

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0610-20_改 22
提出年月日	2021年10月27日

記載の適正化範囲については、修正箇所のみ抜粋

補足－610－20 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

目 次

資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

1. 対象設備
2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容
3. 安全係数
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定
 - 4.1 断面選定の方針
 - 4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理
 - 4.3 解析手法選定の方針
 - 4.4 軽油タンク連絡ダクト
 - 4.5 排気筒連絡ダクト
 - 4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト
 - 4.7 取水路（漸拡部）
 - 4.8 軽油タンク室
 - 4.9 軽油タンク室（H）
 - 4.10 海水ポンプ室
 - 4.11 取水口，貯留堰
 - 4.12 取水路（標準部）
 - 4.13 復水貯蔵タンク基礎
 - 4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室
 - 4.15 第3号機海水ポンプ室
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法
6. 許容限界
7. ジョイント要素のばね設定
8. 隣接構造物のモデル化方針
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数
10. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定
11. 等価剛性モデルの設定方針
12. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における地下水位及び内水位の設定

資料 2 軽油タンク連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震安全性評価

資料 5 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震安全性評価

資料 6 取水路（漸拡部）の耐震安全性評価

資料 7 軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 8 軽油タンク室（H）の耐震安全性評価

資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価

資料 10 取水口，貯留堰の耐震安全性評価

資料 11 取水路（標準部）の耐震安全性評価

資料 12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価

資料 13 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 14 第 3 号機海水ポンプ室の耐震安全性評価

 : 本日の説明範囲

 : 記載適正化範囲

本補足説明資料は、耐震性に関する説明書のうち屋外重要土木構造物の耐震安全性評価についての内容を補足するものである本補足説明資料と添付書類との関連を以下に示す。

補足説明資料と添付書類との関連

工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち 補足－610－20 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】	該当添付書類
1. 対象設備	共通事項
2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容	
2.1 支持機能	共通事項
2.2 通水機能	共通事項
2.3 貯水機能	共通事項
2.4 止水機能	共通事項
2.5 屋外重要土木構造物等の耐震安全性に関する整理	共通事項
3. 安全係数	共通事項
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定	
4.1 断面選定の方針	共通事項
4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理	共通事項
4.3 解析手法選定の方針	共通事項
4.4 軽油タンク連絡ダクト	VI-2-2-19 軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書
4.5 排気筒連絡ダクト	VI-2-2-27 排気筒連絡ダクトの地震応答計算書
4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト	VI-2-2-11 原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)の地震応答計算書 VI-2-2-12-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の耐震性についての計算書
4.7 取水路(漸拡部)	VI-2-10-4-4-1 取水路(漸拡部)の耐震性についての計算書

4.8	軽油タンク室	VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書
4.9	軽油タンク室 (H)	VI-2-2-15 軽油タンク室 (H) の地震応答計算書
4.10	海水ポンプ室	VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書
4.11	取水口, 貯留堰	VI-2-10-4-3 取水口の耐震性についての計算書
4.12	取水路 (標準部)	VI-2-10-4-4-2 取水路 (標準部) の耐震性についての計算書
4.13	復水貯蔵タンク基礎	VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書
4.14	ガスタービン発電設備軽油タンク室	VI-2-2-17 ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書
4.15	第3号機海水ポンプ室	VI-2-2-9 第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法		
5.1	耐震安全性評価における解析ケース	共通事項
5.2	屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケースの組合せ	共通事項
5.3	機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース	共通事項
6. 許容限界		
6.1	許容応力度法による耐震安全性評価	共通事項
6.2	限界状態設計法による照査	共通事項
6.3	土木学会マニュアル2005の適用性	共通事項
7.	ジョイント要素のばね設定	共通事項
8.	隣接構造物のモデル化方針	共通事項
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数		
9.1	時刻歴応答解析 (全応力解析) で設定する Rayleigh 減衰	共通事項
9.2	時刻歴応答解析 (有効応力解析) で設定する Rayleigh 減衰	共通事項
10. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定		
10.1	評価方針	共通事項
11.	等価剛性モデルの設定方針	共通事項

11.1	等価剛性モデルを設定する構造物	共通事項
11.2	等価剛性モデルの設定手順	共通事項
12.	屋外重要土木構造物等の耐震評価における地下水位及び内水位 の設定	共通事項
12.1	地下水位の設定	共通事項
12.2	内水位の設定	共通事項

資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について


目 次

1. 対象設備	資料 1-1
2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容	資料 1-2
2.1 支持機能	資料 1-2
2.2 通水機能	資料 1-3
2.3 貯水機能	資料 1-3
2.4 止水機能	資料 1-4
2.5 屋外重要土木構造物等の耐震安全性に関する整理	資料 1-5
3. 安全係数	資料 1-8
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定	資料 1-13
4.1 断面選定の方針	資料 1-13
4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理	資料 1-16
4.3 解析手法選定の方針	資料 1-18
4.4 軽油タンク連絡ダクト	資料 1-22
4.5 排気筒連絡ダクト	資料 1-30
4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト	資料 1-46
4.7 取水路（漸拡部）	資料 1-57
4.8 軽油タンク室	資料 1-71
4.9 軽油タンク室（H）	資料 1-79
4.10 海水ポンプ室	資料 1-86
4.11 取水口，貯留堰	資料 1-98
4.12 取水路（標準部）	資料 1-108
4.13 復水貯蔵タンク基礎	資料 1-126
4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室	資料 1-133
4.15 第 3 号機海水ポンプ室	資料 1-140
5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法	資料 1-150
5.1 耐震安全性評価における解析ケース	資料 1-150
5.2 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケースの組合せ	資料 1-157
5.3 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース	資料 1-162
6. 許容限界	資料 1-166
6.1 許容応力度法による耐震安全性評価	資料 1-166
6.2 限界状態設計法による照査	資料 1-168
6.3 土木学会マニュアル 2005 の適用性	資料 1-178
7. ジョイント要素のばね設定	資料 1-186
7.1 せん断強度の設定	資料 1-189
7.2 ばね定数の設定	資料 1-192
8. 隣接構造物のモデル化方針	資料 1-194
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数	資料 1-196

9.1	時刻歴応答解析（全応力解析）で設定する Rayleigh 減衰	資料 1-196
9.2	時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定する Rayleigh 減衰	資料 1-202
10.	屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定	資料 1-203
10.1	評価方針	資料 1-203
11.	等価剛性モデルの設定方針	資料 1-208
11.1	等価剛性モデルを設定する構造物	資料 1-208
11.2	等価剛性モデルの設定手順	資料 1-209
12.	屋外重要土木構造物等の耐震評価における地下水位及び内水位の設定	資料 1-220
12.1	地下水位の設定	資料 1-220
12.2	内水位の設定	資料 1-220

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価についての参考資料

- 参考資料 1 0. P. 14. 8m盤に分布する盛土・旧表土の液状化特性
- 参考資料 2 地中構造物の耐震性に支配的な要因の検討
- 参考資料 3 地震応答解析による断面選定の確認
- 参考資料 4 断層交差部の影響評価
- 参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定
- 参考資料 6 後施工せん断補強工法の適用性
- 参考資料 7 地中構造物への鉛直地震動の位相が与える影響
- 参考資料 8 等価剛性モデルにおける鉛直方向床応答への影響
- 参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果
- 参考資料 10 追加解析ケースの選定方法の詳細について
- 参考資料 11 女川原子力発電所における地盤の振動特性について
- 参考資料 12 ジョイント要素のばね定数の妥当性確認結果について
- 参考資料 13 三次元構造解析による耐震評価の照査時刻の妥当性確認方針
- 参考資料 14 浮上り評価について
- 参考資料 15 屋外重要土木構造物等におけるコンクリート初期剛性低下の機器・配管系への影響

 : 記載適正化範囲

参考資料 15 屋外重要土木構造物等におけるコンクリート初期剛性
低下の機器・配管系への影響

目 次

1. 概要	資料 1- (参考) 15-1
2. 検討方針	資料 1- (参考) 15-1
3. 検討対象	資料 1- (参考) 15-2
4. 検討内容	資料 1- (参考) 15-4
5. 検討結果	資料 1- (参考) 15-51
6. まとめ	資料 1- (参考) 15-53

1. 概要

本資料は、屋外重要土木構造物等に対して建物・構築物で考慮しているコンクリートの初期剛性低下を考慮した場合の機器・配管系への影響について確認する。

なお、屋外重要土木構造物等の耐震性に支配的な要因である土圧は、構造物と周囲の地盤の剛性差により生じることから、構造物の剛性が低下し、地盤との剛性差が小さくなることは、耐震裕度が向上することとなるため、屋外重要土木構造物等の耐震性への影響検討は対象外とする。

2. 検討方針

機器・配管系への屋外重要土木構造物等におけるコンクリートの初期剛性低下による影響の考慮にあたっては、以下の資料に示す「コンクリート初期剛性低下を考慮した解析ケース（影響検討ケース）」の応答を求め「工認用解析ケース（基本ケース及び不確かさケース）」の地震応答解析結果と比較する。

- ・ 補足-610-16 【排気筒基礎の耐震性についての計算書に関する補足説明資料】
- ・ 補足-610-20 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】
 - ・ 資料 2 軽油タンク連絡ダクトの耐震安全性評価
 - ・ 資料 3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価
 - ・ 資料 4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震安全性評価
 - ・ 資料 7 軽油タンク室の耐震安全性評価
 - ・ 資料 8 軽油タンク室（H）の耐震安全性評価
 - ・ 資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価
 - ・ 資料 12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価
 - ・ 資料 13 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震安全性評価

影響検討フローを図 2-1 に示す。

屋外重要土木構造物等にコンクリートの初期剛性低下を考慮した影響検討用解析ケースの応答から作成した耐震条件（以下「影響検討条件」という。）と工認用解析ケースの応答から作成した耐震条件（以下「設計条件」という。）を比較し、最大応答加速度及び床応答曲線の応答比率を作成する。作成した応答比率と検討対象設備の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価（応答比率 \leq 裕度であれば影響なし）を行う。

また、簡易評価で成立性を確認できなかった設備に対しては影響検討条件を用いた詳細評価（当該設備の耐震計算書と同様の評価手法（スペクトルモーダル解析など）による設備評価）を行う。

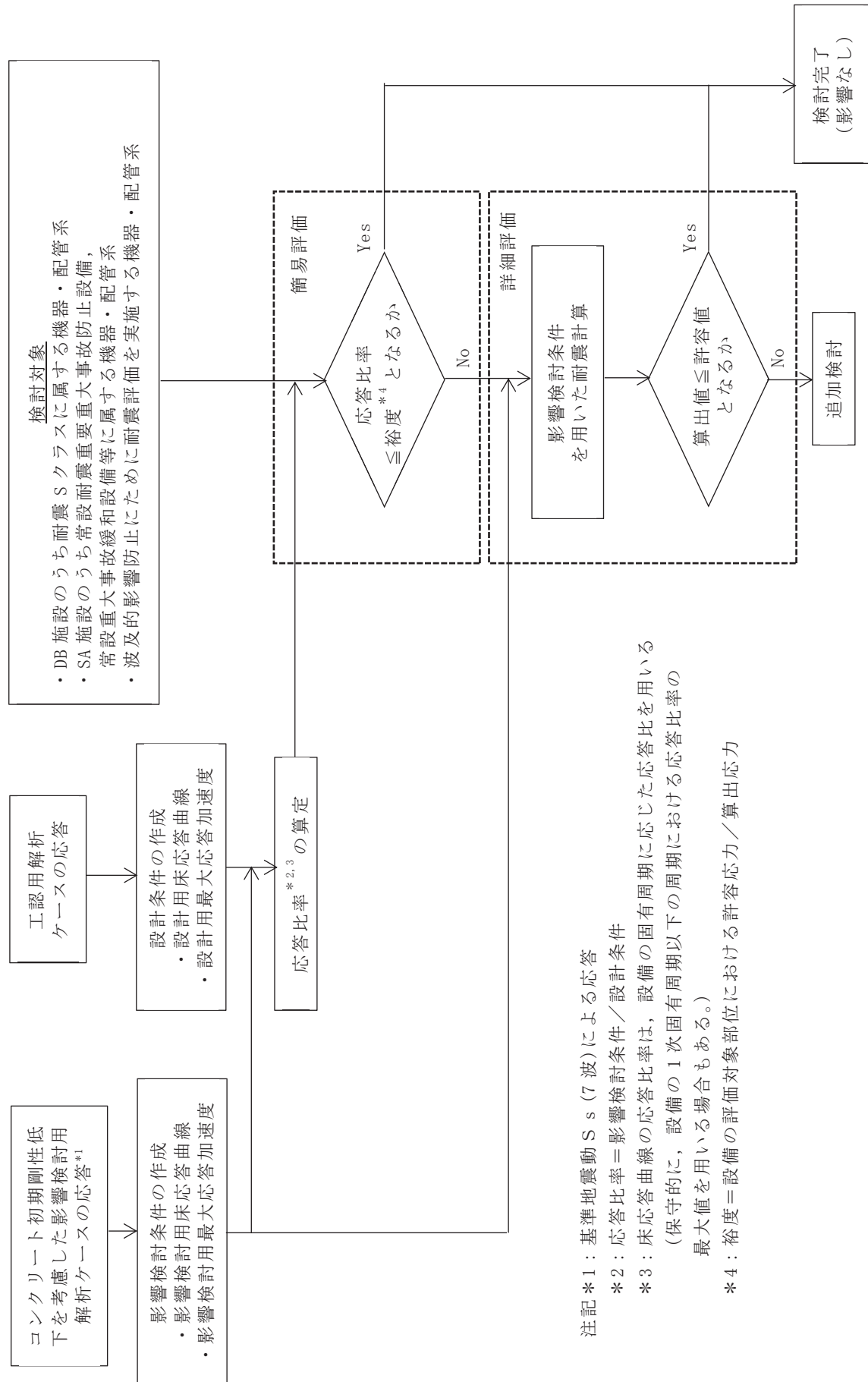
なお、相対変位による機器・配管系の耐震性への影響については、4. (2)項に記載のとおり、影響検討条件の相対変位と設計条件の相対変位を比較すると、その大小関係は一定ではないが、設計条件を上回る場合であっても、相対変位の差異は1mm未満で

あることから影響は軽微であると判断し，最大応答加速度及び設計用床応答曲線を用いた影響検討を実施する。

3. 検討対象

屋外重要土木構造物等に設置される以下の機器・配管系を影響検討の対象とする。

- ・設計基準対象施設のうち，耐震重要度分類のSクラスに属する機器・配管系
- ・重大事故等対処施設のうち，常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備，常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に属する機器・配管系
- ・波及的影響防止のために耐震評価を実施する機器・配管系



検討対象

- DB施設のうち耐震Sクラスに属する機器・配管系
- SA施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備等に属する機器・配管系
- 波及的影響防止のために耐震評価を実施する機器・配管系

注記*1：基準地震動S_s(7波)による応答
 *2：応答比率＝影響検討条件／設計条件
 *3：床応答曲線の応答比率は、設備の固有周期に応じた応答比を用いる
 (保守的に、設備の1次固有周期以下の周期における応答比率の最大値を用いる場合もある。)
 *4：裕度＝設備の評価対象部位における許容応力／算出応力

図 2-1 屋外重要土木構造物等におけるコンクリート初期剛性低下を考慮した影響検討フロー

4. 検討内容

(1) 応答比率算定

機器・配管系の耐震計算に用いる条件の応答比率の算定方法及び応答比率を以下に示す。

a. 最大応答加速度

各屋外重要土木構造物等の各標高における最大応答加速度の比較結果（水平方向（NS/EW 方向別又は NS/EW 方向包絡）及び鉛直方向）を表 4-1～9 に示す。

影響検討条件の最大応答加速度が設計条件の最大応答加速度を一部上回ることを確認した。

(a) 復水貯蔵タンク基礎

表 4-1(1) 最大応答加速度の応答比率
（基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向（NS/EW 方向包絡））

位置	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
		①設計条件	②影響検討条件	
復水貯蔵タンク	21.362	4.60	4.52	0.99
	19.362	4.33	4.26	0.99
	17.402	4.06	4.00	0.99
	15.442	3.73	3.67	0.99
	13.482	2.87	2.83	0.99
	11.522	1.80	1.77	0.99
	9.562	1.21	1.18	0.98
しゃへい壁	20.600	2.21	2.44	1.11
	19.600	2.02	2.23	1.11
	17.800	1.73	1.75	1.02
	14.800	1.51	1.55	1.03
	13.250	1.43	1.45	1.02
	11.225	1.36	1.33	0.98
	9.200	1.20	1.18	0.99
バルブ室	14.800	2.40	2.43	1.02
	13.250	1.86	1.85	1.00
	11.225	1.45	1.44	1.00
連絡トレンチ	10.500	1.25	1.21	0.97

表 4-1 (2) 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

位置 名称	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
		①設計条件	②影響検討条件	
復水貯蔵タンク	21.362	0.92	0.90	0.98
	19.362	0.92	0.90	0.98
	17.402	0.92	0.90	0.98
	15.442	0.92	0.90	0.98
	13.482	0.92	0.90	0.98
	11.522	0.92	0.90	0.98
	9.562	0.92	0.90	0.98
しゃへい壁	20.600	0.92	0.90	0.98
	19.600	0.92	0.90	0.98
	17.800	0.92	0.90	0.98
	14.800	0.92	0.90	0.98
	13.250	0.92	0.90	0.98
	11.225	0.92	0.90	0.98
	9.200	0.92	0.90	0.98
バルブ室	14.800	0.92	0.90	0.98
	13.250	0.92	0.90	0.98
	11.225	0.92	0.90	0.98
連絡トレンチ	10.500	0.92	0.90	0.98

(b)海水ポンプ室

表 4-2(1) 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (NS/EW 方向包絡))

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.800	7.34	5.30	0.73
11.025	3.15	2.85	0.91
7.250	2.76	2.60	0.95
2.250	1.83	1.77	0.97
-0.550	1.88	1.75	0.94
-7.025	1.50	1.55	1.04
-9.800	1.18	1.30	1.11

表 4-2(2) 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (NS))

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.800	1.56	1.30	0.84
11.650	1.17	1.23	1.06
7.250	1.03	1.06	1.03
2.250	0.94	0.94	1.00
-0.550	0.89	0.89	1.00
-6.400	0.82	0.84	1.03
-9.800	0.82	0.84	1.03

表 4-2(3) 最大応答加速度の応答比率
 (基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (EW))

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.800	7.34	5.30	0.73
11.025	3.15	2.85	0.91
7.250	2.76	2.60	0.95
2.250	1.83	1.77	0.97
-0.550	1.88	1.75	0.94
-7.025	1.50	1.55	1.04
-9.800	1.18	1.30	1.11

表 4-2(4) 最大応答加速度の応答比率
 (基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.800	2.72	2.96	1.09
11.025	2.47	2.34	0.95
7.250	2.26	1.85	0.82
2.250	1.94	1.61	0.83
-0.550	1.48	1.30	0.88
-7.025	1.44	1.25	0.87
-9.800	1.44	1.25	0.87

(c)原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）

表 4-3(1) 最大応答加速度の応答比率

（基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向）

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
-0.65	1.34	1.12	0.84
-4.75	1.36	1.31	0.97
-8.85	1.19	1.03	0.87

表 4-3(2) 最大応答加速度の応答比率

（基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向）

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
-0.65	1.11	1.12	1.01
-4.75	1.13	1.06	0.94
-8.85	1.02	0.97	0.96

(d) 軽油タンク室

表 4-4(1) 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (NS/EW 方向包絡))

位置	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
		①設計条件	②影響検討条件	
タンク室	14.80	1.65	1.61	0.98
	9.50	1.31	1.30	1.00
ポンプ室	14.80	1.69	1.56	0.93
	9.50	1.30	1.33	1.03

表 4-4(2) 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

位置	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
		①設計条件	②影響検討条件	
タンク室	14.80	1.10	1.19	1.09
	9.50	0.99	0.95	0.96
ポンプ室	14.80	0.95	0.93	0.98
	9.50	0.91	0.89	0.98

(e) 軽油タンク室 (H)

表 4-5(1) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (NS/EW 方向包絡))

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.80	2.16	2.13	0.99
6.40	1.72	1.36	0.80

表 4-5(2) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.80	1.33	1.36	1.03
6.40	1.03	1.00	0.98

(f) ガスタービン発電設備軽油タンク室

表 4-6(1) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (NS/EW 方向包絡))

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
62.30	1.47	1.55	1.06
56.70	0.94	0.90	0.96

表 4-6(2) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
62.30	0.94	0.94	1.00
56.70	0.69	0.69	1.00

(g) 軽油タンク連絡ダクト

表 4-7(1) 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (NS/EW 方向包絡))

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
12.1	1.79	1.52	0.85
10.5	1.56	1.34	0.86
9.5	1.31	1.20	0.92

表 4-7(2) 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
12.1	1.22	1.08	0.89
10.5	1.25	1.08	0.87
9.5	1.13	1.02	0.91

(h) 排気筒基礎

表 4-8(1) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (NS/EW 方向包絡))

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.80	1.69	1.64	0.98
10.41	1.56	1.49	0.96
6.60	1.48	1.35	0.92
1.00	1.25	1.17	0.94

表 4-8(2) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

標高 O. P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
14.80	0.99	0.94	0.95
10.41	0.96	0.92	0.96
6.60	0.91	0.90	0.99
1.00	0.85	0.85	1.00

(i)排気筒連絡ダクト

表 4-9(1) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向)

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
上床板	1.54	1.59	1.04
中間点	1.03	0.99	0.97
底板	1.11	1.12	1.01

表 4-9(2) 最大応答加速度の応答比率
(基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向)

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2 \times 1.2$)		応答比率 (②/①)
	①設計条件	②影響検討条件	
上床板	1.17	1.18	1.01
中間点	1.13	1.10	0.98
底板	0.83	0.78	0.94

b. 床応答スペクトル

各屋外重要土木構造物等の各標高における床応答スペクトルの比較結果を図 4-1 に示す。なお、床応答スペクトルの減衰定数は、耐震裕度の比較的小さい配管系の主要な減衰定数である 2.0%を用いる。

影響検討条件の床応答スペクトルが一部周期帯において、設計条件の床応答周スペクトルを一部上回ることを確認した。

床応答スペクトルの応答比率は、方向、標高、減衰定数及び設備の固有周期に応じた応答比率を算定する。応答比率の算定例を図 4-2 に示す。

(a) 復水貯蔵タンク基礎

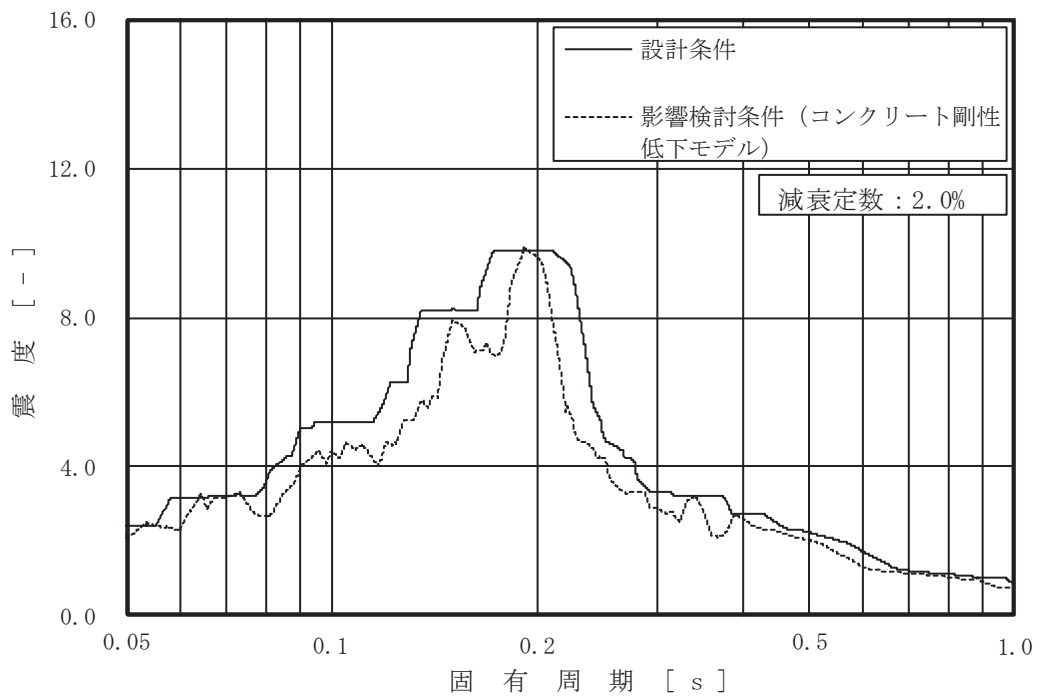


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (1/63) (基準地震動 S_s , 復水貯蔵タンク基礎 (バルブ室) 0.P.13.250m , 水平 (NS/EW 包絡))

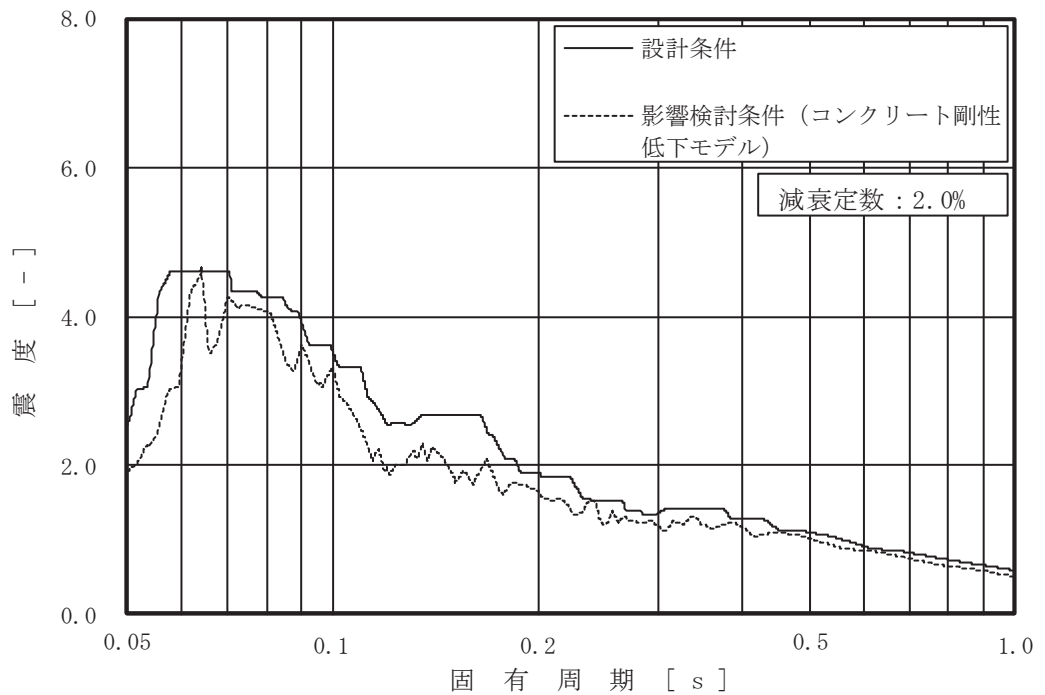


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (2/63) (基準地震動 S_s , 復水貯蔵タンク基礎 (バルブ室) 0.P.13.250m , 鉛直)

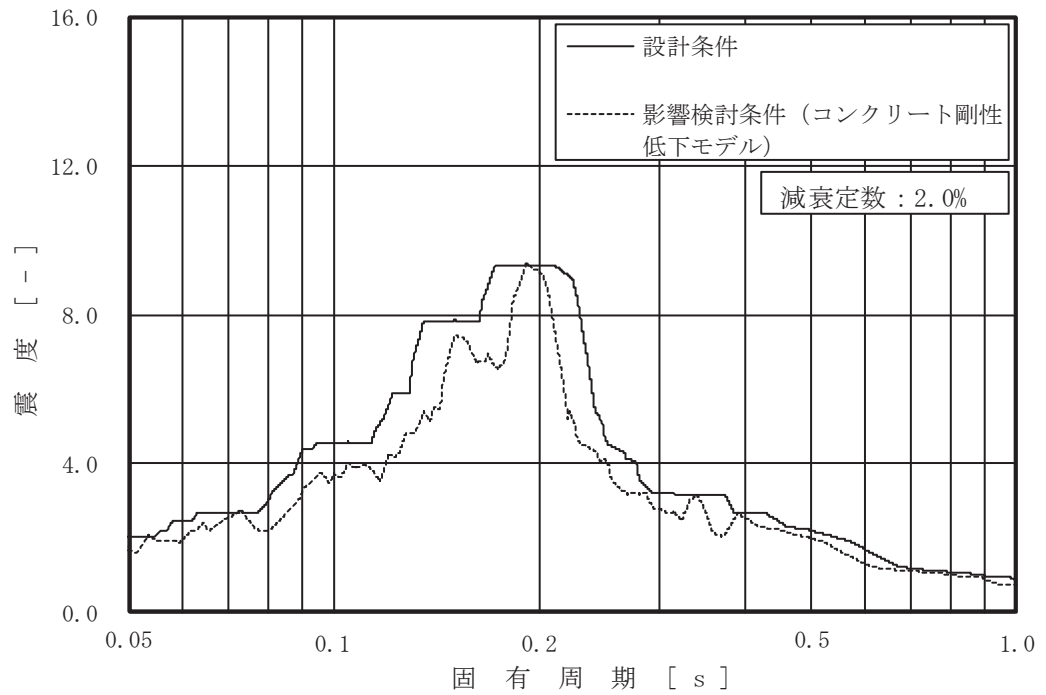


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (3/63) (基準地震動 S_s , 復水貯蔵タンク基礎 (バルブ室) 0.P.11.225m , 水平 (NS/EW 包絡))

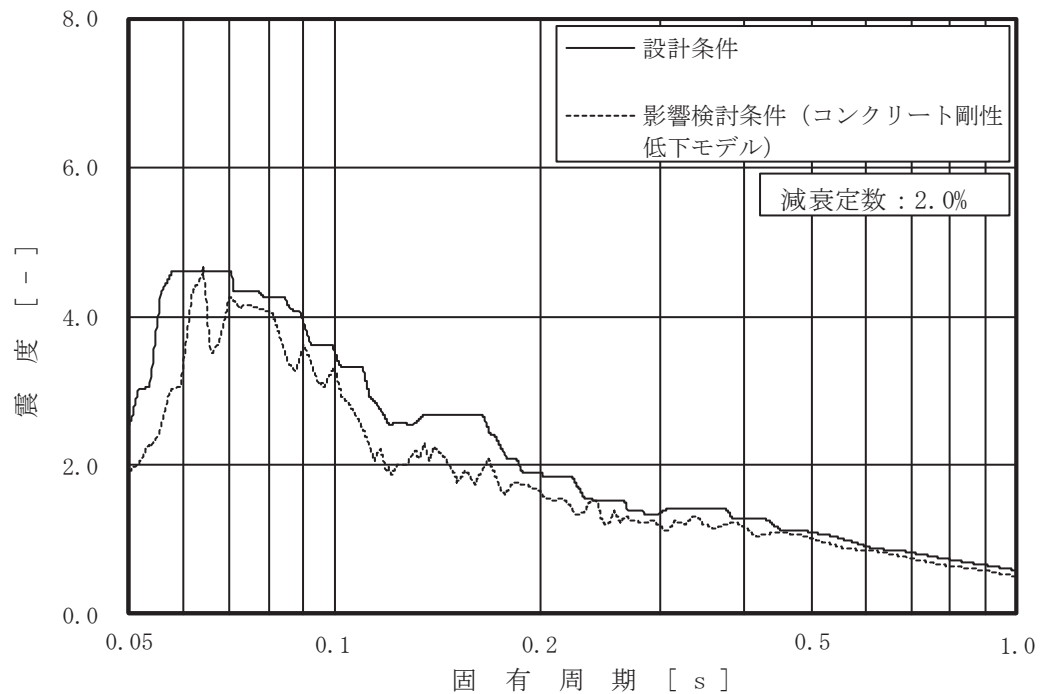


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (4/63)
(基準地震動 S_s , 復水貯蔵タンク基礎 (バルブ室) 0.P.11.225m , 鉛直)

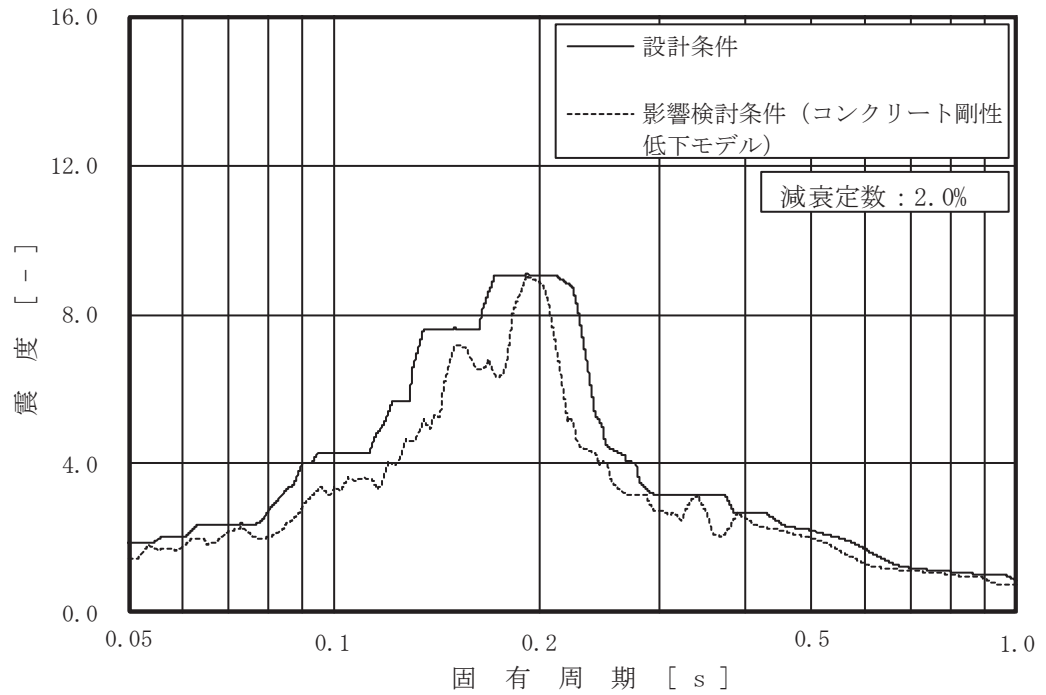


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (5/63) (基準地震動 S_s , 復水貯蔵タンク基礎 (連絡トレンチ) 0.P.10.500m, 水平 (NS/EW 包絡),)

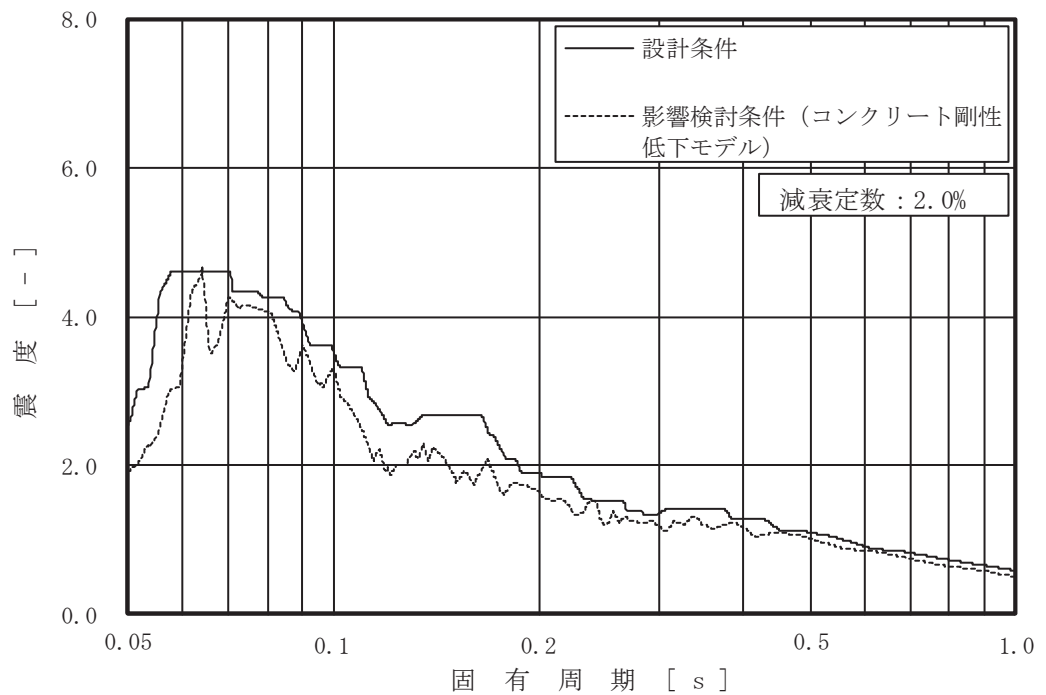


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (6/63)
(基準地震動 S_s , 復水貯蔵タンク基礎 (バルブ室) 0.P.10.500m, 鉛直)

(b) 海水ポンプ室

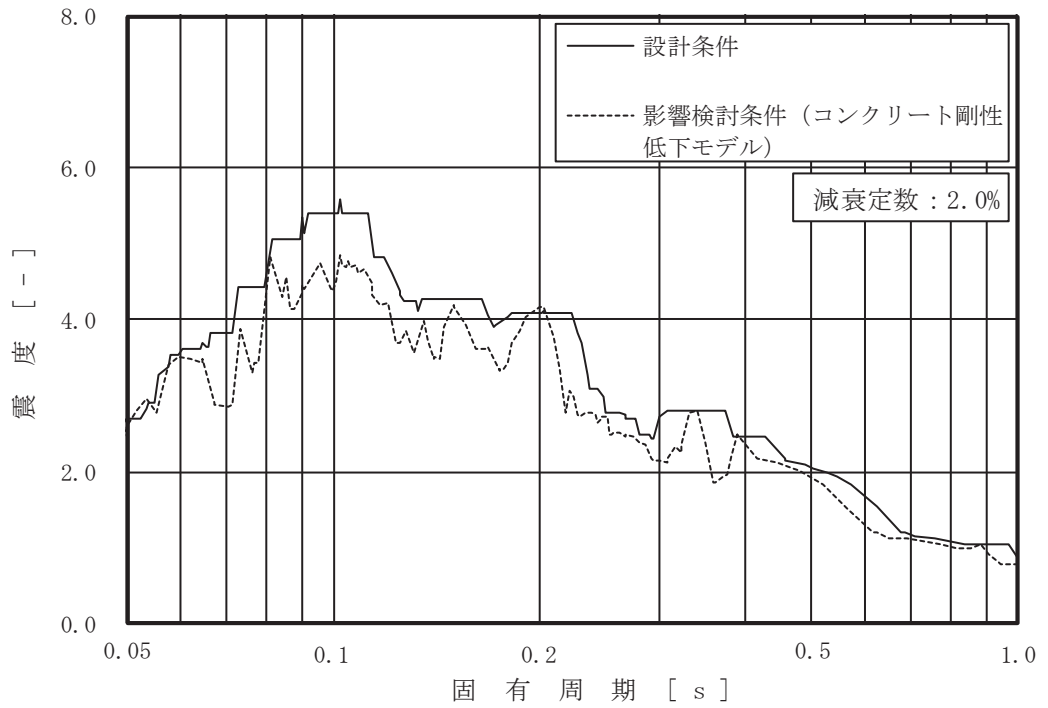


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (7/63)

(基準地震動 S_s , 海水ポンプ室 0.P.14.800m , 水平 (NS))

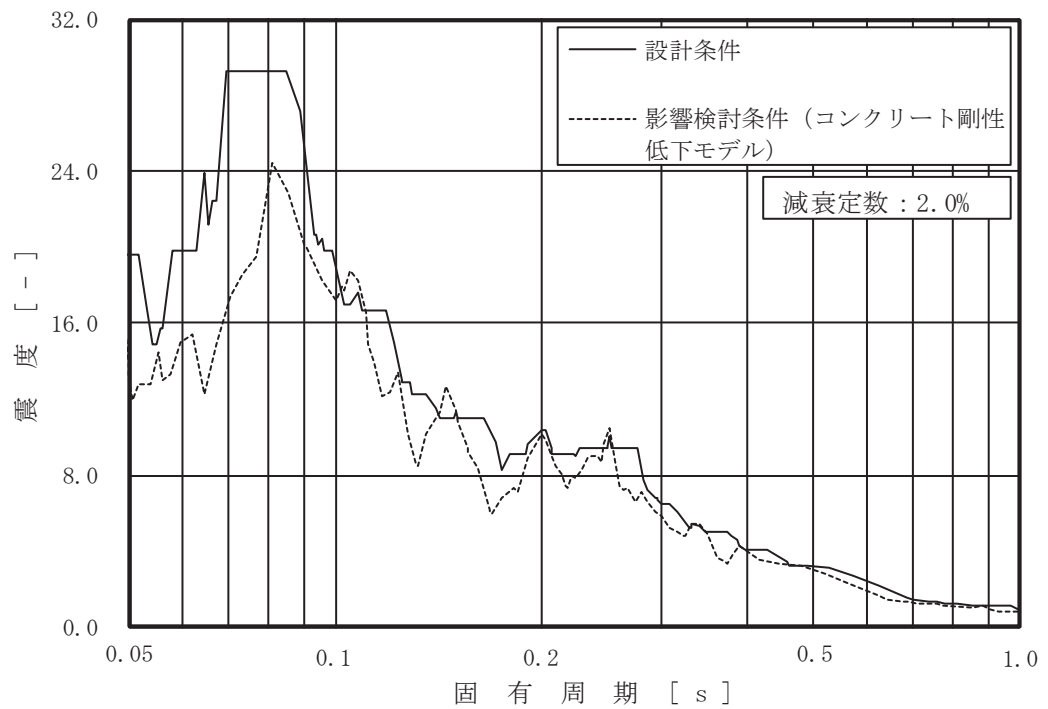


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (8/63)

(基準地震動 S_s , 海水ポンプ室 0.P.14.800m , 水平 (EW))

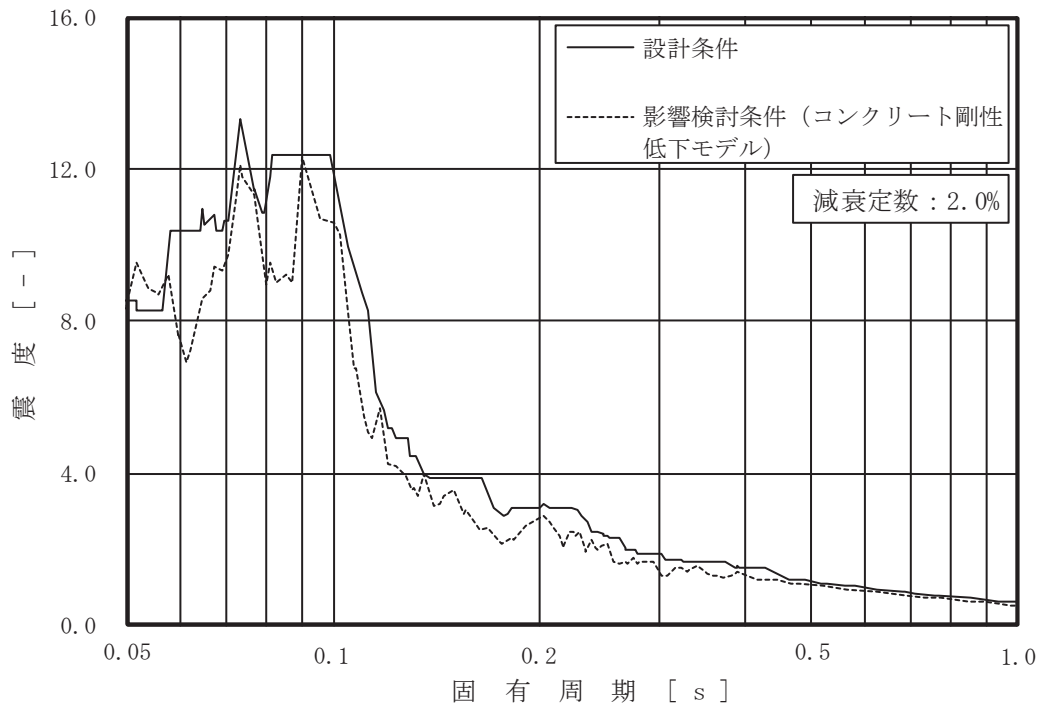


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (9/63)
 (基準地震動 S_s , 海水ポンプ室 0.P.14.800m , 鉛直)

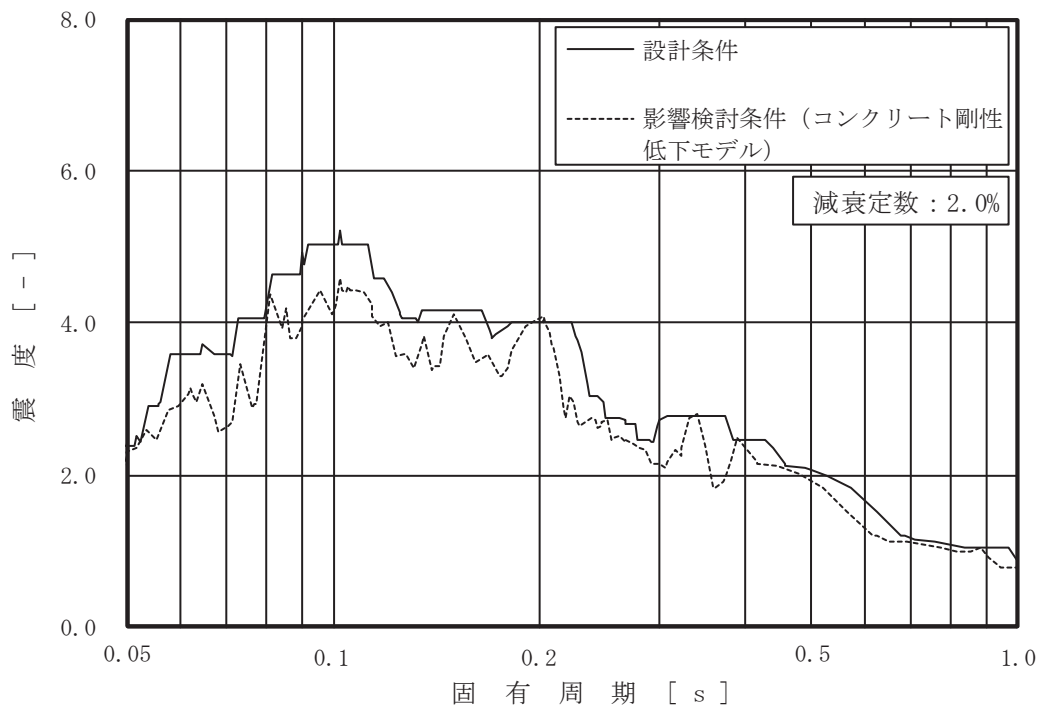


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (10/63)
 (基準地震動 S_s , 海水ポンプ室 0.P.11.650m , 水平 (NS))

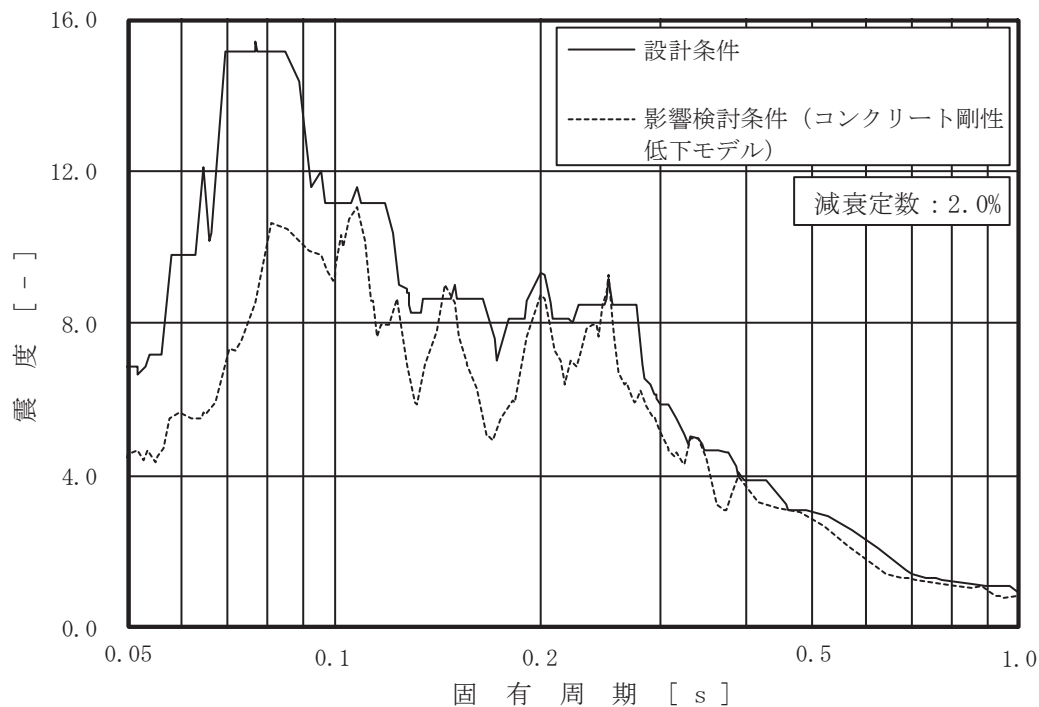


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (11/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 0.P.11.025m , 水平 (EW))

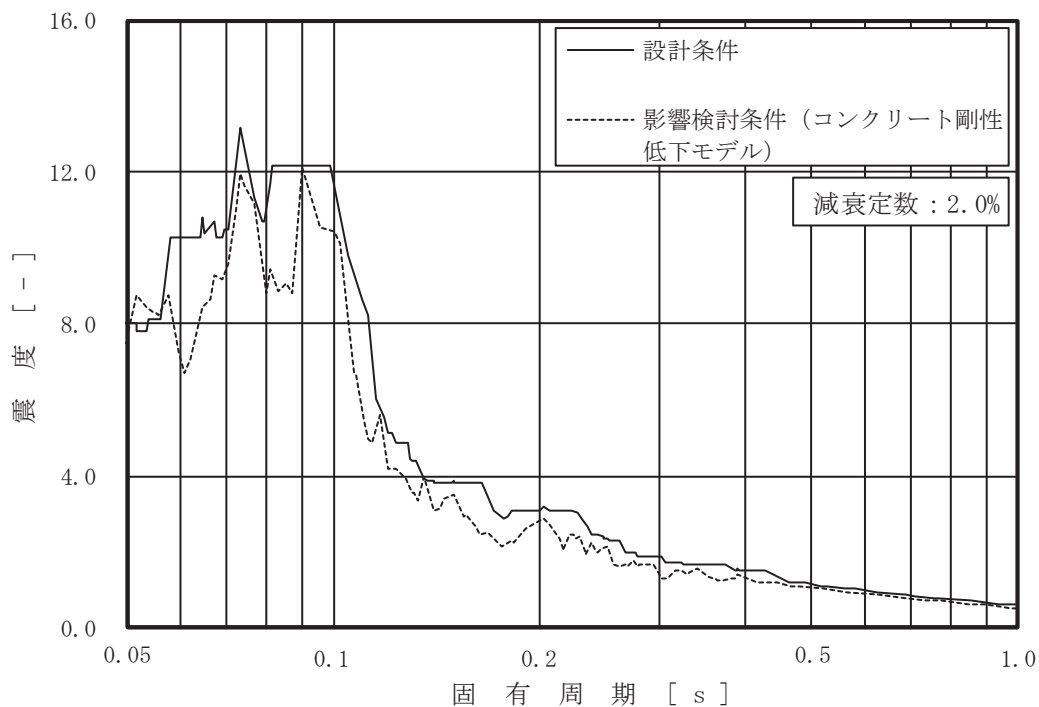


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (12/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 0.P.11.025m , 鉛直)

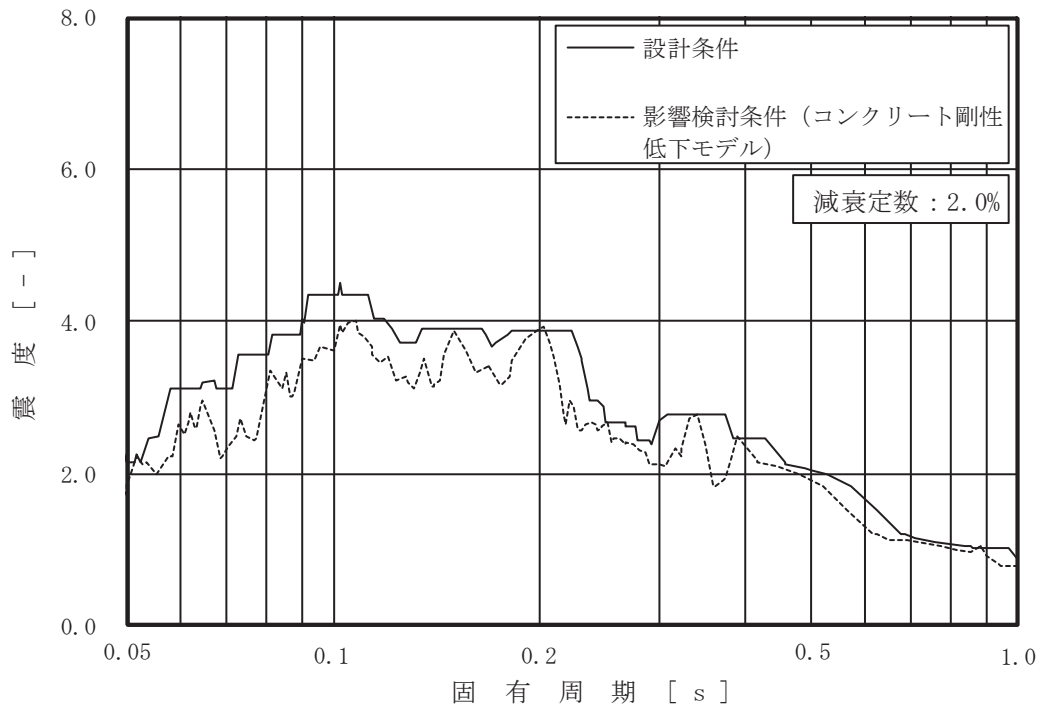


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (13/63)

(基準地震動 S s, 海水ポンプ室 0.P.7.250m, 水平 (NS))

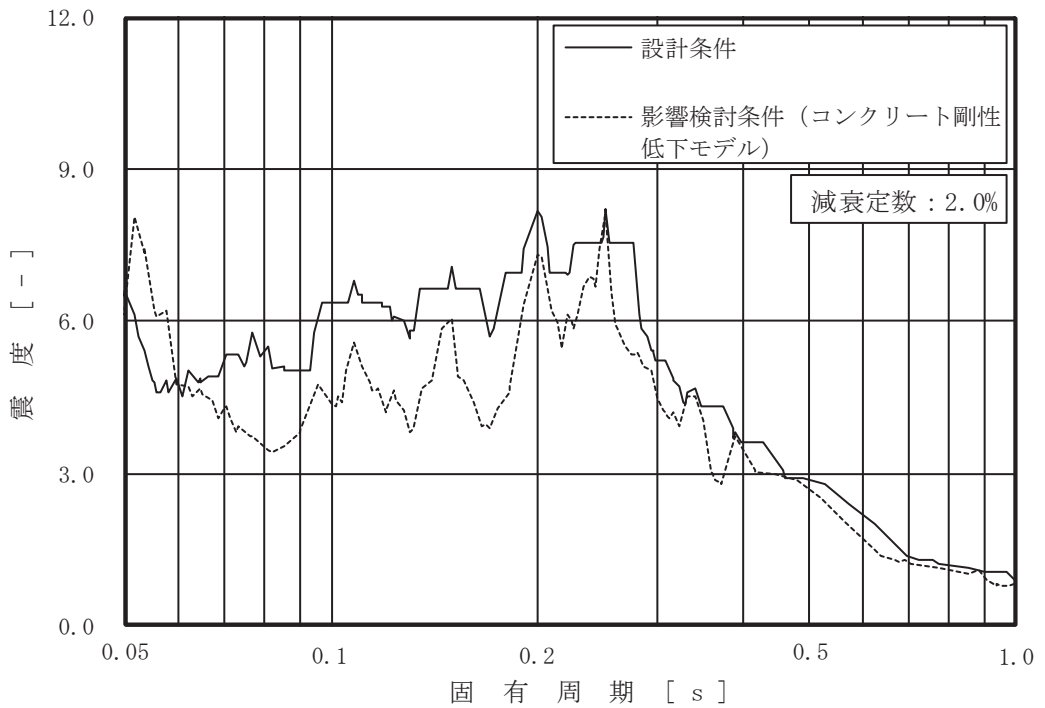


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (14/63)

(基準地震動 S s, 海水ポンプ室 0.P.7.250m, 水平 (EW))

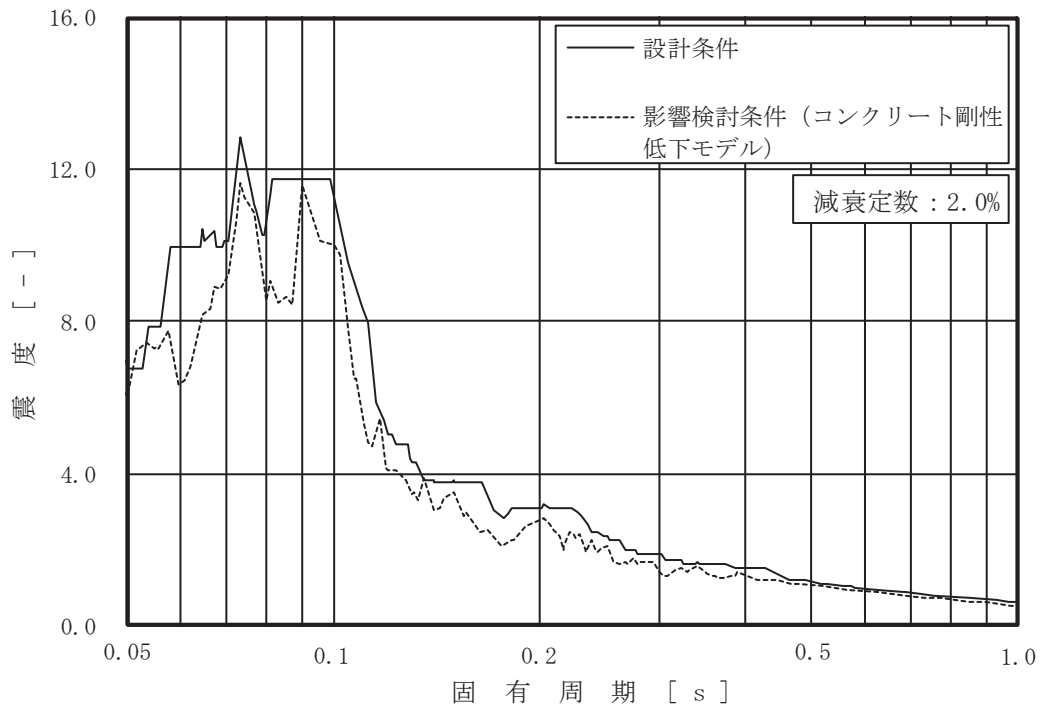


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (15/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 0.P.7.250m , 鉛直)

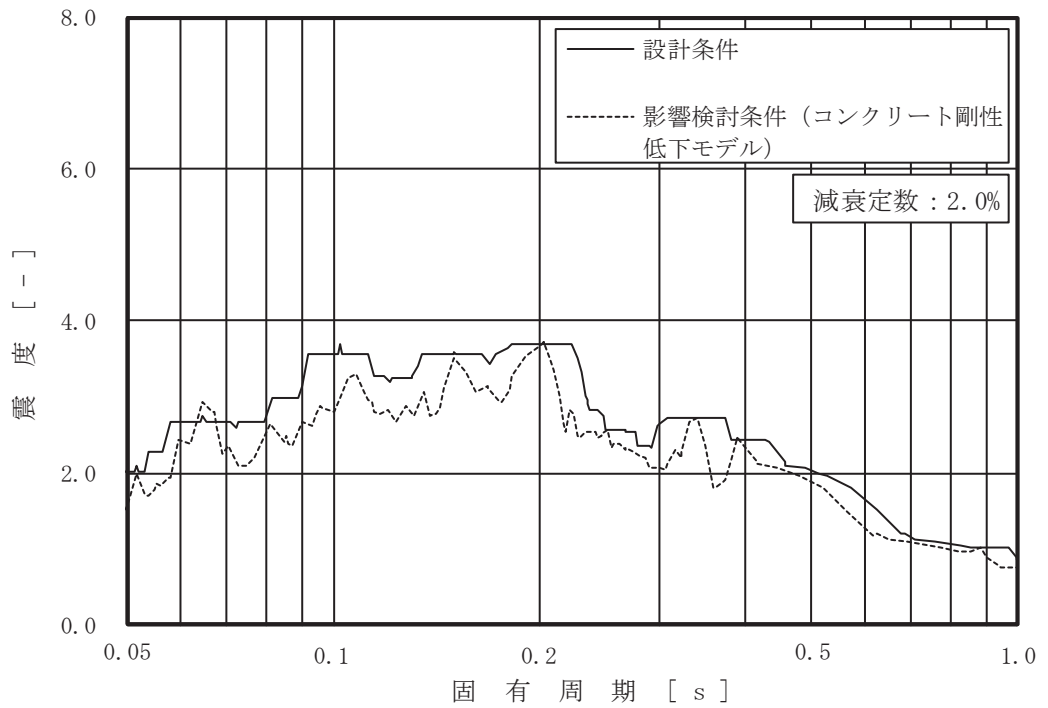


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (16/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 0.P.2.250m , 水平 (NS))

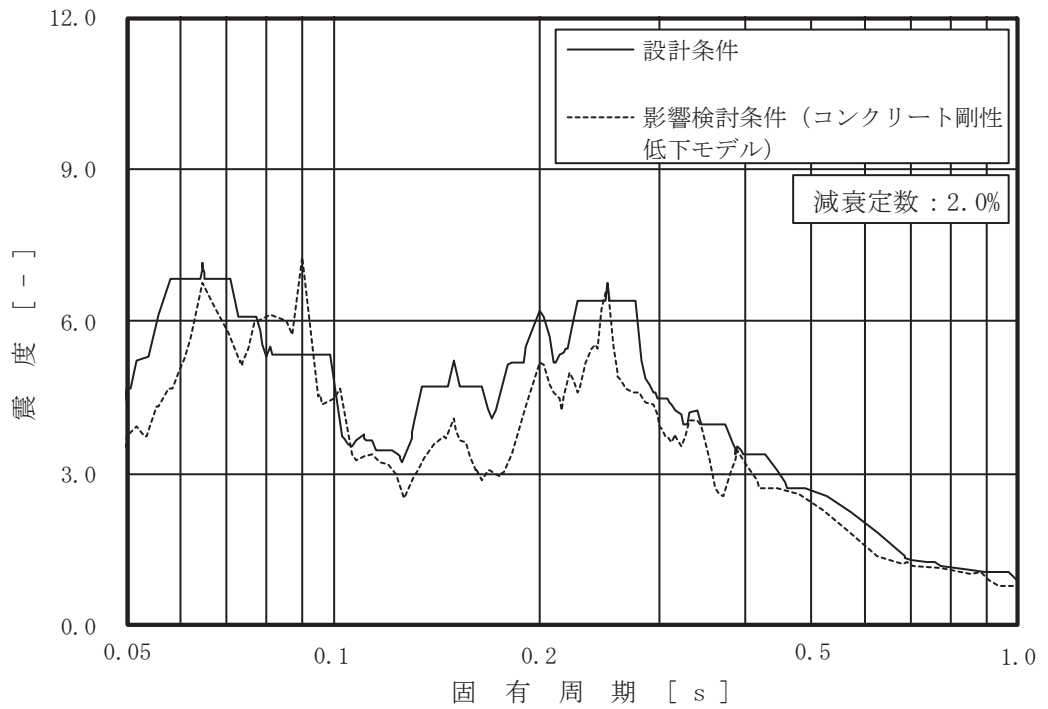


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (17/63)

(基準地震動 S s, 海水ポンプ室 0.P.2.250m, 水平 (EW))

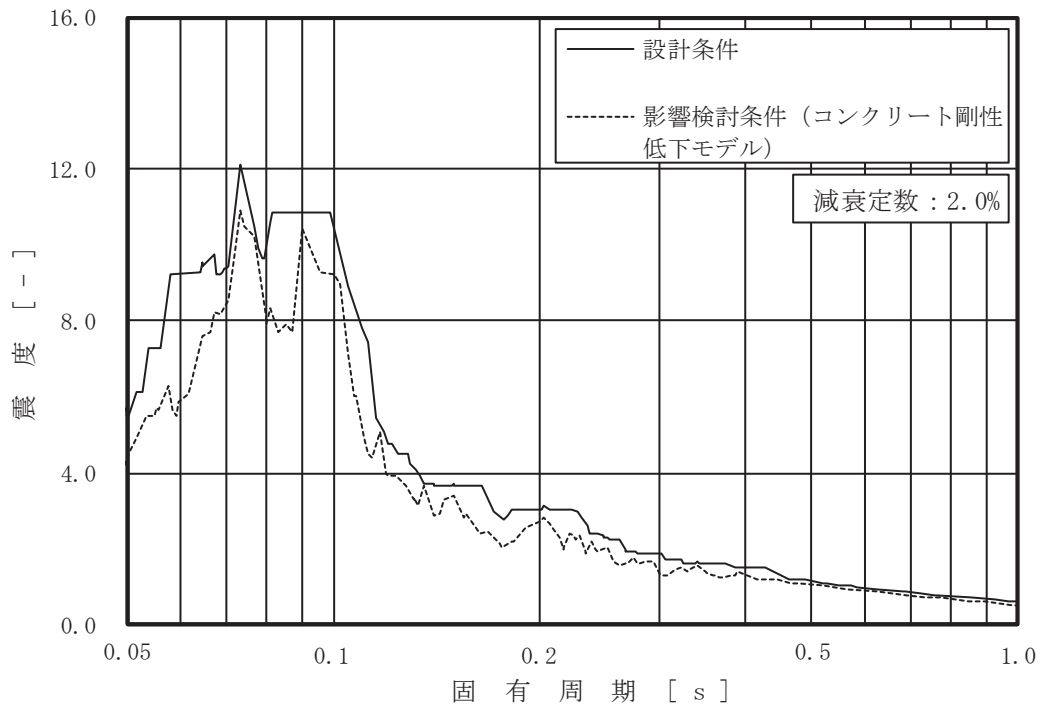


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (18/63)

(基準地震動 S s, 海水ポンプ室 0.P.2.250m, 鉛直)

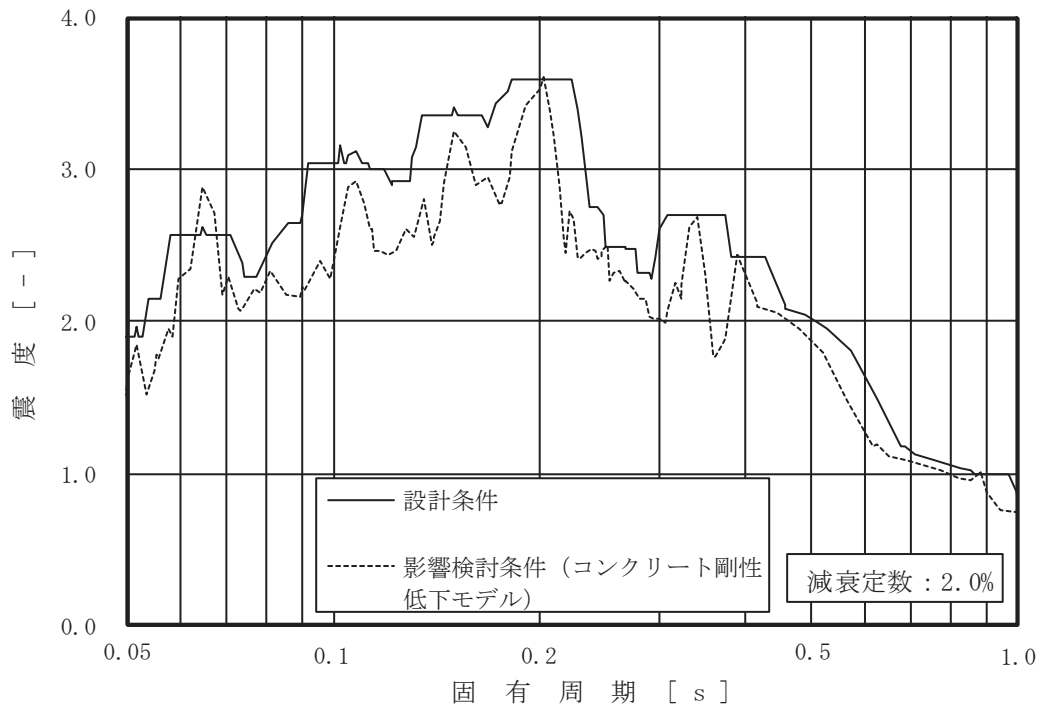


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (19/63)
 (基準地震動 S s, 海水ポンプ室 0.P.-0.550m, 水平 (NS))

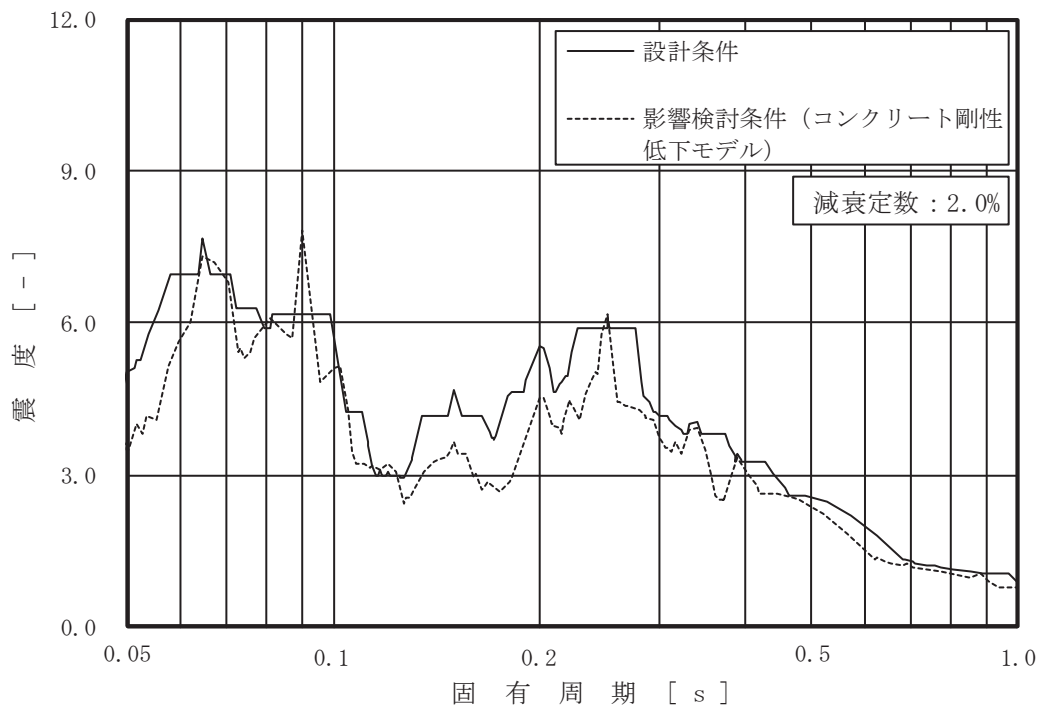


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (20/63)
 (基準地震動 S s, 海水ポンプ室 0.P.-0.550m, 水平 (EW))

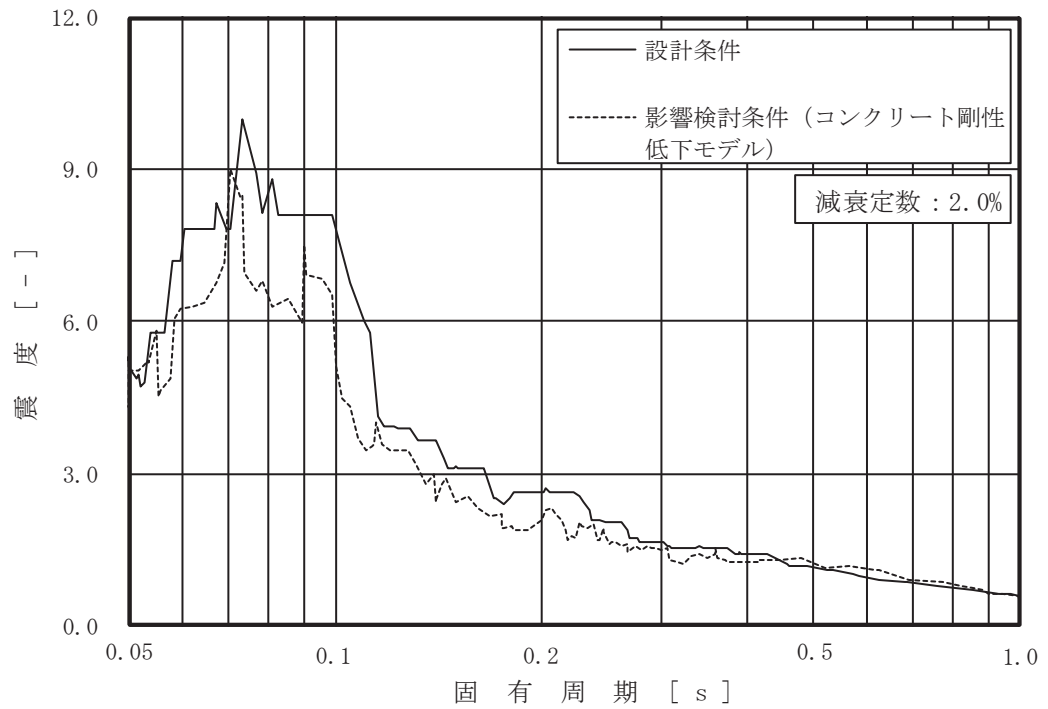


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (21/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 O.P. -0.550m , 鉛直)

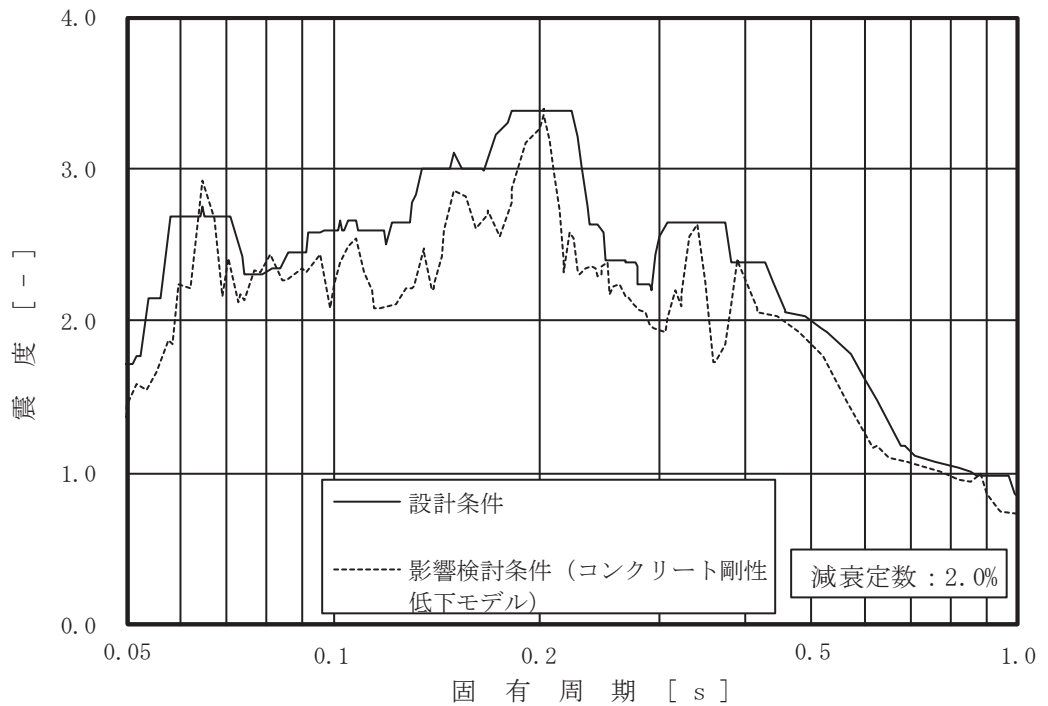


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (22/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 O.P. -6.400m , 水平 (NS))

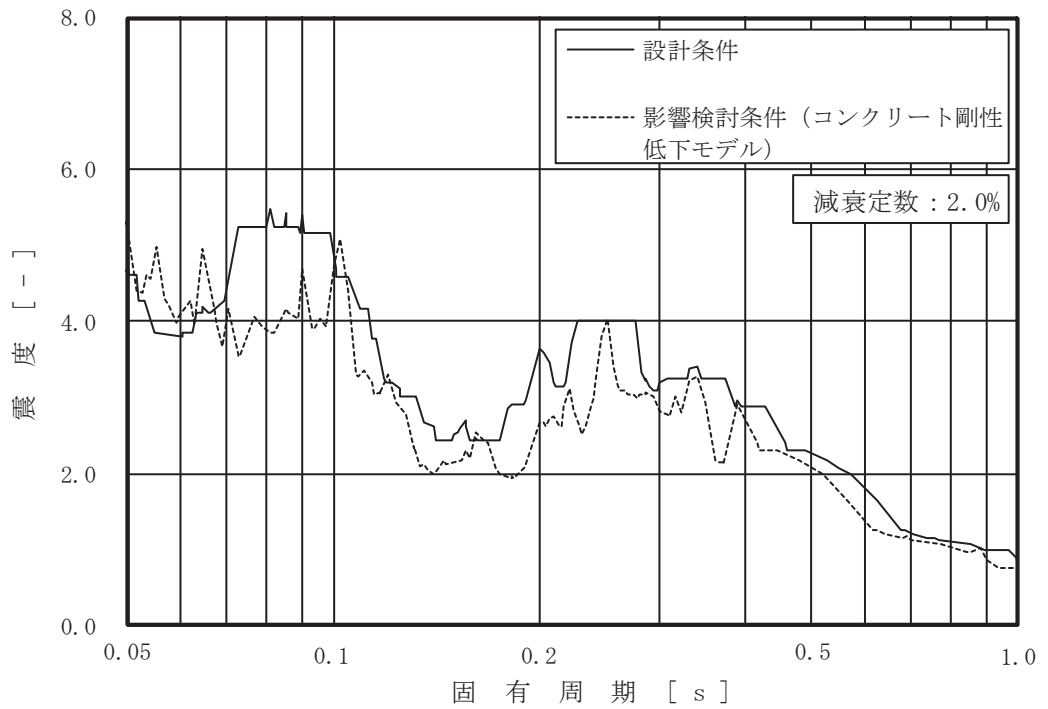


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (23/63)
 (基準地震動 S s, 海水ポンプ室 O.P.-7.025m, 水平 (EW))

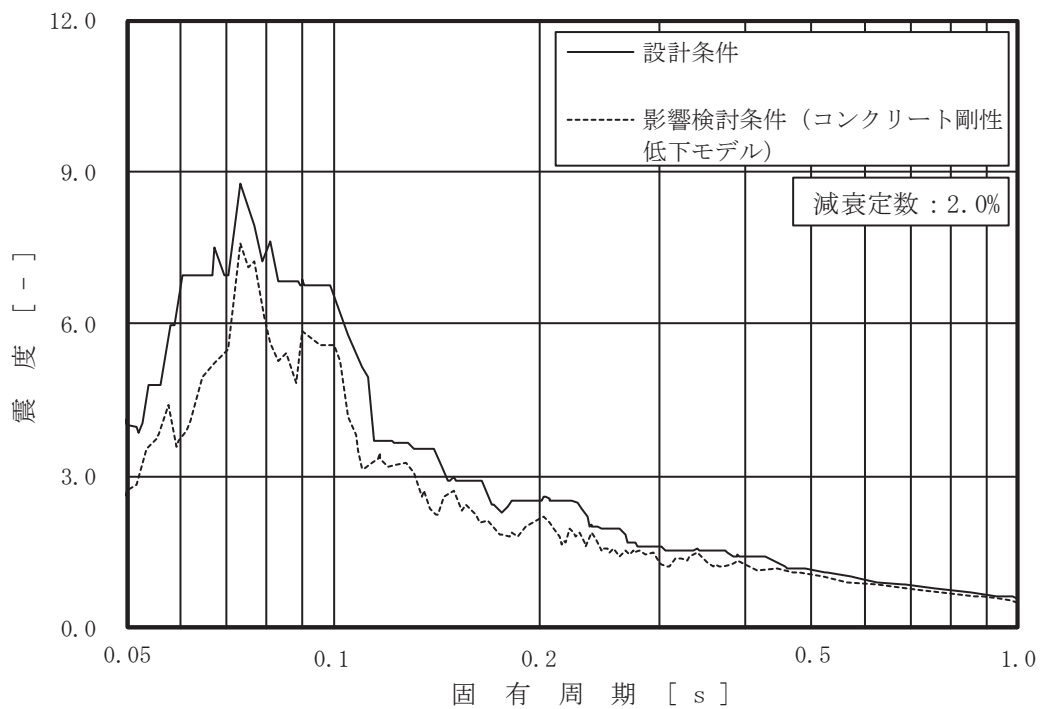


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (24/63)
 (基準地震動 S s, 海水ポンプ室 O.P.-7.025m, 鉛直)

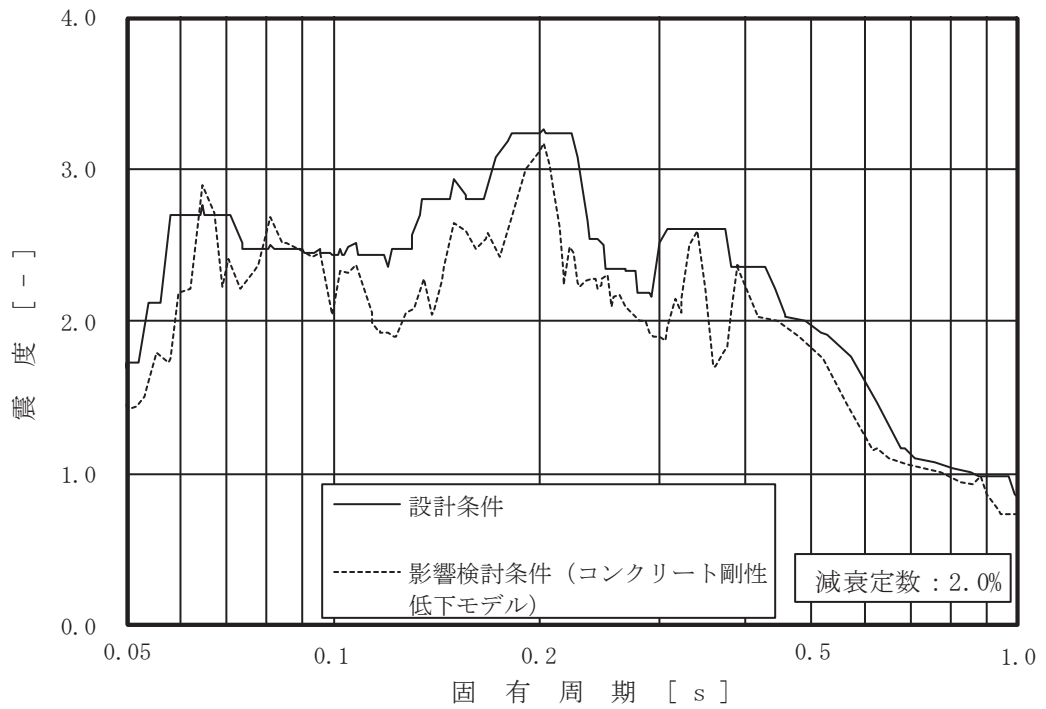


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (25/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 O.P. -9.800m , 水平 (NS))

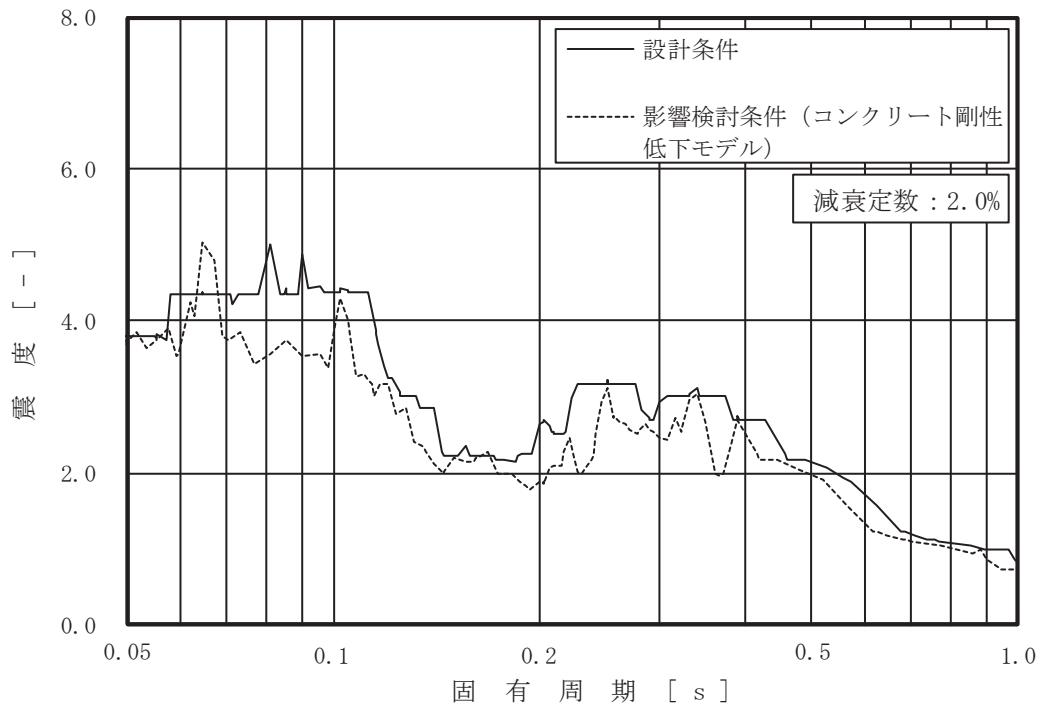


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (26/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 O.P. -9.800m , 水平 (EW))

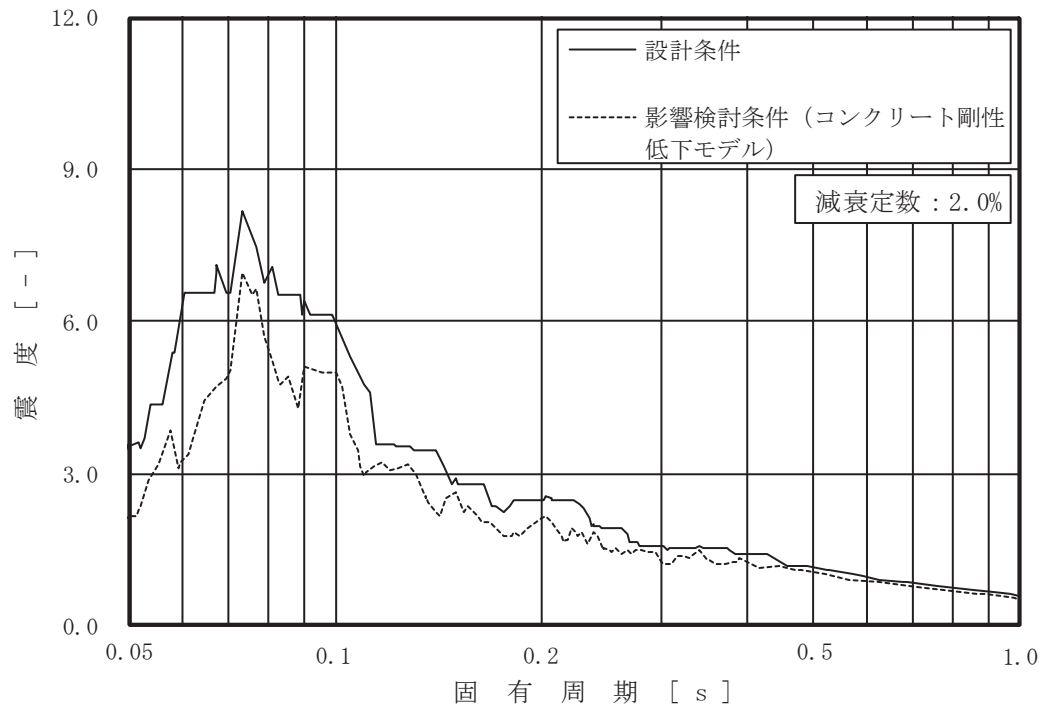


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (27/63)
 (基準地震動 S s , 海水ポンプ室 O.P.-9.800m , 鉛直)

(c) 軽油タンク室

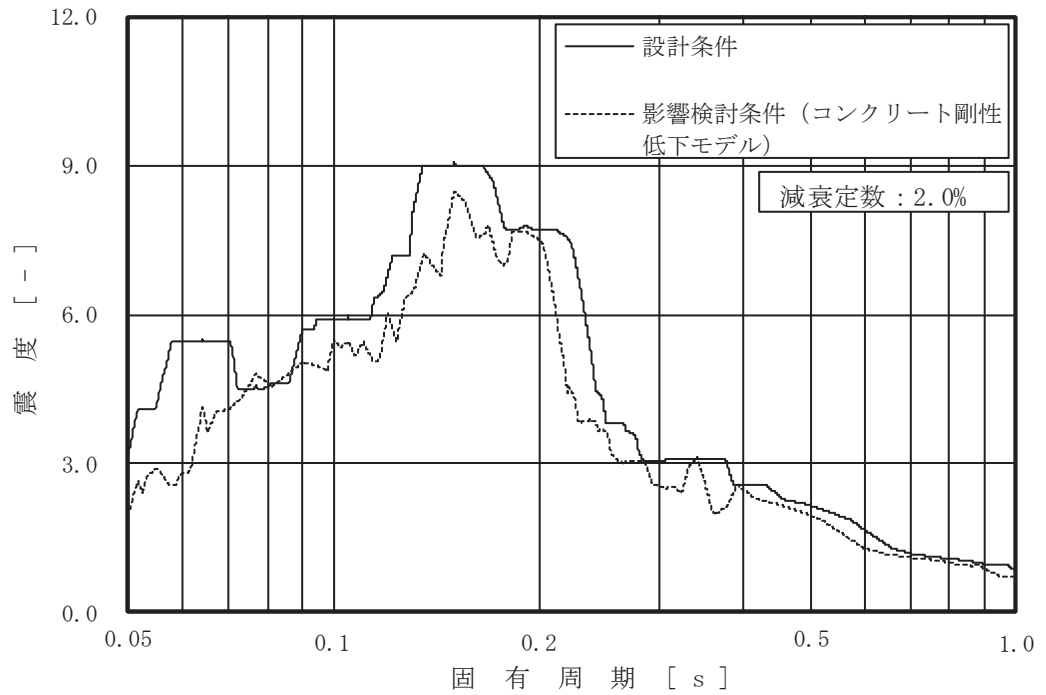


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (28/63)

(基準地震動 S s , 軽油タンク室 (タンク室) 0.P.14.800m , 水平 (NS/EW 包絡))

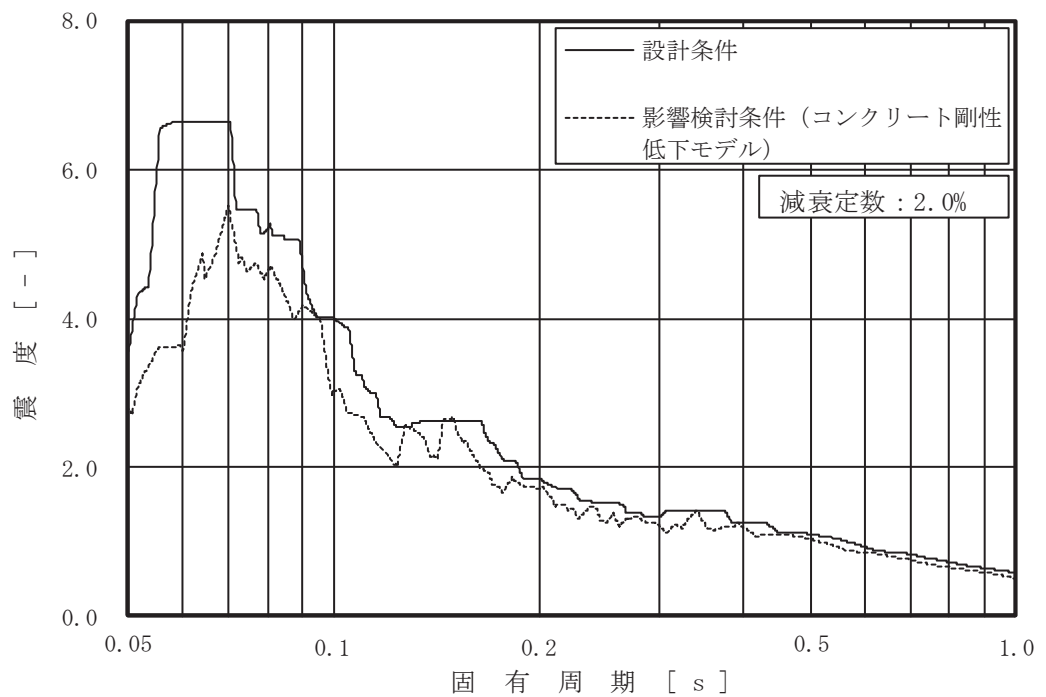


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (29/63)

(基準地震動 S s , 軽油タンク室 (タンク室) 0.P.14.800m , 鉛直)

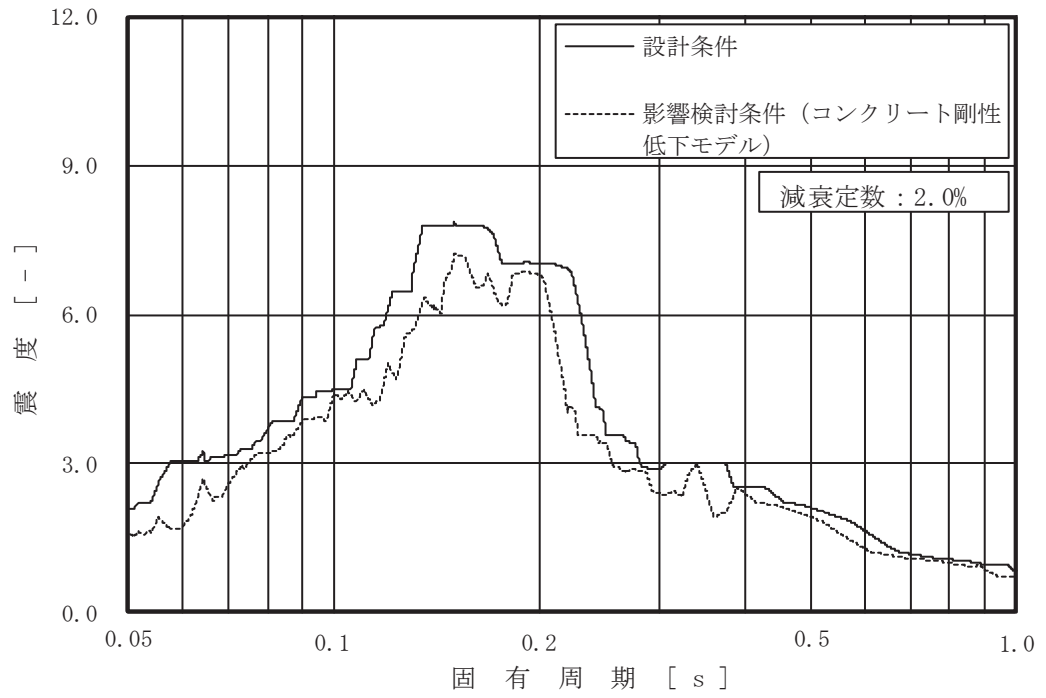


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (30/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (タンク室) 0.P.9.500m , 水平 (NS/EW 包絡))

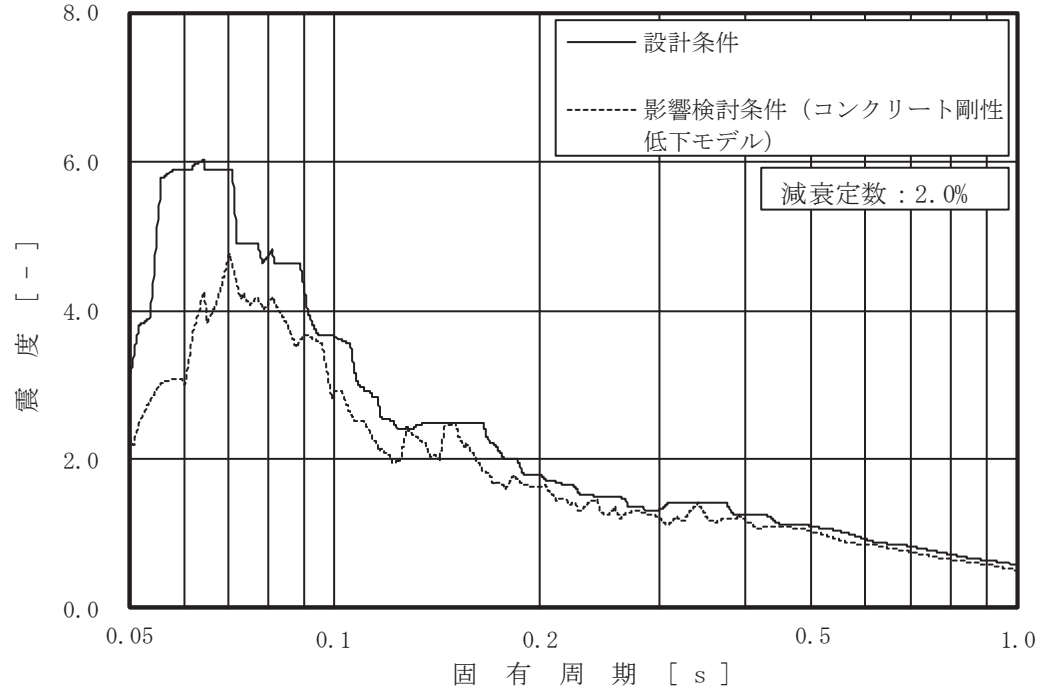


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (31/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (タンク室) 0.P.9.500m , 鉛直)

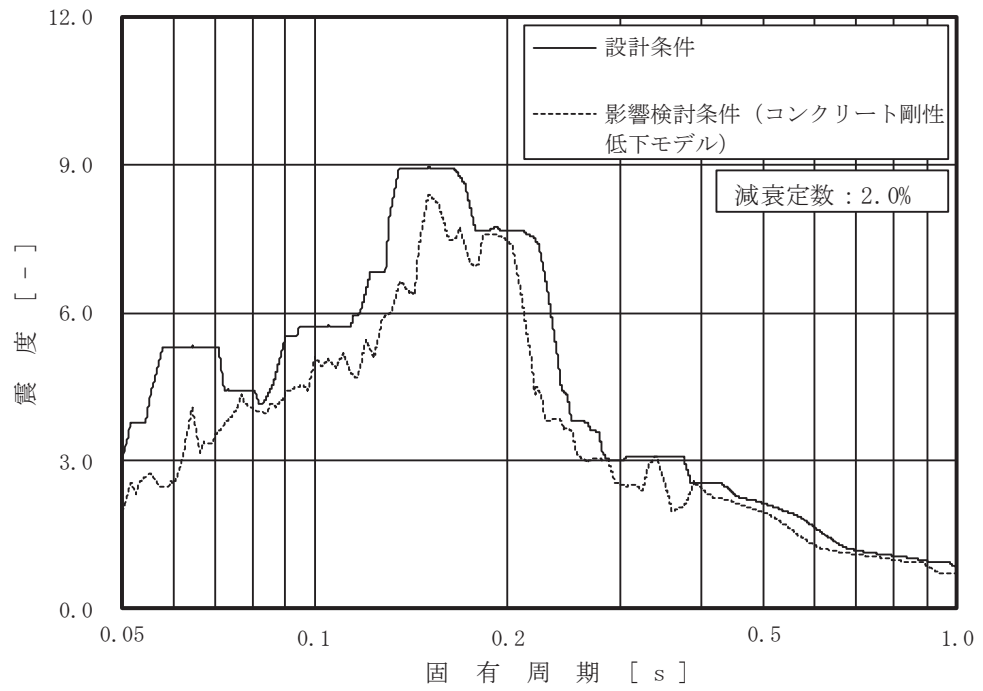


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (32/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (ポンプ室) O.P. 14.800m , 水平 (NS/EW 包絡))

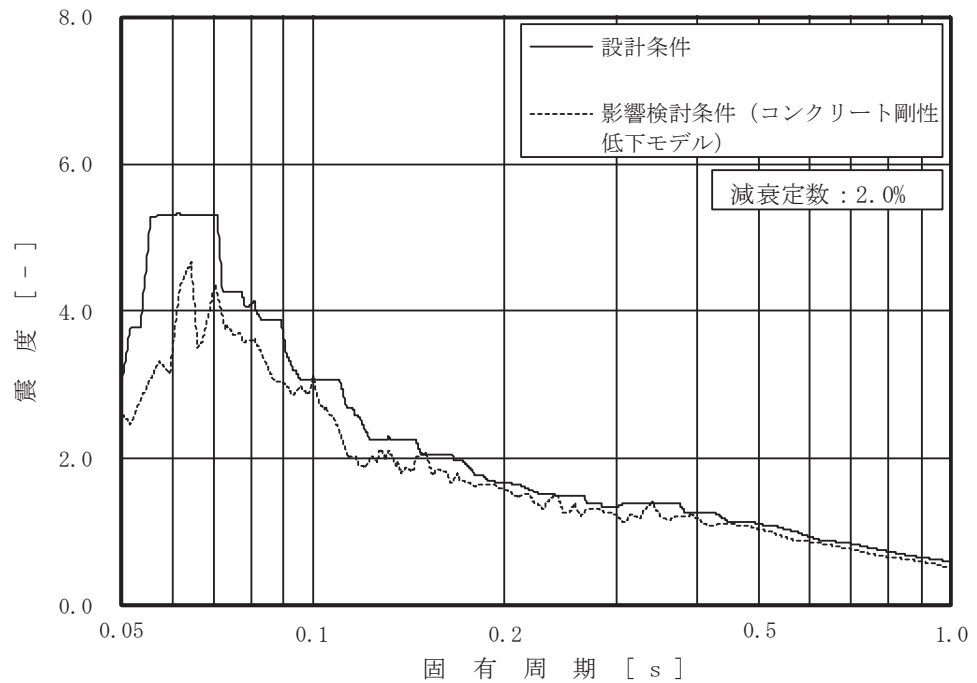


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (33/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (ポンプ室) O.P. 14.800m , 鉛直)

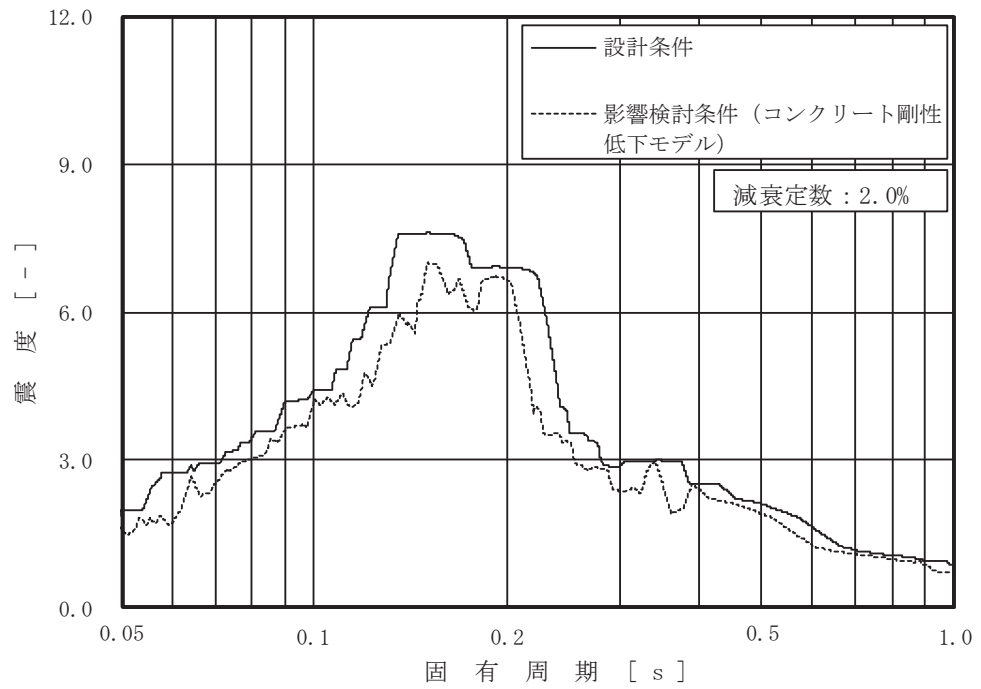


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (34/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (ポンプ室) 0.P.9.500m , 水平 (NS/EW 包絡))

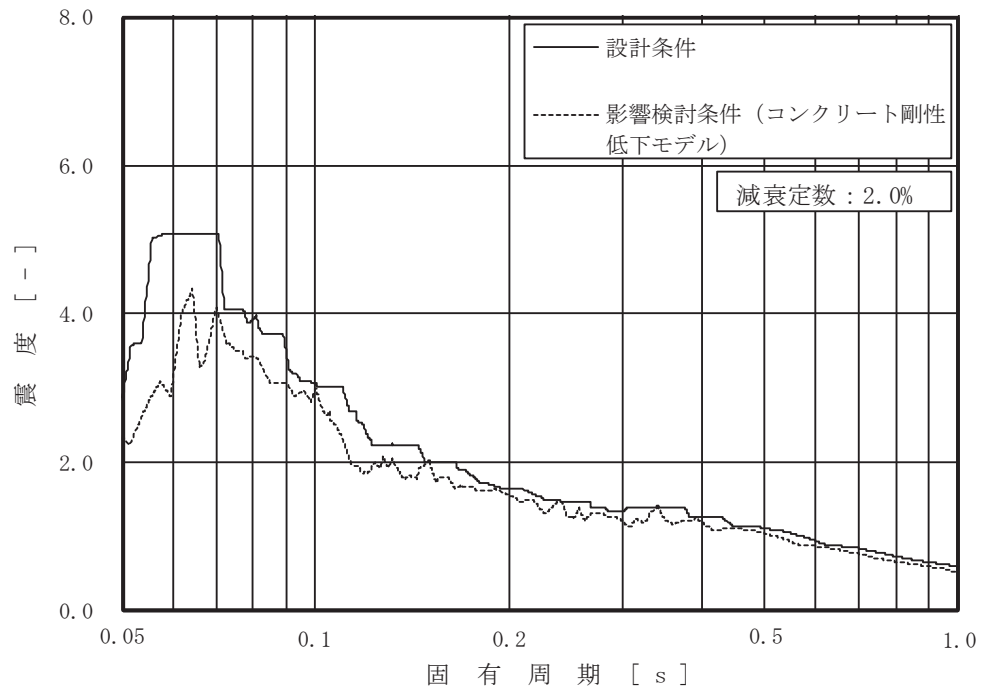


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (35/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (ポンプ室) 0.P.9.500m , 鉛直)

(d) 軽油タンク室 (H)

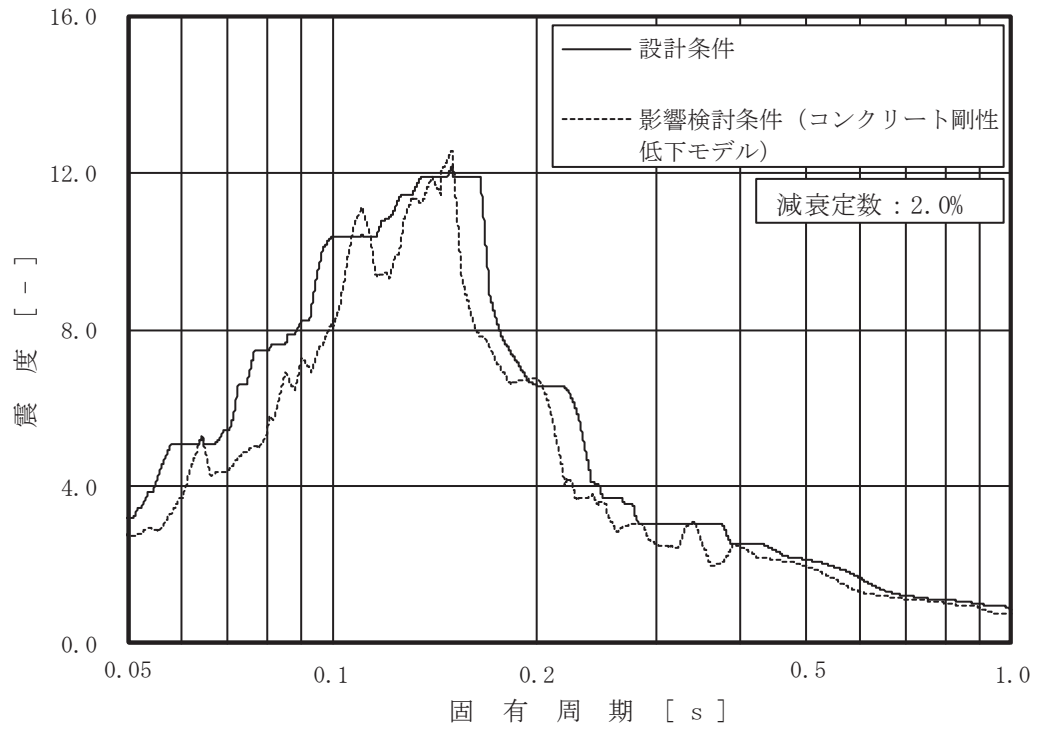


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (36/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (H) 0.P.14.800m , 水平 (NS/EW 包絡))

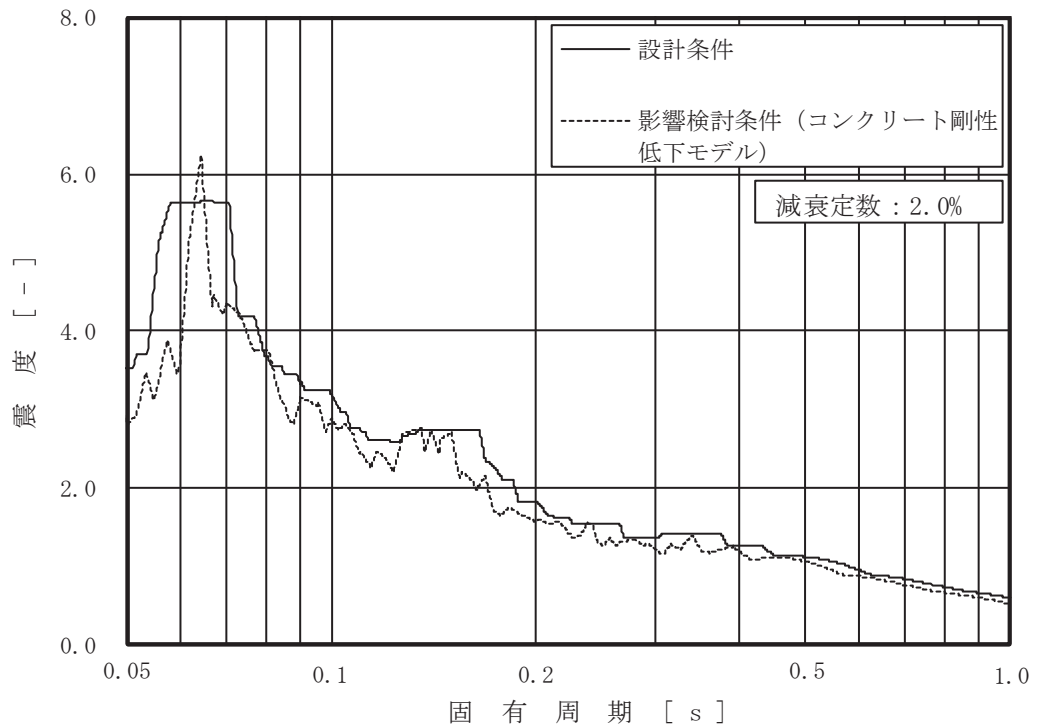


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (37/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (H) 0.P.14.800m , 鉛直)

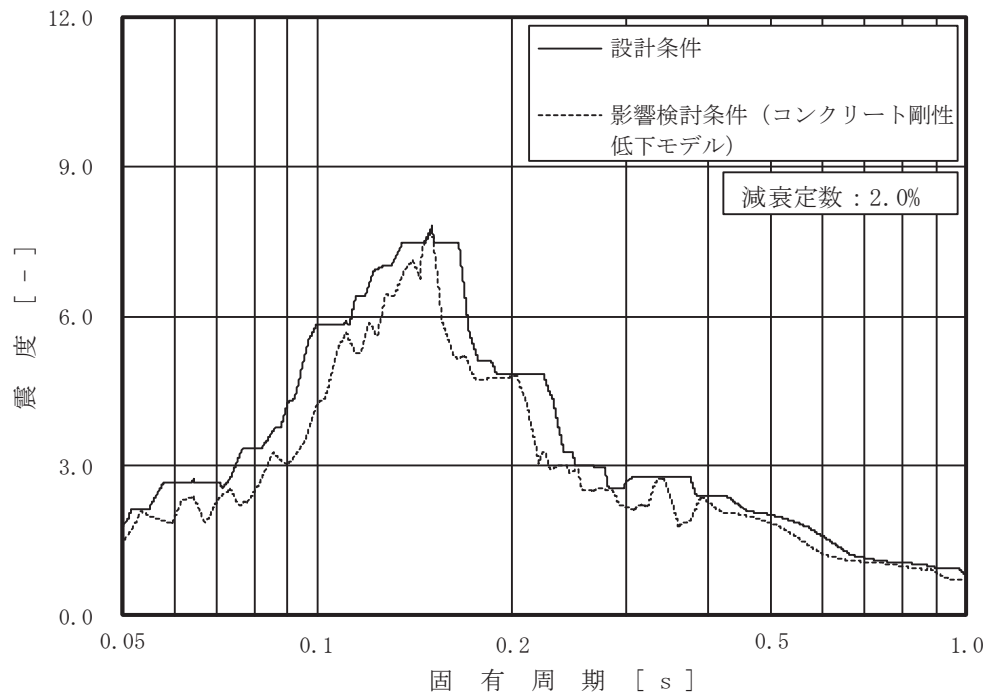


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (38/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (H) 0.P.6.400m , 水平 (NS/EW 包絡))

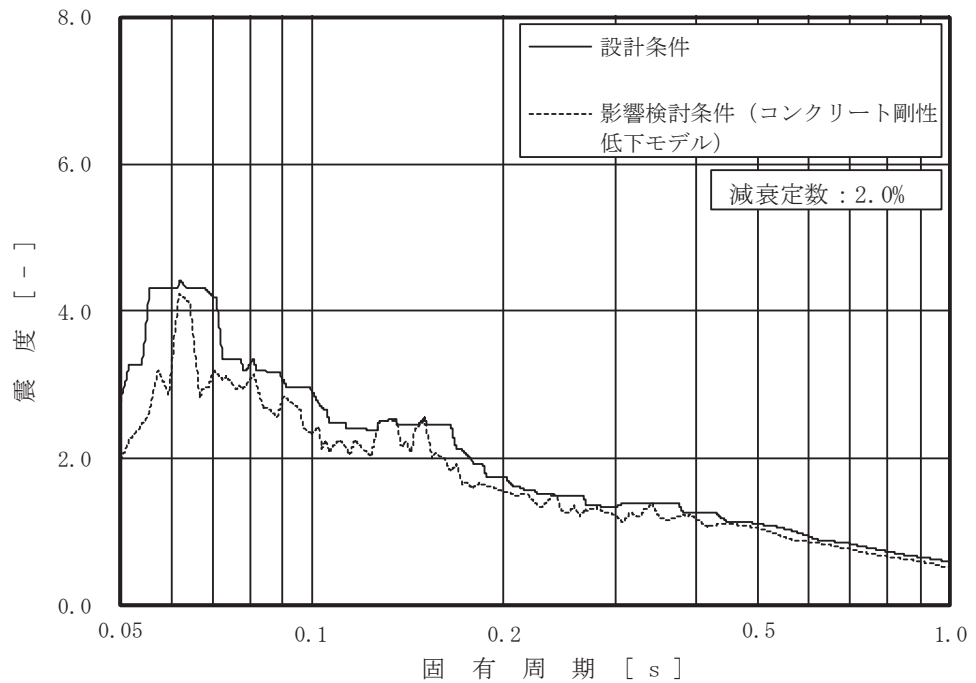


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (39/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク室 (H) 0.P.6.400m , 鉛直)

(e) ガスタービン発電設備軽油タンク室

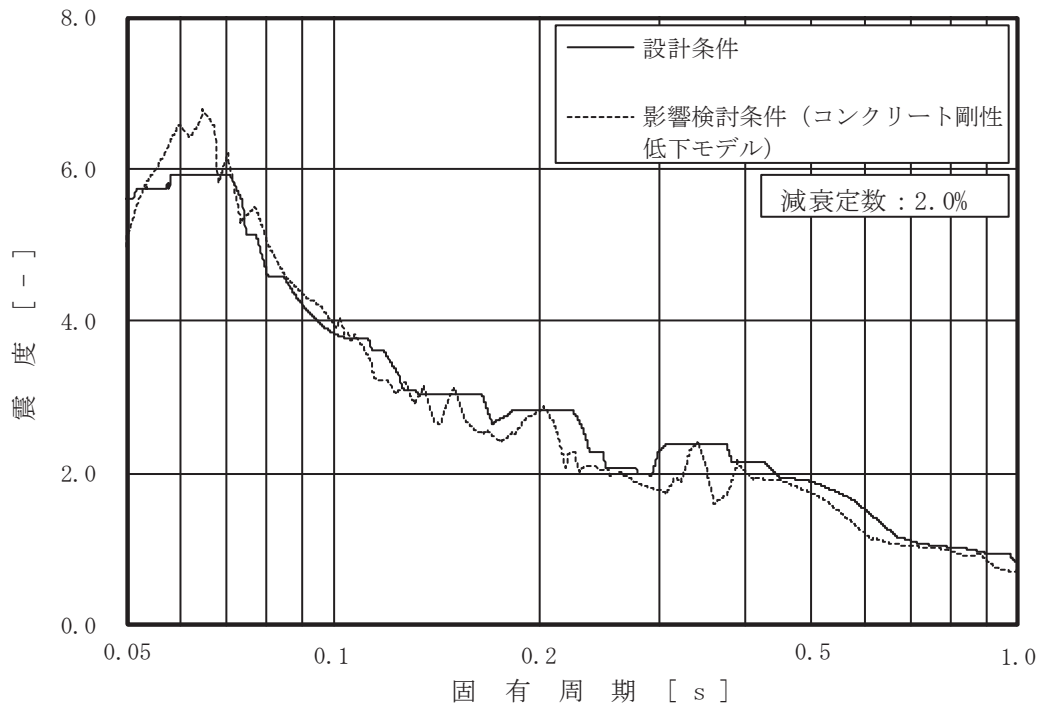


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (40/63) (基準地震動 S_s , ガスタービン発電設備軽油タンク室 0.P.62.30m , 水平 (NS/EW 包絡))

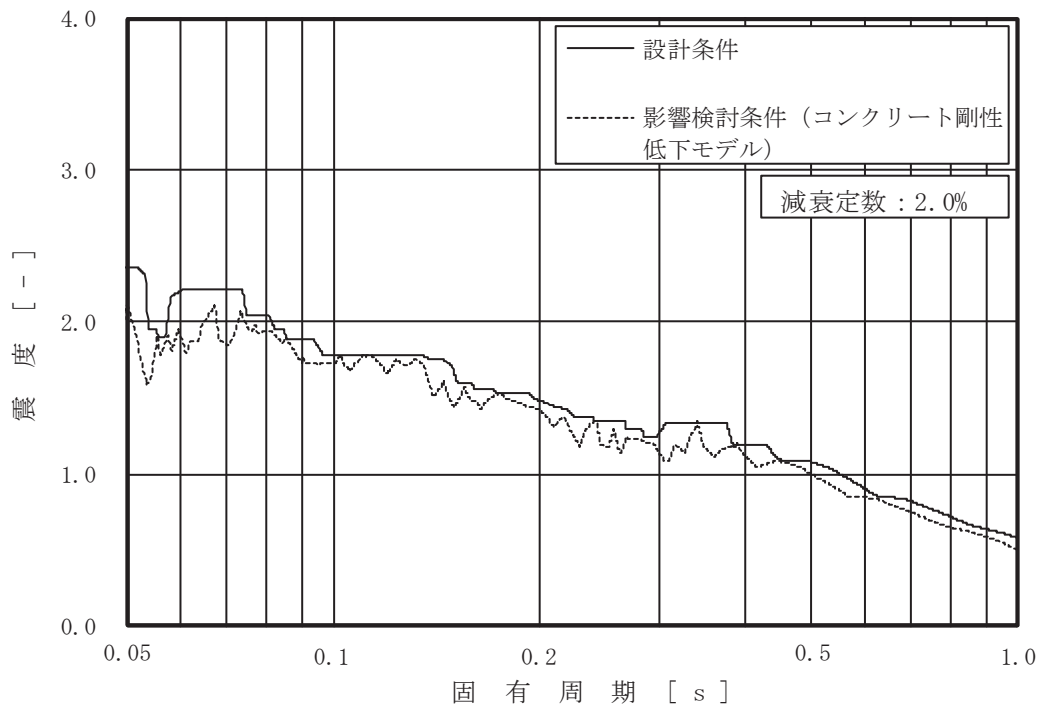


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (41/63)
(基準地震動 S_s , ガスタービン発電設備軽油タンク室 0.P.62.30m , 鉛直)

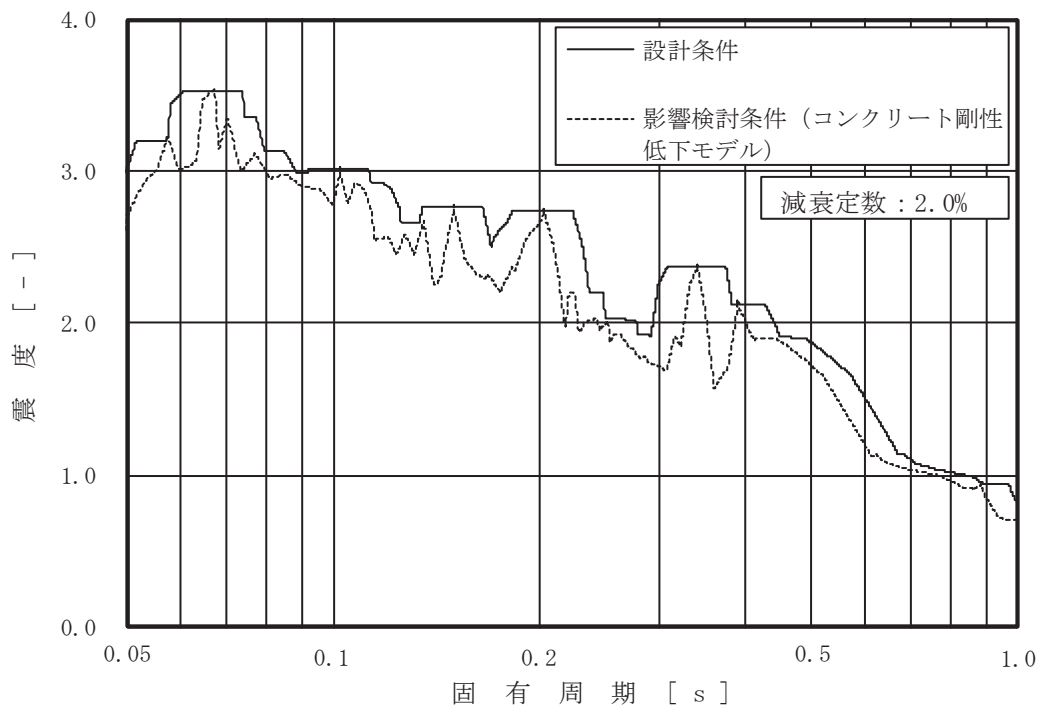


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (42/63) (基準地震動 S_s , ガスタービン発電設備軽油タンク室 0.P.56.70m , 水平 (NS/EW 包絡))

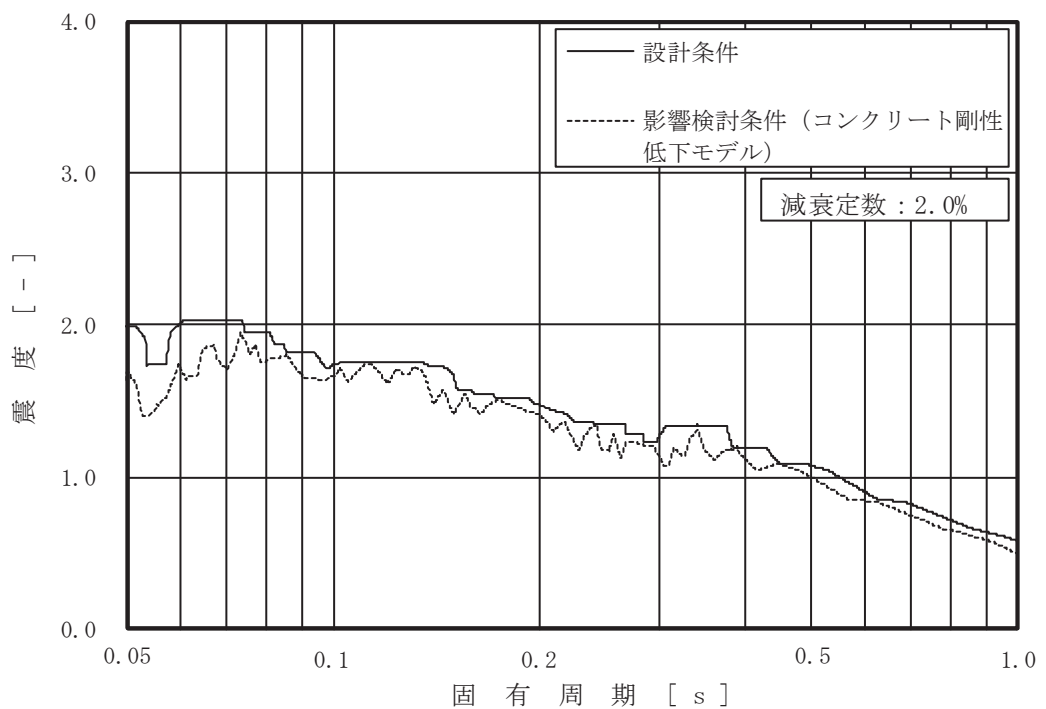


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (43/63)
(基準地震動 S_s , ガスタービン発電設備軽油タンク室 0.P.56.70m , 鉛直)

(f) 軽油タンク連絡ダクト

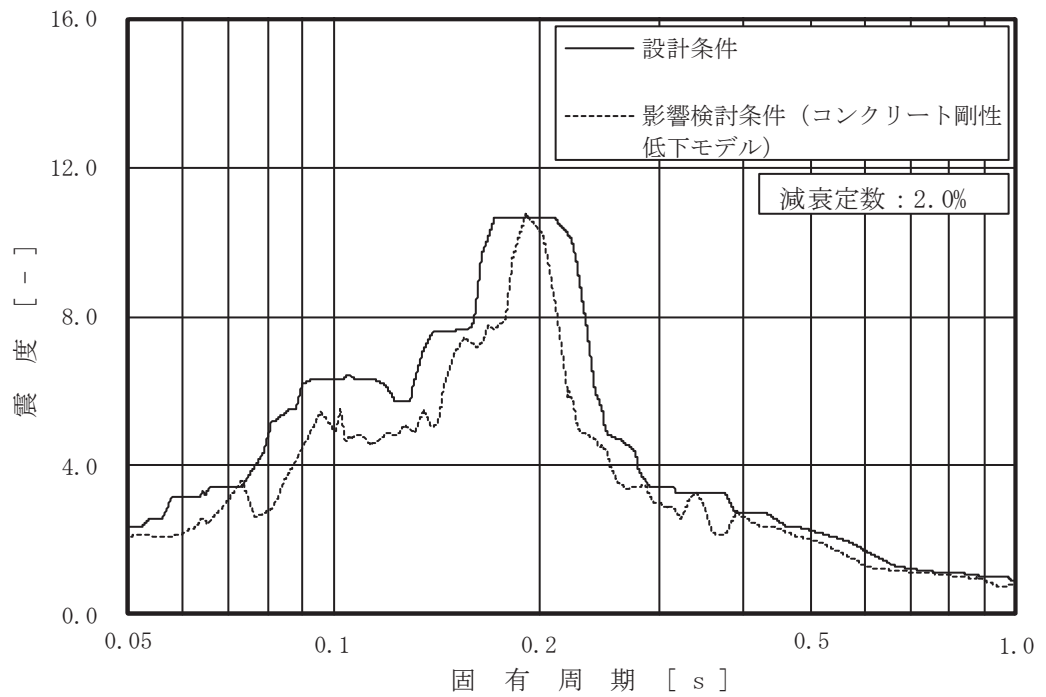


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (44/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク連絡ダクト 0.P.12.10m , 水平 (NS/EW 包絡))

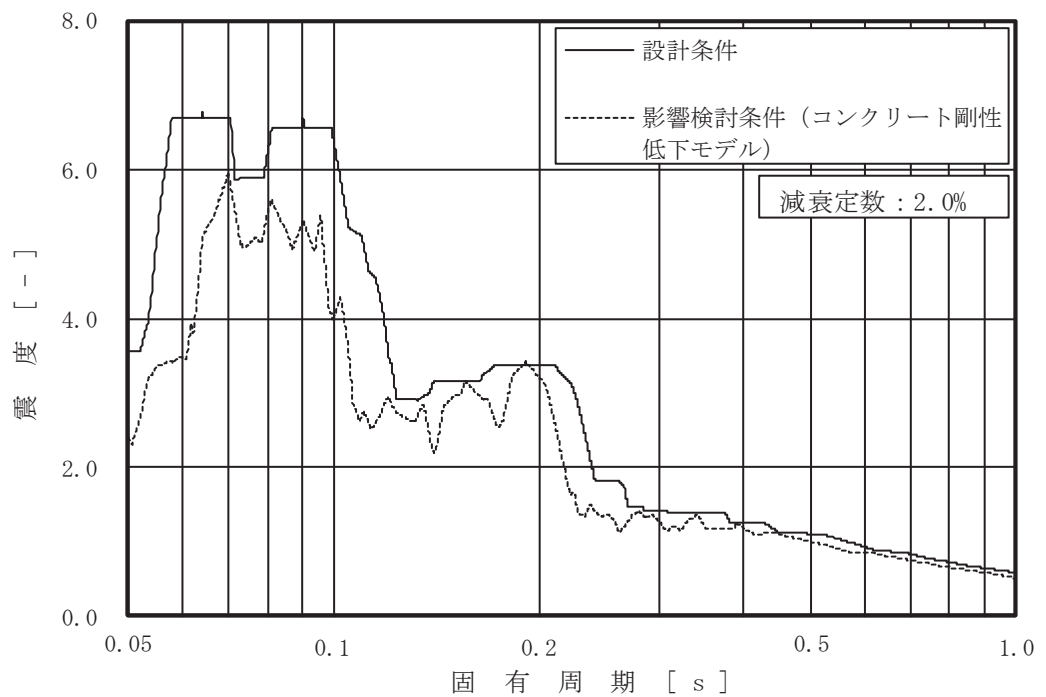


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (45/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク連絡ダクト 0.P.12.10m , 鉛直)

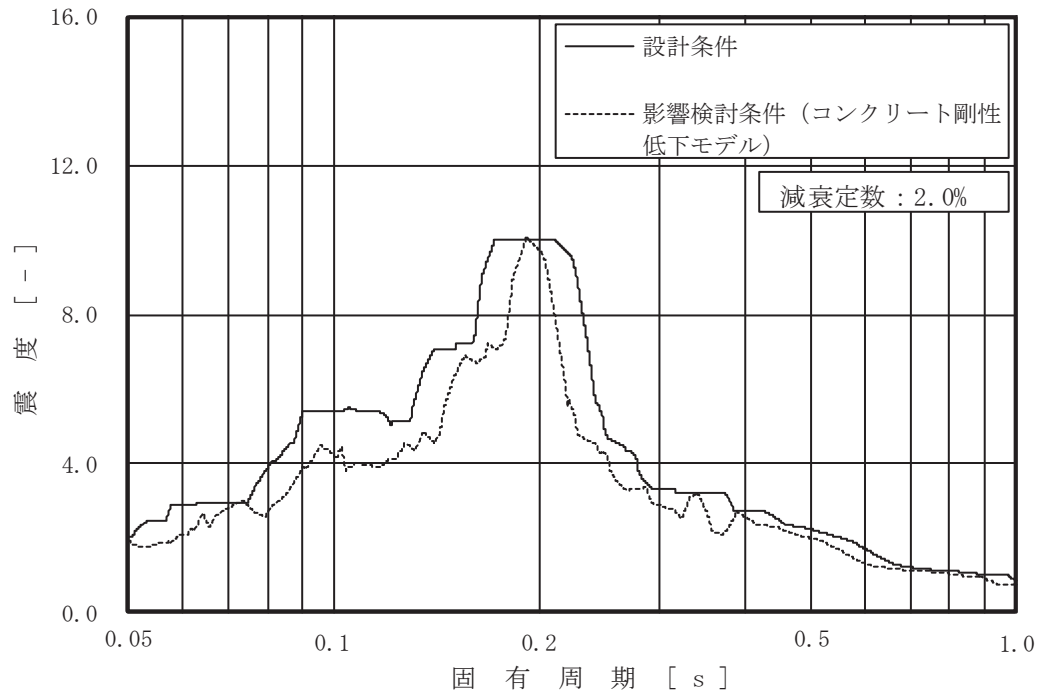


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (46/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク連絡ダクト 0.P.10.50m , 水平 (NS/EW 包絡))

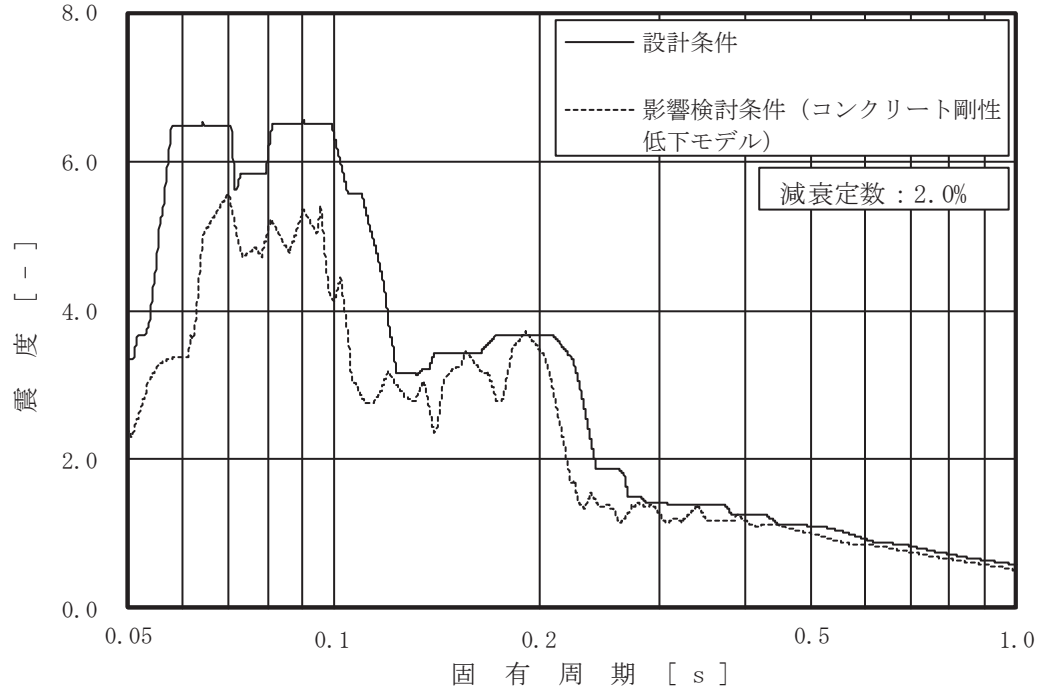


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (47/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク連絡ダクト 0.P.10.50m , 鉛直)

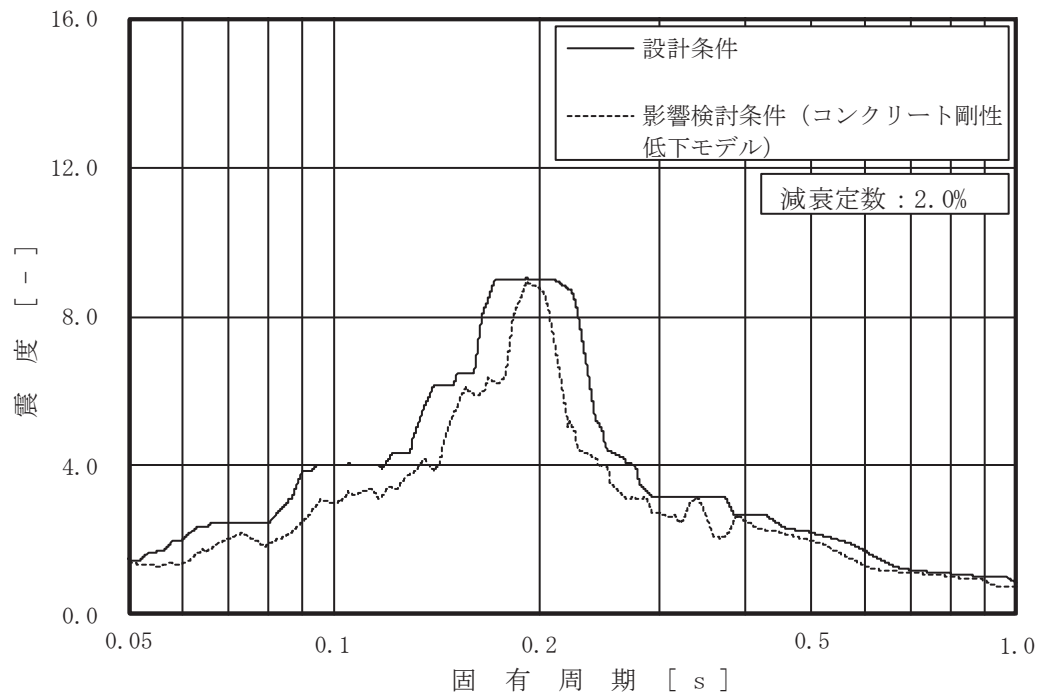


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (48/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク連絡ダクト 0.P.9.50m , 水平 (NS/EW 包絡))

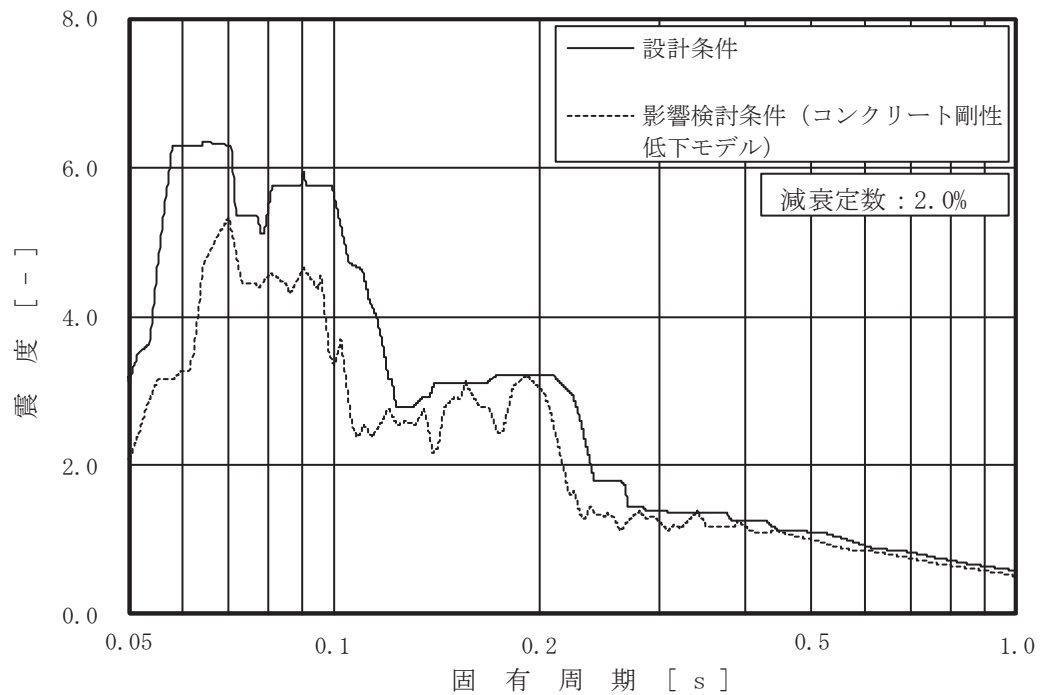


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (49/63)

(基準地震動 S_s , 軽油タンク連絡ダクト 0.P.9.50m , 鉛直)

(g) 排気筒基礎

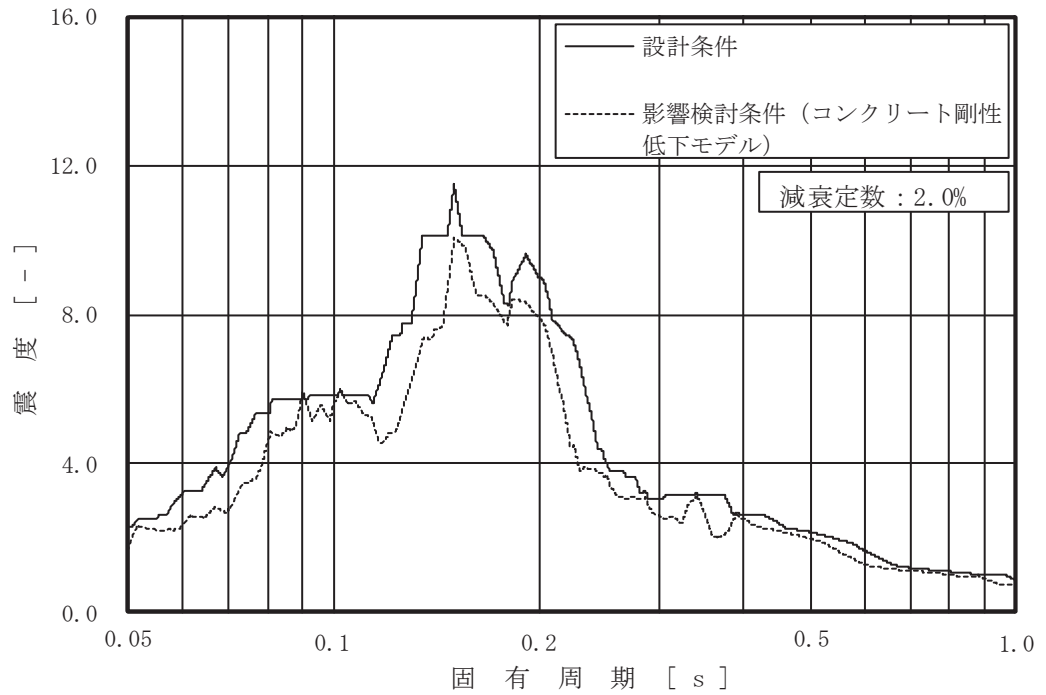


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (50/63)

(基準地震動 S_s , 排気筒基礎 0.P.14.80m , 水平 (NS/EW 包絡))

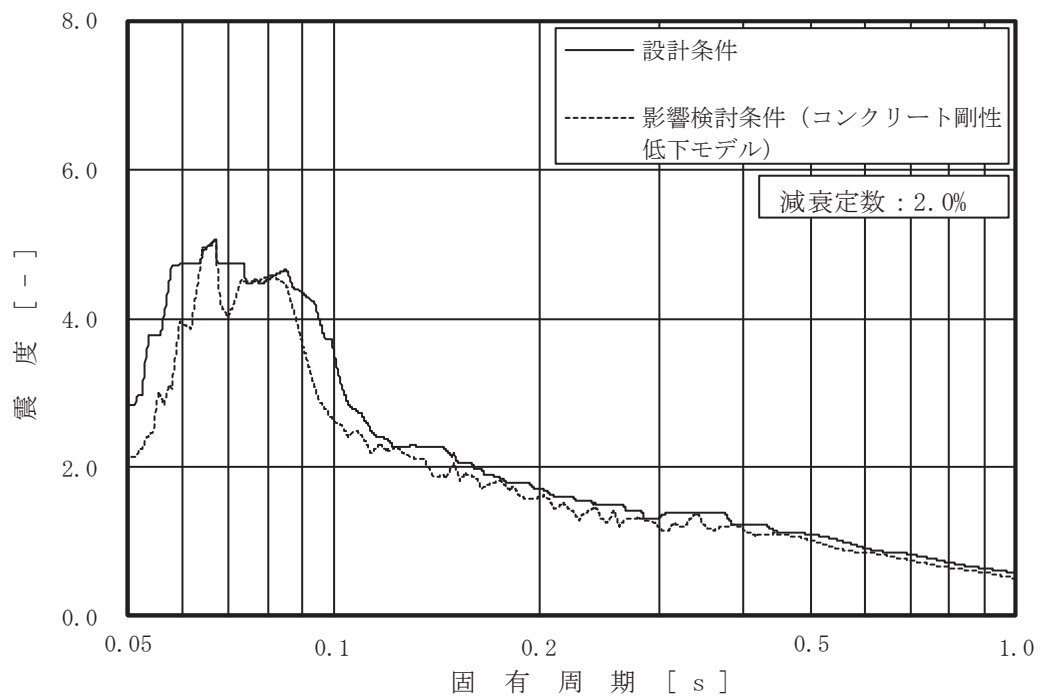


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (51/63)

(基準地震動 S_s , 排気筒基礎 0.P.14.80m , 鉛直)

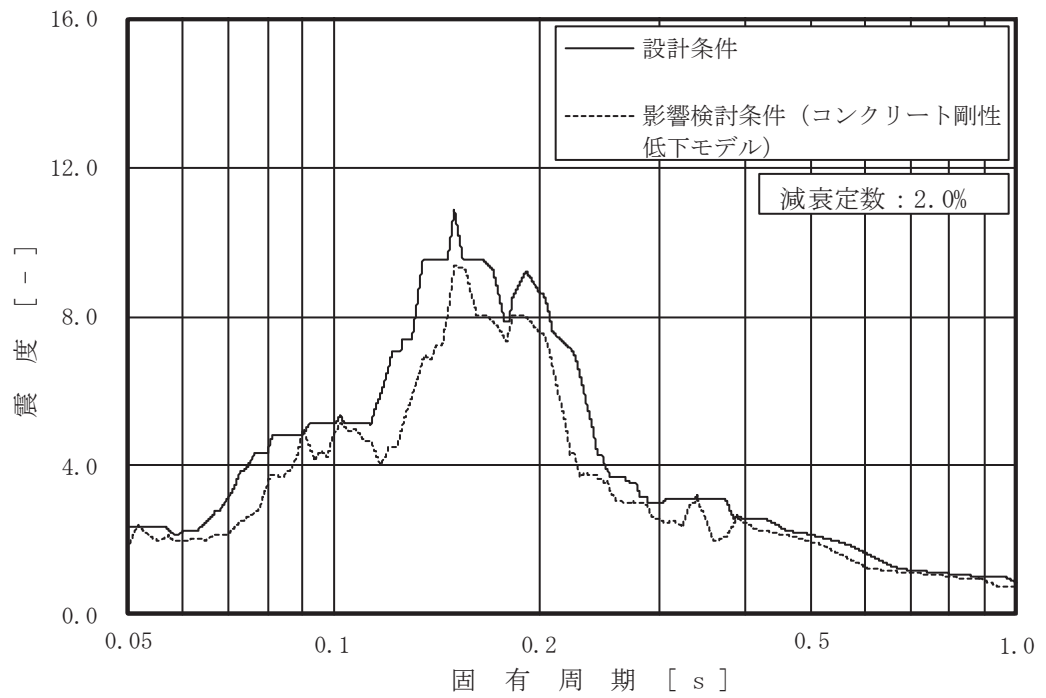


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (52/63)
 (基準地震動 S_s , 排気筒基礎 0.P.10.41m , 水平 (NS/EW 包絡))

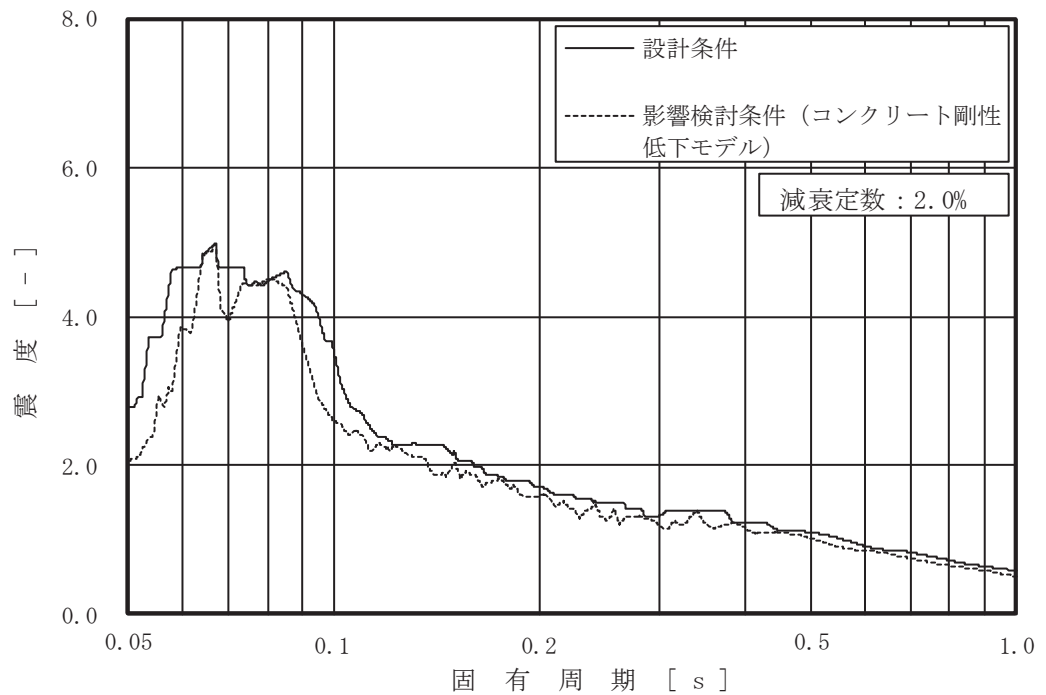


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (53/63)
 (基準地震動 S_s , 排気筒基礎 0.P.10.41m , 鉛直)

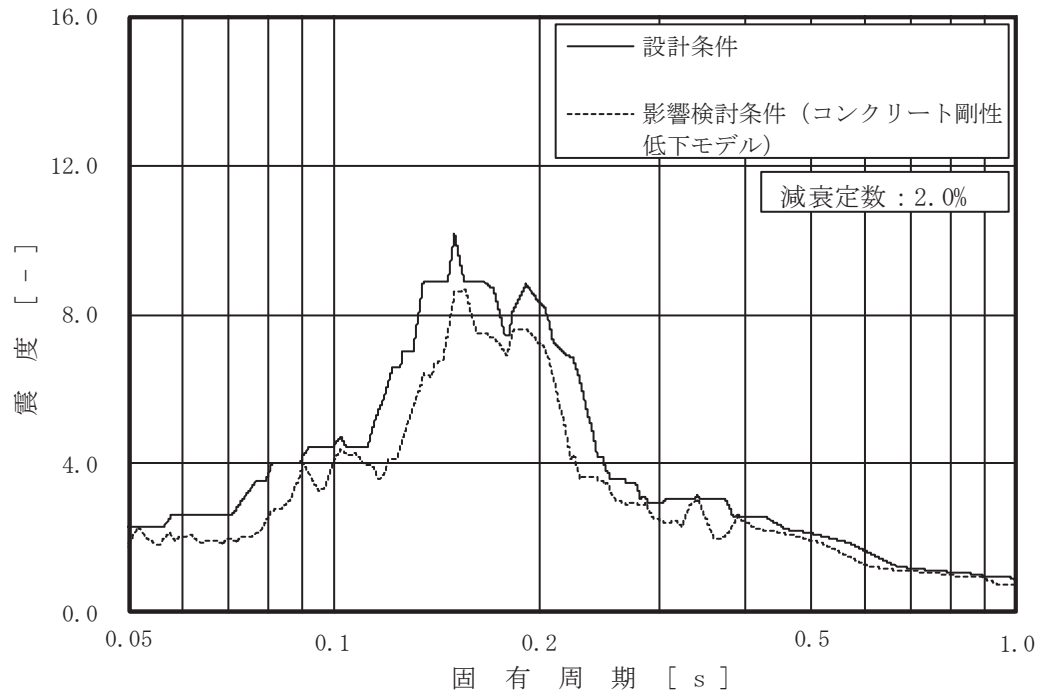


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (54/63)

(基準地震動 S s , 排気筒基礎 0.P. 6. 60m , 水平 (NS/EW 包絡))

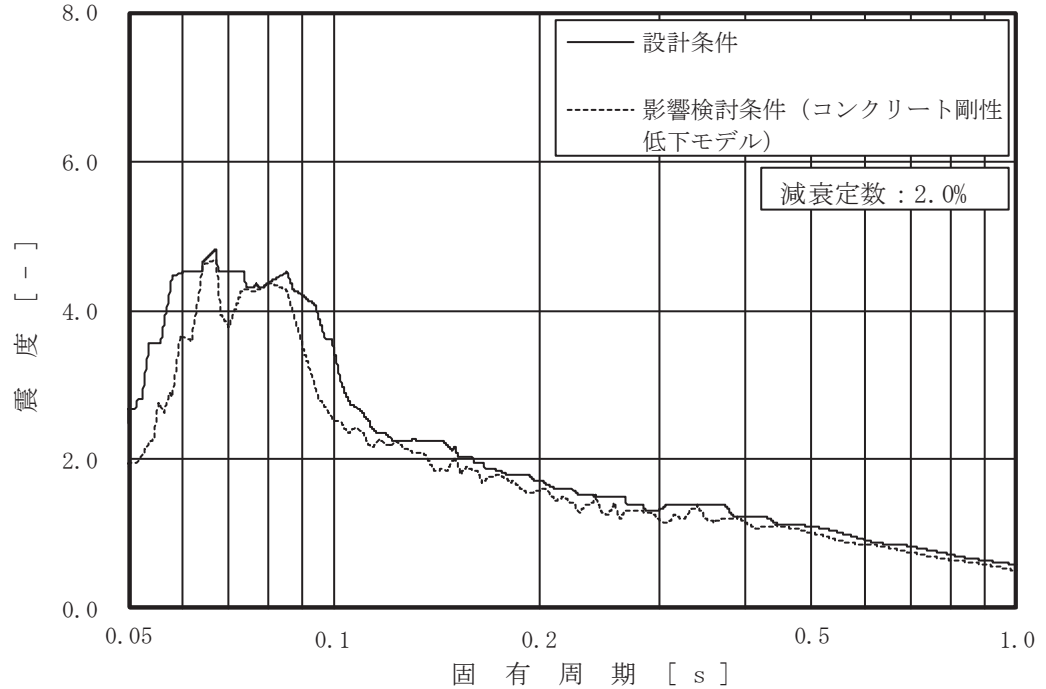


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (55/63)

(基準地震動 S s , 排気筒基礎 0.P. 6. 60m , 鉛直)

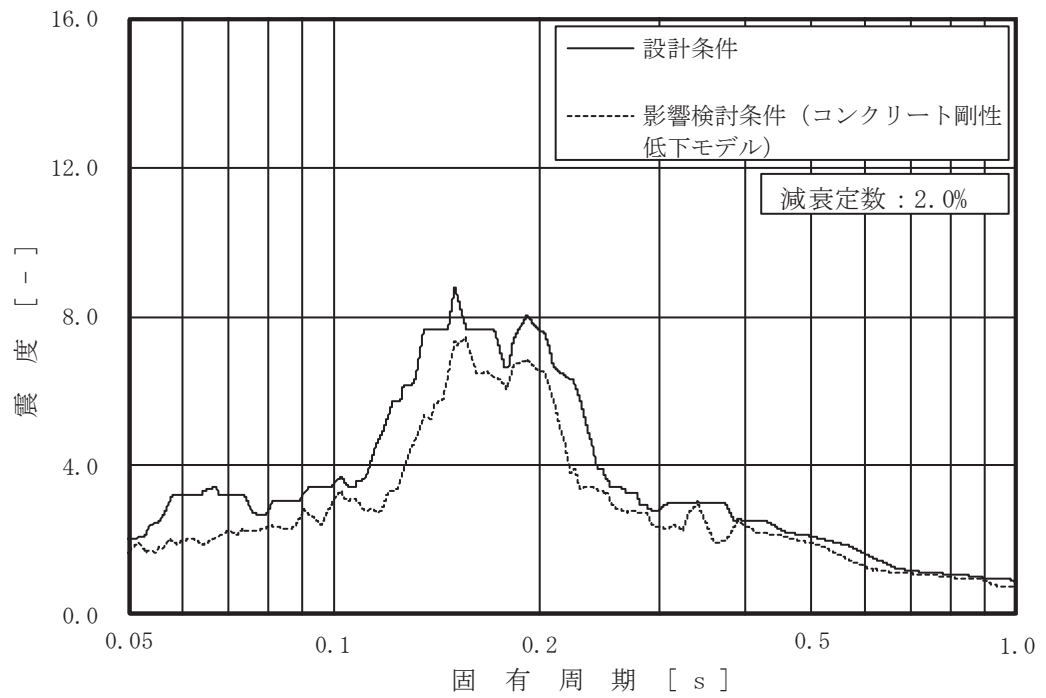


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (56/63)
 (基準地震動 S s , 排気筒基礎 0.P.1.00m , 水平 (NS/EW 包絡))

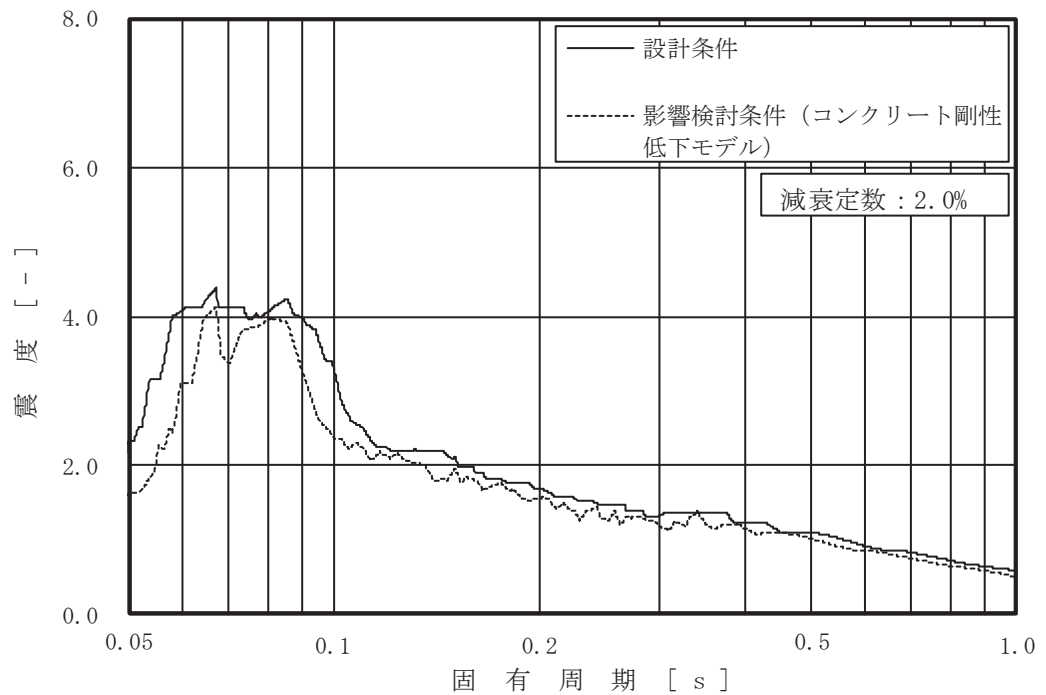


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (57/63)
 (基準地震動 S s , 排気筒基礎 0.P.1.00m , 鉛直)

(h) 排気筒連絡ダクト

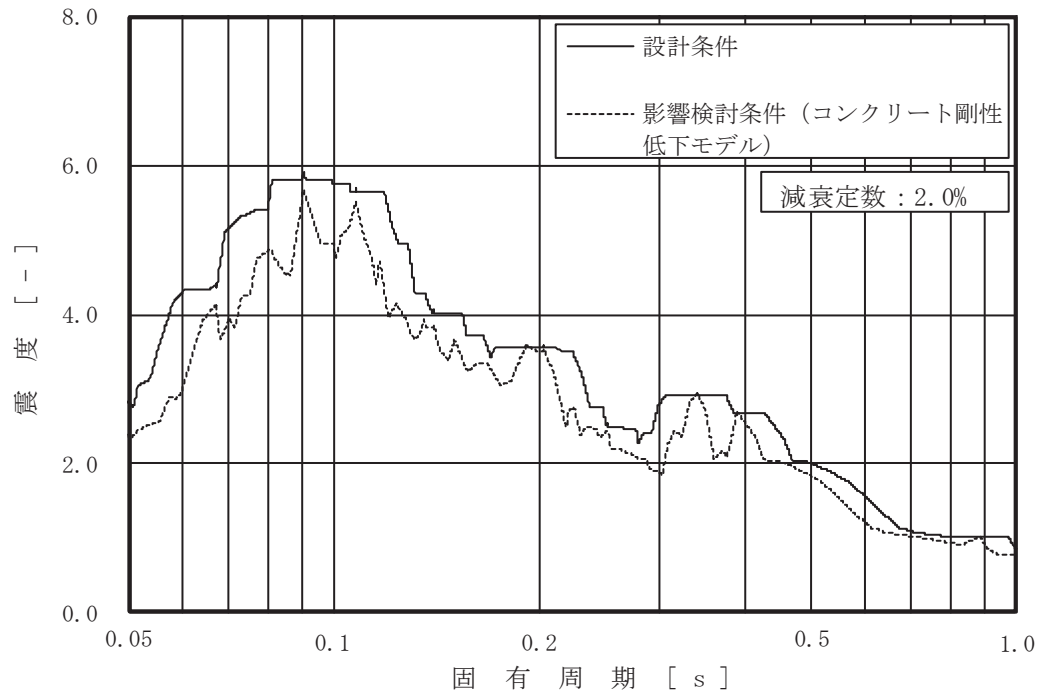


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (58/63)

(基準地震動 S_s , 排気筒連絡ダクト 上床板 , 水平 (NS/EW 包絡))

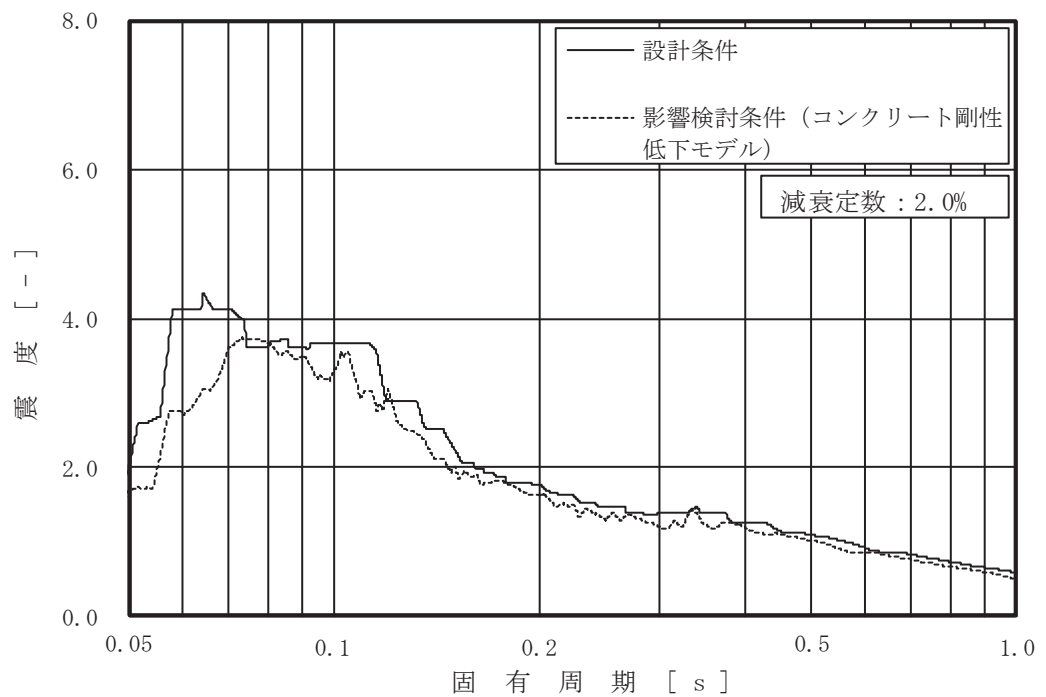


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (59/63)

(基準地震動 S_s , 排気筒連絡ダクト 上床板 , 鉛直)

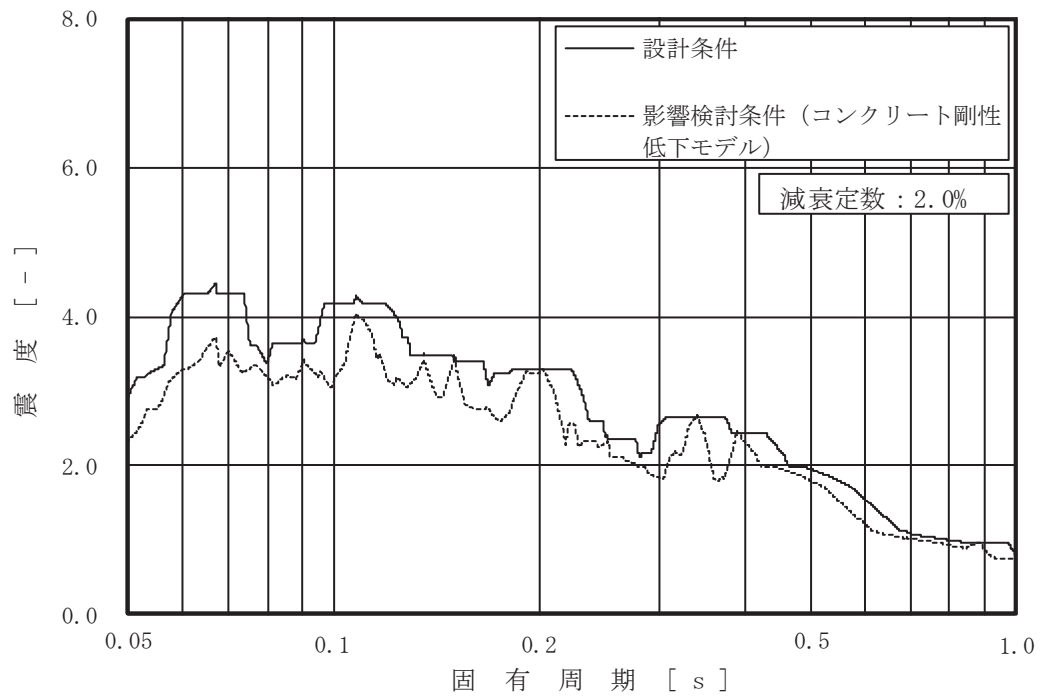


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (60/63)
 (基準地震動 S_s , 排気筒連絡ダクト 中間点 , 水平 (NS/EW 包絡))

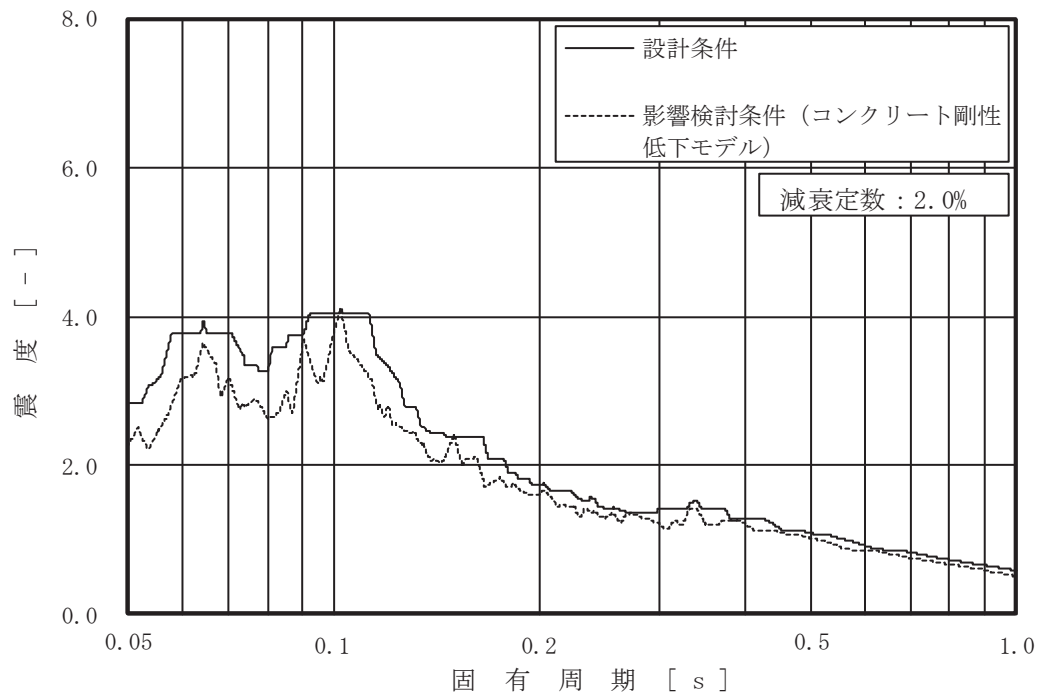


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (61/63)
 (基準地震動 S_s , 排気筒連絡ダクト 中間点 , 鉛直)

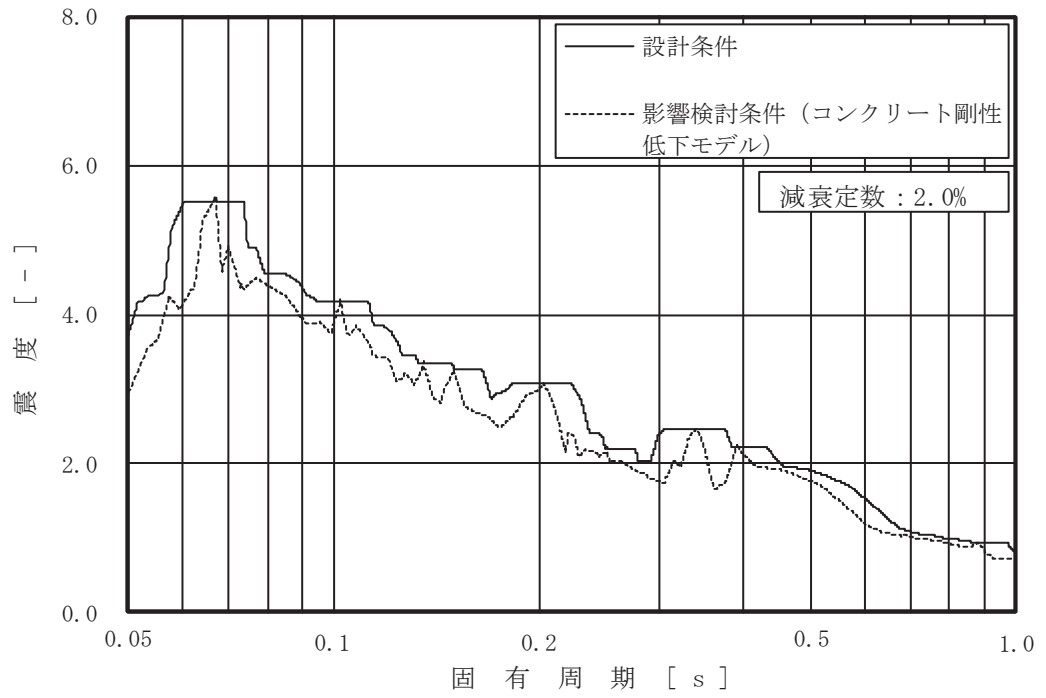


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (62/63)
 (基準地震動 S_s , 排気筒連絡ダクト 底板 , 水平 (NS/EW 包絡))

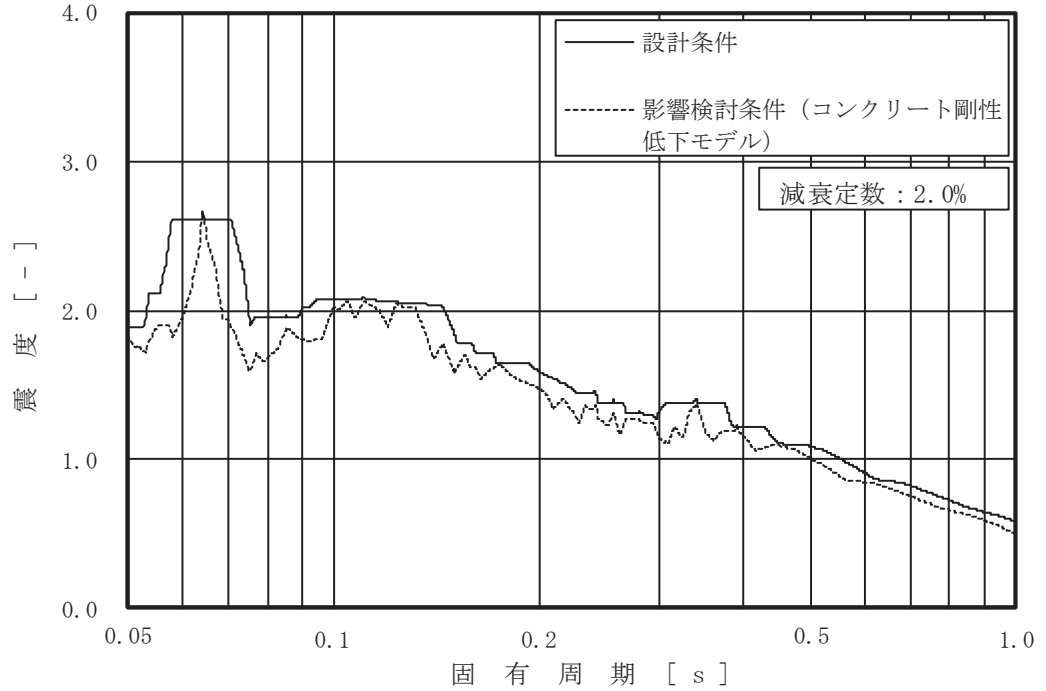


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (63/63)
 (基準地震動 S_s , 排気筒連絡ダクト 底板 , 鉛直)

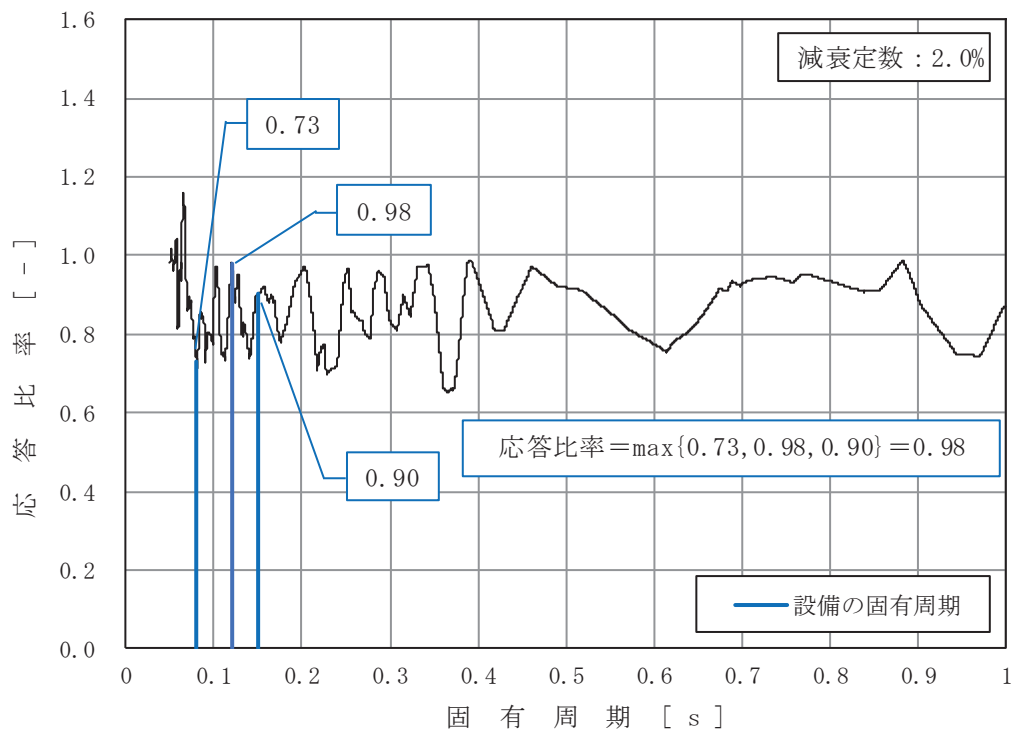


図 4-2 床応答スペクトルにおける応答比率の算定例
 (基準地震動 S_s, 海水ポンプ室 O.P. -9.800m, 水平 (NS/EW 包絡),
 固有周期 : 0.08s, 0.12s, 0.15s)

(2) 相対変位の影響

2. 項「検討方針」に示すように屋外重要土木構造物等にコンクリートの初期剛性低下（影響検討条件）を考慮した場合の機器・配管系への影響確認は、床応答曲線及び最大応答加速度を用いて行うこととしているが、機器・配管系の耐震性評価においては、各屋外重要土木構造物等の相対変位も考慮する必要があるため、その影響について確認した。

屋外重要土木構造物等のうち箱型構造物として海水ポンプ室、線状構造物として軽油タンク連絡ダクトを代表として、設備設計に用いている各方向、各標高の設計条件と影響検討条件の相対変位^{*1}の比較を表 4-10～11 に示す。

相対変位の計算については、個別に実施される建屋又は構築物の地震応答解析より得られた最大応答変位同士の絶対値和とづく。

影響検討条件の相対変位を設計条件の相対変位と比較すると、方向によっては設計条件を上回る場合があるが、相対変位の差異は 1mm 未満であることから影響は軽微である。

したがって、屋外重要土木構造物等にコンクリートの初期剛性低下（影響検討条件）を考慮した場合の機器・配管系への影響確認は床応答曲線及び最大応答加速度を用いて実施する。

なお、5. 項に示す詳細評価を実施した配管系においては、影響検討条件の相対変位についても反映した評価^{*2}を実施し、算出値が許容値以下になることを確認した（結果は 5. 項 表 5-2 にて後述）。

注記*1：



*2：影響検討条件の相対変位が設計条件の相対変位を下回った場合については、当該方向の設計条件の相対変位を適用。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. 海水ポンプ室－原子炉建屋間*

表 4-10(1) 相対変位の比較（水平方向（NS））

標高 O. P. (m)		相対変位 (mm)		差異 (②-①)
海水ポンプ室	原子炉建屋	①設計条件	②影響検討条件	
				-0.2
				-0.2
				-0.1

表 4-10(2) 相対変位の比較（水平方向（EW））

標高 O. P. (m)		相対変位 (mm)		差異 (②-①)
海水ポンプ室	原子炉建屋	①設計条件	②影響検討条件	
				-2.9
				-2.3
				-1.4

表 4-10(3) 相対変位の比較（鉛直）

標高 O. P. (m)		相対変位 (mm)		差 (②-①)
海水ポンプ室	原子炉建屋	①設計条件	②影響検討条件	
				0.2
				0.2
				0.1

注記*：詳細評価対象となる配管系の敷設ルートは、海水ポンプ室（原子炉機器冷却配管ダクト（鉛直部）含む）－原子炉機器冷却配管ダクト（水平部）－原子炉建屋であるが、原子炉機器冷却配管ダクト（水平部）には配管支持構造物を設置していないため、海水ポンプ室－原子炉建屋間の相対変位を考慮する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 軽油タンク連絡ダクトー原子炉建屋間

表 4-11(1) 相対変位の比較（水平方向（NS, EW 方向包絡））

標高 O. P. (m)		相対変位 (mm)		差 (②-①)
軽油タンク連絡 ダクト	原子炉建屋	①設計条件	②影響検討条件	
				0.9
				0.9

表 4-11(2) 相対変位の比較（鉛直方向）

標高 O. P. (m)		相対変位 (mm)		差 (②-①)
軽油タンク連絡 ダクト	原子炉建屋	①設計条件	②影響検討条件	
				-0.1
				-0.1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 検討結果

「2. 検討方針」に示す影響検討フローに従った検討を行い、簡易評価において裕度が応答比率を下回った設備の評価結果を表 5-1 に示す。また、当該設備の詳細評価結果を表 5-2 に示す。

簡易評価で裕度が応答比率を下回った 4 設備に対して、影響検討条件による耐震計算を行い、算出値が許容値以下になることを確認した。

表 5-1 簡易評価結果

(コンクリート初期剛性低下を考慮した解析ケースの影響検討)

設備名称	評価部位	応力分類	今回工認の耐震評価 (基準地震動 S s)			応答比率	確認結果
			算出値 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度		
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-002)	配管本体	一次＋二次 応力	457	482	1.05	1.25	×
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-012)	配管本体	一次＋二次 応力	376	482	1.28	1.35	×
海水ポンプ室門型クレーン	クレーン 本体ガード	曲げ応力	263	280	1.06	1.42	×
燃料移送系配管 (DGD0-B008)	配管本体	一次＋二次 応力	439	398	0.90	1.06	×
		疲労	0.4004*	1*	-		

注記*：単位は無次元

表 5-2 詳細評価結果（コンクリート初期剛性低下を考慮した解析ケースの影響検討）

対象設備	評価部位	応力分類	影響検討条件を用いた耐震計算 (基準地震動 S s)				確認結果
			最大応答 加速度 (1.2ZPA)	床応答曲線	算出値 (MPa)	許容値 (MPa)	
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-002)	配管本体	一次＋二次応力	水平：1.75 鉛直：1.30	海水ポンプ室 O.P.-0.550, -7.025 m 原子炉建屋 O.P.-0.8, -8.1 m (2%減衰)	402	482	○
			水平：2.60 鉛直：1.85	海水ポンプ室 O.P.7.250, 2.250, -0.550, -7.025 m 原子炉建屋 O.P.-0.8, -8.1 m (2%減衰)	371	482	
海水ポンプ室門型クレーン	クレーン本体 ガーダ	曲げ	時刻歴応答解析による評価		246	280	○
燃料移送系配管 (DGD0-B008)	配管本体	一次＋二次応力	水平：1.97 鉛直：1.37	軽油タンク連絡ダクト O.P.12.1, 10.5, 9.5 m 原子炉建屋 O.P.15.0, 6.0 m (2%減衰)	439	398	○
		疲労			0.3990*	1.000*	
(配管系に対し影響検討条件の相対変位を適用した場合の評価結果)							
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-002)	配管本体	一次＋二次応力		上記に同じ	402	482	○
原子炉補機冷却海水系配管 (RSW-012)	配管本体	一次＋二次応力			378	482	○
燃料移送系配管 (DGD0-B008)	配管本体	一次＋二次応力			458	398	○
		疲労			0.3997*	1.000*	

注記*：単位は無次元

6. まとめ

屋外重要土木構造物等に対してコンクリートの初期剛性低下を考慮した場合の機器・配管系への影響評価について、簡易評価で許容値を満足しなかった4設備に対して、影響検討条件による耐震計算を行い、算出値が許容値以下となることを確認した。

以上より、屋外重要土木構造物等に対してコンクリートの初期剛性低下を考慮した場合でも機器・配管系の耐震評価への影響はない。

資料9 海水ポンプ室の耐震安全性評価

目 次

1. 評価方法	資料 9-1
2. 評価条件	資料 9-1
2.1 適用規格	資料 9-1
2.2 構造及び補強の概要	資料 9-4
2.3 耐震評価フロー	資料 9-14
2.4 地震時荷重算出断面の選定	資料 9-19
2.5 使用材料及び材料の物性値	資料 9-22
2.6 地盤物性値	資料 9-22
2.7 評価構造物諸元及び要求機能の考え方	資料 9-26
2.7.1 評価構造物諸元	資料 9-26
2.7.2 海水ポンプ室の要求機能の考え方	資料 9-29
2.8 地下水位	資料 9-33
3 地震応答解析	資料 9-35
3.1 地震応答解析手法	資料 9-35
3.2 地震応答解析モデルの設定	資料 9-38
3.2.1 解析モデル領域	資料 9-38
3.2.2 境界条件	資料 9-40
3.2.3 構造物のモデル化	資料 9-47
3.2.4 隣接構造物のモデル化	資料 9-54
3.2.5 地盤及び MMR のモデル化	資料 9-57
3.2.6 ジョイント要素の設定	資料 9-57
3.3 減衰定数	資料 9-62
3.4 荷重の組合せ	資料 9-77
3.4.1 機器・配管荷重	資料 9-78
3.4.2 竜巻防護ネット荷重	資料 9-79
3.4.3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重	資料 9-80
3.4.4 外水圧	資料 9-82
3.4.5 内水圧	資料 9-84
3.4.6 積載荷重	資料 9-86
3.4.7 動水圧	資料 9-89
3.5 地震応答解析の解析ケース	資料 9-92
3.5.1 耐震評価における解析ケース	資料 9-92
3.5.2 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース	資料 9-99
4. 三次元構造解析	資料 9-103
4.1 解析手法	資料 9-103
4.2 解析モデルの設定	資料 9-104
4.2.1 構造物のモデル化	資料 9-104
4.2.2 地盤ばね要素	資料 9-107

4.2.3	材料の非線形特性	資料 9-112
4.3	照査時刻の選定	資料 9-117
4.4	入力荷重	資料 9-121
4.4.1	常時荷重	資料 9-124
4.4.2	慣性力（機器）	資料 9-127
4.4.3	慣性力（配管）	資料 9-129
4.4.4	慣性力（躯体）	資料 9-130
4.4.5	慣性力（竜巻防護ネット反力）	資料 9-132
4.4.6	慣性力（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部））	資料 9-136
4.4.7	内水圧・動水圧	資料 9-138
4.4.8	地震時土圧・水圧及び周面せん断力	資料 9-140
5	評価内容	資料 9-141
5.1	入力地震動の設定	資料 9-141
5.2	許容限界の設定	資料 9-198
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	資料 9-198
5.2.2	せん断破壊に対する許容限界	資料 9-203
5.2.3	壁部材の面内せん断に対する許容限界	資料 9-213
5.2.4	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	資料 9-215
6	評価結果	資料 9-216
6.1	地震応答解析結果	資料 9-216
6.1.1	各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果	資料 9-216
6.1.2	作用荷重分布図	資料 9-244
6.1.3	最大せん断ひずみ	資料 9-250
6.2	三次元構造解析結果	資料 9-257
6.2.1	解析ケースと照査値	資料 9-262
6.2.2	構造部材のひずみ分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）	資料 9-277
6.2.3	構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）	資料 9-289
6.3	構造部材の健全性に対する評価結果	資料 9-302
6.3.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	資料 9-302
6.3.2	せん断破壊に対する評価結果	資料 9-361
6.3.3	壁部材の面内せん断に対する評価結果	資料 9-391
6.3.4	水平 2 方向載荷による評価結果	資料 9-411
6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	資料 9-416
6.4.1	基礎地盤（狐崎部層）	資料 9-416
6.4.2	MMR（既設）	資料 9-420
7	まとめ	資料 9-440

参考資料

- 参考資料 1 主筋ひずみの平均化について・・・資料 9- (参考) 1-1
- 参考資料 2 止水機能が要求される部材に対する漏水量評価について・・・資料 9- (参考) 2-1
- 参考資料 3 増厚部における既設部材と補強部材の一体化設計・・・資料 9- (参考) 3-1
- 参考資料 4 静的地震力に対する耐震評価・・・資料 9- (参考) 4-1
- 参考資料 5 解析手法の選定について・・・資料 9- (参考) 5-1
- 参考資料 6 照査時刻の選定の妥当性について・・・資料 9- (参考) 6-1
- 参考資料 7 補強追加による非常用海水ポンプ取水への影響について・・・資料 9- (参考) 7-1
- 参考資料 8 補強部材の施工履歴が及ぼす耐震評価への影響について・・・資料 9- (参考) 8-1
- 参考資料 9 既設部材と新設部材のコンクリートの付着力について・・・資料 9- (参考) 9-1
- 参考資料 10 竜巻ネット反力他に対する海水ポンプ室の構造成立性について・・・
資料 9- (参考) 10-1
- 参考資料 11 海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁等の設計について・・・資料 9- (参考) 11-1**

: 今回説明範囲

: 記載適正化範囲

6.3.4 水平2方向載荷による評価結果

水平2方向載荷による評価は、「3.5 地震応答解析の解析ケース」に示すとおり、すべての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①及び解析ケース②～④の照査値の中で最大となる地震動に対し実施する。水平2方向載荷の評価において組合せる荷重は、主方向荷重を水平方向及び鉛直方向荷重、従方向荷重を水平方向荷重とし、従方向荷重は主方向荷重での地震時荷重算定時刻と同時刻の荷重を、位相を変えた地震動にて算出した荷重とする。なお、 S_s-N1 は観測波に基づいており地震動の方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さいことから、 S_s-N1 が選定された場合は、2番目に照査値が厳しい地震動においても水平2方向載荷による評価を実施する。

「6.2 三次元構造解析結果」に示すとおり、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、解析ケース②の S_s-N1 （++）が照査値最大となることから、2番目に照査値が厳しい解析ケース①の S_s-D2 （++）においても水平2方向載荷による評価を実施する。また、せん断破壊に対する照査において、解析ケース④の S_s-N1 （++）が照査値最大となることから、2番目に照査値が厳しい解析ケース①の S_s-D2 （-+）においても水平2方向載荷による評価を実施する。水平2方向載荷による評価に用いる解析ケースと地震動の組合せを表6-36に示す。

水平2方向載荷に対する評価結果について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース及び評価結果を表6-37～表6-41に示す。

同表より、コンクリートの圧縮縁ひずみ、コンクリートの圧縮ひずみ、主筋ひずみ、せん断力及び面内せん断ひずみが、それぞれの許容限界を下回ることを確認した。

表6-36 水平2方向載荷による評価に用いる解析ケースと地震動

解析ケース		地震動
主方向	従方向	
②	②	S_s-N1 （++）
①	①	S_s-D2 （++）
④	④	S_s-N1 （++）
①	①	S_s-D2 （-+）

表 6-37 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮縁ひずみ）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査 時刻	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
底版	2	④	主方向：S _s -N1 (++) 従方向：S _s -N1 (++)	7.52	582 μ	10000 μ	0.06
中床版	20				884 μ	10000 μ	0.09
側壁	53	②		7.57	1011 μ	10000 μ	0.11
隔壁	121				2295 μ	10000 μ	0.23
導流壁	61	④		7.52	812 μ	10000 μ	0.09
妻壁	71				575 μ	10000 μ	0.06

注記*1：評価位置は図 6-23 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-38 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮ひずみ）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査 時刻	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R	
底版	2	④	主方向：S _s -N1 (++) 従方向：S _s -N1 (++)	7.52	456 μ	2000 μ	0.23	
中床版	27				436 μ	2000 μ	0.22	
側壁	53	②		7.57	791 μ	2000 μ	0.40	
隔壁	121				1490 μ	2000 μ	0.75	
導流壁	64	①		主方向：S _s -D2 (++) 従方向：S _s -D2 (++)	25.26	219 μ	2000 μ	0.11
妻壁	81					183 μ	2000 μ	0.10

注記*1：評価位置は図 6-23 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-39 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（主筋ひずみ）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査 時刻	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
底版	1	④	主方向：S s - N 1 (++)	7.52	1590 μ	1725 μ	0.93
中床版	30				989 μ	1725 μ	0.58
側壁	53	②	従方向：S s - N 1 (++)	7.57	1487 μ *3	1725 μ	0.87*3
隔壁	121	①	主方向：S s - D 2 (-+) 従方向：S s - D 2 (++)	13.53	1143 μ	1725 μ	0.67
導流壁	64						
妻壁	81	②	主方向：S s - N 1 (++) 従方向：S s - N 1 (++)	7.57	214 μ	1725 μ	0.13

注記*1：評価位置は図 6-23 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

*3：要素平均化後の値を示す。

表 6-40 せん断破壊に対する照査

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査 時刻	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 V_{yd} (kN/m)	照査値 V_d/V_{yd}
底版	1	④	主方向：S s - N 1 (++) 従方向：S s - N 1 (++)	7.52	5662	6784	0.84
中床版	21			7.52	970	1144	0.85
側壁	52			7.52	4662	5528	0.85
隔壁	104			7.52	1061	1324	0.81
導流壁	61			7.52	1062	1183	0.90
妻壁	71			7.52	1165	1427	0.82

注記*1：評価位置は図 6-23 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-41 壁部材の面内せん断に対する照査

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査 時刻	照査用 面内せん 断ひずみ*2 γ_d	限界せん 断ひずみ γ_R	照査値 γ_d / γ_R
底版	—	—	—	—	—	—	—
中床版	—		—		—	—	
側壁	—		—		—	—	
隔壁	90	①	主方向：S s - D 2 (-+) 従方向：S s - D 2 (++)	13.53	337 μ	2000 μ	0.17
導流壁	—	—	—	—	—	—	—
妻壁	70	④	主方向：S s - N 1 (++) 従方向：S s - N 1 (++)	7.52	210 μ	2000 μ	0.11

注記*1：評価位置は図 6-23 に示す。

*2：照査用面内せん断ひずみ = 発生面内せん断ひずみ × 構造解析係数 γ_a

参考資料 11 海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁等の設計について

1. 概要

海水ポンプ室の補機ポンプエリアには、原子炉補機冷却海水ポンプ（以下「RSWポンプ」という。）、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（以下「HPSWポンプ」という。）及びタービン補機冷却海水ポンプ（以下「TSWポンプ」という。）が設置されており、これらの系統について、安全設備の多重性や独立性確保のために鉄筋コンクリート部材で構成される隔壁等を設置している。

隔壁等には、Sクラスの配管を間接支持する支持機能と、溢水事象に対する止水機能が要求される。

本資料は、海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁等が基準地震動 S_s による地震時に構造強度を有すること、Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと、また、機器の破損時における溢水に対して止水機能を損なわないことを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 構造概要

海水ポンプ室の平面図を図 2-1 に、海水ポンプ室補機ポンプエリアの平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 に示す。

図 2-4 のとおり、補機ポンプエリアは、鉄筋コンクリート構造の 6 つの隔壁と 3 つのトレンチが設置されており、隔壁及びトレンチにより 4 系統に分離されている。

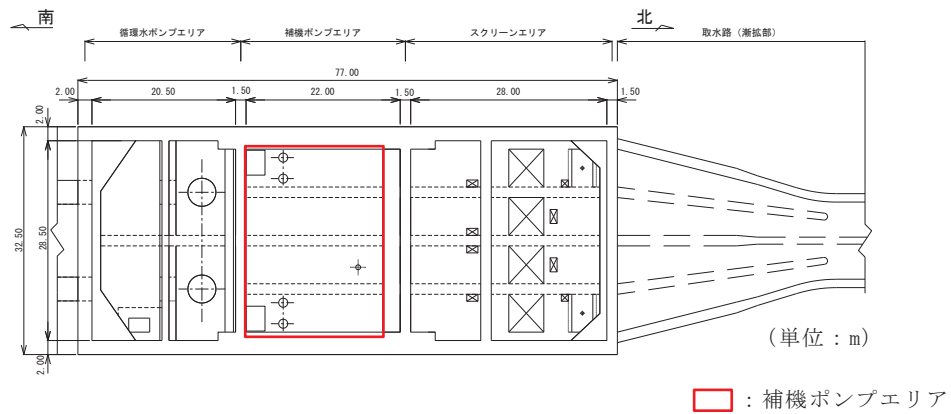


図 2-1 海水ポンプ室平面図

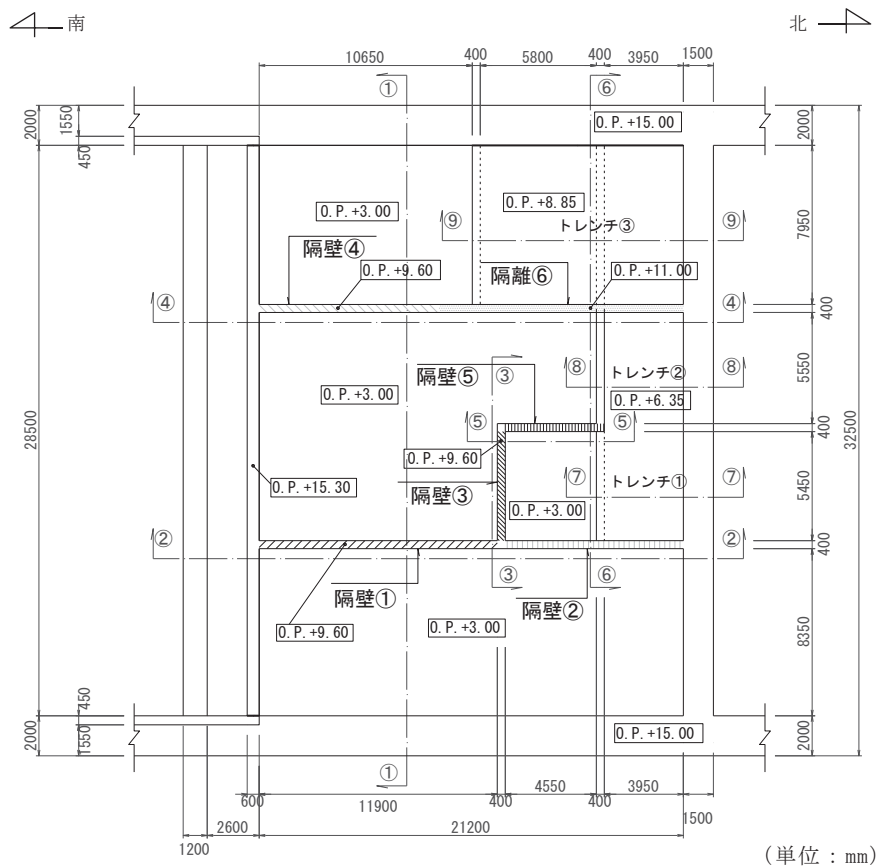


図 2-2 海水ポンプ室補機ポンプエリアの平面図

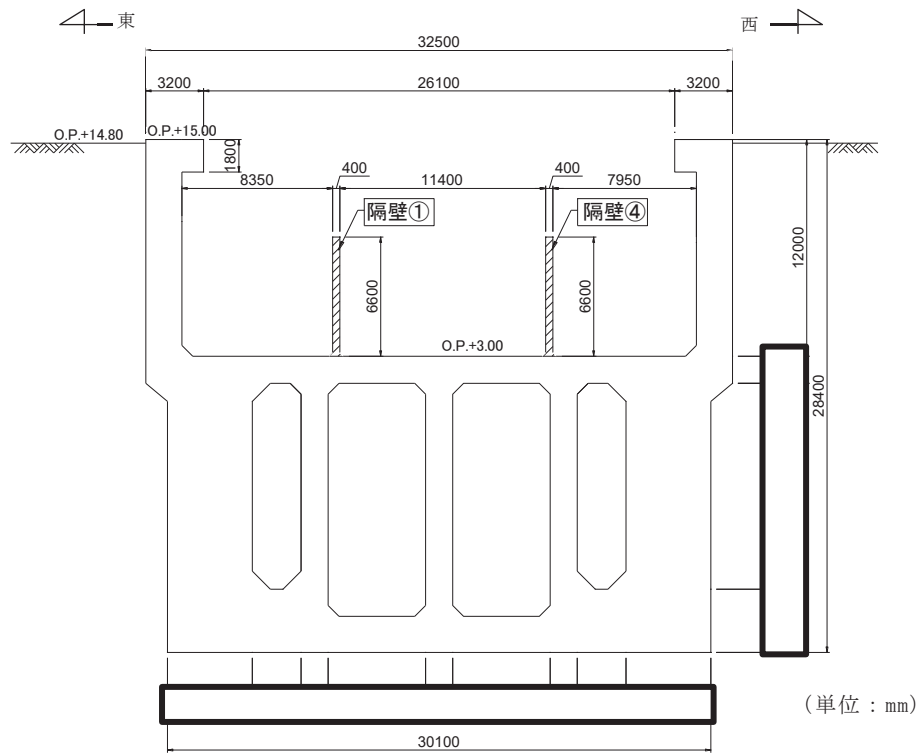


図 2-3(1) 補機ポンプエリア断面図 (①—①断面)

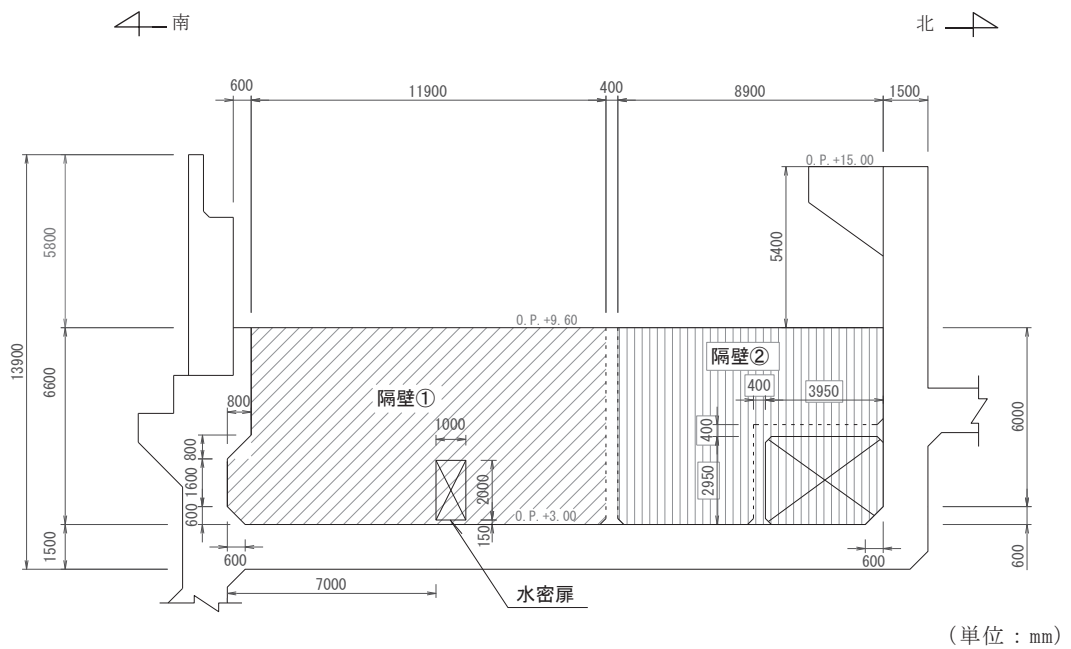


図 2-3(2) 補機ポンプエリア断面図 (②—②断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

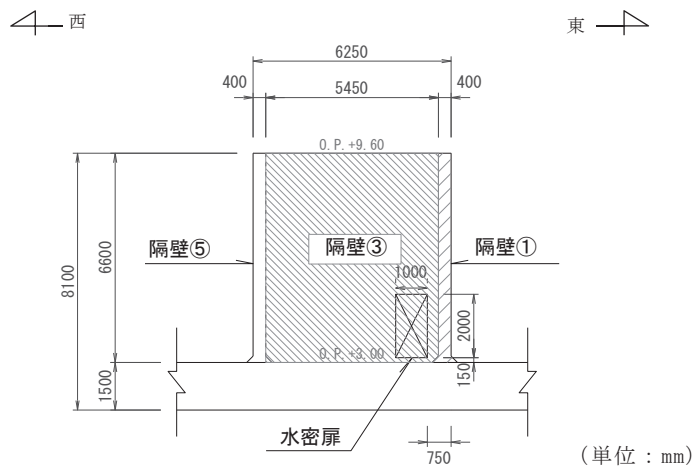


図 2-3(3) 補機ポンプエリア断面図 (③—③断面)

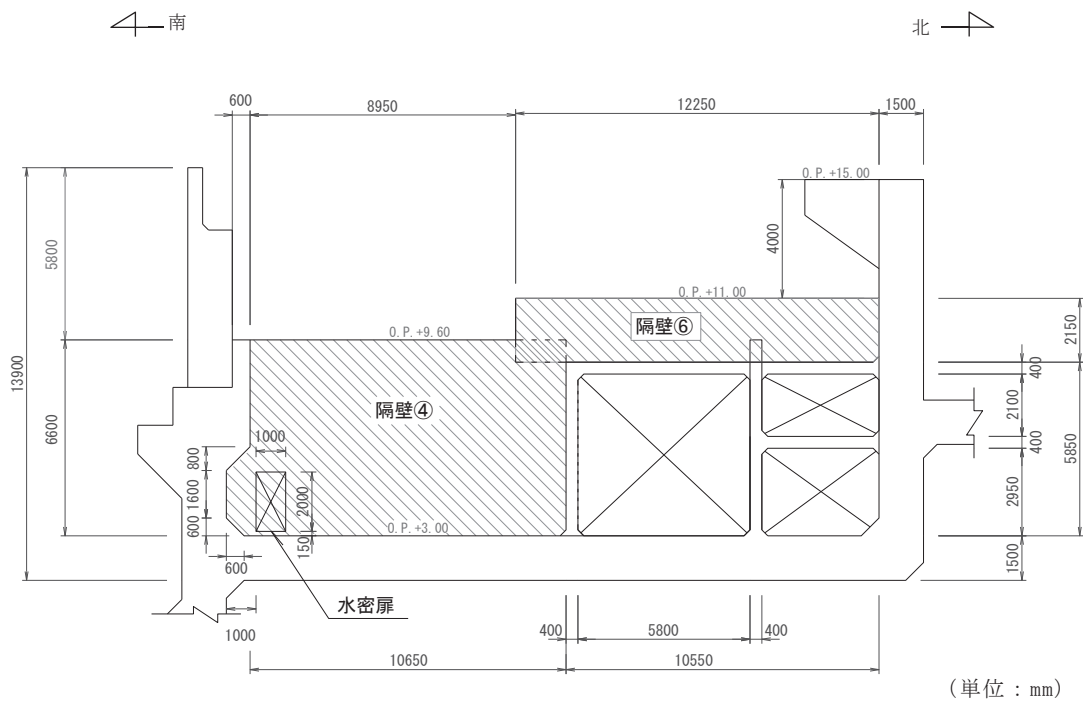


図 2-3(4) 補機ポンプエリア断面図 (④—④断面)

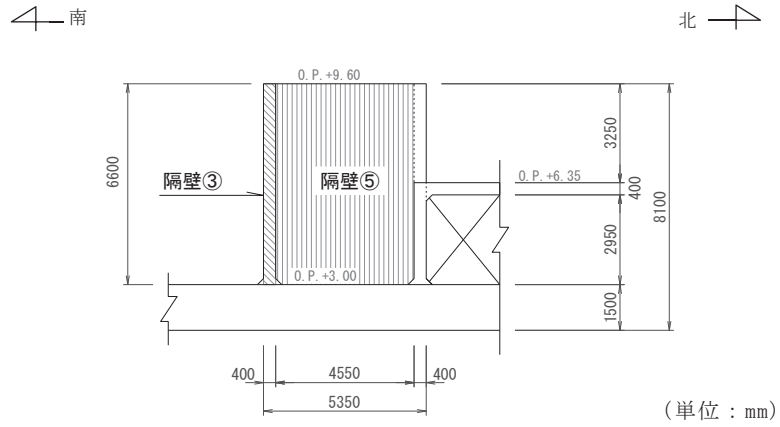


図 2-3(5) 補機ポンプエリア断面図 (⑤—⑤断面)

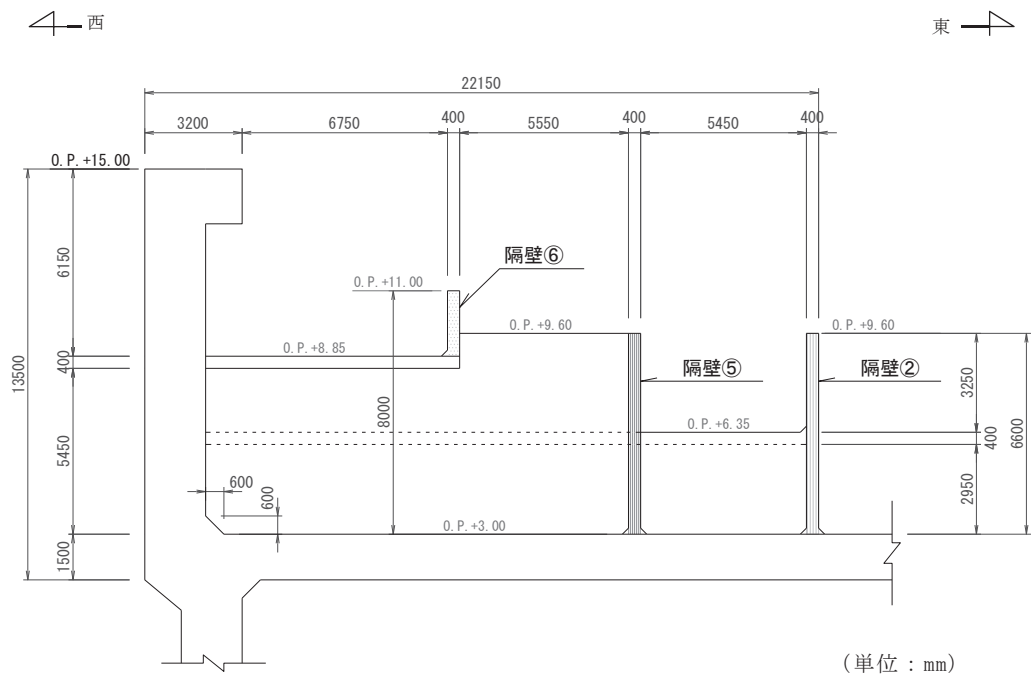


図 2-3(6) 補機ポンプエリア断面図 (⑥—⑥断面)

南

北

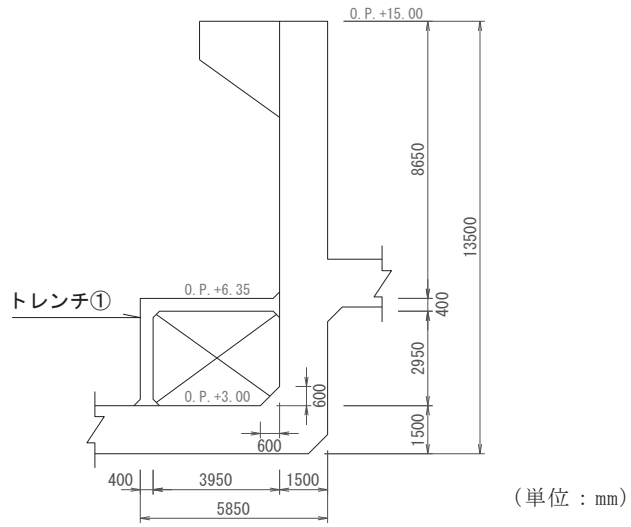


図 2-3(7) 補機ポンプエリア断面図 (⑦—⑦断面)

南

北

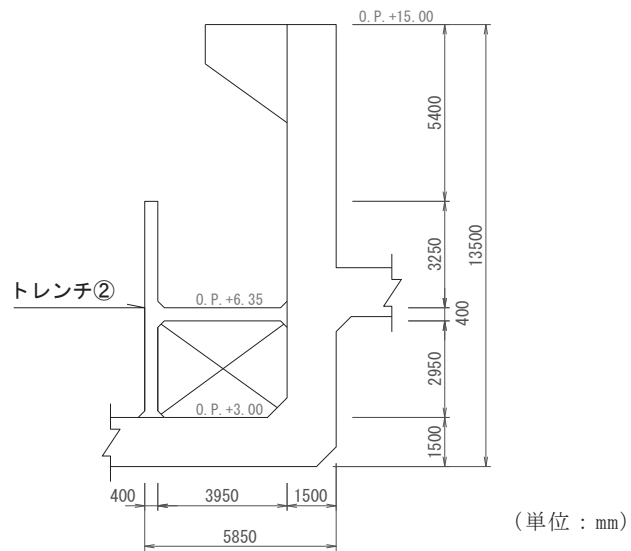


図 2-3(8) 補機ポンプエリア断面図 (⑧—⑧断面)

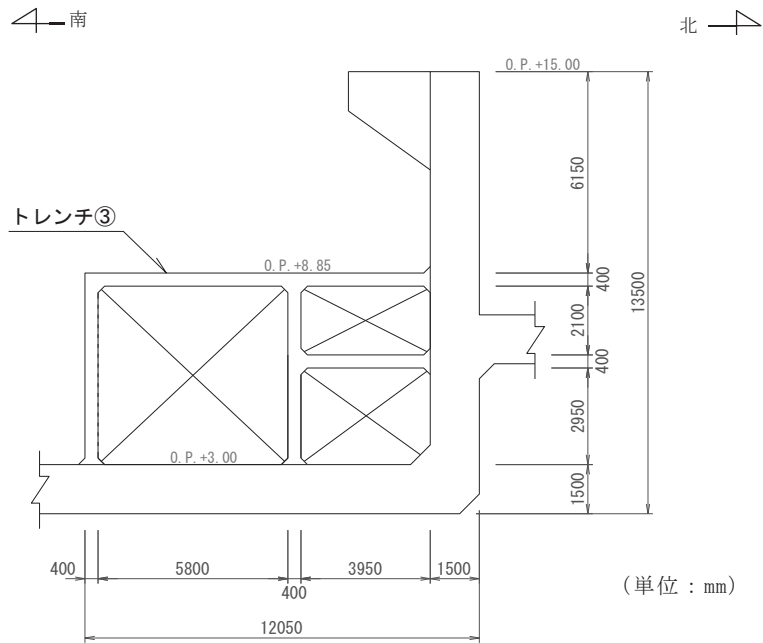


図 2-3(9) 補機ポンプエリア断面図 (⑨—⑨断面)

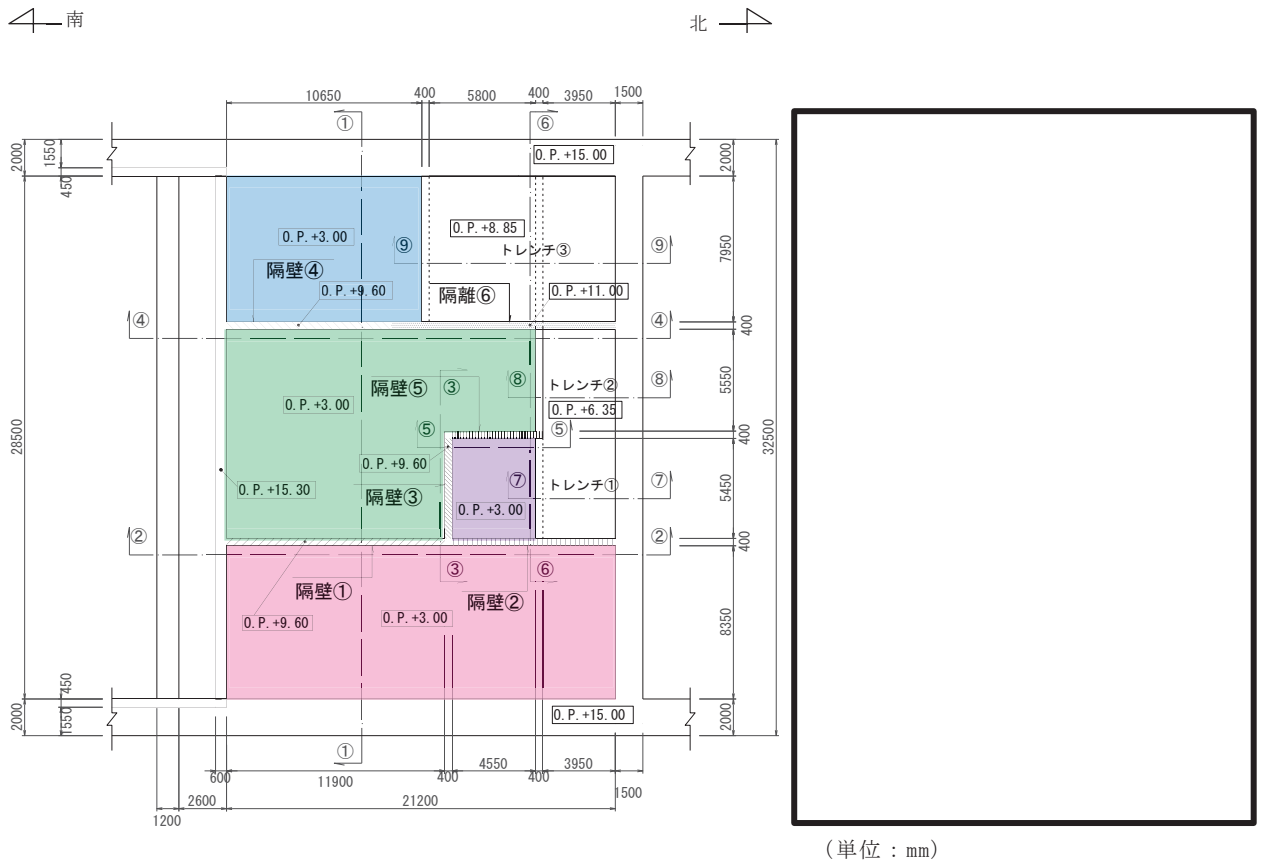


図 2-4 海水ポンプ室補機ポンプエリアの系統の分離図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.2 評価方針

海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁及びトレンチには、Sクラスの配管を間接支持する支持機能と、溢水事象に対する止水機能が要求される。

基準地震動 S_s による地震時に支持機能を損なわないことの確認は、「資料9 3.地震応答解析」により得られる応答値を用いて、各部材の健全性評価を行う。隔壁は、壁部材を線形シェル要素でモデル化し三次元静的線形解析を行い、発生応力度及び発生せん断力が、許容限界を下回ることを確認する。トレンチは、非線形はり要素でモデル化し二次元静的非線形解析を行い、照査用ひずみ及び照査用せん断力が、支持機能に対する許容限界を下回ることを確認する。

止水機能を損なわないことの確認は、添付書類「VI-1-1-8 発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」に示す溢水評価の内容を踏まえ、機器の破損等により生じる溢水（以下「想定破損による溢水」という。）に対して実施する。溢水源は「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」に基づき単一機器の想定破損による溢水とし、各部材の健全性評価を行う。隔壁は、地震時と同様に、壁部材を線形シェル要素でモデル化し三次元静的線形解析を行い、発生応力度及び発生せん断力が、許容限界を下回ることを確認する。トレンチは、地震時と同様に非線形はり要素とした二次元静的非線形解析を行い、照査用ひずみ及び照査用せん断力が、止水機能を損なわないことの許容限界を下回ることを確認する。なお、補機ポンプエリア内の機器は基準地震動 S_s による耐震性が確保されることから、地震に起因する機器の破損により生じる溢水は考慮しない。

以上のとおり、海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁及びトレンチの健全性評価は、基準地震動 S_s による地震時と、単一機器の想定破損による溢水時の独立した事象に対して実施する。

地震時の評価フローを図2-5に、溢水時の評価フローを図2-6に示す。

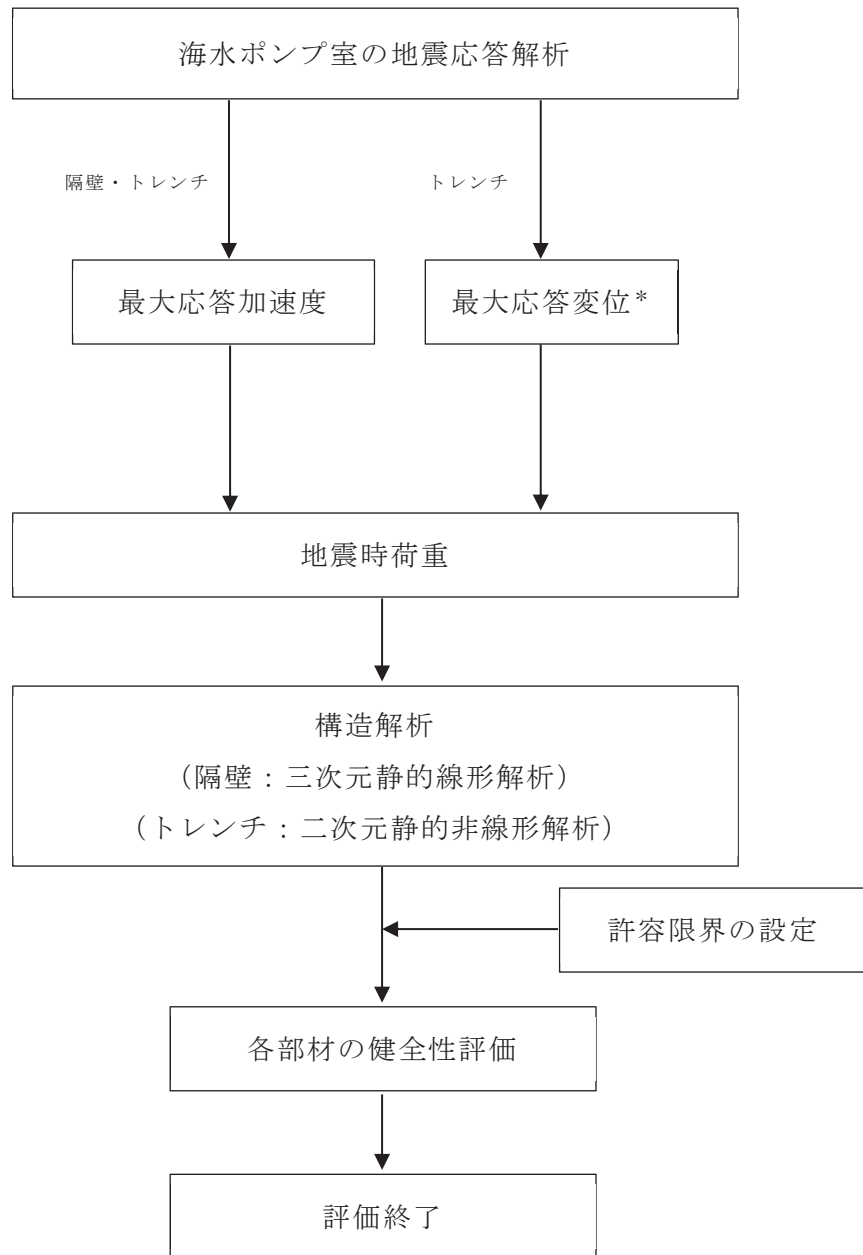


図 2-5 地震時の評価フロー

注記*：トレンチの評価については、検討断面（弱軸断面）と海水ポンプ室隔壁が交わることから、慣性力（最大応答加速度）に加え、海水ポンプ室縦断方向の地震応答解析から算出される海水ポンプ室隔壁の最大応答変位を保守的に強制変位として考慮する。

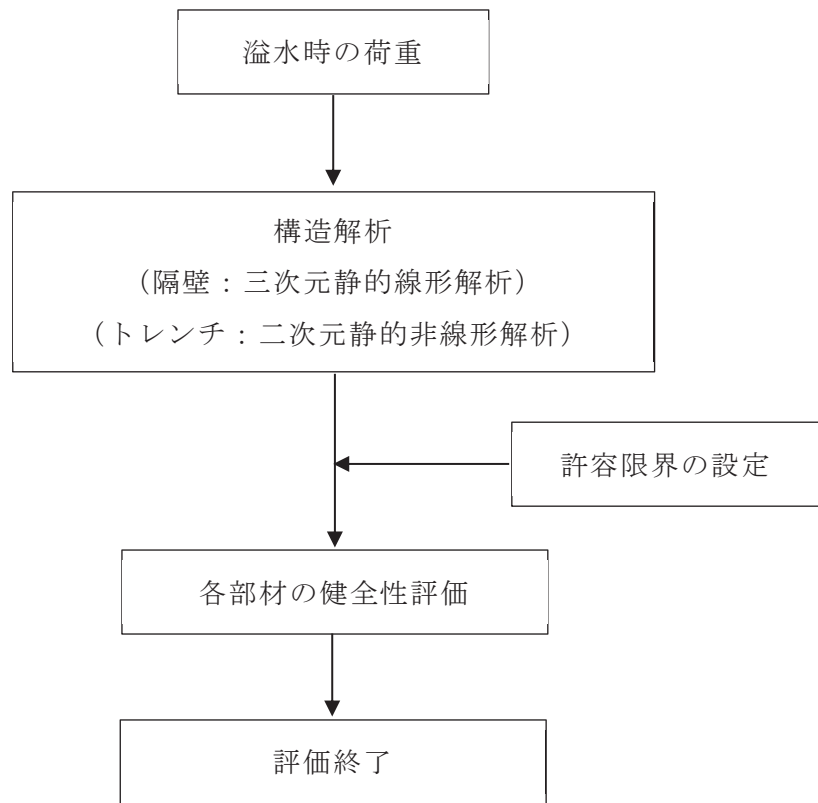


図 2-6 溢水時の評価フロー

2.3 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 2-1 に、材料の物性値を表 2-2 に示す。

表 2-1 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 20.5N/mm ²
鉄筋	SD345

表 2-2 材料の物性値

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量(kN/m ³)	24.0
	ヤング係数 (N/mm ²)	2.33×10 ⁴
	ポアソン比	0.2

2.4 適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

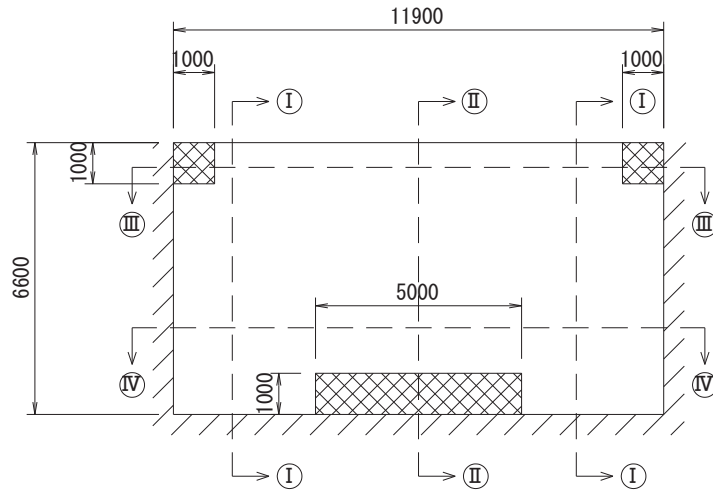
- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会 2002年制定）（以下「コンクリート標準示方書」という。）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（2005年6月土木学会 原子力土木委員会）（以下「土木学会マニュアル」という。）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会 2017年制定）（以下「コンクリート標準示方書 2017」という。）

3. 隔壁の健全性評価

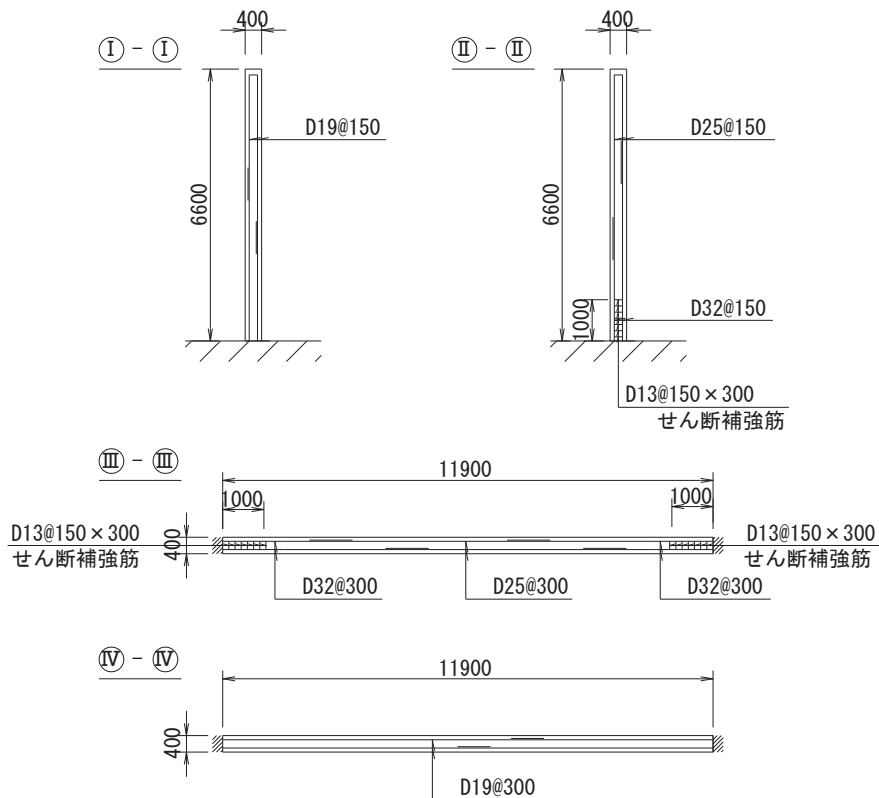
3.1 構造概要及び諸元

3.1.1 構造概要

補機ポンプエリアには、図2-2及び図2-3に示すとおり、6つの隔壁が設置されている。隔壁①～隔壁⑥の概略配筋図を図3-1に示す。



注：斜線部はせん断補強筋を有する箇所



(単位：mm)

図3-1(1) 概略配筋図(隔壁①)

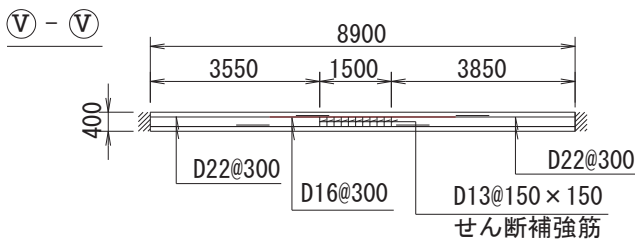
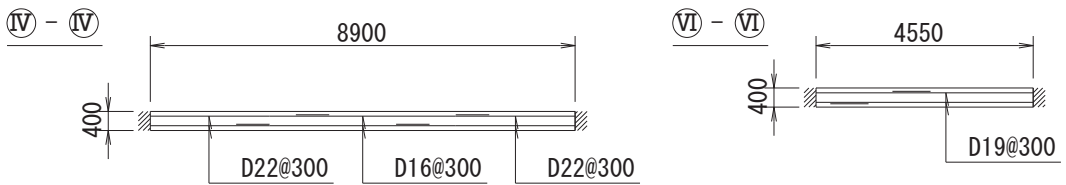
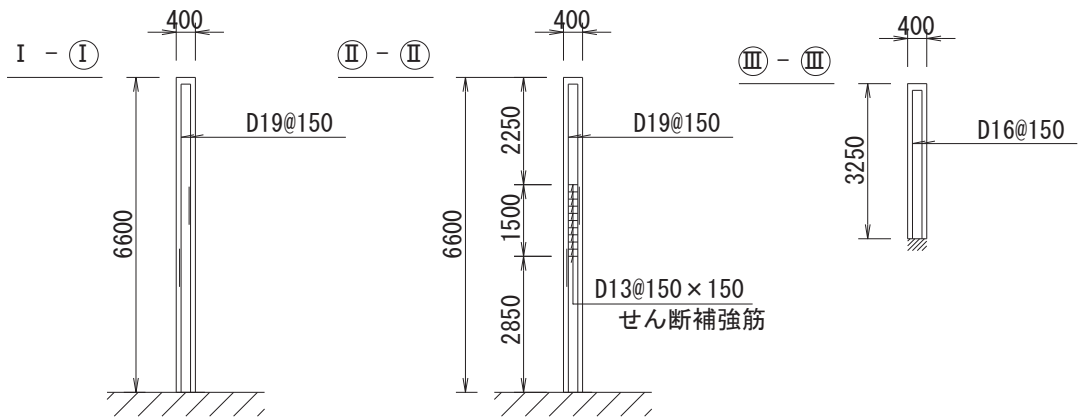
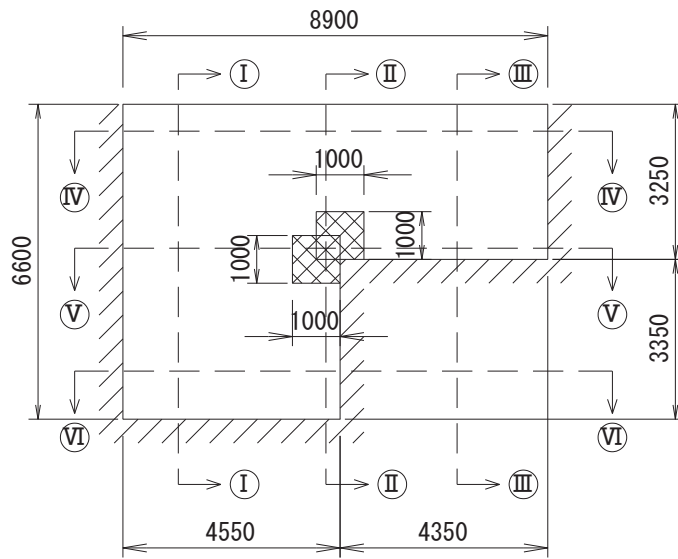


図 3-1(2) 概略配筋図 (隔壁②)

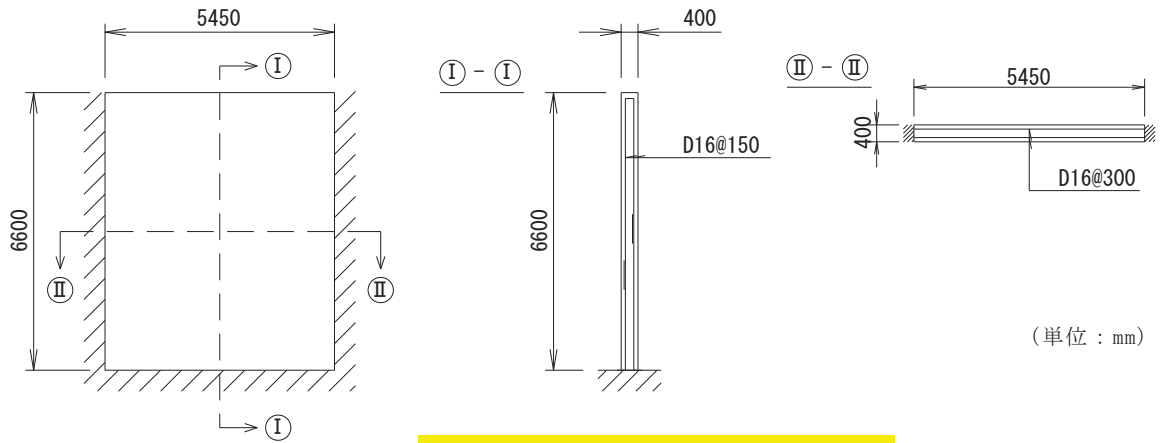


図 3-1(3) 概略配筋図 (隔壁③)

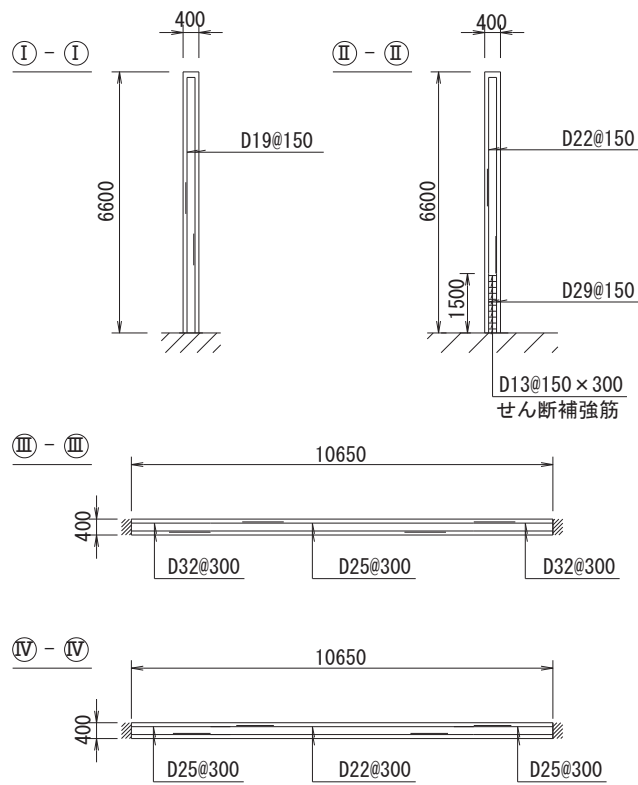
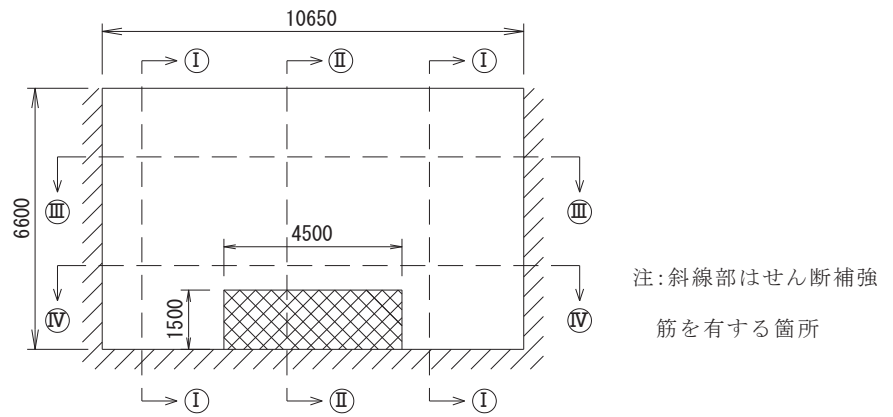


図 3-1(4) 概略配筋図 (隔壁④)

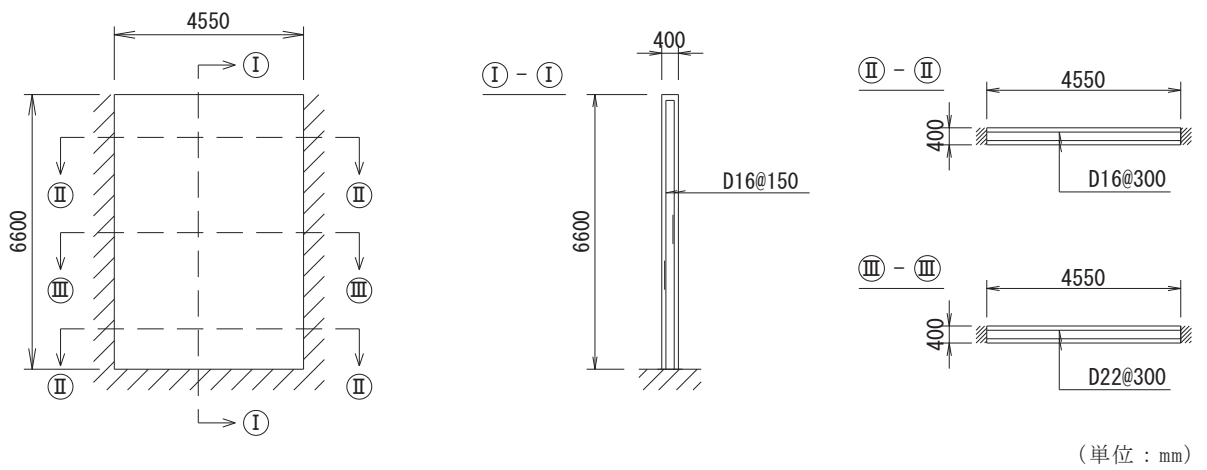


图 3-1(5) 概略配筋图 (隔壁⑤)

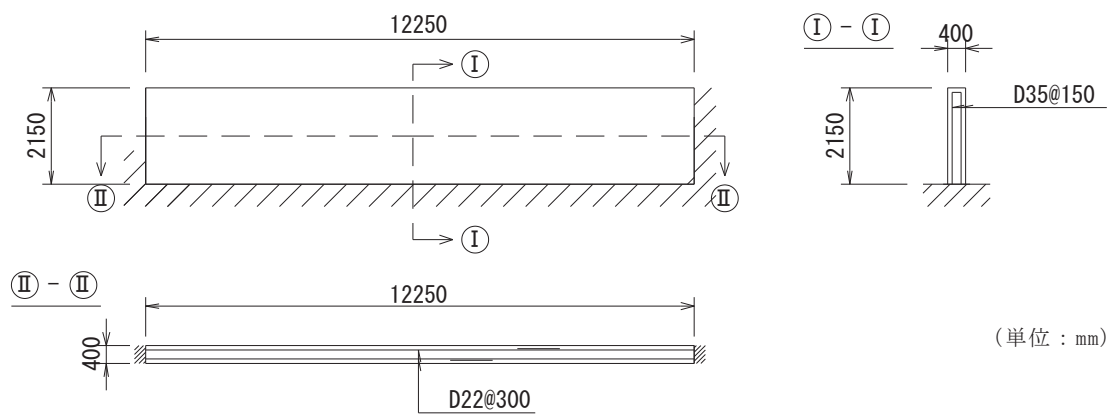


图 3-1(6) 概略配筋图 (隔壁⑥)

3.1.2 評価構造物諸元

隔壁の諸元を表 3-1 に示す。

表 3-1 評価部位とその仕様

部位	仕様			材料		要求機能	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋		
隔壁①	11900	6600	400	20.5	SD345	地震時	支持機能
						溢水時	止水機能
隔壁②	8900	6600	400	20.5	SD345	地震時	支持機能
						溢水時	止水機能
隔壁③	5450	6600	400	20.5	SD345	地震時	支持機能
						溢水時	止水機能
隔壁④	10650	6600	400	20.5	SD345	地震時	支持機能
						溢水時	止水機能
隔壁⑤	4550	6600	400	20.5	SD345	地震時	支持機能
						溢水時	止水機能
隔壁⑥	12250	2150	400	20.5	SD345	地震時	支持機能
						溢水時	止水機能

3.2 荷重

3.2.1 考慮する荷重

地震時及び溢水時の評価にて考慮する荷重を表 3-2 に示す。

表 3-2 考慮する荷重

種別	荷重		算定方法の概要
常時荷重	固定荷重	躯体自重	・対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。
		配管荷重	・配管重量に基づいて設定する。
地震時荷重	水平慣性力		・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮し、躯体及び配管に作用する慣性力を設定する。
	鉛直慣性力		
溢水時荷重	静水圧		・機器の想定破損時に生じる溢水による床面からの最大水位を考慮する。

3.2.2 地震時の荷重

地震時の評価において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 躯体自重

固定荷重として、躯体自重を考慮する。対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。

(2) 配管荷重

固定荷重として、配管荷重を考慮する。隔壁の側面には、配管荷重を部材全体に分布荷重として載荷する。

(3) 慣性力

基準地震動 S_s による躯体及び配管に作用する慣性力を考慮する。

慣性力は、海水ポンプ室の地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材の各節点の応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置の一例を図3-2に示す。水平方向及び鉛直方向の加速度の抽出位置は、鉄筋コンクリート部材位置に当たる全節点とする。基準地震動 S_s 波（7波）に水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた14波を包絡させた応答加速度を作成し、このうち最も大きい加速度を震度換算して、保守的に躯体全体に一様に載荷する。

なお、荷重の載荷方向を考慮し、応答加速度は、隔壁①、②、④、⑤、⑥は海水ポンプ室（補機ポンプエリア）の東西断面（弱軸断面）、隔壁③は南北断面（強軸断面）の地震応答解析から算出する。

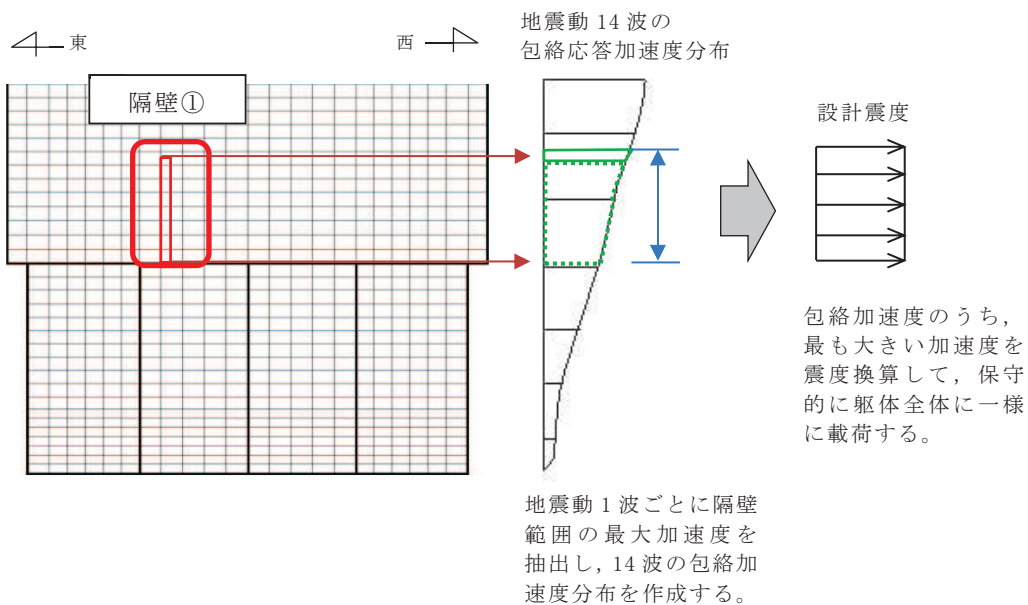


図 3-2(1) 応答加速度の抽出位置と設計震度の算出方法（隔壁①の例）

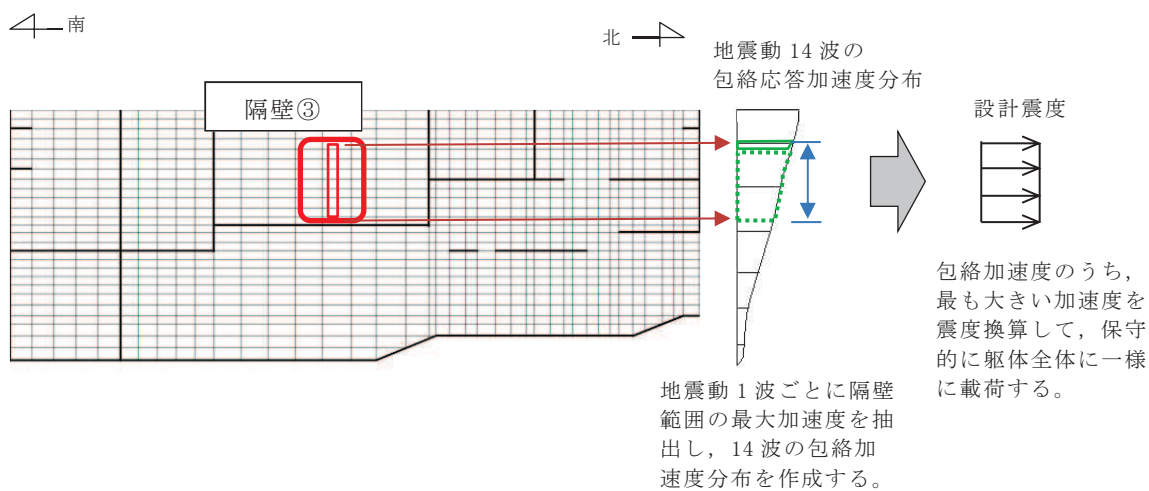


図 3-2(2) 応答加速度の抽出位置と設計震度の算出方法（隔壁③の例）

3.2.3 溢水時の荷重

溢水時の評価において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 躯体自重

固定荷重として、躯体自重を考慮する。対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。

(2) 配管荷重

固定荷重として、配管荷重を考慮する。隔壁の側面には、配管荷重を部材全体に分布荷重として載荷する。

(3) 静水圧

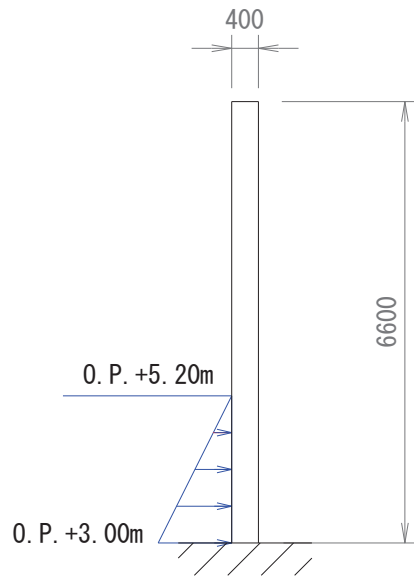
単一機器の想定破損に伴う溢水時の最大水位を、静水圧分布荷重として考慮する。各系統の機器の想定破損に伴う最大水位を表 3-3 に示す。

隔壁については、壁により系統が分離され、単一機器の想定破損に伴う溢水を対象とすることから、片側からの水圧を作用させる。作用荷重の概念図の一例を図 3-3 に示す。

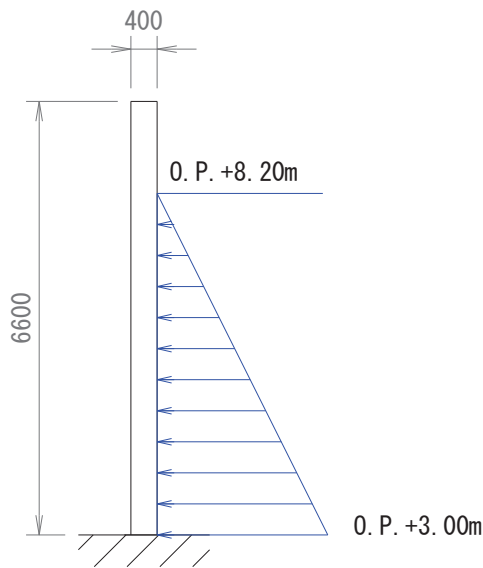
表 3-3 各系統の機器の想定破損に伴う最大水位

各系統*	最大水位	備考
RSW ポンプ室 (A 系)	静水面 0. P. +6. 20m	床面 (0. P. +3. 00m) から 3. 20m
TSW ポンプ室	静水面 0. P. +5. 20m	床面 (0. P. +3. 00m) から 2. 20m
HPSW ポンプ室	静水面 0. P. +8. 20m	床面 (0. P. +3. 00m) から 5. 20m
RSW ポンプ室 (B 系)	静水面 0. P. +4. 60m	床面 (0. P. +3. 00m) から 1. 60m

注記* : 海水ポンプ室補機ポンプエリアの系統の分離図は図 2-4 に示す。



荷重図 (TSW ポンプの溢水時ケース)



荷重図 (HPSW ポンプの溢水時ケース) (単位 : mm)

図 3-3 作用荷重の概念図 (静水圧 : 隔壁③の例)

3.2.4 荷重の組合せ及び解析ケース

(1) 地震時

地震時の荷重の組合せを表 3-4 に、入力荷重の一覧を表 3-5 に、解析ケースを表 3-6 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	固定荷重＋地震時荷重

表 3-5 入力荷重の一覧（地震時）

入力荷重		地震応答解析から抽出する応答値	載荷位置
固定荷重	躯体自重，配管荷重	－	躯体全体
地震時荷重	慣性力	躯体の慣性力	躯体全体
		配管の慣性力	躯体全体

表 3-6 地震時の解析ケース

解析ケース	荷重条件
ケース 1	固定荷重＋水平慣性力＋鉛直慣性力（下向き）
ケース 2	固定荷重＋水平慣性力＋鉛直慣性力（上向き）

(2) 溢水時

溢水時の荷重の組合せを表 3-7 に、入力荷重の一覧を表 3-8 に、解析ケースを表 3-9 に示す。

表 3-7 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
溢水時	固定荷重+溢水時荷重

表 3-8 入力荷重の一覧 (溢水時)

入力荷重		算出方法	載荷位置
固定荷重	躯体自重, 配管荷重	躯体自重は対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。配管荷重は、配管の重量に基づき設定する。	躯体全体
溢水時荷重	静水圧	各系統での単一機器の想定破損による最大水位	床面～最大水位

表 3-9 溢水時の解析ケース

部位	解析ケース	設定水位
隔壁①	ケース 1	RSW ポンプ室エリア (B 系) の水位
	ケース 2	TSW ポンプ室エリアの水位
隔壁②	ケース 1	RSW ポンプ室エリア (B 系) の水位
	ケース 2	HPSW ポンプ室エリアの水位
隔壁③	ケース 1	TSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 2	HPSW ポンプ室エリアの水位
隔壁④	ケース 1	TSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 2	RSW ポンプ室エリア (A 系) の水位
隔壁⑤	ケース 1	TSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 2	HPSW ポンプ室エリアの水位
隔壁⑥*	—	隔壁⑥には水圧は作用しない

注記* : 隔壁⑥は、躯体下端が O.P. +8.85m であり、RSW ポンプ室 (A 系)、TSW ポンプ室、HPSW ポンプ室の各系統の溢水による最大水位より、標高が高いことから、止水機能に対する評価の対象外となる。

3.3 構造解析

3.3.1 解析方法

隔壁は、線形シェル要素を用いた三次元静的線形解析により評価を行う。解析コードは「Soil Plus Dynamic 2015 Build3」を使用する。

3.3.2 構造物のモデル化

壁部材である隔壁は、構造部材を線形シェル要素でモデル化する。モデル概念図を図3-4に示す。

図2-3に示すとおり、隔壁①、隔壁③、隔壁④には水密扉が設置されているが、水密扉部分は重量が大きい鉄筋コンクリート壁としてモデル化することで、地震時の慣性力を保守的に評価する。なお、水密扉の周辺には開口補強筋を配置し、構造上の弱部とならないよう設計上の配慮を行っている。

3.3.3 境界条件

隔壁の境界は、部材が厚く剛性が大きい海水ポンプ室本体（隔壁及び中床版）及び強軸方向で剛性の大きい壁部材に支持されていること、また、境界部は、鉄筋で一体化されていることから、各隔壁の境界は固定条件とする。

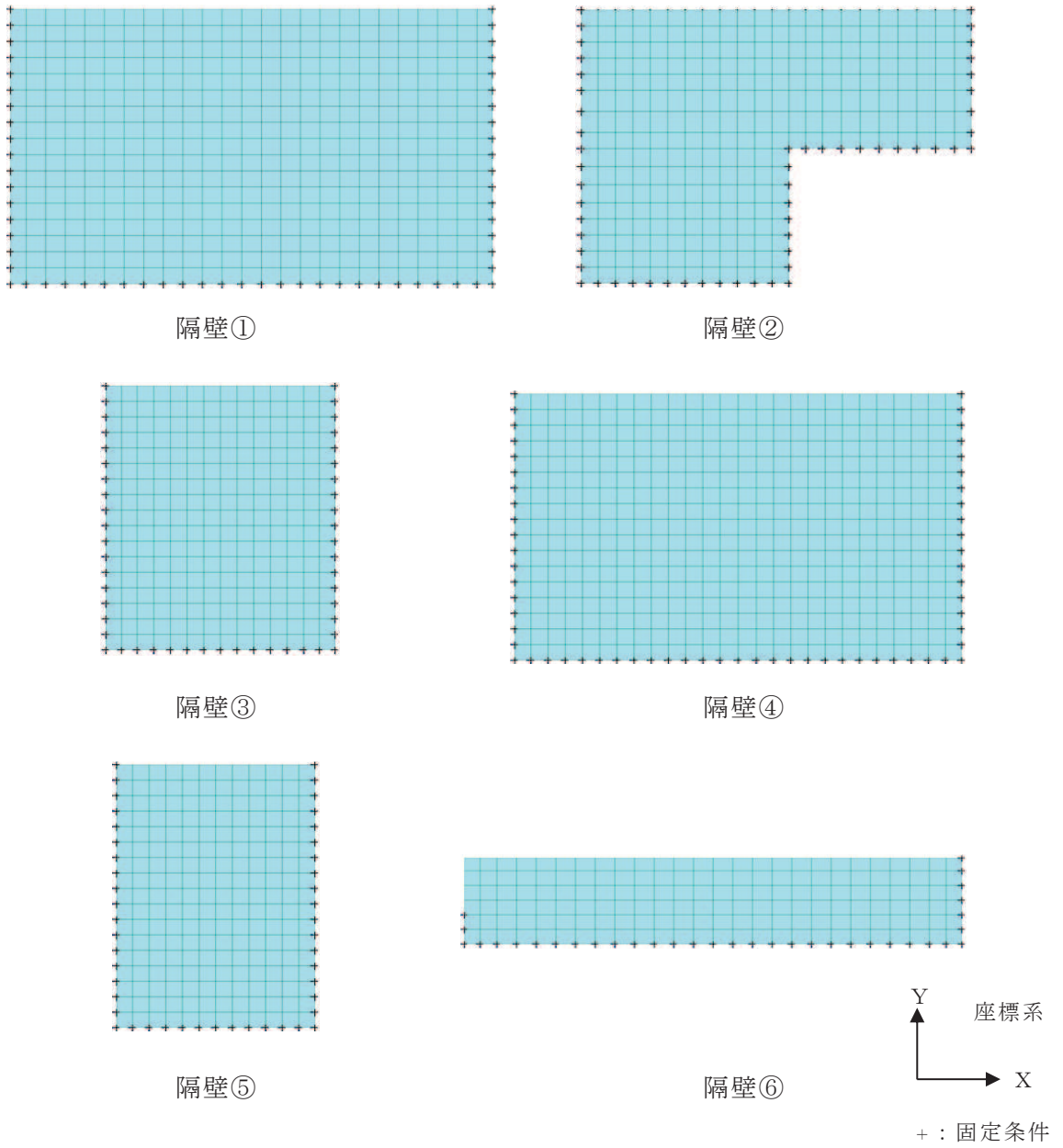


図 3-4 解析モデルの概念図

3.4 許容限界

3.4.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

線形シェル要素によりモデル化する隔壁の構造強度を有することの確認，Sクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認，及び止水機能を損なわないことの確認における，曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は，表3-10及び表3-11に示す短期許容応力度とする。

なお，隔壁は，短期許容応力度により照査を行うため，地震時におけるSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認は，構造強度を有することの許容限界と同一となることから，すべての隔壁に対して構造強度を有することを確認することで，Sクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表3-10 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)
	$f'_{ck} = 20.5$ (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	7.8
許容せん断応力度 τ_{a1}		0.42	0.63

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3-11 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。

3.4.2 せん断破壊に対する許容限界

線形シェル要素によりモデル化する隔壁の構造強度を有することの確認，Sクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認，及び止水機能を損なわないことの確認における，せん断破壊に対する許容限界は，表3-10及び表3-11に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

3.5 評価結果

3.5.1 構造強度を有することに対する評価結果

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する照査について、各隔壁における最大照査値を表 3-12 及び表 3-13 に示す。コンクリート及び鉄筋に対する照査のうち、最大照査値となる隔壁②の断面力分布図を図 3-5 に示す。またシェル要素における断面力の方向を図 3-6 に示す。

同表より、コンクリート及び鉄筋の発生応力度が、全隔壁において短期許容応力度を下回ることを確認した。

表 3-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）（地震時）

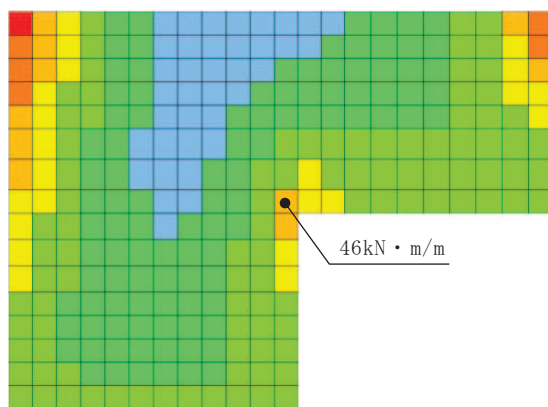
部位	解析ケース	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力* (kN/m)	発生応力度 σ'_{c} (N/mm ²)	短期 許容応力度 $\sigma'_{c a}$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'_{c} / \sigma'_{c a}$
隔壁①	ケース 1	161	76	10.0	11.7	0.86
隔壁②	ケース 2	83	5	8.9	11.7	0.77
隔壁③	ケース 1	23	103	2.7	11.7	0.24
隔壁④	ケース 1	126	66	7.8	11.7	0.67
隔壁⑤	ケース 1	25	85	3.0	11.7	0.26
隔壁⑥	ケース 2	49	2	3.2	11.7	0.28

注記*：軸力は引張が正

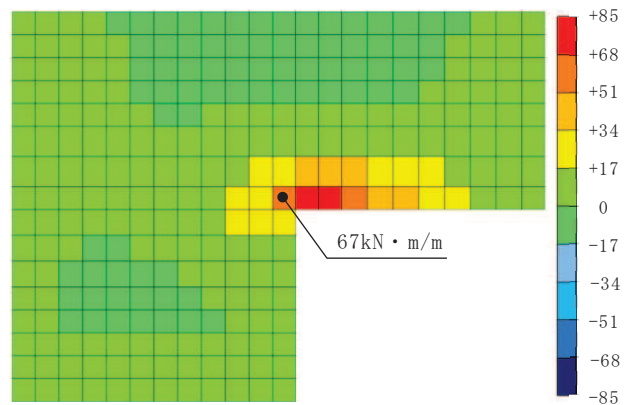
表 3-13 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）（地震時）

部位	解析ケース	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力* (kN/m)	発生応力度 σ'_{s} (N/mm ²)	短期 許容応力度 $\sigma'_{s a}$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'_{s} / \sigma'_{s a}$
隔壁①	ケース 1	69	26	274.5	294	0.94
隔壁②	ケース 1	46	56	290.9	294	0.99
隔壁③	ケース 1	23	103	210.4	294	0.72
隔壁④	ケース 1	100	53	239.4	294	0.82
隔壁⑤	ケース 1	25	85	205.3	294	0.70
隔壁⑥	ケース 1	32	42	109.1	294	0.38

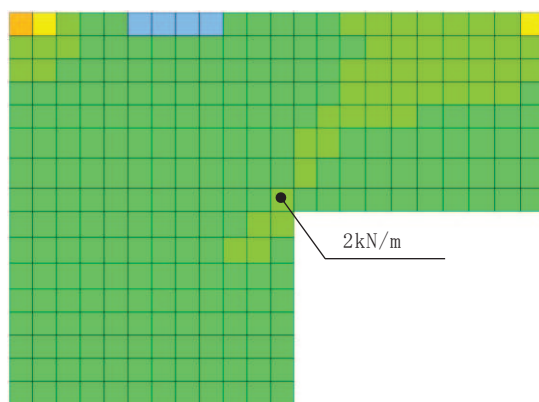
注記*：軸力は引張が正



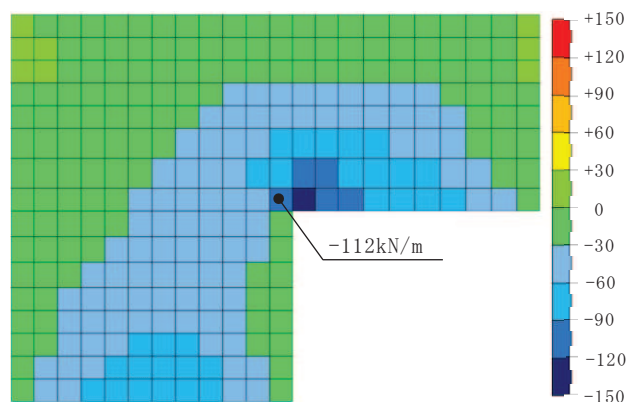
曲げモーメント (kN・m/m) : M_x



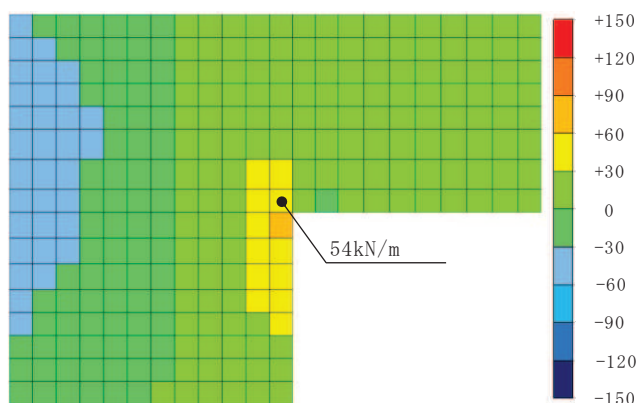
曲げモーメント (kN・m/m) : M_y



軸力 (kN/m) : N_x



軸力 (kN/m) : N_y



面内せん断力 (kN/m) : $N_{x y}$

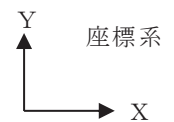


図 3-5 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(地震時, 解析ケース 1, 隔壁②)

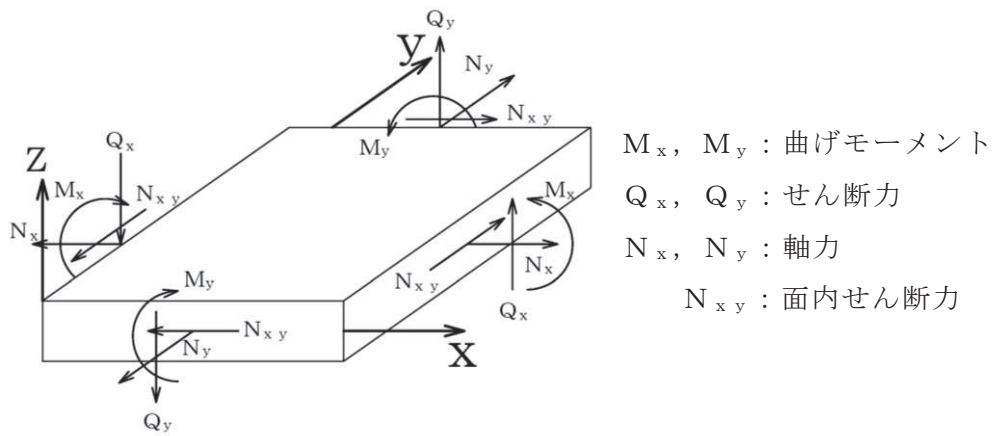


図 3-6 シェル要素における断面力の方向

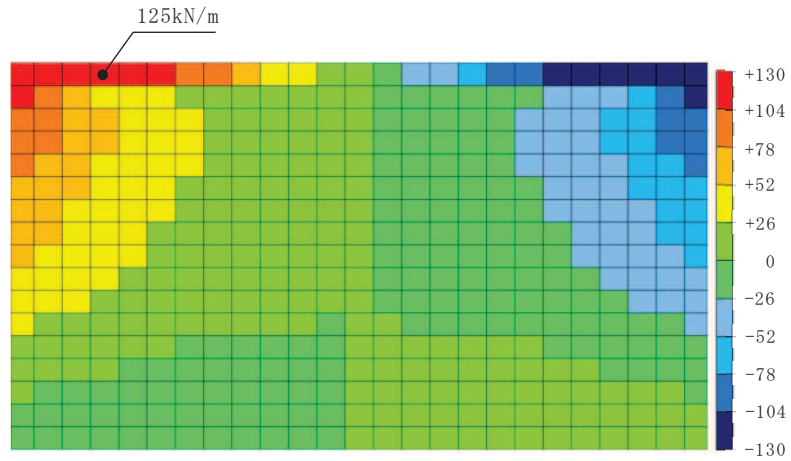
(2) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する照査について、各隔壁における最大照査値を表 3-14 に、最大照査値となる隔壁①の断面力分布図を図 3-7 に示す。また、水密扉を有する隔壁③及び隔壁④の断面力分布図を図 3-8 に示す。

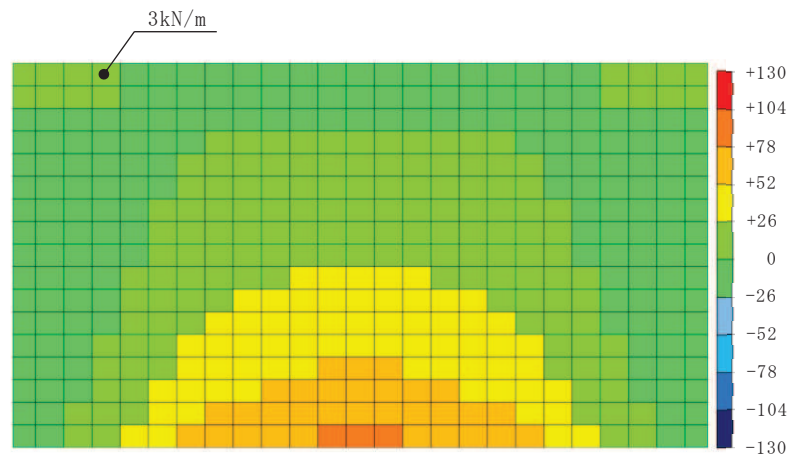
同表より、発生せん断力が、短期許容せん断力を下回ることを確認した。また、水密扉を有する隔壁①、隔壁③及び隔壁④について、最大照査値を示す箇所はいずれも壁面の左上端部付近であり、壁面下端に設置される水密扉の位置はいずれもせん断破壊に対する評価において、厳しくない箇所であることを確認した。

表 3-14 せん断破壊に対する照査（地震時）

部位	解析ケース	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V / V _a
隔壁①	ケース 1	125	164	0.77
隔壁②	ケース 1	84	164	0.52
隔壁③	ケース 1	30	164	0.19
隔壁④	ケース 1	104	164	0.64
隔壁⑤	ケース 1	39	164	0.24
隔壁⑥	ケース 1	70	164	0.43



せん断力 (kN/m) : Q_x



せん断力 (kN/m) : Q_y

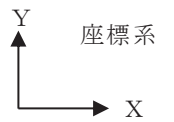


図 3-7 せん断破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(地震時, 解析ケース 1, 隔壁①)

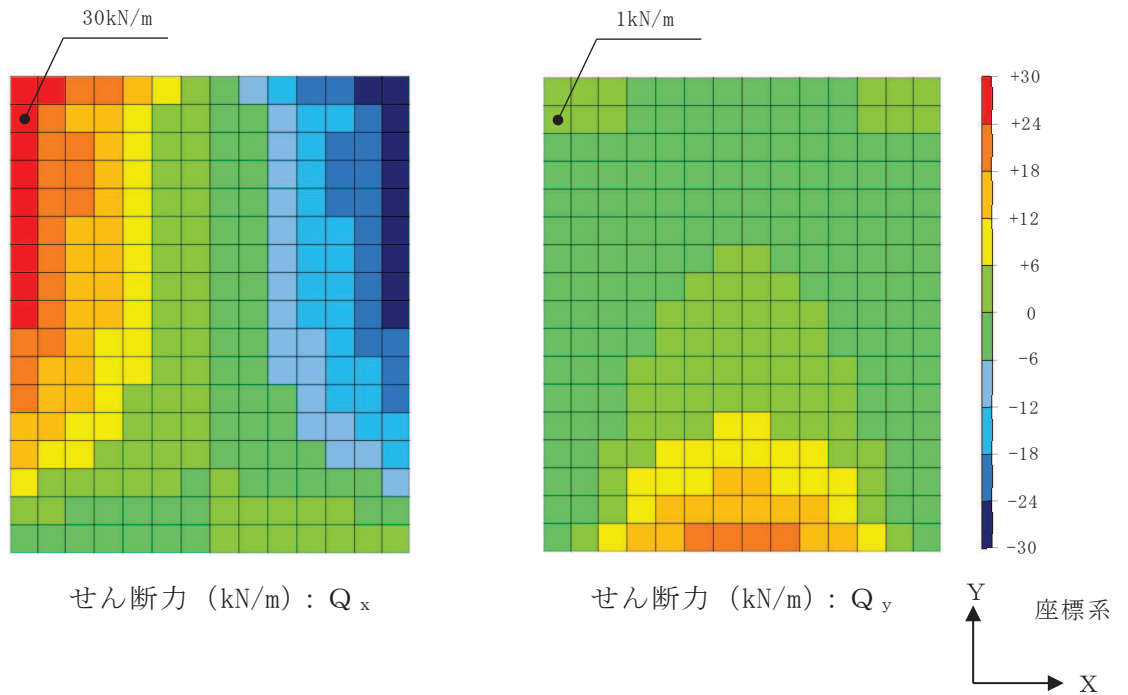


図 3-8(1) 水密扉を有する隔壁のせん断破壊に対する断面力分布図
(地震時, ケース 1, 隔壁③)

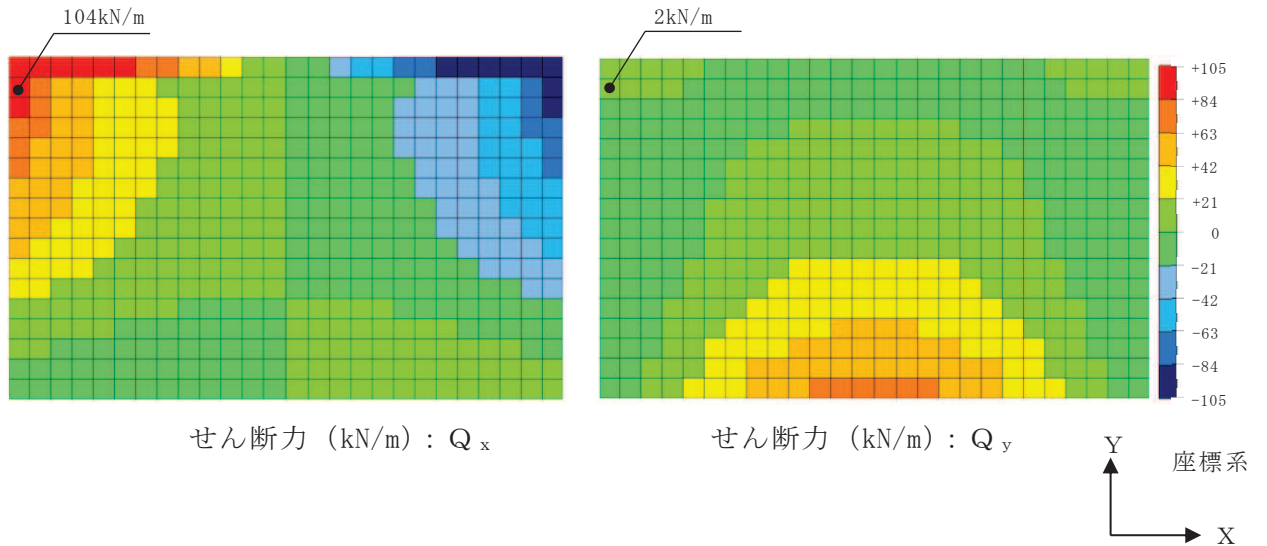


図 3-8(2) 水密扉を有する隔壁のせん断破壊に対する断面力分布図
(地震時, ケース 1, 隔壁④)

3.5.2 Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する照査について、隔壁は、短期許容応力度により照査を行うため、地震時におけるSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認は、構造強度を有することの許容限界と同一となることから、「3.5.1 構造強度を有することに対する評価結果」により、コンクリート及び鉄筋の発生応力度が、全隔壁において短期許容応力度を下回ることを確認した。

(2) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する照査について、隔壁は、短期許容応力度により照査を行うため、地震時におけるSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認は、構造強度を有することの許容限界と同一となることから、「3.5.1 構造強度を有することに対する評価結果」により、発生せん断力が、短期許容せん断力を下回ることを確認した。

3.5.3 止水機能に対する評価結果

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する照査について、各隔壁における最大照査値を表 3-15 及び表 3-16 に示す。コンクリート及び鉄筋に対する照査のうち、最大照査値となる隔壁③の断面力分布図を図 3-9 に示す。

同表より、コンクリート及び鉄筋の発生応力度が、全隔壁において短期許容応力度を下回ることを確認した。

表 3-15 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）（溢水時）

部位	解析 ケース	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力*1 (kN/m)	発生応力度 σ'_{c} (N/mm ²)	短期 許容応力度 $\sigma'_{c a}$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'_{c} / \sigma'_{c a}$
隔壁①	ケース 2	12	-64	0.8	11.7	0.07
隔壁②	ケース 2	37	41	3.6	11.7	0.31
隔壁③	ケース 2	43	-35	4.5	11.7	0.39
隔壁④	ケース 2	26	-45	2.4	11.7	0.21
隔壁⑤	ケース 2	-32	-30	3.3	11.7	0.29
隔壁⑥*2	-	-	-	-	-	-

注記*1：軸力は引張が正

*2：「3.2.4 荷重の組合せ及び解析ケース」に記載のとおり、水圧は作用しないため対象外。

表 3-16 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）（溢水時）

部位	解析 ケース	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力*1 (kN/m)	発生応力度 σ'_{s} (N/mm ²)	短期 許容応力度 $\sigma'_{s a}$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'_{s} / \sigma'_{s a}$
隔壁①	ケース 2	4	13	24.0	294.0	0.09
隔壁②	ケース 2	27	27	166.2	294.0	0.57
隔壁③	ケース 2	37	15	207.0	294.0	0.71
隔壁④	ケース 2	26	-45	42.0	294.0	0.15
隔壁⑤	ケース 2	-27	8	150.8	294.0	0.52
隔壁⑥*2	-	-	-	-	-	-

注記*1：軸力は引張が正

*2：「3.2.4 荷重の組合せ及び解析ケース」に記載のとおり、水圧は作用しないため対象外。

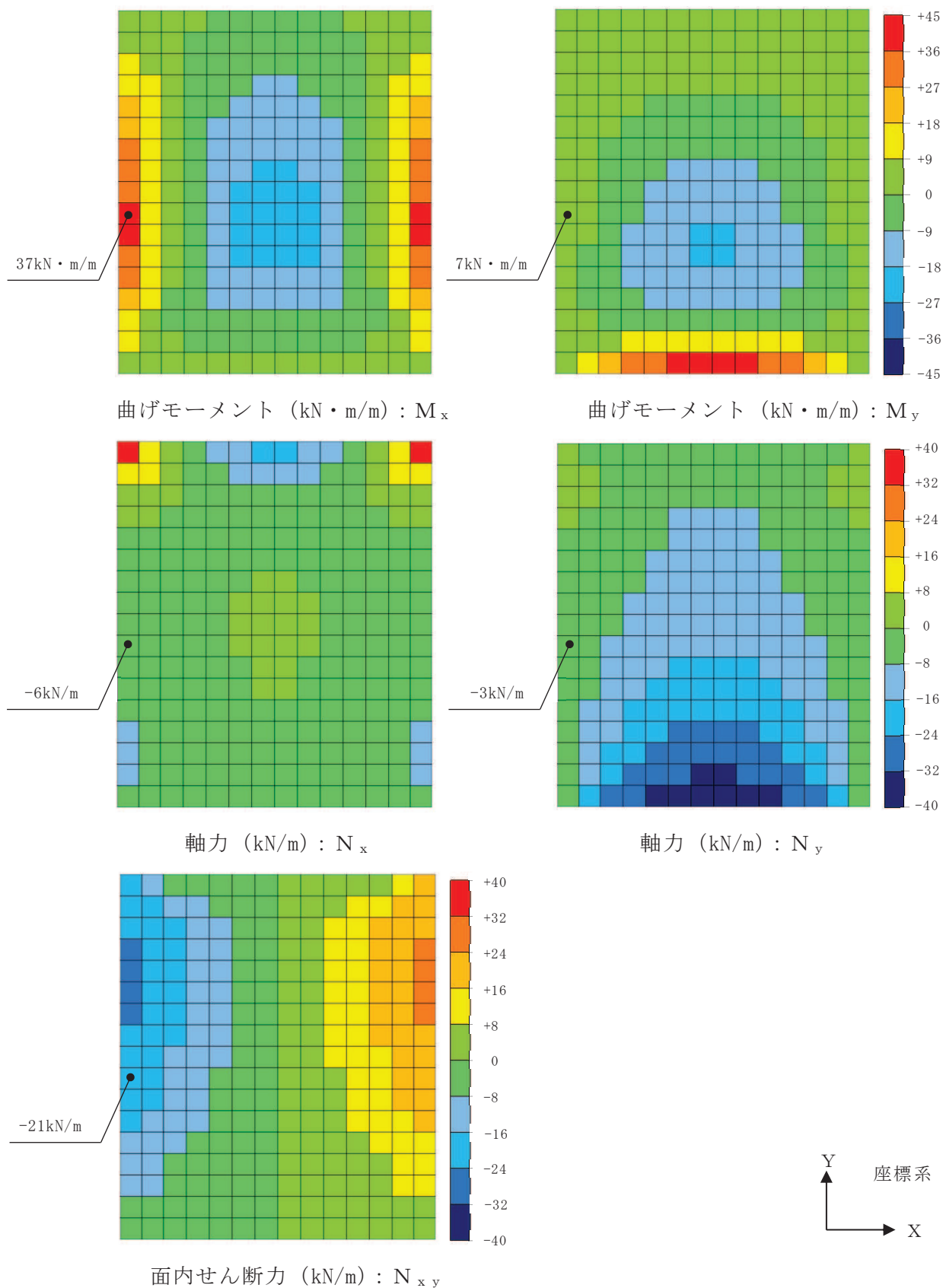


図 3-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(溢水時, 解析ケース 2, 隔壁③)

(2) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する照査について、各隔壁における最大照査値を表 3-17 に、最大照査値となる隔壁③の断面力分布図を図 3-10 に示す。

同表より、発生せん断力が、短期許容せん断力を下回ることを確認した。

表 3-17 せん断破壊に対する照査（溢水時）

部位	解析ケース	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V / V _a
隔壁①	ケース 2	22	164	0.14
隔壁②	ケース 2	72	164	0.44
隔壁③	ケース 2	83	164	0.51
隔壁④	ケース 2	44	164	0.27
隔壁⑤	ケース 2	73	164	0.45
隔壁⑥*	-	-	-	-

注記*：「3.3.3 荷重の組合せ」に記載のとおり、水圧は作用しないため対象外。

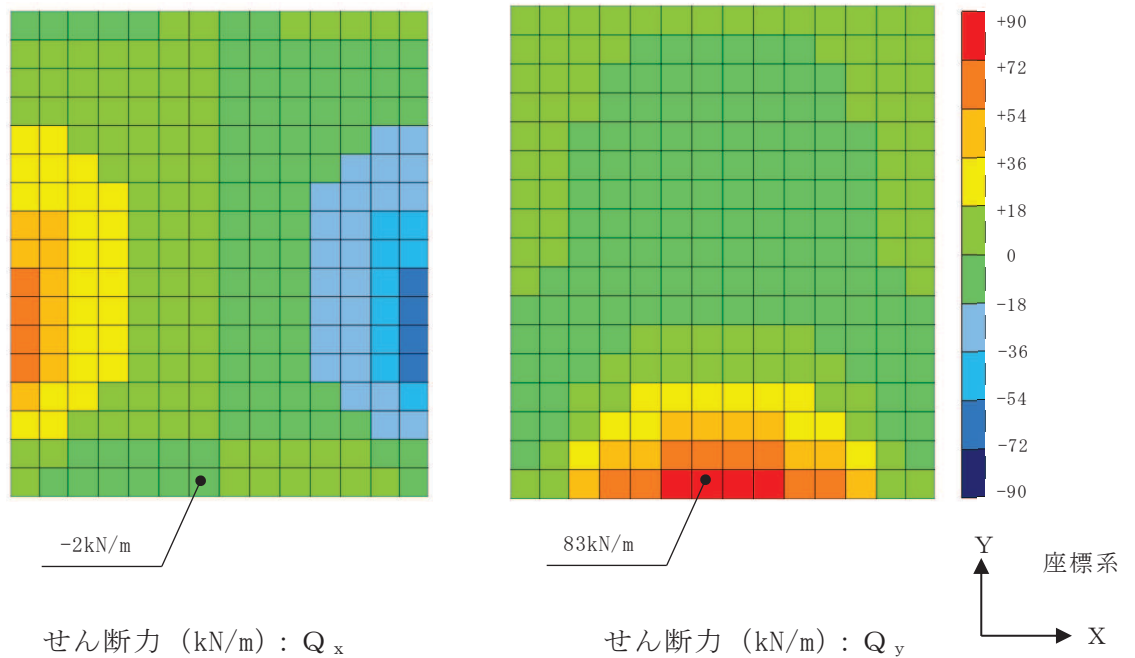


図 3-10 せん断破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(溢水時, 解析ケース 2, 隔壁③)

4. トレンチの健全性評価

4.1 構造概要及び諸元

4.1.1 構造概要

補機ポンプエリアには，図2-2及び図2-3に示すとおり，3つのトレンチが設置されている。トレンチ①～トレンチ③の概略配筋図を図4-1に示す。

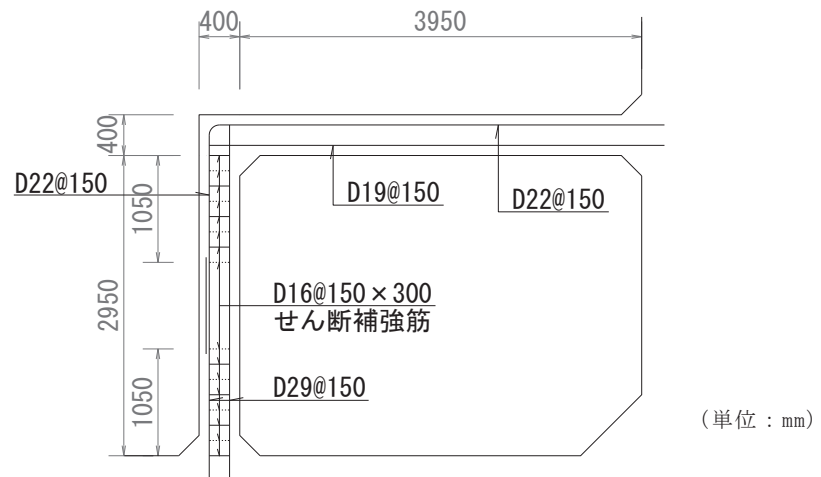


図 4-1(1) 概略配筋図 (トレンチ①)

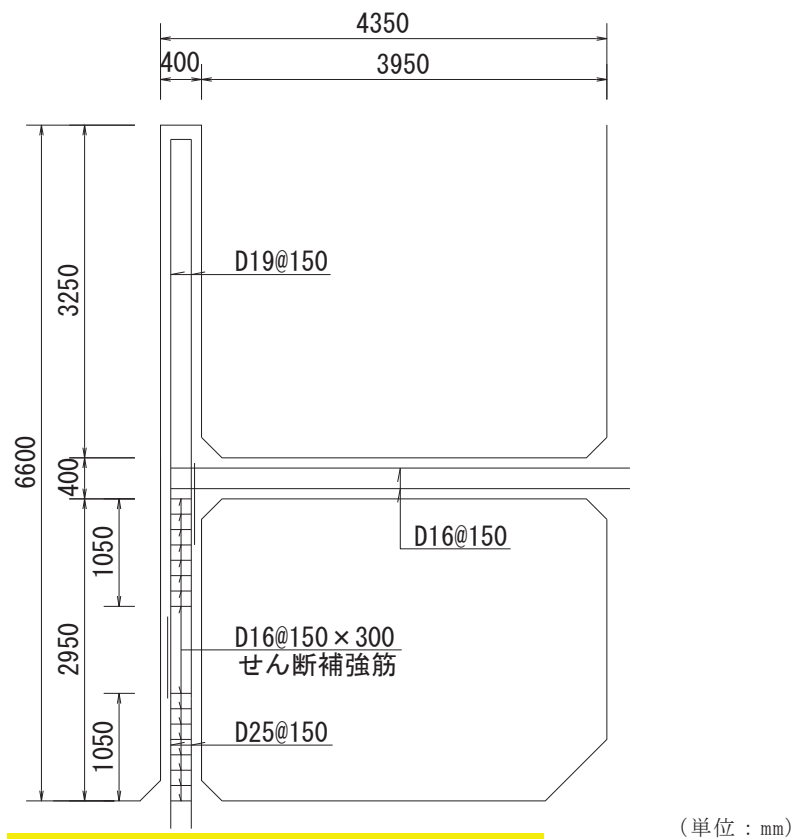


図 4-1(2) 概略配筋図 (トレンチ②)

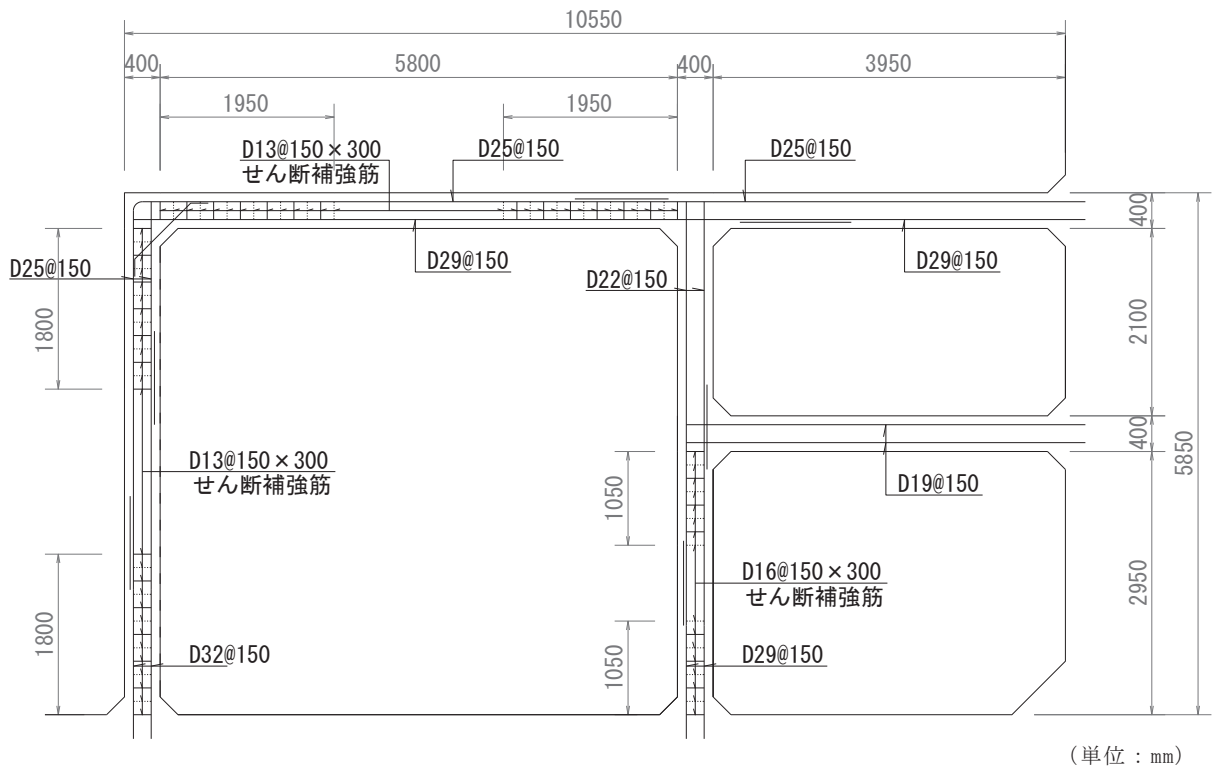


図4-1(3) 概略配筋図 (トレンチ③)

4.1.2 評価構造物諸元

トレンチの諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位とその仕様

部位	仕様		材料		要求機能	
	部材高, 部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋		
トレンチ ①	3950 (床版)	400 (床版)	20.5	SD345	地震時	支持機能
	3350 (壁)	400 (壁)			溢水時	止水機能
トレンチ ②	3950 (床版)	400 (床版)	20.5	SD345	地震時	支持機能
	6600 (壁)	400 (壁)			溢水時	止水機能
トレンチ ③	10150 (上床版)	400 (上床版)	20.5	SD345	地震時	支持機能
	3950 (下床版)	400 (下床版)			溢水時	止水機能
	5450 (上流側壁)	400 (上流側壁)				
	5850 (下流側壁)	400 (下流側壁)				

4.2 荷重

4.2.1 考慮する荷重

地震時及び溢水時の評価にて考慮する荷重を表 4-2 に示す。

表 4-2 考慮する荷重

種別	荷重		算定方法の概要
常時荷重	固定荷重	躯体自重	・対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。
		配管荷重	・配管重量に基づいて設定する。
地震時荷重	慣性力	水平慣性力	・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮し、躯体及び配管に作用する慣性力を設定する。
		鉛直慣性力	
	強制変位		・海水ポンプ室隔壁の強制変位を考慮する。
溢水時荷重	静水圧		・機器の想定破損時に生じる溢水による床面からの最大水位を考慮する。

4.2.2 地震時の荷重

地震時の評価において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 躯体自重

固定荷重として、躯体自重を考慮する。対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。

(2) 配管荷重

固定荷重として、配管荷重を考慮する。隔壁の側面には、配管荷重を部材全体に分布荷重として載荷する。

(3) 慣性力

基準地震動 S_s による躯体及び配管に作用する慣性力を考慮する。

慣性力は、海水ポンプ室の地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材の各節点の応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置の一例を図4-2に示す。水平方向及び鉛直方向の加速度の抽出位置は、鉄筋コンクリート部材位置に当たる全節点とする。基準地震動 S_s 波（7波）に水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた14波を包絡させた応答加速度を作成し、このうち最も大きい加速度を震度換算して、保守的に躯体全体に一様に載荷する。

なお、荷重の載荷方向を考慮し、応答加速度は、海水ポンプ室の南北断面（強軸断面）の地震応答解析による応答値から算出する。

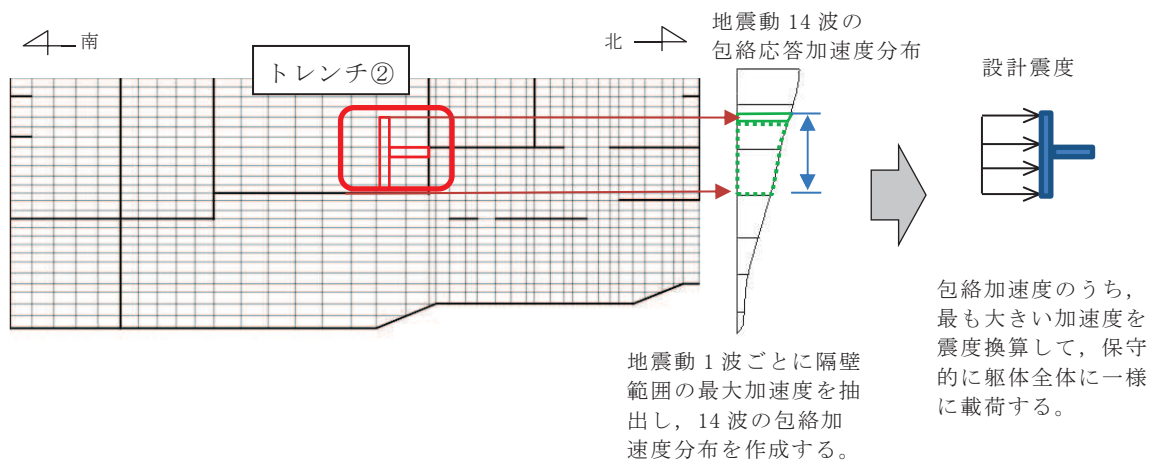


図 4-2 応答加速度の抽出位置と設計震度の算出方法（トレンチ②の例）

(4) 強制変位

トレンチは、ボックスカルバート状の構造であり、検討断面（弱軸断面）において、海水ポンプ室の隔壁と交わることから、慣性力に加え、保守的に海水ポンプ室隔壁の強制変位を考慮する。

具体的には、海水ポンプ室の地震応答解析（基準地震動 S_s 波（7 波）に水平動の位相反転を考慮した地震動（7 波）を加えた 14 波）における、トレンチと隔壁の交点における最大変位を、強制変位として交点に入力することとし、南北断面（強軸断面）の地震応答解析による応答値を用い、トレンチの下端位置と海水ポンプ室隔壁との交点高さ位置の相対変位を強制変位として考慮する。

強制変位の概念図を図 4-3 に示す。

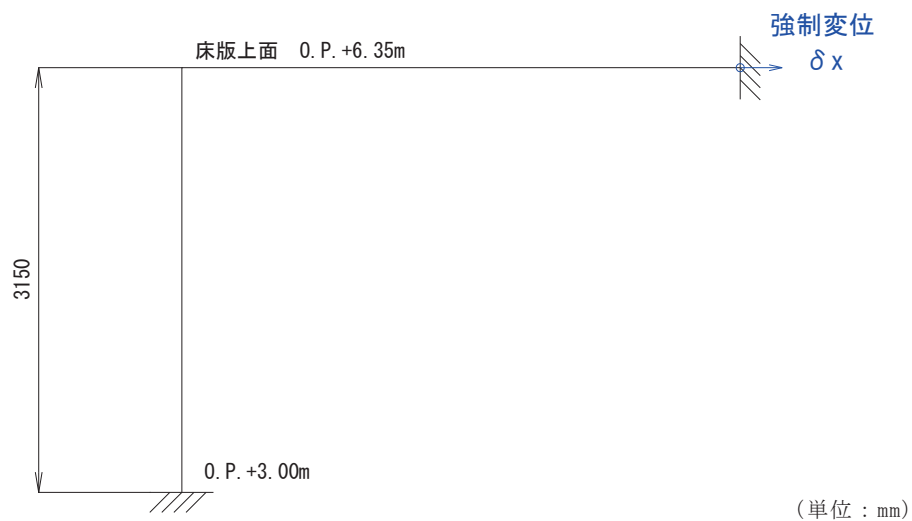


図4-3 強制変位の概念図（トレンチ①の例）

4.2.3 溢水時の荷重

溢水時の評価において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 躯体自重

固定荷重として、躯体自重を考慮する。対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。

(2) 配管荷重

固定荷重として、配管荷重を考慮する。トレンチの側面には、配管荷重を部材全体に分布荷重として載荷する。トレンチの頂版には集中荷重として載荷する。

(3) 静水圧

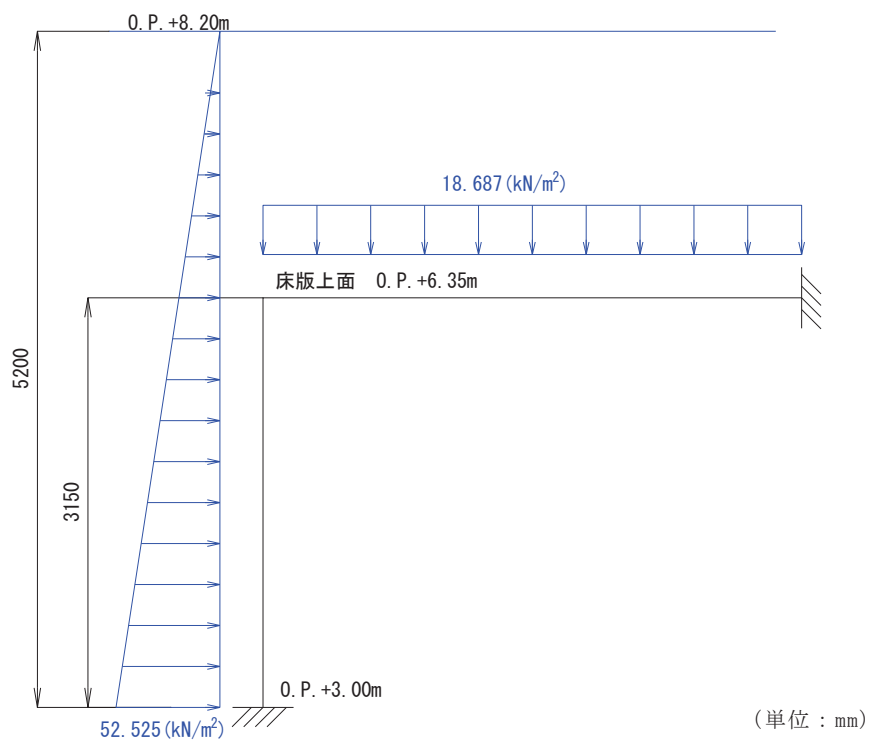
単一機器の破損に伴う溢水時の最大水位を、静水圧分布荷重として考慮する。各系統の機器破損に伴う最大水位を表 4-3 に示す。

トレンチについては、各系統での溢水ケースを別々に想定して、トレンチの各部材に水圧を作用させる。作用荷重の概念図の一例を図 4-4 に示す。

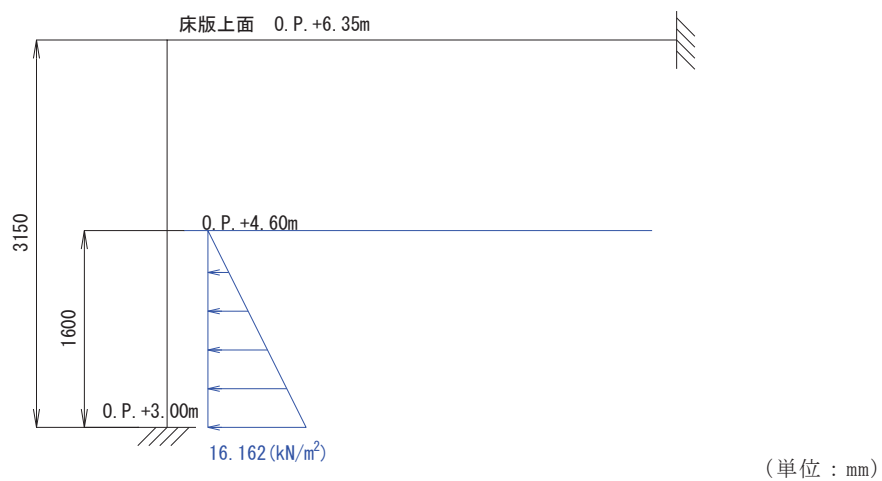
表 4-3 各系統の機器の想定破損に伴う最大水位

各系統*	最大水位	備考
RSW ポンプ室 (A 系)	静水面 0. P. +6. 20m	床面 (0. P. +3. 00m) から 3. 20m
TSW ポンプ室	静水面 0. P. +5. 20m	床面 (0. P. +3. 00m) から 2. 20m
HPSW ポンプ室	静水面 0. P. +8. 20m	床面 (0. P. +3. 00m) から 5. 20m
RSW ポンプ室 (B 系)	静水面 0. P. +4. 60m	床面 (0. P. +3. 00m) から 1. 60m

注記* : 海水ポンプ室補機ポンプエリアの系統の分離図は図 2-4 に示す。



荷重図 (HPSW ポンプの溢水時ケース)



荷重図 (RSW ポンプ (B 系) 溢水時ケース)

図 4-4 作用荷重の概念図 (水圧 : トレンチ①の例)

4.2.4 荷重の組合せ及び解析ケース

(1) 地震時

地震時の荷重の組合せを表 4-4 に、入力荷重の一覧を表 4-5 に、解析ケースを表 4-6 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	固定荷重＋地震時荷重

表 4-5 入力荷重一覧（地震時）

入力荷重		地震応答解析から抽出する応答値	載荷位置
固定荷重	躯体自重，配管荷重	—	躯体全体
地震時荷重	慣性力	躯体の慣性力	躯体全体
		配管の慣性力	躯体全体
	強制変位*		応答変位

注記*：トレンチの評価については、検討断面（弱軸断面）と海水ポンプ室隔壁が交わることから、慣性力（最大応答加速度）に加え、海水ポンプ室縦断方向の地震応答解析から算出される海水ポンプ室隔壁の最大応答変位を保守的に強制変位として考慮する。

表 4-6 地震時の解析ケース

部位	解析ケース	入力荷重
トレンチ ①～③	ケース 1	水平慣性力（右向き）＋鉛直慣性力（下向き）＋強制変位*
	ケース 2	水平慣性力（右向き）＋鉛直慣性力（上向き）＋強制変位*
	ケース 3	水平慣性力（左向き）＋鉛直慣性力（下向き）＋強制変位*
	ケース 4	水平慣性力（左向き）＋鉛直慣性力（上向き）＋強制変位*

注記*：強制変位は、水平慣性力と同方向に作用させる。

(2) 溢水時

溢水時の荷重の組合せを表 4-7 に、入力荷重の一覧を表 4-8 に、解析ケースを表 4-9 に示す。

表 4-7 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
溢水時	固定荷重+溢水時荷重

表4-8 入力荷重一覧（溢水時）

入力荷重		算出方法	載荷位置
固定荷重	躯体自重, 配管荷重	躯体自重は対象構造物の体積に材料の単位体積重量を乗じて設定する。配管荷重は、配管の重量に基づき設定する。	躯体全体
溢水時荷重	静水圧	各系統での単一機器の破損による最大水位	床面～最大水位

表 4-9 溢水時の解析ケース

部位	解析ケース	設定水位
トレンチ①	ケース 1	HPSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 2	RSW ポンプ室エリア (B 系) の水位
トレンチ②	ケース 1	HPSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 2	TSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 3	RSW ポンプ室エリア (B 系) の水位
トレンチ③	ケース 1	HPSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 2	TSW ポンプ室エリアの水位
	ケース 3	RSW ポンプ室エリア (A 系) の水位
	ケース 4	RSW ポンプ室エリア (B 系) の水位

4.3 構造解析

4.3.1 解析方法

トレンチは、非線形はり要素であるファイバーモデルを用いて二次元静的非線形解析による評価を行う。解析コードは「TDAP 3.10.01」を使用する。

4.3.2 構造物のモデル化

ボックスカルバート状の線状構造物であるトレンチは、構造部材を非線形はり要素でモデル化する。解析モデルの概念図を図4-5に示す。

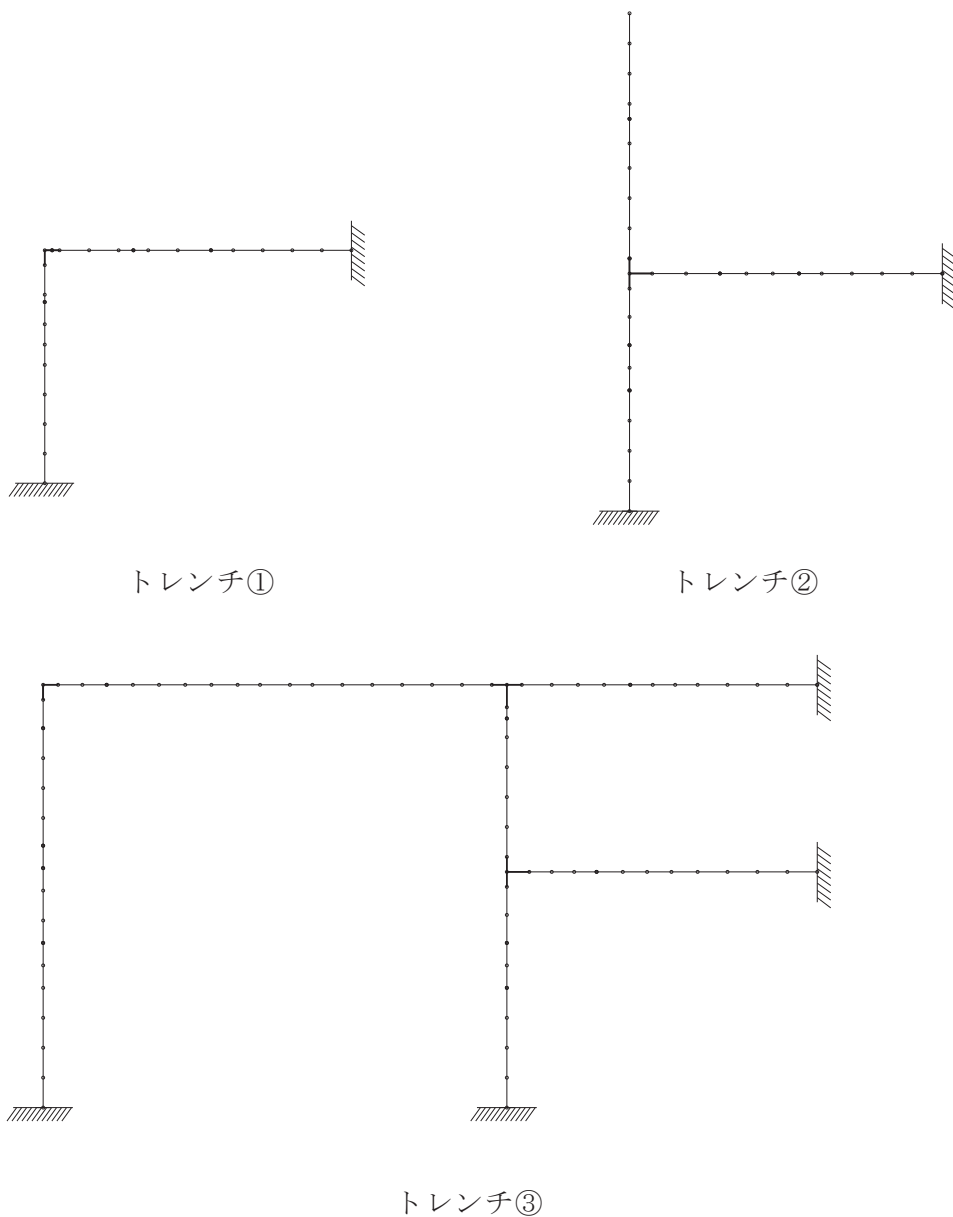


図4-5 解析モデルの概念図

4.3.3 境界条件

トレンチの境界は、部材が厚く剛性の大きい海水ポンプ室本体（隔壁及び中床版）と交わり、トレンチとの境界は鉄筋で一体化されていることから、境界部は固定条件とする。

4.3.4 材料の非線形特性

トレンチの評価において、非線形はり要素であるファイバーモデルを用いる材料の非線形特性は、コンクリート標準示方書に基づき設定する。

ファイバーモデルの概念図を図 4-6 に、ファイバーモデルに用いるコンクリートの応力-ひずみ関係、及び鉄筋の応力-ひずみ関係を図 4-7 に示す。

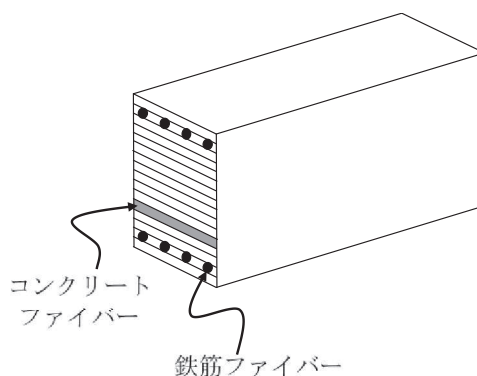


図 4-6 ファイバーモデルの概念図

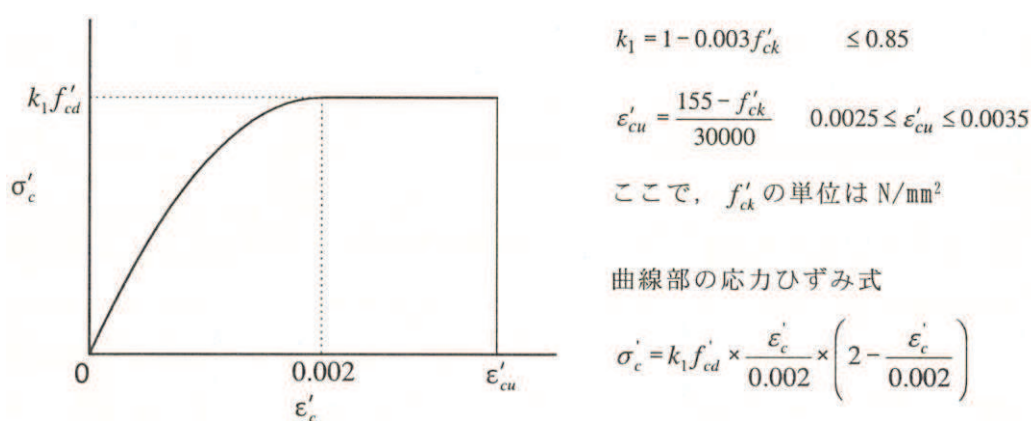


図 4-7(1) コンクリートの応力-ひずみ関係
(コンクリート標準示方書より引用)

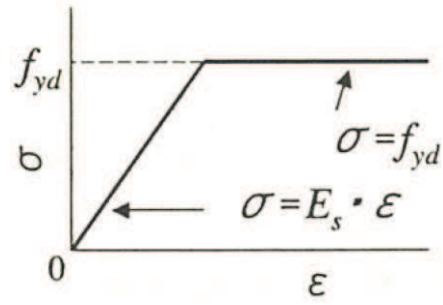


図 4-7(2) 鉄筋の応力-ひずみ関係
(コンクリート標準示方書より引用)

4.4 許容限界

4.4.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

非線形はり要素によりモデル化するトレンチの、地震時の構造強度を有することの確認における許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ：1.0%（10000 μ ））とする。

また、地震時のSクラスの施設を支持する機能を損なわないこと、及び溢水時の止水機能を損なわないことの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ：2000 μ ，主筋ひずみ：1725 μ ）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表4-10に示す。

表4-10 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%（10000 μ ）*1
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと		圧縮ひずみ：2000 μ *2 主筋ひずみ：1725 μ *2
止水機能を損なわないこと		圧縮ひずみ：2000 μ *2 主筋ひずみ：1725 μ *2

注記*1： $\gamma_i \cdot \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_R} < 1.0$

ここで、

γ_i ：構造物係数（ $\gamma_i=1.0$ ）

ε_R ：限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ：10000 μ ）

ε_d ：照査用ひずみ（ $\varepsilon_d = \gamma_a \cdot \varepsilon$ ）

γ_a ：構造解析係数（ $\gamma_a=1.2$ ）

ε ：圧縮縁の発生ひずみ

注記*2： $\gamma_i \cdot \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_R} < 1.0$

ここで、

γ_i ：構造物係数（ $\gamma_i=1.0$ ）

ε_R ：限界ひずみ（圧縮ひずみ：2000 μ ，主筋ひずみ：1725 μ ）

ε_d ：照査用ひずみ（ $\varepsilon_d = \gamma_a \cdot \varepsilon$ ）

γ_a ：構造解析係数（ $\gamma_a=1.2$ ）

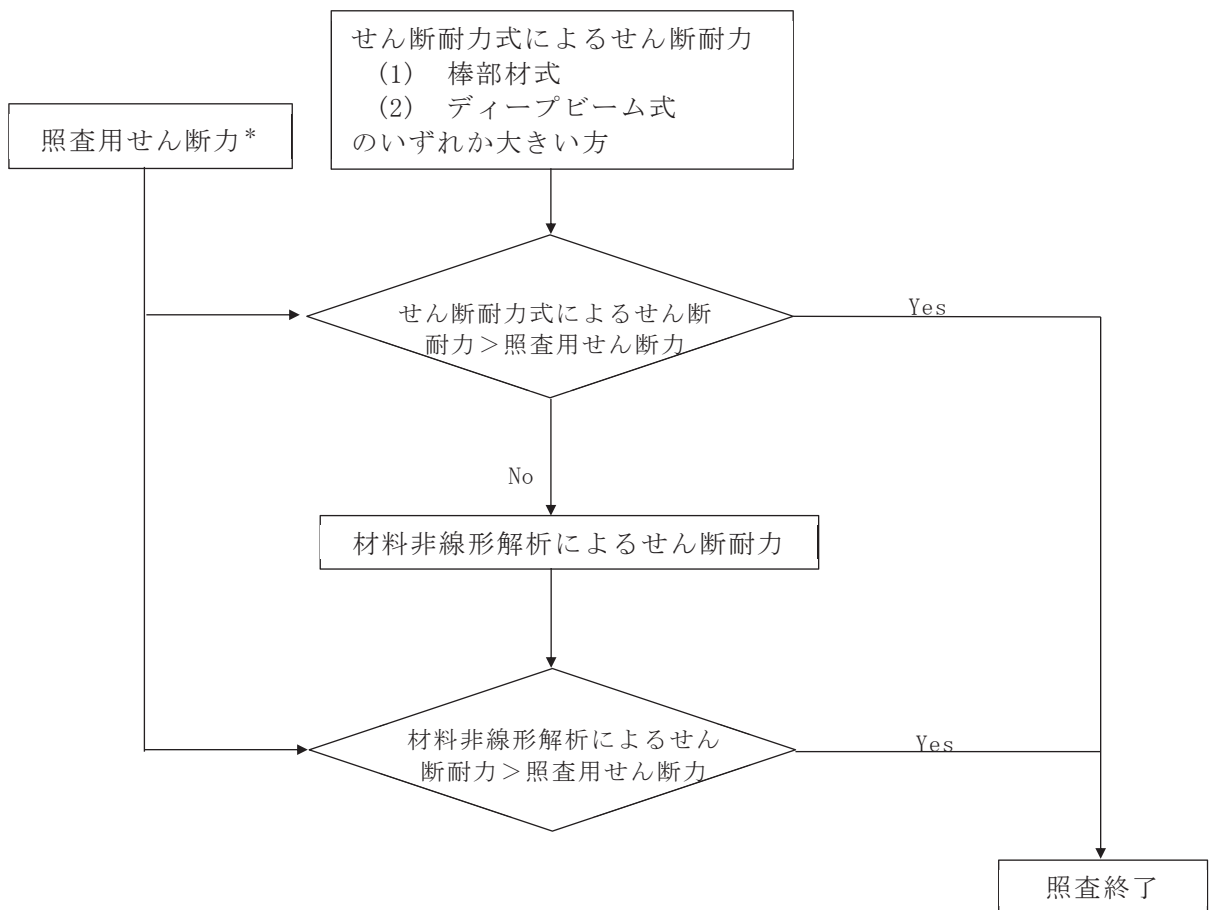
ε ：発生ひずみ

4.4.2 せん断破壊に対する許容限界（せん断耐力式によるせん断耐力）

非線形はり要素によりモデル化するトレンチの構造強度を有することの確認，Sクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認，及び止水機能を損なわないことの確認における，せん断破壊に対する許容限界は，土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。

せん断耐力は，土木学会マニュアルに基づき「(1) 棒部材式」，「(2) ディープビーム式」のせん断耐力式で求まるせん断耐力のうち，いずれか大きい方とする。

また，せん断耐力式による照査において照査用せん断力が上記のせん断耐力を上回る場合，材料非線形解析により部材のせん断耐力を求め許容限界とする。せん断破壊に対する照査フローを図4-8に示す。



注記*：照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数}$

図4-8 せん断破壊に対する照査フロー

a. 棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで、 $V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

$$f_{v c d} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{c d}} \quad \text{ただし、} f_{v c d} > 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{) となる場合は}$$

$$f_{v c d} = 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1 / d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2 M_0 / M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a / d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は } \beta_a = 1.0$$

ここで、 $f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm²)で設計基準強度 $f'_{c k}$ を材料係数 $\gamma_{m c}$ で除したもの

$$p_v : \text{引張鉄筋比} \quad p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

M_0 : M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$$M_0 = N'_d \cdot D / 6$$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数

γ_{mc} : 材料係数

$$V_{sd} = \left\{ A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z / \gamma_{bs}$$

A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度を γ_{ms} で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上のときは 800N/mm^2 以下とする。

α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強鉄筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。

γ_{bs} : 部材係数

γ_{ms} : 材料係数

b. ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで、 V_{ydd} : せん断耐力

V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = \frac{5}{1 + (a/d)^2}$$

ここで、 γ_{bc} : 部材係数

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$$\phi = -0.17 + 0.3 a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし } 0 \leq \phi \leq 1$$

ここで、 p_{wb} : せん断補強鉄筋比 (%)

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能な係数 β_a を考慮している。これは、地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の载荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式による評価においては、表4-11に示すとおり、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

表4-11 せん断耐力式による評価において考慮している安全係数

安全係数			せん断照査		内容
			応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	γ_{mc}	1.0	1.3	コンクリートが負担するせん断力を低減
	鉄筋	γ_s	1.0	1.0	—
部材係数*	コンクリート	γ_{bc}	—	1.3	コンクリートが負担するせん断力を低減
	鉄筋	γ_{bs}	—	1.1	せん断補強筋が負担するせん断力を低減
構造解析係数		γ_a	1.05	—	応答値(断面力)の割り増し

注記*：土木学会マニュアルでは、部材係数 $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$

$$\gamma_{b1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

$$\gamma_{b2} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.01) \\ (100R + 2)/3 & (0.01 < R \leq 0.025) \\ 1.5 & (R > 0.025) \end{cases}$$

ここで、R：応答層間変形角とされている。

γ_{b2} は層間変形角の値によらず、部材が降伏していない状態であれば、 $\gamma_{b2} = 1.0$ としてよいとされている。解析結果からトレンチの鉄筋コンクリート部材については降伏が認められなかったため、 $\gamma_{b2} = 1.0$ とする。

4.4.3 せん断破壊に対する許容限界（材料非線形解析によるせん断耐力）

(1) 評価条件

図 4-8 のせん断破壊に対する照査フローに示すとおり、照査用せん断力が、せん断耐力式によるせん断耐力を上回る場合は、材料非線形解析によりせん断耐力を算定し、せん断耐力が照査用せん断力を上回ることを確認する。

「4.4.2 せん断破壊に対する許容限界（せん断耐力式によるせん断耐力）」で示したせん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断照査を行う。

表 4-12 及び表 4-13 に材料非線形解析の概要を示す。

材料非線形解析は、90 年代までに、ひび割れの進展モデルや破壊エネルギーの概念等、基本となるモデルが提示され、様々な問題に適用されながら有効性と信頼性を高めており、コンクリート標準示方書 2017 や土木学会マニュアル等で取り扱われている。

材料非線形解析にて用いる鉄筋コンクリートの構成則については種々あるが、ここでは、現在までに実務でも使用され、適用性と信頼性が確認されており、コンクリート標準示方書 2017 において標準とされる以下の手法とする。

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。

なお、材料非線形解析の適用に当たっては、当該構造物の構造的な特徴や荷重条件が類似する既往の実験等から得られたせん断耐力と、材料非線形解析によるせん断耐力を比較し、その適用性を判断した上で、モデル化や各種パラメータの設定に係る解析者の差を考慮した安全係数を設定する。

材料非線形解析においては、解析コード「WCOMD Studio Ver.1.00.02」を使用する。

表 4-12 材料非線形解析の位置付け（土木学会マニュアル）

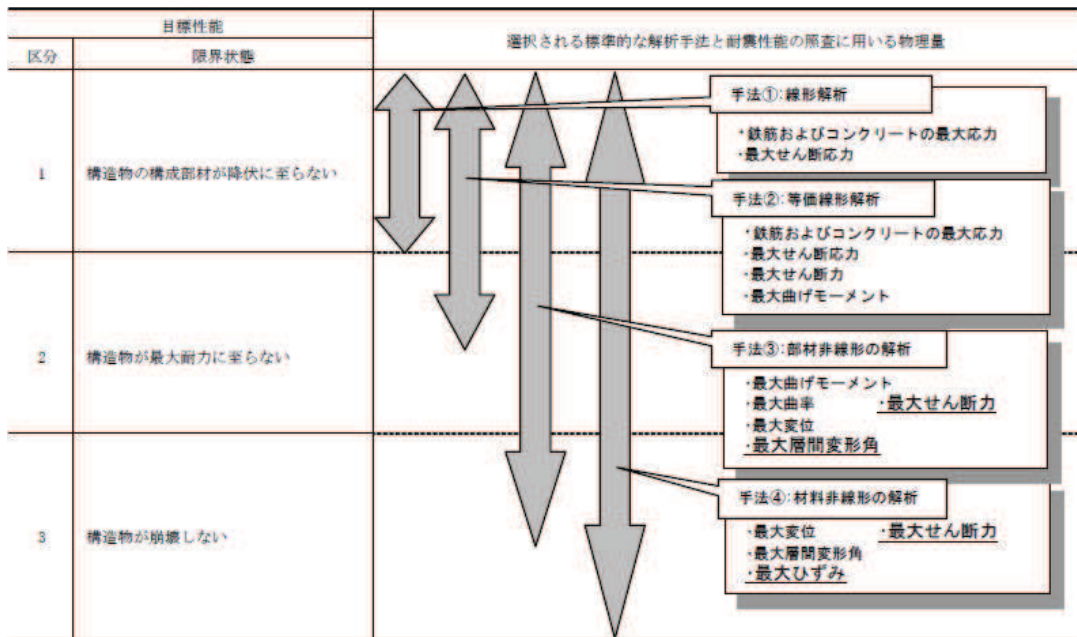


表 4-13 部材非線形解析と材料非線形解析の特徴

	部材非線形解析	材料非線形解析		
モデル化	骨組モデル	有限要素		
解析次元	一次元	二次元	三次元	
構成則	M-Φ, M-θ 等	応力-ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面ひずみ要素	立体要素
特徴	(汎用性)	狭い	←	→ 広い
	(解析時間)	短い	←	→ 長い

a. 適用基準

材料非線形解析については、土木学会マニュアル、コンクリート標準示方書2017等に基づき実施する。表4-14に参考とする主な基準等を示す。

表4-14 参考とする主な基準等

項目	参考とする主な基準等	備考
材料定数 材料特性	・コンクリート標準示方書2017 ・土木学会マニュアル	—
許容限界	—	・せん断力-相対変位関係より設定した許容限界（破壊基準）が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果とおおむね整合的であることを確認。

b. 材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、文献等を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の材料定数を表4-15及び表4-16に示す。

表4-15 コンクリートの材料定数

	設定値	諸元
単位体積重量	0.0 kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない
圧縮強度	15.8 N/mm ²	設計基準強度 (20.5N/mm ²) / 材料係数*
引張強度	1.33 N/mm ²	引張強度 / 材料係数*
圧縮ピークひずみ	2000 μ	コンクリート標準示方書2017
ひび割れ-せん断伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2017
破壊エネルギー	0.0681 N/mm	コンクリート標準示方書2017

注記*：材料係数を1.3として算出

表4-16 鉄筋の材料定数

		設定値	諸元
単位体積重量		0.0 kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない
ヤング係数		200 kN/mm ²	コンクリート標準示方書2017
降伏強度	主鉄筋	2000 N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう曲げ耐力が増大するように設定
	せん断補強筋	345 N/mm ²	SD345

c. 解析モデルの要素分割

材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化に当たっては、構造部材の壁厚（400 mm）及び鉄筋径等の関係から、鉄筋の付着の影響が及ぶ2層の鉄筋コンクリート要素としてモデル化する。要素分割の概要を図4-9に示す。

なお、対象とする構造部材に接合する部材は、弾性要素でモデル化し、モデル端部を固定境界とする。

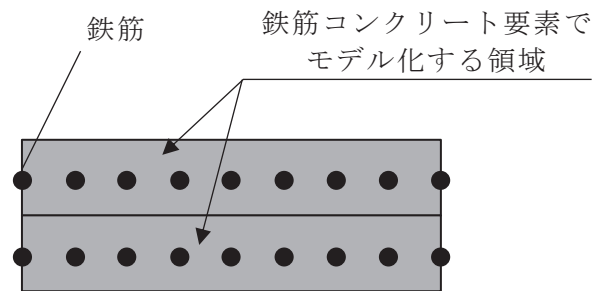


図4-9 要素分割の概要

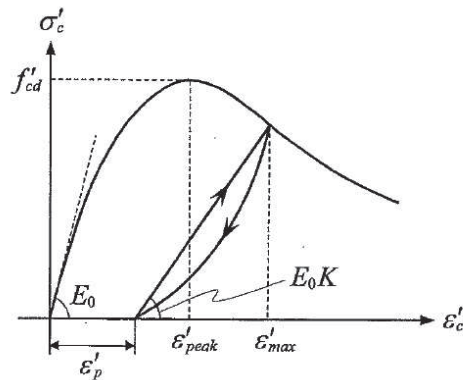
d. コンクリートの非線形特性

(a) 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図 4-10 に一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。

圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、図 4-11 に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。



$$\sigma'_c = E_0 K (\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\varepsilon'_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$$

$$\varepsilon'_p = \varepsilon'_{max} - 2.86 \cdot \varepsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right\}$$

$$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$$

ここに、

ε'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい)

ε'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

ε'_p : 塑性ひずみ

K : 弾性剛性残存率

図 4-10 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性

(コンクリート標準示方書 2017 より引用)

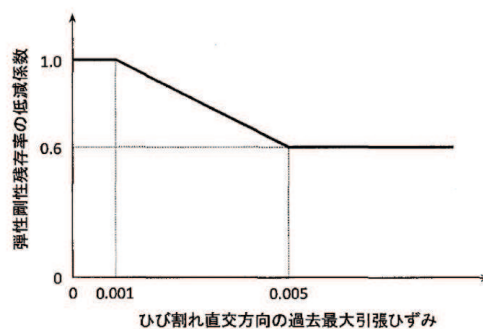
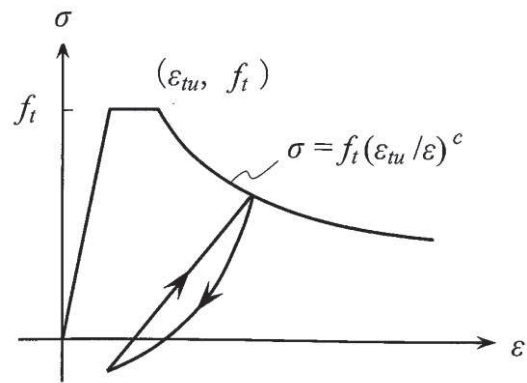


図 4-11 弾性剛性残存率の低減係数
(コンクリート標準示方書 2017 より引用)

(b) 引張応力下における応力-ひずみ関係

引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、図 4-12 に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー (G_f) によって定義する。引張軟化挙動の考慮に当たっては、図 4-13 に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が G_f / L_e (要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数 c を用いる。



ここに、 f_t : 引張強度
 ϵ_{tu} : 引張軟化開始ひずみ
 c : 引張軟化特性を表す係数

図 4-12 引張対応力下における鉄筋とコンクリートの
 付着効果を考慮した応力-ひずみ関係
 (コンクリート標準示方書 2017 より引用)

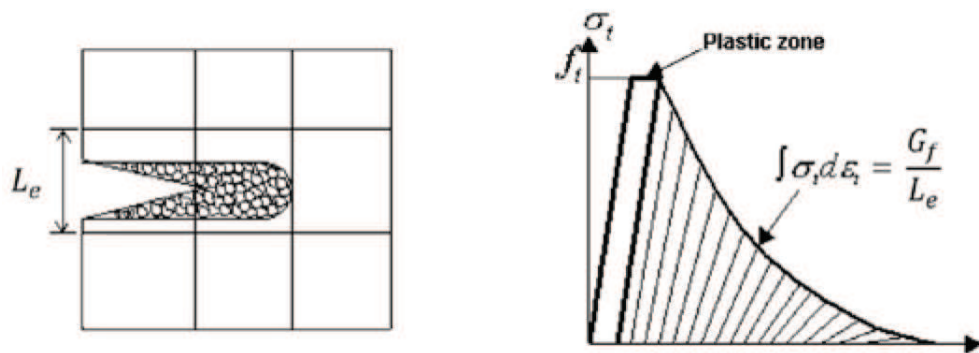
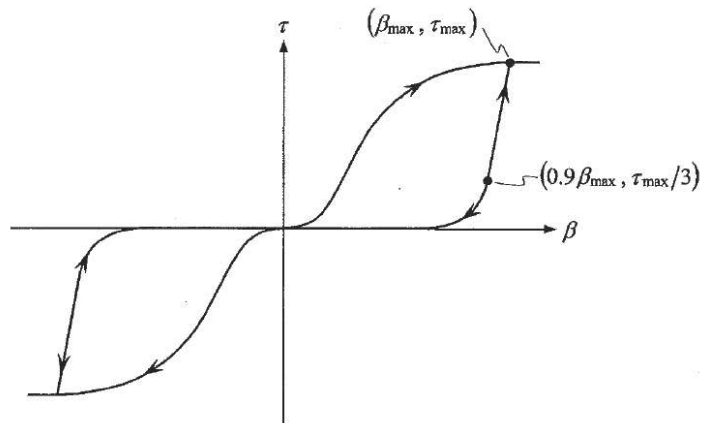


図 4-13 応力-ひずみ曲線と破壊エネルギー G_f の関係

(c) ひび割れ面でのせん断伝達関係

コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、図 4-14 に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ϵ の比をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。



ここに、 β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

$$(\gamma / \varepsilon)$$

τ : ひび割れ面でのせん断応力

τ_{\max} : 除荷開始時せん断応力

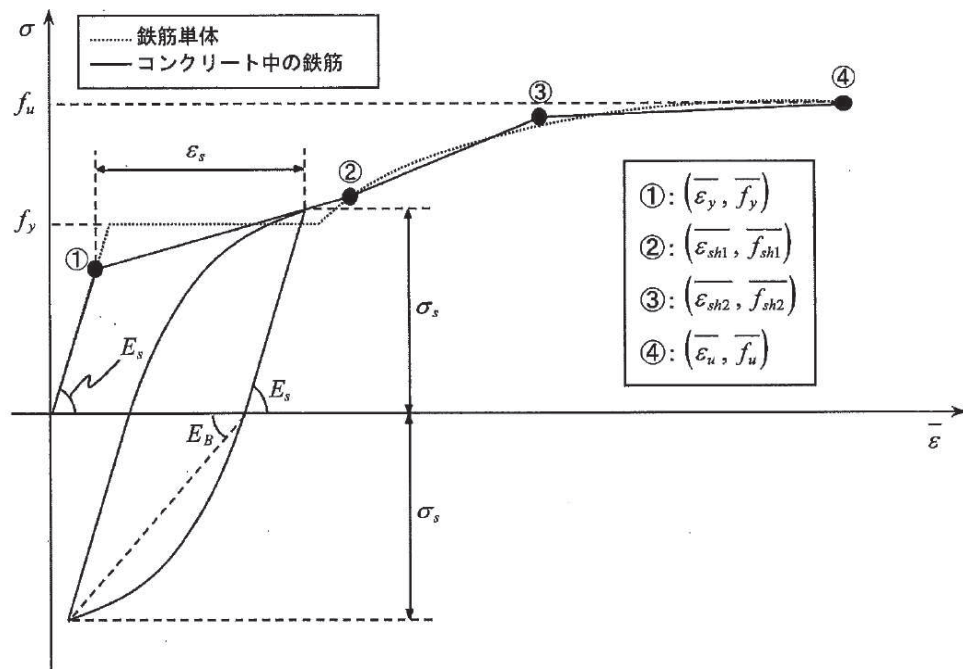
β_{\max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

図 4-14 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

(コンクリート標準示方書 2017 より引用)

e. 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力-ひずみ関係と異なり、図4-15に示すひずみ硬化特性を考慮する。



- f_y : 鉄筋単体の降伏強度 (N/mm²)
- f_u : 鉄筋単体の引張強度 (N/mm²)
- E_s : 鉄筋単体のヤング率 (N/mm²)
- ϵ_y : 鉄筋単体の降伏ひずみ
- ϵ_{sh} : 鉄筋単体のひずみ硬化開始ひずみ
- p : 鉄筋比
- f_1 : コンクリートの引張強度 (N/mm²)

図4-15 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係
(コンクリート標準示方書 2017 より引用)

f. 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果（引張特性が硬化する現象）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_S}{A_{RC}} \bar{\sigma}_S + \frac{A_C}{A_{RC}} \bar{\sigma}_C$$

ここに、 $\bar{\sigma}_S$, $\bar{\sigma}_C$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

A_S , A_C : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積, $A_{RC} = A_S + A_C$

g. 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、二次元静的非線形解析（部材非線形解析）により得られた荷重を用いることから、荷重の組み合わせは、地震時と同様である。

(2) 評価内容

a. 耐震評価フロー

材料非線形解析を用いたせん断耐力評価の評価フローを図 4-16 に示す。

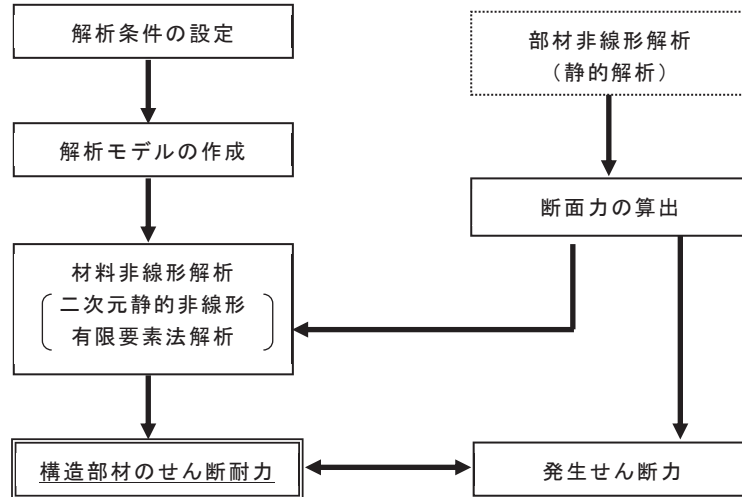


図 4-16 材料非線形解析の耐震評価フロー

b. 荷重の設定

材料非線形解析にて考慮する荷重は、部材非線形解析（静的解析）により得られる荷重を考慮する。具体的には、部材非線形解析で評価対象部材の断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析モデルに図 4-17 に示すとおり作用させる。

材料非線形解析では、部材非線形解析で得られる断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重比率を維持しながら漸増载荷する。

作用荷重は、常時荷重及び地震時荷重を、図 4-18 に示すとおり载荷し材料非線形解析を実施する。

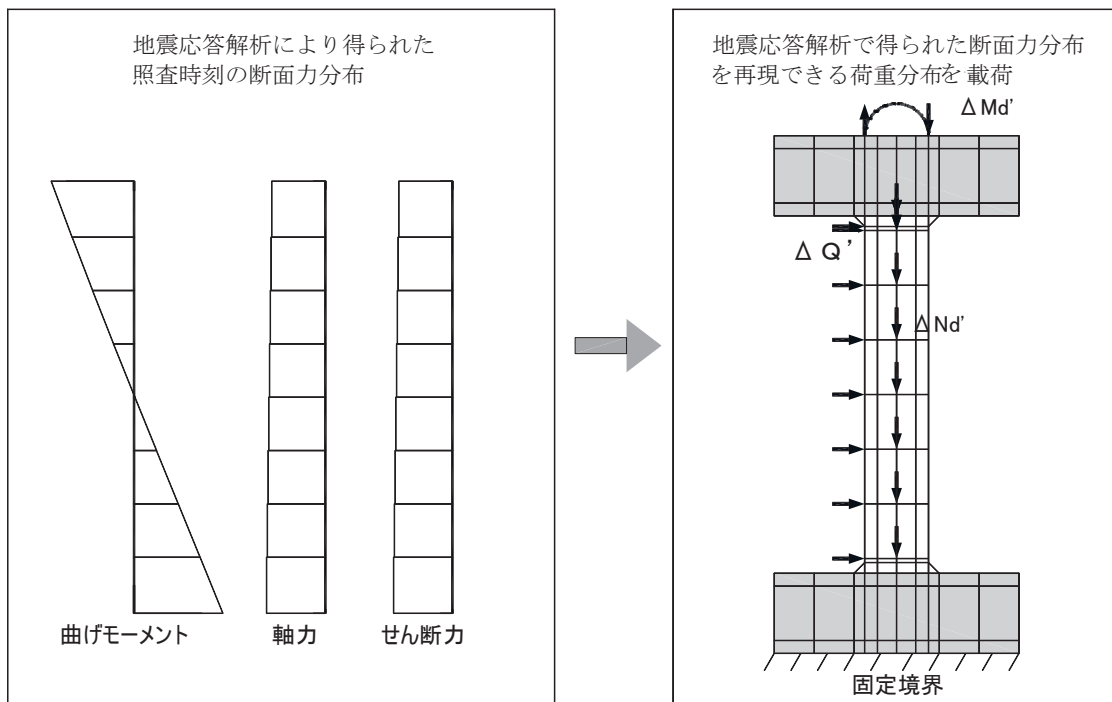


図 4-17 材料非線形解析における荷重状況

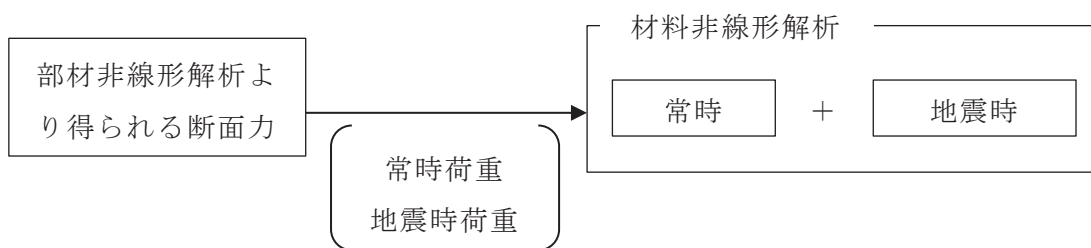


図 4-18 荷重の作用手順

c. せん断耐力

材料非線形解析を用いたせん断耐力は、材料非線形解析におけるせん断力-相対変位関係から設定する。具体的には、図 4-19 に示す例のとおり、せん断力 Q - 相対変位 δ 関係においてせん断力の増分に対して相対変位が急増する直前の点を部材のせん断耐力と判断する。

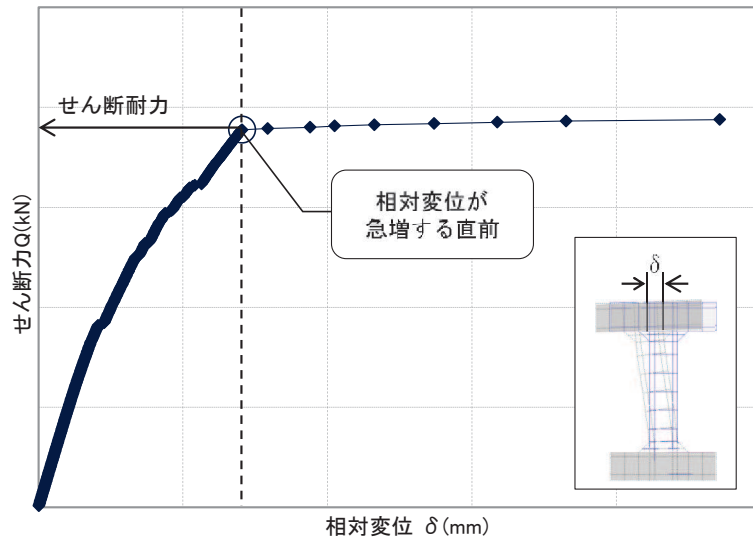


図 4-19 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例

d. 安全係数の設定

材料非線形解析では，部材非線形解析（静的解析）で得られる断面力（曲げモーメント，軸力，せん断力）を材料非線形解析に作用させた時のせん断力 V と材料非線形解析で得られるせん断耐力 V_y に，以下のとおり部材係数 γ_{b1} ， γ_{b2} ，構造解析係数 γ_a ，構造物係数 γ_i を考慮し，照査用せん断力 V_d ，設計せん断耐力 V_{yd} を算定する。

$$V_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot V$$

$$V_{yd} = V_y / (\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2})$$

考慮する安全係数の設定結果を表 4-17 に示す。ここで，部材係数 γ_{b1} については，実験又はせん断耐力式により得られるせん断耐力と材料非線形解析により得られるせん断耐力との比率により設定することとし，解析における構成則の相違や，要素の種類，要素分割，材料物性の設定，入力増分等，多岐にわたる解析者間の差を考慮する。

具体的には，土木学会マニュアルに示される 17 ケースの材料非線形解析を実施し，実験又はせん断耐力との差が最も大きい Case No.7 の部材係数 1.13 を設定する（表 4-18）。

表 4-17 考慮する安全係数の設定結果

安全係数		値	設定根拠
部材係数	γ_{b1}	1.13	別途実施する材料非線形解析により設定
	γ_{b2}	1.0	地震応答解析による層間変形角より設定
構造物係数	γ_i	1.0	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断
構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定
材料係数	γ_m	1.3	文献に基づく標準的な値を設定

表 4-18 部材係数 γ_{b1} の設定結果

Case No.	試験結果	解析結果	部材係数 (解析結果/ 実験結果) (②/①)	備考
	せん断耐力 (kN) ①	せん断耐力 (kN) ②		
1	475	422.8	0.89	
2	1087	1258.2	1.06	
3	324	356.4	1.10	
4	294	308.7	1.05	
5	581	510.3	0.88	
6	329	335.6	1.02	
7	1587	1793.3	1.13	最大値
8	350	392.0	1.12	
9	855	880.7	1.03	
10	165	102.3	0.62	
10	333	316.4	0.95	
12	127	100.3	0.79	
13	188	108.4	0.63	
14	163	107.4	0.72	
15	273	177.5	0.65	
16	356	291.9	0.82	
17	432	246.2	0.57	

4.5 評価結果

4.5.1 構造強度を有することに対する評価結果

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-19 に示す。また、最大照査値を示すトレンチ②について、コンクリートの圧縮縁ひずみの最大値の発生位置とその値を図 4-20 に、最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図を図 4-21 に示す。

すべてのトレンチにおいて、照査用ひずみが、許容限界（コンクリートの圧縮縁ひずみ：10000 μ ）を下回ることを確認した。

表 4-19 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮縁ひずみ）
（地震時）

部位	解析ケース	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
トレンチ①	ケース 3	188 μ	10000 μ	0.02
トレンチ②	ケース 4	315 μ	10000 μ	0.04
トレンチ③	ケース 3	198 μ	10000 μ	0.02

注記*：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

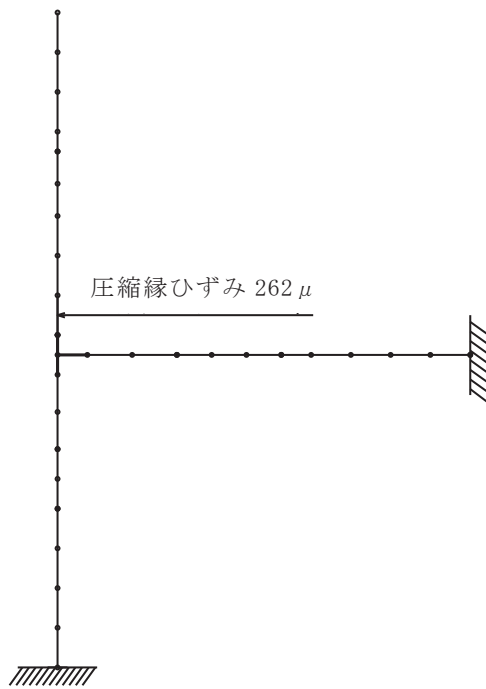


図 4-20 最大照査時におけるコンクリートの圧縮縁ひずみの発生位置
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

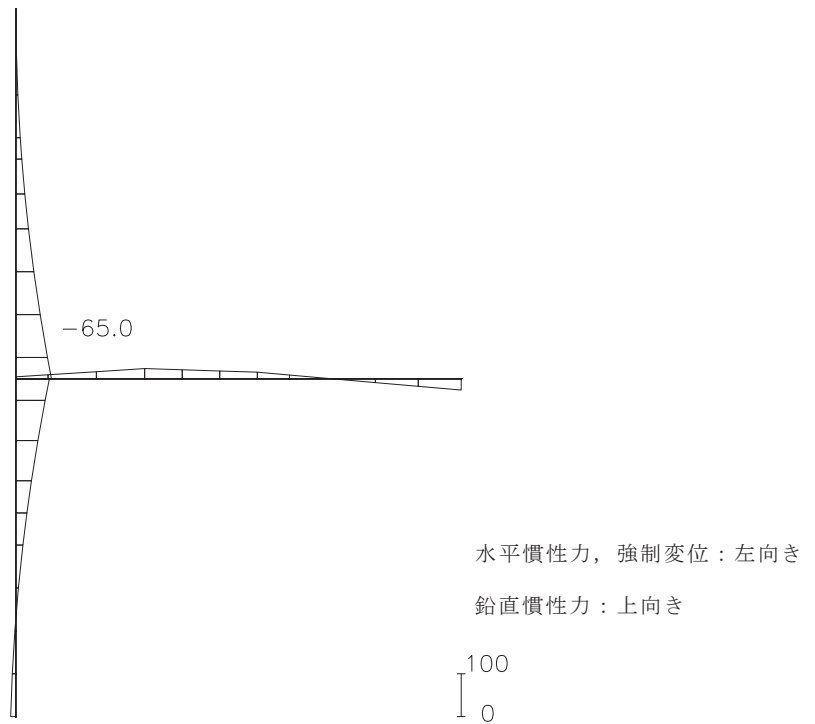


図 4-21(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図
(曲げモーメント (kN・m/m))
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

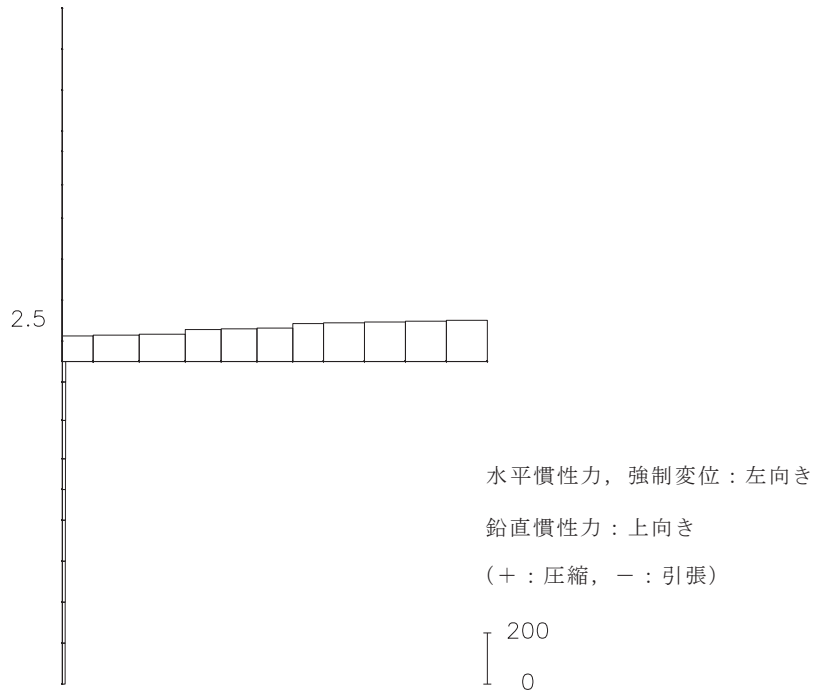


図 4-21(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (軸力 (kN/m))
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

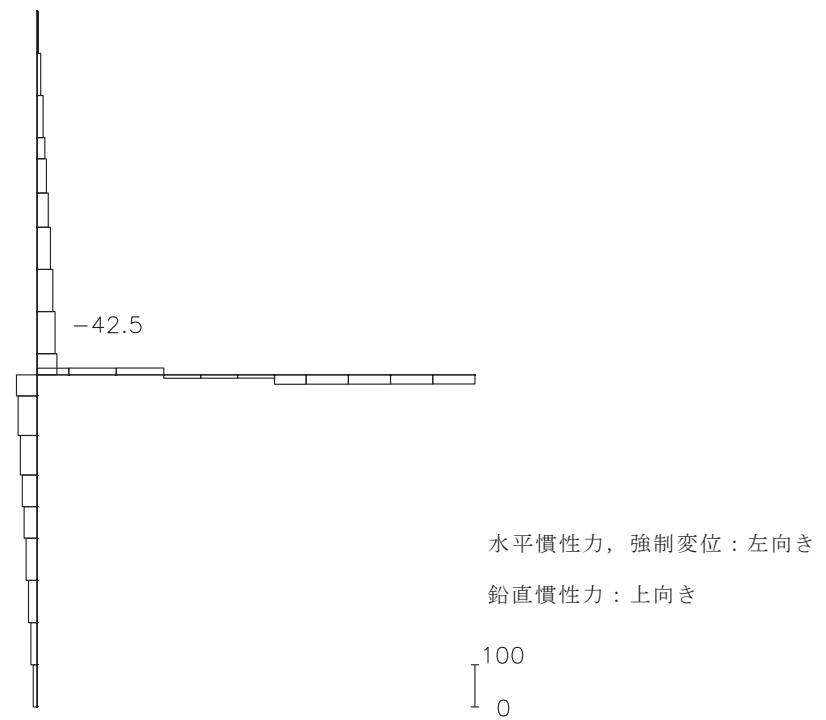


図 4-21(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN/m))
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

(2) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する照査について、各トレンチの各部材における最大照査値を表 4-20 に示す。また、最大照査値を示すトレンチ②について、最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図を図 4-22 に示す。

同表より、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表 4-20 せん断破壊に対する評価結果（地震時）

部位	部材*1	解析ケース	照査用せん断力*2,*3 V_d (kN/m)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
トレンチ①	壁	ケース 4	27	589*4	0.05
	床	ケース 3	52	101*4	0.52
トレンチ②	床-1	ケース 3	43	66*4	0.66
	壁-1	ケース 2, 4	45	134	0.34
	壁-2	ケース 2	15	129*4	0.12
トレンチ③	床-1	ケース 4	3	13*4	0.24
	床-2	ケース 3	37	69*4	0.54
	床-3	ケース 3	35	94*4	0.38
	壁-1	ケース 3	24	233	0.11
	壁-2	ケース 2	14	138	0.11
	壁-3	ケース 3	34	296	0.12

注記*1：部材名称は図 4-23 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析を実施したケースは、材料非線形解析時の照査用せん断力の値を示す。

*4：材料非線形解析によるせん断耐力を示す。なお、材料非線形解析を実施した部材及び解析ケースはいずれも、せん断補強筋が配置されていない部材で引張軸力が発生したものであり、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力式によりコンクリートが分担するせん断耐力が 0 となることから、材料非線形解析によりせん断耐力を算定した。

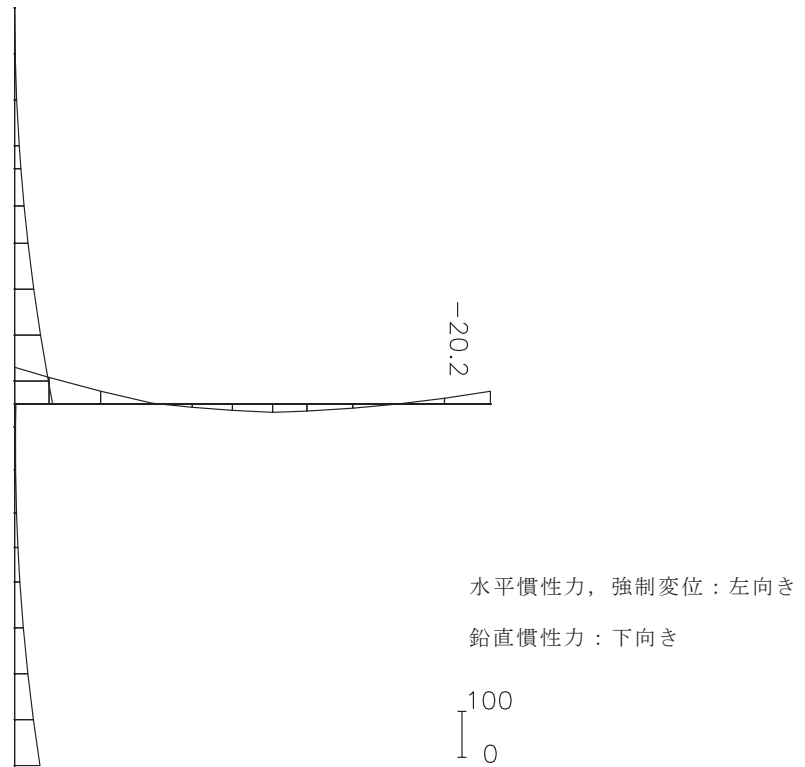


図 4-22(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図
 (曲げモーメント (kN・m/m))
 (地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

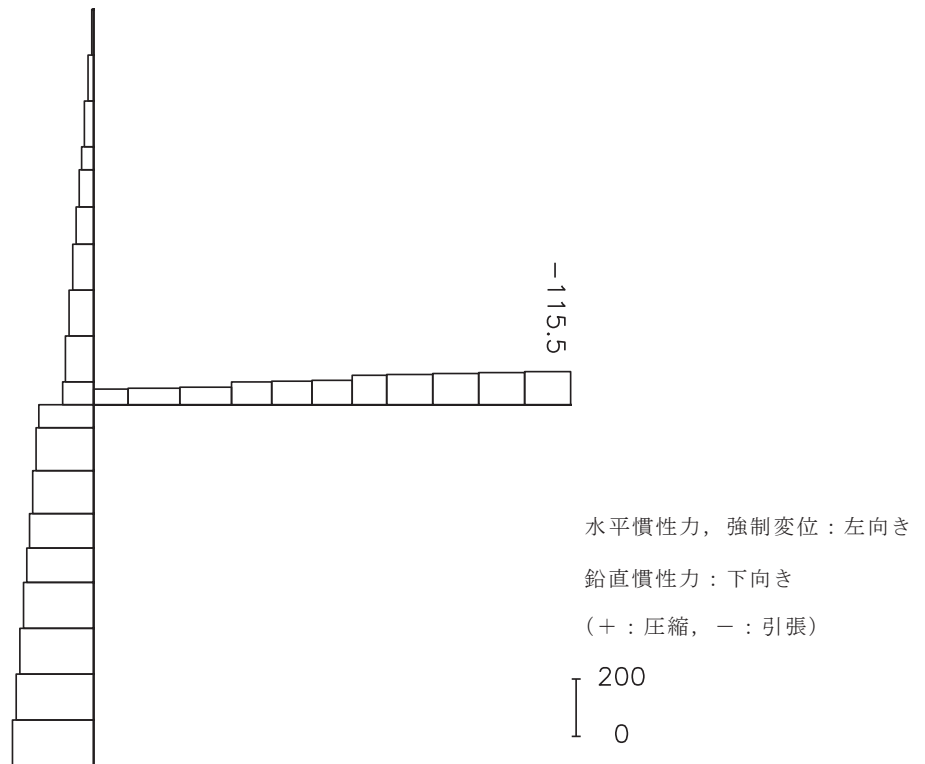


図 4-22(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (軸力 (kN/m))
 (地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

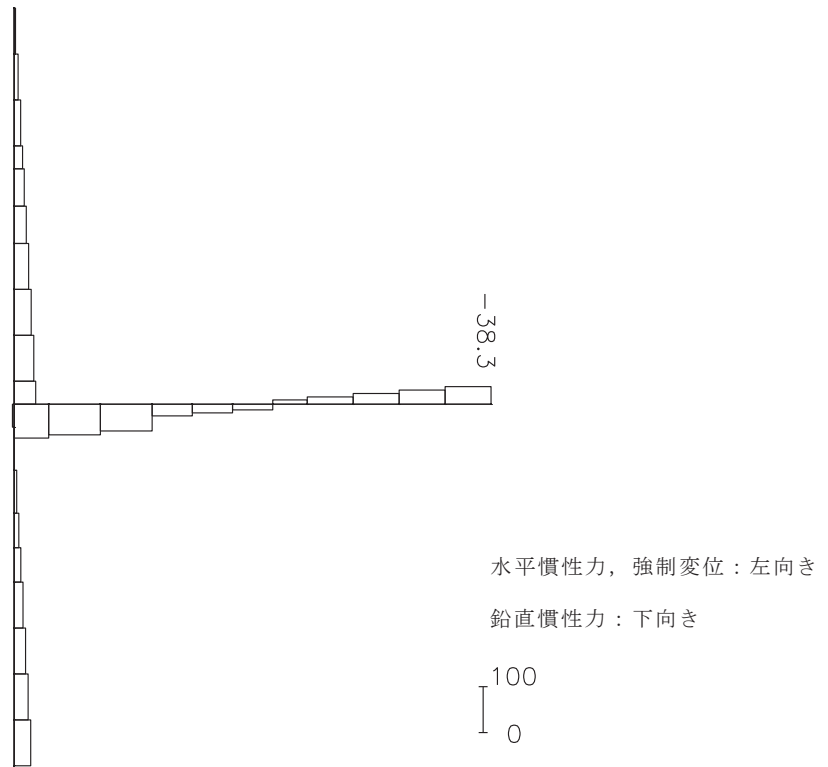


図 4-22(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN/m))
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

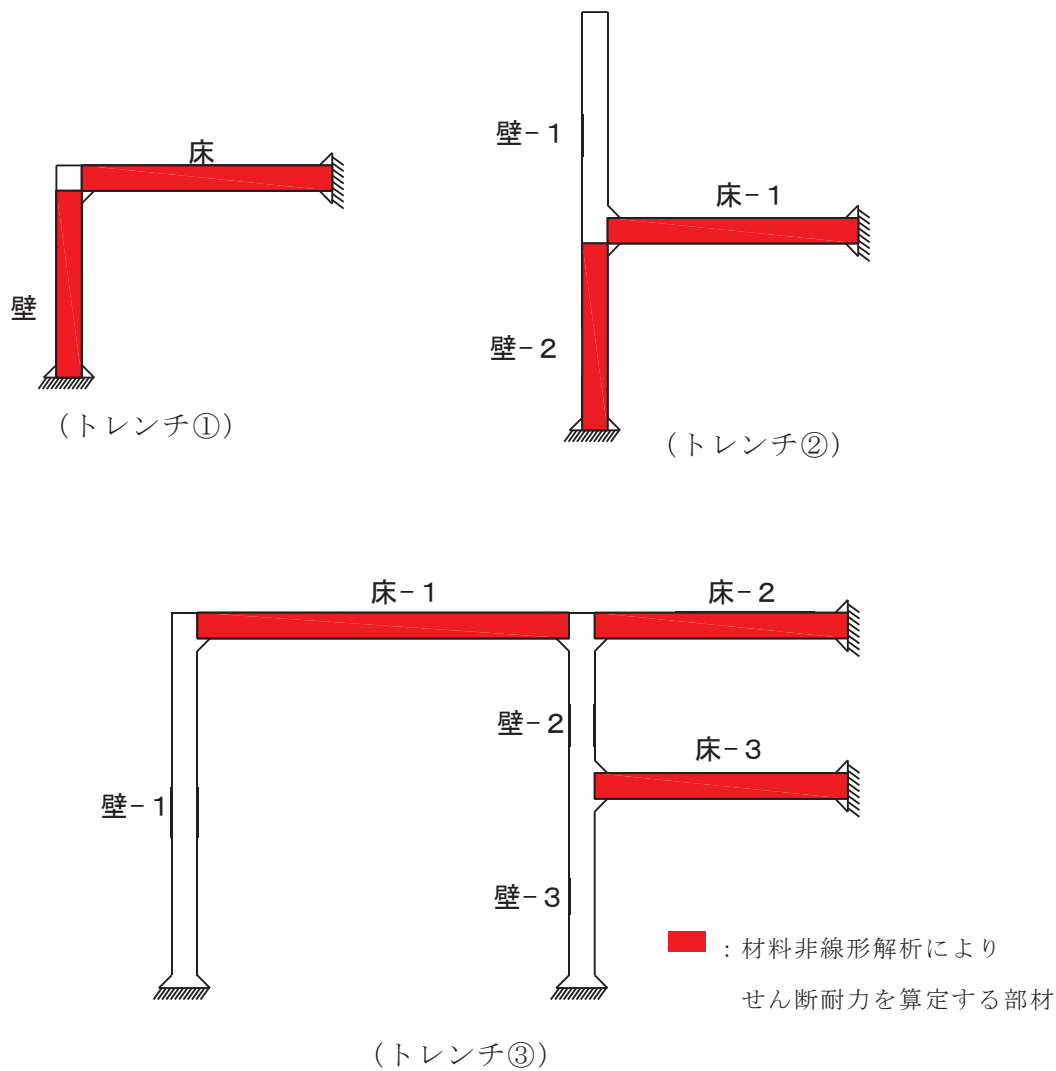


図 4-23 部材名称

(3) せん断破壊の評価における材料非線形解析結果

a. 評価条件

前項「(2) せん断破壊に対する評価結果」では、せん断補強筋の無い部材で引張軸力が発生し、土木学会マニュアルに基づき算出したせん断耐力が0となることから、材料非線形解析による評価結果を記載している。

せん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、ここでは、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断破壊に対する健全性を確認する。

材料非線形解析による評価結果は、いずれも引張軸力が発生し、せん断耐力式によるせん断耐力が0となったケースであることから、照査用せん断力が最大となったトレンチ①の床部材を対象に評価を記載する。評価対象部材の要素分割図を図4-24に、要素プロパティ番号図を図4-25に、要素プロパティ条件を表4-21に示す。

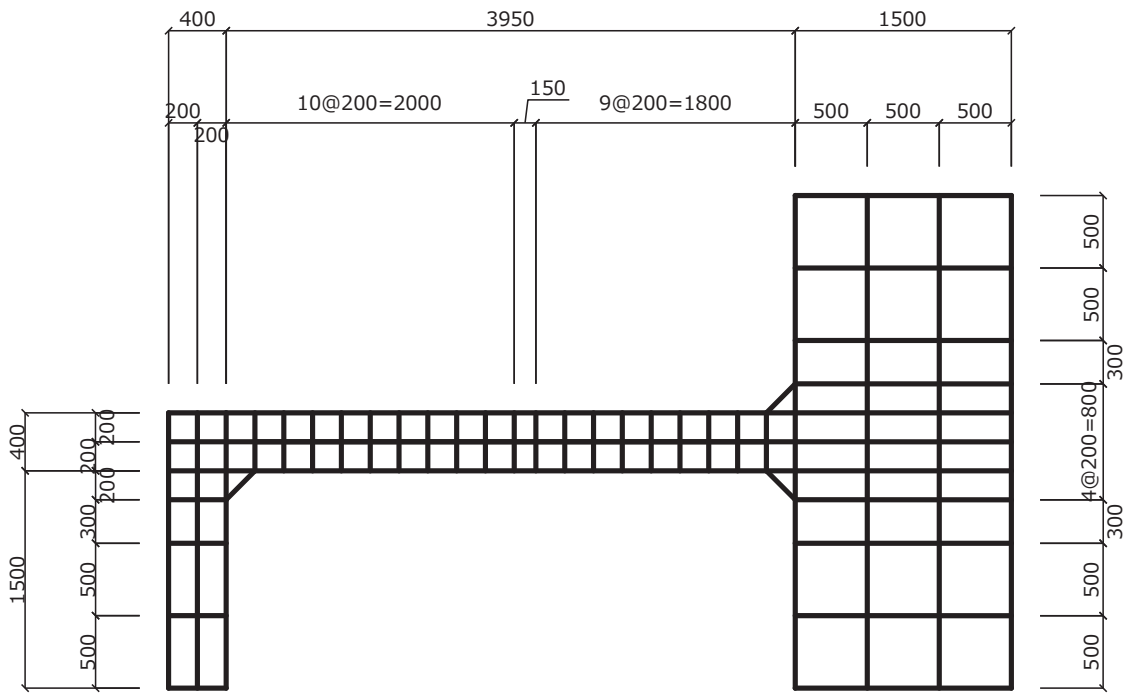


図 4-24 要素分割図

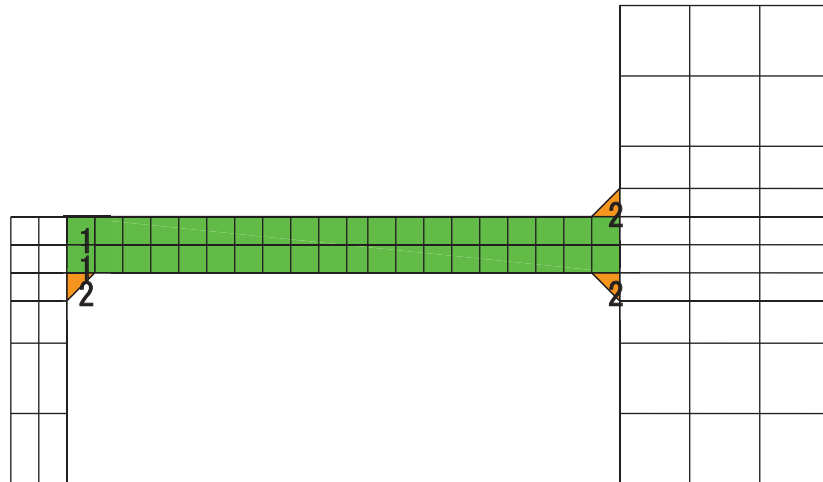


図 4-25 要素プロパティ番号図

表 4-21 要素プロパティ条件

番号	材料	引張硬化軟化係数	
		C x	C y
1	RC	0.4	1.7
2	無筋	1.5	1.5

材料非線形解析によるせん断耐力の算定において考慮する荷重は、部材非線形解析（静的解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には部材非線形解析で評価対象部材のせん断照査が厳しくなる断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析モデルに図4-26のように作用させる。材料非線形解析では、部材非線形解析から得られた断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重を100分割したものを ΔM 、 ΔQ 、 ΔN とし、これらの比率を維持しながら漸増载荷する。

なお、作用荷重は、常時荷重（ ΔM_s 、 ΔQ_s 、 ΔN_s ）及び地震時荷重（ ΔM_d 、 ΔQ_d 、 ΔN_d ）とし、図4-27に作用手順を示す。表4-22に代表例として、材料非線形解析による評価において照査用せん断力が最も大きい解析ケースにおける ΔM 、 ΔQ 、 ΔN を示す。

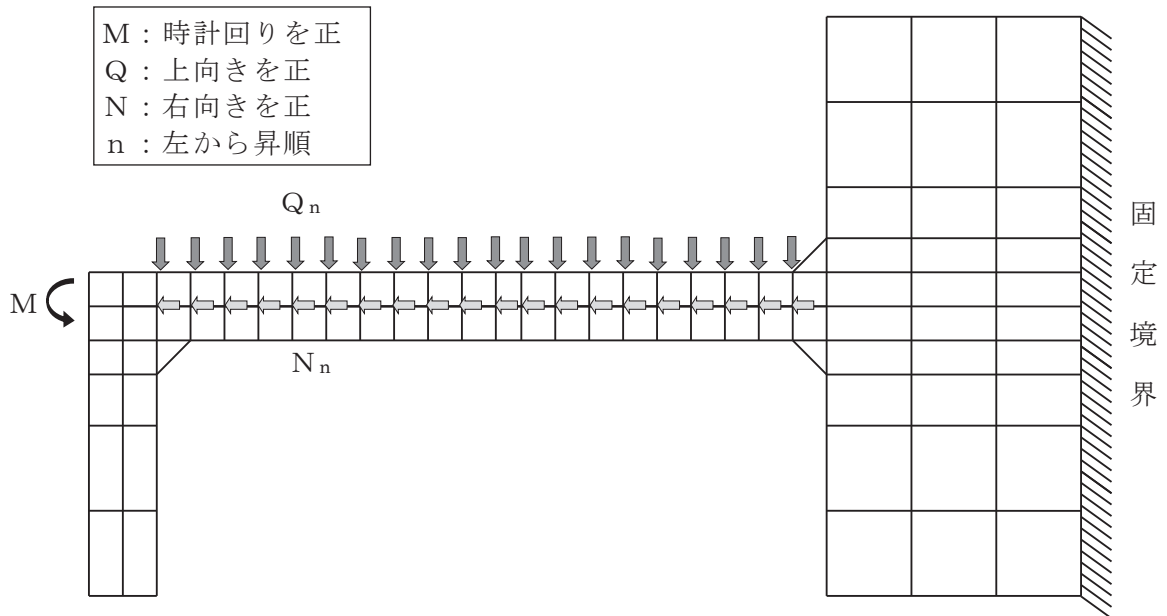


図4-26 材料非線形解析における载荷状況

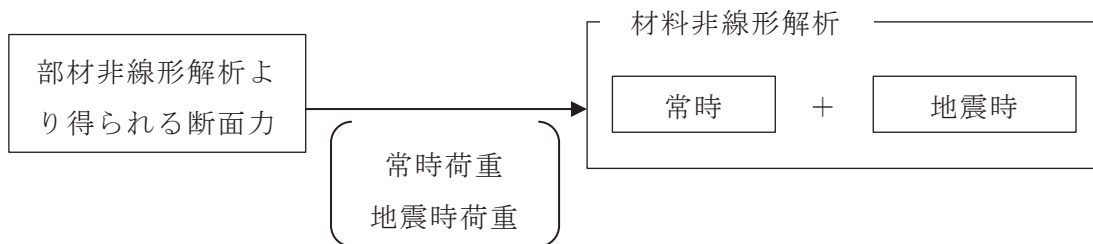


図4-27 荷重の作用手順

表 4-22 材料非線形解析における作用荷重

部材		床		
解析ケース		ケース 3		
荷重状態		常時荷重	地震時荷重	
せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	ΔM	-0.095	-0.334
	ΔQ_1	0.179	0.538	
	ΔQ_2	-0.020	-0.039	
	ΔQ_3	-0.020	-0.039	
	ΔQ_4	-0.020	-0.039	
	ΔQ_5	-0.020	-0.039	
	ΔQ_6	-0.024	-0.201	
	ΔQ_7	-0.020	-0.039	
	ΔQ_8	-0.020	-0.039	
	ΔQ_9	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{10}	-0.021	-0.071	
	ΔQ_{11}	-0.020	-0.110	
	ΔQ_{12}	-0.019	-0.088	
	ΔQ_{13}	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{14}	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{15}	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{16}	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{17}	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{18}	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{19}	-0.020	-0.039	
	ΔQ_{20}	-0.020	-0.039	
軸力 (kN)	ΔN_1	0.079	0.005	
	ΔN_2	0.000	-0.016	
	ΔN_3	0.000	-0.016	
	ΔN_4	0.000	-0.016	
	ΔN_5	0.000	-0.016	
	ΔN_6	0.000	-0.174	
	ΔN_7	0.000	-0.016	
	ΔN_8	0.000	-0.016	
	ΔN_9	0.000	-0.016	
	ΔN_{10}	0.000	-0.048	
	ΔN_{11}	0.000	-0.088	
	ΔN_{12}	0.000	-0.067	
	ΔN_{13}	0.000	-0.016	
	ΔN_{14}	0.000	-0.016	
	ΔN_{15}	0.000	-0.016	
	ΔN_{16}	0.000	-0.016	
	ΔN_{17}	0.000	-0.016	
	ΔN_{18}	0.000	-0.016	
	ΔN_{19}	0.000	-0.016	
	ΔN_{20}	0.000	-0.016	

b. 評価結果

評価対象部材における荷重－変位曲線を図4-28に示す。同図は、評価対象部材のトレンチ①の床において照査用せん断力が最大となる解析ケースの組合せ（地震時、解析ケース3）の結果を示している。各ステップにおけるひび割れ図及び変形図を図4-29に示す。

図中の赤丸で示した100ステップは、「4.3 構造解析」に示す非線形はり要素を用いた二次元構造解析において得られた断面力を再現した状態である。

ひび割れ図に着目すると、断面力再現時にはひび割れは発生していない。その後、荷重の増加に伴い部材右端にひび割れが発生し、さらなる荷重の増加に伴って、中央及び両端のひび割れが進展する様相を示している。224ステップ以降は鉛直変位の急増が認められる。したがって、224ステップ以降の変位の発生はひび割れの進展に伴うものであると判断される。

以上のとおり、評価対象部材に対する材料非線形解析では、せん断ひび割れの進展によりせん断破壊に至ることを考慮し、224ステップ（図中の青丸）をせん断耐力発生時の状態として設定する。

材料非線形解析によるせん断破壊に対する照査結果は、表4-20のとおりであり、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

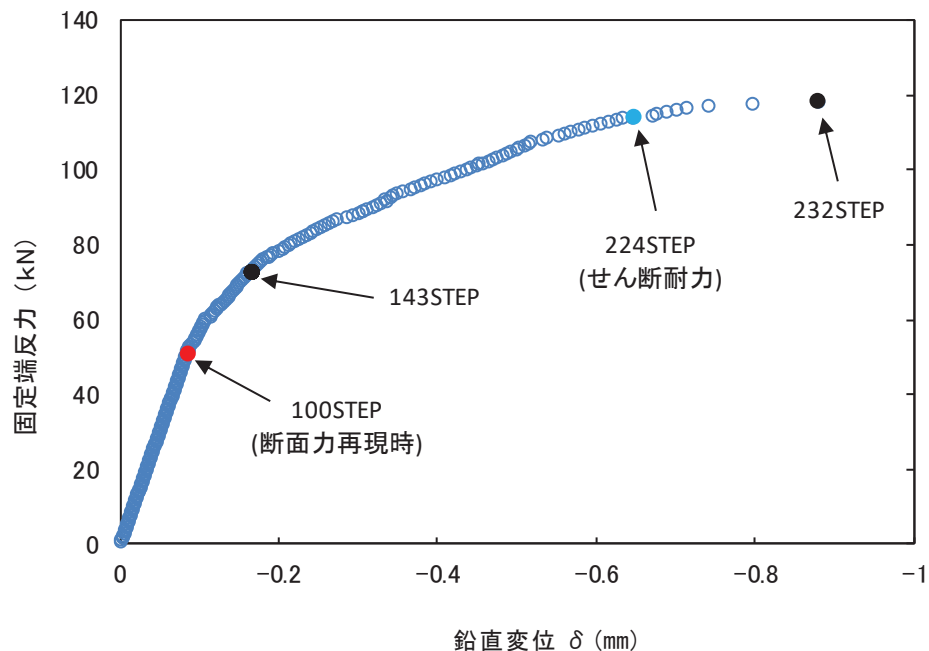


図4-28 荷重－変位曲線
(地震時、解析ケース3、トレンチ①、床)

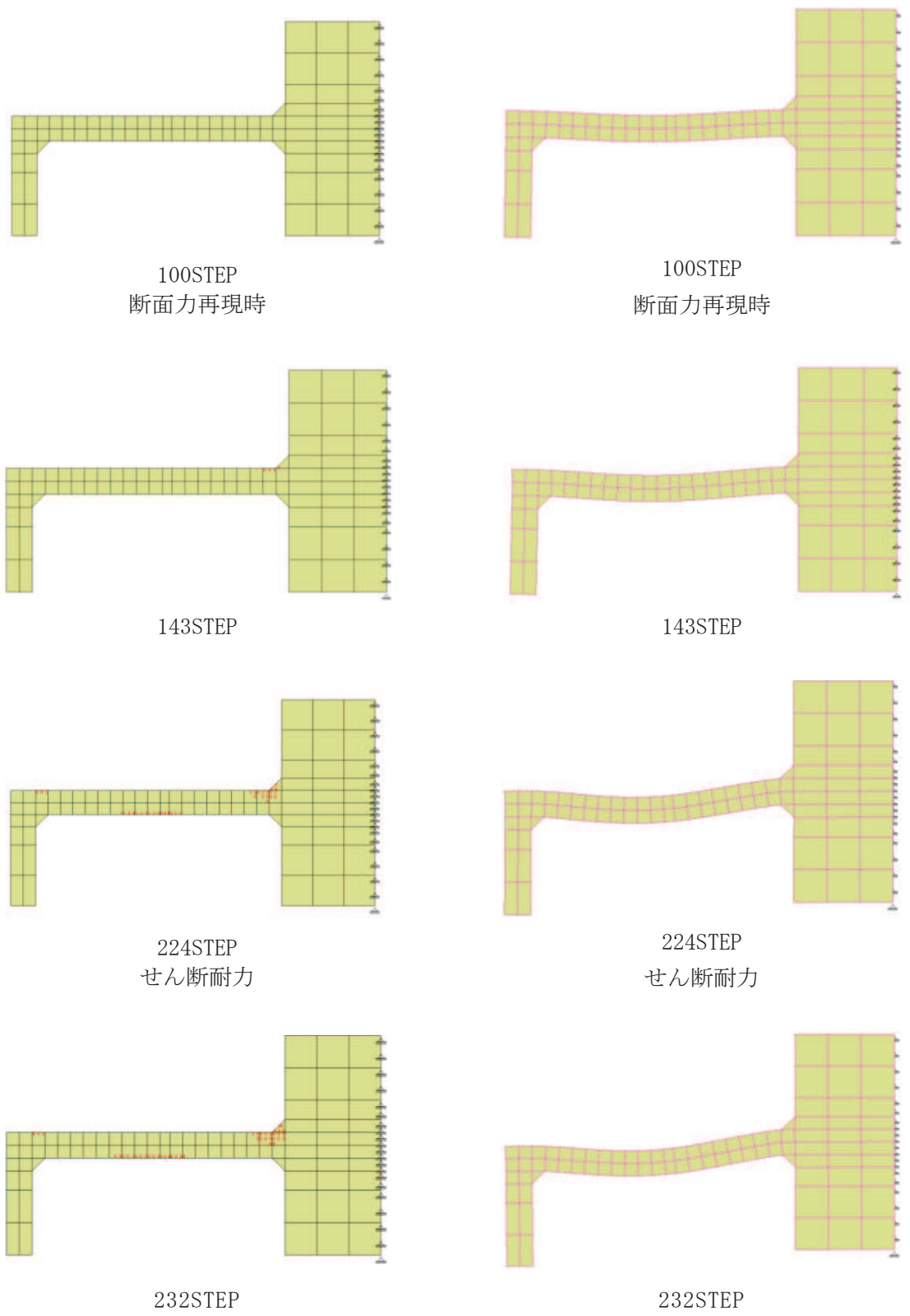


図 4-29 各ステップにおけるひび割れ図および変形図 (変形 300 倍)
 (地震時, 解析ケース 3, トレンチ①, 床)

4.5.2 Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-23 及び表 4-24 に示す。

最大照査値を示すトレンチ②について、最大照査値を示す解析ケースにおける荷重図を図 4-30 に、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみの最大値の発生位置とその値を図 4-31 に示す。また、照査値最大時の断面力図を図 4-32 に示す。

表 4-23 及び表 4-24 により、すべてのトレンチにおいて、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみが、部材降伏に相当する限界ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ： 2000μ ，主筋ひずみ： 1725μ ）を下回ることを確認した。

表 4-23 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮ひずみ）（地震時）

部位	解析ケース	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
トレンチ①	ケース 3	188μ	2000μ	0.10
トレンチ②	ケース 4	315μ	2000μ	0.16
トレンチ③	ケース 3	198μ	2000μ	0.10

注記*：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 4-24 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（主筋ひずみ）（地震時）

部位	解析ケース	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
トレンチ①	ケース 3	354μ	1725μ	0.21
トレンチ②	ケース 3	843μ	1725μ	0.49
トレンチ③	ケース 3	374μ	1725μ	0.22

注記*：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

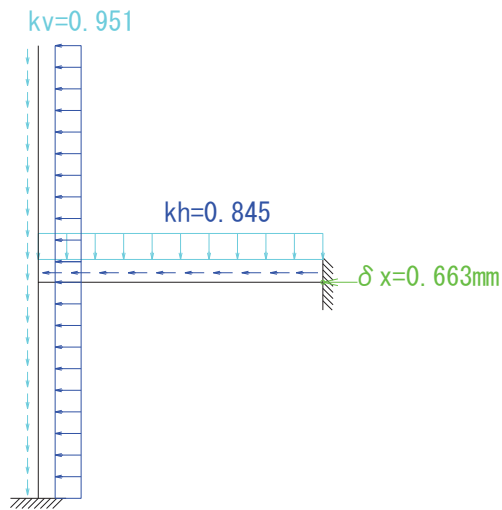


図 4-30 最大照査値を示す解析ケースにおける荷重図
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

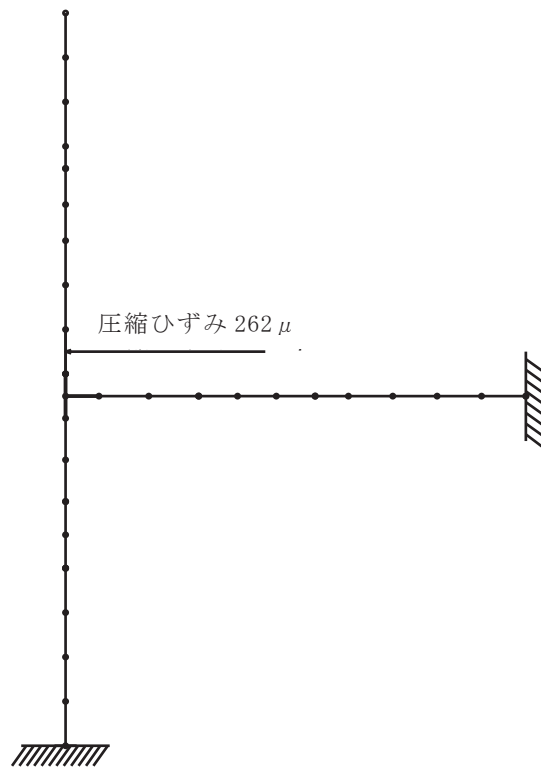


図 4-31(1) コンクリートの圧縮ひずみの最大値発生位置
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②): 図 4-9 再掲

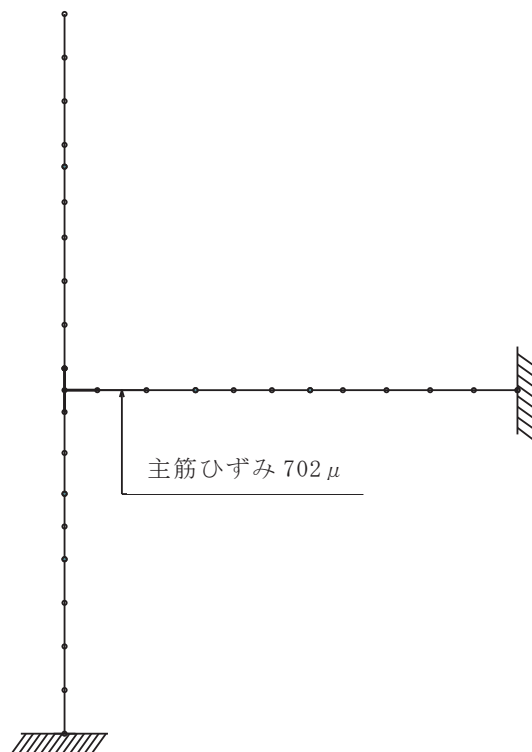


図 4-31(2) 主筋ひずみの最大値発生位置
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

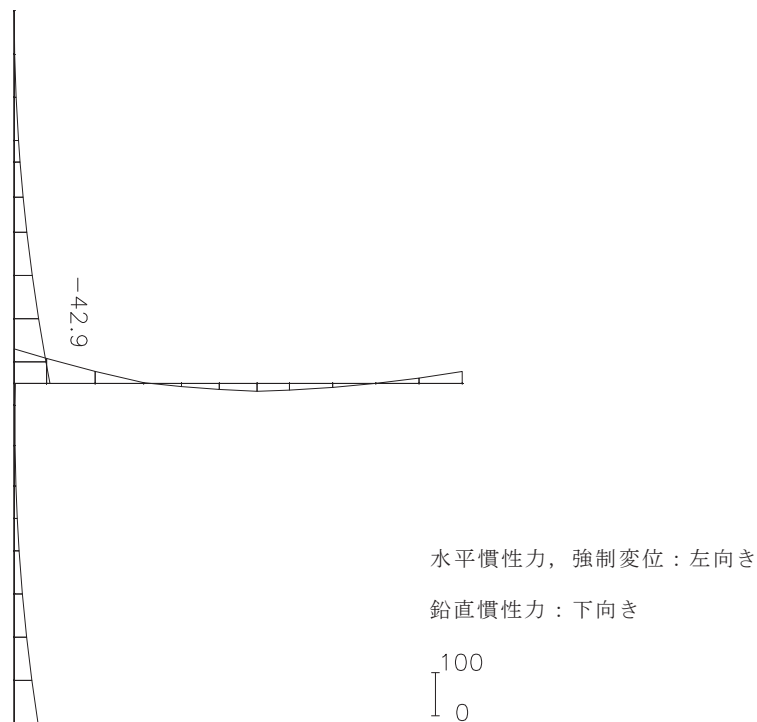


図 4-32(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図
(曲げモーメント (kN・m/m))
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

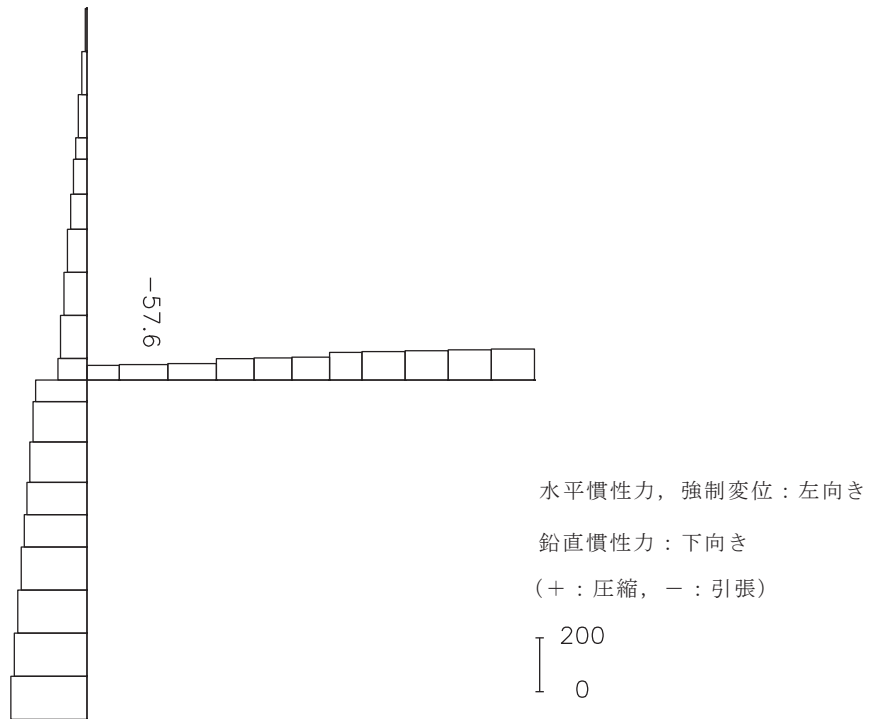


図 4-32(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (軸力 (kN/m))
(地震時，解析ケース 3，トレンチ②)

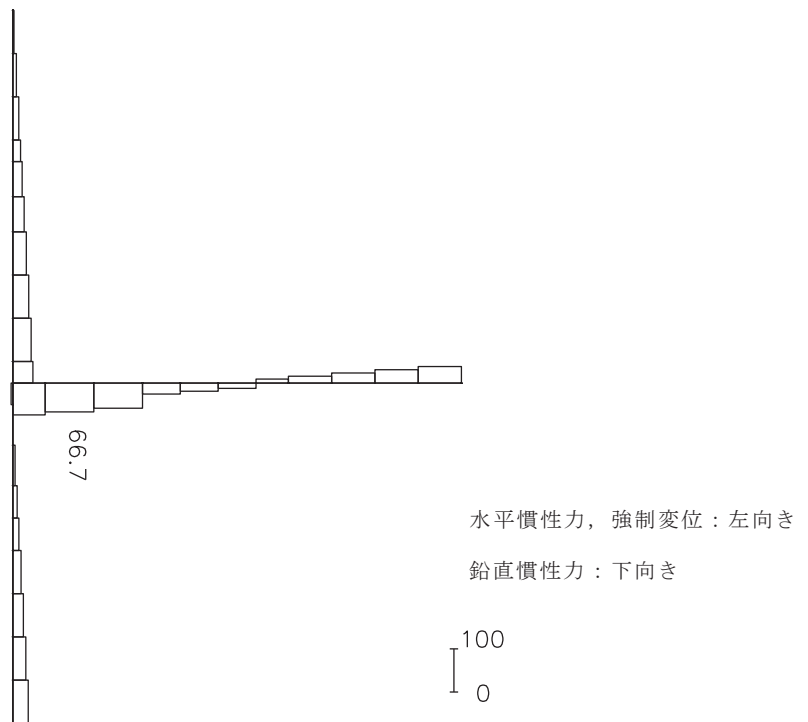


図 4-32(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN/m))
(地震時，解析ケース 3，トレンチ②)

(2) せん断破壊に対する評価結果

トレンチの地震時における S クラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認における許容限界はせん断耐力であり、構造強度を有することの許容限界と同一となることから、「4.5.1 構造強度を有することに対する評価結果」により、照査用せん断力が、せん断耐力を下回ることを確認した。

4.5.3 止水機能に対する評価結果

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-25 及び表 4-26 に示す。

コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみのうち、最大照査値を示すトレンチ②について、最大照査値を示す解析ケースにおける荷重図を図 4-33 に、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみの最大値の発生位置とその値を図 4-34 に示す。また、照査値最大時の断面力図を図 4-35 に示す。

表 4-25 及び表 4-26 により、すべてのトレンチにおいて、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみが、部材降伏に相当する限界ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ： 2000μ ，主筋ひずみ： 1725μ ）を下回ることを確認した。

表 4-25 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮ひずみ）（溢水時）

部位	解析ケース	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
トレンチ①	ケース 1	121μ	2000μ	0.07
トレンチ②	ケース 1	148μ	2000μ	0.08
トレンチ③	ケース 1	130μ	2000μ	0.07

注記*：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 4-26 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（主筋ひずみ）（溢水時）

部位	解析ケース	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
トレンチ①	ケース 1	184μ	1725μ	0.11
トレンチ②	ケース 1	431μ	1725μ	0.25
トレンチ③	ケース 1	302μ	1725μ	0.18

注記*：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

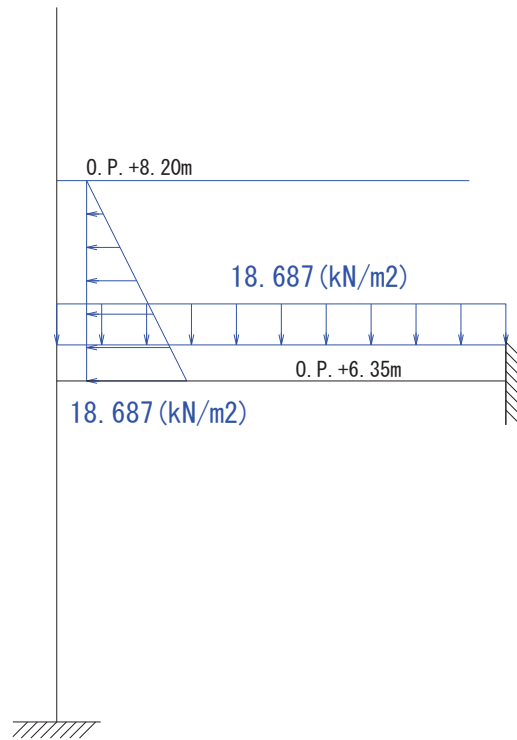


図 4-33 最大照査値を示す解析ケースにおける荷重図
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

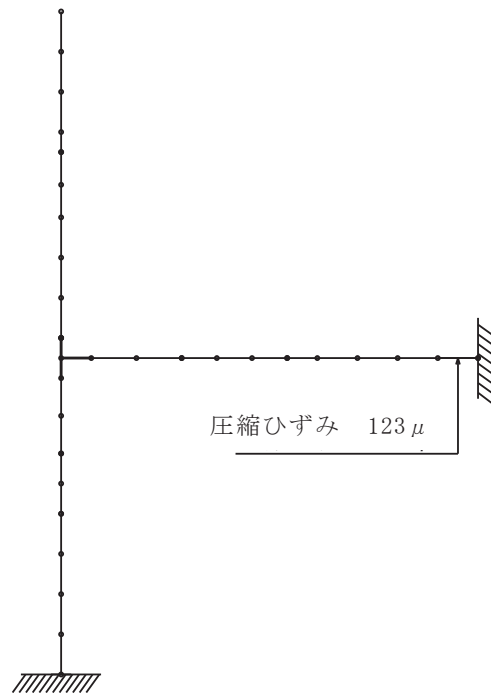


図 4-34(1) コンクリートの圧縮ひずみの最大値発生位置
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

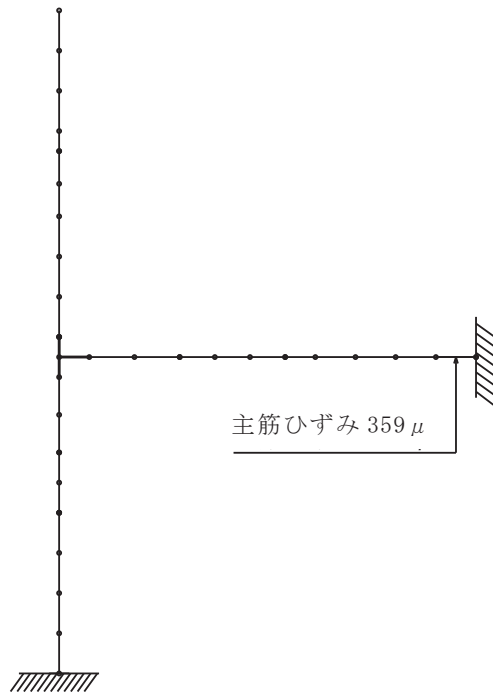


図 4-34(2) 主筋ひずみの最大値発生位置
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

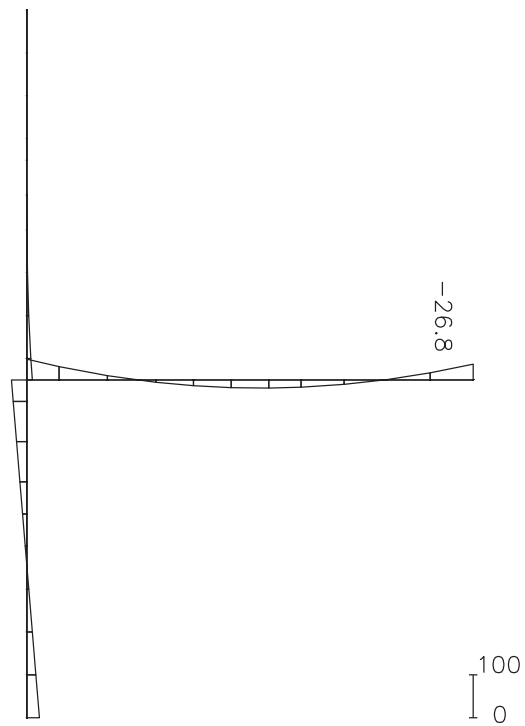


図 4-35(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図
(曲げモーメント (kN・m/m))
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

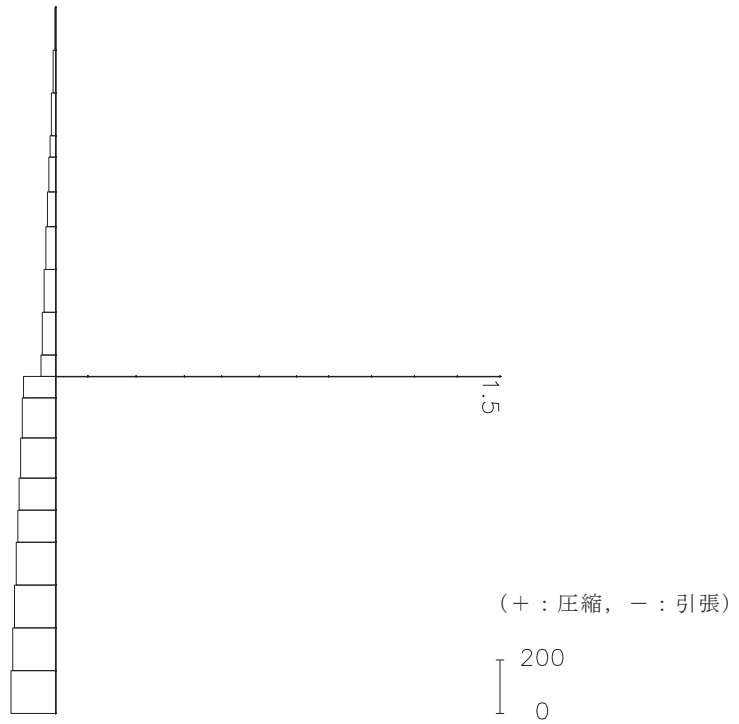


図 4-35(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (軸力 (kN/m))
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

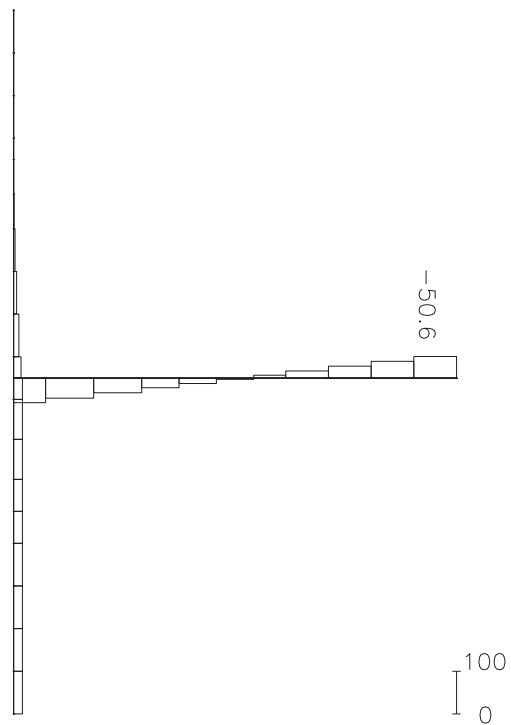


図 4-35(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN/m))
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

(2) せん断破壊に対する評価結果

せん断破壊に対する照査について、各トレンチの各部材における最大照査値を表 4-27 に示す。せん断破壊に対する評価結果のうち最大照査値として、せん断耐力式よりも精緻な評価結果である材料非線形解析を実施したトレンチ③の断面力図を図 4-36 に示す。なお、せん断耐力式による評価において最大照査値を示すトレンチ②の断面力図を図 4-35 に示す。

同表より、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表 4-27 せん断破壊に対する評価結果（溢水時）

部位	部材*1	解析ケース	照査用せん断力*2,*3 V_d (kN/m)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
トレンチ①	壁	ケース 1	50	537	0.10
	床	ケース 1	55	167	0.33
トレンチ②	床-1	ケース 1	54	119	0.46
	壁-1	ケース 1	13	193	0.07
	壁-2	ケース 1	23	268	0.09
トレンチ③	床-1	ケース 1	31	394	0.08
	床-2	ケース 1	20	453*4	0.05
	床-3	ケース 1	54	136	0.40
	壁-1	ケース 1	37	506	0.08
	壁-2	ケース 1	8	192	0.05
	壁-3	ケース 1	21	296	0.08

注記*1：部材名称は図 4-23 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析を実施したケースは、材料非線形解析時の照査用せん断力の値を示す。

*4：材料非線形解析によるせん断耐力を示す。なお、材料非線形解析を実施した部材及び解析ケースは、せん断補強筋が配置されていない部材で引張軸力が発生したものであり、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力式によりコンクリートが分担するせん断耐力が 0 となることから、材料非線形解析によりせん断耐力を算定した。

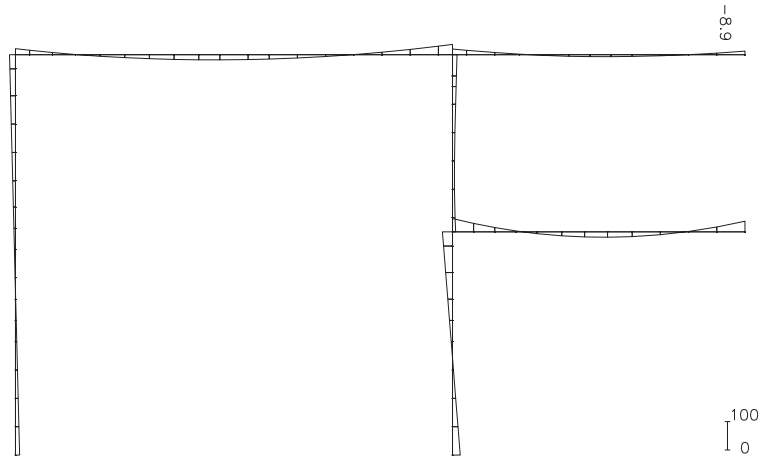


図 4-36(1) 材料非線形解析を実施した解析ケースにおける断面力図
 (曲げモーメント (kN・m/m))
 (溢水時, 解析ケース 1, トレンチ③)

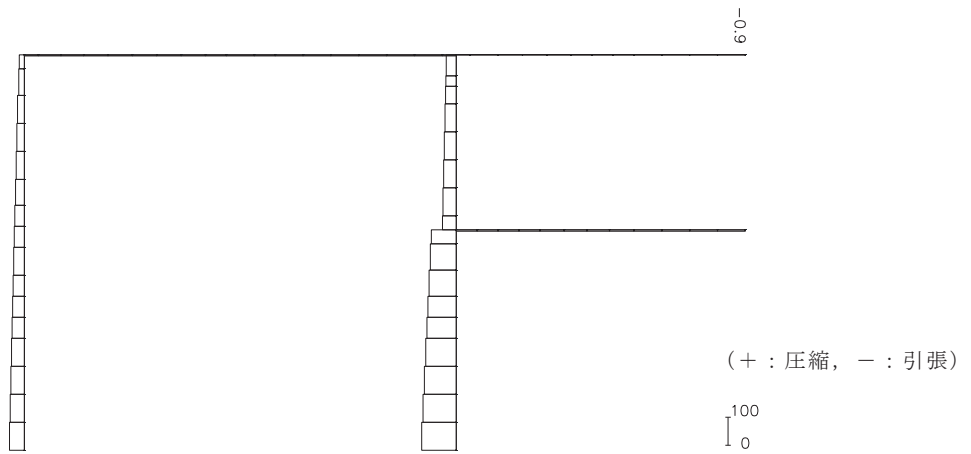


図 4-36(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (軸力 (kN/m))
 (溢水時, 解析ケース 1, トレンチ③)

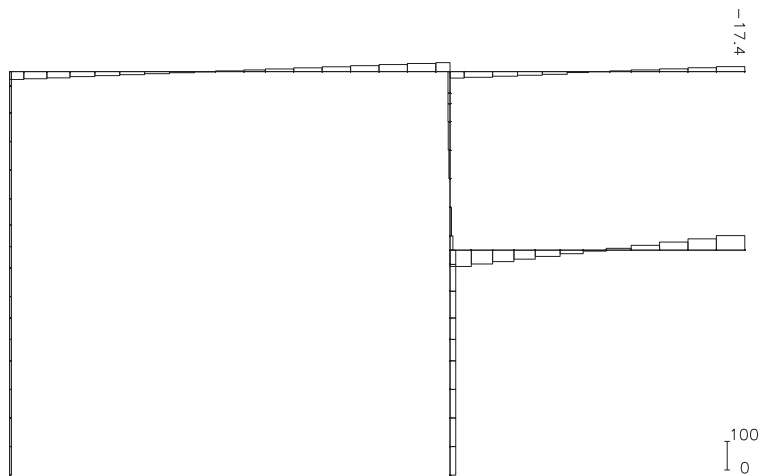


図 4-36(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN/m))
 (溢水時, 解析ケース 1, トレンチ③)

5. まとめ

海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁及びトレンチについては、Sクラスの配管を間接支持する支持機能と、溢水事象に対する止水機能が要求される。このことから、基準地震動 S_s による地震時及び単一機器の破損を想定した溢水時のそれぞれについて曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊に対する評価を実施した。

隔壁について、地震時、溢水時ともに鉄筋及びコンクリートの発生応力、発生せん断力が許容限界を下回ることを確認した。また、トレンチについて、地震時、溢水時ともに照査用ひずみ及び照査用せん断力が要求機能に応じた許容限界を下回ることを確認した。

以上から、海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁及びトレンチは、基準地震動 S_s による地震時に構造強度を有すること、Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと、また、機器の想定破損による溢水時に止水機能を損なわないことを確認した。

資料 11 取水路（標準部）の耐震安全性評価

目次


1. 評価方法	資料 11-1
2. 評価条件	資料 11-1
2.1 適用規格	資料 11-1
2.2 構造及び補強の概要	資料 11-4
2.3 耐震評価フロー	資料 11-10
2.4 地震時荷重算出断面の選定	資料 11-16
2.5 使用材料及び材料の物性値	資料 11-22
2.6 地盤物性値	資料 11-22
2.7 評価構造物諸元及び要求機能の考え方	資料 11-29
2.7.1 評価構造物諸元	資料 11-29
2.7.2 取水路（標準部）の要求機能の考え方	資料 11-31
2.8 地下水位	資料 11-33
3. 地震応答解析	資料 11-37
3.1 地震応答解析手法	資料 11-37
3.2 地震応答解析モデルの設定	資料 11-40
3.2.1 解析モデル領域	資料 11-40
3.2.2 境界条件	資料 11-42
3.2.3 構造物のモデル化	資料 11-51
3.2.4 隣接構造物のモデル化	資料 11-52
3.2.5 地盤及びマンメイドロック（MMR）のモデル化	資料 11-52
3.2.6 ジョイント要素の設定	資料 11-52
3.2.7 材料特性の設定	資料 11-58
3.3 減衰定数	資料 11-60
3.4 荷重の組合せ	資料 11-82
3.4.1 外水圧	資料 11-83
3.4.2 内水圧	資料 11-85
3.4.3 積載荷重	資料 11-87
3.4.4 動水圧	資料 11-87
3.5 耐震評価における解析ケース	資料 11-89
4. 三次元構造解析	資料 11-96
4.1 解析手法	資料 11-96
4.2 解析モデルの設定	資料 11-97
4.2.1 構造物のモデル化	資料 11-97
4.2.2 地盤ばね要素	資料 11-102
4.2.3 材料の非線形特性	資料 11-103
4.3 照査時刻の選定	資料 11-108

4.4	地震時荷重の載荷方法	資料 11-109
4.4.1	直線部	資料 11-114
4.4.2	曲線部	資料 11-116
4.5	入力荷重	資料 11-119
4.5.1	常時荷重	資料 11-122
4.5.2	慣性力	資料 11-123
4.5.3	動水圧	資料 11-125
4.5.4	地震時土圧・水圧及び周面せん断力	資料 11-126
5.	評価内容	資料 11-128
5.1	入力地震動の設定	資料 11-128
5.2	許容限界の設定	資料 11-213
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	資料 11-213
5.2.2	せん断破壊に対する許容限界	資料 11-217
5.2.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	資料 11-224
6.	評価結果	資料 11-226
6.1	地震応答解析結果	資料 11-228
6.1.1	各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果	資料 11-229
6.1.2	作用荷重分布図	資料 11-283
6.1.3	最大せん断ひずみ分布	資料 11-317
6.1.4	過剰間隙水圧比分布	資料 11-336
6.2	三次元構造解析結果	資料 11-343
6.2.1	解析ケースと照査値	資料 11-349
6.2.2	構造部材のひずみ分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）	資料 11-390
6.2.3	構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）	資料 11-409
6.3	構造部材の健全性に対する評価結果	資料 11-435
6.3.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	資料 11-435
6.3.2	せん断破壊に対する評価結果	資料 11-502
6.3.3	面内せん断に対する Ccb 工法の適用性の確認結果	資料 11-531
6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	資料 11-547
6.4.1	基礎地盤（狐崎部層）	資料 11-547
6.4.2	MMR（既設）	資料 11-560
7.	まとめ	資料 11-592

参考資料

参考資料 1 静的地震力に対する評価結果・・・・・・・・・・資料 11- (参考) 1-1

参考資料 2 取水路 (標準部) の地盤剛性急変部における地盤拘束効果の影響について・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・資料 11- (参考) 2-1

 : 記載適正化範囲

6.3.3 面内せん断に対する Ccb 工法の適用性の確認結果

剛性急変部周辺等には、Ccb 工法を適用している箇所があり、相対変位差による面内せん断が発生することから、面内せん断ひずみが Ccb 工法の適用範囲内であることを確認した結果を示す。

(1) 直線部

直線部における Ccb 工法を適用している箇所の各部材での面内せん断ひずみの最大値について、表 6-52 に解析ケース・地震動ごとに示す。

同表より、面内せん断ひずみは 750μ に至っておらず、Ccb 工法の適用範囲内であることを確認した。

表 6-52(1) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (直線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
①	S s - D 1	++	頂版	120	120	15 μ	180 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	11 μ	165 μ
		-+	頂版	120	120	13 μ	182 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	11 μ	173 μ
	S s - D 2	++	頂版	120	120	11 μ	182 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	12 μ	165 μ
		-+	頂版	120	120	12 μ	173 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	161 μ
	S s - D 3	++	頂版	120	120	10 μ	170 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	9 μ	158 μ
		-+	頂版	120	120	9 μ	163 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	9 μ	161 μ

注記*1 : 評価位置は図 6-47 に示す。

*2 : Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3 : 照査用面内せん断ひずみ = 発生する面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

*4 : γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5 : γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6 : γ_{xy} における評価位置を左側に, γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-52(2) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (直線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
①	S s - F 1	++	頂版	120	120	10 μ	190 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	170 μ
		-+	頂版	120	120	9 μ	175 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	8 μ	167 μ
	S s - F 2	++	頂版	120	120	12 μ	159 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	9 μ	152 μ
		-+	頂版	120	120	9 μ	183 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	8 μ	173 μ
	S s - F 3	++	頂版	120	120	10 μ	202 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	11 μ	179 μ
		-+	頂版	120	120	12 μ	180 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	11 μ	165 μ

注記*1 : 評価位置は図 6-47 に示す。

*2 : Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3 : 照査用面内せん断ひずみ = 発生する面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

*4 : γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5 : γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6 : γ_{xy} における評価位置を左側に, γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-52(3) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (直線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
①	S s - N 1	++	頂版	120	120	14 μ	187
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	12 μ	171
		-+	頂版	120	120	16 μ	192
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	14 μ	169
②	S s - N 1	++	頂版	120	120	11 μ	184
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	169
③	S s - D 2	++	底版	100	100	16 μ	167
	S s - N 1	++	頂版	120	120	23 μ	187
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	16 μ	171
④	S s - N 1	++	頂版	120	120	11 μ	188
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	9 μ	175

注記*1：評価位置は図 6-47 に示す。

*2：Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3：照査用面内せん断ひずみ=発生する面内せん断ひずみ×構造解析係数 γ_a

*4： γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5： γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6： γ_{xy} における評価位置を左側に、 γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-52(4) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (直線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
⑥'	S s - D 1	++	頂版	120	120	15 μ	239 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	220 μ
		-+	頂版	120	120	13 μ	217 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	8 μ	210 μ
	S s - D 2	++	頂版	120	120	10 μ	245 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	222 μ
		-+	頂版	120	120	13 μ	232 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	219 μ
	S s - D 3	++	頂版	120	120	11 μ	238 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	11 μ	215 μ
		-+	頂版	120	120	10 μ	212 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	208 μ

注記*1 : 評価位置は図 6-47 に示す。

*2 : Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3 : 照査用面内せん断ひずみ = 発生する面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

*4 : γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5 : γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6 : γ_{xy} における評価位置を左側に, γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-52(5) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (直線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
⑥'	S s - F 1	++	頂版	120	120	11 μ	251 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	9 μ	226 μ
		-+	頂版	120	120	10 μ	227 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	8 μ	212 μ
	S s - F 2	++	頂版	120	120	12 μ	221 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	8 μ	209 μ
		-+	頂版	120	120	11 μ	232 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	9 μ	211 μ
	S s - F 3	++	頂版	120	120	12 μ	256 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	10 μ	230 μ
		-+	頂版	120	120	12 μ	232 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	-	-	-
			底版	100	100	9 μ	215 μ

注記*1：評価位置は図 6-47 に示す。

*2：Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3：照査用面内せん断ひずみ=発生する面内せん断ひずみ×構造解析係数 γ_a

*4： γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5： γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6： γ_{xy} における評価位置を左側に、 γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-52(6) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (直線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用			
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5			
⑥'	S s - N 1	++	頂版	120	120	16 μ	230 μ		
			側壁	-	-	-	-		
			隔壁	-	-	-	-		
			底版	100	100	10 μ	215 μ		
		-+	頂版	120	120	17 μ	259 μ		
			側壁	-	-	-	-		
			隔壁	-	-	-	-		
			底版	100	100	12 μ	230 μ		
⑦'	S s - F 3	++	頂版	120	120	12 μ	228 μ		
			側壁	-	-	-	-		
			隔壁	-	-	-	-		
			底版	100	100	10 μ	208 μ		
⑧'	S s - F 3	++	頂版	120	120	14 μ	260 μ		
			側壁	-	-	-	-		
			隔壁	-	-	-	-		
			底版	100	100	13 μ	230 μ		
⑧'	S s - N 1	++	頂版	120	120	24 μ	219 μ		
	⑨'	S s - D 2	++	底版	100	100	8 μ	224 μ	
S s - F 3				++	頂版	120	120	10 μ	257 μ
					側壁	-	-	-	-
					隔壁	-	-	-	-
	底版	100	100		8 μ	235 μ			

注記*1：評価位置は図 6-47 に示す。

*2：Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3：照査用面内せん断ひずみ=発生する面内せん断ひずみ×構造解析係数 γ_a

*4： γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5： γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6： γ_{xy} における評価位置を左側に、 γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

(2) 曲線部

曲線部における Ccb 工法を適用している箇所の内せん断ひずみの最大値について、表 6-53 に解析ケース・地震動ごとに示す。

同表より、内せん断ひずみは 750μ に至っておらず、Ccb 工法の適用範囲内であることを確認した結果を示す。

表 6-53(1) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (曲線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
①	S s - D 1	++	頂版	120	120	8 μ	246 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	100 μ
			底版	101	100	7 μ	224 μ
		-+	頂版	120	120	9 μ	244 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	87 μ
			底版	101	100	8 μ	229 μ
	S s - D 2	++	頂版	120	120	10 μ	231 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	92 μ
			底版	101	100	9 μ	216 μ
		-+	頂版	120	120	8 μ	236 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	96 μ
			底版	101	100	9 μ	213 μ
	S s - D 3	++	頂版	120	120	6 μ	221 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	88 μ
			底版	101	100	8 μ	204 μ
		-+	頂版	120	120	8 μ	208 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	81 μ
			底版	101	100	8 μ	199 μ

注記*1 : 評価位置は図 6-47 に示す。

*2 : Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3 : 照査用面内せん断ひずみ = 発生する面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

*4 : γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5 : γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6 : γ_{xy} における評価位置を左側に, γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-53(2) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (曲線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
①	S s - F 1	++	頂版	120	120	8 μ	247 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	84 μ
			底版	101	100	8 μ	234 μ
		-+	頂版	120	120	7 μ	214 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	95 μ
			底版	101	100	8 μ	206 μ
	S s - F 2	++	頂版	120	120	7 μ	233 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	95 μ
			底版	101	100	8 μ	215 μ
		-+	頂版	120	120	8 μ	225 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	90 μ
			底版	101	100	9 μ	208 μ
	S s - F 3	++	頂版	120	120	7 μ	238 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	89 μ
			底版	101	100	8 μ	223 μ
		-+	頂版	120	120	7 μ	240 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	104 μ
			底版	101	100	8 μ	224 μ

注記*1：評価位置は図 6-47 に示す。

*2：Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3：照査用面内せん断ひずみ=発生する面内せん断ひずみ×構造解析係数 γ_a

*4： γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5： γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6： γ_{xy} における評価位置を左側に、 γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-53(3) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (曲線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用 面内ひずみ*3	照査用 面内ひずみ*3	
					γ_{xy} *4	γ_{xz} *5	
①	S s - N 1	++	頂版	120	120	9 μ	239 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	85 μ
			底版	101	100	9 μ	223 μ
		-+	頂版	120	120	8 μ	251 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	93 μ
			底版	101	100	8 μ	230 μ
②	S s - N 1	++	頂版	120	120	9 μ	218 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	79 μ
			底版	101	100	8 μ	211 μ
③	S s - N 1	++	頂版	120	120	15 μ	256 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	102 μ
			底版	101	100	11 μ	232 μ
④	S s - N 1	++	頂版	120	120	8 μ	219 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	70 μ
			底版	101	100	8 μ	204 μ
		-+	底版	101	100	7 μ	213 μ

注記*1：評価位置は図 6-47 に示す。

*2：Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3：照査用面内せん断ひずみ=発生する面内せん断ひずみ×構造解析係数 γ_a

*4： γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5： γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6： γ_{xy} における評価位置を左側に、 γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-53(4) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (曲線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
⑥'	S s - D 1	++	頂版	120	120	7 μ	371 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	111 μ
			底版	101	100	10 μ	338 μ
		-+	頂版	120	120	11 μ	344 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	111 μ
			底版	101	100	12 μ	326 μ
	S s - D 2	++	頂版	120	120	11 μ	321 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	102 μ
			底版	101	100	11 μ	305 μ
		-+	頂版	120	120	7 μ	346 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	109 μ
			底版	101	100	11 μ	320 μ
	S s - D 3	++	頂版	120	120	6 μ	326 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	90 μ
			底版	101	100	10 μ	307 μ
		-+	頂版	120	120	10 μ	320 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	90 μ
			底版	101	100	10 μ	307 μ

注記*1 : 評価位置は図 6-47 に示す。

*2 : Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3 : 照査用面内せん断ひずみ = 発生する面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

*4 : γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5 : γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6 : γ_{xy} における評価位置を左側に, γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-53(5) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (曲線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
⑥'	S s - F 1	++	頂版	120	120	10 μ	350 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	94 μ
			底版	101	100	10 μ	332 μ
		-+	頂版	120	120	6 μ	310 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	109 μ
			底版	101	100	10 μ	298 μ
	S s - F 2	++	頂版	120	120	8 μ	329 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	98 μ
			底版	101	100	9 μ	308 μ
		-+	頂版	120	120	10 μ	324 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	87 μ
			底版	101	100	11 μ	308 μ
	S s - F 3	++	頂版	120	120	8 μ	324 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	100 μ
			底版	101	100	9 μ	306 μ
		-+	頂版	120	120	9 μ	333 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	90 μ
			底版	101	100	11 μ	314 μ

注記*1 : 評価位置は図 6-47 に示す。

*2 : Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3 : 照査用面内せん断ひずみ = 発生する面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

*4 : γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5 : γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*6 : γ_{xy} における評価位置を左側に, γ_{xz} における評価位置を右側に示す。

表 6-53(6) Ccb 工法を適用している箇所の面内せん断ひずみ (曲線部)

解析 ケース	地震動		評価位置*1, 2, 6		照査用	照査用	
					面内ひずみ*3 γ_{xy} *4	面内ひずみ*3 γ_{xz} *5	
⑥'	S s - N 1	++	頂版	120	120	10 μ	335 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	122 μ
			底版	101	100	11 μ	314 μ
		-+	頂版	120	120	8 μ	377 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	112 μ
			底版	101	100	10 μ	352 μ
⑦'	S s - N 1	-+	頂版	120	120	7 μ	366 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	82 μ
			底版	101	100	9 μ	348 μ
⑧'	S s - D 1	-+	隔壁	-	110	-	120 μ
	S s - N 1	-+	頂版	120	120	11 μ	393 μ
			側壁	-	-	-	-
隔壁			-	110	-	122 μ	
			底版	101	100	10 μ	353 μ
⑨'	S s - N 1	++	頂版	120	120	8 μ	308 μ
		-+	頂版	120	120	7 μ	345 μ
			側壁	-	-	-	-
			隔壁	-	110	-	86 μ
			底版	101	100	8 μ	322 μ

注記*1：評価位置は図 6-47 に示す。

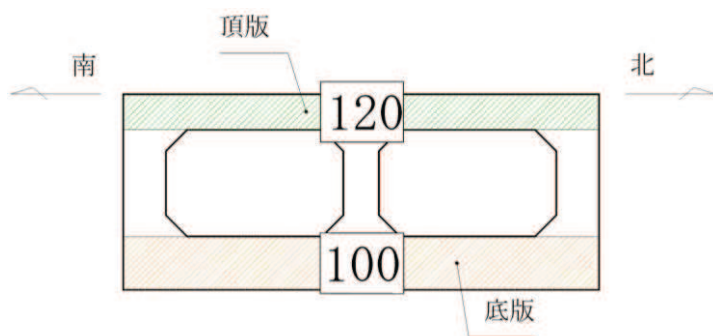
*2：Ccb 工法を適用した部位は図 5-86 に示す。

*3：照査用面内せん断ひずみ=発生する面内せん断ひずみ×構造解析係数 γ_a

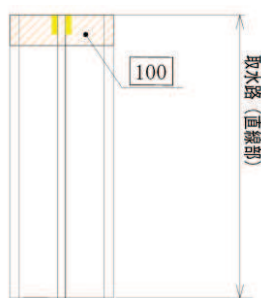
*4： γ_{xy} は図 6-48 に示す x-y 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

*5： γ_{xz} は図 6-48 に示す x-z 平面に対する面内せん断ひずみを示す。

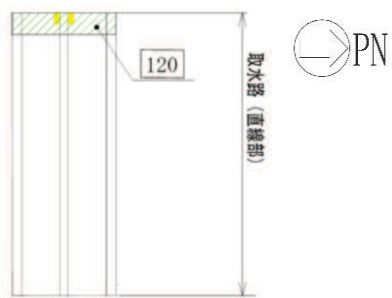
*6： γ_{xy} における評価位置を左側に、 γ_{xz} における評価位置を右側に示す。



(断面図)

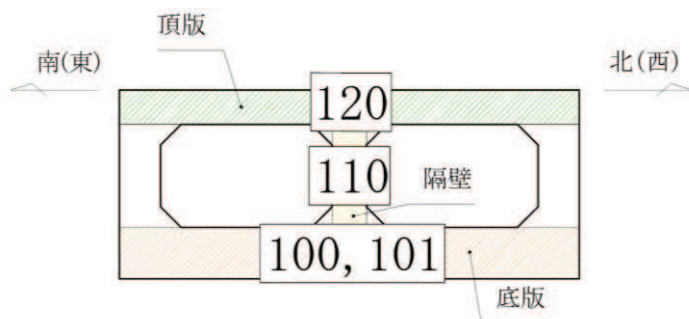


(平面図 (底版))

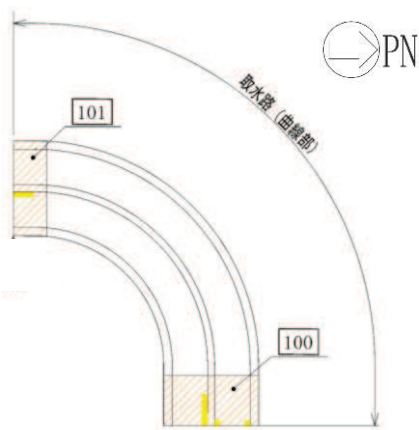


(平面図 (頂版))

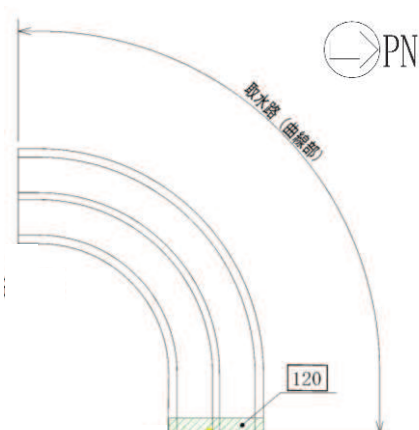
図 6-47(1) 評価位置図 (直線部)



(断面図)

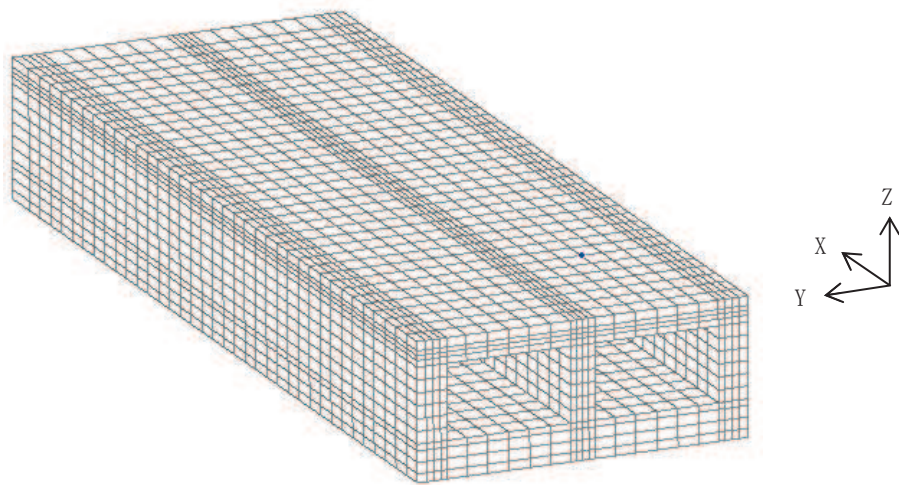


(平面図 (底版))

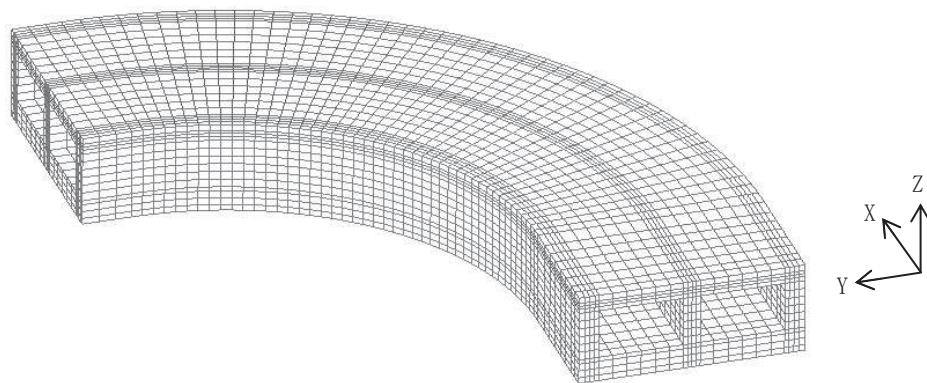


(平面図 (頂版))

図 6-47(2) 評価位置図 (曲線部)



(直線部)



(曲線部)

図 6-48 面内せん断ひずみ算出の座標軸

資料 13 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震安全性評価

目 次

1. 評価方法	資料 13-1
2. 評価条件	資料 13-1
2.1 適用規格	資料 13-1
2.2 構造概要	資料 13-3
2.3 耐震評価フロー	資料 13-7
2.4 地震時荷重算出断面の選定	資料 13-12
2.5 使用材料及び材料の物性値	資料 13-14
2.6 地盤物性値	資料 13-14
2.7 評価構造物諸元	資料 13-20
2.8 地下水位	資料 13-22
3. 地震応答解析	資料 13-23
3.1 地震応答解析手法	資料 13-23
3.2 地震応答解析モデルの設定	資料 13-26
3.2.1 解析モデル領域	資料 13-26
3.2.2 境界条件	資料 13-28
3.2.3 構造物のモデル化	資料 13-33
3.2.4 隣接構造物のモデル化	資料 13-37
3.2.5 地盤のモデル化	資料 13-37
3.2.6 ジョイント要素の設定	資料 13-38
3.3 減衰定数	資料 13-41
3.4 荷重の組合せ	資料 13-51
3.4.1 機器・配管荷重	資料 13-52
3.4.2 外水圧	資料 13-54
3.4.3 積載荷重	資料 13-55
3.5 地震応答解析の解析ケース	資料 13-56
3.5.1 耐震評価における解析ケース	資料 13-56
3.5.2 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース	資料 13-62
4. 三次元構造解析	資料 13-65
4.1 解析手法	資料 13-65
4.2 解析モデルの設定	資料 13-66
4.2.1 構造物のモデル化	資料 13-66
4.2.2 地盤ばね要素	資料 13-69
4.3 照査時刻の選定	資料 13-70
4.4 入力荷重	資料 13-71
4.4.1 常時荷重	資料 13-73
4.4.2 慣性力	資料 13-75
4.4.3 地震時土圧・水圧及び周面せん断力	資料 13-76

5.	評価内容	資料 13-77
5.1	入力地震動の設定	資料 13-77
5.2	許容限界の設定	資料 13-92
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	資料 13-92
5.2.2	せん断破壊に対する許容限界	資料 13-93
5.2.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	資料 13-94
6.	評価結果	資料 13-95
6.1	地震応答解析結果	資料 13-95
6.1.1	各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果	資料 13-96
6.1.2	作用荷重分布図	資料 13-99
6.1.3	最大せん断ひずみ分布	資料 13-101
6.2	三次元構造解析結果	資料 13-103
6.2.1	解析ケースと照査値	資料 13-106
6.2.2	曲げ・軸力系の破壊に対する照査	資料 13-115
6.2.3	せん断破壊に対する照査	資料 13-122
6.3	構造部材の健全性に対する評価結果	資料 13-125
6.3.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	資料 13-125
6.3.2	せん断破壊に対する評価結果	資料 13-130
6.3.3	水平 2 方向载荷による評価結果	資料 13-133
6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	資料 13-135
7.	まとめ	資料 13-137

参考資料

参考資料 1 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース.....資料 13- (参考) 1-1

 : 記載適正化範囲

6.3.3 水平2方向載荷による評価結果

水平2方向載荷による評価は、「3.5 地震応答解析の解析ケース」に示すとおり、すべての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①、解析ケース②及び③の照査値の中で最大となる地震動に対し実施する。水平2方向載荷の評価において組合せる荷重は、主方向荷重を水平方向及び鉛直方向荷重、従方向荷重を水平方向荷重とし、従方向荷重は主方向荷重での地震時荷重算定時刻と同時刻の荷重を、位相を変えた地震動にて算出した荷重とする。

なお、「3.5.1(4) 従方向荷重の選定」に示すとおり、強軸方向（南北）に対する地震応答解析は全応力解析及び有効応力解析を実施することから、各々の解析手法から得られた地震時荷重を弱軸方向の地震時荷重と組み合わせて耐震評価を行う。

「6.2 三次元構造解析結果」に示すとおり、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、解析ケース①の $S_s - F_2(++)$ が照査値最大となることから、 $S_s - F_2(++)$ に対する水平2方向載荷による評価を実施する。水平2方向載荷による評価に用いる解析ケースと地震動の組合せを表6-15に示す。

水平2方向載荷に対する評価結果について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース及び評価結果を表6-16～表6-18に示す。

同表より、発生応力度及び発生せん断力がそれぞれの許容限界を下回ることを確認した。

表6-15 水平2方向載荷による評価に用いる解析ケースと地震動

解析ケース		地震動
主方向	従方向	
①	①	$S_s - F_2(++)$
①	⑥	

表 6-16 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（コンクリート）

評価位置*		解析ケース		地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
		主方向	従方向						
底版	13	①	①	主方向：S _s -F ₂ （++） 従方向：S _s -F ₂	910	-876	4.0	13.5	0.30
頂版	21	①	①		-266	-106	2.8	13.5	0.21
南北壁	41	①	①		-361	-1870	2.0	13.5	0.15
東西壁	60	①	①		590	-37	3.0	13.5	0.23
隔壁	80	①	①		-383	-109	4.5	13.5	0.34

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-17 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（鉄筋）

評価位置*		解析ケース		地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		主方向	従方向						
底版	11	①	①	主方向：S _s -F ₂ （++） 従方向：S _s -F ₂	140	739	105	294	0.36
頂版	21	①	①		-14	764	127	294	0.44
南北壁	32	①	①		-111	906	116	294	0.40
東西壁	60	①	①		590	76	167	294	0.57
隔壁	80	①	①		-327	182	173	294	0.59

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-18 せん断破壊に対する評価結果

評価位置*		解析ケース		地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
		主方向	従方向				
底版	13	①	①	主方向：S _s -F ₂ （++） 従方向：S _s -F ₂	338	969	0.35
頂版	22	①	①		186	729	0.26
南北壁	31	①	①		235	1175	0.20
東西壁	60	①	①		576	1175	0.50
隔壁	70	①	⑥		244	723	0.34

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

資料 14 第 3 号機海水ポンプ室の耐震安全性評価


目 次

1. 評価方法	資料 14-1
2. 評価条件	資料 14-1
2.1 適用規格	資料 14-1
2.2 構造及び補強の概要	資料 14-4
2.3 耐震評価フロー	資料 14-12
2.4 地震時荷重算出断面の選定	資料 14-18
2.5 使用材料及び材料の物性値	資料 14-21
2.6 地盤物性値	資料 14-21
2.7 評価構造物諸元及び要求機能の考え方	資料 14-27
2.7.1 評価構造物諸元	資料 14-27
2.7.2 第3号機海水ポンプ室の要求機能の考え方	資料 14-30
2.8 地下水位	資料 14-32
3. 地震応答解析	資料 14-34
3.1 地震応答解析手法	資料 14-34
3.2 地震応答解析モデルの設定	資料 14-37
3.2.1 解析モデル領域	資料 14-37
3.2.2 境界条件	資料 14-39
3.2.3 構造物のモデル化	資料 14-45
3.2.4 隣接構造物のモデル化	資料 14-52
3.2.5 地盤及びマンメイドロック (MMR) のモデル化	資料 14-52
3.2.6 ジョイント要素の設定	資料 14-53
3.3 減衰定数	資料 14-58
3.4 荷重の組合せ	資料 14-70
3.4.1 機器・配管荷重	資料 14-71
3.4.2 外水圧	資料 14-72
3.4.3 内水圧	資料 14-74
3.4.4 積載荷重	資料 14-76
3.4.5 動水圧	資料 14-78
3.5 地震応答解析の解析ケース	資料 14-81
3.5.1 耐震評価における解析ケース	資料 14-81
3.5.2 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース	資料 14-89
4. 三次元構造解析	資料 14-93
4.1 解析手法	資料 14-93
4.2 解析モデルの設定	資料 14-94
4.2.1 構造物のモデル化	資料 14-94
4.2.2 地盤ばね要素	資料 14-97
4.2.3 材料の非線形特性	資料 14-98
4.3 照査時刻の選定	資料 14-102

4.4	入力荷重	資料 14-105
4.4.1	常時荷重	資料 14-108
4.4.2	慣性力（機器）	資料 14-111
4.4.3	慣性力（配管）	資料 14-113
4.4.4	慣性力（躯体）	資料 14-115
4.4.5	動水圧	資料 14-117
4.4.6	地震時土圧・水圧及び周面せん断力	資料 14-119
5.	評価内容	資料 14-121
5.1	入力地震動の設定	資料 14-121
5.2	許容限界の設定	資料 14-154
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	資料 14-154
5.2.2	せん断破壊に対する許容限界	資料 14-159
5.2.3	壁部材の面内せん断に対する許容限界	資料 14-169
5.2.4	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	資料 14-171
6.	評価結果	資料 14-172
6.1	地震応答解析結果	資料 14-172
6.1.1	各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果	資料 14-173
6.1.2	作用荷重分布図	資料 14-209
6.1.3	最大せん断ひずみ分布	資料 14-217
6.1.4	過剰間隙水圧比分布	資料 14-226
6.2	三次元構造解析結果	資料 14-231
6.2.1	解析ケースと照査値	資料 14-237
6.2.2	構造部材のひずみ分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）	資料 14-269
6.2.3	構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）	資料 14-290
6.3	構造部材の健全性に対する評価結果	資料 14-316
6.3.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	資料 14-316
6.3.2	せん断破壊に対する評価結果	資料 14-429
6.3.3	壁部材の面内せん断に対する評価結果	資料 14-492
6.3.4	水平 2 方向載荷による評価結果	資料 14-529
6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	資料 14-534
6.4.1	基礎地盤（牧の浜部層）	資料 14-534
6.4.2	MMR（既設）	資料 14-539
7.	まとめ	資料 14-582

参考資料

- 参考資料 1 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース 資料 14- (参考) 1-1
- 参考資料 2 静的地震力に対する耐震評価 資料 14- (参考) 2-1
- 参考資料 3 主筋ひずみの平均化について 資料 14- (参考) 3-1
- 参考資料 4 照査時刻の選定の妥当性について 資料 14- (参考) 4-1

 : 記載適正化範囲

6.3.4 水平2方向載荷による評価結果

水平2方向載荷による評価は、「3.5 地震応答解析の解析ケース」に示すとおり、すべての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①～④または解析ケース⑥～⑨の照査値の中で最大となる地震動に対し実施する。水平2方向載荷の評価において組合せる荷重は、主方向荷重を水平方向及び鉛直方向荷重、従方向荷重を水平方向荷重とし、従方向荷重は主方向荷重での地震時荷重算定時刻と同時刻の荷重を、位相を変えた地震動にて算出した荷重とする。なお、 S_s-N1 は観測波に基づいており地震動の方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さいことから、 S_s-N1 が選定された場合は、2番目に照査値が厳しい地震動においても水平2方向載荷による評価を実施する。

「6.2 三次元構造解析結果」に示すとおり、せん断破壊に対する照査において、解析ケース④の S_s-N1 （++）が照査値最大となることから、2番目に照査値が厳しい解析ケース⑥の S_s-D2 （++）においても水平2方向載荷による評価を実施する。水平2方向載荷による評価に用いる解析ケースと地震動の組合せを表6-33に示す。

水平2方向載荷に対する評価結果について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース及び評価結果を表6-34～表6-39に示す。

同表より、コンクリートの圧縮縁ひずみ、コンクリートの圧縮ひずみ、主筋ひずみ、せん断力及び面内せん断ひずみが、それぞれの許容限界を下回ることを確認した。

表6-33 水平2方向載荷による評価に用いる解析ケースと地震動

解析ケース		地震動
主方向	従方向	
④	④	S_s-N1 （++）
④	⑨	
⑥	①	S_s-D2 （++）
⑥	⑥	

表 6-34 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（コンクリートの圧縮縁ひずみ）

評価位置*1		解析ケース		地震動	照査時刻	照査用ひずみ*2 ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
		主方向	従方向					
底版	2	⑥	⑥	主方向：S _s -D2 (++) 従方向：S _s -D2	13.47	611 μ	10000 μ	0.07
中床版	13	⑥	⑥		13.47	1107 μ	10000 μ	0.12
側壁	43	⑥	⑥		13.47	880 μ	10000 μ	0.09
隔壁	114	⑥	⑥		13.47	588 μ	10000 μ	0.06
導流壁	64	⑥	⑥		13.47	1104 μ	10000 μ	0.12
妻壁	78	⑥	⑥		13.47	1559 μ	10000 μ	0.16

注記*1：評価位置は図 6-28 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-35 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（コンクリートの圧縮ひずみ）

評価位置*1		解析ケース		地震動	照査時刻	照査用ひずみ*2 ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
		主方向	従方向					
底版	—	—	—	—	—	—	—	—
中床版	20	⑥	①	主方向：S _s -D2 (++) 従方向：S _s -D2	13.47	368 μ	2000 μ	0.19
側壁	—	—	—	—	—	—	—	—
隔壁	114	⑥	⑥	主方向：S _s -D2 (++) 従方向：S _s -D2	13.47	524 μ	2000 μ	0.27
導流壁	—	—	—	—	—	—	—	—
妻壁	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：評価位置は図 6-28 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-36 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（主筋ひずみ）

評価位置*1		解析ケース		地震動	照査時刻	照査用ひずみ*2 ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
		主方向	従方向					
底版	—	—	—	—	—	—	—	—
中床版	19	④	⑨	主方向：S _s -N1 (++) 従方向：S _s -N1	7.63	419 μ	1725 μ	0.25
側壁	—	—	—	—	—	—	—	—
隔壁	113	⑥	⑥	主方向：S _s -D2 (++) 従方向：S _s -D2	13.47	438 μ	1725 μ	0.26
導流壁	—	—	—	—	—	—	—	—
妻壁	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：評価位置は図 6-28 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-37 せん断破壊に対する評価結果

評価位置*1		解析ケース		地震動	照査時刻	照査用せん断力*2 V _d (kN/m)	せん断耐力 V _{yd} (kN/m)	照査値 V _d /V _{yd}
		主方向	従方向					
底版	1	④	④	主方向：S _s -N1 (++) 従方向：S _s -N1	7.63	8142	10702	0.77
中床版	12	④	④	主方向：S _s -N1 (++) 従方向：S _s -N1	7.63	3141	4001	0.79
側壁	53	④	④	主方向：S _s -N1 (++) 従方向：S _s -N1	7.63	6711	8418	0.80
隔壁	104	④	④	主方向：S _s -N1 (++) 従方向：S _s -N1	7.63	753	1179	0.64
導流壁	63	⑥	⑥	主方向：S _s -D2 (++) 従方向：S _s -D2	13.47	2401	2761	0.87
妻壁	81	⑥	⑥	主方向：S _s -D2 (++) 従方向：S _s -D2	13.47	4685	5522	0.85

注記*1：評価位置は図 6-28 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表 6-38 壁部材の面内せん断に対する評価結果

評価位置*1		解析ケース		地震動	照査時刻	照査用 面内ひずみ*2 γ_d	限界 せん断ひずみ γ_R	照査値 γ_d / γ_R
		主方向	従方向					
底版	—	—	—	—	—	—	—	—
中床版	—	—	—	—	—	—	—	—
側壁	—	—	—	—	—	—	—	—
隔壁	110	⑥	⑥	主方向：S s - D 2 (++) 従方向：S s - D 2	13.47	346 μ	2000 μ	0.18
導流壁	—	—	—	—	—	—	—	—
妻壁	70	⑥	⑥	主方向：S s - D 2 (++) 従方向：S s - D 2	13.47	319 μ	2000 μ	0.16

注記*1：評価位置は図 6-28 に示す。

*2：照査用面内せん断ひずみ = 発生面内せん断ひずみ × 構造解析係数 γ_a