

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-015 改 15
提出年月日	2023年4月13日

工事計画に係る補足説明資料

(発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書)

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

補足説明資料目次

今回提出範囲：

1. 防護すべき設備
 - 1.1 機能喪失高さ
 - 1.2 防護すべき設備のうち溢水評価対象外とする設備
2. 想定破損による溢水評価
 - 2.1 想定破損による溢水評価における溢水源
 - 2.2 高エネルギー及び低エネルギー配管の分類
 - 2.3 高エネルギー配管及び低エネルギー配管の応力評価
 - 2.4 想定破損における減肉の考慮
3. 消火水の放水による溢水評価
 - 3.1 消火水の放水による溢水評価の概要
4. 地震起因による溢水評価
 - 4.1 地震起因による溢水評価における溢水源
 - 4.2 溢水防護に関する施設等の耐震評価対象設備・部位の代表性及び網羅性
 - 4.3 燃料プール等のスロッシングによる溢水量の算出
 - 4.4 溢水源としないB, Cクラス機器の耐震評価の内容
 - 4.5 溢水源としないB, Cクラス土木構造物の耐震評価の内容
 - 4.6 溢水源としないB, Cクラス配管の耐震評価の考え方
5. 溢水評価（没水、被水及び蒸気影響評価）
 - 5.1 溢水伝播経路概念図
 - 5.2 溢水伝播経路モデル図
 - 5.3 想定破損による溢水に対する没水影響評価
 - 5.4 想定破損による溢水に対する被水影響評価
 - 5.5 想定破損による溢水に対する溢水評価結果（溢水防護対象設備）
 - 5.6 想定破損による溢水に対する溢水評価結果（重大事故等対処設備）
 - 5.7 消火水の放水による溢水に対する溢水評価結果（溢水防護対象設備）
 - 5.8 消火水の放水による溢水に対する溢水評価結果（重大事故等対処設備）
 - 5.9 地震起因による溢水に対する溢水評価結果（溢水防護対象設備）
 - 5.10 地震起因による溢水に対する溢水評価結果（重大事故等対処設備）
6. その他の溢水評価
 - 6.1 タービン建物からの溢水に対する評価
 - 6.2 屋外タンク等からの溢水評価
 - 6.3 地下水による溢水影響
 - 6.4 放射性物質を含む液体の管理区域外漏えい防止評価
7. 全般
 - 7.1 溢水防護区画毎における機能喪失高さ

- 7.2 ケーブルの被水影響評価
- 7.3 没水影響評価における水上高さ及び滞留面積
- 7.4 貫通部止水処置に関する健全性
- 7.5 地下水位低下設備
- 7.6 その他漏えい事象に対する確認
- 7.7 排水を期待する流下開口
- 7.8 鉄筋コンクリート壁の止水性
- 7.9 経年劣化事象と保全内容
- 7.10 エキスパンションジョイント止水板の性能
- 7.11 水密扉の開閉運用
- 7.12 循環水系隔離システムの内、復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響

別紙（1）工認添付資料と設置許可まとめ資料との関係

別紙（2）添付VI-1-1-9 の各資料と工認補足説明資料との関係

6.2 屋外タンク等からの溢水評価

目 次

- 6.2.1 はじめに
- 6.2.2 屋外タンク等からの地震起因による溢水評価
- 6.2.3 屋外タンク等からの土石流による溢水評価
- 6.2.4 掘削箇所への溢水の流入を考慮した溢水評価

- 別紙1 溢水源とする屋外タンク等の選定
- 別紙2 タービン建物への溢水量の算出
- 別紙3 地震による損傷形態を踏まえた屋外タンク等からの溢水評価への影響
- 別紙4 土石流による溢水評価における輪谷貯水槽の溢水源としての考え方
- 別紙5 放射性物質を内包する溢水の線量影響評価
- 別紙6 復水貯蔵タンク，補助復水貯蔵タンク及びトーラス水受入タンクの損傷形態
- 別紙7 復水貯蔵タンク，補助復水貯蔵タンク及びトーラス水受入タンク遮蔽壁の損傷形態
- 別紙8 復水貯蔵タンク，補助復水貯蔵タンク及びトーラス水受入タンク並びに遮蔽壁からの漏えいへの対応
- 別紙9 計算機プログラム（解析コード）の概要・AXIS

復水貯蔵タンク，補助復水貯蔵タンク及びトールラス水受入タンク遮蔽壁の

損傷形態

目 次

1. 復水貯蔵タンク遮蔽壁	1
1.1 評価方法	1
1.2 評価条件	1
1.2.1 適用規格	1
1.2.2 構造概要	3
1.2.3 評価対象断面の方向	10
1.2.4 評価対象断面の選定	10
1.2.5 使用材料及び材料の物性値	12
1.2.6 地盤物性値	13
1.2.7 評価構造物諸元	14
1.2.8 耐震評価フロー	17
1.3 地震応答解析	19
1.3.1 地震応答解析手法	19
1.3.2 地震応答解析モデルの設定	21
1.3.3 減衰定数	37
1.3.4 荷重及び荷重の組合せ	42
1.3.5 地震応答解析の解析ケース	44
1.3.6 入力地震動の設定	47
1.3.7 地震応答解析結果	60
1.4 応力解析	79
1.4.1 解析モデルの設定	80
1.4.2 荷重及び荷重の組み合わせ	84
1.4.3 地震時荷重の作用方向	86
1.4.4 応力照査方法	87
1.4.5 解析ケース	89
1.5 耐震評価	90
1.5.1 許容限界	90
1.5.2 評価方法	99
1.6 耐震評価結果	100
1.6.1 構造部材の健全性に対する評価結果（遮蔽壁）	100
1.6.2 構造部材の健全性に対する評価結果（基礎）	108
1.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果（開口補強鋼材）	115
1.6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	121
2. 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトールラス水受入タンク遮蔽壁	122
2.1 評価方法	122
2.2 評価条件	122
2.2.1 適用規格	122

2.2.2	構造概要	124
2.2.3	評価対象断面の方向	136
2.2.4	評価対象断面の選定	136
2.2.5	使用材料及び材料の物性値	138
2.2.6	地盤物性値	139
2.2.7	評価構造物諸元	140
2.2.8	耐震評価フロー	143
2.3	地震応答解析	145
2.3.1	地震応答解析手法	145
2.3.2	地震応答解析モデルの設定	147
2.3.3	減衰定数	163
2.3.4	荷重及び荷重の組合せ	168
2.3.5	地震応答解析の解析ケース	170
2.3.6	入力地震動	173
2.3.7	地震応答解析結果	186
2.4	応力解析	197
2.4.1	解析モデルの設定	198
2.4.2	荷重及び荷重の組み合わせ	203
2.4.3	地震時荷重の作用方向	205
2.4.4	応力照査方法	206
2.4.5	解析ケース	208
2.5	耐震評価	209
2.5.1	許容限界	209
2.5.2	評価方法	218
2.6	耐震評価結果	219
2.6.1	構造部材の健全性に対する評価結果（遮蔽壁）	219
2.6.2	構造部材の健全性に対する評価結果（基礎）	227
2.6.3	構造部材の健全性に対する評価結果（開口補強鋼材）	234
2.6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	243
参考資料 1	安全対策工事に伴う掘削影響の検討と弁室の構造健全性評価及び漏水量評価について	
参考資料 2	照査用応答値の平均化について	
参考資料 3	補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の北側の小規模な法面が地震応答解析へ及ぼす影響確認について	
参考資料 4	補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁における PHb 工法の適用性の検討	

1. 復水貯蔵タンク遮蔽壁

1.1 評価方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁について、基準地震動 S_s に対して、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価として、構造物全体としての安定性確保を評価した上で、溢水影響の確認を実施する。

なお、復水貯蔵タンク遮蔽壁の周辺他で安全対策工事に伴う掘削を実施中であるため、本資料においては、掘削後の状態を前提とする。

1.2 評価条件

1.2.1 適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)
- ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度法— (日本建築学会, 2005 年)

表 1.2-1 適用する規格, 基準類

項目	適用する規格, 基準類	備考
使用材料及び材料定数	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年)	鉄筋コンクリートの材料諸元 (単位体積重量, ヤング係数, ポアソン比)
	鋼構造設計規準—許容応力度法— 2005年, (社)日本建築学会	鋼材の材料諸元 (単位体積重量, ヤング係数, ポアソン比)
	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会)	鋼材の減衰定数
荷重及び荷重の組合せ	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年)	永久荷重, 偶発荷重等の適切な組合せを検討
許容限界	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)	曲げ・軸力系の破壊に対する照査は, 発生ひずみが限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%) 以下であることを確認
	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年)	曲げ・軸力系の破壊に対する照査において発生応力が終局曲げモーメント以下であることを確認。また, おおむね弾性範囲として, 発生応力度が短期許容応力度以下であることを確認。せん断力照査は, 短期許容応力度以下であることを確認
	鋼構造設計規準—許容応力度法— (日本建築学会, 2005年)	鋼材の短期許容応力度を許容限界として設定
	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (日本道路協会 平成 14 年 3 月)	基礎地盤の支持性能に対する照査は, 基礎に発生する応力が極限支持力を下回ることを確認
地震応答解析	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会)	有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

1.2.2 構造概要

復水貯蔵タンク遮蔽壁の位置図を図 1.2-1 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の平面図を図 1.2-2 に、断面図を図 1.2-3 に、耐震補強箇所を図 1.2-4 に、開口補強鋼材を図 1.2-5 に、概略配筋図を図 1.2-6 に、弁室目地概念図を図 1.2-7 に、地質断面図を図 1.2-8 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、復水貯蔵タンク等を間接支持する基礎、基礎上に固定された遮蔽壁及びタンク、遮蔽壁を補強する開口補強鋼材（杵材、ブレース材、ガセットプレート、リブプレート、ベースプレート、アンカーボルト）から構成される。復水貯蔵タンク遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造であり、基礎は、幅 22m（東西）×22m（南北）、遮蔽壁は、内径 17.5m、壁厚 0.3～0.5m、高さ 12m の円筒状の地上構造物で、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置している。遮蔽壁と開口補強鋼材の間には、無収縮モルタルを圧入しており、遮蔽壁と無収縮モルタル間にはアンカーボルト、開口補強鋼材と無収縮モルタル間には頭付スタッドを設置し、一体化させている。

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

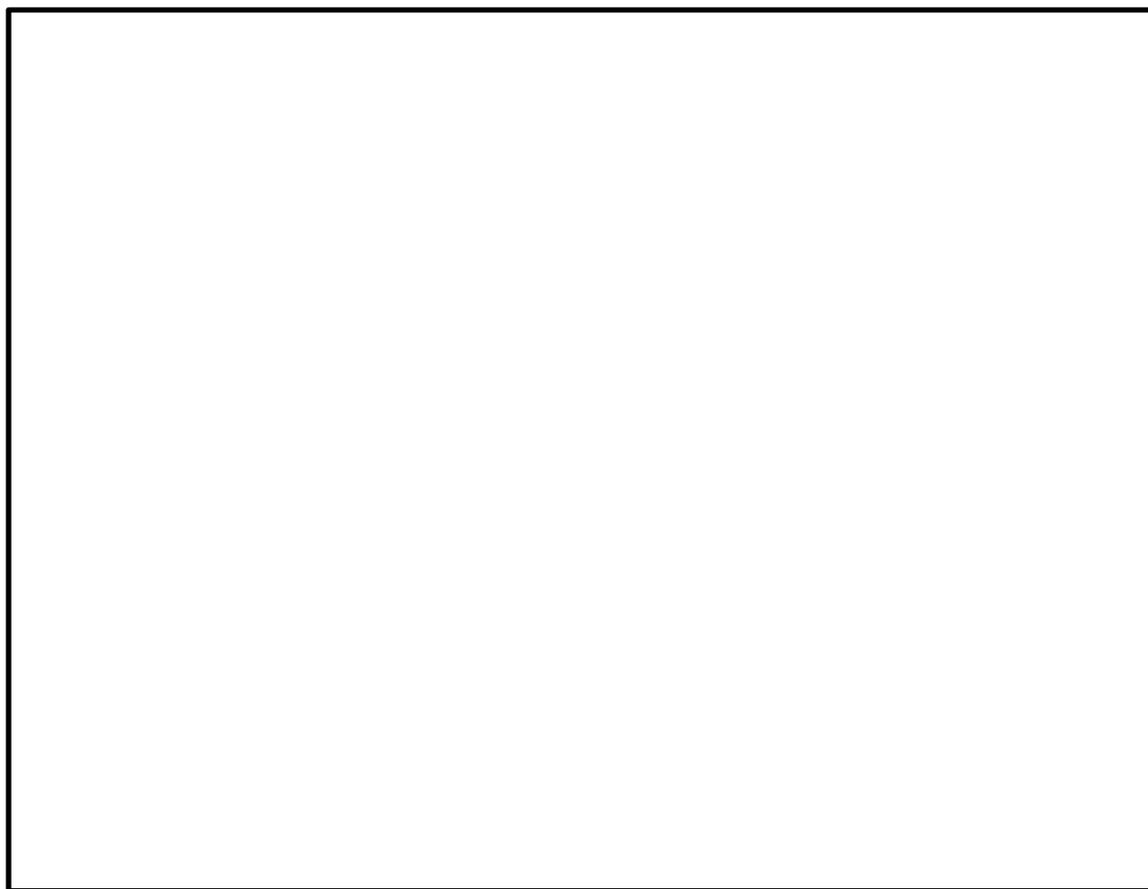


図 1.2-1 復水貯蔵タンク遮蔽壁 位置図

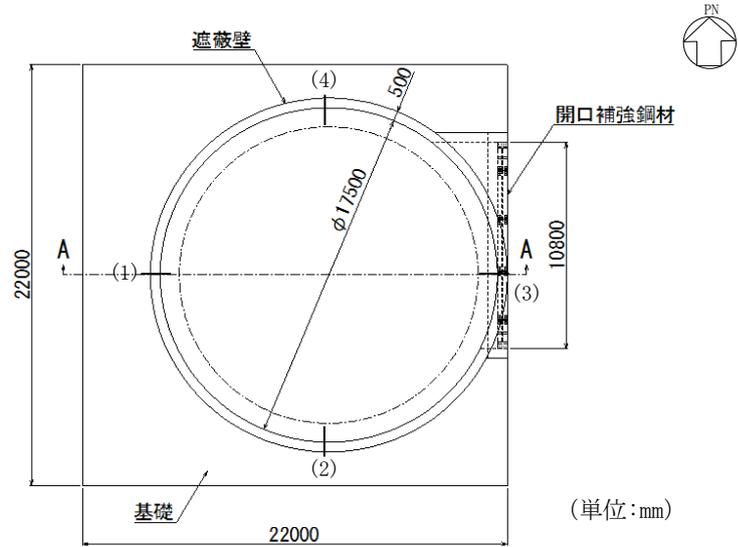


図 1.2-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

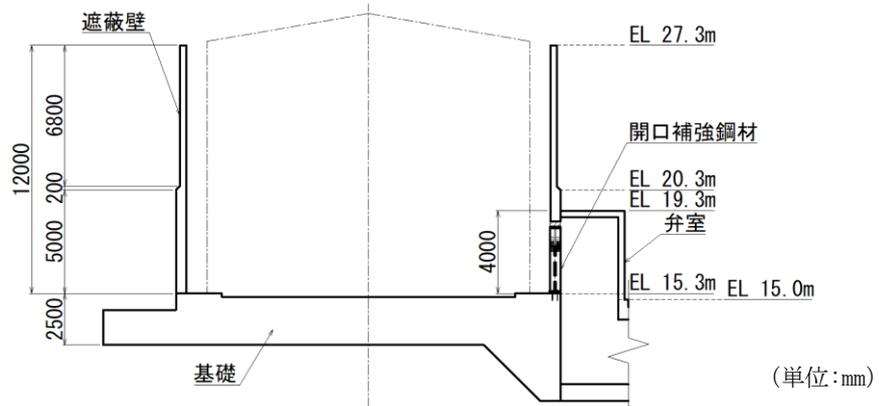


図 1.2-3 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)

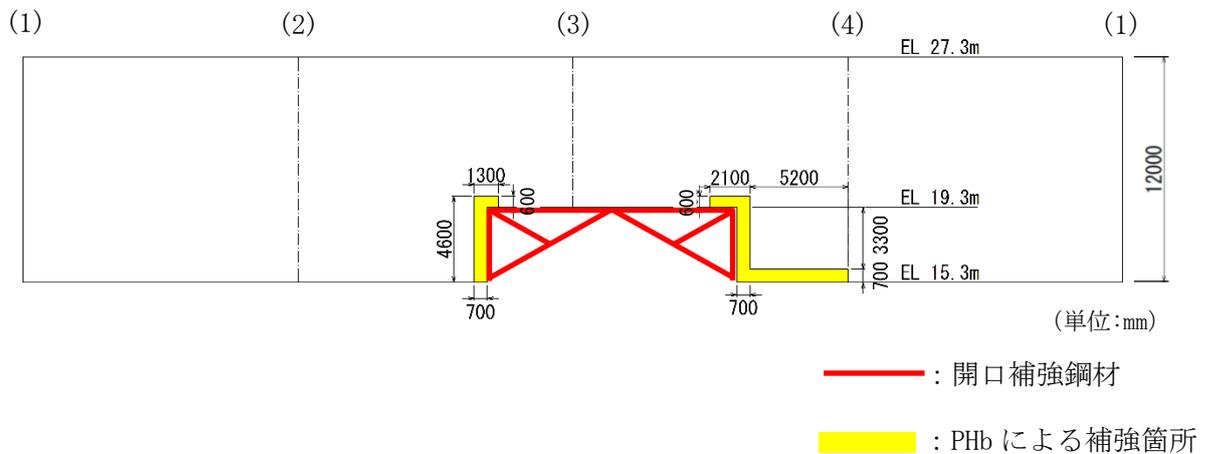


図 1.2-4 復水貯蔵タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所及び開口補強鋼材概念図 (展開図)

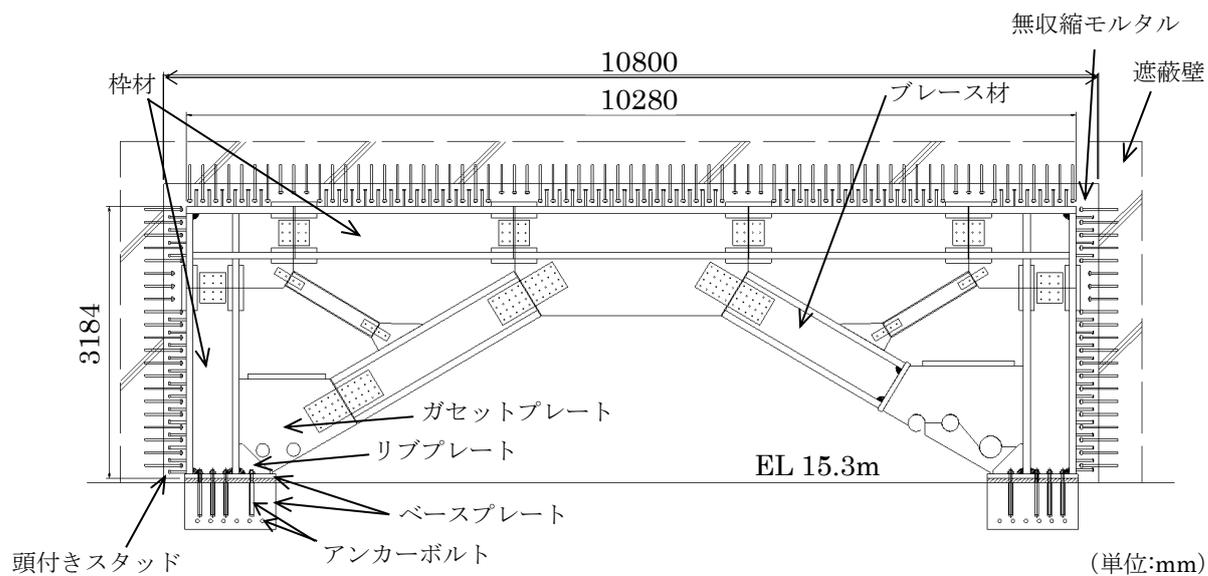


図 1.2-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強概念図 (正面図)

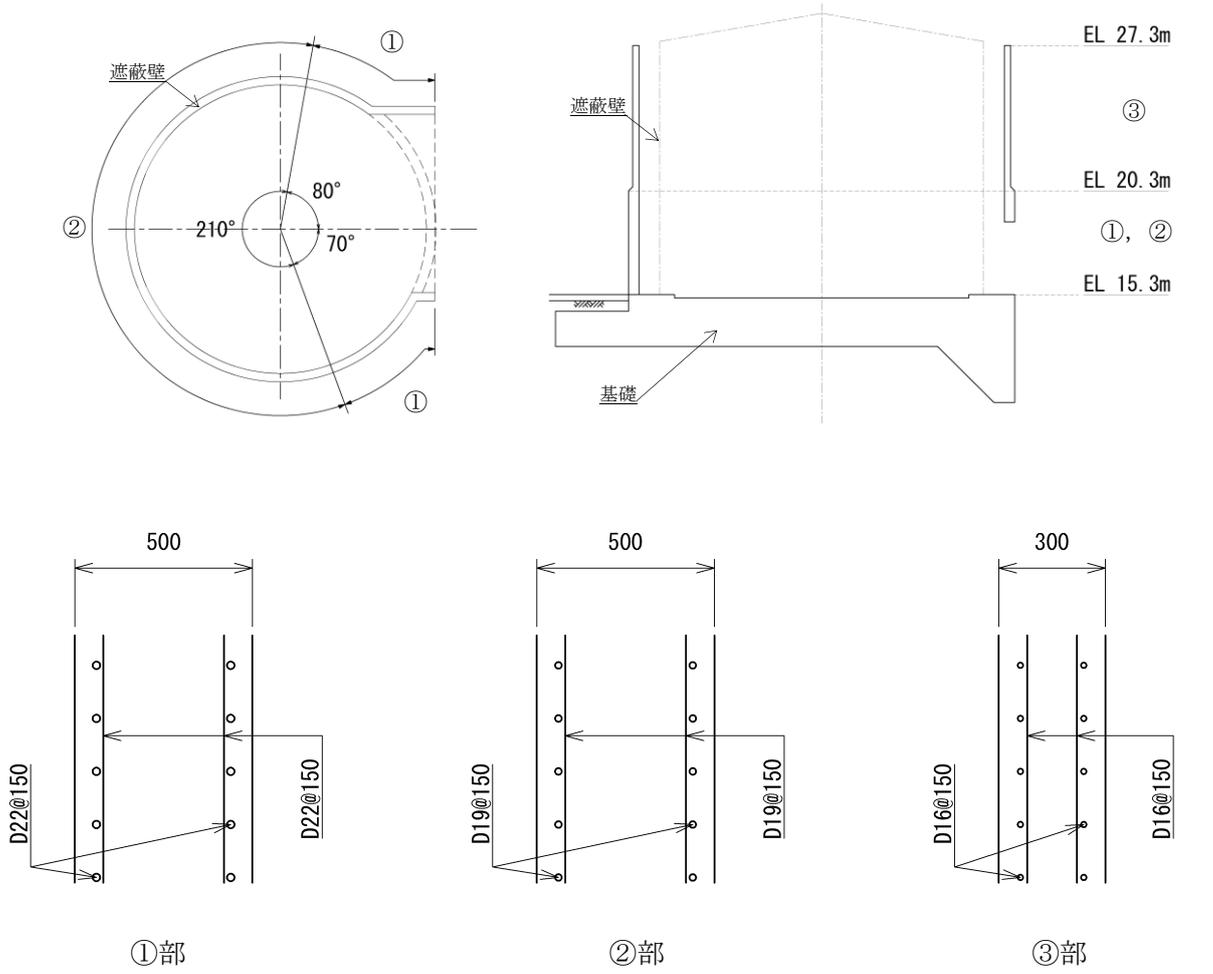


図 1.2-6(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (遮蔽壁) (単位:mm)

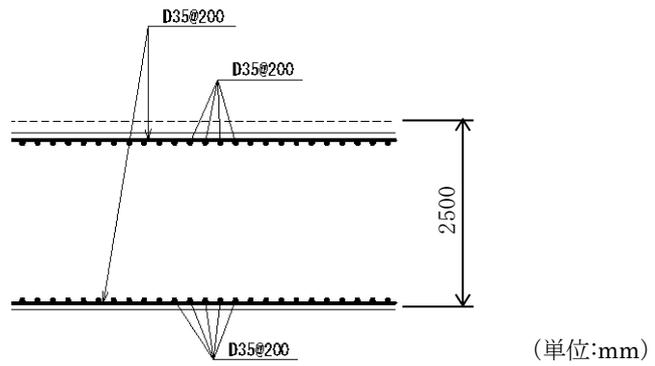
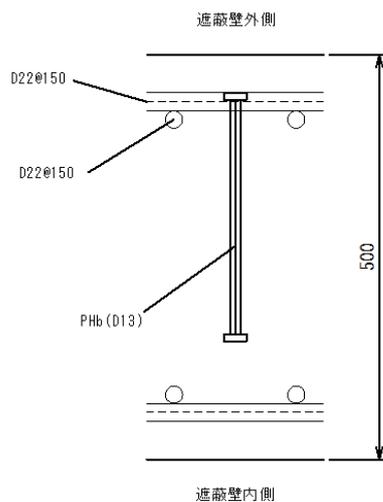
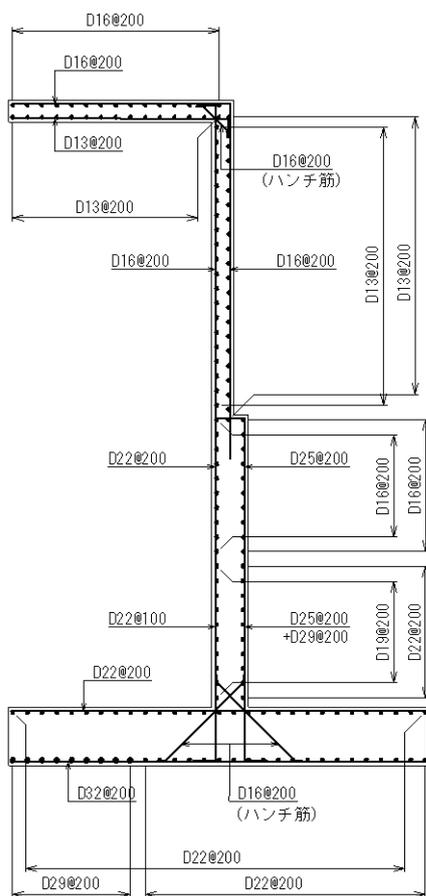


図 1.2-6(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (基礎)



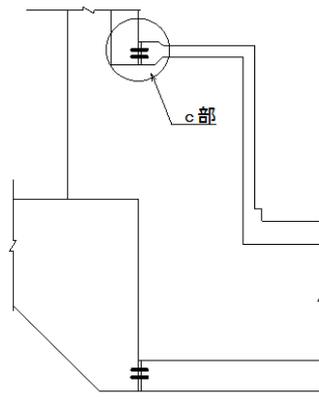
(単位:mm)

図 1.2-6(3) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (PHb 工法)

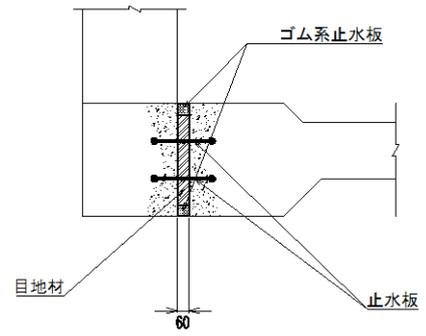


(単位:mm)

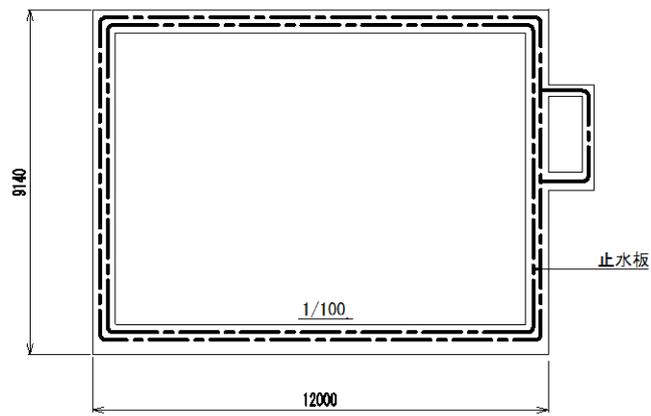
図 1.2-6(4) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (弁室)



(断面図)



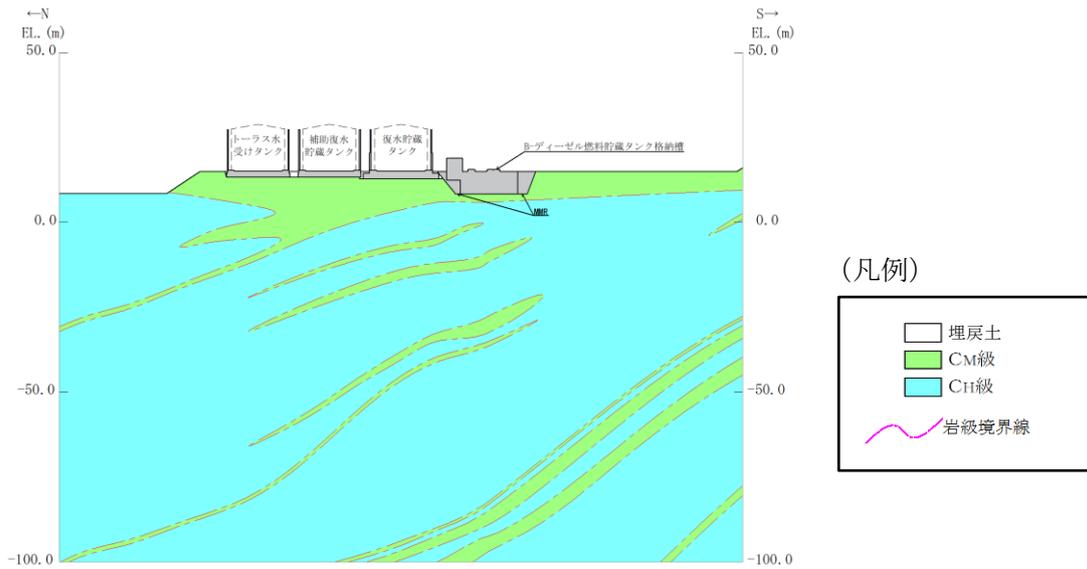
(c部詳細図)



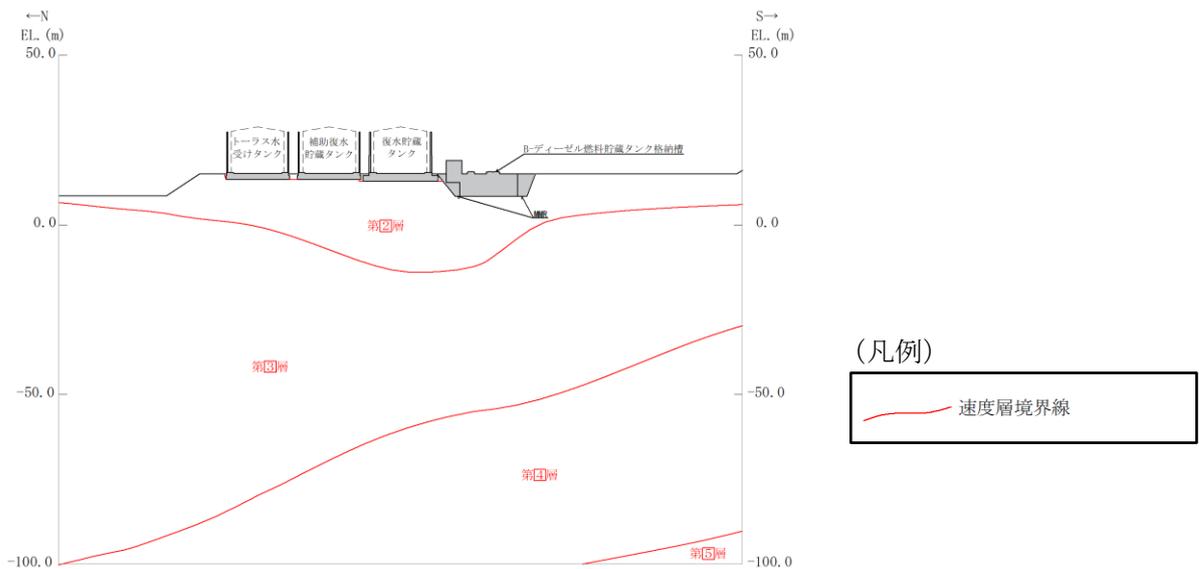
(正面図)

(単位:mm)

図 1.2-7 復水貯蔵タンク遮蔽壁 弁室目地概念図



(岩級図)



(速度層図)

図 1.2-8 復水貯蔵タンク遮蔽壁 地質断面図

1.2.3 評価対象断面の方向

復水貯蔵タンク遮蔽壁は円筒状構造物であり、強軸及び弱軸が明確ではないことから、3次元構造解析モデルを用いた耐震評価を行う。したがって、3次元構造解析モデルに作用させる荷重を適切に考慮することが可能な断面を、構造物中央を通る断面及びその直交方向断面の特徴を踏まえて選定する。

1.2.4 評価対象断面の選定

復水貯蔵タンクの周辺他で安全対策工事に伴う掘削を実施中であるため、掘削後の状態を前提とするが、以下の①構造的特徴及び②周辺地質構造を踏まえ、3次元構造解析モデルに作用させる荷重は、南北方向断面の地震応答解析結果に基づき設定する。具体的には、南北方向断面の地震応答解析結果から得られた最大加速度に基づく設計用地震力が、保守的に東西方向からも作用するものとして評価する。

①復水貯蔵タンク遮蔽壁は、遮蔽壁外径に対する高さの比が0.7程度と小さいことから、曲げ・軸力系破壊よりもせん断破壊が先行するものと考えられる。遮蔽壁は東側に開口を有することから、南北方向断面の有効せん断断面積は、東西方向断面の7割程度であり、南北方向の荷重に対して、より大きい応答が作用する。有効せん断断面積の比較を、図1.2-9に示す。

②復水貯蔵タンク遮蔽壁周辺の地質構造は、東西方向断面が概ね水平成層であることに對し、南北方向断面が北傾斜となる。したがって、南北方向断面の方が、より大きい応答が作用する。復水貯蔵タンク遮蔽壁の断面位置図を図1.2-10に、南北方向断面図を図1.2-11に示す。

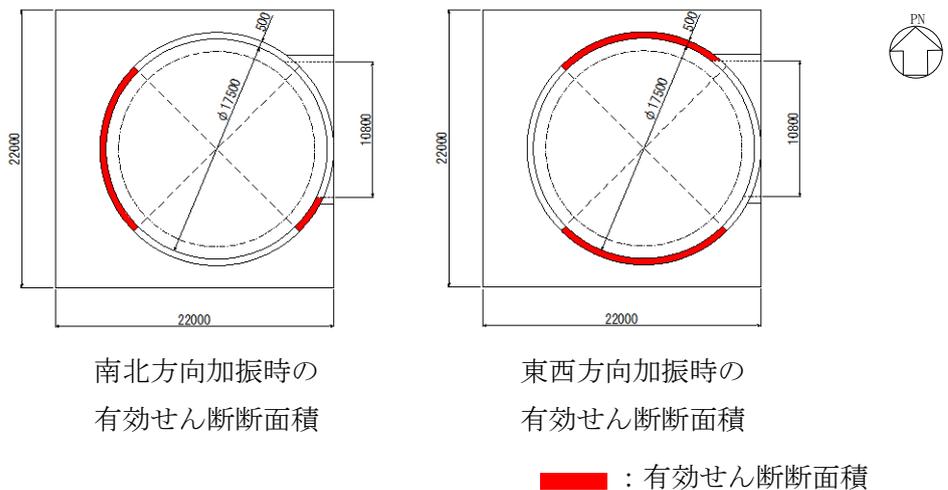


図1.2-9 有効せん断断面積の比較

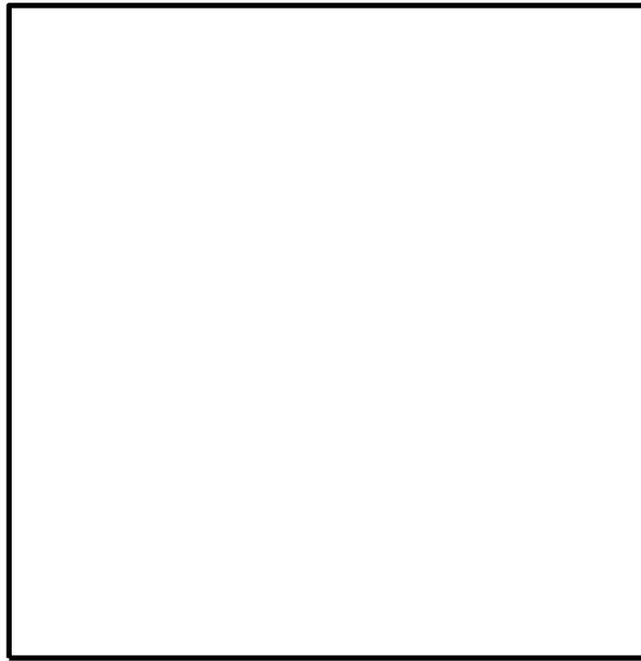


図 1.2-10 断面位置図

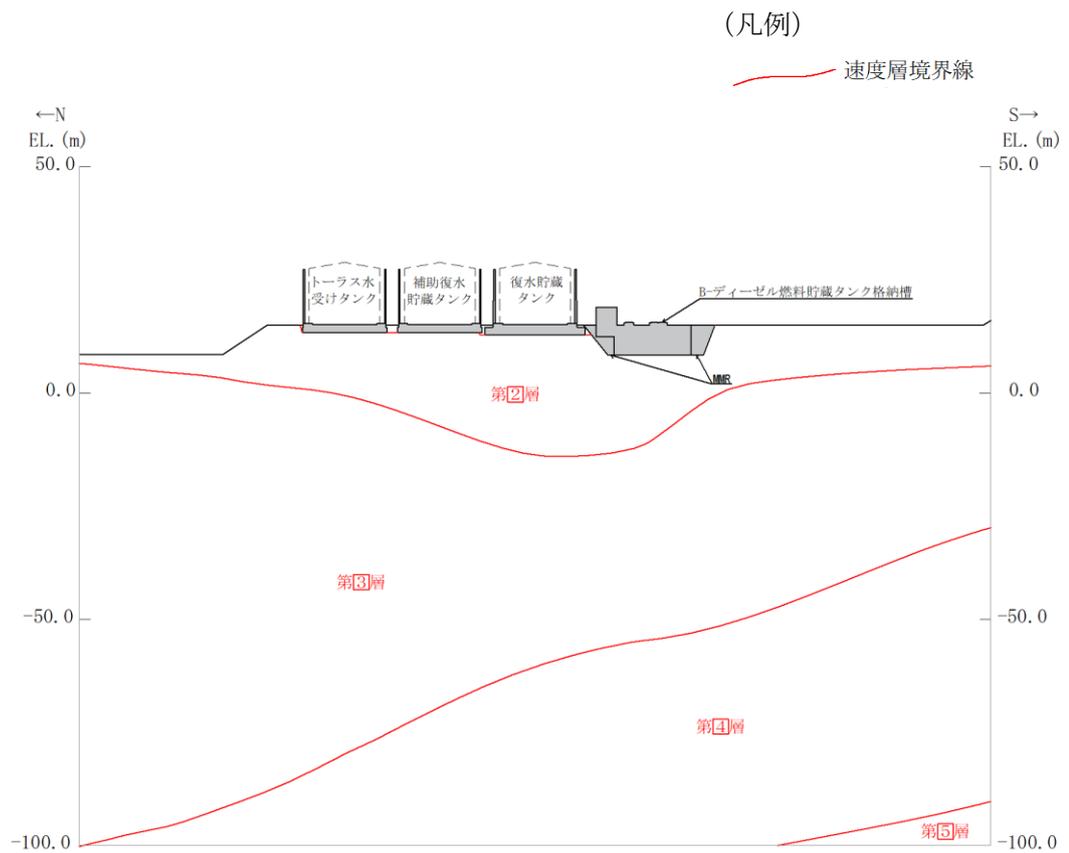


図 1.2-11 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面図 (A-A 断面)

1.2.5 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 1.2-2 に、材料の物性値を表 1.2-3 に示す。

表 1.2-2 使用材料

材料			仕様	
復水貯蔵 タンク 遮蔽壁	コンクリート		設計基準強度 23.5N/mm ²	
	鉄筋		SD345	
	開口補強 鋼材	枠材	H-612×510×60×80	SM400A
		ブレース材	H-612×510×60×80	SM400A
			H-200×200×8×12	SS400
		ガセットプレート	PL-60	SM400C
		リブプレート	PL-40	SM400C
		ベースプレート	PL-50	SM400C
アンカーボルト		D38	SD345	

表 1.2-3 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
復水貯蔵タンク 遮蔽壁	2.48×10 ⁴	24.0	0.2
開口補強鋼材	2.00×10 ⁵	77.0	0.3

1.2.6 地盤物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 1.2-4 に示す。

表 1.2-4 解析用物性値（地盤）

層番号	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
②層	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
③層	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
④層	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
⑤層	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
⑥層	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

1.2.7 評価構造物諸元

復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象部位を図 1.2-12 に、構造物諸元を表 1.2-5 及び表 1.2-6 に示す。

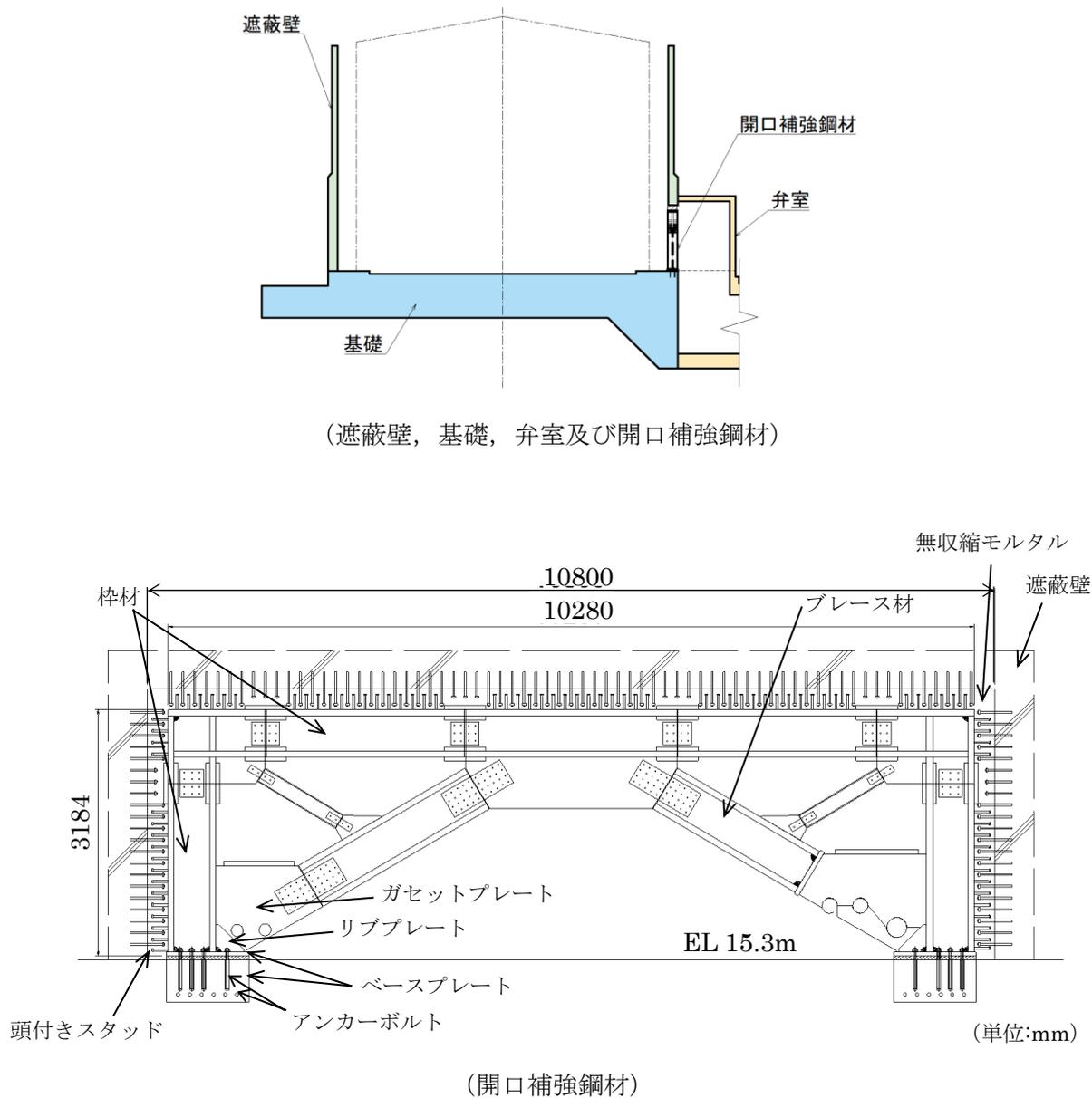
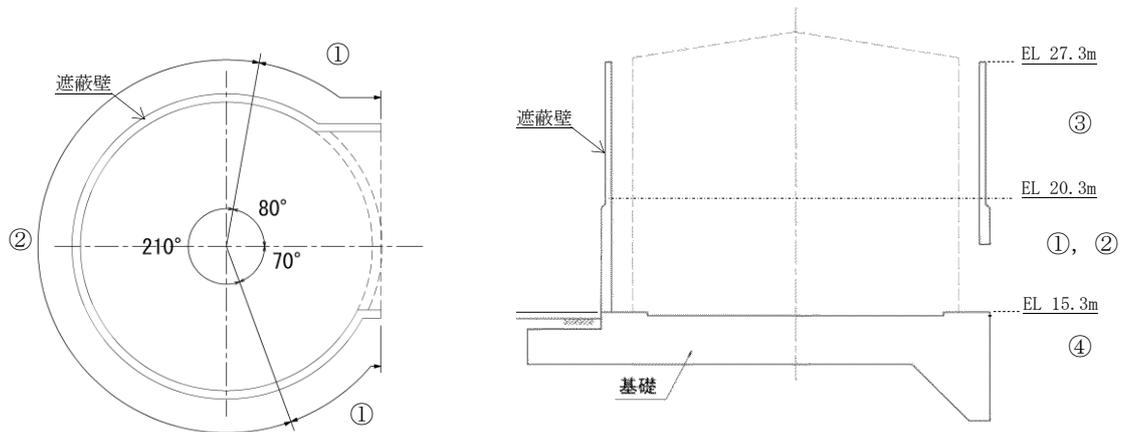


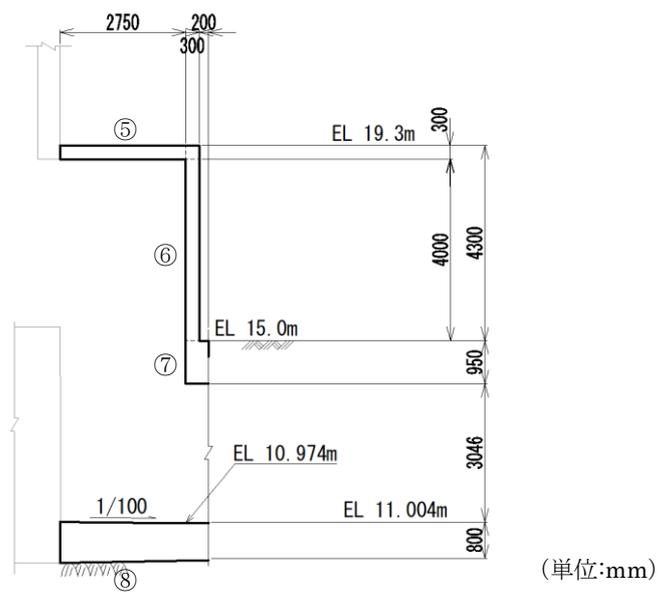
図 1.2-12 評価対象部位

表 1.2-5 評価対象部位とその仕様 (遮蔽壁, 基礎, 弁室)

部位	仕様		材料		
	部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 (N/mm ²)	鉄筋	
遮蔽壁	①	—	500	23.5	SD345
	②	—	500	23.5	SD345
	③	—	300	23.5	SD345
基礎	④	22000	2500	23.5	SD345
弁室	⑤	2750	300	23.5	SD345
	⑥	4000	300	23.5	SD345
	⑦	950	500	23.5	SD345
	⑧	3250	800	23.5	SD345



(遮蔽壁, 基礎)



(単位:mm)

(弁室)

表 1.2-6 評価対象部位とその仕様（開口補強鋼材）

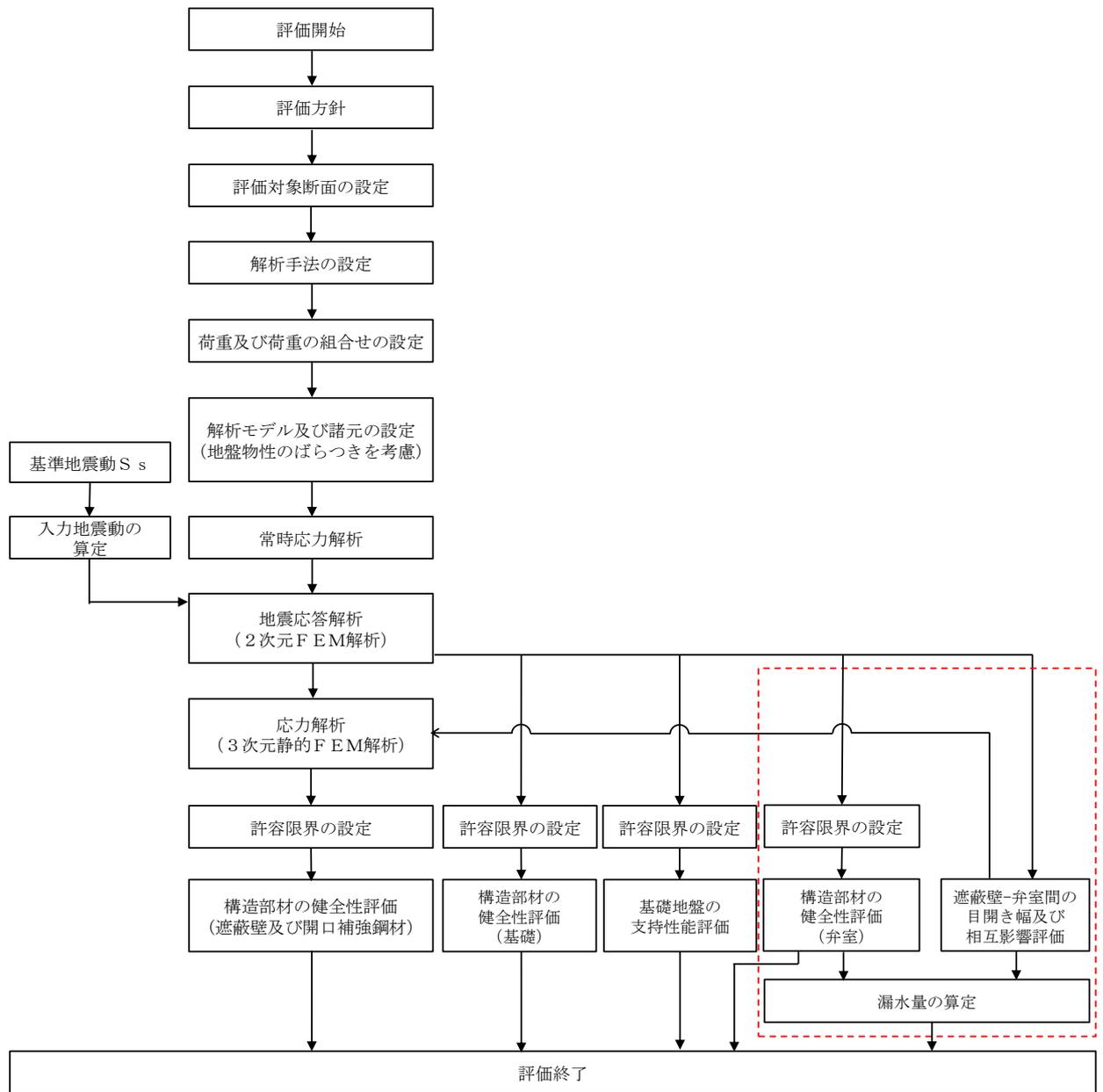
部位		仕様	材料
開口補強鋼材	枠材	H-612×510×60×80	SM400A
	ブレース材	H-612×510×60×80	SM400A
		H-200×200×8×12	SS400
	ガセットプレート	PL-60	SM400C
	リブプレート	PL-40	SM400C
	ベースプレート	PL-50	SM400C
	アンカーボルト	D38	SD345

1.2.8 耐震評価フロー

復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価フローを図 1.2-13 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び開口補強鋼材の耐震評価は、3次元有限要素法を用いた応力解析を行い照査する。その際入力する応力については2次元地震応答解析の応答値を用いる。

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち基礎の耐震評価及び基礎地盤の支持性能照査は、2次元地震応答解析の応答値を用いる。



参考資料1に示す範囲

図 1.2-13 復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価フロー

1.3 地震応答解析

1.3.1 地震応答解析手法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行う。

解析手法については、図1.3-1に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、岩盤上に設置された構造物であり、施設周辺に液状化対象層が存在しないため解析手法の選定フローに基づき「②全応力解析」を選定する。

構造部材については、遮蔽壁は多質点系曲げせん断棒モデルとして、基礎は線形はり要素としてモデル化する。

また、岩盤については、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「TDAPIII」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

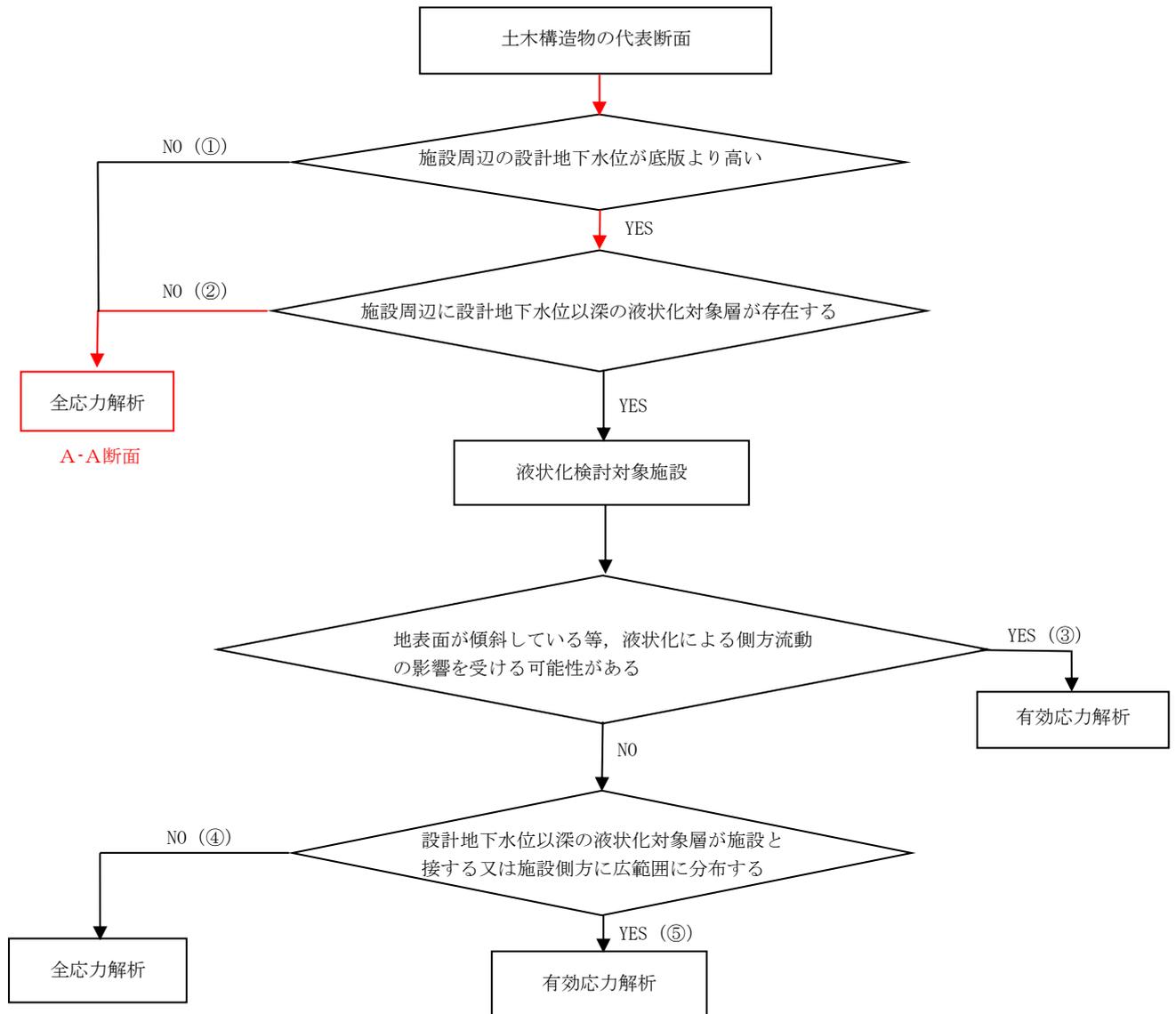


図 1.3-1 解析手法の選定フロー

1.3.2 地震応答解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルのモデル化領域を図 1.3-2 に示す。

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう十分広い領域とする。具体的には、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)」を参考に、モデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物基礎幅の 1.5 倍～2 倍確保している。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年)」に従い、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度まで細分して設定する。



図 1.3-2 モデル化範囲の考え方

(2) 境界条件

a. 固有値解析時

固有値解析を実施する際の境界条件は、境界が構造物を含めた周辺地盤の振動特性に影響を与えないよう設定する。ここで、底面境界は地盤のせん断方向の卓越変形モードを把握するために固定とし、側方境界はフリーとする。

境界条件の概念図を図 1.3-3 に示す。

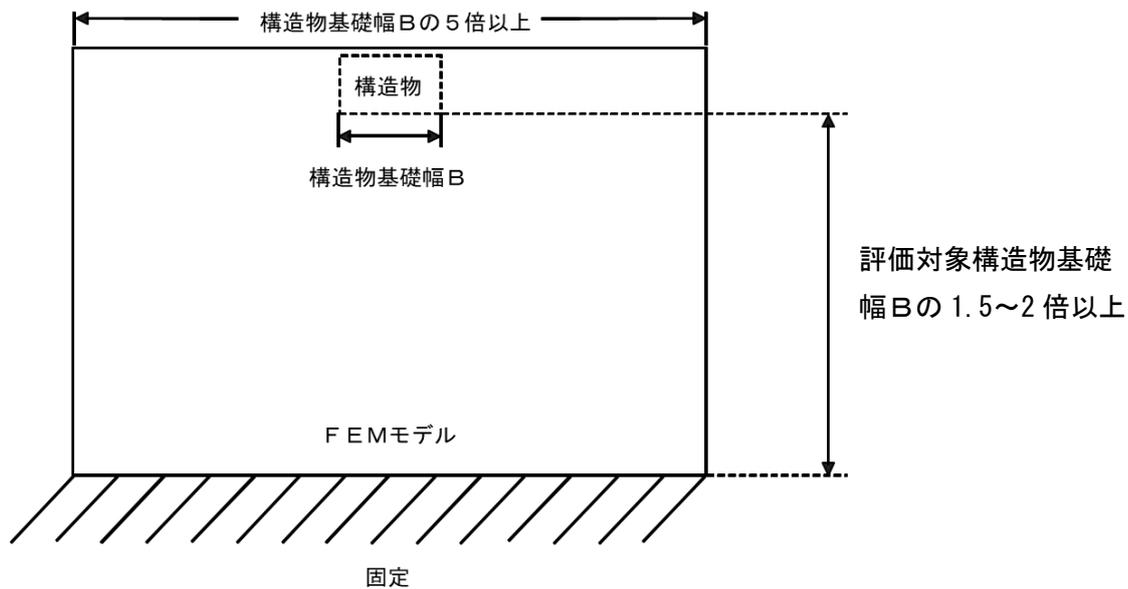


図 1.3-3 固有値解析における境界条件の概念図

b. 常時応力解析時

常時応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時応力を算定するために行う。そこで、常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 1.3-4 に示す。

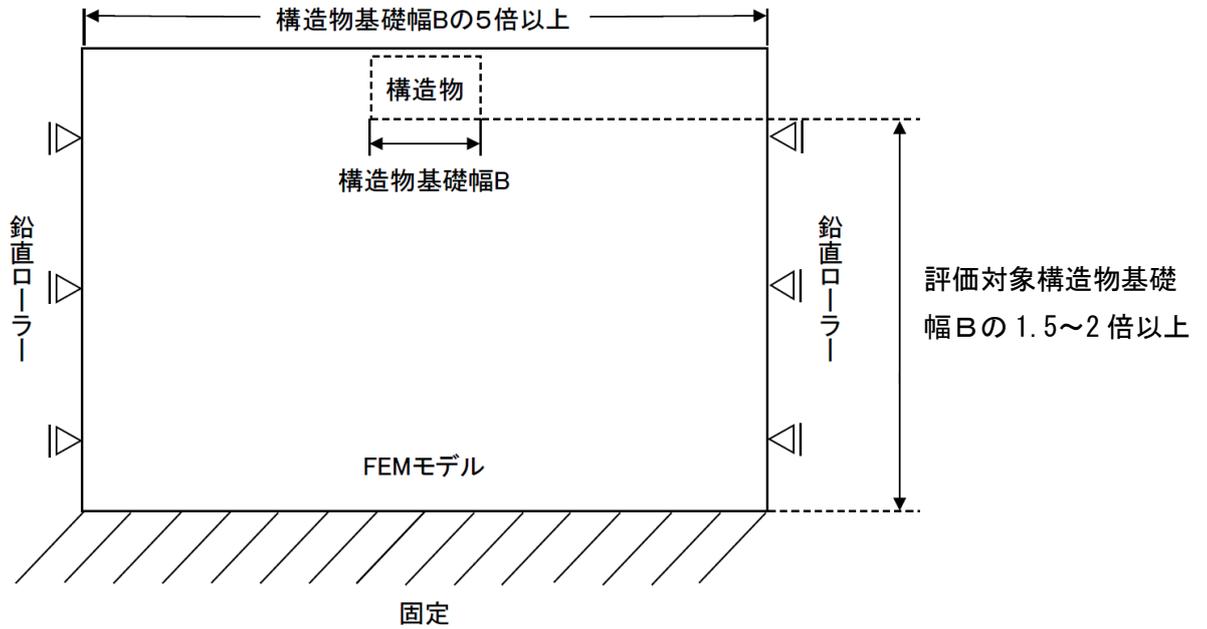


図 1.3-4 常時応力解析における境界条件の概念図

c. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

境界条件の概念図を図 1.3-5 に示す。

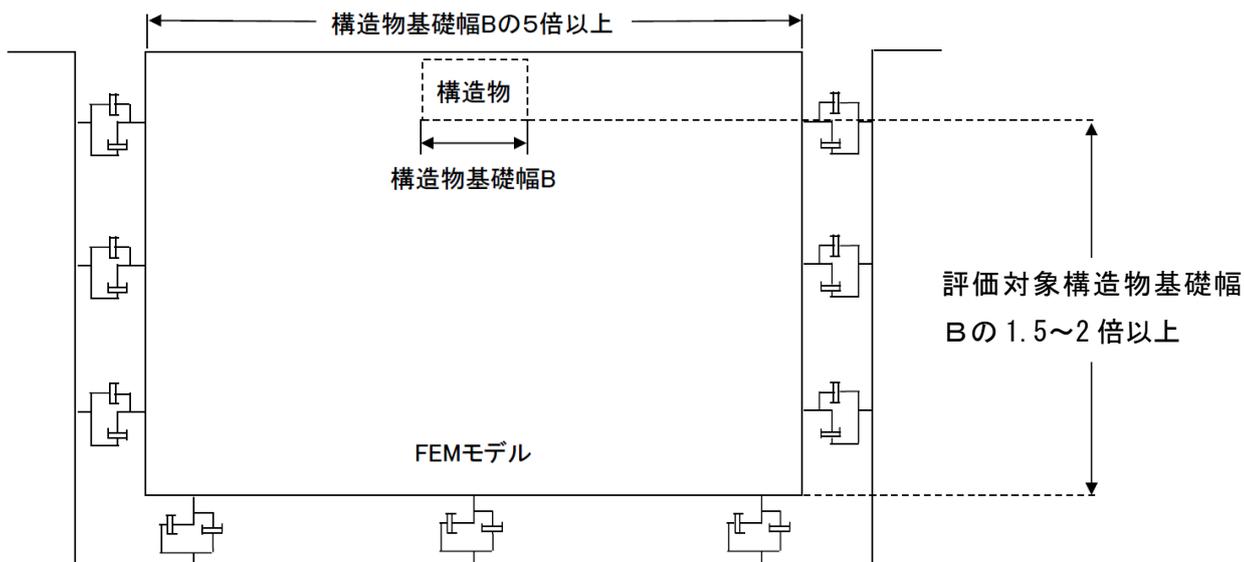


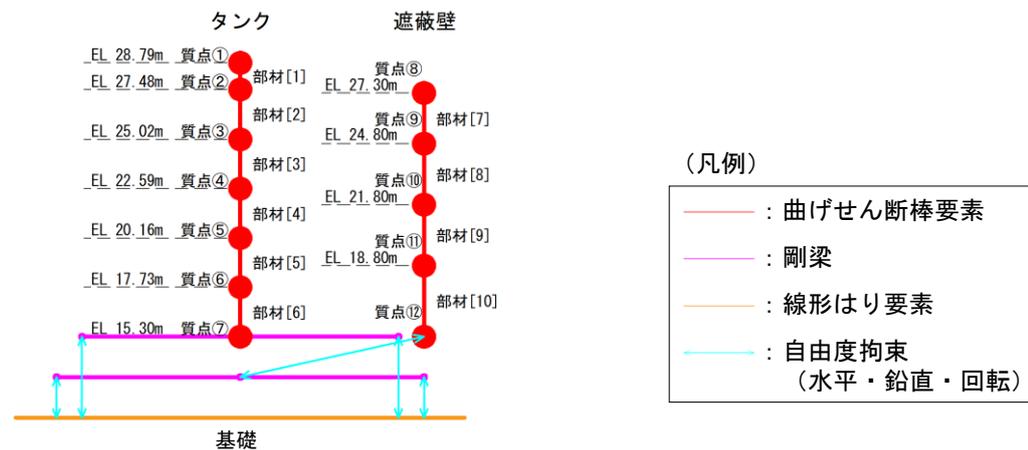
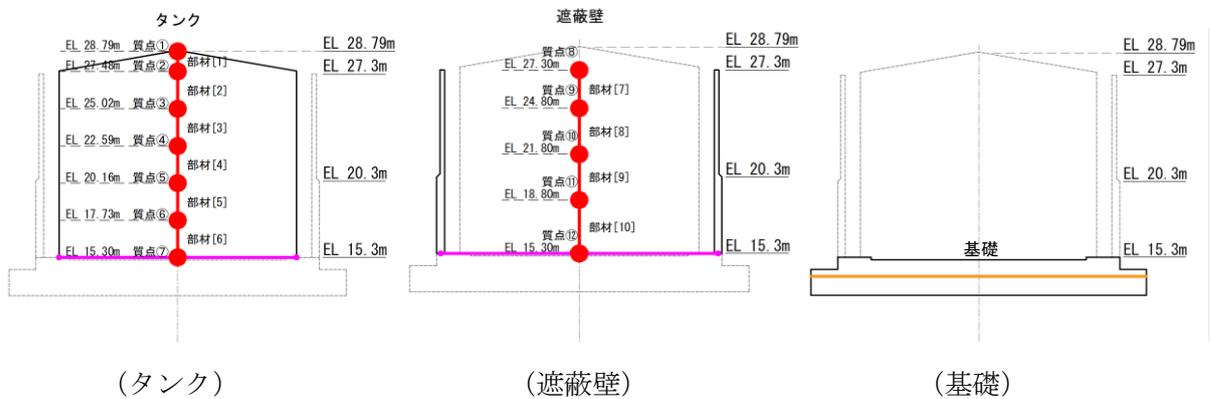
図 1.3-5 地震応答解析における境界条件の概念図

(3) 構造物のモデル化

復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材のうち、遮蔽壁については、多質点系のはり質点系モデルとする。基礎については線形はり要素でモデル化する。なお、タンクは復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材では無いが、基礎への影響を検討するため多質点系のはり質点系モデルでモデル化する。

また、タンク及び遮蔽壁の荷重を基礎に適切に伝えるため、タンクについてはタンク底面の直径と同じ長さの剛梁を、遮蔽壁については遮蔽壁下端の直径と同じ長さの剛梁を、それぞれのモデル下端にモデル化する。タンク及び遮蔽壁と基礎の接続位置において、タンク及び遮蔽壁と基礎を自由度拘束することにより、タンク及び遮蔽壁－基礎間を接続する。地震応答解析モデルの概念図を図 1.3-6 に示す。

なお、開口補強鋼材は、重量のみ考慮することとし、保守的に剛性は考慮しない。復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデルの諸元を表 1.3-1～表 1.3-5 に示す。



(タンク、遮蔽壁及び基礎 拘束条件)

図 1.3-6 地震応答解析モデルの概念図

表 1.3-1 復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデル諸元 (A-A 断面)

部 位	水平方向モデル						鉛直方向モデル	
	質点 番号	質点 重量 (kN/m)	回転 慣性 (kN・m ² /m)	要素 番号	有効せん断 断面積 (m ²)	断面 2 次 モーメント (m ⁴)	質点 番号	質点 重量 (kN/m)
タ ン ク	①	15.22	—				①	—
	②	12.66	—	1	0.4400	6.670	②	—
	③	158.1	—	2	0.1950	11.72	③	—
	④	157.6	—	3	0.2320	13.93	④	—
	⑤	158.7	—	4	0.2680	16.13	⑤	—
	⑥	159.8	—	5	0.3110	18.69	⑥	—
	⑦	85.65	—	6	0.3660	22.00	⑦	979.0
遮 蔽 壁	⑧	27.06	—	—	—	—	⑧	27.06
	⑨	49.35	—	7	8.388	664.6	⑨	49.35
	⑩	53.84	—	8	8.388	664.6	⑩	53.84
	⑪	110.3	—	9	10.53	841.3	⑪	110.3
	⑫	50.98	23730	10	8.021	1188	⑫	50.98

表 1.3-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁の質点重量の集計範囲

	質点番号・位置	躯体
⑧		
⑨		
⑩		
⑪		
⑫		

表 1.3-3 復水貯蔵タンク遮蔽壁の回転慣性重量の集計範囲

	質点番号・位置	躯体
⑫		

表 1.3-4 復水貯蔵タンク遮蔽壁の有効せん断断面積

	要素番号・位置	南北方向
7		
8		
9		
10		

表 1.3-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁の断面 2 次モーメントの有効断面

	要素番号・位置	南北方向
7		
8		
9		
10		

(4) 地盤のモデル化

地盤は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。なお、図 1.3-7 に示すとおり復水貯蔵タンク遮蔽壁の北側の法面は、図 1.3-2 に示すモデル化範囲の考え方より、法肩が復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎幅（22m）の 2.5 倍以上離れた位置（約 58m）であるため、地表面形状が地震応答解析結果に及ぼす影響は小さいものとして、解析モデルの地表面は EL 15.0m で均一とした。

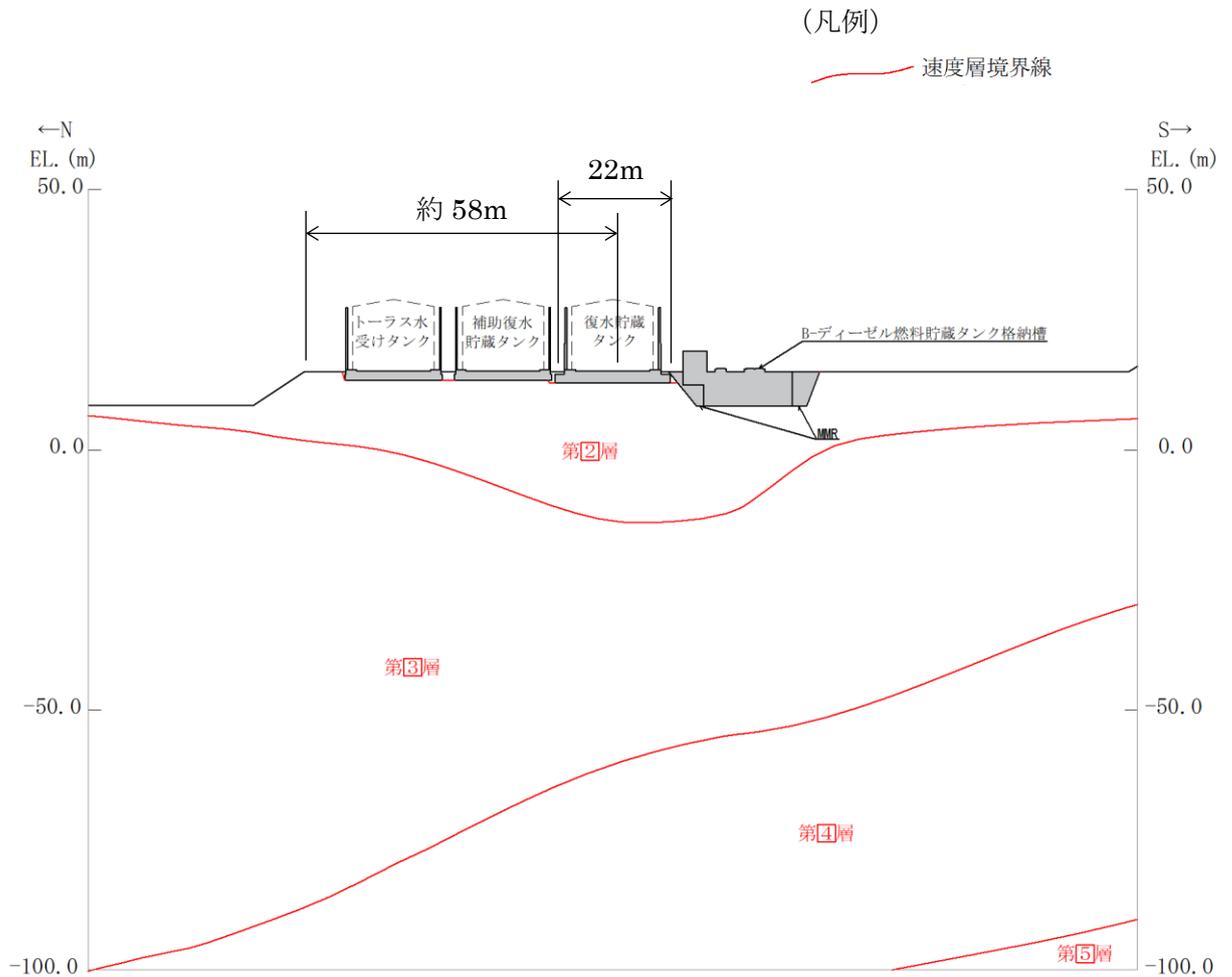


図 1.3-7 地表面形状設定の考え方

(5) 地震応答解析モデル

評価対象地質断面図を踏まえて設定した地震応答解析モデル図を図 1.3-8 に示す。

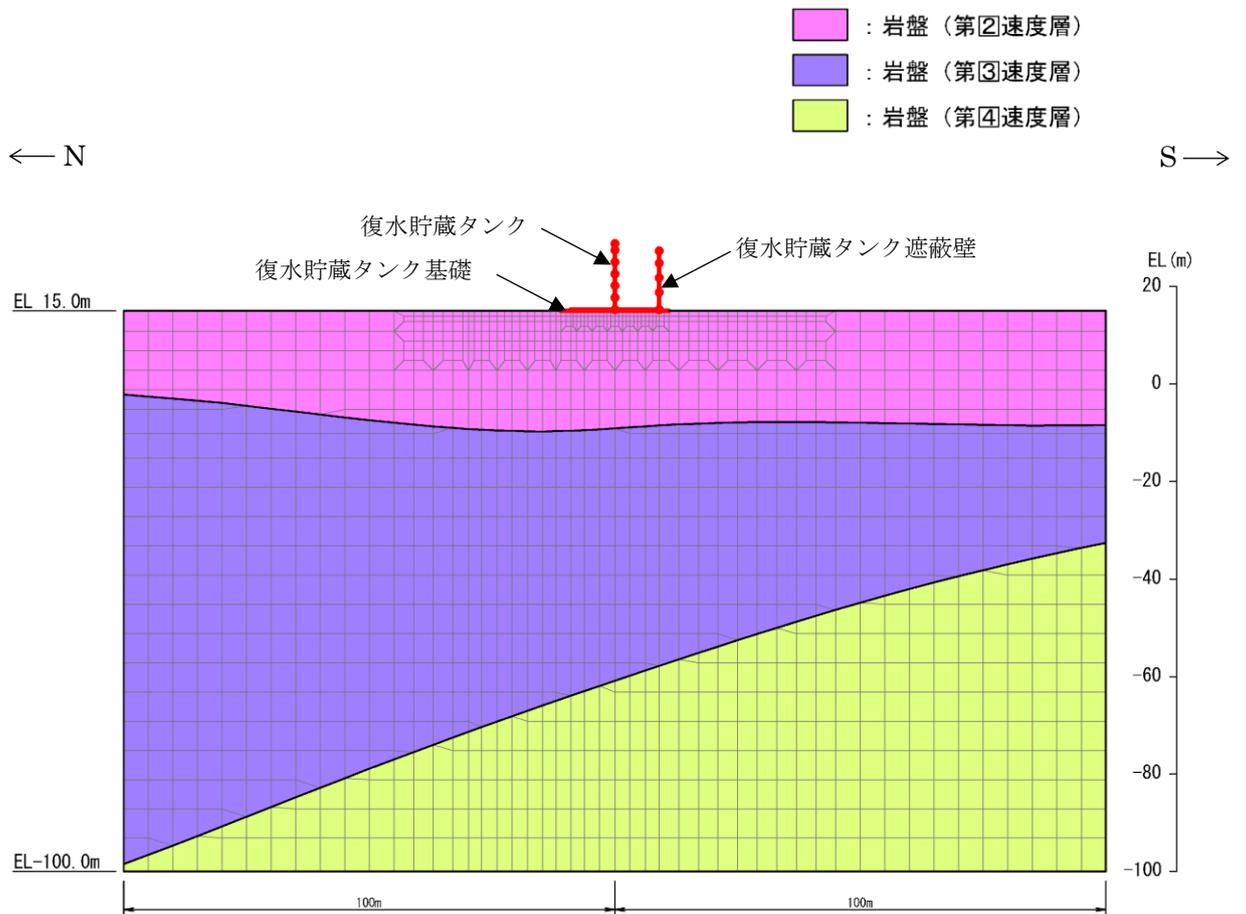


図 1.3-8 復水貯蔵タンク遮蔽壁 地震応答解析モデル図

(6) ジョイント要素

地盤と構造物との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の地盤と構造物の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造物の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造物の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（日本道路協会、平成 14 年 3 月）」に基づき表 1.3-6 及び表 1.3-7 のとおりとする。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 τ_f : せん断強度
 c : 粘着力 (= 初期せん断強度 τ_0)
 ϕ : 内部摩擦角

表 1.3-6 周辺地盤との境界に用いる強度特性

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	$\tan \phi$ (ϕ : 内部摩擦角 (°))
岩盤 (C _M 級)	0	0.6

表 1.3-7 要素間の粘着力と内部摩擦角

接合条件		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
材料 1	材料 2		
復水貯蔵タンク 遮蔽壁 (基礎)	岩盤	材料 2 の c	材料 2 の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、「原子力発電所屋外需要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」を参考に，数値計算上，不安定な挙動を起こさない程度に周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。表 1.3-8 にジョイント要素のばね定数を示す。

また，ジョイント要素の力学特性を図 1.3-9 に，ジョイント要素の配置概念図を図 1.3-10 に示す。

表 1.3-8 ジョイント要素のばね定数

圧縮剛性 k_n (kN/m^3)	せん断剛性 k_s (kN/m^3)
1.0×10^7	1.0×10^7

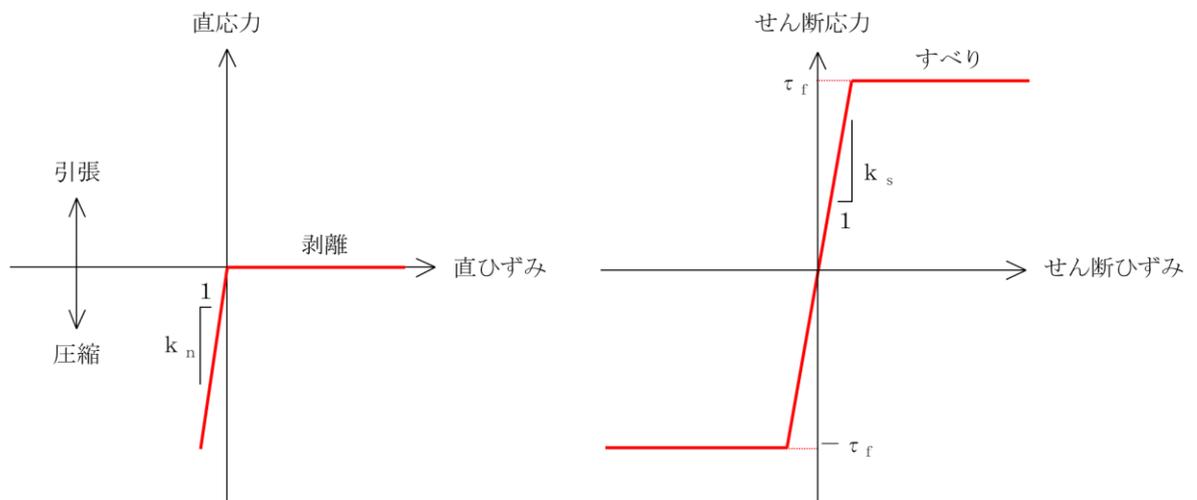


図 1.3-9 ジョイント要素の力学特性

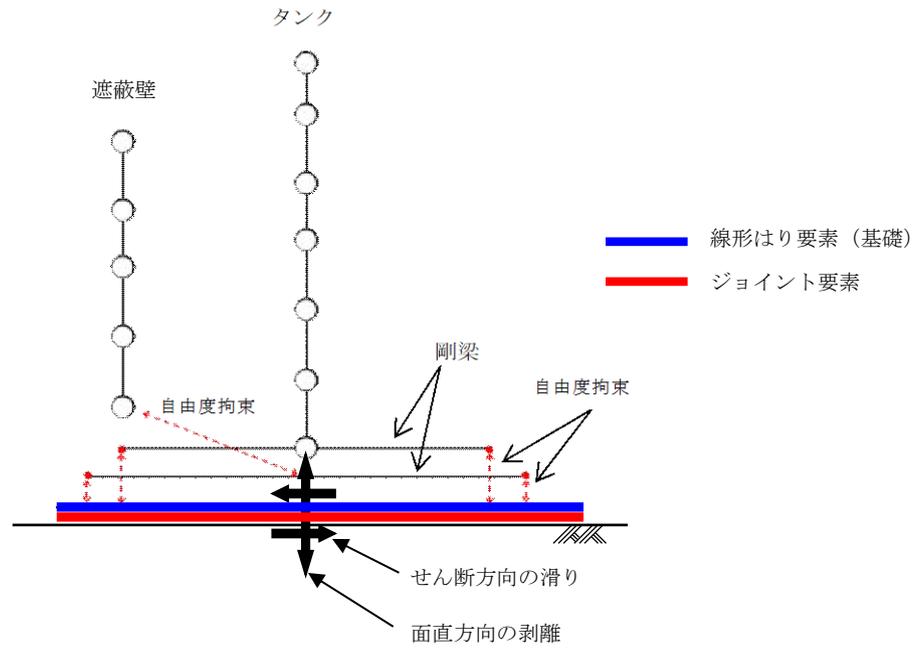


図 1.3-10 ジョイント要素の配置概念図

(7) 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い、設定する。設計地下水位の一覧を表 1.3-9 に、設計地下水位を図 1.3-11 に示す。なお、施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから、地下水の影響は考慮しない。

表 1.3-9 設計地下水位

施設名称	評価対象断面	設計地下水位 (EL. m)
復水貯蔵タンク遮蔽壁	A-A 断面	15.0

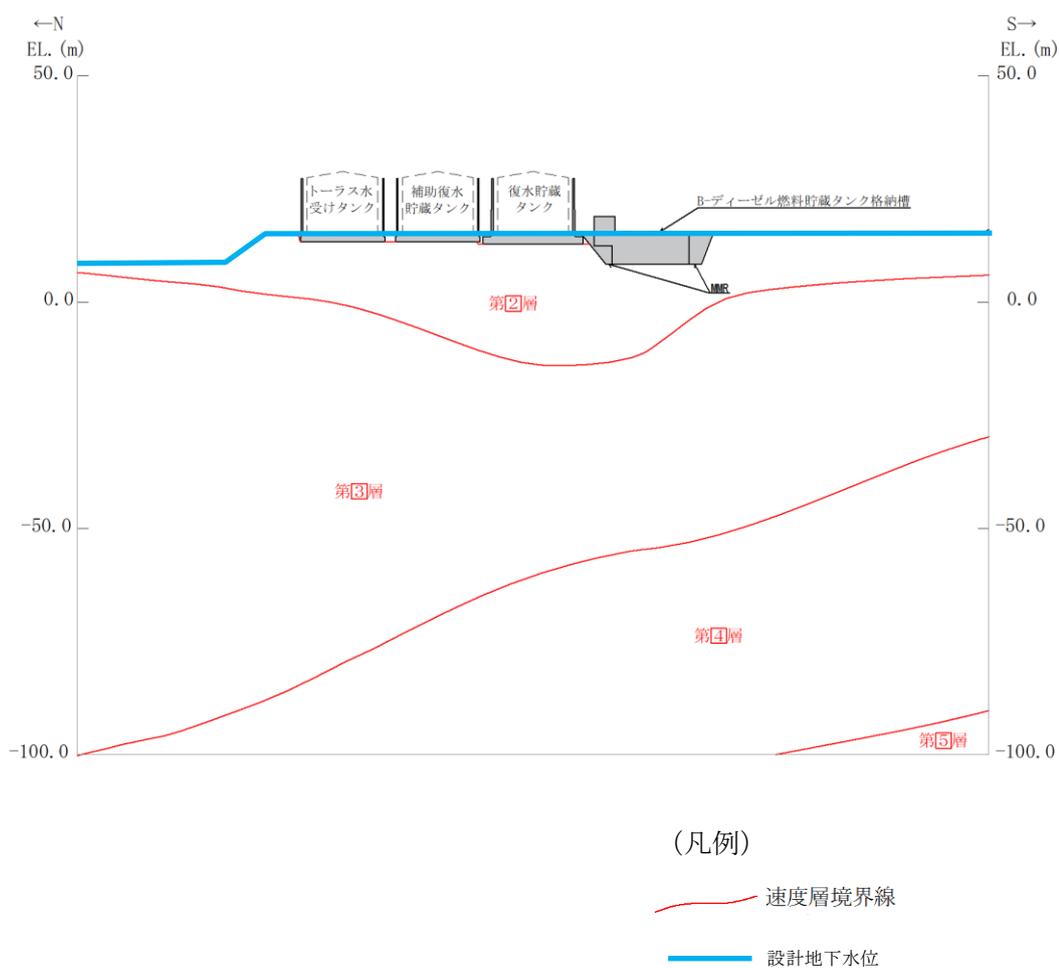


図 1.3-11 設計地下水位 (A-A 断面)

1.3.3 減衰定数

減衰定数は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 地震応答解析における減衰定数」に基づき、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

Rayleigh 減衰の設定フローを図 1.3-12 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

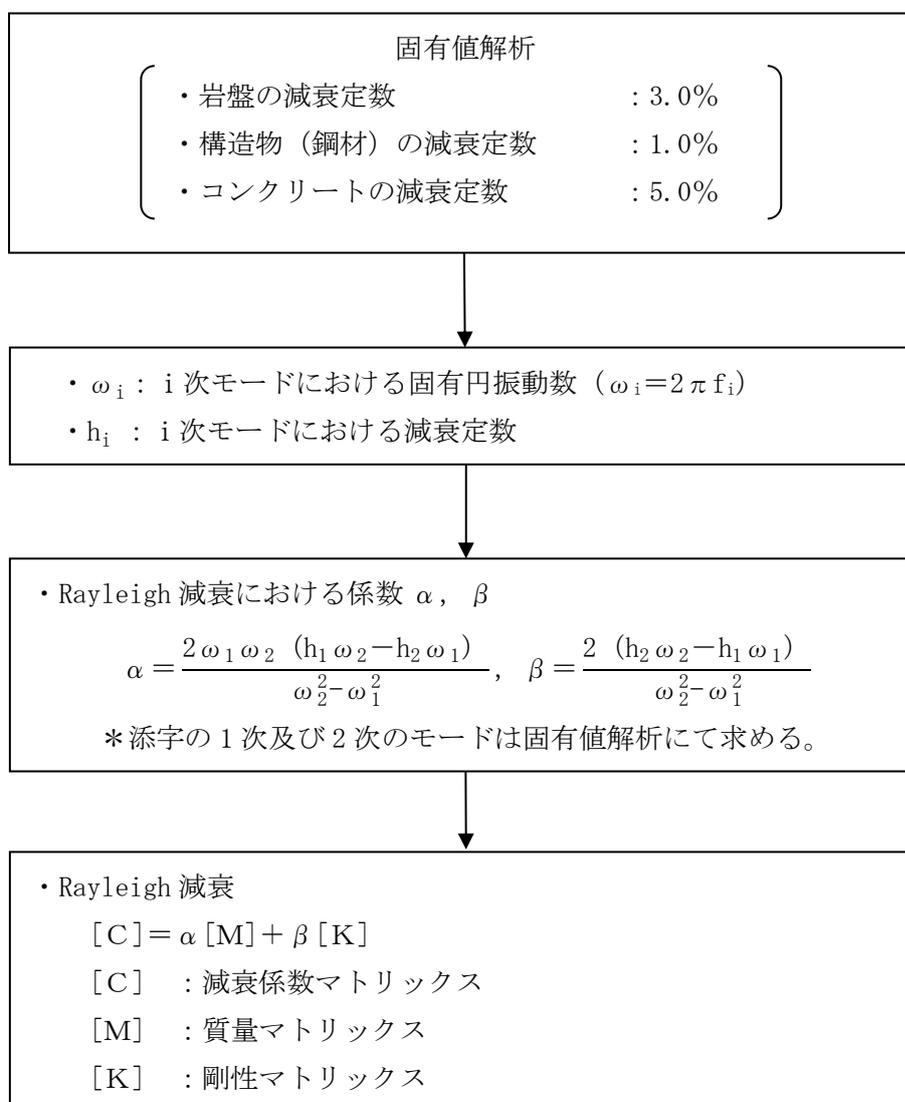


図 1.3-12 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数 α , β は, 低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して, その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して, 固有値解析結果より得られる卓越するモードの減衰と Rayleigh 減衰が一致するように設定する。なお, 卓越するモードは全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定するが, 係数 α , β が負値となる場合は当該モードを選定しない。

A-A断面の固有値解析結果の一覧を表 1.3-10 に, 固有値解析におけるモード図を図 1.3-13 及び図 1.3-14 に, 係数 α , β を表 1.3-11 に, 固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 1.3-15 に示す。

表 1.3-10 固有値解析結果 (A-A断面)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比(%)		刺激係数		備考
		T_x	T_y	β_x	β_y	
1	3.195	70	0	196.30	6.37	1次として採用
2	5.625	1	19	12.55	-101.42	—
3	7.177	10	4	-74.69	45.14	—
4	7.257	1	29	-24.93	-127.67	—
5	7.987	0	0	-0.33	6.44	—
6	8.612	4	1	46.13	-21.51	—
7	9.078	0	19	11.08	102.45	—
8	10.079	2	0	-31.89	1.03	—
9	11.302	0	7	1.90	58.48	—
10	11.894	0	0	-3.24	9.16	—
121	50.790	0	0	-0.67	4.74	2次として採用 (タンク1次)

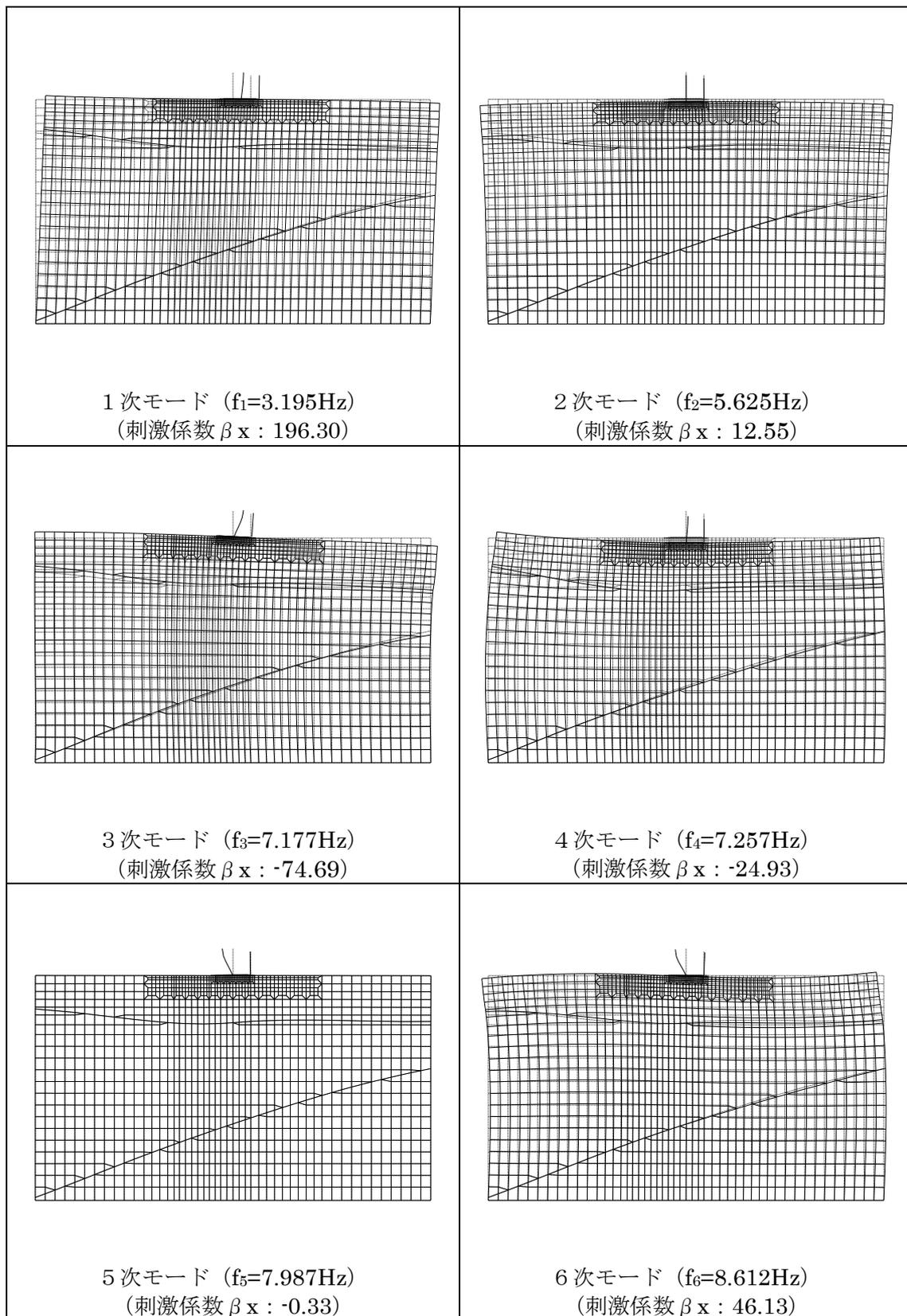


図 1.3-13 固有値解析結果 (モード図)

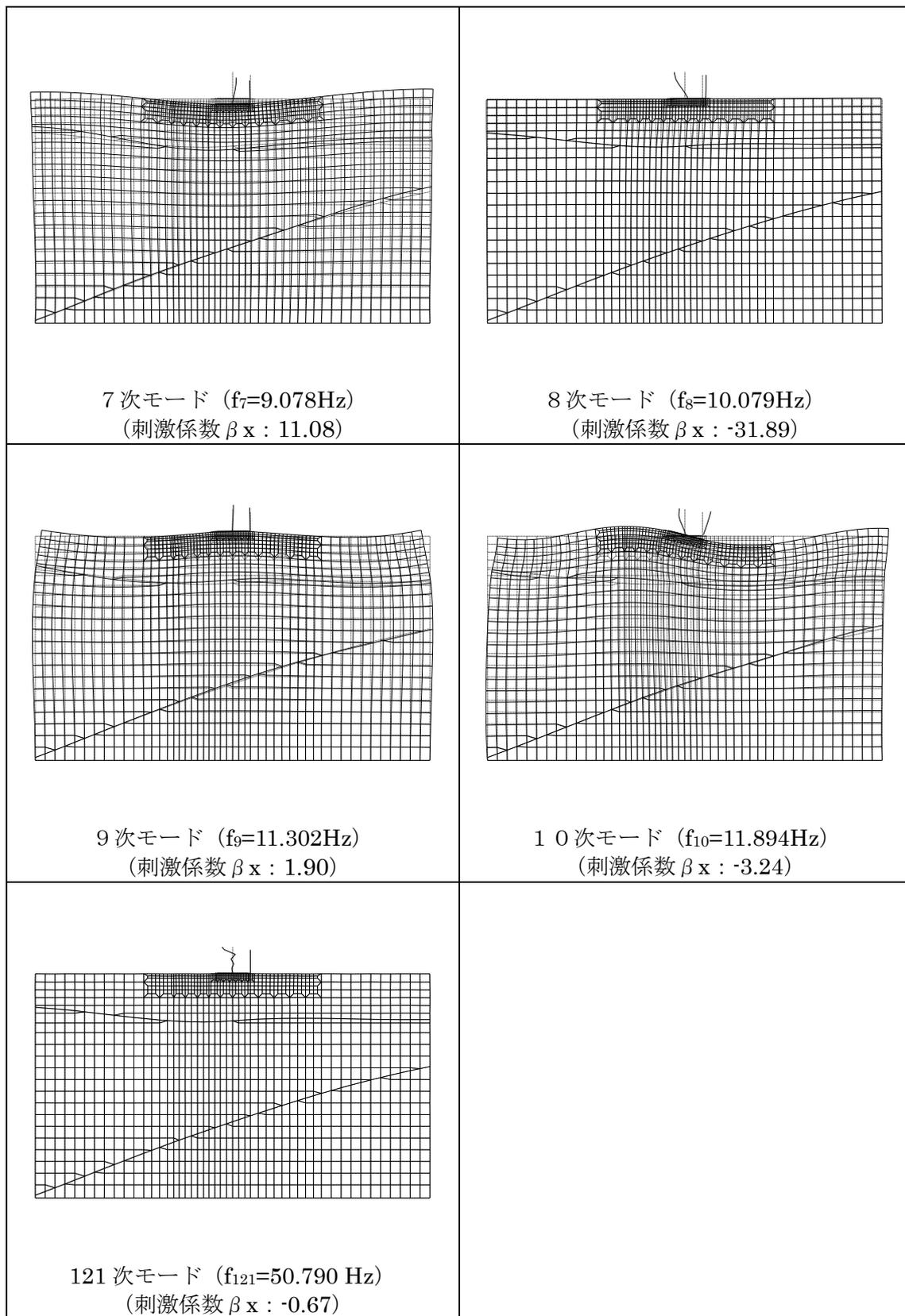


図 1.3-14 固有値解析結果 (モード図)

表 1.3-11 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

解析ケース	α	β
ケース①	1.170	8.6×10^{-5}
ケース②	1.276	1.1×10^{-4}
ケース③	1.049	8.3×10^{-5}

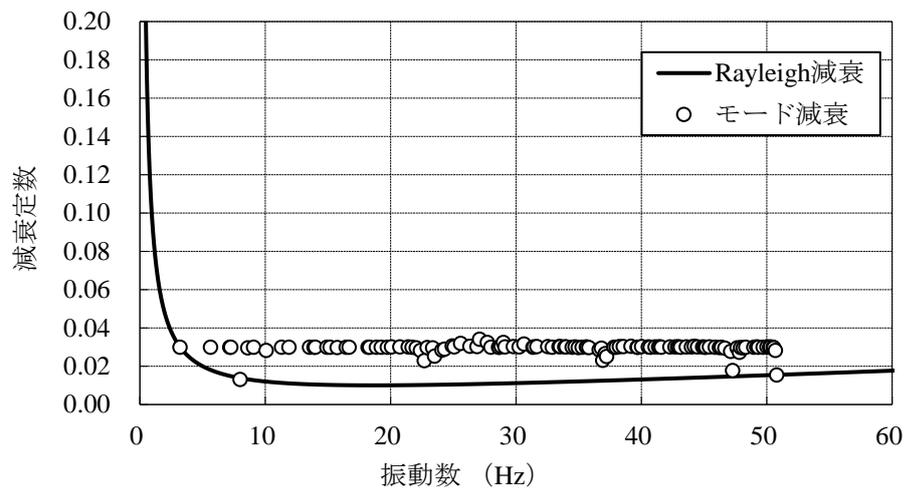


図 1.3-15 設定した Rayleigh 減衰

1.3.4 荷重及び荷重の組合せ

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。

荷重の組合せを表 1.3-12 に示す。

表 1.3-12 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法の概要
永久荷重 (常時荷重)	固定 荷重	躯体重量	○ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管荷重	○ タンク荷重を考慮する。
	積載 荷重	静止土圧	○ 常時応力解析により設定する。
		外水圧	○ 地下水位に基づき考慮する。
		積雪荷重	○ 地表面及び構造物上の積雪荷重を考慮する。
		風荷重	○ 構造物に作用する風荷重を考慮する。
		土被り荷重	○ 基礎上の埋戻土の重量に基づいて設定する。
永久上載荷重	○ 基礎上の積載物の重量に基づいて設定する。		
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動	○	

(1) 積雪荷重

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

なお、タンク及び遮蔽壁上の積雪重量は質点重量として与え、基礎上の積雪重量は基礎上の載荷面積に応じた積雪重量を基礎幅（18.5m）で割り戻した単位奥行当たりの重量として与える。地表面及び補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎に与える積雪荷重を図 1.3-16 に示す。

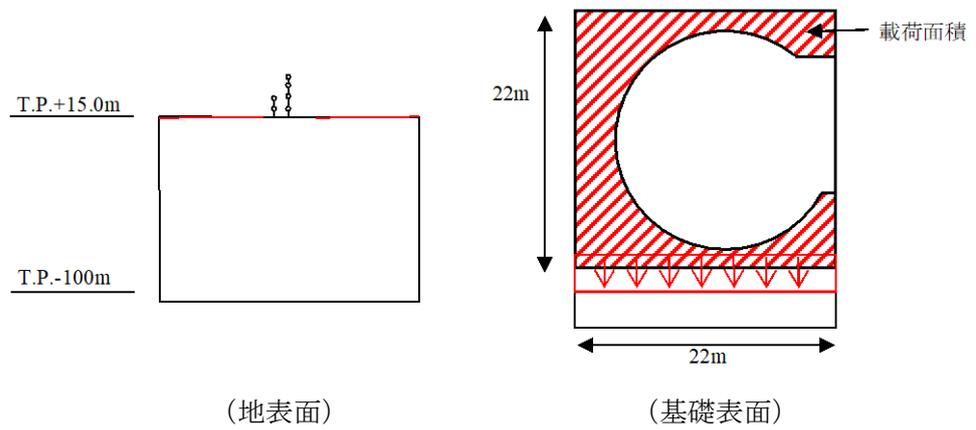


図 1.3-16 積雪荷重概念図

(2) 風荷重

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

(3) 土被り荷重

基礎にある埋戻土を構造物上に付加重量として考慮する。土被り荷重概念図を図 1.3-18 に示す。

埋戻土は，遮蔽壁外径外側に，単位体積重量 20.7kN/m^3 ，層厚 0.5m として載荷面積に応じた重量 (10.35kN/m^2) を基礎幅で割り戻した単位奥行当たりの重量として与える。

(4) 永久上載荷重

基礎にある積載物を構造物上に付加重量として考慮する。永久積載荷重概念図を図 1.3-17 に示す。

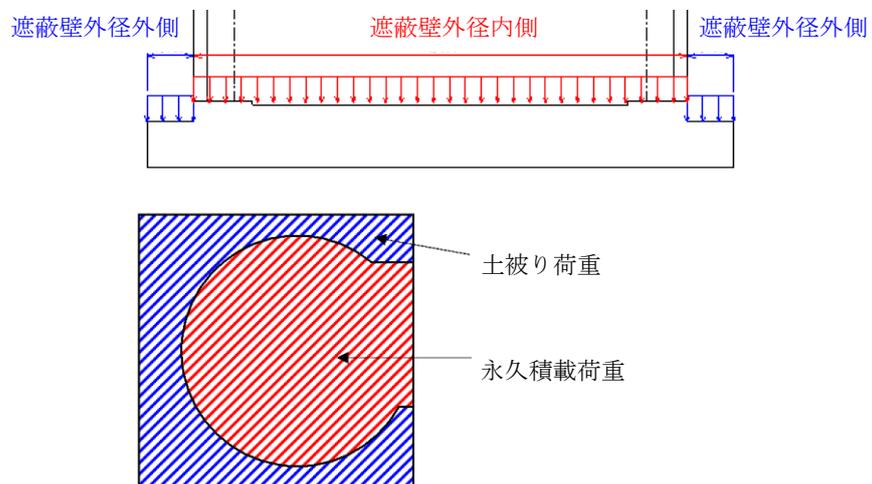


図 1.3-17 土被り荷重及び永久積載荷重 概念図

1.3.5 地震応答解析の解析ケース

(1) 耐震評価における解析ケース

a. 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

復水貯蔵タンク遮蔽壁の周辺には岩盤が分布していることから、岩盤の動せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

ばらつきを考慮する物性値は地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし、平均値を基本ケース（表 1.3-13 に示すケース①）とした場合に加えて、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差（ σ ）のケース（表 1.3-13 に示すケース②及び③）について確認を行う。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

表 1.3-13 復水貯槽タンク遮蔽壁の耐震評価における解析ケース

解析ケース	解析手法	地盤物性
		岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	全応力解析	平均値
ケース②	全応力解析	平均値 + 1σ
ケース③	全応力解析	平均値 - 1σ

b. 耐震評価における解析ケースの組合せ

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・底部におけるそれぞれの応答加速度が最も大きくなる地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。

耐震評価における解析ケースを表 1.3-14 に示す。応力解析を行う地震動の選定フローを図 1.3-18 に示す。

表 1.3-14 耐震計価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1σ		平均値-1σ	
地震動 (位相)	S _s -D	++*	○		基準地震動 S _s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・底部における応答加速度が最も大きくなる地震動において、ケース②及び③を実施する。		
		-+*	○				
		+ -*	○				
		--*	○				
	S _s -F1	++*	○				
	S _s -F2	++*	○				
	S _s -N1	++*	○				
		-+*	○				
	S _s -N2 (NS)	++*	○				
		-+*	○				
	S _s -N2 (EW)	++*	○				
		-+*	○				

注記* : 地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

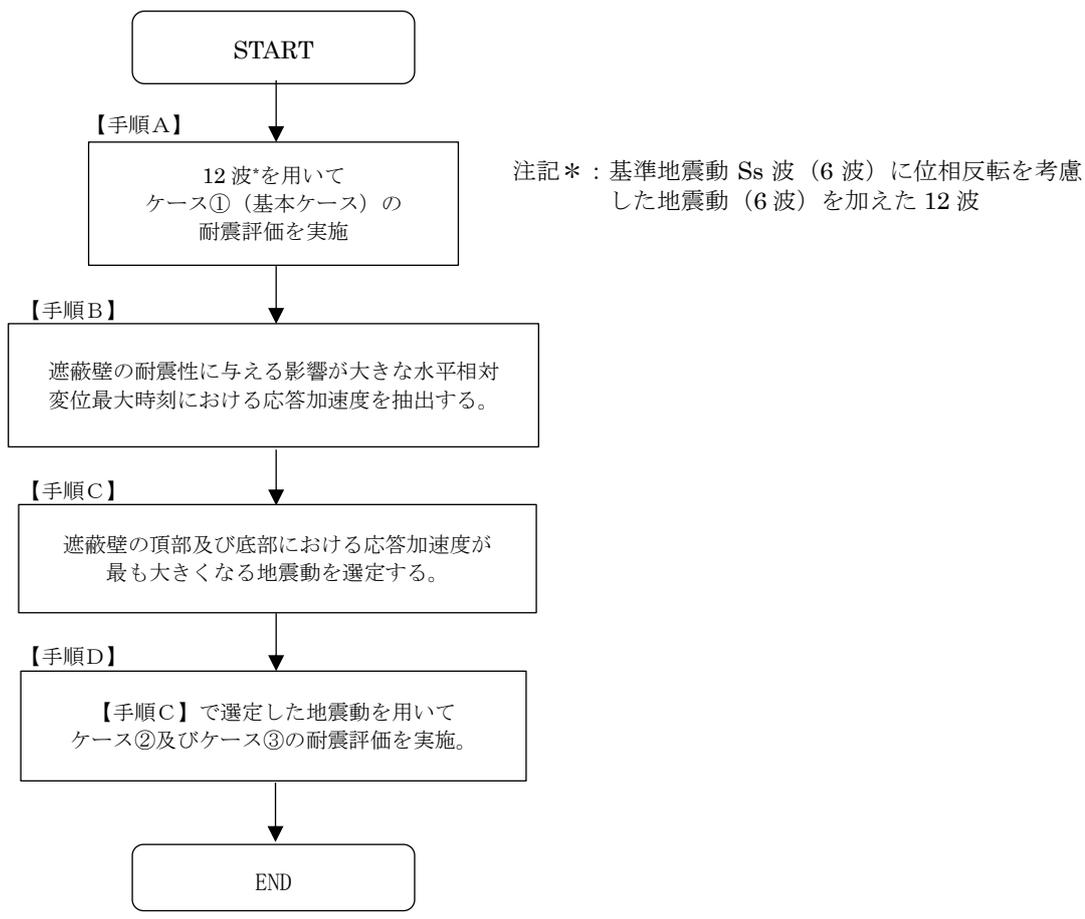


図 1.3-18 追加解析を実施する地震動の選定フロー

1.3.6 入力地震動の設定

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 1.3-19 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

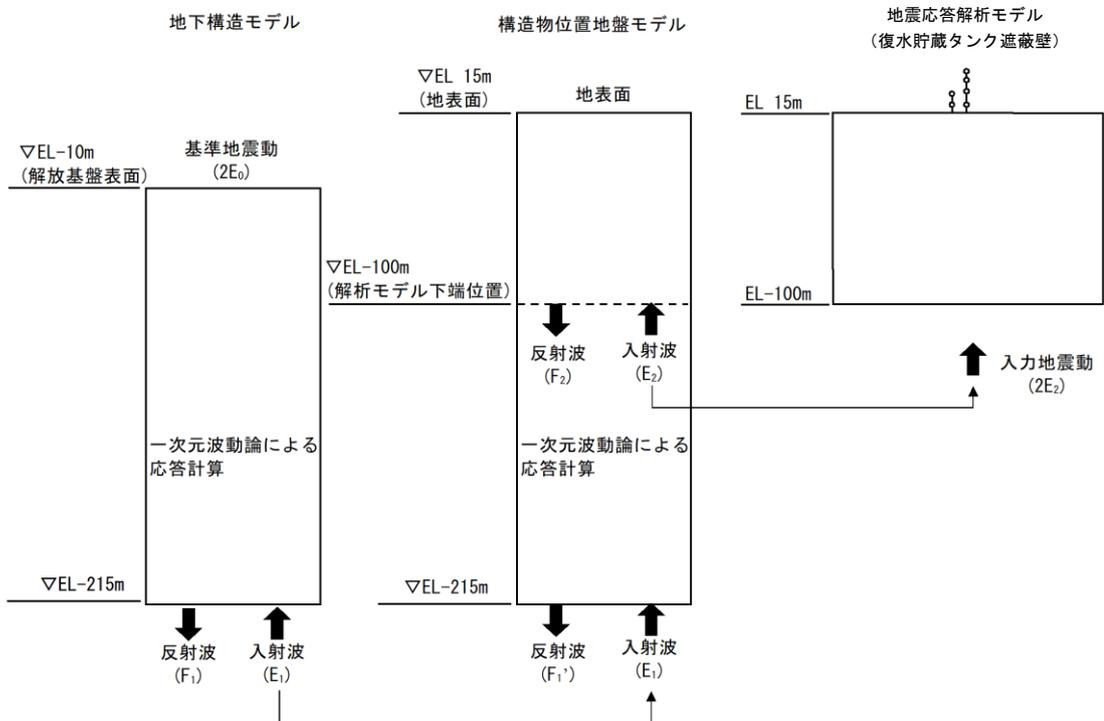
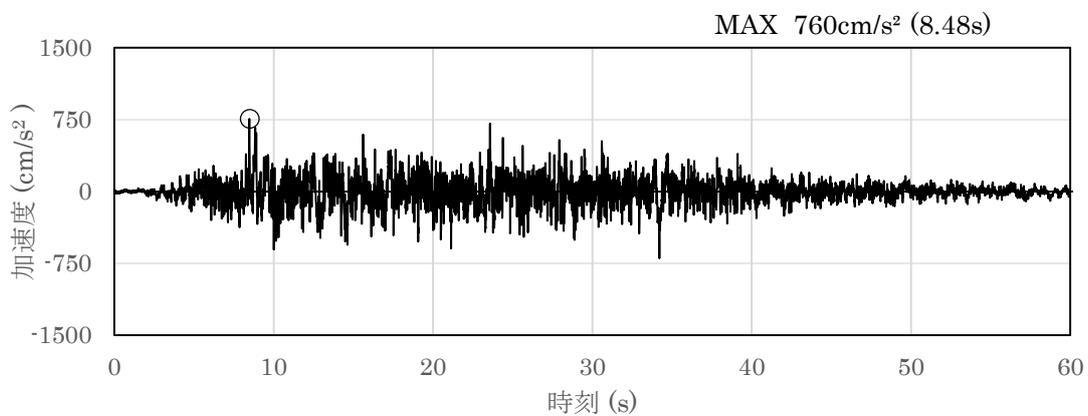


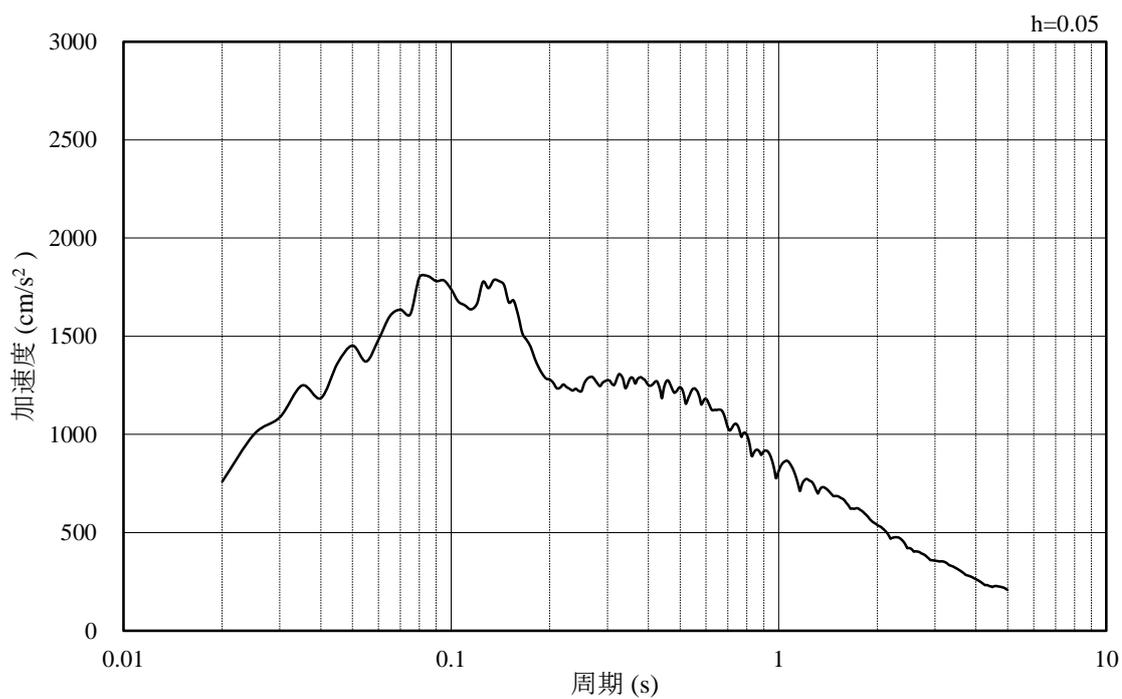
図 1.3-19 入力地震動算定の概念図

(1) 入力地震動

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図 1.3-20～図 1.3-31 に示す。

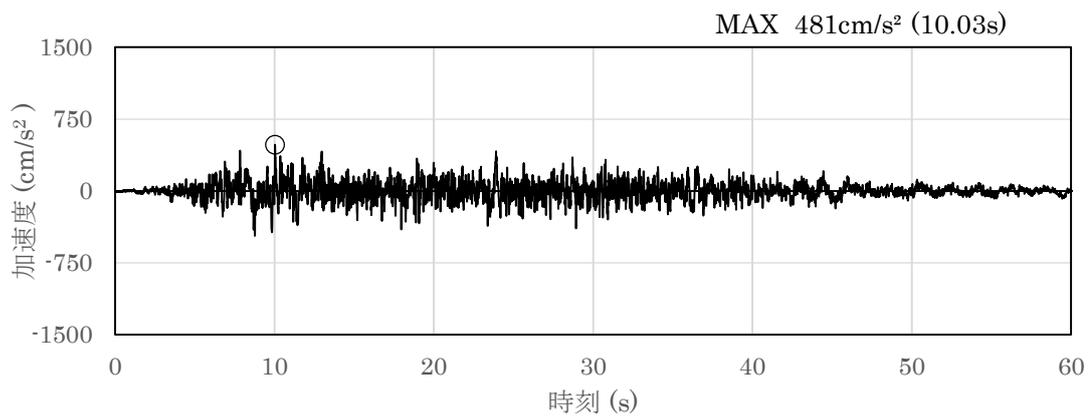


(a) 加速度時刻歴波形

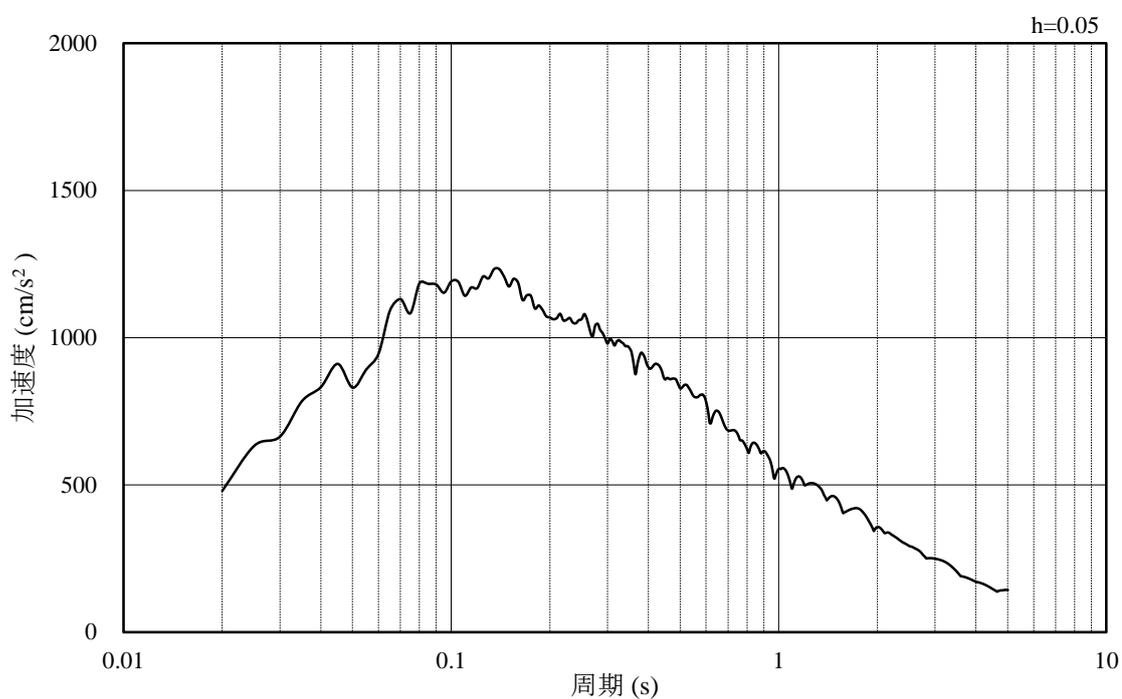


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

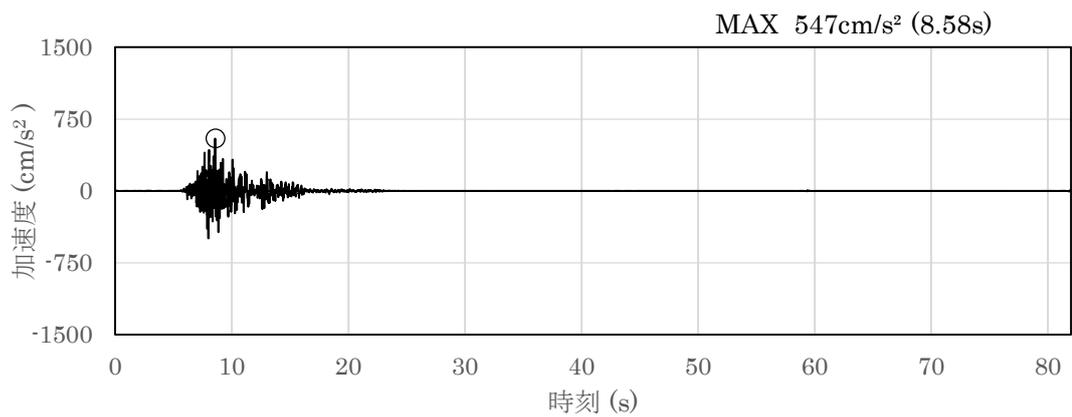


(a) 加速度時刻歴波形

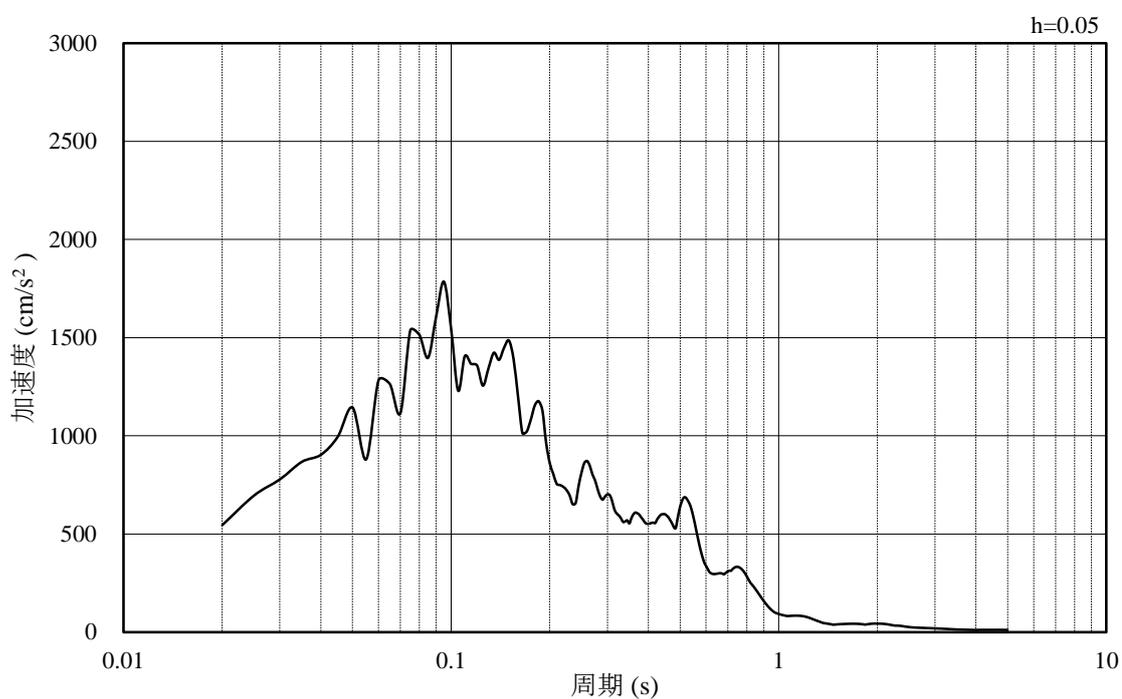


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分: S s - D)

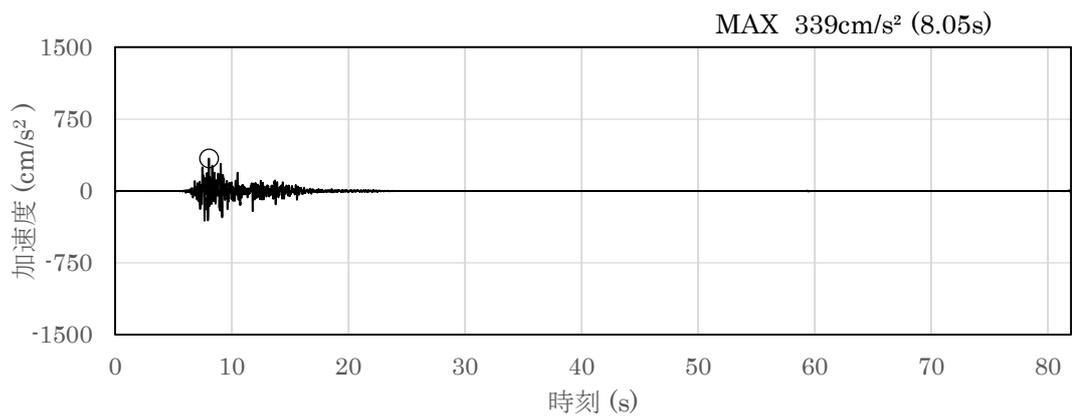


(a) 加速度時刻歴波形

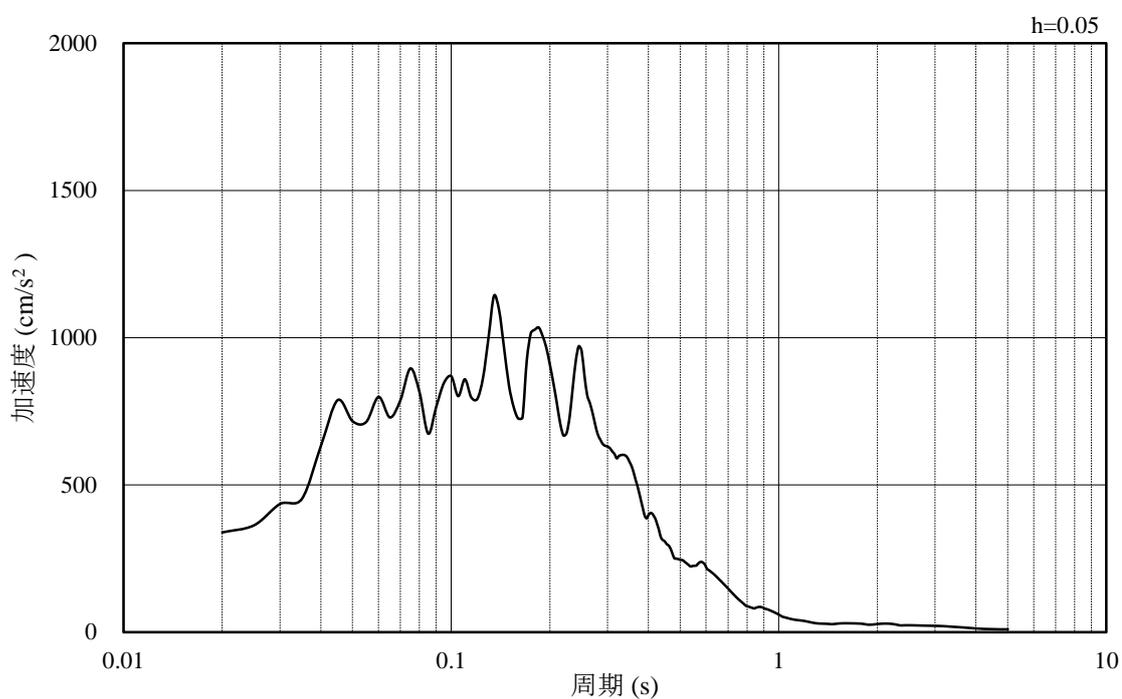


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

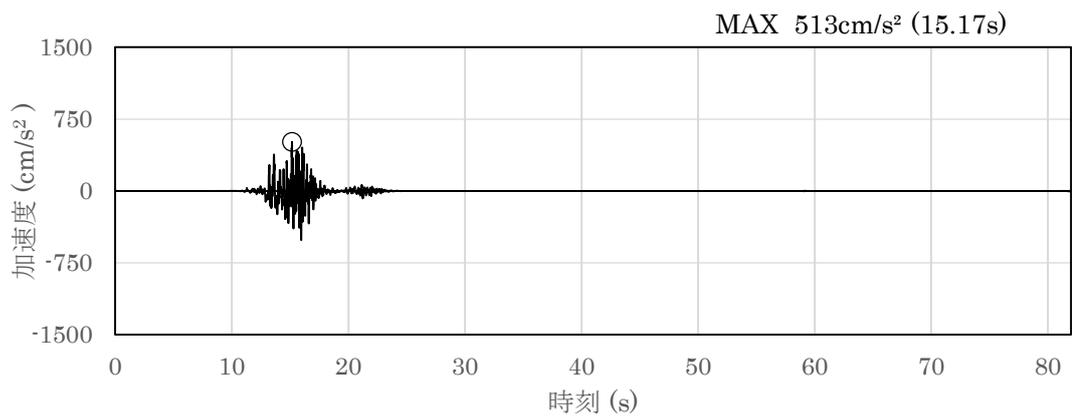


(a) 加速度時刻歴波形

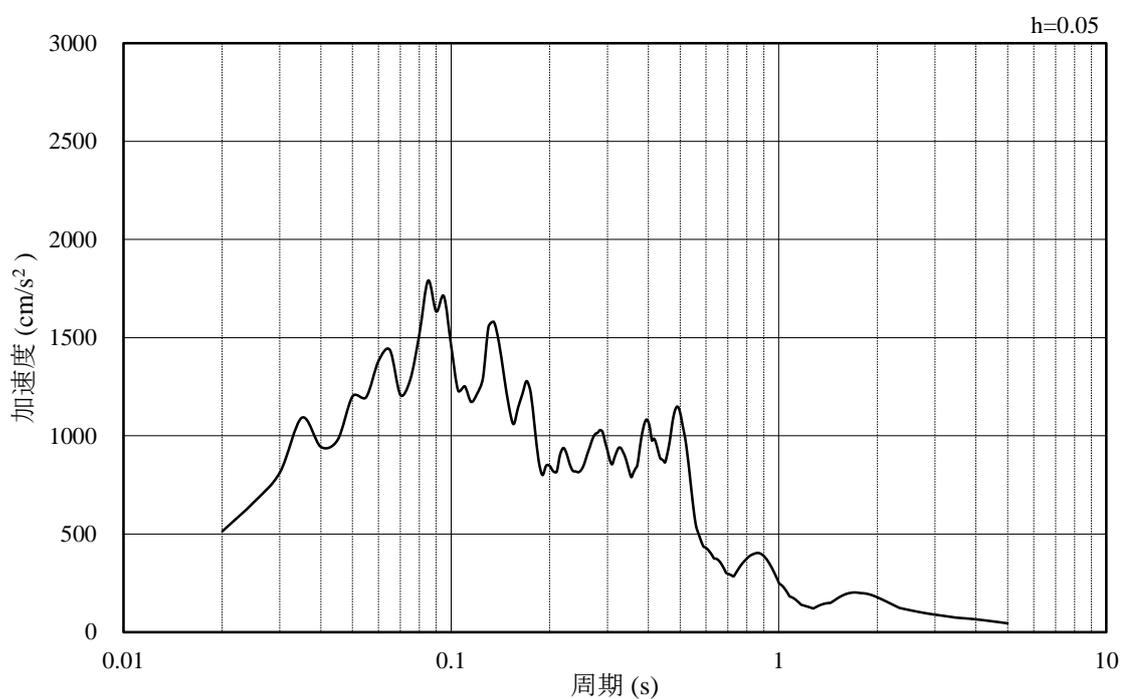


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

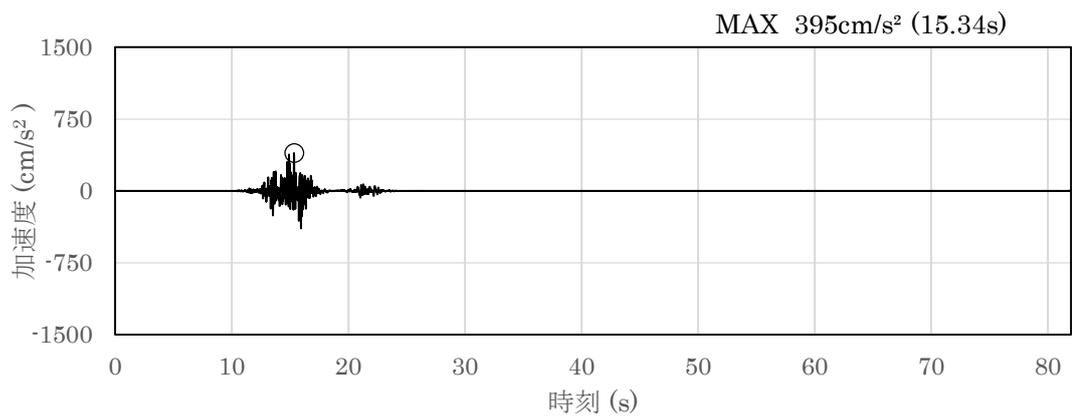


(a) 加速度時刻歴波形

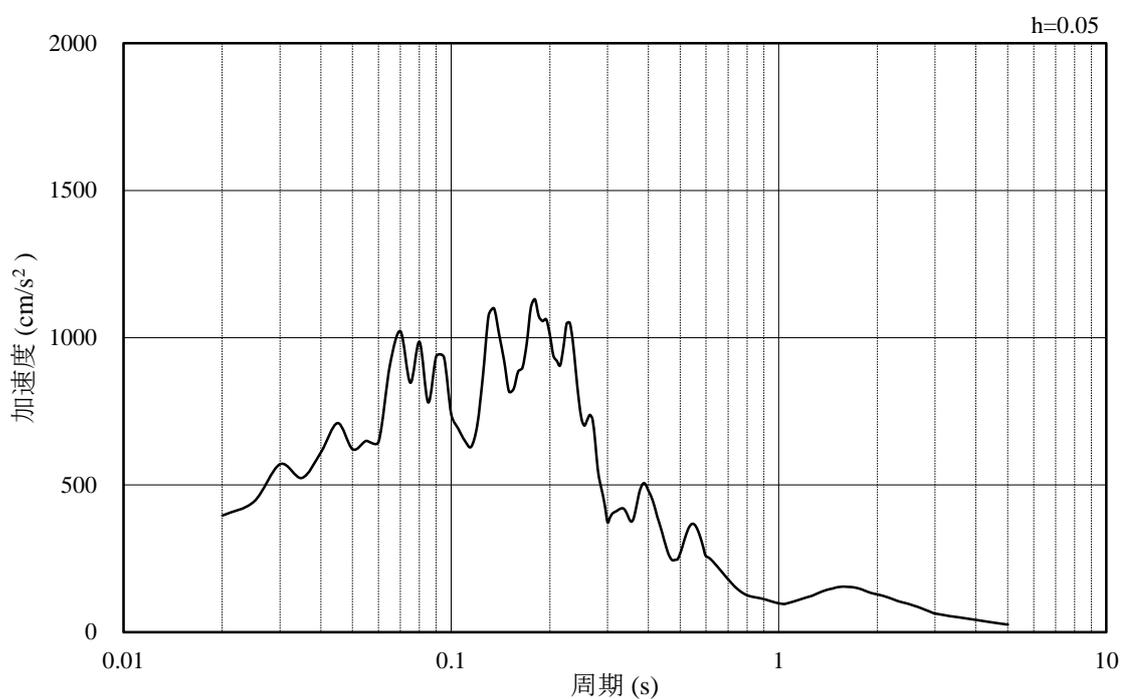


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2)

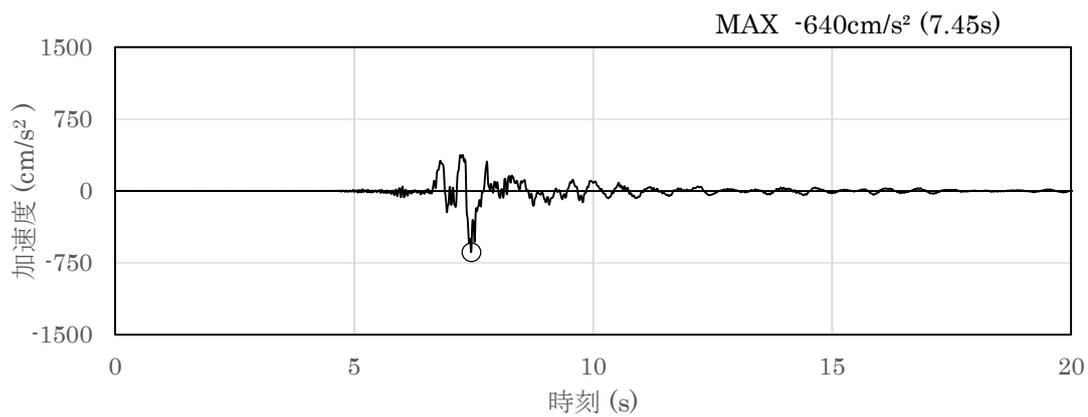


(a) 加速度時刻歴波形

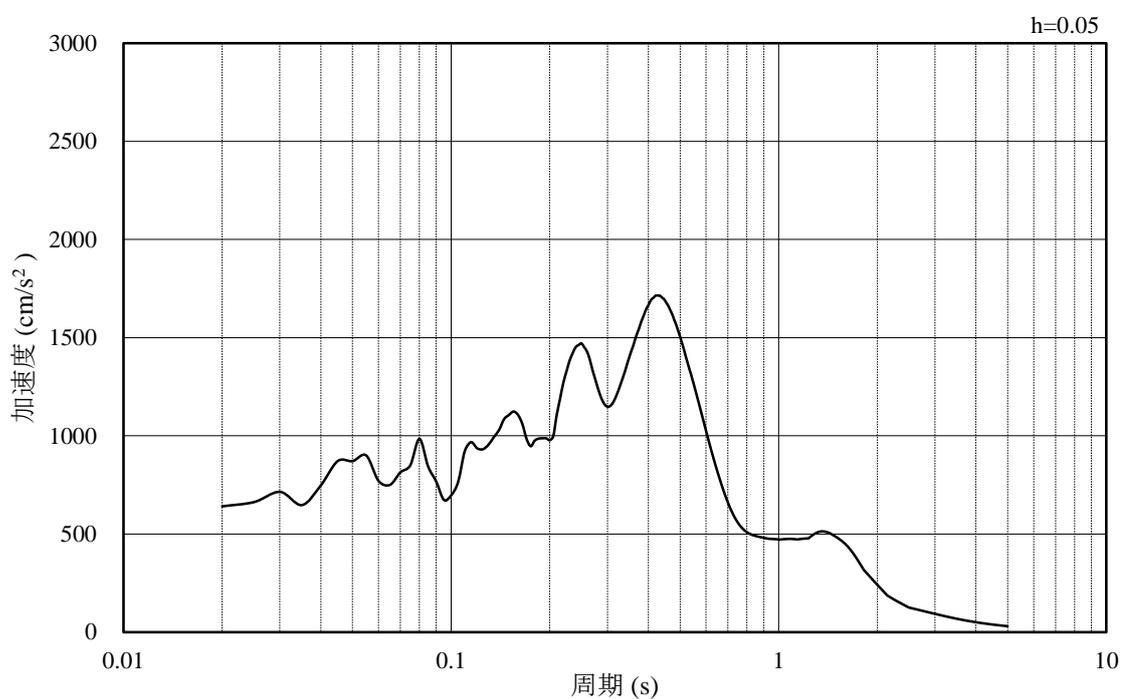


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

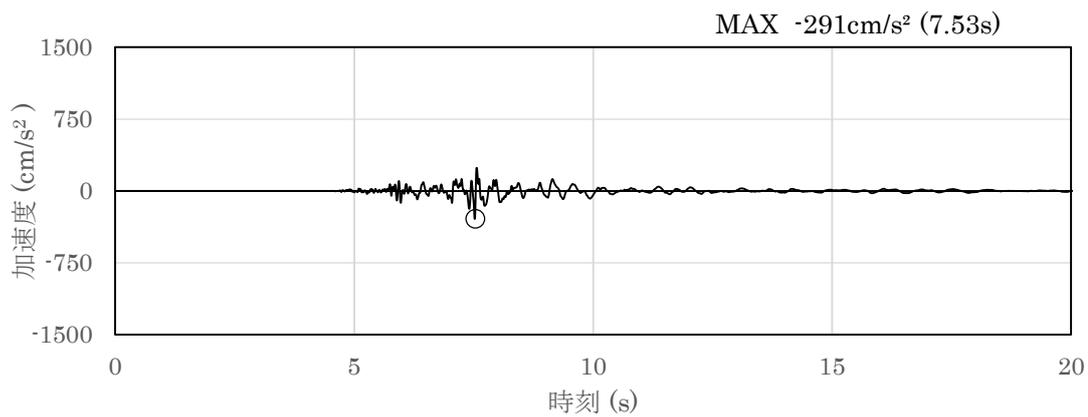


(a) 加速度時刻歴波形

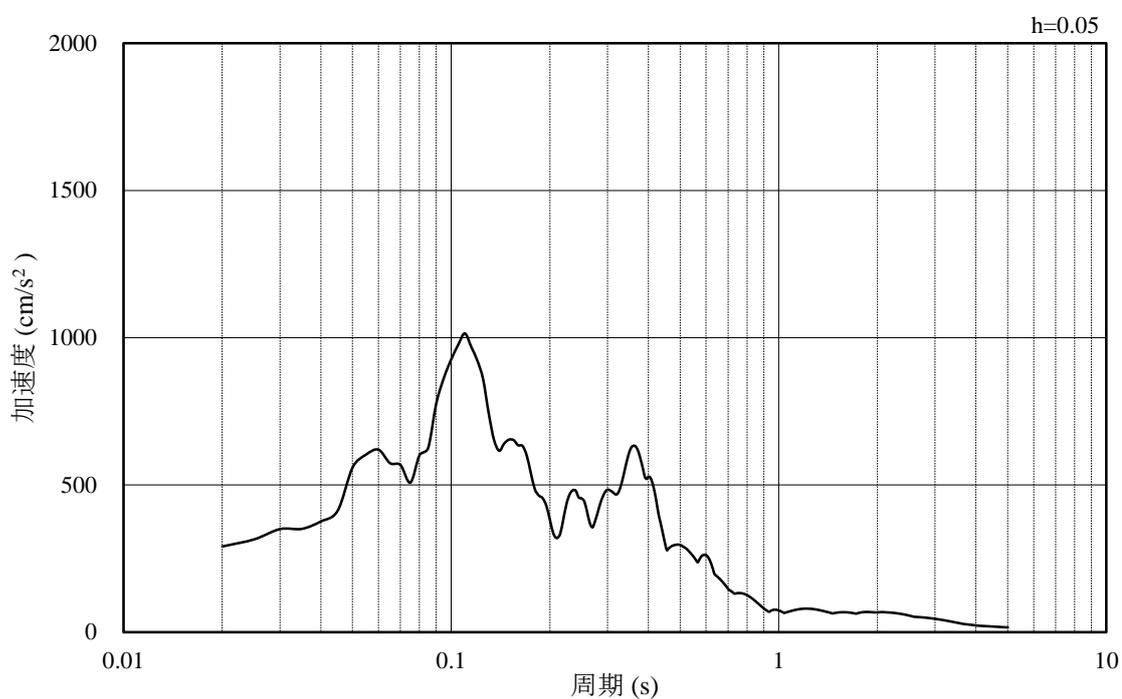


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

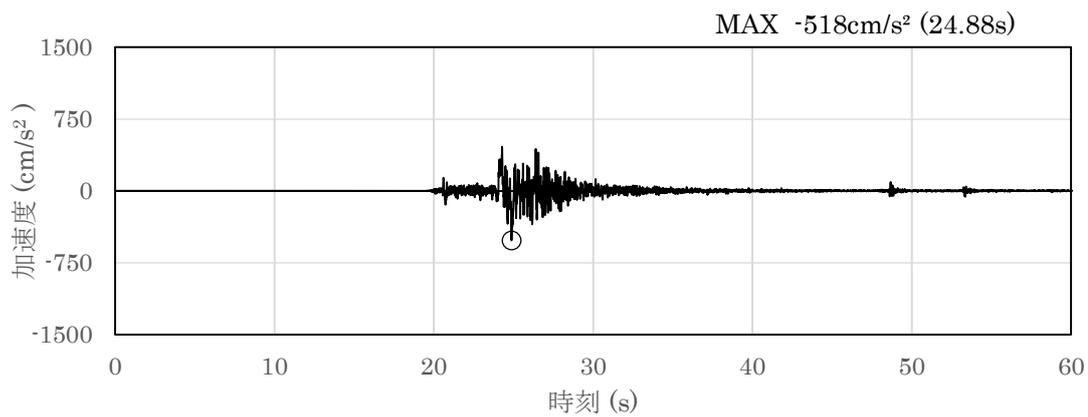


(a) 加速度時刻歴波形

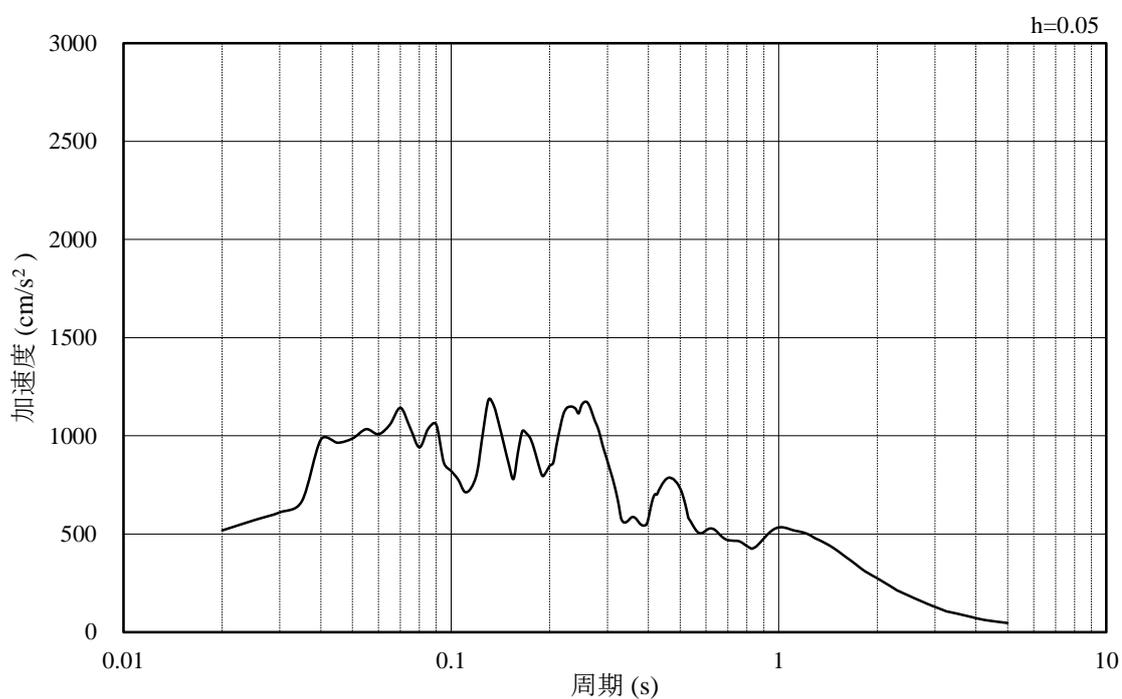


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

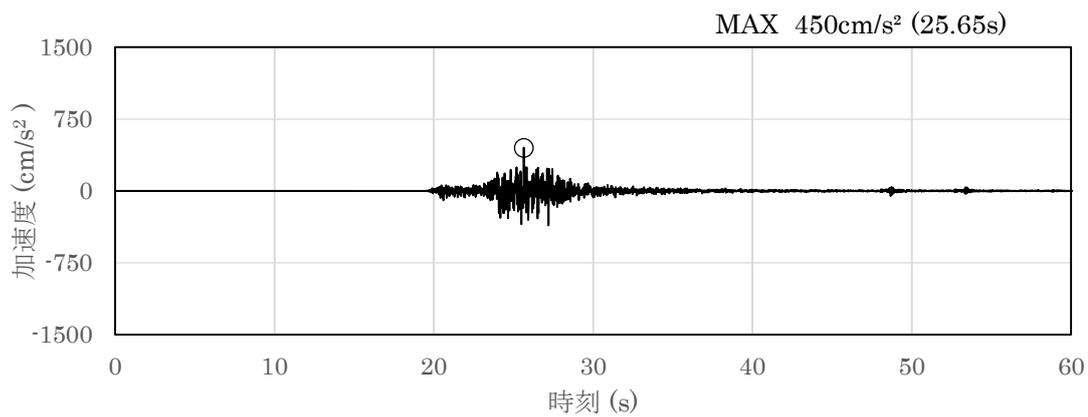


(a) 加速度時刻歴波形

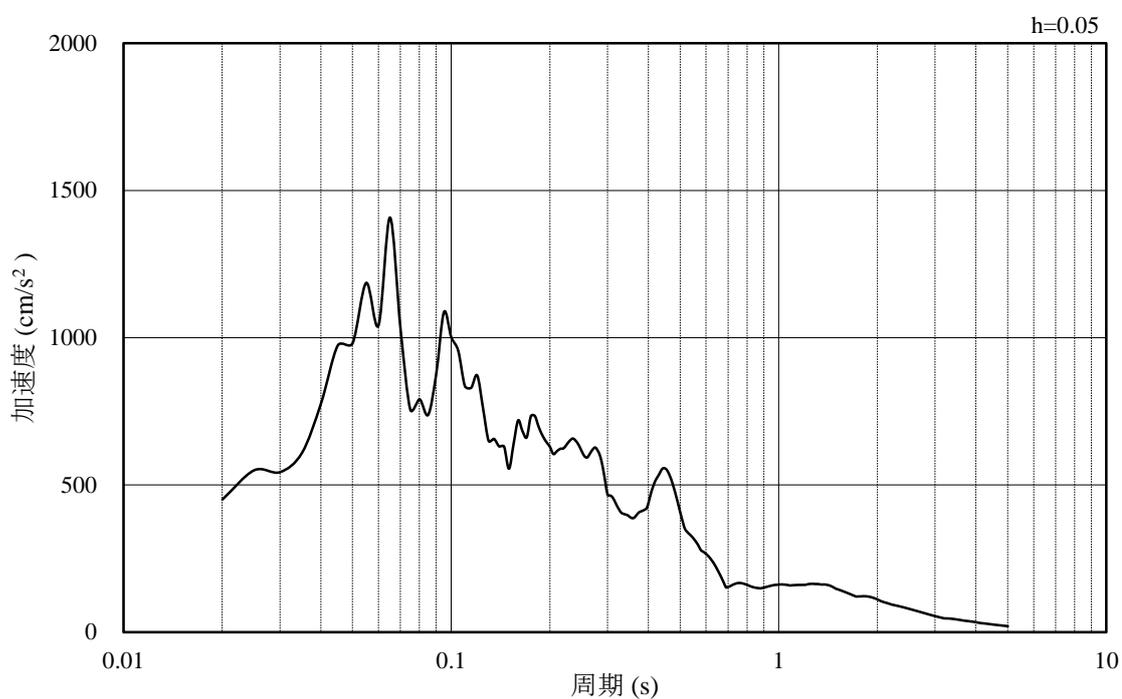


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (NS方向))

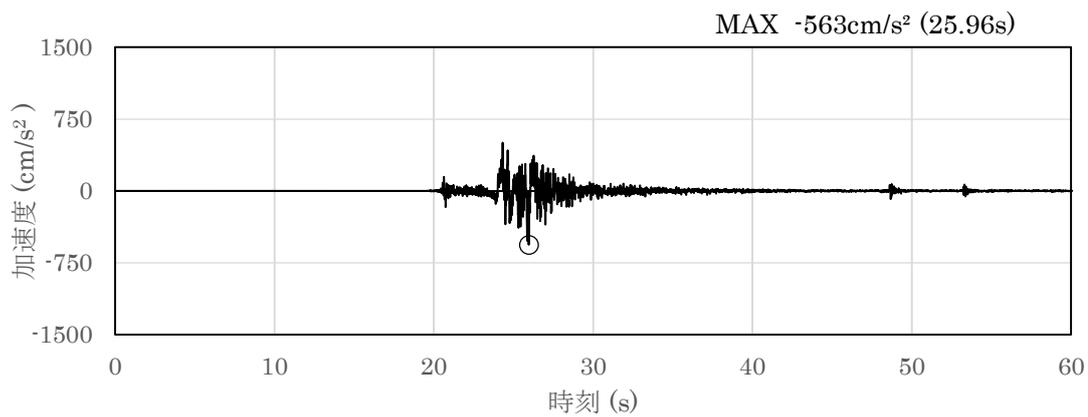


(a) 加速度時刻歴波形

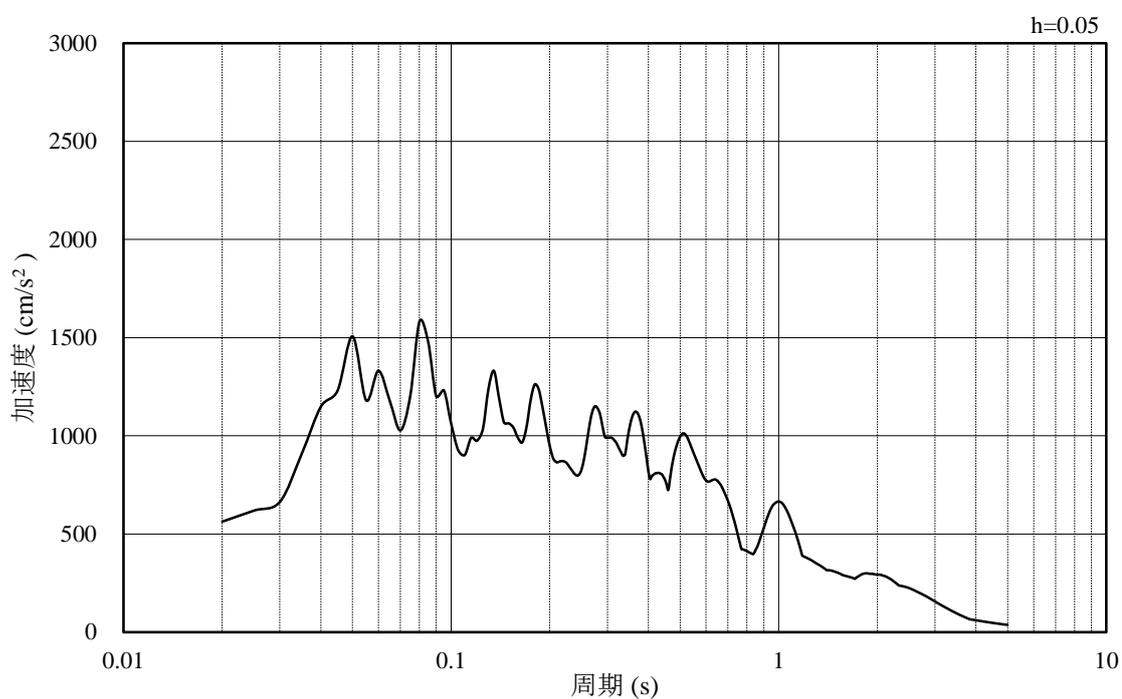


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (NS 方向))

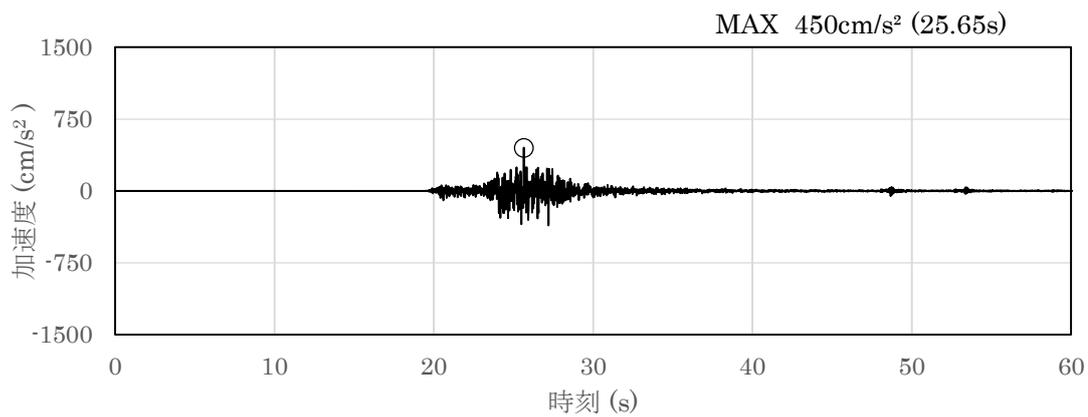


(a) 加速度時刻歴波形

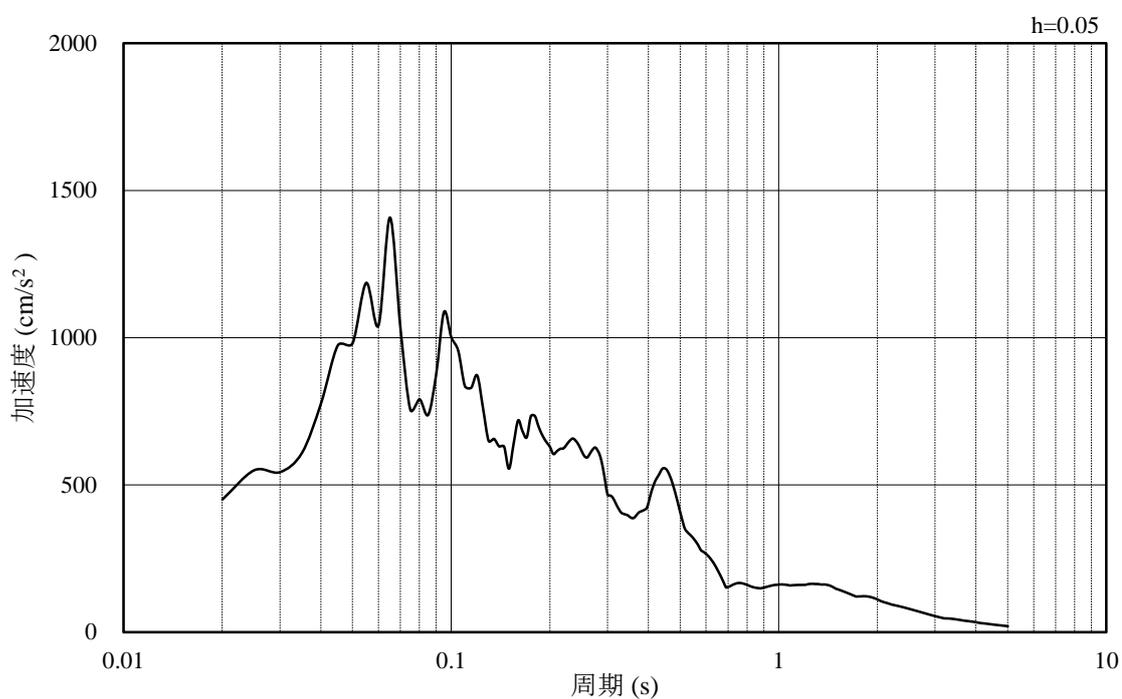


(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (EW方向))



(a) 加速度時刻歴波形



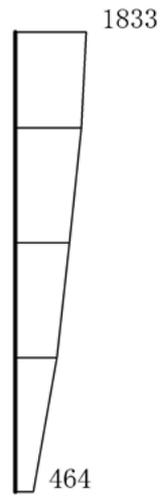
(b) 加速度応答スペクトル

図 1.3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (EW方向))

1.3.7 地震応答解析結果

(1) 応答加速度分布

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対して、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻の水平方向応答加速度分布図を図 1.3-32～図 1.3-43 に示す。また、解析ケース①の中で、遮蔽壁の頂部・底部の水平方向応答加速度が最も大きくなる地震動における解析ケース②及び解析ケース③の応答加速度分布図を図 1.3-44～図 1.3-47 に示す。



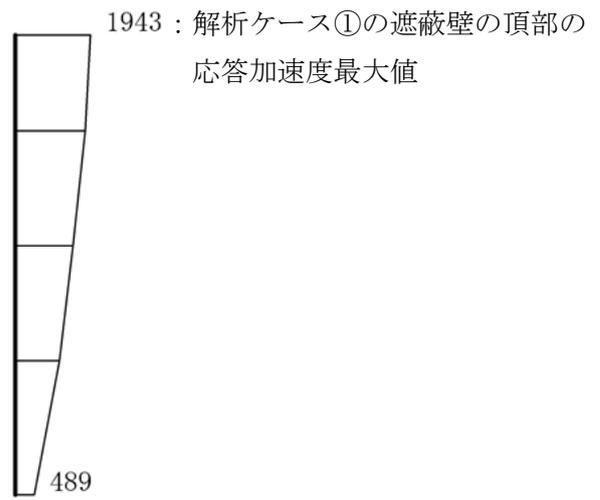
(a) S s - D (++) , 10.10 秒, 水平



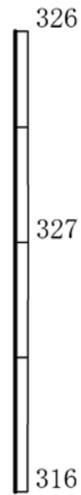
(b) S s - D (++) , 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad 2000$ (cm/s²)

図 1.3-32 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (1/16) (解析ケース①)



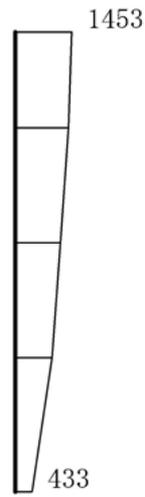
(a) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-33 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (2/16) (解析ケース①)



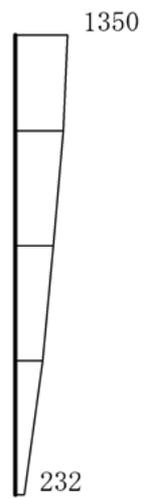
(a) $S_s - D (+-)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D (+-)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-34 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (3/16) (解析ケース①)



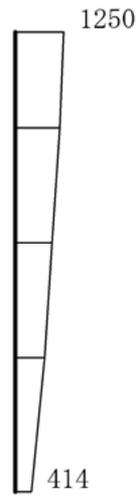
(a) $S_s - D$ (—) , 20.66 秒, 水平



(b) $S_s - D$ (—) , 20.66 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-35 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (4/16) (解析ケース①)



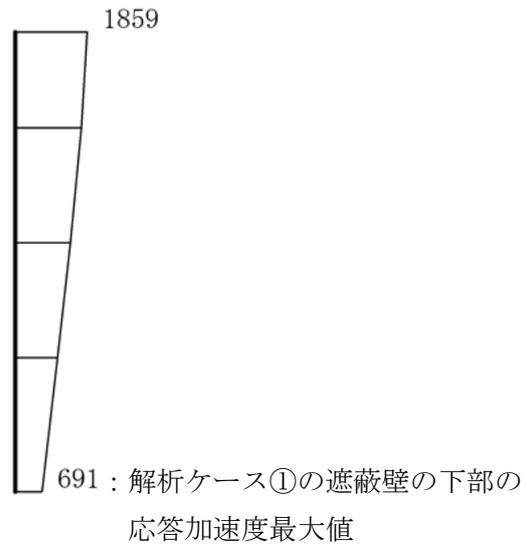
(a) S s - F 1 (++) , 8.66 秒, 水平



(b) S s - F 1 (++) , 8.66 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 1.3-36 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (5/16) (解析ケース①)



(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.06 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.06 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-37 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (6/16) (解析ケース①)



(a) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 水平



(b) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 1.3-38 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (7/16) (解析ケース①)



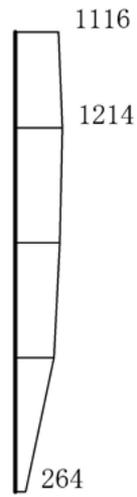
(a) S s - N 1 (- +) , 7.48 秒, 水平



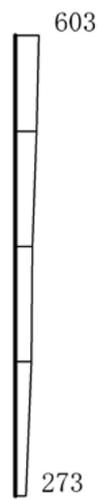
(b) S s - N 1 (- +) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 1.3-39 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (8/16) (解析ケース①)



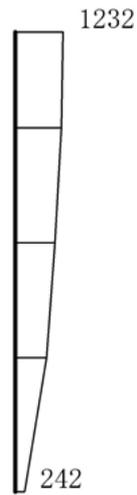
(a) $S_s - N2 (NS) (++)$, 26.60 秒, 水平



(b) $S_s - N2 (NS) (++)$, 26.60 秒, 鉛直

構造スケール $0 \sim 2$ (m) 応答値スケール $0 \sim 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-40 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (9/16) (解析ケース①)



(a) S_s-N₂ (NS) (-+), 26.60 秒, 水平



(b) S_s-N₂ (NS) (-+), 26.60 秒, 鉛直

構造スケール 0  2 (m) 応答値スケール 0  2000 (cm/s²)

図 1.3-41 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (10/16) (解析ケース①)



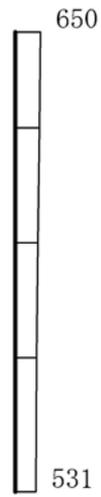
(a) S s - N 2 (EW) (++) , 26.51 秒, 水平



(b) S s - N 2 (EW) (++) , 26.51 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 1.3-42 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (11/16) (解析ケース①)



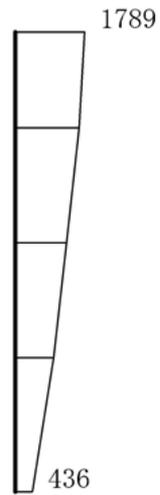
(a) $S_s - N2$ (EW) (-+), 25.94 秒, 水平



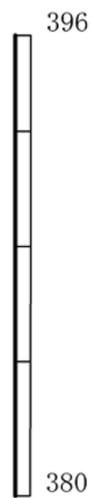
(b) $S_s - N2$ (EW) (-+), 25.94 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-43 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (12/16) (解析ケース①)



(a) $S_s - D (-+)$, 10.09 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 10.09 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-44 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (13/16) (解析ケース②)
(解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



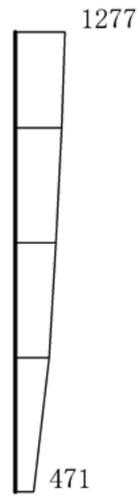
(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.05 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.05 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-45 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (14/16) (解析ケース②)
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)



(a) $S_s - D (-+)$, 19.41 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 19.41 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-46 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (15/16) (解析ケース③)
(解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.01 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.01 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 1.3-47 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (16/16) (解析ケース③)
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)

(2) 解析ケース①

水平相対変位最大時刻における設計水平震度を図 1.3-48 に示す。復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁の頂部及び底部において、設計水平震度が最大となるのは、 $Ss-D(-+)$ (抽出時刻 10.10s) 及び $Ss-F2(++)$ (抽出時刻 16.06s) である。

なお、設計水平震度は水平方向応答加速度を、定数である重力加速度で除したものであり、設計水平震度が大きくなるほど、水平方向応答加速度も大きくなる。

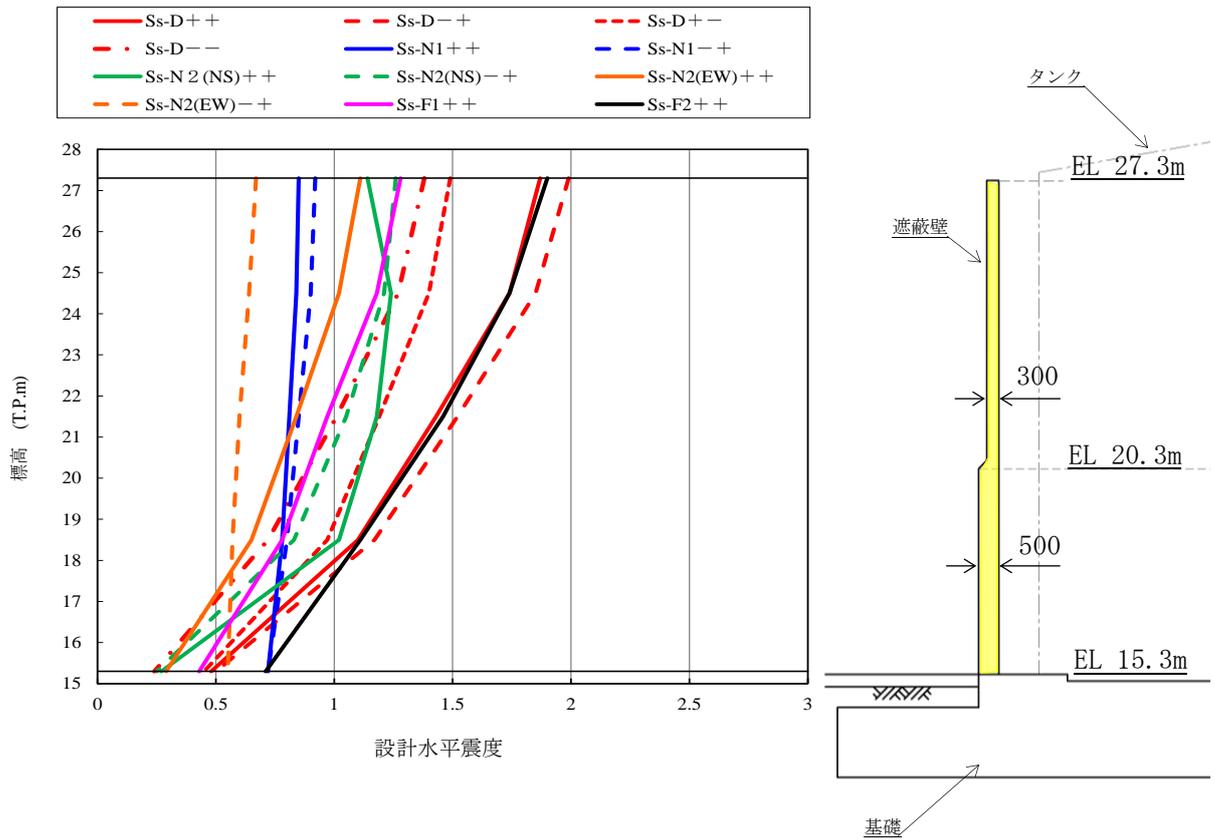


図 1.3-48 水平相対変位最大時刻における設計水平震度

(3) 解析ケース②及び解析ケース③

「(2) 解析ケース①」で水平方向震度が最大となる $S_s-D(-+)$ 及び $S_s-F2(+ +)$ の解析ケース①～③に対する水平相対変位最大時刻における設計水平震度を図1.3-49に示す。この結果より、遮蔽壁頂部における水平方向応答加速度が最大となる地震動である解析ケース① $S_s-D(-+)$ が復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性に最も大きな影響を与えると考えられる。そのため次章以降の応力解析については、解析ケース①、地震動 $S_s-D(-+)$ について実施する。なお、東西方向断面の地震応答解析の結果を考慮した上で本ケースの代表性の確認結果を参考資料1に示す。

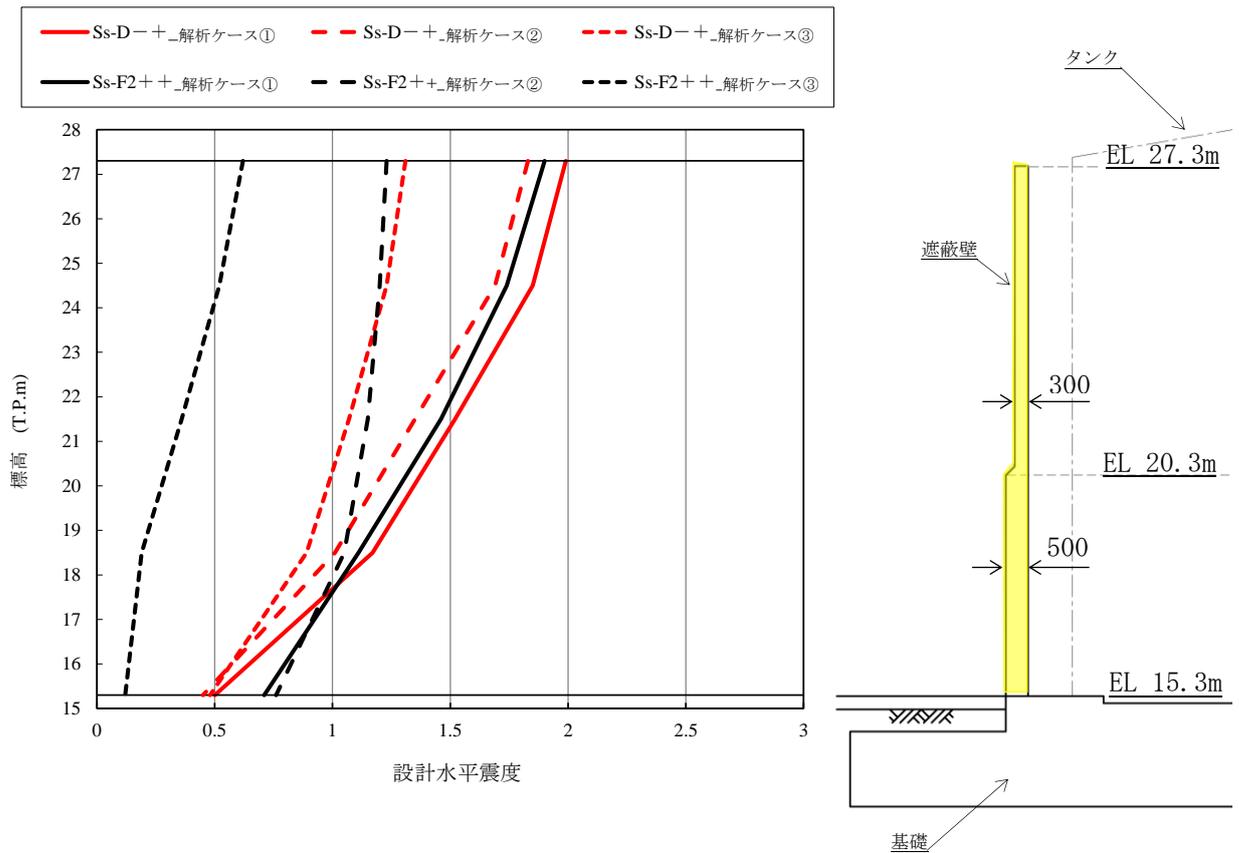


図 1.3-49 水平相対変位最大時刻における設計水平震度

1.4 応力解析

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち、遮蔽壁及び開口補強鋼材の応力解析は、「1.3.7 地震応答解析結果」にて選定した地震動及び着目した時刻にて得られる、応答加速度を用いた3次元静的有限要素法解析により実施する。その際、遮蔽壁は、線形シェル要素、開口補強鋼材のうち、枠材は線形はり要素、ブレース材は線形トラス要素でモデル化し、応力解析には「NX NASTRAN」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。開口補強鋼材のうちガセットプレート、リブプレート、ベースプレート、アンカーボルトについては、3次元静的FEM解析の応答値を用いて、定式化された計算式により応力照査する。

1.4.1 解析モデルの設定

(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデル化

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、線形シェル要素でモデル化する。

(2) 開口補強鋼材のモデル化

開口補強鋼材は、線形はり要素でモデル化する。

(3) 境界条件

復水貯蔵タンク遮蔽壁と基礎の境界は、完全固定境界とする。また、開口補強鋼材と遮蔽壁の境界は水平2方向と鉛直方向の線形ばねにより結合する。ばね定数は、接合部が完全接着しているとして十分に大きな値 ($1.0 \times 10^{10} \text{kN/m}$) とする。図 1.4-1 に開口補強鋼材と遮蔽壁間の概念図を示す。

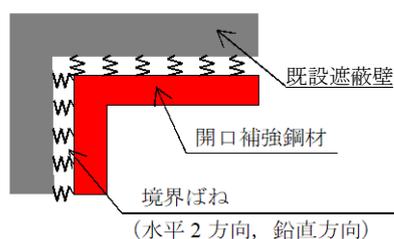


図 1.4-1 開口補強鋼材と遮蔽壁間の概念図

(4) 解析モデル

3次元静的FEM解析モデルを図 1.4-2 に、遮蔽壁及び開口補強鋼材の要素座標系を図 1.4-3 及び図 1.4-4 に示す。

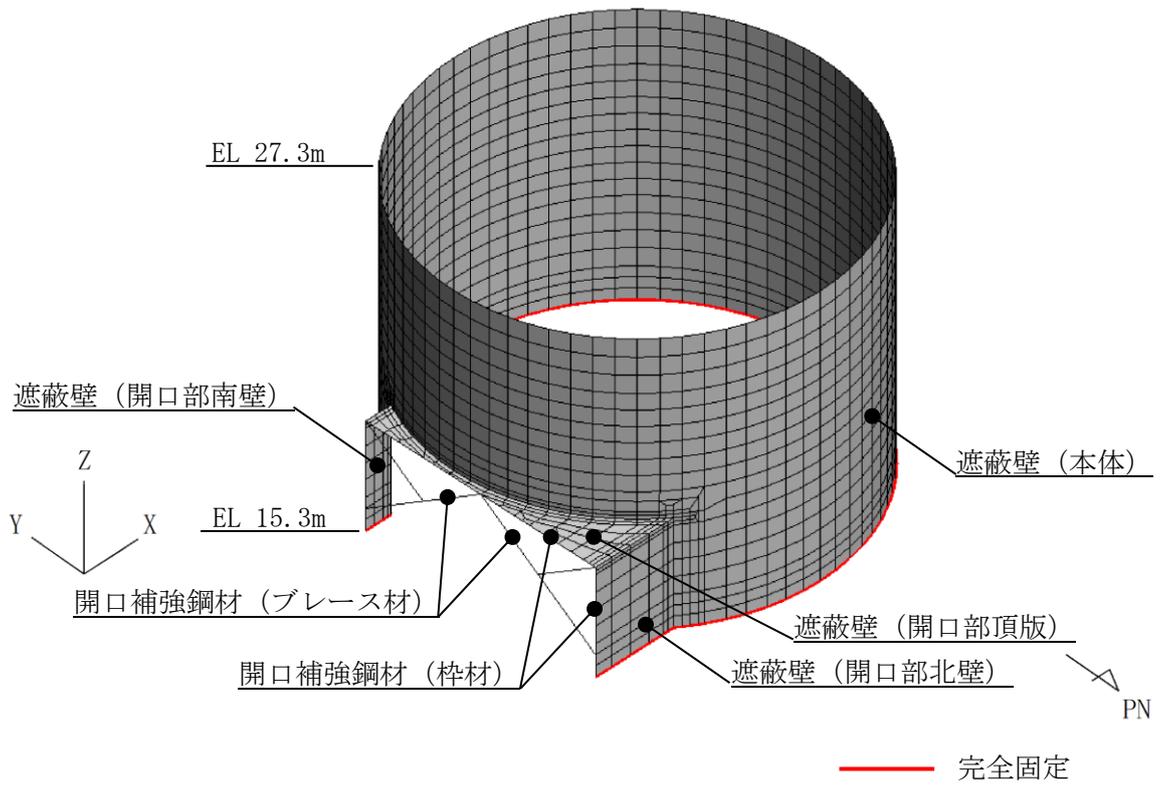


図 1.4-2(1) 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 北東側から望む)

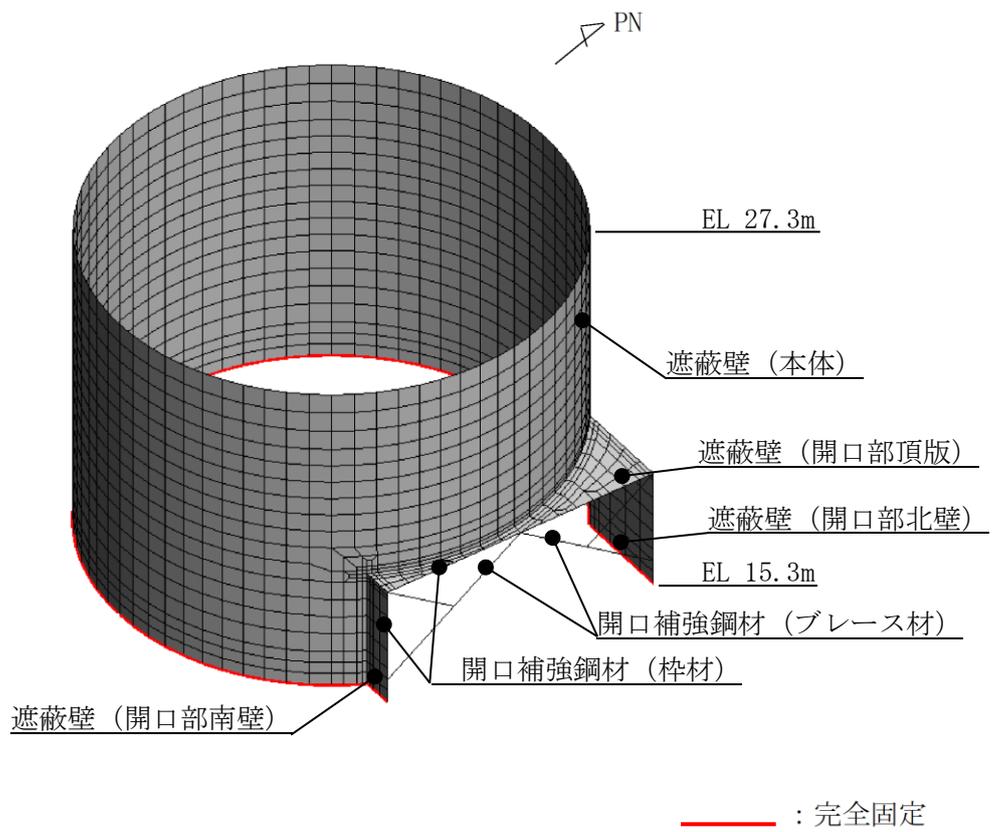
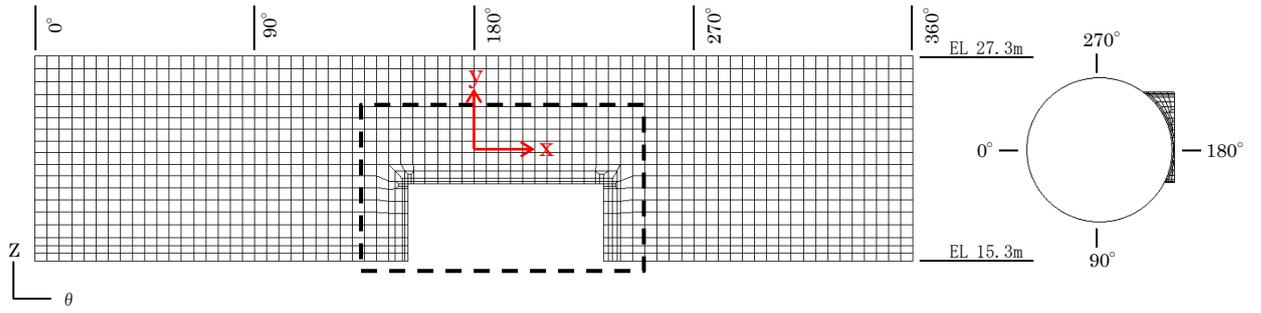
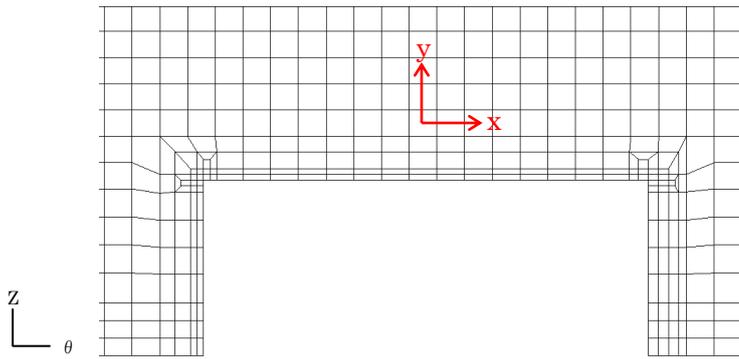


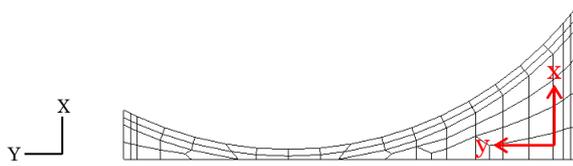
図 1.4-2(2) 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 南東側から望む)



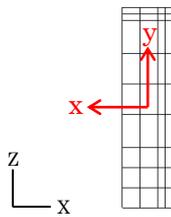
遮蔽壁（本体）



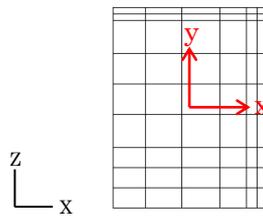
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



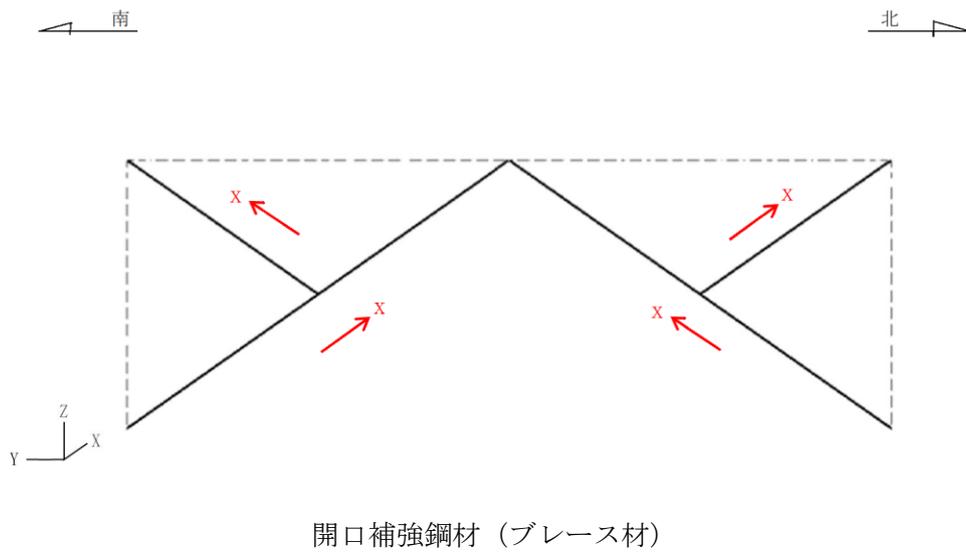
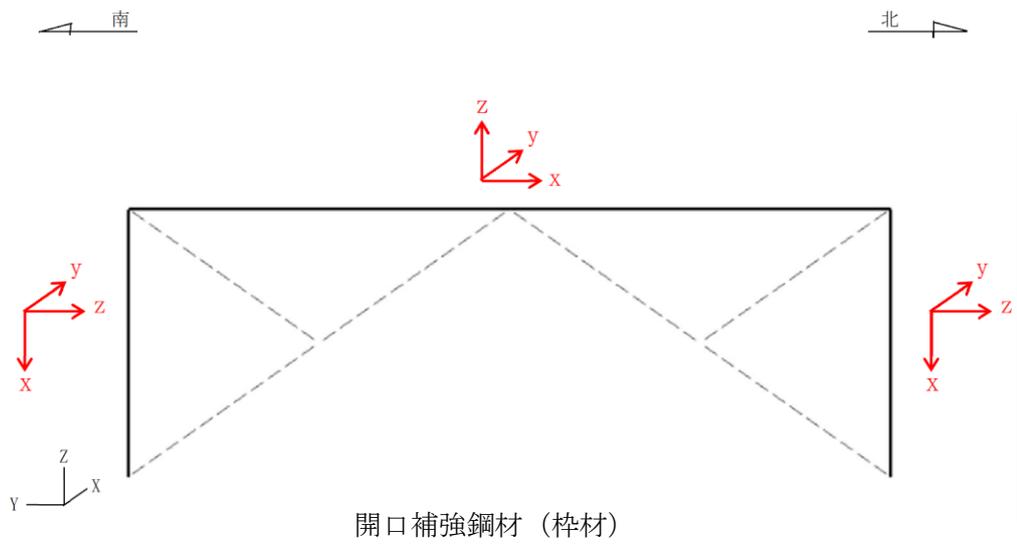
遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 1.4-3 各部材の要素座標系（遮蔽壁）



黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 1.4-4 各部材の要素座標系 (開口補強鋼材)

1.4.2 荷重及び荷重の組み合わせ

(1) 躯体重量

固定荷重として、躯体自重及び開口補強鋼材荷重を考慮する。荷重載荷図を図 1.4-5 に示す。

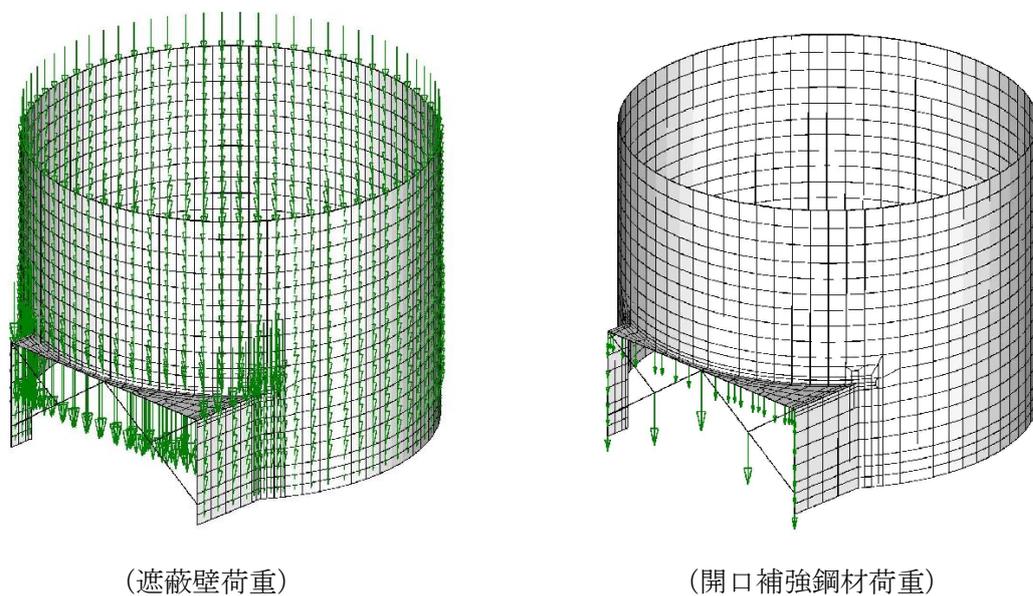


図 1.4-5 荷重載荷図 (固定荷重)

(2) 積雪荷重

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。荷重載荷図を図 1.4-6 に示す。

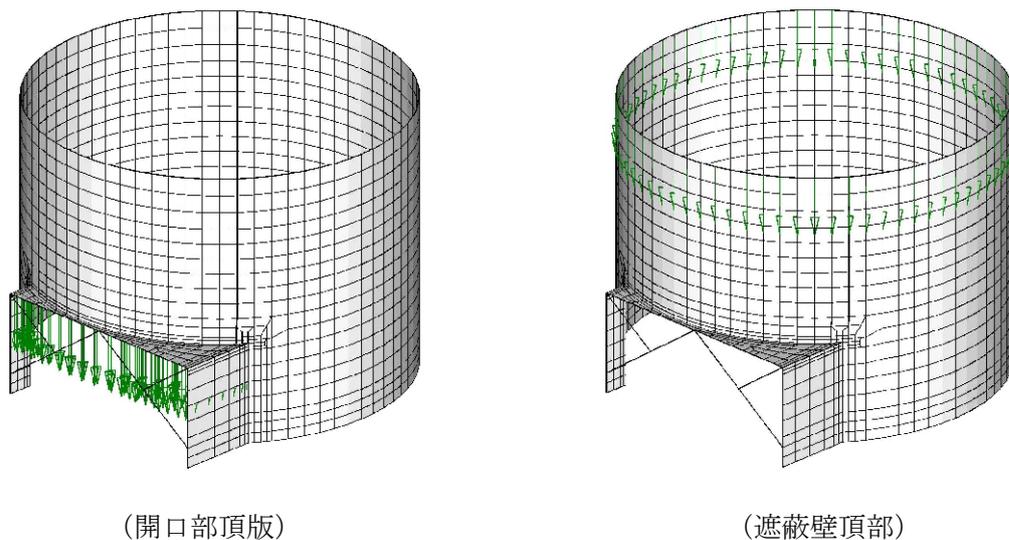


図 1.4-6 荷重載荷図 (積雪荷重)

(3) 風荷重

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

(4) 地震時荷重

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。なお，躯体重量に 2 次元有限要素解析で求めた応答加速度（水平・鉛直）を掛け合わせ，3 次元静的 FEM 解析の解析モデルに作用させる慣性力を算定する。荷重載荷図を図 1.4-7 に示す。

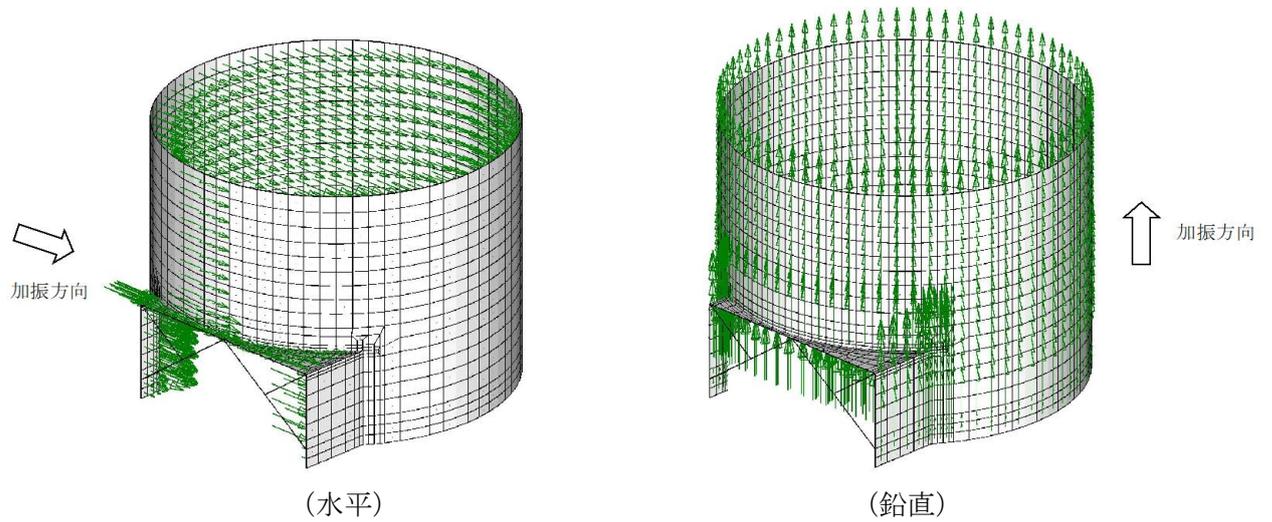


図 1.4-7 荷重載荷図（地震時荷重）

1.4.3 地震時荷重の作用方向

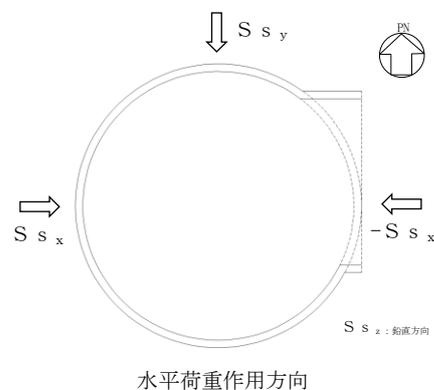
復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析を行う地震時荷重は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる。具体的には、南北方向の水平地震力を保守的に東西方向にも設定し、鉛直地震力は南北方向の水平地震力と同時刻の地震力を選定している。なお、東西方向断面の地震応答解析の結果を考慮した上での組合せ方法の代表性の確認結果を参考資料1に示す。

また、基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せについては、主筋が加振方向と同じ方向である東西方向及び南北方向に配置されていること、また、主筋は方向によらず同じ鉄筋径及びピッチで配置されていることから、互いに干渉し合う応力は発生し難い構造であると考えられるため、検討を省略する。

水平2方向の応力解析における検討ケースを表1.4-1に示す。

表 1.4-1 水平2方向の応力解析における検討ケース

ケース	地震力の方向及び組合せ	
	水平	鉛直
ケースA	$1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$
ケースB	$-1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$



1.4.4 応力照査方法

(1) 遮蔽壁及び開口補強鋼材（枠材，ブレース材）

3次元静的有限要素法解析により算定した部材の発生応力を基に応力照査する。

(2) 開口補強鋼材（ガセットプレート）

3次元静的有限要素法解析の結果，開口補強鋼材（ブレース材）に生じる軸方向力を開口補強鋼材（ガセットプレート）の有効断面積で除すことにより応力を算定する。

$$\sigma_s = \alpha \cdot N / (b \cdot t)$$

ここに，

σ_s : ガセットプレートに発生する軸応力度 (N/mm²)

α : 応力集中係数

N : ブレース材に生じる軸力 (kN)

b : ガセットプレートの有効幅 (mm)

t : ガセットプレートの板厚 (mm)

(3) 開口補強鋼材（ベースプレート）

3次元静的有限要素法解析の結果，枠材下端の鋼材－遮蔽壁間の線形ばねに生じる反力のうち，軸方向力を抽出する。軸方向力はベースプレート全体に均一に作用すると考えられることから，ベースプレートは等分布荷重を受ける3辺固定版となる。この時の発生応力度を算定する。ベースプレート構造図を図1.4-8に示す。

$$\sigma_{s1} = (N_{max} / S) \cdot M_x \cdot L_x \cdot L_x$$

ここに，

σ_{s1} : ベースプレートに発生する曲げ応力度 (N/mm²)

N_{max} : 枠材下端反力から抽出した軸力 (kN)

S : ベースプレートの面積 (m²)

M_x : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

L_x : ベースプレートの短辺長 (m)

$$\tau = (N_{max} / S) \cdot L_x / t$$

ここに，

τ : ベースプレートに発生するせん断応力度 (N/mm²)

S : ベースプレートの面積 (m²)

t : ベースプレートの板厚 (mm)

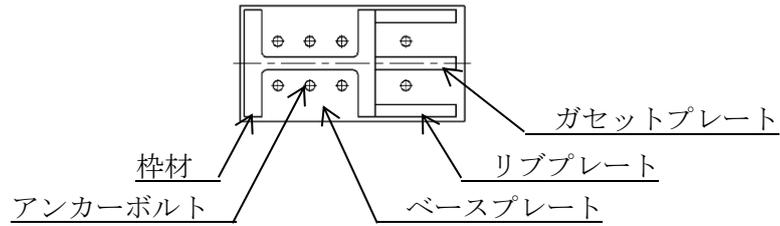


図 1.4-8 ベースプレート構造図

(4) 開口補強鋼材（アンカーボルト）

3次元静的有限要素法解析の結果、杵材下端の鋼材－遮蔽壁間の線形ばねに生じる反力のうち、せん断力を抽出し荷重を算定する。なお、開口補強鋼材は、杵付き補強として遮蔽壁の開口部に固定されており、開口補強鋼材を固定するアンカーボルトには、主としてせん断力が作用することから、引張力に対する検討を省略する。

$$Q = S_{max}$$

ここに、

Q : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

S_{max} : 杵材下端反力から抽出したせん断力 (kN)

(5) 開口補強鋼材（リブプレート）

3次元静的有限要素法解析の結果、杵材下端の鋼材－遮蔽壁間の線形ばねに生じる反力のうち、せん断力を抽出する。せん断力をリブプレートの断面積で除すことにより応力を算定する。

$$\tau = (N_{max} / S) \cdot S_1 / S_2$$

ここに、

τ : リブプレートに発生するせん断応力度 (N/mm²)

N_{max} : 杵材下端反力から抽出した軸力 (kN)

S : ベースプレートの面積 (m²)

S_1 : リブプレートのベースプレートからの荷重負担面積 (m²)

S_2 : リブプレートの有効せん断断面積 (m²)

1.4.5 解析ケース

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び開口補強鋼材の応力解析を実施する解析ケースは、「1.3.7 地震応答解析結果」より、S_s-D（-+）である。それぞれの解析ケースについて、「1.4.3 地震荷重の作用方向」の表 1.4-1 に記載した 2 ケースに分けて応力解析を行う。

1.5 耐震評価

1.5.1 許容限界

(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の健全性に対する許容限界

a. 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体の安定性評価として、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，終局曲げモーメントを許容限界とする。

また，遮蔽壁のうち PHb 工法を適用する部位について，PHb 工法はおおむね弾性範囲となる状況下で使用することから，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づく短期許容応力度を下回ることを合わせて確認する。発生曲げ応力が許容限界を上回る場合，3次元構造解析において，細かい要素分割を行っている部材の一部を部材厚程度の範囲で，発生曲げ応力を平均化した評価を実施する。平均化及び平均化範囲の考え方を参考資料2に示す。なお，発生曲げ応力が許容限界を上回る場合は，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，降伏曲げモーメントを許容限界とした評価を併せて実施する。

また，溢水影響評価の観点から，地上に位置する遮蔽壁については PHb 工法を適用する部位以外についても，「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に示す貯水機能を有することの確認として，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，短期許容応力度を下回ることを確認する。

コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 1.5-1 及び表 1.5-2 に示す。

表 1.5-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f' _{ck} = 23.5 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ' _{ca}	8.8
許容せん断応力度 τ _{a1}		0.44	0.66

注記*：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 1.5-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ' _{sa}	196

注記*：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

b. せん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，短期許容応力度とする。また，遮蔽壁のうちPHb工法を用いる部位については，PHbのせん断補強効果を見込んだ評価を行う。許容限界を次式に示す。

$$V_d/V_a < 1$$

(通常のせん断補強筋を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

(PHb を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + \beta_{aw} \cdot V_{sa}$$

$$V_{ca} = 0.5 \cdot \tau \cdot b_w \cdot z$$

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot z / s$$

$$\beta_{aw} = 1 - I_y / \{2 \cdot (d - d')\} - z / (d - d') \quad \text{ただし, } \beta_{aw} \leq 0.9$$

ここに,

- V_d : 照査用せん断力
- V_a : 許容せん断力
- V_{ca} : コンクリートの負担する許容せん断力
- V_{sa} : 鉄筋の負担する許容せん断力
- A_w : せん断補強筋ピッチ間におけるせん断補強筋の総断面積
- β_{aw} : PHb の有効性を示す係数
- τ : 照査用せん断応力
- b_w : 部材断面の腹部の幅
- σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度
- z : 全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面図心までの距離
 $z = d / 1.15$
- d : 有効高さ
- s : せん断補強筋ピッチ
- l_y : PHb の埋込側に必要な定着長
- $d - d'$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔
 $d - d' \geq l_y$
- z : 高止まり高さ

PHb を考慮する場合の許容せん断力の算定にあたっては、「建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」, 一般財団法人土木研究センター」に示されているとおり, PHb の有効性を示す係数 β_{aw} を用いるものとする。本図書の抜粋を, 図 1.5-1 に示す。

2.7.1.3 L1地震動/常時荷重増加等に対するせん断補強（許容応力度法）

L1地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合のPost-Head-barの有効係数に、斜め引張りひび割れ等の発生を許容することを前提として、せん断に対する安全性照査において評価されたPost-Head-barの有効係数を用いてもよい。

〔解説〕せん断に対する安全性照査において、Post-Head-barのせん断補強効果はトラス理論に基づいた棒部材のせん断耐力で評価されている。この場合、Post-Head-barのせん断耐力はせん断補強鉄筋の規格降伏強度を用いて算出することになる。また、許容応力度法においても、斜め引張りひび割れの発生によってトラス機構が形成されるので、トラス理論に基づき算出されたせん断補強鉄筋の応力度を、許容応力度以下に抑えるように設計する。許容応力度は、規格降伏強度に安全率を考慮した値である。

そのため、両者はともにトラス理論に準拠しており、L2地震動作用時のせん断耐力は規格降伏強度に有効係数を乗じて算出される。また、許容応力度は規格降伏強度に設計条件から定めた安全率と有効係数を乗じて算出される。

これらのことから、L1地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合には、斜め引張りひび割れの発生を許容することを前提として、Ⅲ付属資料-2 2.4で規定した有効係数を用いてよいものとした。

具体的には、Post-Head-barに使用された鉄筋の、設計条件から定めた許容応力度に、Ⅲ付属資料-2 2.4式(3)で算出される有効係数を乗じることにより、使用するPost-Head-barの許容応力度を算出する。

図 1.5-1 PHb を考慮した許容せん断力の算定（抜粋）

(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（杵材，ブレース材，ガセットプレート，ベースプレート，リブプレート）の健全性に対する許容限界

鋼材の許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度法－（日本建築学会，2005年改定）」に基づき，短期許容応力度とする。鋼材の短期許容応力度を表 1.5-3 に示す。

表 1.5-3 鋼材の短期許容応力度

材料			仕様	短期許容応力度 (N/mm ²)			
				短期許容 圧縮応力度 f_c	短期許容 引張応力度 f_t	許容曲げ 応力度 f_m	短期許容 せん断応力度 f_s
開口 補 強 鋼 材	杵材	H-612×510 ×60×80	SM400A	別途算出*1	215	別途算出	124
	ブレース 材	H-612×510 ×60×80	SM400A	別途算出*1	215	—	—
		H-200×200 ×8×12	SS400	別途算出*1	235	—	—
	ガセット プレート	PL-60	SM400C	215*2	215	—	—
	ベース プレート	PL-50	SM400C	—	—	248	124
	リブ プレート	PL-40	SM400C	—	—	—	136

注記*1：短期許容圧縮応力度 f_c については，以下の式にて算出する。

*2：座屈の影響を考慮しない。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu} \times 1.5$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \times 1.5$$

ここで、

λ : 圧縮材の細長比

$$\nu : \frac{2}{3} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

F : 215N/mm²

Λ : 限界細長比で $\sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

E : ヤング係数

- (3) 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（アンカーボルト）の健全性に対する許容限界

アンカーボルトの許容限界は、メーカー評価式に基づき算定した、表 1.5-4 の値とする。

なお、評価対象部位の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を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 1.5-4 アンカーボルトの許容限界

許容耐力 (kN)
せん断
2924

また、各種合成構造設計指針・同解説の適用範囲外となる復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材を基礎に固定するアンカー筋 (D38) について、メーカー規格の適用性確認を実施する。

- a. メーカー規格の適用性確認

アンカー定着材についてのメーカー規格に規定されている事項を表 1.5-5 に、復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材で使用するアンカー定着材の使用目的及び使用環境並びに材料を表 1.5-6 に示す。

当該アンカー定着材の使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内であることから、メーカー規格は適用できることを確認した。

表 1.5-5 メーカー規格に規定されている事項

製品名称	使用目的及び使用環境	材料	規格に基づく試験
パーフィクスレジンカプセル	土木及び建築工事におけるアンカーの定着材として使用することを目的とする。使用環境は屋外又は屋内における、気中及び水中を対象に使用する。	ビス系不飽和ポリエステル樹脂	性能試験（アンカー定着材の強度試験により許容限界値の評価式を設定）を実施

表 1.5-6 復水貯蔵タンク遮蔽壁での使用目的及び使用環境並びに材料

製品名称	使用目的及び使用環境	材料
パーフィクスレジンカプセル	地震力作用時において、復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材と基礎との定着を確保するために使用することを目的とする。使用環境として屋外（気中）において使用する。	ビス系不飽和ポリエステル樹脂

b. 定着材の使用条件の適用性確認

定着材の使用条件について、メーカーが示す適用範囲等の確認結果について表 1.5-7 に示す。復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材を基礎に固定するアンカー筋（D38）は、このメーカーが示す使用条件の適用範囲内であることから適用できることを確認した。

表 1.5-7 定着材の使用条件の適用性

項目	メーカー適用範囲等	アンカーの設置状況	適用範囲への適用性
メーカー	エヌパット株式会社	エヌパット株式会社	○
製品名称	パーフィクスレジンカプセル	パーフィクスレジンカプセル	○
アンカーの種類	有機系注入方式	有機系注入方式	○
材料	接着剤	ビス系不飽和ポリエステル樹脂	○
	アンカー筋	D10～D38	○
	母材	コンクリート	○
設計	設計法	許容応力度法	○
判定			○

c. メーカーによる引張・せん断力の評価式について

定着材は「あと施工アンカー標準試験法・同解説（日本建築あと施工アンカー協会）」に規定されている性能試験を実施した上で、アンカー強度の許容限界の設定を実施している。

復水貯蔵タンク遮蔽壁のアンカー設計のうち、開口補強鋼材を復水貯蔵タンク遮蔽壁に固定するアンカー筋（D38）の設計においては、許容せん断力は「イ. 許容せん断荷重の算出」により許容限界を設定する。アンカーボルトの許容限界の算定値を表 1.5-8 に示す。

イ. 許容せん断荷重の算出

$$Q a = \min [Q a_1, Q a_2]$$

$$Q a_1 = \phi_1 \cdot 0.7 \cdot \sigma_y \cdot s a_e \cdot 10^{-3}$$

$$Q a_2 = \phi_2 \cdot 0.4 \cdot s a_e \cdot \sqrt{(\sigma_B \cdot E_c)} \cdot 10^{-3}$$

$Q a_1$: アンカー筋で決まる場合の 1 本当たりの許容せん断強度 (kN)

$Q a_2$: コンクリートの支圧強度により決まる場合の 1 本当たりの許容せん断強度 (kN)

ϕ : 一般的に使用される低減係数で下表による

	ϕ_1	ϕ_2
長期荷重用	2/3	0.4
短期荷重用	1.0	0.6

σ_y : アンカー筋の規格降伏点 (N/mm²)

$s a_e$: アンカー筋の有効（公称）断面積 (mm²)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

表 1.5-8 アンカーボルトの許容限界の算定値

材料	条件	許容耐力 (kN)
		せん断
アンカーボルト	アンカーボルトの降伏により定まる場合	/
	アンカーボルトのせん断強度により定まる場合	3854
	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合	—*
	定着したコンクリート躯体の支圧強度により定まる場合	<u>2924</u>

下線部：許容耐力

注記*：へりあき寸法が有効埋込み長さより大きい場合、アンカーボルトのせん断強度及び定着したコンクリート躯体の支圧強度でせん断耐力は決まる。

(4) 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 1.5-9 に示す。

表 1.5-9 復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

1.5.2 評価方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価は、「1.4 応力解析」に基づく発生応力度が、「1.5.1 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。

また、基礎地盤の支持性能評価は、「1.3 地震応答解析」に基づく最大接地圧が、「1.5.1 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。

1.6 耐震評価結果

1.6.1 構造部材の健全性に対する評価結果（遮蔽壁）

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（構造物全体としての安定性確保）

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち、遮蔽壁については、3次元静的FEM解析の結果を用いて応力照査する。曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価結果の最大照査値を表1.6-1に示す。その際の、断面力分布図を図1.6-1及び図1.6-2に、最大照査値の発生箇所位置図を図1.6-13に示す。

また、表1.6-2より、PHb工法を適用するコンクリートの発生曲げ応力が短期許容応力度を下回りおおむね弾性範囲内であることから、PHb工法の適用範囲内であることを確認した。なお、要素の平均化実施前に、発生曲げ応力度が許容応力度を上回ることから、要素の平均化を実施せずとも、おおむね弾性におさまることを確認するために、降伏曲げモーメントに対する評価を併せて実施した。その結果を表1.6-2に示す。

表 1.6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)

地震応答解析		応力解析		曲げ モーメント M_d ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	軸力 N_d (kN/m)	終局曲げ モーメント M_u ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース					
①	S s - D (-+)	ケースA		101	-1070	139	0.73

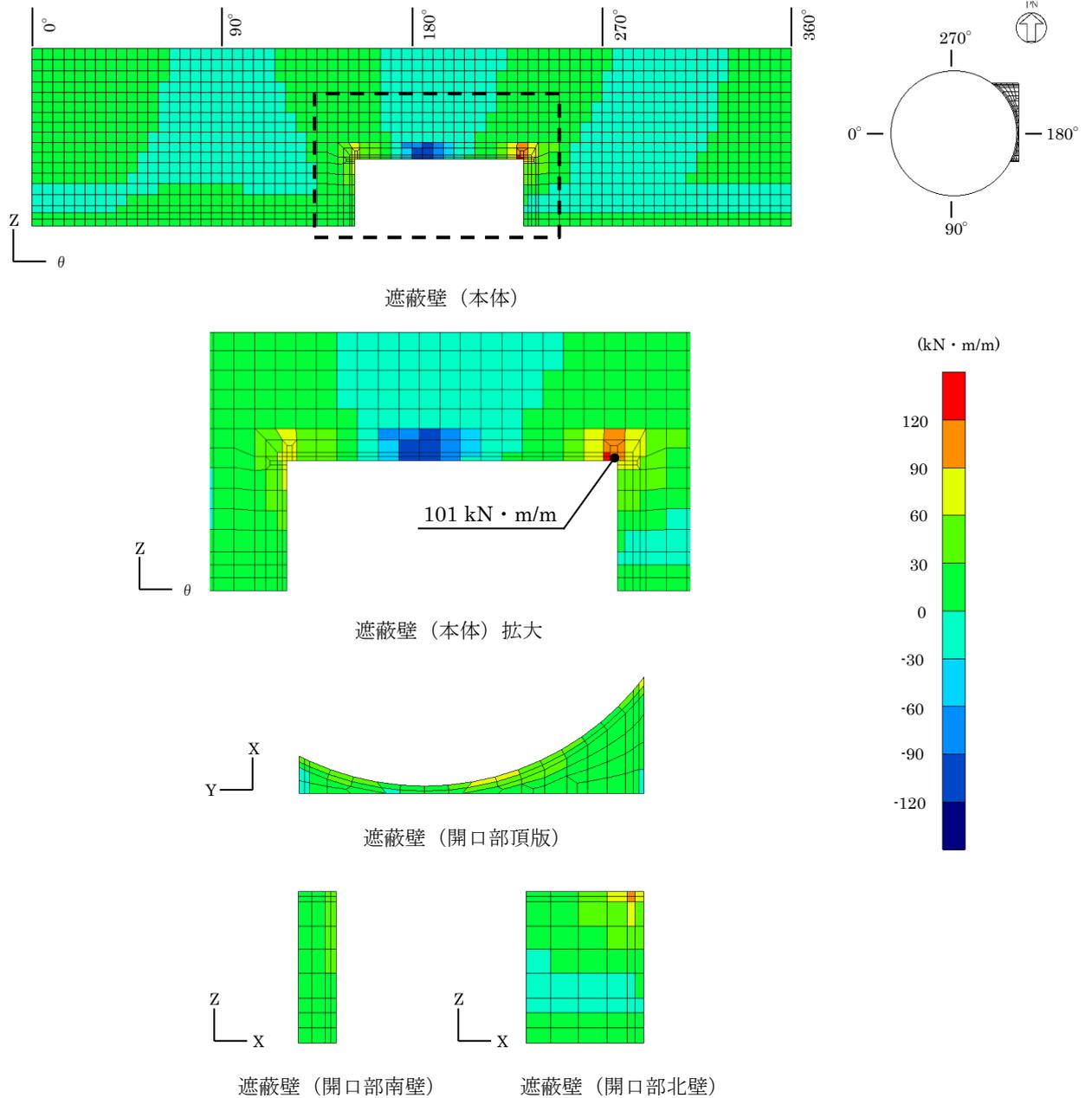


図 1.6-1 断面力分布図
(曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_x)
(解析ケース①, S s - D (-+))

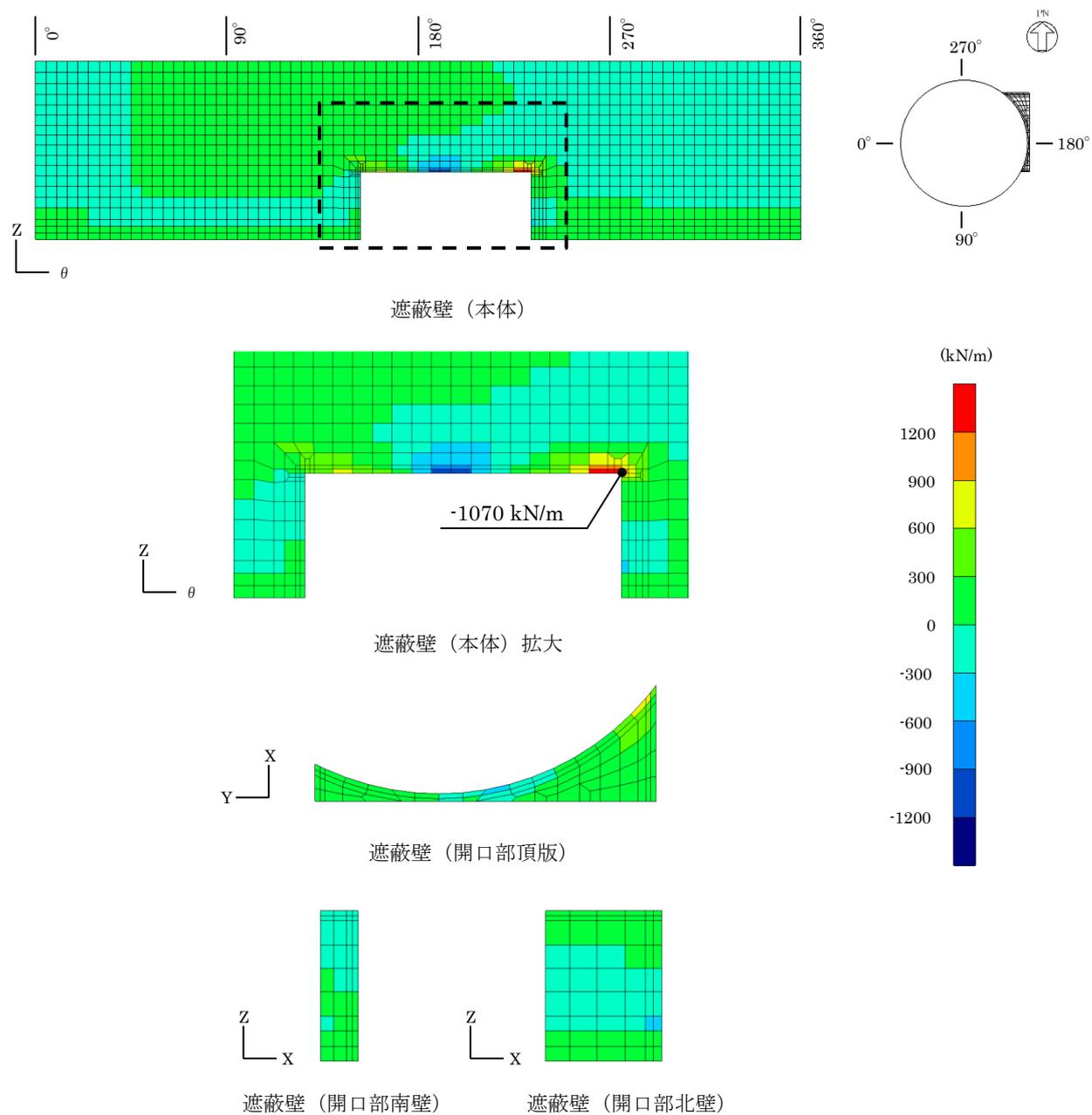


図 1.6-2 断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)

表 1.6-2(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認, コンクリート)

地震応答解析		応力解析		発生応力度 σ_d (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 σ_u (N/mm ²)	照査値 σ_d / σ_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		6.0	13.2	0.46

表 1.6-2(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認, 主筋)

地震応答解析		応力解析		発生応力度 σ_d (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 σ_u (N/mm ²)	照査値 σ_d / σ_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		280 (323)*	294	0.96 (1.10)*

注記* : () 内数値は, 要素の平均化実施前の値を示す。

表 1.6-2(3) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認, 降伏曲げモーメントに対する照査)

地震応答解析		応力解析		発生曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N _d (kN/m)	降伏曲げ モーメント M _y (kN・m)	照査値 M/M _y
解析 ケース	地震動	解析 ケース					
①	S s - D (-+)	ケース A		101	-1070	105	0.97

(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（溢水影響の確認）

曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち溢水影響の確認結果の最大照査値を表 1.6-3 に示す。

表 1.6-3(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）
（溢水影響の確認，コンクリート）

地震応答解析		応力解析		許容曲げ 応力度 σ_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース	発生応力度 σ_d (N/mm ²)		
①	S s - D (-+)	ケース A	6.4	13.2	0.49

表 1.6-3(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）
（溢水影響の確認，主筋）

地震応答解析		応力解析		許容曲げ 応力度 σ_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース	発生応力度 σ_d (N/mm ²)		
①	S s - D (-+)	ケース A	264	294	0.90

(3) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する評価結果のうち最大照査値を表 1.6-4 に示す。その際の、断面力分布図を図 1.6-3 に、最大照査値の発生箇所位置図を図 1.6-13 に示す。

また、表 1.6-5 より、PHb 工法を適用するコンクリートの発生せん断力が許容限界を下回り、照査値がおおむね 0.8 以内に収まっていることを確認した。

表 1.6-4 せん断破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)

地震応答解析		応力解析	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (-+)	ケース A	91	241	0.38

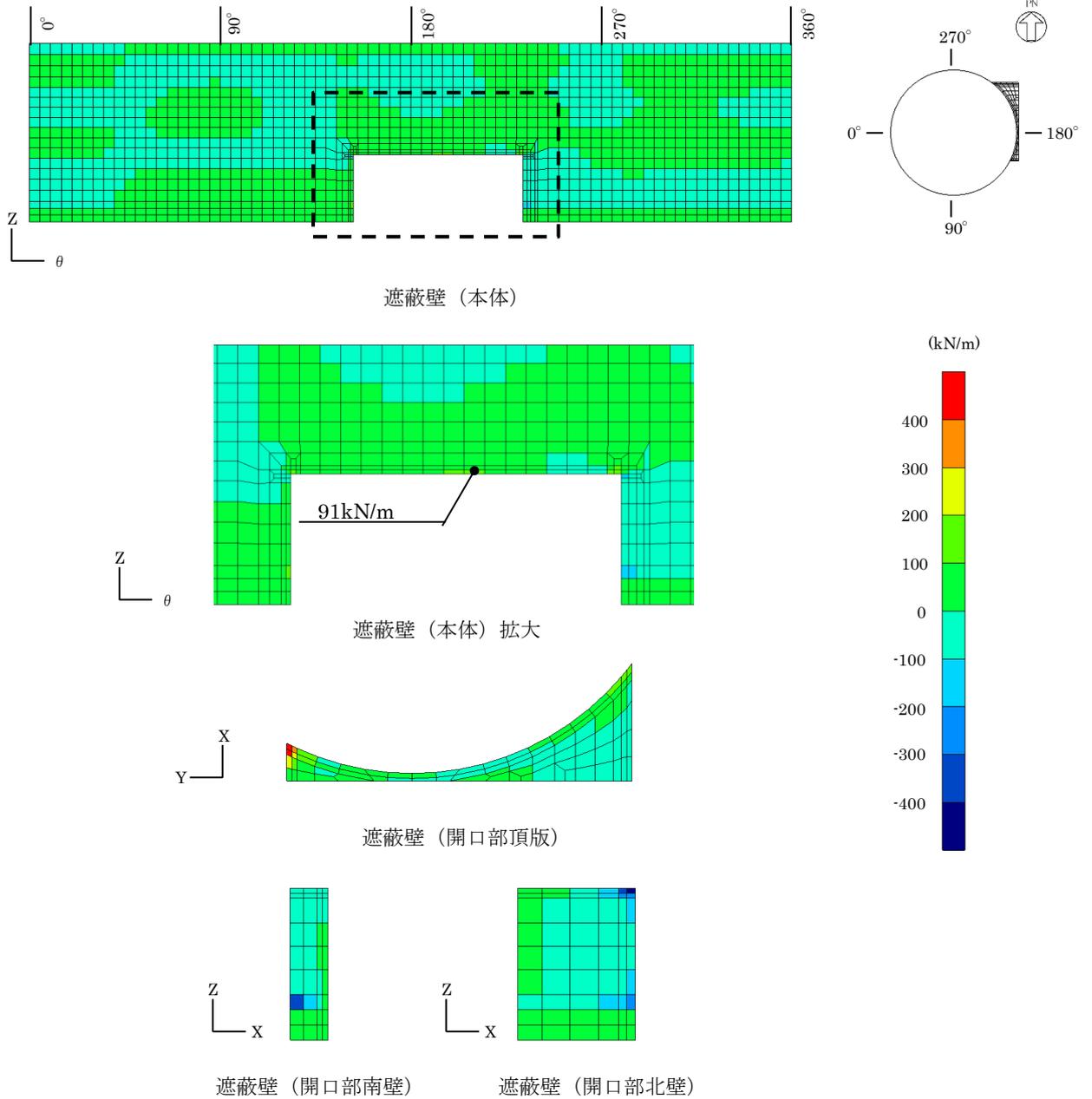


図 1.6-3 断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)

表 1.6-5 せん断破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)
(PHb 工法の適用範囲内の確認)

地震応答解析		応力解析		せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		151	528	0.29

1.6.2 構造部材の健全性に対する評価結果（基礎）

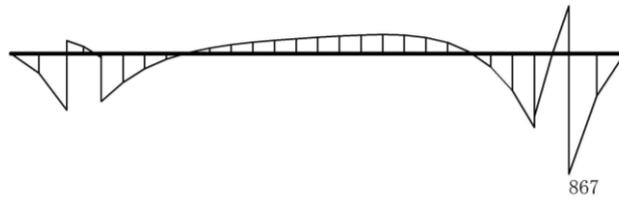
(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（構造物全体としての安定性確保）

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち基礎については、2次元FEM解析の結果を用いて応力照査する。曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果のうち最大照査値を表1.6-6に示す。その際の断面力分布図を図1.6-4に示す。

表1.6-6より、全ての評価対象部材に対して発生する応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 1.6-6 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎）

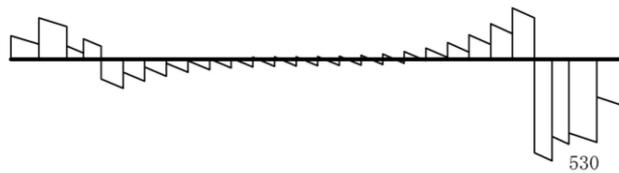
解析 ケース	地震動	曲げ モーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	終局曲げ モーメント M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
③	S s - F 2 (++)	867	217	2310	0.38



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)



数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 1.6-4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (解析ケース③, S s - F 2 (++) , t=14.97s)

(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（溢水影響の確認）

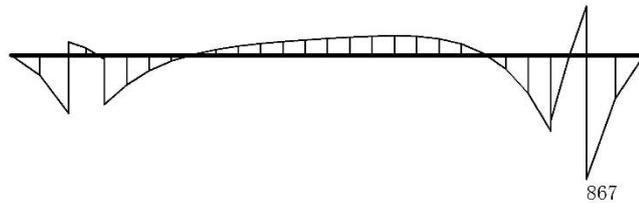
曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち溢水影響の確認結果の最大照査値を表 1.6-7 に示す。その際の断面力分布図を図 1.6-5 に示す。

表 1.6-7(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎（コンクリート））

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_c (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_a
③	S s - F 2 (++)	2.7	13.2	0.21

表 1.6-7(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎（鉄筋））

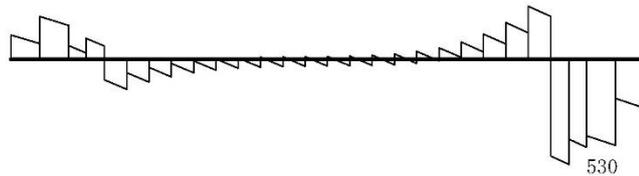
解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_a
③	S s - F 2 (++)	124	294	0.43



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)

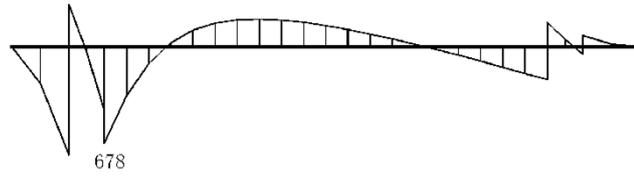


数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)

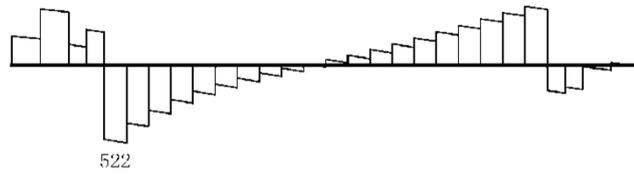


数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

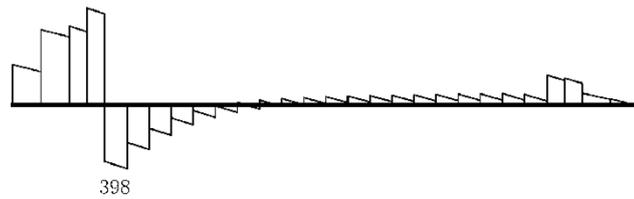
図 1.6-5(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図 (コンクリート)
 (解析ケース③, $S_s - F_2$ (++) , $t = 14.97s$)



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 1.6-5(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図 (鉄筋)
 (解析ケース③, $S_s - F_2$ (++) , $t = 16.07s$)

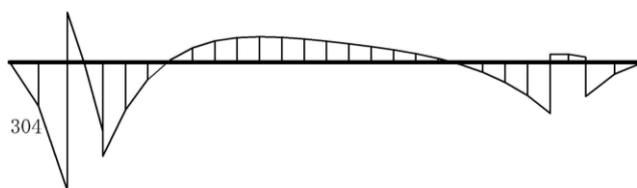
(3) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する評価結果のうち最大照査値を表 1.6-8 に示す。その際の断面力分布図を図 1.6-6 に示す。

表 1.6-8 より、全ての評価対象部材に対して発生する応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 1.6-8 せん断破壊に対する最大照査値（基礎）

解析 ケース	地震動	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
③	S s - D (-+)	620	901	0.69



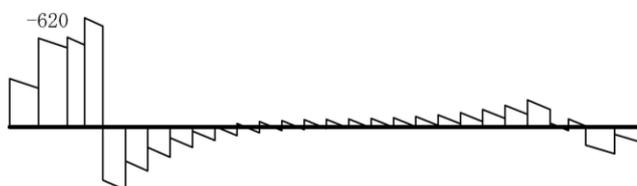
数值：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数值：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 1.6-6 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(解析ケース③, $S_s - D (-+)$, $t = 25.68s$)

1.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果（開口補強鋼材）

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち，開口補強鋼材については，3次元静的FEM解析の結果を用いて応力照査する。開口補強鋼材の各部材の最大照査値を表1.6-9～表1.6-16に示す。その際の，断面力分布図を図1.6-7～図1.6-12に，最大照査値の発生箇所位置図を図1.6-13に示す。

表 1.6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

地震応答解析		応力解析		発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケースA		53	215	0.25

表 1.6-10 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

地震応答解析		応力解析		発生せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケースA		10	124	0.09

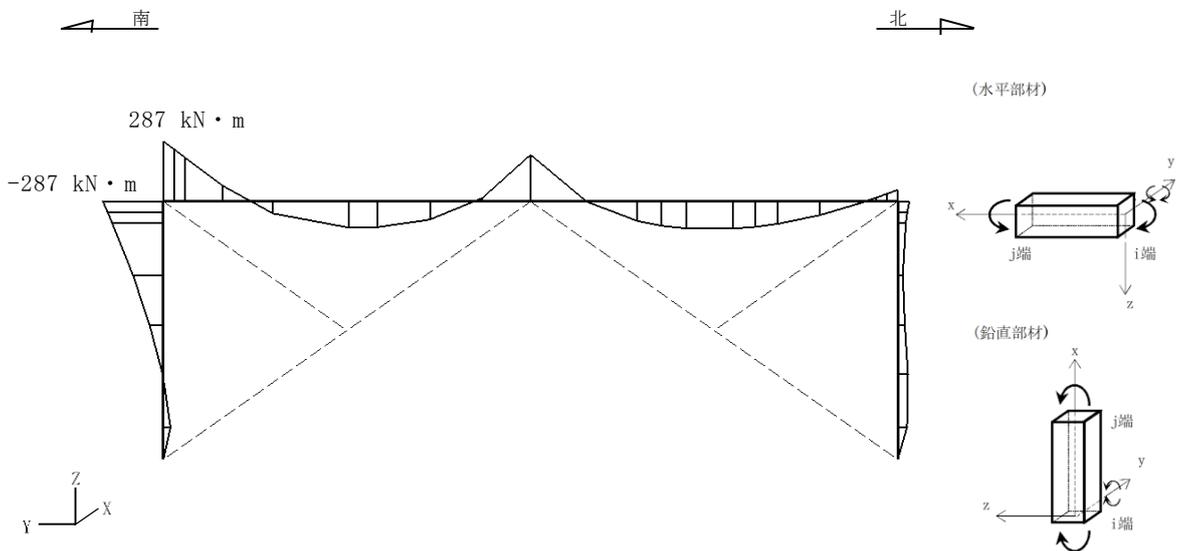


図 1.6-7 断面力分布図（枠材）
 （曲げモーメント (kN・m) : M_y)
 （解析ケース①, S s - D (-+))

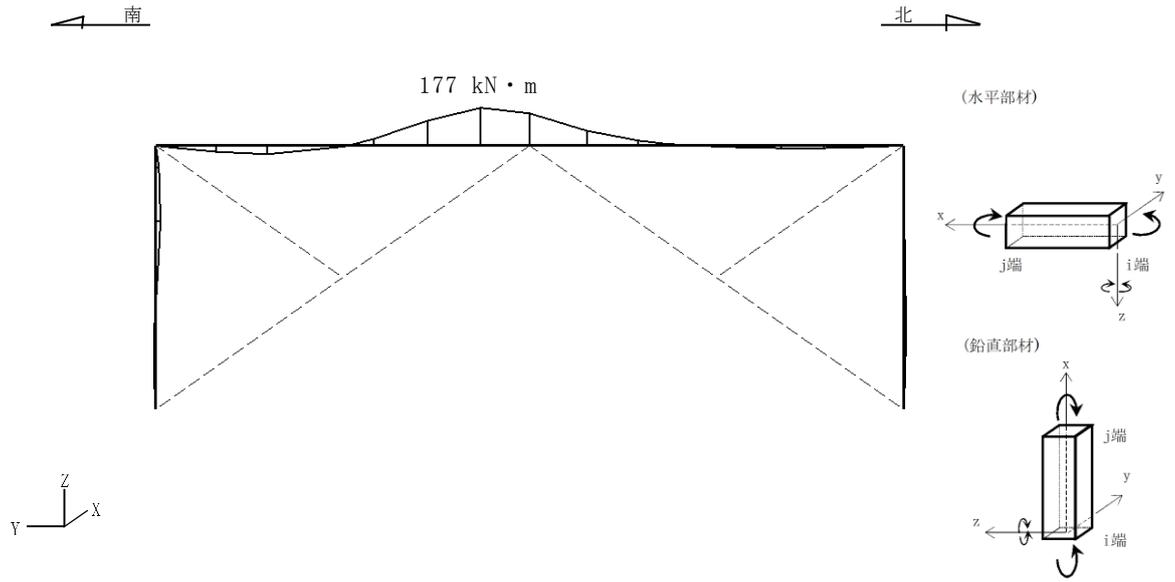


図 1.6-8 断面力分布図 (粹材)
 (曲げモーメント (kN·m) : M_z)
 (解析ケース①, S s - D (-+))

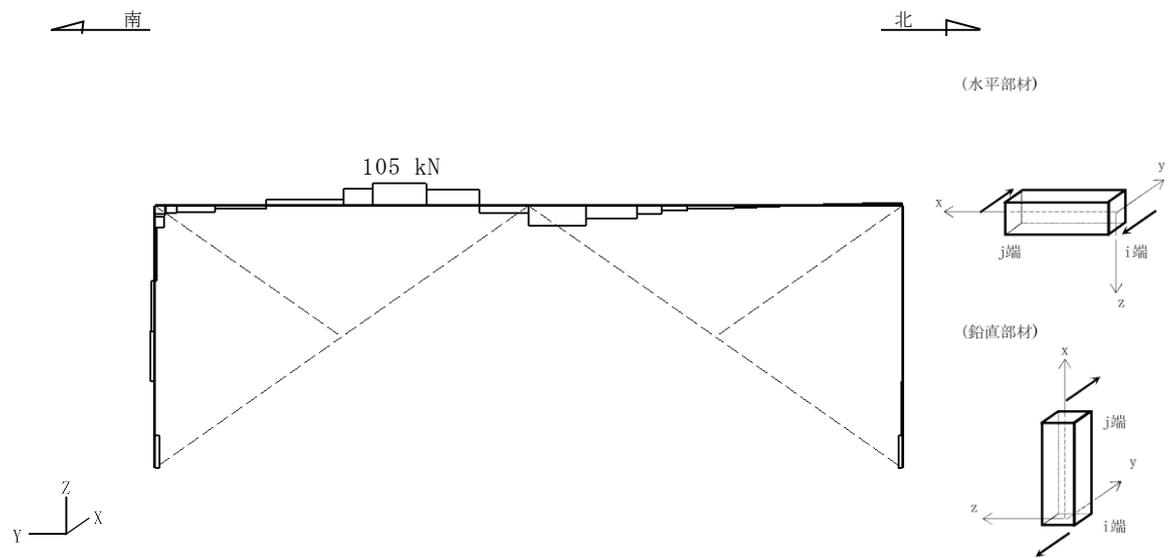


図 1.6-9 断面力分布図 (粹材)
 (せん断力 (kN) : Q_y)
 (解析ケース①, S s - D (-+))

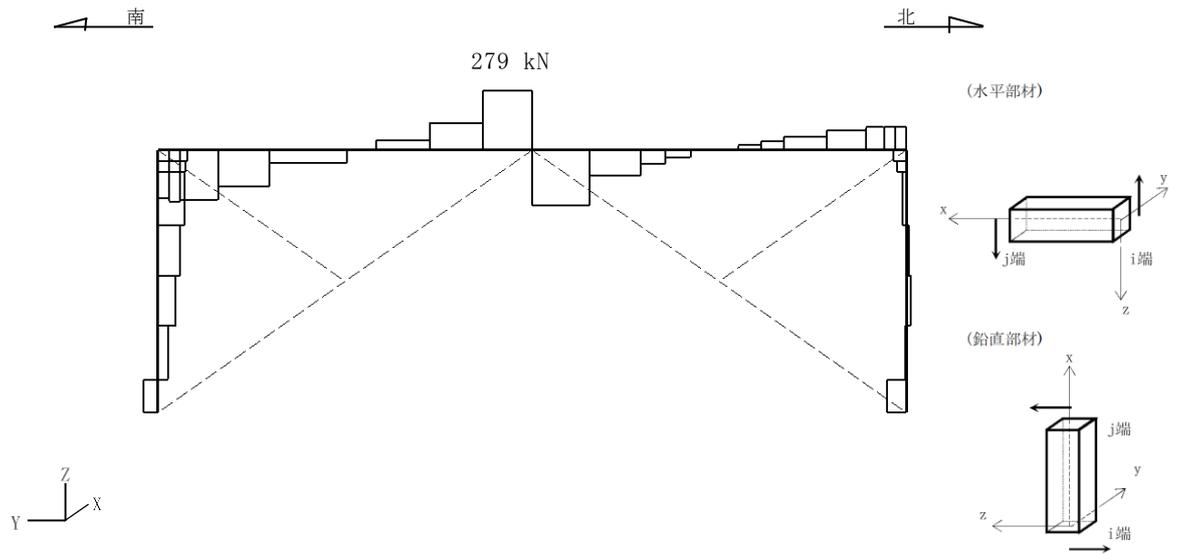


図 1.6-10 断面力分布図 (棒材)
 (せん断力 (kN) : Q_z)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)

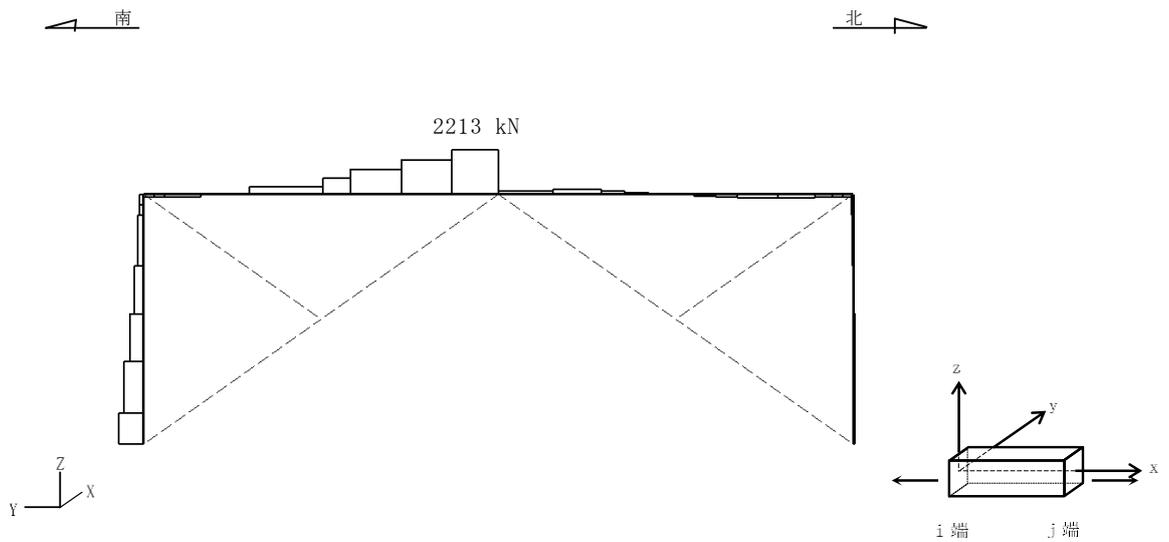


図 1.6-11 断面力分布図 (棒材)
 (軸力 (kN) : N)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)

表 1.6-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (開口補強鋼材：ブレース材)

地震応答解析		応力解析		発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		21	183	0.12

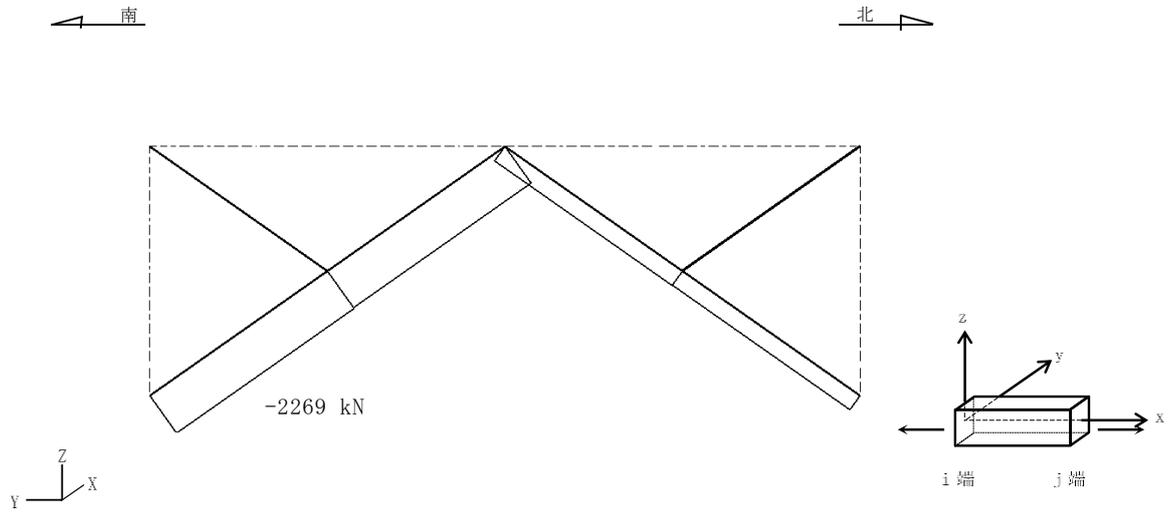


図 1.6-12 断面力分布図 (ブレース材)
 (軸力 (kN) : N)
 (解析ケース①, S s - D (-+))

表 1.6-12 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

(開口補強鋼材：ガセットプレート)

地震応答解析		応力解析		発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		148	215	0.69

表 1.6-13 せん断破壊に対する最大照査値 (開口補強鋼材：リブプレート)

地震応答解析		応力解析		発生せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		26	136	0.20

表 1.6-14 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

(開口補強鋼材：ベースプレート)

地震応答解析		応力解析		発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		165	248	0.67

表 1.6-15 せん断破壊に対する最大照査値 (開口補強鋼材：ベースプレート)

地震応答解析		応力解析		発生せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		22	124	0.18

表 1.6-16 せん断破壊に対する最大照査値 (開口補強鋼材：アンカーボルト)

地震応答解析		応力解析		発生せん断 力 Q (kN)	許容せん断 力 Q_a (kN)	照査値 Q / Q_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (-+)	ケース A		1792	2924	0.62

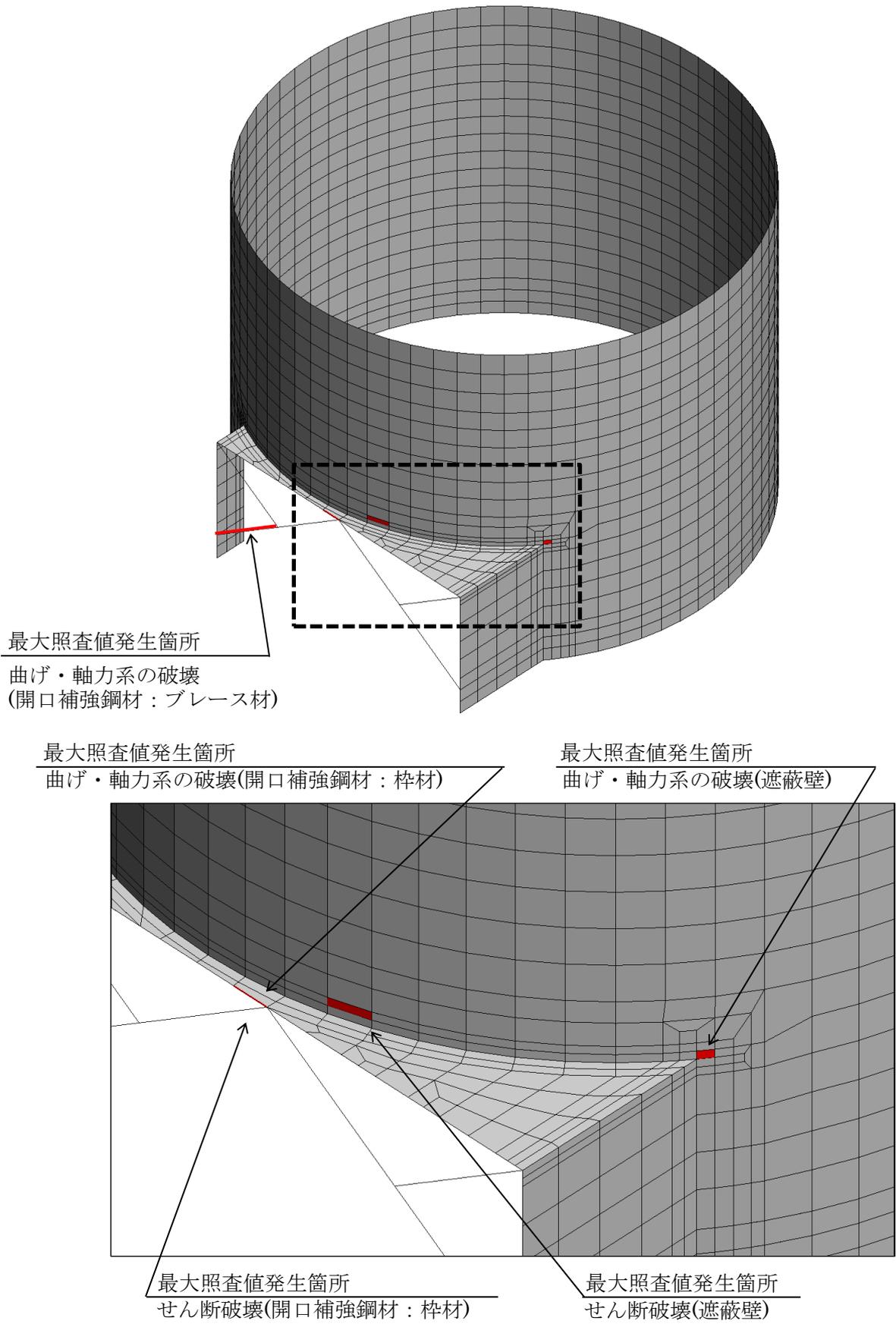


図 1.6-13 最大照査値発生箇所位置図 (鳥瞰図, 北東側から望む)

1.6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎地盤の支持性能に対する評価には、2次元FEM解析の結果を用いる。基礎地盤の支持性能に対する評価結果の最大照査値を表1.6-17に示す。また、照査値最大を示す、地震動S s - N 2 (EW) (++) (解析ケース①)における最大接地圧分布図を図1.6-14に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎地盤に発生する最大接地圧が、許容限界を下回ることを確認した。

表 1.6-17 支持性能に対する最大照査値 (基礎地盤)

解析 ケース	地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
①	S s - N 2 (EW) (++)	0.39	9.8	0.04

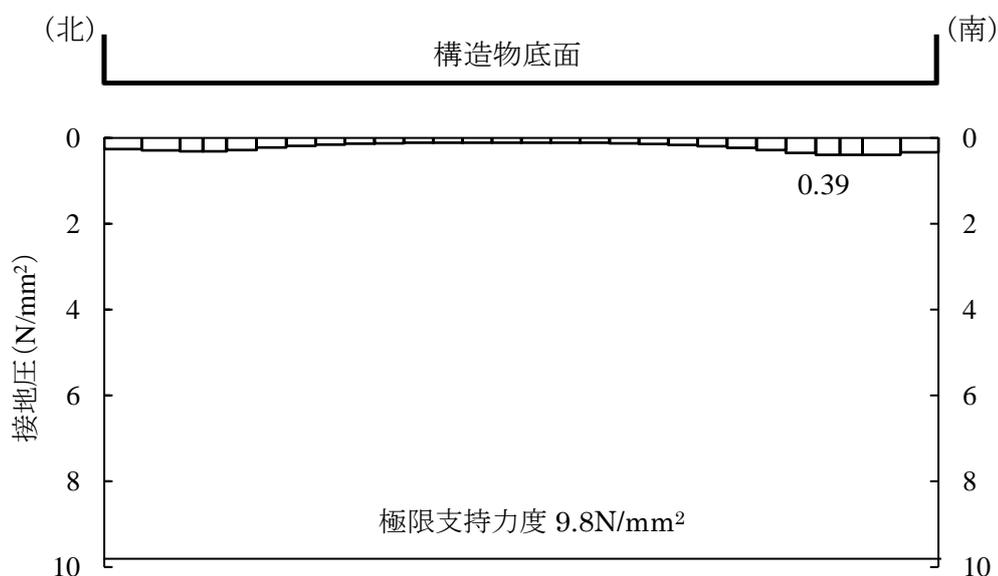


図 1.6-14 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S s - N 2 (EW) (++))

2. 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁

2.1 評価方法

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁について、基準地震動 S_s に対して、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。構造部材の健全性評価として、構造物全体としての安定性確保を評価した上で、溢水影響の確認を実施する。

なお、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁は、それぞれの遮蔽壁の厚さ及び径、基礎の構造が同一であるため、開口部寸法の大きい補助復水貯蔵タンク遮蔽壁を代表させて本検討を行う。

なお、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁の周辺他で安全対策工事に伴う掘削を実施中であるため、本資料においては、掘削後の状態を前提とする。

2.2 評価条件

2.2.1 適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)
- ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度法— (日本建築学会, 2005 年)

表 2.2-1 適用する規格, 基準類

項目	適用する規格, 基準類	備考
使用材料及び材料定数	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)	鉄筋コンクリートの材料諸元 (単位体積重量, ヤング係数, ポアソン比)
	鋼構造設計規準—許容応力度法— 2005年, (社)日本建築学会	鋼材の材料諸元 (単位体積重量, ヤング係数, ポアソン比)
	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会)	鋼材の減衰定数
荷重及び荷重の組合せ	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)	永久荷重, 偶発荷重等の適切な組合せを検討
許容限界	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年)	曲げ・軸力系の破壊に対する照査は, 発生ひずみが限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%) 以下であることを確認
	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年)	曲げ・軸力系の破壊に対する照査において発生応力が終局曲げモーメント以下であることを確認。また, おおむね弾性範囲として, 発生応力度が短期許容応力度以下であることを確認。せん断力照査は, 短期許容応力度以下であることを確認
	鋼構造設計規準—許容応力度法— (日本建築学会, 2005年改定)	鋼材の短期許容応力度を許容限界として設定
	道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (日本道路協会 平成 14年 3月)	基礎地盤の支持性能に対する照査は, 基礎に発生する応力が極限支持力を下回ることを確認
地震応答解析	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会)	有限要素法による 2次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

2.2.2 構造概要

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁の位置図を図 2.2-1 に示す。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の平面図を図 2.2-2 に、断面図を図 2.2-3 に、耐震補強箇所を図 2.2-4 に、開口補強鋼材を図 2.2-5 に、概略配筋図を図 2.2-6 に、弁室目地概念図を図 2.2-7 に、トーラス水受入タンク遮蔽壁の平面図を図 2.2-8 に、断面図を図 2.2-9 に、耐震補強箇所を図 2.2-10 に、開口補強鋼材を図 2.2-11 に、概略配筋図を図 2.2-12 に、弁室目地概念図を図 2.2-13 に、地質断面図を図 2.2-14 に示す。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁は、補助復水貯蔵タンク及びトーラス水受入タンク等を間接支持する基礎、基礎上に固定された遮蔽壁及びタンク、遮蔽壁を補強する開口補強鋼材（杵材、ブレース材、ガセットプレート、ベースプレート、アンカーボルト）から構成される。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造であり、基礎は、幅 18.5m（東西）×18.5m（南北）、遮蔽壁は、内径 17.5m、壁厚 0.3m、高さ 12m の円筒状の地上構造物で、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置している。遮蔽壁と開口補強鋼材の間には、無収縮モルタルを圧入しており、遮蔽壁と無収縮モルタル間にはアンカーボルト、開口補強鋼材と無収縮モルタル間には頭付きスタッドを設置し、一体化させている。

なお、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁については、せん断破壊に対する耐震補強として、開口補強鋼材及び PHb 工法による補強を行っている。

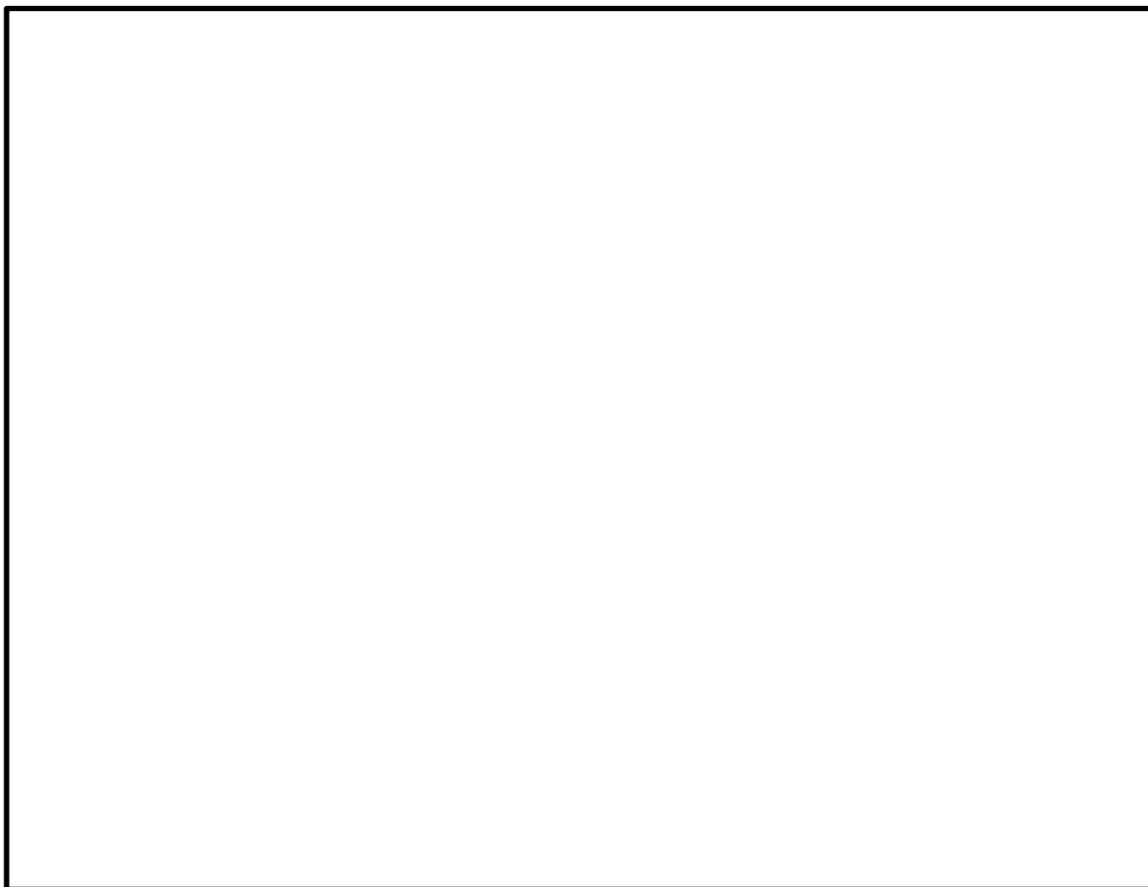


図 2.2-1 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトーラス水受入タンク遮蔽壁 位置図

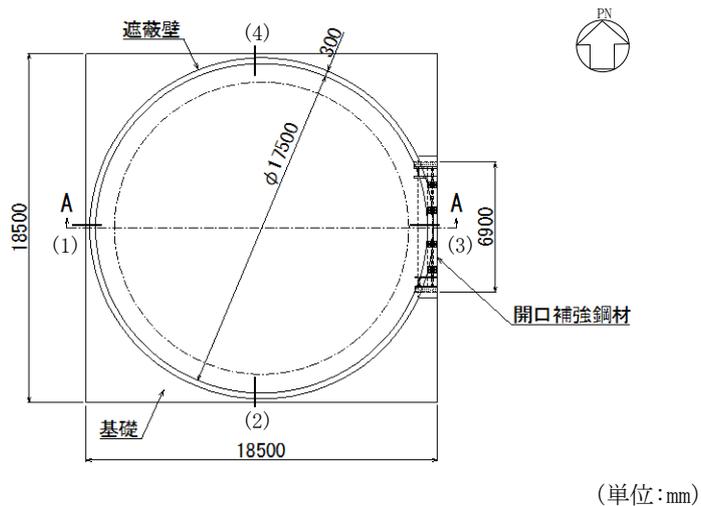


図 2.2-2 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

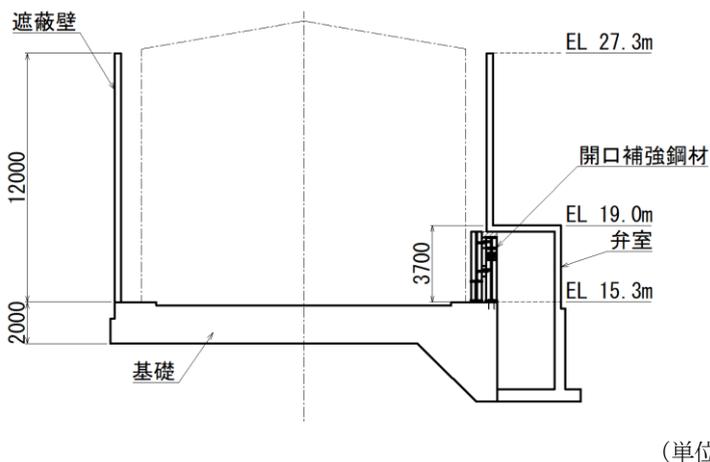


図 2.2-3 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)

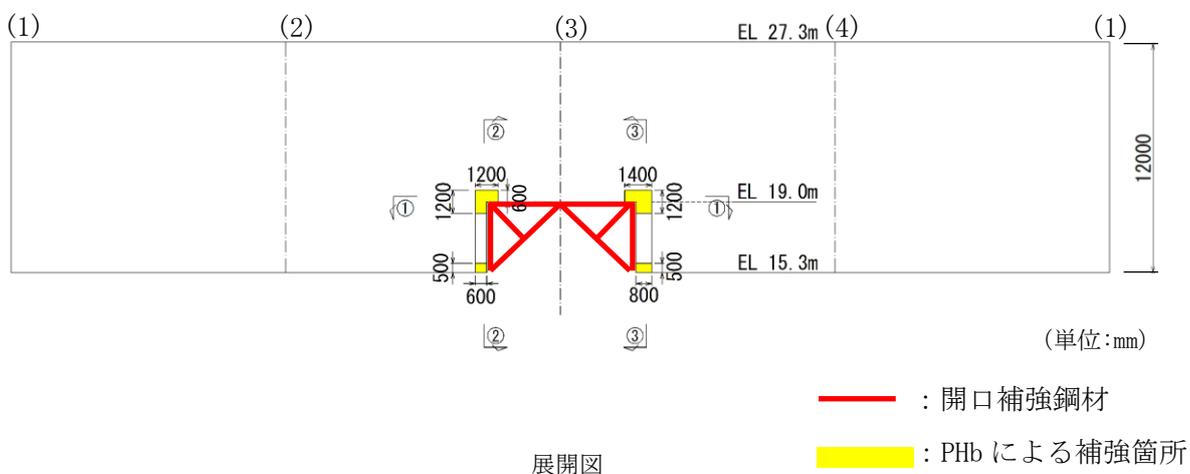
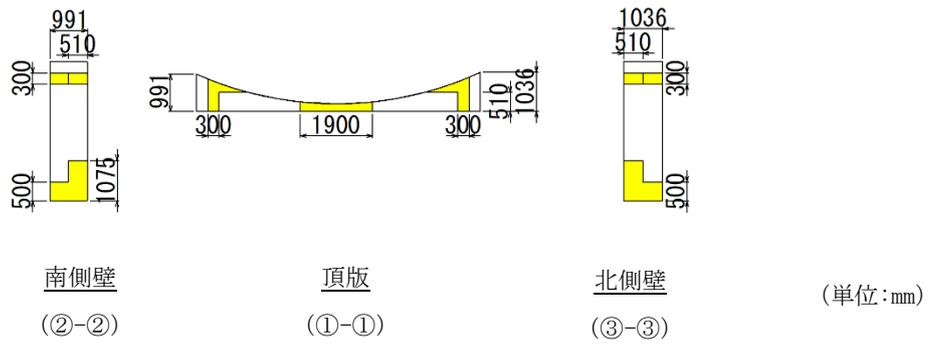


図 2.2-4(1) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所 (展開図)



■ : Phb による補強箇所

図 2.2-4(2) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 (開口部) Phb による耐震補強箇所

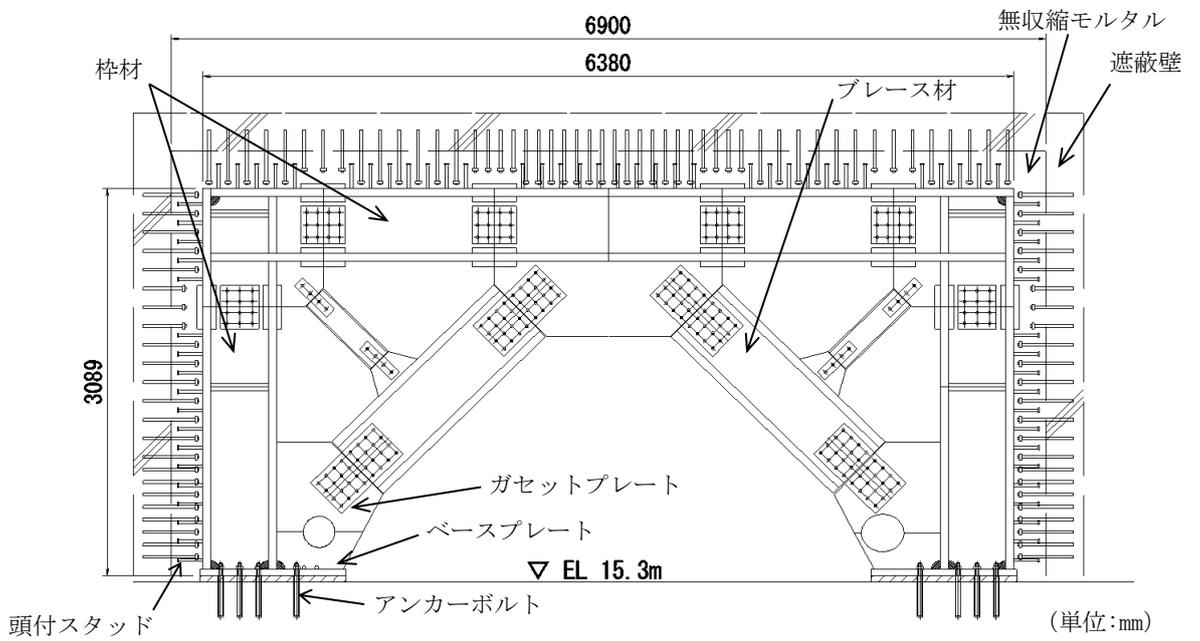


図 2.2-5 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強 (正面図)

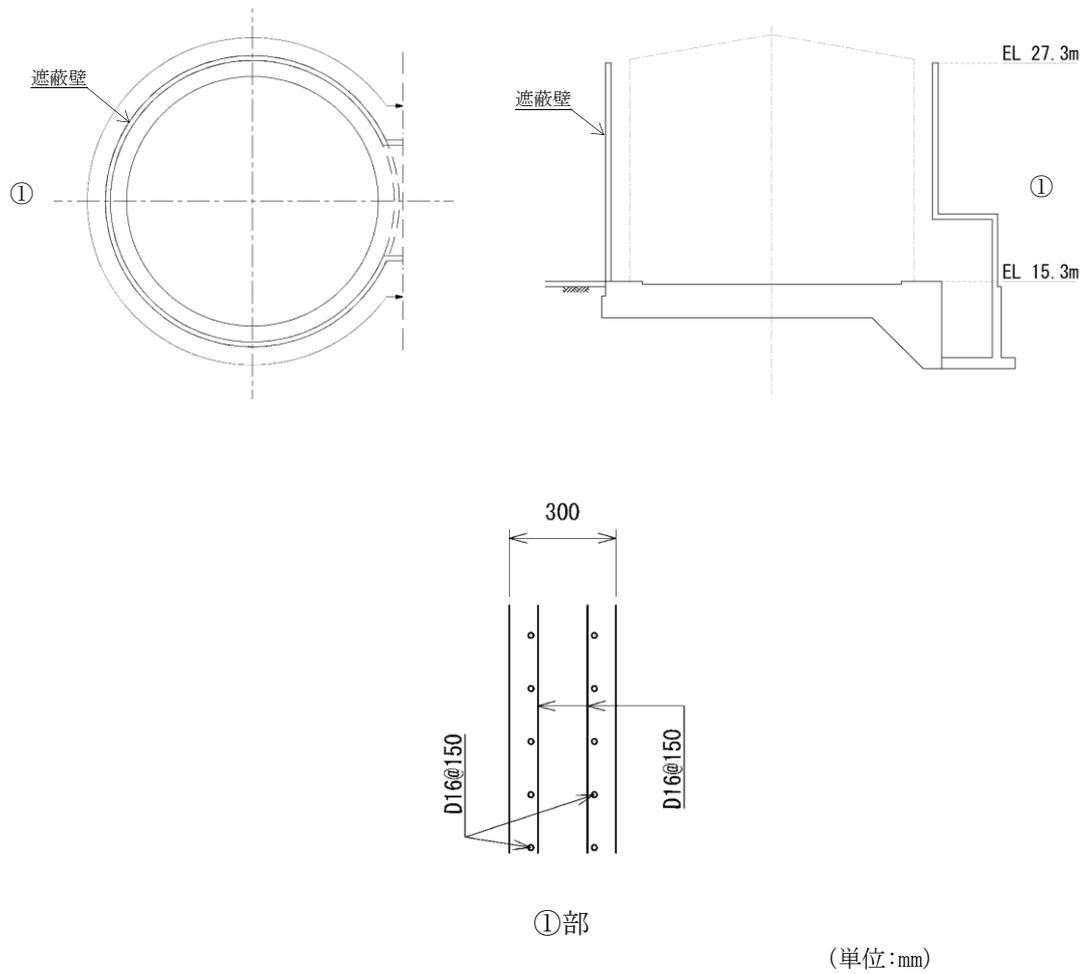


図 2.2-6(1) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図

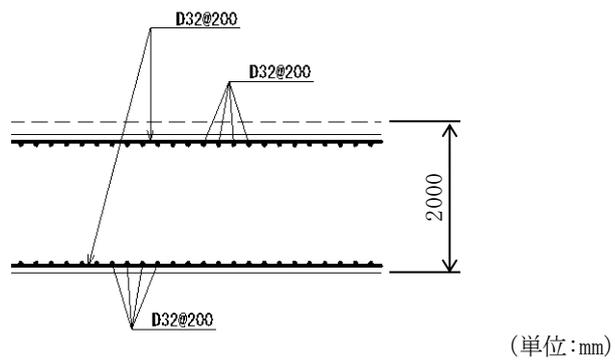
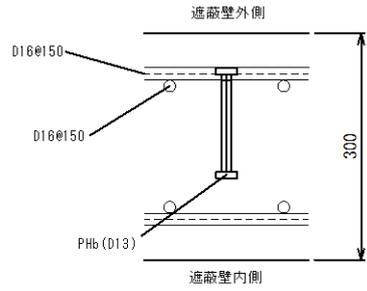
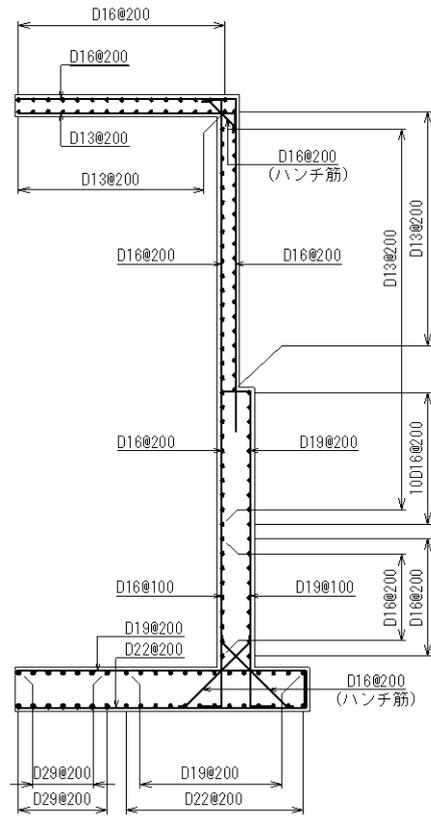


図 2.2-6(2) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (基礎)



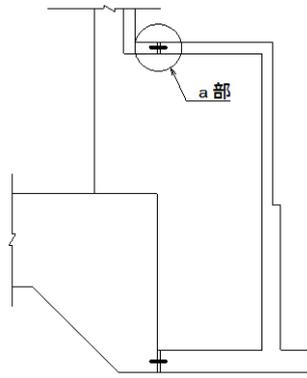
(単位:mm)

図 2.2-6(3) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (PHb 工法)

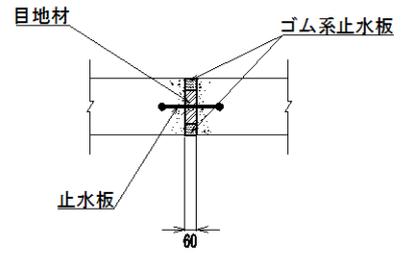


(単位:mm)

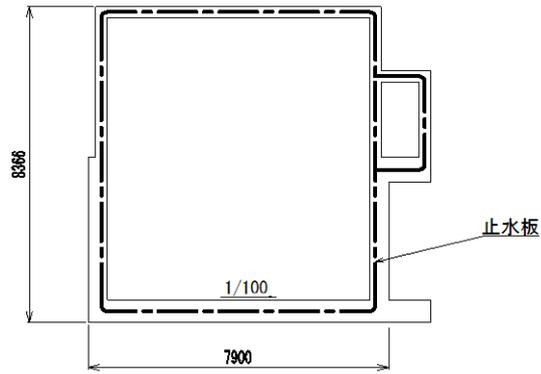
図 2.2-6(4) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (弁室)



(断面図)



(a 部詳細図)



(正面図)

(単位:mm)

図 2.2-7 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 弁室目地概念図

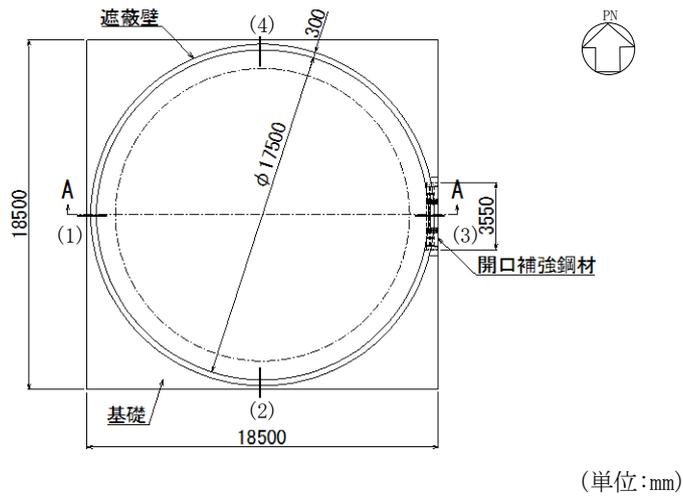


図 2.2-8 トーラス水受入タンク遮蔽壁 平面図

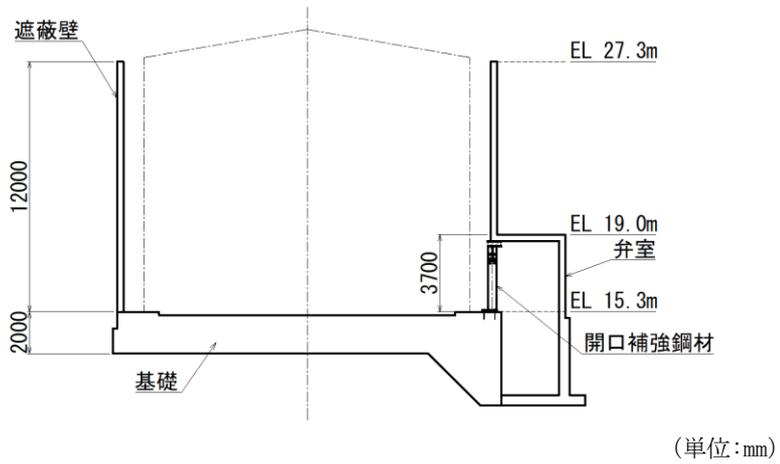


図 2.2-9 トーラス水受入タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)

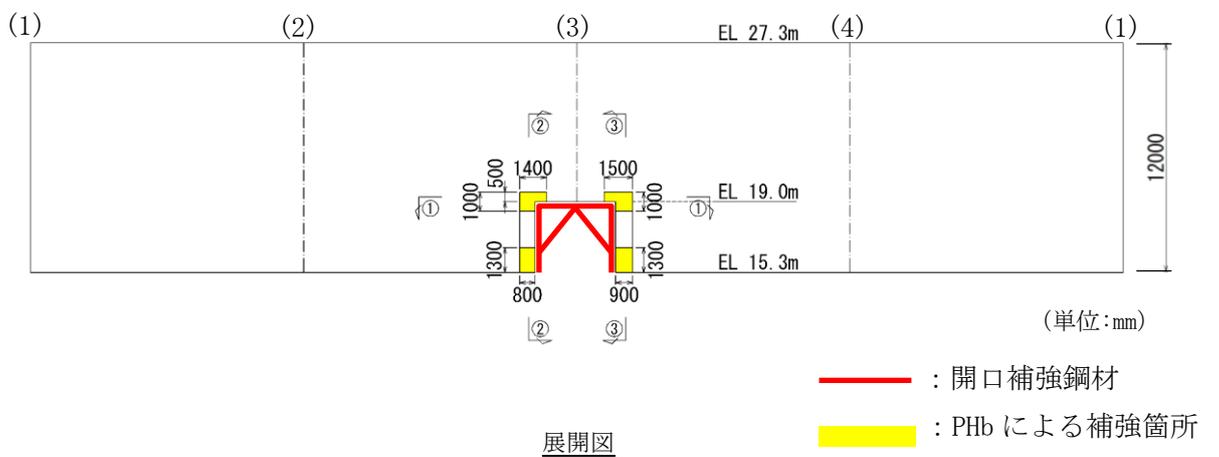


図 2.2-10(1) トーラス水受入タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所

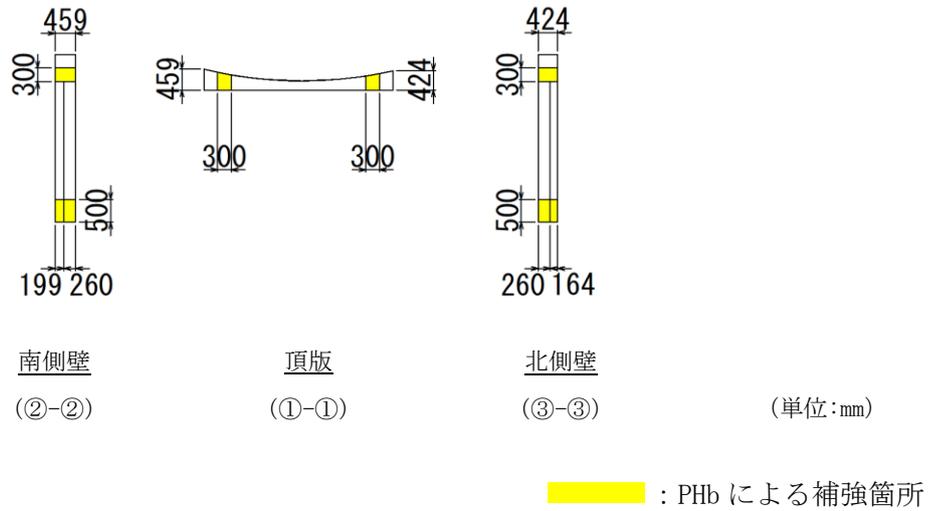


図 2.2-10(2) トーラス水受入タンク遮蔽壁 (開口部) PHb による耐震補強箇所

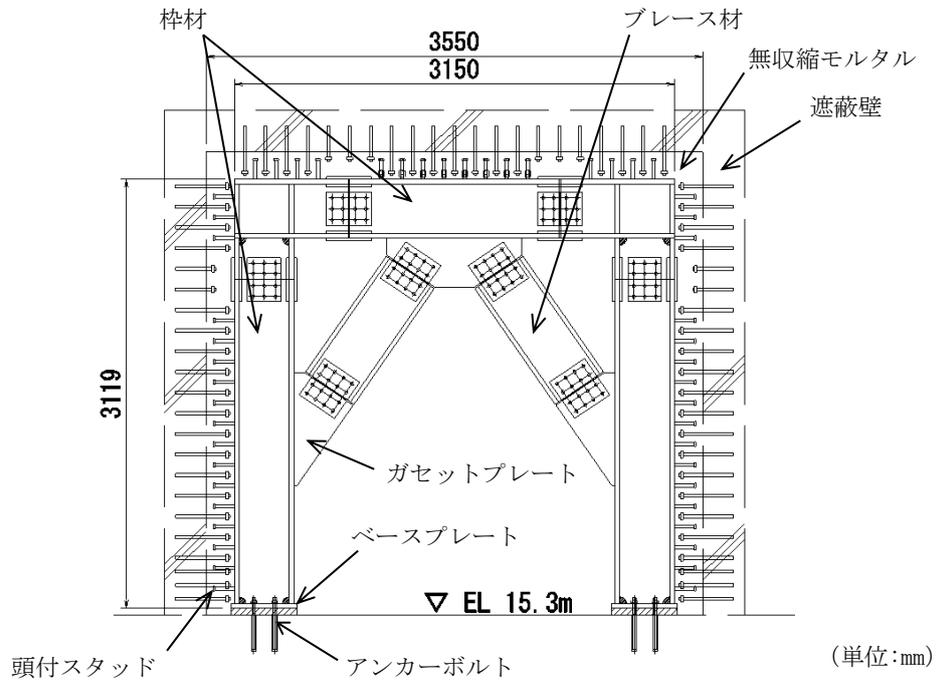
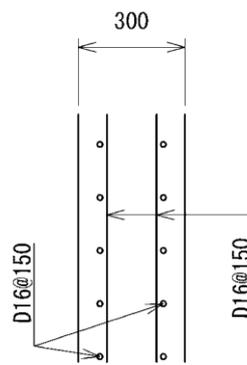
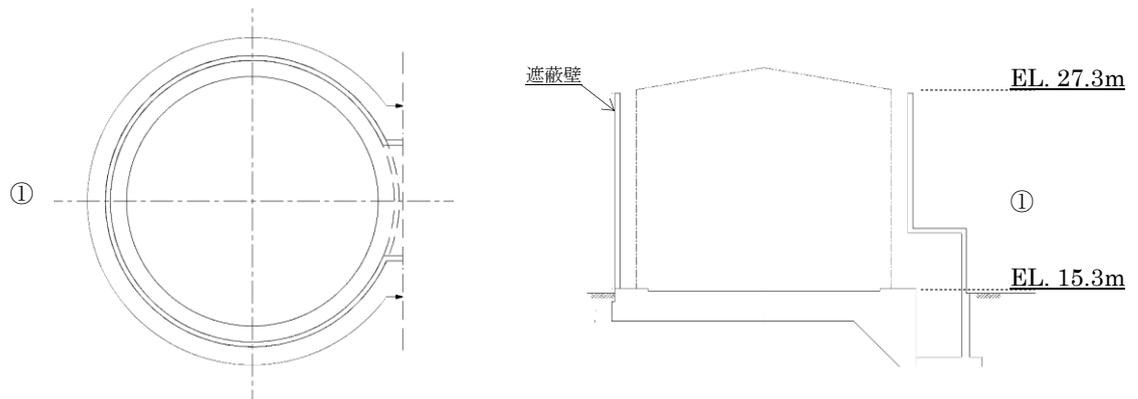


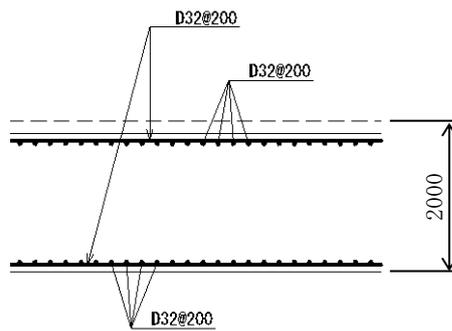
図 2.2-11 トーラス水受入タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強 (正面図)



①部

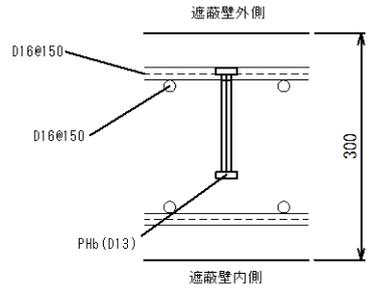
(単位:mm)

図 2.2-12(1) トーラス水受入タンク遮蔽壁 概略配筋図



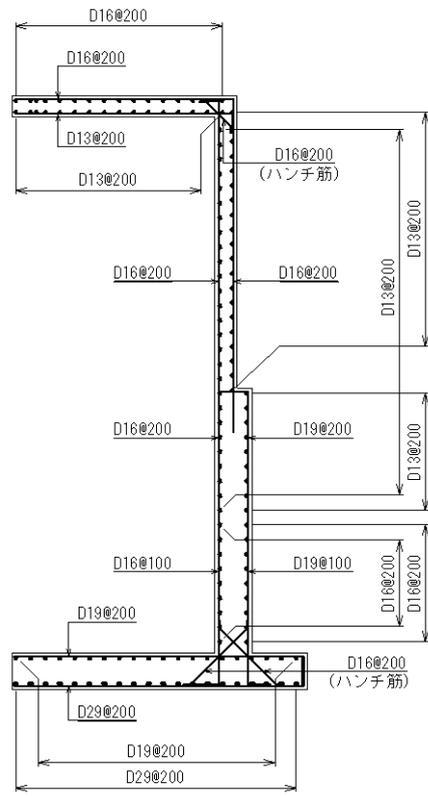
(単位:mm)

図 2.2-12(2) トーラス水受入タンク遮蔽壁 概略配筋図 (基礎)



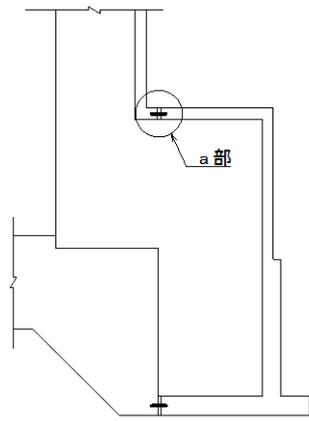
(単位:mm)

図 2.2-12(3) トーラス水受入タンク遮蔽壁 概略配筋図 (PHb 工法)

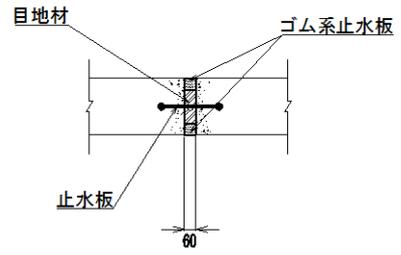


(単位:mm)

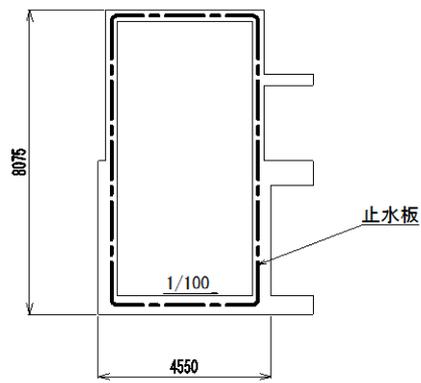
図 2.2-12(4) トーラス水受入タンク遮蔽壁 概略配筋図 (弁室)



(断面図)



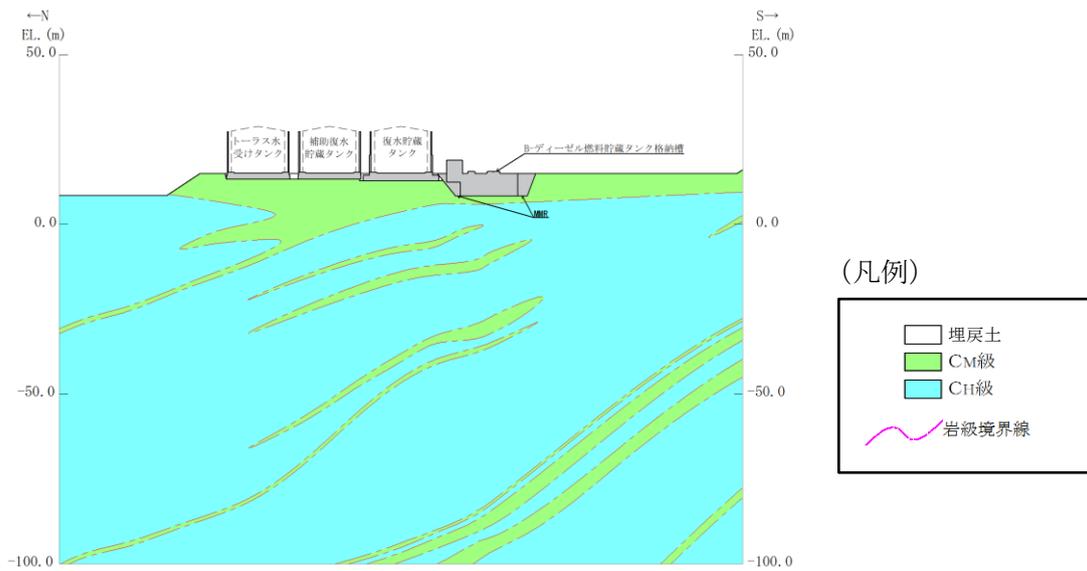
(a 部詳細図)



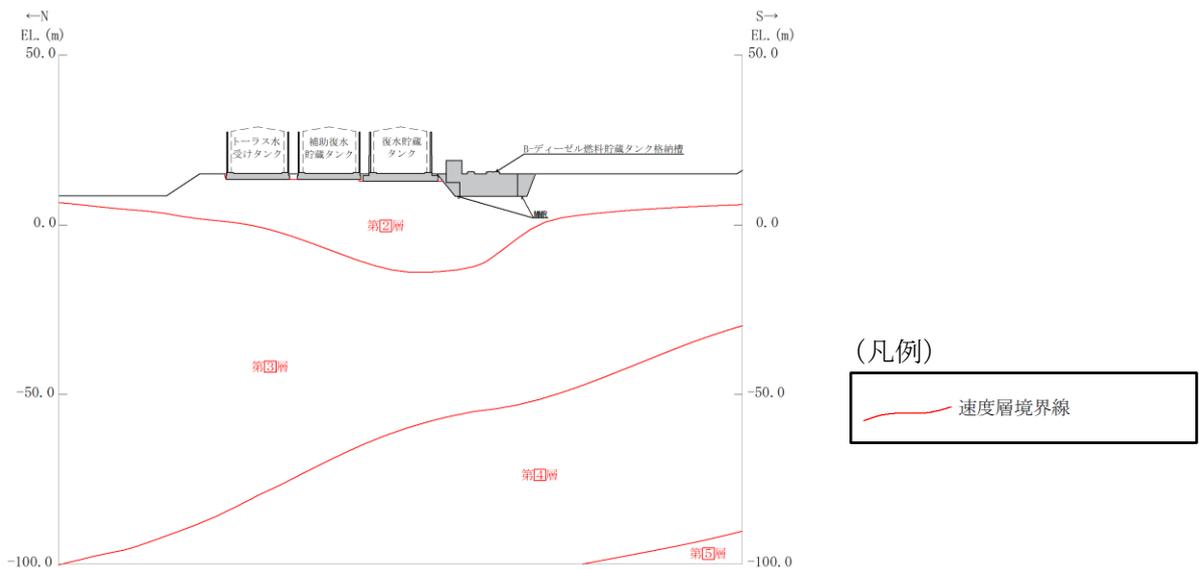
(正面図)

(単位:mm)

図 2.2-13 トーラス水受入タンク遮蔽壁 弁室目地概念図



(岩級図)



(速度層図)

図 2.2-14 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁，トーラス水受入タンク遮蔽壁 地質断面図

2.2.3 評価対象断面の方向

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁は円筒状構造物であり、強軸及び弱軸が明確ではないことから、3次元構造解析モデルを用いた耐震評価を行う。したがって、3次元構造解析モデルに作用させる荷重を適切に考慮することが可能な断面を、構造物中央を通る断面及びその直交方向断面の特徴を踏まえて選定する。

2.2.4 評価対象断面の選定

補助復水貯蔵タンクの周辺他で安全対策工事に伴う掘削を実施中であるため、掘削後の状態を前提とするが、以下の①構造的特徴及び②周辺地質構造を踏まえ、3次元構造解析モデルに作用させる荷重は、南北方向断面の地震応答解析結果に基づき設定する。具体的には、南北方向断面の地震応答解析結果から得られた最大加速度に基づく設計用地震力が、保守的に東西方向からも作用するものとして評価する。

①補助復水貯蔵タンク遮蔽壁は、遮蔽壁外径に対する高さの比が0.7程度と小さいことから、曲げ・軸力径破壊よりもせん断破壊が先行するものと考えられる。遮蔽壁は東側に開口を有することから、南北方向断面の有効せん断断面積は、東西方向断面の8割程度であり、南北方向の荷重に対して、より大きい応答が作用する。有効せん断断面積の比較を、図2.2-15に示す。

②補助復水貯蔵タンク遮蔽壁周辺の地質構造は、東西方向断面が概ね水平成層であることに対し、南北方向断面が北傾斜となる。したがって、南北方向断面の方が、より大きい応答が作用する。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の断面位置図を図2.2-16に、南北方向断面図を図2.2-17に示す。

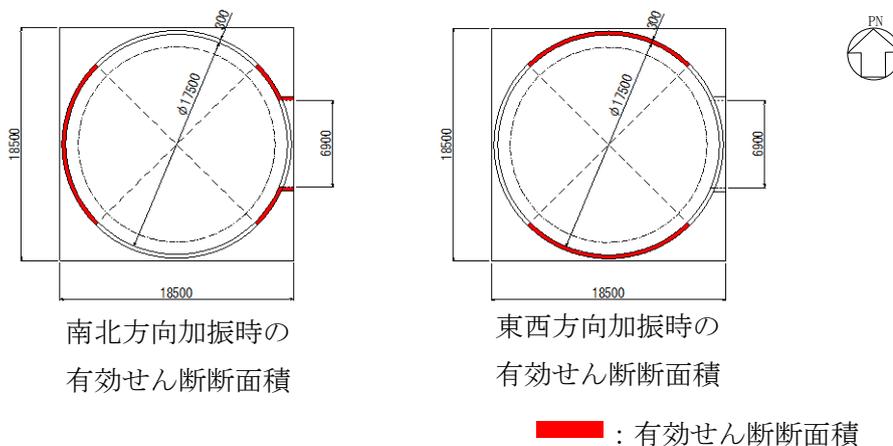


図 2.2-15 有効せん断断面積の比較

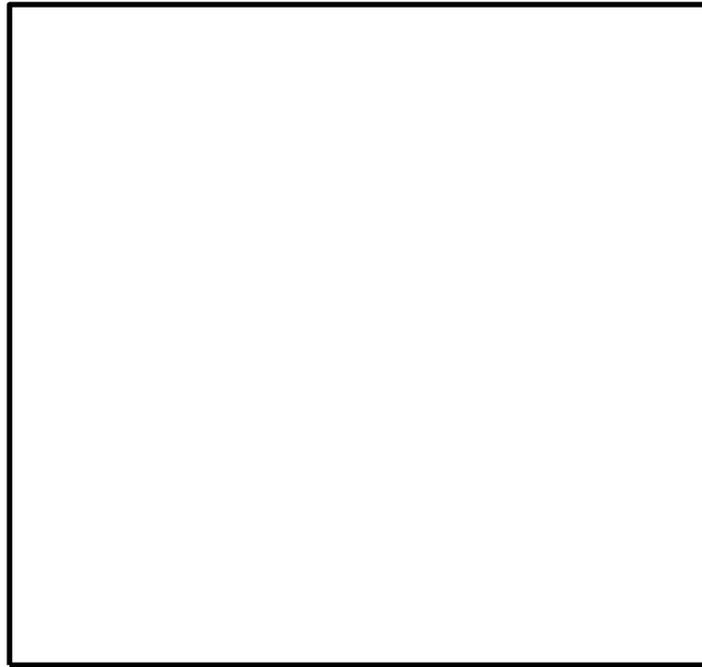


図 2.2-16 断面位置図

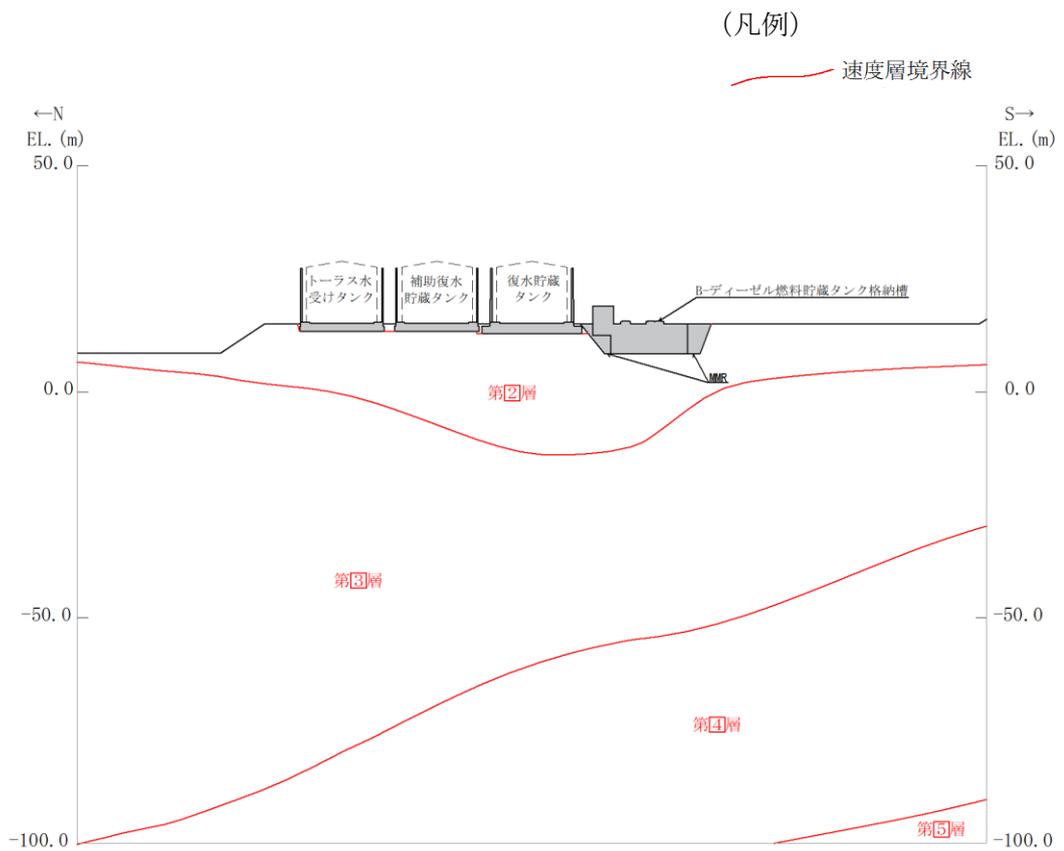


図 2.2-17 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面図 (A-A 断面)

2.2.5 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 2.2-2 に、材料の物性値を表 2.2-3 に示す。

表 2.2-2 使用材料

材料			仕様	
補助復水 貯蔵 タンク 遮蔽壁	コンクリート		設計基準強度 23.5N/mm ²	
	鉄筋		SD345	
	開口補強鋼材	枠材	H-582×510×60×65	SM400A
		ブレース材	H-582×510×60×65	SM400A
			H-200×200×8×12	SS400
		ガセットプレート	PL-60	SM400C
		ベースプレート	PL-50	SM400C
アンカーボルト		D32	SD345	

表 2.2-3 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
補助復水貯蔵 タンク遮蔽壁	2.48×10 ⁴	24.0	0.2
開口補強鋼材	2.00×10 ⁵	77.0	0.3

2.2.6 地盤物性値

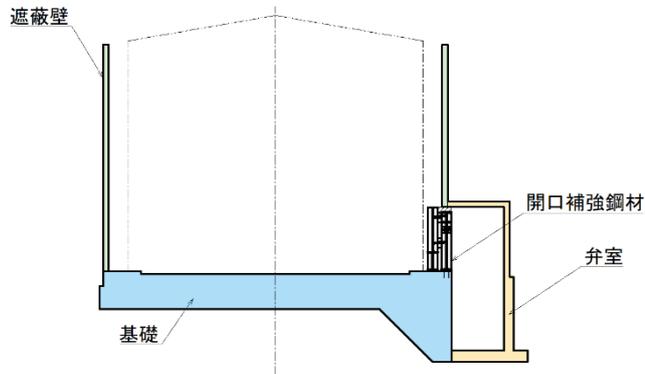
地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 2.2-4 に示す。

表 2.2-4 解析用物性値（地盤）

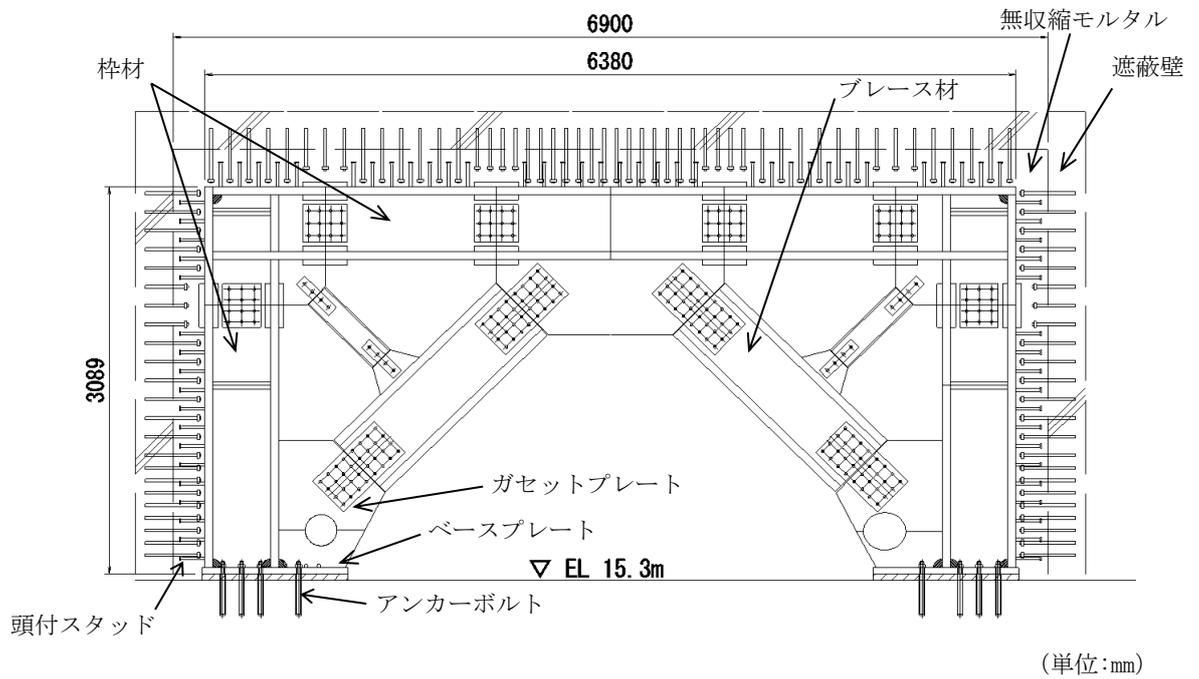
層番号	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
2層	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
3層	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
4層	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
5層	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
6層	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

2.2.7 評価構造物諸元

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象部位を図 2.2-18 に、諸元を表 2.2-5 及び表 2.2-6 に示す。



(遮蔽壁, 基礎, 弁室及び開口補強鋼材)

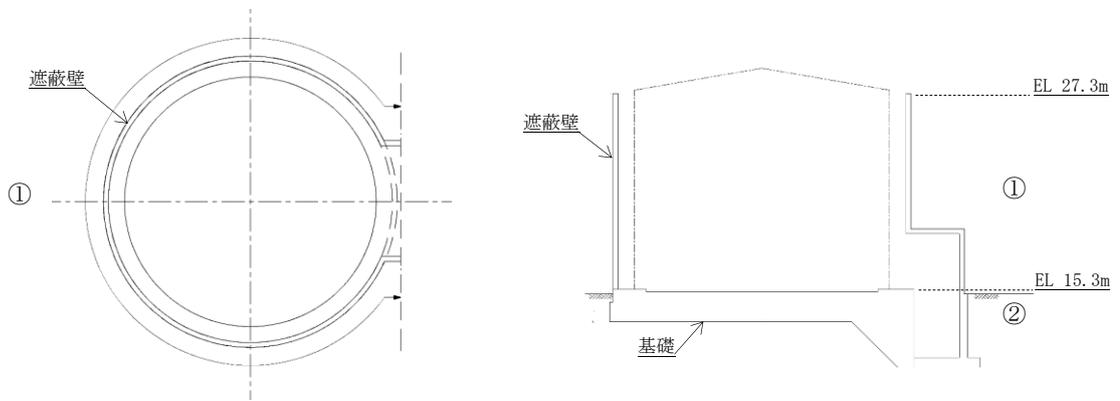


(開口補強鋼材)

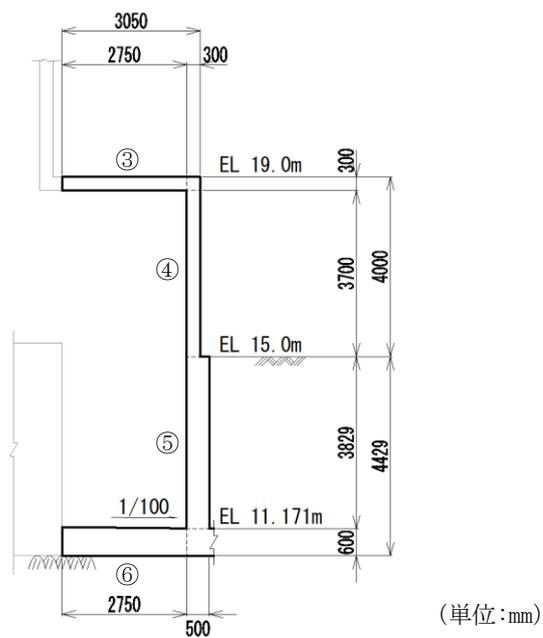
図 2.2-18 評価対象部位

表 2.2-5 評価部位とその仕様（遮蔽壁，基礎，弁室）

部位		仕様		材料	
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 (N/mm ²)	鉄筋
遮蔽壁	①	—	300	23.5	SD345
基礎	②	18500	2000	23.5	SD345
弁室	③	2750	300	23.5	SD345
	④	3700	300	23.5	SD345
	⑤	3829	500	23.5	SD345
	⑥	2750	600	23.5	SD345



(遮蔽壁，基礎)



(弁室)

表 2.2-6 評価部位とその仕様（開口補強鋼材）

	部位	仕様	材料
開口補強鋼材	枠材	H-582×510×60×65	SM400A
	ブレース材	H-582×510×60×65	SM400A
		H-200×200×8×12	SS400
	ガセットプレート	PL-60	SM400C
	ベースプレート	PL-50	SM400C
	アンカーボルト	D32	SD345

2.2.8 耐震評価フロー

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価フローを図 2.2-19 に示す。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び開口補強鋼材の耐震評価は、3次元有限要素法を用いた応力解析を行い照査する。その際入力する応力については2次元地震応答解析の応答値を用いる。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち基礎の耐震評価及び基礎地盤の支持性能照査は、2次元地震応答解析の地震応答値を用いる。

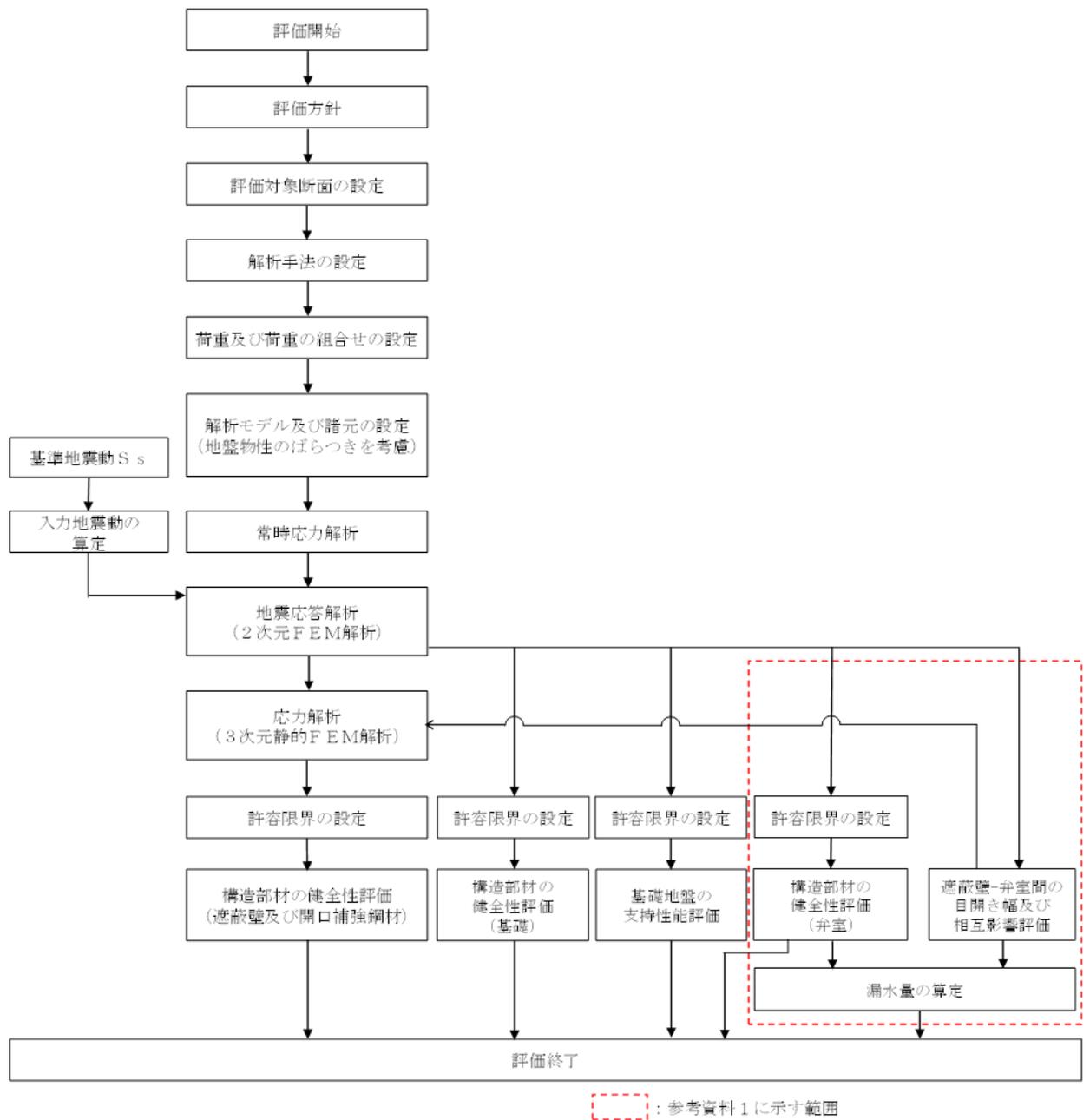


図 2.2-19 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価フロー

2.3 地震応答解析

2.3.1 地震応答解析手法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行う。

解析手法については、図2.3-1に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁は、岩盤上に設置された構造物であり、施設周辺に液状化対象層が存在しないため解析手法の選定フローに基づき「②全応力解析」を選定する。

構造部材については、遮蔽壁は多質点系曲げせん断棒モデルとして、基礎は線形はり要素としてモデル化する。

また、岩盤については、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「TDAPIII」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

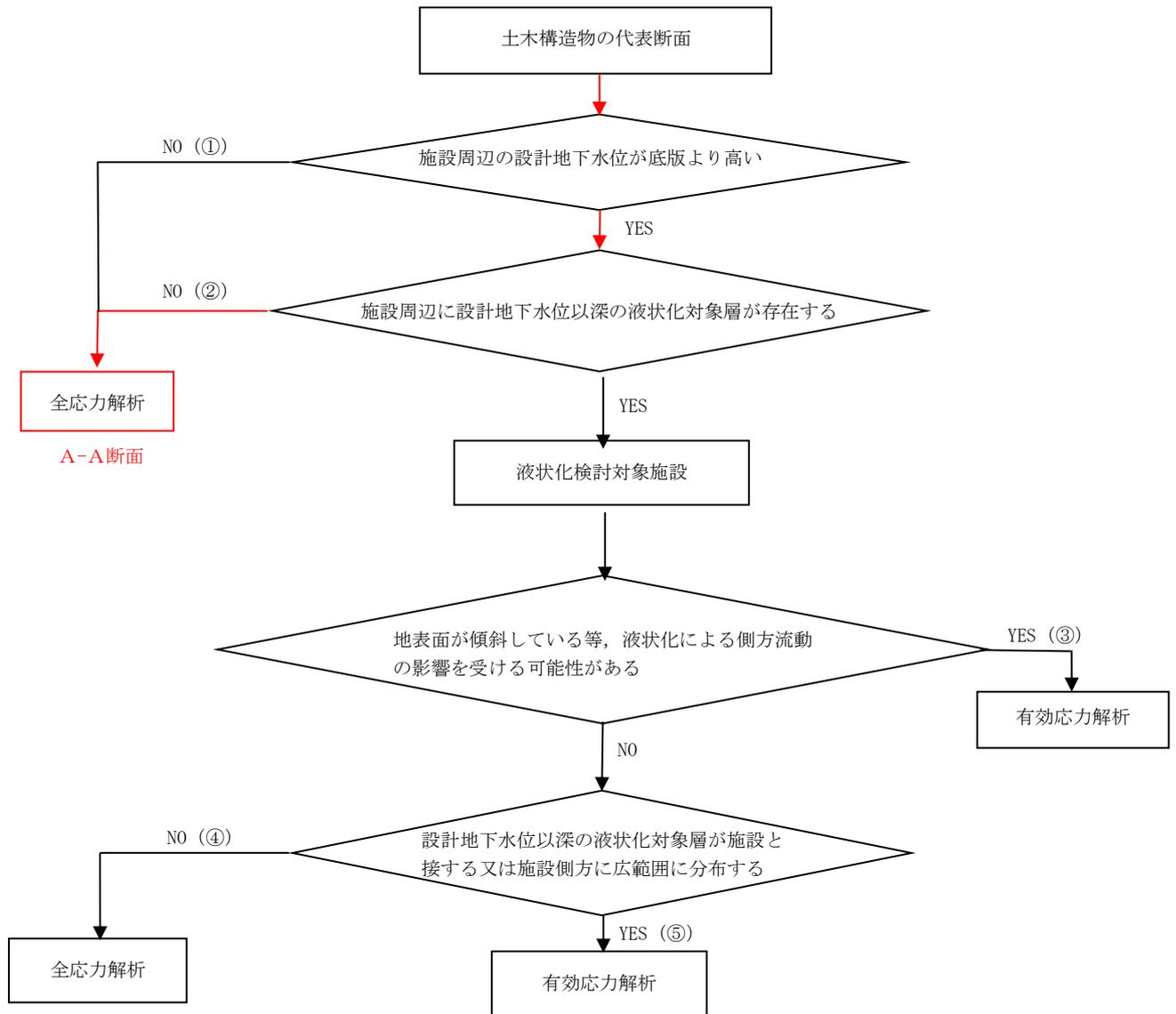


図 2.3-1 解析手法の選定フロー

2.3.2 地震応答解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルのモデル化領域を図 2.3-2 に示す。

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう十分広い領域とする。具体的には、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)」を参考に、モデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物基礎幅の 1.5 倍～2 倍確保している。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年)」に従い、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度まで細分して設定する。

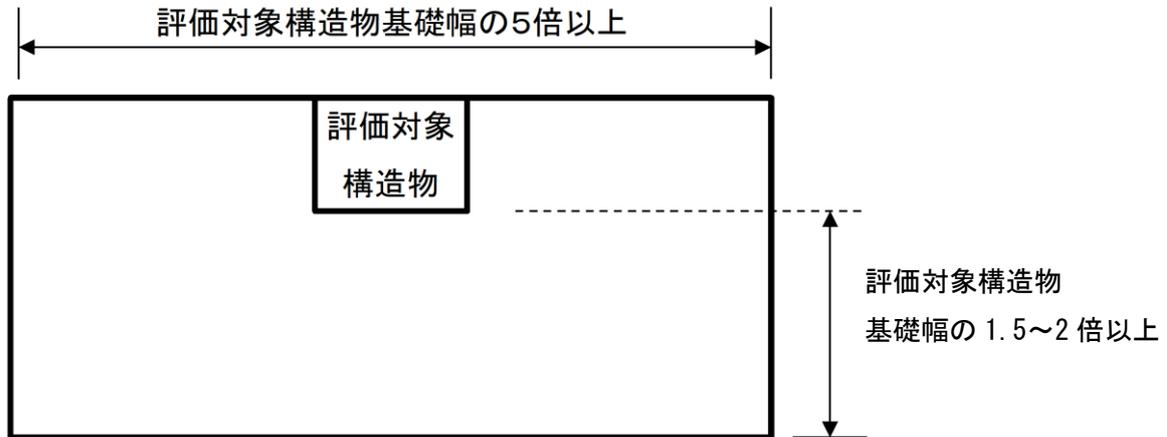


図 2.3-2 モデル化範囲の考え方

(2) 境界条件

a. 固有値解析時

固有値解析を実施する際の境界条件は、境界が構造物を含めた周辺地盤の振動特性に影響を与えないよう設定する。ここで、底面境界は地盤のせん断方向の卓越変形モードを把握するために固定とし、側方境界はフリーとする。

境界条件の概念図を図 2.3-3 に示す。

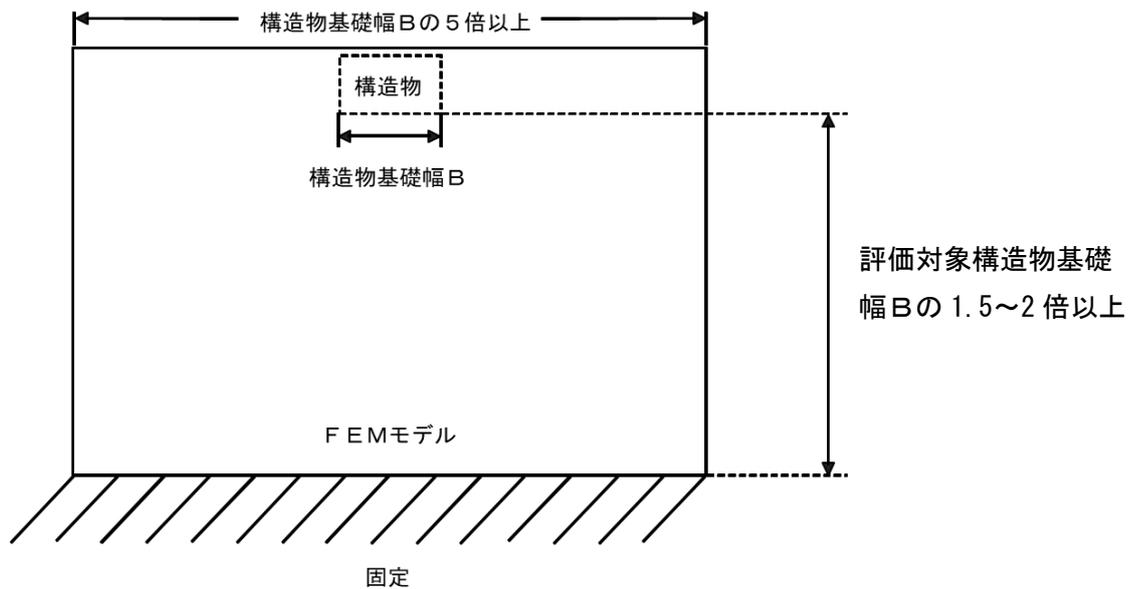


図 2.3-3 固有値解析における境界条件の概念図

b. 常時応力解析時

常時応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時応力を算定するために行う。そこで、常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 2.3-4 に示す。

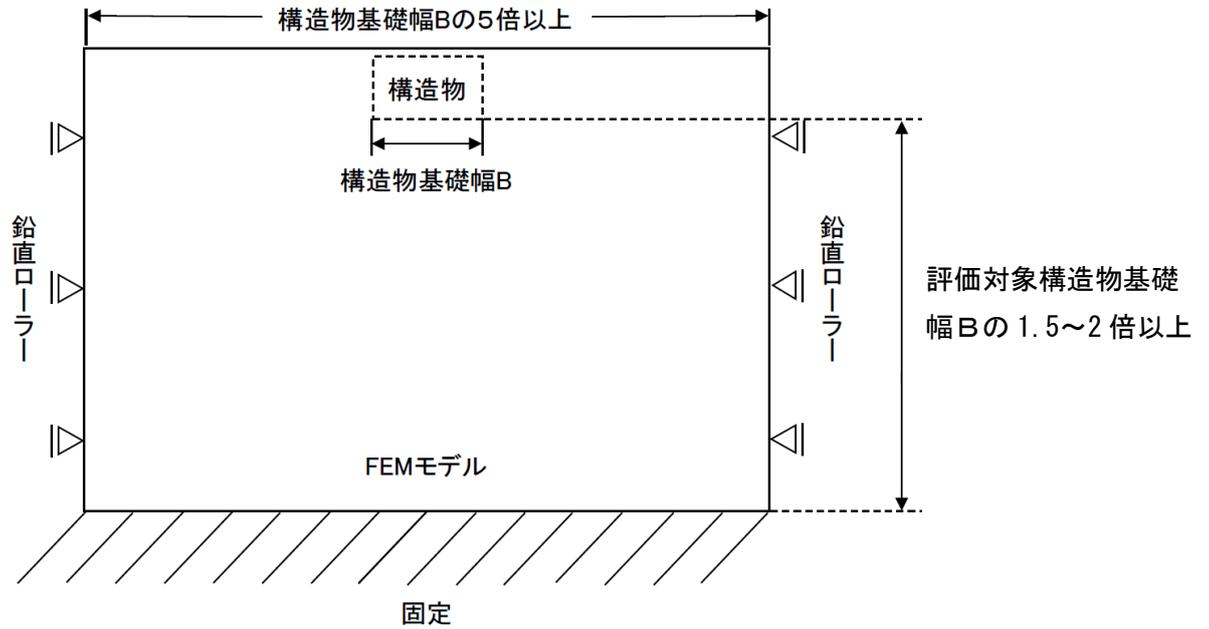


図 2.3-4 常時応力解析における境界条件の概念図

c. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

境界条件の概念図を図 2.3-5 に示す。

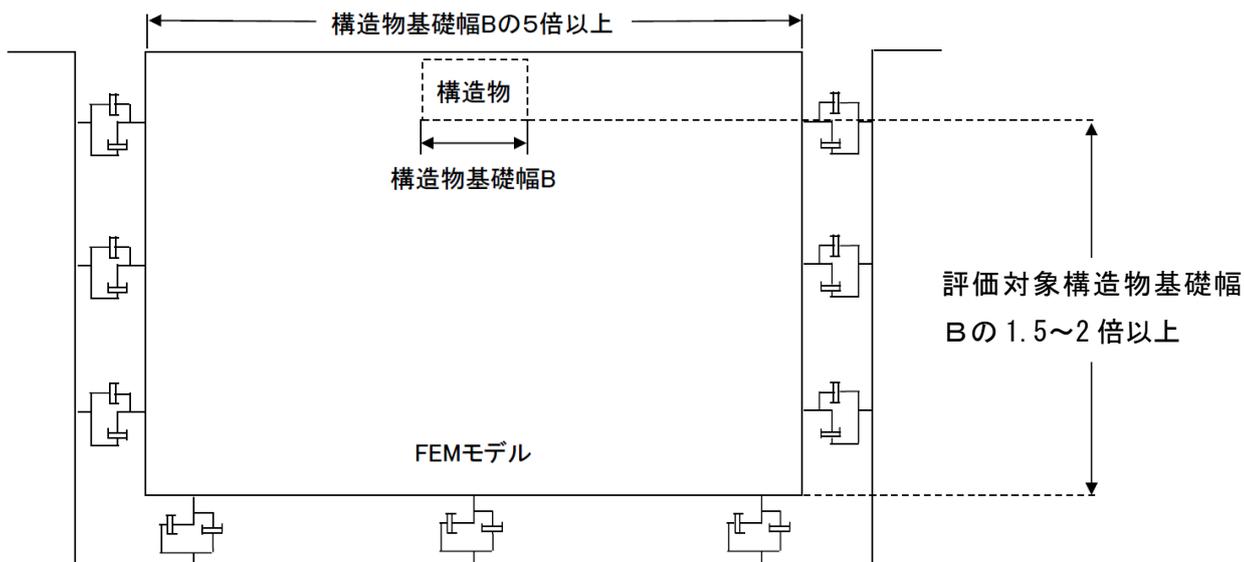


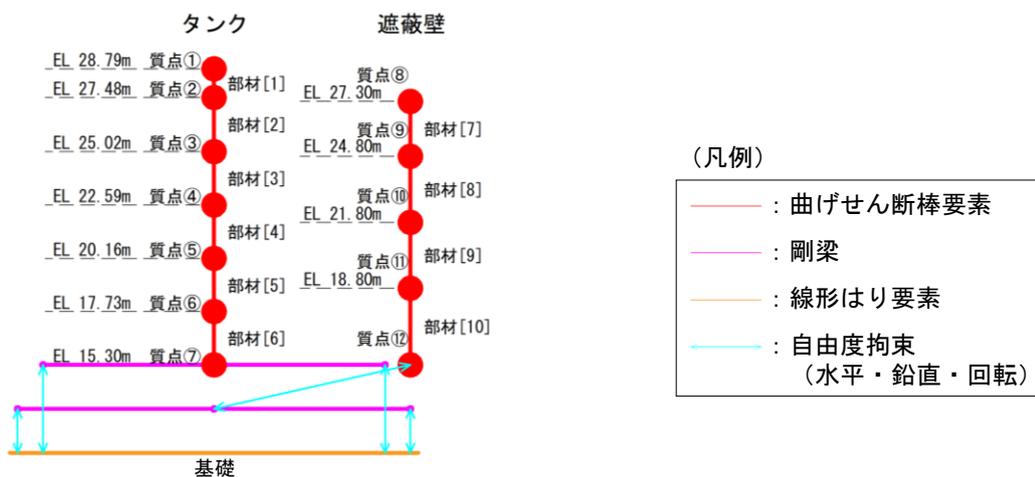
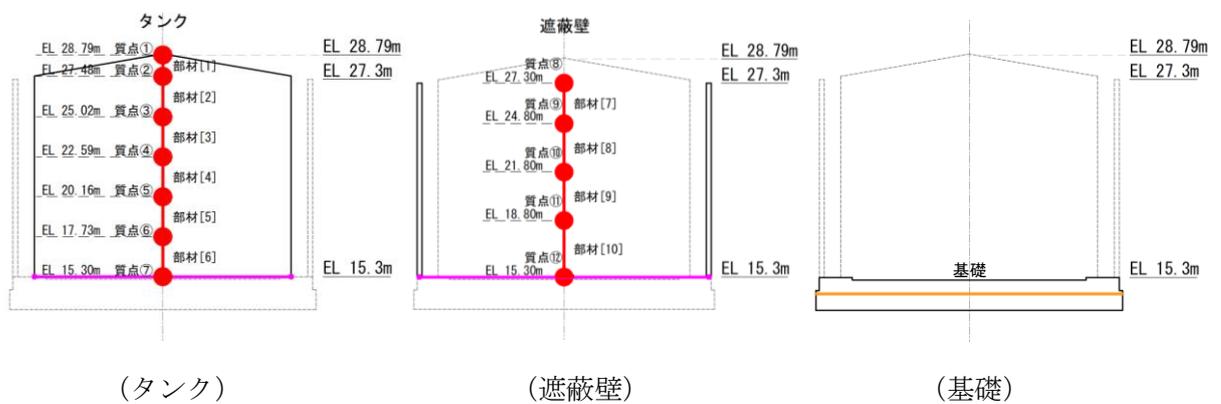
図 2.3-5 地震応答解析における境界条件の概念図

(3) 構造物のモデル化

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材のうち、遮蔽壁については、多質点系のはり質点系モデルとする。基礎については線形はり要素でモデル化する。なお、タンクは補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材では無いが、基礎への影響を検討するため多質点系のはり質点系モデルでモデル化する。

また、タンク及び遮蔽壁の荷重を基礎に適切に伝えるため、タンクについてはタンク底面の直径と同じ長さの剛梁を、遮蔽壁については遮蔽壁下端の直径と同じ長さの剛梁を、それぞれのモデル下端にモデル化する。タンク及び遮蔽壁と基礎の接続位置において、タンク及び遮蔽壁と基礎を自由度拘束することにより、タンク及び遮蔽壁－基礎間を接続する。地震応答解析モデルの概念図を図 2.3-6 に示す。

なお、開口補強鋼材は、重量のみ考慮することとし、保守的に剛性は考慮しない。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデルの諸元を表 2.3-1～表 2.3-5 に示す。



(タンク、遮蔽壁及び基礎 拘束条件)

図 2.3-6 地震応答解析モデル

表 2.3-1 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデル諸元

部 位	水平方向モデル						鉛直方向モデル	
	質点 番号	質点 重量 (kN/m)	回転 慣性 (kN・m ² /m)	要素 番号	せん断有効 断面積 (m ²)	断面 2 次 モーメント (m ⁴)	質点 番号	質点 重量 (kN/m)
タ ン ク	①	12.54	—				①	—
	②	11.30	—	1	0.4400	6.670	②	—
	③	4.590	—	2	0.1950	11.72	③	—
	④	162.8	—	3	0.2320	13.93	④	—
	⑤	164.4	—	4	0.2680	16.13	⑤	—
	⑥	165.7	—	5	0.3110	18.69	⑥	—
	⑦	89.70	—	6	0.3660	22.00	⑦	908.5
遮 蔽 壁	⑧	32.46	—	—	—	—	⑧	32.46
	⑨	61.89	—	7	8.388	664.6	⑨	61.89
	⑩	64.03	—	8	8.388	664.6	⑩	64.03
	⑪	77.80	—	9	8.388	664.6	⑪	77.80
	⑫	37.43	23580	10	6.210	776.3	⑫	37.43

表 2.3-2 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の質点重量の集計範囲

	質点番号・位置	躯体
⑧	<p>質点⑧</p>	
⑨	<p>質点⑨</p>	
⑩	<p>質点⑩</p>	
⑪	<p>質点⑪</p>	
⑫	<p>質点⑫</p>	

表 2.3-3 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の回転慣性重量の集計範囲

	質点番号・位置	躯体
⑫		

表 2.3-4 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の有効せん断断面積

	要素番号・位置	南北方向
7		
8		
9		
10		

表 2.3-5 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の断面 2 次モーメントの有効断面

	要素番号・位置	南北方向
7		
8		
9		
10		

(4) 地盤のモデル化

地盤は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。なお、図 2.3-7 に示すとおり補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の北側の法面は、図 2.3-2 に示すモデル化範囲の考え方より、法肩が補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎幅 (18.5m) の 2 倍程度離れた位置 (約 37m) にあるため、地表面形状が地震応答解析結果に及ぼす影響は小さいものとして、解析モデルの地表面は EL15.0m で均一とした。影響評価結果を参考資料 3 に示す。

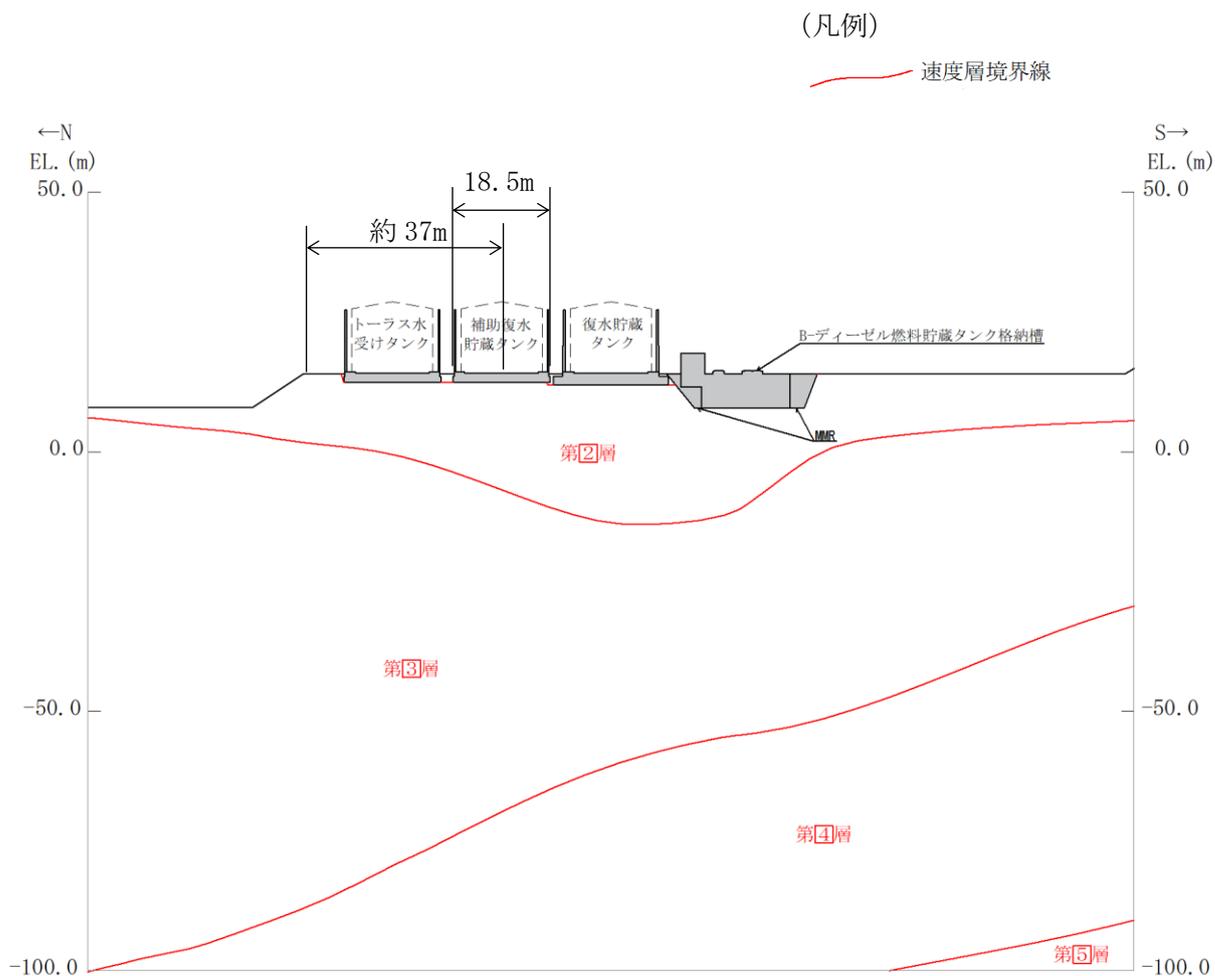


図 2.3-7 地表面形状設定の考え方

(5) 地震応答解析モデル

評価対象地質断面図を踏まえて設定した地震応答解析モデル図を図 2.3-8 に示す。

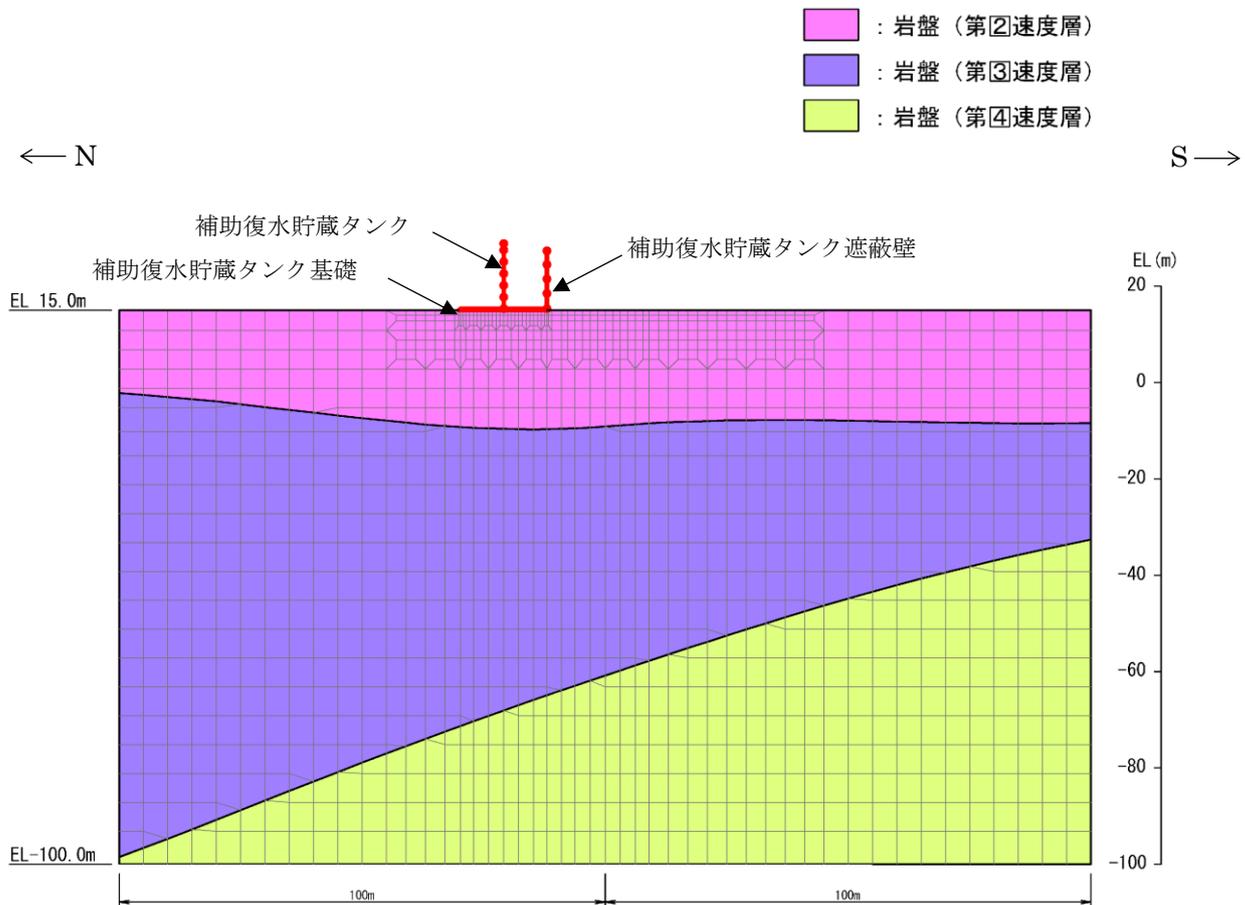


図 2.3-8 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 地震応答解析モデル図

(6) ジョイント要素

地盤と構造物との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の地盤と構造物の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造物の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造物の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき表 2.3-6 と表 2.3-7 のとおりとする。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 τ_f ：せん断強度
 c ：粘着力（＝初期せん断強度 τ_0 ）
 ϕ ：内部摩擦角

表 2.3-6 周辺地盤との境界に用いる強度特性

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	$\tan \phi$ (ϕ ：内部摩擦角 (°))
岩盤 (C _M 級)	0	0.6

表 2.3-7 要素間の粘着力と内部摩擦角

接合条件		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
材料 1	材料 2		
補助復水貯蔵タンク 遮蔽壁 (基礎)	岩盤	材料 2 の c	材料 2 の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、「原子力発電所屋外需要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」を参考に，数値計算上，不安定な挙動を起こさない程度に周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。表 2.3-8 にジョイント要素のばね定数を示す。

また，ジョイント要素の力学特性を図 2.3-9 に，ジョイント要素の配置概念図を図 2.3-10 に示す。

表 2.3-8 ジョイント要素のばね定数

圧縮剛性 k_n (kN/m^3)	せん断剛性 k_s (kN/m^3)
1.0×10^7	1.0×10^7

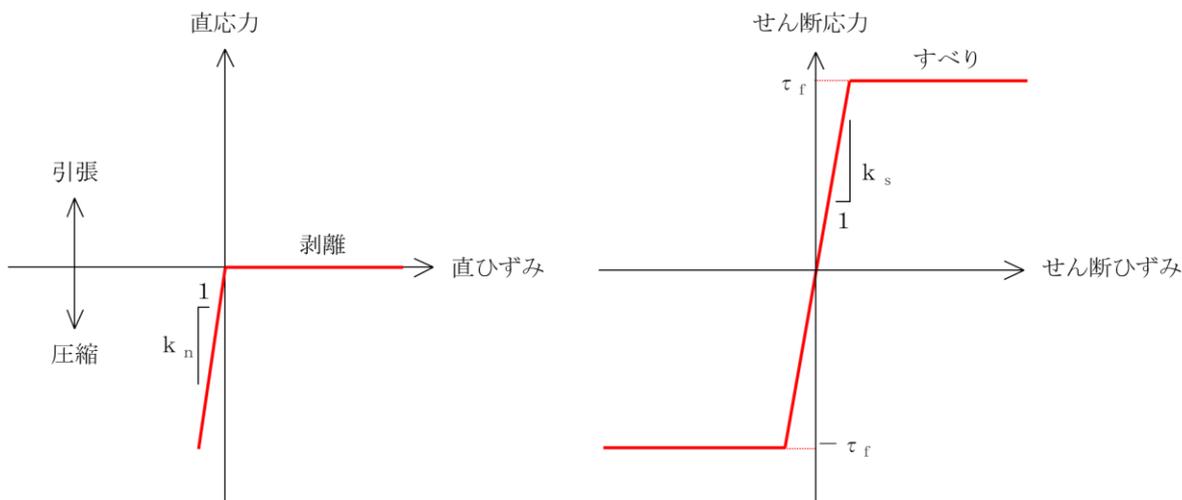


図 2.3-9 ジョイント要素の力学特性

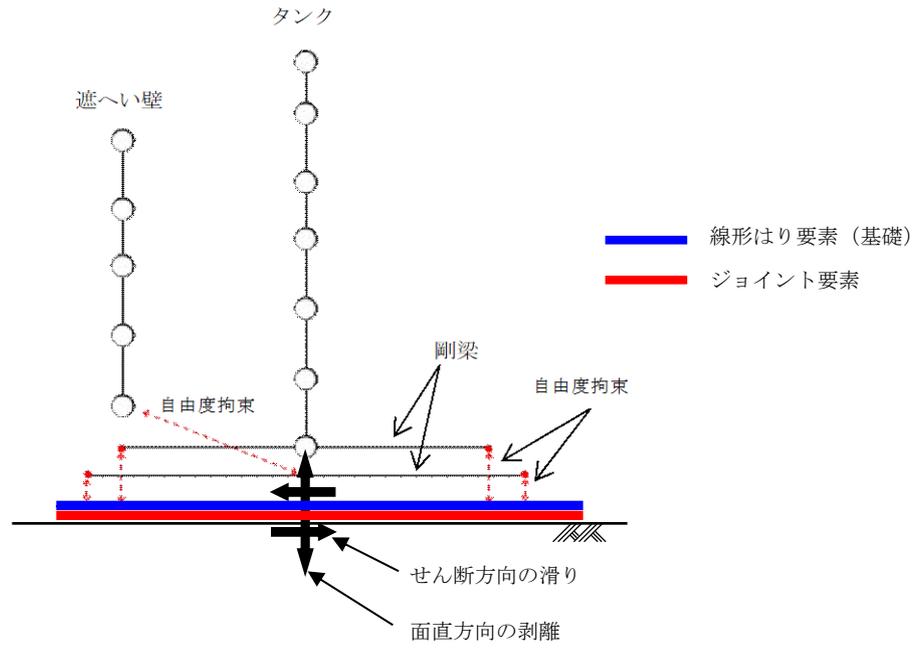


図 2.3-10 ジョイント要素の配置概念図

(7) 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い、設定する。設計地下水位の一覧を表 2.3-9 に、設計地下水位を図 2.3-11 に示す。なお、施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから、地下水の影響は考慮しない。

表 2.3-9 設計地下水位

施設名称	評価対象断面	設計地下水位 (EL m)
補助復水貯蔵タンク遮蔽壁	A-A 断面	15.0

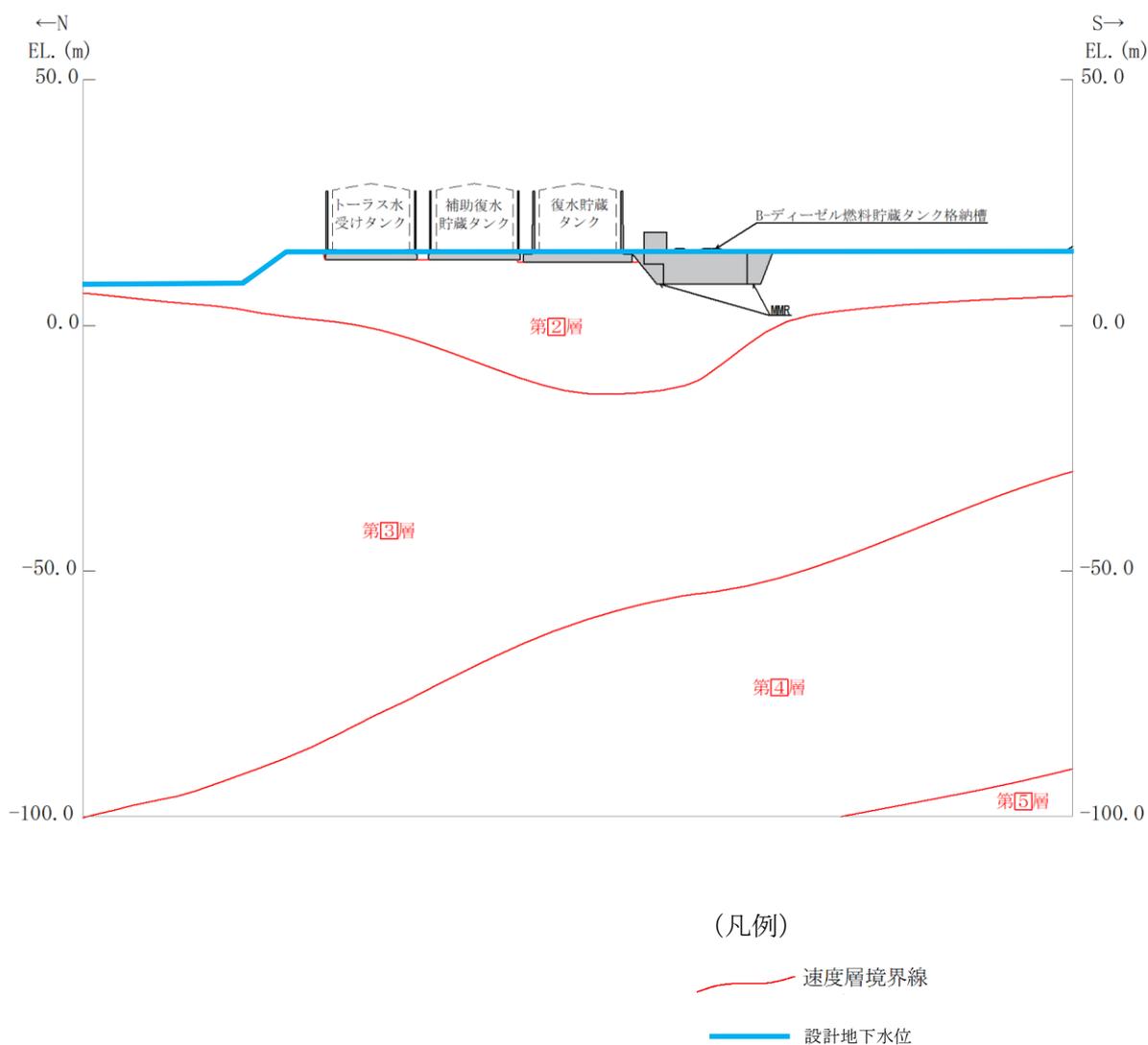


図 2.3-11 設計地下水位 (A-A 断面)

2.3.3 減衰定数

減衰定数は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 地震応答解析における減衰定数」に基づき、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

Rayleigh 減衰の設定フローを図 2.3-12 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

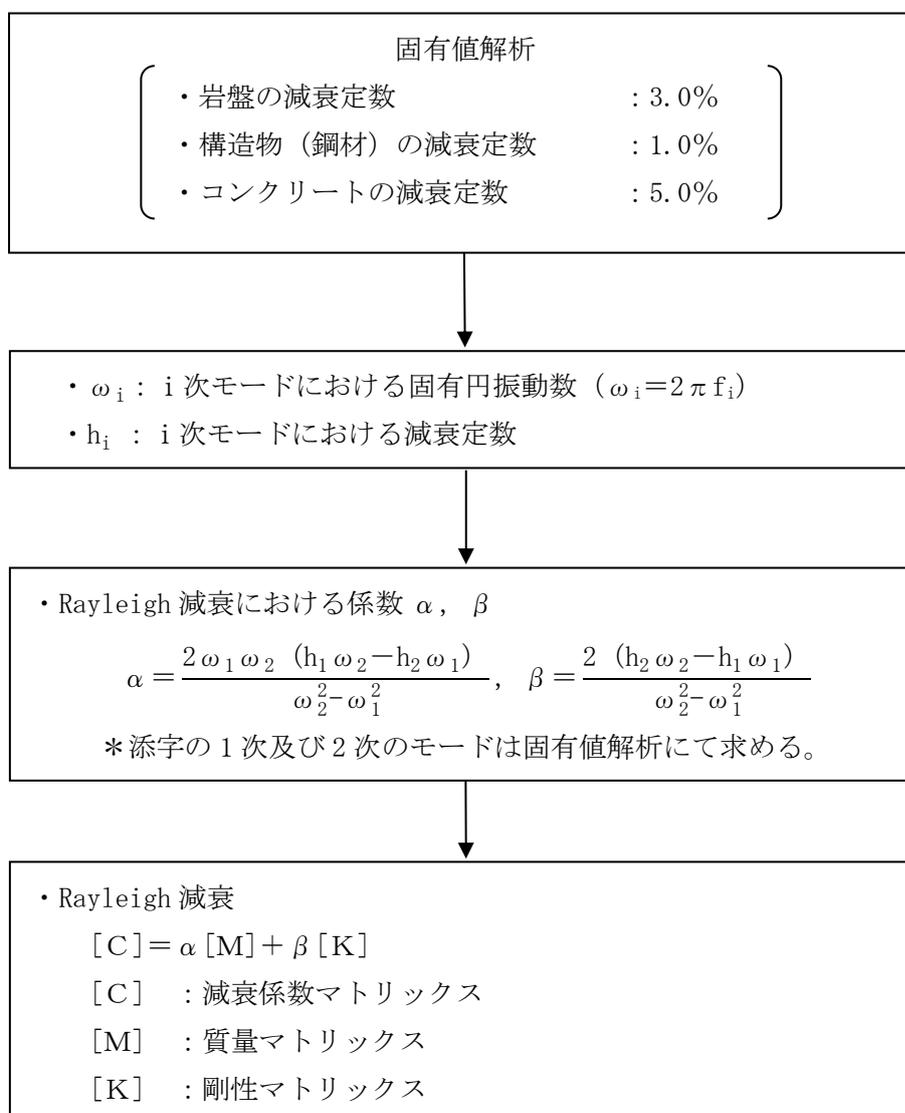


図 2.3-12 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数 α , β は, 低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して, その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して, 固有値解析結果より得られる卓越するモードの減衰と Rayleigh 減衰が一致するように設定する。なお, 卓越するモードは全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定するが, 係数 α , β が負値となる場合は当該モードを選定しない。

A-A断面の固有値解析結果の一覧を表 2.3-10 に, 固有値解析におけるモード図を図 2.3-13 及び図 2.3-14 に, 係数 α , β を表 2.3-11 に, 固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 2.3-15 に示す。

表 2.3-10 固有値解析結果 (A-A断面)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比(%)		刺激係数		備考
		T_x	T_y	β_x	β_y	
1	3.198	70	0	196.19	6.52	1次として採用
2	5.610	1	18	-13.40	100.18	—
3	7.169	9	7	-70.53	60.12	—
4	7.262	2	27	-34.73	-122.29	—
5	8.599	3	1	41.81	-24.37	—
6	8.746	1	1	20.03	-15.37	—
7	9.095	0	18	-13.49	-100.98	—
8	10.243	2	0	-31.00	2.03	—
9	11.350	0	6	-0.35	-57.51	—
10	11.763	0	0	3.71	-3.14	—
150	58.056	0	0	-0.21	0.22	2次として採用 (タンク1次)

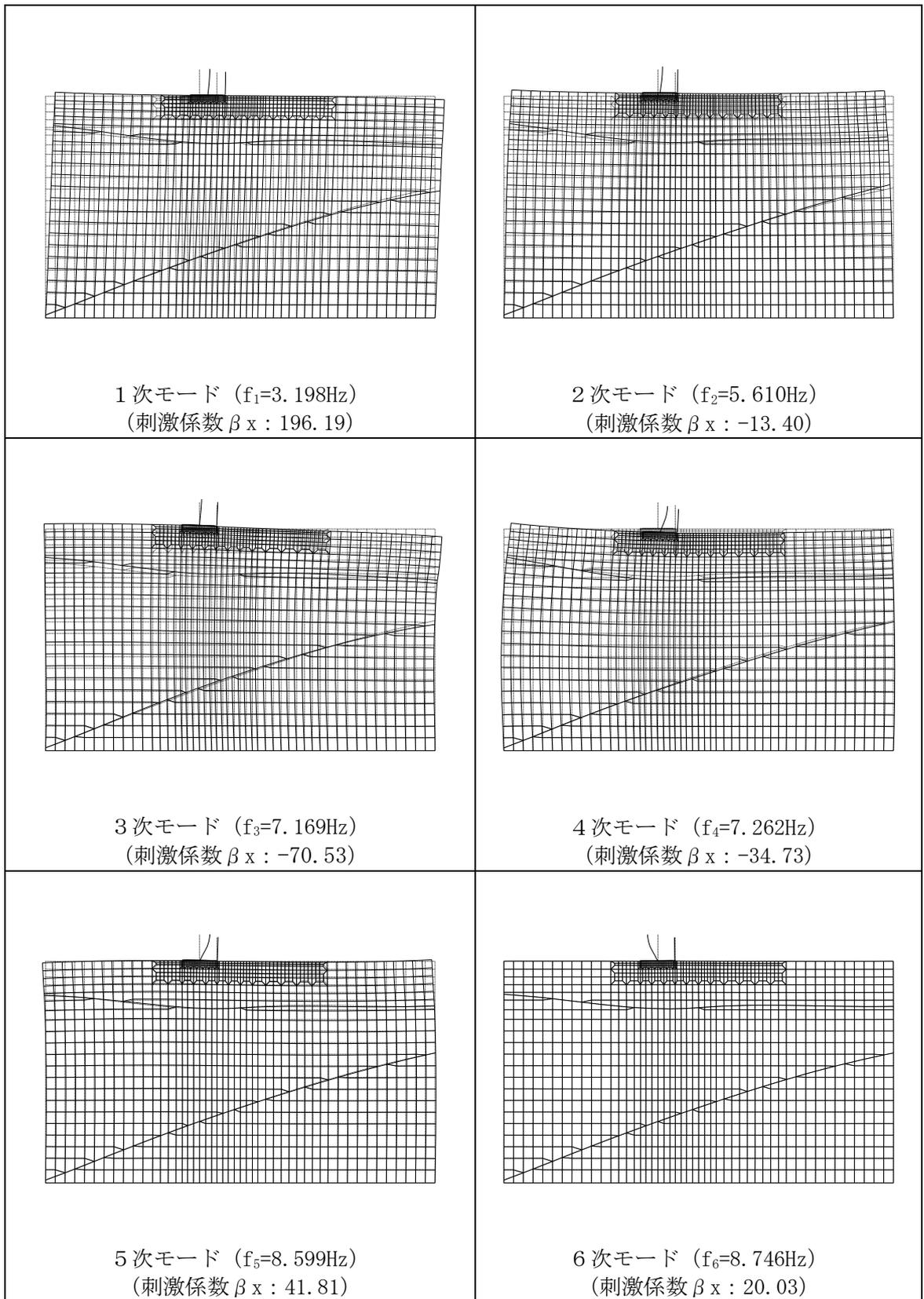


図 2.3-13 固有値解析結果 (モード図)

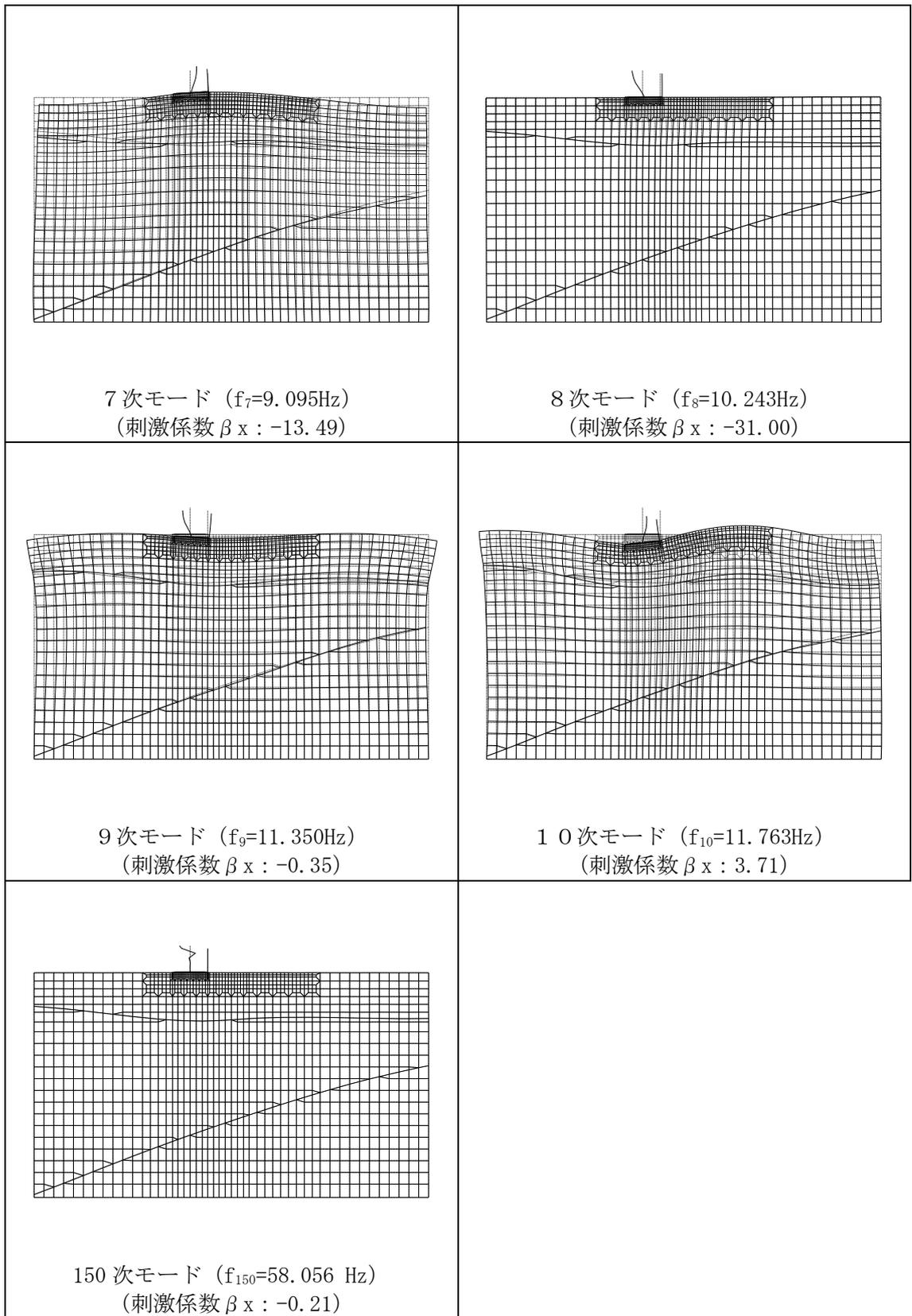


図 2.3-14 固有値解析結果 (モード図)

表 2.3-11 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

解析ケース	α	β
ケース①	1.185	5.2×10^{-5}
ケース②	1.306	5.2×10^{-5}
ケース③	1.046	9.5×10^{-5}

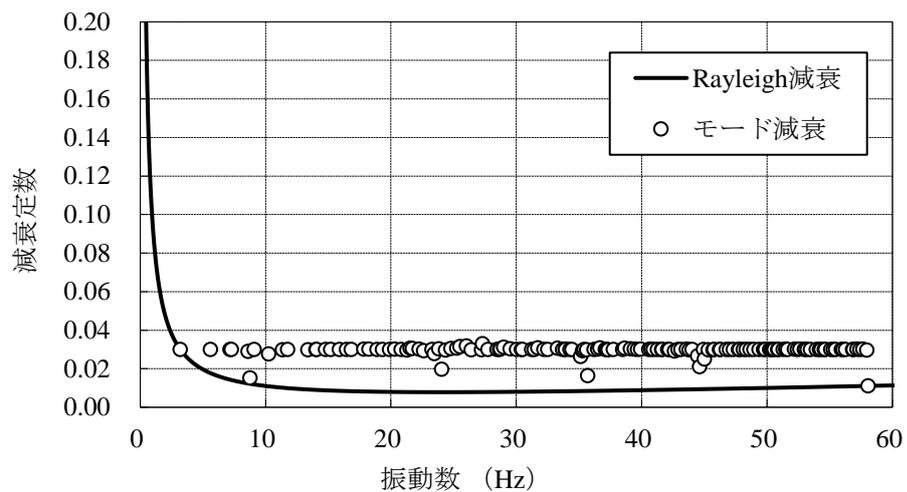


図 2.3-15 設定した Rayleigh 減衰

2.3.4 荷重及び荷重の組合せ

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせ設定する。

荷重の組合せを表 2.3-12 に示す。

表 2.3-12 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法の概要
永久荷重 (常時荷重)	固定荷重	躯体重量	○ 設計図書に基づいて、設定する。
		機器・配管荷重	— 機器・配管荷重を考慮しない。
	積載荷重	静止土圧	○ 常時応力解析により設定する。
		外水圧	○ 地下水位に基づき考慮する。
		積雪荷重	○ 地表面及び構造物上の積雪荷重を考慮する。
		風荷重	○ 構造物に作用する風荷重を考慮する。
		土被り荷重	○ 基礎上の埋戻土の重量に基づいて設定する。
永久上載荷重	○ 基礎上の積載物の重量に基づいて設定する。		
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動	○	

(1) 積雪荷重

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

なお、タンク及び遮蔽壁上の積雪重量は質点重量として与え、基礎上の積雪重量は基礎上の載荷面積に応じた積雪重量を基礎幅 (18.5m) で割り戻した単位奥行当たりの重量として与える。地表面及び補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎に与える積雪荷重を図 2.3-16 に示す。

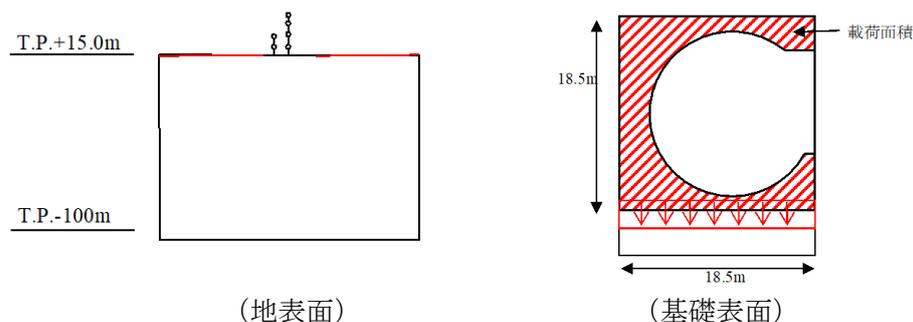


図 2.3-16 積雪荷重概念図

(2) 風荷重

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

(3) 土被り荷重

基礎にある埋戻土を構造物上に付加重量として考慮する。土被り荷重概念図を図 2.3-18 に示す。

埋戻土は，遮蔽壁外径外側に，単位体積重量 20.7kN/m³，層厚 0.5m とし，荷重面積に応じた重量 (10.35kN/m²) を基礎幅で割り戻した単位奥行当たりの重量として与える。

(4) 永久積載荷重

基礎にある積載物を構造物上に付加重量として考慮する。永久積載荷重概念図を図 2.3-17 に示す。

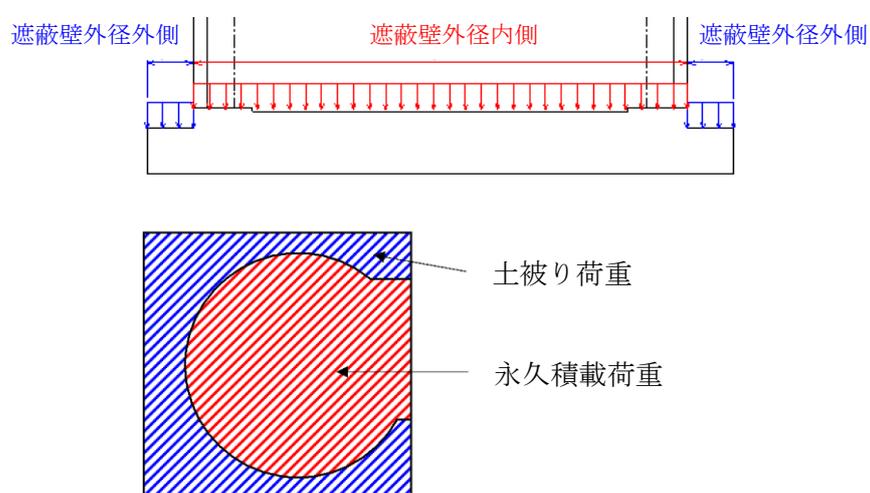


図 2.3-17 土被り荷重及び永久積載荷重 概念図

2.3.5 地震応答解析の解析ケース

(1) 耐震評価における解析ケース

a. 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の周辺には岩盤が分布していることから、岩盤の動せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

ばらつきを考慮する物性値は地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし、平均値を基本ケース（表 2.3-13 に示すケース①）とした場合に加えて、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差（ σ ）のケース（表 2.3-13 に示すケース②及び③）について確認を行う。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

表 2.3-13 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価における解析ケース

解析ケース	解析手法	地盤物性
		岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	全応力解析	平均値
ケース②	全応力解析	平均値 + 1σ
ケース③	全応力解析	平均値 - 1σ

b. 耐震評価における解析ケースの組合せ

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・底部におけるそれぞれの応答加速度が最も大きくなる地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。

耐震評価における解析ケースを表 2.3-14 に示す。応力解析を行う地震動の選定フローを図 2.3-18 に示す。

表 2.3-14 耐震計価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1σ		平均値-1σ	
地震動 (位相)	S s - D	++*	○				
	S s - F 1	++*	○				
	S s - F 2	++*	○				
	S s - N 1	++*	○				
	S s - N 2 (NS)	++*	○				
	S s - N 2 (EW)	++*	○				

基準地震動 S s (6 波) の全 6 ケースに対し、ケース① (基本ケース) を実施し、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・底部における応答加速度が最も大きくなる地震動において、ケース②及び③を実施する。

注記* : 地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

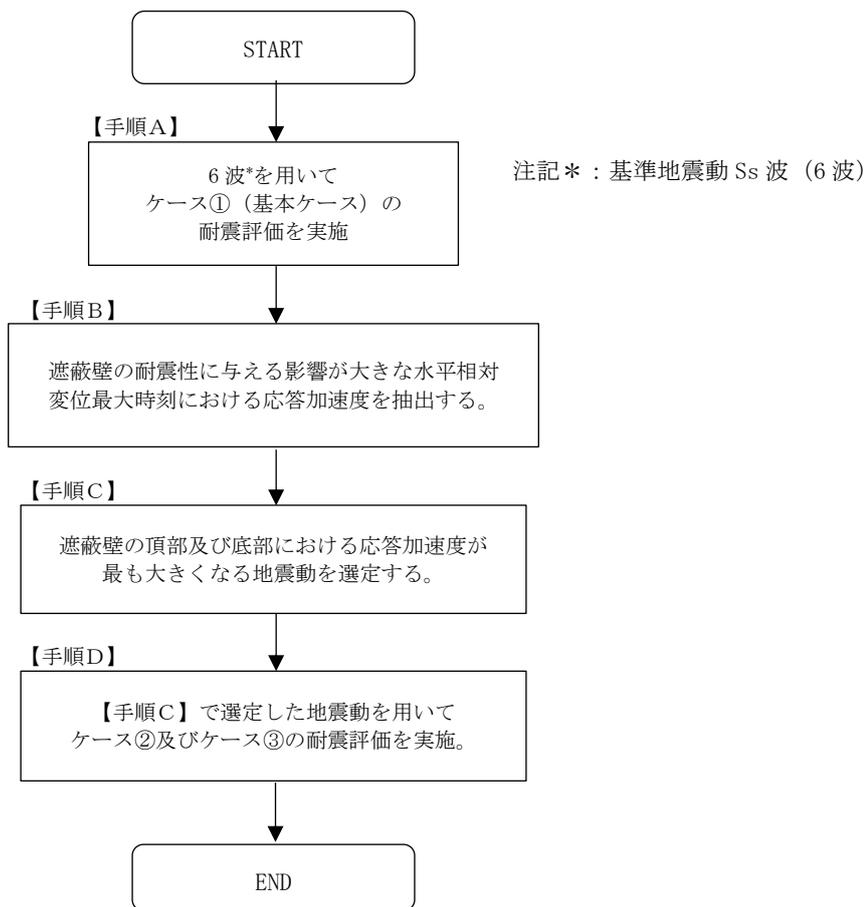


図 2.3-18 追加解析を実施する地震動の選定フロー

2.3.6 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 2.3-19 に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

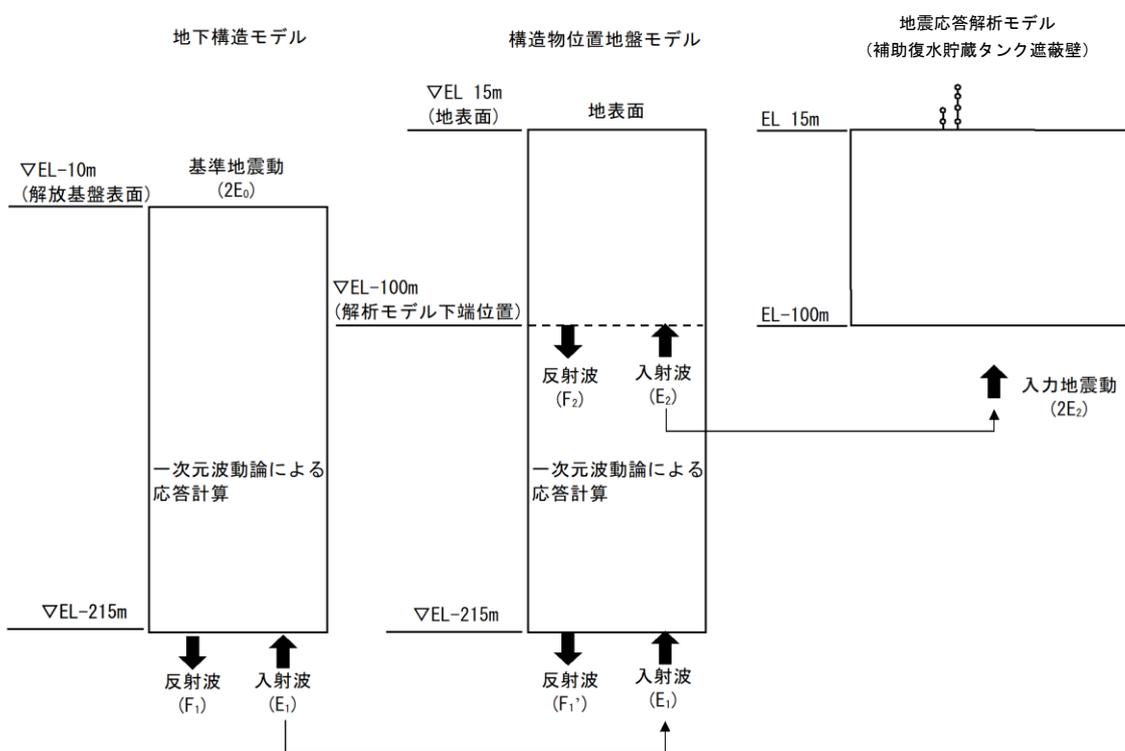
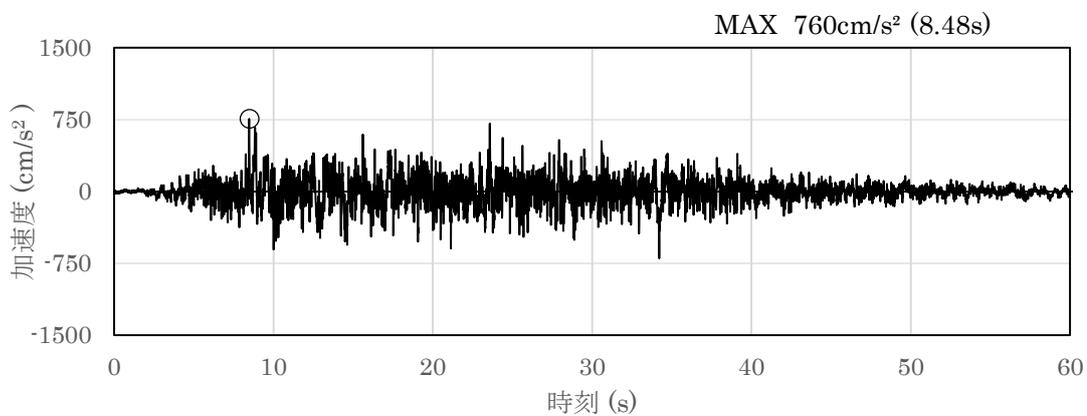


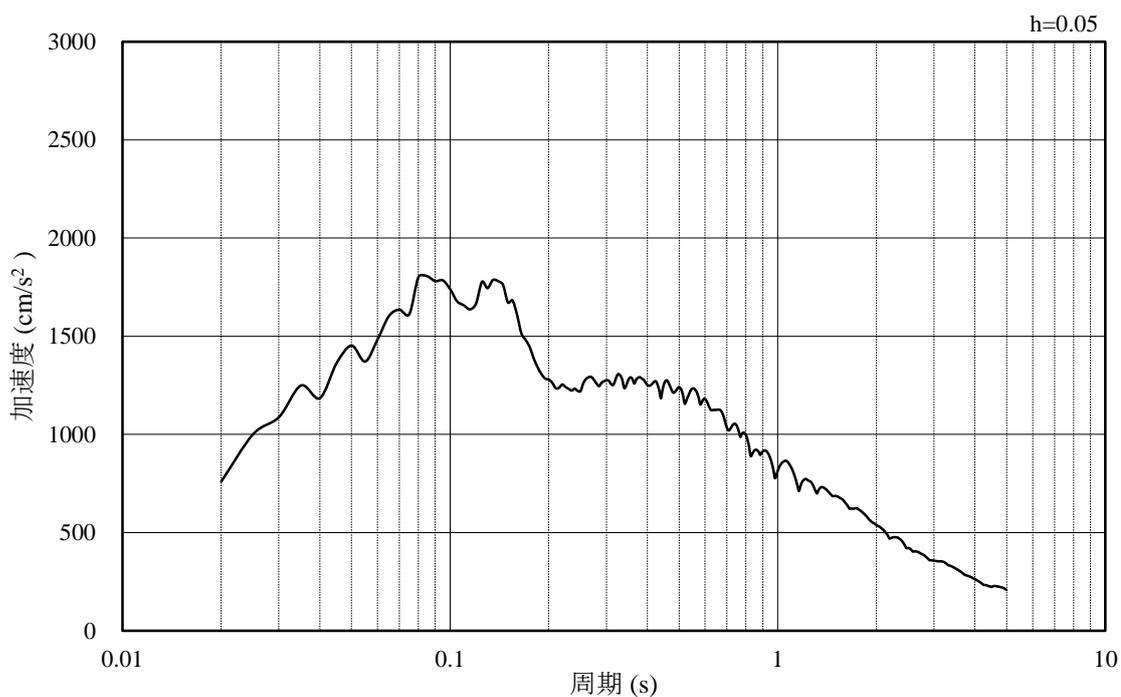
図 2.3-19 入力地震動算定の概念図

(1) 入力地震動

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図 2.3-20～図 2.3-31 に示す。

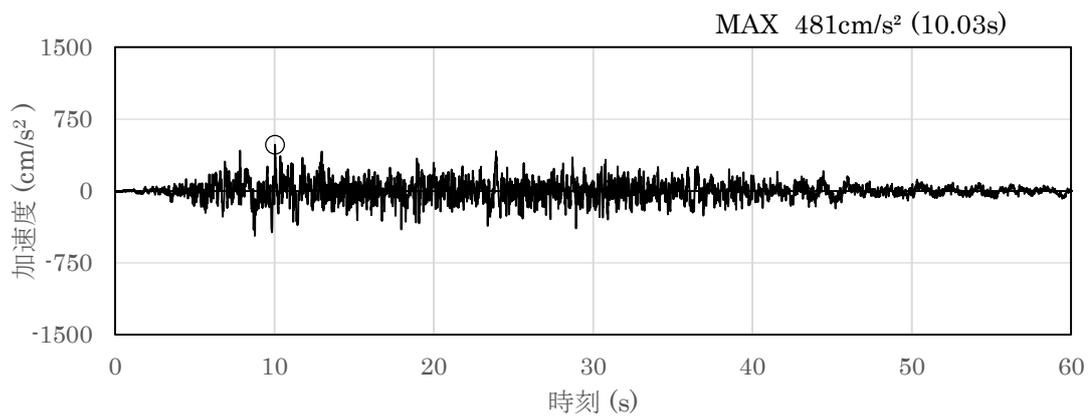


(a) 加速度時刻歴波形

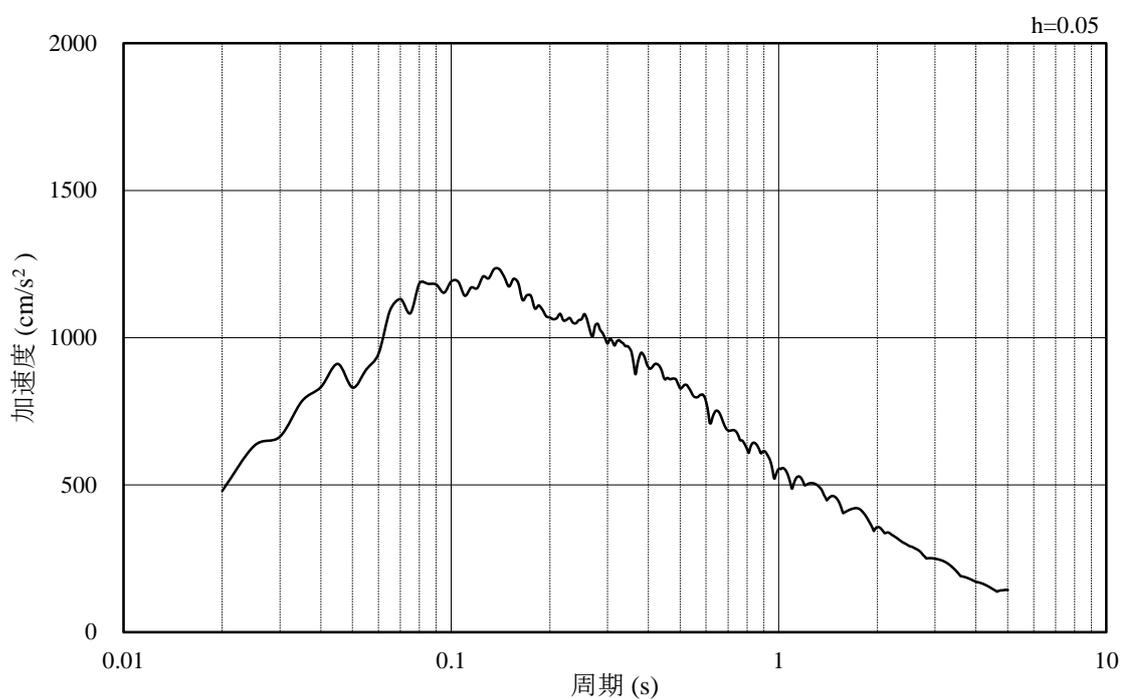


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

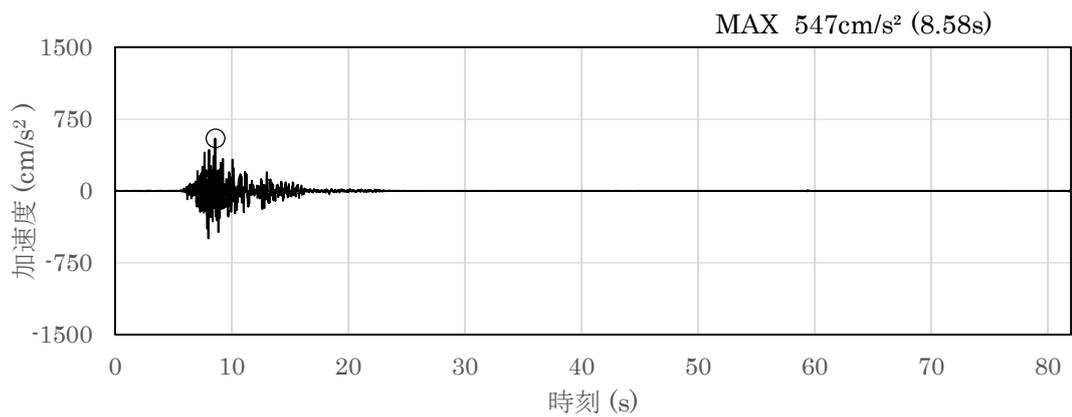


(a) 加速度時刻歴波形

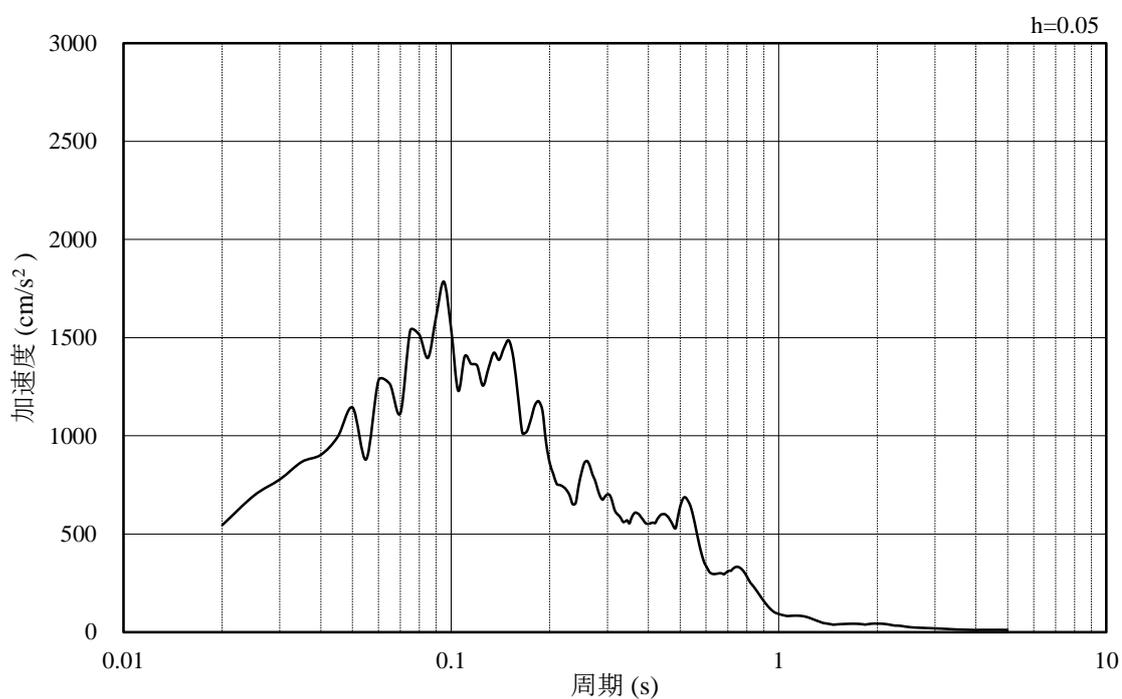


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分: S s - D)

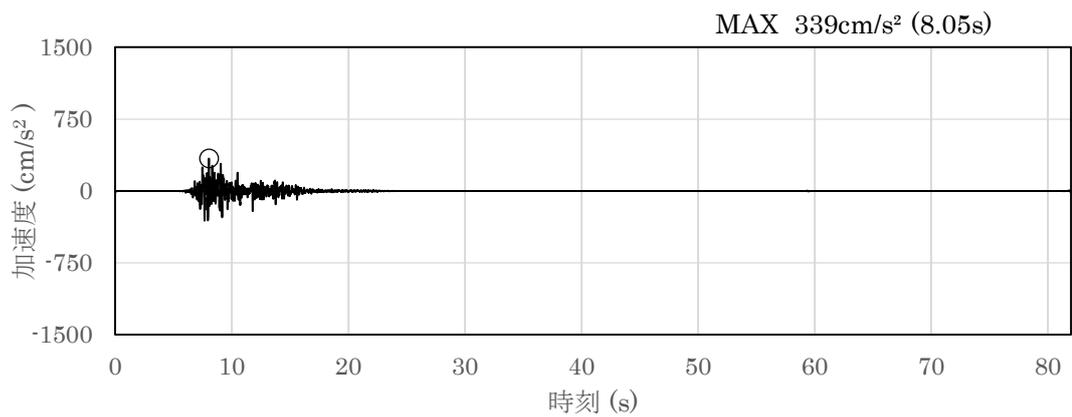


(a) 加速度時刻歴波形

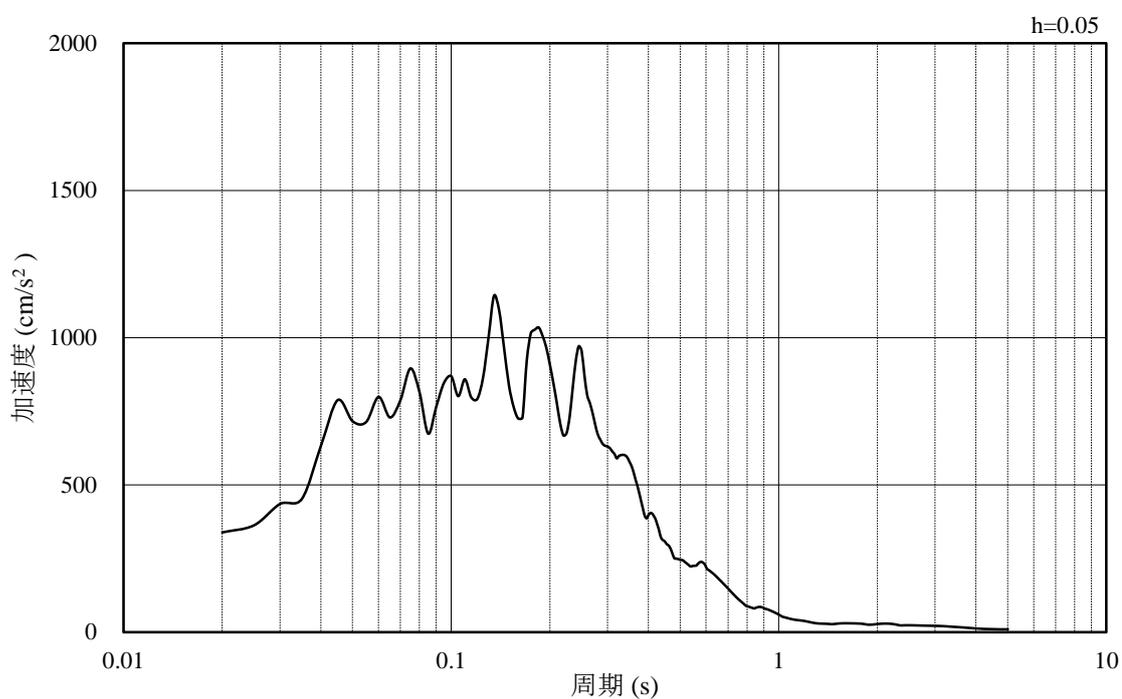


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

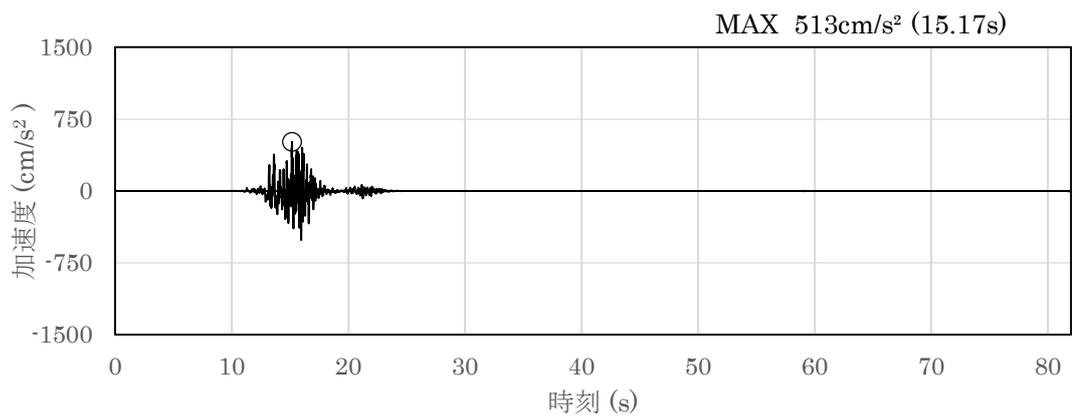


(a) 加速度時刻歴波形

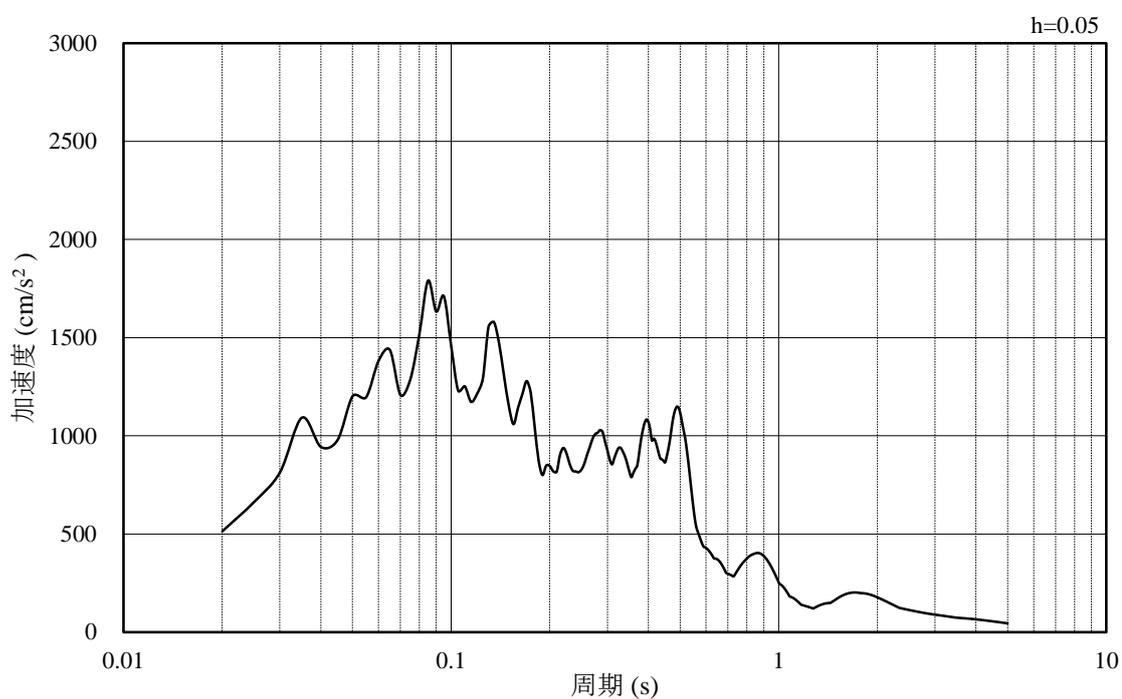


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

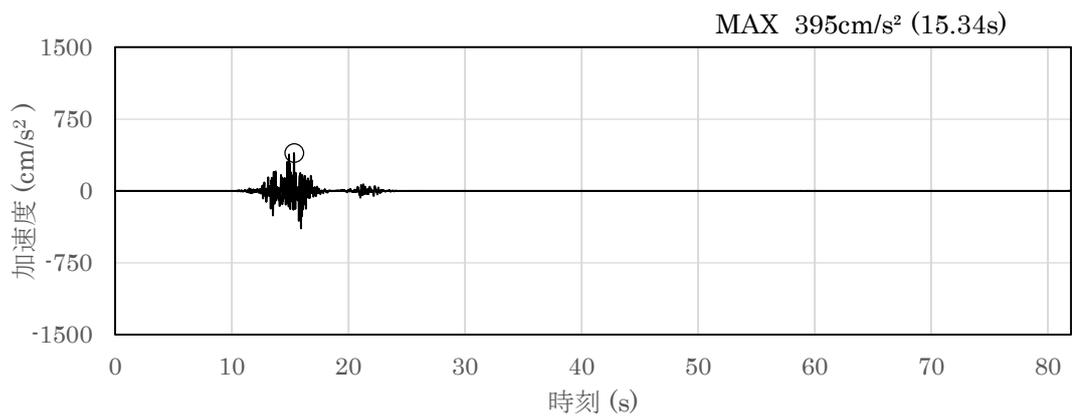


(a) 加速度時刻歴波形

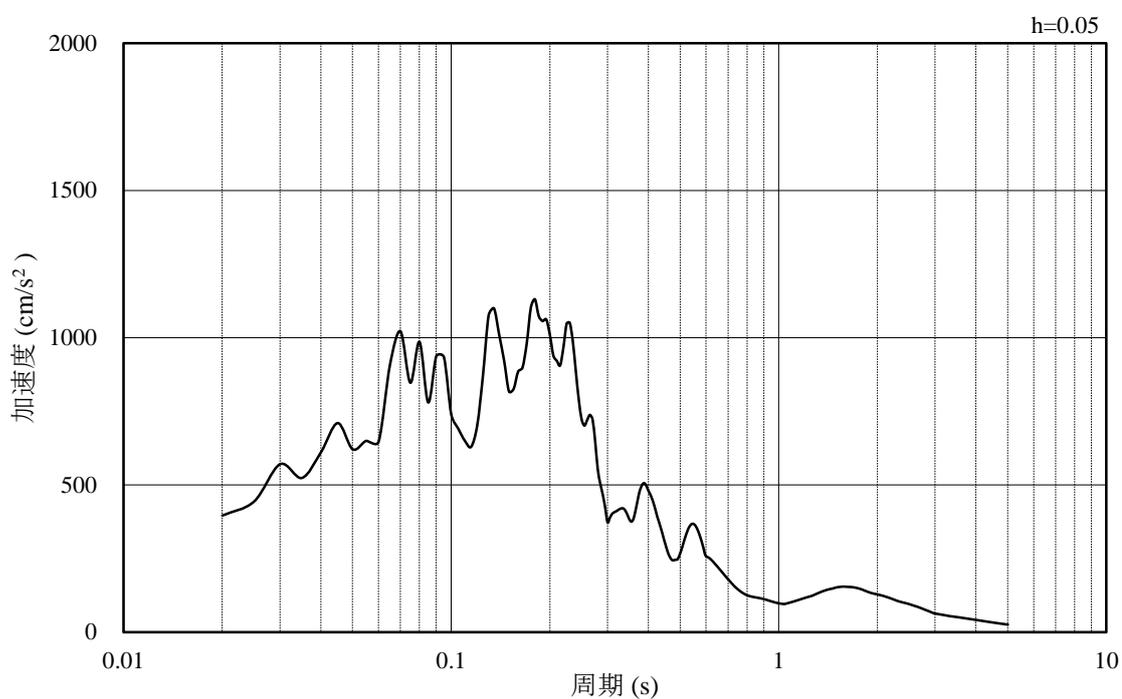


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2)

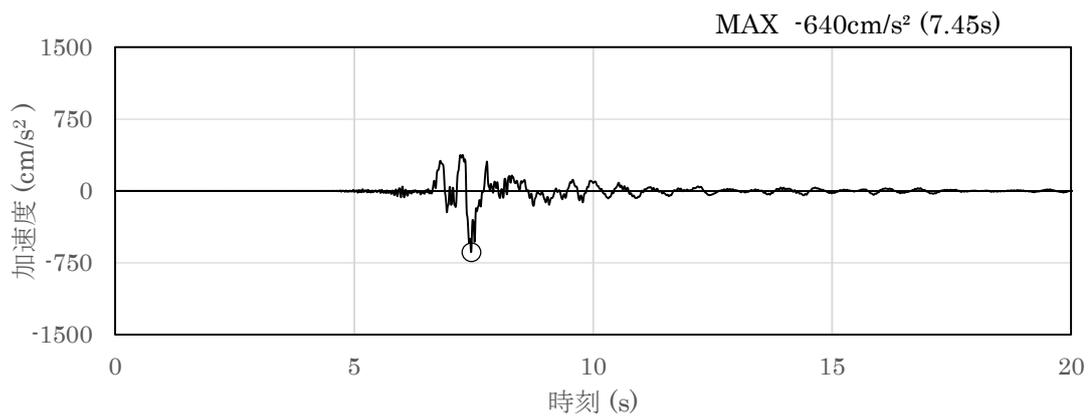


(a) 加速度時刻歴波形

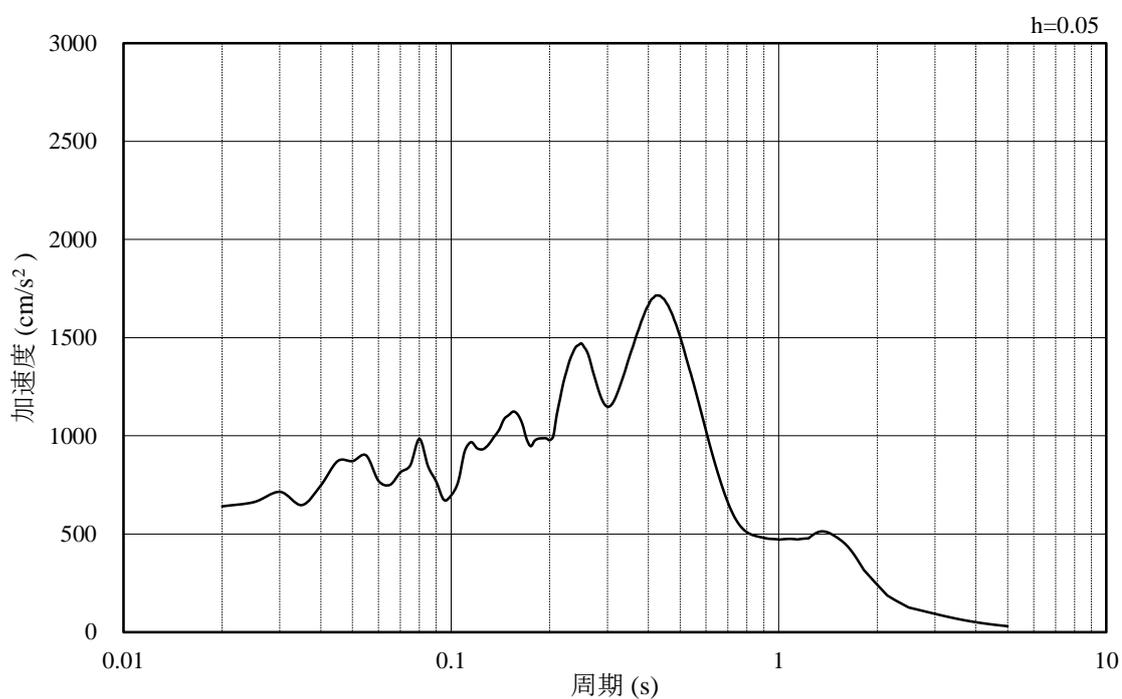


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

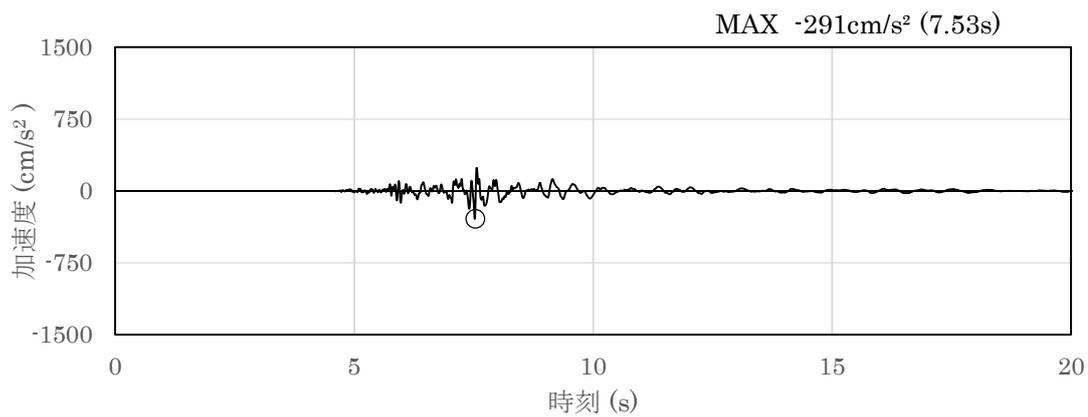


(a) 加速度時刻歴波形

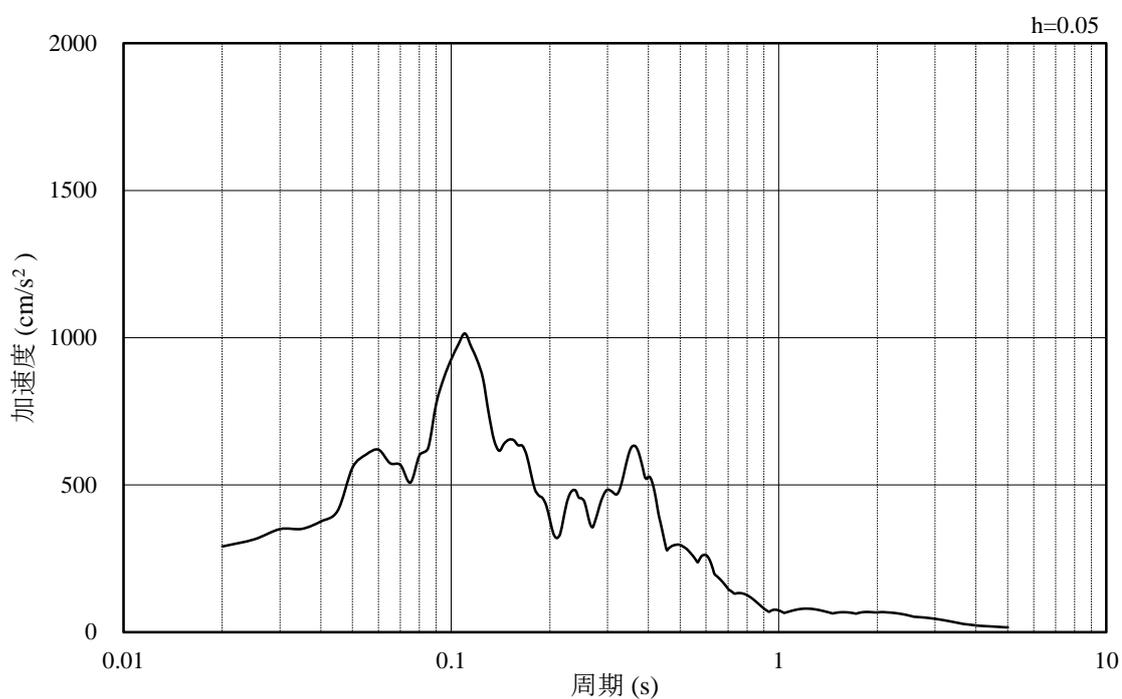


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

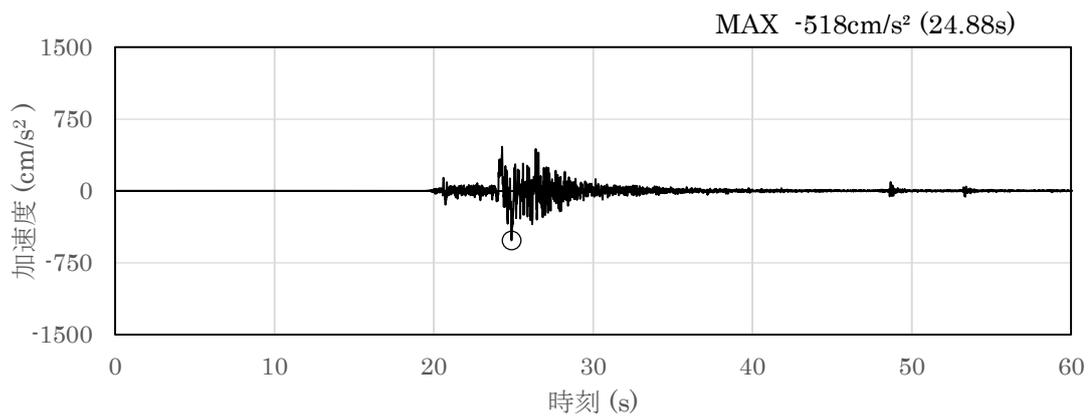


(a) 加速度時刻歴波形

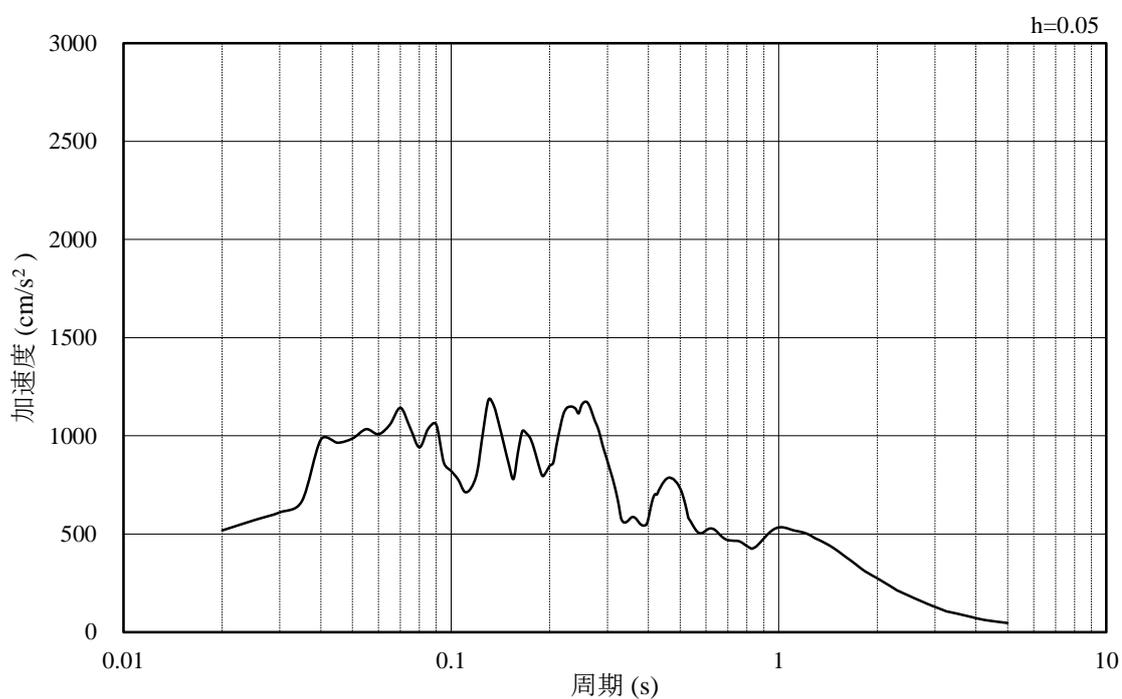


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

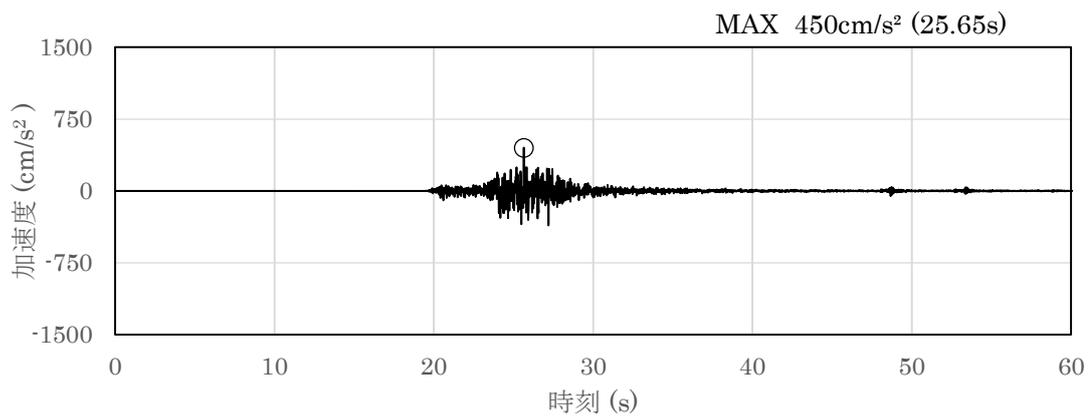


(a) 加速度時刻歴波形

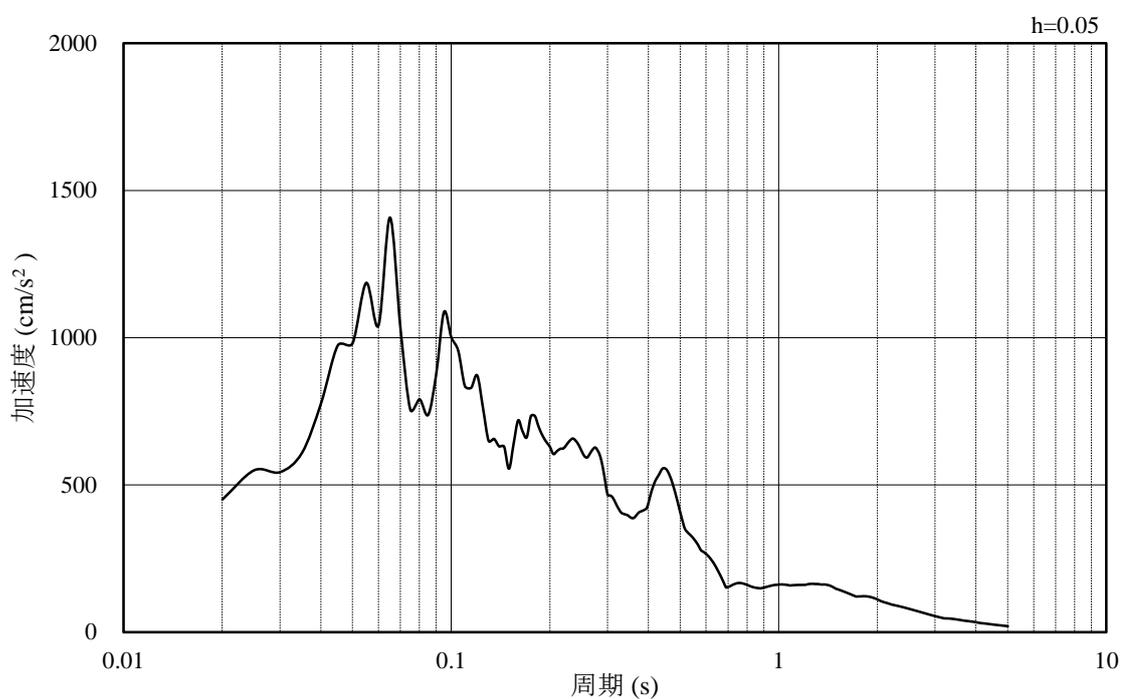


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (NS方向))

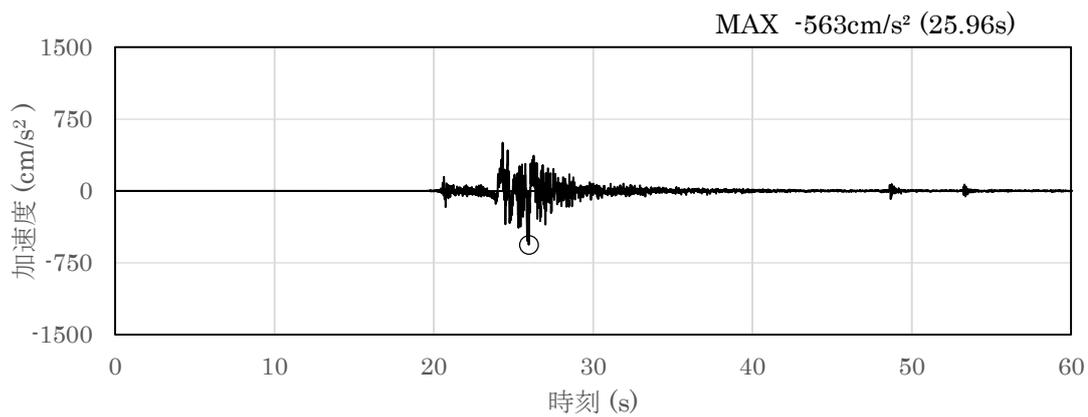


(a) 加速度時刻歴波形

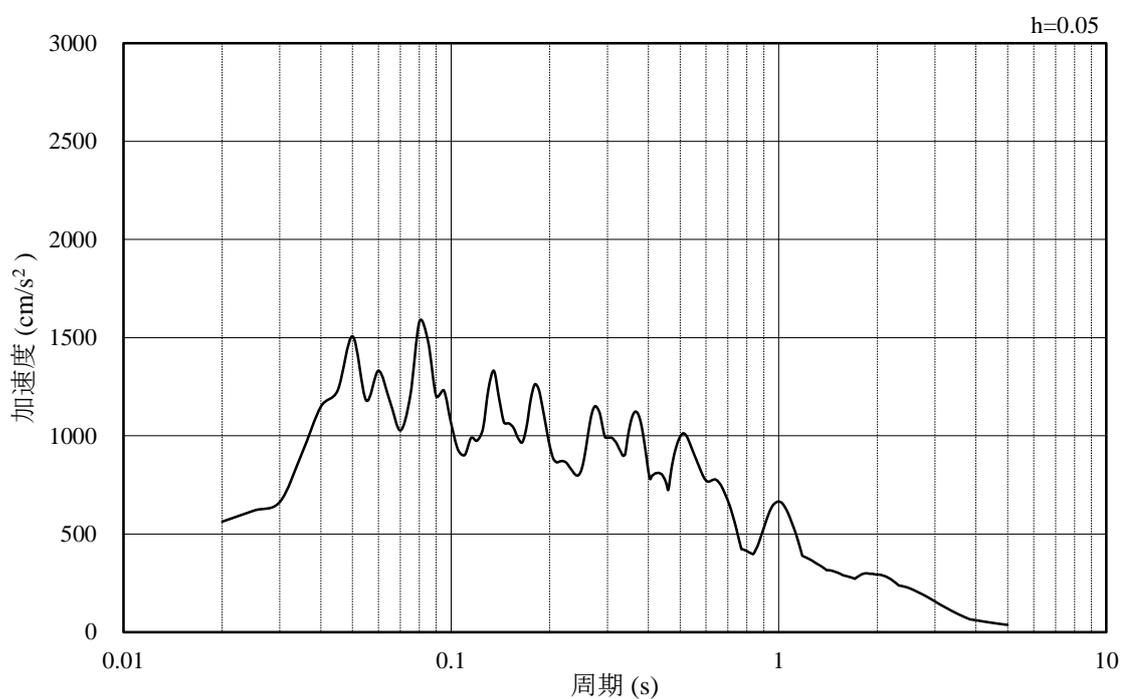


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (NS 方向))

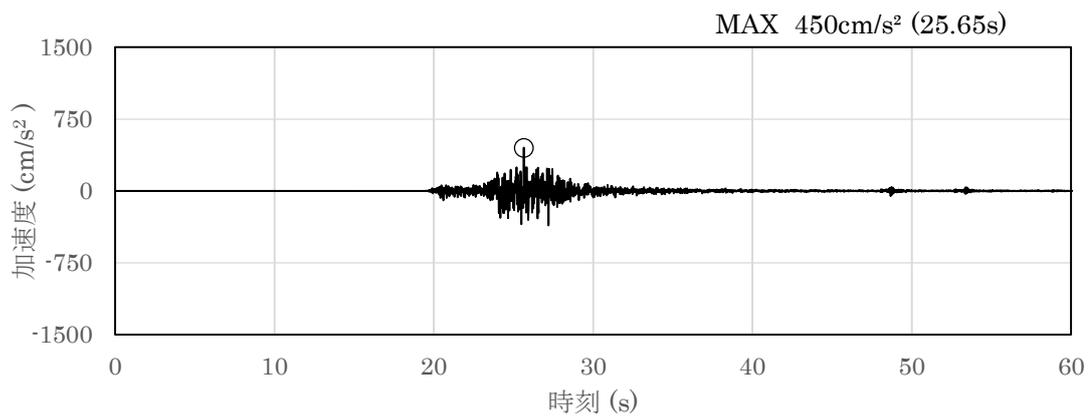


(a) 加速度時刻歴波形

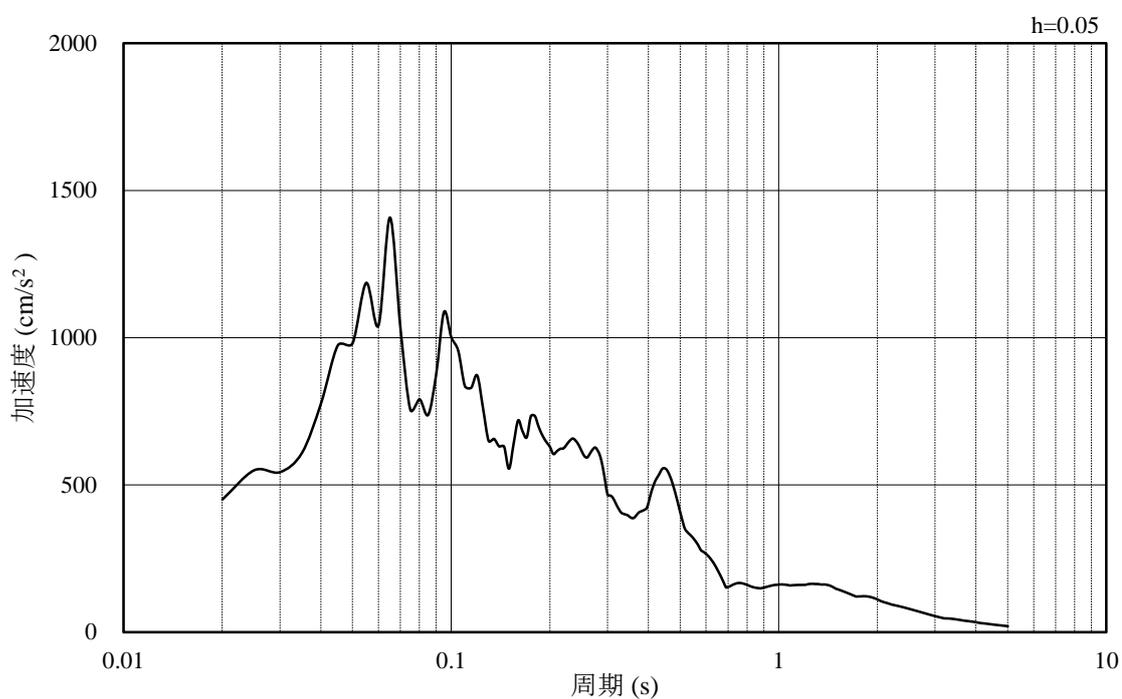


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (EW方向))



(a) 加速度時刻歴波形



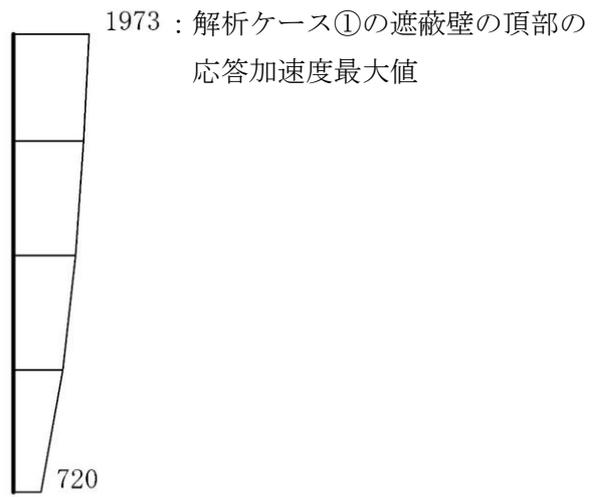
(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (EW方向))

2.3.7 地震応答解析結果

(1) 応答加速度分布

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対して、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻の水平方向応答加速度分布図を図 2.3-32～図 2.3-37 に示す。また、解析ケース①の中で、遮蔽壁の頂部・底部の水平方向応答加速度が最も大きくなる地震動における解析ケース②及び解析ケース③の応答加速度分布図を図 2.3-38 及び図 2.3-39 に示す。



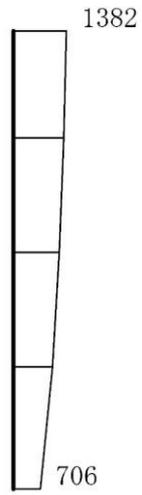
(a) S s - D (++) , 8.83 秒, 水平



(b) S s - D (++) , 8.83 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 2.3-32 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (1/8) (解析ケース①)



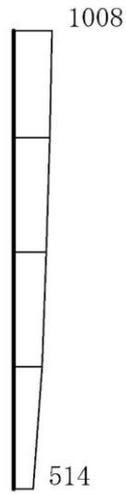
(a) S s - F 1 (++) , 8.66 秒, 水平



(b) S s - F 1 (++) , 8.66 秒, 鉛直

構造スケール 0  2 (m) 応答値スケール 0  2000 (cm/s²)

図 2.3-33 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (2/8) (解析ケース①)



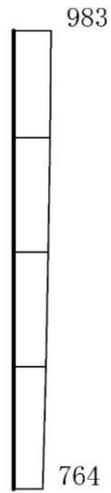
(a) $S_s - F_2$ (++) , 15.60 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 15.60 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 2.3-34 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (3/8) (解析ケース①)



(a) S s - N 1 (++) , 7.49 秒, 水平



(b) S s - N 1 (++) , 7.49 秒, 鉛直

構造スケール 0  2 (m) 応答値スケール 0  2000 (cm/s²)

図 2.3-35 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (4/8) (解析ケース①)



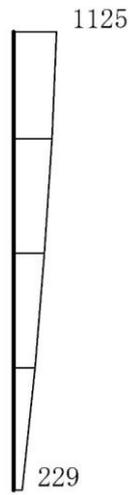
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$, 24.96 秒, 水平



(b) $S_s - N_2 (NS) (++)$, 24.96 秒, 鉛直

構造スケール 0  2 (m) 応答値スケール 0  2000 (cm/s²)

図 2.3-36 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (5/8) (解析ケース①)



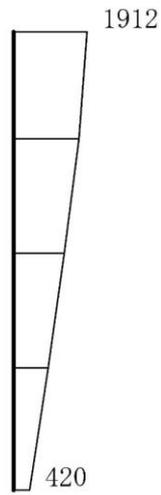
(a) S s - N 2 (EW) (++) , 26.00 秒, 水平



(b) S s - N 2 (EW) (++) , 26.00 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 2.3-37 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (6/8) (解析ケース①)



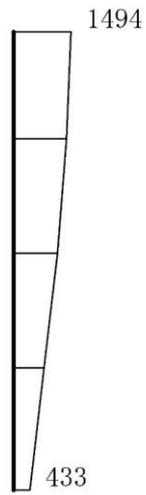
(a) S s - D (++) , 21.22 秒, 水平



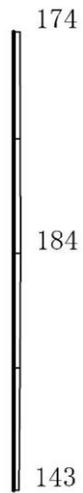
(b) S s - D (++) , 21.22 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 2.3-38 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (7/8) (解析ケース②)
(解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



(a) S s - D (++) , 19.27 秒, 水平



(b) S s - D (++) , 19.27 秒, 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 2.3-39 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (8/8) (解析ケース③)
(解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)

(2) 解析ケース①

水平相対変位最大時刻における設計水平震度を図 2.3-40 に示す。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁ののうち遮蔽壁の頂部及び底部において、設計水平震度が最大となるのは、 $S_s - D(++)$ (抽出時刻 8.83s) である。

なお、設計水平震度は水平方向応答加速度を、定数である重力加速度で除したものであり、設計水平震度が大きくなるほど、水平方向応答加速度も大きくなる。

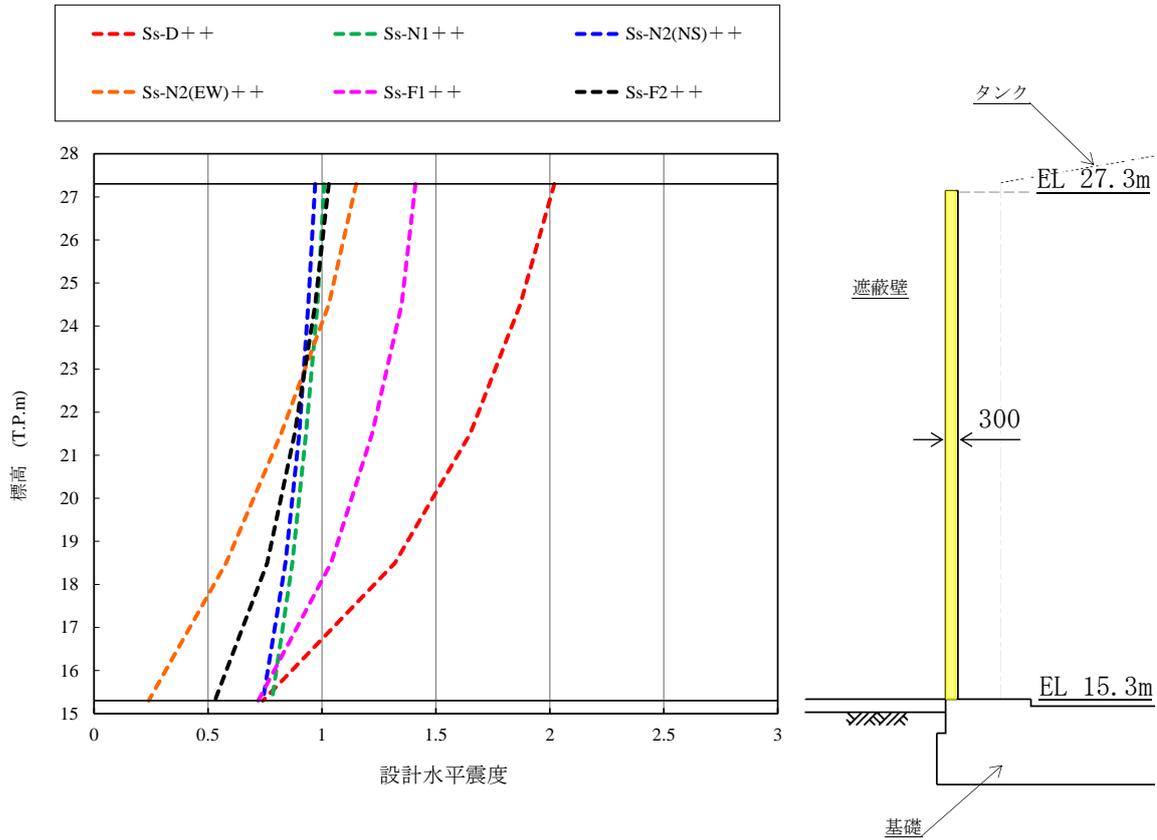


図 2.3-40 水平相対変位最大時刻における設計水平震度

(3) 解析ケース②及び解析ケース③

「(2) 解析ケース①」で水平方向震度が最大となる $S_s - D(++)$ の解析ケース①～③に対する水平相対変位最大時刻における設計水平震度を図 2.3-41 に示す。この結果より、遮蔽壁頂部における水平方向応答加速度が最大となる地震動である解析ケース① $S_s - D(++)$ が補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性に最も大きな影響を与えらる。そのため次章以降の応力解析については、解析ケース①、地震動 $S_s - D(++)$ について実施する。なお、東西方向断面の地震応答解析の結果を考慮した上での本ケースの代表性の確認結果を参考資料 1 に示す。

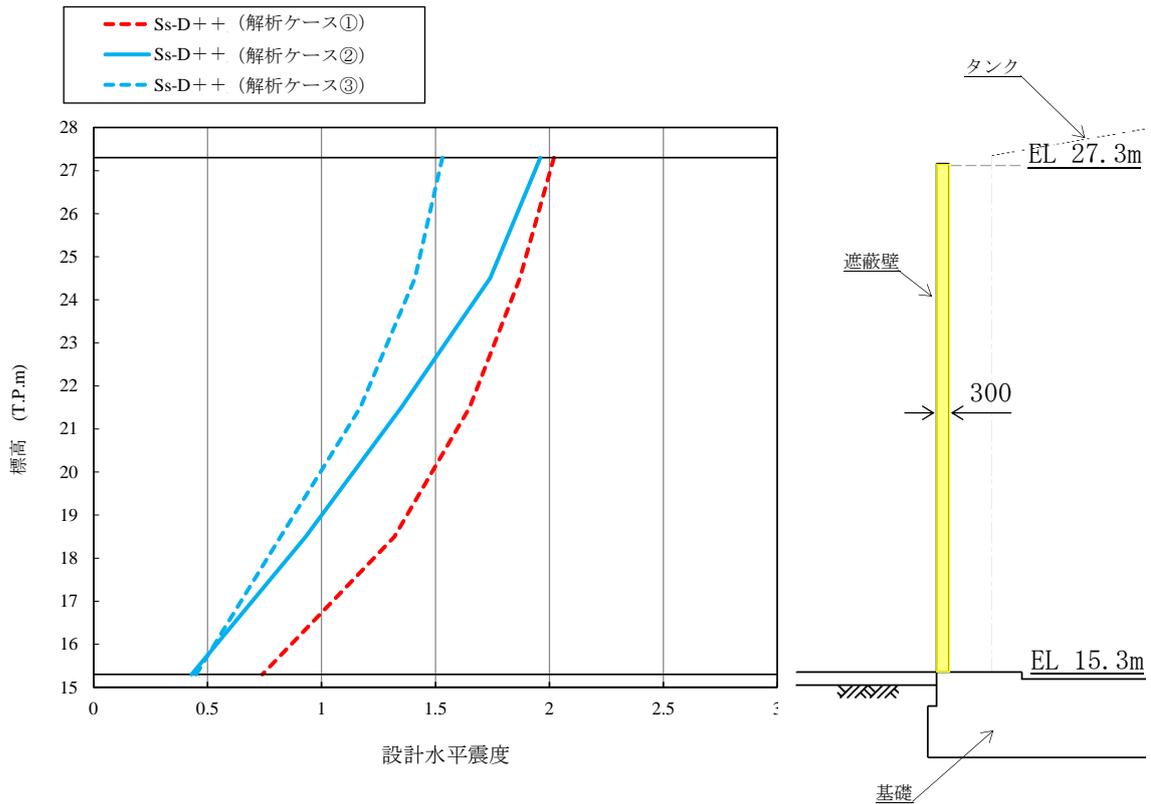


図 2.3-41 水平相対変位最大時刻における設計水平震度

2.4 応力解析

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち、遮蔽壁及び開口補強鋼材の応力解析は、「2.3.7 地震応答解析結果」にて選定した地震動及び着目した時刻にて得られる、応答加速度を用いた3次元静的有限要素法解析により実施する。その際、遮蔽壁は、線形シェル要素、開口補強鋼材のうち、枠材は線形はり要素、ブレース材は線形トラス要素でモデル化し、応力解析には「NX NASTRAN」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。開口補強鋼材のうちガセットプレート、ベースプレート、アンカーボルトについては、3次元静的FEM解析の応答値を用いて、定式化された計算式により応力照査する。

2.4.1 解析モデルの設定

(1) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデル化

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁は，線形シェル要素でモデル化する。

(2) 開口補強鋼材のモデル化

開口補強鋼材は，線形はり要素でモデル化する。

(3) 境界条件

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁と基礎の境界は，完全固定境界とする。また，開口補強鋼材と遮蔽壁の境界は水平2方向と鉛直方向の線形ばねにより結合する。ばね定数は，接合部が完全接着しているとして十分に大きな値 (1.0×10^{10} kN/m) とする。図 2.4-1 に開口補強鋼材と遮蔽壁間の概念図を示す。

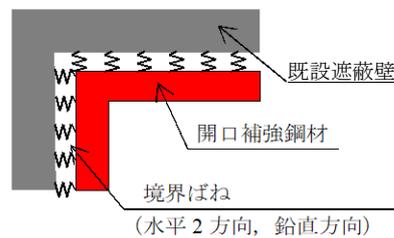


図 2.4-1 開口補強鋼材と遮蔽壁間の概念図

(4) 解析モデル

3次元静的FEM解析モデルを図 2.4-2 に，遮蔽壁及び開口補強鋼材の要素座標系を図 2.4-3～図 2.4-5 に示す。

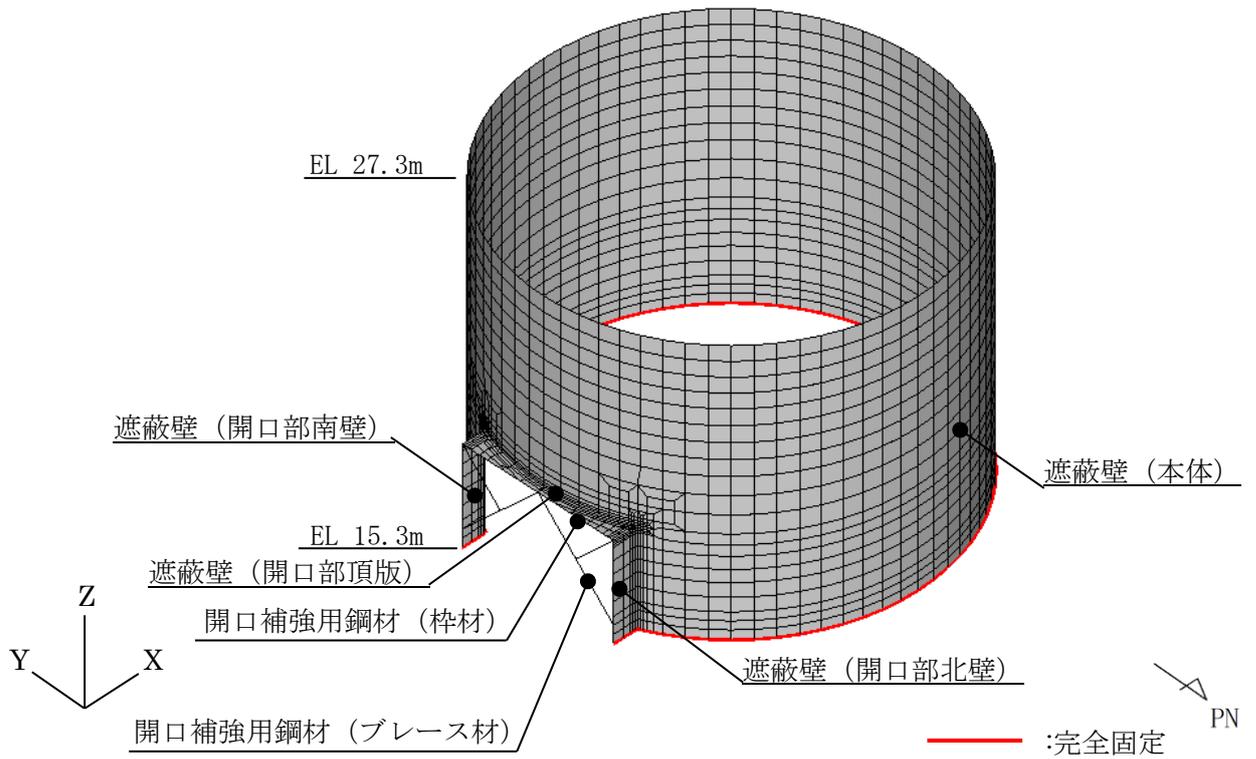


図 2.4-2(1) 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 北東側から望む)

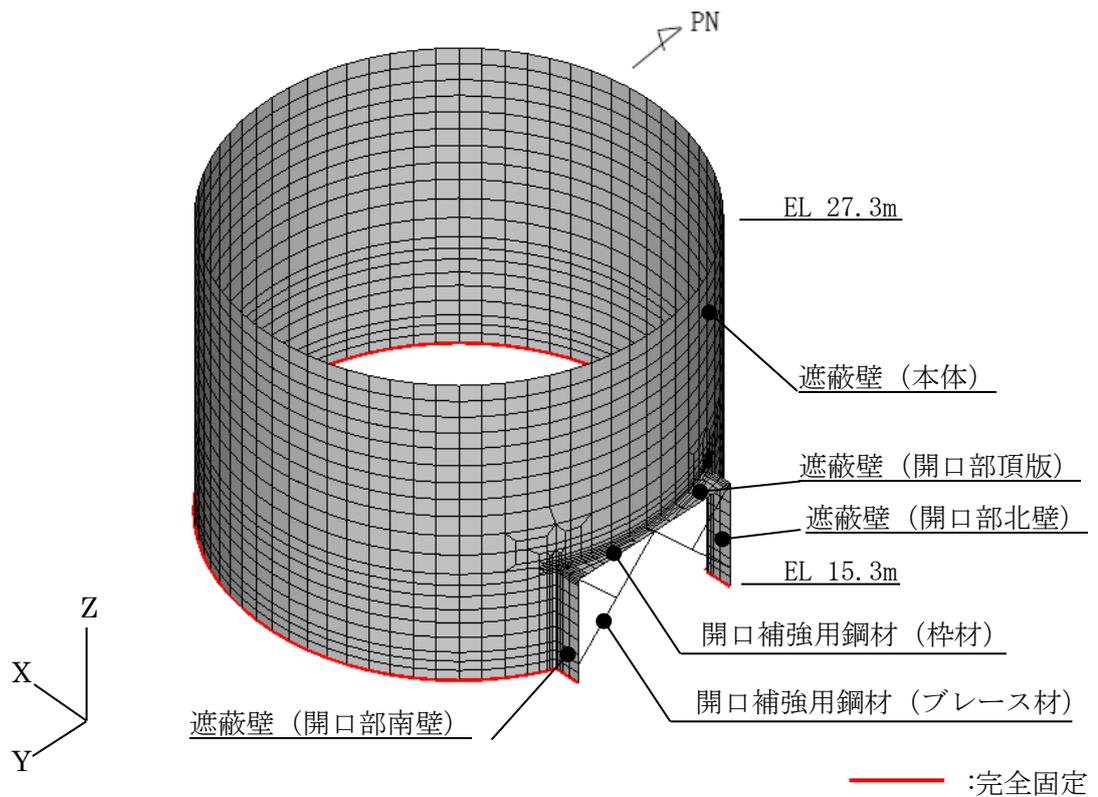
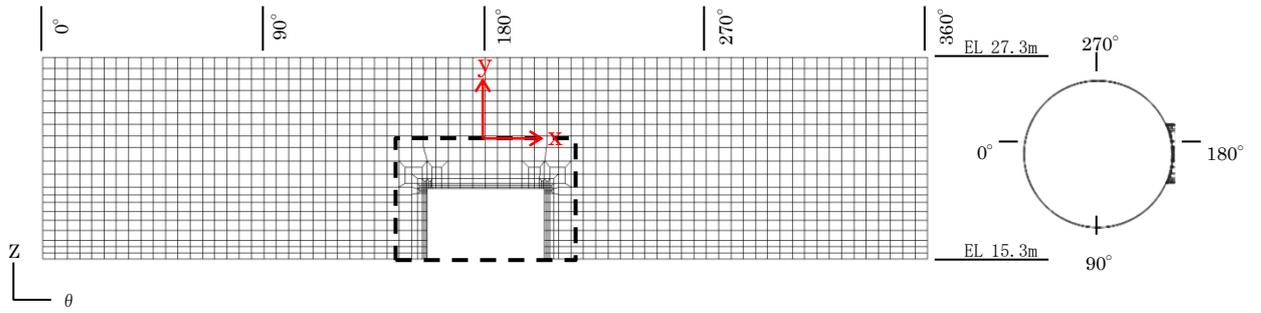
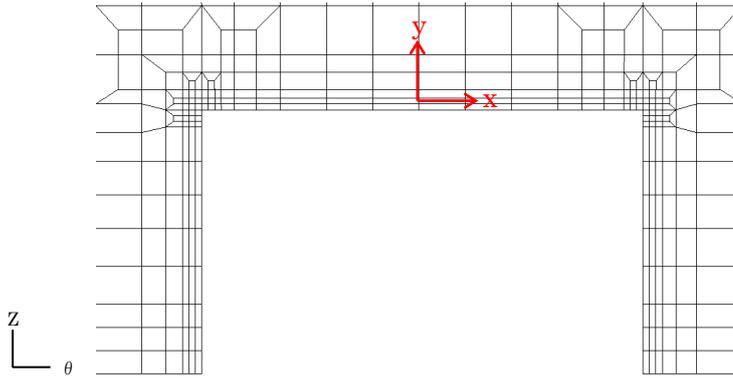


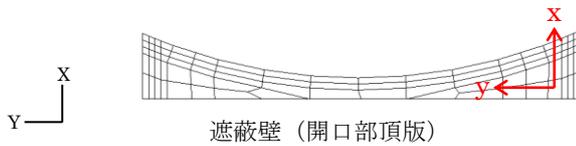
図 2.4-2(2) 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 南東側から望む)



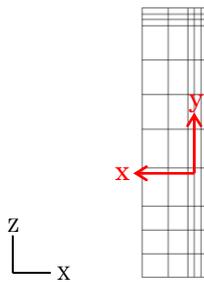
遮蔽壁（本体）



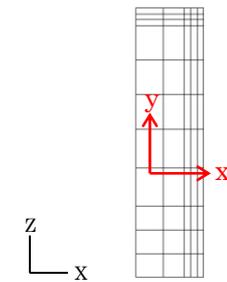
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



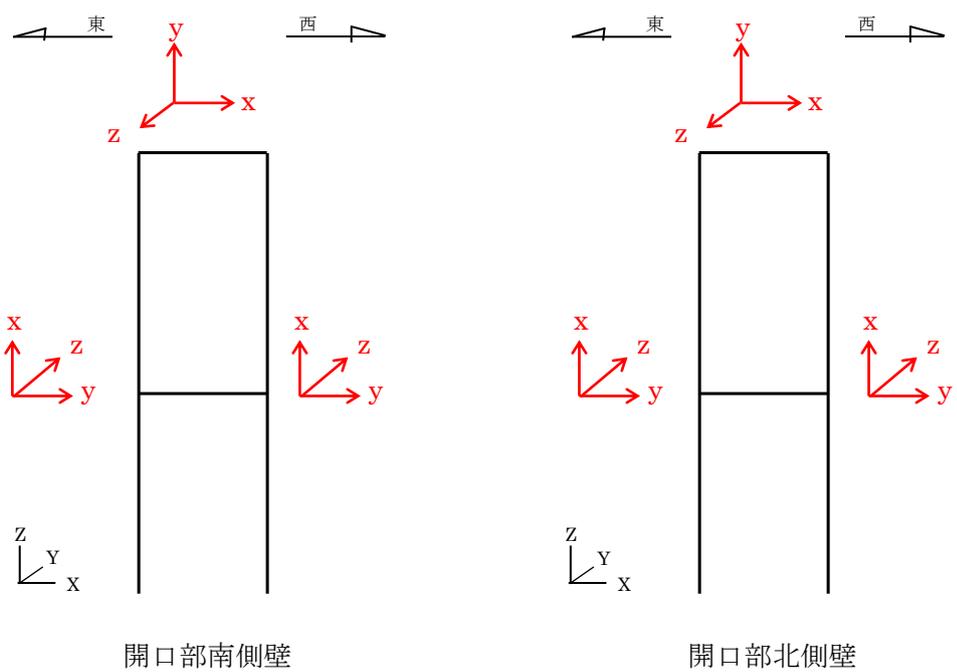
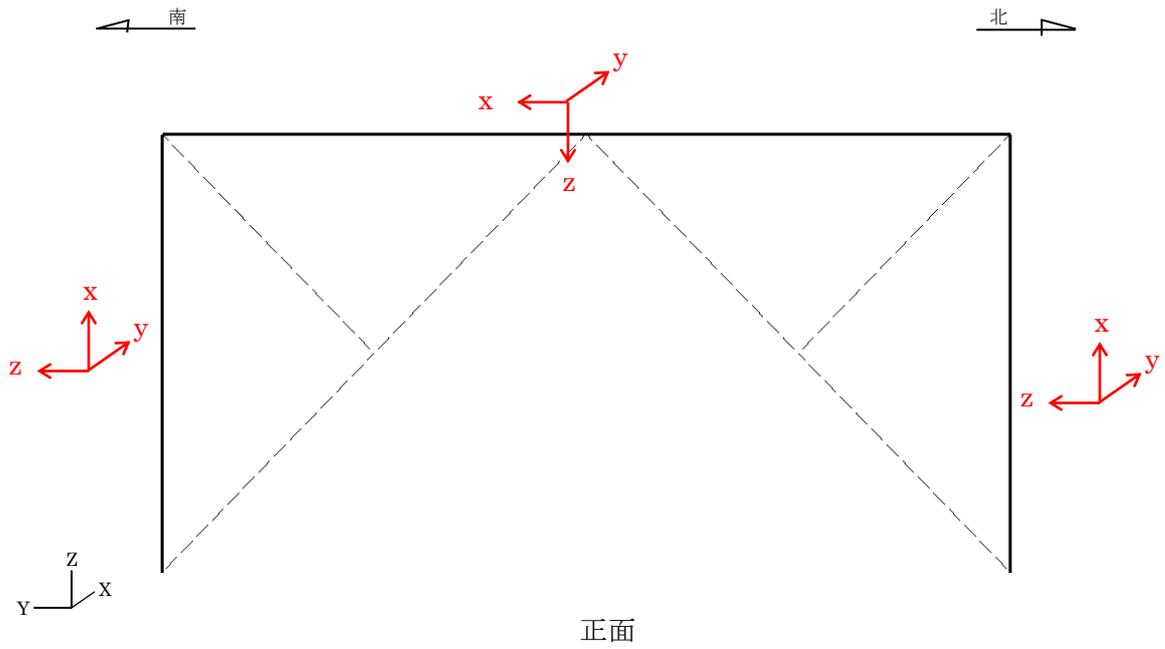
遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

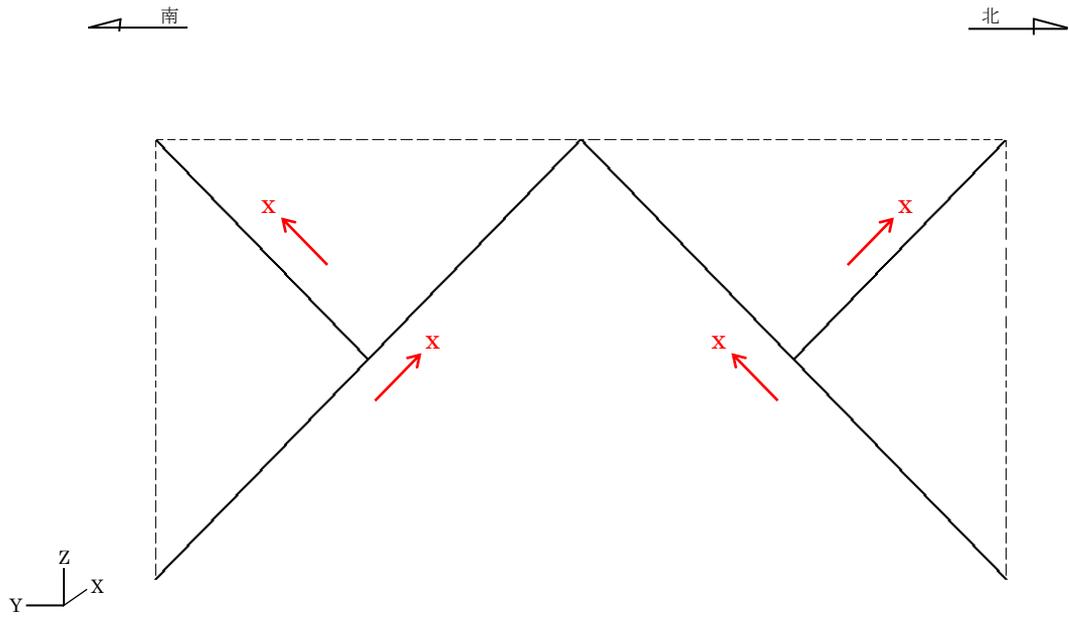
図 2.4-3 各部材の要素座標系



開口補強鋼材（枠材）

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 2.4-4 各部材の要素座標系（開口補強鋼材）



開口補強用鋼材（ブレース材）

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 2.4-5 各部材の要素座標系（開口補強鋼材）

2.4.2 荷重及び荷重の組み合わせ

(1) 躯体重量

固定荷重として、躯体自重及び開口補強鋼材荷重を考慮する。荷重載荷図を図 2.4-6 に示す。

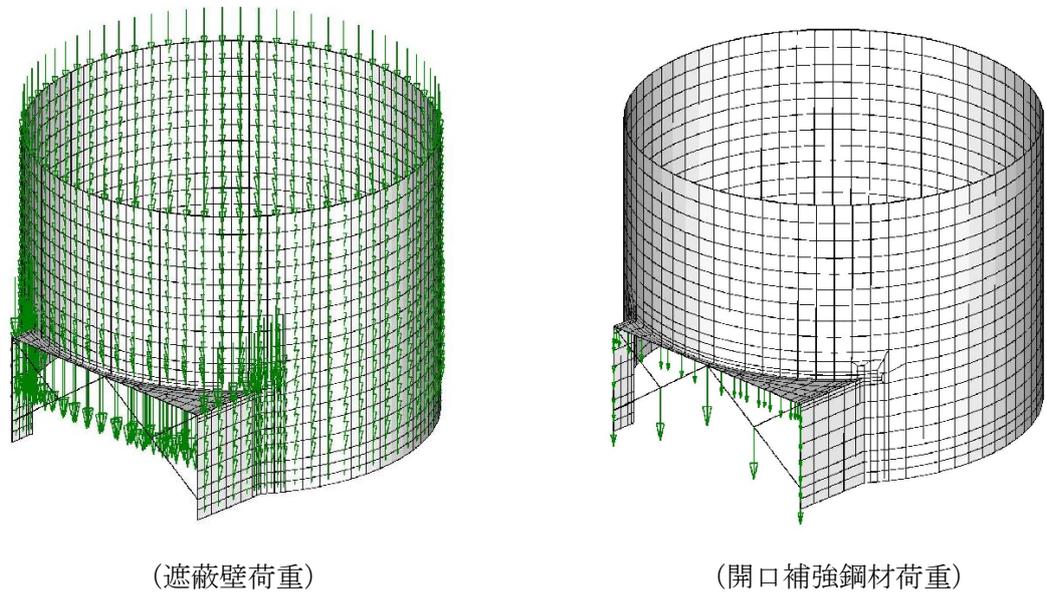


図 2.4-6 荷重載荷図 (固定荷重)

(2) 積雪重量

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。荷重載荷図を図 2.4-7 に示す。

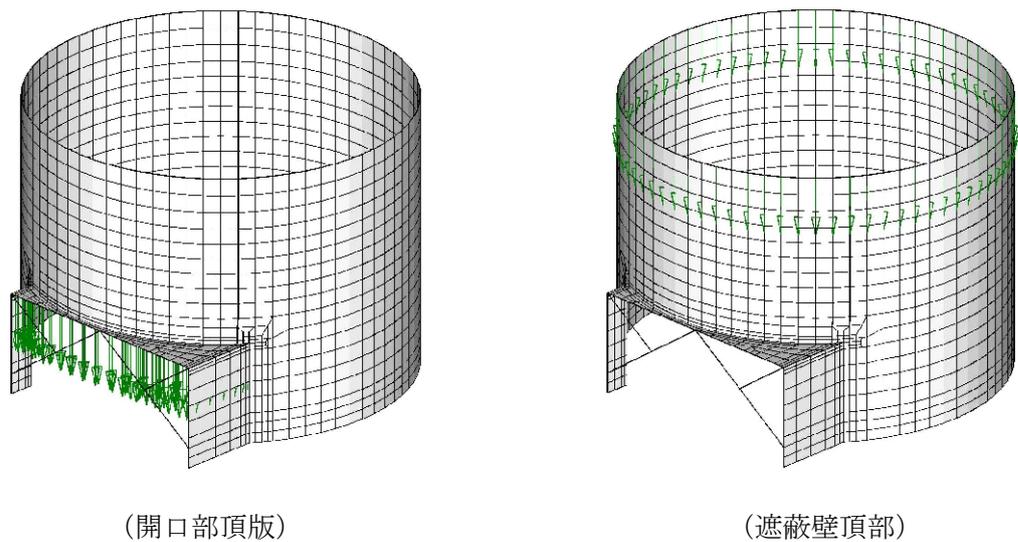


図 2.4-7 荷重載荷図 (積雪荷重)

(3) 風荷重

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

(4) 地震時荷重

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。なお，躯体重量に 2 次元有限要素解析で求めた応答加速度（水平・鉛直）を掛け合わせ，3 次元静的 FEM 解析の解析モデルに作用させる慣性力を算定する。荷重載荷図を図 2.4-8 に示す。

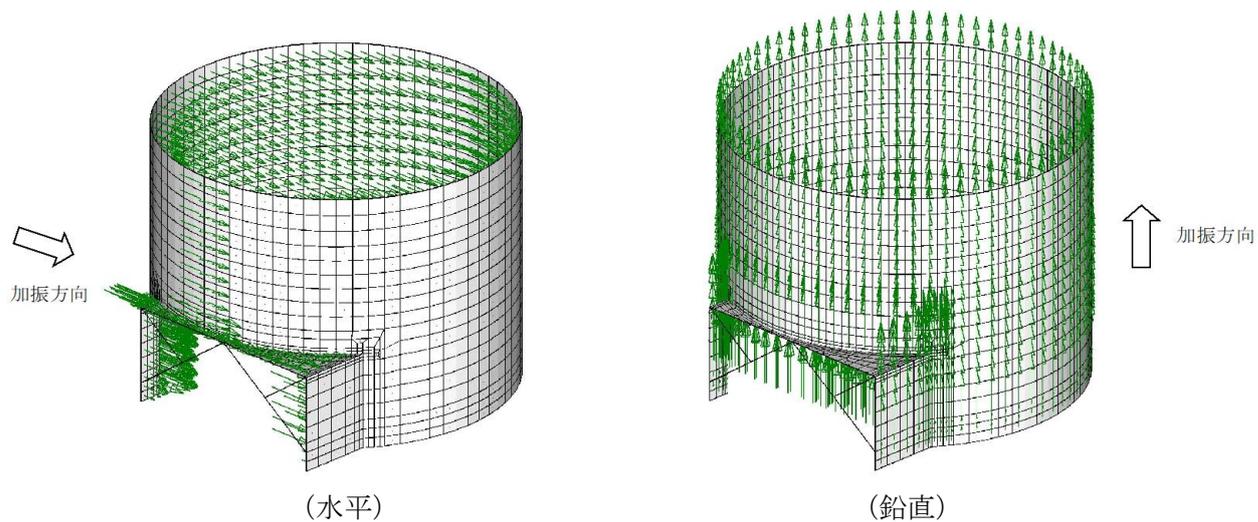


図 2.4-8 荷重載荷図（地震時荷重）

2.4.3 地震時荷重の作用方向

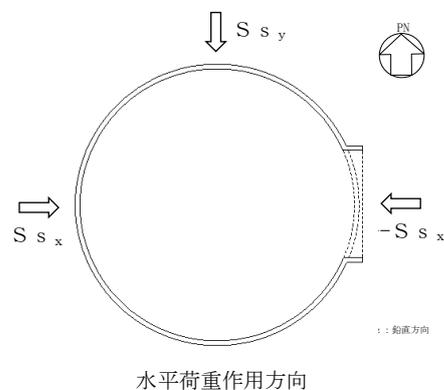
補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析を行う地震時荷重は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる。具体的には、南北方向の水平地震力を保守的に東西方向にも設定し、鉛直地震力は南北方向の水平地震力と同時刻の地震力を選定している。なお、東西方向断面の地震応答解析の結果を考慮した上での組合せ方法の代表性の確認結果を参考資料1に示す。

また、基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せについては、主筋が加振方向と同じ方向である東西方向及び南北方向に配置されていること、また、主筋は方向によらず同じ鉄筋径及びピッチで配置されていることから、互いに干渉し合う応力は発生し難い構造であると考えられるため、検討を省略する。

水平2方向の応力解析における検討ケースを表2.4-1に示す。

表 2.4-1 水平2方向の応力解析における検討ケース

ケース	地震力の方向及び組合せ	
	水平	鉛直
ケースA	$1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$
ケースB	$-1.0S_{s_x} + 1.0S_{s_y}$	$1.0S_{s_z}$



2.4.4 応力照査方法

(1) 遮蔽壁及び開口補強鋼材（枠材，ブレース材）

3次元静的有限要素法解析により算定した部材の発生応力を基に応力照査する。

(2) 開口補強鋼材（ガセットプレート）

3次元静的有限要素法解析の結果，開口補強鋼材（ブレース材）に生じる軸方向力を開口補強鋼材（ガセットプレート）の有効断面積で除すことにより応力を算定する。

$$\sigma_s = \alpha \cdot N / (b \cdot t)$$

ここに，

σ_s : ガセットプレートに発生する圧縮応力度 (N/mm²)

α : 応力集中係数

N : ブレース材に生じる軸力 (kN)

b : ガセットプレートの有効幅 (mm)

t : ガセットプレートの板厚 (mm)

(3) 開口補強鋼材（ベースプレート）

3次元静的有限要素法解析の結果，枠材下端の鋼材－遮蔽壁間の線形ばねに生じる反力のうち，軸方向力を抽出する。軸方向力はベースプレート全体に均一に作用すると考えられることから，ベースプレートは等分布荷重を受ける2辺固定版となる。この時の発生応力度を算定する。ベースプレート構造図を図2.4-9に示す。

$$\sigma_{s1} = (N_{max} / S) \cdot M_x \cdot L_x \cdot L_x$$

ここに，

σ_{s1} : ベースプレートに発生する曲げ応力度 (N/mm²)

N_{max} : 枠材下端反力から抽出した軸力 (kN)

S : ベースプレートの面積 (m²)

M_x : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

L_x : ベースプレートの短辺長 (m)

$$\tau = (N_{max} / S) \cdot L_x / t$$

ここに，

τ : ベースプレートに発生するせん断応力度 (N/mm²)

S_{max} : ベースプレートの最大せん断力 (kN)

t : ベースプレートの板厚 (mm)

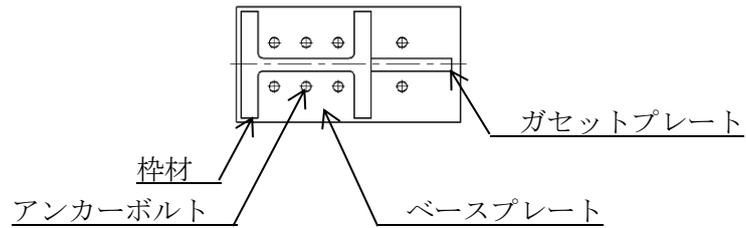


図 2.4-9 ベースプレート構造図

(4) 開口補強鋼材（アンカーボルト）

3次元静的有限要素法解析の結果，杵材下端の鋼材－遮蔽壁間の線形ばねに生じる反力のうち，せん断力を抽出し荷重を算定する。なお，開口補強鋼材は，杵付き補強として遮蔽壁の開口部に固定されており，開口補強鋼材を固定するアンカーボルトには，主としてせん断力が作用することから，引張力に対する検討を省略する。

$$Q = S_{max}$$

ここに，

Q : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

S_{max} : 杵材下端反力から抽出したせん断力 (kN)

2.4.5 解析ケース

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び開口補強鋼材の応力解析を実施する解析ケースは、「2.3.7 地震応答解析結果」より、 $S_s - D(++)$ である。それぞれの解析ケースについて、「2.4.3 地震荷重の作用方向」の表 2.4-1 に記載した 2 ケースに分けて応力解析を行う。

2.5 耐震評価

2.5.1 許容限界

(1) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の健全性に対する許容限界

a. 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体の安定性評価として、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，終局曲げモーメントを許容限界とする。

また，遮蔽壁のうち PHb 工法を適用する部位について，PHb 工法はおおむね弾性範囲となる状況下で使用することから，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づく短期許容応力度を下回ることを合わせて確認する。発生曲げ応力が許容限界を上回る場合，3次元構造解析において，細かい要素分割を行っている部材の一部を部材厚程度の範囲で，発生曲げ応力を平均化した評価を実施する。平均化及び平均化範囲の考え方を参考資料2に示す。

また，溢水影響評価の観点から，地上に位置する遮蔽壁については PHb 工法を適用する部位以外についても，「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に示す貯水機能を有することの確認として，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，短期許容応力度を下回ることを確認する。

コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 2.5-1 及び表 2.5-2 に示す。

表 2.5-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f' _{ck} = 23.5 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ' _{ca}	8.8
許容せん断応力度 τ _{a1}		0.44	0.66

注記*：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 2.5-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ' _{sa}	196

注記*：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

b. せん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，短期許容応力度とする。また，遮蔽壁のうち PHb 工法を用いる部材については，PHb のせん断補強効果を見込んだ評価を行う。発生曲げ応力が許容限界を上回る場合，3次元構造解析において，細かい要素分割を行っている部材の一部を部材厚程度の範囲で，発生曲げ応力を平均化した評価を実施する。平均化及び平均化範囲の考え方を参考資料2に示す。また，補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁における PHb 工法の適用性の検討結果を参考資料4に示す。許容限界を次式に示す。

$$V_d/V_a < 1$$

(通常のせん断補強筋を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

(PHb を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + \beta_{aw} \cdot V_{sa}$$

$$V_{ca} = 0.5 \cdot \tau \cdot b_w \cdot z$$

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot z / s$$

$$\beta_{aw} = 1 - I_y / \{2 \cdot (d - d')\} - z / (d - d') \quad \text{ただし, } \beta_{aw} \leq 0.9$$

ここに,

V_d	: 照査用せん断力
V_a	: 許容せん断力
V_{ca}	: コンクリートの負担する許容せん断力
V_{sa}	: 鉄筋の負担する許容せん断力
A_w	: せん断補強筋ピッチ間におけるせん断補強筋の総断面積
β_{aw}	: PHb の有効性を示す係数
τ	: 照査用せん断応力
b_w	: 部材断面の腹部の幅
σ_{sa}	: 鉄筋の許容引張応力度
z	: 全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面図心までの距離 $z = d / 1.15$
d	: 有効高さ
s	: せん断補強筋ピッチ
l_y	: PHb の埋込側に必要な定着長
$d - d'$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔 $d - d' \geq l_y$
z	: 高止まり高さ

PHb を考慮する場合の許容せん断力の算定に当たっては、「建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」、一般財団法人土木研究センター」に示されているとおり、PHb の有効性を示す係数 β_{aw} を用いるものとする。本図書の抜粋を、図 2.5-1 に示す。

2.7.1.3 L1地震動／常時荷重増加等に対するせん断補強（許容応力度法）

L1地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合のPost-Head-barの有効係数に、斜め引張りひび割れ等の発生を許容することを前提として、せん断に対する安全性照査において評価されたPost-Head-barの有効係数を用いてもよい。

〔解説〕せん断に対する安全性照査において、Post-Head-barのせん断補強効果はトラス理論に基づいた棒部材のせん断耐力で評価されている。この場合、Post-Head-barのせん断耐力はせん断補強鉄筋の規格降伏強度を用いて算出することになる。また、許容応力度法においても、斜め引張りひび割れの発生によってトラス機構が形成されるので、トラス理論に基づき算出されたせん断補強鉄筋の応力度を、許容応力度以下に抑えるように設計する。許容応力度は、規格降伏強度に安全率を考慮した値である。

そのため、両者はともにトラス理論に準拠しており、L2地震動作用時のせん断耐力は規格降伏強度に有効係数を乗じて算出される。また、許容応力度は規格降伏強度に設計条件から定めた安全率と有効係数を乗じて算出される。

これらのことから、L1地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合には、斜め引張りひび割れの発生を許容することを前提として、Ⅲ付属資料-2 2.4で規定した有効係数を用いてよいものとした。

具体的には、Post-Head-barに使用された鉄筋の、設計条件から定めた許容応力度に、Ⅲ付属資料-2 2.4式(3)で算出される有効係数を乗じることにより、使用するPost-Head-barの許容応力度を算出する。

図 2.5-1 PHb を考慮した許容せん断力の算定（抜粋）

- (2) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（杵材，ブレース材，ガセットプレート，ベースプレート）の健全性に対する許容限界
 鋼材の許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度法－（日本建築学会，2005年改定）」に基づき，短期許容応力度とする。鋼材の短期許容応力度を表 2.5-3 に示す。

表 2.5-3 鋼材の短期許容応力度

材料			仕様	短期許容応力度 (N/mm ²)			
				短期許容 圧縮応力度 f_c	短期許容 引張応力度 f_t	許容曲げ 応力度	短期許容 せん断応力度 f_s
開口 補強 鋼材	杵材	H-582×510 ×60×65	SM400A	別途算出*1	215	—	124
	ブレース 材	H-582×510 ×60×65	SM400A	別途算出*1	215	—	—
		H-200×200 ×8×12	SS400	別途算出*1	235	—	—
	ガセット プレート	PL-60	SM400C	215*2	215	—	—
	ベース プレート	PL-50	SM400C	—	—	248	124

注記*1：短期許容圧縮応力度 f_c については，以下の式にて算出する。

*2：座屈の影響を考慮しない。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu} \times 1.5$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \times 1.5$$

ここで、

λ : 圧縮材の細長比

$$\nu : \frac{2}{3} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

F : 352.5N/mm²

Λ : 限界細長比で $\sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

E : ヤング係数

- (3) 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（アンカーボルト）の健全性に対する許容限界

アンカーボルトの許容限界は、メーカー評価式に基づき算定した、表 2.5-4 の値とする。

なお、評価対象部位の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を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 2.5-4 アンカーボルトの許容限界

許容耐力 (kN)
せん断
1164

また、各種合成構造設計指針・同解説の適用範囲外となる補助復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材を基礎に固定するアンカー筋（D32）について、メーカー規格の適用性確認を実施する。

- a. メーカー規格の適用性確認

アンカー定着材についてのメーカー規格に規定されている事項を表 2.5-5 に、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材で使用するアンカー定着材の使用目的及び使用環境並びに材料を表 2.5-6 に示す。

当該アンカー定着材の使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内であることから、メーカー規格は適用できることを確認した。

表 2.5-5 メーカー規格に規定されている事項

製品名称	使用目的及び使用環境	材料	規格に基づく試験
パーフィクスレジンカプセル	土木及び建築工事におけるアンカーの定着材として使用することを目的とする。使用環境は屋外又は屋内における、気中及び水中を対象に使用する。	ビス系不飽和ポリエステル樹脂	性能試験（アンカー定着材の強度試験により許容限界値の評価式を設定）を実施

表 2.5-6 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁での使用目的及び使用環境並びに材料

製品名称	使用目的及び使用環境	材料
パーフィクスレジンカプセル	地震力作用時において、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材と基礎との定着を確保するために使用することを目的とする。使用環境として屋外（気中）において使用する。	ビス系不飽和ポリエステル樹脂

b. 定着材の使用条件の適用性確認

定着材の使用条件について、メーカーが示す適用範囲等の確認結果について表 2.5-7 に示す。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁開口補強鋼材を基礎に固定するアンカー筋（D32）は、このメーカーが示す使用条件の適用範囲内であることから適用できることを確認した。

表 2.5-7 定着材の使用条件の適用性

項目	メーカー適用範囲等	アンカーの設置状況	適用範囲への適用性	
メーカー	エヌパット株式会社	エヌパット株式会社	○	
製品名称	パーフィクスレジンカプセル	パーフィクスレジンカプセル	○	
アンカーの種類	有機系注入方式	有機系注入方式	○	
材料	接着剤	ビス系不飽和ポリエステル樹脂	○	
	アンカー筋	D10～D38	D32	○
	母材	コンクリート	コンクリート	○
設計	設計法	許容応力度法	○	
判定			○	

c. メーカーによる引張・せん断力の評価式について

定着材は「あと施工アンカー標準試験法・同解説（日本建築あと施工アンカー協会）」に規定されている性能試験を実施した上で、アンカー強度の許容限界の設定を実施している。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のアンカー設計のうち、開口補強鋼材を補助復水貯蔵タンク遮蔽壁に固定するアンカー筋（D32）の設計においては、許容せん断力は「イ. 許容せん断荷重の算出」により許容限界を設定する。アンカーボルトの許容限界の算定値を表 2.5-8 に示す。

イ. 許容せん断荷重の算出

$$Q_a = \min [Q_{a1}, Q_{a2}]$$

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot 0.7 \cdot \sigma_y \cdot s_{ae} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot 0.4 \cdot s_{ae} \cdot \sqrt{(\sigma_B \cdot E_c)} \cdot 10^{-3}$$

Q_{a1} : アンカー筋で決まる場合の 1 本当りの許容せん断強度 (kN)

Q_{a2} : コンクリートの支圧強度により決まる場合の 1 本当りの許容せん断強度 (kN)

ϕ : 一般的に使用される低減係数で下表による

	ϕ_1	ϕ_2
長期荷重用	2/3	0.4
短期荷重用	1.0	0.6

σ_y : アンカー筋の規格降伏点 (N/mm²)

s_{ae} : アンカー筋の有効（公称）断面積 (mm²)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

表 2.5-8 アンカーボルトの許容限界の算定値

材質	条件	許容耐力 (kN)
		せん断
アンカーボルト (SUS304)	アンカーボルトの降伏により定まる場合	/
	アンカーボルトのせん断強度により定まる場合	1534
	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合	—*
	定着したコンクリート躯体の支圧強度により定まる場合	<u>1164</u>

下線部: 許容耐力

注記* : へりあき寸法が有効埋込み長さより大きい場合、アンカーボルトのせん断強度及び定着したコンクリート躯体の支圧強度でせん断耐力は決まる。

(4) 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 2.5-9 に示す。

表 2.5-9 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

2.5.2 評価方法

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震評価は、「2.4 応力解析」に基づく発生応力度が、「2.5.1 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。

また、基礎地盤の支持性能評価は、「2.3 地震応答解析」に基づく最大接地圧が、「2.5.1 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。

2.6 耐震評価結果

2.6.1 構造部材の健全性に対する評価結果（遮蔽壁）

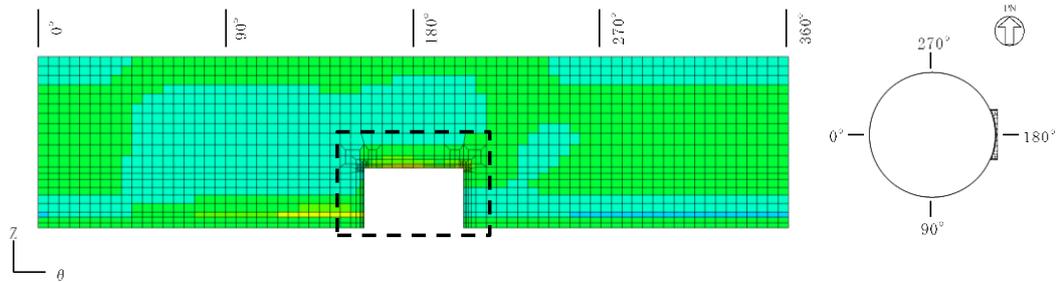
(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（構造物全体としての安定性確保）

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち、遮蔽壁については、3次元静的FEM解析の結果を用いて応力照査する。曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価結果の最大照査値を表2.6-1に示す。その際の、断面力分布図を図2.6-1及び図2.6-2に、最大照査値の発生箇所位置図を図2.6-12に示す。

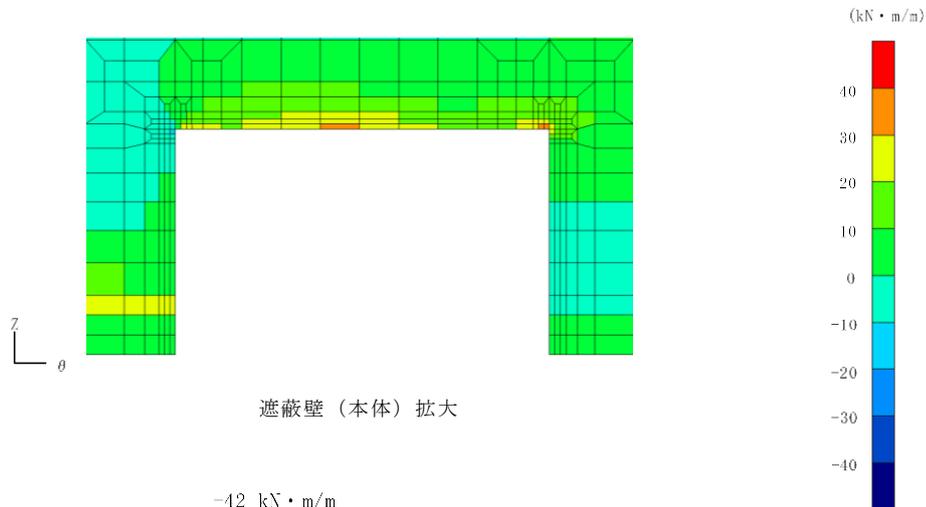
また、表2.6-2より、PHb工法を適用するコンクリートの発生曲げ応力が短期許容応力度を下回りおおむね弾性範囲内であることから、PHb工法の適用範囲内であることを確認した。

表 2.6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)

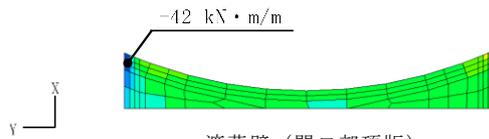
地震応答解析		応力解析	曲げ モーメント M_d ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	軸力 N_d (kN/m)	終局曲げ モーメント M_u ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (++)	ケースA	-42	142	103	0.41



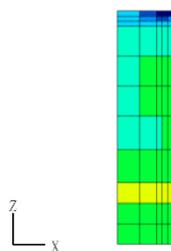
遮蔽壁 (本体)



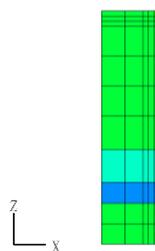
遮蔽壁 (本体) 拡大



遮蔽壁 (開口部頂版)



遮蔽壁 (開口部南壁)

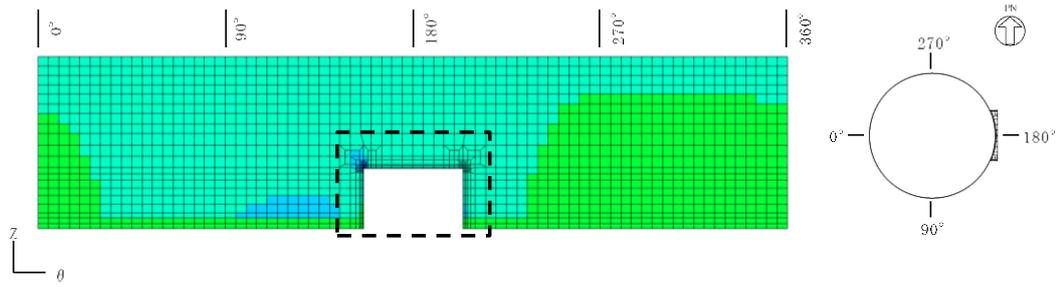


遮蔽壁 (開口部北壁)

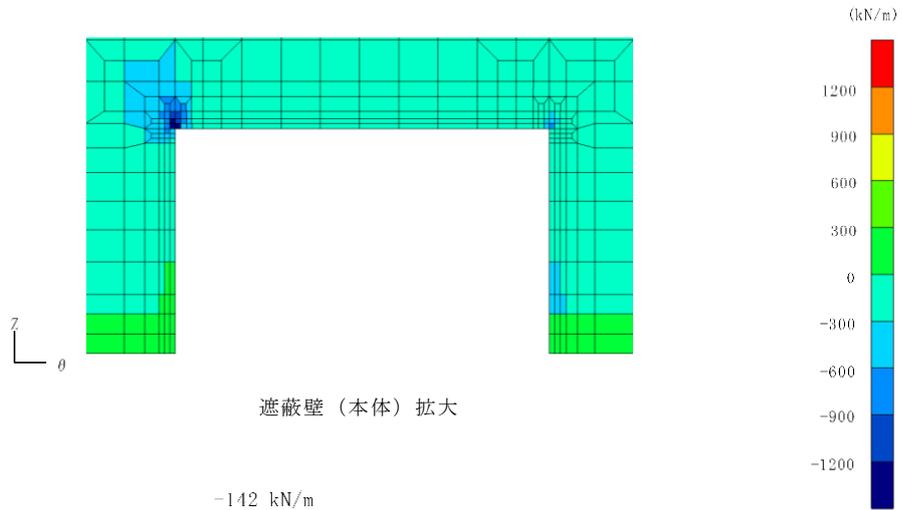
図 2.6-1 断面力分布図

(曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_y)

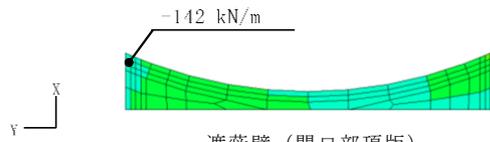
(解析ケース①, S s - D (++))



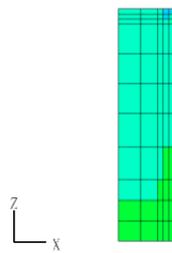
遮蔽壁（本体）



遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

図 2.6-2 断面力分布図
 （軸力 (kN/m) : N_y ）
 （解析ケース①, $S_s - D$ (++)）

表 2.6-2(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認, コンクリート)

地震応答解析		応力解析	発生応力度	許容応力度	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース	σ_d (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	
①	S s - D (++)	ケース A	5.6	13.2	0.43

表 2.6-2(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認, 主筋)

地震応答解析		応力解析	発生応力度	許容応力度	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース	σ_d (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	
①	S s - D (++)	ケース A	218	294	0.75

(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（溢水影響の確認）

曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち溢水影響の確認結果の最大照査値を表 2.6-3 に示す。

表 2.6-3(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）
（溢水影響の確認，コンクリート）

地震応答解析		応力解析	発生応力度 σ_d (N/mm ²)	許容応力度 σ_u (N/mm ²)	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (++)	ケース A	4.0	13.2	0.31

表 2.6-3(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）
（溢水影響の確認，主筋）

地震応答解析		応力解析	発生応力度 σ_d (N/mm ²)	許容応力度 σ_u (N/mm ²)	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (++)	ケース A	159	294	0.55

(3) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する評価結果のうち最大照査値を表 2.6-4 に示す。その際の、断面力分布図を図 2.6-3 に、最大照査値の発生箇所位置図を図 2.6-12 に示す。

また、表 2.6-5 より、PHb 工法を適用するコンクリートの発生せん断力が許容限界を下回り、照査値がおおむね 0.8 以内に収まっていることを確認した。

表 2.6-4 せん断破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)

地震応答解析		応力解析	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (++)	ケース A	168 (237) *	243	0.69 (0.98) *

注記* : () 内数値は、要素の平均化実施前の値を示す。

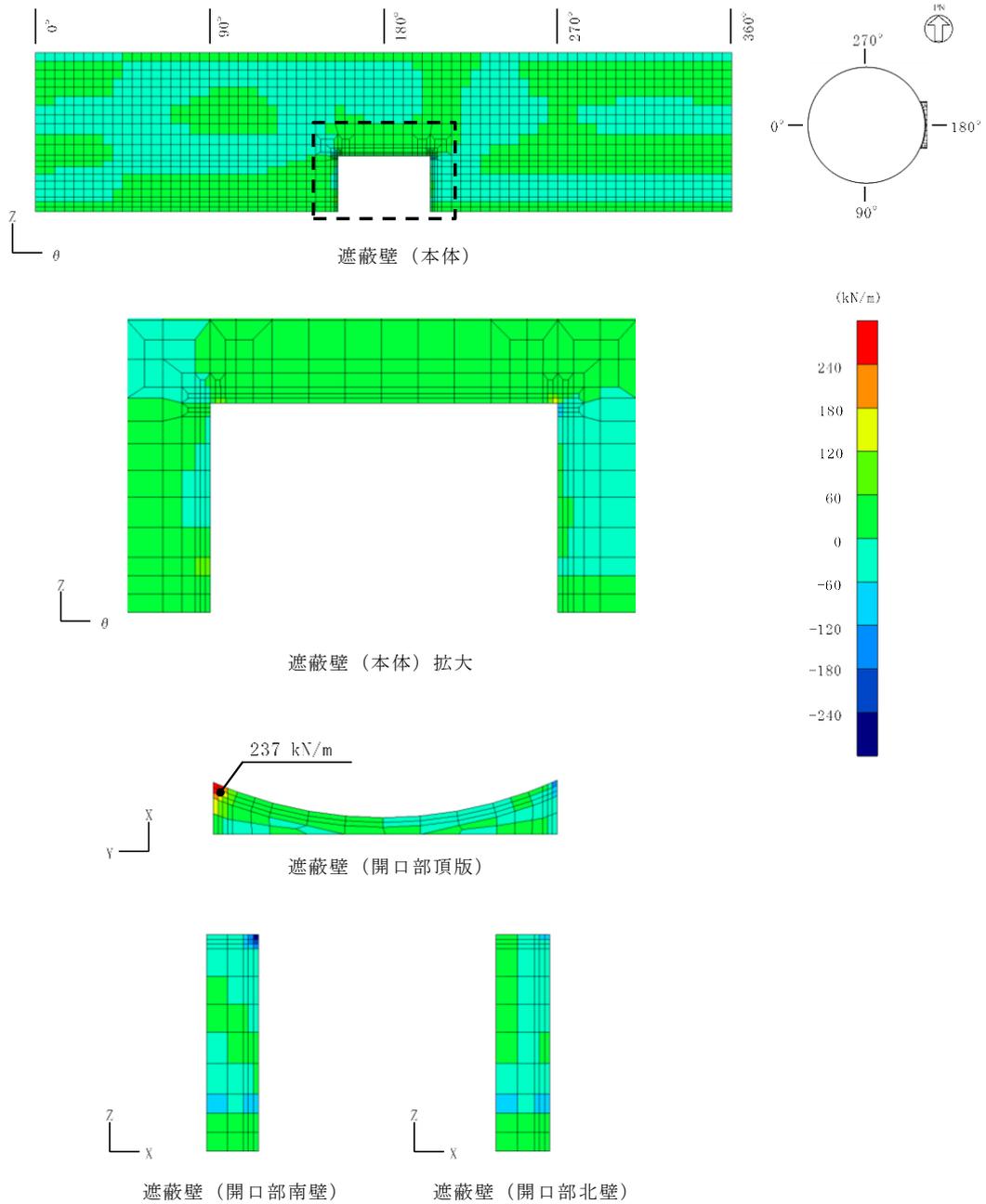


図 2.6-3 断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (解析ケース①, $S_s - D$ (++))

表 2.6-5 せん断破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)
(PHb 工法の適用範囲内の確認)

地震応答解析		応力解析		せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース				
①	S s - D (++)	ケース A		168 (237)*	243	0.69 (0.98)*

注記* : () 内数値は, 要素の平均化実施前の値を示す。

2.6.2 構造部材の健全性に対する評価結果（基礎）

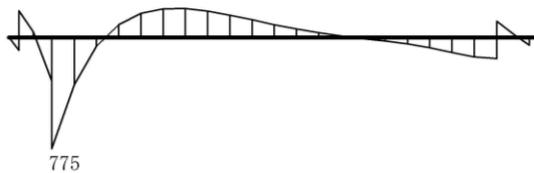
(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（構造物全体としての安定性確保）

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち基礎については、2次元FEM解析の結果を用いて応力照査する。曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果のうち最大照査値を表2.6-6に示す。その際の断面力分布図を図2.6-4に示す。

表2.6-6より、全ての評価対象部材に対して発生する応力度が許容限界以下であることを確認した。

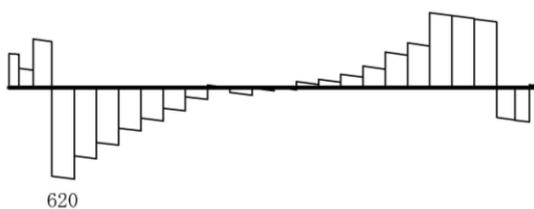
表 2.6-6 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎）

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	終局曲げ モーメント M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
③	S s - D (++)	775	-620	1518	0.52



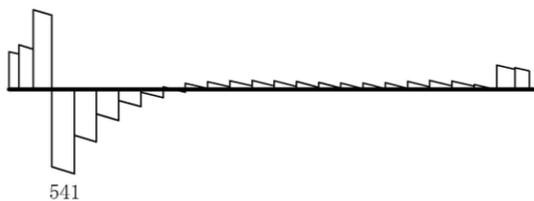
数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+：引張, -：圧縮)



数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 2.6-4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(解析ケース③, $S_s - D(++)$, $t = 19.26s$)

(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（溢水影響の確認）

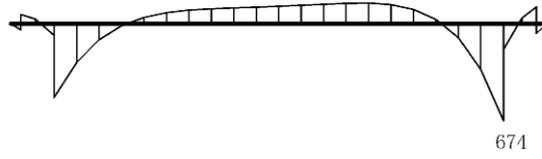
曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち溢水影響の確認結果の最大照査値を表 2.6-7 に示す。その際の断面力分布図を図 2.6-5 に示す。

表 2.6-7(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎（コンクリート））

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_c (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_a
③	S s - D (++)	2.0	13.2	0.15

表 2.6-7(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎（鉄筋））

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_a
③	S s - D (++)	203	294	0.70



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)

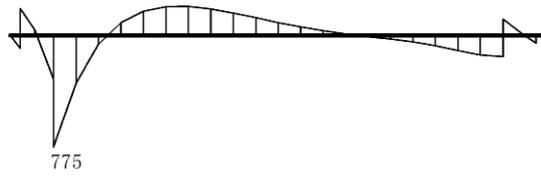


数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+：引張, -：圧縮)



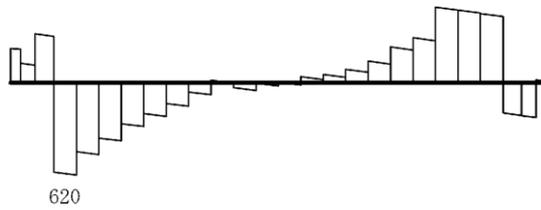
数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 2.6-5(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図 (コンクリート)
 (解析ケース③, $S_s - D(++)$, $t = 7.89s$)



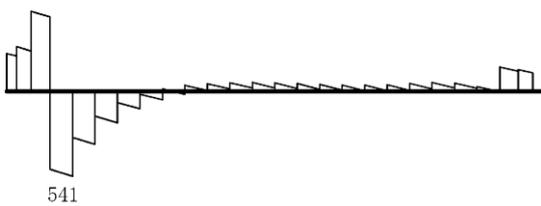
数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)



数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 2.6-5(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図 (鉄筋)
(解析ケース③, S s - D (++) , t=19.26s)

(3) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する評価結果のうち最大照査値を表 2.6-8 に示す。その際の断面力分布図を図 2.6-6 に示す。

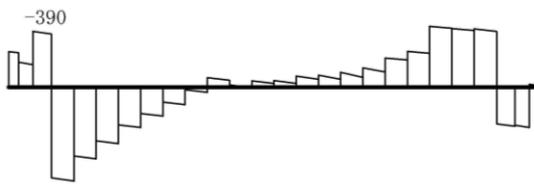
表 2.6-8 より、全ての評価対象部材に対して発生する応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 2.6-8 せん断破壊に対する最大照査値（基礎）

解析 ケース	地震動	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
③	S s - D (++)	663	958	0.70



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+：引張, -：圧縮)



数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 2.6-6 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (解析ケース③, $S_s - D$ (++) , $t = 19.25s$)

2.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果（開口補強鋼材）

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち、開口補強鋼材については、3次元静的FEM解析の結果を用いて応力照査する。開口補強鋼材の各部材の最大照査値を表2.6-9～表2.6-15に示す。その際の、断面力分布図を図2.6-7～図2.6-12に、最大照査値の発生箇所位置図を図2.6-13に示す。

表2.6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
①	S s - D (++)	20	215	0.10

表2.6-10 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

解析 ケース	地震動	発生せん断応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
①	S s - D (++)	4	124	0.04

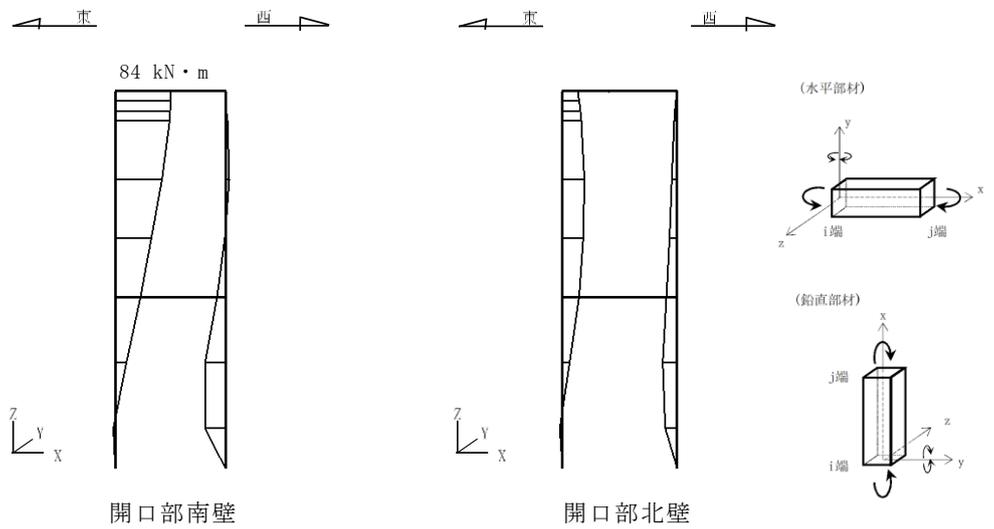
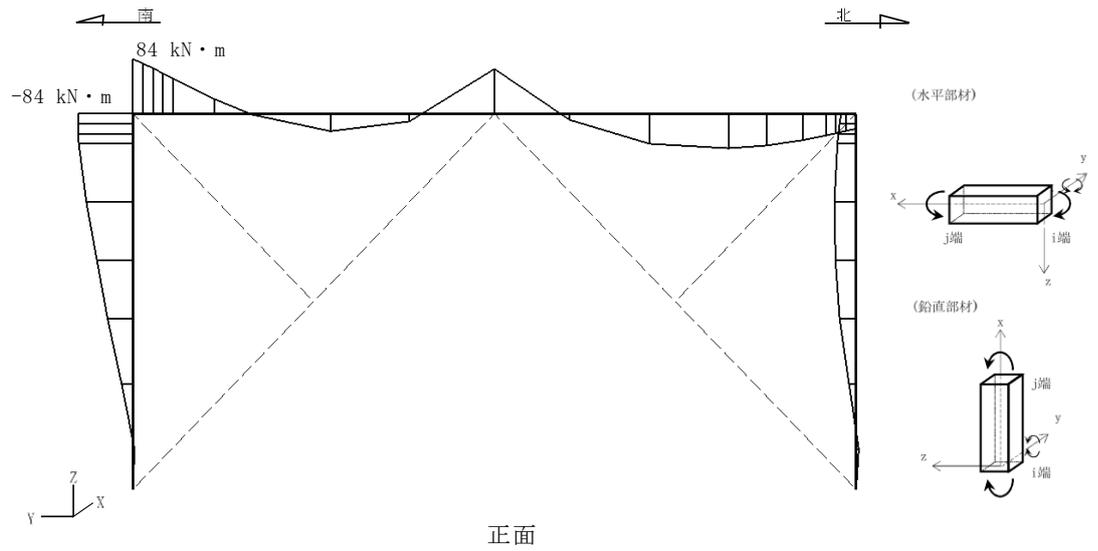


図 2.6-7 断面力分布図 (枠材)
 (曲げモーメント (kN・m) : M_y)
 (解析ケース①, $S_s - D$ (++))

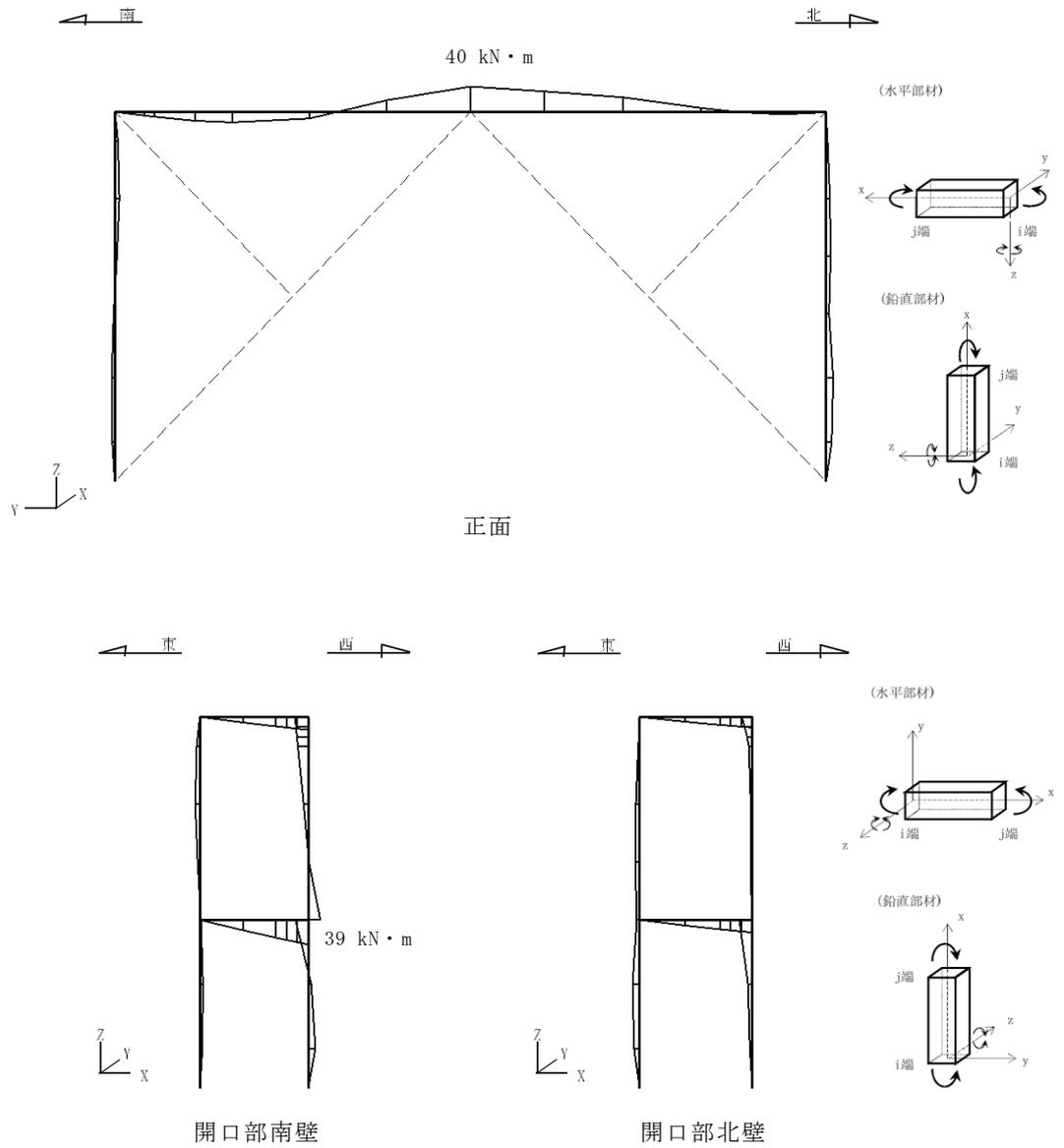


図 2.6-8 断面力分布図 (枠材)
 (曲げモーメント (kN · m) : M_z)
 (解析ケース①, $S_s - D$ (++))

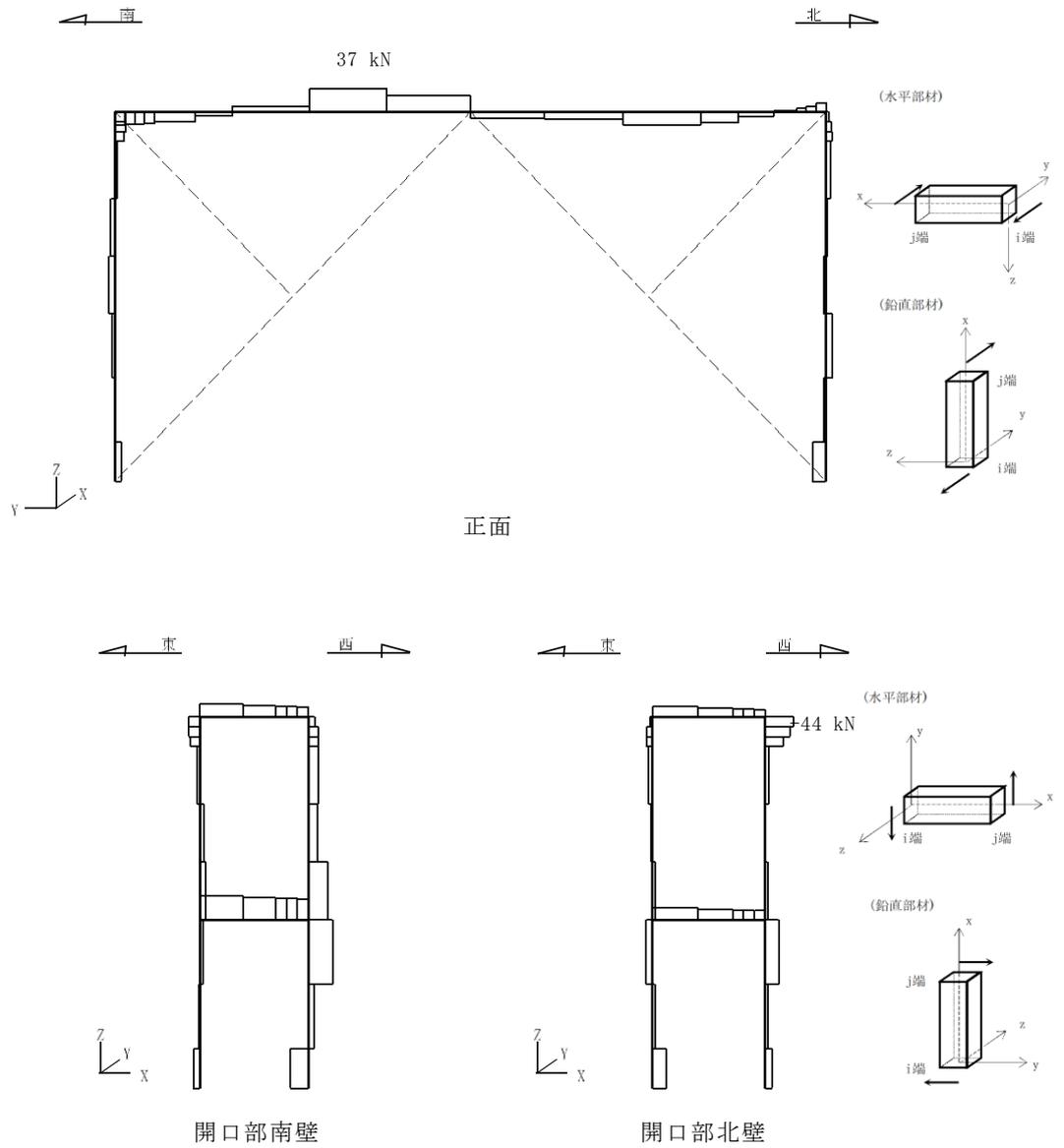


図 2.6-9 断面力分布図 (粹材)
 (せん断力 (kN) : Q_y)
 (解析ケース①, $S_s - D$ (++))

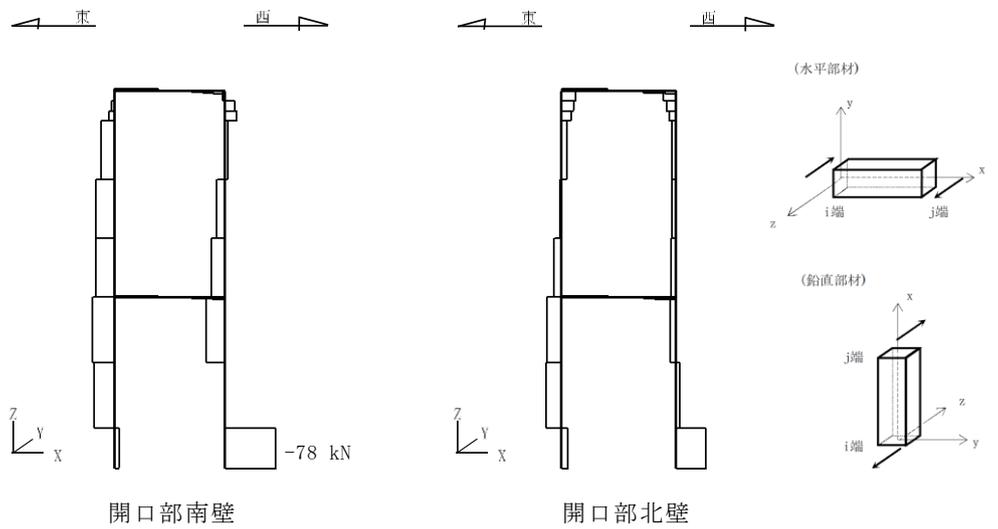
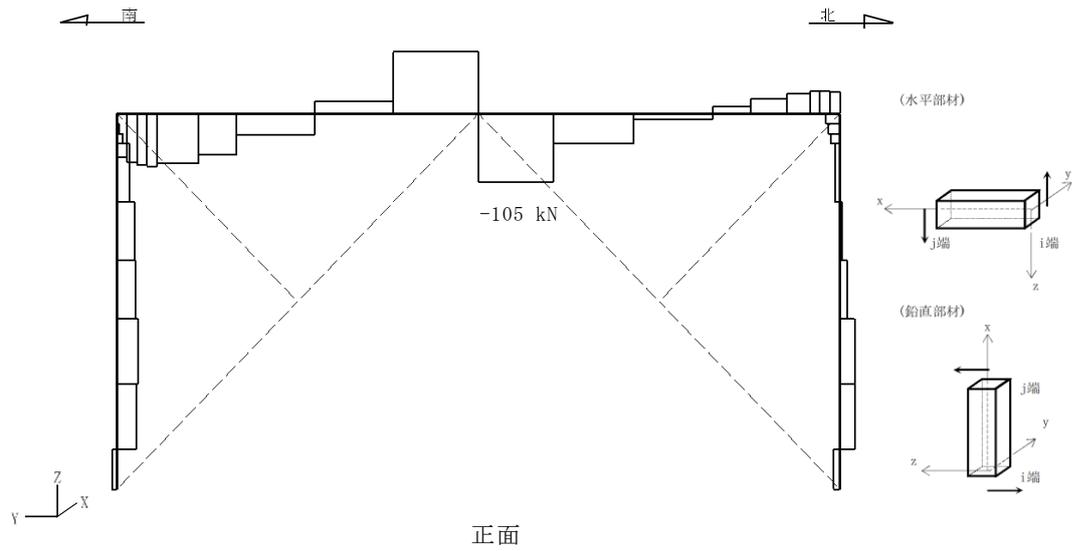


図 2.6-10 断面力分布図 (枠材)
 (せん断力 (kN) : Q_z)
 (解析ケース①, $S_s - D$ (++))

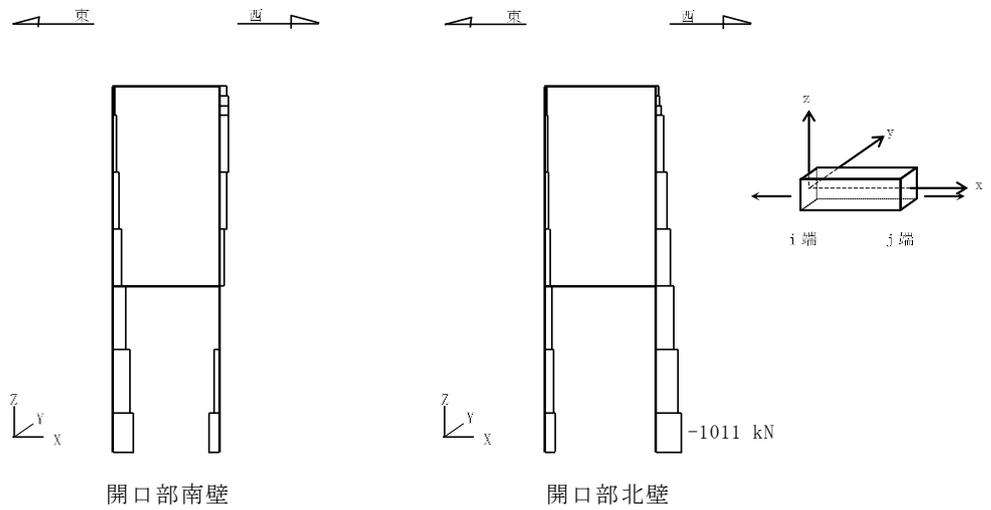
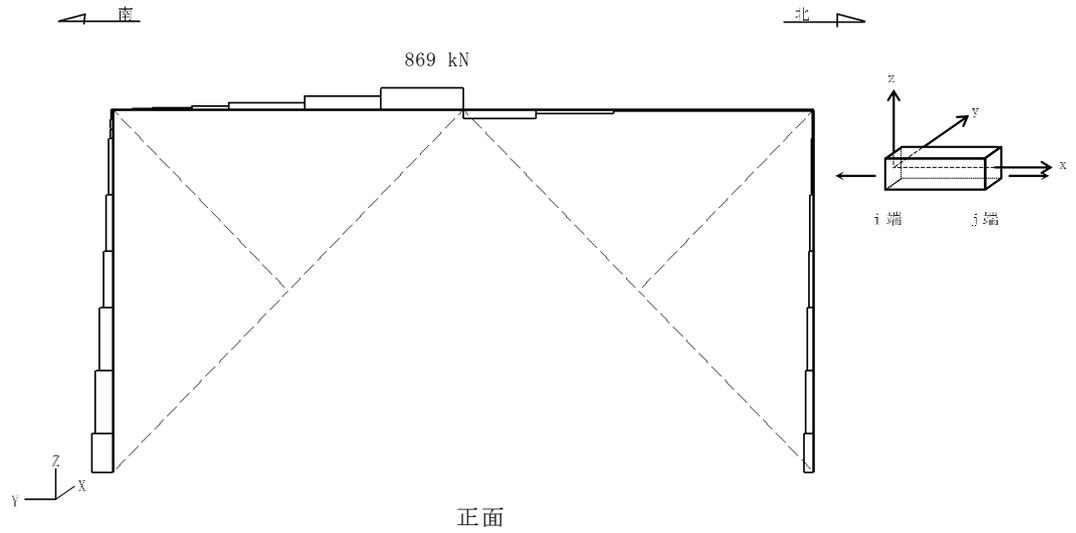


図 2.6-11 断面力分布図 (枠材)

(軸力 (kN) : N)

(解析ケース①, $S_s - D$ (++))

表 2.6-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (開口補強鋼材：ブレース材)

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ_n / σ_{na}
①	S s - D (++)	15	195	0.08

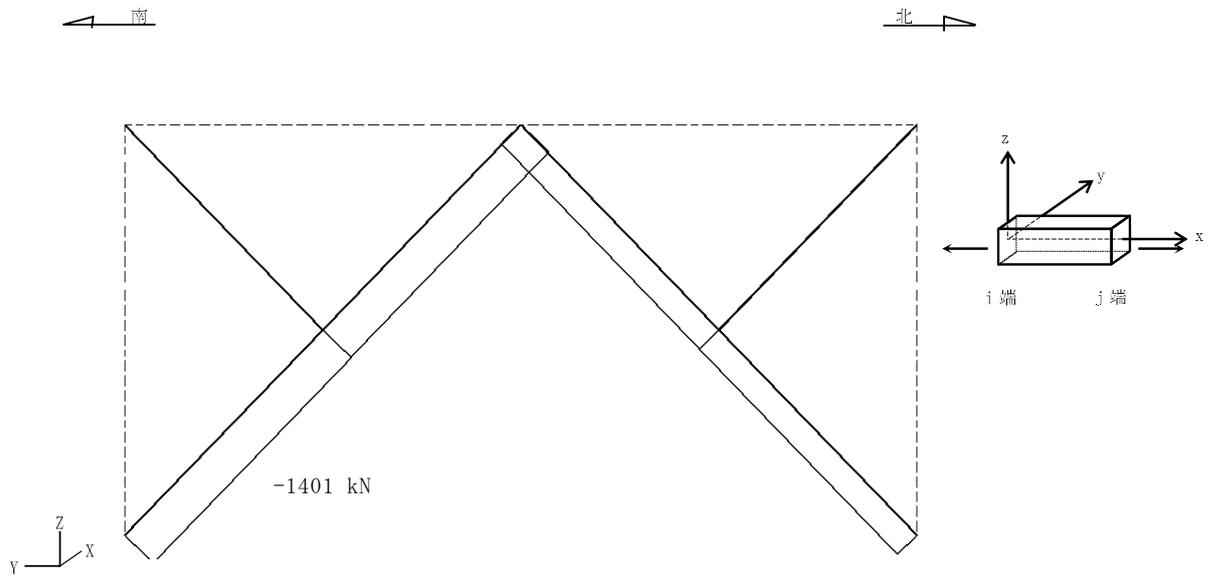


図 2.6-12 断面力分布図 (ブレース材)

(軸力 (kN) : N)

(解析ケース①, S s - D (++))

表 2.6-12 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：ガセットプレート）

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
①	S s - D (++)	119	215	0.56

表 2.6-13 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：ベースプレート）

解析 ケース	地震動	発生応力度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
①	S s - D (++)	194	248	0.79

表 2.6-14 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：ベースプレート）

解析 ケース	地震動	発生せん断応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
①	S s - D (++)	14	124	0.12

表 2.6-15 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：アンカーボルト）

解析 ケース	地震動	発生せん断力 Q_d (kN)	許容せん断力 Q_a (kN)	照査値 Q_d / Q_a
①	S s - D (++)	970	1164	0.84

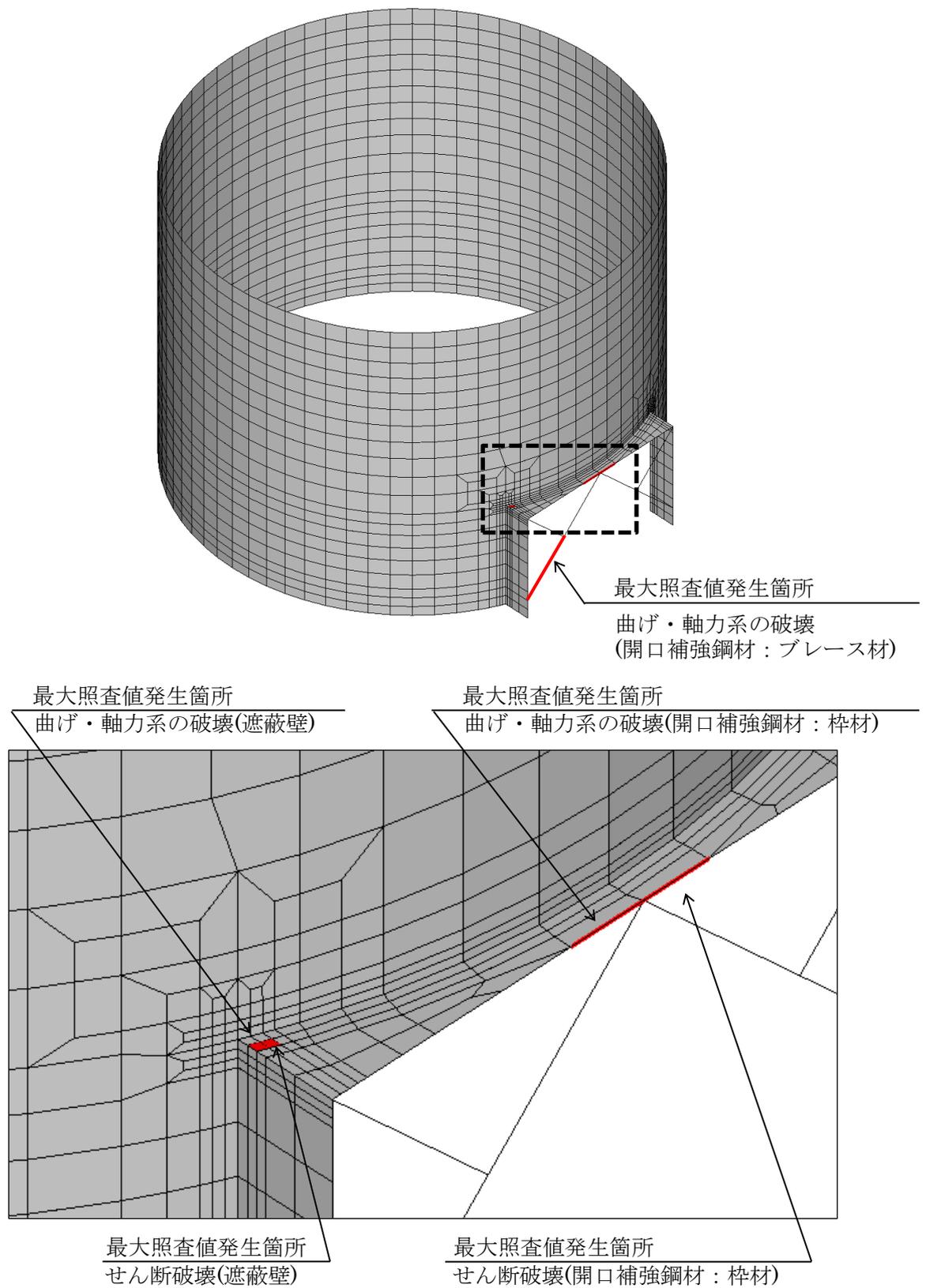


図 2.6-13 最大照査値発生箇所位置図 (鳥瞰図, 南東側から望む)

2.6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎地盤の支持性能に対する評価には、2次元FEM解析の結果を用いる。基礎地盤の支持性能に対する評価結果の最大照査値を表2.6-16に示す。また、照査値最大を示す、地震動 $S_s-D(++)$ （解析ケース③）における最大接地圧分布図を図2.6-14に示す。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の基礎地盤に発生する最大接地圧が、許容限界を下回ることを確認した。

表 2.6-16 支持性能に対する最大照査値（基礎地盤）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 $P(N/mm^2)$	極限支持力度 $P_u(N/mm^2)$	照査値 P/P_u
③	S_s-D (++)	0.60	9.8	0.07

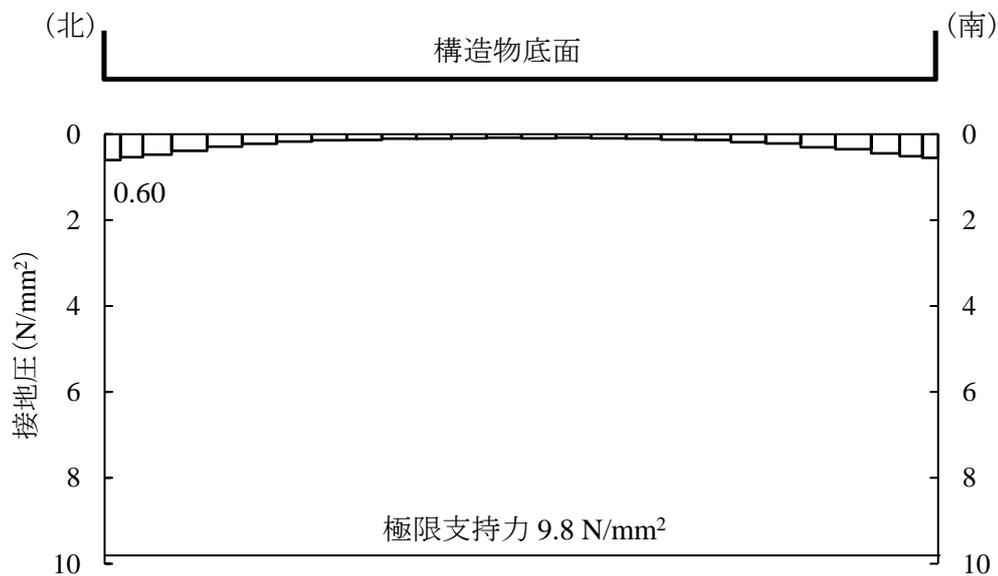


図 2.6-14 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース③, $S_s-D(++)$)

参考資料 1 安全対策工事に伴う掘削影響の検討と弁室の構造健全性評価及び漏水量評価について

1. 概要

復水貯蔵タンク遮蔽壁等の東側では、安全対策工事に伴い掘削を実施しており、当該設備は掘削箇所付近に近接している。

復水貯蔵タンク遮蔽壁等に対する安全対策工事に伴う掘削影響検討を行うために、東西方向の地震応答解析を実施し、遮蔽壁の東側に位置する弁室に対する構造健全性評価を行う。併せて、遮蔽壁－弁室間の相互作用評価も実施する。

また、弁室で生じるひび割れ幅及び遮蔽壁－弁室間で生じる目開き幅の評価についても東西方向の地震応答解析により行う。その結果に応じて、ひび割れ及び目開きからの漏水量評価を実施する。

2. 評価条件

2.1 適用規格

本文「2.1 適用規格」と同様の規格、基準を適用する。

2.2 構造概要

本文「2.2 構造概要」と同様の構造概要である。

2.3 評価対象断面の方向

本文「2.3 評価対象断面の方向」と同様の方向とする。

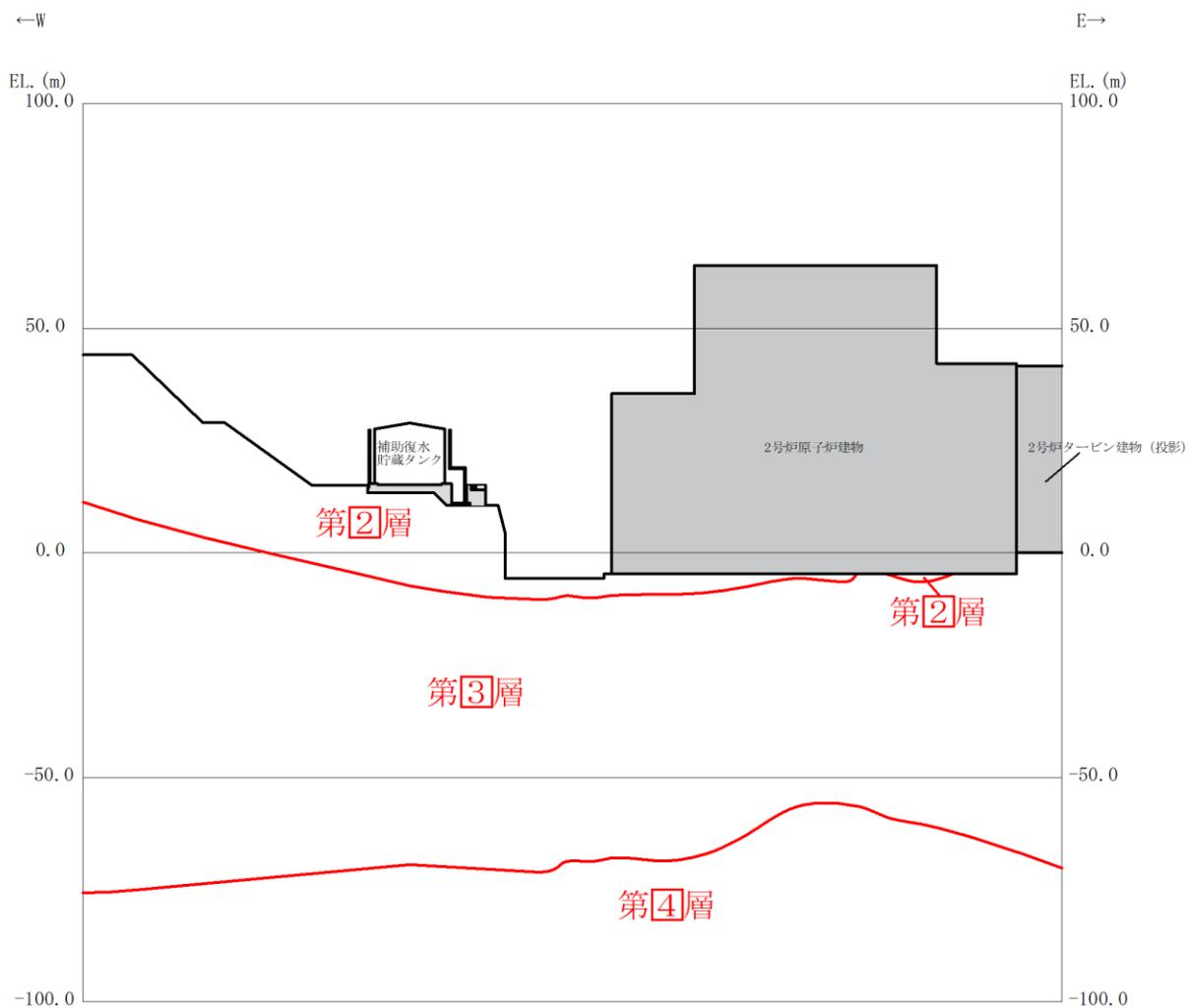
2.4 評価対象断面の選定

評価対象断面は、「1. 概要」に示すとおり、東西方向断面とする。断面位置は、復水貯蔵タンク遮蔽壁等の東側に位置する安全対策工事に伴う掘削箇所の影響を評価可能であること、また、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の底部部材厚は復水貯蔵タンク遮蔽壁より 200mm 小さく、最大応答加速度（南北方向断面）が大きいこと等から、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁位置を代表とする。

復水貯蔵タンク遮蔽壁等の評価対象断面位置図を図 2-1 に、評価対象断面図を図 2-2 に示す。



図 2-1 復水貯蔵タンク遮蔽壁等 評価対象位置図



(速度層図)

図 2-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁等 評価対象断面図

2.5 使用材料及び材料の物性値

本文「2.5 使用材料及び材料の物性値」と同様の使用材料及び材料の物性値を使用する。

2.6 地盤物性値

本文「2.6 地盤物性値」と同様の地盤物性値を使用する。

2.7 評価構造物諸元

本文「2.7 評価構造物諸元」と同様の構造物諸元を使用する。

2.8 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い、設定する。設計地下水位を図2-3に示す。なお、施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから、地下水の影響は考慮しない。

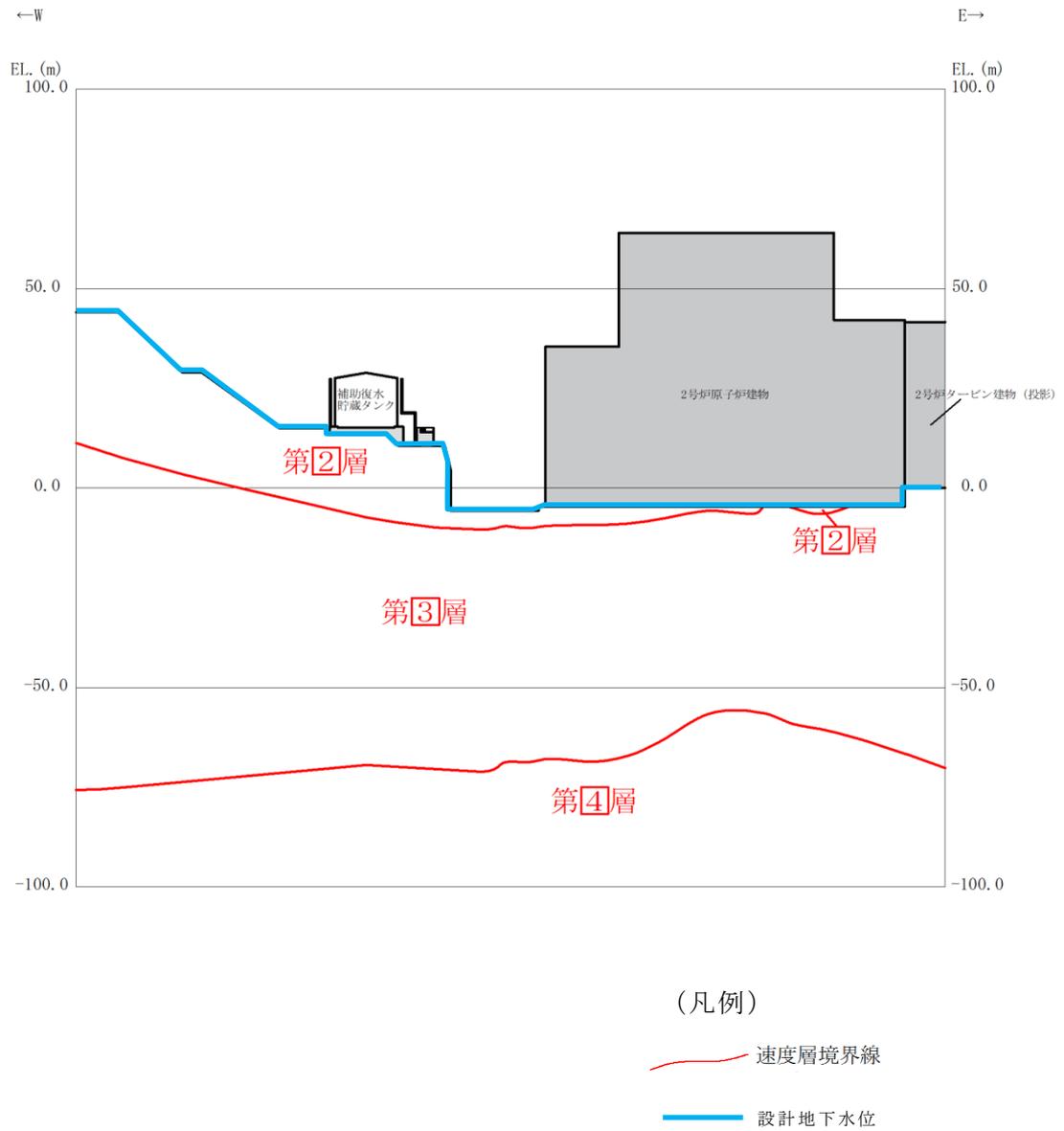


図2-3 設計地下水位 (B-B断面)

2.9 耐震評価フロー

本文「2.9 耐震評価フロー」と同様の耐震評価フローを使用する。復水貯蔵タンク遮蔽壁等の評価フローを図 2-4 に示す。

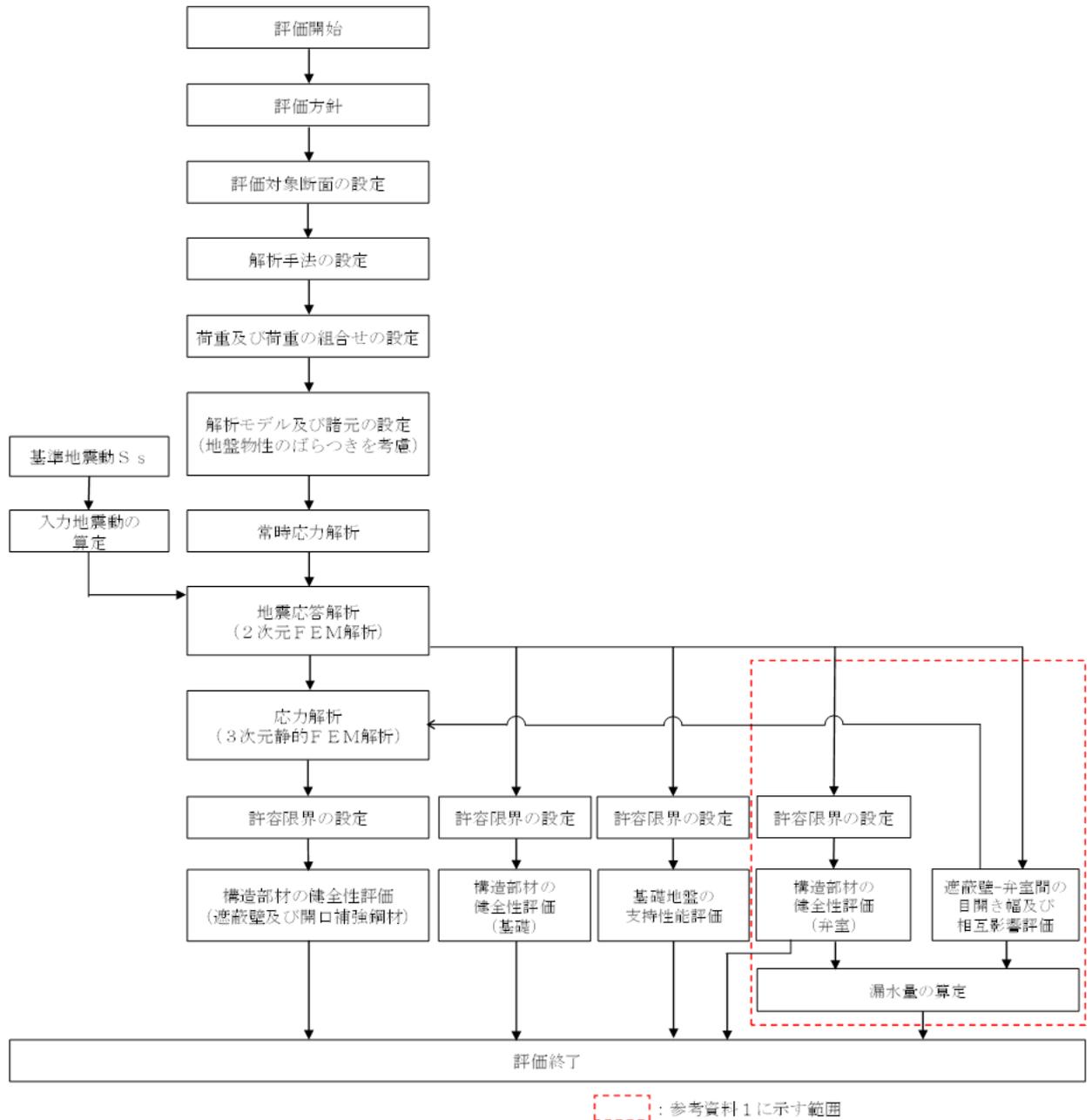


図 2-4 耐震評価フロー

3. 地震応答解析

3.1 地震応答解析手法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととし、解析手法については、図 3-1 に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。

B-B 断面は、施設周辺の設計地下水位が底版より高いが、施設周辺に地下水位が深い液状化対象層が存在しないため、解析手法の選定フローに基づき「②全応力解析」を選定する。

構造部材については、遮蔽壁は多質点系曲げせん断棒モデルで、基礎は線形はり要素で、弁室の面外壁はファイバー要素、面内壁は平面ひずみ要素でモデル化する。岩盤は線形でモデル化する。置換コンクリートについては線形の平面ひずみ要素でモデル化する。なお、復水貯蔵タンク遮蔽壁等に対する安全対策工事に伴う掘削影響検討及び遮蔽壁－弁室間で生じる目開き幅の量評価、遮蔽壁－弁室間の相互作用評価を行う地震応答解析モデルでは、弁室の面内壁をモデル化する。また、弁室に対する構造健全性評価を行う地震応答解析モデルでは、弁室の面内壁をモデル化しない。

地震応答解析の解析コードについては、「TDA P III」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

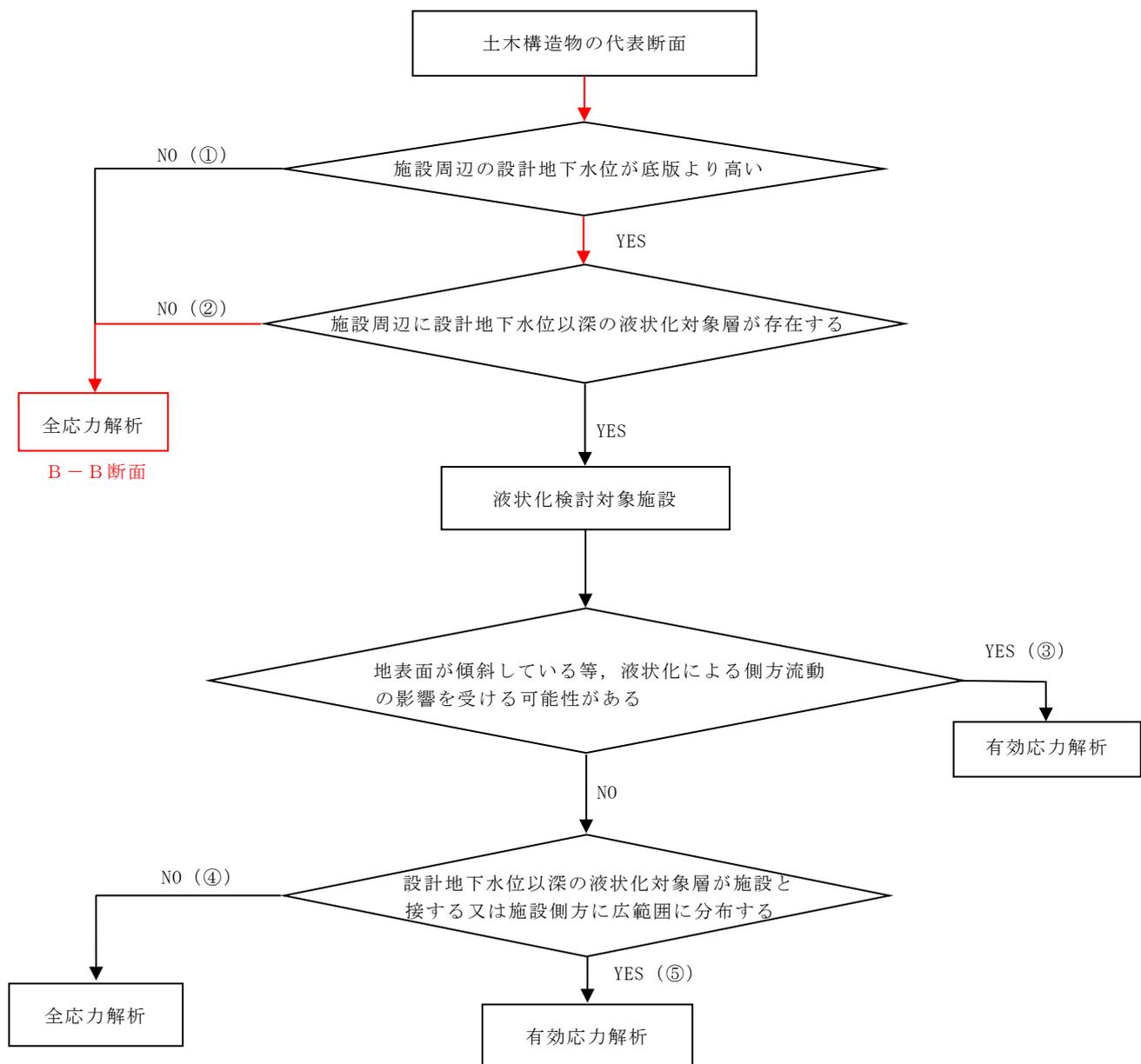


図 3-1 解析手法の選定フロー

3.2 地震応答解析モデルの設定

3.2.1 解析モデル領域

本文「3.2.1 解析モデル領域」と同様の境界条件とする。

3.2.2 境界条件

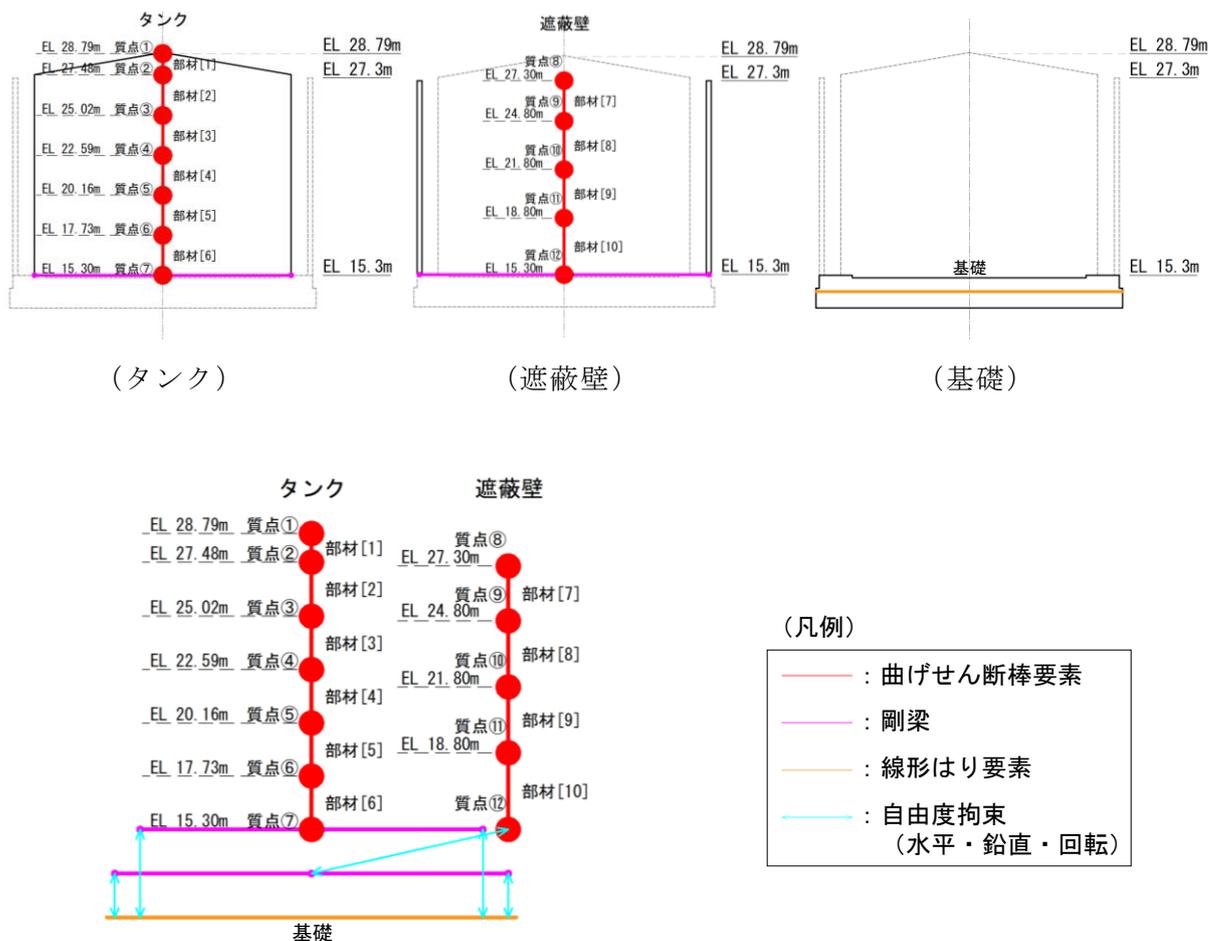
本文「3.2.2 境界条件」と同様の境界条件とする。

3.2.3 構造物のモデル化

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材のうち、遮蔽壁については、多質点系のはり質点系モデルとする。基礎については線形はり要素でモデル化する。なお、タンクは補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材では無いが、基礎への影響を検討するため多質点系のはり質点系モデルでモデル化する。

また、タンク及び遮蔽壁の荷重を基礎に適切に伝えるため、タンクについてはタンク底面の直径と同じ長さの剛梁を、遮蔽壁については遮蔽壁下端の直径と同じ長さの剛梁を、それぞれのモデル下端にモデル化する。タンク及び遮蔽壁と基礎の接続位置において、タンク及び遮蔽壁と基礎を自由度拘束することにより、タンク及び遮蔽壁－基礎間を接続する。地震応答解析モデルの概念図を図3-2に示す。

なお、開口補強鋼材は、重量のみ考慮することとし、保守的に剛性は考慮しない。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデルの諸元を表3-1～表3-5に示す。



(タンク、遮蔽壁及び基礎 拘束条件)

図3-2 構造物モデル化の概念図

(参考) 1-10

表 3-1 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデル諸元

部位	水平方向モデル						鉛直方向モデル	
	質点 番号	質点 重量 (kN/m)	回転 慣性 (kN・ m ² /m)	要素 番号	せん断有 効 断面積 (m ²)	断面 2 次 モーメン ト (m ⁴)	質点 番号	質点 重量 (kN/m)
タ ン ク	①	12.54	—				①	—
	②	11.30	—	1	0.4400	6.670	②	—
	③	71.88	—	2	0.1460	8.780	③	—
	④	163.1	—	3	0.1700	10.25	④	—
	⑤	164.4	—	4	0.1950	11.72	⑤	—
	⑥	165.7	—	5	0.2440	14.65	⑥	—
	⑦	89.70	—	6	0.2920	17.58	⑦	1013
遮 蔽 壁	⑧	32.46	—	—	—	—	⑧	32.46
	⑨	61.89	—	7	8.388	664.6	⑨	61.89
	⑩	64.03	—	8	8.388	664.6	⑩	64.03
	⑪	77.80	—	9	8.388	664.6	⑪	77.80
	⑫	37.43	—	10	8.388	566.2	⑫	37.43
			23060					

表 3-2 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の質点重量の集計範囲

	質点番号・位置	躯体
⑧		
⑨		
⑩		
⑪		
⑫		

表 3-3 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の回転慣性重量の集計範囲

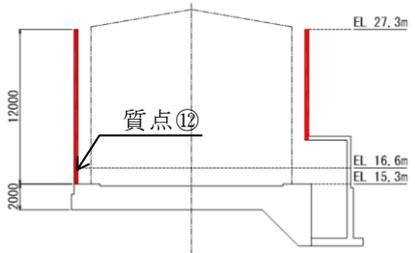
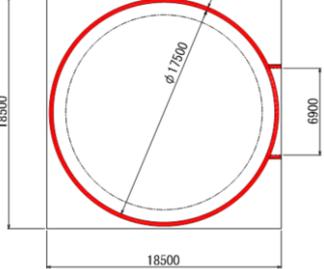
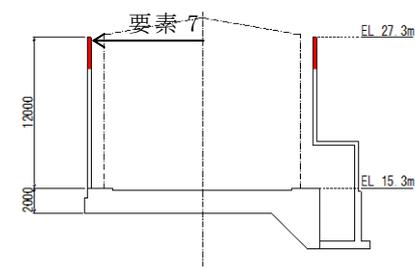
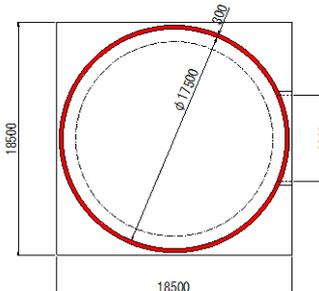
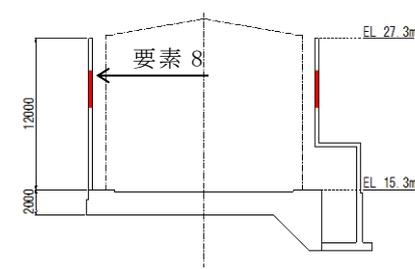
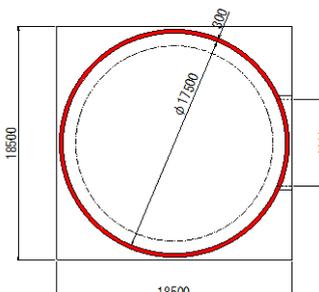
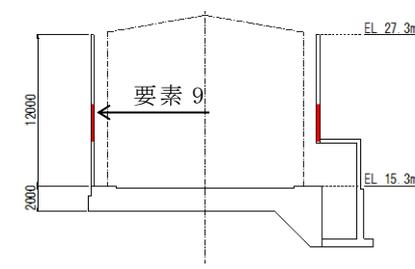
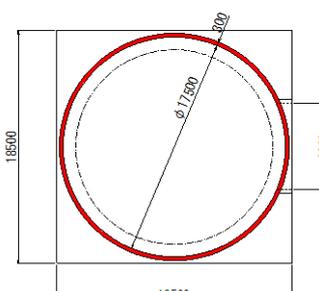
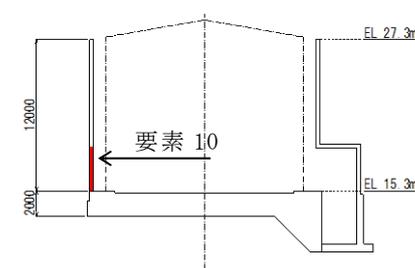
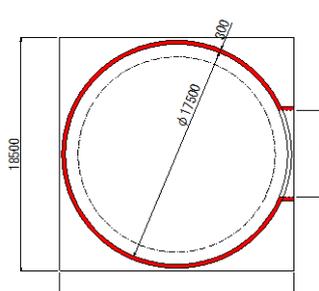
	質点番号・位置	躯体
⑫		

表 3-4 復水貯蔵タンク遮蔽壁の有効せん断面積 (B-B 断面)

	要素番号・位置	東西方向
7		
8		
9		
10		

表 3-5 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の断面 2 次モーメントの有効断面

	要素番号・位置	南北方向
7		
8		
9		
10		

3.2.4 隣接構造物のモデル化

隣接構造物となる原子炉建物は「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」における多質点系モデル（多軸床剛多質点系モデル（水平）及び多軸多質点系モデル（鉛直））を基に図 3-3 に示す手順で有限要素モデルを作成する。まず、多質点系モデルのフロア毎に重量を、層毎に剛性を集約し、多質点系モデルと振動的に等価な単軸モデル（水平、鉛直）を作成し、1次モードの固有周期が同等となるよう単軸モデルのせん断断面積及び断面2次モーメントを補正する。その後、図 3-4 に示す関係式を用いて、単軸モデルの水平剛性 K_H 、鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_θ を有限要素モデルのせん断剛性 G 、ポアソン比 ν 及びばね定数 k_s に変換し、単軸モデルと有限要素モデルが振動的に等価となるよう一致させる。なお、重量については、各節点の分担長に応じて層毎に設定する。

原子炉建物の有限要素モデルを図 3-5 に、有限要素モデルの平面ひずみ要素の物性値及び断面諸元を表 3-6 に、1次モードの固有周期の調整結果を表 3-7 に示す。

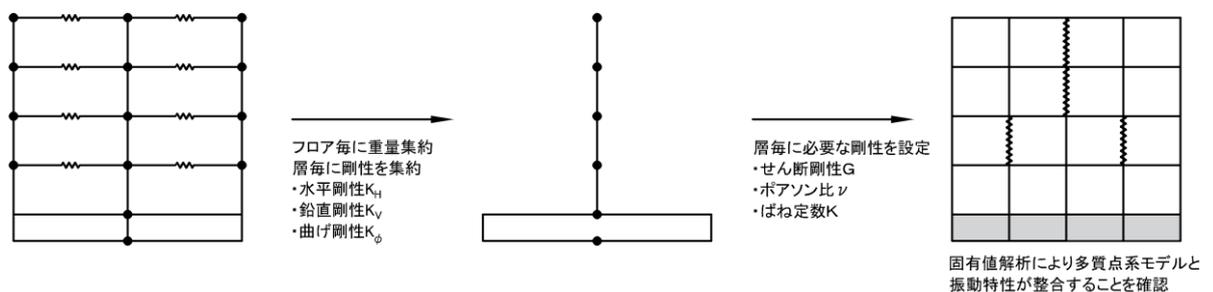
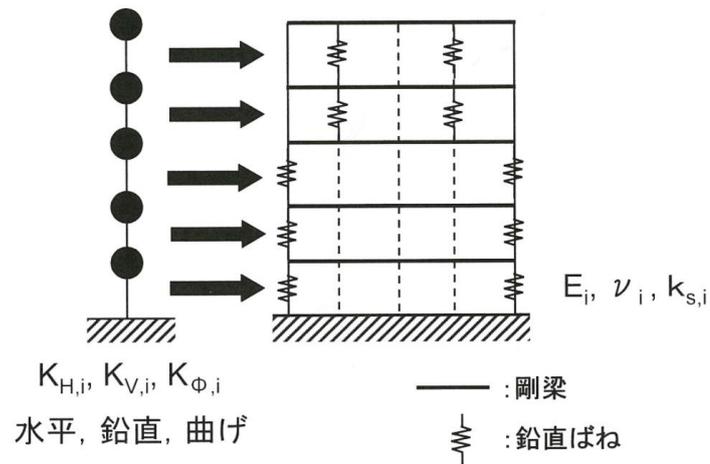


図 3-3 原子炉建物の有限要素モデル作成の考え方



$$K_{H,i} = \frac{G_i A_{H,i}}{\ell_i} \dots\dots\dots (4.3.1)$$

$$K_{V,i} = \frac{E_i A_{V,i}}{\ell_i} \dots\dots\dots (4.3.2)$$

$$K_{\phi,i} = E_i I_i \dots\dots\dots (4.3.3)$$

$$\tilde{G}_i = \left(\frac{A_{H,i}}{a_i} \right) G_i \dots\dots\dots (4.3.4)$$

$$K_{V,i} = \frac{2a_i \tilde{G}_i (1 - \tilde{\nu}_i)}{b_i (1 - 2\tilde{\nu}_i)} + 2k_{sp,i} \dots\dots\dots (4.3.5)$$

$$K_{\phi,i} = \frac{a_i^3 \tilde{G}_i (1 - \tilde{\nu}_i)}{6 (1 - 2\tilde{\nu}_i)} + \frac{b_i d_i^2}{2} k_{sp,i} \dots\dots\dots (4.3.6)$$

$$\tilde{\nu}_i = \frac{1}{2} \frac{12K_{\phi,i} - 3b_i \cdot d_i^2 K_{V,i} - 2(a_i^3 - 3a_i \cdot d_i^2) \tilde{G}_i}{12K_{\phi,i} - 3b_i \cdot d_i^2 K_{V,i} - (a_i^3 - 3a_i \cdot d_i^2) \tilde{G}_i} \dots\dots\dots (4.3.7)$$

$$k_{sp,i} = \frac{1}{2} \frac{K_{V,i} \cdot a_i^2 \cdot b_i - 12K_{\phi,i}}{(a_i^2 - 3d_i^2) b_i} \dots\dots\dots (4.3.8)$$

図 3-4 質点系モデルから有限要素モデルへのモデル化概要
 (原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>
 (土木学会, 原子力土木委員会, 2009年2月) より抜粋)

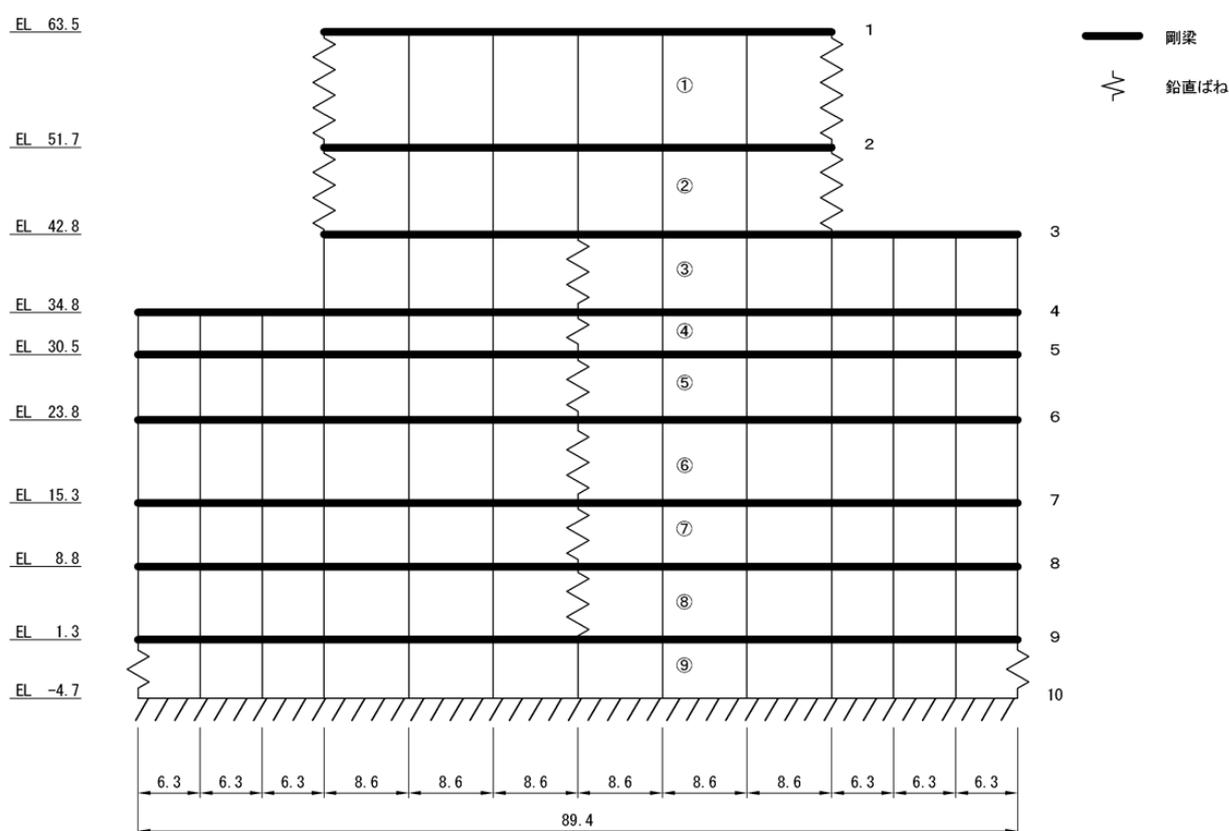


図 3-5 原子炉建物 有限要素モデル図

表 3-6 原子炉建物（平面ひずみ要素）の物性値

物性 番号	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	ヤング係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	ばね係数 k_s (kN/m/m)
①	1.696×10^5	4.624×10^5	0.36338	8.052×10^4
②	2.841×10^5	7.766×10^5	0.36677	7.050×10^5
③	6.449×10^5	1.608×10^6	0.24680	1.869×10^6
④	7.442×10^5	1.935×10^6	0.30027	4.849×10^6
⑤	7.454×10^5	1.935×10^6	0.29786	4.371×10^6
⑥	8.579×10^5	2.280×10^6	0.32881	1.822×10^6
⑦	1.165×10^6	3.065×10^6	0.31568	4.567×10^6
⑧	1.370×10^6	3.525×10^6	0.28593	4.128×10^6
⑨	9.558×10^6	2.127×10^7	0.11260	3.883×10^4

表 3-7 固有周期（1次モード）の調整結果

	有限要素モデル	多質点系モデル (地盤ばねなし)
水平方向	0.1818	0.1818
鉛直方向	0.0882	0.0882

3.2.5 地盤、置換コンクリート及び埋戻土のモデル化

岩盤及び置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤のモデル化に用いる、地質断面図を図 3-6 に示す。

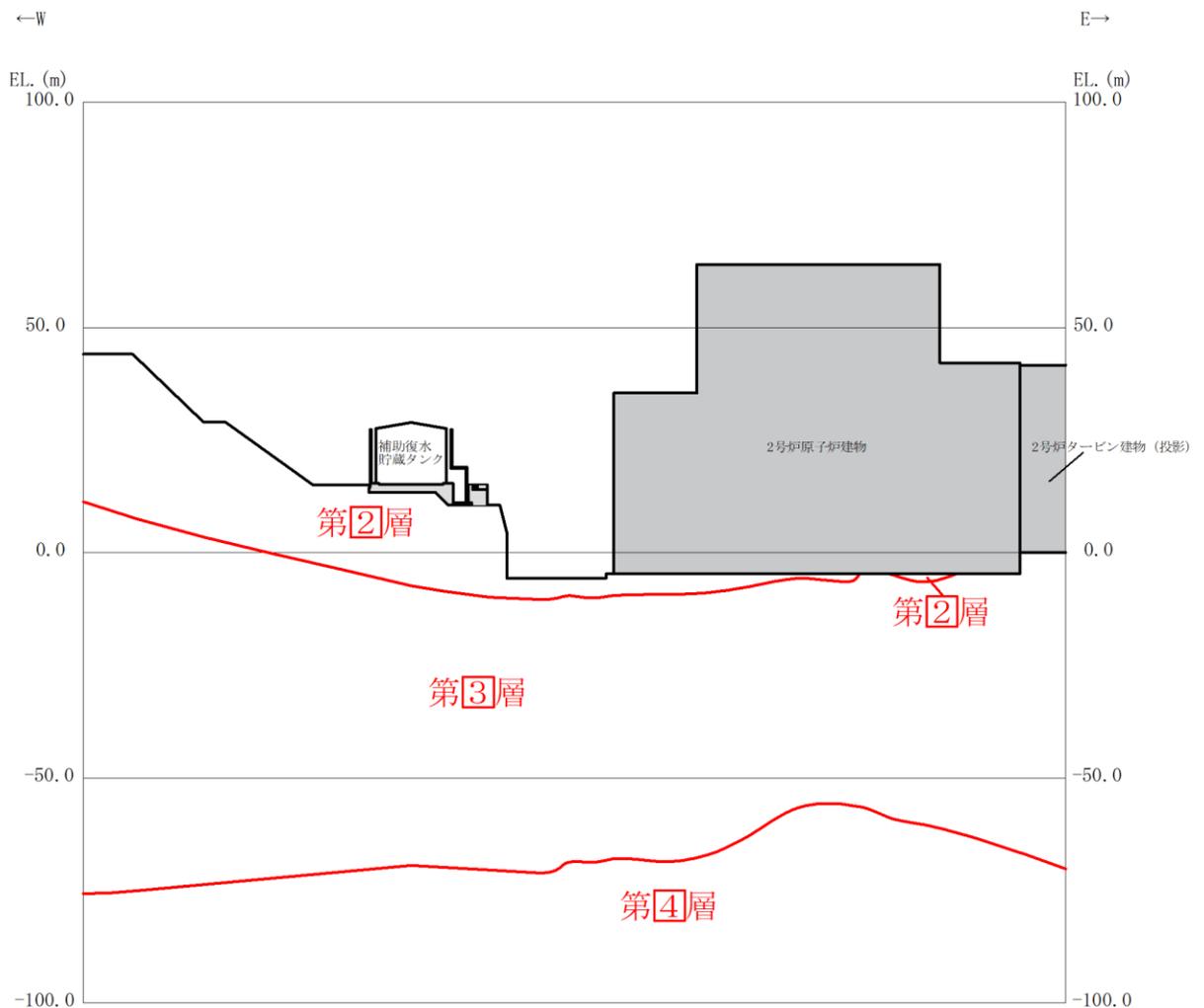
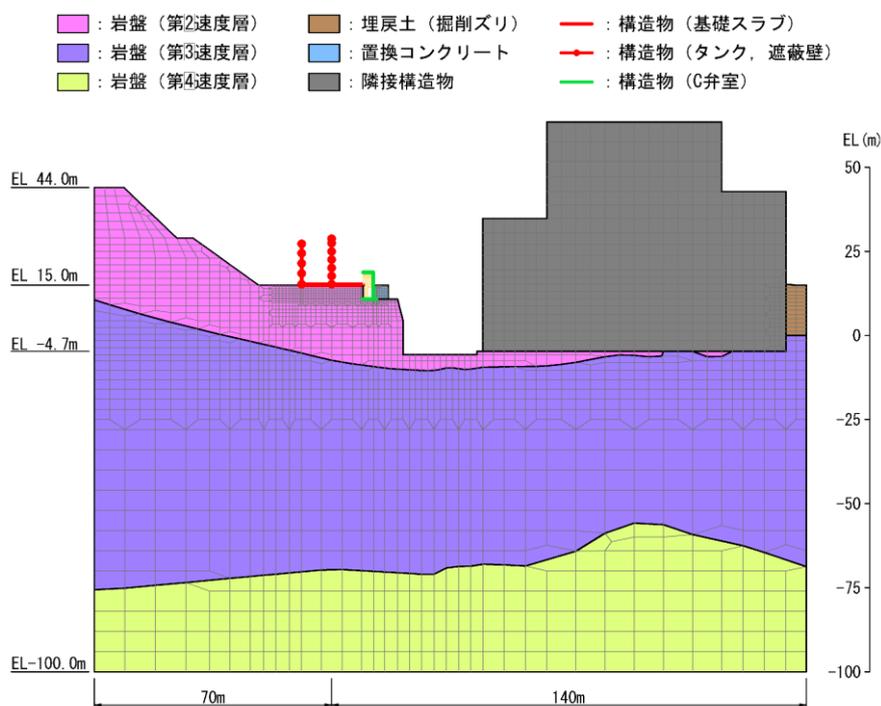


図 3-6 評価対象地質断面図（B-B断面）

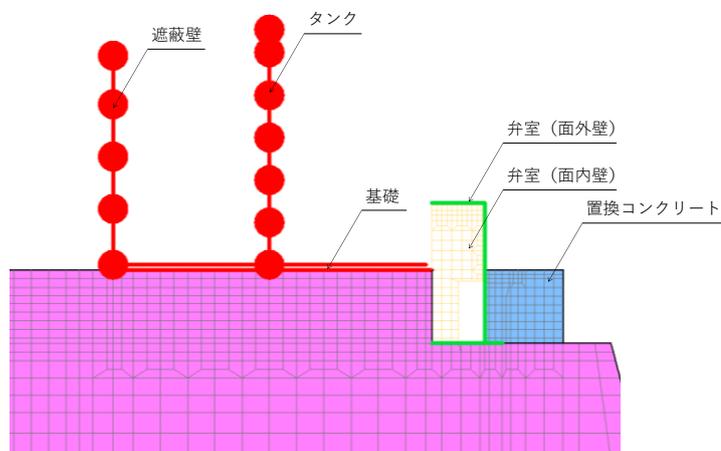
3.2.6 地震応答解析モデル

評価対象地質断面図を踏まえて設定した地震応答解析モデル図を図3-7及び図3-8に示す。弁室の構造健全性評価のうち面内壁の評価、ひび割れ幅の評価、遮蔽壁-弁室間で生じる目開き幅の評価及び遮蔽壁-弁室間の相互作用評価には、遮蔽壁及び弁室の応答を精緻に評価出来る弁室面内壁有りのモデルを用いる。地震応答解析モデルを図3-7に示す。

弁室に対する構造健全性評価のうち面外壁の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の評価には、弁室の構造健全性を保守的に評価出来る弁室面内壁無しのモデルを用いる。地震応答解析モデルを図3-8に示す。

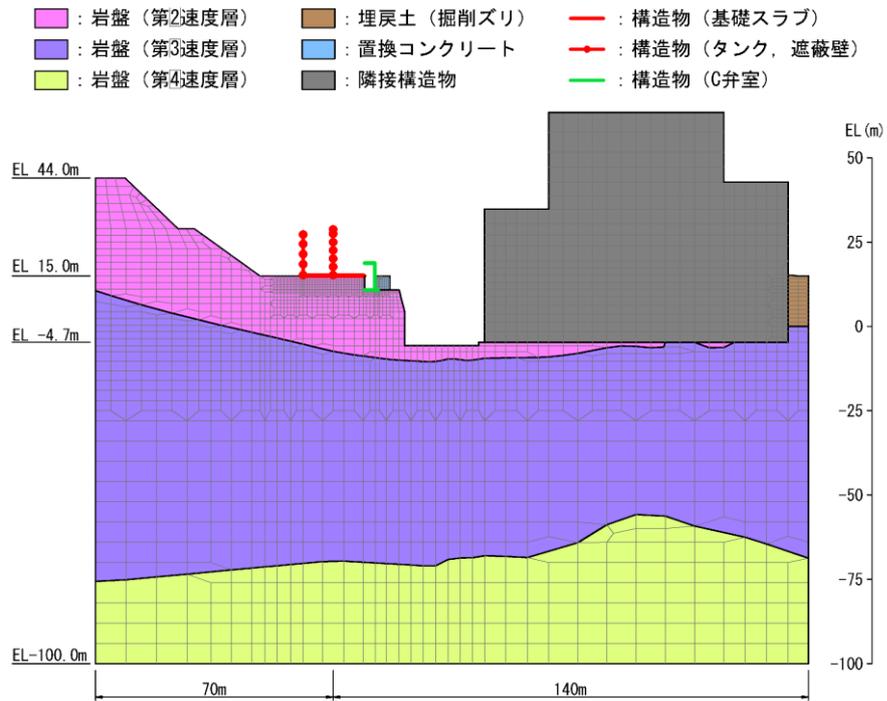


(全体図)

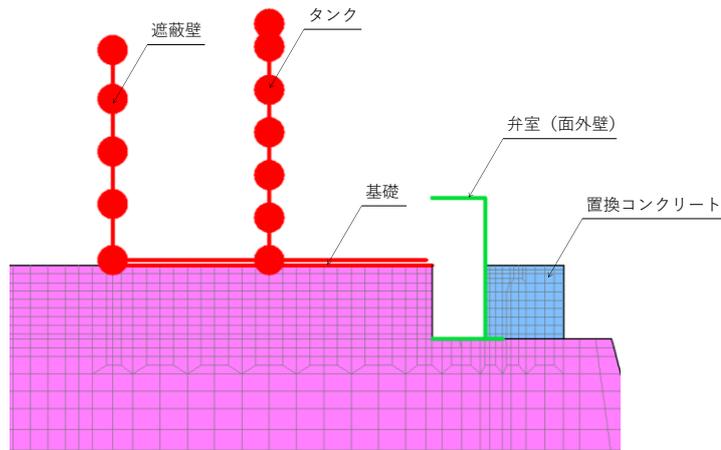


(拡大図)

図3-7 地震応答解析モデル図(1) (B-B断面, 弁室面内壁有り)



(全体図)

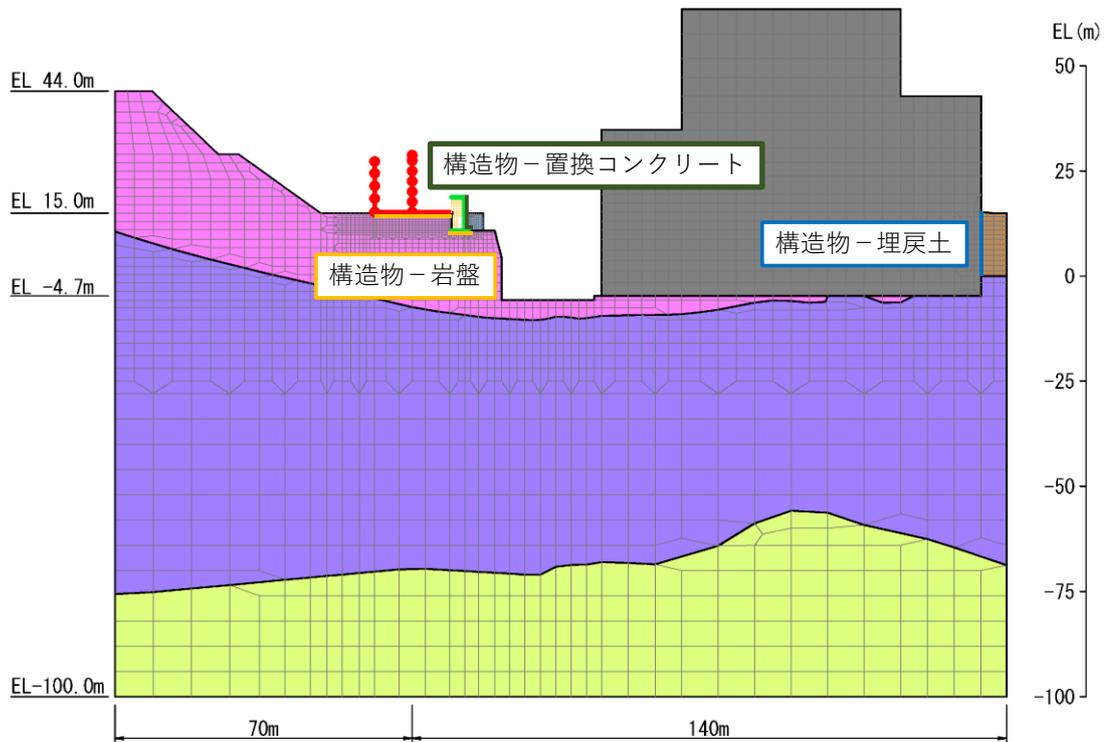


(拡大図)

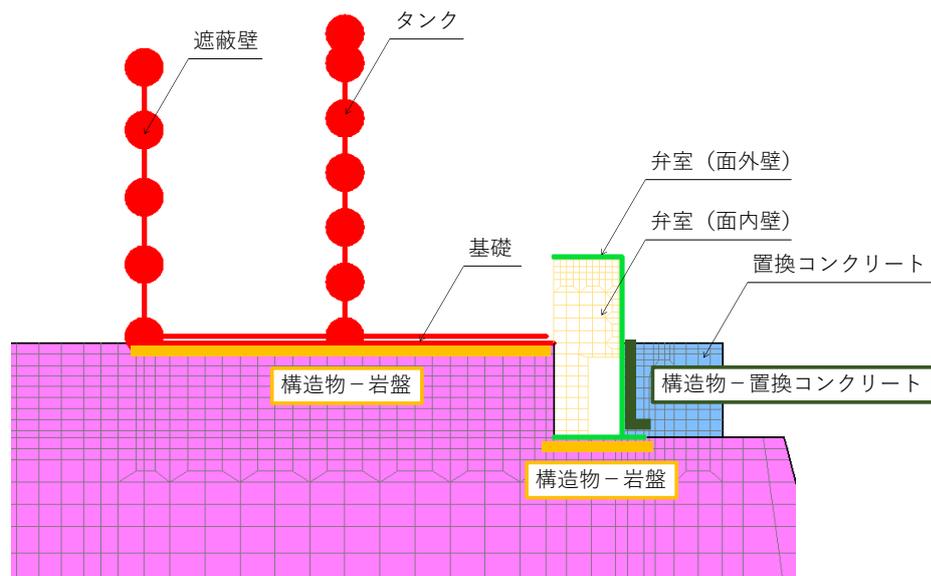
図 3-8 地震応答解析モデル図(2) (B-B断面, 弁室面内壁無し)

3.2.7 ジョイント要素の設定

本文「3.2.7 ジョイント要素の設定」と同様にジョイント要素を設定する。
 ジョイント要素の配置を図3-9に示す。



(全体図)



(拡大図)

図3-9 ジョイント要素の配置 (B-B断面)

3.2.8 材料特性の設定

全応力解析における鉄筋コンクリート部材は、ファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形特性を考慮する材料非線形モデルであり（図 3-10 参照）、図 3-11 に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。また、図 3-12 に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。

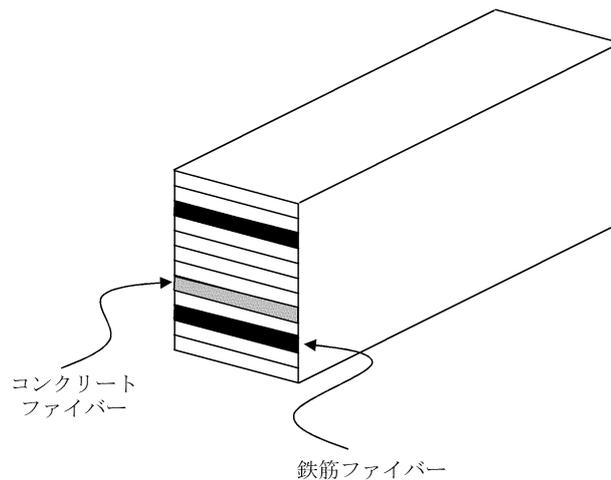
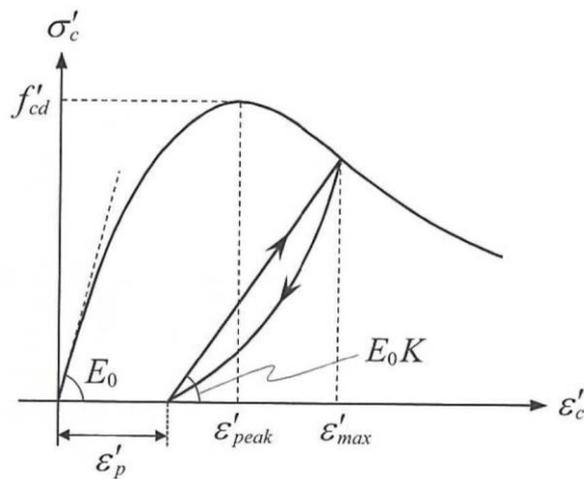
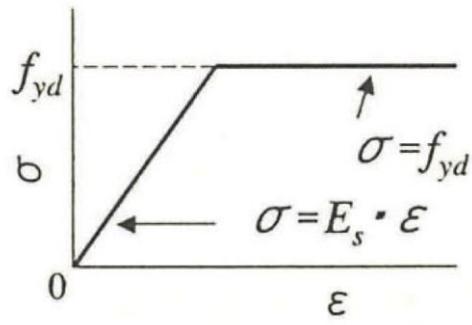


図 3-10 ファイバーモデルの概念図



（コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）より引用）

図 3-11 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）



(コンクリート標準示方書 2002 より引用)

図 3-12 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

3.3 減衰定数

減衰定数については、本文「3.3 減衰定数」に基づき設定する。

弁室面内壁有りの場合の固有値解析結果の一覧を表 3-8 に、固有値解析におけるモード図を図 3-13 及び図 3-14 に、係数 α 、 β を表 3-9 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 3-15 に示す。弁室面内壁無しの場合の固有値解析結果の一覧を表 3-10 に、固有値解析におけるモード図を図 3-16 及び図 3-17 に、係数 α 、 β を表 3-11 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 3-18 に示す。

表 3-8 固有値解析結果 (B-B 断面, 弁室面内壁有り)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T_x	T_y	β_x	β_y	
1	2.907	60	0	188.37	9.55	1次として使用
2	3.941	1	3	28.77	-40.28	
3	5.541	18	0	101.46	-15.81	
4	6.272	0	38	8.76	-148.30	
5	6.744	1	0	29.09	16.77	
6	7.737	1	22	23.99	115.25	
7	8.417	0	2	6.86	-28.12	
8	8.931	0	1	1.52	-29.88	
9	9.772	4	1	-43.35	12.72	
10	10.293	1	0	-31.04	-0.07	
83	35.748	0	0	1.88	-5.09	2次として採用 (タンク 1次)

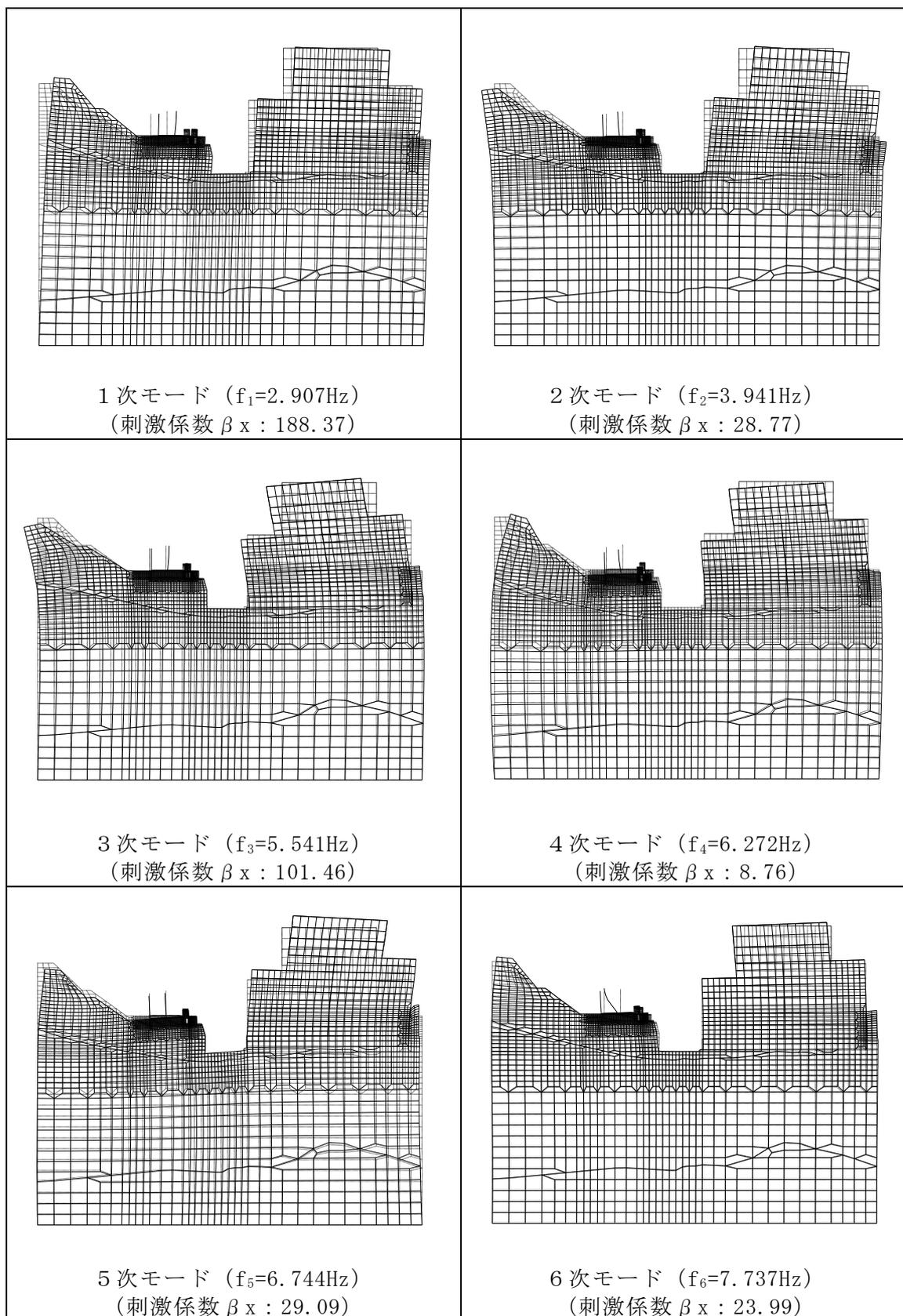


図 3-13 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面, 弁室内内壁有り)

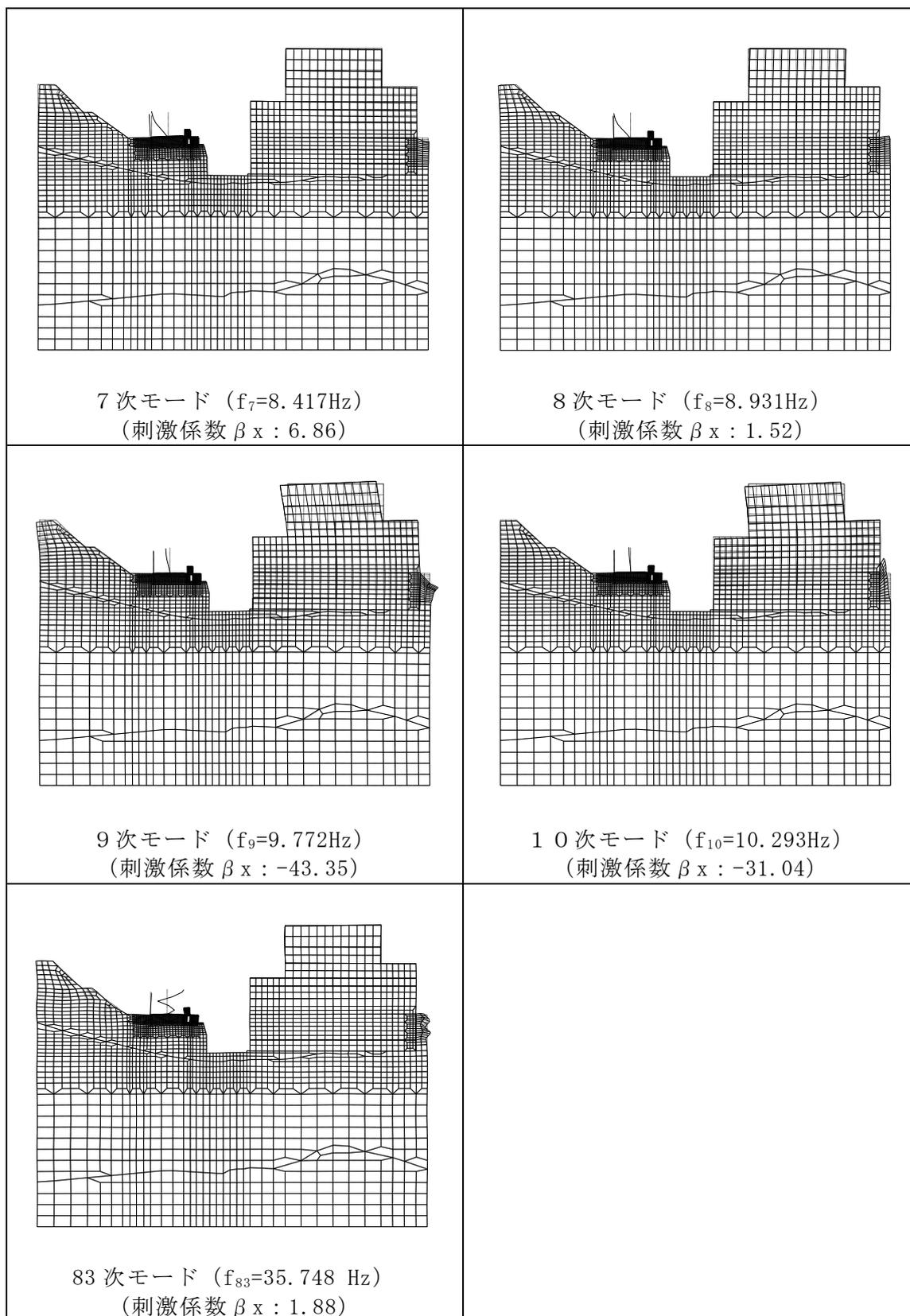


図 3-14 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面, 弁室面内壁有り)

表 3-9 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果 (B-B 断面, 弁室面内壁有り)

解析ケース	α	β
ケース①	1.074	1.6×10^{-4}
ケース②	1.237	6.5×10^{-5}
ケース③	0.939	2.2×10^{-4}

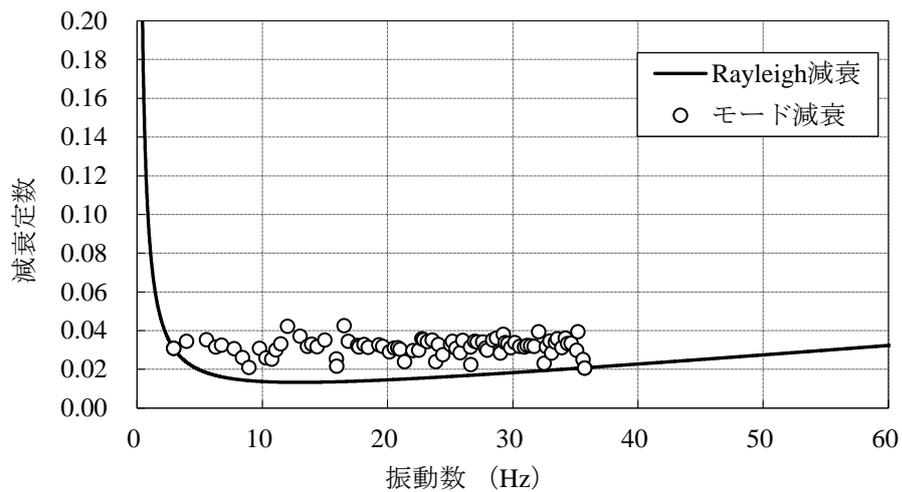


図 3-15 設定した Rayleigh 減衰 (B-B 断面, 弁室面内壁有り)

表 3-10 固有値解析結果 (B-B断面, 弁室面内壁無し)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T_x	T_y	β_x	β_y	
1	2.907	60	0	188.33	9.56	1次として使用
2	3.891	0	0	10.60	-11.68	
3	3.946	1	3	26.91	-38.55	
4	5.542	18	0	101.50	-15.85	
5	6.273	0	38	8.66	-148.34	
6	6.744	1	0	29.09	16.73	
7	7.740	1	22	-23.90	-115.19	
8	8.418	0	2	-6.86	28.14	
9	8.931	0	1	1.51	-29.90	
10	9.772	4	1	43.33	-12.73	
43	23.849	0	0	-1.34	9.69	2次として採用 (タンク1次)

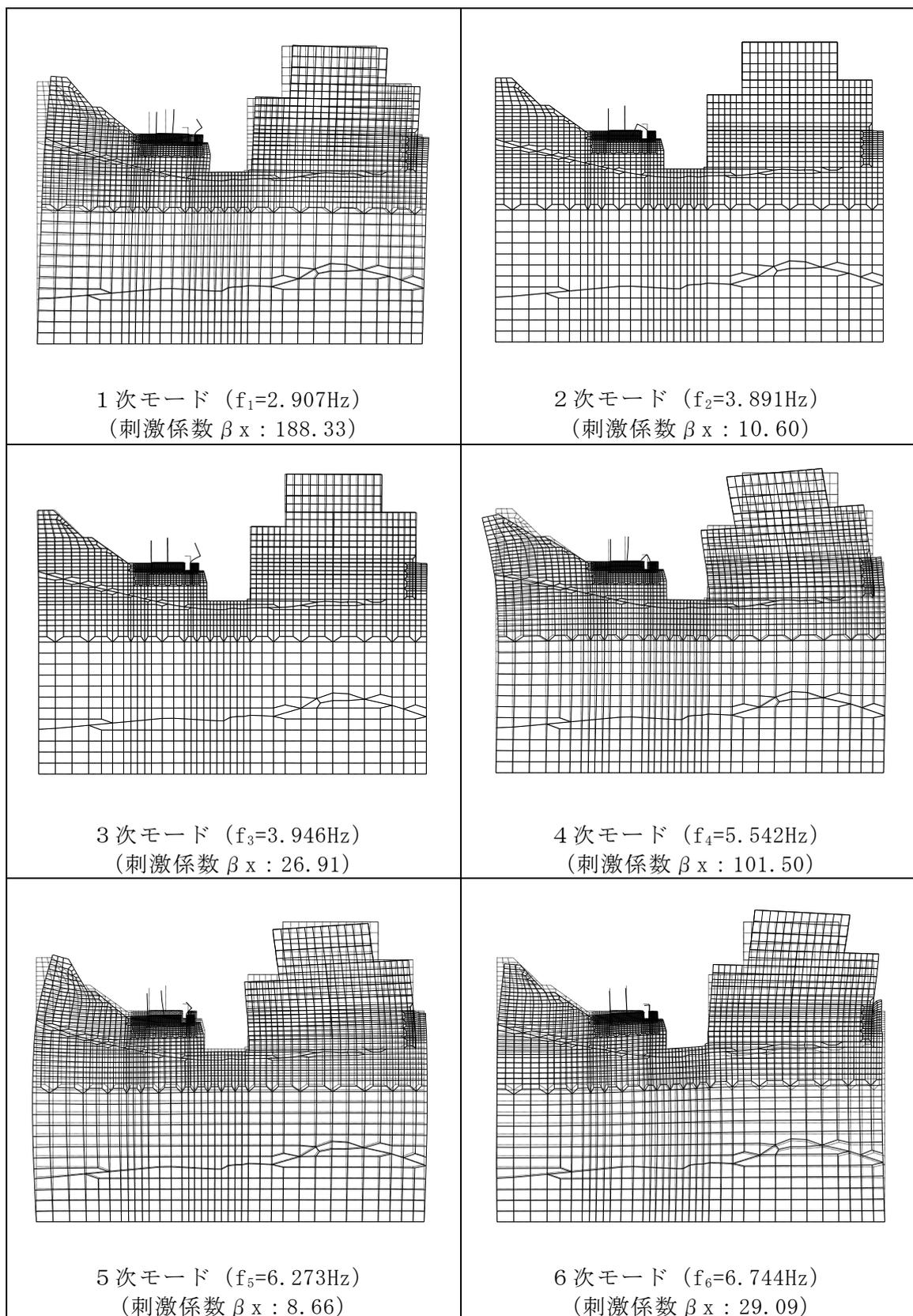


図 3-16 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 弁室内壁無し)

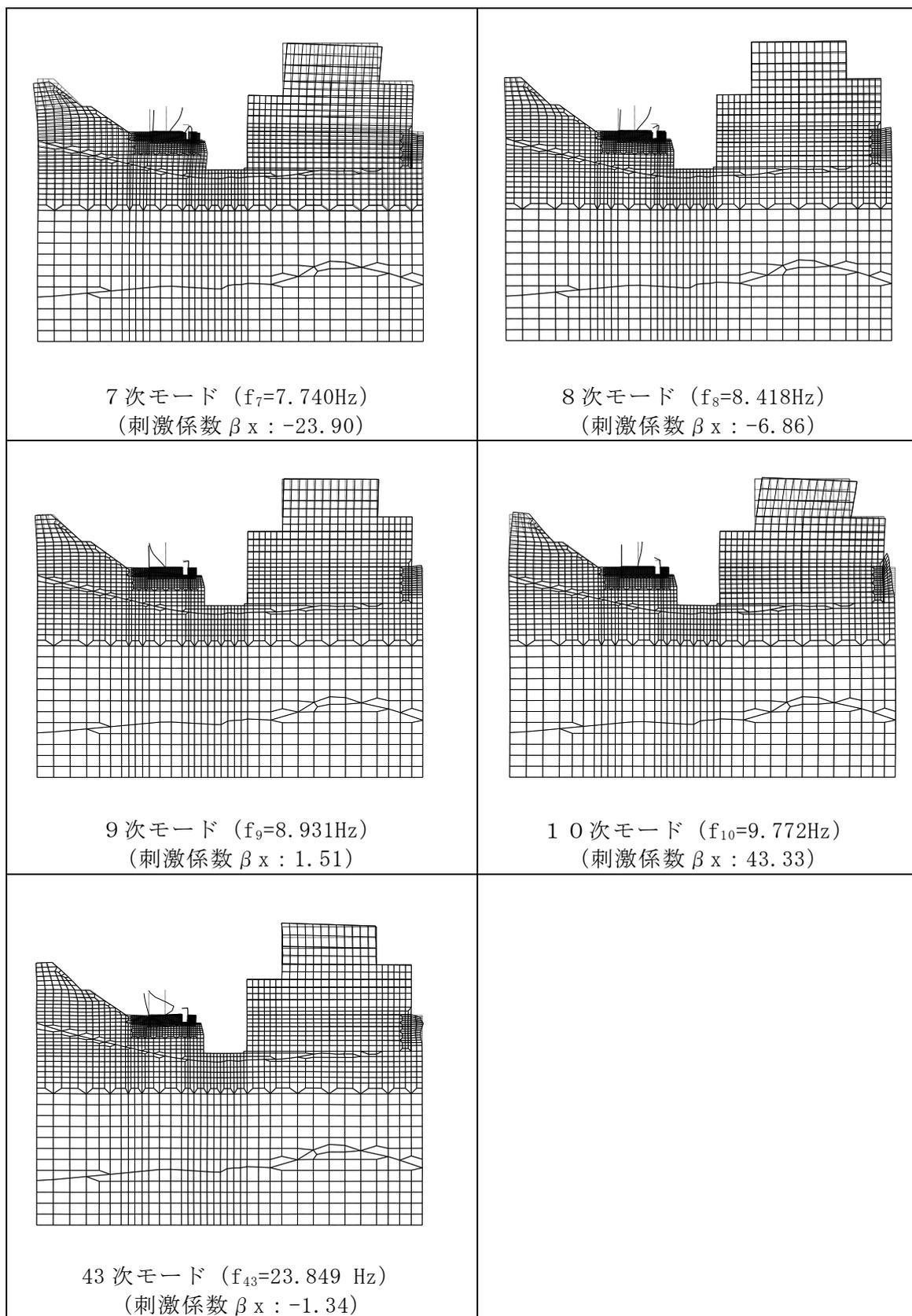


図 3-17 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面, 弁室内内壁無し)

表 3-11 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果
(B-B断面, 弁室面内壁無し)

解析ケース	α	β
ケース①	1.036	2.8×10^{-4}
ケース②	1.229	7.4×10^{-5}
ケース③	0.934	2.3×10^{-4}

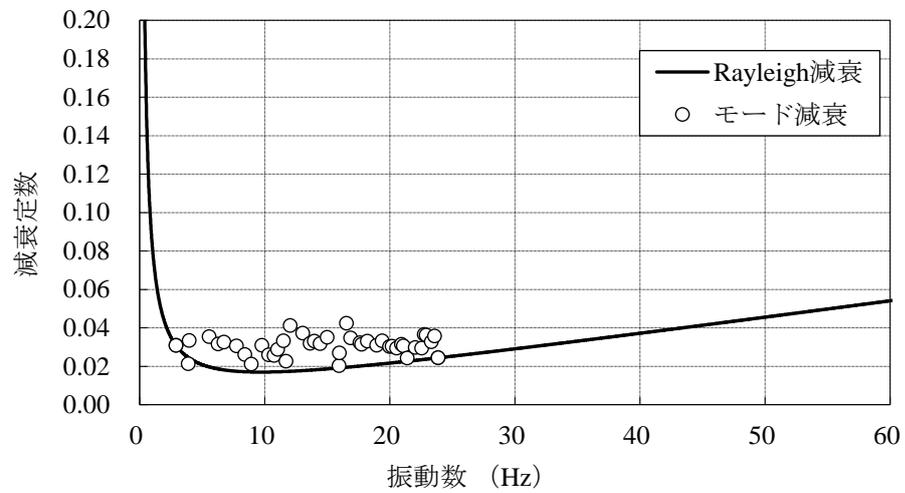


図 3-18 設定した Rayleigh 減衰 (B-B断面, 弁室面内壁無し)

3.4 荷重及び荷重の組合せ

本文「3.4 荷重及び荷重の組合せ」にて設定した荷重の組合せを使用する。

3.5 地震応答解析の解析ケース

地震応答解析の解析ケースについては，基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し，基本ケース（ケース①）を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-12に示す。

表3-12 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ - *	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○
		-+*	○

注記*：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

4. 評価内容

4.1 入力地震動の設定

本文「4.1 入力地震動の設定」と同様の方針で算定した地震動を用いる。

4.2 復水貯蔵タンク遮蔽壁等に対する安全対策工事に伴う掘削影響検討

復水貯蔵タンク遮蔽壁等のうち遮蔽壁及び開口補強鋼材については、本文において、代表としている南北方向断面の地震応答解析（2次元FEM解析）の応答値を用いた応力解析（3次元静的FEM解析）の結果により構造健全性評価を実施している。応力解析に用いる地震時荷重は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせている。

組み合わせる方法は、水平方向については、南北方向断面の地震応答解析（2次元FEM解析）の応答値を保守的に東西方向にも設定することとしている。また、鉛直方向については、南北方向断面の水平方向の応答値を抽出した時刻と同時刻の応答値を設定している。安全対策工事に伴う掘削影響を考慮しても、本文において設定している応力解析の地震時荷重が保守的であることを確認するために、南北方向と東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重を算定し、比較する。代表ケース及び比較ケースの地震荷重の組合せを表4-1に示す。

表4-1 地震荷重の組合せ

ケース	地震荷重の組合せ*	解析ケース番号
代表ケース	$H_{NS'} + 1.0, H_{NS'} + 0.4, V_{NS'} + 0.4$	①-1
比較ケース	$H_{NS} + 1.0, H_{EW} + 0.4, V_{NS,EW} + 0.4$	①-2
	$H_{NS} + 0.4, H_{EW} + 1.0, V_{NS,EW} + 0.4$	①-3
	$H_{NS} + 0.4, H_{EW} + 0.4, V_{NS,EW} + 1.0$	①-4

注記*：記号の説明は以下のとおり。なお、鉛直方向の符号は、+が上向きの荷重を示す。

$H_{NS'}$: 南北方向断面の水平相対変位最大時刻の水平方向荷重

$V_{NS'}$: 南北方向断面の水平相対変位最大時刻の鉛直方向荷重

H_{NS} : 南北方向断面の全時刻最大の水平方向荷重

H_{EW} : 東西方向断面の全時刻最大の水平方向荷重

$V_{NS,EW}$: 南北、東西方向断面それぞれの全時刻最大の鉛直方向荷重のうち大きい方

4.3 弁室に対する構造健全性評価

4.3.1 弁室の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁等の弁室の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価として「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）」（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき，限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）を許容限界とする。

「土木学会マニュアル」では，曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は，コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており，圧縮縁コンクリートひずみ1.0%の状態は，かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが，屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる照査用ひずみは，地震応答解析により得られた応答値に安全係数（構造解析係数）1.2を乗じることにより，曲げ・軸力系の破壊に対する安全余裕を見込んだ評価を実施する。

4.3.2 弁室のせん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，短期許容応力度とする。

4.3.3 弁室の壁部材の面内せん断に対する許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁等の弁室の壁部材の面内せん断に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価として、「J E A G 4 6 0 1 -1987」に基づき、面内せん断ひずみ 2000μ (2/1000) を許容限界とする。

「J E A G 4 6 0 1 -1987」において、限界せん断ひずみ 2000μ (2/1000) は、耐震壁の終局耐力に相当する面内せん断ひずみ 4000μ (4/1000) に余裕を見込んだ許容限界として規定されている。

また、照査用ひずみについて、溢水影響評価の観点から確認し、スケルトンカーブの第一折れ点に相当するひずみを上回る場合は、ひび割れが発生するものとし、ひび割れ幅を評価する。

4.4 弁室で生じるひび割れ幅評価

弁室について、「鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひびわれ性状に関する検討（昭和63年コンクリート工学年次論文報告集）」に基づき、発生面内せん断ひずみから残留ひび割れ幅を算定する。なお、基準地震動 S_s によりコンクリートに発生する可能性のあるひび割れのうち、曲げひび割れについては水平方向に発生するため地震後の残留ひび割れは自重により閉じる*と考えられるが弁室（地上部）の全周に発生面内せん断ひずみから算定したひび割れ幅のひび割れが発生するものとする。ひび割れ発生位置の概念図を図4-1に示す。

注記*：「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書（平成6年3月 財団法人 原子力発電技術機構）」

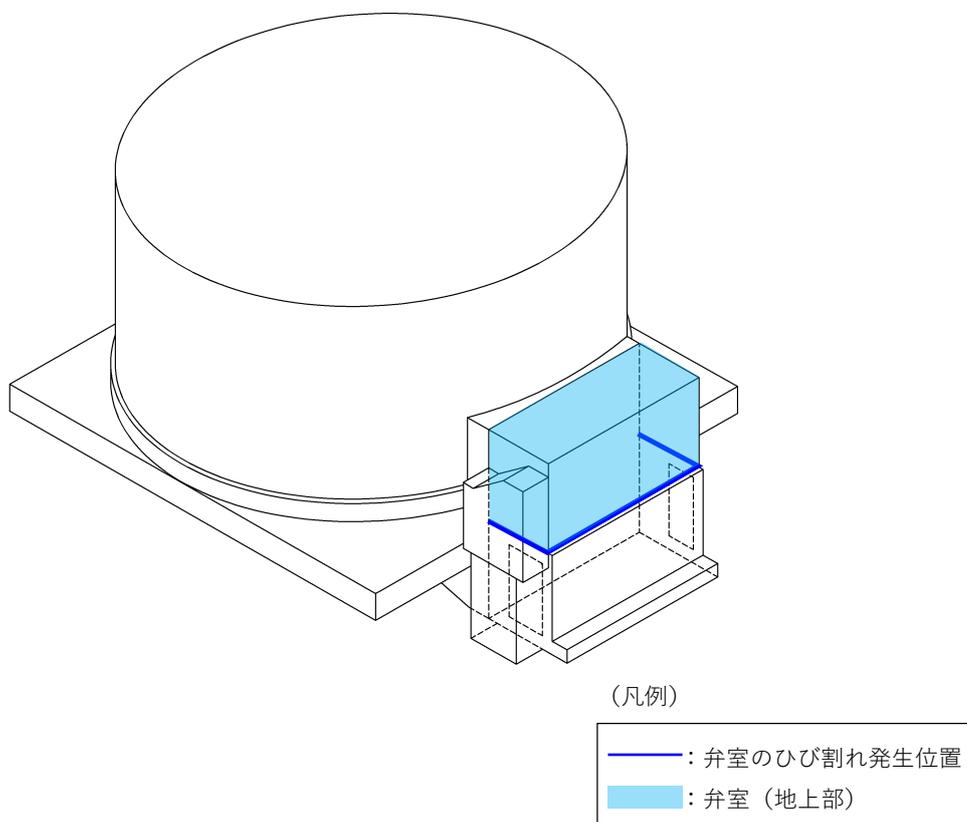


図4-1 ひび割れ発生位置の概念図

4.5 遮蔽壁－弁室間で生じる目開き幅評価

復水貯蔵タンク遮蔽壁等のうち遮蔽壁及び弁室の間には構造目地が存在し，地震後に目開きが発生する可能性がある。その目開きから漏水が生じないことを確認するため，東西方向断面の地震応答解析（2次元FEM解析）により，目開き幅を算定し，構造目地に設置されている止水板の伸び量（50mm）以下であることを確認する。遮蔽壁－弁室間の構造目地における目開き幅は，地震終了時刻における遮蔽壁底部，頂部の相対変位と弁室の底部，頂部の相対変形量の和とする。目開き幅算定の概念図を図4-2に示す。

なお，弁室（地上部）の構造目地全周に，当該目開き幅の目開きが発生するものとする。漏水発生位置の概念図を図4-3に示す。

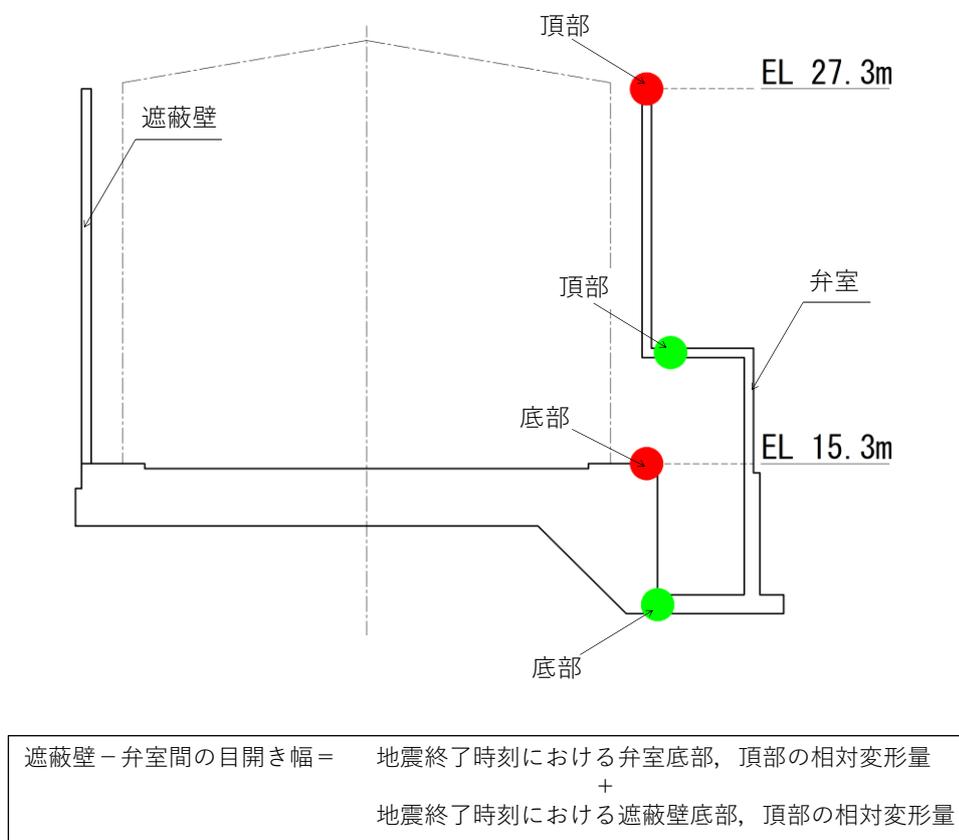


図4-2 目開き幅算定の概念図

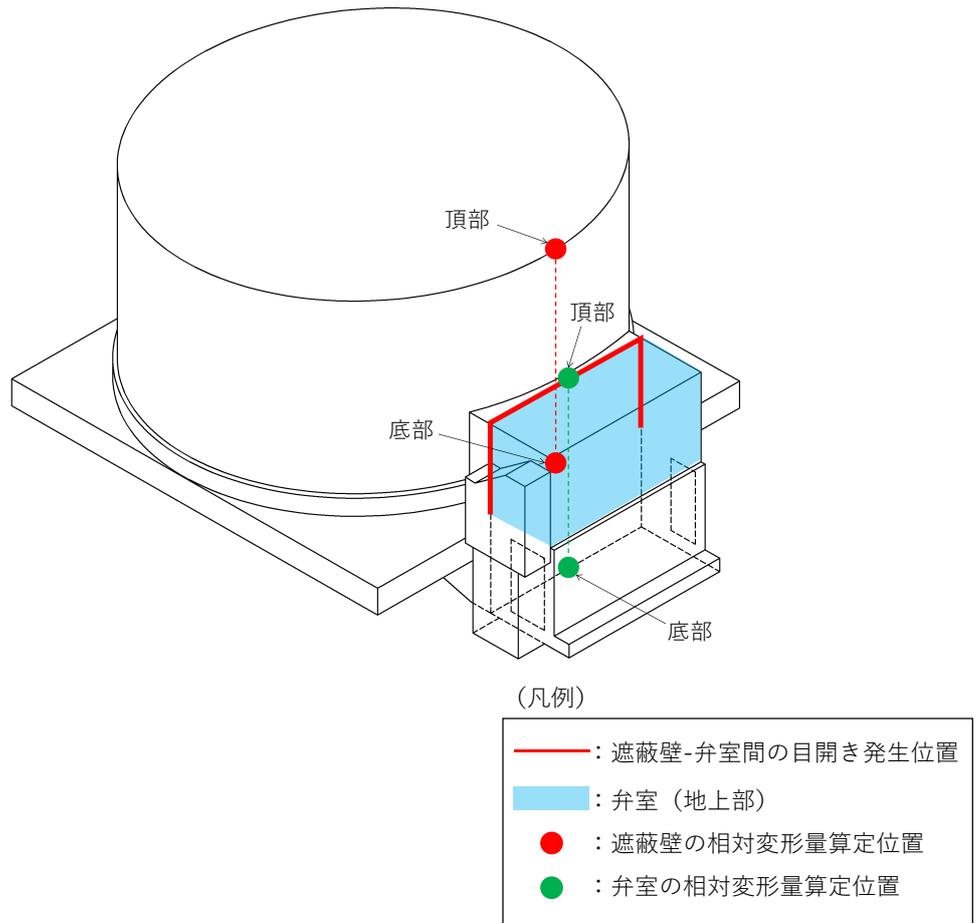


図 4-3 目開き発生位置の概念図

4.6 遮蔽壁－弁室間の相互作用評価

遮蔽壁－弁室間には構造目地が存在するため、地震時にはそれぞれ独立し、応答する。弁室の応答が、遮蔽壁に影響を及ぼさないことを確認するために、東西方向断面の地震応答解析（2次元FEM解析）により、遮蔽壁と弁室の相対変位を算定する。

遮蔽壁と弁室の相対変形量は、遮蔽壁底部、頂部の相対変形量と弁室の底部、頂部の相対変形量のうち全時刻最大値の和とする。相対変形量算定の概念図を図4-4に示す。

発生相対変形量が、構造目地幅（60mm）を超えないことを確認する。

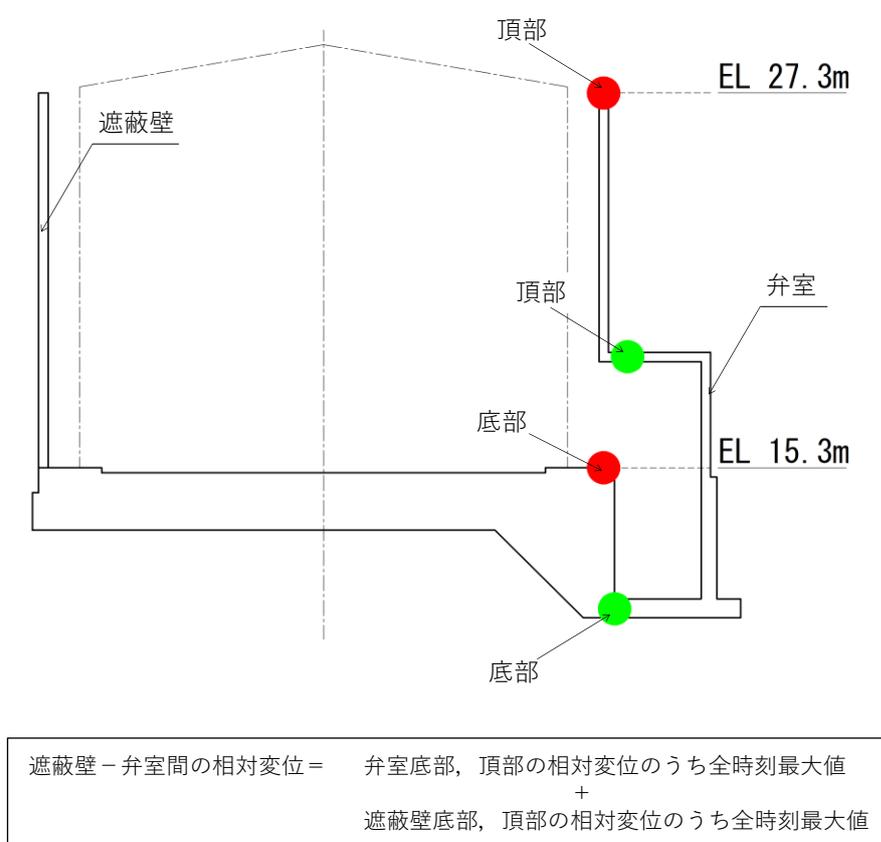
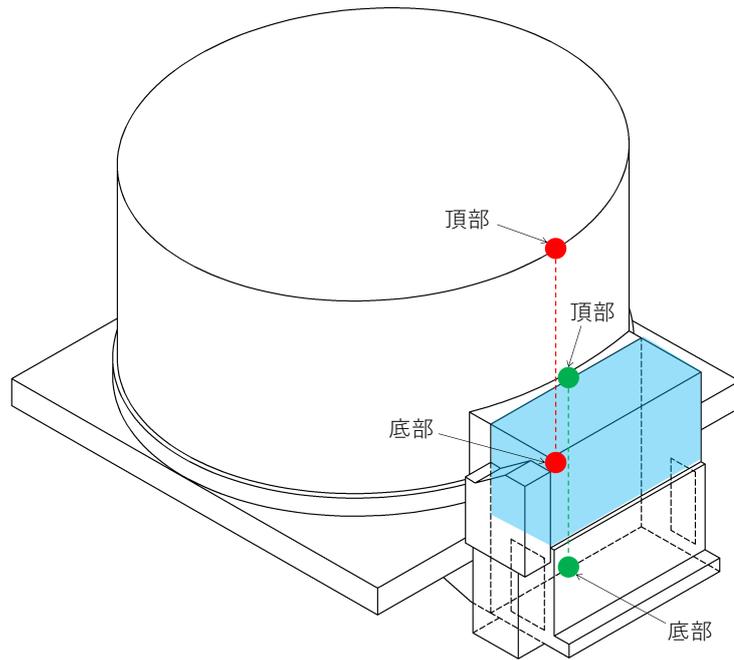


図4-4(1) 遮蔽壁－弁室間の相対変位算定の概念図



(凡例)

- : 弁室 (地上部)
- : 遮蔽壁の相対変形量算定位置
- : 弁室の相対変形量算定位置

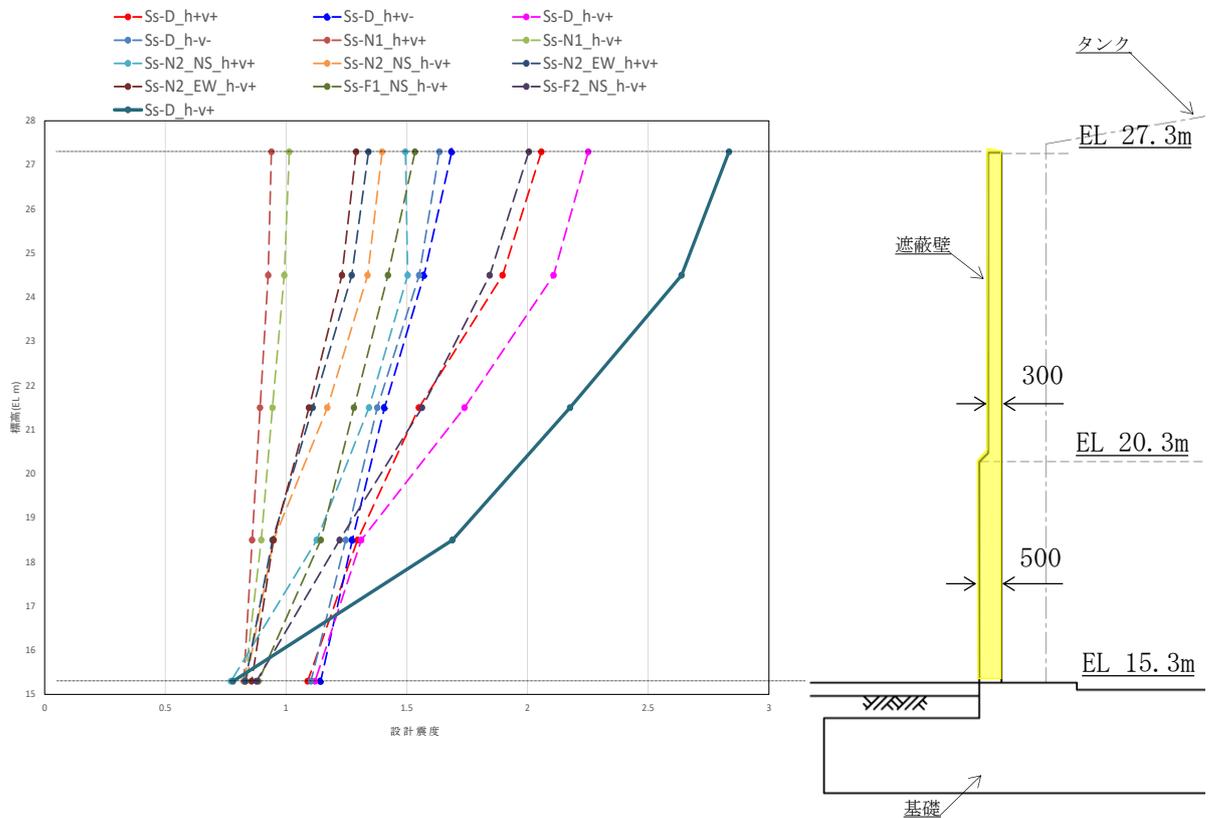
図 4-4(2) 遮蔽壁-弁室間の相対変位算定の概念図

5. 評価結果

5.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁等に対する安全対策工事に伴う掘削影響評価結果

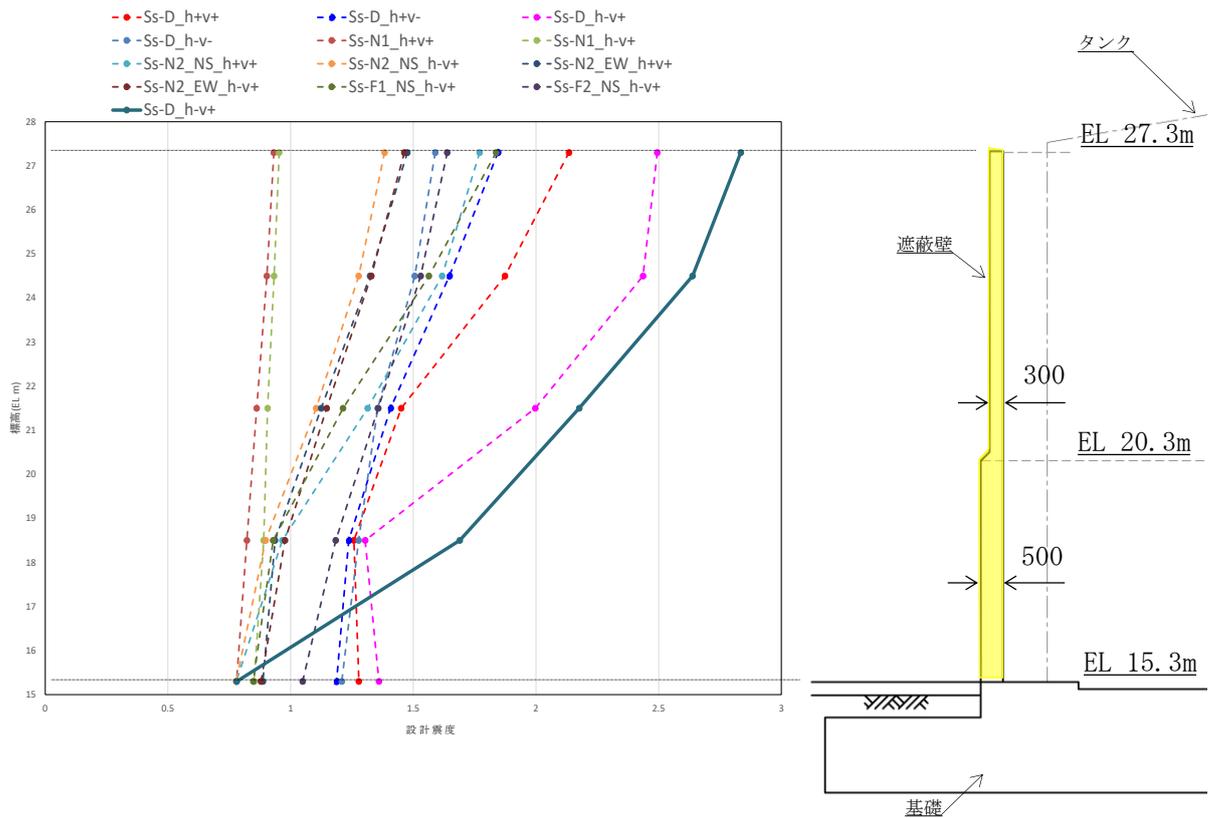
5.1.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁の南北方向の地震時荷重の代表性の確認

応力解析に引き継ぐこととした地震時荷重（解析ケース①-1）と、南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重（解析ケース①-2, ①-3, ①-4）の比較を図5-1に示す。おおむね全ての標高において、南北方向の地震時荷重（解析ケース①-1）は、南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重（解析ケース①-2, ①-3, ①-4）よりも保守的な設定であることを確認した。



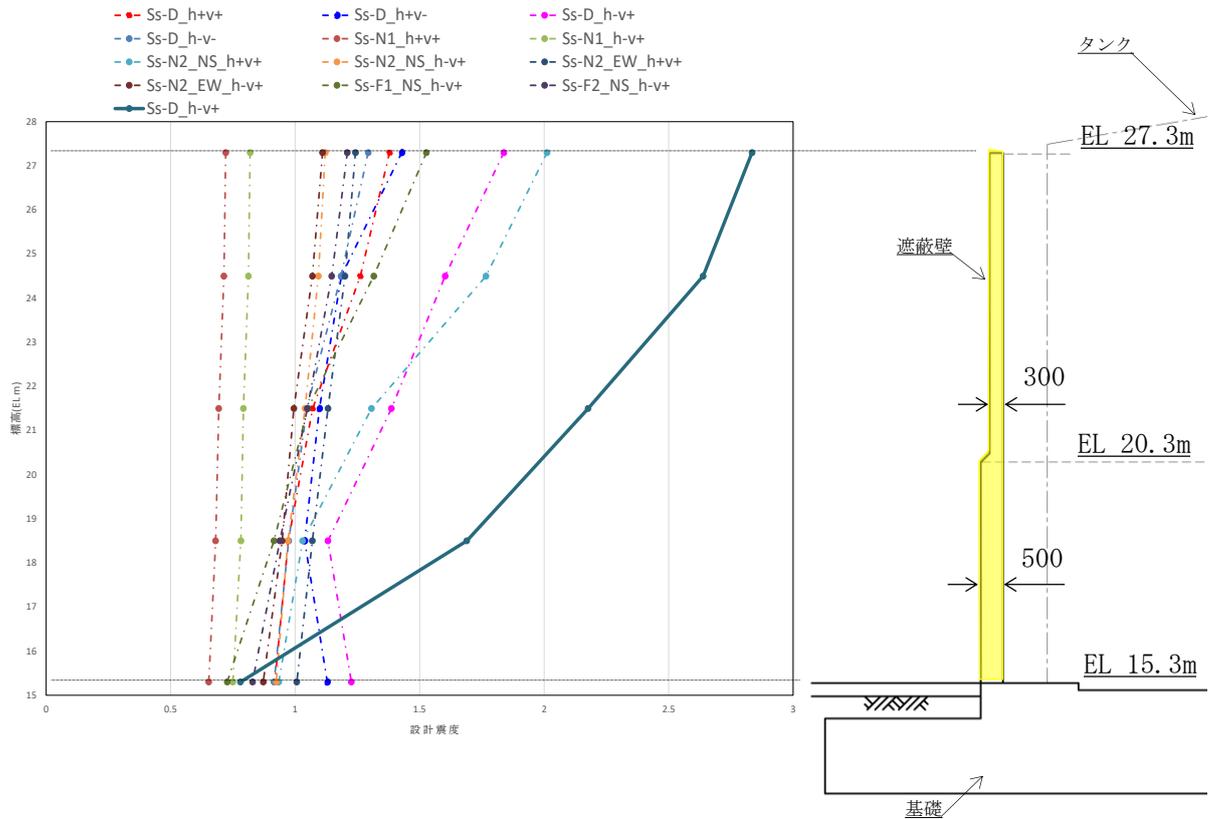
注：実線は応力解析に引き継いだ南北方向の地震時荷重である解析ケース①-1を，点線は南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重である解析ケース①-2を示す。

図5-1(1) 解析ケース①-1と①-2 ($H_{NS} + 1.0$, $H_{EW} + 0.4$, $V_{NS,EW} + 0.4$) の比較



注：実線は応力解析に引き継いだ南北方向の地震時荷重である解析ケース①-1を，
点線は南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の
地震時荷重である解析ケース①-3を示す。

図 5-1(2) 解析ケース①-1 と①-3 ($H_{NS} + 0.4$, $H_{EW} + 1.0$, $V_{NS,EW} + 0.4$) の比較

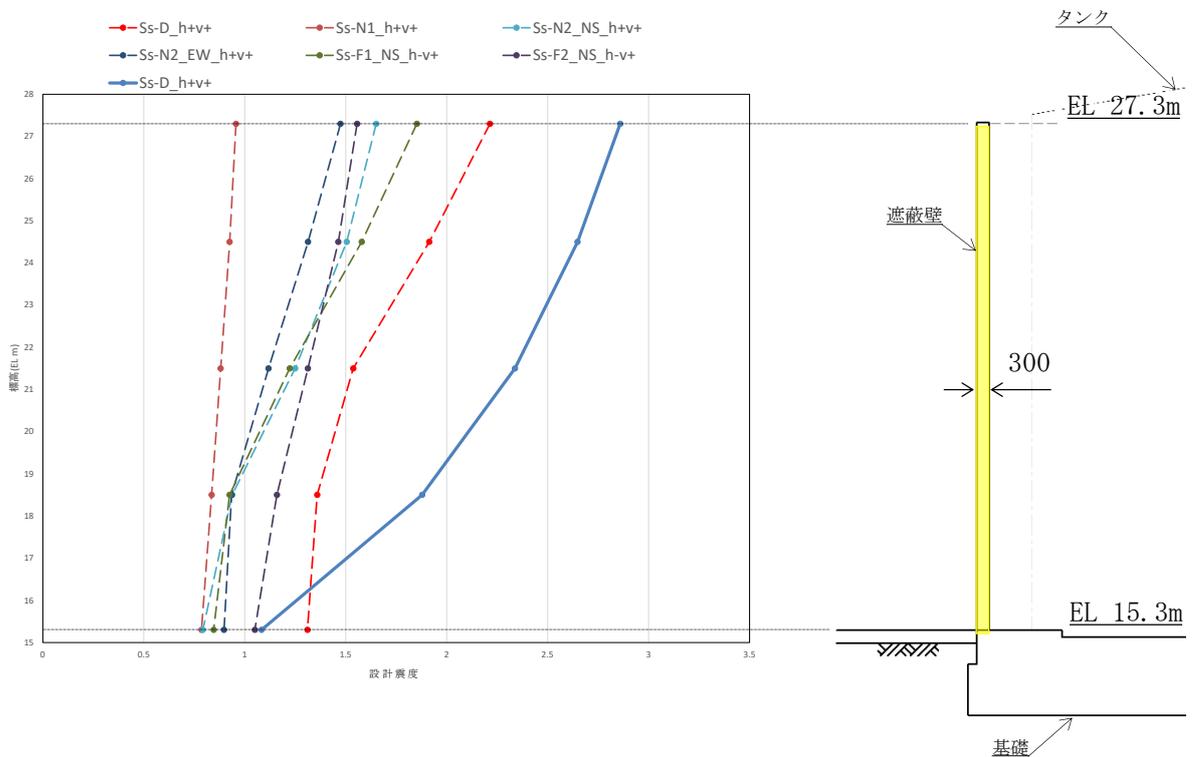


注：実線は応力解析に引き継いだ南北方向の地震時荷重である解析ケース①-1を，点線は南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重である解析ケース①-4を示す。

図 5-1(3) 解析ケース①-1 と①-4 ($H_{NS}+0.4$, $H_{EW}+0.4$, $V_{NS,EW}+1.0$) の比較

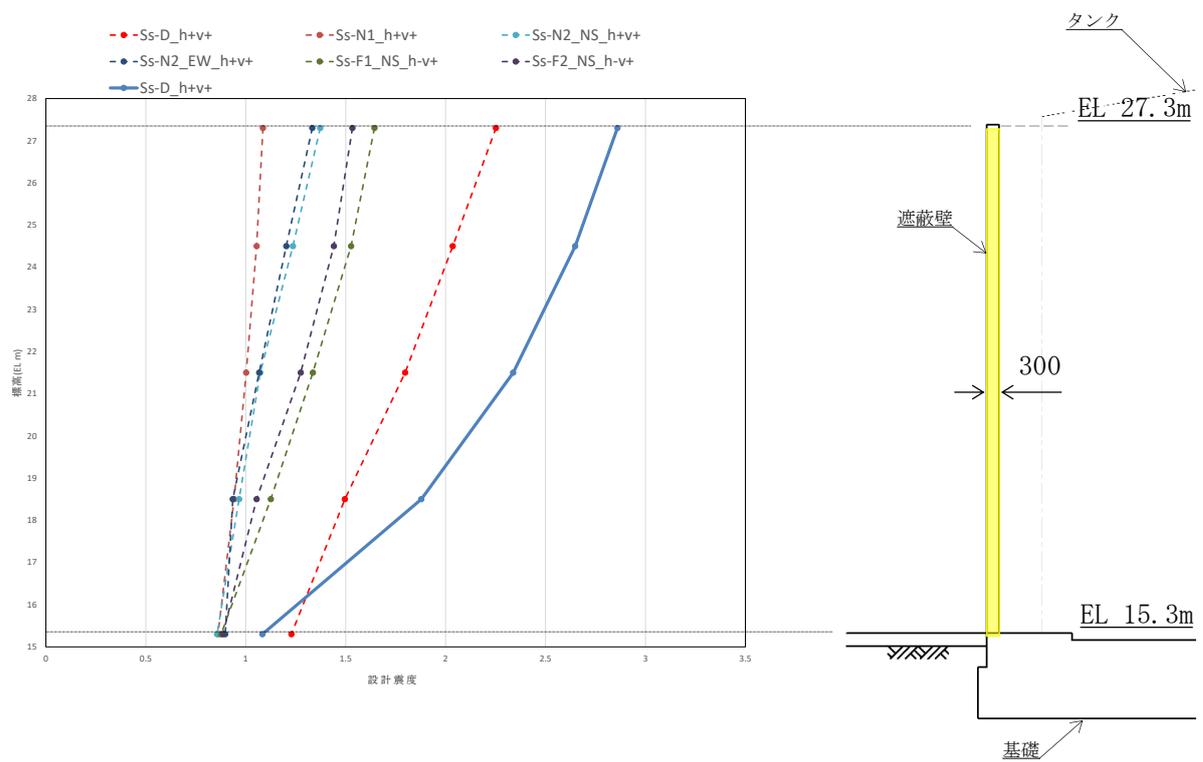
5.1.2 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の南北方向の地震時荷重の代表性の確認

応力解析に引き継ぐこととした地震時荷重（解析ケース①-1）と、南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重（解析ケース①-2, ①-3, ①-4）の比較を図5-2に示す。おおむね全ての標高において、南北方向の地震時荷重（解析ケース①-1）は、南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重（解析ケース①-2, ①-3, ①-4）よりも保守的な設定であることを確認した。



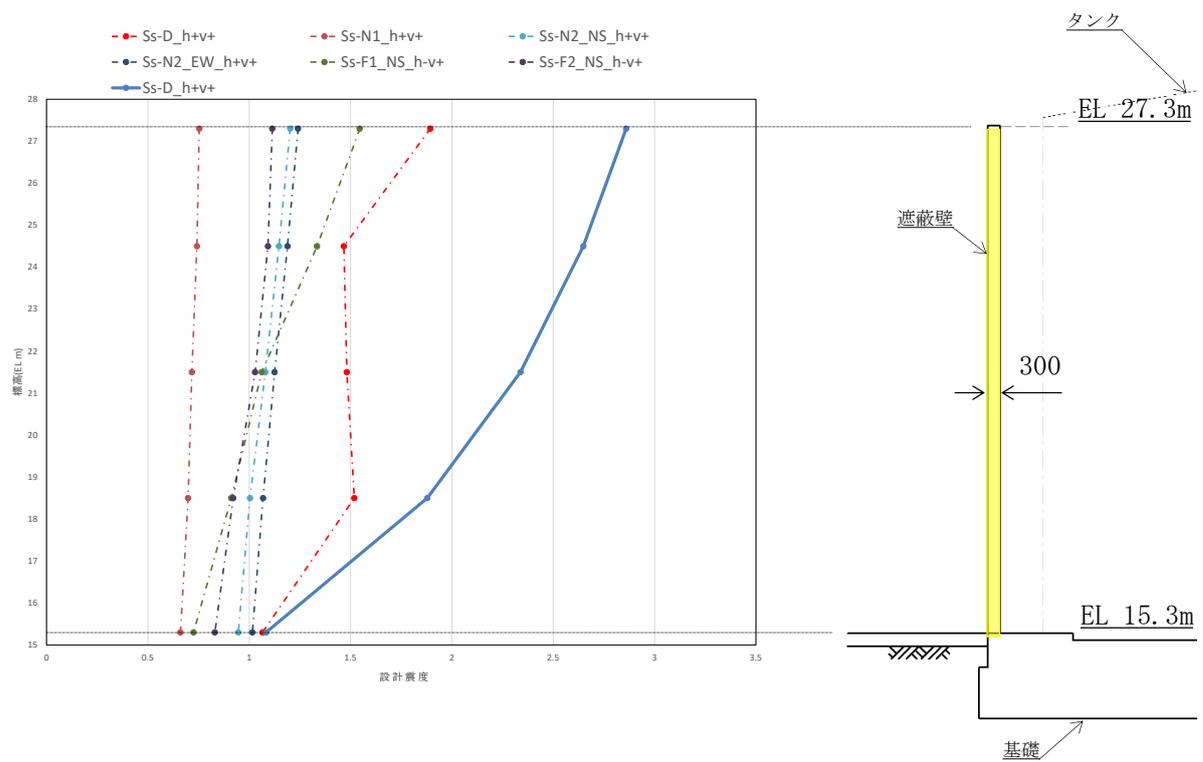
注：実線は応力解析に引き継いだ南北方向の地震時荷重である解析ケース①-1を，点線は南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重である解析ケース①-2を示す。

図5-2(1) 解析ケース①-1と①-2 ($H_{NS} + 1.0$, $H_{EW} + 0.4$, $V_{NS,EW} + 0.4$) の比較



注：実線は応力解析に引き継いだ南北方向の地震時荷重である解析ケース①-1を，点線は南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合わせた時の地震時荷重である解析ケース①-3を示す。

図 5-2(2) 解析ケース①-1 と①-3 ($H_{NS} + 0.4$, $H_{EW} + 1.0$, $V_{NS,EW} + 0.4$) の比較



注：実線は応力解析に引き継いだ南北方向の地震時荷重である解析ケース①-1を，
 点線は南北方向及び東西方向の応答値を組合せ係数法を適用して組み合せた時の
 地震時荷重である解析ケース①-4を示す。

図 5-2(3) 解析ケース①-1 と①-4 ($H_{NS} + 0.4$, $H_{EW} + 0.4$, $V_{NS,EW} + 1.0$) の比較

5.2 弁室に対する構造健全性評価結果

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

弁室の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価結果の最大照査値を表 5-1 に示す。発生ひずみが限界ひずみ以下であることを確認した。

表 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (弁室)

地震応答解析		照査用ひずみ $\varepsilon_d^*(\mu)$	限界ひずみ $\varepsilon_R(\mu)$	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_R$
解析ケース	地震動			
①	S s - D (-+)	3169	10000	0.32

(2) せん断破壊に対する評価結果

弁室のせん断破壊に対する評価の最大照査値を表 5-2 に示す。発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-2 せん断破壊に対する最大照査値 (弁室)

解析ケース	地震動	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d / V_a
①	S s - D (-+)	128	241	0.54

(3) 壁部材の面内せん断に対する評価結果

弁室の面内せん断に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価結果の最大照査値を表 5-3 に示す。発生ひずみが限界ひずみ以下であることを確認した。また、照査用ひずみがスケルトンカーブの第一折れ点に相当するひずみを超える事から、ひび割れ幅を算出する。

表 5-3 壁部材の面内せん断に対する最大照査値

地震応答解析		照査用ひずみ $\varepsilon_d^*(\mu)$	限界ひずみ $\varepsilon_R(\mu)$	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_R$
解析ケース	地震動			
①	S s - D (++)	271	2000	0.14

5.3 弁室で生じるひび割れ幅評価結果

弁室で生じるひび割れ幅評価結果を表 5-4 に示す。算定したひび割れ幅は、「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説（日本建築学会）」に示される、コンクリート構造物の水密性に影響を与える評価基準である「0.2mm」未満である。

表 5-4 弁室で生じるひび割れ幅評価結果

項目	地震応答解析		発生ひび割れ幅 (mm)	水密性影響評価基準 (mm)
	解析 ケース	地震動		
ひび割れ	①	S s - D (++)	0.18	0.2

5.4 遮蔽壁-弁室間で生じる目開き幅評価結果

遮蔽壁-弁室間で生じる目開き幅評価結果を表 5-5 に示す。算定した目開き幅は、構造目地に設置されている止水板の伸び量（50mm）未満のため、目開きから漏水は発生しないことを確認した。

表 5-5 遮蔽壁-弁室間で生じる目開き幅評価結果

項目	地震応答解析		発生日開き幅 (mm)	止水板の伸び量 (mm)
	解析 ケース	地震動		
目開き	①	S s - D (-+)	0.50	50

5.5 遮蔽壁－弁室間の相互作用評価結果

遮蔽壁－弁室間の相互作用評価結果を表 5-6 に示す。算定した変位は、構造目地幅 (60mm) 未満であることから、遮蔽壁－弁室間の相互作用がないことを確認した。

表 5-6 遮蔽壁－弁室間の相互作用評価結果

地震応答解析		発生相対変形量 (mm)	限界相対変形量 (mm)
解析 ケース	地震動		
①	S s - D (++)	5.9	60

6. 漏水量に対する評価内容及び評価結果

6.1 弁室のひび割れからの漏水量評価

基準地震動 S_s により遮蔽壁内のタンクは損傷しないと評価されたが、タンク等にひび割れが生じる可能性はある。ひび割れからの漏水は、復水貯蔵タンクエリアの屋外ダクトに流出するが、手動弁閉止等の対応により漏水の管理区域外への漏えいを防止する。

仮に、上記の対応で屋外ダクト内の漏水の水位が低下させられない場合、水位は弁室のうち地上部に発生する微細なひび割れに到達する可能性がある。

なお、「5.3 弁室で生じるひび割れ幅評価結果」に示すとおり、算定したひび割れ幅は評価基準「0.2mm」未満であるが、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-付：ひび割れの調査と補修・補強事例(社団法人日本コンクリート工学協会)」に基づき、作用圧力(水圧)、壁厚、目開き長さ等から、ひび割れからの漏水量を算出する。ひび割れ発生位置を図 6-1 に示す。

なお、作用圧力 ΔP の算定に用いる静水頭圧は、最も保守的な値とするため、「VI-1-1-9-4 溢水影響に関する評価」に示すとおり、基準地震動 S_s により復水貯蔵タンク等周辺の配管の破断により発生する漏水が全て遮蔽壁及びダクト内に貯留された場合の水位 (EL 23.15m) とする。

(漏水量評価式)

$$Q = C_w \cdot L \cdot w^3 \cdot \Delta P / (12 \nu \cdot t)$$

ここに、

Q : 漏水量 (mm³/s)

C_w : 低減係数

L : ひび割れ長さ (mm)

w : ひび割れ幅 (mm)

ν : 水の粘性係数 [20℃での値 $1.002 \times 10^{-9} \text{Ns/mm}^2$ とする]

ΔP : 作用圧力 (N/mm²)

t : 部材の厚さ (ひび割れ深さ) (mm)

(算定条件)

- C_w : 壁厚さ 1 m の実験結果「沈埋トンネル側壁のひび割れからの漏水と自癒効果の確認実験」: コンクリート工学年次論文報告集 Vol.17 No.1 1995 に基づく値 0.01 を採用
- L : ひび割れ長さは, 保守的に構造物外周全周にひび割れが入ると想定し算出
- w : 対象壁に生じると推定される残留ひび割れ幅の値
- ΔP : 作用圧力は, 水の比重を 1.0 とした静水頭圧の値

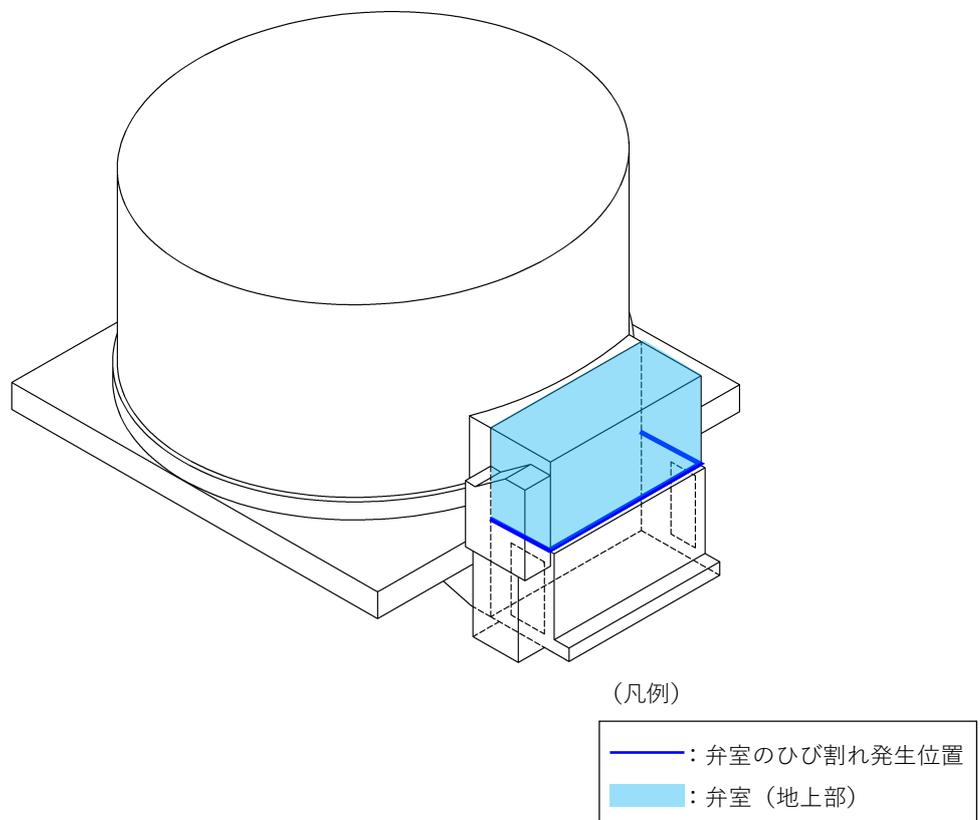


図 6-1 ひび割れ発生位置の概念図

6.2 弁室のひび割れからの漏水量評価結果

弁室のひび割れからの漏水量評価結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 弁室のひび割れ等からの漏水量評価結果

項目	地震応答解析		発生ひび割れ幅 (mm)	漏水量 (m ³ /h)
	解析 ケース	地震動		
ひび割れ	①	S s - D (-+)	0.18	0.02

参考資料 2 照査用応答値の平均化について

1. はじめに

復水貯蔵タンク遮蔽壁及び補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち PHb 工法適用部材については、せん断補強鉄筋定着部のひび割れの影響をおさえるため、曲げ・軸力系の破壊に対しておおむね弾性範囲となる状況下で使用することとしている。おおむね弾性に対する許容限界として、鉄筋コンクリートの発生応力度が短期許容応力度を下回ることを確認することとしている。

耐震評価の結果、発生応力度が短期許容応力度を超える部材や、せん断破壊に対する照査において PHb 設置箇所では照査値 0.8 程度を超える部材が一部存在し、細かい要素分割を行っている部材について断面厚さ程度の範囲で平均化による評価を実施していることから、平均化範囲の考え方及び平均化による照査結果について示す。

2. 復水貯蔵タンク遮蔽壁及び補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデル化方針

復水貯蔵タンク遮蔽壁及び補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の 3 次元構造解析モデルは、「土木学会マニュアル」に準拠しモデル化を行っている。「土木学会マニュアル」では、要素分割において以下の記載がある。

- ・要素分割は、断面厚さ又は有効高さの 1.0 倍程度とするのがよい。
- ・要素長さは、部材の断面厚さ又は有効高さの約 2.0 倍よりは大きくしてはならない。
- ・要素分割を細かくせざるを得ない場合は、軸線方向に部材の断面厚さ又は有効高さの 1.0 倍程度の範囲で複数の要素での地震応答解析結果を平均的に評価するとよい。
- ・要素の形状は、著しく扁平にならないように注意し、四角形要素の縦横比は基本的に 1:1 が望ましく、応力の流れがほぼ一樣となる場合でも、縦横比で 1:5 を限度とすることが望ましい。
- ・鉄筋コンクリート要素を用いる場合には、鉄筋位置と無筋領域を適切に考慮して要素分割しなければならない。

3. 許容限界を超える部材

基準地震動 S_s に対する耐震評価の結果、各要素単位の照査において、発生応力度が短期許容応力度を上回る部材が一部存在することが判明した。また、せん断破壊に対する照査において PHb 設置箇所では照査値 0.8 程度を超える部材が一部存在することが判明した。発生応力度が短期許容応力度を超える部材の最大照査値の一覧を表 3-1 に示す。せん断破壊に対する照査値が 0.8 を上回る部材の最大照査値の一覧を表 3-2 に示す。評価対象箇所の概念図を図 3-1 に示す。

表 3-1 発生応力度が許容限界を超える部材（復水貯蔵タンク遮蔽壁）

地震動	評価位置	要素幅 a (mm)	部材厚 b (mm)	比率 a / b	発生 応力度 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
$S_s - D$ (-+)	遮蔽壁 (本体)	284	500	0.57	323	294	1.10

表 3-2 PHb 設置箇所ではせん断破壊に対する照査値が 0.8 を上回る部材
(補助復水貯蔵タンク遮蔽壁)

地震動	評価位置	要素幅 a (mm)	部材厚 b (mm)	比率 a / b	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d / V_a
$S_s - D$ (++)	遮蔽壁 (開口部南壁)	109	300	0.36	-215	240	0.90
$S_s - D$ (++)	遮蔽壁 (開口部頂版)	108	300	0.36	237	243	0.98

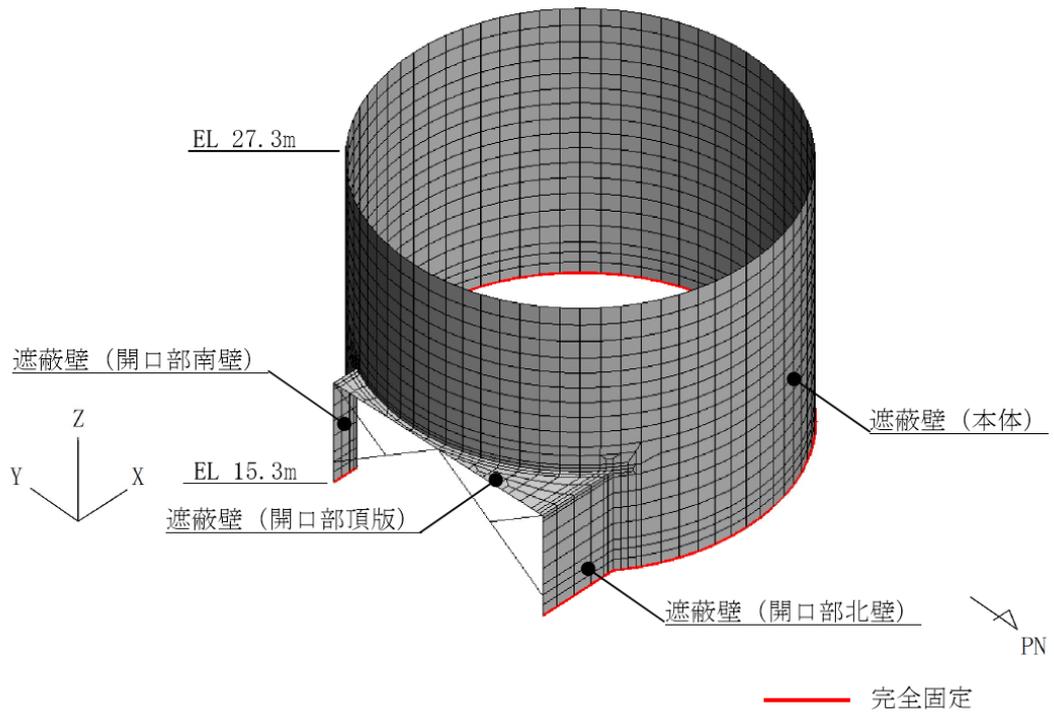


図 3-1(1) 評価対象箇所概念図 (復水貯蔵タンク遮蔽壁)

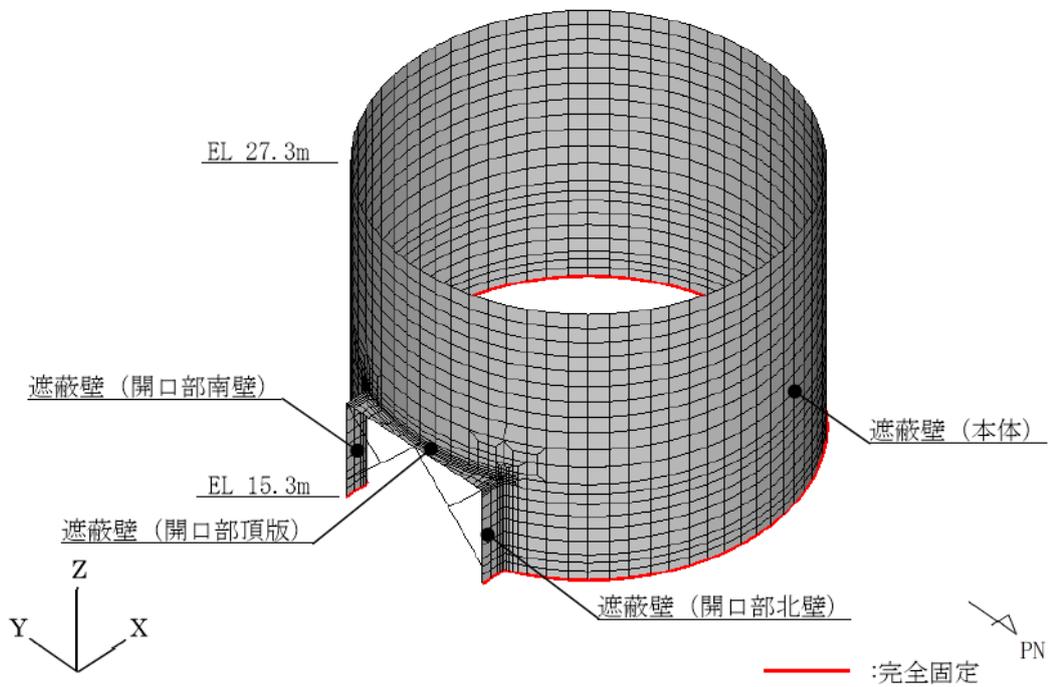


図 3-1(2) 評価対象箇所概念図 (補助復水貯蔵タンク遮蔽壁)

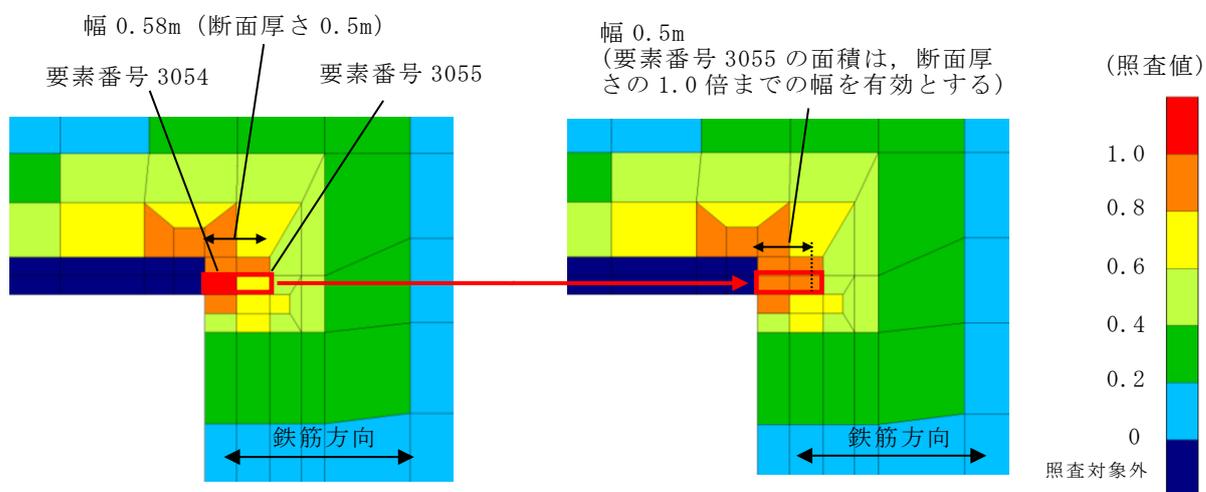
4. 曲げ・軸力及びせん断力の平均化の考え方

4.1 平均化範囲

要素分割について、「2. 復水貯蔵タンク遮蔽壁及び補助復水貯蔵タンク遮蔽壁のモデル化方針」のとおり、「土木学会マニュアル」で断面厚さ又は有効高さの1.0倍程度とするのが良いとされており、また、「補足 024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち「別紙 7-2-1 改造工事に伴う重量増加を反映した検討における応力平均化の考え方」において、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（（社）日本建築学会，2005年）」に基づき部材厚の範囲で応力平均化を実施していることを踏まえ、曲げ・軸力及びせん断力の平均化の範囲は、断面厚さの1.0倍以内で実施することとする。

4.2 平均化の考え方

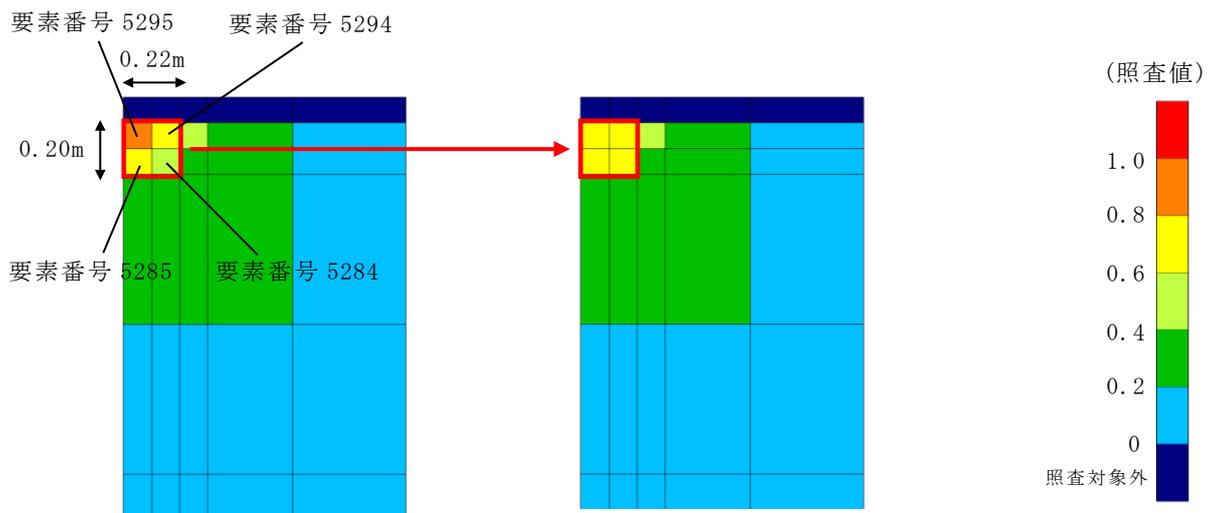
曲げ・軸力の平均化は、発生応力度の許容限界を超えている当該要素に対し、曲げ変形の方法を考慮して鉄筋の軸方向に隣接する要素を対象とする。曲げ・軸力の平均化の計算は、当該要素の発生応力度を算定するための軸力及び曲げモーメントと隣接する要素の発生応力度を算定するための軸力及び曲げモーメントをそれぞれの要素の面積に応じた加重平均として算出する。図 4-1 に復水貯蔵タンク遮蔽壁を例に平均化の概要図を示す。ここで、平均化する要素については、許容値を超えている要素に隣接する要素を基本とするが、それでもなお許容値を上回る場合は、断面厚さの 1.0 倍以内で平均化する要素を追加する。



平均化要素				平均化要素				平均化結果	
要素番号	面積 (m ²)	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	要素番号	面積 (m ²)	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)
3054	0.0473	101	1070	3055	0.0360	81	683	93	903

図 4-1 発生曲げ応力の平均化の概念図（復水貯蔵タンク遮蔽壁の例）

せん断力の平均化は、許容限界（PHb 設置箇所は照査値 0.8）を超えている当該要素に対し、隣接する要素を対象とする。せん断力の平均化の計算は、当該要素のせん断力と隣接する要素のせん断力を、それぞれの要素の面積に応じた加重平均として算出する。図 4-2 に遮補助復水貯蔵タンク遮蔽壁を例に平均化の概要図を示す。ここで、平均化する要素については、許容値を超えている要素に隣接する要素を基本とするが、それでもなお許容値を上回る場合は、断面厚さの 1.0 倍以内で平均化する要素を追加する。



平均化要素			平均化要素			平均化結果
要素番号	面積 (m ²)	せん断力 (kN/m)	要素番号	面積 (m ²)	せん断力 (kN/m)	せん断力 (kN/m)
5295	0.0109	-215	5294	0.0109	-154	-157
5285	0.0109	-145	5284	0.0109	-115	

図 4-2 せん断力の平均化の概念図（補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の例）

5. 曲げ・軸力の平均化後の結果

「4.2 平均化の考え方」に基づき算出した各部材の曲げ・軸力の平均化後の照査値を、表 5-1 に示す。同表により、曲げ・軸力の平均化後の発生応力度による照査値が許容限界を満足することを確認した。

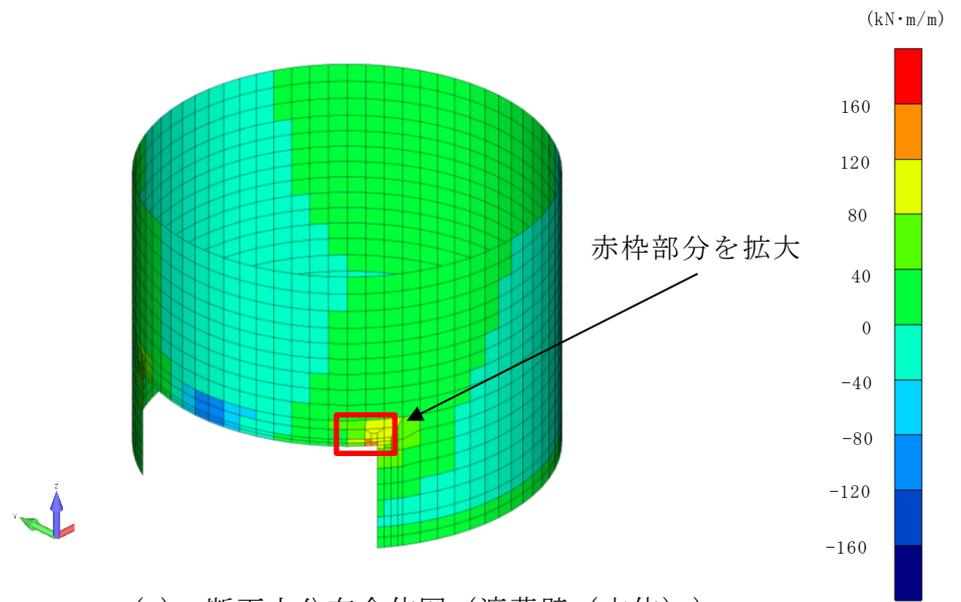
曲げ・軸力の平均化に用いた要素の諸元の詳細は「5.1 遮蔽壁（本体）における平均化」に示す。

表 5-1 平均化後の照査結果（復水貯蔵タンク遮蔽壁，発生応力度）

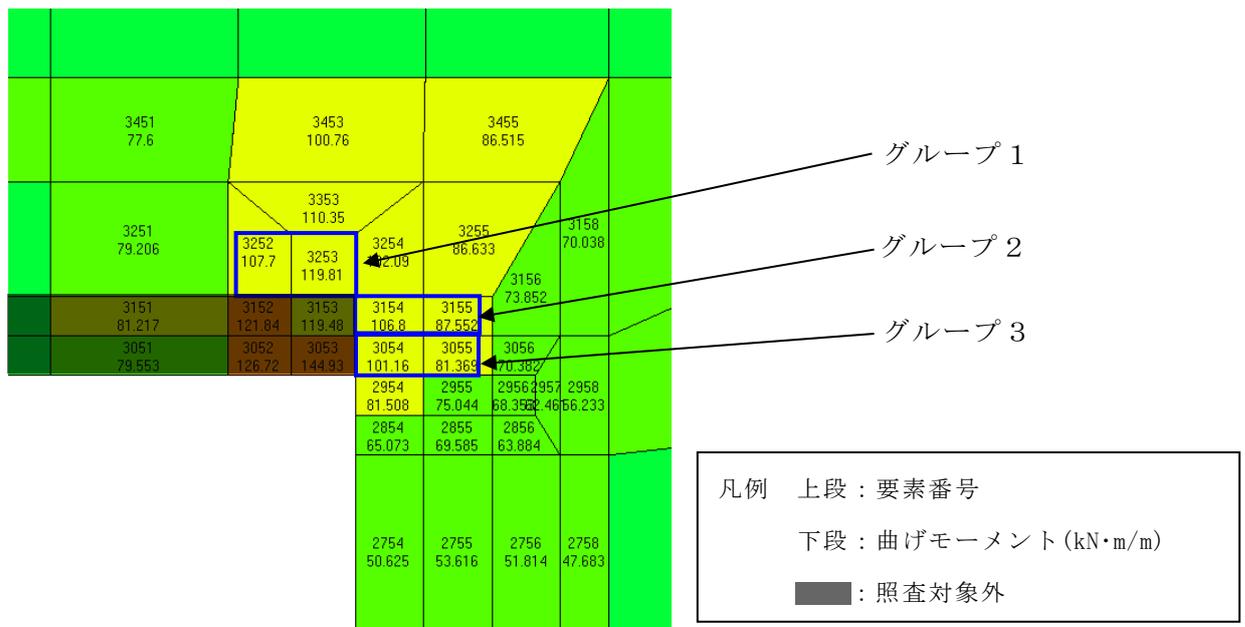
解析ケース	地震動	評価位置 (部材厚)	発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値 (平均化後)
①	S s - D (- +)	遮蔽壁 (本体) (0.5m)	280	294	0.96

5.1 遮蔽壁（本体）における平均化

遮蔽壁（本体）の曲げ・軸力の平均化を実施した範囲の発生断面力分布図のうち曲げモーメントの分布図を図 5-1 に、軸力の分布図を図 5-2 に示す。図 5-1 及び図 5-2 上段には遮蔽壁（本体）に発生する断面力分布図を示し、図 5-1 及び図 5-2 下段には上段にて赤枠で囲んだ箇所の拡大図を示す。拡大図については平均化する要素グループを青枠で示す。図 5-1 及び図 5-2 下段に青枠で示したグループごとの平均化前後の断面力及び発生応力度を表 5-2 に示す。



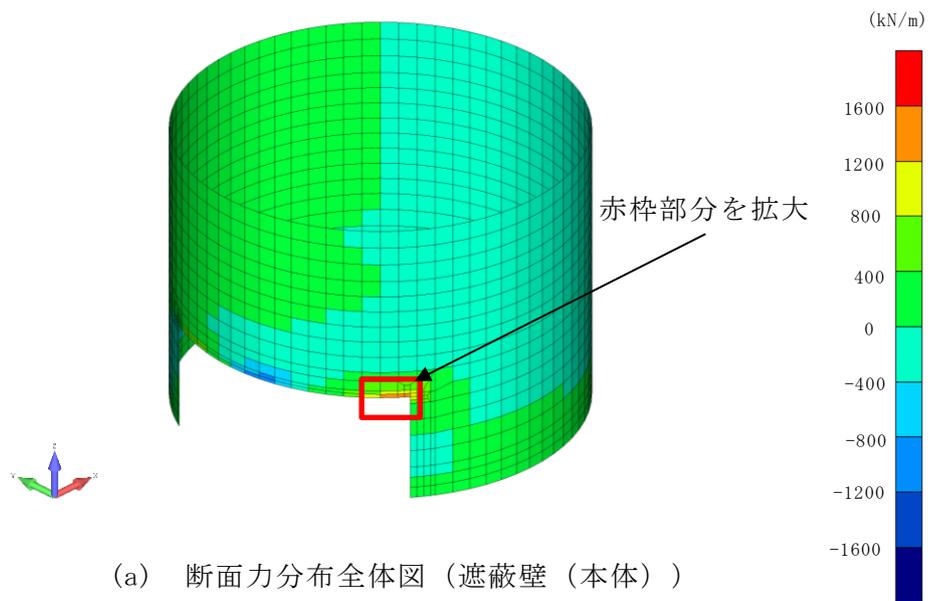
(a) 断面力分布全体図 (遮蔽壁 (本体))



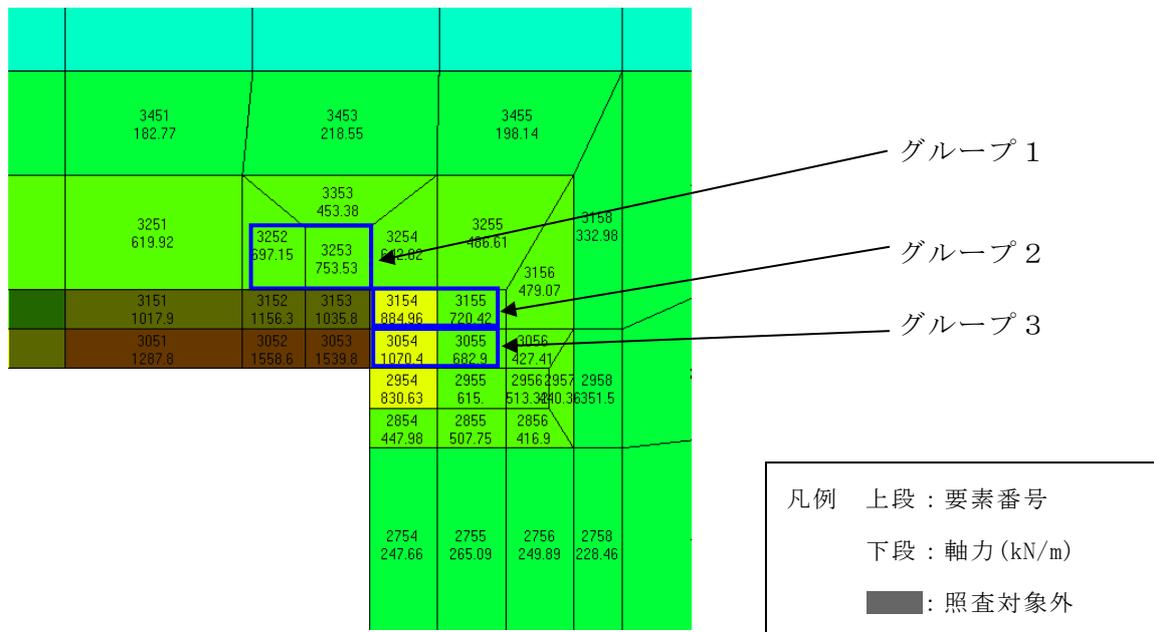
(b) 断面力分布拡大図 (遮蔽壁 (本体))

図 5-1 断面力分布図

(復水貯蔵タンク, 遮蔽壁 (本体), 曲げモーメント (kN·m/m) : M_x)



(a) 断面力分布全体図 (遮蔽壁 (本体))



(b) 断面力分布拡大図 (遮蔽壁 (本体))

図 5-2 断面力分布図

(復水貯蔵タンク遮蔽壁, 遮蔽壁 (本体), 軸力 (kN/m) : N_x)

表 5-2 平均化前後の断面力及び発生応力度一覧（復水貯蔵タンク遮蔽壁，遮蔽壁（本体））

部材	グループ 番号	発生応力度が許容限界を超過する要素				隣接要素				平均化後の 断面力および発生応力度				
		要素 番号	面積 (m ²)	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 (N/mm ²)	要素 番号	面積 (m ²)	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 (N/mm ²)	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 (N/mm ²)
遮蔽壁 (本体)	1	3253	0.0710	120	754	279	3252	0.0593	108	697	255	114	728	268
	2	3154	0.0473	107	885	293	3155	0.0360	88	720	239	98	814	270
	3	3054	0.0473	101	1070	323	3055	0.0360	81	683	225	93	903	280

注記*：赤枠は平均化後の発生応力度最大値を示す。

6. せん断力の平均化後の結果

「4.2 平均化の考え方」に基づき算出した各部材のせん断力の平均化後の照査値を，表 6-1 に示す。同表により，せん断力の平均化後の照査値が許容限界を満足することを確認した。

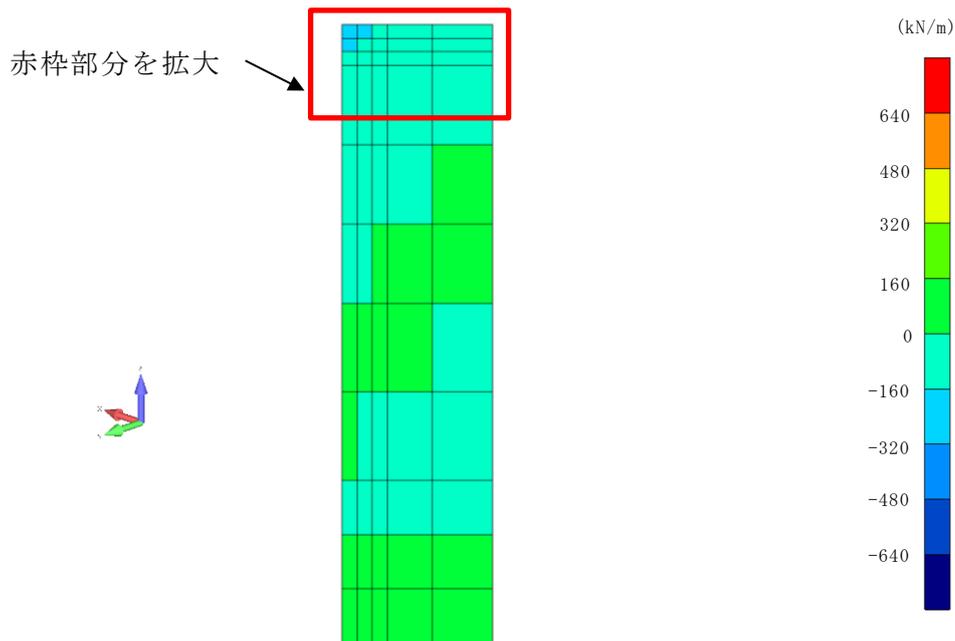
せん断力の平均化に用いた要素の諸元の詳細は「6.1 遮蔽壁（開口部南壁）における平均化」及び「6.2 遮蔽壁（開口部頂版）における平均化」に示す。

表 6-1 平均化後の照査結果（せん断力，補助復水貯蔵タンク遮蔽壁）

解析ケース	地震動	評価位置	照査用 せん断力 (平均化後) (kN/m)	許容せん断力 (kN/m)	照査値 (平均化後)
①	S s - D (++)	遮蔽壁 (開口部南壁)	-157	240	0.66
①	S s - D (++)	遮蔽壁 (開口部頂版)	168	243	0.69

6.1 遮蔽壁（開口部南壁）における平均化

遮蔽壁（開口部南壁）のせん断力が最大となる時刻において、平均化を実施した範囲の照査用せん断力分布図を図 7-1 に示す。図 6-1 (a) に遮蔽壁（開口部南壁）で発生する照査用せん断力分布図を示し，図 6-1 (b) に照査用せん断力分布図にて赤枠で囲んだ箇所の拡大図を示す。拡大図については，平均化する要素グループを青枠で示す。また，拡大図に青枠で示したグループごとの平均化前後のせん断力を表 6-2 に示す。



(a) せん断力分布全体図（遮蔽壁（開口部南壁））

5305 -307.46	5304 -178.33	5303 -111.33	5302 -55.063	5301 -18.216
5295 -214.8	5294 -153.92	5293 -108.85	5292 -58.675	5291 -16.528
5285 -145.38	5284 -114.51	5283 -90.302	5282 -54.837	5281 -13.949
5275 -31.817	5274 -33.186	5273 -33.417	5272 -27.401	5271 -6.5486

グループ 1

凡例 上段：要素番号
下段：せん断力 (kN/m)
■：照査対象外

(b) せん断力分布拡大図（開口部南壁）

図 6-1 せん断力分布図

(補助復水貯蔵タンク遮蔽壁，遮蔽壁（開口部南壁），せん断力：Q Y)

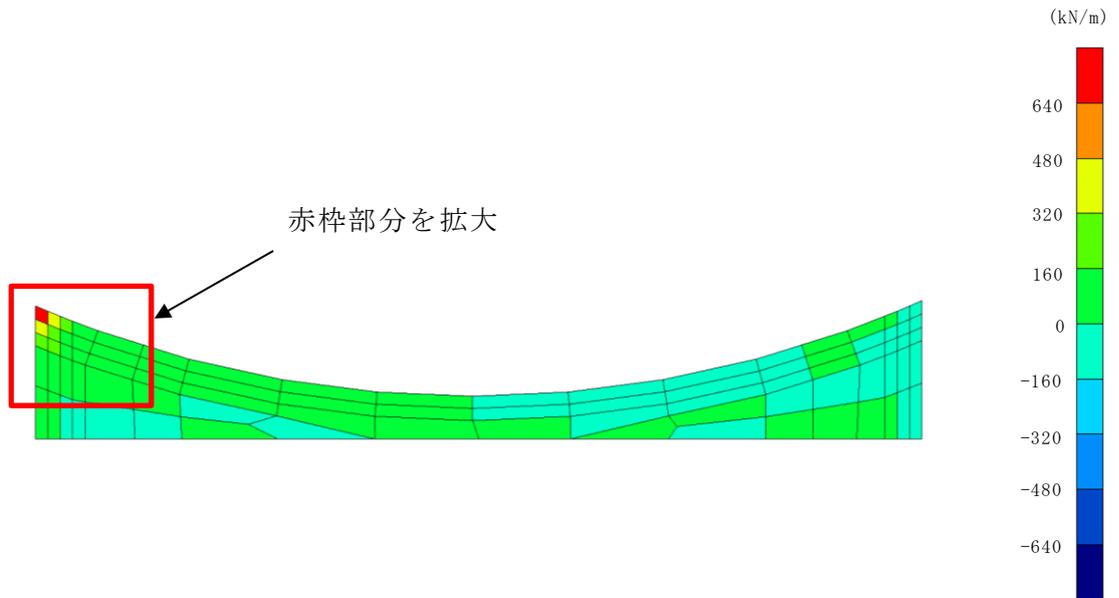
表 6-2 平均化前後のせん断力一覧（補助復水貯蔵タンク遮蔽壁，遮蔽壁（開口部南壁））

部材	グループ 番号	平均化要素		平均化要素			平均化後の せん断力(kN/m)
		要素 番号	面積 (m ²)	せん断力 (kN/m)	要素 番号	面積 (m ²)	
遮蔽壁 (開口部南壁)	1	5295	0.0109	-215	5294	0.0109	-154
		5285	0.0109	-145	5284	0.0109	-115
							-157

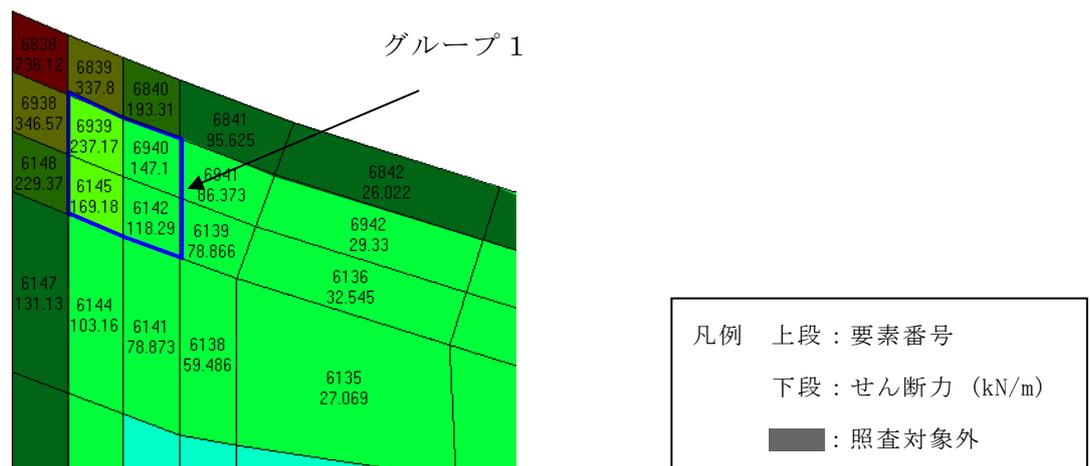
注記*：赤枠は平均化後の発生応力度最大値を示す。

6.2 遮蔽壁（開口部頂版）における平均化

遮蔽壁（開口部頂版）のせん断力が最大となる時刻において、平均化を実施した範囲の照査用せん断力分布図を図 7-1 に示す。図 6-2 (a) に遮蔽壁（開口部頂版）で発生する照査用せん断力分布図を示し、図 6-2 (b) に照査用せん断力分布図にて赤枠で囲んだ箇所の拡大図を示す。拡大図については、平均化する要素グループを青枠で示す。また、拡大図に青枠で示したグループごとの平均化前後のせん断力を表 6-2 に示す。



(a) せん断力分布全体図（遮蔽壁（開口部頂版））



(b) せん断力分布拡大図（遮蔽壁（開口部頂版））

図 6-2 せん断力分布図

(補助復水貯蔵タンク遮蔽壁, 遮蔽壁（開口部頂版）, せん断力：Q Y)

表 6-3 平均化前後のせん断力のせん断力一覧（補助復水貯蔵タンク遮蔽壁，遮蔽壁（開口部頂版））

部材	グループ 番号	平均化要素			平均化要素			平均化後の せん断力 (kN/m)
		要素 番号	面積 (m ²)	せん断力 (kN/m)	要素 番号	面積 (m ²)	せん断力 (kN/m)	
開口部頂版	1	6939	0.0108	237	6940	0.0108	147	168
		6145	0.0109	169	6142	0.0109	118	

注記*：赤枠は平均化後の発生応力度最大値を示す。

7. まとめ

復水貯蔵タンク遮蔽壁及び補助復水貯蔵タンク遮蔽壁において、一部部材において発生応力度及びせん断力が許容限界を越えることから、基準類をもとに断面厚さの1.0倍以内で要素の曲げ・軸力及びせん断力を平均化する妥当性を確認し、平均化後の発生応力度及びせん断力が許容限界を満足することを確認した。

参考文献

- 1) コンクリート構造物の設計に FEM 解析を適用するためのガイドライン，日本コンクリート工学協会，1989 年 3 月

参考資料3 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の北側の小規模な法面が地震応答解析へ及ぼす影響確認について

1. 概要

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析の評価対象断面のうち対象構造物北側には小規模な法面（EL 8.5m～EL 15.0m）が位置しているが、対象構造物は岩盤の上に直接設置されており、地表面形状の影響を受け難い構造であることから、本文で用いた地震応答解析モデル上は、EL 15.0mの敷地が広がるものとしてモデル化している。そこで、対象構造物北側の小規模な法面が及ぼす地震応答解析への影響を確認する。

2. 評価方針

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面（A-A断面）において、対象構造物の北側の小規模な法面をモデル化したモデル（モデル①）を用いて地震応答解析を追加実施し、補助復水貯蔵タンク代表位置（位置①）及びトーラス水受入タンク代表位置（位置②）における応答加速度を算出し、本文で用いたモデル（モデル②）の同位置での応答値と比較する。なお、補助復水貯蔵タンク代表位置は、遮蔽壁の評価上最も影響の大きな遮蔽壁頂部とする。トーラス水受入タンク代表位置は、トーラス水受入タンク中心に最も近い地表面とする。地震応答解析については、解析コード「TDA PⅢ」を使用する。

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面位置図を図1に、評価対象断面図を図2に示す。

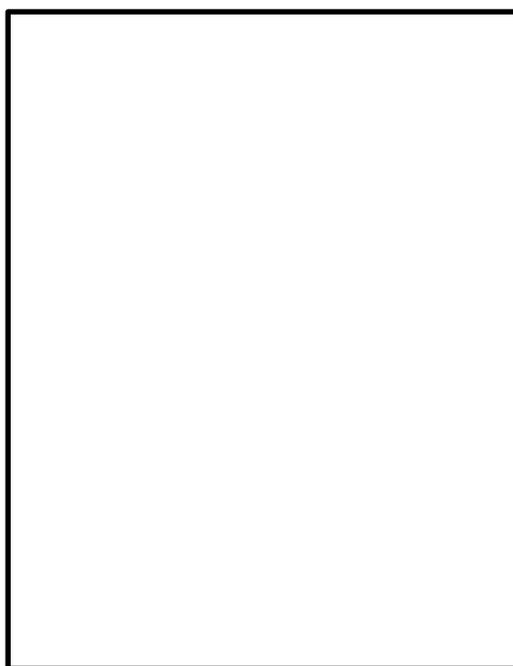


図1 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面位置図

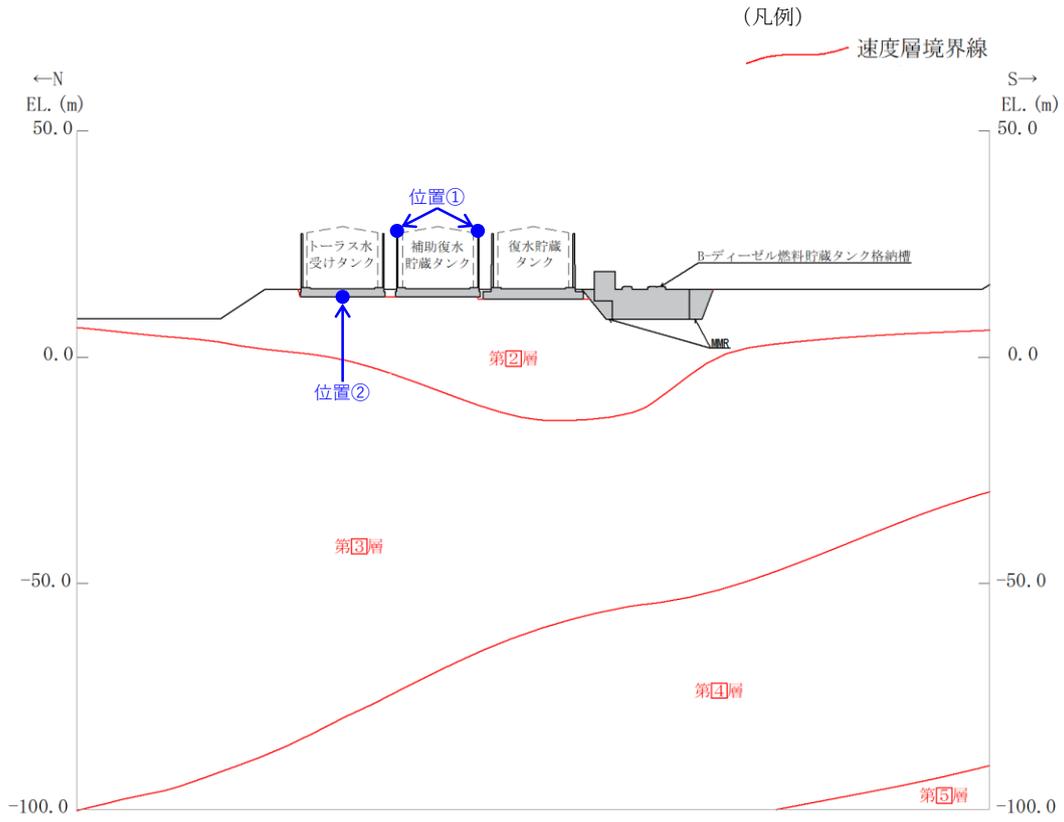


図2 評価対象断面図 (A-A断面, 速度層図)

3. 解析モデル

地震応答解析を実施する解析モデルのうち、対象構造物の北側の小規模な法面をモデル化したモデル（モデル①）を図3に、本文で用いたモデル（モデル②）を図4に示す。

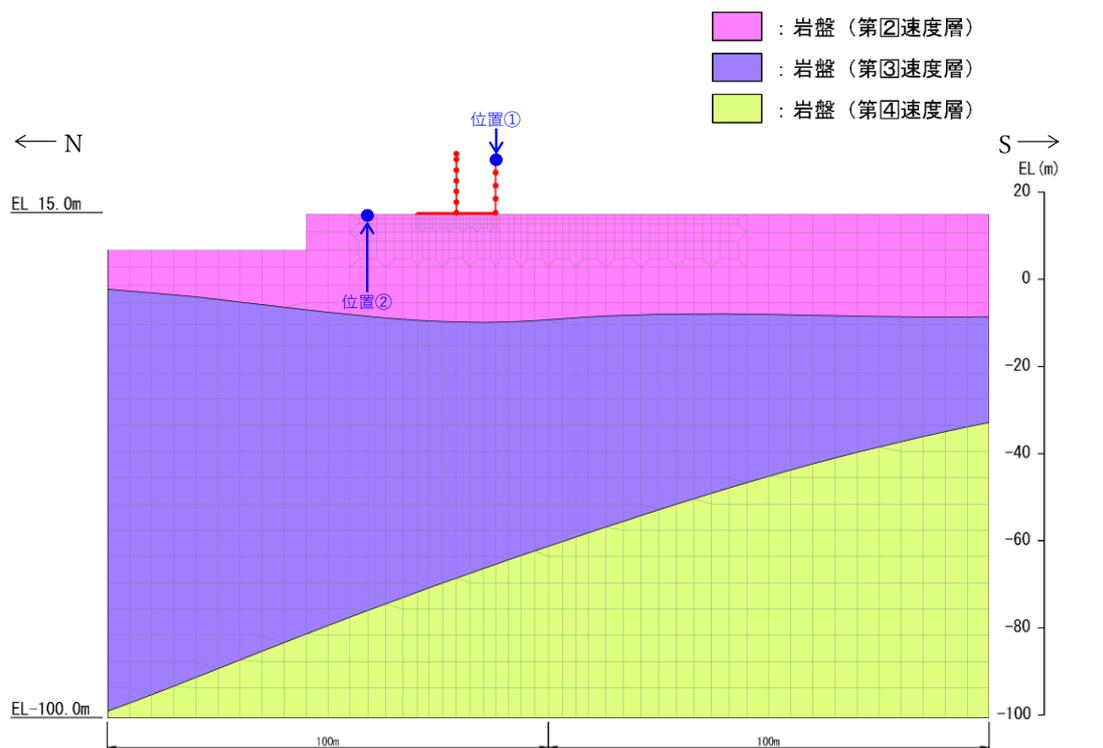


図3 対象構造物北側の小規模な法面をモデル化した解析モデル（モデル①）

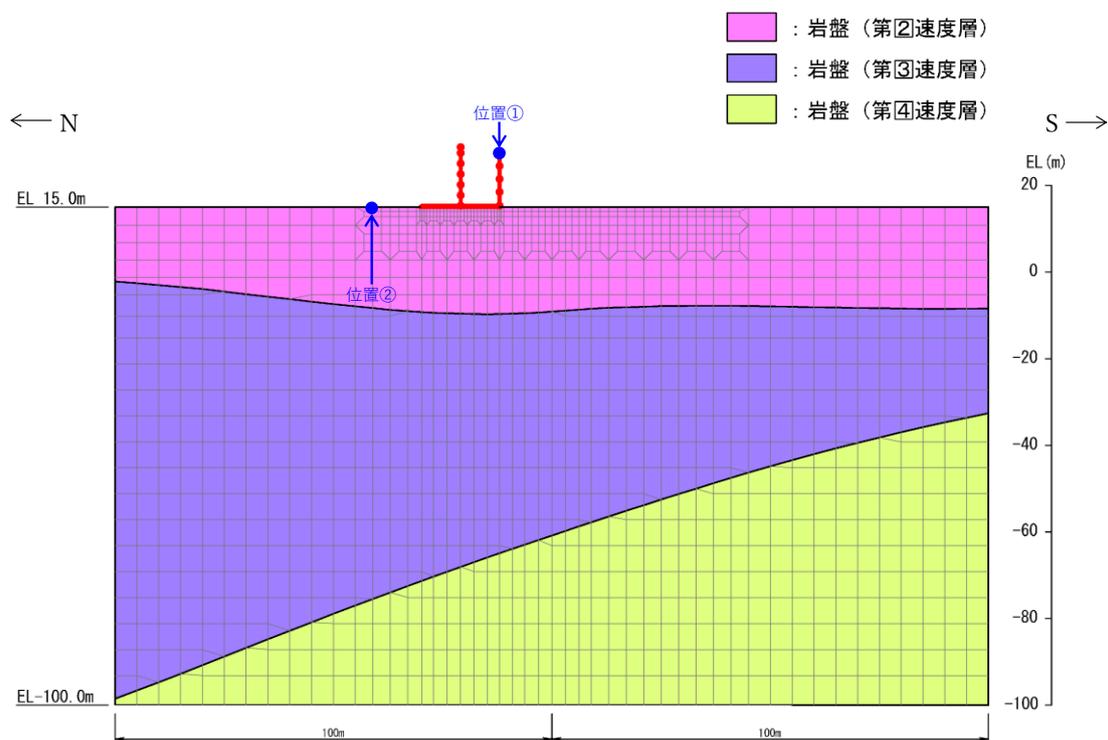


図4 本文で用いた解析モデル（モデル②）

4. 確認結果

「3. 解析モデル」で設定した2つの解析モデルの補助復水貯蔵タンク代表位置（位置①）及びトーラス水受入タンク代表位置（位置②）における地表面の応答加速度を表1に示す。最大水平加速度で、モデル①の方が3~4%程度応答値が大きくなるが、最大鉛直加速度では、モデル①の方が20%程度応答値が小さくなる。また、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の照査の最大値は0.84（開口補強鋼材（アンカーボルト）のせん断照査）であり、水平方向の応答値の微増に対し、十分な裕度を有している。

以上より、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁の北側の小規模な法面が地震応答解析へ及ぼす影響は軽微であることを確認した。

表1 地表面の応答加速度

抽出位置		解析モデル	最大水平加速度 (cm/s ²)	モデル① / モデル②	最大鉛直加速度 (cm/s ²)	モデル① / モデル②
位置①	補助復水貯蔵タンク遮蔽壁	モデル①	2044.7	103.6%	1223.2	82.4%
		モデル②	1973.5		1484.3	
位置②	トーラス水受入タンク遮蔽壁	モデル①	1176.0	104.2	736.1	77.5%
		モデル②	1128.4		950.2	

参考資料 4 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトールス水受入タンク遮蔽壁における PHb 工法の適用性の検討

1. はじめに

島根 2 号機において PHb により耐震補強を行った補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトールス水受入タンク遮蔽壁に対する PHb 工法の適用性については、NS2-補-026-01「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」における参考資料 12「後施工せん断補強筋の適用性について」にて確認している。

ここでは、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトールス水受入タンク遮蔽壁の部材厚が 300mm と小さいことに加え、PHb が設置計画位置よりも高止まりしている箇所があることから、「構造細目 (PHb の配置間隔)」及び「定着長」について、建設技術審査証明報告書の適用範囲内であることを確認する。また、高止まりを考慮した場合においても、せん断ひび割れを抑制し、せん断補強効果を期待できることについて確認する。PHb の構造概要を図 1-1 に示す。

また、補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトールス水受入タンク遮蔽壁の配置図を図 1-2 に、PHb による耐震補強の概要を図 1-3 及び図 1-4 に示す。また、PHb の配置間隔と高止まりについて表 1-1 及び表 1-2 に整理する。

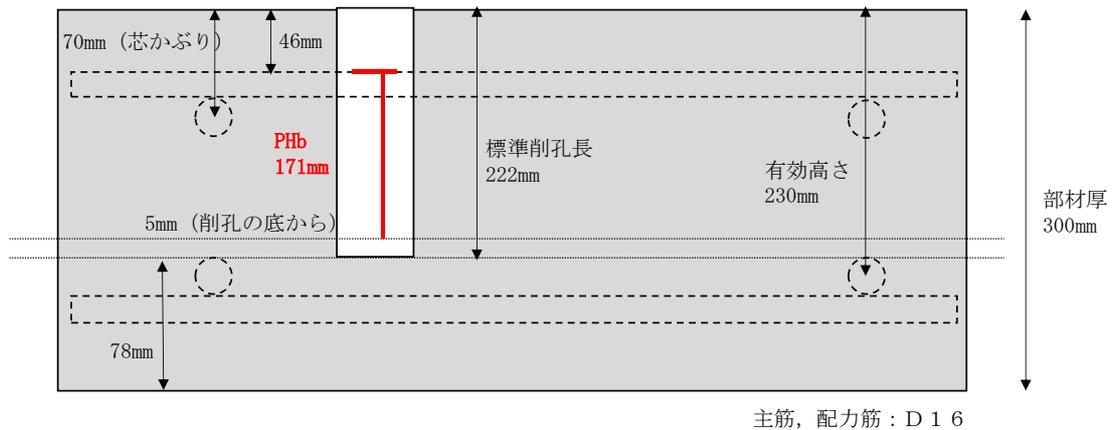


図 1-1 PHb の構造概要

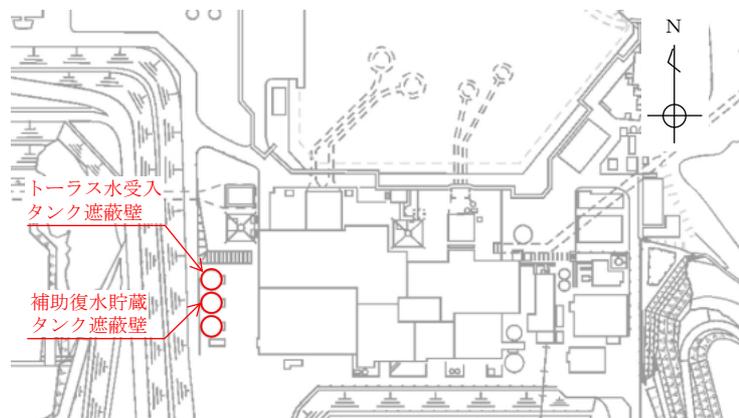
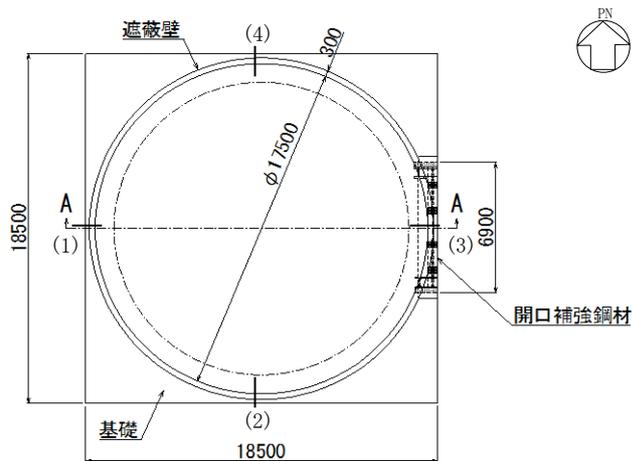


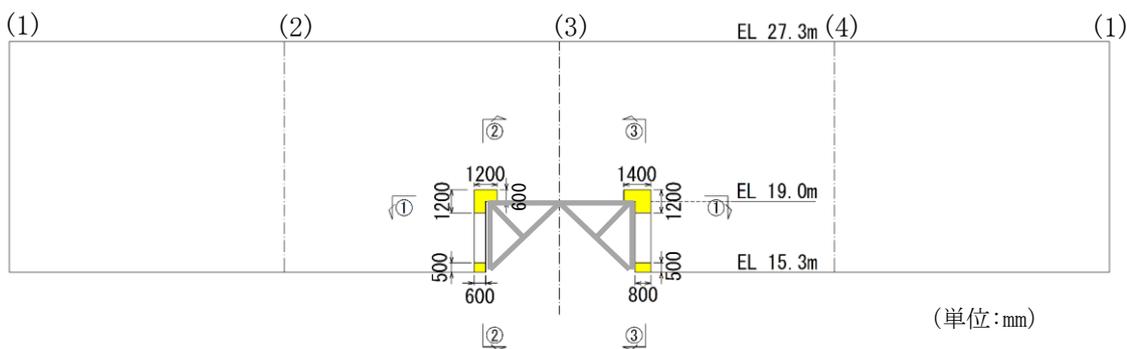
図 1-2 配置図 (補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトールス水受入タンク遮蔽壁)

(参考) 4-1



(単位:mm)

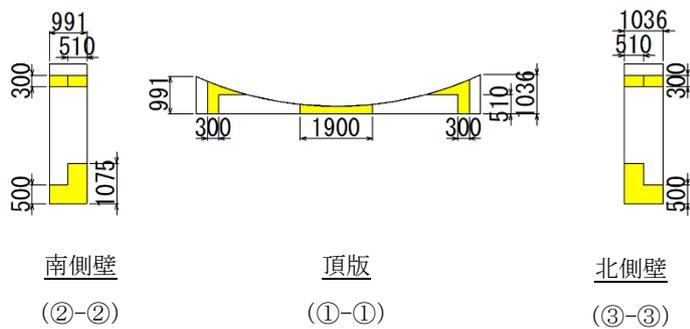
(平面図)



(単位:mm)

(展開図)

■ : PHb による補強箇所



(単位:mm)

南側壁
(2)-(2)

頂版
(1)-(1)

北側壁
(3)-(3)

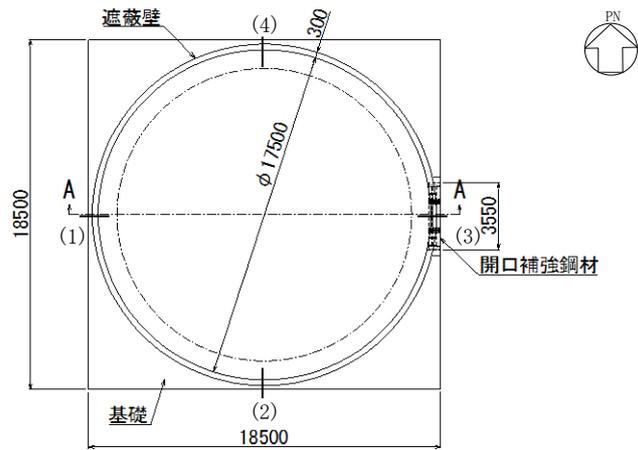
■ : PHb による補強箇所

図 1-3 補助復水貯蔵タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所

表 1-1 PHb の配置間隔と高止まりの整理 (補助復水貯蔵タンク遮蔽壁)

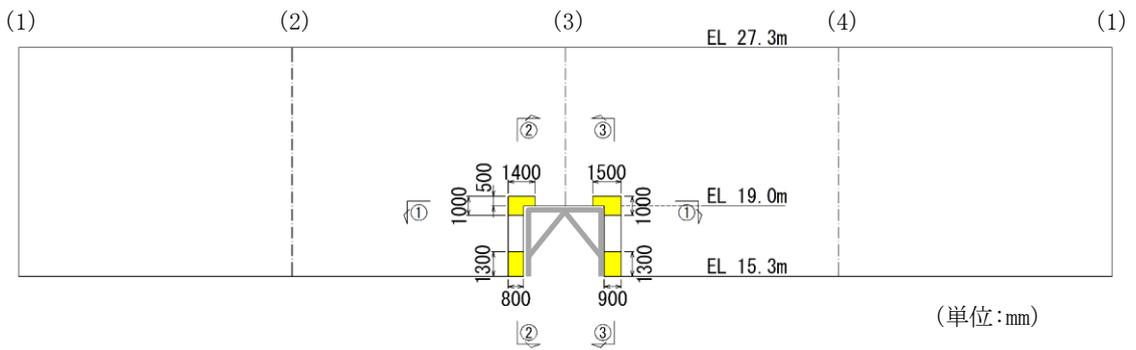
鉄筋径	D13	D19	D22
最大配置間隔	115mm	115mm	115mm
高止まり高さ	15mm~48mm	0mm~7mm	0mm
最小 PHb 長	123mm	164mm	171mm

(参考) 4-2



(単位:mm)

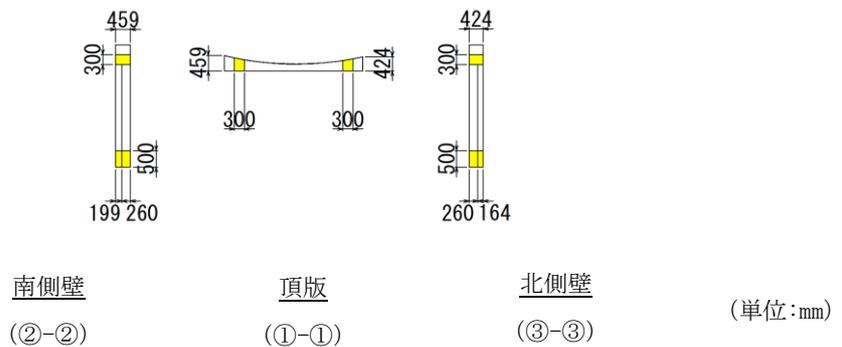
(平面図)



(単位:mm)

■ : PHb による補強箇所

(展開図)



(単位:mm)

■ : PHb による補強箇所

図 1-4 トーラス水受入タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所

表 1-2 PHb の配置間隔と高止まりの整理 (トーラス水受入タンク遮蔽壁)

鉄筋径	D13
最大配置間隔	115mm
高止まり高さ	19mm~46mm
最小 PHb 長	125mm

(参考) 4-3

2. せん断補強効果の確認

2.1 PHb の配置間隔

PHb の配置間隔については、建設技術審査証明報告書に構造細目として「Post-Head-bar を配置するせん断スパン方向の最大間隔は、補強対象部材の有効高さの 1/2 倍以下かつ 300mm 以下とする。」と記載されている。補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁における PHb の最大配置間隔は 115mm であり、図 1-1 に示す有効高さ 230mm の 1/2 以下であることから、建設技術審査証明報告書の適用範囲に合致することを確認している。

また、配置間隔に関して、「コンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会, 2017 年制定)」では、「スターラップがせん断補強筋として有効な働きをするためには、腹部コンクリートに発生する斜めひび割れと必ず交わるように、スターラップの間隔を定めて配置する必要がある。」と記載されている。表 1-1 及び表 1-2 に示すとおり、高止まりを考慮した場合でも最小 PHb 長は 123mm であり、最大配置間隔の 115mm を上回っていることから、45 度方向の斜めひび割れを想定した場合に、PHb がせん断補強筋として有効に働くことを確認している。

2.2 PHb の定着長

PHb の定着長については、建設技術審査証明報告書に図 2-1 のとおり記載されている。

表 II-4.2 各鉄筋の円形プレート側の必要定着長 (D: 鉄筋の直径)

種類の記号 鉄筋の呼び名	SD295	SD390
	SD345	
D13	3.5D	4.0D
D16	5.0D	5.5D
D19		
D22		
D25	5.5D	
D29		
D32		

図 2-1 PHb の必要定着長 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁の施工実績を踏まえた PHb の定着長に関する整理結果を表 2-1 に示す。なお、鉄筋種別は SD345 である。表 2-1 に示すとおり、高止まりを考慮しても、必要定着長を確保していることを確認している。

表 2-1 高止まりを考慮した定着長の整理結果

鉄筋径	D13	D19
公称直径 (mm)	12.7	19.1
必要定着長 (mm)	44.5	95.5
最小 PHb 長 (mm)	123	164

2.3 高止まりの影響

補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁は施工実績で PHb が設置計画位置よりも最大 48mm の高止まりが生じている。このため、高止まりしていても、せん断ひび割れを抑制し、せん断補強効果を期待できることを材料非線形解析を用いた数値実験により確認する。

材料非線形解析の手法は、NS2-補-026-01「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」における参考資料 12「後施工せん断補強筋の適用性について」と同様に以下の手法とする。

- ・ 鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。
- ・ 鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては、平均化構成則を用いる。
- ・ 鉄筋との複合作用が及ばない領域では、コンクリートの破壊力学の概念を導入する。

材料非線形解析に用いる解析コードは、上記の鉄筋コンクリートの構成則を有する解析コードの 1 つである「WCOMD Studio ver. 1.3.3」とする。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.3.1 検討方針

NS2-補-026-01「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」における参考資料 12「後施工せん断補強筋の適用性について」においてモデル化手法の妥当性を確認した材料非線形解析を用いて、高止まりを考慮した場合の PHb 工法の適用性を確認する。

適用性の確認は、高止まりの有無によりひび割れ状況に差が生じるかを確認すると共に、高止まりを考慮した解析から得られる有効係数 β_{aw} と、設計計算値における β_{aw} を比較することにより確認する。

2.3.2 モデル化方法

NS2-補-026-01「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」における参考資料 12「後施工せん断補強筋の適用性について」において妥当性を確認したモデル化方法を用いて、高止まりを考慮した場合の PHb 工法の適用性を確認する。

構造部材は、平面応力要素にてモデル化する。モデル化は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」を参考に、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋領域としてモデル化する。

PHb のモデル化は、PHb 先端の領域では定着が十分ではない可能性があるため、せん断補強筋が機能しない（無効区間）ものとして、せん断補強鉄筋比をゼロとしてモデル化する。加えて、施工実績を踏まえ、高止まりした区間についてもせん断補強筋が機能しない（無効区間）ものとしてモデル化する。

高止まりを考慮した無効区間は、施工実績における最大高止まり 48mm を踏まえ、保守的に図 2-2 のとおりとした。

(参考) 4-6

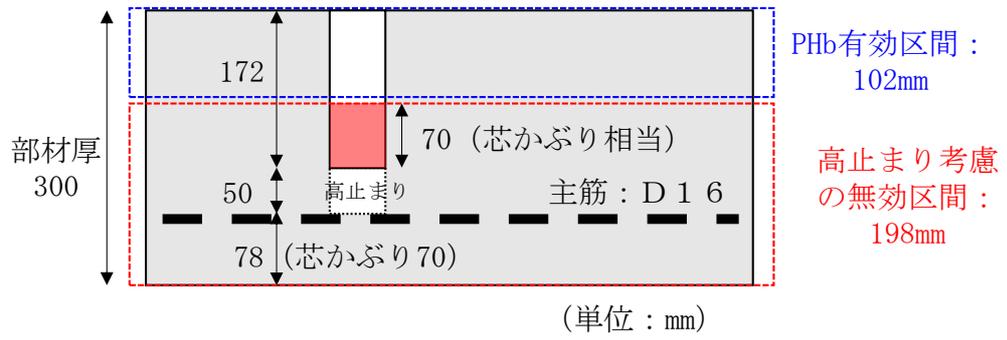


図 2-2 PHb のモデル化概念図

また、解析の入力データとなるコンクリートの材料特性及び鉄筋の材料特性を、表 2-2 及び表 2-3 に示す。これらの条件により設定した解析モデル図を図 2-3 に示す。

表 2-2 コンクリートの材料特性

項目	設定値
圧縮強度 f'_c	32N/mm ²
引張強度 f_t	2.32N/mm ² (小数 2 位に四捨五入) ($=0.23 \times 32.0^{2/3} = 2.3182$)
ヤング係数 E_c	WC OMD で自動計算

表 2-3 鉄筋の材料特性

項目	設定値	設定根拠
主鉄筋及びせん断補強鉄筋のヤング係数	200kN/mm ²	土木学会マニュアルに準拠し設定
主鉄筋の降伏強度	999N/mm ²	土木学会マニュアルに準拠し、せん断耐力を得るために主筋の降伏強度を十分大きな値に設定
PHb 鉄筋の降伏強度	384N/mm ²	建設技術審査証明報告書より設定

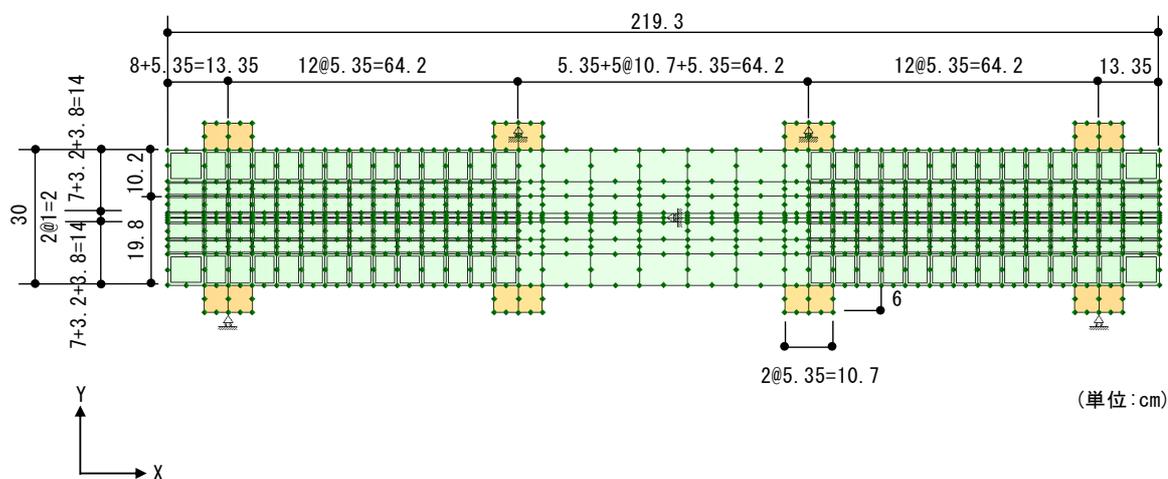


図 2-3 解析モデル図

2.3.3 荷重条件

材料非線形解析にて考慮する荷重は、建設技術審査証明報告書の実験における荷重条件を模して、変位を作用位置に強制的に与える。また、鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため、十分小さい値を漸増荷重する。耐力の評価を主目的とするため、単調荷重とするが、実験条件である交番荷重の影響についても参考として確認することとする。

(参考) 4-8

2.3.4 破壊判定基準

材料非線形解析における構造部材の破壊判定基準は、既往の研究事例に基づき圧縮ひずみ1%、せん断ひずみ2%、引張ひずみ3%（以下「1, 2, 3%破壊基準」という。）とする。

2.3.5 検討ケース

検討ケースは、表2-4に示すとおり2ケースとする。

表2-4 検討ケース一覧

ケース	荷重載荷方法
CASE 1 PHb工法（高止まり考慮）	単調載荷
CASE 2 PHb工法（高止まり考慮）	交番載荷【参考】

2.3.6 確認結果

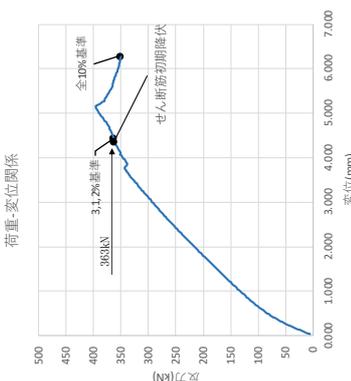
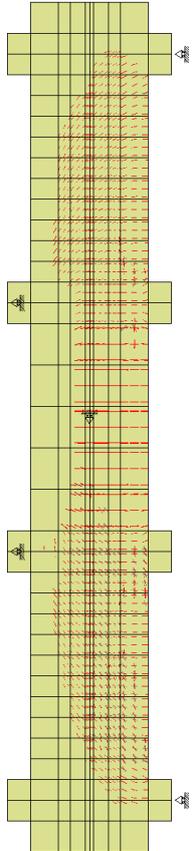
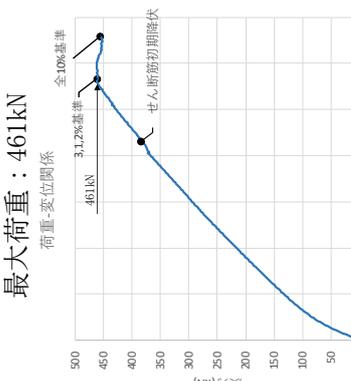
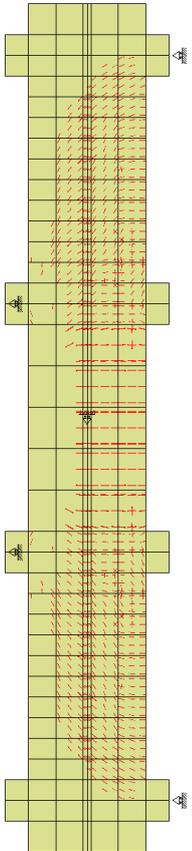
解析結果を表2-5に示す。表2-5には比較のために、NS2-補-026-01「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」における参考資料12「後施工せん断補強筋の適用性について」で検討した部材厚300mmに従来工法を適用したケース②-Aの結果を再掲する。また、参考として交番載荷を行ったCASE2の解析結果を表2-6に示す。

表2-5及び表2-6に示すとおり、全体的にひび割れが分散しており、特異な状況は確認されなかった。

参考に、CASE1について、各損傷状況における変形状況、ひび割れ状況及び鉄筋降伏状況を表2-7に示す。また、比較のために部材厚300mmに従来工法を適用したケース②-Aの結果を表2-8に再掲する。

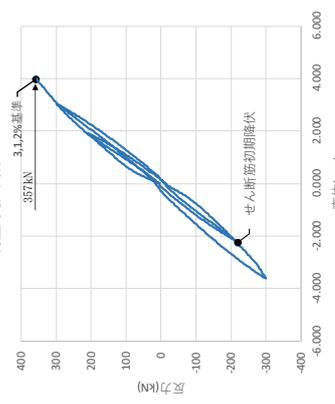
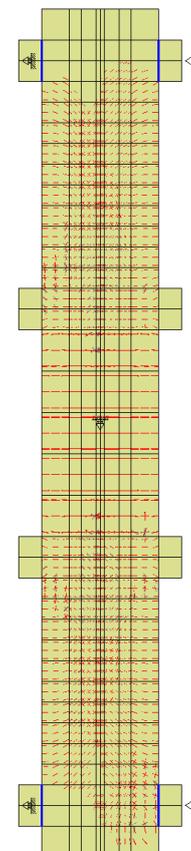
表2-7及び表2-8に示すとおり、各損傷状況において、従来工法と比較してPHbによるせん断補強効果に影響を与えるような顕著な差は確認されなかった。

表2-5 各ケースの荷重-変位関係とひび割れ状況

解析ケース	荷重-変位関係	ひび割れ状況*
<p>CASE 1 PHb 工法 (高止まり考慮) (単調載荷)</p>	<p>1, 2, 3%破壊基準までの 最大荷重：363kN</p> 	
<p>【再掲】 ②-A 従来工法 (単調載荷)</p>	<p>1, 2, 3%破壊基準までの 最大荷重：461kN</p> 	

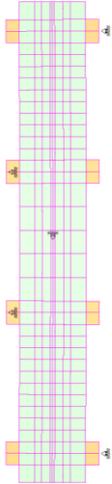
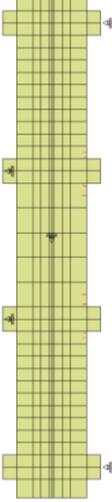
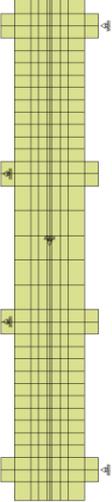
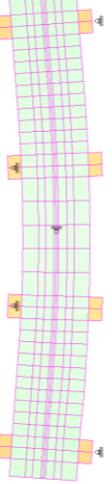
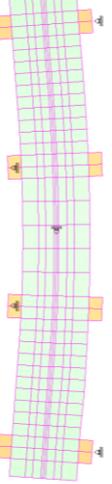
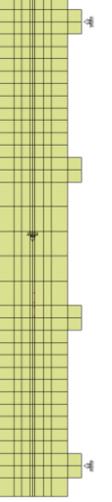
注記*：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが、ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。

表2-6 各ケースの荷重-変位関係とひび割れ状況

解析ケース	荷重-変位関係	ひび割れ状況*
<p>【参考】 CASE 2 PHb 工法 (高止まり考慮) (交番載荷)</p>	<p>1, 2, 3 %破壊基準までの 最大荷重 : 357kN 荷重-変位関係</p>  <p>The graph shows a hysteresis loop with load (kN) on the y-axis (ranging from -400 to 400) and displacement (mm) on the x-axis (ranging from -6,000 to 6,000). The peak load is 357 kN, which is 3.42% of the design strength. A point on the unloading curve is labeled 'せん断筋初期降伏状' (Initial yielding of shear reinforcement).</p>	 <p>The diagram shows a vertical column with four support points. Red arrows indicate the location and direction of cracks. Cracks are visible in the regions between the supports, showing a typical shear crack pattern.</p>

注記* : 図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが、ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。

表2-7 CASE 1 (PHb工法・高止まり考慮) の解析結果

初期ひび割れ発生時の損傷状況	変形状況 (変形倍率10倍)	ひび割れ状況*	鉄筋降伏状況
			
			
			

注記*: 図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひび割れ発生ひび割れが、ひび割れ発生ひび割れに達したことを示す。

解析結果から算出した有効係数 β_{aw}' と設計計算値における有効係数 β_{aw} の比較を表 2-9 に示す。なお、 β_{aw}' の算出にあたっては、PHb が負担するせん断力を解析結果のせん断耐力 $V_{cd}+V_{phb}$ と、計算値であるコンクリートのせん断耐力 V_{cd} の差で算出しており、この方法は建設技術審査証明報告書における算出方法と同様である。

β_{aw}' を算出する際のコンクリートのせん断耐力は、NS2-補-026-01「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」における参考資料 12「後施工せん断補強筋の適用性について」の検討において、 β_{aw}' が保守的な値となった「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC規準」という。）を用いて算出した。

表 2-9 から、部材厚を 300mm とし、高止まりを考慮した場合、解析から得られる有効割合 β_{aw}' は設計計算値における有効係数 β_{aw} とおおむね同等であり、構造評価において β_{aw} を使用することで保守的な評価が可能であることを確認した。

表2-9 解析結果から算出した有効係数 β_{aw}' と設計計算値における有効係数 β_{aw} の比較

ケース			PHb工法（高止まり考慮）・ 単調載荷（CASE 1）
解析結果	コンクリート+ せん断補強筋の せん断耐力（kN）	$V_{cd}+V_{phb}$	363
計算値 （RC規準）	コンクリートの せん断耐力（kN）	V_{cd}	297
解析結果	PHbが負担する せん断力（kN）	V_{phb}	66
計算値 （棒部材式）	従来工法とした場合に せん断補強筋が負担する せん断耐力（kN）	V_{sd}	137
解析結果	有効係数 β_{aw}' （解析）	V_{phb}/V_{sd}	0.48
計算値	有効係数 β_{aw}^* （計算値）		0.44

注記*： $\beta_{aw} = 1 - I_y / \{2 \cdot (d - d')\} - z / (d - d')$ ただし、 $\beta_{aw} \leq 0.9$

ここで、 I_y ：PHb の埋込側に必要な定着長

$d-d'$ ：補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔（ $d-d' \geq I_y$ ）

z ：高止まり高さ

（ β_{aw} の算出式は建設技術審査証明報告書に準拠）

3. まとめ

島根2号機においてPHbにより耐震補強を行った補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトールス水受入タンク遮蔽壁の部材厚が建設技術審査証明報告書に記載の実験で用いられた部材厚よりも薄いこと及びPHbの高止まりを考慮した場合にも、PHb工法によるせん断ひび割れ抑制効果が期待できることを材料非線形解析を用いた数値実験により確認した。