

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20
提出年月日	2021年10月18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



: 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 O.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

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 9-415
6.4.1	基礎地盤（狐崎部層）	資料 9-415
6.4.2	MMR（既設）	資料 9-419
7.	まとめ	資料 9-439

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

 : 記載適正化範囲

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。

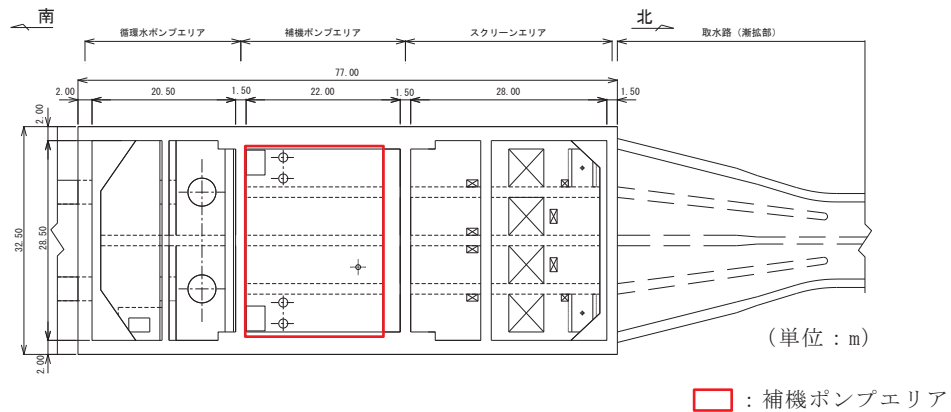


図 2-1 海水ポンプ室平面図

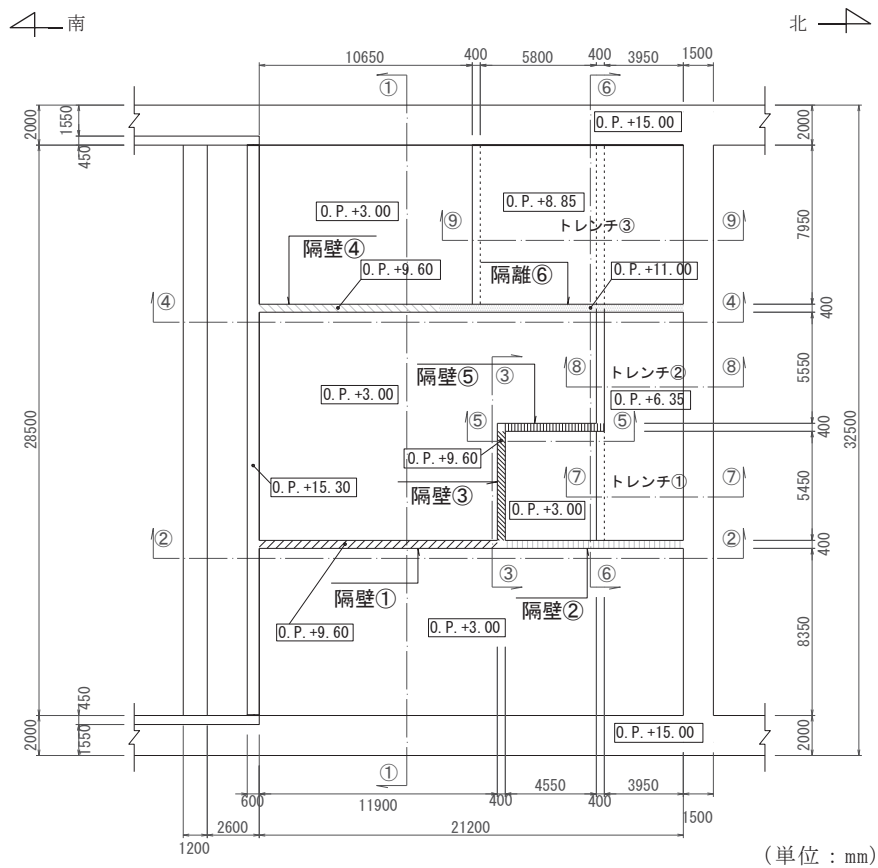


図 2-2 海水ポンプ室補機ポンプエリアの平面図

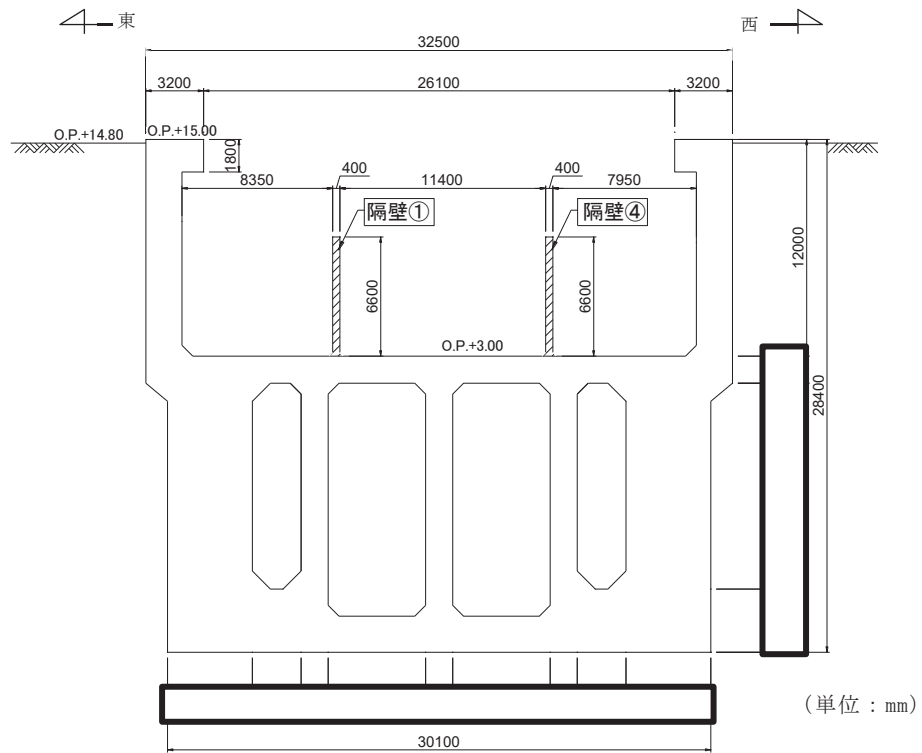


図 2-3(1) 補機ポンプエリア断面図 (①—①断面)

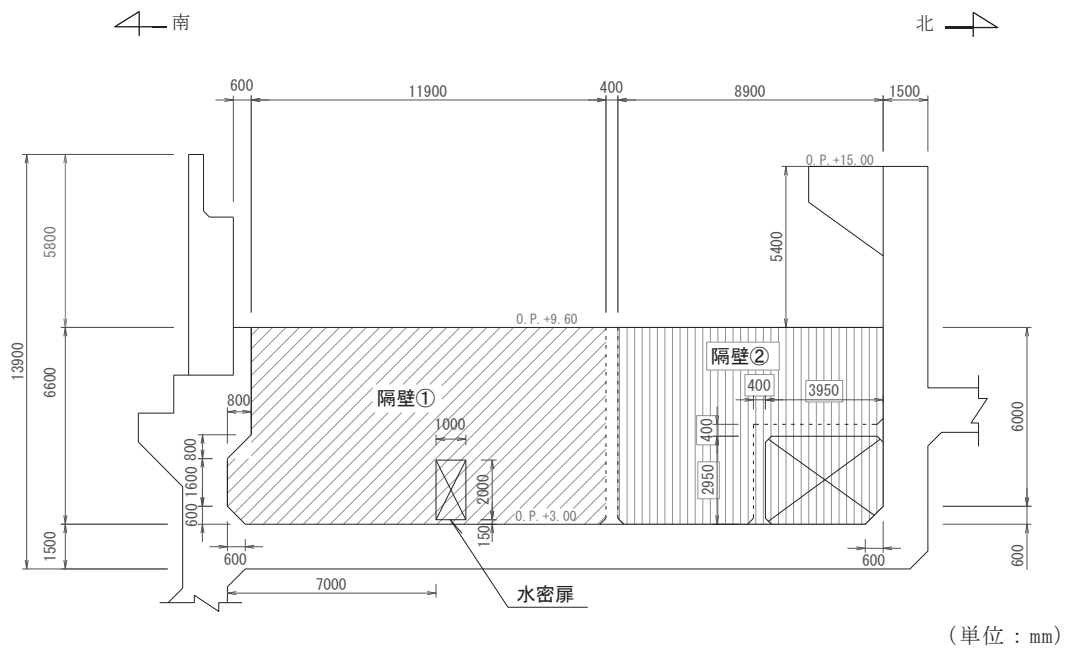


図 2-3(2) 補機ポンプエリア断面図 (②—②断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

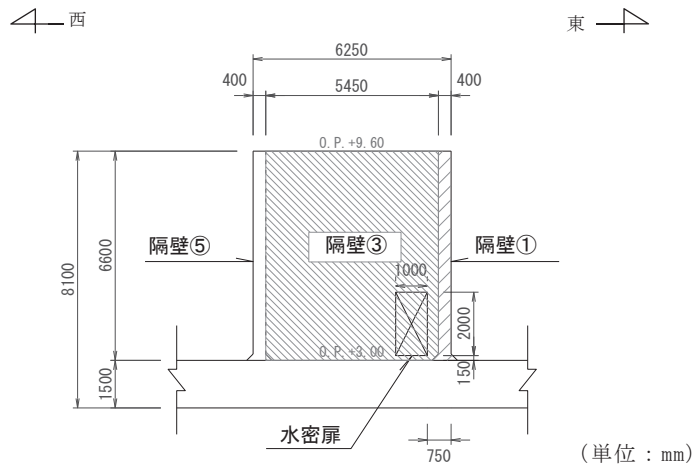


図 2-3(3) 補機ポンプエリア断面図 (③—③断面)

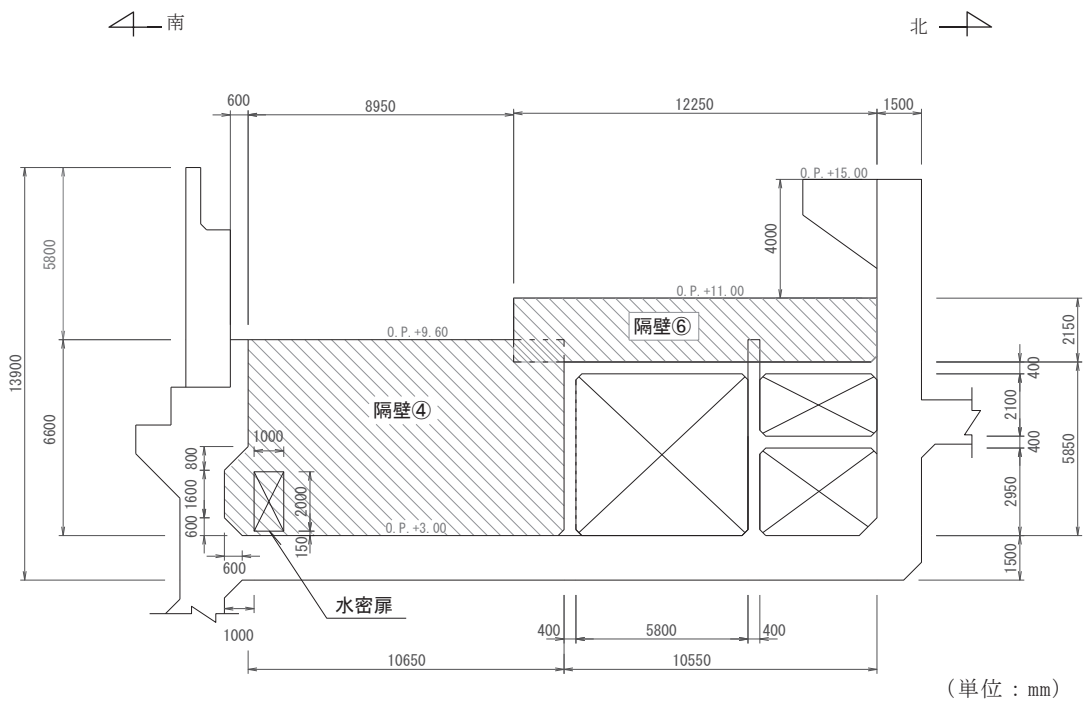


図 2-3(4) 補機ポンプエリア断面図 (④—④断面)

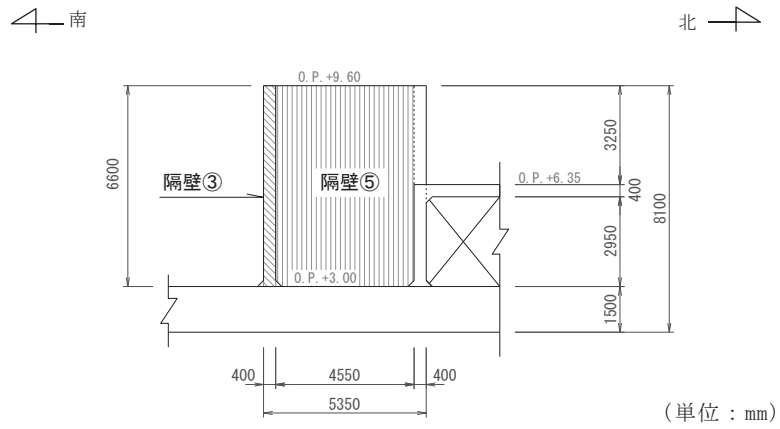


図 2-3(5) 補機ポンプエリア断面図 (⑤—⑤断面)

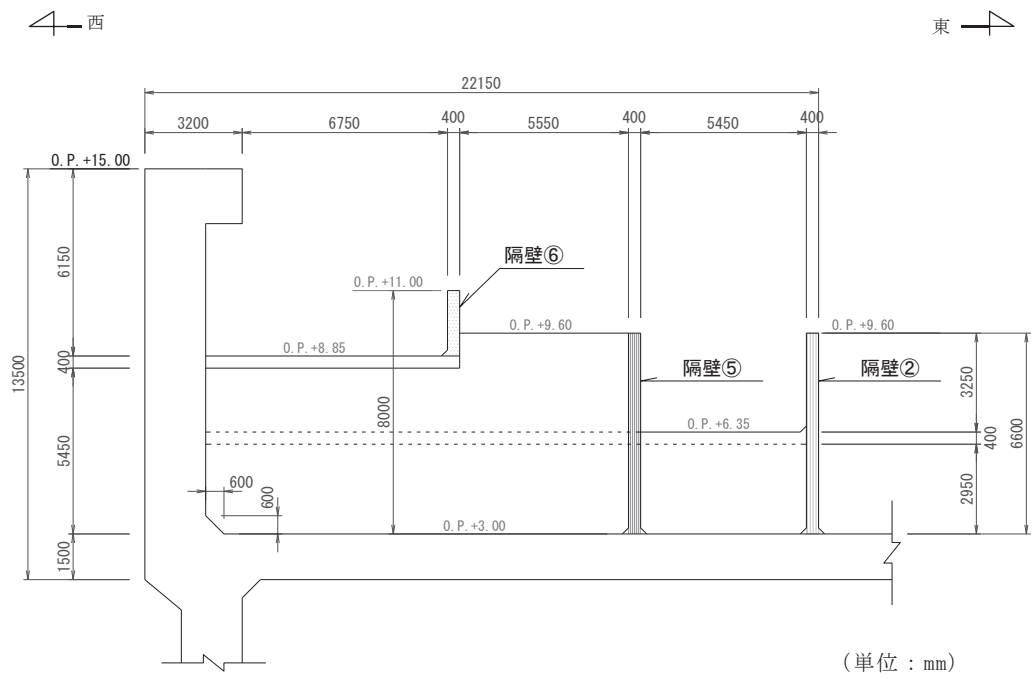


図 2-3(6) 補機ポンプエリア断面図 (⑥—⑥断面)

南

北

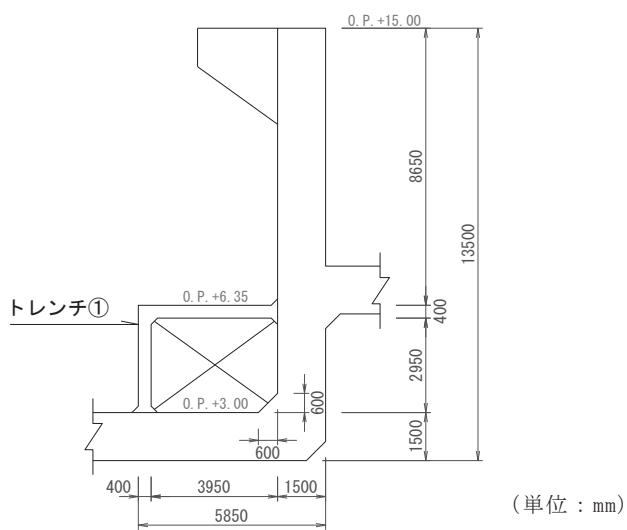


図 2-3(7) 補機ポンプエリア断面図 (⑦—⑦断面)

南

北

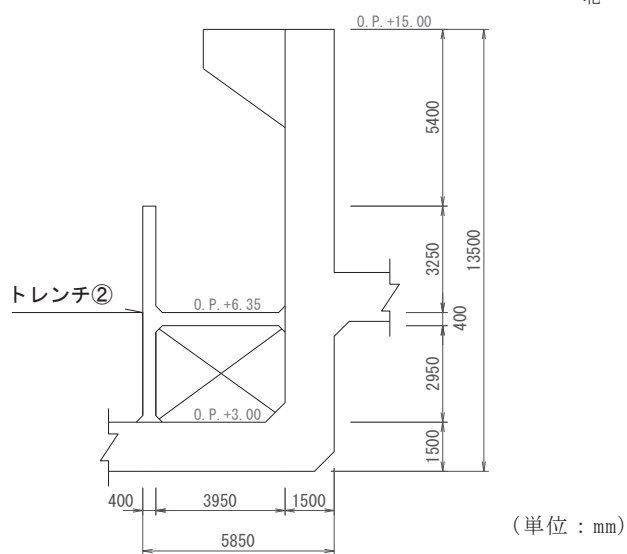


図 2-3(8) 補機ポンプエリア断面図 (⑧—⑧断面)

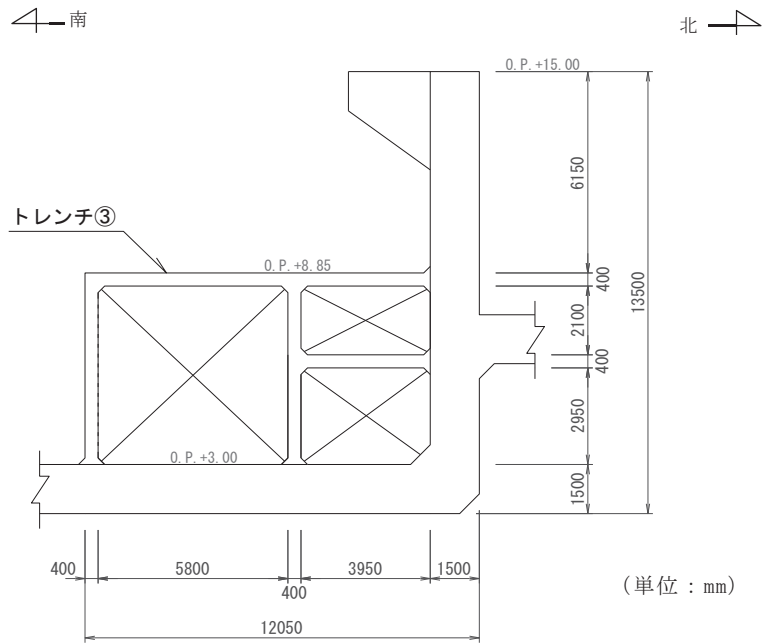


図 2-3(9) 補機ポンプエリア断面図 (⑨—⑨断面)

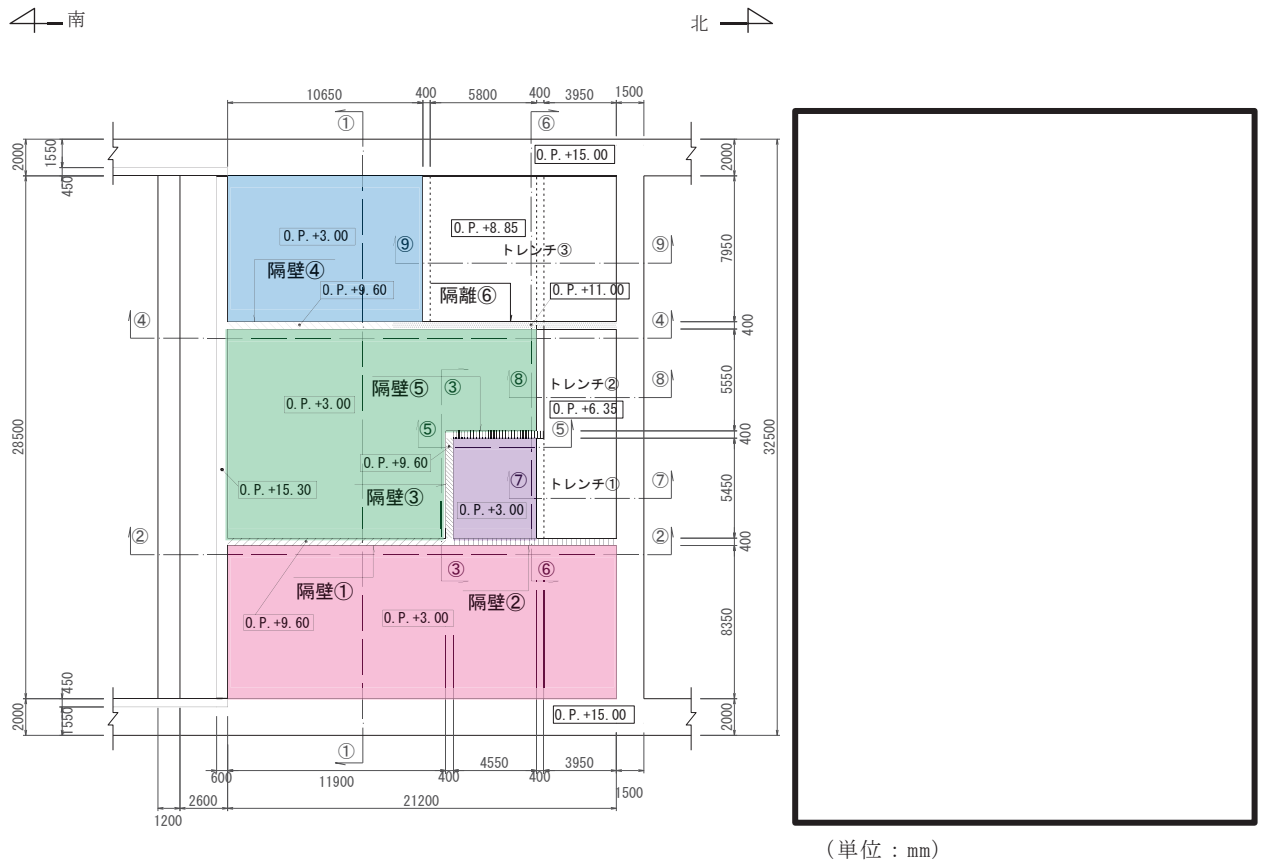


図 2-4 海水ポンプ室補機ポンプエリアの系統の分離図

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、短期許容応力度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、短期許容応力度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。

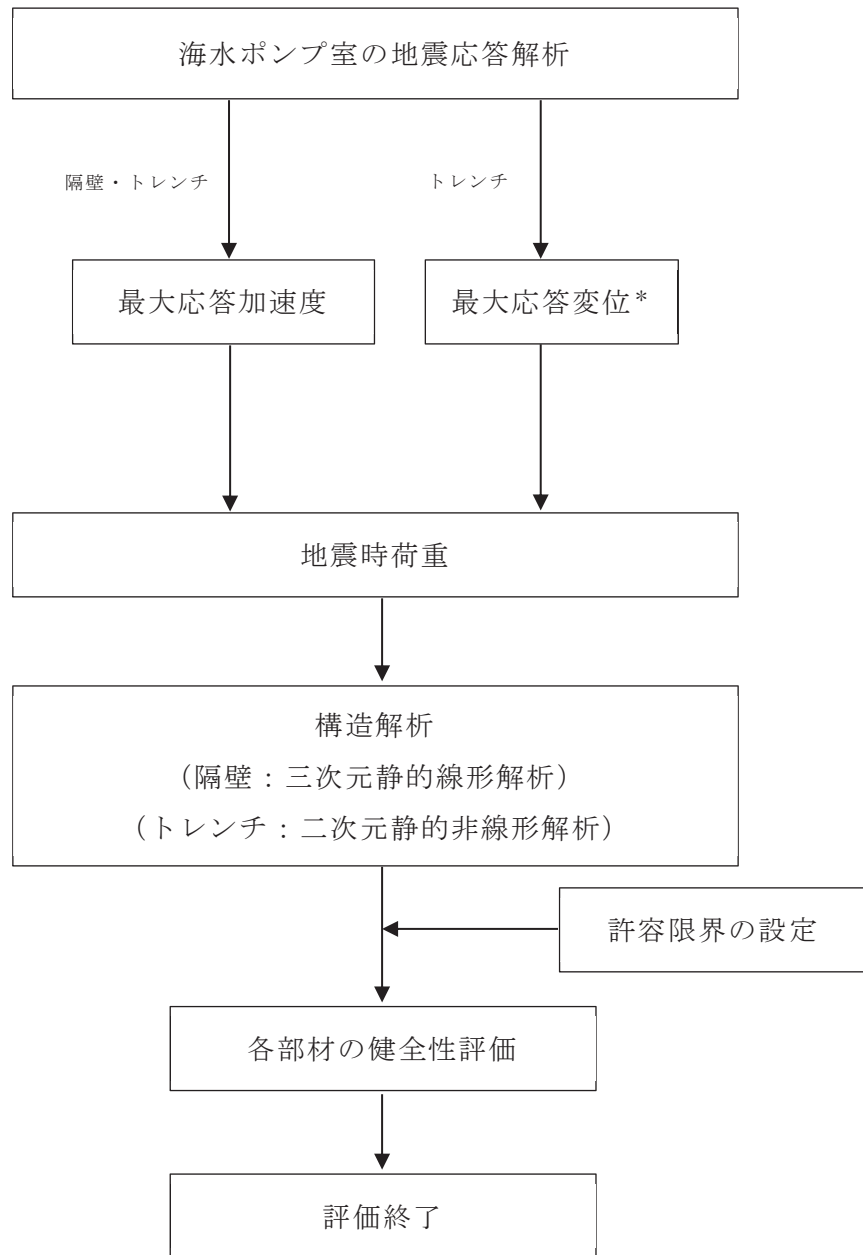


図 2-5 地震時の評価フロー

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。

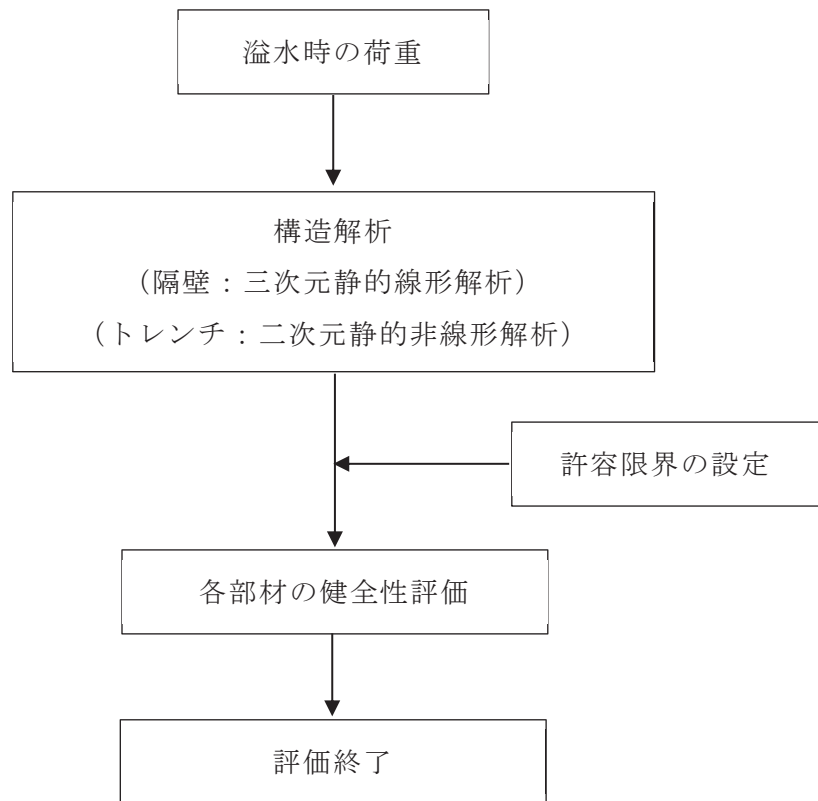


図 2-6 溢水時の評価フロー

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。

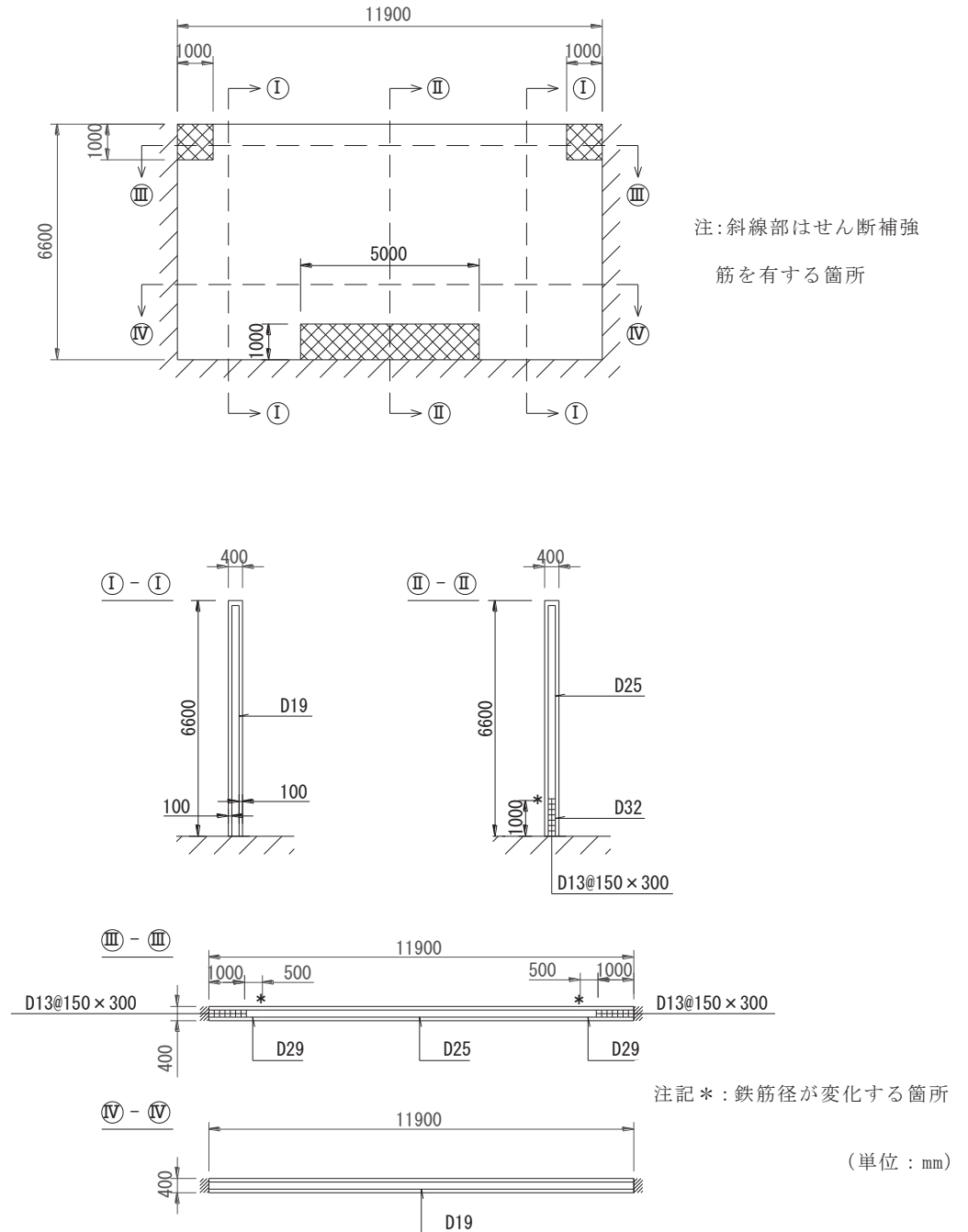
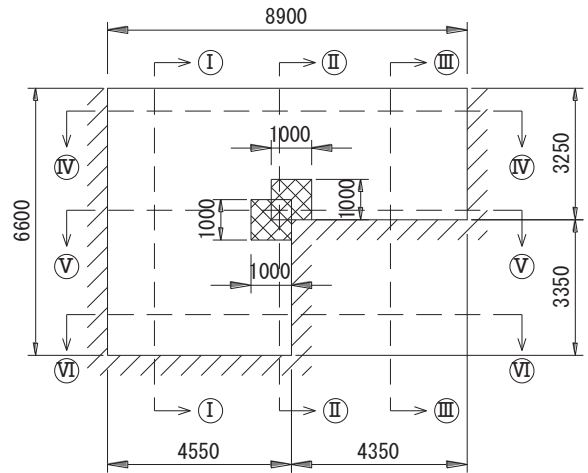
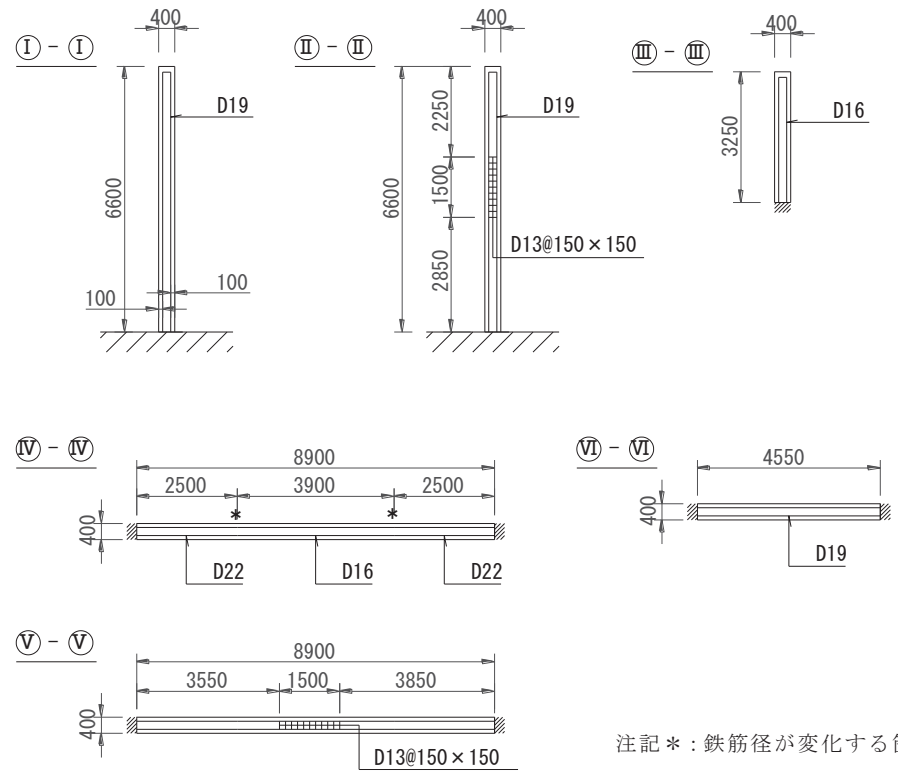


図3-1(1) 概略配筋図(隔壁①)



注:斜線部はせん断補強筋を有する箇所



注記*: 鉄筋径が変化する箇所

(単位: mm)

図 3-1(2) 概略配筋図 (隔壁②)

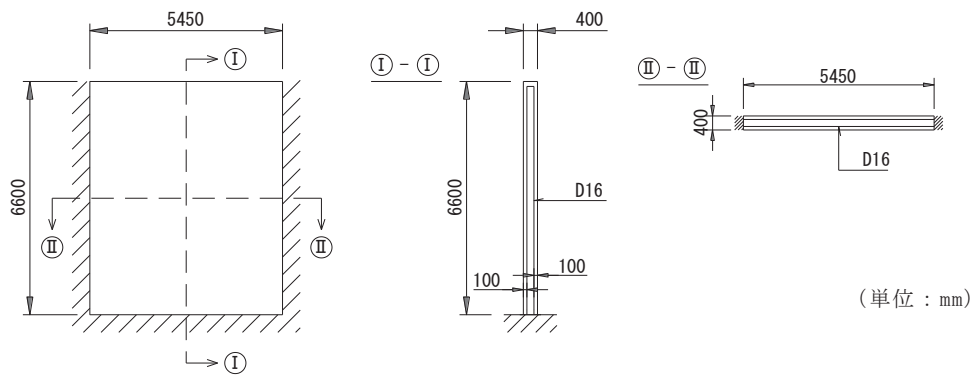
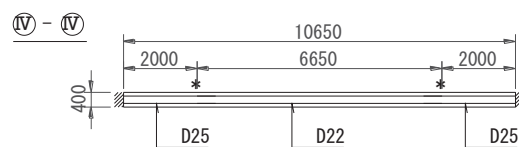
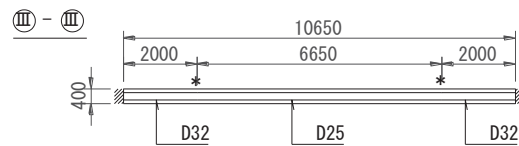
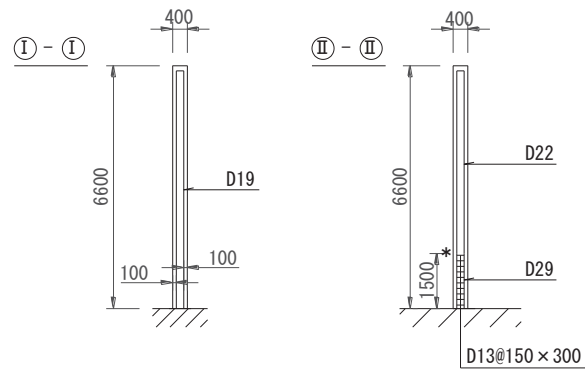
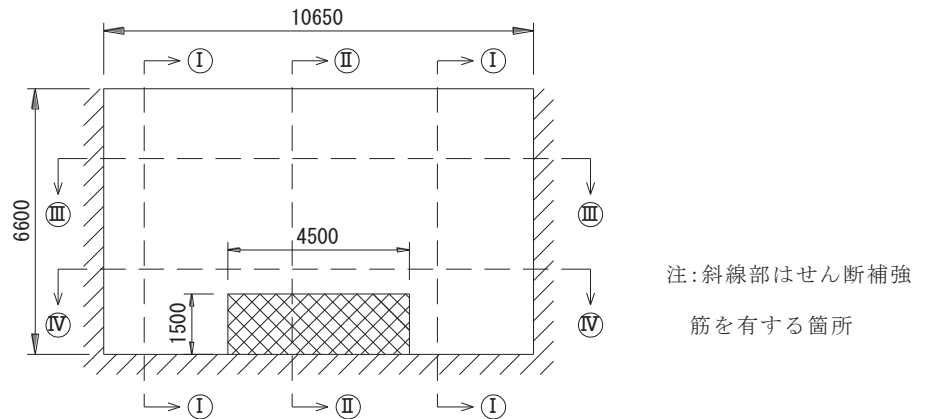


図 3-1(3) 概略配筋図 (隔壁③)



注記*: 鉄筋径が変化する箇所

(単位: mm)

図 3-1(4) 概略配筋図 (隔壁④)

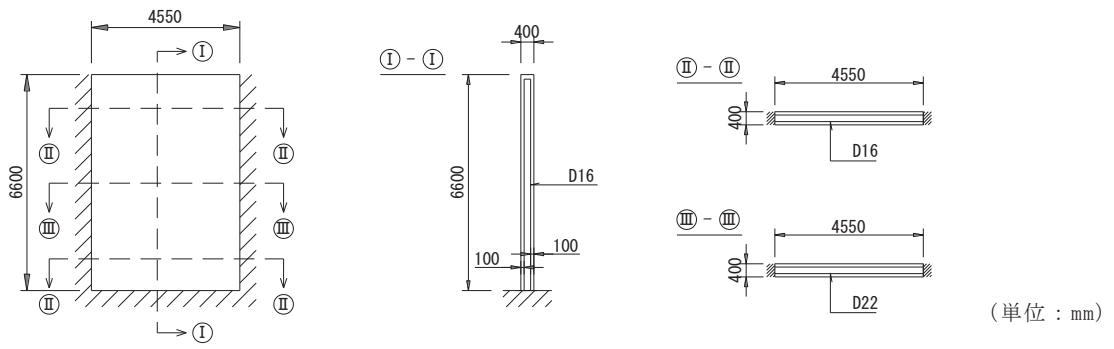


圖 3-1(5) 概略配筋圖 (隔壁⑤)

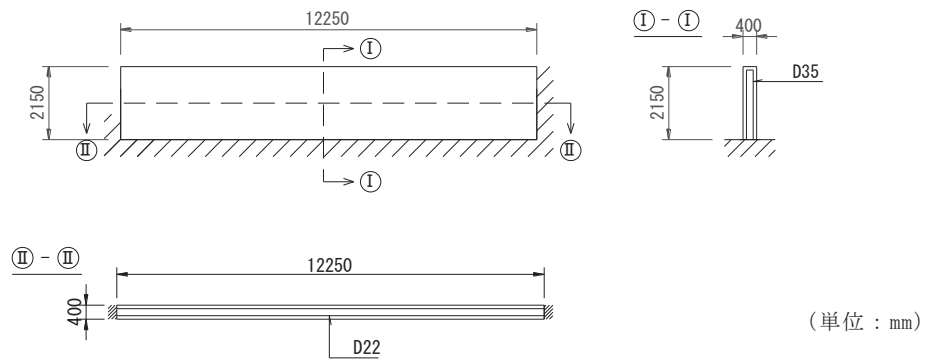


圖 3-1(6) 概略配筋圖 (隔壁⑥)

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。

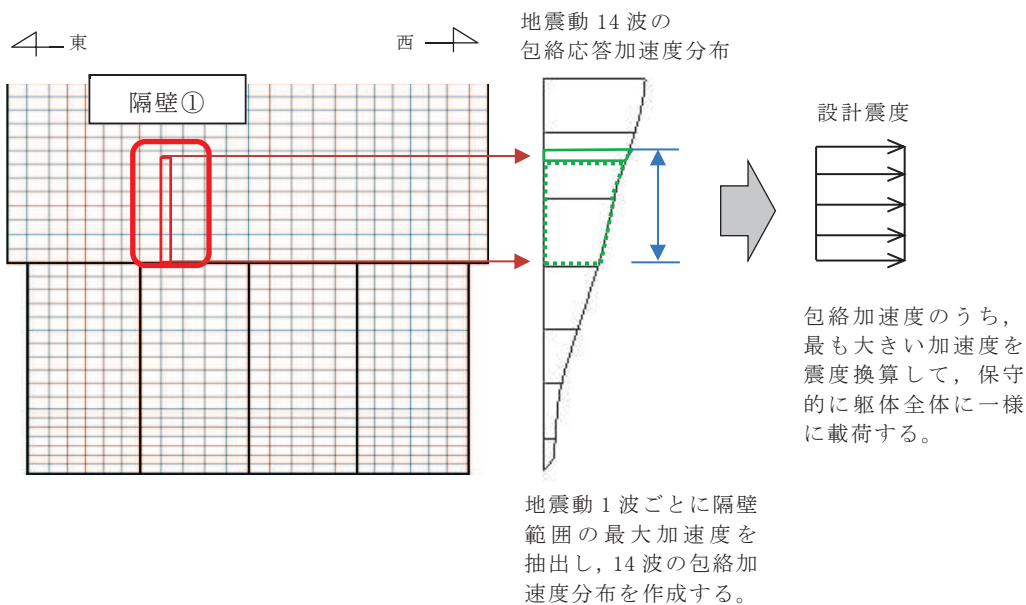


図 3-2(1) 応答加速度の抽出位置と設計震度の算出方法（隔壁①の例）

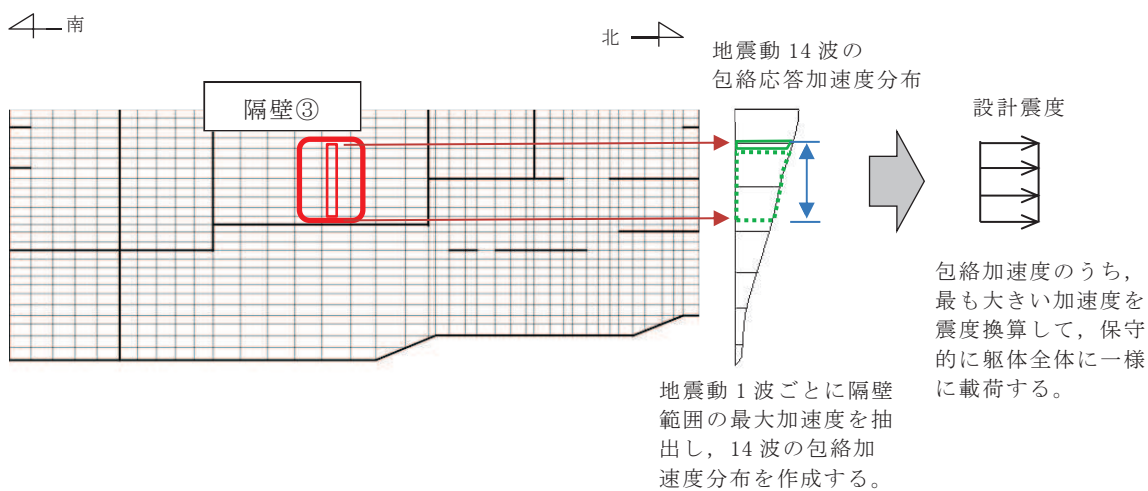


図 3-2(2) 応答加速度の抽出位置と設計震度の算出方法（隔壁③の例）

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密度を乗じて設定する。

(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

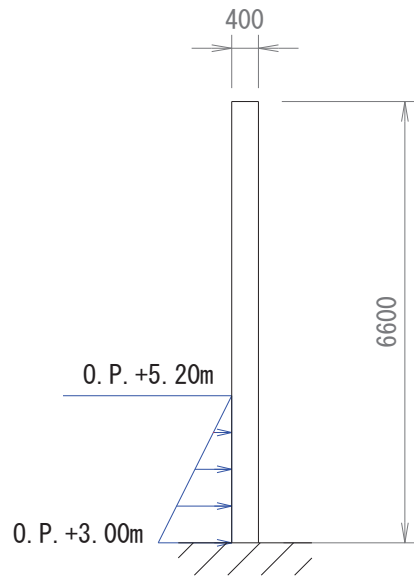
単一機器の想定破損に伴う溢水時の最大水位を、静水圧分布荷重として考慮する。各系統の機器の想定破損に伴う最大水位を表 3-3 に示す。

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。

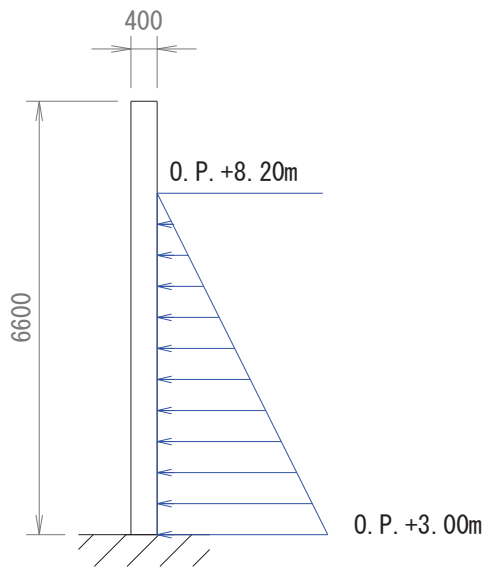
表 3-3 各系統の機器の想定破損に伴う最大水位

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

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)

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密度を乗じて設定する。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。

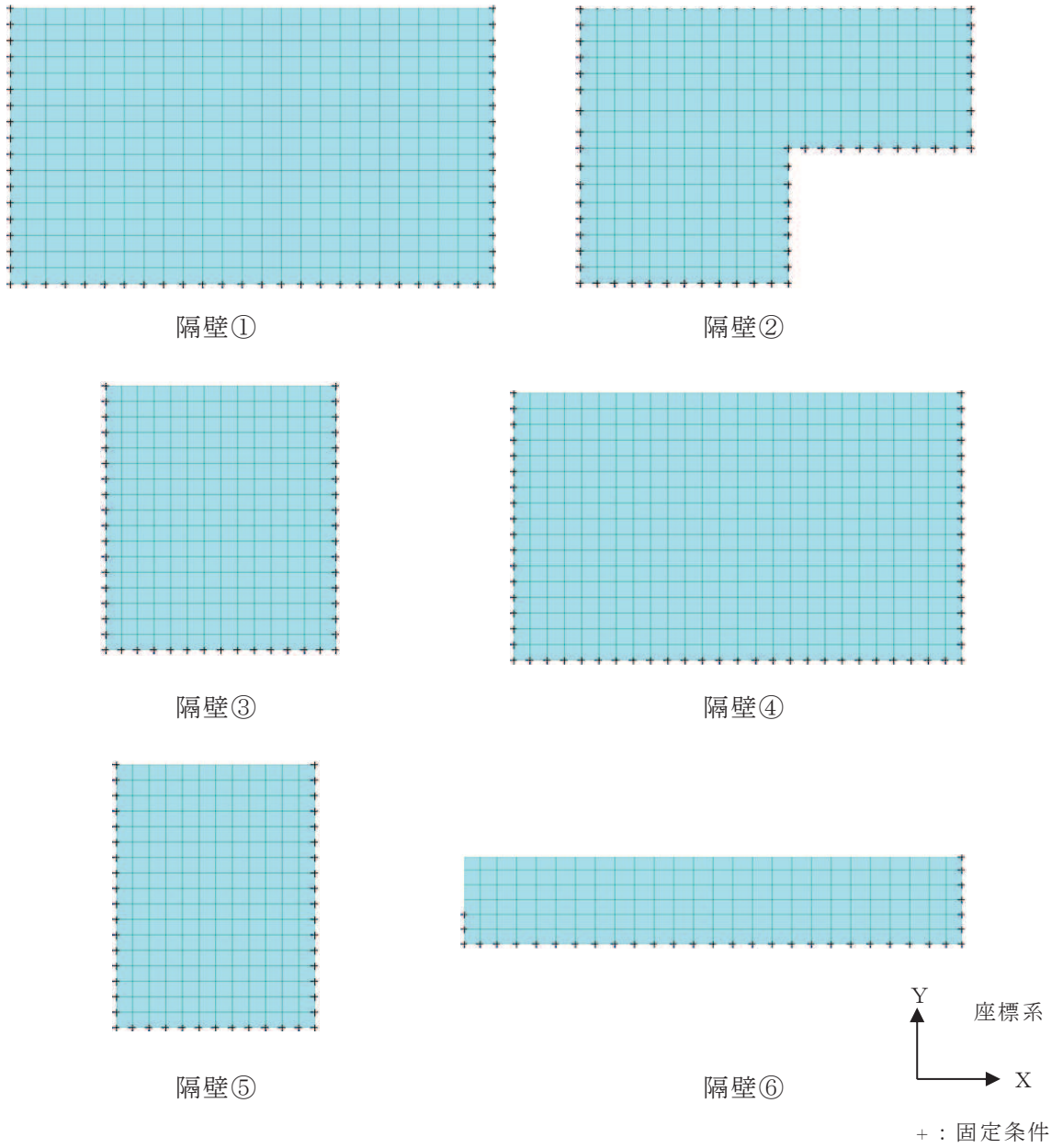


図 3-4 解析モデルの概念図

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に示す短期許容応力度とする。

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 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 $\sigma'_{c} / \sigma'_{ca}$
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 σ'_{sa} (N/mm ²)	照査値 $\sigma'_{c} / \sigma'_{sa}$
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

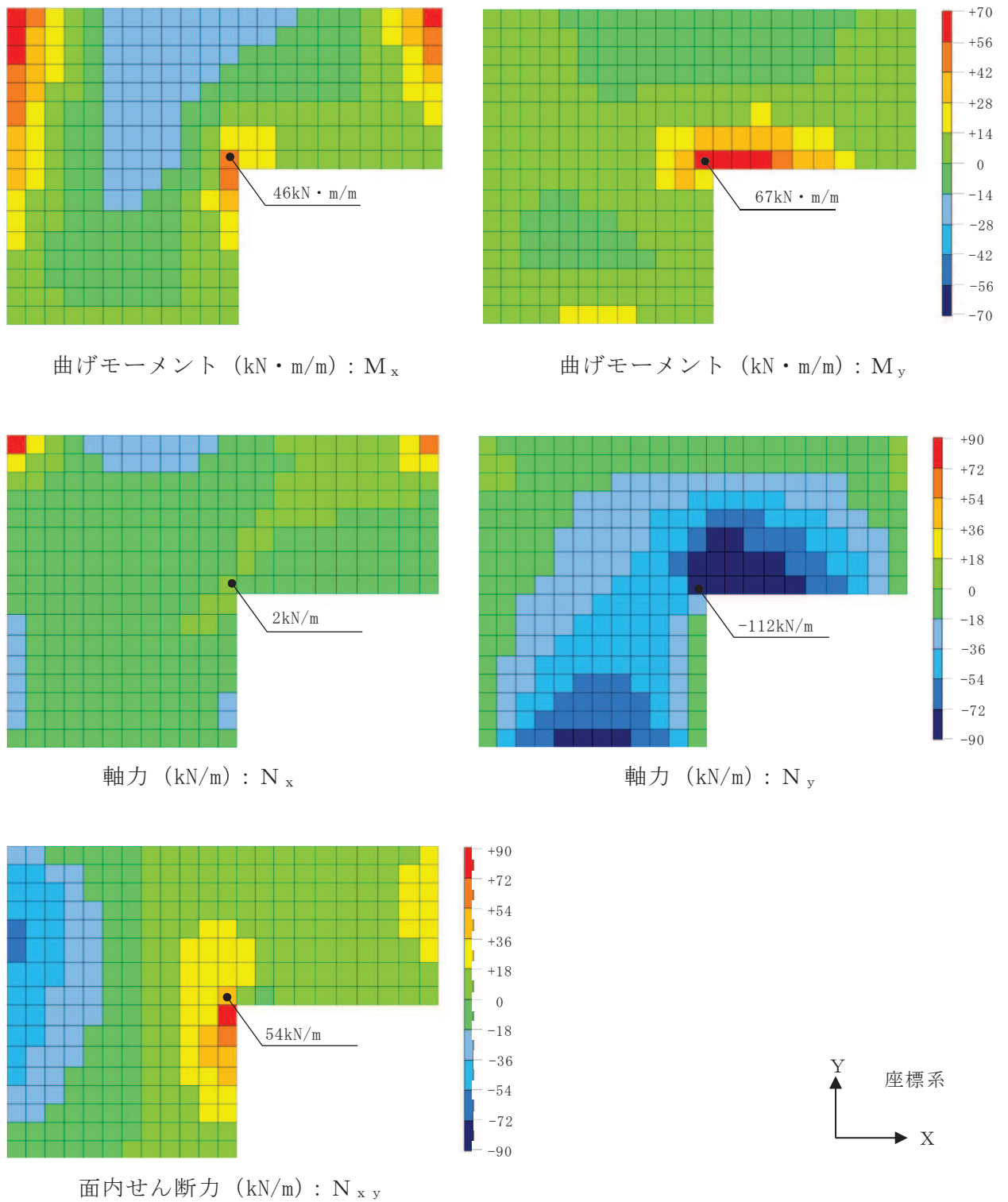


図 3-5 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(地震時, 解析ケース 1, 隔壁②)

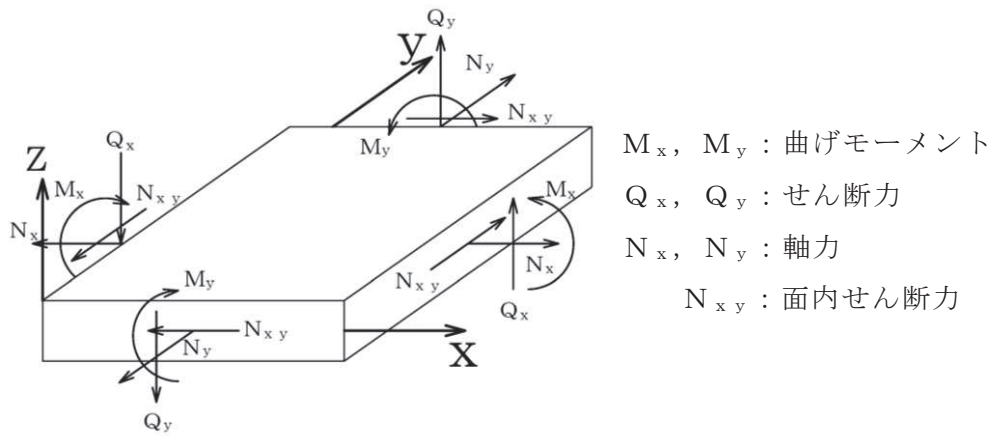


図 3-6 シェル要素における断面力の方向

(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

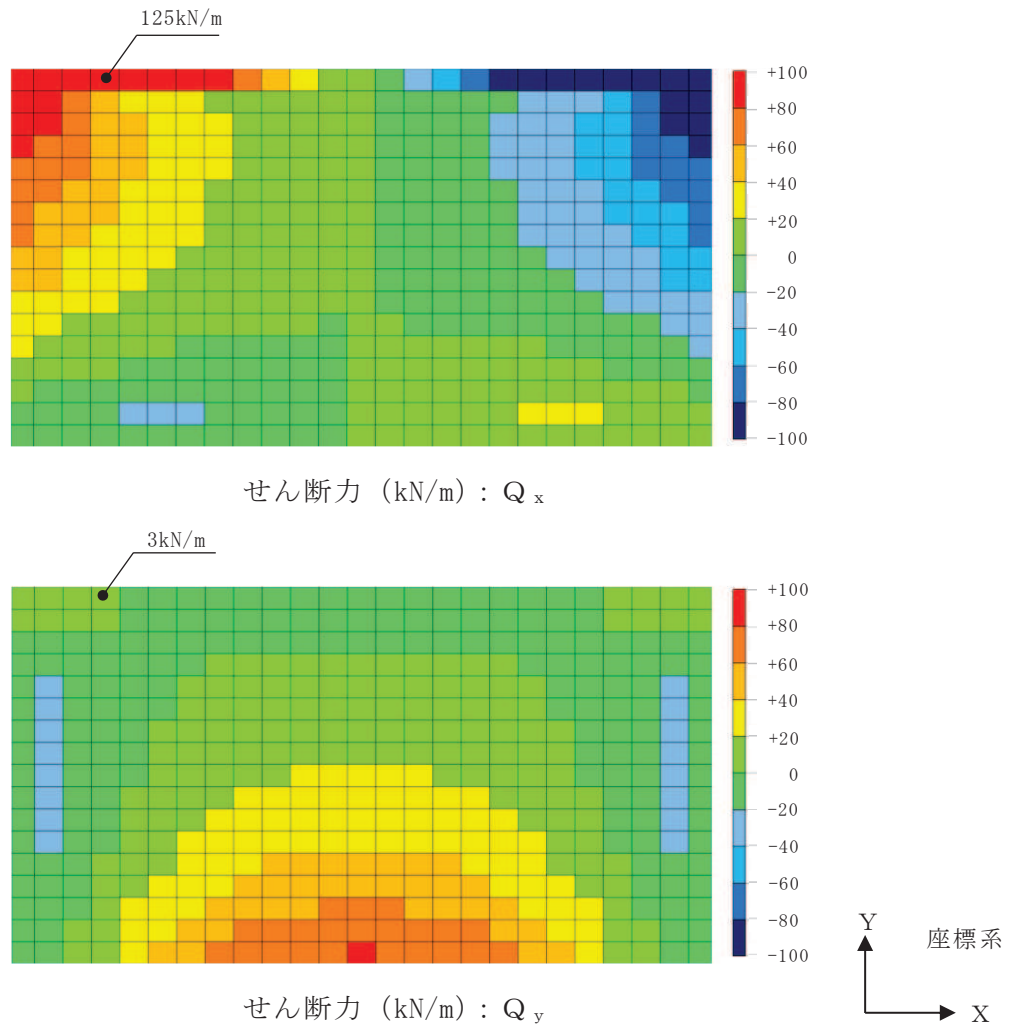


図 3-7 せん断破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(地震時, 解析ケース 1, 隔壁①)

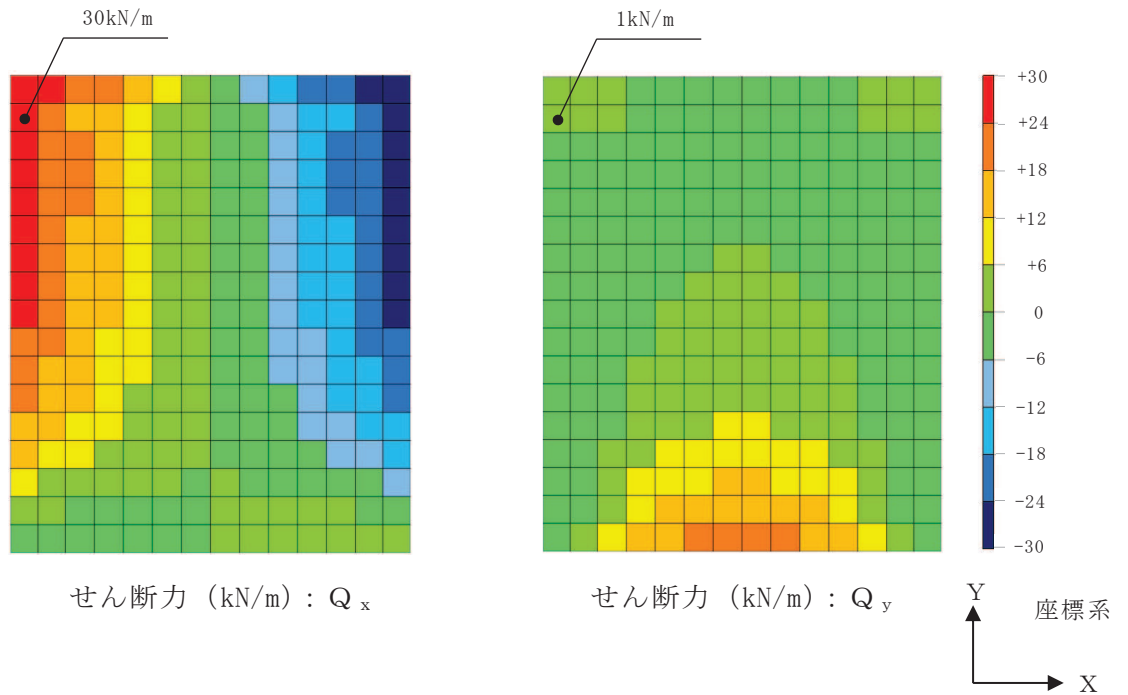


図 3-8(1) 水密扉を有する隔壁のせん断破壊に対する断面力分布図
(地震時, ケース 1, 隔壁③)

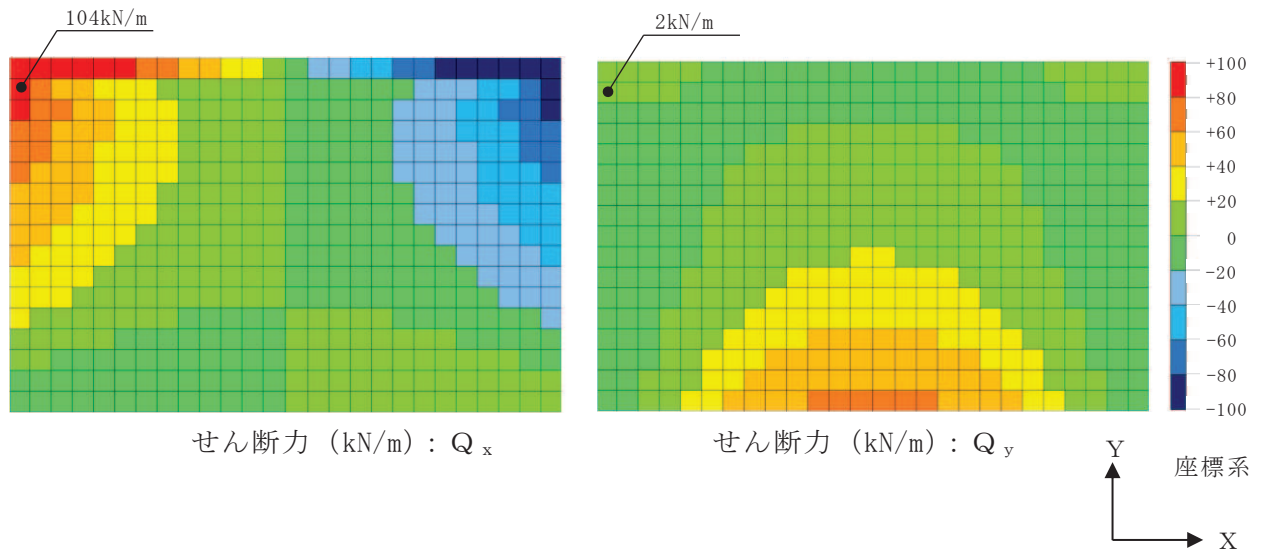


図 3-8(2) 水密扉を有する隔壁のせん断破壊に対する断面力分布図
(地震時, ケース 1, 隔壁④)

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。

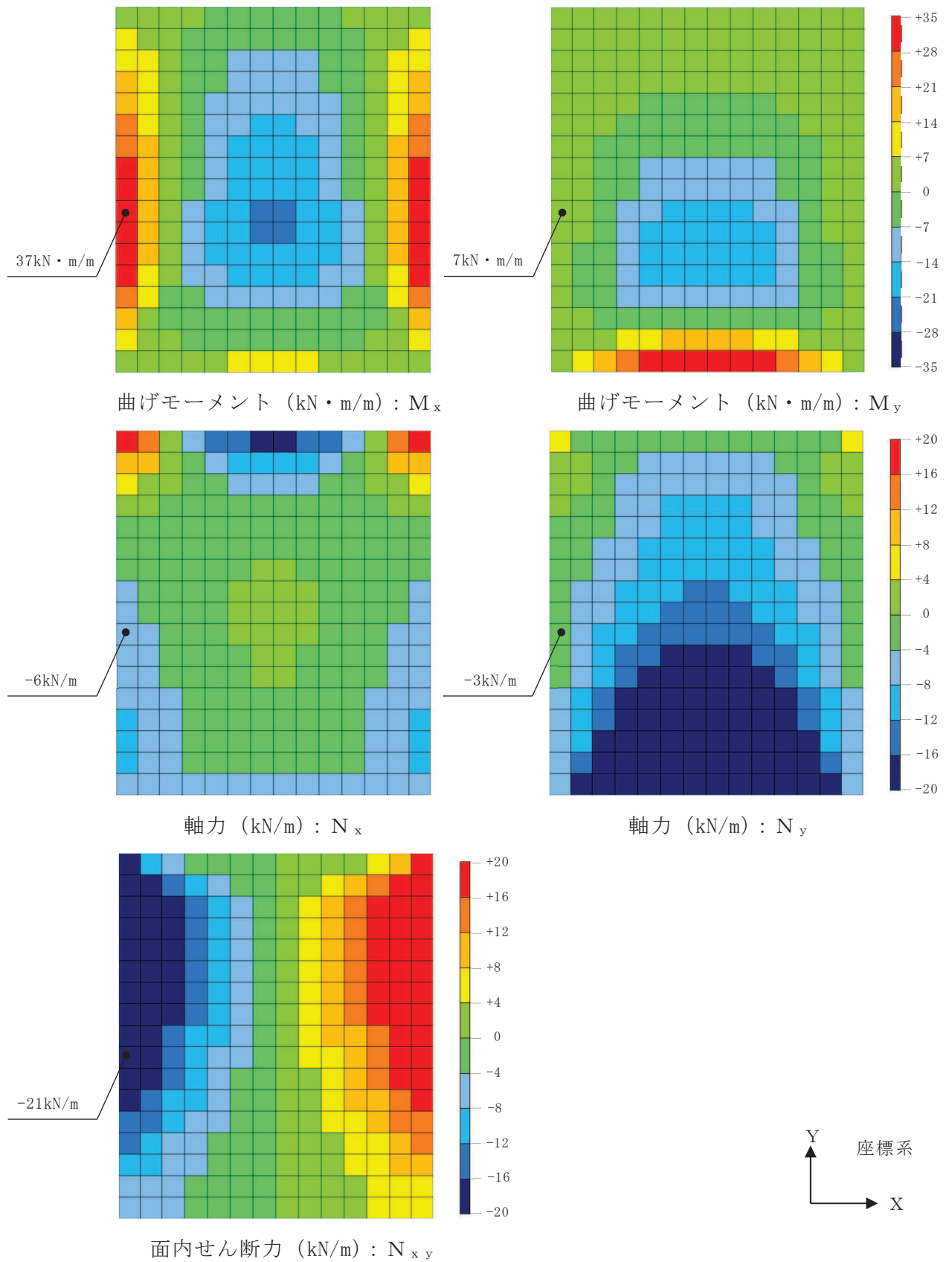


図 3-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(溢水時, 解析ケース 2, 隔壁③)

(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。

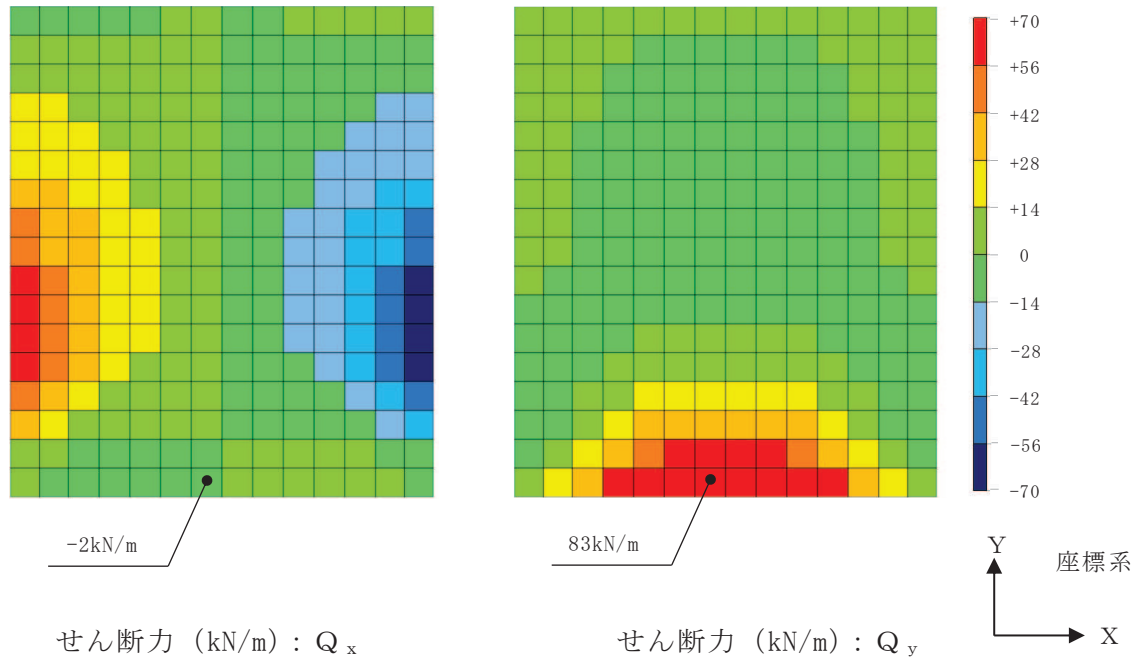


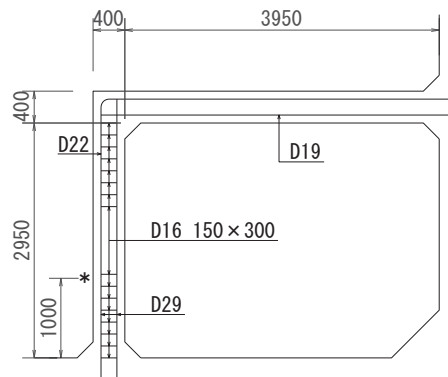
図 3-10 せん断破壊に対する最大照査値ケースの断面力分布図
(溢水時、解析ケース 2、隔壁③)

4. トレンチの健全性評価

4.1 構造概要及び諸元

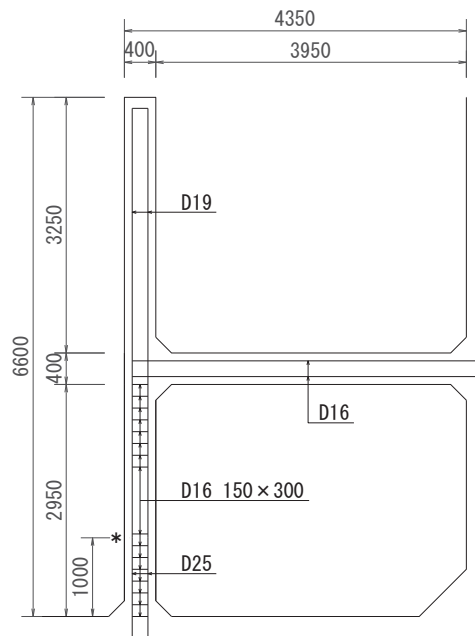
4.1.1 構造概要

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。



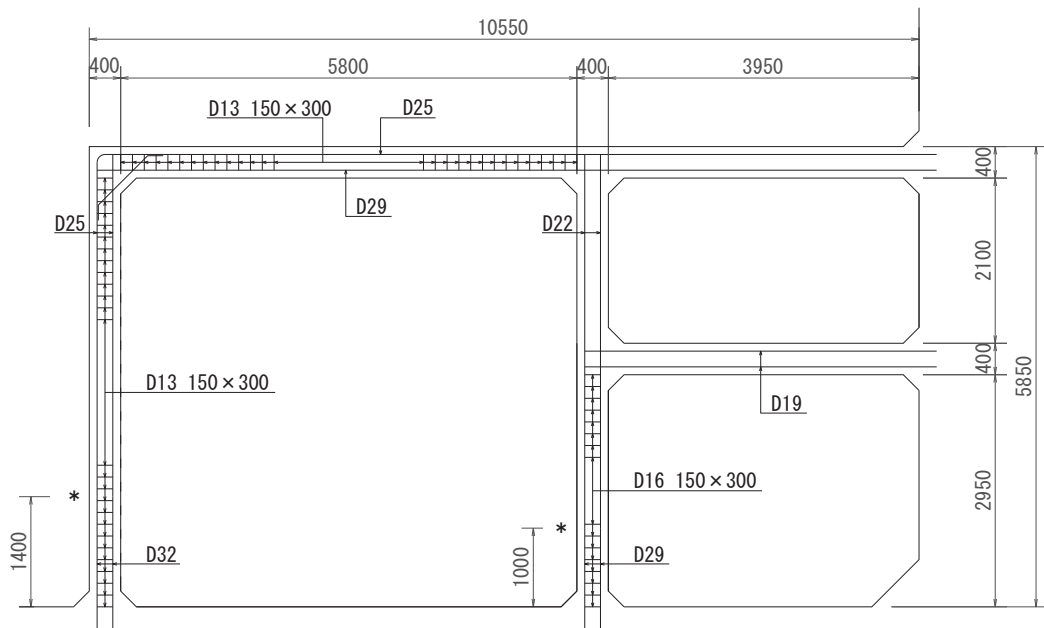
注記*：鉄筋径が変化する箇所
(単位：mm)

図4-1(1) 概略配筋図 (トレンチ①)



注記*：鉄筋径が変化する箇所
(単位：mm)

図4-1(2) 概略配筋図 (トレンチ②)



注記*：鉄筋径が変化する箇所
 (単位：mm)

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。

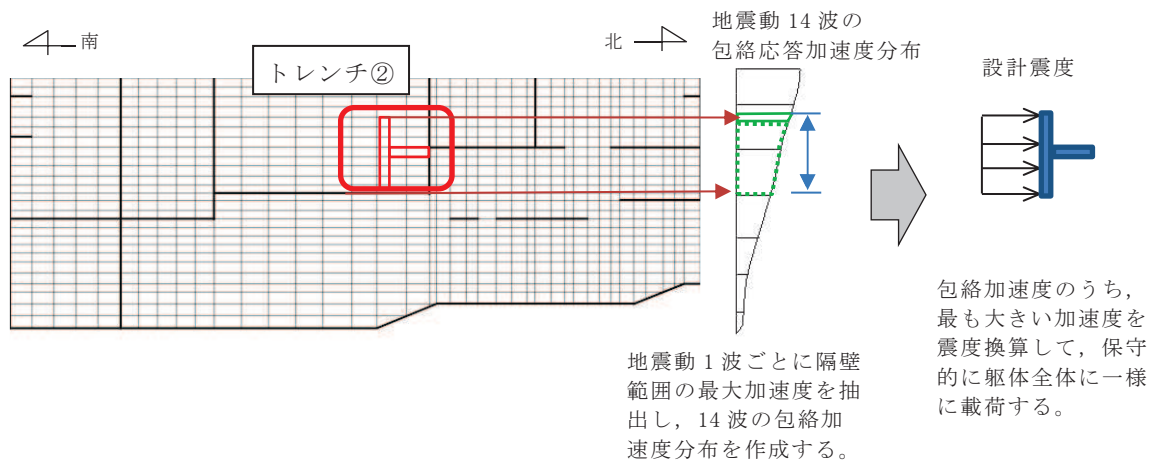


図 4-2 応答加速度の抽出位置と設計震度の算出方法（トレンチ②の例）

(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。

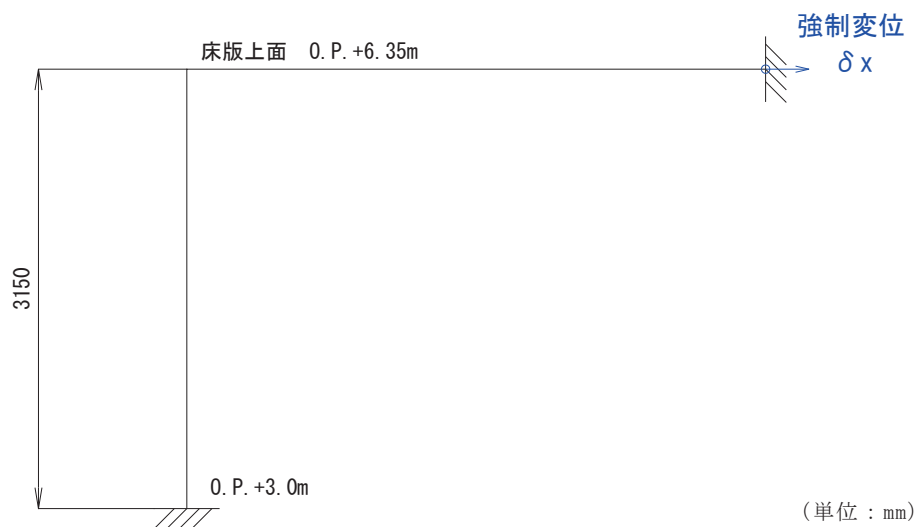


図4-3 強制変位の概念図（トレンチ①の例）

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密度を乗じて設定する。

(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

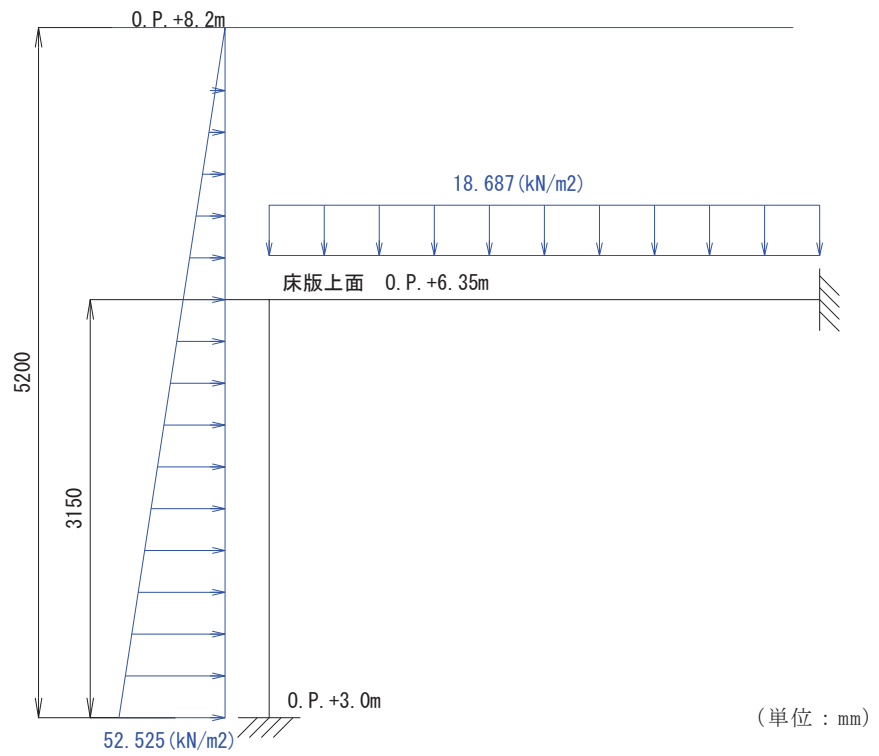
単一機器の破損に伴う溢水時の最大水位を、静水圧分布荷重として考慮する。各系統の機器破損に伴う最大水位を表 4-3 に示す。

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。

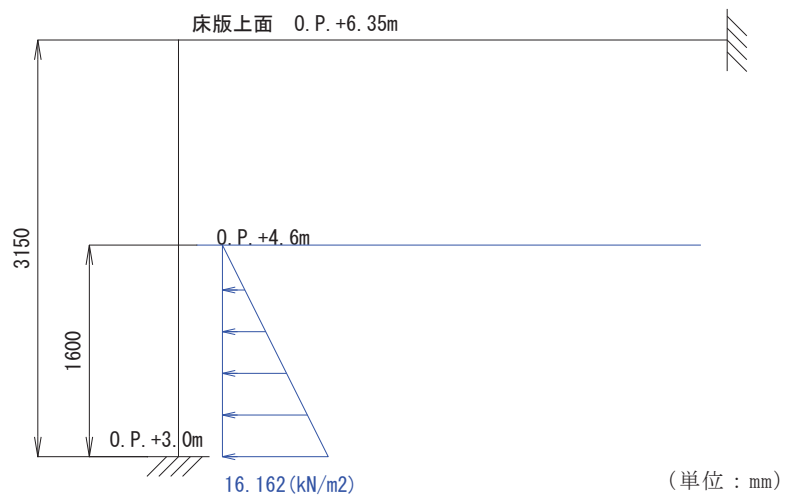
表 4-3 各系統の機器の想定破損に伴う最大水位

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

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密度を乗じて設定する。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。

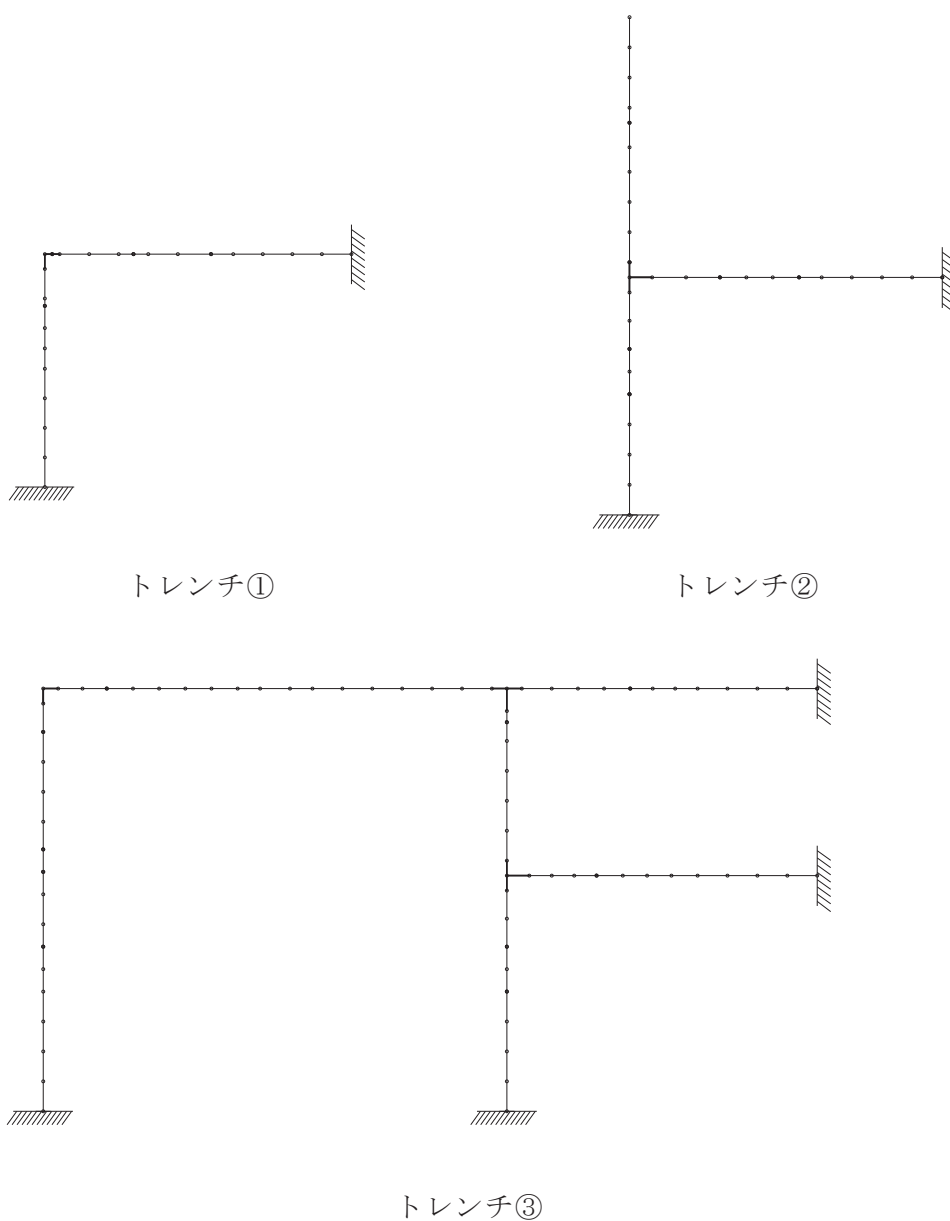


図4-5 解析モデルの概念図

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。

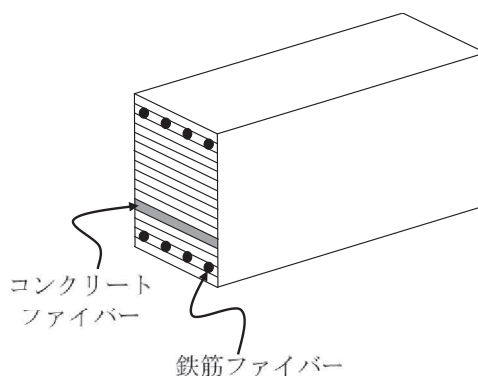


図 4-6 ファイバーモデルの概念図

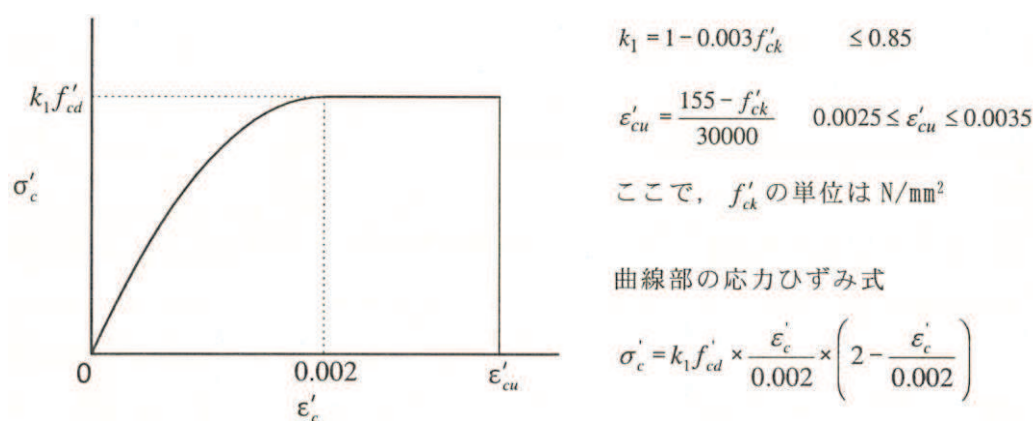


図 4-7(1) コンクリートの応力-ひずみ関係
(コンクリート標準示方書より引用)

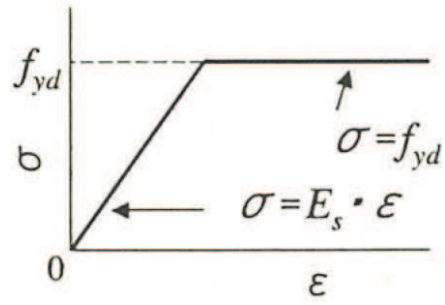


図 4-7(2) 鉄筋の応力-ひずみ関係
(コンクリート標準示方書より引用)

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、

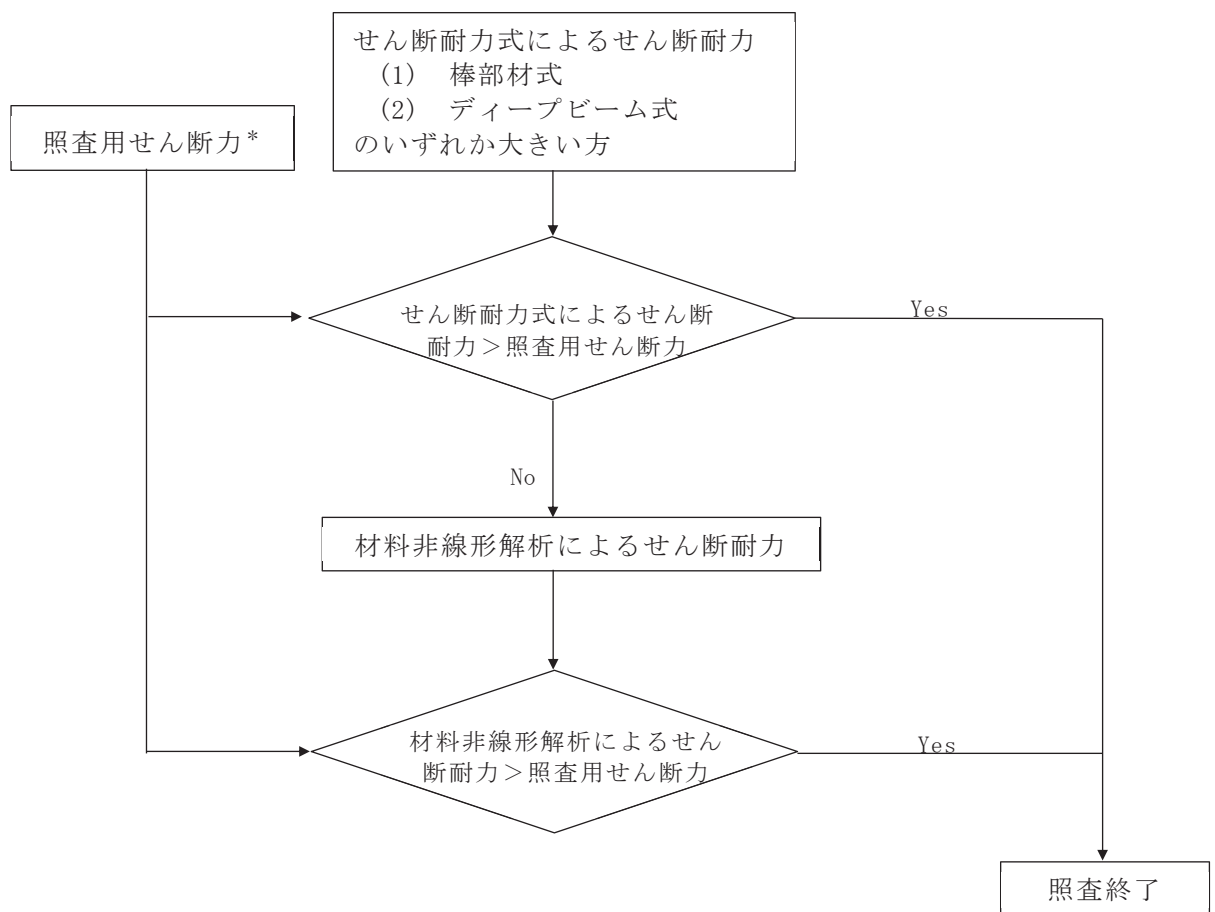
- γ_i ：構造物係数（ $\gamma_i=1.0$ ）
- ε_R ：限界ひずみ（圧縮ひずみ：2000 μ ，主筋ひずみ：1725 μ ）
- ε_d ：照査用ひずみ（ $\varepsilon_d=\gamma_a \cdot \varepsilon$ ）
- γ_a ：構造解析係数（ $\gamma_a=1.2$ ）
- ε ：発生ひずみ

4.4.2 せん断破壊に対する許容限界（せん断耐力式及び材料非線形解析）

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

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 4-11 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 4-9 に、最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図を図 4-10 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 4-11 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

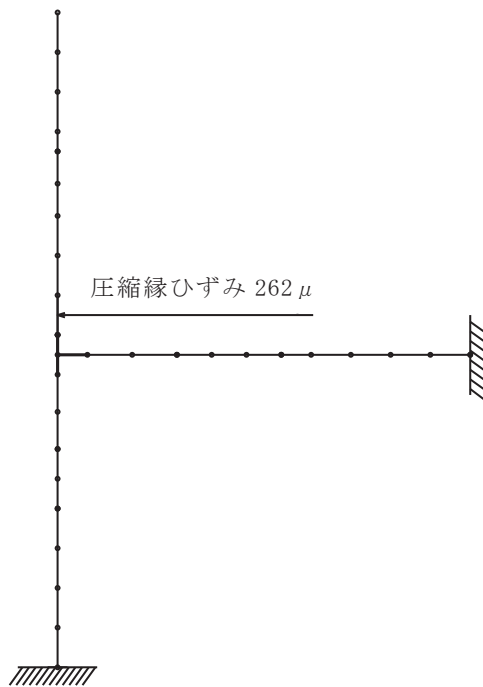


図 4-9 最大照査時におけるコンクリートの圧縮縁ひずみの発生位置
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

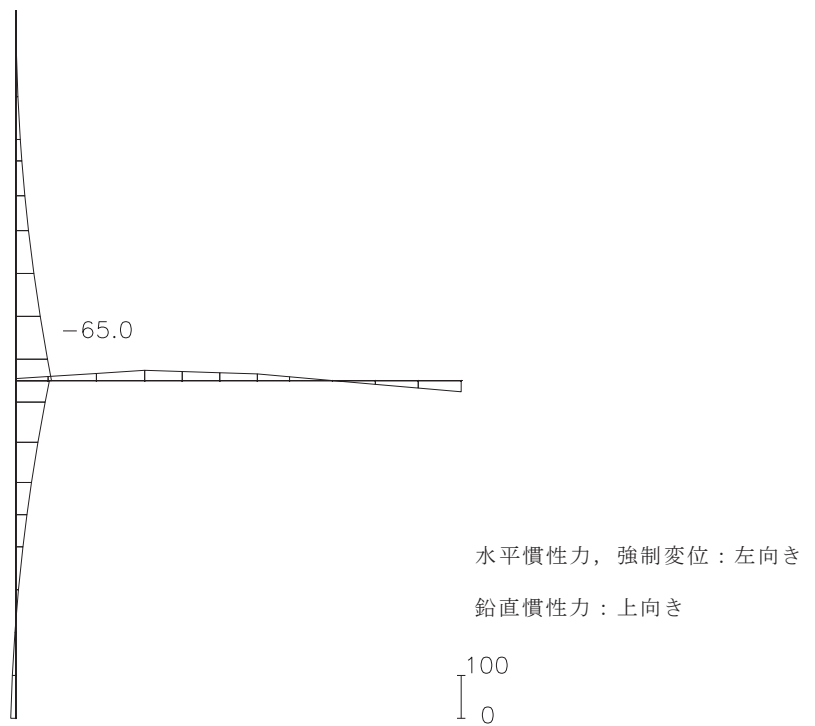


図 4-10(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図
(曲げモーメント (kN・m))
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

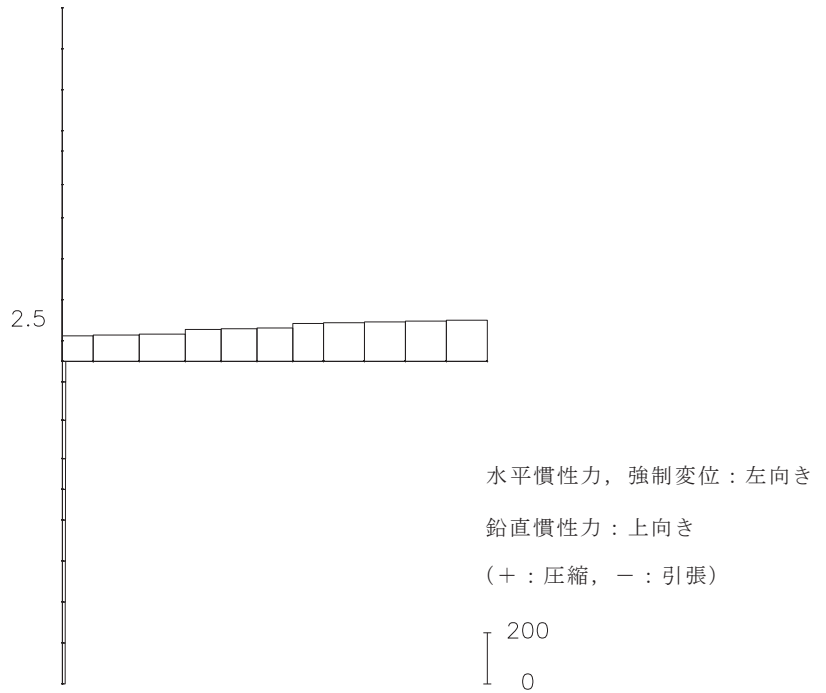


図 4-10(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (軸力 (kN))
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

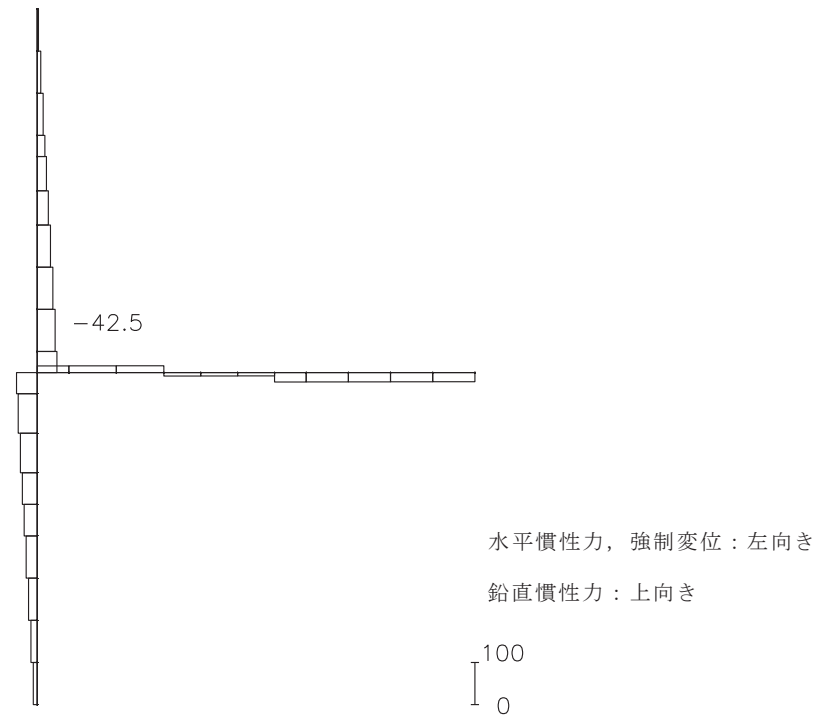


図 4-10(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN))
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②)

(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 4-12 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 4-11 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 4-12 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 4-12 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

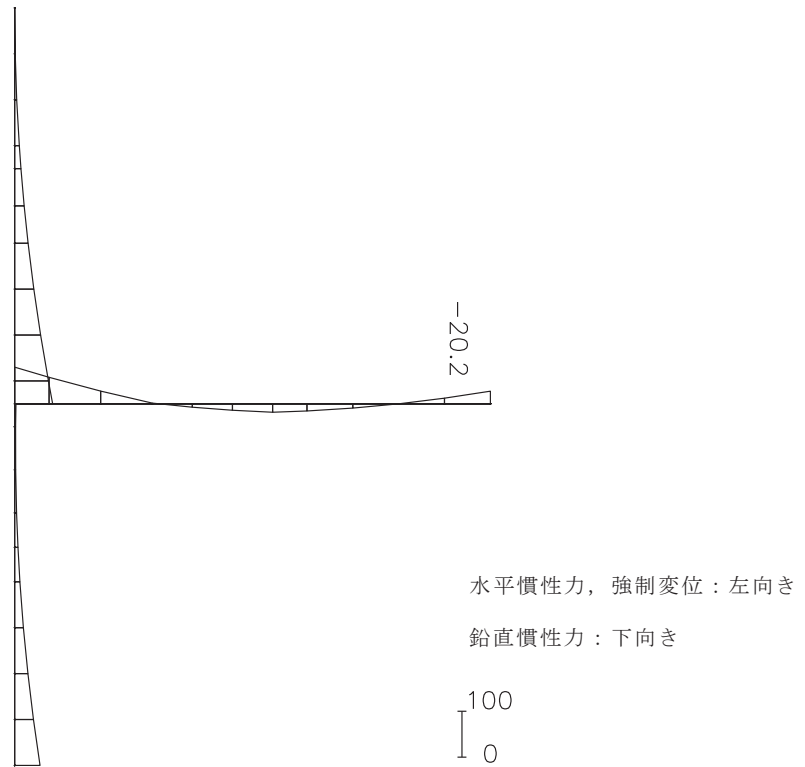


図 4-11(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図（曲げモーメント (kN・m)）
(地震時，解析ケース 3，トレンチ②)

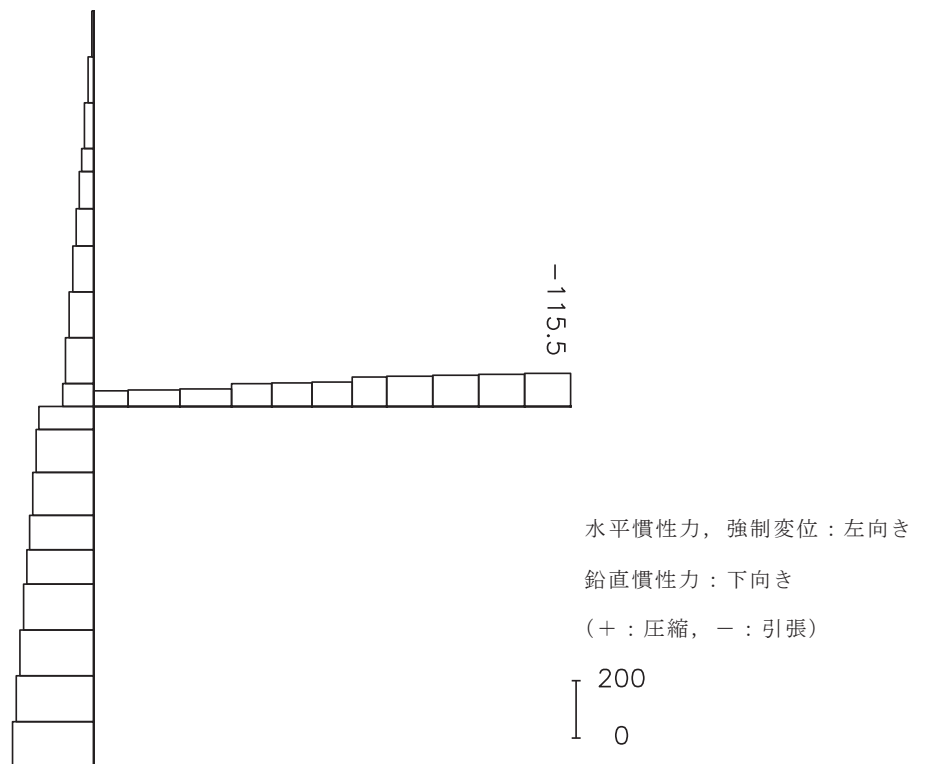


図 4-11(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図（軸力 (kN)）
(地震時，解析ケース 3，トレンチ②)

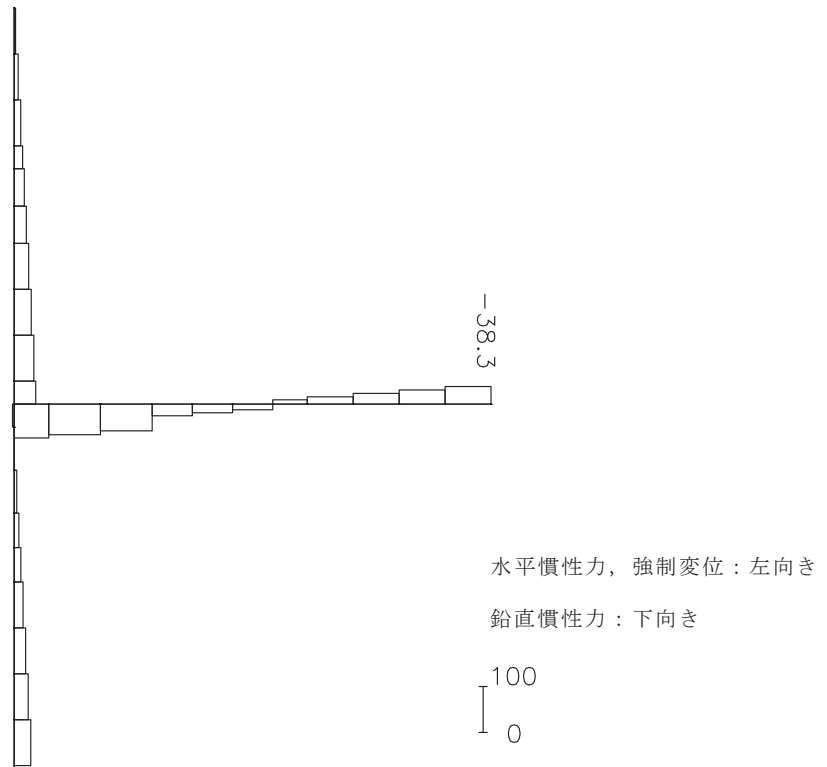


図 4-11(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN))
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

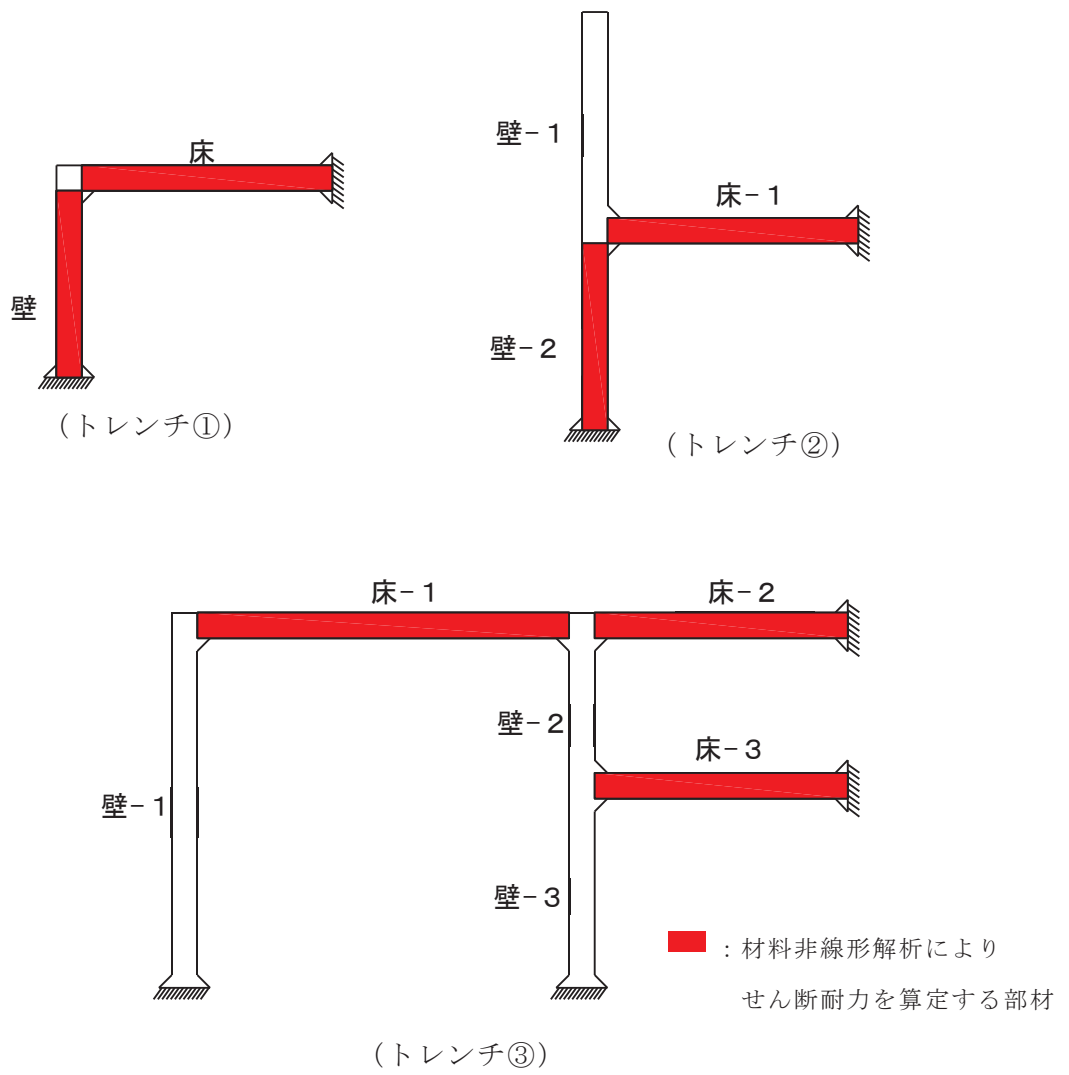


図 4-12 部材名称

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 4-13 及び表 4-14 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 4-13 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 4-14 に示す。また、照査値最大時の断面力図を図 4-15 に示す。

表 4-13 及び表 4-14 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 4-13 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 4-14 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

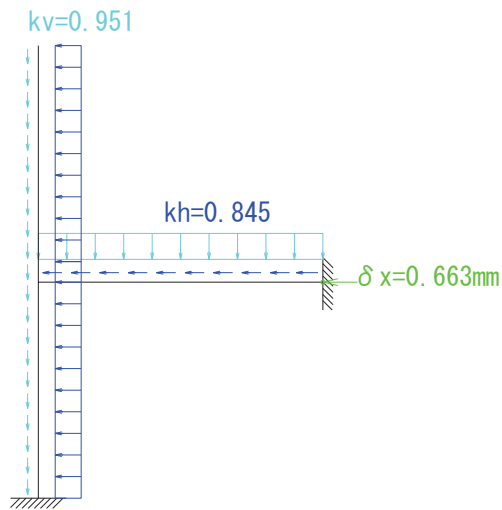


図 4-13 最大照査値を示す解析ケースにおける荷重図
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

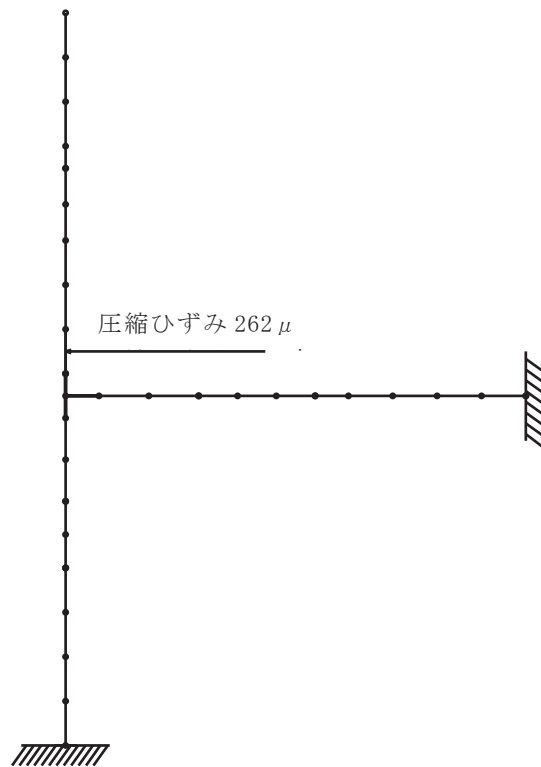


図 4-14(1) コンクリートの圧縮ひずみの最大値発生位置
(地震時, 解析ケース 4, トレンチ②) : 図 4-9 再掲

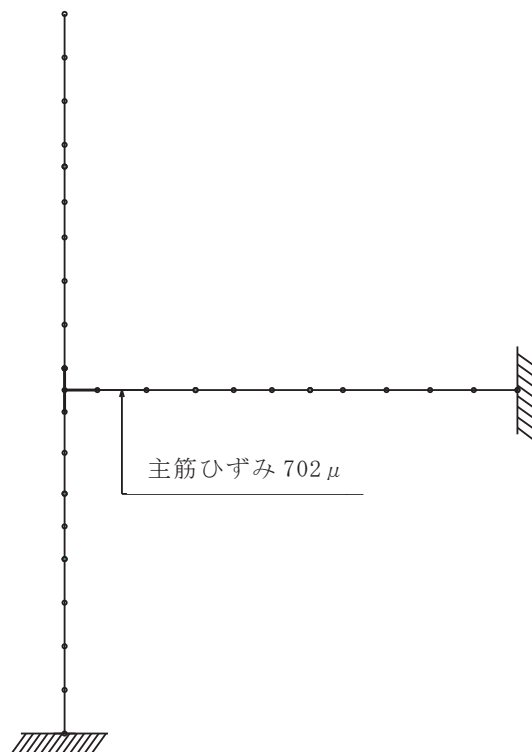


図 4-14(2) 主筋ひずみの最大値発生位置
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

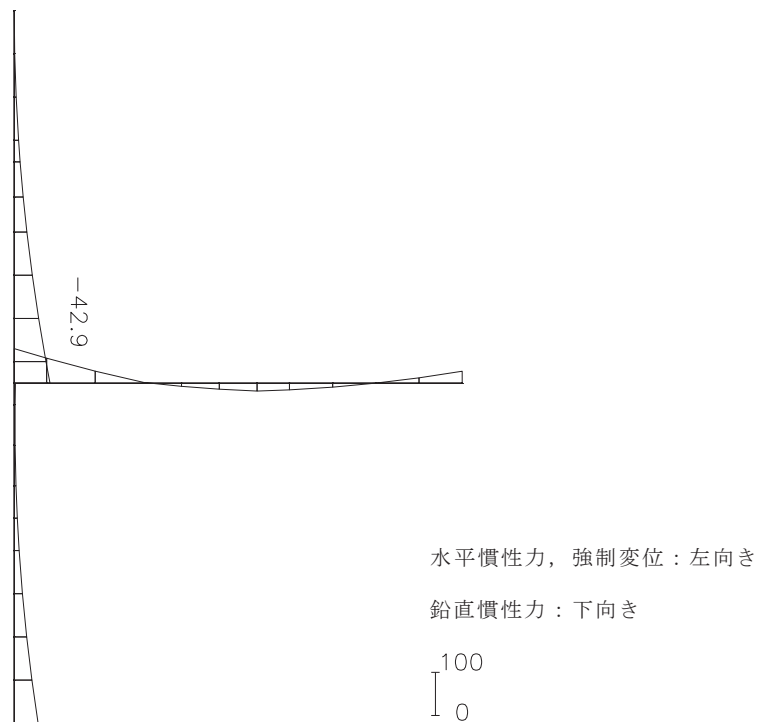


図 4-15(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図
(曲げモーメント (kN・m))
(地震時, 解析ケース 3, トレンチ②)

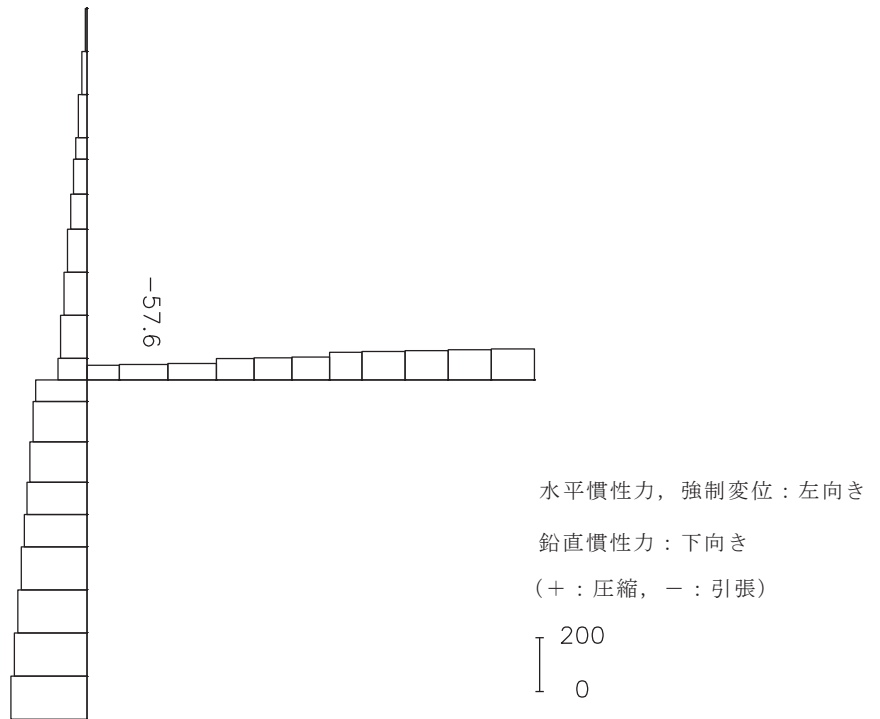


図 4-15(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図（軸力 (kN)）
(地震時，解析ケース 3，トレンチ②)

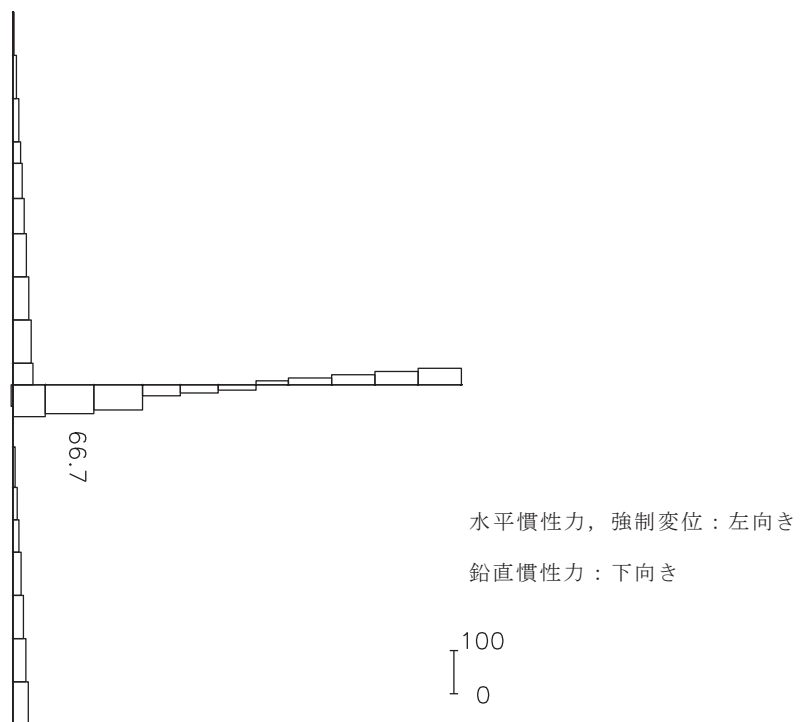


図 4-15(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図（せん断力 (kN)）
(地震時，解析ケース 3，トレンチ②)

(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 4-15 及び表 4-16 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 4-16 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 4-17 に示す。また、照査値最大時の断面力図を図 4-18 に示す。

表 4-15 及び表 4-16 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 4-15 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 4-16 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

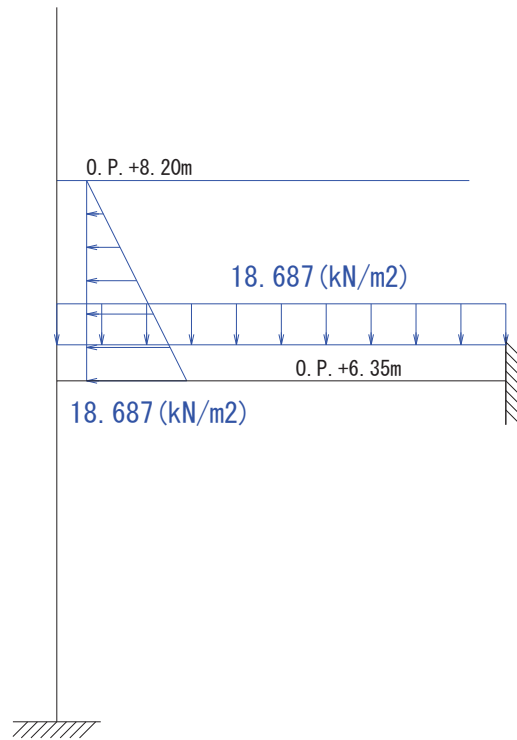


図 4-16 最大照査値を示す解析ケースにおける荷重図
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

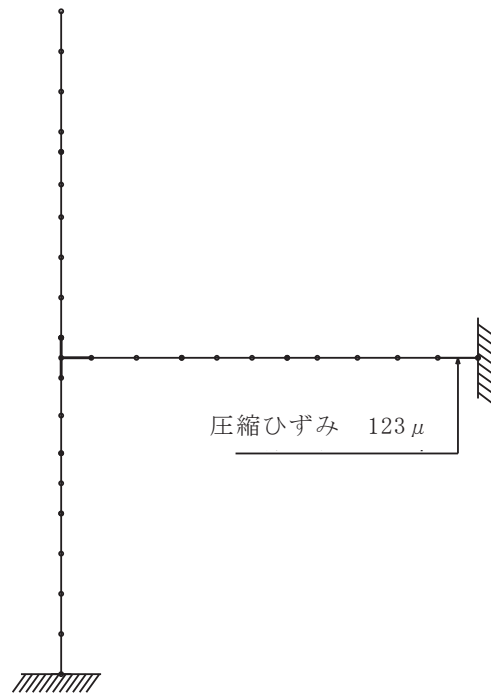


図 4-17(1) コンクリートの圧縮ひずみの最大値発生位置
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

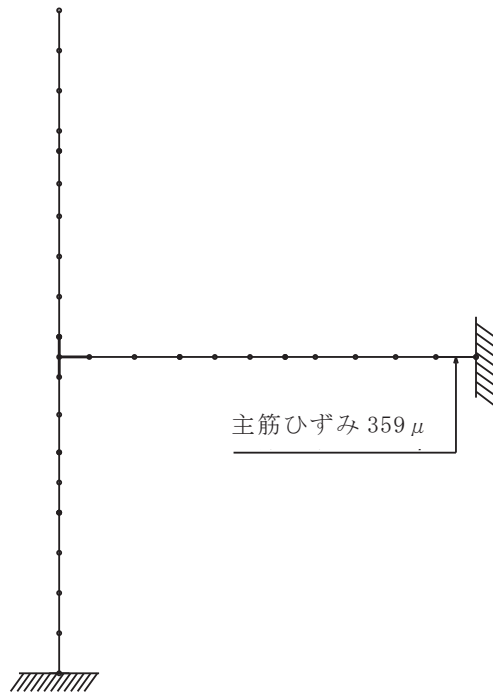


図 4-17(2) 主筋ひずみの最大値発生位置
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

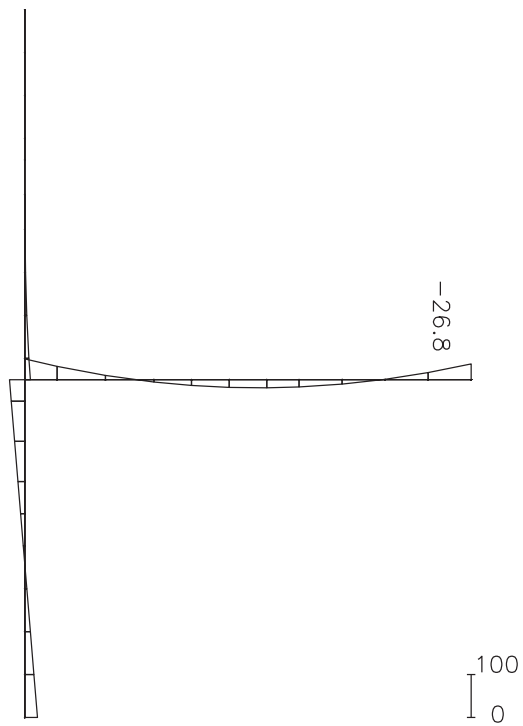


図 4-18(1) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図
(曲げモーメント (kN・m))
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

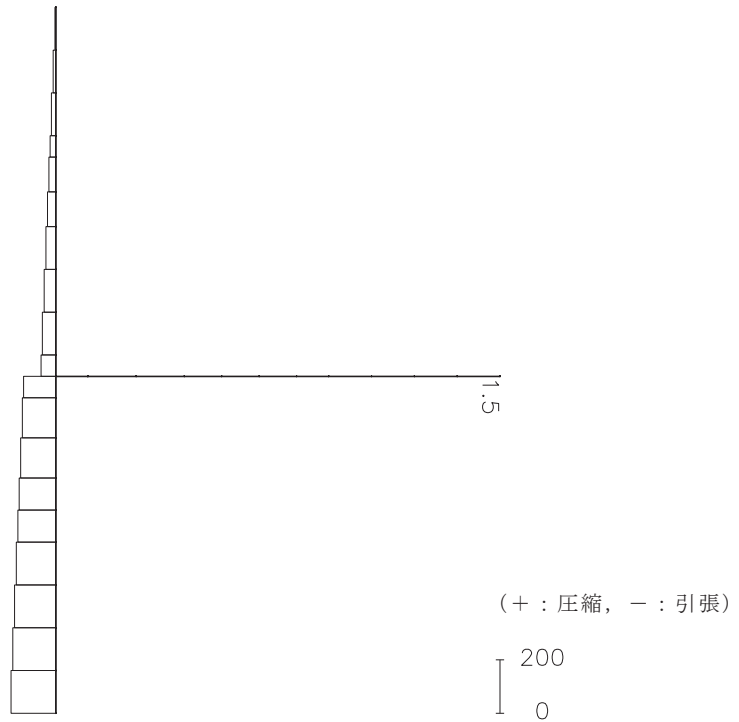


図 4-18(2) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (軸力 (kN))
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

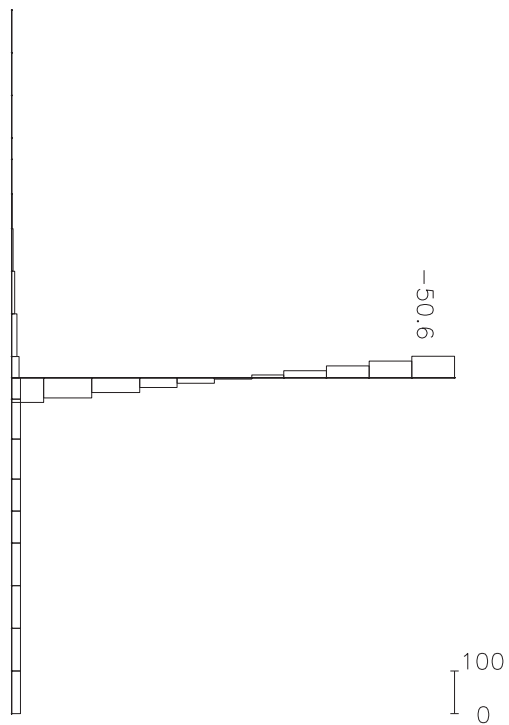


図 4-18(3) 最大照査値を示す解析ケースにおける断面力図 (せん断力 (kN))
(溢水時, 解析ケース 1, トレンチ②)

(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 4-17 に示す。せん断破壊に対する評価結果のうち、最大照査値を示すトレンチ②について、照査値最大時の断面力図を図 4-18 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 4-17 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 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*3	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 4-11 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：材料非線形解析によるせん断耐力

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、発生せん断力が短期許容応力度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。