段室　水密扉	18.5
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉	19.3
12	循環水配管メンテナンス室　水密扉1	53.7
13	循環水配管メンテナンス室　水密扉2	53.7
14	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉2	42.9
15	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	42.9

3.2.2　荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは，Ｖ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記の通りに設定する。

P_h＋ＫＳｄ

P_h　　：静水圧荷重(kN/m^2)

ＫＳｄ　：余震荷重(kN/m^2)

3.3　許容限界

水密扉の許容限界は，「3.1　評価対象部位」にて設定した部位に対し，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

3.3.1　使用材料

水密扉を構成する，扉板，芯材，締付装置部及びアンカーボルトの使用材料を表 3－4 に示す。

表 3－4　扉板，芯材，締付装置部，アンカーボルトの使用材料

評価対象部位		材質	仕様
扉板		SS400	PL-9，12，19（mm）
芯材		SS400	C-150×75×6.5×10（mm） C-180×75×7×10.5（mm） C-200×80×7.5×11（mm） C-200×90×8×13.5（mm）
締付装置部	締付装置	SUS304 SUS304N2 SUS403	径(mm) 50，60，70
	締付装置 受けピン	SUS304 SUS304N2	径(mm) 25，40
	締付装置 受けボルト	SCM435	M10，M20
アンカーボルト		SS400	M16，M20，φ16

3.3.2　許容限界

(1)　扉板，芯材，締付装置部，アンカーボルト

鋼材の許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて表 3－5 の値とする。

表 3－5　鋼材の許容限界

材質*2	短期許容応力度(N/mm²)	
	曲げ	せん断
SS400（ｔ≦40）*1	235	135
SS400（40＜ｔ≦100）*1	215	124
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
SUS403	390	225
S45C	345	199
SCM435	651	375

注記＊1：ｔは板厚を示す。

注記＊2：許容応力度を決定する場合の基準値Ｆは，日本工業規格（ＪＩＳ）に基づく。

(2)　アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づき算定した，表 3－6 の値とする。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力，及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，せん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－6　動水圧荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉No.	扉名称	許容耐力(kN/本)	
		せん断	引張
1	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	－*2	－*1
2	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	11.7	32.1
3	タービン建屋地下2階北西階段室　水密扉	－*2	－*1
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉1	－*2	34.1
5	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉2	－*2	33.5
6	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉3	－*2	34.1
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉1	－*2	57.5
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉2	－*2	57.5
9	タービン建屋地下中2階南西階段室　水密扉	－*2	34.1
10	タービン建屋地下中2階北西階段室　水密扉	－*2	34.1
11	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉	13.3	－*3
12	循環水配管メンテナンス室　水密扉1	40.1	－*3
13	循環水配管メンテナンス室　水密扉2	40.1	－*3
14	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉2	11.7	32.1
15	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉	－*2	－*1

注記＊1：アンカーボルトに引張力が作用しないことを示す。

注記＊2：アンカーボルトにせん断力が作用しないことを示す。

注記＊3：90°方向アンカーボルトが存在しないことを示す。

3.4　評価方法

水密扉の強度評価は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.4.1　応力算定

(1)　扉板

扉板に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端固定の一方向版として算定する。この時，実際に作用する静水圧荷重及び動水圧荷重は，台形分布もしくは，三角形分布であるが，扉最下部の最大静水圧が等分布に作用すると安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3－2 に示す。

$M = w_D \cdot (L_{PL} \cdot 10^{-3})^2 / 12$

M：扉板の最大曲げモーメント(kN・m/m)

L_{PL}：扉板の短辺長さ(mm)

ここで，$w_D = w_2 + P + S_d$

w_D：扉下端に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重(kN/m²)

w_2：扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

P　：動水圧荷重(kN/m²)

S_d：余震による地震荷重

α_H：水平方向の設計震度(m/s²)

$w_2 = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$

$P = \beta \cdot 7/8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$

$S_d = t \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$

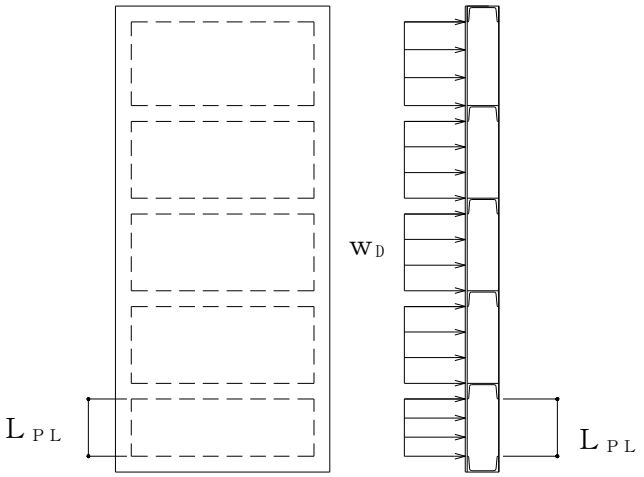


図 3－2　扉板に作用する荷重の例

(2)　芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。なお，芯材の取付け方向は，水平・鉛直の 2 方向があるが，両者とも上記の動水圧荷重と静水圧荷重を加えた水圧に，芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとして安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図 3－3 に示す。

$M = w' \cdot (L \cdot 10^{-3})^2 / 8$

M：芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

$Q = w' \cdot L \cdot 10^{-3} / 2$

Q：芯材の最大せん断力(kN)

ここで，$w' = (w_2 + P) \cdot b \cdot 10^{-3} + S_d$

$S_d = (\rho_s \cdot b \cdot t \cdot 10^{-6} + m \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g$

S_d：芯材に生じる余震による地震荷重(kN/m)

w'：芯材に作用する等分布荷重(kN/m)

L　：芯材の支持スパン(mm)

w_2：扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m^2)

P　：動水圧荷重(kN/m^2)

b　：芯材に作用する荷重の負担幅(mm)

ρ_s：扉板の密度(t/m^3)

t　：扉板の厚さ(mm)

m　：芯材の質量分布(kg/m)

α_H：水平方向の設計震度

g　：重力加速度(m/s^2)

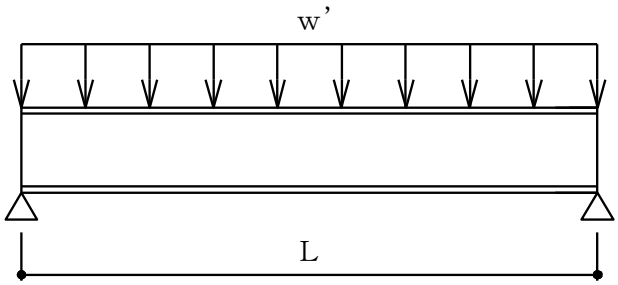


図 3－3　芯材に作用する荷重の例

(3)　締付装置部

締付装置部は，締付装置，締付装置受けピン及び締付装置受けボルトで構成されており，生じる応力は次式により算定する。ここで，静水圧荷重及び余震荷重に対する反力は，扉の上端と下端に作用する静水圧荷重を合計したものに，動水圧荷重及び扉重量による余震荷重を加えた荷重を締付装置部が均等に負担するとして算定する。締付装置部に作用する荷重の例を図 3－4 に示す。

$$R_1 = ((w_1 + w_2) / 2 + P) \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6} + W_D \cdot \alpha_H$$

R_1：静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

w_1：扉上端に作用する静水圧荷重(kN/m^2)

w_2：扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m^2)

P：動水圧荷重(kN/m^2)

L_1：躯体開口部の高さ(mm)

L_2：躯体開口部の幅(mm)

W_D：扉重量(kN)

α_H：水平方向の設計震度

n_2：締付装置の本数(本)

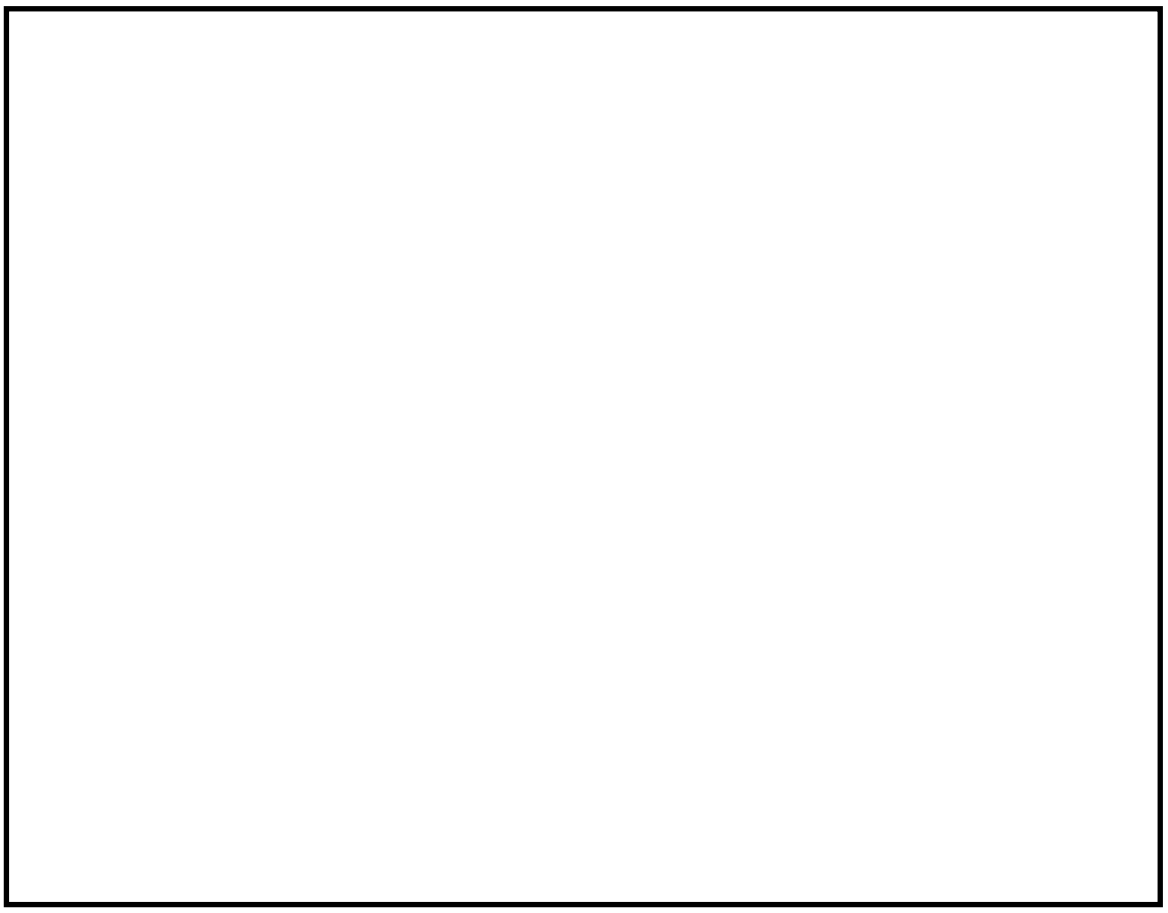


図 3－4　締付装置部に作用する荷重の例

a. 締付装置

締付装置に生じる応力は，次式により算定する。なお，算定に当たっては，締付装置受けピン中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し，締付装置の取付部位に応じて作用する応力を考慮する。締付装置に生じる荷重の例を図3－5に示す。

$M = R_1 \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$

M ：締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

R_1 ：締付装置に生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

L_5 ：締付装置の突出長さ(mm)

$Q = R_1$

Q ：締付装置の最大せん断力(kN)



図 3－5　締付装置に生じる荷重の例

b.　締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる応力は，次式により算定する。なお，算定にあたっては，締付装置の形状に応じて締付装置受けピンに作用する応力を考慮する。締付装置受けピンに生じる荷重の例を図3－6に示す。

（締付装置と締付装置受けピンが線接触する場合）

締付装置受けピンを部分等分布荷重が作用する両端固定梁とみなし，次式により算定する。

$M = R_1 \cdot (L_p^3 - 8 \cdot a'^3) / (24 \cdot b' \cdot L_p)$

M　：締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

$a' = (L_p - b') / 2$

R_1　：締付装置受けピンに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

L_p　：締付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

a’　：締付装置受けピンの　支持点から締付装置軸の表面までの距離(mm)

b’　：締付装置と締付装置受けピンが接する長さ(mm)

$Q = R_1 / 2$

Q　：締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

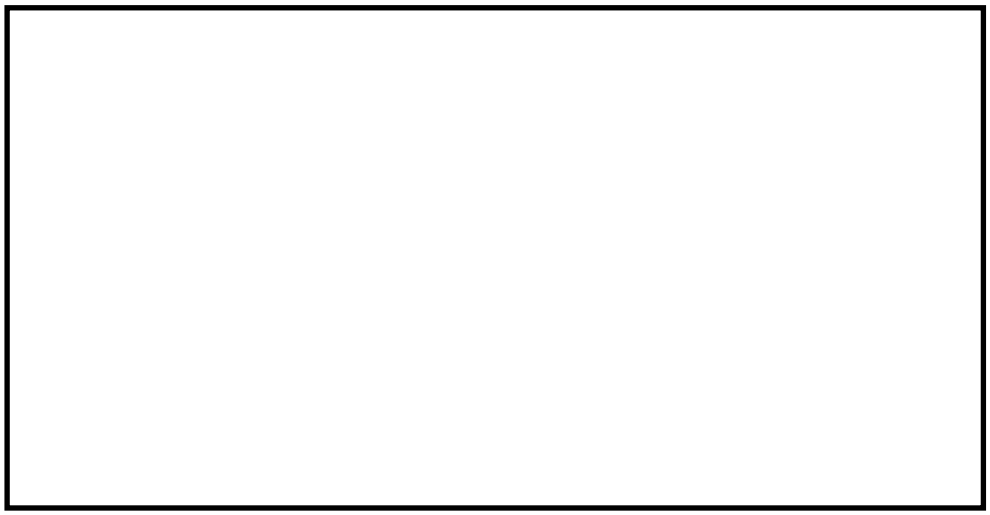


図3－6（1／2）　締付装置受けピンに生じる荷重の例
（締付装置と締付装置受けピンが線接触する場合）

(締付装置と締付装置受けピンが点接触する場合)

締付装置受けピンを集中荷重が作用する両端固定梁とみなし，次式により算定する。

$M = R_1 \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$

M　：締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

R_1：締付装置受けピンに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

L_p：締付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

$Q = R_1 / 2$

Q　：締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

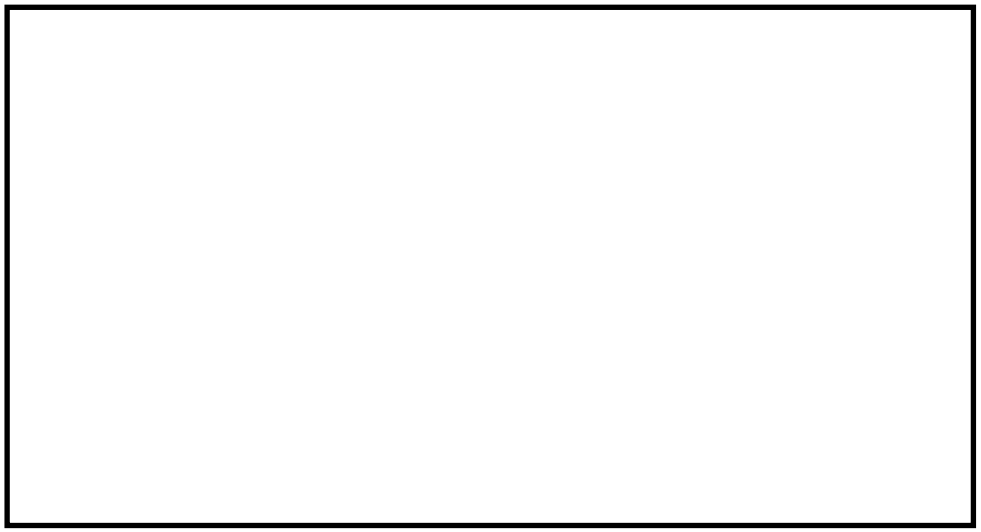


図3－6（2／2）　締付装置受けピンに生じる荷重の例
(締付装置と締付装置受けピンが点接触する場合)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる応力は，次式により算定する。締付装置受けボルトに生じる荷重の例を図3－7に示す。

$$T = R_1 / n_b$$

T ：締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

R_1 ：締付装置受けボルトに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

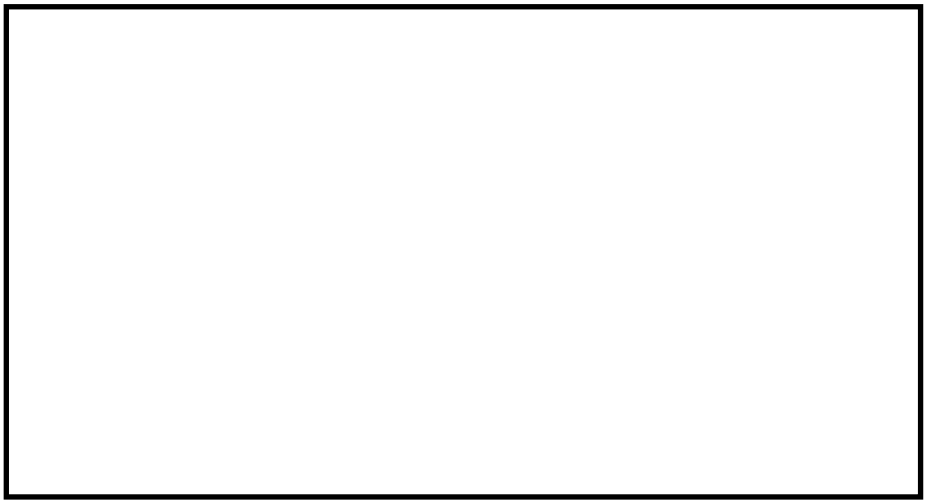


図 3－7　締付装置受けボルトに生じる荷重の例

(4)　アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は，静水圧荷重に余震荷重を加えた荷重を左右もしくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3－8 に示す。

$Q = R_1$

Q　：アンカーボルトの最大せん断力(kN)

R_1 ：アンカーボルトに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

n　：片側（左右もしくは上下）のアンカーボルトの本数

アンカーボルトの方向

(0°方向配置の場合)

$Q_d = Q / 2 / n$

(90°方向配置の場合)

$T_d = Q / 2 / n$

(45°方向配置の場合)

$Q_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$

$T_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$

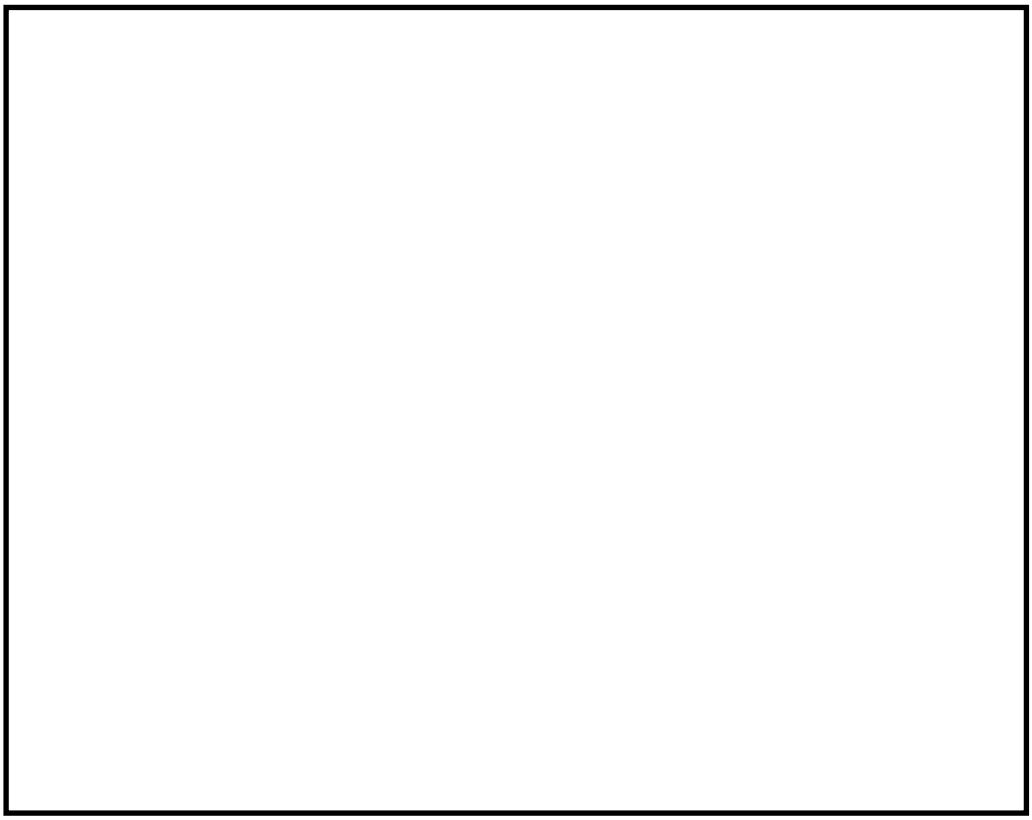


図 3－8　アンカーボルトに生じる荷重の例(平面図)

3.4.2　断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が，許容限界値以下であることを確認する。

(1)　扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し，扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_1$

σ　：扉板の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：扉板の最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z_1　：扉板の断面係数(mm^3/m)

(2)　芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z_2$

σ　：芯材の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

Z_2　：芯材の断面係数(mm^3)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ　：芯材の最大せん断応力度(N/mm^2)

Q　：芯材の最大せん断力(kN)

A_s　：芯材のせん断断面積(mm^2)

(3) 締付装置部

a. 締付装置

締付装置に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づく次式により算定し，締付装置の短期許容応力度以下であることを確認する。

$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$

x：組合せ応力度(N/mm^2)

ここで，$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ：締付装置の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M：締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

Z：締付装置の断面係数(mm^3)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ：締付装置の最大せん断応力度(N/mm^2)

Q：締付装置の最大せん断力(kN)

A_s：締付装置のせん断断面積(mm^2)

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づく次式により算定し，締付装置受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$

x：組合せ応力度(N/mm^2)

ここで，$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ：締付装置受けピンの最大曲げ応力度(N/mm^2)

M：締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

Z：締付装置受けピンの断面係数(mm^3)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ：締付装置受けピンの最大せん断応力度(N/mm^2)

Q：締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

A_s：締付装置受けピンのせん断断面積(mm^2)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し，締付装置受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A$

σ_t ：締付装置受けボルトの最大引張応力度(N/mm^2)

T ：締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

A ：締付装置受けボルトの断面積(mm^2)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト１本当りに生じる引張力又はせん断力を算定し，アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$T_d / T_a \leqq 1.0$

ここで，$T_d = R_1 / 2 / n$

T_d ：アンカーボルト1本当りの引張力(kN)

T_a ：アンカーボルト1本当りの短期許容引張力(kN)

R_1 ：アンカーボルトに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

n ：片側（左右もしくは上下）のアンカーボルトの本数

$Q_d / Q_a \leqq 1.0$

ここで，$Q_d = R_1 / 2 / n$

Q_d ：アンカーボルト１本当りのせん断力(kN)

Q_a ：アンカーボルト１本当りの短期許容せん断力(kN)

R_1 ：アンカーボルトに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力(kN)

n ：片側（左右もしくは上下）のアンカーボルトの本数

3.5　評価条件

「3.4　評価方法」に用いる評価条件を表3－7に示す。

表3－7　強度評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	水密扉No.	
					2	4
共通		h	mm	当該扉の浸水深さ	17100	17100
		ρ_o	t/m^3	水の密度	1.03	1.03
		g	m/s^2	重力加速度	9.80665	9.80665
扉板		L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	432	450
		H	mm	浸水深さ	17100	17100
		β	－	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1	1
		α_H	－	余震震度(水平方向)	0.421	0.421
		t	mm	扉板の厚さ	9	12
		ρ_S	t/m^3	扉板の密度	7.85	7.85
		W_D	kN	扉重量	6.62	7.51
		Z_1	mm^3/m	扉板の断面係数	1.350×10^4	2.400×10^4
芯材		w_2	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重	173	173
		b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	432	438
		L	mm	芯材の支持スパン	1060	995
		Z_2	mm^3	芯材の断面係数	1.530×10^5	1.530×10^5
		As	mm^2	芯材のせん断断面積	1.260×10^3	1.260×10^3
締付装置部	共通	n_2	本	締付装置の本数	2	4
	締付装置	L_5	mm	締付装置の突出長さ	50	53
		σ	N/mm^2	曲げ応力度	9.78	296
		τ	N/mm^2	せん断応力度	1.19	42.3
	締付装置受けピン	L_P	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離	77	112
		b’	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ	－	48
		σ	N/mm^2	曲げ応力度	29.3	169
		τ	N/mm^2	せん断応力度	2.38	47.5
	締付装置受けボルト	n_b	本	締付装置受けボルトの本数	2	4
		σ_t	N/mm^2	引張応力度	20.1	128
アンカーボルト		L_1	mm	躯体開口部の高さ	2100	2100
		L_2	mm	躯体開口部の幅	1000	1000
		n	本	0° 方向　ヒンジ側/上側　アンカーボルト本数	6	0
				0° 方向　開閉側/下側　アンカーボルト本数	6	0
				90° 方向　ヒンジ側/上側　アンカーボルト本数	6	12
				90° 方向　開閉側/下側　アンカーボルト本数	6	12
		Qa	kN/本	0° 方向　ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	11.7	－
				0° 方向　開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	11.7	－
		Ta	kN/本	90° 方向　ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力	32.1	34.1
				90° 方向　開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力	32.1	34.1

3.6　評価結果

水密扉の強度評価結果を表 3－8 に示す。水密扉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，水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表 3－8　水密扉の強度評価結果

水密扉 No.	対象評価部材*		発生値（応力度又は荷重）(N/mm^2)	許容限界値 (N/mm^2)	発生応力度/許容限界値
2	扉板		222	235	0.95
	芯材		94.8	235	0.41
	締付装置部	締付装置	10.0	205	0.05
		締付装置受けピン	29.3	205	0.15
		締付装置受けボルト	20.1	651	0.04
	アンカーボルト		0.389	11.7	0.04
4	扉板		167	235	0.72
	芯材		84.5	235	0.36
	締付装置部	締付装置	305	390	0.79
		締付装置受けピン	169	205	0.83
		締付装置受けボルト	128	651	0.20
	アンカーボルト		19.9	34.1	0.59

注記＊：芯材は，曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載し，
アンカーボルトは引張及びせん断のうち評価結果が厳しい値を記載する。
なお，アンカーボルトの評価結果は単位を kN とする。

Ⅴ-3-別添 3-1-6　床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書

目次

1. 概要 ····· 1
2. 一般事項 ····· 2
2.1 配置計画 ····· 2
2.2 構造計画 ····· 3
2.3 評価方針 ····· 7
2.4 適用基準 ····· 13
2.5 記号の説明 ····· 14
3. 評価部位 ····· 20
4. 固有周期 ····· 24
4.1 固有周期の計算方法 ····· 24
4.2 固有周期の計算条件 ····· 30
4.3 固有周期の計算結果 ····· 34
5. 構造強度評価 ····· 36
5.1 構造強度評価方法 ····· 36
5.2 荷重及び荷重の組合せ ····· 36
5.3 許容限界 ····· 39
5.4 設計用地震力 ····· 44
5.5 計算方法 ····· 46
5.6 計算条件 ····· 56
6. 評価結果 ····· 64

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防護施設のうち床ドレンライン浸水防止治具が津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重に対し，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置計画

強度評価の対象施設となる床ドレンライン浸水防止治具の配置計画は、Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」にて示す。

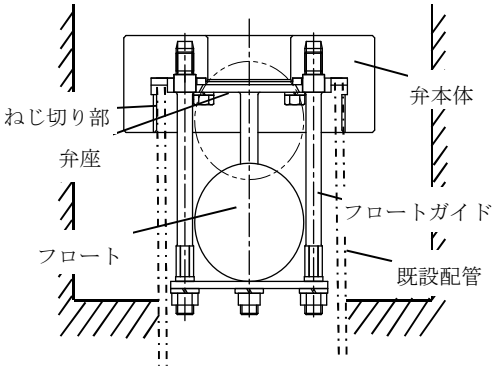
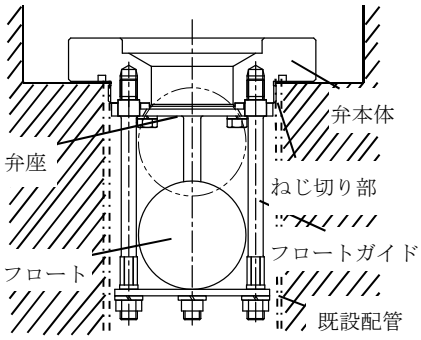
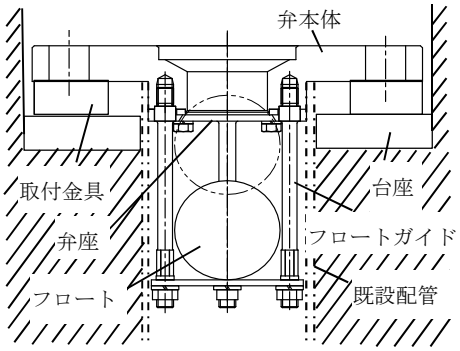
2.2　構造計画

床ドレンライン浸水防止治具の構造計画は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.　構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。

(1)　フロート式治具

フロート式治具は，フロート式の浸水防止治具であり，配管内で逆流が発生するとフロートが押上げられ，弁座に密着することで止水する。フロート式治具の構造計画を表 2－1 に示す。

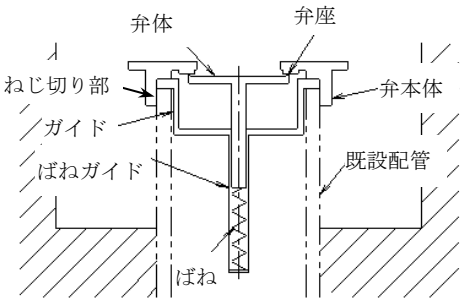
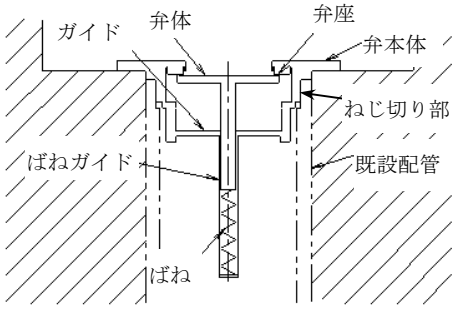
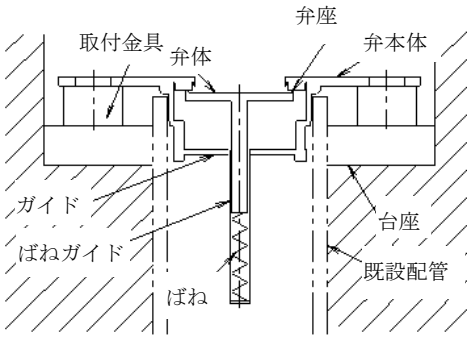
表 2－1　構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
フロート式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型		台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する。	

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具は，スプリング式浸水防止治具であり，ばね圧により常時弁体が弁座に密着している。配管内で逆流が発生すると，弁体の下方からの圧力が加わり，弁体と弁座の密着が維持されることで止水する。スプリング式治具の構造計画を表 2－2 に示す。

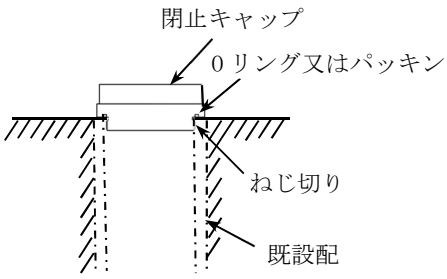
表2－2　構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
スプリング式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体，弁体，弁体を弁座に導くガイド，ばねが内挿されるばねガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型		台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する。	

(3)　閉止キャップ

閉止キャップは，配管に蓋をすることで配管内の順流及び逆流を止水する。閉止キャップの構造計画を表 2－3 に示す。

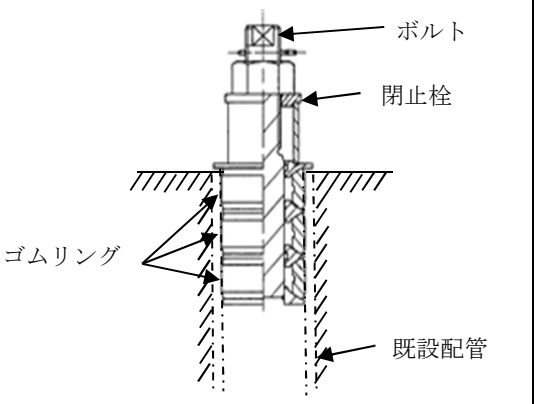
表2－3　構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
閉止キャップ	閉止キャップで構成する。	配管にねじ込み固定する。	

(4)　閉止栓

閉止栓は，配管に蓋をすることで配管内の順流及び逆流を止水する。閉止栓の構造計画を表 2－4 に示す。

表2－4　構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
閉止栓	閉止栓で構成する。	ゴムの圧着により固定する。	

2.3　評価方針

(1)　フロート式治具

フロート式治具の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では，フロート式治具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「5.1　構造強度評価方法」に示す方法により，「5.6　計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。また，構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については，評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1　構造強度評価方法」に示す方法により，「5.6　計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「6.　評価結果」にて確認する。

フロート式治具の強度評価フローを図 2－1 に示す。フロート式治具の強度評価においては，その構造を踏まえ，静水圧荷重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，静水圧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，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す静水圧荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動Ｓｄによる地震力とする。余震荷重の設定に当たっては，弾性設計用地震動Ｓｄを入力して得られた設置床の最大応答加速度を考慮して設定した設計震度を用いる。

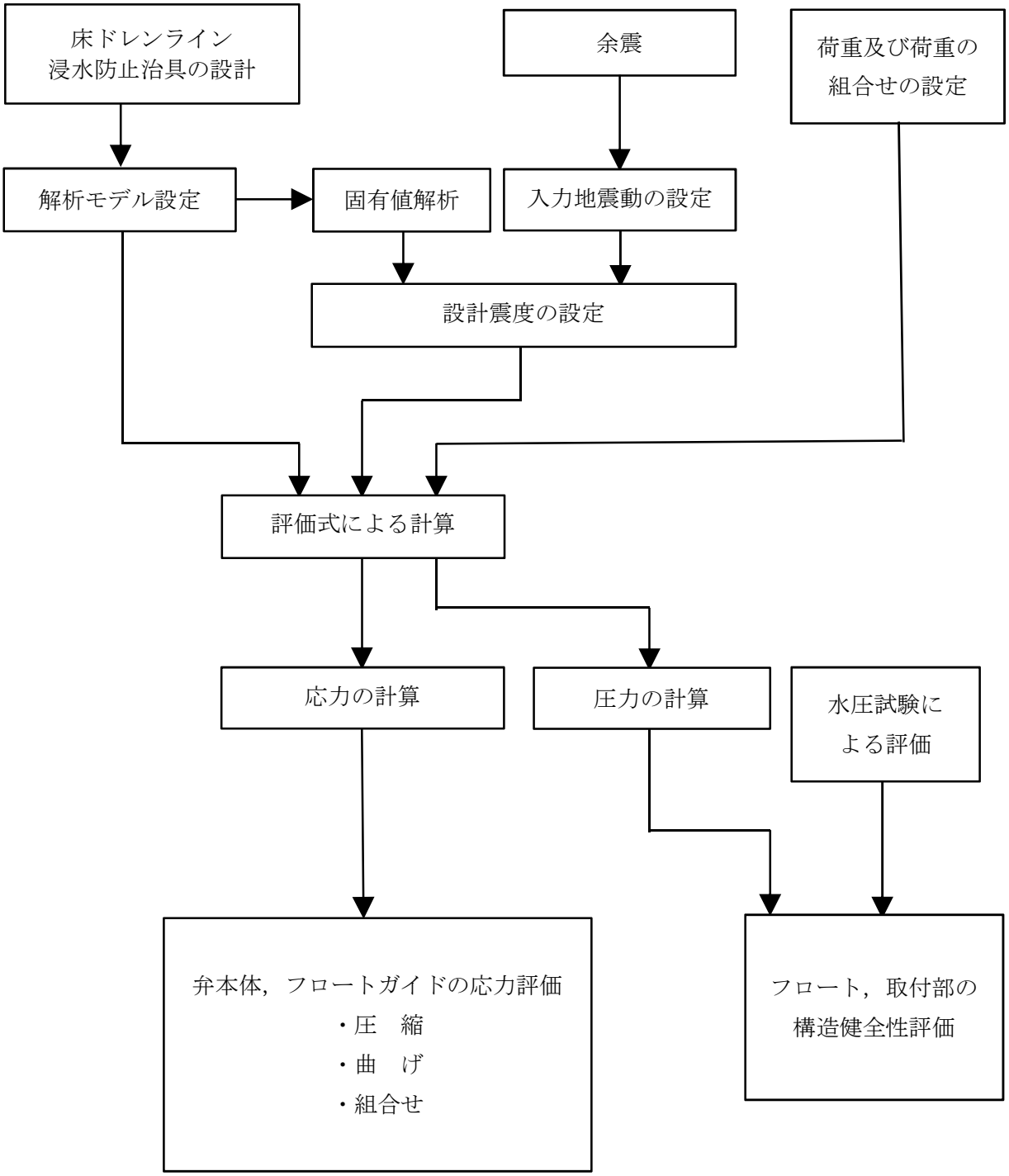


図 2－1　強度評価フロー（フロート式治具）

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では，スプリング式治具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「5.1　構造強度評価方法」に示す方法により，「5.6　計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。また，構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については，評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1　構造強度評価方法」に示す方法により，「5.6　計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「6.　評価結果」にて確認する。

スプリング式治具の強度評価フローを図 2－2 に示す。スプリング式治具の強度評価においては，その構造を踏まえ，静水圧荷重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重畳時を考慮し，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，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す静水圧荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動Ｓｄによる地震力とする。余震荷重の設定に当たっては，弾性設計用地震動Ｓｄを入力して得られた設置床の最大応答加速度を考慮して設定した設計震度を用いる。

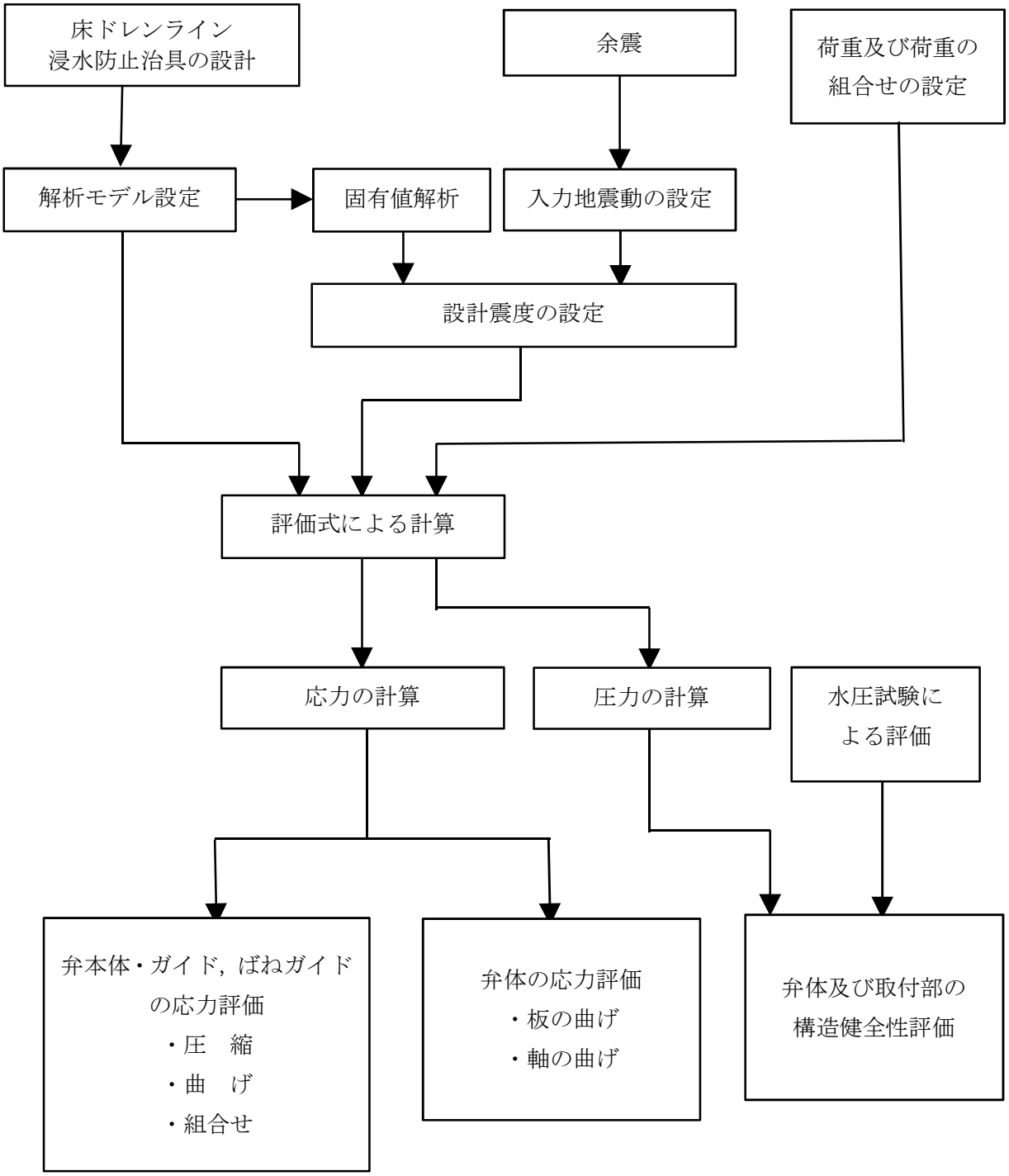


図2－2　強度評価フロー（スプリング式治具）

(3)　閉止キャップ

閉止キャップの強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえて，構造健全性評価により実施する。構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については，評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1　構造強度評価方法」に示す方法により，「5.6　計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「6.　評価結果」にて確認する。

閉止キャップの強度評価フローを図 2－3 に示す。

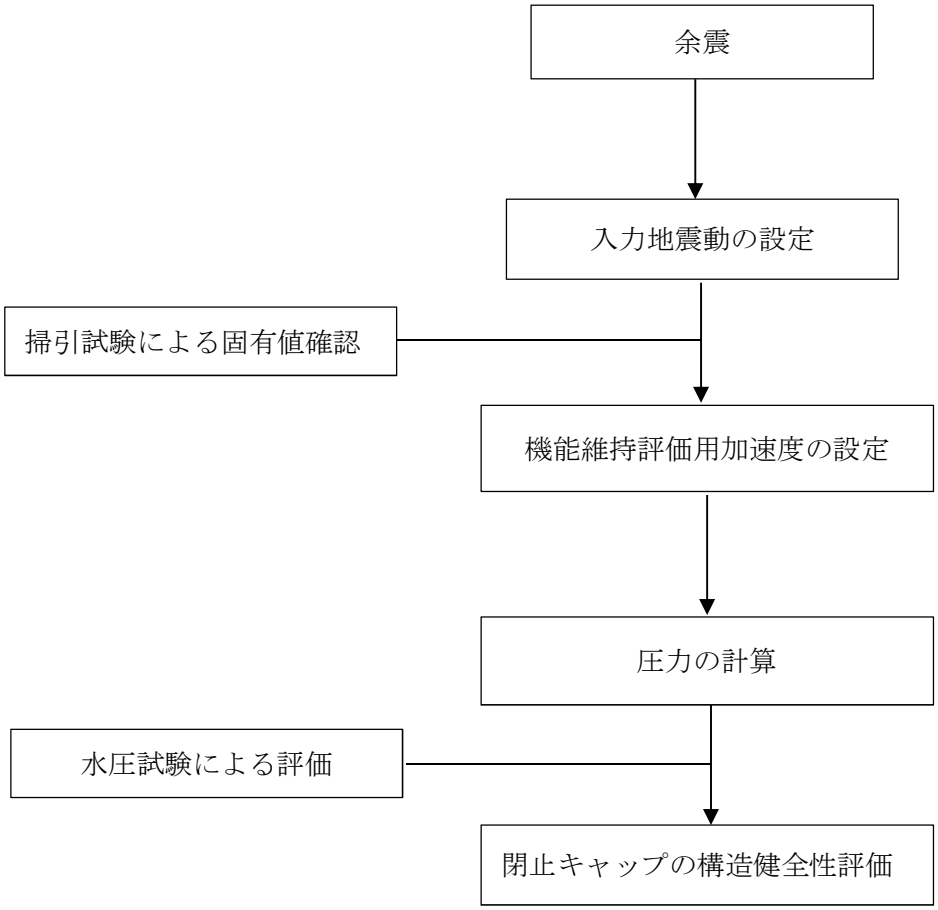


図 2－3　強度評価フロー（閉止キャップ）

(4)　閉止栓

閉止栓の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえて，構造健全性評価により実施する。構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については，評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1　構造強度評価方法」に示す方法により，「5.6　計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「6.　評価結果」にて確認する。

閉止栓強度評価フローを図 2－4 に示す。

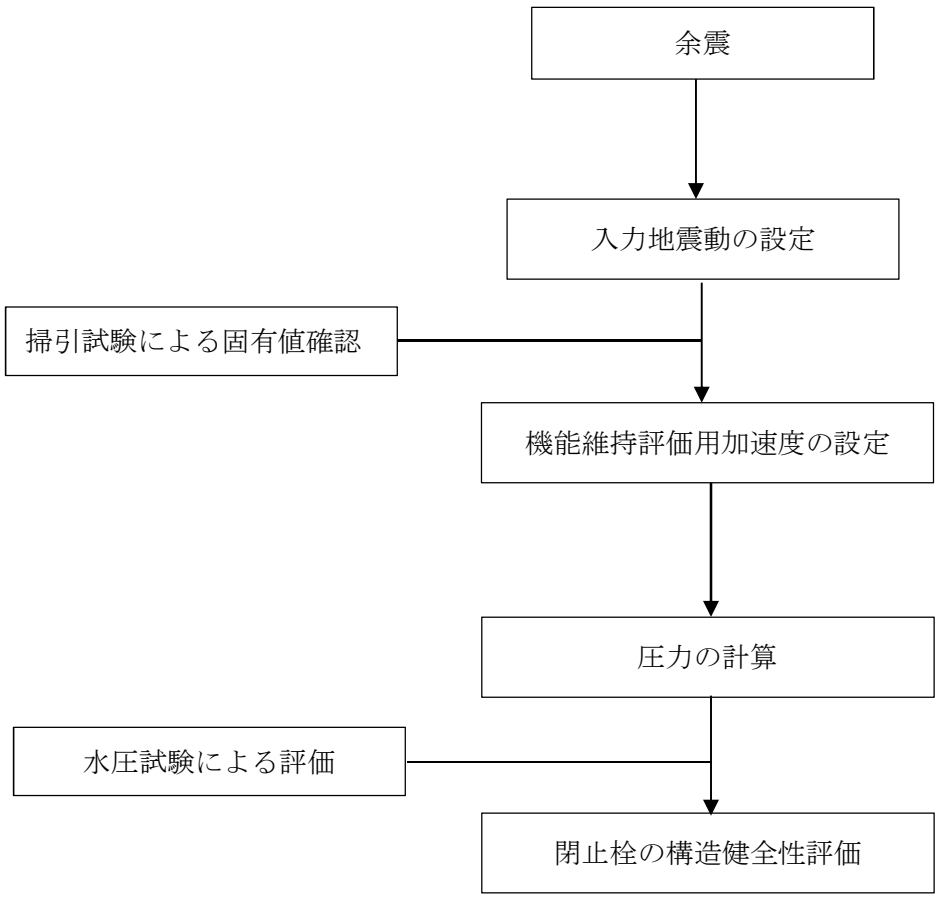


図 2－4　強度評価フロー（閉止栓）

2.4　適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格 2005 年版(2007 年追補版含む。)　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005/2007（日本機械学会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類･許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(4)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

(5)　機械工学便覧（日本機械学会）

2.5　記号の説明

(1)　フロート式治具

フロート式治具の固有周期の計算に用いる記号を表 2－5 に，応力評価に用いる記号を表 2－6 にそれぞれ示す。

表2－5　フロート式治具の固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A	モデル化に用いるフロートガイドの有効断面積	mm^2
d_m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D_{fm}	モデル化に用いるフロートガイドの直径	mm
D_m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数	MPa
f	床ドレンライン浸水防止治具の一次固有振動数	Hz
T	床ドレンライン浸水防止治具の固有周期	s
I_a	モデル化に用いるフロートガイド 1 本の断面二次モーメント	mm^4
I_m	モデルの等価断面二次モーメント	mm^4
I_{m1}	モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント	mm^4
I_{m2}	モデル化に用いるフロートガイド 4 本の等価断面二次モーメント	mm^4
k	モデルのばね定数	N/m
ℓ_1	モデル化に用いる弁本体の長さ	mm
ℓ_2	モデル化に用いるフロートガイドの長さ	mm
m	モデル化に用いる弁の全質量	kg
y_g	フロートガイドの図心 G と X 軸の距離	mm

表 2－6　フロート式治具の応力評価に用いる記号(1/2)

記号	記号の説明	単位
C_{HSd}	余震による水平方向の設計震度	－
C_{VSd}	余震による鉛直方向の設計震度	－
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_3	フロートガイドの最小断面積	mm^2
A_4	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
D_2	重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
D_3	フロートガイドの最小直径	mm
D_4	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
d_1	弁本体の内径	mm
D_1	弁本体の外径	mm
F_{H1}	弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{H2}	フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{V1}	弁本体に加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{V2}	フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
h	静水圧荷重の算出に用いる浸水の水頭	mm
I_1	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
I_2	フロートガイドの断面二次モーメント	mm^4
L_1	弁全体の長さ	mm
L_2	フロートガイドの長さ	mm
m_1	弁の全質量	kg
m_2	フロートガイドの１本あたりの質量	kg
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	N･mm
M_2	フロートガイドに発生する曲げモーメント	N･mm

表 2－6　フロート式治具の応力評価に用いる記号(2/2)

記号	記号の説明	単位
D	固定荷重	－
P_h	静水圧荷重	MPa
P_w	フロートに発生する圧力	MPa
S	ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１　付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料（ボルト材を除く）の各温度における許容引張応力	MPa
W_{d1}	弁本体自重	N
W_{d2}	フロートガイド自重	N
ρ_0	海水の密度	kg/m^3
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	フロートガイドに加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる圧縮応力（重畳時）	MPa
σ_{V2}	フロートガイドに加わる圧縮応力（重畳時）	MPa

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具の固有周期の計算に用いる記号を表 2－7 に,応力評価に用いる記号を表 2－8 にそれぞれ示す。

表 2－7　スプリング式治具の固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A_G	モデル化に用いるガイド（矩形，円形）1 本の断面積	mm^2
d_2	モデル化に用いるばねガイドの内径	mm
D_2	モデル化に用いるばねガイドの外径	mm
D_G	モデル化に用いる円形ガイド 1 本の断面における直径	mm
E	モデル化に用いる部位の縦弾性係数	MPa
f	床ドレンライン浸水防止治具の一次固有振動数	Hz
T	床ドレンライン浸水防止治具の固有周期	s
I_a	モデル化に用いる円形ガイド 1 本の断面二次モーメント	mm^4
I_{a1}	モデル化に用いる矩形ガイド 1 本の弱軸側断面二次モーメント	mm^4
I_{a2}	モデル化に用いる矩形ガイド 1 本の強軸側断面二次モーメント	mm^4
I_m	モデルの等価断面二次モーメント	mm^4
I_{m1}	モデル化に用いる弁本体・ガイドの等価断面二次モーメント	mm^4
I_{m2}	モデル化に用いるばねガイドの等価断面二次モーメント	mm^4
k	モデルのばね定数	N/m
ℓ_1	モデル化に用いる弁本体・ガイドの長さ	mm
ℓ_2	モデル化に用いるばねガイドの長さ	mm
ℓ_b	モデル化に用いる矩形ガイド 1 本の断面における長辺の長さ	mm
ℓ_h	モデル化に用いる矩形ガイド 1 本の断面における短辺の長さ	mm
m	モデル化に用いる床ドレンライン浸水防止治具の全質量（集中質量）	kg
y_g	モデル化に用いるガイド（矩形，円形）の図心 G と X 軸の距離	mm

表2－8　スプリング式治具の応力評価に用いる記号（1/2）

記号	記号の説明	単位
C_{HSd}	余震による水平方向の設計震度	—
C_{VSd}	余震による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体・ガイドの最小断面積	mm^2
A_2	重畳時に弁本体・ガイドに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_3	ばねガイドの最小断面積	mm^2
A_4	重畳時にばねガイドに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_G	円形，矩形ガイド1本あたりの断面積	mm^2
A_D	弁体の断面積	mm^2
d_2	ばねガイドの内径	mm
D_1	弁本体・ガイドの外径	mm
D_2	ばねガイドの外径	mm
D_D	弁体の直径	mm
D_G	円形ガイド1本の外径	mm
D_Z	弁体の軸の直径	mm
F_{H1}	弁本体・ガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{H2}	ばねガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{HZ}	弁体の軸に加わる水平方向地震荷重	N
F_{V1}	弁本体・ガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{V2}	ばねガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{VD}	弁体の円板に加わる鉛直方向地震荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
h	静水圧荷重の算出に用いる浸水の水頭	mm
I_1	弁本体・ガイドの断面二次モーメント	mm^4
I_2	ばねガイドの断面二次モーメント	mm^4
I_{a1}	矩形ガイド1本の弱軸側断面二次モーメント	mm^4
I_{a2}	矩形ガイド1本の強軸側断面二次モーメント	mm^4
I_a	円形ガイド1本の断面二次モーメント	mm^4
I_Z	弁体の軸の断面二次モーメント	mm^4
L_1	弁本体・ガイドの長さ	mm
L_2	ばねガイドの長さ	mm

表2－8　スプリング式治具の応力評価に用いる記号（2/2）

記号	記号の説明	単位
L_Z	弁体の軸の長さ	mm
ℓ_b	矩形ガイド1本の断面における長辺	mm
ℓ_h	矩形ガイド1本の断面における短辺	mm
m	治具の質量	kg
m_1	弁本体・ガイドの質量	kg
m_2	ばねガイドの質量	kg
m_D	弁体の質量	kg
M_1	弁本体・ガイドに発生する曲げモーメント	N・mm
M_2	ばねガイドに発生する曲げモーメント	N・mm
M_Z	弁体の軸に発生する曲げモーメント	N・mm
P_w	弁体に発生する圧力	MPa
P_h	静水圧荷重	MPa
S	ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１　付録材料図表Part5表5鉄鋼材料（ボルト材を除く）の各温度における許容引張応力	MPa
t	弁体の板厚	mm
W_{d1}	弁本体・ガイドの自重	N
W_{d2}	ばねガイドの自重	N
W_D	弁体の自重	N
y_g	ガイド（矩形，円形）１本の図心とX軸との距離	mm
ρ_0	海水の密度	kg/m^3
σ_{H1}	弁本体・ガイドに加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	ばねガイドに加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体・ガイドに加わる圧縮応力（重畳時）	MPa
σ_{V2}	ばねガイドに加わる圧縮応力（重畳時）	MPa
σ_D	弁体に加わる曲げ応力	MPa
σ_Z	弁体の軸に加わる曲げ応力	MPa

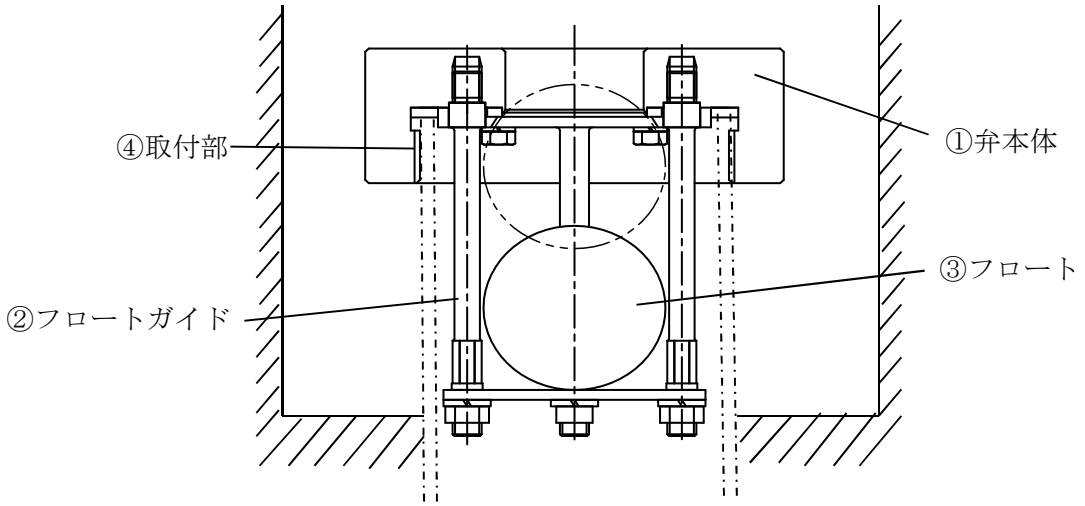
3. 評価部位

(1) フロート式治具

フロート式治具の評価部位は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価部位を踏まえて，静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

重畳時にフロート式治具下流からの静水圧荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は，弁本体及びフロートガイドに圧縮力が作用する。また，フロート式治具下流からの静水圧荷重によりフロートが弁座に密着し閉弁状態となる際にフロートに圧縮力が作用する。一方，水平方向の余震荷重が負荷される場合は，弁本体及びフロートガイドには曲げモーメントが作用する。

このことから，強度評価においては，応力評価による評価部位として，弁本体及びフロートガイドを選定し，構造健全性評価による評価部位としてフロート及び取付部を選定する。フロート式治具の評価部位について図 3－1 に示す。



注記：図中の①～②は応力評価による評価部位を，③～④は構造健全性評価による評価部位をそれぞれ示す。

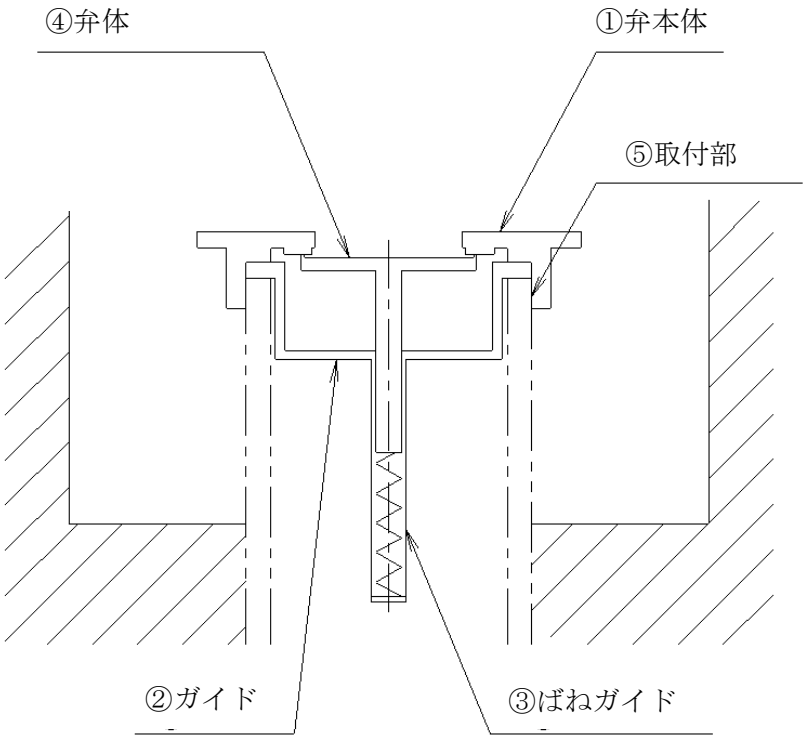
図 3－1　フロート式治具の評価部位

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具の評価対象部位は，Ⅴ-3-別添3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

重畳時にスプリング式治具下流からの静水圧荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は，弁本体・ガイド及びばねガイドに圧縮力が作用する。また，スプリング式治具下流からの静水圧荷重により弁体が弁座に押し付けられ，弁体に圧縮力がかかり，弁体に圧力による曲げが作用する。一方，水平方向の余震荷重が負荷される場合は，弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体の軸に曲げモーメントが作用する。

このことから，強度評価においては，応力評価による評価部位として，弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体を選定し，構造健全性評価による評価部位として弁体及び取付部を選定する。スプリング式治具の評価部位について図3－2に示す。



注記：図中の①～④は応力評価による評価部位を，④～⑤は構造健全性評価による評価部位をそれぞれ示す。

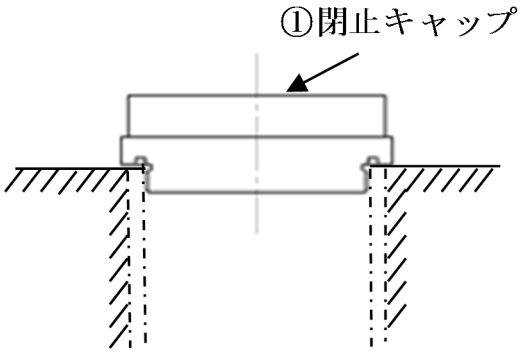
図3－2　スプリング式治具の評価部位

(3)　閉止キャップ

閉止キャップの評価部位は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価部位を踏まえて，静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

重畳時に閉止キャップ下方からの静水圧荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は，閉止キャップに圧縮力がかかる。

このことから，構造健全性評価による評価部位として，閉止キャップを選定する。閉止キャップの評価部位について図 3－3 に示す。



注記：図中の①は構造健全性評価による評価部位を示す。

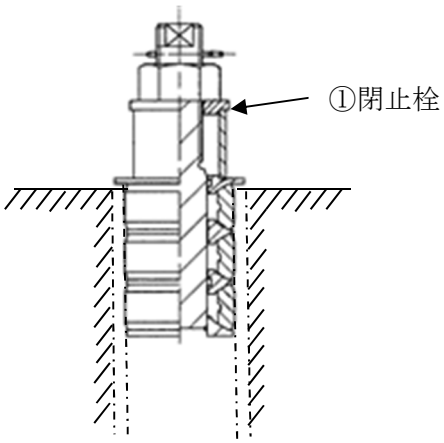
図 3－3　閉止キャップの評価部位

(4)　閉止栓

閉止栓の評価部位は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価部位を踏まえて，静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

重畳時に閉止栓下方からの静水圧荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は，閉止栓に圧縮力がかかる。

このことから，構造健全性評価による評価部位として，閉止栓を選定する。閉止栓の評価部位について図 3－4 に示す。



注記：図中の①は構造健全性評価による評価部位を示す。

図 3－4　閉止栓の評価部位

4.　固有周期

4.1　固有周期の計算方法

(1)　フロート式治具

フロート式治具の構造に応じて，保守的に固有周期が大きく算出されるよう，より柔となるようにモデル化し，固有周期を算出する。また，その場合においても固有周期が 0.05s 以下であることを確認する。

a.　解析モデル

質量の不均一性を考慮し，一方の端を固定端，他方の端を自由端の 1 質点系モデルとして，自由端に弁の全質量mが集中したモデルを組む。モデル化は，円筒状の弁本体及び円柱状の 4 本のフロートガイドの異なる 2 つの断面をもつ梁の組合せとして設定する。モデル化の概略を図 4－1 に示す。

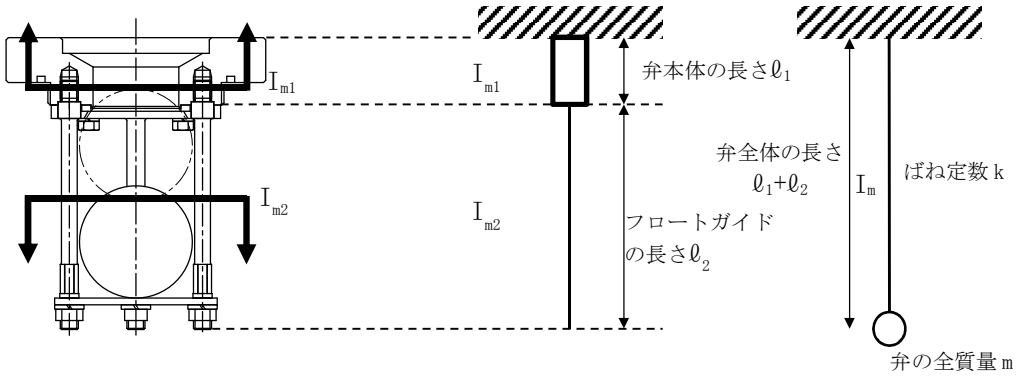


図 4－1　フロート式治具のモデル化の概略

b.　固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は，公称値を使用する。固有周期Ｔを以下の式より算出する。

$$T=\frac{1}{f}$$

$$f=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k=\frac{3\cdot E\cdot I_m}{\left(\ell_1+\ell_2\right)^3}\times 10^3$$

モデルの等価断面二次モーメントI_mの算出過程を以下に示す。

(a) モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント

モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメントI_{m1}は，以下の式より算出する。

$$I_{m1}=(D_m^4-d_m^4)\cdot\frac{\pi}{64}$$

(b) モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント

平行軸の定理から，フロートガイドの図心Gと X 軸の距離y_gを用いて，モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメントI_{m2}は，以下の式より算出する。フロートガイド4本の断面を図 4−2 に示す。

$$I_a=D_{fm}^4\cdot\frac{\pi}{64}$$

$$I_{m2}=2\cdot I_a+2\cdot(I_a+(y_g)^2\cdot A)$$

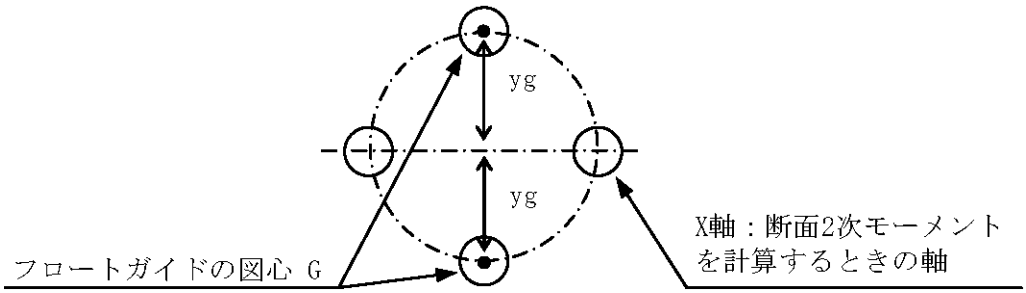


図 4−2　フロートガイド4本の断面

(c) モデルの等価断面二次モーメント

モデルの等価断面二次モーメントI_mは，以下の式より算出する。

$$I_m=\frac{(\ell_1+\ell_2)^3\cdot I_{m1}\cdot I_{m2}}{I_{m1}\cdot\ell_2{}^3+I_{m2}\cdot(\ell_1^3+3\ell_1\cdot\ell_2^2+3\ell_1^2\cdot\ell_2)}$$

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具の構造に応じて，保守的に固有周期が大きく算出されるよう，より柔となるようにモデル化し，固有周期を算出する。また，その場合においても固有周期が 0.05s 以下であることを確認する。

a.　解析モデル

質量の不均一性を考慮し，一方の端を固定端，他方の端を自由端の１質点系モデルとして，自由端に治具の全質量ｍが集中したモデルを組む。モデル化は，弁本体と矩形もしくは円形の４本のガイドを持つ部分を「弁本体・ガイド」と称し，円筒状の部分を「ばねガイド」と称する２つの断面を持つ梁の組合せとして設定する。

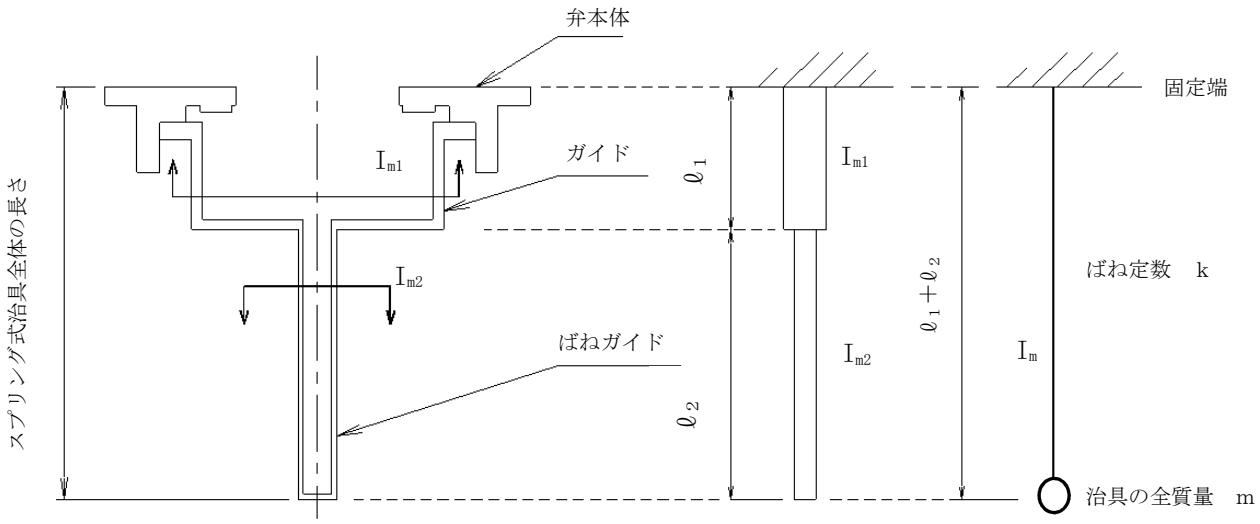


図４－３　スプリング式治具のモデル化の概略

b. 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

固有周期Ｔを以下の式より算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{\left(\ell_1 + \ell_2\right)^3} \times 10^3$$

モデルの等価断面二次モーメントＩ$_m$の算出過程を以下に示す。

(a) モデル化に用いる弁本体・ガイドの断面二次モーメント

モデル化に用いる弁本体・ガイドの断面二次モーメントＩ$_{m1}$は，以下の式より算出する。

イ． 外ねじ取付型の矩形ガイドの場合

平行軸の定理から，ガイドの図心とＸ軸の距離ｙｇを用いて，モデル化に用いる弁本体・ガイドの等価断面二次モーメントＩ$_{m1}$は，以下の式より算出する。弁本体・ガイドの矩形ガイド断面を図 4－4 に示す。

$$I_{a1} = \frac{\ell_b \cdot \ell_h^3}{12}$$

$$I_{a2} = \frac{\ell_h \cdot \ell_b^3}{12}$$

$$I_{m1} = 2 \cdot I_{a2} + 2 \cdot \left(I_{a1} + (yg)^2 \cdot A_G \right)$$

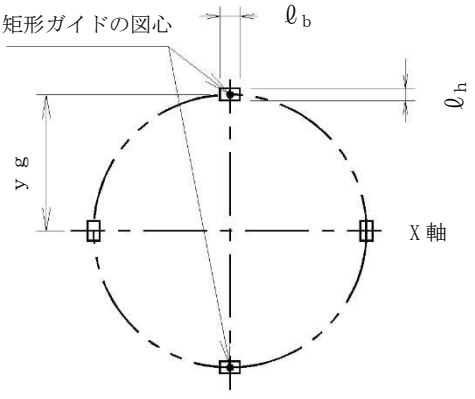


図 4－4　弁本体・ガイドの矩形ガイド断面

ロ．　内ねじ取付型及びフランジ取付型の円形ガイドの場合

平行軸の定理から，円形ガイドの図心とＸ軸の距離ｙｇを用いて，モデル化に用いる弁本体・ガイドの等価断面二次モーメントI_{m1}は，以下の式より算出する。弁本体・ガイドの円形ガイド断面を図 4－5 に示す。

$$I_a = D_G^{\,4} \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_{m1} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot \left(I_a + (y_g)^2 \cdot A_G \right)$$

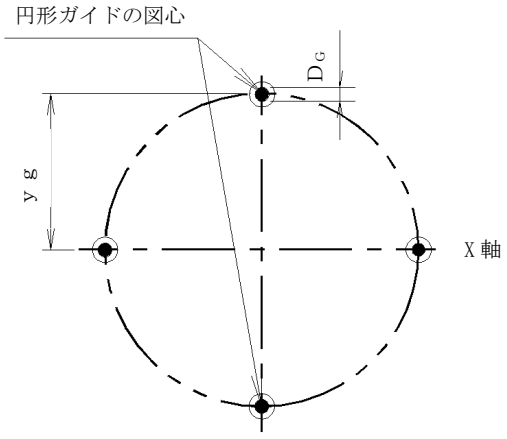


図 4－5　弁本体・ガイドの円形ガイド断面

(b)　モデル化に用いるバネガイドの断面二次モーメント

モデル化に用いるバネガイドの断面二次モーメントI_{m2}は，以下の式より算出する。ばねガイドの断面を図 4－6 に示す。

$$I_{m2} = \left(D_2^{\,4} - d_2^{\,4} \right) \cdot \frac{\pi}{64}$$

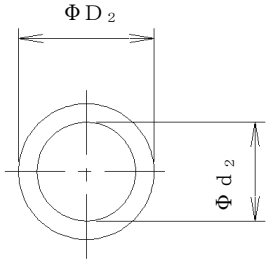


図 4－6　ばねガイドの断面

(c) モデルの等価断面二次モーメント

モデルの等価断面二次モーメントI_mは，以下の式より算出する。

$$I_m = \frac{\left(\ell_1 + \ell_2\right)^3 \cdot I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} \cdot \ell_2{}^3 + I_{m2} \cdot \left(\ell_1{}^3 + 3 \cdot \ell_1 \cdot \ell_2{}^2 + 3 \cdot \ell_1{}^2 \cdot \ell_2\right)}$$

(3) 閉止キャップ

正弦波掃引試験（振動数範囲：5～50Hz、掃引速度：1オクターブ/min）により振動数を把握する。

(4) 閉止栓

正弦波掃引試験（振動数範囲：5～50Hz、掃引速度：1オクターブ/min）により振動数を把握する。

4.2　固有周期の計算条件

(1)　フロート式治具

表 4－1～表 4－3 に外ねじ取付型，内ねじ取付型及びフランジ取付型における固有周期の計算条件を示す。

表 4－1　外ねじ取付型の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D_m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d_m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D_{fm} (mm)
SUS304	2.90	75	38	6.6

フロートガイドの図心GとX軸の距離 y_g (mm)	モデル化に用いる弁本体の長さ ℓ_1 (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの長さ ℓ_2 (mm)	モデル化に用いる部位の縦弾性係数 E＊ (MPa)
30	41	102	1.94×10^5

注記＊：「5.3　許容限界」における温度条件での縦弾性係数Ｅを用いる。

表 4－2　内ねじ取付型の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D_m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d_m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D_{fm} (mm)
SUS304	2.15	75	65	6.6

フロートガイドの図心GとX軸の距離 y_g (mm)	モデル化に用いる弁本体の長さ ℓ_1 (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの長さ ℓ_2 (mm)	モデル化に用いる部位の縦弾性係数 E＊ (MPa)
30	30	102	1.94×10^5

注記＊：「5.3　許容限界」における温度条件での縦弾性係数Ｅを用いる。

表 4－3　フランジ取付型の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D_m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d_m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D_{fm} (mm)
SUS316L	3.97	75	65	6.6

フロートガイドの図心GとX軸の距離 y_g (mm)	モデル化に用いる弁本体の長さ ℓ_1 (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの長さ ℓ_2 (mm)	モデル化に用いる部位の縦弾性係数 E＊ (MPa)
30	32	102	1.94×10^5

注記＊：「5.3　許容限界」における温度条件での縦弾性係数Ｅを用いる。

(2)　スプリング式治具

表 4－4 から表 4－6 に外ねじ取付型，内ねじ取付型，フランジ取付型の固有周期の計算条件を示す。

表 4－4　外ねじ取付型の固有周期の計算条件

モデルの材質	モデル化に用いる床ドレンライン浸水防止治具の全質量 m (kg)	モデル化に用いるガイド 1 本における断面形状の長辺 ℓ_b (mm)	モデル化に用いるガイド 1 本における断面形状の短辺 ℓ_h (mm)	ガイド 1 本の図心と X 軸との距離 y_g (mm)
SUS316L	0.94	5	3	34

モデル化に用いる弁本体・ガイドの長さ ℓ_1 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの長さ ℓ_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの外径 D_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの内径 d_2 (mm)	モデル化に用いる部位の縦弾性係数 E＊ (MPa)
40	75.5	10.5	8.2	1.94×10^5

注記＊：「5.3　許容限界」における温度条件での縦弾性係数Ｅを用いる。

表 4－5　内ねじ取付型の固有周期の計算条件

モデルの材質	モデル化に用いる床ドレンライン浸水防止治具の全質量 m (kg)	モデル化に用いるガイド 1 本の直径 D_G (mm)	ガイド 1 本の図心と X 軸との距離 y_g (mm)
SUS316L	0.705	2.459	31

モデル化に用いる弁本体・ガイドの長さ ℓ_1 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの長さ ℓ_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの外径 D_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの内径 d_2 (mm)	モデル化に用いる部位の縦弾性係数 E＊ (MPa)
40	75.5	10.5	8.2	1.94×10^5

注記＊：「5.3　許容限界」における温度条件での縦弾性係数Ｅを用いる。

表 4－6　フランジ取付型の固有周期の計算条件

モデルの材質	モデル化に用いる 床ドレンライン 浸水防止治具の全質量 m (kg)	モデル化に用いるガイド 1 本の直径 D_G (mm)	ガイド 1 本の図心と X 軸との距離 y g (mm)
SUS316L	1.169	2.459	31

モデル化に用いる 弁本体・ガイドの 長さ ℓ_1 (mm)	モデル化に用いる ばねガイドの長さ ℓ_2 (mm)	モデル化に用い るばねガイドの 外径 D_2 (mm)	モデル化に用いる ばねガイドの内径 d_2 (mm)	モデル化に用い る部位の 縦弾性係数 E＊ (MPa)
40	75.5	10.5	8.2	1.94×10^5

注記＊：「5.3　許容限界」における温度条件での縦弾性係数Ｅを用いる。

4.3　固有周期の計算結果

(1)　フロート式治具

表 4－7 に固有周期の計算結果を示す。固有周期は，0.05s 以下であることから，剛構造である。

表 4－7　固有周期の計算結果

型式	固有周期 (s)
外ねじ取付型	0.002
内ねじ取付型	0.002
フランジ取付型	0.002

(2)　スプリング式治具

表 4－8 に固有周期の計算結果を示す。固有周期は，0.05s 以下であることから，剛構造である。

表 4－8　固有周期の計算結果

型式	固有周期 (s)
外ねじ取付型	0.009
内ねじ取付型	0.008
フランジ取付型	0.010

(3) 閉止キャップ

表 4－9 に掃引試験で求めた固有周期を示す。固有周期は，0.05s 以下であることから，剛構造である。

表 4－9　固有周期の試験結果

評価部位	固有周期 (s)
閉止キャップ	0.02 以下

(4) 閉止栓

表 4－10 に掃引試験で求めた固有周期を示す。固有周期は，0.05s 以下であることから，剛構造である。

表 4－10　固有周期の試験結果

評価部位	固有周期 (s)
閉止栓	0.02 以下

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

床ドレンライン浸水防止治具の強度評価は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5.2 強度評価方法」にて設定している方法を用いて，強度評価を実施する。

床ドレンライン浸水防止治具の強度評価は，「3. 評価部位」に示す評価部位に対し，「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.3 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，「5.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) フロート式治具

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」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用いる。

a. 荷重の設定

(a) 固定荷重（D）

常時作用する荷重として，弁本体及びフロートガイドの自重を考慮し，以下の式より算出する。

$$W_{d1}=m_1\cdot g$$

$$W_{d2}=m_2\cdot g$$

(b) 静水圧荷重（P_h）

静水圧荷重として，浸水に伴う水位を用いた静水圧を考慮し，以下の式より算出する。

$$P_h=\rho_0\cdot g\cdot h\times 10^{-9}$$

(c) 余震荷重（Ｓｄ）

余震荷重は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力とする。

余震による地震荷重F_{H1}，F_{V1}，F_{H2}，F_{V2}を以下の式より算出する。

$$F_{H1}=m_1\cdot C_{HSd}\cdot g$$

$$F_{V1}=m_1\cdot C_{VSd}\cdot g$$

$$F_{H2}=m_2\cdot C_{HSd}\cdot g$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_{VSd} \cdot g$$

(2)　スプリング式治具

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ｖ-3-別添3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2　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。

a.　荷重の設定

(a)　固定荷重(D)

常時作用する荷重として,弁本体･ガイド及びばねガイド並びに弁体の自重を考慮し,以下の式より算出する。

$$W_{d1}=m_1\cdot g$$

$$W_{d2}=m_2\cdot g$$

$$W_D=m_D\cdot g$$

(b)　静水圧荷重(P_h)

静水圧荷重として,浸水に伴う水位を用いた静水圧を考慮し,以下の式より算出する。

$$P_h=\rho_0\cdot g\cdot h\times 10^{-9}$$

(c)　余震荷重(Ｓｄ)

余震荷重は,Ｖ-3-別添3-1-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力を考慮する。なお，床ドレンライン浸水防止治具に接続する配管は枝分かれし端部が開放されていることから，余震による動水圧の影響は軽微であり考慮しない。

余震による地震荷重F_{H1}，F_{V1}，F_{H2}，F_{V2}，F_{HZ}，F_{VD}を以下の式より算出する。

$$F_{H1}=m_1\cdot C_{HSd}\cdot g$$

$$F_{H2}=m_2\cdot C_{HSd}\cdot g$$

$$F_{V1}=m_1\cdot C_{VSd}\cdot g$$

$$F_{V2}=m_2\cdot C_{VSd}\cdot g$$

$$F_{HZ}=m_D\cdot C_{HSd}\cdot g$$

$$F_{VD}=m_D\cdot C_{VSd}\cdot g$$

5.2.2　荷重の組合せ

床ドレンライン浸水防止治具の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表5－1に示す。

表5－1　床ドレンライン浸水防止治具の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ
浸水防護施設 （浸水防止設備）	床ドレンライン浸水防止治具	Ｄ＋Ｐ$_h$＋Ｓｄ*1*2

注記＊1　：Ｄは固定荷重，Ｐ$_h$は静水圧荷重，Ｓｄは余震荷重を示す。

＊2　：固定荷重（Ｄ）及び余震荷重（Ｓｄ）の組み合せが，強度評価上，静水圧荷重（Ｐ$_h$）を緩和する方向に作用する場合，保守的にこれらを組み合せない評価を実施する。

5.3　許容限界

(1)　フロート式治具

フロート式治具の許容限界は，Ⅴ-3-別添3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定している評価部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，弁本体及びフロートガイドについては，ＪＳＭＥに準じた供用状態Ｃの許容応力を用いる。

フロート及び取付部については，水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では，フロート式治具の閉状態に対して，静水圧0.35MPaをフロート及び取付部に負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

フロート式治具の弁本体及びフロートガイドの許容限界を表5－2に，許容応力評価条件を表5－3に，弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果を表5－4にそれぞれ示す。

また、フロート及び取付部の許容限界を表5－5に示す。

表5－2　弁本体及びフロートガイドの許容限界

供用状態 （許容応力状態）	許容限界*1		
	一次応力		
	圧縮	曲げ	組合せ*2
Ｃ （ⅢAＳ）*3	1.2・Ｓ	1.2・Ｓ	1.2・Ｓ

注記＊1　：圧縮及び曲げ応力は，ＪＥＡＧ４６０１・補－1984を準用し，「管」の許容限界のうちクラス２，３配管に対する許容限界に準じて設定する。

＊2　：圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力である。

＊3　：地震後の再使用性や津波による溢水の繰返し作用を想定し，当該構造物全体の変形力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう，設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5－3　弁本体及びフロートガイドの許容応力評価条件

型式	評価部位	材料	温度条件 (℃)	S＊ (MPa)
外ねじ取付型	弁本体	SUS303	40	129
	フロートガイド	SUS304		
内ねじ取付型	弁本体	SUS303		
	フロートガイド	SUS304		
フランジ取付型	弁本体	SUS316L		111
	フロートガイド	SUS316L		

注記＊：鉄鋼材料(ボルト材を除く)の許容引張応力を示す。

表 5－4　弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果

供用状態 (許容応力状態)	型式	評価部位	許容限界 一次応力 圧縮 1.2・S (MPa)	許容限界 一次応力 曲げ 1.2・S (MPa)	許容限界 一次応力 組合せ 1.2・S (MPa)
C (III_AS)	外ねじ取付型	弁本体	154	154	154
		フロートガイド	154	154	154
	内ねじ取付型	弁本体	154	154	154
		フロートガイド	154	154	154
	フランジ取付型	弁本体	133	133	133
		フロートガイド	133	133	133

表 5－5　フロートの許容限界

評価部位	水圧試験の圧力(MPa)
フロート及び取付部	0.35

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具の許容限界は，Ⅴ-3-別添3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定している評価部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体については，ＪＳＭＥに準じた供用状態Ｃの許容応力を用いる。

弁体及び取付部については，水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では，静水圧0.35MPaを弁体及び取付部に負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体の許容限界を表5－6に，許容応力評価条件を表5－7に，弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体の許容応力算出結果を表5－8にそれぞれ示す。また，弁体及び取付部の許容限界を表5－9に示す。

表5－6　弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体の許容限界

供用状態 （許容応力状態）	許容限界*1		
	一次応力		
	圧縮	曲げ	組合せ*2
Ｃ （$\mathrm{III_AS}$）*3	1.2・Ｓ	1.2・Ｓ	1.2・Ｓ

注記＊1：圧縮及び曲げ応力は，ＪＥＡＧ４６０１・補－1984を準用し，「管」の許容限界のうちクラス２，３配管に対する許容限界に準じて設定する。

＊2：圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力である。

＊3：地震後の再使用性や津波による溢水の繰返し作用を想定し，当該構造物全体の変形力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう，設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表5－7　弁本体・ガイド，ばねガイド，弁体の許容応力評価条件

型式	評価部位	材料	温度条件 (℃)	S＊ (MPa)
外ねじ取付型	弁本体・ガイド	SUS316L	40	111
	ばねガイド	SUS316L		111
	弁体	SUS316L		111
内ねじ取付型	弁本体・ガイド	SUS316L		111
	ばねガイド	SUS316L		111
	弁体	SUS316L		111
フランジ取付型	弁本体・ガイド	SUS316L		111
	ばねガイド	SUS316L		111
	弁体	SUS316L		111

注記＊：鉄鋼材料(ボルト材を除く）の許容引張応力

表5－8　弁本体・ガイド，ばねガイド，弁体の許容応力算出結果

供用状態 (許容応力状態)	型式	評価部位	許容限界		
			一次応力		
			圧縮 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
C (III_AS)	外ねじ 取付型	弁本体・ガイド	133	133	133
		ばねガイド	133	133	133
		弁体	133	133	133
	内ねじ 取付型	弁本体・ガイド	133	133	133
		ばねガイド	133	133	133
		弁体	133	133	133
	フランジ 取付型	弁本体・ガイド	133	133	133
		ばねガイド	133	133	133
		弁体	133	133	133

表5－9　弁体及び取付部の許容限界

評価部位	水圧試験の圧力(MPa)
弁体及び取付部	0.35

(3)　閉止キャップ

閉止キャップの許容限界は，水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では，静水圧 0.35MPa を閉止キャップに負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

表 5－10　閉止キャップの許容限界

評価部位	水圧試験の圧力(MPa)
閉止キャップ	0.35

(4)　閉止栓

閉止栓の許容限界は,水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では,静水圧 0.35MPa を閉止栓に負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

表 5－11　閉止栓の許容限界

評価部位	水圧試験の圧力(MPa)
閉止栓	0.35

5.4　設計用地震力

「4.3　固有周期の解析結果」より,床ドレンライン浸水防止治具の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため,床ドレンライン浸水防止治具の強度計算に用いる設計震度は,V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示すタービン建屋における設置床の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。床ドレンライン浸水防止治具の強度計算に用いる設計震度を表 5－12～表 5－15 に示す。

表 5－12　フロート式治具の設計震度

地震動	床面高さ*1 T.M.S.L. (mm)	場所	余震による設計震度*2*3	
弾性設計用地震動 Ｓｄ	44300	タービン建屋最上階	水平方向 C_{HSd}	3.02
			鉛直方向 C_{VSd}	1.20

注記＊1　：基準床レベルを示す。

＊2　：「4.3　固有周期の計算結果」より，フロート式治具の固有周期が0.05s以下であることを確認したため,保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

＊3　：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から，保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

表5－13　スプリング式治具の設計震度

地震動	床面高さ*1 T.M.S.L. (mm)	場所	余震による設計震度*2*3	
弾性設計用地震動 Ｓｄ	44300	タービン建屋最上階	水平方向 C_{HSd}	3.02
			垂直方向 C_{VSd}	1.20

注記＊1　：基準床レベルを示す。

＊2　：「4.3　固有周期の計算結果」より，スプリング式治具の固有周期が0.05s以下であることを確認したため,保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

＊3　：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から，保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

表 5－14　閉止キャップの設計震度

地震動	床面高さ*1 T.M.S.L. (mm)	場所	余震による設計震度*2*3	
弾性設計用地震動 Ｓｄ	44300	タービン建屋最上階	水平方向 C_{HSd}	3.02
			鉛直方向 C_{VSd}	1.20

注記＊1 ：基準床レベルを示す。

＊2 ：資料「4.3　固有周期の計算結果」より，閉止キャップの固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため，保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

＊3 ：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から，保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

表 5－15　閉止栓の設計震度

地震動	床面高さ*1 T.M.S.L. (mm)	場所	余震による設計震度*2*3	
弾性設計用地震動 Ｓｄ	44300	タービン建屋最上階	水平方向Ｃ $_{HSd}$	3.02
			鉛直方向Ｃ $_{VSd}$	1.20

注記＊1 ：基準床レベルを示す。

＊2 ：「4.3　固有周期の計算結果」より，閉止栓の固有周期が 0.05s 以下であることを確認したため，保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

＊3 ：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から，保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

5.5　計算方法

床ドレンライン浸水防止治具の強度評価は，構造部材に作用する応力が，「5.3　許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

5.5.1　荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する。

(1)　固定荷重（D）

床ドレンライン浸水防止治具の自重は静水圧荷重を緩和する方向に作用することから，考慮しない。ただし，余震による水平地震力を求めるに当たって，固定荷重として床ドレンライン浸水防止治具の自重を考慮する。

(2)　静水圧荷重（P_h）

静水圧荷重P_hは、床ドレンライン浸水防止治具の設置位置における治具下流からの浸水に伴う静水圧を考慮する。

(3)　余震荷重（Ｓｄ）

余震荷重Ｓｄは，床ドレンライン浸水防止治具の設置位置における水平方向及び鉛直方向の地震荷重を考慮する。

5.5.2　応力計算

(1)　フロート式治具

a.　弁本体

(a)　圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び静水圧荷重により，弁本体に加わる圧縮応力σ_{V1}を以下の式より算出する。また，静水圧荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積A_2は，弁本体のうち波圧を受ける面積が最も広い箇所を適用し，静水圧荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径D_2から求める。弁本体の断面積A_1は，図5－1に示すとおり，弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし，弁本体の自重W_{d1}は圧縮応力σ_{v1}を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{V1}=\frac{W_{d1}+F_{V1}+P_h\cdot A_2}{A_1}$$

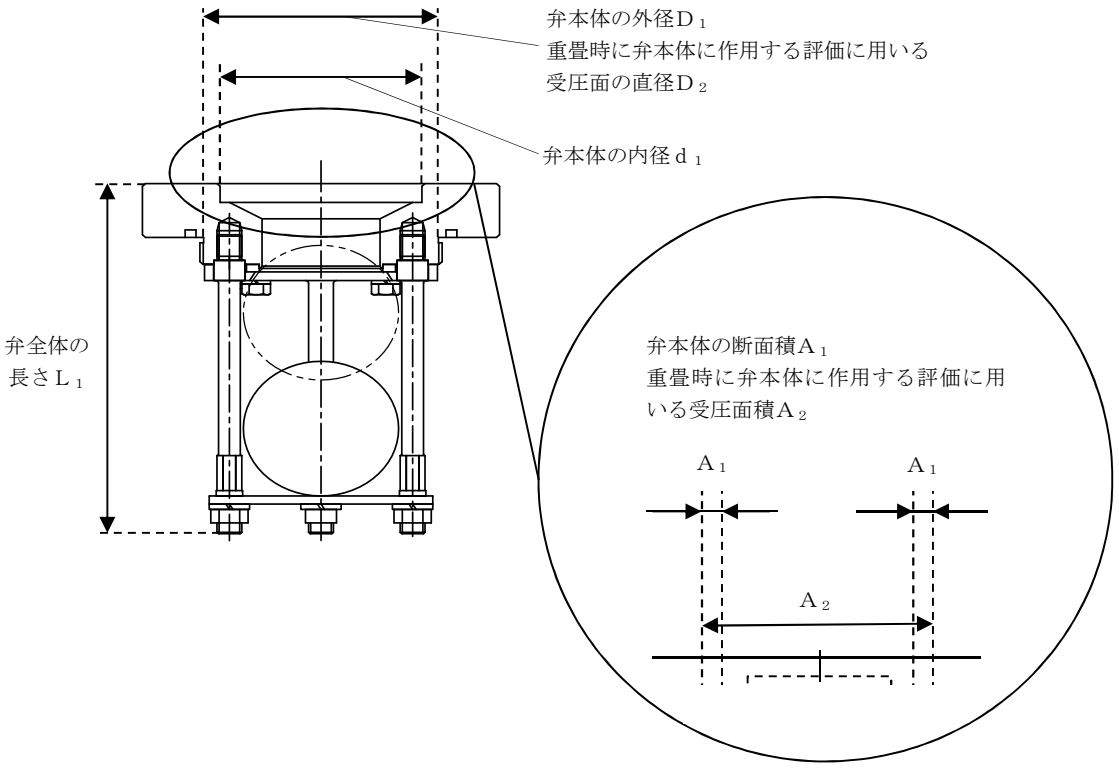


図5－1　弁本体の寸法図

(b) 曲げ

弁全体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として，水平応答加速度により，弁本体に加わる曲げ応力σ_{H1}を以下の式より算出する。弁全体の長さL_1，弁本体の外径D_1及び内径d_1について図5－1に示す。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$I_1 = \left(D_1^4 - d_1^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2} \right)}{I_1}$$

b. フロートガイド

(a) 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び静水圧荷重により，フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力σ_{V2}を以下の式より算出する。また，静水圧荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積A_4は，静水圧荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径D_4から求める。フロートガイドの最小断面積A_3は，図5－2に示すとおり，フロートガイドのうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし，フロートガイド自重W_{d2}は圧縮応力σ_{v2}を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2} + P_h \cdot A_4}{A_3}$$

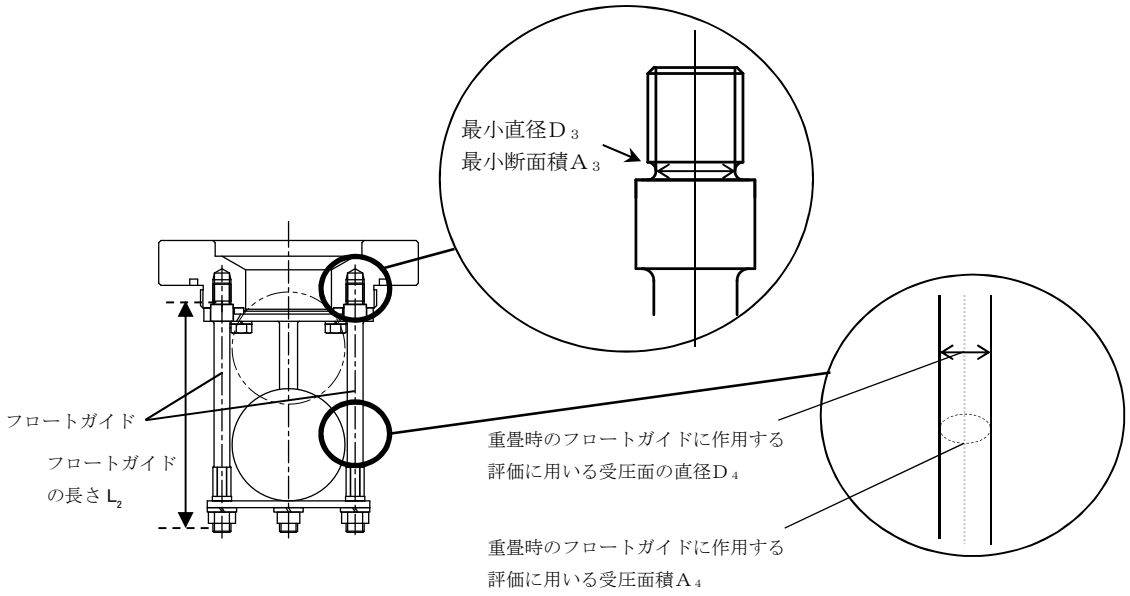


図5－2　フロートガイドの寸法図

(b)　曲げ

フロートガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として，水平応答加速度により，フロートガイドに加わる曲げ応力σ_{H2}を以下の式より算出する。フロートガイドの長さL_2，フロートガイドの最小直径D_3について図5－2に示す。

$$M_2 = F_{H2} \cdot L_2$$

$$I_2 = D_3^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_3}{2}\right)}{I_2}$$

c.　フロート及び取付部

フロート及び取付部に発生する圧力P_wは浸水による静水圧とする。

$$P_w = P_h$$

(2)　スプリング式治具

a.　弁本体・ガイド

弁本体・ガイドの発生応力を算出する。モデル化は，弁本体と矩形もしくは円形の4本のガイドを持つ部分を「弁本体・ガイド」として設定する。弁本体・ガイドの応力評価に用いる断面積A_1は，図5－3に示すとおり，弁本体・ガイドのうち最も断面積が小さい断面を適用する。

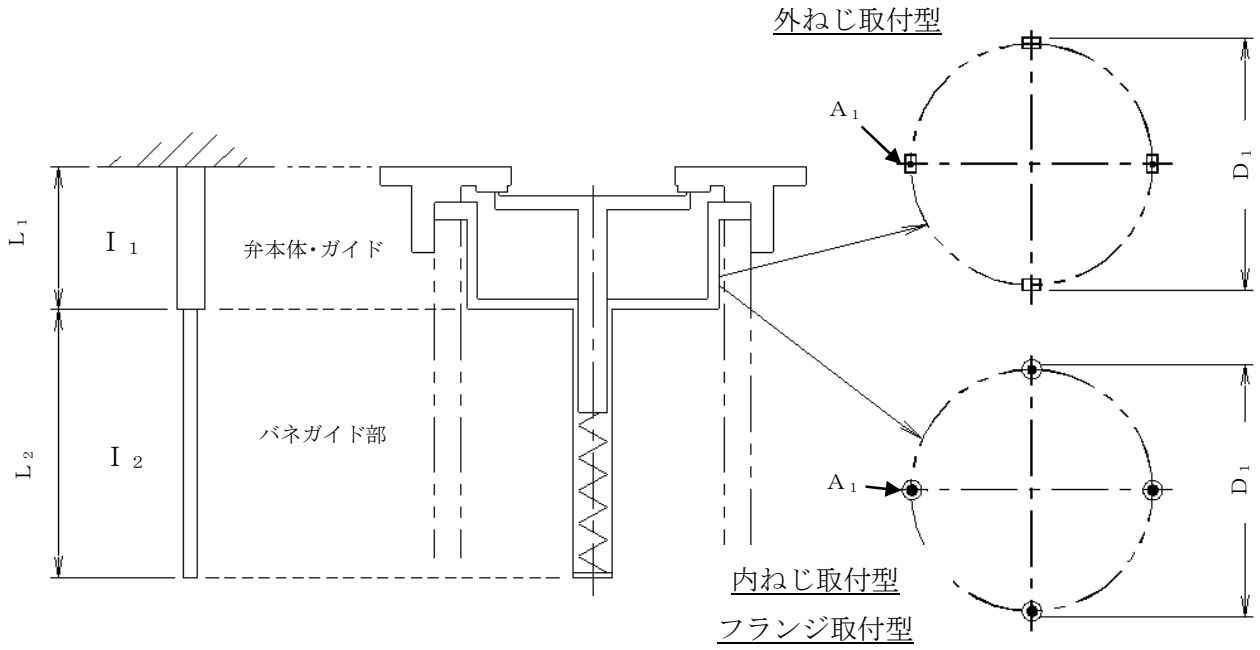


図5－3　弁本体・ガイドの構造図

(a)　圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び静水圧荷重により，弁本体・ガイドに加わる圧縮応力σ_{V1}を以下の式より算出する。ただし，弁本体・ガイドの自重W_{d1}は圧縮応力σ_{V1}を緩和する方向に作用するため考慮しない。

図5－4に示すように，静水圧荷重がガイドに作用する評価に用いる受圧面積A_2は，ガイドのうち水圧を受ける面積が最も広い箇所を適用する。また，強度評価に用いる断面積A_1は，ガイドのうち最も面積が小さい断面を適用する。

$$\sigma_{V1}=\frac{W_{d1}+F_{V1}+P_h\cdot A_2}{A_1}$$

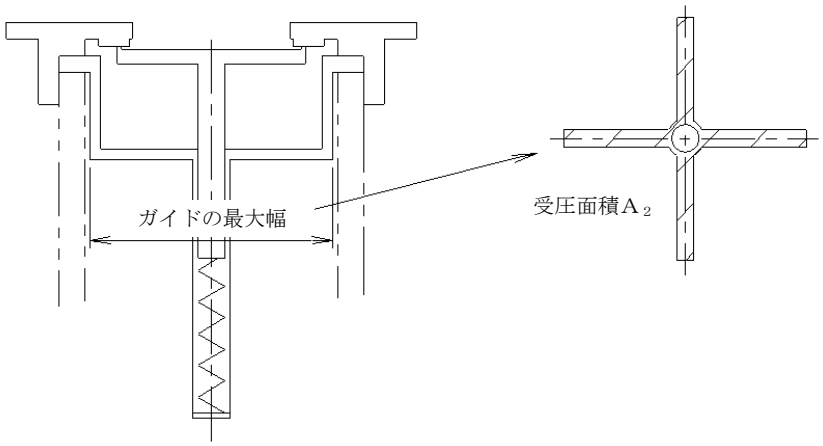


図5－4　ガイドの受圧面積

(b)　曲げ

図5－3に示すように，弁本体・ガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として，水平応答加速度により，弁本体・ガイドに加わる曲げ応力σ_{H1}を以下の式より算出する。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}{I_1}$$

（イ）　外ねじ取付型の場合

弁本体・ガイドのうち最も断面積の小さい断面は4本の矩形ガイド部分である。したがって図5－5に示すように，1本の矩形ガイドの断面二次モーメントを矩形の長辺ｂと短辺ｈから求め，全体の断面二次モーメントを算出する。

$$I_{a1} = \frac{\ell_b \cdot \ell_h^{\,3}}{12}$$

$$I_{a2} = \frac{\ell_h \cdot \ell_b^{\,3}}{12}$$

$$I_1 = 2I_{a2} + 2\left(I_{a1} + \left(y_g\right)^2 \cdot A_G\right)$$

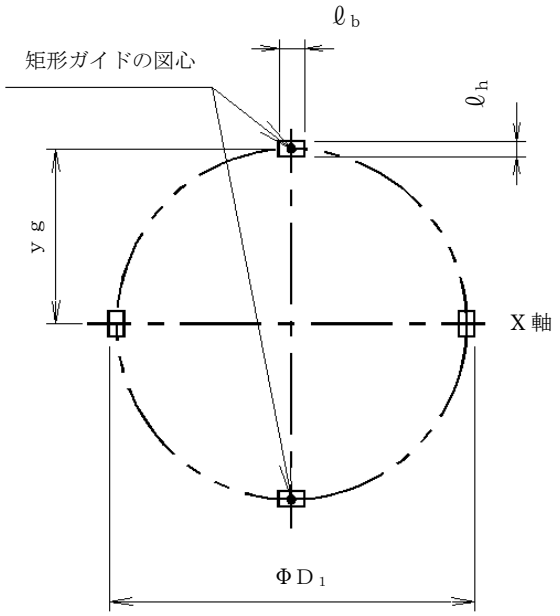


図5－5　外ねじ取付型の断面二次モーメント

（ロ）　内ねじ取付型及びフランジ取付型の場合

内ねじ取付型及びフランジ取付型は,図5－6に示すようにガイド1本の断面形状が円形であり，外径がD_Gである。

$$I_a = D_G^{\,4} \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_1 = 2I_a + 2\left(I_a + (yg)^2 \cdot A_G\right)$$

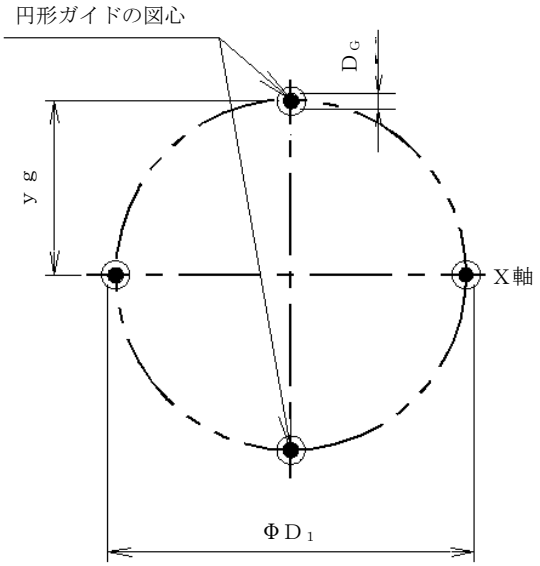


図5－6　内ねじ取付型及びフランジ取付型の断面二次モーメント

b. ばねガイド

(a) 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び静水圧荷重により，ばねガイドの最小断面積に加わる圧縮応力σ_{V2}を以下の式より算出する。ただし，ばねガイドの自重W_{d2}は圧縮応力σ_{V2}を緩和する方向に作用するため考慮しない。

静水圧荷重がばねガイドに作用する評価に用いる受圧面積A_4は，ばねガイドが水圧を受ける面積を適用する。また，強度評価に用いる断面積A_3は，ばねガイドの断面積を適用する。

$$\sigma_{V2}=\frac{W_{d2}+F_{V2}+P_h\cdot A_4}{A_3}$$

(b) 曲げ

ばねガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平加速度により、ばねガイドに加わる曲げ応力σ_{H2}を以下の式より算出する。ばねガイドの断面係数を図5－7に示す。

$$I_2=\left(D_2^{\,4}-d_2^{\,4}\right)\cdot\frac{\pi}{64}$$

$$M_2=F_{H2}\cdot L_2$$

$$\sigma_{H2}=\frac{M_2\cdot\left(\frac{D_2}{2}\right)}{I_2}$$

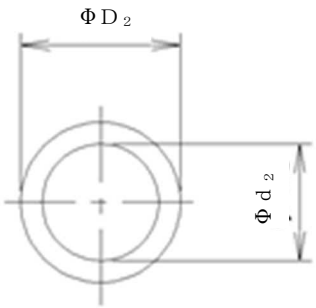


図5－7　ばねガイドの断面

c.　弁体及び取付部

弁体及び取付部に発生する圧力P_Wは浸水による静水圧とする。

$$P_W = P_h$$

d.　弁体

(a)　平板の曲げ

鉛直方向荷重負荷時の弁体の発生応力を算出する。図5－8に示すとおり，弁体は弁座に押し付けられ曲げ応力が発生する。曲げ応力σ_Dを以下の式より算出する。ただし，弁体の自重による荷重W_Dは曲げ応力σ_Dを緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_D = 1.24 \cdot \frac{\left(\left(\frac{W_D + F_{VD}}{A_D}\right) + P_h\right) \cdot \left(\frac{D_D}{2}\right)^2}{t^2}$$

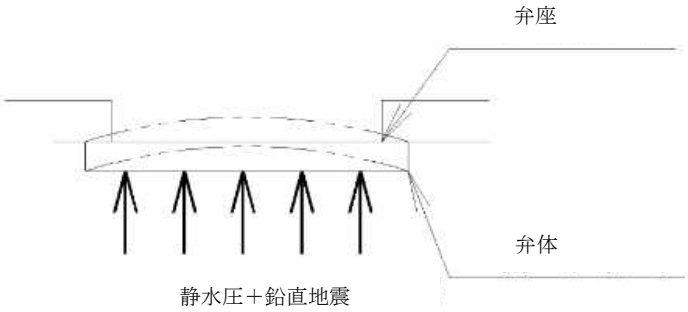


図5－8　弁体の板に加わる曲げモーメント

(b)　軸の曲げ

水平方向荷重負荷時の弁体の発生応力を算出する。図5－9に示すとおり，弁体の軸の最上端に集中荷重が負荷された片持ち梁として発生する曲げ応力σ_Zを以下の式より算出する。

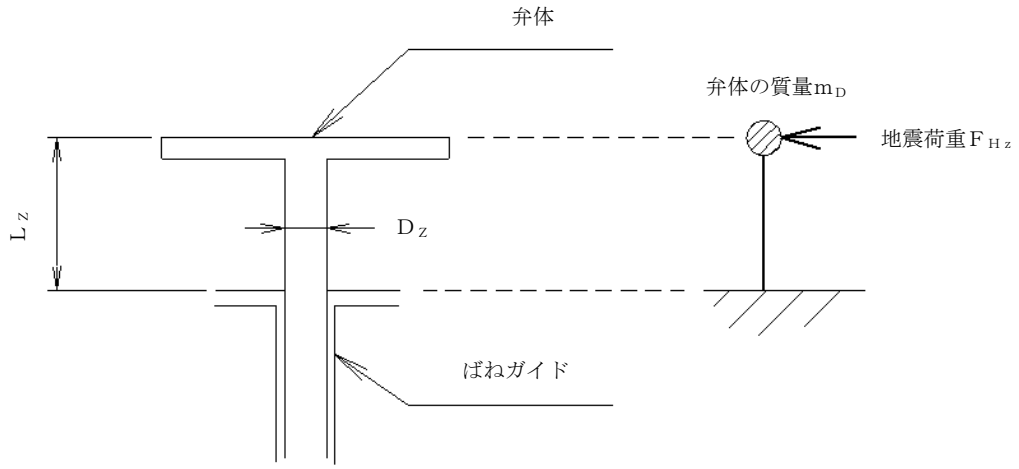


図5－9　弁体の軸に加わる曲げモーメント

$$M_z = F_{HZ} \cdot L_Z$$

$$I_Z = D_Z^{\,4} \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_Z = \frac{M_Z \cdot \left(\frac{D_Z}{2}\right)}{I_Z}$$

(3) 閉止キャップ

閉止キャップに発生する圧力P_wは浸水による静水圧とする。

$$P_w = P_h$$

(4) 閉止栓

閉止栓に発生する圧力P_wは浸水による静水圧とする。

$$P_w = P_h$$

5.6　計算条件

(1)　フロート式治具

フロート式治具の応力評価に用いる計算条件を表 5－16～表 5－18 に示す。

表 5－16　外ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS303	2.90	120

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小直径 D_3 (mm)
75	38	SUS304	6.6

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの 長さ L_2 (mm)	重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 (mm)	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 (mm)
0.05	102	75	7

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に用いる水頭 h^* (mm)
9.80665	1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン浸水防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

表 5－17　内ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS303	2.15	130

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小直径 D_3 (mm)
75	65	SUS304	6.6

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイド の長さ L_2 (mm)	重畳時に弁本体に 作用する評価に用 いる受圧面の直径 D_2 (mm)	重畳時にフロートガイ ドに作用する評価に用 いる受圧面の直径 D_4 (mm)
0.05	102	75	7

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に 用いる水頭 h^* (mm)
9.80665	1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン浸水防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

表 5－18　フランジ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS316L	3.97	130

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小直径 D_3 (mm)
75	65	SUS316L	6.6

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイド の長さ L_2 (mm)	重畳時に弁本体に 作用する評価に用 いる受圧面の直径 D_2 (mm)	重畳時にフロートガイ ドに作用する評価に用 いる受圧面の直径 D_4 (mm)
0.05	102	75	7

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に 用いる水頭 h^* (mm)
9.80665	1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン浸水防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具の応力評価に用いる計算条件を表5－19～表5－21に示す。

表5－19　外ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体・ガイドの材質	弁本体・ガイドの評価断面積 A_1 (mm^2)	弁本体・ガイドの受圧断面積 A_2 (mm^2)	弁本体・ガイドの質量 m_1 (kg)	弁本体・ガイドの長さ L_1 (mm)
SUS316L	60	759.8	0.809	40

ガイド4本の最大直径 D_1 (mm)	矩形ガイド1本の断面の長辺 ℓ_b (mm)	矩形ガイド1本の断面の短辺 ℓ_h (mm)	ガイド1本の図心とX軸との距離 y_g (mm)	ばねガイドの質量 m_2 (kg)
71	5	3	34	0.03

ばねガイドの長さ L_2 (mm)	ばねガイドの外径 D_2 (mm)	ばねガイドの内径 d_2 (mm)	ばねガイドの評価断面積 A_3 (mm^2)	弁体の質量 m_D (kg)
75.5	10.5	8.2	33.78	0.101

弁体の板厚 t (mm)	弁体の外径 D_D (mm)	弁体の軸の外径 D_Z (mm)	弁体の軸の長さ L_Z (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
4	55	8	32	9.80665

海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に用いる水頭 h^* (mm)
1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

表5－20　内ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体・ガイドの材質	弁本体・ガイドの評価断面積 A_1 (mm^2)	弁本体・ガイドの受圧断面積 A_2 (mm^2)	弁本体・ガイドの質量 m_1 (kg)	弁本体・ガイドの長さ L_1 (mm)
SUS316L	19.00	767.9	0.574	40

ガイド4本の最大直径 D_1 (mm)	円形ガイド1本の断面の直径 D_G (mm)	ガイド1本の図心とX軸との距離 y_g (mm)	ばねガイドの質量 m_2 (kg)	ばねガイドの長さ L_2 (mm)
64.459	2.459	31	0.03	75.5

ばねガイドの外径 D_2 (mm)	ばねガイドの内径 d_2 (mm)	ばねガイドの評価断面積 A_3 (mm^2)	弁体の質量 m_D (kg)	弁体の板厚 t (mm)
10.5	8.2	33.78	0.101	4

弁体の外径 D_D (mm)	弁体の軸の外径 D_Z (mm)	弁体の軸の長さ L_Z (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
55	8	32	9.80665

海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に用いる水頭 h^* (mm)
1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン浸水防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

表5－21　フランジ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体・ガイドの材質	弁本体・ガイドの評価断面積 A_1 (mm^2)	弁本体・ガイドの受圧断面積 A_2 (mm^2)	弁本体・ガイドの質量 m_1 (kg)	弁本体・ガイドの長さ L_1 (mm)
SUS316L	19.00	767.9	1.038	40

ガイド4本の最大直径 D_1 (mm)	円形ガイド1本の断面の直径 D_G (mm)	ガイド1本の図心とX軸との距離 y_g (mm)	ばねガイドの質量 m_2 (kg)	ばねガイドの長さ L_2 (mm)
64.459	2.459	31	0.03	75.5

ばねガイドの外径 D_2 (mm)	ばねガイドの内径 d_2 (mm)	ばねガイドの評価断面積 A_3 (mm^2)	弁体の質量 m_D (kg)	弁体の板厚 t (mm)
10.5	8.2	33.78	0.101	4

弁体の外径 D_D (mm)	弁体の軸の外径 D_Z (mm)	弁体の軸の長さ L_Z (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
55	8	32	9.80665

海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に用いる水頭 h^* (mm)
1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン浸水防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

(3) 閉止キャップ

閉止キャップの応力評価に用いる計算条件を表5－22に示す。

表 5－22　閉止キャップの応力評価に用いる計算条件

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に 用いる水頭 h＊ (mm)
9.80665	1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン浸水防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

(4) 閉止栓

閉止栓の応力評価に用いる計算条件を表5－23に示す。

表 5－23　閉止栓の応力評価に用いる計算条件

重力加速度 g (m/s^2)	海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	静水圧荷重の算出に 用いる水頭 h＊ (mm)
9.80665	1030	17400

注記＊：保守的に床ドレンライン浸水防止治具を設置する箇所のうち最大値とする。

6. 評価結果

(1) フロート式治具

a. 応力評価

弁本体及びフロートガイドの応力評価結果を表6－1に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表6－1 弁本体及びフロートガイドの応力評価結果

型式	評価部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
外ねじ取付型	弁本体	圧　縮	1	154
		曲　げ	1	
		組合せ*	2	
	フロートガイド	圧　縮	1	
		曲　げ	6	
		組合せ*	7	
内ねじ取付型	弁本体	圧　縮	1	
		曲　げ	1	
		組合せ*	2	
	フロートガイド	圧　縮	1	
		曲　げ	6	
		組合せ*	7	
フランジ取付型	弁本体	圧　縮	1	133
		曲　げ	1	
		組合せ*	2	
	フロートガイド	圧　縮	1	
		曲　げ	6	
		組合せ*	7	

注記＊：圧縮(σ_V)＋曲げ(σ_H)は，$\sigma_V+\sigma_H \leqq 1.2S$で評価

b.　構造健全性評価

フロート及び取付部の構造健全性評価結果を表 6-2 に示す。発生応力が，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から，評価部位であるフロート及び取付部が構造健全性を有することを確認した。

表6－2　フロート及び取付部の構造健全性評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
フロート及び取付部	圧縮	0.18	0.35

(2) スプリング式治具

a. 応力評価

弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体の応力評価結果を表6－3に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表6－3 弁本体・ガイド，ばねガイド及び弁体における評価部位の応力評価結果

型式	評価部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
外ねじ取付型	弁本体・ガイド	圧　縮	3	133
		曲　げ	1	
		組合せ*	4	
	ばねガイド	圧　縮	1	
		曲　げ	1	
		組合せ*	2	
	弁体	平板の曲げ	11	
		軸の曲げ	2	
内ねじ取付型	弁本体・ガイド	圧　縮	8	
		曲　げ	3	
		組合せ*	11	
	ばねガイド	圧　縮	1	
		曲　げ	1	
		組合せ*	2	
	弁体	平板の曲げ	11	
		軸の曲げ	2	
フランジ取付型	弁本体・ガイド	圧　縮	8	
		曲　げ	5	
		組合せ*	13	
	ばねガイド	圧　縮	1	
		曲　げ	1	
		組合せ*	2	
	弁体	平板の曲げ	11	
		軸の曲げ	2	

注記＊：圧縮（σ_V）＋曲げ（σ_H）は，$\sigma_V+\sigma_H \leqq 1.2S$で評価

b.　構造健全性評価

弁体及び取付部の構造健全性評価結果を表 6-4 に示す。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から，評価部位である弁体及び取付部が構造健全性を有することを確認した。

表6－4　弁体及び取付部の構造健全性評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
弁体及び取付部	圧縮	0.18	0.35

(3)　閉止キャップ

閉止キャップの構造健全性評価結果を表6－5に示す。発生応力が，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から，評価部位である閉止キャップが構造健全性を有することを確認した。

表6－5　閉止キャップの構造健全性評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
閉止キャップ	圧縮	0.18	0.35

(4)　閉止栓

閉止栓の構造健全性評価結果を表6－6に示す。発生応力が，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から，評価部位である閉止栓が構造健全性を有することを確認した。

表6－6　閉止栓の構造健全性評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
閉止栓	圧縮	0.18	0.35

Ⅴ-3-別添 3-1-7　貫通部止水処置の強度計算書

目　　次

1.　概要 1
2.　一般事項 1
2.1　位置 1
2.2　構造概要 1
2.3　評価方針 4
2.4　適用規格・基準等 10
2.5　記号の説明 11
3.　評価対象部位 16
4.　構造強度評価 16
4.1　構造強度評価方法 16
4.2　荷重及び荷重の組合せ 16
4.2.1　荷重の設定 16
4.2.2　荷重の組合せ 20
4.3　許容限界 20
4.4　設計用地震力 26
4.5　計算方法 28
4.5.1　モルタルの強度評価（荷重計算） 28
4.5.2　シール材，ブーツ及びフラップゲートの強度評価（発生圧力計算） 28
4.5.3　鉄板の強度評価 28
4.5.4　ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価 31
4.6　計算条件 33
5.　評価結果 37

1. 概要

本計算書は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防護施設のうちタービン建屋内貫通部止水処置が，地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重に対して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 位置

貫通部止水処置は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示す，タービン建屋の貫通口と貫通物とのすき間又は貫通物の周囲に施工する。

2.2 構造概要

貫通部止水処置の構造は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は，貫通部の位置条件及び貫通物の強度条件に応じて，シール材，モルタル，ブーツ，鉄板又はフラップゲートを使用し，各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁の貫通口と貫通物のすき間に施工し，壁と貫通物を接合する構造とする。なお，シール材をケーブルトレイ貫通部の止水に用いる場合は，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填，もしくは塗布する。ブーツは，伸縮性ゴムを用い，壁面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。鉄板は，配管とスリーブを全周溶接する。また，フラップゲートはアンカーボルトで壁面に固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　貫通部止水処置の構造計画（1／2）

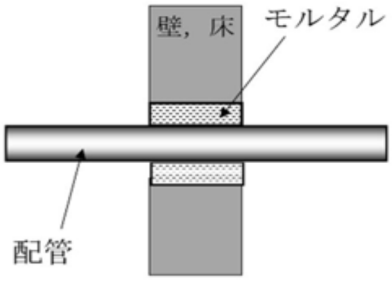
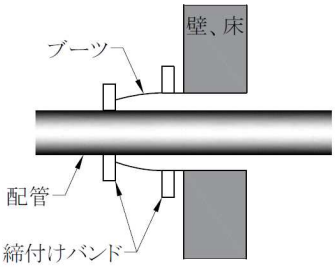
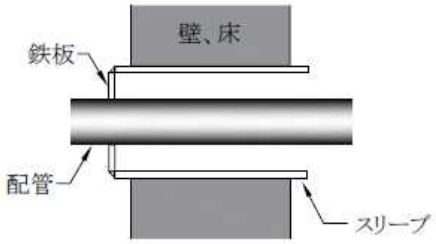
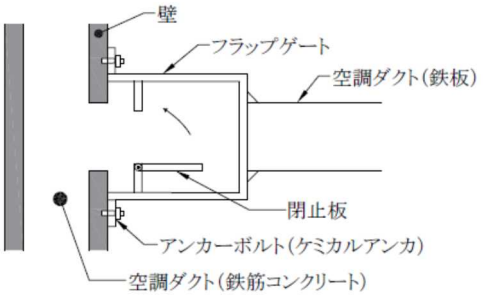
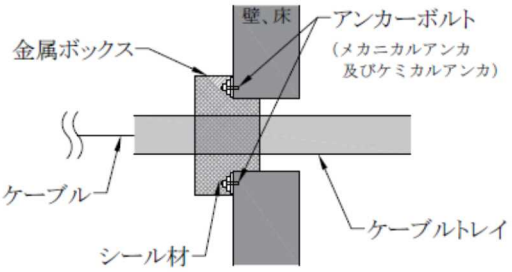
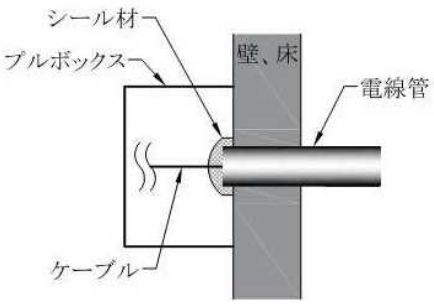
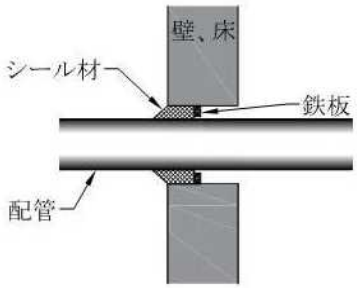
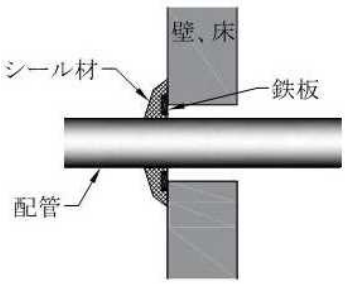
設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁面又は床面の取付用座と配管に締付けバンドにて締結する。	
	鉄板にて閉止する構成とする。	貫通部の開口部に鉄板を挿入し，溶接によって接合する。	
	閉止板を内包するフラップゲートにて構成する。	空調ダクト（鉄筋コンクリート）と空調ダクト（鉄板）の間にフラップゲートを設置し，フラップゲートは空調ダクト（鉄筋コンクリート）壁面にアンカーボルトで固定する。	

表 2－1　貫通部止水処置の構造計画（2／2）

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

2.3　評価方針

貫通部止水処置の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，貫通部止水処置の評価部位に作用する荷重等が許容限界以下であることを「4.1　構造強度評価方法」に示す方法により，「4.6　計算条件」に示す評価条件を用いて評価し，「5.　評価結果」にて確認する。

貫通部止水処置のシール材及びブーツの強度評価フローを図 2－1 に，モルタルの強度評価フローを図 2－2 に，鉄板の強度評価フローを図 2－3 に，フラップゲートの強度評価フローを図 2－4 に，シール材施工に用いるケーブルトレイ金属ボックスの強度評価フローを図 2－5 に示す。

貫通部止水処置の強度評価においては，その構造を踏まえ，地震による動水圧荷重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，地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重，津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。重畳時においては，Ⅴ-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す弾性設計用地震動Ｓｄを入力して得られた床応答スペクトル又は最大応答加速度から算出した値を設計震度として用いる。なお，強度評価に当たっては，弾性設計用地震動Ｓｄによる余震荷重を考慮した評価を実施する。

フラップゲートの評価においては，浸水時にフラップゲートは水没し，フラップゲートの外部と内部は均圧される。そのため，壁面方向の水圧は，アンカーボルトを圧縮する方向だけに働き，引張力を緩和する力となる。

したがって，浸水後の余震でフラップゲートに作用する荷重は余震荷重と自重となる。これは耐震計算書における荷重設定と同じであり，基準地震動Ｓｓは弾性設計用地震動Ｓｄより大きく，強度計算は評価の厳しい耐震計算に包絡されるため，本計算書ではフラップゲートのアンカーボルトの評価は不要とする。

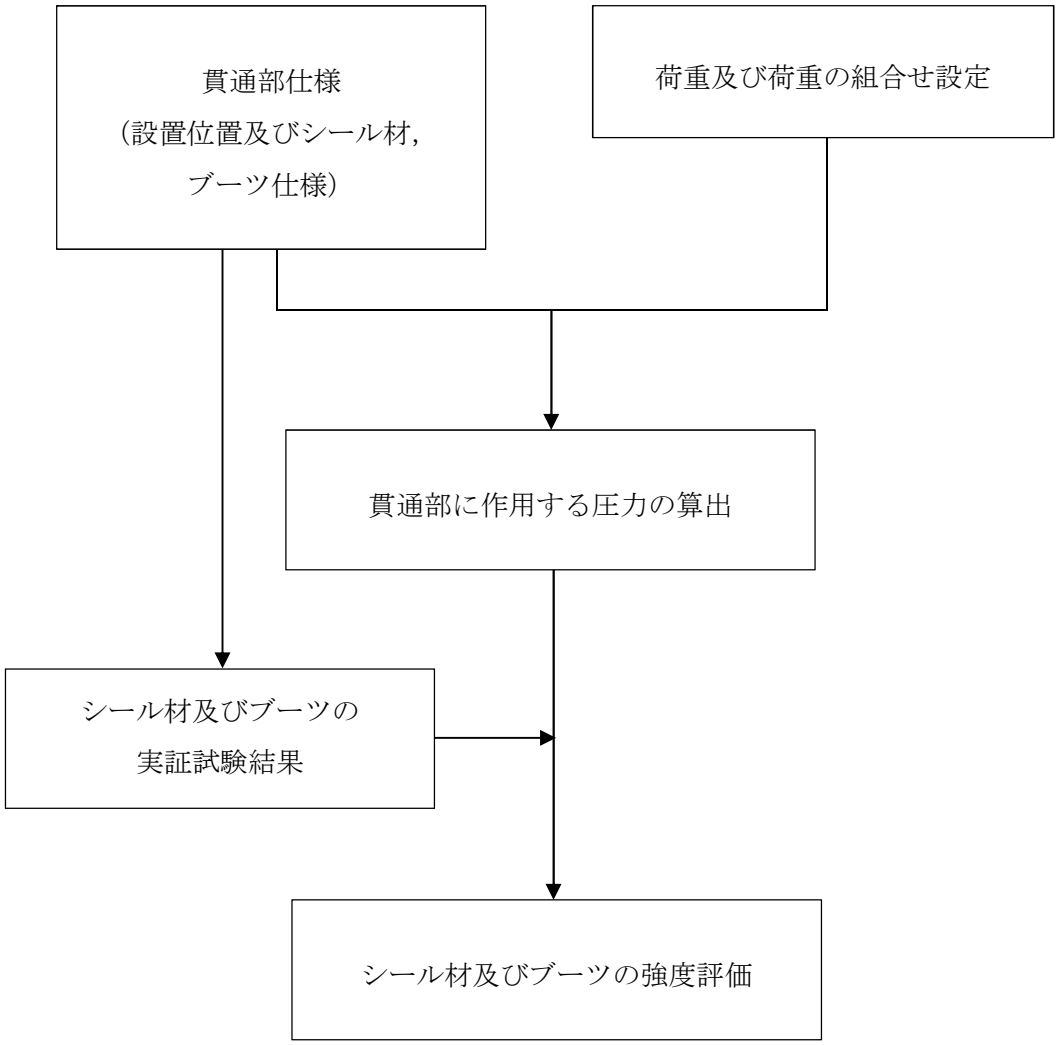


図 2－1　シール材及びブーツの強度評価フロー

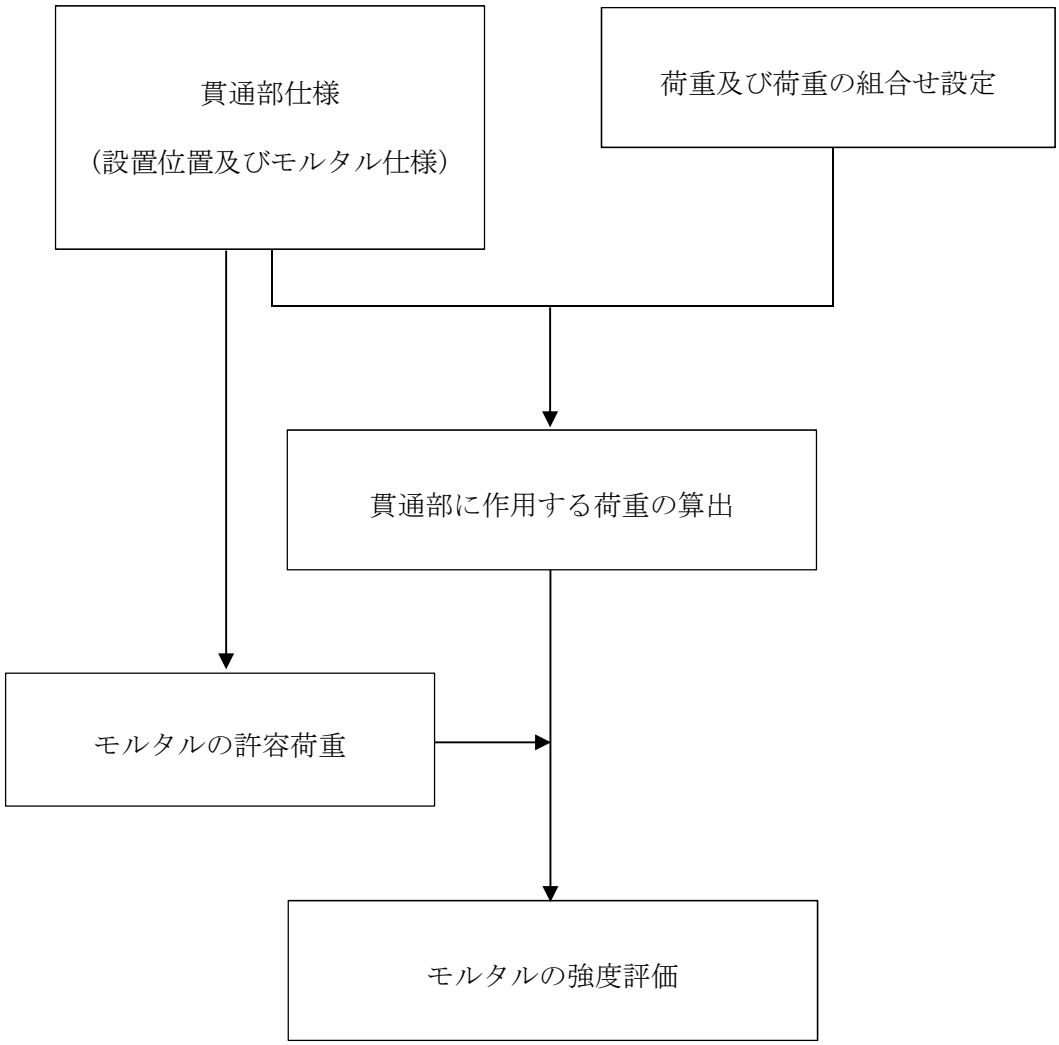


図 2－2　モルタルの強度評価フロー

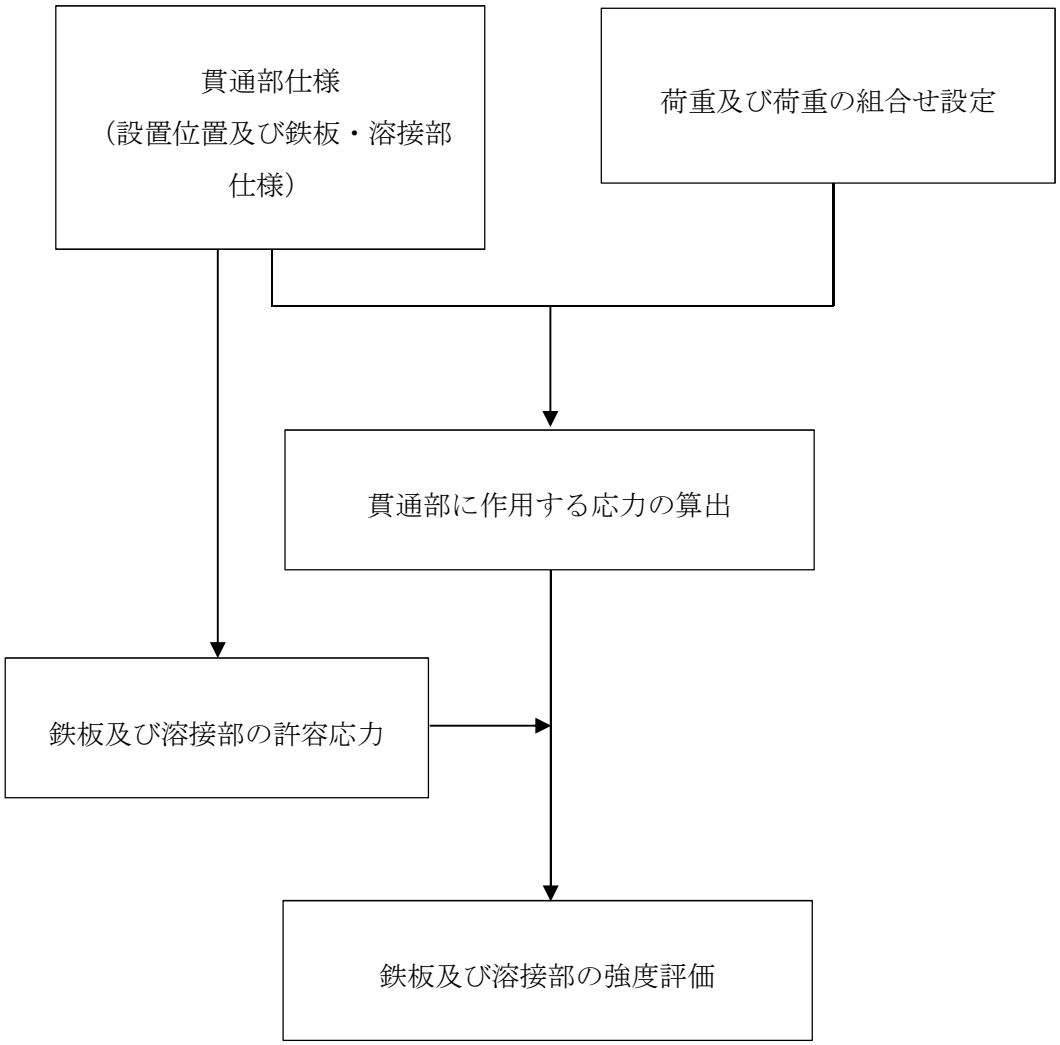


図 2－3　鉄板の強度評価フロー

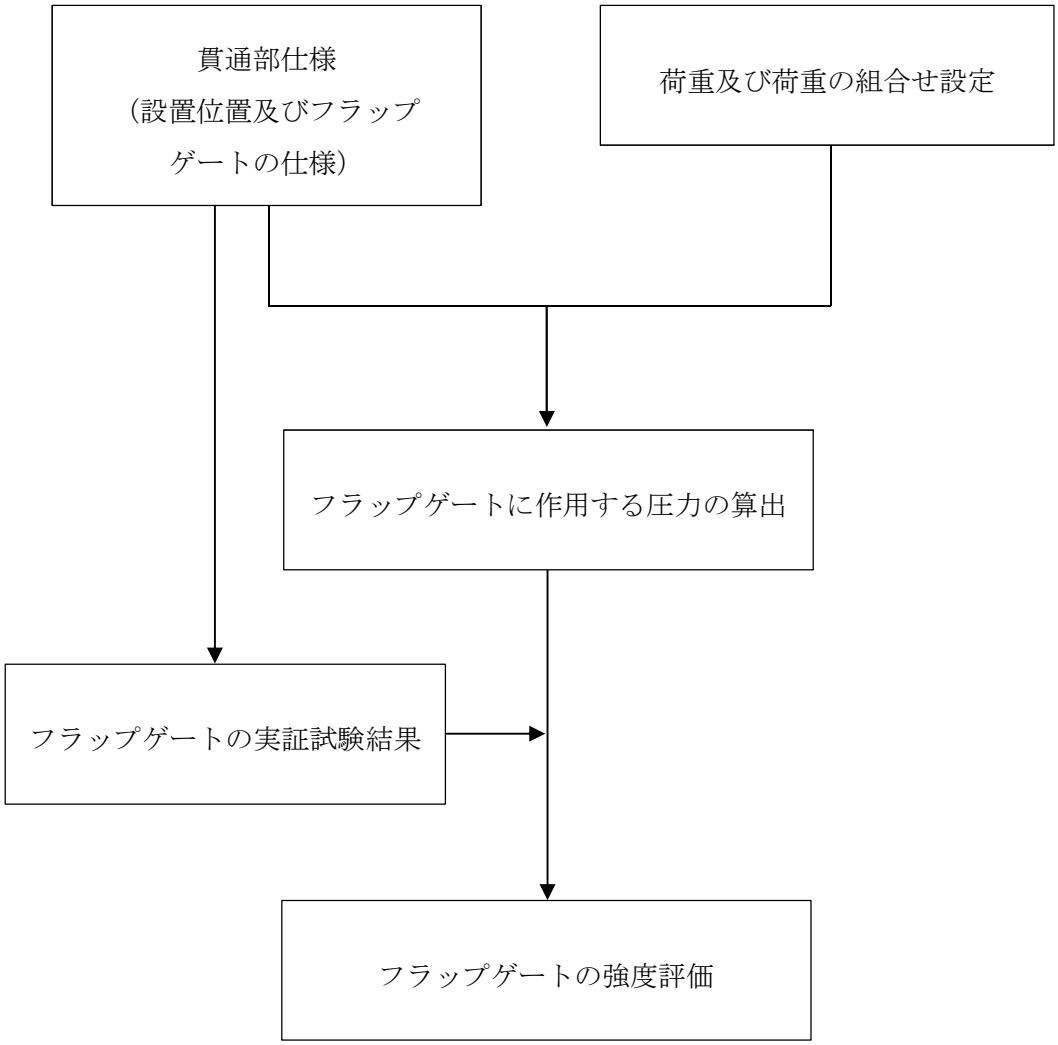


図 2－4　フラップゲートの強度評価フロー

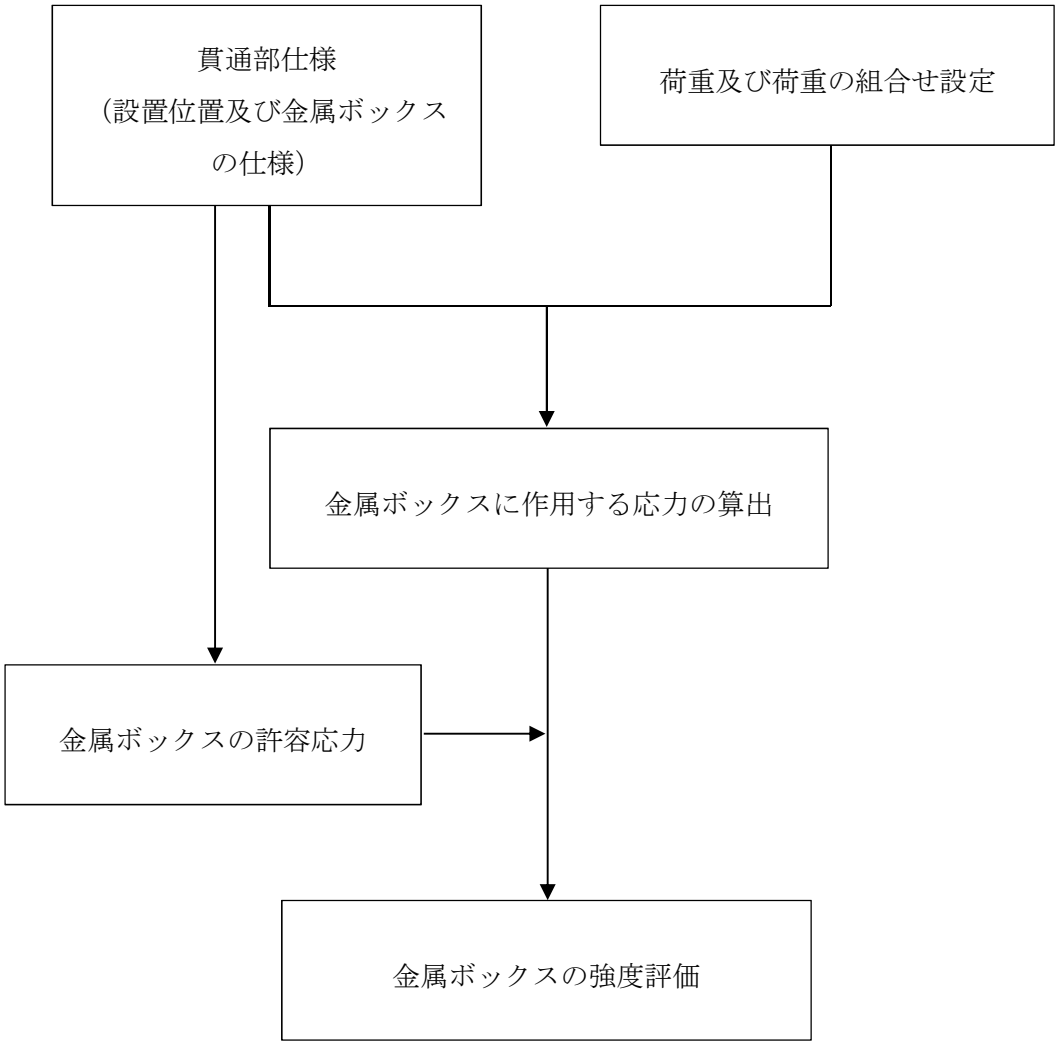


図 2－5　ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価フロー

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。

・　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）
・　発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）
・　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１補-1984（（社）日本電気協会）
・　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）
・　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版　（（社）日本電気協会）
・　機械工学便覧（（社）日本機械学会）
・　水道施設耐震工法指針・解説　2009 年版（公益社団法人　日本水道協会）

2.5　記号の説明

強度評価に用いる記号を表 2－2，表 2－3，表 2－4 に示す。

表 2－2　モルタルの強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A’	モルタルが水圧を受ける面積（受圧面積）	m^2
C_H	余震による水平方向の設計震度	－
C_{Hw}	動水圧算出用の水平方向震度	－
Cv	余震による鉛直方向の設計震度	－
f_s	モルタルの許容付着荷重	N
f'_{bok}	モルタル付着強度	MPa
f'_{ck}	モルタルの圧縮強度	MPa
F_H	弾性設計用地震動Ｓｄにより生じる貫通物の軸方向に作用する荷重	N
F_S	貫通物の反力によりモルタルに生じるせん断荷重	N
F_{Stotal}	モルタル部に生じる合計せん断荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
h	貫通部にかかる水頭	m
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
K_{sd}	弾性設計用地震動Ｓｄに伴う余震荷重	N
L	モルタルの充填深さ	mm
P_d	動水圧	MPa
P_h	静水圧荷重	MPa
S	貫通物の周長	mm
W	貫通物の支持間隔の質量	kg
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	－
ρ	海水の密度	kg/m^3
γ_C	材料定数	－

表 2－3　鉄板の強度評価に用いる記号（1／2）

記号	記号の説明	単位
A_0	水圧を受ける鉄板の面積	mm^2
A_1	鉄板と貫通物の付着面積	mm^2
A_2	鉄板と貫通物との溶接部の付着面積	mm^2
A_3	鉄板とスリーブとの溶接部の付着面積	mm^2
C_D	抗力係数	－
C_H	弾性設計用地震動Ｓｄにより生じる貫通物の水平方向設計震度	－
C_V	弾性設計用地震動Ｓｄにより生じる貫通物の鉛直方向設計震度	－
d	鉄板貫通物の外径	mm
D	鉄板の外径	mm
D_0	スリーブの内径	mm
f_b	鉄板及び溶接部の許容曲げ応力	N
f_s	鉄板及び溶接部の許容せん断応力	N
f_t	鉄板及び溶接部の許容引張応力	N
f_{total}	鉄板及び溶接部の許容組合せ応力	N
F	設計・建設規格　SSB-3121.1 に定める値	MPa
F_1	評価部位に加わる引張力	N
F_{s1}	鉄板及び溶接部に生じる軸方向引張力	N
F_{s2}, F_{s3}	鉄板及び溶接部に生じる軸直方向せん断力	N
g	重力加速度	m/s^2
h	貫通部位置における水圧作用高さ	m
L_1, L_2	鉄板から直近の支持装置までの距離または評価上考慮する配管長	mm
M_{s2}, M_{s3}	鉄板及び溶接部に生じるモーメント	Nmm
P_h	静水圧荷重	MPa
P_{sd}	余震による慣性力	MPa
P_t	突き上げ荷重	MPa
t_1	鉄板の板厚	mm
t_2	鉄板と貫通物との溶接部の有効のど厚	mm
t_3	鉄板とスリーブとの溶接部の有効のど厚	mm
U	鉄板に加わる流体の流速	m/s
w	貫通物の支持間隔の単位長さ当たりの質量	kg/m

表 2－3　鉄板の強度評価に用いる記号（2／2）

記号	記号の説明	単位
Z_1	鉄板の断面係数	mm^3
Z_2	鉄板と貫通物との溶接部の断面係数	mm^3
Z_3	鉄板とスリーブとの溶接部の断面係数	mm^3
τ	評価部位に加わるせん断応力	MPa
σ_b	評価部位に加わる曲げ応力	MPa
σ_t	鉄板に加わる引張応力	MPa
σ_{total}	鉄板に加わる組合せ応力	MPa
ρ	海水の密度	kg/m^3

表 2－4　ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に用いる記号（1／2）

記号	記号の説明	単位
A_f	評価上水圧荷重及びせん断力を受けるとして期待するアンカーボルトの総断面積	mm^2
A_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの総断面積（転倒方向：水平）	mm^2
A_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの総断面積（転倒方向：鉛直）	mm^2
a	金属ボックス評価部の短辺方向長さ	mm
B	水面の幅	mm
C_H	水平方向設計震度	－
C_{HW}	動水圧算出用の水平方向震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
F	設計・建設規格　SSB-3121 及び SSB-3131 に定める値	MPa
f_b	金属ボックス評価部に生じる許容曲げ応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受けるアンカーボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるアンカーボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度	m/s^2
h_1	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
h_2	水頭から設置高さまでの水深	mm
H	水頭から最下層までの高さ	mm
H_1	金属ボックスの高さ方向長さ	mm
ℓ_1	重心と下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
ℓ_2	上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
ℓ_3	左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離	mm
L_1	金属ボックスの幅	mm
m	金属ボックスの質量（充填もしくは塗布されているシール材質量を含む。）	kg
P_h	静水圧荷重	MPa
P_d	Westergaard 式による動水圧荷重	MPa
P_w	金属ボックスの単位長さ当たりにかかる地震分布荷重	MPa
Q_{b1}	水平方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N

表 2－4　ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に用いる記号（2／2）

記号	記号の説明	単位
t	金属ボックス評価部の金属の厚さ	mm
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数（B/H）	－
β_1	金属ボックス評価部の最大応力係数	－
ρ	海水の密度	kg/m^3
ρ_b	金属ボックス評価部に加わる曲げ応力	MPa
ρ_{ss}	金属ボックスの単位厚さ当たりの質量	kg/m^2
σ_b	アンカーボルトに作用する引張応力	MPa
σ_{b1}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し，左右方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張応力	MPa
σ_{b2}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し，前後方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張応力	MPa
σ_{b3}	金属ボックス取付面に対し，逆圧によりアンカーボルトに作用する引張応力	MPa
τ_b	アンカーボルトに作用するせん断応力	MPa

3. 評価対象部位

貫通部止水処置の評価部位は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価対象部位を踏まえて，「2.2 構造概要」に示す構造計画にて設定している構造に基づき，荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水によって生じる静水圧及び余震を考慮した荷重は，止水処置全体へ伝達される。このことから，シール材，ブーツ，モルタル，鉄板及びフラップゲートを用いた止水処置の全体を評価部位として設定する。

モルタルについては，管の反力が大きいプロセス配管のうち，作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。シール材及びブーツについては，作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。さらに，ケーブルトレイ貫通部については，金属ボックスに対して逆圧がかかる場合が，金属ボックスを壁・床面に固定するアンカーボルトに最も大きな引張力がかかることから，逆圧がかかり，かつ，最も水圧が大きい貫通部を代表として評価を行う。なお，ケーブルトレイ自体はサポートにより支持されており，金属ボックスとは金属同士で接しておらず，ケーブルトレイからの地震の影響は金属ボックスには及ばない構造となっていることから，評価対象部位として考慮しない。鉄板については，静水圧荷重と余震を考慮した荷重に加えて，津波の突き上げ荷重が作用し，荷重の種類が最も多い貫通部を代表として評価を行う。なお，フラップゲートについては一箇所のみであるため，その箇所の評価を行う。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は，「3. 評価対象部位」に示す評価部位に対し，「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 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，「4.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

4.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として，貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）の質量及び内容物の質量を考慮する。

(2) 静水圧荷重（P_h）

静水圧荷重として，浸水によって生じる静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

(3)　余震荷重（K_{Sd}）

余震荷重は，V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力（動水圧含む。）とする。

a.　モルタル

(a)　余震による地震力

イ.　貫通物による余震荷重

貫通物からモルタルに作用する荷重として，支持構造物間の固定荷重及び地震力を考慮する。図 4－1 にモルタルへの付着方向の地震力（余震荷重）の作用図を示す。

また，貫通物は柔構造となる場合があることから，貫通物の設置場所における床応答スペクトルを用いて設計震度を算出する。

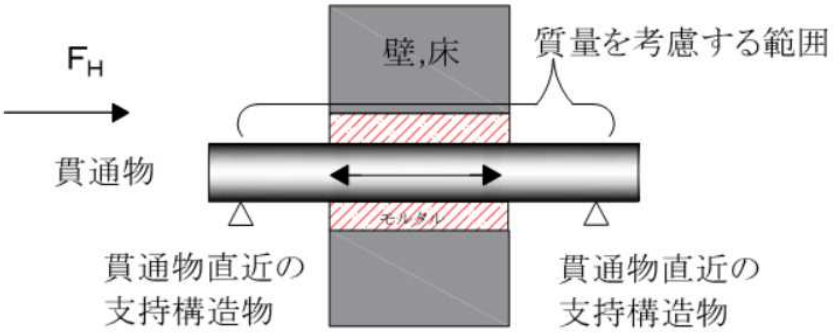


図 4－1　モルタルへの付着方向の余震荷重作用図

ロ.　評価において考慮する貫通部

評価においては，イ.に基づく余震荷重と最も荷重が大きくなる貫通物を考慮して算出する。

ハ.　モルタルに作用する付着荷重

モルタルに作用する余震による付着荷重については，イ.に示す支持構造物間の貫通物に作用する余震荷重から算出する。

(b)　余震による動水圧

余震による動水圧がモルタルに作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{Hw} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

b.　鉄板

(a)　余震による地震力

イ.　貫通物による余震荷重

貫通物から鉄板に作用する荷重として，支持構造物間の固定荷重及び地震力を考慮する。図 4－2 に鉄板へのせん断方向の地震力（余震荷重）の作用図を示す。

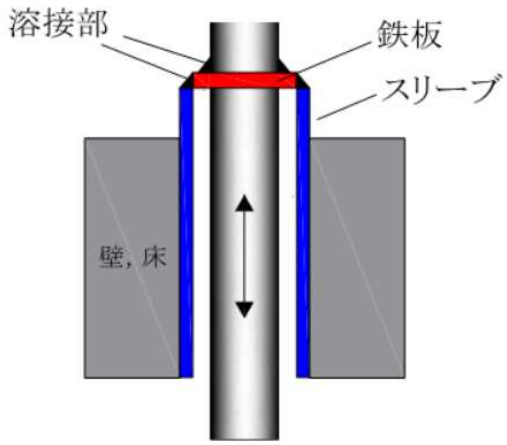


図 4－2　鉄板へのせん断方向の余震荷重作用図

ロ.　評価において考慮する貫通部

評価においては，イ.に基づく余震荷重と荷重の種類が最も多い貫通物を考慮して算出する。

ハ.　鉄板に作用するせん断荷重

鉄板に作用する余震によるせん断荷重については，イ.に示す支持構造物間の貫通物に作用する余震荷重から算出する。

(b)　余震による動水圧

慣性力として津波による静水頭が余震を受けて慣性力となる分を考慮する。

$$P_{sd} = h \cdot \rho \cdot g \cdot C_v$$

P_{sd}：余震による慣性力

h　：貫通部位置における水圧作用高さ

C_v：弾性設計用地震動Ｓｄにより生じる貫通物の鉛直方向設計震度

(c)　突き上げ津波荷重

突き上げ荷重として津波による水圧を考慮する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho \cdot U^2$$

P_t：突き上げ荷重

C_D：抗力係数（＝2.01）

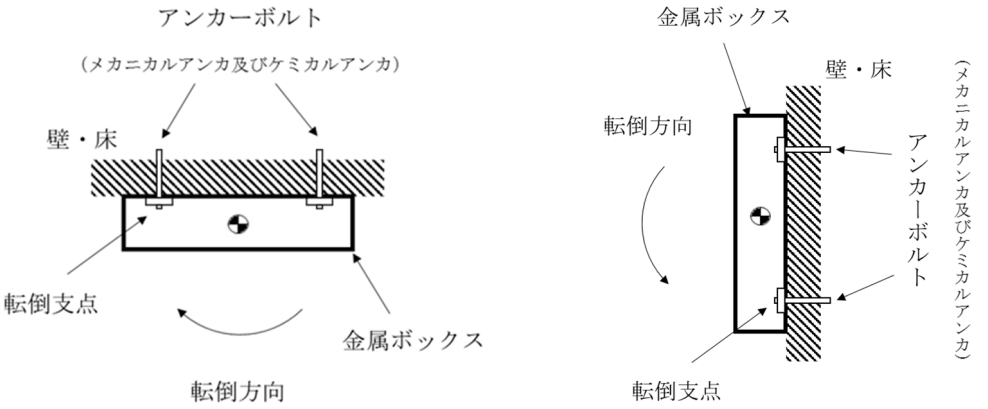
U：鉄板に加わる流体の流速（＝1.5m/s）

c.　ケーブルトレイ金属ボックス

(a)　余震による地震力

ケーブルトレイ金属ボックスは，アンカーボルトによって固定されていることから，アンカーボルトには固定荷重と余震荷重が作用し，金属ボックスが水平方向及び鉛直方向へ転倒する力が働く。図4－3にアンカーボルトへの地震力（余震荷重）の作用図を示す。

また，固有値解析の計算結果（V-2-10-2-4-2「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」の「4.3　固有周期の確認結果」を参照）から固有周期が0.05秒以下で剛構造のため，金属ボックスの設置場所における最大応答加速度を用いて算出する。



水平方向への転倒　　鉛直方向への転倒

図4－3　ケーブルトレイ金属ボックスの荷重作用図

(b)　余震による動水圧

余震による動水圧が金属ボックスに作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h_2}$$

4.2.2　荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 4－1 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 （浸水防止設備）	タービン建屋内 貫通部止水処置	$G+P_h+P_t+K_{Sd}$

注記＊：Gは固定荷重，P_hは静水圧荷重，P_tは突き上げ荷重，K_{Sd}は弾性設計用地震動Ｓｄによる余震荷重（慣性力P_{sd}）を示す。

4.3　許容限界

(1)　モルタル

各評価部位の許容値は，コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（(社) 土木学会　2002年制定）に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 4－2，許容限界評価条件を表 4－3，貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 4－4 に示す。また，モルタルの施工例を図 4－4 に示す。

表 4－2　貫通部止水処置の許容限界（許容荷重）

状態	許容限界*
	付着荷重
短期	f_s

注記＊：モルタルの許容限界は，コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会 2002 年制定)によりモルタルの許容付着荷重 f_s，モルタル付着強度 f'_{bok} を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。また，評価において最も荷重が大きくなる貫通物の口径＝200A，モルタル充填深さ L＝1000mm とする。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'^{2/3}_{ck} \cdot 0.4$$

表 4－3　貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価部位	f'_{ck}*	γ_c*
モルタル	32.3	1.3

注記＊：f'_{ck}：モルタル圧縮強度，γ_C：材料定数を示す。

表 4－4　貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価部位	許容限界
		付着荷重 (kN)
短期	モルタル	593

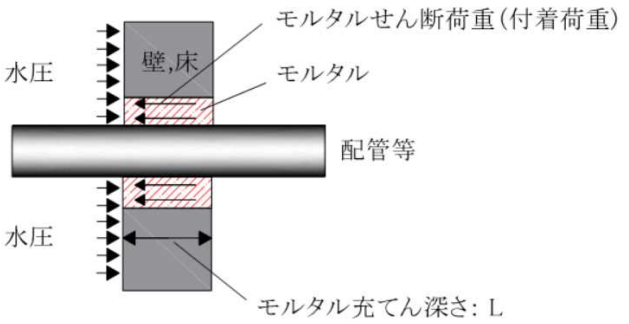


図 4－4　モルタルの施工例

(2)　シール材

シール材の許容限界値は，実機で使用している形状，寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。シール材の水圧試験の概要を図 4－5 に示す。実機施工時においては，試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し，かつ，想定する浸水高さから求まる静水圧が，許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。

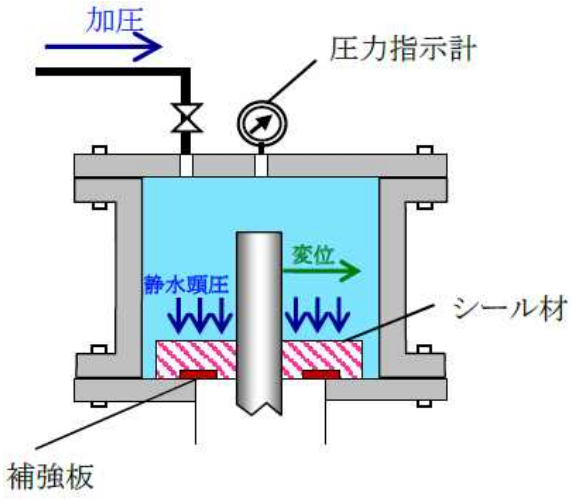


図 4－5　シール材の水圧試験の概要

(3)　ブーツ

ブーツの許容限界値は，実機で使用している形状，寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。また，実機の施工状況を考慮し，受圧面がブーツ内側又は外側のどちらの場合でも止水機能が確保できることを確認するため，内圧試験及び外圧試験の両ケースを実施する。ブーツの水圧試験の概要を図 4－6 に示す。

実機施工時においては，試験検証済みの寸法以下で施工する。

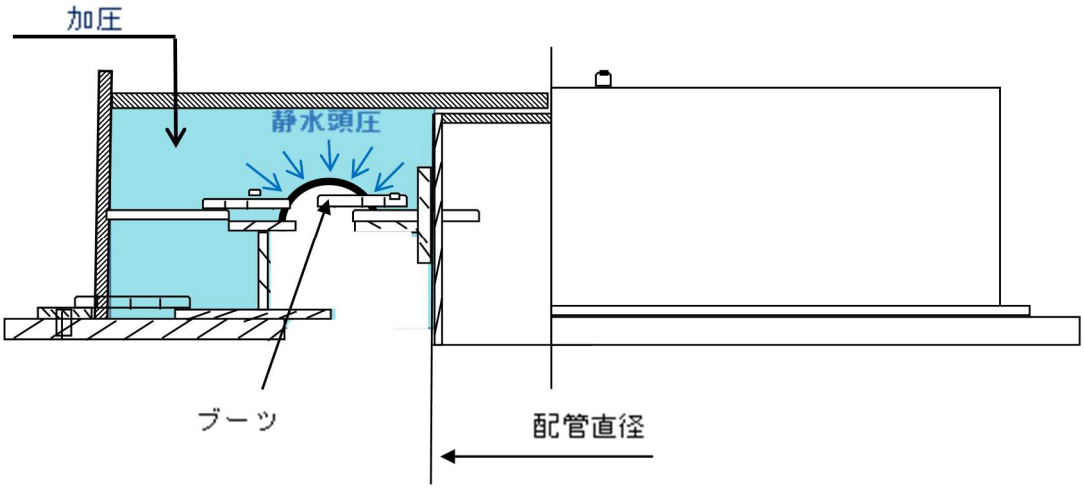


図 4－6　ブーツの水圧試験の概要

(4) 鉄板

各評価部位の許容値は設計・建設規格に規定される許容値を用いる。鉄板の許容限界を表4－5，許容限界評価条件を表4－6，許容限界算出結果を表4－7に示す。

表4－5　鉄板の許容限界

評価部位	許容応力状態	許容限界*			
		引張応力 f_t	せん断応力 f_s	曲げ応力 f_b	組合せ応力 f_{total}
鉄板	$\mathrm{III}_A S$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
配管と鉄板との溶接部		$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$
鉄板とスリーブとの溶接部					

注記＊：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4－6　鉄板の許容限界評価条件

評価部位	材料	温度条件（℃）		F（MPa）
鉄板	SUS304	周囲環境温度	40	205
配管と鉄板との溶接部	SUS304（配管，鉄板）	周囲環境温度	40	205
鉄板とスリーブとの溶接部	SGP（スリーブ）	周囲環境温度	40	147

表 4－7　鉄板の許容限界算出結果

評価部位	許容限界			
	引張応力 f_t (MPa)	せん断応力 f_s (MPa)	曲げ応力 f_b (MPa)	組合せ応力 f_{total} (MPa)
鉄板	204	117	204	204
配管と鉄板との溶接部	117	117	117	117
鉄板とスリーブとの溶接部	84	84	84	84

(5)　フラップゲート

フラップゲートの許容限界値は，実機で使用しているフラップゲートと同構造で寸法の異なる試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。

(6)　ケーブルトレイ金属ボックス

各評価部位の許容値は設計・建設規格に規定される許容値を用いる。金属ボックス及びアンカーボルトの許容限界を表 4－8，許容限界評価条件を表 4－9，金属ボックスの許容限界算出結果を表 4－10 に示す。また，ケーブルトレイ金属ボックスの施工例を図 4－7 に示す。

表4－8　金属ボックス及びアンカーボルトの許容限界

評価部位	許容応力状態	許容限界*1, *2		
		一次応力		
		引張応力 f_{to}	せん断応力 f_{sb}	曲げ応力 f_b
金属ボックス	$\mathrm{III}_A S$	－	－	$\frac{F}{1.3}\cdot 1.5$
アンカーボルト		$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot 1.5$	－

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 4－9　金属ボックス及びアンカーボルトの許容限界評価条件

評価部位	材料	温度条件 (℃)		F (MPa)
金属ボックス	SS400 相当	周囲環境温度	40	215
アンカーボルト	SS400 相当	周囲環境温度	40	215

表 4－10　金属ボックスの許容限界算出結果

評価部位	許容限界
	曲げ応力 (MPa)
金属ボックス	248

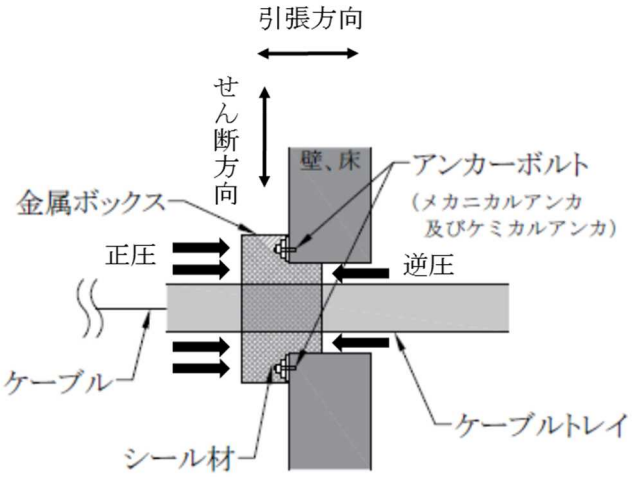


図 4－7　ケーブルトレイ金属ボックスの施工例

4.4　設計用地震力

(1)　モルタル

モルタルの強度評価に使用する弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力については，Ｖ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した設計用床応答曲線を用いる。また，減衰定数はＶ-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。貫通部止水処置の強度計算に用いる設計震度を表 4－11 に示す。

表 4－11　モルタルの設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (mm)	余震による設計震度*1	
弾性設計用地震動 Ｓｄ	タービン地下中２階 T.M.S.L. 500 (T.M.S.L. 4900*2)	水平方向C_H	5.05
		鉛直方向C_V	3.57

注記＊1：モルタル止水処置は評価対象箇所が多いことから，設計震度の算出が全ての対象箇所を包絡するように全周期帯の最大加速度を用いた。また，保守的な評価となるように設置場所の床応答曲線は減衰定数 0.5%を適用した。

＊2：設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

(2)　鉄板

鉄板の強度評価に使用する弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力については，Ｖ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した設計用床応答曲線を用いる。また，減衰定数はＶ-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。貫通部止水処置の強度計算に用いる設計震度を表 4－12 に示す。

表 4－12　鉄板の設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (mm)	余震による設計震度*1	
弾性設計用地震動 Ｓｄ	タービン地下１階 T.M.S.L. 3500 (T.M.S.L. 4900*2)	水平方向C_H	1.05
		鉛直方向C_V	1.56

注記＊1：鉄板止水処置は取水槽水位計のバブラー管（A 系）の設置場所の床応答曲線（T.M.S.L. 4900mm，減衰定数 0.5%）から貫通物の固有周期 [redacted] に対応した加速度を設計震度とした。

＊2：設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

(3)　ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に使用する弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力については，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。ケーブルトレイ金属ボックスの強度計算に用いる設計震度を表 4－13 に示す。

表 4－13　ケーブルトレイ金属ボックスの設計震度

地震動	設置場所及び 床面高さ (mm)	余震による設計震度*1	
弾性設計用地震動 Ｓｄ	タービン地下２階 T.M.S.L. -3350 (T.M.S.L. -1100*2)	水平方向C_H	0.51
		鉛直方向C_V	0.44

注記＊1：ケーブルトレイ金属ボックスは固有周期が 0.05 秒以下であり剛構造のため，基準床の最大応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

＊2：設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

4.5　計算方法

4.5.1　モルタルの強度評価（荷重計算）

(1)　貫通物の反力により生じる荷重

固定荷重及び地震時の貫通物の反力によりモルタルに生じる荷重は，次のとおり算出する。せん断荷重は，水平反力と貫通軸上の貫通物の質量から次のとおり算出する。

$$F_H = W \cdot g \cdot (1 + C_H)$$

$$F_S = F_H$$

(2)　合計荷重

モルタルに発生する合計せん断荷重F_{Stotal}は次のとおり算出する。

$$F_{Stotal} = F_S + (P_h + P_d) \cdot A'$$

4.5.2　シール材，ブーツ及びフラップゲートの強度評価（発生圧力計算）

シール材，ブーツ及びフラップゲートについては，浸水によって生じる静水圧荷重P_hと余震による動水圧P_dを考慮する。

$$P_{total} = P_h + P_d$$

4.5.3　鉄板の強度評価

(1)　鉄板を貫通する配管の反力により生じる荷重

固定荷重及び地震時の貫通物の反力により鉄板に生じる荷重は次の通り算出する。

a.　鉄板にかかる荷重

軸方向引張力　：$F_{s1} = w(1 + C_V)(L_1 + L_2) \cdot g$

軸直方向せん断力：$F_{s2} = F_{s3} = 5/8\ w(1 + C_H)L_1 \cdot g + w(1 + C_H)L_2 \cdot g$

モーメント：$M_{s2} = M_{s3} = 1/8\ w(1 + C_H)L_1^2 \cdot g + 1/2w(1 + C_H)L_2^2 \cdot g$

C_V：弾性設計用地震動Ｓｄにより生じる貫通物の鉛直方向設計震度

C_H：弾性設計用地震動Ｓｄにより生じる貫通物の水平方向設計震度

(2) 鉄板にかかる水圧により生じる荷重

津波による水圧により鉄板に生じる荷重は次の通り算出する。

a. 静水圧荷重（P_h）

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

b. 突き上げ荷重（P_t）

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho \cdot U^2$$

C_D：抗力係数（ ＝ 2.01）

U ：鉄板にかかる津波速度（ ＝ 1.5 m/s）

c. 慣性力（P_{sd}）

$$P_{sd} = h \cdot \rho \cdot g \cdot C_v$$

(3) 鉄板にかかる荷重の合力

鉄板にかかる固定荷重，余震荷重及び水圧荷重の各軸方向の合力は次の通り算出する。

軸方向引張力（F_1）

$$F_1 = F_{s1} + (P_h + P_t + P_{sd}) \cdot A_0$$

静水圧を受ける鉄板の面積（A_0）

$$A_0 = (D_0^2 - d^2) \cdot \pi/4$$

D_0：スリーブ内径

d ：鉄板貫通物の外径

(4) 鉄板にかかる応力

鉄板及び溶接部に生じる応力は次の通り算出する。

a. 鉄板にかかる応力

(a) 引張応力 ：$\sigma_t = F_1/A_1$

$$A_1 = \pi d \cdot t_1$$

t_1 ＝ 鉄板板厚

(b) せん断応力：$\tau_{2,3} = 2 \cdot F_{s2,s3}/A_1$

$$\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$$

(c) 曲げ応力 ：$\sigma_{b2,3} = M_{s2,3}/Z_1$

$$\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + \sigma_{b3}^2}$$

(d) 組合せ応力：$\sigma_{total} = \sqrt{\left(\sigma_t + \sigma_b\right)^2 + 3\tau^2}$

b.　鉄板と配管との溶接部に生じる応力

(a)　引張応力　：$\sigma_t = F_1/A_2$

$A_2 = \pi d \cdot t_2$

t_2 ＝ のど厚

(b)　せん断応力：$\tau_{2,3} = 2 \cdot F_{s2,s3}/A_2$

$$\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$$

(c)　曲げ応力　：$\sigma_{b2,3} = M_{s2,3}/Z_2$

$$\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + \sigma_{b3}^2}$$

(d)　組合せ応力：$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2}$

c.　鉄板とスリーブとの溶接部に生じる応力

(a)　引張応力　：$\sigma_t = F_1/A_3$

$A_3 = \pi d \cdot t_3$

t_3 ＝ のど厚

(b)　せん断応力：$\tau_{2,3} = 2 \cdot F_{s2,s3}/A_3$

$$\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$$

(c)　曲げ応力　：$\sigma_{b2,3} = M_{s2,3}/Z_3$

$$\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + \sigma_{b3}^2}$$

(d)　組合せ応力：$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2}$

4.5.4　ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価

(1)　余震によりボルトに生じる応力

固定荷重，弾性設計用地震動Ｓｄ 及び逆圧により，アンカーボルトに生じる応力は次の通り算出する。

a.　アンカーボルトに生じる応力

(a)　引張応力の計算

固定荷重，弾性設計用地震動Ｓｄ によりアンカーボルトに生じる引張応力は，最も厳しい条件として，図 4－3 で片側のボルト列を支点とする転倒を考え，これをもう片側のボルト列で受けるものとして計算する。

金属ボックスが水平方向に転倒する場合の引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g}{A_{fH} \cdot l_3} + \frac{m \cdot (1+C_V) \cdot h_1 \cdot g}{A_{fV} \cdot l_2}$$

金属ボックスが鉛直方向に転倒する場合の引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot l_1 \cdot g + m \cdot (1+C_V) \cdot h_1 \cdot g}{A_{fV} \cdot l_2}$$

逆圧による引張力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

$$\sigma_{b3} = \frac{(P_h+P_d) \cdot H_1 \cdot L_1}{A_f}$$

引張応力

$$\sigma_b = \mathrm{Max}((\sigma_{b1}+\sigma_{b3}),(\sigma_{b2}+\sigma_{b3}))$$

(b)　せん断応力の計算

アンカー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。

水平方向の力

$$Q_{b1} = C_H \cdot m \cdot g$$

鉛直方向の力

$$Q_{b2} = (1+C_V) \cdot m \cdot g$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{Q_{b1}^2+Q_{b2}^2}}{A_f}$$

(2)　余震により金属ボックスに生じる応力

浸水によって生じる静水圧荷重及び余震により金属ボックスに生じる曲げ応力は，次の通り算出する。なお，正圧による曲げ応力と逆圧による曲げ応力のうち，大きい側の応力で評価を行う。

a.　金属ボックスにかかる荷重

(a)　静水圧荷重（P_h）

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot 10^{-9}$$

(b)　動水圧荷重（P_d）

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h_2} \cdot 10^{-9}$$

(c)　金属ボックスの単位長さ当たりにかかる地震分布荷重

$$P_w = \rho_{ss} \cdot g \cdot t \cdot C_H \cdot 10^{-9}$$

b.　金属ボックスに生じる曲げ応力

$$\rho_b = \beta_1 \cdot (P_h + P_d + P_w) \cdot \frac{a^2}{t^2}$$

4.6　計算条件

(1)　モルタル

モルタルの強度評価に関する荷重評価条件を表 4－14 に示す。また，浸水時の位置関係を図 4－8 に示す。

表 4－14　モルタルの強度評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 （貫通部仕様）	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m^3)	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ H (m)
タービン建屋 地下中 2 階 （モルタル）	1	1030	21.8*1

貫通部にかかる水頭 h (m)	貫通物の支持間隔の質量 W (kg)	モルタルが水圧を受ける面積 A’ (m^2)	動水圧算出用の水平方向震度 C_{HW}
11.99*2	[redacted]	0.043	0.47

注記＊1：貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さHは，タービン建屋の循環水ポンプ設置エリアの床面（T.M.S.L.-9.5m）から水頭高さ（T.M.S.L.12.3m）までの寸法。

＊2：貫通部にかかる水頭ｈは，貫通口下端より更に保守的に下げた位置から水頭高さまでの寸法。

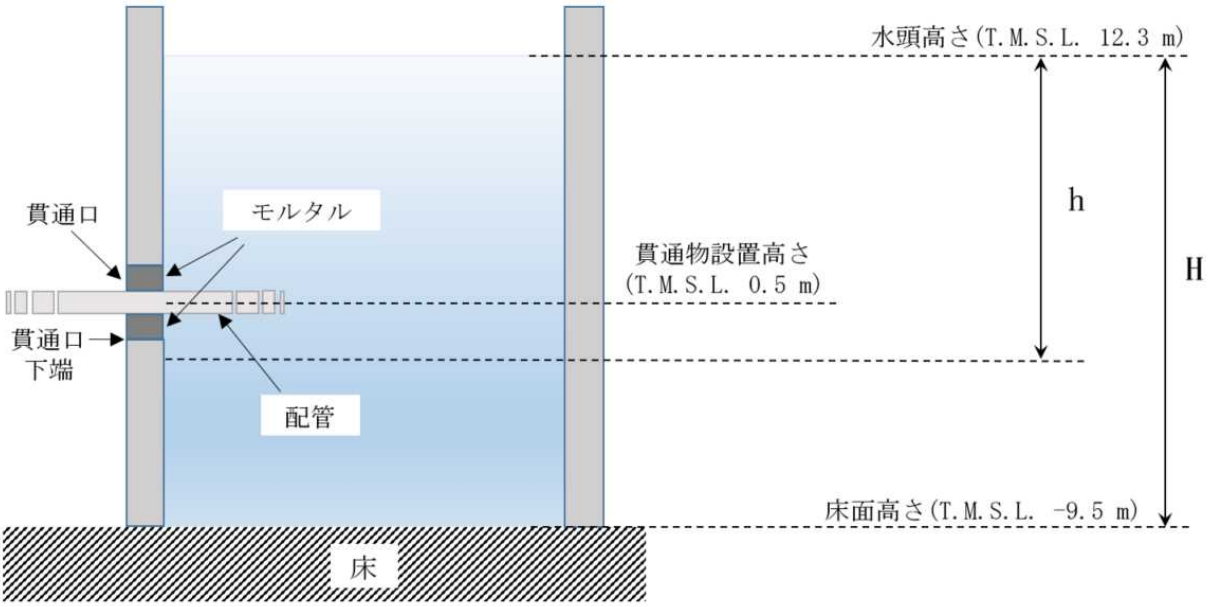


図 4－8　浸水時の位置関係（モルタル）

(2) 鉄板

鉄板の強度評価に関する荷重評価条件を表 4－15 に示す。

表 4－15　鉄板の強度評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 （貫通部仕様）	海水の密度 ρ (kg/m^3)	貫通部位置における 水圧作用高さ h (m)	貫通物の支持間隔の 単位長さ当たりの質量 w (kg/m)
タービン建屋 地下 1 階 （鉄板）	1030	5.5	[redacted]

鉄板から直近の支持 装置までの距離 L_1 (mm)	鉄板から直近の支持 装置までの距離 L_2 (mm)	鉄板の外径 D (mm)	スリーブの内径 D_0 (mm)
1164	240	160	155.2

鉄板貫通物の外径 d (mm)	鉄板の断面係数 Z_1 (mm^3)	鉄板と貫通物との 溶接部の断面係数 Z_2 (mm^3)	鉄板とスリーブとの 溶接部の断面係数 Z_3 (mm^3)
48.6	9461	7791	57316

鉄板の板厚 t_1 (mm)	溶接部ののど厚 t_2 (mm)	溶接部ののど厚 t_3 (mm)
4	3.8	2.8

(3) ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に関する荷重評価条件を表 4－16 に示す。また，浸水時の位置関係を図 4－9 に示す。

表 4－16 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に関する荷重評価条件（1／2）

貫通部箇所 （貫通部仕様）	質量 m (kg)	重心距離 h_1 (mm)	重心高さ ℓ_1 (mm)
タービン建屋 地下 2 階 （ケーブルトレイ）	[redacted]	200*	1355*

評価上引張力を受けるとして期待する鉛直方向のアンカーボルトの総断面積 （転倒方向：水平） A_{fH} (mm^2)	評価上引張力を受けるとして期待する水平方向のアンカーボルトの総断面積 （転倒方向：鉛直） A_{fV} (mm^2)	上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離 ℓ_2 (mm)	左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離 ℓ_3 (mm)
942	1049	1355	1660

評価上水圧荷重及びせん断力を受けるとして期待するアンカーボルトの総断面積 A_f (mm^2)	重力加速度 g m/s^2	金属ボックスの高さ方向長さ H_1 (mm)	金属ボックスの幅 L_1 (mm)
4660	9.80665	1355	1660

海水の密度 ρ (kg/m^3)	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 β	水頭から設置高さまでの水深 h_2 (mm)	水頭から最下層までの高さ H (mm)
1030	1.0	7185	8600

注記＊：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

表 4－16　ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に関する荷重評価条件（2／2）

動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}	金属ボックスの単位 体積当たりの質量 ρ_{ss} (kg/m^3)	最大応力係数 β_1	金属ボックス 評価部の 短辺方向長さ a (mm)
0.42	7850	0.75	275

金属ボックス 評価部の 金属の厚さ t (mm)
6.4

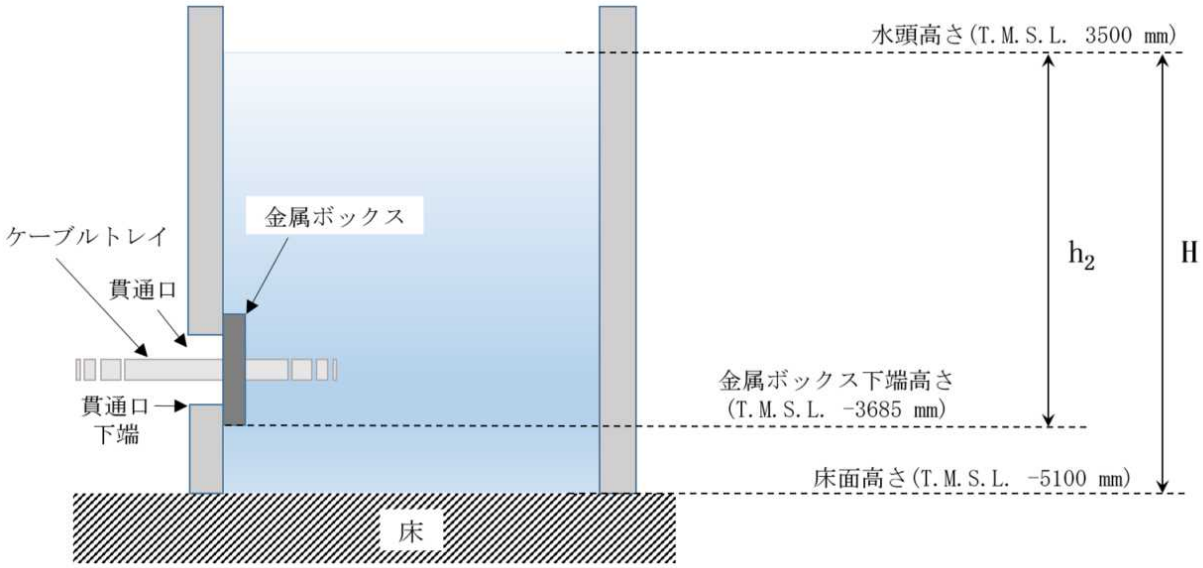


図 4－9　浸水時の位置関係（ケーブルトレイ金属ボックス）

5. 評価結果

モルタル，シール材，ブーツ，鉄板，フラップゲート及びケーブルトレイ金属ボックスの強度評価結果をそれぞれ表 5－1，表 5－2，表 5－3，表 5－4，表 5－5，表 5－6，表 5－7 に示す。モルタル，シール材，ブーツ，鉄板，フラップゲート及びケーブルトレイ金属ボックスの発生荷重，発生圧力又は発生応力は，許容荷重，許容圧力又は許容応力以下であることを確認した。

表 5－1　モルタルの浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	せん断荷重 (付着荷重)	[redacted]	593

表 5－2　シール材の浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材	0.30	0.32

表 5－3　ブーツの浸水に対する強度評価結果

評価部位	場所	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
ブーツ	タービン建屋	0.12	0.4

注：溢水への配慮が必要な施設においては，廃棄物処理建屋の内部溢水による発生圧力が最も大きく 0.17MPa になる。

表 5－4　鉄板の経路からの津波による水圧に対する強度評価結果

評価部位	引張応力 (MPa)		せん断応力 (MPa)		曲げ応力 (MPa)		組合せ応力 (MPa)	
	発生	許容	発生	許容	発生	許容	発生	許容
鉄板	[redacted]	204	[redacted]	117	[redacted]	204	[redacted]	204
配管と鉄板との溶接部		117		117		117		117
配管とスリーブとの溶接部		84		84		84		84

表 5－5　フラップゲートの浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
フラップゲート	0.09	0.2

表 5－6　ケーブルトレイ金属ボックスのアンカーボルトの浸水に対する強度評価結果

応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力	[redacted]	f_{ts}＝129*
せん断応力		f_{sb}＝99

注記＊　：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，　f_{to}]

表 5－7　ケーブルトレイ金属ボックスの浸水に対する強度評価結果

評価部位	曲げ応力 (MPa)	許容曲げ応力 (MPa)
金属ボックス	[redacted]	248

Ⅴ-3-別添3-2　溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

Ⅴ-3-別添3-2-1　溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　強度評価の基本方針 ····· 1
2.1　評価対象施設 ····· 1
2.2　評価方針 ····· 2
3.　構造強度設計 ····· 3
3.1　構造強度の設計方針 ····· 3
3.2　機能維持の方針 ····· 4
4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 ····· 74
4.1　荷重及び荷重の組合せ ····· 74
4.2　許容限界 ····· 76
4.2.1　施設ごとの評価対象部位における許容限界 ····· 76
4.2.2　許容限界設定方法 ····· 86
5.　強度評価方法 ····· 87
5.1　水密扉 ····· 87
5.2　水密扉付止水堰 ····· 88
5.3　溢水伝播防止堰 ····· 89
5.4　管理区域外伝播防止堰 ····· 90
5.5　床ドレンライン浸水防止治具 ····· 91
5.6　貫通部止水処置 ····· 95
6.　適用規格 ····· 96

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」第 12 条及び第 54 条並びにそれらの「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」に適合する設計とするため，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき設計する溢水防護に関する施設が，溢水に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は，Ⅴ-1-1-9-1「溢水等による損傷防止の基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

各施設の具体的な計算の方法及び結果は，Ⅴ-3-別添 3-2-2「水密扉の強度計算書（溢水）」，Ⅴ-3-別添 3-2-3「水密扉付止水堰の強度計算書」，Ⅴ-3-別添 3-2-4「止水堰の強度計算書」，Ⅴ-3-別添 3-2-5「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書（溢水）」，Ⅴ-3-別添 3-2-6「貫通部止水処置の強度計算書（溢水）」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は，「2.1　評価対象施設」に示す施設を対象として，「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す溢水による荷重と組み合わすべき他の荷重による組合せ荷重又は応力が許容限界内にあることを「5.　強度評価方法」に示す評価方法により，「6.　適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

2.1　評価対象施設

Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している溢水防護に関する施設を強度評価の対象施設とし，表 2－1 に示す。

表 2－1 では，強度評価の対象施設が，津波又は溢水のどちらの事象を防護するための施設であるかを明確に示す。また，表 2－1 に示す施設のうち，津波防護に係る浸水防止設備を兼ねるものは，溢水事象の静水圧（屋外タンク破損による溢水及び地下水）に，津波事象の荷重として余震荷重等を考慮し強度評価することから，津波事象における強度評価に包絡できるため，これらの計算書は，Ⅴ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」にて示す。

表 2－1　強度計算の対象施設と防護する事象

強度計算の対象施設		事象	
		津波	溢水
水密扉	タービン建屋地下 2 階北西階段室　水密扉	○	○
	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 1	○	○
	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 2	○	○
	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 3	○	○
	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ）	○	○
	原子炉補機冷却水系（C 系）熱交換器・ポンプ室　水密扉	○	○
	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 1	○	○
	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 2	○	○
	タービン建屋地下中 2 階南西階段室　水密扉	○	○
	タービン建屋地下中 2 階北西階段室　水密扉	○	○
	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉	○	○
	循環水配管メンテナンス室　水密扉 1	○	○
	循環水配管メンテナンス室　水密扉 2	○	○
	原子炉補機冷却水系（B 系）熱交換器・ポンプ室　水密扉	○	○
	原子炉補機冷却水系（A 系）熱交換器・ポンプ室　水密扉 2	○	○
	上記以外の水密扉	－	○
水密扉付止水堰		－	○
溢水伝播防止堰		－	○
管理区域外伝播防止堰		－	○
床ドレンライン浸水防止治具（タービン建屋）		○	○
床ドレンライン浸水防止治具（原子炉建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋）		－	○
貫通部止水処置（タービン建屋）		○	○
貫通部止水処置（原子炉建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋）		－	○

2.2　評価方針

溢水防護に係る施設は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1　評価対象施設」で分類した施設ごとに，浸水防止に関する強度評価を実施する。

K7 ① Ⅴ-3-別添 3-2-1 R1

3.　構造強度設計

「2.1　評価対象施設」で設定されている施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するよう，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している各施設が有する機能を踏まえて，構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し，想定する荷重及び荷重の組合せを設定し，それらの荷重に対し，各施設の構造強度を維持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1　構造強度の設計方針

Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1　評価対象施設」ごとに示す。

(1)　水密扉

水密扉は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(2)　水密扉付止水堰

水密扉付止水堰は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(3)　溢水伝播防止堰

溢水伝播防止堰は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(4)　管理区域外伝播防止堰（放射性廃棄物の廃棄施設と一部兼用）

管理区域外伝播防止堰は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，管理区域内で発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(5) 床ドレンライン浸水防止治具

床ドレンライン浸水防止治具は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(6) 貫通部止水処置

貫通部止水処置は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，モルタル及び閉止板（鉄板，フラップゲート）による施工は，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

また，ブーツ及びシール材による施工は，止水性の維持を考慮して，有意な漏えいを生じない設計とする。

3.2 機能維持の方針

Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標が達成されるよう，「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ，「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重条件を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方法を設定する。

(1) 水密扉

a. 構造設計

水密扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

水密扉は，鋼製の板材を主体構造とし，周囲の開口部との間に設置した鋼製の扉枠を建屋の床及び壁にアンカーボルトで固定し，支持する構造とする。

また，作用する荷重については，面内及び面外方向から作用し，扉板，芯材，締付装置，及び扉枠に伝わり，アンカーボルトを介して周囲の建屋の床及び壁に伝達する構造とする。

水密扉の設置位置を表 3.2－1 に示す。また，水密扉の構造計画を表 3.22 に示す。

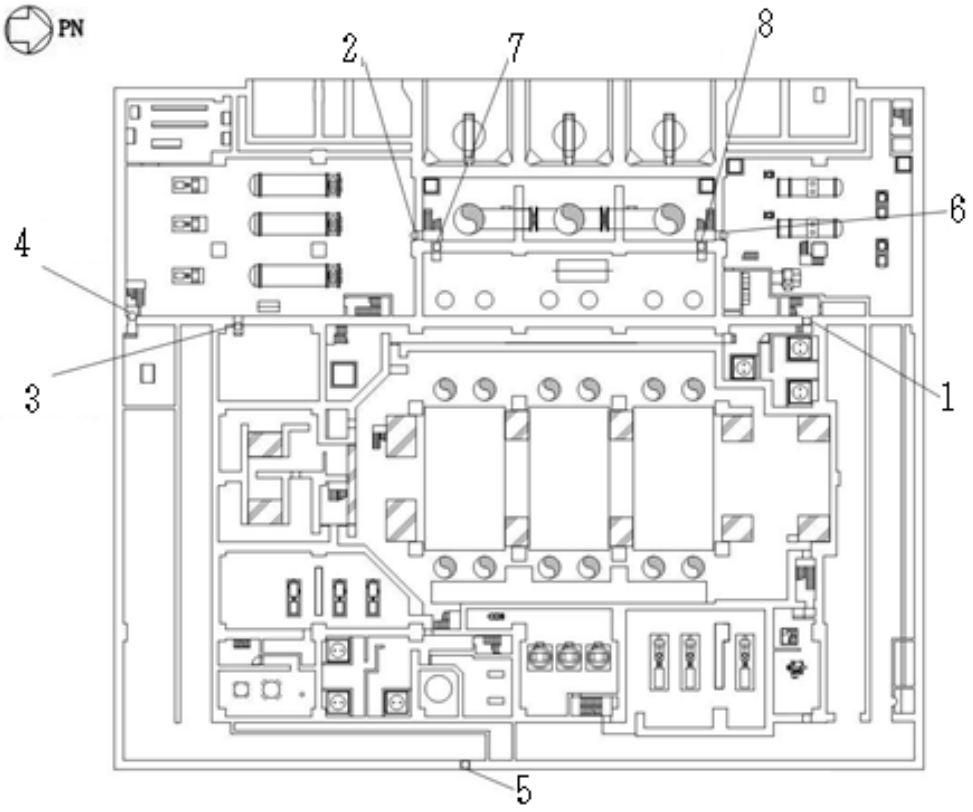
b. 評価方針

水密扉は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

水密扉は，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，水密扉の評価対象部位が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（1／18）

配置図

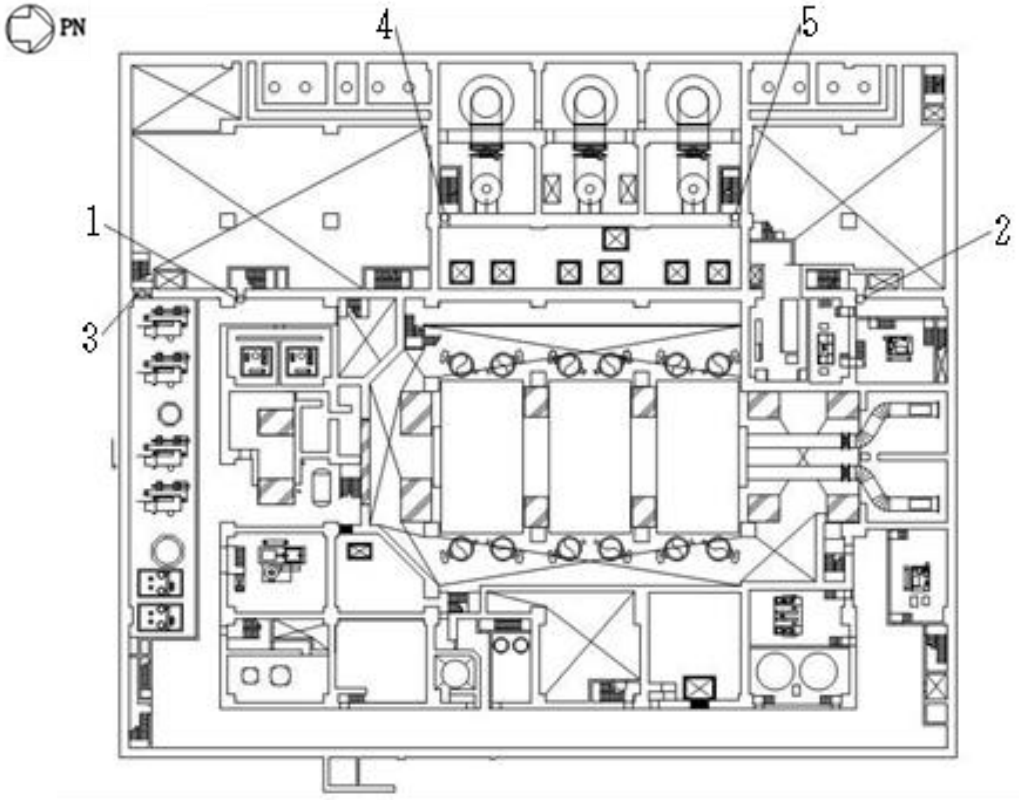


タービン建屋　T.M.S.L.－5100mm

1	タービン建屋地下 2 階北西階段室　水密扉
2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 1
3	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 2
4	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 3
5	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ）
6	原子炉補機冷却水系 □ 熱交換器・ポンプ室　水密扉
7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 1
8	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室　水密扉 2

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（2／18）

配置図

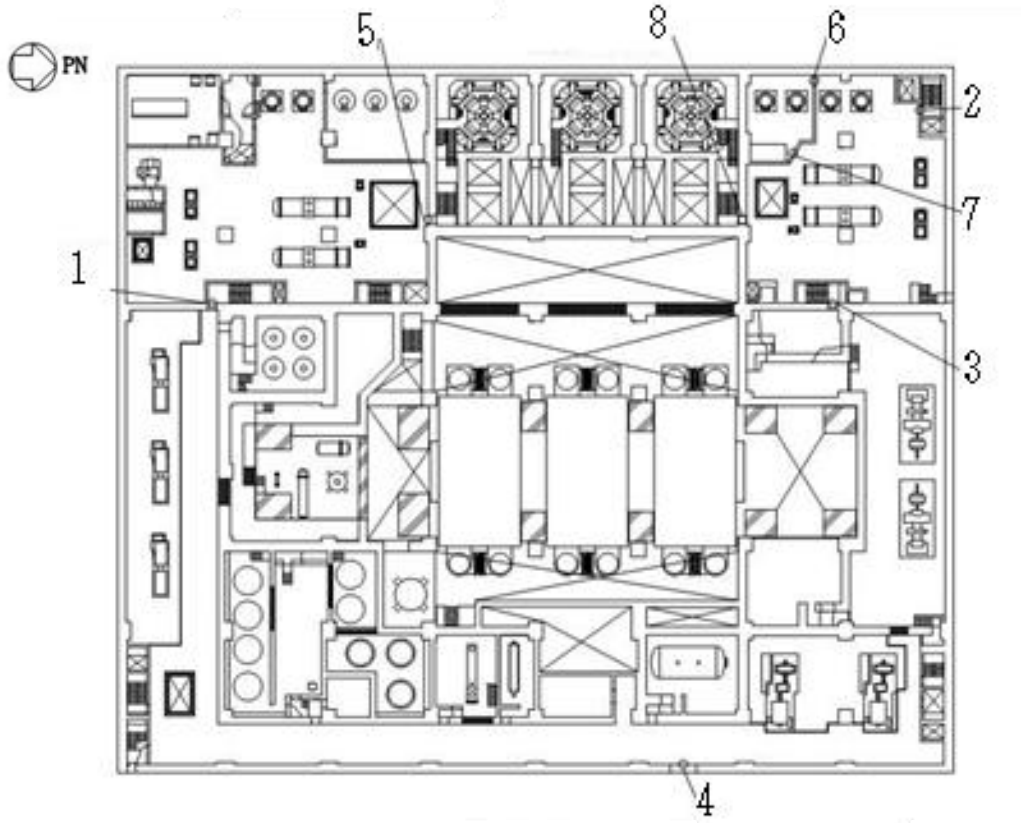


タービン建屋　T.M.S.L.－1100mm

1	タービン建屋地下中 2 階南西階段室　水密扉
2	タービン建屋地下中 2 階北西階段室　水密扉
3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉
4	循環水配管メンテナンス室　水密扉 1
5	循環水配管メンテナンス室　水密扉 2

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（3／18）

配置図

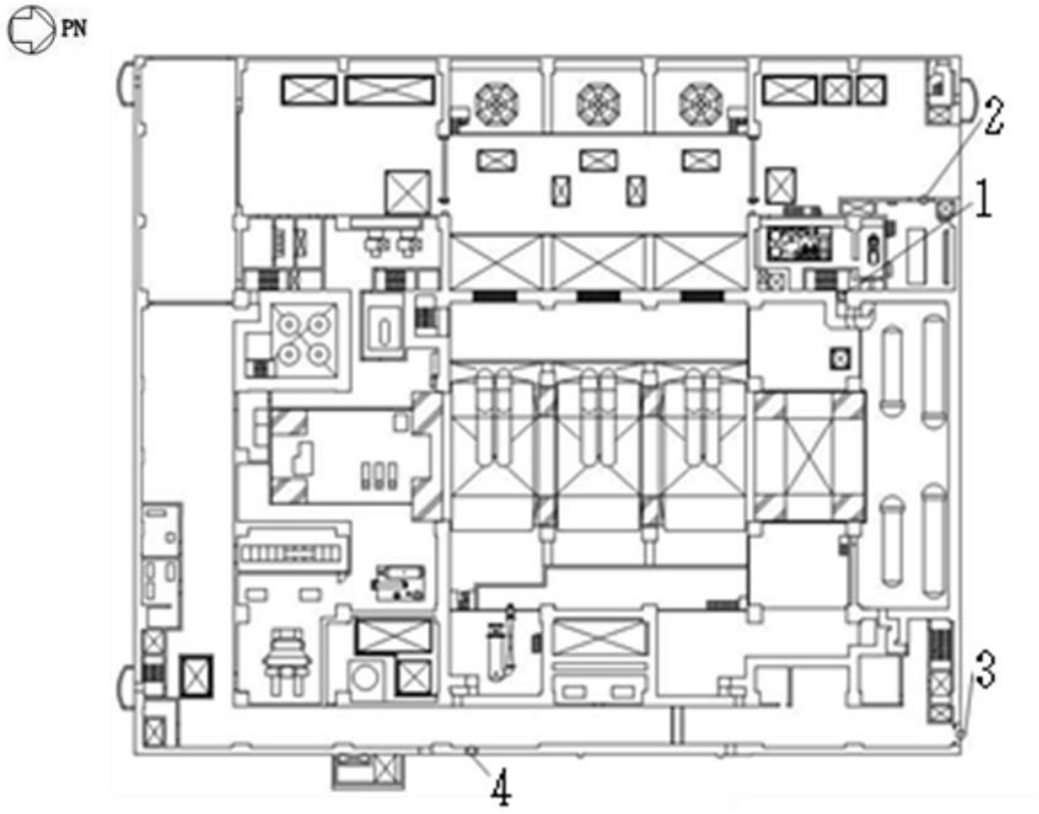


タービン建屋　T.M.S.L.4900mm

1	タービン建屋地下 1 階南西階段室　水密扉
2	タービン建屋地下 1 階北階段室　水密扉
3	タービン建屋地下 1 階北西階段室　水密扉
4	建屋間連絡水密扉（原子炉建屋地下 1 階～タービン建屋地下 1 階）
5	原子炉補機冷却水系 □ 熱交換器・ポンプ室　水密扉
6	原子炉補機冷却海水系 □ ポンプ室　水密扉 1
7	原子炉補機冷却海水系 □ ポンプ室　水密扉 2
8	原子炉補機冷却水系 □ 熱交換器・ポンプ室　水密扉 2

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（4／18）

配置図

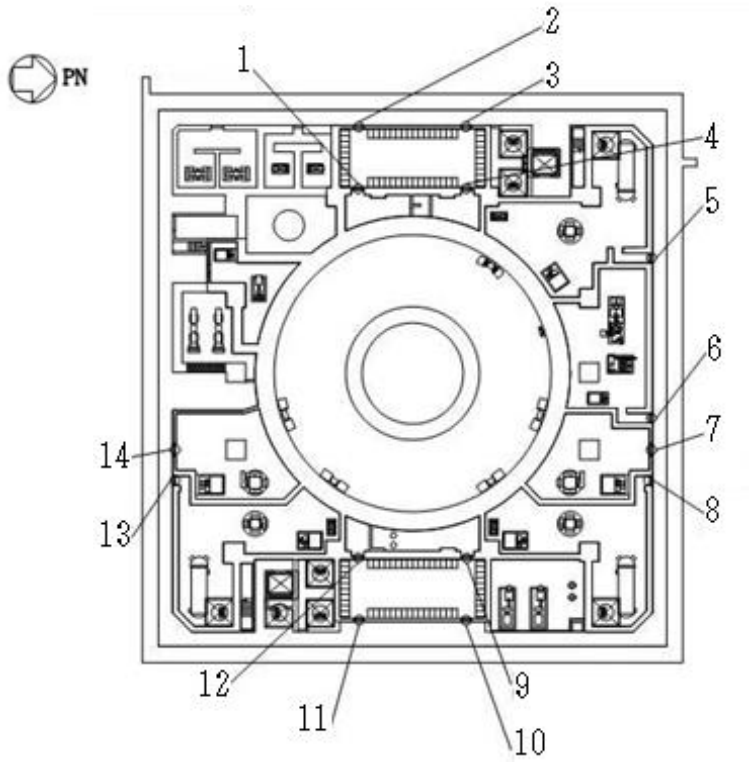


タービン建屋　T.M.S.L.12300mm

1	タービン建屋 1 階北西階段室　水密扉
2	非常用電気品室 □ 水密扉
3	建屋間連絡水密扉 （タービン建屋地上 1 階～廃棄物処理建屋地上 1 階）
4	建屋間連絡水密扉 （原子炉建屋地上 1 階～タービン建屋地上 1 階）

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（5／18）

配置図

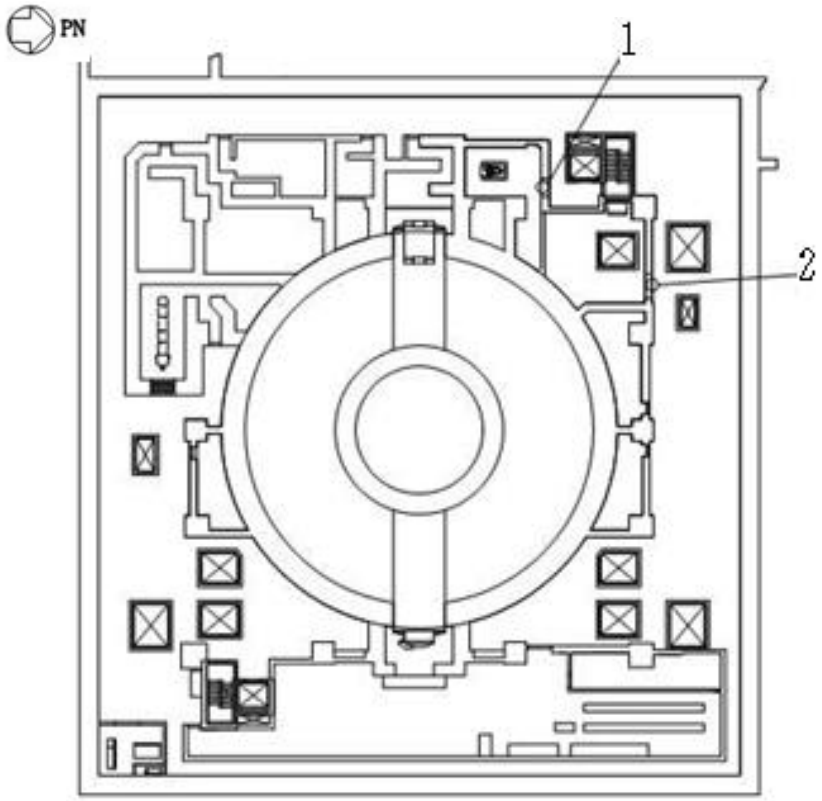


原子炉建屋　T.M.S.L.－8200mm

1	炉心流量（DIV-Ⅳ）計装ラック，感震器(D)室　水密扉
2	水圧制御ユニット室，計装ラック室　水密扉 1
3	水圧制御ユニット室，計装ラック室　水密扉 2
4	炉心流量（DIV-Ⅰ）計装ラック，感震器(A)室　水密扉
5	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉
6	原子炉隔離時冷却系ポンプ・タービン室　水密扉
7	高圧炉心注水系(C)ポンプ室　水密扉
8	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉
9	炉心流量（DIV-Ⅲ）計装ラック，感震器(C)，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉
10	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉 1
11	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉 2
12	炉心流量（DIV-Ⅱ）計装ラック，感震器(B)室　水密扉
13	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉
14	高圧炉心注水系(B)ポンプ室　水密扉

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（6／18）

配置図

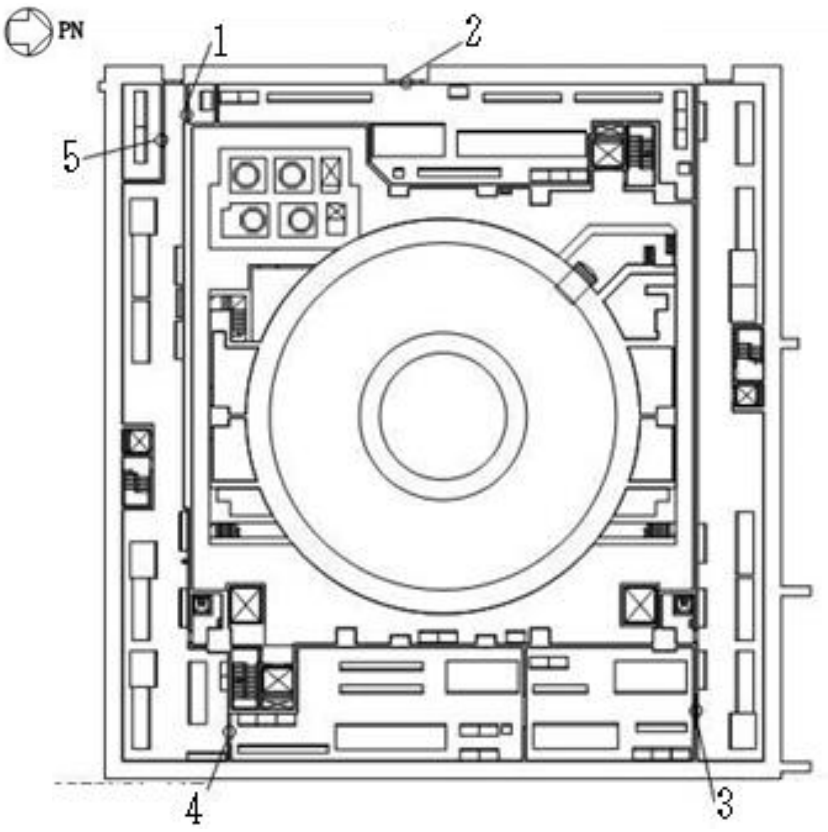


原子炉建屋　T.M.S.L.－1700mm

1	高圧代替注水系ポンプ室　水密扉
2	残留熱除去系□ポンプハッチ室　水密扉

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（7／18）

配置図

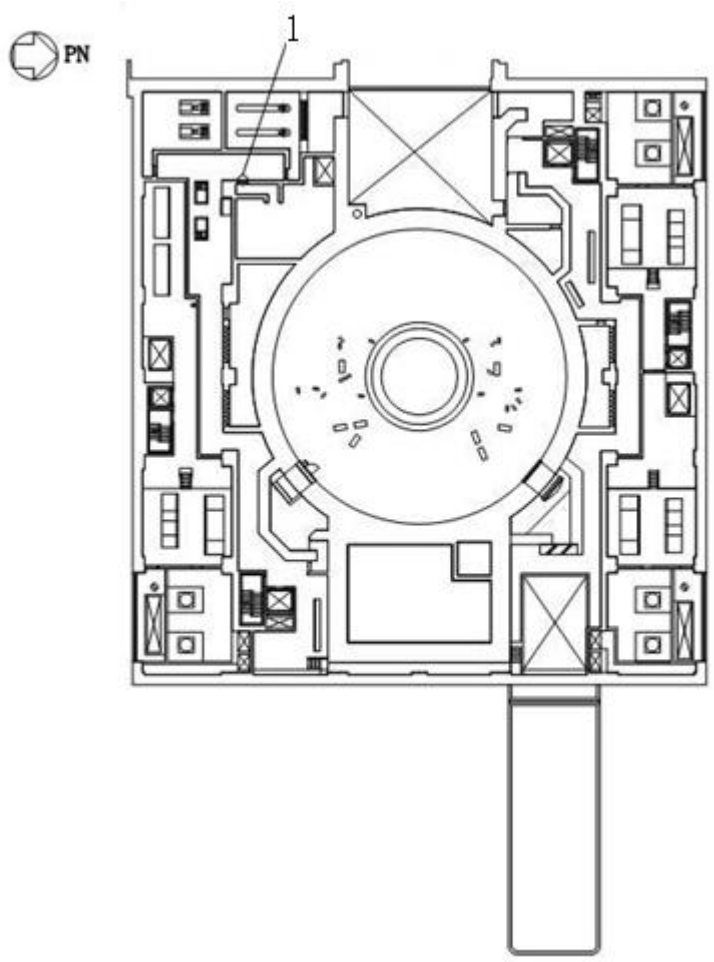


原子炉建屋　T.M.S.L.4800mm

1	多重伝送盤室　水密扉
2	[redacted]非常用電気品室　水密扉
3	[redacted]非常用電気品室　水密扉
4	[redacted]非常用電気品室　水密扉
5	[redacted]

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（8／18）

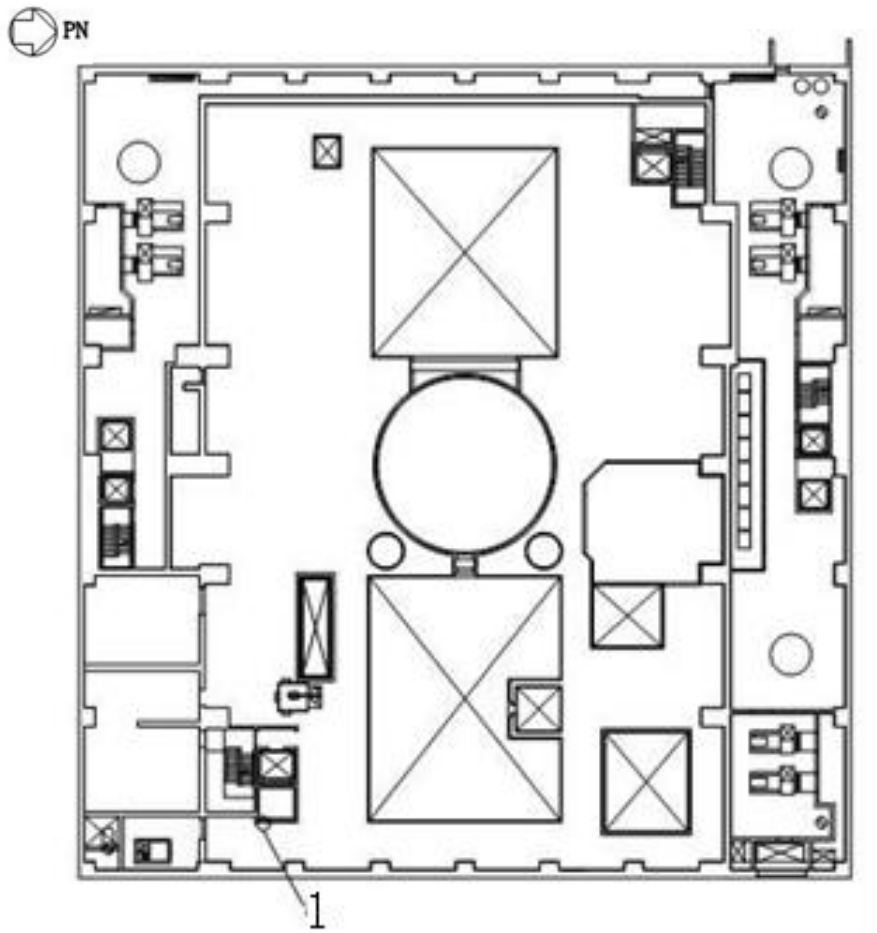
表 3.2－1　設置位置（水密扉）（9／18）

配置図
 原子炉建屋　T.M.S.L.18100mm

1	燃料プール冷却浄化系弁室　水密扉

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（10／18）

配置図

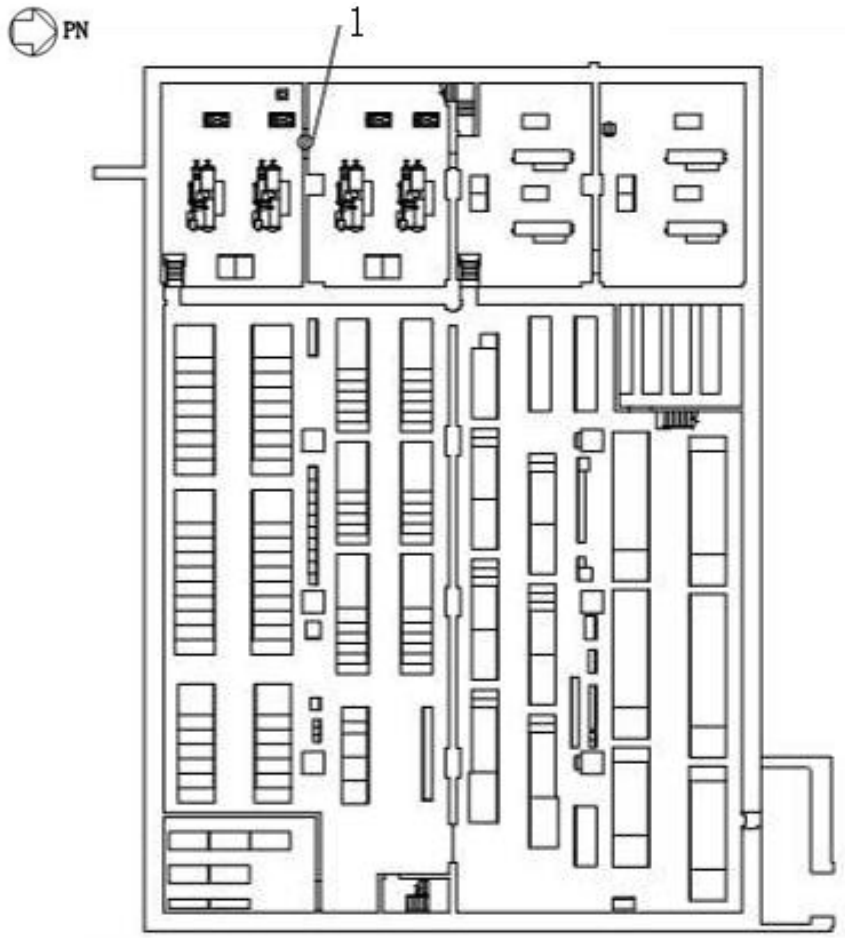


原子炉建屋　T.M.S.L.31700mm

1	原子炉建屋地上 4 階トレイ室　水密扉

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（11／18）

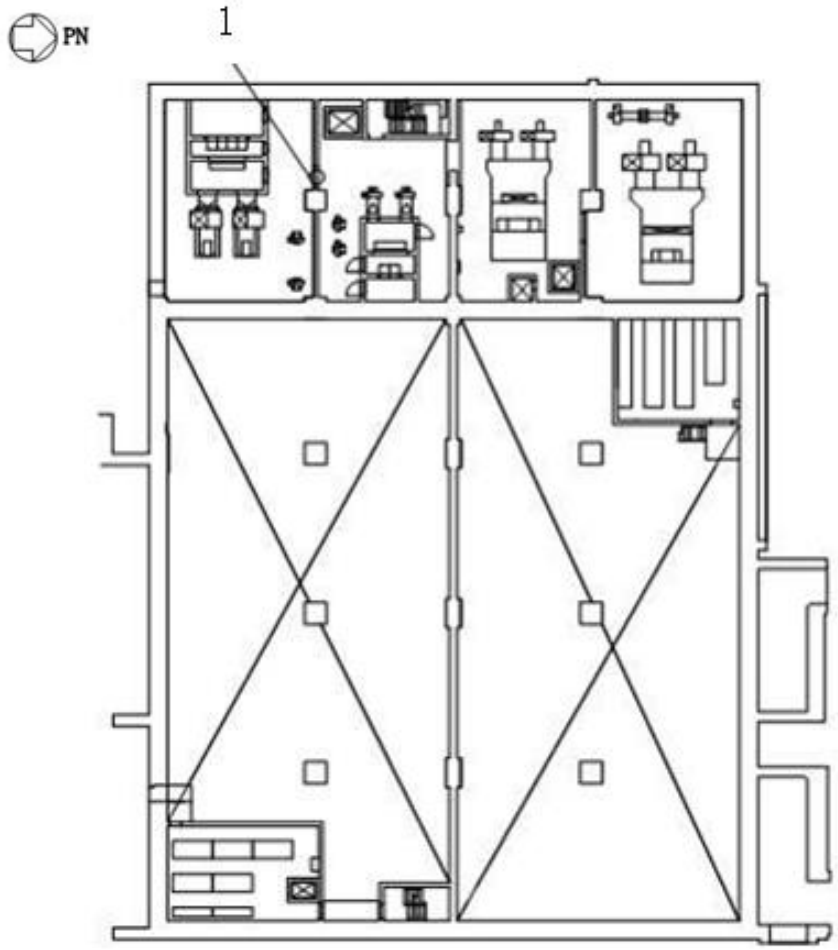
配置図



コントロール建屋　T.M.S.L.－2700mm

1	7 号機換気空調補機非常用冷却水ポンプ・冷凍機 (B)(D)室　水密扉

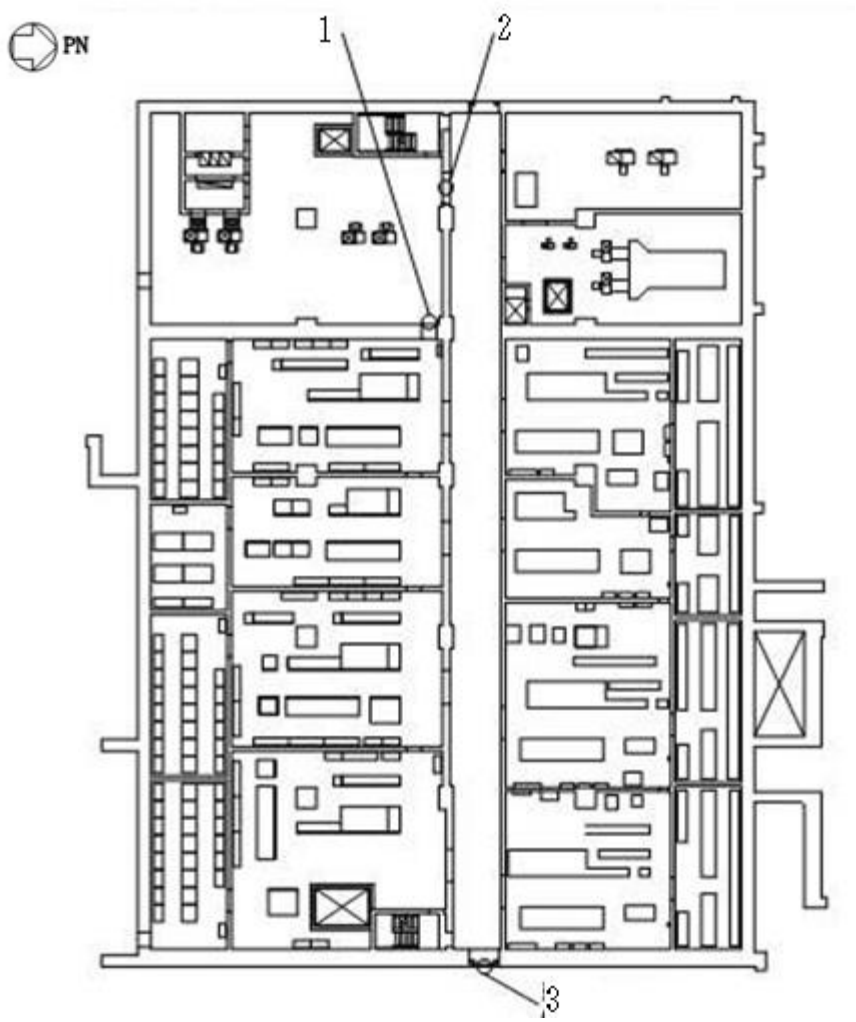
表 3.2－1　設置位置（水密扉）（12／18）

配置図
 コントロール建屋　T.M.S.L.1000mm

1	7 号機計測制御電源盤区域(A)送風機室　水密扉

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（13／18）

配置図



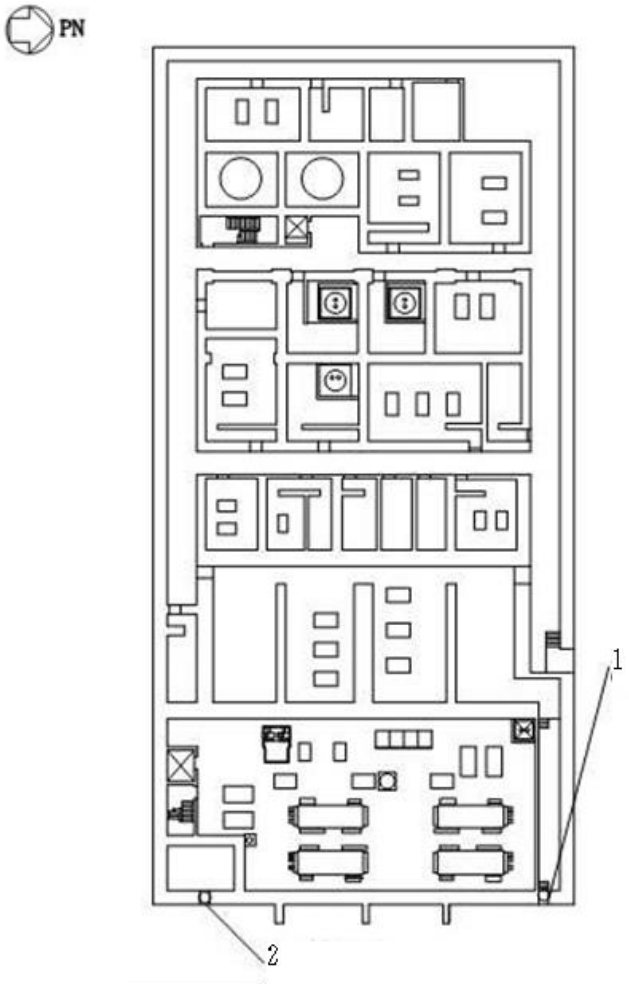
コントロール建屋　T.M.S.L.6500mm

1	7 号機区分Ⅰ計測制御用電源盤室　水密扉
2	7 号機計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　水密扉 1
3	建屋間連絡水密扉 （コントロール建屋地下 1 階～サービス建屋地下 1 階）

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（14／18）

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（15／18）

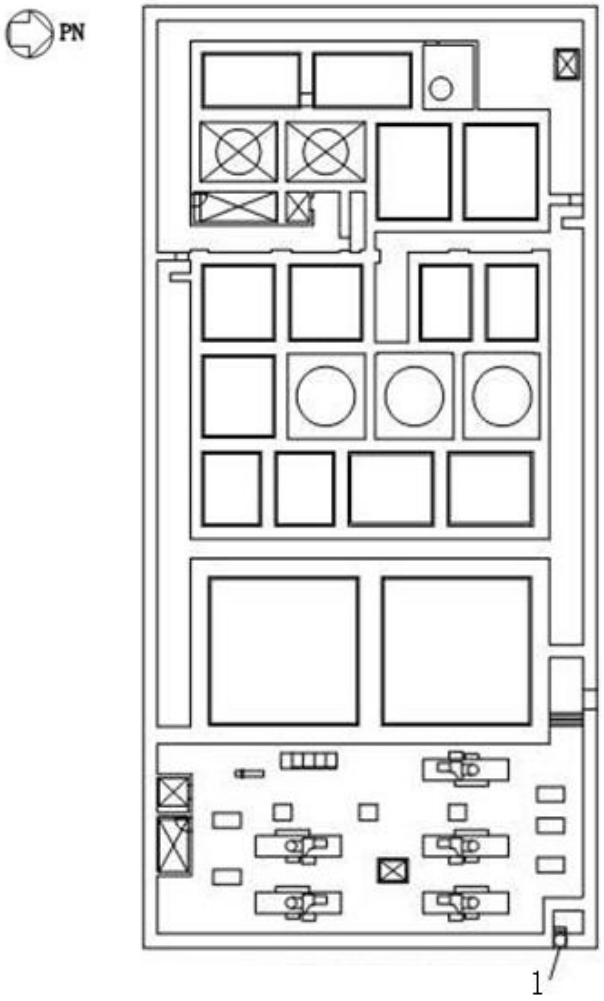
配置図



廃棄物処理建屋　T.M.S.L.－6100mm

1	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下 2 階～廃棄物処理建屋地下 3 階）1（6,7 号機共用）
2	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下 2 階～廃棄物処理建屋地下 3 階）2（6,7 号機共用）

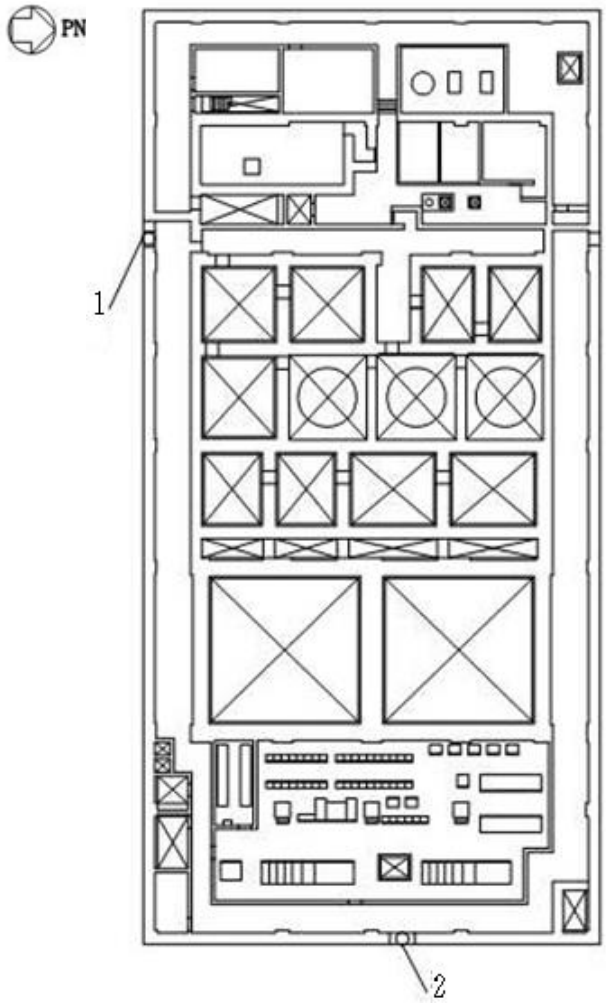
表 3.2－1　設置位置（水密扉）（16／18）

配置図
 廃棄物処理建屋　T.M.S.L.－1100mm

1	建屋間連絡水密扉（廃棄物処理建屋地下 2 階～配管トレンチ） （6,7 号機共用）

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（17／18）

配置図

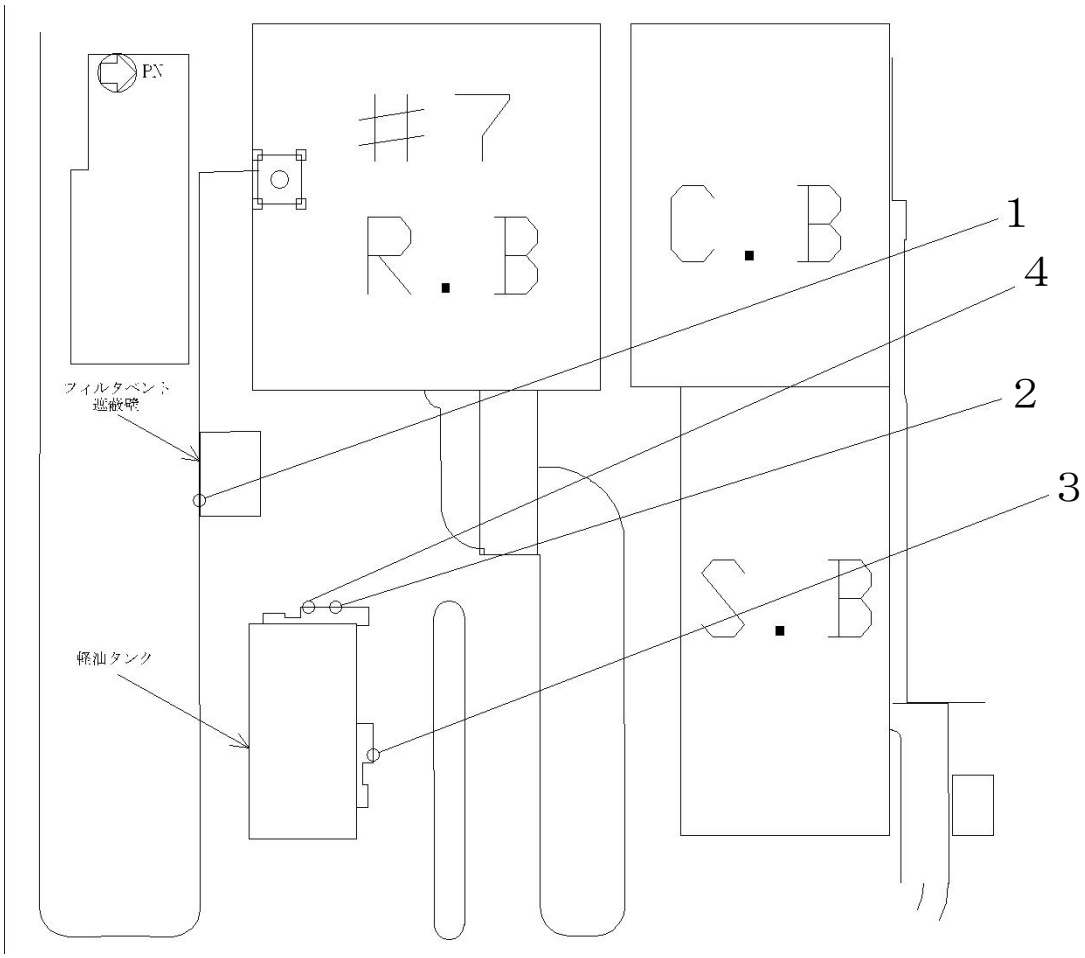


廃棄物処理建屋　T.M.S.L.6500mm

1	原子炉補機冷却水系 [redacted] 熱交換器・ポンプ室　水密扉 1
2	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下 1 階～廃棄物処理建屋地下 1 階）（6,7 号機共用）

表 3.2－1　設置位置（水密扉）（18／18）

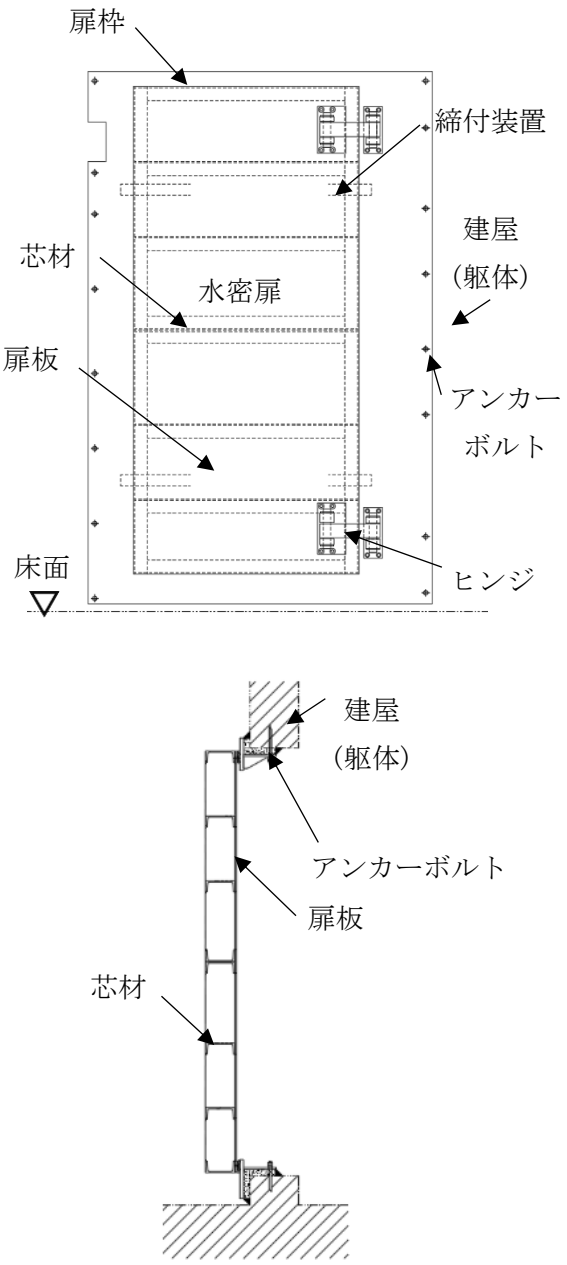
配置図



屋外　T.M.S.L.12300mm

1	フィルタベントエリア　水密扉
2	燃料移送ポンプエリア（A 系)水密扉
3	燃料移送ポンプエリア（B 系)水密扉
4	燃料移送ポンプエリア（C 系)水密扉

表 3.2－2　構造計画（水密扉）（1／1）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取付け，扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差し込み，扉と扉枠を一体化させる構造とする。 また，扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。	扉開放時においては，ヒンジにより扉が扉枠に固定され，扉閉止時においては，締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。 扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。	

(2) 水密扉付止水堰

a. 構造設計

水密扉付止水堰は,「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

水密扉付止水堰は，水密扉部と止水堰部で構成される。

水密扉部は,鋼製の板材を主体構造とし，周囲の開口部との間に設置した鋼製の扉枠を建屋の床及び壁にアンカーボルトで固定し,支持する構造とする。

止水堰部の鋼製堰は，鋼製板，芯材及びアンカーボルトを主体構造とし，既設コンクリートを基礎として，アンカーボルトで固定し支持する構造とする。

水密扉部に作用する荷重については，面内及び面外方向から作用し，扉板，芯材，締付装置，及び扉枠に伝わり，アンカーボルトを介して周囲の建屋の床及び壁に伝達する構造とする。

止水堰部に作用する荷重については，鋼製堰に作用し，アンカーボルトを介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

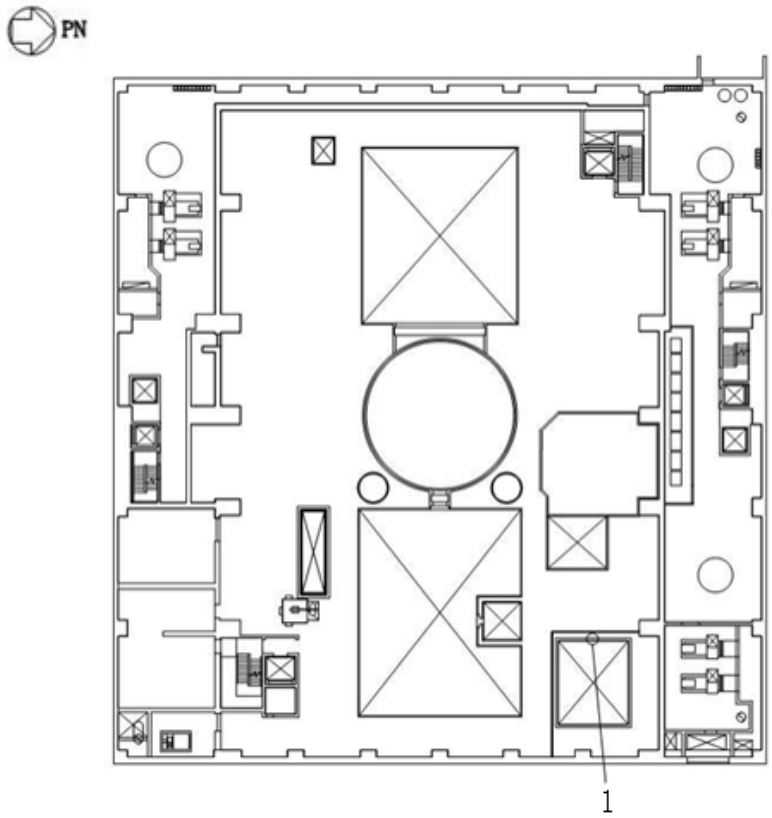
水密扉付止水堰の設置位置を表 3.2－3 に示す。また，水密扉付止水堰の構造計画を表 3.2－4 に示す。

b. 評価方針

水密扉付止水堰は,「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，水密扉付止水堰の評価対象部位に作用する応力が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

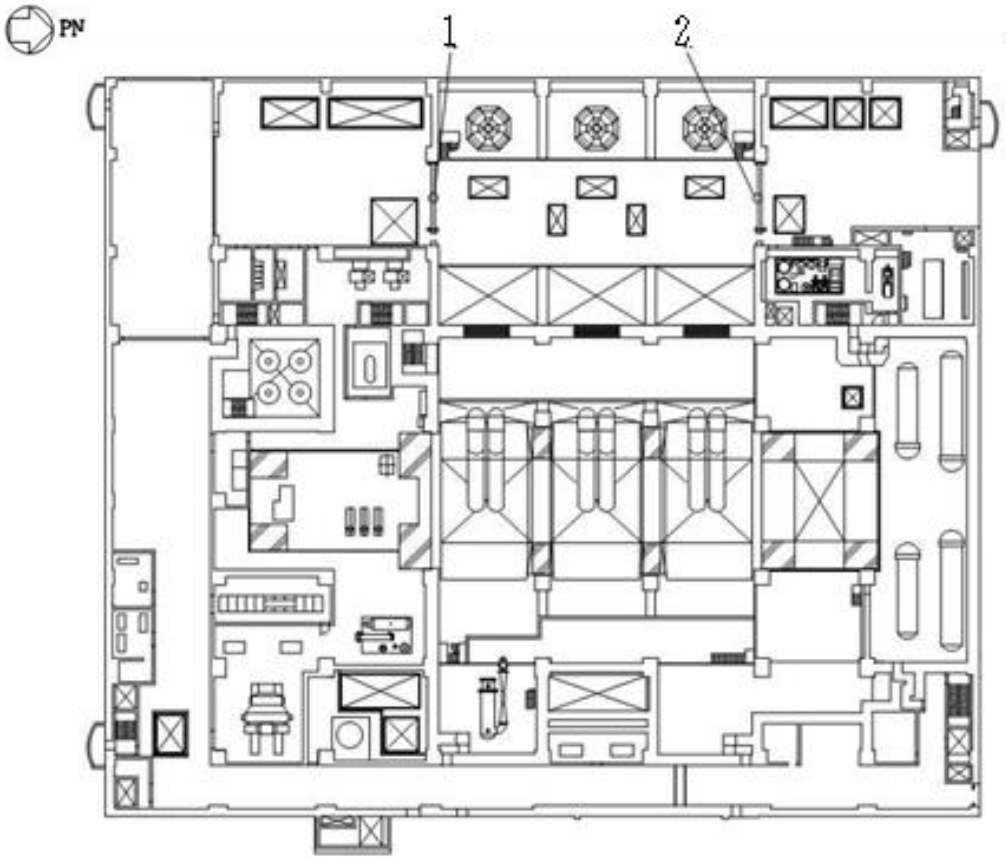
表 3.2－3　設置位置（水密扉付止水堰）（1／2）

配置図
 原子炉建屋　T.M.S.L.31700mm

1	原子炉建屋地上 4 階（R5R6-RFRG）　水密扉付止水堰

表 3.2－3　設置位置（水密扉付止水堰）（2／2）

配置図

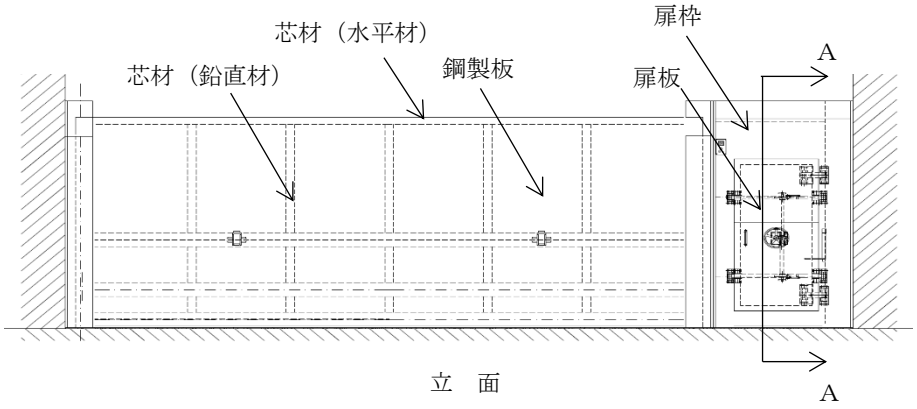


タービン建屋　T.M.S.L.12300mm

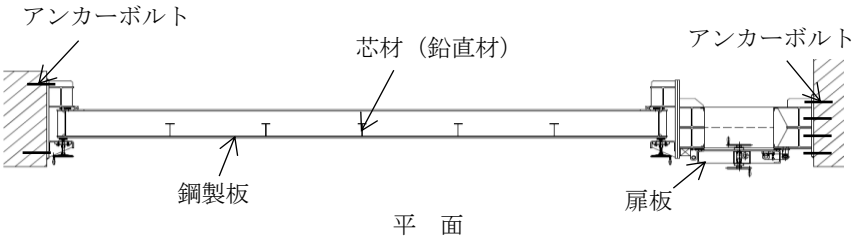
1	タービン建屋地上１階（T4-TBTC）　水密扉付止水堰
2	タービン建屋地上１階（T7-TBTC）　水密扉付止水堰

表 3.2－4　構造計画（水密扉付止水堰）（1／1）

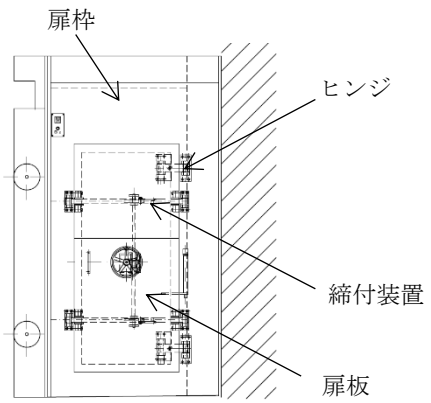
計画の概要	
主体構造	水密扉部は，片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取り付け，扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差し込み，扉と扉枠を一体化させる構造とする。また，扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。 止水堰部は，鋼製板，芯材（水平材，鉛直材）及びアンカーボルトにて構成する。
支持構造	水密扉部は，扉開放時においては，ヒンジにより扉が躯体に固定され，扉閉止時においては，締付装置により扉が扉枠に固定される構造とする。また，扉枠を躯体に，アンカーボルトにより固定する構造とする。 止水堰部は，鋼製板を芯材（水平材，鉛直材）及びアンカーボルトにて固定する。
概略構造図	



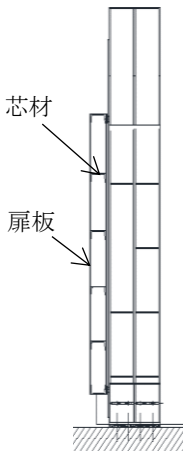
立　面



平　面



水密扉部立面



A－A断面

(3) 溢水伝播防止堰

a. 構造設計

溢水伝播防止堰は,「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

溢水伝播防止堰は，鋼製堰及び鉄筋コンクリート製堰に分類できる。

溢水伝播防止堰のうち鋼製堰は，鋼製板，芯材及びアンカーボルト等を主体構造とし，既設コンクリートを基礎として，アンカーボルトで固定し支持する構造とする。また，作用する荷重については，鋼製堰に作用し，アンカーボルトを介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

溢水伝播防止堰のうち鉄筋コンクリート製堰は，鉄筋コンクリート，アンカー筋又はアンカーボルトを主体構造とし，既設コンクリートを基礎として，アンカー筋又はアンカーボルトで固定し，支持する構造とする。また，作用する荷重については，鉄筋コンクリート製の堰に作用し，アンカー筋を介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

溢水伝播防止堰の設置位置を表 3.2－5 に示す。また，溢水伝播防止堰の構造計画を表 3.2－6 に示す。

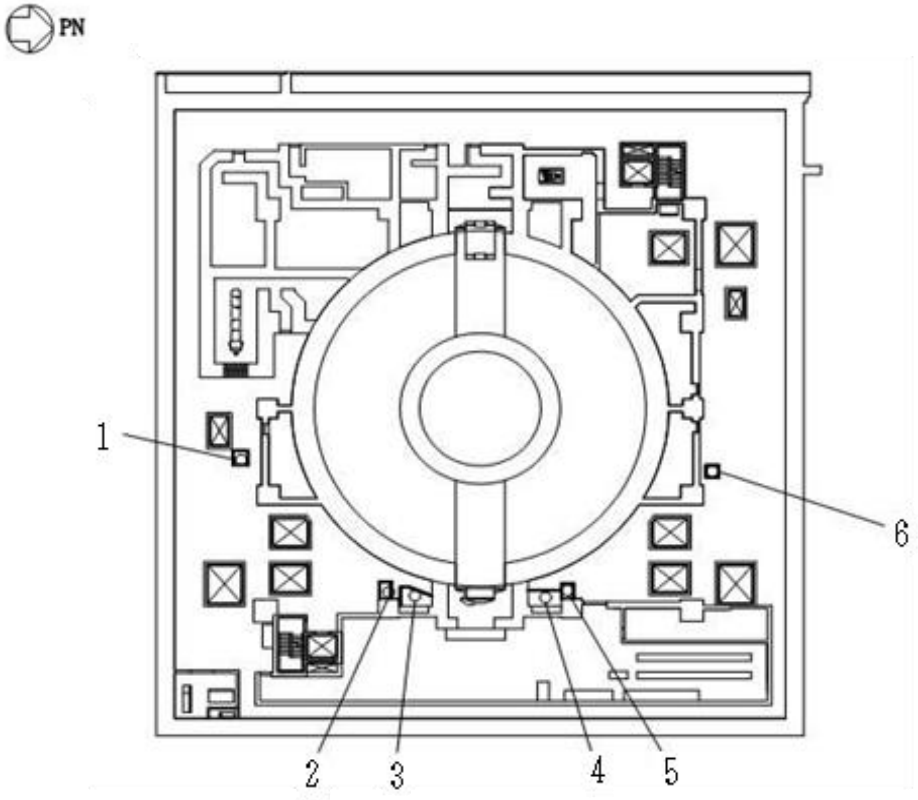
b. 評価方針

溢水伝播防止堰は,「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

溢水伝播防止堰は，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，溢水伝播防止堰の評価対象部位に作用する応力が,おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（1／15）

配置図

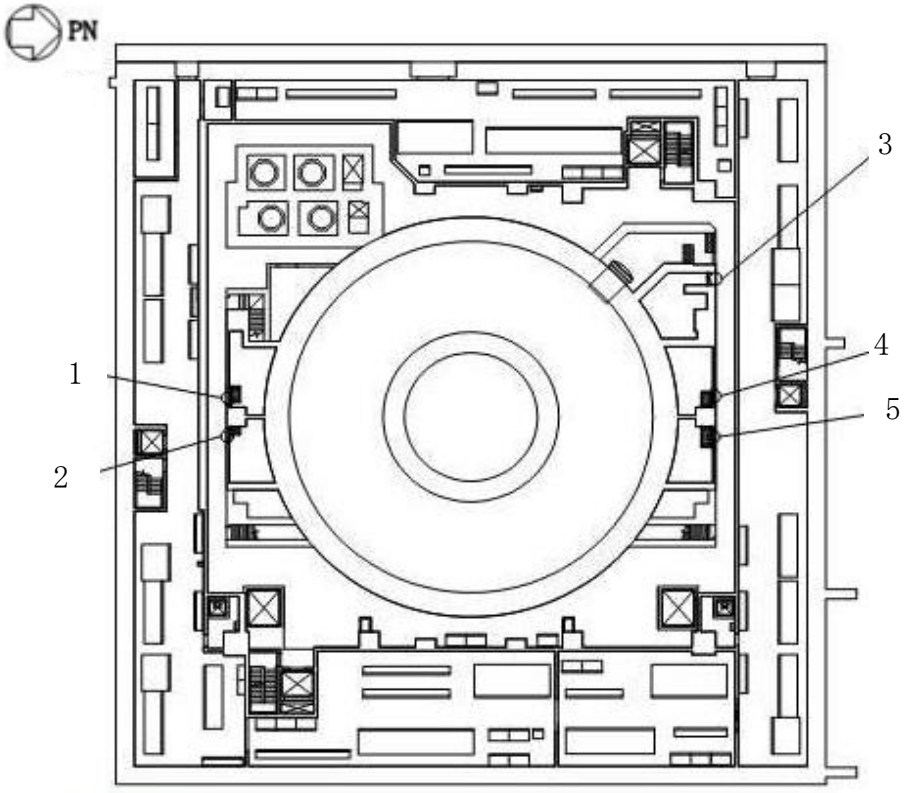


原子炉建屋　T.M.S.L.－1700mm

1	原子炉建屋地下２階（R1R2-RDRE）通路　止水堰
2	原子炉建屋地下２階（R2R3-RERF）通路　止水堰
3	原子炉建屋地下２階（R3R4-RERF）通路　止水堰
4	原子炉建屋地下２階（R4R5-RERF）通路　止水堰
5	原子炉建屋地下２階（R5R6-RERF）通路　止水堰
6	原子炉建屋地下２階（R6R7-RDRE）通路　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（2／15）

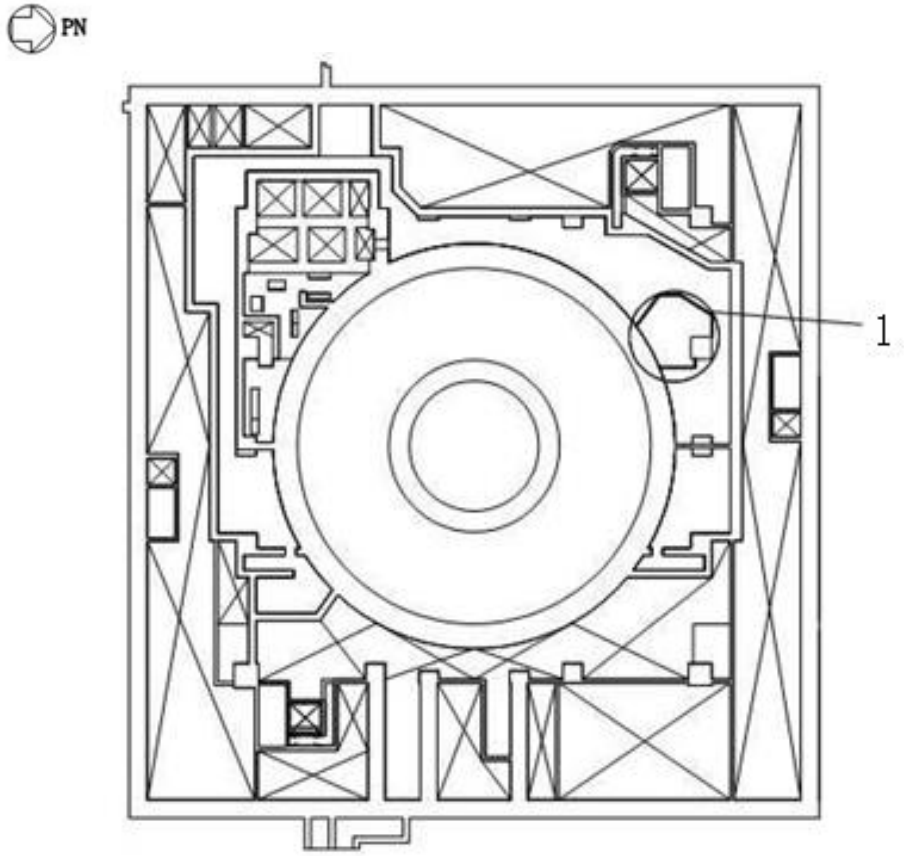
配置図



原子炉建屋　T.M.S.L.4800mm

1	原子炉建屋地下１階（R1R2-RCRD）原子炉系（DIV-Ⅳ）計装ラック室 止水堰
2	原子炉建屋地下１階（R1R2-RDRE）原子炉系（DIV-Ⅱ）計装ラック室 止水堰
3	原子炉建屋地下１階（R6R7-RBRC）残留熱除去系(A)配管室　止水堰
4	原子炉建屋地下１階（R6R7-RCRD）原子炉系（DIV-Ⅰ）計装ラック室 止水堰
5	原子炉建屋地下１階（R6R7-RDRE）原子炉系（DIV-Ⅲ）計装ラック室 止水堰

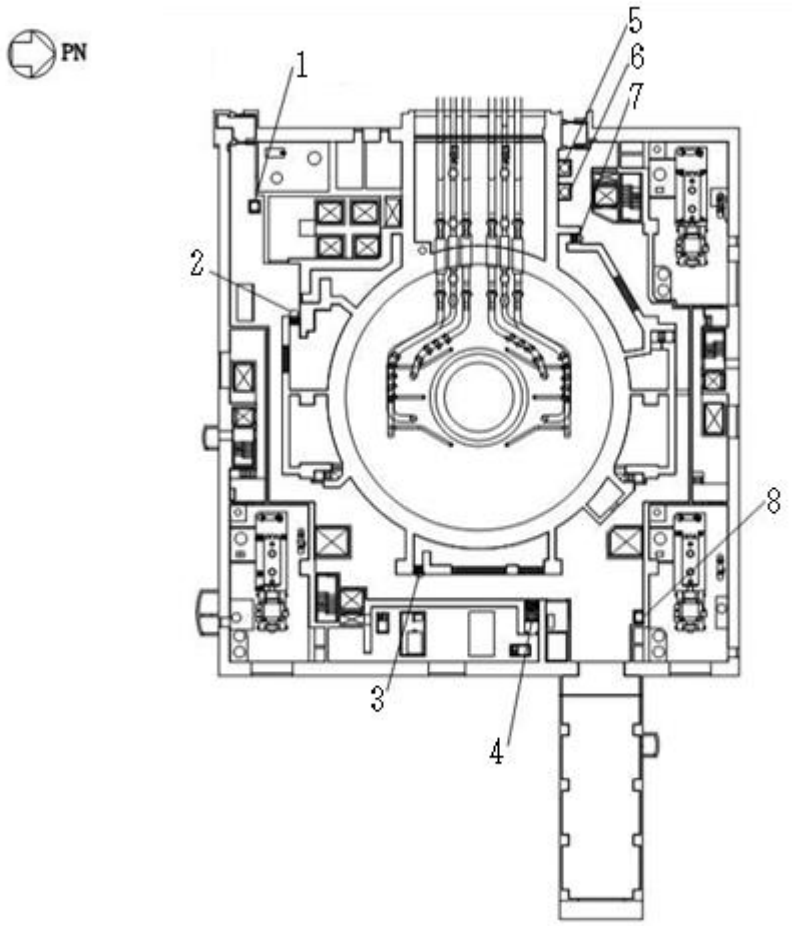
表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（3／15）

配置図
 原子炉建屋　T.M.S.L.8500mm

1	原子炉建屋地下中１階（R5R6-RBRC）残留熱除去系(A)配管室　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（4／15）

配置図

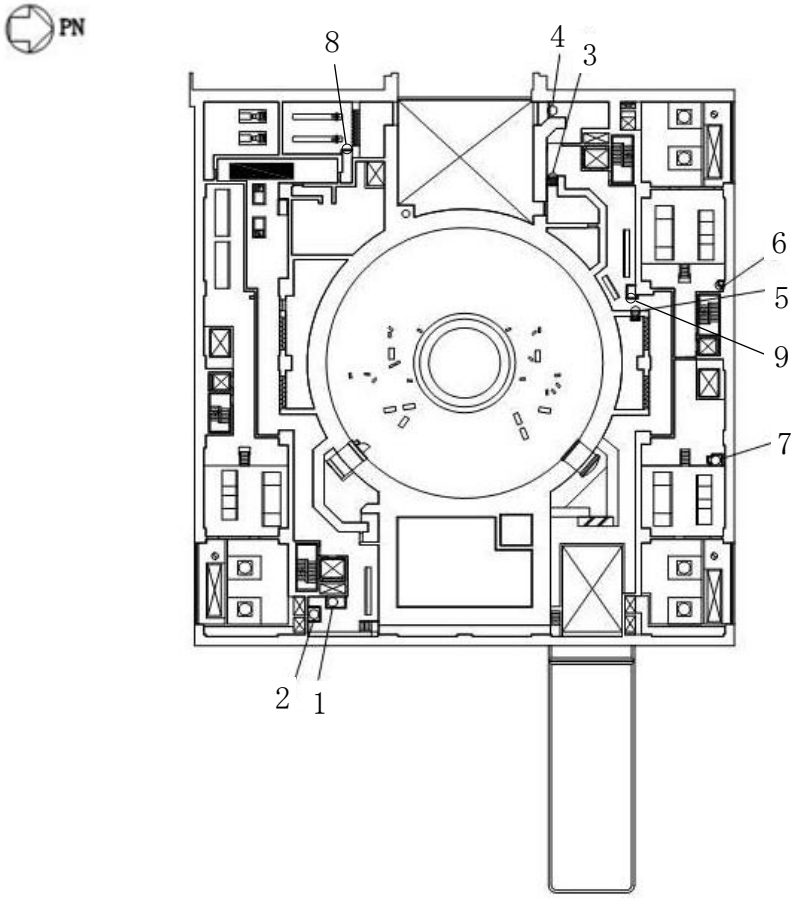


原子炉建屋　T.M.S.L.12300mm

1	原子炉建屋地上１階（R1R2-RARB）通路　止水堰
2	原子炉建屋地上１階（R1R2-RBRC）ほう酸水注入系ペネ，電気ペネ室　止水堰
3	原子炉建屋地上１階（R3R4-RFRG）電気ペネ室　止水堰
4	原子炉建屋地上１階（R4R5-RFRG）可燃性ガス濃度制御系再結合装置室　止水堰
5	原子炉建屋地上１階（R5R6-RARB）通路　止水堰１
6	原子炉建屋地上１階（R5R6-RARB）通路　止水堰２
7	原子炉建屋地上１階（R5R6-RBRC）原子炉補機冷却水系・不活性ガス系・電気ペネ室　止水堰
8	原子炉建屋地上１階（R5R6-RFRG）通路　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（5／15）

配置図

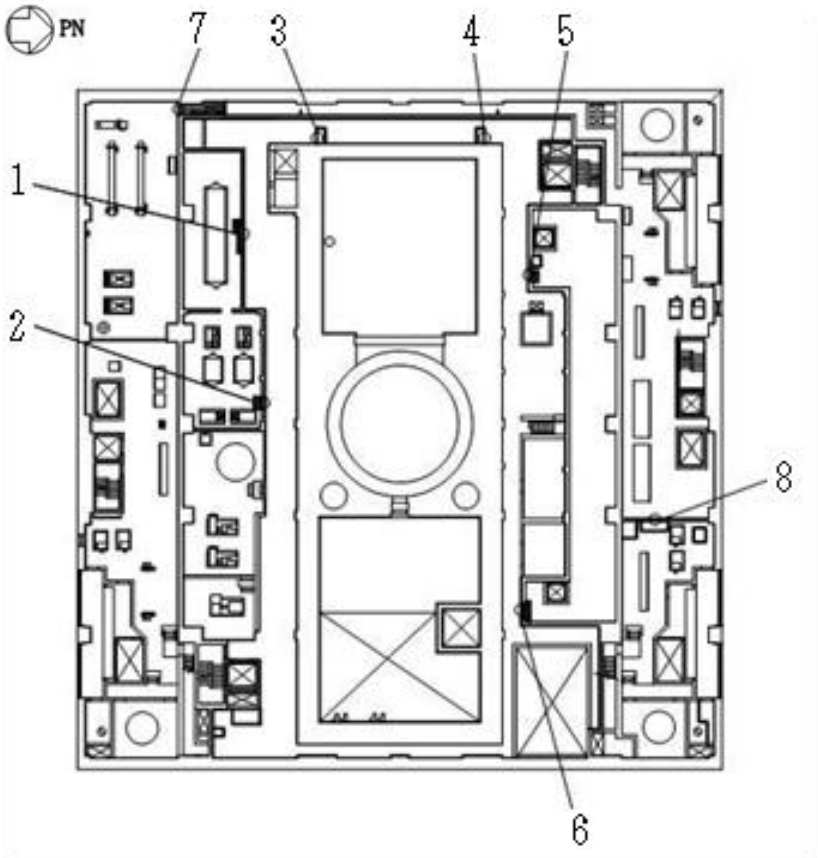


原子炉建屋　T.M.S.L.18100mm

1	原子炉建屋地上２階（R2R3-RFRG）通路　止水堰１
2	原子炉建屋地上２階（R2R3-RFRG）通路　止水堰２
3	原子炉建屋地上２階（R5R6-RARB）主蒸気系トンネル室，配管ペネ室 止水堰
4	原子炉建屋地上２階（R5R6-RARB）通路　止水堰
5	原子炉建屋地上２階（R5R6-RCRD）電気ペネ室　止水堰
6	原子炉建屋地上２階（R6R7-RBRC）通路　止水堰
7	原子炉建屋地上２階（R6R7-RERF）通路　止水堰
8	原子炉建屋地上２階（R2R3-RARB）燃料プール冷却浄化系熱交換器室 止水堰
9	原子炉建屋地上２階（R5R6-RCRD）通路　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（6／15）

配置図

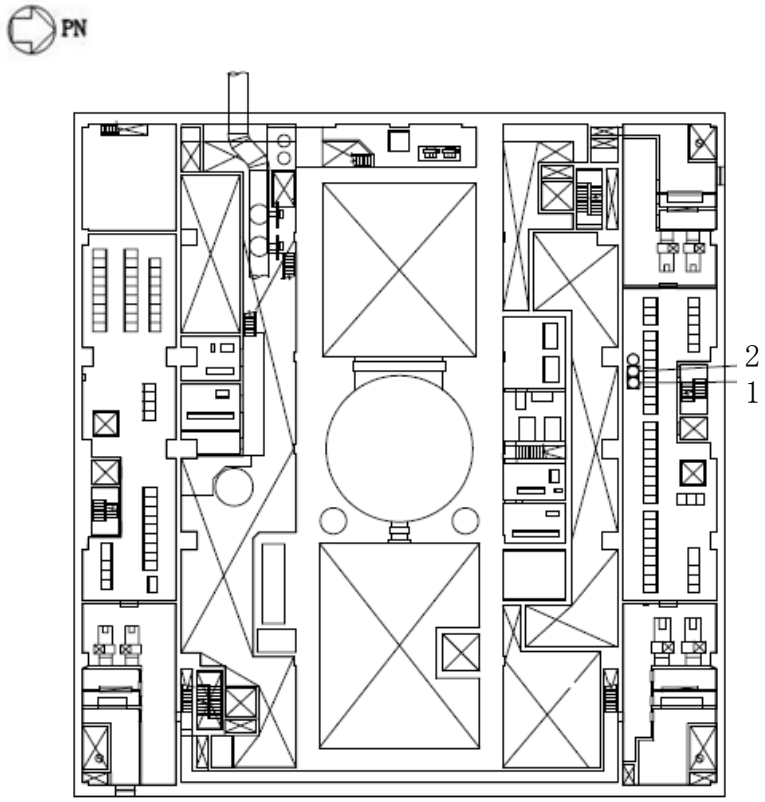


原子炉建屋　T.M.S.L.23500mm

1	原子炉建屋地上３階（R2R3-RBRC）非常用ガス処理系室　止水堰
2	原子炉建屋地上３階（R2R3-RCRD）非常用ガス処理系室　止水堰
3	原子炉建屋地上３階（R3R4-RARB）通路　止水堰
4	原子炉建屋地上３階（R4R5-RARB）通路　止水堰
5	原子炉建屋地上３階（R5R6-RBRC）主蒸気隔離弁・逃がし安全弁ラッピング室　止水堰１
6	原子炉建屋地上３階（R5R6-RERF）主蒸気隔離弁・逃がし安全弁ラッピング室　止水堰
7	原子炉建屋地上３階（R2R3-RARB）通路　止水堰
8	原子炉建屋地上３階（R6R7-RERF）非常用ディーゼル発電機(C)補機室　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（7／15）

配置図

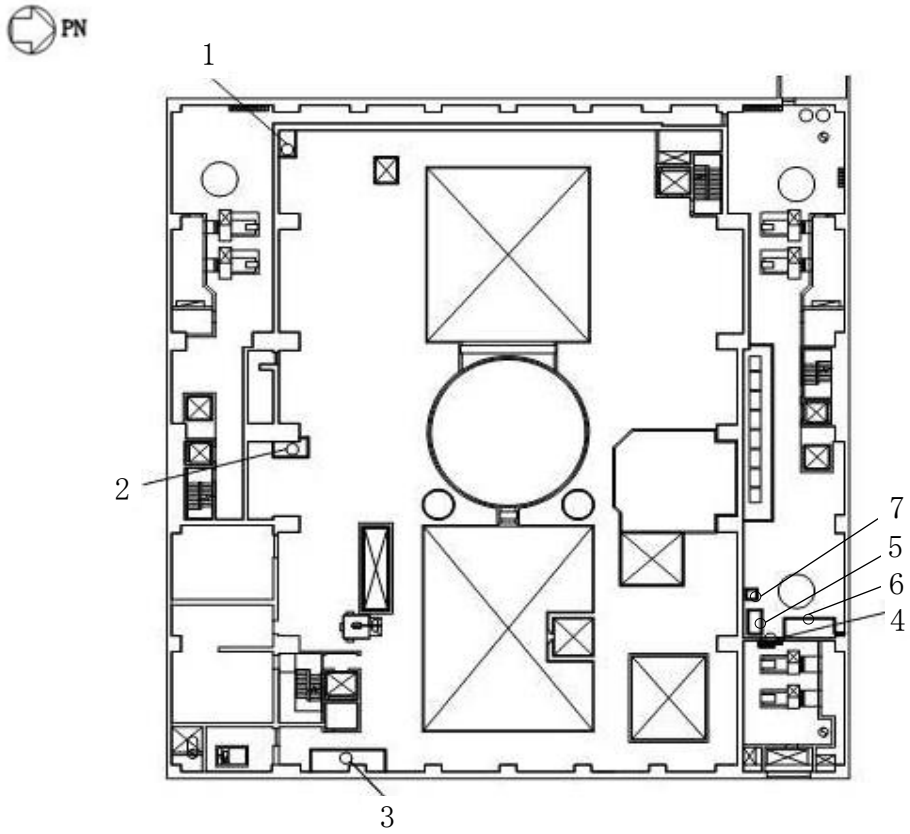


原子炉建屋　T.M.S.L.27200mm

1	原子炉建屋地上中 3 階（R6R7-RCRD）北側改良型制御棒駆動機構制御盤室止水堰 1
2	原子炉建屋地上中 3 階（R6R7-RCRD）北側改良型制御棒駆動機構制御盤室止水堰 2

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（8／15）

配置図

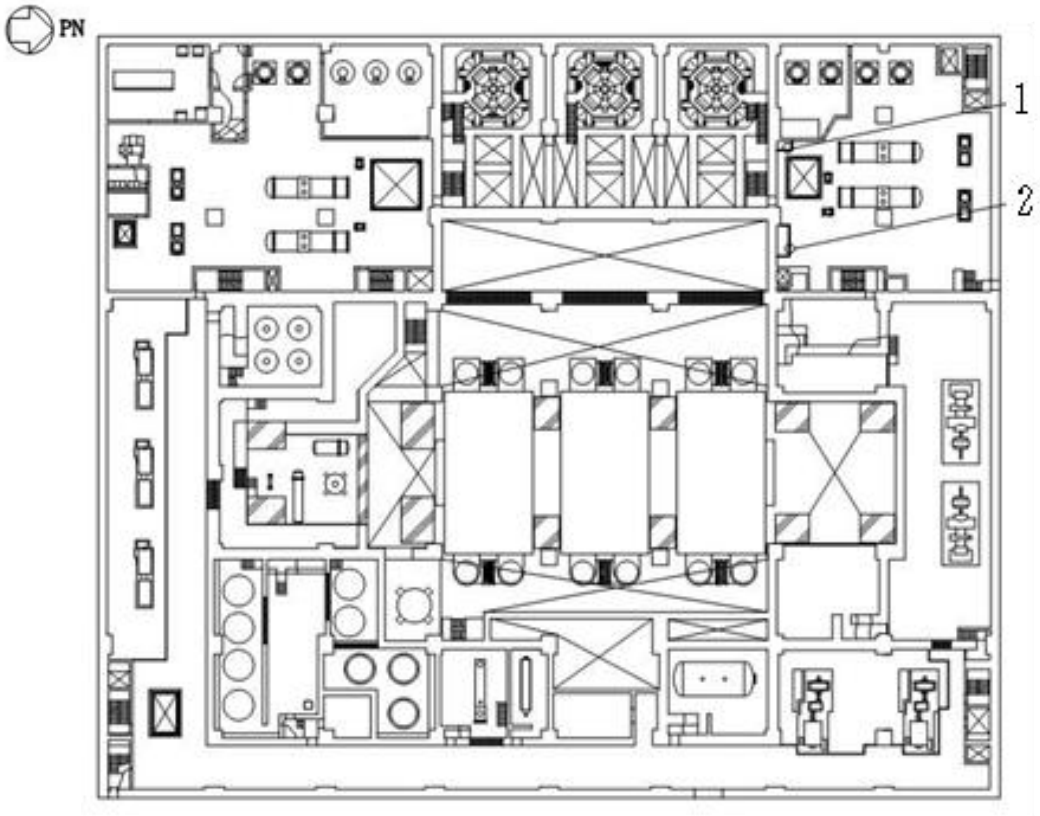


原子炉建屋　T.M.S.L.31700mm

1	原子炉建屋地上４階（R2R3-RARB）オペレーティングフロア　止水堰
2	原子炉建屋地上４階（R2R3-RDRE）オペレーティングフロア　止水堰
3	原子炉建屋地上４階（R2R3-RFRG）オペレーティングフロア　止水堰
4	原子炉建屋地上４階（R6R7-RFRG）非常用ディーゼル発電機(C)区域 排風機室，給気ルーバ室　止水堰
5	原子炉建屋地上４階（R6R7-RERF）通路　止水堰１
6	原子炉建屋地上４階（R6R7-RERF）通路　止水堰２
7	原子炉建屋地上４階（R6R7-RERF）通路　止水堰３

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（9／15）

配置図

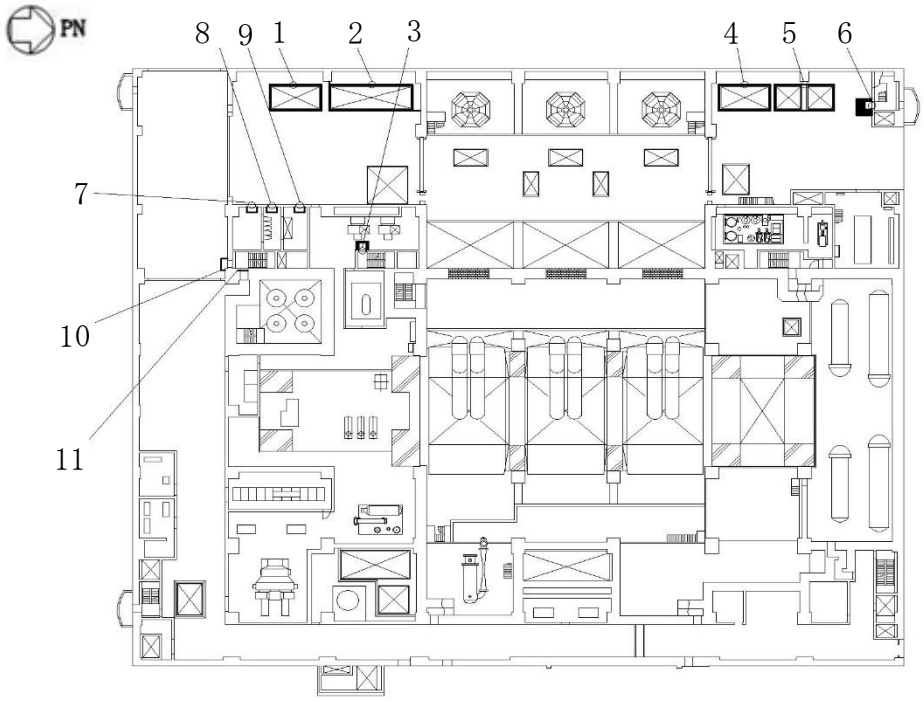


タービン建屋　T.M.S.L.4900mm

1	タービン建屋地下１階（T7T8-TBTC）原子炉補機冷却系 [redacted] 熱交換器・ポンプ室　止水堰
2	タービン建屋地下１階（T7T8-TCTD）原子炉補機冷却系 [redacted] 熱交換器・ポンプ室　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（10／15）

配置図

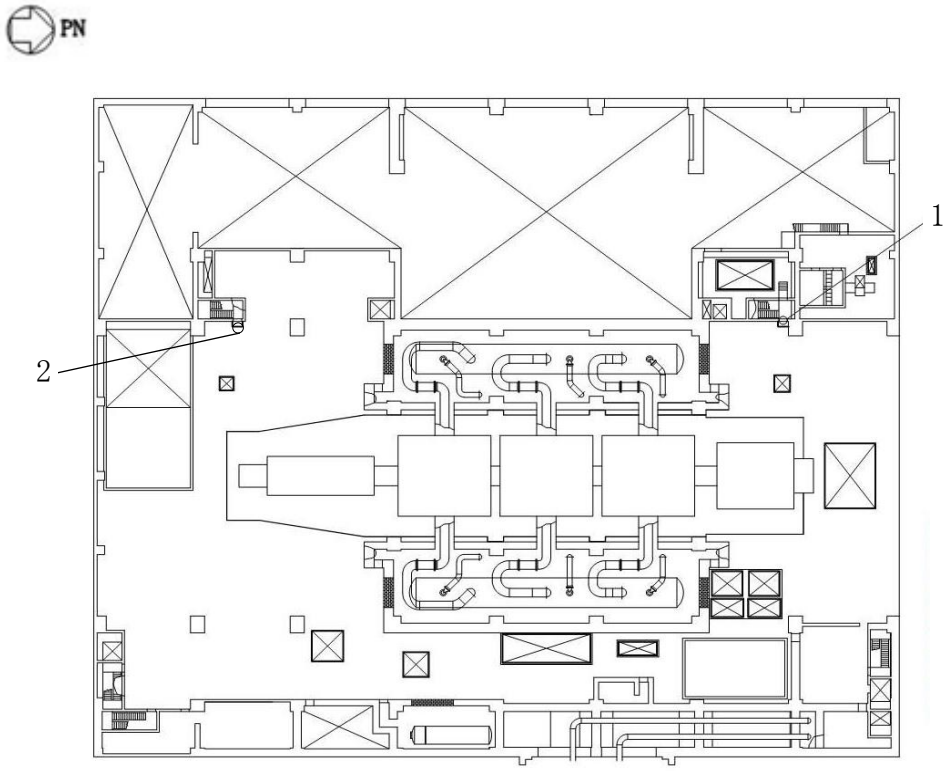


タービン建屋　T.M.S.L.12300mm

1	タービン建屋地上１階（T2T3-TATB）レイダウンスペース　止水堰
2	タービン建屋地上１階（T3T4-TATB）レイダウンスペース　止水堰
3	タービン建屋地上１階（T3T4-TCTD）南階段室　止水堰
4	タービン建屋地上１階（T7T8-TATB）レイダウンスペース　止水堰
5	タービン建屋地上１階（T7T9-TATB）レイダウンスペース　止水堰
6	タービン建屋地上１階（T8T9-TATB）北階段室　止水堰
7	タービン建屋地上１階（T2T3-TBTC）海水熱交換器区域給気エアフィルタ室止水堰１
8	タービン建屋地上１階（T2T3-TBTC）海水熱交換器区域給気エアフィルタ室止水堰２
9	タービン建屋地上１階（T2T3-TBTC）海水熱交換器区域冷却加熱コイル室止水堰
10	タービン建屋地上１階（T1T2-TCTD）南西階段室　止水堰
11	タービン建屋地上１階（T2T3-TCTD）南西階段室　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（11／15）

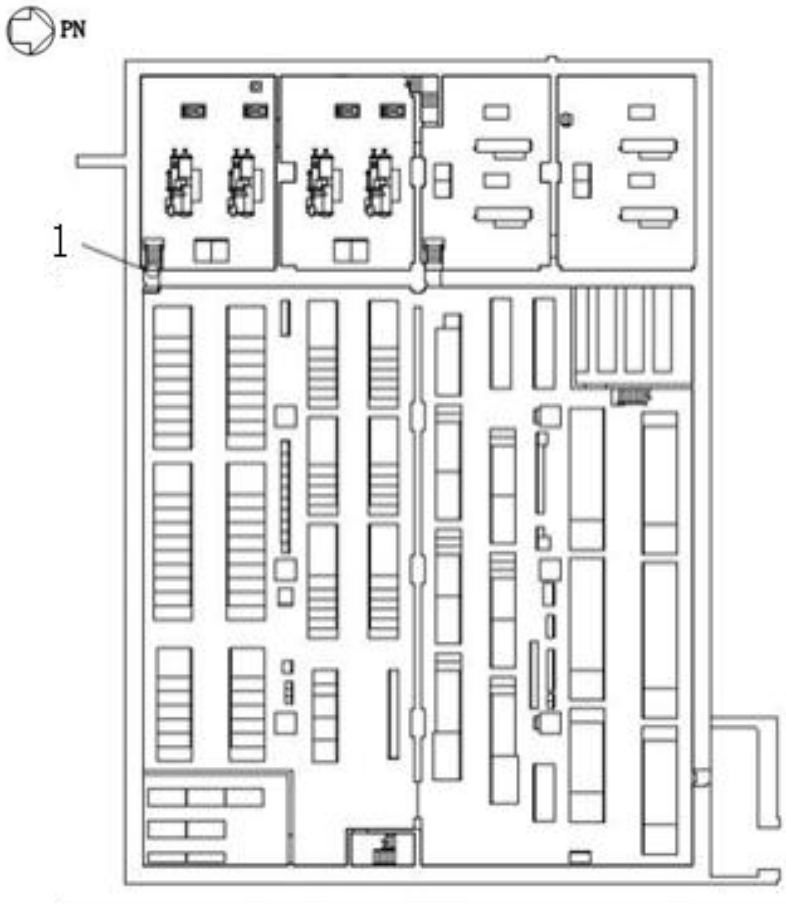
配置図



タービン建屋　T.M.S.L.20400mm

1	タービン建屋地上２階（T7T8-TDTE）北西階段室　止水堰
2	タービン建屋地上２階（T2T3-TCTD）南西階段室　止水堰

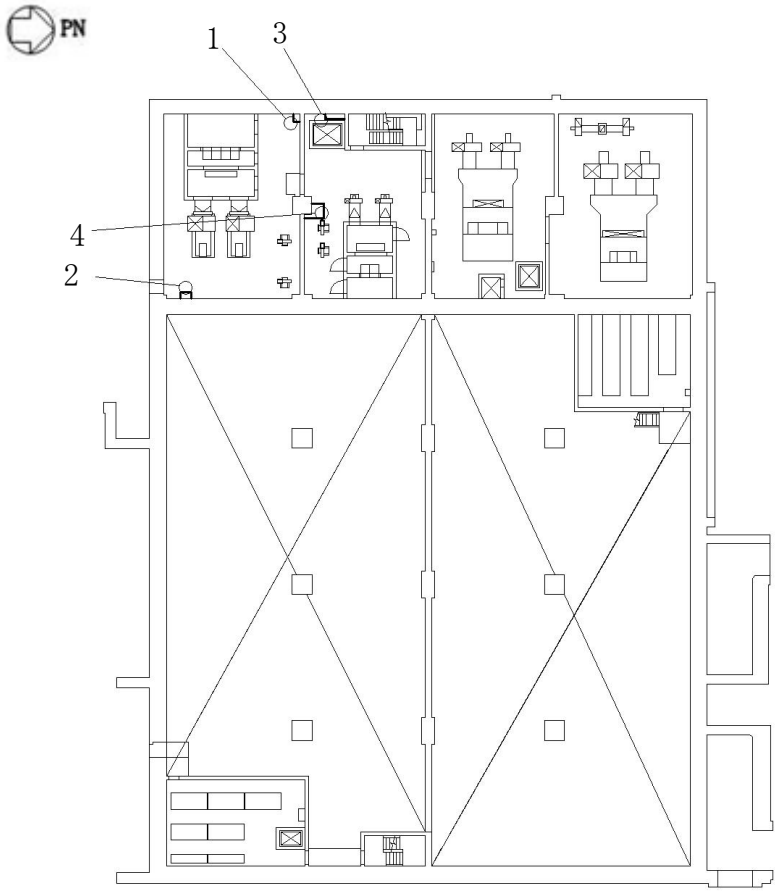
表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（12／15）

配置図
 コントロール建屋　T.M.S.L.－2700mm

1	7 号機コントロール建屋地下 2 階（C1C2-CCCD）常用電気品室　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（13／15）

配置図

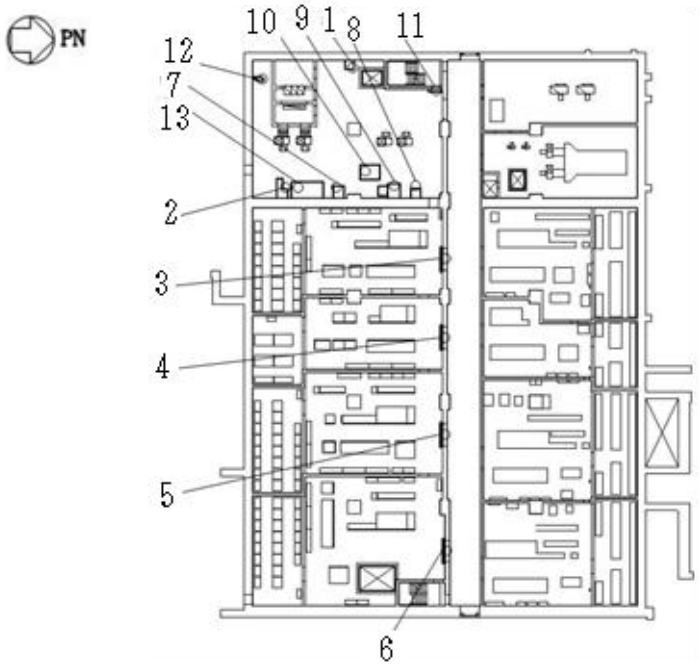


コントロール建屋　T.M.S.L.1000mm

1	7 号機コントロール建屋地下中 2 階（C1C2-CACB）常用電気品区域 送・排風機室　止水堰 1
2	7 号機コントロール建屋地下中 2 階（C1C2-CBCC）常用電気品区域 送・排風機室　止水堰
3	7 号機コントロール建屋地下中 2 階（C2C3-CACB）計測制御電源盤区域 (A)送風機室　止水堰
4	7 号機コントロール建屋地下中 2 階（C2C3-CBCC）計測制御電源盤区域 (A)送風機室　止水堰

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（14／15）

配置図

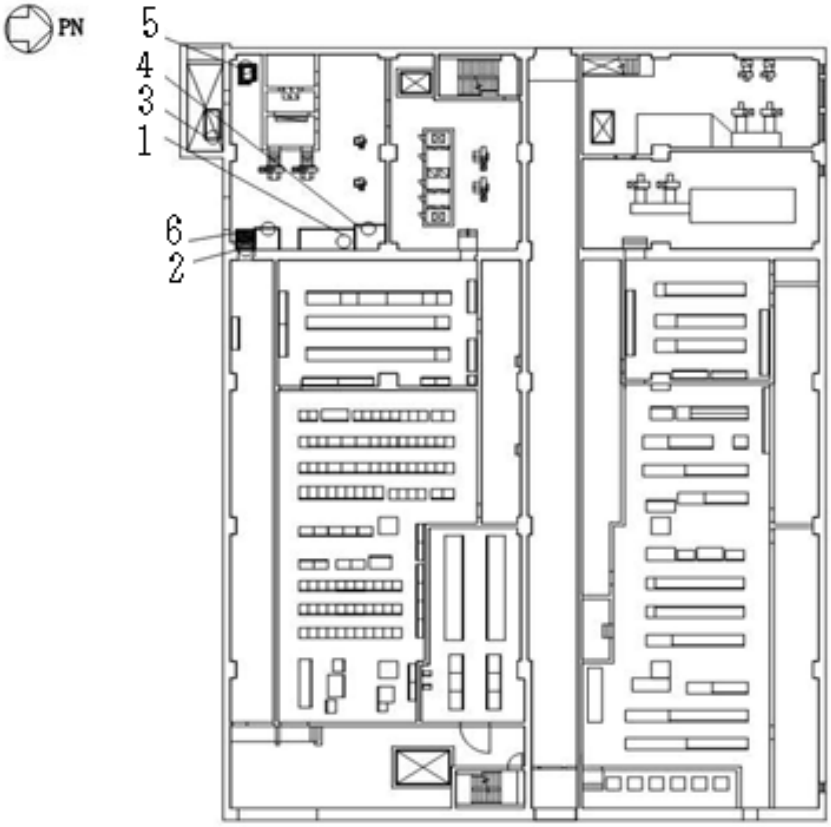


コントロール建屋　T.M.S.L.6500mm

1	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C1C2-CACB）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 2
2	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 3
3	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CCCD）区分Ⅰ計測制御用電源盤室 止水堰
4	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CDCE）区分Ⅳ計測制御用電源盤室 止水堰
5	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CECF）区分Ⅱ計測制御用電源盤室 止水堰
6	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CFCG）区分Ⅲ計測制御用電源盤室 止水堰
7	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 1
8	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CBCC）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 1
9	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CBCC）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 2
10	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CBCC）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 3
11	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C2C3-CACB）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰
12	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C1C2-CACB）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 1
13	7 号機コントロール建屋地下 1 階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 2

表 3.2－5　設置位置（溢水伝播防止堰）（15／15）

配置図



コントロール建屋　T.M.S.L.12300mm

1	7 号機コントロール建屋地上 1 階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(B)送・排風機室　止水堰 2
2	7 号機コントロール建屋地上 1 階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(B)送・排風機室　止水堰 4
3	7 号機コントロール建屋地上 1 階脇トレンチ（C1-CACB）止水堰
4	7 号機コントロール建屋地上 1 階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(B)送・排風機室　止水堰 1
5	7 号機コントロール建屋地上 1 階（C1C2-CACB）計測制御電源盤区域(B)送・排風機室　止水堰
6	7 号機コントロール建屋地上 1 階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(B)送・排風機室　止水堰 3

表 3.2－6　構造計画(溢水伝播防止堰)（1／3）

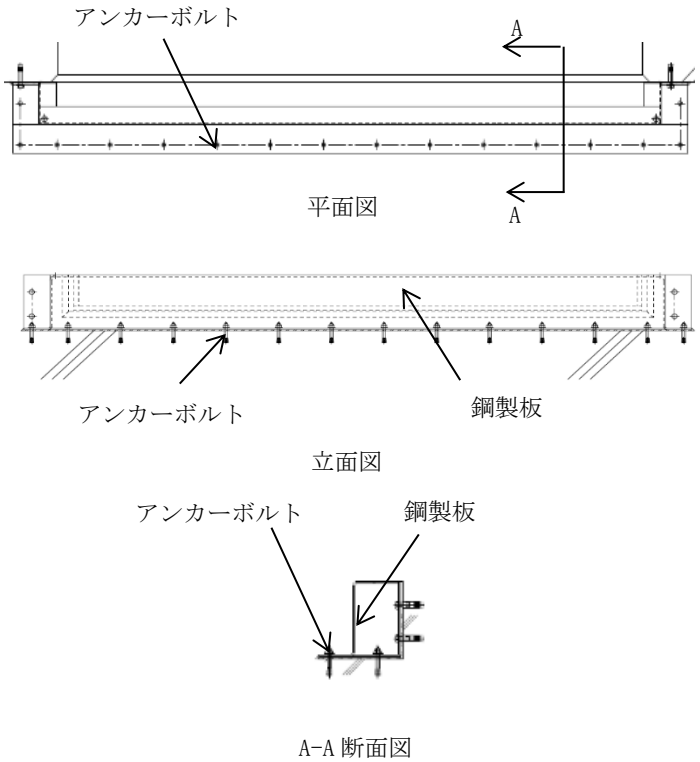
計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
鋼製堰（L型）	鋼製板又はH型鋼，アンカーボルトにて構成する。	鋼製板又はH型鋼を床面にアンカーボルトにて固定する。	

表 3.2－6　構造計画(溢水伝播防止堰) (2／3)

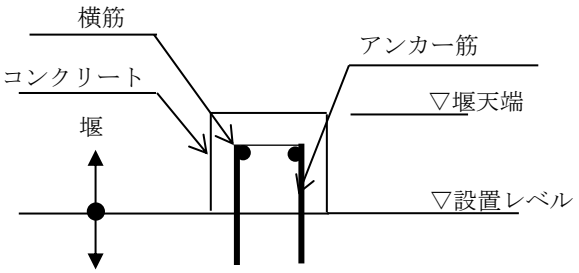
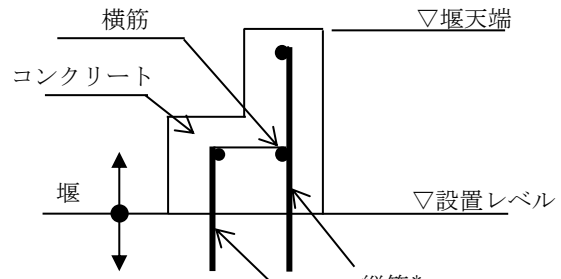
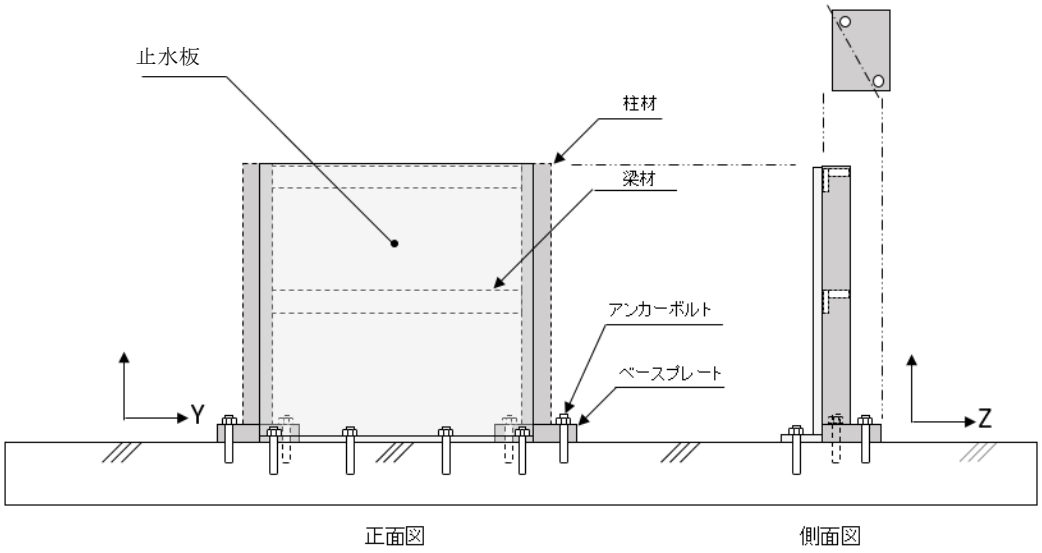
計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
鉄筋コンクリート製堰(一段)	コンクリート，主筋(横筋)及びアンカー筋により構成する。	堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	 既設コンクリート床面 (既存躯体)
鉄筋コンクリート製堰(二段以上)	コンクリート，主筋(縦筋，横筋)及びアンカーボルトにより構成する。	堰を既設コンクリート床面にアンカーボルトで固定する。	 既設コンクリート床面 (既存躯体) 注記＊：鉄筋のうち，既存躯体に埋め込まれた部分をアンカーボルト，堰に敷設した部分を縦筋と定義する。

表 3.2－6　構造計画(溢水伝播防止堰)（3／3）

計画の概要			概略構造図
主体構造		支持構造	
鋼板組合せ堰	止水板，梁材，柱材，ベースプレート及びアンカーボルトにて構成する。	鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	下の構造図参照



構造図（鋼板組合せ堰）

(4) 管理区域外伝播防止堰

a. 構造設計

管理区域外伝播防止堰は,「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

管理区域外伝播防止堰は，鋼製堰及び鉄筋コンクリート製堰に分類できる。

管理区域外伝播防止堰のうち鋼製堰は，鋼製板，芯材及びアンカーボルト等を主体構造とし，既設コンクリートを基礎として，アンカーボルトで固定し支持する構造とする。また，作用する荷重については，鋼製堰に作用し，アンカーボルトを介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

管理区域外伝播防止堰のうち鉄筋コンクリート製堰は，鉄筋コンクリート，アンカー筋又はアンカーボルトを主体構造とし，既設コンクリートを基礎として，アンカー筋又はアンカーボルトで固定し，支持する構造とする。また，作用する荷重については，鉄筋コンクリート製の堰に作用し，アンカー筋を介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

管理区域外伝播防止堰の設置位置を表 3.2－7 に示す。また，管理区域外伝播防止堰の構造計画を表 3.2－8 に示す。

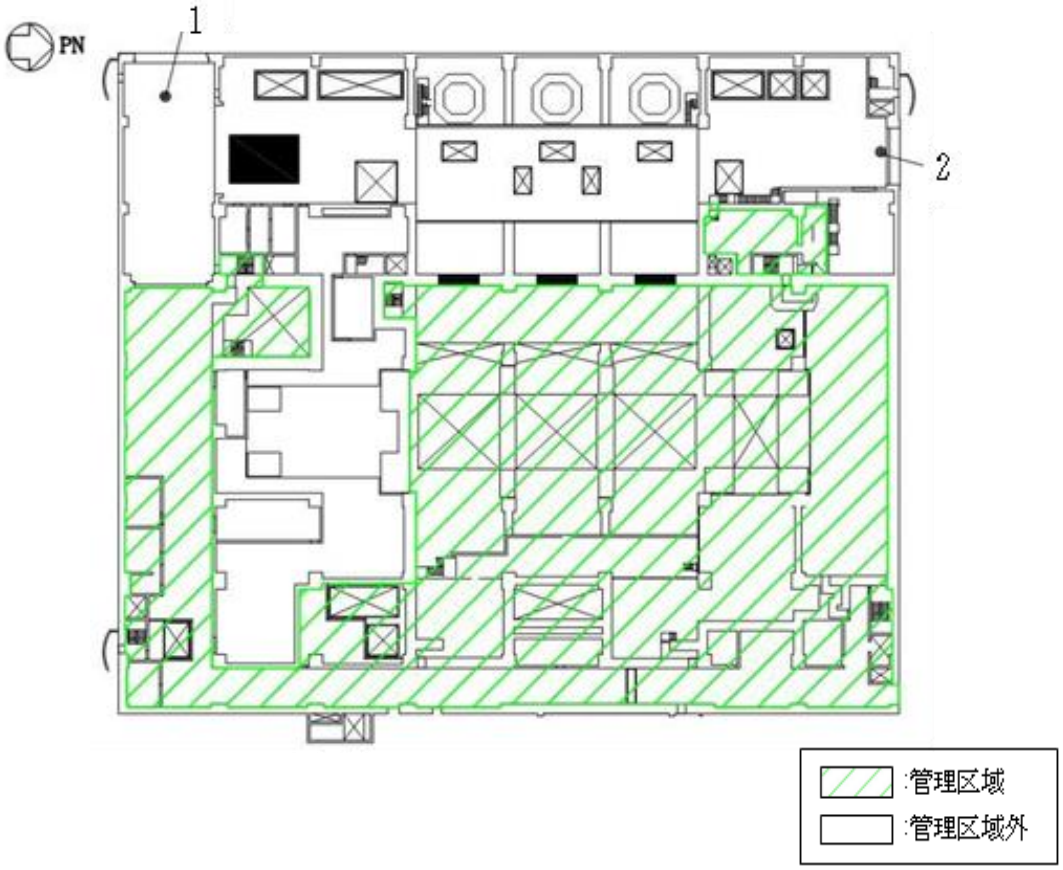
b. 評価方針

管理区域外伝播防止堰は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

管理区域外伝播防止堰は，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，管理区域外伝播防止堰の評価対象部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3.2－7　設置位置(管理区域外伝播防止堰) (1／2)

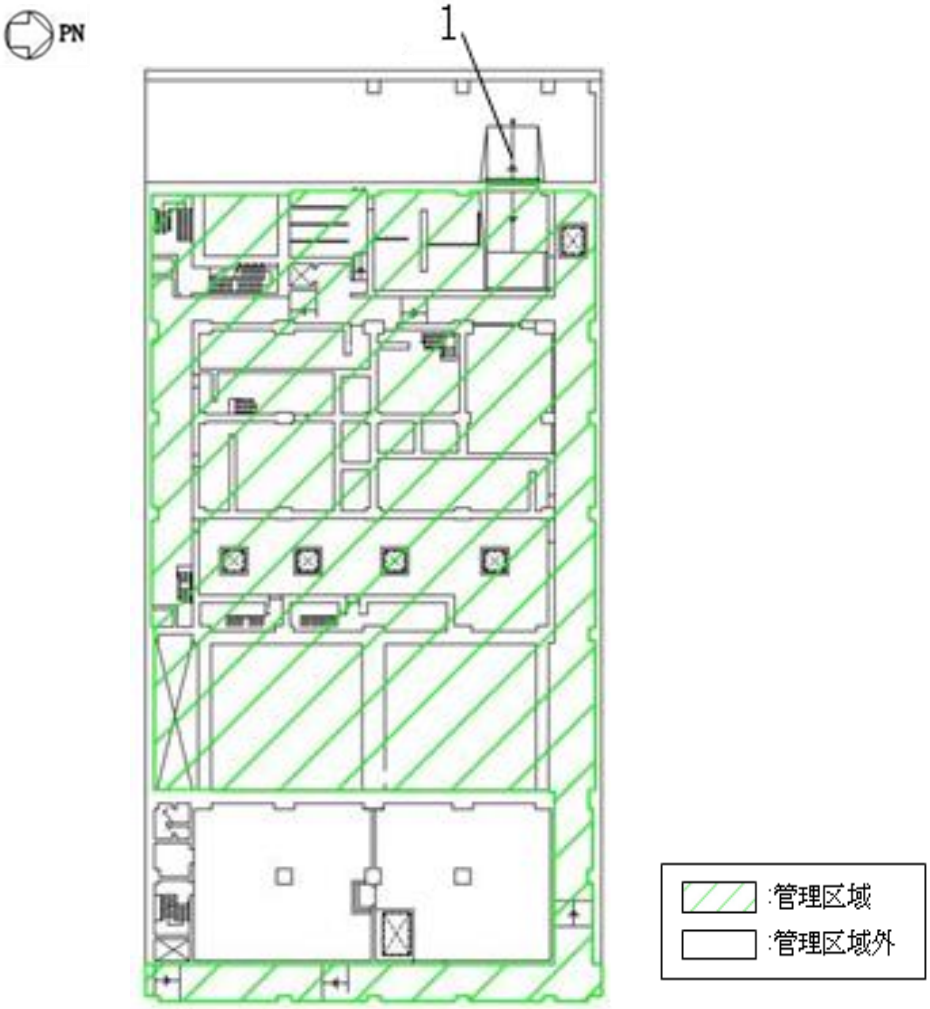
配置図



タービン建屋　T.M.S.L.12300mm

1	タービン建屋地上１階（T1T2-TATB）大物搬出入口　止水堰
2	タービン建屋地上１階（T8T9-TBTC）レイダウンスペース　止水堰

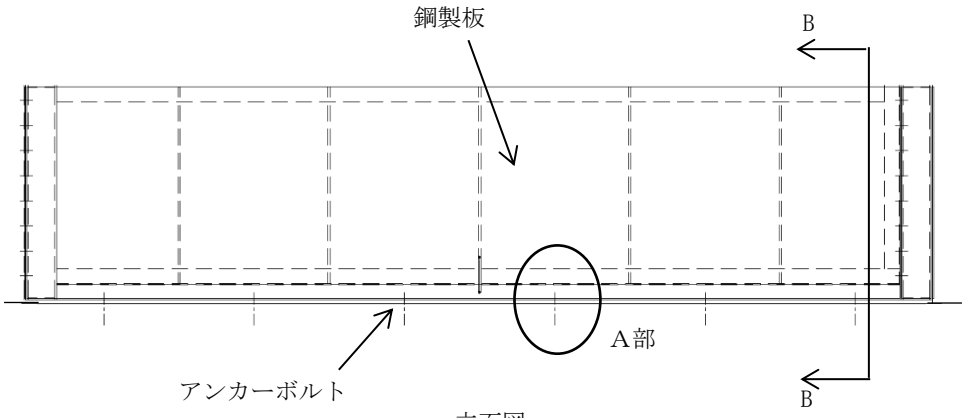
表 3.2－7　設置位置(管理区域外伝播防止堰) (2／2)

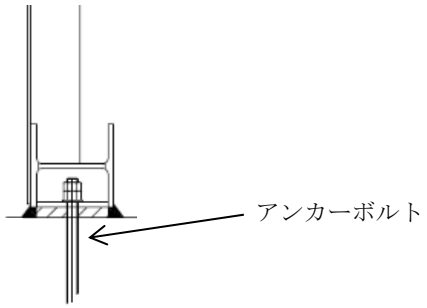
配置図
 廃棄物処理建屋　T.M.S.L.12300mm

1	

表 3.2－8　構造計画(管理区域外伝播防止堰) (1／2)

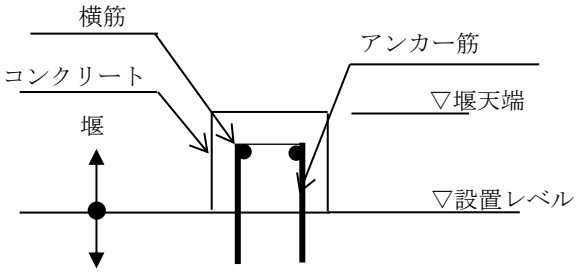
計画の概要	
鋼製堰	
主体構造	鋼製板,アンカーボルトにて構成する。
支持構造	鋼製板をコンクリート躯体にアンカーボルトにて固定する。
概略構造図	





A部詳細断面図

表 3.2－8　構造計画(管理区域外伝播防止堰) (2／2)

計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
鉄筋コンクリート製堰	コンクリート，主筋(横筋)及びアンカー筋により構成する。	堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	 既設コンクリート床面 (既存躯体)

(5) 床ドレンライン浸水防止治具

a. 構造設計

床ドレンライン浸水防止治具は，フロート式治具，スプリング式治具，閉止キャップ及び閉止栓があり，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

フロート式治具は，弁本体，フロート及びフロートガイドを主体構造とし，荷重が作用した場合でもフロート式治具が動かないように床面設置の床ドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定する構造若しくは，台座と取付金具を接着剤で取付け，本体フランジに取付金具をボルトにて固定し，支持する構造とする。また，作用する荷重は，フロート式治具に作用し，ねじ込み又は接着剤で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

スプリング式治具は，弁本体，弁体及び弁体を弁座に導くガイドを主体構造とし，荷重が作用した場合でもスプリング式治具が動かないように床面設置の床ドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定する構造若しくは，台座と取付金具を接着剤で取付け，本体フランジに取付金具をボルトにて固定し，支持する構造とする。また，作用する荷重は，スプリング式治具に作用し，ねじ込み又は接着剤で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

閉止キャップは，閉止キャップを主体構造とし，荷重が作用した場合でも閉止キャップが動かないように床面設置の床ドレン配管にねじ込み固定し，支持する構造とする。また，作用する荷重は，閉止キャップに作用し，ねじ込みで固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

閉止栓は，閉止栓を主体構造とし，荷重が作用した場合でも閉止栓が動かないように床面設置の床ドレン配管にゴムの圧着により固定し，支持する構造とする。また，作用する荷重は，閉止栓に作用し，ゴムの圧着で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

床ドレンライン浸水防止治具の設置位置を表 3.2－9 に示す。また，構造計画を表 3.2－10 に示す。

b. 評価方針

床ドレンライン浸水防止治具は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

床ドレンライン浸水防止治具は発生を想定する溢水による静水圧に対して，床ドレンライン浸水防止治具の評価対象部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－9　設置位置(床ドレンライン浸水防止治具)

設置位置図

建屋名称*	設置階	
原子炉建屋	地下 3 階	T.M.S.L.－8200mm
	地下 2 階	T.M.S.L.－1700mm
	地下 1 階	T.M.S.L.4800mm
タービン建屋	地下 2 階	T.M.S.L.－5100mm
	地下中 2 階	T.M.S.L.－1100mm
	地下 1 階	T.M.S.L.4900mm
コントロール建屋	地下 2 階	T.M.S.L.－2700mm
	地下中 2 階	T.M.S.L.1000mm
廃棄物処理建屋	地下 3 階	T.M.S.L.－6100mm
	地下 1 階	T.M.S.L.6500mm

注記＊：建屋外周エリアを含む

表 3.2－10　構造計画(床ドレンライン浸水防止治具) (1/3)

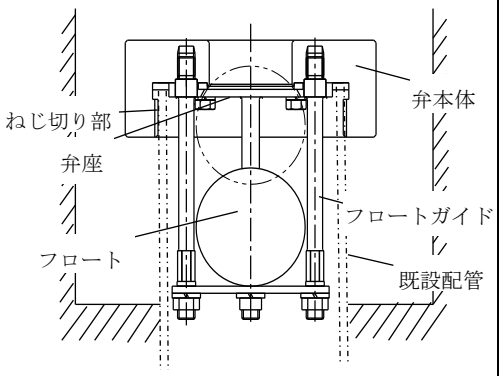
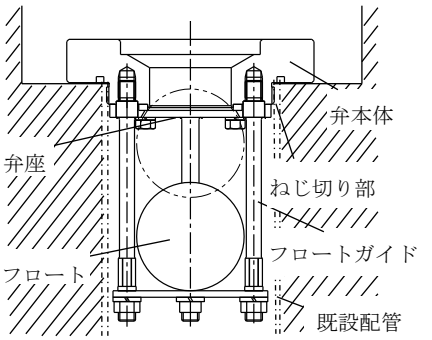
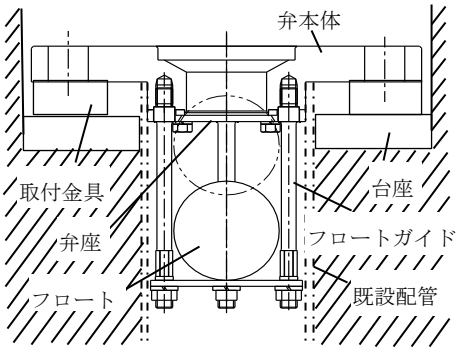
計画の概要				概略構造図
型式		主体構造	支持構造	
フロート式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体,弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型		台座と取付金具を接着剤で固定し,本体フランジと取付金具をボルトで固定する。	

表 3.2－10　構造計画(床ドレンライン浸水防止治具) (2/3)

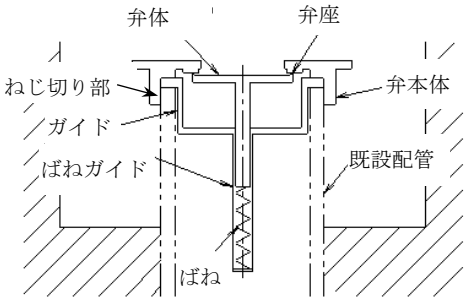
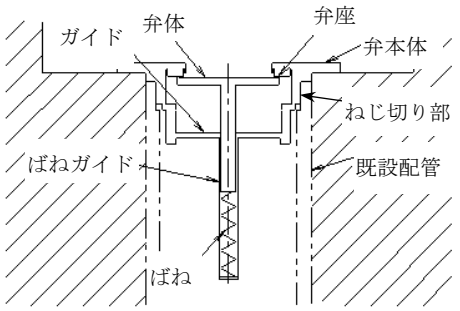
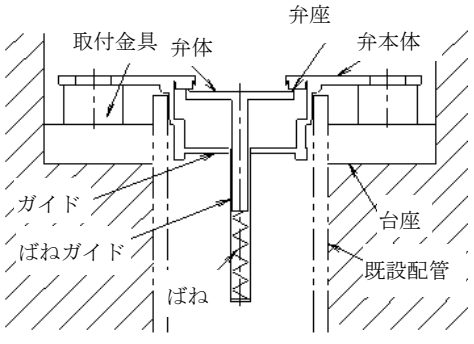
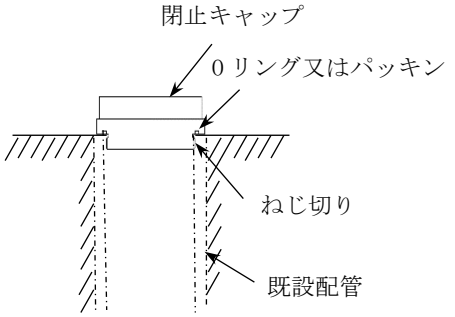
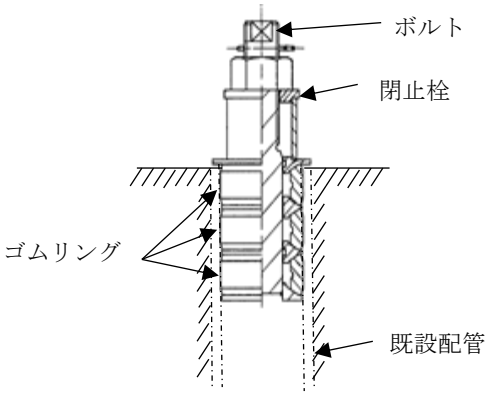
型式		計画の概要		概略構造図
		主体構造	支持構造	
スプリング式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体，弁体，弁体を弁座に導くガイド，ばねが内挿されるばねガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型		台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する。	

表 3.2－10　構造計画(床ドレンライン浸水防止治具) (3/3)

型式	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
閉止キャップ	閉止キャップで構成する。	配管にねじ込み固定する。	
閉止栓	閉止栓で構成する。	ゴムの圧着により固定する。	

(6) 貫通部止水処置

a. 構造設計

貫通部止水処置は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

貫通部止水処置は，建屋内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材，ブーツ，閉止板（鉄板，フラップゲート）及びモルタルにより止水する構造とする。

なお，シール材をケーブルトレイ貫通部の止水に用いる場合は，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填，もしくは塗布する。

また，作用する荷重については，受圧面へ全面的に作用した場合に，止水処置部全体へ伝達する構造とする。

貫通部止水処置の設置位置を表 3.2－11 に示す。また，構造計画を表 3.2－12 に示す。なお，貫通部止水処置の選定については，図 3－1 に示す貫通部止水処置の選定フローによる。

b. 評価方針

貫通部止水処置は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

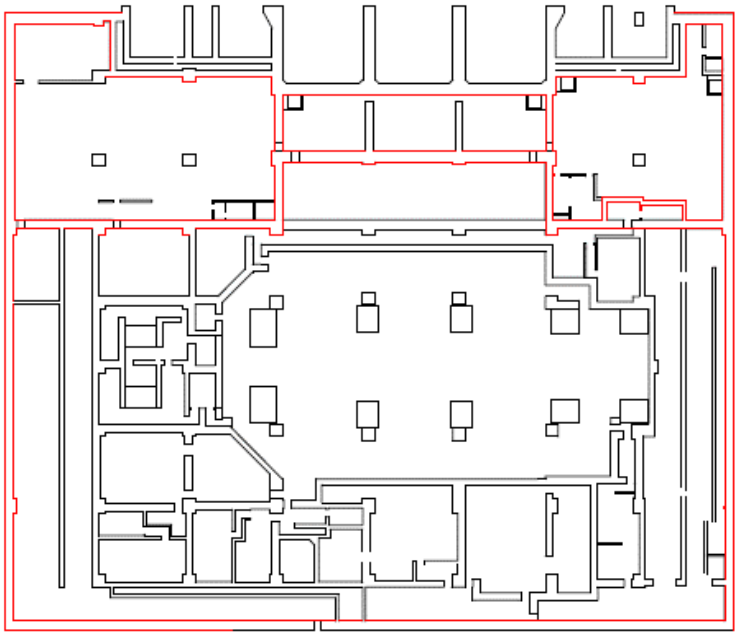
シール材及びブーツによる止水処置については，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，有意な漏えいが生じないことを確認する。

閉止板（鉄板，フラップゲート）及びモルタルによる止水処置については，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

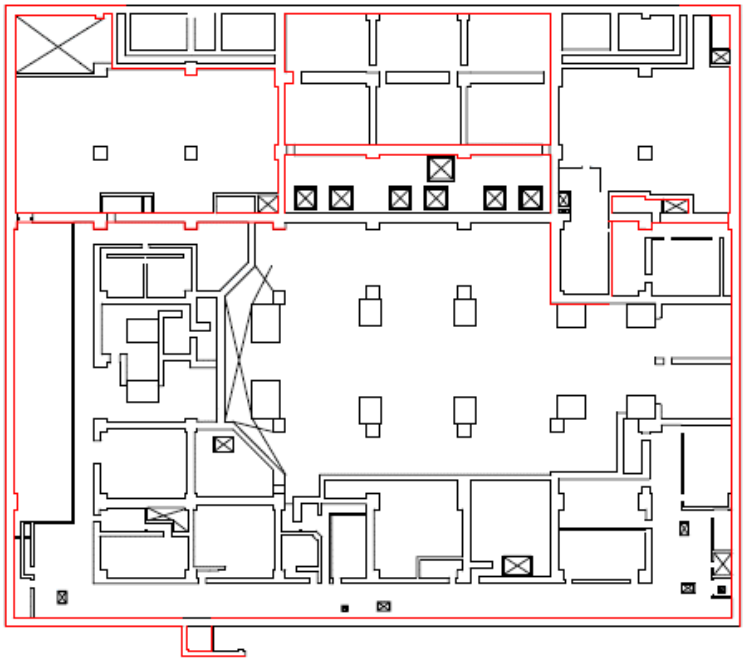
ケーブルトレイ金属ボックスによる止水処置については，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2－11　設置位置（貫通部止水処置）（1／12）

配置図



タービン建屋　T.M.S.L.－5100mm



タービン建屋　T.M.S.L.－1100mm

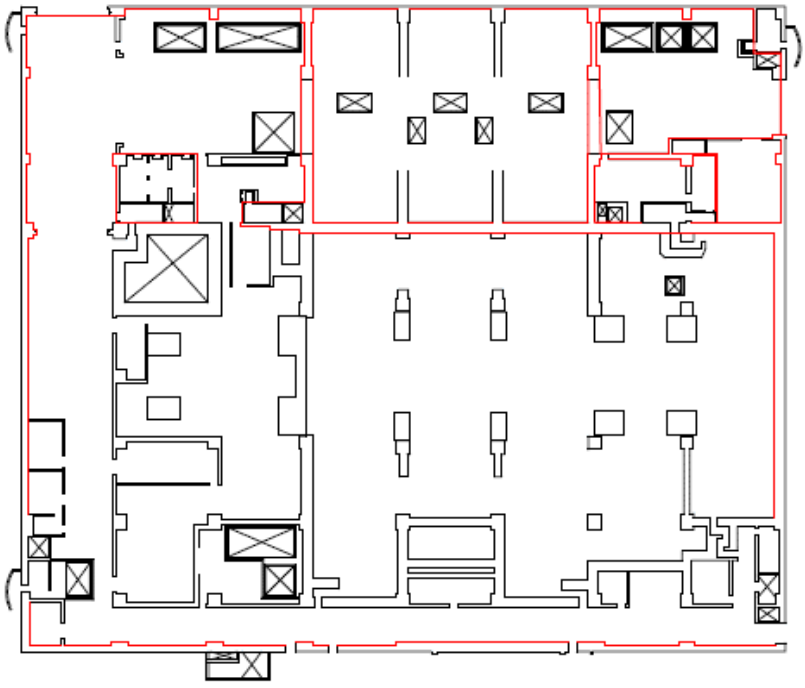
：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (2／12)

配置図



タービン建屋　T.M.S.L.4900mm



タービン建屋　T.M.S.L.12300mm

：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (3／12)

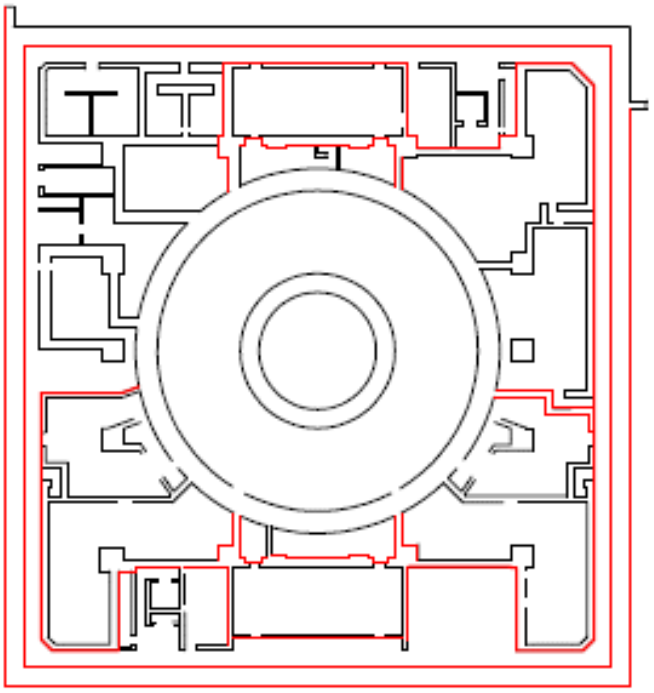
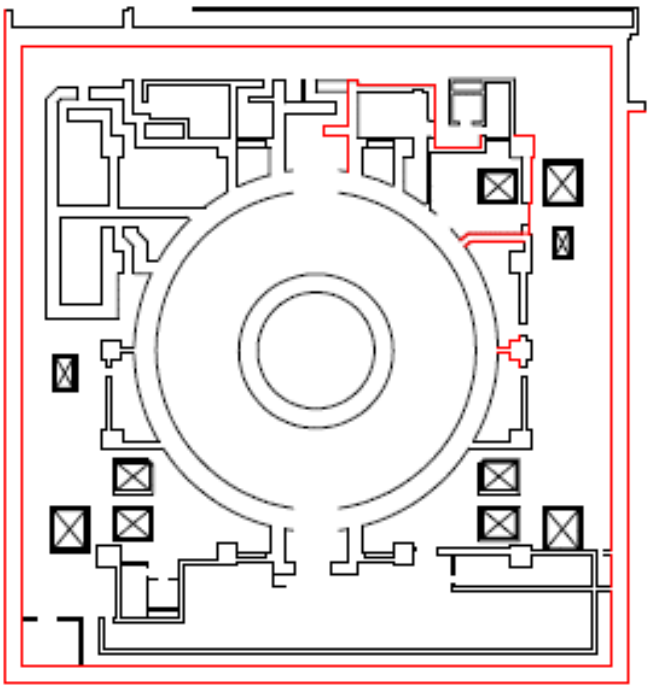
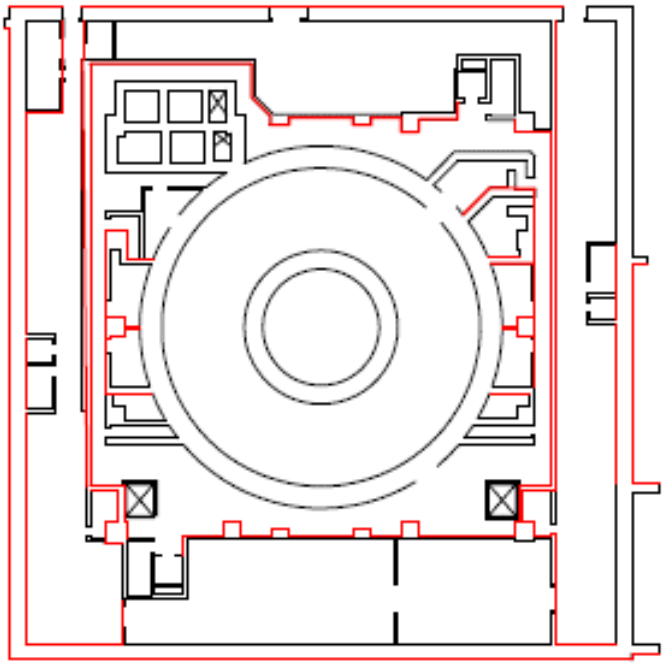
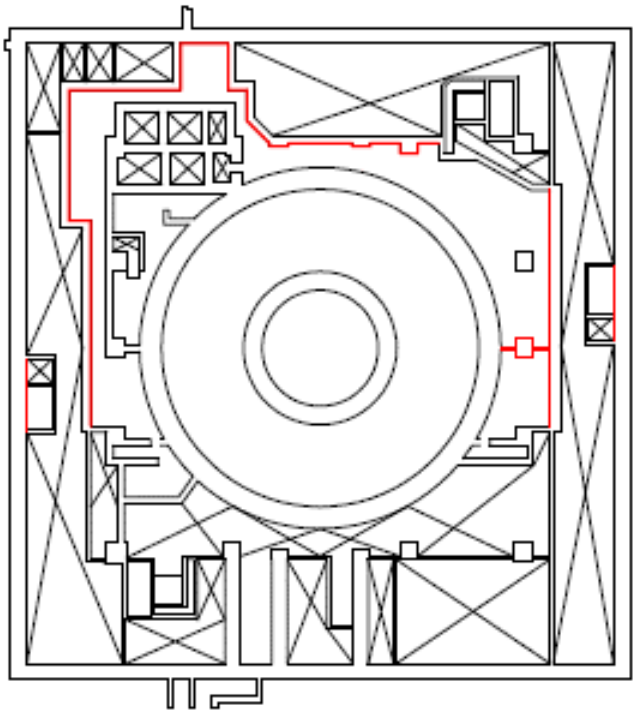
配置図
 原子炉建屋　T.M.S.L.－8200mm  原子炉建屋　T.M.S.L.－1700mm ：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (4／12)

配置図



原子炉建屋　T.M.S.L.4800mm



原子炉建屋　T.M.S.L.8500mm

：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (5／12)

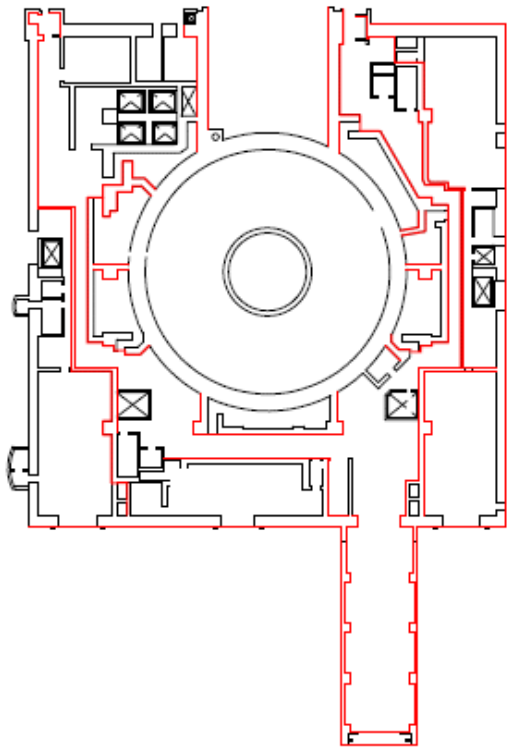
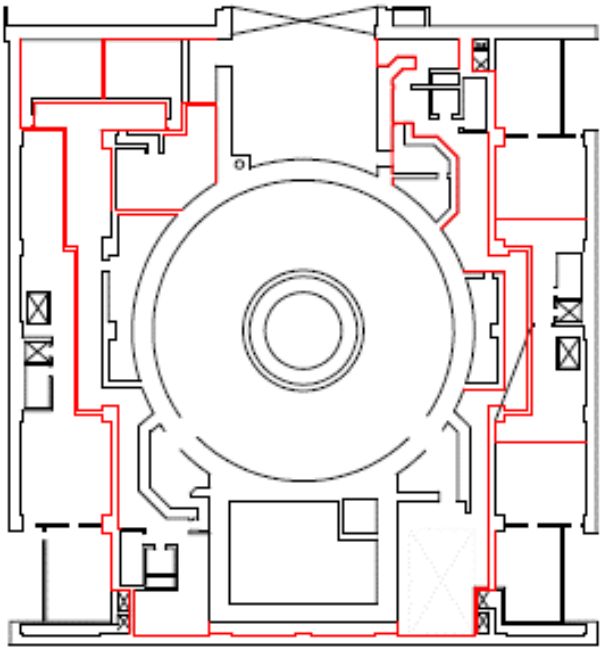
配置図
 原子炉建屋　T.M.S.L.12300mm  原子炉建屋　T.M.S.L.18100mm ：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置貫通部止水処置）（6／12）

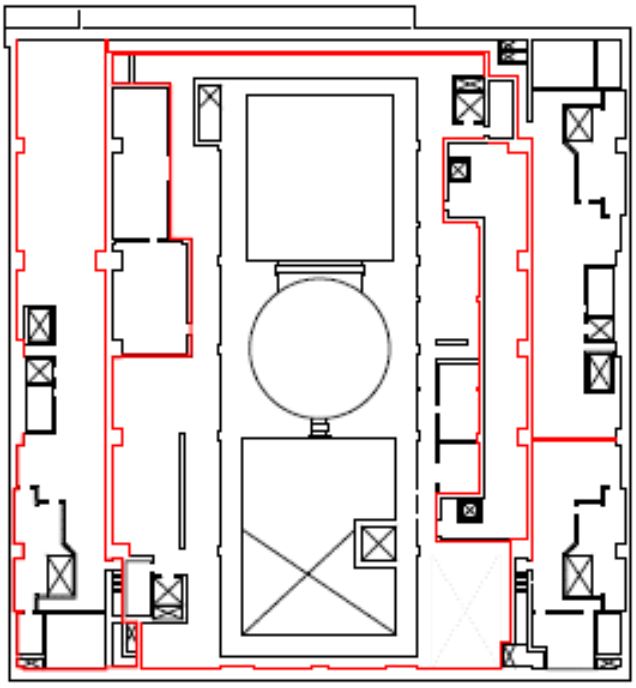
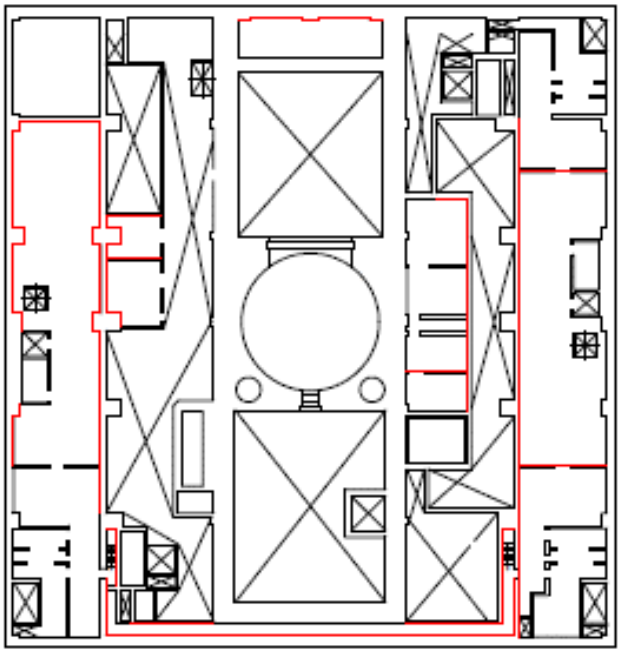
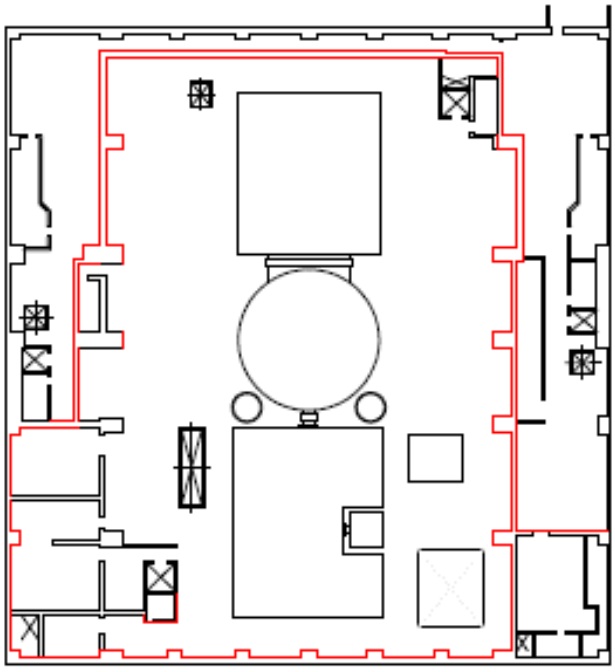
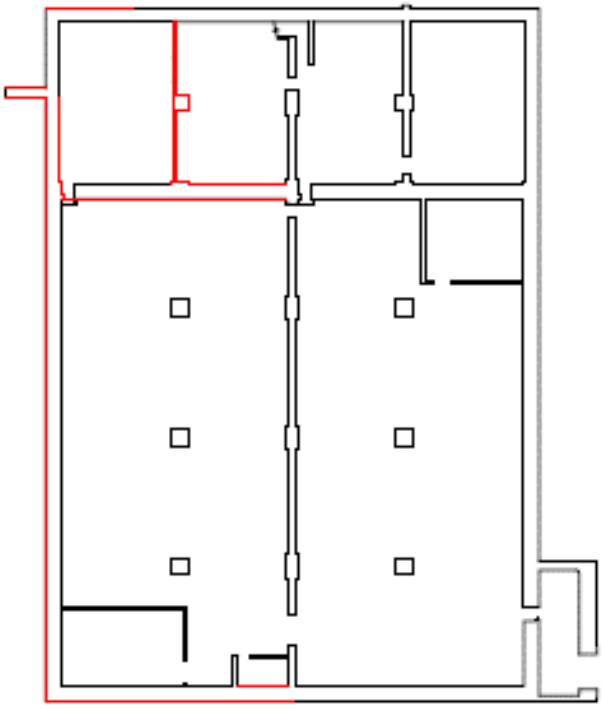
配置図
 原子炉建屋　T.M.S.L.23500mm  原子炉建屋　T.M.S.L.27200mm ：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (7／12)

配置図



原子炉建屋　T.M.S.L.31700mm



コントロール建屋　T.M.S.L.－2700mm

：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (8／12)

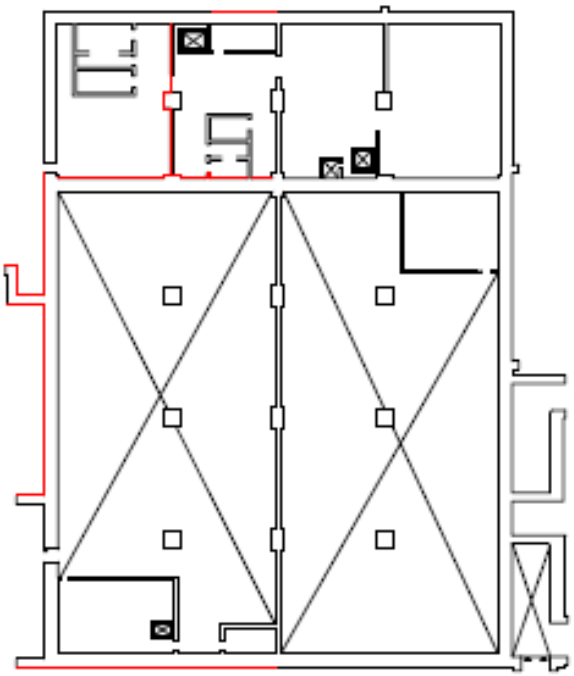
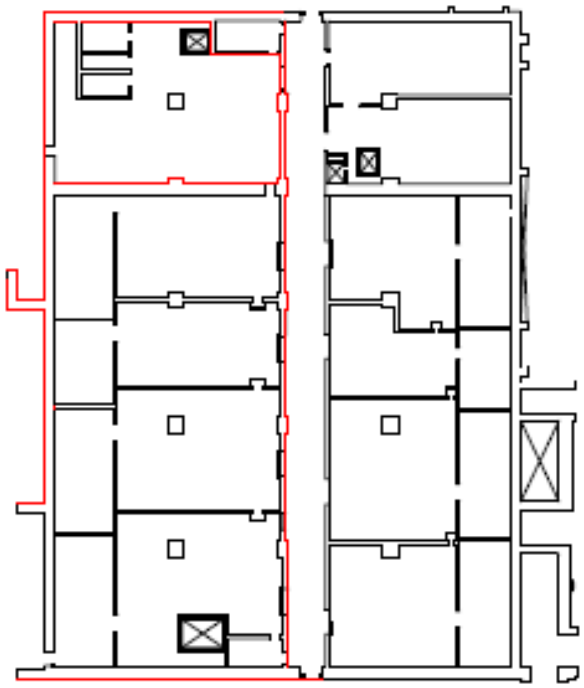
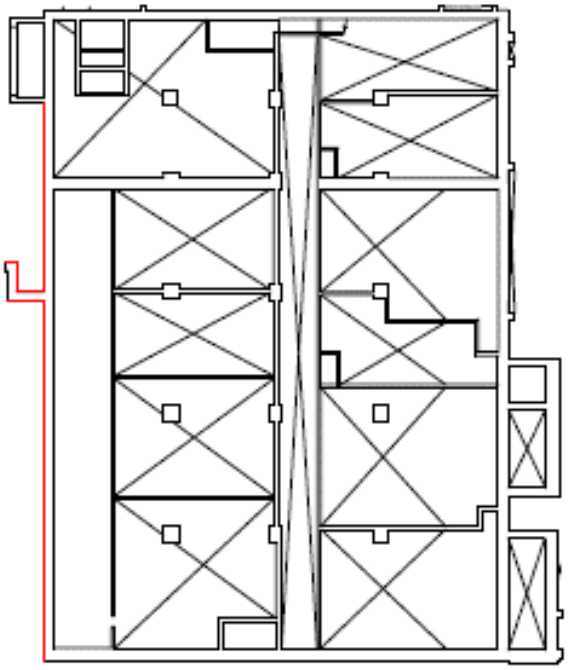
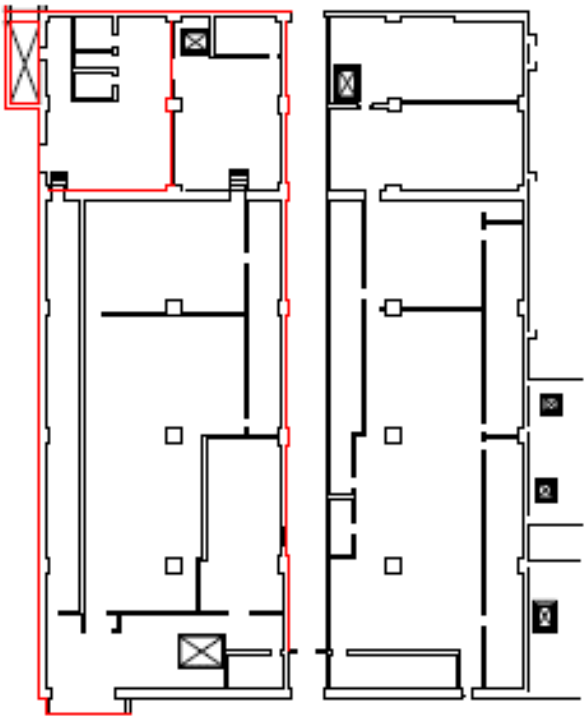
配置図
 コントロール建屋　T.M.S.L.1000mm  コントロール建屋　T.M.S.L.6500mm ：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (9／12)

配置図



コントロール建屋　T.M.S.L.9050mm



コントロール建屋　T.M.S.L.12300mm

：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (10／12)

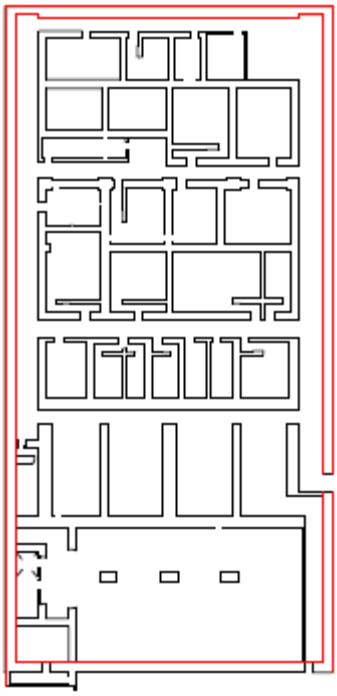
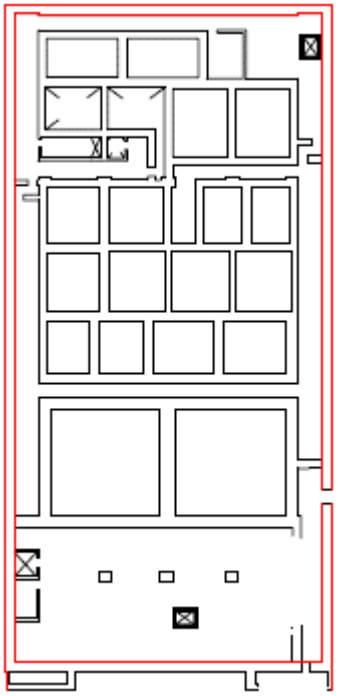
配置図
 廃棄物処理建屋　T.M.S.L.－6100mm  廃棄物処理建屋　T.M.S.L.－1100mm ：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置)（11／12）

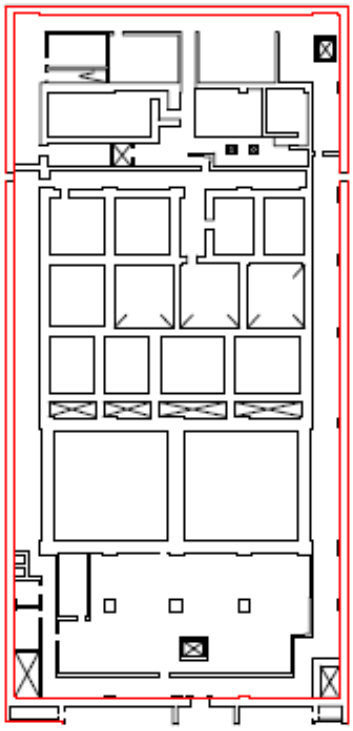
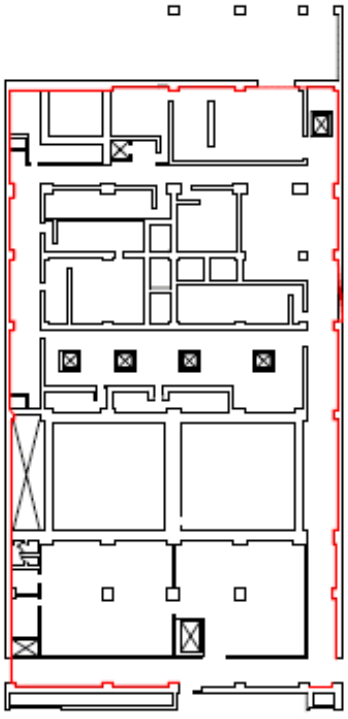
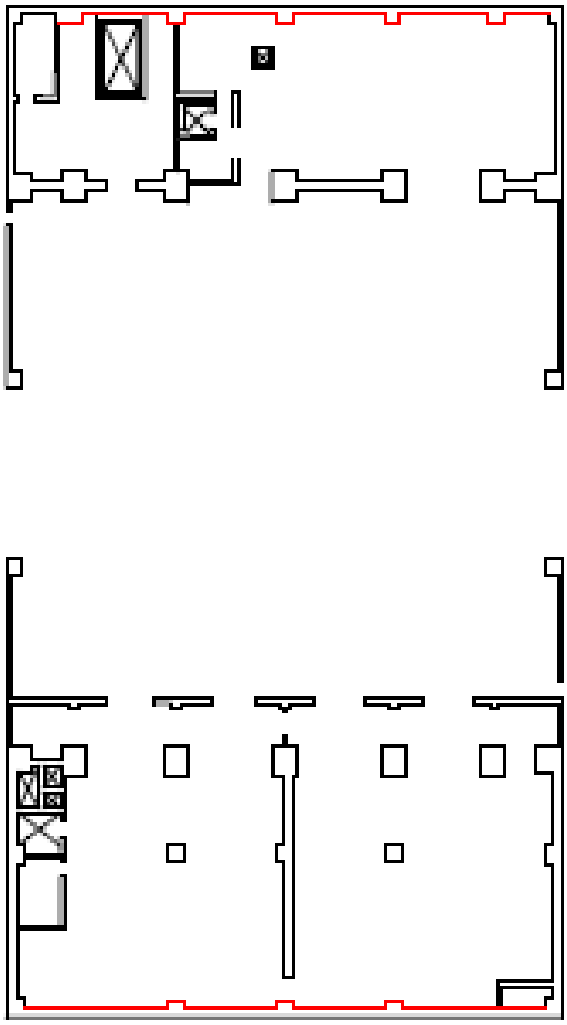
配置図
 廃棄物処理建屋　T.M.S.L.6500mm  廃棄物処理建屋　T.M.S.L.12300mm ：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－11　設置位置(貫通部止水処置) (12／12)

配置図



廃棄物処理建屋　T.M.S.L.20400mm

：貫通部止水処置を実施する壁面

表 3.2－12　構造計画(貫通部止水処置) (1／3)

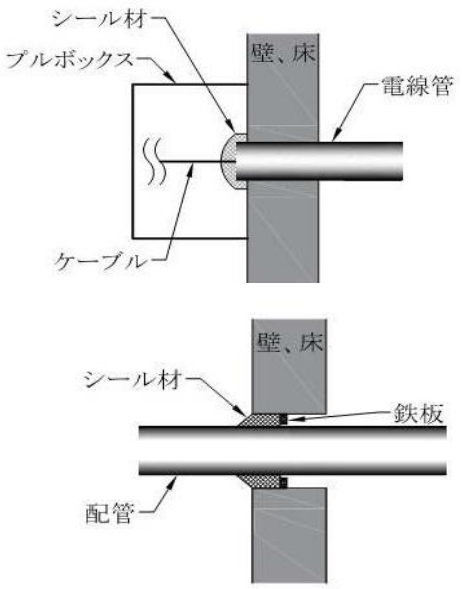
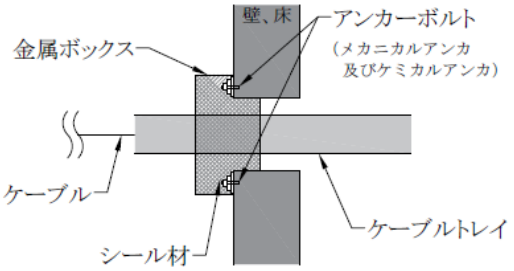
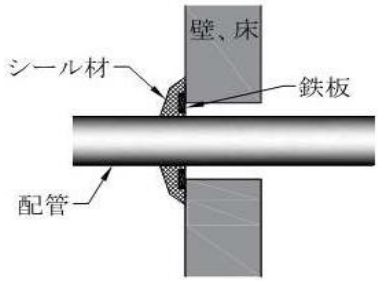
<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td rowspan="2">充填タイプのシール材にて構成する。</td><td>貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</td><td>
</td></tr>
<tr><td>シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁･床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填，もしくは塗布する。
シール材は，施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。</td><td>
</td></tr>
<tr><td>コーキングタイプのシール材にて構成する。</td><td>貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</td><td>
</td></tr>
</table>

表 3.2－12　貫通部止水処置の構造計画（2／3）

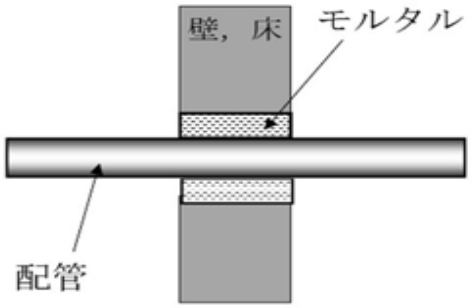
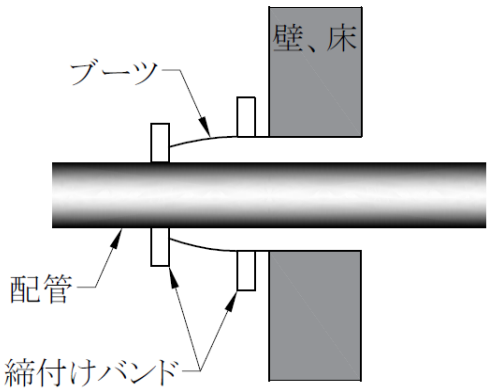
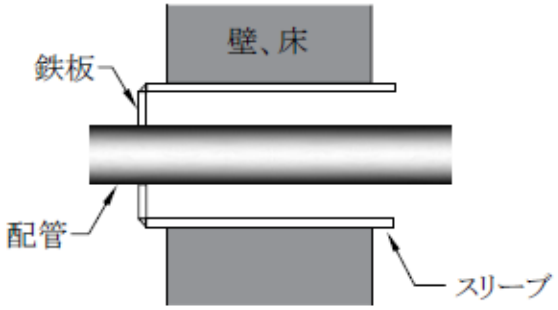
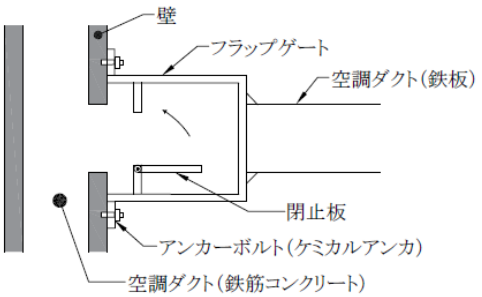
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁面又は床面に溶接した取付用座と配管にて締付けバンドにて締結する。	

表 3.2－12　貫通部止水処置の構造計画（3／3）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鉄板にて閉止する構成とする。	貫通部の開口部に鉄板を挿入し，溶接によって接合する。	
閉止栓を内包するフラップゲートにて構成する。	空調ダクト（鉄筋コンクリート）と空調ダクト(鉄板)の間にフラップゲートを設置し、フラップゲートは空調ダクト（鉄筋コンクリート）壁面にアンカーボルトで固定する。	

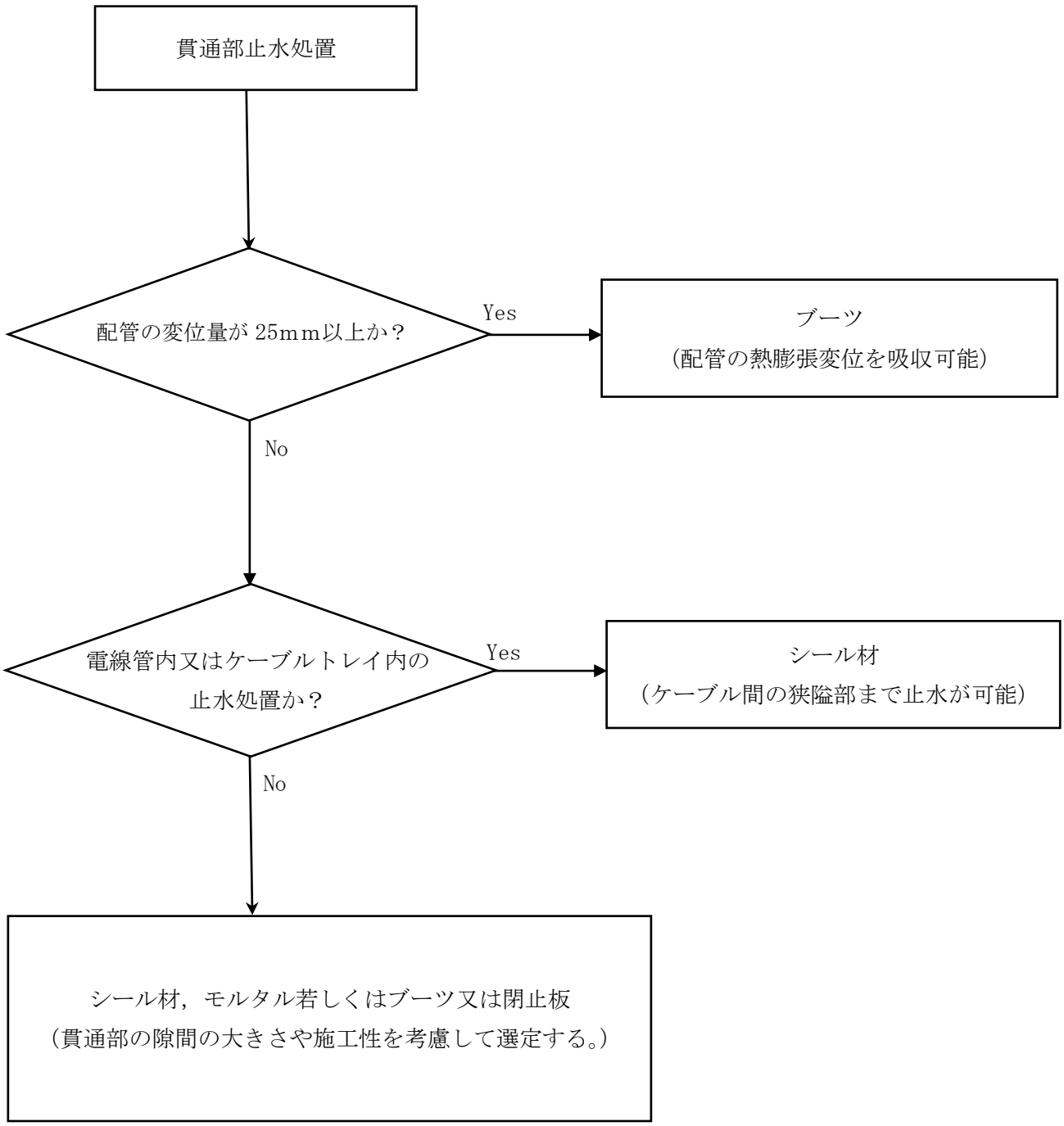


図 3－1　貫通部止水処置の選定フロー

4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

溢水防護に係る施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2　許容限界」に示す。

4.1　荷重及び荷重の組合せ

(1)　荷重の種類

a.　自重（D）

常時作用する荷重は，自重とする。

b.　溢水による静水圧荷重（Ｐｈ）

発生を想定する溢水による静水圧荷重は，各施設の設置位置における溢水水位から算出した施設の溢水水位を用いて設計用の静水圧荷重(動水圧は考慮しない)として算出する。

(2)　荷重の組合せ

溢水防護に係る施設の強度評価では，発生を想定する溢水による静水圧荷重（Ｐｈ）を考慮する。

表 4－1　溢水防護に係る施設の荷重の組合せ

評価対象施設	自重 （D）	静水圧荷重 （Ｐｈ）
水密扉	－	○
水密扉付止水堰	－	○
溢水伝播防止堰	－	○
管理区域外伝播防止堰	－	○
床ドレンライン 浸水防止治具	○	○
貫通部止水処置	○	○

a.　溢水による静水圧荷重（Ｐｈ）

溢水による静水圧荷重（Ｐｈ）は，次式を用いて算出する。なお，荷重の算出に用いる密度（ρ）は，想定される溢水源から純水又は海水とする。

溢水による動水圧荷重の説明図を図 4－1 に，強度評価に用いる溢水の密度を表 4－2 に示す。

$$Ph = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

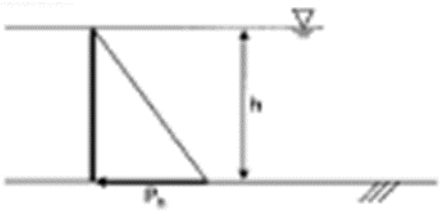


図 4－1　溢水による静水圧荷重の説明図

表 4－2　強度評価に用いる溢水の密度

溢水の性状	溢水の密度(kg/m^3)
純水	1000
海水	1030

4.2　許容限界

許容限界は，溢水による静水圧荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた，施設ごとの評価対象部位における許容限界を表 4－3 に示す。

各施設の許容限界の詳細は，各計算書で評価対象部位の機能損傷モードを踏まえ評価項目を選定し，評価対象部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1　施設ごとの評価対象部位における許容限界

(1)　水密扉

水密扉の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a.　扉板，芯材及び締付装置部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，扉板，芯材及び締付装置部が，おおむね弾性状態にとどま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，「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b.　アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどま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，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(2)　水密扉付止水堰

a.　水密扉部

(a)　扉板，芯材及び締付装置部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，扉板，芯材及び締付装置部の構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b)　アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方

針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

b. 止水堰部

(a) 鋼製板及び芯材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼製板及び芯材の構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準−許容応力度設計法−((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(3) 溢水伝播防止堰

溢水伝播防止堰の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 鋼製板及び止水板

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼製板及び止水板が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ,「鋼構造設計規準−許容応力度設計法−((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. コンクリート，アンカー筋及び縦筋

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，コンクリート，アンカー筋及び縦筋の構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，コンクリートについては「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−」((社) 日本建築学会，1999 年改定) を踏まえた短期許容応力度を許容限界とし，アンカー筋及び縦筋については「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

c. 梁材，柱材及びベースプレート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするために，梁材，柱材及びベースプレートが，おおむね弾性状態にとどまることを

計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「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）における短期許容応力度を許容限界として設定する。

d. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどま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，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(4) 管理区域外伝播防止堰

管理区域外伝播防止堰の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 鋼製板

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼製板が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，許容限界は，「鋼構造設計規準−許容応力度設計法−((社)日本建築学会,2005 改定)」を踏まえた，短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. コンクリート，アンカー筋及び縦筋

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，コンクリート，アンカー筋及び縦筋の構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，コンクリートについては「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−」（(社) 日本建築学会，1999 年改定）を踏まえた短期許容応力度を許容限界とし，アンカー筋及び縦筋については「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

c. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，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 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(5) 床ドレンライン浸水防止治具

床ドレンライン浸水防止治具の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. フロート式治具

(a) 弁本体及びフロートガイド

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために弁本体及びフロートガイドの構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III_AS}$）を許容限界として設定する。

(b) フロート及び取付部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするためにフロート及び取付部がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

b. スプリング式治具

(a) 弁本体・ガイド，ばねガイド，弁体

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために弁本体・ガイド，ばねガイド，弁体の構造部材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，許容限界は，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III_AS}$）を許容限界として設定する。

(b) 弁体，取付部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために弁体及び取付部がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. 閉止キャップ

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

d. 閉止栓

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(6) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. シール材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材が，有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツが，有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，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 年制定）に基づき算定し，許容付着荷重として設定する。

d. 鉄板

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口または貫通口と貫通物の隙間に施工する鉄板が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，許容限界は，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

e. フラップゲート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，空調ダクト開口部に施工するフラップゲートが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，フラップゲートのアンカーボルトの許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算出し，許容限界として設定する。

f. ケーブルトレイ金属ボックス

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工する金属ボックス及びアンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む)）ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１－2005／2007 ((社) 日本機械学会)」に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ）を許容限界として設定する。

表 4－3　施設ごとの評価対象部位の許容限界（1／5）

施設名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
水密扉	Ｐｈ	扉板，芯材	曲げ， せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）を踏まえ，短期許容応力度以下とする。
		締付装置部	曲げ， せん断， 引張り		
		アンカーボルト	引張り， せん断		「各種合成構造設計指針・同解説（(社）日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定した，許容耐力以下とする。
水密扉付止水堰	Ｐｈ	＜水密扉部＞ 扉板，芯材	曲げ， せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）を踏まえ，短期許容応力度以下とする。
		＜水密扉部＞ 締付装置部	曲げ， せん断， 引張り		
		＜止水堰部＞ 鋼製板，芯材	曲げ， せん断		
		アンカーボルト	引張り， せん断		「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づき算定した，許容耐力以下とする。

表 4－3　施設ごとの評価対象部位の許容限界（2／5）

施設名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
溢水伝播防止堰	Ｐｈ	鋼製板 止水板 梁材 柱材 ベースプレート	曲げ， せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		アンカーボルト	引張り， せん断		「各種合成構造設計指針・同解設」（（社）日本建築学会，2010 年改定）を踏まえ短期許容荷重以下とする。
		コンクリート	圧縮， せん断		「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-」（（社）日本建築学会，1999 年改定）を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		アンカー筋， 縦筋	引張り， せん断		「各種合成構造設計指針・同解設」（（社）日本建築学会，2010 年改定）を踏まえ短期許容荷重以下とする。

表 4－3　施設ごとの評価対象部位の許容限界(3／5)

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
管理区域外伝播防止堰	Ｐｈ	鋼製板	圧縮，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		アンカーボルト	引張り，せん断		「各種合成構造設計指針・同解設」（（社）日本建築学会，2010 年改定）を踏まえ短期許容荷重以下とする。
		コンクリート	圧縮，せん断		「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-」（（社）日本建築学会，1999 年改定）を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		アンカー筋，縦筋	引張り，せん断		「各種合成構造設計指針・同解設」（（社）日本建築学会，2010 年改定）を踏まえ短期許容荷重以下とする。

表 4－3　施設ごとの評価対象部位の許容限界(4／5)

設備名称		荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
床ドレンライン浸水防止治具	フロート式治具	D＋P_h	弁本体，フロートガイド	圧縮	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓ）以下とする。
			フロート	圧縮	有意な漏えいに至る変形	水圧試験で確認した水圧以下とする。
			取付部	引張り		
	スプリング式治具	D＋P_h	弁本体，フロートガイド	圧縮	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ Ｓ ＮＣ１－2005/2007」（日本機械学会）に準じた共用状態Ｃの許容応力（許容応力状態Ⅲ$_A$Ｓ）以下とする。
			ばねガイド			
			弁体	平板の曲げ		
			弁体及び取付部	圧縮	有意な漏えいに至る変形	水圧試験で確認した水圧以下とする。
	閉止キャップ		閉止キャップ			
	閉止栓		閉止栓			

表 4－3　施設ごとの評価対象部位の許容限界(5／5)

設備名称	荷重の組合せ	評価対象部位		機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
貫通部止水処置	P_h	シール材		せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		ブーツ		せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		モルタル		せん断，圧縮	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書【構造性能照査】（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づいて算出される許容付着荷重以下とする。
		閉止板	鉄板	引張り，せん断，曲げ		「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ ＳＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態III_AＳ）以下とする。
			フラップゲート	引張り，せん断	・部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態 ・有意な漏えいが生じる状態	・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ ＳＮＣ1－2005/2007」(日本機械学会)に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力III_AＳ）以下とする。 ・水圧試験で確認した水圧以下とする。
		ケーブルトレイ金属ボックス	金属ボックス	曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年度版(2007 年追補版を含む)）＜第Ⅰ編 軽水炉規格＞ ＪＳＭＥ ＳＮＣ1－2005/2007」（日本機械学会）に準じた供用状態Ｃの許容応力（許容応力状態III_AＳ）以下とする。
			アンカーボルト	引張り，せん断		

4.2.2　許容限界設定方法

(1)　モルタルの許容限界式

a.　記号の定義

モルタルの許容限界式に用いる記号を，表 4－4 に示す。

表 4－4 モルタルの許容限界式に用いる記号

記号	単位	定義
f'_{bok}	N/mm²	モルタルの付着強度
f'_{ck}	N/mm²	モルタルの圧着強度
f_s	kN	モルタルの許容付着荷重
L	mm	モルタルの充てん深さ
S	mm	貫通物の周長
γ_c	—	材料定数

b.　許容限界式

「コンクリート標準示方書（構造性能照査編）」（(社）土木学会，2002 年改定）より，貫通物がせん断荷重を受ける場合のモルタルの許容付着荷重を求める式を以下に示す。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot \frac{L}{\gamma_c}$$

ここで，

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'^{2/3}_{ck} \cdot 0.4$$

5. 強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・定式化された評価式を用いた解析法

5.1 水密扉

(1) 評価方針

水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

b. 荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c. 評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5－1に示す。

表5－1 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉板，芯材	曲げ，せん断
締付装置部	曲げ，せん断，引張り
アンカーボルト	引張り，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添3-2-2「水密扉の強度計算書（溢水）」に示す。

5.2　水密扉付止水堰

(1)　評価方針

水密扉止水堰の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－2 に示す。

表 5－2　評価対象部位及び評価内容

評価部位		評価内容
水密扉部	扉板，芯材	曲げ，せん断
	締付装置部	曲げ，せん断，引張り
	アンカーボルト	引張り，せん断
止水堰部	鋼製板，芯材	曲げ，せん断
	アンカーボルト	引張り，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-3「水密扉付止水堰の強度計算書」に示す。

5.3　溢水伝播防止堰

(1)　評価方針

溢水伝播防止堰の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－3 に示す。

表 5－3　評価対象部位及び評価内容

種 別	評価部位	評価内容
鋼製堰	鋼製板 止水板 梁材 柱材 ベースプレート	曲げ，せん断
	アンカーボルト	引張り，せん断
鉄筋コンクリート製堰	コンクリート	圧縮，せん断
	アンカー筋，縦筋	引張り，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-4「止水堰の強度計算書」に示す。

5.4　管理区域外伝播防止堰

(1)　評価方針

管理区域外伝播防止堰の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－4 に示す。

表 5－4　評価対象部位及び評価内容

種 別	評価部位	評価内容
鋼製堰	鋼製板	曲げ，せん断
	アンカーボルト	引張り，せん断
鉄筋コンクリート製堰	コンクリート	圧縮，せん断
	アンカー筋，縦筋	引張り，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-4「止水堰の強度計算書」に示す。

5.5　床ドレンライン浸水防止治具

(1)　フロート式治具

a.　評価方針

フロート式治具の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

(b)　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(c)　評価に用いる寸法については，公称値とする。

b.　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.5－1 に示す。

表 5.5－1　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体	圧縮
フロートガイド	
フロート	圧縮
取付部	引張り

c.　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-5「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書（溢水)」に示す。

(2)　スプリング式治具

a.　評価方針

スプリング式治具の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a)　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

(b)　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(c)　評価に用いる寸法については，公称値とする。

b.　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.5－2 に示す。

表 5.5－2　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体・ガイド	圧縮
ばねガイド	
弁体	曲げ
弁体，取付部	圧縮

c.　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-5「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書（溢水）」に示す。

(3) 閉止キャップ

a. 評価方針

閉止キャップの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a) 構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

(b) 荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(c) 評価に用いる寸法については，公称値とする。

b. 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.5－3 に示す。

表 5.5－3 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
閉止キャップ	圧縮

c. 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-5「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書（溢水）」に示す。

(4) 閉止栓

a. 評価方針

閉止栓の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

(a) 構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

(b) 荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(c) 評価に用いる寸法については，公称値とする。

b. 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5.5－4 に示す。

表 5.5－4 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
閉止栓	圧縮

c. 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-5「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書（溢水）」に示す。

5.6　貫通部止水処置

(1)　評価方針

貫通部止水処置の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧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。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5－6 に示す。

表 5－6　評価対象部位及び評価内容

評価部位		評価内容
シール材		せん断
ブーツ		せん断
モルタル		圧縮，せん断
閉止板	鉄板	引張り，せん断，曲げ
	フラップゲート	引張り，せん断
ケーブルトレイ 金属ボックス	金属ボックス	曲げ
	アンカーボルト	引張り，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅴ-3-別添 3-2-6「貫通部止水処置の強度計算書(溢水)」に示す。

6. 適用規格

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）
・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-（(社)日本建築学会，1999 年改定）
・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 年改定）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社)日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（(社)日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　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(2005 年版(2007 年追補版を含む。))ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005/2007　（日本機械学会）
・建築基準法・同施行令
・日本工業規格（ＪＩＳ）
・機械工学便覧（日本機械学会）

Ⅴ-3-別添 3-2-2　水密扉の強度計算書（溢水）

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　検討対象水密扉一覧 ····· 2
2.2　配置概要 ····· 5
2.3　構造計画 ····· 23
2.4　評価方針 ····· 24
2.5　適用規格・基準等 ····· 26
2.6　記号の説明 ····· 27
3.　強度評価方法 ····· 28
3.1　評価対象部位 ····· 28
3.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 31
3.2.1　荷重の設定 ····· 31
3.3　許容限界 ····· 32
3.3.1　使用材料 ····· 32
3.3.2　許容限界 ····· 33
3.4　評価方法 ····· 35
3.4.1　応力算定 ····· 35
3.4.2　断面検定 ····· 44
3.5　評価条件 ····· 47
3.6　評価結果 ····· 48

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，溢水防護設備である原子炉建屋水密扉，タービン建屋水密扉，コントロール建屋水密扉，廃棄物処理建屋水密扉，屋外のフィルタベントエリア水密扉及び燃料移送ポンプエリア水密扉（以下「水密扉」という。）が，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持することを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2－1 に示す。

表 2－1（1／3）　検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	設置高さ T.M.S.L.
1	原子炉隔離時冷却系ポンプ・タービン室　水密扉	-8.2m
2	高圧炉心注水系(B)ポンプ室　水密扉	-8.2m
3	高圧炉心注水系(C)ポンプ室　水密扉	-8.2m
4	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉	-8.2m
5	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉	-8.2m
6	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉	-8.2m
7	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉1	-8.2m
8	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉2	-8.2m
9	水圧制御ユニット室，計装ラック室　水密扉1	-8.2m
10	水圧制御ユニット室，計装ラック室　水密扉2	-8.2m
11	炉心流量（DIV-Ⅰ）計装ラック，感震器(A)室　水密扉	-8.2m
12	炉心流量（DIV-Ⅱ）計装ラック，感震器(B)室　水密扉	-8.2m
13	炉心流量（DIV-Ⅲ）計装ラック，感震器(C)，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉	-8.2m
14	炉心流量（DIV-Ⅳ）計装ラック，感震器(D)室　水密扉	-8.2m
15	高圧代替注水系ポンプ室　水密扉	-1.7m
16	残留熱除去系[redacted]ポンプハッチ室　水密扉	-1.7m
17	[redacted]	4.8m
18		4.8m
19		4.8m
20		4.8m
21		4.8m
22		4.8m
23		4.8m
24		4.8m
25		12.3m
26		12.3m
27		12.3m

表 2－1（2／3）　検討対象水密扉一覧

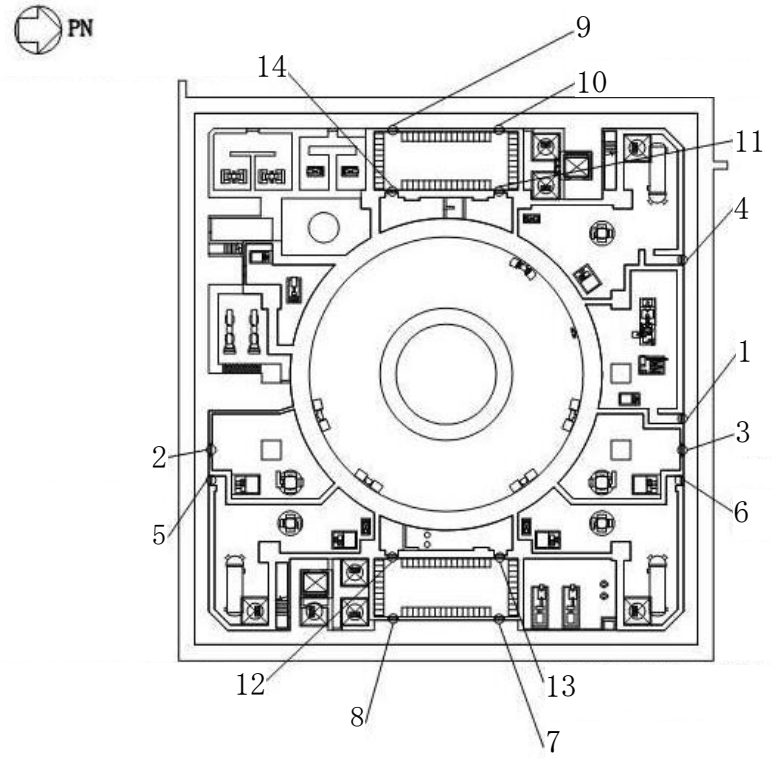
水密扉No.	扉名称	設置高さ T.M.S.L.
28		12.3m
29		12.3m
30		12.3m
31		12.3m
32		12.3m
33		12.3m
34	燃料プール冷却浄化系弁室　水密扉	18.1m
35	原子炉建屋地上4階トレイ室　水密扉	31.7m
36	タービン建屋地下1階南西階段室　水密扉	4.9m
37	タービン建屋地下1階北階段室　水密扉	3.5m
38	タービン建屋地下1階北西階段室　水密扉	4.9m
39	建屋間連絡水密扉(原子炉建屋地下1階～タービン建屋地下1階)	4.9m
40	原子炉補機冷却海水系　ポンプ室　水密扉1	3.5m
41	原子炉補機冷却海水系　ポンプ室　水密扉2	3.5m
42		12.3m
43		12.3m
44		12.3m
45		12.3m
46		12.3m
47	7号機換気空調補機非常用冷却水ポンプ・冷凍機(B)(D)室　水密扉	-4.0m
48	7号機計測制御電源盤区域(A)送風機室　水密扉	1.0m
49	7号機計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　水密扉1	6.5m
50	建屋間連絡水密扉(コントロール建屋地下1階～サービス建屋地下1階)	6.5m

表２－１（3／3）　検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	設置高さ T.M.S.L.
51	7号機区分Ⅰ計測制御用電源盤室　水密扉	6.5m
52	[redacted]	12.3m
53	[redacted]	12.3m
54	[redacted]	12.3m
55	建屋間連絡水密扉(コントロール建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)1(6,7号機共用)	-6.1m
56	建屋間連絡水密扉(コントロール建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)2(6,7号機共用)	-6.1m
57	建屋間連絡水密扉(廃棄物処理建屋地下2階～配管トレンチ)(6,7号機共用)	-1.1m
58	建屋間連絡水密扉(コントロール建屋地下1階～廃棄物処理建屋地下1階)(6,7号機共用)	6.5m
59	原子炉補機冷却水系[redacted]熱交換器・ポンプ室　水密扉1	6.5m
60	フィルタベントエリア　水密扉	12.0m
61	燃料移送ポンプエリア（A系）　水密扉	12.3m
62	燃料移送ポンプエリア（B系）　水密扉	12.3m
63	燃料移送ポンプエリア（C系）　水密扉	12.3m

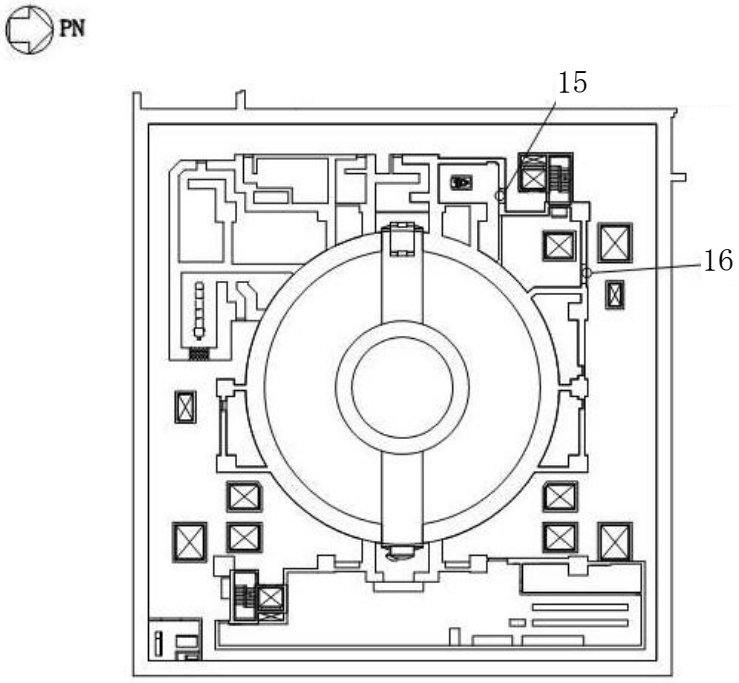
2.2　配置概要

原子炉建屋水密扉の設置位置図を図 2－1 に，タービン建屋水密扉の設置位置図を図 2－2 に，コントロール建屋水密扉の設置位置図を図 2－3 に，廃棄物処理建屋水密扉の設置位置図を図 2－4 に，フィルタベントエリア水密扉の設置位置図を図 2－5 に，燃料移送ポンプエリア水密扉の設置位置図を図 2－6 に示す。



1	原子炉隔離時冷却系ポンプ・タービン室　水密扉
2	高圧炉心注水系(B)ポンプ室　水密扉
3	高圧炉心注水系(C)ポンプ室　水密扉
4	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉
5	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉
6	残留熱除去系[redacted]ポンプ・熱交換器室　水密扉
7	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉 1
8	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉 2
9	水圧制御ユニット室，計装ラック室　水密扉 1
10	水圧制御ユニット室，計装ラック室　水密扉 2
11	炉心流量（DIV-Ⅰ）計装ラック，感震器(A)室　水密扉
12	炉心流量（DIV-Ⅱ）計装ラック，感震器(B)室　水密扉
13	炉心流量（DIV-Ⅲ）計装ラック，感震器(C)，制御棒駆動機構マスターコントロール室　水密扉
14	炉心流量（DIV-Ⅳ）計装ラック，感震器(D)室　水密扉

図 2－1（1／6）　原子炉建屋水密扉設置位置図（地下 3 階）



15	高圧代替注水系ポンプ室　水密扉
16	残留熱除去系□ポンプハッチ室　水密扉

図 2－1（2／6）　原子炉建屋水密扉設置位置図（地下 2 階）

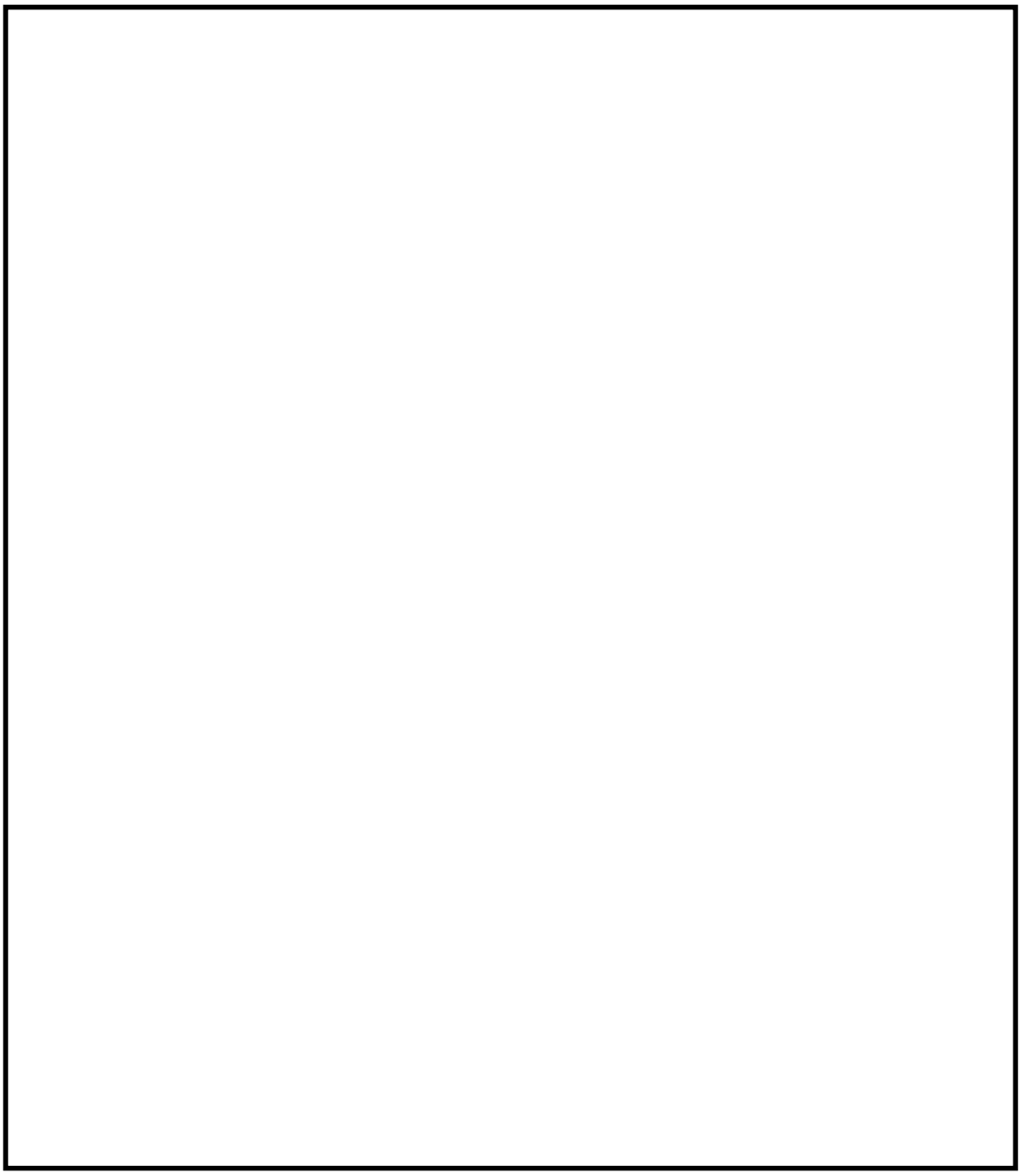


図 2－1（3／6）　原子炉建屋水密扉設置位置図（地下 1 階）

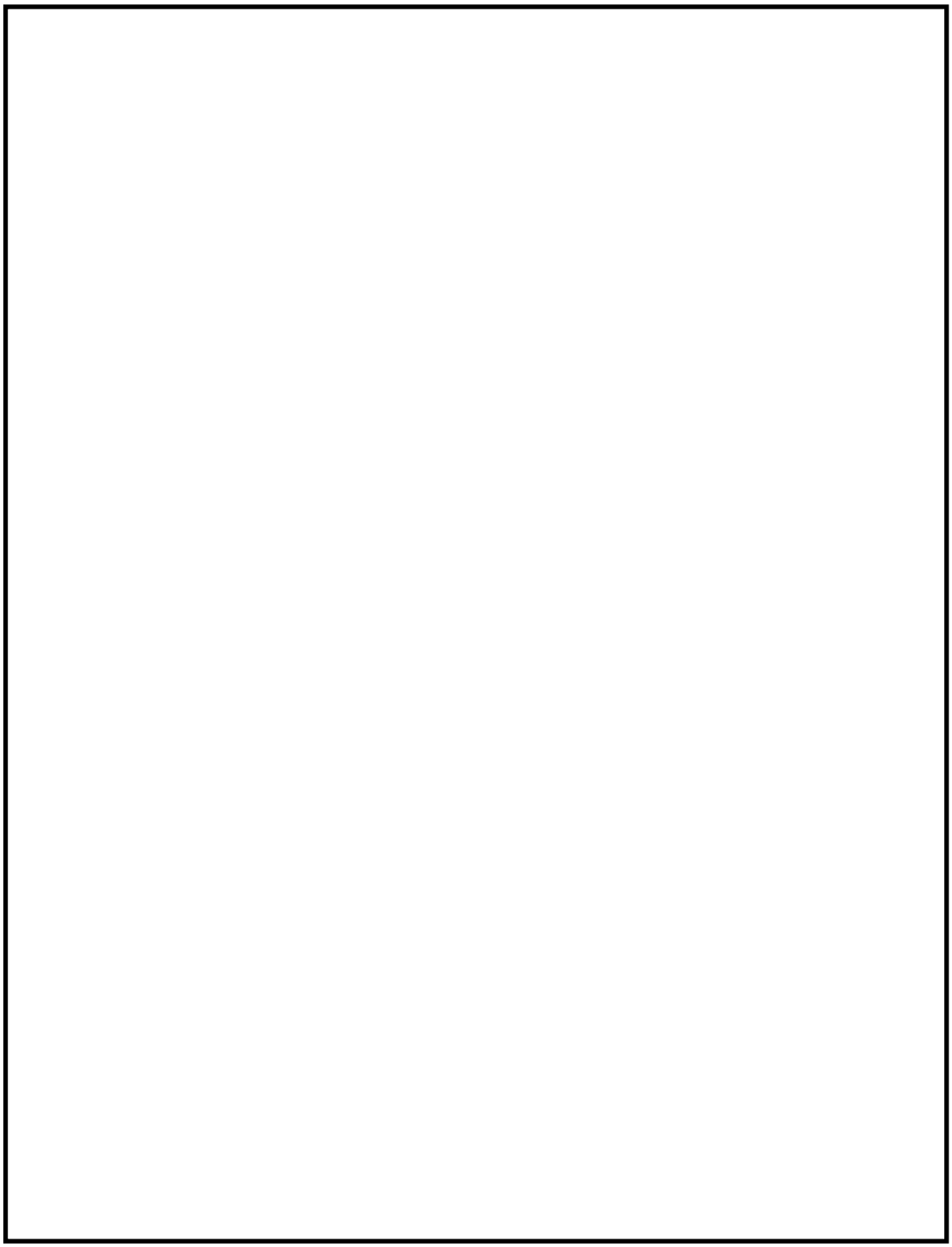
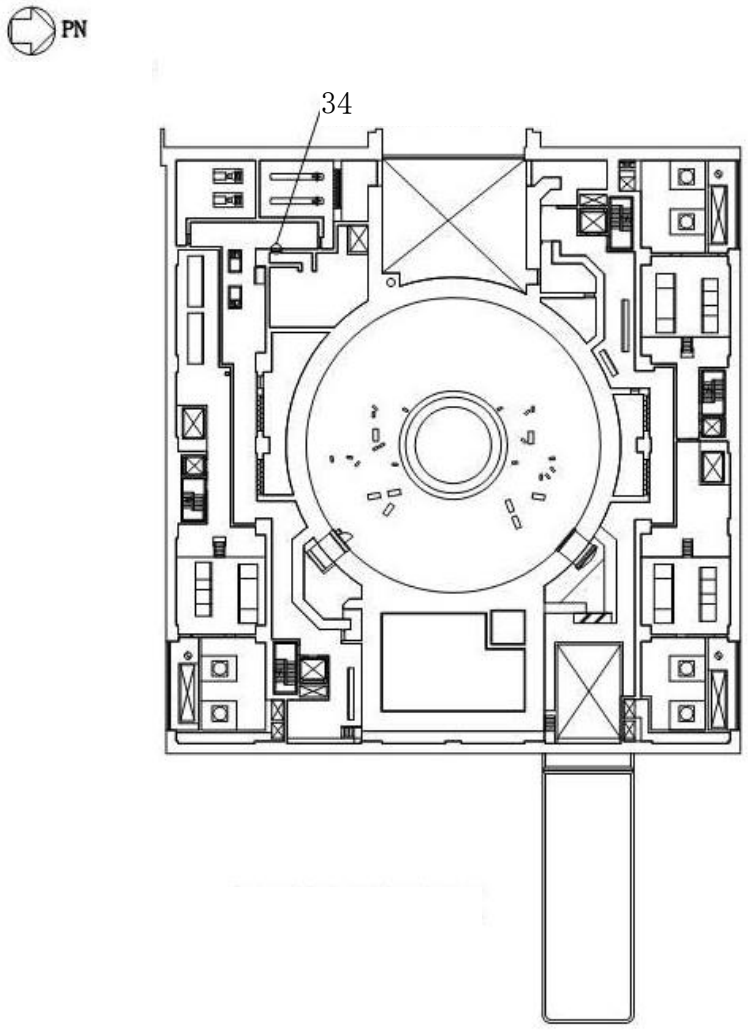
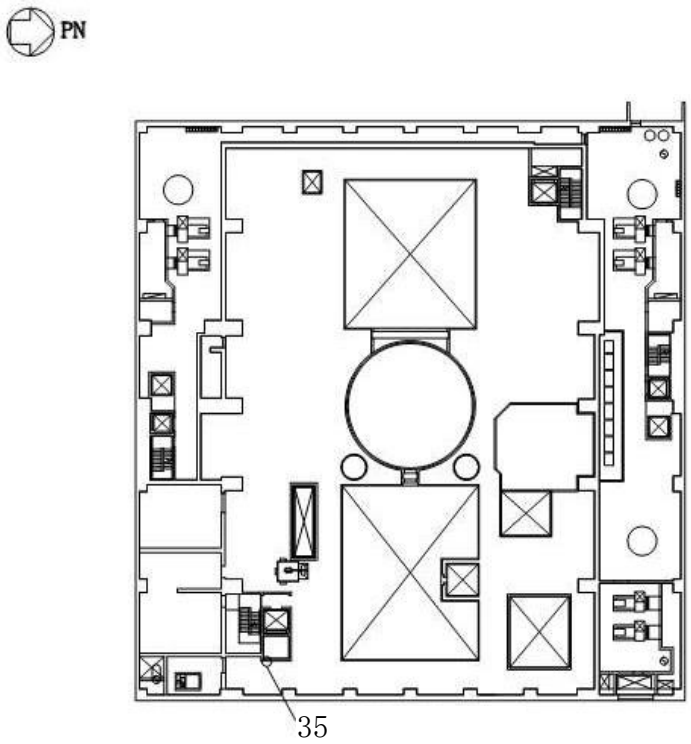


図 2－1（4／6）　原子炉建屋水密扉設置位置図（地上 1 階）



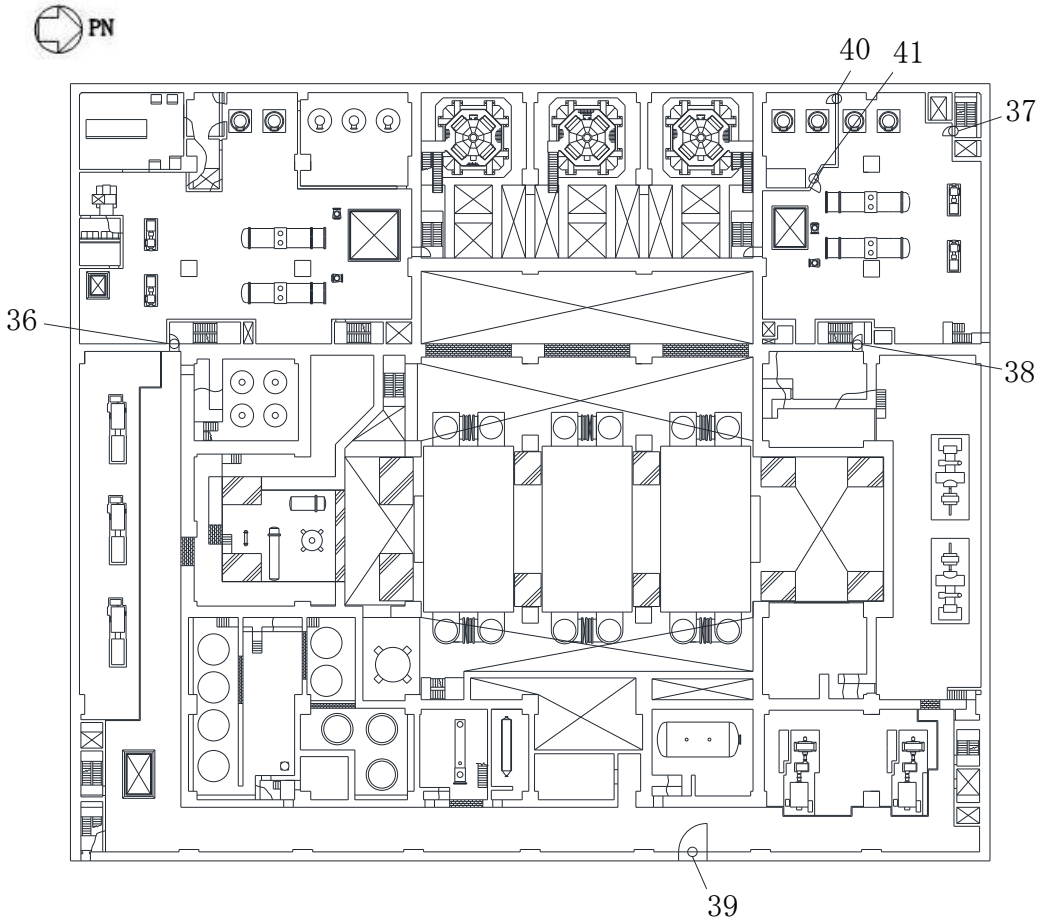
34	燃料プール冷却浄化系弁室　水密扉

図 2－1（5／6）　原子炉建屋水密扉設置位置図（地上 2 階）



35	原子炉建屋地上 4 階トレイ室　水密扉

図 2－1（6／6）　原子炉建屋水密扉設置位置図（地上 4 階）



36	タービン建屋地下 1 階南西階段室　水密扉
37	タービン建屋地下 1 階北階段室　水密扉
38	タービン建屋地下 1 階北西階段室　水密扉
39	建屋間連絡水密扉（原子炉建屋地下 1 階～タービン建屋地下 1 階）
40	原子炉補機冷却海水系 [redacted] ポンプ室　水密扉 1
41	原子炉補機冷却海水系 [redacted] ポンプ室　水密扉 2

図 2－2（1／2）　タービン建屋水密扉設置位置図（地下 1 階）

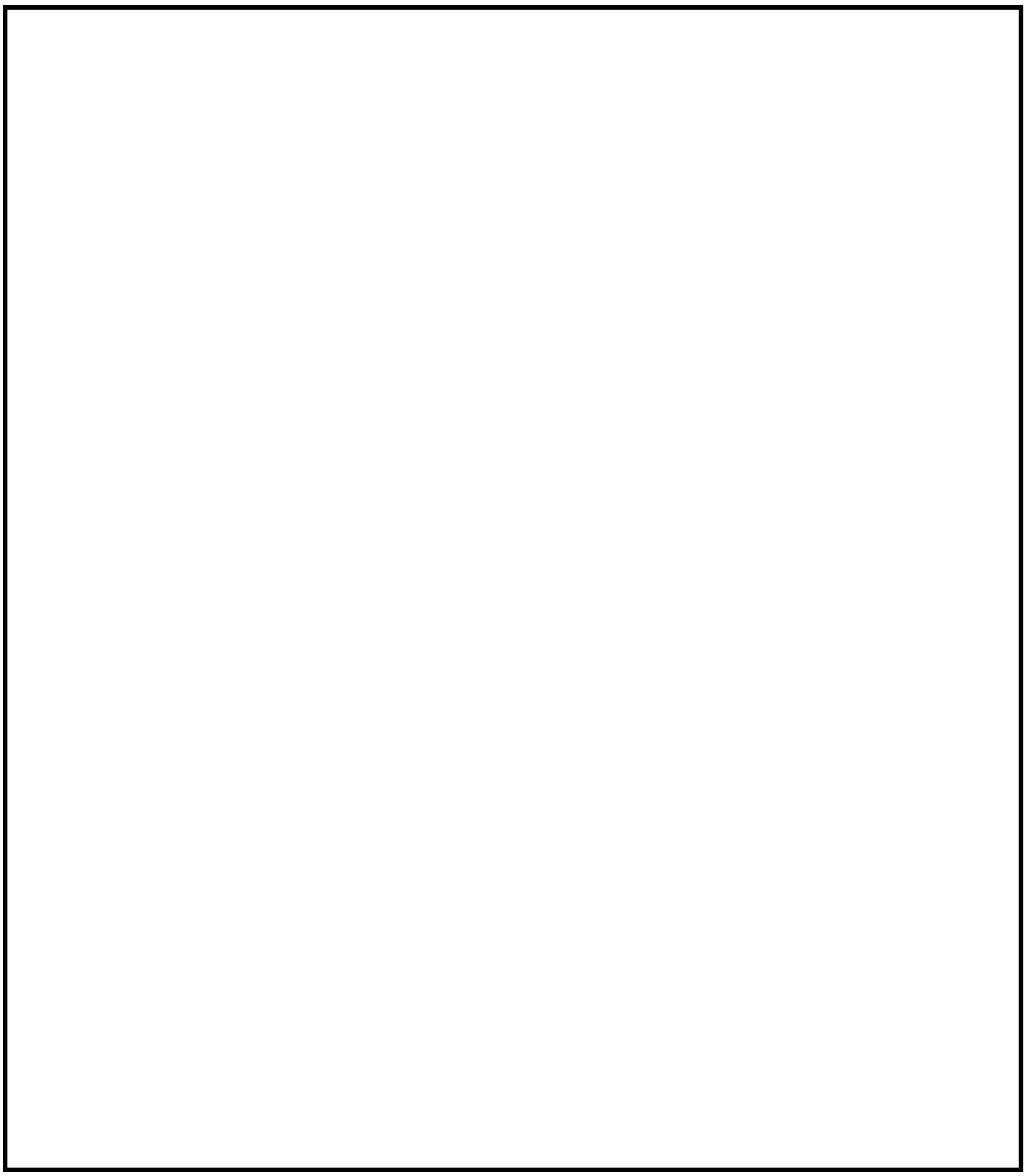
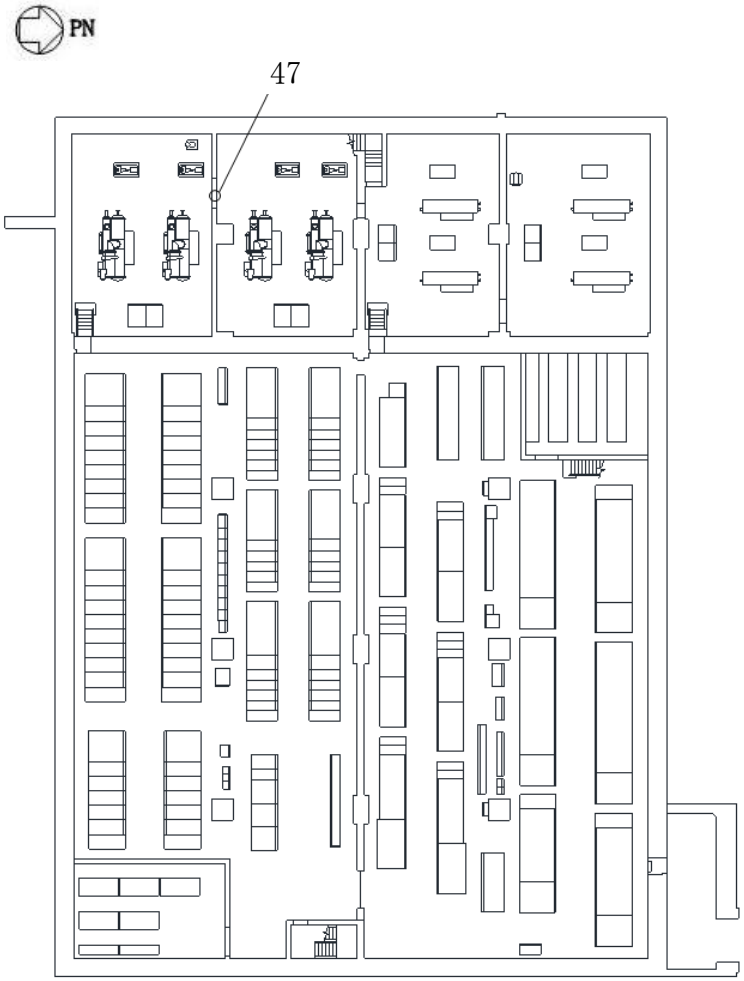
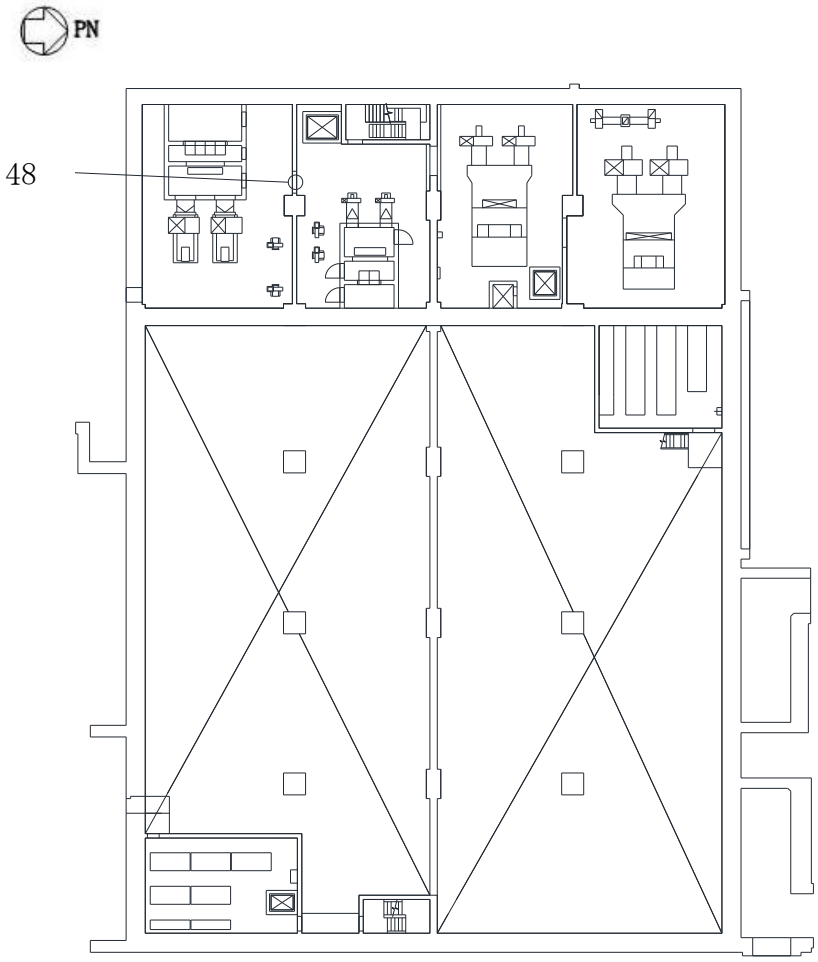


図 2－2（2／2）　タービン建屋水密扉設置位置図（地上 1 階）



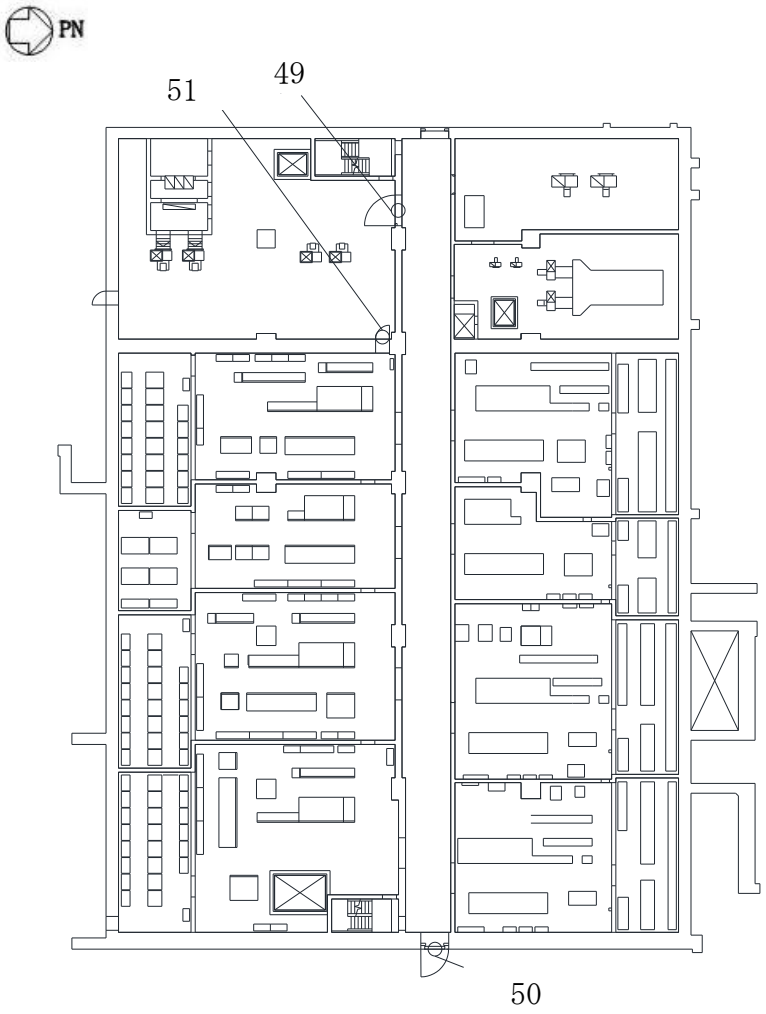
47	7 号機換気空調補機非常用冷却水ポンプ・冷凍機(B)(D)室　水密扉

図 2－3（1／4）　コントロール建屋水密扉設置位置図（地下 2 階）



48	7 号機計測制御電源盤区域(A)送風機室　水密扉

図 2－3（2／4）　コントロール建屋水密扉設置位置図（地下中 2 階）



49	7 号機計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　水密扉 1
50	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下 1 階～サービス建屋地下 1 階）
51	7 号機区分Ⅰ計測制御用電源盤室　水密扉

図 2－3（3／4）　コントロール建屋水密扉設置位置図（地下 1 階）

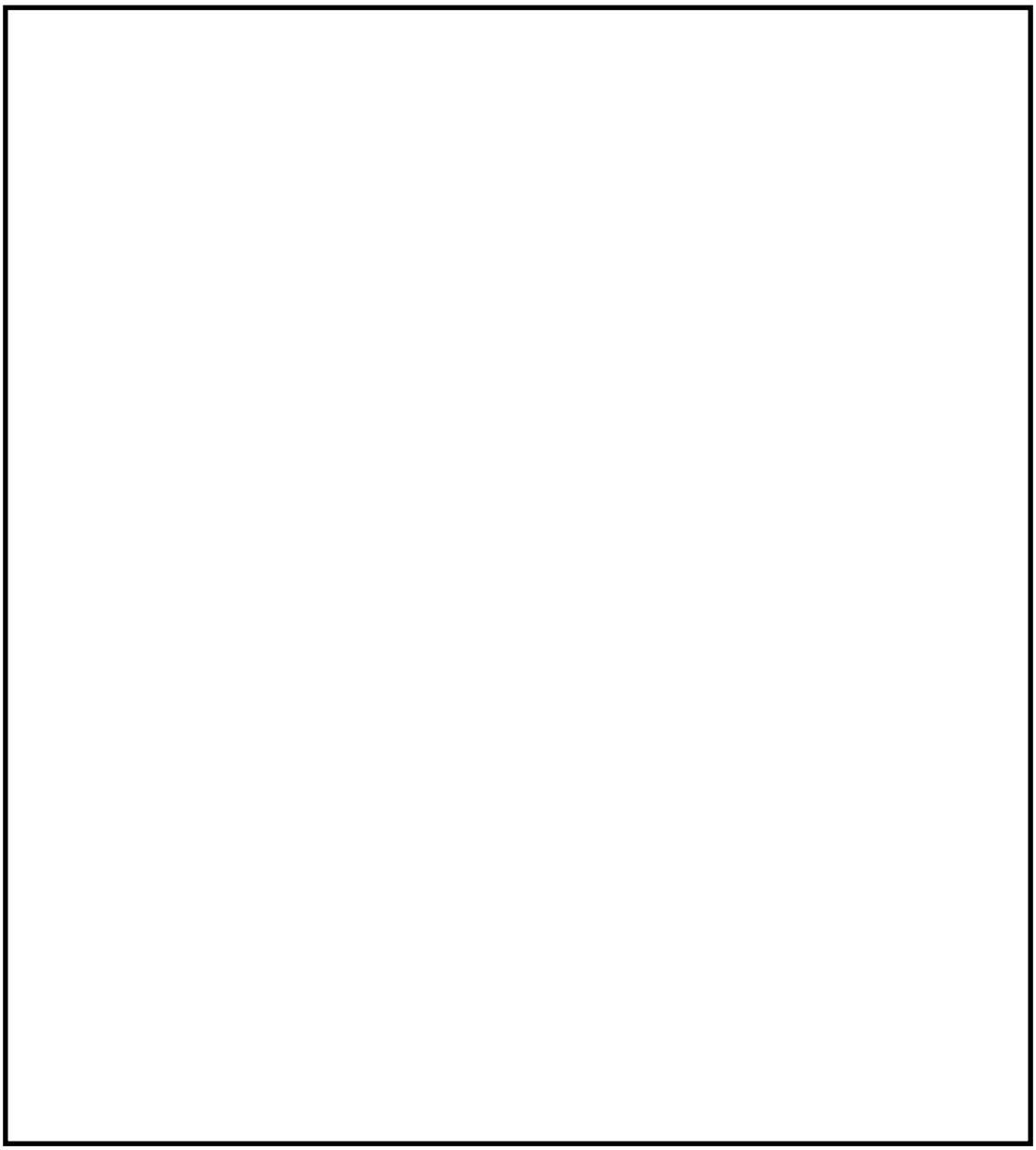
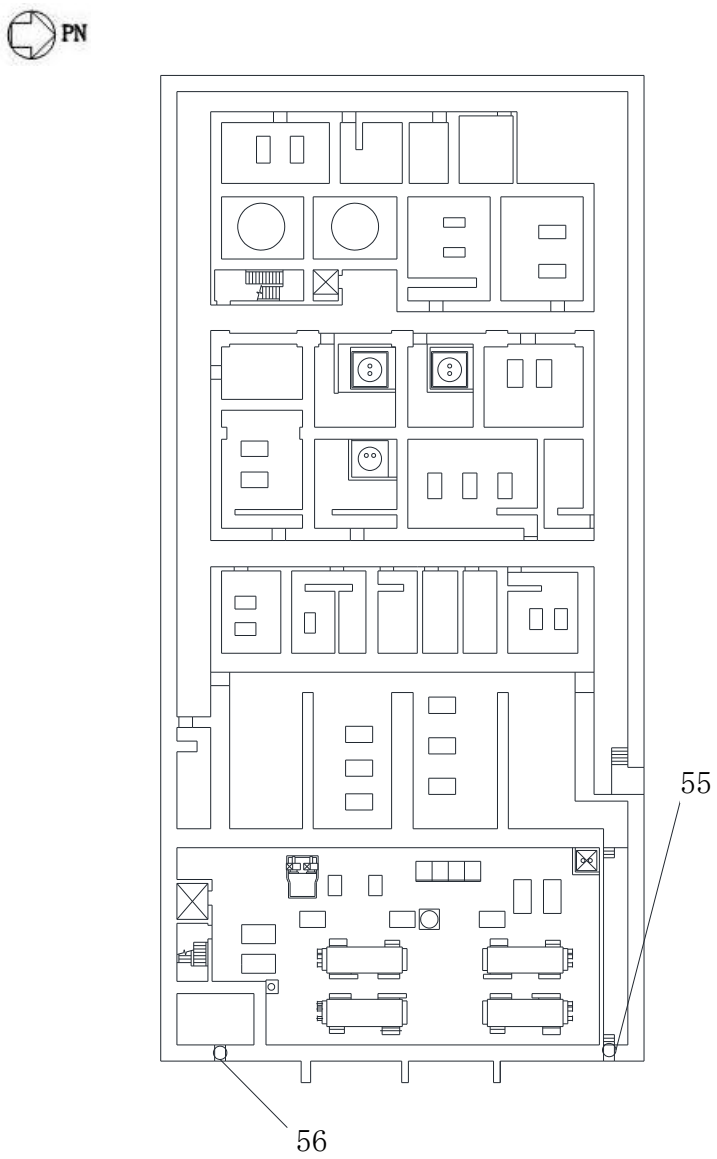
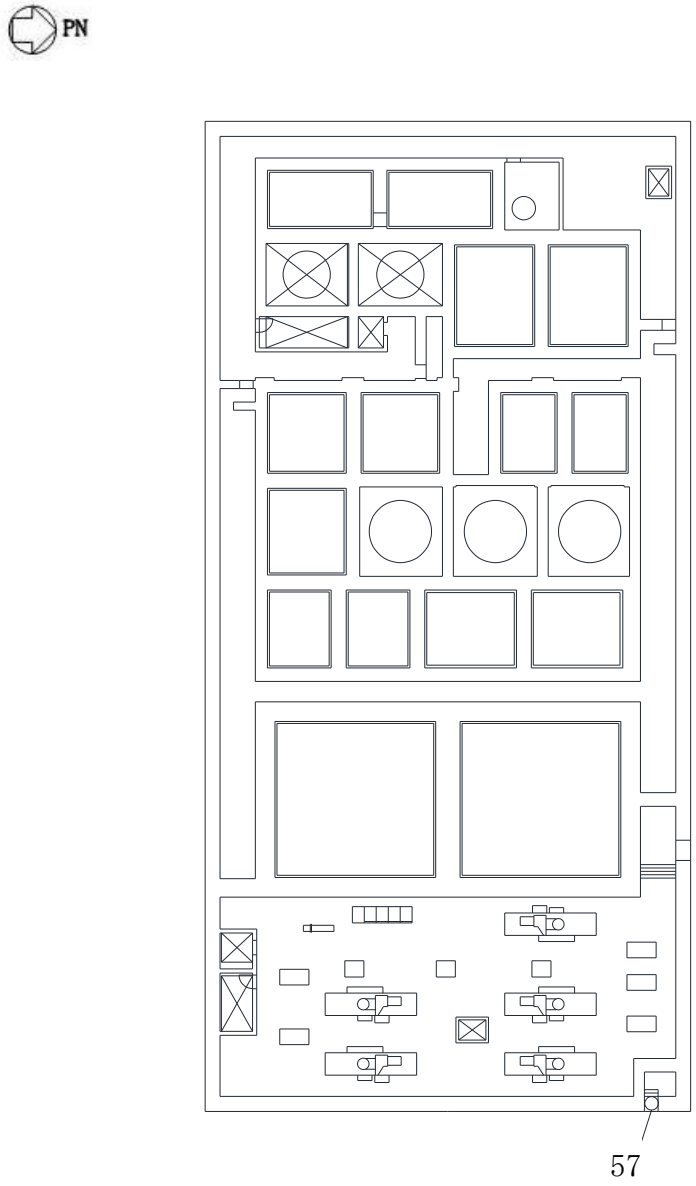


図 2－3（4／4）　コントロール建屋水密扉設置位置図（地上 1 階）



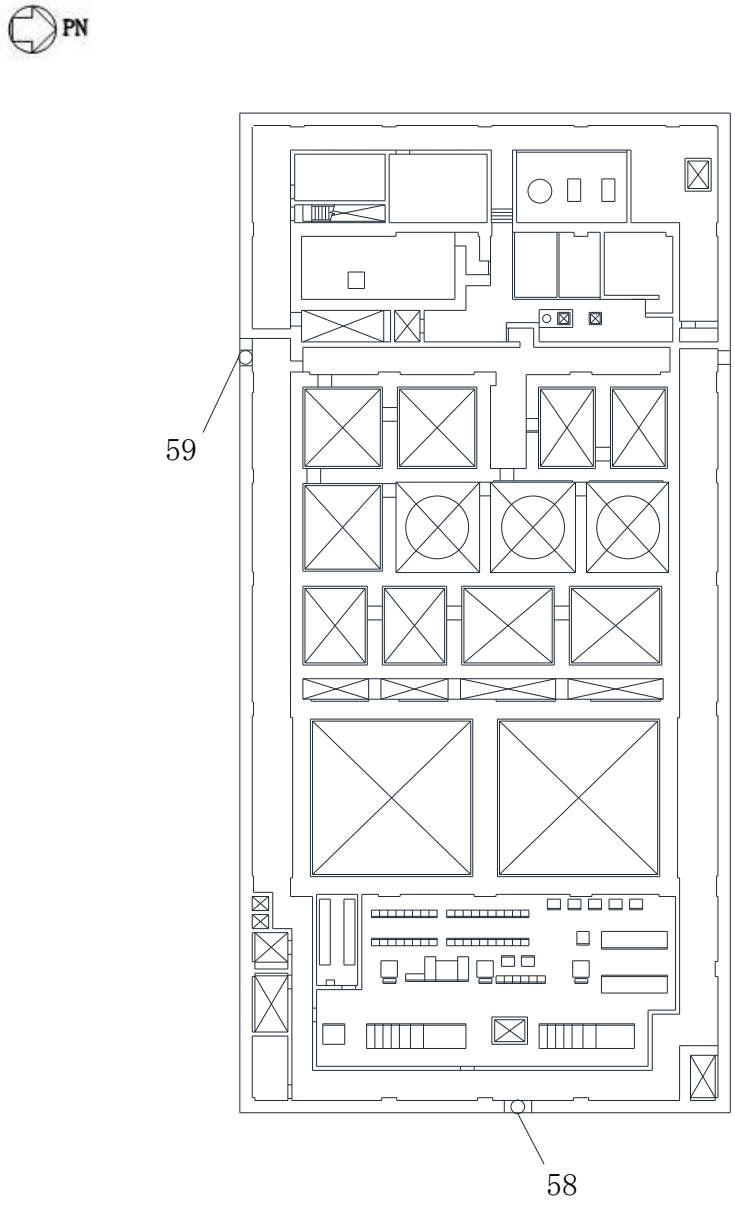
55	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下 2 階～廃棄物処理建屋 地下 3 階）1（6，7 号機共用）
56	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下 2 階～廃棄物処理建屋 地下 3 階）2（6，7 号機共用）

図 2－4（1／3）　廃棄物処理建屋水密扉設置位置図（地下 3 階）



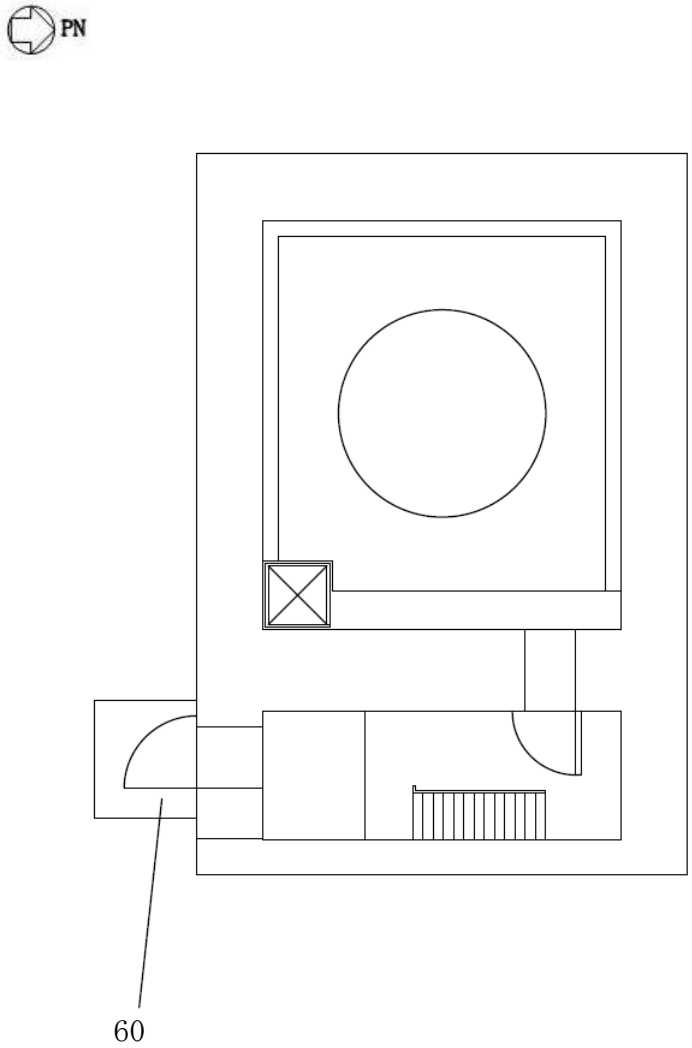
57	建屋間連絡水密扉（廃棄物処理建屋地下 2 階～配管トレンチ） （6，7 号機共用）

図 2－4（2／3）　廃棄物処理建屋水密扉設置位置図（地下 2 階）



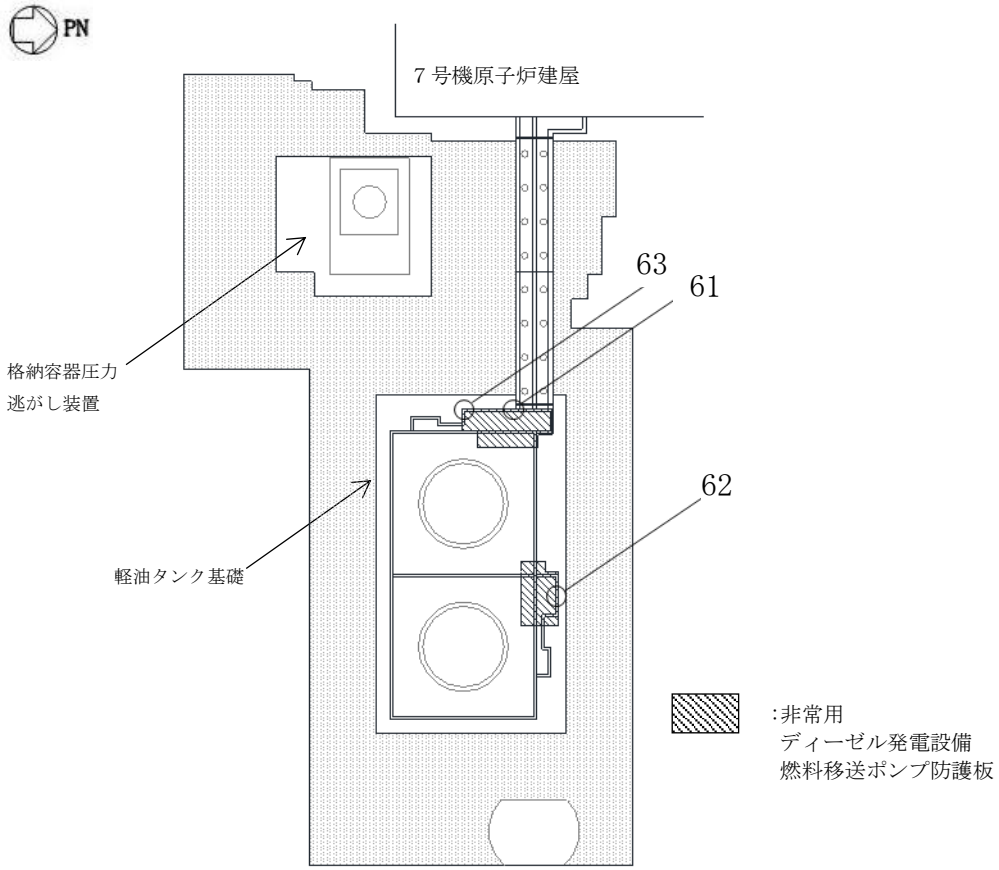
58	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下 1 階～廃棄物処理建屋地下 1 階） （6，7 号機共用）
59	原子炉補機冷却水系 ▭ 熱交換器・ポンプ室　水密扉 1

図 2－4（3／3）　廃棄物処理建屋水密扉設置位置図（地下 1 階）



60	フィルタベントエリア　水密扉

図 2－5　フィルタベントエリア水密扉設置位置図



61	燃料移送ポンプエリア(A 系)水密扉
62	燃料移送ポンプエリア(B 系)水密扉
63	燃料移送ポンプエリア(C 系)水密扉

図 2－6　燃料移送ポンプエリア水密扉設置位置図

2.3　構造計画

水密扉は，片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また，閉鎖状態において締付装置により固定され水密性を確保しており，アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。水密扉の構造計画を表 2－2 に示す。

表 2－2　水密扉の構造計画(片開型)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取付け，扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み，扉と扉枠を一体化させる構造とする。 また，扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。	扉開放時においては，ヒンジにより扉が扉枠に固定され，扉閉止時においては，締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。 扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。	

2.4　評価方針

水密扉の強度評価は，V-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，水密扉の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを，各設備の「3.　強度評価方法」に示す方法により，「3.5　評価条件」に示す評価条件を用いて評価し，応力評価の確認結果を「3.6　評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図 2－2 に示す。水密扉の強度評価においては，その構造を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重により，水密扉へ作用する荷重方向及び伝達過程を考慮し，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，静水圧荷重が作用する場合を考慮する。強度評価においては，荷重を静的に作用させる静的解析により，扉板，芯材，締付装置及びアンカーボルトに生じる応力又は応力度を算定し，許容限界との比較を行う。

なお，アンカーボルトは壁に埋め込まれた方向によって下記のとおりに呼ぶこととする。

・0°方向配置：アンカーボルトが壁の板厚直交方向に配置されている場合
・45°方向配置：アンカーボルトが壁の板厚方向から 45°傾斜して配置されている場合
・90°方向配置：アンカーボルトが壁の板厚方向に配置されている場合

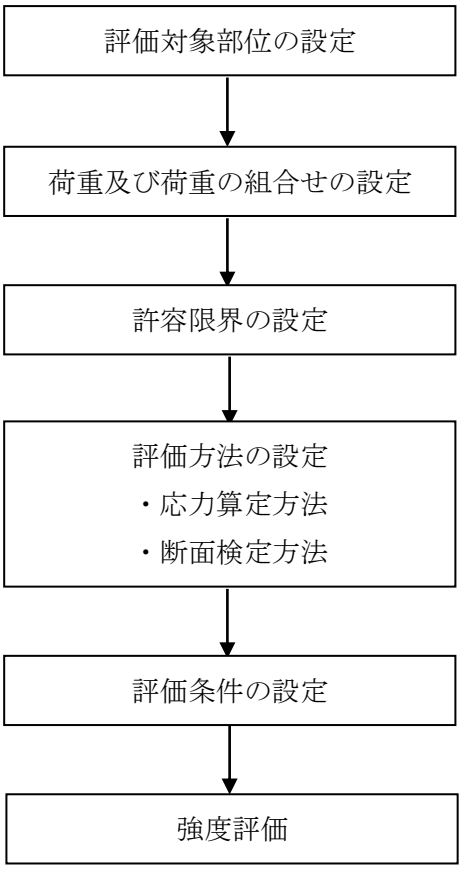


図 2－2　水密扉の強度評価フロー

2.5　適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・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－
（(社)日本建築学会，1999 改定）

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－((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)

・日本工業規格(ＪＩＳ)

2.6 記号の説明

水密扉の強度評価に用いる記号を表 2－3 に示す。

表 2－3　強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
h	mm	当該扉の浸水深さ
ρ_o	t/mm^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
t	mm	扉板の厚さ
Z	mm^3	断面係数
w_1	kN/m^2	扉上端に作用する静水圧荷重
w_2	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
w’	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
b’	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ
L	mm	芯材の支持スパン
R_p	kN	締付装置に作用する荷重
P_0	kN	設計水圧荷重
n_2	本	締付装置の本数
L_5	mm	締付装置の突出長さ
L_p	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離
T	kN	締付装置受けボルトに作用する荷重
n_b	本	締付装置受けボルトの本数
A	mm^2	断面積
A_s	mm^2	せん断断面積
L_1	mm	躯体開口部の高さ
L_2	mm	躯体開口部の幅
M	kN・m	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
σ	N/mm^2	曲げ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
σ_t	N/mm^2	引張応力度
Q_d	kN	アンカーボルト1本当りのせん断力
T_d	kN	アンカーボルト1本当りの引張力
Q_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力
T_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容引張力
n	本	片側(左右もしくは上下)のアンカーボルトの本数

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は,「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重は，扉板から芯材を介し扉枠に伝わり，扉枠を固定するアンカーボルトを介し，開口部周囲の躯体に伝達されることから，評価対象部位は扉板，芯材及びアンカーボルトとする。

水密扉を開く方向に内部から生じる静水圧荷重は，扉板から芯材に伝わり，締付装置部（締付装置，締付装置受けピン，締付装置受けボルト）に伝達され，扉枠及び扉枠を固定するアンカーボルトを介し，開口部周囲の躯体に伝達されることから，評価対象部位は扉板，芯材，締付装置部及びアンカーボルトとする。

アンカーボルトについては，荷重を伝達する芯材の取付け方向又は扉板の辺長比を踏まえ，水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを，鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

なお，ヒンジは静水圧荷重の伝達経路とならないため，評価対象外とする。

また，結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし，水密扉 No.11，14，33，55 を抽出した。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 3－1 に示す。

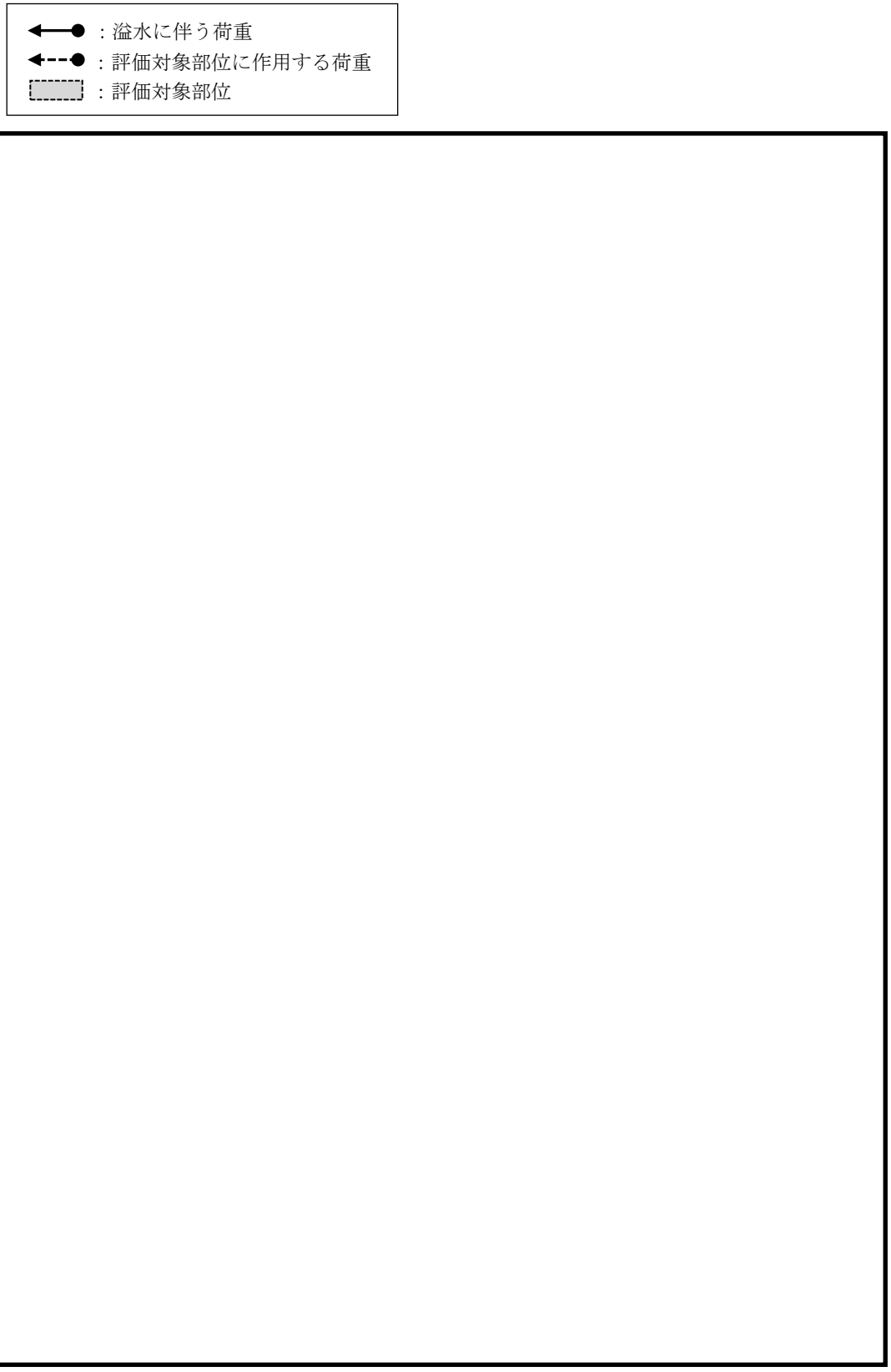


図 3－1(1/2)　水密扉に作用する荷重の作用図

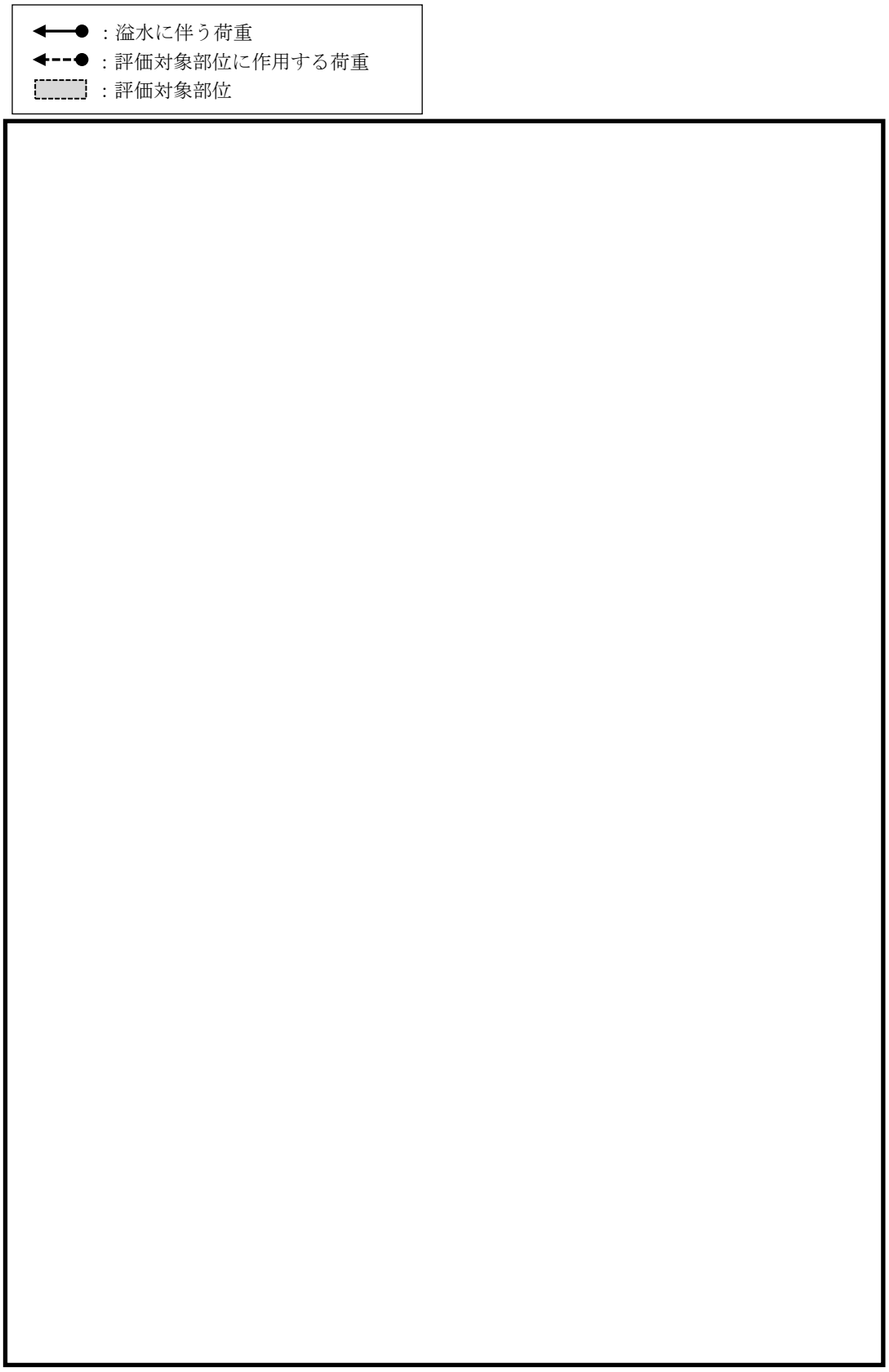


図 3－1(2/2)　水密扉に作用する荷重の作用図

3.2　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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。

3.2.1　荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1)　静水圧荷重（P_h）

溢水による静水圧荷重として，水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水に伴う荷重は，対象とする水の密度に当該部分の水圧作用深さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

ここで，溢水による浸水深さは，今後の溢水評価水位の変更の可能性も考慮し溢水評価水位に対し十分な保守性を持った水位を設定する。具体的には，建屋最下階等の溢水が最終的に滞留する区画（以下「最終滞留区画」という。）の水密扉について，水密扉の設計仕様（最大限界水位）を設定した。なお，最終滞留区画ではない溢水経路にある水密扉については，溢水評価水位にて評価を行うこととした。

(2)　荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記の通りに設定する。

P_h

P_h：溢水による静水圧荷重（kN/m^2）

3.3　許容限界

水密扉の許容限界は，「3.1　評価対象部位」にて設定した部位に対し，V-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.3.1　使用材料

水密扉を構成する，扉板，芯材，締付装置部及びアンカーボルトの使用材料を表3－2に示す。

表3－2　扉板，芯材，アンカーボルト及び締付装置部の使用材料

評価対象部位		材質	仕様
扉板		SS400 SUS304	PL-9，12，19，35（mm）
芯材		SS400 SUS304	C-250×90×9×13（mm） C-200×100×10（mm） C-180×75×7×10.5（mm） C-150×75×6.5×10（mm） H-300×300×10×16（mm） H-300×150×7×9（mm） H-250×250×9×14（mm） H-250×125×6×9（mm） H-200×200×8×12（mm）
締付装置部	締付装置	SUS304 SUS403	径(mm) 60，90
	締付装置 受けピン	SUS304 SUS304N2	径(mm) 40，50
	締付装置 受けボルト	SCM435	M20
アンカーボルト		SS400 SUS304 SUS304J3	M16，M20

3.3.2　許容限界

(1)　扉板，芯材，締付装置部

鋼材の許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005 改定)」を踏まえて表 3－3 の値とする。

表 3－3　鋼材の許容限界

材質*2	短期許容応力度(N/mm²)	
	曲げ	せん断
SS400（t≦40）*1	235	135
SS400（40＜ t≦100）*1	215	124
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
SUS304J3	175	101
SUS403	390	225
SCM435	651	375

注記＊1：t は板厚を示す。

注記＊2：許容応力度を決定する場合の基準値Ｆは，　日本工業規格(ＪＩＳ)に基づく。

(2)　アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定した，表 3－4 の値とする。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力，及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，せん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－4　静水圧荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉No.	扉名称	許容耐力（kN／本）	
		せん断	引張
11	炉心流量（DIV-Ⅰ）計装ラック，感震器(A)室　水密扉	16.1	31.5
14	炉心流量（DIV-Ⅳ）計装ラック，感震器(D)室　水密扉	16.1	31.5
33	[redacted]	17.6	37.9
55	建屋間連絡水密扉(コントロール建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)1 (6,7号機共用)	－	34.1

3.4　評価方法

水密扉の強度評価は，V-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.4.1　応力算定

(1)　扉板

扉板に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端固定の一方向版として算定する。

この時，実際に作用する静水圧は台形分布もしくは，三角形分布であるが，扉最下部の最大静水圧が等分布に作用すると安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3－2 に示す。

$$M = w_2 \cdot (L_{PL} \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで，$w_2 = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$

w_2　：扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m^2)

M　：扉板に生じる最大曲げモーメント(kN・m/m)

L_{PL}：扉板の短辺長さ(mm)

ρ_0　：水の密度(t/mm^3)

g　：重力加速度(m/s^2)

h　：当該扉の浸水深さ(mm)

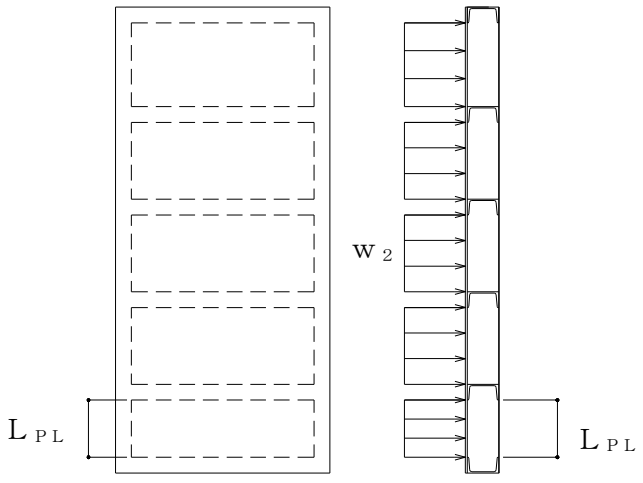


図 3－2　扉板に生じる応力の例

(2)　芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。なお，芯材の取付け方向は，水平・鉛直の 2 方向があるが，両者とも扉最下部の最大静水圧に，芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用すると安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図 3－3 に示す。

$$M = w' \cdot (L \cdot 10^{-3})^2 \ / \ 8$$
$$Q = w' \cdot L \cdot 10^{-3} \ / \ 2$$

ここで，$w' = w_2 \cdot b \cdot 10^{-3}$

w' ：芯材に作用する等分布荷重(kN/m)
M ：芯材に生じる最大曲げモーメント(kN・m)
Q ：芯材に生じる最大せん断力(kN)
L ：芯材の支持スパン(mm)
w_2 ：扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)
b ：芯材に作用する荷重の負担幅(mm)

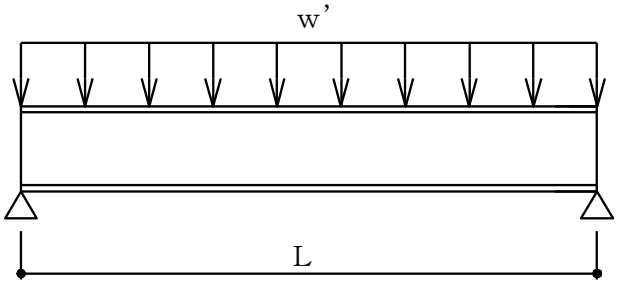


図 3－3　芯材に生じる応力の例

(3) 締付装置部

締付装置部は，締付装置，締付装置受けピン及び締付装置受けボルトで構成されており，締付装置部に生じる荷重R_pは，次式により算定する扉に作用する全静水圧を集中荷重に置換した設計水圧荷重P_0により算定し，各構成部材に発生する応力を算定する。締付装置に生じる応力の例を図3－4に示す。

$$R_p = P_0 / n_2$$

$$w_1 = \rho_o \cdot g \cdot (h - L_1) \cdot 10^{-3}$$

$$P_0 = (w_1 + w_2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$$

R_p：締付装置に作用する荷重(kN)

P_0：設計水圧荷重(kN)

n_2：締付装置の本数(本)

w_1：扉上端に作用する静水圧荷重(kN/m^2)

w_2：扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m^2)

ρ_o：水の密度(t/mm^3)

g：重力加速度(m/s^2)

h：当該扉の浸水深さ(mm)

L_1：躯体開口部の高さ(mm)

L_2：躯体開口部の幅(mm)

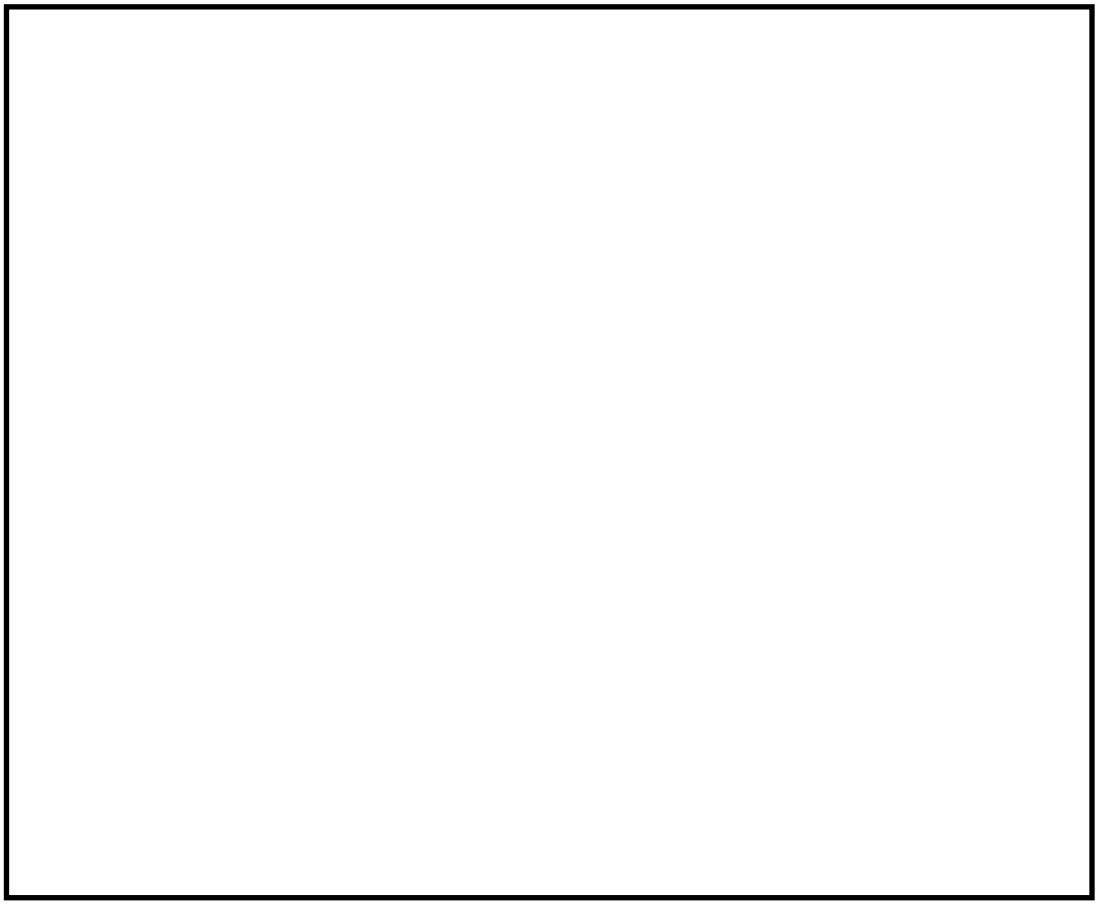


図 3－4　締付装置部に生じる応力の例

a. 締付装置

締付装置に生じる応力は，次式により算定する。なお，算定に当たっては，締付装置受けピン中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し，締付装置の取付部位に応じて作用する応力を考慮する。締付装置に生じる荷重の例を図 3－5 に示す。

$M = R_p \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$

$Q = R_p$

M ：締付装置に生じる最大曲げモーメント(kN・m)

Q ：締付装置に生じる最大せん断力(kN)

R_p ：締付装置に作用する荷重(kN)

L_5 ：締付装置の突出長さ(mm)

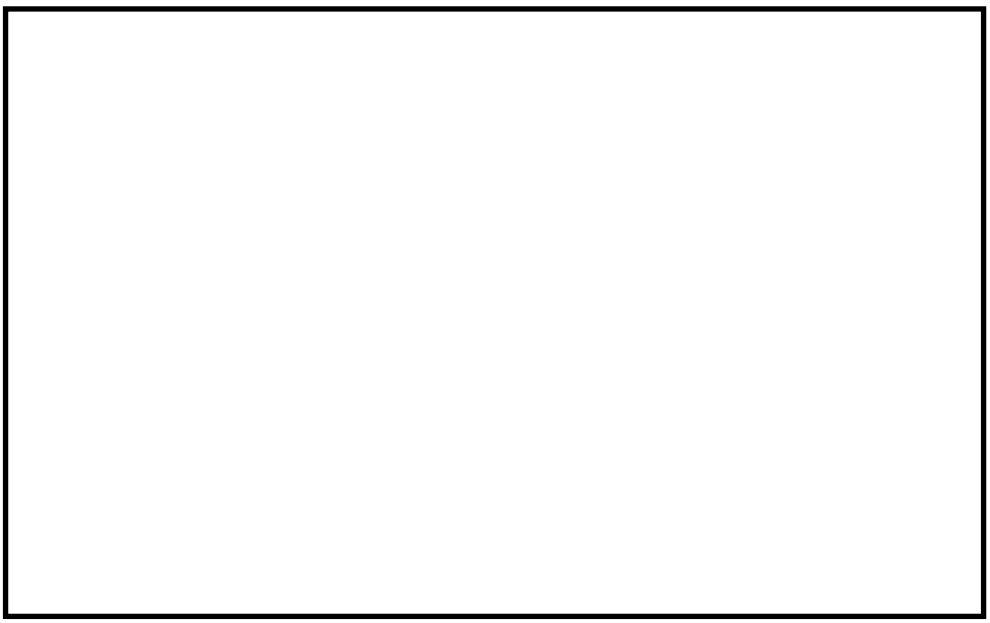


図 3－5　締付装置に生じる荷重の例

b.　締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる応力は，次式により算定する。なお，算定にあたっては，締付装置の形状に応じて締付装置受けピンに作用する応力を考慮する。締付装置受けピンに生じる荷重の例を図 3－6 に示す。

（締付装置と締付装置受けピンが点接触する場合）

締付装置受けピンを集中荷重が作用する両端固定梁とみなし，次式により算定する。

$M = R_p \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$

$Q = R_p / 2$

M　：締付装置受けピンに生じる最大曲げモーメント(kN・m)

Q　：締付装置受けピンに生じる最大せん断力(kN)

R_p ：締付装置に作用する荷重(kN)

L_p ：締付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

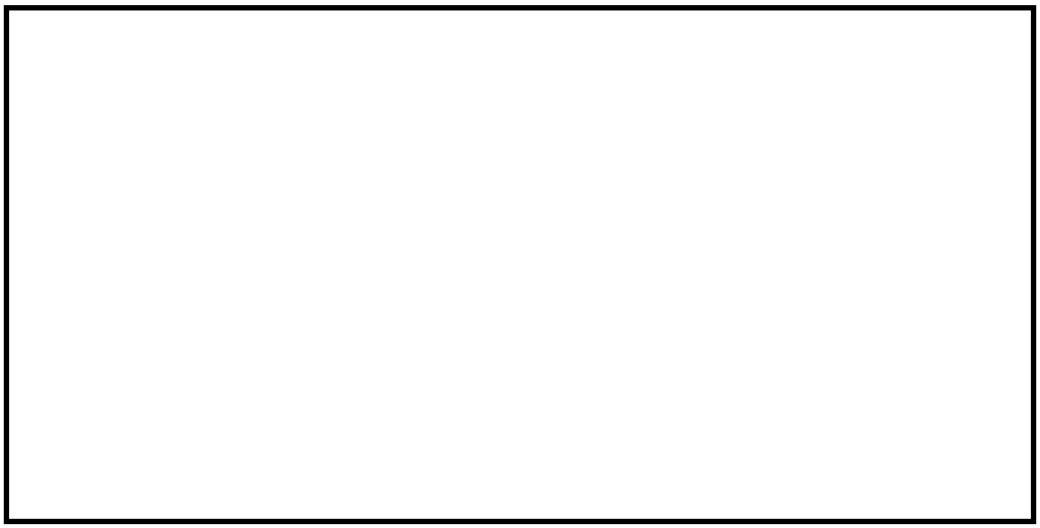


図 3－6（2／2）　締付装置受けピンに生じる荷重の例
（締付装置と締付装置受けピンが点接触する場合）

（締付装置と締付装置受けピンが線接触する場合）

締付装置受けピンを部分等分布荷重が作用する両端固定梁とみなし，次式により算定する。

$$M = R_p \cdot (L_p^3 - 8 \cdot a'^3) / (24 \cdot b' \cdot L_p)$$

M　：締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

R_p ：締付装置に作用する荷重(kN)

L_p ：締付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

a' ：締付装置受けピンの支持点から締付装置軸の表面までの距離(mm)

$$a' = (L_p - b') / 2$$

b' ： 締付装置と締付装置受けピンが接する長さ(mm)

$$Q = R_p / 2$$

Q　：締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

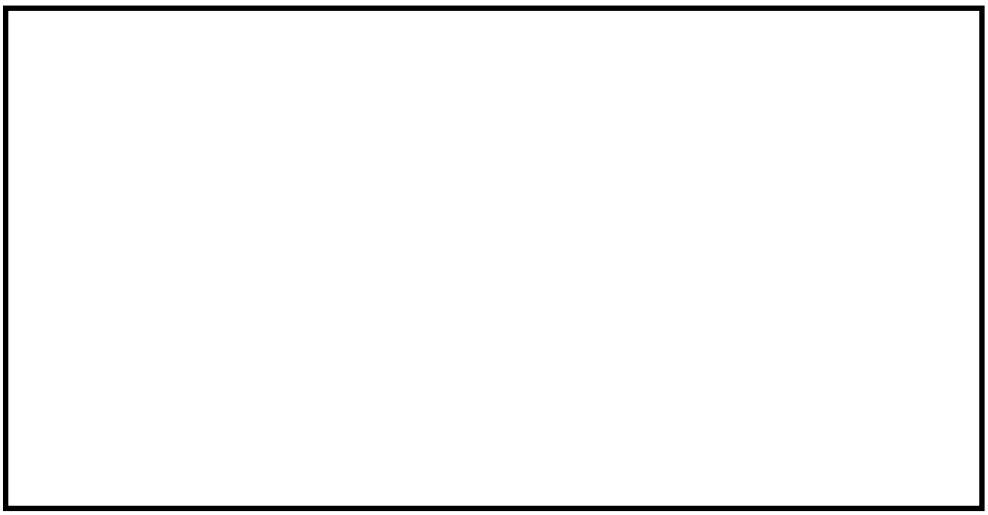


図 3－6（2／2） 締付装置受けピンに生じる荷重の例
（締付装置と締付装置受けピンが線接触する場合）

c.　締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる応力は，次式により算定する。締付装置受けボルトに生じる応力の例を図3－7に示す。

$$T = R_p / n_b$$

T　：締付装置受けボルトに作用する荷重(kN)

R_p ：締付装置に作用する荷重(kN)

n_b ：締付装置受けボルトの本数（本）

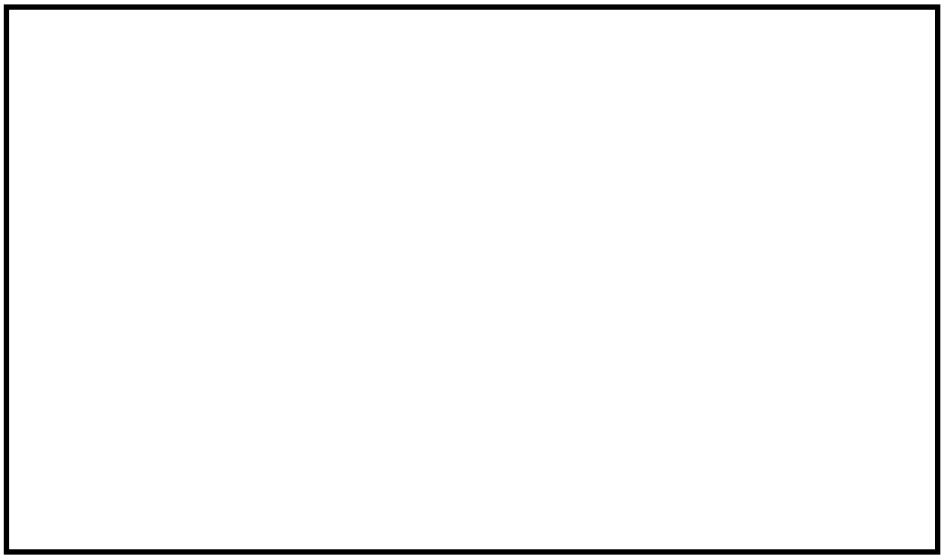


図3－7　締付装置受けボルトに生じる応力の例

(4)　アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は，扉に作用する静水圧荷重を，左右もしくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3－8 に示す。

$Q = P_0$

Q　：アンカーボルトの最大せん断力(kN)

P_0 ：設計水圧荷重(kN)

n　：片側（左右もしくは上下）のアンカーボルトの本数

アンカーボルトの方向

(0° 方向配置の場合)

$Q_d = Q / 2 / n$

(90° 方向配置の場合)

$T_d = Q / 2 / n$

(45° 方向配置の場合)

$Q_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$

$T_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$

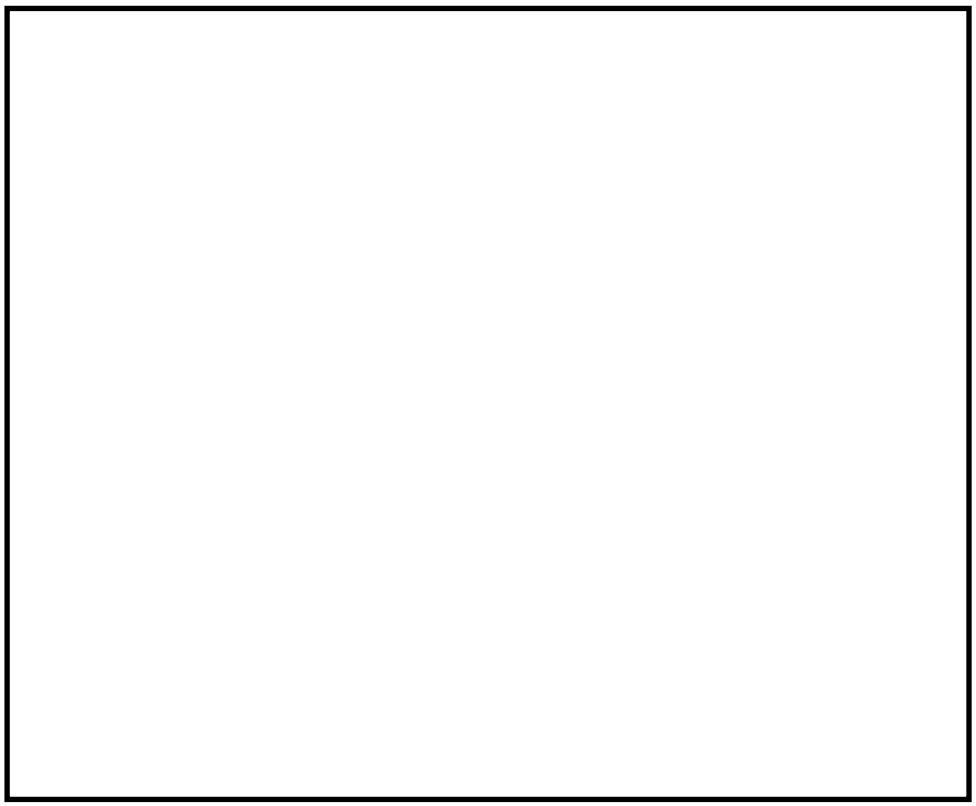


図 3－8　アンカーボルトに生じる荷重の例(平面図)

3.4.2　断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力及び応力度が，許容限界値以下であることを確認する。

(1)　扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し，扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ　：扉板の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：扉板の最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z　：扉板の断面係数(mm^3/m)

(2)　芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ　：芯材の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

Z　：芯材の断面係数(mm^3)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ　：芯材の最大せん断応力度(N/mm^2)

Q　：芯材の最大せん断力(kN)

A_s　：芯材のせん断断面積(mm^2)

(3) 締付装置部

a. 締付装置

締付装置に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005 改定)」に基づく次式により算定し，締付装置の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x ：組合せ応力度(N/mm^2)

ここで，σ ＝（M・10^6）／Z

σ ：締付装置の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M ：締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

Z ：締付装置の断面係数(mm^3)

τ ＝（Q・10^3）／Ａｓ

τ ：締付装置の最大せん断応力度(N/mm^2)

Q ：締付装置の最大せん断力(kN)

Ａｓ：締付装置のせん断断面積(mm^2)

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し，締付装置受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

σ ＝（M・10^6）／Z

ここで，σ ：締付装置受けピンの最大曲げ応力度(N/mm^2)

M ：締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

Z ：締付装置受けピンの断面係数(mm^3)

τ ＝（Q・10^3）／Ａｓ

ここで，τ ：締付装置受けピンの最大せん断応力度(N/mm^2)

Q ：締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

Ａｓ：締付装置受けピンのせん断断面積(mm^2)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し，締付装置受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

σ_t ＝（T・10^3）／A

σ_t ：締付装置受けボルトの最大引張応力度(N/mm^2)

T ：締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

A ：締付装置受けボルトの断面積(mm^2)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト1本当りに生じる引張力又はせん断力を算定し，アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

T_d／Ta≦1.0

ここで，T_d＝P_0／2／n

T_d ：アンカーボルト1本当りの引張力(kN)

Ta ：アンカーボルト1本当りの短期許容引張力(kN)

P_0 ：設計水圧荷重(kN)

n ：片側（左右もしくは上下）のアンカーボルトの本数

Q_d／Qa≦1.0

ここで，Q_d＝P_0／2／n

Q_d ：アンカーボルト1本当りのせん断力(kN)

Qa ：アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力(kN)

P_0 ：設計水圧荷重(kN)

n ：片側（左右もしくは上下）のアンカーボルトの本数

3.5　評価条件

「3.4　評価方法」に用いる評価条件を表 3－5 に示す。

表 3－5　強度評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	水密扉No.			
					11	14	33	55
共通		h	mm	当該扉の浸水深さ	3800	3800	2000	13000
		ρ_o	t/m^3	水の密度	1.00	1.00	1.00	1.00
		g	m/s^2	重力加速度	9.80665	9.80665	9.80665	9.80665
扉板		L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	460	460	400	365
		Z_1	mm^3/m	扉板の断面係数	1.350×10^4	1.350×10^4	2.042×10^5	2.400×10^4
芯材		w_2	kN/m^2	扉下端に作用する 静水圧荷重	37.3	37.3	19.7	132
		b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	445	445	390	365
		L	mm	芯材の支持スパン	1060	1060	3880	760
		Z_2	mm^3	芯材の断面係数	1.150×10^5	1.150×10^5	2.310×10^5	1.530×10^5
		As	mm^2	芯材のせん断断面積	8.450×10^2	8.450×10^2	1.800×10^3	1.260×10^3
締付装置部	共通	n_2	本	締付装置の本数	－	－	－	4
	締付装置	L_5	mm	締付装置の突出長さ	－	－	－	53
		σ	N/mm^2	曲げ応力度	－	－	－	108
		τ	N/mm^2	せん断応力度	－	－	－	15.4
	締付装置受けピン	L_P	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離	－	－	－	112
		b’	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ	－	－	－	48
		σ	N/mm^2	曲げ応力度	－	－	－	61.3
		τ	N/mm^2	せん断応力度	－	－	－	17.4
	締付装置受けボルト	n_b	本	締付装置受けボルトの本数	－	－	－	4
		σ_t	N/mm^2	引張応力度	－	－	－	46.5
アンカーボルト		L_1	mm	躯体開口部の高さ	2100	2100	4880	1800
		L_2	mm	躯体開口部の幅	1000	1000	4800	790
		n	本	0° 方向　ヒンジ側/上側　アンカーボルト本数	4	4	27	0
				0° 方向　開閉側/下側　アンカーボルト本数	4	4	14	0
				90° 方向　ヒンジ側/上側　アンカーボルト本数	0	0	0	7
				90° 方向　開閉側/下側　アンカーボルト本数	0	0	0	6
		Qa	kN/本	0° 方向　ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	16.1	16.1	17.6	－
				0° 方向　開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	16.1	16.1	17.6	－
		Ta	kN/本	90° 方向　ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力	31.5	31.5	37.9	34.1
				90° 方向　開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力	31.5	31.5	37.9	34.1

3.6　評価結果

水密扉の強度評価結果を表 3－6 に示す。水密扉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，水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表 3－6　水密扉の強度評価結果

水密扉No.	対象評価部材		発生応力度 又は荷重 (N/mm^2)	許容限界値 (N/mm^2)	発生応力度/ 許容限界値
11	扉板		48.9	235	0.21
	芯材*1		20.4	235	0.09
	締付装置部*2	締付装置	－	－	－
		締付装置受けピン	－	－	－
		締付装置受けボルト	－	－	－
	アンカーボルト*2		－	－	－
14	扉板		48.9	235	0.21
	芯材*1		20.4	235	0.09
	締付装置部*2	締付装置	－	－	－
		締付装置受けピン	－	－	－
		締付装置受けボルト	－	－	－
	アンカーボルト*2		－	－	－
33	扉板		1.33	205	0.01
	芯材*1		62.5	205	0.31
	締付装置部*2	締付装置	－	－	－
		締付装置受けピン	－	－	－
		締付装置受けボルト	－	－	－
	アンカーボルト*2		－	－	－
55	扉板		60.9	235	0.26
	芯材*1		14.5	135	0.11
	締付装置部	締付装置	112	390	0.29
		締付装置受けピン	61.3	205	0.30
		締付装置受けボルト	46.5	651	0.08
	アンカーボルト*3		14.5	34.1	0.43

注記＊1：曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい方の値を記載する。

注記＊2：水密扉の開方向に対して，扉板を躯体に押し付ける向きに静水圧荷重が作用するため，当該部材に荷重が作用しないことから評価対象外とした。

注記＊3：引張及びせん断のうち評価結果が厳しい方の値を記載する。

Ⅴ-3-別添3-2-3　水密扉付止水堰の強度計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　検討対象の水密扉付止水堰一覧 ····· 2
2.2　配置概要 ····· 3
2.3　構造計画 ····· 5
2.3.1　水密扉付止水堰の構造 ····· 5
2.4　評価方針 ····· 9
2.5　適用規格・基準等 ····· 11
2.6　記号の説明 ····· 12
3.　強度評価方法 ····· 14
3.1　評価対象部位 ····· 14
3.1.1　水密扉部の評価対象部位 ····· 14
3.1.2　止水堰部の評価対象部位 ····· 14
3.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 15
3.2.1　荷重の設定 ····· 15
3.2.2　荷重の組合せ ····· 16
3.3　許容限界 ····· 17
3.3.1　水密扉部（扉板，芯材），止水堰部（鋼製板，芯材） ····· 17
3.3.2　アンカーボルト（止水堰部） ····· 17
3.4　評価方法 ····· 19
3.4.1　水密扉部の応力算定 ····· 19
3.4.2　水密扉部の断面検定 ····· 25
3.4.3　止水堰部の応力算定 ····· 28
3.4.4　止水堰部の断面検定 ····· 32
3.5　評価条件 ····· 34
4.　評価結果 ····· 36

1. 概要

本資料は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり，溢水防護に関する施設である水密扉付止水堰（以下「水密扉付止水堰」という。）が，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを説明するものである。その強度評価は，応力評価により行う。止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2.　一般事項

2.1　検討対象の水密扉付止水堰一覧

検討対象の水密扉付止水堰を表2－1に示す。

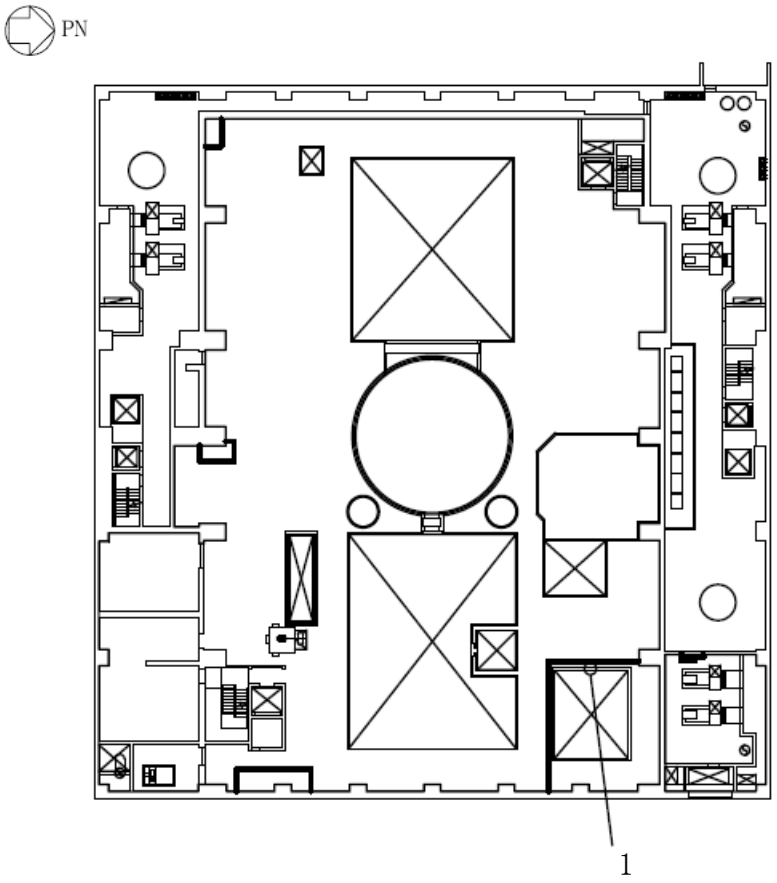
表 2－1　検討対象の水密扉付止水堰一覧

水密扉付止水堰No.	名称	設置床高さ (T.M.S.L.)
1	原子炉建屋地上4階（R5R6-RFRG）　水密扉付止水堰	31.7m
2	タービン建屋地上1階(T4-TBTC)　水密扉付止水堰	12.3m
3	タービン建屋地上1階(T7-TBTC)　水密扉付止水堰	12.3m

2.2　配置概要

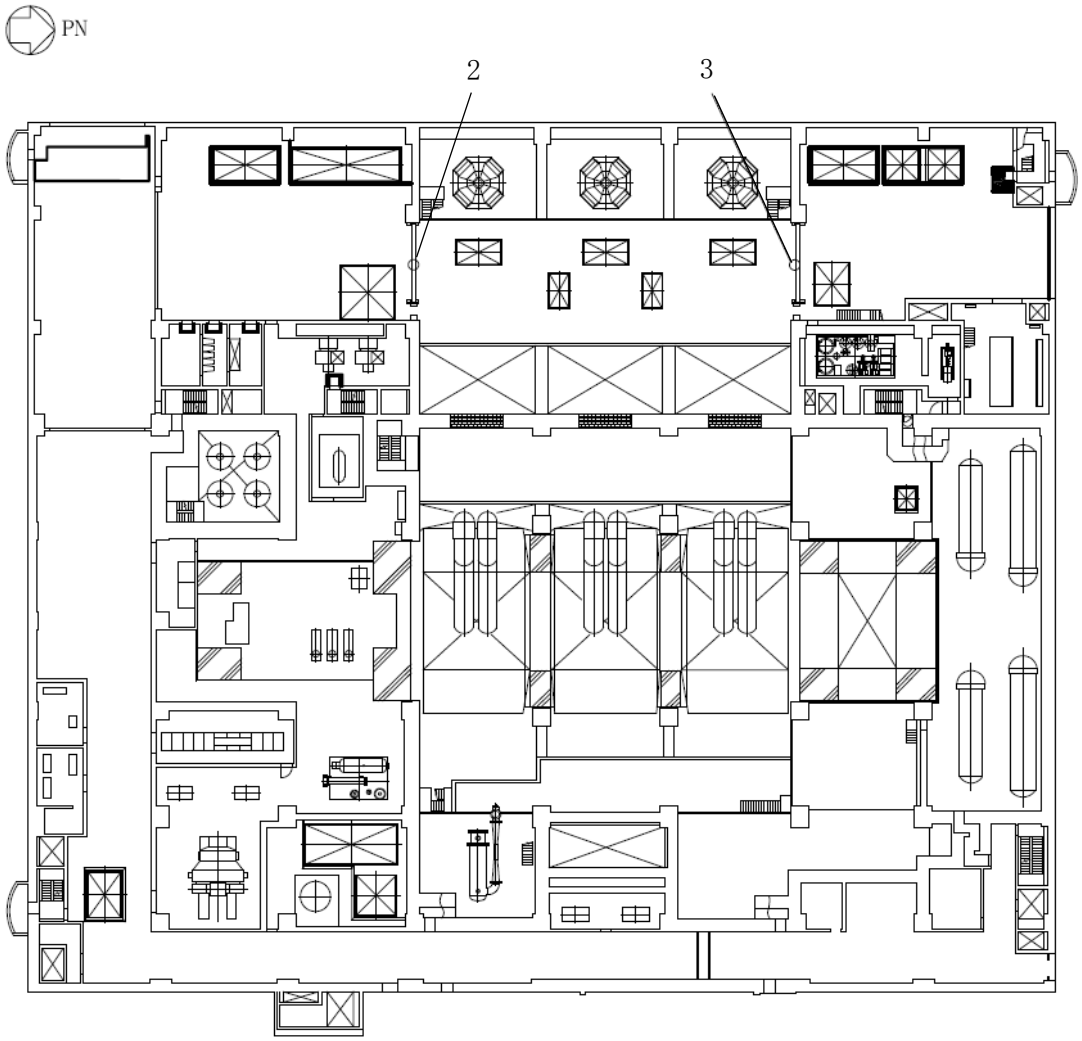
水密扉付止水堰は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.4 水密扉付止水堰の設計方針」に示すとおり，原子炉建屋及びタービン建屋に設置する。

水密扉付止水堰の設置位置を図 2－1，図 2－2 に示す。



水密扉付堰止水堰 No.	名称
1	原子炉建屋地上 4 階（R5R6-RFRG）　水密扉付止水堰

図 2－1　水密扉付止水堰の設置位置図（原子炉建屋 T.M.S.L.31.7m）



水密扉付止水堰 No.	名称
2	タービン建屋地上 1 階(T4-TBTC)　水密扉付止水堰
3	タービン建屋地上 1 階(T7-TBTC)　水密扉付止水堰

図 2－2　水密扉付止水堰の設置位置図（タービン建屋　T.M.S.L.12.3m）

2.3　構造計画

水密扉付止水堰の構造は，V-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。水密扉付止水堰は，水密扉部と止水堰部で構成され，それぞれの部位について構造計画を表2－2に，使用材料を表2－3，表2－4に示す。

2.3.1　水密扉付止水堰の構造

水密扉付止水堰は，水密扉部と止水堰部で構成される。

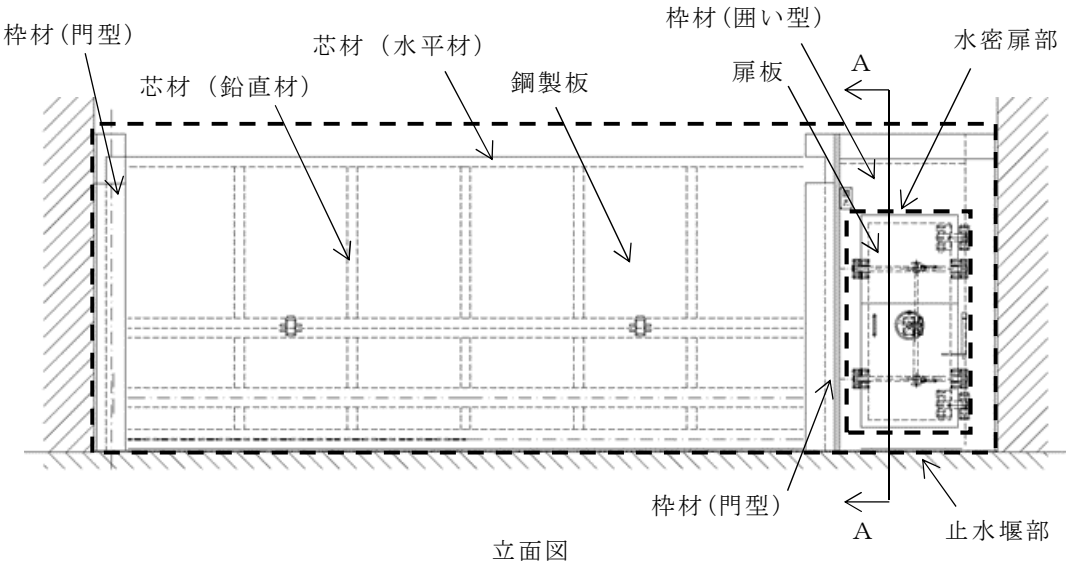
水密扉部は，片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また，閉鎖状態において締付装置により固定され水密性を確保する構造とする。

止水堰部は，芯材（水平材，鉛直材），鋼製板，枠材及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより躯体と枠材を接合する構造とする。

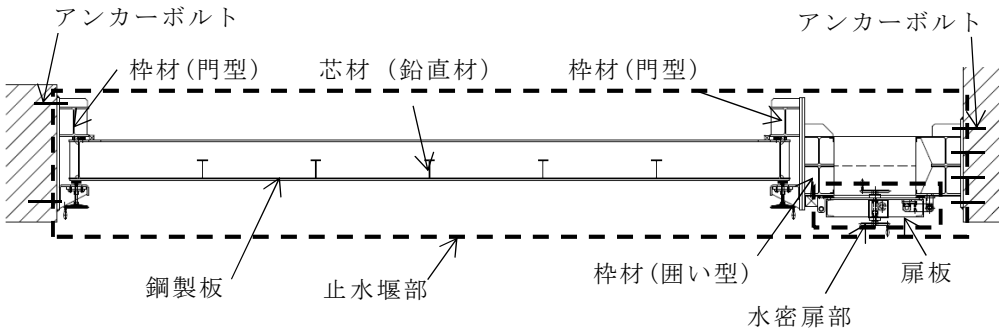
水密扉付止水堰の概略構造図を図2－3に示す。

表 2－2　水密扉付止水堰の構造計画

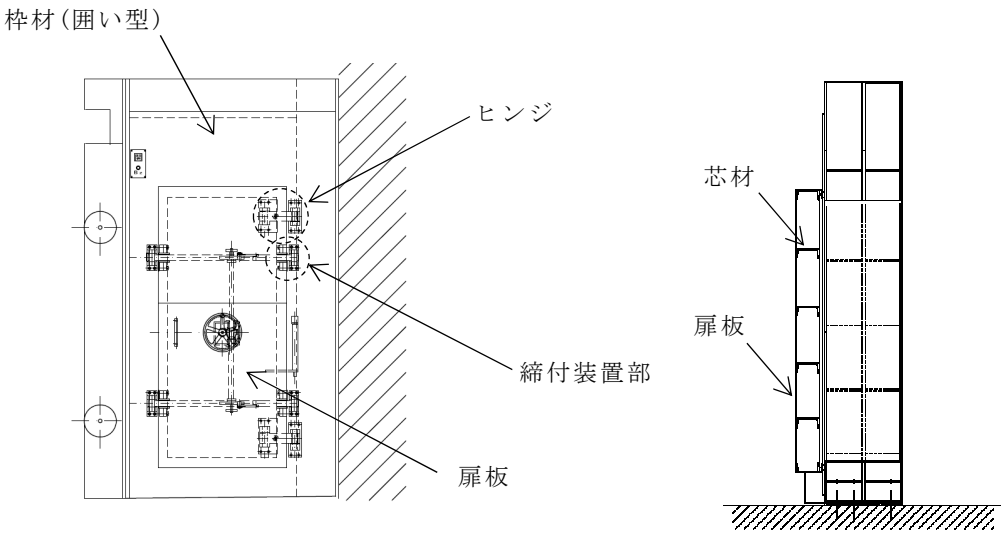
計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
水密扉部は，片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取付け，扉に設置された締付装置を鋼製の枠材(囲い型)に差込み，扉と枠材(囲い型)を一体化させる構造とする。また，扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。 止水堰部は，鋼製板，芯材（水平材，鉛直材），枠材(門型，囲い型)及びアンカーボルトにて構成する。	水密扉部は，扉開放時においては，ヒンジにより扉が枠材(囲い型)に固定され，扉閉止時においては，締付装置により扉と枠材(囲い型)が一体化する構造とする。 止水堰部は，鋼製板を芯材（水平材，鉛直材）が支持し，枠材(門型)で固定するものとし，枠材(門型，囲い型)をアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。	図2－3



立面図



平面図



水密扉部立面図

A－A断面図

図 2－3　水密扉付止水堰の概略構造図

表 2－3　使用材料（水密扉付止水堰 No.1）

評価対象部位		材質	仕様
水密扉部	扉板	SS400	厚さ 6mm
	芯材	SS400	C-100×50×5×7.5
止水堰部	鋼製板	SS400	厚さ 6mm
	芯材	SS400	H-150×75×5×7（水平材） H-150×150×7×10(水平材・鉛直材) H-250×125×6×9（水平材） H-250×250×9×14(水平材・鉛直材) H-350×350×12×19（鉛直材）
	アンカーボルト	SS400	M20

表 2－4　使用材料（水密扉付止水堰 No.2，No.3）

評価対象部位			材質	仕様
水密扉部	扉板		SS400	厚さ 12mm
	芯材		SS400	C-180×75×7×10.5
	締付装置部	締付装置	SUS403	径 60mm
		締付装置受けピン	SUS304	径 40mm
		締付装置受けボルト	SCM435	M20
止水堰部	鋼製板		SS400	厚さ 12mm
	芯材		SS400	H-400×200×8×13（水平材） C-400×100×12×12（水平材） H-200×100×5.5×8（鉛直材）
	アンカーボルト		SS400	M20

2.4　評価方針

水密扉付止水堰のうち，水密扉部の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，水密扉部の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「3.5　評価条件」に示す計算条件を用いて評価し，応力評価の確認結果を「4.　評価結果」にて確認する。

水密扉付止水堰のうち，止水堰部の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「荷重及び荷重の組合せ」及び「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，止水堰部の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「3.5　評価条件」に示す評価条件を用いて評価し，「4.　評価結果」にて確認する。

水密扉付止水堰の強度評価フローを図 2－4 に示す。水密扉付止水堰の強度評価においては，その構造を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重により，水密扉付止水堰へ作用する荷重方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

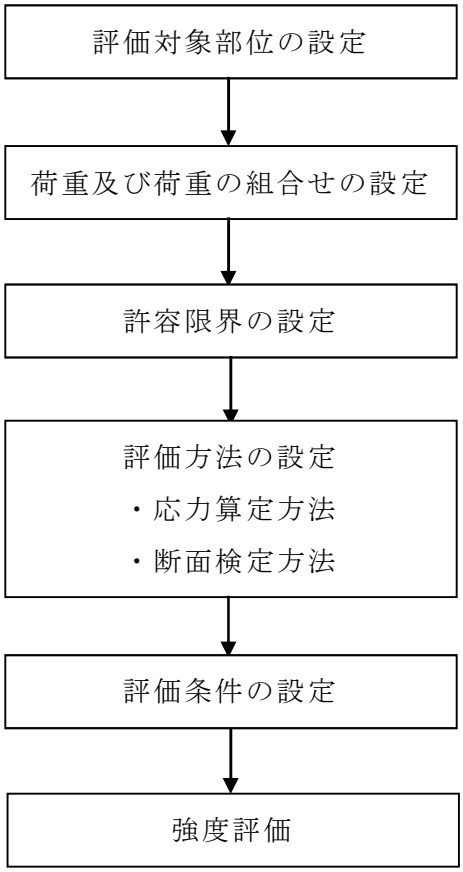


図 2－4　水密扉付止水堰の強度評価フロー

2.5　適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・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－
（（社）日本建築学会，1999 改定）

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（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）

・日本工業規格（ＪＩＳ）

2.6　記号の説明

水密扉部の強度評価に用いる記号を表2－5に，止水堰部の強度評価に用いる記号を表2－6に示す。

表 2－5　水密扉部の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	当該扉の浸水深さ
P_h	kN/m^2	静水圧荷重
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
L	mm	芯材の支持スパン
L_P	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離
Z	mm^3	断面係数
As	mm^2	せん断断面積
L_5	mm	締付装置の突出長さ
n_2	本	締付装置の本数
n_b	本	締付装置受けボルトの本数
w’	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
Q	kN	せん断力
M	kN・m	曲げモーメント
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_t	N/mm^2	引張応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

表 2－6　止水堰部の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
w_{ss}	kN/m	鋼製板又は芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重
σ	N/mm^2	曲げ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
M	kN・m	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
P_h	kN/m^2	静水圧荷重
H	mm	当該堰の浸水深さ
Z	mm^3	断面係数
A s	mm^2	せん断断面積
q	kN	アンカーボルト1本当りのせん断力
Q a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力
N	本	片側のアンカーボルトの本数
L_1	mm	躯体開口部の高さ
L_2	mm	躯体開口部の幅
L_6	mm	鋼製板の短辺長さ
L_7	mm	芯材の負担幅
L_8	mm	評価対象の芯材と直交方向の芯材の長さ
L_9	mm	芯材全長

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

評価対象部位は水密扉部と止水堰部に分けて評価する。「2.3 構造計画」に示す水密扉付止水堰の構造上の特徴を踏まえ選定する。

3.1.1 水密扉部の評価対象部位

水密扉を閉める方向に外部から水密扉に生じる静水圧荷重は，扉板から芯材を介し枠材(門型)に伝達されることから，評価対象部位は扉板及び芯材とする。

水密扉を開く方向に内部から水密扉に生じる静水圧荷重は，扉板から芯材に伝わり，締付装置部に伝達され，枠材(門型)に伝達されることから，評価対象部位は扉板，芯材及び締付装置部とする。

3.1.2 止水堰部の評価対象部位

止水堰部の評価対象部位は，静水圧荷重が，鋼製板，芯材から枠材，アンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，鋼製板，芯材及びアンカーボルトとする。

3.2　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「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。

3.2.1　荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1)　溢水による静水圧荷重P_h

溢水による静水圧荷重として，水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水に伴う荷重は，対象とする水の密度に当該部分の水圧作用深さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

P_h ：静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0 ：水の密度(t/m^3)
g ：重力加速度(m/s^2)
H ：当該扉の浸水深さ(mm)

なお，溢水による浸水深さのうち，原子炉建屋に設置する水密扉付止水堰は保守的に堰天端高さの水位設定とし，タービン建屋に設置する水密扉付止水堰は，溢水評価水位0.3mから0.6mに対し，保守的に扉閉止向きに2.0m，扉開放向きに1.0mを設定する。

3.2.2　荷重の組合せ

水密扉付止水堰の強度評価に用いる荷重の組合せは，Ｖ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりに設定する。

P_h

P_h：静水圧荷重(kN/m^2)

3.3　許容限界

3.3.1　水密扉部（扉板，芯材，締付装置部），止水堰部（鋼製板，芯材）

鋼材の許容応力度は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて表 3－1 の値とする。

表 3－1　鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度(N/mm^2)	
	曲げ	せん断
SS400（t≦40）*	235	135
SUS304	205	118
SUS403	390	225
SCM435	651	375

注記＊：t は板厚を示す。

3.3.2　アンカーボルト（止水堰部）

アンカーボルトの許容限界は，「3.1　評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定する。

静水圧荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容荷重を表3－2に示す。

評価対象部位のアンカーボルトは，せん断力を受けるため，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－2　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	水密扉付止水堰 No.	短期許容荷重
		せん断 (N)
SS400	1	40100
	2	40100
	3	40100

3.4　評価方法

水密扉付止水堰の強度評価は，Ｖ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.4.1　水密扉部の応力算定

(1)　扉板

扉板に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端固定の一方向版として算定する。

この時，実際に作用する静水圧は台形分布若しくは，三角形分布であるが，扉最下部の最大静水圧が等分布に作用するとし，安全側に評価する。扉板に静水圧荷重が作用する概念図を図 3－1 に示す。

$M = P_h \cdot (L_{PL} \cdot 10^{-3})^2 / 12$

M　　：扉板の最大曲げモーメント(kN・m/m)

P_h　：静水圧荷重(kN/m^2)

L_{PL} ：扉板の短辺長さ(mm)

ここで，$P_h = \rho_o \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$

ρ_o：水の密度(t/m^3)

g　：重力加速度(m/s^2)

H　：当該扉の浸水深さ(mm)

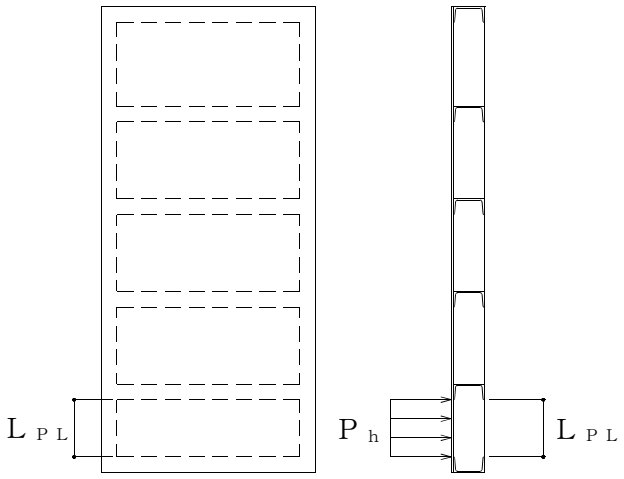


図 3－1　扉板に生じる応力の例

(2)　芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。なお，芯材の取付け方向は水平方向であり，扉最下部の最大静水圧に，芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用すると安全側に評価する。芯材に静水圧荷重が作用する概念図を図 3－2 に示す。

$M = w' \cdot (L \cdot 10^{-3})^{2} / 8$

M ：芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

w’:芯材に作用する等分布荷重(kN/m)

L ：芯材の支持スパン(mm)

$Q = w' \cdot L \cdot 10^{-3} / 2$

Q：芯材の最大せん断力(kN)

ここで，$w' = P_h \cdot b \cdot 10^{-3}$

P_h：静水圧荷重(kN/m^2)

b　：芯材に作用する荷重の負担幅(mm)

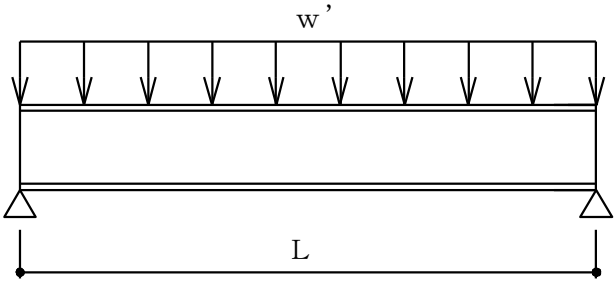


図 3－2　芯材に生じる応力の例

(3)　締付装置部

締付装置部は，締付装置，締付装置受けピン及び締付装置受けボルトで構成されており，生じる応力は次式により算定する。締付装置部に作用する荷重の例を図 3－3 に示す。

$R_p = P_0 / n_2$

R_p：溢水に伴う荷重の反力(kN)

P_0：止水堰部と水密扉部に作用する静水圧荷重による水平力(kN)

n_2：締付装置の本数(本)

ここで，$P_0 = (w_1 + w_2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$

w_1：扉上端部の静水圧荷重（＝0）(kN/m^2)

w_2：扉下端部の静水圧荷重（＝P_h）(kN/m^2)

L_1：躯体開口部の高さ(mm)

L_2：躯体開口部の幅(mm)

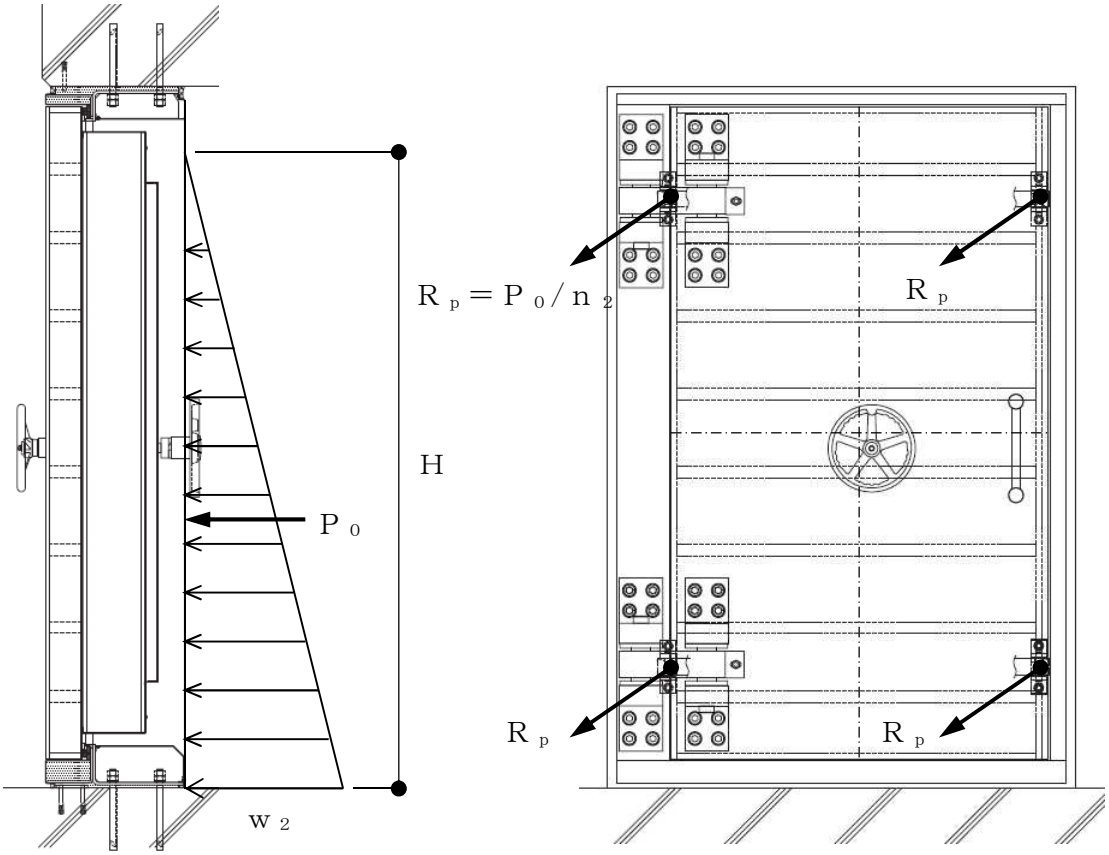


図 3－3　締付装置部に生じる荷重の例

a.　締付装置

締付装置に生じる応力は，次式により算定する。締付装置に生じる荷重の例を図3－4に示す。

$M = R_p \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$

M　：締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

R_p：溢水に伴う荷重の反力(kN)

L_5：締付装置の突出長さ(mm)

$Q = R_p$

Q　：締付装置の最大せん断力(kN)

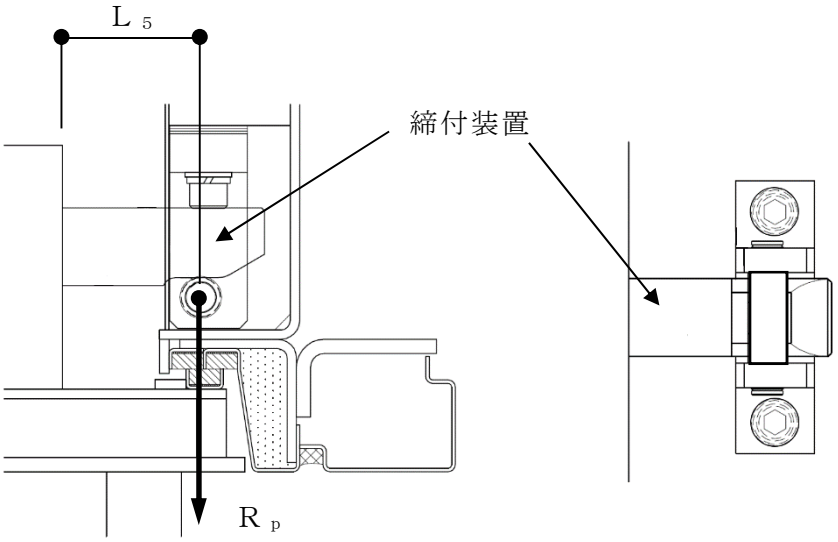


図 3－4　締付装置に生じる荷重の例

b.　締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる応力は，次式により算定する。締付装置受けピンに生じる荷重の例を図3－5に示す。

$M = R_p \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$

M　：締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

R_p：溢水に伴う荷重の反力(kN)

L_p：締付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

$Q = R_p / 2$

Q　：締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

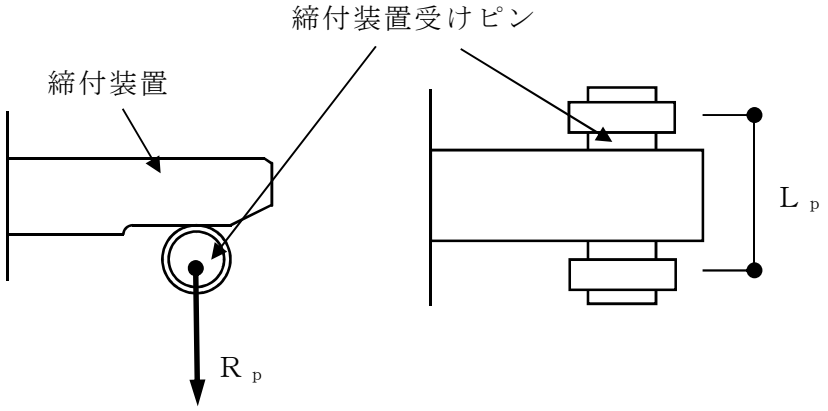


図3－5　締付装置受けピンに生じる荷重の例

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる応力は，次式により算定する。締付装置受けボルトに生じる荷重の例を図3－6に示す。

$T = R_p / n_b$

T　：締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

R_p：溢水に伴う荷重の反力(kN)

n_b：締付装置受けボルトの本数（本）

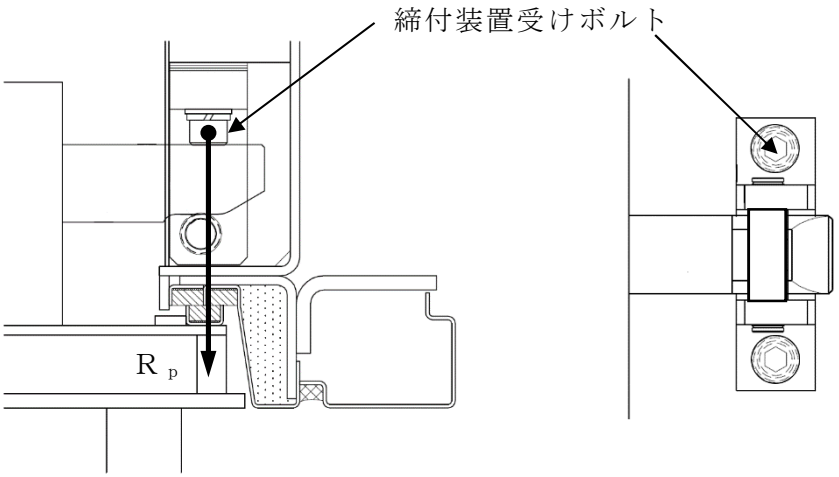


図 3－6　締付装置受けボルトに生じる荷重の例

3.4.2　水密扉部の断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度等が，許容限界値以下であることを確認する。

(1)　扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し，扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

σ　＝（M・10^6）／Z

σ　：扉板の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：扉板の最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z　：扉板の断面係数(mm^3/m)

(2)　芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

σ　＝（M・10^6）／Z

σ　：芯材の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M　：芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

Z　：芯材の断面係数(mm^3)

τ　＝（Q・10^3）／A s

τ　：芯材の最大せん断応力度(N/mm^2)

Q　：芯材の最大せん断力(kN)

A s：芯材のせん断断面積(mm^2)

(3) 締付装置部

a. 締付装置

締付装置に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づく次式により算定し，締付装置の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x：組合せ応力度(N/mm^2)

ここで，$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ：締付装置の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M：締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

Z：締付装置の断面係数(mm^3)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ：締付装置の最大せん断応力度(N/mm^2)

Q：締付装置の最大せん断力(kN)

A_s：締付装置のせん断断面積(mm^2)

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し，締付装置受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ：締付装置受けピンの最大曲げ応力度(N/mm^2)

M：締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

Z：締付装置受けピンの断面係数(mm^3)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ：締付装置受けピンの最大せん断応力度(N/mm^2)

Q：締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

A_s：締付装置受けピンのせん断断面積(mm^2)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し，締付装置受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A$

σ_t ：締付装置受けボルトの最大引張応力度(N/mm^2)

T ：締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

A ：締付装置受けボルトの断面積(mm^2)

3.4.3　止水堰部の応力算定

静水圧荷重を受ける鋼製板，芯材，アンカーボルトに対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を次式により算定する。

止水堰部に生じる力の概念図を図 3－7 に示す。

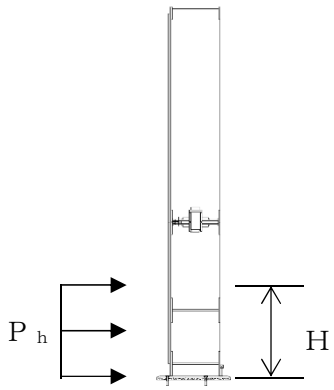


図 3－7　溢水時の鋼製板に生じる断面概念図

(1)　鋼製板

図 3－8 に示すとおり，鋼製板が静水圧荷重を負担する範囲のうち，評価上最も厳しい条件となる部位において評価を実施する。

a.　単位長さ当りの静水圧荷重

単位長さ当りの静水圧荷重は構造力学公式集に基づき次式より算出する。

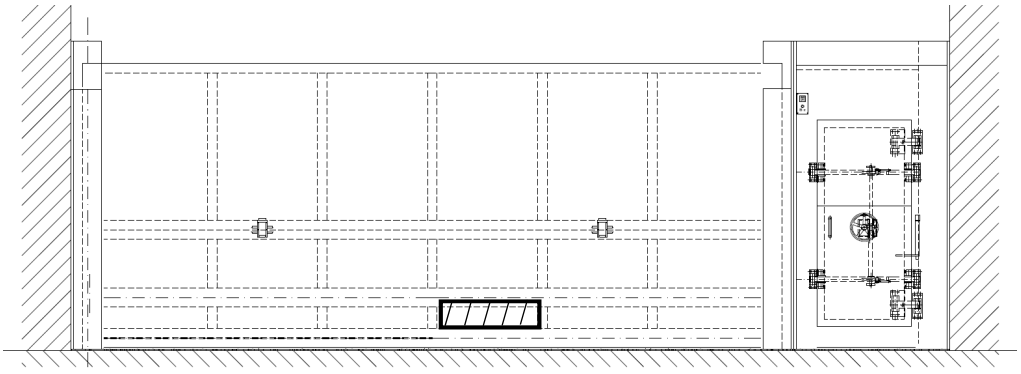
$P_h = \rho_o \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$

P_h　：静水圧荷重(kN/m^2)

ρ_o　：水の密度(t/m^3)

g　：重力加速度(m/s^2)

H　：当該堰の浸水深さ(mm)



：評価の対象とする鋼製板

図 3－8　評価の対象とする鋼製板

(2)　芯材

芯材の支持条件について，水平材は両端をピン支持に，鉛直材は脚部固定とした。図 3－9 に示すとおり，芯材が静水圧荷重を負担する範囲のうち，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

a.　単位長さ当りの静水圧荷重

単位長さ当りの静水圧荷重は構造力学公式集に基づき次式より算出する。

$P_h = \rho_o \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$

P_h　：静水圧荷重(kN/m^2)

ρ_o　：水の密度(t/m^3)

g　：重力加速度(m/s^2)

H　：当該堰の浸水深さ(mm)

b.　芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重w_{ss}

$w_{ss} = P_h \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$

w_{ss}　：芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重(kN/m)

L_7　：芯材の負担幅(mm)

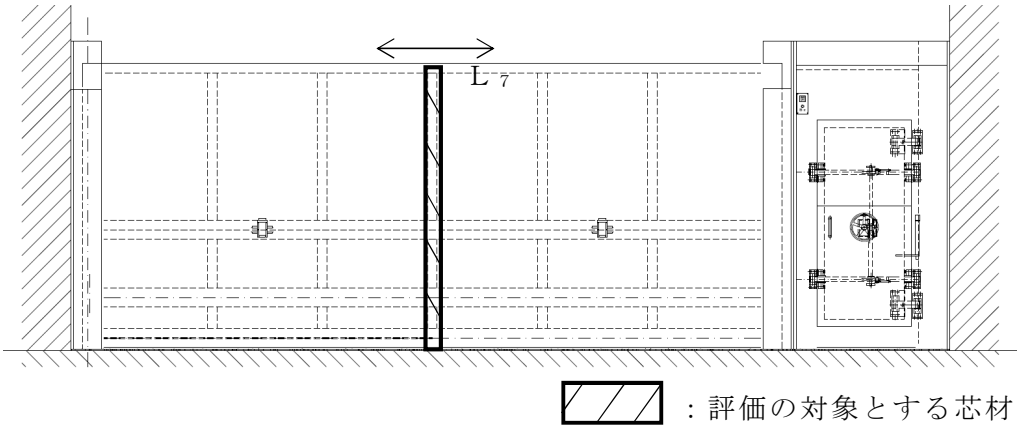


図 3－9　評価の対象とする芯材

(3) アンカーボルト

a. せん断力に対する検定

アンカーボルトに生じる応力は，次式により算定する。ここで，アンカーボルトに作用する荷重は，せん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲は図 3―10 に示す通りとする。ここで，評価においては止水堰部と水密扉部に作用する静水圧荷重を片側のアンカーボルトに作用させるものとする。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3―10 に示す。

$q = P_0 / N$

q ：アンカーボルト 1 本当りのせん断力(kN)

P_0 ：止水堰部と水密扉部に作用する静水圧荷重による水平力(kN)

N ：アンカーボルトの本数(本)

ここで，$P_0 = (w_1 + w_2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$

w_1 ：扉上端部の静水圧荷重（＝0）(kN/m^2)

w_2 ：扉下端部の静水圧荷重（＝P_h）(kN/m^2)

L_1 ：躯体開口部の高さ(mm)

L_2 ：躯体開口部の幅(mm)

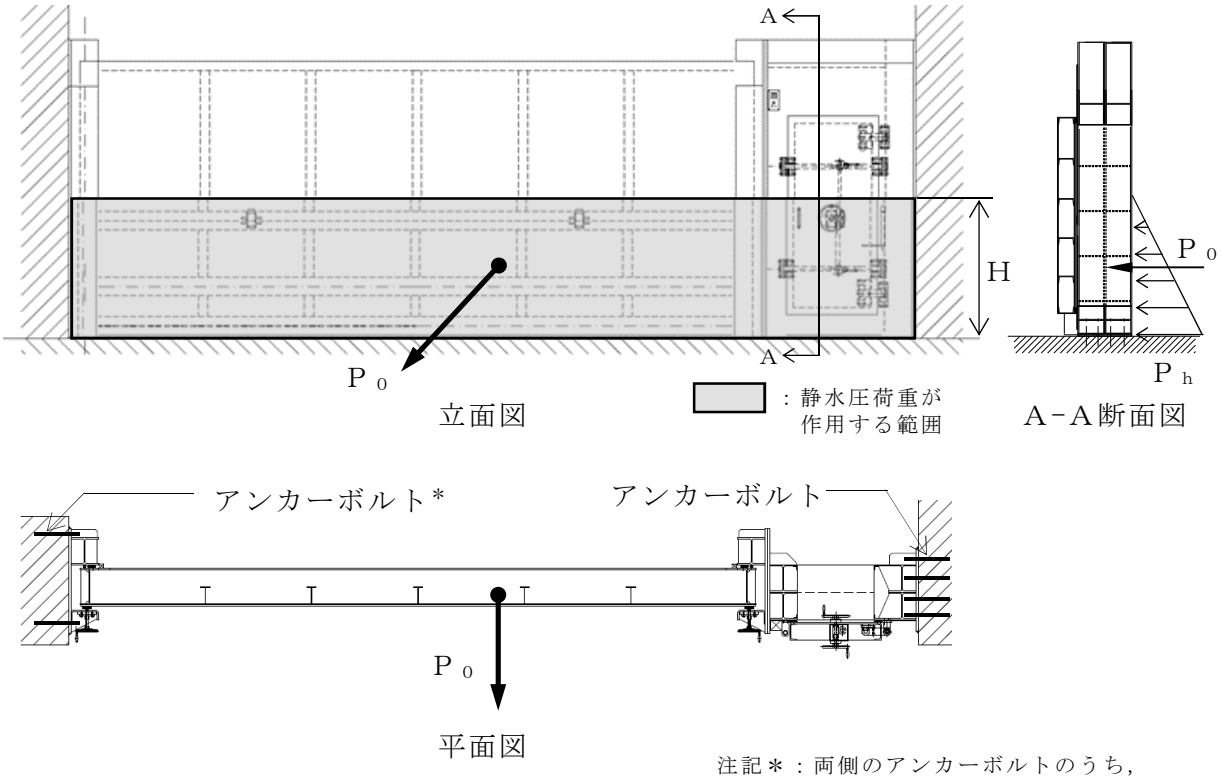


図 3－10 アンカーボルトに生じる荷重の例

3.4.4　止水堰部の断面検定

(1)　鋼製板

a.　曲げ応力度に対する検定

次式により算出する曲げ応力度が，鋼製板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$\sigma = (M \cdot 10^{6}) / Z$

σ　：鋼製板の曲げ応力度(N/mm^2)

M　：鋼製板の曲げモーメント(kN・m/m)

Z　：鋼製板の断面係数(mm^3/m)

ここで，$M = (P_h \cdot (L_6 \cdot 10^{-3})^2) / 12$

P_h　：静水圧荷重(kN/m^2)

L_6　：鋼製板の短辺長さ(mm)

(2)　芯材

a.　芯材に作用する最大せん断応力度

$\tau = (Q \cdot 10^{3}) / A_s$

τ　：芯材に作用する最大せん断応力度(N/mm^2)

Q　：芯材に作用する最大せん断力(kN)

A_s　：芯材のせん断断面積(mm^2)

ここで，$Q = 1/2 \cdot w_{ss} \cdot L_9 \cdot 10^{-3}$

w_{ss}　：芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重(kN/m)

L_9　：芯材全長(mm)

b.　芯材に作用する最大曲げ応力度

$\sigma = (M \cdot 10^{6}) / Z$

σ：芯材の最大曲げ応力度(N/mm^2)

M：芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

Z：芯材の断面係数(mm^3)

ここで，$M = 1/6 \cdot w_{ss} \cdot (L_9 \cdot 10^{-3})^2$

w_{ss}　：芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重(kN/m)

L_9　：芯材全長(mm)

c. 芯材に作用する組合せ応力度

芯材に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。また芯材に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改訂）」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$

x：組合せ応力度(N/mm^2)

σ：芯材の最大曲げ応力度(N/mm^2)

τ：芯材の最大せん断応力度(N/mm^2)

ここで，$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

M：芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

Z：芯材の断面係数(mm^3)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

Q：芯材の最大せん断力(kN)

A_s：芯材の最大せん断断面積(mm^2)

(3) アンカーボルト

$q = P_0 / N$

q：アンカーボルト1本当りのせん断力(kN)

P_0：止水堰部と水密扉部に作用する静水圧荷重による水平力(kN)

N：アンカーボルトの本数(本)

3.5　評価条件

水密扉付止水堰のうち，水密扉部の強度評価に用いる入力値を表3－3，止水堰部の強度評価に用いる入力値を表3－4に示す。

表 3－3　水密扉部の強度評価に用いる入力値

対象部位		記号	単位	定義	水密扉付止水堰No.		
					1	2	3
共通		H	mm	当該扉の浸水深さ	1510	2000	2000
		ρ_o	t/m^3	水の密度	1.00	1.03	1.03
		g	m/s^2	重力加速度	9.80665	9.80665	9.80665
扉板		L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	571	436	436
		Z	mm^3/m	断面係数	6.000×10^3	2.400×10^4	2.400×10^4
芯材		P_h	kN/m^2	静水圧荷重	14.8	20.3	20.3
		b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	561	436	436
		L	mm	芯材の支持スパン	805	995	995
		Z	mm^3	断面係数	3.760×10^4	1.530×10^5	1.530×10^5
		A_s	mm^2	せん断断面積	4.250×10^2	1.260×10^3	1.260×10^3
締付＊装置部	共通	n_2	本	締付装置の本数	－	4	4
	締付装置	L_5	mm	締付装置の突出長さ	－	50	50
		σ	N/mm^2	曲げ応力度	－	83.5	83.5
		τ	N/mm^2	せん断応力度	－	12.5	12.5
	締付装置受けピン	L_P	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離	－	110	110
		σ	N/mm^2	曲げ応力度	－	155	155
		τ	N/mm^2	せん断応力度	－	14.1	14.1
	締付装置受けボルト	n_b	本	締付装置受けボルトの本数	－	4	4
		σ_t	N/mm^2	引張応力度	－	37.7	37.7

注記＊：静水圧荷重が内部から作用する設備についてのみ評価対象とした。

表 3－4　止水堰部の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	水密扉付止水堰No.		
			1	2	3
ρ_o	t/m^3	水の密度	1.00	1.03	1.03
H	mm	当該堰の浸水深さ	1510	2000	2000
Z	mm^3/m	鋼製板の断面係数	6.000×10^3	2.400×10^4	2.400×10^4
As	mm^2	芯材のせん断断面積	9.100×10^2	1.100×10^3	1.100×10^3
Z	mm^3	芯材の断面係数	2.160×10^5	1.810×10^5	1.810×10^5
N	本	片側のアンカーボルトの本数	6	14	14
Qa	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	40.1	40.1	40.1
L_1	mm	躯体開口部の高さ	1520	3000	3000
L_2	mm	躯体開口部の幅	700	9300	9300
L_6	mm	鋼製板の短辺長さ	698	225	225
L_7	mm	芯材の負担幅	3488	1165	1165
L_8	mm	評価対象の芯材と直交方向の芯材の長さ	10814	7000	7000
L_9	mm	芯材全長	1510	3000	3000

4. 評価結果

水密扉部の強度評価結果を表 4－1 に，止水堰部の強度評価結果を表 4－2 に示す。発生値は許容値を満足しており，静水圧荷重に対して，溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを確認した。

表 4－1　水密扉部の強度評価結果

水密扉付 止水堰No.	対象評価部材		発生応力度 又は荷重 (N/mm^2)	許容限界値 (N/mm^2)	発生応力度/ 許容限界値
1	扉板*1		66.7	235	0.29
	芯材*1		17.9	235	0.08
	締付装置部*2	締付装置	－	－	－
		締付装置受けピン	－	－	－
		締付装置受けボルト	－	－	－
2	扉板*1		13.8	235	0.06
	芯材*1		7.19	235	0.04
	締付装置部	締付装置	86.3	390	0.23
		締付装置受けピン	155	205	0.76
		締付装置受けボルト	37.7	651	0.06
3	扉板*1		13.8	235	0.06
	芯材*1		7.19	235	0.04
	締付装置部	締付装置	86.3	390	0.23
		締付装置受けピン	155	205	0.76
		締付装置受けボルト	37.7	651	0.06

注記＊1：曲げとせん断のうち，最も厳しい評価結果を記載。

注記＊2：静水圧荷重が作用しないため評価対象外とする。

表 4－2　止水堰部の強度評価結果

水密扉付 止水堰No.	評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力度)		許容限界		検定値
1	鋼製板	曲げ	102	N/mm^2	235	N/mm^2	0.44 ＜1.0
	芯材	曲げ	91.0	N/mm^2	235	N/mm^2	0.39 ＜1.0
		せん断	42.9	N/mm^2	135	N/mm^2	0.32 ＜1.0
		組合せ	118	N/mm^2	235	N/mm^2	0.50 ＜1.0
	アンカーボルト	せん断	20.2	kN	40.1	kN	0.51 ＜1.0
2	鋼製板	曲げ	3.75	N/mm^2	235	N/mm^2	0.02 ＜1.0
	芯材	曲げ	199	N/mm^2	235	N/mm^2	0.85 ＜1.0
		せん断	32.8	N/mm^2	135	N/mm^2	0.25 ＜1.0
		組合せ	207	N/mm^2	235	N/mm^2	0.89 ＜1.0
	アンカーボルト	せん断	20.2	kN	40.1	kN	0.51 ＜1.0
3	鋼製板	曲げ	3.75	N/mm^2	235	N/mm^2	0.02 ＜1.0
	芯材	曲げ	199	N/mm^2	235	N/mm^2	0.85 ＜1.0
		せん断	32.8	N/mm^2	135	N/mm^2	0.25 ＜1.0
		組合せ	207	N/mm^2	235	N/mm^2	0.89 ＜1.0
	アンカーボルト	せん断	20.2	kN	40.1	kN	0.51 ＜1.0

Ⅴ-3-別添3-2-4　止水堰の強度計算書

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　検討対象堰一覧 ····· 1
2.2　配置概要 ····· 2
2.3　構造計画 ····· 18
2.3.1　L 型鋼製堰の構造 ····· 18
2.3.2　鋼製落し込み型堰の構造 ····· 19
2.3.3　鉄筋コンクリート製堰の構造 ····· 20
2.3.4　鋼板組合せ堰の構造 ····· 21
2.4　評価方針 ····· 22
2.5　適用規格 ····· 23
3.　強度評価方法 ····· 23
3.1　記号の説明 ····· 24
3.2　評価対象部位及び評価対象設備 ····· 27
3.2.1　L 型鋼製堰と鋼製落し込み型堰 ····· 27
3.2.2　鉄筋コンクリート製堰 ····· 28
3.2.3　鋼板組合せ堰 ····· 29
3.3　荷重及び荷重の組合せ ····· 31
3.3.1　溢水による静水圧荷重 ····· 31
3.3.2　荷重の組合せ ····· 31
3.4　許容限界 ····· 32
3.4.1　L 型鋼製堰の許容限界 ····· 32
3.4.2　鋼製落し込み型堰の許容限界 ····· 33
3.4.3　鉄筋コンクリート製堰の許容限界 ····· 33
3.4.4　鋼板組合せ堰の許容限界 ····· 34
3.5　評価方法 ····· 36
3.5.1　L 型鋼製堰の評価方法 ····· 36
3.5.2　鋼製落し込み型堰の評価方法 ····· 39
3.5.3　鉄筋コンクリート製堰の評価方法 ····· 42
3.5.4　鋼板組合せ堰の評価方法 ····· 47
3.6　評価条件 ····· 56
4.　評価結果 ····· 59

1. 概要

本資料は，V-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防護施設である溢水伝播防止堰及び管理区域外伝播防止堰（以下「堰」という。）が，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の各建屋ごとの数を表 2－1 に示す。

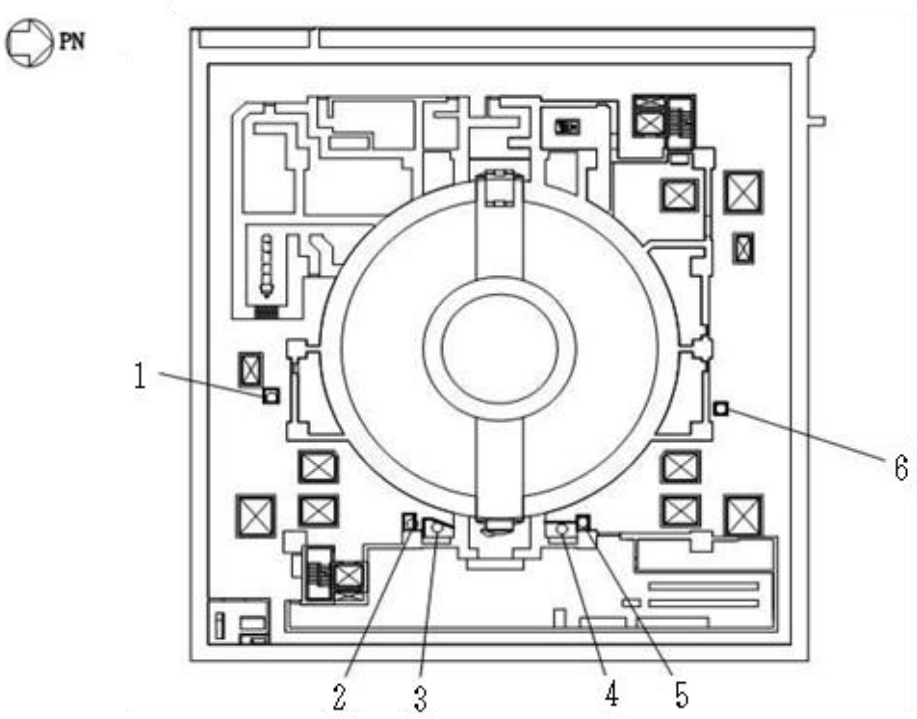
表 2－1　検討対象堰

設置建屋	対象堰数
原子炉建屋	46
タービン建屋	17
コントロール建屋	24
廃棄物処理建屋	1
合計	88

2.2　配置概要

堰は，V-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.2　溢水伝播防止堰の設計方針」及び「4.1.3　管理区域外伝播防止堰の設計方針」に示すとおり，原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋に設置する。堰の設置位置及び堰の識別に用いる番号を図2－1に示す。

図2－1　堰の設置位置図(1/16)

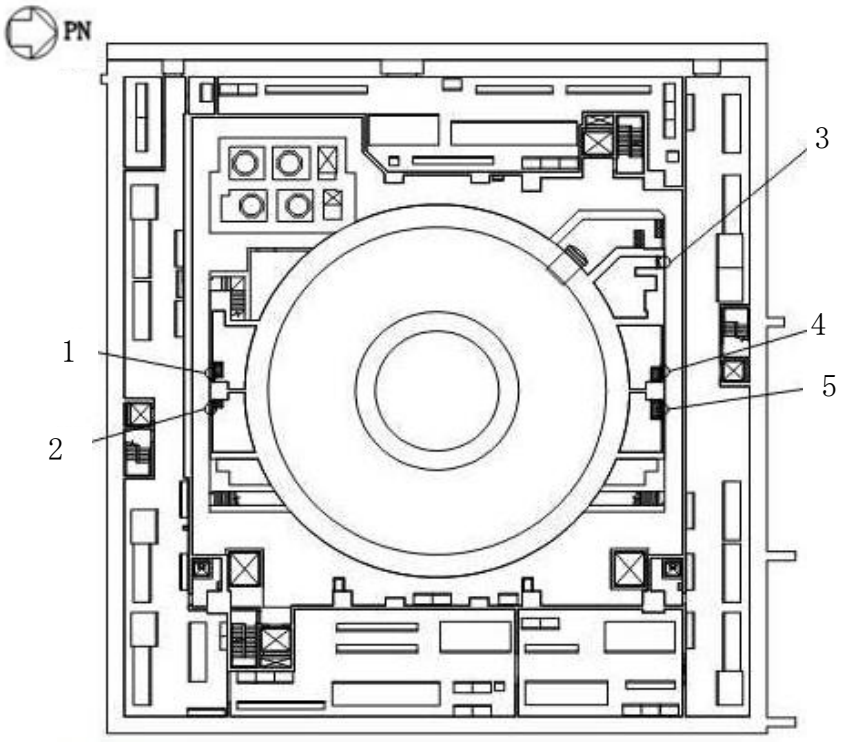


原子炉建屋　T.M.S.L.－1700mm

RB-B2F

1	原子炉建屋地下2階(R1R2-RDRE)通路　止水堰
2	原子炉建屋地下2階(R2R3-RERF)通路　止水堰
3	原子炉建屋地下2階(R3R4-RERF)通路　止水堰
4	原子炉建屋地下2階(R4R5-RERF)通路　止水堰
5	原子炉建屋地下2階(R5R6-RERF)通路　止水堰
6	原子炉建屋地下2階(R6R7-RDRE)通路　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(2/16)

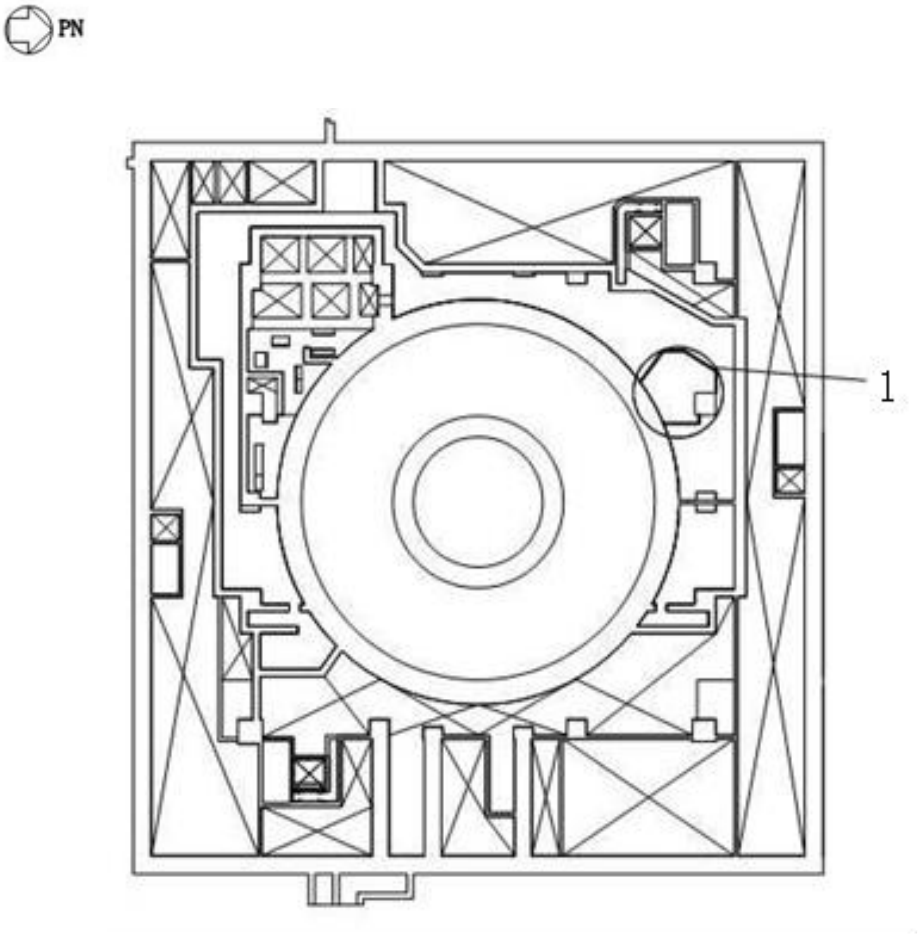


原子炉建屋　T.M.S.L.4800mm

RB-B1F

1	原子炉建屋地下 1 階(R1R2-RCRD)原子炉系(DIV-Ⅳ)計装ラック室 止水堰
2	原子炉建屋地下 1 階(R1R2-RDRE)原子炉系(DIV-Ⅱ)計装ラック室 止水堰
3	原子炉建屋地下 1 階(R6R7-RBRC)残留熱除去系(A)配管室　止水堰
4	原子炉建屋地下 1 階(R6R7-RCRD)原子炉系(DIV-Ⅰ)計装ラック室 止水堰
5	原子炉建屋地下 1 階(R6R7-RDRE)原子炉系(DIV-Ⅲ)計装ラック室 止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(3/16)

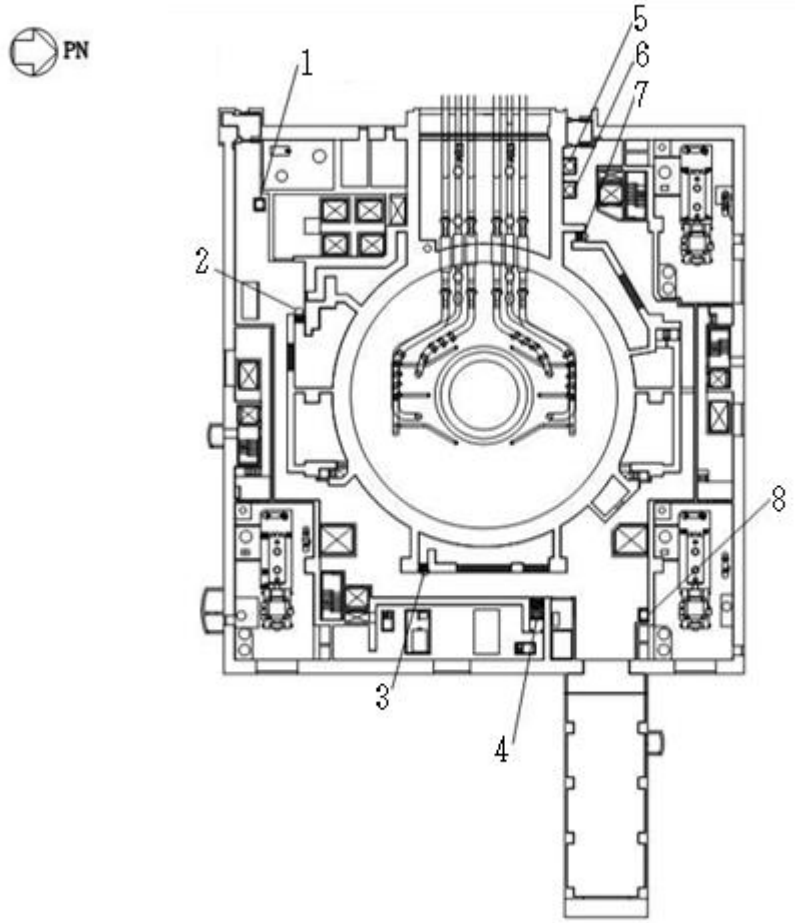


原子炉建屋　T.M.S.L.8500mm

RB-MB1F

1	原子炉建屋地下中 1 階(R5R6-RBRC)残留熱除去系(A)配管室　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(4/16)

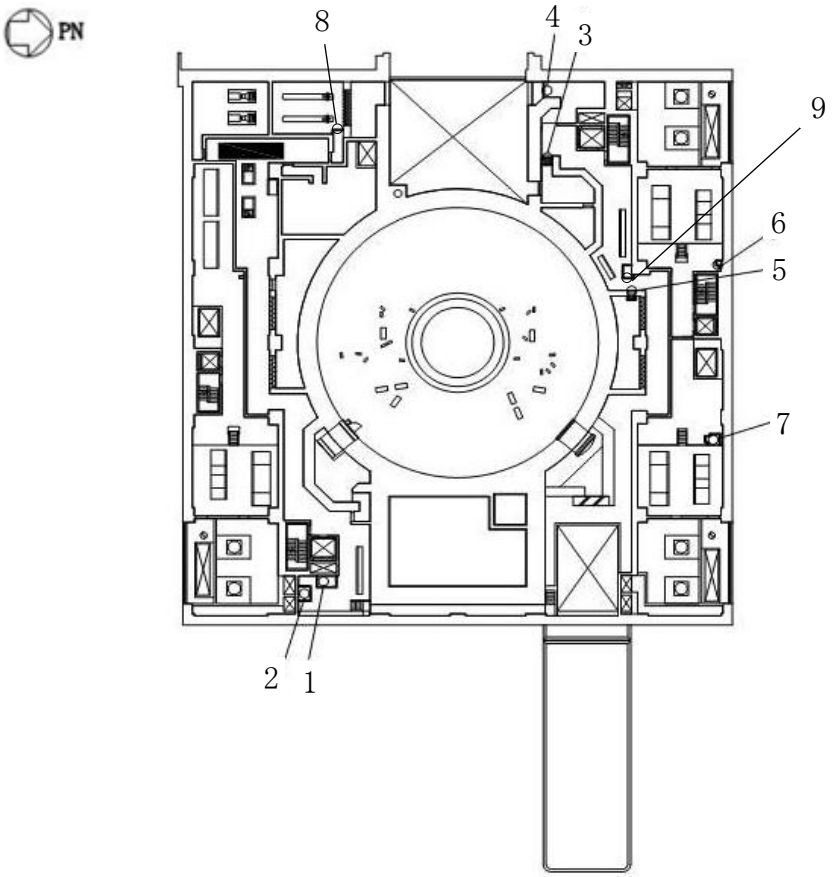


原子炉建屋　T.M.S.L.12300mm

RB-1F

1	原子炉建屋地上 1 階(R1R2-RARB)通路　止水堰
2	原子炉建屋地上 1 階(R1R2-RBRC)ほう酸水注入系ペネ，電気ペネ室 止水堰
3	原子炉建屋地上 1 階(R3R4-RFRG)電気ペネ室　止水堰
4	原子炉建屋地上 1 階(R4R5-RFRG)可燃性ガス濃度制御系再結合装置室 止水堰
5	原子炉建屋地上 1 階(R5R6-RARB)通路　止水堰 1
6	原子炉建屋地上 1 階(R5R6-RARB)通路　止水堰 2
7	原子炉建屋地上 1 階(R5R6-RBRC)原子炉補機冷却水系・不活性ガス系・電気ペネ室　止水堰
8	原子炉建屋地上 1 階(R5R6-RFRG)通路　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(5/16)

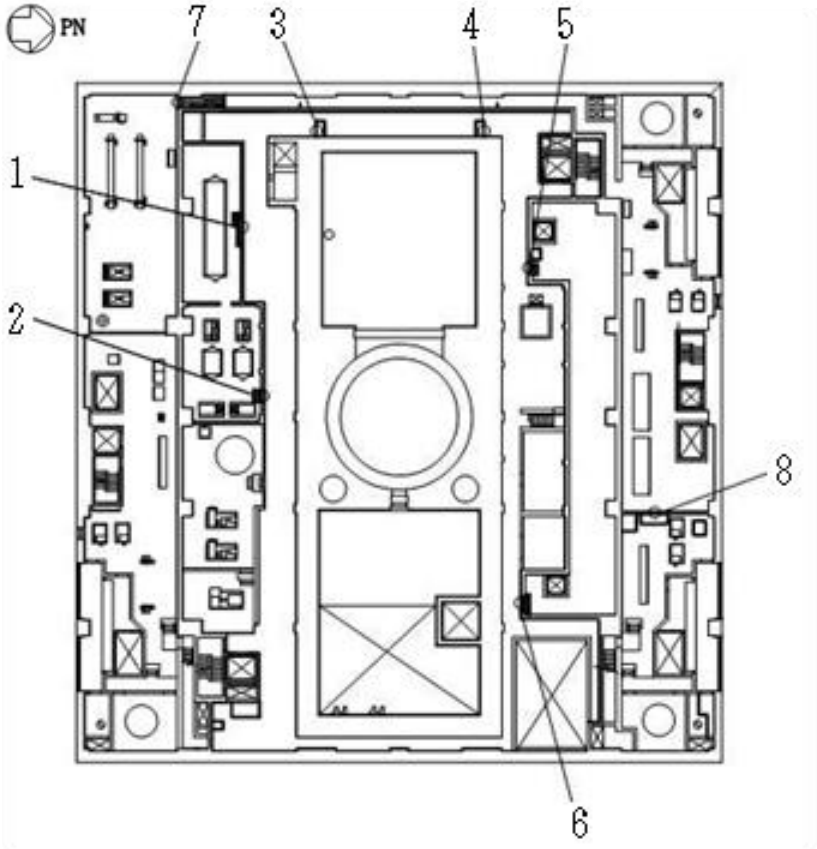


原子炉建屋　T.M.S.L.18100mm

RB-2F

1	原子炉建屋地上 2 階(R2R3-RFRG)通路　止水堰 1
2	原子炉建屋地上 2 階(R2R3-RFRG)通路　止水堰 2
3	原子炉建屋地上 2 階(R5R6-RARB)主蒸気系トンネル室，配管ペネ室　止水堰
4	原子炉建屋地上 2 階(R5R6-RARB)通路　止水堰
5	原子炉建屋地上 2 階(R5R6-RCRD)電気ペネ室　止水堰
6	原子炉建屋地上 2 階(R6R7-RBRC)通路　止水堰
7	原子炉建屋地上 2 階(R6R7-RERF)通路　止水堰
8	原子炉建屋地上 2 階(R2R3-RARB)燃料プール冷却浄化系熱交換器室　止水堰
9	原子炉建屋地上 2 階(R5R6-RCRD)通路　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(6/16)

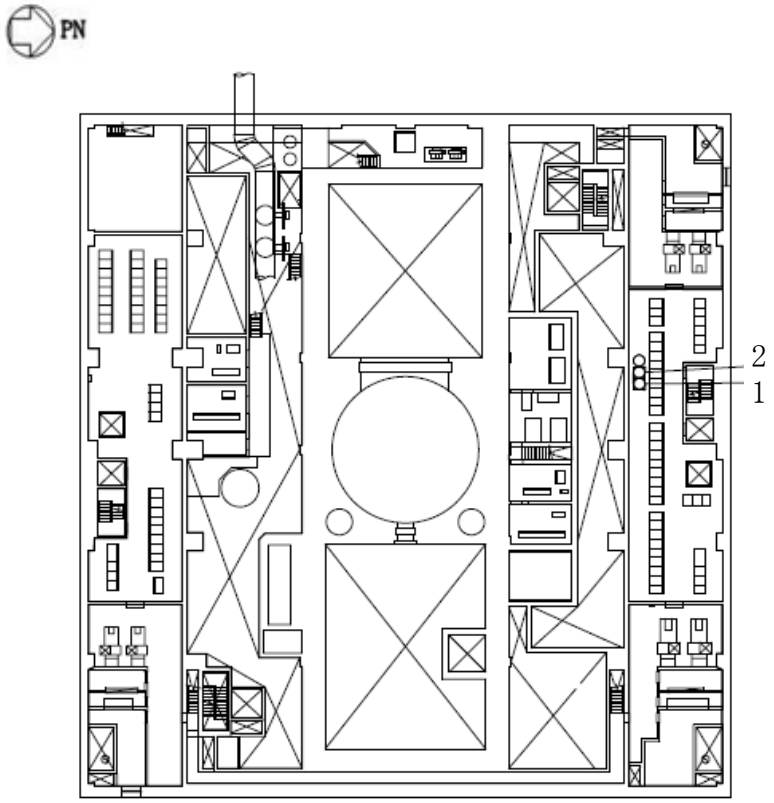


原子炉建屋　T.M.S.L.23500mm

RB-3F

1	原子炉建屋地上 3 階(R2R3-RBRC)非常用ガス処理系室　止水堰
2	原子炉建屋地上 3 階(R2R3-RCRD)非常用ガス処理系室　止水堰
3	原子炉建屋地上 3 階(R3R4-RARB)通路　止水堰
4	原子炉建屋地上 3 階(R4R5-RARB)通路　止水堰
5	原子炉建屋地上 3 階(R5R6-RBRC)主蒸気隔離弁・逃がし安全弁ラッピング室　止水堰 1
6	原子炉建屋地上 3 階(R5R6-RERF)主蒸気隔離弁・逃がし安全弁ラッピング室　止水堰
7	原子炉建屋地上 3 階(R2R3-RARB)通路　止水堰
8	原子炉建屋地上 3 階(R6R7-RERF)非常用ディーゼル発電機(C)補機室 止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(7/16)

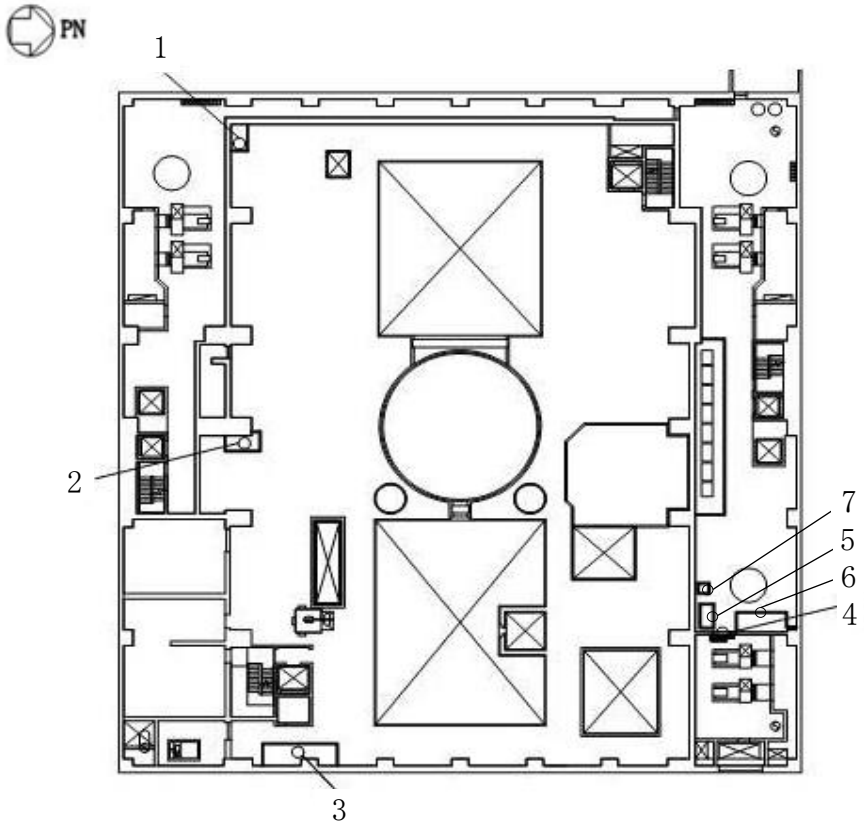


原子炉建屋　T.M.S.L.27200mm

RB-M3F

1	原子炉建屋地上中 3 階(R6R7-RCRD)北側改良型制御棒駆動機構制御盤室 止水堰 1
2	原子炉建屋地上中 3 階(R6R7-RCRD)北側改良型制御棒駆動機構制御盤室 止水堰 2

図 2－1　堰の設置位置図(8/16)

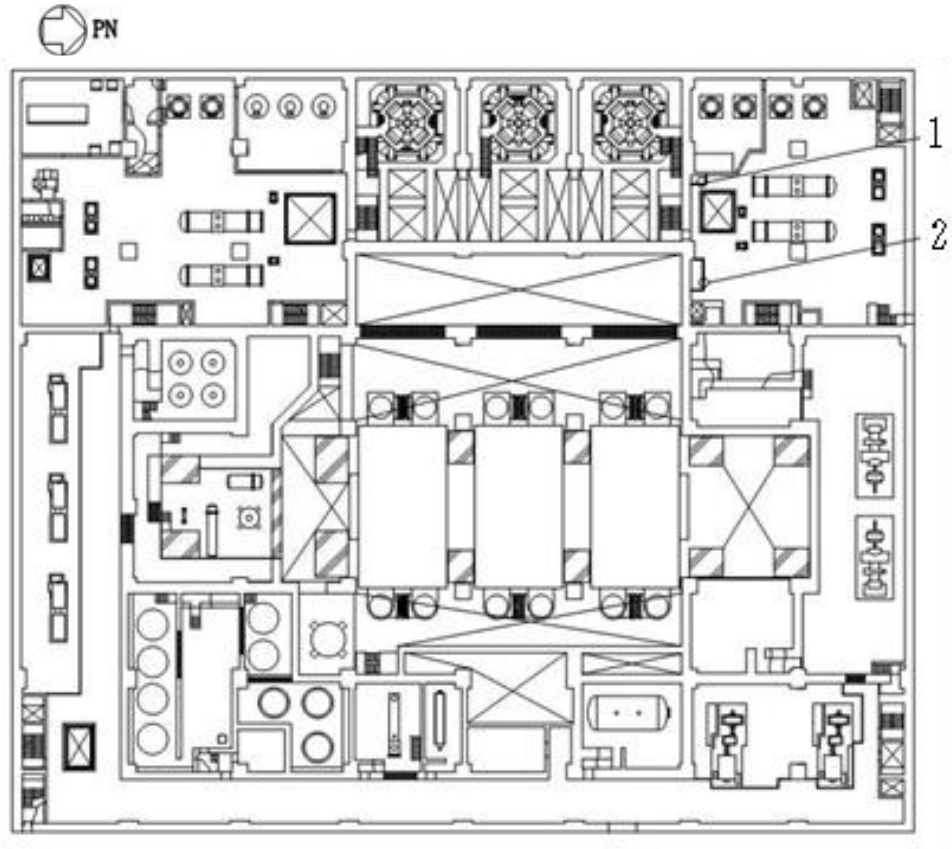


原子炉建屋　T.M.S.L.31700mm

RB-4F

1	原子炉建屋地上 4 階(R2R3-RARB)オペレーティングフロア　止水堰
2	原子炉建屋地上 4 階(R2R3-RDRE)オペレーティングフロア　止水堰
3	原子炉建屋地上 4 階(R2R3-RFRG)オペレーティングフロア　止水堰
4	原子炉建屋地上 4 階(R6R7-RFRG)非常用ディーゼル発電機(C)区域 排風機室，給気ルーバ室　止水堰
5	原子炉建屋地上 4 階(R6R7-RERF)通路　止水堰 1
6	原子炉建屋地上 4 階(R6R7-RERF)通路　止水堰 2
7	原子炉建屋地上 4 階(R6R7-RERF)通路　止水堰 3

図 2－1　堰の設置位置図(9/16)

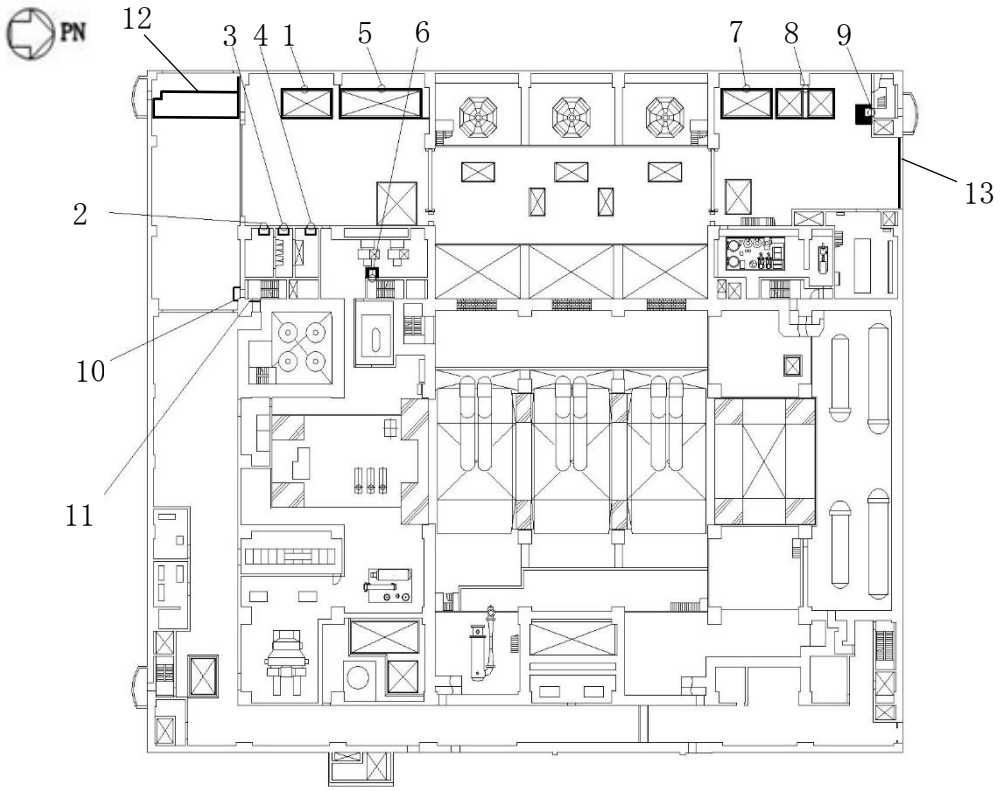


タービン建屋　T.M.S.L.4900mm

TB-B1F

1	タービン建屋地下 1 階(T7T8-TBTC)原子炉補機冷却系[redacted]熱交換器・ポンプ室　止水堰
2	タービン建屋地下 1 階(T7T8-TCTD)原子炉補機冷却系[redacted]熱交換器・ポンプ室　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(10/16)

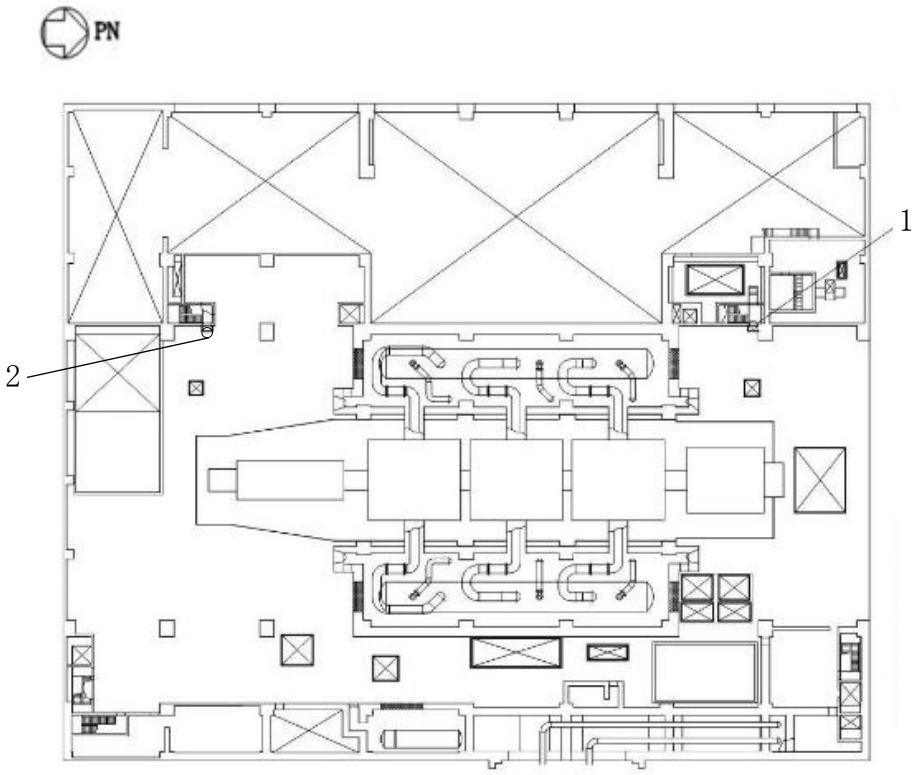


タービン建屋　T.M.S.L.12300mm

TB-1F

1	タービン建屋地上 1 階(T2T3-TATB)レイダウンスペース　止水堰
2	タービン建屋地上 1 階(T2T3-TBTC)海水熱交換器区域給気エアフィルタ室 止水堰 1
3	タービン建屋地上 1 階(T2T3-TBTC)海水熱交換器区域給気エアフィルタ室 止水堰 2
4	タービン建屋地上 1 階(T2T3-TBTC)海水熱交換器区域冷却加熱コイル室 止水堰
5	タービン建屋地上 1 階(T3T4-TATB)レイダウンスペース　止水堰
6	タービン建屋地上 1 階(T3T4-TCTD)南階段室　止水堰
7	タービン建屋地上 1 階(T7T8-TATB)レイダウンスペース　止水堰
8	タービン建屋地上 1 階(T7T9-TATB)レイダウンスペース　止水堰
9	タービン建屋地上 1 階(T8T9-TATB)北階段室　止水堰
10	タービン建屋地上 1 階(T1T2-TCTD)南西階段室　止水堰
11	タービン建屋地上 1 階(T2T3-TCTD)南西階段室　止水堰
12	タービン建屋地上 1 階(T1T2-TATB)大物搬出入口　止水堰
13	タービン建屋地上 1 階(T8T9-TBTC)レイダウンスペース　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(11/16)

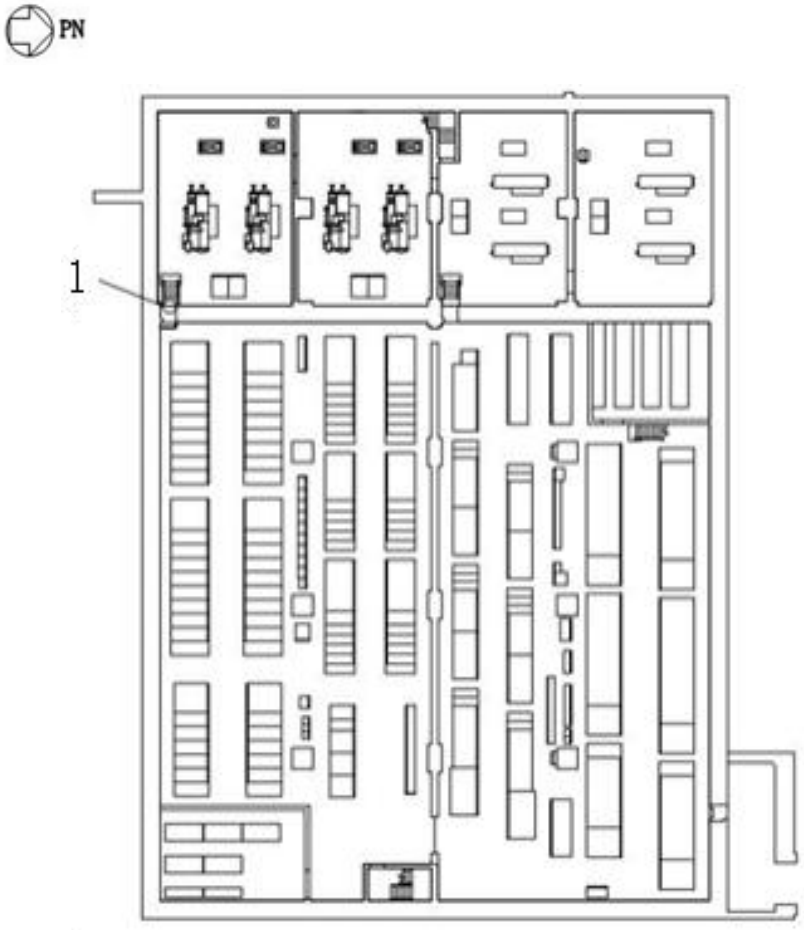


タービン建屋　T.M.S.L.20400mm

TB-2F

1	タービン建屋地上 2 階(T7T8-TDTE)北西階段室　止水堰
2	タービン建屋地上 2 階(T2T3-TCTD)南西階段室　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(12/16)

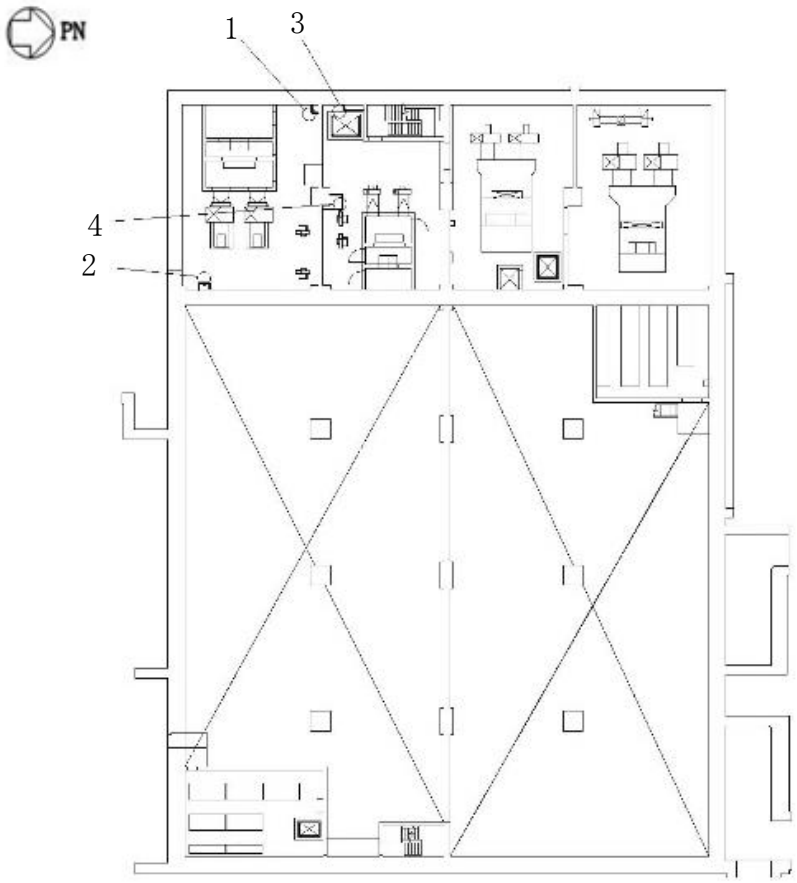


コントロール建屋　T.M.S.L.－2700mm

CB-B2F

1	7 号機コントロール建屋地下 2 階(C1C2-CCCD)常用電気品室　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(13/16)

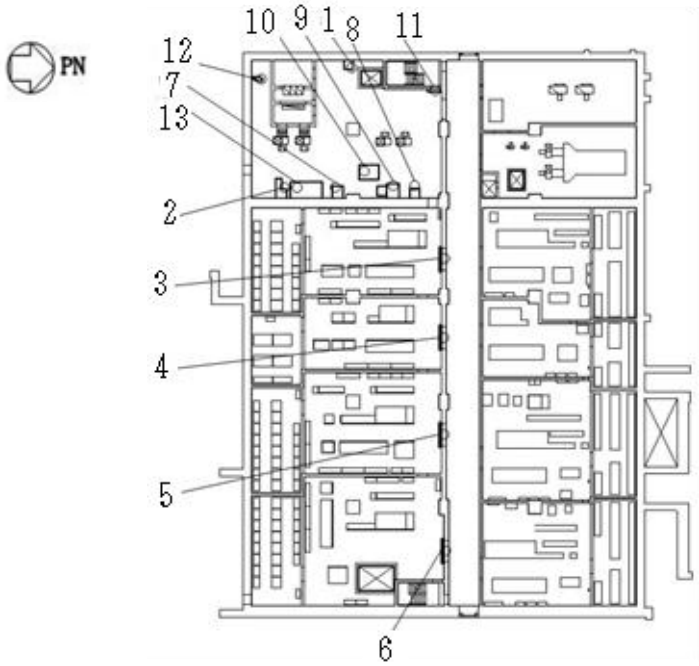


コントロール建屋　T.M.S.L.1000mm

CB-MB2F

1	7 号機コントロール建屋地下中 2 階(C1C2-CACB)常用電気品区域 送・排風機室　止水堰 1
2	7 号機コントロール建屋地下中 2 階(C1C2-CBCC)常用電気品区域 送・排風機室　止水堰
3	7 号機コントロール建屋地下中 2 階(C2C3-CACB)計測制御電源盤区域(A) 送風機室　止水堰
4	7 号機コントロール建屋地下中 2 階(C2C3-CBCC)計測制御電源盤区域(A) 送風機室　止水堰

図 2－1　堰の設置位置図(14/16)

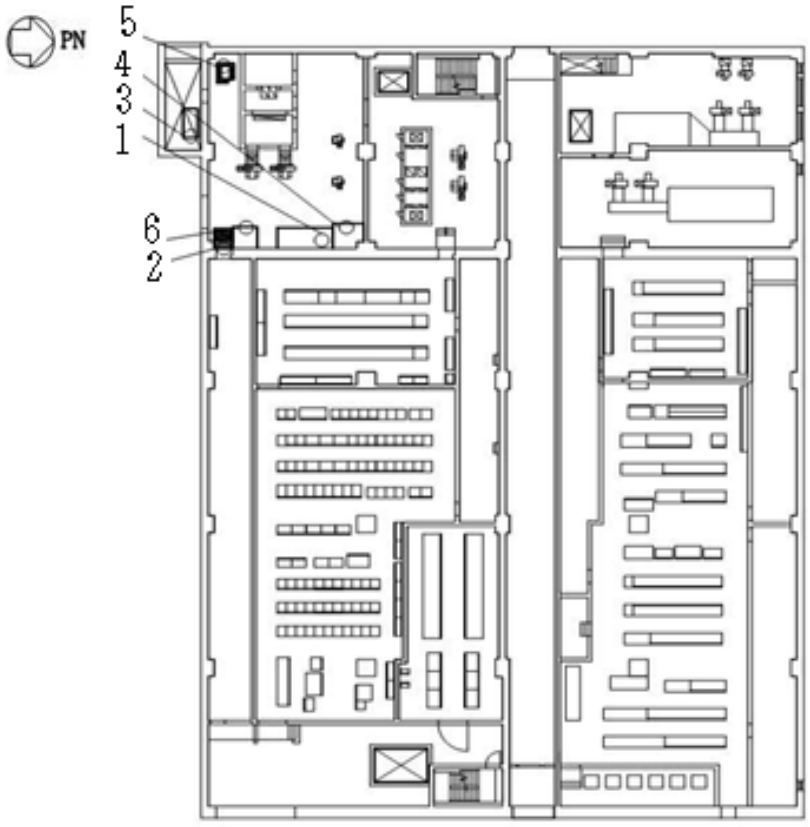


コントロール建屋　T.M.S.L.6500mm

CB-B1F

1	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C1C2-CACB)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 2
2	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 3
3	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CCCD)区分Ⅰ計測制御用電源盤室　止水堰
4	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CDCE)区分Ⅳ計測制御用電源盤室　止水堰
5	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CECF)区分Ⅱ計測制御用電源盤室　止水堰
6	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CFCG)区分Ⅲ計測制御用電源盤室　止水堰
7	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 1
8	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CBCC)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 1
9	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CBCC)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 2
10	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CBCC)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 3
11	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C2C3-CACB)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰
12	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C1C2-CACB)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 1
13	7 号機コントロール建屋地下 1 階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰 2

図 2－1　堰の設置位置図(15/16)

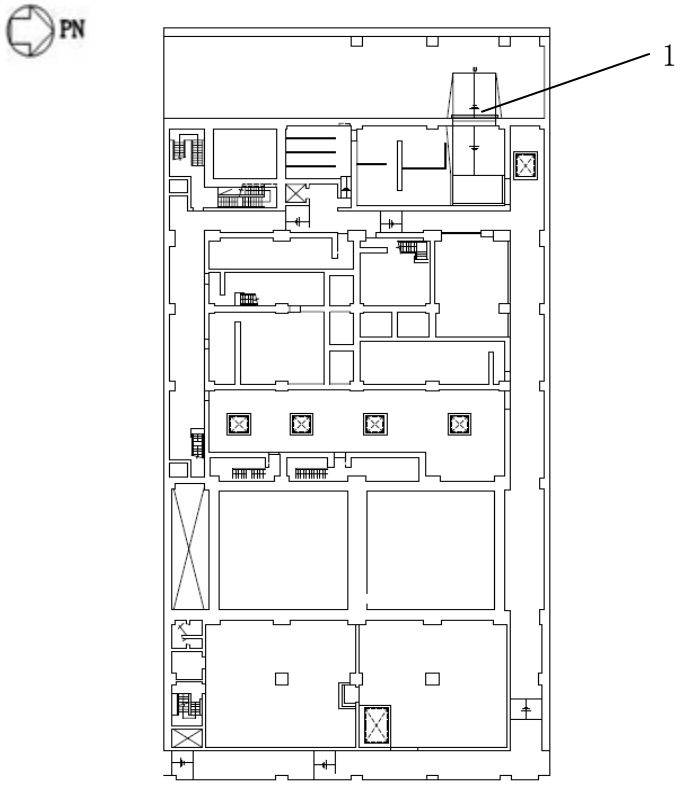


コントロール建屋　T.M.S.L.12300mm

CB-1F

1	7 号機コントロール建屋地上 1 階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(B) 送・排風機室　止水堰 2
2	7 号機コントロール建屋地上 1 階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(B) 送・排風機室　止水堰 4
3	7 号機コントロール建屋地上 1 階脇トレンチ(C1-CACB)　止水堰
4	7 号機コントロール建屋地上 1 階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(B) 送・排風機室　止水堰 1
5	7 号機コントロール建屋地上 1 階(C1C2-CACB)計測制御電源盤区域(B) 送・排風機室　止水堰
6	7 号機コントロール建屋地上 1 階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(B) 送・排風機室　止水堰 3

図 2－1　堰の設置位置図(16/16)



廃棄物処理建屋　T.M.S.L.12300mm

RWB-1F

1	

2.3　構造計画

堰の構造は，V-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。堰は，鋼製堰（L型鋼製堰，鋼製落し込み型堰，鋼板組合せ堰）及び鉄筋コンクリート製堰に分類される構造とする。

2.3.1　L型鋼製堰の構造

L型鋼製堰は，鋼製板又はH型鋼及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより床面と接合する構造とする。L型鋼製堰の概略構造図を図2－2に示す。

表2－2　L型鋼製堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼製板又はH型鋼を床面にアンカーボルトにて固定する。	鋼製板又はH型鋼，アンカーボルトにて構成する。	図2－2

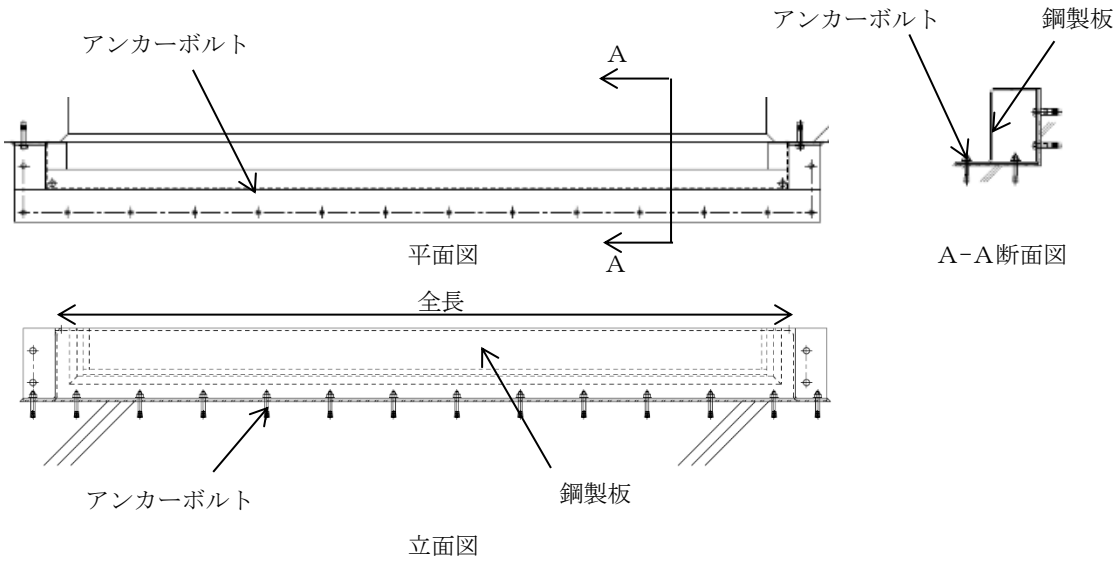


図2－2　L型鋼製堰の概略構造図

2.3.2　鋼製落し込み型堰の構造

鋼製落し込み型堰は，鋼製板及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより躯体と接合する構造とする。鋼製落し込み型堰の概略構造図を図2－3に示す。

表2－3　鋼製落し込み型堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼製板をコンクリート躯体にアンカーボルトにて固定する。	鋼製板，アンカーボルトにて構成する。	図2－3

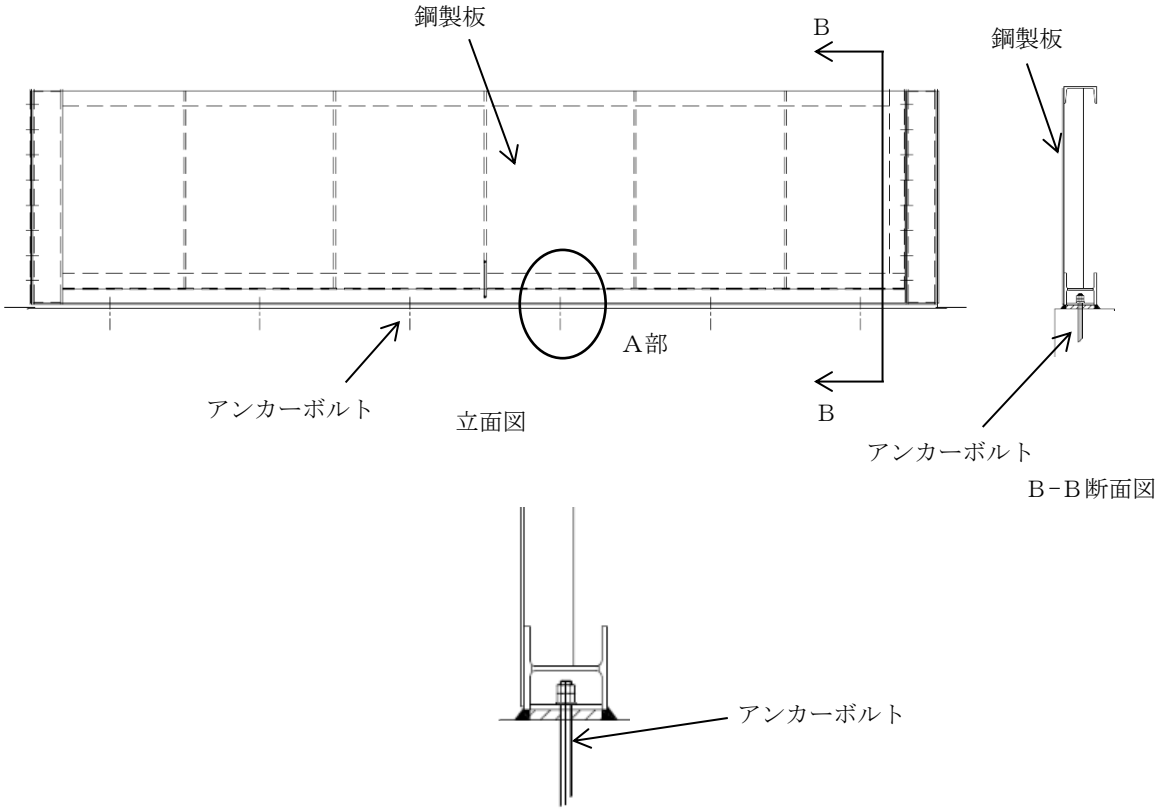


図 2－3　鋼製落し込み型堰の概略構造図

2.3.3　鉄筋コンクリート製堰の構造

鉄筋コンクリート製堰は，アンカー筋あるいはアンカーボルトにより，既存躯体と堰を一体化させた鉄筋コンクリート構造物である。

表2－4－1　鉄筋コンクリート製堰（一段）の構造計画

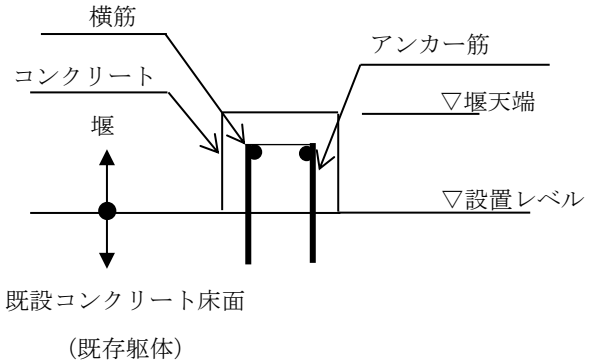
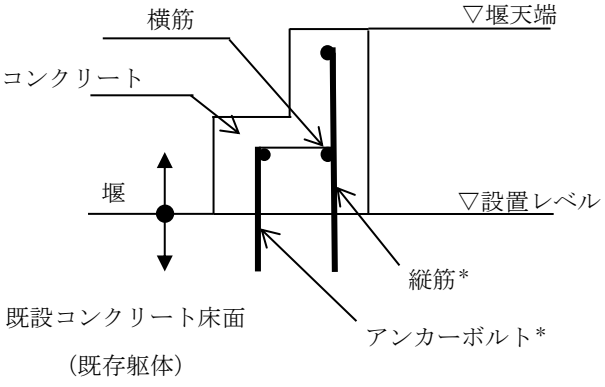
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	コンクリート，主筋（横筋）及びアンカー筋により構成する。	

表2－4－2　鉄筋コンクリート製堰（二段以上）の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
堰を既設コンクリート床面にアンカーボルトで固定する。	コンクリート，主筋（縦筋，横筋）及びアンカーボルトにより構成する。	 注記＊：鉄筋のうち，既存躯体に埋め込まれた部分をアンカーボルト，堰に敷設した部分を縦筋と定義する。

2.3.4　鋼板組合せ堰の構造

鋼板組合せ堰は，止水板，梁材及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。溢水経路となる開口部の形状等によっては，柱材及びベースプレートを用いる構造とする。鋼板組合せ堰の概略構造図を図2－4に示す。

表 2－5　鋼板組合せ堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	止水板，梁材，柱材，ベースプレート及びアンカーボルトにて構成する。	図2－4

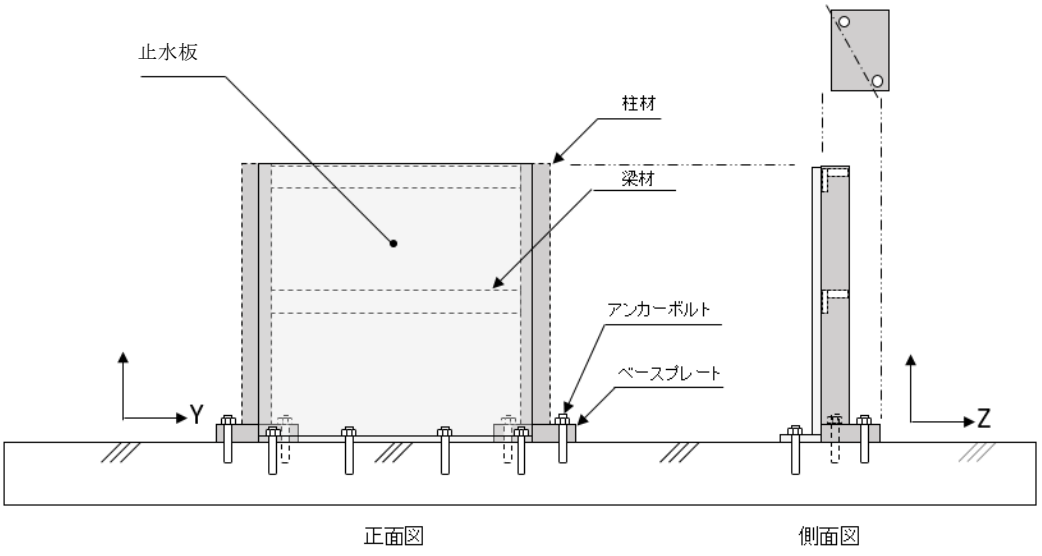


図 2－4　鋼板組合せ堰の概略構造図

2.4　評価方針

堰の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2　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，堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内にあることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「3.6　評価条件」に示す評価条件を用いて評価し，「4.　評価結果」にて確認する。堰の強度評価フローを図 2－5 に示す。

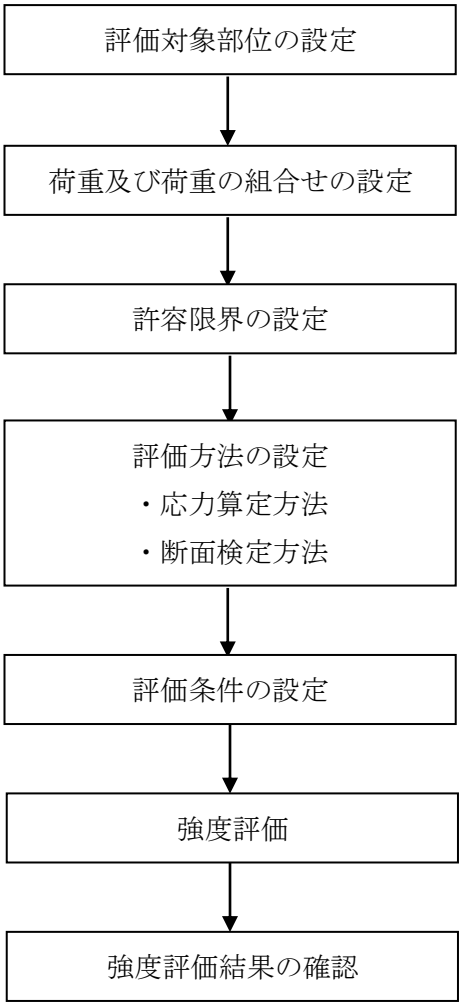


図 2－5　堰の強度評価フロー

2.5　適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令
・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－
（(社)日本建築学会，1999 改定）
・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(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 年改定）
・機械工学便覧（(社)日本機械学会）
・日本工業規格(ＪＩＳ)（日本規格協会）

3.　強度評価方法

堰の強度評価は，Ⅴ-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて，強度評価を実施する。

堰の強度評価は，「3.2　評価対象部位及び評価対象設備」に示す評価対象部位に対し，「3.3　荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4　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，「3.5　評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1　記号の説明

L型鋼製堰の強度評価に用いる記号を表3－1に,鋼製落し込み型堰の強度評価に用いる記号を表3－2に，鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる記号を表3－3に，鋼板組合せ堰の強度評価に用いる記号を表3－4に示す。

表3－1　L型鋼製堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
Ph	kN/m^2	静水圧荷重
σ	N/mm^2	鋼製板の最大曲げ応力度
M_h	kN・m/m	鋼製板の最大曲げモーメント
T	kN	アンカーボルトに生じる最大引張力
q	kN	アンカーボルトに生じる最大せん断力
H	mm	止水堰の高さ
Z	mm^3/m	鋼製板の断面係数
L	mm	堰全長
b	mm	鋼製板の折り曲げ部の幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
N	本	アンカーボルトの本数
Ta	kN	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重
Qa	kN	アンカーボルトに生じるせん断力に対する短期許容荷重

表 3－2　鋼製落し込み型堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
Ph	kN/m^2	静水圧荷重
σ	N/mm^2	鋼製板の最大曲げ応力度
M_h	kN・m/m	鋼製板の最大曲げモーメント
T	kN	アンカーボルトに生じる最大引張力
q	kN	アンカーボルトに生じる最大せん断力
H	mm	止水堰の高さ
Z	mm^3/m	鋼製板の断面係数
N	本	アンカーボルトの本数
Qa	kN	アンカーボルトに生じるせん断力に対する短期許容荷重
Ta	kN	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重

表 3－3　鉄筋コンクリート堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
Ph	kN/m^2	静水圧荷重
M_h	kN・m/m	堰に生じる最大曲げモーメント
T	kN	アンカーボルト及びアンカー筋に生じる最大引張力
Q_h	kN・m/m	堰に生じる最大せん断力
q	kN	アンカーボルト及びアンカー筋に生じる最大せん断力
T	kN	縦筋に生じる最大引張力
q	kN	縦筋に生じる最大せん断力
τ’	N/mm^2	堰底部のコンクリートに生じる最大せん断応力度
σ_c	N/mm^2	堰底部のコンクリートに生じる最大圧縮応力度
H	mm	止水堰の高さ
b’	mm	縦筋の重心位置から躯体端部までの距離
N	本	アンカーボルト及びアンカー筋の本数
N	本	縦筋の本数
Ta	kN	アンカーボルト及びアンカー筋に生じる引張に対する短期許容荷重
Qa	kN	アンカーボルト及びアンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
Ta	kN	縦筋に生じる引張に対する短期許容荷重
Qa	kN	縦筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
w_1	kN	堰重量
Z	mm^3/m	堰の断面係数

表 3－4　鋼板組合せ堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	kg/m^3	溢水の密度
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ
Ph	N/mm^2	静水圧荷重
σ_p	N/mm^2	止水板の曲げ応力度
t	mm	止水板の板厚
a	mm	止水板の長辺方向の幅
β	—	長方形板の最大応力の係数
h_1	mm	評価する止水板の最下端の高さ
h_2	mm	評価する梁材の最下端の高さ
σ_f	N/mm^2	梁材の曲げ応力度
M_f	N・mm	梁材の曲げモーメント
τ_f	N/mm^2	梁材のせん断応力度
Q_f	N	梁材の発生せん断力
σ_{ef}	N/mm^2	梁材の組合せ応力度
a’	mm	梁材１本あたりが負担する止水板の幅
L’	mm	評価する梁材の長さ
Z	mm^3	梁材の断面係数
As	mm^2	梁材のせん断断面積
P_0	N	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重
v_0	N	アンカーボルトに生じるせん断力に対する短期許容荷重
T	N	床側アンカーボルト発生引張力
Mh	N・mm	転倒モーメント
S	N	床側アンカーボルト発生せん断力
R_s	N	止水堰下端の発生せん断力
q	N	壁側アンカーボルト発生せん断力
R_q	N	片側の壁の発生せん断力
n_1	本	引張りを受ける床側アンカーボルト本数
n_2	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数
n_3	本	ベースプレートのアンカーボルト本数
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離
W_{f2}	N/mm	柱材の平均水圧による分布荷重
W_{f3}	N/mm	止水堰下端の平均水圧による分布荷重
σ_Y	N/mm^2	柱材の曲げ応力度
M_Y	N・mm	柱材の曲げモーメント
τ_Y	N/mm^2	柱材のせん断応力度
Q_Y	N	柱材の発生せん断力
σ_{eY}	N/mm^2	柱材の組合せ応力度
L	mm	止水堰の全幅
B	mm	止水堰の側面全幅
L_1’	mm	柱材１本あたりが負担する柱材及び止水板の幅
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積
σ_{ps}	N/mm^2	ベースプレートの曲げ応力度
L_{PS}	mm	ベースプレートのレバー長さ
Z_{PS}	mm^3	ベースプレートの断面係数

3.2　評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は，V-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，「2.3　構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき，溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

また，L型鋼製堰，鋼製落とし込み型堰，鉄筋コンクリート製堰，鋼板組合せ堰において，結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表として評価する。

3.2.1　L型鋼製堰と鋼製落し込み型堰

L型鋼製堰の評価対象部位は， 堰に作用する静水圧荷重が，鋼製板からアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，鋼製板とアンカーボルトとする。

鋼製落し込み型堰の評価対象部位は，堰に作用する静水圧荷重により応力が発生することから，鋼製板，アンカーボルトとした。

評価の対象となるL型鋼製堰の選定結果を表3－5に，鋼製落し込み型堰の選定結果を表3－6に示す。

表3－5　評価対象とするL型鋼製堰の選定結果

堰No.	名称	設置床高さ (T.M.S.L.)	評価対象設備 (代表)
RB-3F-1	原子炉建屋地上3階（R2R3-RBRC）非常用ガス処理系室　止水堰	23.5m	
RB-3F-8	原子炉建屋地上3階（R6R7-RERF）非常用ディーゼル発電機(C)補機室　止水堰	23.5m	
RB-4F-4	原子炉建屋地上4階（R6R7-RFRG）非常用ディーゼル発電機(C)区域排風機室，給気ルーバ室　止水堰	31.7m	
TB-1F-2	タービン建屋地上1階（T2T3-TBTC）海水熱交換器区域給気エアフィルタ室　止水堰1	12.3m	
TB-1F-3	タービン建屋地上1階（T2T3-TBTC）海水熱交換器区域給気エアフィルタ室　止水堰2	12.3m	
TB-1F-4	タービン建屋地上1階（T2T3-TBTC）海水熱交換器区域冷却加熱コイル室　止水堰	12.3m	
TB-1F-10	タービン建屋地上1階(T1T2-TCTD)南西階段室　止水堰	12.3m	
TB-1F-11	タービン建屋地上1階(T2T3-TCTD)南西階段室　止水堰	12.3m	
TB-2F-1	タービン建屋地上2階（T7T8-TDTE）北西階段室　止水堰	20.4m	
TB-2F-2	タービン建屋地上2階(T2T3-TCTD)南西階段室　止水堰	20.4m	
CB-B2F-1	7号機コントロール建屋地下2階（C1C2-CCCD）常用電気品室　止水堰	-2.7m	
CB-B1F-3	7号機コントロール建屋地下1階（C2C3-CCCD）区分Ⅰ計測制御用電源盤室　止水堰	6.5m	
CB-B1F-4	7号機コントロール建屋地下1階（C2C3-CDCE）区分Ⅳ計測制御用電源盤室　止水堰	6.5m	
CB-B1F-5	7号機コントロール建屋地下1階（C2C3-CECF）区分Ⅱ計測制御用電源盤室　止水堰	6.5m	
CB-B1F-6	7号機コントロール建屋地下1階（C2C3-CFCG）区分Ⅲ計測制御用電源盤室　止水堰	6.5m	
CB-B1F-11	7号機コントロール建屋地下1階（C2C3-CACB）計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　止水堰	6.5m	○*

注記＊：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

表 3－6　評価対象とする鋼製落し込み型堰の選定結果

堰No.	名称	設置床高さ (T.M.S.L.)	評価対象設備 (代表)
RB-2F-8	原子炉建屋地上2階(R2R3-RARB)燃料プール冷却浄化系熱交換器室　止水堰	18.1m	
TB-1F-8	タービン建屋地上1階（T7T9-TATB）レイダウンスペース　止水堰	12.3m	○*
TB-1F-13	タービン建屋地上1階(T8T9-TBTC)レイダウンスペース　止水堰	12.3m	

注記＊：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

3.2.2　鉄筋コンクリート製堰

鉄筋コンクリート製堰の評価対象部位は，堰に作用する静水圧荷重により応力が発生することから，堰と既存躯体の取合い部分の堰底部のコンクリート，アンカー筋又はアンカーボルト，縦筋とした。

評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定結果を表3－7に示す。

表 3－7　評価対象とする鉄筋コンクリート製堰の選定結果

堰No.	名称	設置床高さ (T.M.S.L.)	評価対象設備 (代表)
RB-B1F-1	原子炉建屋地下1階（R1R2-RCRD）原子炉系（DIV-Ⅳ）計装ラック室　止水堰	4.8m	
RB-B1F-2	原子炉建屋地下1階（R1R2-RDRE）原子炉系（DIV-Ⅱ）計装ラック室　止水堰	4.8m	
RB-B1F-3	原子炉建屋地下1階（R6R7-RBRC）残留熱除去系(A)配管室　止水堰	4.8m	
RB-B1F-4	原子炉建屋地下1階（R6R7-RCRD）原子炉系（DIV-Ⅰ）計装ラック室　止水堰	4.8m	
RB-B1F-5	原子炉建屋地下1階（R6R7-RDRE）原子炉系（DIV-Ⅲ）計装ラック室　止水堰	4.8m	
RB-MB1F-1	原子炉建屋地下中1階（R5R6-RBRC）残留熱除去系(A)配管室　止水堰	8.5m	
RB-1F-2	原子炉建屋地上1階（R1R2-RBRC）ほう酸水注入系ペネ，電気ペネ室　止水堰	12.3m	
RB-1F-3	原子炉建屋地上1階（R3R4-RFRG）電気ペネ室　止水堰	12.3m	
RB-1F-4	原子炉建屋地上1階（R4R5-RFRG）可燃性ガス濃度制御系再結合装置室　止水堰	12.3m	
RB-1F-7	原子炉建屋地上1階（R5R6-RBRC）原子炉補機冷却水系・不活性ガス系・電気ペネ室　止水堰	12.3m	
RB-2F-3	原子炉建屋地上2階（R5R6-RARB）主蒸気系トンネル室，配管ペネ室　止水堰	18.1m	
RB-2F-4	原子炉建屋地上2階（R5R6-RARB）通路　止水堰	18.1m	
RB-2F-5	原子炉建屋地上2階（R5R6-RCRD）電気ペネ室　止水堰	18.1m	
RB-3F-7	原子炉建屋地上3階（R2R3-RARB）通路　止水堰	23.5m	
RB-3F-2	原子炉建屋地上3階（R2R3-RCRD）非常用ガス処理系室　止水堰	23.5m	
RB-3F-5	原子炉建屋地上3階（R5R6-RBRC）主蒸気隔離弁・逃がし安全弁ラッピング室　止水堰1	23.5m	
RB-3F-6	原子炉建屋地上3階（R5R6-RERF）主蒸気隔離弁・逃がし安全弁ラッピング室　止水堰	23.5m	
TB-1F-1	タービン建屋地上1階（T2T3-TATB）レイダウンスペース　止水堰	12.3m	○*
TB-1F-5	タービン建屋地上1階（T3T4-TATB）レイダウンスペース　止水堰	12.3m	
TB-1F-6	タービン建屋地上1階（T3T4-TCTD）南階段室　止水堰	12.3m	
TB-1F-7	タービン建屋地上1階（T7T8-TATB）レイダウンスペース　止水堰	12.3m	
TB-1F-9	タービン建屋地上1階（T8T9-TATB）北階段室　止水堰	12.3m	
TB-1F-12	タービン建屋地上1階(T1T2-TATB)大物搬出入口　止水堰	12.3m	
CB-1F-2	7号機コントロール建屋地上1階（C1C2-CBCC）計測制御電源盤区域(B)送・排風機室　止水堰4	12.3m	
RWB-1F-1	[redacted]	12.3m	

注記＊：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

3.2.3　鋼板組合せ堰

鋼板組合せ堰の評価対象部位は，堰に作用する静水圧荷重が，止水板，梁材及び柱材からベースプレート及びアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，止水板，梁材，柱材，ベースプレート，アンカーボルトとする。評価の対象となる鋼板組合せ堰の選定結果を表3－8に示す。

表3－8　評価対象とする鋼板組合せ堰の選定結果(1/2)

堰No.	名称	設置床高さ (T.M.S.L.)	評価対象設備 (代表)
RB-B2F-1	原子炉建屋地下2階（R1R2-RDRE）通路　止水堰	-1.7m	
RB-B2F-2	原子炉建屋地下2階（R2R3-RERF）通路　止水堰	-1.7m	
RB-B2F-3	原子炉建屋地下2階（R3R4-RERF）通路　止水堰	-1.7m	
RB-B2F-4	原子炉建屋地下2階（R4R5-RERF）通路　止水堰	-1.7m	
RB-B2F-5	原子炉建屋地下2階（R5R6-RERF）通路　止水堰	-1.7m	
RB-B2F-6	原子炉建屋地下2階(R6R7-RDRE)通路　止水堰	-1.7m	
RB-1F-1	原子炉建屋地上1階(R1R2-RARB)通路　止水堰	12.3m	
RB-1F-5	原子炉建屋地上1階(R5R6-RARB)通路　止水堰1	12.3m	
RB-1F-6	原子炉建屋地上1階(R5R6-RARB)通路　止水堰2	12.3m	
RB-1F-8	原子炉建屋地上1階(R5R6-RFRG)通路　止水堰	12.3m	
RB-2F-1	原子炉建屋地上2階(R2R3-RFRG)通路　止水堰1	18.1m	
RB-2F-2	原子炉建屋地上2階（R2R3-RFRG）通路　止水堰2	18.1m	
RB-2F-6	原子炉建屋地上2階（R6R7-RBRC）通路　止水堰	18.1m	
RB-2F-7	原子炉建屋地上2階(R6R7-RERF)通路　止水堰	18.1m	
RB-2F-9	原子炉建屋地上2階(R5R6-RCRD)通路　止水堰	18.1m	
RB-3F-3	原子炉建屋地上3階（R3R4-RARB）通路　止水堰	23.5m	
RB-3F-4	原子炉建屋地上3階（R4R5-RARB）通路　止水堰	23.5m	
RB-M3F-1	原子炉建屋地上中3階(R6R7-RCRD)北側改良型制御棒駆動機構制御盤室　止水堰1	27.2m	

表3－8　評価対象とする鋼板組合せ堰の選定結果(2/2)

堰No.	名称	設置床高さ (T.M.S.L.)	評価対象 設備 (代表)
RB-M3F-2	原子炉建屋地上中3階(R6R7-RCRD)北側改良型制御棒駆動機構制御盤室　止水堰2	27.2m	
RB-4F-1	原子炉建屋地上4階 (R2R3-RARB) オペレーティングフロア　止水堰	31.7m	
RB-4F-2	原子炉建屋地上4階 (R2R3-RDRE) オペレーティングフロア　止水堰	31.7m	
RB-4F-3	原子炉建屋地上4階 (R2R3-RFRG) オペレーティングフロア　止水堰	31.7m	
RB-4F-5	原子炉建屋地上4階(R6R7-RERF)通路　止水堰1	31.7m	
RB-4F-6	原子炉建屋地上4階(R6R7-RERF)通路　止水堰2	31.7m	
RB-4F-7	原子炉建屋地上4階(R6R7-RERF)通路　止水堰3	31.7m	
TB-B1F-1	タービン建屋地下1階(T7T8-TBTC)原子炉補機冷却系[redacted]熱交換器・ポンプ室　止水堰	4.9m	○*
TB-B1F-2	タービン建屋地下1階(T7T8-TCTD)原子炉補機冷却系[redacted]熱交換器・ポンプ室　止水堰	4.9m	
CB-MB2F-1	7号機コントロール建屋地下中2階 (C1C2-CACB) 常用電気品区域送・排風機室　止水堰1	1m	
CB-MB2F-2	7号機コントロール建屋地下中2階 (C1C2-CBCC) 常用電気品区域送・排風機室　止水堰	1m	
CB-MB2F-3	7号機コントロール建屋地下中2階 (C2C3-CACB) 計測制御電源盤区域(A)送風機室　止水堰	1m	
CB-MB2F-4	7号機コントロール建屋地下中2階 (C2C3-CBCC) 計測制御電源盤区域(A)送風機室　止水堰	1m	
CB-B1F-1	7号機コントロール建屋地下1階 (C1C2-CACB) 計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　止水堰2	6.5m	
CB-B1F-10	7号機コントロール建屋地下1階(C2C3-CBCC)計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　止水堰3	6.5m	
CB-B1F-12	7号機コントロール建屋地下1階(C1C2-CACB)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰1	6.5m	
CB-B1F-13	7号機コントロール建屋地下1階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(C) 送・排風機室　止水堰2	6.5m	
CB-B1F-2	7号機コントロール建屋地下1階 (C1C2-CBCC) 計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　止水堰3	6.5m	
CB-B1F-7	7号機コントロール建屋地下1階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　止水堰1	6.5m	
CB-B1F-8	7号機コントロール建屋地下1階(C2C3-CBCC)計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　止水堰1	6.5m	
CB-B1F-9	7号機コントロール建屋地下1階(C2C3-CBCC)計測制御電源盤区域(C)送・排風機室　止水堰2	6.5m	
CB-1F-1	7号機コントロール建屋地上1階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(B)送･排風機室　止水堰2	12.3m	
CB-1F-3	7号機コントロール建屋地上1階脇トレンチ(C1-CACB) 止水堰	12.3m	
CB-1F-4	7号機コントロール建屋地上1階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(B)送・排風機室　止水堰1	12.3m	
CB-1F-5	7号機コントロール建屋地上1階(C1C2-CACB)計測制御電源盤区域(B) 送・排風機室　止水堰	12.3m	
CB-1F-6	7号機コントロール建屋地上1階(C1C2-CBCC)計測制御電源盤区域(B) 送・排風機室　止水堰3	12.3m	

注記＊：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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　溢水による静水圧荷重

溢水による静水圧荷重として，発生を想定する溢水による浸水高さを用いた静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は次式により算定する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H$$

3.3.2　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重を踏まえて設定する。荷重の組合せを表 3－9 に示す。

表3－9　荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ
堰	Ph

3.4　許容限界

堰の許容限界は，V-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.2　評価対象部位及び評価対象設備」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し短期許容応力度または，短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

3.4.1　L 型鋼製堰の許容限界

(1)　鋼製板

鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005 改定）に基づき算定した短期許容応力度を表 3－10 に示す。

表3－10　鋼製板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	組合せ (N/mm^2)
SS400	235	135	235

(2)　アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）に基づき算定した短期許容荷重を表 3－11 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－11　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張り (kN)	せん断 (kN)
SUS304	5.74	2.21

3.4.2　鋼製落し込み型堰の許容限界

(1)　鋼製板

鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社）日本建築学会，2005 改定）に基づき算定した短期許容応力度を表 3－12 に示す。

表3－12　鋼製板の許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	組合せ (N/mm^2)
SS400	235	135	235

(2)　アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説（(社）日本建築学会，2010 年改定）に基づき算定した短期許容荷重を表 3－13 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－13　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張り (kN)	せん断 (kN)
SS400	25.6	14.4

3.4.3　鉄筋コンクリート製堰の許容限界

(1)　コンクリート

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－(社)日本建築学会，1999 改定)に基づき算定したコンクリートの短期許容応力度を表 3－14 に示す。

表 3－14　コンクリートの短期許容応力度

材料	短期許容応力度 (N/mm^2)	
	圧縮	せん断
コンクリート	14.0	1.05

(2) アンカーボルト，アンカー筋

各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）に基づき算定した短期許容荷重を表 3－15 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－15　アンカーボルト，アンカー筋の短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張り (kN)	せん断 (kN)
SD295	23.9	17.3

3.4.4　鋼板組合せ堰の許容限界

(1) 止水板

鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005 改定）に基づき算定した短期許容応力度を表 3－16 に示す。

表 3－16　止水板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm^2)
SS400	271

(2) 梁材及び柱材

鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005 改定）に基づき算定した短期許容応力度を表 3－17 に示す。

表3－17　梁材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	組合せ (N/mm^2)
SS400	235	135	235

(3)　アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）に基づき算定した短期許容荷重を表 3－18 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－18　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張り (N)	せん断 (N)
SS400	8302	9541

3.5　評価方法

堰の強度評価は，V-3-別添3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

3.5.1　L 型鋼製堰の評価方法

静水圧荷重を受けるはりモデルに置き換え，鋼製板とアンカーボルトに発生する応力を算定し，各許容限界との比較により強度評価を行う。

(1)　応力算定

静水圧荷重を受ける鋼製板に生じる曲げ応力並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力を算定する。L 型鋼製堰に生じる力の概念図を図 3－1，図 3－2 に示す。

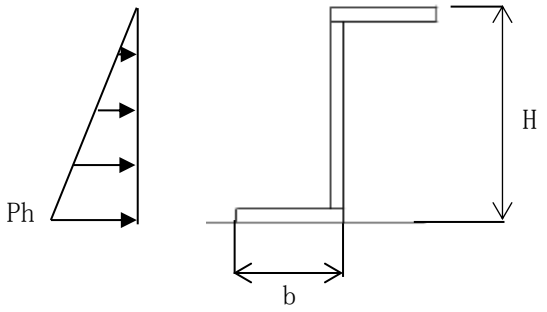


図 3－1　溢水時の鋼製板に生じる力の断面概念図

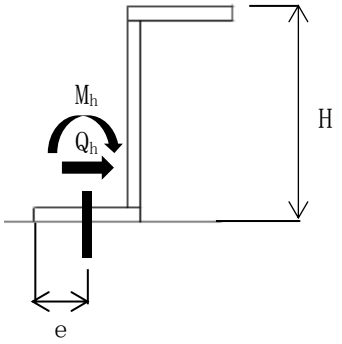


図 3－2　溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼製板

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ph :静水圧荷重（kN/m^2）
ρ_0 :水の密度（t/m^3）
g :重力加速度（m/s^2）
H :止水堰の高さ（mm）

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼製板に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し，鋼製板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = (M_h \cdot 10^6) / Z$$
$$M_h = (Ph \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6$$

σ :鋼製板の最大曲げ応力度（N/mm^2）
M_h :鋼製板の最大曲げモーメント（kN・m/m）
Z :鋼製板の断面係数（mm^3/m）
Ph :静水圧荷重（kN/m^2）
H :止水堰の高さ（mm）

b. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルトに作用する引張力を算出し，アンカーボルトの短期許容引張耐力を下回ることを確認する。

$$T = (M_h \cdot L) / ((b - e) \cdot N)$$

T :アンカーボルトに生じる最大引張力（kN）
L :堰全長（mm）
b :鋼製板の折り曲げ部の幅（mm）
e :アンカーボルトの穴縁端距離（mm）
N :アンカーボルトの本数（本）

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断耐力を下回ることを確認する。

$$q = (Ph \cdot H \cdot L \cdot 10^{-6}) / (2 \cdot N)$$

q ：アンカーボルトに生じる最大せん断力（kN）
Ph ：静水圧荷重（kN/m^2）
H ：止水堰の高さ（mm）
L ：堰全長（mm）

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$$(T / Ta)^2 + (q / Qa)^2 \leqq 1$$

T ：アンカーボルトに生じる最大引張力（kN）
Ta ：アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重（kN）
q ：アンカーボルトに生じる最大せん断力（kN）
Qa ：アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重（kN）

3.5.2　鋼製落し込み型堰の評価方法

静水圧荷重を受けるはりモデルに置き換え，鋼製板，アンカーボルトに発生する応力を算定し，各許容限界との比較により強度評価を行う。

(1)　応力算定

静水圧荷重を受ける鋼製板，アンカーボルトに対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を算定する。鋼製落し込み型堰に生じる力の概念図を図 3－3，図 3－4 に示す。

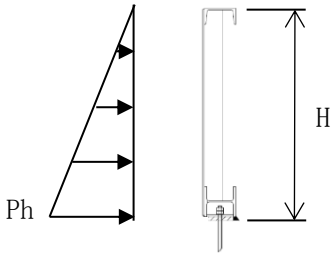


図 3－3　溢水時の鋼製板に生じる力の断面概念図

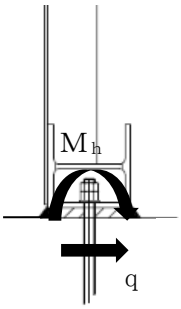


図 3－4　溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼製板

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ph ：静水圧荷重（kN/m^2）
ρ_0 ：水の密度（t/m^3）
g ：重力加速度（m/s^2）
H ：止水堰の高さ（mm）

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼製板に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し，鋼製板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = (M_h \cdot 10^6) / Z$$
$$M_h = (Ph \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6$$

σ ：鋼製板の曲げ応力度（N/mm^2）
M_h ：鋼製板の曲げモーメント（kN・m/m）
Z ：鋼製板の断面係数（mm^3/m）
Ph ：静水圧荷重（kN/m^2）
H ：止水堰の高さ（mm）

b. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルトに作用する引張力を算出し，アンカーボルトの短期許容引張耐力を下回ることを確認する。

$$T = (M_h \cdot L) / ((b - e) \cdot N)$$

T ：アンカーボルトに生じる最大引張力（kN）
L ：堰全長（mm）
b ：鋼製板の折り曲げ部の幅（mm）
e ：アンカーボルトの穴縁端距離（mm）
N ：アンカーボルトの本数（本）

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断耐力を下回ることを確認する。

$$q = (Ph \cdot H \cdot L \cdot 10^{-6}) / (2 \cdot N)$$

q ：アンカーボルトに生じる最大せん断力（kN）
Ph ：静水圧荷重（kN/m^2）
H ：止水堰の高さ（mm）
L ：堰全長（mm）

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$$(T / Ta)^2 + (q / Qa)^2 \leqq 1$$

T ：アンカーボルトに生じる最大引張力（kN）
Ta ：アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重（kN）
q ：アンカーボルトに生じる最大せん断力（kN）
Qa ：アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重（kN）

3.5.3　鉄筋コンクリート製堰の評価方法

鉄筋コンクリート製堰に生じる応力は，静水圧荷重を受ける片持ちはりとして，既存躯体との接合部に生じる圧縮力及びせん断力を算定し，鉄筋に生じる引張力及びせん断力並びにコンクリートに生じるせん断力及び圧縮力に対する確認を行う。

また，鉄筋に生じる引張力に対する確認においては，鉄筋コンクリート製堰が受ける静水圧荷重の曲げ成分を組み合わせるものとする。

(1)　応力算定

静水圧荷重を受けるアンカーボルト及びアンカー筋，コンクリート，縦筋に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を算定する。鉄筋コンクリート製堰に生じる力の概念図を図 3－5，図 3－6 に示す。

また，鉄筋コンクリート製堰のうち階段状の堰について，縦筋とアンカーボルトに生じる力の概念図を図 3－7，図 3－8 に示す。

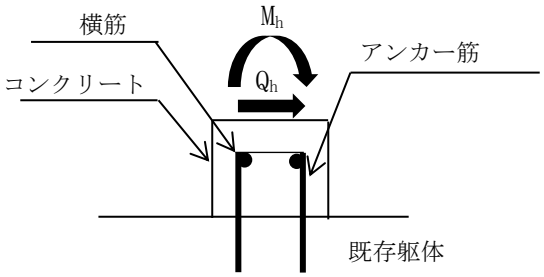


図 3－5　溢水時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図（矩形の堰）

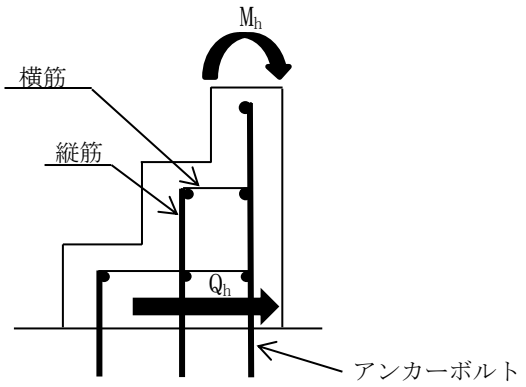
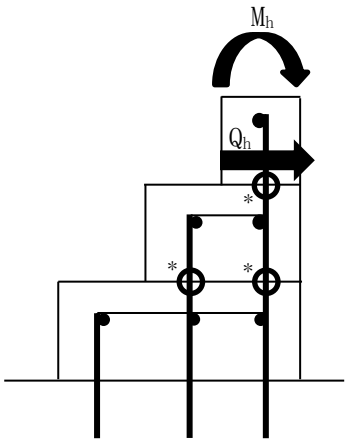
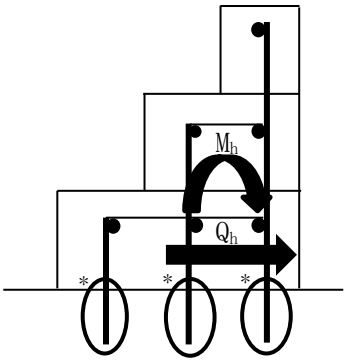


図 3－6　溢水時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図（階段状の堰）



注記＊：縦筋の評価対象部位を示し，
評価においては各評価対象部位よりも
上の堰部分に静水圧荷重を見込むものとする。

図 3－7　溢水時の縦筋に生じる力の断面概念図



注記＊：アンカーボルトの評価対象部位を示し，
評価においては各評価対象部位よりも
上の堰部分に静水圧荷重を見込むものとする。

図 3－8　溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2)　断面検定

a.　アンカーボルト及びアンカー筋

(a)　単位長さ当りの静水圧荷重

単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$

Ph　：静水圧荷重（kN/m^2）
ρ_0　：水の密度（t/m^3）
g　：重力加速度（m/s^2）
H　：止水堰の高さ（mm）

(b) 引張力に対する検定

アンカーボルト及びアンカー筋に作用する引張力を算出し，アンカーボルト及びアンカー筋の短期許容引張応力度を下回ることを確認する。

$T = M_h \cdot L / (b' \cdot N)$

$M_h = (Ph \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6$

T　:アンカーボルト及びアンカー筋に生じる最大引張力（kN）
M_h　:堰に生じる最大曲げモーメント（kN・m/m）
N　:アンカーボルト及びアンカー筋の本数（本）
b’　:アンカーボルト及びアンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離（mm）

(c) せん断力に対する検定

アンカーボルト及びアンカー筋に作用するせん断力は次式より算出し，アンカーボルト及びアンカー筋の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$q = Q_h / N$
$Q_h = Ph \cdot H \cdot L \cdot 10^{-6} / 2$

q　:アンカーボルト及びアンカー筋に生じる最大せん断力（kN）
Q_h　:堰に生じる最大せん断力（kN）
N　:アンカーボルト及びアンカー筋の本数（本）

(d) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$(T / Ta)^2 + (q / Qa)^2 \leqq 1$

T　:アンカーボルト及びアンカー筋に生じる最大引張力（kN）
Ta　:アンカーボルト及びアンカー筋に生じる引張りに対する短期許容荷重（kN）
q　:アンカーボルト及びアンカー筋に生じる最大せん断力（kN）
Qa　:アンカーボルト及びアンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重（kN）

b． 縦筋

(a) 引張力に対する検定

縦筋に作用する引張力は，静水圧荷重による曲げモーメントより引張力を算出し，縦筋に生じる引張力が短期許容引張耐力を下回ることを確認する。

$$T = M_h \cdot L / (b' \cdot N)$$

$$M_h = (Ph \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6$$

T　　:縦筋に生じる最大引張力（kN）
M_h　:堰に生じる最大曲げモーメント（kN・m/m）
N　　:縦筋の本数（本）
b’　　:縦筋の重心位置から躯体端部までの距離（mm）

(b) せん断力に対する検定

縦筋に作用するせん断力により，縦筋に生じるせん断力が短期許容せん断耐力を下回ることを確認する。

$$q = Q_h / N$$

$$Q_h = Ph \cdot H \cdot L \cdot 10^{-6} / 2$$

q　　:縦筋に生じる最大せん断力（kN）
Q_h　:堰に生じる最大せん断力（kN）
N　　:縦筋の本数（本）

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$$(T / Ta)^2 + (q / Qa)^2 \leqq 1$$

T　　:縦筋に生じる最大引張力（kN）
Ta　　:縦筋に生じる引張りに対する短期許容荷重（kN）
q　　:縦筋に生じる最大せん断力（kN）
Qa　　:縦筋に生じるせん断に対する短期許容荷重（kN）

c. 堰底部のコンクリート

(a) せん断力に対する検定

堰底部に生じるせん断力が短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$\tau' = Q_h \cdot 10^3 / (L \cdot t)$

$Q_h = Ph \cdot H \cdot L \cdot 10^{-6} / 2$

Q_h :堰に生じる最大せん断力（kN）

L :堰全長（mm）

τ' :堰底部のコンクリートに生じる最大せん断応力度（N/mm^2）

t :堰厚さ（mm）

(b) 圧縮力に対する検定

堰に生じる曲げモーメントによりコンクリートの圧縮力に生じる応力度が短期許容圧縮応力度を下回ることを確認する。

$\sigma_c = W_1 \cdot 10^3 / (L \cdot t) + (M_h \cdot 10^6) / Z$

σ_c :堰底部のコンクリートに生じる最大圧縮応力度（N/mm^2）

W_1 :堰重量（kN）

L :堰全長（mm）

t :堰厚さ（mm）

Z :堰の断面係数（mm^3/m）

3.5.4　鋼板組合せ堰の評価方法

静水圧荷重を受ける平板モデル，はりモデルに置き換え，止水板，梁材，柱材，ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力を算定し，各許容限界との比較により強度評価を行う。

(1)　応力算定

静水圧荷重を受ける止水板に生じる曲げ応力度，梁材，柱材に生じる曲げ応力度，せん断応力度，ベースプレートに生じる曲げ応力度，並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定する。鋼板組合せ堰に生じる力の概念図を図 3－9～図 3－14 に示す。

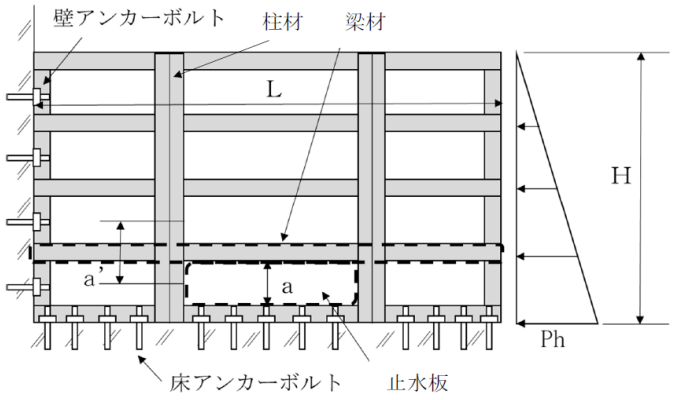


図 3－9　鋼板組合せ堰の断面概念図

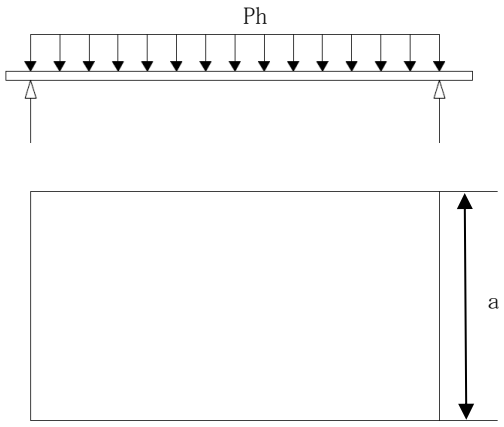


図 3－10　溢水時の止水板に生じる力の断面概念図（等分布荷重，4 辺支持）

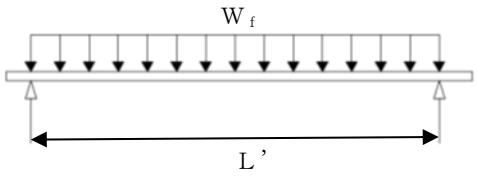


図 3－11　溢水時の梁材に生じる力の断面概念図（等分布荷重，両端支持）

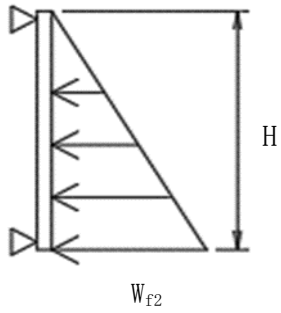


図 3－12　溢水時の柱材に生じる力の断面概念図（直線形分布荷重，両端支持）

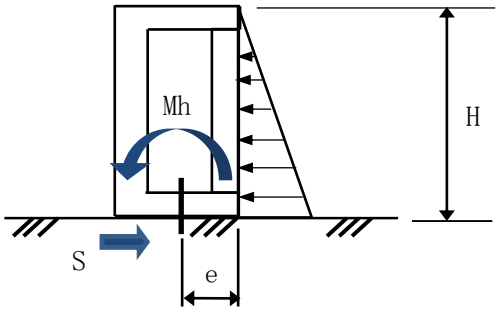


図 3－13　溢水時の床側アンカーボルトに生じる力の模式図

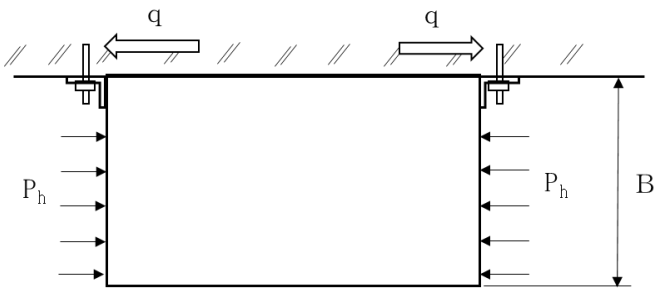


図 3－14　溢水時の壁側アンカーボルトに生じる力の断面概念図（壁反力によるせん断）

(2) 断面検定

a. 止水板

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

止水板に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_1) \cdot 10^{-9}$$

Ph :止水板最下端の静水圧荷重（N/mm^2）
ρ_0 :溢水の密度（kg/m^3）
g :重力加速度（m/s^2）
H :止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ（mm）
h_1 :評価する止水板の最下端の高さ（mm）

(b) 曲げ応力度に対する検定

止水板に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し，止水板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。なお，止水板の縦，横方向の長辺方向に対する曲げ応力度を確認する。

$$\sigma_p = \beta \cdot Ph \cdot a^2 / t^2$$

σ_p :止水板の曲げ応力度（N/mm^2）
β :長方形板の最大応力の係数（縦方向の場合β＝0.4，横方向の場合β＝0.75）
Ph :止水板最下端の静水圧荷重（N/mm^2）
a :止水板の長辺方向の幅（mm）
t :止水板の板厚（mm）

b. 梁材

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

梁材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_2) \cdot 10^{-9}$$

Ph :梁材最下端の静水圧荷重（N/mm^2）
ρ_0 :溢水の密度（kg/m^3）
g :重力加速度（m/s^2）
H :止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ（mm）
h_2 :評価する梁材の最下端の高さ（mm）

(b)　平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_f = Ph \cdot a'$$

W_f　:梁材の平均水圧による分布荷重（N/mm）
Ph　:梁材最下端の静水圧荷重（N/mm^2）
a'　:梁材1本あたりが負担する止水板の幅（mm）

(c)　曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し，梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = M_f / Z$$
$$M_f = (W_f \cdot L'^2) / 8$$

σ_f　:梁材の曲げ応力度（N/mm^2）
M_f　:梁材の曲げモーメント（N・mm）
W_f　:梁材の平均水圧による分布荷重（N/mm）
L'　:評価する梁材の長さ（mm）
Z　:梁材の断面係数（mm^3）

(d)　せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し，梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = Q_f / As$$
$$Q_f = (W_f \cdot L') / 2$$

τ_f　:梁材のせん断応力度（N/mm^2）
Q_f　:梁材の発生せん断力（N）
As　:梁材のせん断断面積（mm^2）
W_f　:梁材の平均水圧による分布荷重（N/mm）
L'　:評価する梁材の長さ（mm）

(e)　曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）に基づく次式により算定し，梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f{}^2 + 3 \cdot \tau_f{}^2}$$

σ_{ef}　:梁材の組合せ応力度（N/mm^2）
σ_f　:梁材の曲げ応力度（N/mm^2）
τ_f　:梁材のせん断応力度（N/mm^2）

c.　柱材

(a)　単位長さ当りの静水圧荷重

柱材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

Ph　:止水堰下端の静水圧荷重（N/mm^2）
ρ_0　:溢水の密度（kg/m^3）
g　:重力加速度（m/s^2）
H　:止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ(mm)

(b)　平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f2} = Ph \cdot L_1'$$

W_{f2}　:柱材の平均水圧による分布荷重（N/mm）
Ph　:止水堰下端の静水圧荷重（N/mm^2）
L_1'　:柱材1本あたりが負担する柱材及び止水板の幅（mm）

(c)　曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し，柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$\sigma_Y = M_Y / Z_Y$

$M_Y = (W_{f2} \cdot H^2) / 6$

σ_Y ：柱材の曲げ応力度（N/mm^2）
M_Y ：柱材の曲げモーメント（N・mm）
Z_Y ：柱材の断面係数（mm^3）
W_{f2} ：柱材の平均水圧による分布荷重（N/mm）
H ：止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ(mm)

(d) せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し，柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$\tau_Y = Q_Y / A_Y$

$Q_Y = (W_{f2} \cdot H) / 2$

τ_Y ：柱材のせん断応力度（N/mm^2）
Q_Y ：柱材の発生せん断力（N）
A_Y ：柱材のせん断断面積（mm^2）
W_{f2} ：柱材の平均水圧による分布荷重（N/mm）
H ：止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ(mm)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005年改定）に基づく次式により算出し，柱材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

σ_{eY} ：柱材の組合せ応力度（N/mm^2）
σ_Y ：柱材の曲げ応力度（N/mm^2）
τ_Y ：柱材のせん断応力度（N/mm^2）

d. 床側アンカーボルト

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

床側アンカーボルトに作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

Ph　　:止水堰下端の静水圧荷重（N/mm^2）
ρ_0　:溢水の密度（kg/m^3）
g　　:重力加速度（m/s^2）
H　　:止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ(mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f3} = Ph \cdot L$$

W_{f3}　:止水堰下端の平均水圧による分布荷重（N/mm）
Ph　:止水堰下端の静水圧荷重（N/mm^2）
L　:止水堰の全幅（mm）

(c) 引張力に対する検定

床側アンカーボルトに作用する曲げモーメントを機械工学便覧に基づき算出する。さらに，曲げモーメントより引張力を算出し，アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T = Mh / (n_1 \cdot e)$$
$$Mh = (W_{f3} \cdot H^2) / 6$$

T　:床側アンカーボルト発生引張力（N）
Mh　:転倒モーメント（N･mm）
n_1　:引張を受ける床側アンカーボルト本数（本）
e　:床側アンカーボルト位置からの縁端距離（mm）
W_{f3}　:止水堰下端の平均水圧による水平分布荷重（N/mm）
H　:止水堰高さ，または溢水評価水位以上の高さ(mm)

(d) せん断力に対する検定

床側アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$S = R_s / n_2$$
$$R_s = (W_{f3} \cdot H) / 2$$

S　　:床側アンカーボルト発生せん断力（N）
R_s　:止水堰下端の発生せん断力（N）
n_2　:せん断を受ける床側アンカーボルト本数（本）
W_{f3}　:止水堰下端の平均水圧による水平分布荷重（N/mm）
H　　:止水堰高さ，または溢水評価水位以上の高さ(mm)

(e) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$$(T / P_0)^2 + (S / V_0)^2 \leqq 1$$

T　:アンカーボルトの発生引張力（N）
P_0　:アンカーボルトの引張りに対する短期許容荷重（N）
S　:アンカーボルトの発生せん断力（N）
V_0　:アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重（N）

e. 壁側アンカーボルト

(a) 静水圧荷重

壁に平行方向に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

Ph　　:止水堰下端の静水圧荷重（N/mm^2）
ρ_0　:溢水の密度（kg/m^3）
g　　:重力加速度（m/s^2）
H　　:止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ(mm)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = R_q / N$$
$$R_q = ((Ph \cdot H / 2) \cdot B) / 2$$

q :壁側アンカーボルト発生せん断力（N）
R_q :片側の壁の発生せん断力（N）
N :せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数（本）
Ph :止水堰下端の静水圧荷重（N/mm^2）
H :止水堰の高さ，または溢水評価水位以上の高さ（mm）
B :止水堰の側面全幅（mm）

f. ベースプレート

(a) 曲げ応力度に対する検定

ベースプレートに作用する曲げ応力度は次式より算出し，ベースプレートの短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ps} = T \cdot n_3 \cdot L_{PS} / Z_{PS}$$

σ_{ps} :ベースプレートの曲げ応力度（N/mm^2）
T :アンカーボルトの発生引張力（N）
n_3 :ベースプレートのアンカーボルト本数（本）
L_{PS} :ベースプレートのレバー長さ（mm）
Z_{PS} :ベースプレートの断面係数（mm^3）

3.6　評価条件

L 型鋼製堰の強度評価に用いる入力値を表 3－19 に，鋼製落し込み型堰の強度評価に用いる入力値を表 3－20 に，鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる入力値を表 3－21 に，鋼板組合せ堰の強度評価に用いる入力値を表 3－22 に示す。

表 3－19　L 型鋼製堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	堰No.	CB-B1F-11
		定義	数値
ρ_0	t/m^3	水の密度	1.00
H	mm	止水堰の高さ	430
Z	mm^3/m	鋼製板の断面係数	6.000×10^3
L	mm	堰全長	1482
b	mm	鋼製板の折り曲げ部の幅	105
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	52
N	本	アンカーボルトの本数	9

表 3－20　鋼製落し込み型堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	堰No.	TB-1F-8
		定義	数値
ρ_0	t/m^3	水の密度	1.03
H	mm	止水堰の高さ	1320
Z	mm^3/m	断面係数	6.000×10^3
N	本	アンカーボルトの本数	6

表 3－21　鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	堰No.	TB-1F-1
		定義	数値
ρ_0	t/m^3	水の密度	1.03
H	mm	止水堰の高さ	450
b’	mm	縦筋の重心位置から躯体端部までの距離	75
N	本	縦筋の本数	5
L	mm	堰全長	6665
t	mm	堰厚さ	150
w_1	kN	堰重量	10.8
Z	mm^3/m	断面係数	3.750×10^6

表 3－22　鋼板組合せ堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	堰No.	TB-B1F-1
		定義	数値
ρ_0	kg/m^3	溢水の密度	1030
g	m/s^2	重力加速度	9.80665
H	mm	止水堰の高さ，または溢水評価水位を上回る水位	910
t	mm	止水板の板厚	3.2
a	mm	止水板の長辺方向の幅	877
β	－	長方形板の最大応力の係数	0.4
h_1	mm	評価する止水板の最下端の高さ	65
h_2	mm	評価する梁材の最下端の高さ	0
a’	mm	梁材１本あたりが負担する止水板の幅	438.5
L’	mm	評価する梁材の長さ	770
Z	mm^3	梁材の断面係数	6260
As	mm^2	梁材のせん断断面積	752.7
n_1	本	引張りを受ける床側アンカーボルト本数	7
n_2	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数	12
N	本	せん断を受ける片側の壁アンカーボルト本数	5
B	mm	止水堰の側面全幅	1165
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離	914
L	mm	止水堰の全幅	1965
L_1’	mm	柱材１本あたりが負担する柱材及び止水板の幅	435
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数	6260
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積	752.7
L_{PS}	mm	ベースプレートのレバー長さ	－
Z_{PS}	mm^3	ベースプレートの断面係数	－

4.　評価結果

L 型鋼製堰の強度評価結果を表 4－1 に,鋼製落し込み型堰の強度評価結果を表 4－2 に,鉄筋コンクリート製堰の強度評価結果を表 4－3 に，鋼板組合せ堰の強度評価結果を表 4－4 に示す。発生値は許容限界値以下であり，静水圧荷重に対して，溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを確認した。

表 4－1　L 型鋼製堰の強度評価結果

堰 No.	評価対象部位		発生値（荷重または発生応力度）		許容限界		検定値
CB-B1F-11	鋼製板	曲げ	23.4	N/mm^2	235	N/mm^2	0.10＜1.0
	アンカーボルト	引張り	0.440	kN	5.74	kN	0.08＜1.0
		せん断	0.155	kN	2.21	kN	0.08＜1.0
		組合せ	—	—	—	—	0.02＜1.0

表 4－2　鋼製落し込み型堰の強度評価結果

堰 No.	評価対象部位		発生値（荷重または発生応力度）		許容限界		検定値
TB-1F-8	鋼製板	曲げ	177	N/mm^2	235	N/mm^2	0.76＜1.0
	アンカーボルト	引張り	9.25	kN	25.6	kN	0.37＜1.0
		せん断	2.16	kN	14.4	kN	0.15＜1.0
		組合せ	—	—	—	—	0.16＜1.0

表 4－3　鉄筋コンクリート製堰の強度評価結果

堰 No.	評価対象部位		発生値（荷重または発生応力度）		許容限界		検定値
TB-1F-1	アンカーボルト又はアンカー筋	引張り	0.427	kN	23.9	kN	0.02＜1.0
		せん断	0.206	kN	17.3	kN	0.02＜1.0
		組合せ	—	—	—	—	0.01＜1.0
	縦筋*	引張り	—	—	—	—	— ＜1.0
		せん断	—	—	—	—	— ＜1.0
		組合せ	—	—	—	—	— ＜1.0
	堰底部のコンクリート	せん断	6.83×10^{-3}	N/mm^2	1.05	N/mm^2	0.01＜1.0
		圧縮	5.35×10^{-2}	N/mm^2	14.0	N/mm^2	0.01＜1.0

注記＊:縦筋評価対象外

表 4－4　鋼板組合せ堰の強度評価結果

堰 No.	評価対象部位		発生値 （荷重または発生応力度）		許容限界		検定値
TB-B1F-1	止水板	曲げ	257	N/㎟	271	N/㎟	0.95＜1.0
	梁材	曲げ	48	N/㎟	235	N/㎟	0.21＜1.0
		せん断	2	N/㎟	135	N/㎟	0.02＜1.0
		組合せ	49	—	235	N/㎟	0.21＜1.0
	柱材	曲げ	89	N/㎟	235	N/㎟	0.38＜1.0
		せん断	3	N/㎟	135	N/㎟	0.03＜1.0
		組合せ	90	—	235	—	0.39＜1.0
	ベース プレート*	曲げ	—	—	—	—	—＜1.0
	アンカー ボルト （床）	引張り	389.6	N	8302	N	0.05＜1.0
		せん断	684.8	N	9541	N	0.08＜1.0
		組合せ	—	—	—	—	0.01＜1.0
	アンカー ボルト （床）	せん断	487.2	N	9541	N	0.06＜1.0

注記＊:ベースプレート評価対象外

Ⅴ-3-別添 3-2-5　床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書（溢水）

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置計画 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 3
2.3　評価方針 ····· 7

1. 概要

本資料は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防護施設のうち床ドレンライン浸水防止治具が溢水に伴う荷重に対し，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置計画

強度評価の対象施設となる床ドレンライン浸水防止治具の配置計画は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」にて示す。

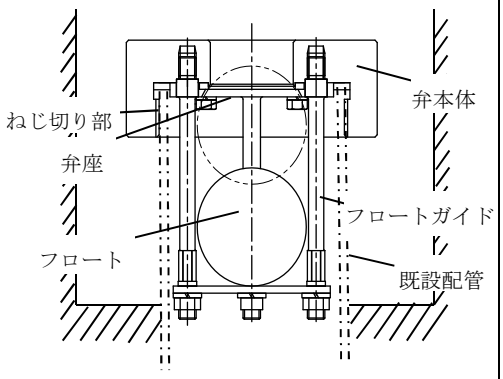
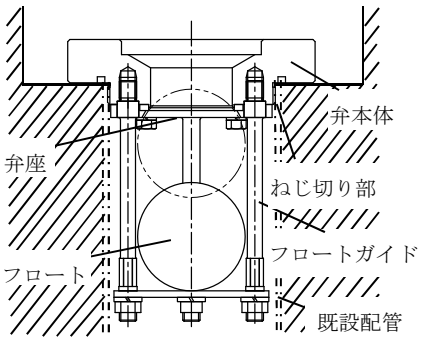
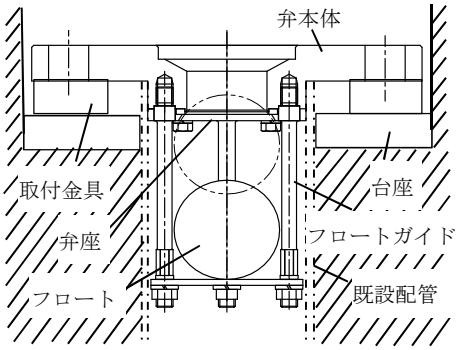
2.2　構造計画

浸水防止冶具の構造計画は，V-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.　構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。

(1)　フロート式治具

フロート式治具は，フロート式の浸水防止治具であり，配管内で逆流が発生するとフロートが押上げられ，弁座に密着することで止水する。フロート式治具の構造計画を表 2－1 に示す。

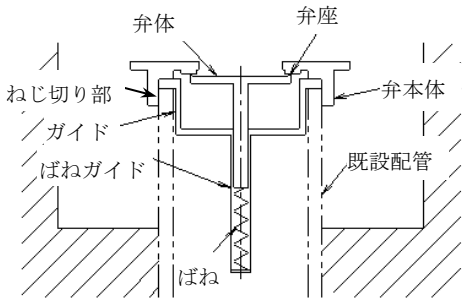
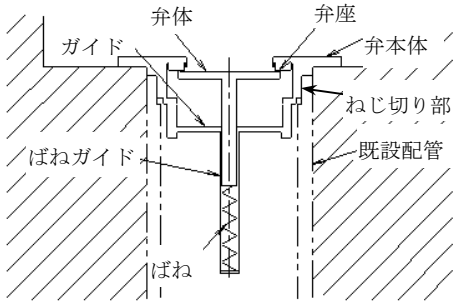
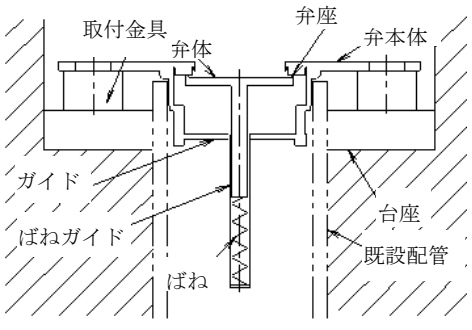
表2－1　構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
フロート式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型		台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する。	

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具は，スプリング式の浸水防止治具であり，ばね圧により常時弁体が弁座に密着している。配管内で逆流が発生すると，弁体の下方からの圧力が加わり，弁体と弁座の密着が維持されることで止水する。スプリング式治具の構造計画を表2－2に示す。

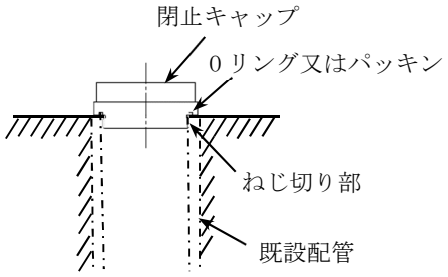
表2－2　構造計画

<table>
<tr><th rowspan="2">設備名称</th><th colspan="3">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>型式</th><th>主体構造</th><th>支持構造</th></tr>
<tr><td rowspan="3">スプリング式治具</td><td>外ねじ取付型</td><td rowspan="3">弁座を含む本体，弁体，弁体を弁座に導くガイド並びにばねが内挿されるばねガイドで構成する。</td><td rowspan="2">配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。</td><td>
</td></tr>
<tr><td>内ねじ取付型</td><td>
</td></tr>
<tr><td>フランジ取付型</td><td>台座と取付金具を接着剤で固定し，本体フランジと取付金具をボルトで固定する。</td><td>
</td></tr>
</table>

(3)　閉止キャップ

閉止キャップは，配管に蓋をすることで配管内の順流及び逆流を止水する。閉止キャップの構造計画を表 2－3 に示す。

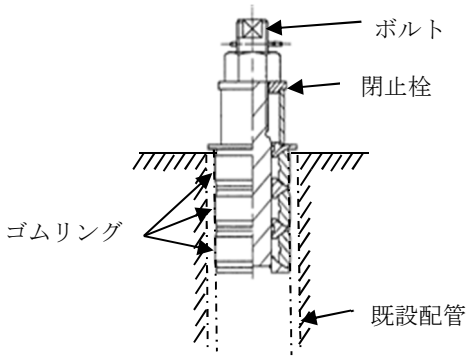
表2－3　構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
閉止キャップ	閉止キャップで構成する。	配管にねじ込み固定する。	

(4)　閉止栓

閉止栓は，配管に蓋をすることで配管内の順流及び逆流を止水する。閉止栓の構造計画を表 2－4 に示す。

表2－4　構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
閉止栓	閉止栓で構成する。	ゴムの圧着により固定する。	

2.3　評価方針

(1)　フロート式治具

フロート式治具の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重並びに許容限界を踏まえて，応力評価及び構造健全性評価により実施する。フロート式治具の強度評価フローを図 2－1 に示す。

溢水への配慮が必要な施設の強度計算においては，静水圧荷重を用いて評価するが，津波への配慮が必要な施設の強度計算では，静水圧荷重に加えて余震を考慮した荷重を用いて評価する。よって，計算方法及び評価上最も厳しい計算結果は，Ⅴ-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に包絡されるため，本計算書では評価不要とする。

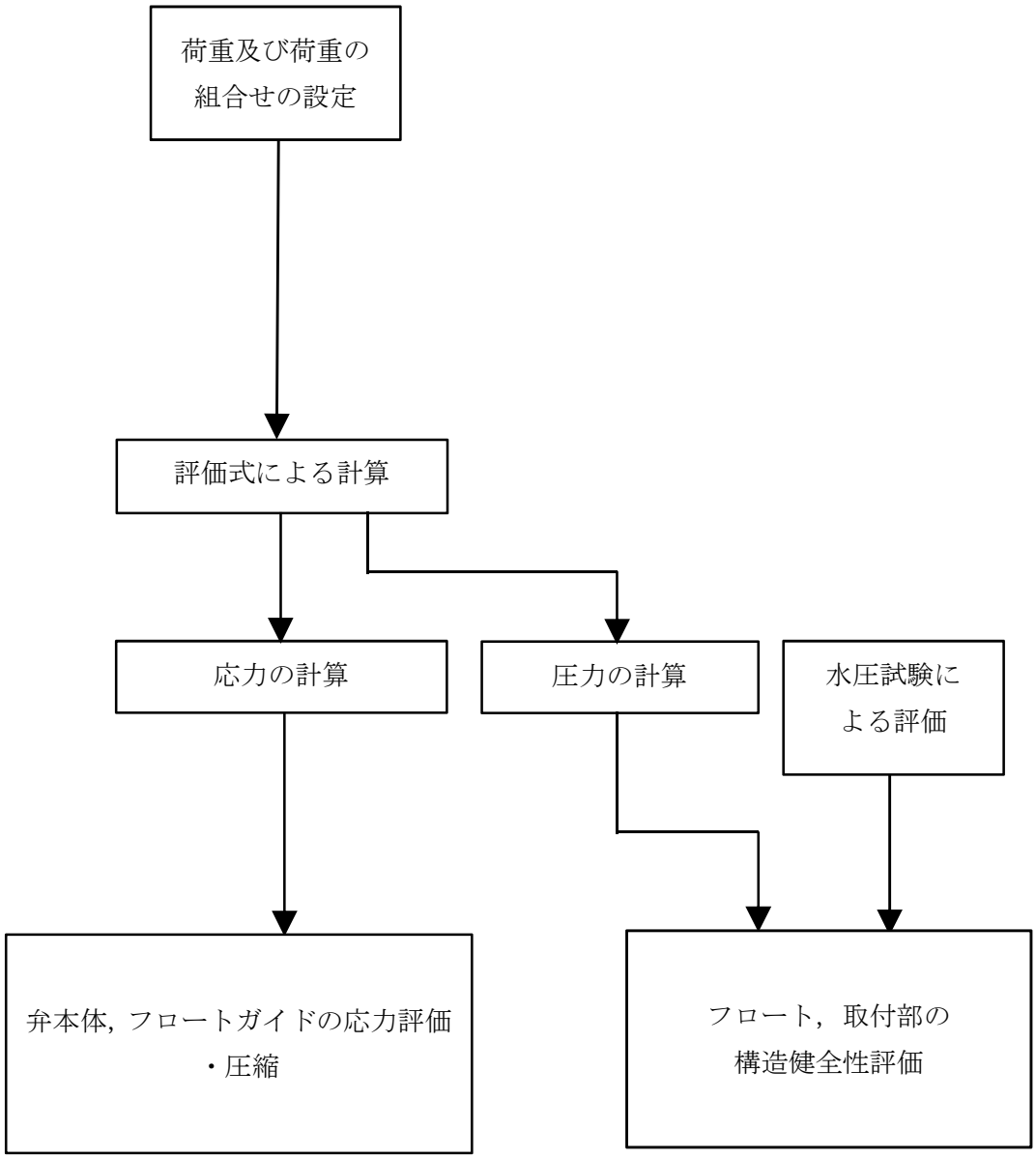


図 2－1　強度評価フロー

(2)　スプリング式治具

スプリング式治具の強度評価は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重並びに許容限界を踏まえて，応力評価及び構造健全性評価により実施する。スプリング式治具の強度評価フローを図 2－2 に示す。

溢水への配慮が必要な施設の強度計算においては，静水圧荷重を用いて評価するが，津波への配慮が必要な施設の強度計算では，静水圧荷重に加えて余震を考慮した荷重を用いて評価する。よって，計算方法及び評価上最も厳しい計算結果は，Ⅴ-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に包絡されるため，本計算書では評価不要とする。

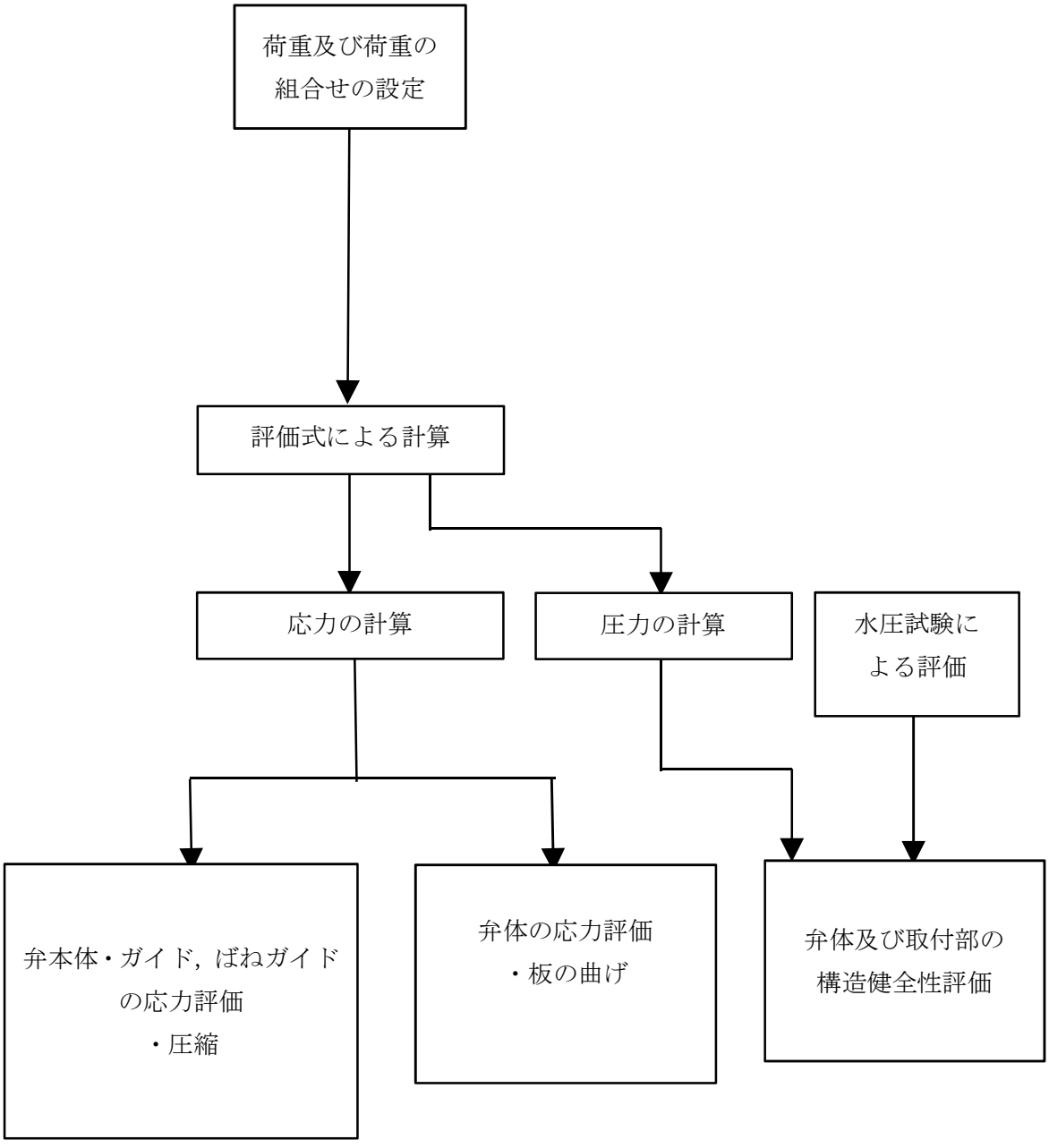


図2－2　強度評価フロー

(3)　閉止キャップ

閉止キャップの強度評価は，V-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重並びに許容限界を踏まえて，応力評価及び構造健全性評価により実施する。閉止キャップの強度評価フローを図 2－3 に示す。

溢水への配慮が必要な施設の強度計算においては，静水圧荷重を用いて評価するが，津波への配慮が必要な施設の強度計算では，静水圧荷重に加えて余震を考慮した荷重を用いて評価する。よって，計算方法及び評価上最も厳しい計算結果は，V-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に包絡されるため，本計算書では評価不要とする。

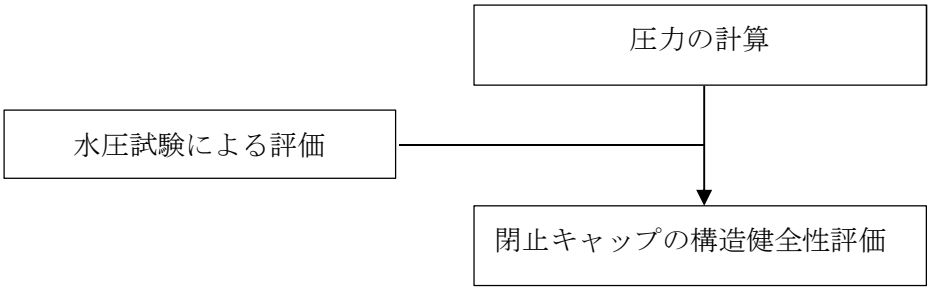


図2－3　強度評価フロー

(4)　閉止栓

閉止栓の強度評価は，V-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重並びに許容限界を踏まえて，応力評価及び構造健全性評価により実施する。閉止栓の強度評価フローを図 2－4 に示す。

溢水への配慮が必要な施設の強度計算においては，静水圧荷重を用いて評価するが，津波への配慮が必要な施設の強度計算では，静水圧荷重に加えて余震を考慮した荷重を用いて評価する。よって，計算方法及び評価上最も厳しい計算結果は，V-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に包絡されるため，本計算書では評価不要とする。

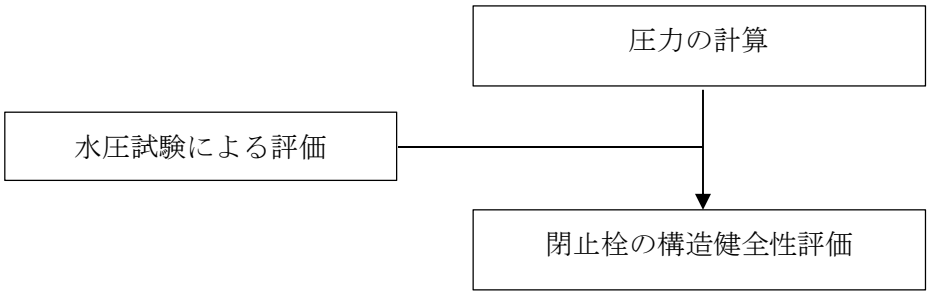


図2－4　強度評価フロー

Ⅴ-3-別添 3-2-6　貫通部止水処置の強度計算書（溢水）

目　　次

1.　概要 1
2.　基本方針 1
2.1　位置 1
2.2　構造概要 1
2.3　評価方針 4
3.　評価結果 9

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に示すとおり，貫通部止水処置が，発生を想定する内部溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，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. 基本方針

2.1 位置

貫通部止水処置は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示す，原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋及び廃棄物処理建屋の貫通口と貫通物とのすき間又は貫通物の周囲に施工する。

2.2 構造概要

貫通部止水処置の構造は，Ⅴ-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は，貫通部の位置条件及び貫通物の強度条件に応じて，シール材，モルタル，ブーツ，鉄板を使用し，各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁の貫通口と貫通物のすき間に施工し，壁と貫通物を接合する構造とする。なお，シール材をケーブルトレイ貫通部の止水に用いる場合は，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填，もしくは塗布する。ブーツは，伸縮性ゴムを用い，壁面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。また，鉄板は，配管とスリーブを全周溶接する。貫通部止水処置の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　貫通部止水処置の構造計画（1／2）

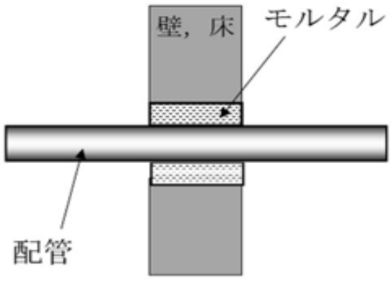
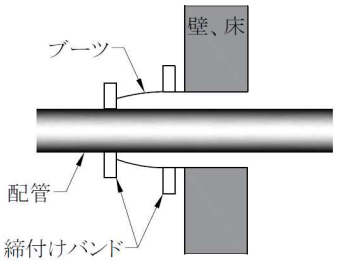
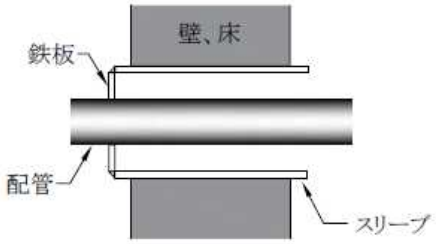
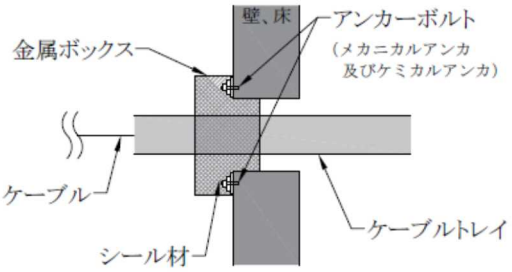
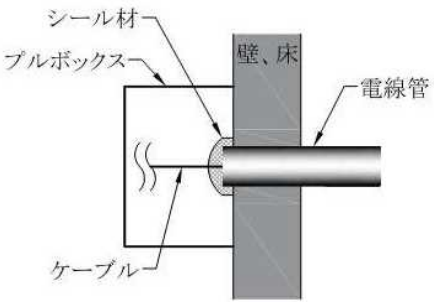
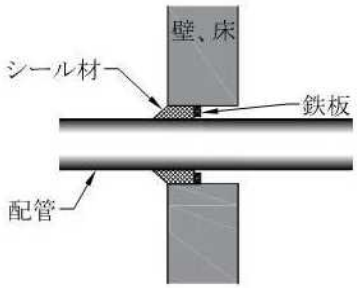
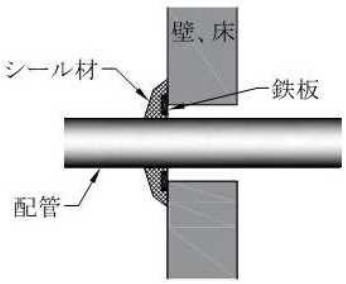
設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁面又は床面の取付用座と配管に締付けバンドにて締結する。	
	鉄板にて閉止する構成とする。	貫通部の開口部に鉄板を挿入し，溶接によって接合する。	

表 2－1　貫通部止水処置の構造計画（2／2）

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

2.3　評価方針

貫通部止水処置の強度評価は，V-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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を踏まえて，貫通部止水処置の評価部位に作用する荷重等が許容限界内にあることを確認する。

貫通部止水処置は構造上の特徴の違いから，シール材，ブーツ，モルタル及び鉄板に分けて設計を行うこととする。シール材及びブーツの強度評価フローを図 2－1 に，モルタルの強度評価フローを図 2－2 に，鉄板の強度評価フローを図 2－3 に，シール材施工に用いるケーブルトレイ金属ボックスの強度評価フローを図 2－4 に示す。

溢水への配慮が必要な施設の強度計算においては，静水圧荷重を用いて評価するが，津波への配慮が必要な施設の強度計算では，静水圧荷重に加えて余震を考慮した荷重を用いて評価する。よって，計算方法は，V-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」に包絡されるため，本計算書では評価不要とする。

なお，ブーツについては，設置場所の関係上，内部溢水の影響のみの方が評価上厳しい計算結果となるため，V-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」に内部溢水のみの評価も併せて記載する。

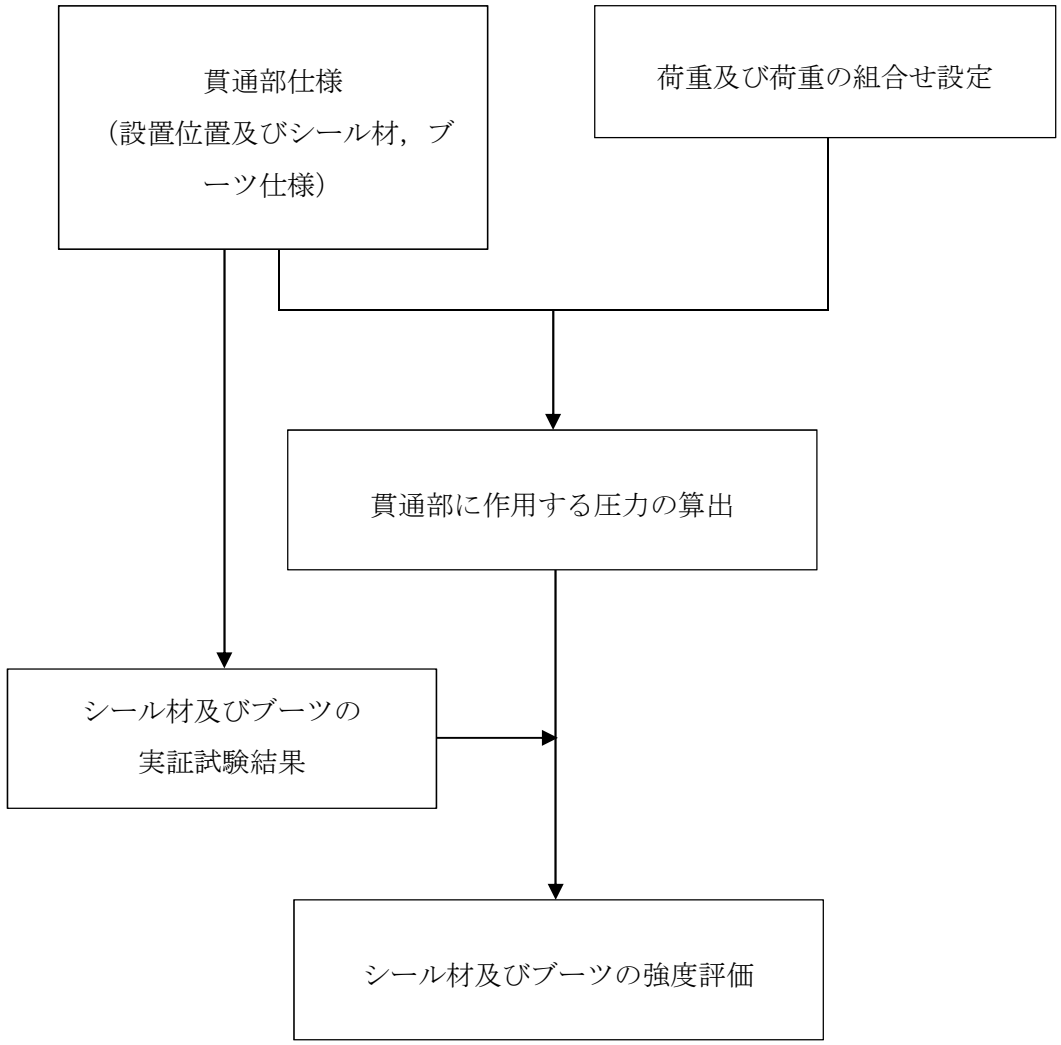


図 2－1　シール材及びブーツの強度評価フロー

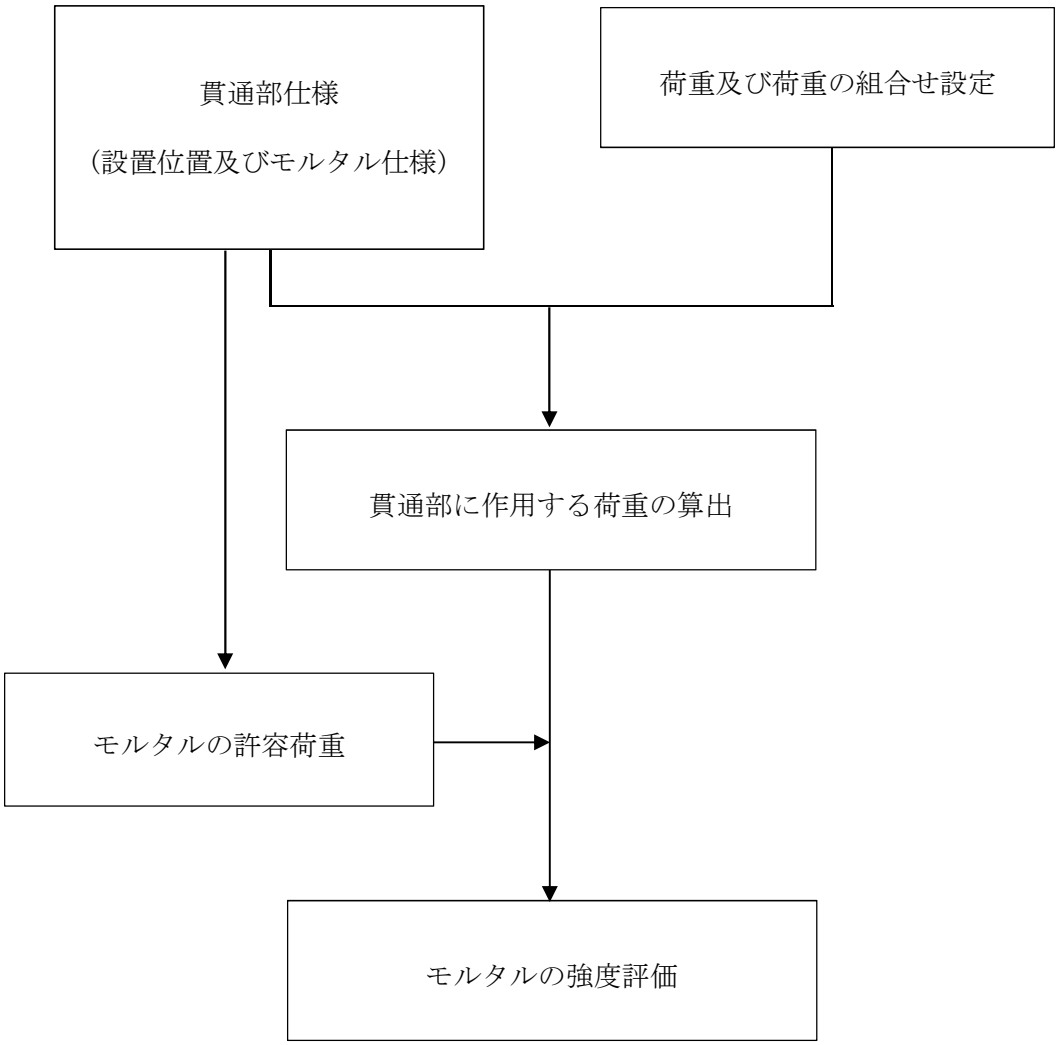


図 2－2　モルタルの強度評価フロー

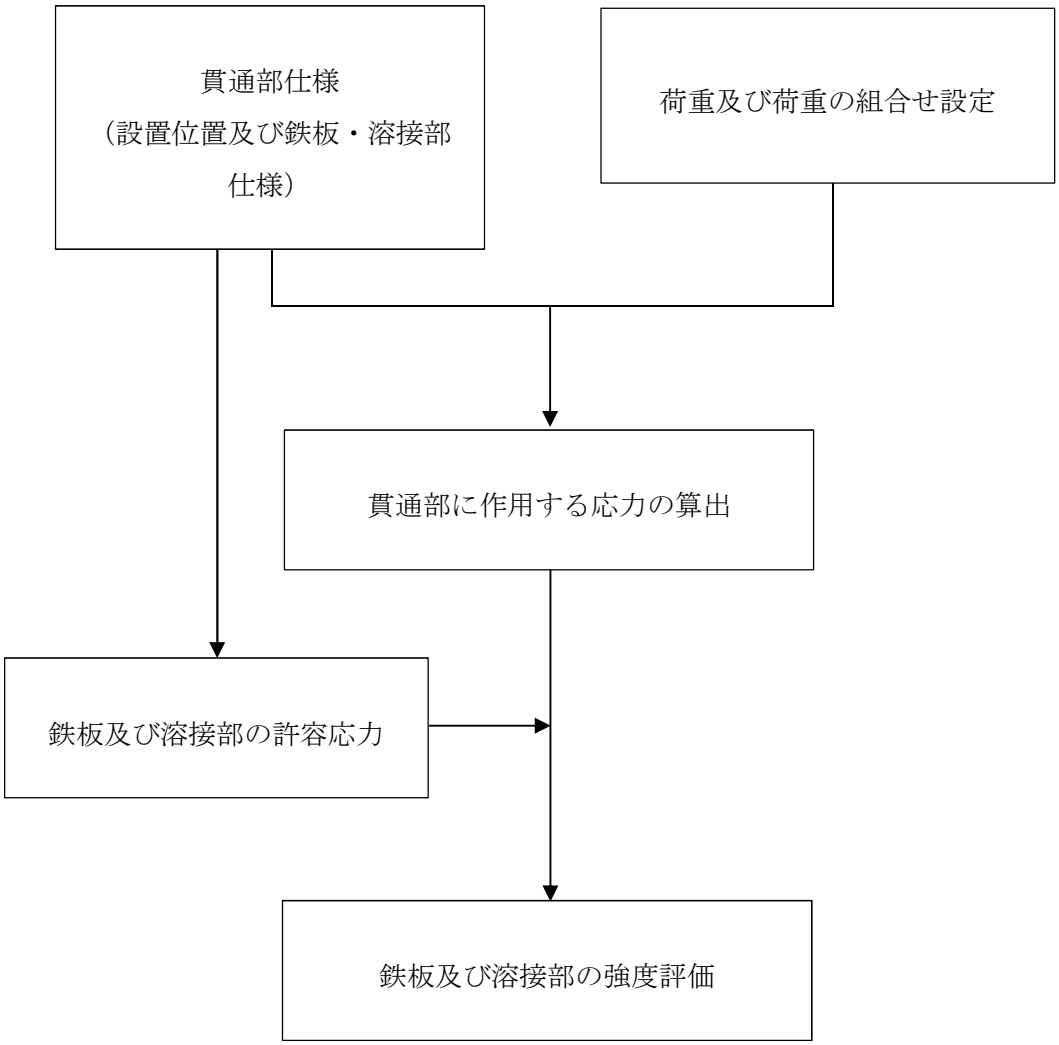


図 2－3　鉄板の強度評価フロー

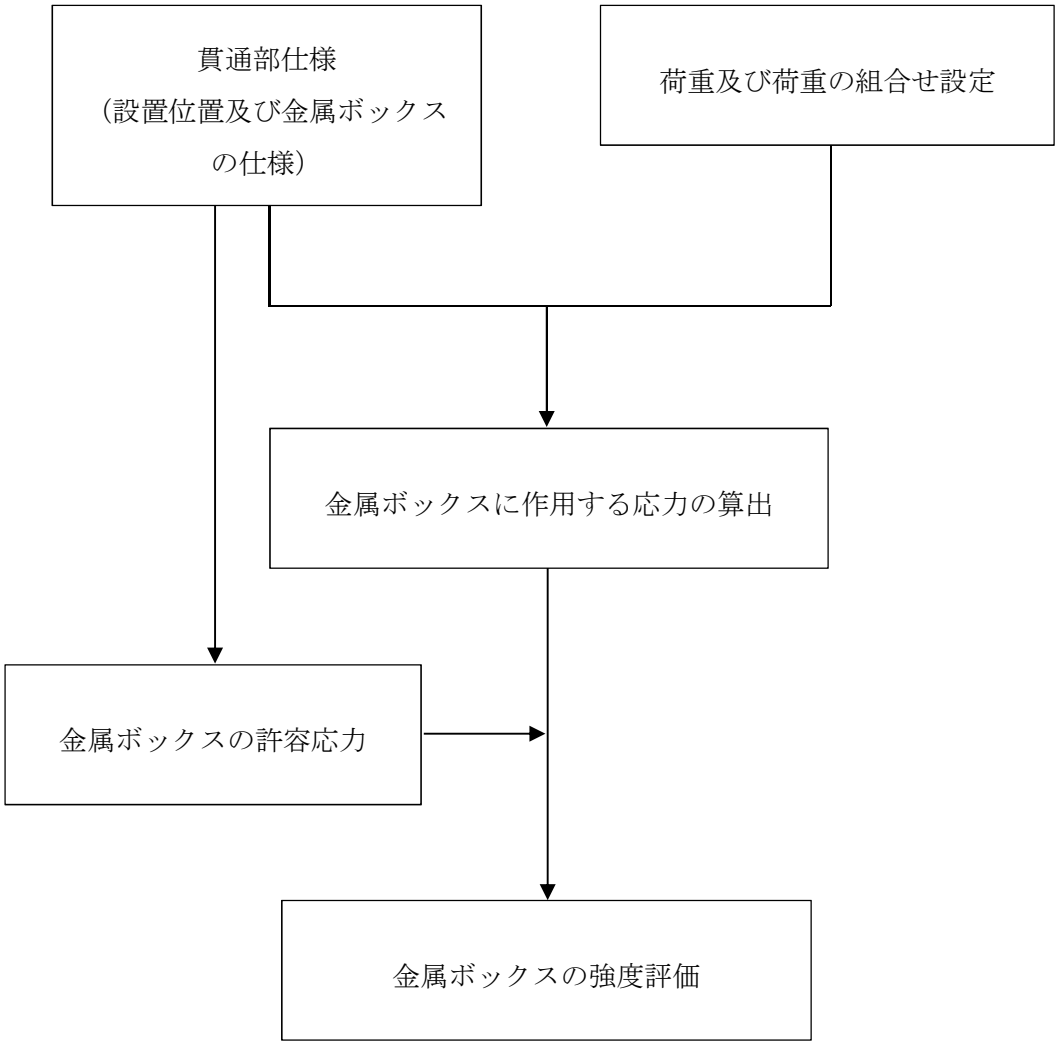


図 2－4　ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価フロー

3. 評価結果

溢水への配慮が必要な施設の強度計算書である本書は，静水圧荷重を用いた評価であるが，津波への配慮が必要な施設の強度計算書Ⅴ-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」において静水圧荷重に加えて余震を考慮した保守的な評価であるⅤ-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」の評価結果を示す。

シール材，ブーツ，モルタル，鉄板及びケーブルトレイ金属ボックスの計算方法はⅤ-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」に基づき計算されており，その強度評価結果をそれぞれ表 3－1，表 3－2，表 3－3，表 3－4，表 3－5，表 3－6 に示す。なお，発生圧力，発生荷重，発生応力は全て許容値を満足している。

表 3－1　シール材の浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材	0.30	0.32

表 3－2　ブーツの浸水に対する強度評価結果

評価部位	場所	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
ブーツ	タービン建屋	0.12	0.4

注記：溢水への配慮が必要な施設においては，廃棄物処理建屋の内部溢水による発生圧力が最も大きく 0.17MPa になる。

表 3－3　モルタルの浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	せん断荷重 (付着荷重)	[redacted]	593

表 3－4　鉄板の経路からの津波による水圧に対する強度評価結果

評価部位	引張応力 (MPa)		せん断応力 (MPa)		曲げ応力 (MPa)		組合せ応力 (MPa)	
	発生	許容	発生	許容	発生	許容	発生	許容
鉄板		204		117		204		204
配管と鉄板との溶接部		117		117		117		117
配管とスリーブとの溶接部		84		84		84		84

表 3－5　ケーブルトレイ金属ボックスのアンカーボルトの浸水に対する強度評価結果

応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力		f_{ts}＝129*
せん断応力		f_{sb}＝99

注記＊　：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]

表 3－6　ケーブルトレイ金属ボックスの浸水に対する強度評価結果

評価部位	曲げ応力 (MPa)	許容曲げ応力 (MPa)
金属ボックス		248

Ⅴ-3-別添４　発電用火力設備の技術基準による強度に関する説明書

まえがき

本書類は，「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（平成９年３月 27 日通商産業省令第 51 号）を準用する設備に対して十分な強度を有することを確認するため以下により構成される。

第一部　発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針
第二部　発電用火力設備の技術基準による強度評価方法
第三部　発電用火力設備の技術基準による強度評価書

第一部

発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針

目　次

1.　概　要 ····· 1
2.　強度評価の基本方針 ····· 2
2.1　評価対象設備 ····· 2
2.2　評価方法の選定 ····· 3

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」（平成 25 年 6 月 28 日　原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）第 48 条第 2 項及び第 3 項並びに第 78 条第 1 項に基づき，Ⅴ-1-1-8「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」及びⅤ-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」で「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（平成 9 年 3 月 27 日通商産業省令第 51 号）（以下「火力省令」という。）を準用する設備として対象としている設計基準対象施設又は重大事故等対処施設に施設するガスタービン及び内燃機関が，十分な強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

2.　強度評価の基本方針

設計基準対象施設又は重大事故等対処施設に施設するガスタービン及び内燃機関については，技術基準規則第 48 条第 2 項及び第 3 項並びに第 78 条第 1 項に基づき，ガスタービンは火力省令第 19 条から第 23 条を，内燃機関は火力省令第 25 条から第 29 条の規定を準用し，強度評価においては，火力省令第 19 条第 4 項及び第 25 条第 3 項を適用する。また,「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」(平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 1306194 号)第 48 条第 5 項において，火力省令の準用にあたっては,「発電用火力設備の技術基準の解釈」(平成 25 年 5 月 17 日 20130507 商局第 2 号)（以下「火力基準解釈」という。)の該当部分によることが規定されている。

よって，ガスタービンについては，火力省令第 19 条第 4 項を受けた火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号に，内燃機関については，火力省令第 25 条第 3 項を受けた火力基準解釈第 39 条第 1 項第 2 号に基づき，同解釈第 5 条を準用した水圧試験による強度評価又は最高使用圧力の 1.5 倍*の水圧に耐える強度を有することを確認するための強度計算による評価を実施する。

上記によらない評価方法により強度評価を実施するものについては，その評価方法により火力省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できることを確認した上で，強度評価を実施する。

注記＊：火力基準解釈については，平成 28 年 2 月 25 日に一部改正され，材料の許容応力を求める際の安全率や水圧試験の倍率が見直されているが，より厳しい評価となるよう改正前の解釈を用いる。

2.1　評価対象設備

設計基準対象施設又は重大事故等対処施設に施設するガスタービン及び内燃機関として，Ⅴ-1-1-8「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」及びⅤ-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」に基づき，強度評価を実施する設備について以下に示す。

・ディーゼル機関
・第一ガスタービン発電機用ガスタービン
・モニタリングポスト用発電機用内燃機関
・ディーゼル駆動消火ポンプ

また，ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管，燃料タンク及び燃料ポンプ）についても強度評価対象とする。

2.2　評価方法の選定

強度評価については，火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号にて，同解釈第 5 条（水圧試験）を準用することが規定されている。

ただし，当該機種と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの並びに最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することが強度計算等で確認できるものについては，水圧試験を要しないことが規定されている。

よって，上記規定のいずれかの方法により強度評価を行うこととするが，評価対象設備において水圧試験の試験結果があるもの並びに評価対象設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の試験結果があるものについては，それらの試験結果の確認により強度評価を実施する。なお，ガスタービン車室，管及びレジューサについては，最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを強度計算で確認する。

また，開放型タンク及びその管台については，最高使用圧力が 0MPa であることから耐圧部分に該当せず火力基準解釈第 5 条要求に該当しないものの，消防法に準じた水圧試験を実施していることを確認する。

ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備のうち，燃料配管に含まれるフレキシブルホースについては，気圧による耐圧試験を実施していることを確認する。気圧による耐圧試験は，水圧試験と同様に十分な強度を有していることの確認方法であり，附属設備にあっては水圧試験を行うことが困難な場合は，気圧による耐圧試験に代えて実施することが火力基準解釈第 5 条に規定されている。

よって，気圧による耐圧試験は，火力省令第 19 条第 4 項の要求に照らし水圧試験と同等であり，十分な保安水準の確保が可能であることから，気圧による耐圧試験を実施している DGFO*1 フレキシブルホース，GTGFO*2 フレキシブルホース及び DDFP*3 フレキシブルホースについては，前述する水圧試験によらず，気圧による耐圧試験の試験結果の確認により強度評価を実施する。

注記＊1：DGFO は非常用ディーゼル発電設備燃料油系を示す。

＊2：GTGFO は第一ガスタービン発電設備燃料移送系を示す。

＊3：DDFP は大湊側ディーゼル駆動消火ポンプを示す。

第二部

発電用火力設備の技術基準による強度評価方法

目　　次

1.　概　要 ····· 1
2.　強度評価方法 ····· 2
2.1　水圧試験 ····· 2
2.2　内燃機関ケーシングの水圧試験 ····· 5
2.3　強度計算方法 ····· 6
2.3.1　ガスタービン車室の強度計算 ····· 6
2.3.2　管の強度計算 ····· 8
2.3.3　レジューサの強度計算 ····· 10
3.　強度評価書のフォーマット ····· 13
3.1　強度評価書のフォーマットの概要 ····· 13
3.2　記載する数値に関する注意事項 ····· 13
3.3　強度評価書フォーマット ····· 13

1. 概　要

本資料は，第一部「発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針」に基づき，第一ガスタービン発電機のガスタービン，ディーゼル機関の内燃機関，モニタリングポスト用発電機の内燃機関，ディーゼル駆動消火ポンプの内燃機関及びガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管，燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認するための強度評価方法について説明するものであり，強度評価方法及び強度評価書のフォーマットにより構成する。

2.　強度評価方法

「発電用火力設備の技術基準の解釈」（平成 25 年 5 月 17 日 20130507 商局第 2 号）（以下「火力基準解釈」という。）の第 39 条第 1 項第 2 号に基づき，以下の(1)に示す火力基準解釈第 5 条の水圧試験の試験結果の確認による強度評価を基本とする。

ただし，評価対象設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果があるものについては，(2)に示す水圧試験の試験結果の確認により強度評価を実施する。また，ガスタービン車室，管及びレジューサについては，(3)に示す強度計算により強度評価を実施する。

(1)　水圧試験

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐え，これに適合するものであることを確認する。

(2)　内燃機関ケーシングの水圧試験

当該機種と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するものについては，その結果を確認する。

(3)　強度計算

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐える強度を有することを強度計算により確認する。

2.1　水圧試験

ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備のうち水圧試験により評価を実施するものについては，火力基準解釈第 5 条に基づき，最高使用圧力の 1.5 倍以上の水圧まで昇圧した後，適切な時間保持したとき，これに耐えることを確認する。また，上記試験に引き続き最高使用圧力以上の水圧で点検を行ったときに，漏えいがないものであることを確認する。

試験条件を以下に示す。

名　　称		最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験倍率	耐圧試験圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）	燃料ディタンク	静水頭	—*1	
	燃料移送ポンプ	0.98	1.5 以上	1.47 以上
	軽油タンク（重大事故等時のみ 6,7 号機共用）	静水頭	—*1	
	DGFO フレキシブルホース	0.98	1.25 以上*2	1.23 以上
	第一ガスタービン発電機用燃料タンク（6,7 号機共用）	静水頭	—*1	
	第一ガスタービン発電機用燃料小出し槽（6,7 号機共用）	静水頭	—*3	
	第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ（6,7 号機共用）	0.95	1.5 以上*4	1.43 以上
	軽油タンク（6 号機設備，重大事故等時のみ 6,7 号機共用）	静水頭	—*1	
	GTGFO フレキシブルホース（6,7 号機共用）	0.95	1.25 以上*5	1.23 以上

名　　称		最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）	モニタリングポスト用発電機用燃料タンク（6,7 号機共用）	静水頭	—*1	
その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）	ディーゼル駆動消火ポンプ用燃料タンク（5 号機設備，6,7 号機共用）	静水頭	—*1	
	DDFP フレキシブルホース（5 号機設備，6,7 号機共用）	1.0	1.25 以上*2	1.25 以上

注記＊1：　消防法に準じた水圧試験に合格している。

＊2：　火力基準解釈第 5 条の気圧試験に合格している。

＊3：　消防法に準じた水圧試験を実施する。

＊4：　火力基準解釈第 5 条の水圧試験に合格している。

＊5：　火力基準解釈第 5 条の気圧試験を実施する。

2.2　内燃機関ケーシングの水圧試験

内燃機関ケーシングの水圧試験の実績により評価を実施するものについては，火力基準解釈第 39 条第 1 項第 2 号において，「当該機種と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの」にあっては水圧試験を要しないと規定されていることから，圧力バウンダリとして主要な耐圧部である内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果を確認する。また，水圧試験の実績には，「当該設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの」として当該評価対象機種の内燃機関ケーシングにおける水圧試験を含める。

試験条件を以下に示す。

名　　称		最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）	ディーゼル機関*1	0.64	1.5 以上	0.96 以上
	モニタリングポスト用発電機用内燃機関*2 (6,7 号機共用)	0.064	1.5 以上	0.096 以上
その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）	ディーゼル駆動消火ポンプ (5 号機設備，6,7 号機共用)	0.2	1.5 以上	0.3 以上

注記＊1：　ディーゼル機関に附属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

＊2：　モニタリングポスト用発電機用内燃機関に附属する冷却水設備としてモニタリングポスト用発電機用機関付冷却水ポンプを含む。

2.3　強度計算方法

2.3.1　ガスタービン車室の強度計算

(1)　強度計算方法

ガスタービンのうち強度計算を実施するガスタービン車室については，火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号ロに定める強度計算において，火力基準解釈第 6 条第 2 項第 2 号に記載されている計算式を準用し，ガスタービン車室として最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また，火力基準解釈別表第 1 に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に，温度が記載値の中間値の場合は，比例法を用いて許容引張応力を計算し，その場合の端数処理は，小数点以下第 1 位を切捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから，強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　記号の定義

ガスタービン車室の厚さの計算に用いる記号について，以下に説明する。

	記号	単位	定義
ガスタービン車室の厚さ計算に使用するもの	t	mm	円筒部の計算上必要な厚さ
	P	MPa	最高使用圧力
	Di	mm	t を計算する部分の内径
	σ_a	N/mm^2	最高使用温度における火力基準解釈別表 1 に規定する材料の許容引張応力
	η	－	長手継手の効率又はリガメント効率
	α_1	mm	付け代
	k	－	材料の係数

(3) 厚さの計算

ガスタービン車室の厚さが，以下の計算式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区分	適用基準	計算式
円筒形の胴	火力基準解釈第6条第2項第2号	$t=\frac{P\cdot D_i}{2\sigma_a\cdot\eta-2P\cdot(1-k)}+\alpha_1$ *1*2

注記＊1：継手の効率η

長手継手の効率は火力基準解釈第12条第1項に規定されるＪＩＳ Ｂ ８２０１における表8.2を用いるが，今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあっては電気工作物の溶接の技術基準の解釈第20条及び第22条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第3項第1号の規定に適合するもの，その以外のものにあっては同解釈第38条及び第40条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第3項第1号の規定に適合するもの。	放射線透過試験を行わないもの
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

注記＊2：付け代α_1

付け代は火力基準解釈第6条第2項に規定されるＪＩＳ Ｂ ８２０１にて定義されている。今回の評価ではボイラー等及び独立節炭器以外のものに属する容器の胴に該当するため，火力基準解釈第6条第2項により付け代を0とする。

2.3.2　管の強度計算

(1)　管の強度計算方法

ガスタービン又は内燃機関のうち強度計算を実施する管については，火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号ロ及び第 39 条第 1 頃第 2 号ロに定める強度計算において，火力基準解釈第 12 条第 1 項第 7 号に記載されている計算式を準用し，ガスタービン及び内燃機関の管として最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また，火力基準解釈別表第 1 に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に，温度が記載値の中間値の場合は，比例法を用いて許容引張応力を計算し，その場合の端数処理は，小数点以下第 1 位を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから，強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

フランジについては，火力基準解釈第 13 条第 1 頁に規定される日本工業規格等に適合するものを使用する。

(2)　記号の定義

管の厚さの計算に用いる記号について，以下に説明する。

	記号	単位	定義
管の厚さ計算に使用するもの	P	MPa	最高使用圧力
	σ_a	N/mm^2	最高使用温度における火力基準解釈別表 1 に規定する材料の許容引張応力
	d_0	mm	管の外径
	t	mm	管の計算上必要な厚さ
	η	－	継手の効率

(3) 管の厚さの計算

管の厚さが，以下の計算式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区分	適用基準	計算式
その他管	火力基準解釈第 12 条第 1 項第 7 号	$t=\frac{P\cdot d_0}{2\sigma_a\cdot\eta+0.8P}$ *

注記＊：継手の効率 η

長手継手の効率は火力基準解釈第 12 条第 1 項に規定されるＪＩＳ Ｂ ８２０１における表 8.2 を用いるが，今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあっては電気工作物の溶接の技術基準の解釈第 20 条及び第 22 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの，その以外のものにあっては同解釈第 38 条及び第 40 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの。	放射線透過試験を行わないもの
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

2.3.3　レジューサの強度計算

(1)　強度計算方法

ガスタービン又は内燃機関のうち強度計算を実施するレジューサについては，火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号ロ及び第 39 条第 1 頃第 2 号ロに定める強度計算において，火力基準解釈第 12 条第 2 項及び第 6 条第 2 項に記載されている計算式を準用し，ガスタービン及び内燃機関のレジューサとして最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また，火力基準解釈別表第 1 に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に，温度が記載値の中間値の場合は，比例法を用いて許容引張応力を計算し，その場合の端数処理は，小数点以下第 1 位を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから，強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2)　記号の定義

レジューサの厚さの計算に用いる記号について，以下に説明する。

	記号	単位	定義
レジューサの厚さ計算に使用するもの	t	mm	円すい部および大径端部の計算上必要な厚さ
	P	MPa	最高使用圧力
	D	mm	軸に直角に測った内径で，最小厚さを考える部分の最大内径
	D_1	mm	円すい部がすその丸みに接続する部分の内径で，軸に直角に測る部分の内径
	σ_a	N/mm^2	最高使用温度における火力基準解釈別表 1 に規定する材料の許容引張応力
	η	—	円すい部に周継手以外の継手がある場合はその効率

	記号	単位	定義
レジューサの厚さ計算に使用するもの	θ	deg	円すい部の頂角の 1/2
	W	－	円すい部と丸みの形状による係数
	r_0	mm	丸みの内半径
	α_1	mm	付け代

(3) レジューサの厚さの計算

レジューサの厚さは，次に掲げる値とし円すい部，大径端部及び小径端部の各々について以下の式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区分		適用基準	計算式
円すい形の胴	円すい部	火力基準解釈第 6 条第 2 項第 2 号	$t=\frac{P\cdot D}{2\cdot\cos\theta\cdot(\sigma_a\cdot\eta-0.6\cdot P)}+\alpha_1$ *1*2
	大径端部	火力基準解釈第 6 条第 2 項第 2 号	$t=\frac{P\cdot D_1\cdot W}{4\cdot\cos\theta\cdot(\sigma_a\cdot\eta-0.1\cdot P)}+\alpha_1$ *1*2 $W=\frac{1}{4}\cdot\left(3+\sqrt{\frac{D_1}{2\cdot\cos\theta\cdot r_0}}\right)$
	小径端部	火力基準解釈第 6 条第 2 項第 2 号	円すい部の計算上必要な厚さとする。

注記＊1：継手の効率η

長手継手の効率は火力基準解釈第12条第1項に規定されるＪＩＳ Ｂ ８２０１における表8.2を用いるが，今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあっては電気工作物の溶接の技術基準の解釈第20条及び第22条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第3項第1号の規定に適合するもの，その以外のものにあっては同解釈第38条及び第40条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第3項第1号の規定に適合するもの。	放射線透過試験を行わないもの
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

注記＊2：付け代α_1

付け代は火力基準解釈第6条第2項に規定されるＪＩＳ Ｂ ８２０１にて定義されている。今回の評価ではボイラー等及び独立節炭器以外のものに属する容器の胴に該当するため，火力基準解釈第6条第2項により付け代を0とする。

3.　強度評価書のフォーマット

3.1　強度評価書のフォーマットの概要

水圧試験結果のフォーマットは，試験条件及び結果を記載し，強度計算書のフォーマットは，耐圧部分を構成する部材についてフォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2　記載する数値に関する注意事項

フォーマットに挙げた諸元のうち，計算に使用しないものや計算結果の無いものは，計算結果表の欄には―として記載する。

3.3　強度評価書のフォーマット

強度評価書のフォーマットは，以下のとおりである。

FORMAT－Ⅰ　水圧試験結果

FORMAT－Ⅱ　内燃機関ケーシングの水圧試験結果

FORMAT－Ⅲ　ガスタービン車室の厚さの計算結果

FORMAT－Ⅳ　管の厚さの計算結果

FORMAT－Ⅴ　レジューサの厚さの計算結果

FORMAT－Ⅰ　水圧試験結果

設備区分

名　　称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評価

FORMAT－Ⅱ　内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分

名　　称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評価

FORMAT－Ⅲ　ガスタービン車室の厚さの計算結果

設備区分

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 σ_a (N/mm^2)	内径 D_i (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	材料の係数 k	計算上必要な厚さ t (mm)	車室の厚さ (最小厚さ) (mm)
1											
2											
3											
4											
5											
評　価：											

FORMAT－Ⅳ　管の厚さの計算結果

設備区分

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 σ_a (N/mm^2)	外径 d_0 (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	計算上必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管の必要最小厚さ (mm)	管の厚さ（最小厚さ） (mm)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
評　価：											

FORMAT－Ⅴ　レジューサの厚さの計算結果

設備区分

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 σ_a (N/mm^2)	区分	軸に直角に測った内径で，最小厚さを考える部分の最大内径 D (mm)	円すい部がすその丸みに接続する部分の内径で，軸に直角に測る内径 D_1 (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q
R1									
R2									
R3									
R4									
R5									

FORMAT－Ⅴ　レジューサの厚さの計算結果(2/2)

設備区分

番号	継手の効率 η	円すい部の頂角 θ (°)	付け代 α_1	丸みの内半径 r_0 (mm)	計算上必要な厚さ t (mm)	レジューサの厚さ (最小厚さ) (mm)
R1						
R2						
R3						
R4						
R5						
評　価：						

第三部

発電用火力設備の技術基準による強度評価書

目　次

1.　概　要 ····· 1
2.　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）の
　　ガスタービン及び内燃機関の強度評価書 ····· 2
2.1　水圧試験結果 ····· 3
2.2　内燃機関ケーシングの水圧試験結果 ····· 4
2.3　強度計算結果 ····· 5
2.3.1　ガスタービン車室の設計仕様 ····· 5
2.3.2　ガスタービン車室の厚さの計算結果 ····· 6
2.3.3　管の設計仕様 ····· 7
2.3.4　管の厚さの計算結果 ····· 11
2.3.5　レジューサの設計仕様 ····· 13
2.3.6　レジューサの厚さの計算結果 ····· 15
3.　その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）の内燃機関の強度評価書 ···· 17
3.1　内燃機関ケーシングの水圧試験結果 ····· 18
4.　その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）の管の強度評価書 ···· 19
4.1　強度計算結果 ····· 20
4.1.1　管の設計仕様 ····· 20
4.1.2　管の厚さの計算結果 ····· 21

1. 概　要

本資料は，第二部「発電用火力設備の技術基準による強度評価方法」に基づき，ガスタービン発電機のガスタービン，ディーゼル発電機の内燃機関，モニタリングポスト用発電機の内燃機関，ディーゼル駆動消火ポンプの内燃機関及びガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管，燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認した結果を示す。

2. その他発電用原子炉の附属施設(非常用電源設備)のガスタービン及び内燃機関の強度評価書

2.1　水圧試験結果

設備区分　　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）　　非常用発電装置

名　　称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評価
燃料移送ポンプ	0.98	1.47	1.5	良	適合
第一ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ（6,7号機共用）	0.95	1.43	1.5	良	適合

2.2　内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分　　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）　　非常用発電装置

名　　称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評価
非常用ディーゼル発電設備 内燃機関	0.64	0.98	1.53	良	適合
モニタリングポスト用発電機用 内燃機関（6,7号機共用）	0.064	0.096	1.5	良	適合

2.3　強度計算結果

2.3.1　ガスタービン車室の設計仕様

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	内径　d_0 (mm)	公称厚さ (mm)	材料*	番号
						1
						2
						3
						4
						5
						6
						7

注記＊：　　による。

2.3.2　ガスタービン車室の厚さの計算結果

設備区分　　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）　　非常用発電装置

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料*1	許容引張応力*2 σ_a (N/mm^2)	内径 D_i (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	材料の係数 k	計算上必要な厚さ t (mm)	車室の厚さ（最小厚さ） (mm)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

注記＊1：　　による。

＊2：製造メーカ提示値による。

2.3.3　管の設計仕様

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	番号
軽油タンク ～ 燃料移送ポンプ	0.10[*1]	66[*1]	76.3[*2]	7.0[*2]	STPT410	1
			76.3[*2]	[redacted] (7.0[*2])	STPT410	2
			76.3[*2]	5.2[*2]	STPT410	3
燃料移送ポンプ ～ 燃料ディタンク	0.98[*1]	66[*1]	60.5[*2]	5.5[*2]	STPT410	4
			60.5[*2]	5.5[*2]	SUS304TP	5
軽油タンク(A) ～ タンクローリ接続口 (6,7号機共用)	静水頭[*1]	66[*1]	76.3[*2]	7.0[*2]	STPT410	6

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	番号
軽油タンク(B) ～ タンクローリ接続口 (6,7号機共用)	静水頭*1	66*1	76.3*2	[redacted]	[redacted]	7
軽油タンク(A) ～ タンクローリ接続口 (6号機設備，6,7号機共用)	静水頭*1	66*1	76.3*2	[redacted]	[redacted]	8
軽油タンク(B) ～ タンクローリ接続口 (6号機設備，6,7号機共用)	静水頭*1	66*1	76.3*2	7.0*2	STPT410	9

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	番号
給油口 ～ 第一ガスタービン発電機用 燃料タンク (6,7号機共用)	0.95[*1]	66[*1]	114.3[*2]	6.0[*2]	STPT410	10
			60.5[*2]	5.5[*2]	STPT410	11
			60.5[*2]	2.9 (3.9[*2])	STPT410	12
第一ガスタービン発電機用 燃料タンク ～ 第一ガスタービン発電機用 燃料移送ポンプ (6,7号機共用)	0.95[*1]	66[*1]	60.5[*2]	2.9 (3.9[*2])	STPT410	13
			60.5[*2]	5.5[*2]	STS410	14
			76.3[*2]	5.2[*2]	STS410	15

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	番号
第一ガスタービン発電機用 燃料移送ポンプ ～ 第一ガスタービン発電機用 燃料小出し槽 (6,7号機共用)	0.95*1	66*1	60.5*2	5.5*2	STS410	16
			42.7*2	4.9*2	STS410	17
			[redacted]*2	[redacted]*2	SUS304	18
			[redacted]*2	[redacted]*2	SUS304TP	19
			[redacted]*2	[redacted]*2	SUS304TP	20
			[redacted]*2	[redacted]*2	SUS304TP	21

注記＊1 ：重大事故等時における使用時の値。

＊2 ：公称値を示す。

2.3.4　管の厚さの計算結果

設備区分　　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）　　非常用発電装置

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 σ_a (N/mm^2)	外径 d_0 (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	計算上必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管の必要最小厚さ (mm)	管の厚さ（最小厚さ） (mm)
1	0.10	66	STPT410	103	76.3	7.0	12.5%	1.0	0.06	—*	6.12
2	0.10	66	STPT410	103	76.3	7.0	[redacted]	1.0	0.06	—*	[redacted]
3	0.10	66	STPT410	103	76.3	5.2	12.5%	1.0	0.06	—*	4.55
4	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.0	0.43	—*	4.81
5	0.98	66	SUS304TP	122	60.5	5.5	12.5%	1.0	0.37	—*	4.81
6	静水頭	66	STPT410	—	—	—	—	—	—	—*	6.12
7	静水頭	66	[redacted]	—	—	—	—	—	—	—*	[redacted]
8	静水頭	66	[redacted]	—	—	—	—	—	—	—*	[redacted]
9	静水頭	66	STPT410	—	—	—	—	—	—	—*	6.12
10	0.95	66	STPT410	103	114.3	6.0	10%	1.0	0.79	—*	5.40
11	0.95	66	STPT410	103	60.5	5.5	10%	1.0	0.42	—*	4.95
評　価：上記鋼管の最小厚さは，すべて計算上必要な厚さ以上である。											

設備区分　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）　非常用発電装置

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 σ_a (N/mm^2)	外径 d_0 (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	計算上必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管の必要最小厚さ (mm)	管の厚さ（最小厚さ） (mm)
12	0.95	66	STPT410	103	60.5	3.9	[redacted]	1.0	0.42	—*	[redacted]
13	0.95	66	STPT410	103	60.5	3.9	[redacted]	1.0	0.42	—*	[redacted]
14	0.95	66	STS410	103	60.5	5.5	10%	1.0	0.42	—*	4.95
15	0.95	66	STS410	103	76.3	5.2	10%	1.0	0.53	—*	4.68
16	0.95	66	STS410	103	60.5	5.5	10%	1.0	0.42	—*	4.95
17	0.95	66	STS410	103	42.7	4.9	10%	1.0	0.30	—*	4.41
18	0.95	66	SUS304	122	[redacted]	[redacted]	0.5mm	1.0	0.25	—*	[redacted]
19	0.95	66	SUS304TP	122	[redacted]	[redacted]	0.5mm	1.0	0.25	—*	[redacted]
20	0.95	66	SUS304TP	122	[redacted]	[redacted]	0.5mm	1.0	0.20	—*	[redacted]
21	0.95	66	SUS304TP	122	[redacted]	[redacted]	0.5mm	1.0	0.16	—*	[redacted]
評　価：上記鋼管の最小厚さは，すべて計算上必要な厚さ以上である。											

注記＊：火力省令の要求項目ではないことから記載を「－」とする。

2.3.5　レジューサの設計仕様

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	番号
給油口 ～ 第一ガスタービン発電機用 燃料タンク (6,7号機共用)	0.95*1	66*1	*2 114.3 /60.5	*2 6.0 /5.5	STPT410	R1
第一ガスタービン発電機用 燃料タンク ～ 第一ガスタービン発電機用 燃料移送ポンプ (6,7号機共用)			*2 76.3 /60.5	*2 5.2 /5.5	STS410	R2
第一ガスタービン発電機用 燃料移送ポンプ ～ 第一ガスタービン発電機用 燃料小出し槽 (6,7号機共用) (次頁へ続く)			*2 60.5 /42.7	*2 5.5 /4.9	STS410	R3

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	番号
(前頁からの続き) 第一ガスタービン発電機用 燃料移送ポンプ ～ 第一ガスタービン発電機用 燃料小出し槽 (6,7号機共用)	0.95*1	66*1	□*2	□*2	SUS304	R4
			□*2	□*2	SUS304	R5

注記＊1 ：重大事故等時における使用時の値。

＊2 ：公称値を示す。

2.3.6　レジューサの厚さの計算結果

設備区分　　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）　　非常用発電装置

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 σ_a (N/mm^2)	端部記号	軸に直角に測った内径で，最小厚さを考える部分の最大内径 D (mm)	円すい部がすその丸みに接続する部分の内径で，軸に直角に測る部分の内径 D_1 (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q
R1	0.95	66	STPT410	103	円すい部	[redacted]	—	5.5	12.5%
					大径端部	—	[redacted]	6.0	12.5%
					小径端部	—	—	5.5	12.5%
R2	0.95	66	STS410	103	円すい部	[redacted]	—	5.5	12.5%
					大径端部	—	[redacted]	5.2	12.5%
					小径端部	—	—	5.5	12.5%
R3	0.95	66	STS410	103	円すい部	[redacted]	—	4.9	12.5%
					大径端部	—	[redacted]	5.5	12.5%
					小径端部	—	—	4.9	12.5%
R4	0.95	66	SUS304	122	円すい部	[redacted]	—	[redacted]	12.5%
					大径端部	—	[redacted]		12.5%
					小径端部	—	—		12.5%
R5	0.95	66	SUS304	122	円すい部	[redacted]	—	[redacted]	12.5%
					大径端部	—	[redacted]		12.5%
					小径端部	—	—		12.5%

設備区分　その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）　非常用発電装置

番号	継手の効率 η	円すい部の頂角 θ (°)	付け代 α	丸みの内半径 r (mm)	計算上必要な厚さ t (mm)	レジューサの厚さ (最小厚さ) (mm)
R1	1.0	[redacted]	0	—	0.70	4.81
	1.0		0	[redacted]	0.51	5.25
	—	—	—	—	0.70	4.81
R2	1.0	[redacted]	0	—	0.98	4.81
	1.0		0	[redacted]	0.56	4.55
	—	—	—	—	0.98	4.81
R3	1.0	[redacted]	0	—	0.65	4.28
	1.0		0	[redacted]	0.37	4.81
	—	—	—	—	0.65	4.28
R4	1.0	[redacted]	0	—	0.24	[redacted]
	1.0		0	[redacted]	0.14	
	—	—	—	—	0.24	
R5	1.0	[redacted]	0	—	0.18	[redacted]
	1.0		0	[redacted]	0.10	
	—	—	—	—	0.18	
評　価：上記レジューサの最小厚さは，すべて計算上必要な厚さ以上である。						

3. その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）の内燃機関の強度評価書

3.1　内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分　　その他発電用原子炉の附属施設（火災防護設備）　　消火設備

名　　称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評価
ディーゼル駆動消火ポンプ用内燃機関 (5 号機設備，6,7 号機共用)	0.2	0.3	1.5	良	適合

4. その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）の管の強度評価書

4.1 強度計算結果

4.1.1 管の設計仕様

名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	番号
ディーゼル駆動消火ポンプ用燃料タンク ～ ディーゼル駆動消火ポンプ用内燃機関 (5号機設備，6,7号機共用)	1.0	66	21.7*	3.7*	STPG370	1
ディーゼル駆動消火ポンプ用内燃機関 ～ ディーゼル駆動消火ポンプ用燃料タンク (5号機設備，6,7号機共用)	1.0	66	21.7*	3.7*	STPG370	

注記＊：公称値を示す。

4.1.2　管の厚さの計算結果

設備区分　　その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）　　燃料設備

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	材料	許容引張応力 σ_a (N/mm^2)	外径 d_0 (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	計算上必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管の必要最小厚さ (mm)	管の厚さ（最少厚さ） (mm)
1	1.0	66	STPG370	92	21.7	3.7	10%	1.0	0.18	—*	3.33
評　価：上記鋼管の最小厚さは，すべて計算上必要な厚さ以上である。											

注記＊：火力省令の要求項目ではないことから記載を「－」とする。

Ⅴ-3-別添５　非常用発電装置（可搬型）の強度に関する説明書

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　強度評価の基本方針 ····· 2
2.1　評価対象設備 ····· 2
2.2　評価方法の選定 ····· 2
3.　強度評価方法 ····· 3
3.1　ＪＥＭ－１３５４又はＪＥＭ－１３９８に規定される温度試験による評価 ····· 3
4.　強度評価結果 ····· 3
4.1　ＪＥＭ－１３５４又はＪＥＭ－１３９８に規定される温度試験による評価結果 ····· 3

1. 概要

本資料は，Ⅴ-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」にて，「発電用火力設備の技術基準を定める省令」を引用している「可搬形発電設備技術基準（ＮＥＧＡ　Ｃ　３３１：2005)」（以下「可搬形発電設備技術基準」という。）の準用を確認した可搬型の非常用発電装置の内燃機関が，十分な強度を有することを確認するための強度評価方針，強度評価方法について説明するものである。

2.　強度評価の基本方針

非常用発電装置（可搬型）の内燃機関の強度評価は，常設の非常用電源装置の内燃機関と同様に耐圧部の強度評価を行う。ただし，可搬型発電設備技術基準には耐圧部の強度に関連する事項がないため，完成品として一般産業品の規格及び基準により，耐圧部が要求される強度を有していることを確認する。

2.1　評価対象設備

強度評価を行う非常用発電装置（可搬型）の内燃機関を表１に示す。

表１　強度評価の対象設備

施設分類	強度評価の対象設備
その他発電用原子炉の附属施設	・電源車用内燃機関 ・5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備用内燃機関 ・可搬型窒素供給装置用可搬型電源設備用内燃機関

2.2　評価方法の選定

強度評価については，内燃機関等を含めた一体構造品の完成品として製作されている非常用発電装置（可搬型）が重大事故等時に給電で要求される強度を有することを確認するため，「日本電機工業会規格　ＪＥＭ－１３５４」（以下「ＪＥＭ－１３５４」という。）又はＪＥＭ－１３９８に規定される温度試験により，非常用発電装置（可搬型）が内燃機関等を含めた一体構造品として，定格負荷状態において安定した運転が維持されることの確認による評価を実施する。

3.　強度評価方法

非常用発電装置（可搬型）は，ＪＥＭ－１３５４又はＪＥＭ－１３９８に規定される温度試験により，強度の要求を満たしていることを以下のとおり確認する。

また，温度試験による強度評価は，対象となる非常用発電装置（可搬型）又はその発電装置と同一型式の発電装置の試験結果にて実績を確認する。

3.1　ＪＥＭ－１３５４又はＪＥＭ－１３９８に規定される温度試験による評価

(1)　使用条件に対する強度の確認

ＪＥＭ－１３５４又はＪＥＭ－１３９８に基づいた温度試験により，対象となる非常用発電装置（可搬型）の定格負荷状態における最高温度が，メーカ許容値の範囲内であることを確認し，当該非常用発電装置（可搬型）が十分な強度を有することを確認する。

4.　強度評価結果

4.1　ＪＥＭ－１３５４又はＪＥＭ－１３９８に規定される温度試験による評価結果

非常用発電装置（可搬型）は，内燃機関等を含めた一体構造品としてＪＥＭ－１３５４又はＪＥＭ－１３９８に規定される温度試験により評価を実施しているため，強度評価結果を重大事故等クラス３機器である非常用発電装置（可搬型）の冷却水ポンプが記載されているＶ-3-3-7-1-1-2-1「電源車用機関付冷却水ポンプの強度計算書」及びＶ-3-3-7-1-1-3-1「5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備用機関付冷却水ポンプの強度計算書」及びＶ-3-3-7-1-1-4-1「可搬型窒素供給装置用可搬型電源設備用機関付冷却水ポンプの強度計算書」並びに燃料タンクが記載されているＶ-3-3-7-1-1-2-2「電源車用車載燃料タンクの強度計算書」及びＶ-3-3-7-1-1-3-2「5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備用燃料タンクの強度計算書」及びＶ-3-3-7-1-1-4-2「可搬型窒素供給装置用可搬型電源設備用燃料タンクの強度計算書」に示す。

強度評価結果より，表１の非常用発電装置（可搬型）の内燃機関は，重大事故等時における非常用発電装置（可搬型）の所要負荷に対する給電で要求される強度を有している。

Ⅴ-3-別添６　炉心支持構造物の強度計算書

Ⅴ-3-別添 6-1　炉心支持構造物の強度計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　炉心支持構造物の強度評価の基本方針 ····· 2
3.　炉心支持構造物の強度評価方法 ····· 3
3.1　確認内容 ····· 3
4.　強度評価結果 ····· 6
5.　燃料支持金具の強度計算 ····· 7
5.1　一般事項 ····· 7
5.2　適用基準 ····· 7
5.3　記号の説明 ····· 8
5.4　計算精度と数値の丸め方 ····· 9
5.5　形状・寸法・材料 ····· 9
5.6　解析範囲 ····· 9
5.7　計算結果の概要 ····· 9
5.8　計算条件 ····· 13
5.8.1　評価対象機器 ····· 13
5.8.2　設計条件 ····· 13
5.8.3　運転条件 ····· 13
5.8.4　材料 ····· 13
5.8.5　荷重の組合せ及び運転状態 ····· 13
5.8.6　荷重の組合せ及び応力評価 ····· 14
5.8.7　許容応力 ····· 14
5.8.8　許容応力評価条件 ····· 14
5.8.9　溶接部の継手効率 ····· 14
5.8.10　応力の記号と方向 ····· 15
5.9　応力評価の手順 ····· 15
5.9.1　温度分布計算 ····· 15
5.9.2　応力の評価 ····· 15
5.9.3　繰返し荷重の評価 ····· 16
5.10　応力計算 ····· 17
5.10.1　応力評価点 ····· 17
5.10.2　差圧による応力 ····· 17
5.10.3　外荷重による応力 ····· 18
5.10.4　熱応力 ····· 19

5.11　応力強さの評価 ····· 20
5.11.1　一次一般膜応力強さの評価 ····· 20
5.11.2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価 ····· 20
5.11.3　一次＋二次応力強さの評価 ····· 20
5.12　繰返し荷重の評価 ····· 21
5.12.1　告示第 96 条第 1 項第 3 号についての検討 ····· 21
5.12.2　疲労解析 ····· 21
5.13　引用文献 ····· 22
5.14　参照図書 ····· 22

図　表　目　次

図 5－1　形状・寸法・材料・応力評価点 ····· 10
図 5－2　応力評価の手順 ····· 23
図 5－3　中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル ····· 24
図 5－4　中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル ····· 24

表 3－1　重大事故等の事故時荷重の整理表 ····· 4
表 3－2　設計基準の事故時荷重の整理表 ····· 5
表 5－1　表示する数値の丸め方 ····· 9
表 5－2　計算結果の概要 ····· 12
表 5－3　各運転状態における差圧 ····· 25
表 5－4　外荷重 ····· 26
表 5－5　荷重の組合せ及び運転状態 ····· 27
表 5－6　荷重の組合せ ····· 28
表 5－7　許容応力 ····· 29
表 5－8　許容応力評価条件 ····· 30
表 5－9　溶接部の継手効率 ····· 31
表 5－10　断面性状 ····· 32
表 5－11　一次一般膜応力強さの評価のまとめ ····· 33
表 5－12　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ ····· 34
表 5－13　一次＋二次応力強さの評価のまとめ ····· 35

1. 概要

本計算書は，「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」（平成25 年 6 月 28 日　原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 50 条，第 51 条，第 52 条，第 54 条，第 59 条，第 60 条，第 62 条及び第 63 条において，重大事故等時に流路としての機能が要求される原子炉圧力容器内の炉心支持構造物が，十分な強度を有することを説明するものである。

2. 炉心支持構造物の強度評価の基本方針

重大事故等時における炉心支持構造物の評価は，重大事故等の使用条件が設計基準の使用条件に包絡されており，燃料支持金具を除き，既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）における評価結果があるため，材料，構造及び強度の要求は同じであることから，その評価の適用性を確認し，既工認の確認による評価を実施する。

なお，燃料支持金具については，既工認における評価結果がないため，施設時に適用された規格である通商産業省告示第５０１号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」による評価を 5 章で実施する。

3.　炉心支持構造物の強度評価方法

炉心支持構造物の強度評価について，燃料支持金具を除き，既工認における評価結果があるため，以下の3.1節に示す確認内容のとおり，その評価結果の確認による評価を実施する。

3.1　確認内容

重大事故等事象は，運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物，系統及び機器の安全機能が喪失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。

重大事故等の事故時荷重の整理表を表3－1に，設計基準の事故時荷重の整理表を表3－2に示す。両表に示すとおり，起因となる設計基準（運転状態Ⅲ及びⅣ）の事故時荷重は，重大事故等の事故時荷重を包絡している。

表3－1　重大事故等の事故時荷重の整理表

重大事故等時			運転状態Ⅲ及びⅣの評価（表3－2）との関係	
事故シーケンス グループ	重要事故シーケンス	事故時荷重*1	事故時荷重の包絡性	ピーク差圧の包絡性
高圧・低圧注水機能 喪失（給水喪失）	給水喪失＋低圧代替注水（常設） ＋ベント			
高圧注水・減圧機能 喪失（給水喪失）	給水喪失＋ＬＰＦＬ注水 ＋Ｓ／Ｃ冷却			
全交流動力電源喪失 （長期ＴＢ）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止 ＋低圧代替注水（常設）＋ベント			
全交流動力電源喪失 （ＴＢＤ，ＴＢＵ）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止 ＋低圧代替注水（常設）＋ベント			
全交流動力電源喪失 （ＴＢＰ）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止 ＋低圧代替注水（可搬型）＋ベント			
崩壊熱除去機能喪失 （取水機能喪失）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止 ＋低圧代替注水（常設）＋Ｓ／Ｃ冷却			
崩壊熱除去機能喪失 （ＲＨＲ機能喪失）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止 ＋ＨＰＣＦ注水＋ベント			
原子炉停止機能喪失	主蒸気隔離弁閉止＋スクラム失敗			
ＬＯＣＡ時注水機能 喪失（中小破断）	中小ＬＯＣＡ＋低圧代替注水（常設） ＋ベント			
格納容器バイパス	インターフェースシステムＬＯＣＡ （ＲＨＲＢ系漏えい）			
大破断ＬＯＣＡ	大ＬＯＣＡ＋代替注水＋ＰＣＶスプレイ ＋代替循環冷却			

注記＊1：事故時に発生する機械的荷重

＊2：

表3－2　設計基準の事故時荷重の整理表

事象		事故時荷重*	強度評価上の取扱い	備考
運転状態Ⅲ	過大圧力			
運転状態Ⅳ	冷却材喪失事故			

注記＊：事故時に発生する機械的荷重

4. 強度評価結果

本計算書は，炉心支持構造物の重大事故等対処設備としての応力評価結果を示すものであるが，燃料支持金具を除く機器は，設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから，評価結果については，平成 5 年 6 月 17 日付け 4 資庁第 14562 号にて認可された既工認のⅣ-3-1-1「炉心支持構造物の強度計算書」による。

燃料支持金具については，既工認に記載がないため，評価結果を 5 章に示す。

5. 燃料支持金具の強度計算

5.1 一般事項

本章は，燃料支持金具（中央燃料支持金具及び周辺燃料支持金具）の応力計算について示すものである。

注：図表は，原則として巻末に示す。

5.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

(1) 通商産業省告示第５０１号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示」という。）

注：本章において，告示の条項は「告示第○条第△項第◇号」として示す。

5.3　記号の説明

本章において，以下の記号を使用する。ただし，本章に別途記載ある場合は，この限りでない。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm^2
D_i	内径	mm
D_o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm^4
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S_{12}	主応力差$\sigma_1-\sigma_2$	MPa
S_{23}	主応力差$\sigma_2-\sigma_3$	MPa
S_{31}	主応力差$\sigma_3-\sigma_1$	MPa
S_m	設計応力強さ 告示　別表第2に定める値	MPa
S_u	設計引張強さ 告示　別表第10に定める値	MPa
S_y	設計降伏点　 告示　別表第9に定める値	MPa
S_y（RT）	室温における設計降伏点　告示　別表第9に定める値	MPa
t	厚さ	mm
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_ℓ	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

5.4　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5－1に示すとおりとする。

表5－1　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
応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
応力強さ	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊：告示別表に記載された温度の中間における許容引張応力及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第2位を切捨て，小数点以下第1位までの値として算出する。得られた値をSI単位に換算した値の小数点以下第1位を切捨てて整数化する。

5.5　形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図5－1に示す。

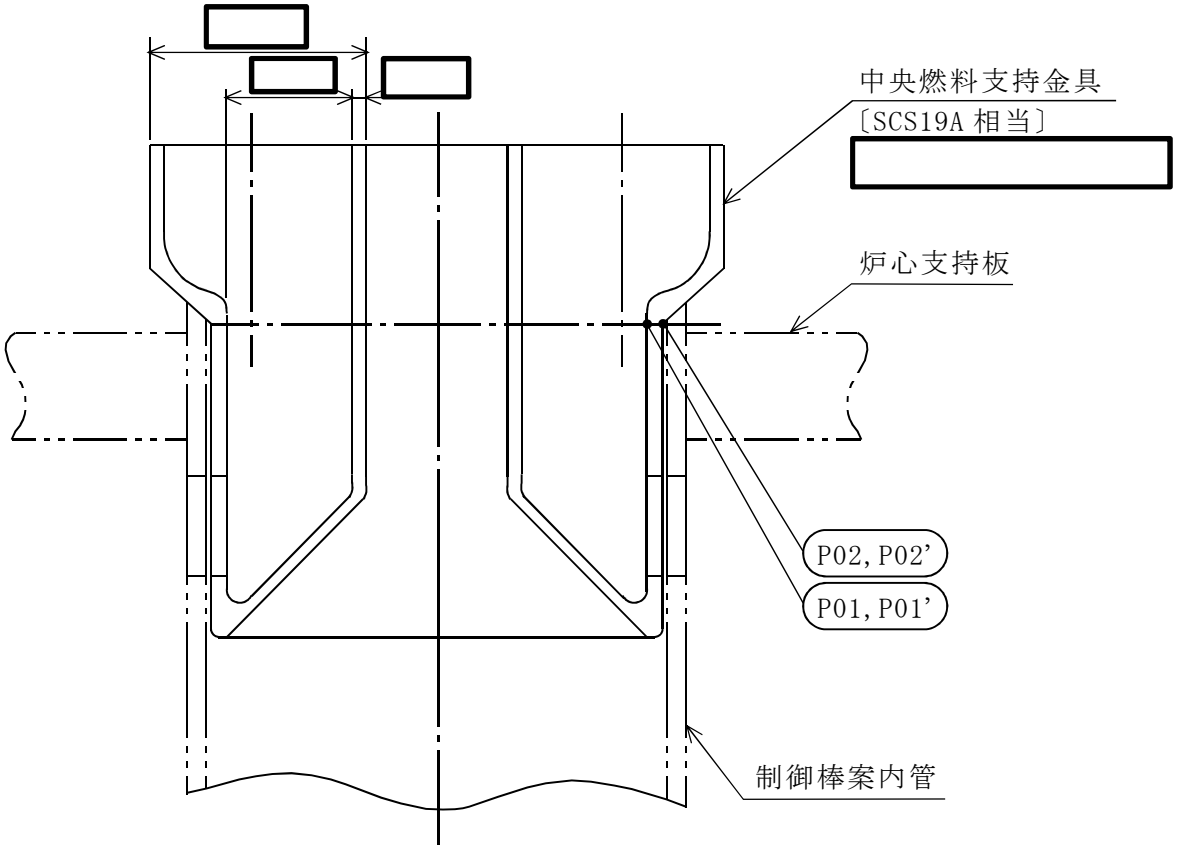
5.6　解析範囲

解析範囲を図5－1に示す。

5.7　計算結果の概要

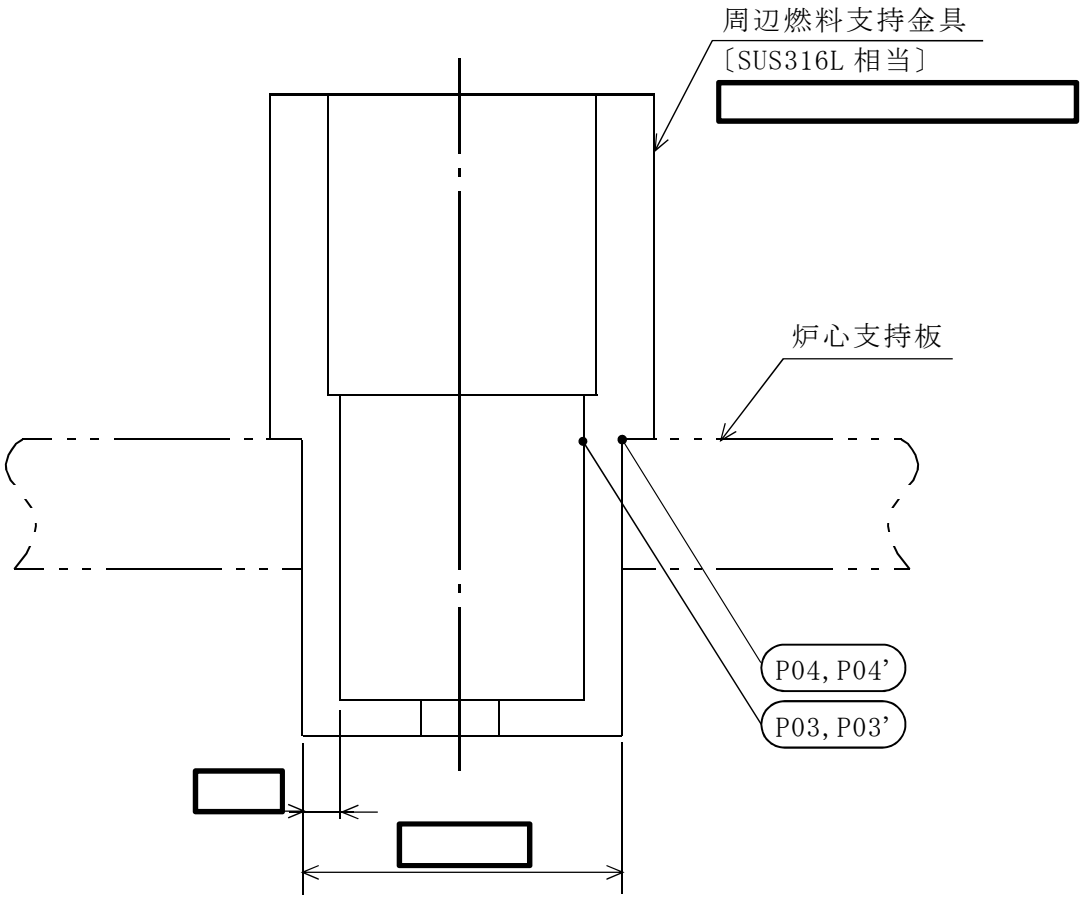
計算結果の概要を表5－2に示す。

なお，応力評価点の選定に当たっては，形状不連続部，溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し，応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



：応力評価点
〔　　〕：材　　料

図5－1(1)　形状・寸法・材料・応力評価点　（単位：mm）



：応力評価点
〔　　〕：材　　料

図5－1(2)　形状・寸法・材料・応力評価点　（単位：mm）

表 5－2　計算結果の概要

部分及び材料	運転状態	一次一般膜 応力強さ (MPa)			一次一般膜＋一次曲げ 応力強さ (MPa)			一次＋二次 応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労累積係数	許容値	応力評価点
中央燃料支持金具 SCS19A 相当 [redacted]	設計条件	4	107	P01-P02	4	160	P01-P02	－	－	－	－	－	－
	Ⅲ	4	160	P01-P02	4	240	P01-P02	－	－	－	－	－	－
	Ⅳ	4	246	P01-P02	4	370	P01-P02	－	－	－	－	－	－
	重大事故等時	4	246	P01-P02	4	369	P01-P02	－	－	－	－	－	－
	Ⅰ，Ⅱ	－	－	－	－	－	－	4	327	P01	－＊2	－＊2	－＊2
周辺燃料支持金具 SUS316L 相当 [redacted]	設計条件	2	37＊1	P03-P04	2	56＊1	P03-P04	－	－	－	－	－	－
	Ⅲ	2	56＊1	P03-P04	2	84＊1	P03-P04	－	－	－	－	－	－
	Ⅳ	2	92＊1	P03-P04	2	138＊1	P03-P04	－	－	－	－	－	－
	重大事故等時	2	90＊1	P03-P04	2	135＊1	P03-P04	－	－	－	－	－	－
	Ⅰ，Ⅱ	－	－	－	－	－	－	2	115＊1	P03	－＊2	－＊2	－＊2

注記＊1：継手効率 [redacted] を乗じた値を示す。

＊2：疲労解析は，告示第 96 条第 1 項第 3 号により不要である。

5.8　計算条件

5.8.1　評価対象機器

応力評価を行う機器は，次のとおりである。（図 5－1 参照）

機器名称	評価対象				
	運転状態に対する評価				
	設計条件	Ⅰ，Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	重大事故等時
燃料支持金具	○	○	○	○	○

注：「○」は評価対象を示す。

5.8.2　設計条件

設計差圧　　：表 5－3 に示す。

最高使用温度　：302℃

設計機械的荷重：表 5－4 に示す。

5.8.3　運転条件

運転条件及び記号は，参照図書(1)a.に定めるとおりである。

なお，重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

燃料支持金具の応力評価において考慮する差圧は,表 5－3 に示す参照図書(1)a.に定める差圧 P_{13} であり，考慮する外荷重の値は表 5－4 に示すとおりである。

5.8.4　材料

各部の材料を図 5－1 に示す。

5.8.5　荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を表 5－5 に示す。

なお，本章において，告示第 96 条第 1 項第 1 号イの規定による最高使用圧力を「設計差圧」と呼び，設計差圧と設計機械的荷重を組合せた条件を「設計条件」という。

5.8.6　荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表5－6に示す。本章において，荷重の種類と記号は以下のとおりである。

	荷重	記号
(1)	差圧	[L02]
(2)	設計機械的荷重	[L03]
(3)	死荷重	[L04]

5.8.7　許容応力

燃料支持金具の許容応力は，告示第96条第1項第1号に基づき表5－7に示す。

5.8.8　許容応力評価条件

(1)　許容応力評価において，設計応力強さS_m及び設計引張強さS_uは，それぞれ告示別表第2及び第10に定められたものを使用する。

(2)　設計条件の評価には，最高使用温度（302℃）に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの一次応力の評価には，各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅲ：[redacted]℃，Ⅳ：[redacted]℃）に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅰ及びⅡの一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には，運転温度（[redacted]℃：定格出力運転時の流体温度）に対する許容応力を用いる。

(3)　重大事故等時の一次応力の評価には，重大事故等時における流体の最高温度（[redacted]℃）を上回る運転状態Ⅲにおける流体の最高温度（[redacted]℃）に対する許容応力を用いる。

(4)　燃料支持金具の許容応力評価条件を表5－8に示す。

5.8.9　溶接部の継手効率

(1)　中央燃料支持金具の応力評価点は，溶接部でないため[redacted]を用いる。

(2)　周辺燃料支持金具の溶接部の継手効率は，継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により，告示第99条第4項にしたがって定める。溶接部の継手効率を表5－9に示す。

(3)　溶接部の継手効率は，材料の許容応力に継手効率を乗じたものとする。

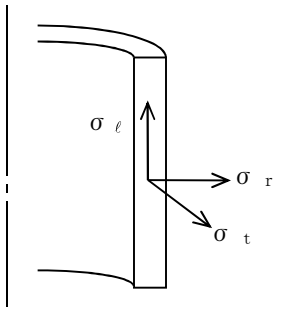
5.8.10　応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

σ_t　：周方向応力

σ_ℓ　：軸方向応力

σ_r　：半径方向応力



5.9　応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

応力評価の概要を図5－2に示す。

5.9.1　温度分布計算

燃料支持金具は，参照図書(1)a.に示すとおり，同一温度領域内（領域B）にあること，また，薄肉構造で材料の異なる部分はなく温度勾配は無視し得ることから温度分布計算を行わない。

5.9.2　応力の評価

(1)　主応力

計算した応力は，応力の分類ごとに重ね合わせ，組合せ応力を求める。

組合せ応力は，一般にσ_t，σ_ℓ，σ_r，$\tau_{t\ell}$，$\tau_{\ell r}$，τ_{rt}の6成分を持つが，主応力σは，引用文献(1)の1･3･6項により，次式を満足する3根σ_1，σ_2，σ_3として計算する。

$$\sigma^3-(\sigma_t+\sigma_\ell+\sigma_r)\cdot\sigma^2+(\sigma_t\cdot\sigma_\ell+\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_r\cdot\sigma_t-\tau_{t\ell}^2-\tau_{\ell r}^2-\tau_{rt}^2)\cdot\sigma-\sigma_t\cdot\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_t\cdot\tau_{\ell r}^2+\sigma_\ell\cdot\tau_{rt}^2+\sigma_r\cdot\tau_{t\ell}^2-2\cdot\tau_{t\ell}\cdot\tau_{\ell r}\cdot\tau_{rt}=0$$

上式により主応力を求める。

(2) 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$

$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$

$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$

(3) 一次応力強さ

設計条件，運転状態Ⅲ，運転状態Ⅳ及び重大事故等時において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが，5.8.7 項に示す許容応力を満足することを示す。

(4) 一次＋二次応力強さ

運転状態Ⅰ及びⅡにおいて生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲（S_n）が，5.8.7 項に示す許容応力を満足することを示す。

5.9.3 繰返し荷重の評価

繰返し荷重の評価は，運転状態Ⅰ及びⅡによる荷重を用いて，告示第 96 条第 1 項第 3 号に従い疲労解析（詳細な繰返し荷重の評価）の必要性の検討を行い，疲労解析が不要であることを示す。

5.10　応力計算

5.10.1　応力評価点

応力評価点の位置を図 5－1 に示す。

なお，各応力評価点の断面性状は，表 5－10 に示すとおりである。

5.10.2　差圧による応力

(1)　荷重条件（L02）

各運転状態による差圧を表 5－3 に示す。

(2)　計算方法

中央燃料支持金具の差圧による応力は，応力評価点の位置における断面で，外径を［　　］mm とし，かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデルを図 5－3 に示す。

周辺燃料支持金具の差圧による応力は，応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

a.　一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{13}$$

ここで，$Y = \frac{D_o}{D_i}$

b.　一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

c.　一次＋二次応力

差圧P_{13}による一次＋二次応力は，次式で求める。

$$\sigma_t=\frac{1+K^2}{Y^2-1}\cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell=\frac{1}{Y^2-1}\cdot P_{13}$$

$$\sigma_r=\frac{1-K^2}{Y^2-1}\cdot P_{13}$$

ここで，K＝Y（内表面）

K＝1　（外表面）

5.10.3　外荷重による応力

(1)　荷重条件（L03 及び L04）

外荷重を表 5－4 に示す。

(2)　計算方法

中央燃料支持金具の外荷重による応力は，応力評価点の位置における断面で，その断面の最小幅を内径とし，かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデルを，図 5－4 に示す。

周辺燃料支持金具の外荷重による応力は，応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

a. 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_{\ell}=\frac{V}{A}$$

b. 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

c. 一次＋二次応力

外荷重による二次応力は存在しない。したがって，一次＋二次応力は，一次一般膜＋一次曲げ応力と同じである。

5.10.4 熱応力

5.9.1 項に示すとおり熱応力は無視できる。

5.11　応力強さの評価

5.11.1　一次一般膜応力強さの評価

各運転状態における評価を表 5－11 に示す。

表 5－11 より，各運転状態の一次一般膜応力強さは，5.8.7 項及び 5.8.9 項に示す許容応力を満足する。

5.11.2　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各運転状態における評価を表 5－12 に示す。

表 5－12 より，各運転状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，5.8.7 項及び 5.8.9 項に示す許容応力を満足する。

5.11.3　一次＋二次応力強さの評価

運転状態Ⅰ及びⅡにおける評価を表 5－13 に示す。

表 5－13 より，運転状態Ⅰ及びⅡの一次＋二次応力強さは，5.8.7 項及び 5.8.9 項に示す許容応力を満足する。

5.12　繰返し荷重の評価

5.12.1　告示第 96 条第 1 項第 3 号についての検討

燃料支持金具について，告示第 96 条第 1 項第 3 号により疲労解析が不要となることを以下の(1)から(4)に示す。

(1)　告示第 96 条第 1 項第 3 号イ及び同号ロ

5.9.1 項で述べたように，燃料支持金具の温度差は無視し得るので，告示第 96 条第 1 項第 3 号イ及び同号ロの検討は不要である。

(2)　告示第 96 条第 1 項第 3 号ハ（異なる材料よりなる部分の温度変動）

燃料支持金具には，縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料よりなる部分は存在しない。

(3)　告示第 96 条第 1 項第 3 号ニ（機械的荷重変動）

機械的荷重により生じる応力の全振幅が，荷重変動回数 10^6 回に対応する繰返しピーク応力強さを超えないことを確認する。

告示別図第 2 より求めた 10^6 回に対応する繰返しピーク応力強さ	：Ｓ＝178 MPa
機械的荷重変動による応力の全振幅	：Δσ

全応力評価点の機械的荷重変動（死荷重）による一次＋二次応力のうち，応力の全振幅が最大となる応力評価点 P01 での一次＋二次応力は以下である。

$\Delta\sigma =$ □ MPa

したがって，Ｓ＞Δσであり，条件を満足する。

(4)　検討結果

以上(1)から(3)より燃料支持金具は，告示第 96 条第 1 項第 3 号の要求をすべて満足している。

5.12.2　疲労解析

5.12.1 項に示すように，燃料支持金具は，疲労解析は不要である。

5.13 引用文献

(1) 機械工学便覧 基礎編 α3（日本機械学会）

5.14 参照図書

(1) 柏崎刈羽原子力発電所第７号機 第５回工事計画認可申請書 添付書類

a. Ⅳ-3-1-1-1 炉心支持構造物の応力解析の方針

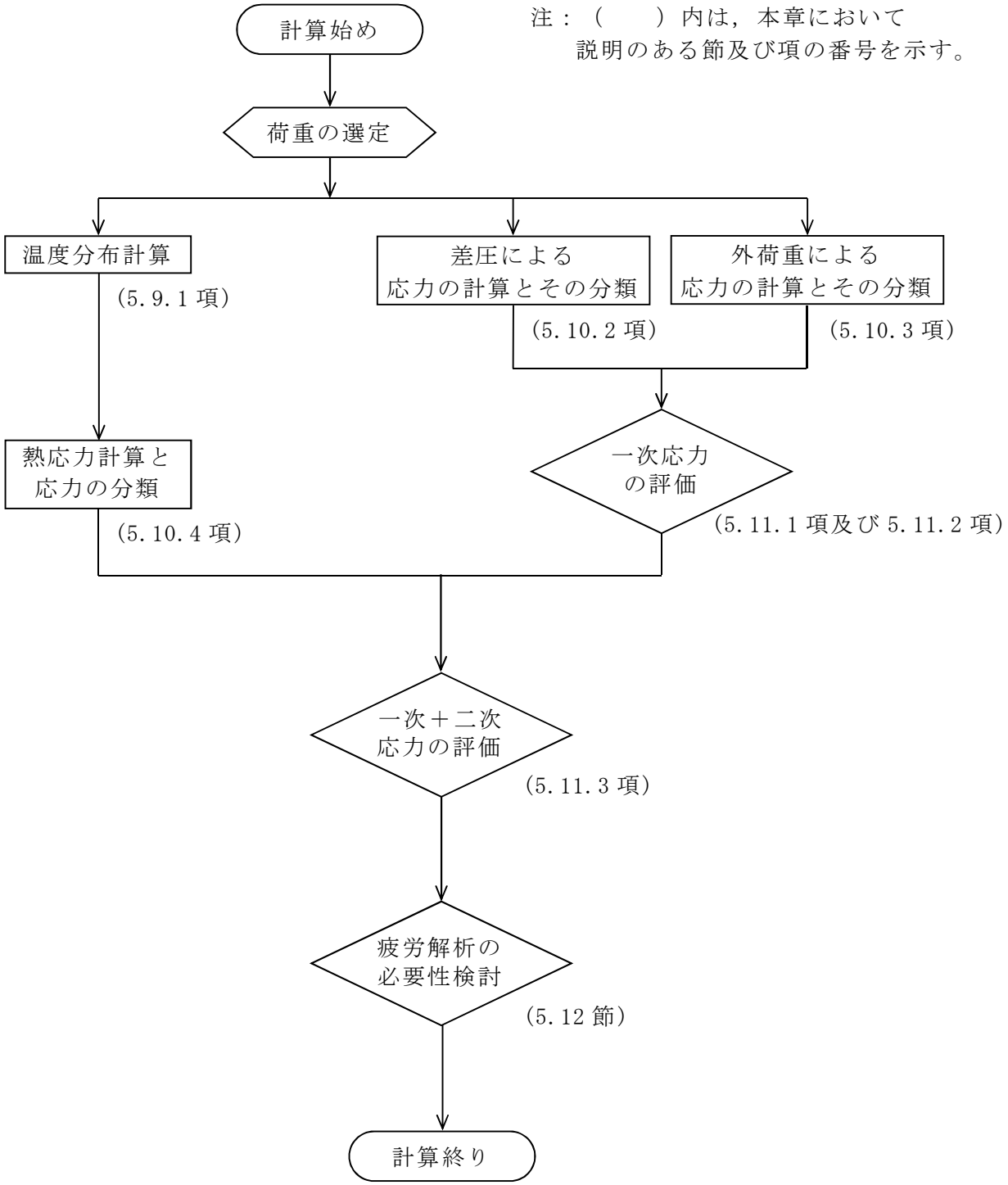

計算始め
荷重の選定
温度分布計算
(5.9.1 項)
差圧による
応力の計算とその分類
(5.10.2 項)
外荷重による
応力の計算とその分類
(5.10.3 項)
熱応力計算と
応力の分類
(5.10.4 項)
一次応力
の評価
(5.11.1 項及び 5.11.2 項)
一次＋二次
応力の評価
(5.11.3 項)
疲労解析の
必要性検討
(5.12 節)
計算終り
注：（　　）内は，本章において
説明のある節及び項の番号を示す。

図 5－2　応力評価の手順

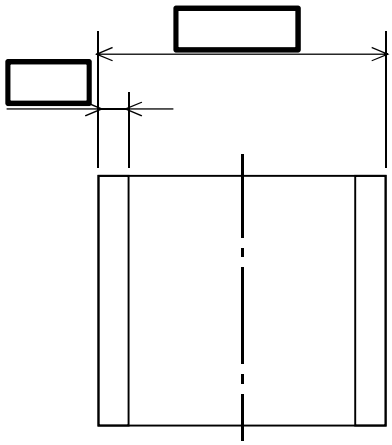


図 5－3　中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル（単位：mm）

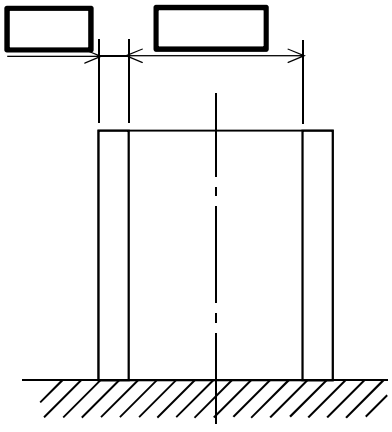


図 5－4　中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル（単位：mm）

表 5－3　各運転状態における差圧

（単位：MPa）

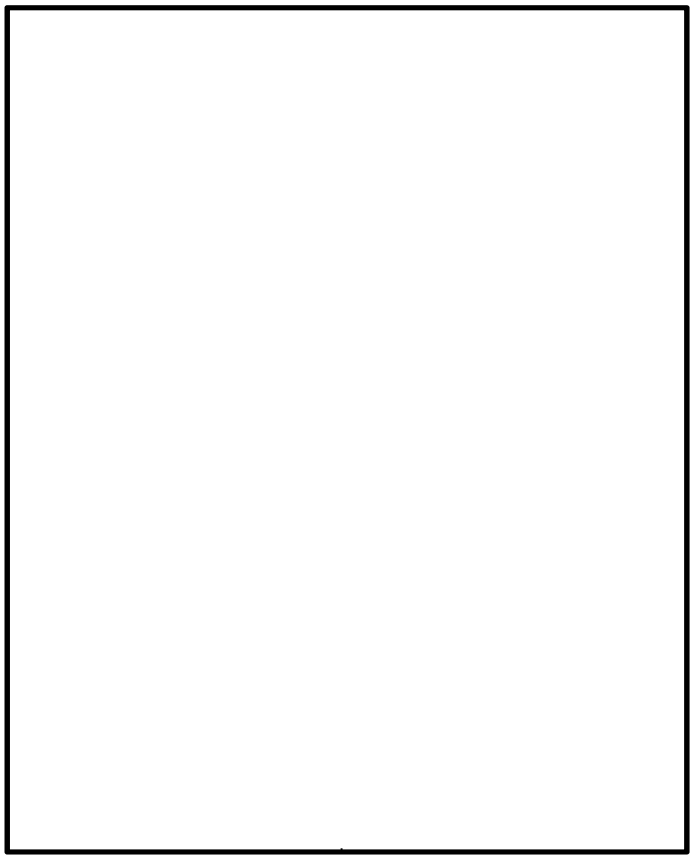
運転状態	差圧 P_{13}
設計条件	
Ⅰ，Ⅱ	
Ⅲ	
Ⅳ	
重大事故等時	

表 5－4　外荷重

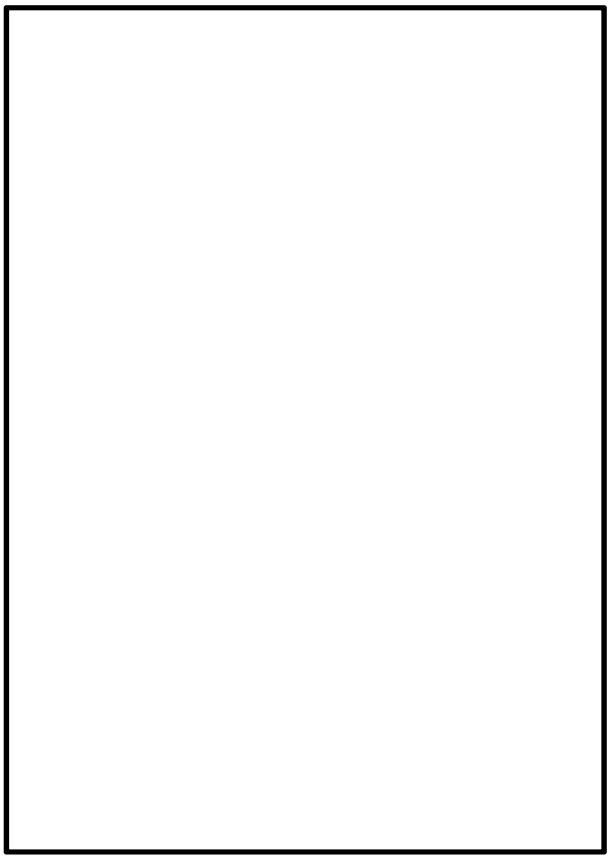
記号	荷重名称	荷重 作用点*	鉛直力 V (kN)
L03	設計機械的荷重		
L04	死荷重		

注：

注記＊：荷重作用点Ａは中央燃料支持金具を示し，
荷重作用点Ｂは周辺燃料支持金具を示す。



中央燃料支持金具



周辺燃料支持金具

表 5－5　荷重の組合せ及び運転状態

運転状態	荷重の組合せ
	各運転状態による荷重
設計条件	設計条件による荷重
Ⅰ	運転状態Ⅰによる荷重
Ⅱ	運転状態Ⅱによる荷重
Ⅲ	運転状態Ⅲによる荷重
Ⅳ	運転状態Ⅳによる荷重
重大事故等時	重大事故等時による荷重

表 5－6　荷重の組合せ

運転状態	荷重の組合せ	応力評価
設計条件	L02＋L03	P_m $P_m + P_b$
Ⅰ，Ⅱ	L02＋L04	$P_m + P_b + Q$ 疲労解析
Ⅲ	L02＋L04	P_m $P_m + P_b$
Ⅳ	L02＋L04	P_m $P_m + P_b$
重大事故等時	L02＋L04	P_m $P_m + P_b$

表 5－7　許容応力

運転状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次一般膜＋一次曲げ応力	一次＋二次応力
設計条件	S_m	1.5・S_m	―
Ⅰ，Ⅱ	―	―	3・S_m
Ⅲ	1.5・S_m	2.25・S_m	―
Ⅳ	Min(2.4・S_m，2/3・S_u)	Min(3.6・S_m，S_u)	―
重大事故等時*	Min(2.4・S_m，2/3・S_u)	Min(3.6・S_m，S_u)	―

注記＊：重大事故等時の許容限界として運転状態Ⅳの許容限界を用いる。

表 5－8　許容応力評価条件

評価部位	材料		温度条件 (℃)		S_m (MPa)	S_u (MPa)	S_y (MPa)	S_y (RT) (MPa)
中央燃料支持金具	オーステナイト系ステンレス鋼	SCS19A 相当	流体の最高温度					
			流体の最高温度					
			流体の最高温度					
周辺燃料支持金具		SUS316L 相当	流体の最高温度					
			流体の最高温度					
			流体の最高温度					

表 5－9　溶接部の継手効率

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
燃料支持金具	周辺燃料支持金具と 炉心支持板の継手			

注記＊：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

ＰＴ：告示第 99 条第 4 項に定めるホの検査

表 5－10　断面性状

応力評価点	t (mm)	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm^2)	I (mm^4)
P01, P02*					
P03, P04					

注記＊：上段は差圧による応力計算モデルの断面性状を示し，下段は外荷重による応力計算モデルの断面性状を示す。

表 5－11　一次一般膜応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

応力評価面	設計条件		運転状態Ⅲ		運転状態Ⅳ		重大事故等時	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	107	4	160	4	246	4	246
P01’ P02’	4	107	4	160	4	246	4	246
P03 P04	2	37*	2	56*	2	92*	2	90*
P03’ P04’	2	37*	2	56*	2	92*	2	90*

注記＊：継手効率[　　]を乗じた値を示す。

表 5－12　一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

応力評価面	設計条件		運転状態Ⅲ		運転状態Ⅳ		重大事故等時	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	160	4	240	4	370	4	369
P01’ P02’	4	160	4	240	4	370	4	369
P03 P04	2	56*	2	84*	2	138*	2	135*
P03’ P04’	2	56*	2	84*	2	138*	2	135*

注記＊：継手効率[　　]を乗じた値を示す。

表 5－13　一次＋二次応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

分類	一次＋二次応力差最大範囲（P_m＋P_b＋Q）	
応力評価点	S_n*1	許容値 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$
P01	4	327
P01’	4	327
P02	4	327
P02’	4	327
P03	2	115*2
P03’	2	115*2
P04	2	115*2
P04’	2	115*2

注記＊1：S_nは運転状態Ⅰ及びⅡによる一次＋二次応力差の最大範囲を示す。

＊2：継手効率［　　］を乗じた値を示す。

Ⅴ-3-別添 7　原子炉圧力容器内部構造物の強度計算書

Ⅴ-3-別添 7-1　原子炉圧力容器内部構造物の強度計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　原子炉圧力容器内部構造物の強度評価の基本方針 ····· 2
3.　原子炉圧力容器内部構造物の強度評価方法 ····· 3
3.1　確認内容 ····· 3
4.　強度評価結果 ····· 4

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」（平成 25 年 6 月 28 日　原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 50 条，第 51 条，第 52 条，第 54 条，第 59 条，第 60 条，第 62 条，第 63 条，第 65 条及び第 66 条において，重大事故等時に流路としての機能が要求される原子炉圧力容器内の原子炉圧力容器内部構造物が，十分な強度を有することを説明するものである。

2. 原子炉圧力容器内部構造物の強度評価の基本方針

重大事故等時における原子炉圧力容器内部構造物の評価は，重大事故時の評価条件が設計基準事故時の評価条件に包絡されており，既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）における評価結果があるため，材料，構造及び強度の要求は同じであることから，その評価の適用性を確認し，既工認の確認による評価を実施する。

3.　原子炉圧力容器内部構造物の強度評価方法

原子炉圧力容器内部構造物の強度評価について,既工認における評価結果があるため,以下の 3.1 節に示す確認内容のとおり，その評価結果の確認による評価を実施する。

3.1　確認内容

重大事故等事象は，運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故事象に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物，系統及び機器の安全機能が喪失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。

重大事故等時の事故時荷重を表3－1に，設計基準時の事故時荷重を表3－2に示す。両表に示すとおり，起因となる運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの事故時荷重は，重大事故等時の事故時荷重を包絡している。

4. 強度評価結果

本計算書は，原子炉圧力容器内部構造物のうち以下の機器の重大事故等対処設備としての応力評価結果を示すものであるが，設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから，評価結果については，平成5年6月17日付け4資庁第14562号にて認可された既工認のⅣ-3-1-3「圧力容器内部構造物の強度計算書」による。

(1) 給水スパージャ

(2) 高圧炉心注水スパージャ

(3) 低圧注水スパージャ

(4) 高圧炉心注水系配管（原子炉圧力容器内部）

表3－1　重大事故等事象に対する荷重の整理表

重大事故時			運転状態Ⅲ及びⅣの評価（表3－2）との関係	
事故シーケンスグループ	重要事故シーケンス	事故時荷重*	事故時荷重の包絡性	ピーク差圧の包絡性
高圧・低圧注水機能喪失（給水喪失）	給水喪失＋低圧代替注水（常設）＋ベント	事故時荷重は生じない。	—	冷却材喪失のピーク差圧に包絡される。
高圧注水・減圧機能喪失（給水喪失）	給水喪失＋ＬＰＦＬ注水＋Ｓ／Ｃ冷却			
全交流動力電源喪失（長期ＴＢ）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止＋低圧代替注水（常設）＋ベント			
全交流動力電源喪失（ＴＢＤ，ＴＢＵ）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止＋低圧代替注水（常設）＋ベント			
全交流動力電源喪失（ＴＢＰ）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止＋低圧代替注水（可搬型）＋ベント			
崩壊熱除去機能喪失（取水機能喪失）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止＋低圧代替注水（常設）＋Ｓ／Ｃ冷却			
崩壊熱除去機能喪失（ＲＨＲ機能喪失）	外部電源喪失＋ＲＣＩＣ停止＋ＨＰＣＦ注水＋ベント			
原子炉停止機能喪失	主蒸気隔離弁閉止＋スクラム失敗			
ＬＯＣＡ時注水機能喪失（中小破断）	中小ＬＯＣＡ＋低圧代替注水（常設）＋ベント			
格納容器バイパス	インターフェースシステムＬＯＣＡ（ＲＨＲＢ系漏えい）	原子炉圧力容器内部構造物に荷重が発生する事象ではないため，評価対象外。		
大破断ＬＯＣＡ	大ＬＯＣＡ＋代替注水＋ＰＣＶスプレイ＋代替循環冷却	事故時荷重は生じない。	—	冷却材喪失のピーク差圧に包絡される。

注記＊：事故時に発生する機械的荷重

表3－2　設計基準事故事象に対する事故時荷重

事象		事故時荷重*	強度評価上の取扱い	備考
運転状態Ⅲ	過大圧力	事故時荷重は生じない。	ピーク差圧に自重を加えた荷重を用いる。	
運転状態Ⅳ	冷却材喪失事故	事故時荷重は生じない。	ピーク差圧に自重を加えた荷重を用いる。	

注記＊：事故時に発生する機械的荷重

Ⅴ-3-別添8　原子炉圧力容器スカートの強度計算書

目　　次

（原子炉圧力容器スカート）

1.　一般事項 …… 1
1.1　適用基準 …… 1
1.2　記号の説明 …… 2
1.3　計算精度と数値の丸め方 …… 3
1.4　形状・寸法・材料 …… 3
1.5　解析範囲 …… 3
1.6　計算結果の概要 …… 3
2.　計算条件 …… 6
2.1　設計条件 …… 6
2.2　運転条件 …… 6
2.3　材料 …… 6
2.4　物性値 …… 6
2.5　荷重の組合せ …… 7
2.5.1　荷重の組合せ及び運転状態 …… 7
2.5.2　荷重の組合せ及び応力評価 …… 7
2.6　許容応力 …… 7
2.7　応力の記号と方向 …… 8
3.　応力解析の手順 …… 9
3.1　温度分布計算 …… 9
3.1.1　境界の熱伝達率 …… 9
3.1.2　温度分布の計算 …… 9
3.1.3　熱応力の計算時点 …… 9
3.2　応力計算 …… 10
3.2.1　応力評価点 …… 10
3.2.2　内圧による応力 …… 10
3.2.3　外荷重による応力 …… 10
3.2.4　熱応力 …… 10
4.　応力強さの評価 …… 11
4.1　主応力 …… 11
4.2　応力強さ …… 11
4.3　一次一般膜応力強さの評価 …… 11
4.4　一次膜＋一次曲げ応力強さの評価 …… 11
4.5　一次＋二次応力強さの評価 …… 11

5. 繰返し荷重の評価 ····· 12
5.1 疲労解析 ····· 12
5.1.1 考慮する運転条件 ····· 12
5.1.2 疲労累積係数 ····· 12
6. 特別な応力の評価 ····· 13
6.1 座屈に対する評価 ····· 13
6.1.1 計算データ ····· 13
6.1.2 荷重 ····· 13
6.1.3 圧縮応力 ····· 13
6.1.4 許容応力 ····· 14
6.1.5 座屈に対する評価 ····· 15
7. 引用文献 ····· 16
8. 参照図書 ····· 16

図　表　目　次

（原子炉圧力容器スカート）

図1－1　形状・寸法・材料・応力評価点　・・・

1.　一般事項

本計算書は，原子炉圧力容器スカート（以下「スカート」という。）の応力計算について示すものである。

スカートは，通商産業省告示第５０１号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」第88条第1項の規定により第13条第1項第1号及び第3号，第14条並びに第16条の規定を適用して解析する。

注：図表は，原則として巻末に示す。

1.1　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和55年10月30日 通商産業省告示第５０１号（以下「告示第５０１号」）という。）

注：本書において，告示の条項は「告示第〇条第△項第◇号」として示す。

1.2　記号の説明

本計算書において，以下の記号を使用する。ただし，別途記載ある場合は，この限りでない。

なお，記号の字体及び大きさについては，異なる場合がある。

記号	記号の説明	単位
A	スカートの断面積	mm^2
H	水平力	N
M	モーメント	N･m
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_L	一次局部膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
R_m	スカートの平均半径	mm
S_{12}	主応力差$\sigma_1-\sigma_2$	MPa
S_{23}	主応力差$\sigma_2-\sigma_3$	MPa
S_{31}	主応力差$\sigma_3-\sigma_1$	MPa
S_m	設計応力強さ　告示別表第2に定める値	MPa
S_n	運転状態Ⅰ及びⅡにおける一次＋二次応力の応力差最大範囲	MPa
S_p	一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_u	設計引張強さ　告示別表第10に定める値	MPa
S_y	設計降伏点　告示別表第9に定める値	MPa
t	スカートの板厚	mm
U_n	運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数	―
V_1	スカート付根部下側より作用する鉛直力	N
V_2	スカート付根部上側より作用する鉛直力	N
Z	スカートの断面係数	mm^3
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_ℓ	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
σ_c	スカートの圧縮応力	MPa
σ_{ca}	スカートの圧縮応力に対する許容応力	MPa
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

1.3　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1－1に示すとおりとする。

表1－1　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
応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
応力強さ	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
疲労累積係数	－	小数点以下第4位	切上げ	小数点以下第3位
許容値	－	－	－	小数点以下第1位

注記＊：告示別表に記載された温度の中間における許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第2位を切り捨て，小数点以下第1位までの値として算出する。得られた値をSI単位に換算し，SI単位に換算した値の小数点以下第1位を切り捨てて整数化する。

1.4　形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1－1に示す。

1.5　解析範囲

解析範囲を図1－1に示す。

1.6　計算結果の概要

計算結果の概要を表1－2に示す。

なお，応力評価点の選定に当たっては，形状不連続部，溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し，各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い，疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

：応力評価点

〔　　〕：材　　料

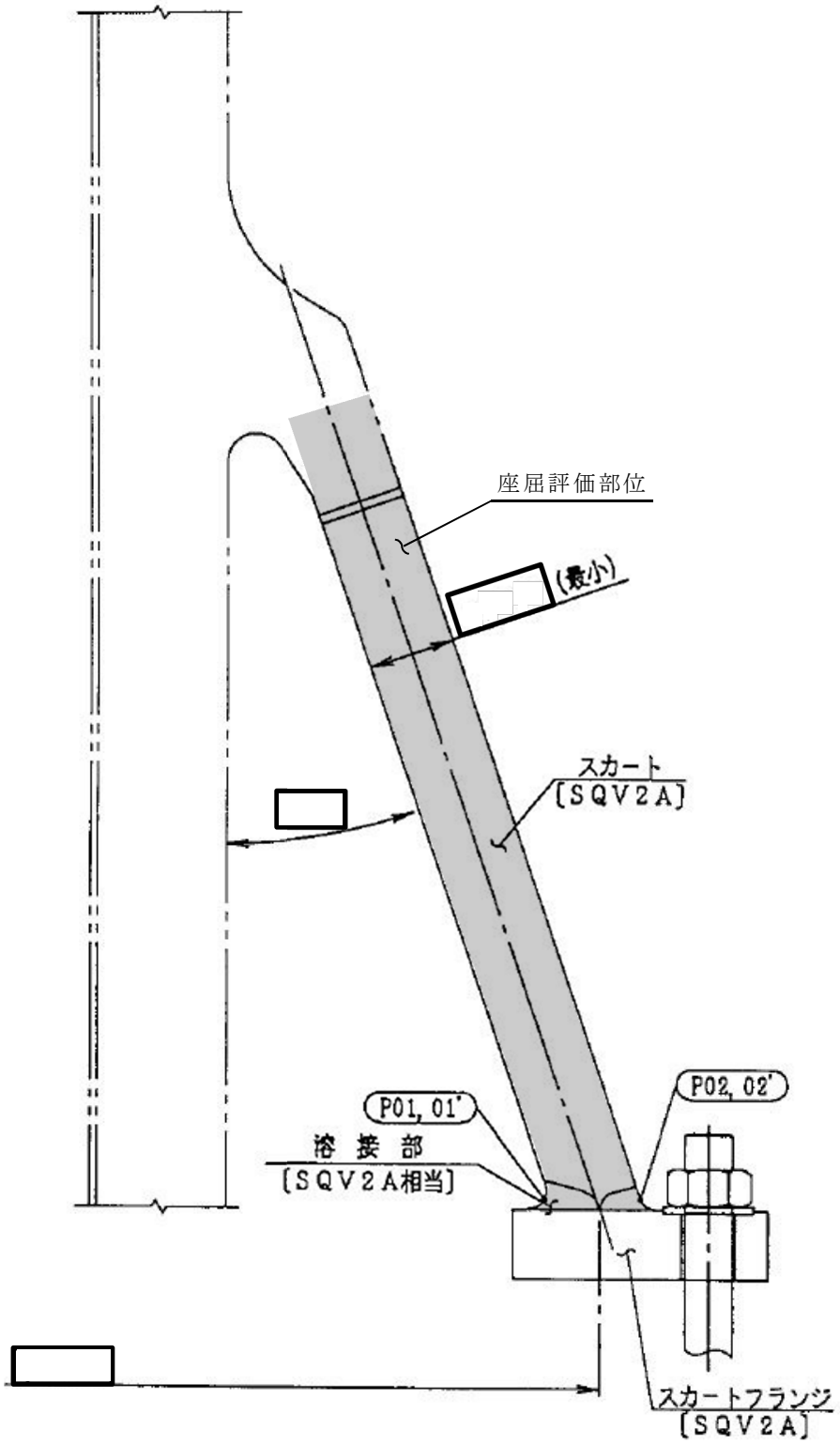


図1－1　形状・寸法・材料・応力評価点　（単位：mm）

表1－2(1)　計算結果の概要

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)			一次＋二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労累積係数	許容値	応力評価点
スカート SQV2A相当	設計条件	—	—	—	28	276	P01’－P02’	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ	—	—	—	11	435	P01 －P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ	—	—	—	18	490	P01’－P02’	—	—	—	—	—	—
	試験状態	—	—	—	11	456	P01 －P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅰ，Ⅱ	—	—	—	—	—	—	260	553	P01	0.009	1.0	P01

表1－2(2)　計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
スカート SQV2A	Ⅰ，Ⅱ	14	68
	Ⅲ	14	82
	Ⅳ	23	102

2.　計算条件

2.1　設計条件

最高使用圧力　　：　8.62MPa

最高使用温度　　：　302℃

設計機械的荷重　：　表2－1に示す。

2.2　運転条件

運転条件及び記号は，参照図書(1)a.に定めるとおりである。

スカートの応力評価において考慮する外荷重の値を表2－1に示す。

2.3　材料

各部の材料を図1－1に示す。

2.4　物性値

各部の材料の物性値は，参照図書(1)a.に定めるとおりである。

2.5　荷重の組合せ

2.5.1　荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を表2－2に示す。

なお，本計算書において，告示第13条第1項第1号イの規定による最高使用圧力（運転状態Ⅰにおいて原子炉圧力容器内面が受ける最高の圧力以上の圧力であって，設計上定めるものをいう。）と設計機械的荷重を組み合わせた条件を「設計条件」という。

2.5.2　荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表2－3に示す。本計算書において，荷重の種類と記号は以下のとおりである。

荷重	記号
(1)　内圧	[L01]
(2)　設計機械的荷重	[L03]
(3)　熱負荷（温度分布計算で求めた温度分布に基づき算定する荷重）	[L10]
(4)　外荷重（運転状態Ⅰ及びⅡにおける荷重）	[L12，L13，L18，L19]
(5)　外荷重（運転状態Ⅲにおける荷重）	[L20]
(6)　外荷重（運転状態Ⅳにおける荷重）	[L21]
(7)　外荷重（試験状態における荷重）	[L22]

2.6　許容応力

各運転状態の応力評価に用いる許容応力は，告示第13条第1項第1号に基づき表2－4に示す。

この表に記載のない圧縮荷重を受ける場合に対する許容応力は，6章に記載するものとする。

(1)　設計応力強さS_m，設計降伏点S_y及び設計引張強さS_uは，それぞれ告示別表第2，第9及び第10に定められたものを使用する。

(2)　設計条件の評価には，最高使用温度（302℃）に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅰ及びⅡ，運転状態Ⅲ並びに運転状態Ⅳの一次応力の評価には，各運転状態における流体の最高温度（運転状態Ⅰ及びⅡ：□℃，Ⅲ：□℃，Ⅳ：□℃）に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅰ及びⅡの一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には，運転温度（□℃：定格出力運転時の蒸気温度）に対する許容応力を用いる。試験状態の評価には，試験温度（□℃）に対する許容応力を用いる。

(3)　スカートの許容応力評価条件を表2－5に示す。

2.7　応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

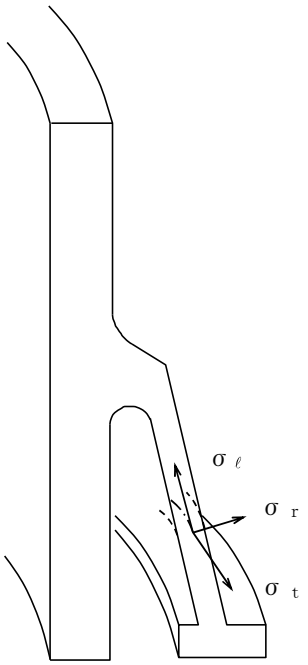
σ_t　：　周方向応力

σ_ℓ　：　軸方向応力

σ_r　：　半径方向応力

$\tau_{t\ell}$　：　せん断応力

$\tau_{\ell r}$　：　せん断応力



3. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

解析手順の概要を図3－1に示す。

3.1 温度分布計算

3.1.1 境界の熱伝達率

温度分布計算に使用する原子炉圧力容器内面，スカート外面及びスカートと胴板との間の熱伝達率の計算条件と計算結果を，温度及び流量の変化する時点を代表として表3－1に示す。

3.1.2 温度分布の計算

(1) 荷重条件

参照図書(1)a.に定める運転条件に基づいて計算する。

(2) 計算方法

温度分布計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，解析コード「ＴＡＣＦ」により行う。なお，評価に用い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，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

温度分布計算のモデルを図3－2に示す。

境界における熱伝達率は，3.1.1項の計算結果を用いる。

境界3は，起動開始時及び停止終了時並びに耐圧試験は□℃，その他の事象は□℃一定の温度指定で温度分布計算を行う。

(3) 温度遷移図

温度分布計算を行った運転条件について，評価断面における熱応力が厳しくなる時点を検出するため，あらかじめ指定した数点の温度の時間的変化を図3－3に示す。

胴板及びスカート内に指定した2点間の温度差が極値となる時点を図3－3に記号で示す。なお，同図において，その差が極値をとった時点を熱応力が厳しくなるものとする。

(4) 温度分布図

(3)で選定した2点間の温度差が極値となる時点の温度分布を図3－4に示す。

3.1.3 熱応力の計算時点

熱応力計算は，3.1.2項(3)で選定した2点間の温度差が極値となる時点，圧力ピークとなる時点□及び定格出力運転□（計算時点を図3－3中に示す。）並びに耐圧試験□に対して行う。

3.2　応力計算

3.2.1　応力評価点

応力評価点の位置を図1－1に示す。

なお，応力集中を生じる箇所の応力集中係数を表3－2に示す。

3.2.2　内圧による応力

(1)　荷重条件（L01）

最高使用圧力　　：　8.62MPa（原子炉圧力容器）

各運転条件における内圧　：　参照図書(1)a.参照

(2)　計算方法

内圧による応力の計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，解析コード「ＡＳＨＳＤ２－Ｂ」により行う。なお，評価に用い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，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）を図3－2に示す。

3.2.3　外荷重による応力

(1)　荷重条件（L03,L12,L13,L18,L19,L20,L21及びL22）

スカートに作用する外荷重を表2－1に示す。

(2)　計算方法

外荷重による応力の計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，解析コード「ＡＳＨＳＤ２－Ｂ」により行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）を図3－2に示す。

3.2.4　熱応力

(1)　荷重条件（L10）

熱応力計算には，3.1節で求めた温度分布を用いる。

(2)　計算方法

熱応力の計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，解析コード「ＡＳＨＳＤ２－Ｂ」により行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）を図3－2に示す。

4.　応力強さの評価

4.1　主応力

計算した応力は，応力の分類ごとに重ね合わせ，組合せ応力を求める。

組合せ応力は，一般にσ_t，σ_ℓ，σ_r，$\tau_{t\ell}$，$\tau_{\ell r}$，τ_{rt}の6成分を持つが，主応力σは，引用文献(1)の1･3･6項により，次式を満足する3根σ_1，σ_2，σ_3として計算する。

$$\sigma^3-(\sigma_t+\sigma_\ell+\sigma_r)\cdot\sigma^2+(\sigma_t\cdot\sigma_\ell+\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_r\cdot\sigma_t-\tau_{t\ell}^2-\tau_{\ell r}^2-\tau_{rt}^2)\cdot\sigma-\sigma_t\cdot\sigma_\ell\cdot\sigma_r+\sigma_t\cdot\tau_{\ell r}^2+\sigma_\ell\cdot\tau_{rt}^2+\sigma_r\cdot\tau_{t\ell}^2-2\cdot\tau_{t\ell}\cdot\tau_{\ell r}\cdot\tau_{rt}=0$$

上式により主応力を求める。

4.2　応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$S_{12}=\sigma_1-\sigma_2$

$S_{23}=\sigma_2-\sigma_3$

$S_{31}=\sigma_3-\sigma_1$

4.3　一次一般膜応力強さの評価

応力評価面P01－P02及びP01’－P02’は構造不連続部であるため，一次一般膜応力に分類される応力は存在しない。

4.4　一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

各運転状態における評価を表4－1に示す。

表4－1より，各運転状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは，2.6節に示す許容応力を満足する。

4.5　一次＋二次応力強さの評価

運転状態Ⅰ及びⅡにおける評価を表4－2に示す。

表4－2より，すべての評価点においてS_nは，3・S_m以下であり，2.6節に示す許容応力を満足する。

5.　繰返し荷重の評価

5.1　疲労解析

スカートの応力評価点について，詳細な繰返し荷重の評価を行う。

5.1.1　考慮する運転条件

疲労解析に考慮する運転条件及び回数の組合せを図5－1に示す。

5.1.2　疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表5－1に示す。

表5－1より，各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり，許容値を満足する。

6.　特別な応力の評価

6.1　座屈に対する評価

スカートには，鉛直力及びモーメントにより，圧縮応力が生じる。したがって，これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

6.1.1　計算データ

スカートの平均半径　R_m＝[　　]mm

スカートの板厚　　t　＝[　　]mm（くされ代を除いた値）

スカートの断面積

$$A=\pi\cdot\{(R_m+t/2)^2-(R_m-t/2)^2\}$$

$$=\pi\times\{([\quad]+[\quad]/2)^2-([\quad]-[\quad]/2)^2\}$$

$$=[\quad\quad]\ mm^2$$

スカートの断面係数

$$Z=\frac{\pi}{4}\cdot\frac{(R_m+t/2)^4-(R_m-t/2)^4}{R_m+t/2}$$

$$=\frac{\pi}{4}\times\frac{([\quad]+[\quad]/2)^4-([\quad]-[\quad]/2)^4}{[\quad]+[\quad]/2}$$

$$=[\quad\quad]\ mm^3$$

6.1.2　荷重

各運転状態において，スカートに作用する鉛直力及びモーメントを表6－1に示す。

6.1.3　圧縮応力

表6－1に示す荷重によって生じる各運転状態での圧縮応力は以下のように求める。

(1)　運転状態Ⅰ及びⅡ

$$\sigma_c=\frac{V_1+V_2}{A}=\frac{[\quad\quad]+[\quad\quad]}{[\quad\quad]}$$

$$=14\ MPa$$

(2)　運転状態Ⅲ

$$\sigma_c=\frac{V_1+V_2}{A}=\frac{[\quad\quad]+[\quad\quad]}{[\quad\quad]}$$

$$=14\ MPa$$

(3)　運転状態Ⅳ

$$\sigma_c = \frac{V_1 + V_2}{A} + \frac{M}{Z} = \frac{\square + \square}{\square} + \frac{\square}{\square}$$

＝23 MPa

6.1.4　許容応力

各運転状態における許容応力は，次のように求める。

(1)　運転状態Ⅰ及びⅡ

運転状態Ⅰ及びⅡにおける許容応力σ_{ca}は，告示第13条第1項第1号ヌ(イ)より次のように得られる。

σ_{ca}＝MIN[S_m， B]

ここで，

S_m＝184.365 MPa

B　＝68.6466 MPa

（□℃における値）

このうちB値は，告示第13条第1項第1号ヌ(イ)より，次のようにして求める。

告示別図第6より

$$\frac{R_i}{100 \cdot t} = \frac{R_m - t/2}{100 \cdot t} = \frac{\square - \square/2}{100 \times \square} = \square$$

を用いて，

B＝68.6466 MPa

よって，許容応力σ_{ca}は，

σ_{ca}＝B＝68 MPa

(2)　運転状態Ⅲ

運転状態Ⅲにおける許容応力σ_{ca}は，告示第13条第1項第1号ヌ(ロ)より次のように得られる。

σ_{ca}＝1.2MIN[S_m， B]

ここで，

S_m＝184.365 MPa

B　＝68.6466 MPa

（□℃における値）

よって，許容応力σ_{ca}は，

σ_{ca}＝1.2・B＝1.2×68.6466＝82 MPa

(3)　運転状態Ⅳ

運転状態Ⅳにおける許容応力σ_{ca}は，告示第13条第1項第1号ヌ(ハ)より次のように得られる。

$\sigma_{ca}=1.5MIN[S_m,\ B]$

ここで，

$S_m=184.365$ MPa

$B=68.6466$ MPa

（□℃における値）

よって，許容応力σ_{ca}は，

$\sigma_{ca}=1.5\cdot B=1.5\times68.6466=102$ MPa

6.1.5　座屈に対する評価

各運転状態における座屈に対する評価を表6－2に示す。

表6－2より，各運転状態における圧縮応力は，許容応力を満足するため，座屈は発生しない。

7. 引用文献

文献番号は，本書において共通である。

(1) 機械工学便覧 基礎編 α3（日本機械学会）

(2) 伝熱工学資料（日本機械学会 改訂第4版）

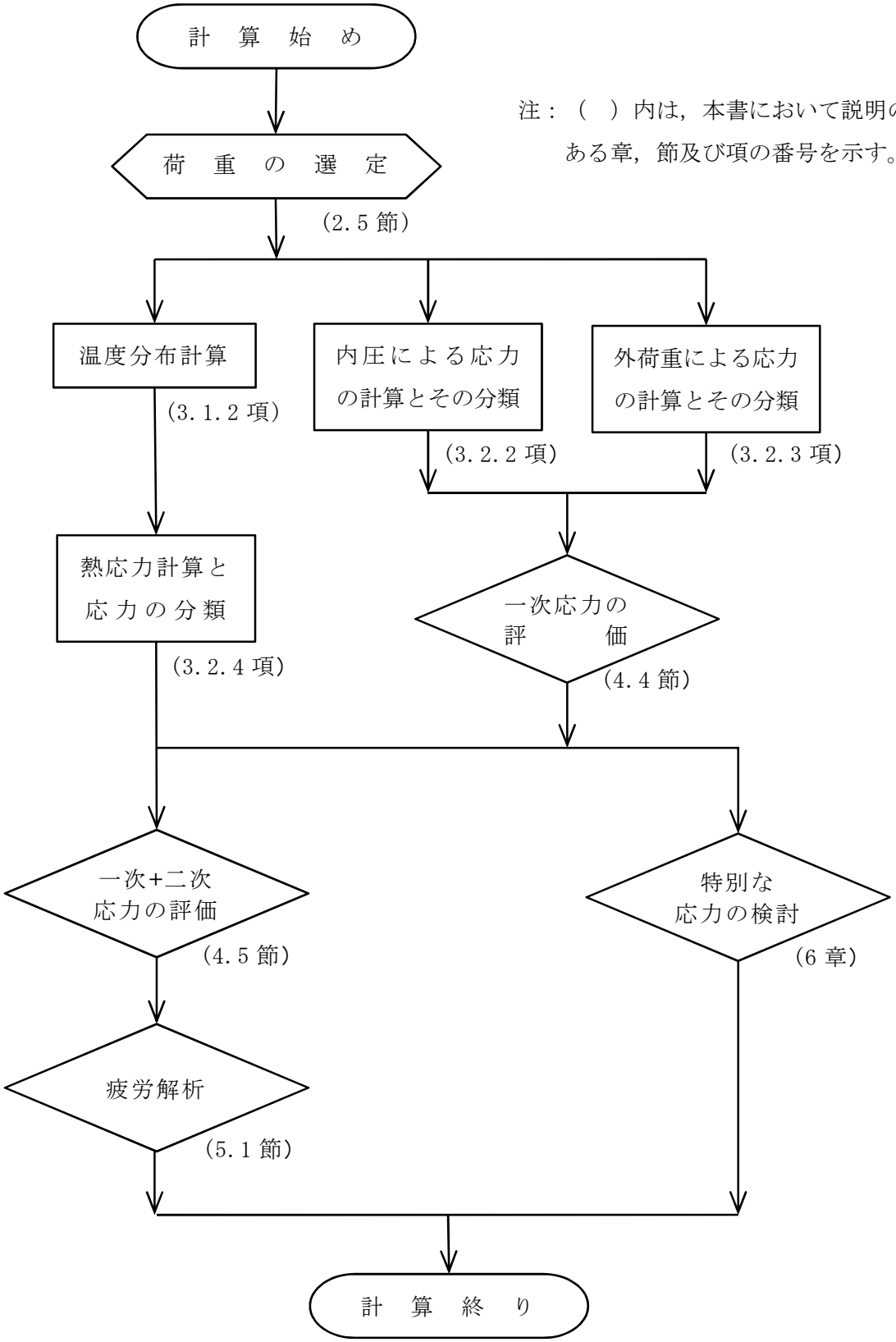
(3) WARREN H.GIEDT「基礎伝熱工学」 横堀進，久我修共訳，丸善

(4) March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965 「Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」

8. 参照図書

(1) 柏崎刈羽原子力発電所第７号機 第５回工事計画認可申請書 添付書類

a. Ⅳ-3-1-2-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針



注：（　）内は，本書において説明のある章，節及び項の番号を示す。

図 3－1　応力解析の手順

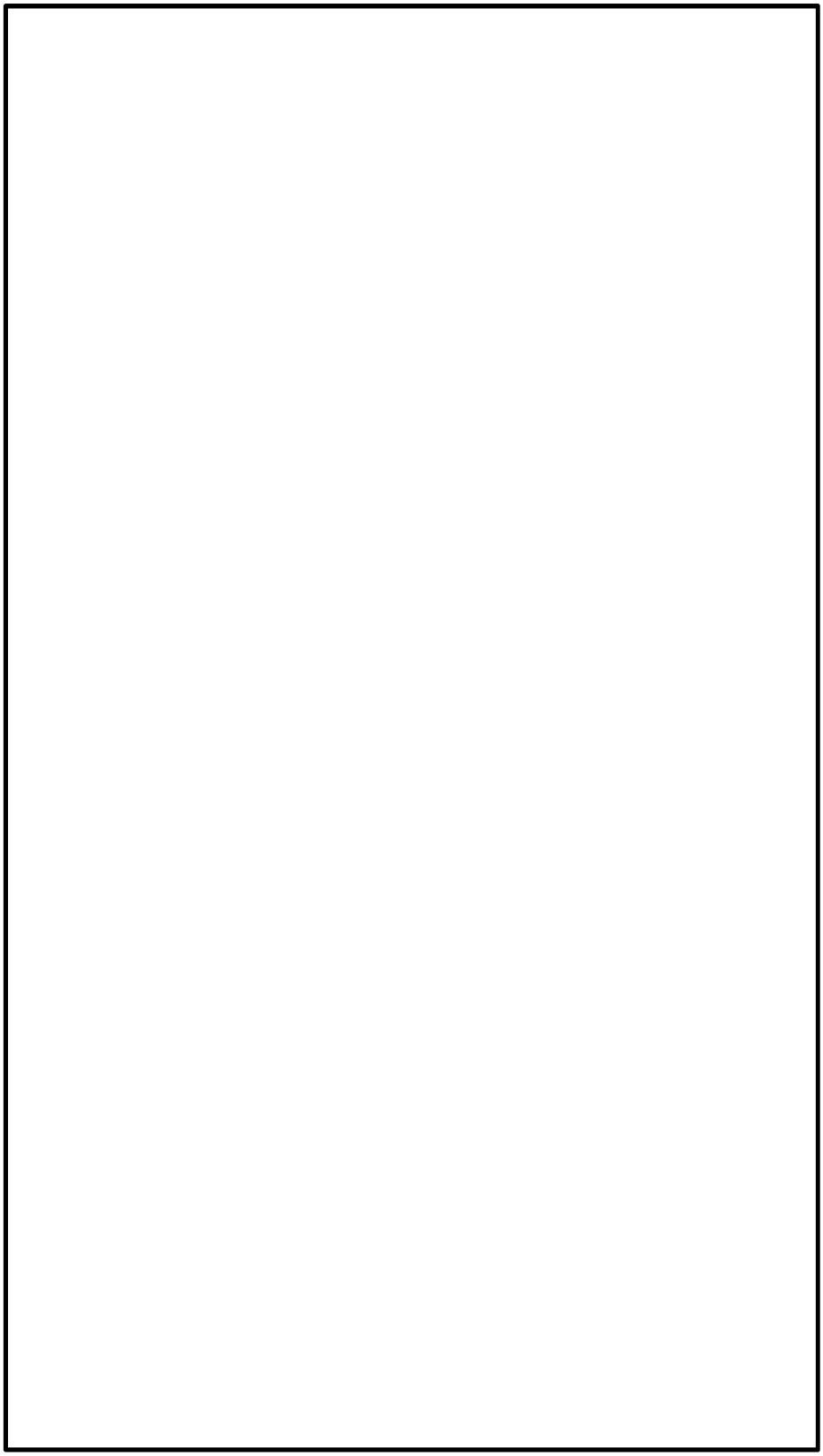


図 3－2　温度分布及び応力計算のモデル

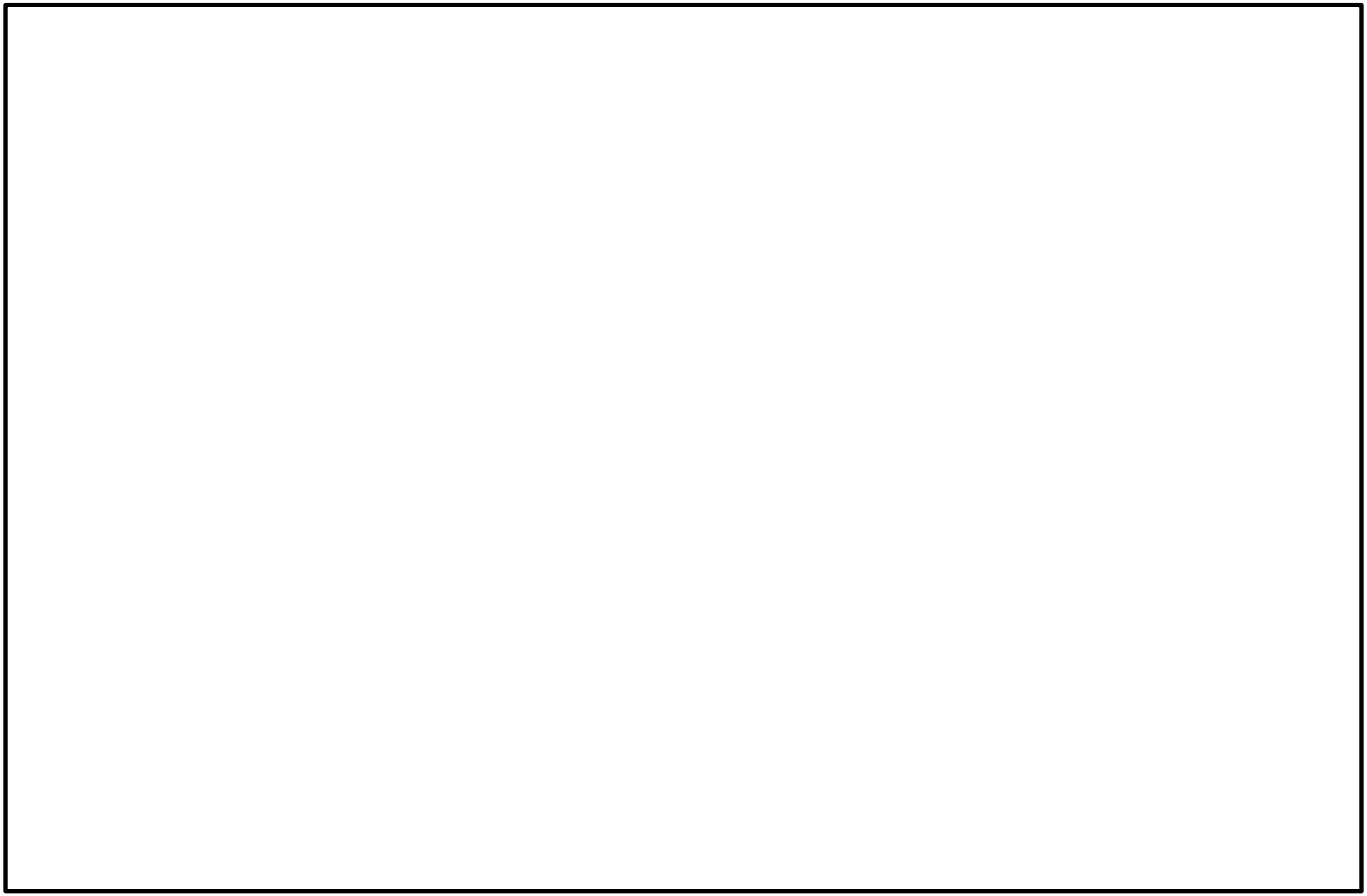


図 3－3(1)　温度遷移図

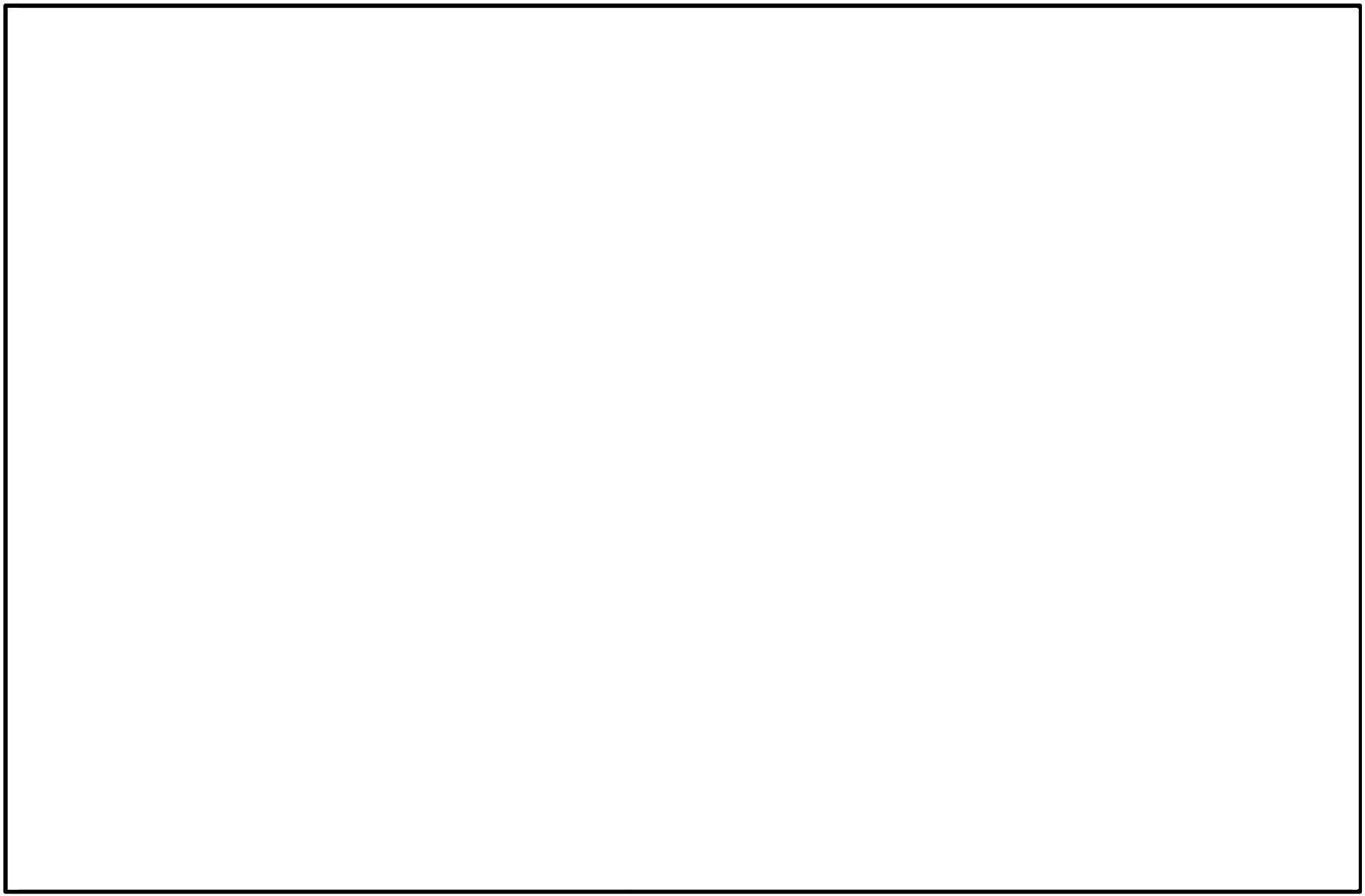


図3－3(2)　温度遷移図

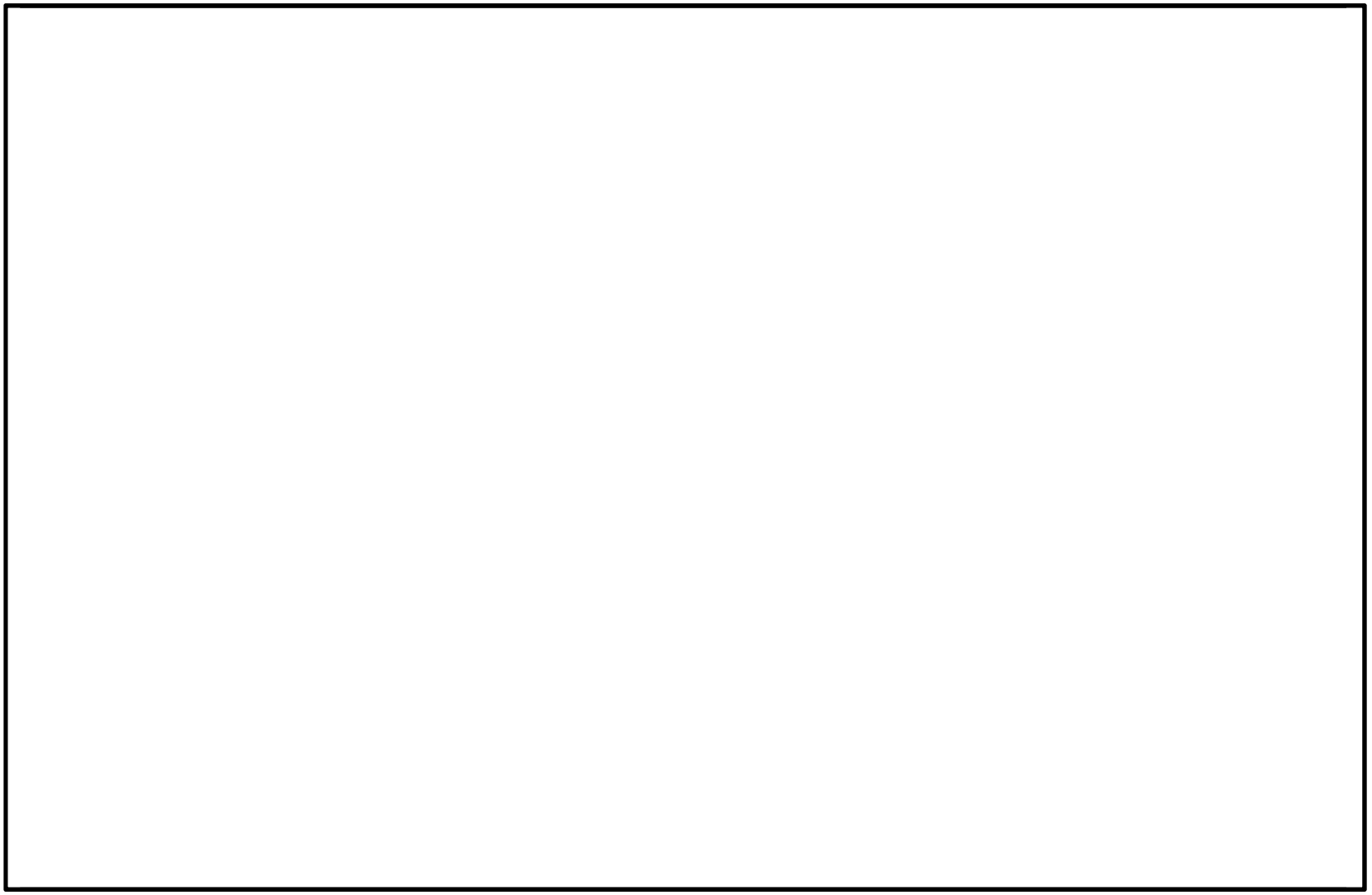


図3－3(3)　温度遷移図

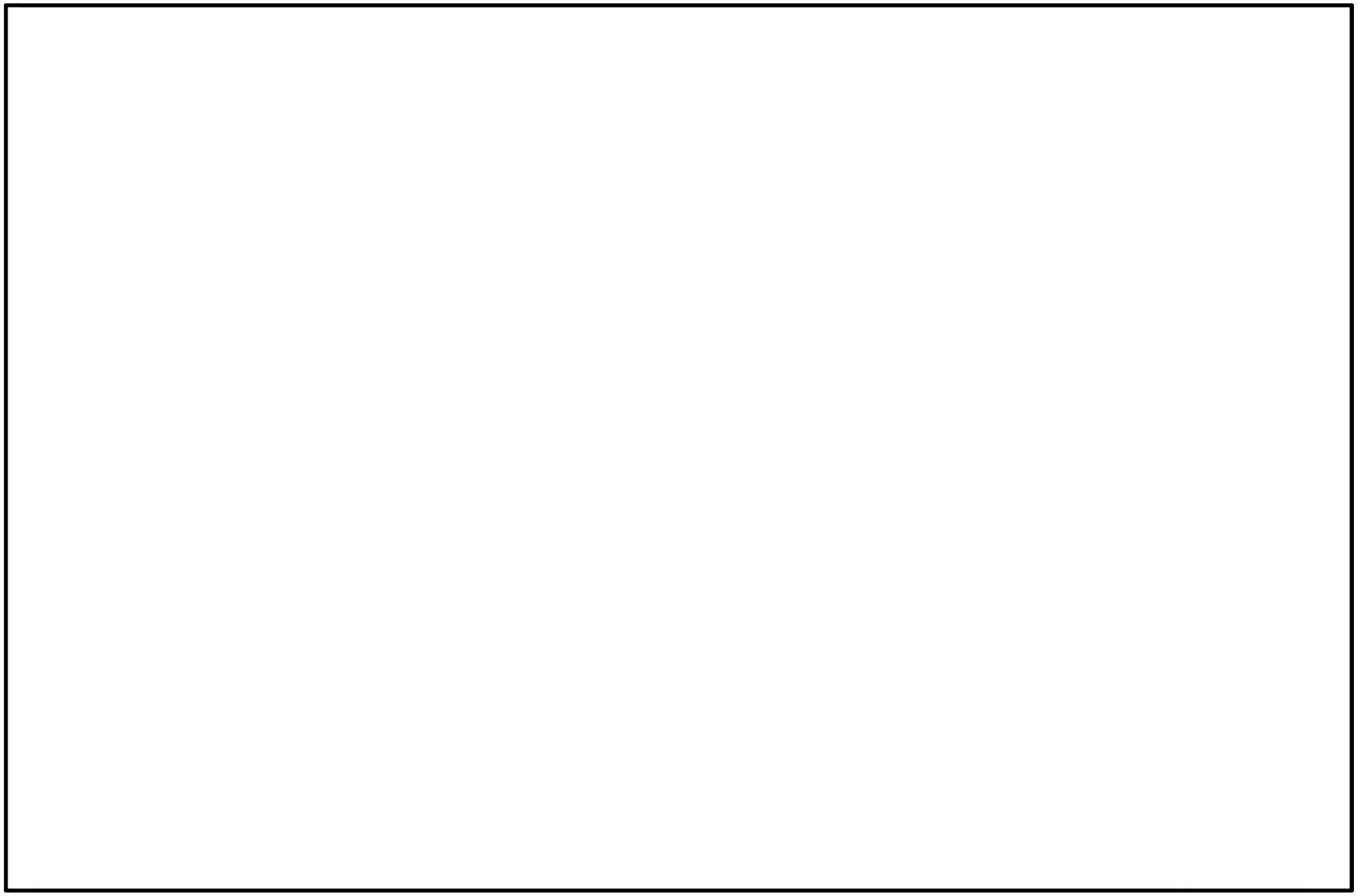


図 3－3(4)　温度遷移図

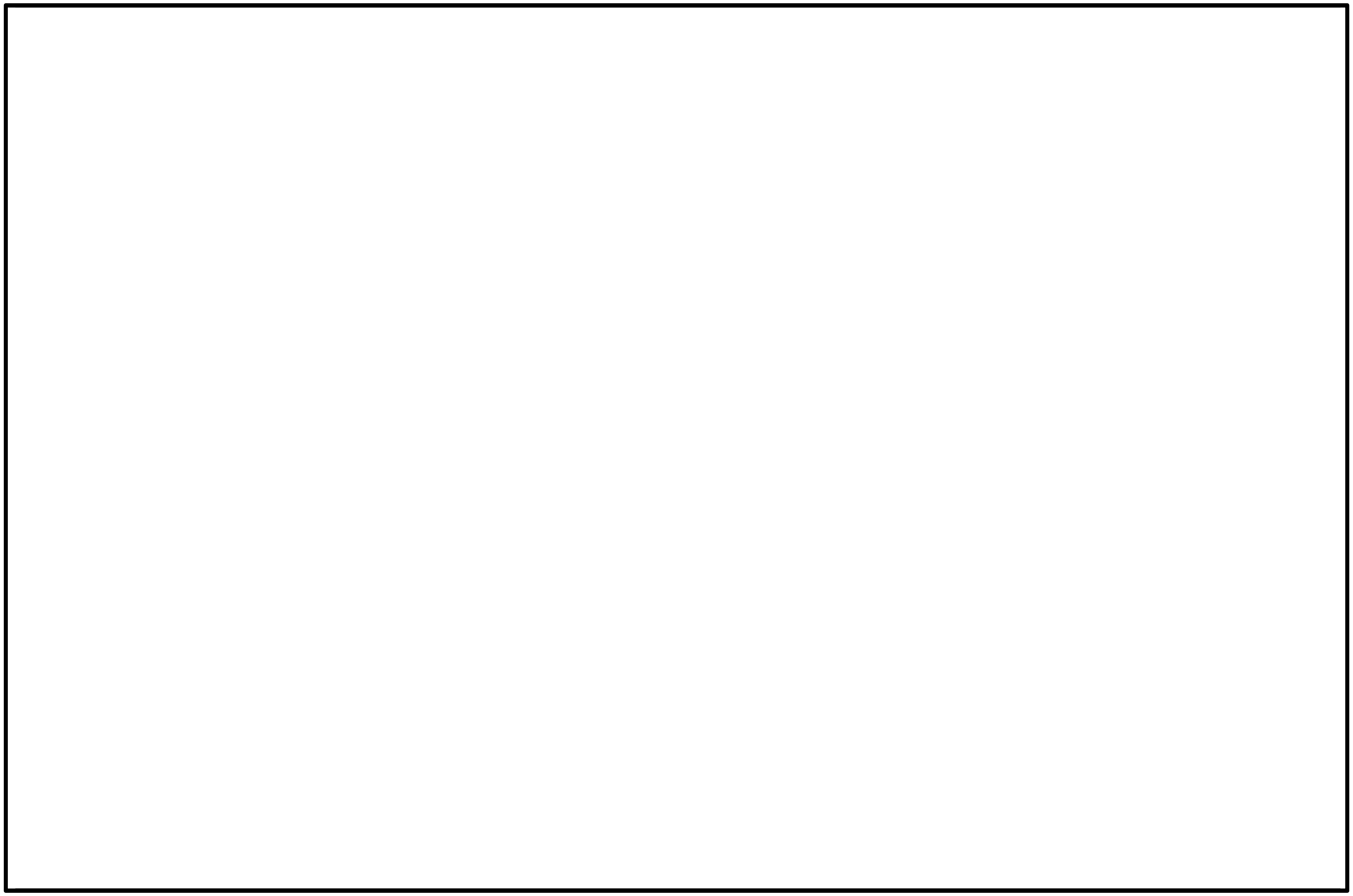


図3－3(5)　温度遷移図

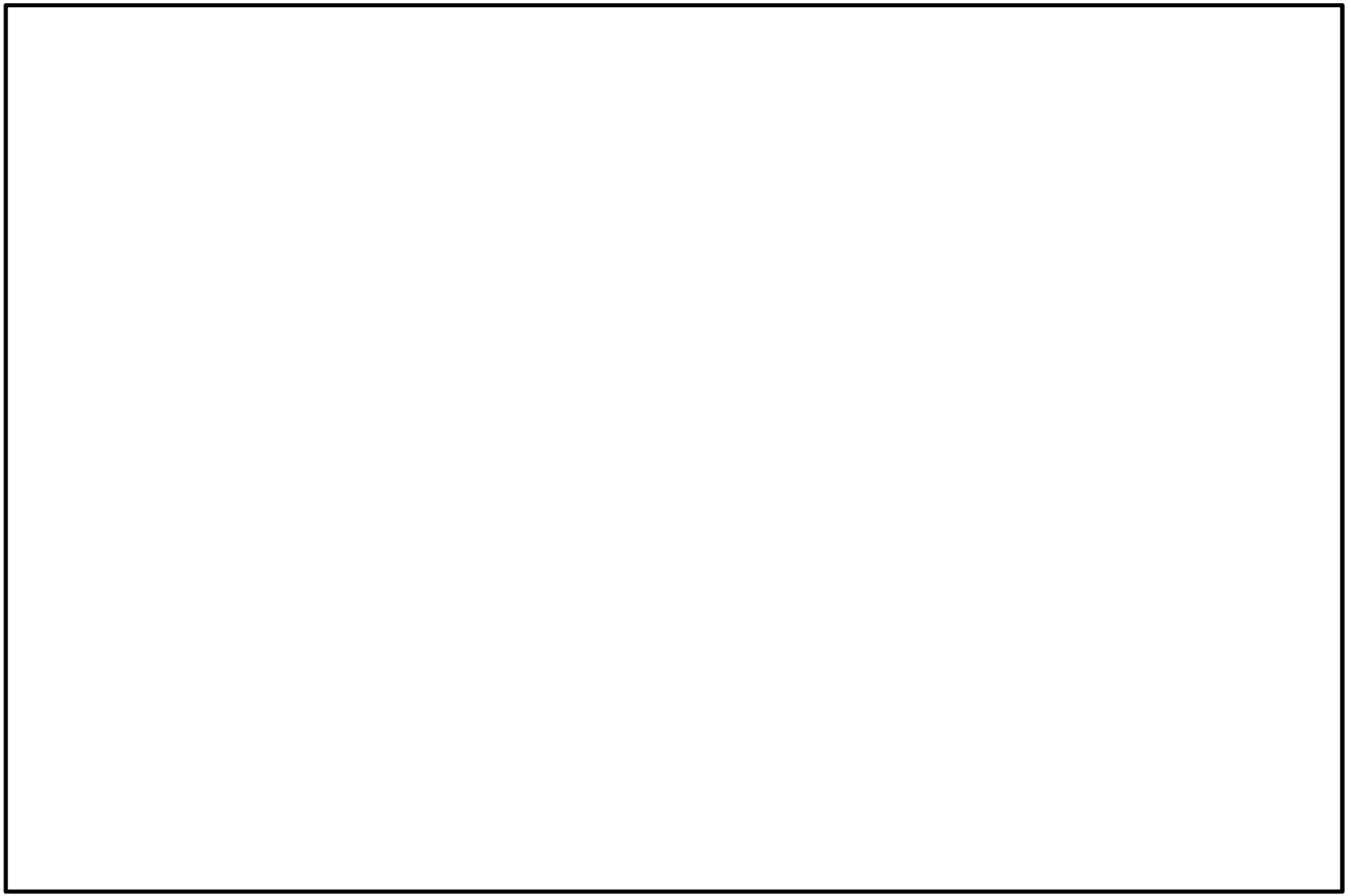


図3－3(6)　温度遷移図

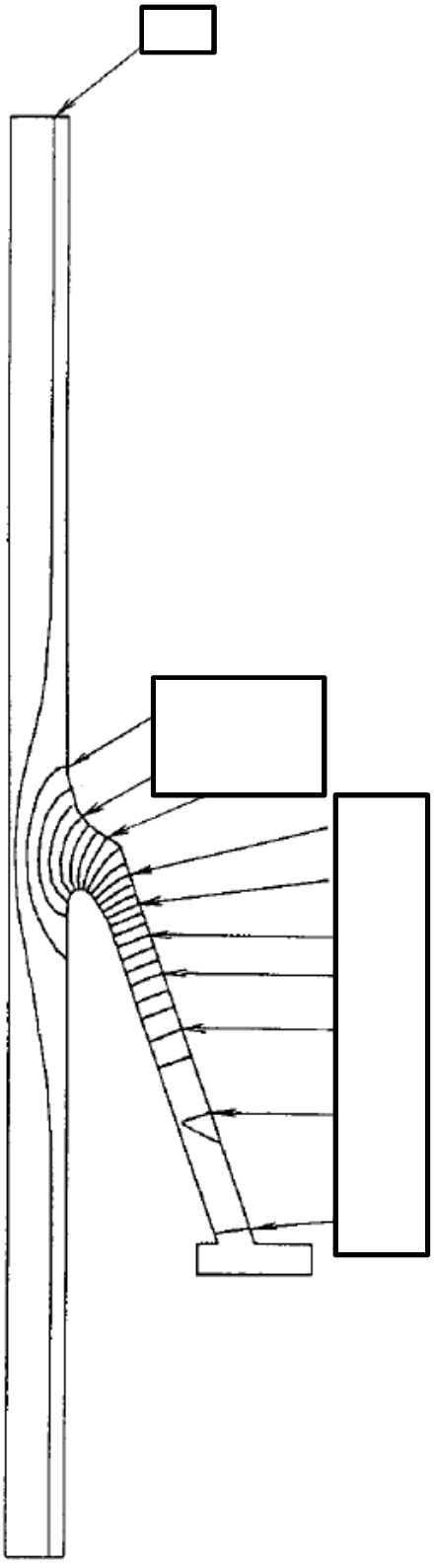


図 3－4(1)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

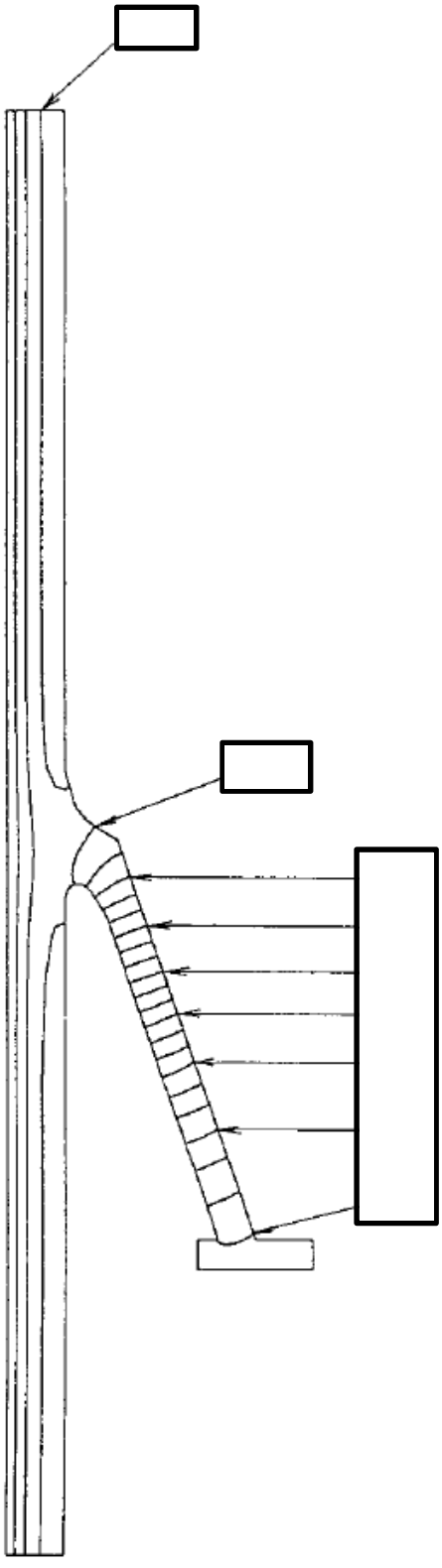


図 3－4(2)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

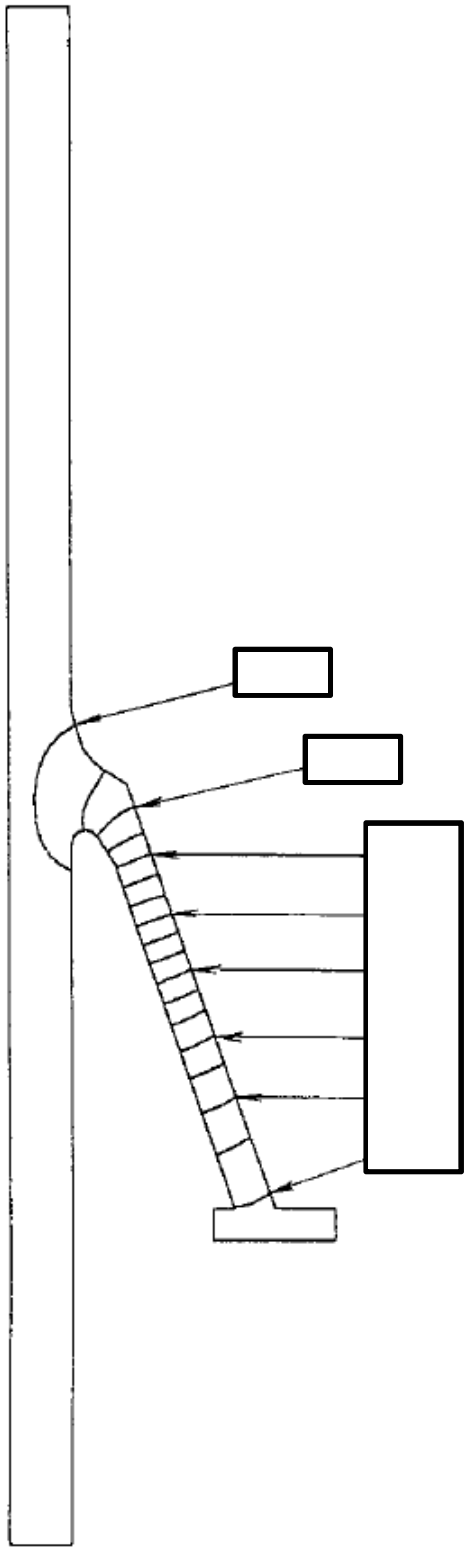


図 3－4(3)　温度分布図［　　］（単位：℃）

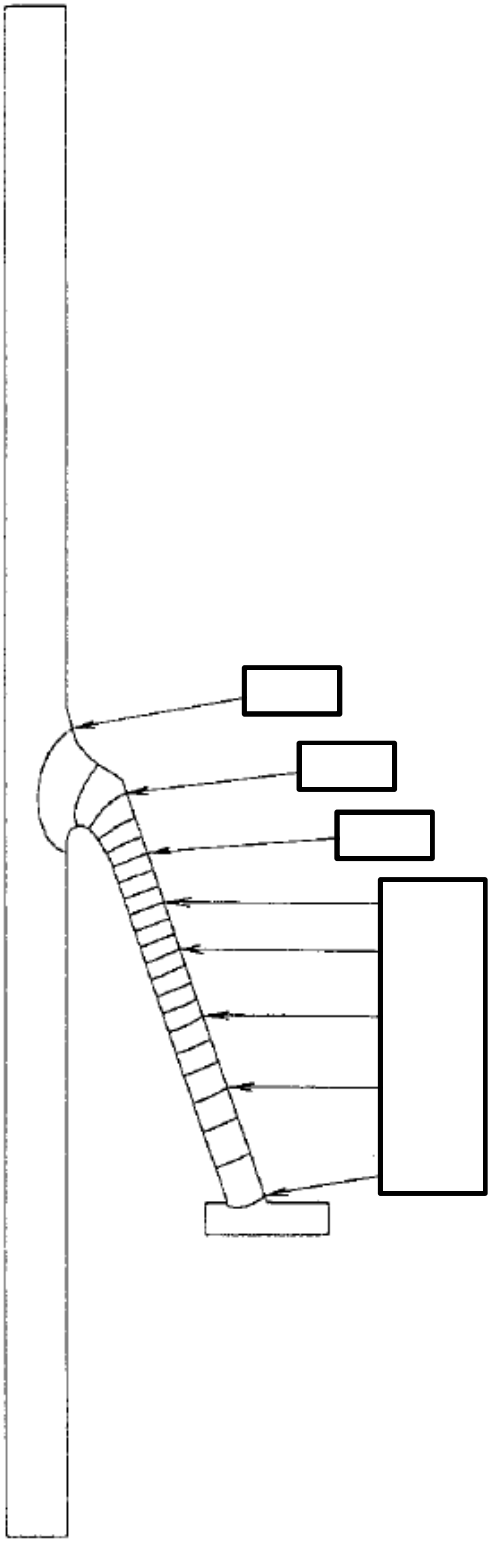


図 3－4(4)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

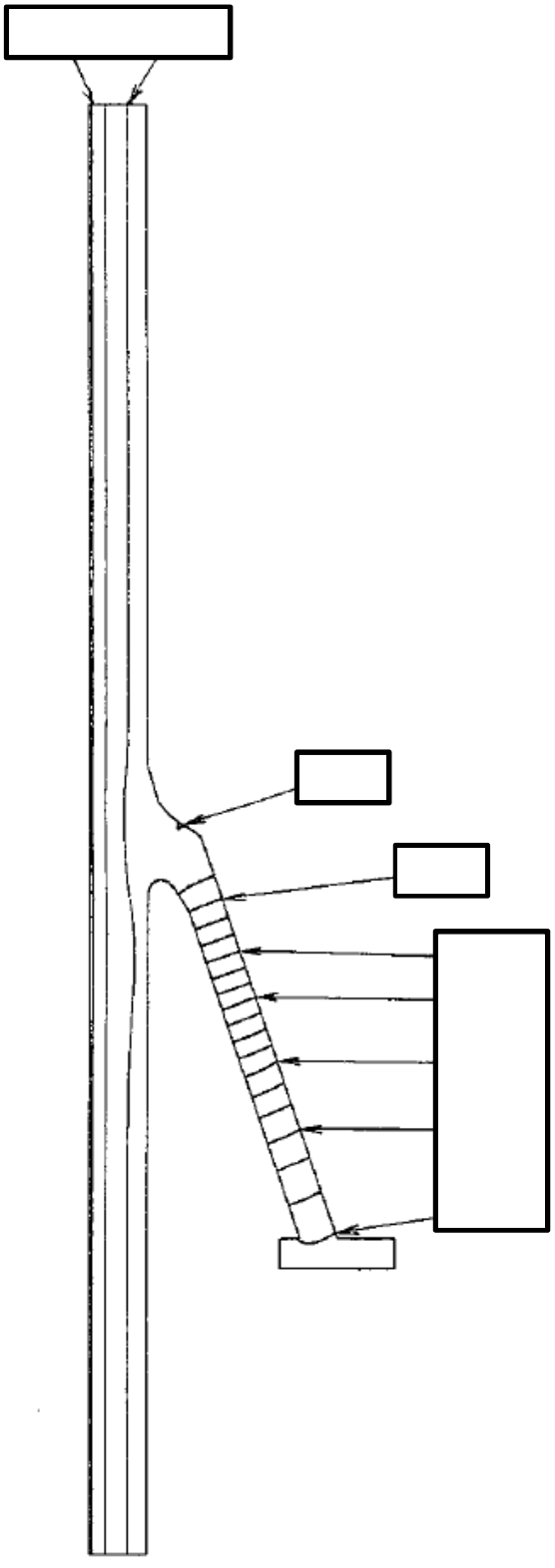


図 3－4(5)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

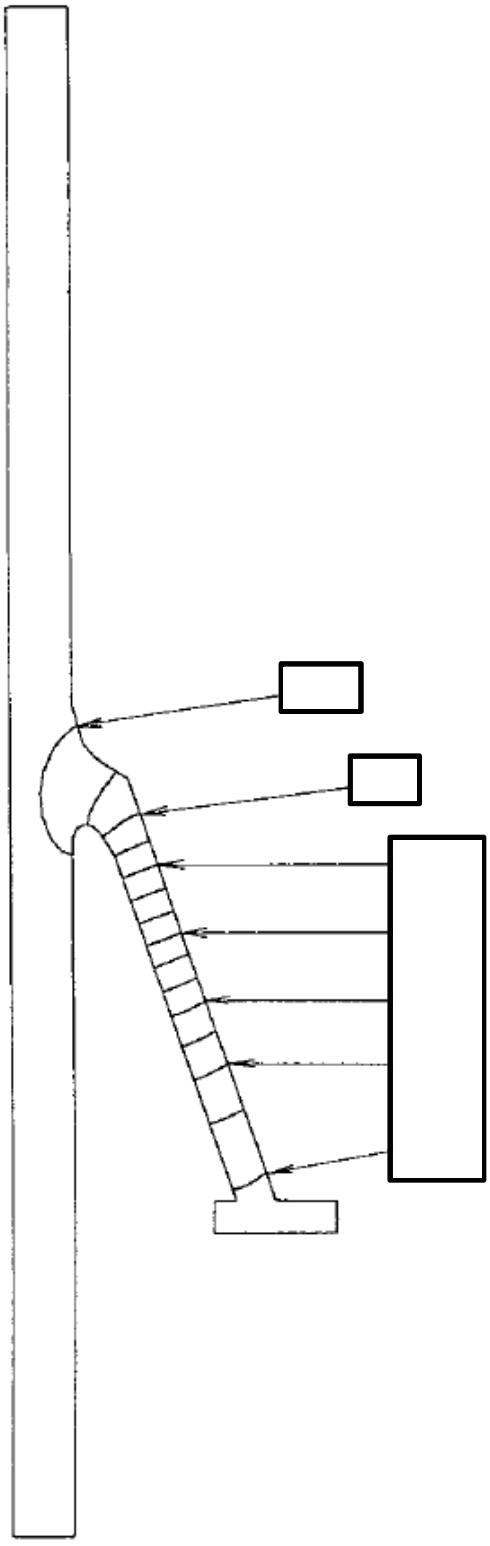


図 3－4(6)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

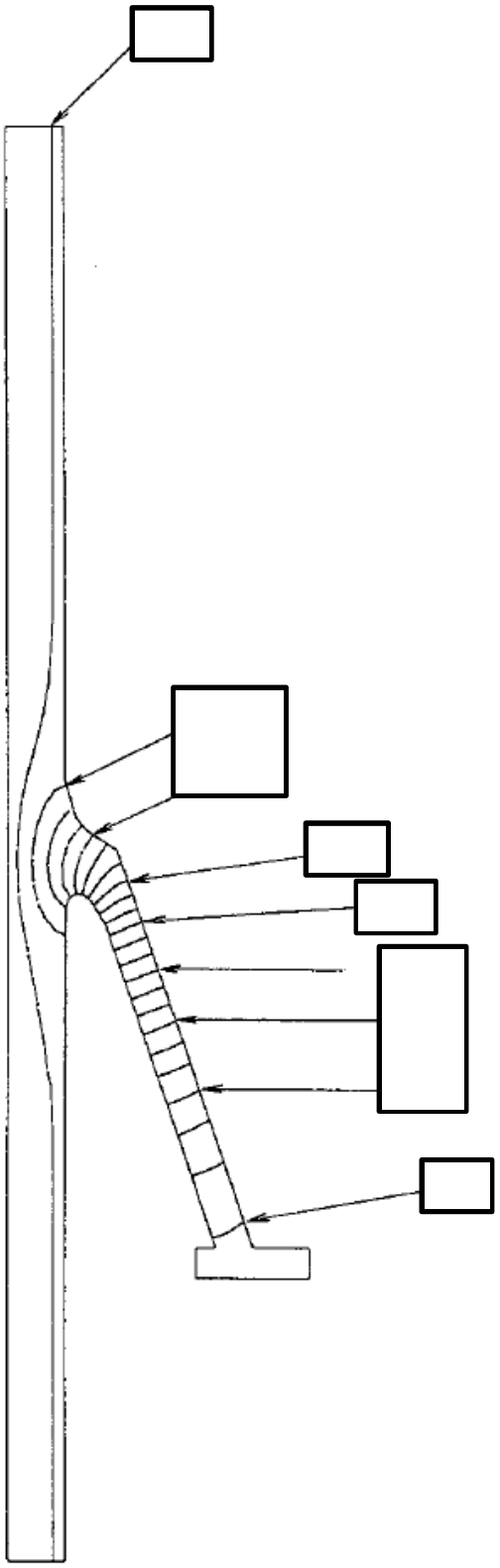


図 3－4(7)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

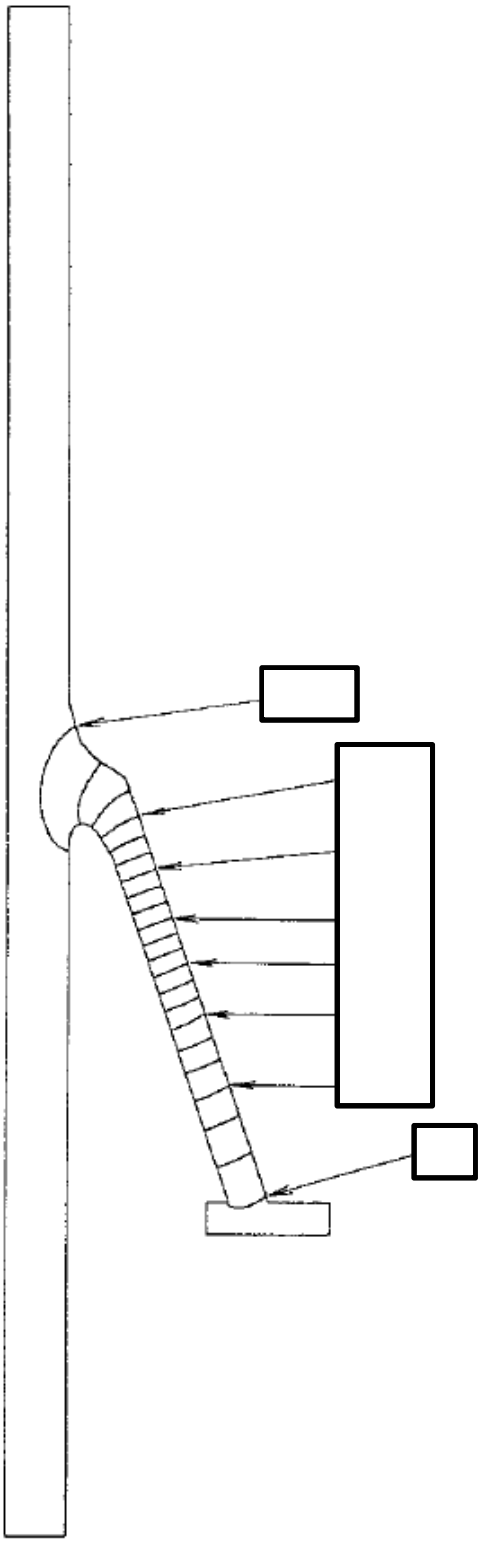


図 3－4(8)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

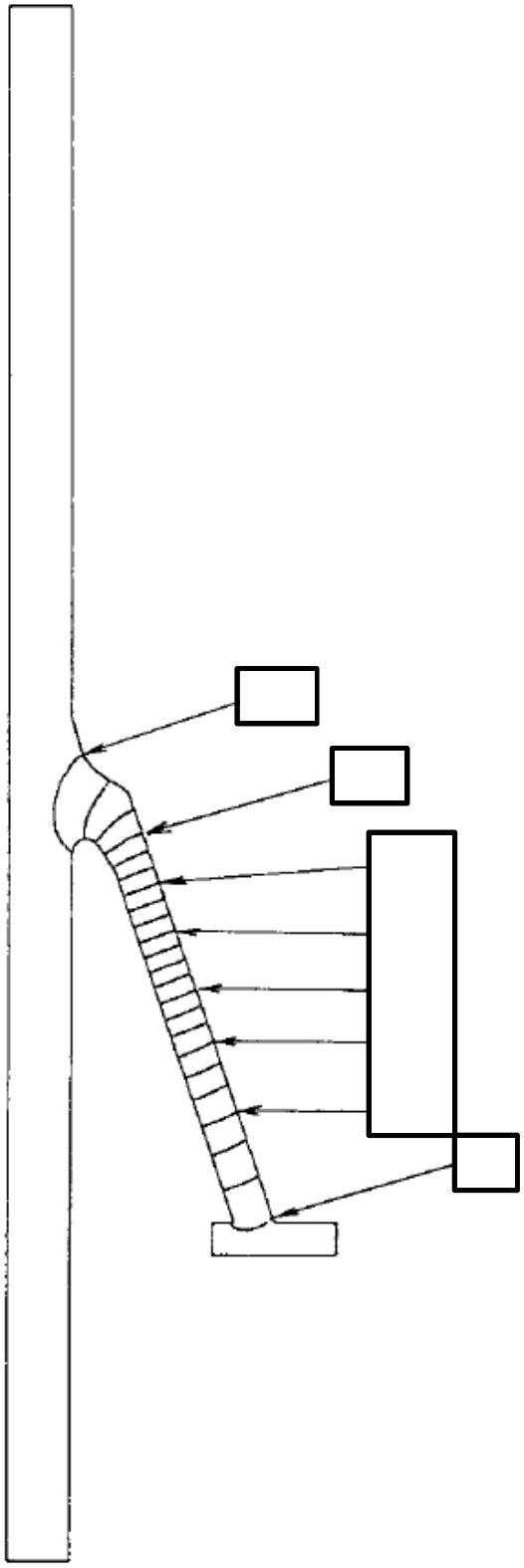


図 3－4(9)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

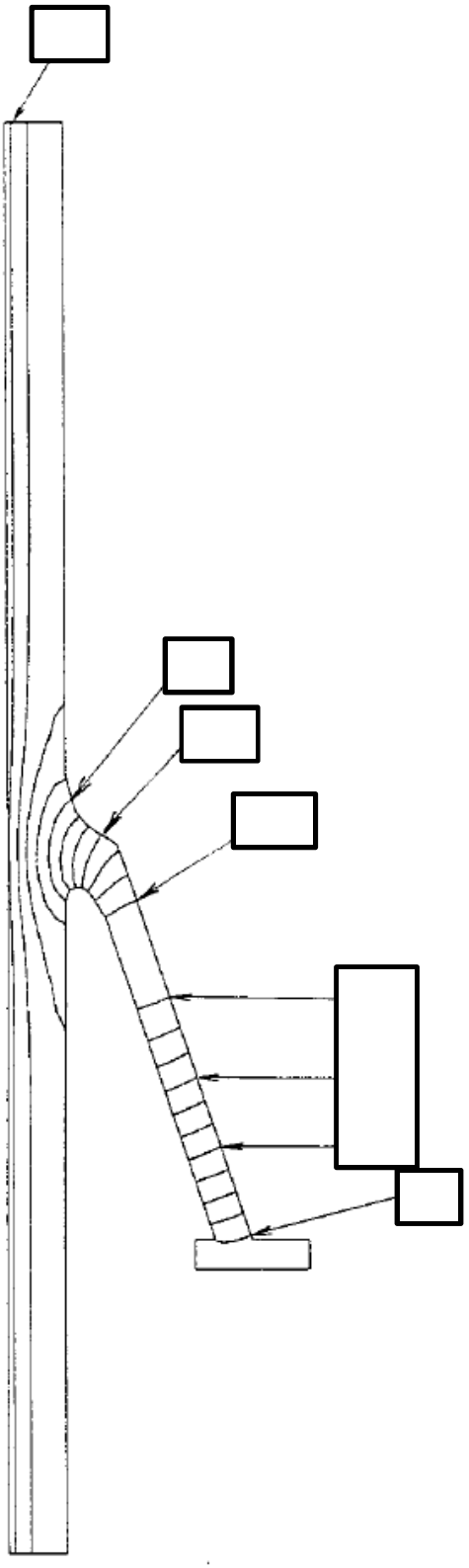


図 3－4(10)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

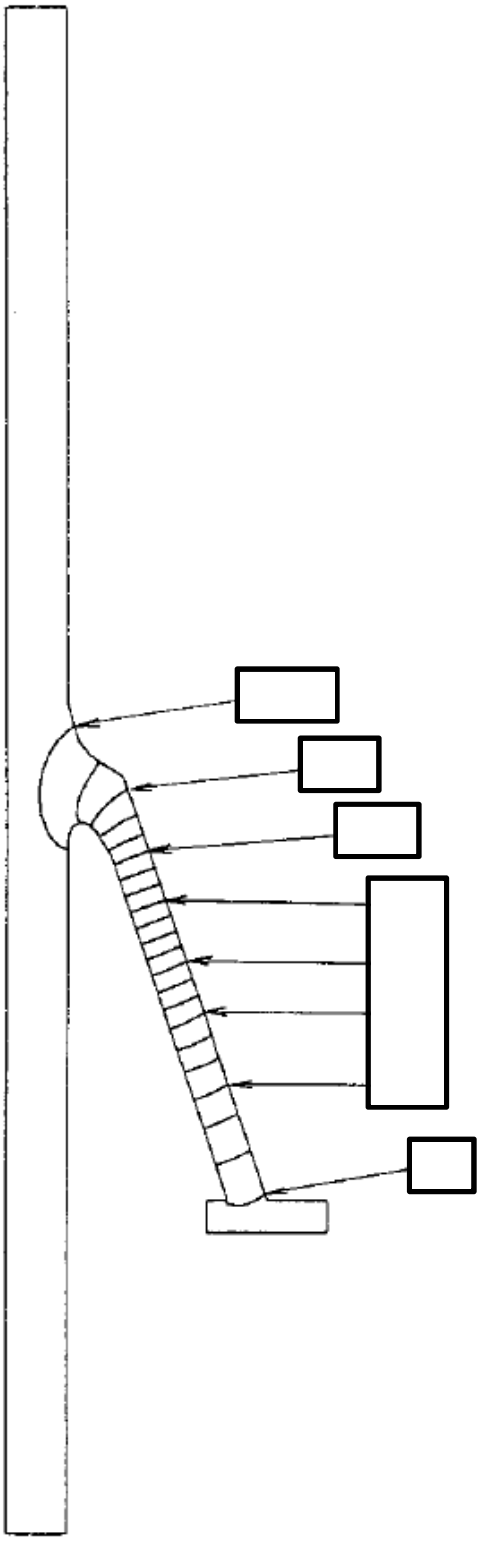


図 3－4(11)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

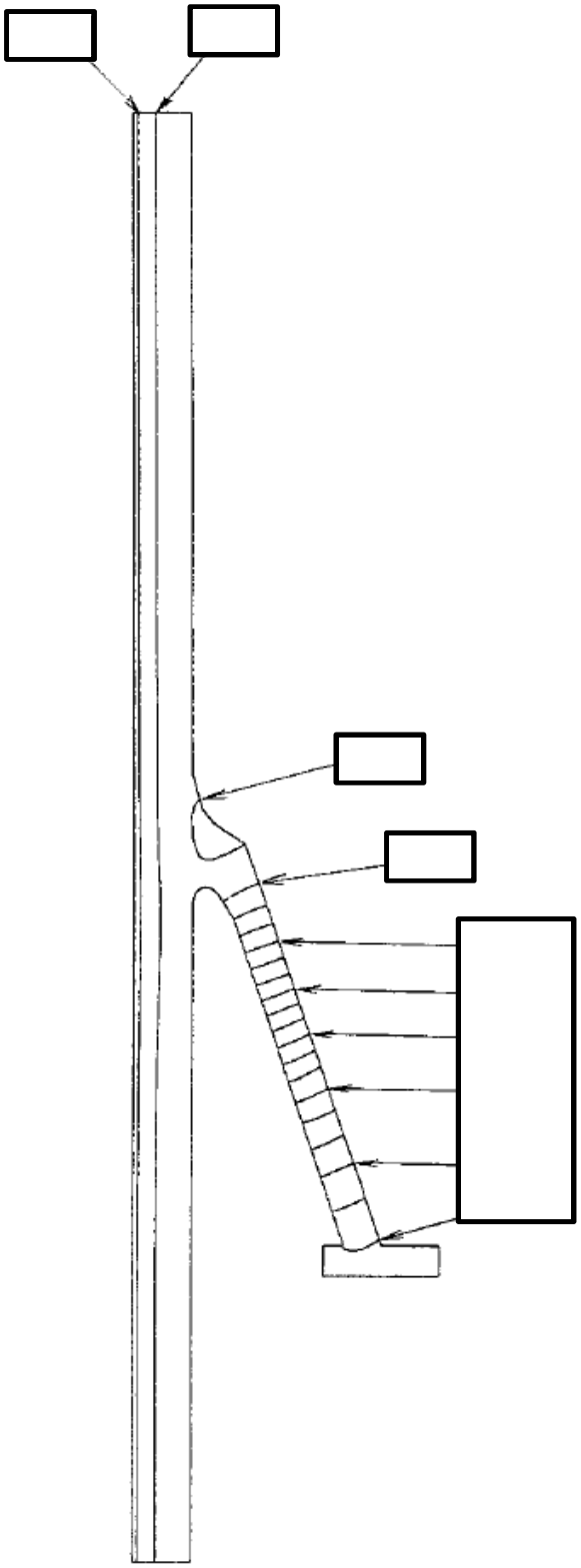


図 3－4(12)　温度分布図[redacted]（単位：℃）

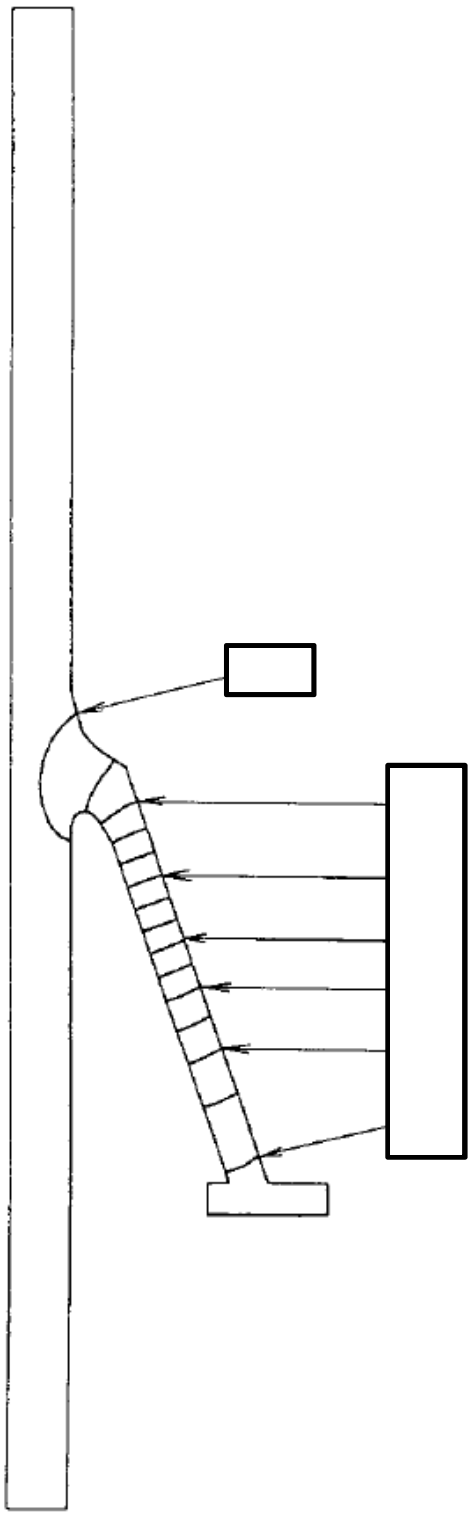


図 3－4(13)　温度分布図 [redacted]　（単位：℃）

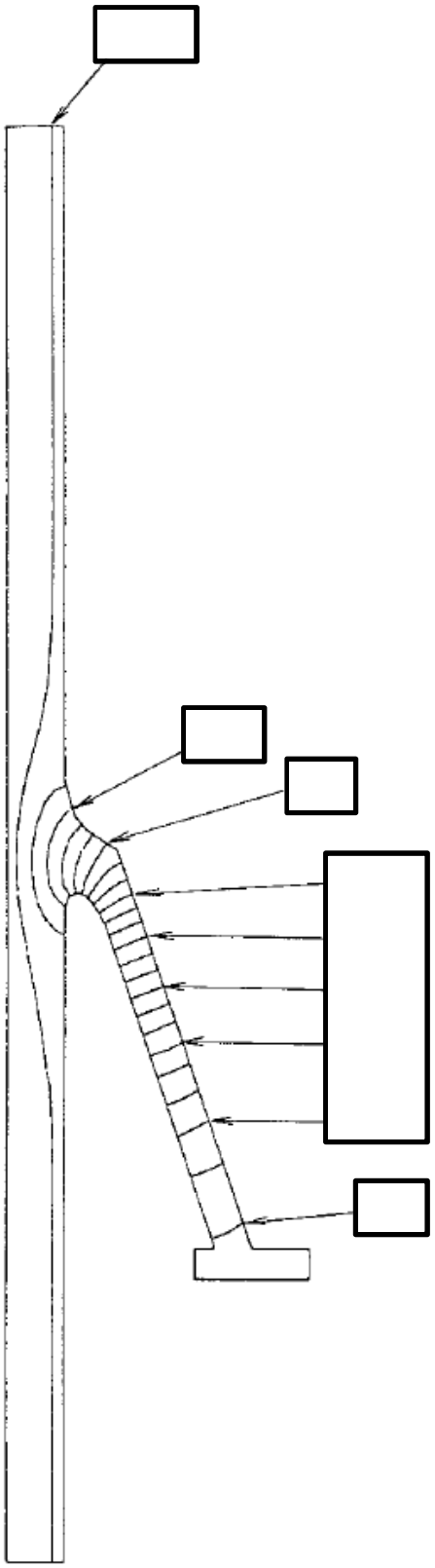


図 3－4(14)　温度分布図 [redacted] （単位：℃）

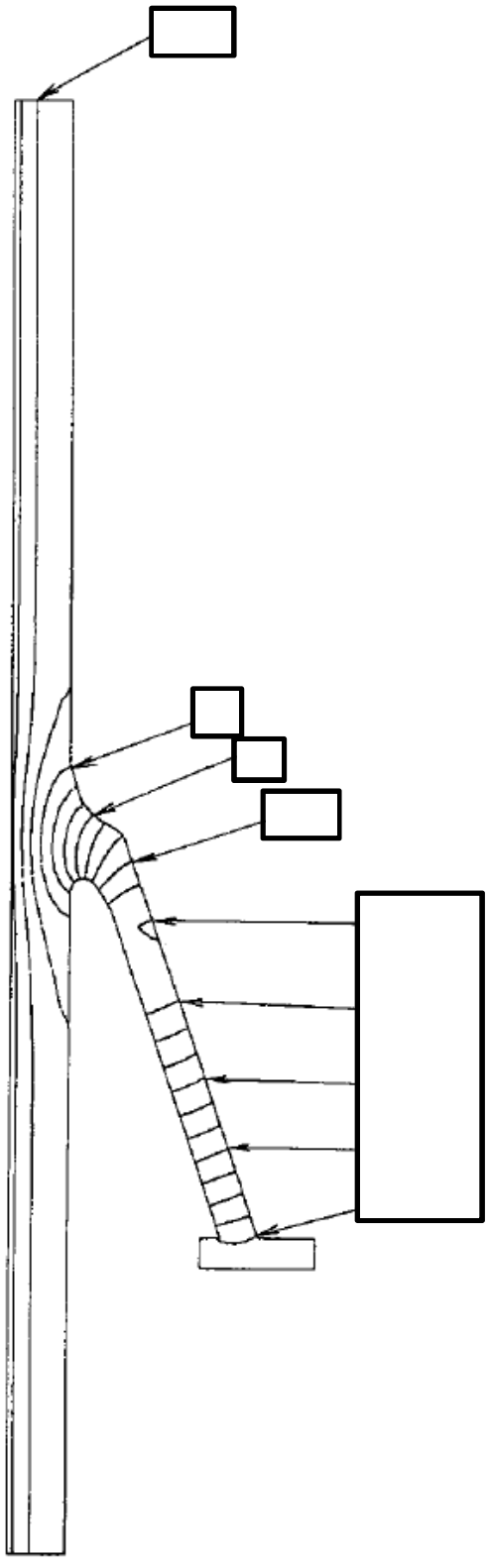
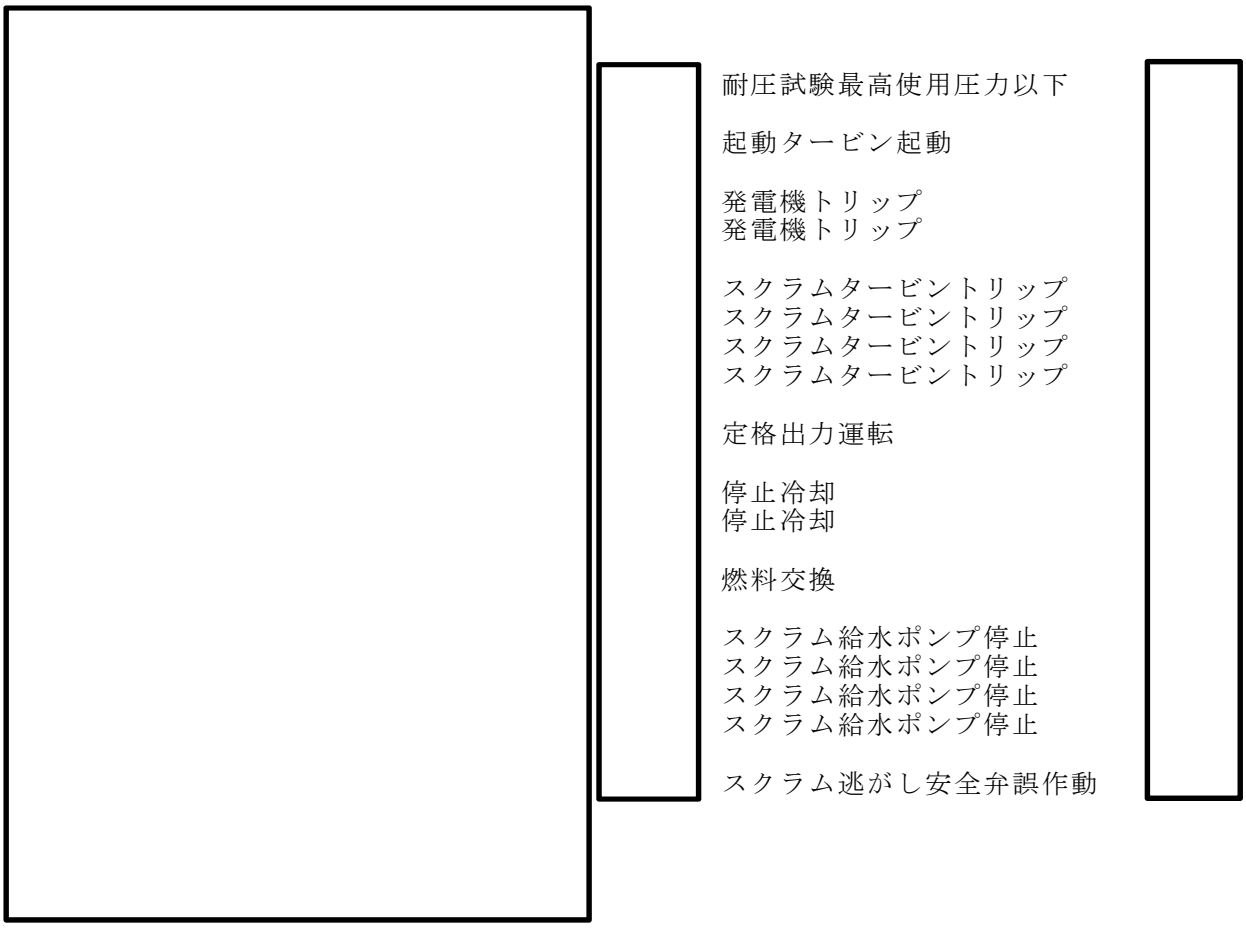


図 3－4(15)　温度分布図 [redacted]　（単位：℃）



No.	運転条件	運転条件	S_p
1			
2			
3			

図5－1　応力差の変動（P01，S_{12}）

表 2－1　外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	モーメント
		V_1 (kN)	V_2 (kN)	H (kN)	M (kN･m)
L03	設計機械的荷重				
L12	外荷重A *1				
L13	外荷重B *2				
L18	外荷重C *3				
L19	外荷重D *4				
L20	外荷重E *5				
L21	外荷重F *6				
L22	外荷重G *7				

注 1 :

注 2 :

注 3 :

注記＊1 :

＊2 :

＊3 :

＊4 :

＊5 :

＊6 :

＊7 :

表2－2　荷重の組合せ及び運転状態

区分	荷重の組合せ 各運転状態による荷重
設計条件	設計条件による荷重
運転状態 Ⅰ，Ⅱ， Ⅲ，Ⅳ	運転状態Ⅰによる荷重
	運転状態Ⅱによる荷重
	運転状態Ⅲによる荷重
	運転状態Ⅳ（Ｌ）による荷重　*1
	運転状態Ⅳ（Ｓ）による荷重　*2
試験状態	試験状態による荷重

注記＊1　：運転状態Ⅳ（Ｌ）による荷重とは，運転状態Ⅳによる荷重のうち長期荷重を示す。

＊2　：運転状態Ⅳ（Ｓ）による荷重とは，運転状態Ⅳによる荷重のうち短期荷重を示す

表2－3　荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
設計条件	L01＋L03	$P_L + P_b$
運転状態Ⅰ及びⅡ	L01＋（L12，L13，L18又はL19）＋L10	$P_L + P_b$＋Ｑ 疲労解析
運転状態Ⅲ	L01＋L20	$P_L + P_b$
運転状態Ⅳ	L01＋L21	$P_L + P_b$
試験状態	L01＋L22	$P_L + P_b$

表2－4　許容応力

運転状態	許容限界	
	一次膜＋一次曲げ応力	一次＋二次応力
設計条件	1.5・S_m	－
Ⅰ，Ⅱ	－	3・S_m
Ⅲ	MIN(1.5・S_y，S_u)	－
Ⅳ	S_u	－
試験状態	1.35・S_y	－

表2－5　許容応力評価条件

評価部位	材料		温度条件 (℃)		S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)
スカート	フェライト系鋼	SQV2A	試験温度	[redacted]			
			流体の最高温度（運転状態Ⅳ）及び定格出力運転時の蒸気温度				
			最高使用温度	302	184	－	－
			流体の最高温度（運転状態Ⅲ）	[redacted]			

表3－1(1)　熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (℃)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m･K))	ﾌﾟﾗﾝﾄﾙ数 P_r (—)	ﾚｲﾉﾙｽﾞ数 R_e (—)	熱伝達率 h (W/(m^2･K))
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						
水						

注1：熱伝達率は，引用文献(2)のP47の(16)式に示す下記の式を用いて計算する。

$$h = 0.037 \cdot P_r^{2/3} \cdot R_e^{4/5} \cdot \frac{\lambda}{L}$$

ここで，$R_e = v \cdot L / \nu_o$

v　：流速（m/s）

ν_o：動粘性係数（m^2/s）

注2：100%流量　＝

注3：流路断面積 ＝　m^2　（胴板とシュラウドヘッドフランジ間の断面積）

注4：代表長さ　L ＝　m

表3－1(2)　熱伝達率の計算

流体	温度 T_f (℃)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m･K))	ﾌﾟﾗﾝﾄﾙ数 P_r (—)	ﾚｲﾉﾙｽﾞ数 R_e (—)	熱伝達率 h (W/(m^2･K))
空気						

注1：熱伝達率は，引用文献(2)のP46の(8)式に示す下記の式を用いて計算する。

$$h = 0.664 \cdot P_r^{1/3} \cdot R_e^{1/2} \cdot \frac{\lambda}{L}$$

ここで，$R_e = v \cdot L / \nu_o$

v　：流速（m/s）

ν_o ：動粘性係数（m^2/s）

注2：100%流量　＝　　m^3/h

注3：流路断面積　＝　　m^2　（空調ダクト出口総断面積）

注4：代表長さ　L　＝　　m

表3－1(3)　熱伝達率の計算

流体	温度 T_m (K)	熱伝導率 λ (W/(m･K))	エアギャップの距離 ℓ (m)	形態係数 F (—)	対面金属のふく射率 ε_1, ε_2 (—)	熱伝達率 h (W/(m^2･K))
空気						

注：熱伝達率は，引用文献(2)及び引用文献(3)に示す下記の式を用いて算出する。

$$h = \frac{\lambda}{\ell} + \frac{4 \cdot \sigma \cdot Tm^3}{\frac{1}{F} + \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right) + \frac{A_1}{A_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$$

ここで，A_1　：胴板側エアギャップ範囲の表面積(m^2)

A_2　：スカート側エアギャップ範囲の表面積(m^2)

F　：形態係数

ℓ　：エアギャップの距離(m)

T_m　：対面金属表面温度の平均温度(K)

ε_1　：対面金属のふく射率

ε_2　：対面金属のふく射率

λ　：空気の熱伝導率(W/(m･K))

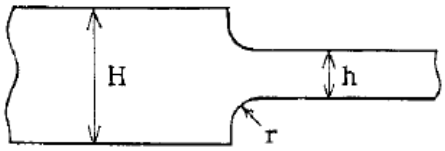
σ　：ステファンボルツマン定数（＝ 5.67×10^{-8} W/(m^2･K^4))

A_1　＝A_2とする。

表 3－2　応力集中係数

応力評価点	データ			K_n（引張り）	K_b（曲げ）
	T（mm）	t（mm）	r（mm）		
P01，P01’				2.0	1.7
P02，P02’				2.1	1.7

注：応力集中係数は，引用文献(4)の Appendix B に示す下記の式を用いて計算する。



$$K_n = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{4 \cdot \left(1.4 \cdot \frac{H}{h} - 1\right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.65}$$

$$K_b = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{2 \cdot \left(5.37 \cdot \frac{H}{h} - 4.8\right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.85}$$

ここで，K_b　：曲げに対する応力集中係数

K_n　：引張りに対する応力集中係数

r　：隅部の半径

T　：大きい方の板厚（＝H／2）

t　：小さい方の板厚（＝h／2）

表4－1　一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

応力評価面	設計条件		運転状態Ⅲ		運転状態Ⅳ		試験状態	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	12	276	11	435	6	490	11	456
P01’ P02’	28	276	11	435	18	490	11	456

表4－2　一次＋二次応力強さの評価のまとめ

（単位：MPa）

応力評価点	一次＋二次応力差最大範囲（P_L+P_b+Q）	
	S_n	許容応力 $3・S_m$
P01	260	553
P01’	260	553
P02	248	553
P02’	248	553

表5－1　疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数	
	U_n	許容値
P01	0.009	1.0
P01’	0.009	1.0
P02	0.005	1.0
P02’	0.005	1.0

表 6－1　座屈に対する評価に用いる荷重

運転状態	鉛直力		モーメント M (kN･m)
	V_1 (kN)	V_2 (kN)	
Ⅰ，Ⅱ			－
Ⅲ			－
Ⅳ			

表 6－2　座屈に対する評価

(単位：MPa)

運転状態	圧縮応力	許容応力
Ⅰ，Ⅱ	14	68
Ⅲ	14	82
Ⅳ	23	102

計算機プログラム（解析コード）の概要

目　次

1. はじめに ····· 1
別紙1 ＨＩＳＡＰ ····· 2
別紙2 ＮｕＰＩＡＳ ····· 5
別紙3 ＡＢＡＱＵＳ ····· 17
別紙4 ＭＳＣ ＮＡＳＴＲＡＮ ····· 52
別紙5 ＩＳＡＰ ····· 57
別紙6 ＬＳ－ＤＹＮＡ ····· 60
別紙7 ＤＹＮＡ２Ｅ ····· 67
別紙8 ｆａｐｐａｓｅ ····· 71
別紙9 ＤＡＣ３Ｎ ····· 86
別紙10 ＧＲＩＭＰ２ ····· 88
別紙11 ＫＳＨＡＫＥ ····· 90
別紙12 ＮＶＫ２６３ ····· 92
別紙13 Ｈｙｐｅｒ Ｓｔａｔｉｃｓ ａｎｄ Ｄｙｎａｍｉｃｓ ····· 99
別紙14 ＮＯＶＡＫ ····· 101
別紙15 ＳＨＡＫＥ ····· 103
別紙16 ＳＴ－ＣＲＯＳＳ ····· 118
別紙17 ＴＤＡＳ ····· 120
別紙18 ＡＤＭＩＴ ····· 122
別紙19 ＬＮＯＶＡＫ ····· 132
別紙20 ＳＨＡＫＥ ····· 141
別紙21 Ｓｕｐｅｒ Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３ ····· 156
別紙22 ＮＸ ＮＡＳＴＲＡＮ ····· 194
別紙23 ＦＬＩＰ ····· 197
別紙24 ＦＲＥＭＩＮＧ ····· 200
別紙25 ＳＬＯＫ ····· 202
別紙26 ＡＳＨＳＤ２－Ｂ ····· 204
別紙27 ＴＡＣＦ ····· 206

1. はじめに

本資料は，添付書類Ⅴ-3「強度に関する説明書」において使用した計算機プログラム（解析コード）について説明するものである。

「強度に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

別紙１　ＨＩＳＡＰ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-3-2-2-1-4-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-1-1-3-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-1-2-1-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-2-1-7-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-3-1-6-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-3-2-5-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-3-3-2-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-3-4-1-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-4-1-3-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-5-1-6-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-5-2-5-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-3-6-1-2-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-4-2-1-4-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-4-3-1-1-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-4-3-2-2-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-6-2-4-2-1-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-6-2-5-1-2-2	管の応力計算書	Ver.52
Ⅴ-3-3-6-2-5-2-1-2	管の応力計算書	Ver.52

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＨＩＳＡＰ
使用目的	3 次元有限要素法（はりモデル）による管の応力解析
開発機関	株式会社日立製作所
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Ver.52
コードの概要	本解析コードは,配管の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コード[redacted]をメインプログラムとし,応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。 任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 [redacted] 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 [redacted]

注記＊1：日本機械学会「発電用原子力設備規格　設計・建設規格」

＊2：原子力発電所耐震設計技術指針

別紙２　ＮｕＰＩＡＳ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-3-2-2-2-4-2	管の応力計算書	Ver.6.1.3c
Ⅴ-3-3-5-1-2-2-2	管の応力計算書	Ver.6.1.3c
Ⅴ-3-3-5-1-3-2-2	管の応力計算書	Ver.6.1.3c
Ⅴ-3-3-6-2-5-1-2-2	管の応力計算書	Ver.6.1.3c
Ⅴ-3-3-6-2-6-1-2-2	管の応力計算書	Ver.6.1.3c
Ⅴ-3-3-6-2-7-1-4-2	管の応力計算書	Ver.6.1.3c
Ⅴ-3-3-6-4-3	管の応力計算書（格納容器圧力逃がし装置）	Ver.6.1.3c

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＮｕＰＩＡＳ
使用目的	3次元有限要素法（はりモデル）による管の固有値解析，応力解析
開発機関	東電設計株式会社，川崎重工業株式会社
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver.6.1.3c
コードの概要	本解析コードは，配管の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コードＳＡＰ－Ｖをメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。 任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・配管系応力解析プログラム［　　］*1の計算データと本解析コードによる計算結果を比較し，よく合致していることを確認している。 ・応力評価プログラムについては，メインプログラムの出力結果（軸力，モーメント）から，適用技術基準（ＪＳＭＥ*2，ＪＥＡＧ*3等）に基づいて応力評価が正しく計算されていることを確認している。 ・サブプログラムについては，インターフェイスチェックシートを用いて，単位，桁数，符号が変換前後で正しく処理されていることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・原子力の分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルによる管の

	応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。

注記＊1：

＊2：発電用原子力設備規格（設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。)）ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007)（日本機械学会2007年9月）

＊3：原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984，ＪＥＡＧ４６０１-1987及びＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版）（日本電気協会　電気技術基準調査委員会　昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードには，3次元トラスやビーム，平面応力など数多くの要素が用意されており，それらを用いて1次元，2次元あるいは3次元の静的解析及び動的解析を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの処理能力は主に解析する問題の総節点数と必要となる固有値の数（動的解析の場合）に依存し，要素数，荷重条件数，剛性マトリックスの次数やバンド幅などに特別の制限はない。

各節点は，0から6自由度まで設定することができる。

構造マトリックスの誘導は静的解析，動的解析共に同様である。静的解析では釣合い方程式を解いた後，要素の応力を算出する。動的解析では次の選択ができる。

(a) 固有値解析

(b) 時刻歴応答解析

(c) 応答スペクトル解析

3.3 解析手法

3.3.1 運動方程式

節点の運動方程式を以下に示す。

$$〔m〕\cdot\{\ddot{u}\}+〔c〕\cdot\{\dot{u}\}+〔k〕\cdot\{u\}=\{R\}\cdots\cdots\cdots(3.1)$$

ここで〔k〕，〔c〕，〔m〕は剛性，減衰及び質量マトリックスであり{u}，$\{\dot{u}\}$，$\{\ddot{u}\}$，{R}は変位，速度，加速度及び荷重ベクトルを表す。構造マトリックスは要素マトリックスを直接合成して得られる。

例えば

$$〔k〕=\Sigma〔k_m〕\cdots\cdots\cdots(3.2)$$

ここで，$〔k_m〕$はm番目の要素の剛性マトリックスである。

本解析コードでは，上記方程式の解法として質点系モデル(lumped Mass)による解析を採用している。したがって，系の質量は，個々の要素の質量マトリックスに，節点に付加している集中質量を加えた対角マトリックスとなる。また，減衰はレイリー減衰（Rayleigh Damping:$〔c〕=\alpha〔m〕+\beta〔k〕$，α

及びβは比例定数）を採用している。

3.3.2　静的解析

静的解析では(3．1)式において｛$\ddot{u}$｝＝｛$\dot{u}$｝＝0とした次の釣合い方程式を解き，各要素の応力を算出する。

$$〔k〕・｛u｝＝｛R｝ \cdots\cdots (3．3)$$

本解析コードでは，方程式の解である節点の変位を正定値行列によるガウスの消去法にて求め，次に応力―ひずみマトリックスより要素の応力を求める。

3.3.3　固有値解析

固有値解析では，(3．1)式において〔c〕＝｛R｝＝0とした以下の固有方程式を解き，固有値と振動モードを求める。

$$〔k〕・｛\phi｝＝〔m〕・｛\phi｝・\omega^{2} \cdots\cdots (3．4)$$

ここで，ωは固有角振動数，｛φ｝は固有ベクトルを表す。

本解析コードでは，p次までの固有値及び固有ベクトルが必要であると仮定している。したがって，(3．5)式は下式にて表される。

$$〔k〕・〔\Phi〕＝〔m〕・〔\Phi〕・〔\Omega^{2}〕 \cdots\cdots (3．5)$$

ここで，〔Ω^{2}〕は対角ベクトルである〔Ω^{2}〕＝diag(ω_{i}^{2})，かつ〔Φ〕は直交する固有ベクトル｛ϕ_{1}｝，｛ϕ_{2}｝‥｛ϕ_{p}｝を列に持つマトリックスである。

(3．5)式を解く方法として2つの方法があり，ひとつは〔k〕の次数及びバンド幅が小さい時の解法である行列式探索法(Determinant Search Method)，もうひとつは〔k〕の次数及びバンド幅が大きい時の解法であるサブスペース法(Subspace Method)が用意されている。

3.3.4　動的応答解析

動的応答解析は，次の方程式で表される。

$$〔m〕・｛\ddot{u}｝＋〔c〕・｛\dot{u}｝＋〔k〕・｛u｝＝｛R(t)｝ \cdots\cdots (3．6)$$

ここで，｛R(t)｝は時間依存荷重又は基準面の動きより生じる荷重のベクトルである。特に地震による動的応答計算の場合のように基準面が動く場合

は，構造物が一様な基準面の加速度 $\{\ddot{u}_g\}$ を受けているとして，下式のごとく表される。

$$〔m〕\cdot\{\ddot{u}_r\}+〔c〕\cdot\{\dot{u}_r\}+〔k〕\cdot\{u_r\}=-〔m〕\cdot\{\ddot{u}_g\} \quad \cdots\cdots(3.\ 7)$$

ここで，$\{u_r\}$ は基準面に関する構造物の相対変位量，即ち $\{u_r\}=\{u\}-\{u_g\}$ である。

本解析コードでは，(3．6)式及び(3．7)式を時刻歴応答解析法，(3．7)式を応答スペクトル法にて解くことができ，どちらもモードの重ね合わせ（モーダル解析）を使用している。

(1)　モーダル解析法による時刻歴応答解析

モーダル解析法では，構造物の応答はｐ次（$p \ll n$）までの振動モードで表現できると仮定している。ここで，ｎは全自由度を示す。

$\{u\}=〔\Phi〕\cdot\{X\}$（$〔\Phi〕$は，その列がｐ個の直交する固有ベクトル $\{\phi_1\}$，$\{\phi_p\}$ を列に持つマトリックス）の変換を行い，

$〔\Phi〕^T\cdot〔m〕\cdot〔\Phi〕=〔1〕$ として正規化して(3．6)式に代入すると次のようになる。

$$\{\ddot{X}\}+〔\Delta〕\cdot\{\dot{X}\}+〔\Omega^2〕\cdot\{X\}=〔\Phi〕^T\cdot\{R\} \quad \cdots\cdots \quad (3.\ 8)$$

ここで，$〔\Delta〕=\mathrm{diag}(2\cdot\omega_i\cdot\xi_i)$，$〔\Omega^2〕=\mathrm{diag}(\omega_i^2)$である。

また，ω_i はｉ次モードの固有角振動数，ξ_i はｉ次モードの減衰比を示し，減衰マトリックス〔ｃ〕は次のような直交条件を満たすと仮定している。

$$\{\phi_i\}^T\cdot〔c〕\cdot\{\phi_j\}=0 \quad (i\neq j) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.\ 9)$$

したがって，(3．8)式はｐ個の非連成二次の微分方程式を表している。この微分方程式は，ウィルソンの θ 法にて解かれる。

(2)　応答スペクトル解析

応答スペクトル解析では，（3．7）式における基準面の加速度を以下にて記述する。

$$\{\ddot{u}_g\} = \{\ddot{u}_{gx}\} + \{\ddot{u}_{gy}\} + \{\ddot{u}_{gz}\} \cdots\cdots (3.\ 10)$$

ここで，$\{\ddot{u}_{gx}\} + \{\ddot{u}_{gy}\} + \{\ddot{u}_{gz}\}$ は，x，y，z 方向への基準面の加速度である。したがって，r 次のモードにおける応答式は下式として表される。

$$\{\ddot{X}_r\} + 2 \cdot \xi_r \cdot \omega_r \cdot \{\dot{X}_r\} + \omega_r^2 \cdot \{X_r\} = \{r_{rx}\} + \{r_{ry}\} + \{r_{rz}\} \cdots\cdots (3.\ 11)$$

ここで，X_r は r 次における $\{X\}$ の要素であり，かつ

$\{r_{rx}\} = -\{\phi_r\}^T \cdot [m] \cdot \{\ddot{u}_{gx}\}$，

$\{r_{ry}\} = -\{\phi_r\}^T \cdot [m] \cdot \{\ddot{u}_{gy}\}$，

$\{r_{rz}\} = -\{\phi_r\}^T \cdot [m] \cdot \{\ddot{u}_{gz}\}$

（3. 11）式から，x 方向への最大の r 次の変位は，

$$\{u_{rx}\}_{max} = \{\phi_r\} \cdot \beta_{rx} \cdot S_x(\omega_r) \cdots\cdots (3.\ 12)$$

ここで，β_{rx} は r 次モードにおける刺激係数であり，

$$\beta_{rx} = \frac{\{\phi_r\}^T \cdot [m] \cdot \{I_x\}}{\{\phi_r\}^T \cdot [m] \cdot \{I_r\}}$$

$S_x(\omega_r)$ は固有角振動数 ω_r に対応する x 方向のスペクトル変位であり，I_x は x 方向のみ1で他は0のベクトルである。同様に

$$\{u_{ry}\}_{max} = \{\phi_r\} \cdot \beta_{ry} \cdot S_y(\omega_r) \cdots\cdots (3.\ 13)$$

$$\{u_{rz}\}_{max} = \{\phi_r\} \cdot \beta_{rz} \cdot S_y(\omega_r) \cdots\cdots (3.\ 14)$$

である。

本解析コードでは，1次から p 次までの振動による最大変位と応力を二乗和平方根法（Square Root of the Sum of the Square）にて計算する。

3.4　解析フローチャート

本解析コードを用いて行う評価フローチャートを図3－1に示す。

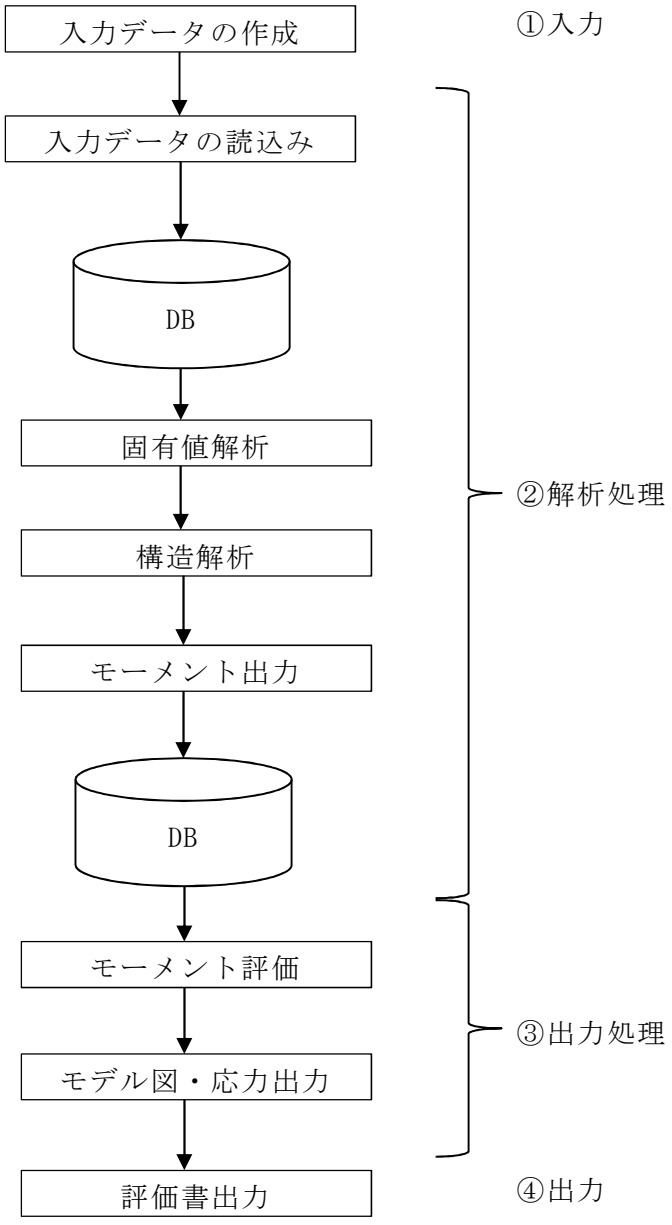
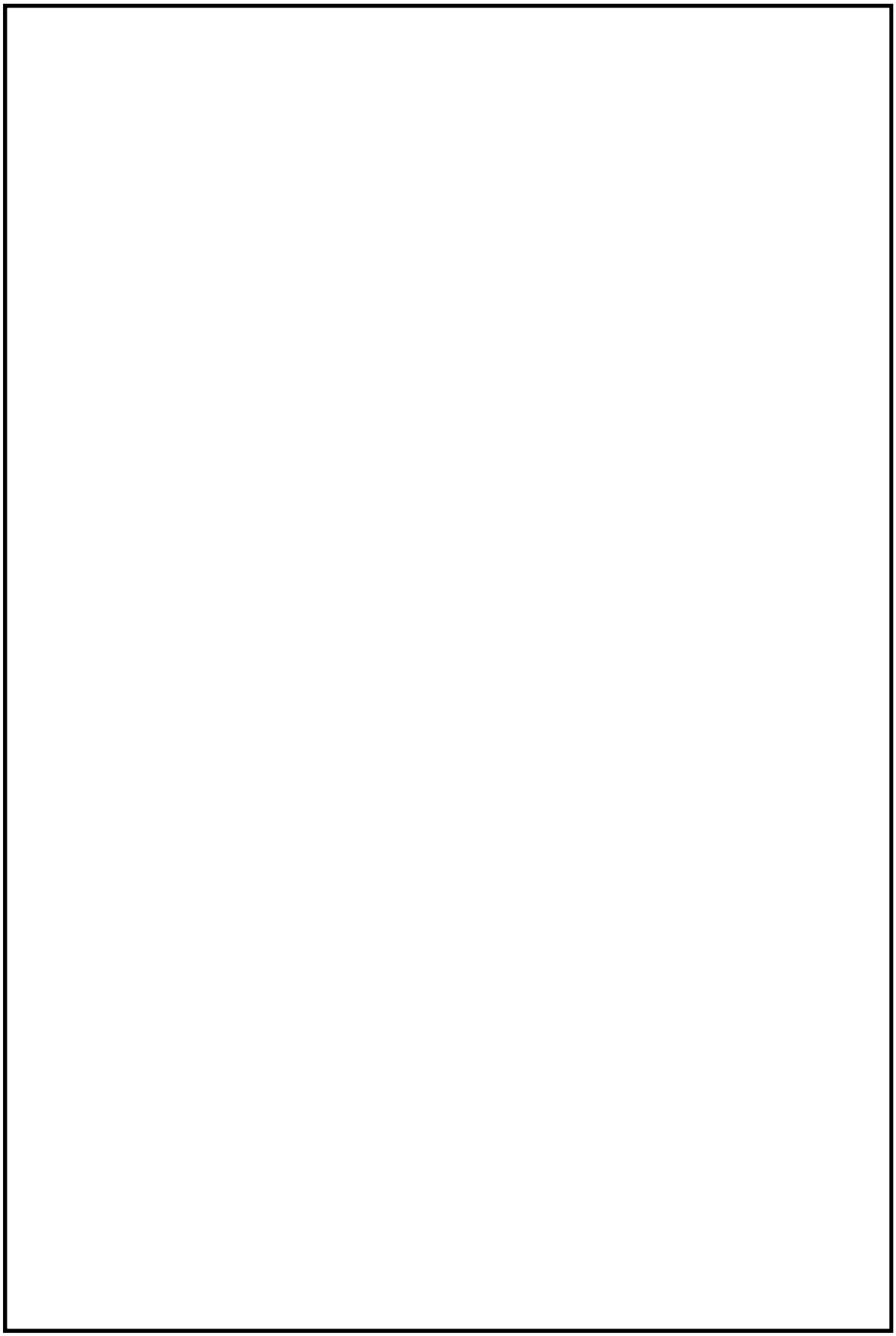
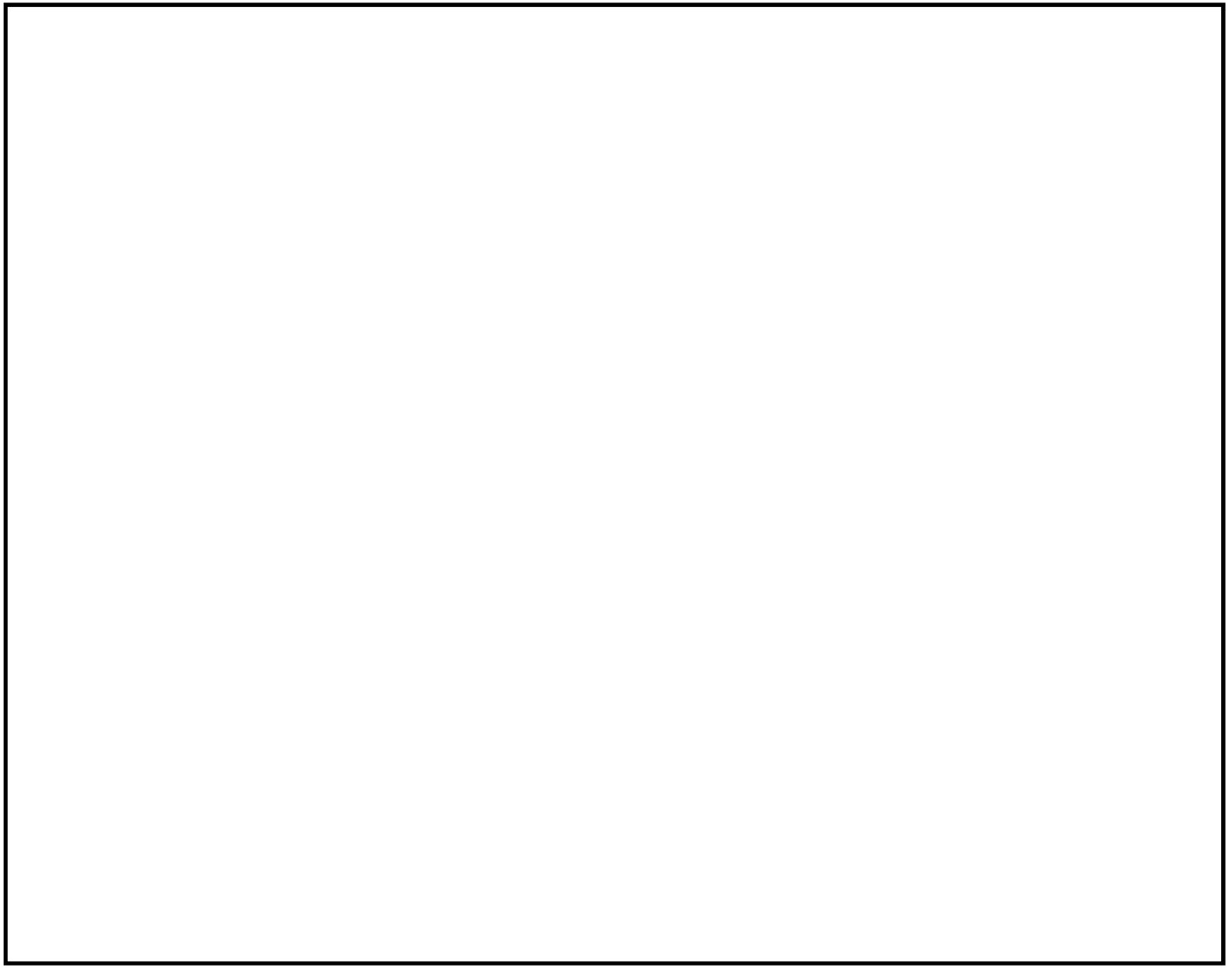


図3－1　計算機コード「ＮｕＰＩＡＳ」を用いた評価フロー

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

3.5.1　他コードとの比較による検証





3.5.2　使用内容に対する妥当性

本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

・原子力の分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。

・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルによる管の応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。

4.　参考文献

別紙３　ＡＢＡＱＵＳ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-3-3-1-1-2	主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの強度計算書	Ver.6.4-4
Ⅴ-3-3-6-1-1-1	原子炉格納容器コンクリート部の強度計算書	Ver.6.14-6
Ⅴ-3-別添 1-4-3	竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの強度計算書	Ver.6.14-3
Ⅴ-3-別添 1-5	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	Ver.6.14-2 Ver.R2018x

2. 解析コードの概要

2.1 ＡＢＡＱＵＳ Ver.6.4-4

コード名 / 項目	ＡＢＡＱＵＳ
使用目的	2 次元有限要素法（軸対称モデル）による応力評価
開発機関	Hibbitt,Karlsson and Sorensen,Inc
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Ver.6.4-4
コードの概要	本解析コードは，米国 Hibbitt，Karlsson and Sorensen，Inc（HKS 社）で開発された有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。 適用モデルは 1 次元～3 次元の任意形状の構造要素，連続体要素について取り扱うことが可能であり，静的応力解析，動的応力解析，熱応力解析，伝熱解析，座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり，境界条件として，熱流束，温度，集中荷重，分布荷重，加速度等を取り扱うことができる。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・今回使用する適用モデル（軸対称モデル）について，解析結果が理論モデルによる理論解と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・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，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を持ち，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の工事計

	画認可申請で使用する 2 次元有限要素法（軸対称モデル）による応力解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・使用する解析モデルは，既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格及び文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。

2.2　ＡＢＡＱＵＳ　Ver.6.14-6

コード名 / 項目	ＡＢＡＱＵＳ
使用目的	3 次元有限要素法による応力解析（弾塑性）
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978 年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen,Inc） 2005 年（ダッソー・システムズ株式会社）
使用したバージョン	Ver.6.14-6
コードの概要	本解析コードは，米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され，ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機コードである。 適用モデルは 1 次元～3 次元の任意形状の構造要素，連続体要素について取り扱うことが可能であり，静的応力解析，動的応力解析，熱応力解析，伝熱解析，座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり，境界条件として，熱流束，温度，集中荷重，分布荷重，加速度等を取り扱うことができる。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは,原子炉格納容器コンクリート部の 3 次元有限要素法による応力解析に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・面外集中荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の実験についてシミュレーション解析を行い，実験結果の荷重－変位関係と解析結果の比較をすることにより，本解析コードの当該解析機能の妥当性を確認している。 ・既往知見におけるプレストレストコンクリート製格納容器の耐圧実証試験及びシミュレーション解析の荷重－変位関係により，本解析コードの当該解析機能の妥当性を確認している。 ・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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・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，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・今回の工事計画認可申請における用途及び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。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する 3 次元有限要素法（積層シェル要素）による応力解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証内容のとおり，鉄筋コンクリートの応力解析について検証しており，今回の工事計画認可申請において適正な材料構成則を設定していることから，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。

2.3　ＡＢＡＱＵＳ　Ver.6.14-2

コード名 / 項目	ＡＢＡＱＵＳ
使用目的	有限要素法による衝突解析
開発機関	Dassault Systèmes Simulia Corp.
開発時期	2013 年
使用したバージョン	Ver.6.14-2
コードの概要	本解析コードは有限要素法による構造物の静的及び動的な大非線形応答を求めるための汎用解析コードである。解法は時間積分を用いた陽解法に基づいており，構造物の耐衝撃設計を行うことを前提に，衝突問題をモデル化する為に開発されたものである。特に接触/摩擦が多く存在する相互作用問題の解析に優れている。 本解析コードは以下の結果を算出することができる。 ・節点の変位，速度，加速度の最大応答値，及び応答時刻歴 ・構造部材に作用する接触力，断面力，応力，ひずみ，及びダメージ指標 本解析コードは原子力の分野における使用実績を有している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析で使用した Abaqus Ver.6.14-2 から実績のある Abaqus Ver.6.14-3 までのバージョンアップにおいて，本解析で使用するコマンドに関して解析結果に影響するプログラム変更がないことを各バージョンのリリースノートより確認した。 ・最新バージョンへの改訂において，解析結果に大きな影響を与える不具合に伴う改訂が行われていないことを確認した。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・バージョンの差分は，ソルバーの処理能力向上，接触間

	題におけるシェル交差部の板厚オフセットの扱いの向上，材料モデルの追加，出力書式の追加，プレポスト処理のパフォーマンス向上であるが，今回の使用範囲における解析結果に影響を及ぼさない。 ・本解析における用途及び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　ＡＢＡＱＵＳ　Ver.6.14-3

コード名 / 項目	ＡＢＡＱＵＳ
使用目的	3 次元有限要素法（はり要素,シェル要素及びソリッド要素）による衝突解析
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978 年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen,Inc） 2005 年（ダッソー・システムズ株式会社）
使用したバージョン	Ver.6.14-3
コードの概要	本解析コードは，米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され，ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機コードである。 適用モデルは 1 次元～3 次元の任意形状の構造要素，連続体要素について取り扱うことが可能であり,陽的時間積分を用いた非線形動的過渡応答解析の機能を有している。特に衝突問題などの高速な動的事象や複雑な接触相互作用を含む問題を取り扱うことができる。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードによる衝突解析の結果が理論解と概ね一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・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，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を持ち,妥当性は十分に確認されている。

	・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する 3 次元有限要素法による衝突解析に，本解析コードが適用できることを確認している。

2.5　ＡＢＡＱＵＳ　Ver.R2018x

コード名 / 項目	ＡＢＡＱＵＳ
使用目的	有限要素法による衝突解析
開発機関	Dassault Systèmes Simulia Corp.
開発時期	2018 年
使用したバージョン	Ver.R2018x
コードの概要	本解析コードは有限要素法による構造物の静的及び動的な大非線形応答を求めるための汎用解析コードである。解法は時間積分を用いた陽解法に基づいており，構造物の耐衝撃設計を行うことを前提に，衝突問題をモデル化する為に開発されたものである。特に接触/摩擦が多く存在する相互作用問題の解析に優れている。 本解析コードは以下の結果を算出することができる。 ・節点の変位，速度，加速度の最大応答値，及び応答時刻歴 ・構造部材に作用する接触力，断面力，応力，ひずみ，及びダメージ指標 本解析コードは原子力の分野における使用実績を有している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析で使用した Abaqus R2018x は，実績のある Abaqus Ver.6.14-3 からのバージョンアップにおいて，本解析で使用するコマンドに関して解析結果に影響するプログラム変更がないことを各バージョンのリリースノートより確認した。 ・最新バージョンへの改訂において，解析結果に大きな影響を与える不具合に伴う改訂が行われていないことを確認した。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・バージョンの差分は，サポート OS の変更，ソルバーの

	処理能力向上，接触問題における接触エッジの効率化，使用可能な要素の追加，出力書式の追加，プレポスト処理のパフォーマンス向上であるが，今回の使用範囲における解析結果に影響を及ぼさない。 ・本解析における用途及び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。

3.　解析手法

3.1　ＡＢＡＱＵＳ　Ver.6.14-6 の解析手法

3.1.1　一般事項

本解析コードは，有限要素法による汎用非線形構造解析プログラムである。材料非線形性，幾何学的非線形性及び接触問題を含む境界非線形性を考慮した構造物の静的応力変形解析，動的解析，熱伝導解析，音響解析機能等が提供されている。また，各分野特有の連成問題（熱応力，構造－流体連成等）も解析可能である。本解析コードは，原子炉格納容器コンクリート部の3次元有限要素法による応力解析（弾塑性）に使用している。

3.1.2　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。

・非線形構造問題（材料及び幾何学的非線形）に必要な機能が充実している。
・数多くの要素及び材料構成則が提供されており，多様な構造物のモデル化が可能である。
・連成問題が解析可能である。

また，今回の解析における本解析コードの使用要素は複合シェル要素（積層シェル要素），はり要素及びトラス要素（ロッド要素）である。

3.1.3 解析手法

有限要素法による評価は，次の手順で行う。

① 要素内の変位を仮定し，節点変位を使って要素内任意点の変位を表現する。

$$\{u\}=[N]\{u_e\} \tag{3.1}$$

ここで，

$\{u\}$ ：要素内任意点の変位
$[N]$ ：形状関数マトリックス
$\{u_e\}$ ：節点変位

② 上記の変位を微分して，要素内任意点のひずみを節点変位により表す。

$$\{\varepsilon\}=[B]\{u_e\} \tag{3.2}$$

ここで，

$\{\varepsilon\}$ ：要素内任意点のひずみ
$[B]$ ：ひずみマトリックス

③ 材料物性から求められる応力とひずみの関係式である(3.3)式より定められる弾性係数マトリックスを用いて，要素剛性マトリックスを(3.4)式より計算する。

$$\{\sigma\}=[D]\{\varepsilon\} \tag{3.3}$$

$$[K_e]=\int [B]^T[D][B]\,dV \tag{3.4}$$

ここで，

$\{\sigma\}$ ：要素内任意点の応力
$[D]$ ：材料の応力－ひずみ接線マトリックス
$[K_e]$ ：要素剛性マトリックス

④　全体の剛性マトリックスを要素剛性マトリックスの重ね合わせによって求め，力の釣合いより静的変位は(3.5)式，また動的変位は(3.6)式より求める。

$$\{f\}=[K]\{\gamma\} \tag{3.5}$$

$$\{f\}=[M]\{\ddot{\gamma}\}+[K]\{\gamma\} \tag{3.6}$$

ここで，

$\{f\}$ ：荷重ベクトル

$\{\gamma\}$ ：構造全体の変位

$$\{\gamma\}=\begin{Bmatrix} U_{e1} \\ U_{e2} \\ \vdots \\ U_{en} \end{Bmatrix}$$

$U_{e1}, U_{e2}, \cdots, U_{en}$ ：各節点の節点変位

$\{\ddot{\gamma}\}$ ：構造全体の加速度

$[M]$ ：質量マトリックス

$[K]$ ：剛性マトリックス

⑤　変位が決まれば，(3.2)式，(3.3)式より各要素の応力が求められる。

3.1.4　解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図3－1に示す。

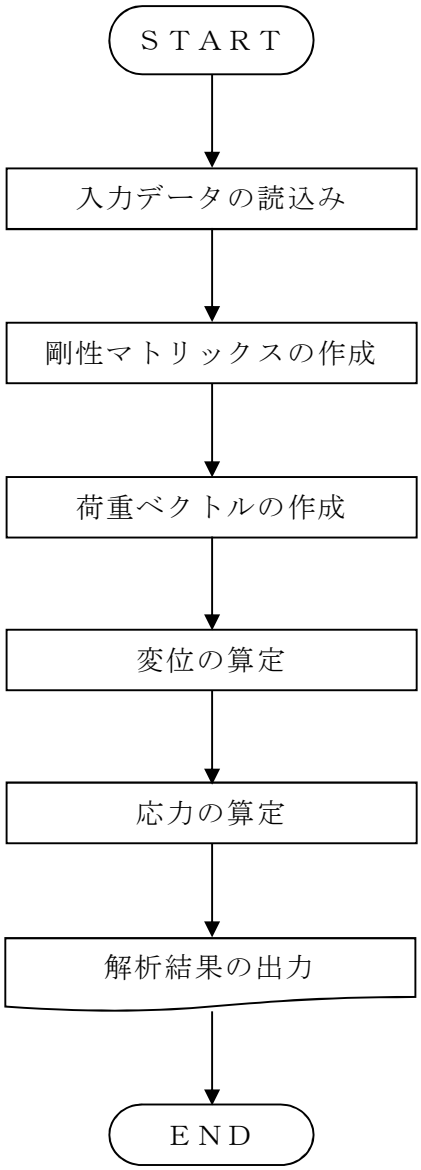


図 3－1　解析フローチャート

3.1.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

(1)　実験結果とシミュレーション解析の比較による検証

a.　検証概要

本解析コードが静的非線形解析において妥当であることを検証する。

文献（引用文献(1)参照）に示される面外方向集中荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の崩壊問題を，鉄筋の層を埋め込んだシェル要素でモデル化し静的非線形解析を行い，実験結果の荷重－変位関係と解析結果の整合を確認する。

b.　検証モデル

図 3－2 に解析モデルを示す。正方形の鉄筋コンクリート造平板は 4 隅で鉛直方向に支持されており，中央に集中荷重を受ける。スラブは厚さ方向の 75%の位置で，2 方向に配筋されている。鉄筋比（鉄筋の体積/コンクリートの体積）は，各方向に対し 8.5×10^{-3} である。

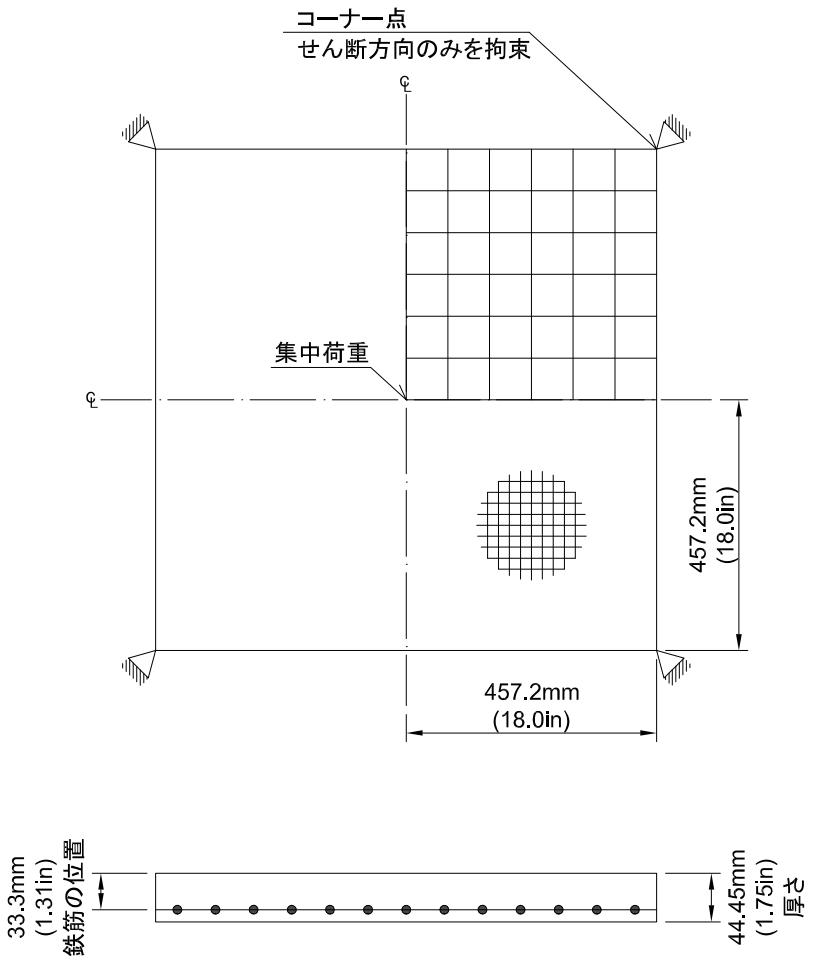


図 3－2　解析モデル

c. 材料物性値

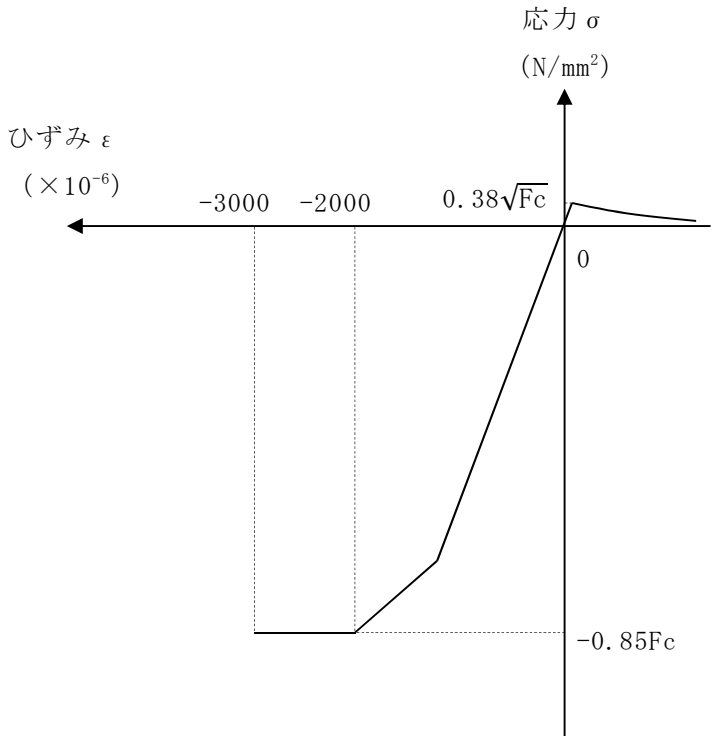
表 3－1 に解析に用いる材料物性値を示す。材料物性値は原則として文献(引用文献(1)及び引用文献(2)参照) に記載の値を用いる。

表 3－1 解析に用いる材料物性値

諸元		物性値
コンクリート	設計基準強度 Fc	37.92 N/mm^2 (5500 lb/in^2)
	ヤング係数	2.86×10^4 N/mm^2 (4150000 lb/in^2)
	ポアソン比	0.15
鉄筋	降伏強度 σ_y	345 N/mm^2 (50000 lb/in^2)
	ヤング係数	2.00×10^5 N/mm^2 (29000000 lb/in^2)

d.　材料構成則

図 3－3 に材料構成則を示す。



Fc：コンクリートの設計基準強度

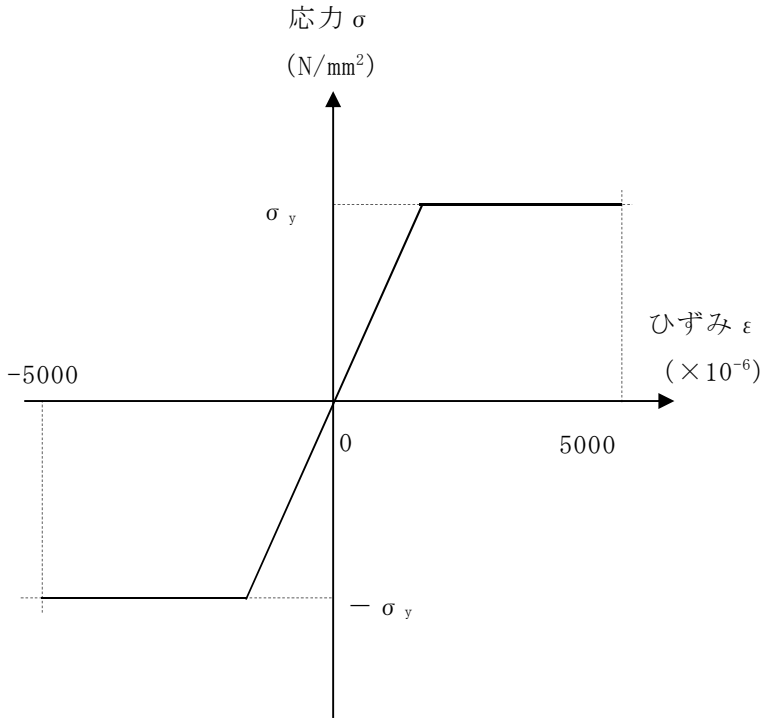
項目	設定
圧縮強度	-0.85Fc（CCV 規格）
終局圧縮ひずみ	-3000μ（CCV 規格）
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定（引用文献(3)参照）
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか(1987)による式(c=0.4)（引用文献(4)参照）
引張強度	σ_t=0.38$\sqrt{Fc}$（「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）」）

(a)　コンクリートの応力－ひずみ関係

図 3－3　材料構成則(1/2)

・鉄筋の構成則：バイリニア型

・終局ひずみ：±5000μ（CCV 規格）



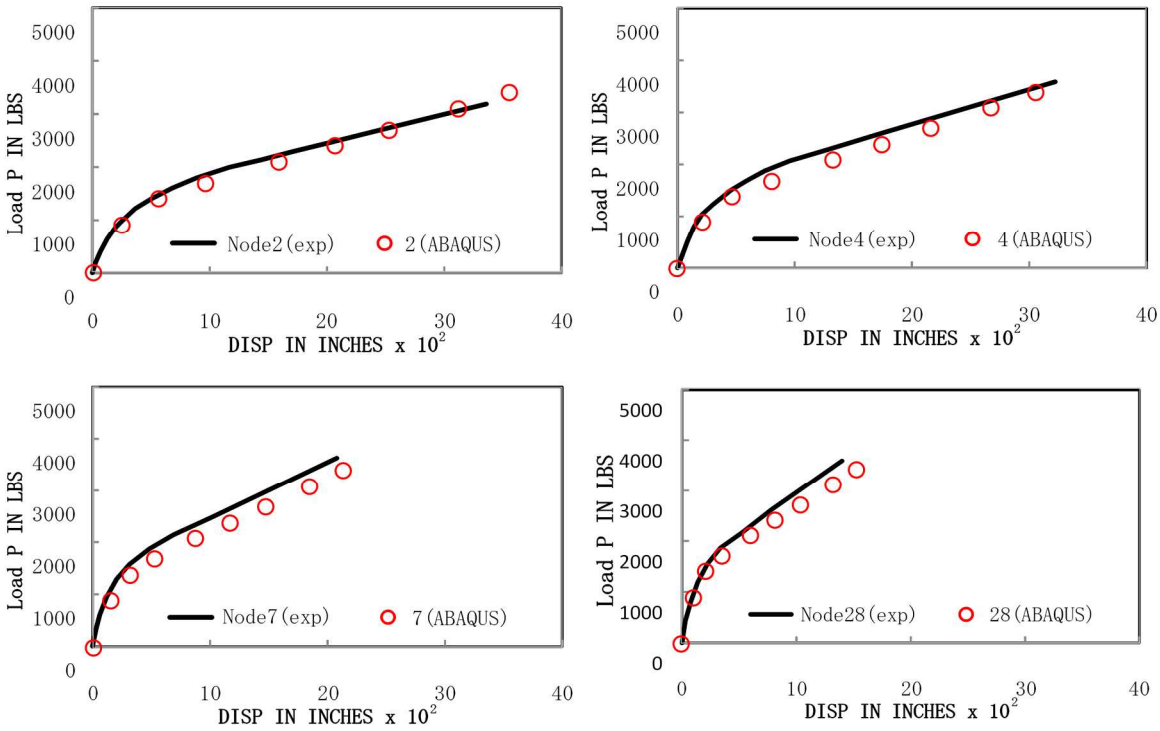
σ y：鉄筋の降伏強度

(b)　鉄筋の応力－ひずみ関係

図 3－3　材料構成則(2/2)

e. 解析結果

解析結果の荷重－変形関係を文献の図（引用文献(1)参照）に重ねて図 3－4 に示す。図より両者は概ね一致していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。



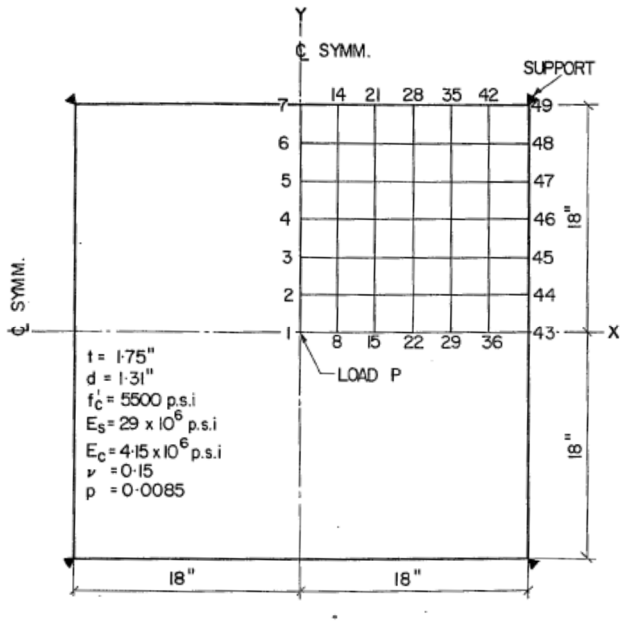


FIG. 7.—CORNER SUPPORTED TWO-WAY SLAB

図 3－4　検証解析結果

(2) 既往知見による検証

a. 概要

本解析コードが静的非線形解析において妥当であることを検証する。

財団法人 原子力発電技術機構（NUPEC）の原子炉格納容器信頼性実証事業において実施された，プレストレストコンクリート製格納容器（以下「PCCV」という。）の耐圧実証試験及びシミュレーション解析（引用文献(5)参照）により，試験結果の荷重－変位関係と解析結果の整合を確認する。

b. PCCV の耐圧実証試験及びシミュレーション解析

図 3－5 に試験体外形図と主要諸元を，図 3－6 にシミュレーション解析モデルを示す。基礎版，円筒胴部及びドーム部より構成される PCCV 構造の 1/4 縮尺モデルを用いて，高圧窒素ガスを準静的に注入することにより，躯体限界圧挙動及びライナの限界圧時の漏えい挙動を実験的に把握することを目的として試験が行われている。

シミュレーション解析は，本解析コードを用いて実施しており，コンクリート及びライナは積層シェル要素，鉄筋は積層シェル内に鉄筋層，テンドンについては要素軸方向の剛性のみ有するはり要素としてモデル化されている。材料は表 3－2 に示す構成則が用いられており，PCCV の耐圧実証試験と同様に終局状態まで載荷し弾塑性挙動を確認している。

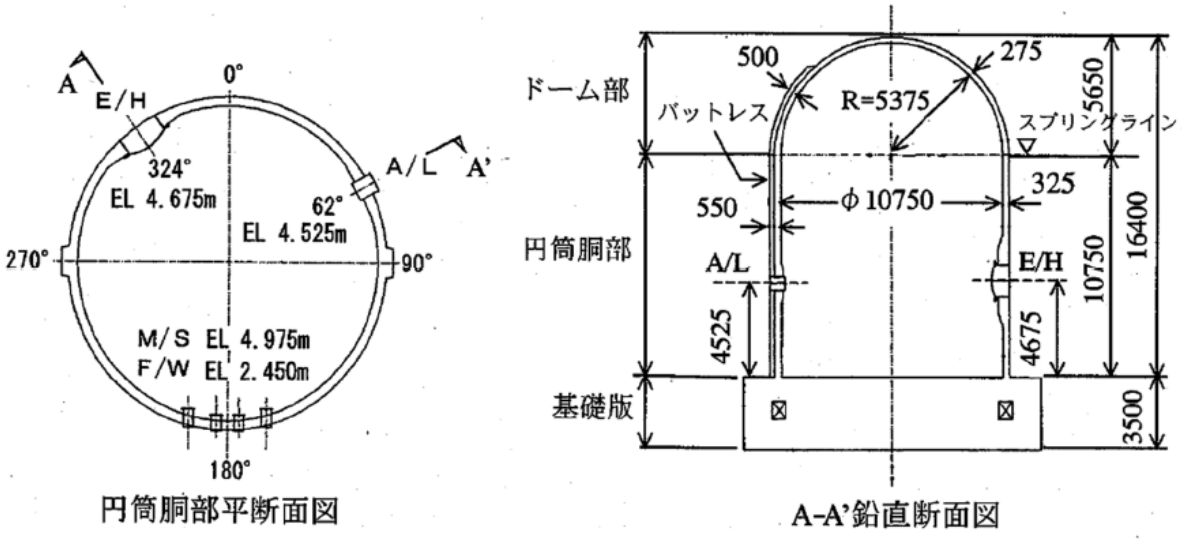


図 3－5 試験体外形図と主要諸元（引用文献(5)より引用）

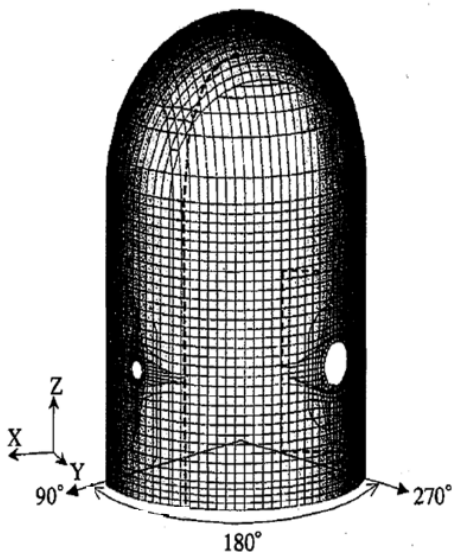


図 3－6　シミュレーション解析モデル（引用文献(5)より引用）

表 3－2　シミュレーション解析における構成則

項目		設定
コンクリート	圧縮側のコンクリート構成則	修正 Kent&Park に基づき設定（引用文献(6)参照）
	ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか（1987）による式（c=0.4）（引用文献(4)参照）
鉄筋	応力－ひずみ関係	バイリニア型

c. 解析結果

解析結果の内圧－半径方向変位関係を図 3－7 に示す。実験と解析による載荷挙動を比較すると，最大圧力に至るまでの試験結果の変位挙動が良好に模擬されており，適正な材料構成則を使う限りはほぼ妥当な評価ができ，実機の評価において本解析コードを適用することは妥当であるとされている。

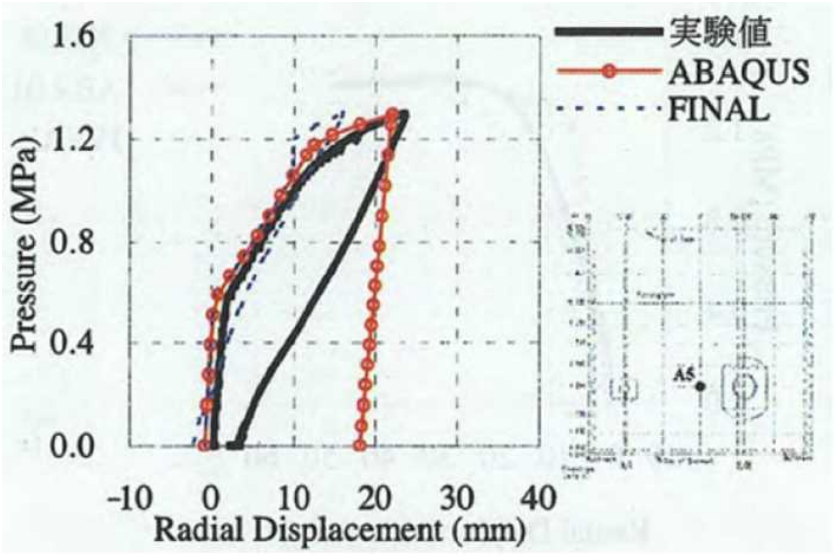


図 3－7　内圧－半径方向変位関係（引用文献(5)より引用）

(3) 妥当性確認

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。

・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，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。

・今回の工事計画認可申請における用途及び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。

・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（積層シェル要素）による応力解析に，本解析コードが適用できることを確認している。

・検証内容のとおり，鉄筋コンクリートの応力解析について検証しており，今回の工事計画認可申請において適正な材料構成則を設定していることから，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。

(4) 評価結果

(1)，(2)及び(3)より，本解析コードを使用状況一覧に示す解析に用いることは妥当である。

3.1.6 引用文献

(1) Jofriet J. C. & G. M. McNeice：Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs, Journal of the Structural Division, ASCE 1971, Vol. 97, No.ST3

(2) Gilbert R. I. & R. F. Warner：Tension Stiffening In Reinforced Concrete Slabs, Journal of the Structural Division, ASCE 1978, Vol. 104, No.ST12

(3) Comite Euro-International du Beton：CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE)，1993

(4) 出雲淳一，島弘，岡村甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル，コンクリート工学，Vol.25，No.9，1987.9

(5) 財団法人　原子力発電技術機構：重要構造物の安全評価（原子炉格納容器信頼性実証事業）に関する統括報告書，平成15年3月

(6) Park, R., Priestley, M. J. N. and Gill, W. D.：Ductility of Square-Confined Concrete Columns, J. Struct. Div., ASCE, Vol. 108, No. ST4, PP.929-950, 1982

3.2　ＡＢＡＱＵＳ　Ver.6.14-3 の解析手法

3.2.1　概要

本解析コードは，有限要素法による汎用非線形構造解析プログラムであり，幅広い種類の非線形の固体力学問題や構造力学問題を解くために有効である。陽的動解プロシージャは，陰的解析では収束が困難な極めて複雑な接触問題であっても簡単に解くことができる。本解析コードは，竜巻防護鉄筋コンクリート製フードの3次元有限要素法による衝突解析（弾塑性）に使用している。

3.2.2　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。

- 非線形構造問題（材料及び幾何学的非線形）に必要な機能が充実している。
- 数多くの要素及び材料構成則が提供されており，多様な構造物のモデル化が可能である。
- 連成問題が解析可能である。
- 衝突など高速な動的現象を扱うことが可能である。
- 物体間の複雑な接触相互作用が含まれる問題を解析することが可能である。

3.2.3　解析手法

陽的動的解析による評価は，次の手順で行う。

(3.1)式に示すとおり，与えられた外力と内力の動的釣り合いを満たすことにより，加速度が求まる。

次に，加速度は一定であると仮定して，速度の変化量を計算し，直前の速度と加算することにより速度が求まる。（(3.2)式）

さらに，得られた速度の時間積分を行い，直前の変位と加算することにより変位が求まる。（(3.3)式）

$$\ddot{u}_{(t)} = M^{-1} \cdot \left(P_{(t)} - I_{(t)} \right) \tag{3.1}$$

$$\dot{u}_{(t+\Delta t/2)} = \dot{u}_{(t-\Delta t/2)} + \frac{\left(\Delta t_{(t+\Delta t)} + \Delta t_{(t)} \right)}{2} \cdot \ddot{u}_{(t)} \tag{3.2}$$

$$u_{(t+\Delta t)} = u_{(t)} + \Delta t_{(t+\Delta t)} \cdot \dot{u}_{(t+\Delta t/2)} \tag{3.3}$$

ここで，

t　：時間

Δt　：時間増分

M　：節点質量マトリックス

P　：与えられた外力

I　：要素の内力

$\ddot{u}$　：節点加速度

$\dot{u}$　：節点速度

u　：節点変位

ひずみ速度$\Delta \varepsilon$からひずみ増分$\dot{\varepsilon}$を計算し，要素の構成方程式により要素応力を求める。

$$\sigma_{(t+\Delta t)} = f\left(\sigma_{(t)}, \Delta \varepsilon \right) \tag{3.4}$$

ここで，

σ　：要素応力

f　：要素の構成方程式

求まった応力から各節点における内力$I_{(t+\Delta t)}$を計算し，次ステップの計算に進む。

3.2.4　解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 3－1 に示す。

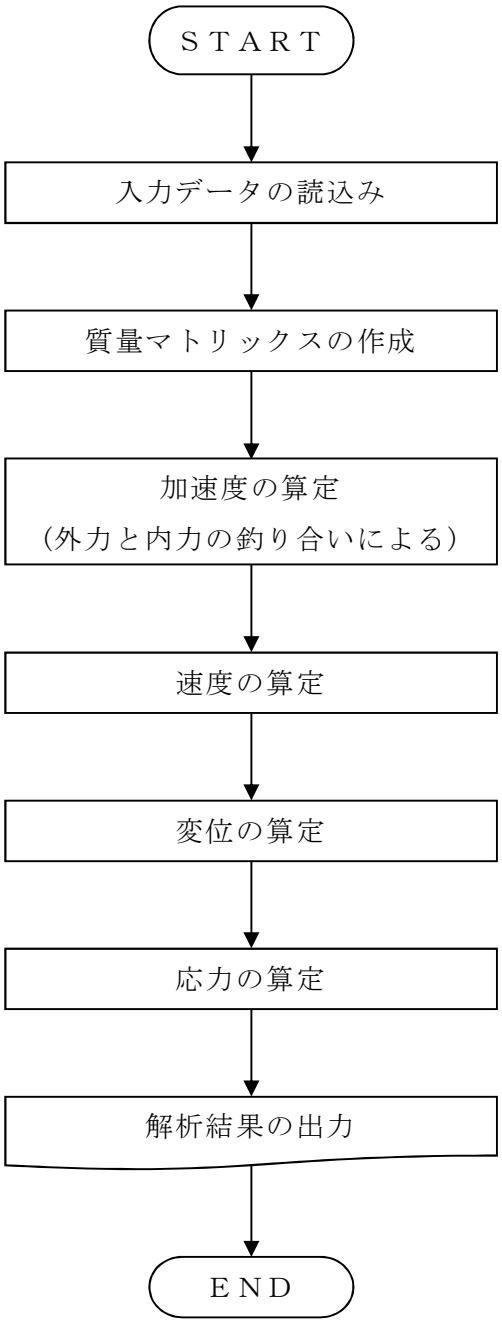


図 3－1　解析フローチャート

3.2.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

(1)　検証

a.　接触相互作用の検証

(a)　検証概要

自由落下する落下物の衝撃荷重が作用する弾性体の変形について確認を行う。

(b)　検証モデル

図 3－2 に解析モデルを示す。正方形の被衝突体（弾性体）は四辺を完全固定とし，中央に落下物の衝撃荷重を受ける。

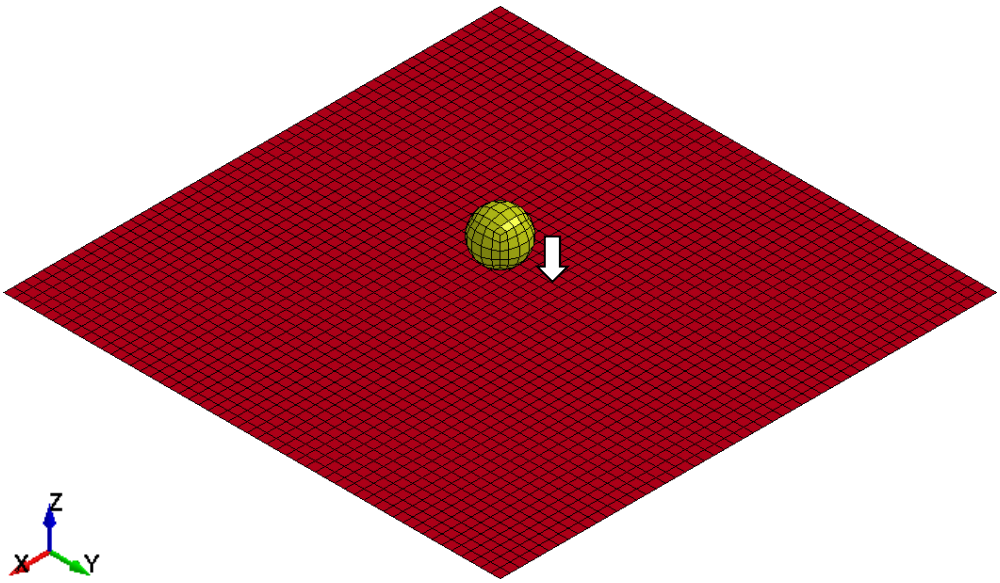


図 3－2　解析モデル

(c) 材料物性値

表 3－1 に解析に用いる材料物性値を示す。

表 3－1　解析に用いる材料物性値

諸元		物性値
被衝突体（弾性体）	サイズ	幅 10000 mm×奥行 10000 mm×厚さ 500 mm
	ヤング係数	2.44×10^{4} N/mm^2
	ポアソン比	0.2
	質量	0 t
落下物（球体）	サイズ	直径 1000 mm
	質量	100 t
摩擦係数		0
減衰		0

(d) 理論解

質量Mの剛体が高さｈより自由落下した場合，弾性体に蓄えられる全ひずみエネルギーU_iは(3.5)式で表される。また，衝撃荷重による弾性体の変形を考慮した場合の落下物の位置エネルギーU_pは(3.6)式で表される。

$$U_i = P\cdot\frac{\delta}{2} = K\cdot\frac{\delta^2}{2} \tag{3.5}$$

$$U_p = M\cdot g\cdot(h+\delta) = K\cdot\delta_s\cdot(h+\delta) \tag{3.6}$$

ここで，

Ｐ　：衝撃荷重

Ｋ　：弾性体の曲げ剛性

Ｍ　：落下物の質量

ｈ　：落下高さ

δ　：衝撃による弾性体の変形量

δ_s：弾性体自重（静的荷重）作用時の変形量

ｇ　：重力加速度

(3.7)式のように弾性体に蓄えられる全ひずみエネルギーが落下物の位置エネルギーと等しいと仮定すると，(3.5)式及び(3.6)式から(3.8)式が得られ，弾性体の変形量は(3.9)式に，衝撃荷重は(3.10)式となる。

$$U_i = U_p \tag{3.7}$$

$$K \cdot \frac{\delta^2}{2} - K \cdot \delta_s \cdot (h + \delta) = 0 \tag{3.8}$$

$$\delta = \delta_s + \sqrt{\delta_s^2 + 2 \cdot h \cdot \delta_s} \tag{3.9}$$

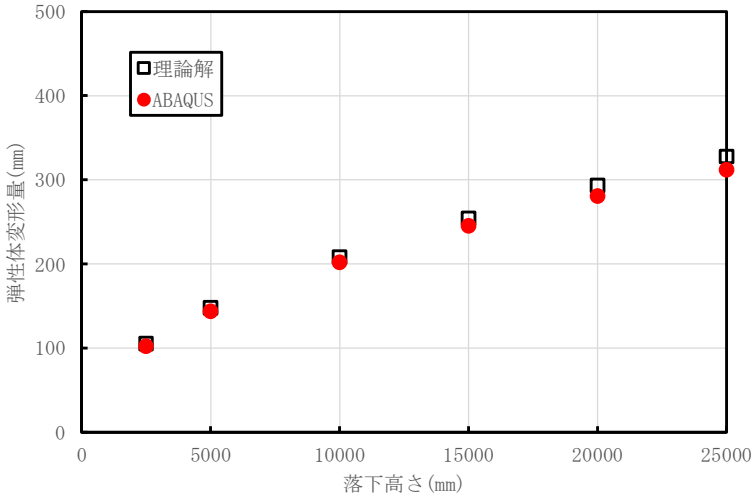
$$P = \frac{2 \cdot M \cdot g \cdot (h + \delta)}{\delta} \tag{3.10}$$

(e) 解析結果

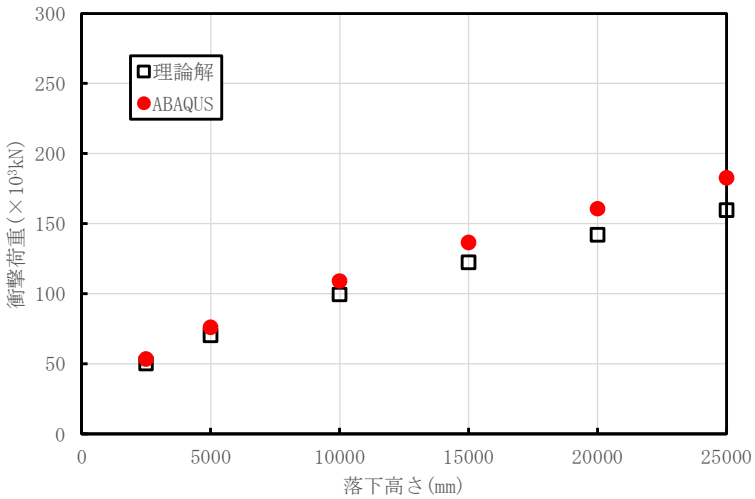
解析結果の弾性体変形量及び衝撃荷重の比較を表 3－2 及び図 3－3 に示す。図より両者は概ね一致していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

表 3－2　理論解との比較

落下高さ (mm)	弾性体変形量			衝撃荷重		
	ABAQUS (mm)	理論解 (mm)	比率 (－)	ABAQUS ($\times 10^3$kN)	理論解 ($\times 10^3$kN)	比率 (－)
2500	102	105	0.97	53	50	1.06
5000	144	148	0.97	76	70	1.08
10000	201	208	0.97	109	99	1.10
15000	245	254	0.96	136	122	1.12
20000	281	293	0.96	161	142	1.13
25000	312	327	0.95	183	159	1.15



(a)　落下高さに対する弾性体変形量の比較



(b)　落下高さに対する衝撃荷重の比較

図 3－3　解析結果の比較

b.　材料構成則の検証

(a)　検証概要

本解析コードで使用するコンクリートの材料構成則について確認を行う。

(b)　検証モデル

図 3－4 に解析モデルを示す。ソリッド要素モデルに対して，1 方向（圧縮・引張）に速度を与える。

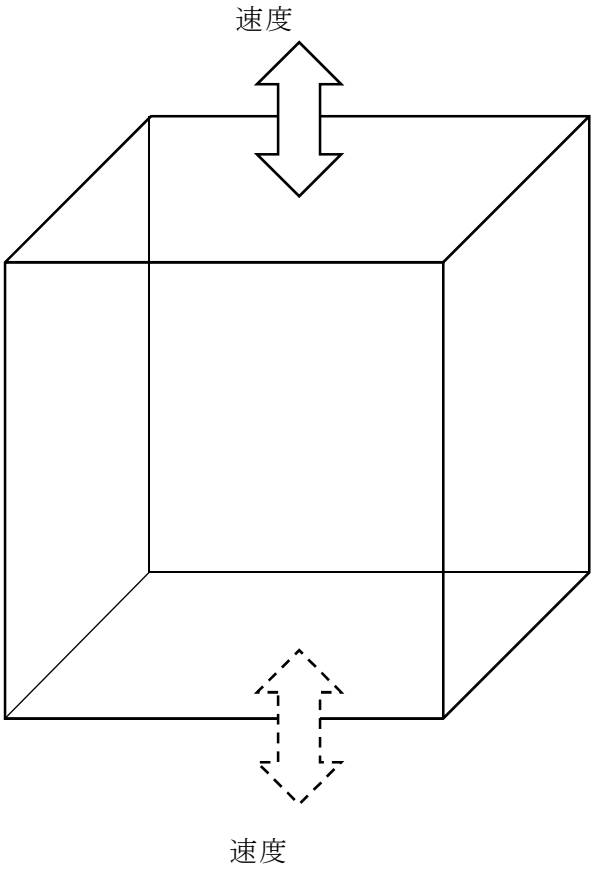


図 3－4　解析モデル

(c) 材料物性値

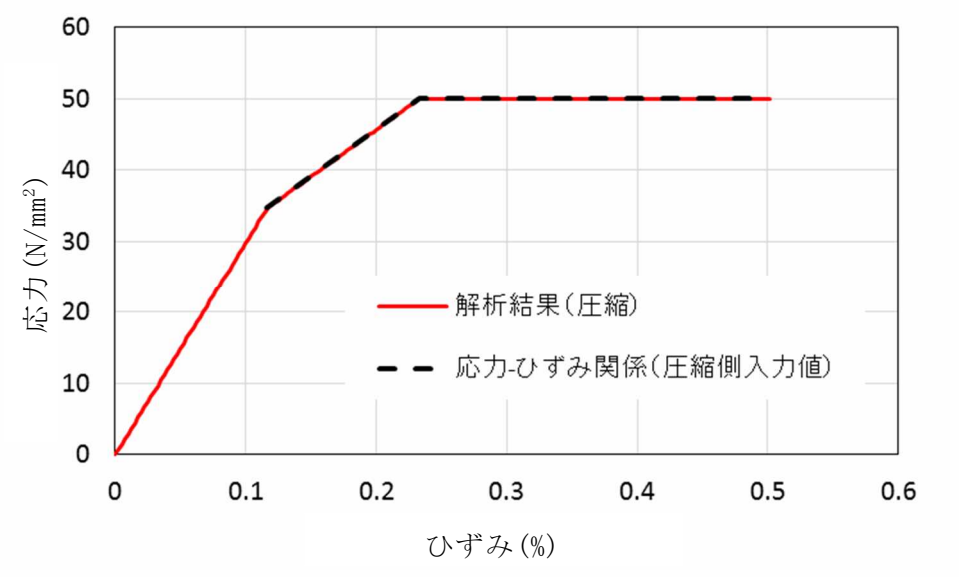
表 3－3 に解析に用いる材料物性値を示す。

表 3－3　解析に用いる材料物性値

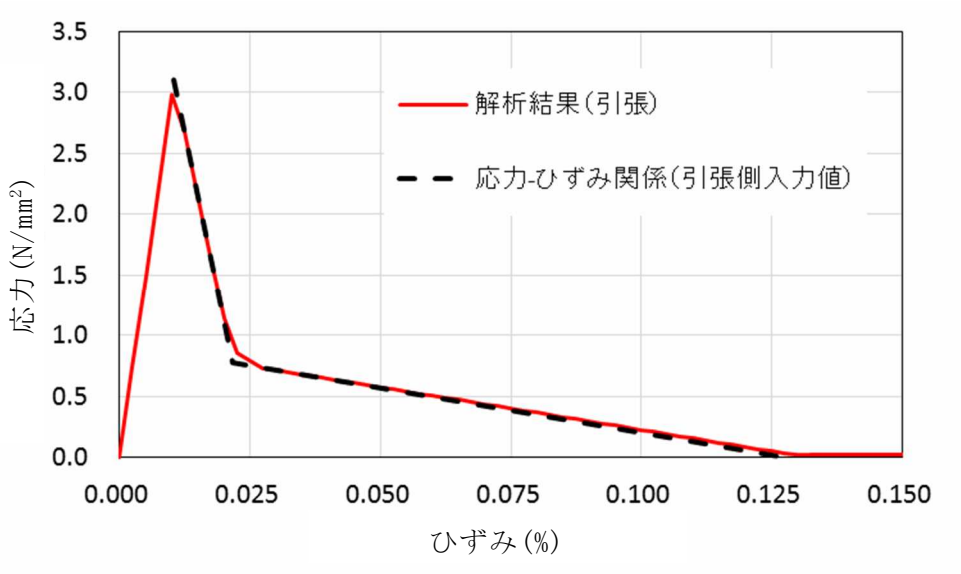
項目	物性値
圧縮強度	50.0 N/mm^2
引張強度	3.0 N/mm^2
密度	2.0×10^{-9} t/mm^3
ヤング係数	29780 N/mm^2
ポアソン比	0.2

(d)　解析結果

解析結果を図 3－5 に示す。図より入力値と解析結果はほぼ一致していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。



(a)　圧縮



(b)　引張

図 3－5　解析結果の比較

(2) 妥当性確認

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。

- 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，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。
- 今回の工事計画認可申請における用途及び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。
- 開発機関が提示するマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する 3 次元有限要素法による衝突解析に，本解析コードが適用できることを確認している。
- 検証内容のとおり，落下物の衝突問題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。

(3) 評価結果

(1)及び(2)より，本解析コードを使用状況一覧に示す解析に用いることは妥当である。

3.2.6 引用文献

(1) WARREN C. YOUNG, RICHARD G.BUDYNAS：Roark’s Formulas for Stress and Strain

別紙４　ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-3-3-2-1-3	残留熱除去系ストレーナの強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-3-2-1-4	残留熱除去系ストレーナ部ティーの応力計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-3-2-1-5	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-3-3-1-2	高圧炉心注水系ストレーナの強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-3-3-1-3	高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの応力計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-3-3-1-4	高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-3-3-2-2	原子炉隔離時冷却系ストレーナの強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-3-3-2-3	原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応力計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-6-1-1-6	下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）の強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-6-1-1-7	下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付）の強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-6-2-1	ダイヤフラムフロアの強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-3-6-3-1	下部ドライウェルアクセストンネルの強度計算書	Ver.2013.0.0
Ⅴ-3-別添 2-3	軽油タンクの強度計算書	Ver.2008.0.0

2. 解析コードの概要

2.1 ＭＳＣ ＮＡＳＴＲＡＮ Ver.2013.0.0

コード名 / 項目	ＭＳＣ ＮＡＳＴＲＡＮ
使用目的	3 次元有限要素法（はりモデル及びシェルモデル）による応力解析 3 次元有限要素法（シェルモデル）による応力解析 3 次元有限要素法（シェルモデル）による固有値解析及び応力解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971 年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2013.0.0
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について,本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い,解析解が理論解と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。

	・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから，検証結果を持って，解析機能の妥当性も確認できる。 ・今回の工事計画認可申請における用途及び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 ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ　Ver.2008.0.0

コード名 / 項目	ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ
使用目的	3 次元有限要素法（シェル又ははり要素）による応力解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971 年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver.2008.0.0
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車,造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般知見により解を求めることができる体系について,本解析コードを用いた 3 次元有限要素法による応力解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い,解析解が理論解と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，自動車，航空機，土木，造船，海洋油田，工業設備，化学技術，光学及び政府調査等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分確認されている。 ・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから，解析解と理論界の一致をもって解析機能の妥当性も確認している。

	・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が 上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

別紙５　ＩＳＡＰ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-3-3-3-5-2-2	管の応力計算書	ISAP-Ⅲ

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ＩＳＡＰ
使用目的	3 次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1988 年
使用したバージョン	ISAP-Ⅲ
コードの概要	本解析コードは，汎用構造解析コード「ＳＡＰ－Ｖ」を基につくられている。「ＳＡＰ」は，米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。 任意の 3 次元形状に対して，有限要素法により静的解析，動的解析を行い，反力・モーメント・応力，固有周期・刺激係数等の算出が可能である。 本解析コードは，原子力の配管設計において，多くの実績を有している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード [redacted] による解析結果を比較し，結果が合致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，既工事計画において使用実績があることを確認している。 ・今回の工事計画認可申請で行うはり要素の固有値解析，地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして，用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲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，今回の工事計画認可申請で使用する 3 次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。

別紙６　ＬＳ－ＤＹＮＡ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 1-4-2	竜巻防護鋼製フードの強度計算書	Ver.R8.0.0
Ⅴ-3-別添 1-4-4	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書	Ver.R8.0.0
Ⅴ-3-別添 1-4-5	非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書	Ver.971
Ⅴ-3-別添 1-4-6	建屋内防護壁の強度計算書	Ver.R8.0.0 Ver.971
Ⅴ-3-別添 1-4-7	竜巻防護扉の強度計算書	Ver.R8.1.0
Ⅴ-3-別添 1-6	軽油タンクの強度計算書	Ver.R8.0.0

2. 解析コードの概要

2.1 ＬＳ－ＤＹＮＡ Ver.971

コード名 / 項目	ＬＳ－ＤＹＮＡ
使用目的	3 次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）
開発機関	Livemore Software Technology Corporation
開発時期	1987 年
使用したバージョン	Ver.971
コードの概要	本解析コードは，Lawrence Livemore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法ＤＹＮＡ３Ｄを基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。 機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群，非線形モデルを多数サポートしており，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野において多くの利用実績があり，陽的時間積分を用いていることから，衝突問題等短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また，大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。 衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力，ひずみや加速度応答等を算出する。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・開発機構マニュアルにおいて提示している 3 次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し，解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technology により，シェル要素およびソリッド要素を用いた薄肉交換の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行なわれており，解析結果と実験結果が概ね一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

	・本解析コードは，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本解析コードの適正な用途，適用範囲を確認している。 ・今回の工事計画認可申請で行う 3 次元有限要素法（シェル要素）による動的解析（衝突解析）の用途，適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・今回の工事計画認可申請において使用する Ver.971 は，他プラント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。 ・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する要素，3 次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）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　ＬＳ－ＤＹＮＡ　Ver.R8.0.0

コード名 / 項目	ＬＳ－ＤＹＮＡ
使用目的	3 次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）
開発機関	Livemore Software Technology Corporation
開発時期	1987 年
使用したバージョン	Ver.R8.0.0
コードの概要	本解析コードは，Lawrence Livemore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法ＤＹＮＡ３Ｄを基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。 機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群，非線形モデルを多数サポートしており，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野において多くの利用実績があり，陽的時間積分を用いていることから，衝突問題等短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また，大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。 衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力，ひずみや加速度応答等を算出する。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・開発機構マニュアルにおいて提示している 3 次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し，解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technology により，シェル要素およびソリッド要素を用いた薄肉交換の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行なわれており，解析結果と実験結果が概ね一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建

	築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本解析コードの適正な用途，適用範囲を確認している。 ・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法（はり要素，シェル要素）による動的解析（衝突解析）の用途，適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・今回の工事計画認可申請において使用するバージョンVer.R8.0.0は，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの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。 ・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）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　ＬＳ－ＤＹＮＡ　Ver.R8.1.0

コード名 / 項目	ＬＳ－ＤＹＮＡ
使用目的	3 次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）
開発機関	Livemore Software Technology Corporation
開発時期	1987 年
使用したバージョン	Ver.R8.1.0
コードの概要	本解析コードは，Lawrence Livemore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法ＤＹＮＡ３Ｄを基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。 機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群，非線形モデルを多数サポートしており，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野において多くの利用実績があり，陽的時間積分を用いていることから，衝突問題等短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また，大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。 衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力，ひずみや加速度応答等を算出する。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・開発機構マニュアルにおいて提示している 3 次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し，解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technology により，シェル要素およびソリッド要素を用いた薄肉交換の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行なわれており，解析結果と実験結果が概ね一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，国内外の宇宙航空，自動車，機械，建

	築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本解析コードの適正な用途，適用範囲を確認している。 ・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法（シェル要素）による動的解析（衝突解析）の用途，適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・今回の工事計画認可申請において使用するバージョンVer.R8.1.0 は，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの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。 ・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）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。

別紙７　ＤＹＮＡ２Ｅ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 1-9-2	主排気筒の強度計算書	Ver.8.0.4
Ⅴ-3-別添 2-4	原子炉建屋の強度計算書	Ver.8.0.4
Ⅴ-3-別添 2-6	コントロール建屋の強度計算書	Ver.7.2.18

2. 解析コードの概要

2.1 ＤＹＮＡ２Ｅ Ver.8.0.4

コード名 / 項目	ＤＹＮＡ２Ｅ
使用目的	立体フレームモデルによる応力解析，固有値解析及び地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972 年（センチュリリサーチセンタ（株）） 2007 年（伊藤忠テクノソリューションズ（株））
使用したバージョン	Ver.8.0.4
コードの概要	本解析コードは，土木・建築分野における 2 次元／3 次元骨組構造物の動的解析を目的として開発されたプログラムである。微小変形理論に基づき，固有値，振動モード，各質点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が求められる。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	ＤＹＮＡ２Ｅは，原子炉建屋の主排気筒及び屋根トラスの弾塑性地震応答解析に使用している。主排気筒及び屋根トラスの地震応答解析では，部材をはり要素等でモデル化している。屋根トラスでは，部材の圧縮座屈による非線形挙動に対して修正若林モデルによる履歴特性を設定している。 【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。 ・谷口らの論文及び若林らの論文に示される式から算定した履歴曲線と解析結果が一致することを確認している。 ・応答解析については，別の妥当性が確認されている解析コードによる解析結果と一致することを確認している。 ・本コードを用いた 3 次元フレームモデルによる地震応答解析結果と理論解の比較を行い，両者が一致す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。 【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，非線形挙動及び地震応答解析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。 ・電源開発株式会社大間 1 号機第 2 回工事計画認可申請書のⅣ-2-3（原子炉格納容器及び原子炉建屋の地震応答計算書）において，動的解析に使用された実績がある。 ・地震応答解析に対して，九州電力株式会社川内原子力発電所 1 号機第 1 回工事計画認可申請書の 3-16-1（原子炉格納施設の地震応答解析）において，動的解析に使用された実績があるＴＤＡＰⅢを用いた解析解と，本コードによる解析解を比較した結果，双方の解が一致していることを確認した。 ・3 次元フレームモデルに使用する要素及び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　ＤＹＮＡ２Ｅ　Ver.7.2.18

コード名 / 項目	ＤＹＮＡ２Ｅ
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2005 年
使用したバージョン	Ver.7.2.18
コードの概要	本解析コードは，土木・建築分野における 2 次元／3 次元骨組構造物の動的解析を目的として開発されたプログラムである。微小変形理論に基づき，固有値，振動モード，各質点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が求められる。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・汇用コードである [redacted] による解析解と本解析コードによる解析解を比較した結果，双方の解がおおむね一致していることを確認している。 ・汇用コードである [redacted] による解析解と本解析コードによる解析解を比較した結果，双方の解がおおむ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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，弾塑性を考慮した多質点系の地震応答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。

別紙８　ｆａｐｐａｓｅ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 1-9-2	主排気筒の強度計算書	Ver.1.63

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ｆａｐｐａｓｅ
使用目的	地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2002 年
使用したバージョン	Ver.1.63
コードの概要	本解析コードは,超高層建物の非線形地震応答解析用として開発されたインハウスコードである。 材料非線形モデルを数多くサポートしており超高層建物や免震建物の非線形地震応答解析による建築構造解析に利用実績があり,固有値解析，動的解析及び静的解析による応力等の算定が可能である。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，主排気筒の地震応答解析に使用している。 【検証（Verification）】 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，動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 【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。 ・本解析コードを用いて，以下の内容を確認している。 ① 各部別内部粘性型減衰を用いた地震応答解析を別途検証済解析コードNUPP4による等価なダッシュポットを用いた解析と比較し，同一の解析結果が得られること。 ② 既往論文に示される1層1スパンX型ブレース（筋違）架構の載荷実験のシミュレーション解析を,本解析コードを用いて同様に実施し,既往論文におけるシミュレーション解析と概ね一致すること。 ・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であること。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は，地震応答解析を行う解析コード「fappase Ver.1.63」の概要を説明するものである。本解析コードは，鹿島建設株式会社で開発した主に骨組構造を対象としたプログラムであり，時間領域における質点系モデルによる動的応答解析コードである。また，本解析コードは，以下の構築物の線形地震応答解析に使用している。

・主排気筒

3.2 解析コードの特徴

①fappase の解析機能の一例を以下に示す。

・動的解析

・静的解析

・実固有値解析

② 3 次元問題を対象として，はり要素，ばね要素，ダンパー要素，平板要素等が用意されており，原子力発電所建屋他の構造物解析に用いることができる。

③大規模問題も取り扱うために，入力データが簡素化されている。

④解析する座標及び拘束方法は，取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

⑤解析に用いる単位系は，SI 単位系に統一されている。

また，今回の解析における本解析コードの使用要素は，はり要素，トラス要素，ばね要素，減衰要素である。なお，次に示す検証及び妥当性確認は Ver.1.61 で実施した結果であり今回の工事計画認可申請において使用するバージョンと異なるが，バージョンの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。

3.3 解析手法

3.3.1 運動方程式

多自由度系の運動方程式は一般に(3.1)式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\}+[C]\{\dot{u}\}+[K]\{u\} = \{F\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1)$$

ここで，

$[M]$ ：質量マトリックス

$[C]$ ：減衰マトリックス

$[K]$ ：剛性マトリックス

$\{\ddot{u}\}$ ：加速度ベクトル

$\{\dot{u}\}$ ：速度ベクトル

$\{u\}$ ：変位ベクトル

$\{F\}$ ：荷重ベクトル

3.3.2 固有値の解法

(3.1)式は，荷重ベクトルを{0}とし，減衰項を除けば，(3.2)式に示す自由振動を表す方程式となる。

$$[M]\{\ddot{u}\}+[K]\{u\} = \{0\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2)$$

(3.2)式で変位$\{u\}$に調和振動を仮定すれば，(3.3)式が得られる。

$$\left(-\omega^2[M]+[K]\right)\{u_r\} = \{0\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.3)$$

(3.3)式が固有ベクトル$\{u_r\}\neq\{0\}$を満たす条件が固有値問題であり，(3.3)式を解くことにより固有値ω_rが得られる。

3.3.3　減衰項の策定

各部別内部粘性型減衰の減衰項は，各部材の剛性マトリックス$[K_e]$に比例するものと定義し，以下のように表される。

$$[C]=\sum\beta_e[K_e] \quad \cdots\cdots (3.4)$$

$$\beta_e=2h_eT_e/2\pi$$

ここで，

h_e：部材の減衰定数

T_e：部材の減衰マトリックスを定義する周期

3.3.4　直接積分法による解法

直接積分法は，連立の微分方程式を直接積分するもので，時間をΔt毎に分割し，時間ステップごとに，順次解を求めていく。今回の解析で用いたNewmark－β法について以下に示す。

nステップの変位u_n，速度$\dot{u}_n$，加速度$\ddot{u}_n$が既知の場合，次のn＋1ステップの変位，速度はβとδをパラメータとして(3.5)式のように表せる。

βとδは，Newmark－β法に使用される解析パラメータであり，Newmark－β法による積分が安定的に行われるためには，$\delta \geqq 1/2$，$\beta \geqq (1/2+\delta)^2/4$という条件がある。

$$\{\dot{u}\}_{(n+1)} = \{\dot{u}\}_{(n)} + \Delta t\left((1-\delta)\{\ddot{u}\}_{(n)} + \delta\{\ddot{u}\}_{(n+1)}\right)$$

$$\{u\}_{(n+1)} = \{u\}_{(n)} + \Delta t\{\dot{u}\}_{(n)} + \frac{\Delta t^2}{2}\{\ddot{u}\}_{(n)} + \beta\Delta t^2(\{\ddot{u}\}_{(n+1)} - \{\ddot{u}\}_{(n)}) \quad \cdots (3.5)$$

(3.5)式をn＋1ステップの運動方程式(3.1)に代入して，$\{\dot{u}\}_{(n+1)}$，$\{\ddot{u}\}_{(n+1)}$を消去すれば以下の変位増分式になる。

$$\left([K]+\frac{1}{\beta\Delta t^2}[M]+\frac{\delta}{\beta\Delta t}[C]\right)\{\Delta u\} = \{\Delta F\}+[M]\left(\frac{1}{\beta\Delta t}\{\dot{u}\}_n+\frac{1}{2\beta}\{\ddot{u}\}_n\right)$$
$$+[C]\left(\frac{\delta}{\beta}\{\dot{u}\}_n+(\frac{\delta}{2\beta}-1)\Delta t\{\ddot{u}\}_n\right) \quad \cdots\cdots (3.6)$$

(3.6)式を解くと，n＋1ステップの変位増分が得られる。また，(3.5)式を用いてn＋1ステップの変位，速度及び加速度が得られる。

3.4　解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 3－1 に示す。

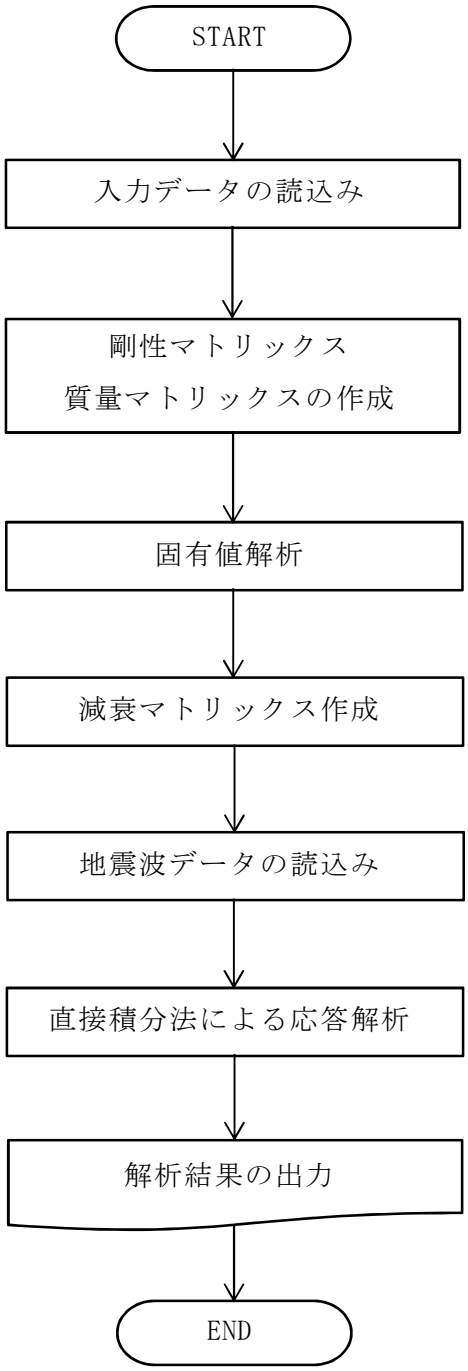


図3－1　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

本解析コードは，「3.3　解析手法」に示した一般性のある理論モデルに基づき構築された解析コードであり，「3.4　解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。本解析コードは，主に建築基準法適用外の国土交通大臣の評定物件である一般超高層建築物に多数の使用実績を有しており，解析機能全般について，十分妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ，今回の解析機能に特化する形で，下記の項目に対して本解析コードによる解析を実施し，本解析コードの解析機能の適切さを確認している。

①質点系モデルによる地震応答解析
②鉄骨ブレースの座屈現象の既往論文との比較

3.5.1　検証（Verification）

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。

3.5.2　妥当性確認（Validation）

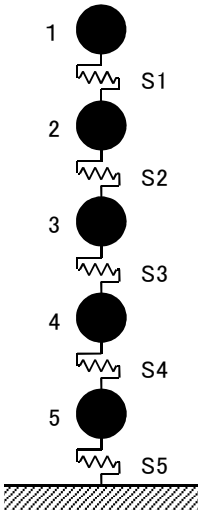
(1)　質点系モデルによる地震応答解析

a.　妥当性確認方法

線形問題を対象に，減衰行列が一定の場合を検討する。本解析コードにて各部別内部粘性型減衰を用いた場合と，別途検証済解析コードNUPP4により等価なダッシュポットでモデル化した場合の時刻歴応答解析結果を比較し，本解析コードの妥当性を確認する。

b.　解析条件

解析モデルの概要を図3－2に，解析ケースを図3－3に示す。5質点をせん断ばねで連結した質点系モデルである。各質点の重量及び減衰定数，各要素の剛性，定義周期と減衰定数を図3－2中の表に示す。



質点番号	重量 (kN)
1～5	100.0

要素名称	剛性 (kN/m)	定義周期 (s)	減衰定数
S1	1.0×10^4	0.705	0.03
S2	1.0×10^4	0.705	0.03
S3	1.0×10^4	0.705	0.03
S4	1.0×10^4	0.705	0.05
S5	1.0×10^4	0.705	0.05

図3－2　解析モデルの概要

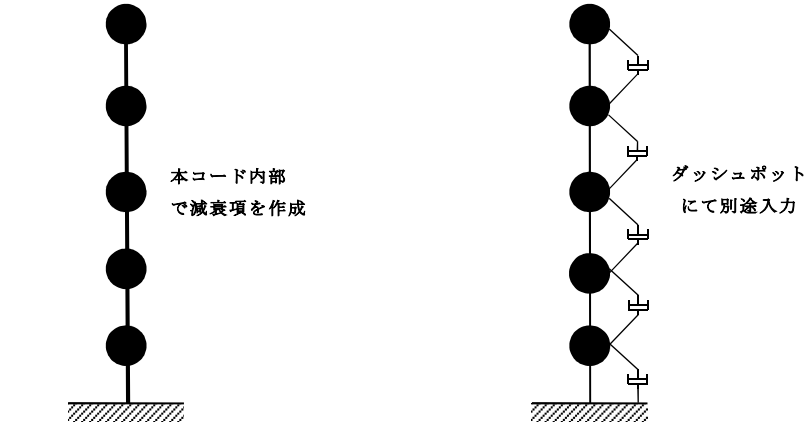


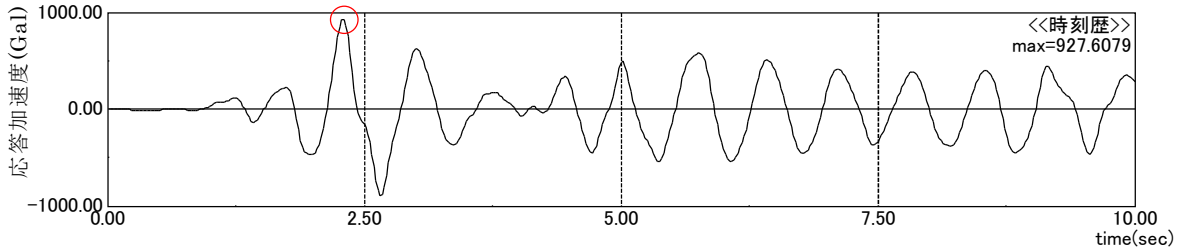
図3－3　解析ケース

c.　妥当性確認結果

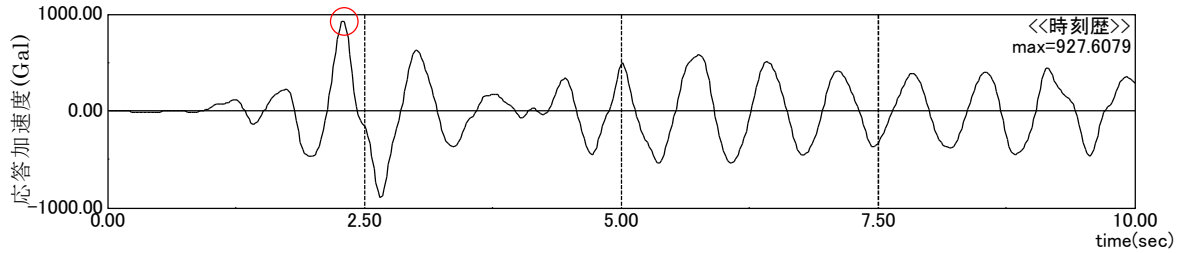
EL_CENTRO（NS）の原波を入力した場合の最大応答値一覧を表3－1に，質点1の絶対加速度時刻歴波形を図3－4に示す。最大応答値は合致している。また応答波形も同等である。以上より，本解析コードが応答を正しく評価していることが確認できる。

表3－1　最大応答値一覧

質点番号	絶対加速度（Gal）		相対変位（cm）	
	case1	case2	case1	case2
1	927.6	927.6	9.9121	9.9121
2	785.2	785.2	9.0042	9.0042
3	-590.1	-590.1	7.3710	7.3710
4	-542.0	-542.0	5.2358	5.2358
5	-358.9	-358.9	2.7453	2.7453
床面	341.7	341.7	0.0	0.0



case1



case2

図3－4　絶対加速度時刻歴波形（質点１）

(2)　鉄骨ブレースの座屈現象の既往文献との比較

a.　妥当性確認方法

既往論文では，1層1スパンX型ブレース架構の漸増繰返し載荷実験を，修正若林モデルにてシミュレーション解析している。

載荷実験における試験体概要を図3－5及び表3－2に示す。

載荷実験における加力サイクルは，漸増繰返し方式である。加力サイクルを図3－6に示す。

上記載荷実験のシミュレーション解析を既往論文と同様に実施し，本解析コードにより評価した荷重－変形関係が既往論文におけるシミュレーション解析結果及び載荷実験結果と概ね一致することを確認する。

b.　解析条件

解析モデルを図3－7に示す。柱及び梁は，はり要素，ブレースはロッド要素とする。柱及び梁の復元力特性は，塑性変形を材端における剛塑性ばねで考慮する材端剛塑性ばねモデルを用い，図3－8に示すTri-linear型の履歴特性で表し，ブレースの復元力特性は修正若林モデルとする。

ブレースについて，解析で設定する非線形パラメータは，①降伏軸力，②細長比，③無次元オイラー荷重，④座屈荷重のみで，いずれも，部材の材料特性及び幾何学的性状から一意に決まるものである。

柱，梁及びブレースの断面性能を表3－3，ブレースの非線形パラメータを表3－4，材端剛塑性ばねモデルの非線形パラメータを表3－5に示す。なお，既往論文の解析条件に合わせて，剛域範囲（剛域長さ）を設定した。

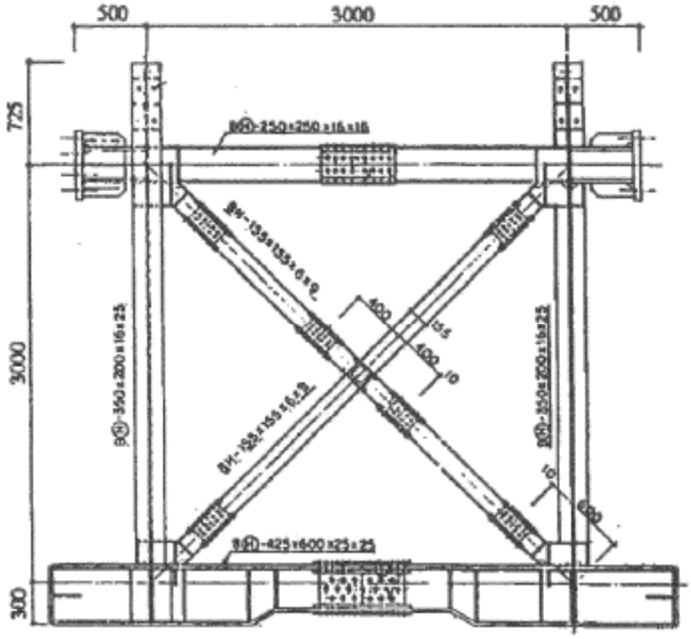


図3－5　試験体概要

表3－2　試験体概要

試験体名称	ブレース部材			継手形式	フレーム形状
	断面	細長比（λ）	フランジ幅厚比（b/tf）		
SKⅢ－60.9－B	H－155×155×6×9	60	9	ブラケット形式	高　さ：3m スパン：3m

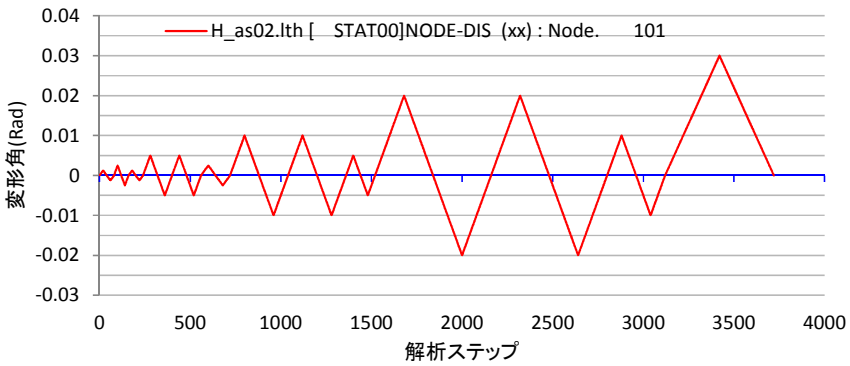


図3－6　加力サイクル

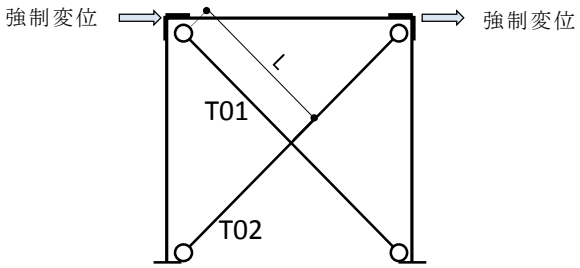
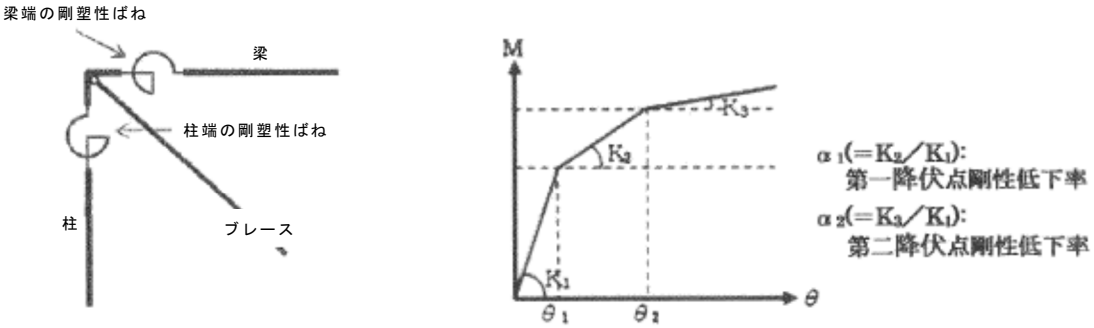


図3－7　解析モデル



(1) 剛塑性ばね配置　　(2) 履歴特性

図3－8　材端剛塑性ばねモデル

表3－3　柱，梁及びブレースの断面性能

	ヤング係数E (kN/m^2)	ポアソン比 ν	断面積 (m^2)	断面二次モーメント (m^4)
柱	2.05×10^{8}	0.3	1.48×10^{-2}	3.32×10^{-5}
梁	2.05×10^{8}	0.3	1.16×10^{-2}	1.24×10^{-4}
ブレース	2.05×10^{8}	0.3	3.59×10^{-3}	—

表3－4　ブレースの非線形パラメータ

降伏応力度 (kN/m^2)	降伏軸力 (kN)	細長比	無次元 オイラー荷重	座屈荷重 (kN)	圧縮側限界塑性変形 (m)
2.9×10^{5}	1,041.1	38.5	4.71	988	0.03

表3－5　材端剛塑性ばねモデルの非線形パラメータ

初期剛性K1 (kNm/rad)	第一降伏点 θ_1 (rad)	第一降伏点 剛性低下率 α_1	第二降伏点 θ_2 (rad)	第二降伏点 剛性低下率 α_2
2.374×10^{6}	5.000×10^{-5}	1.008×10^{-2}	4.310×10^{-3}	8.260×10^{4}

c. 妥当性確認結果

既往論文における載荷実験結果及びシミュレーション解析を図3－9，本解析コードによるシミュレーション解析を図3－10に示す。

本解析コードによるシミュレーション解析結果は，既往論文におけるシミュレーション解析結果と概ね一致している。また，本解析コードによるシミュレーション解析結果は，既往論文における実験結果と概ね一致している。

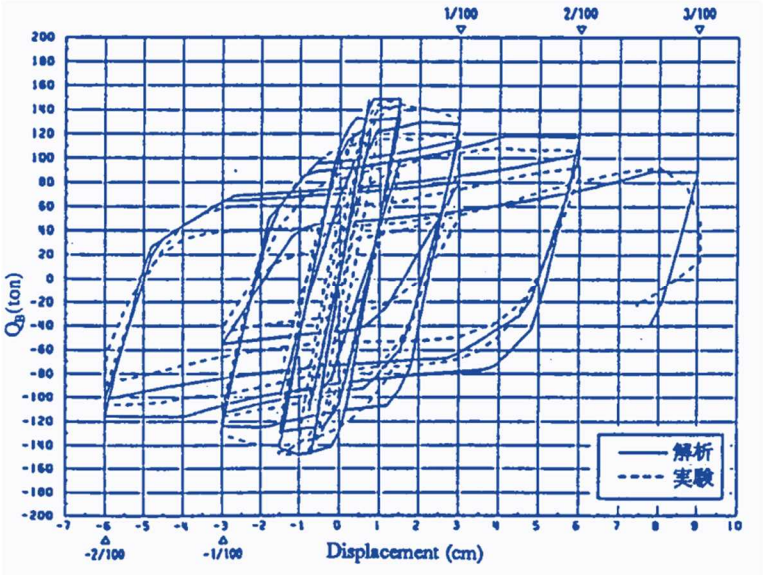


図3－9　既往論文における載荷実験結果及びシミュレーション解析（荷重－変形関係）

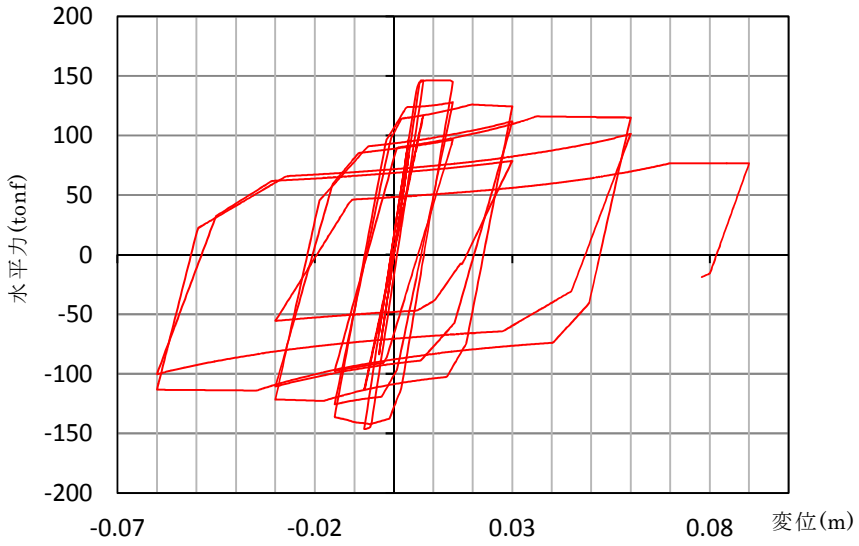


図3－10　本解析コードによるシミュレーション解析（荷重－変形関係）

(3) 評価結果

以上のとおり，本解析コードの解析機能について

・国内外の超高層建物において使用実績を有しており，建築基準法適用外の国土交通大臣の建物評定により，解析機能全般について妥当性は十分確認されている。

・今回の工事計画認可申請で使用する各部別内部粘性型減衰を本解析コードの内部計算と等価なダッシュポットを用いて解析し，両者が一致することを確認している。

・既往論文に示されている1層1スパンX型ブレース架構載荷実験シミュレーション解析を本解析コードにて実施し，解析結果を既往論文記載の結果と比較して，概ね一致することを確認している。

以上より，本解析コードの当該機能は適切である。

従って，本解析コードを主排気筒の地震応答解析に使用することは妥当である。

4. 引用文献

(1) 谷口，加藤，中村，高橋，佐伯，広谷，相川：鉄骨Ｘ型ブレース架構の復元力特性に関する研究，構造工学論文集，Vol.37B(1991 年 3 月)，日本建築学会

別紙９　ＤＡＣ３Ｎ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-4	原子炉建屋の強度計算書	Ver.97

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＤＡＣ３Ｎ
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1997 年
使用したバージョン	Ver.97
コードの概要	本解析コードは，ばね要素やはり要素等でモデル化された建屋－地盤連成系モデルの固有値解析及び地震応答解析を行うプログラムである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，原子炉建屋について，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する建屋の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・既工事計画において実績のある別コード［　　］による弾塑性を考慮した多質点系の解析結果と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，弾塑性を考慮した多質点系の地震応答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。

別紙 10　ＧＲＩＭＰ２

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-4	原子炉建屋の強度計算書	Ver.2.5

2.　解析コードの概要

項目＼コード名	ＧＲＩＭＰ２
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver.2.5
コードの概要	本解析コードは，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，上下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）	本解析コードは，原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における質点系建屋－地盤連成モデルの基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・ＧＲＩＭＰ２を用いて評価した基礎底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転ばねが［　　］*の計算結果と良い一致を示す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，基礎底面地盤の水平ばね，鉛直ばね及び回転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。

注記＊：

別紙 11　ＫＳＨＡＫＥ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-4	原子炉建屋の強度計算書	Ver.2

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＫＳＨＡＫＥ
使用目的	入力地震動算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver.2
コードの概要	本解析コードは,米国カリフォルニア大学から発表されたＳＨＡＫＥを基本に開発したプログラムで,一次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数及び時刻歴応答波形を計算するプログラムである。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは,原子炉建屋の地震応答解析における入力地震動の策定において,基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する地盤の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・ＫＳＨＡＫＥを用いて評価した弾性地盤の増幅特性が理論解と一致することを確認している。 ・既工事計画において実績のある別コード[redacted]による解析結果と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，地盤の応答解析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。

別紙 12　ＮＶＫ２６３

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-4	原子炉建屋の強度計算書	Ver.1.0

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＮＶＫ２６３
使用目的	側面地盤ばね算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1985 年
使用したバージョン	Ver.1.0
コードの概要	本解析コードは,[redacted]に基づき，水平，上下，回転及びねじれ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）	本解析コードは,原子炉建屋の水平方向の地震応答解析における質点系建屋－地盤連成モデルの建屋埋込み部分の側面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・ ＮＶＫ２６３を用いて評価した建屋側面地盤の水平ばね及び回転ばねが[redacted]の計算結果と良い一致を示す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・ 検証の内容のとおり，建屋側面地盤の水平ばね及び回転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。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは，Novakの論文に基づき，水平，上下，回転及びねじれ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。ＮＶＫ２６３は，原子炉建屋の水平方向の地震応答解析における質点系建屋－地盤連成モデルの建屋埋込み部分の側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。

・平面ひずみを仮定した無限地盤にある円形基礎の側面地盤ばねを算定できる。

・円形基礎は剛体として扱う。

3.3　解析手法

円形基礎の側面と接する地盤に対する水平，上下，回転及びねじれ加振した場合の力－変形関係から建屋の側面地盤ばねを算定する方法である。

建屋側面地盤の水平ばね K_a 及び回転ばね K_c は，0 次と 1 次の変形ベッセル関数を用いて，(3.1)式及び(3.2)式で評価される。

$$K_a = -\pi H_j G_j a_0^{\,2} \frac{4K_1(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*)}{b_0^* K_0(b_0^*)K_1(a_0^*) + a_0^* K_1(b_0^*)K_0(a_0^*) + b_0^* a_0^* K_0(b_0^*)K_0(a_0^*)} \tag{3.1}$$

$$K_c = \pi H_j G_j r_0^{\,2}(1 + i\cdot 2h_j)\left[1 + a_0^* \frac{K_0(a_0^*)}{K_1(a_0^*)}\right] \tag{3.2}$$

ここで，

π　　：円周率

H_j　　：建物質点 j の支配高さ

G_j　　：建物質点 j の支配高さにおける地下部外壁に接する地盤のせん断弾性係数

$a_0 = \omega r_0 / V_s$（等価円置換の無次元振動数）

$b_0 = \omega r_0 / V_p$（等価円置換の無次元振動数）

$r_0 = \sqrt{B_x B_y / \pi}$（等価円半径）

ω　　：円振動数

V_s　　：地下部外壁に接する地盤の S 波速度

B_x，B_y　　：建物の辺長

$K_0()$，$K_1()$　　：それぞれ 0 次と 1 次の変形ベッセル関数

$a_0^* = \dfrac{a_0}{\sqrt{1+i\cdot 2h_j}}$，$b_0^* = a_0^* / \eta_j$，$\eta_j = \sqrt{2(1-\nu_j)/(1-2\nu_j)}$

h_j，ν_j　　：地下部外壁に接する地盤のそれぞれの減衰定数とポアソン比

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3－1に示す。

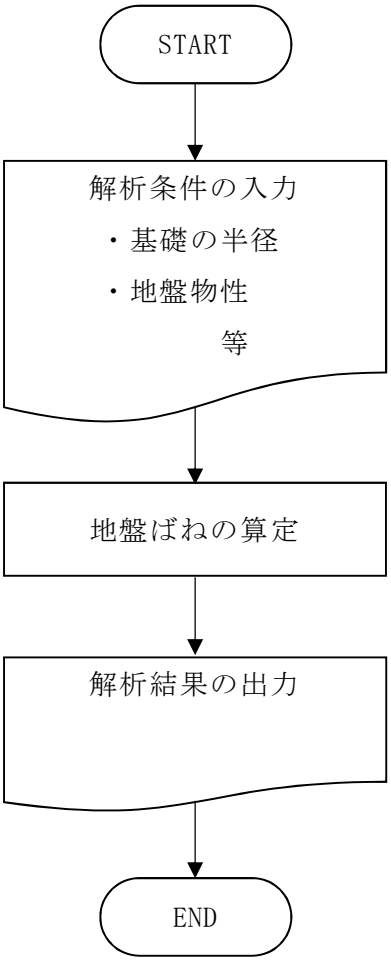


図 3－1　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

3.5.1　文献との比較による検証

以下に示す条件について水平ばね及び回転ばねを評価し，[redacted]の計算結果との比較を行う。

・地盤のポアソン比は 0.33 とする。

・地盤の材料減衰定数は 0.00，0.05，0.10 の 3 ケースとする。

水平ばね及び回転ばねの比較結果を図 3－2 に示す。

図 3－2 より，本解析コードの結果は[redacted]の計算結果と良い一致を示しており，本解析コードが建屋側面地盤の水平ばね及び回転ばねを正しく評価していることが確認できる。

[redacted]

図 3－2　解析結果の比較

3.5.2　使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の地震応答解析における側面地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，建屋側面地盤の水平ばね及び回転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使用することは妥当である。

4.　引用文献

別紙13　Ｈｙｐｅｒ　Ｓｔａｔｉｃｓ　ａｎｄ　Ｄｙｎａｍｉｃｓ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-5	タービン建屋の強度計算書	Ver.2.57
Ⅴ-3-別添 2-7	廃棄物処理建屋の強度計算書	Ver.2.57

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	Ｈｙｐｅｒ　Ｓｔａｔｉｃｓ　ａｎｄ　Ｄｙｎａｍｉｃｓ
使用目的	立体フレームモデルの応力解析
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	2007 年
使用したバージョン	Ver.2.57
コードの概要	本解析コードは，建物の諸定数（部材性能，荷重）を入力として，個材の非線形性を算定し，荷重漸増解析を行う。また，弾塑性応答解析による骨組み又は縮約モデルの弾塑性領域の動的挙動の算定を行う。一般建築における構造設計や構造解析に、数多く使用されている。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，タービン建屋他の 2 次元フレームの応力解析に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・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，せん断耐力を理論解と比較して確認している。なお，今回の解析は，静的応力解析であるため，静的応力解析を対象とした検証を行っている。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は，以下のとおりである。 ・静的応力解析について、Ｓｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ７を用いた解析結果と比較して，双方の結果が一致していることを確認した。 ・検証の内容のとおり，応力解析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。

別紙 14　ＮＯＶＡＫ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-5	タービン建屋の強度計算書	Ver.1.0

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	NOVAK
使用目的	側面地盤ばね算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1979 年
使用したバージョン	Ver.1.0
コードの概要	本解析コードは，Novakの論文*に基づき，水平，上下，回転成分の単位深さあたりの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。地震応答解析における水平方向の地震応答解析モデルの建屋埋め込み部分の基礎側面地盤の評価に使用する。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する地盤の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・他コードとの比較 ・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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，側面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。

注記＊：Novak, M, et al. :“Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case”,The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1978,pp.953-959.

別紙 15　ＳＨＡＫＥ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-5	タービン建屋の強度計算書	Ver.1.0
Ⅴ-3-別添 2-7	廃棄物処理建屋の強度計算書	Ver.1.0

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	SHAKE
使用目的	入力地震動算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1999 年
使用したバージョン	Ver.1.0
コードの概要	本解析コードは，重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり，地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。 本解析コードの主な特徴として，以下の①～③を挙げることができる。 ①1次元重複反射理論に基づくプログラムである。 ②地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮できる。 ③鉛直動は，S波速度をVs，P波速度をVpとして定義することで対応が可能である。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する地盤の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解との比較 ・他コードとの比較 ・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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・原子力産業界において，日本原燃株式会社の「ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設に係る設計及び工事」で，ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設（ＭＯＸ燃料加工施設）のうち燃料加工建屋に対する地震応答解析に本解析コードが使用された実績が

	ある。 ・検証の内容のとおり，入力地震動算定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。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは，重複反射理論に基づく地震応答解析を行うプログラムである。本解析コードは1次元地震応答解析(入力地震動算定)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。

・1次元重複反射理論に基づく解析を行う。

・地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮する。

・鉛直動は，S 波速度を Vs，P 波速度を Vp として定義することで対応できる。

3.3 解析手法

図3－1に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。線形粘弾性系は，均質，等方性であり，厚さが h，密度が ρ，せん断弾性係数が G，臨界減衰比が β で定義されているとする。せん断波の伝ぱは水平変位 $u = u(x,t)$ のみによる。これは，次の波動方程式を満足しなければならない。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \tag{3.1}$$

波動方程式(3.1)式の解は，振動数 ω に対し，次式で与えられる。

$$u(x,t) = Ee^{i(kx+\omega t)} + Fe^{-i(kx-\omega t)} \tag{3.2}$$

ここに，

$$k^2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G + i\omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G^*} \tag{3.3}$$

である。(3.2)の第1項は，X のマイナス方向(上向き)に伝わる入射波を示し，第2項は X のプラス方向(下向き)に伝わる反射波を示している。また，水平面におけるせん断応力度の定義は次式で与えられる。

$$\tau(x,t) = G\frac{\partial u}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = G^* \frac{\partial u}{\partial x} \tag{3.4}$$

(3.4)式に(3.2)式を代入すると，

$$\tau(x,t) = ikG^* \left(E \cdot e^{ikx} - F \cdot e^{-ikx}\right) \cdot e^{i\omega t} \tag{3.5}$$

となる。

(3.1)式は図3－1の各層にて成り立つ。各層の局所座標系 X で表される第 m 層の最上部 $x = 0$ 及び最下部 $x = h_m$ における変位は，第 m 層における厚さを h_m，密度を ρ_m，せん断弾性係数を G_m，臨界減衰比を β_m で定義すると，それぞれ次のように表せる。

$$u_m(0,t) = (E_m + F_m)e^{i\omega \cdot t} \tag{3.6}$$

$$u_m(h_m,t) = \left(E_m \cdot e^{ik_m h_m} + F_m \cdot e^{-ik_m h_m}\right)e^{i\omega \cdot t} \tag{3.7}$$

ここで，任意の m 層と $m+1$ 層の変位及びせん断応力との連続性を考慮すると次の循環公式が求まる。

$$E_{m+1} = \frac{1}{2}E_m(1+\alpha_m)\cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2}F_m(1-\alpha_m)\cdot e^{-ik_m h_m} \tag{3.8}$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2}E_m(1-\alpha_m)\cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2}F_m(1+\alpha_m)\cdot e^{-ik_m h_m} \tag{3.9}$$

ここに，α_m は複素インピーダンス比と呼ばれる定数で，次式で定義されている。

$$\alpha_m = \frac{k_m G^*_m}{k_{m+1} G^*_{m+1}} = \left(\frac{\rho_m G^*_m}{\rho_{m+1} G^*_{m+1}}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{3.10}$$

この複素インピーダンス比 α_m は，周期に対して独立である。自由面におけるせん断応力度 $\tau=0$ と(3.7)式より $E_1 = F_1$ が得られる。循環公式(3.8)式，(3.9)式を繰り返し用いて，次のような m 層と表層の振幅の関係を導き出すことができる。

$$E_m = e_m(\omega)E_1 \tag{3.11}$$

$$F_m = f_m(\omega)F_1 \tag{3.12}$$

伝達関数 e_m 及び f_m は，単なる $E_1 = F_1 = 1$ に対する倍率であり，$E_1 = F_1 = 1$ を上式に代入して解けば求まる。

他の伝達関数は e_m，f_m から簡単に得られる。n層及び m 層表面での変位を関係づける伝達関数 $A_{n,m}$ を次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} \tag{3.13}$$

(3.13)式に(3.4)式，(3.11)式及び(3.12)式を代入して整理すると次式を得る。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \tag{3.14}$$

これらの式より，伝達関数 $A(\omega)$ は，系のいかなる2つの層の間においても定められる。

ゆえに，任意の層の動的変位が判れば，他の層の動的変位も計算できる。(3.2)式より，加速度 $\ddot{u}(x,t)$，ひずみ $\gamma(x,t)$ は次のように得られる。

$$\ddot{u}(x,t) = \frac{\partial^2 u(x.t)}{\partial t^2} = -\omega^2(Ee^{i(kx+\omega t)} + Fe^{-i(kx-\omega t)}) \tag{3.15}$$

$$\gamma(x,t) = \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = ik\left(Ee^{i(kx+\omega t)} - Fe^{-i(kx-\omega t)}\right) \tag{3.16}$$

振幅 E 及び F は，系全体の層において求めることができるので，加速度及びひずみも求めることができる。

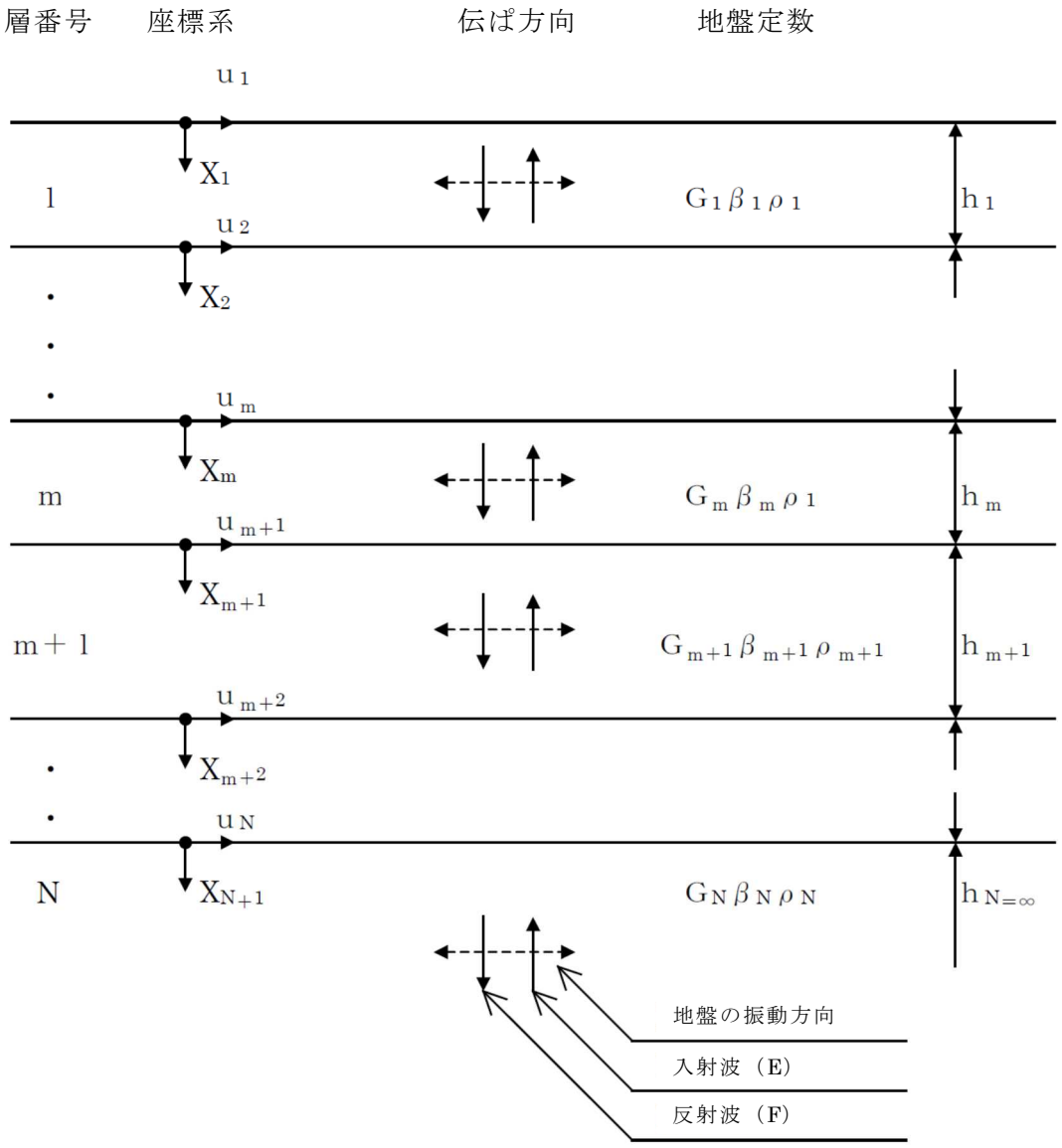


図 3－1　1 次元地盤モデル

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図 3－2 に示す。

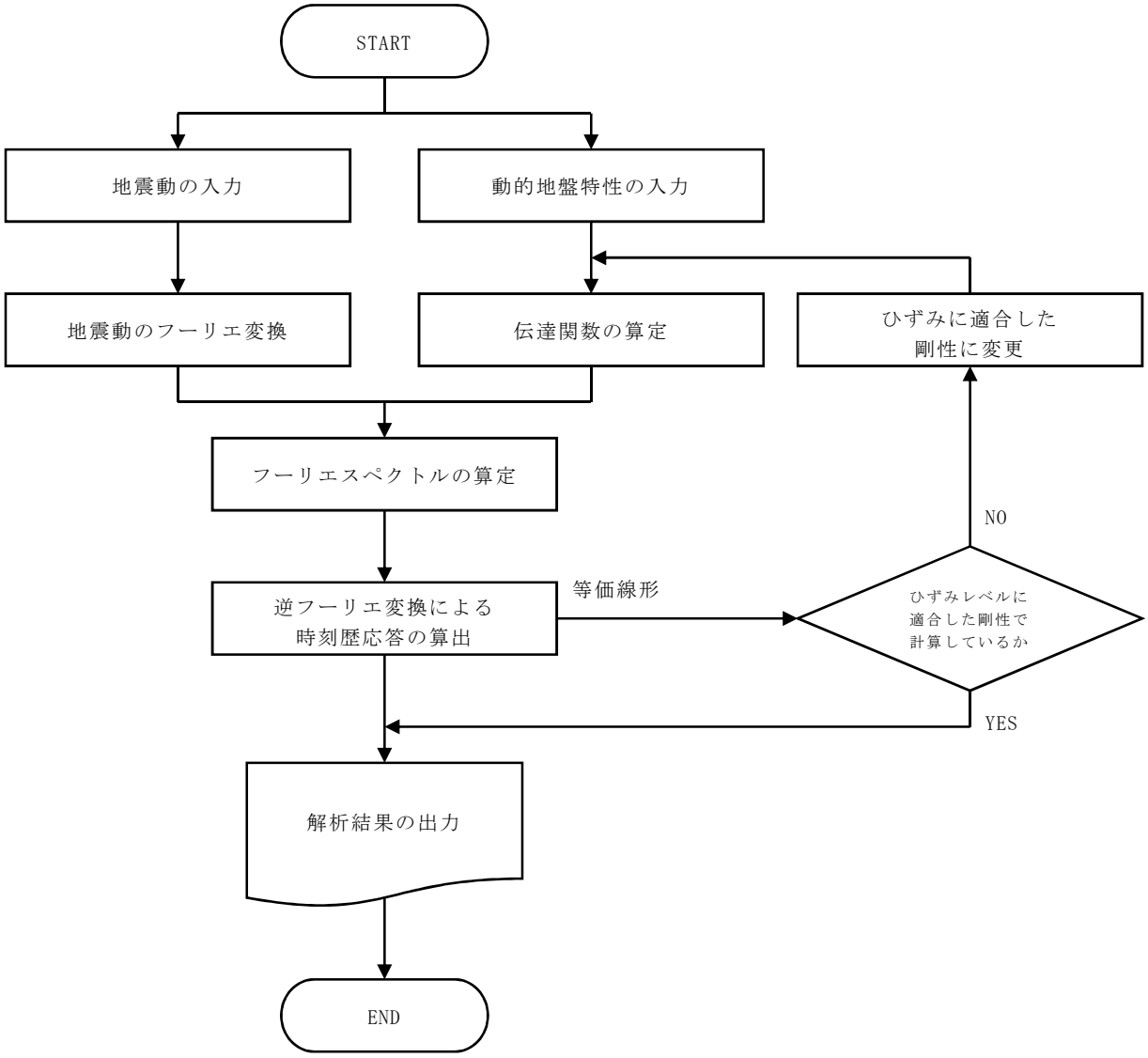


図 3－2　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

3.5.1　理論解との比較による検証

2層のモデル地盤において，1次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解との比較を行った。

(1)　検証モデル及び検討条件

図 3－3 に地盤モデル諸元を示す。

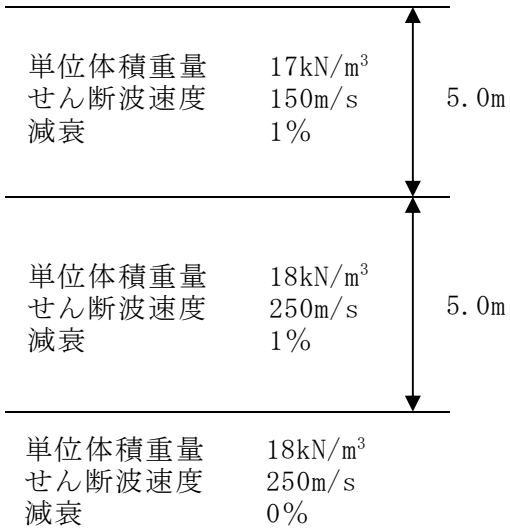


図 3－3　地盤モデル諸元

＜検討条件＞

・重力加速度は 9.80665m/s^2 とする。

・検討する振動数は 0～50Hz までとする。

(2)　比較結果

理論解との伝達関数の比較結果を図 3－4 に示すが，本解析コードと理論解の結果は一致していることが確認できる。

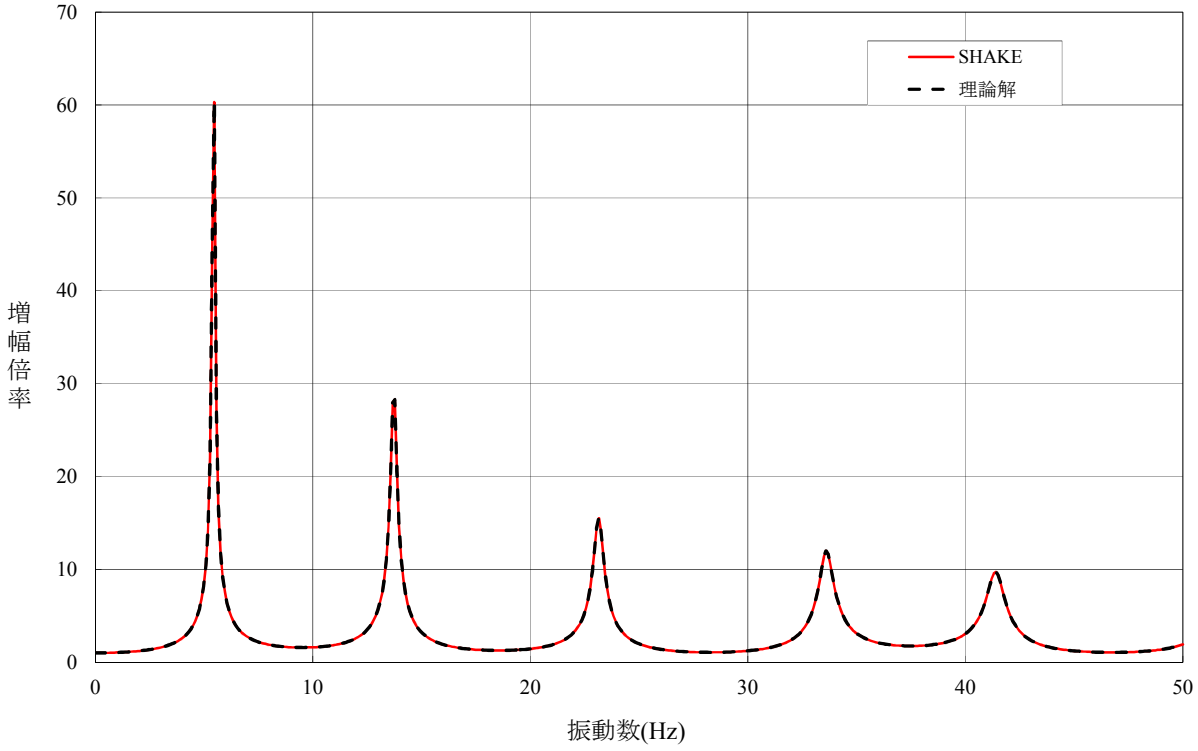


図 3－4　理論解との伝達関数の比較結果

3.5.2　他コードとの比較による検証

市販されている 1 次元地盤の等価線形解析プログラムＬｉＱＳＭＡＲＴとの比較を実施した。

(1)　検証モデル

表 3－1 に地盤モデル諸元を示し，図 3－5 及び図 3－6 にひずみ依存特性を示す。

表 3－1　地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	単位体積重量 (kN/m^3)	せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m^2)	減衰定数
第1層	4.00	1.00	1.00	17	110	20976	0.03
		1.00	2.00	17	110	20976	0.03
		1.00	3.00	17	110	20976	0.03
		1.00	4.00	17	110	20976	0.03
	10.80	1.20	5.20	16	124	25087	0.02
		1.20	6.40	16	124	25087	0.02
		1.20	7.60	16	124	25087	0.02
		1.20	8.80	16	124	25087	0.02
		1.20	10.00	16	124	25087	0.02
		1.20	11.20	16	124	25087	0.02
		1.20	12.40	16	124	25087	0.02
		1.20	13.60	16	124	25087	0.02
		1.20	14.80	16	124	25087	0.02
第2層	9.60	1.60	16.40	16	162	42818	0.02
		1.60	18.00	16	162	42818	0.02
		1.60	19.60	16	162	42818	0.02
		1.60	21.20	16	162	42818	0.02
		1.60	22.80	16	162	42818	0.02
		1.60	24.40	16	162	42818	0.02
	1.20	1.20	25.60	20	286	166817	0.02
	8.00	2.00	27.60	20	252	129512	0.02
		2.00	29.60	20	252	129512	0.02
		2.00	31.60	20	252	129512	0.02
		2.00	33.60	20	252	129512	0.02
	2.00	2.00	35.60	20	375	286795	0.01
基盤				20	442	398432	0.01

せん断 有効ひずみ (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

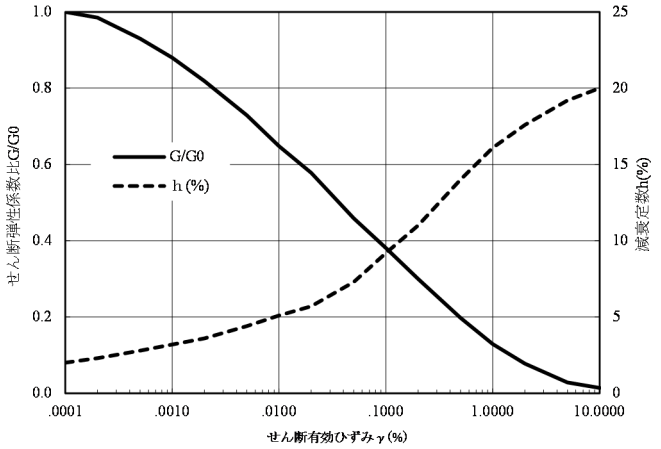


図 3－5　ひずみ依存特性(第 1 層)

せん断 有効ひずみ (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.991	0.28
0.0005	0.980	0.59
0.001	0.962	1.13
0.002	0.933	2.02
0.003	0.910	2.70
0.005	0.873	3.81
0.01	0.797	6.09
0.02	0.699	9.04
0.03	0.616	11.51
0.05	0.512	14.65
0.1	0.367	18.99
0.2	0.237	22.90
0.3	0.177	24.69
0.5	0.113	26.62
1	0.061	28.18

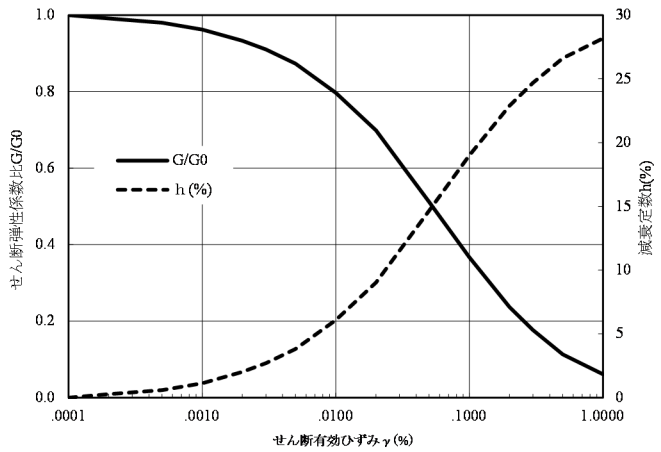


図 3－6　ひずみ依存特性(第 2 層)

(2)　検討条件

以下に，検討条件を示す。

・重力加速度は 9.80m/s^2 とする。

・等価線形解析とする。

・検討する振動数は 0～25Hz までとする。

(3)　入力地震動

入力波水平一方向に入力する。図 3－7 に入力地震動(2E 波)の加速度時刻歴を示す。

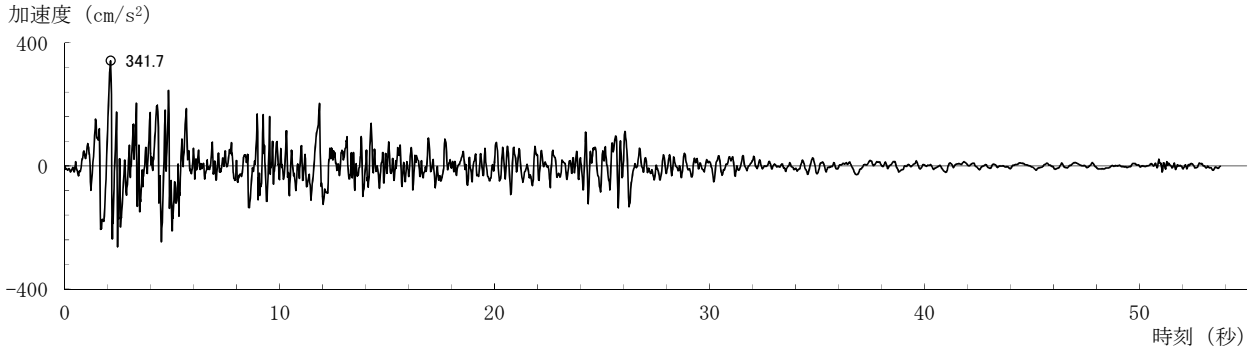


図 3－7　入力地震動加速度時刻歴

(4)　比較結果

伝達関数及び加速度の解析解の比較を図 3－8～図 3－11 に示す。各図より，伝達関数及び加速度の解析解は，一致していることが確認できる。

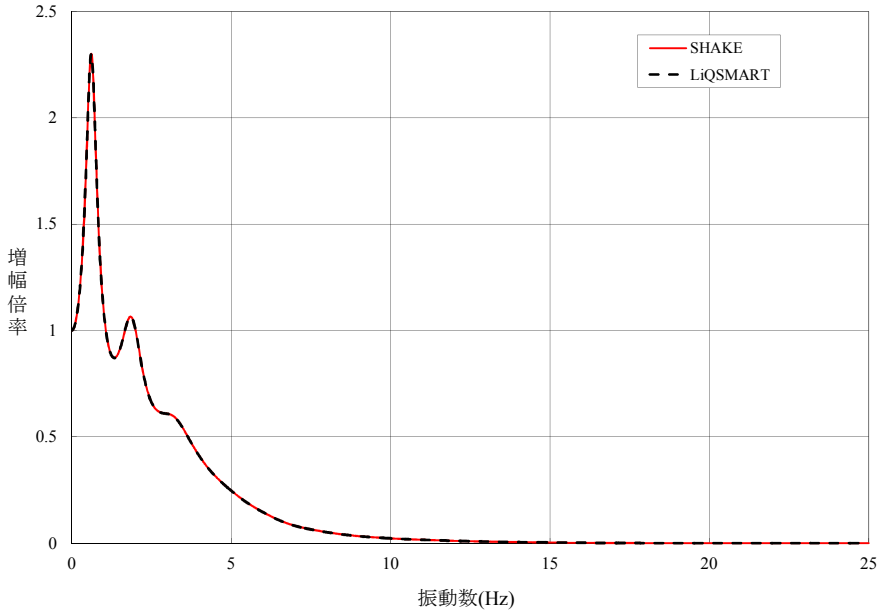


図 3－8　地表面伝達関数比較

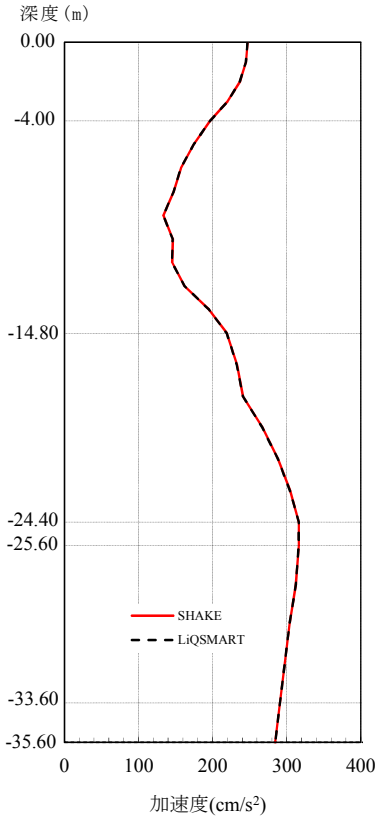


図 3－9　加速度最大分布比較

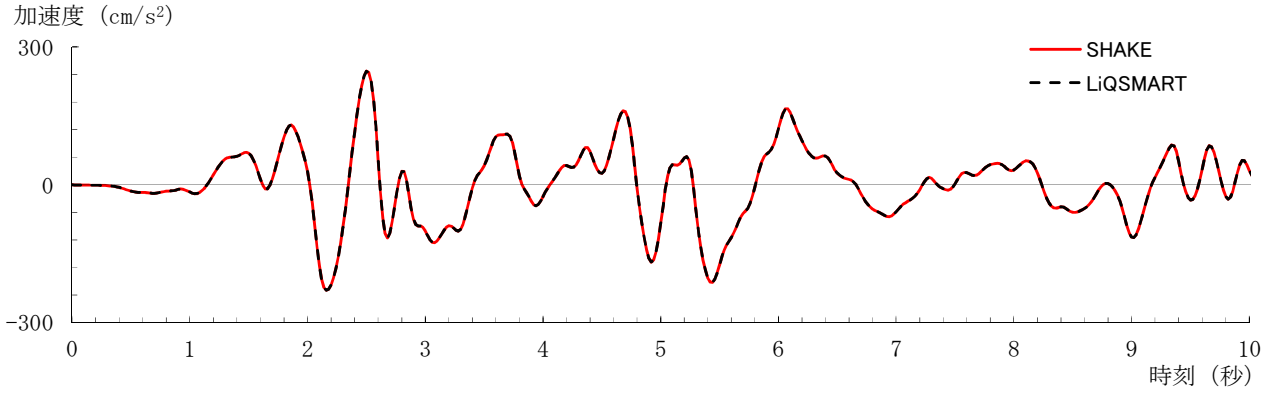


図 3－10　地表面加速度時刻歴比較

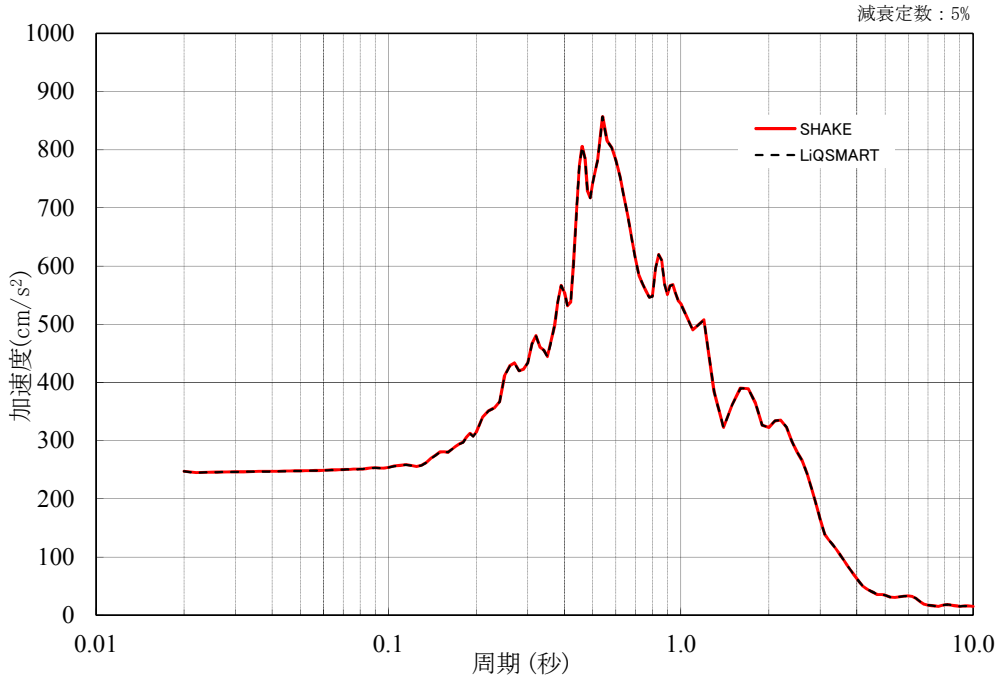


図 3－11　地表面加速度応答スペクトル比較

3.5.3　使用内容に対する妥当性

本解析コードの解析結果と理論解を比較し，理論解と解析解が一致していることを確認した。また，類似解析コードであるＬｉＱＳＭＡＲＴと比較し解析解が一致していることを確認した。したがって，本解析にＳＨＡＫＥを使用することは妥当である。

別紙 16　ＳＴ－ＣＲＯＳＳ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-5	タービン建屋の強度計算書	Ver.1.0
Ⅴ-3-別添 2-7	廃棄物処理建屋の強度計算書	Ver.1.0

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	ＳＴ－ＣＲＯＳＳ
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1977 年
使用したバージョン	Ver.1.0
コードの概要	本解析コードは，はり要素とばね要素からなる多質点系モデルを用いた時刻歴応答解析において，地盤ばね（底面ばね）を算定するプログラムである。半無限均質地盤の地表面点加振解（グリーン関数）を用いて，指定した矩形基礎形状に応じたインピーダンスマトリックスを求める。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する地盤の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解との比較 ・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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，矩形基礎形状に応じた地盤インピーダンス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。

別紙 17　ＴＤＡＳ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-5	タービン建屋の強度計算書	Ver.20121030
Ⅴ-3-別添 2-7	廃棄物処理建屋の強度計算書	Ver.20121030

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ＴＤＡＳ
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver.20121030
コードの概要	本解析コードは，曲げせん断要素及びばね要素で構成される質点系モデルの地震応答解析等を行うことができる。本解析コードの主な特徴として，以下の①，②を挙げることができる。 ①固有値解析と建屋の基礎浮上りを考慮した非線形地震応答解析ができる。 ②1次元重複反射理論による地盤の振動解析に基づき，埋め込みを伴う側面地盤ばね位置に入力する地盤応答を算定することができる。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する地盤の応答を評価するため並びに基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する建屋の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解との比較 ・他コードとの比較 ・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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について検証していること，また，地盤の応答解析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。

別紙 18　ＡＤＭＩＴ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-6	コントロール建屋の強度計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ＡＤＭＩＴ
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1984 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	本解析コードは，基礎底面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。振動アドミッタンス理論に基づき，地盤を半無限等方均質弾性体として，基礎底面における水平方向，鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねを算定するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・[redacted]と本解析コードによる解析解を比較した結果，双方の解がおおむ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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，水平方向，鉛直方向及び回転方向の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。

3.　解析手法

3.1　一般事項

本解析コードは，基礎底面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。

本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねを算定するために，動的インピーダンスの計算を行う。

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，基礎底面地盤ばねを求めることができる。
・任意の振動数に対する動的ばねを求めることができる。
・応力分布として一様分布（回転の場合には三角形分布），また剛基礎を仮定した一様変位分布が選択できる。
・解析結果としては，水平方向，鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。

3.3　解析手法

図 3－1 に示す基礎分割法による地盤ばねを求めるに当たり，荷重，変位関係の式は，以下の式で表される。

$$\left\{U_{j}^{l}\right\}=\left[D_{ij}^{kl}\right]\left\{P_{i}^{k}\right\} \tag{3.1}$$

ここで，

$\left\{U_{j}^{l}\right\}$　：j 要素の l 方向変位

$\left\{P_{i}^{k}\right\}$　：i 要素の k 方向に加わる力

$\left[D_{ij}^{kl}\right]$　：柔性マトリックス（各成分は i 要素の k 方向に単位の加振力が作用した時の j 要素における l 方向変位を表す）

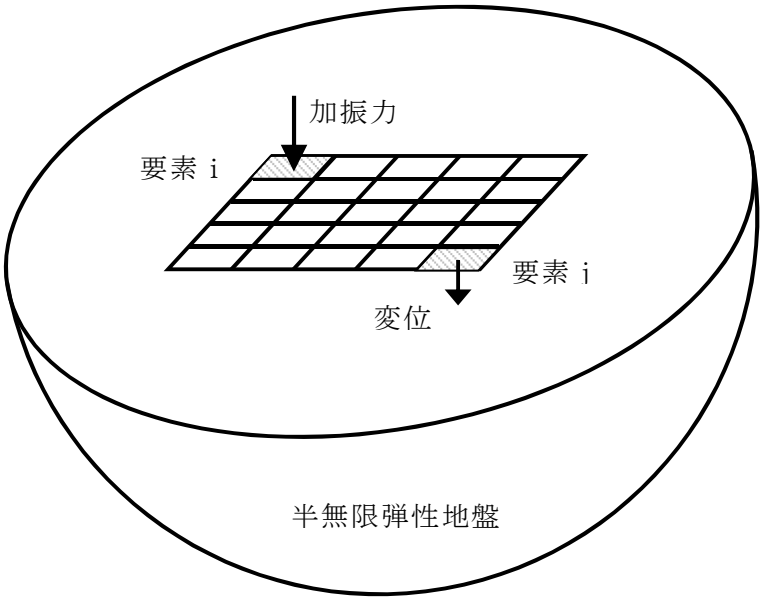


図3－1　基礎分割法による地盤ばねの求め方について

なお，解析当たっては下記の仮定を設けている。

・基礎が半無限地盤の地表面上に置かれているものと仮定する。
・基礎は無質量の剛体と見なす。
・基礎を微小要素に分割する。
・各要素内では，変位及び応力は一定であると仮定する。

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3－2に示す。

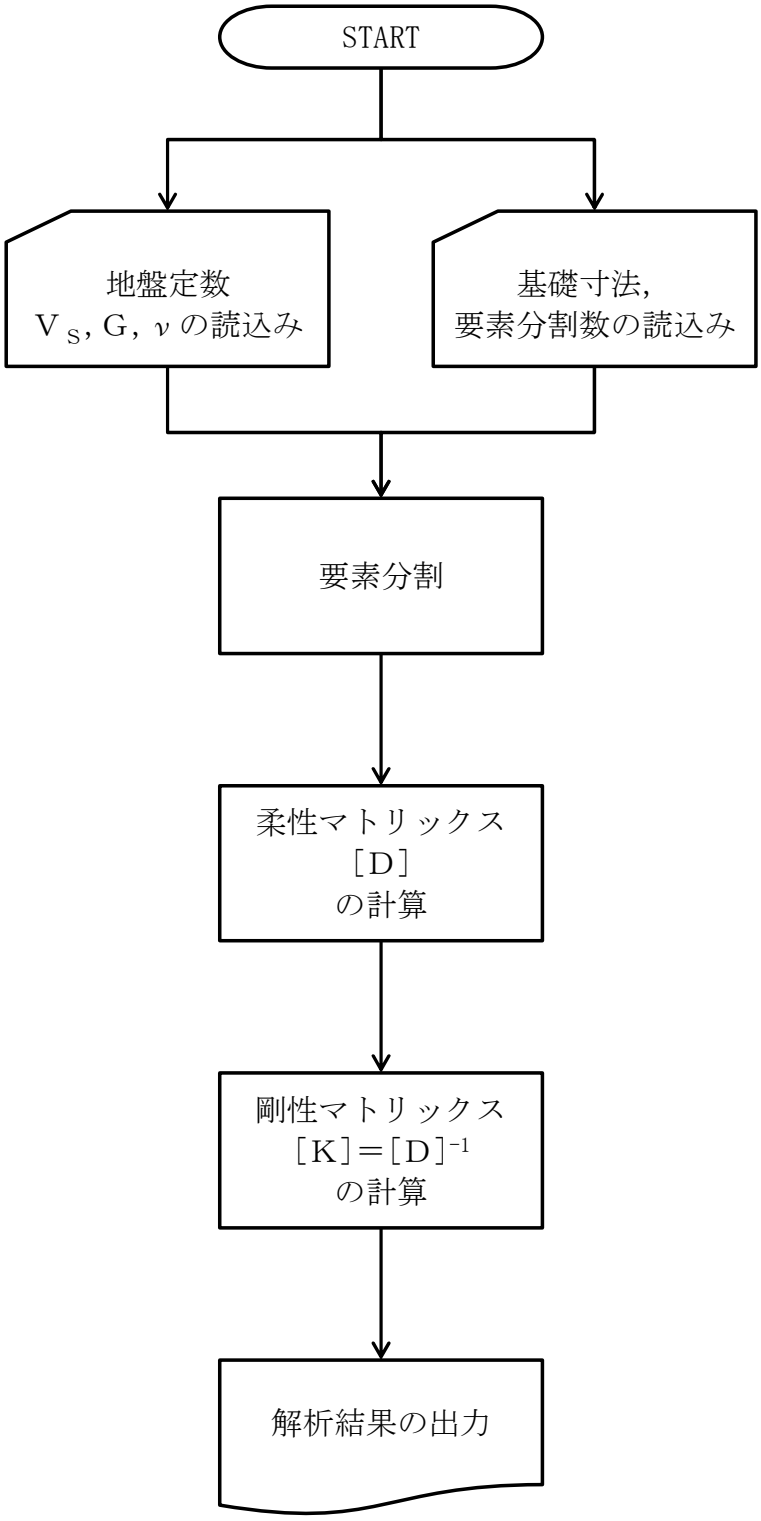


図3－2　解析フローチャート

3.5 検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

3.5.1 文献との比較による検証

本解析コードについて，[redacted]との比較を行う。

[redacted]を対象に基礎底面地盤ばねを算定する。なお，解析条件は以下の条件とした。

・基礎形状 :[redacted]

・基礎分割数 :[redacted]

・分布仮定 :[redacted]

・基礎下地盤 :せん断波速度V_S =[redacted]

単位体積重量γ =[redacted]

ポアソン比ν =[redacted]

・計算振動数（無次元） :[redacted]

解析結果の比較を図 3－3～図 3－5 に示す。

図より，本解析コードの結果は[redacted]とおおむね一致していることが確認できる。

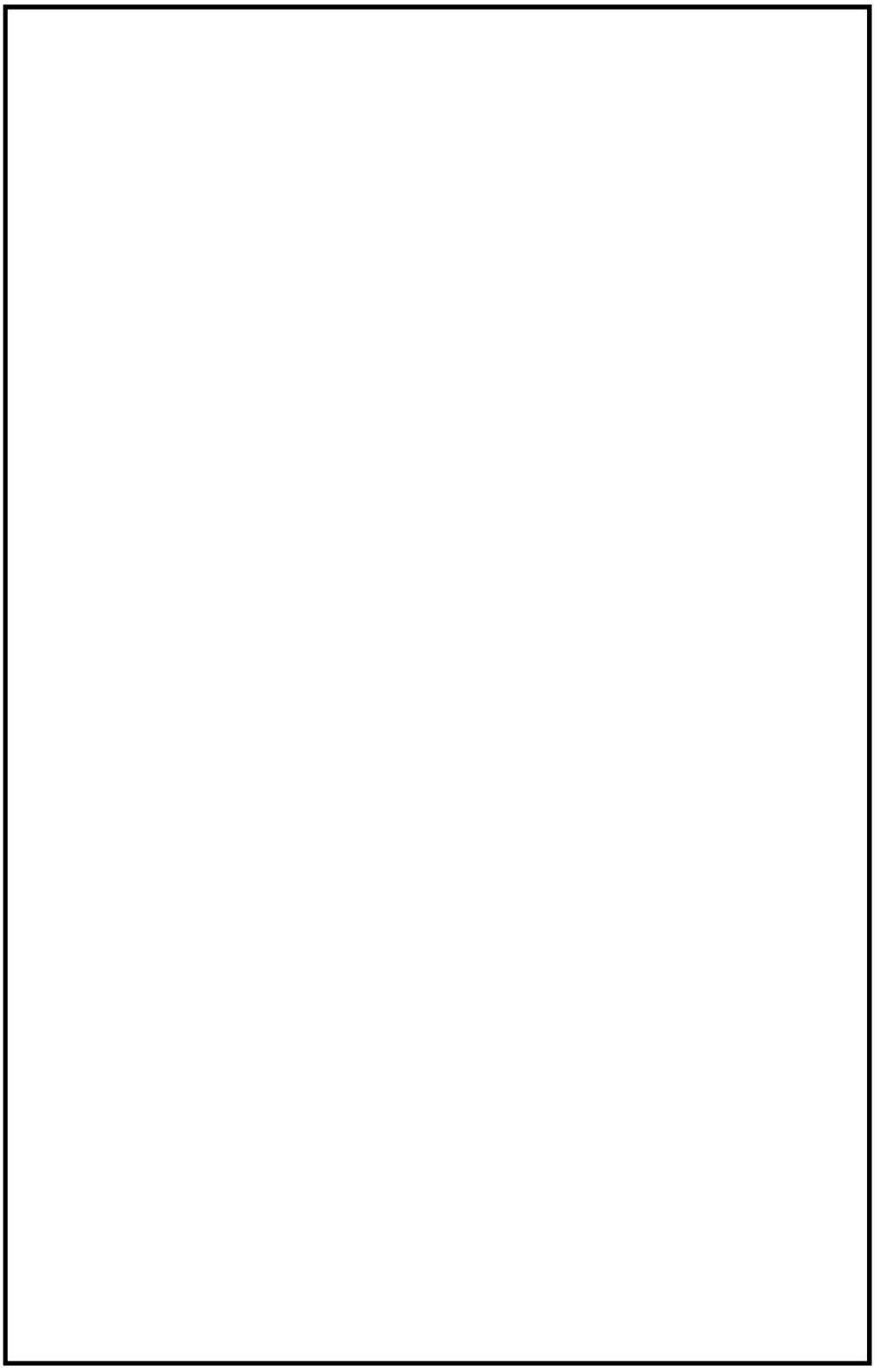


図 3－3　解析結果の比較（水平方向）

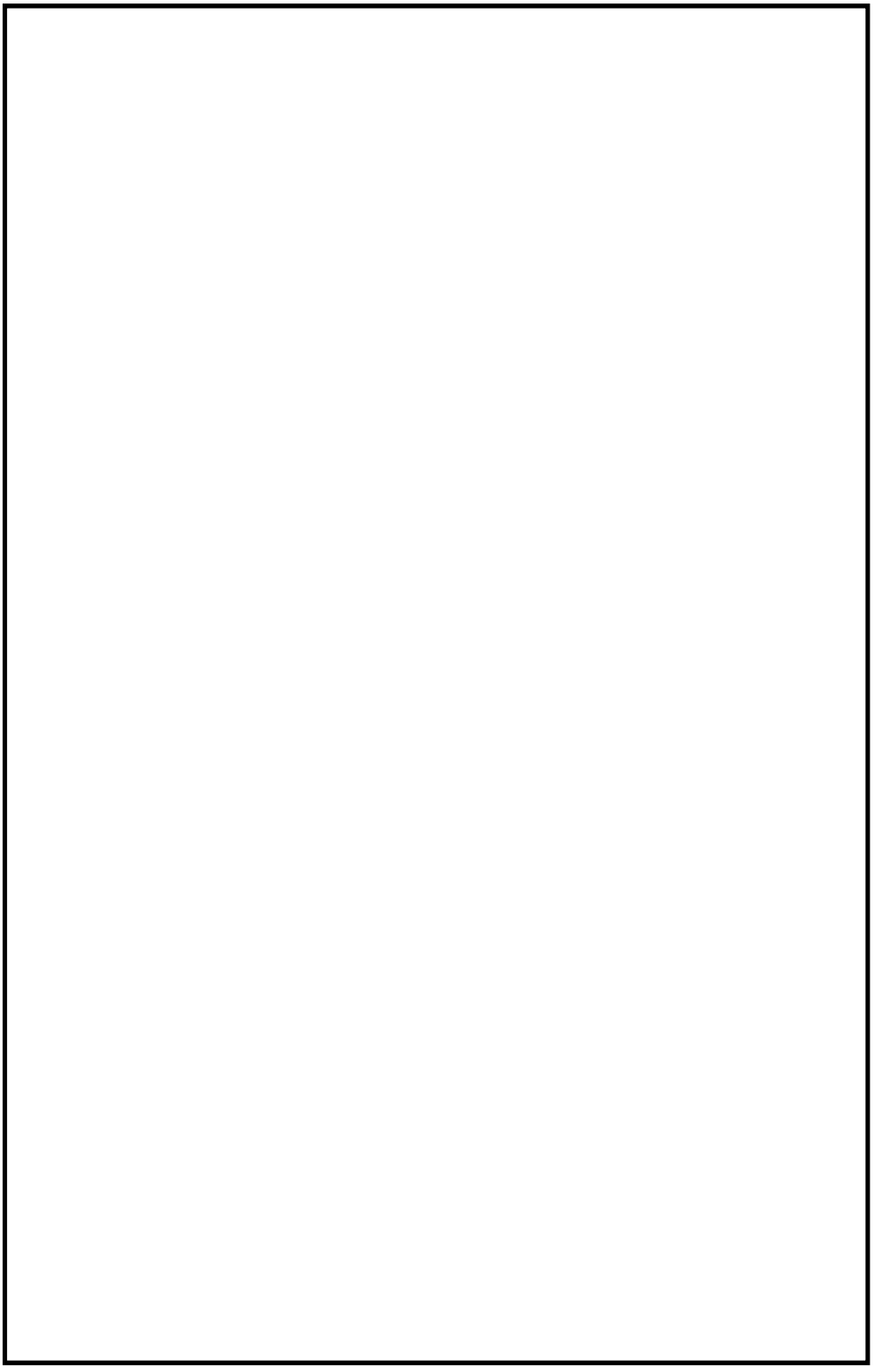


図 3－4　解析結果の比較（鉛直方向）

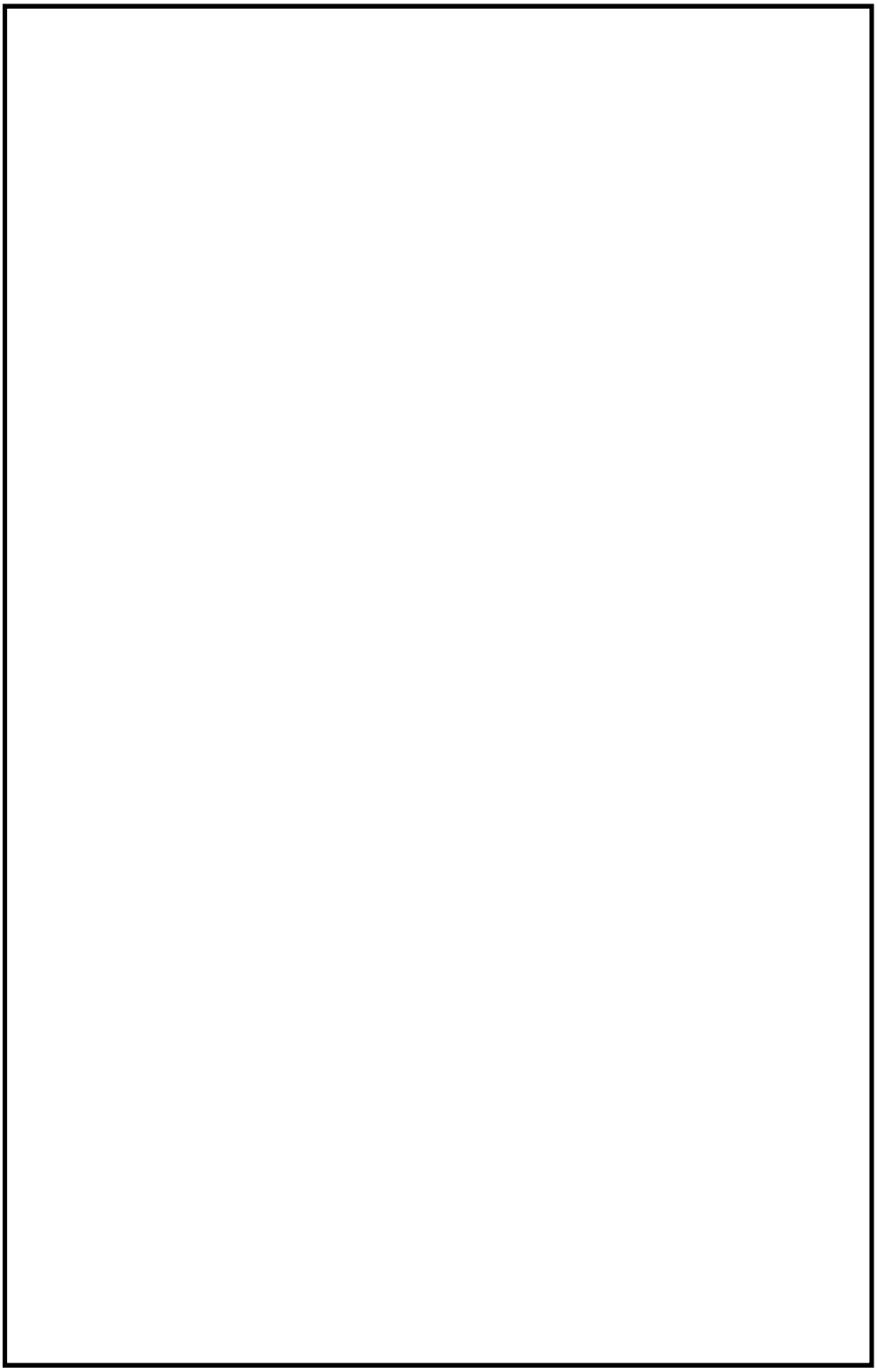


図 3－5　解析結果の比較（回転方向）

3.5.2　使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，水平方向，鉛直方向及び回転方向の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。

4.　引用文献

(1) [redacted]

別紙 19　ＬＮＯＶＡＫ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-6	コントロール建屋の強度計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ＬＮＯＶＡＫ
使用目的	側面地盤ばね算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1986 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	本解析コードは，Novak の方法による側面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。埋込み部を等価な円形に置換することで，全無限弾性体中の無質量剛な円盤が定常振動するときのインピーダンスを解析的に求める。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける Novak の方法による側面地盤ばねを算定するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・[redacted]と本解析コードによる解析解を比較した結果，双方の解がおおむ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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，建屋側面地盤の水平ばね及び回転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。

3.　解析手法

3.1　一般事項

本解析コードは，Novakの方法による側面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねを算定するために，動的インピーダンスの計算を行う。

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。

・全無限弾性体中の無質量剛な円盤が定常振動するときのインピーダンスを求めることができる。
・水平方向，鉛直方向及び回転方向のばねを求めることができる。
・任意の振動数に対する動的ばねを求めることができる。
・解析結果としては，任意の振動数に対する水平方向，鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。

3.3　解析手法

図 3－1 に示す加振を受ける剛な円盤の水平方向のインピーダンス算定式は，以下の式で表される。

$$\tilde{k}_a = -\pi \cdot G \cdot a_0^{\,2} \cdot \frac{4K_1(b_0^*)\cdot K_1(a_0^*) + a_0^* \cdot K_1(b_0^*)\cdot K_0(a_0^*) + b_0^* \cdot K_0(b_0^*)\cdot K_1(a_0^*)}{b_0^* \cdot K_0(b_0^*)\cdot K_1(a_0^*) + a_0^* \cdot K_1(b_0^*)\cdot K_0(a_0^*) + b_0^* \cdot a_0^* \cdot K_0(b_0^*)\cdot K_0(a_0^*)} \tag{3.1}$$

ここで，

$K_0(\ )$　：0 次の変形ベッセル関数

$K_1(\ )$　：1 次の変形ベッセル関数

a_0　：$\omega \cdot r_0 / V_S$ で定義される無次元振動数（$a_0^* = \frac{a_0}{\sqrt{1+i\cdot 2h}} \cdot i$）

b_0　：$\omega \cdot r_0 / V_P$ で定義される無次元振動数（$b_0^* = \frac{a_0^*}{\eta}$，$\eta = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$）

回転方向のインピーダンス算定式は，以下の式で表される。

$$\tilde{k}_c = \pi \cdot G \cdot r_0^{\,2}\left[1 + a_0^* \cdot \frac{K_0(a_0^*)}{K_1(a_0^*)}\right] \tag{3.2}$$

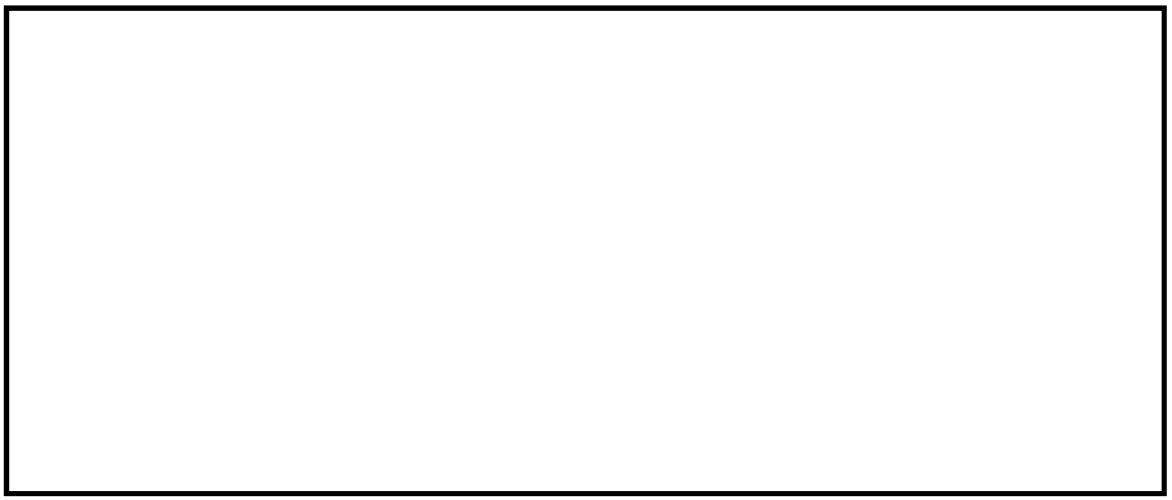


図3－1　加振を受ける剛円盤（引用文献(2)参照）

なお，解析当たっては下記の仮定を設けている。

・建屋埋込み部分を等価な円形と仮定する。

・建屋埋込み部分は無質量の剛体と見なす。

・建屋－地盤間の接触・剥離は考慮しない。

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図3－2に示す。

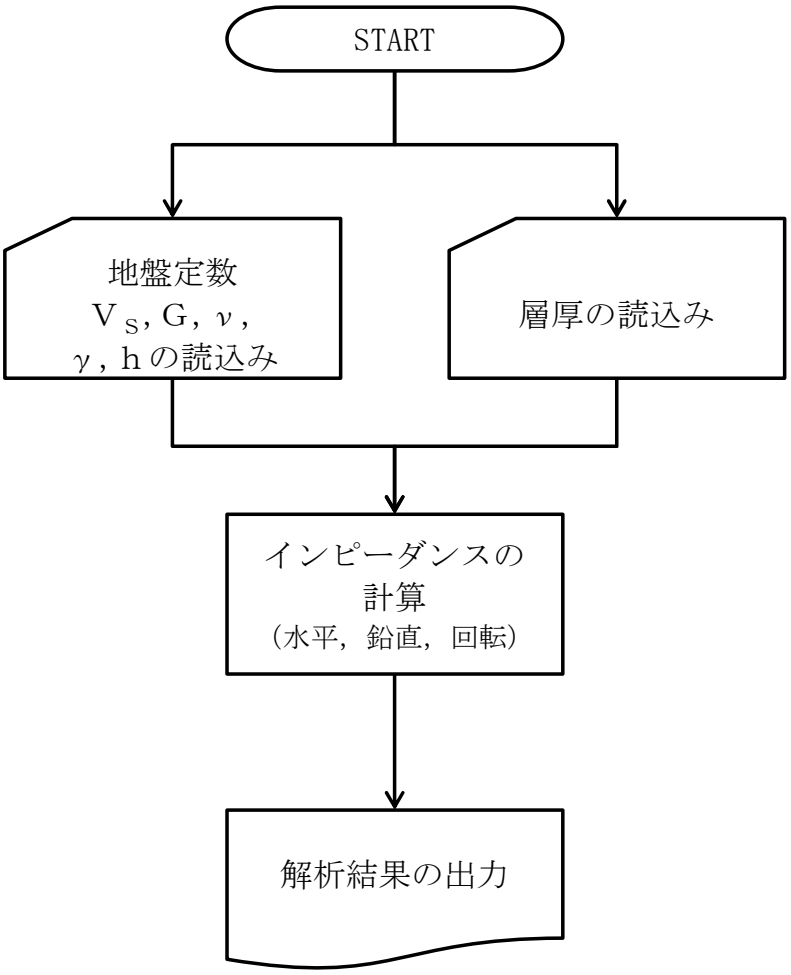


図3－2　解析フローチャート

3.5 検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

3.5.1 文献との比較による検証

本解析コードについて，[redacted]との比較を行う。

以下の条件下により Novak の方法による側面地盤ばねを算定する。

・側面地盤　：せん断波速度Ｖｓ＝[redacted]
　単位体積重量γ＝[redacted]
　ポアソン比ν＝[redacted]

・計算振動数　：[redacted]

・層厚　：[redacted]

解析結果の比較を図 3－3，図 3－4 に示す。

図より，本解析コードの結果は[redacted]と一致していることが確認できる。

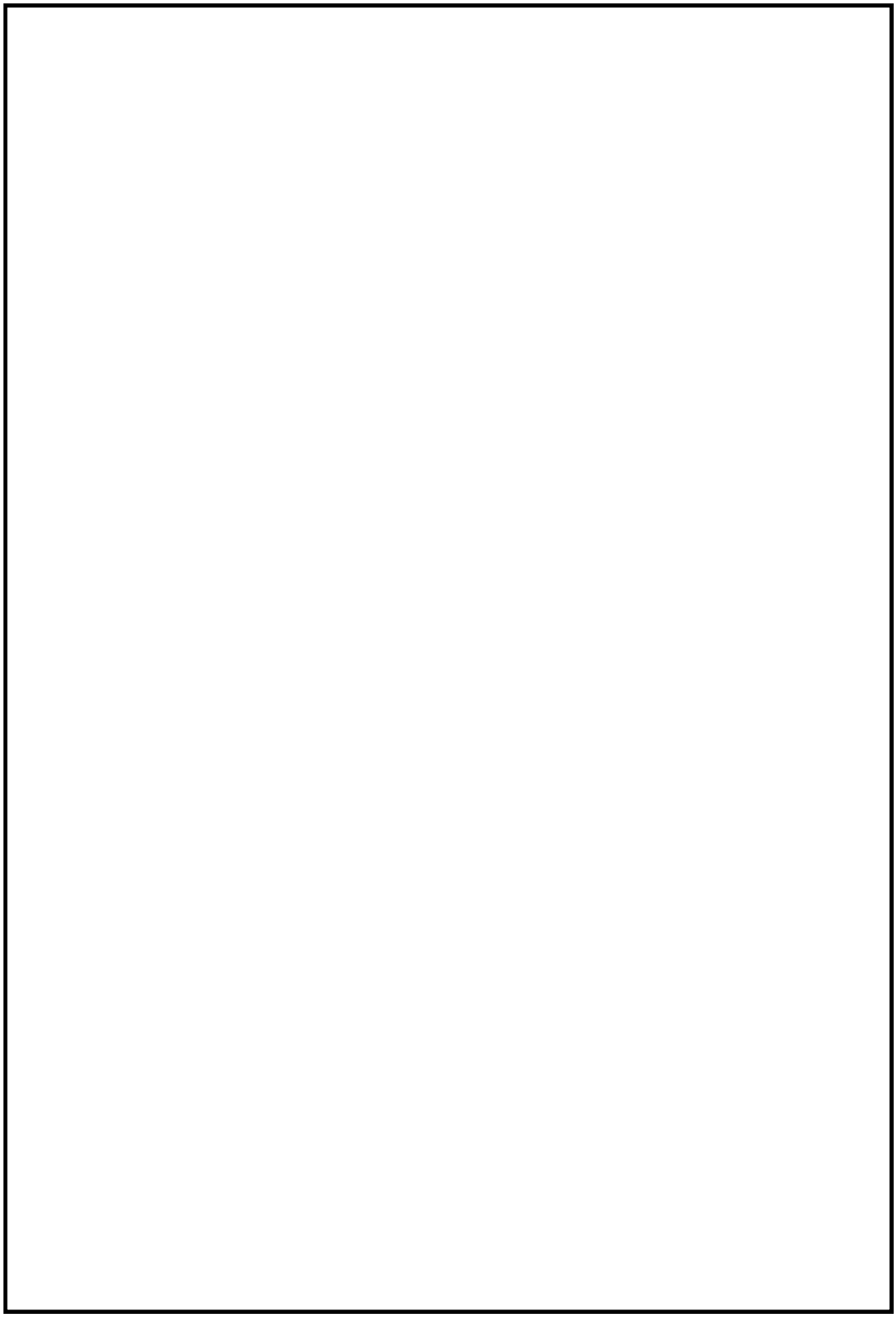


図 3－3　解析結果の比較（水平方向）

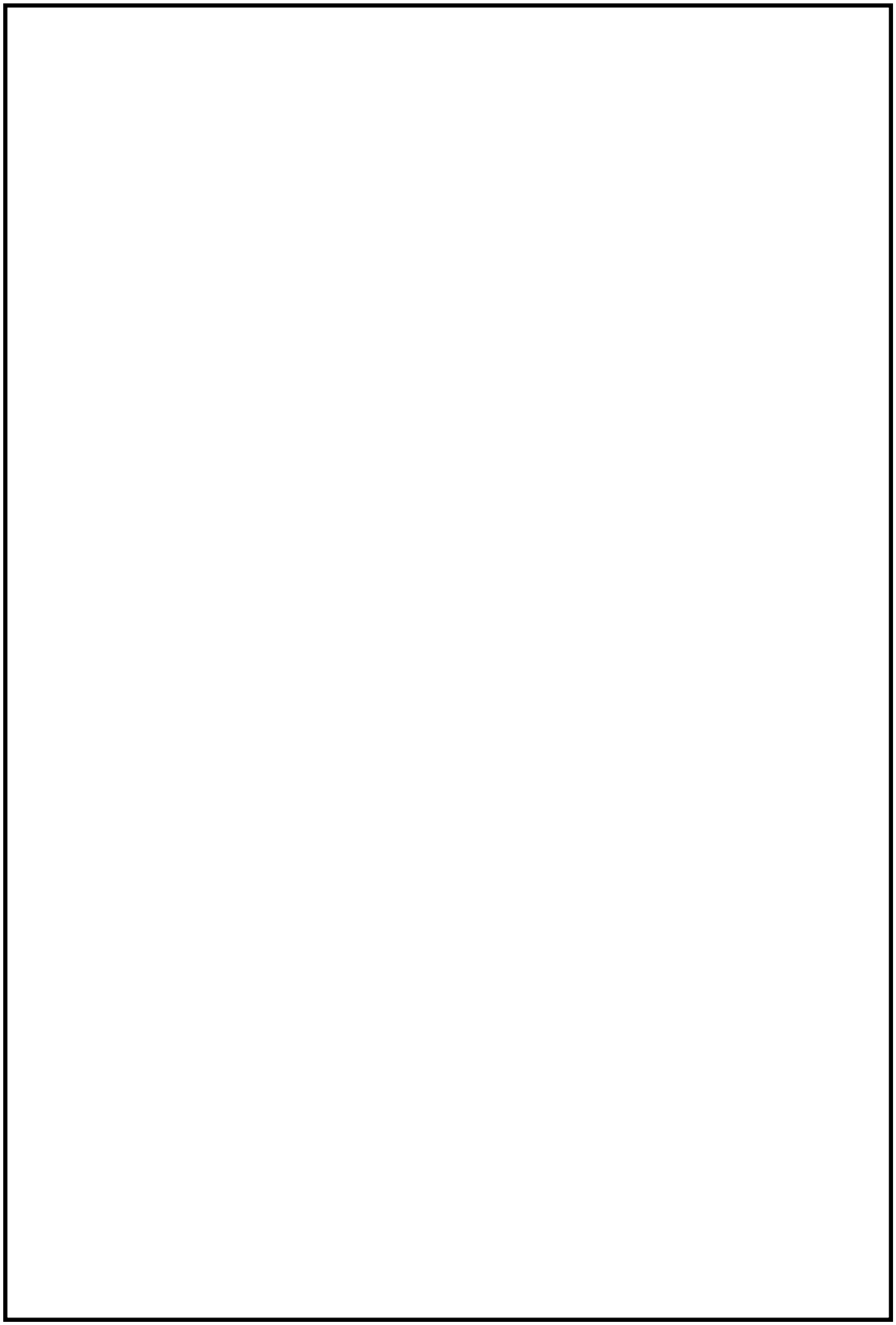


図 3－4　解析結果の比較（回転方向）

3.5.2　使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，建屋側面地盤の水平ばね及び回転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。

4.　引用文献

(1)

(2)

別紙 20　ＳＨＡＫＥ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-6	コントロール建屋の強度計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	SHAKE
使用目的	入力地震動算定
開発機関	東電設計株式会社（オリジナル：カリフォルニア大学）
開発時期	1988 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	本解析コードは，1次元波動論に基づき，多層地盤の地震応答解析を効率よく行うために開発されたプログラムである。等価線形解析を行うことができ，各層における加速度，応力度，ひずみ度等の伝達関数，応答波形等が求められる。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動の策定において，基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄに対する地盤の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証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弾性地盤の増幅特性が理論解と一致することを確認している。 ・汎用コードである [redacted] と本解析コードによる解析解を比較した結果，双方の解がおおむ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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，地盤の応答解析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。

3.　解析手法

3.1　一般事項

本解析コードは，1次元波動論に基づき，多層地盤の地震応答解析を効率よく行うために開発されたプログラムである。本解析コードは，コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動策定のために，多層地盤の地震応答解析を行う。

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。

・1次元波動論に基づき，多層地盤の地震応答解析を効率よく行うことができる。
・等価線形解析を行うことができる。
・解析結果としては，地盤の各層における加速度，応力度，ひずみ度等の伝達関数，応答波形等が求められる。

3.3　解析手法

図 3－1 に示す多層地盤における 1 次元波動方程式は，以下の式で表される。

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \cdot \partial t} \tag{3.1}$$

ここで，

ρ ：単位体積重量

G ：せん断弾性係数

u ：変位

η ：粘性係数

ただし，変位 $u(x, t)$ は次式で表す。

$$u(x, t) = E \cdot e^{i(k \cdot x + \omega \cdot t)} + F \cdot e^{-i(k \cdot x - \omega \cdot t)} \tag{3.2}$$

ここで，右辺第 1 項は上昇波，第 2 項は下降波を示すもので，k は複素波数と呼ばれ，下式を満足するものである。

$$k^2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G + i\omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G^*} \tag{3.3}$$

ここで，

G^* ：複素せん断弾性係数

また伝達関数は，上記の変位の式より求められるｍ層とｎ層の変位を

$$U_m = E_m(\omega) + F_m(\omega) \tag{3.4}$$

$$U_n = E_n(\omega) + F_n(\omega) \tag{3.5}$$

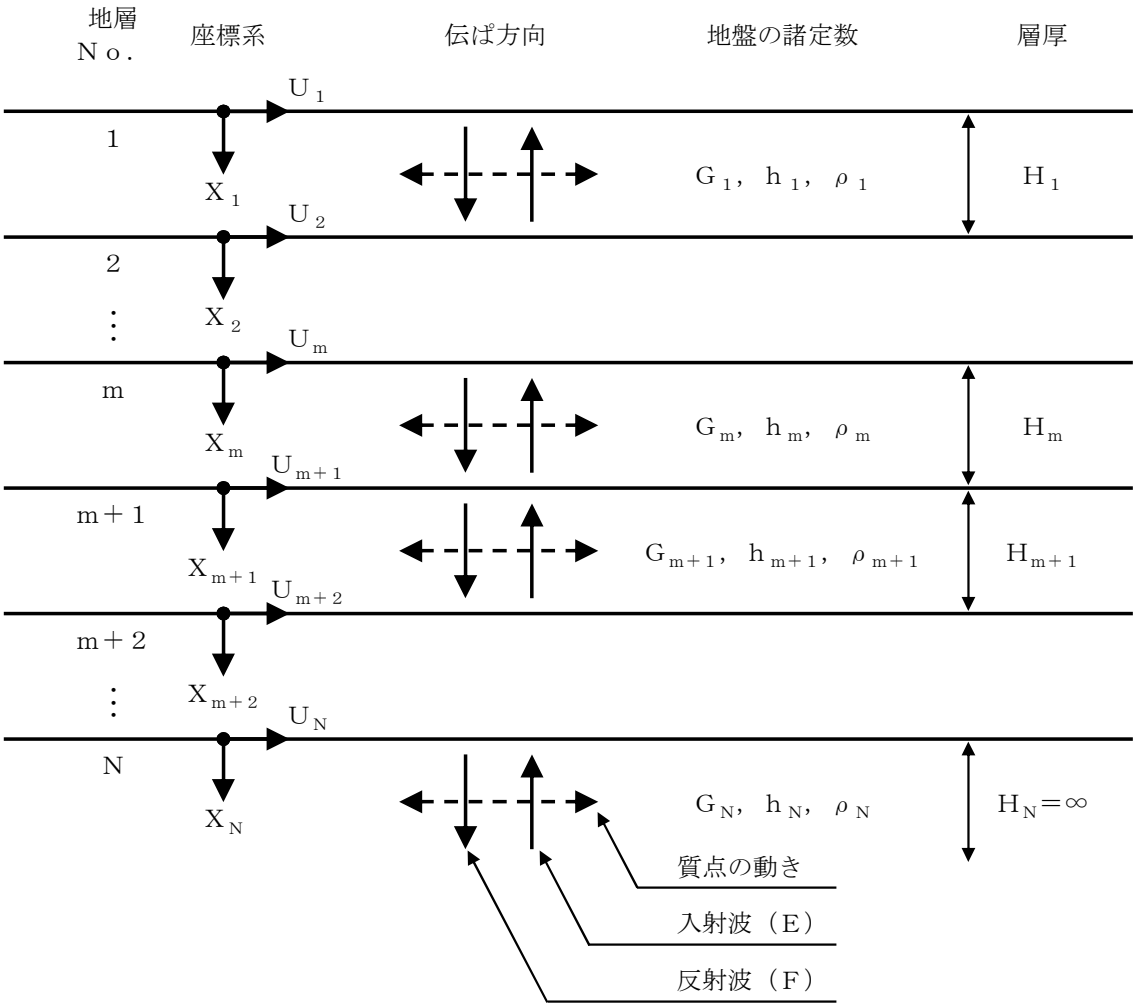
と表わせば，ｍ層とｎ層の伝達関数 $A_{n,m}(\omega)$ は次式で求められる。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{U_m}{U_n} = \frac{E_m(\omega) + F_m(\omega)}{E_n(\omega) + F_n(\omega)} \tag{3.6}$$

なお，解析当たっては下記の仮定を設けている。

・地盤を水平成層よりなるものと仮定し，その各層はせん断弾性係数，減衰定数，単位体積重量及び層厚により規定されるものとする。

・各層の応答は，鉛直方向に伝ぱするせん断波のみにより励起されるものとする。



記号

G_m ： m層のせん断弾性係数

h_m ： m層の減衰定数

ρ_m ： m層の単位体積重量

H_m ： m層の層厚

U_m ： m層の水平変位

X_m ： m層の局所座標

図 3－1　解析対象の多層地盤

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図 3－2 に示す。

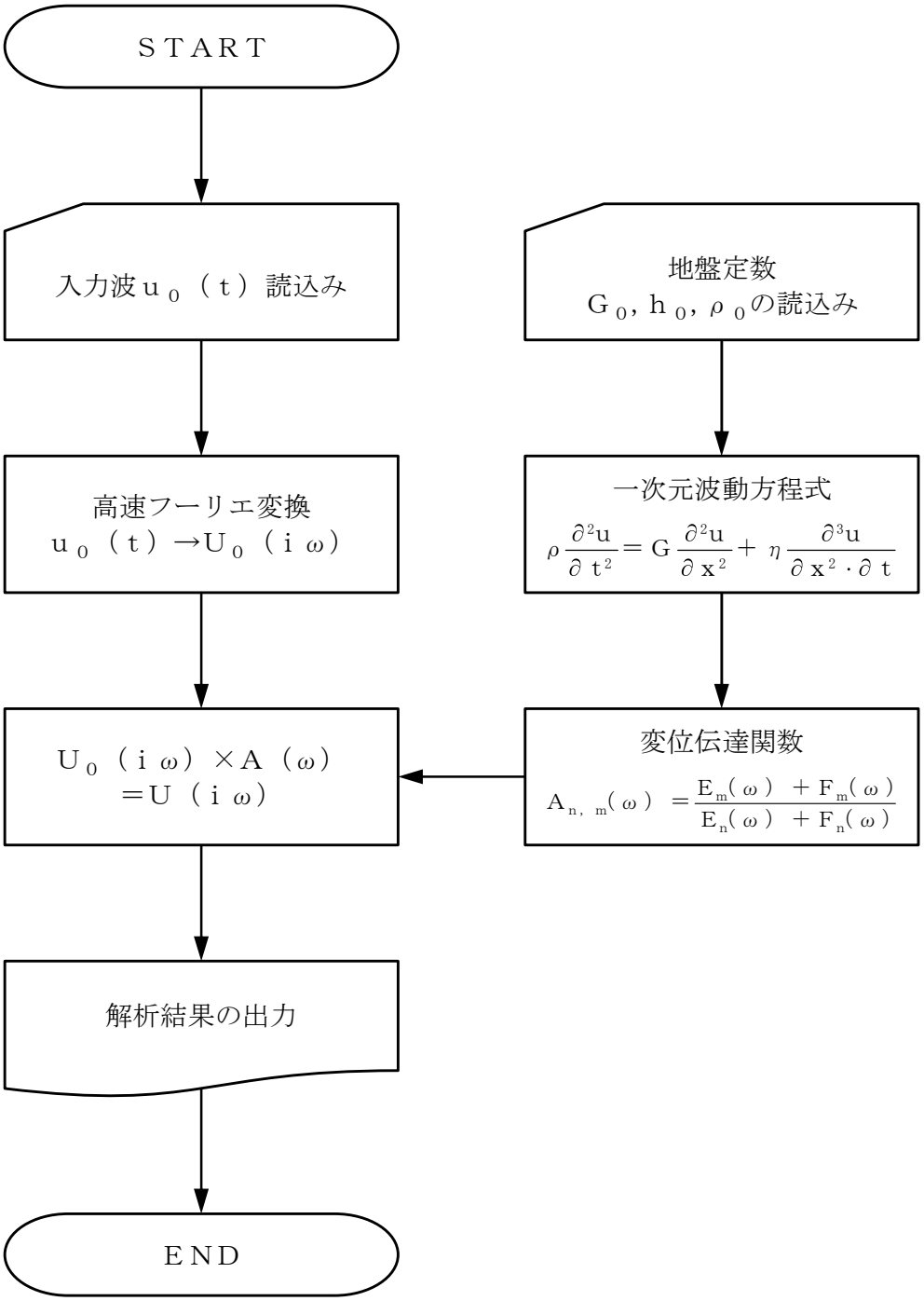
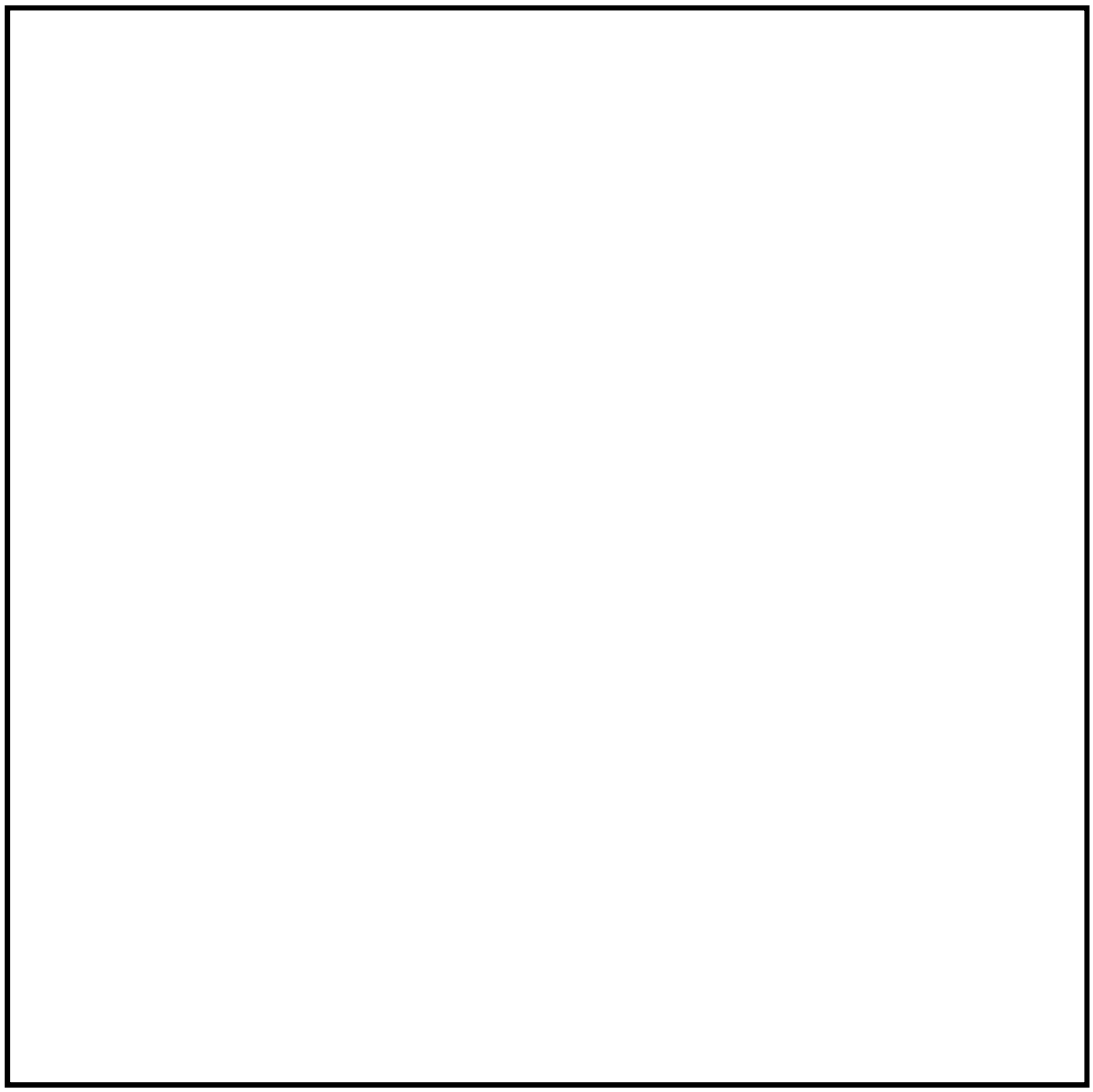


図3－2　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

3.5.1　理論解との比較による検証

本解析コードについて，[redacted]の理論解（非減衰時の伝達関数）との比較を行う。



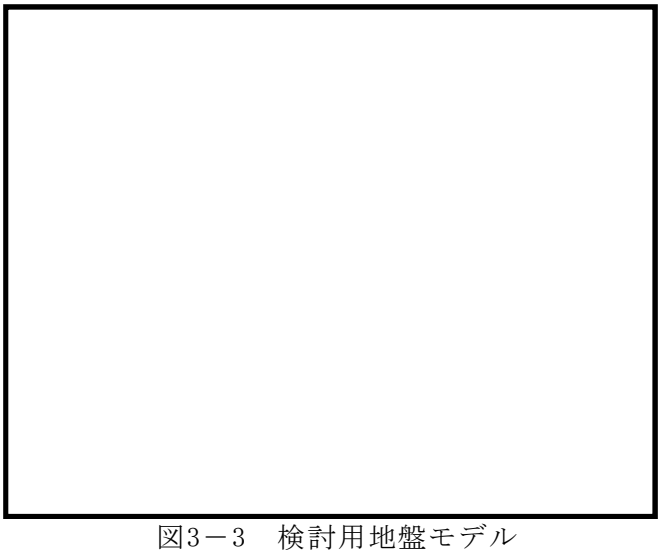


図3－3　検討用地盤モデル

非減衰時における伝達関数の比較を図 3－4 に示す。

図より，本解析コードの結果は理論解と一致しており，地盤応答を正しく評価していることが確認できる。

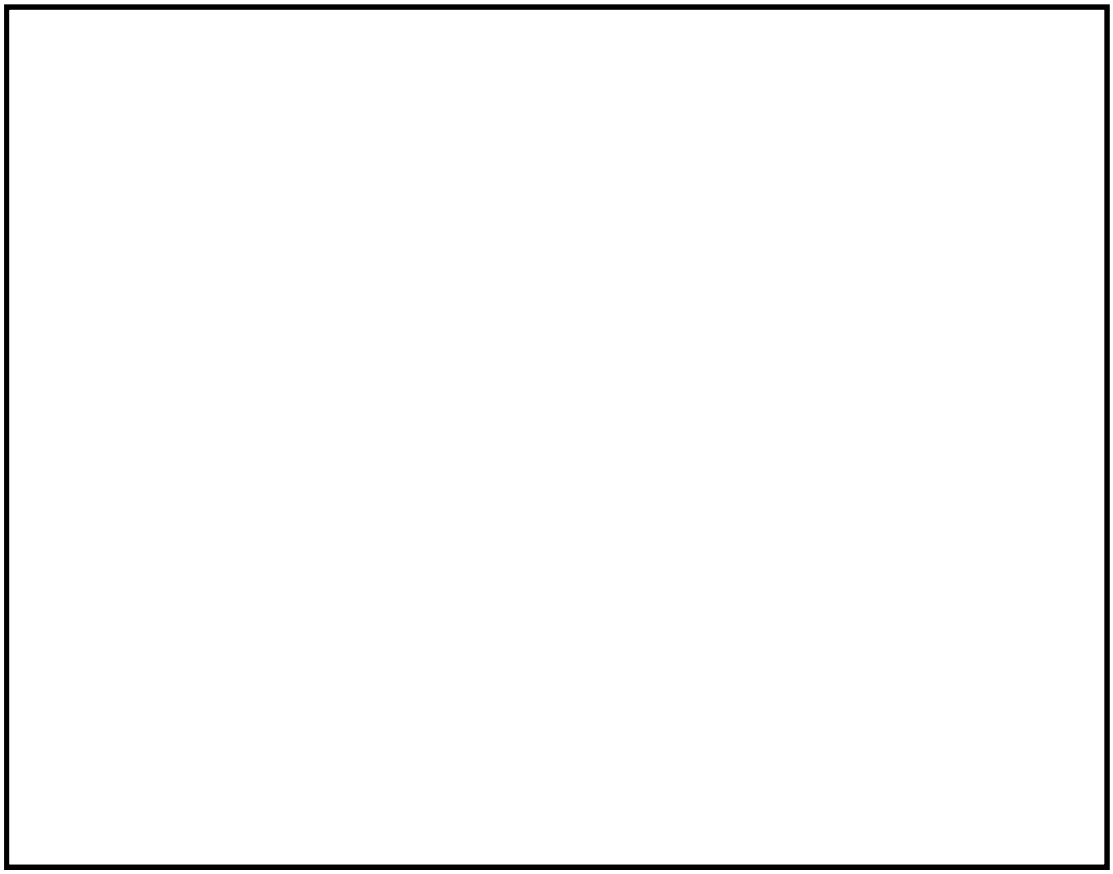


図3－4　伝達関数の理論解との比較

3.5.2　他コードとの比較による検証

本解析コードについて，市販されている 2 次元有限要素法による地盤－構造物連成系の動的相互作用解析プログラム [redacted] との比較を行う。

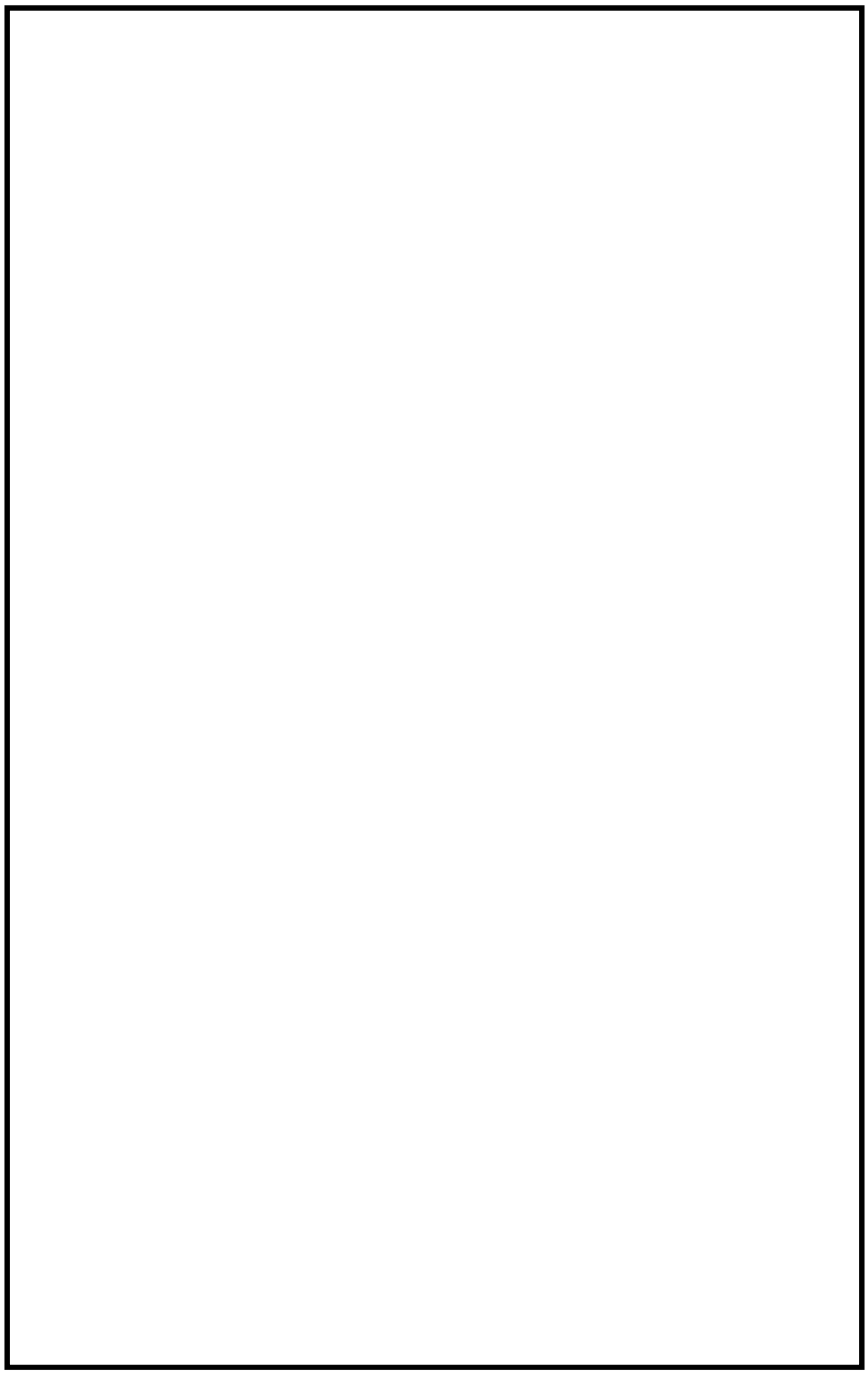
多層地盤を対象に,等価線形解析を実施する。検討用地盤モデルを表 3－1 に，各地層の動的ひずみ依存特性を図 3－5 に示す。図 3－6 に示す入力地震動を [redacted] に基準化した地震動を，モデル下端に 2E 波として入力した。なお，解析条件は以下の条件とした。

・考慮する振動数　：[redacted]
・有効せん断ひずみの算定に用いる係数　：[redacted]

解析結果の比較を図 3－7，表 3－2 に示す。

図より，本解析コードの結果は [redacted] による結果とおおむね一致していることが確認できる。

表 3－1　検討用地盤モデル



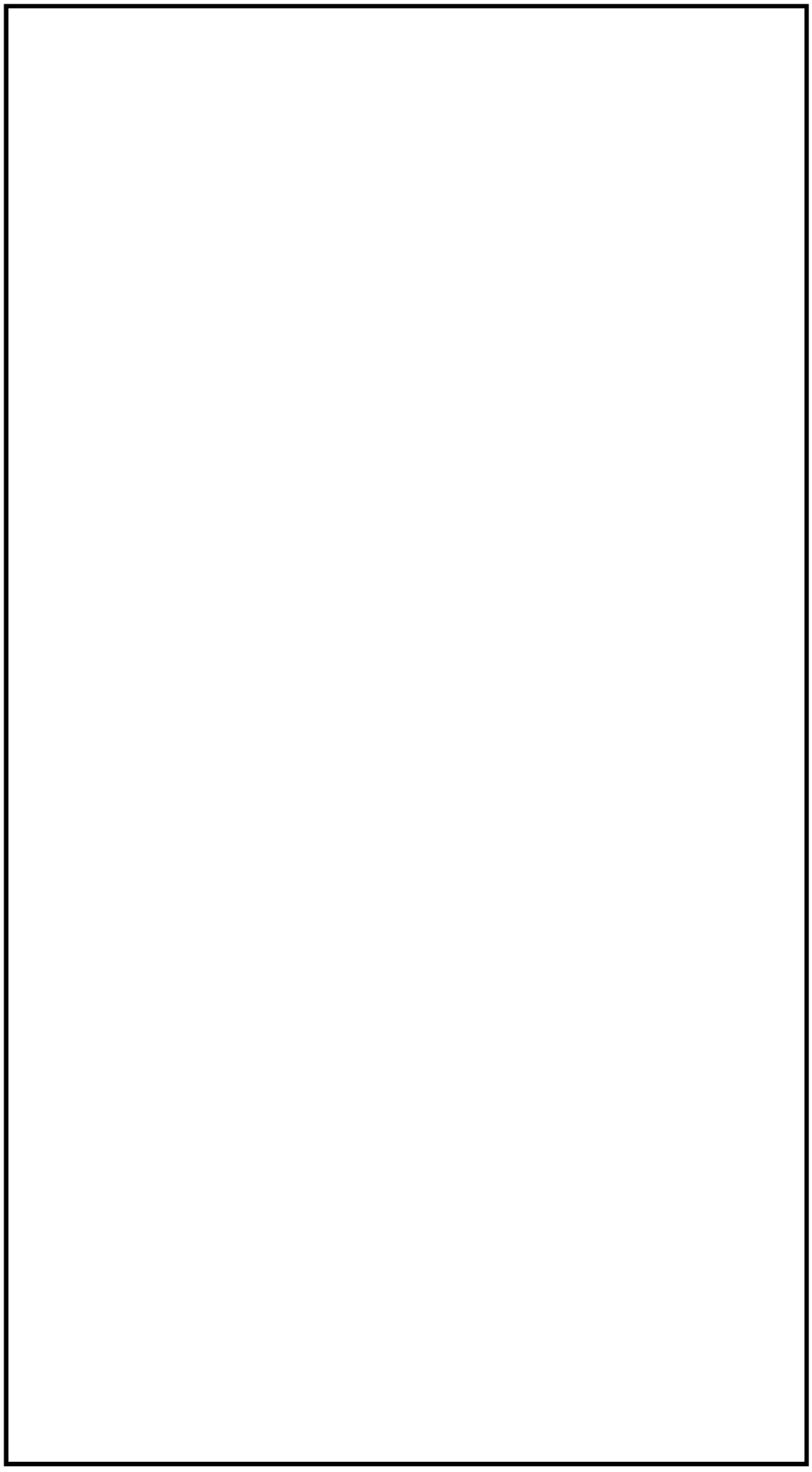


図 3－5　各地層の動的ひずみ依存特性



図 3－6　入力地震動

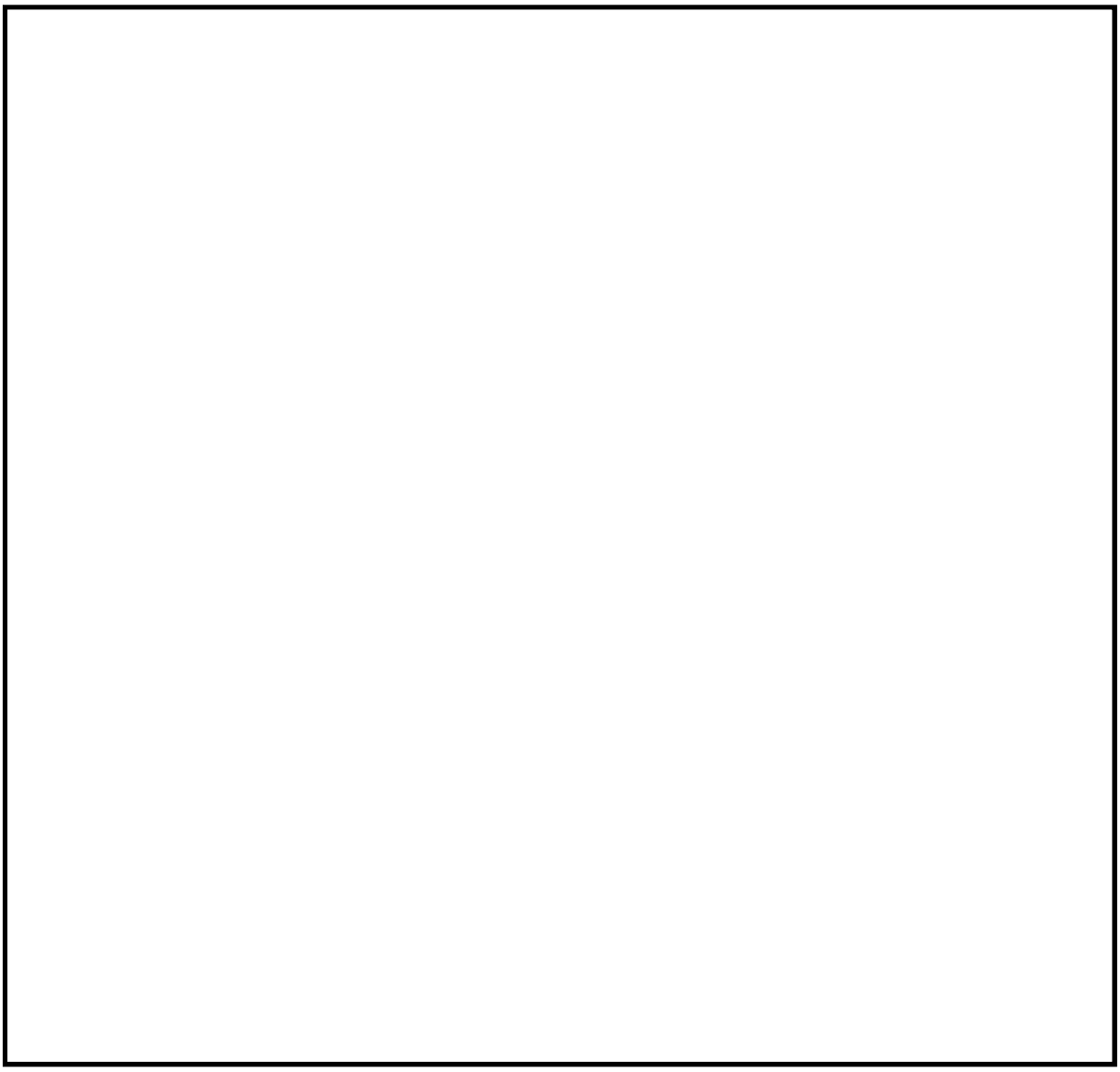


図 3－7　解析結果の比較

表 3－2　解析結果の比較（最大応答加速度）（1/2）

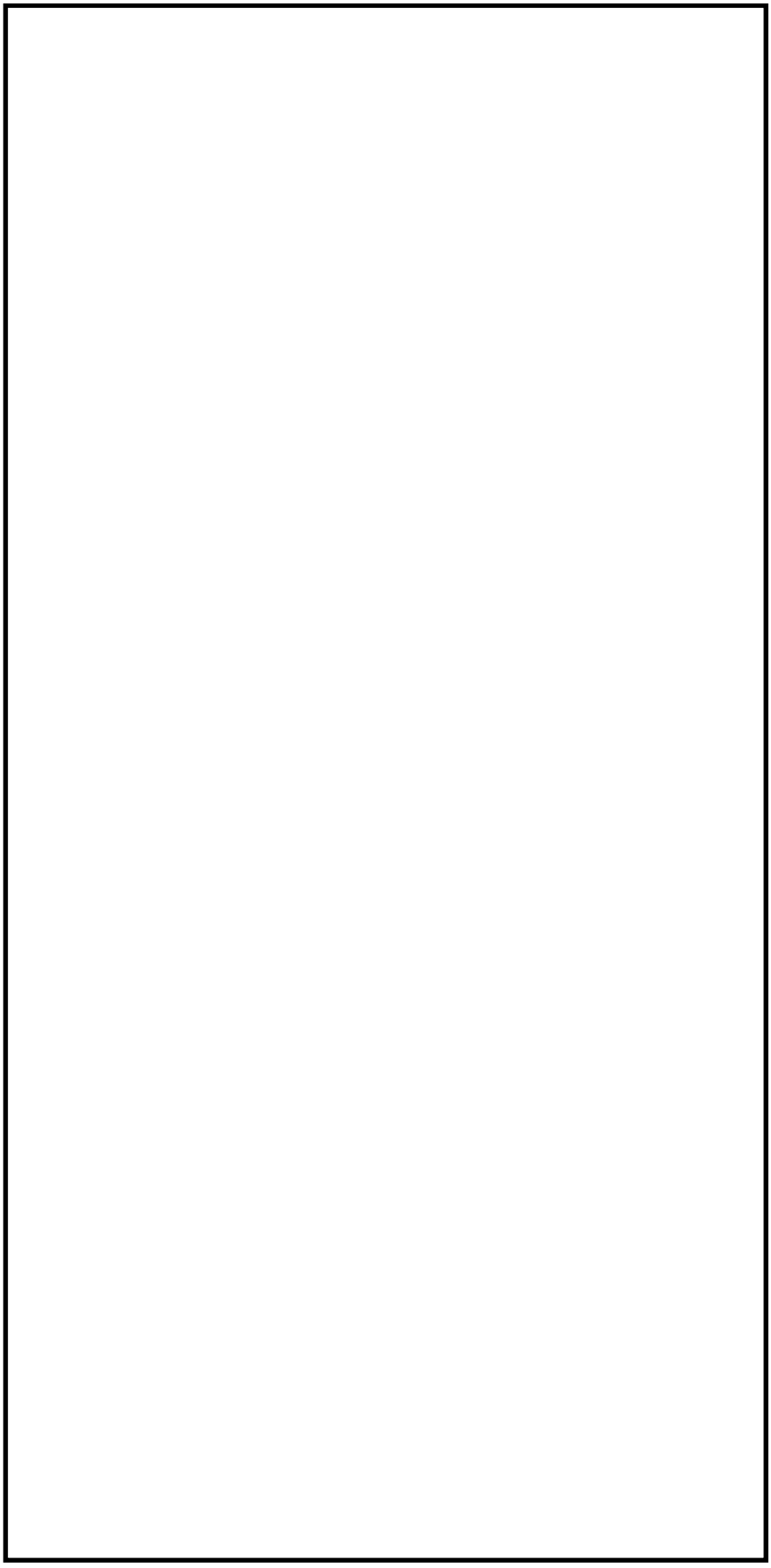
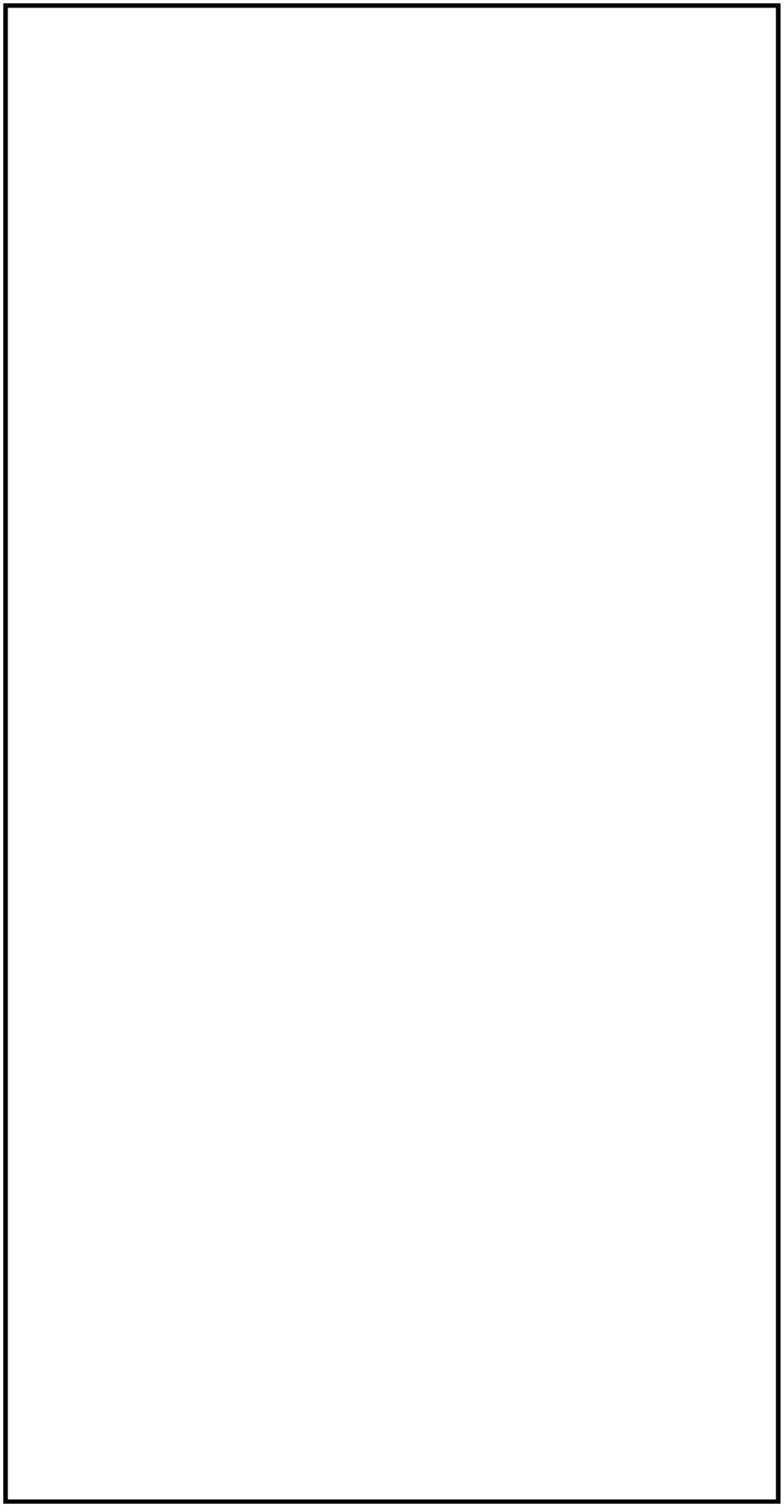


表 3－2　解析結果の比較（最大せん断ひずみ）（2/2）



3.5.3　使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動の策定に本解析コードを使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・多層地盤の地震応答解析について，[redacted]による解析結果と比較しておおむね一致していることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

・検証の内容のとおり，地盤の応答解析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。

・評価地盤を水平成層と仮定していることから，1 次元重複反射理論の適用範囲である。

4.　引用文献

(1) [redacted]

別紙21　Ｓｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-8	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書	Ver.1.1.1.48

2. 解析コードの概要

項目＼コード名	Ｓｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３
使用目的	静的応力解析
開発機関	ユニオンシステム株式会社
開発時期	2008 年
使用したバージョン	Ver.1.1.1.48
コードの概要	本プログラムは，建築基準法に基づき，RC造，S造，SRC造，CFT造及びこれらが混合する構造物について，許容応力度計算から保有水平耐力計算までを一貫して行う構造計算ソフトウェア（プログラム）である。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードを用いた立体フレームモデルの応力解析結果が，先行審査にて使用実績のある類似解析コード（ＴＤＡＰⅢ）による解析結果と概ね一致してい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，開発機関から提示された要件を満足することを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は，以下のとおりである。 ・今回の工事計画認可申請における使用目的である建屋構造の応力解析について，本解析コードの適用の妥当性を検証している。 ・建築分野の構造計算及び建築確認申請では広く使用されているプログラムであり，建屋構造計算では十分な実績を有している。 ・今回の工事計画認可申請における建屋構造の応力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。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本プログラムは，建築基準法に基づき，RC 造，S 造，SRC 造，CFT 造及びこれらが混合する構造物について，部材剛性の計算，各荷重計算（固定荷重・積載荷重・積雪荷重・風圧力・地震力），部材応力の計算，計算ルートの合否判定，断面検定，保有水平耐力の検討，崩壊形保証のためのクライテリアの検討，終局時せん断力に対する再検討までを一貫して行う構造計算プログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本プログラムは，一般建築においては豊富かつ幅広い適用実績を有しているとともに，確認申請においては主要なプログラムの 1 つである。本解析コードの主な特徴を以下に示す。

・複雑な平面形状の計算が可能である。
・柱主軸の回転が可能である。
・剛床解除，多剛床，反剛床，床ブレースを考慮できる。
・立体弾性解析，立体弾塑性解析を行うことができる。
・各種部材耐力式が適用できる。
・建築物の構造関係技術基準解説書に対応している。

3.3　解析手法

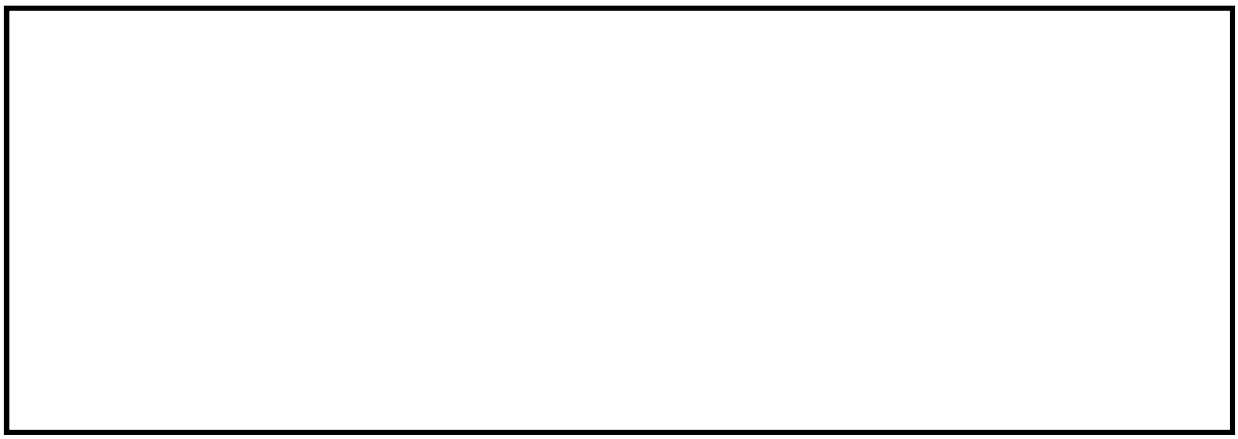
3.3.1　部材剛性マトリクス

(1)　座標系と正方向

荷重，変位を示す記号を以下のとおり定める。

δ：鉛直変位，水平変位
θ：回転角
P：鉛直力,水平力
M：モーメント

部材座標系を図 3－1 に示すように定め，回転の方向は進行方向に対して時計回りをプラスとする。

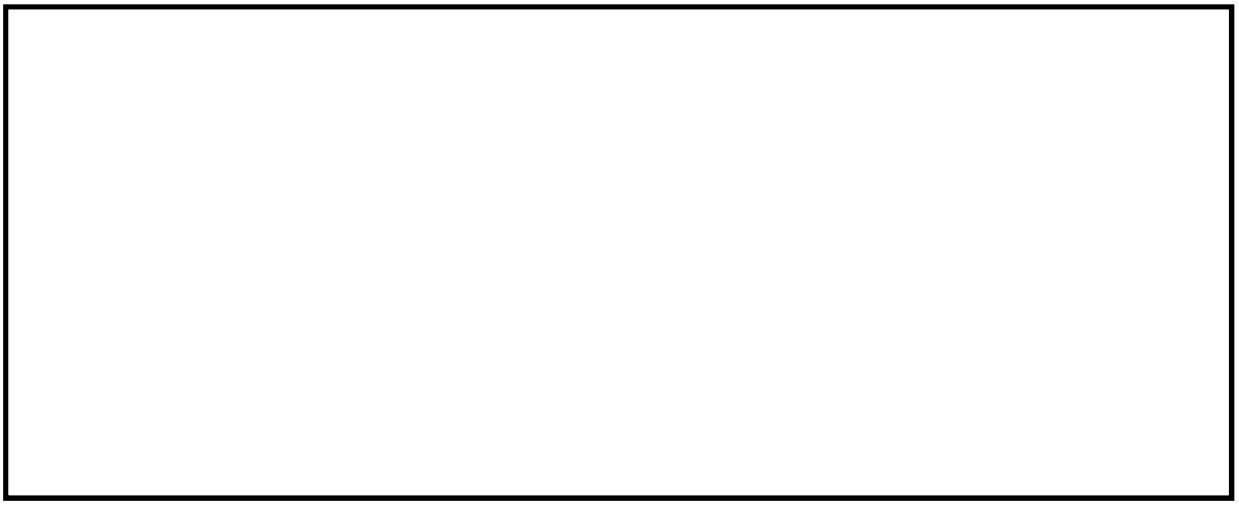


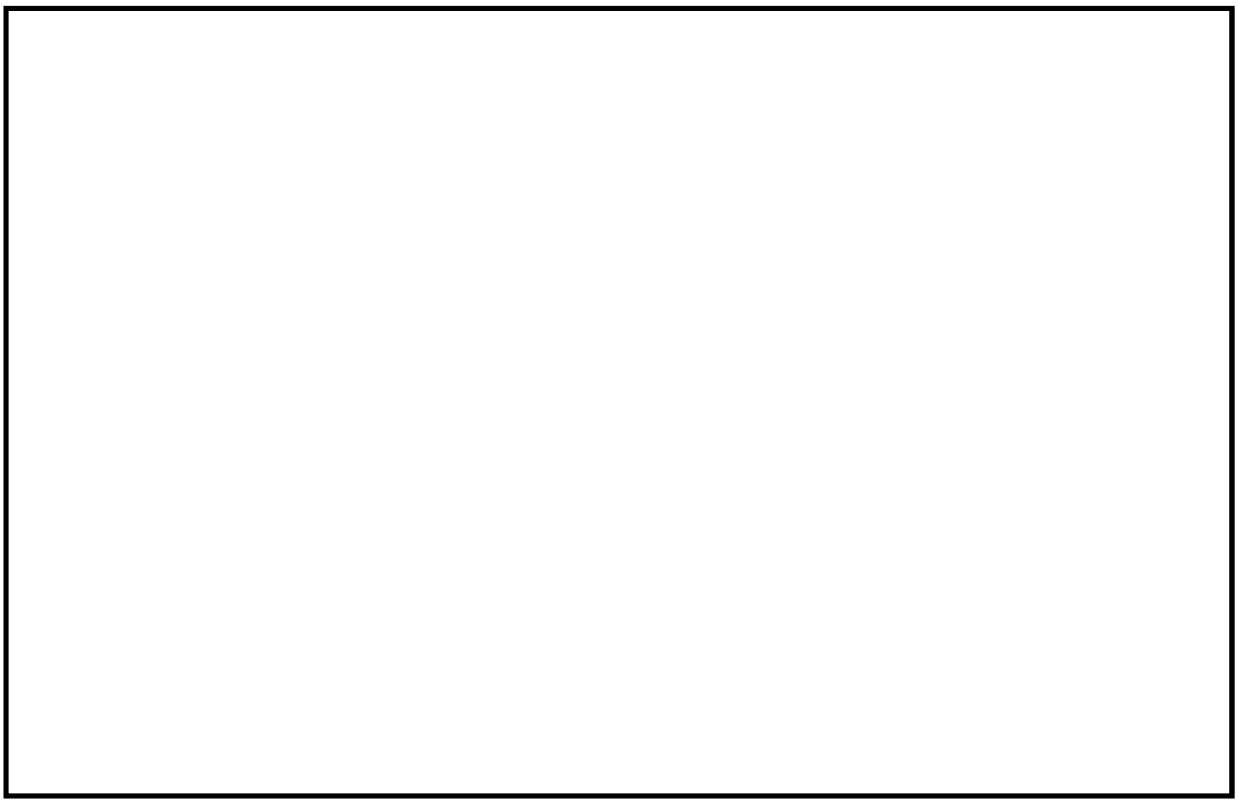
(2)　はり,柱,ブレース,壁柱の荷重－変位関係

「x 軸方向の荷重－変位関係」，「x－z 面の荷重－変位関係」，「x－y 面の荷重－変位関係」は，互いに影響し合わないものとし，独立に考慮する。

a.　x 軸方向の荷重－変位関係（軸力,捩りモーメント）

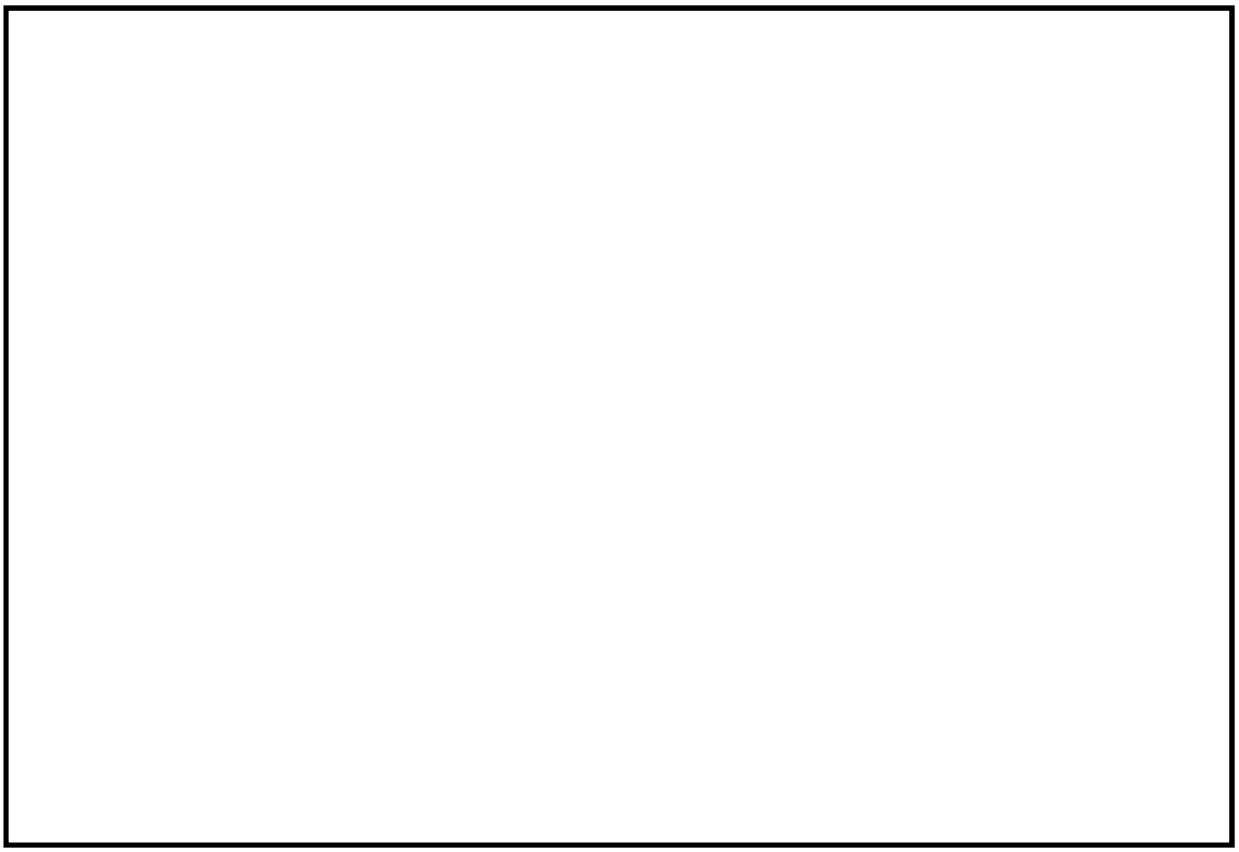
考慮する荷重及び変位の概念図を図 3－2 に示す。x 軸方向の荷重－変位関係は，式（3.1）のとおり算出する。

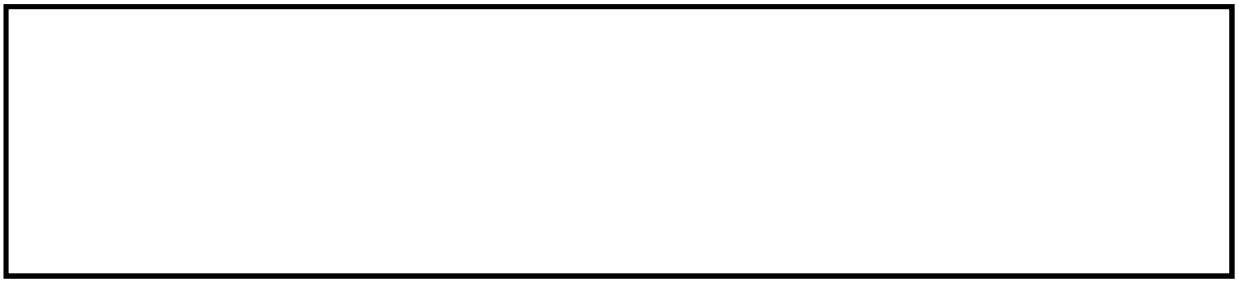




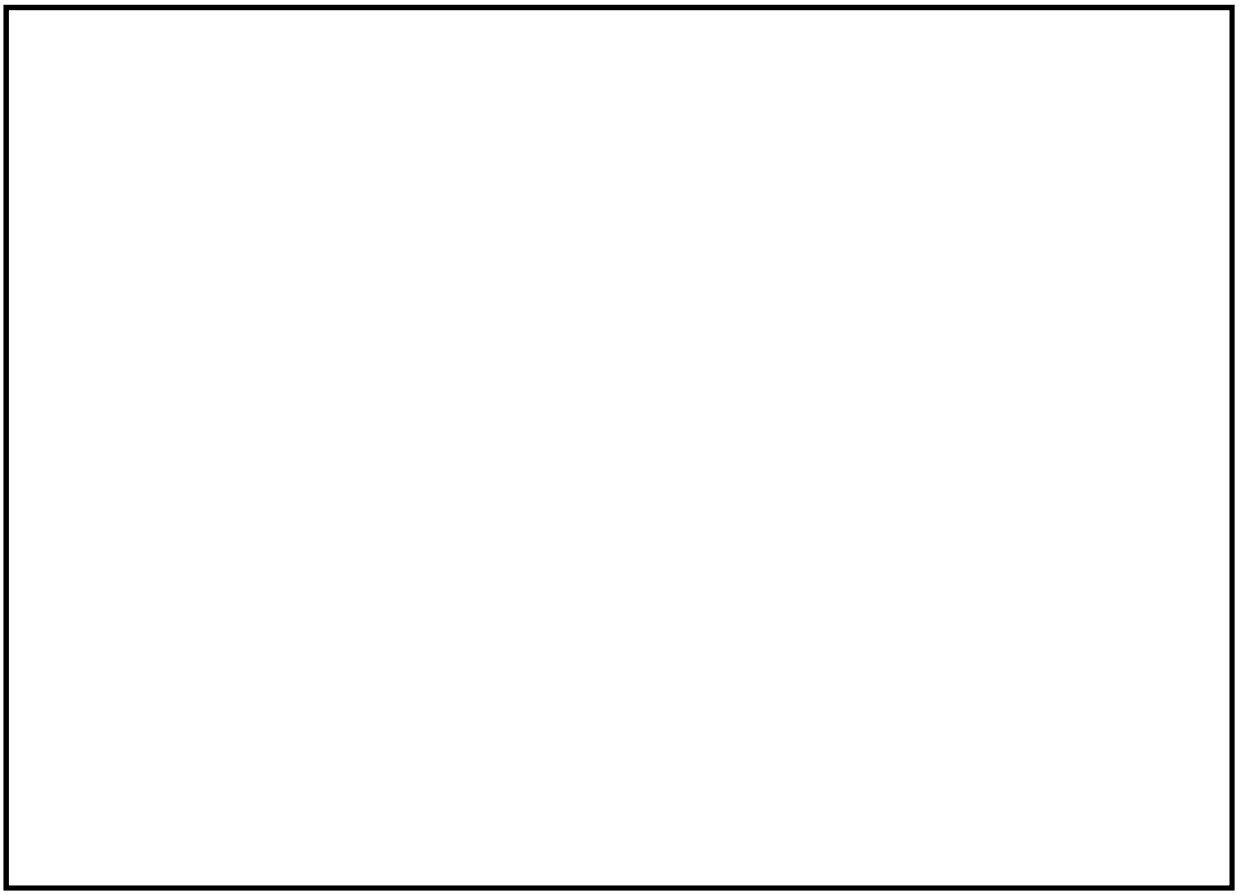
b.　ｘ－ｚ面の荷重－変位関係（せん断,曲げモーメント）

考慮する荷重及び変位の概念図を図 3－3 に示す。x 軸方向の荷重－変位関係は，式（3.2）のとおり算出する。





c.　ｘ－ｙ面の荷重－変位関係（せん断,曲げモーメント）

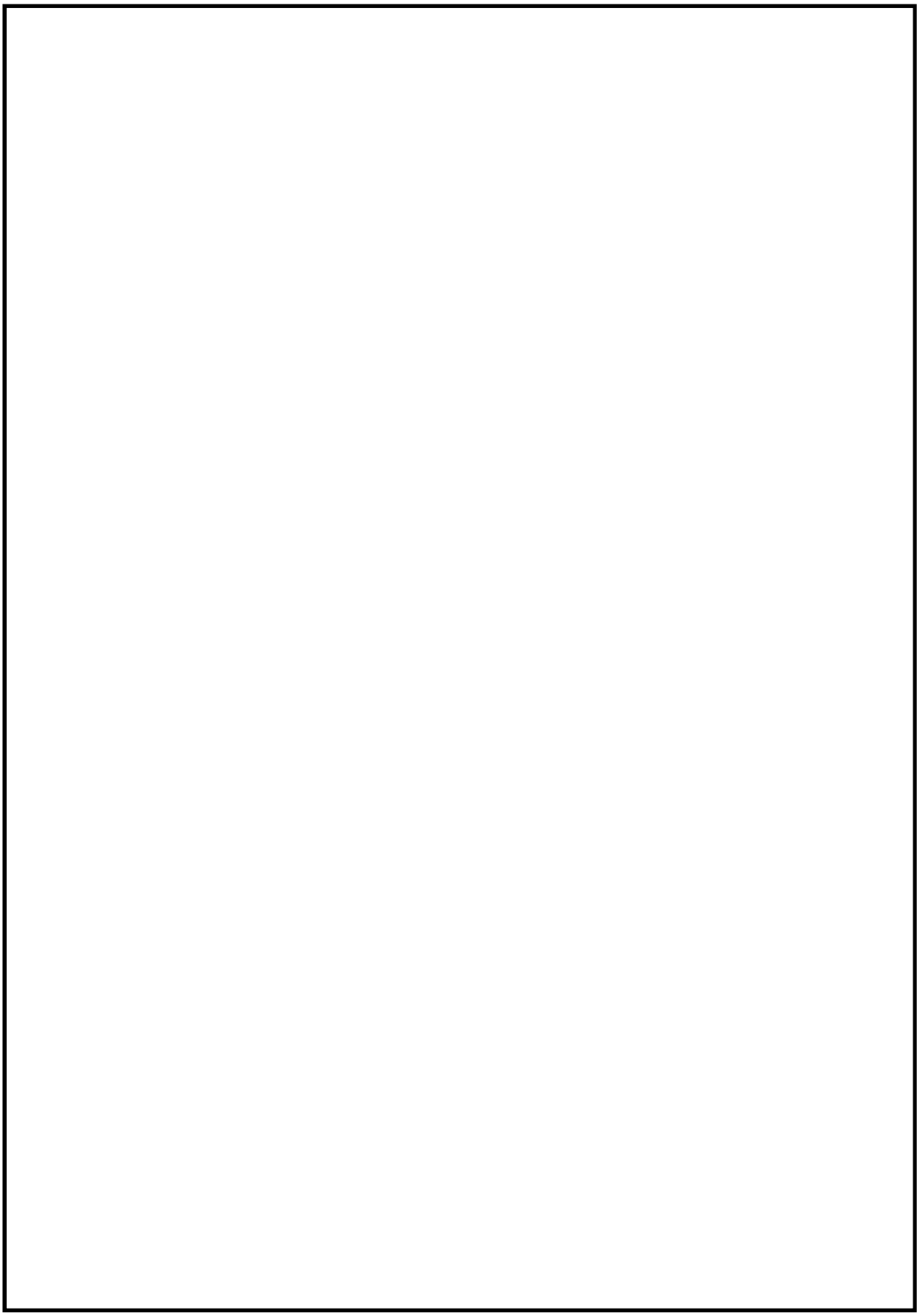


(3)　支点

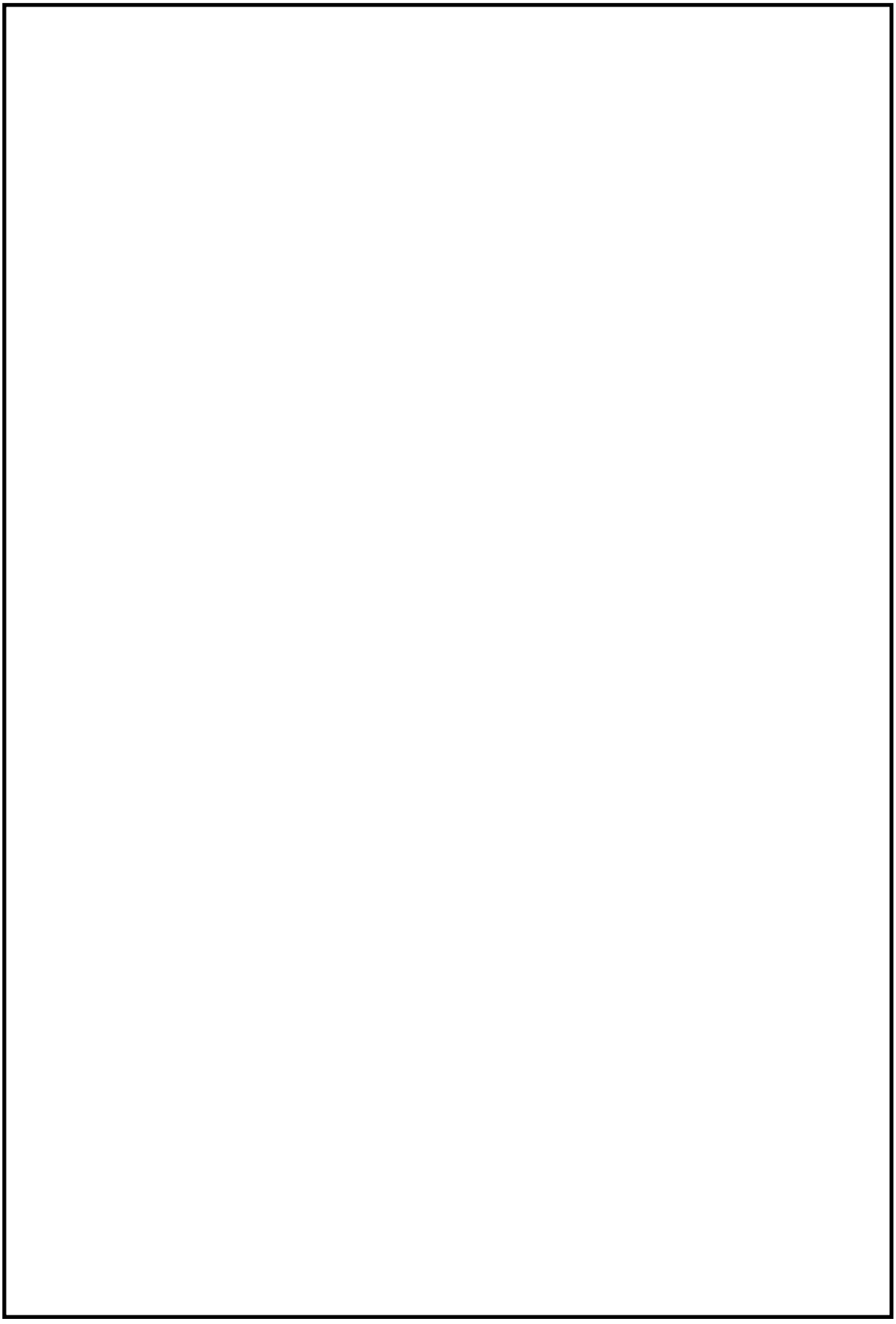


3.3.2　全体剛性マトリクス

(1)　全体座標系変換



(2)　剛床変位変換



(3)　全体剛性マトリクスの組立て

求められた全体座標系の（剛床に含まれる水平成分は代表点で表される）個々の部材の荷重－変位式を合成し，建物全体の荷重－変位式を組み立てる。

4. 解析フローチャート

解析フローチャートを図 4－1 に示す。

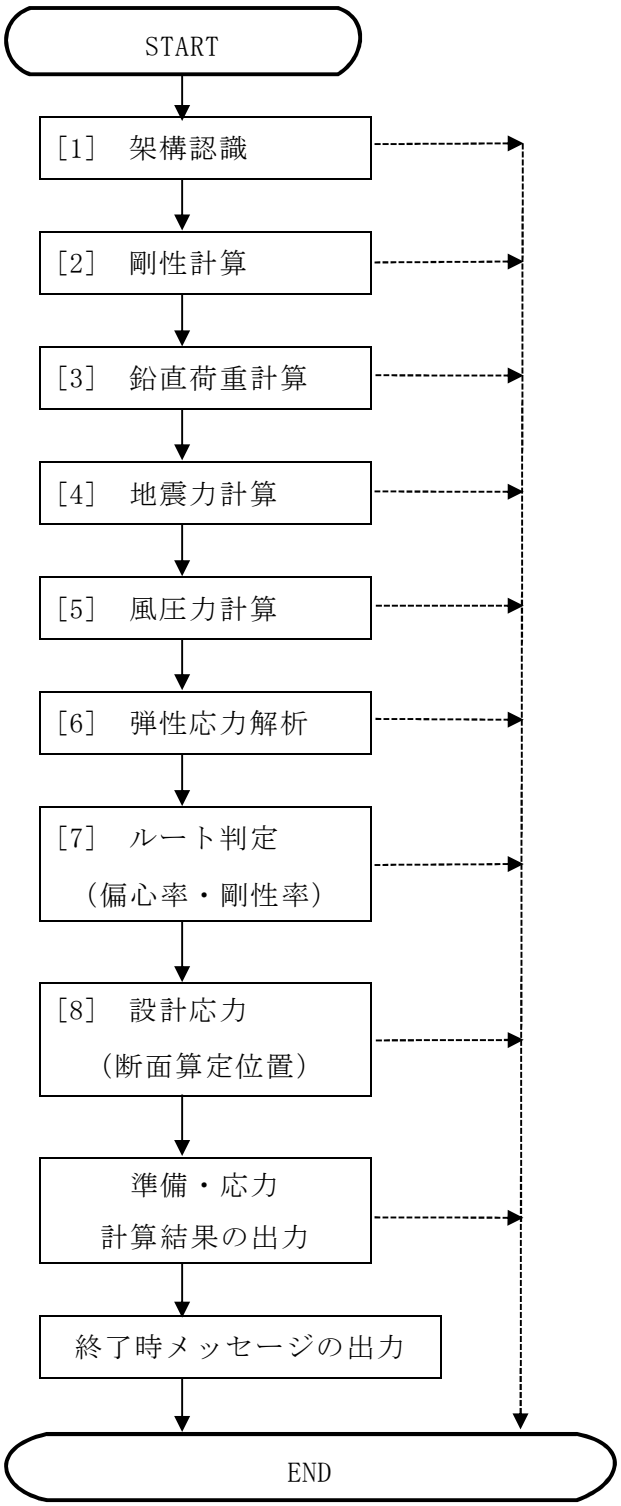


図 4－1 解析フローチャート

5. 検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

5.1 解析結果の比較による検証

本解析コードの解析結果について，本解析コードの類似解析コードである「ＴＤＡＰⅢ（大成建設株式会社，株式会社アークシステム)」の解析結果と比較し，本解析コードの適用性を検証する。ＴＤＡＰⅢは[redacted]等，先行の工事計画認可申請で使用実績があり，建設部門を中心として官公庁，大学，民間でも広く使用されている解析コードである。

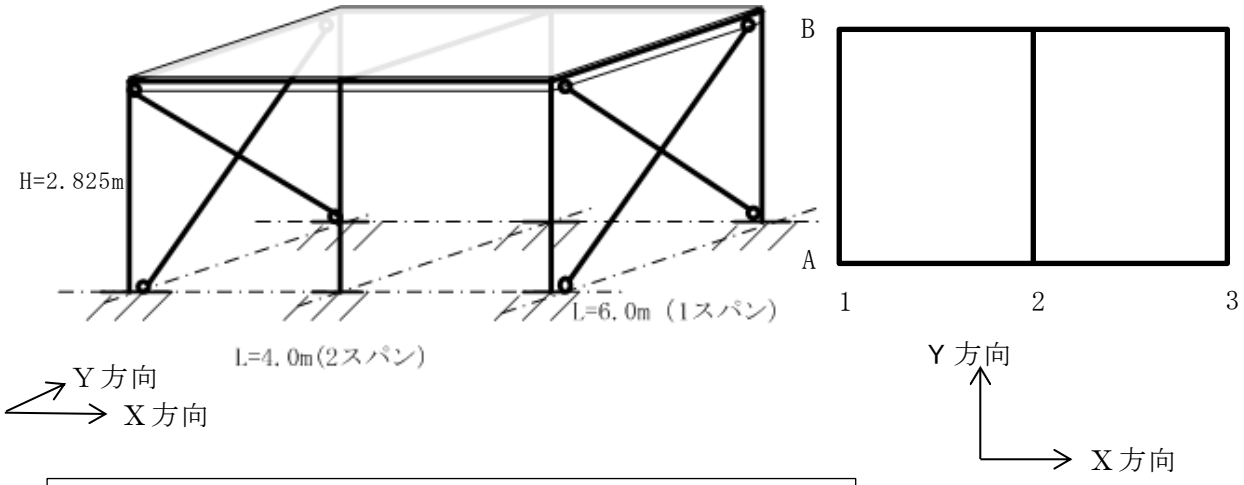
検証内容は，以下のとおりとする。

・長期荷重時の応力解析について，本解析コードとＴＤＡＰⅢの結果を比較する。

・水平荷重時の応力解析について，本解析コードとＴＤＡＰⅢの結果を比較する。

5.1.1 解析モデル

解析モデルを図 5－1 に示す。解析モデルは，1 層の 1 スパン×2 スパンの鉄骨架構モデルとする。柱と大はりはラーメン架構とし，Y 方向にブレースを 2 面配置する。柱脚は固定，ブレースの材端はピンとする。荷重条件は屋根に 150mm の RC スラブを配置し，積載荷重は考慮しない。



スラブ ：Fc24 t=150 ㎜（L.L 考慮無し）

柱 ：H-300×300×10×15（SS400）2 スパン方向が強軸；柱脚固定

大はり ：H-350×175×7×11（SS400）；両端固定

ブレース ：2L-65×65×6 外 2 構面（SS400）引張ブレース；両端ピン

(a) 解析モデル

(b) フレーム区分

図 5－1 解析モデル図

5.1.2　応力解析結果の比較（長期荷重時・水平荷重時）

図 5－3 から図 5－26 に本解析コードとＴＤＡＰⅢの長期荷重時，水平荷重時（X 方向正加振・Y 方向正加振）における断面力図を示す。また，表 5－1 から表 5－12 に本解析コードとＴＤＡＰⅢの発生断面力の比較を示す。水平荷重時は標準せん断力係数 Co=0.30 として解析する。解析結果より，本解析コードの解析結果は先行審査で使用実績があり，建設部門を中心として幅広く使用されているＴＤＡＰⅢの解析結果とほぼ一致しているため，本解析コードの結果は妥当であると判断する。

本解析コード解析結果の凡例を図 5－2 に示す。

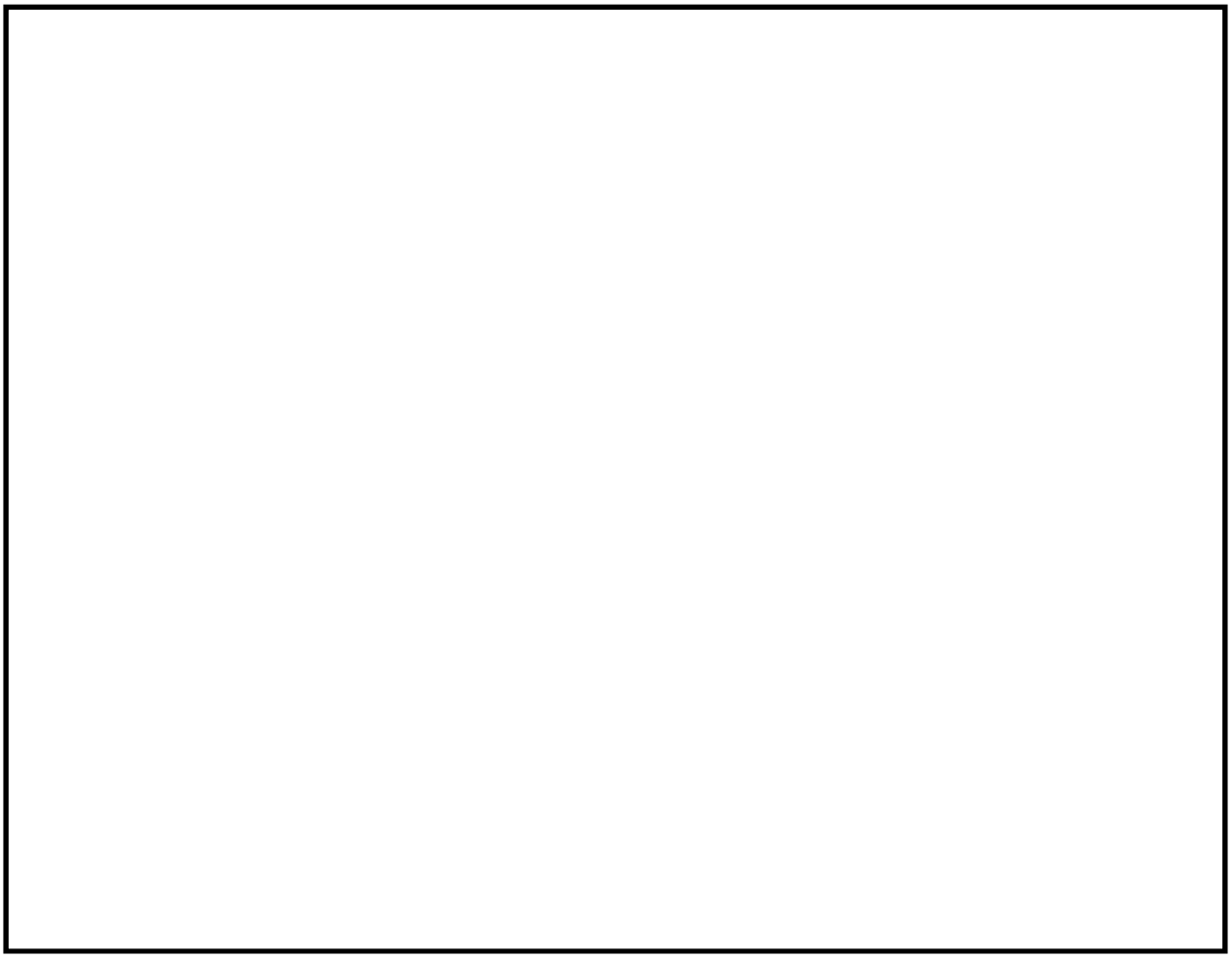


図 5－2　応力図凡例

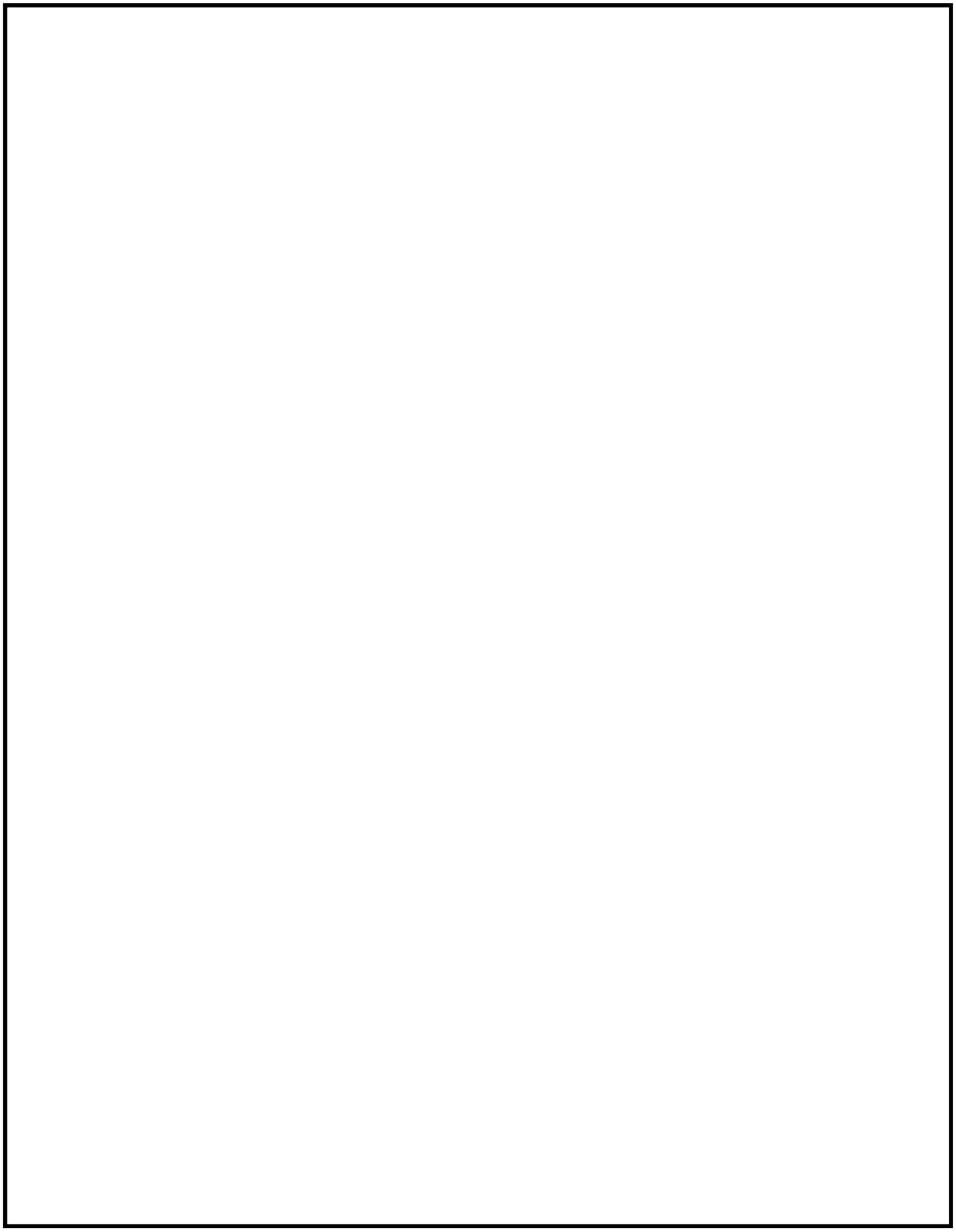


図 5－3　曲げモーメント図（長期荷重時・A フレーム）
（単位：kN・m）

表 5－1　解析結果の比較
（長期荷重時・A フレーム・曲げモーメント）

部材	着目箇所	a. SS3(kN・m)	b. TDAPⅢ(kN・m)	比率 a / b
はり 1	①	－4.7	－4.6	1.022
	②	4.5	4.6	0.978
	③	－7.5	－7.4	1.014
はり 2	④	－7.5	－7.4	1.014
	⑤	4.5	4.6	0.978
	⑥	－4.7	－4.6	1.022
柱 1	⑦	－4.7	－4.6	1.022
	⑧	2.2	2.1	1.048
柱 2	⑨	0.0	0.0	―
	⑩	0.0	0.0	―
柱 3	⑪	4.7	4.6	1.022
	⑫	－2.2	－2.1	1.048

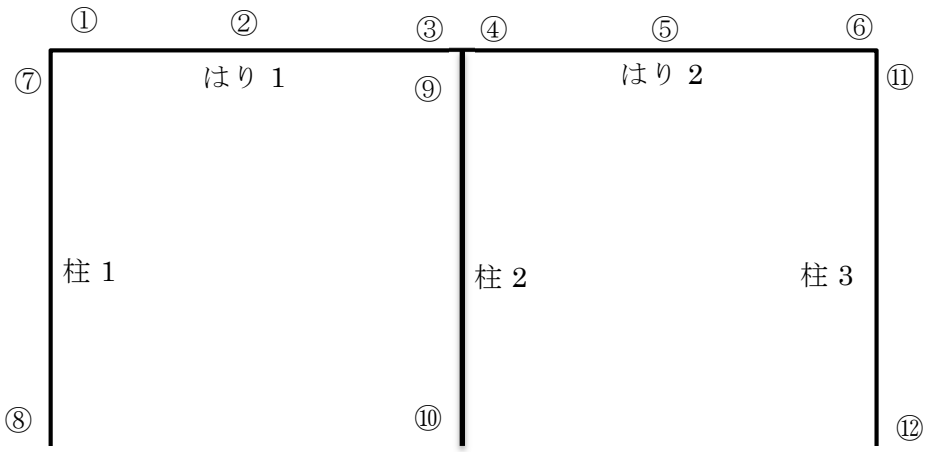


図 5－4　着目位置図
（長期荷重時・A フレーム・曲げモーメント）

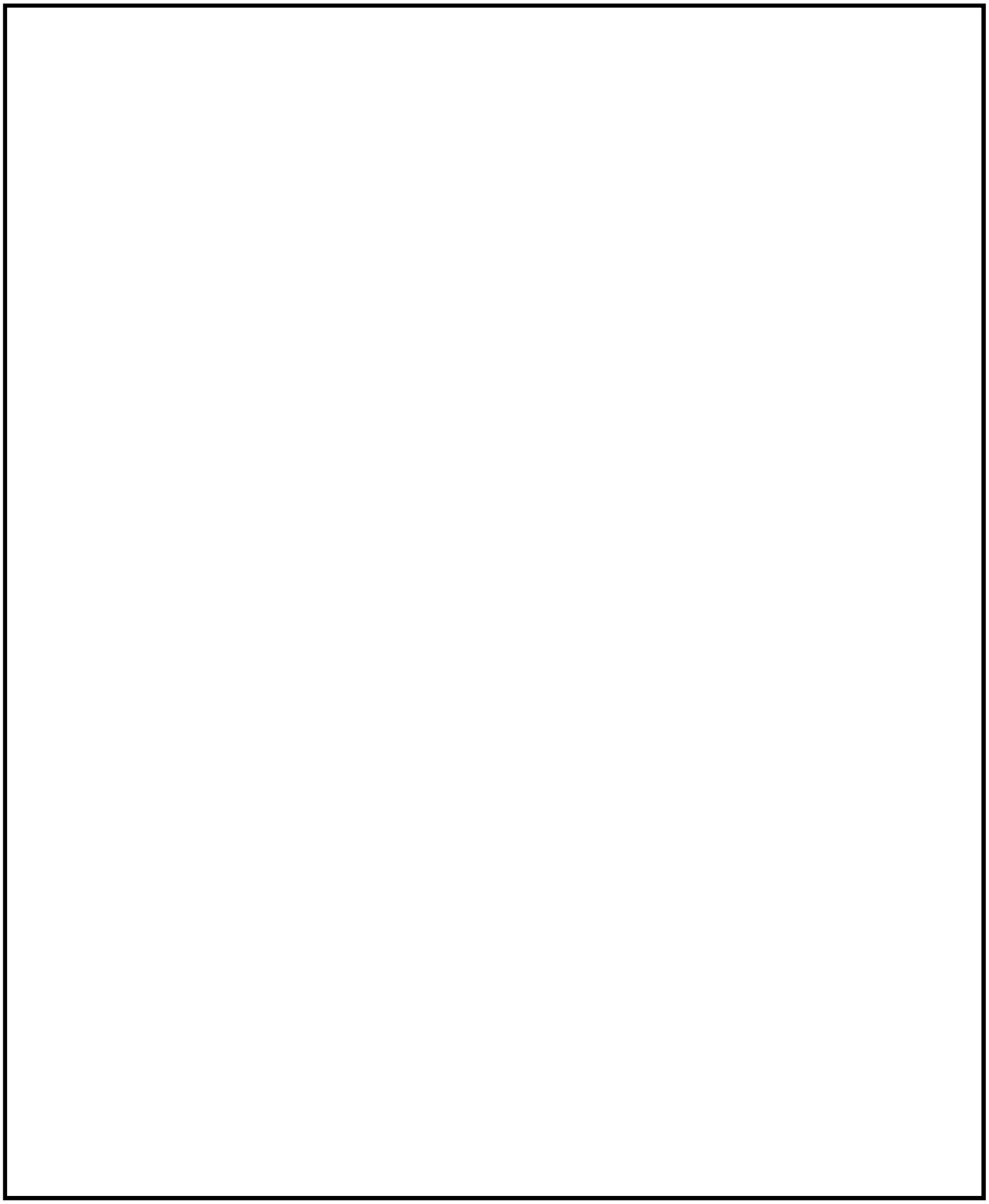


図 5－5　曲げモーメント図（長期荷重時・1 フレーム）
（単位：kN・m）

表 5－2　解析結果の比較
（長期荷重時・1 フレーム・曲げモーメント）

部材	着目箇所	a. SS3(kN・m)	b. TDAPⅢ(kN・m)	比率 a / b
はり 1	①	－13.1	－12.6	1.040
	②	17.2	17.4	0.989
	③	－13.1	－12.6	1.040
柱 1	④	－13.1	－12.6	1.040
	⑤	6.4	5.9	1.085
柱 2	⑥	13.1	12.6	1.040
	⑦	－6.4	－5.9	1.085

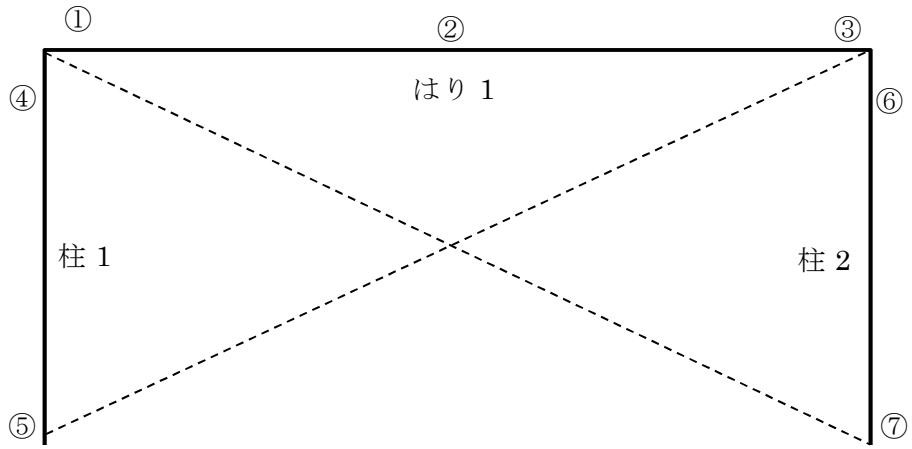


図 5－6　着目位置図
（長期荷重時・1 フレーム・曲げモーメント）

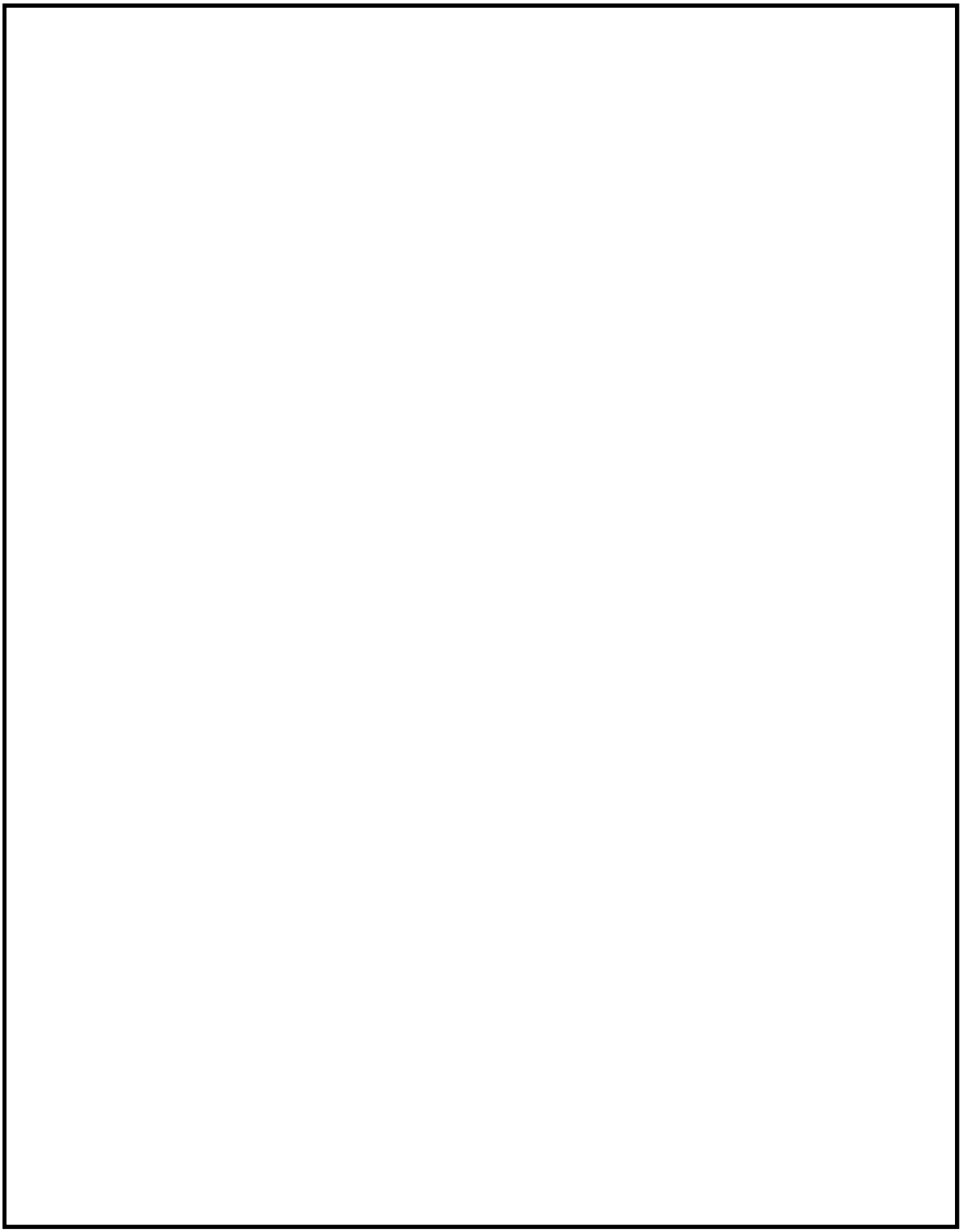


図 5－7　せん断力図（長期荷重時・A フレーム）
（単位：kN）

表 5－3　解析結果の比較
（長期荷重時・A フレーム・せん断力図）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
はり 1	①	7.4	7.3	1.014
	②	－8.8	－8.6	1.023
はり 2	③	8.8	8.6	1.023
	④	－7.4	－7.3	1.014
柱 1	⑤	－2.4	－2.4	1.000
柱 2	⑥	0.0	0.0	—
柱 3	⑦	2.4	2.4	1.000

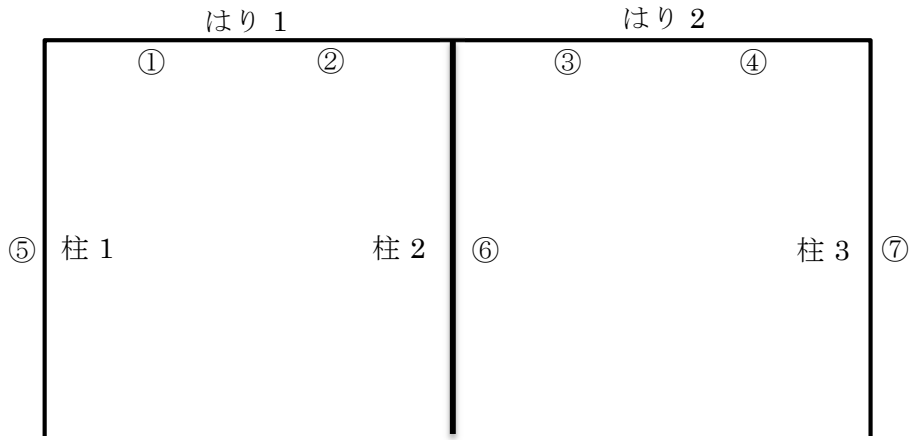


図 5－8　着目位置図
（長期荷重時・A フレーム・せん断力図）

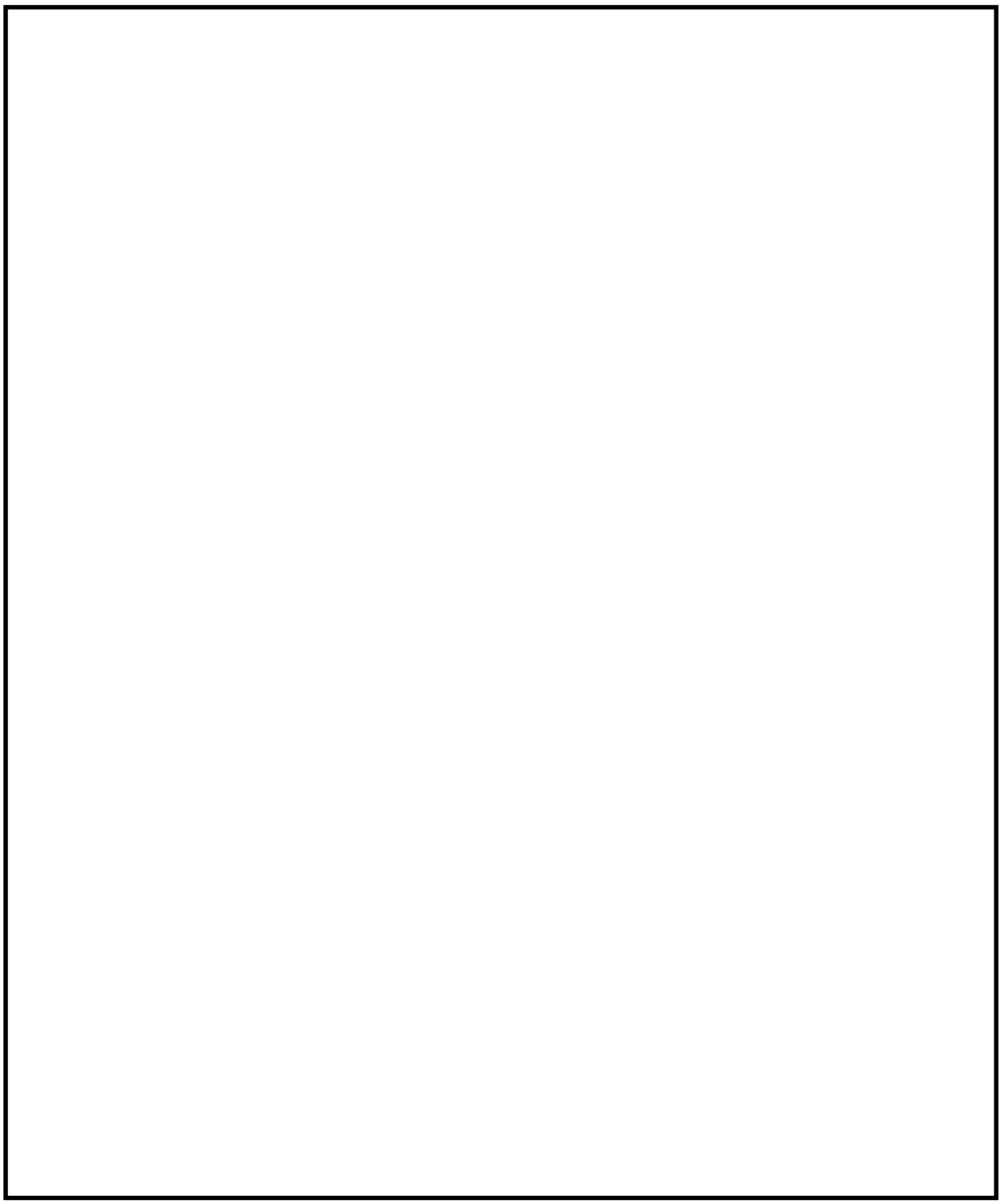


図 5－9　せん断力図（長期荷重時・1 フレーム）
（単位：kN）

表 5－4　解析結果の比較
（長期荷重時・1 フレーム・せん断力）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
はり 1	①	16.2	15.4	1.052
	②	－16.2	－15.4	1.052
柱 1	③	－6.9	－6.5	1.062
柱 2	④	6.9	6.5	1.062

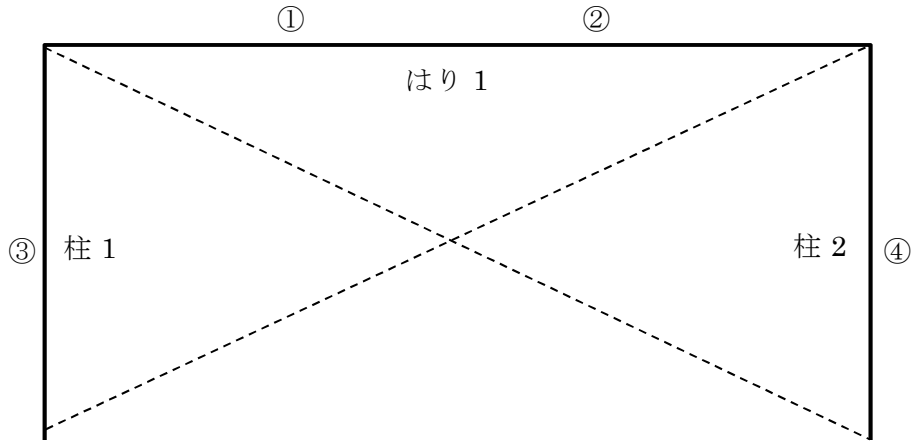


図 5－10　着目位置図
（長期荷重時・1 フレーム・せん断力）

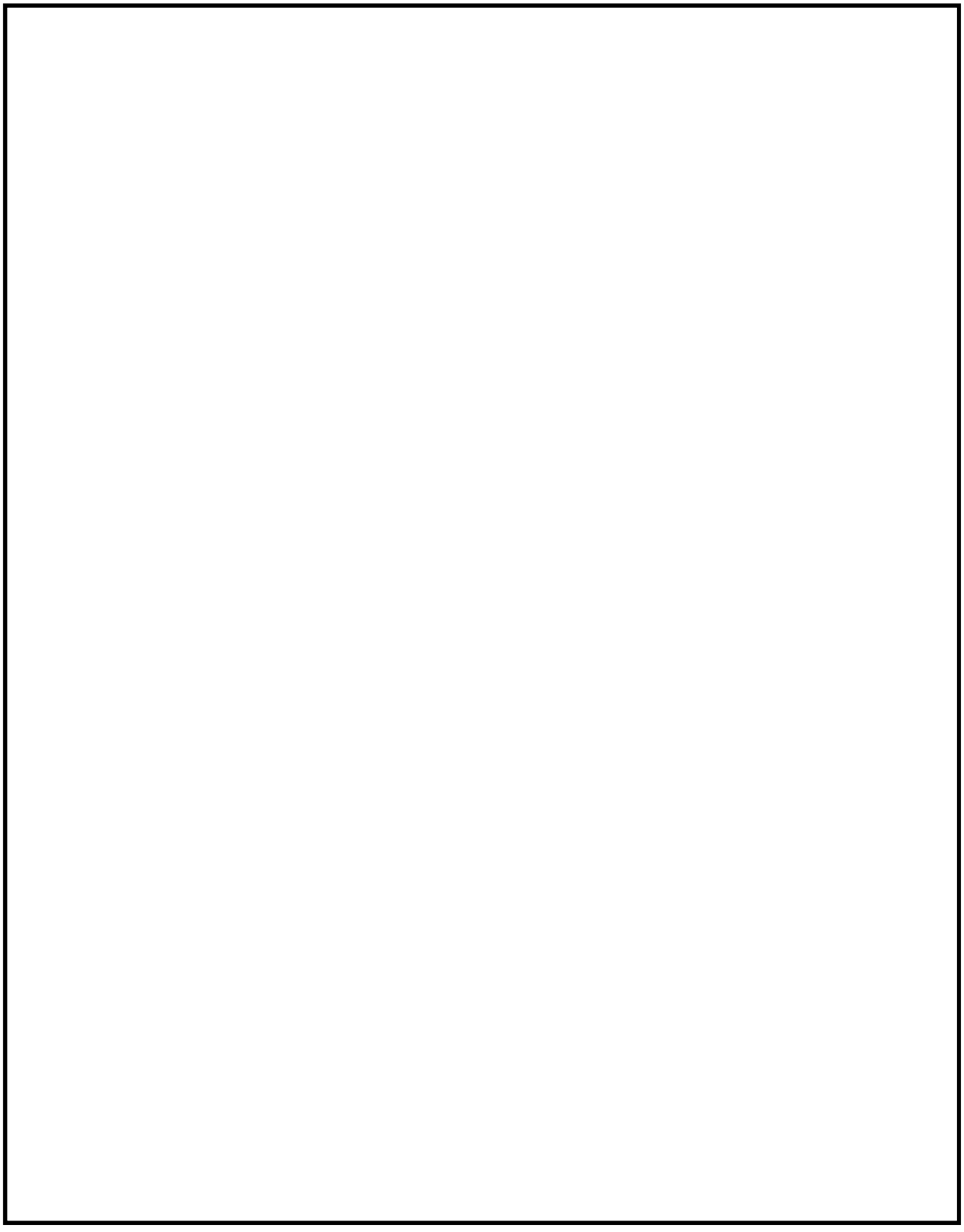


図 5－11　軸力図（長期荷重時・A フレーム）
（単位：kN）

表 5－5　解析結果の比較
（長期荷重時・A フレーム・軸力）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
柱 1	①	－25.0	－24.8	1.008
柱 2	②	－49.2	－49.3	0.998
柱 3	③	－25.0	－24.8	1.008

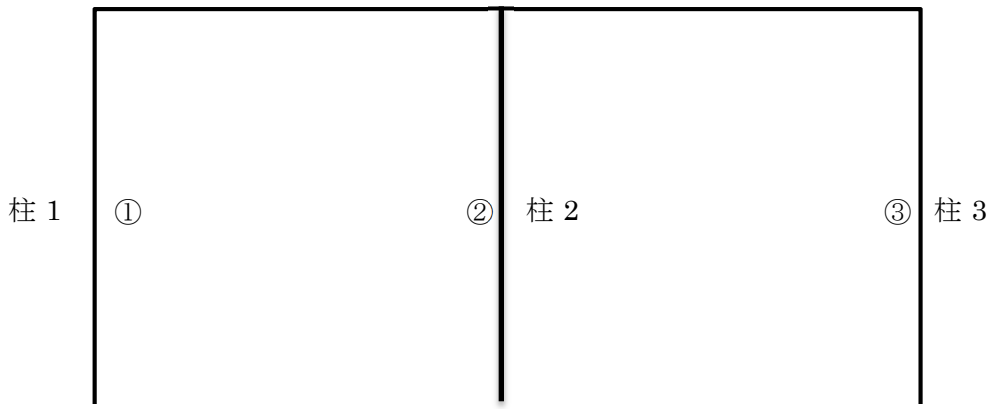


図 5－12　着目位置図
（長期荷重時・A フレーム・軸力）

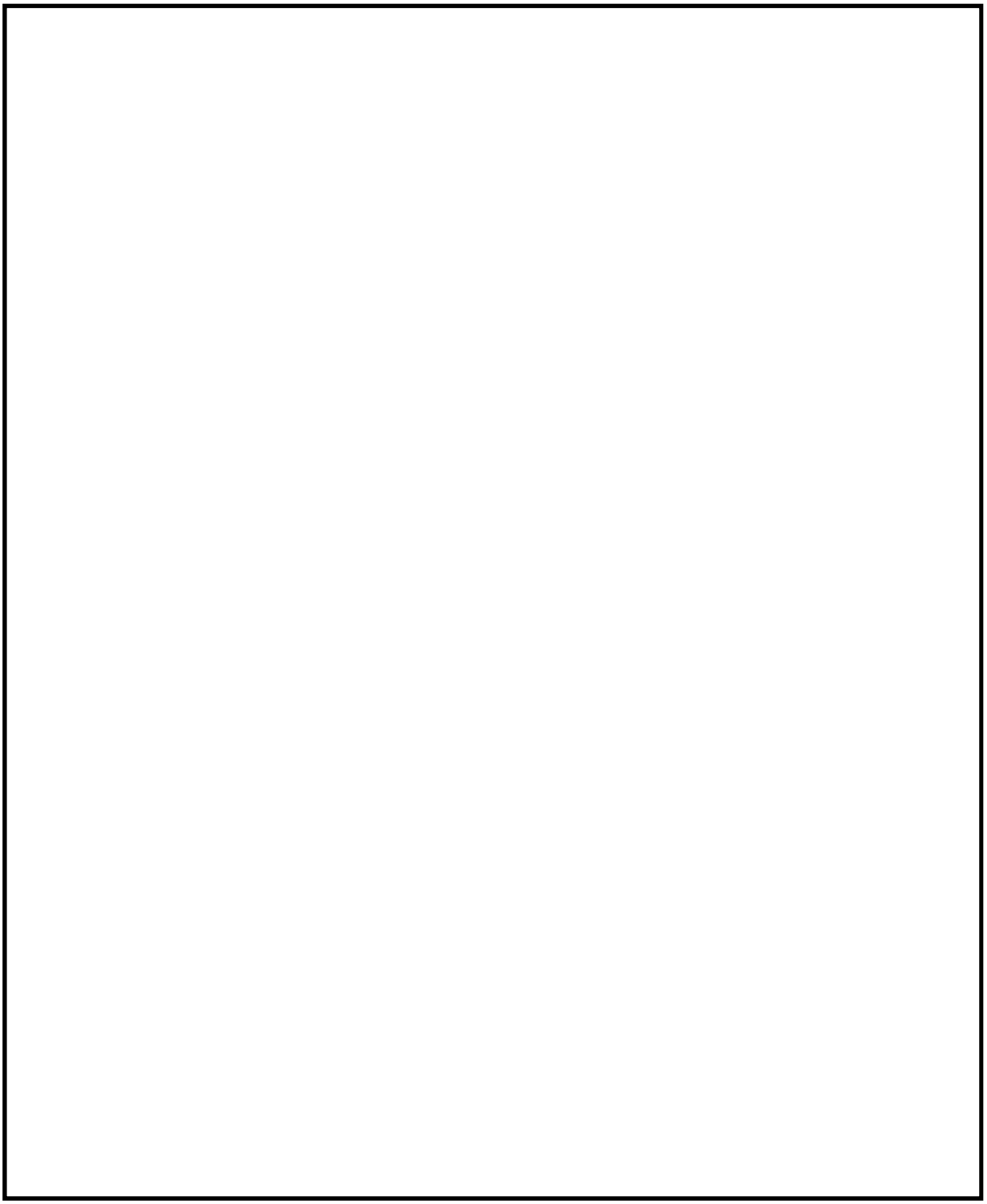


図 5－13　軸力図（長期荷重時・1 フレーム）
（単位：kN）

表 5－6　解析結果の比較
（長期荷重時・1 フレーム・軸力）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
柱 1	①	－25.0	－24.8	1.008
柱 2	②	－25.0	－24.8	1.008
ブレース 1	③	0.0	0.6	－
ブレース 2	④	0.0	0.6	－

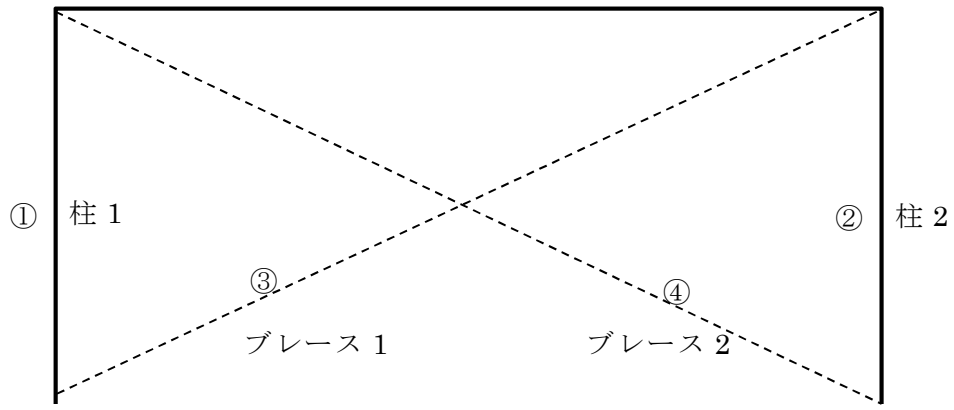


図 5－14　着目位置図
（長期荷重時・1 フレーム・軸力）

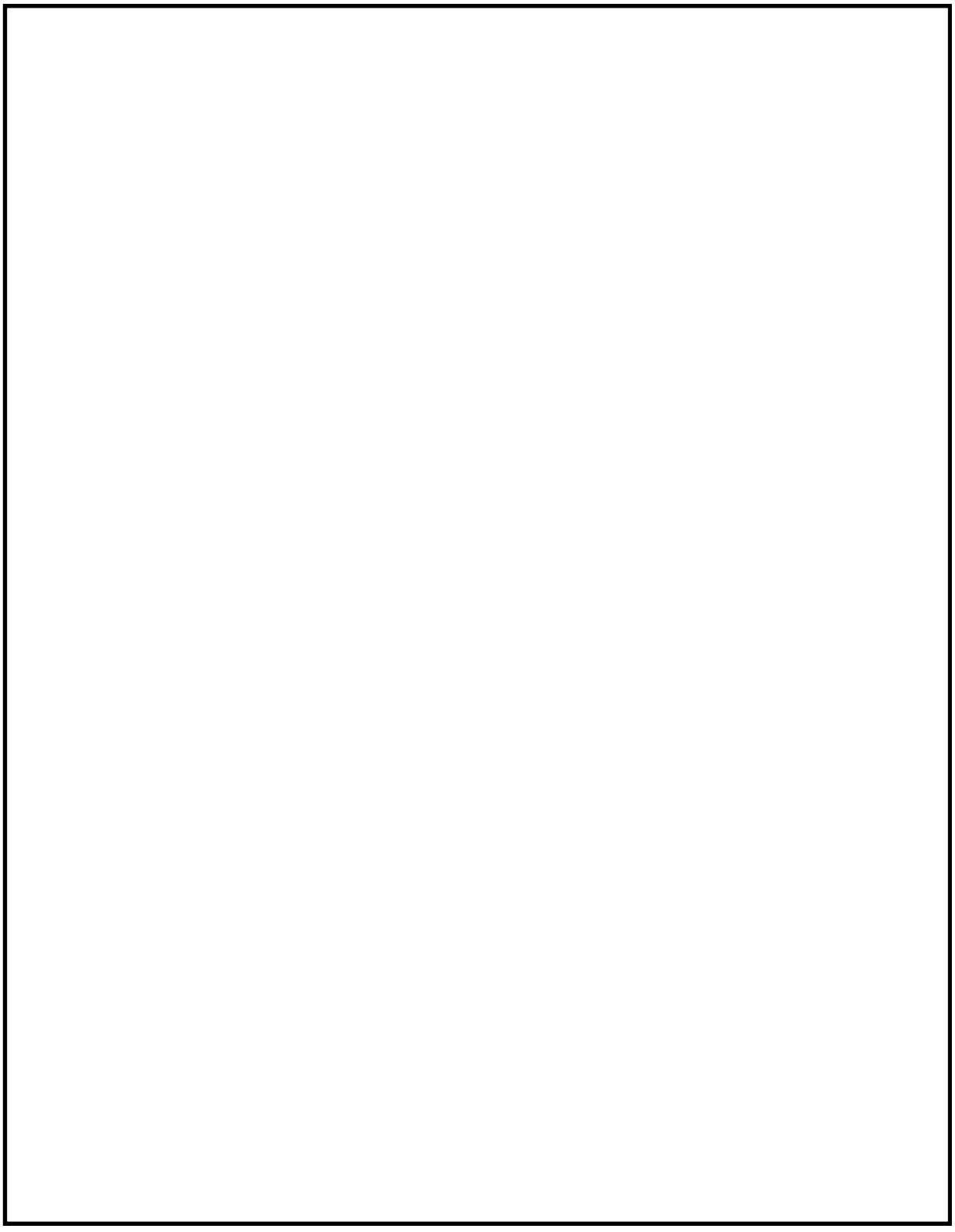


図 5－15　曲げモーメント図（水平荷重時・X 方向正加振・A フレーム）
（単位：kN・m）

表 5－7　解析結果の比較
（水平荷重時・X方向正加振・A フレーム・曲げモーメント）

部材	着目箇所	a. SS3(kN・m)	b. TDAPⅢ(kN・m)	比率 a / b
はり 1	①	8.8	8.6	1.023
	②	－7.3	－7.1	1.028
はり 2	③	7.3	7.1	1.028
	④	－8.8	－8.6	1.023
柱 1	⑤	8.8	8.6	1.023
	⑥	－16.3	－16.7	0.976
柱 2	⑦	14.6	14.3	1.021
	⑧	－19.1	－19.3	0.990
柱 3	⑨	8.8	8.6	1.023
	⑩	－16.3	－16.7	0.976

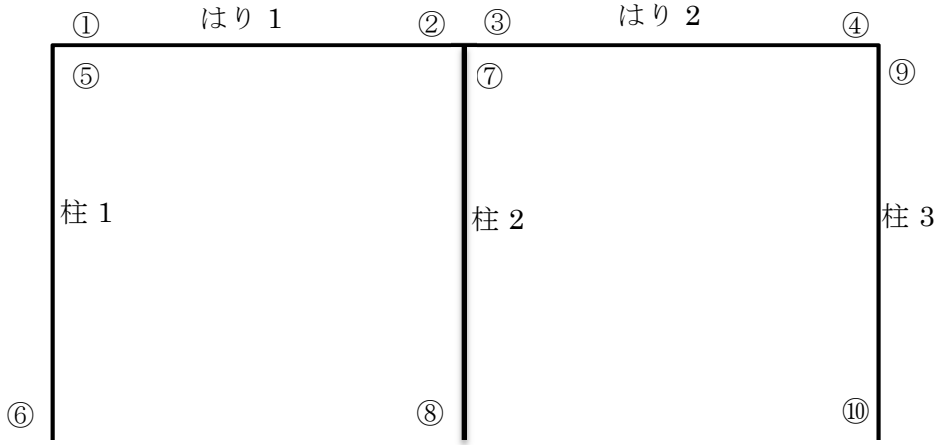


図 5－16　着目位置図
（水平荷重時・X方向正加振・A フレーム・曲げモーメント）

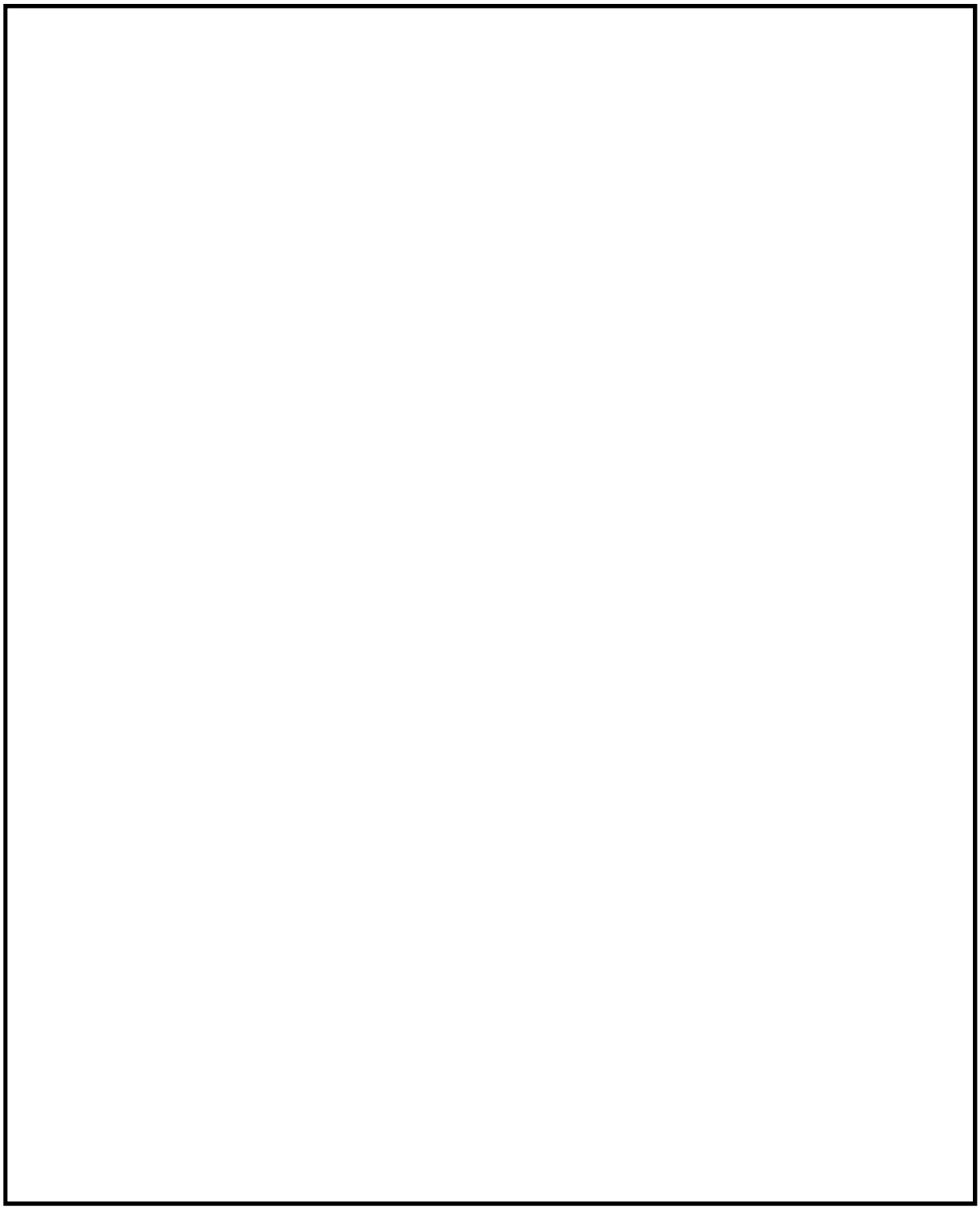


図 5－17　曲げモーメント図（水平荷重時・Y 方向正加振・1 フレーム）
（単位：kN・m）

表 5－8　解析結果の比較
（水平荷重時・Y 方向正加振・1 フレーム・曲げモーメント）

部材	着目箇所	a. SS3(kN・m)	b. TDAPⅢ(kN・m)	比率 a / b
はり 1	①	3.3	3.1	1.065
	②	－3.3	－3.1	1.065
柱 1	③	3.3	3.1	1.065
	④	－4.6	－4.6	1.000
柱 2	⑤	3.3	3.1	1.065
	⑥	－4.6	－4.6	1.000

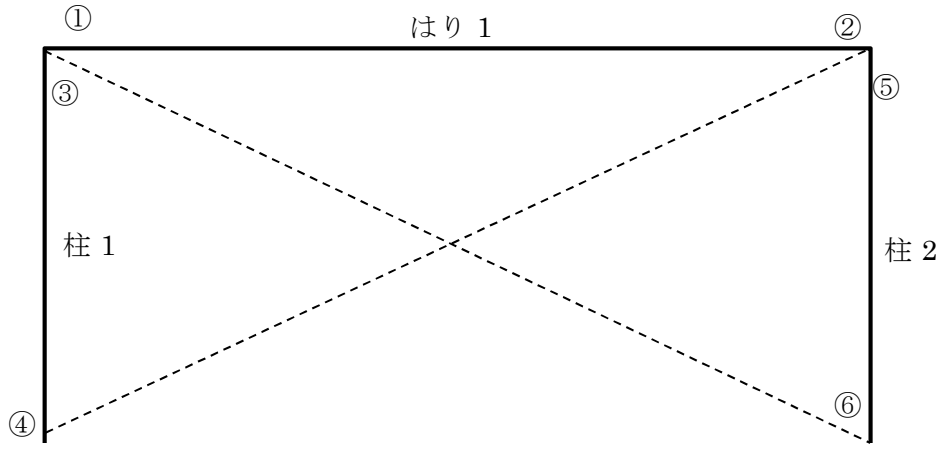


図 5－18　着目位置図
（水平荷重時・Y 方向正加振・1 フレーム・曲げモーメント）

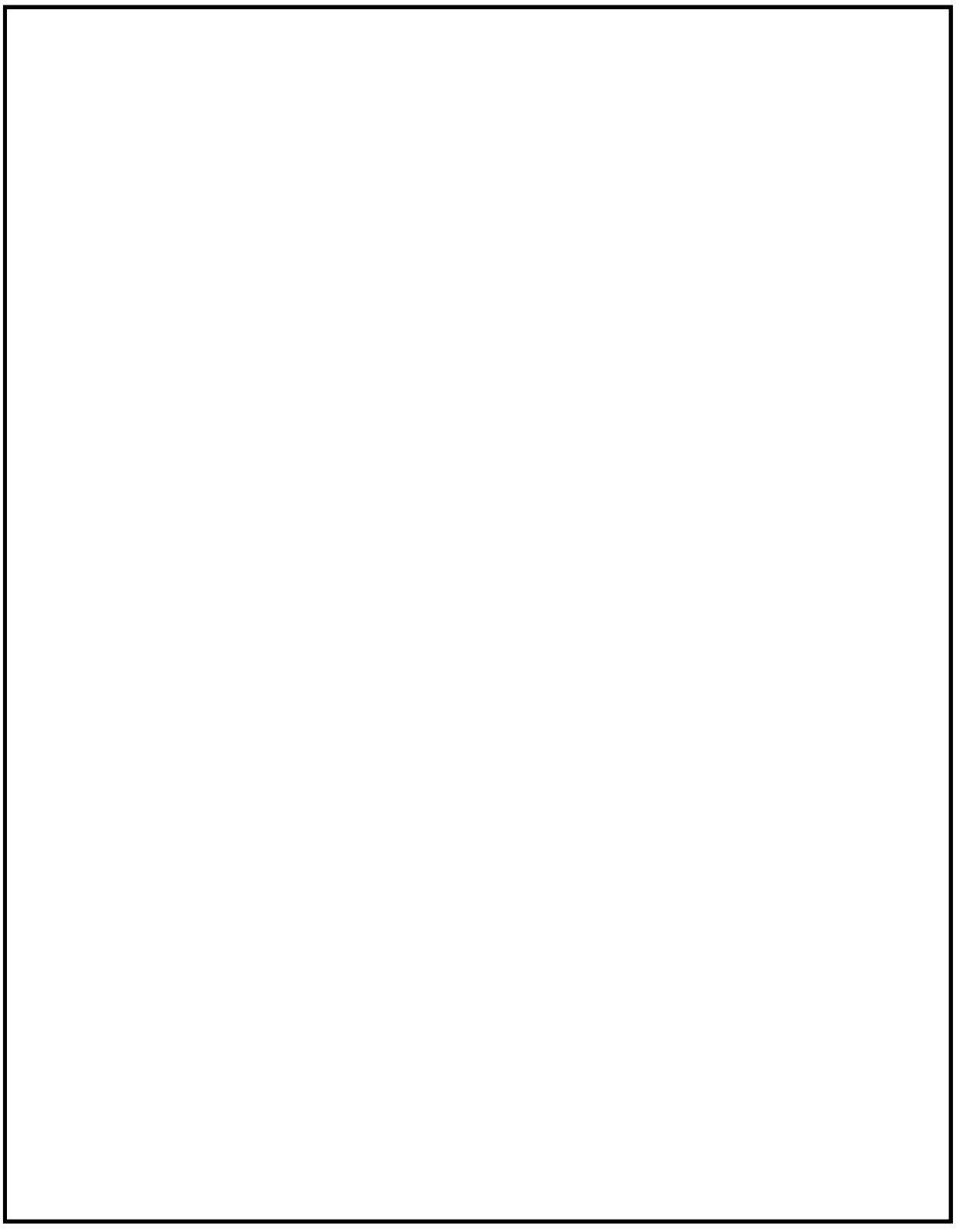


図 5－19　せん断力図（水平荷重時・X 方向正加振・A フレーム）
（単位：kN）

表 5－9　解析結果の比較
（水平荷重時・X方向正加振・A フレーム・せん断力図）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
はり 1	①	－4.0	－3.9	1.026
はり 2	②	－4.0	－3.9	1.026
柱 1	③	8.9	9.3	0.957
柱 2	④	11.9	11.9	1.000
柱 3	⑤	8.9	9.0	0.989

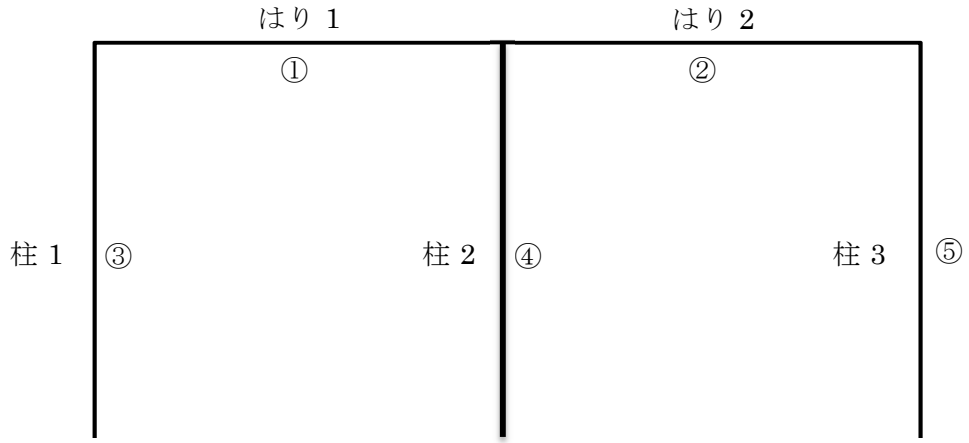


図 5－20　着目位置図
（水平荷重時・X方向正加振・A フレーム・せん断力図）

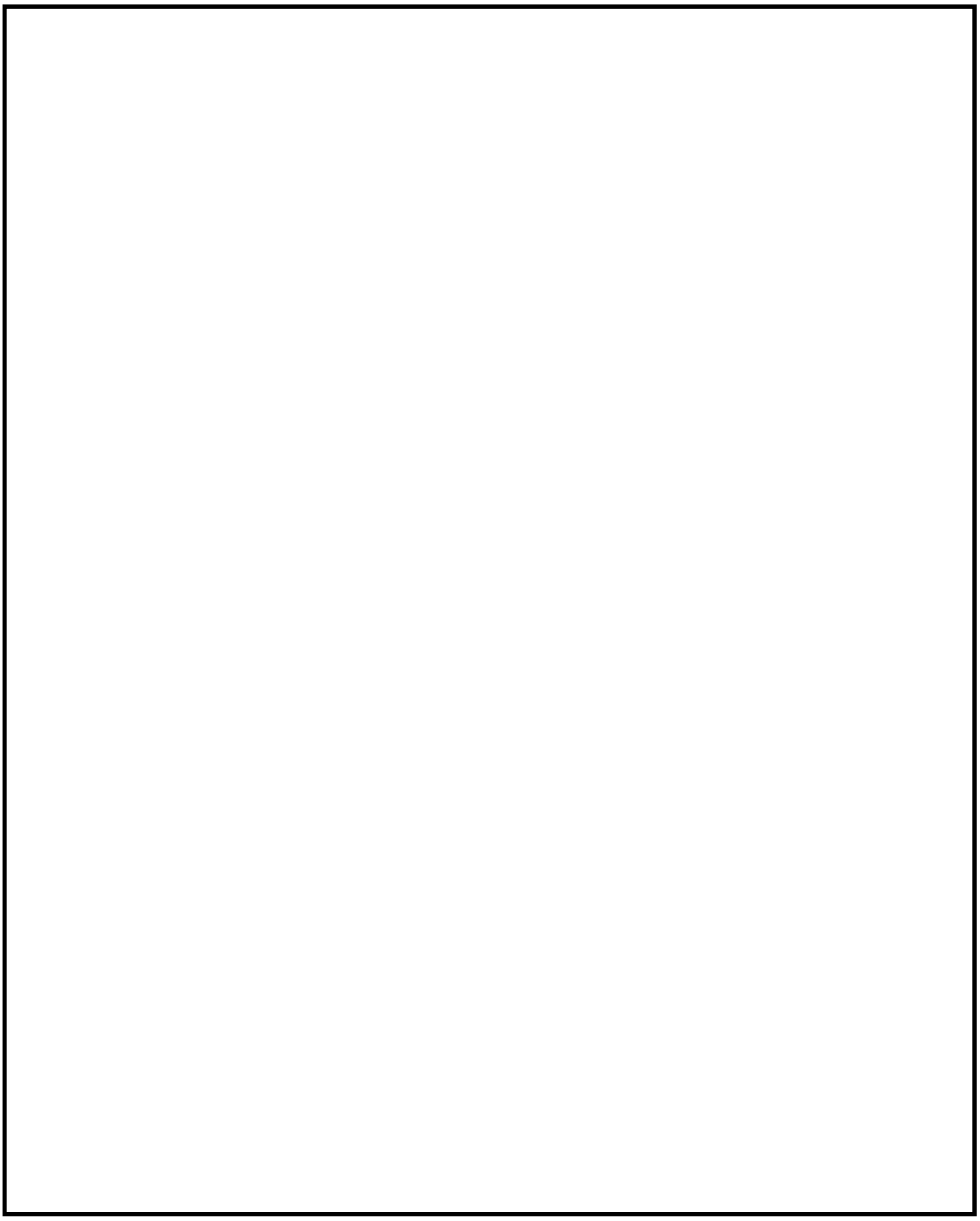


図 5－21　せん断力図（水平荷重時・Ｙ方向正加振・1 フレーム）
（単位：kN）

表 5－10　解析結果の比較
（水平荷重時・Y方向正加振・1フレーム・せん断力）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
はり 1	①	－1.1	－1.0	1.100
柱 1	②	2.8	2.8	1.000
柱 2	③	2.8	2.8	1.000

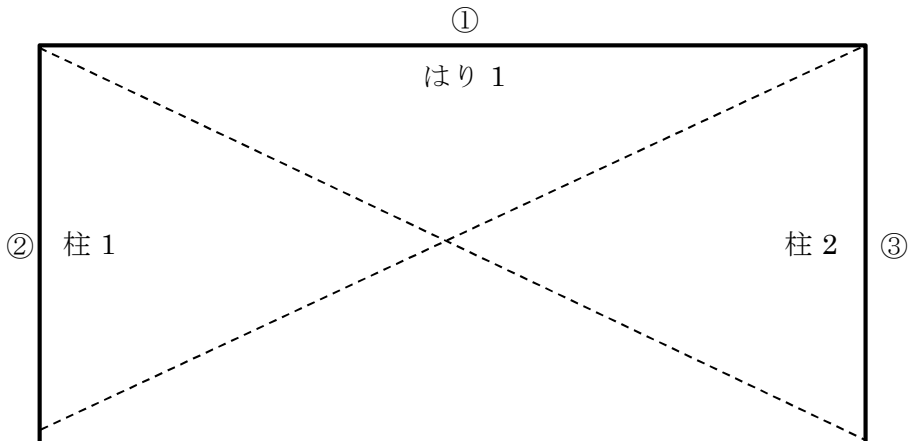


図 5－22　着目位置図
（水平荷重時・Y方向正加振・1フレーム・せん断力）

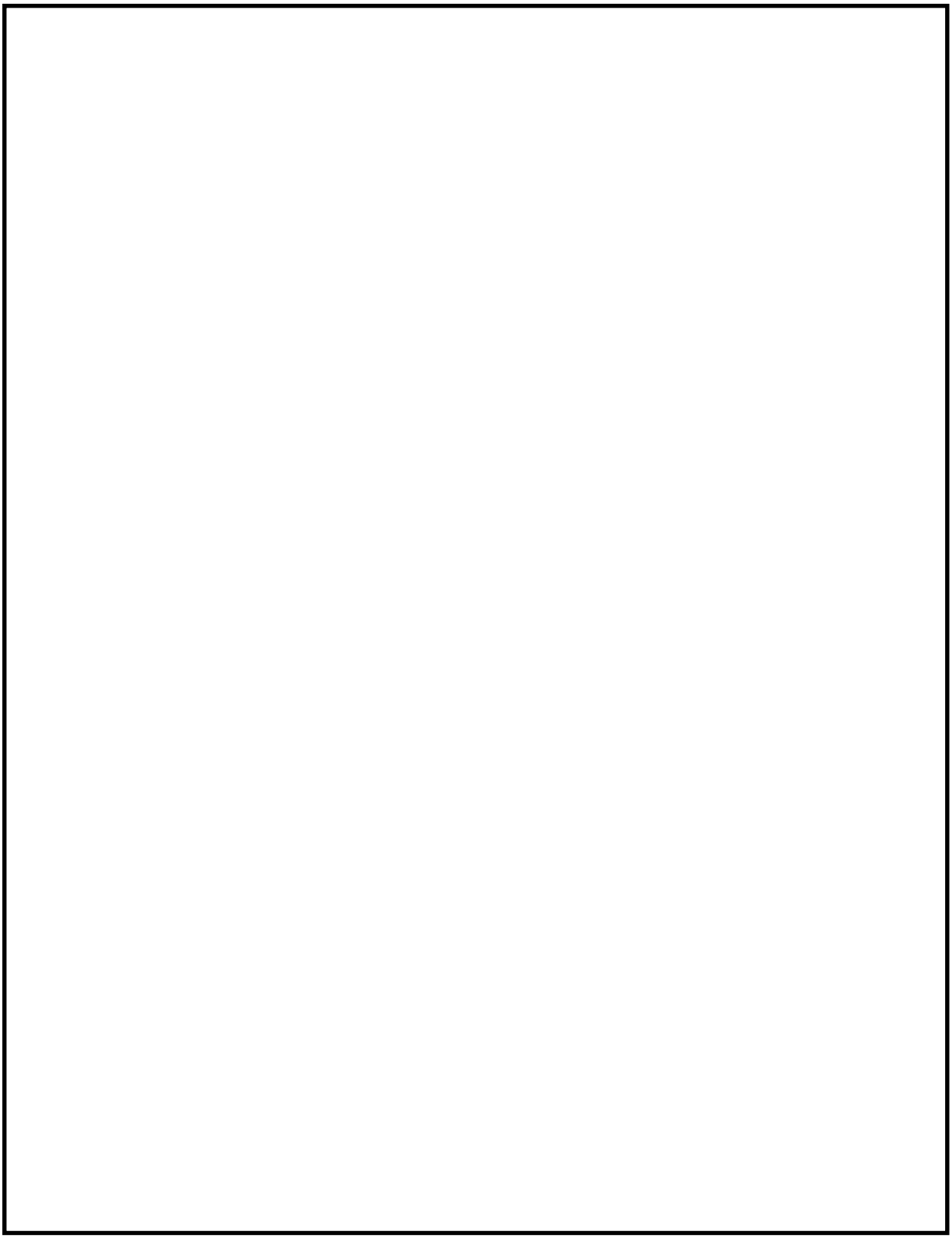


図 5－23　軸力図（水平荷重時・X方向正加振・A フレーム）
（単位：kN）

表 5－11　解析結果の比較
（水平荷重時・X方向正加振・A フレーム・軸力）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
柱 1	①	4.0	3.9	1.026
柱 2	②	0.0	0.0	—
柱 3	③	－4.0	－3.9	1.026

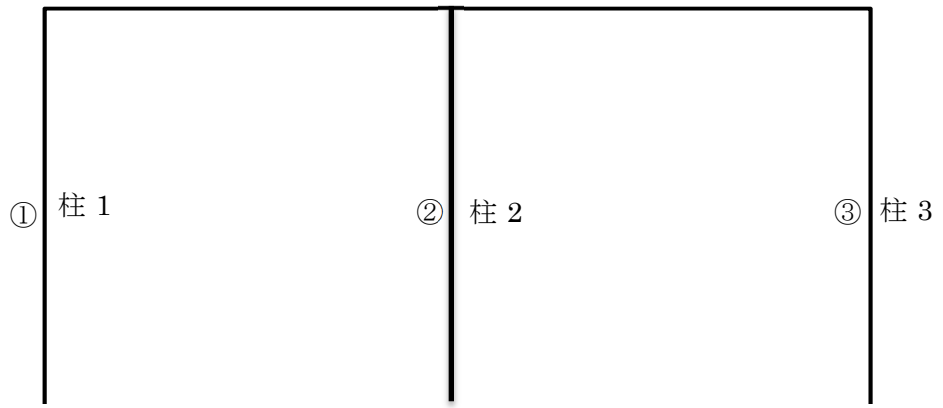


図 5－24　着目位置図
（水平荷重時・X方向正加振・A フレーム・軸力）

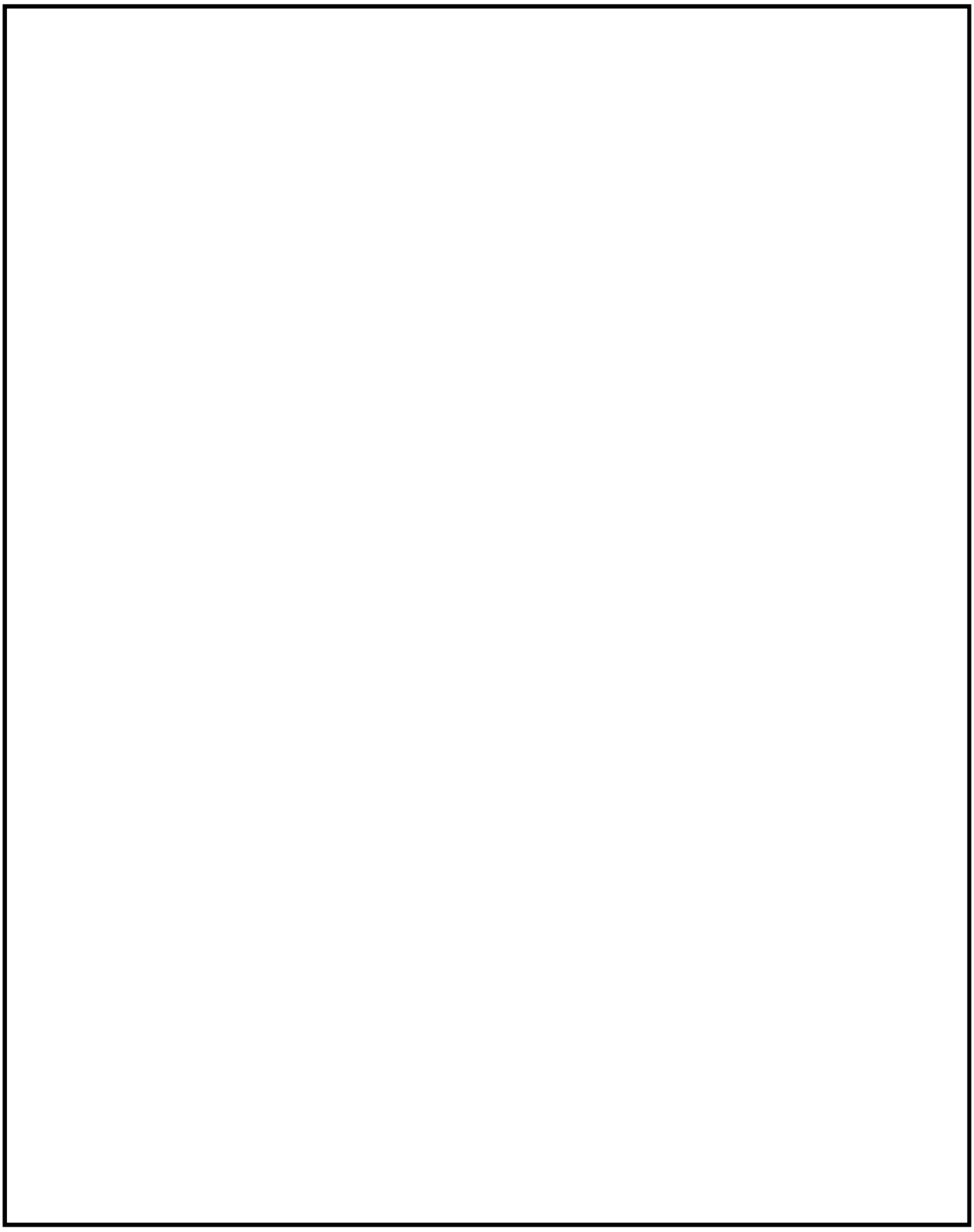


図 5－25　軸力図（水平荷重時・Y 方向正加振・1 フレーム）
（単位：kN）

表 5－12　解析結果の比較
（水平荷重時・Y 方向正加振・1 フレーム・軸力）

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ(kN)	比率 a / b
柱 1	①	1.1	1.0	1.100
柱 2	②	－11.1	－11.1	1.000
ブレース 1	③	23.6	23.8	0.992
ブレース 2	④	0.0	0.0	―

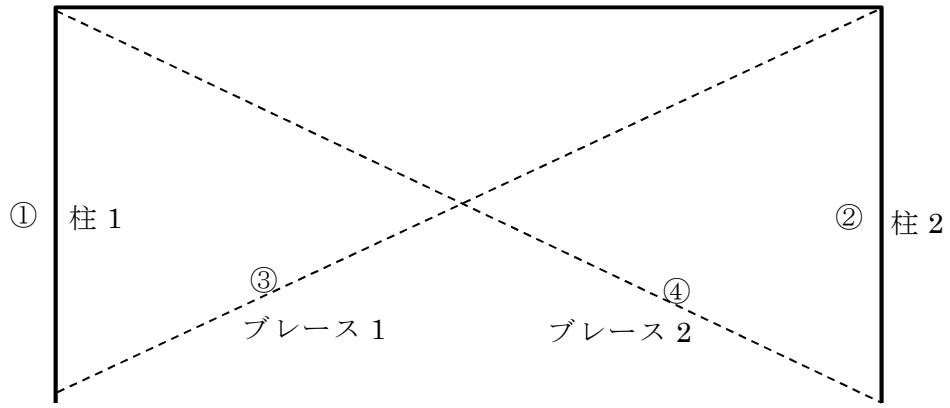


図 5－26　着目位置図
（水平荷重時・Y 方向正加振・1 フレーム・軸力）

5.2　使用目的に対する妥当性

本解析コードは，建屋構造の応力解析に使用されており，その適用妥当性は 5.1「解析結果の比較による検証」において検証している。

また，本解析コードは一般建築分野の構造計算及び建築確認申請では広く使用されているプログラムであり，建屋構造計算では十分な実績を有している。

したがって，本解析にＳｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ/ＳＳ３を使用することは妥当である。

別紙 22　ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 2-9	非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書	Ver.9.0

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ
使用目的	3 次元有限要素法（シェル及びはり要素）による固有値解析，応力解析
開発機関	Siemens PLM（Product Lifecycle Management）Software Inc.
開発時期	1971 年（The MacNeal-Schwendler Corporation） 2005 年（Siemens PLM Software Inc.）
使用したバージョン	Ver.9.0
コードの概要	本解析コードは，航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され，Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり，ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮと同じ機能を持つ。 適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について，3 次元有限要素法（シェル及びはり要素）による固有値解析及び応力解析を行い，解析解が理論解と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，自動車，航空宇宙，防衛，重機，造船等様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。

	・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する 3 次元有限要素法（シェル及びはり要素）による固有値解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから，解析解と理論解の一致をもって，解析機能の妥当性も確認できる。 ・今回の工事計画認可申請で行う 3 次元有限要素法（シェル及びはり要素）による固有値解析及び応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・今回の工事計画認可申請において使用するバージョンは，既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの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。

別紙 23　ＦＬＩＰ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 3-1-2	海水貯留堰の強度計算書	Ver.7.4.1
Ⅴ-3-別添 3-1-3	海水貯留堰（6 号機設備）の強度計算書	Ver.7.4.1

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＦＬＩＰ
使用目的	2 次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法）
開発機関	FLIP コンソーシアム
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver.7.4.1
コードの概要	本解析コードは，1988 年に運輸省港湾技術研究所（現：港湾空港技術研究所）において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく，2 次元地震応答解析プログラムである。主な特徴は以下のとおりである。 ・有限要素法に基づくプログラムである。 ・平面ひずみ状態を解析対象とする。 ・地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い，部材の断面力や変形量を計算する。 ・土の応力－ひずみモデルとして多重せん断モデルを採用している。 ・有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し，解析解が提示解と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説（2007）（日本港湾協会）」において，港湾施設に対して適用性が確認されている解析コードとして扱われており，今回の解析に使用することは妥当である。

	・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，建物・構築物，屋外重要土木構造物等の地震応答解析に本解析コード（Ver.7.3.0_2）が使用された実績があり，今回の工事計画認可申請で対象とする施設に適用性があることが既に検証されている。 ・バージョン更新により新しい構成則の追加，出力機能の追加が図られたが，今回の工事計画認可申請において使用するバージョン（Ver.7.4.1）と他プラントの既工事計画で使用されたバージョン（Ver.7.3.0_2）で使用している機能は同じである。 ・今回の工事計画認可申請における 2 次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法）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。

別紙 24　ＦＲＥＭＩＮＧ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 3-1-2	海水貯留堰の強度計算書	Ver.14.1B
Ⅴ-3-別添 3-1-3	海水貯留堰（6 号機設備）の強度計算書	Ver.14.1B

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	FREMING
使用目的	平面骨組解析（断面力算出）
開発機関	富士通エフ・アイ・ピー株式会社
開発時期	1995 年
使用したバージョン	Ver.14.1B
コードの概要	本解析コードは，富士通エフ・アイ・ピー株式会社によって開発された平面骨組構造解析の汎用市販コードである。 本解析コードは，平面骨組計算プログラムであり，平面構造物にモデル化できる構造物は全て計算が可能である。 適用範囲として，橋りょう，鉄塔，トンネル，及び共同溝等の土木構造物から，ビル，建屋等建築構造物の設計計算に利用可能である。 また，面内荷重及び面外荷重において，線形及び非線形解析が可能である。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・材料力学分野における一般的知見によって解を求めることができる体系について，平面骨組解析モデルによる解析解（断面力）と理論解を比較し，一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，貯留堰等の平面骨組解析（断面力算出）に本解析コード（Ver.14.1B）が使用された実績がある。 ・本解析コードは，国内の土木建築分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・今回の工事計画認可申請における平面骨組解析（断面力算出）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。

別紙 25　ＳＬＯＫ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 3-1-2	海水貯留堰の強度計算書	Ver.2.0
Ⅴ-3-別添 3-1-3	海水貯留堰（6 号機設備）の強度計算書	Ver.2.0

2.　解析コードの概要

コード名 / 項目	ＳＬＯＫ
使用目的	1 次元地震応答解析（入力地震動算定）
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1985 年
使用したバージョン	Ver.2.0
コードの概要	本解析コードは，東電設計株式会社によって開発された 1 次元重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行う解析コードであり，地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードによる一層のモデル地盤に対する地震応答解析結果と，1 次元重複反射理論に基づく理論解が一致してい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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の既工事計画において本解析コード（Ver.0）が使用された実績がある。 ・バージョン更新により機能の追加が図られたが，今回の工事計画認可申請において使用するバージョン（Ver.2.0）と既工事計画で使用されたバージョン（Ver.0）で使用している機能は同じである。 ・今回の工事計画認可申請における 1 次元地震応答解析（入力地震動算定）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。

別紙 26　ＡＳＨＳＤ２－Ｂ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 8	原子炉圧力容器スカートの強度計算書	Ver.□

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ＡＳＨＳＤ２－Ｂ
使用目的	2 次元有限要素法（軸対称モデル）による応力解析
開発機関	米国カリフォルニア大学及びバブコック日立株式会社
開発時期	1979 年
使用したバージョン	Ver.[redacted]
コードの概要	本解析コードは，原子炉圧力容器に対する評価を目的として，有限要素法により軸対称構造物の[redacted]荷重に対する応力を計算する汎用プログラムである。 荷重条件としては，[redacted]を扱うことができる。 要素としてシェル要素，三角形要素及び四角形要素があり，任意の組合せで構造物をモデル化できる。 熱応力計算に当たっては，温度分布解析用解析コード（ＴＡＣＦ）の結果をファイルを介して自動的に取り込むことができる。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・内圧を受ける厚肉円筒の弾性解析と，理論解との比較を行い，解析解が理論解と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードのマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する応力解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは，これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており，妥当性は十分確認されている。

別紙 27　ＴＡＣＦ

1.　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-3-別添 8	原子炉圧力容器スカートの強度計算書	Ver.0

2. 解析コードの概要

コード名 / 項目	ＴＡＣＦ
使用目的	2 次元有限要素法（軸対称モデル）による応力解析
開発機関	バブコック日立株式会社
開発時期	1982 年
使用したバージョン	Ver.0
コードの概要	本解析コードは,原子炉圧力容器に対する評価を目的として,有限要素法により平面及び軸対称構造物の定常及び非定常温度分布を計算するプログラムである。 温度分布計算は，領域を小さなメッシュに分割し，各メッシュについての熱平衡方程式をたて，定常問題は弛緩法*により,非定常問題は微小時間でステップごとの温度分布を順次求める方法による。 境界条件としては，強制対流熱伝達のほか，自然対流熱伝達，輻射熱伝達等の非線型熱伝達も扱うことができる。 要素として三角形要素及び四角形要素があり,任意の組合せで構造物をモデル化できる。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・平板の 1 次元熱伝導の温度分布解析と，理論解との比較を行い,解析解が理論解と一致す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。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードのマニュアルにより,今回の工事計画認可申請で使用する応力解析に,本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは，これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており，妥当性は十分確認されている。

注記＊：エネルギー最小化原理に基づく解法の一つで反復法ともいう。近似解を仮定し，それを修正する計算を反復することによって，真の解に収束させる手法である。

Ⅴ-4　その他の計算書

Ⅴ-4-1　安全弁及び逃がし弁の吹出量計算書

目　次

1.　概要 …… 1
2.　基本方針 …… 1
2.1　記号の定義 …… 2
2.2　容量計算方法 …… 4
3.　原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果 …… 5
3.1　吹出量の計算（E11-F039A,B,C） …… 6
3.1.1　設計条件 …… 6
3.1.2　吹出量の計算式 …… 6
3.1.3　逃がし弁の吹出量 …… 6
3.1.4　必要吹出量の設定根拠 …… 6
3.1.5　評価結果 …… 7
3.2　吹出量の計算（E11-F042A,B,C） …… 8
3.2.1　設計条件 …… 8
3.2.2　吹出量の計算式 …… 8
3.2.3　逃がし弁の吹出量 …… 8
3.2.4　必要吹出量の設定根拠 …… 8
3.2.5　評価結果 …… 9
3.3　吹出量の計算（E11-F051A,B,C） …… 10
3.3.1　設計条件 …… 10
3.3.2　吹出量の計算式 …… 10
3.3.3　逃がし弁の吹出量 …… 10
3.3.4　必要吹出量の設定根拠 …… 10
3.3.5　評価結果 …… 11
3.4　吹出量の計算（E22-F020B,C） …… 12
3.4.1　設計条件 …… 12
3.4.2　吹出量の計算式 …… 12
3.4.3　逃がし弁の吹出量 …… 12
3.4.4　必要吹出量の設定根拠 …… 12
3.4.5　評価結果 …… 13
3.5　吹出量の計算（E51-F017） …… 14
3.5.1　設計条件 …… 14
3.5.2　吹出量の計算式 …… 14
3.5.3　逃がし弁の吹出量 …… 14
3.5.4　必要吹出量の設定根拠 …… 14
3.5.5　評価結果 …… 15

4. 計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果 ····· 16
4.1 吹出量の計算（C41-F014） ····· 17
4.1.1 設計条件 ····· 17
4.1.2 吹出量の計算式 ····· 17
4.1.3 逃がし弁の吹出量 ····· 17
4.1.4 必要吹出量の設定根拠 ····· 17
4.1.5 評価結果 ····· 18
4.2 吹出量の計算（C41-F003A,B） ····· 19
4.2.1 設計条件 ····· 19
4.2.2 吹出量の計算式 ····· 19
4.2.3 逃がし弁の吹出量 ····· 19
4.2.4 必要吹出量の設定根拠 ····· 19
4.2.5 評価結果 ····· 20
4.3 吹出量の計算（P54-F011A,B） ····· 21
4.3.1 設計条件 ····· 21
4.3.2 吹出量の計算式 ····· 21
4.3.3 安全弁の吹出量 ····· 22
4.3.4 必要吹出量の設定根拠 ····· 22
4.3.5 評価結果 ····· 22
5. 原子炉格納施設の安全弁等の容量計算結果 ····· 23
5.1 吹出量の計算（T49-F009） ····· 24
5.1.1 設計条件 ····· 24
5.1.2 吹出量の計算式 ····· 24
5.1.3 逃がし弁の吹出量 ····· 24
5.1.4 必要吹出量の設定根拠 ····· 25
5.1.5 評価結果 ····· 25
5.2 吹出量の計算（T49-F015） ····· 26
5.2.1 設計条件 ····· 26
5.2.2 吹出量の計算式 ····· 26
5.2.3 逃がし弁の吹出量 ····· 26
5.2.4 必要吹出量の設定根拠 ····· 27
5.2.5 評価結果 ····· 27

1. 概要

本計算書は，「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20条及び第57条並びにそれらの「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」の安全弁等の規定に基づき設置された原子炉冷却系統施設，計測制御系統施設，原子炉格納施設及び非常用電源設備の安全弁及び逃がし弁が，必要な吹出量以上の容量を有することを確認するための容量計算の方針及びこれに基づいた計算結果について説明するものである。

なお，設計基準対象施設に関しては，技術基準規則の要求事項に変更がないため，今回の申請において変更は行わないが，「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則」の改正により追加となる安全弁及び逃がし弁については，本計算書にて必要吹出量又は容量の算定を行う。

重大事故等時に流路となる配管及び容器に付属する安全弁及び逃がし弁が，重大事故等対処設備としての申請範囲となるため，本計算書にて必要吹出量又は容量の算定を行う。

なお，重大事故等対処設備のうち，原子炉冷却系統施設の主蒸気逃がし安全弁（B21-F001A～H,J～N,P,R～U）の吹出量は，平成4年3月27日付け3資庁第13034号にて認可された工事計画のⅣ-4-1「主蒸気逃がし安全弁の吹出量計算書」，非常用電源設備の空気だめの安全弁の吹出量は，平成5年6月17日付け4資庁第14562号にて認可された工事計画のⅣ-4-3「非常用ディーゼル発電設備空気だめの安全弁の吹出量計算書」において必要吹出量の算定を行っており，設計基準対象施設として使用する場合の系統設備及び使用方法に変更がないこと並びに設計基準対象施設に関しては技術基準規則の要求事項に変更がないため，今回の申請において変更は行わない。

2. 基本方針

ガス用安全弁及び逃がし弁（以下「安全弁等」という。）の容量計算は，各安全弁等の施設時に適用された「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年通商産業省告示第５０１号（以下「S55年告示第５０１号」という。）第103条（安全弁等の容量の計算式）又は「発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版を含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＳ１-2005/2007）」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）第10章（安全弁等）の規定に基づいて算定し，算定結果が必要な吹出量以上であることを確認する。

2.1　記号の定義

安全弁等の容量計算に用いる記号について，次に説明する。

(1)　ガス用安全弁の容量計算に使用するもの

	記号	単位	定義
ガス用安全弁の容量計算*に使用するもの	Q_m	kg/h	公称吹出し量（容量）
	D	mm	弁座口の径
	d_t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	P	kg/cm^2 (MPa)	吹出圧力
	C’	—	ガスの断熱指数による係数（「蒸気用及びガス用ばね安全弁」（日本工業規格ＪＩＳ　Ｂ　８２１０-1986）附属書図2による）
	P_1	kg/cm^2 (MPa)	公称吹出し量決定圧力の絶対圧力（特に指定のない場合は，吹出圧力の1.1倍の絶対圧力）
	P_2	kg/cm^2 (MPa)	背圧の絶対圧力
	K_d	—	公称吹出し係数（「蒸気用及びガス用ばね安全弁」（日本工業規格ＪＩＳ　Ｂ　８２１０-1986）附属書図1による）
	A	mm^2	吹出し面積 揚程式平面座の場合Ａ＝π・Ｄ・Ｌ （「蒸気用及びガス用ばね安全弁」（日本工業規格ＪＩＳ　Ｂ　８２１０-1986）附属書付図による）
	M	—	ガスの分子量
	Z	—	圧縮係数（「蒸気用及びガス用ばね安全弁」（日本工業規格ＪＩＳ　Ｂ　８２１０-1986）附属書図4による）
	T	K	公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度

注記＊：S55年告示第５０１号第103条第1項第二号による。

(2)　逃がし弁の容量計算に使用するもの

a.　S55年告示第５０１号に基づく評価を実施する場合

	記号	単位	定義
逃がし弁の容量計算*に使用するもの	W	kg/h	弁の容量
	P	kg/cm^2 (MPa)	吹出圧力
	A	mm^2	弁の流体通路の最小面積 以下の計算式で求めた最も小さな値を使用する。 ・$A=\frac{\pi}{4}\cdot d_t^{\,2}$ ・$A=\pi\cdot D\cdot L$
	n	—	流量係数（0.5 又は実験的に求めた値）
	D	mm	弁座口の径
	d_t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	⊿P	kg/cm^2	逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差
	G	g/cm^3	入口側の液体の比重量

注記＊：S55年告示第５０１号第103条第1項第三号による。

b.　設計・建設規格に基づく評価を実施する場合

	記号	単位	定義
逃がし弁の容量計算*に使用するもの	W	kg/h	弁の容量
	P	MPa	吹出圧力
	A	mm^2	弁の流体通路の最小面積 以下の計算式で求めた最も小さな値を使用する。 ・$A=\frac{\pi}{4}\cdot d_t^{\,2}$ ・$A=\pi\cdot D\cdot L$
	n	—	流量係数（0.5または実験的に求めた値）
	D	mm	弁座口の径
	d_t	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	⊿P	MPa	逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差
	G	kg/m^3	入口側の液体の密度

注記＊：設計・建設規格SRV-3112による。

2.2　容量計算方法

安全弁等の容量については，次の適用基準に基づく計算式により容量を求める。

項目	適用基準		計算式
ガス用安全弁の吹出量（容量）	①	S55年告示第５０１号 第103条第1項 第二号*	$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$
逃がし弁の容量	②	S55年告示第５０１号 第103条第1項第三号	$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$
	③	設計・建設規格 SRV-3112	$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$

注記＊：日本工業規格　ＪＩＳ　Ｂ　８２１０-1986「蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書　安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3.ガスに対する公称吹出し量」による。

3. 原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

番号	弁番号	適用基準	対象区分
1	E11-F039A,B,C	②	ＤＢ／ＳＡ
2	E11-F042A,B,C	②	ＤＢ／ＳＡ
3	E11-F051A,B,C	②	ＤＢ／ＳＡ
4	E22-F020B,C	②	ＤＢ／ＳＡ
5	E51-F017	②	ＤＢ／ＳＡ

3.1 吹出量の計算（E11-F039A,B,C）

3.1.1 設計条件

名　　称		E11-F039A,B,C	
種　　類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝	[redacted]	mm
弁座口の径	D ＝	[redacted]	mm
リ　フ　ト	L ＝	[redacted]	mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(kg/cm^2)		87.9	(8.62 MPa)
最高使用温度(℃)		302	
個　　数		3	
必要吹出量(kg/h)		[redacted]	

3.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

W：弁の容量(kg/h)

A：弁の流体通路の最小面積(mm^2) [redacted]

n：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿P：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(kg/cm^2)　73.9

G：入口側の液体の比重量(g/cm^3)　1.0

3.1.3 逃がし弁の吹出量

3.1.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times [redacted] \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 73.9 \times 1.0}$$

$$= [redacted] \text{ kg/h}$$

3.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，通常運転時，残留熱除去系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし，質量流量で[redacted]kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として使用する場合においても，使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため，必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.1.5 評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.2　吹出量の計算（E11-F042A,B,C）

3.2.1　設計条件

名　　称		E11-F042A,B,C	
種　　類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝	[redacted]	mm
弁座口の径	D ＝	[redacted]	mm
リ　フ　ト	L ＝	[redacted]	mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(kg/cm^2)		14.0	(1.37MPa)
最高使用温度(℃)		182	
個　　数		3	
必要吹出量(kg/h)		[redacted]	

3.2.2　吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

W：弁の容量(kg/h)

A：弁の流体通路の最小面積(mm^2) [redacted]

n：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿P：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(kg/cm^2)　10.84

G：入口側の液体の比重量(g/cm^3)　1.0

3.2.3　逃がし弁の吹出量

3.2.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times [redacted] \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 10.84 \times 1.0}$$

$$= [redacted] \text{ kg/h}$$

3.2.4　必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，通常運転時，残留熱除去系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし，質量流量で[redacted]kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として使用する場合においても，使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため，必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.2.5　評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.3 吹出量の計算（E11-F051A,B,C）

3.3.1 設計条件

名称		E11-F051A,B,C	
種類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝		mm
弁座口の径	D ＝		mm
リフト	L ＝		mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(kg/cm^2)		35.0	(3.43MPa)
最高使用温度(℃)		182	
個数		3	
必要吹出量(kg/h)			

3.3.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

W：弁の容量(kg/h)

A：弁の流体通路の最小面積(mm^2)

n：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿P：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(kg/cm^2)　31.84

G：入口側の液体の比重量(g/cm^3)　1.0

3.3.3 逃がし弁の吹出量

3.3.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 31.84 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h}$$

3.3.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，原子炉圧力容器バウンダリ隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に，その漏えい量を全量逃がし得る容量として，質量流量で□kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として使用する場合においても，使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため，必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.3.5 評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.4 吹出量の計算（E22-F020B,C）

3.4.1 設計条件

名称		E22-F020B,C	
種類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝		mm
弁座口の径	D ＝		mm
リフト	L ＝		mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(kg/cm^2)		14.0	(1.37MPa)
最高使用温度(℃)		104	
個数		2	
必要吹出量(kg/h)			

3.4.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

W：弁の容量(kg/h)

A：弁の流体通路の最小面積(mm^2)

n：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿P：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(kg/cm^2)　10.84

G：入口側の液体の比重量(g/cm^3)　1.0

3.4.3 逃がし弁の吹出量

3.4.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 10.84 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h}$$

3.4.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，通常運転時，高圧炉心注水系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし，質量流量で□kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として使用する場合においても，使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため，必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.4.5 評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

3.5 吹出量の計算（E51-F017）

3.5.1 設計条件

名　　称		E51-F017	
種　　類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝		mm
弁座口の径	D ＝		mm
リ　フ　ト	L ＝		mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(kg/cm^2)		14.0	(1.37MPa)
最高使用温度(℃)		104	
個　　数		1	
必要吹出量(kg/h)			

3.5.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

W：弁の容量(kg/h)

A：弁の流体通路の最小面積(mm^2)

n：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿P：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(kg/cm^2)　10.84

G：入口側の液体の比重量(g/cm^3)　1.0

3.5.3 逃がし弁の吹出量

3.5.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 10.84 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h}$$

3.5.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，通常運転時，原子炉隔離時冷却系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし，質量流量で□kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として使用する場合においても，使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため，必要な吹出量の設計根拠は同じである。

3.5.5 評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4. 計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

番号	弁番号	適用基準	対象区分
1	C41-F014	②	ＤＢ／ＳＡ
2	C41-F003A,B	②	ＤＢ／ＳＡ
3	P54-F011A,B	①	ＤＢ／ＳＡ

4.1 吹出量の計算（C41-F014）

4.1.1 設計条件

名　　称		C41-F014	
種　　類		平衡形	
呼び径（入　口）		20	A
のど部の径	d_t ＝		mm
弁座口の径	D ＝		mm
リ　フ　ト	L ＝		mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(kg/cm^2)		14.0	(1.37MPa)
最高使用温度(℃)		66	
個　　数		1	
必要吹出量(kg/h)			

4.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

W：弁の容量(kg/h)

A：弁の流体通路の最小面積(mm^2)

n：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿P：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(kg/cm^2)　13.859

G：入口側の液体の比重量(g/cm^3)　1.0

4.1.3 逃がし弁の吹出量

4.1.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \square \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 13.859 \times 1.0}$$

$$= \square \text{ kg/h}$$

4.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，ほう酸水注入系ポンプ出口配管の逆止め弁からの弁座漏えいが生じた場合に，その漏えい量を全量逃がし得る容量として，質量流量で□kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として使用する場合においても，使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため，必要な吹出量の設計根拠は同じである。

4.1.5 評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4.2　吹出量の計算（C41-F003A,B）

4.2.1　設計条件

名　　称		C41-F003A,B	
種　　類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝	[redacted]	mm
弁座口の径	D ＝	[redacted]	mm
リ　フ　ト	L ＝	[redacted]	mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(kg/cm^2)		110.0	(10.8MPa)
最高使用温度(℃)		66	
個　　数		2	
必要吹出量(kg/h)		[redacted]	

4.2.2　吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

Ｗ：弁の容量(kg/h)

Ａ：弁の流体通路の最小面積(mm^2) [redacted]

ｎ：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿Ｐ：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(kg/cm^2)　96.0

Ｇ：入口側の液体の比重量(g/cm^3)　1.0

4.2.3　逃がし弁の吹出量

4.2.2項の式よりＷは以下となる。

$$W = 50.4 \times [\text{redacted}] \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 96.0 \times 1.0}$$

$$= [\text{redacted}] \text{ kg/h}$$

4.2.4　必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，ほう酸水注入系ポンプ出口配管にほう酸水注入系ポンプ1台の定格流量が流入した場合に，流入流量を全量逃がし得る容量として，質量流量で[redacted]kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として使用する場合においても，使用する系統設備及び使用方法が設計基準対象施設として使用する場合と変わらないため，必要な吹出量の設計根拠は同じである。

4.2.5 評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

4.3　吹出量の計算（P54-F011A,B）

4.3.1　設計条件

名　　称		P54-F011A,B	
種　　類		非平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝		mm
弁座口の径	D ＝		mm
リ　フ　ト	L ＝		mm
流体の種類		窒素ガス	
吹　出　圧　力(kg/cm^2)		18.0	(1.77MPa)
最高使用温度(℃)		66	
個　　数		2	
必要吹出量(kg/h)			

4.3.2　吹出量の計算式

安全弁としての吹出量は，告示第５０１号第103条第1項第二号によりＪＩＳＢ　８２１０-1986「蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書　安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3.ガスに対する公称吹出し量」に従う。

$$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$$

ここで，

Q_m：公称吹出し量(kg/h)

C'：κとP_2/P_1による係数（「附属書」図2による。）

κ　：断熱指数

P_1　：公称吹出し量決定圧力の絶対圧力(kg/cm^2)

P_1＝　　kg/cm^2

P_2　：背圧の絶対圧力(kg/cm^2)

K_d：公称吹出し係数（「附属書」図1による。）

A　：吹出し面積(mm^2)

A＝　　mm^2

M　：ガスの分子量　28.01

Z　：圧縮係数（「附属書」図4による。）

T　：公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度(K)

4.3.3　安全弁の吹出量

4.3.2項の式よりＱｍは以下となる。

$$Q_m = \square \times \sqrt{\frac{28.01}{\square \times \square}} \times 0.9$$

$$= \square \ \mathrm{kg/h}$$

4.3.4　必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータへの窒素供給時，高圧窒素ガス供給系の減圧弁が故障により全開となった場合に，供給ガス流量を全量逃がし得る容量として，質量流量で□kg/hとする。

また，重大事故等対処設備として必要な吹出量は，主蒸気逃がし安全弁への窒素供給時，高圧窒素ガスボンベの出口の減圧弁が故障により全開となった場合に，供給ガス流量を全量逃がし得る容量として，質量流量で□kg/hとする。

4.3.5　評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5. 原子炉格納施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

番号	弁番号	適用基準	対象区分
1	T49-F009	③	ＤＢ
2	T49-F015	③	ＤＢ

5.1 吹出量の計算（T49-F009）

5.1.1 設計条件

名　　称		T49-F009	
種　　類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝	[redacted]	mm
弁座口の径	D ＝	[redacted]	mm
リ　フ　ト	L ＝	[redacted]	mm以上
流体の種類		水	
吹出圧力(MPa)		0.09	
最高使用温度(℃)		200	
個　　数		1	
必要吹出量(kg/h)		[redacted]	

5.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2001及び2005【事例規格】過圧防護に関する規定ＮＣ-ＣＣ-００１）（日本機械学会）OPP-7000により，設計・建設規格　SRV-3112に従う。

$$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

Ｗ：弁の容量(kg/h)

Ａ：弁の流体通路の最小面積(mm^2) [redacted]

ｎ：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿Ｐ：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(MPa)　0.09

Ｇ：入口側の液体の密度(kg/m^3)　1000.0

5.1.3 逃がし弁の吹出量

5.1.2項の式よりＷは以下となる。

$$W = 5.04 \times [redacted] \times 0.5\sqrt{1.1 \times 0.09 \times 1000.0}$$

$$= [redacted] \text{ kg/h}$$

5.1.4　必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，可燃性ガス濃度制御系冷却器スプレイ流量が流入した場合に，流入流量を全量逃がし得る容量として，質量流量で［　　］kg/hとする。

5.1.5　評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

5.2　吹出量の計算（T49-F015）

5.2.1　設計条件

名　　称		T49-F015	
種　　類		平衡形	
呼び径（入　口）		25	A
のど部の径	d_t ＝	[redacted]	mm
弁座口の径	D ＝	[redacted]	mm
リ　フ　ト	L ＝	[redacted]	mm以上
流体の種類		水	
吹　出　圧　力(MPa)		0.09	
最高使用温度(℃)		200	
個　　数		1	
必要吹出量(kg/h)		[redacted]	

5.2.2　吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は，発電用原子力設備規格（設計・建設規格ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2001及び2005【事例規格】過圧防護に関する規定ＮＣ-ＣＣ-０００１）（日本機械学会）OPP-7000により，設計・建設規格　SRV-3112に従う。

$$W = 5.04 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで，

Ｗ：弁の容量(kg/h)

Ａ：弁の流体通路の最小面積(mm^2) [redacted]

ｎ：流量係数（実験的に求めた値以外は0.5とする。）　0.5

⊿Ｐ：逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差(MPa)　0.09

Ｇ：入口側の液体の密度(kg/m^3)　1000.0

5.2.3　逃がし弁の吹出量

5.2.2項の式よりＷは以下となる。

$$W = 5.04 \times [redacted] \times 0.5 \times \sqrt{1.1 \times 0.09 \times 1000.0}$$

$$= [redacted] \text{ kg/h}$$

5.2.4　必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は，可燃性ガス濃度制御系冷却器スプレイ流量が流入した場合に，流入流量を全量逃がし得る容量として，質量流量で［　　］kg/hとする。

5.2.5　評価結果

弁の容量は，必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

Ⅴ-4-2　生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

Ⅴ-4-2-1　中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

本説明書は，「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」第 38 条，第 54 条及び第 74 条並びにそれらの「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」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は，Ⅴ-1-7-3「中央制御室の居住性に関する説明書」に含まれている。

Ⅴ-4-2-2　緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

本説明書は,「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」第 76 条及びその「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」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は，Ⅴ-1-9-3-2「緊急時対策所の居住性に関する説明書」に含まれている。