

| | |
|-------------------------|-----------------|
| 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | KK7 補足-027-5 改9 |
| 提出年月日 | 2020年7月9日 |

資料5 スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

: 今回説明範囲

| | |
|-----------------------|-----|
| 1. スクリーン室の耐震評価 | 1-1 |
| 2. スクリーン室(6号機設備)の耐震評価 | 2-1 |
| 3. 取水路の耐震評価 | 3-1 |
| 4. 取水路(6号機設備)の耐震評価 | 4-1 |
| 5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価 | 5-1 |

参考資料

| | |
|----------------------------------|-------|
| (参考資料1) 浮上り評価について | 参考1-1 |
| (参考資料2) 耐震ジョイントの健全性評価について | 参考2-1 |
| (参考資料3) 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について | 参考3-1 |
| (参考資料4) 材料非線形解析の部材係数について | 参考4-1 |
| (参考資料5) 液状化検討対象層を踏まえた支持性能評価について | 参考5-1 |
| (参考資料6) 静的地震力に対する耐震評価 | 参考6-1 |
| (参考資料7) 3次元構造解析における照査時刻の選定について | 参考7-1 |
| (参考資料8) タービン建屋接合部の健全性について | 参考8-1 |
| (参考資料9) 3次元構造解析におけるモデル化の妥当性について | 参考9-1 |

3. 取水路の耐震評価

3. 取水路の耐震評価

目次

| | |
|---------------------------------|-------|
| 3. 取水路の耐震評価 | 3-1 |
| 3.1 評価方法 | 3-1 |
| 3.2 評価条件（部材非線形解析） | 3-1 |
| 3.2.1 適用規格 | 3-1 |
| 3.2.2 耐震評価フロー | 3-3 |
| 3.2.3 評価対象断面の方向 | 3-4 |
| 3.2.4 評価対象断面の選定 | 3-6 |
| 3.2.5 使用材料及び材料定数 | 3-14 |
| 3.2.6 地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の解析用物性値 | 3-14 |
| 3.2.7 評価構造物諸元 | 3-17 |
| 3.2.8 地下水位 | 3-25 |
| 3.2.9 地震応答解析手法 | 3-25 |
| 3.2.10 地震応答解析モデルの設定 | 3-26 |
| 3.2.11 減衰定数 | 3-40 |
| 3.2.12 荷重の組合せ | 3-40 |
| 3.2.13 耐震評価における解析ケース | 3-46 |
| 3.3 評価内容（部材非線形解析） | 3-49 |
| 3.3.1 入力地震動の設定 | 3-49 |
| 3.3.2 許容限界の設定 | 3-66 |
| 3.4 評価結果（部材非線形解析） | 3-76 |
| 3.4.1 地震応答解析結果 | 3-76 |
| 3.4.2 構造部材の健全性に対する評価結果 | 3-110 |
| 3.4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 3-126 |
| 3.5 評価条件（材料非線形解析） | 3-129 |
| 3.5.1 適用基準 | 3-131 |
| 3.5.2 評価対象部材 | 3-132 |
| 3.5.3 材料定数 | 3-134 |
| 3.5.4 解析モデルの設定 | 3-135 |
| 3.6 評価内容（材料非線形解析） | 3-142 |
| 3.6.1 耐震評価フロー | 3-142 |
| 3.6.2 荷重の設定 | 3-143 |
| 3.6.3 せん断耐力 | 3-145 |
| 3.6.4 安全係数の設定 | 3-146 |

| | |
|----------------------|-------|
| 3.7 評価結果（材料非線形解析） | 3-148 |
| 3.7.1 A-A断面（隔壁）の評価結果 | 3-148 |
| 3.7.2 C-C断面（隔壁）の評価結果 | 3-152 |
| 3.7.3 せん断力に対する評価結果 | 3-156 |
| 3.8 まとめ | 3-165 |

3. 取水路の耐震評価

3.1 評価方法

取水路は非常時における海水の通水機能及び貯水機能が求められる土木構造物である。取水路について、基準地震動 S_s による耐震評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。

取水路の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で、保守性を考慮して設定する。

構造物の加速度応答に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮した解析ケースを設定する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の層間変形角及びせん断力が要求性能に応じた許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に作用する鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

3.2 評価条件（部材非線形解析）

3.2.1 適用規格

取水路の耐震評価に当たっては、コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年)(以下「コンクリート標準示方書」という。), 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル(土木学会, 2005年)(以下「土木学会マニュアル」という。)を適用する。また、基礎地盤の支持性能の許容限界は、道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編)(日本道路協会, 平成14年3月)(以下「道路橋示方書」という。)を適用する。

表 3-1 に適用する規格, 基準類を示す。

表 3-1 適用する規格，基準類

| 項目 | 適用する規格，基準類 | 備考 |
|------------|--|---|
| 使用材料及び材料定数 | ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年） | — |
| 荷重及び荷重の組合せ | ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年） | ・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組合せを検討 |
| 許容限界 | 【鉄筋コンクリート部材】 ・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） | ・曲げに対する照査は，限界層間変形角を設定した上で，発生層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認* ・せん断に対する照査は，発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認* |
| | 【基礎地盤の支持性能】 ・道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（平成 14 年 3 月） | ・基礎地盤の支持性能に対する照査は，基礎に発生する鉛直力が極限支持力を下回ることを確認* |
| 地震応答解析 | ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 | ・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析 |

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

3.2.2 耐震評価フロー

図 3-1 に取水路の耐震評価フローを示す。

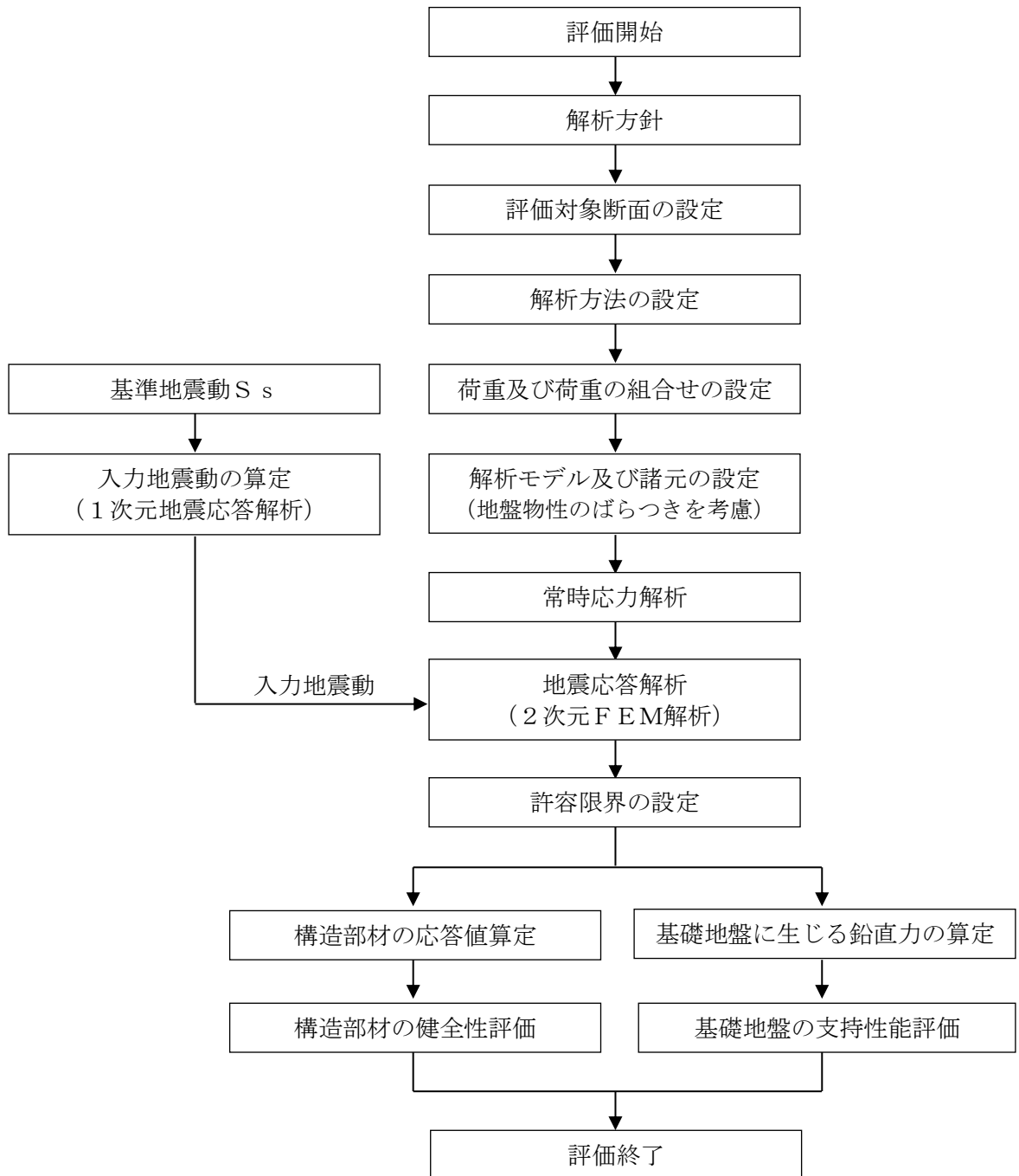


図 3-1 取水路の耐震評価フロー

3.2.3 評価対象断面の方向

取水路の位置を図 3-2 に示す。

取水路は延長約 127m の鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

評価対象断面の方向の選定に係る考え方を表 3-2 に示す。取水路の縦断方向（通水方向，EW 方向）は，加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができることから，強軸断面方向となる。一方，取水路の横断方向（通水方向に対し直交する方向，NS 方向）は，通水機能を確保するため，加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから，弱軸断面方向となる。

以上のことから，取水路の耐震評価では，構造の安定性に支配的な弱軸断面方向である横断方向を評価対象断面とする。

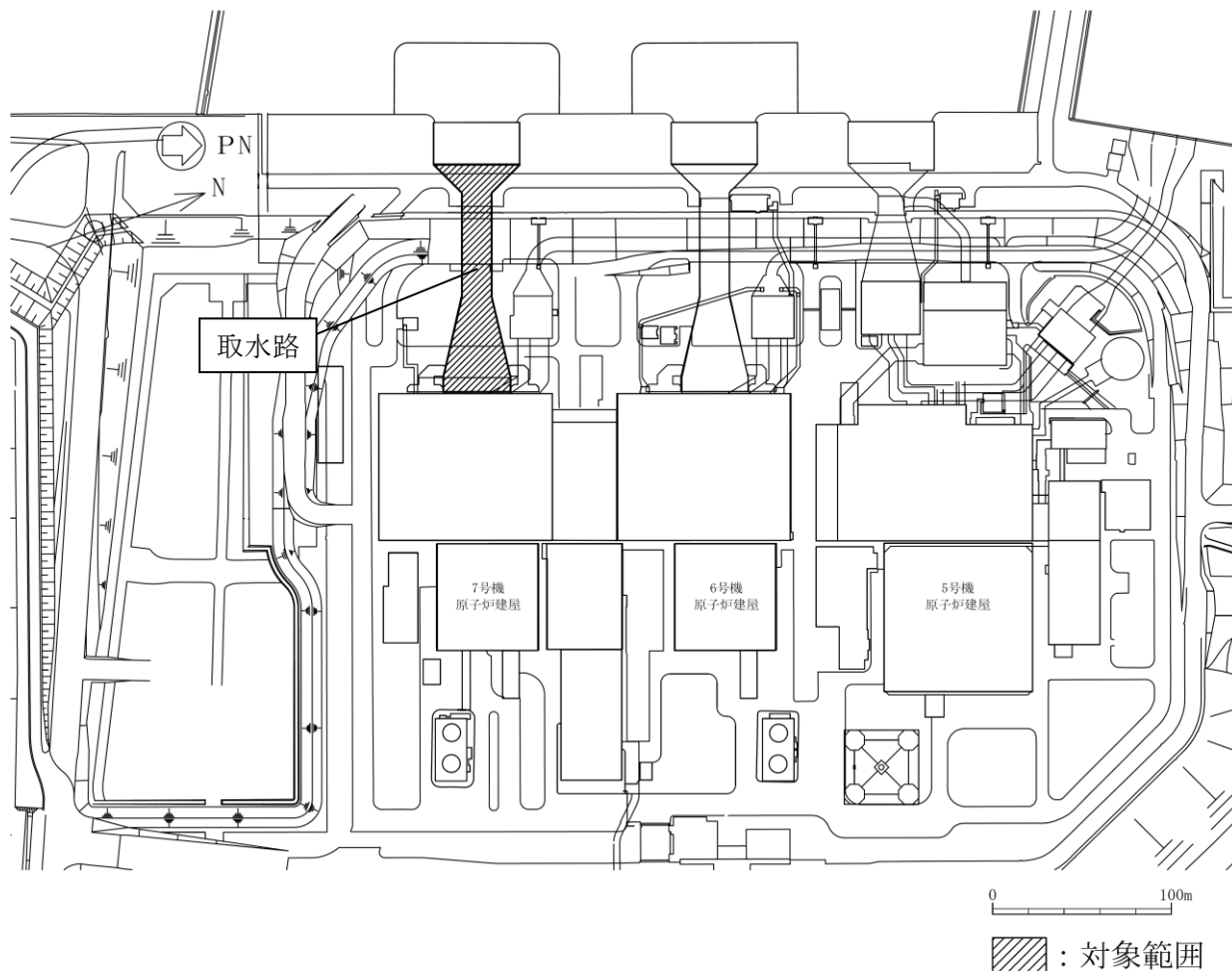
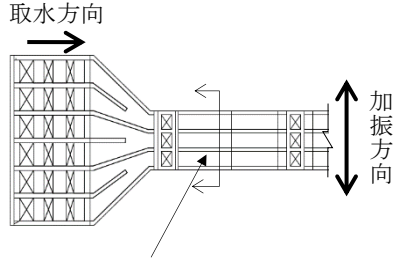
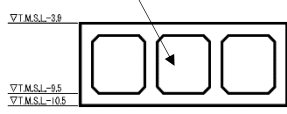
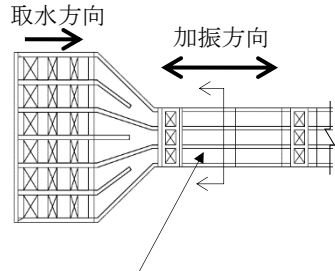



図 3-2 取水路の平面配置図（平面図）

表 3-2 取水路の評価対象断面の方向の選定

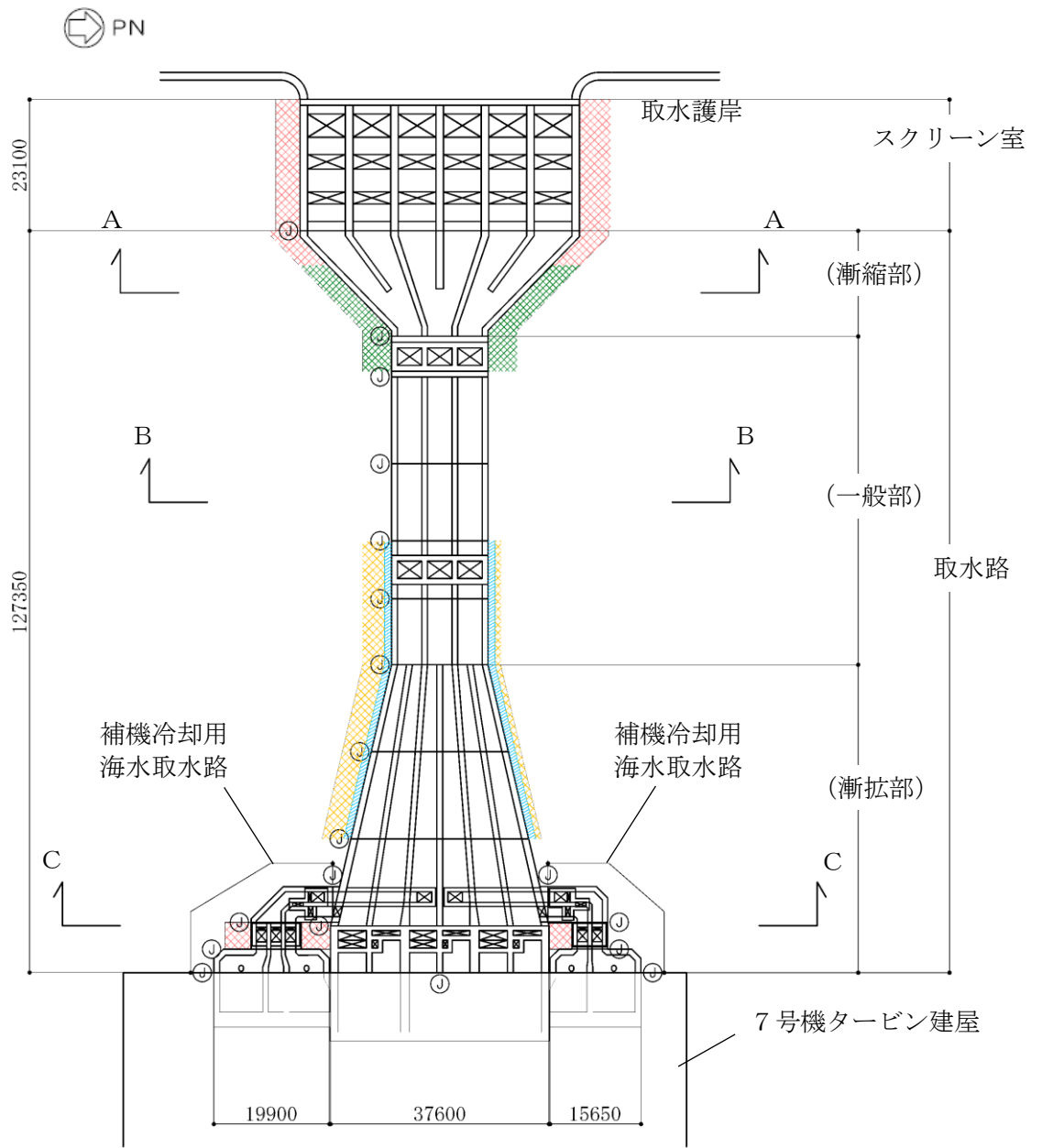
| | 横断方向 (NS 方向) の加振 | 縦断方向 (EW 方向) の加振 |
|-----|---|---|
| 取水路 |  <p>取水方向 →</p> <p>加振方向 ↑↓</p> <p>加振方向に平行な壁部材が少ない</p>  |  <p>取水方向 →</p> <p>加振方向 ←→</p> <p>加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができる</p>  |
| | <ul style="list-style-type: none"> 横断方向は、加振方向に平行な壁部材が少なく、弱軸断面方向にあたる。 | <ul style="list-style-type: none"> 縦断方向は、加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができ、強軸断面方向にあたる。 |
| | <ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向を評価対象断面とする。 | |

3.2.4 評価対象断面の選定

取水路の平面図を図 3-3 に、取水路の断面図を図 3-4～図 3-6 に、概略配筋図を図 3-7～図 3-9 に示す。

取水路は延長 127m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に複数の断面形状を示し、海側から漸縮部、一般部及び漸拡部に分けられ、十分な支持性能を有する古安田層若しくはマンメイドロックを介して西山層に支持される。また、取水路の側方地盤には、地震時における浮上り対策として、地盤改良を実施している。

評価対象断面は、KK7 補足-027「工事計画に係る説明資料（屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書）資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.3 取水路の断面選定の考え方」で記載したとおり、構造物の弱軸断面方向であり、構造物の幅に対する鉛直部材の割合、周辺地盤状況及び土被り厚等の観点から、耐震上厳しいと判断される A-A 断面、B-B 断面及び C-C 断面を代表として耐震評価を実施する。

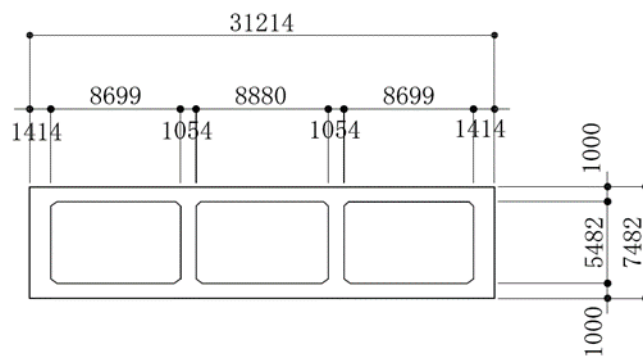
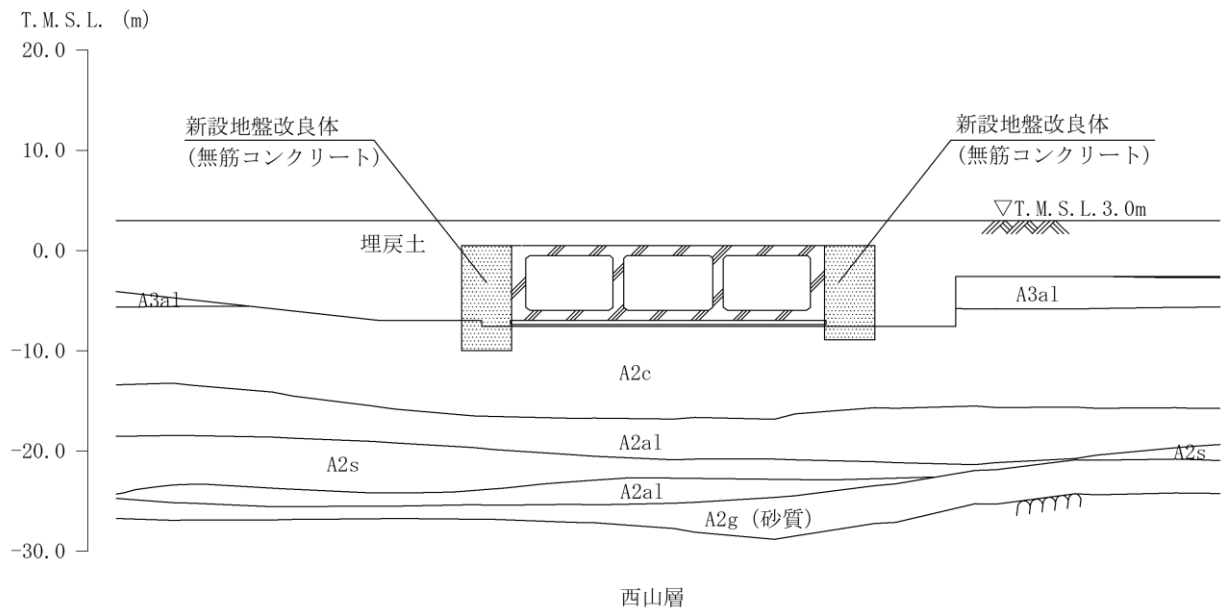


(単位：mm)

| 既設/新設 | 凡例 | 地盤改良工法 |
|---------|----|-----------|
| 新設地盤改良体 | | 高圧噴射 |
| | | 無筋コンクリート |
| | | 置換(地中連続壁) |
| | | 機械攪拌 |

注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

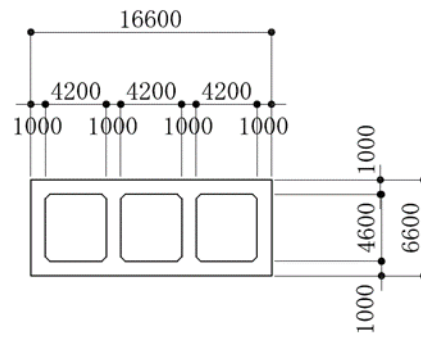
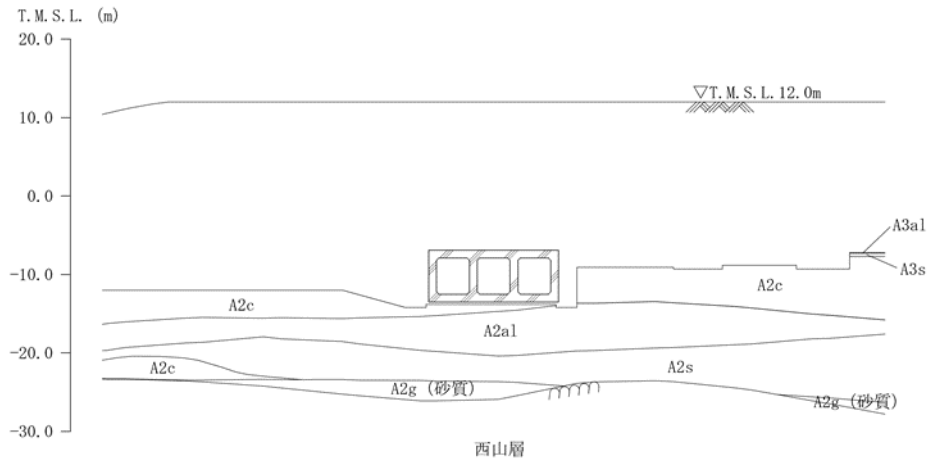
図 3-3 取水路の平面図



(単位 : mm)

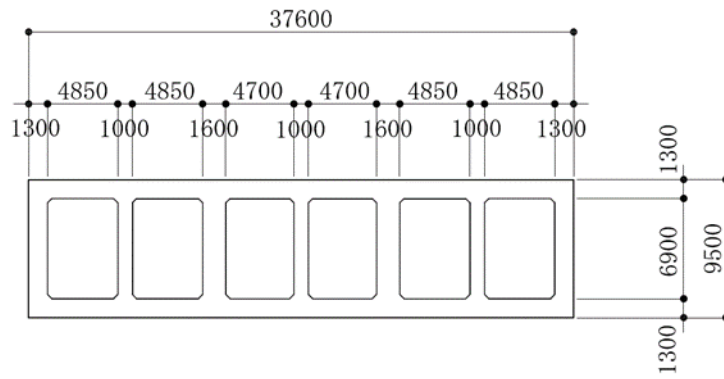
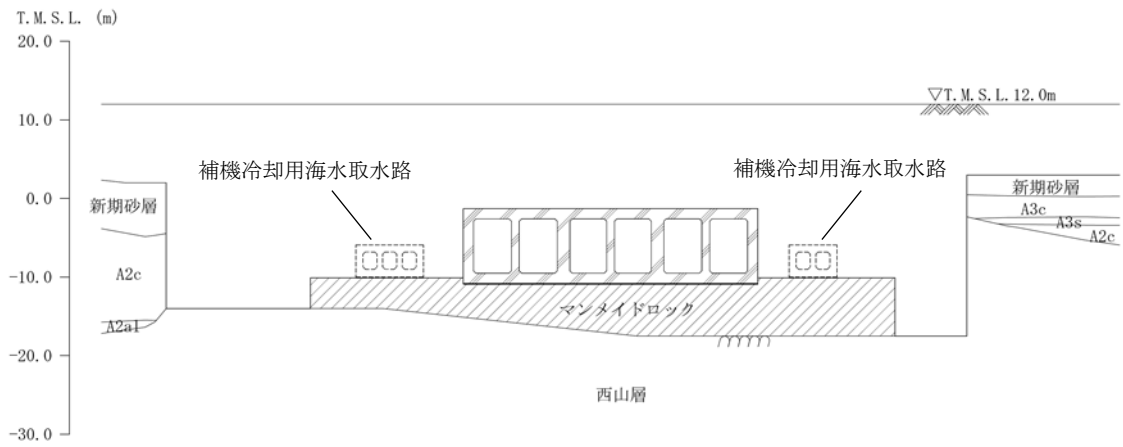
注 : 東京湾平均海面 (以下, 「T.M.S.L.」 という。)

図 3-4 取水路の断面図 (漸縮部 A-A断面)



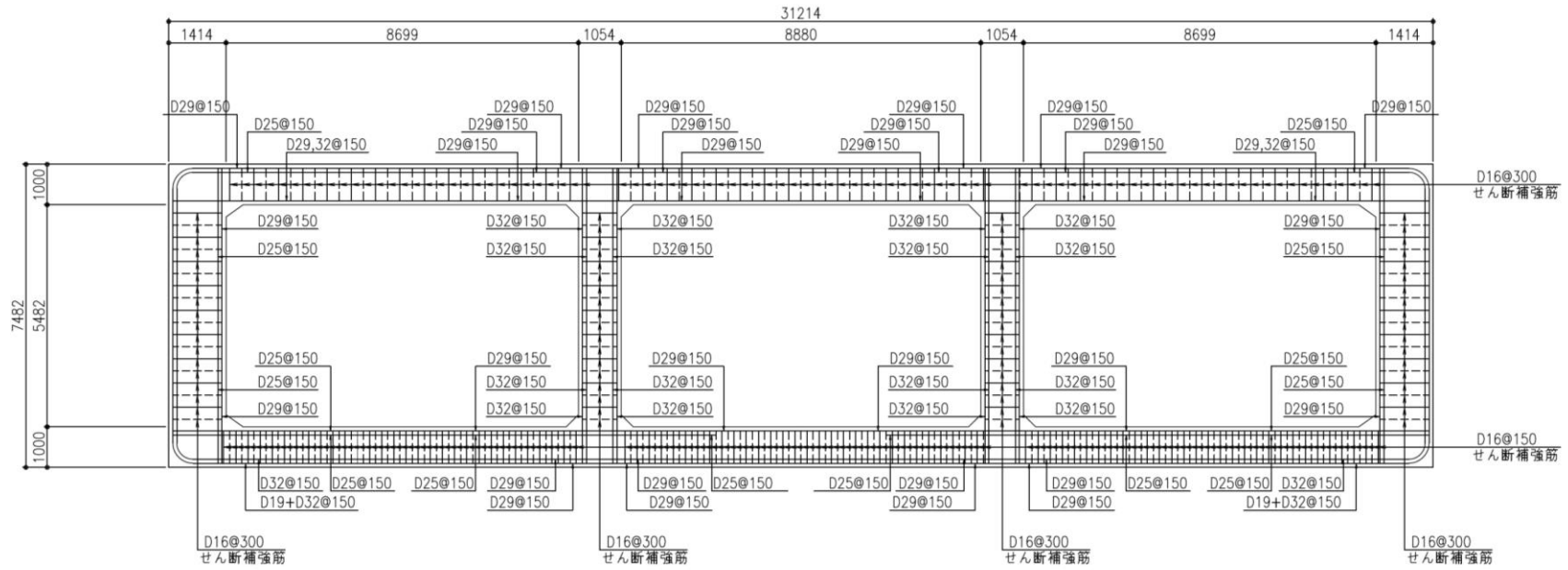
(単位 : mm)

図 3-5 取水路の断面図 (一般部 B-B 断面)



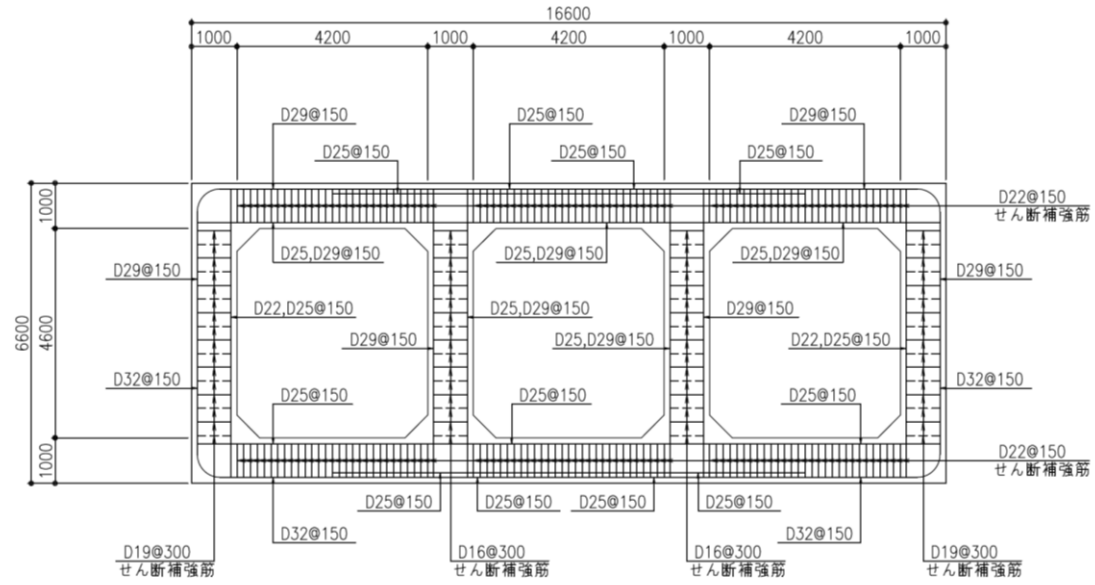
(単位 : mm)

図 3-6 取水路の断面図 (漸拡部 C-C 断面)



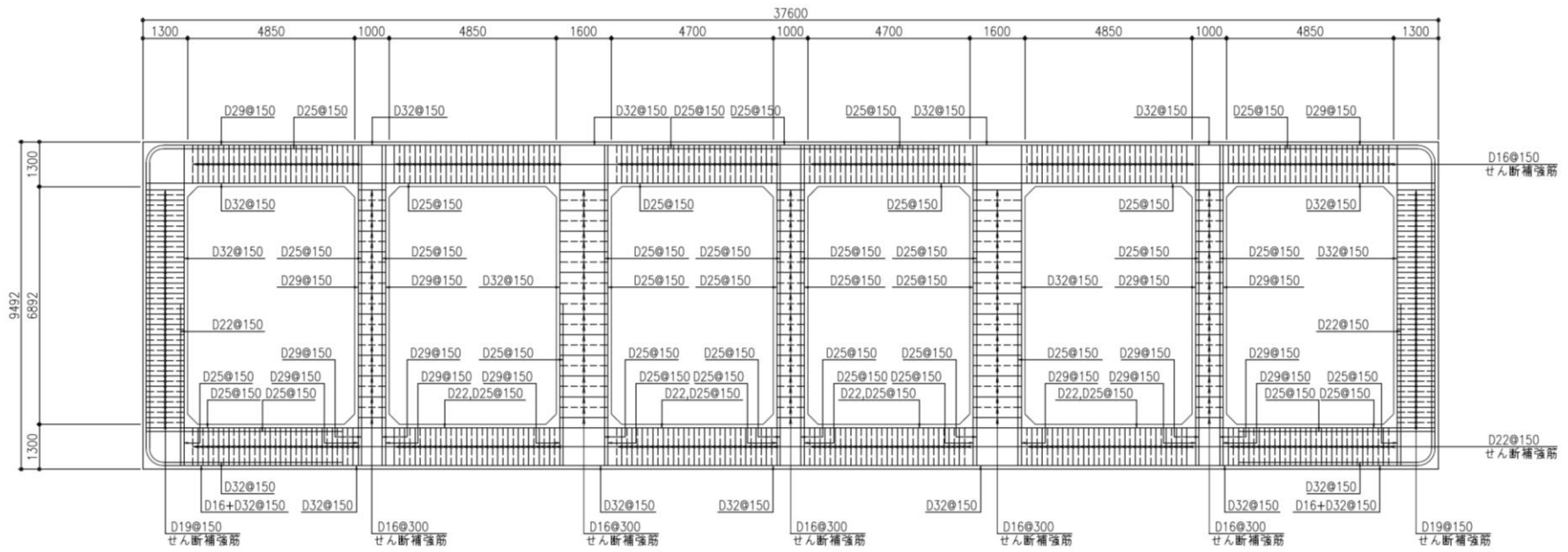
(単位 : mm)

図 3-7 取水路の配筋図 (漸縮部, A-A断面)



(単位 : mm)

図 3-8 取水路の配筋図 (一般部, B-B 断面)



(単位：mm)

図 3-9 取水路の配筋図 (漸拡部, C-C断面)

3.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、建設時の設計値に基づき設定する。構造物の使用材料を表 3-3 に、材料物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 構造物の使用材料

| 材料 | 諸元 |
|--------|-------------------------------|
| コンクリート | 設計基準強度 23.5 N/mm ² |
| 鉄筋 | SD35 (SD345 相当) |

表 3-4 構造物の材料物性値

| 材料 | 単位体積重量 (kN/m ³) | ヤング係数 (N/mm ²) | ポアソン比 |
|----------|--------------------------------|-------------------------------|-------|
| 鉄筋コンクリート | 23.5* | 2.45×10 ⁴ * | 0.2* |

注記* : 建設時の設計値に基づく

3.2.6 地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の解析用物性値

地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の解析用物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 3-5～表 3-7 に、マンメイドロックの物性値を表 3-8 に、地盤改良体の物性値を表 3-9 に示す。

表 3-5 地盤の解析用物性値（液状化検討対象層）

| パラメータ | | 埋戻土 | 新期砂層・沖積層 | | 古安田層 | | | |
|-------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | | 新期砂層 | 沖積層下部 | A2s 層 | A3s 層 | A2g 層 (砂質) | |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.94 (1.79)* | 2.05 (2.00)* | 2.02 | 1.91 | 1.91 | 1.91 | |
| | 間隙率 n | 0.45 | 0.44 | 0.42 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | 1.04×10^5 | 1.26×10^5 | 1.92×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 98.0 | 98.0 | 150.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | |
| | ポアソン比 ν | 0.33 (0.42)* | 0.33 (0.44)* | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.225 | 0.234 | 0.211 | 0.157 | 0.157 | 0.157 | |
| 強度特性 | 粘着力 c' (kN/m ²) | 0.0 (9.6)* | 0.0 (94.4)* | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 内部摩擦角 ϕ' (°) | 35.9 (34.8)* | 34.6 (27.6)* | 35.6 | 36.6 | 36.6 | 36.6 | |
| 液状化特性 | 変相角 ϕ_p (°) | 32.0 | 31.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | |
| | 液状化パラメータ | S_1 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| | | w_1 | 5.50 | 7.90 | 8.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 |
| | | p_1 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | | p_2 | 1.00 | 0.70 | 0.65 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| | | c_1 | 1.69 | 2.13 | 2.00 | 8.75 | 8.75 | 8.75 |

注記* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

表 3-6 地盤の解析用物性値（非液状化層）

| パラメータ | | 新期砂層・沖積層 | 古安田層 | | | |
|-------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | 沖積層上部 (シルト質) | A3c 層 | A3a1 層 | A2c 層 |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.66 | 1.70 | 1.81 | 1.80 | 1.88 |
| | 間隙率 n | 0.61 | 0.57 | 0.52 | 0.52 | 0.48 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | 5.50×10^4 | 1.09×10^5 | 9.57×10^4 | 1.39×10^5 | 1.61×10^5 |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 170.0 | 60.0 | 94.0 | 140.0 | 170.0 |
| | ポアソン比 ν | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.136 | 0.114 | 0.162 | 0.110 | 0.147 |
| 強度特性 | 粘着力 c' (kN/m ²) | 82.5 | 99.6 | 29.2 | 113.0 | 82.8 |
| | 内部摩擦角 ϕ' (°) | 19.6 | 26.8 | 34.2 | 27.9 | 28.7 |

表 3-7 地盤の解析用物性値（西山層）

| パラメータ | | 西山層 | |
|-------|---|--------------------------|--------------------------------|
| | | T. M. S. L. - 33. 0m 以浅 | T. M. S. L. - 33. 0m ~ -90. 0m |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1. 73 | 1. 69 |
| | 間隙率 n | 0. 56 | 0. 56 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | $4. 16 \times 10^5$ | $4. 75 \times 10^5$ |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 98. 0 | 98. 0 |
| | ポアソン比 ν | 0. 33 | 0. 33 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0. 257 | 0. 257 |
| 強度特性 | 粘着力 c (kN/m ²) | $1370 - 5. 04 \cdot Z^*$ | $1370 - 5. 04 \cdot Z^*$ |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 0 | 0 |

注記* : Zは、標高 (m) を示す。

表 3-8 マンメイドロックの解析用物性値

| パラメータ | | マンメイドロック |
|-------|---|---------------------|
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1. 75 |
| | 間隙率 n | 0. 56 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | $1. 91 \times 10^6$ |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 98. 0 |
| | ポアソン比 ν | 0. 36 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0. 190 |
| 強度特性 | 粘着力 c (kN/m ²) | 1840 |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 0. 0 |

表 3-9 地盤改良体（無筋コンクリート）の解析用物性値

| パラメータ | | 無筋コンクリート |
|-------|--------------------------------|---------------------|
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 2. 30 |
| 変形特性 | ヤング係数 E (kN/m ²) | $2. 20 \times 10^7$ |
| | ポアソン比 ν | 0. 20 |

3.2.7 評価構造物諸元

(1) 評価構造物諸元と評価部位

照査を行う取水路の評価構造物諸元を表 3-10～表 3-12 に、評価部位を図 3-10～図 3-12 に示す。

表 3-10 構造物の評価部位とその仕様（A-A断面）

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|--------------|------------|--|--------------------|---------|
| | 部材奥行幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 右側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 隔壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 底版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲

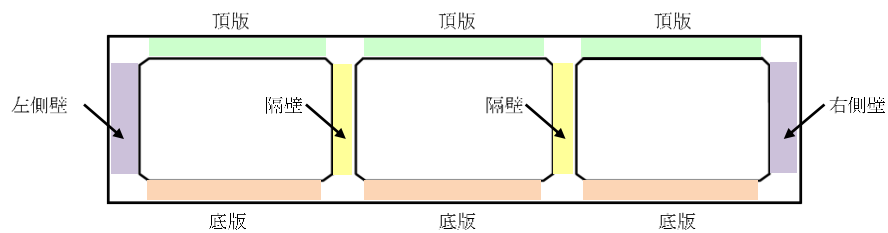


図 3-10 評価部位（A-A断面）

表 3-11 構造物の評価部位とその仕様（B-B断面）

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|--------------|------------|--|--------------------|---------|
| | 部材奥行幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 右側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 隔壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 底板 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲

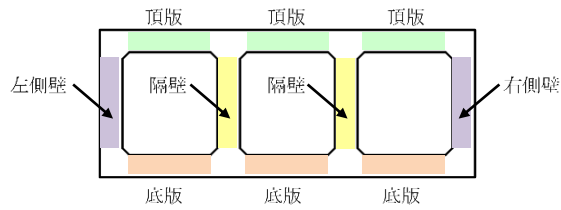


図 3-11 評価部位（B-B断面）

表 3-12 構造物の評価部位とその仕様 (C-C断面)

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|--------------|------------|--|--------------------|---------|
| | 部材奥行幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 右側壁 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 隔壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 底版 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲

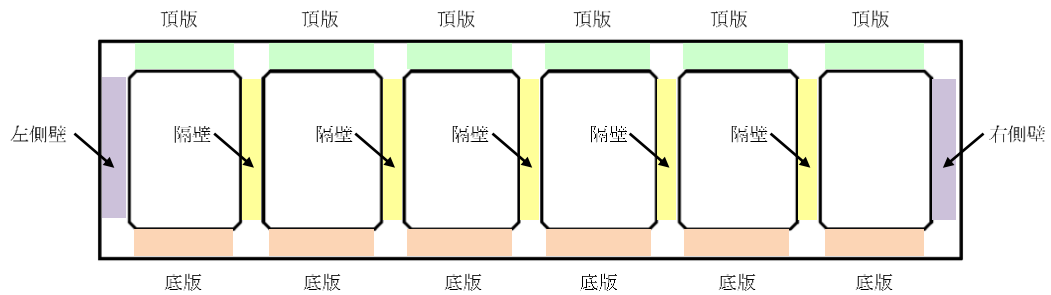


図 3-12 評価部位 (C-C断面)

(2) 取水路の機能要求の考え方

「(1) 評価構造物諸元と評価部位」の各表に記載した取水路の機能要求について、その考え方を以下に記載する。なお、取水路には、間接支持するSクラス設備はない。

a. 通水機能

取水路の通水断面を構成する各部材について、通水機能を要求するものとする。図 3-13～図 3-15 に通水機能を要求する部材の範囲を図示する。

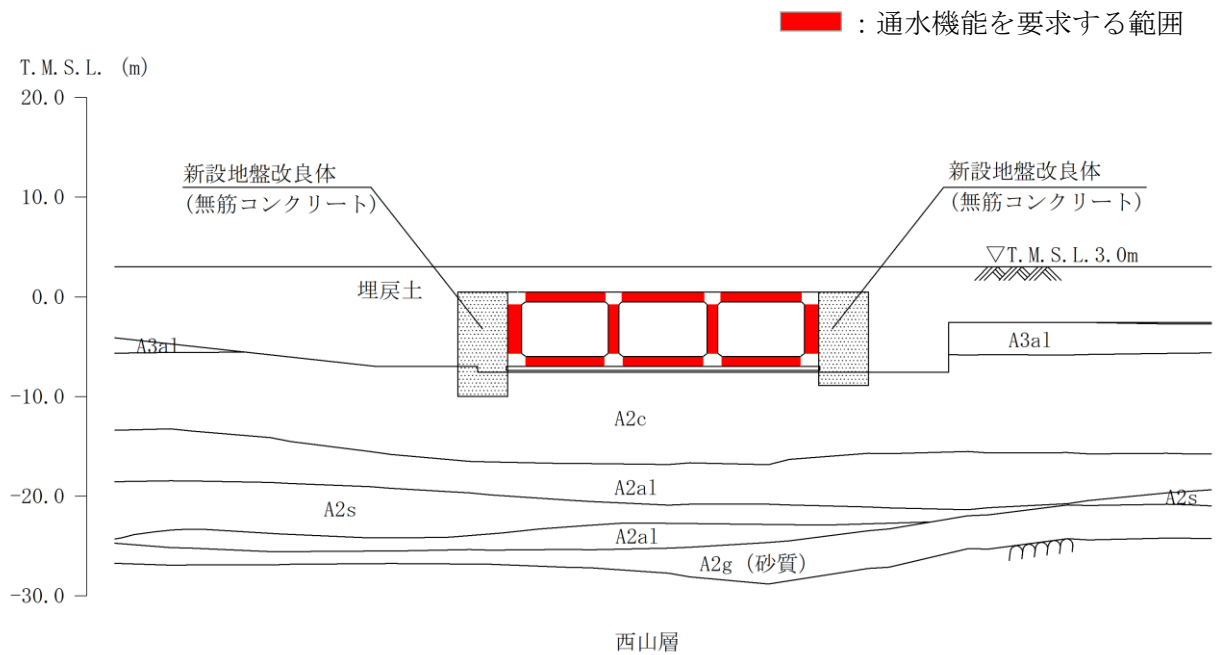


図 3-13 通水機能を要求する範囲 (A-A断面)

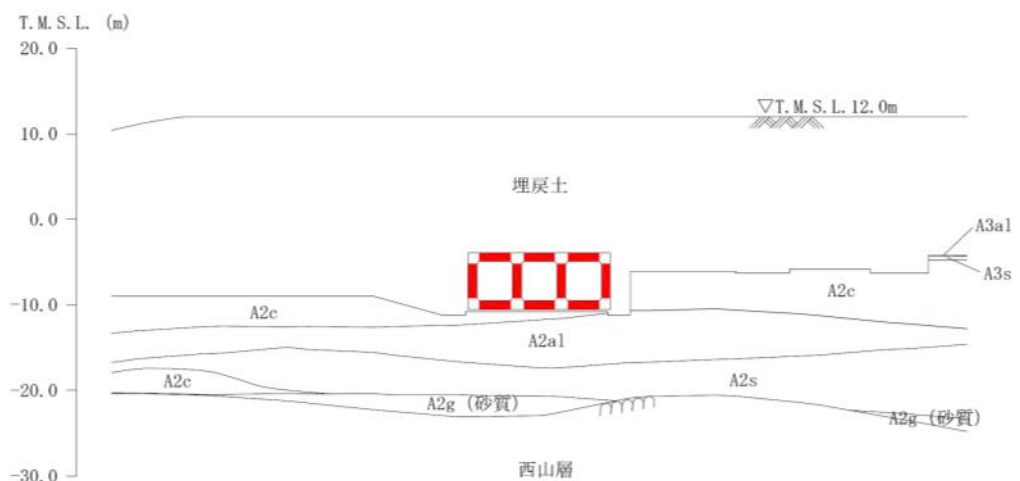


図 3-14 通水機能を要求する範囲 (B-B断面)

■ : 通水機能を要求する範囲

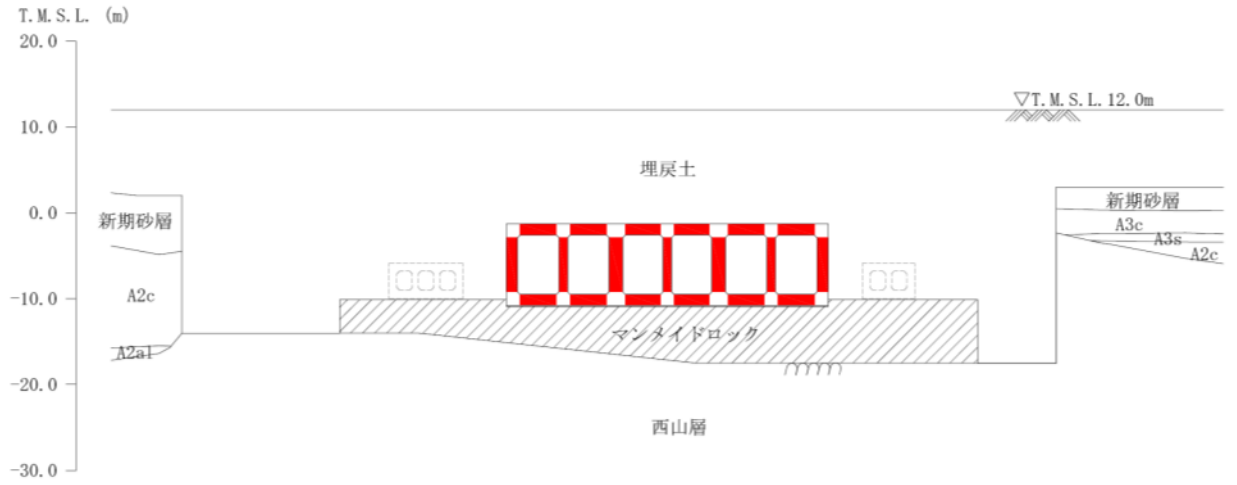


図 3-15 通水機能を要求する範囲 (C-C断面)

b. 貯水機能

取水路における貯水機能は、津波時の引き波時を想定した要求性能であるため、海水貯留堰天端標高(T. M. S. L. -3.5m)以下の頂版及び側壁を対象とする。

ここで、取水路の周辺地盤の地下水位は常時は海水面付近にあると想定され、津波時の引き波による海水面低下が起きても、引き波の継続時間は最大約16分と短時間の現象評価されているため、取水路の内水位よりも周辺地盤の地下水位の方が高い状態にあることから、取水路内の貯留水は地盤へ流出する可能性は低いものと考えられる。また、一部の側壁の側方には浮上り対策のためのセメント改良による透水性の低い地盤改良体を設置していることから、取水路内の貯留水は地盤に流出する可能性は低いものと考えられるが、当検討では側壁の健全性により貯水機能を担保することとする。

なお、底版については、スクリーン室全区間で透水係数の小さい粘性土(A2c層)若しくはマンメイドロックに接していることから、貯水機能を要求する範囲の対象外とする。

図3-16～図3-18に貯水機能を要求する部材の範囲を示す。

また、鉄筋コンクリート部材以外に貯水機能が要求される部材としては、ブロック間に設置している耐震ジョイントが挙げられる。耐震ジョイントの地震時の健全性については、(参考資料2)に示す。

引き波の継続時間の詳細は、V-1-1-3-2「津波への配慮に関する説明書」に示す。

■：貯水機能を要求する範囲

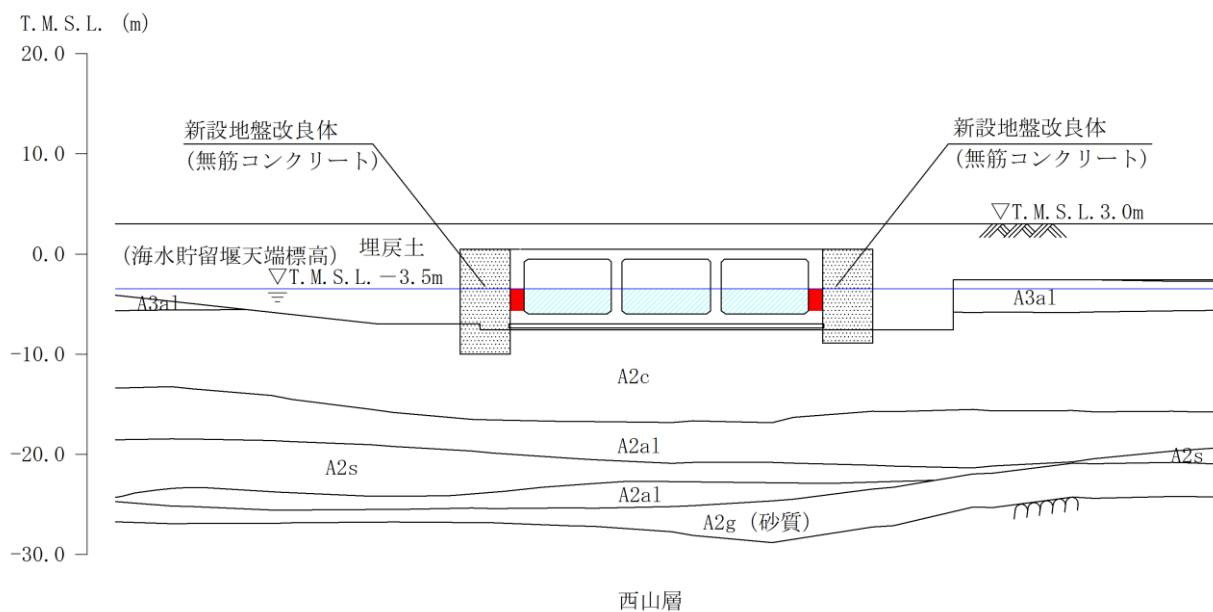


図 3-16 貯水機能を要求する範囲 (A-A断面)

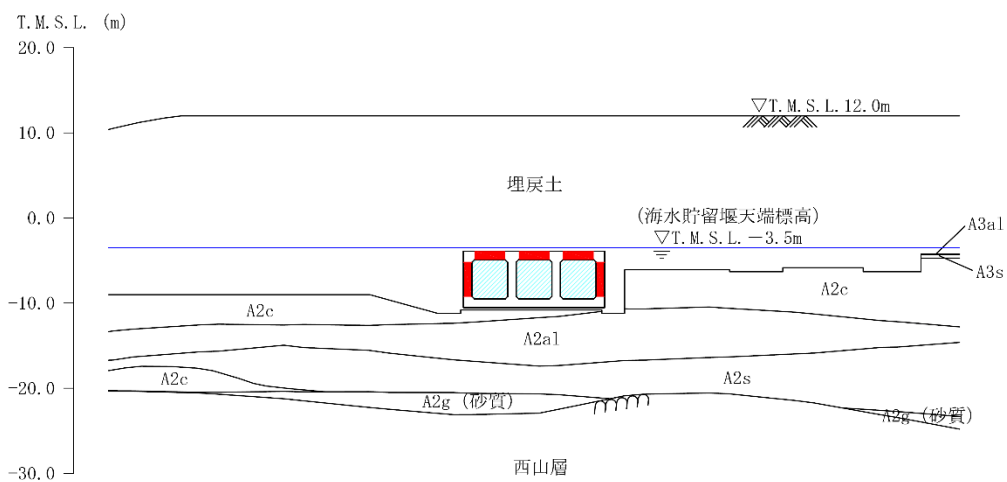


図 3-17 貯水機能を要求する範囲 (B-B断面)

■ : 貯水機能を要求する範囲

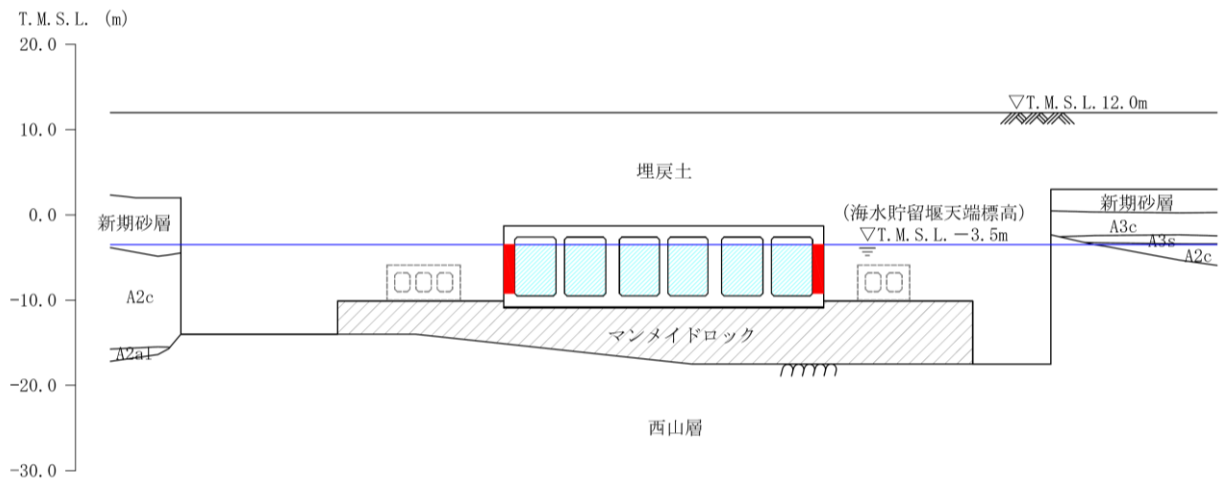


図 3-18 貯水機能を要求する範囲 (C-C断面)

3.2.8 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、A-A断面はT.M.S.L. 3.0m（地表面）に、B-B断面はT.M.S.L. 5.0mに、C-C断面はT.M.S.L. 8.0mに設定する。

3.2.9 地震応答解析手法

取水路の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。構造部材については、はり要素を用いることとし、非線形特性についてはコンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル（H-Dモデル）を選定する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.4.1」を使用する。地震応答解析手法の選定フローを図3-19に示す。

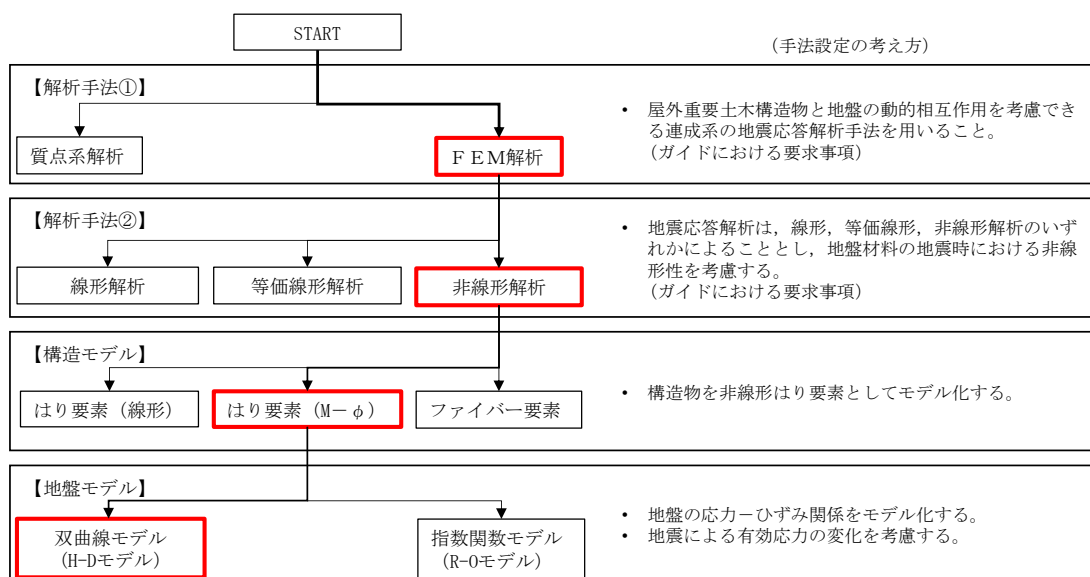


図 3-19 地震応答解析手法の選定フロー

3.2.10 地震応答解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 を参考に、図 3-20 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍程度、モデル高さを構造物幅の 2 倍程度とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20 Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 又は 4 分割、すなわち $V_s/100$ 又は $V_s/80$ を考慮し、要素高さを 0.5~1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、土木学会マニュアルに、線材モデルの要素分割については、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度とするのが良い旨が示されていることを考慮し、部材の断面厚さ又は有効高さの 1.0 倍程度まで細分割して設定する。

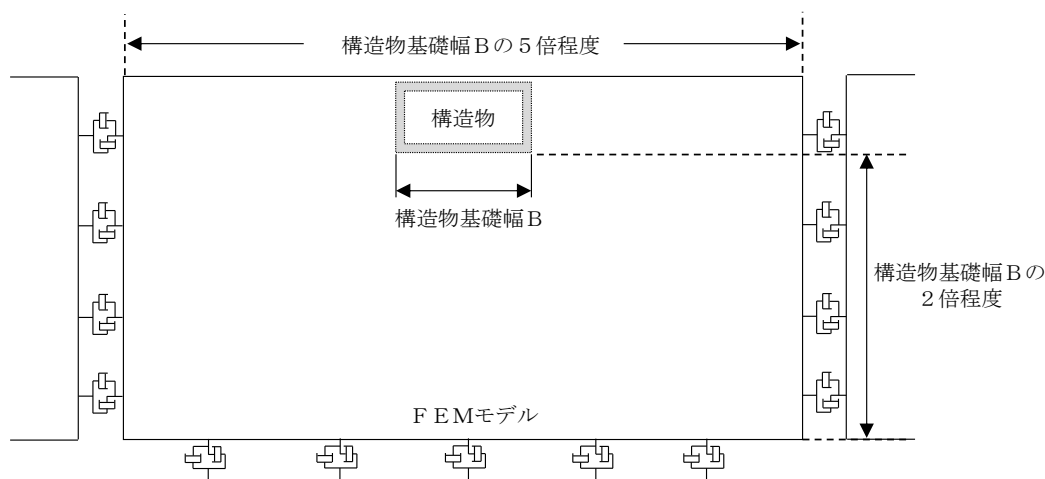


図 3-20 モデル範囲の考え方

2次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する1次元地盤モデルである。2次元有効応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図3-21に示す。また、取水路周辺の地質断面図を図3-22～図3-24に示す。

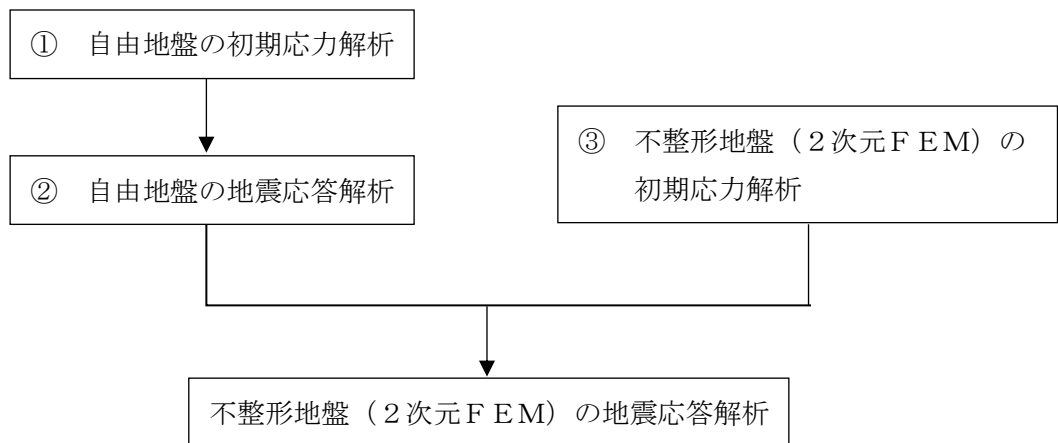
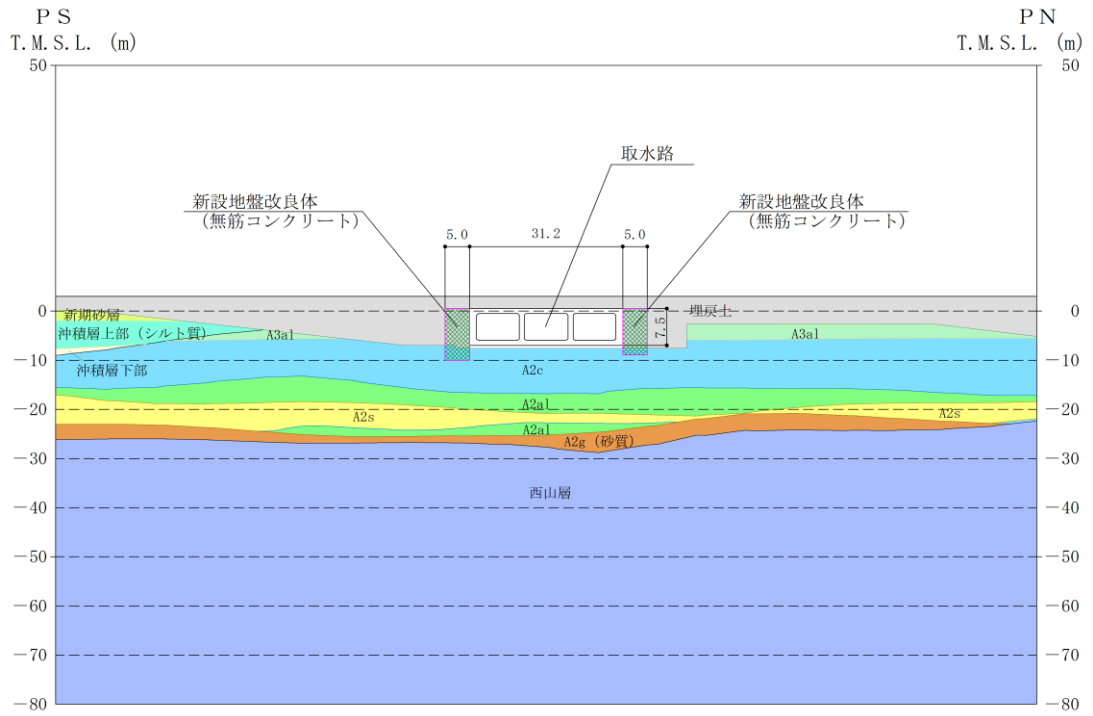
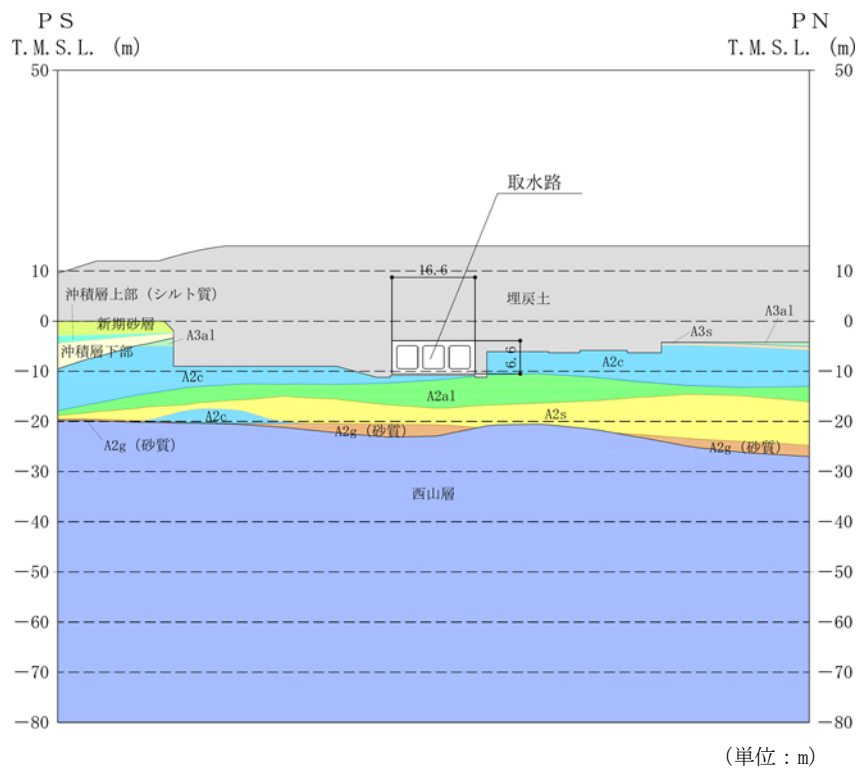


図 3-21 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤（2次元FEM）の地震応答解析までのフロー



(単位：m)

図 3-22 取水路の地質断面図 (A-A断面)



(単位：m)

図 3-23 取水路の地質断面図 (B-B断面)

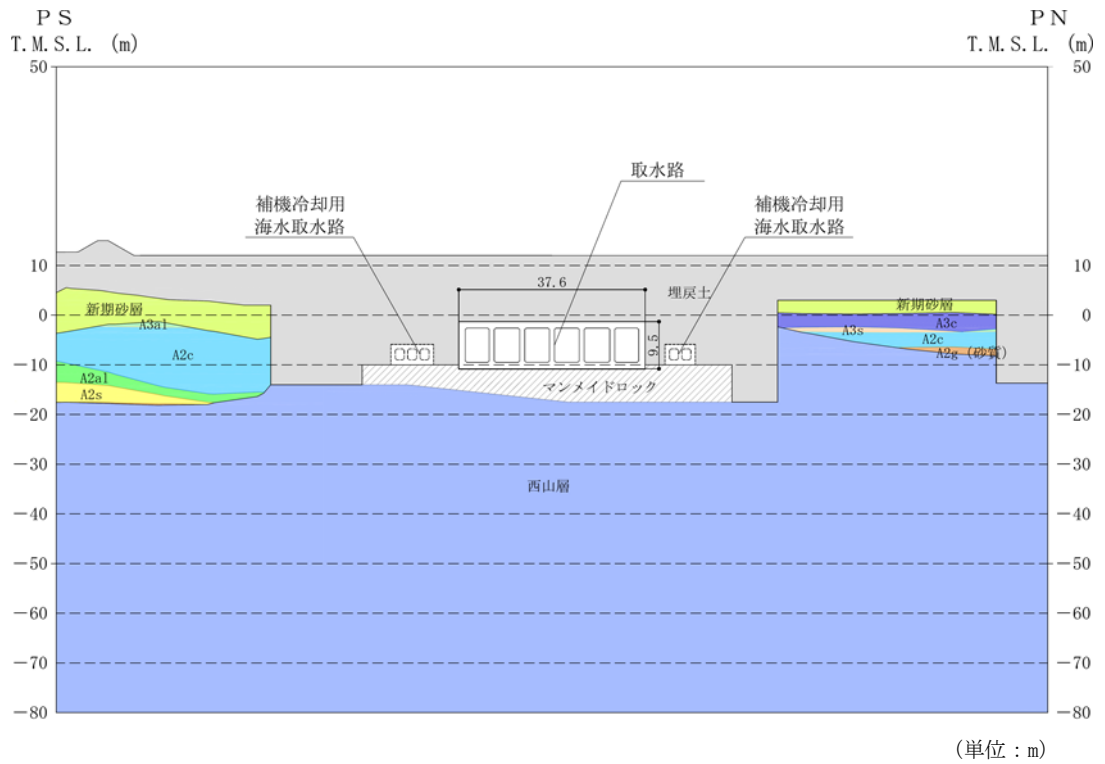


図 3-24 取水路の地質断面図 (C-C 断面)

(2) 境界条件

a. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 3-25 に示す。

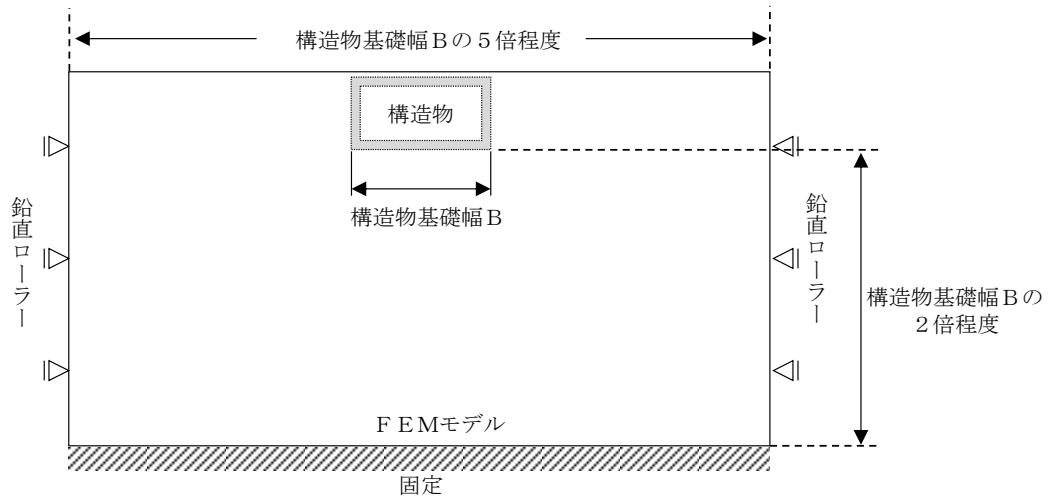


図 3-25 初期応力解析における境界条件の概念図

b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。取水路の地震応答解析モデルを図 3-26～図 3-28 に示す。

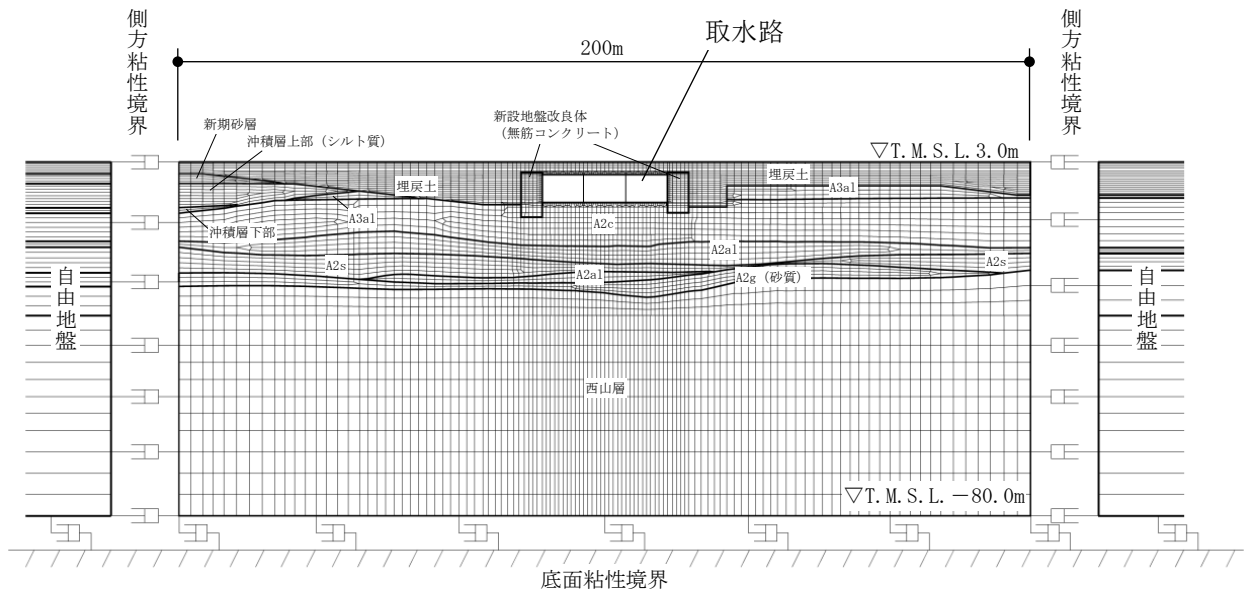


図 3-26 取水路の地震応答解析モデル (A-A断面)

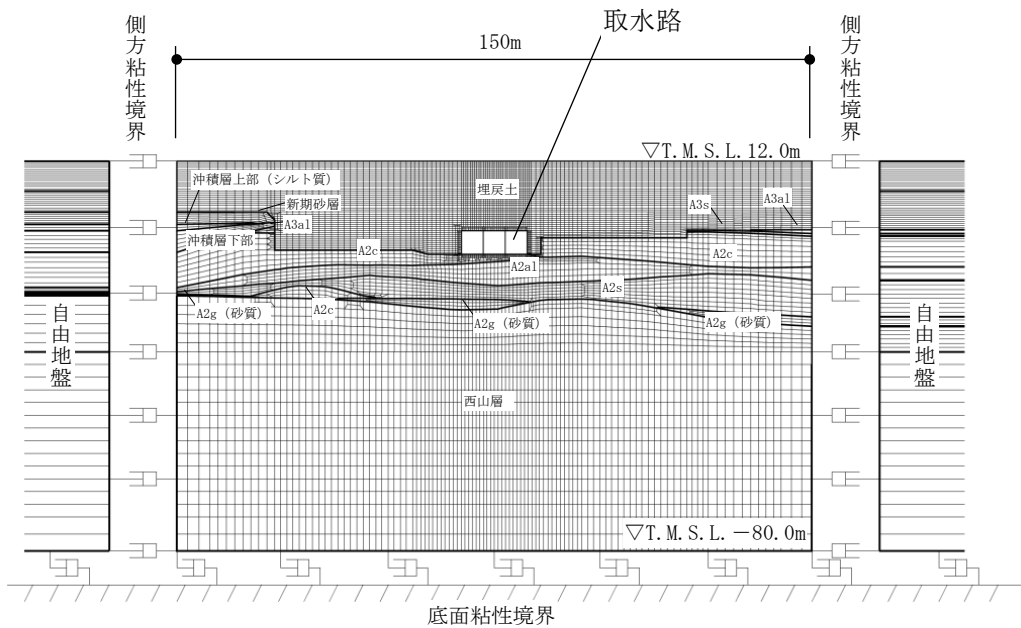


図 3-27 取水路の地震応答解析モデル (B-B断面)

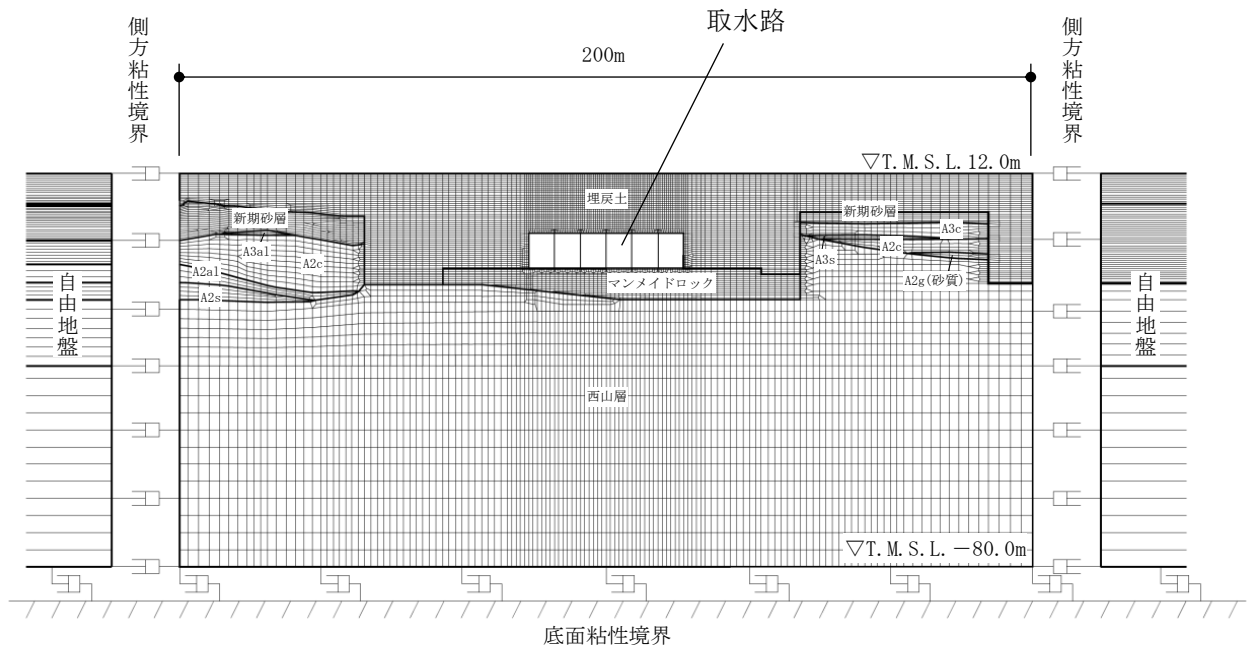


図 3-28 取水路の地震応答解析モデル (C-C断面)

(3) 構造物のモデル化

取水路の各断面では，構造部材として考慮する側壁，隔壁，底版，頂版を非線形はり要素でモデル化する。

それぞれの非線形はり要素の交点には，コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。

取水路の各断面の解析モデルにおける構造物部分の拡大図を，図 3-29～図 3-31 に示す。

構造部材は，単位奥行幅（1.0m）としてモデル化する。

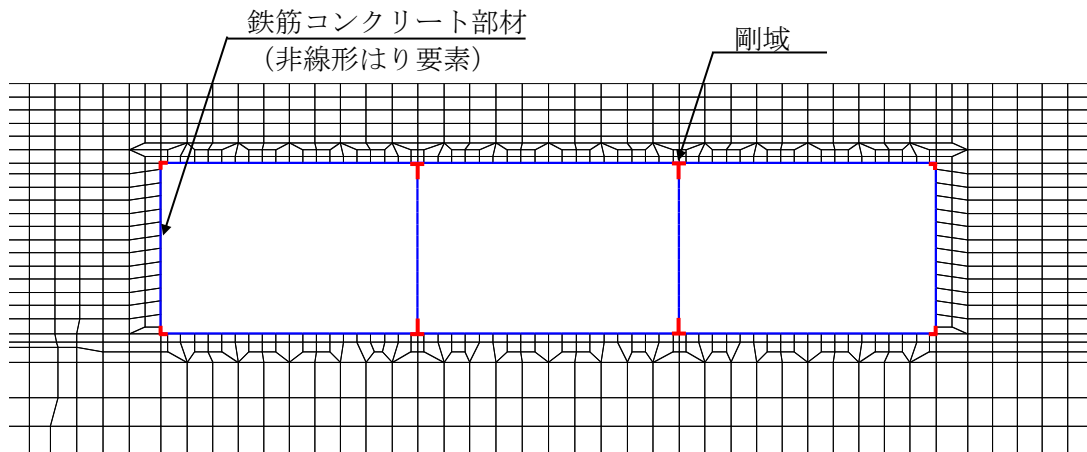


図 3-29 取水路の解析モデル（構造物部分拡大部，A-A断面）

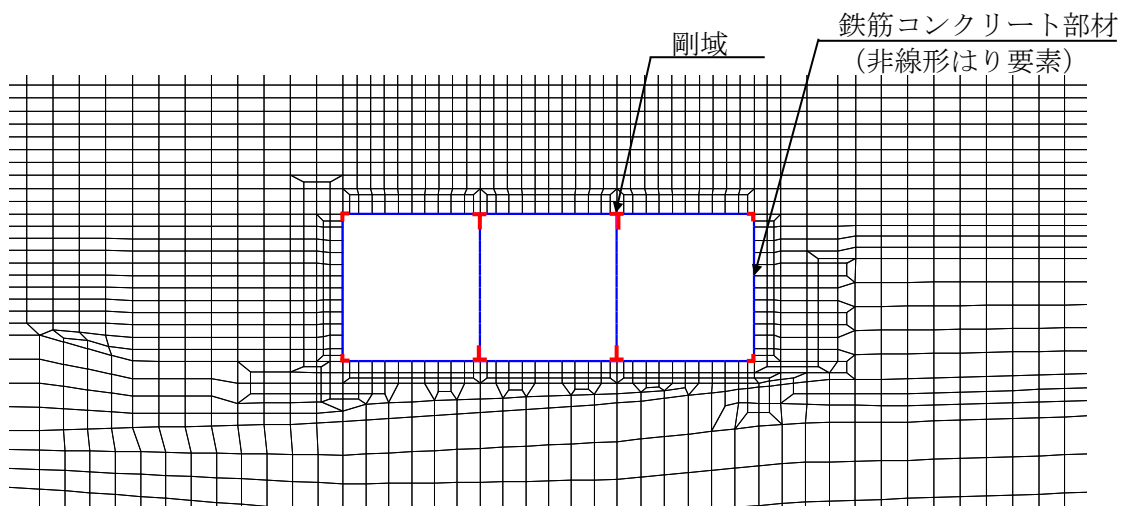


図 3-30 取水路の解析モデル（構造物部分拡大部，B-B断面）

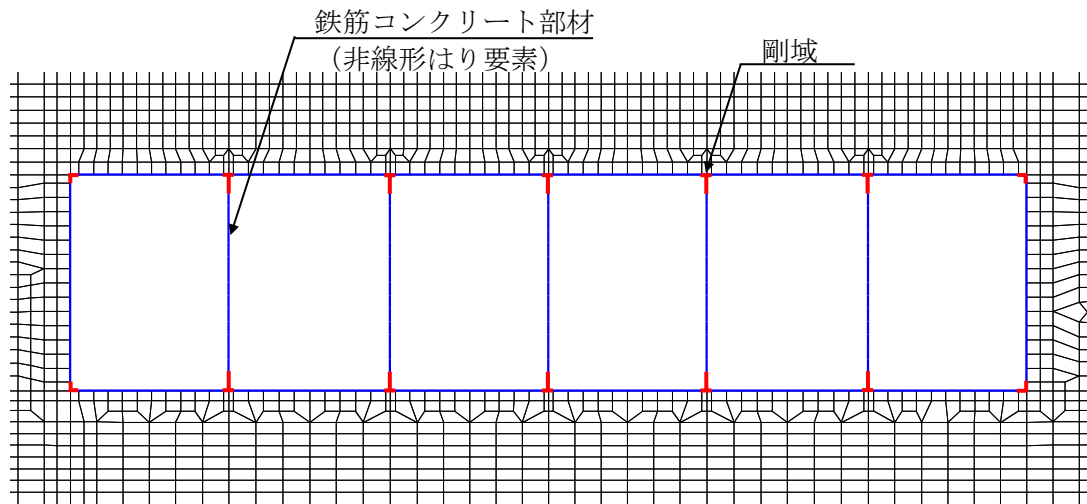


図 3-31 取水路の解析モデル（構造物部分拡大部，C-C断面）

(4) 地盤及びマンメイドロックのモデル化

地盤及びマンメイドロックはマルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) 地盤改良体のモデル化

A-A断面の地盤改良体（無筋コンクリート）は，線形平面要素によりモデル化し，線形弾性体として考慮する。

(6) ジョイント要素の設定

「地盤と構造物」、「地盤改良体と構造物」、「マンメイドロックと構造物」及び「地盤と地盤改良体」との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の接合面における剥離及びすべりを考慮する。なお、「マンメイドロックと岩盤」との接合面については、マンメイドロックは、西山層と同等以上の力学特性を有する置き換え材料と設計されており、著しい剛性差がないことを踏まえ、ジョイント要素は配置しない。

ジョイント要素は、隣接する要素との接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時の圧縮荷重以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力を零とし、剥離を考慮する。せん断方向については、各要素間の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性を零とし、すべりを考慮する。

なお、せん断強度 τ_f は、次式により規定される。

$$\tau_f = c_B + \sigma' \tan \phi_B$$

ここで、

σ' : 要素間の直応力

c_B : 付着力

ϕ_B : 摩擦角

要素間の付着力 c_B 、摩擦角 ϕ_B は、表 3-13 に示す道路橋示方書の設定を参考に、表 3-14 のとおりに設定する。周辺地盤の粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、表 3-15 のとおりに設定する。

表 3-13 道路橋示方書における摩擦角 ϕ_B と付着力 c_B

| 条 件 | 摩擦角 ϕ_B (摩擦係数 $\tan \phi_B$) | 付着力 c_B |
|--------------------|--|-----------|
| 土とコンクリート | $\phi_B = \frac{2}{3} \phi$ | $c_B = 0$ |
| 土とコンクリートの間に栗石を敷く場合 | $\left. \begin{array}{l} \tan \phi_B = 0.6 \\ \phi_B = \phi \end{array} \right\} \text{の小さい方}$ | $c_B = 0$ |
| 岩とコンクリート | $\tan \phi_B = 0.6$ | $c_B = 0$ |
| 土と土又は岩と岩 | $\phi_B = \phi$ | $c_B = c$ |

ただし、 ϕ : 支持地盤のせん断抵抗角 (°) c : 支持地盤の粘着力 (kN/m²)

(道路橋示方書より引用)

表 3-14 要素間の付着力 c_B と摩擦角 ϕ_B

| 条件 | 付着力 c_B (kN/m ²) | 摩擦角 ϕ_B (°) |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------|
| 地盤と構造物 | 0 | $2/3 \phi$ |
| 地盤改良体* ¹ と構造物 | 0 | 31 |
| マンメイドロック* ¹ と構造物 | 0 | 31 |
| 地盤と地盤改良体* ² | c | ϕ |

注記*1：地盤改良体及びマンメイドロックは，その性状から道路橋示方書における岩とみなす。

*2：地盤と地盤改良体の付着力と摩擦角は，地盤の c ， ϕ を適用する。

表 3-15 周辺地盤の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ

| 地質区分 | 粘着力 c (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|-------|------------------------------|----------------------------|
| 埋戻土 | 0.0 (9.6) * ¹ | 35.9 (34.8) * ¹ |
| A2c 層 | 113.0 | 27.9 |

注記*1：括弧内の数字は，地下水位以浅の数値を表す。

*2：Zは，標高 (m) を示す。

また，ジョイント要素のばね定数は，数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として，港湾構造物設計事例集（上巻）（沿岸技術研究センター，平成 19 年 3 月）に従い，表 3-16 の通り設定する。ジョイント要素の力学特性を図 3-32 に，ジョイント要素の配置を図 3-33 に示す。

表 3-16 ジョイント要素のばね定数

| 対象 | せん断剛性 k_s (kN/m ³) | 圧縮剛性 k_n (kN/m ³) |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 側方及び底面 | 1.0×10^6 | 1.0×10^6 |

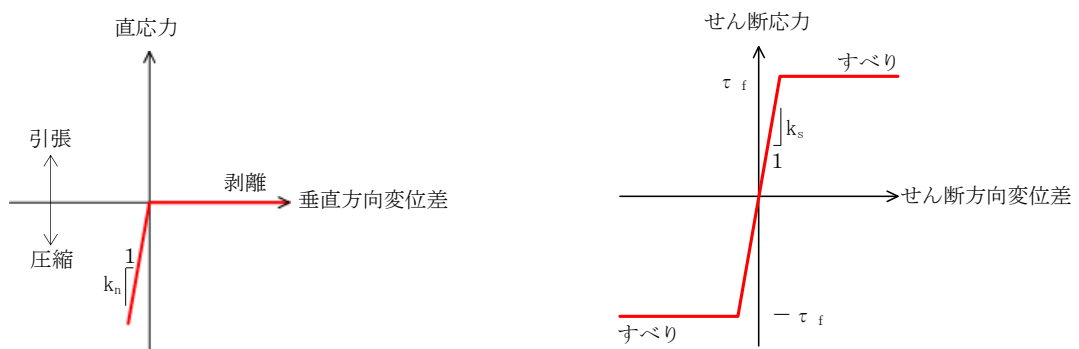
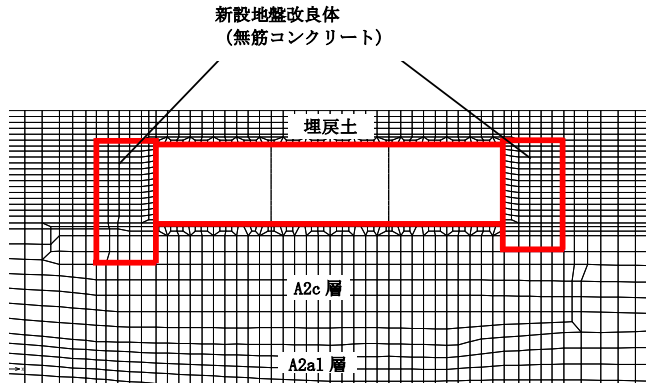
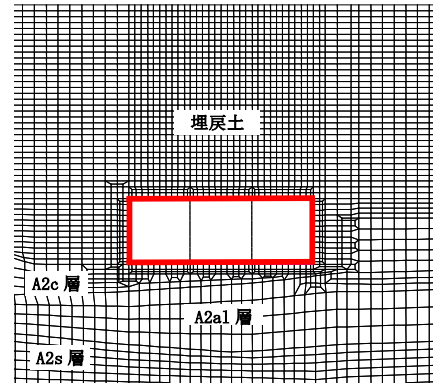


図 3-32 ジョイント要素の力学特性

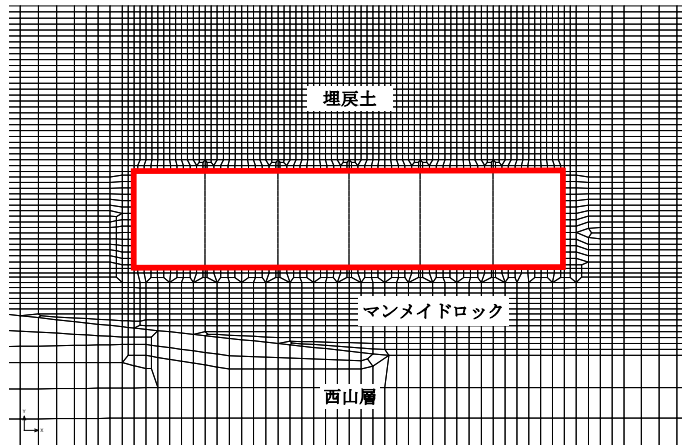
— : ジョイント要素



(A-A 断面)



(B-B 断面)



(C-C 断面)

図 3-33 ジョイント要素の配置

(7) 材料特性の設定

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素を用いてモデル化する。非線形特性の設定においては、コンクリート及び鉄筋について、それぞれの非線形性を考慮する。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。

部材の非線形特性は以下のとおりである。

図 3-34 に、鉄筋コンクリート部材におけるM- ϕ 関係のトリリニアモデルによる骨格曲線を示す。また、コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ曲線を図 3-35 及び図 3-36 に示す。トリリニアモデルによる骨格曲線と履歴特性の関係を図 3-37 に示す。履歴特性には、修正武田モデルを適用する。

有効応力解析コード「FLIP Ver. 7.4.1」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされることから、常時応力解析により各部材に発生する軸力にて当該非線形特性を設定する。軸力変動が部材の非線形特性に及ぼす影響については、(参考資料 3) に示す。

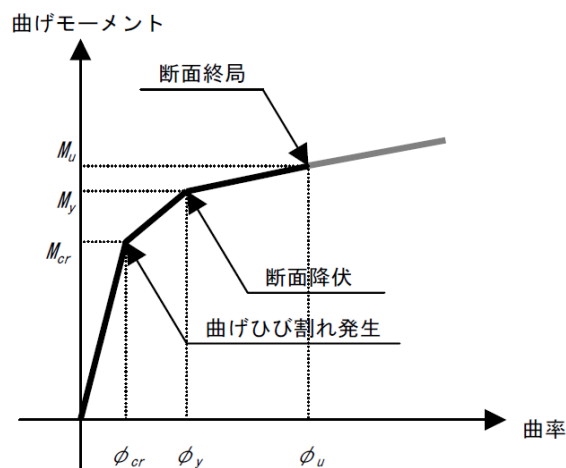


図 3-34 M- ϕ 関係のトリリニアモデル (鉄筋コンクリート部材)

(土木学会マニュアルより引用)

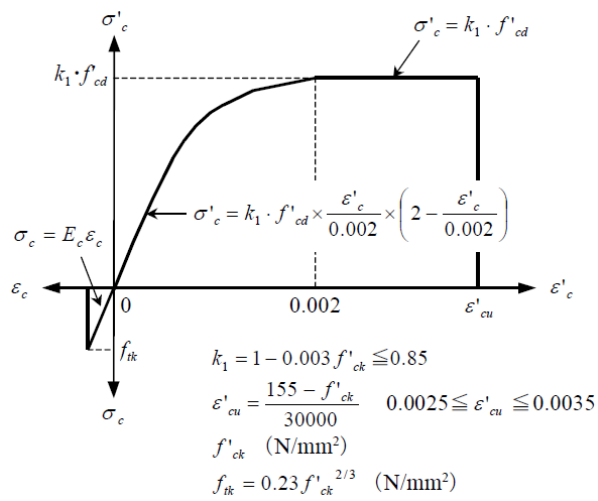


図 3-35 コンクリートの応力-ひずみ曲線
(土木学会マニュアルより引用)

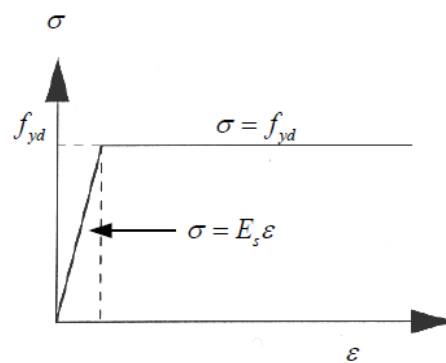


図 3-36 鉄筋の応力-ひずみ曲線
(土木学会マニュアルより引用)

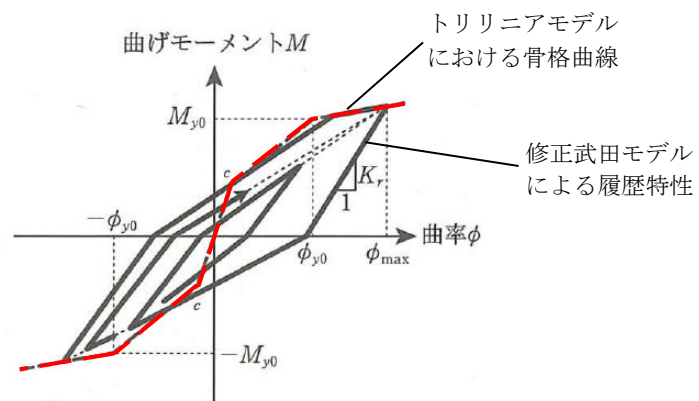


図 3-37 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)
(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (平成 14 年 3 月) より引用)

3.2.11 減衰定数

減衰定数は、KK7 補足-027-1「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に基づき設定する。

3.2.12 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧及び動水圧の反力による荷重が含まれるものとする。なお、取水路には荷重として考慮すべき機器・配管は存在しない。

積雪荷重については、取水路が地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力を組合せる荷重としては除外した。

なお、取水路は地中に埋設された構造物であることから、運転時の異常な過度変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地中で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 3-17 に示す。

表 3-17 荷重の組合せ

| 種別 | | 荷重 | 算定方法の概要 |
|----------------|-------|---------------------------|--|
| 永久荷重 | 固定荷重 | 躯体自重 | ○ ・設計図書に基づき、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する |
| | | 機器・配管自重 | — ・機器・配管はないことから、考慮しない |
| | | 土被り荷重 | ○ ・常時応力解析により設定する |
| | | 永久上載荷重 | — ・地盤表面に恒常的に置かれる設備等はないことから、考慮しない |
| | 静止土圧 | | ○ ・常時応力解析により算定する |
| | 外水圧 | | ○ ・解析断面の地下水位（T.M.S.L. 3.0m, T.M.S.L. 5.0m, T.M.S.L. 8.0m）に応じた静水圧を設定する ・地下水の密度を考慮する |
| | 内水圧 | | ○ ・T.M.S.L. 1.0m*に応じた静水圧を設定する ・海水の密度を考慮する |
| 雪荷重 | | — ・埋設構造物であるため、積雪を考慮しない | |
| 偶発荷重 (地震荷重) | 水平地震動 | | ○ ・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮する |
| | 鉛直地震動 | | ○ ・躯体、動土圧を考慮する |
| | 動水圧 | | ○ ・水位条件及び密度は、永久荷重のうち内水圧と同様とする ・地震時動水圧を付加質量により考慮する |

注記*：内水圧の水位は、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対し、保守性を考慮し T.M.S.L. 1.0m とする。（共通条件：スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路）

(1) 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、A-A断面を T.M.S.L. 3.0m に、B-B断面を T.M.S.L. 5.0m に、C-C断面を T.M.S.L. 8.0m として設定する。設定の際は、地下水の密度として、 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

(2) 内水圧

取水路の内部には、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対して保守的に設定した T.M.S.L. 1.0m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

a. A-A断面（漸縮部）

A-A断面における内水圧図を図 3-38 に示す。

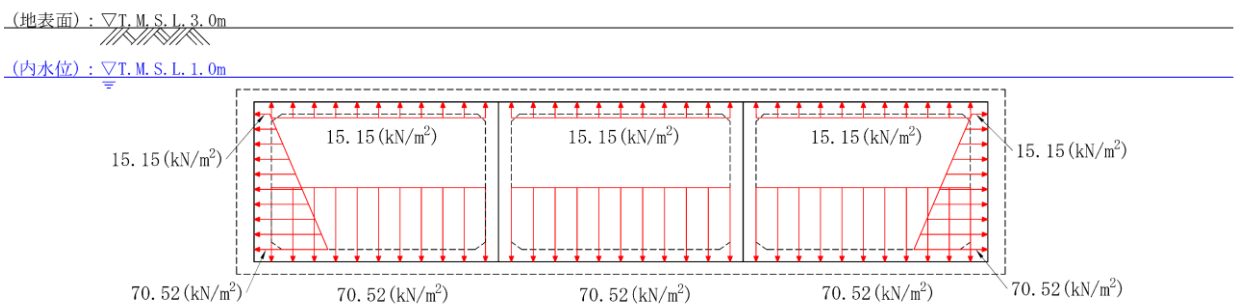


図 3-38 内水圧図（A-A断面）

b. B-B断面（一般部）

B-B断面における内水圧図を図 3-39 に示す。

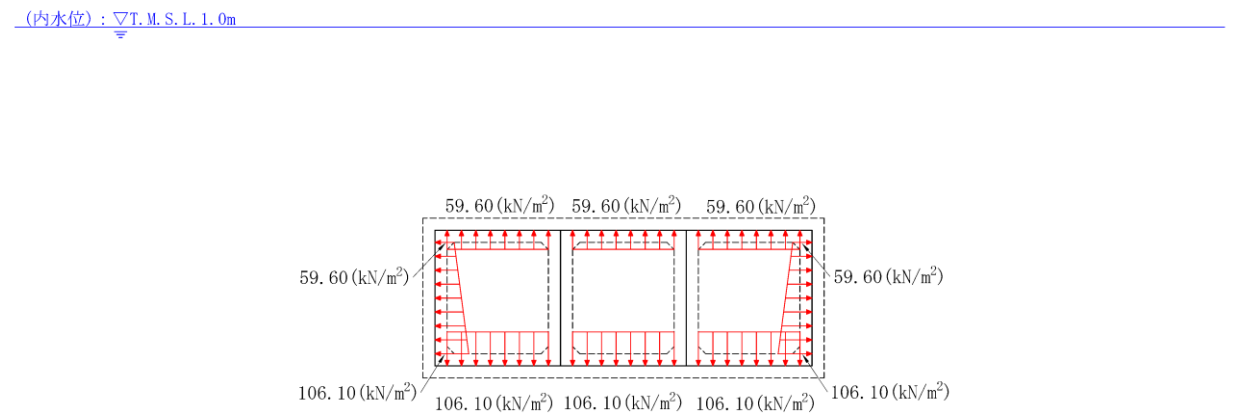


図 3-39 内水圧図（B-B断面）

- c. C-C断面（漸拡部）
 C-C断面における内水圧図を図 3-40 に示す。

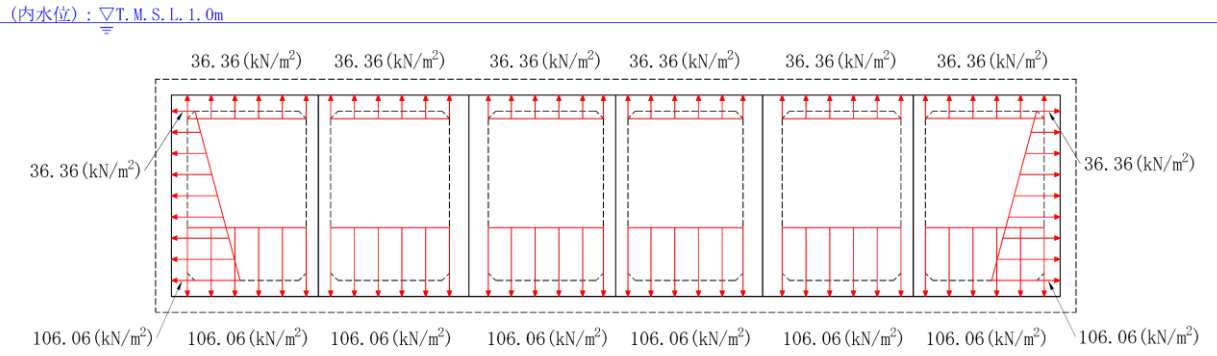


図 3-40 内水圧図 (C-C断面)

(3) 動水圧

取水路の内部には，朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対して保守的に設定した T.M.S.L. 1.0m を水面とした動水圧を付加質量として設定し，地震時の影響を考慮する。設定の際は，海水の密度として， $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

a. A-A断面（漸縮部）

A-A断面における動水圧図を図 3-41 に示す。

A-A断面は満水状態で自由水面が存在しないため，付加質量を設定する際は，水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ，鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

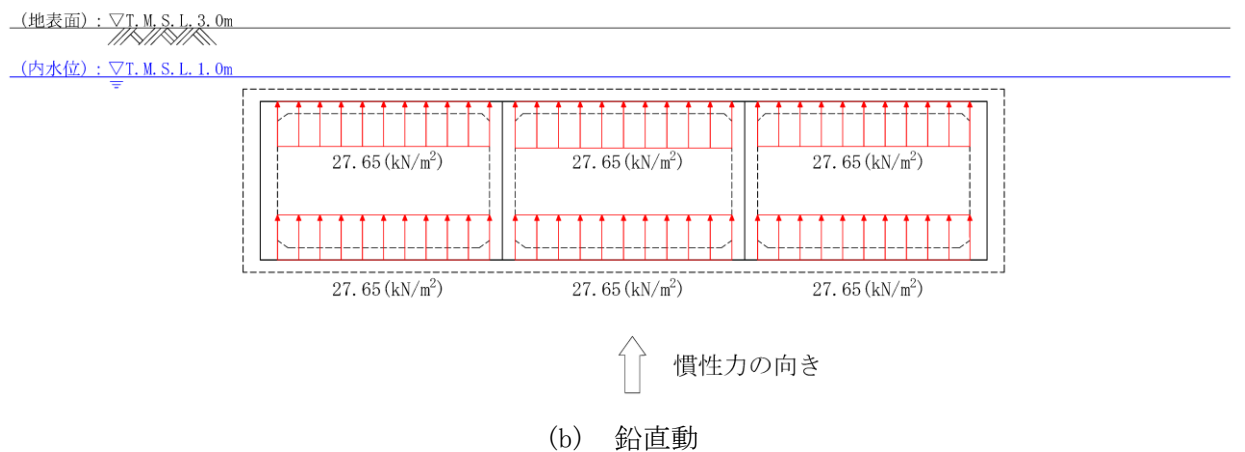
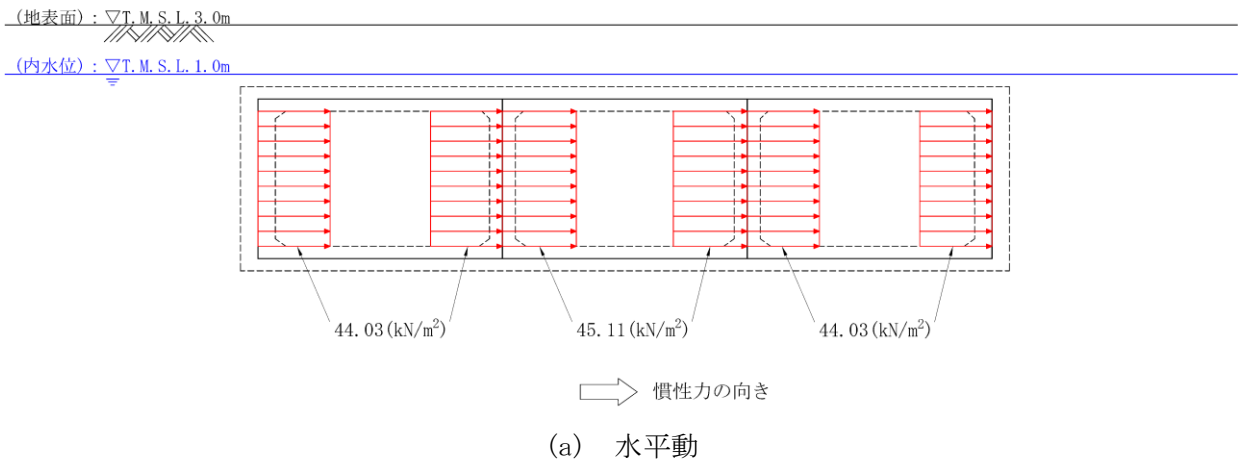


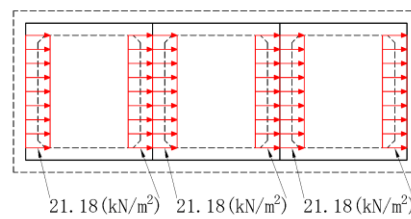
図 3-41 動水圧図 (A-A断面)

b. B-B断面（一般部）

B-B断面における動水圧図を図 3-42 に示す。

B-B断面は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

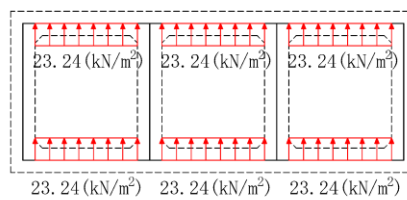
(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1. 0m



⇒ 慣性力の向き

(a) 水平動

(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1. 0m



↑ 慣性力の向き

(b) 鉛直動

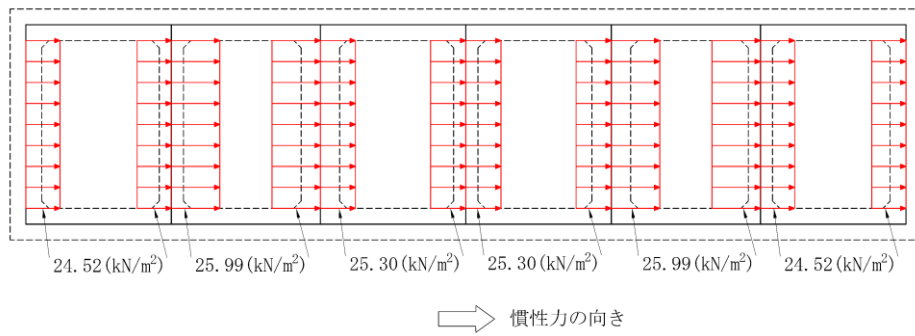
図 3-42 動水圧図（B-B断面）

c. C-C断面（漸拡部）

C-C断面における動水圧図を図 3-43 に示す。

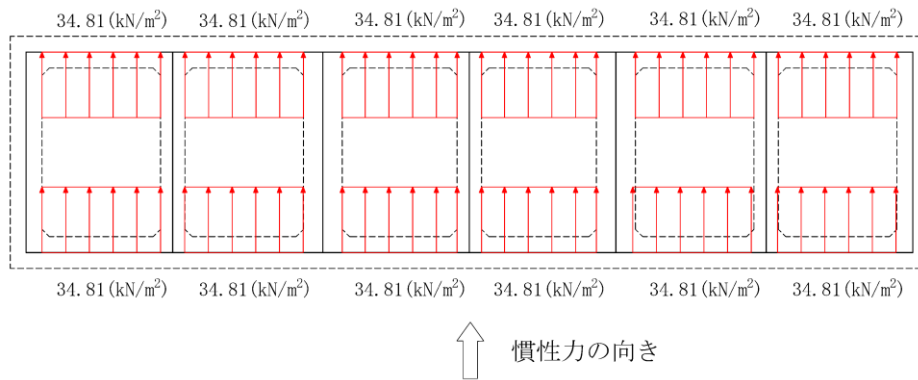
C-C断面は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1.0m



(a) 水平動

(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1.0m



(b) 鉛直動

図 3-43 動水圧図 (C-C断面)

3.2.13 耐震評価における解析ケース

取水路は地中埋設構造物であるため、地震時の応答は地盤の応答に大きく影響される。また、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から頂版に作用するせん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、耐震評価においてばらつきを考慮する物性値は、地盤のせん断変形を定義する初期せん断弾性係数 G_0 とする。

耐震評価における解析ケースを表 3-18 に示す。

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層（埋戻土及び新期砂層）のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層（沖積層及び古安田層）のばらつきは、各地層のPS検層の結果からせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する。（解析ケース②, ③, ⑤）。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1σ) にて設定する（解析ケース①, ②, ③）。

また、構造物の応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する（解析ケース④, ⑤）。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース（①～⑤）を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対して解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げ軸力照査及びせん断力照査をはじめとした全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加解析ケースとして解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい地震動の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図 3-44 に示す。

表 3-18 耐震評価における解析ケース

| 解析ケース | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | |
|------------|------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|--|--|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース | |
| 地盤剛性の設定 | | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1σ) | 地盤剛性 (-1σ) | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1σ) | |
| 液状化強度特性の設定 | | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 | |
| 地震動 (位相) | Ss-1 | ++* | 実施 | | | | |
| | | + - * | 実施 | | | | |
| | | - + * | 実施 | | | | |
| | | --* | 実施 | | | | |
| | Ss-2 | | 実施 | | | | |
| | Ss-3 | ++* | 実施 | | | | |
| | | + - * | 実施 | | | | |
| | | - + * | 実施 | | | | |
| | | --* | 実施 | | | | |
| | Ss-4 | | 実施 | | | | |
| | Ss-5 | | 実施 | | | | |
| | Ss-6 | | 実施 | | | | |
| | Ss-7 | | 実施 | | | | |
| | Ss-8 | ++* | 実施 | | | | |
| + - * | | 実施 | | | | | |

全ての基準地震動 S_s に対して実施する①の解析ケース (基本ケース) において、せん断力照査及び曲げ軸力照査をはじめとした全ての照査項目について、各照査値が最も厳しい (許容限界に対する余裕が最も小さい) 地震動を用い、②~⑤より追加解析ケースを実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

注記* : 表中の符号+, -は地震動の位相 (水平, 鉛直) を示す。

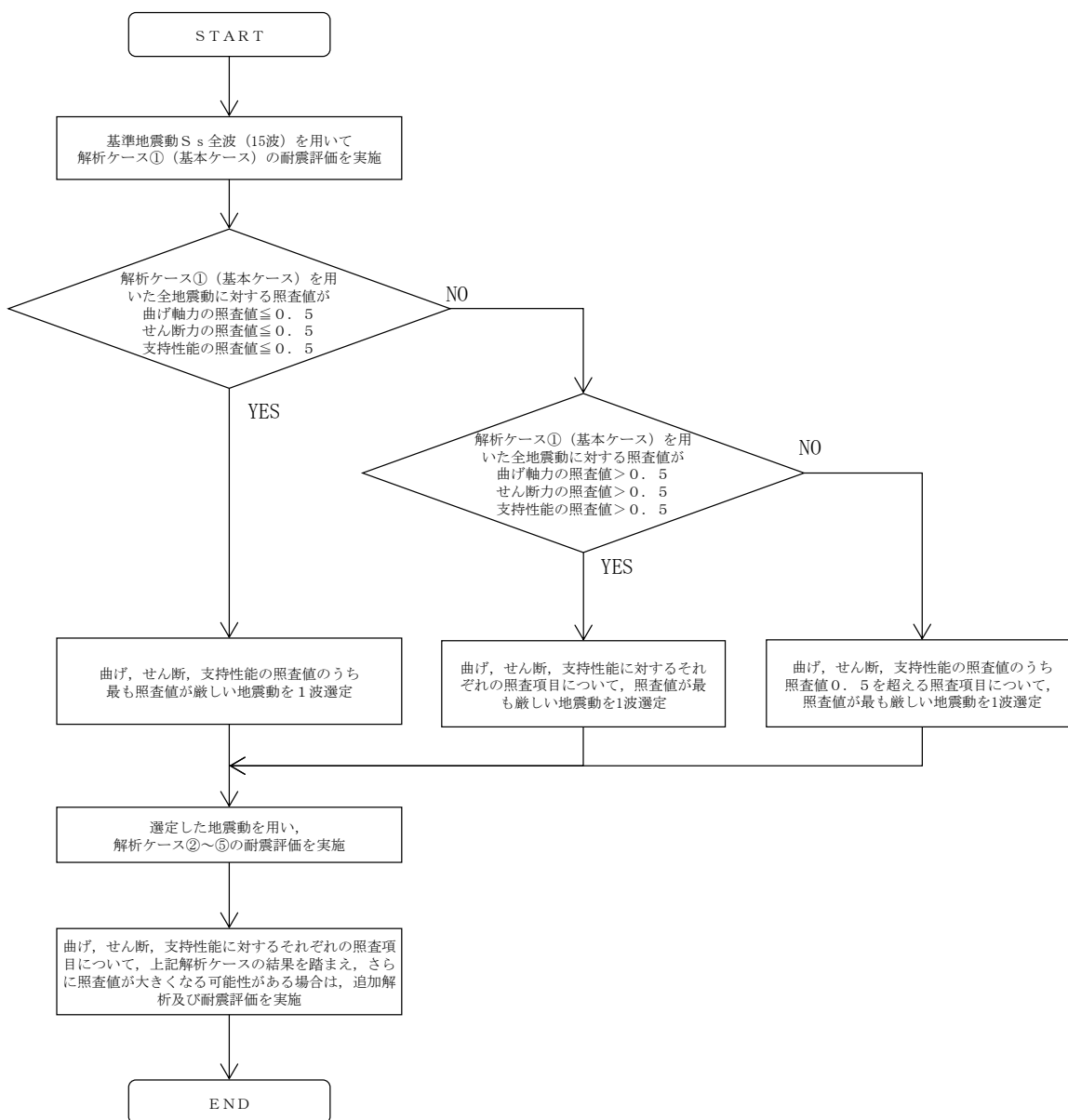


図 3-44 追加解析ケースを実施する地震動の選定フロー

3.3 評価内容（部材非線形解析）

3.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を 1 次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものを用いる。入力地震動の設定においては、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルとし、原子炉建屋と同様のものを用いる。

入力地震動算定の概念図を図 3-45 に、入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 3-46～図 3-61 に示す。入力地震動の算定には解析コード「S L O K Ver. 2.0」を使用する。

なお、基準地震動 S_s のうち、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。

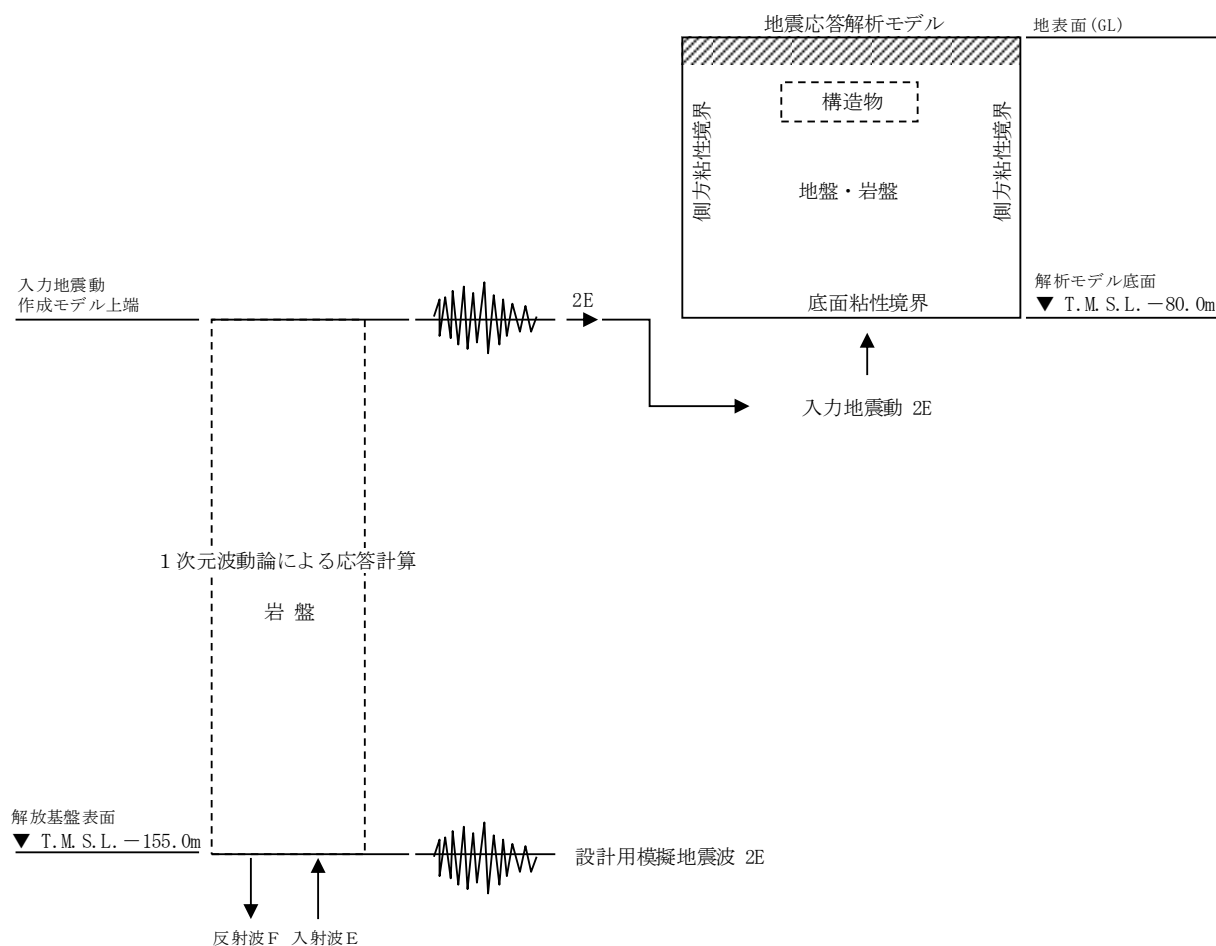
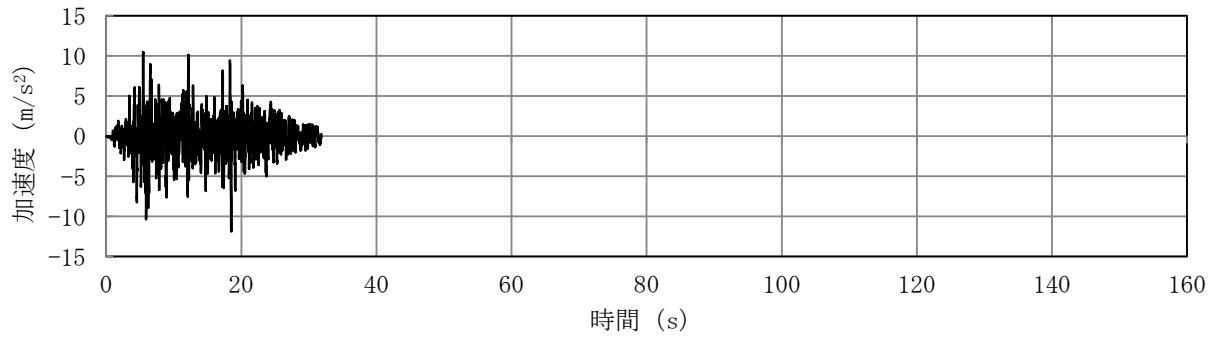
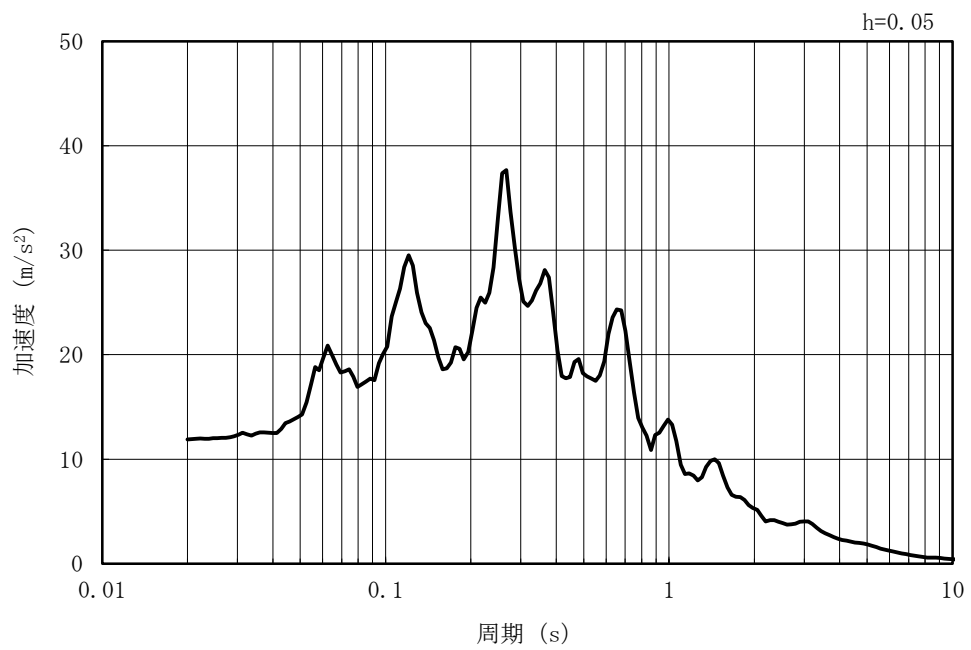


図 3-45 入力地震動算定の概念図

MAX 11.88m/s² (18.51s)



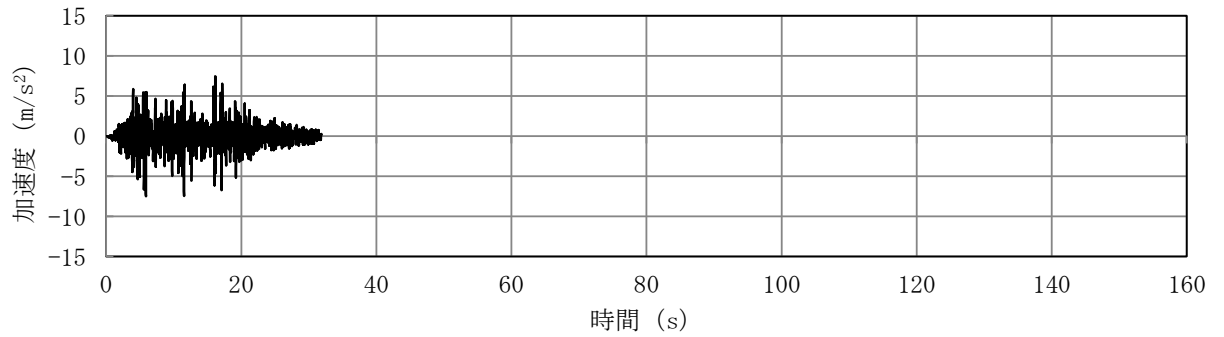
(a) 加速度時刻歴波形



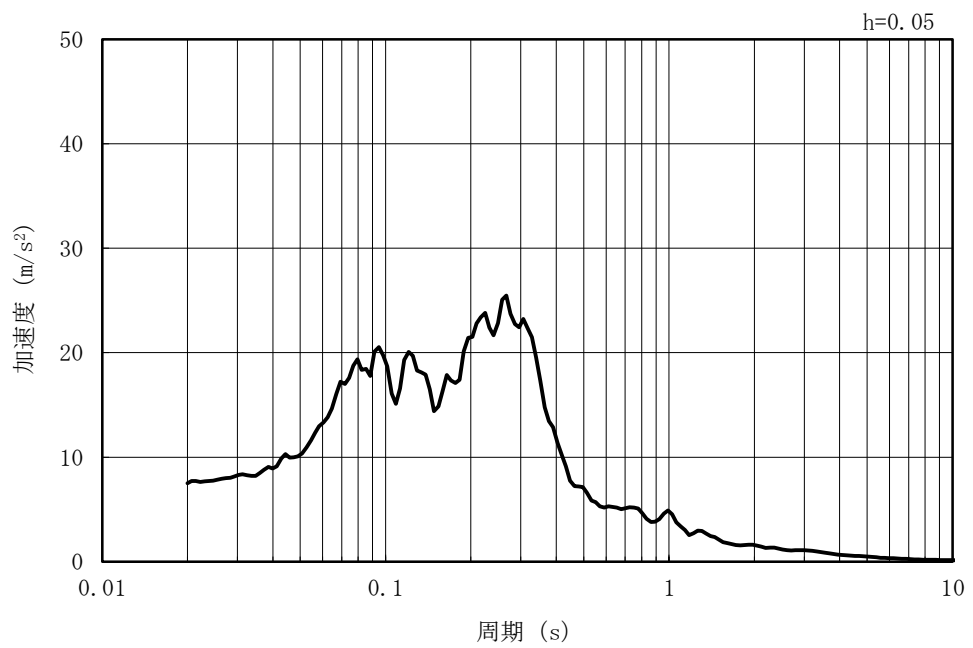
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-46 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-1)

MAX 7.49m/s² (5.88s)

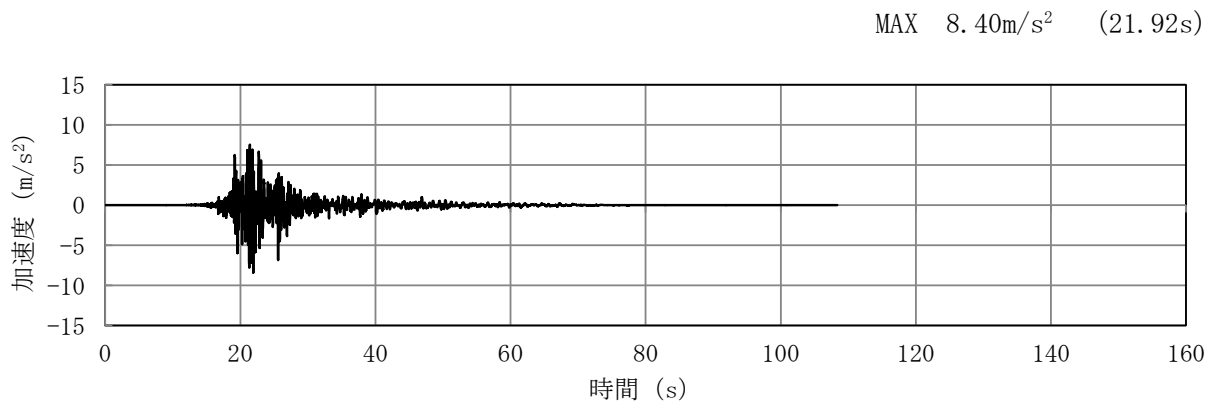


(a) 加速度時刻歴波形

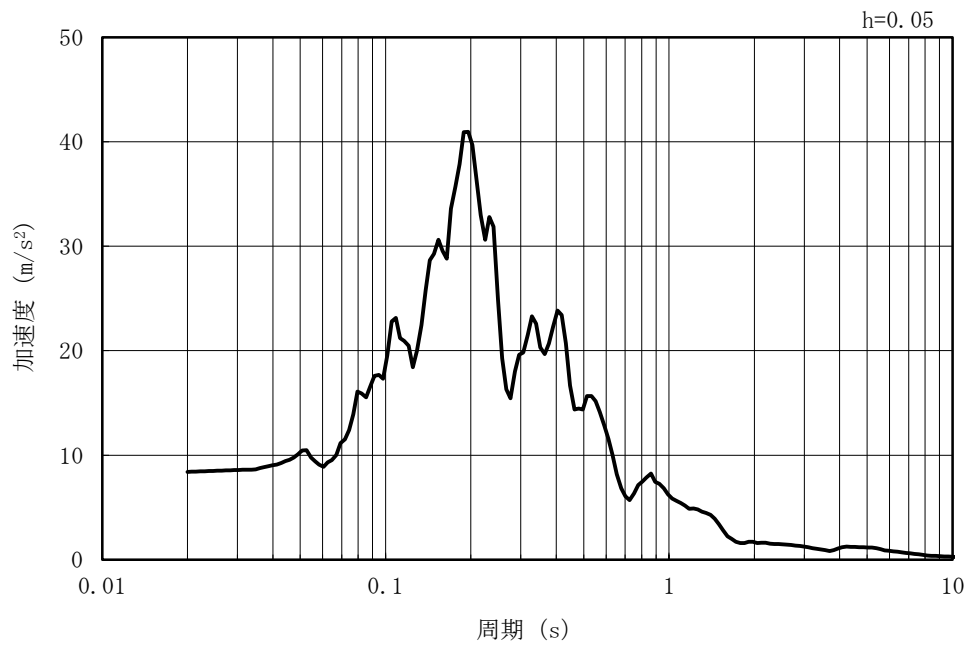


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-1)

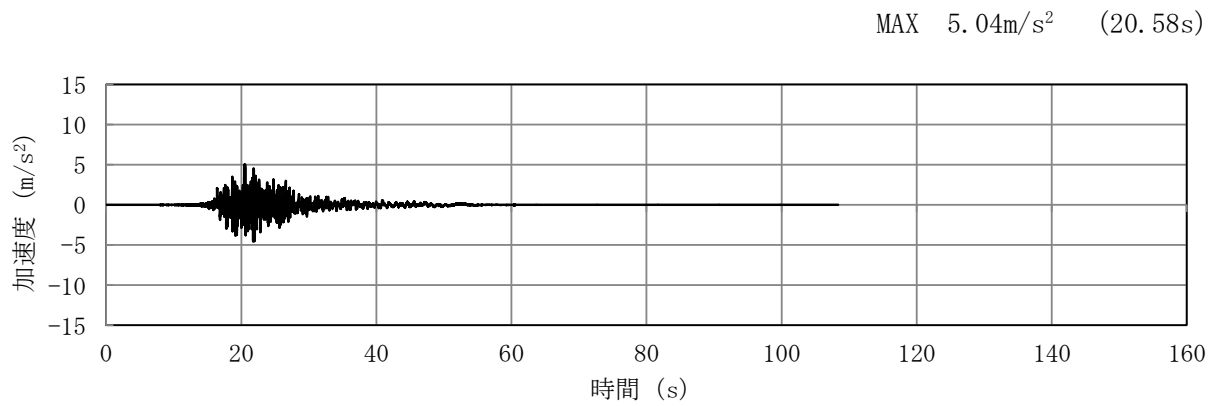


(a) 加速度時刻歴波形

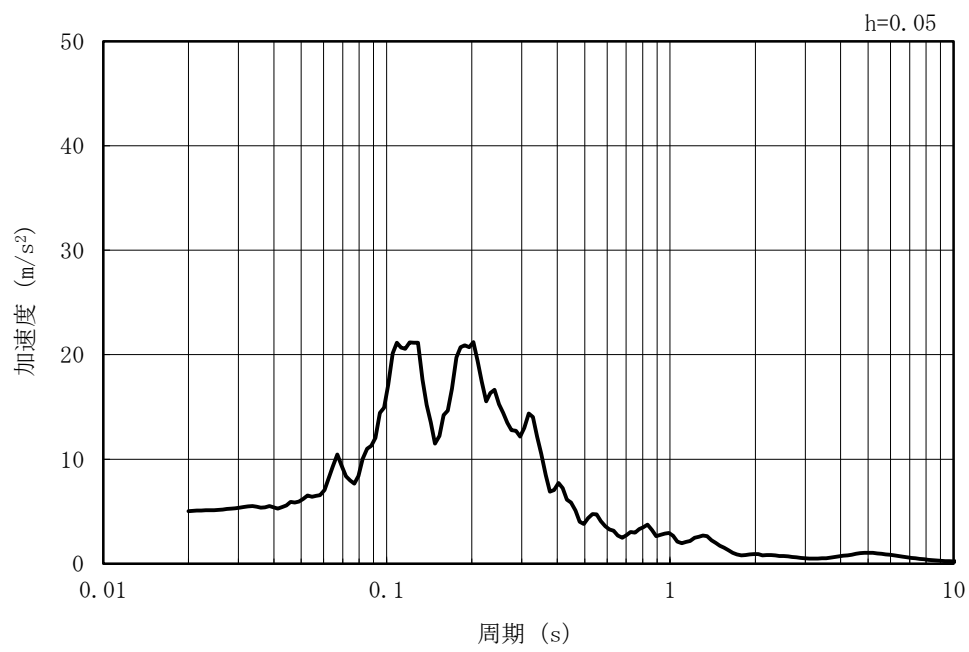


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2NS)



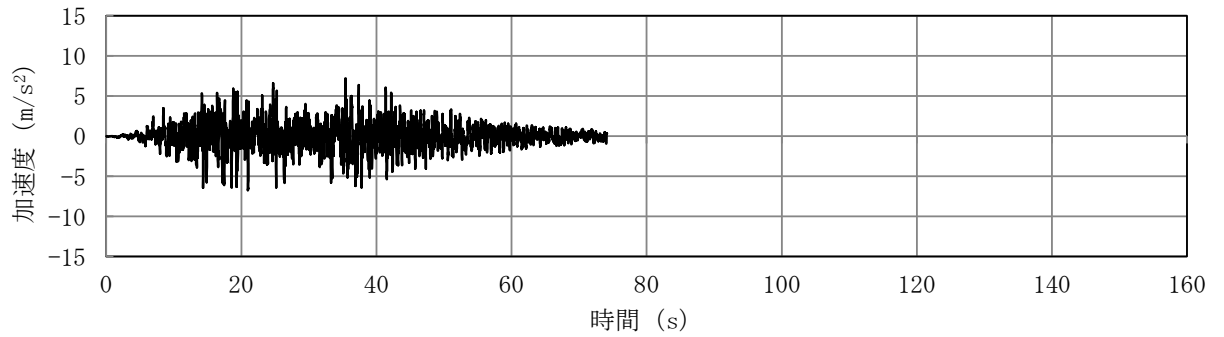
(a) 加速度時刻歴波形



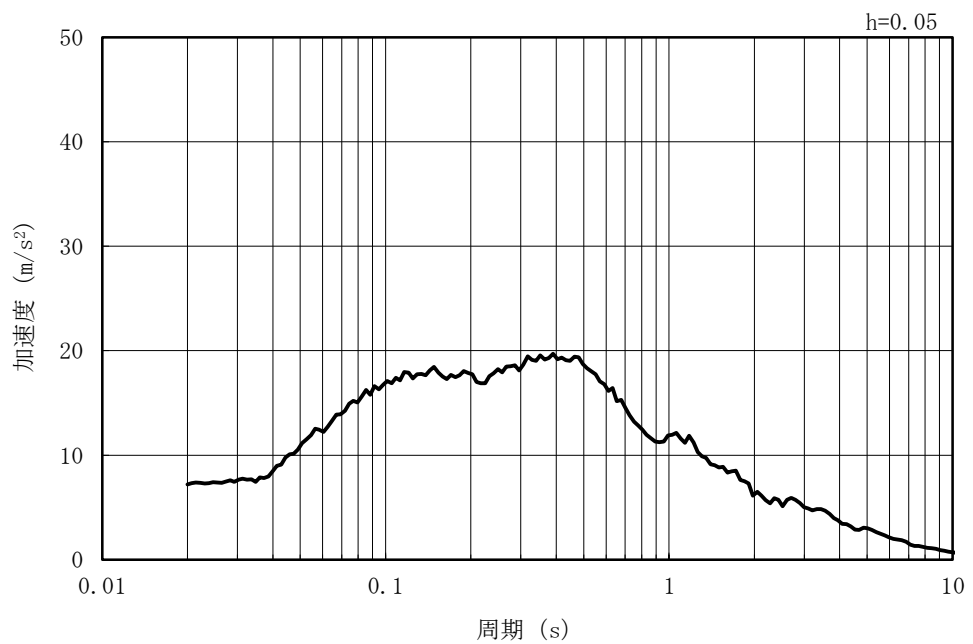
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-2NS)

MAX 7.18m/s² (35.43s)



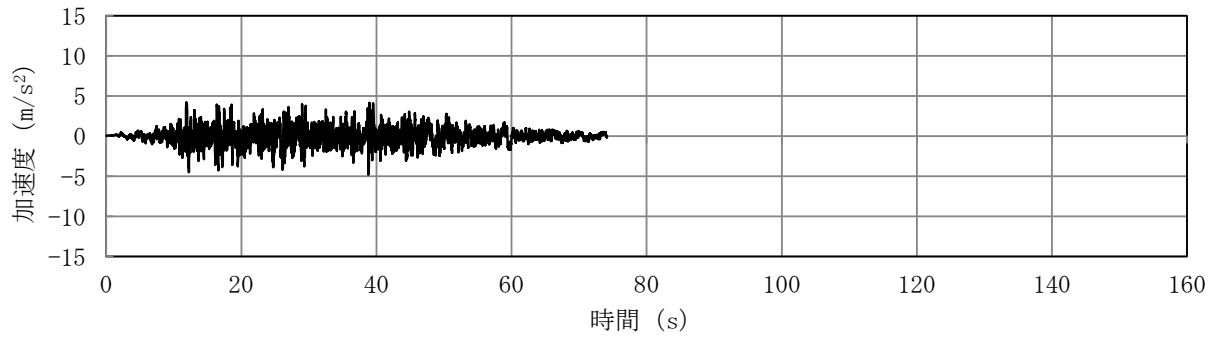
(a) 加速度時刻歴波形



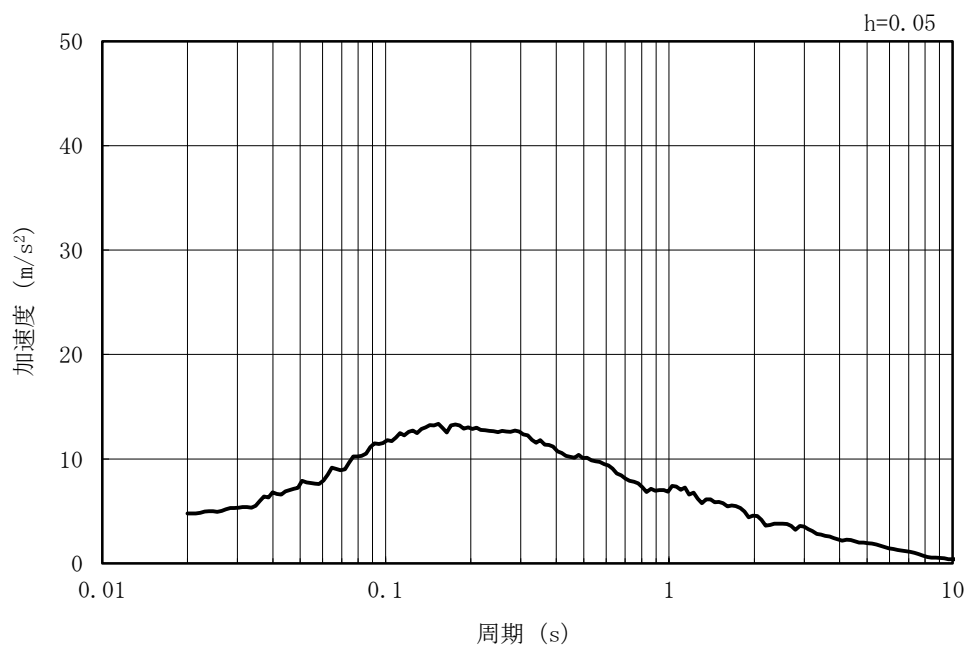
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-50 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-3)

MAX 4.78m/s² (38.80s)

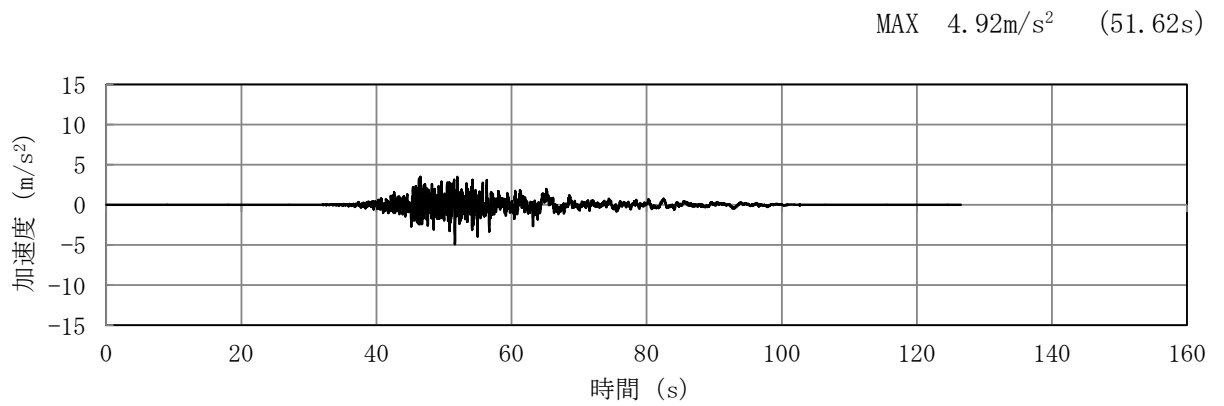


(a) 加速度時刻歴波形

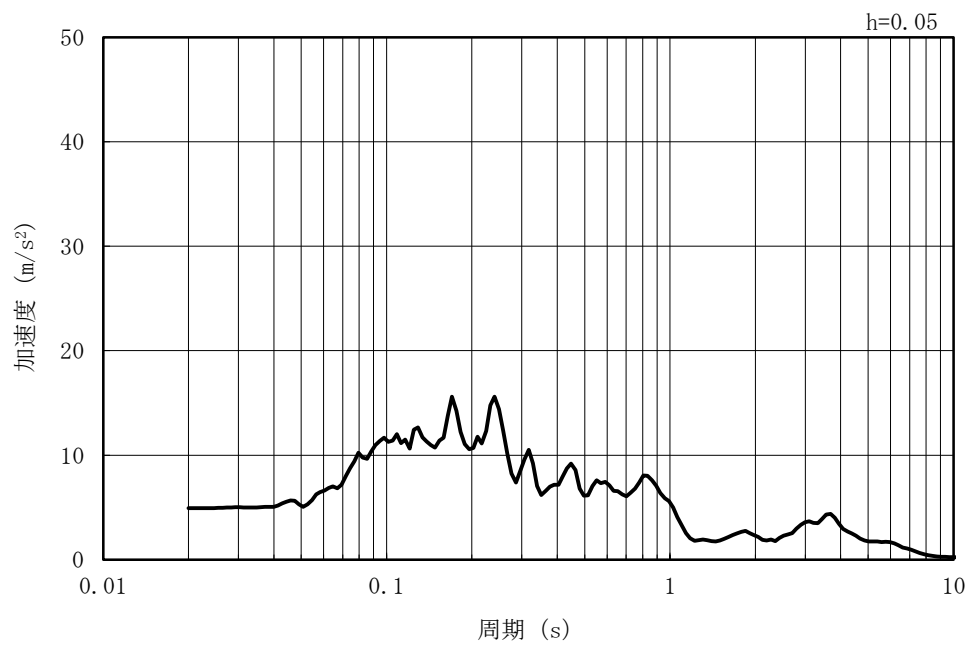


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-51 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-3)



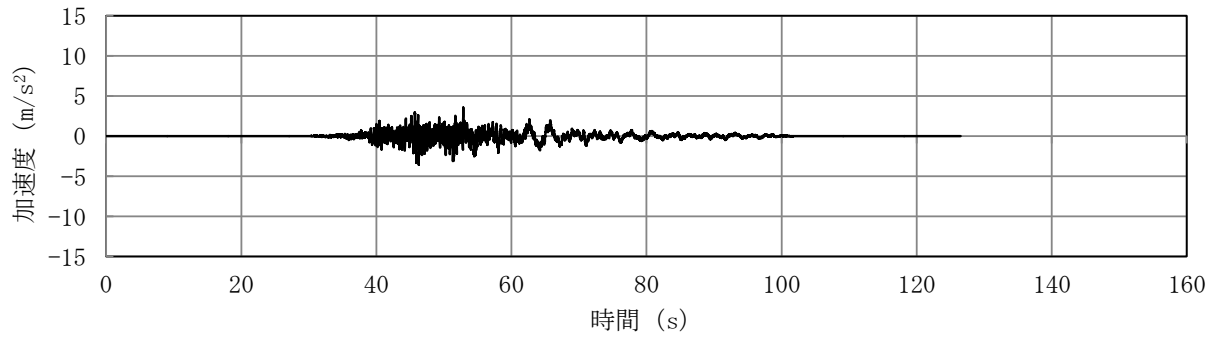
(a) 加速度時刻歴波形



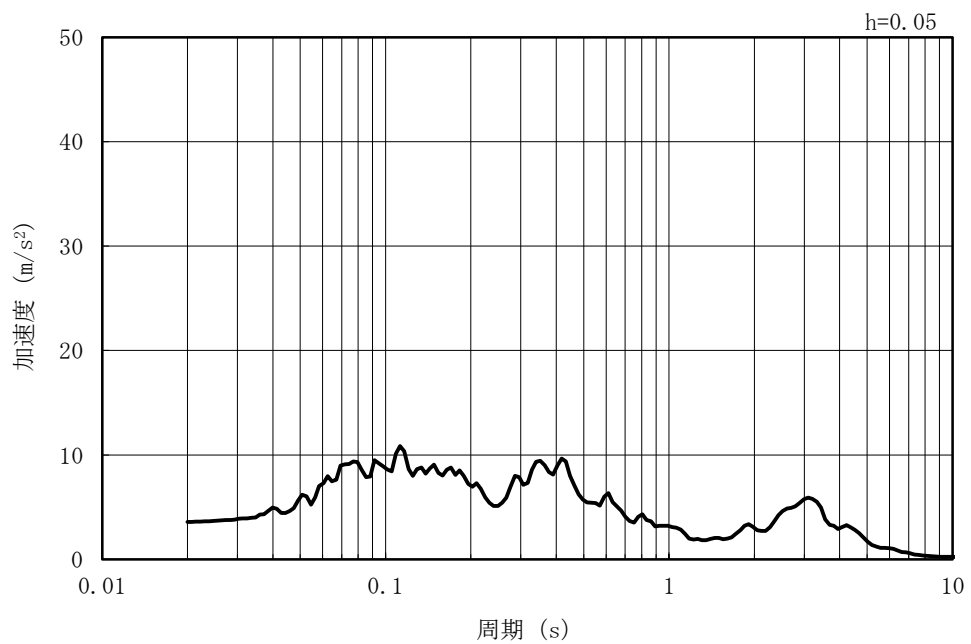
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-4NS)

MAX 3.57m/s² (46.29s)



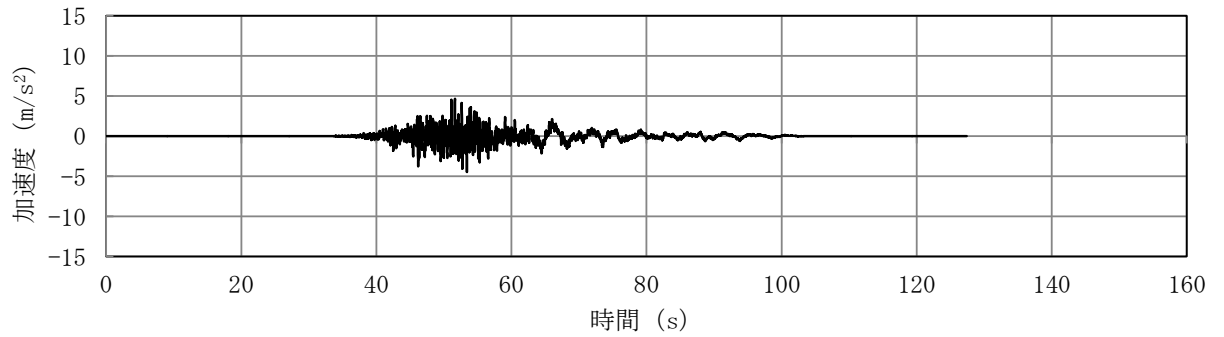
(a) 加速度時刻歴波形



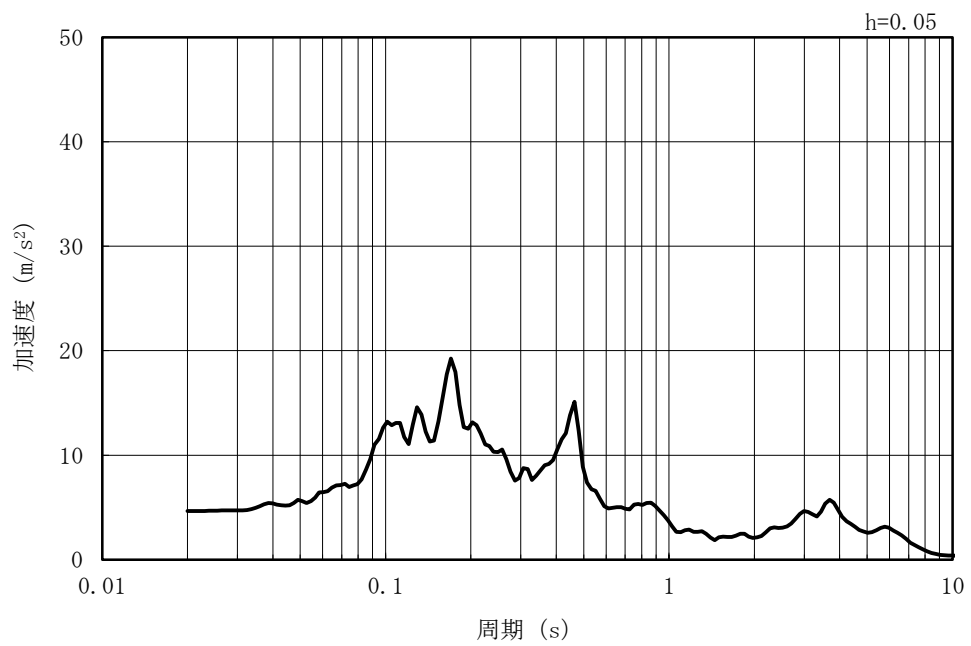
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-53 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4NS)

MAX 4.64m/s² (51.64s)



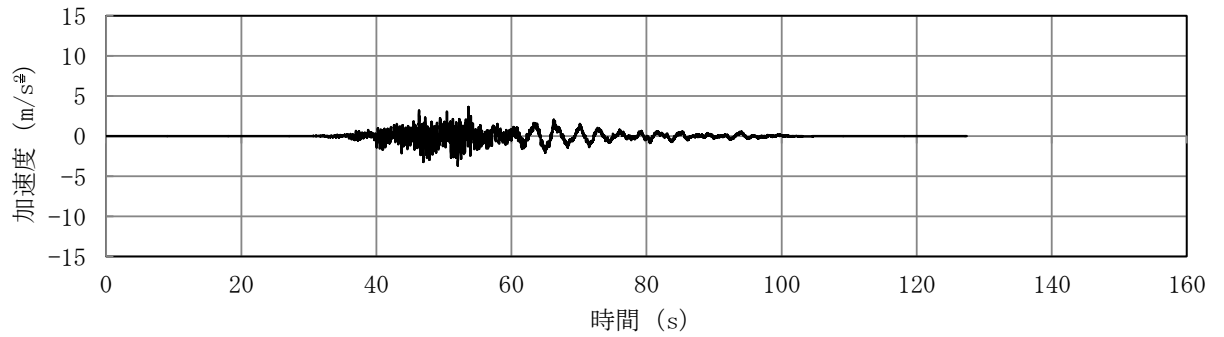
(a) 加速度時刻歴波形



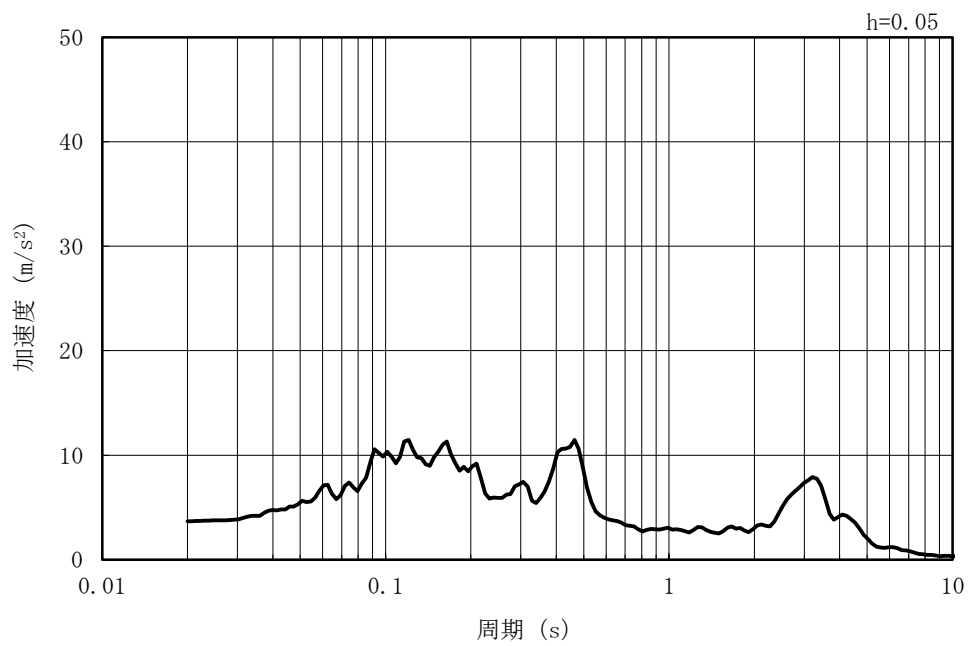
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-54 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5NS)

MAX 3.68m/s² (52.06s)

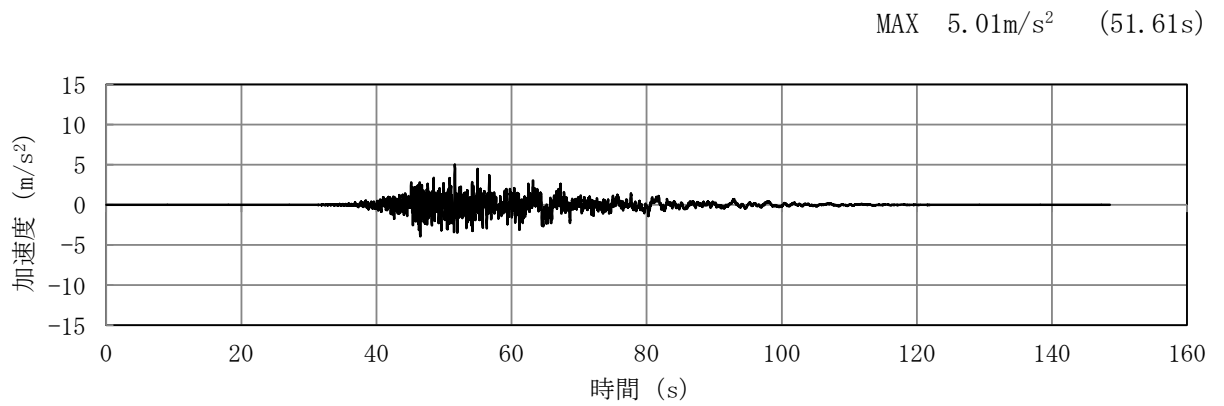


(a) 加速度時刻歴波形

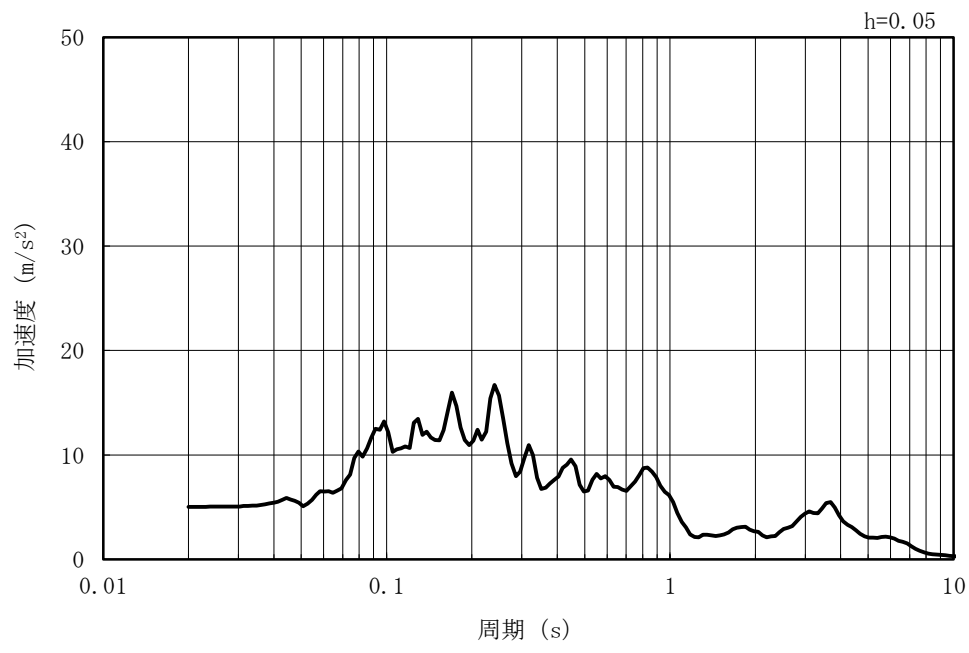


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-55 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-5NS)



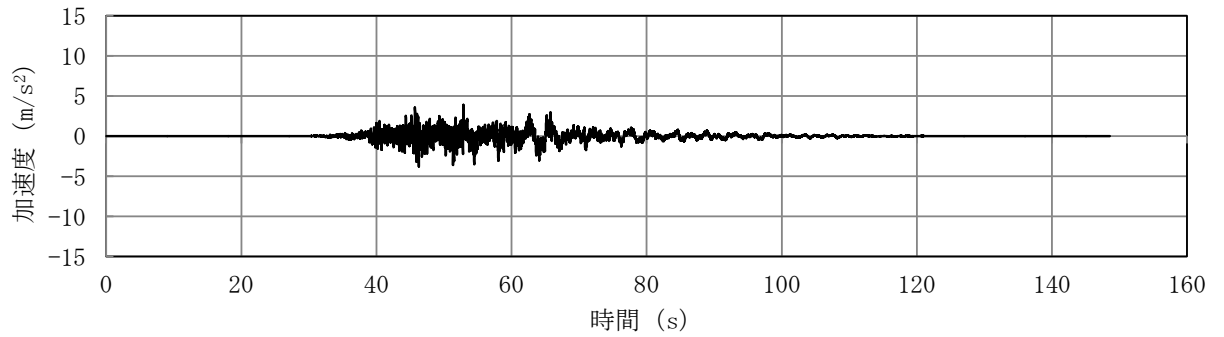
(a) 加速度時刻歴波形



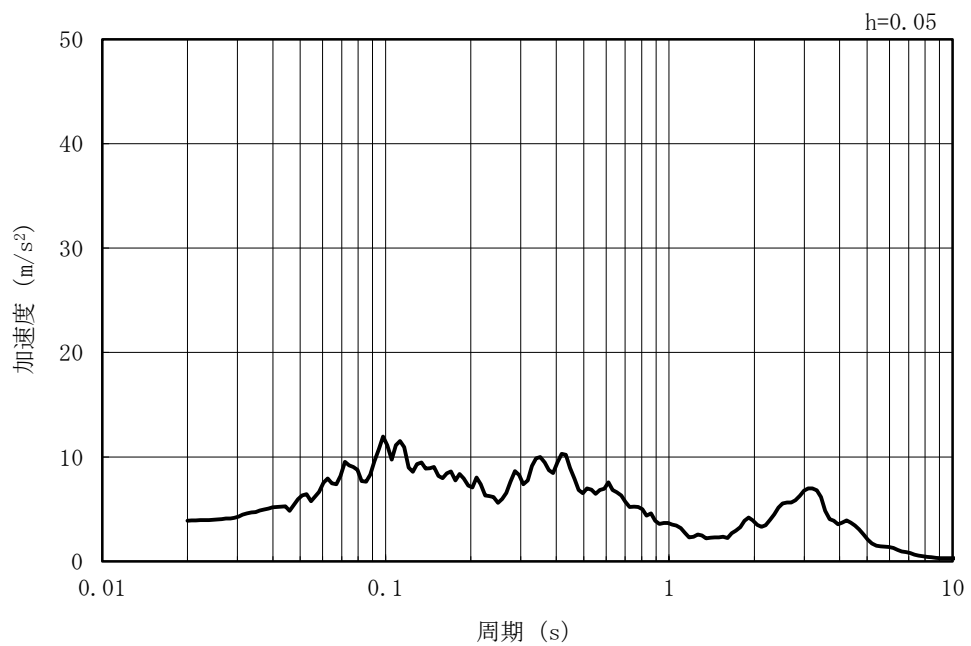
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-56 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6NS)

MAX 3.89m/s² (52.87s)

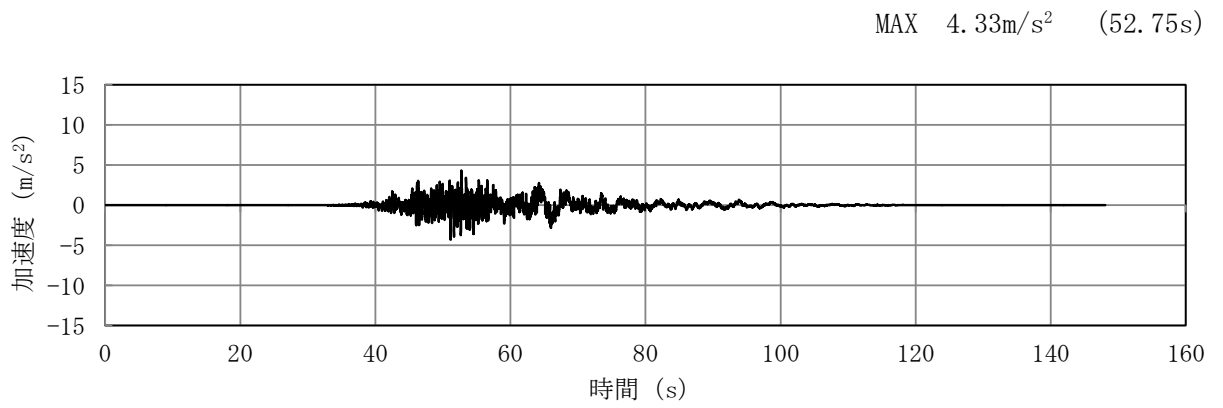


(a) 加速度時刻歴波形

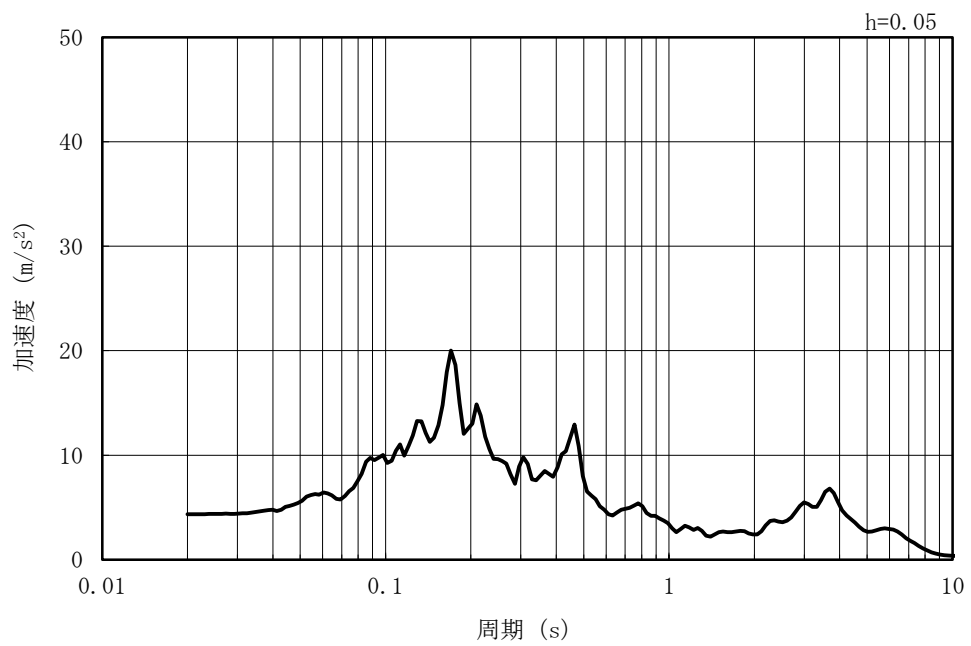


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-57 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6NS)



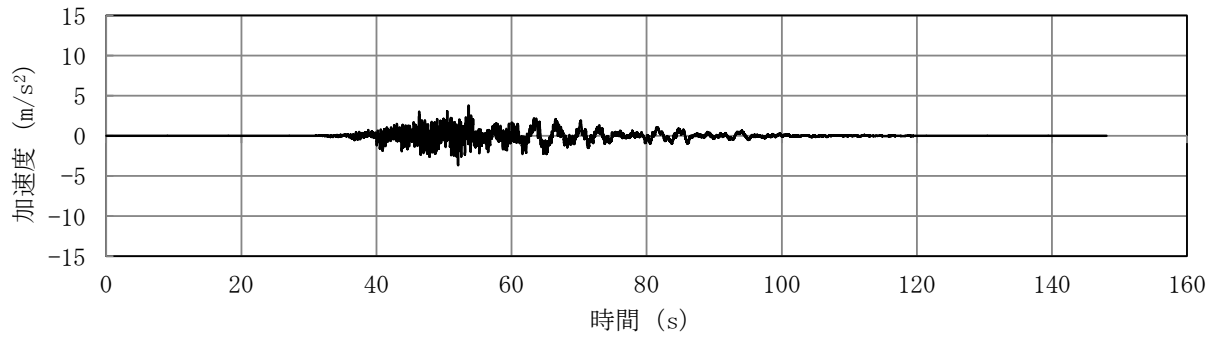
(a) 加速度時刻歴波形



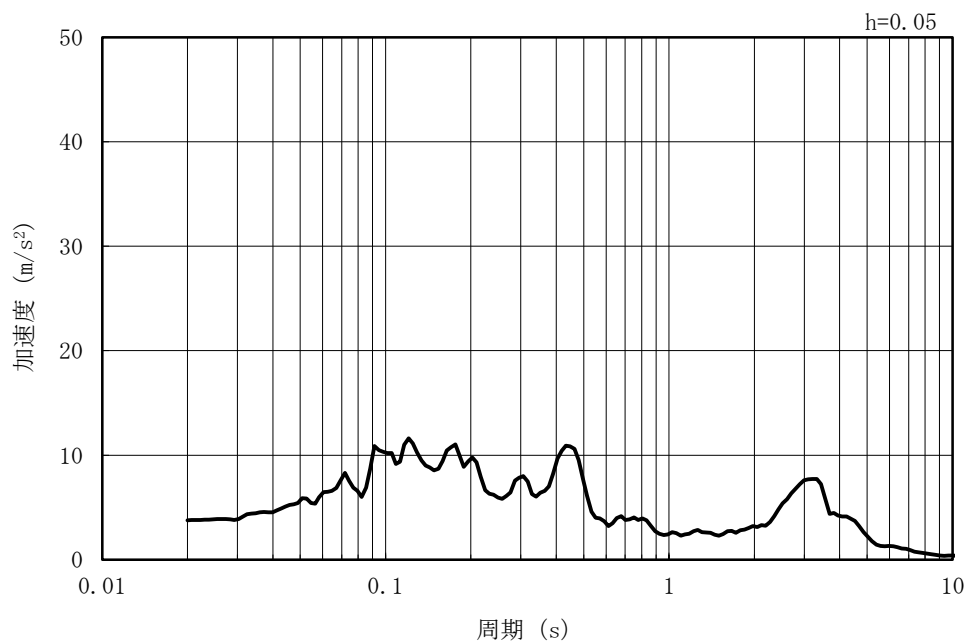
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-58 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-7NS)

MAX 3.77m/s² (53.65s)



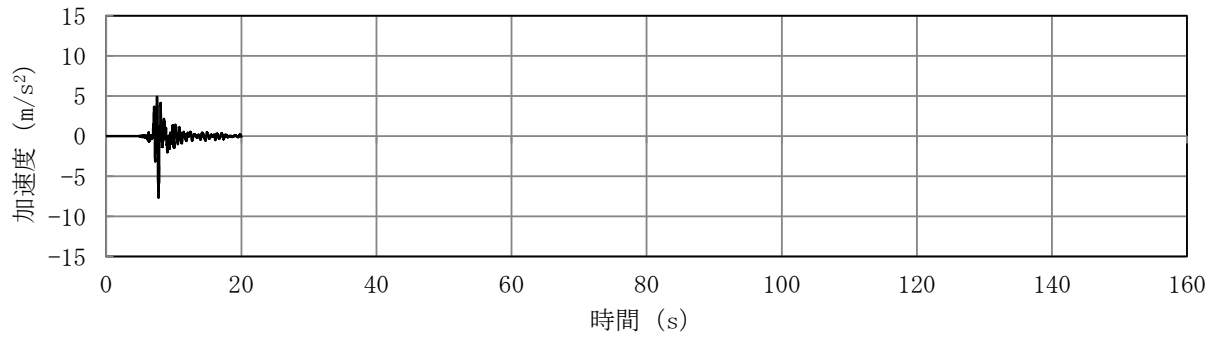
(a) 加速度時刻歴波形



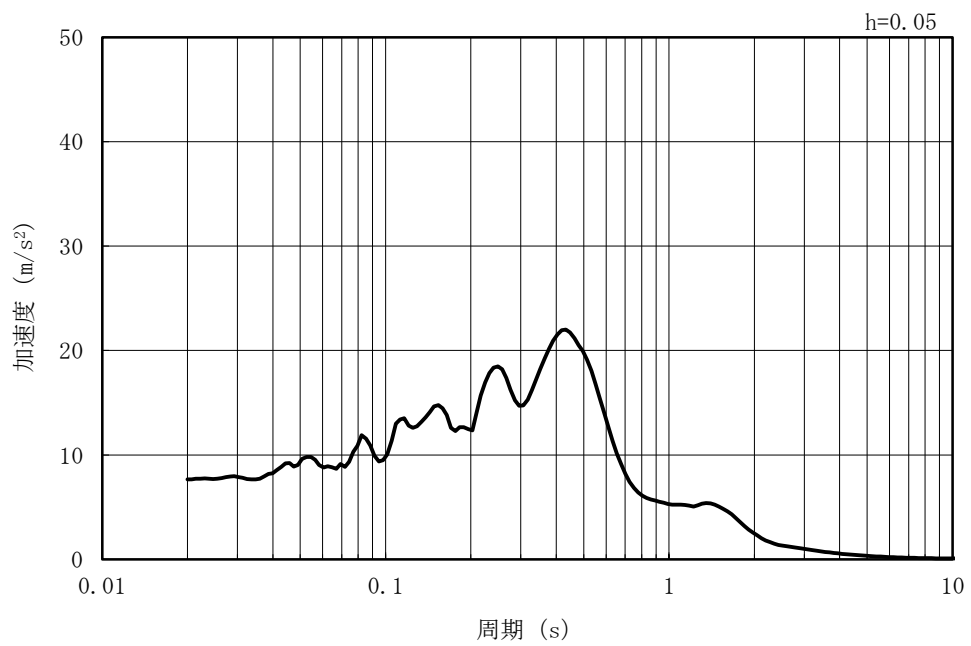
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-59 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-7NS)

MAX 7.65m/s² (7.74s)



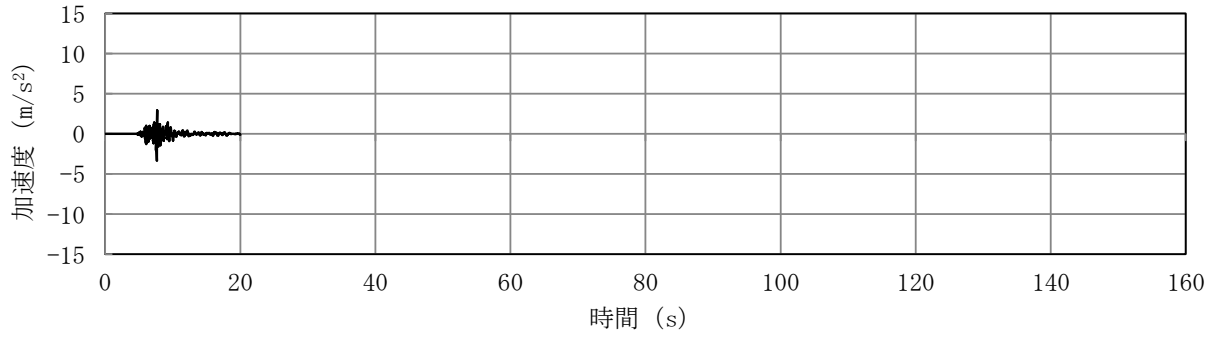
(a) 加速度時刻歴波形



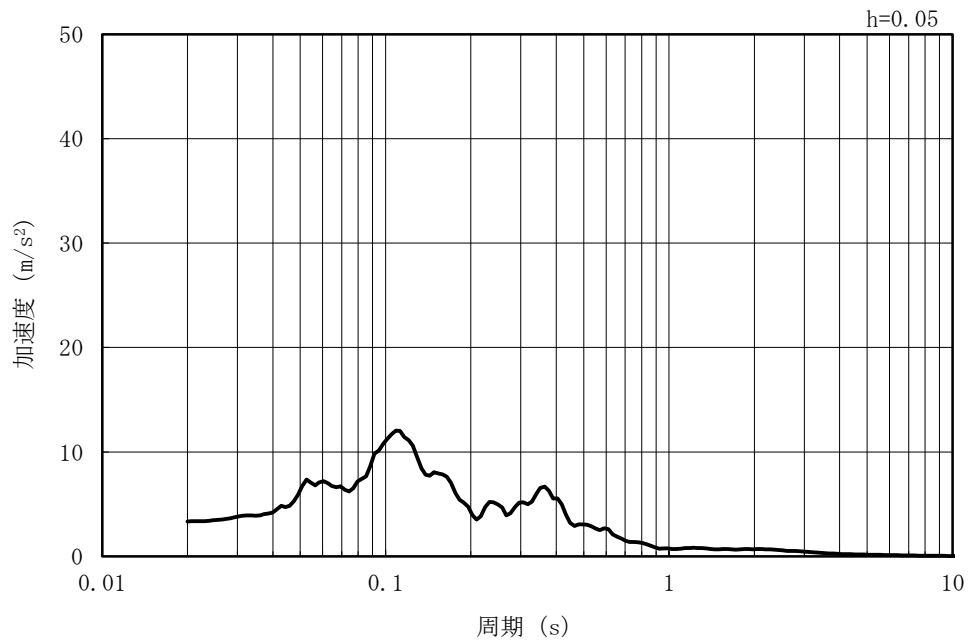
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-60 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-8)

MAX 3.35m/s² (7.64s)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-61 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-8)

3.3.2 許容限界の設定

(1) 通水機能を要求する部材の許容限界

a. 曲げに対する許容限界

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）を許容限界とし、照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査に用いる照査用層間変形角は、地震応答解析により得られた層間変形角に安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{R_d}{R_u} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

R_u : 限界層間変形角（層間変形角 1/100）

R_d : 照査用層間変形角 $R_d = \gamma_a \cdot R$

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

R : 応答計算による層間変形角

b. せん断に対する許容限界

鉄筋コンクリート部材のせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、(a)棒部材式及び(b)ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方を許容限界とし、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材のせん断照査に用いる照査用せん断力は、地震応答解析により得られたせん断力に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、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。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{yd}} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i=1.0$)

V_{yd} : せん断耐力

V_d : 照査用せん断力 $V_d = \gamma_a \cdot V$

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a=1.05$)

V : 応答計算によるせん断力値

(a) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f_{cd}'}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72$ (N/mm²) となる場合は
 $f_{vcd} = 0.72$ (N/mm²)

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (N_d' \geq 0)$$

ただし、 $\beta_n > 2.0$ となる場合は $\beta_n = 2.0$

$$= 1 + 2 M_0 / M_d \quad (N_d' < 0)$$

ただし、 $\beta_n < 0$ となる場合は $\beta_n = 0$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$ となる場合は $\beta_a = 1.0$

f_{cd}' : 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_{ck}' を
材料係数 γ_{mc} (=1.3) で除したもの

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$: 引張鉄筋比

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

$M_0 = N_d' \cdot D / 6$: 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)

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

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

ここで、

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度を材料係数 γ_{ms} (1.0) で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上の時は、 800N/mm^2 以下とする。

α : せん断補強筋と部材軸のなす角

s : せん断補強筋の配置間隔

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 (=1.1)

(b) ディープビーム式

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

ここで、

V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

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

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

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

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

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

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

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

p_{wb} : せん断補強鉄筋比 (%)

また、分布荷重を受ける部材のせん断耐力については、図 3-62 に示す等価せん断スパンの考え方に基づき、せん断耐力を算定する。

(c) 等価せん断スパンの設定

時刻歴地震応答解析で得られる断面力分布に基づいて、支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメントが発生する位置（あるいはせん断力が零となる点）までを照査対象区間と考える。この区間において、等価せん断スパンを以下のように設定する。

- ① 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が存在する場合は、以下の2種類の等価せん断スパンを設定する。

第1等価せん断スパン(a1)：支承前面あるいははり・柱前面から反曲点までの距離

第2等価せん断スパン(a2)：反曲点から最大曲げモーメント点までの距離

- ② 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が無い場合は、以下のように等価せん断スパンを設定する。

等価せん断スパン(a)：支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメント点までの距離

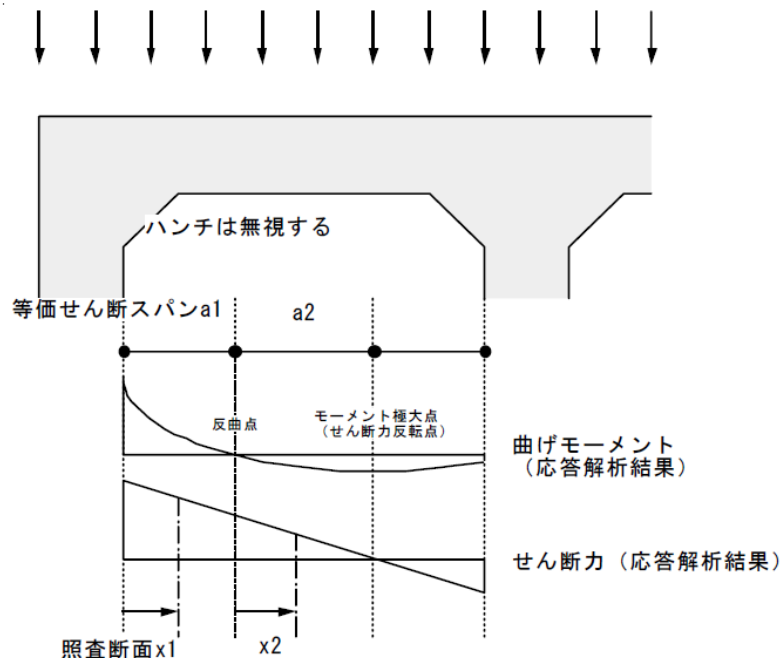


図 3-62 等価せん断スパンの設定方法

(土木学会マニュアルより引用)

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 3-19 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 3-19 せん断耐力式において考慮している安全係数

| 安全係数 | | | 値 | 内容 | |
|--------|--------|---------------|------------|---------------------|---------------|
| 材料係数 | コンクリート | γ_{mc} | 1.30 | コンクリートの特性値（圧縮強度）を低減 | |
| 部材係数 | コンクリート | γ_{bc} | 1.30 | コンクリートが負担するせん断力を低減 | |
| | 鉄筋 | γ_{bs} | 1.10 | 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）を割り増し |

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

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

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

ここで、R：層間変形角

とされている。

取水路は、層間変形角 1/100 を鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査の許容限界としていることから、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する鉛直力に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、道路橋示方書の直接基礎の算定式により設定する。また、C-C断面の基礎地盤は、西山層の置き換え材料としてマンメイドロックが設置されていることから、構造物の接地圧が基礎地盤の極限支持力度を十分に下回ることを確認する。なお、マンメイドロックは西山層と同等以上の力学特性を有する材料として設計されていることから、マンメイドロックの極限支持力度は、西山層の岩盤支持力試験値とし、表 3-20 のとおりに設定する。下式に示すとおり、道路橋示方書の支持力算定式は剛塑性理論に基づいており、地盤剛性によらず強度定数 c 、 ϕ を用いて評価される。

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \right\}$$

ここで、

Q_u : 荷重の偏心傾斜、支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力 (kN)

c : 地盤の粘着力 (kN/m²)

q : 上載荷重 (kN/m²) で、 $q = \gamma_2 \cdot D_f$

A_e : 有効載荷面積 (m²)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量を用いる。

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2 \cdot e_B$$

B : 基礎幅 (m)

e_B : 荷重の偏心量 (m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

α, β : 表 3-21 に示す基礎の形状係数

κ : 根入れ効果に対する割増係数

N_c, N_q, N_γ : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数 (図 3-63～図 3-65)

S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

λ, ν, μ : 寸法効果の程度を表す係数 ($\lambda = \nu = \mu = -1/3$ とする)。

$$S_c = (c^*)^\lambda, S_q = (q^*)^\nu, S_\gamma = (B^*)^\mu$$

$$c^* = c / c_0 \text{ (ただし, } 1 \leq c^* \leq 10, c_0 = 10 \text{ (kN/m}^2\text{))}$$

$$q^* = q / q_0 \text{ (ただし, } 1 \leq q^* \leq 10, q_0 = 10 \text{ (kN/m}^2\text{))}$$

$$B^* = B_e / B_0 \text{ (ただし, } 1 \leq B^*, B_0 = 1.0 \text{ (m))}$$

c^* 、 q^* 及び B^* の値がそれぞれの範囲外となる場合は、その下限値若しくは上限値を適用

表 3-20 マンメイドロックの極限支持力度（西山層）

| 項目 | 許容限界 q_u (N/mm ²) | 備考 |
|---------|------------------------------------|----------|
| 岩盤支持力試験 | 6.17 | 西山層岩盤試験値 |

表 3-21 形状係数

| 基礎底面の形状 形状係数 | 帯状 | 正方形, 円形 | 長方形, 小判形 |
|-----------------|-----|---------|--------------------|
| α | 1.0 | 1.3 | $1+0.3\frac{B}{D}$ |
| β | 1.0 | 0.6 | $1-0.4\frac{B}{D}$ |

D : ケーソン前面幅 (m), B : ケーソン側面幅 (m)

ただし, $B/D > 1$ の場合, $B/D = 1$ とする。

(道路橋示方書より引用)

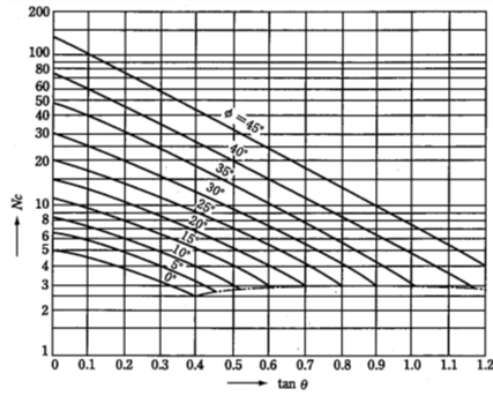


図 3-63 支持力係数 N_c
(道路橋示方書より引用)

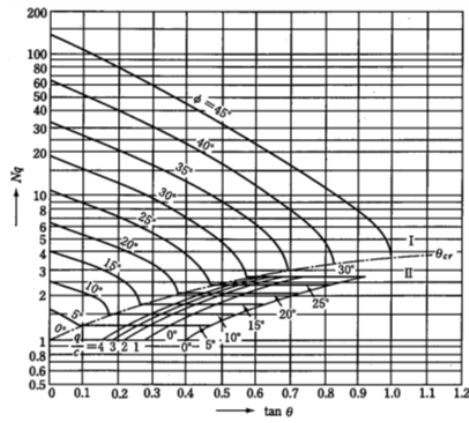


図 3-64 支持力係数 N_q
(道路橋示方書より引用)

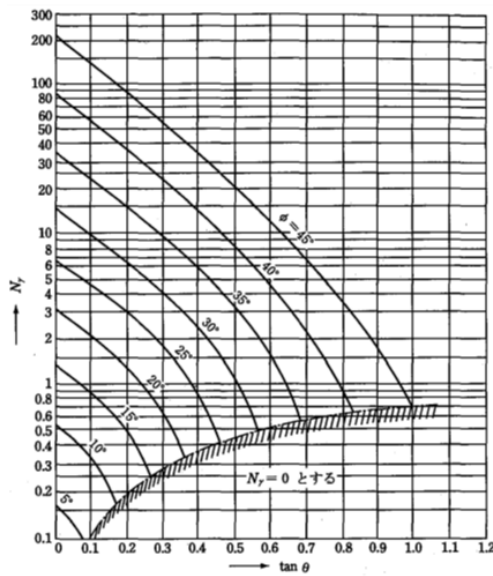


図 3-65 支持力係数 N_γ
(道路橋示方書より引用)

(3) 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材については、鉄筋の降伏（図 3-66）を許容限界とする。

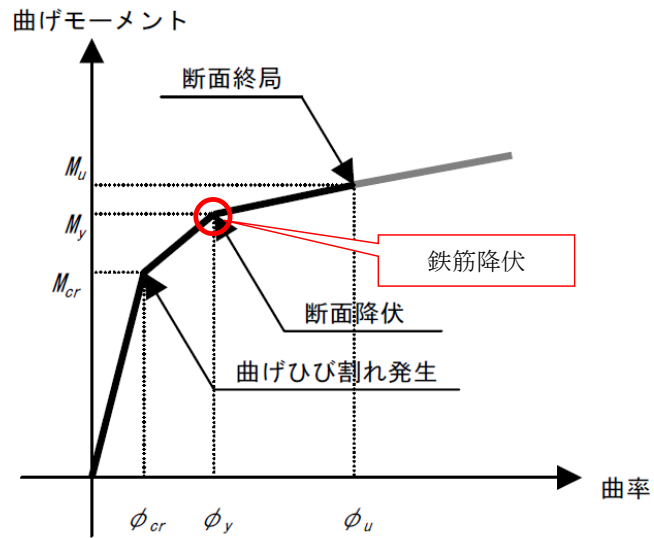


図 3-66 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

3.4 評価結果（部材非線形解析）

3.4.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「層間変形角の時刻歴波形」，「最大せん断ひずみ分布」，「断面力分布」及び「最大過剰間隙水圧比分布」を記載する。なお，断面力分布は単位奥行きあたりの断面力を図示する。

(1) 解析ケースと照査値

耐震評価においては，KK7 補足-027「工事計画に関わる説明資料（屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書）資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「10 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定について」に基づき，全ての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①（基本ケース）において，曲げ軸力照査，せん断力照査及び基礎地盤の支持性能照査の各評価項目について，照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い，追加解析ケース②～⑤を実施する。また，照査項目のうち構造部材のせん断力照査については，せん断破壊が脆性的な破壊形態を示すため，確実に回避しなければならない破壊形態であることから，上記解析ケースの結果を踏まえ，さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は，追加解析を実施する。

a. A-A断面

(a) 曲げ軸力照査

A-A断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 3-22 に示す。

表 3-22 A-A断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.31 | | | | |
| | -+ | 0.31 | | | | |
| | +- | 0.31 | | | | |
| | -- | 0.30 | | | | |
| Ss-2 | | 0.17 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.41 | | | | |
| | -+ | 0.38 | | | | |
| | +- | 0.41 | 0.38 | 0.44 | 0.29 | 0.27 |
| | -- | 0.38 | | | | |
| Ss-4 | | 0.16 | | | | |
| Ss-5 | | 0.14 | | | | |
| Ss-6 | | 0.16 | | | | |
| Ss-7 | | 0.16 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.31 | | | | |
| | -+ | 0.30 | | | | |

(b) せん断力照査

A-A断面の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 3-23 に示す。

表 3-23 A-A断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (1/2)

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.67 | | | | |
| | -+ | 0.66 | | | | |
| | +- | 0.67 | | | | |
| | -- | 0.62 | | | | |
| Ss-2 | | 0.50 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.55 | | | | |
| | -+ | 0.58 | | | | |
| | +- | 0.60 | 0.60 | 0.61 | 0.55 | 0.56 |
| | -- | 0.58 | | | | |
| Ss-4 | | 0.40 | | | | |
| Ss-5 | | 0.44 | | | | |
| Ss-6 | | 0.45 | | | | |
| Ss-7 | | 0.44 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.51 | | | | |
| | -+ | 0.52 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.70 | | | | |
| | -+ | 0.68 | | | | |
| | +- | 0.64 | | | | |
| | -- | 0.64 | | | | |
| Ss-2 | | 0.48 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.67 | | | | |
| | -+ | 0.71 | | | | |
| | +- | 0.64 | 0.63 | 0.65 | 0.58 | 0.58 |
| | -- | 0.67 | | | | |
| Ss-4 | | 0.42 | | | | |
| Ss-5 | | 0.40 | | | | |
| Ss-6 | | 0.52 | | | | |
| Ss-7 | | 0.46 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.62 | | | | |
| | -+ | 0.63 | | | | |

表 3-23 A-A断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (2/2)

隔壁

| 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.86 | | | | |
| | -+ | 0.88 | | | | |
| | +- | 0.84 | | | | |
| | -- | 0.83 | | | | |
| Ss-2 | | 0.60 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 1.04 | | | | |
| | -+ | 1.04 | | | | |
| | +- | 1.05 | 0.99 | 1.09 | 0.80 | 0.77 |
| | -- | 1.04 | | 1.09 | | |
| Ss-4 | | 0.59 | | | | |
| Ss-5 | | 0.51 | | | | |
| Ss-6 | | 0.59 | | | | |
| Ss-7 | | 0.54 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.88 | | | | |
| | -+ | 0.90 | | | | |

注： □は、前述 3.2.13 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

底版

| 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.45 | | | | |
| | -+ | 0.44 | | | | |
| | +- | 0.44 | | | | |
| | -- | 0.41 | | | | |
| Ss-2 | | 0.32 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.39 | | | | |
| | -+ | 0.40 | | | | |
| | +- | 0.40 | 0.38 | 0.43 | 0.37 | 0.36 |
| | -- | 0.39 | | | | |
| Ss-4 | | 0.28 | | | | |
| Ss-5 | | 0.29 | | | | |
| Ss-6 | | 0.29 | | | | |
| Ss-7 | | 0.30 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.36 | | | | |
| | -+ | 0.37 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

A-A断面の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 3-24 に示す。

表 3-24 A-A断面の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 地震動 | | 基礎地盤の支持性能照査 | | | | |
|------|----|-------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.04 | | | | |
| | -+ | 0.04 | | | | |
| | +- | 0.04 | | | | |
| | -- | 0.04 | | | | |
| Ss-2 | | 0.04 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.08 | | | | |
| | -+ | 0.04 | | | | |
| | +- | 0.10 | 0.09 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| | -- | 0.04 | | | | |
| Ss-4 | | 0.04 | | | | |
| Ss-5 | | 0.04 | | | | |
| Ss-6 | | 0.04 | | | | |
| Ss-7 | | 0.04 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.04 | | | | |
| | -+ | 0.04 | | | | |

b. B—B断面

(a) 曲げ軸力照査

B—B断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 3—25 に示す。

表 3—25 B—B断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.24 | | | | |
| | -+ | 0.24 | | | | |
| | +- | 0.23 | | | | |
| | -- | 0.23 | 0.25 | 0.20 | 0.28 | 0.27 |
| Ss-2 | | 0.09 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.23 | | | | |
| | -+ | 0.22 | | | | |
| | +- | 0.23 | | | | |
| | -- | 0.22 | | | | |
| Ss-4 | | 0.09 | | | | |
| Ss-5 | | 0.12 | | | | |
| Ss-6 | | 0.14 | | | | |
| Ss-7 | | 0.17 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.21 | | | | |
| | -+ | 0.20 | | | | |

(b) せん断力照査

B-B断面の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 3-26 に示す。

表 3-26 B-B断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (1/2)

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.43 | | | | |
| | -+ | 0.41 | | | | |
| | +- | 0.40 | | | | |
| | -- | 0.40 | 0.42 | 0.38 | 0.43 | 0.43 |
| Ss-2 | | 0.31 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.34 | | | | |
| | -+ | 0.34 | | | | |
| | +- | 0.37 | | | | |
| | -- | 0.38 | | | | |
| Ss-4 | | 0.28 | | | | |
| Ss-5 | | 0.31 | | | | |
| Ss-6 | | 0.34 | | | | |
| Ss-7 | | 0.34 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.33 | | | | |
| | -+ | 0.34 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.71 | | | | |
| | -+ | 0.76 | | | | |
| | +- | 0.73 | | | | |
| | -- | 0.75 | 0.79 | 0.70 | 0.79 | 0.76 |
| Ss-2 | | 0.49 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.64 | | | | |
| | -+ | 0.64 | | | | |
| | +- | 0.67 | | | | |
| | -- | 0.69 | | | | |
| Ss-4 | | 0.44 | | | | |
| Ss-5 | | 0.50 | | | | |
| Ss-6 | | 0.58 | | | | |
| Ss-7 | | 0.59 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.62 | | | | |
| | -+ | 0.57 | | | | |

表 3-26 B-B断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (2/2)

隔壁

| 地震動 \ 解析ケース | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.91 | | | | |
| | -+ | 0.93 | 0.98 | | | |
| | +- | 0.92 | | | | |
| | -- | 0.94 | 0.99 | 0.88 | 0.96 | 0.94 |
| Ss-2 | | 0.53 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.93 | | | | |
| | -+ | 0.90 | | | | |
| | +- | 0.92 | | | | |
| | -- | 0.87 | | | | |
| Ss-4 | | 0.51 | | | | |
| Ss-5 | | 0.62 | | | | |
| Ss-6 | | 0.65 | | | | |
| Ss-7 | | 0.73 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.86 | | | | |
| | -+ | 0.83 | | | | |

注： □は、前述 3.2.13 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

底盤

| 地震動 \ 解析ケース | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.44 | | | | |
| | -+ | 0.41 | | | | |
| | +- | 0.39 | | | | |
| | -- | 0.41 | 0.43 | 0.38 | 0.45 | 0.45 |
| Ss-2 | | 0.31 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.35 | | | | |
| | -+ | 0.36 | | | | |
| | +- | 0.38 | | | | |
| | -- | 0.39 | | | | |
| Ss-4 | | 0.28 | | | | |
| Ss-5 | | 0.31 | | | | |
| Ss-6 | | 0.33 | | | | |
| Ss-7 | | 0.34 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.34 | | | | |
| | -+ | 0.36 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

B-B断面の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 3-27 に示す。

表 3-27 B-B断面の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 地震動 | | 基礎地盤の支持性能照査 | | | | |
|------|----|-------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.14 | | | | |
| | -+ | 0.13 | | | | |
| | +- | 0.11 | | | | |
| | -- | 0.15 | 0.17 | 0.11 | 0.11 | 0.15 |
| Ss-2 | | 0.11 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.11 | | | | |
| | -+ | 0.16 | | | | |
| | +- | 0.11 | | | | |
| | -- | 0.11 | | | | |
| Ss-4 | | 0.11 | | | | |
| Ss-5 | | 0.11 | | | | |
| Ss-6 | | 0.12 | | | | |
| Ss-7 | | 0.11 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.11 | | | | |
| | -+ | 0.11 | | | | |

c. C-C断面

(a) 曲げ軸力照査

C-C断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 3-28 に示す。

表 3-28 C-C断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.50 | | | | |
| | -+ | 0.51 | 0.54 | 0.48 | 0.53 | 0.59 |
| | +- | 0.50 | | | | |
| | -- | 0.50 | | | | |
| Ss-2 | | 0.21 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.45 | | | | |
| | -+ | 0.46 | | | | |
| | +- | 0.45 | | | | |
| | -- | 0.45 | | | | |
| Ss-4 | | 0.13 | | | | |
| Ss-5 | | 0.15 | | | | |
| Ss-6 | | 0.15 | | | | |
| Ss-7 | | 0.19 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.39 | | | | |
| | -+ | 0.40 | | | | |

(b) せん断力照査

C-C断面の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 3-29 に示す。

表 3-29 C-C断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (1/2)

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.61 | | | | |
| | -+ | 0.63 | 0.66 | 0.59 | 0.63 | 0.67 |
| | +- | 0.60 | | | | |
| | -- | 0.62 | | | | |
| Ss-2 | | 0.43 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.55 | | | | |
| | -+ | 0.56 | | | | |
| | +- | 0.54 | | | | |
| | -- | 0.54 | | | | |
| Ss-4 | | 0.37 | | | | |
| Ss-5 | | 0.41 | | | | |
| Ss-6 | | 0.42 | | | | |
| Ss-7 | | 0.44 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.53 | | | | |
| | -+ | 0.52 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.64 | | | | |
| | -+ | 0.65 | 0.67 | 0.63 | 0.63 | 0.64 |
| | +- | 0.72 | | | | |
| | -- | 0.77 | | | | |
| Ss-2 | | 0.53 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.63 | | | | |
| | -+ | 0.65 | | | | |
| | +- | 0.59 | | | | |
| | -- | 0.62 | | | | |
| Ss-4 | | 0.42 | | | | |
| Ss-5 | | 0.46 | | | | |
| Ss-6 | | 0.47 | | | | |
| Ss-7 | | 0.49 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.57 | | | | |
| | -+ | 0.54 | | | | |

表 3-29 C-C断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (2/2)

隔壁

| 地震動 \ 解析ケース | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 1.14 | | | | |
| | -+ | 1.16 | 1.18 | 1.13 | 1.12 | 1.13 |
| | +- | 1.14 | | | | |
| | -- | 1.14 | 1.16 | | | |
| Ss-2 | | 0.65 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 1.06 | | | | |
| | -+ | 1.08 | | | | |
| | +- | 1.08 | | | | |
| | -- | 1.08 | | | | |
| Ss-4 | | 0.43 | | | | |
| Ss-5 | | 0.50 | | | | |
| Ss-6 | | 0.49 | | | | |
| Ss-7 | | 0.58 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.95 | | | | |
| | -+ | 0.94 | | | | |

注： □は、前述 3.2.13 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

底版

| 地震動 \ 解析ケース | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.41 | | | | |
| | -+ | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.44 | 0.46 |
| | +- | 0.47 | | | | |
| | -- | 0.49 | | | | |
| Ss-2 | | 0.32 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.41 | | | | |
| | -+ | 0.42 | | | | |
| | +- | 0.38 | | | | |
| | -- | 0.39 | | | | |
| Ss-4 | | 0.26 | | | | |
| Ss-5 | | 0.28 | | | | |
| Ss-6 | | 0.27 | | | | |
| Ss-7 | | 0.29 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.38 | | | | |
| | -+ | 0.37 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

C-C断面の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 3-30 に示す。

表 3-30 C-C断面の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 地震動 | | 基礎地盤の支持性能照査 | | | | |
|------|----|-------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.07 | | | | |
| | -+ | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| | +- | 0.07 | | | | |
| | -- | 0.06 | | | | |
| Ss-2 | | 0.06 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.06 | | | | |
| | -+ | 0.06 | | | | |
| | +- | 0.06 | | | | |
| | -- | 0.06 | | | | |
| Ss-4 | | 0.06 | | | | |
| Ss-5 | | 0.05 | | | | |
| Ss-6 | | 0.05 | | | | |
| Ss-7 | | 0.05 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.05 | | | | |
| | -+ | 0.05 | | | | |

(2) 層間変形角時刻歴波形

曲げ軸力照査について、各断面の最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 3-31 に示す。該当する解析ケースの層間変形角の時刻歴波形を図 3-67～図 3-69 に示す。

表 3-31 各断面の最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧

| 評価断面 | 解析ケース | 地震動 | 曲げ軸力照査 | | |
|-------|--------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| | | | 照査用層間変形角 R_d^* | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
| A-A断面 | 解析ケース③ | Ss-3+- | 4.33×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.44 |
| B-B断面 | 解析ケース④ | Ss-1-- | 2.77×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.28 |
| C-C断面 | 解析ケース⑤ | Ss-1-+ | 5.82×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.59 |

注記* : 照査用層間変形角 $R_d = \text{最大層間変形角 } R \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

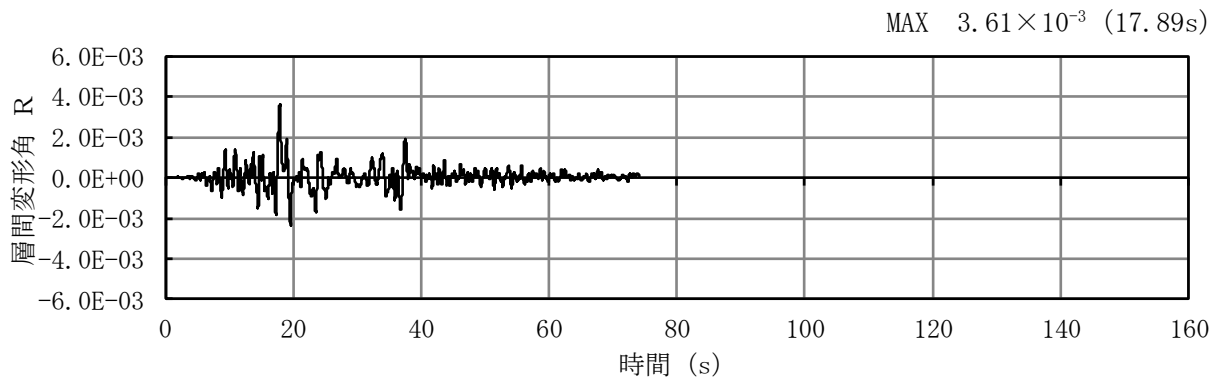


図 3-67 A-A断面における曲げ軸力照査が最も厳しい照査値となる解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース③, 地震動 Ss-3+-)

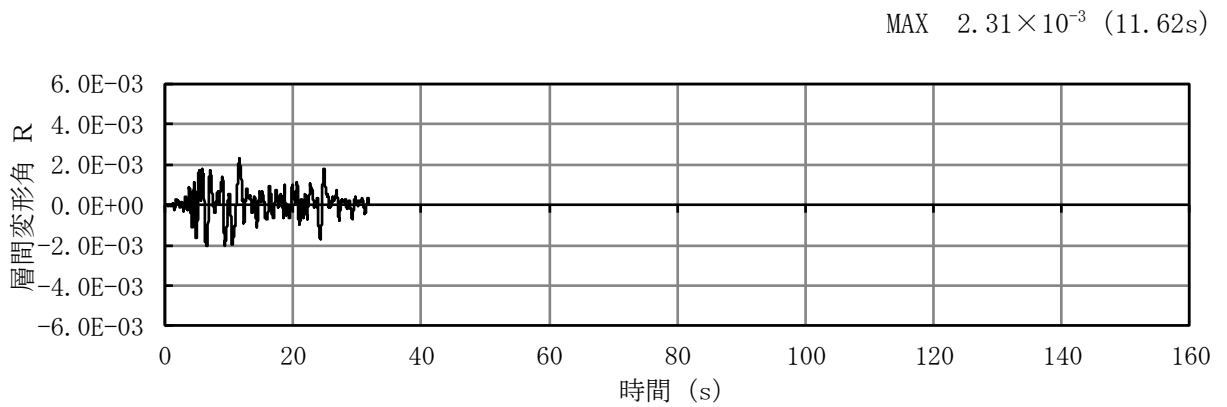


図 3-68 B-B断面における曲げ軸力照査が最も厳しい照査値となる解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース④, 地震動 Ss-1--)

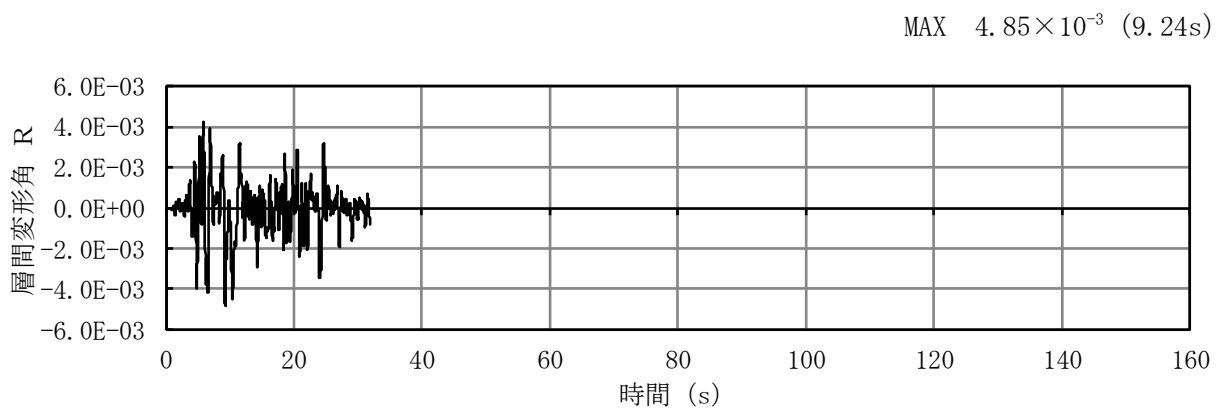


図 3-69 C-C断面における曲げ軸力照査が最も厳しい照査値となる解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース⑤, 地震動 Ss-1-+)

(3) 断面力分布（せん断力照査）

せん断力に対する照査について、各断面の各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を、表 3-32～表 3-34 に示す。

また、該当する解析ケースについて、部材毎に照査値が最大となる時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を、図 3-70～図 3-72 に示す。

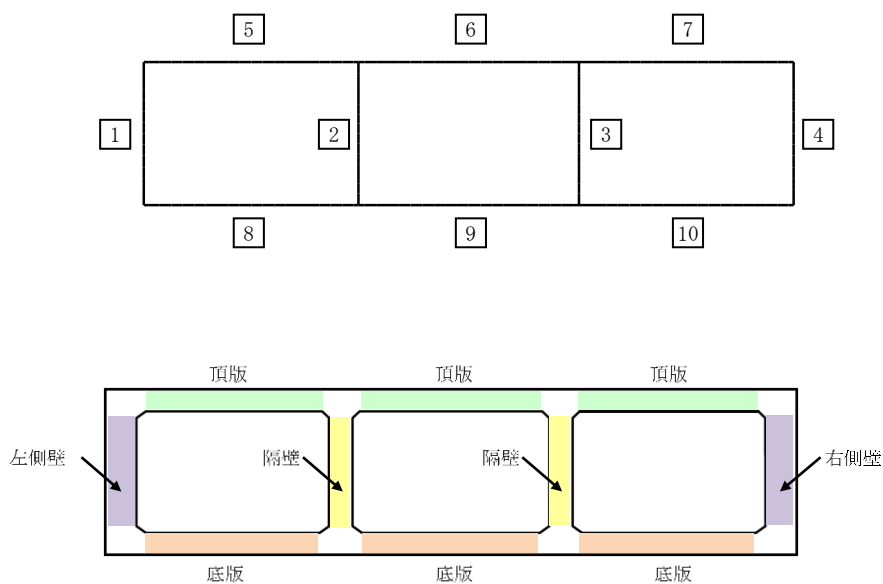
a. A-A断面

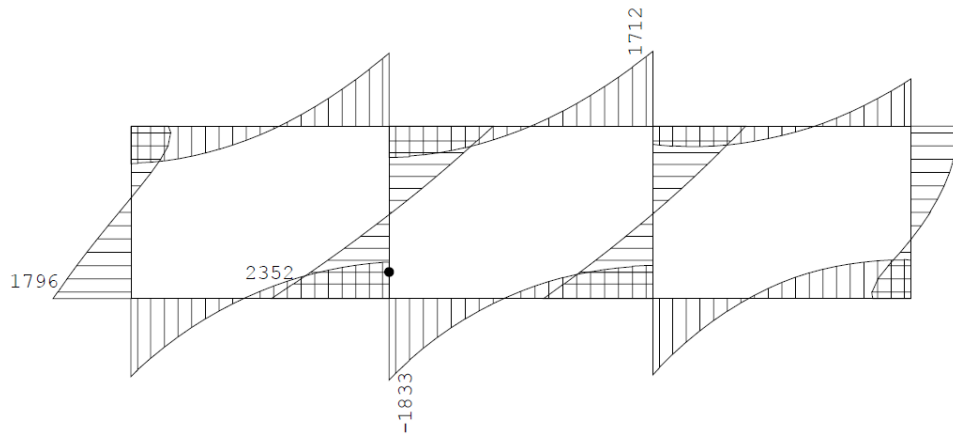
表 3-32 各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース一覧 (A-A断面)

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力 V_d *2 (kN) | せん断耐力 V_{yd} (kN) | 照査値 V_d/V_{yd} |
|--------|----|-----------|--------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 頂版 | 7 | ① | Ss-1++ | 651 | 977 | 0.67 |
| 側壁 | 4 | ① | Ss-3+- | 737 | 1043 | 0.71 |
| 隔壁 | 2 | ③ | Ss-3+- | 993 | 918 | 1.09 |
| 底版 | 10 | ① | Ss-1++ | 699 | 1576 | 0.45 |

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

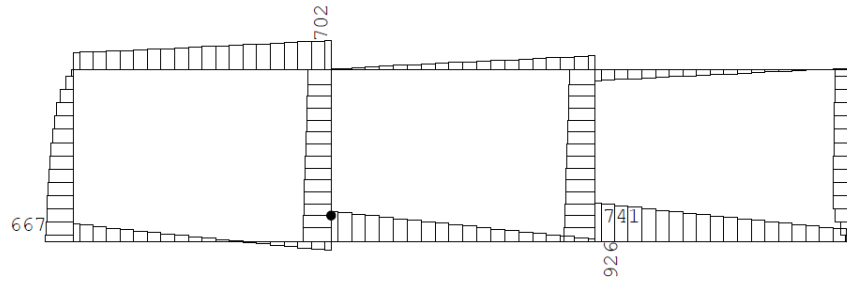




数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 1925 (kN・m)

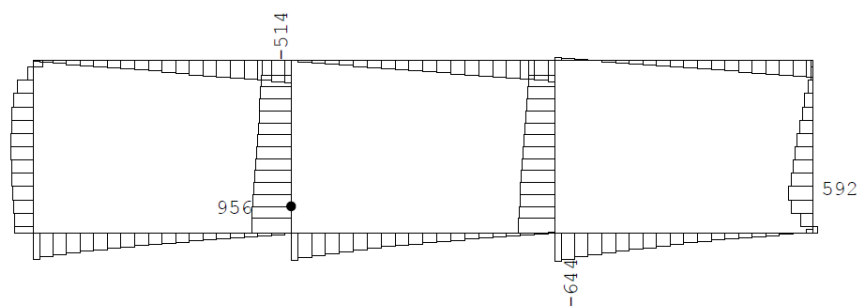
(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 681 (kN)

(b) 軸力 (kN)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 945 (kN)

(c) せん断力 (kN)

図 3-70 A-A断面（隔壁）のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
（隔壁，解析ケース③，地震動 Ss-3+-，t=17.85s）

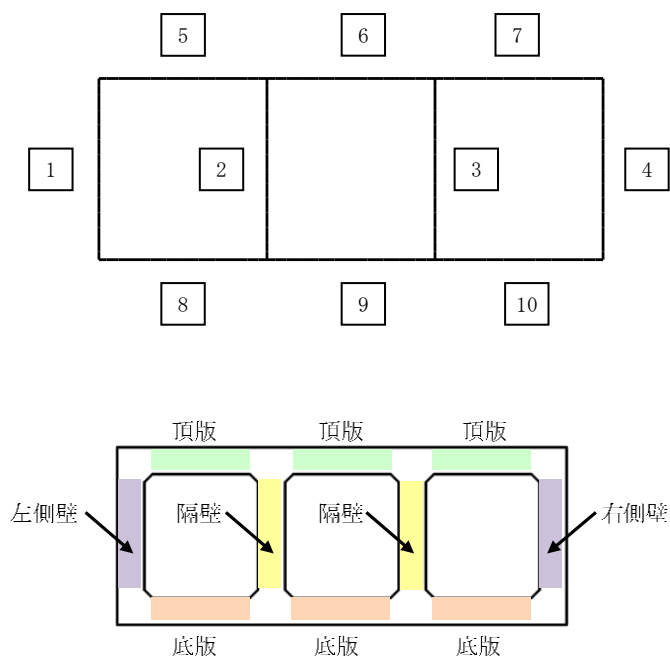
b. B-B断面

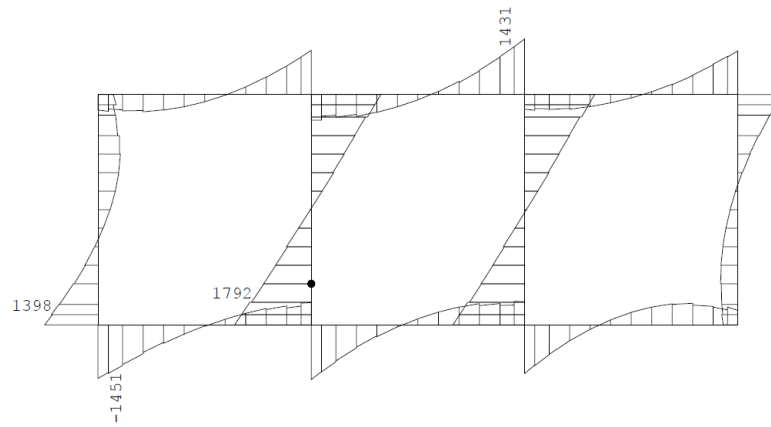
表 3-33 各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース一覧 (B-B断面)

| 評価位置 | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力 V_d^{*1} (kN) | せん断耐力 V_{yd} (kN) | 照査値 V_d/V_{yd} |
|------|-----------|-----|----------------------------|------------------------|---------------------|
| 頂版 | 6 | ④ | 1158 | 2696 | 0.43 |
| 側壁 | 1 | ④ | 1158 | 1467 | 0.79 |
| 隔壁 | 2 | ② | 862 | 878 | 0.99 |
| 底版 | 10 | ④ | 1248 | 2793 | 0.45 |

注記*1 : 照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

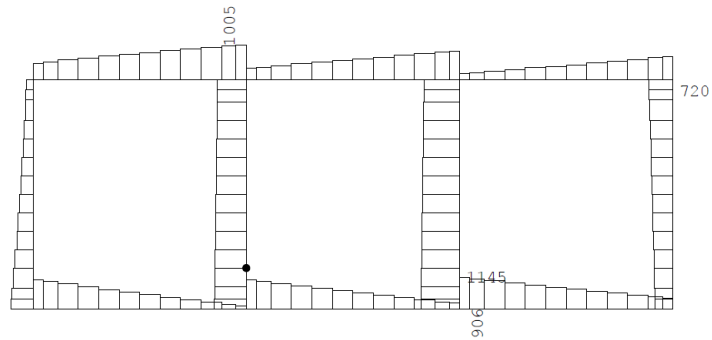
*2 : 評価位置は下図に示す。





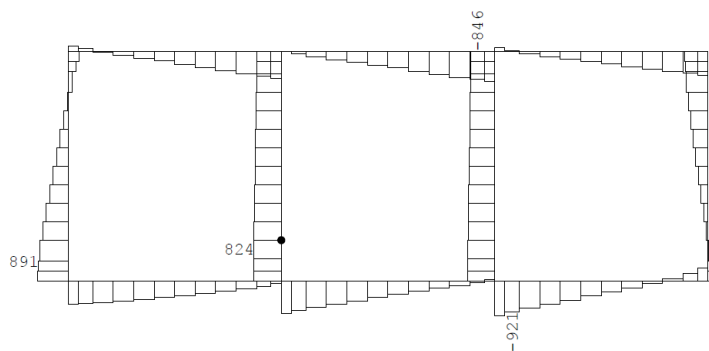
数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 1426 (kN・m)

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 939 (kN)

(b) 軸力 (kN)



数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 820 (kN)

(c) せん断力 (kN)

図 3-71 B-B断面（隔壁）のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
 （隔壁，解析ケース②，地震動 Ss-1-1，t=5.78s）

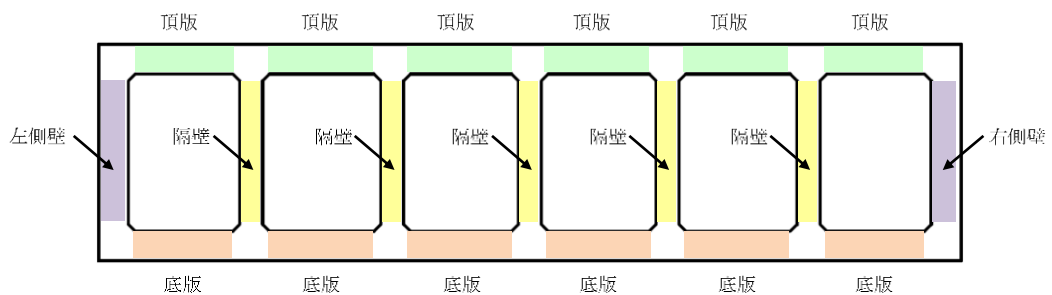
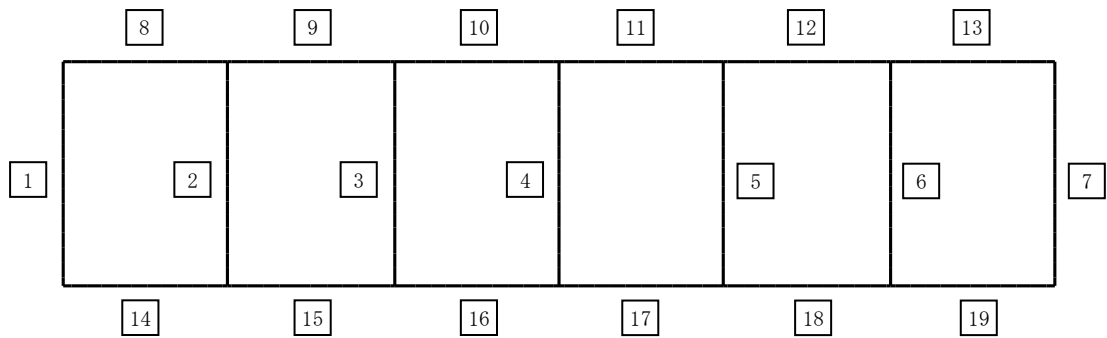
c. C-C断面

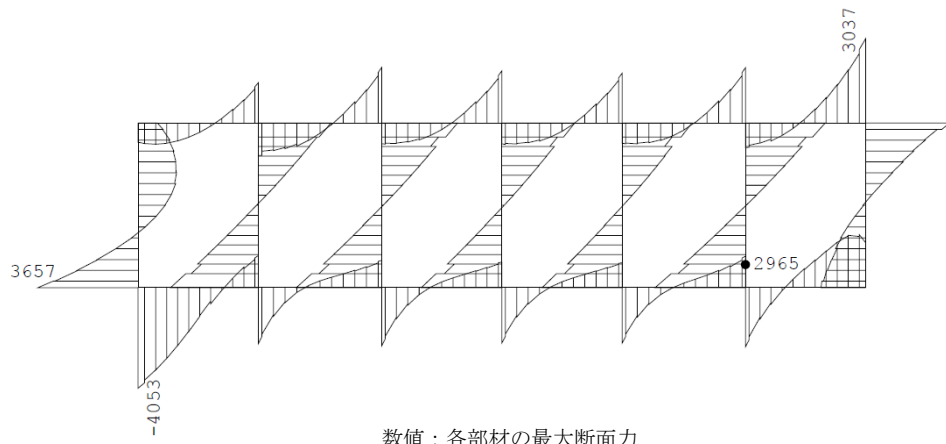
表 3-34 各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース一覧 (C-C断面)

| 評価位置 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力 V_d^{*1} (kN) | せん断耐力 V_{yd} (kN) | 照査値 V_d/V_{yd} |
|------|----|-----------|--------|----------------------------|------------------------|---------------------|
| 頂版 | 13 | ⑤ | Ss-1-+ | 1386 | 2079 | 0.67 |
| 側壁 | 1 | ① | Ss-1-- | 2225 | 2901 | 0.77 |
| 隔壁 | 6 | ② | Ss-1-+ | 1053 | 899 | 1.18 |
| 底版 | 19 | ⑤ | Ss-1-+ | 1540 | 3397 | 0.46 |

注記*1 : 照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*2 : 評価位置は下図に示す。

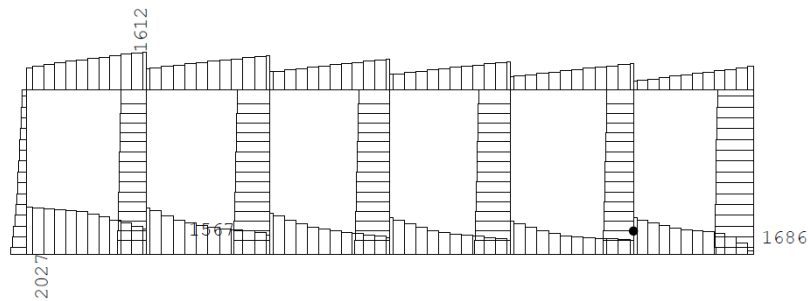




数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 2615 (kN・m)

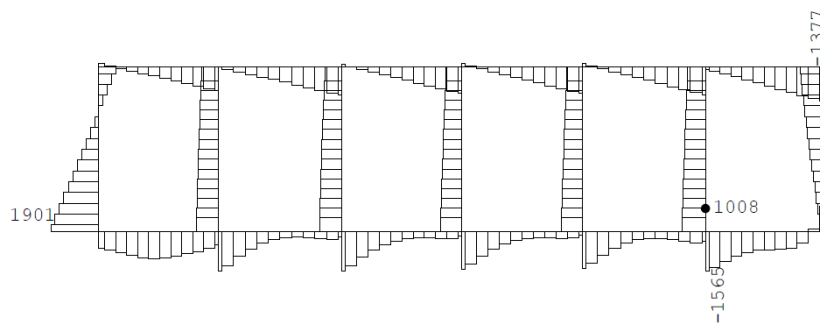
(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 1310 (kN)

(b) 軸力 (kN)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 1002 (kN)

(c) せん断力 (kN)

図 3-72 C-C断面（隔壁）のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
（隔壁，解析ケース②，地震動 Ss-1-+，t=5.73s）

(4) 最大せん断ひずみ分布

地盤に発生した最大せん断ひずみを確認するため、曲げ軸力照査及びせん断照査における最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻の各地盤要素の最大せん断ひずみ分布を示す。表 3-35 に最大照査値を示す解析ケースの一覧を示す。

A-A断面における最大せん断ひずみ分布図を図 3-73 に、B-B断面における最大せん断ひずみ分布図を図 3-74 及び図 3-75 に、C-C断面における最大せん断ひずみ分布図を図 3-76 及び図 3-77 に示す。

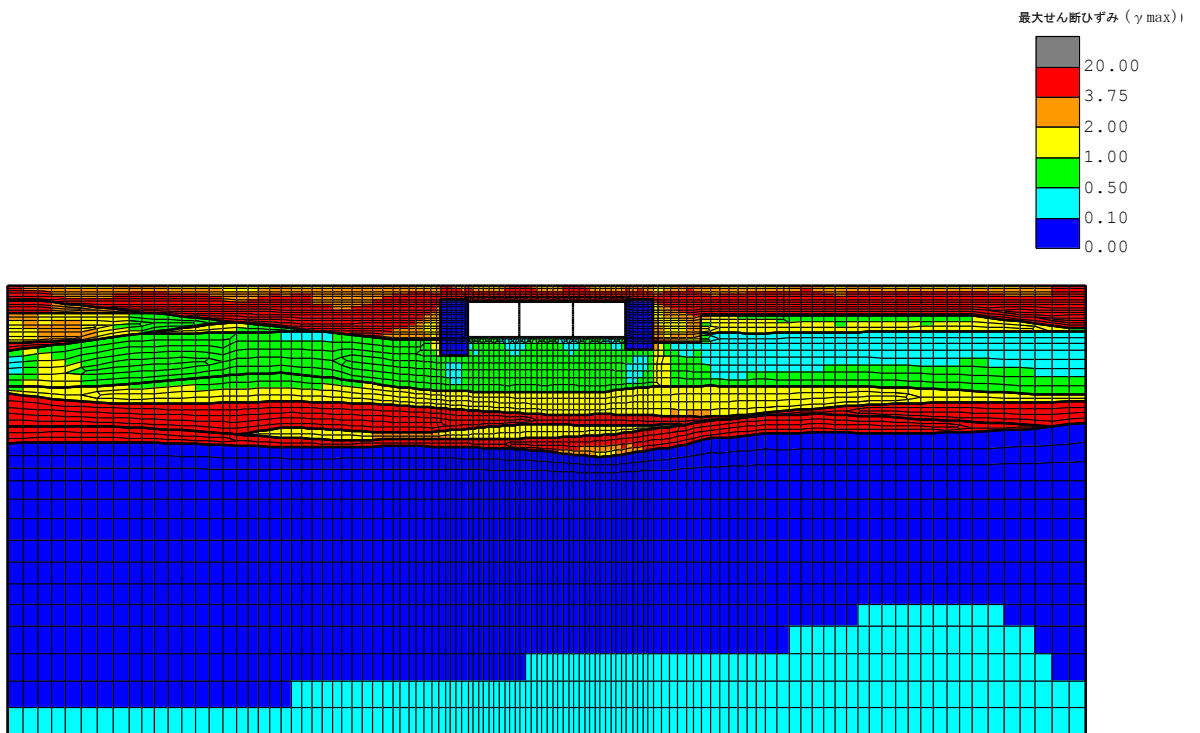
表 3-35 最大照査値を示す解析ケースの一覧

| 断面 | 評価項目 | |
|-------|-----------------|-----------------|
| | 曲げ軸力 | せん断 |
| A-A断面 | Ss-3+- (解析ケース③) | Ss-3+- (解析ケース③) |
| B-B断面 | Ss-1-- (解析ケース④) | Ss-1-- (解析ケース②) |
| C-C断面 | Ss-1-+ (解析ケース⑤) | Ss-1-+ (解析ケース②) |

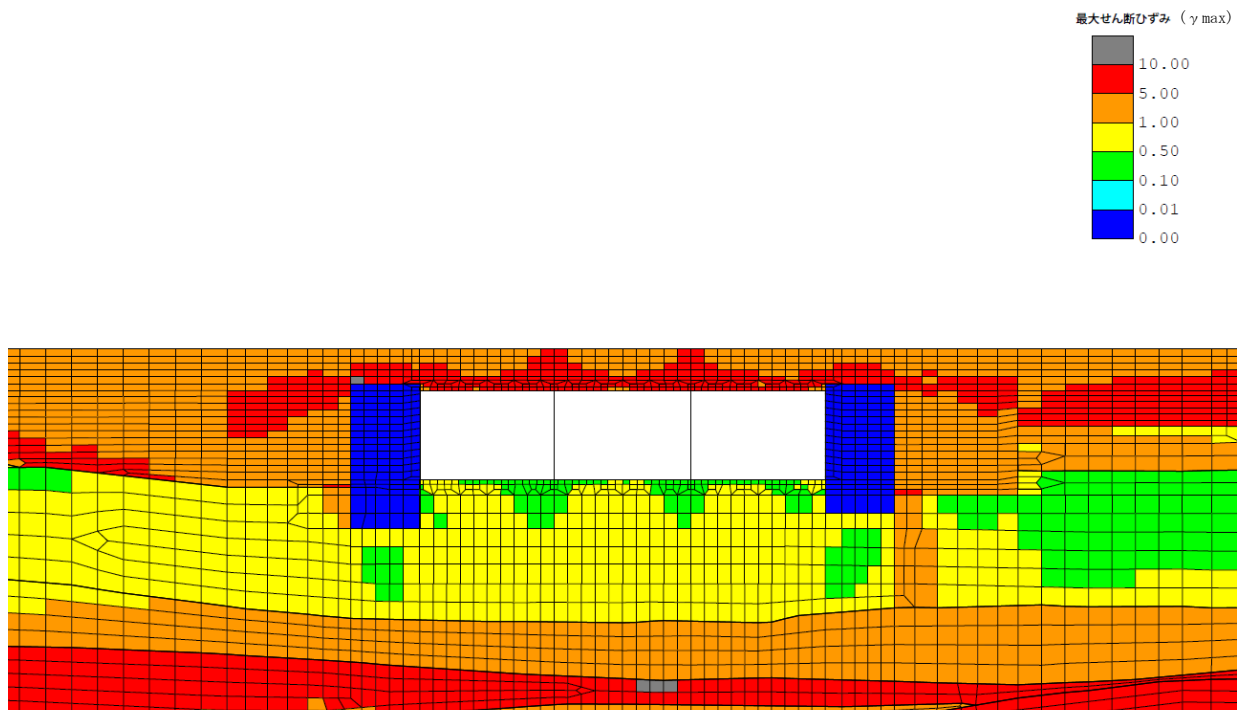
注： 耐震評価における解析ケース一覧

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 解析ケース | 基本ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース |
| 地盤剛性の設定 | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) | 地盤剛性(-1σ) | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) |
| 液状化強度特性の設定 | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 |

a. A-A断面



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 3-73 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース③, 地震動 Ss-3+-)

b. B-B断面

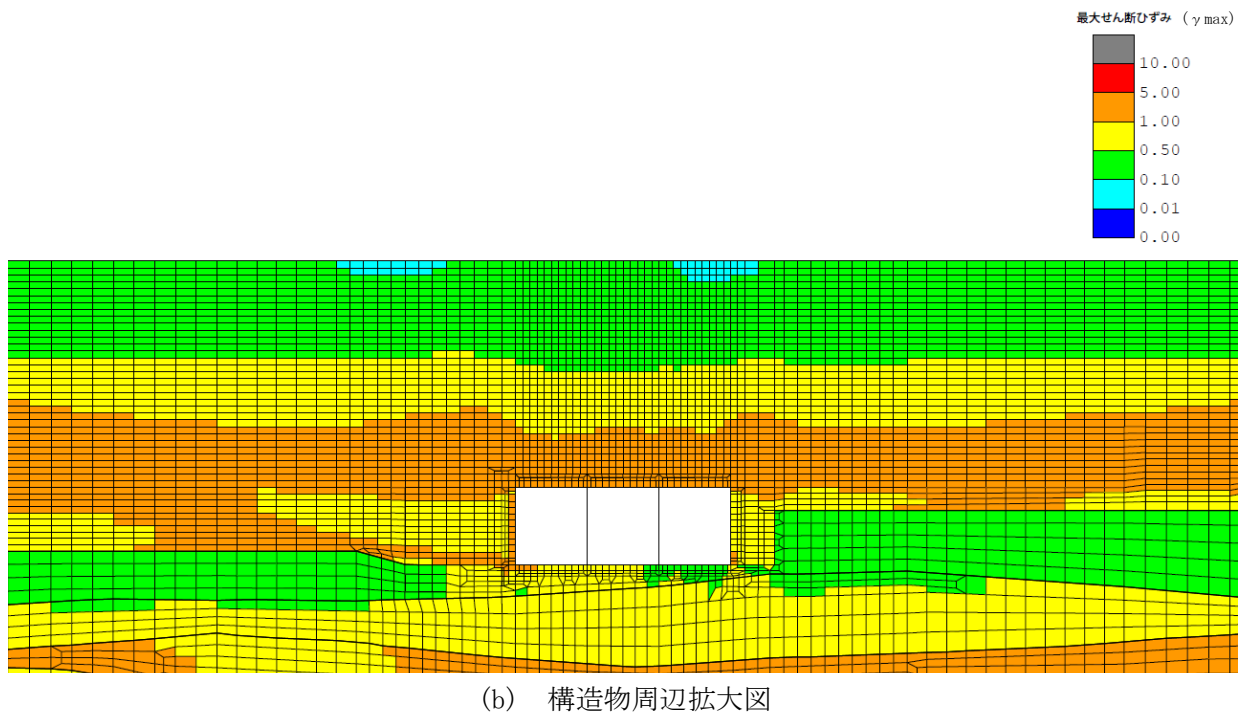
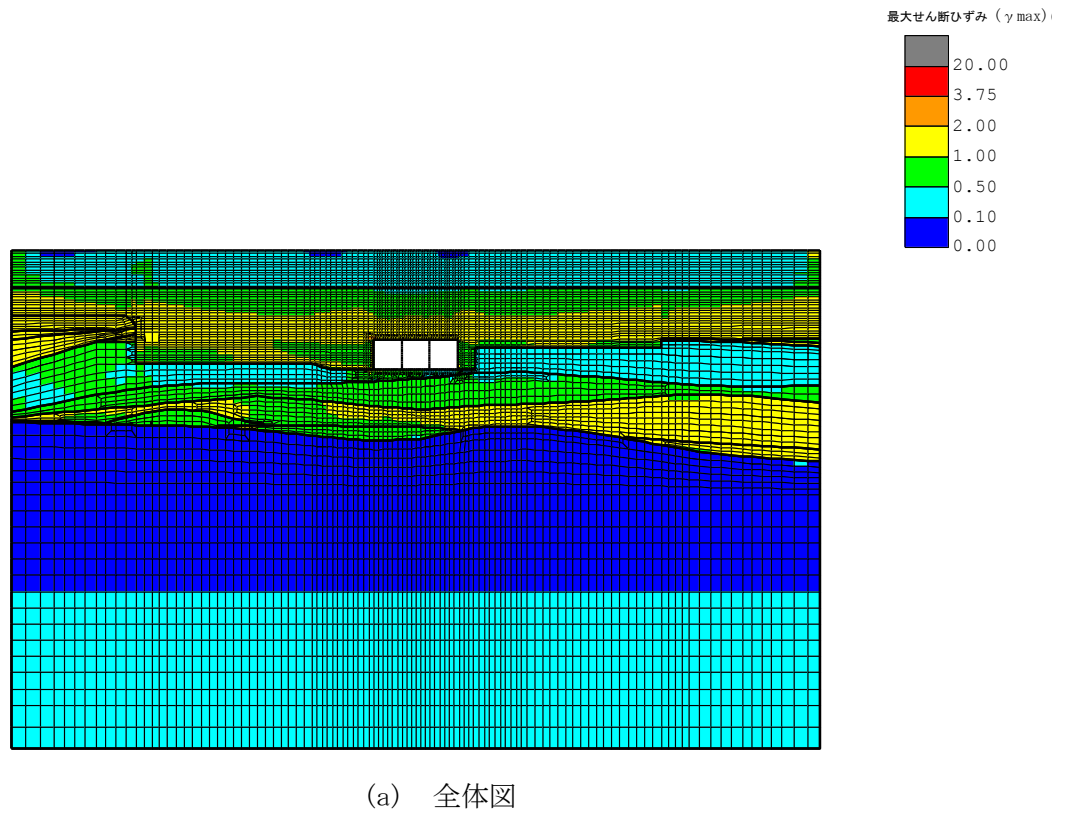
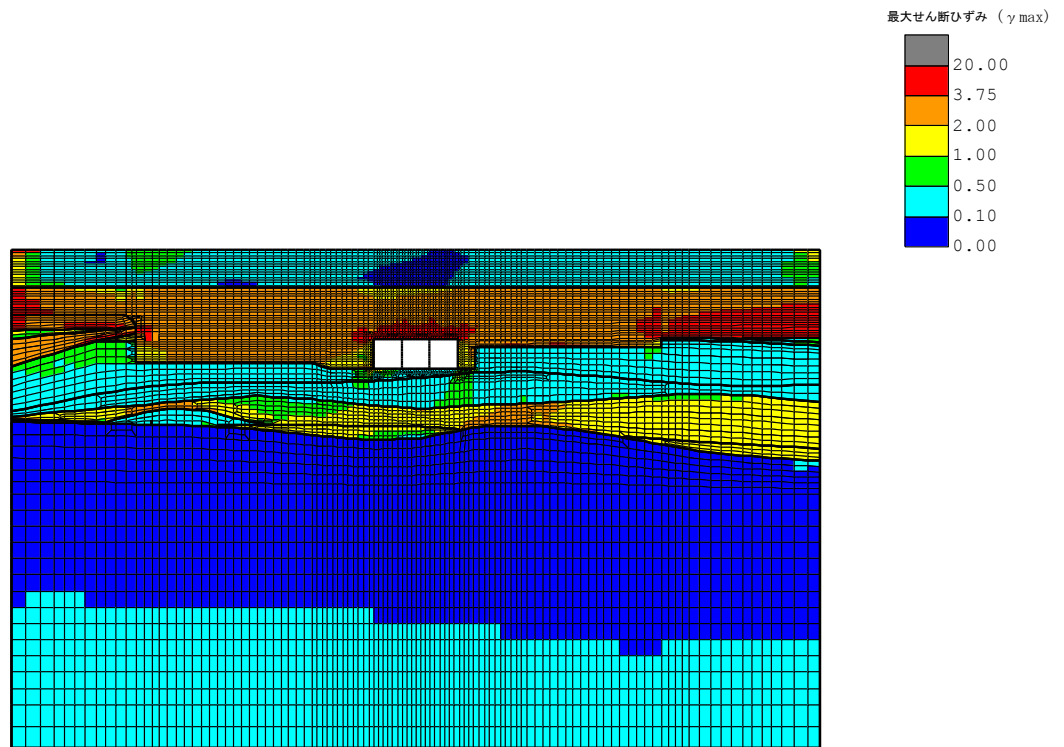
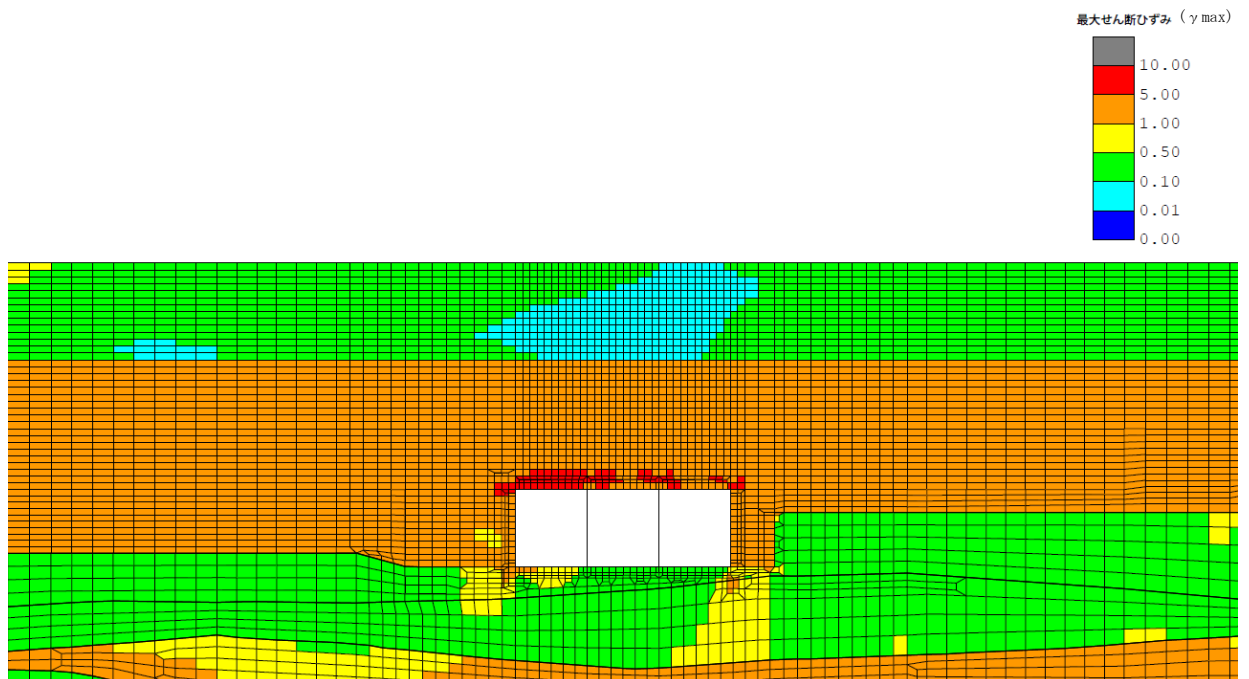


図 3-74 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース④, 地震動 Ss-1--)



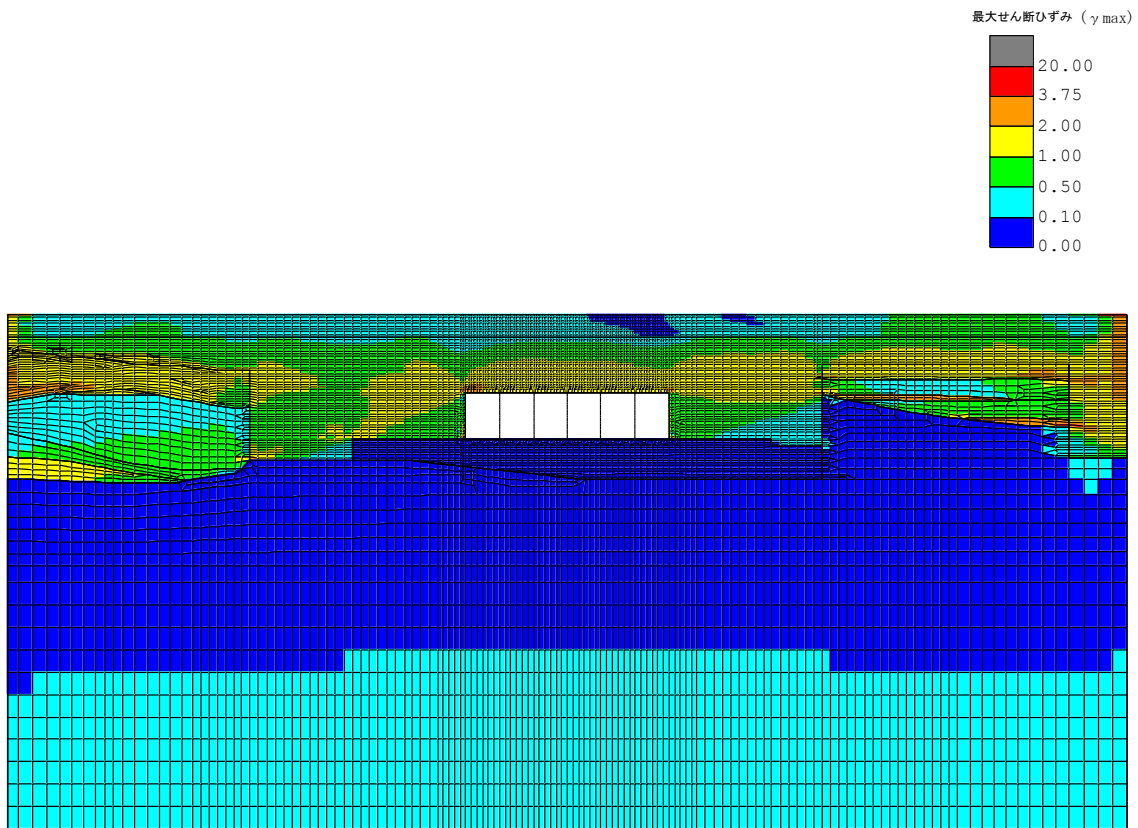
(a) 全体図



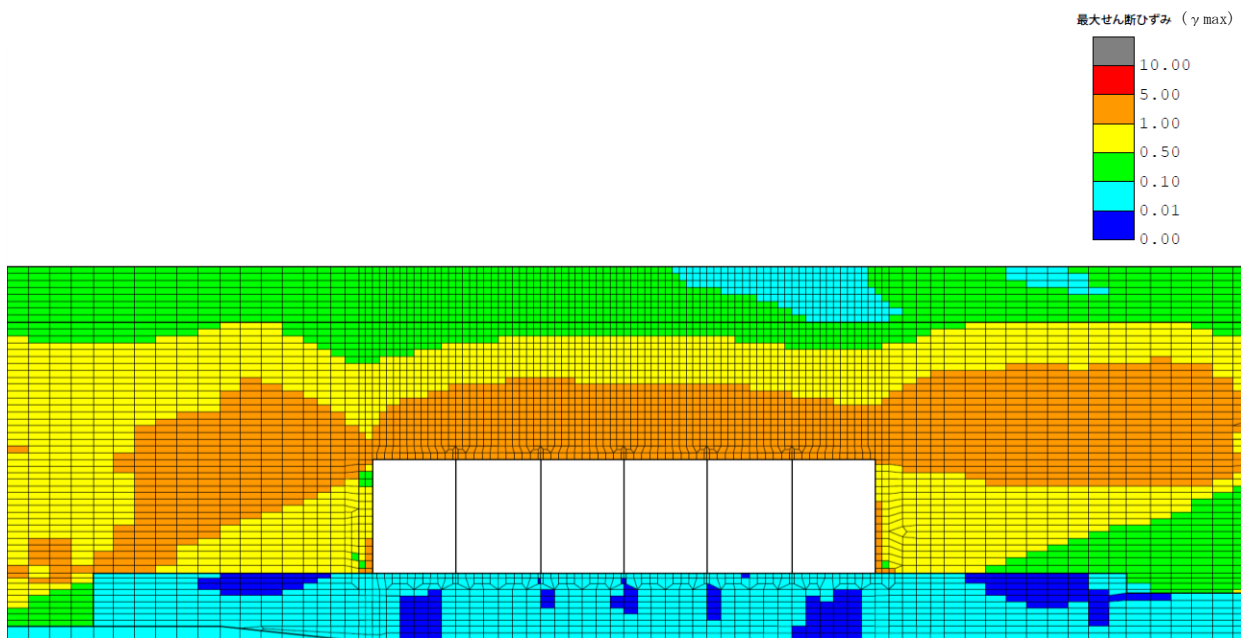
(b) 構造物周辺拡大図

図 3-75 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1-1)

c. C-C断面

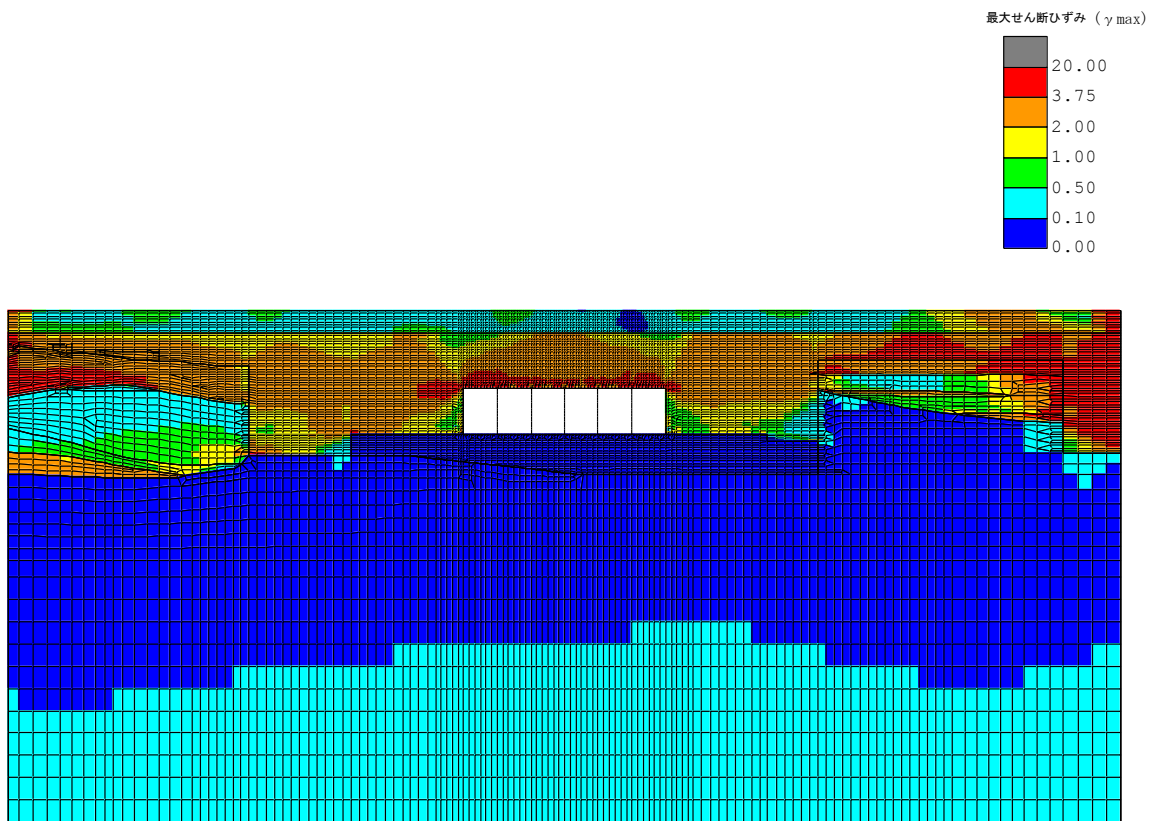


(a) 全体図

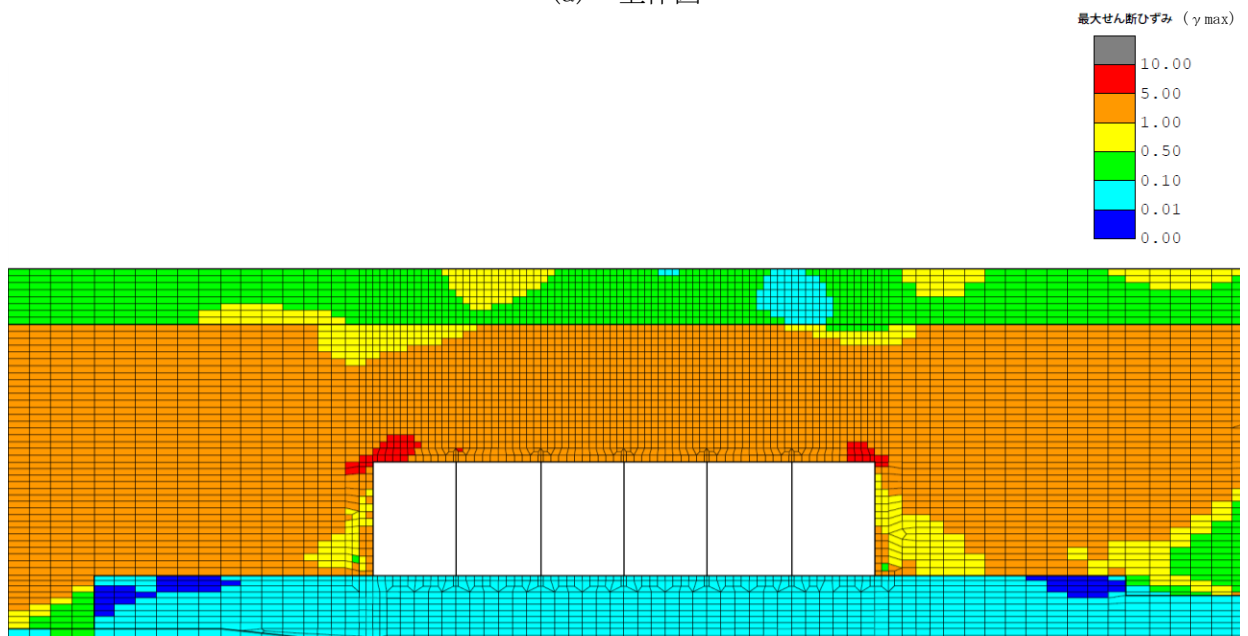


(b) 構造物周辺拡大図

図 3-76 C-C断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース⑤, 地震動 Ss-1-+)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 3-77 C-C断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1-+)

(5) 最大過剰間隙水圧比分布

地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、曲げ軸力照査及びせん断照査における最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における各地盤要素の過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。表 3-36 に最大照査値を示す解析ケースの一覧を示す。なお、最大照査値が非液状化の条件である解析ケース④及び⑤である場合は、最大過剰間隙水圧分布は記載せず、参考として、同地震動の解析ケース①（基本ケース）の最大過剰間隙水圧分布を示す。

A-A断面における最大過剰間隙水圧比分布図を図 3-78 に、B-B断面における最大過剰間隙水圧比分布図を図 3-80 に、C-C断面における最大過剰間隙水圧比分布図を図 3-82 に示す。

表 3-36 最大照査値を示す解析ケースの一覧

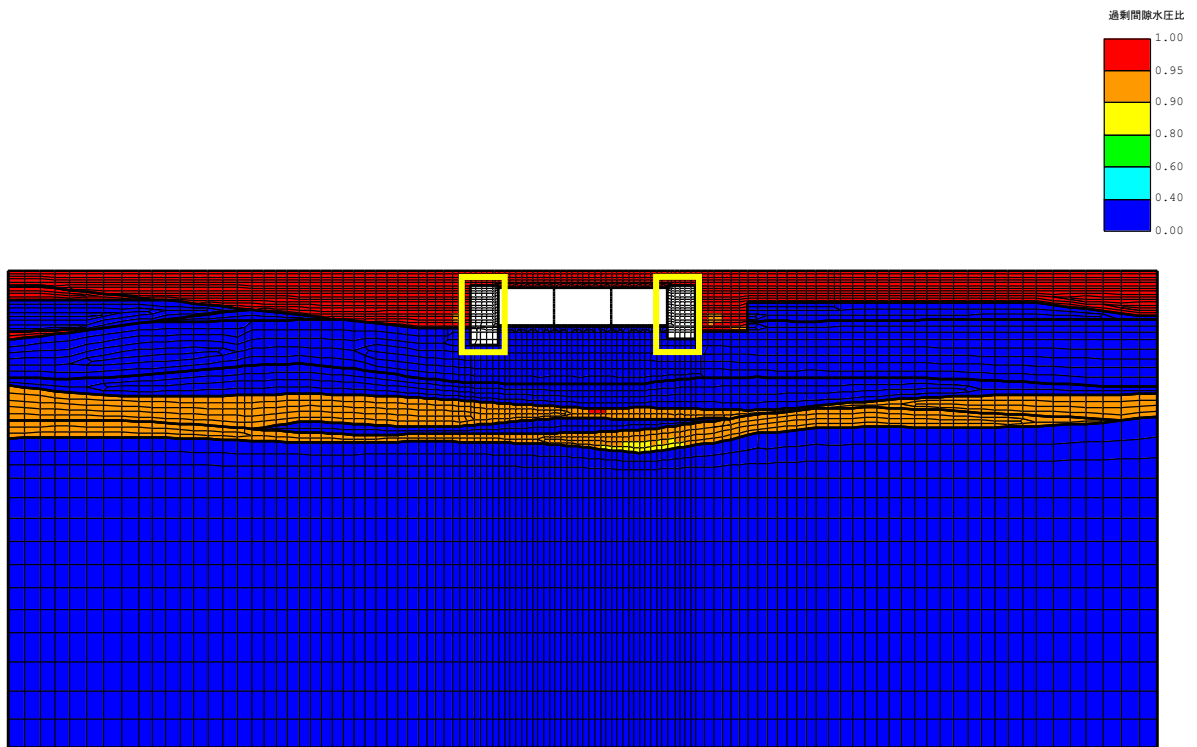
| 断面 | 評価項目 | |
|-------|-------------------|-----------------|
| | 曲げ軸力 | せん断 |
| A-A断面 | Ss-3+- (解析ケース③) | Ss-3+- (解析ケース③) |
| B-B断面 | Ss-1-- (解析ケース④) * | Ss-1-- (解析ケース②) |
| C-C断面 | Ss-1-+ (解析ケース⑤) * | Ss-1-+ (解析ケース②) |

注記* : 非液状化を仮定した解析ケースについては、参考として、最大過剰間隙水圧比分布図は同地震動の解析ケース①を表示

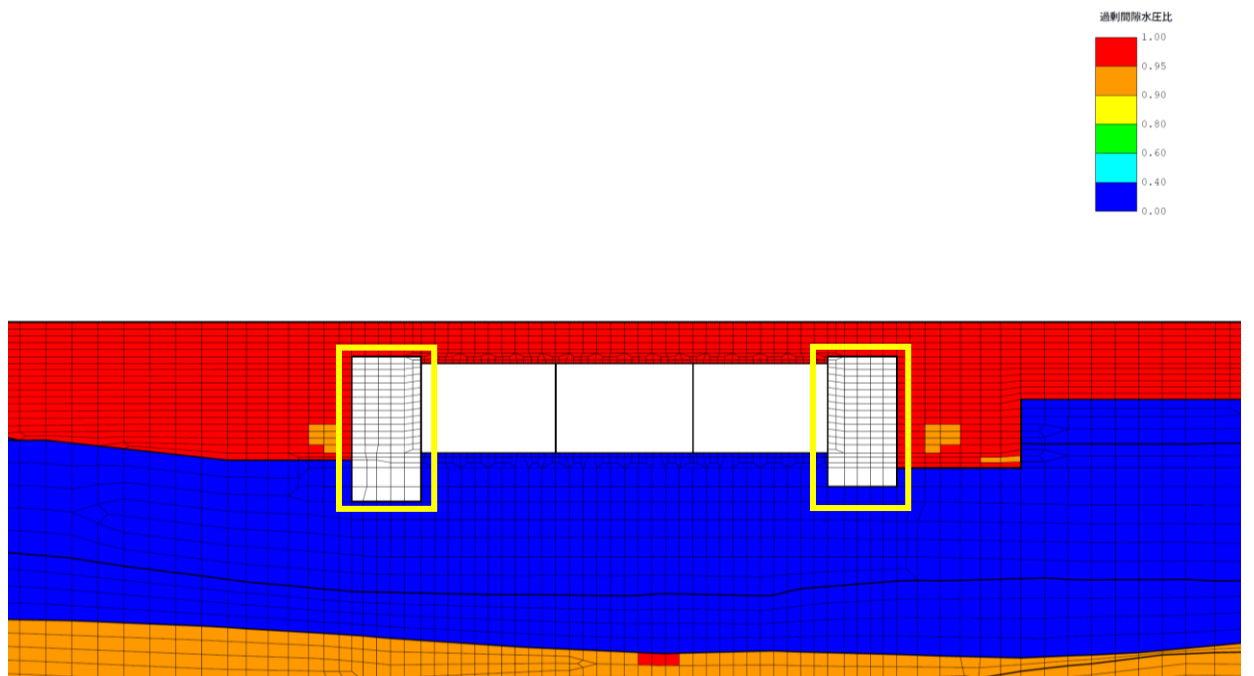
注： 耐震評価における解析ケース一覧

| 解析ケース | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| | 基本ケース | | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース |
| 地盤剛性の設定 | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) | 地盤剛性(-1σ) | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) |
| 液状化強度特性の設定 | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 |

a. A-A断面



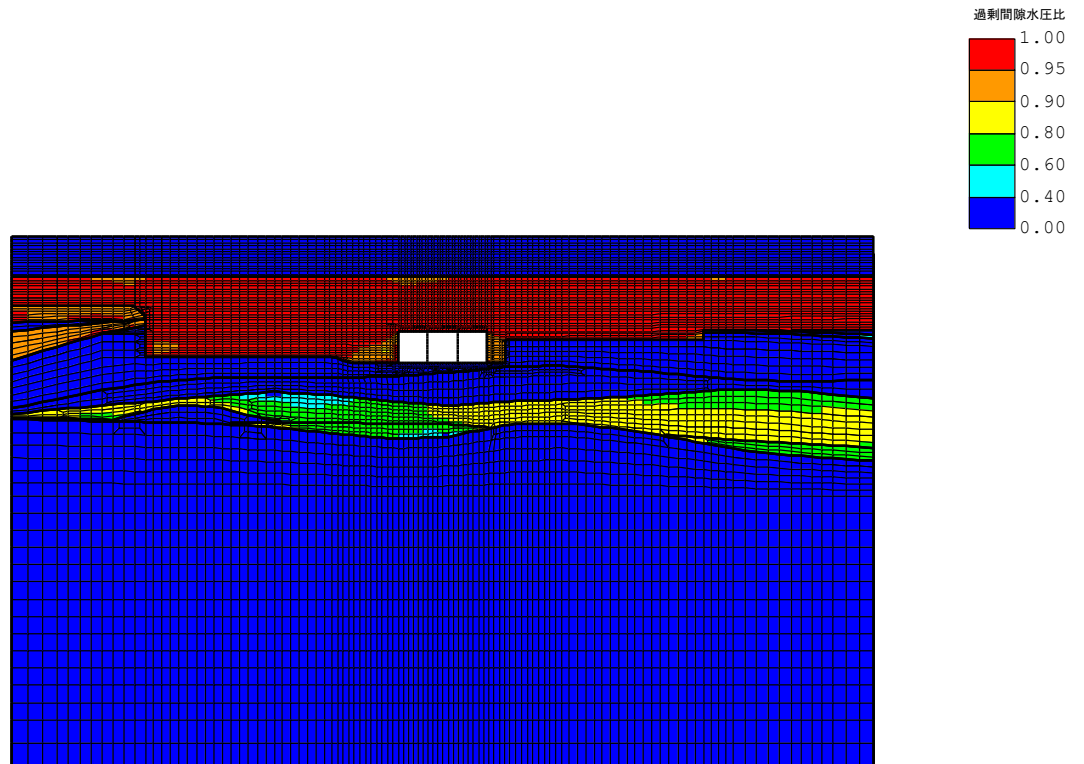
(a) 全体図



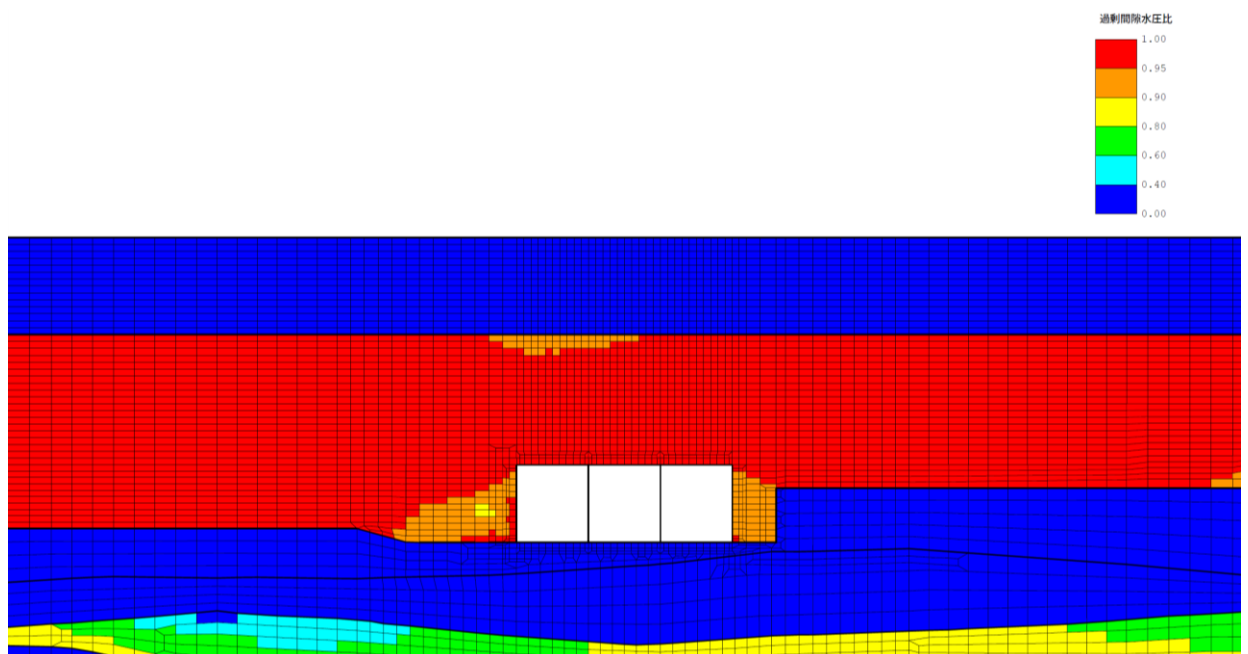
(b) 拡大図

図 3-78 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース③, 地震動 Ss-3+-)

b. B-B断面

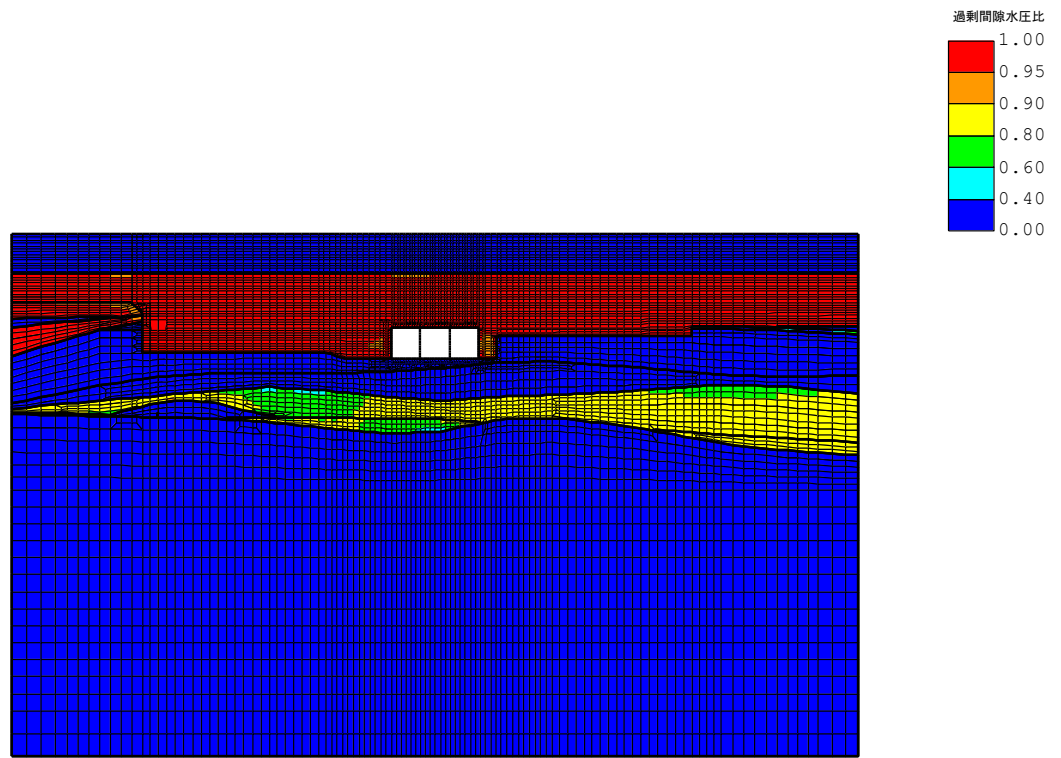


(a) 全体図

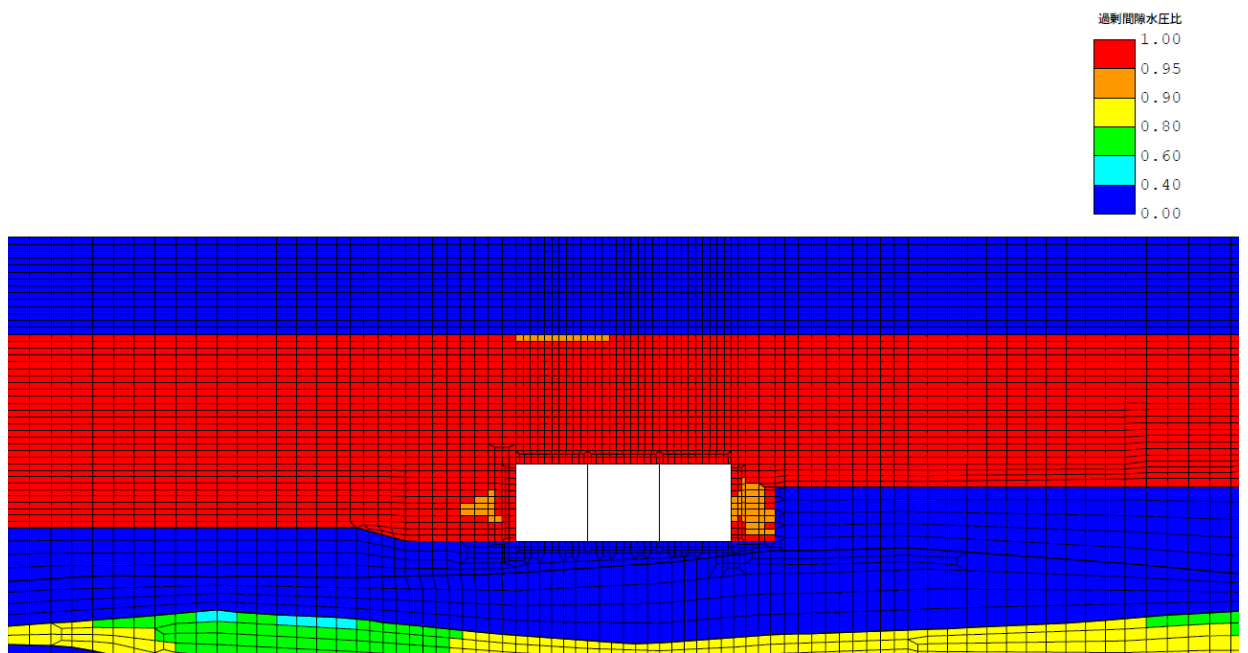


(b) 拡大図

図 3-79 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(参考：解析ケース①, Ss-1--)



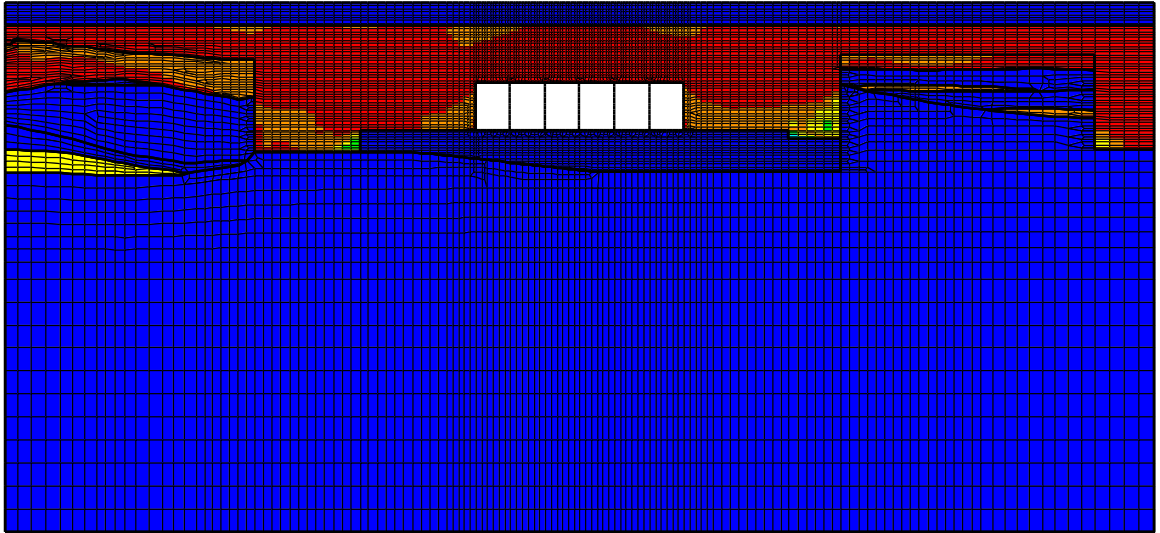
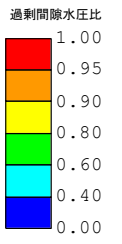
(a) 全体図



(b) 拡大図

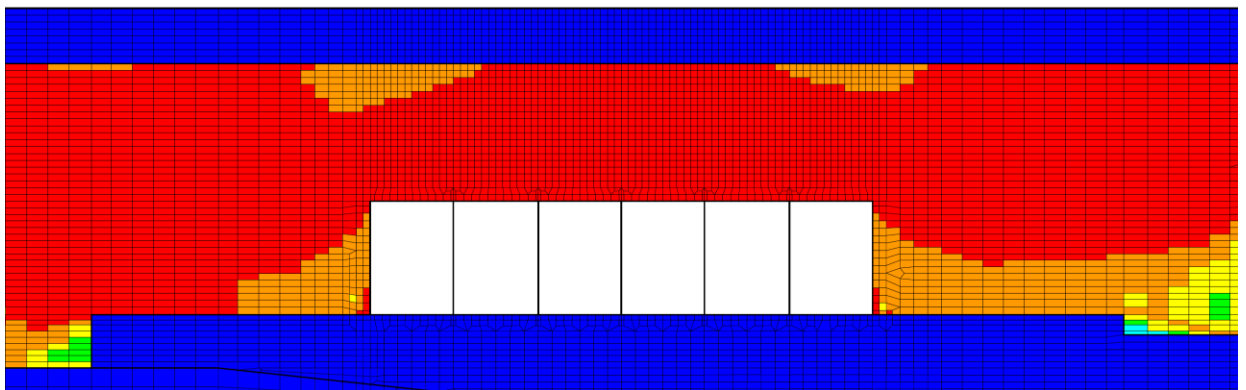
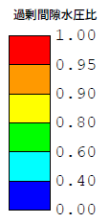
図 3-80 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース②, Ss-1--)

c. C-C断面



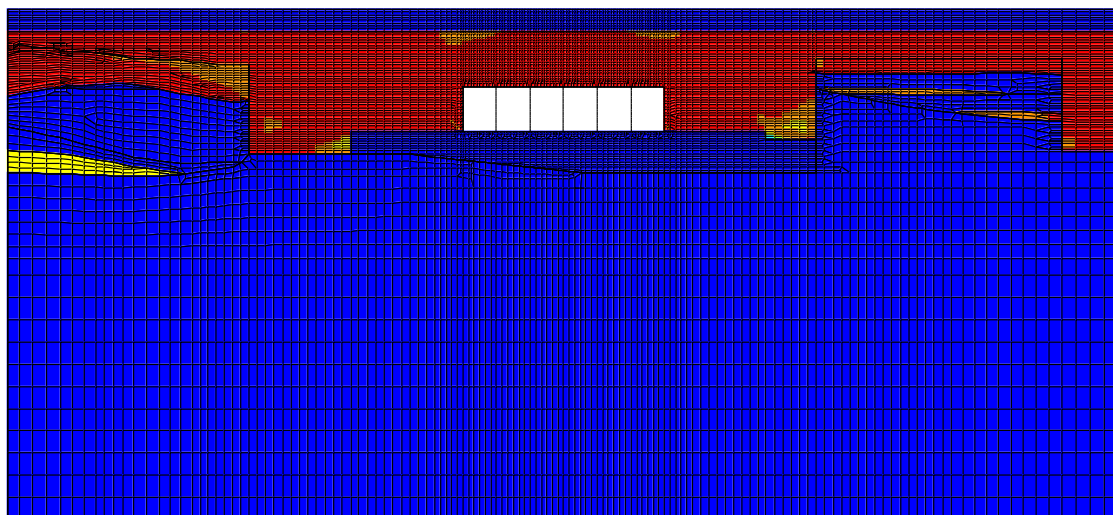
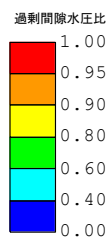
(a) 全体図

--

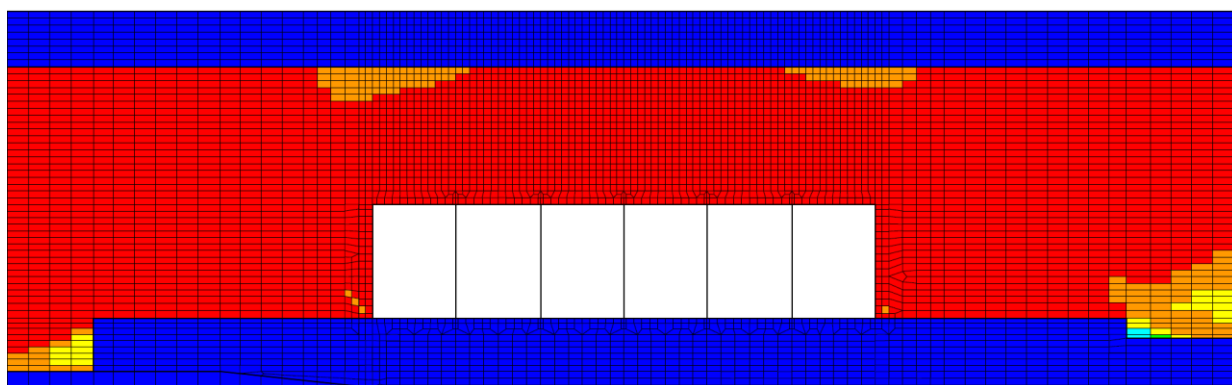
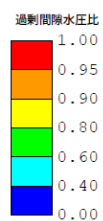


(b) 拡大図

図 3-81 C-C断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(参考：解析ケース①, Ss-1-+)



(a) 全体図



(b) 拡大図

図 3-82 C-C断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース②, Ss-1-+)

3.4.2 構造部材の健全性に対する評価結果

(1) 構造部材の曲げ軸力に対する評価結果

a. 通水機能の確認

表 3-37～表 3-39 に、照査用層間変形角による曲げ軸力に対する評価結果を示す。
各断面の全解析ケースにおいて、照査用層間変形角は限界層間変形角を下回る。

限界層間変形角（層間変形角 1/100）は、部材のかぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることから、取水路の通水機能は損なわれないことを確認した。

(a) A-A断面

表 3-37 曲げ軸力に対する評価結果（A-A断面）

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間変形角 R_d^* | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 3.04×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.31 |
| | Ss-1-+ | 3.03×10^{-3} | | 0.31 |
| | Ss-1+- | 3.02×10^{-3} | | 0.31 |
| | Ss-1-- | 2.96×10^{-3} | | 0.30 |
| | Ss-2 | 1.63×10^{-3} | | 0.17 |
| | Ss-3++ | 4.05×10^{-3} | | 0.41 |
| | Ss-3-+ | 3.73×10^{-3} | | 0.38 |
| | Ss-3+- | 4.05×10^{-3} | | 0.41 |
| | Ss-3-- | 3.74×10^{-3} | | 0.38 |
| | Ss-4 | 1.55×10^{-3} | | 0.16 |
| | Ss-5 | 1.31×10^{-3} | | 0.14 |
| | Ss-6 | 1.58×10^{-3} | | 0.16 |
| | Ss-7 | 1.54×10^{-3} | | 0.16 |
| | Ss-8++ | 3.10×10^{-3} | | 0.31 |
| | Ss-8-+ | 3.00×10^{-3} | | 0.30 |
| ② | Ss-3+- | 3.73×10^{-3} | 0.38 | |
| ③ | Ss-3+- | 4.33×10^{-3} | 0.44 | |
| ④ | Ss-3+- | 2.86×10^{-3} | 0.29 | |
| ⑤ | Ss-3+- | 2.65×10^{-3} | 0.27 | |

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

(b) B-B断面

表 3-38 曲げ軸力に対する評価結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間変形角 R_d^* | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 2.34×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.24 |
| | Ss-1-+ | 2.32×10^{-3} | | 0.24 |
| | Ss-1+- | 2.21×10^{-3} | | 0.23 |
| | Ss-1-- | 2.21×10^{-3} | | 0.23 |
| | Ss-2 | 0.81×10^{-3} | | 0.09 |
| | Ss-3++ | 2.30×10^{-3} | | 0.23 |
| | Ss-3-+ | 2.11×10^{-3} | | 0.22 |
| | Ss-3+- | 2.30×10^{-3} | | 0.23 |
| | Ss-3-- | 2.13×10^{-3} | | 0.22 |
| | Ss-4 | 0.87×10^{-3} | | 0.09 |
| | Ss-5 | 1.19×10^{-3} | | 0.12 |
| | Ss-6 | 1.37×10^{-3} | | 0.14 |
| | Ss-7 | 1.66×10^{-3} | | 0.17 |
| | Ss-8++ | 2.03×10^{-3} | | 0.21 |
| Ss-8-+ | 2.00×10^{-3} | 0.20 | | |
| ② | Ss-1-- | 2.45×10^{-3} | 0.25 | |
| ③ | Ss-1-- | 1.94×10^{-3} | 0.20 | |
| ④ | Ss-1-- | 2.77×10^{-3} | 0.28 | |
| ⑤ | Ss-1-- | 2.70×10^{-3} | 0.27 | |

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

(c) C-C断面

表 3-39 曲げ軸力に対する評価結果 (C-C断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間変形角 R_d^* | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 4.98×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.50 |
| | Ss-1-+ | 5.03×10^{-3} | | 0.51 |
| | Ss-1+- | 4.97×10^{-3} | | 0.50 |
| | Ss-1-- | 4.96×10^{-3} | | 0.50 |
| | Ss-2 | 2.06×10^{-3} | | 0.21 |
| | Ss-3++ | 4.45×10^{-3} | | 0.45 |
| | Ss-3-+ | 4.53×10^{-3} | | 0.46 |
| | Ss-3+- | 4.49×10^{-3} | | 0.45 |
| | Ss-3-- | 4.49×10^{-3} | | 0.45 |
| | Ss-4 | 1.21×10^{-3} | | 0.13 |
| | Ss-5 | 1.49×10^{-3} | | 0.15 |
| | Ss-6 | 1.44×10^{-3} | | 0.15 |
| | Ss-7 | 1.90×10^{-3} | | 0.19 |
| | Ss-8++ | 3.85×10^{-3} | | 0.39 |
| | Ss-8-+ | 3.93×10^{-3} | | 0.40 |
| ② | Ss-1-+ | 5.32×10^{-3} | 0.54 | |
| ③ | Ss-1-+ | 4.72×10^{-3} | 0.48 | |
| ④ | Ss-1-+ | 5.23×10^{-3} | 0.53 | |
| ⑤ | Ss-1-+ | 5.82×10^{-3} | 0.59 | |

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

b. 貯水機能の確認

曲げに対する照査値が最も厳しい解析ケースにおいて、貯水機能が要求される側壁の M- ϕ 曲線の応答を図 3-83～図 3-86 に示す。なお、同図は側壁および頂版の貯水機能が要求される部位の中で最も第 2 折れ点（鉄筋の降伏）に対する裕度が厳しい応答を示す位置の結果を示している。

鉄筋は部材の両側ともに、最大応答は第 2 折れ点（鉄筋の降伏）に至っておらず、漏水を生じるひび割れは発生しないことから、取水路の貯水機能は損なわれないことを確認した。

(a) A-A 断面

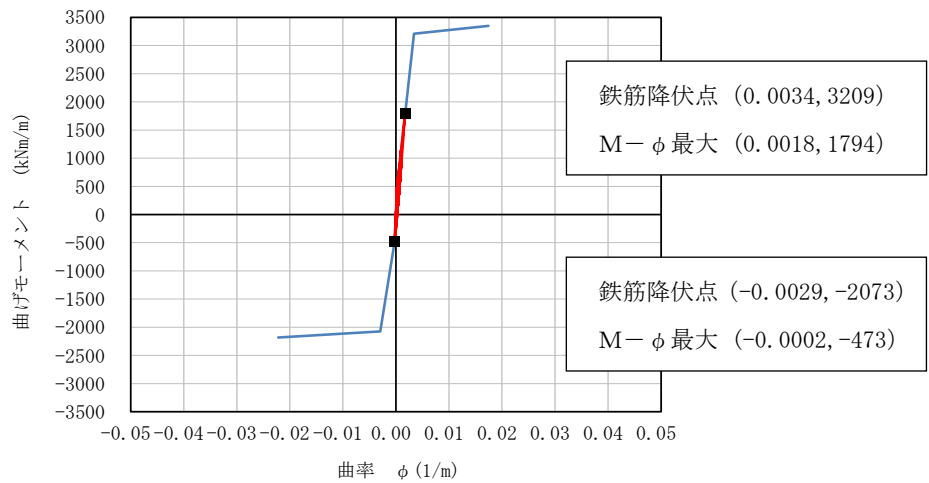


図 3-83 A-A 断面の M- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認

(左側壁下部, 解析ケース③, 地震動 Ss-3+-) *

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

(b) B-B断面

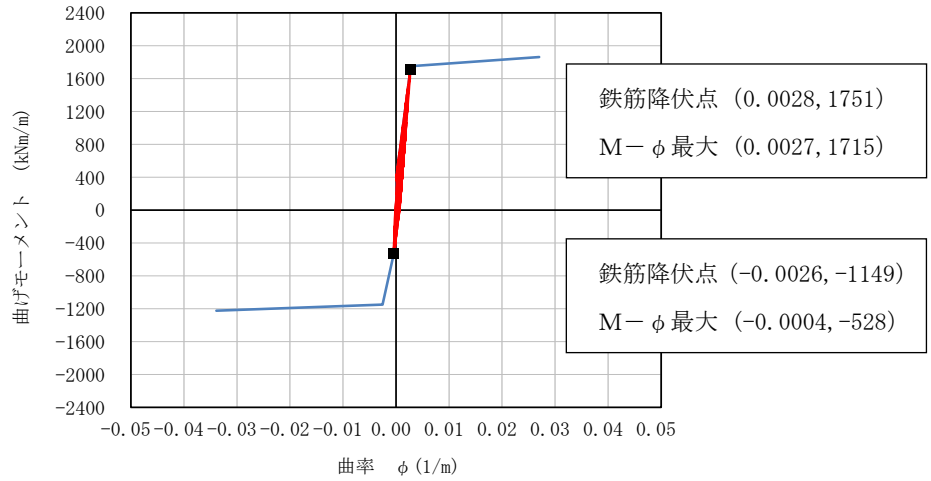


図 3-84 B-B断面のM- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認
(左側壁下部, 解析ケース④, 地震動 Ss-1- -) *

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

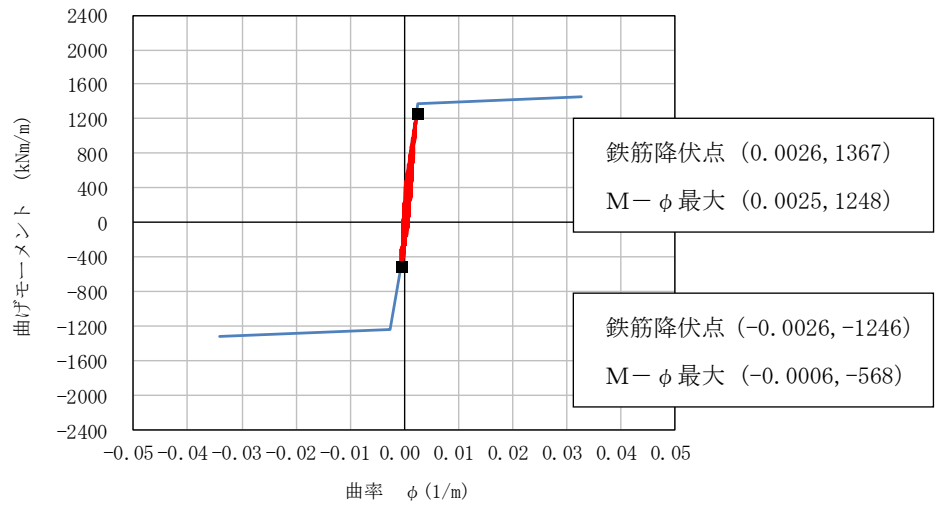


図 3-85 B-B断面のM- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認
(頂版, 解析ケース④, 地震動 Ss-1- -) *

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

(c) C-C断面

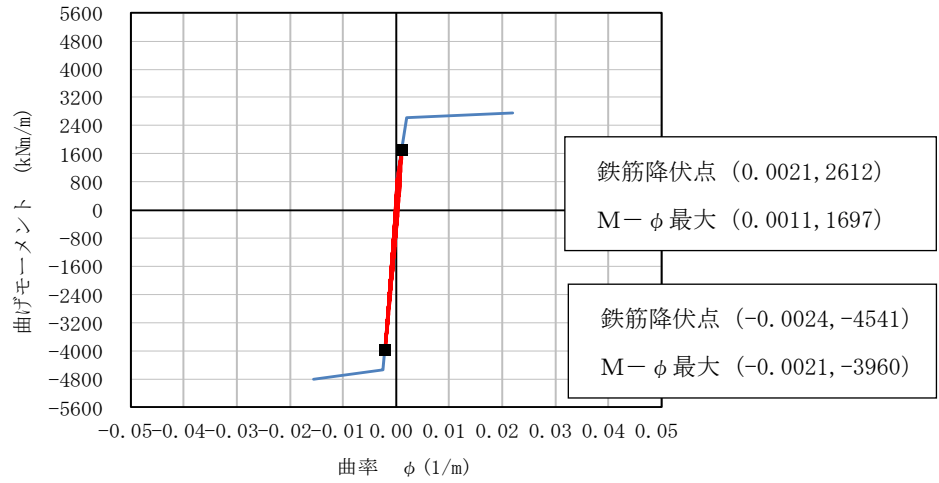


図 3-86 C-C断面のM- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認

(右側壁下部, 解析ケース⑤, 地震動 Ss-1-+)*

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

(2) せん断力に対する評価結果（部材非線形解析）

せん断力照査結果を表 3-40～表 3-42 に、各断面の評価位置を図 3-87～図 3-89 に示す。

同表より、取水路の頂版、側壁及び底版については、発生するせん断力がせん断耐力式より求まるせん断耐力を下回ることを確認した。一方、A-A断面及びC-C断面の隔壁については、発生するせん断力がせん断耐力式より求まるせん断耐力を上回る結果となった。

したがって、次項にて、材料非線形解析を実施し、より精緻なせん断耐力を評価した上で、当該部材のせん断力に対する評価を実施する。

a. A-A断面

表 3-40 せん断力に対する評価結果 (A-A断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力* | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 7 | 651 | 977 | 0.67 |
| | | 側壁 | 4 | 761 | 1095 | 0.70 |
| | | 隔壁 | 2 | 786 | 923 | 0.86 |
| | | 底版 | 10 | 699 | 1576 | 0.45 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 5 | 644 | 984 | 0.66 |
| | | 側壁 | 1 | 759 | 1123 | 0.68 |
| | | 隔壁 | 3 | 805 | 925 | 0.88 |
| | | 底版 | 8 | 686 | 1588 | 0.44 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 665 | 1003 | 0.67 |
| | | 側壁 | 4 | 707 | 1116 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 779 | 932 | 0.84 |
| | | 底版 | 9 | 674 | 1552 | 0.44 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 640 | 1048 | 0.62 |
| | | 側壁 | 1 | 688 | 1082 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 763 | 922 | 0.83 |
| | | 底版 | 10 | 666 | 1654 | 0.41 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 7 | 520 | 1052 | 0.50 |
| | | 側壁 | 4 | 546 | 1143 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 3 | 564 | 945 | 0.60 |
| | | 底版 | 9 | 517 | 1618 | 0.32 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 5 | 526 | 959 | 0.55 |
| | | 側壁 | 1 | 693 | 1040 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 2 | 958 | 925 | 1.04 |
| | | 底版 | 10 | 588 | 1519 | 0.39 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 7 | 539 | 938 | 0.58 |
| | | 側壁 | 4 | 737 | 1043 | 0.71 |
| | | 隔壁 | 3 | 954 | 926 | 1.04 |
| | | 底版 | 10 | 592 | 1509 | 0.40 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 569 | 952 | 0.60 |
| | | 側壁 | 1 | 665 | 1048 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 955 | 918 | 1.05 |
| | | 底版 | 9 | 589 | 1496 | 0.40 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 7 | 545 | 950 | 0.58 |
| | | 側壁 | 4 | 685 | 1034 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 3 | 953 | 919 | 1.04 |
| | | 底版 | 9 | 564 | 1471 | 0.39 |

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

表 3-40 せん断力に対する評価結果 (A-A断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|-------|------|
| | | | | せん断力* | | |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 5 | 408 | 1020 | 0.40 |
| | | 側壁 | 1 | 455 | 1094 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 2 | 543 | 929 | 0.59 |
| | | 底版 | 8 | 443 | 1609 | 0.28 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 5 | 456 | 1049 | 0.44 |
| | | 側壁 | 4 | 450 | 1131 | 0.40 |
| | | 隔壁 | 2 | 476 | 934 | 0.51 |
| | | 底版 | 10 | 474 | 1662 | 0.29 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 7 | 463 | 1044 | 0.45 |
| | | 側壁 | 2 | 484 | 931 | 0.52 |
| | | 隔壁 | 3 | 546 | 927 | 0.59 |
| | | 底版 | 9 | 470 | 1650 | 0.29 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 7 | 456 | 1052 | 0.44 |
| | | 側壁 | 1 | 521 | 1145 | 0.46 |
| | | 隔壁 | 2 | 516 | 960 | 0.54 |
| | | 底版 | 8 | 485 | 1633 | 0.30 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 5 | 483 | 961 | 0.51 |
| | | 側壁 | 1 | 651 | 1056 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 2 | 813 | 929 | 0.88 |
| | | 底版 | 8 | 547 | 1528 | 0.36 |
| ① | Ss-8+- | 頂版 | 7 | 488 | 945 | 0.52 |
| | | 側壁 | 4 | 673 | 1071 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 3 | 826 | 927 | 0.90 |
| | | 底版 | 10 | 566 | 1531 | 0.37 |
| ② | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 565 | 952 | 0.60 |
| | | 側壁 | 1 | 658 | 1050 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 2 | 903 | 919 | 0.99 |
| | | 底版 | 9 | 546 | 1475 | 0.38 |
| ③ | Ss-3+- | 頂版 | 6 | 552 | 918 | 0.61 |
| | | 側壁 | 4 | 706 | 1094 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 2 | 993 | 918 | 1.09 |
| | | 底版 | 10 | 638 | 1517 | 0.43 |
| ④ | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 534 | 975 | 0.55 |
| | | 側壁 | 4 | 605 | 1046 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 2 | 736 | 925 | 0.80 |
| | | 底版 | 10 | 584 | 1609 | 0.37 |
| ⑤ | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 538 | 966 | 0.56 |
| | | 側壁 | 4 | 628 | 1083 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 2 | 708 | 928 | 0.77 |
| | | 底版 | 10 | 562 | 1563 | 0.36 |

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

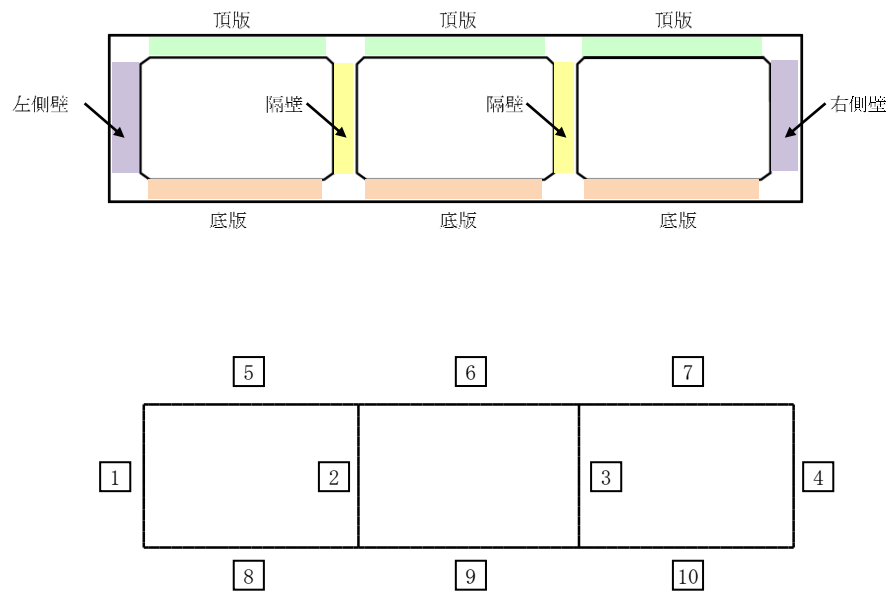


図 3-87 A-A断面の評価位置

b. B-B断面

表 3-41 せん断力に対する評価結果 (B-B断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力* | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 6 | 1153 | 2693 | 0.43 |
| | | 側壁 | 4 | 1096 | 1554 | 0.71 |
| | | 隔壁 | 3 | 841 | 926 | 0.91 |
| | | 底版 | 8 | 1264 | 2901 | 0.44 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 6 | 1107 | 2721 | 0.41 |
| | | 側壁 | 1 | 1231 | 1641 | 0.76 |
| | | 隔壁 | 2 | 849 | 915 | 0.93 |
| | | 底版 | 10 | 1169 | 2902 | 0.41 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 6 | 1098 | 2812 | 0.40 |
| | | 側壁 | 4 | 1314 | 1816 | 0.73 |
| | | 隔壁 | 2 | 804 | 880 | 0.92 |
| | | 底版 | 8 | 1156 | 3038 | 0.39 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1116 | 2791 | 0.40 |
| | | 側壁 | 1 | 1272 | 1713 | 0.75 |
| | | 隔壁 | 2 | 817 | 873 | 0.94 |
| | | 底版 | 10 | 1183 | 2908 | 0.41 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 6 | 882 | 2878 | 0.31 |
| | | 側壁 | 1 | 884 | 1807 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 2 | 486 | 930 | 0.53 |
| | | 底版 | 9 | 894 | 2969 | 0.31 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 6 | 886 | 2642 | 0.34 |
| | | 側壁 | 4 | 1059 | 1657 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 823 | 891 | 0.93 |
| | | 底版 | 10 | 924 | 2701 | 0.35 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 6 | 876 | 2619 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 968 | 1527 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 794 | 892 | 0.90 |
| | | 底版 | 8 | 1003 | 2852 | 0.36 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 6 | 971 | 2663 | 0.37 |
| | | 側壁 | 4 | 1138 | 1708 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 3 | 819 | 898 | 0.92 |
| | | 底版 | 8 | 1085 | 2923 | 0.38 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 6 | 1002 | 2669 | 0.38 |
| | | 側壁 | 1 | 1069 | 1562 | 0.69 |
| | | 隔壁 | 2 | 787 | 905 | 0.87 |
| | | 底版 | 10 | 1078 | 2825 | 0.39 |

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

表 3-41 せん断力に対する評価結果 (B-B断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力* | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------|----------------|-----------------|
| | | | | V_d (kN) | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 6 | 761 | 2766 | 0.28 |
| | | 側壁 | 4 | 753 | 1716 | 0.44 |
| | | 隔壁 | 3 | 478 | 951 | 0.51 |
| | | 底版 | 8 | 832 | 3024 | 0.28 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 6 | 841 | 2763 | 0.31 |
| | | 側壁 | 4 | 863 | 1761 | 0.50 |
| | | 隔壁 | 2 | 562 | 908 | 0.62 |
| | | 底版 | 8 | 906 | 2965 | 0.31 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 6 | 923 | 2778 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 1070 | 1855 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 2 | 595 | 924 | 0.65 |
| | | 底版 | 10 | 983 | 3021 | 0.33 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 6 | 916 | 2722 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 1048 | 1787 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 2 | 664 | 916 | 0.73 |
| | | 底版 | 10 | 989 | 2942 | 0.34 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 865 | 2661 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 904 | 1481 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 2 | 780 | 908 | 0.86 |
| | | 底版 | 10 | 952 | 2815 | 0.34 |
| ① | Ss-8-- | 頂版 | 6 | 887 | 2643 | 0.34 |
| | | 側壁 | 4 | 821 | 1457 | 0.57 |
| | | 隔壁 | 3 | 760 | 916 | 0.83 |
| | | 底版 | 8 | 1003 | 2837 | 0.36 |
| ② | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1152 | 2744 | 0.42 |
| | | 側壁 | 1 | 1268 | 1620 | 0.79 |
| | | 隔壁 | 2 | 862 | 878 | 0.99 |
| | | 底版 | 10 | 1220 | 2855 | 0.43 |
| ③ | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1072 | 2863 | 0.38 |
| | | 側壁 | 1 | 1250 | 1809 | 0.70 |
| | | 隔壁 | 2 | 764 | 869 | 0.88 |
| | | 底版 | 10 | 1125 | 3005 | 0.38 |
| ④ | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1158 | 2696 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 1158 | 1467 | 0.79 |
| | | 隔壁 | 2 | 873 | 914 | 0.96 |
| | | 底版 | 10 | 1248 | 2793 | 0.45 |
| ⑤ | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1132 | 2686 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 1094 | 1456 | 0.76 |
| | | 隔壁 | 3 | 846 | 902 | 0.94 |
| | | 底版 | 10 | 1230 | 2774 | 0.45 |

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

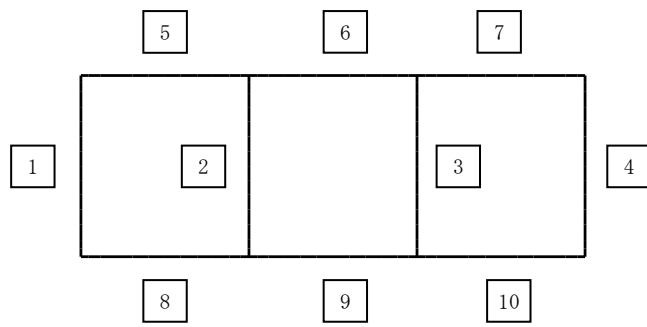
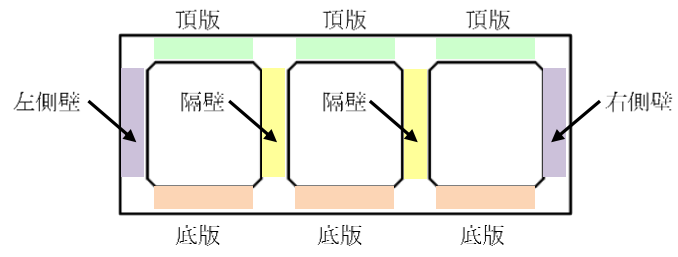


図 3-88 B-B断面の評価位置

c. C-C断面

表 3-42 せん断力に対する評価結果 (C-C断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力* | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 8 | 1265 | 2107 | 0.61 |
| | | 側壁 | 7 | 1888 | 2958 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 1014 | 893 | 1.14 |
| | | 底版 | 19 | 1405 | 3481 | 0.41 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1305 | 2102 | 0.63 |
| | | 側壁 | 1 | 1921 | 2972 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 6 | 1033 | 897 | 1.16 |
| | | 底版 | 14 | 1389 | 3413 | 0.41 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 1235 | 2077 | 0.60 |
| | | 側壁 | 7 | 2068 | 2878 | 0.72 |
| | | 隔壁 | 2 | 1033 | 913 | 1.14 |
| | | 底版 | 19 | 1612 | 3482 | 0.47 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 13 | 1278 | 2063 | 0.62 |
| | | 側壁 | 1 | 2225 | 2901 | 0.77 |
| | | 隔壁 | 6 | 1042 | 915 | 1.14 |
| | | 底版 | 14 | 1675 | 3485 | 0.49 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 13 | 911 | 2167 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 1577 | 3010 | 0.53 |
| | | 隔壁 | 6 | 597 | 930 | 0.65 |
| | | 底版 | 14 | 1134 | 3555 | 0.32 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 13 | 1158 | 2108 | 0.55 |
| | | 側壁 | 7 | 1775 | 2824 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 2 | 962 | 909 | 1.06 |
| | | 底版 | 19 | 1376 | 3429 | 0.41 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 13 | 1131 | 2030 | 0.56 |
| | | 側壁 | 1 | 1831 | 2833 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 6 | 980 | 909 | 1.08 |
| | | 底版 | 14 | 1412 | 3434 | 0.42 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 1079 | 2028 | 0.54 |
| | | 側壁 | 7 | 1683 | 2867 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 2 | 964 | 899 | 1.08 |
| | | 底版 | 19 | 1288 | 3420 | 0.38 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 13 | 1093 | 2028 | 0.54 |
| | | 側壁 | 1 | 1759 | 2883 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 6 | 969 | 899 | 1.08 |
| | | 底版 | 14 | 1310 | 3417 | 0.39 |

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

表 3-42 せん断力に対する評価結果 (C-C断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力* | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 8 | 791 | 2197 | 0.37 |
| | | 側壁 | 1 | 1287 | 3129 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 5 | 404 | 959 | 0.43 |
| | | 底版 | 14 | 935 | 3649 | 0.26 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 8 | 897 | 2201 | 0.41 |
| | | 側壁 | 7 | 1367 | 3024 | 0.46 |
| | | 隔壁 | 6 | 466 | 933 | 0.50 |
| | | 底版 | 19 | 964 | 3533 | 0.28 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 13 | 916 | 2221 | 0.42 |
| | | 側壁 | 1 | 1442 | 3106 | 0.47 |
| | | 隔壁 | 6 | 457 | 949 | 0.49 |
| | | 底版 | 14 | 966 | 3607 | 0.27 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 13 | 947 | 2161 | 0.44 |
| | | 側壁 | 1 | 1451 | 3012 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 6 | 540 | 942 | 0.58 |
| | | 底版 | 14 | 987 | 3519 | 0.29 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 13 | 1079 | 2052 | 0.53 |
| | | 側壁 | 1 | 1587 | 2816 | 0.57 |
| | | 隔壁 | 6 | 860 | 913 | 0.95 |
| | | 底版 | 14 | 1294 | 3425 | 0.38 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 8 | 1057 | 2057 | 0.52 |
| | | 側壁 | 7 | 1490 | 2792 | 0.54 |
| | | 隔壁 | 2 | 855 | 911 | 0.94 |
| | | 底版 | 19 | 1257 | 3410 | 0.37 |
| ② | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1357 | 2084 | 0.66 |
| | | 側壁 | 1 | 1960 | 2940 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 6 | 1053 | 899 | 1.18 |
| | | 底版 | 14 | 1405 | 3447 | 0.41 |
| ③ | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1237 | 2104 | 0.59 |
| | | 側壁 | 1 | 1865 | 3008 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 6 | 1005 | 895 | 1.13 |
| | | 底版 | 14 | 1373 | 3406 | 0.41 |
| ④ | Ss-1-+ | 頂版 | 8 | 1300 | 2081 | 0.63 |
| | | 側壁 | 1 | 1790 | 2883 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 2 | 1012 | 904 | 1.12 |
| | | 底版 | 19 | 1499 | 3407 | 0.44 |
| ⑤ | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1386 | 2079 | 0.67 |
| | | 側壁 | 1 | 1799 | 2850 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 1019 | 906 | 1.13 |
| | | 底版 | 19 | 1540 | 3397 | 0.46 |

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

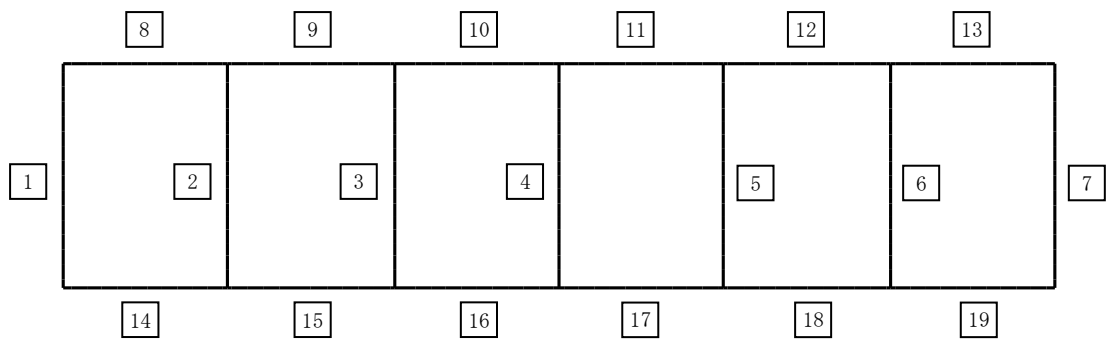
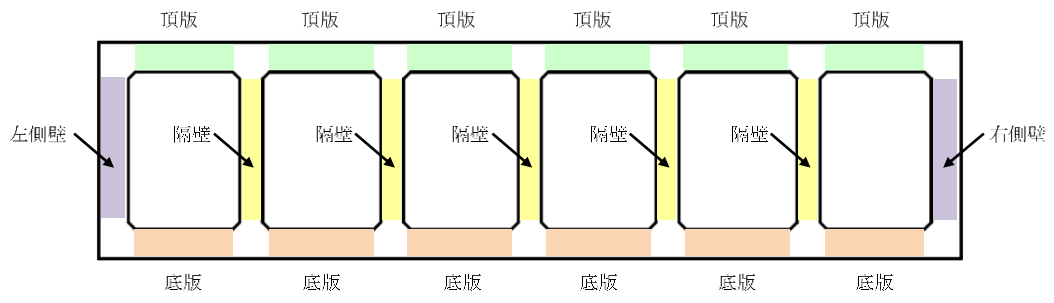


図 3-89 C-C 断面の評価位置

3.4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 3-43～表 3-45 に示す。

取水路の基礎地盤に発生する鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。また、C-C断面については基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 3-43 基礎地盤の支持性能評価結果 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 最大鉛直力 R_a (kN) | 極限支持力 R_u (kN) | 照査値 R_a/R_u |
|-----------|--------|---------------------|---------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 2150 | 62000 | 0.04 |
| | Ss-1-+ | 2150 | 62000 | 0.04 |
| | Ss-1+- | 2160 | 60000 | 0.04 |
| | Ss-1-- | 2160 | 58700 | 0.04 |
| | Ss-2 | 2200 | 62700 | 0.04 |
| | Ss-3++ | 2290 | 32100 | 0.08 |
| | Ss-3-+ | 2280 | 62000 | 0.04 |
| | Ss-3+- | 2220 | 24600 | 0.10 |
| | Ss-3-- | 2240 | 60200 | 0.04 |
| | Ss-4 | 2150 | 62800 | 0.04 |
| | Ss-5 | 2160 | 58800 | 0.04 |
| | Ss-6 | 2150 | 62400 | 0.04 |
| | Ss-7 | 2160 | 61100 | 0.04 |
| | Ss-8++ | 2160 | 58000 | 0.04 |
| | Ss-8-+ | 2160 | 56600 | 0.04 |
| ② | Ss-3+- | 2340 | 27400 | 0.09 |
| ③ | Ss-3+- | 2150 | 62000 | 0.04 |
| ④ | Ss-3+- | 2150 | 62000 | 0.04 |
| ⑤ | Ss-3+- | 2160 | 58600 | 0.04 |

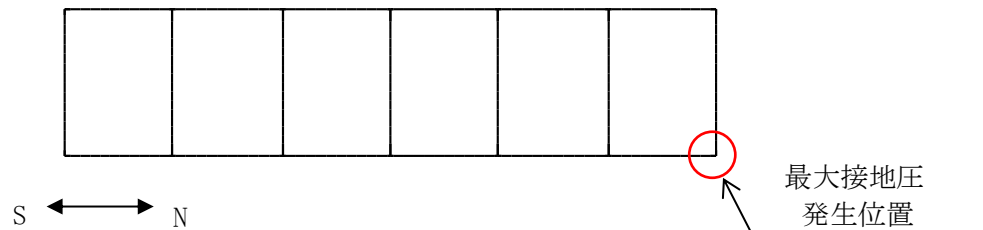
表 3-44 基礎地盤の支持性能評価結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 最大鉛直力 R_a (kN) | 極限支持力 R_u (kN) | 照査値 R_a/R_u |
|-----------|--------|---------------------|---------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 4340 | 33200 | 0.14 |
| | Ss-1-+ | 4330 | 34900 | 0.13 |
| | Ss-1+- | 4280 | 39700 | 0.11 |
| | Ss-1-- | 4330 | 29200 | 0.15 |
| | Ss-2 | 4380 | 41000 | 0.11 |
| | Ss-3++ | 4280 | 40900 | 0.11 |
| | Ss-3-+ | 4310 | 27500 | 0.16 |
| | Ss-3+- | 4260 | 41500 | 0.11 |
| | Ss-3-- | 4260 | 41500 | 0.11 |
| | Ss-4 | 4300 | 39400 | 0.11 |
| | Ss-5 | 4280 | 41800 | 0.11 |
| | Ss-6 | 4280 | 38500 | 0.12 |
| | Ss-7 | 4270 | 40900 | 0.11 |
| | Ss-8++ | 4300 | 39500 | 0.11 |
| | Ss-8-+ | 4300 | 40400 | 0.11 |
| ② | Ss-1-- | 4520 | 27900 | 0.17 |
| ③ | Ss-1-- | 4270 | 40600 | 0.11 |
| ④ | Ss-1-- | 4270 | 40300 | 0.11 |
| ⑤ | Ss-1-- | 4390 | 29500 | 0.15 |

表 3-45 基礎地盤の支持性能評価結果 (C-C断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 σ (N/mm ²) | 極限支持力 q_u (N/mm ²) | 照査値 σ / q_u |
|-----------|--------|--|-------------------------------------|-----------------------|
| ① | Ss-1++ | 1.64 | 6.17 | 0.27 |
| | Ss-1-+ | 1.58 | 6.17 | 0.26 |
| | Ss-1+- | 1.59 | 6.17 | 0.26 |
| | Ss-1-- | 1.52 | 6.17 | 0.25 |
| | Ss-2 | 0.93 | 6.17 | 0.16 |
| | Ss-3++ | 1.58 | 6.17 | 0.26 |
| | Ss-3-+ | 1.49 | 6.17 | 0.25 |
| | Ss-3+- | 1.60 | 6.17 | 0.26 |
| | Ss-3-- | 1.46 | 6.17 | 0.24 |
| | Ss-4 | 0.79 | 6.17 | 0.13 |
| | Ss-5 | 0.90 | 6.17 | 0.15 |
| | Ss-6 | 0.75 | 6.17 | 0.13 |
| | Ss-7 | 0.94 | 6.17 | 0.16 |
| | Ss-8++ | 1.28 | 6.17 | 0.21 |
| Ss-8-+ | 1.40 | 6.17 | 0.23 | |
| ② | Ss-1-+ | 1.67* | 6.17 | 0.28 |
| ③ | Ss-1-+ | 1.48 | 6.17 | 0.24 |
| ④ | Ss-1-+ | 1.50 | 6.17 | 0.25 |
| ⑤ | Ss-1-+ | 1.53 | 6.17 | 0.25 |

注記* : 最大接地圧発生位置を下記に示す。



C-C断面の最大接地圧発生位置

3.5 評価条件（材料非線形解析）

前述の部材非線形解析では、取水路の一部の隔壁において、発生するせん断力がせん断耐力式によるせん断耐力を上回る結果となった。

部材非線形解析におけるせん断耐力式では、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、構造部材のせん断照査を行う。

また、部材非線形解析による照査を満足しているものの、照査値の裕度が小さい部材（ここでは照査値 0.7 より大きい部材を目安とする）についても、材料非線形解析による構造部材のせん断照査を行う。

表 3-46 及び表 3-47 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案され、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[設計編]（土木学会，2012）（以下、「コンクリート標準示方書 設計編」という。）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様々あるが、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 設計編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あたっては、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と比較し、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-S J Ver. 7.2」を使用する。

表 3-46 材料非線形解析の位置付け

| 区分 | 限界状態 | 選択される標準的な解析手法と耐震性能に用いる物理量 | |
|----|----------------|---------------------------|---|
| 1 | 構造物の部材が降伏に至らない | ① | <p>① 線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋及びコンクリートの最大応力 最大せん断応力 |
| 2 | 構造物が最大耐力に至らない | ② | <p>② 等価線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋及びコンクリートの最大応力 最大せん断応力, 最大せん断力 最大曲げモーメント |
| 3 | 構造物が崩壊しない | ③ | <p>③ 部材非線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大曲げモーメント 最大曲率, 最大変位 最大層間変形角, 最大せん断力 |
| | | ④ | <p>④ 材料非線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大変位 最大層間変形角 最大ひずみ, 最大せん断力 |

表 3-47 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 | 1次元 | | 2次元 | 3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 | | |

3.5.1 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及びコンクリート標準示方書 設計編を参考に実施する。

適用する主な基準を表 3-48 に示す。

表 3-48 適用する主な基準等

| 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 設計編 ・土木学会マニュアル | — |
| 許容限界 | — | ・既往文献等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、実験結果と整合的であることを確認 |

3.5.2 評価対象部材

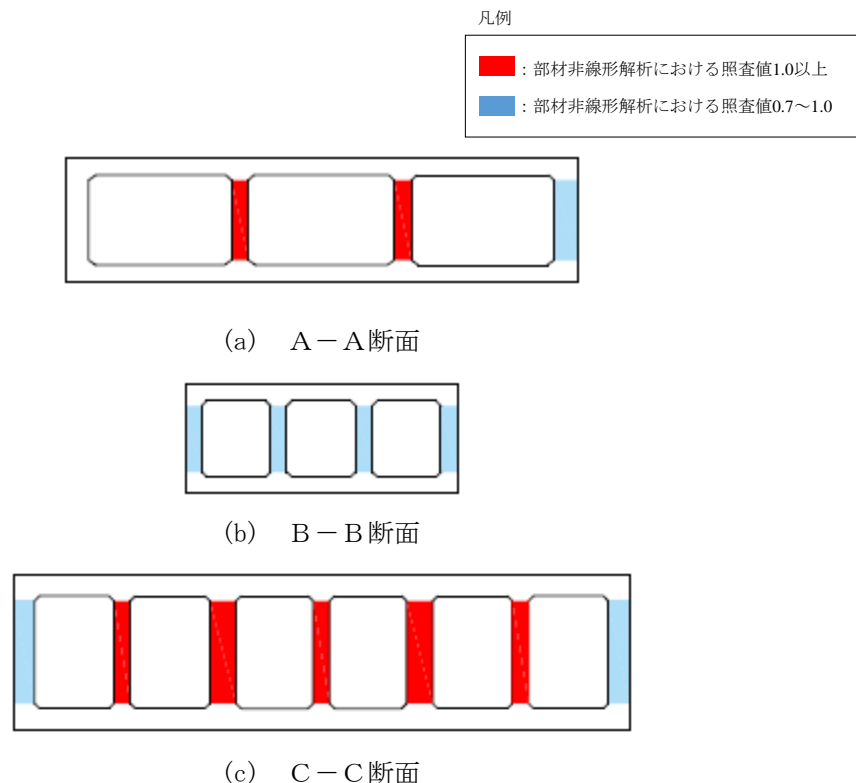
部材非線形解析のせん断力に対する評価結果を図 3-90 に示す。

材料非線形解析は、図中の部材非線形解析において照査値 1.0 以上の結果が得られた隔壁を対象として実施する。なお、取水路は隔壁を複数有するが、A-A断面及びB-B断面については、形状及び配筋条件が同一であること、及び作用する断面力もほぼ同様であることから、部材非線形解析において最も厳しい評価を示す部材を、各断面の評価対象部材とする。

C-C断面については、幅 1.0m と幅 1.6m の部材幅が異なる隔壁が存在するが、保守的に部材幅が薄い隔壁の形状により解析モデルを作成し、耐震評価を行う。材料非線形解析はせん断破壊モードを対象としており、隔壁の部材幅を実際よりも小さく扱うことは、「3.3.2 許容限界の設定」で示したせん断耐力式においては、せん断スパン比(a/d)と β の関係から、せん断耐力をより小さく評価することになるため、保守的な評価となると判断できる。

材料非線形解析における評価対象部材を図 3-91 に示す。

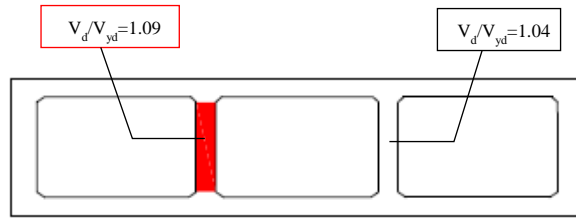
また、部材非線形解析では、照査値 1.0 以下であるものの、耐震評価の裕度が小さい部材も存在する。そのため、本評価では耐震評価の裕度が小さい部材（ここでは、照査値 0.7 より大きく 1.0 未満の部材を選定の目安とする)についても、材料非線形解析を実施する。



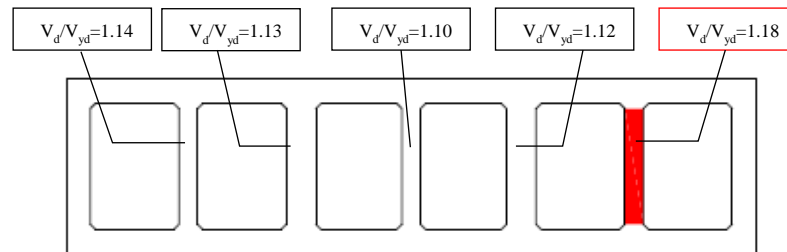
注： 図中の色区分は、せん断力に対する評価における全解析ケースの最大照査値を示している。

図 3-90 部材非線形解析のせん断力に対する評価結果

■ : 評価対象部材



(a) A-A断面の評価対象部材



(b) C-C断面の評価対象部材

注1 : 図中の値は、せん断力に対する評価における全解析ケースの最大照査値を示している。

注2 : C-C断面には、幅1.0mと幅1.6mの部材幅が異なる隔壁が存在するが、保守的に部材幅が薄い隔壁の形状により解析モデルを作成し、耐震評価を行う。

図 3-91 材料非線形解析における評価対象部材

3.5.3 材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、設計図書及び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 3-49 及び表 3-50 に示す。

表 3-49 コンクリートの材料定数

| | 設定値 | 諸元 |
|------------------|-----------------------|---|
| 単位体積重量 | 0.0kN/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 | 18.1N/mm ² | 設計基準強度（設計図書 23.5N/mm ² ） ／材料係数（ $\gamma_{mc}=1.3$ ） |
| 引張強度 | 1.45N/mm ² | 0.23×設計基準強度 ^{2/3} ／材料係数 |
| 圧縮ピークひずみ | 0.19% | コンクリート標準示方書 設計編 |
| ひび割れ－せん断 伝達係数 | 1.0 | コンクリート標準示方書 設計編 |
| 破壊エネルギー | 0.0768N/mm | コンクリート標準示方書 設計編 |

表 3-50 鉄筋の材料定数

| | 設定値 | 諸元 | |
|----------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 単位体積重量 | 0.0kN/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 | 206kN/mm ² * | コンクリート標準示方書 設計編 | |
| 降伏 強度 | 主鉄筋 | 1961N/mm ² 以上 | 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 | 345N/mm ² | 設計図書 |

注記* : 建設時の設計値に基づく

3.5.4 解析モデルの設定

(1) 解析要素分割図

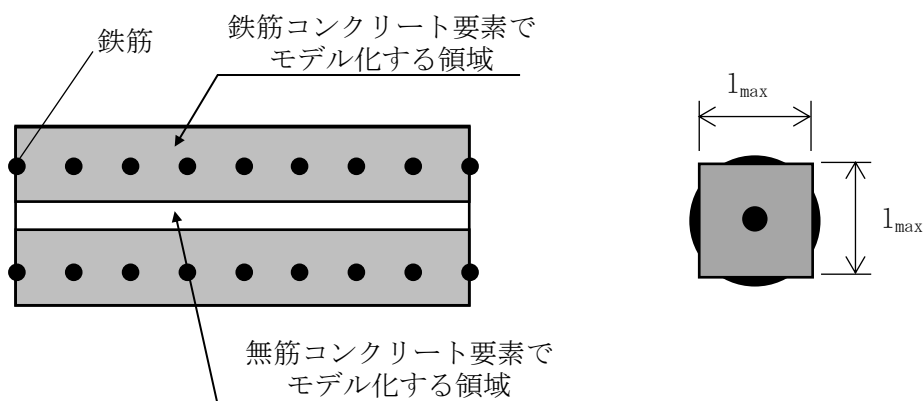
材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化に当たっては、図 3-92 に示すとおり、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。

部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと、また 3 層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じないことから、3 層以上に設定することとする。

具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの 2 倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平とにならないように分割する。

評価対象部材の解析要素分割図を図 3-93 及び図 3-94 に、要素プロパティの諸条件を図 3-95 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、モデル下端を固定境界とする。



$$l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_y}{f_t}}$$

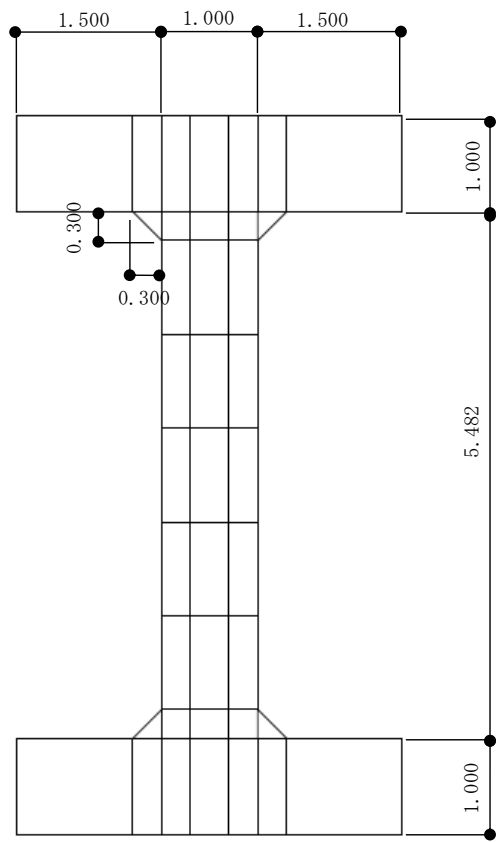
ここに、 l_{max} : 鉄筋一本当たりの付着有効面積を正方形で考えた場合の一辺の長さ

D_b : 鉄筋の直径

f_y : 鉄筋の降伏強度

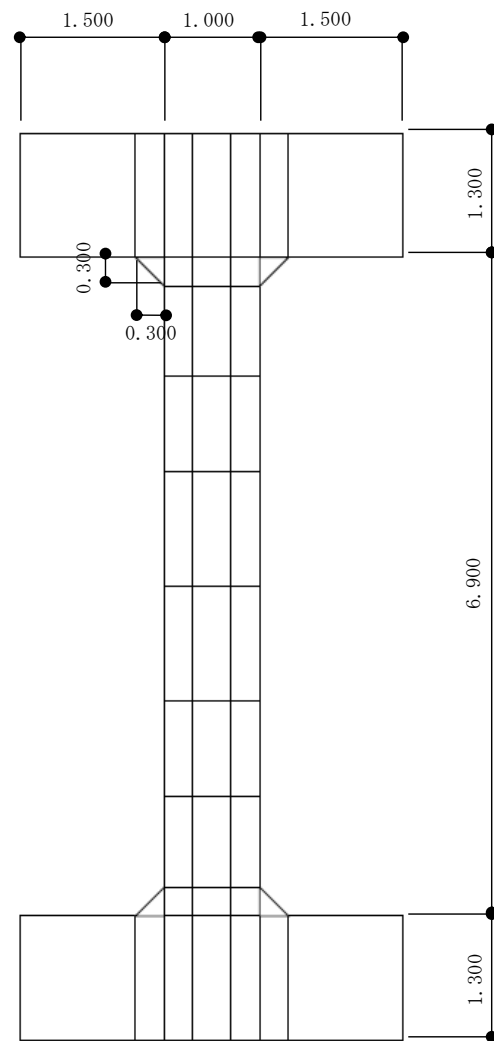
f_t : コンクリートの引張強度

図 3-92 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要



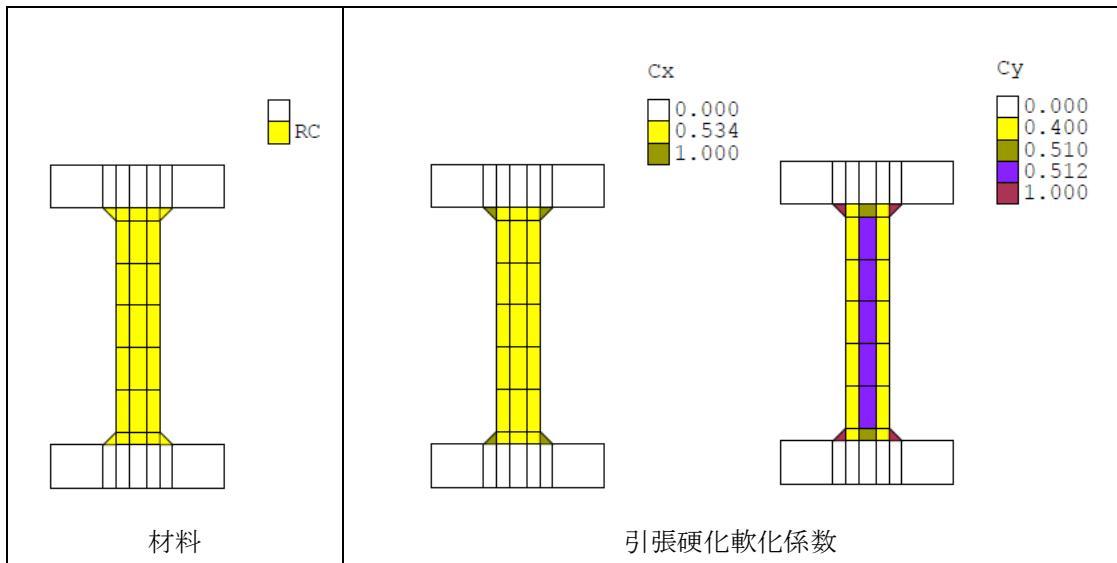
(单位：m)

图 3-93 解析要素分割图 (A-A 断面：隔壁)

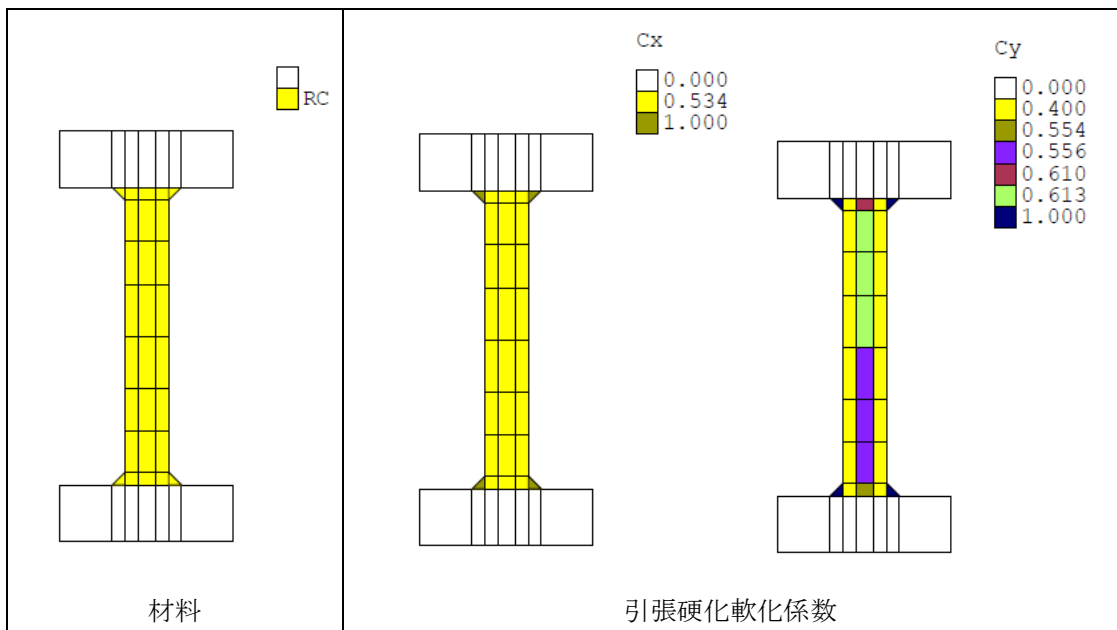


(单位：m)

图 3-94 解析要素分割图 (C-C 断面：隔壁)



(a) A-A断面



(b) C-C断面

注： C_x は水平方向，C_y は鉛直方向の引張硬化軟化係数を示す。

図 3-95 評価対象部材の要素プロパティ条件

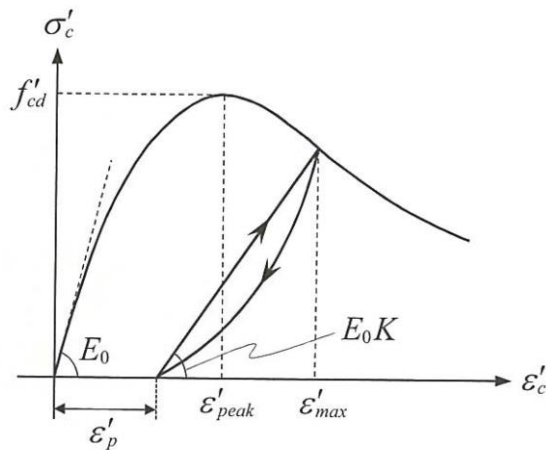
(2) コンクリートの非線形特性

a. 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図 3-96 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 3-97 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。



$$\sigma'_c = E_0K(\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

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

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

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

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck}/\gamma_c$

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 3-96 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 設計編より引用)

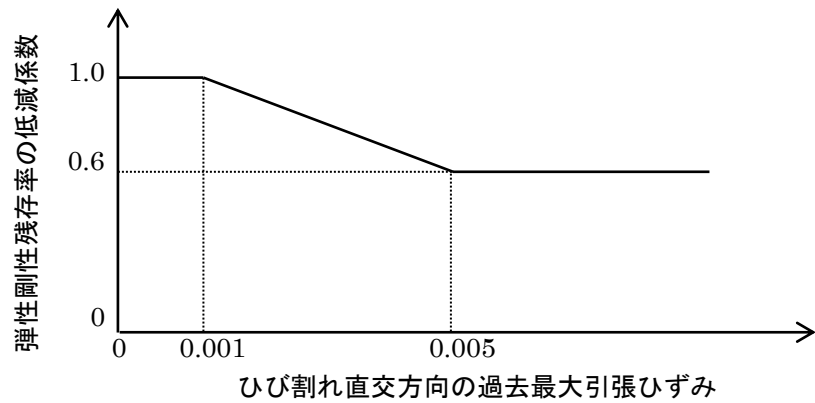


図 3-97 弾性剛性残存率の低減係数

(コンクリート標準示方書 設計編より引用)

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 3-98 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 3-99 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 。(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。

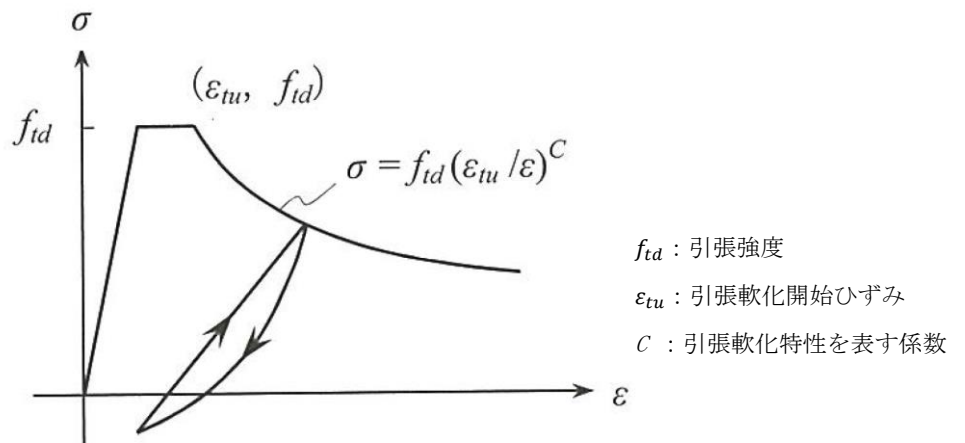


図 3-98 引張応力下における応力-ひずみ関係

(コンクリート標準示方書 設計編より引用)

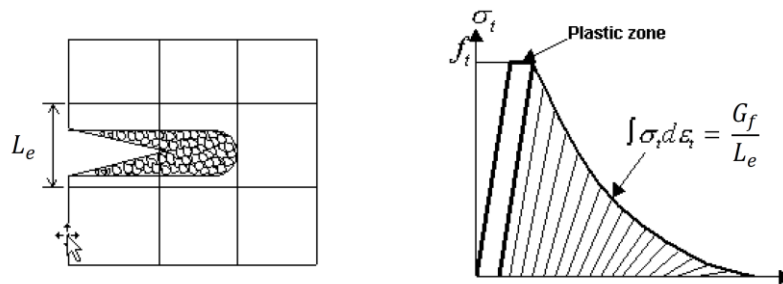
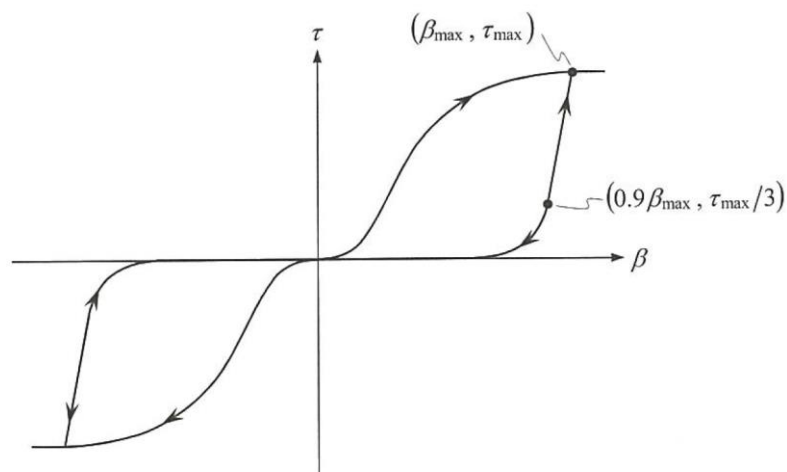


図 3-99 応力—ひずみ曲線と破壊エネルギー G_f の関係

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 3-100 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。



- 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 (γ / ε)
- 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 3-100 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 設計編より引用)

(3) 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 3-101 に示すひずみ硬化特性を考慮する。

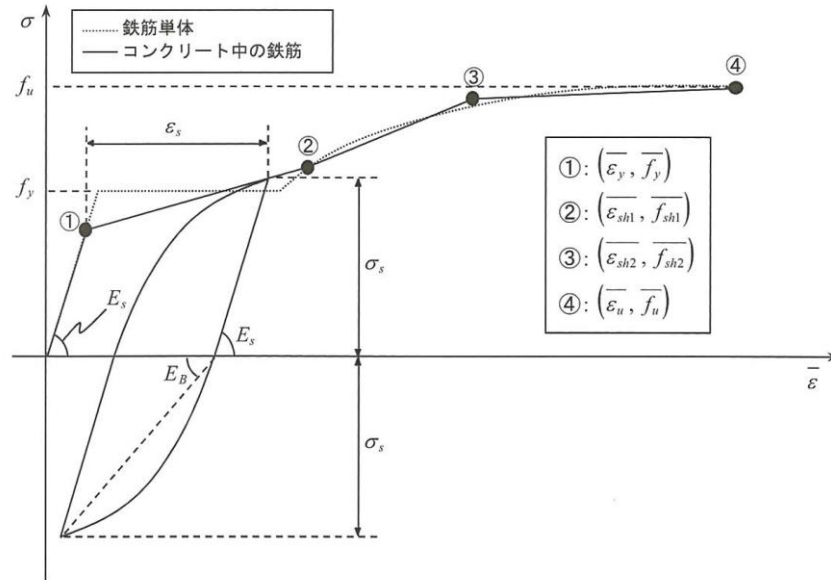


図 3-101 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係

(コンクリート標準示方書 設計編より引用)

(4) 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、 $A_{RC} = A_s + A_c$

(5) 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析（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、地震応答解析と同様である。

3.6 評価内容（材料非線形解析）

3.6.1 耐震評価フロー

図 3-102 に取水路の材料非線形解析の耐震評価フローを示す。

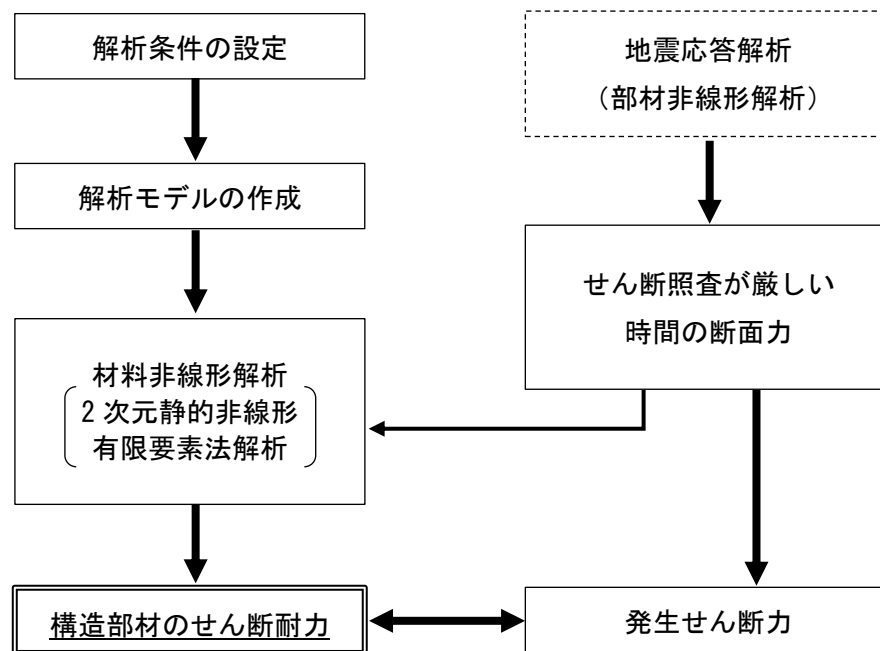


図 3-102 材料非線形解析の耐震評価フロー

3.6.2 荷重の設定

材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（部材非線形解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析（部材非線形解析）で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻における断面力（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 3-103 に示すとおりに作用させる。

材料非線形解析では、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重を 1/50 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 ）に分けて、図 3-104 に示すとおり常時解析と地震時解析に分けて実施する。

表 3-51 に、代表例として、部材非線形解析で最も照査値が厳しい解析ケースにおける各断面の ΔM 、 ΔQ 、 ΔN を示す。

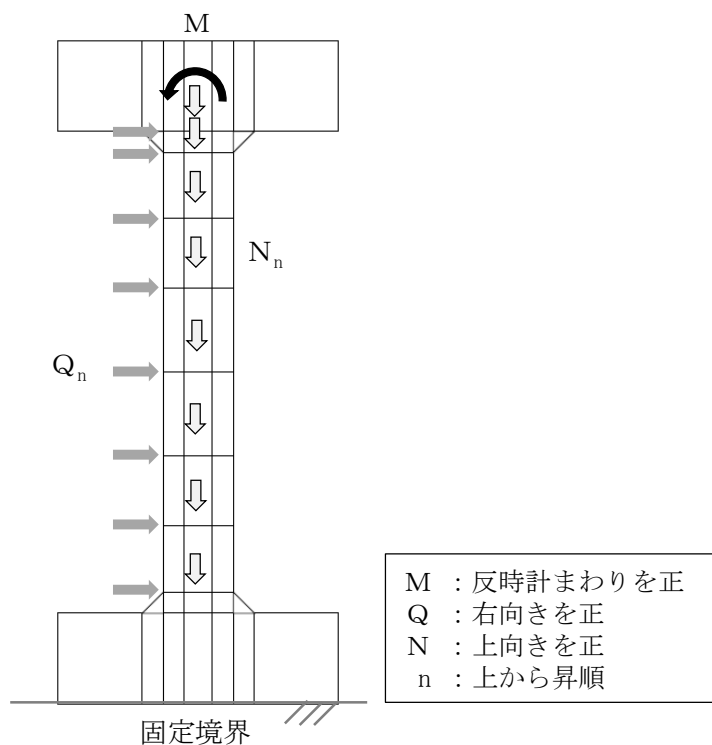


図 3-103 材料非線形解析における载荷状況

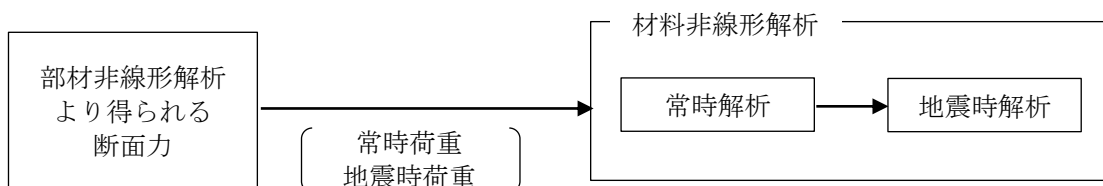


図 3-104 荷重の作用手順

表 3-51 作用荷重

| 断面 | | A-A断面 | C-C断面 | |
|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| 地震動 | | Ss-3+- | Ss-1-+ | |
| 解析ケース | | 解析ケース③ | 解析ケース② | |
| 常時荷重 | 曲げモーメント (kN・m) | ΔM_s | 8.38×10^1 | -3.56×10^0 |
| | せん断力 (kN) | ΔQ_{s1} | 26 | -5 |
| | | ΔQ_{s2} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s3} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s4} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s5} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s6} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s7} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s8} | | 0 |
| | 軸力 (kN) | ΔN_{s1} | -668 | -1512 |
| | | ΔN_{s2} | -15 | -15 |
| | | ΔN_{s3} | -23 | -23 |
| | | ΔN_{s4} | -23 | -26 |
| | | ΔN_{s5} | -23 | -28 |
| | | ΔN_{s6} | -23 | -26 |
| | | ΔN_{s7} | -15 | -23 |
| ΔN_{s8} | | | -15 | |
| 地震時荷重 | 曲げモーメント (kN・m) | ΔM_d | 2.12×10^3 | 2.87×10^3 |
| | せん断力 (kN) | ΔQ_{d1} | 697 | 808 |
| | | ΔQ_{d2} | 29 | 22 |
| | | ΔQ_{d3} | 46 | 36 |
| | | ΔQ_{d4} | 46 | 38 |
| | | ΔQ_{d5} | 45 | 38 |
| | | ΔQ_{d6} | 44 | 31 |
| | | ΔQ_{d7} | 28 | 26 |
| | | ΔQ_{d8} | | 16 |
| | 軸力 (kN) | ΔN_{d1} | 97 | 339 |
| | | ΔN_{d2} | 1 | 1 |
| | | ΔN_{d3} | 1 | 2 |
| | | ΔN_{d4} | 1 | 2 |
| | | ΔN_{d5} | 1 | 2 |
| | | ΔN_{d6} | 1 | 2 |
| | | ΔN_{d7} | 1 | 1 |
| ΔN_{d8} | | | 1 | |

3.6.3 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-相対変位関係若しくは要素ひずみの応答から設定する。具体的には、図 3-105 に示す例のとおり、荷重-変位曲線においてせん断力の増分に対して変位が急増する点、せん断力が最大となる点、若しくはひび割れの状態等から、せん断破壊の進展が示唆される点を部材のせん断耐力と判断する。

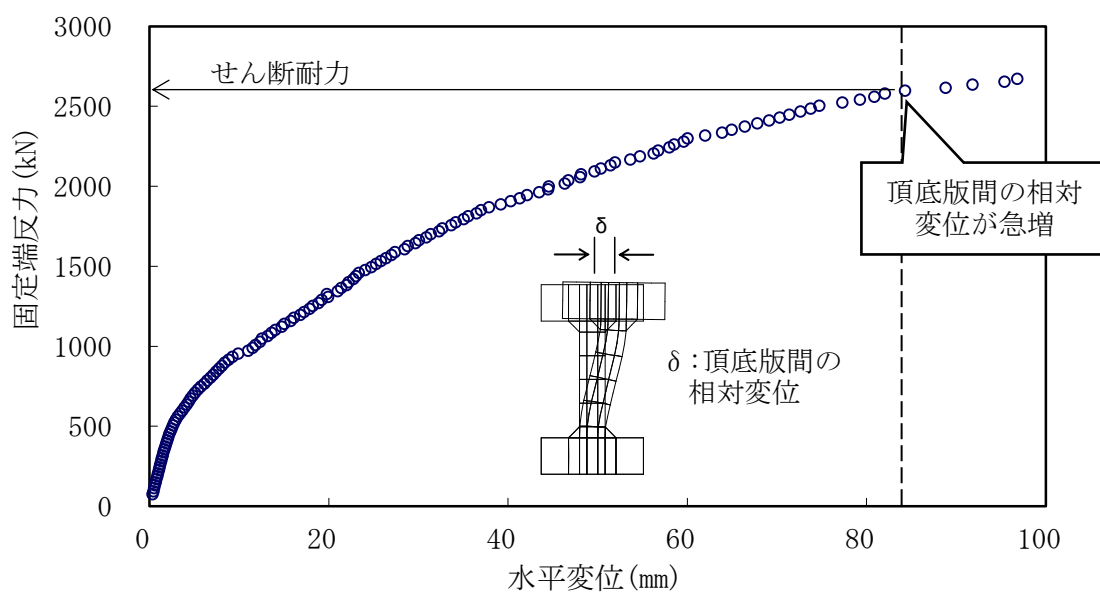


図 3-105 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例

3.6.4 安全係数の設定

耐震評価では、材料非線形解析で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、下記のとおり部材係数 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。

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

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

考慮した安全係数を表 3-52 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、表 3-53 に示すとおり、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. 12 の部材係数 1.24 を設定する。材料非線形解析に用いる部材係数算定の詳細については、(参考資料 4) に示す。

表 3-52 考慮した安全係数

| 安全係数 | 値 | 設定根拠 |
|--------|---------------|---|
| 部材係数 | γ_{b1} | 1.24 別途実施する材料非線形解析により設定 |
| | γ_{b2} | 1.00 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 | 1.00 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 |

表 3-53 部材係数 γ_{bl} の設定

| Case No. | 実験結果 | 解析結果 | 部材係数 (解析結果／ 実験結果) |
|----------|---------------|---------------|-------------------------|
| | せん断耐力 (kN) | せん断耐力 (kN) | |
| 1 | 475 | 438 | 0.93 |
| 2 | 1187 | 1247 | 1.06 |
| 3 | 324 | 342 | 1.06 |
| 4 | 294 | 305 | 1.04 |
| 5 | 581 | 530 | 0.92 |
| 6 | 329 | 360 | 1.10 |
| 7 | 1587 | 1910 | 1.21 |
| 8 | 350 | 400 | 1.15 |
| 9 | 855 | 858 | 1.01 |
| 10 | 165 | 173 | 1.05 |
| 11 | 333 | 403 | 1.22 |
| 12 | 127 | 157 | 1.24 |
| 13 | 188 | 165 | 0.88 |
| 14 | 163 | 157 | 0.97 |
| 15 | 273 | 177 | 0.65 |
| 16 | 356 | 240 | 0.68 |
| 17 | 432 | 330 | 0.77 |
| 平均 | — | — | 1.00 |
| 標準偏差 | — | — | 0.18 |

3.7 評価結果（材料非線形解析）

3.7.1 A-A断面（隔壁）の評価結果

図 3-106 に、A-A断面の評価対象部材（隔壁）における荷重—変位曲線を示す。同図は、評価対象部材において最も厳しい照査値となる地震動と解析ケースの組合せ（解析ケース③，地震動 Ss-3+-）の結果を示している。なお、荷重—変位曲線は、隔壁下端の固定端部の反力と隔壁上下端部の相対変位との関係を示したものである。

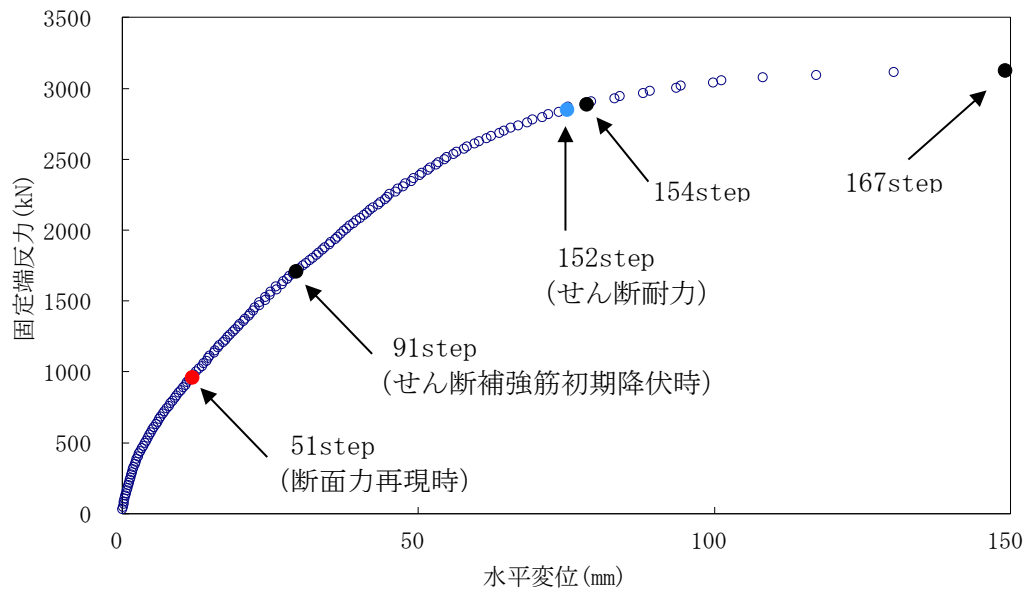
図中の赤丸で示した 51 ステップは、地震応答解析（部材非線形解析）において得られた断面力図を再現した状態である。152 ステップ以降、水平変位の急増が認められる。なお、91 ステップにおいて、隔壁下部においてせん断補強筋の降伏が発生している。せん断補強筋の降伏箇所を図 3-107 に示す。

図 3-108 に、各ステップにおける隔壁のひび割れ図を示す。

ひび割れ図に着目すると、152 ステップまでは、荷重の増加に伴って徐々にひび割れが進展していくが、154 ステップ以降は、斜めひび割れが急激に進展する様相を示している。したがって、154 ステップ以降の水平変位の発生は、隔壁下部の斜め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、A-A断面の評価対象部材（隔壁）に対する材料非線形解析では、斜めひび割れの進展によりせん断破壊に至ることを考慮し、152 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。せん断耐力の算定結果を以下に示す。

また、各ステップにおける隔壁の変形図を図 3-109 に示す。



*注：図中の数字は地震時解析におけるステップ数を示す。

図 3-106 隔壁部の荷重変位図

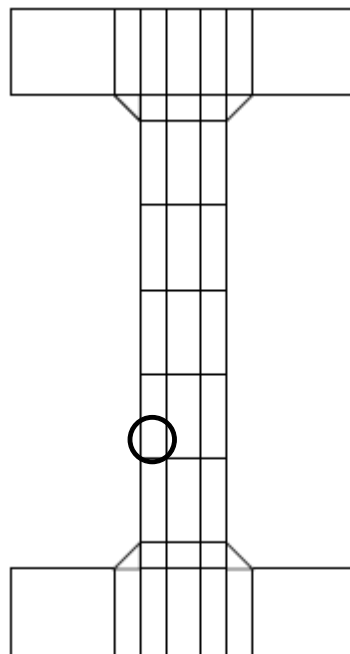
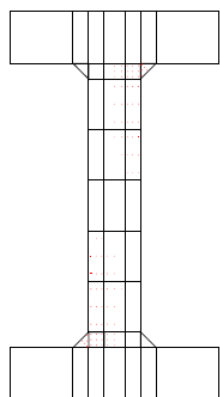
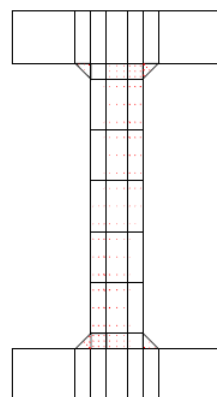


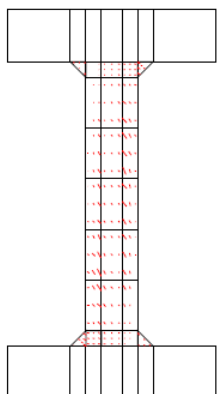
図 3-107 せん断補強筋の初期降伏箇所 (91 ステップ)



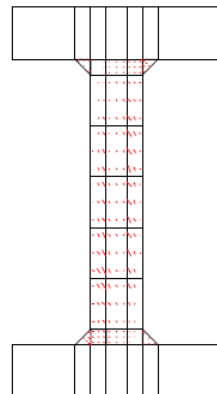
(51 ステップ)



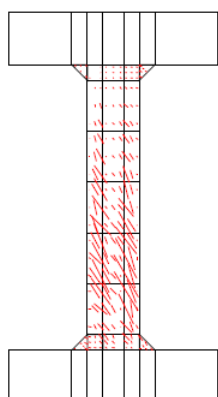
(91 ステップ)



(152 ステップ)

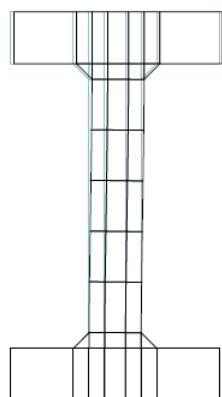


(154 ステップ)

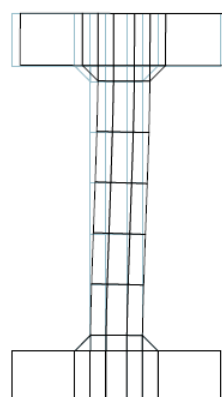


(167 ステップ)

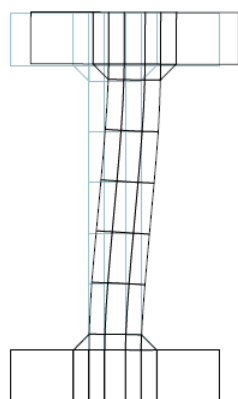
図 3-108 各ステップにおけるひび割れ図



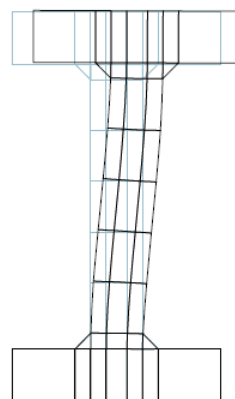
(51 ステップ)



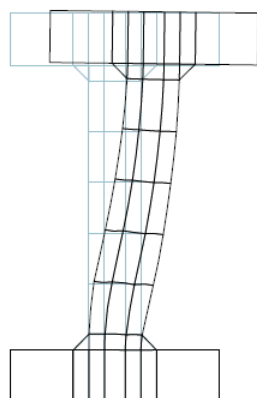
(91 ステップ)



(152 ステップ)



(154 ステップ)



(167 ステップ)

図 3-109 各ステップにおける変形図 (変形倍率 100 倍)

3.7.2 C-C断面（隔壁）の評価結果

図 3-110 に、C-C断面の評価対象部材（隔壁）における荷重—変位曲線を示す。同図は、評価対象部材において最も厳しい照査値となる地震動と解析ケースの組合せ（解析ケース②，地震動 Ss-1-+）の結果を示している。なお、荷重—変位曲線は、隔壁下端の固定端部の反力と隔壁上下端部の相対変位との関係を示したものである。

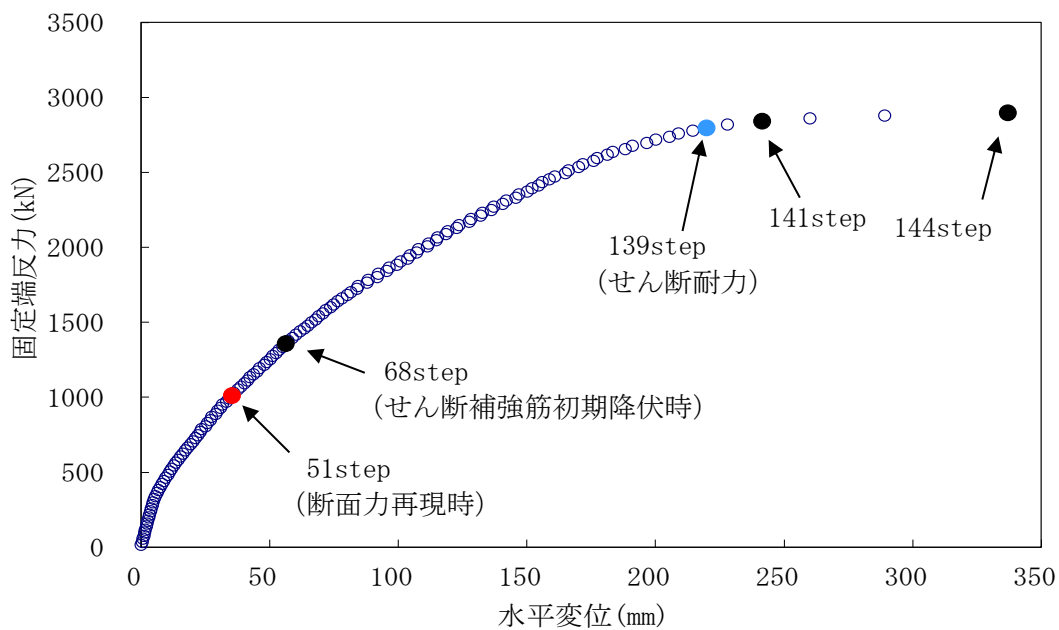
図中の赤丸で示した 51 ステップは、地震応答解析（部材非線形解析）において得られた断面力図を再現した状態である。139 ステップ以降、水平変位の急増が認められる。なお、68 ステップにおいて、隔壁下部においてせん断補強筋の降伏が発生している。

図 3-112 に、各ステップにおける隔壁のひび割れ図を示す。

ひび割れ図に着目すると、139 ステップまでは、荷重の増加に伴って徐々にひび割れが進展していくが、141 ステップ以降は、斜めひび割れが急激に進展する様相を示している。したがって、139 ステップ以降の水平変位の発生は、斜め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、C-C断面の評価対象部材（隔壁）に対する材料非線形解析では、斜めひび割れの進展によりせん断破壊に至ることを考慮し、139 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。せん断耐力の算定結果を以下に示す。

また、各ステップにおける隔壁の変形図を図 3-113 に示す。



注：図中の数字は地震時解析におけるステップ数を示す。

図 3-110 隔壁部の荷重変位図

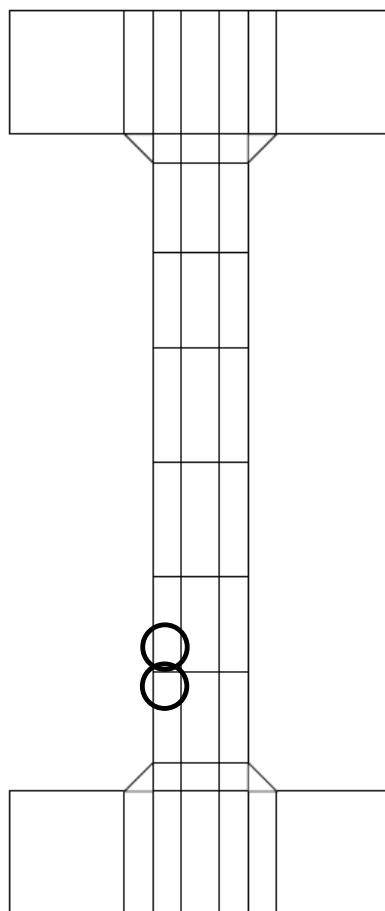
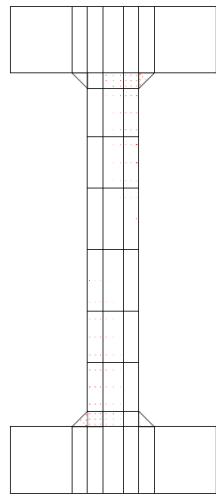
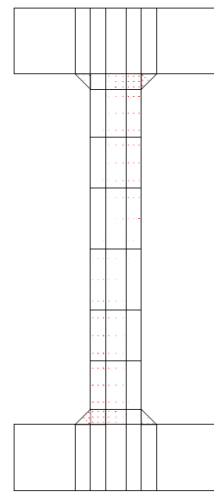


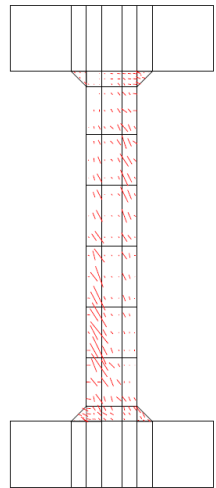
図 3-111 せん断補強筋の初期降伏箇所 (68 ステップ)



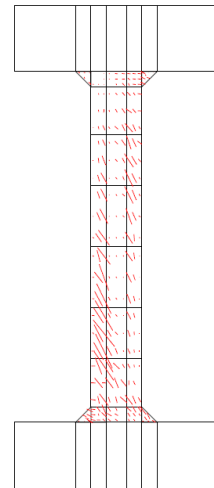
(51 ステップ)



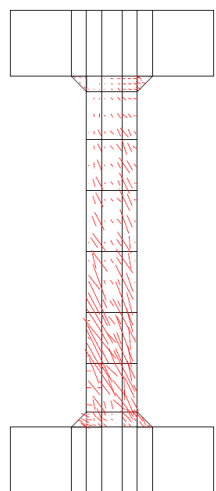
(68 ステップ)



(139 ステップ)

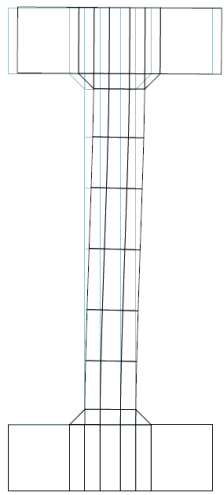


(141 ステップ)

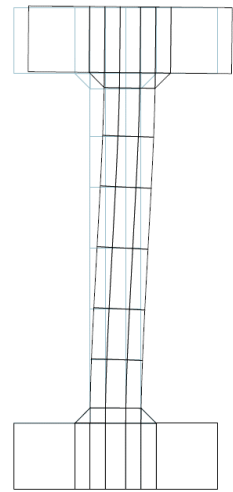


(144 ステップ)

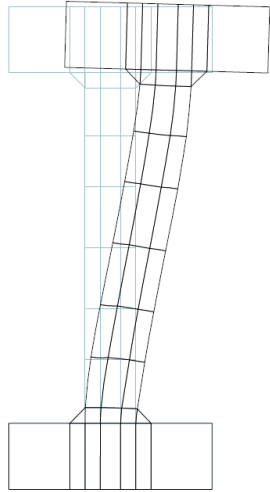
図 3-112 各ステップにおけるひび割れ図



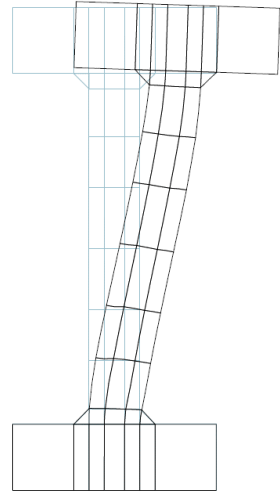
(51 ステップ)



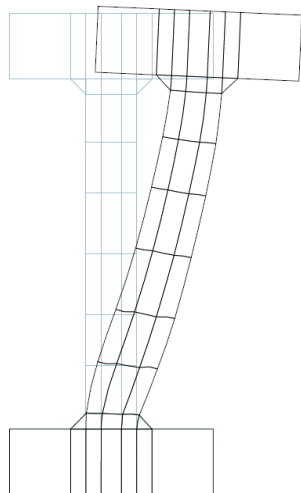
(68 ステップ)



(139 ステップ)



(141 ステップ)



(144 ステップ)

図 3-113 各ステップにおける変形図 (変形倍率 100 倍)

3.7.3 せん断力に対する評価結果

部材非線形解析及び材料非線形解析による取水路のせん断照査結果を、表 3-54～表 3-56 に示す。各断面の評価位置を図 3-114～図 3-116 に示す。同表より、取水路の各部材に発生するせん断力は、せん断耐力を超えないことを確認した。

表 3-54 せん断に対する照査結果 (A-A断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|----------------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力*2 V_d (kN) | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 7 | 651 | 977 | 0.67 |
| | | 側壁 | 4 | 761 | 1095 | 0.70 |
| | | 隔壁 | 2 | 799 | 2458 | 0.33*3 |
| | | 底版 | 10 | 699 | 1576 | 0.45 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 5 | 644 | 984 | 0.66 |
| | | 側壁 | 1 | 759 | 1123 | 0.68 |
| | | 隔壁 | 3 | 816 | 2401 | 0.34*3 |
| | | 底版 | 8 | 686 | 1588 | 0.44 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 665 | 1003 | 0.67 |
| | | 側壁 | 4 | 707 | 1116 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 793 | 2423 | 0.33*3 |
| | | 底版 | 9 | 674 | 1552 | 0.44 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 640 | 1048 | 0.62 |
| | | 側壁 | 1 | 688 | 1082 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 775 | 2435 | 0.32*3 |
| | | 底版 | 10 | 666 | 1654 | 0.41 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 7 | 520 | 1052 | 0.50 |
| | | 側壁 | 4 | 546 | 1143 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 3 | 564 | 945 | 0.60 |
| | | 底版 | 9 | 517 | 1618 | 0.32 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 5 | 526 | 959 | 0.55 |
| | | 側壁 | 1 | 693 | 1040 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 2 | 972 | 2348 | 0.42*3 |
| | | 底版 | 10 | 588 | 1519 | 0.39 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 7 | 539 | 938 | 0.58 |
| | | 側壁 | 4 | 742 | 2178 | 0.35*3 |
| | | 隔壁 | 3 | 968 | 2385 | 0.41*3 |
| | | 底版 | 10 | 592 | 1509 | 0.40 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 569 | 952 | 0.60 |
| | | 側壁 | 1 | 665 | 1048 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 970 | 2286 | 0.43*3 |
| | | 底版 | 9 | 589 | 1496 | 0.40 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 7 | 545 | 950 | 0.58 |
| | | 側壁 | 4 | 685 | 1034 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 3 | 968 | 2455 | 0.40*3 |
| | | 底版 | 9 | 564 | 1471 | 0.39 |

注記*1 : 本表は、部材非線形解析において、照査値が 0.7 を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2 : 照査用断面力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*3 : 材料非線形解析を用いた方法による照査値

表 3-54 せん断に対する照査結果（A-A断面）（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力*2 | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 5 | 408 | 1020 | 0.40 |
| | | 側壁 | 1 | 455 | 1094 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 2 | 543 | 929 | 0.59 |
| | | 底版 | 8 | 443 | 1609 | 0.28 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 5 | 456 | 1049 | 0.44 |
| | | 側壁 | 4 | 450 | 1131 | 0.40 |
| | | 隔壁 | 2 | 476 | 934 | 0.51 |
| | | 底版 | 10 | 474 | 1662 | 0.29 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 7 | 463 | 1044 | 0.45 |
| | | 側壁 | 2 | 484 | 931 | 0.52 |
| | | 隔壁 | 3 | 546 | 927 | 0.59 |
| | | 底版 | 9 | 470 | 1650 | 0.29 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 7 | 456 | 1052 | 0.44 |
| | | 側壁 | 1 | 521 | 1145 | 0.46 |
| | | 隔壁 | 2 | 516 | 960 | 0.54 |
| | | 底版 | 8 | 485 | 1633 | 0.30 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 5 | 483 | 961 | 0.51 |
| | | 側壁 | 1 | 651 | 1056 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 2 | 827 | 2471 | 0.34*3 |
| | | 底版 | 8 | 547 | 1528 | 0.36 |
| ① | Ss-8+- | 頂版 | 7 | 488 | 945 | 0.52 |
| | | 側壁 | 4 | 673 | 1071 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 3 | 839 | 2406 | 0.35*3 |
| | | 底版 | 10 | 566 | 1531 | 0.37 |
| ② | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 565 | 952 | 0.60 |
| | | 側壁 | 1 | 658 | 1050 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 2 | 918 | 2357 | 0.39*3 |
| | | 底版 | 9 | 546 | 1475 | 0.38 |
| ③ | Ss-3+- | 頂版 | 6 | 552 | 918 | 0.61 |
| | | 側壁 | 4 | 706 | 1094 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 2 | 1008 | 2295 | 0.44*3 |
| | | 底版 | 10 | 638 | 1517 | 0.43 |
| ④ | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 534 | 975 | 0.55 |
| | | 側壁 | 4 | 605 | 1046 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 2 | 749 | 2489 | 0.31*3 |
| | | 底版 | 10 | 584 | 1609 | 0.37 |
| ⑤ | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 538 | 966 | 0.56 |
| | | 側壁 | 4 | 628 | 1083 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 2 | 721 | 2413 | 0.30*3 |
| | | 底版 | 10 | 562 | 1563 | 0.36 |

注記*1：本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2：照査用断面力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*3：材料非線形解析を用いた方法による照査値

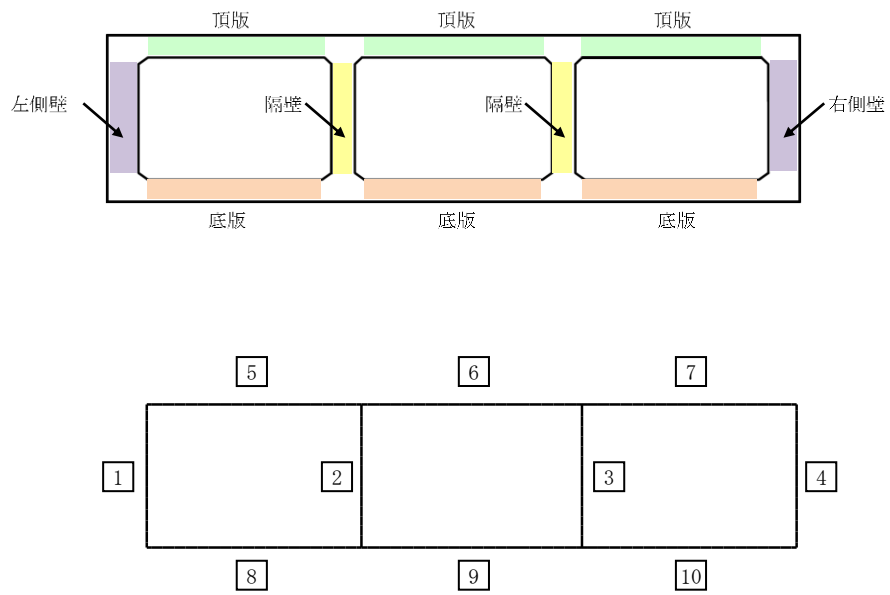


図 3-114 A-A断面の評価位置

表 3-55 せん断に対する照査結果 (B-B断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|---------------|--------------|
| | | | | せん断力*2 | V_{yd} (kN) | V_d/V_{yd} |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 6 | 1153 | 2693 | 0.43 |
| | | 側壁 | 4 | 1345 | 3040 | 0.45*3 |
| | | 隔壁 | 3 | 848 | 2270 | 0.38*3 |
| | | 底版 | 8 | 1264 | 2901 | 0.44 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 6 | 1107 | 2721 | 0.41 |
| | | 側壁 | 1 | 1462 | 3085 | 0.48*3 |
| | | 隔壁 | 2 | 857 | 2401 | 0.36*3 |
| | | 底版 | 10 | 1169 | 2902 | 0.41 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 6 | 1098 | 2812 | 0.40 |
| | | 側壁 | 4 | 1560 | 3402 | 0.46*3 |
| | | 隔壁 | 2 | 810 | 2155 | 0.38*3 |
| | | 底版 | 8 | 1156 | 3038 | 0.39 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1116 | 2791 | 0.40 |
| | | 側壁 | 1 | 1509 | 3191 | 0.48*3 |
| | | 隔壁 | 2 | 824 | 2183 | 0.38*3 |
| | | 底版 | 10 | 1183 | 2908 | 0.41 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 6 | 882 | 2878 | 0.31 |
| | | 側壁 | 1 | 884 | 1807 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 2 | 486 | 930 | 0.53 |
| | | 底版 | 9 | 894 | 2969 | 0.31 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 6 | 886 | 2642 | 0.34 |
| | | 側壁 | 4 | 1059 | 1657 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 823 | 2215 | 0.38*3 |
| | | 底版 | 10 | 924 | 2701 | 0.35 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 6 | 876 | 2619 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 968 | 1527 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 801 | 2073 | 0.39*3 |
| | | 底版 | 8 | 1003 | 2852 | 0.36 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 6 | 971 | 2663 | 0.37 |
| | | 側壁 | 4 | 1138 | 1708 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 3 | 827 | 2239 | 0.37*3 |
| | | 底版 | 8 | 1085 | 2923 | 0.38 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 6 | 1002 | 2669 | 0.38 |
| | | 側壁 | 1 | 1069 | 1562 | 0.69 |
| | | 隔壁 | 2 | 796 | 2297 | 0.35*3 |
| | | 底版 | 10 | 1078 | 2825 | 0.39 |

注記*1 : 本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2 : 照査用断面力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*3 : 材料非線形解析を用いた方法による照査値

表 3-55 せん断に対する照査結果 (B-B断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力*2 | | |
| | | | | V_d (kN) | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 6 | 761 | 2766 | 0.28 |
| | | 側壁 | 4 | 753 | 1716 | 0.44 |
| | | 隔壁 | 3 | 478 | 951 | 0.51 |
| | | 底版 | 8 | 832 | 3024 | 0.28 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 6 | 841 | 2763 | 0.31 |
| | | 側壁 | 4 | 863 | 1761 | 0.50 |
| | | 隔壁 | 2 | 562 | 908 | 0.62 |
| | | 底版 | 8 | 906 | 2965 | 0.31 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 6 | 923 | 2778 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 1070 | 1855 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 2 | 595 | 924 | 0.65 |
| | | 底版 | 10 | 983 | 3021 | 0.33 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 6 | 916 | 2722 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 1048 | 1787 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 2 | 668 | 2177 | 0.31*3 |
| | | 底版 | 10 | 989 | 2942 | 0.34 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 865 | 2661 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 904 | 1481 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 2 | 787 | 2212 | 0.36*3 |
| | | 底版 | 10 | 952 | 2815 | 0.34 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 6 | 887 | 2643 | 0.34 |
| | | 側壁 | 4 | 821 | 1457 | 0.57 |
| | | 隔壁 | 3 | 765 | 2204 | 0.35*3 |
| | | 底版 | 8 | 1003 | 2837 | 0.36 |
| ② | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1152 | 2744 | 0.42 |
| | | 側壁 | 1 | 1516 | 3090 | 0.50*3 |
| | | 隔壁 | 2 | 868 | 2125 | 0.41*3 |
| | | 底版 | 10 | 1220 | 2855 | 0.43 |
| ③ | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1072 | 2863 | 0.38 |
| | | 側壁 | 1 | 1250 | 1809 | 0.70 |
| | | 隔壁 | 2 | 772 | 2131 | 0.37*3 |
| | | 底版 | 10 | 1125 | 3005 | 0.38 |
| ④ | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1158 | 2696 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 1432 | 2959 | 0.49*3 |
| | | 隔壁 | 2 | 877 | 2223 | 0.40*3 |
| | | 底版 | 10 | 1248 | 2793 | 0.45 |
| ⑤ | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1132 | 2686 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 1369 | 3026 | 0.46*3 |
| | | 隔壁 | 3 | 850 | 2352 | 0.37*3 |
| | | 底版 | 10 | 1230 | 2774 | 0.45 |

注記*1 : 本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2 : 照査用断面力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*3 : 材料非線形解析を用いた方法による照査値

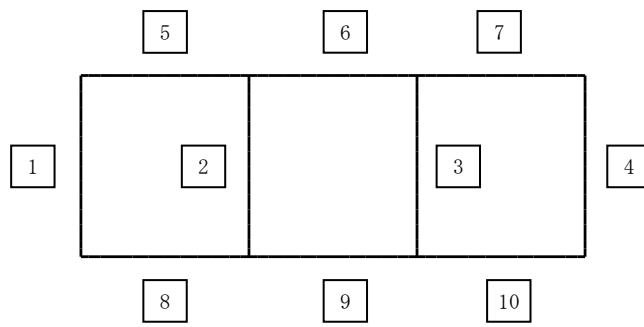
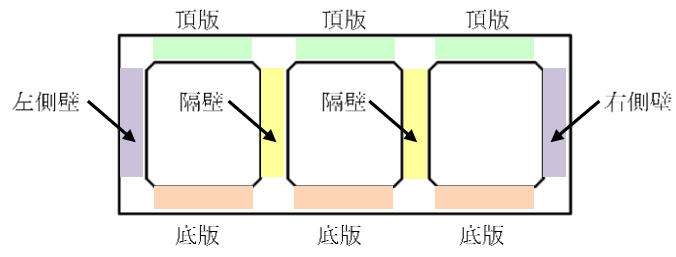


図 3-115 B-B断面の評価位置

表 3-56 せん断に対する照査結果 (C-C断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力*2 | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 8 | 1265 | 2107 | 0.61 |
| | | 側壁 | 7 | 1888 | 2958 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 1023 | 2197 | 0.47*3 |
| | | 底版 | 19 | 1405 | 3481 | 0.41 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1305 | 2102 | 0.63 |
| | | 側壁 | 1 | 1921 | 2972 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 6 | 1042 | 2261 | 0.47*3 |
| | | 底版 | 14 | 1389 | 3413 | 0.41 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 1235 | 2077 | 0.60 |
| | | 側壁 | 7 | 2516 | 3893 | 0.65*3 |
| | | 隔壁 | 2 | 1043 | 2399 | 0.44*3 |
| | | 底版 | 19 | 1612 | 3482 | 0.47 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 13 | 1278 | 2063 | 0.62 |
| | | 側壁 | 1 | 2693 | 3977 | 0.68*3 |
| | | 隔壁 | 6 | 1052 | 2315 | 0.46*3 |
| | | 底版 | 14 | 1675 | 3485 | 0.49 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 13 | 911 | 2167 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 1577 | 3010 | 0.53 |
| | | 隔壁 | 6 | 597 | 930 | 0.65 |
| | | 底版 | 14 | 1134 | 3555 | 0.32 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 13 | 1158 | 2108 | 0.55 |
| | | 側壁 | 7 | 1775 | 2824 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 2 | 971 | 2221 | 0.44*3 |
| | | 底版 | 19 | 1376 | 3429 | 0.41 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 13 | 1131 | 2030 | 0.56 |
| | | 側壁 | 1 | 1831 | 2833 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 6 | 989 | 2360 | 0.42*3 |
| | | 底版 | 14 | 1412 | 3434 | 0.42 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 1079 | 2028 | 0.54 |
| | | 側壁 | 7 | 1683 | 2867 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 2 | 973 | 2164 | 0.45*3 |
| | | 底版 | 19 | 1288 | 3420 | 0.38 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 13 | 1093 | 2028 | 0.54 |
| | | 側壁 | 1 | 1759 | 2883 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 6 | 978 | 2123 | 0.47*3 |
| | | 底版 | 14 | 1310 | 3417 | 0.39 |

注記*1 : 本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2 : 照査用断面力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*3 : 材料非線形解析を用いた方法による照査値

表 3-56 せん断に対する照査結果 (C-C断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|-------|--------|
| | | | | せん断力*2 | | |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 8 | 791 | 2197 | 0.37 |
| | | 側壁 | 1 | 1287 | 3129 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 5 | 404 | 959 | 0.43 |
| | | 底版 | 14 | 935 | 3649 | 0.26 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 8 | 897 | 2201 | 0.41 |
| | | 側壁 | 7 | 1367 | 3024 | 0.46 |
| | | 隔壁 | 6 | 466 | 933 | 0.50 |
| | | 底版 | 19 | 964 | 3533 | 0.28 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 13 | 916 | 2221 | 0.42 |
| | | 側壁 | 1 | 1442 | 3106 | 0.47 |
| | | 隔壁 | 6 | 457 | 949 | 0.49 |
| | | 底版 | 14 | 966 | 3607 | 0.27 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 13 | 947 | 2161 | 0.44 |
| | | 側壁 | 1 | 1451 | 3012 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 6 | 540 | 942 | 0.58 |
| | | 底版 | 14 | 987 | 3519 | 0.29 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 13 | 1079 | 2052 | 0.53 |
| | | 側壁 | 1 | 1587 | 2816 | 0.57 |
| | | 隔壁 | 6 | 866 | 2255 | 0.39*3 |
| | | 底版 | 14 | 1294 | 3425 | 0.38 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 8 | 1057 | 2057 | 0.52 |
| | | 側壁 | 7 | 1490 | 2792 | 0.54 |
| | | 隔壁 | 2 | 860 | 2196 | 0.40*3 |
| | | 底版 | 19 | 1257 | 3410 | 0.37 |
| ② | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1357 | 2084 | 0.66 |
| | | 側壁 | 1 | 1960 | 2940 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 6 | 1062 | 2256 | 0.48*3 |
| | | 底版 | 14 | 1405 | 3447 | 0.41 |
| ③ | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1237 | 2104 | 0.59 |
| | | 側壁 | 1 | 1865 | 3008 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 6 | 1015 | 2170 | 0.47*3 |
| | | 底版 | 14 | 1373 | 3406 | 0.41 |
| ④ | Ss-1-+ | 頂版 | 8 | 1300 | 2081 | 0.63 |
| | | 側壁 | 1 | 1790 | 2883 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 2 | 1022 | 2241 | 0.46*3 |
| | | 底版 | 19 | 1499 | 3407 | 0.44 |
| ⑤ | Ss-1-+ | 頂版 | 13 | 1386 | 2079 | 0.67 |
| | | 側壁 | 1 | 1799 | 2850 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 2 | 1024 | 2151 | 0.48*3 |
| | | 底版 | 19 | 1540 | 3397 | 0.46 |

注記*1 : 本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2 : 照査用断面力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*3 : 材料非線形解析を用いた方法による照査値

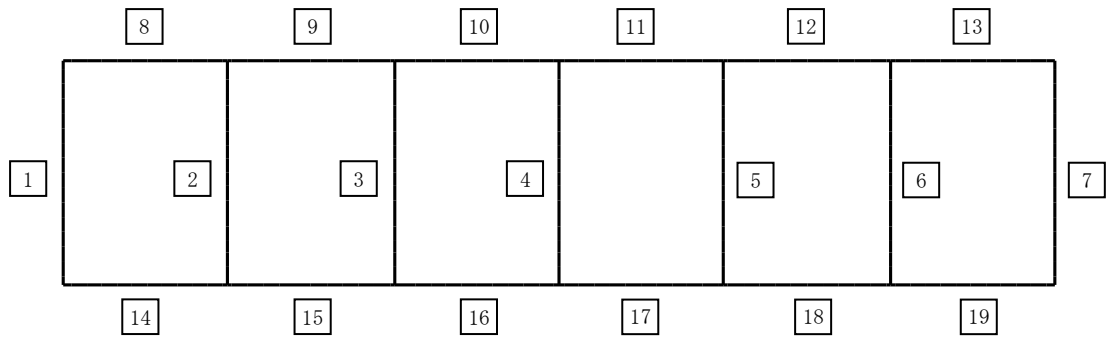
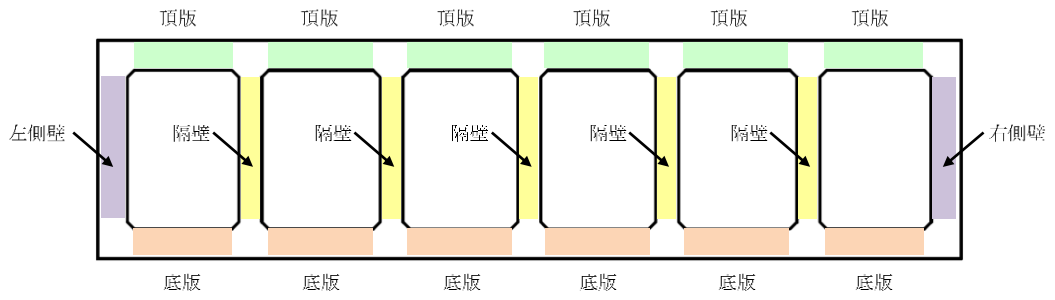


図 3-116 C-C断面の評価位置

3.8 まとめ

取水路は、基準地震動 S_s に対して、構造物の地震応答解析に基づく曲げ軸力に伴う層間変形角及びせん断力が各部材の要求性能に応じた許容限界以下であることを確認した。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。

以上のことから、取水路は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造安定性、通水機能、貯水機能を維持できる。

4. 取水路（6号機設備）の耐震評価

4. 取水路（6号機設備）の耐震評価

目次

| | |
|--------------------------------|-------|
| 4. 取水路（6号機設備）の耐震評価 | 4-1 |
| 4.1 評価方法 | 4-1 |
| 4.2 評価条件（部材非線形解析） | 4-1 |
| 4.2.1 適用規格 | 4-1 |
| 4.2.2 耐震評価フロー | 4-3 |
| 4.2.3 評価対象断面の方向 | 4-4 |
| 4.2.4 評価対象断面の選定 | 4-6 |
| 4.2.5 使用材料及び材料定数 | 4-14 |
| 4.2.6 地盤，マンメイドロック，地盤改良体の解析用物性値 | 4-14 |
| 4.2.7 評価構造物諸元 | 4-17 |
| 4.2.8 地下水位 | 4-25 |
| 4.2.9 地震応答解析手法 | 4-25 |
| 4.2.10 解析モデルの設定 | 4-26 |
| 4.2.11 減衰定数 | 4-40 |
| 4.2.12 荷重の組合せ | 4-40 |
| 4.2.13 耐震評価における解析ケース | 4-46 |
| 4.3 評価内容（部材非線形解析） | 4-49 |
| 4.3.1 入力地震動の設定 | 4-49 |
| 4.3.2 許容限界の設定 | 4-66 |
| 4.4 評価結果（部材非線形解析） | 4-76 |
| 4.4.1 地震応答解析結果 | 4-76 |
| 4.4.2 構造部材の健全性に対する評価結果 | 4-108 |
| 4.4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 4-124 |
| 4.5 評価条件（材料非線形解析） | 4-127 |
| 4.5.1 適用基準 | 4-129 |
| 4.5.2 評価対象部材 | 4-130 |
| 4.5.3 材料定数 | 4-132 |
| 4.5.4 解析モデルの設定 | 4-133 |
| 4.6 評価内容（材料非線形解析） | 4-140 |
| 4.6.1 耐震評価フロー | 4-140 |
| 4.6.2 荷重の設定 | 4-141 |
| 4.6.3 せん断耐力 | 4-143 |
| 4.6.4 安全係数の設定 | 4-144 |

| | |
|----------------------|-------|
| 4.7 評価結果（材料非線形解析） | 4-146 |
| 4.7.1 A-A断面（隔壁）の評価結果 | 4-146 |
| 4.7.2 C-C断面（隔壁）の評価結果 | 4-150 |
| 4.7.3 せん断力に対する評価結果 | 4-154 |
| 4.8 まとめ | 4-163 |

4. 取水路（6号機設備）の耐震評価

4.1 評価方法

取水路は非常時における海水の通水機能及び貯水機能が求められる土木構造物である。取水路（6号機設備）について、基準地震動 S_s による耐震評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。

取水路（6号機設備）の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で、保守性を考慮して設定する。

構造物の応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮した解析ケースを設定する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の層間変形角及びせん断力が要求性能に応じた許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に作用する鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

4.2 評価条件（部材非線形解析）

4.2.1 適用規格

取水路（6号機設備）の耐震評価に当たっては、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）（以下「コンクリート標準示方書」という。），原子力発電所耐震設計技術指針J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）を適用する。また、基礎地盤の支持性能の許容限界は、道路橋示方書・同解説（I共通編・IV下部構造編）（日本道路協会，平成14年3月）（以下「道路橋示方書」という。）を適用する。

表4-1に適用する規格，基準類を示す。

表 4-1 適用する規格, 基準類

| 項目 | 適用する規格, 基準類 | 備考 |
|------------|--|--|
| 使用材料及び材料定数 | ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕 (2002年) | — |
| 荷重及び荷重の組合せ | ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕 (2002年) | ・永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組合せを検討 |
| 許容限界 | 【鉄筋コンクリート部材】 ・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) | ・曲げに対する照査は, 限界層間変形角を設定した上で, 発生層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認* ・せん断に対する照査は, 発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認* |
| | 【基礎地盤の支持性能】 ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (平成 14 年 3 月) | ・基礎地盤の支持性能に対する照査は, 基礎に発生する鉛直力が極限支持力を下回ることを確認* |
| 地震応答解析 | ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 | ・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析 |

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

4.2.2 耐震評価フロー

図 4-1 に取水路（6号機設備）の耐震評価フローを示す。

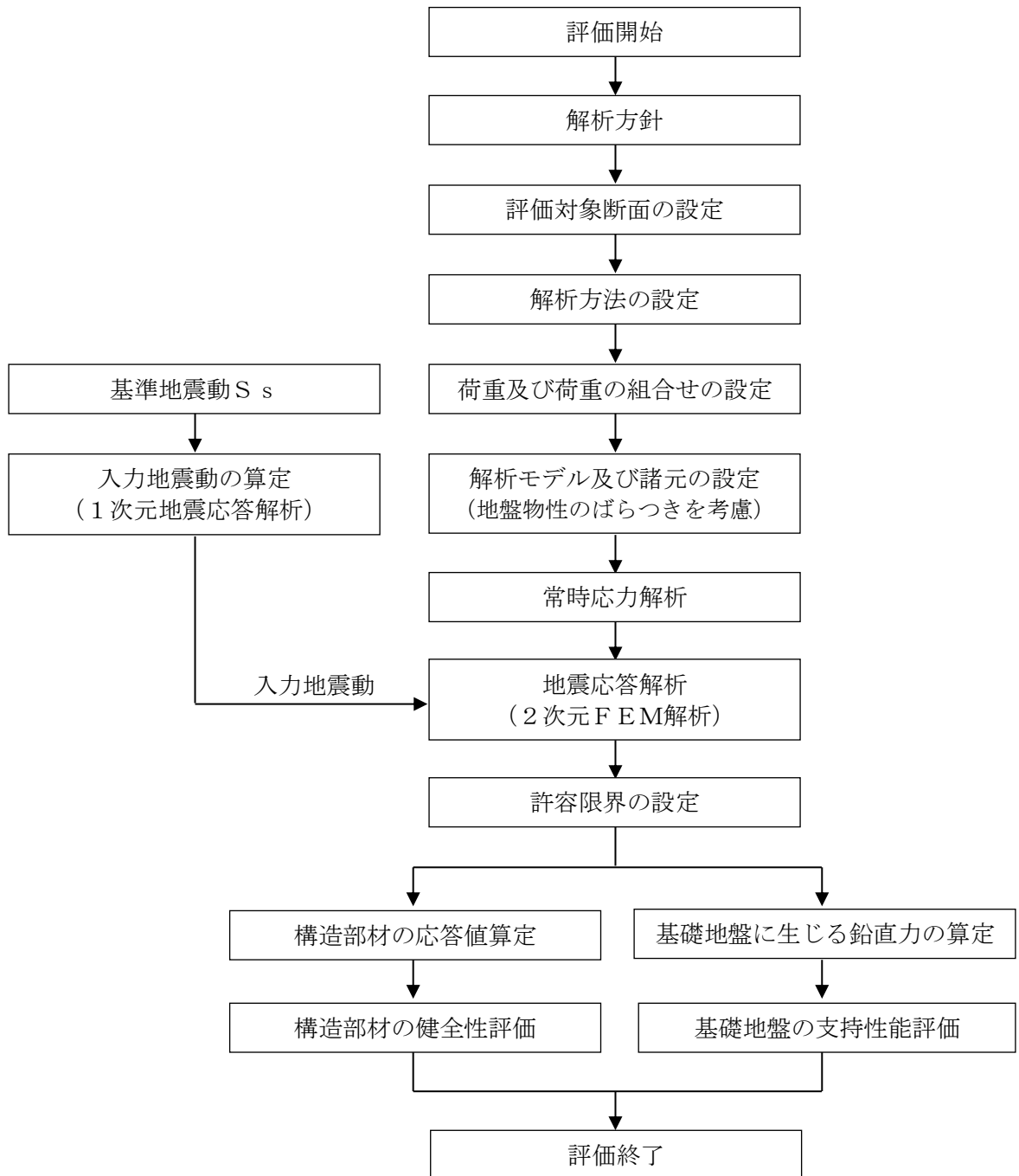


図 4-1 取水路（6号機設備）の耐震評価フロー

4.2.3 評価対象断面の方向

取水路（6号機設備）の位置を図4-2に示す。

取水路（6号機設備）は延長約127mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

評価対象断面の方向の選定に係る考え方を表4-2に示す。取水路（6号機設備）の縦断方向（通水方向，EW方向）は，加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができることから，強軸断面方向となる。一方，取水路（6号機設備）の横断方向（通水方向に対し直交する方向，NS方向）は，通水機能を確保するため，加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから，弱軸断面方向となる。

以上のことから，取水路（6号機設備）の耐震評価では，構造の安定性に支配的な弱軸断面方向である横断方向を評価対象断面とする。

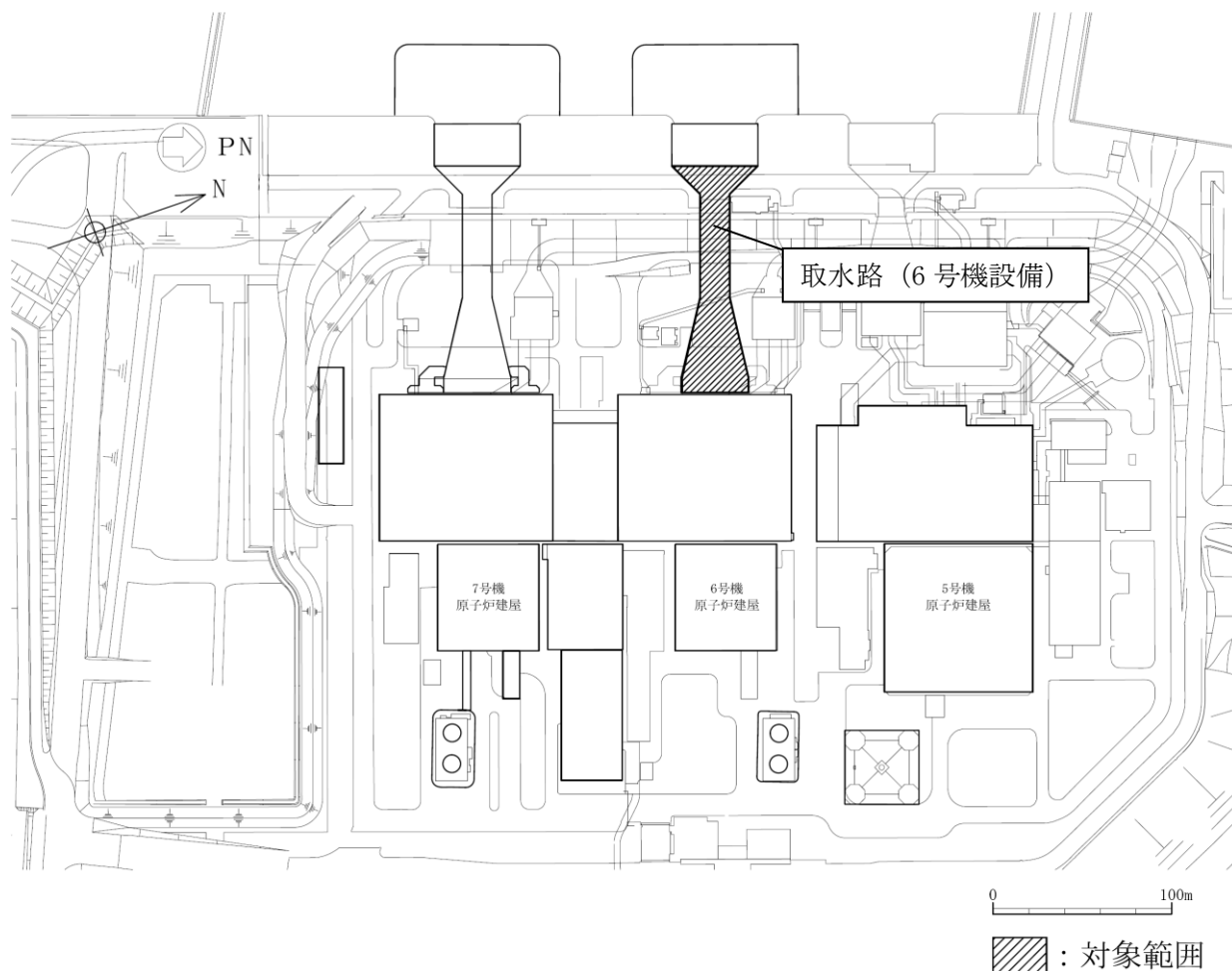
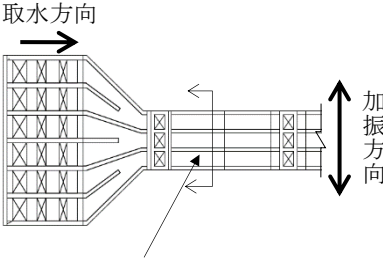
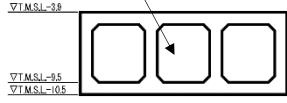
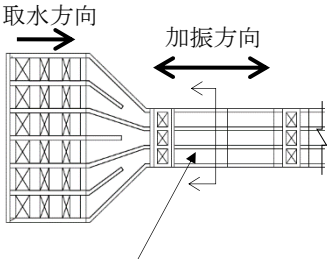
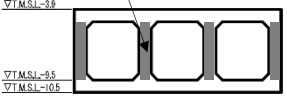


図4-2 取水路（6号機設備）の平面配置図（平面図）

表 4-2 取水路（6号機設備）の評価対象断面の方向の選定

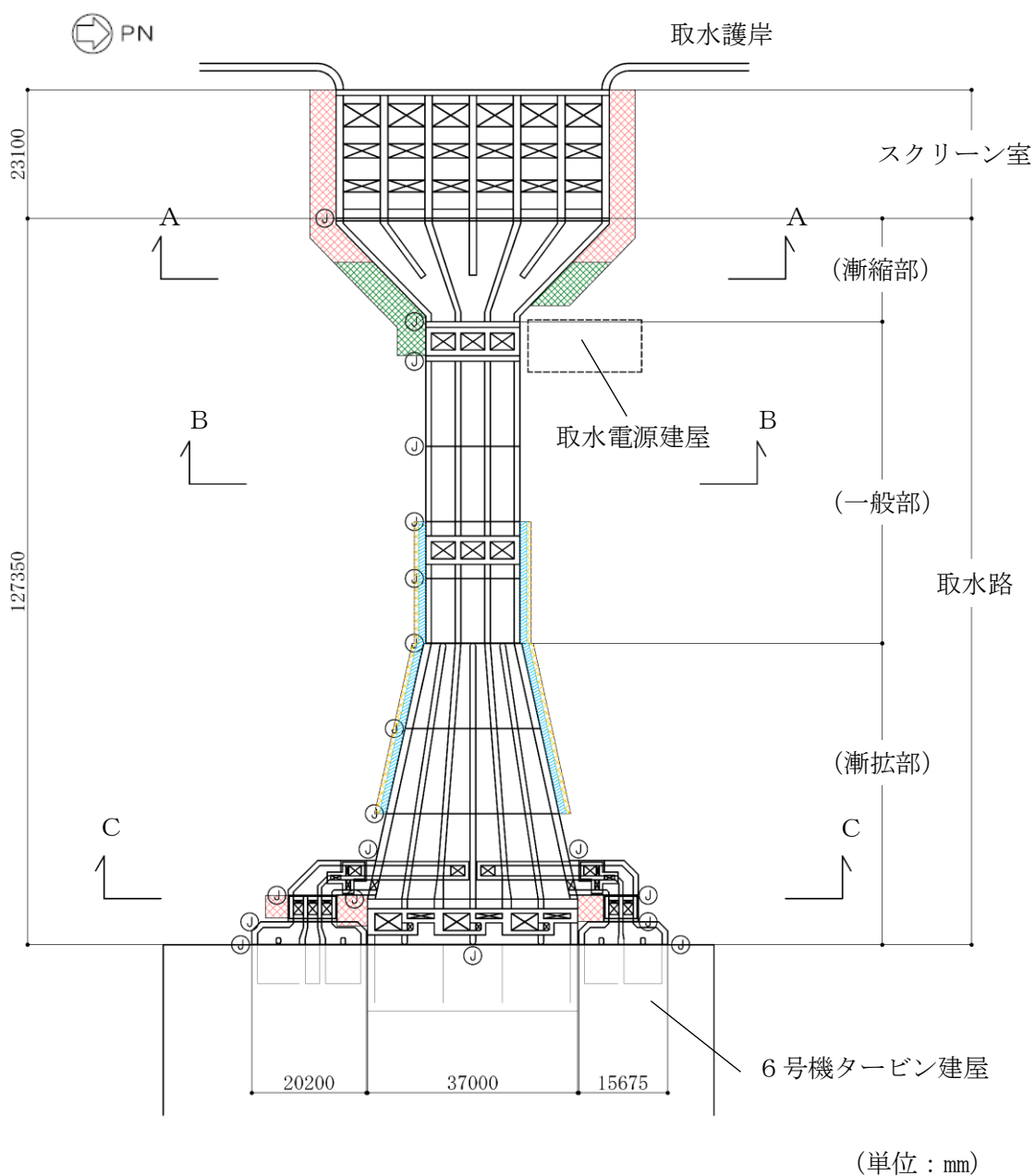
| | 横断方向（NS方向）の加振 | 縦断方向（EW方向）の加振 |
|-----|---|---|
| 取水路 |  <p>取水方向 →</p> <p>加振方向 ↑↓</p> <p>加振方向に平行な壁部材が少ない</p>  |  <p>取水方向 →</p> <p>加振方向 ←→</p> <p>加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができる</p>  |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・横断方向は、加振方向に平行な壁部材が少なく、弱軸断面方向にあたる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・縦断方向は、加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができ、強軸断面方向にあたる。 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・弱軸断面方向を評価対象断面とする。 | |

4.2.4 評価対象断面の選定

取水路（6号機設備）の平面図を図4-3に、断面図を図4-4～図4-6に、概略配筋図を図4-7～図4-9に示す。

取水路（6号機設備）は延長127mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に複数の断面形状を示し、海側から漸縮部、一般部及び漸拡部に分けられ、十分な支持性能を有する古安田層若しくはマンメイドロックを介して西山層に支持される。また、取水路（6号機設備）の側方地盤には、地震時における浮上り対策として、地盤改良を実施している。

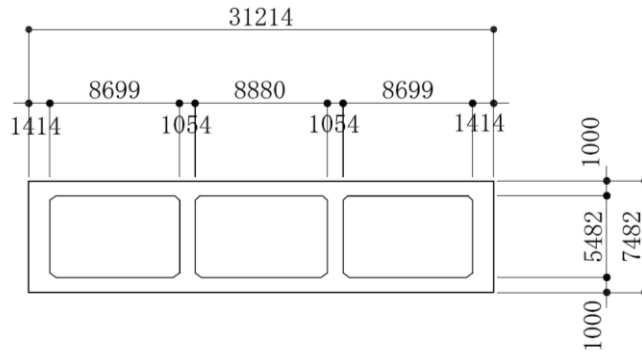
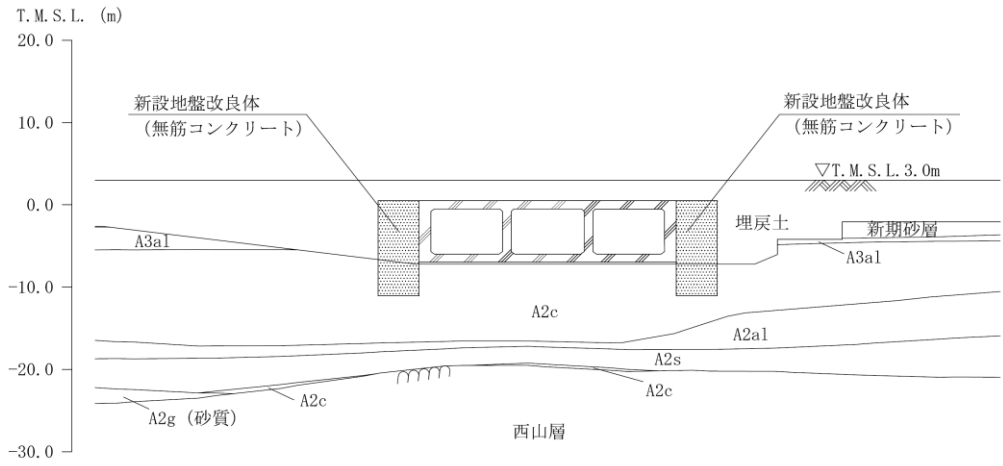
評価対象断面は、KK7補足-027「工事計画に関わる説明資料（屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書）資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.3 取水路の断面選定の考え方」に記載したとおり、構造物の弱軸断面方向であり、構造物の幅に対する鉛直部材の割合、周辺地盤状況及び土被り厚等の観点から、耐震上厳しいと判断されるA-A断面、B-B断面及びC-C断面を代表として耐震評価を実施する。



| 既設/新設 | 凡例 | 地盤改良工法 |
|---------|----|-----------|
| 新設地盤改良体 | | 高圧噴射 |
| | | 無筋コンクリート |
| | | 置換(地中連続壁) |
| | | 機械攪拌 |

注：置換工法(地中連続壁), 機械攪拌工法の施工範囲の内, 地上構造物及び埋設構造物がある箇所では, 高圧噴射または置換(開削)を適用

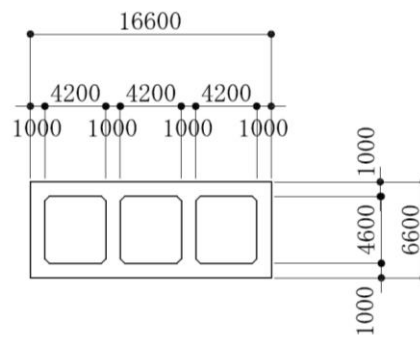
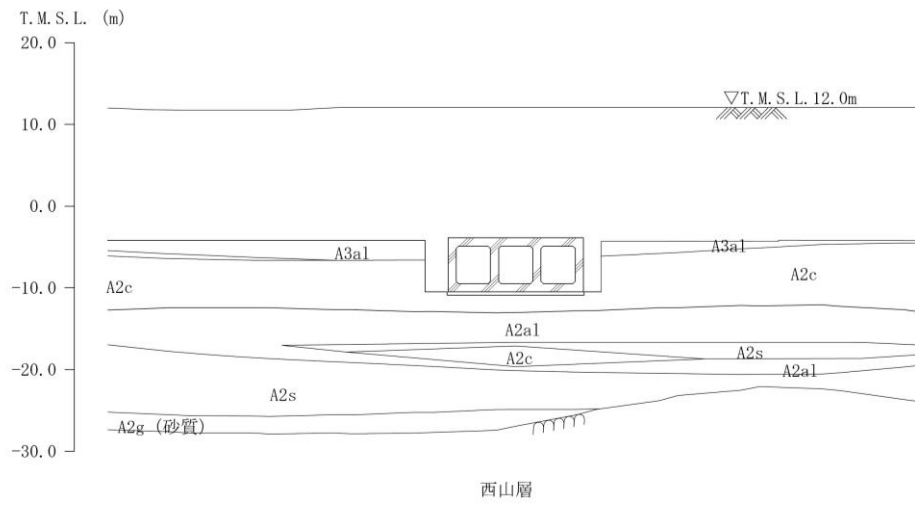
図 4-3 取水路 (6号機設備) の平面図



(単位：mm)

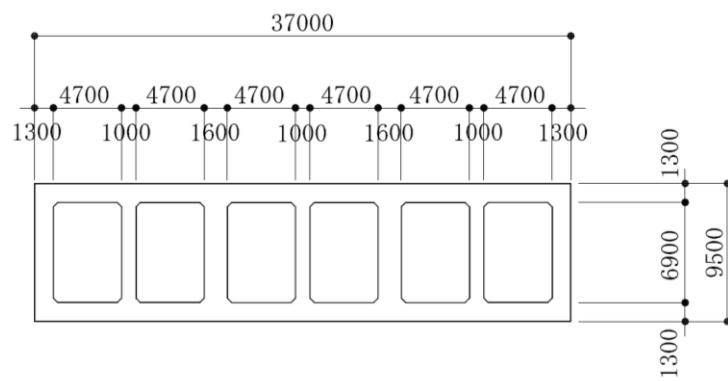
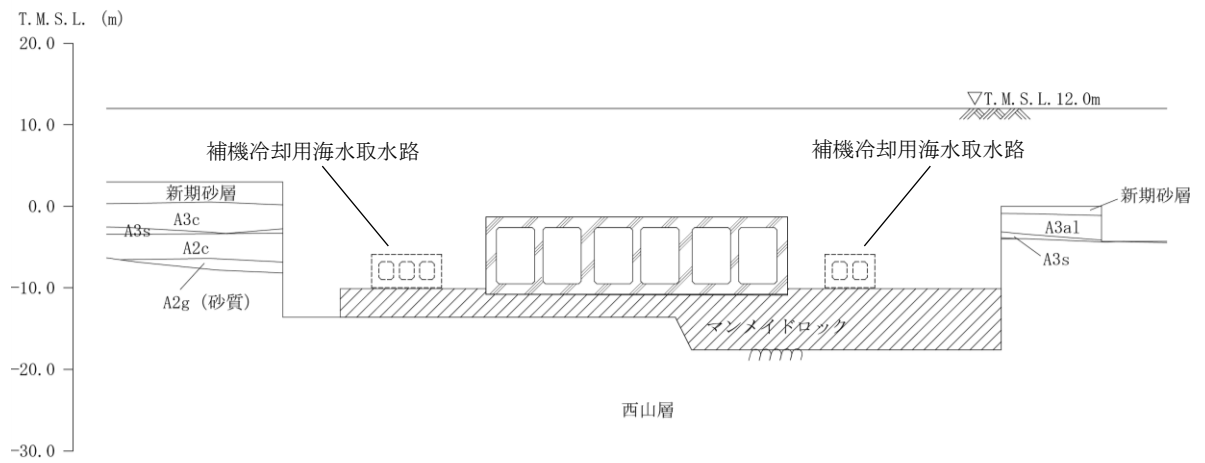
注：東京湾平均海面（以下、「T.M.S.L.」という。）

図 4-4 取水路（6号機設備）の断面図（漸縮部 A-A断面）



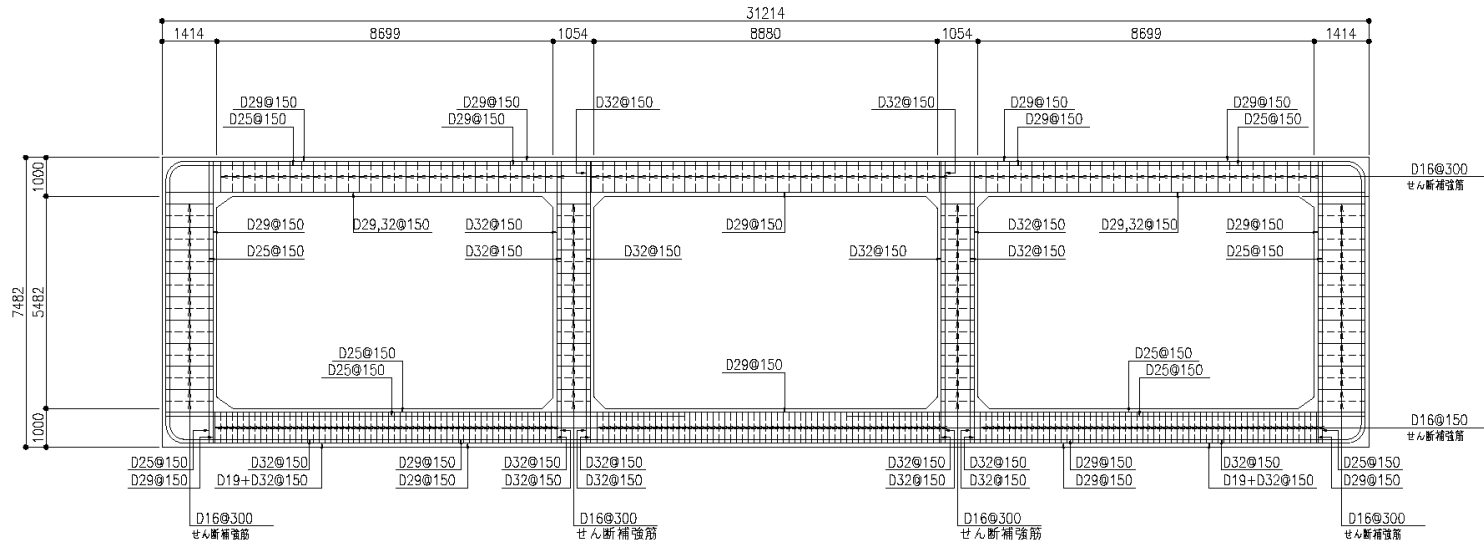
(単位 : mm)

図 4-5 取水路 (6号機設備) の断面図 (一般部 B-B断面)



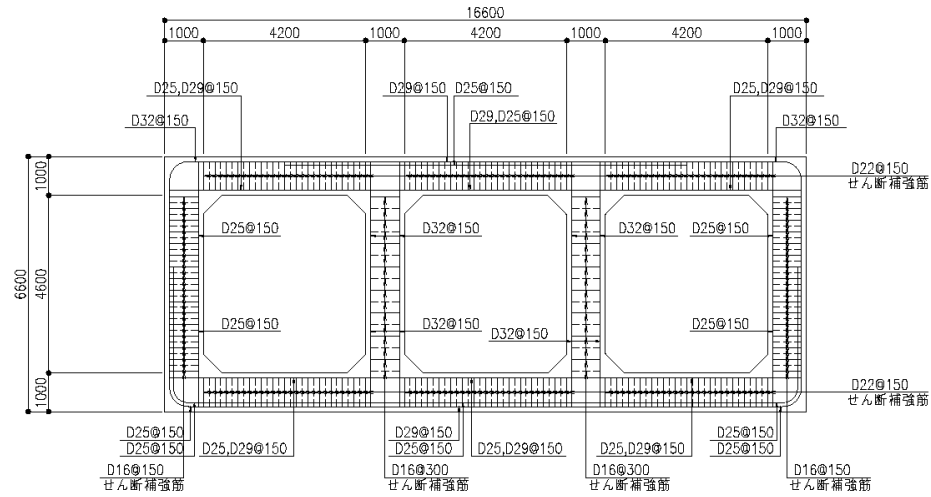
(単位 : mm)

図 4-6 取水路 (6号機設備) の断面図 (漸拡部 C-C断面)



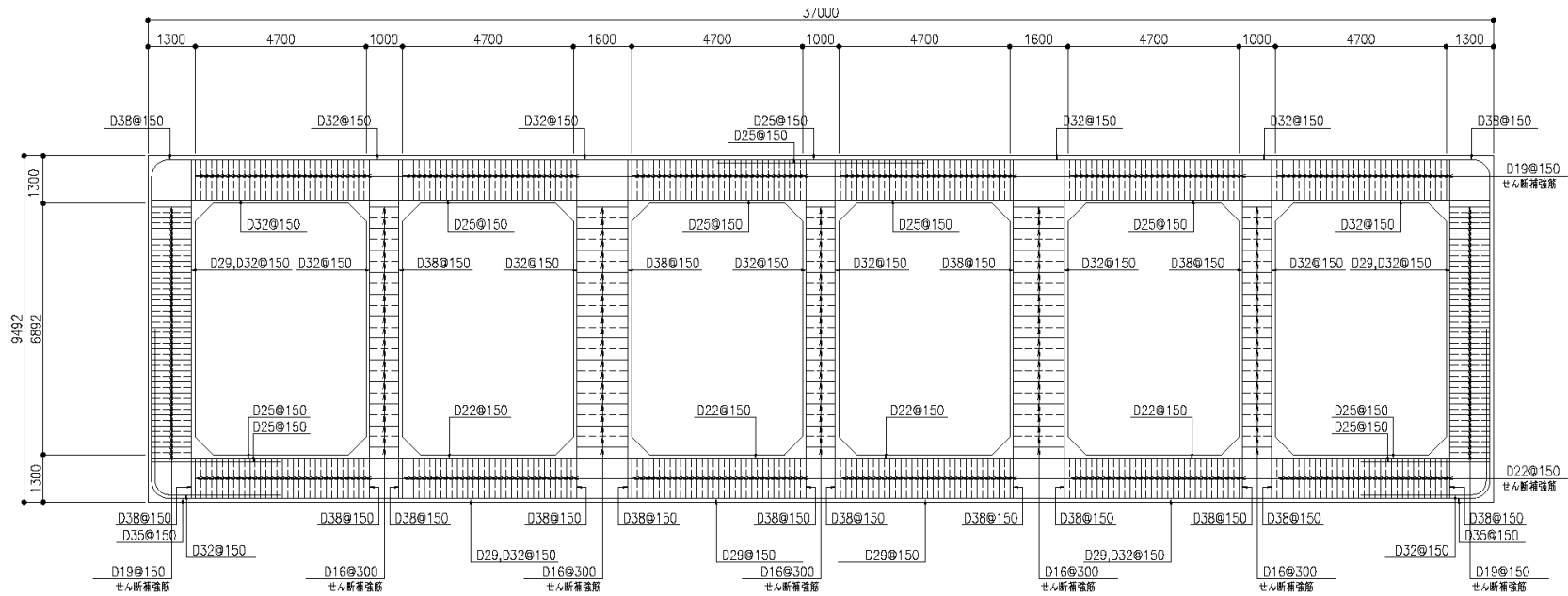
(単位: mm)

図 4-7 取水路 (6号機設備) の配筋図 (漸縮部, A-A断面)



(単位: mm)

図 4-8 取水路 (6号機設備) の配筋図 (一般部, B-B断面)



(単位 : mm)

図 4-9 取水路 (6号機設備) の配筋図 (漸拡部, C-C断面)

4.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、建設時の設計値に基づき設定する。構造物の使用材料を表 4-3 に、材料物性値を表 4-4 に示す。

表 4-3 構造物の使用材料

| 材料 | 諸元 |
|--------|-------------------------------|
| コンクリート | 設計基準強度 23.5 N/mm ² |
| 鉄筋 | SD35 (SD345 相当) |

表 4-4 構造物の材料物性値

| 材料 | 単位体積重量 (kN/m ³) | ヤング係数 (N/mm ²) | ポアソン比 |
|----------|--------------------------------|-------------------------------|-------|
| 鉄筋コンクリート | 23.5* | 2.45×10 ⁴ * | 0.2* |

注記* : 建設時の設計値に基づく

4.2.6 地盤、マンメイドロック、地盤改良体の解析用物性値

地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の解析用物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 4-5～表 4-7 に、マンメイドロックの物性値を表 4-8 に、地盤改良体の物性値を表 4-9 に示す。

表 4-5 地盤の解析用物性値（液状化検討対象層）

| パラメータ | | 埋戻土 | 新期砂層 ・沖積層 | 古安田層 | | | |
|-------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | | 新期砂層 | A2s 層 | A3s 層 | A2g 層 (砂質) | |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.94 (1.79)* | 2.05 (2.00)* | 1.91 | 1.91 | 1.91 | |
| | 間隙率 n | 0.45 | 0.44 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²) | 1.04×10^5 | 1.26×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²) | 98.0 | 98.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | |
| | ポアソン比 ν | 0.33 (0.42)* | 0.33 (0.44)* | 0.33 | 0.33 | 0.33 | |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.225 | 0.234 | 0.157 | 0.157 | 0.157 | |
| 強度特性 | 粘着力 c' (kN/m ²) | 0.0 (9.6)* | 0.0 (94.4)* | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 内部摩擦角 ϕ' (°) | 35.9 (34.8)* | 34.6 (27.6)* | 36.6 | 36.6 | 36.6 | |
| 液状化特性 | 変相角 ϕ_p (°) | 32.0 | 31.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | |
| | 液状化パラメータ | S_1 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| | | w_1 | 5.50 | 7.90 | 25.0 | 25.0 | 25.0 |
| | | p_1 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | | p_2 | 1.00 | 0.70 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| | | c_1 | 1.69 | 2.13 | 8.75 | 8.75 | 8.75 |

注記* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

表 4-6 地盤の解析用物性値（非液状化層）

| パラメータ | | 古安田層 | | | |
|-------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | A3c 層 | A3a1 層 | A2c 層 | A2a1 層 |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.70 | 1.81 | 1.80 | 1.88 |
| | 間隙率 n | 0.57 | 0.52 | 0.52 | 0.48 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²) | 1.09×10^5 | 9.57×10^4 | 1.39×10^5 | 1.61×10^5 |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²) | 60.0 | 94.0 | 140.0 | 170.0 |
| | ポアソン比 ν | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.114 | 0.162 | 0.110 | 0.147 |
| 強度特性 | 粘着力 c' (kN/m ²) | 99.6 | 29.2 | 113.0 | 82.8 |
| | 内部摩擦角 ϕ' (°) | 26.8 | 34.2 | 27.9 | 28.7 |

表 4-7 地盤の解析用物性値（西山層）

| パラメータ | | 西山層 | |
|-------|---|--------------------------|--------------------------------|
| | | T. M. S. L. - 33. 0m 以浅 | T. M. S. L. - 33. 0m ~ -90. 0m |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1. 73 | 1. 69 |
| | 間隙率 n | 0. 56 | 0. 56 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | $4. 16 \times 10^5$ | $4. 75 \times 10^5$ |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 98. 0 | 98. 0 |
| | ポアソン比 ν | 0. 33 | 0. 33 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0. 257 | 0. 257 |
| 強度特性 | 粘着力 c (kN/m ²) | $1370 - 5. 04 \cdot Z^*$ | $1370 - 5. 04 \cdot Z^*$ |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 0 | 0 |

注記* : Zは、標高 (m) を示す。

表 4-8 マンメイドロックの解析用物性値

| パラメータ | | マンメイドロック |
|-------|---|---------------------|
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1. 75 |
| | 間隙率 n | 0. 56 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | $1. 91 \times 10^6$ |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 98. 0 |
| | ポアソン比 ν | 0. 36 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0. 190 |
| 強度特性 | 粘着力 c (kN/m ²) | 1840 |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 0. 0 |

表 4-9 地盤改良体（無筋コンクリート）の解析用物性値

| パラメータ | | 無筋コンクリート |
|-------|--------------------------------|---------------------|
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 2. 30 |
| 変形特性 | ヤング係数 E (kN/m ²) | $2. 20 \times 10^7$ |
| | ポアソン比 ν | 0. 20 |

4.2.7 評価構造物諸元

(1) 評価構造物諸元と評価部位

照査を行う取水路（6号機設備）の評価構造物諸元を表4-10～表4-12に、評価部位を図4-10～図4-12に示す。

表4-10 構造物の評価部位とその仕様（A-A断面）

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|------------|------------|--|-------------------|---------|
| | 部材幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345相当) | 通水 |
| 右側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345相当) | 通水, 貯水* |
| 隔壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345相当) | 通水, 貯水* |
| 底版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345相当) | 通水 |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲

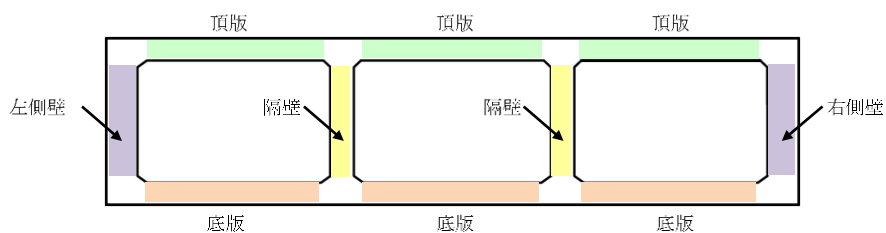


図4-10 評価部位（A-A断面）

表 4-11 構造物の評価部位とその仕様（B-B断面）

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|------------|------------|--|--------------------|---------|
| | 部材幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 右側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 隔壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 底版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲

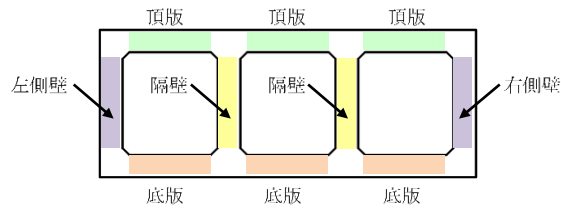


図 4-11 評価部位（B-B断面）

表 4-12 構造物の評価部位とその仕様（C-C断面）

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|------------|------------|--|--------------------|---------|
| | 部材幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 右側壁 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 隔壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 底版 | 1.000 | 1.300 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲

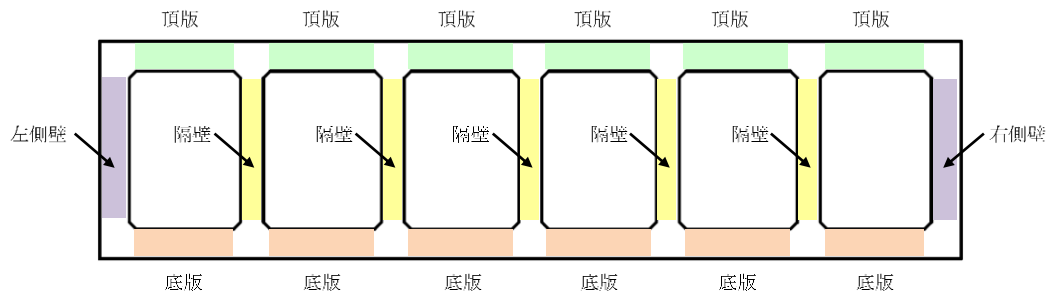


図 4-12 評価部位（C-C断面）

(2) 取水路（6号機設備）の機能要求の考え方

「(1) 評価構造物諸元と評価部位」の各表に記載した取水路（6号機設備）の機能要求について、その考え方を以下に記載する。

なお、取水路（6号機設備）には、間接支持するSクラス設備はない。

b. 通水機能

取水路（6号機設備）の通水断面を構成する各部材について、通水機能を要求するものとする。図4-13～図4-15に通水機能を要求する部材の範囲を図示する。

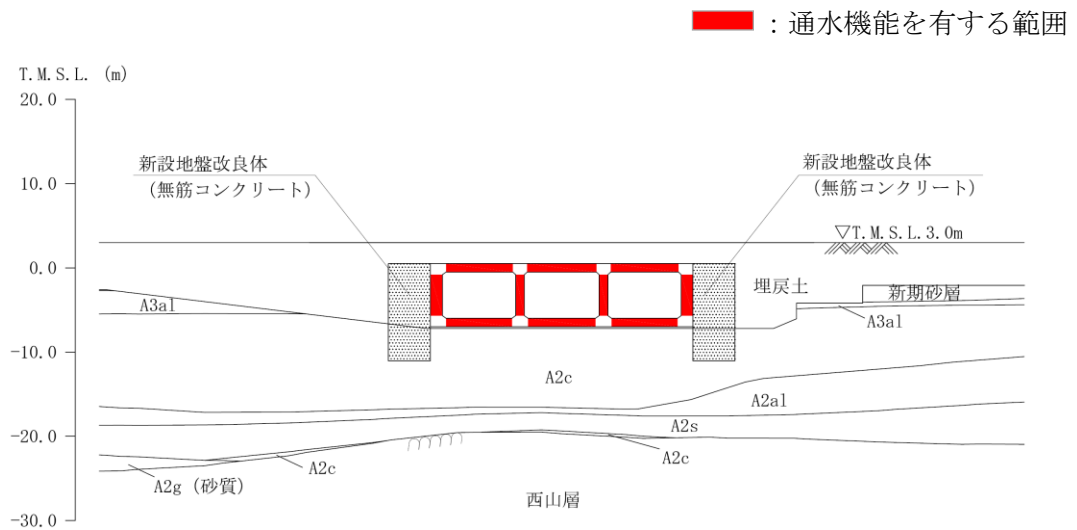
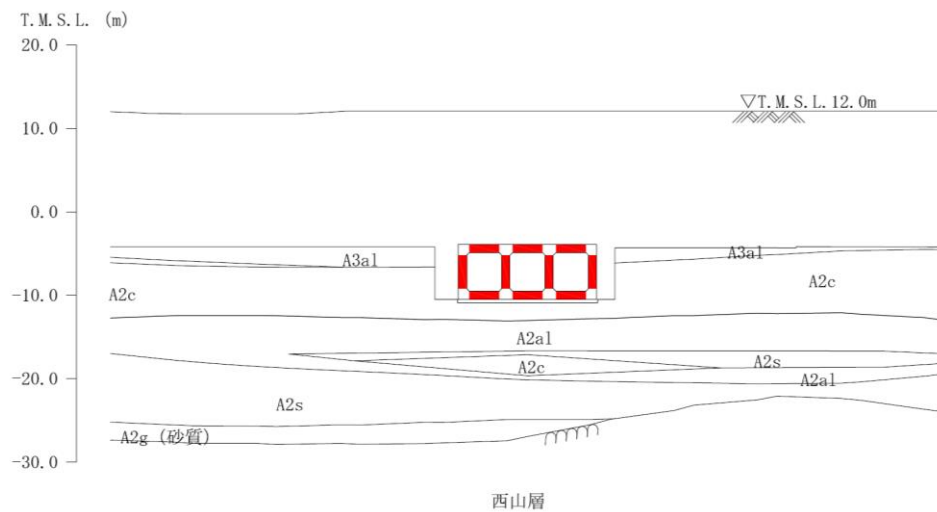


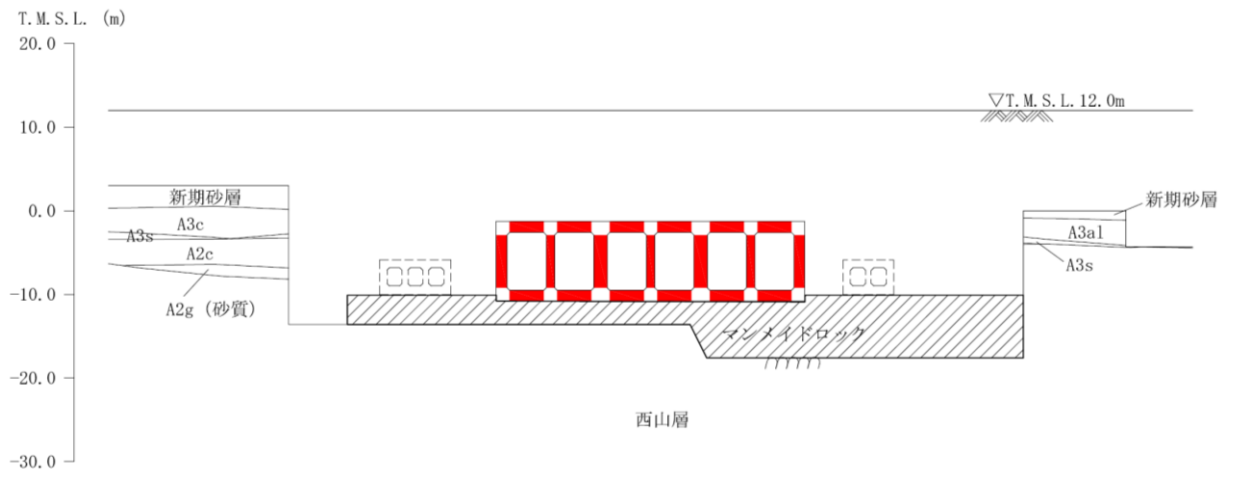
図4-13 通水機能を要求する範囲（A-A断面）



（B-B断面）

図4-14 通水機能を要求する範囲（B-B断面）

■ : 通水機能を有する範囲



(C-C断面)

図 4-15 通水機能を要求する範囲 (C-C断面)

c. 貯水機能

取水路（6号機設備）における貯水機能は、津波時の引き波時を想定した要求性能であるため、海水貯留堰天端標高(T. M. S. L. -3.5m)以下の頂版及び側壁を対象とする。

ここで、取水路（6号機設備）の周辺地盤の地下水位は常時は海水面付近にあると想定され、津波時の引き波による海水面低下が起きても、引き波の継続時間は最大約16分と短時間の現象評価されているため、取水路（6号機設備）の内水位よりも周辺地盤の地下水位の方が高い状態にあることから、取水路内の貯留水は地盤へ流出する可能性は低いものと考えられる。また、一部の側壁の側方には浮上り対策のためのセメント改良による透水性の低い地盤改良体を設置していることから、取水路内の貯留水は地盤に流出する可能性は低いものと考えられるが、当検討では側壁の健全性により貯水機能を担保することとする。

なお、底版については、スクリーン室全区間で透水係数の小さい粘性土（A2c層）若しくはマンメイドロックに接していることから、貯水機能を要求する範囲の対象外とする。

図4-16～図4-18に貯水機能を要求する部材の範囲を示す。

また、鉄筋コンクリート部材以外に貯水性能が要求される部材としては、ブロック間に設置している耐震ジョイントが挙げられる。耐震ジョイントの地震前後の健全性については、（参考資料2）に示す。

引き波の継続時間の詳細は、V-1-1-3-2「津波への配慮に関する説明書」に示す。

■ : 貯水機能を有する範囲

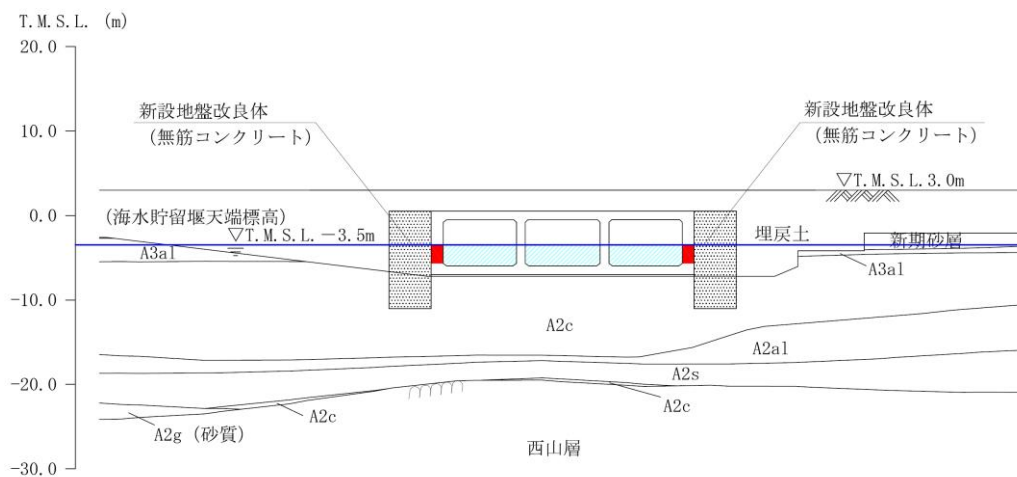
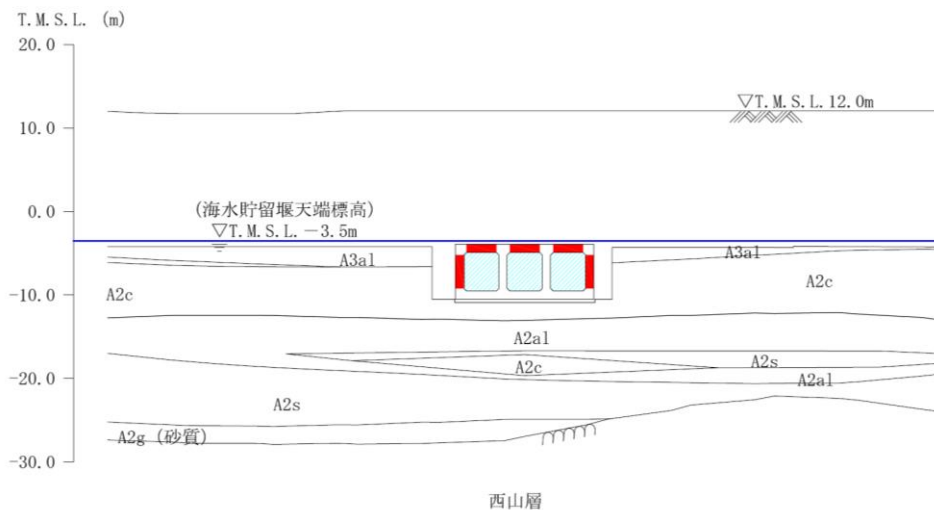


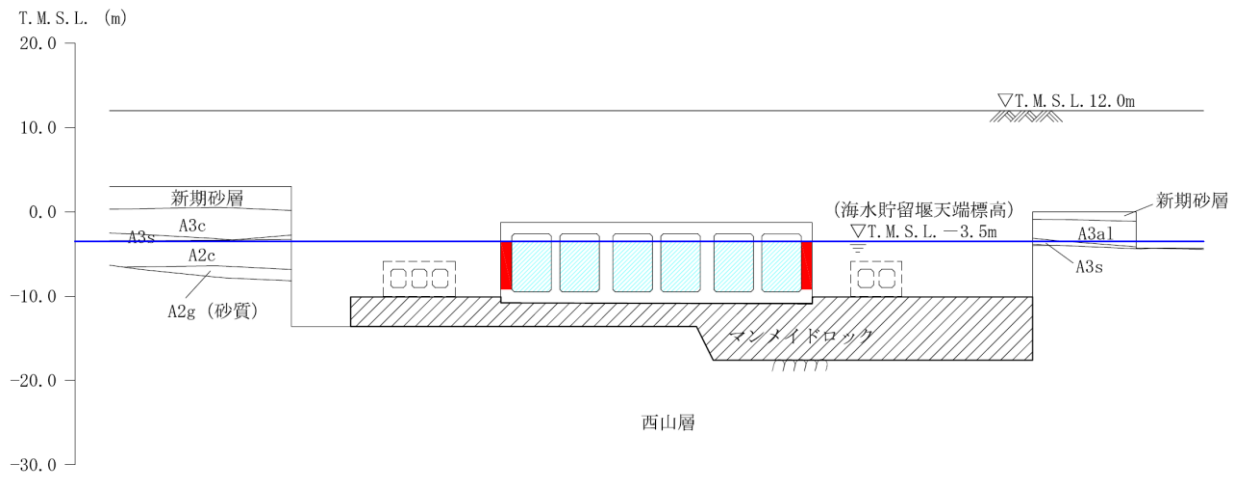
図 4-16 貯水機能を要求する範囲 (A-A断面)



(B-B断面)

図 4-17 貯水機能を要求する範囲 (B-B断面)

■ : 貯水機能を有する範囲



(C-C断面)

図 4-18 貯水機能を要求する範囲 (C-C断面)

4.2.8 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、A-A断面はT.M.S.L. 3.0m（地表面）に、B-B断面はT.M.S.L. 5.0mに、C-C断面はT.M.S.L. 8.0mに設定する。

4.2.9 地震応答解析手法

取水路（6号機設備）の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。構造部材については、はり要素を用いることとし、非線形特性についてはコンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル（H-Dモデル）を選定する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.4.1」を使用する。地震応答解析手法の選定フローを図4-19に示す。

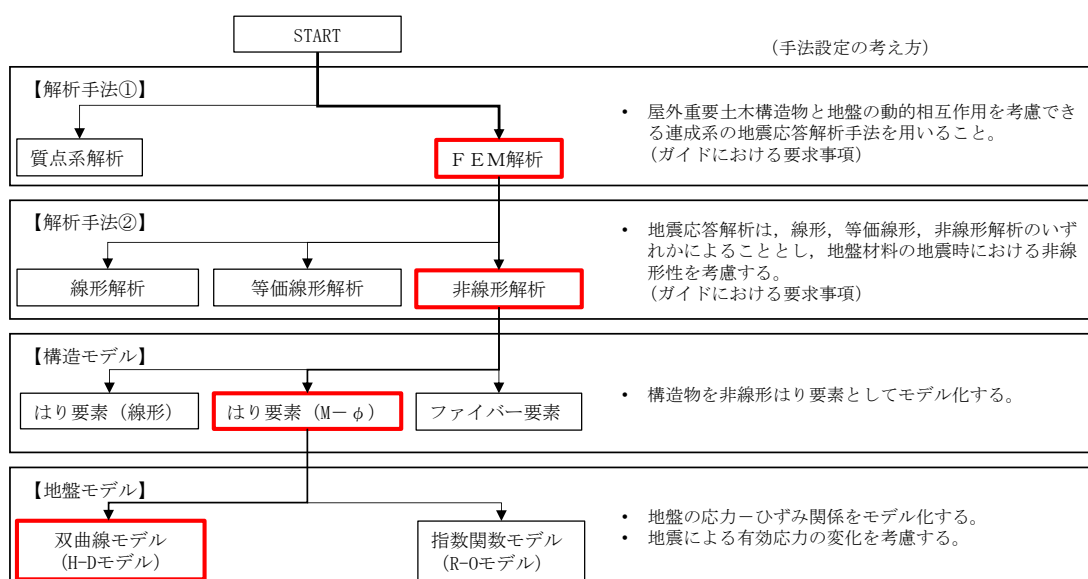


図 4-19 地震応答解析手法の選定フロー

4.2.10 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 を参考に、図 4-20 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍程度、モデル高さを構造物幅の 2 倍程度とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20 Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 又は 4 分割、すなわち $V_s/100$ 又は $V_s/80$ を考慮し、要素高さを 0.5~1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、土木学会マニュアルに、線材モデルの要素分割については、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度とするのが良い旨が示されていることを考慮し、部材の断面厚さ又は有効高さの 1.0 倍程度まで細分割して設定する。

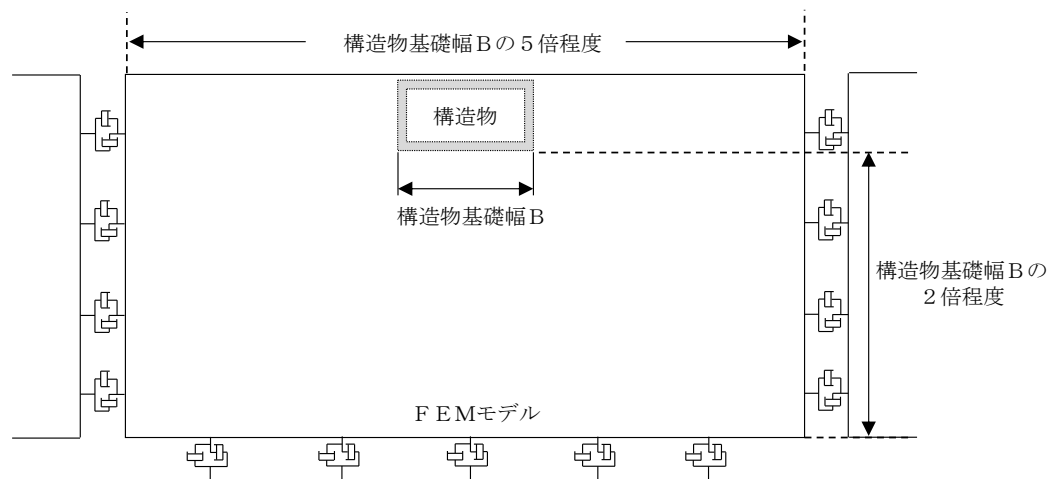


図 4-20 モデル範囲の考え方

2次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する1次元地盤モデルである。2次元有効応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図4-21に示す。また、取水路（6号機設備）周辺の地質断面図を図4-22～図4-24に示す。

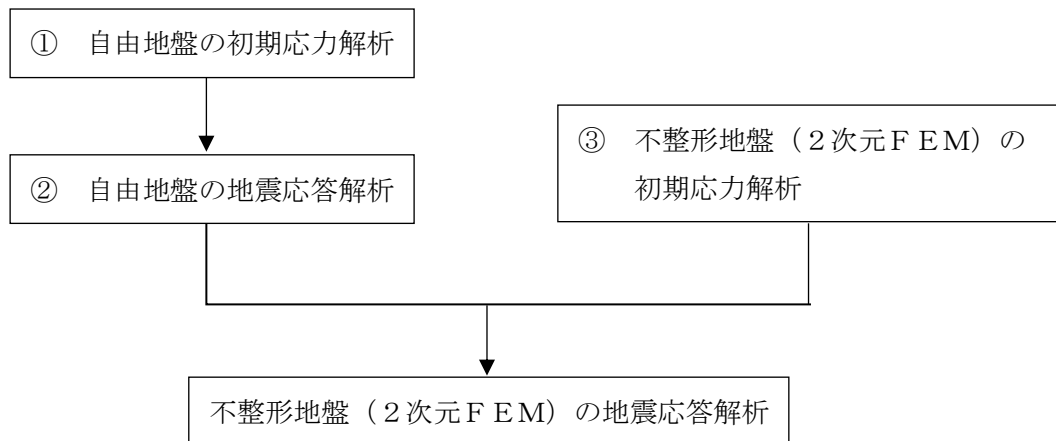


図4-21 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤（2次元FEM）の地震応答解析までのフロー

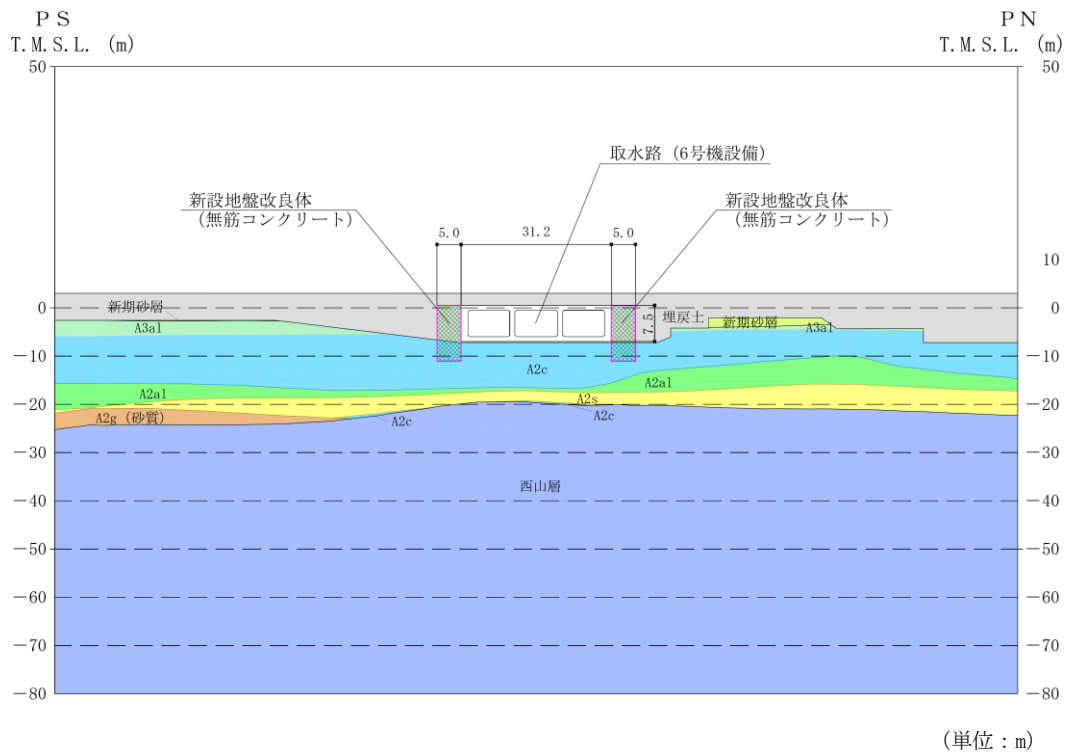


図 4-22 地質断面図 (A-A断面)

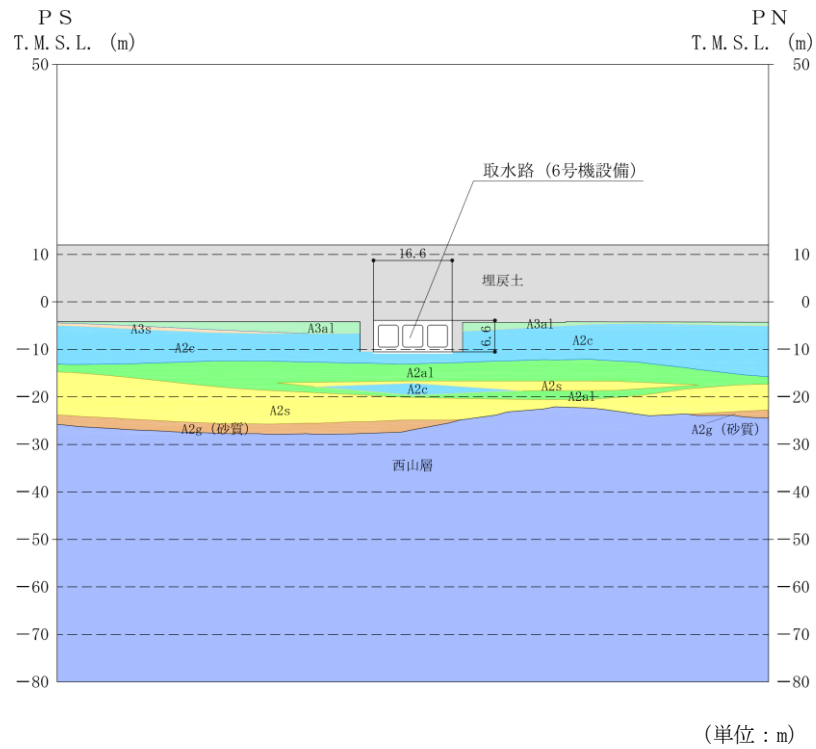


図 4-23 地質断面図 (B-B断面)

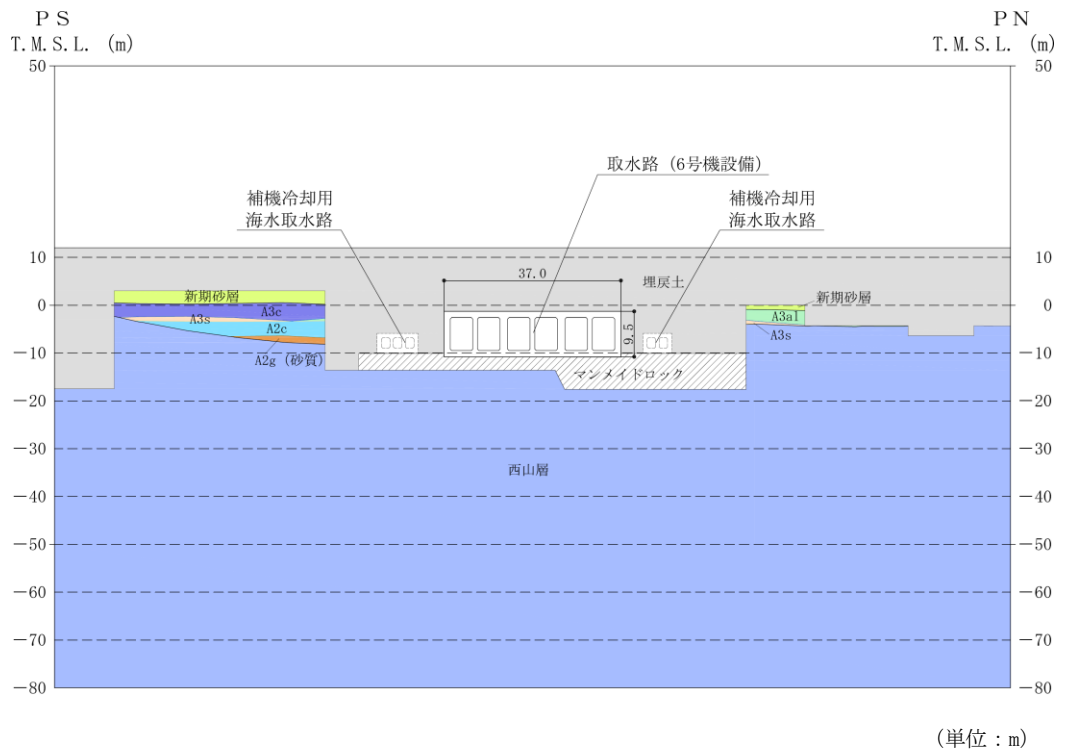


図 4-24 地質断面図 (C-C断面)

(2) 境界条件

a. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 4-25 に示す。

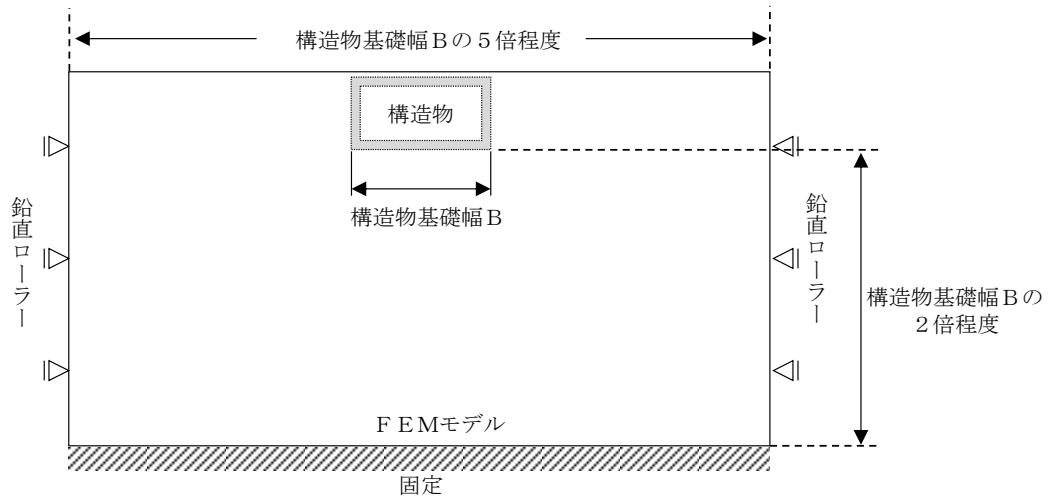


図 4-25 初期応力解析における境界条件の概念図

b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。取水路（6号機設備）の地震応答解析モデルを図4-26～図4-28に示す。

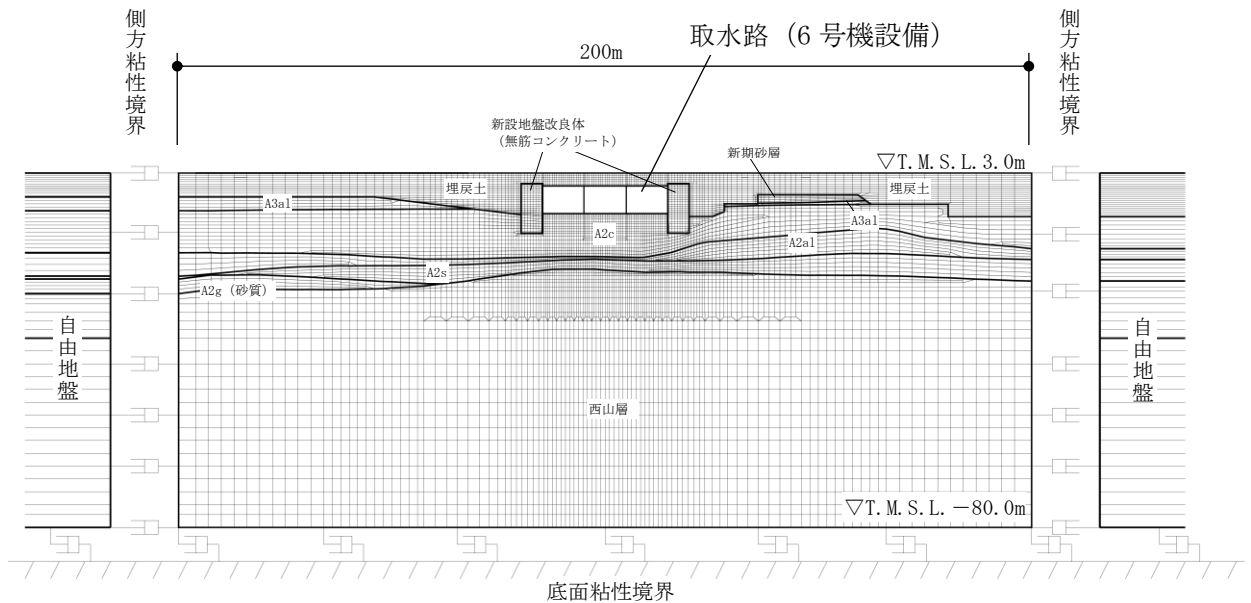


図4-26 取水路（6号機設備）の地震応答解析モデル（A-A断面）

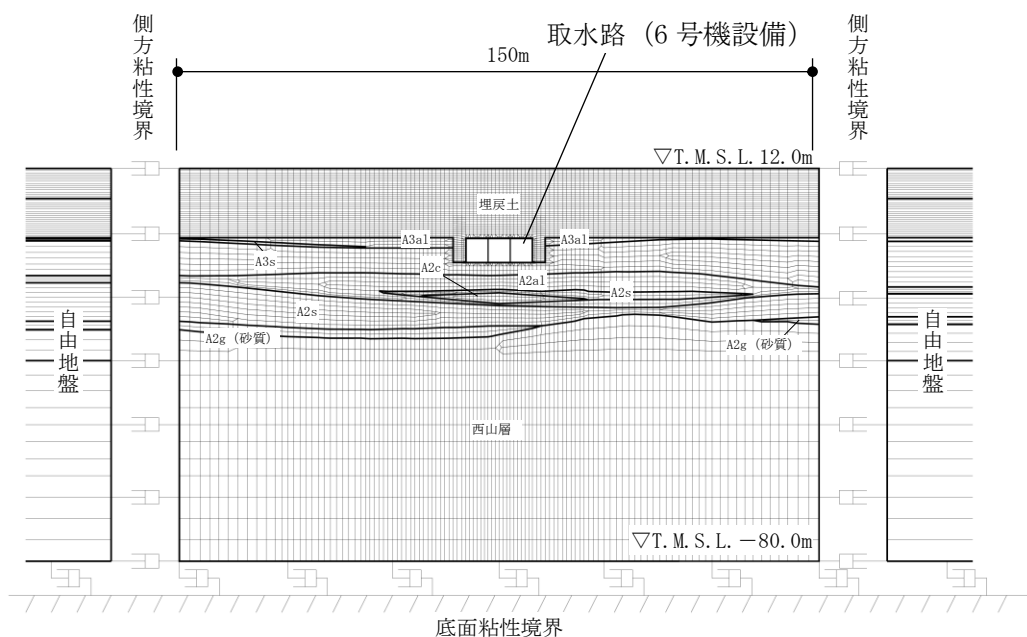


図4-27 取水路（6号機設備）の地震応答解析モデル（B-B断面）

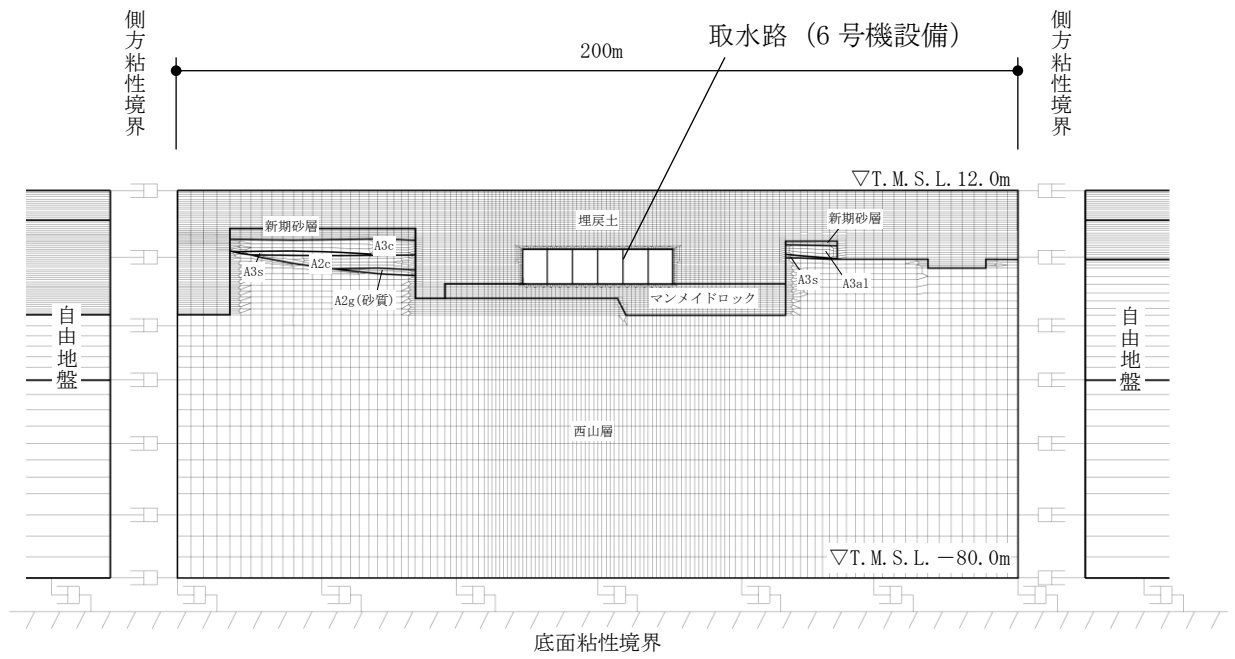


図 4-28 取水路 (6号機設備) の地震応答解析モデル (C-C断面)

(3) 構造物のモデル化

取水路（6号機設備）の各断面では，構造部材として考慮する側壁，隔壁，底版，頂版を非線形はり要素でモデル化する。

それぞれの非線形はり要素の交点には，コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。

取水路（6号機設備）の各断面の解析モデルにおける構造物部分の拡大図を，図 4-29～図 4-31 に示す。

構造部材は，単位奥行幅(1.0m)としてモデル化する。

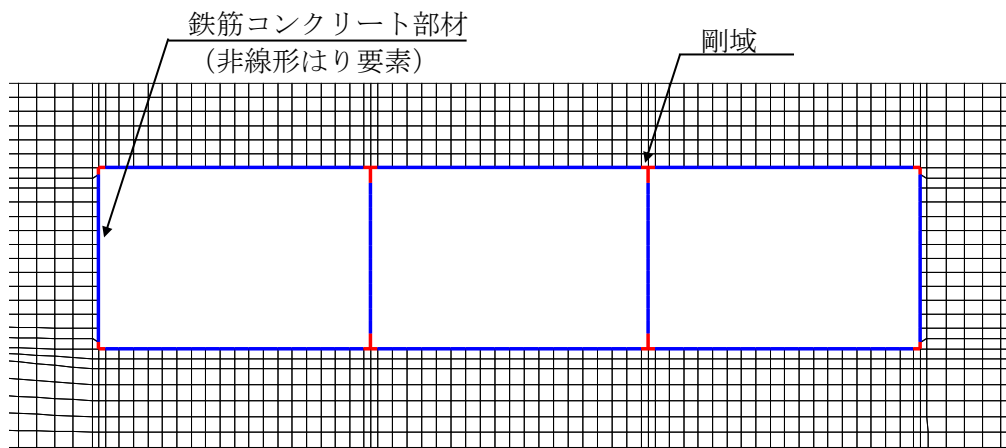


図 4-29 取水路（6号機設備）の解析モデル（構造物部分拡大部，A-A断面）

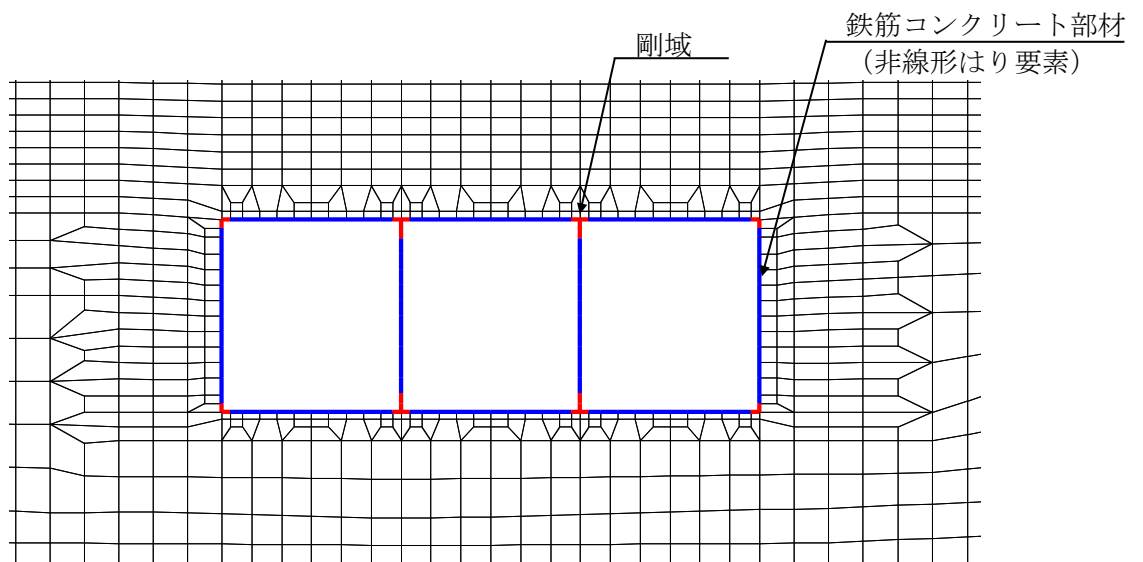


図 4-30 取水路（6号機設備）の解析モデル（構造物部分拡大部，B-B断面）

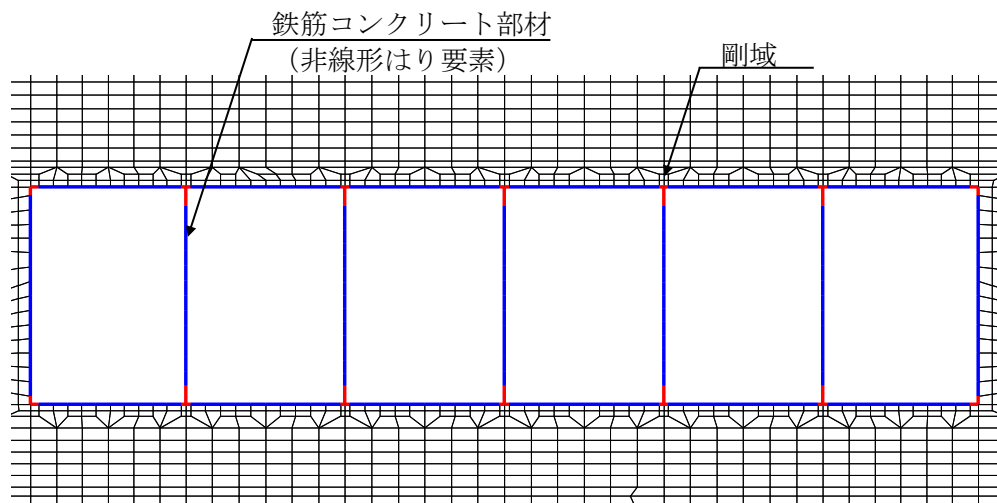


図 4-31 取水路（6号機設備）の解析モデル（構造物部分拡大部，C-C断面）

(4) 地盤及びマンメイドロックのモデル化

地盤及びマンメイドロックはマルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) 地盤改良体のモデル化

A-A断面の地盤改良体（無筋コンクリート）は，線形平面要素によりモデル化し，線形弾性体として考慮する。

(6) ジョイント要素の設定

「地盤と構造物」、「地盤改良体と構造物」、「マンメイドロックと構造物」及び「地盤と地盤改良体」との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の接合面における剥離及びすべりを考慮する。なお、「マンメイドロックと岩盤」との接合面については、マンメイドロックは、西山層と同等以上の力学特性を有する置き換え材料と設計されており、著しい剛性差がないことを踏まえ、ジョイント要素は配置しない。

ジョイント要素は、隣接する要素との接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時の圧縮荷重以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力を零とし、剥離を考慮する。せん断方向については、各要素間の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性を零とし、すべりを考慮する。

なお、せん断強度 τ_f は、次式により規定される。

$$\tau_f = c_B + \sigma' \tan \phi_B$$

ここで、

σ' : 要素間の直応力

c_B : 付着力

ϕ_B : 摩擦角

要素間の付着力 c_B 、摩擦角 ϕ_B は、表 4-13 に示す道路橋示方書の設定を参考に、表 4-14 のとおりに設定する。周辺地盤の粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、表 4-15 のとおりに設定する。

表 4-13 道路橋示方書における摩擦角 ϕ_B と付着力 c_B

| 条 件 | 摩擦角 ϕ_B (摩擦係数 $\tan \phi_B$) | 付着力 c_B |
|--------------------|--|-----------|
| 土とコンクリート | $\phi_B = \frac{2}{3} \phi$ | $c_B = 0$ |
| 土とコンクリートの間に栗石を敷く場合 | $\tan \phi_B = 0.6$ $\phi_B = \phi$ } の小さい方 | $c_B = 0$ |
| 岩とコンクリート | $\tan \phi_B = 0.6$ | $c_B = 0$ |
| 土と土又は岩と岩 | $\phi_B = \phi$ | $c_B = c$ |

ただし、 ϕ : 支持地盤のせん断抵抗角 (°) c : 支持地盤の粘着力 (kN/m²)

(道路橋示方書より引用)

表 4-14 要素間の付着力 c_B と摩擦角 ϕ_B

| 条件 | 付着力 c_B (kN/m ²) | 摩擦角 ϕ_B (°) |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------|
| 地盤と構造物 | 0 | $2/3 \phi$ |
| 地盤改良体* ¹ と構造物 | 0 | 31 |
| マンメイドロック* ¹ と構造物 | 0 | 31 |
| 地盤と地盤改良体* ² | c | ϕ |

注記*1：地盤改良体及びマンメイドロックは、その性状から道路橋示方書における岩とみなす。

*2：地盤と地盤改良体の付着力と摩擦角は、地盤の c 、 ϕ を適用する。

表 4-15 周辺地盤の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ

| 地質区分 | 粘着力 c (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|-------|------------------------------|----------------------------|
| 埋戻土 | 0.0 (9.6) * ¹ | 35.9 (34.8) * ¹ |
| A2c 層 | 113.0 | 27.9 |

注記*1：括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

*2：Zは、標高 (m) を示す。

また、ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、港湾構造物設計事例集(上巻)(沿岸技術研究センター、平成19年3月)に従い、表4-16の通り設定する。ジョイント要素の力学特性を図4-32に、ジョイント要素の配置を図4-33に示す。

表 4-16 ジョイント要素のばね定数

| 対象 | せん断剛性 k_s (kN/m ³) | 圧縮剛性 k_n (kN/m ³) |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 側方及び底面 | 1.0×10^6 | 1.0×10^6 |

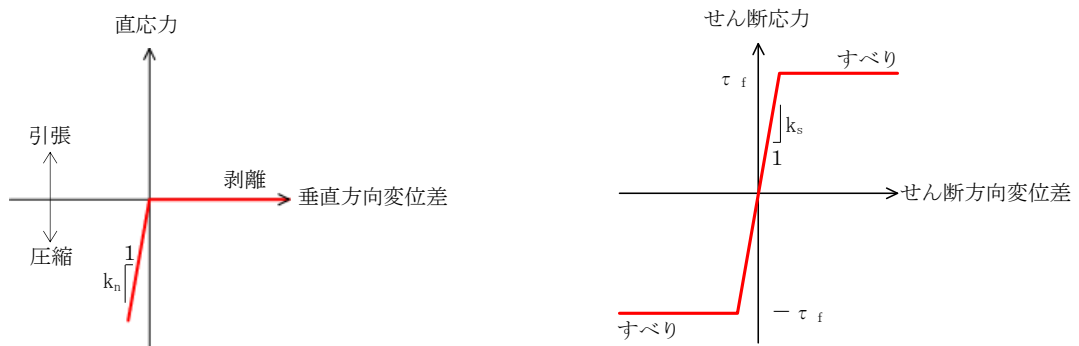
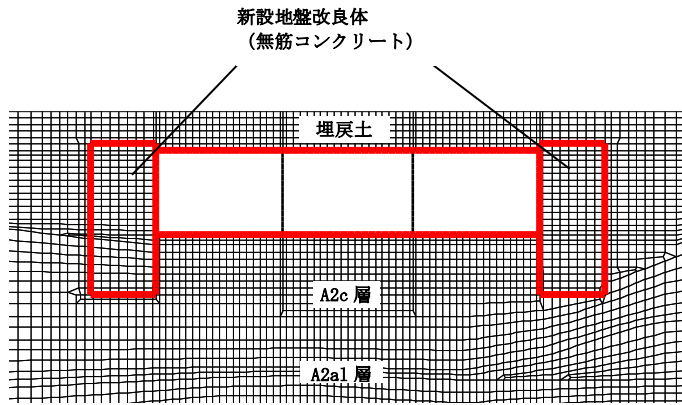
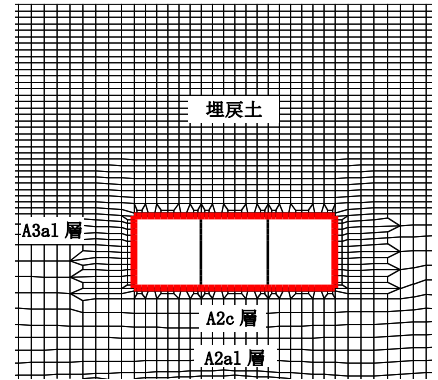


図 4-32 ジョイント要素の力学特性

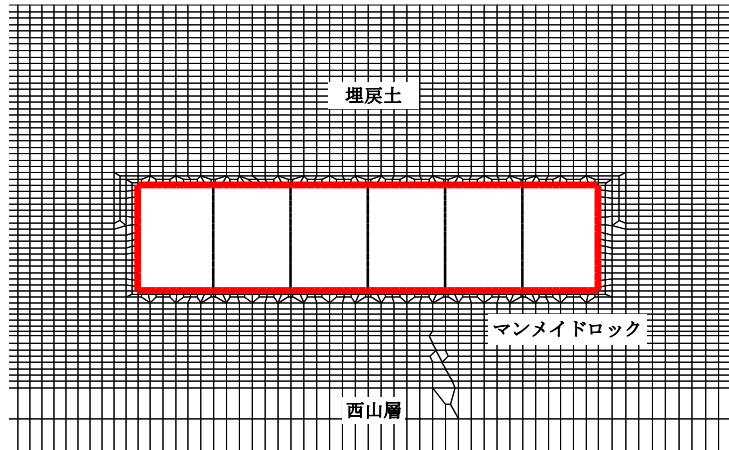
— : ジョイント要素



(A-A断面)



(B-B断面)



(C-C断面)

図 4-33 ジョイント要素の配置

(7) 材料特性の設定

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素を用いてモデル化する。非線形特性の設定においては、コンクリート及び鉄筋について、それぞれの非線形性を考慮する。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。

部材の非線形特性は以下のとおりである。

図 4-34 に、鉄筋コンクリート部材におけるM- ϕ 関係のトリリニアモデルによる骨格曲線を示す。また、コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ曲線を図 4-35 及び図 4-36 に示す。トリリニアモデルによる骨格曲線と履歴特性の関係を図 4-37 に示す。履歴特性には、修正武田モデルを適用する。

有効応力解析コード「F L I P Ver. 7.4.1」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされることから、常時応力解析により各部材に発生する軸力にて当該非線形特性を設定する。軸力変動が部材の非線形特性に及ぼす影響については、(参考資料 3) に示す。

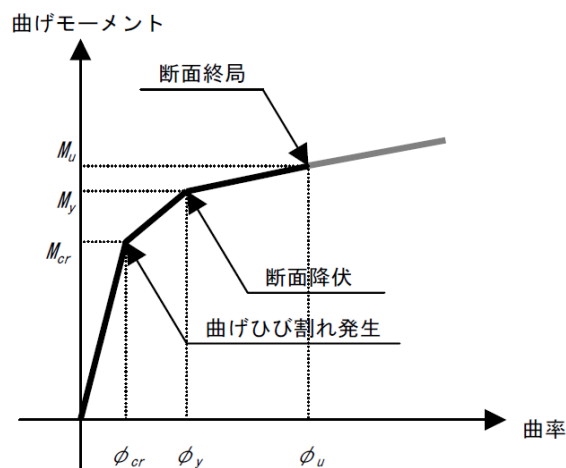


図 4-34 M- ϕ 関係のトリリニアモデル (鉄筋コンクリート部材)

(土木学会マニュアルより引用)

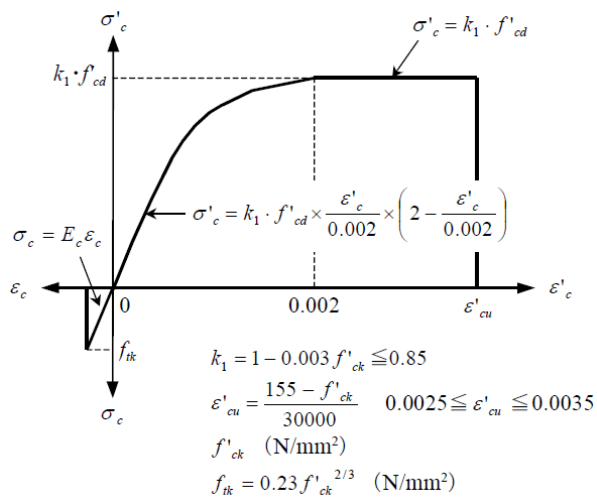


図 4-35 コンクリートの応力-ひずみ曲線
(土木学会マニュアルより引用)

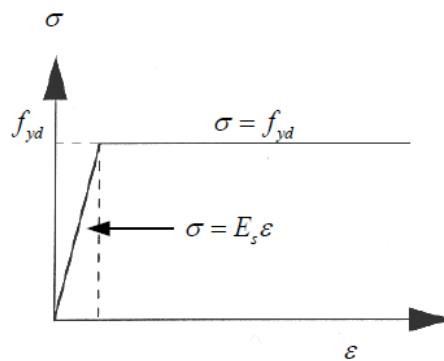


図 4-36 鉄筋の応力-ひずみ曲線
(土木学会マニュアルより引用)

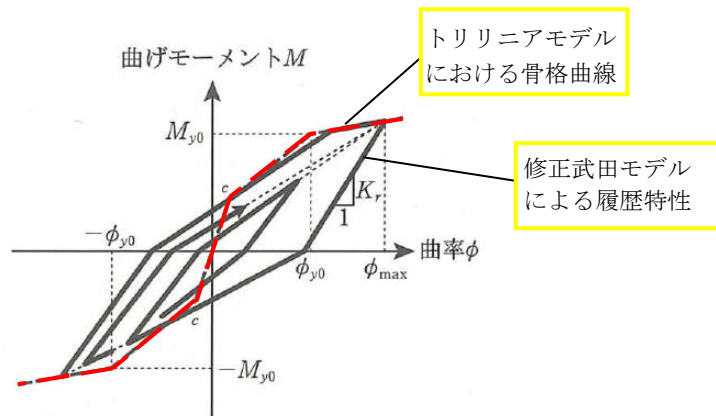


図 4-37 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)
(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (平成 14 年 3 月) より引用)

4.2.11 減衰定数

減衰定数は、KK7 補足-027-1「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に基づき設定する。

4.2.12 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせ設定する。地震荷重には、地震時土圧及び動水圧の反力による荷重が含まれるものとする。なお、取水路（6号機設備）には荷重として考慮すべき機器・配管は存在しない。

積雪荷重については、取水路（6号機設備）が地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力を組合せる荷重としては除外した。

なお、取水路（6号機設備）は地中に埋設された構造物であることから、運転時の異常な過度変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地中で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 4-17 に示す。

表 4-17 荷重の組合せ

| 種別 | | 荷重 | | 算定方法の概要 |
|----------------|-------|---------|--|---|
| 永久荷重 | 固定荷重 | 躯体自重 | ○ | ・設計図書に基づき、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する |
| | | 機器・配管自重 | — | ・機器・配管はないことから、考慮しない |
| | | 土被り荷重 | ○ | ・常時応力解析により設定する |
| | | 永久上載荷重 | — | ・地盤表面に恒常的に置かれる設備等はないことから、考慮しない |
| | | 静止土圧 | ○ | ・常時応力解析により算定する |
| | | 外水圧 | ○ | ・解析断面の地下水位（T.M.S.L. 3.0m, T.M.S.L. 5.0m, T.M.S.L. 8.0m）に応じた静水圧を設定する ・地下水の密度を考慮する |
| | | 内水圧 | ○ | ・T.M.S.L. 1.0m*に応じた静水圧を設定する ・海水の密度を考慮する |
| | | 雪荷重 | — | ・埋設構造物であるため、積雪を考慮しない |
| 偶発荷重 (地震荷重) | 水平地震動 | ○ | ・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮する | |
| | 鉛直地震動 | ○ | ・躯体、動土圧を考慮する | |
| | 動水圧 | ○ | ・水位条件及び密度は、永久荷重のうち内水圧と同様とする ・地震時動水圧を付加質量により考慮する | |

注記*：内水圧の水位は、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対し、保守性を考慮し T.M.S.L. 1.0m とする。（共通条件：スクリーン室（6号機設備）、取水路（6号機設備））

(1) 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、A-A断面を T.M.S.L. 3.0m に、B-B断面を T.M.S.L. 5.0m に、C-C断面を T.M.S.L. 8.0m として設定する。設定の際は、地下水の密度として、 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

(2) 内水圧

取水路（6号機設備）の内部には、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対して保守的に設定した T.M.S.L. 1.0m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

a. A-A断面（漸縮部）

A-A断面における内水圧図を図 4-38 に示す。

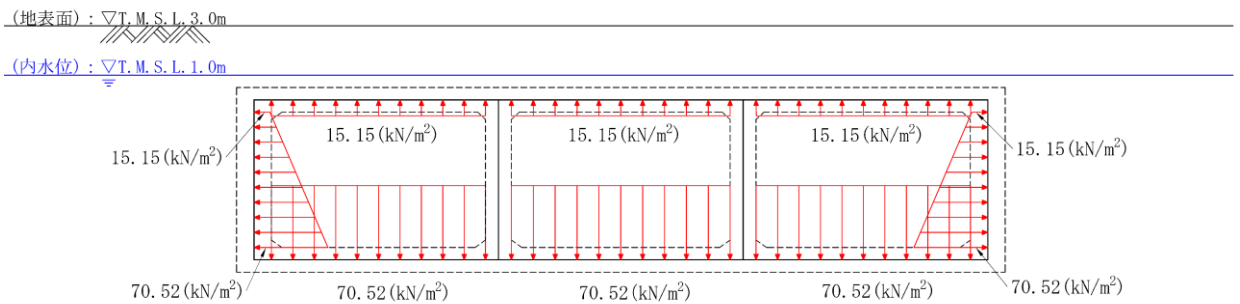


図 4-38 内水圧図（A-A断面）

b. B-B断面（一般部）

B-B断面における内水圧図を図 4-39 に示す。

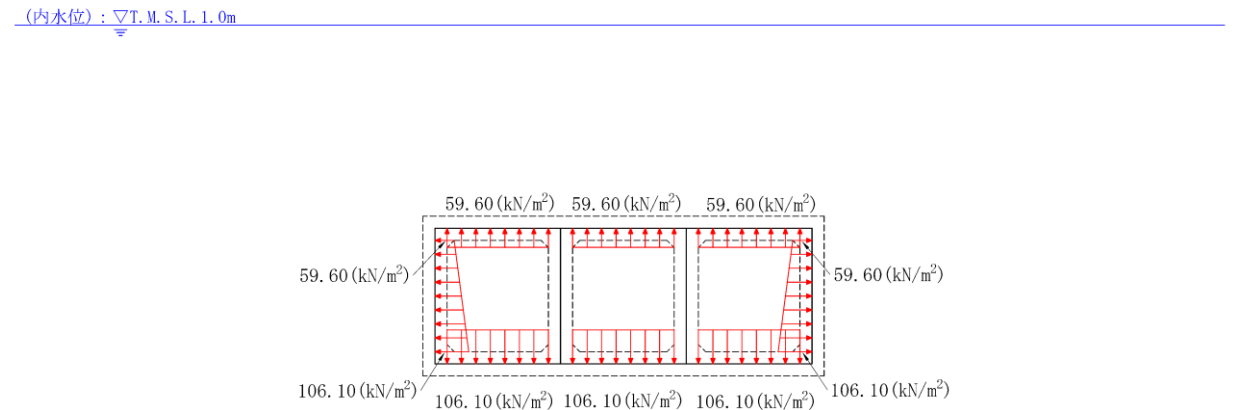


図 4-39 内水圧図（B-B断面）

- c. C-C断面 (漸拡部)
 C-C断面における内水圧図を図 4-40 に示す。

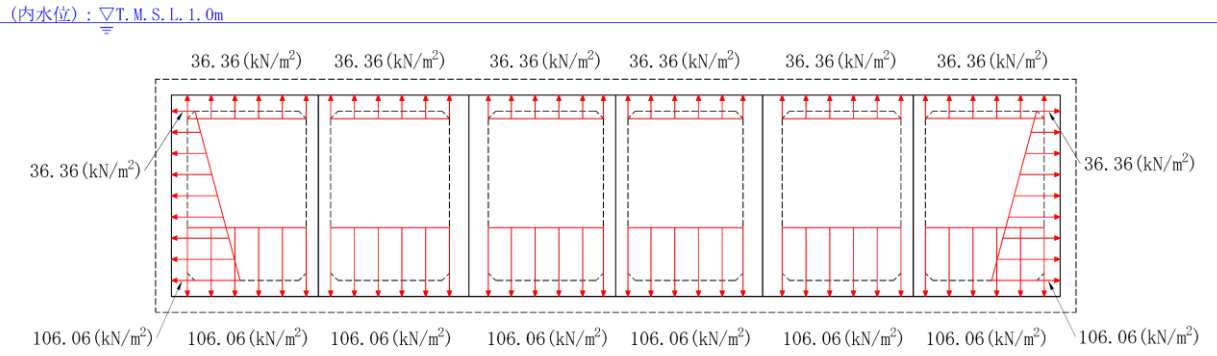


図 4-40 内水圧図 (C-C断面)

(3) 動水圧

取水路（6号機設備）の内部には、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対して保守的に設定した T.M.S.L. 1.0m を水面とした動水圧を付加質量として設定し、地震時の影響を考慮する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

a. A-A断面（漸縮部）

A-A断面における動水圧図を図4-41に示す。

A-A断面は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

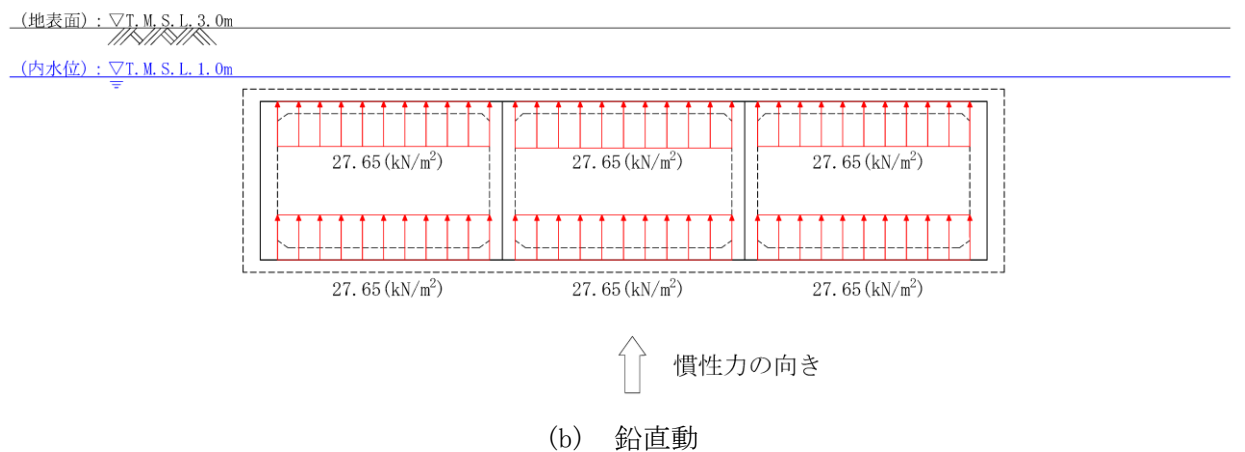
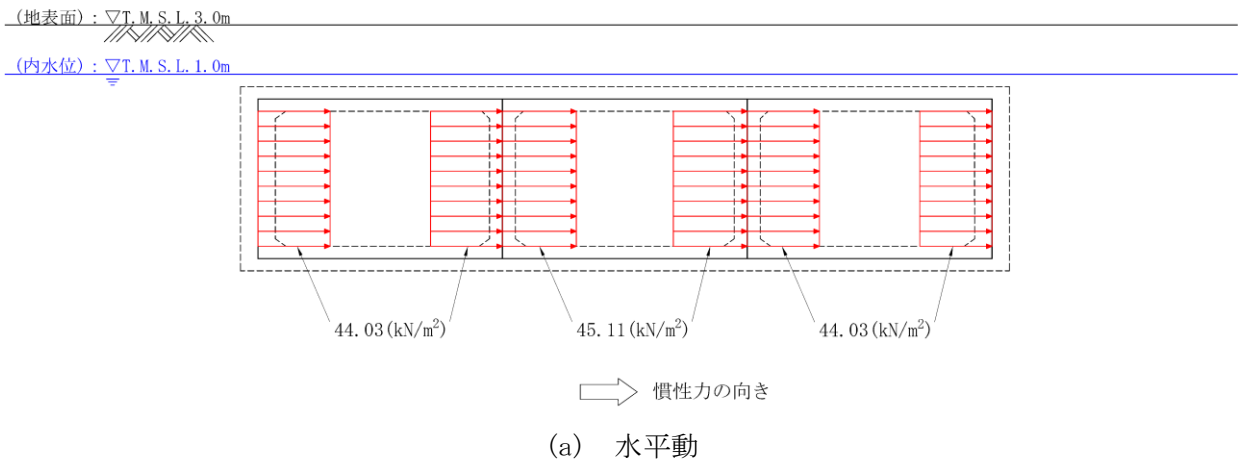


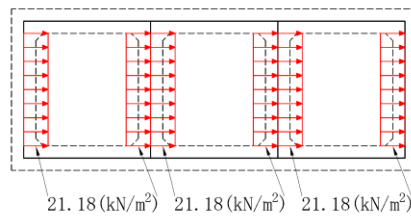
図4-41 動水圧図（A-A断面）

b. B-B断面（一般部）

B-B断面における動水圧図を図4-42に示す。

B-B断面は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

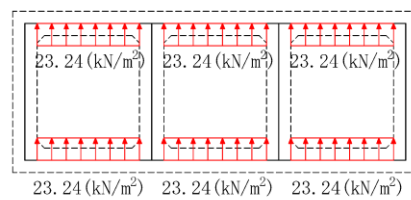
(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1. 0m



慣性力の向き

(a) 水平動

(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1. 0m



慣性力の向き

(b) 鉛直動

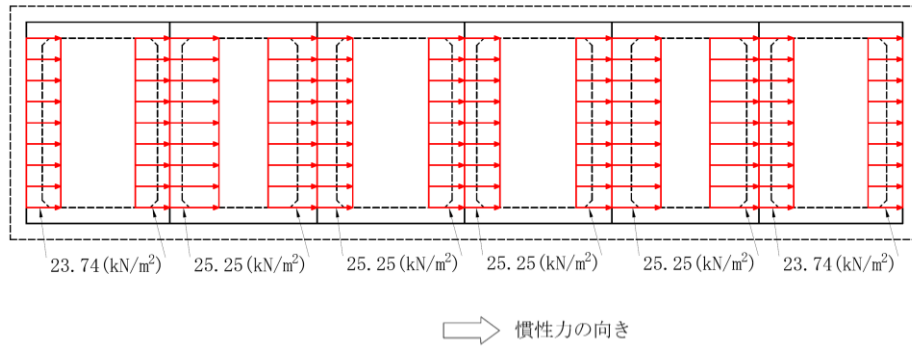
図4-42 動水圧図（B-B断面）

c. C-C断面（漸拡部）

C-C断面における動水圧図を図4-43に示す。

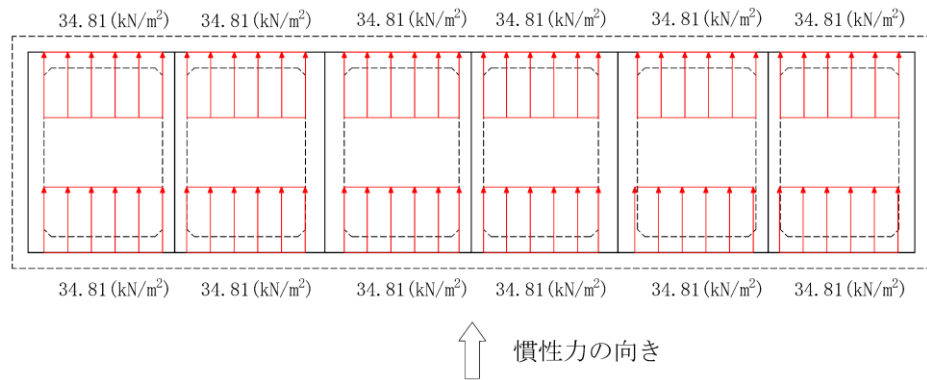
C-C断面は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

(内水位) : $\nabla T.M.S.L. 1.0m$



(a) 水平動

(内水位) : $\nabla T.M.S.L. 1.0m$



(b) 鉛直動

図4-43 動水圧図（C-C断面）

4.2.13 耐震評価における解析ケース

取水路（6号機設備）は地中埋設構造物であるため、地震時の応答は地盤の応答に大きく影響される。また、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から地盤構造物間の摩擦を介して作用する頂版せん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、補機冷却用海水取水路の耐震評価においてばらつきを考慮する物性値は、地盤の初期せん断弾性係数 G_0 とする。

耐震評価における解析ケースを表 4-18 に示す。

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層（埋戻土及び新期砂層）のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層（沖積層及び古安田層）のばらつきは、各地層のPS検層の結果からせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する。（解析ケース②, ③, ⑤）。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1σ) にて設定する（解析ケース①, ②, ③）。

また、構造物の応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する（解析ケース④, ⑤）。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース（①～⑤）を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対して解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げ軸力照査及びせん断力照査をはじめとした全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加解析ケースとして解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい地震動の選定は、照査値 1.0 に対して 2 倍の余裕となる照査値 0.5 以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図 4-44 に示す。

表 4-18 耐震評価における解析ケース

| 解析ケース | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | | |
|------------|-------|---------------|----------------------------|---|-------------------|--|--|--|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース | | |
| 地盤剛性の設定 | | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1σ) | 地盤剛性 (-1σ) | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1σ) | | |
| 液状化強度特性の設定 | | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 | | |
| 地震動 (位相) | Ss-1 | ++* | 実施 | | | | | |
| | | + - * | 実施 | | | | | |
| | | - + * | 実施 | | | | | |
| | | --* | 実施 | | | | | |
| | Ss-2 | | 実施 | | | | | |
| | Ss-3 | ++* | 実施 | 全ての基準地震動 S _s に対して実施する①の解析ケース (基本ケース) において、せん断力照査及び曲げ軸力照査をはじめとした全ての照査項目について、各照査値が最も厳しい (許容限界に対する余裕が最も小さい) 地震動を用い、②~⑤より追加解析ケースを実施する。 また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。 | | | | |
| | | + - * | 実施 | | | | | |
| | | - + * | 実施 | | | | | |
| | | --* | 実施 | | | | | |
| | Ss-4 | | 実施 | | | | | |
| | Ss-5 | | 実施 | | | | | |
| | Ss-6 | | 実施 | | | | | |
| Ss-7 | | 実施 | | | | | | |
| Ss-8 | ++* | 実施 | | | | | | |
| | - + * | 実施 | | | | | | |

注記* : 表中の符号+, -は地震動の位相 (水平, 鉛直) を示す。

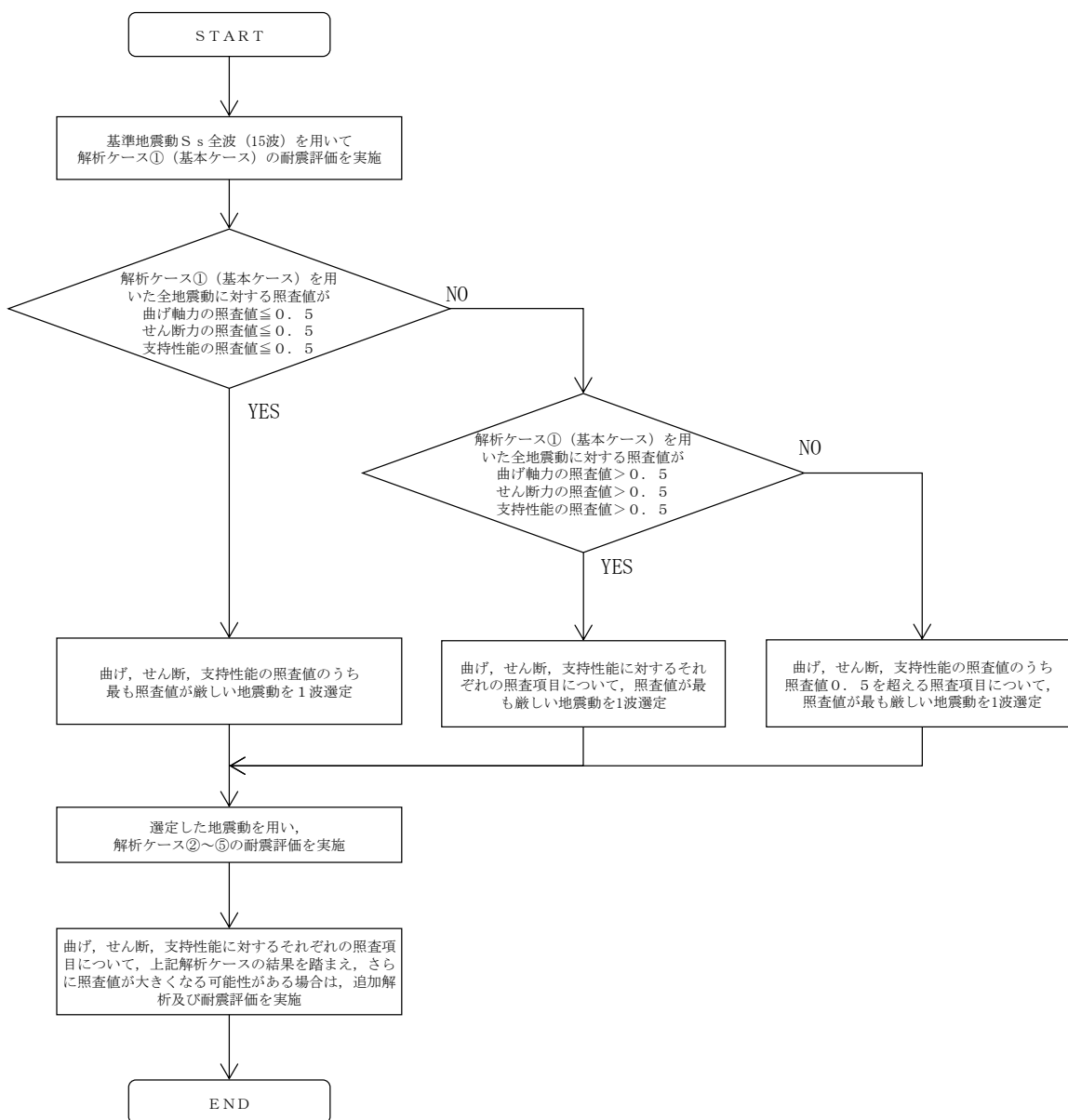


図 4-44 追加解析ケースを実施する地震動の選定フロー

4.3 評価内容（部材非線形解析）

4.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動の設定においては、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルとし、原子炉建屋と同様のものをを用いる。

入力地震動算定の概念図を図 4-45 に、入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 4-46～図 4-61 に示す。入力地震動の算定には解析コード「S L O K Ver. 2.0」を使用する。

なお、基準地震動 S_s のうち、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。

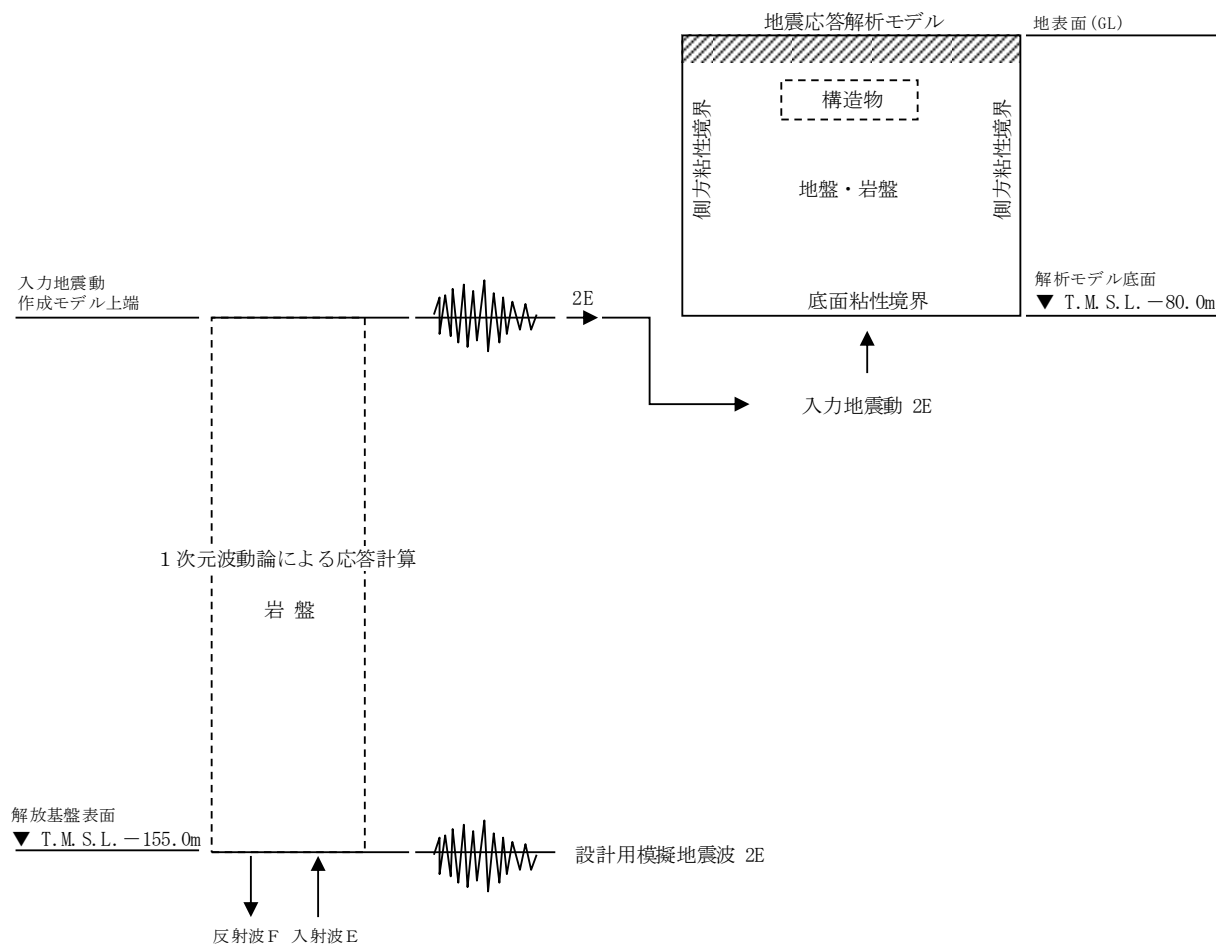
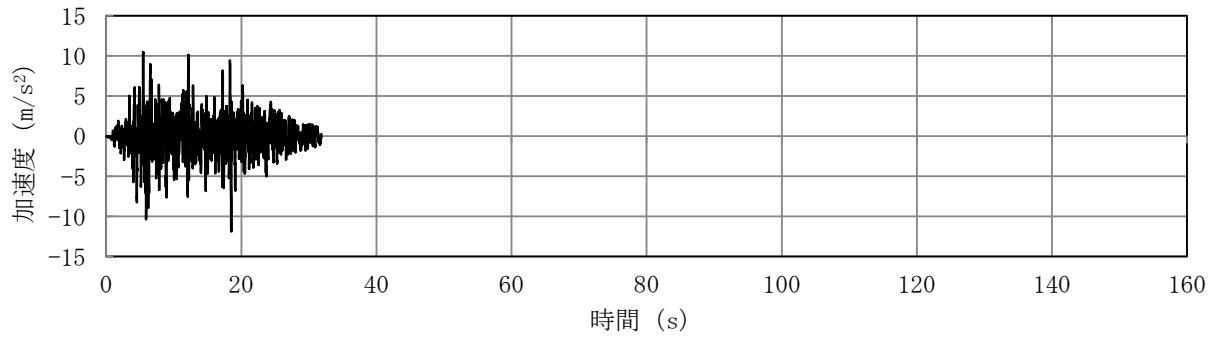
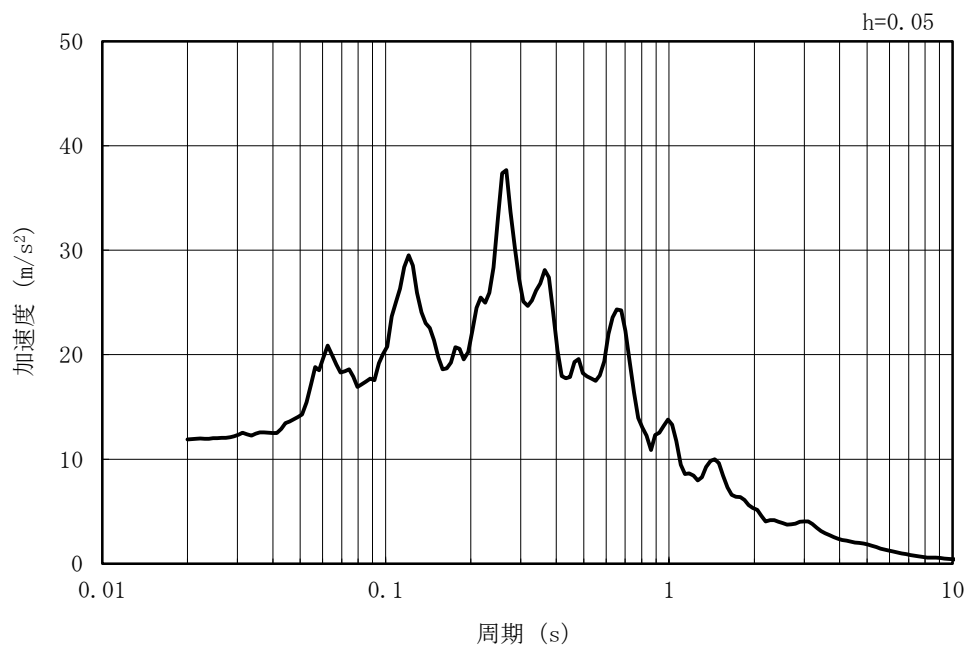


図 4-45 入力地震動算定の概念図

MAX 11.88m/s² (18.51s)



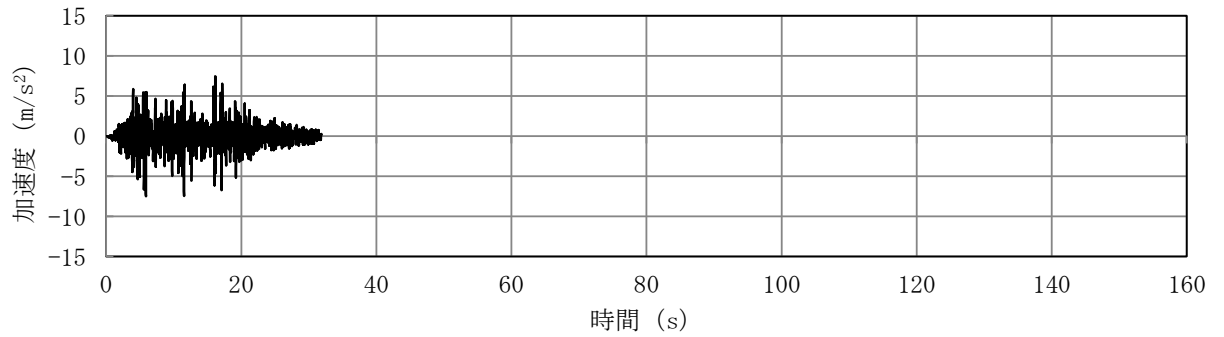
(a) 加速度時刻歴波形



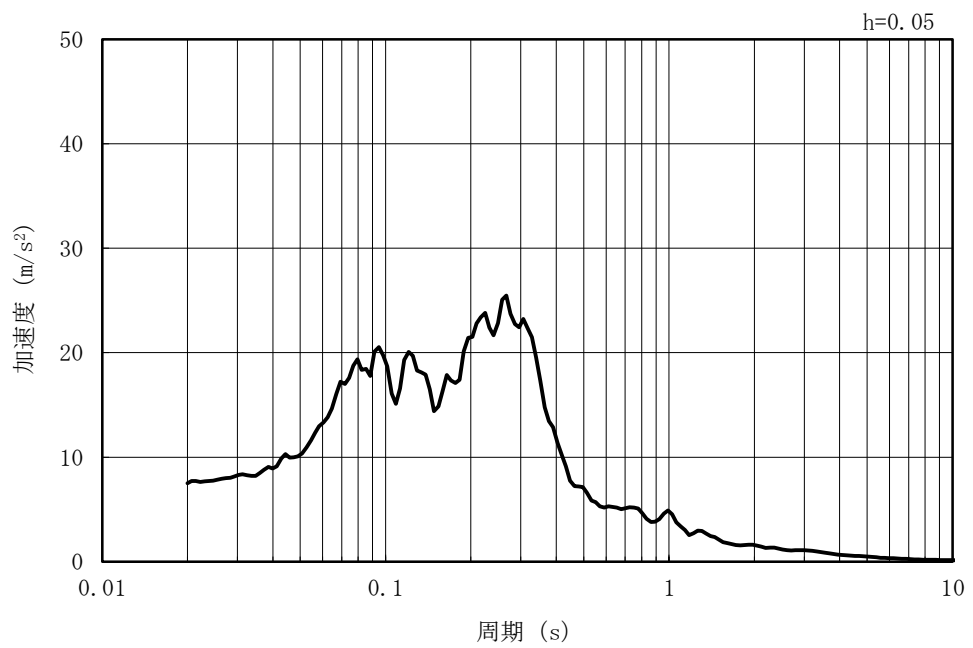
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-46 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-1)

MAX 7.49m/s² (5.88s)



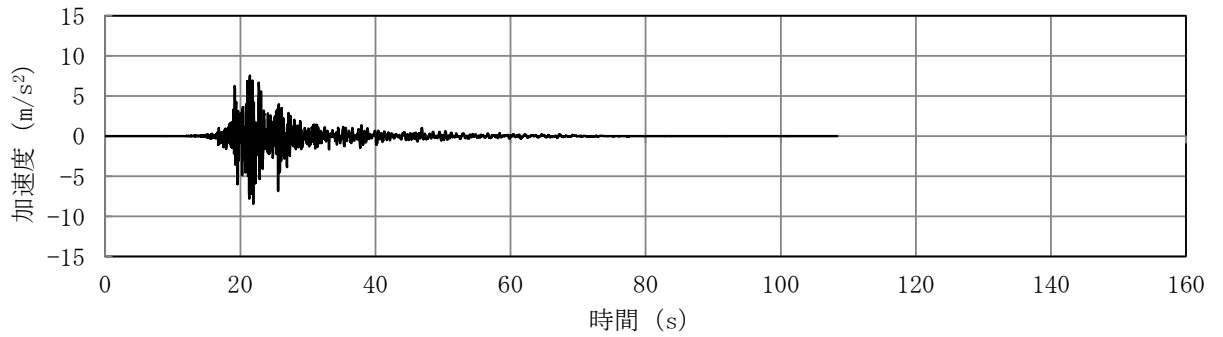
(a) 加速度時刻歴波形



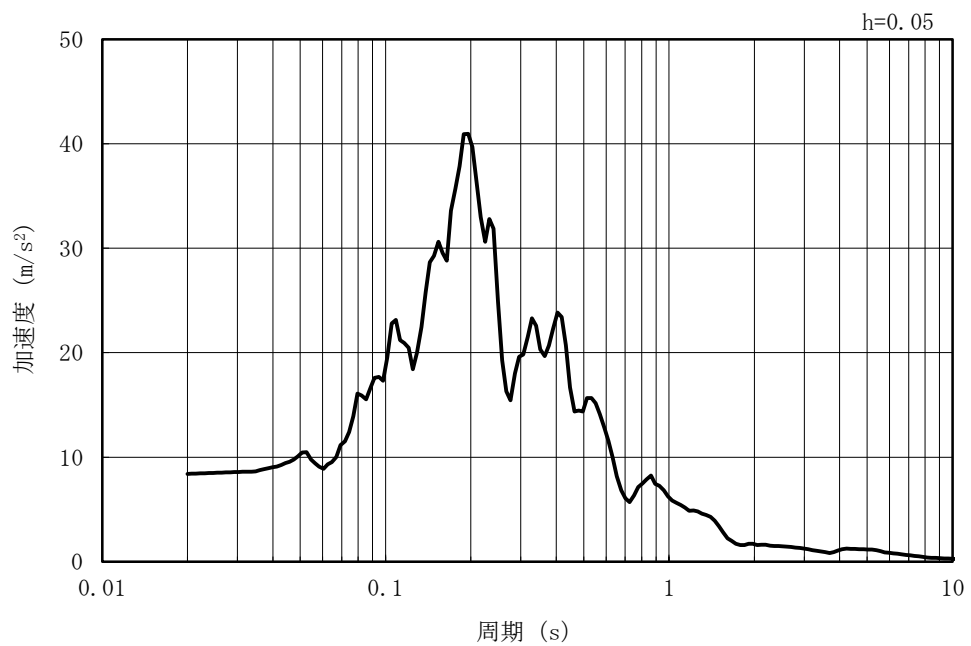
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-1)

MAX 8.40m/s² (21.92s)

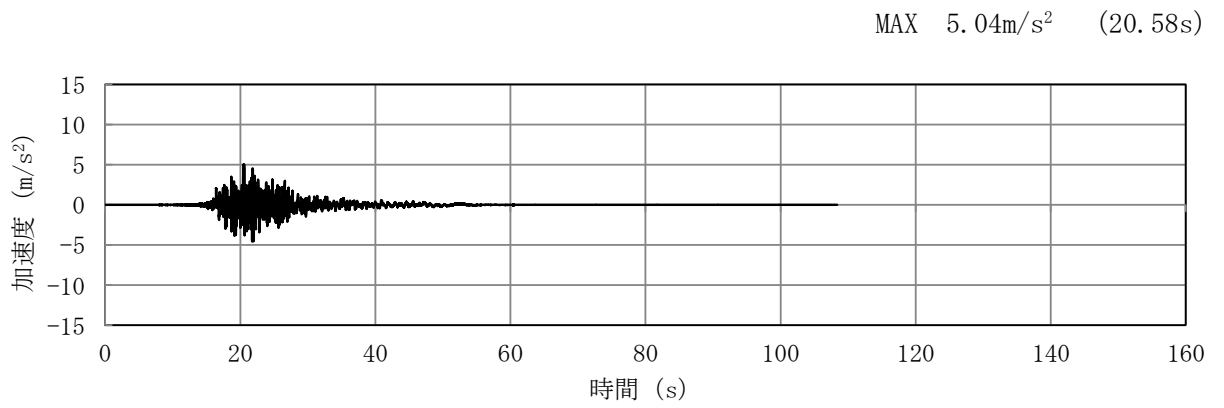


(a) 加速度時刻歴波形

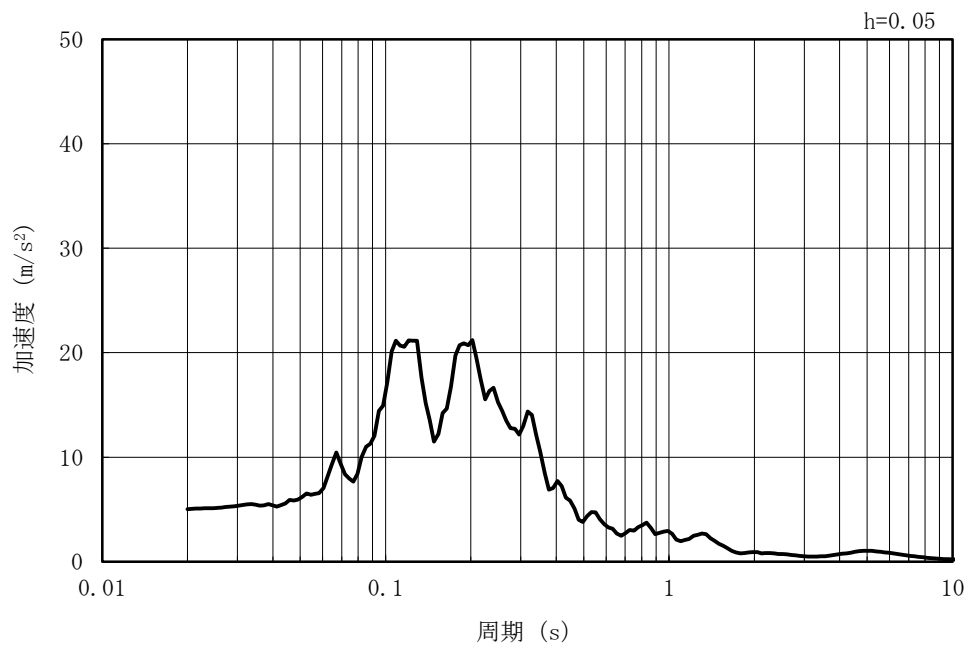


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2NS)



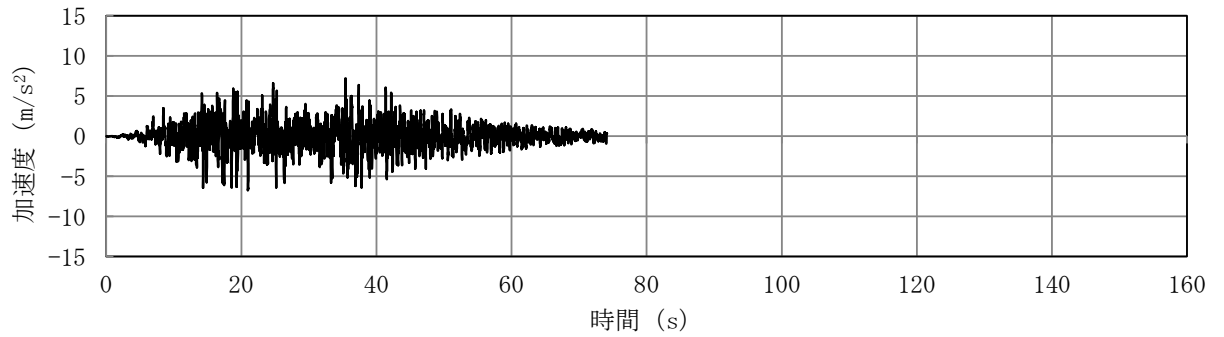
(a) 加速度時刻歴波形



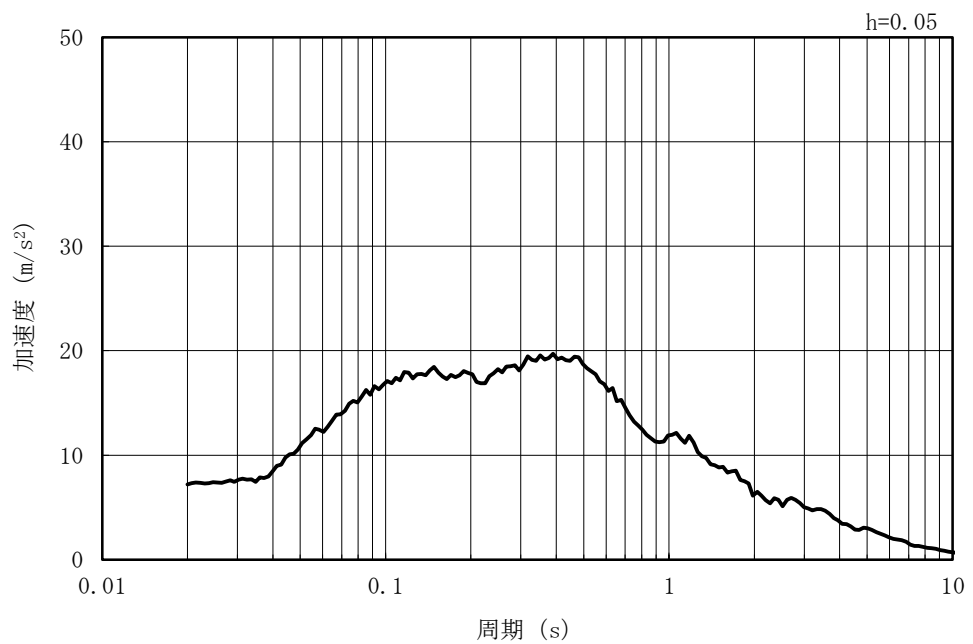
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-2NS)

MAX 7.18m/s² (35.43s)



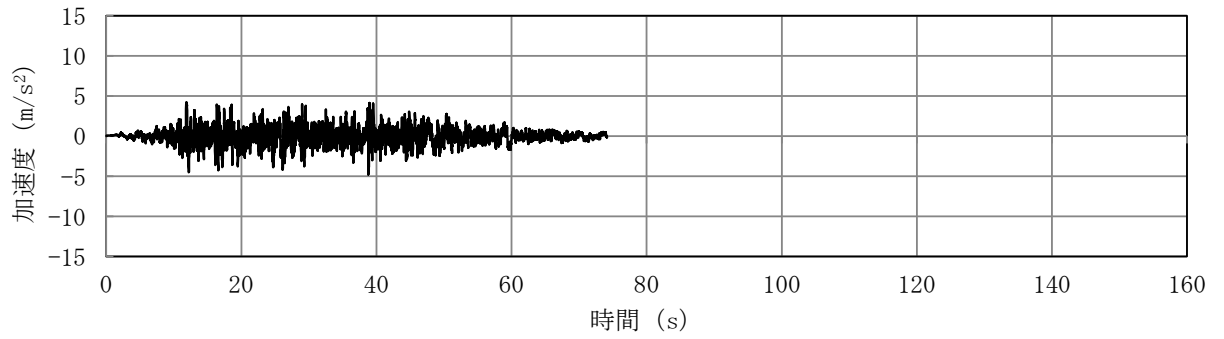
(a) 加速度時刻歴波形



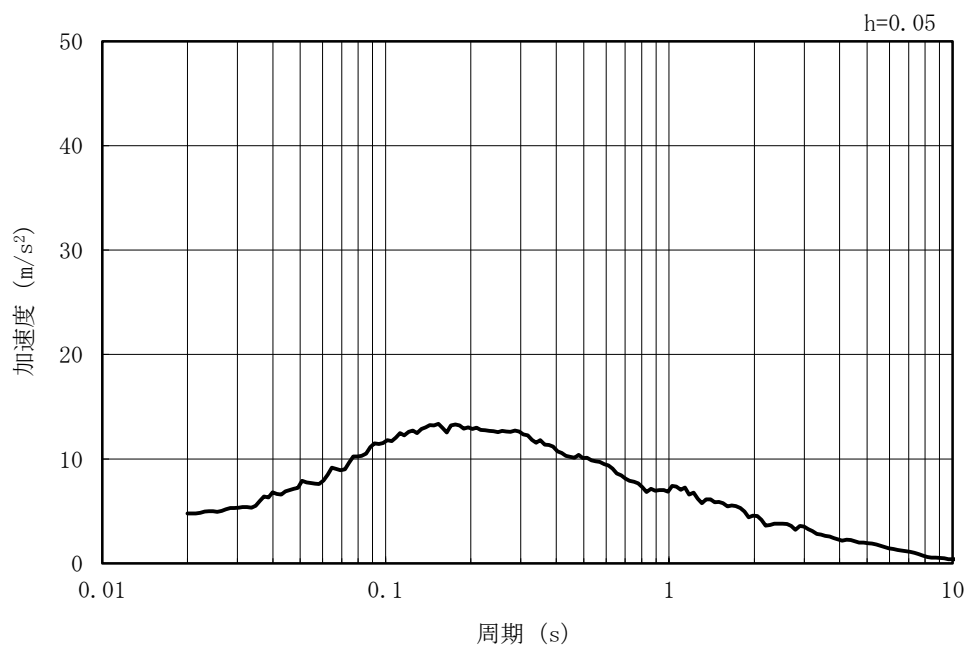
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-50 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-3)

MAX 4.78m/s² (38.80s)



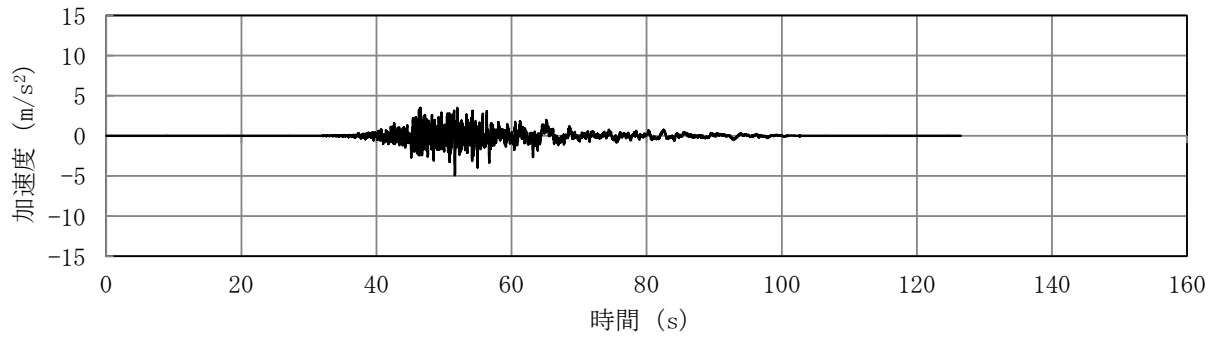
(a) 加速度時刻歴波形



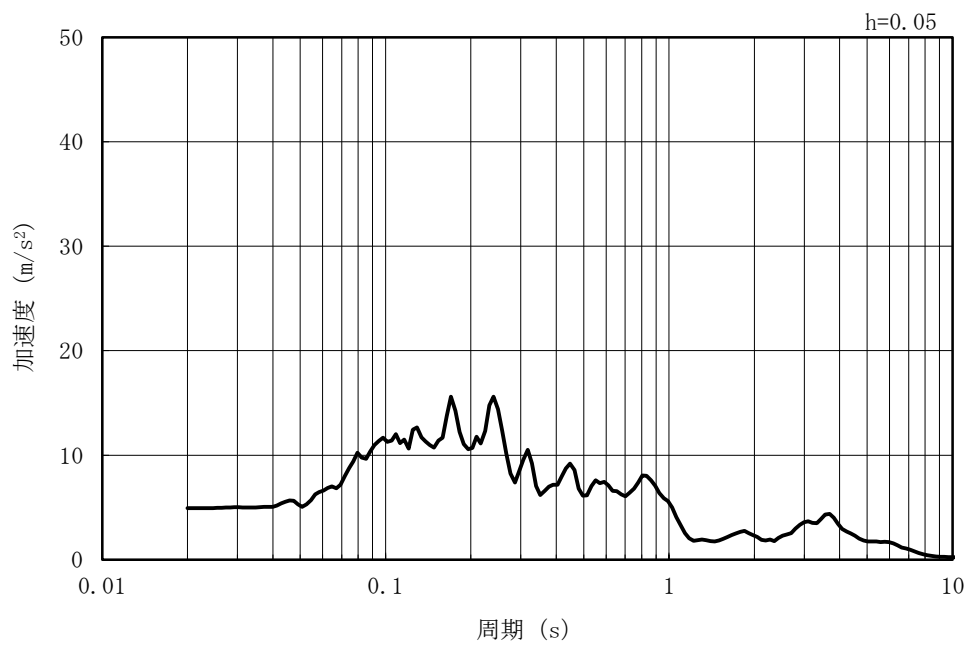
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-51 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-3)

MAX 4.92m/s² (51.62s)



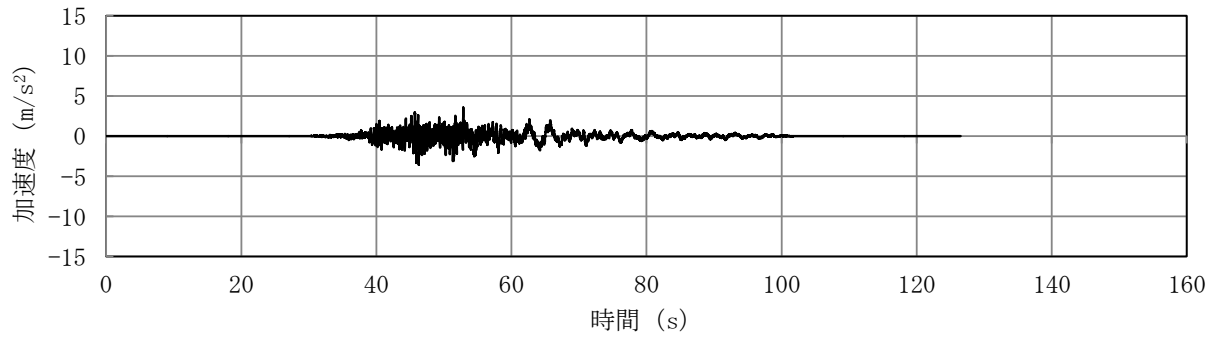
(a) 加速度時刻歴波形



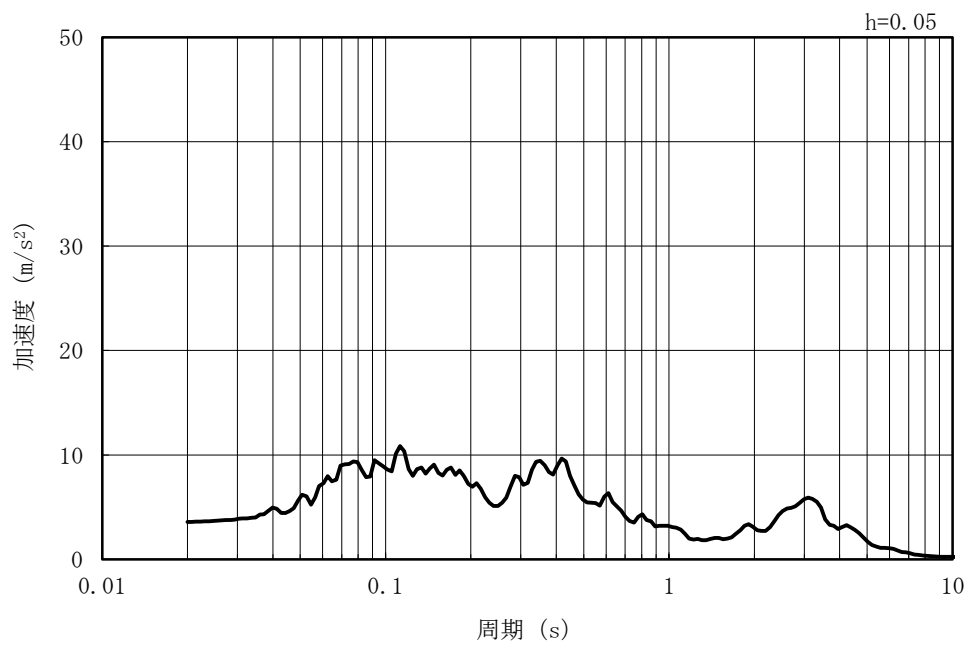
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-4NS)

MAX 3.57m/s² (46.29s)



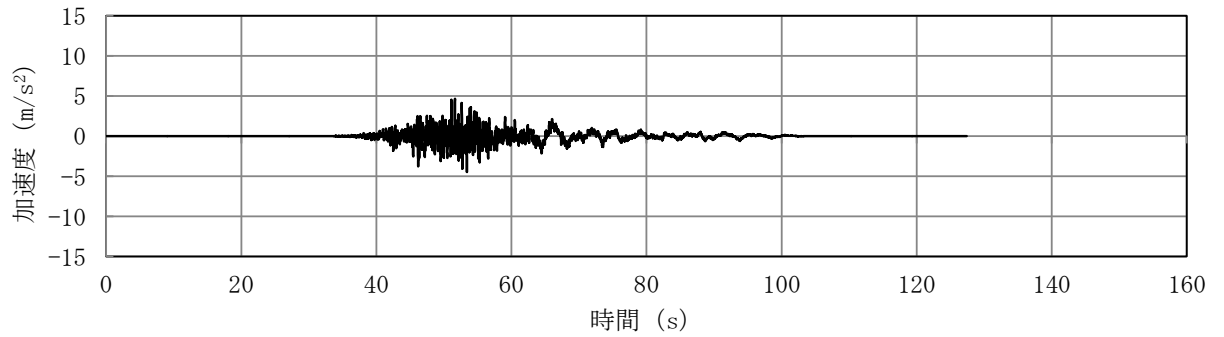
(a) 加速度時刻歴波形



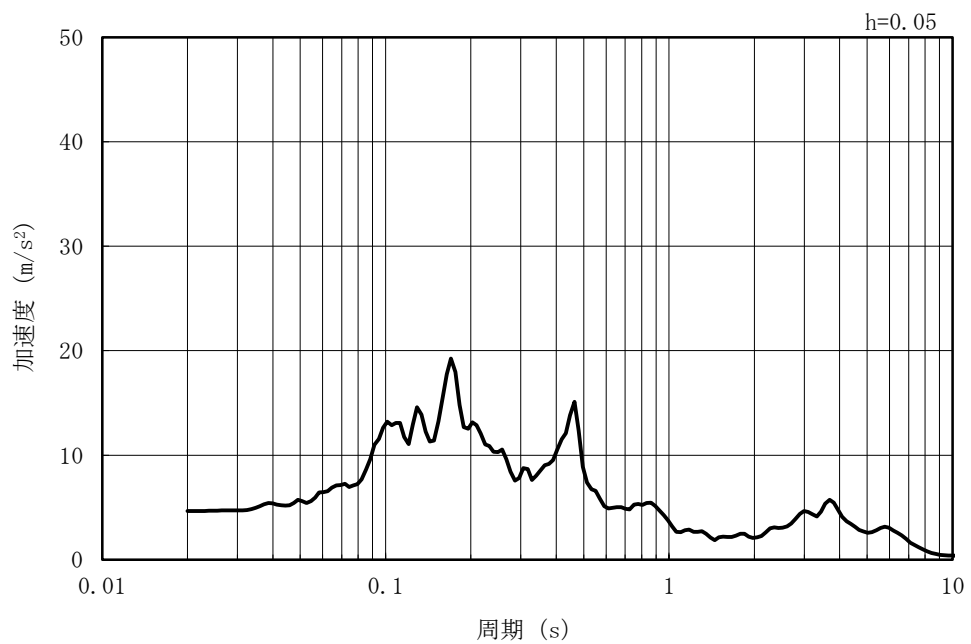
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-53 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4NS)

MAX 4.64m/s² (51.64s)



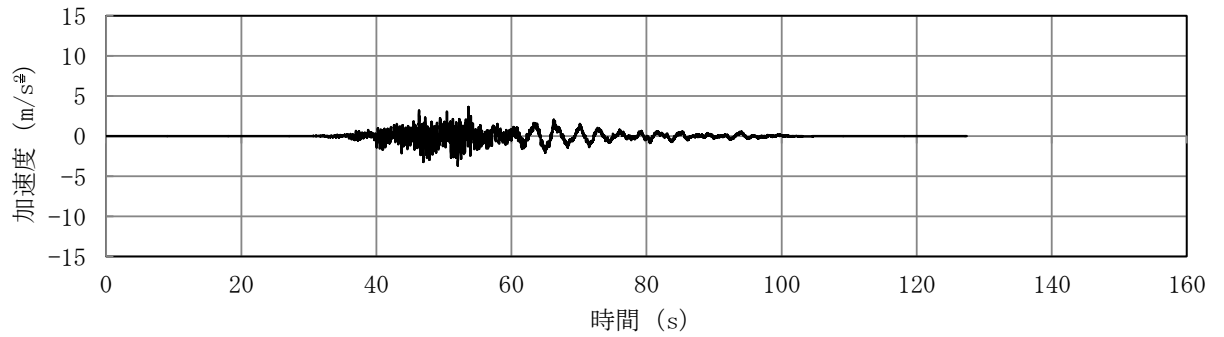
(a) 加速度時刻歴波形



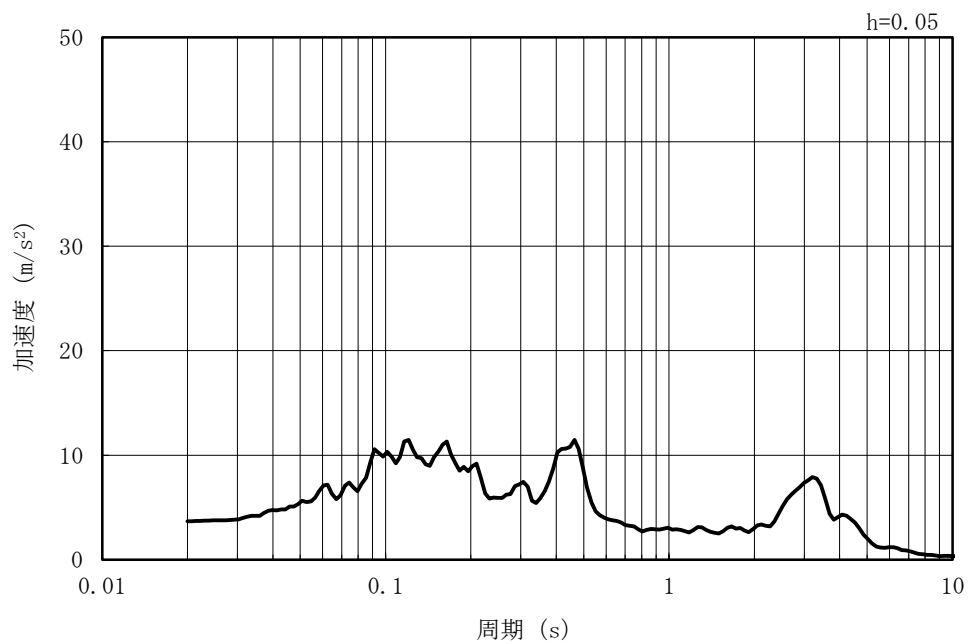
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-54 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5NS)

MAX 3.68m/s² (52.06s)

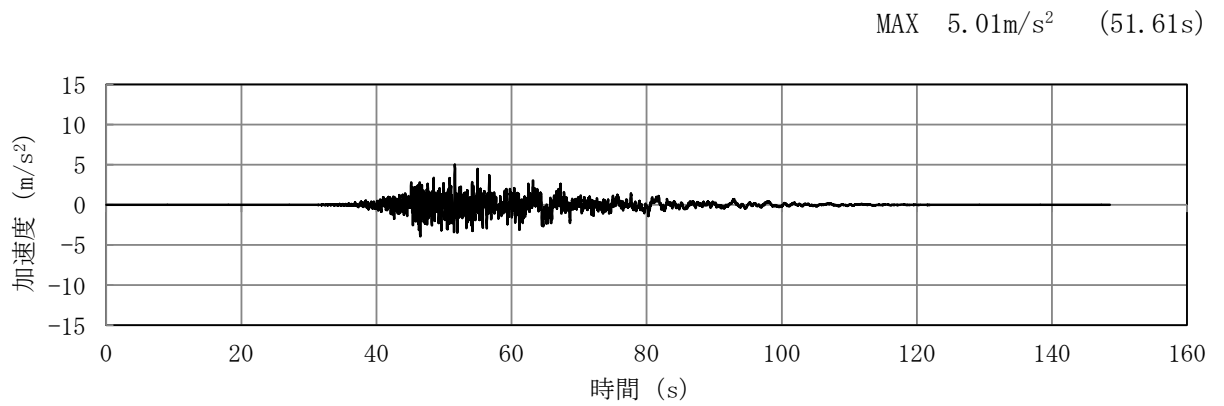


(a) 加速度時刻歴波形

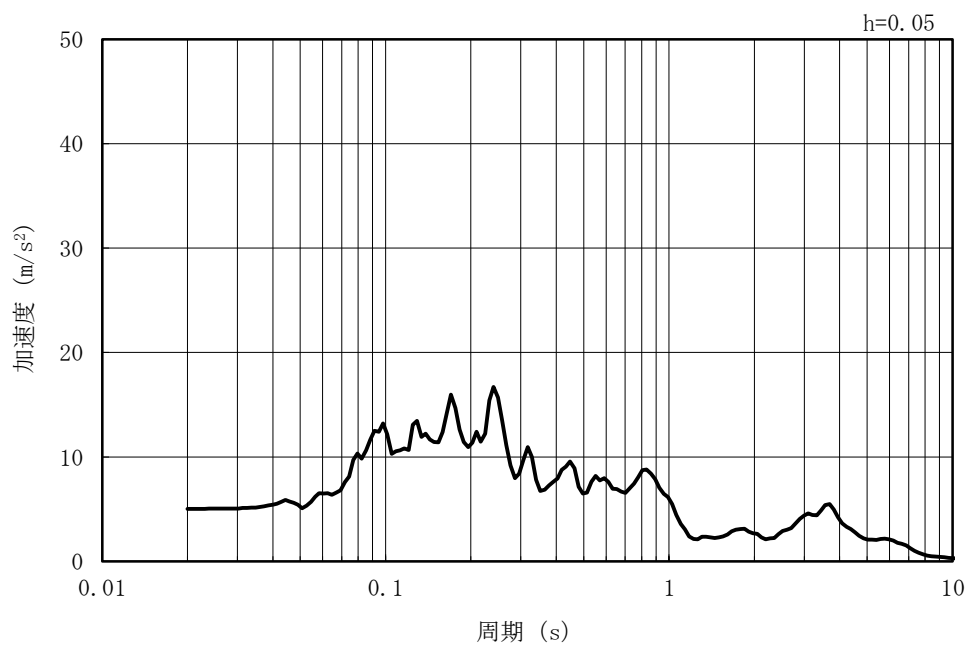


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-55 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-5NS)



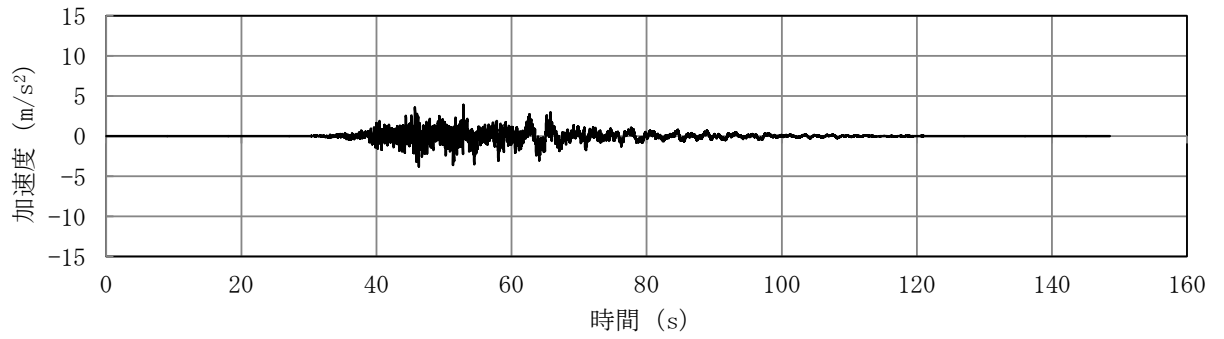
(a) 加速度時刻歴波形



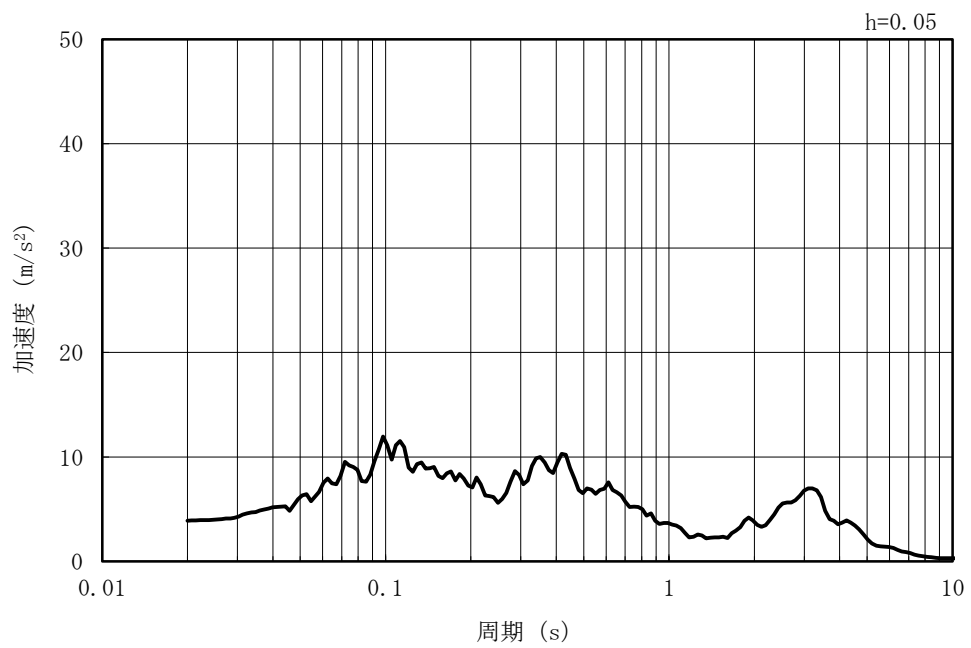
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-56 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6NS)

MAX 3.89m/s² (52.87s)

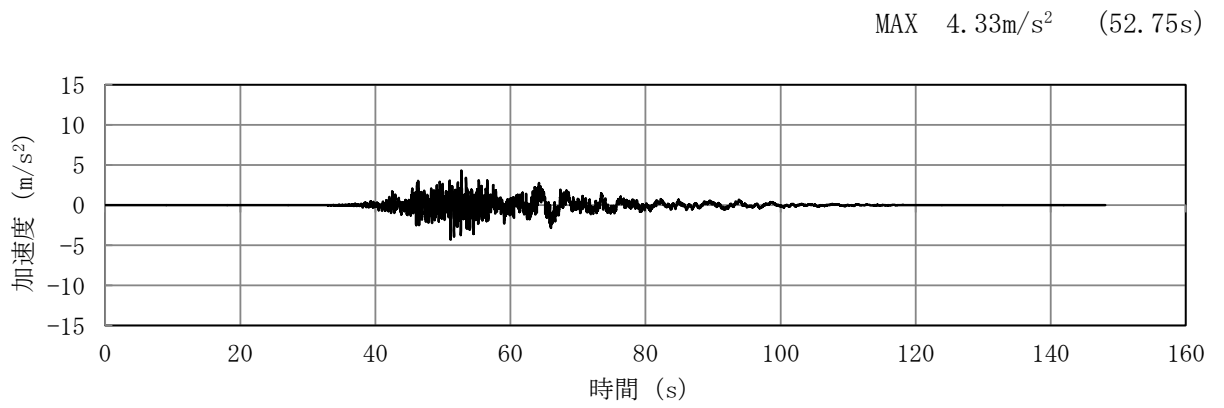


(a) 加速度時刻歴波形

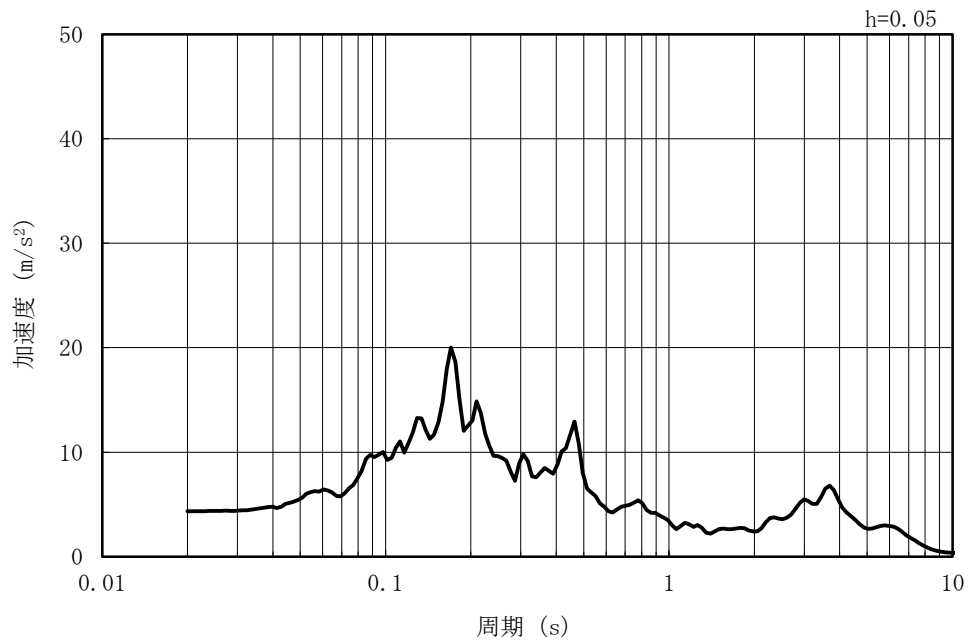


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-57 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6NS)

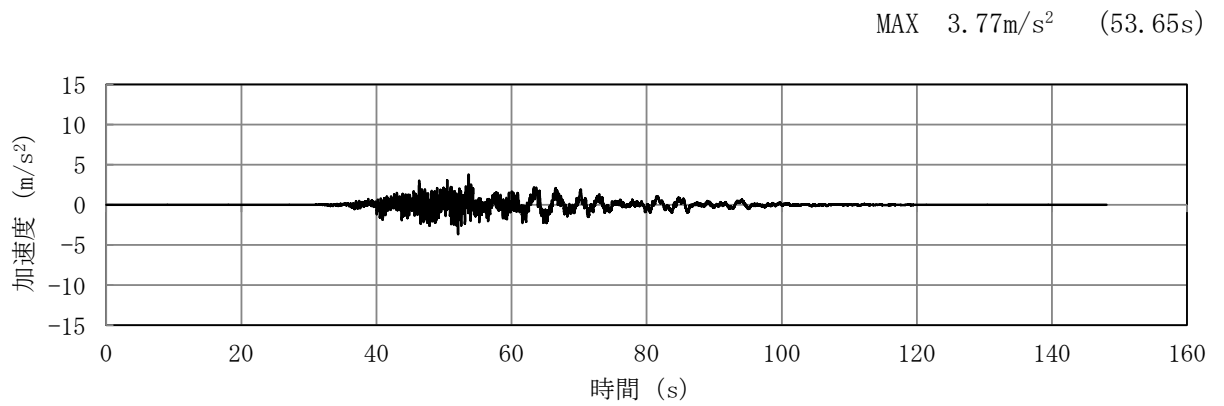


(a) 加速度時刻歴波形

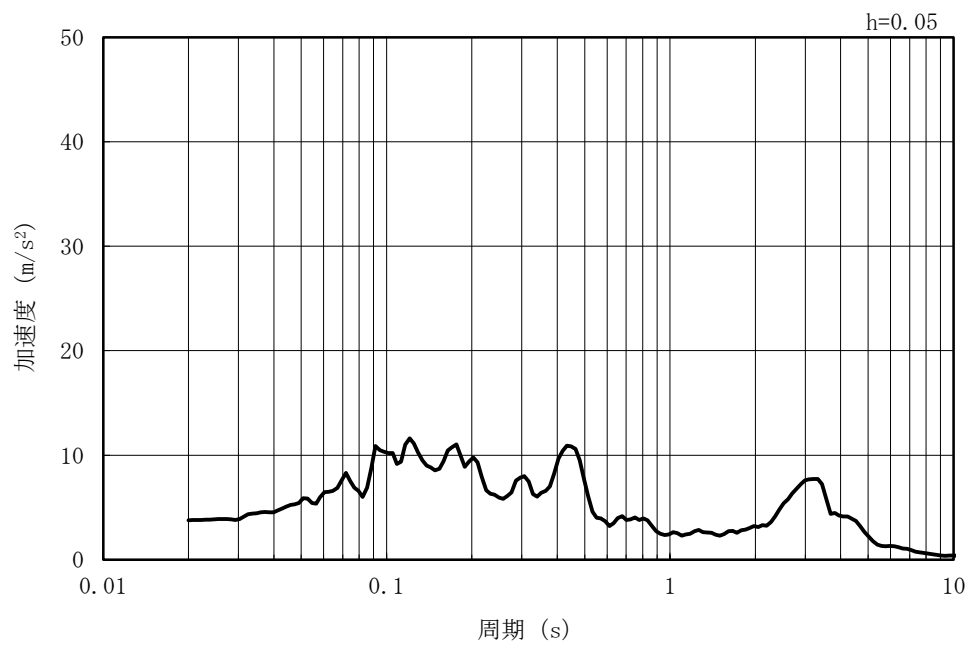


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-58 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-7NS)



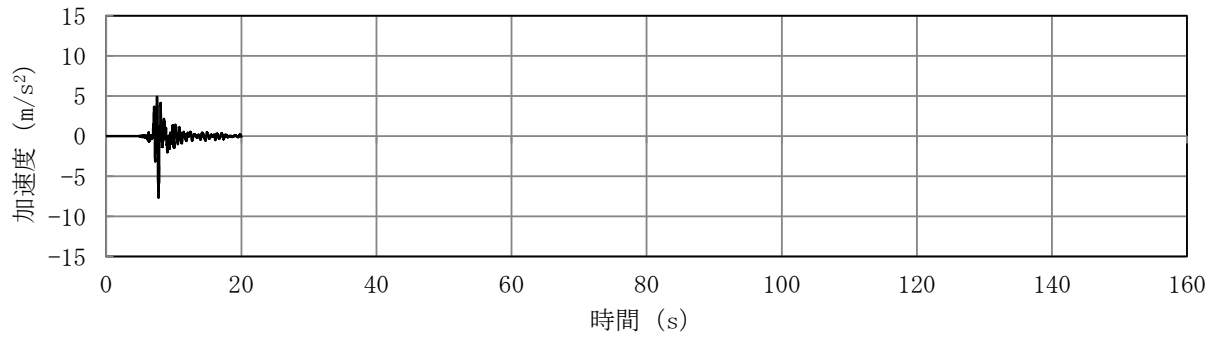
(a) 加速度時刻歴波形



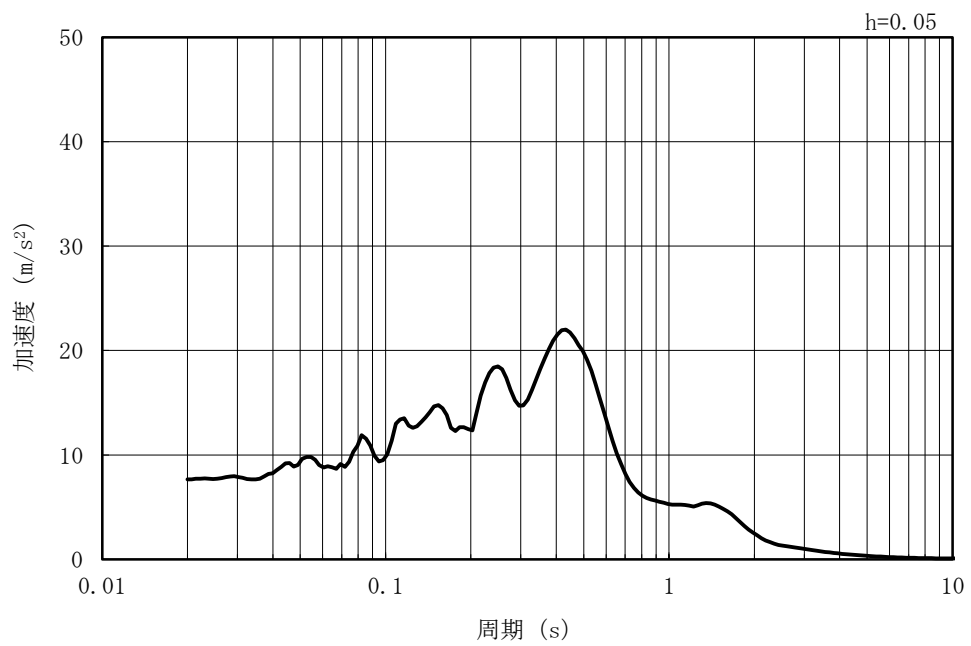
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-59 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-7NS)

MAX 7.65m/s² (7.74s)



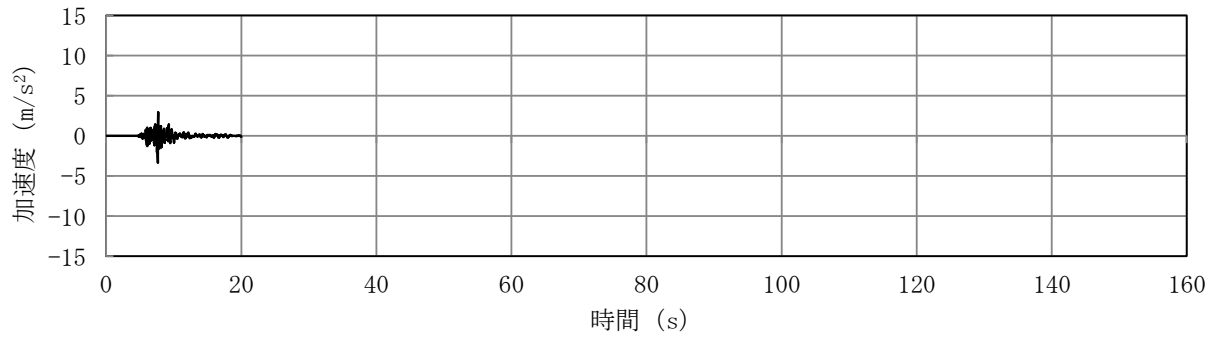
(a) 加速度時刻歴波形



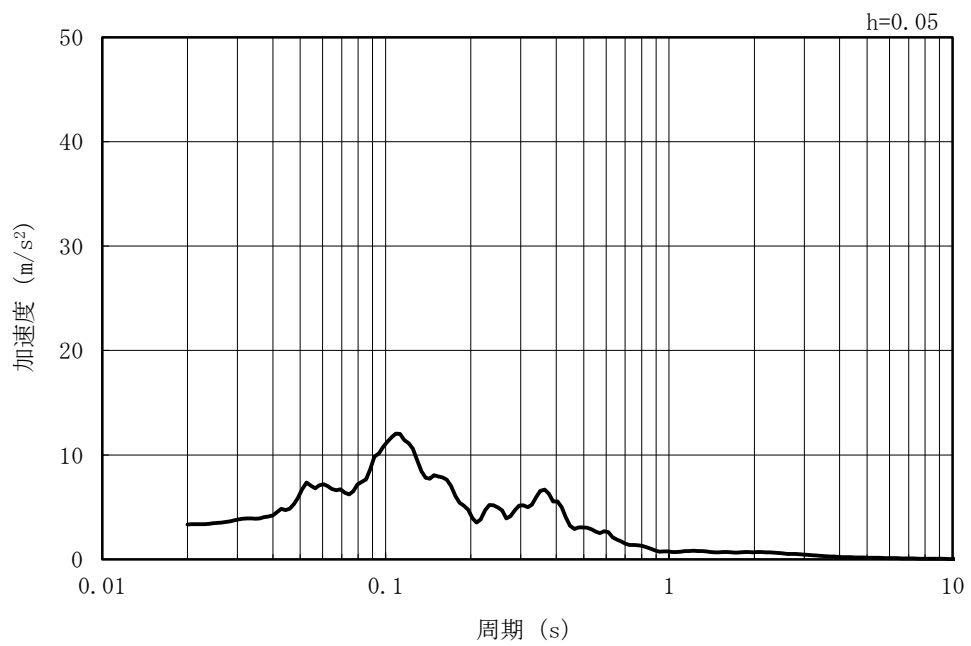
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-60 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-8)

MAX 3.35m/s² (7.64s)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-61 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-8)

4.3.2 許容限界の設定

(1) 通水機能を要求する部材の許容限界

a. 曲げに対する許容限界

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）を許容限界とし、照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査に用いる照査用層間変形角は、地震応答解析により得られた層間変形角に安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{R_d}{R_L} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

R_L : 限界層間変形角（層間変形角 1/100）

R_d : 照査用層間変形角 $R_d = \gamma_a \cdot R$

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

R : 応答計算による層間変形角

b. せん断に対する許容限界

鉄筋コンクリート部材のせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、(a)棒部材式及び(b)ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方を許容限界とし、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材のせん断照査に用いる照査用せん断力は、地震応答解析により得られたせん断力に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、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。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{yd}} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i=1.0$)

V_{yd} : せん断耐力

V_d : 照査用せん断力 $V_d = \gamma_a \cdot V$

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a=1.05$)

V : 応答計算によるせん断力値

(a) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72$ (N/mm²) となる場合は
 $f_{vcd} = 0.72$ (N/mm²)

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (N'_d \geq 0)$$

ただし、 $\beta_n > 2.0$ となる場合は $\beta_n = 2.0$

$$= 1 + 2 M_0 / M_d \quad (N'_d < 0)$$

ただし、 $\beta_n < 0$ となる場合は $\beta_n = 0$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$ となる場合は $\beta_a = 1.0$

f'_{cd} : 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'_{ck} を
材料係数 γ_{mc} (=1.3) で除したもの

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$: 引張鉄筋比

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

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

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

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

ここで、

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度を材料係数 γ_{ms} (1.0) で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上の時は、 800N/mm^2 以下とする。

α : せん断補強筋と部材軸のなす角

s : せん断補強筋の配置間隔

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 (=1.1)

(b) デイープビーム式

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

ここで、

V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

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

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

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d [\text{m}])$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

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

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

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

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

p_{wb} : せん断補強鉄筋比 (%)

また、分布荷重を受ける部材のせん断耐力については、図 4-62 に示す等価せん断スパンの考え方にに基づき、せん断耐力を算定する。

(c) 等価せん断スパンの設定

時刻歴地震応答解析で得られる断面力分布に基づいて、支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメントが発生する位置（あるいはせん断力が零となる点）までを照査対象区間と考える。この区間において、等価せん断スパンを以下のように設定する。

- ① 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が存在する場合は、以下の2種類の等価せん断スパンを設定する。

第1等価せん断スパン(a1)：支承前面あるいははり・柱前面から反曲点までの距離

第2等価せん断スパン(a2)：反曲点から最大曲げモーメント点までの距離

- ② 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が無い場合は、以下のように等価せん断スパンを設定する。

等価せん断スパン(a)：支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメント点までの距離

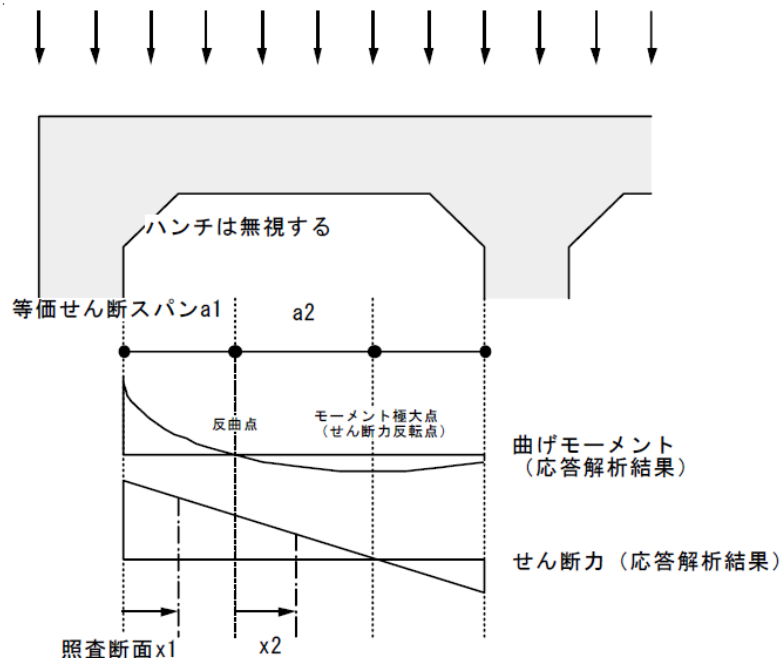


図 4-62 等価せん断スパンの設定方法

(土木学会マニュアルより引用)

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 4-19 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 4-19 せん断耐力式において考慮している安全係数

| 安全係数 | | | 値 | 内容 | |
|--------|--------|---------------|------------|---------------------|---------------|
| 材料係数 | コンクリート | γ_{mc} | 1.30 | コンクリートの特性値（圧縮強度）を低減 | |
| 部材係数 | コンクリート | γ_{bc} | 1.30 | コンクリートが負担するせん断力を低減 | |
| | 鉄筋 | γ_{bs} | 1.10 | 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）を割り増し |

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

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

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

ここで、R：層間変形角

とされている。

取水路（6号機設備）は、層間変形角 1/100 を鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査の許容限界としていることから、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する鉛直力に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、道路橋示方書の直接基礎の算定式により設定する。また、C-C断面の基礎地盤は、西山層の置き換え材料としてマンメイドロックが設置されていることから、構造物の接地圧が基礎地盤の極限支持力度を十分に下回ることを確認する。なお、マンメイドロックは西山層と同等以上の力学特性を有する材料として設計されていることから、マンメイドロックの極限支持力度は、西山層の岩盤支持力試験値とし、表4-20のとおりを設定する。下式に示すとおり、道路橋示方書の支持力算定式は剛塑性理論に基づいており、地盤剛性によらず強度定数 c 、 ϕ を用いて評価される。

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \right\}$$

ここで、

Q_u : 荷重の偏心傾斜、支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力 (kN)

c : 地盤の粘着力 (kN/m²)

q : 上載荷重 (kN/m²) で、 $q = \gamma_2 \cdot D_f$

A_e : 有効載荷面積 (m²)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量を用いる。

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2 \cdot e_B$$

B : 基礎幅 (m)

e_B : 荷重の偏心量 (m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

α, β : 表4-21に示す基礎の形状係数

κ : 根入れ効果に対する割増係数

N_c, N_q, N_γ : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数 (図4-63～図4-65)

S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

λ, ν, μ : 寸法効果の程度を表す係数 ($\lambda = \nu = \mu = -1/3$ とする)。

$$S_c = (c^*)^\lambda, S_q = (q^*)^\nu, S_\gamma = (B^*)^\mu$$

$$c^* = c / c_0 \quad (\text{ただし, } 1 \leq c^* \leq 10, c_0 = 10 \text{ (kN/m}^2\text{)})$$

$$q^* = q / q_0 \quad (\text{ただし, } 1 \leq q^* \leq 10, q_0 = 10 \text{ (kN/m}^2\text{)})$$

$$B^* = B_e / B_0 \quad (\text{ただし, } 1 \leq B^*, B_0 = 1.0 \text{ (m)})$$

c^* 、 q^* 及び B^* の値がそれぞれの範囲外となる場合は、その下限値若しくは上限値を適用

表 4-20 マンメイドロックの極限支持力度（西山層）

| 項 目 | 許容限界 q_u (N/mm ²) | 備 考 |
|---------|------------------------------------|----------|
| 岩盤支持力試験 | 5.98 | 西山層岩盤試験値 |

表 4-21 形状係数

| 形状係数 \ 基礎底面の形状 | 帯 状 | 正方形, 円形 | 長方形, 小判形 |
|----------------|-----|---------|--------------------|
| α | 1.0 | 1.3 | $1+0.3\frac{B}{D}$ |
| β | 1.0 | 0.6 | $1-0.4\frac{B}{D}$ |

D : ケーソン前面幅 (m), B : ケーソン側面幅 (m)

ただし, $B/D > 1$ の場合, $B/D = 1$ とする。

(道路橋示方書より引用)

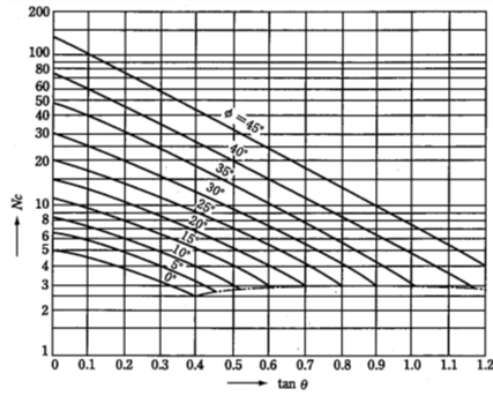


図 4-63 支持力係数 N_c
(道路橋示方書より引用)

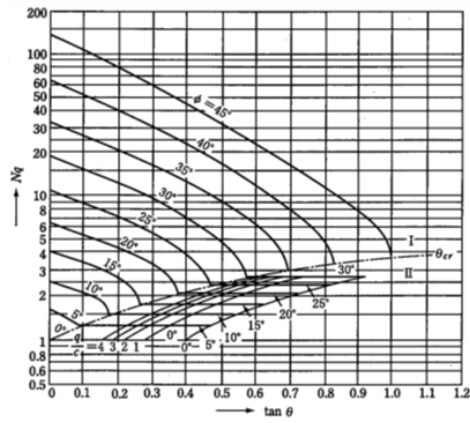


図 4-64 支持力係数 N_q
(道路橋示方書より引用)

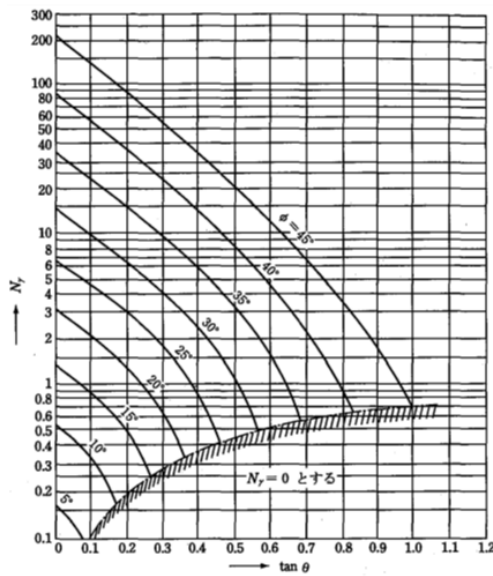


図 4-65 支持力係数 N_y
(道路橋示方書より引用)

(3) 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材については、鉄筋の降伏（図 4-66）を許容限界とする。

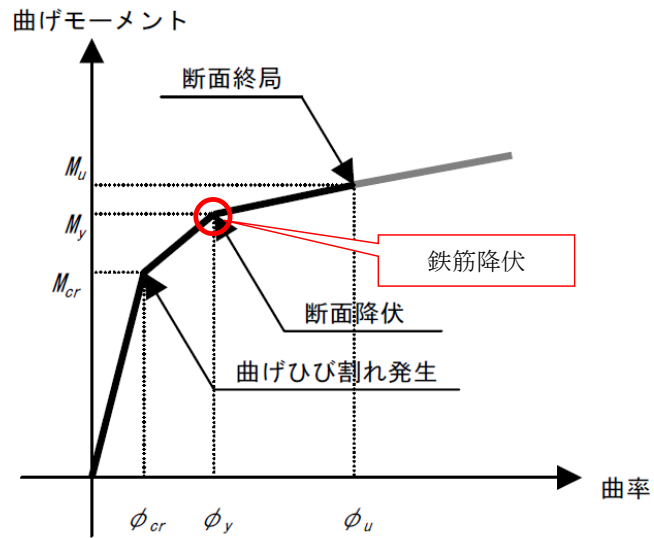


図 4-66 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

4.4 評価結果（部材非線形解析）

4.4.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「層間変形角の時刻歴波形」，「最大せん断ひずみ分布」，「断面力分布」及び「最大過剰間隙水圧比分布」を記載する。なお，断面力分布は単位奥行きあたりの断面力を図示する。

(1) 解析ケースと照査値

耐震評価においては，KK7 補足-027「工事計画に関わる説明資料（屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書）資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「10 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定について」に基づき，全ての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①（基本ケース）において，曲げ軸力照査，せん断力照査及び基礎地盤の支持性能照査の各評価項目について，照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い，追加解析ケース②～⑤を実施する。また，上記解析ケースの結果を踏まえ，さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は，追加解析を実施する。

- a. A-A断面
 (a) 曲げ軸力

A-A断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 4-22 に示す。

表 4-22 A-A断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.37 | | | | |
| | -+ | 0.36 | | | | |
| | +- | 0.36 | | | | |
| | -- | 0.35 | | | | |
| Ss-2 | | 0.19 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.41 | | | | |
| | -+ | 0.41 | | | | |
| | +- | 0.41 | | | | |
| | -- | 0.41 | 0.37 | 0.45 | 0.29 | 0.26 |
| Ss-4 | | 0.17 | | | | |
| Ss-5 | | 0.16 | | | | |
| Ss-6 | | 0.18 | | | | |
| Ss-7 | | 0.14 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.38 | | | | |
| | -+ | 0.38 | | | | |

(b) せん断力

A-A断面の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 4-23 に示す。

表 4-23 A-A断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (1/2)

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.71 | | | | |
| | -+ | 0.69 | | | | |
| | +- | 0.68 | | | | |
| | -- | 0.62 | | | | |
| Ss-2 | | 0.49 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.58 | | | | |
| | -+ | 0.60 | | | | |
| | +- | 0.64 | | | | |
| | -- | 0.56 | 0.54 | 0.57 | 0.54 | 0.53 |
| Ss-4 | | 0.43 | | | | |
| Ss-5 | | 0.58 | | | | |
| Ss-6 | | 0.60 | | | | |
| Ss-7 | | 0.68 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.59 | | | | |
| | -+ | 0.49 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.78 | | | | |
| | -+ | 0.73 | | | | |
| | +- | 0.62 | | | | |
| | -- | 0.62 | | | | |
| Ss-2 | | 0.50 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.67 | | | | |
| | -+ | 0.65 | | | | |
| | +- | 0.68 | | | | |
| | -- | 0.62 | 0.64 | 0.60 | 0.64 | 0.61 |
| Ss-4 | | 0.45 | | | | |
| Ss-5 | | 0.78 | | | | |
| Ss-6 | | 0.69 | | | | |
| Ss-7 | | 0.60 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.59 | | | | |
| | -+ | 0.50 | | | | |

表 4-23 A-A断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (2/2)

隔壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.96 | | | | |
| | -+ | 0.99 | | | | |
| | +- | 0.94 | | | | |
| | -- | 0.96 | | | | |
| Ss-2 | | 0.63 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 1.00 | | | | |
| | -+ | 1.08 | | 1.14 | | |
| | +- | 1.01 | | | | |
| | -- | 1.08 | 1.01 | 1.14 | 0.86 | 0.82 |
| Ss-4 | | 0.59 | | | | |
| Ss-5 | | 0.94 | | | | |
| Ss-6 | | 0.99 | | | | |
| Ss-7 | | 0.94 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.88 | | | | |
| | -+ | 0.63 | | | | |

注： □は、前述 3.2.13 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

底版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.47 | | | | |
| | -+ | 0.46 | | | | |
| | +- | 0.46 | | | | |
| | -- | 0.42 | | | | |
| Ss-2 | | 0.33 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.40 | | | | |
| | -+ | 0.41 | | | | |
| | +- | 0.39 | | | | |
| | -- | 0.39 | 0.38 | 0.40 | 0.38 | 0.37 |
| Ss-4 | | 0.30 | | | | |
| Ss-5 | | 0.47 | | | | |
| Ss-6 | | 0.46 | | | | |
| Ss-7 | | 0.46 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.36 | | | | |
| | -+ | 0.33 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

A-A断面の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 4-24 に示す。

表 4-24 A-A断面の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.04 | | | | |
| | -+ | 0.04 | | | | |
| | +- | 0.04 | | | | |
| | -- | 0.04 | | | | |
| Ss-2 | | 0.04 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.04 | | | | |
| | -+ | 0.04 | | | | |
| | +- | 0.04 | | | | |
| | -- | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| Ss-4 | | 0.04 | | | | |
| Ss-5 | | 0.04 | | | | |
| Ss-6 | | 0.05 | | | | |
| Ss-7 | | 0.04 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.04 | | | | |
| | -+ | 0.04 | | | | |

- b. B-B断面
 (a) 曲げ軸力

B-B断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 4-25 に示す。

表 4-25 B-B断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.14 | | | | |
| | -+ | 0.14 | | | | |
| | +- | 0.13 | | | | |
| | -- | 0.13 | | | | |
| Ss-2 | | 0.07 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.13 | | | | |
| | -+ | 0.13 | | | | |
| | +- | 0.13 | | | | |
| | -- | 0.13 | | | | |
| Ss-4 | | 0.06 | | | | |
| Ss-5 | | 0.09 | | | | |
| Ss-6 | | 0.07 | | | | |
| Ss-7 | | 0.08 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.15 | 0.16 | 0.20 | 0.22 | 0.23 |
| | -+ | 0.14 | | | | |

(b) せん断力

B-B断面の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 4-26 に示す。

表 4-26 B-B断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (1/2)

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.39 | | | | |
| | -+ | 0.37 | | | | |
| | +- | 0.36 | | | | |
| | -- | 0.36 | | | | |
| Ss-2 | | 0.30 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.30 | | | | |
| | -+ | 0.30 | | | | |
| | +- | 0.33 | | | | |
| | -- | 0.33 | | | | |
| Ss-4 | | 0.25 | | | | |
| Ss-5 | | 0.27 | | | | |
| Ss-6 | | 0.29 | | | | |
| Ss-7 | | 0.29 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.31 | 0.31 | 0.34 | 0.33 | 0.33 |
| | -+ | 0.32 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.55 | | | | |
| | -+ | 0.57 | | | | |
| | +- | 0.59 | | | | |
| | -- | 0.60 | | | | |
| Ss-2 | | 0.41 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.48 | | | | |
| | -+ | 0.45 | | | | |
| | +- | 0.49 | | | | |
| | -- | 0.53 | | | | |
| Ss-4 | | 0.36 | | | | |
| Ss-5 | | 0.40 | | | | |
| Ss-6 | | 0.43 | | | | |
| Ss-7 | | 0.42 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.47 | 0.48 | 0.49 | 0.50 | 0.51 |
| | -+ | 0.42 | | | | |

表 4-26 B-B断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (2/2)

隔壁

| 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.69 | | | | |
| | -+ | 0.70 | | | | |
| | +- | 0.70 | | | | |
| | -- | 0.71 | | | | |
| Ss-2 | | 0.47 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.71 | | | | |
| | -+ | 0.72 | | | | |
| | +- | 0.71 | | | | |
| | -- | 0.72 | | | | 0.97 |
| Ss-4 | | 0.38 | | | | |
| Ss-5 | | 0.55 | | | | |
| Ss-6 | | 0.44 | | | | |
| Ss-7 | | 0.50 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.73 | 0.77 | 0.86 | 0.90 | 0.93 |
| | -+ | 0.70 | | | | |

注： □は、前述 3.2.13 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

底盤

| 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.41 | | | | |
| | -+ | 0.37 | | | | |
| | +- | 0.37 | | | | |
| | -- | 0.37 | | | | |
| Ss-2 | | 0.30 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.31 | | | | |
| | -+ | 0.32 | | | | |
| | +- | 0.33 | | | | |
| | -- | 0.32 | | | | |
| Ss-4 | | 0.26 | | | | |
| Ss-5 | | 0.27 | | | | |
| Ss-6 | | 0.29 | | | | |
| Ss-7 | | 0.28 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.31 | 0.32 | 0.33 | 0.34 | 0.34 |
| | -+ | 0.34 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

B-B断面の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 4-27 に示す。

表 4-27 B-B断面の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.13 | | | | |
| | -+ | 0.13 | | | | |
| | +- | 0.14 | | | | |
| | -- | 0.11 | | | | |
| Ss-2 | | 0.11 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.13 | | | | |
| | -+ | 0.11 | | | | |
| | +- | 0.12 | | | | |
| | -- | 0.12 | | | | |
| Ss-4 | | 0.11 | | | | |
| Ss-5 | | 0.11 | | | | |
| Ss-6 | | 0.11 | | | | |
| Ss-7 | | 0.11 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.12 |
| | -+ | 0.11 | | | | |

- c. C-C断面
 (a) 曲げ軸力

C-C断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 4-28 に示す。

表 4-28 C-C断面の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.42 | | | | |
| | -+ | 0.43 | 0.45 | 0.39 | 0.46 | 0.49 |
| | +- | 0.44 | | | | |
| | -- | 0.43 | | | | |
| Ss-2 | | 0.18 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.35 | | | | |
| | -+ | 0.35 | | | | |
| | +- | 0.35 | | | | |
| | -- | 0.34 | | | | |
| Ss-4 | | 0.11 | | | | |
| Ss-5 | | 0.11 | | | | |
| Ss-6 | | 0.12 | | | | |
| Ss-7 | | 0.12 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.30 | | | | |
| | -+ | 0.30 | | | | |

(b) せん断力

C-C断面の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 4-29 に示す。

表 4-29 C-C断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (1/2)

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.39 | | | | |
| | -+ | 0.39 | 0.41 | 0.37 | 0.43 | 0.47 |
| | +- | 0.43 | | | | |
| | -- | 0.42 | | | | |
| Ss-2 | | 0.32 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.37 | | | | |
| | -+ | 0.36 | | | | |
| | +- | 0.35 | | | | |
| | -- | 0.35 | | | | |
| Ss-4 | | 0.25 | | | | |
| Ss-5 | | 0.27 | | | | |
| Ss-6 | | 0.29 | | | | |
| Ss-7 | | 0.28 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.32 | | | | |
| | -+ | 0.33 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.63 | | | | |
| | -+ | 0.63 | 0.64 | 0.63 | 0.60 | 0.60 |
| | +- | 0.77 | | | | |
| | -- | 0.76 | | | | |
| Ss-2 | | 0.55 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.63 | | | | |
| | -+ | 0.62 | | | | |
| | +- | 0.59 | | | | |
| | -- | 0.58 | | | | |
| Ss-4 | | 0.43 | | | | |
| Ss-5 | | 0.43 | | | | |
| Ss-6 | | 0.44 | | | | |
| Ss-7 | | 0.43 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.53 | | | | |
| | -+ | 0.54 | | | | |

表 4-29 C-C断面のせん断力に対する解析ケースと照査値 (2/2)

隔壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 1.07 | 1.08 | | | |
| | -+ | 1.08 | 1.09 | 1.03 | 1.03 | 1.07 |
| | +- | 1.05 | | | | |
| | -- | 1.06 | | | | |
| Ss-2 | | 0.60 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.90 | | | | |
| | -+ | 0.92 | | | | |
| | +- | 0.91 | | | | |
| | -- | 0.93 | | | | |
| Ss-4 | | 0.44 | | | | |
| Ss-5 | | 0.45 | | | | |
| Ss-6 | | 0.46 | | | | |
| Ss-7 | | 0.43 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.84 | | | | |
| | -+ | 0.82 | | | | |

注： □は、前述 3.2.13 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

底版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.39 | | | | |
| | -+ | 0.40 | 0.40 | 0.39 | 0.44 | 0.44 |
| | +- | 0.48 | | | | |
| | -- | 0.47 | | | | |
| Ss-2 | | 0.34 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.40 | | | | |
| | -+ | 0.39 | | | | |
| | +- | 0.37 | | | | |
| | -- | 0.36 | | | | |
| Ss-4 | | 0.26 | | | | |
| Ss-5 | | 0.26 | | | | |
| Ss-6 | | 0.28 | | | | |
| Ss-7 | | 0.27 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.34 | | | | |
| | -+ | 0.35 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

C-C断面の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 4-30 に示す。

表 4-30 C-C断面の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 地震動 | | 基礎地盤の支持性能照査 | | | | |
|------|----|-------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.07 | | | | |
| | -+ | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| | +- | 0.07 | | | | |
| | -- | 0.08 | | | | |
| Ss-2 | | 0.06 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.07 | | | | |
| | -+ | 0.06 | | | | |
| | +- | 0.06 | | | | |
| | -- | 0.06 | | | | |
| Ss-4 | | 0.05 | | | | |
| Ss-5 | | 0.05 | | | | |
| Ss-6 | | 0.06 | | | | |
| Ss-7 | | 0.06 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.06 | | | | |
| | -+ | 0.05 | | | | |

(2) 層間変形角時刻歴波形

曲げ軸力照査について、各断面の最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 4-31 に示す。該当する解析ケースの層間変形角の時刻歴波形を図 4-67～図 4-69 に示す。

表 4-31 各断面の最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧

| 評価断面 | 解析ケース | 地震動 | 曲げ軸力照査 | | |
|-------|--------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| | | | 照査用層間変形角 R_d | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
| A-A断面 | 解析ケース③ | Ss-3-- | 4.43×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.45 |
| B-B断面 | 解析ケース⑤ | Ss-8++ | 2.26×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.23 |
| C-C断面 | 解析ケース⑤ | Ss-1-+ | 4.90×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.49 |

注記* : 照査用層間変形角 $R_d = \text{最大層間変形角 } R \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

MAX 3.70×10^{-3} (17.81s)

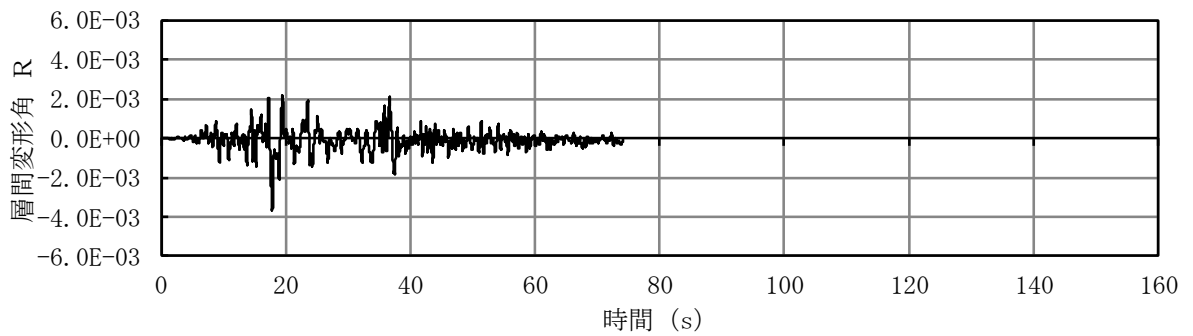


図 4-67 A-A断面における曲げ軸力照査が最も厳しい照査値となる解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース③, 地震動 Ss-3--)

MAX 1.88×10^{-3} (8.13s)

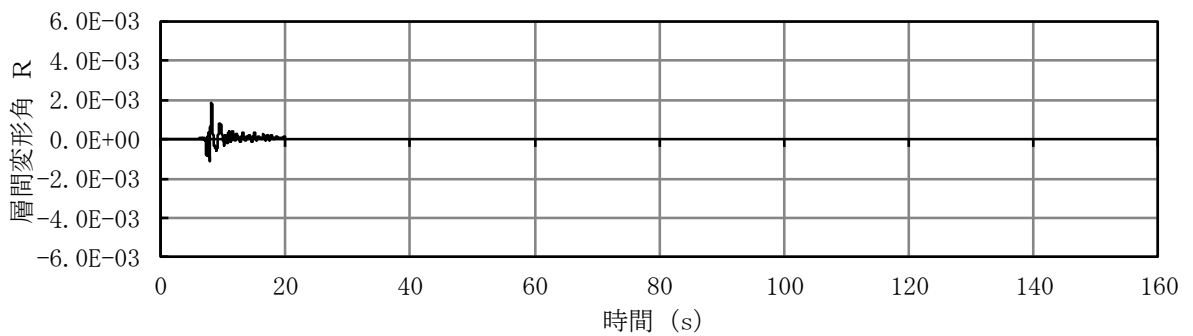


図 4-68 B-B断面における曲げ軸力照査が最も厳しい照査値となる解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース⑤, 地震動 Ss-8++)

MAX 4.09×10^{-3} (6.54s)

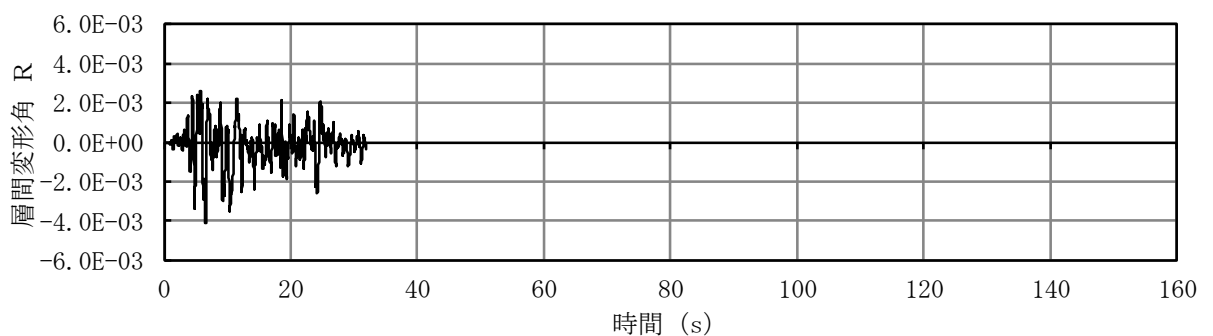


図 4-69 C-C断面における曲げ軸力照査が最も厳しい照査値となる解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース⑤, 地震動 Ss-1++)

(3) 断面力分布（せん断力照査）

せん断力に対する照査について、各断面の各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を、表 4-32～表 4-34 に示す。

また、該当する解析ケースについて、部材毎に照査値が最大となる時刻における断面力分布図（曲げモーメント，軸力，せん断力）を、図 4-70～図 4-72 に示す。

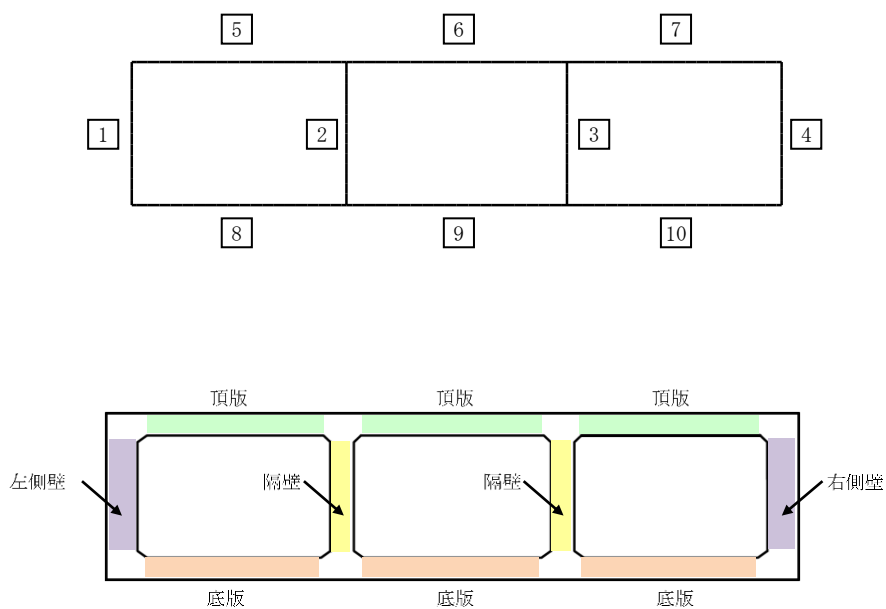
a. A-A断面

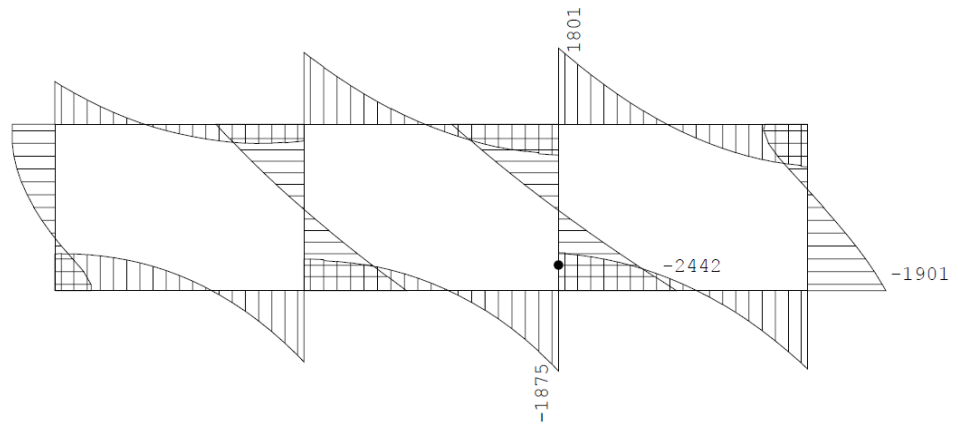
表 4-32 各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース一覧 (A-A断面)

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力*2 V_d (kN) | せん断耐力 $V_{y d}$ (kN) | 照査値 $V_d / V_{y d}$ |
|--------|----|-----------|--------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 頂版 | 7 | ① | Ss-1++ | 688 | 972 | 0.71 |
| 側壁 | 4 | ① | Ss-1++ | 829 | 1075 | 0.78 |
| 隔壁 | 3 | ③ | Ss-3-- | 1039 | 917 | 1.14 |
| 底版 | 10 | ① | Ss-1++ | 720 | 1549 | 0.47 |

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

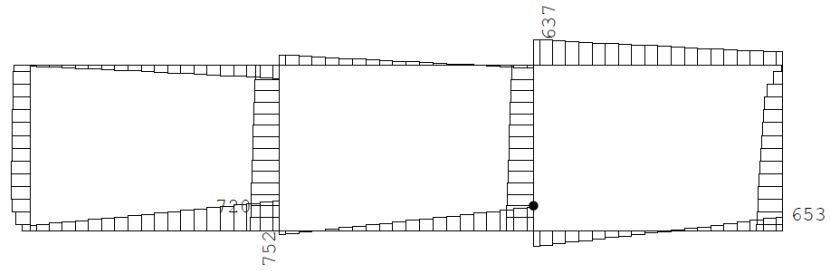




数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = -1996 (kN・m)

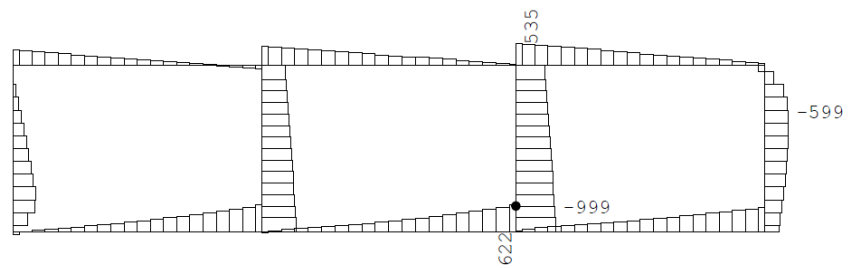
(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 675 (kN)

(b) 軸力 (kN)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = -989 (kN)

(c) せん断力 (kN)

図 4-70 A-A断面 (隔壁) のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図 (隔壁, 解析ケース③, 地震動 Ss-3--, t=17.80s)

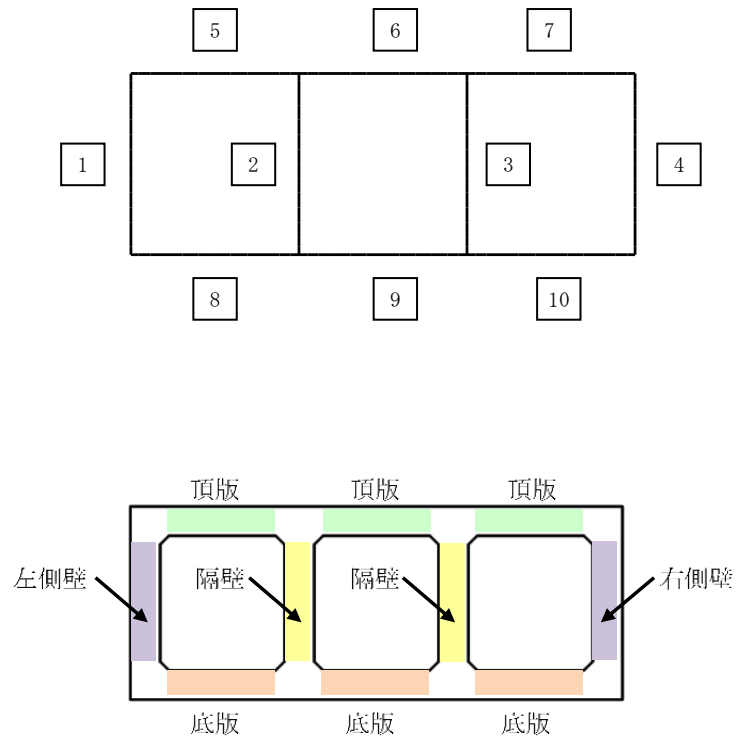
b. B-B断面

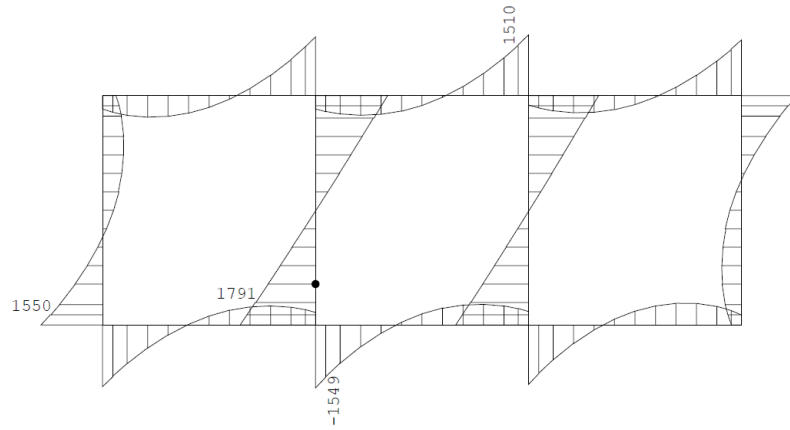
表 4-33 各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース一覧 (B-B断面)

| 評価位置 | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力*1 V_d (kN) | せん断耐力 $V_{y d}$ (kN) | 照査値 $V_d / V_{y d}$ |
|------|-----------|-----|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 頂版 | 6 | ① | 1080 | 2800 | 0.39 |
| 側壁 | 1 | ① | 1189 | 1994 | 0.60 |
| 隔壁 | 2 | ⑤ | 862 | 932 | 0.93 |
| 底版 | 8 | ① | 1187 | 2940 | 0.41 |

注記*1 : 照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

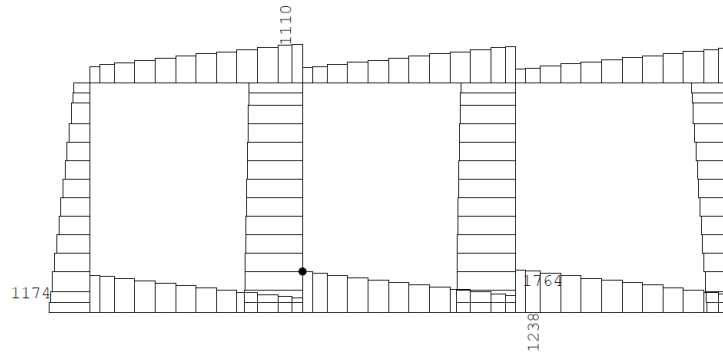
*2 : 評価位置は下図に示す。





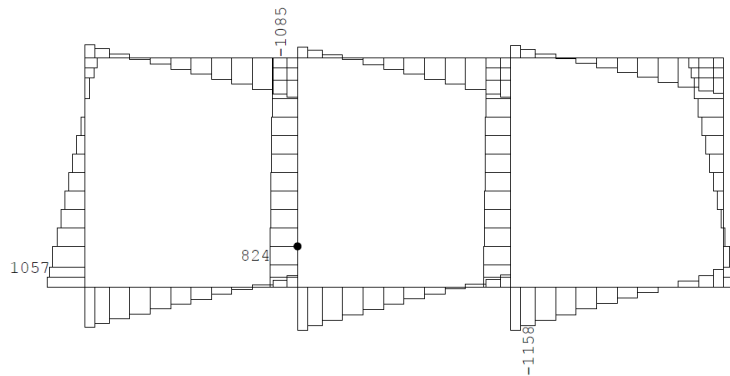
数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 1423 (kN・m)

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 1726 (kN)

(b) 軸力 (kN)



数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 821 (kN)

(c) せん断力 (kN)

図 4-71 B-B断面（隔壁）のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
 （隔壁，解析ケース⑤，地震動 Ss-8++，t=8.11s）

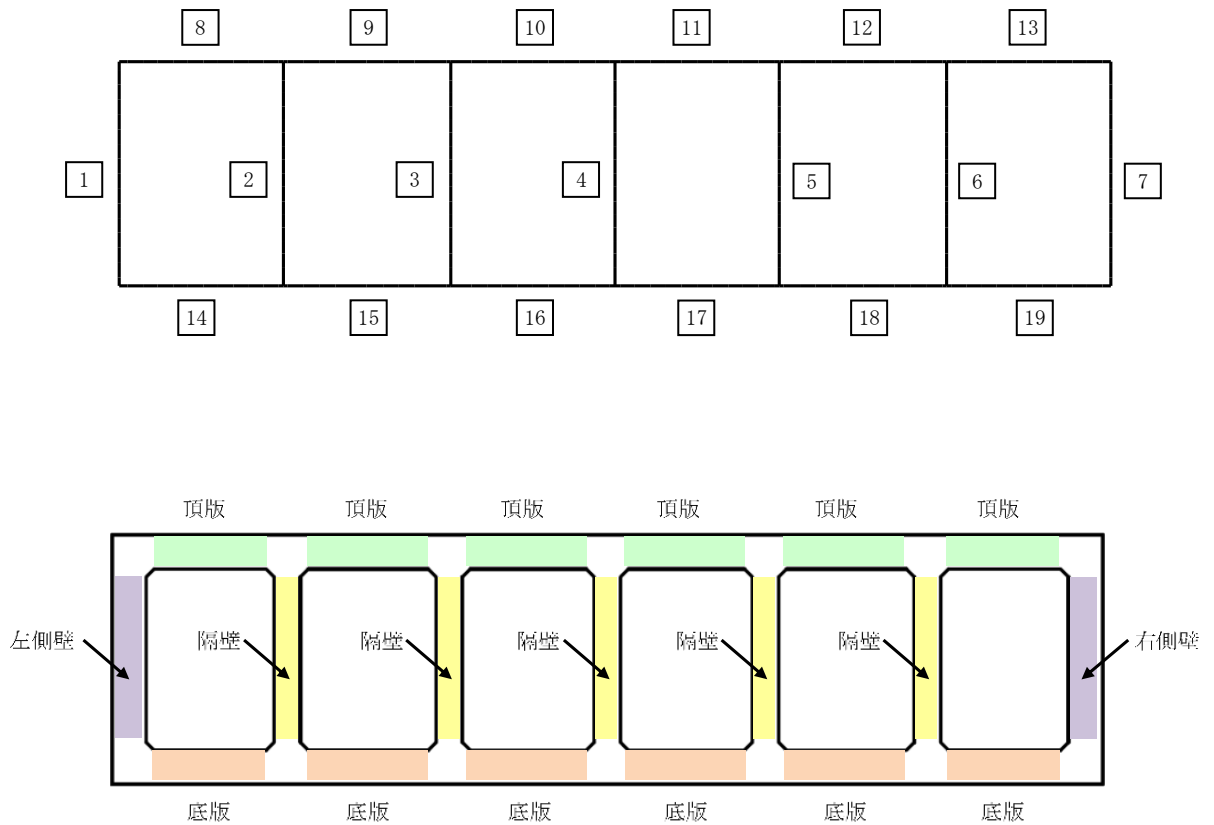
c. C-C断面

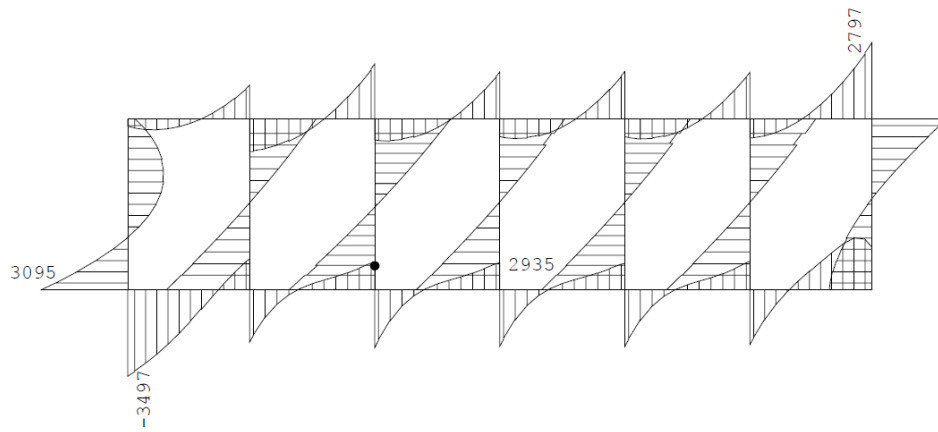
表 4-34 各部材において最も厳しい照査値となる解析ケース一覧 (C-C断面)

| 評価位置 | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力*1 V_d (kN) | せん断耐力 $V_{y d}$ (kN) | 照査値 $V_d / V_{y d}$ |
|------|-----------|-----|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 頂版 | 8 | ⑤ | 1298 | 2813 | 0.47 |
| 側壁 | 7 | ① | 2233 | 2925 | 0.77 |
| 隔壁 | 3 | ② | 1008 | 930 | 1.09 |
| 底版 | 19 | ① | 1686 | 3528 | 0.48 |

注記*1 : 照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

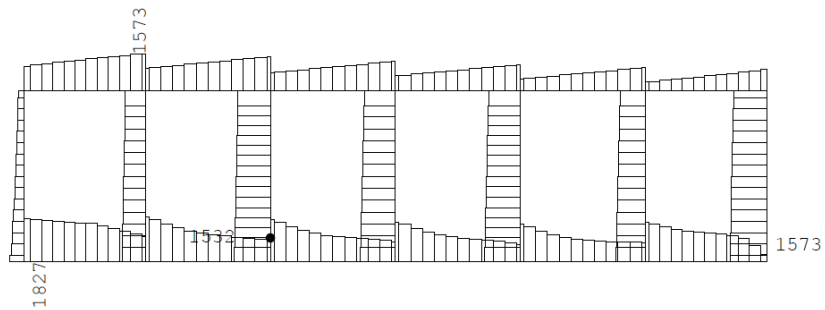
*2 : 評価位置は下図に示す。





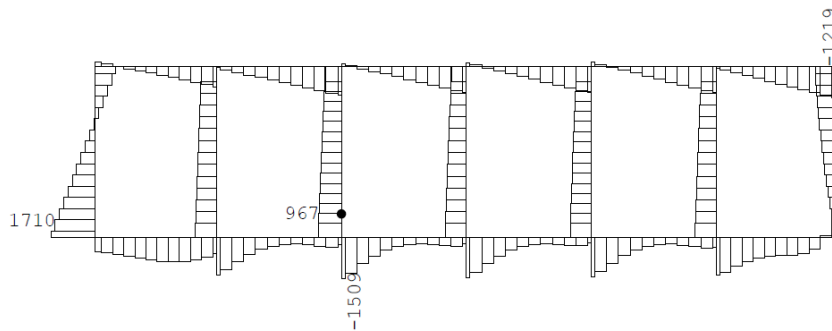
数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 2523 (kN・m)

(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 1527 (kN)

(b) 軸力 (kN)



数値：各部材の最大断面力
 ●：せん断照査最大位置 = 960 (kN)

(c) せん断力 (kN)

図 4-72 C-C断面（隔壁）のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
 （隔壁，解析ケース②，地震動 Ss-1-+，t=5.73s）

(4) 最大せん断ひずみ分布

地盤に発生した最大せん断ひずみを確認するため、曲げ軸力照査及びせん断照査における最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻の各地盤要素の最大せん断ひずみ分布を示す。表 4-35 に最大照査値を示す解析ケースの一覧を示す。

A-A断面における最大せん断ひずみ分布図を図 4-73 に、B-B断面における最大せん断ひずみ分布図を図 4-74 に、C-C断面における最大せん断ひずみ分布図を図 4-75 に示す。

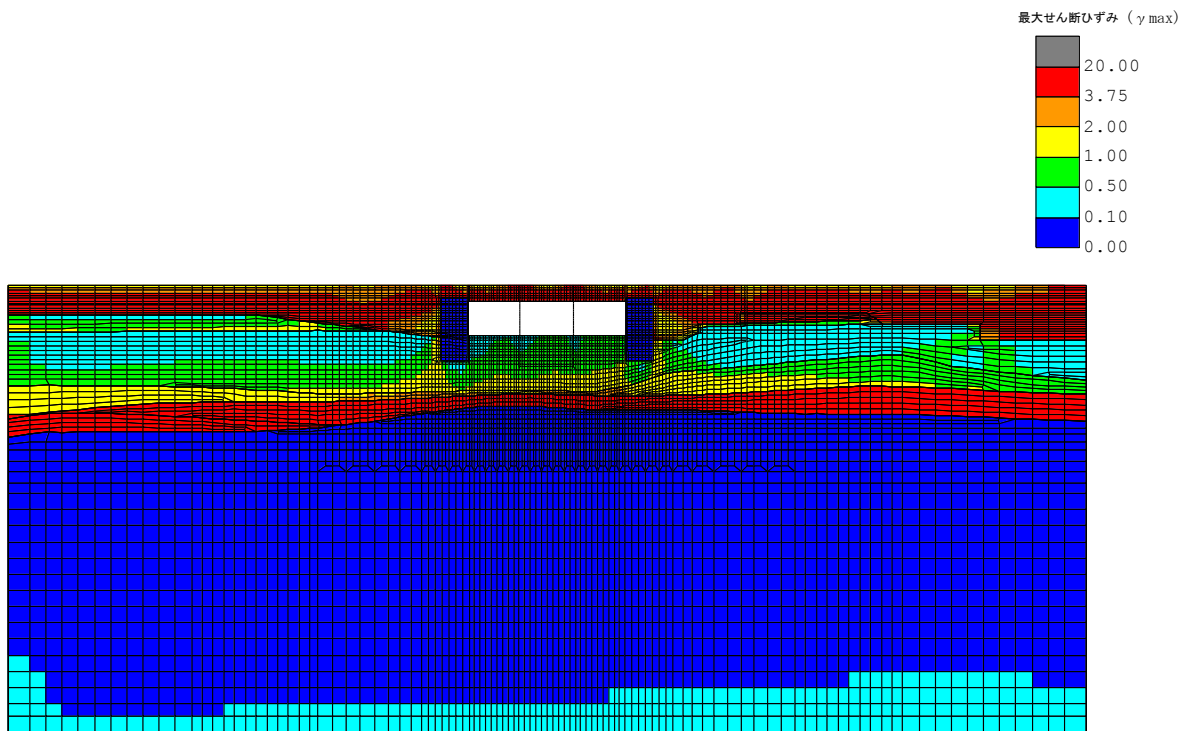
表 4-35 最大照査値を示す解析ケースの一覧

| 断面 | 評価項目 | |
|-------|-----------------|-----------------|
| | 曲げ軸力 | せん断 |
| A-A断面 | Ss-3-- (解析ケース③) | Ss-3-- (解析ケース③) |
| B-B断面 | Ss-8++ (解析ケース⑤) | Ss-8++ (解析ケース⑤) |
| C-C断面 | Ss-1-+ (解析ケース⑤) | Ss-1-+ (解析ケース②) |

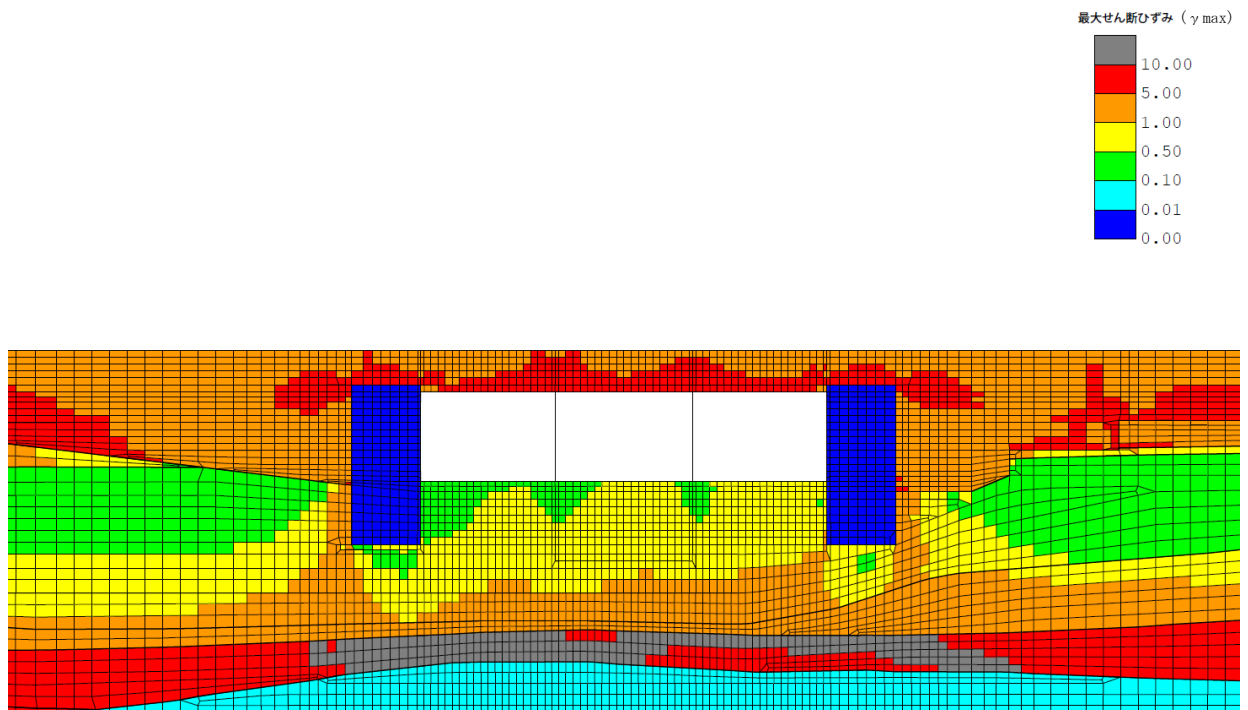
注：耐震評価における解析ケース一覧

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 解析ケース | 基本ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース |
| 地盤剛性の設定 | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) | 地盤剛性(-1σ) | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) |
| 液状化強度特性の設定 | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 |

a. A-A断面



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4-73 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース③, 地震動 Ss-3--)

b. B-B断面

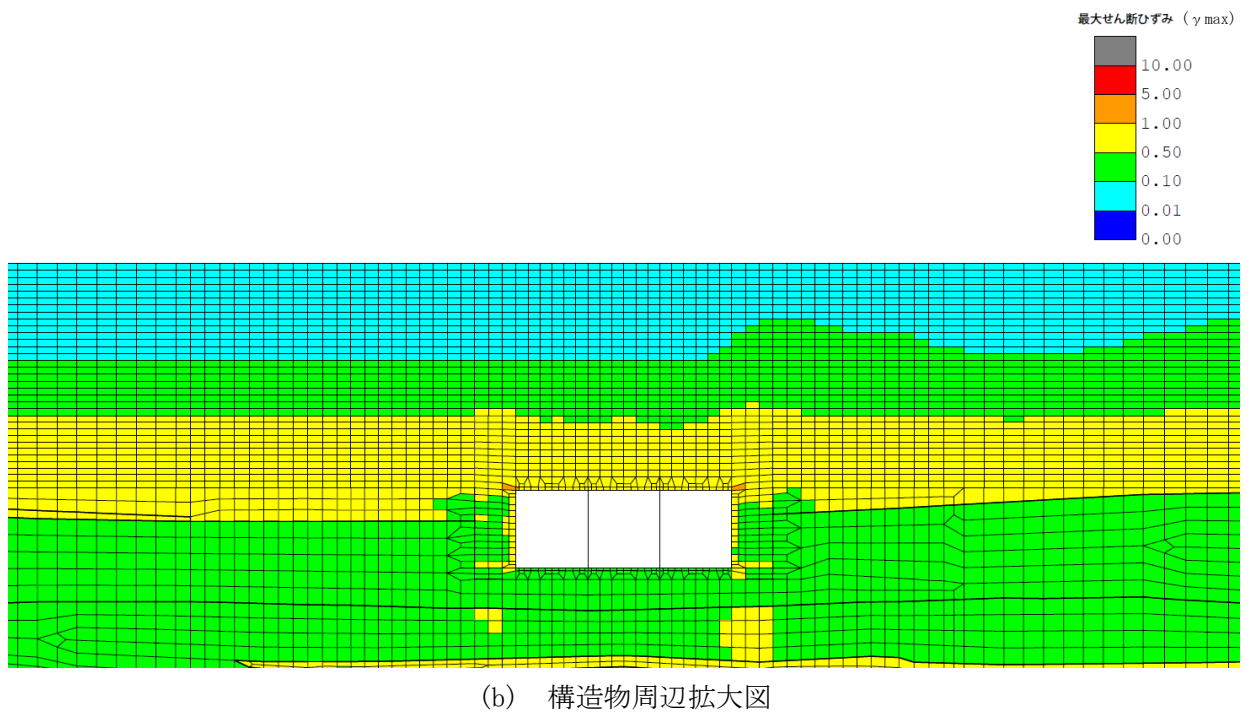
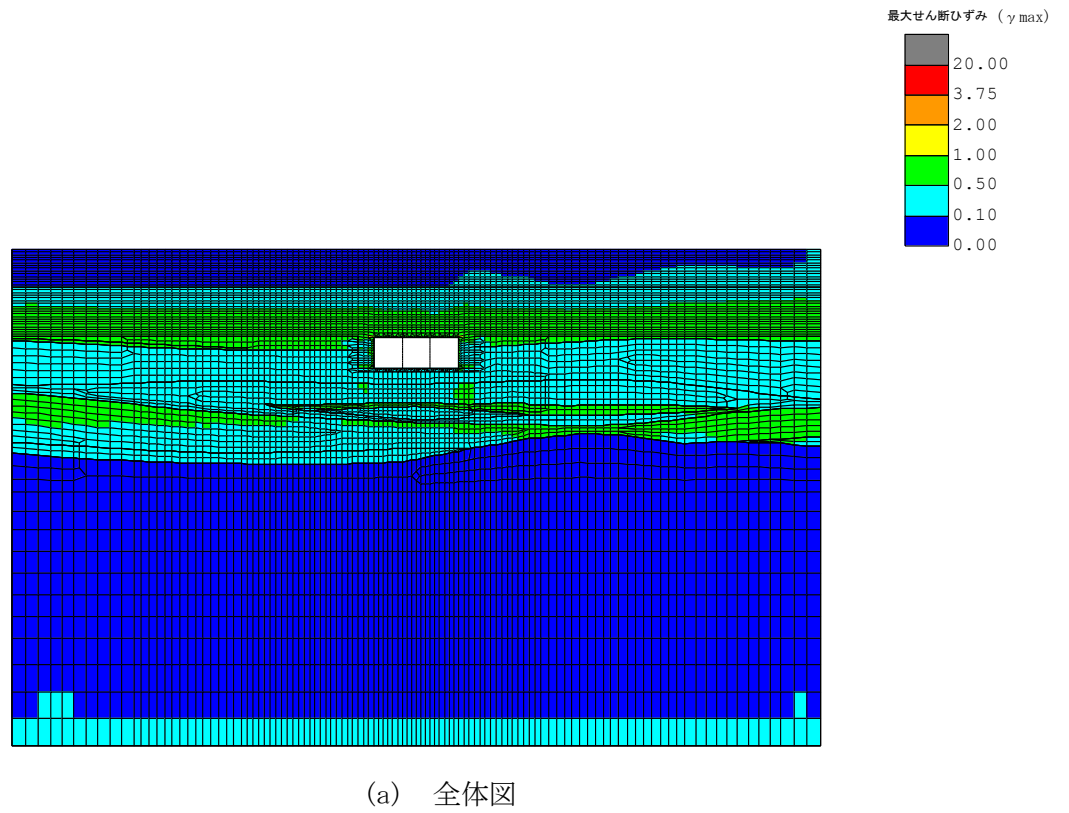


図 4-74 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース⑤, 地震動 Ss-8++)

c. C-C断面

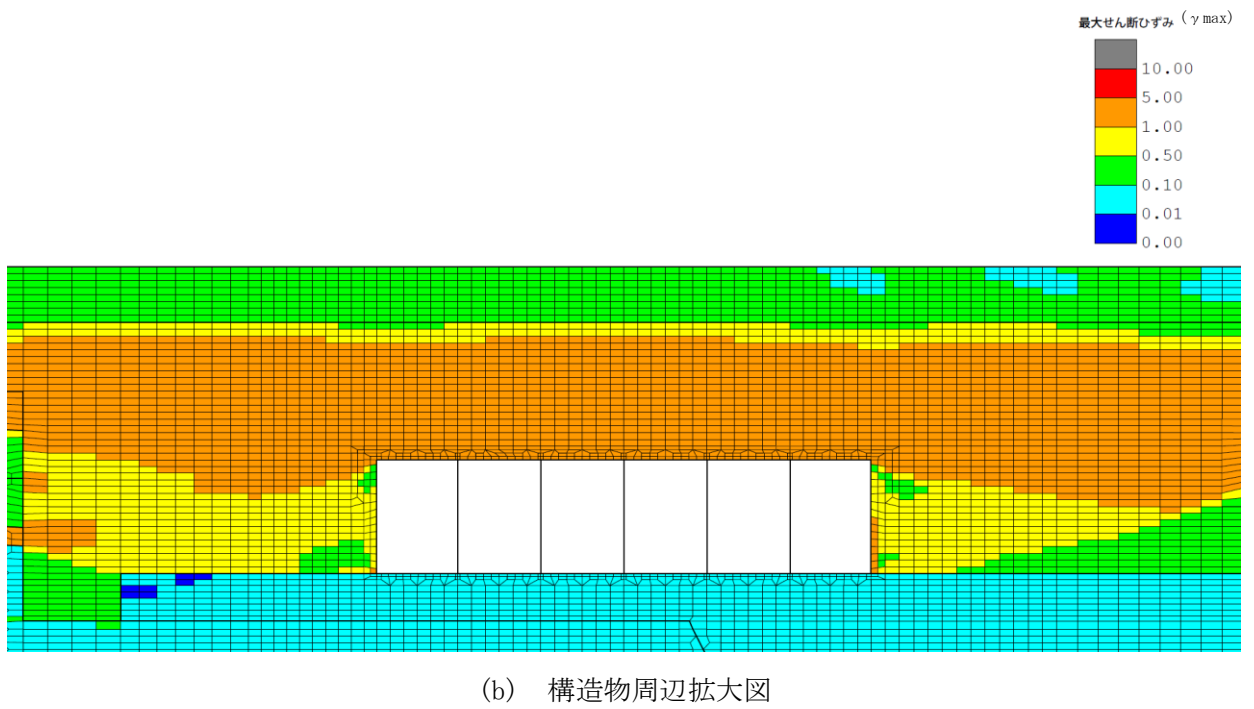
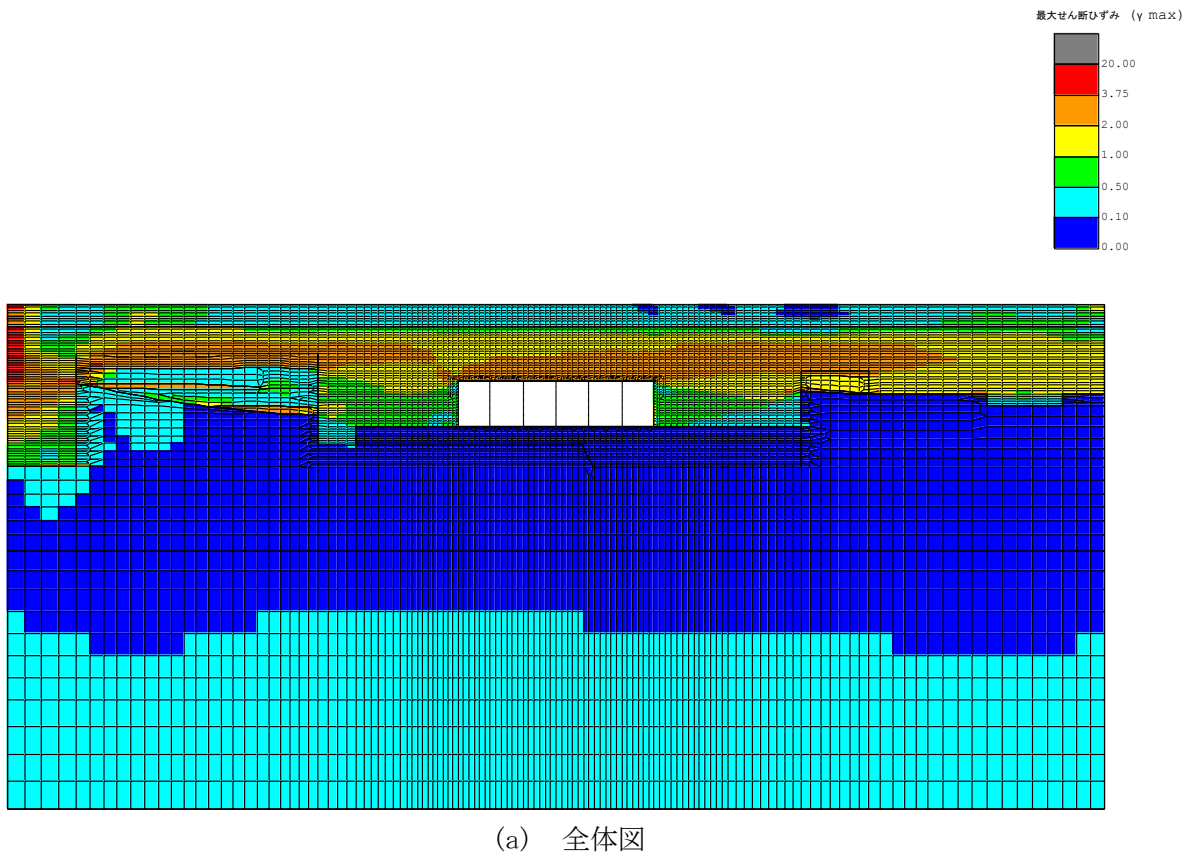
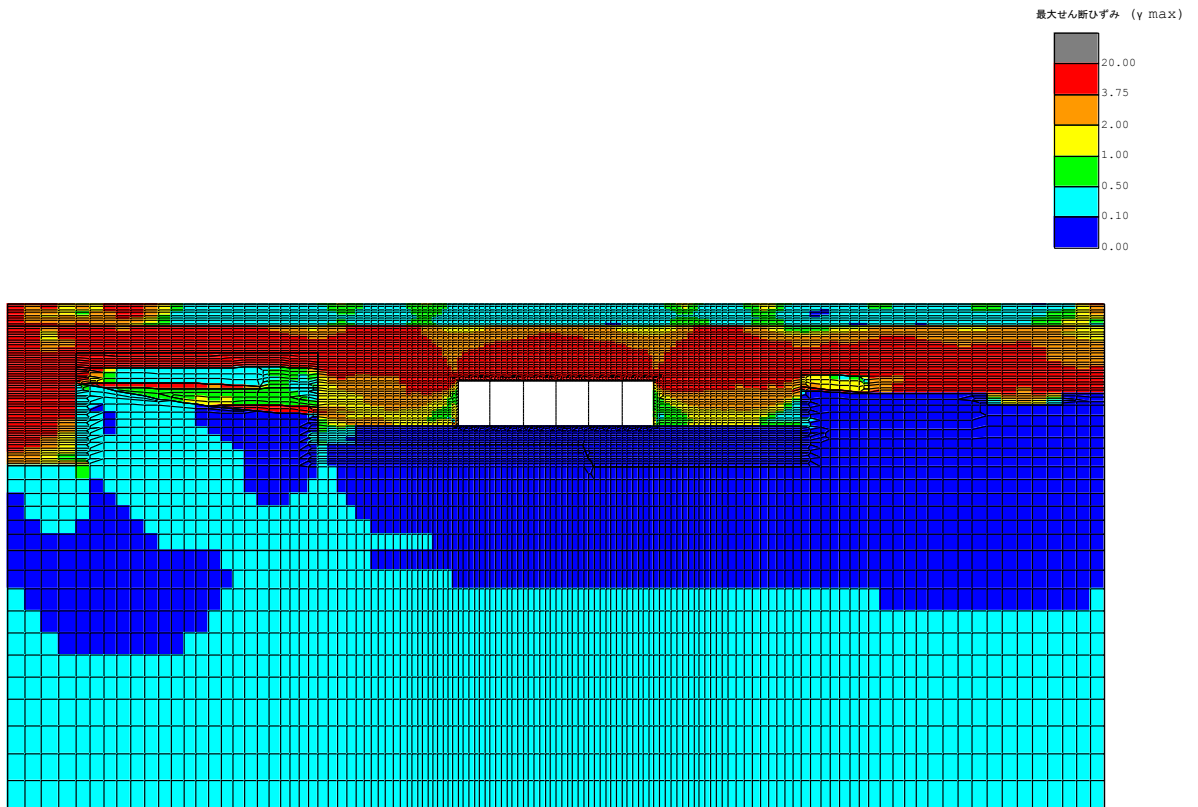
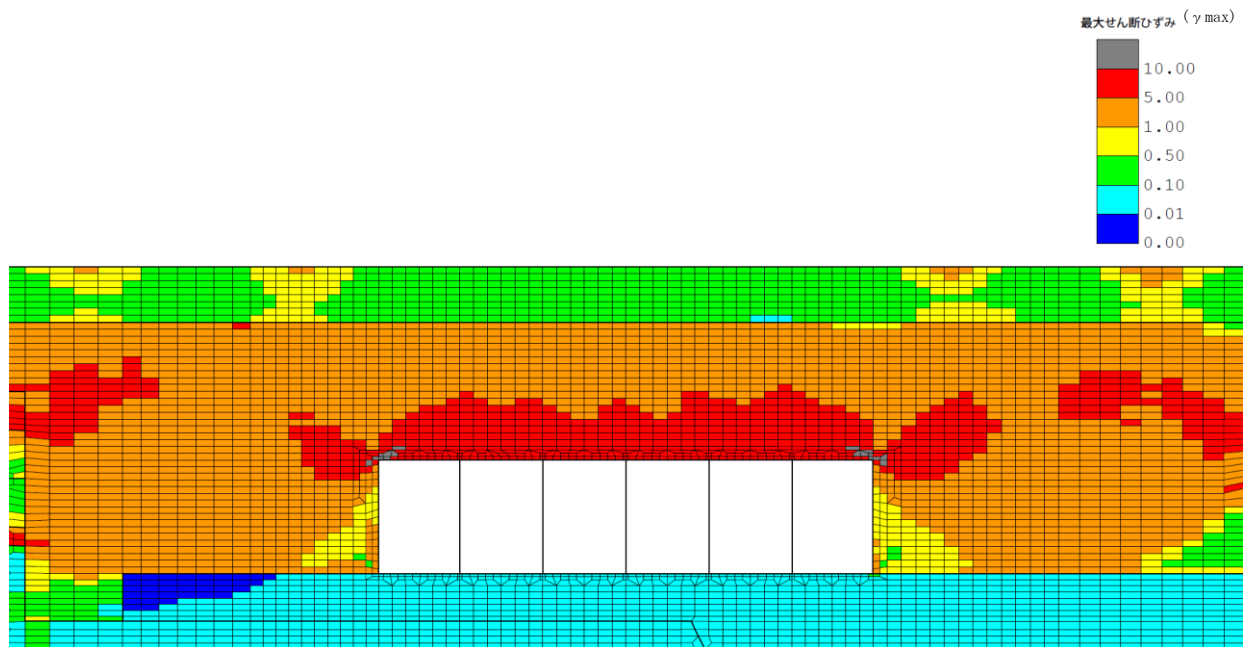


図 4-75 C-C断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース⑤, 地震動 Ss-1-+)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4-76 C-C断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1-+)

(5) 過剰間隙水圧比分布

地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、曲げ軸力照査及びせん断照査における最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における各地盤要素の過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。表 4-36 に最大照査値を示す解析ケースの一覧を示す。なお、最大照査値が非液状化の条件である解析ケース④及び⑤である場合は、最大過剰間隙水圧分布は記載せず、参考として、同地震動の解析ケース①（基本ケース）の最大過剰間隙水圧分布を示す。

A-A断面における最大過剰間隙水圧比分布図を図 4-77 に示す。

表 4-36 最大照査値を示す解析ケースの一覧

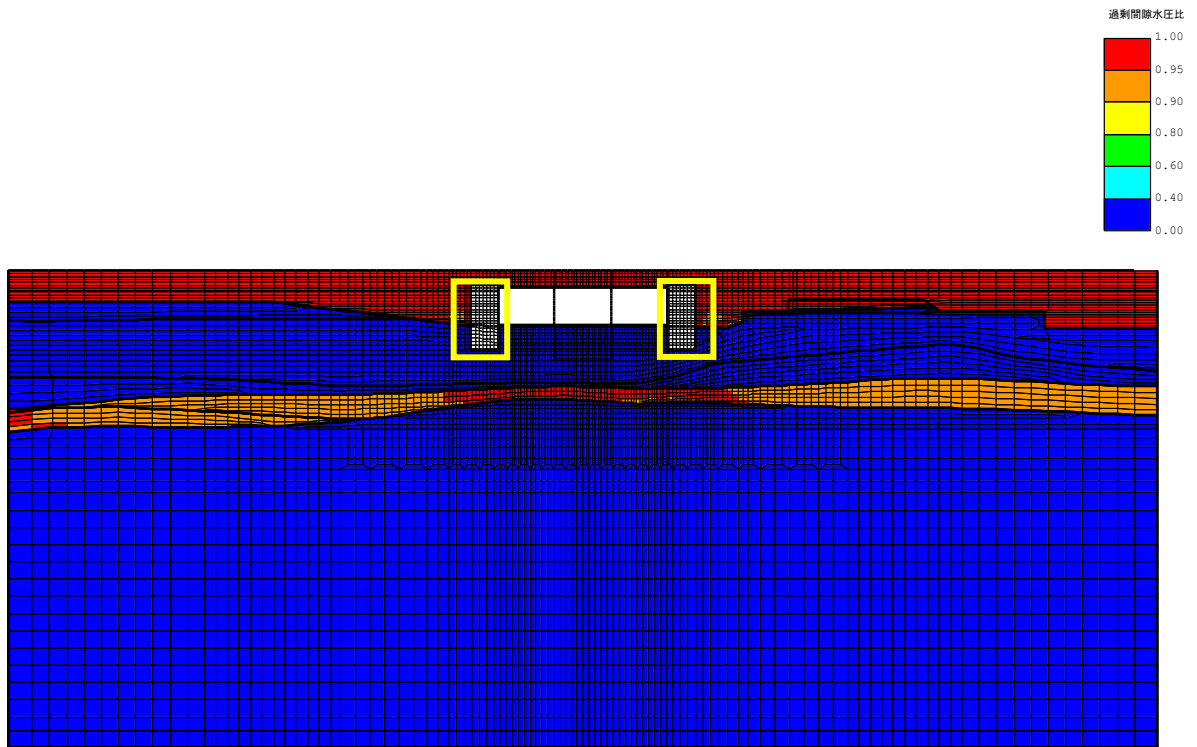
| 断面 | 評価項目 | |
|-------|-------------------|-------------------|
| | 曲げ軸力 | せん断 |
| A-A断面 | Ss-3-- (解析ケース③) | Ss-3-- (解析ケース③) |
| B-B断面 | Ss-8++ (解析ケース⑤) * | Ss-8++ (解析ケース⑤) * |
| C-C断面 | Ss-1-+ (解析ケース⑤) * | Ss-1-+ (解析ケース②) |

注記* : 非液状化を仮定した解析ケースについては、参考として、最大過剰間隙水圧比分布図は同地震動の解析ケース①を表示

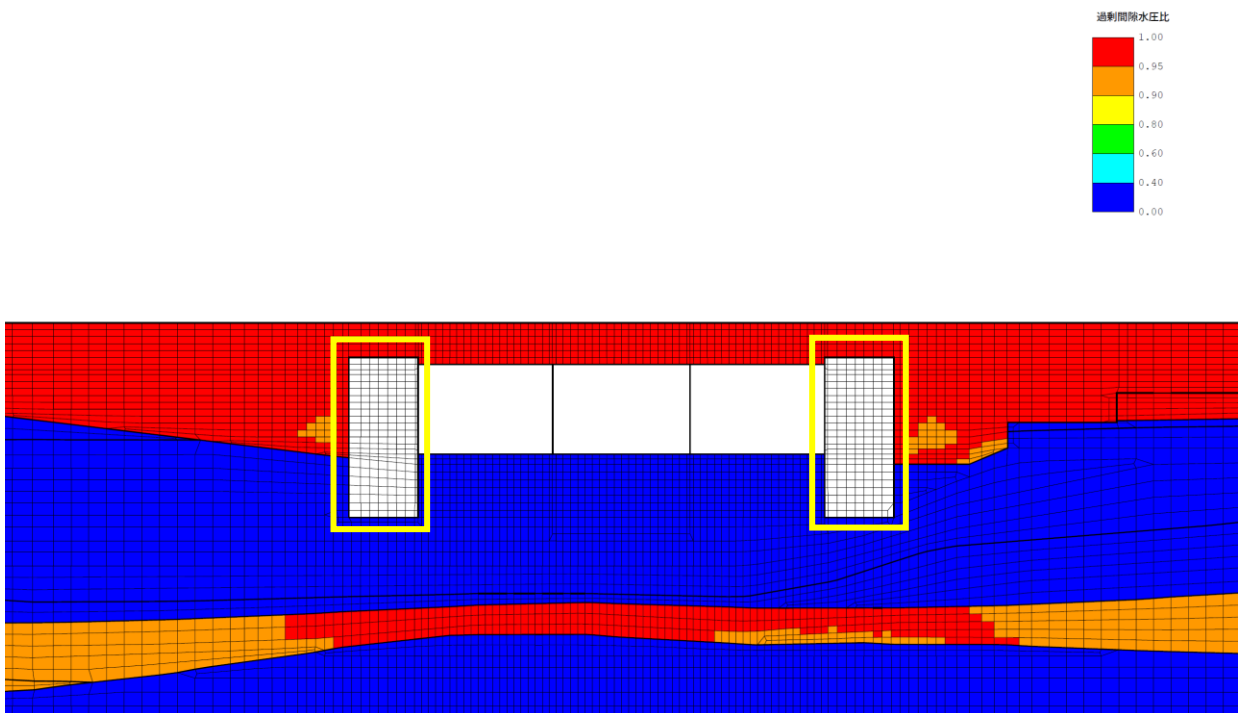
注： 耐震評価における解析ケース一覧

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 解析ケース | 基本ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース |
| 地盤剛性の設定 | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) | 地盤剛性(-1σ) | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) |
| 液状化強度特性の設定 | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 |

a. A-A断面



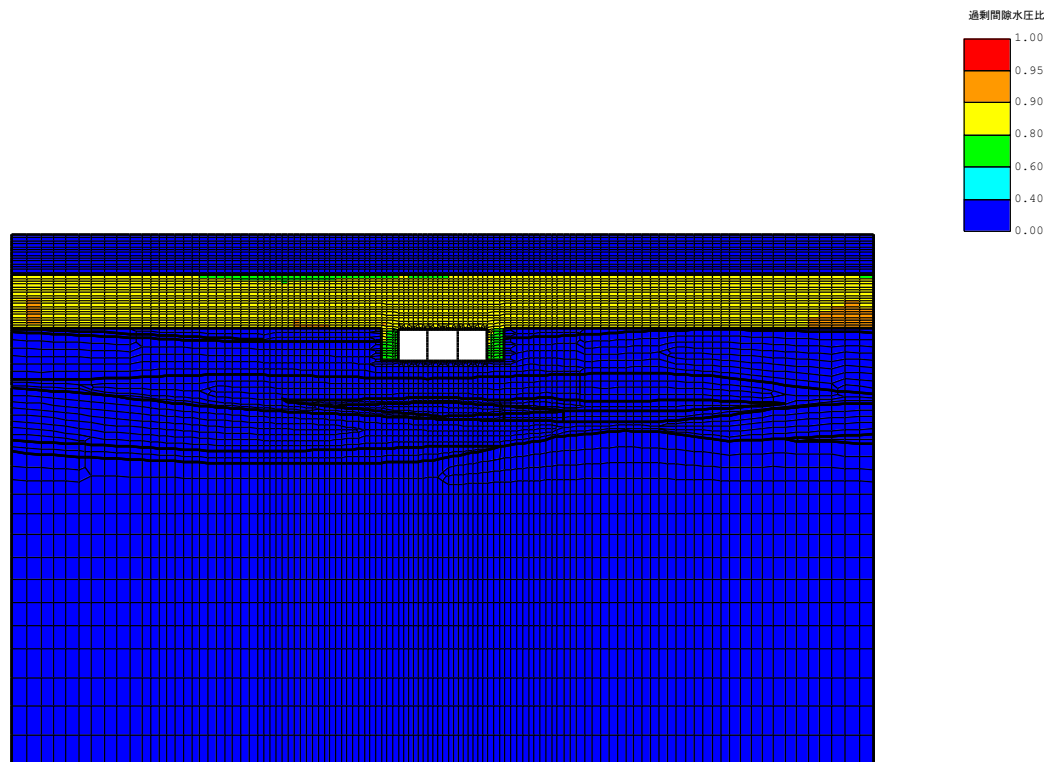
(a) 全体図



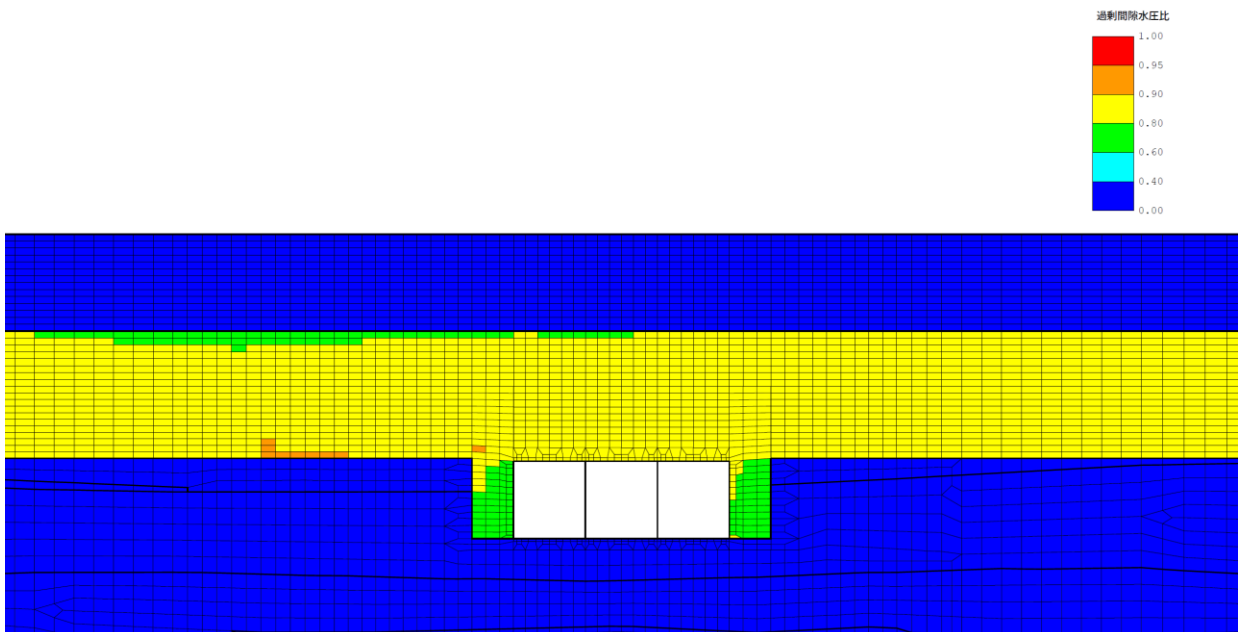
(b) 拡大図

図 4-77 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース③, 地震動 Ss-3)

b. B-B断面



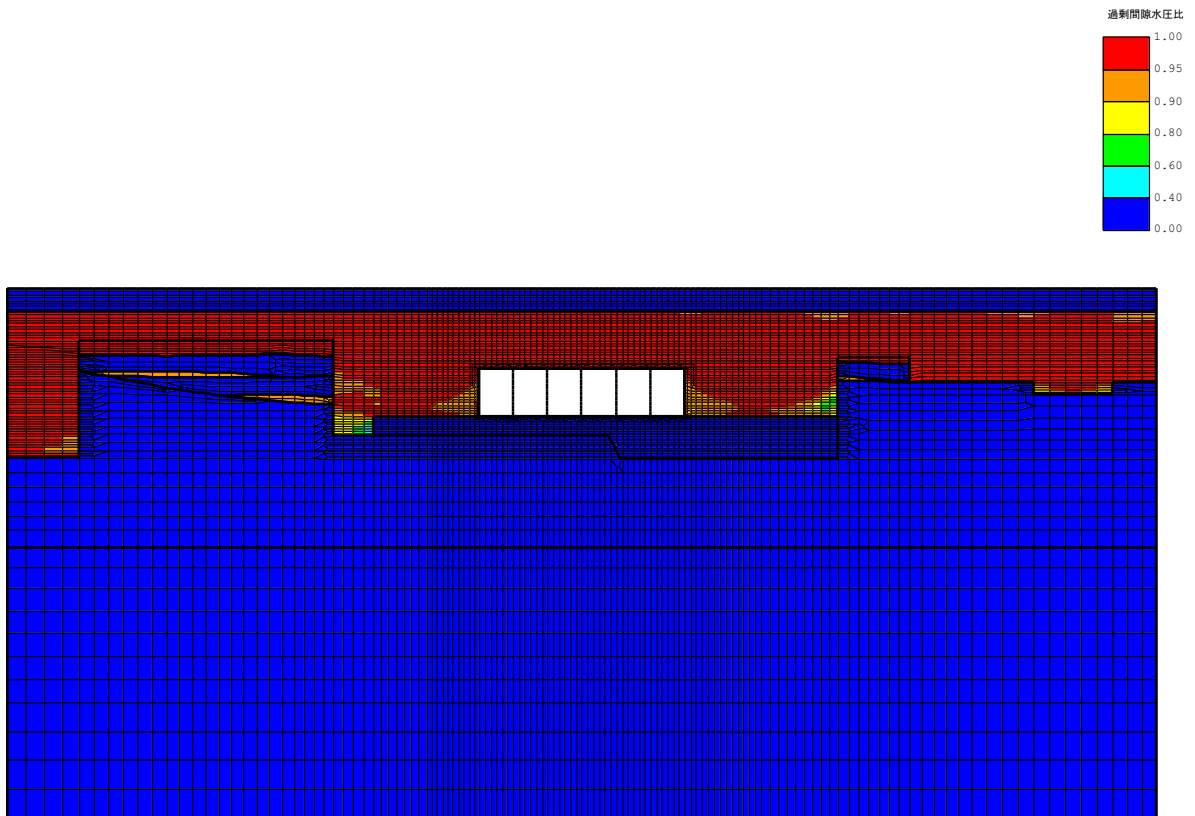
(a) 全体図



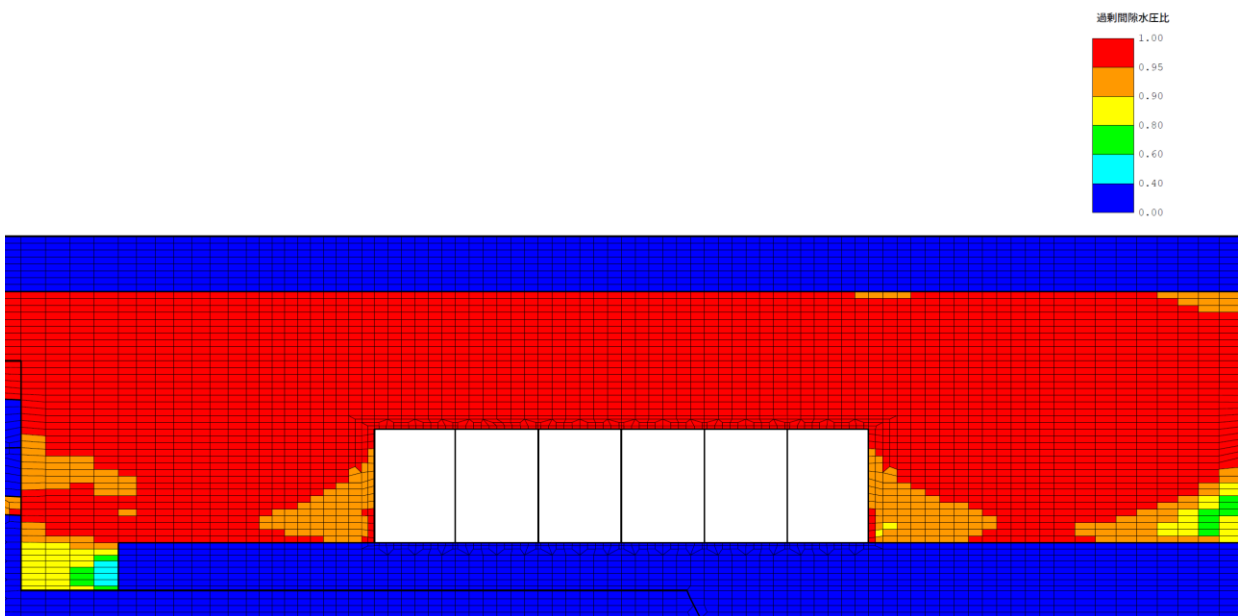
(b) 拡大図

図 4-78 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(参考：解析ケース①，地震動 Ss-8++)

c. C-C断面

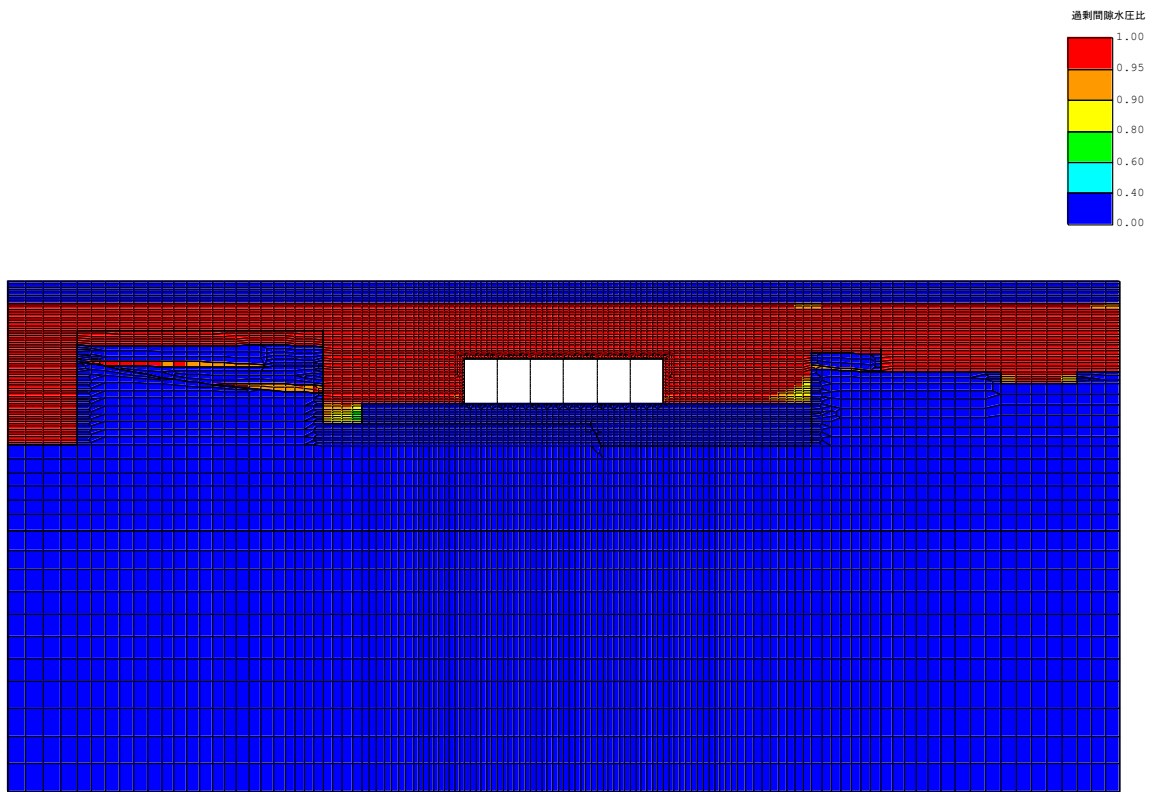


(a) 全体図

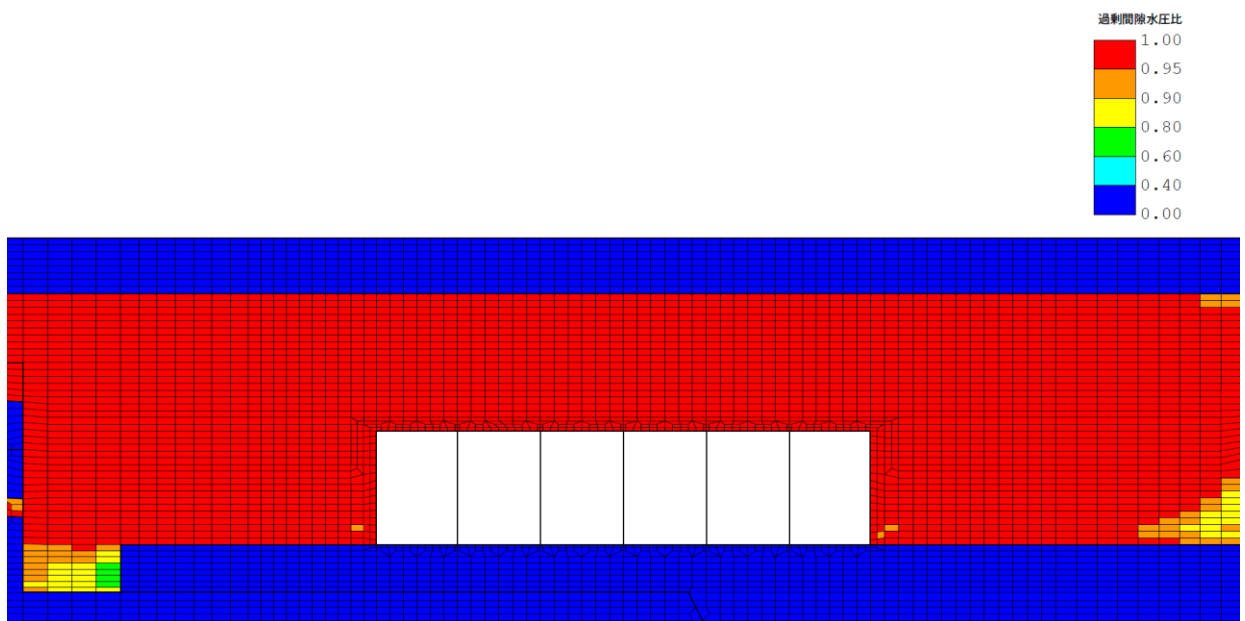


(b) 拡大図

図 4-79 C-C断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(参考：解析ケース①，地震動 Ss-1-+)



(a) 全体図



(b) 拡大図

図 4-80 C-C断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1-+)

4.4.2 構造部材の健全性に対する評価結果

(1) 構造部材の曲げ軸力に対する評価結果

a. 通水機能の確認

表 4-37～表 4-39 に、照査用層間変形角による曲げ軸力に対する評価結果を示す。各断面の全解析ケースにおいて、照査用層間変形角は限界層間変形角を下回る。

限界層間変形角（層間変形角 1/100）は、部材のかぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることから、取水路（6号機設備）の通水機能は損なわれないことを確認した。

(a) A-A断面

表 4-37 曲げ軸力に対する評価結果（A-A断面）

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間変形角* R_d | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 3.69×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.37 |
| | Ss-1-+ | 3.56×10^{-3} | | 0.36 |
| | Ss-1+- | 3.60×10^{-3} | | 0.36 |
| | Ss-1-- | 3.45×10^{-3} | | 0.35 |
| | Ss-2 | 1.85×10^{-3} | | 0.19 |
| | Ss-3++ | 4.03×10^{-3} | | 0.41 |
| | Ss-3-+ | 4.06×10^{-3} | | 0.41 |
| | Ss-3+- | 4.07×10^{-3} | | 0.41 |
| | Ss-3-- | 4.08×10^{-3} | | 0.41 |
| | Ss-4 | 1.66×10^{-3} | | 0.17 |
| | Ss-5 | 1.56×10^{-3} | | 0.16 |
| | Ss-6 | 1.75×10^{-3} | | 0.18 |
| | Ss-7 | 1.35×10^{-3} | | 0.14 |
| | Ss-8++ | 3.79×10^{-3} | | 0.38 |
| | Ss-8-+ | 3.72×10^{-3} | | 0.38 |
| ② | Ss-3-- | 3.62×10^{-3} | 0.37 | |
| ③ | Ss-3-- | 4.43×10^{-3} | 0.45 | |
| ④ | Ss-3-- | 2.83×10^{-3} | 0.29 | |
| ⑤ | Ss-3-- | 2.58×10^{-3} | 0.26 | |

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

(b) B-B断面

表 4-38 曲げ軸力に対する評価結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間変形角* R_d | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 1.32×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.14 |
| | Ss-1-+ | 1.34×10^{-3} | | 0.14 |
| | Ss-1+- | 1.21×10^{-3} | | 0.13 |
| | Ss-1-- | 1.21×10^{-3} | | 0.13 |
| | Ss-2 | 0.63×10^{-3} | | 0.07 |
| | Ss-3++ | 1.29×10^{-3} | | 0.13 |
| | Ss-3-+ | 1.29×10^{-3} | | 0.13 |
| | Ss-3+- | 1.28×10^{-3} | | 0.13 |
| | Ss-3-- | 1.30×10^{-3} | | 0.13 |
| | Ss-4 | 0.51×10^{-3} | | 0.06 |
| | Ss-5 | 0.82×10^{-3} | | 0.09 |
| | Ss-6 | 0.62×10^{-3} | | 0.07 |
| | Ss-7 | 0.75×10^{-3} | | 0.08 |
| | Ss-8++ | 1.42×10^{-3} | | 0.15 |
| | Ss-8-+ | 1.38×10^{-3} | | 0.14 |
| ② | Ss-8++ | 1.56×10^{-3} | 0.16 | |
| ③ | Ss-8++ | 1.93×10^{-3} | 0.20 | |
| ④ | Ss-8++ | 2.13×10^{-3} | 0.22 | |
| ⑤ | Ss-8++ | 2.26×10^{-3} | 0.23 | |

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

(c) C-C断面

表 4-39 曲げ軸力に対する評価結果 (C-C断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間変形角* R_d | 限界層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 4.15×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.42 |
| | Ss-1-+ | 4.23×10^{-3} | | 0.43 |
| | Ss-1+- | 4.32×10^{-3} | | 0.44 |
| | Ss-1-- | 4.21×10^{-3} | | 0.43 |
| | Ss-2 | 1.80×10^{-3} | | 0.18 |
| | Ss-3++ | 3.44×10^{-3} | | 0.35 |
| | Ss-3-+ | 3.45×10^{-3} | | 0.35 |
| | Ss-3+- | 3.41×10^{-3} | | 0.35 |
| | Ss-3-- | 3.36×10^{-3} | | 0.34 |
| | Ss-4 | 1.04×10^{-3} | | 0.11 |
| | Ss-5 | 1.09×10^{-3} | | 0.11 |
| | Ss-6 | 1.16×10^{-3} | | 0.12 |
| | Ss-7 | 1.12×10^{-3} | | 0.12 |
| | Ss-8++ | 2.92×10^{-3} | | 0.30 |
| | Ss-8-+ | 2.91×10^{-3} | | 0.30 |
| ② | Ss-1-+ | 4.41×10^{-3} | 0.45 | |
| ③ | Ss-1-+ | 3.85×10^{-3} | 0.39 | |
| ④ | Ss-1-+ | 4.60×10^{-3} | 0.46 | |
| ⑤ | Ss-1-+ | 4.90×10^{-3} | 0.49 | |

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

b. 貯水機能の確認

曲げに対する照査値が最も厳しい解析ケースにおいて、貯水機能が要求される側壁のM-φ曲線の応答を図4-81～図4-84に示す。なお、同図は側壁および頂版の貯水機能が要求される部位の中で最も第2折れ点（鉄筋の降伏）に対する裕度が厳しい応答を示す位置の結果を示している。

鉄筋は部材の両側ともに、最大応答は第2折れ点（鉄筋の降伏）に至っておらず、漏水を生じるひび割れは発生しないことから、取水路（6号機設備）の貯水機能は損なわれないことを確認した。

(a) A-A断面

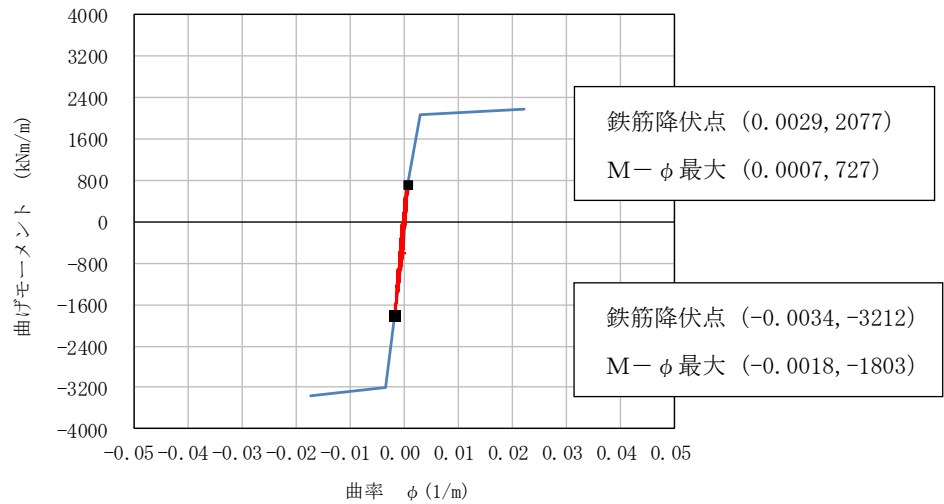


図4-81 A-A断面のM-φ曲線を用いた貯水機能の確認

(右側壁下部, 解析ケース③, 地震動Ss-3---) *

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

(b) B-B断面

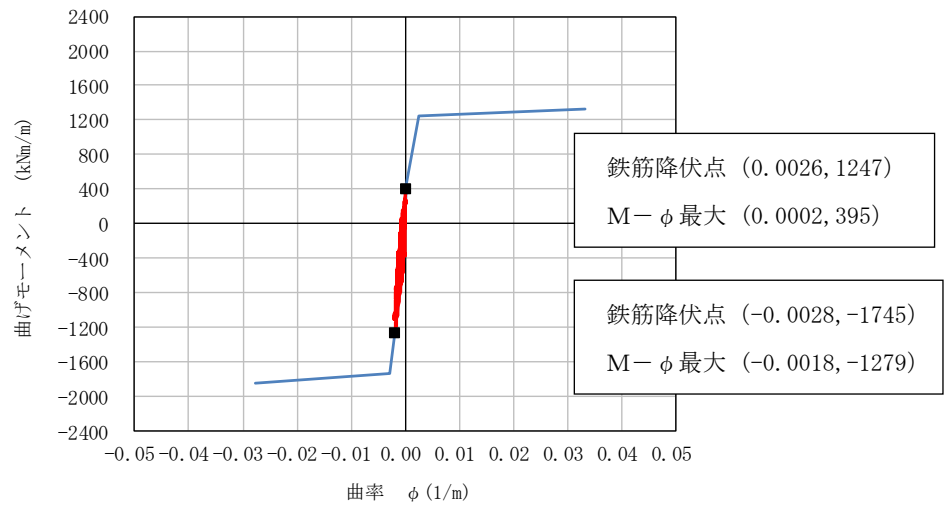


図 4-82 B-B断面のM- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認
(右側壁上部, 解析ケース⑤, 地震動 Ss-8++) *

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

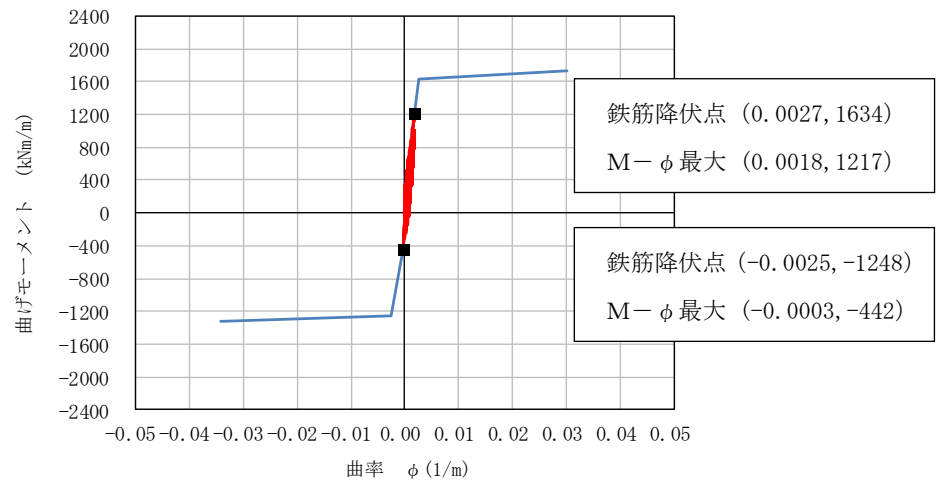


図 4-83 B-B断面のM- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認
(頂版, 解析ケース⑤, 地震動 Ss-8++) *

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

(c) C-C断面

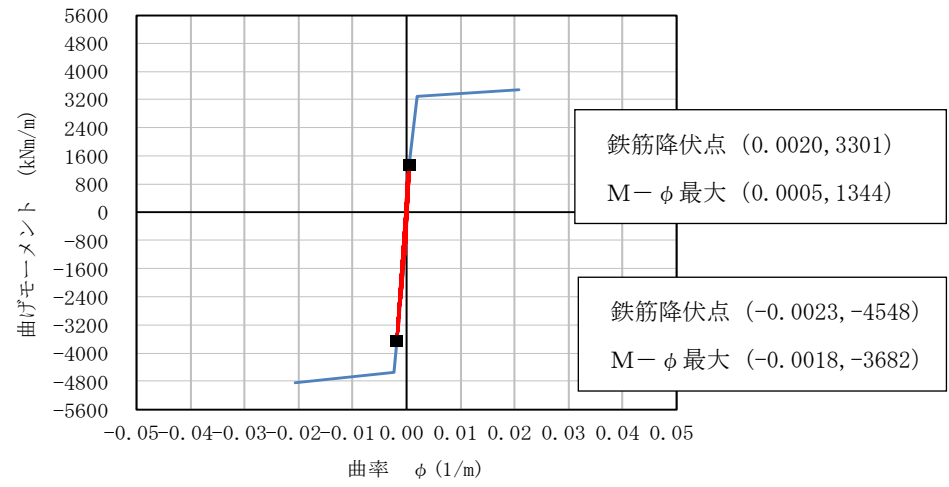


図 4-84 C-C断面のM- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認
(右側壁下部, 解析ケース⑤, 地震動 Ss-1-+) *
注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

(2) せん断力に対する評価結果（部材非線形解析）

せん断力照査結果を表 4-40～表 4-42 に、各断面の評価位置を図 4-85～図 4-87 に示す。

同表より、取水路（6 号機設備）の頂版、側壁及び底版については、発生するせん断力がせん断耐力式より求まるせん断耐力を下回ることを確認した。一方、A-A断面及びC-C断面の隔壁については、発生するせん断力がせん断耐力式より求まるせん断耐力を上回る結果となった。

したがって、次項にて、材料非線形解析を実施し、より精緻なせん断耐力を評価した上で、当該部材のせん断力に対する評価を実施する。

a. A-A断面

表 4-40 せん断力に対する評価結果 (A-A断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力* | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|---------------------|----------------------|---------------------------------|
| | | | | V _d (kN) | V _{yd} (kN) | V _d /V _{yd} |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 7 | 688 | 972 | 0.71 |
| | | 側壁 | 4 | 829 | 1075 | 0.78 |
| | | 隔壁 | 3 | 906 | 949 | 0.96 |
| | | 底版 | 10 | 720 | 1549 | 0.47 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 5 | 672 | 981 | 0.69 |
| | | 側壁 | 1 | 780 | 1080 | 0.73 |
| | | 隔壁 | 3 | 918 | 928 | 0.99 |
| | | 底版 | 10 | 693 | 1521 | 0.46 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 680 | 1006 | 0.68 |
| | | 側壁 | 4 | 650 | 1055 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 844 | 902 | 0.94 |
| | | 底版 | 9 | 698 | 1544 | 0.46 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 640 | 1042 | 0.62 |
| | | 側壁 | 4 | 638 | 1040 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 878 | 918 | 0.96 |
| | | 底版 | 10 | 676 | 1631 | 0.42 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 7 | 480 | 988 | 0.49 |
| | | 側壁 | 4 | 552 | 1119 | 0.50 |
| | | 隔壁 | 3 | 601 | 955 | 0.63 |
| | | 底版 | 10 | 516 | 1592 | 0.33 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 7 | 532 | 925 | 0.58 |
| | | 側壁 | 1 | 705 | 1061 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 2 | 920 | 927 | 1.00 |
| | | 底版 | 10 | 594 | 1511 | 0.40 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 7 | 564 | 941 | 0.60 |
| | | 側壁 | 4 | 656 | 1016 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 3 | 993 | 926 | 1.08 |
| | | 底版 | 9 | 585 | 1458 | 0.41 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 594 | 931 | 0.64 |
| | | 側壁 | 4 | 715 | 1061 | 0.68 |
| | | 隔壁 | 2 | 920 | 918 | 1.01 |
| | | 底版 | 10 | 589 | 1526 | 0.39 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 547 | 993 | 0.56 |
| | | 側壁 | 4 | 624 | 1020 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 989 | 918 | 1.08 |
| | | 底版 | 10 | 577 | 1508 | 0.39 |

注記* : 照査用せん断力V_d=発生せん断力V×構造解析係数γ_a

表 4-40 せん断力に対する評価結果 (A-A断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力* | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------|---------------|--------------|
| | | | | V_d (kN) | V_{yd} (kN) | V_d/V_{yd} |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 5 | 432 | 1005 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 485 | 1093 | 0.45 |
| | | 隔壁 | 2 | 549 | 942 | 0.59 |
| | | 底版 | 8 | 470 | 1594 | 0.30 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 5 | 550 | 964 | 0.58 |
| | | 側壁 | 4 | 829 | 1075 | 0.78 |
| | | 隔壁 | 2 | 866 | 926 | 0.94 |
| | | 底版 | 9 | 698 | 1504 | 0.47 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 7 | 566 | 949 | 0.60 |
| | | 側壁 | 4 | 731 | 1065 | 0.69 |
| | | 隔壁 | 3 | 918 | 928 | 0.99 |
| | | 底版 | 10 | 693 | 1521 | 0.46 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 7 | 680 | 1006 | 0.68 |
| | | 側壁 | 1 | 648 | 1094 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 3 | 844 | 902 | 0.94 |
| | | 底版 | 9 | 698 | 1544 | 0.46 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 5 | 621 | 1060 | 0.59 |
| | | 側壁 | 1 | 629 | 1070 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 2 | 793 | 903 | 0.88 |
| | | 底版 | 8 | 534 | 1493 | 0.36 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 7 | 480 | 988 | 0.49 |
| | | 側壁 | 4 | 552 | 1119 | 0.50 |
| | | 隔壁 | 3 | 601 | 955 | 0.63 |
| | | 底版 | 10 | 516 | 1592 | 0.33 |
| ② | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 536 | 1002 | 0.54 |
| | | 側壁 | 4 | 656 | 1027 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 925 | 920 | 1.01 |
| | | 底版 | 10 | 558 | 1507 | 0.38 |
| ③ | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 559 | 987 | 0.57 |
| | | 側壁 | 4 | 610 | 1031 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 3 | 1039 | 917 | 1.14 |
| | | 底版 | 9 | 568 | 1446 | 0.40 |
| ④ | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 526 | 987 | 0.54 |
| | | 側壁 | 4 | 669 | 1060 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 795 | 926 | 0.86 |
| | | 底版 | 10 | 561 | 1510 | 0.38 |
| ⑤ | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 519 | 990 | 0.53 |
| | | 側壁 | 4 | 614 | 1023 | 0.61 |
| | | 隔壁 | 3 | 755 | 930 | 0.82 |
| | | 底版 | 10 | 577 | 1565 | 0.37 |

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

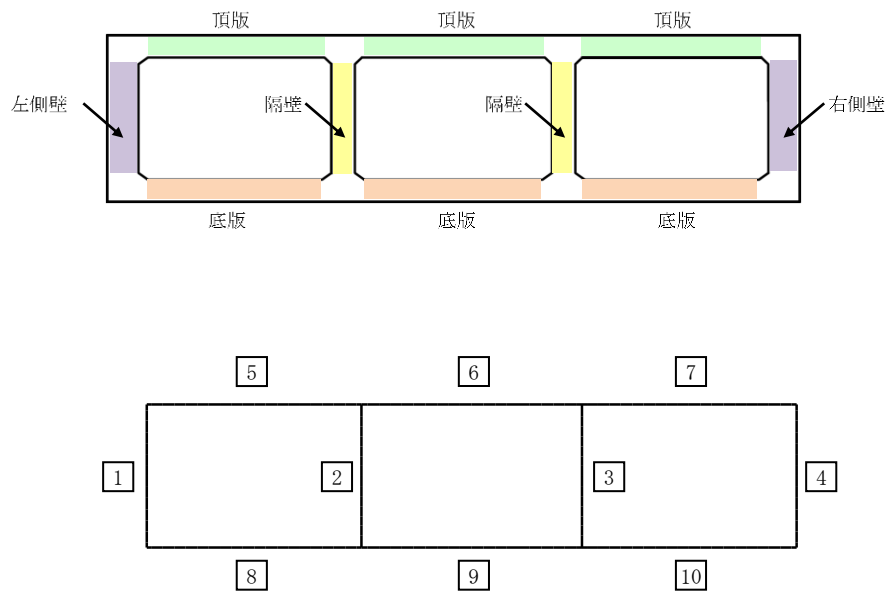


図 4-85 A-A断面の評価位置

b. B-B断面

表 4-41 せん断力に対する評価結果 (B-B断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力* | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------|---------------|--------------|
| | | | | V_d (kN) | V_{yd} (kN) | V_d/V_{yd} |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 6 | 1080 | 2800 | 0.39 |
| | | 側壁 | 4 | 1019 | 1862 | 0.55 |
| | | 隔壁 | 2 | 646 | 943 | 0.69 |
| | | 底版 | 8 | 1187 | 2940 | 0.41 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 6 | 1036 | 2814 | 0.37 |
| | | 側壁 | 1 | 1089 | 1913 | 0.57 |
| | | 隔壁 | 2 | 678 | 976 | 0.70 |
| | | 底版 | 10 | 1102 | 3025 | 0.37 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 6 | 1045 | 2941 | 0.36 |
| | | 側壁 | 4 | 1188 | 2015 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 2 | 650 | 941 | 0.70 |
| | | 底版 | 10 | 1033 | 2849 | 0.37 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1035 | 2921 | 0.36 |
| | | 側壁 | 1 | 1189 | 1994 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 2 | 631 | 898 | 0.71 |
| | | 底版 | 8 | 1025 | 2822 | 0.37 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 6 | 870 | 2961 | 0.30 |
| | | 側壁 | 4 | 798 | 1987 | 0.41 |
| | | 隔壁 | 2 | 449 | 974 | 0.47 |
| | | 底版 | 9 | 872 | 3001 | 0.30 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 6 | 820 | 2767 | 0.30 |
| | | 側壁 | 1 | 928 | 1961 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 2 | 666 | 942 | 0.71 |
| | | 底版 | 8 | 882 | 2867 | 0.31 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 6 | 808 | 2719 | 0.30 |
| | | 側壁 | 1 | 841 | 1872 | 0.45 |
| | | 隔壁 | 2 | 673 | 939 | 0.72 |
| | | 底版 | 8 | 903 | 2887 | 0.32 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 6 | 925 | 2843 | 0.33 |
| | | 側壁 | 4 | 947 | 1935 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 2 | 666 | 940 | 0.71 |
| | | 底版 | 8 | 1002 | 3038 | 0.33 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 6 | 915 | 2850 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 1025 | 1968 | 0.53 |
| | | 隔壁 | 2 | 675 | 939 | 0.72 |
| | | 底版 | 10 | 974 | 3102 | 0.32 |

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

表 4-41 せん断力に対する評価結果（B-B断面）（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力* | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------|---------------|--------------|
| | | | | V_d (kN) | V_{yd} (kN) | V_d/V_{yd} |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 6 | 720 | 2895 | 0.25 |
| | | 側壁 | 4 | 693 | 1947 | 0.36 |
| | | 隔壁 | 3 | 386 | 1017 | 0.38 |
| | | 底版 | 9 | 742 | 2936 | 0.26 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 6 | 787 | 2925 | 0.27 |
| | | 側壁 | 4 | 796 | 2010 | 0.40 |
| | | 隔壁 | 2 | 511 | 944 | 0.55 |
| | | 底版 | 9 | 804 | 2980 | 0.27 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 6 | 841 | 2914 | 0.29 |
| | | 側壁 | 1 | 848 | 2014 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 2 | 433 | 993 | 0.44 |
| | | 底版 | 9 | 848 | 3006 | 0.29 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 6 | 808 | 2841 | 0.29 |
| | | 側壁 | 1 | 820 | 1967 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 2 | 486 | 987 | 0.50 |
| | | 底版 | 9 | 813 | 2942 | 0.28 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 817 | 2715 | 0.31 |
| | | 側壁 | 1 | 806 | 1741 | 0.47 |
| | | 隔壁 | 2 | 689 | 947 | 0.73 |
| | | 底版 | 10 | 892 | 2900 | 0.31 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 6 | 841 | 2710 | 0.32 |
| | | 側壁 | 4 | 730 | 1741 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 3 | 668 | 961 | 0.70 |
| | | 底版 | 8 | 938 | 2835 | 0.34 |
| ② | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 830 | 2709 | 0.31 |
| | | 側壁 | 1 | 816 | 1730 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 2 | 725 | 944 | 0.77 |
| | | 底版 | 10 | 900 | 2876 | 0.32 |
| ③ | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 918 | 2709 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 827 | 1709 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 2 | 803 | 937 | 0.86 |
| | | 底版 | 9 | 893 | 2718 | 0.33 |
| ④ | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 860 | 2678 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 827 | 1664 | 0.50 |
| | | 隔壁 | 2 | 833 | 933 | 0.90 |
| | | 底版 | 10 | 930 | 2788 | 0.34 |
| ⑤ | Ss-8++ | 頂版 | 5 | 879 | 2712 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 836 | 1658 | 0.51 |
| | | 隔壁 | 2 | 862 | 932 | 0.93 |
| | | 底版 | 10 | 929 | 2767 | 0.34 |

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

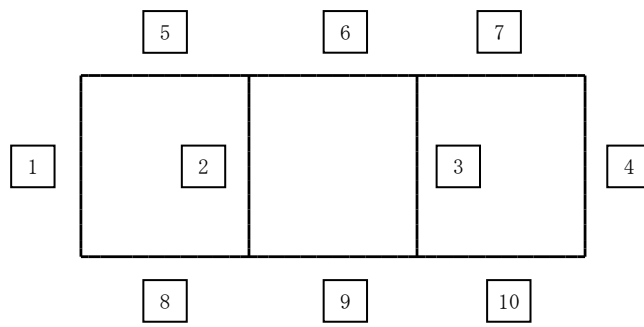
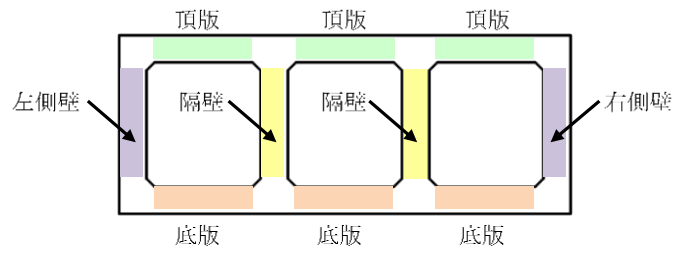


図 4-86 B-B断面の評価位置

c. C-C断面

表 4-42 せん断力に対する評価結果 (C-C断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|-------|------|
| | | | | せん断力* | | |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 12 | 1166 | 3002 | 0.39 |
| | | 側壁 | 7 | 1785 | 2862 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 5 | 997 | 936 | 1.07 |
| | | 底版 | 19 | 1439 | 3691 | 0.39 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 9 | 1152 | 2989 | 0.39 |
| | | 側壁 | 1 | 1985 | 3162 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 3 | 995 | 927 | 1.08 |
| | | 底版 | 14 | 1436 | 3682 | 0.40 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 12 | 1383 | 3238 | 0.43 |
| | | 側壁 | 7 | 2233 | 2925 | 0.77 |
| | | 隔壁 | 5 | 989 | 944 | 1.05 |
| | | 底版 | 19 | 1686 | 3528 | 0.48 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 9 | 1347 | 3221 | 0.42 |
| | | 側壁 | 1 | 2194 | 2923 | 0.76 |
| | | 隔壁 | 3 | 990 | 942 | 1.06 |
| | | 底版 | 14 | 1647 | 3518 | 0.47 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 13 | 909 | 2902 | 0.32 |
| | | 側壁 | 1 | 1694 | 3102 | 0.55 |
| | | 隔壁 | 3 | 583 | 979 | 0.60 |
| | | 底版 | 14 | 1220 | 3626 | 0.34 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 12 | 1117 | 3078 | 0.37 |
| | | 側壁 | 7 | 1823 | 2928 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 5 | 847 | 948 | 0.90 |
| | | 底版 | 19 | 1351 | 3450 | 0.40 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 9 | 1063 | 3029 | 0.36 |
| | | 側壁 | 1 | 1795 | 2924 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 868 | 945 | 0.92 |
| | | 底版 | 14 | 1324 | 3446 | 0.39 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 1013 | 2941 | 0.35 |
| | | 側壁 | 7 | 1719 | 2960 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 5 | 853 | 939 | 0.91 |
| | | 底版 | 19 | 1257 | 3488 | 0.37 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 13 | 1007 | 2942 | 0.35 |
| | | 側壁 | 1 | 1707 | 2961 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 3 | 860 | 933 | 0.93 |
| | | 底版 | 14 | 1241 | 3476 | 0.36 |

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

表 4-42 せん断力に対する評価結果 (C-C断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力* | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------|---------------|--------------|
| | | | | V_d (kN) | V_{yd} (kN) | V_d/V_{yd} |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 13 | 743 | 3009 | 0.25 |
| | | 側壁 | 1 | 1336 | 3166 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 3 | 435 | 1004 | 0.44 |
| | | 底版 | 14 | 935 | 3651 | 0.26 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 8 | 780 | 2967 | 0.27 |
| | | 側壁 | 7 | 1326 | 3136 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 5 | 435 | 980 | 0.45 |
| | | 底版 | 19 | 953 | 3802 | 0.26 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 13 | 846 | 2990 | 0.29 |
| | | 側壁 | 7 | 1361 | 3115 | 0.44 |
| | | 隔壁 | 5 | 454 | 1005 | 0.46 |
| | | 底版 | 19 | 987 | 3620 | 0.28 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 13 | 815 | 2959 | 0.28 |
| | | 側壁 | 1 | 1331 | 3107 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 5 | 414 | 976 | 0.43 |
| | | 底版 | 18 | 765 | 2877 | 0.27 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 13 | 876 | 2777 | 0.32 |
| | | 側壁 | 1 | 1515 | 2865 | 0.53 |
| | | 隔壁 | 3 | 795 | 947 | 0.84 |
| | | 底版 | 14 | 1159 | 3429 | 0.34 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 8 | 900 | 2783 | 0.33 |
| | | 側壁 | 7 | 1530 | 2867 | 0.54 |
| | | 隔壁 | 5 | 773 | 954 | 0.82 |
| | | 底版 | 19 | 1199 | 3455 | 0.35 |
| ② | Ss-1-+ | 頂版 | 9 | 1217 | 2995 | 0.41 |
| | | 側壁 | 1 | 1994 | 3135 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 1008 | 930 | 1.09 |
| | | 底版 | 14 | 1399 | 3542 | 0.40 |
| ③ | Ss-1-+ | 頂版 | 8 | 1061 | 2884 | 0.37 |
| | | 側壁 | 7 | 1837 | 2937 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 3 | 949 | 928 | 1.03 |
| | | 底版 | 14 | 1425 | 3709 | 0.39 |
| ④ | Ss-1-+ | 頂版 | 8 | 1163 | 2749 | 0.43 |
| | | 側壁 | 7 | 1648 | 2766 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 5 | 966 | 938 | 1.03 |
| | | 底版 | 19 | 1480 | 3425 | 0.44 |
| ⑤ | Ss-1-+ | 頂版 | 8 | 1298 | 2813 | 0.47 |
| | | 側壁 | 7 | 1656 | 2794 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 5 | 994 | 936 | 1.07 |
| | | 底版 | 19 | 1517 | 3473 | 0.44 |

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

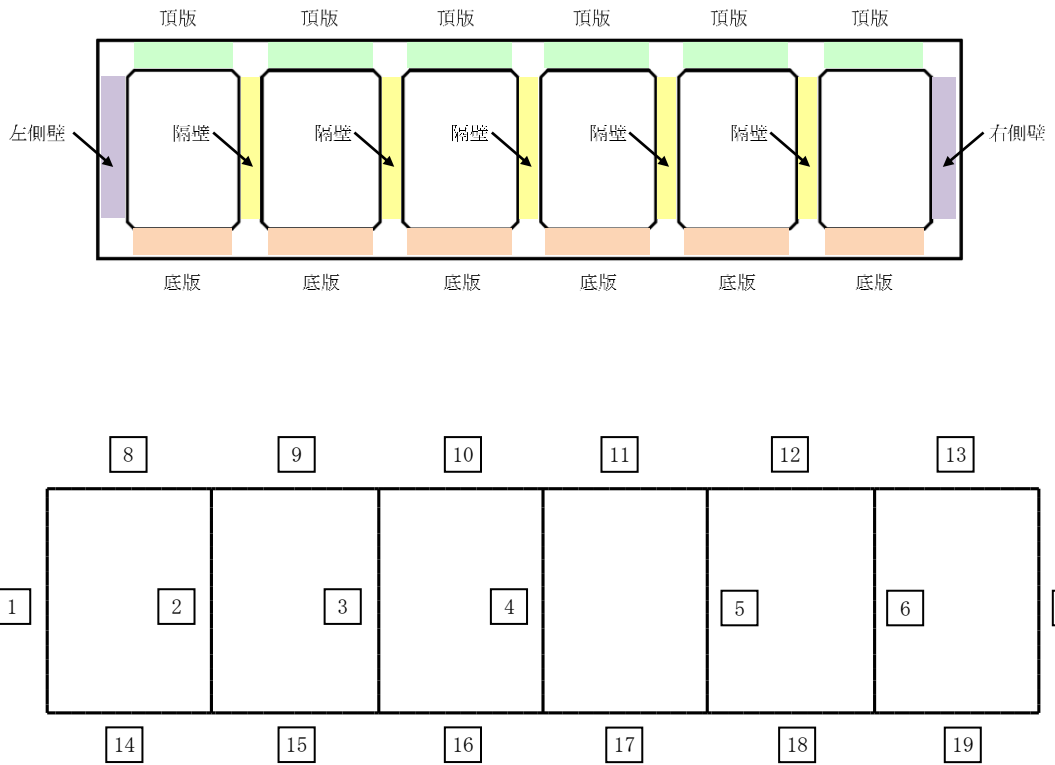


図 4-87 C-C断面の評価位置

4.4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 4-43～表 4-45 に示す。

取水路（6号機設備）の基礎地盤に発生する鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。また、C-C断面については基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 4-43 基礎地盤の支持性能評価結果（A-A断面）

| 解析 ケース | 地震動 | 最大鉛直力 R_a (kN) | 極限支持力 R_u (kN) | 照査値 R_a/R_u |
|-----------|--------|---------------------|---------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 2150 | 62700 | 0.04 |
| | Ss-1-+ | 2150 | 62700 | 0.04 |
| | Ss-1+- | 2160 | 60900 | 0.04 |
| | Ss-1-- | 2160 | 59200 | 0.04 |
| | Ss-2 | 2200 | 63400 | 0.04 |
| | Ss-3++ | 2160 | 62800 | 0.04 |
| | Ss-3-+ | 2160 | 61100 | 0.04 |
| | Ss-3+- | 2150 | 62700 | 0.04 |
| | Ss-3-- | 2150 | 62700 | 0.04 |
| | Ss-4 | 2160 | 62600 | 0.04 |
| | Ss-5 | 2160 | 59400 | 0.04 |
| | Ss-6 | 2160 | 49900 | 0.05 |
| | Ss-7 | 2160 | 61700 | 0.04 |
| | Ss-8++ | 2170 | 62700 | 0.04 |
| Ss-8-+ | 2170 | 61000 | 0.04 | |
| ② | Ss-3-- | 2150 | 63000 | 0.04 |
| ③ | Ss-3-- | 2150 | 62500 | 0.04 |
| ④ | Ss-3-- | 2150 | 62700 | 0.04 |
| ⑤ | Ss-3-- | 2150 | 61600 | 0.04 |

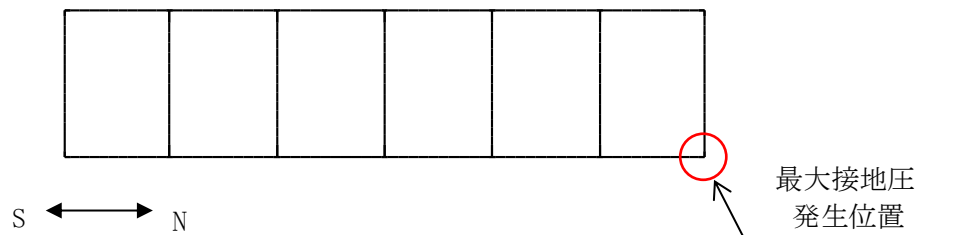
表 4-44 基礎地盤の支持性能評価結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 最大鉛直力 R_a (kN) | 極限支持力 R_u (kN) | 照査値 R_a/R_u |
|-----------|--------|---------------------|---------------------|------------------|
| ① | Ss-1++ | 4410 | 34300 | 0.13 |
| | Ss-1-+ | 4430 | 34400 | 0.13 |
| | Ss-1+- | 4420 | 32800 | 0.14 |
| | Ss-1-- | 4350 | 40300 | 0.11 |
| | Ss-2 | 4450 | 41200 | 0.11 |
| | Ss-3++ | 4360 | 36000 | 0.13 |
| | Ss-3-+ | 4350 | 41900 | 0.11 |
| | Ss-3+- | 4360 | 37100 | 0.12 |
| | Ss-3-- | 4350 | 36600 | 0.12 |
| | Ss-4 | 4370 | 39900 | 0.11 |
| | Ss-5 | 4360 | 41500 | 0.11 |
| | Ss-6 | 4360 | 39900 | 0.11 |
| | Ss-7 | 4350 | 40900 | 0.11 |
| | Ss-8++ | 4370 | 39800 | 0.11 |
| | Ss-8-+ | 4370 | 40200 | 0.11 |
| ② | Ss-8++ | 4390 | 39900 | 0.11 |
| ③ | Ss-8++ | 4330 | 39700 | 0.11 |
| ④ | Ss-8++ | 4360 | 39900 | 0.11 |
| ⑤ | Ss-8++ | 4380 | 39700 | 0.12 |

表 4-45 基礎地盤の支持性能評価結果 (C-C断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 σ (N/mm ²) | 極限支持力 q_u (N/mm ²) | 照査値 σ / q_u |
|-----------|--------|--|-------------------------------------|-----------------------|
| ① | Ss-1++ | 1.48 | 5.98 | 0.25 |
| | Ss-1-+ | 1.53 | 5.98 | 0.26 |
| | Ss-1+- | 1.56 | 5.98 | 0.27 |
| | Ss-1-- | 1.55 | 5.98 | 0.26 |
| | Ss-2 | 0.91 | 5.98 | 0.16 |
| | Ss-3++ | 1.41 | 5.98 | 0.24 |
| | Ss-3-+ | 1.43 | 5.98 | 0.24 |
| | Ss-3+- | 1.29 | 5.98 | 0.22 |
| | Ss-3-- | 1.31 | 5.98 | 0.22 |
| | Ss-4 | 0.72 | 5.98 | 0.13 |
| | Ss-5 | 0.68 | 5.98 | 0.12 |
| | Ss-6 | 0.81 | 5.98 | 0.14 |
| | Ss-7 | 0.84 | 5.98 | 0.15 |
| | Ss-8++ | 1.21 | 5.98 | 0.21 |
| Ss-8-+ | 1.23 | 5.98 | 0.21 | |
| ② | Ss-1-+ | 1.58* | 5.98 | 0.27 |
| ③ | Ss-1-+ | 1.41 | 5.98 | 0.24 |
| ④ | Ss-1-+ | 1.50 | 5.98 | 0.26 |
| ⑤ | Ss-1-+ | 1.54 | 5.98 | 0.26 |

注記* : 最大接地圧発生位置を下記に示す。



C-C断面の最大接地圧発生位置

4.5 評価条件（材料非線形解析）

前述の部材非線形解析では、取水路（6号機設備）の一部の隔壁において、発生するせん断力がせん断耐力式によるせん断耐力を上回る結果となった。

部材非線形解析におけるせん断耐力式では、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、構造部材のせん断照査を行う。

また、部材非線形解析による照査を満足しているものの、照査値の裕度が小さい部材（ここでは照査値0.7より大きい部材を目安とする）についても、材料非線形解析による構造部材のせん断照査を行う。

表4-46及び表4-47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案され、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[設計編]（土木学会，2012）（以下、「コンクリート標準示方書 設計編」という。）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様々あるが、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 設計編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あたっては、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と比較し、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-S J Ver.7.2」を使用する。

表 4-46 材料非線形解析の位置付け

| 区分 | 限界状態 | 選択される標準的な解析手法と耐震性能に用いる物理量 | |
|----|----------------|---------------------------|--|
| 1 | 構造物の部材が降伏に至らない | ① | <p>① 線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力 |
| 2 | 構造物が最大耐力に至らない | ② | <p>② 等価線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力, 最大せん断力 ・最大曲げモーメント |
| 3 | 構造物が崩壊しない | ③ | <p>③ 部材非線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大曲げモーメント ・最大曲率, 最大変位 ・最大層間変形角, 最大せん断力 |
| | | ④ | <p>④ 材料非線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大ひずみ, 最大せん断力 |

表 4-47 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 | 1次元 | | 2次元 | 3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 |

4.5.1 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及びコンクリート標準示方書 設計編を参考に実施する。

適用する主な基準を表 4-48 に示す。

表 4-48 適用する主な基準等

| 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 設計編 ・土木学会マニュアル | — |
| 許容限界 | — | ・既往文献等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、実験結果と整合的であることを確認 |

4.5.2 評価対象部材

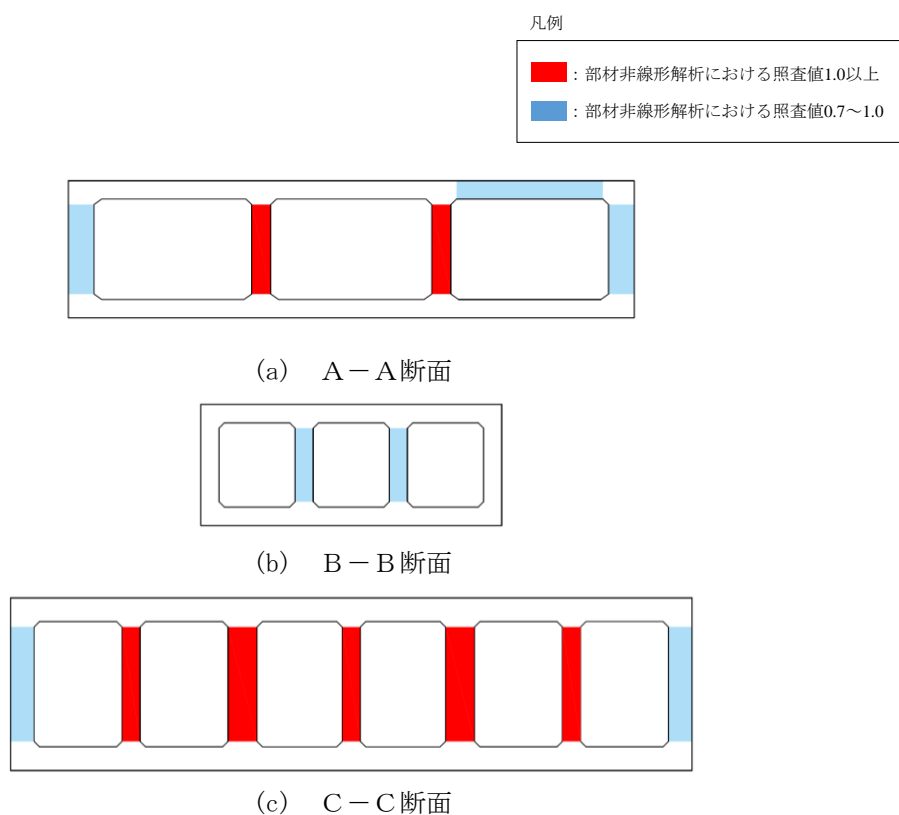
部材非線形解析のせん断力に対する評価結果を図 4-88 に示す。

材料非線形解析は、図中の部材非線形解析において照査値 1.0 以上の結果が得られた隔壁を対象として実施する。なお、取水路（6 号機設備）は隔壁を複数有するが、A-A 断面及び B-B 断面については、形状及び配筋条件が同一であること、及び作用する断面力もほぼ同様であることから、部材非線形解析において最も厳しい評価を示す部材を、各断面の評価対象部材とする。

C-C 断面については、幅 1.0m と幅 1.6m の部材幅が異なる隔壁が存在するが、保守的に部材幅が薄い隔壁の形状により解析モデルを作成し、耐震評価を行う。材料非線形解析はせん断破壊モードを対象としており、隔壁の部材幅を実際よりも小さく扱うことは、「4.3.2 許容限界の設定」で示したせん断耐力式においては、せん断スパン比(a/d)と β の関係から、せん断耐力をより小さく評価することになるため、保守的な評価となると判断できる。

材料非線形解析における評価対象部材を図 4-89 に示す。

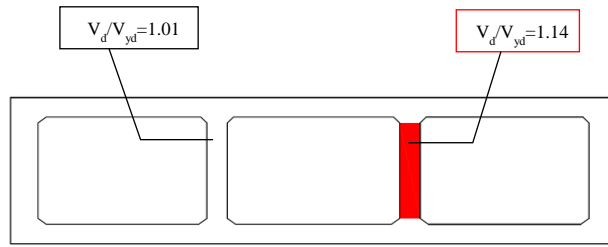
また、部材非線形解析では、照査値 1.0 以下であるものの、耐震評価の裕度が小さい部材も存在する。そのため、本評価では耐震評価の裕度が小さい部材（ここでは、照査値 0.7 より大きく 1.0 未満の部材を選定の目安とする）についても、材料非線形解析を実施する。



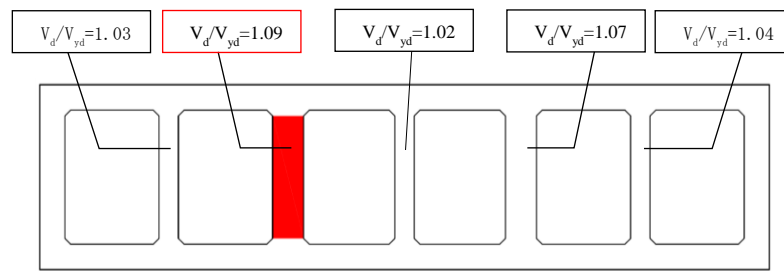
注： 図中の色区分は、せん断力に対する評価における全解析ケースの最大照査値を示している。

図 4-88 部材非線形解析のせん断力に対する評価結果

■ : 評価対象部材



(a) A-A断面の評価対象部材



(b) C-C断面の評価対象部材

- 注1： 図中の値は、せん断力に対する評価における全解析ケースの最大照査値を示している。
- 注2： C-C断面には、幅1.0mと幅1.6mの部材幅が異なる隔壁が存在するが、保守的に部材幅が薄い隔壁の形状により解析モデルを作成し、耐震評価を行う。

図 4-89 材料非線形解析における評価対象部材

4.5.3 材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、設計図書及び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 4-49 及び表 4-50 に示す。

表 4-49 コンクリートの材料定数

| | 設定値 | 諸元 |
|------------------|-----------------------|---|
| 単位体積重量 | 0.0kN/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 | 18.1N/mm ² | 設計基準強度（設計図書 23.5N/mm ² ） ／材料係数（ $\gamma_{mc}=1.3$ ） |
| 引張強度 | 1.45N/mm ² | 0.23×設計基準強度 ^{2/3} ／材料係数 |
| 圧縮ピークひずみ | 0.19% | コンクリート標準示方書 設計編 |
| ひび割れ－せん断 伝達係数 | 1.0 | コンクリート標準示方書 設計編 |
| 破壊エネルギー | 0.0768N/mm | コンクリート標準示方書 設計編 |

表 4-50 鉄筋の材料定数

| | | 設定値 | 諸元 |
|----------|------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 単位体積重量 | | 0.0kN/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 | | 206kN/mm ² | コンクリート標準示方書 設計編 |
| 降伏 強度 | 主鉄筋 | 1961N/mm ² 以上 | 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 | 345N/mm ² | 設計図書 |

注記* : 建設時の設計値に基づく

4.5.4 解析モデルの設定

(1) 解析要素分割図

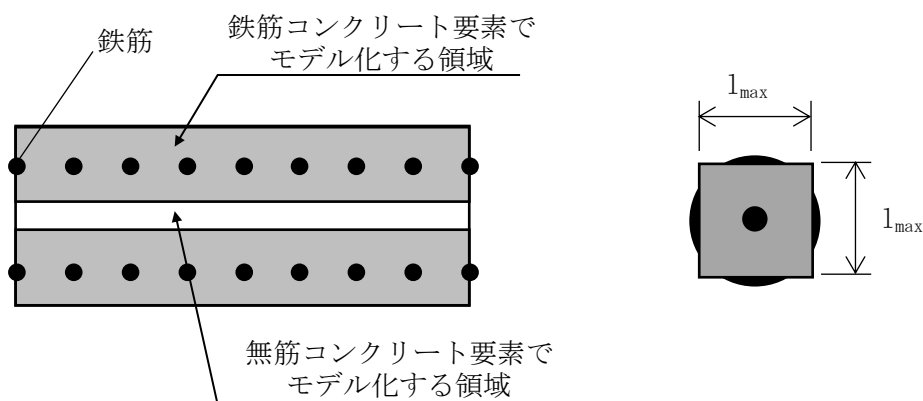
材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化に当たっては、図 4-90 に示すとおり、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。

部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと、また 3 層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じないことから、3 層以上に設定することとする。

具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの 2 倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平とにならないように分割する。

評価対象部材の解析要素分割図を図 4-91 及び図 4-92 に、要素プロパティの諸条件を図 4-93 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、モデル下端を固定境界とする。



$$l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_y}{f_t}}$$

ここに、 l_{max} : 鉄筋一本当たりの付着有効面積を正方形で考えた場合の一辺の長さ

D_b : 鉄筋の直径

f_y : 鉄筋の降伏強度

f_t : コンクリートの引張強度

図 4-90 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要

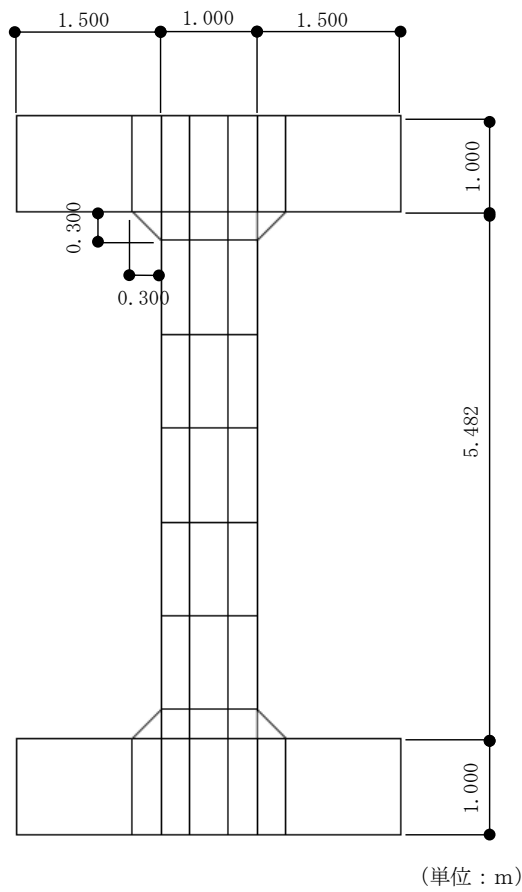


图 4-91 解析要素分割图 (A-A断面：隔壁)

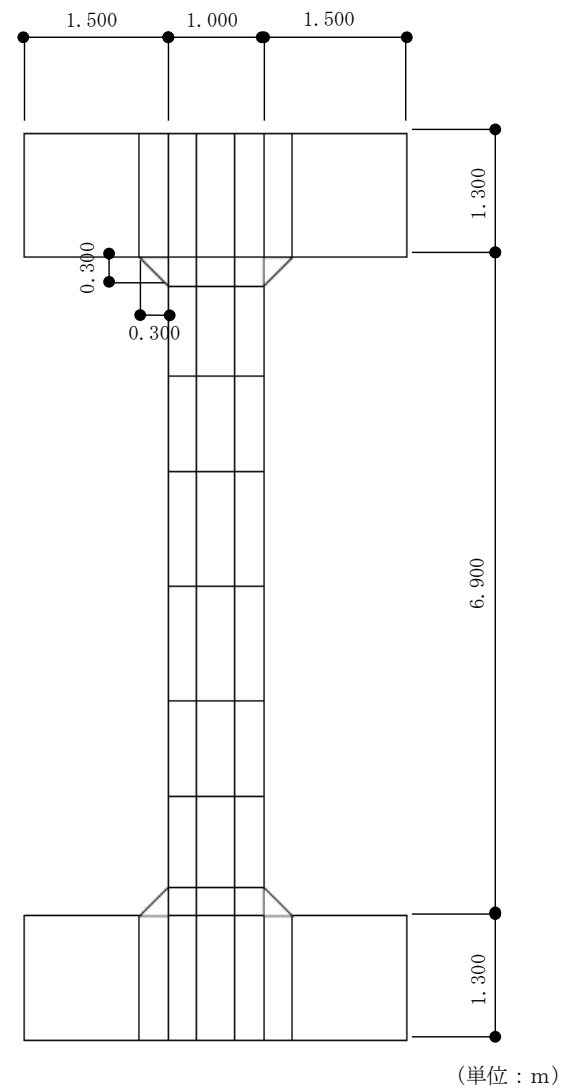
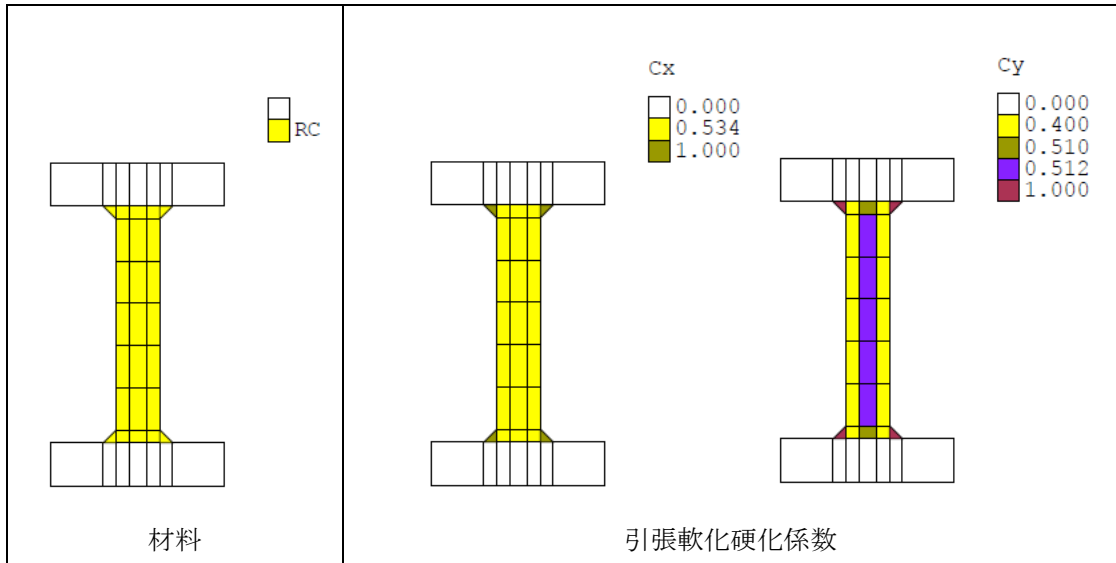
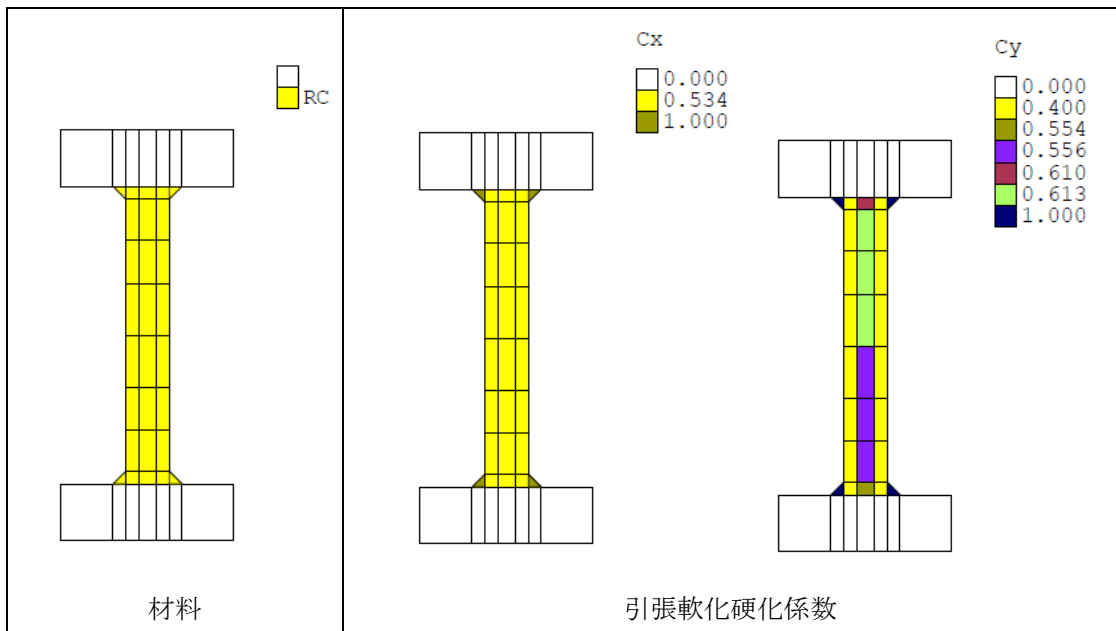


图 4-92 解析要素分割图 (C-C断面：隔壁)



(a) A-A断面



(b) C-C断面

図 4-93 評価対象部材の要素プロパティ条件

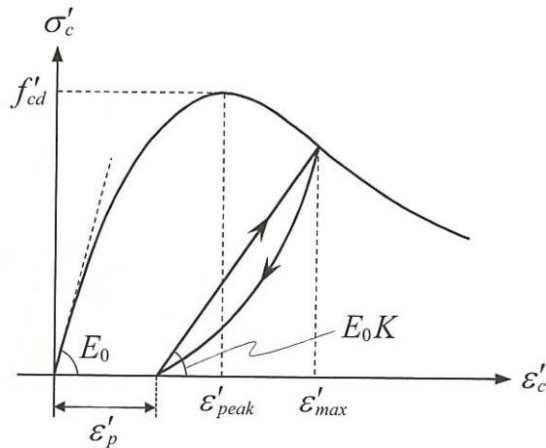
(2) コンクリートの非線形特性

a. 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図 4-94 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 4-95 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。



$$\sigma'_c = E_0K(\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

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

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

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

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck}/\gamma_c$

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 4-94 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 設計編より引用)

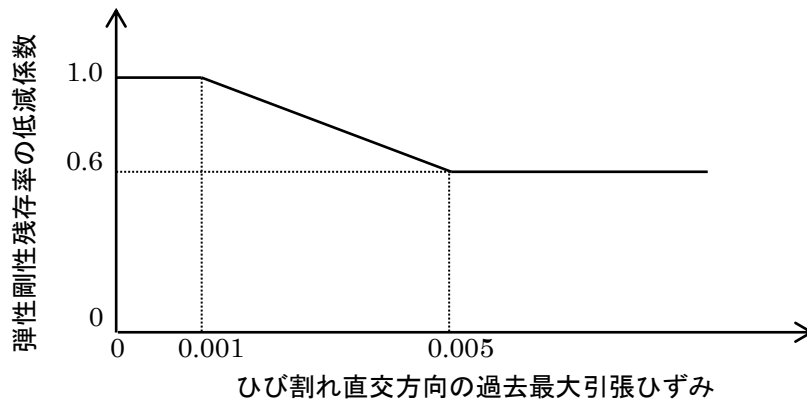


図 4-95 弾性剛性残存率の低減係数

(コンクリート標準示方書 設計編より引用)

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 4-96 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 4-97 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 。(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。

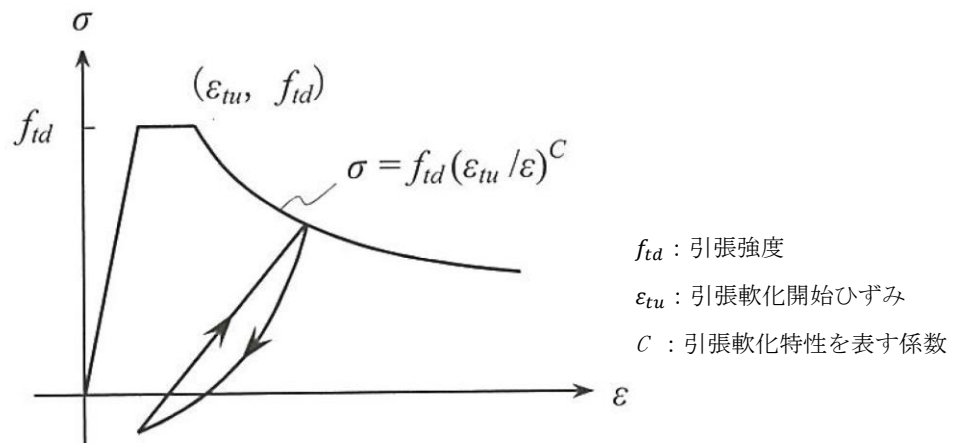


図 4-96 引張応力下における応力-ひずみ関係

(コンクリート標準示方書 設計編より引用)

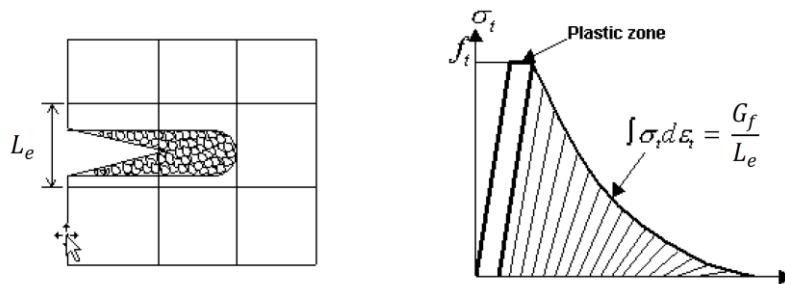
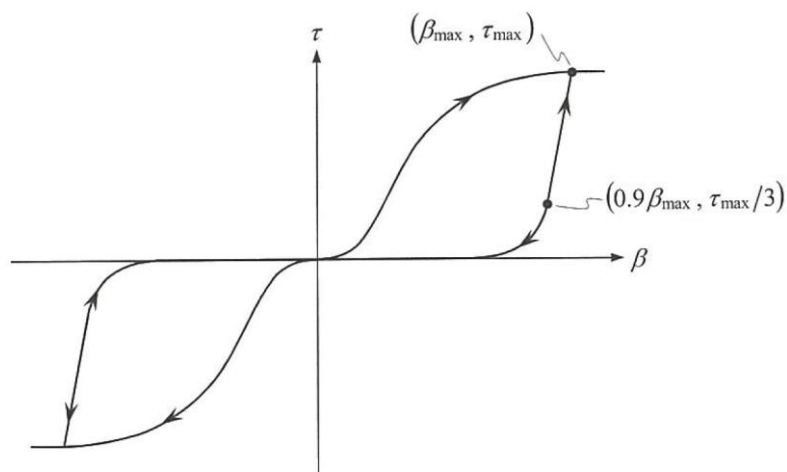


図 4-97 応力—ひずみ曲線と破壊エネルギー G_f の関係

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 4-98 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。



- 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 (γ / ε)
- 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 4-98 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 設計編より引用)

(3) 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 4-99 に示すひずみ硬化特性を考慮する。

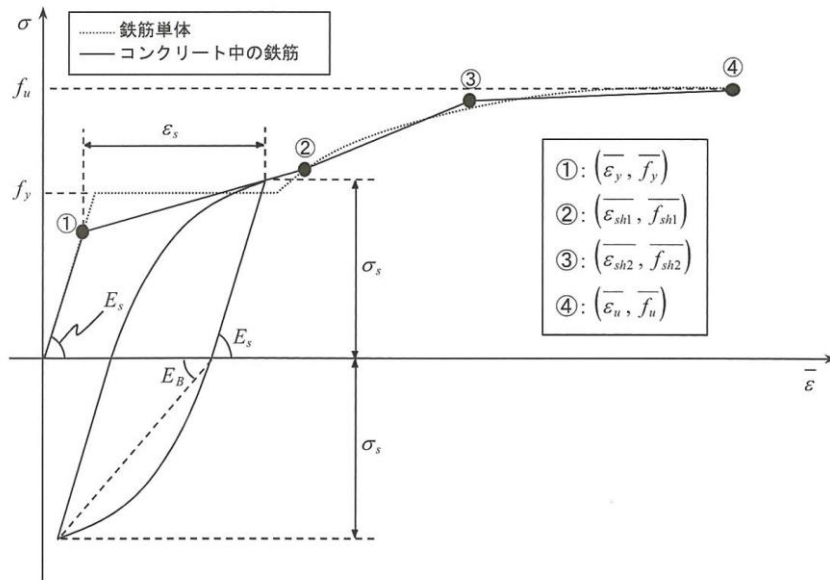


図 4-99 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係

(コンクリート標準示方書 設計編より引用)

(4) 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、 $\bar{\sigma}_{RC}$ 、 $\bar{\sigma}_c$: 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、 $A_{RC} = A_s + A_c$

(5) 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析（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、地震応答解析と同様である。

4.6 評価内容（材料非線形解析）

4.6.1 耐震評価フロー

図 4-100 に取水路（6号機設備）の材料非線形解析の耐震評価フローを示す。

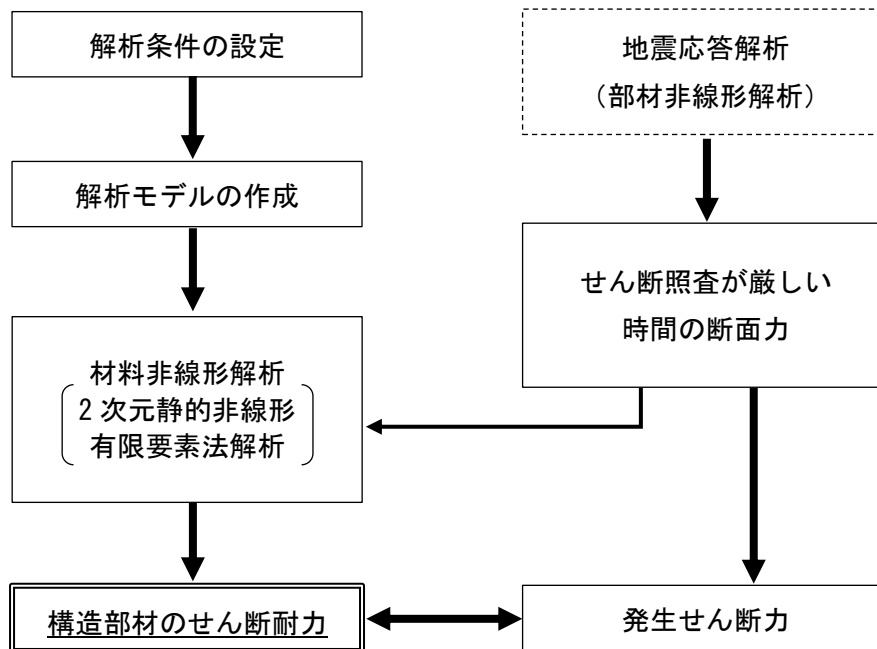


図 4-100 材料非線形解析の耐震評価フロー

4.6.2 荷重の設定

材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（部材非線形解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析（部材非線形解析）で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻における断面力（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 4-101 に示すとおりに作用させる。

材料非線形解析では、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重を 1/50 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 ）に分けて、図 4-102 に示すとおり常時解析と地震時解析に分けて実施する。

表 4-51 に、代表例として、部材非線形解析で最も照査値が厳しい解析ケースにおける各断面の ΔM 、 ΔQ 、 ΔN を示す。

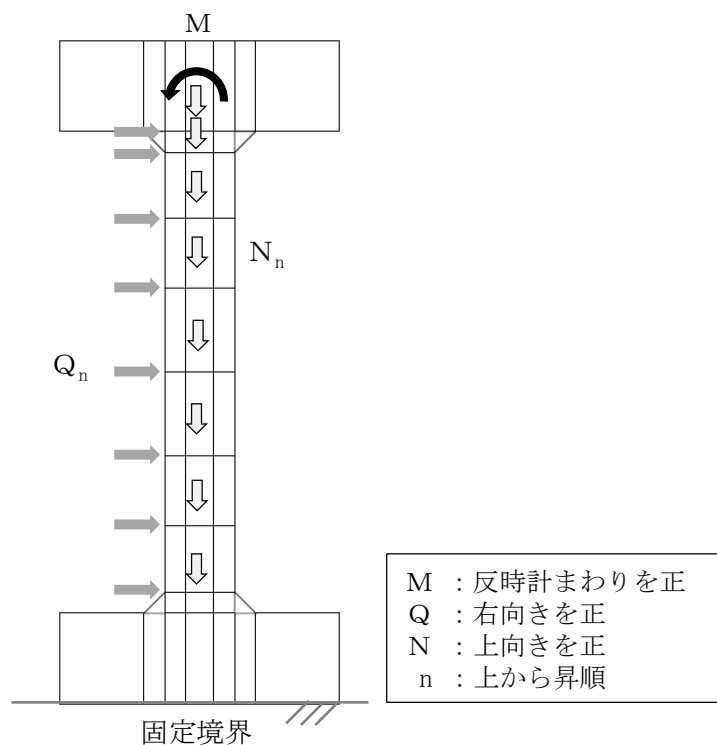


図 4-101 材料非線形解析における载荷状況

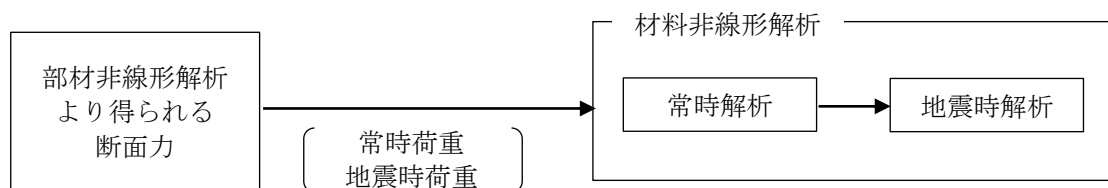


図 4-102 荷重の作用手順

表 4-51 作用荷重

| 断面 | | A-A断面 | C-C断面 | |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| 地震動 | | Ss-3-- | Ss-1-+ | |
| 解析ケース | | 解析ケース③ | 解析ケース② | |
| 常時荷重 | 曲げモーメント (kN・m) | ΔM_s | -1.06×10^2 | 2.51×10^1 |
| | せん断力 (kN) | ΔQ_{s1} | -34 | 7 |
| | | ΔQ_{s2} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s3} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s4} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s5} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s6} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s7} | 0 | 0 |
| | | ΔQ_{s8} | | 0 |
| | 軸力 (kN) | ΔN_{s1} | -665 | -1542 |
| | | ΔN_{s2} | -15 | -15 |
| | | ΔN_{s3} | -23 | -23 |
| | | ΔN_{s4} | -23 | -26 |
| | | ΔN_{s5} | -23 | -28 |
| | | ΔN_{s6} | -23 | -26 |
| | | ΔN_{s7} | -15 | -23 |
| ΔN_{s8} | | | -15 | |
| 地震時荷重 | 曲げモーメント (kN・m) | ΔM_d | -2.24×10^3 | 2.78×10^3 |
| | せん断力 (kN) | ΔQ_{d1} | -727 | 709 |
| | | ΔQ_{d2} | -31 | 25 |
| | | ΔQ_{d3} | -49 | 42 |
| | | ΔQ_{d4} | -47 | 46 |
| | | ΔQ_{d5} | -46 | 47 |
| | | ΔQ_{d6} | -43 | 40 |
| | | ΔQ_{d7} | -27 | 34 |
| | | ΔQ_{d8} | | 20 |
| | 軸力 (kN) | ΔN_{d1} | 94 | 142 |
| | | ΔN_{d2} | 1 | 2 |
| | | ΔN_{d3} | 2 | 3 |
| | | ΔN_{d4} | 2 | 4 |
| | | ΔN_{d5} | 2 | 4 |
| | | ΔN_{d6} | 2 | 4 |
| | | ΔN_{d7} | 1 | 3 |
| ΔN_{d8} | | | 2 | |

4.6.3 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-相対変位関係若しくは要素ひずみの応答から設定する。具体的には、図 4-103 に示す例のとおり、荷重-変位曲線においてせん断力の増分に対して変位が急増する点、せん断力が最大となる点、若しくはひび割れの状態等から、せん断破壊の進展が示唆される点を部材のせん断耐力と判断する。

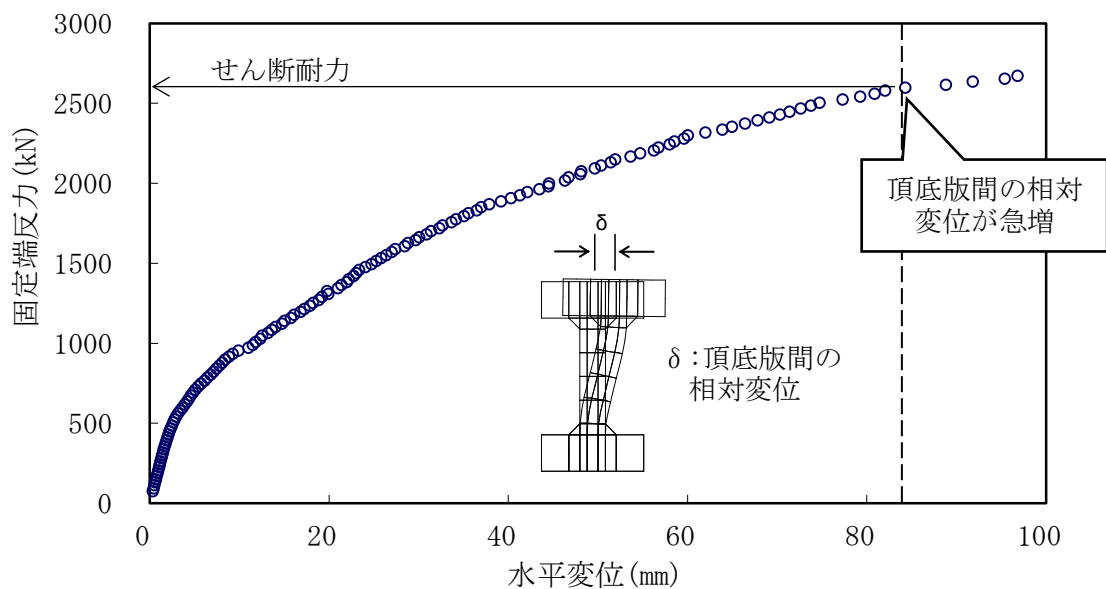


図 4-103 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例

4.6.4 安全係数の設定

耐震評価では，材料非線形解析で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，下記のとおり部材係数 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。

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

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

考慮した安全係数を表 4-52 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，表 4-53 に示すとおり，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. 12 の部材係数 1.24 を設定する。材料非線形解析に用いる部材係数算定の詳細については，(参考資料 4) に示す。

表 4-52 考慮した安全係数

| 安全係数 | | 値 | 設定根拠 |
|--------|---------------|------|---|
| 部材係数 | γ_{b1} | 1.24 | 別途実施する材料非線形解析により設定 |
| | γ_{b2} | 1.00 | 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 | 1.00 | 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 |

表 4-53 部材係数 γ_{bl} の設定

| Case No. | 実験結果 | 解析結果 | 部材係数 (解析結果/ 実験結果) |
|----------|---------------|---------------|-------------------------|
| | せん断耐力 (kN) | せん断耐力 (kN) | |
| 1 | 475 | 438 | 0.93 |
| 2 | 1187 | 1247 | 1.06 |
| 3 | 324 | 342 | 1.06 |
| 4 | 294 | 305 | 1.04 |
| 5 | 581 | 530 | 0.92 |
| 6 | 329 | 360 | 1.10 |
| 7 | 1587 | 1910 | 1.21 |
| 8 | 350 | 400 | 1.15 |
| 9 | 855 | 858 | 1.01 |
| 10 | 165 | 173 | 1.05 |
| 11 | 333 | 403 | 1.22 |
| 12 | 127 | 157 | 1.24 |
| 13 | 188 | 165 | 0.88 |
| 14 | 163 | 157 | 0.97 |
| 15 | 273 | 177 | 0.65 |
| 16 | 356 | 240 | 0.68 |
| 17 | 432 | 330 | 0.77 |
| 平均 | — | — | 1.00 |
| 標準偏差 | — | — | 0.18 |

4.7 評価結果（材料非線形解析）

4.7.1 A-A断面（隔壁）の評価結果

図 4-104 に、A-A断面の評価対象部材（隔壁）における荷重—変位曲線を示す。同図は、評価対象部材において最も厳しい照査値となる地震動と解析ケースの組合せ（解析ケース③，地震動 Ss-3—）の結果を示している。なお、荷重—変位曲線は、隔壁下端の固定端部の反力と隔壁上下端部の相対変位との関係を示したものである。

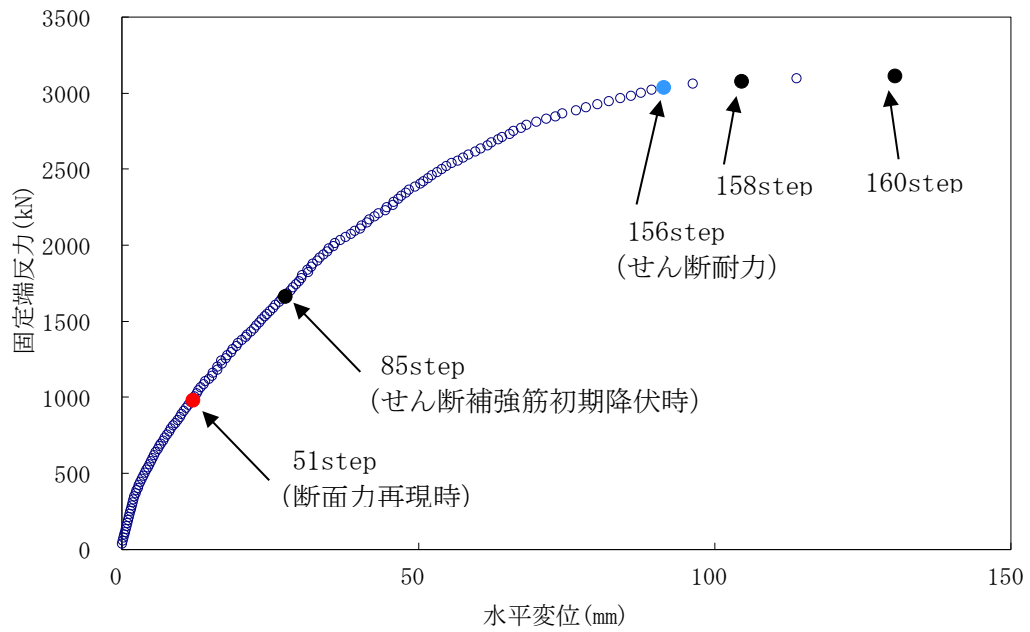
図中の赤丸で示した 51 ステップは、地震応答解析（部材非線形解析）において得られた断面力図を再現した状態である。156 ステップ以降、水平変位の急増が認められる。なお、85 ステップにおいて、隔壁下部においてせん断補強筋の降伏が発生している。せん断補強筋の降伏箇所を図 4-105 に示す。

図 4-106 に、各ステップにおける隔壁のひび割れ図を示す。

ひび割れ図に着目すると、156 ステップまでは、荷重の増加に伴って徐々にひび割れが進展していくが、158 ステップ以降は、斜めひび割れが急激に進展する様相を示している。したがって、158 ステップ以降の水平変位の発生は、隔壁下部の斜め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、A-A断面の評価対象部材（隔壁）に対する材料非線形解析では、斜めひび割れの進展によりせん断破壊に至ることを考慮し、156 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。せん断耐力の算定結果を以下に示す。

また、各ステップにおける隔壁の変形図を図 4-107 に示す。



注： 図中の数字は地震時解析におけるステップ数を示す。

図 4-104 隔壁部の荷重変位図

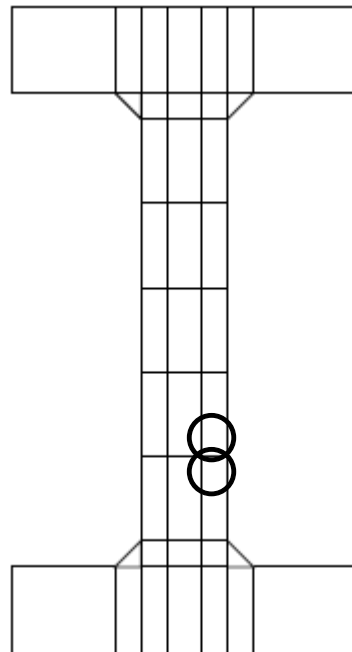
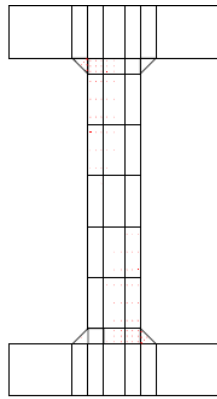
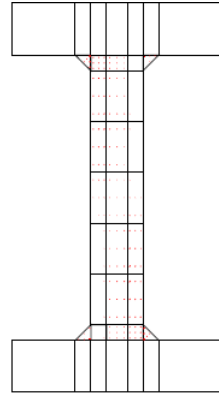


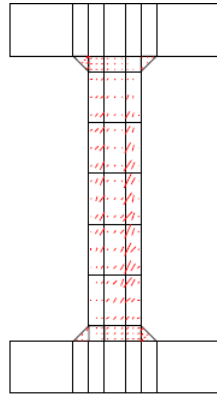
図 4-105 せん断補強筋の初期降伏箇所 (85 ステップ)



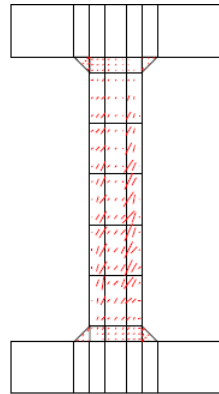
(51 ステップ)



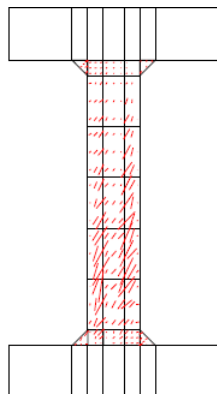
(85 ステップ)



(156 ステップ)

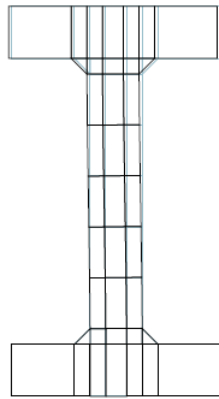


(158 ステップ)

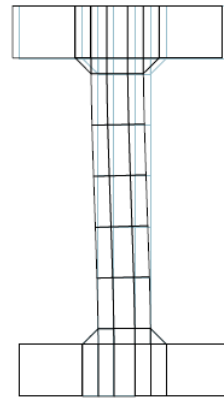


(160 ステップ)

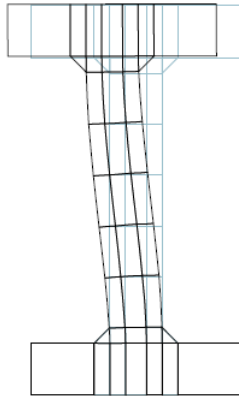
図 4-106 各ステップにおけるひび割れ図



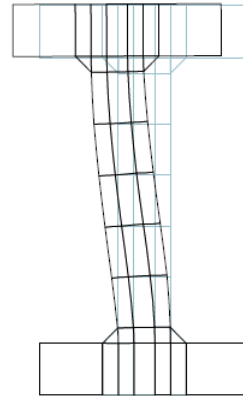
(51 ステップ)



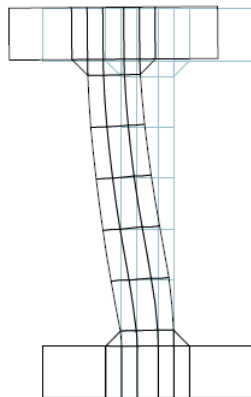
(85 ステップ)



(156 ステップ)



(158 ステップ)



(160 ステップ)

図 4-107 各ステップにおける変形図 (変形倍率 100 倍)

4.7.2 C-C断面（隔壁）の評価結果

図 4-108 に、C-C断面の評価対象部材（隔壁）における荷重—変位曲線を示す。同図は、評価対象部材において最も厳しい照査値となる地震動と解析ケースの組合せ（解析ケース②，地震動 Ss-1-+）の結果を示している。なお，荷重—変位曲線は，隔壁下端の固定端部の反力と隔壁上下端部の相対変位との関係を示したものである。

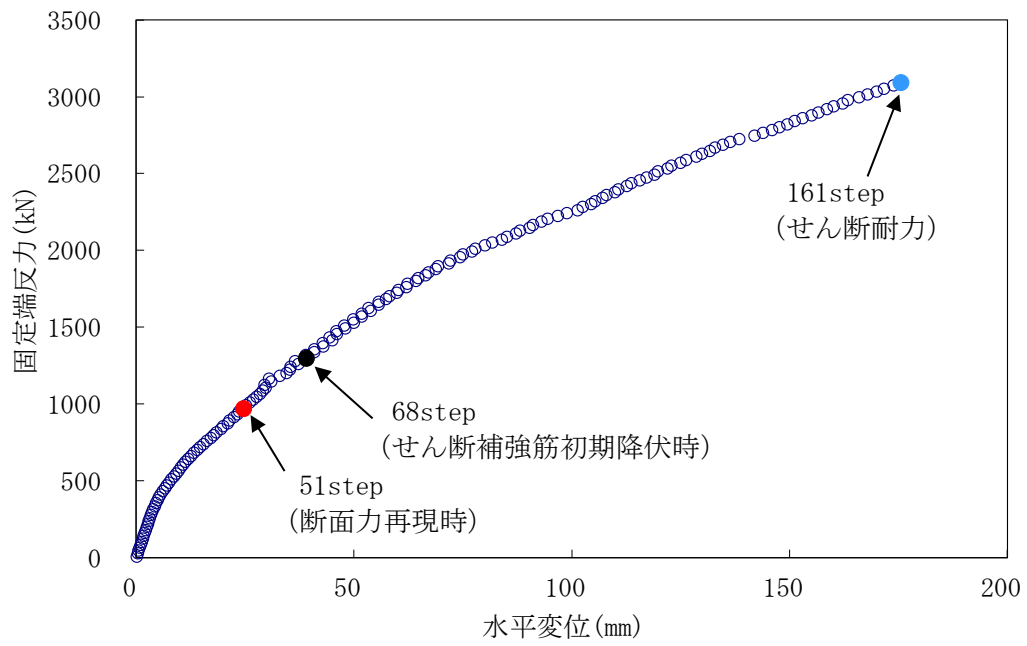
図中の赤丸で示した 51 ステップは，地震応答解析（部材非線形解析）において得られた断面力図を再現した状態である。なお，68 ステップにおいて，隔壁上部及び下部においてせん断補強筋の降伏が発生している。せん断補強筋の降伏箇所を図 4-109 に示す。

図 4-110 に，各ステップにおける隔壁のひび割れ図を示す。

ひび割れ図に着目すると，斜めひび割れの発生は認められるが，急激なひび割れの進展は生じることなく耐荷力を保持しており，最終ステップ 161 以後でコンクリートの圧縮破壊によって解析が発散した。

以上のとおり，C-C断面の評価対象部材（隔壁）に対する材料非線形解析では，斜めひび割れの急激な進展が認められず，せん断力に対して耐荷力を保持していることから，161 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。せん断耐力の算定結果を以下に示す。

また，各ステップにおける隔壁の変形図を図 4-111 に示す。



注： 図中の数字は地震時解析におけるステップ数を示す。

図 4-108 隔壁部の荷重変位図

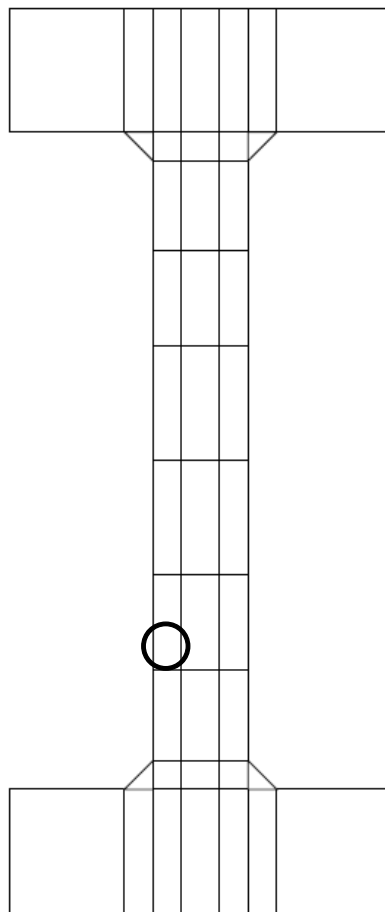
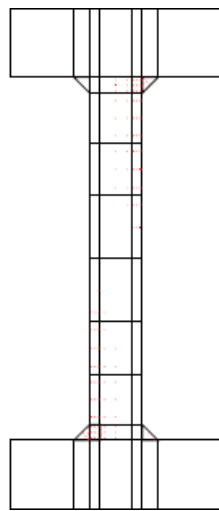
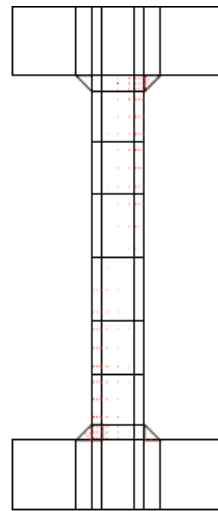


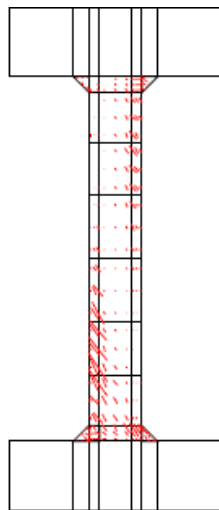
図 4-109 せん断補強筋の初期降伏箇所 (68 ステップ)



(51 ステップ)



(68 ステップ)

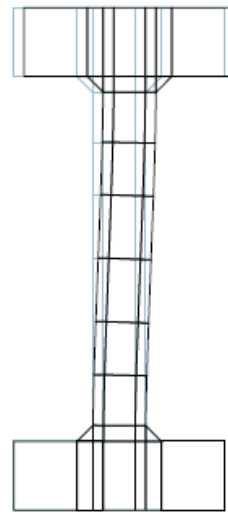


(161 ステップ)

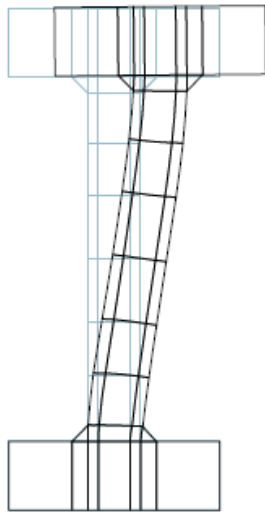
図 4-110 各ステップにおけるひび割れ図



(51 ステップ)



(68 ステップ)



(161 ステップ)

図 4-111 各ステップにおける変形図 (変形倍率 100 倍)

4.7.3 せん断力に対する評価結果

部材非線形解析及び材料非線形解析による取水路（6号機設備）のせん断照査結果を、表4-54～表4-56に示す。各断面の評価位置を図4-112～図4-114に示す。同表より、取水路（6号機設備）の各部材に発生するせん断力は、せん断耐力を超えないことを確認した。

表 4-54 せん断に対する照査結果（A-A断面）（1/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|-------|--------|
| | | | | せん断力*2 | | |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 7 | 817 | 2291 | 0.36*3 |
| | | 側壁 | 4 | 920 | 2454 | 0.38*3 |
| | | 隔壁 | 3 | 919 | 2408 | 0.39*3 |
| | | 底版 | 10 | 720 | 1549 | 0.47 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 5 | 672 | 981 | 0.69 |
| | | 側壁 | 1 | 894 | 2509 | 0.36*3 |
| | | 隔壁 | 3 | 932 | 2429 | 0.39*3 |
| | | 底版 | 10 | 693 | 1521 | 0.46 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 680 | 1006 | 0.68 |
| | | 側壁 | 4 | 650 | 1055 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 856 | 2341 | 0.37*3 |
| | | 底版 | 9 | 698 | 1544 | 0.46 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 640 | 1042 | 0.62 |
| | | 側壁 | 4 | 638 | 1040 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 892 | 2441 | 0.37*3 |
| | | 底版 | 10 | 676 | 1631 | 0.42 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 7 | 480 | 988 | 0.49 |
| | | 側壁 | 4 | 552 | 1119 | 0.50 |
| | | 隔壁 | 3 | 601 | 955 | 0.63 |
| | | 底版 | 10 | 516 | 1592 | 0.33 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 7 | 532 | 925 | 0.58 |
| | | 側壁 | 1 | 705 | 1061 | 0.67 |
| | | 隔壁 | 2 | 934 | 2340 | 0.40*3 |
| | | 底版 | 10 | 594 | 1511 | 0.40 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 7 | 564 | 941 | 0.60 |
| | | 側壁 | 4 | 656 | 1016 | 0.65 |
| | | 隔壁 | 3 | 1007 | 2389 | 0.43*3 |
| | | 底版 | 9 | 585 | 1458 | 0.41 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 7 | 594 | 931 | 0.64 |
| | | 側壁 | 4 | 715 | 1061 | 0.68 |
| | | 隔壁 | 2 | 934 | 2296 | 0.41*3 |
| | | 底版 | 10 | 589 | 1526 | 0.39 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 547 | 993 | 0.56 |
| | | 側壁 | 4 | 624 | 1020 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 1002 | 2454 | 0.41*3 |
| | | 底版 | 10 | 577 | 1508 | 0.39 |

注記*1：本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2：照査用断面力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析を用いた方法による照査値

表 4-54 せん断に対する照査結果（A-A断面）（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力 ^{*2} | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|---------------------------|----------------|--------------------|
| | | | | V_d (kN) | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 5 | 432 | 1005 | 0.43 |
| | | 側壁 | 1 | 485 | 1093 | 0.45 |
| | | 隔壁 | 2 | 549 | 942 | 0.59 |
| | | 底版 | 8 | 470 | 1594 | 0.30 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 5 | 450 | 1080 | 0.42 |
| | | 側壁 | 4 | 440 | 1103 | 0.40 |
| | | 隔壁 | 2 | 522 | 933 | 0.56 |
| | | 底版 | 9 | 432 | 1554 | 0.28 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 7 | 416 | 989 | 0.43 |
| | | 側壁 | 4 | 494 | 1101 | 0.45 |
| | | 隔壁 | 3 | 581 | 930 | 0.63 |
| | | 底版 | 10 | 461 | 1580 | 0.30 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 7 | 446 | 1076 | 0.42 |
| | | 側壁 | 1 | 483 | 1164 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 3 | 494 | 936 | 0.53 |
| | | 底版 | 9 | 447 | 1621 | 0.28 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 5 | 520 | 949 | 0.55 |
| | | 側壁 | 1 | 699 | 1042 | 0.68 |
| | | 隔壁 | 2 | 904 | 2384 | 0.38 ^{*3} |
| | | 底版 | 8 | 598 | 1515 | 0.40 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 7 | 530 | 938 | 0.57 |
| | | 側壁 | 4 | 726 | 2186 | 0.34 ^{*3} |
| | | 隔壁 | 3 | 931 | 2398 | 0.39 ^{*3} |
| | | 底版 | 10 | 612 | 1510 | 0.41 |
| ② | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 536 | 1002 | 0.54 |
| | | 側壁 | 4 | 656 | 1027 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 938 | 2341 | 0.41 ^{*3} |
| | | 底版 | 10 | 558 | 1507 | 0.38 |
| ③ | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 559 | 987 | 0.57 |
| | | 側壁 | 4 | 610 | 1031 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 3 | 1054 | 2450 | 0.44 ^{*3} |
| | | 底版 | 9 | 568 | 1446 | 0.40 |
| ④ | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 526 | 987 | 0.54 |
| | | 側壁 | 4 | 669 | 1060 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 807 | 2406 | 0.34 ^{*3} |
| | | 底版 | 10 | 561 | 1510 | 0.38 |
| ⑤ | Ss-3-- | 頂版 | 5 | 519 | 990 | 0.53 |
| | | 側壁 | 4 | 614 | 1023 | 0.61 |
| | | 隔壁 | 3 | 767 | 2473 | 0.32 ^{*3} |
| | | 底版 | 10 | 577 | 1565 | 0.37 |

注記*1：本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2：照査用断面力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析を用いた方法による照査値

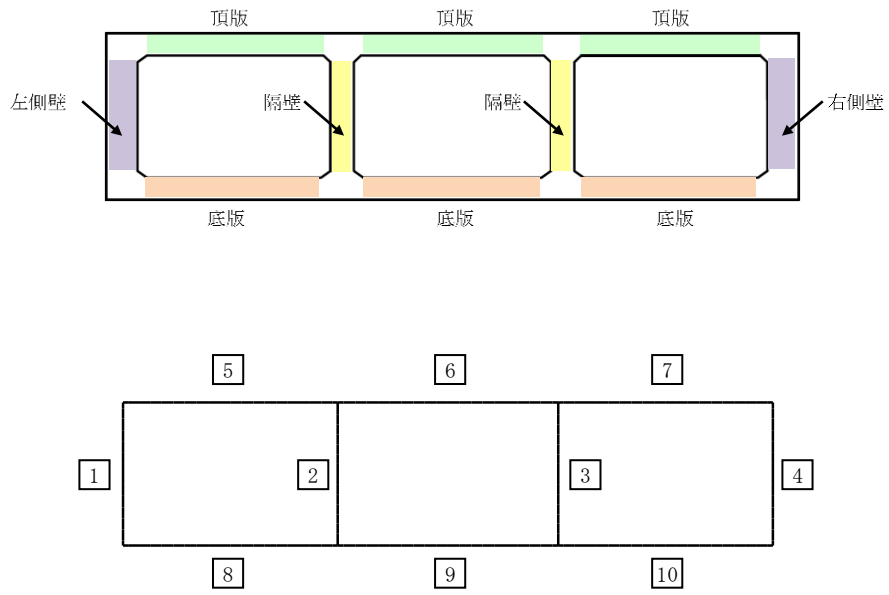


図 4-112 A-A断面の評価位置

表 4-55 せん断に対する照査結果（B-B断面）（1/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力*2 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|---------------|----------------|-----------------|
| | | | | V_d (kN) | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 6 | 1080 | 2800 | 0.39 |
| | | 側壁 | 4 | 1019 | 1862 | 0.55 |
| | | 隔壁 | 2 | 646 | 943 | 0.69 |
| | | 底版 | 8 | 1187 | 2940 | 0.41 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1036 | 2814 | 0.37 |
| | | 側壁 | 1 | 1089 | 1913 | 0.57 |
| | | 隔壁 | 2 | 678 | 976 | 0.70 |
| | | 底版 | 10 | 1102 | 3025 | 0.37 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 6 | 1045 | 2941 | 0.36 |
| | | 側壁 | 4 | 1188 | 2015 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 2 | 650 | 941 | 0.70 |
| | | 底版 | 10 | 1033 | 2849 | 0.37 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 6 | 1035 | 2921 | 0.36 |
| | | 側壁 | 1 | 1189 | 1994 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 2 | 638 | 2167 | 0.30*3 |
| | | 底版 | 8 | 1025 | 2822 | 0.37 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 6 | 870 | 2961 | 0.30 |
| | | 側壁 | 4 | 798 | 1987 | 0.41 |
| | | 隔壁 | 2 | 449 | 974 | 0.47 |
| | | 底版 | 9 | 872 | 3001 | 0.30 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 6 | 820 | 2767 | 0.30 |
| | | 側壁 | 1 | 928 | 1961 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 2 | 674 | 2302 | 0.30*3 |
| | | 底版 | 8 | 882 | 2867 | 0.31 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 6 | 808 | 2719 | 0.30 |
| | | 側壁 | 1 | 841 | 1872 | 0.45 |
| | | 隔壁 | 2 | 681 | 2317 | 0.30*3 |
| | | 底版 | 8 | 903 | 2887 | 0.32 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 6 | 925 | 2843 | 0.33 |
| | | 側壁 | 4 | 947 | 1935 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 2 | 673 | 2278 | 0.30*3 |
| | | 底版 | 8 | 1002 | 3038 | 0.33 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 6 | 915 | 2850 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 1025 | 1968 | 0.53 |
| | | 隔壁 | 2 | 683 | 2362 | 0.29*3 |
| | | 底版 | 10 | 974 | 3102 | 0.32 |

注記*1：本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2：照査用断面力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析を用いた方法による照査値

表 4-55 せん断に対する照査結果（B-B断面）（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力*2 | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 6 | 720 | 2895 | 0.25 |
| | | 側壁 | 4 | 693 | 1947 | 0.36 |
| | | 隔壁 | 3 | 386 | 1017 | 0.38 |
| | | 底版 | 9 | 742 | 2936 | 0.26 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 6 | 787 | 2925 | 0.27 |
| | | 側壁 | 4 | 796 | 2010 | 0.40 |
| | | 隔壁 | 2 | 511 | 944 | 0.55 |
| | | 底版 | 9 | 804 | 2980 | 0.27 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 6 | 841 | 2914 | 0.29 |
| | | 側壁 | 1 | 848 | 2014 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 2 | 433 | 993 | 0.44 |
| | | 底版 | 9 | 848 | 3006 | 0.29 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 6 | 808 | 2841 | 0.29 |
| | | 側壁 | 1 | 820 | 1967 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 2 | 486 | 987 | 0.50 |
| | | 底版 | 9 | 813 | 2942 | 0.28 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 817 | 2715 | 0.31 |
| | | 側壁 | 1 | 806 | 1741 | 0.47 |
| | | 隔壁 | 2 | 695 | 2355 | 0.30*3 |
| | | 底版 | 10 | 892 | 2900 | 0.31 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 6 | 841 | 2710 | 0.32 |
| | | 側壁 | 4 | 730 | 1741 | 0.42 |
| | | 隔壁 | 3 | 668 | 961 | 0.70 |
| | | 底版 | 8 | 938 | 2835 | 0.34 |
| ② | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 830 | 2709 | 0.31 |
| | | 側壁 | 1 | 816 | 1730 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 2 | 731 | 2447 | 0.30*3 |
| | | 底版 | 10 | 900 | 2876 | 0.32 |
| ③ | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 918 | 2709 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 827 | 1709 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 2 | 809 | 2208 | 0.37*3 |
| | | 底版 | 9 | 893 | 2718 | 0.33 |
| ④ | Ss-8++ | 頂版 | 6 | 860 | 2678 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 827 | 1664 | 0.50 |
| | | 隔壁 | 2 | 837 | 2330 | 0.36*3 |
| | | 底版 | 10 | 930 | 2788 | 0.34 |
| ⑤ | Ss-8++ | 頂版 | 5 | 879 | 2712 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 836 | 1658 | 0.51 |
| | | 隔壁 | 2 | 868 | 2325 | 0.38*3 |
| | | 底版 | 10 | 929 | 2767 | 0.34 |

注記*1：本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2：照査用断面力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析を用いた方法による照査値

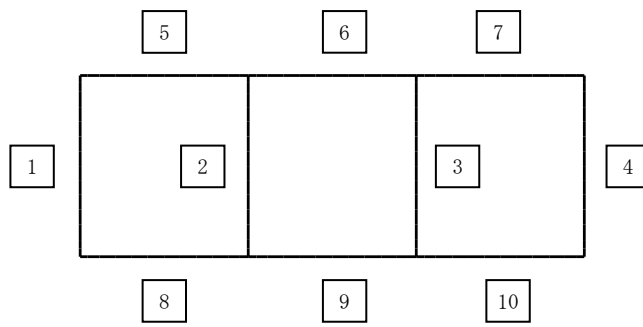
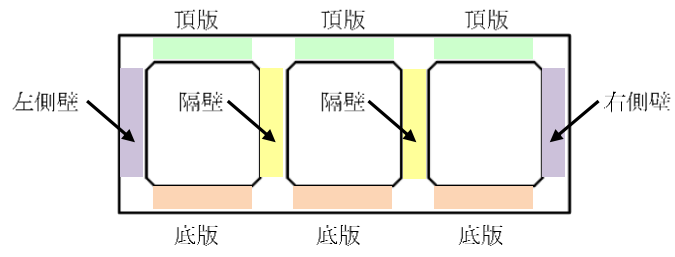


図 4-113 B-B断面の評価位置

表 4-56 せん断に対する照査結果 (C-C断面) (1/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|---------------|
| | | | | せん断力*2 | | |
| | | | | V_d (kN) | $V_{y,d}$ (kN) | $V_d/V_{y,d}$ |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 12 | 1166 | 3002 | 0.39 |
| | | 側壁 | 7 | 1785 | 2862 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 5 | 1013 | 2451 | 0.42*3 |
| | | 底版 | 19 | 1439 | 3691 | 0.39 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 9 | 1152 | 2989 | 0.39 |
| | | 側壁 | 1 | 1985 | 3162 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 3 | 1004 | 2302 | 0.44*3 |
| | | 底版 | 14 | 1436 | 3682 | 0.40 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 12 | 1383 | 3238 | 0.43 |
| | | 側壁 | 7 | 2683 | 4029 | 0.67*3 |
| | | 隔壁 | 5 | 997 | 2412 | 0.42*3 |
| | | 底版 | 19 | 1686 | 3528 | 0.48 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 9 | 1347 | 3221 | 0.42 |
| | | 側壁 | 1 | 2629 | 4031 | 0.66*3 |
| | | 隔壁 | 3 | 999 | 2426 | 0.42*3 |
| | | 底版 | 14 | 1647 | 3518 | 0.47 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 13 | 909 | 2902 | 0.32 |
| | | 側壁 | 1 | 1694 | 3102 | 0.55 |
| | | 隔壁 | 3 | 583 | 979 | 0.60 |
| | | 底版 | 14 | 1220 | 3626 | 0.34 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 12 | 1117 | 3078 | 0.37 |
| | | 側壁 | 7 | 1823 | 2928 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 5 | 854 | 2383 | 0.36*3 |
| | | 底版 | 19 | 1351 | 3450 | 0.40 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 9 | 1063 | 3029 | 0.36 |
| | | 側壁 | 1 | 1795 | 2924 | 0.62 |
| | | 隔壁 | 3 | 875 | 2443 | 0.36*3 |
| | | 底版 | 14 | 1324 | 3446 | 0.39 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 1013 | 2941 | 0.35 |
| | | 側壁 | 7 | 1719 | 2960 | 0.59 |
| | | 隔壁 | 5 | 862 | 2498 | 0.35*3 |
| | | 底版 | 19 | 1257 | 3488 | 0.37 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 13 | 1007 | 2942 | 0.35 |
| | | 側壁 | 1 | 1707 | 2961 | 0.58 |
| | | 隔壁 | 3 | 872 | 2500 | 0.35*3 |
| | | 底版 | 14 | 1241 | 3476 | 0.36 |

注記*1 : 本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2 : 照査用断面力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

*3 : 材料非線形解析を用いた方法による照査値

表 4-56 せん断に対する照査結果 (C-C断面) (2/2)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | | | |
|-------|--------|------|----|------|------|--------------------|
| | | | | | | |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 13 | 743 | 3009 | 0.25 |
| | | 側壁 | 1 | 1336 | 3166 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 3 | 435 | 1004 | 0.44 |
| | | 底版 | 14 | 935 | 3651 | 0.26 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 8 | 780 | 2967 | 0.27 |
| | | 側壁 | 7 | 1326 | 3136 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 5 | 435 | 980 | 0.45 |
| | | 底版 | 19 | 953 | 3802 | 0.26 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 13 | 846 | 2990 | 0.29 |
| | | 側壁 | 7 | 1361 | 3115 | 0.44 |
| | | 隔壁 | 5 | 454 | 1005 | 0.46 |
| | | 底版 | 19 | 987 | 3620 | 0.28 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 13 | 815 | 2959 | 0.28 |
| | | 側壁 | 1 | 1331 | 3107 | 0.43 |
| | | 隔壁 | 5 | 414 | 976 | 0.43 |
| | | 底版 | 18 | 765 | 2877 | 0.27 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 13 | 876 | 2777 | 0.32 |
| | | 側壁 | 1 | 1515 | 2865 | 0.53 |
| | | 隔壁 | 3 | 804 | 2525 | 0.32 ^{*3} |
| | | 底版 | 14 | 1159 | 3429 | 0.34 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 8 | 900 | 2783 | 0.33 |
| | | 側壁 | 7 | 1530 | 2867 | 0.54 |
| | | 隔壁 | 5 | 784 | 2515 | 0.32 ^{*3} |
| | | 底版 | 19 | 1199 | 3455 | 0.35 |
| ② | Ss-1++ | 頂版 | 9 | 1217 | 2995 | 0.41 |
| | | 側壁 | 1 | 1994 | 3135 | 0.64 |
| | | 隔壁 | 3 | 1020 | 2493 | 0.41 ^{*3} |
| | | 底版 | 14 | 1399 | 3542 | 0.40 |
| ③ | Ss-1++ | 頂版 | 8 | 1061 | 2884 | 0.37 |
| | | 側壁 | 7 | 1837 | 2937 | 0.63 |
| | | 隔壁 | 3 | 959 | 2534 | 0.38 ^{*3} |
| | | 底版 | 14 | 1425 | 3709 | 0.39 |
| ④ | Ss-1++ | 頂版 | 8 | 1163 | 2749 | 0.43 |
| | | 側壁 | 7 | 1648 | 2766 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 5 | 975 | 2494 | 0.40 ^{*3} |
| | | 底版 | 19 | 1480 | 3425 | 0.44 |
| ⑤ | Ss-1++ | 頂版 | 8 | 1298 | 2813 | 0.47 |
| | | 側壁 | 7 | 1656 | 2794 | 0.60 |
| | | 隔壁 | 5 | 1003 | 2489 | 0.41 ^{*3} |
| | | 底版 | 19 | 1517 | 3473 | 0.44 |

注記*1 : 本表は、部材非線形解析において、照査値が0.7を超える部材に対し、材料非線形解析を実施した結果を反映したものを示す。

*2 : 照査用断面力 $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

*3 : 材料非線形解析を用いた方法による照査値

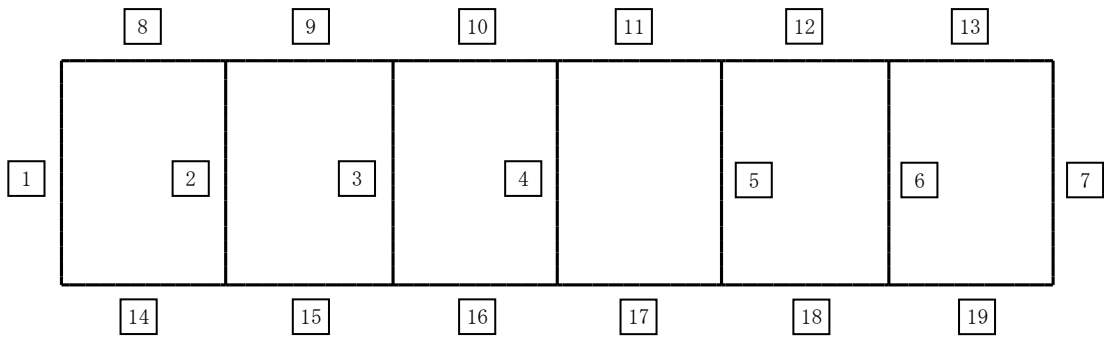
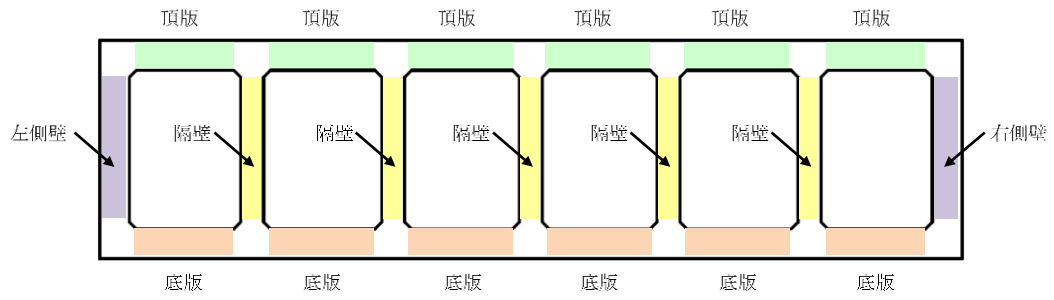


図 4-114 C-C断面の評価位置

4.8 まとめ

取水路（6号機設備）は、基準地震動 S_s に対して、構造物の地震応答解析に基づく層間変形角及びせん断力が各部材の要求性能に応じた許容限界以下であることを確認した。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。

以上のことから、取水路（6号機設備）は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造安定性、通水機能、貯水機能を維持できる。

5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価

5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価

目次

| | |
|---------------------------------|-------|
| 5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価 | 5-1 |
| 5.1 評価方法 | 5-1 |
| 5.2 評価条件 | 5-1 |
| 5.2.1 適用規格 | 5-1 |
| 5.2.2 耐震評価フロー | 5-3 |
| 5.2.3 評価対象断面の選定 | 5-5 |
| 5.2.4 使用材料及び材料定数 | 5-14 |
| 5.2.5 地盤、地盤改良体及びマンメイドロックの解析用物性値 | 5-14 |
| 5.2.6 評価構造物諸元 | 5-18 |
| 5.2.7 地下水位 | 5-22 |
| 5.3 地震応答解析 | 5-22 |
| 5.3.1 地震応答解析手法 | 5-22 |
| 5.3.2 地震応答解析モデルの設定 | 5-23 |
| 5.3.3 減衰定数 | 5-48 |
| 5.3.4 荷重の組合せ | 5-48 |
| 5.3.5 耐震評価における解析ケース | 5-52 |
| 5.4 3次元構造解析 | 5-55 |
| 5.4.1 解析手法 | 5-55 |
| 5.4.2 解析モデルの設定 | 5-56 |
| 5.4.3 照査時刻の選定 | 5-74 |
| 5.4.4 入力荷重 | 5-74 |
| 5.5 評価内容 | 5-87 |
| 5.5.1 入力地震動の設定 | 5-87 |
| 5.5.2 許容限界の設定 | 5-114 |
| 5.6 評価結果 | 5-124 |
| 5.6.1 地震応答解析結果 | 5-124 |
| 5.6.2 3次元構造解析結果 | 5-162 |
| 5.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果 | 5-172 |
| 5.6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 5-190 |
| 5.7 まとめ | 5-192 |

5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価

5.1 評価方法

補機冷却用海水取水路は非常時における海水の通水機能及び貯水機能が求められる土木構造物である。補機冷却用海水取水路について、基準地震動 S_s による耐震評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。

補機冷却用海水取水路の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で、保守性を考慮して設定する。

構造物の応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮した解析ケースを設定する。

構造部材の健全性評価については、水平 2 方向及び鉛直方向の荷重に対する評価を行い、構造部材のコンクリートひずみ及びせん断力、妻壁の面内せん断ひずみが要求機能に応じた許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に作用する鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

5.2 評価条件

5.2.1 適用規格

補機冷却用海水取水路の耐震評価に当たっては、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002 年）（以下「コンクリート標準示方書」という。），原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005 年）（以下「土木学会マニュアル」という。），妻壁の面内せん断の許容限界については、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）を適用する。また、基礎地盤の支持性能の許容限界は、道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（日本道路協会，平成 14 年 3 月）（以下「道路橋示方書」という。）を適用する。

表 5-1 に適用する規格，基準類を示す。

表 5-1 適用する規格，基準類

| 項目 | 適用する規格，基準類 | 備考 |
|------------|--|---|
| 使用材料及び材料定数 | ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年） | — |
| 荷重及び荷重の組合せ | ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年） | ・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組合せを検討 |
| 許容限界 | 【鉄筋コンクリート部材】 ・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） ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 | ・曲げに対する照査は，限界ひずみを設定した上で，発生ひずみが限界ひずみを下回ることを確認* ・せん断に対する照査は，発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認* ・妻壁の発生面内ひずみが許容限界を下回ることを確認* |
| | 【基礎地盤の支持性能】 ・道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（平成 14 年 3 月） | ・基礎地盤の支持性能に対する照査は，基礎に発生する鉛直力が極限支持力を下回ることを確認* |
| 地震応答解析 | ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 | ・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析 |

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

5.2.2 耐震評価フロー

図 5-1 に補機冷却用海水取水路の地震応答解析フローを、図 5-2 に耐震評価フローを示す。

補機冷却用海水取水路については、通水方向の水路の形状を踏まえて、3次元非線形シェル要素による3次元静的有限要素法解析（以下「3次元構造解析」という。）による水平2方向及び鉛直方向の荷重に対する耐震評価を実施する。3次元構造解析にあたっては、2次元動的有限要素法解析により得られた応答値から、3次元構造解析モデルへ入力する水平2方向及び鉛直方向の荷重を算定する。

補機冷却用海水取水路の基礎地盤の支持性能については、2次元動的有限要素法解析より得られた応答値を用いて耐震評価を行う。

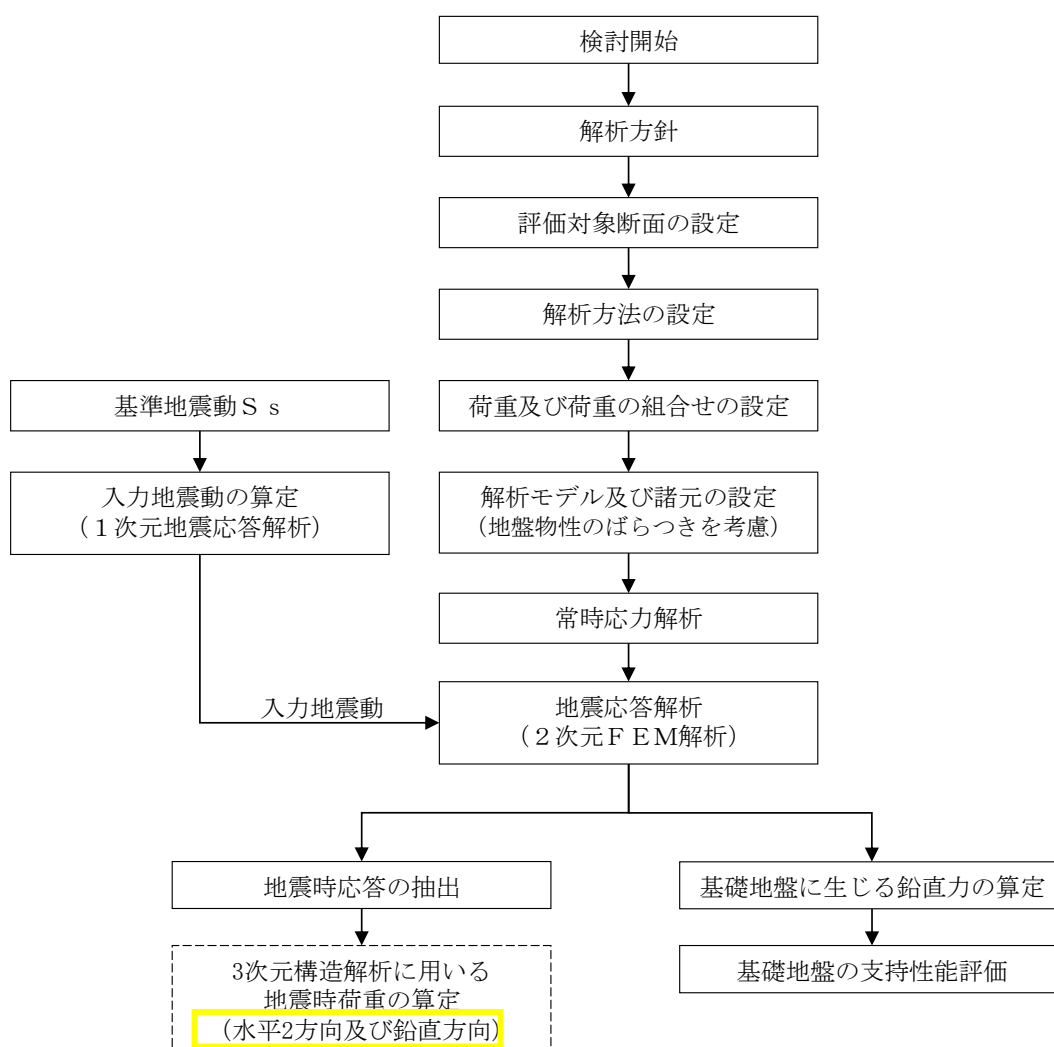


図 5-1 補機冷却用海水取水路の地震応答解析フロー

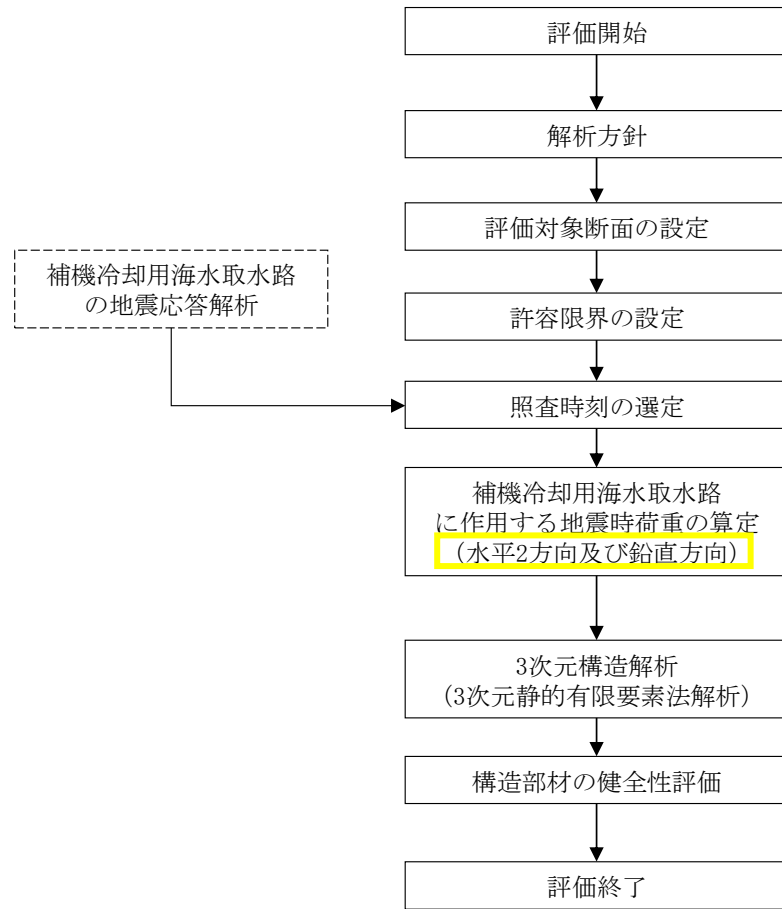


図 5-2 補機冷却用海水取水路の耐震評価フロー

5.2.3 評価対象断面の選定

補機冷却用海水取水路の位置を図 5-3 に、平面図を図 5-4 に、断面図を図 5-5～図 5-7 に、概略配筋図を図 5-9～図 5-11 に示す。

補機冷却用海水取水路は鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水路漸拡部からそれぞれ北側及び南側に分岐し、取水方向に複数の断面形状を示し、マンメイドロックを介して西山層に支持される。また、補機冷却用海水取水路の側方地盤の一部には、地震時における浮上り対策として、地盤改良を実施している。

評価対象断面は、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方」で記載したとおり、構造的特徴を踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるタービン建屋接続位置のブロックとして、北側 4 連（柱部 2 本）ボックスカルバート部及び南側 5 連（柱部 2 本）ボックスカルバート部を代表として耐震評価を実施する。

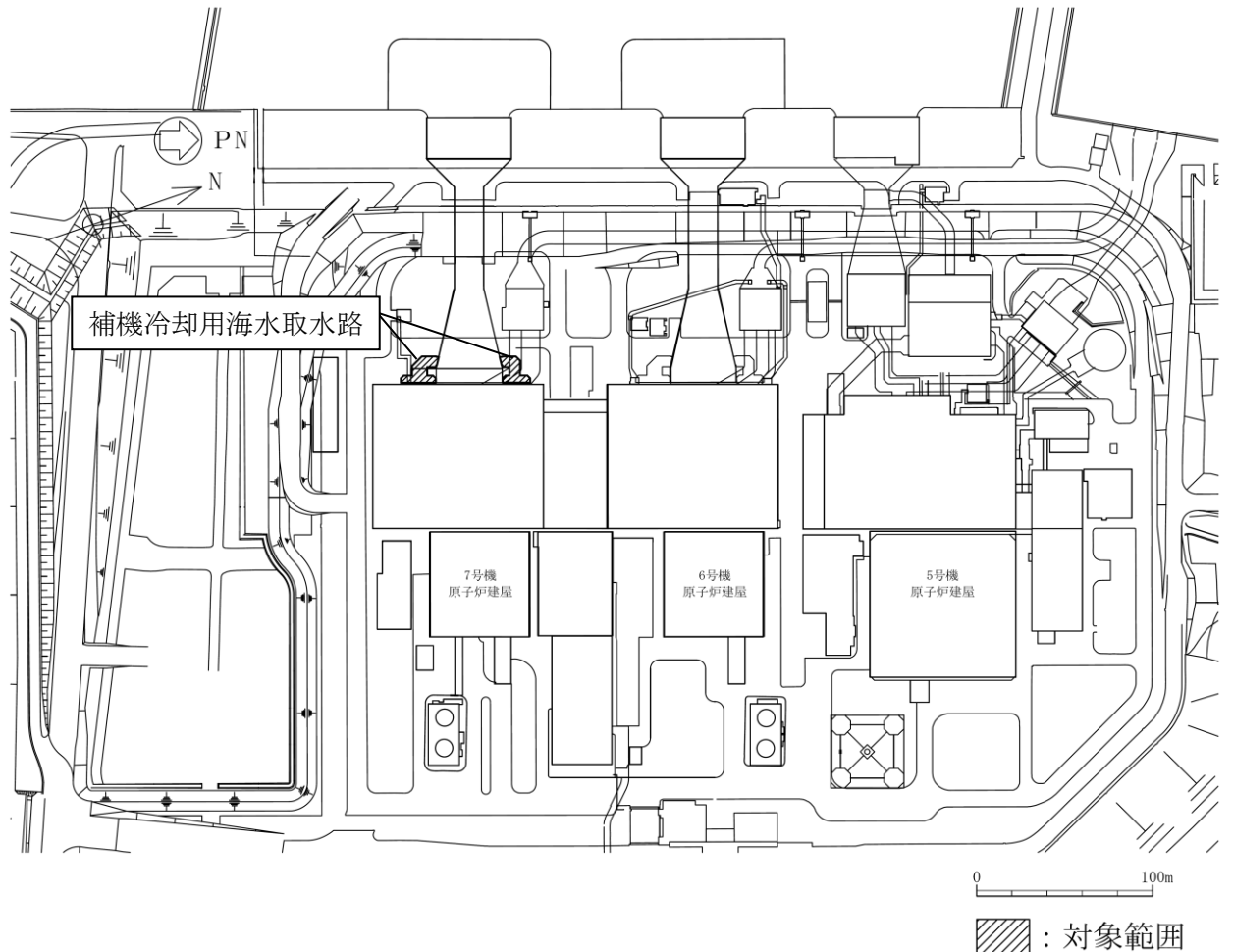
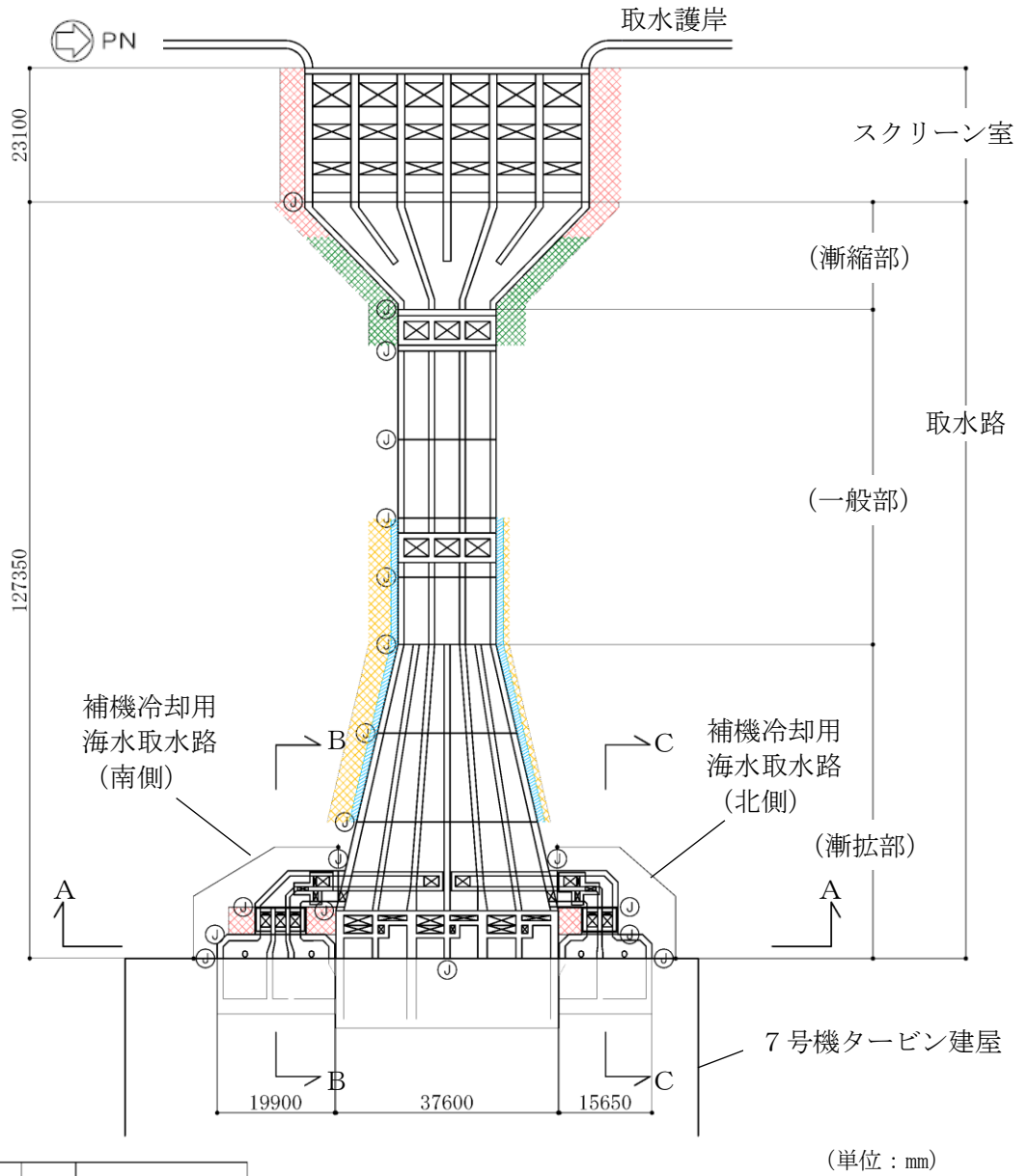


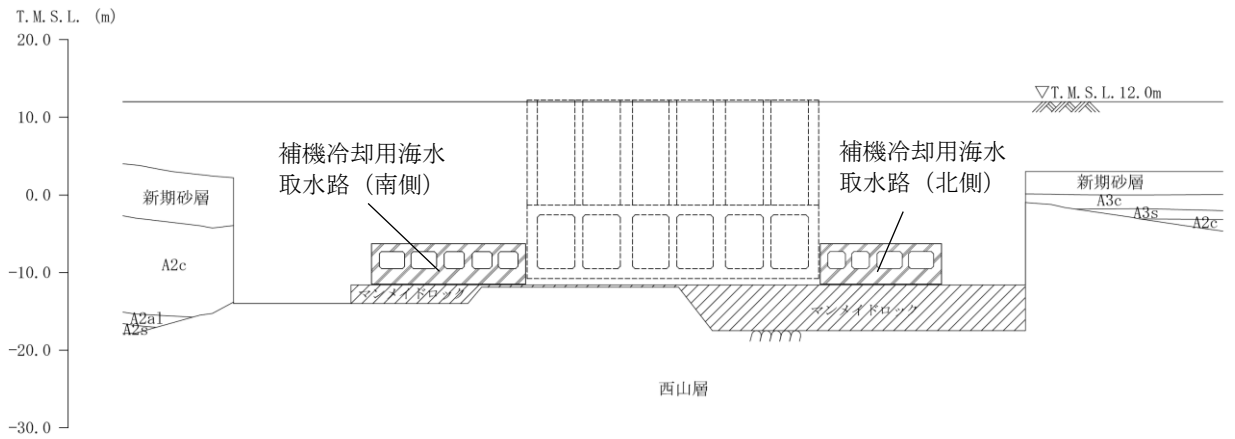
図 5-3 補機冷却用海水取水路の平面配置図（平面図）



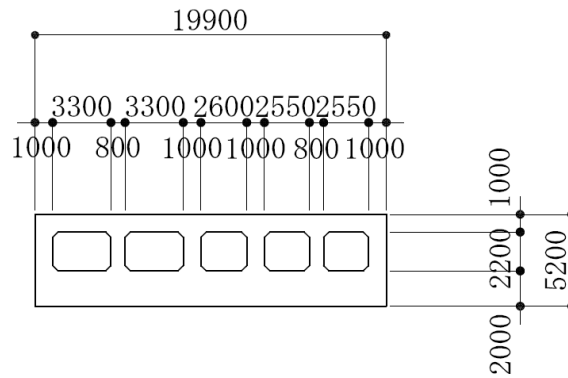
| 既設/新設 | 凡例 | 地盤改良工法 |
|---------|----|-----------|
| 新設地盤改良体 | | 高圧噴射 |
| | | 無筋コンクリート |
| | | 置換(地中連続壁) |
| | | 機械攪拌 |

注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

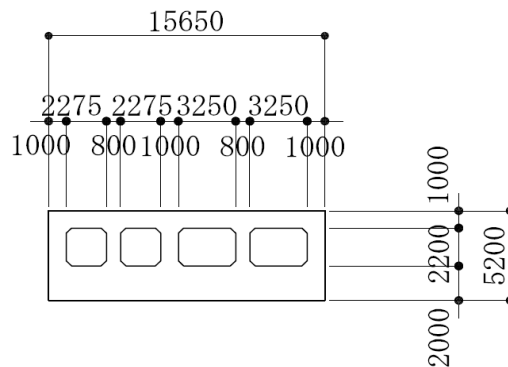
図 5-4 補機冷却用海水取水路の平面図



(a) 補機冷却用海水取水路 (全体)



(b) 補機冷却用海水取水路 (南側)



(c) 補機冷却用海水取水路 (北側)

(単位 : mm)

注 : 東京湾平均海面 (以下「T.M.S.L.」という。)

図 5-5 補機冷却用海水取水路の断面図 (A-A断面)

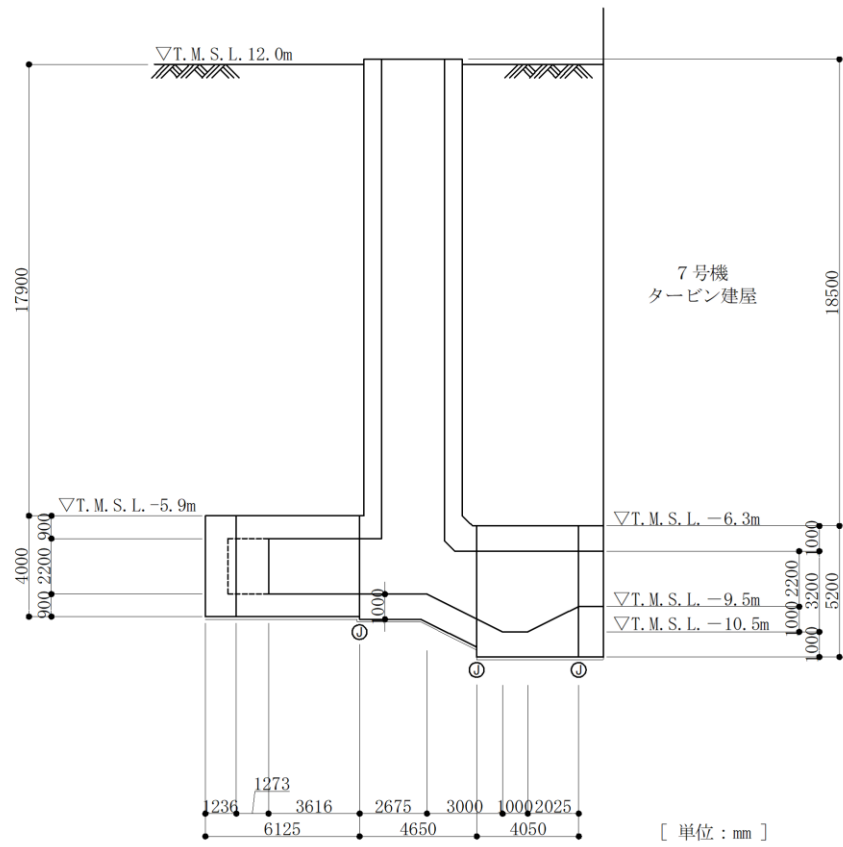


図 5-6 補機冷却用海水取水路（南側）の断面図（B-B断面）

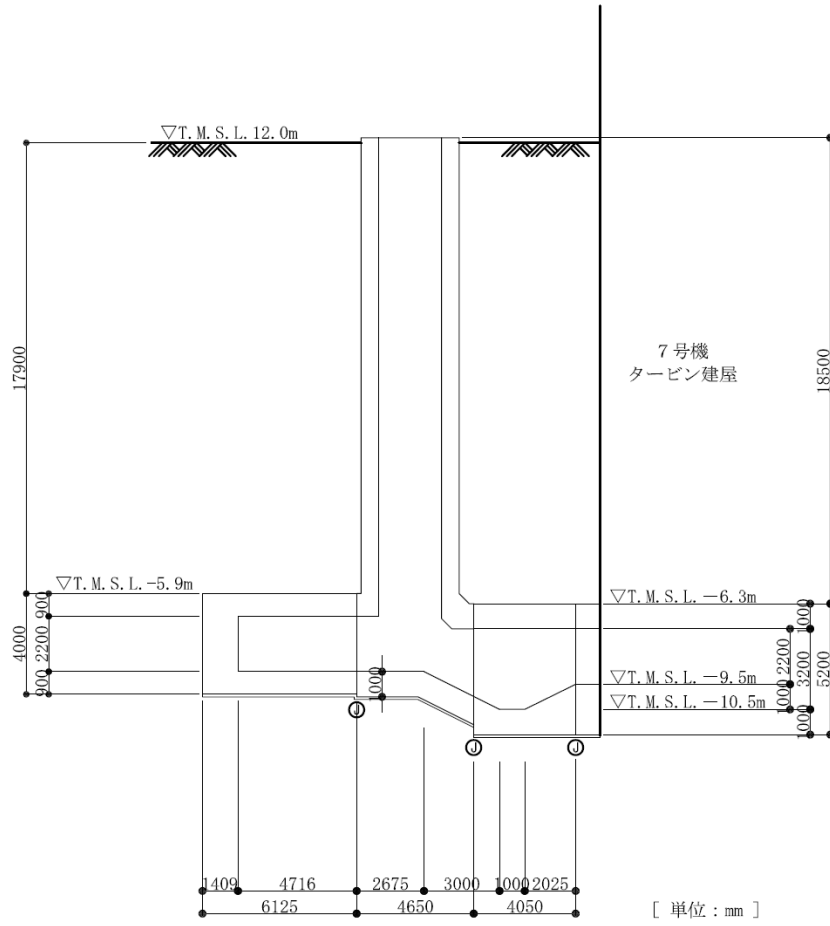
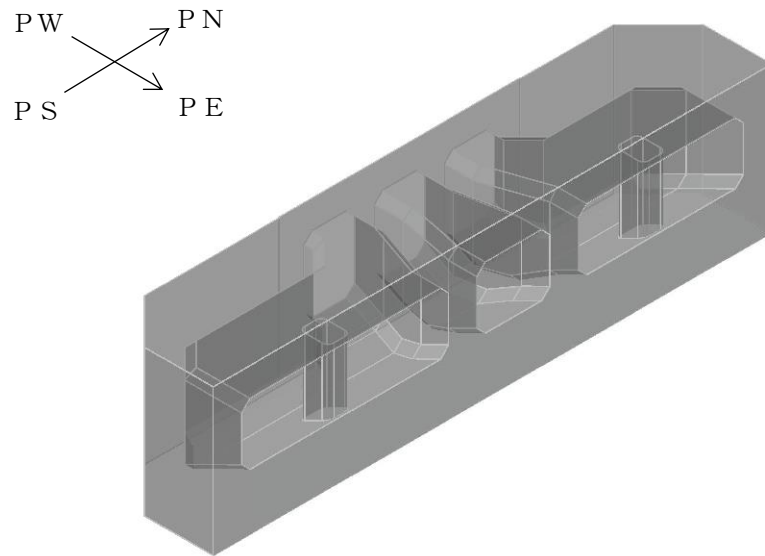
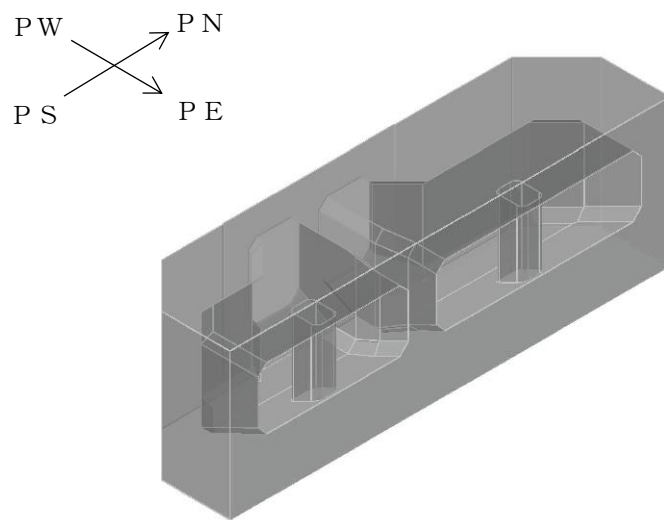


図 5-7 補機冷却用海水取水路（北側）の断面図（C-C 断面）

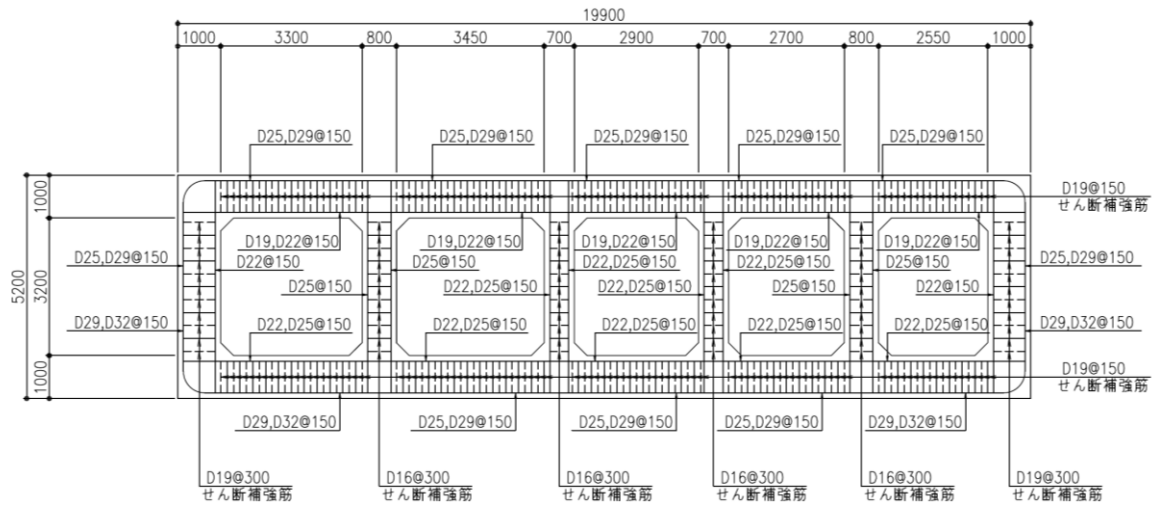


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



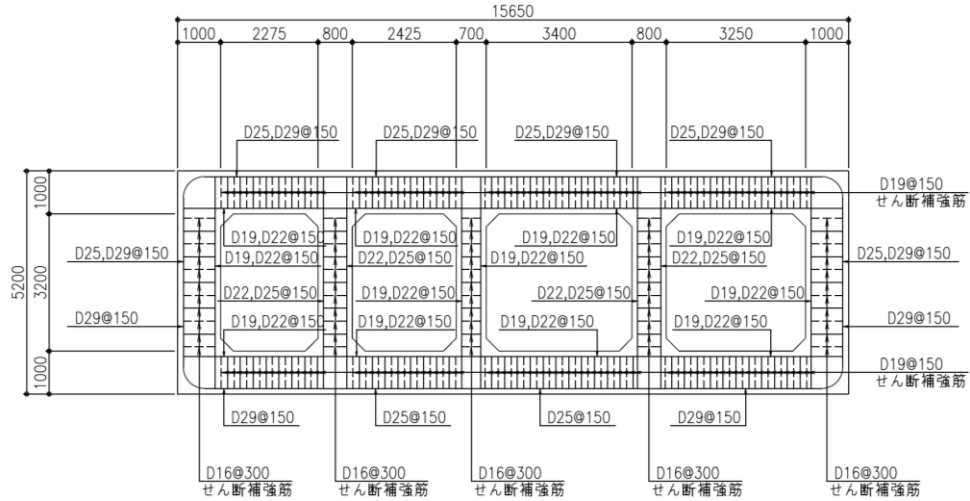
(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 5-8 補機冷却用海水取水路の鳥瞰図



注 1 : 側壁の配力筋方向鉄筋 : D25, D29@150
 注 2 : 隔壁の配力筋方向鉄筋 : D19@300

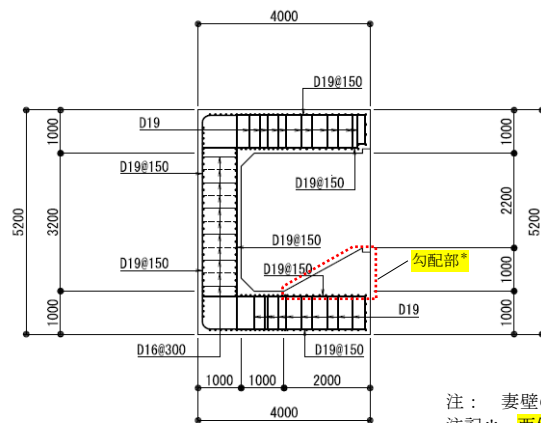
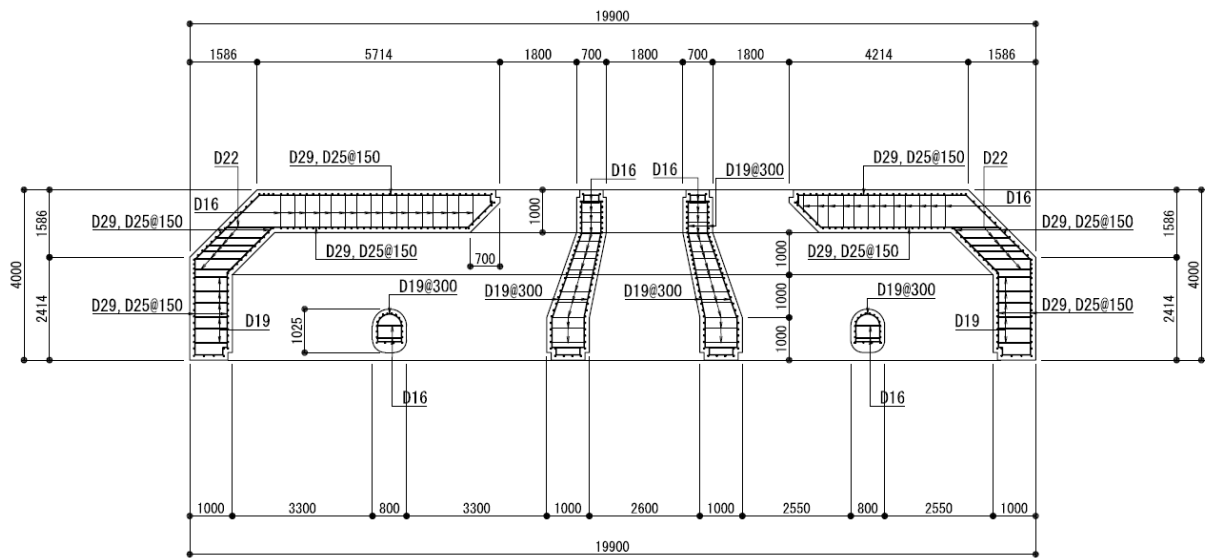
(a) 補機冷却用海水取水路 (南側)



注 1 : 側壁の配力筋方向鉄筋 : D25, D29@150
 注 2 : 隔壁の配力筋方向鉄筋 : D16@300

(b) 補機冷却用海水取水路 (北側)

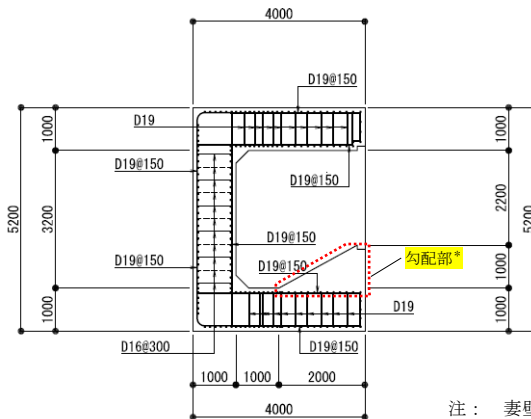
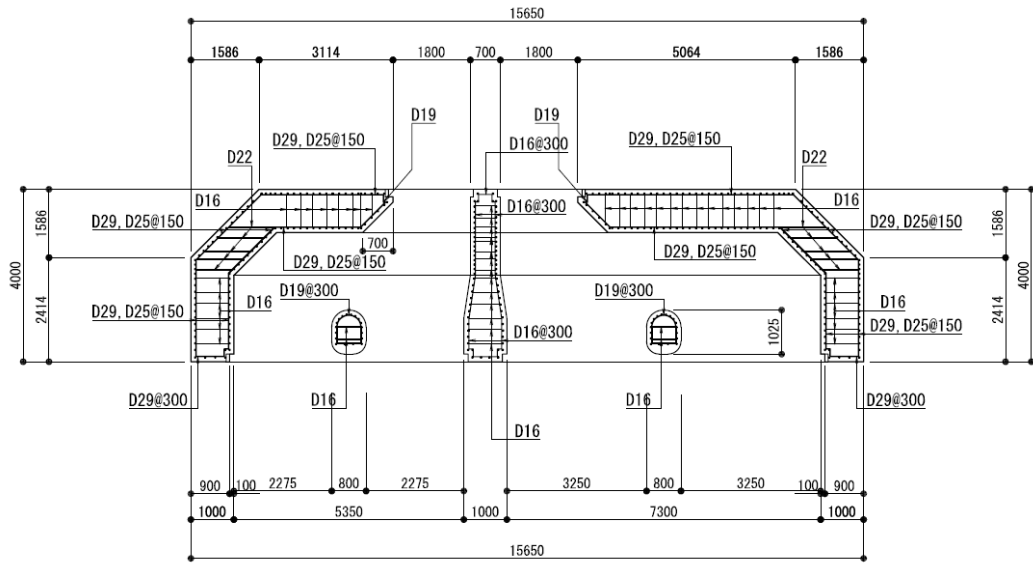
図 5-9 補機冷却用海水取水路 (横断方向) の概略配筋図



注： 妻壁の配力筋方向鉄筋：D25, D29@150
 注記*： 西側及び東側の勾配部は、解析モデル上、構造部材として扱わないことから、配筋は非表示とした。

(単位：mm)

図 5-10 補機冷却用海水取水路（南側）（妻壁部）の概略配筋図



注：妻壁の配力筋方向鉄筋：D25, D29@150
 注記*：西側及び東側の勾配部は、解析モデル上、構造部材として扱わないことから、配筋は非表示とした。

(単位：mm)

図 5-11 補機冷却用海水取水路（北側）（妻壁部）の概略配筋図

5.2.4 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、建設時の設計値に基づき設定する。構造物の使用材料を表 5-2 に、材料物性値を表 5-3 に示す。

表 5-2 構造物の使用材料

| 材料 | 諸元 |
|--------|-------------------------------|
| コンクリート | 設計基準強度 23.5 N/mm ² |
| 鉄筋 | SD35 (SD345 相当) |

表 5-3 構造物の材料物性値

| 材料 | 単位体積重量 (kN/m ³) | ヤング係数 (N/mm ²) | ポアソン比 |
|----------|--------------------------------|-------------------------------|-------|
| 鉄筋コンクリート | 23.5* | 2.45×10 ⁴ * | 0.2* |

注記* : 建設時の設計値に基づく

5.2.5 地盤、地盤改良体及びマンメイドロックの解析用物性値

地盤、地盤改良体及びマンメイドロックの諸定数は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 5-4～表 5-6 に、地盤改良体の物性値を表 5-8 に、マンメイドロックの物性値を表 5-7 に示す。

表 5-4 地盤の解析用物性値（液状化検討対象層）

| パラメータ | | 埋戻土 | 新期砂層・沖積層 | 古安田層 | | | |
|-------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | | 新期砂層 | A2s 層 | A3s 層 | A2g 層 (砂質) | |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.94 (1.79)* | 2.05 (2.00)* | 1.91 | 1.91 | 1.91 | |
| | 間隙率 n | 0.45 | 0.44 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²) | 1.04×10^5 | 1.26×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | 2.14×10^5 | |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²) | 98.0 | 98.0 | 200.0 | 200.0 | 200.0 | |
| | ポアソン比 ν | 0.33 (0.42)* | 0.33 (0.44)* | 0.33 | 0.33 | 0.33 | |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.225 | 0.234 | 0.157 | 0.157 | 0.157 | |
| 強度特性 | 粘着力 c' (kN/m ²) | 0.0 (9.6)* | 0.0 (94.4)* | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 内部摩擦角 ϕ' (°) | 35.9 (34.8)* | 34.6 (27.6)* | 36.6 | 36.6 | 36.6 | |
| 液状化特性 | 変相角 ϕ_p (°) | 32.0 | 31.0 | 32.0 | 32.0 | 32.0 | |
| | 液状化パラメータ | S_1 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| | | w_1 | 5.50 | 7.90 | 25.0 | 25.0 | 25.0 |
| | | p_1 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | | p_2 | 1.00 | 0.70 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| | | c_1 | 1.69 | 2.13 | 8.75 | 8.75 | 8.75 |

注記* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

表 5-5 地盤の解析用物性値（非液状化層）

| パラメータ | | 古安田層 | | | |
|-------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | A3c 層 | A3a1 層 | A2c 層 | A2a1 層 |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.70 | 1.81 | 1.80 | 1.88 |
| | 間隙率 n | 0.57 | 0.52 | 0.52 | 0.48 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²) | 1.09×10^5 | 9.57×10^4 | 1.39×10^5 | 1.61×10^5 |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²) | 60.0 | 94.0 | 140.0 | 170.0 |
| | ポアソン比 ν | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.114 | 0.162 | 0.110 | 0.147 |
| 強度特性 | 粘着力 c' (kN/m ²) | 99.6 | 29.2 | 113.0 | 82.8 |
| | 内部摩擦角 ϕ' (°) | 26.8 | 34.2 | 27.9 | 28.7 |

表 5-6 地盤の解析用物性値（西山層）

| パラメータ | | 西山層 | |
|-------|---|-------------------------|---------------------------|
| | | T. M. S. L. -33.0m 以浅 | T. M. S. L. -33.0m~-90.0m |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.73 | 1.69 |
| | 間隙率 n | 0.56 | 0.56 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | 4.16×10^5 | 4.75×10^5 |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 98.0 | 98.0 |
| | ポアソン比 ν | 0.33 | 0.33 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.257 | 0.257 |
| 強度特性 | 粘着力 c (kN/m ²) | $1370 - 5.04 \cdot Z^*$ | $1370 - 5.04 \cdot Z^*$ |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 0 | 0 |

注記* : Zは、標高 (m) を示す。

表 5-7 マンメイドロックの解析用物性値

| パラメータ | | マンメイドロック |
|-------|---|--------------------|
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.75 |
| | 間隙率 n | 0.56 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²) | 1.91×10^6 |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²) | 98.0 |
| | ポアソン比 ν | 0.36 |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.190 |
| 強度特性 | 粘着力 c (kN/m ²) | 1840 |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 0.0 |

表 5-8 地盤改良体（高圧噴射）の解析用物性値

| パラメータ | | | 新設地盤改良体 |
|-------|-----------|-------------------------------------|--------------------|
| | | | 高圧噴射 |
| 物理特性 | 密度 | ρ (g/cm ³) | 1.94 |
| | 間隙率 | n | 0.49 |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 | G_{ms} (kN/m ²) | 2.51×10^5 |
| | 基準平均有効拘束圧 | σ_{ms}' (kN/m ²) | 98 |
| | ポアソン比 | ν | 0.33 |
| | 減衰定数の上限値 | h_{max} | 0.05 |
| 強度特性 | 粘着力 | c' (kN/m ²) | 500 |

5.2.6 評価構造物諸元

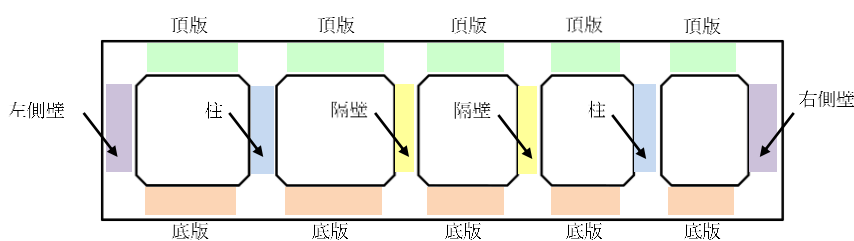
(1) 評価構造物諸元と評価部位

照査を行う補機冷却用海水取水路の評価構造物諸元を表 5-9 及び表 5-10 に、評価部位を図 5-12 及び図 5-13 に示す。

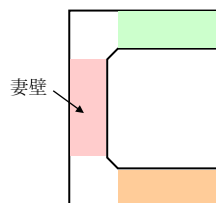
表 5-9 構造物の評価部位とその仕様（南側）

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|-----------|---------|---------------------------------------|-----------------|---------|
| | 部材奥行幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 右側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 右柱 | 0.256 | 0.800 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 右隔壁 | 1.000 | 0.700 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左隔壁 | 1.000 | 0.700 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左柱 | 0.256 | 0.800 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 底版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 妻壁 | 0.250 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲



(a) A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (南側))



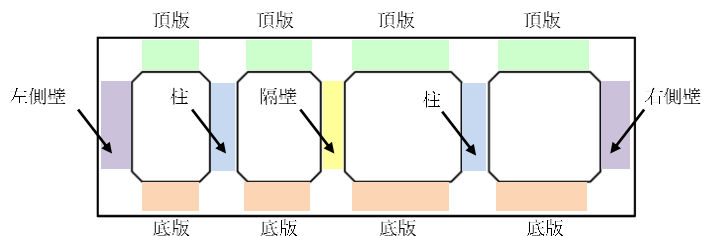
(b) B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-12 評価部位 (南側)

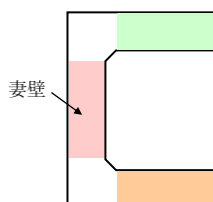
表 5-10 構造物の評価部位とその仕様（北側）

| 部位 | 仕様 | | 材料 | | 機能要求 |
|-----|--------------|------------|--|--------------------|---------|
| | 部材奥行幅 (m) | 部材高 (m) | コンクリート f'_{ck} (N/mm ²) | 鉄筋 | |
| 頂版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 右側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 右柱 | 0.256 | 0.800 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 隔壁 | 1.000 | 0.700 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左柱 | 0.256 | 0.800 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 左側壁 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |
| 底版 | 1.000 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水 |
| 妻壁 | 0.250 | 1.000 | 23.5 | SD35 (SD345 相当) | 通水, 貯水* |

注記* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲



(a) A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (北側))



(b) C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-13 評価部位 (北側)

(2) 補機冷却用海水取水路の機能要求の考え方

「(1) 評価構造物諸元と評価部位」の各表に記載した補機冷却用海水取水路の機能要求について、その考え方を以下に記載する。なお、補機冷却用海水取水路には、間接支持するSクラス施設はない。

a. 通水機能

補機冷却用海水取水路の通水断面を構成する各部材について、通水機能を要求するものとする。図 5-14 に通水機能を要求する部材の範囲を示す。

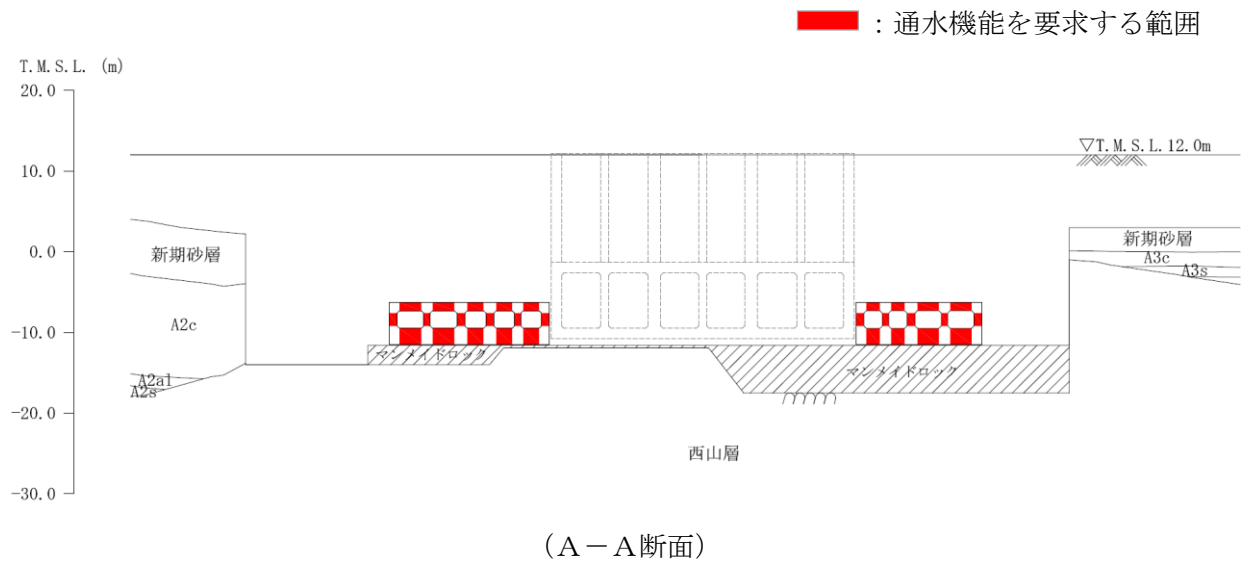


図 5-14 通水機能を要求する範囲

b. 貯水機能

補機冷却用海水取水路における貯水機能は、津波時の引き波を想定した要求機能であるため、海水貯留堰天端標高 (T.M.S.L. -3.5m) 以下の頂版及び側壁を対象とする。

ここで、補機冷却用海水取水路の周辺地盤の地下水位は常時は海水面付近にあると想定され、津波時の引き波による海水面低下が起きても、引き波の継続時間は最大約 16 分と短時間の現象と評価されているため、補機冷却用海水取水路の内水位よりも周辺地盤の地下水位の方が高い状態にあることから、補機冷却用海水取水路内の貯留水は地盤へ流出する可能性は低いものと考えられるが、当検討では側壁及び頂版の健全性により貯水機能を担保することとする。

なお、底版については、補機冷却用海水取水路全区間で透水係数の小さいマンメイドロック若しくは西山層に接しており、かつ地下水位面 (海水面) よりも低い位置に設置されることから、貯水機能を要求する範囲の対象外とする。

また、鉄筋コンクリート部材以外に貯水機能が要求される部材としては、ブロック間に設置している耐震ジョイントが挙げられる。耐震ジョイントの地震時の健全性については、(参考資料 2) に示す。

図 5-15 に貯水機能を要求する部材の範囲を示す。

引き波の継続時間の詳細は、V-1-1-3-2「津波への配慮に関する説明書」に示す。

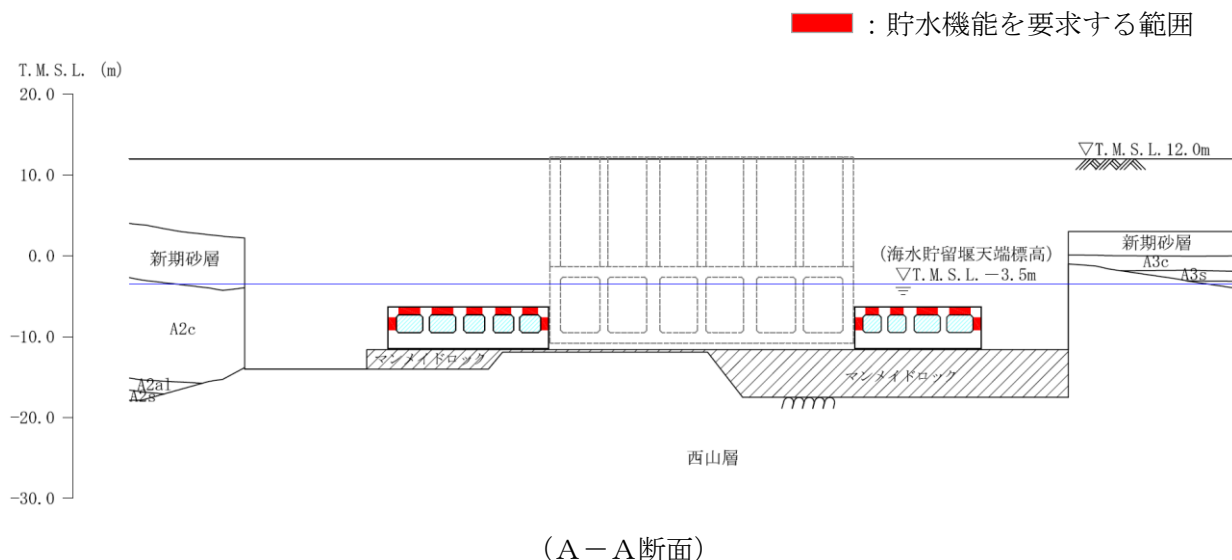


図 5-15 貯水機能を要求する範囲

5.2.7 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、T.M.S.L. 8.0mに設定する。

5.3 地震応答解析

5.3.1 地震応答解析手法

補機冷却用海水取水路の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。構造部材については、はり要素を用いることとし、非線形特性についてはコンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル（H-Dモデル）を選定する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.4.1」を使用する。地震応答解析手法の選定フローを図5-16に示す。

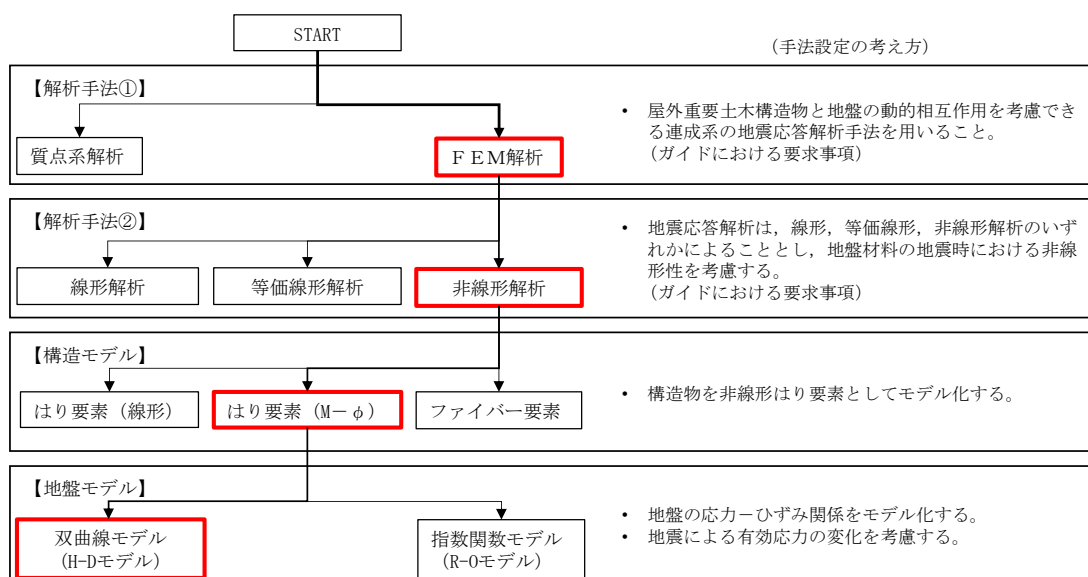


図 5-16 地震応答解析手法の選定フロー

5.3.2 地震応答解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 を参考に、図 5-17 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍程度、モデル高さを構造物幅の 2 倍程度とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20 Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 又は 4 分割、すなわち $V_s/100$ 又は $V_s/80$ を考慮し、要素高さを 0.5~1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、土木学会マニュアルに、線材モデルの要素分割については、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度とするのが良い旨が示されていることを考慮し、部材の断面厚さ又は有効高さの 1.0 倍程度まで細分割して設定する。

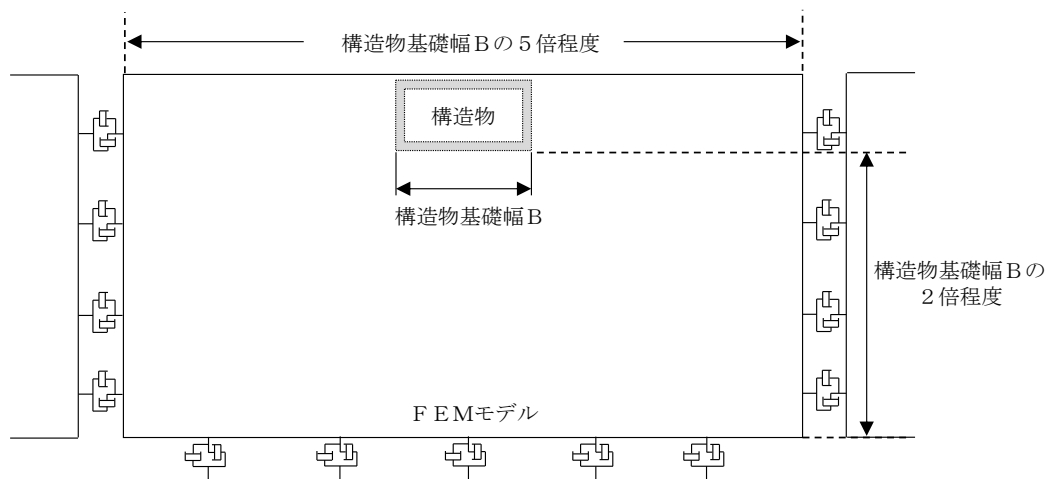


図 5-17 モデル範囲の考え方

2次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する1次元地盤モデルである。2次元有効応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図5-18に示す。また、補機冷却用海水取水路周辺の地質断面図を図5-19～図5-21に示す。

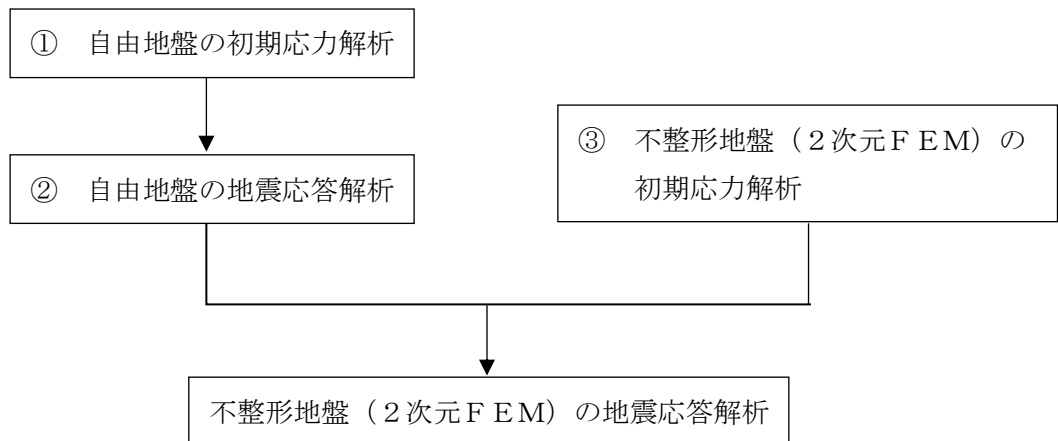
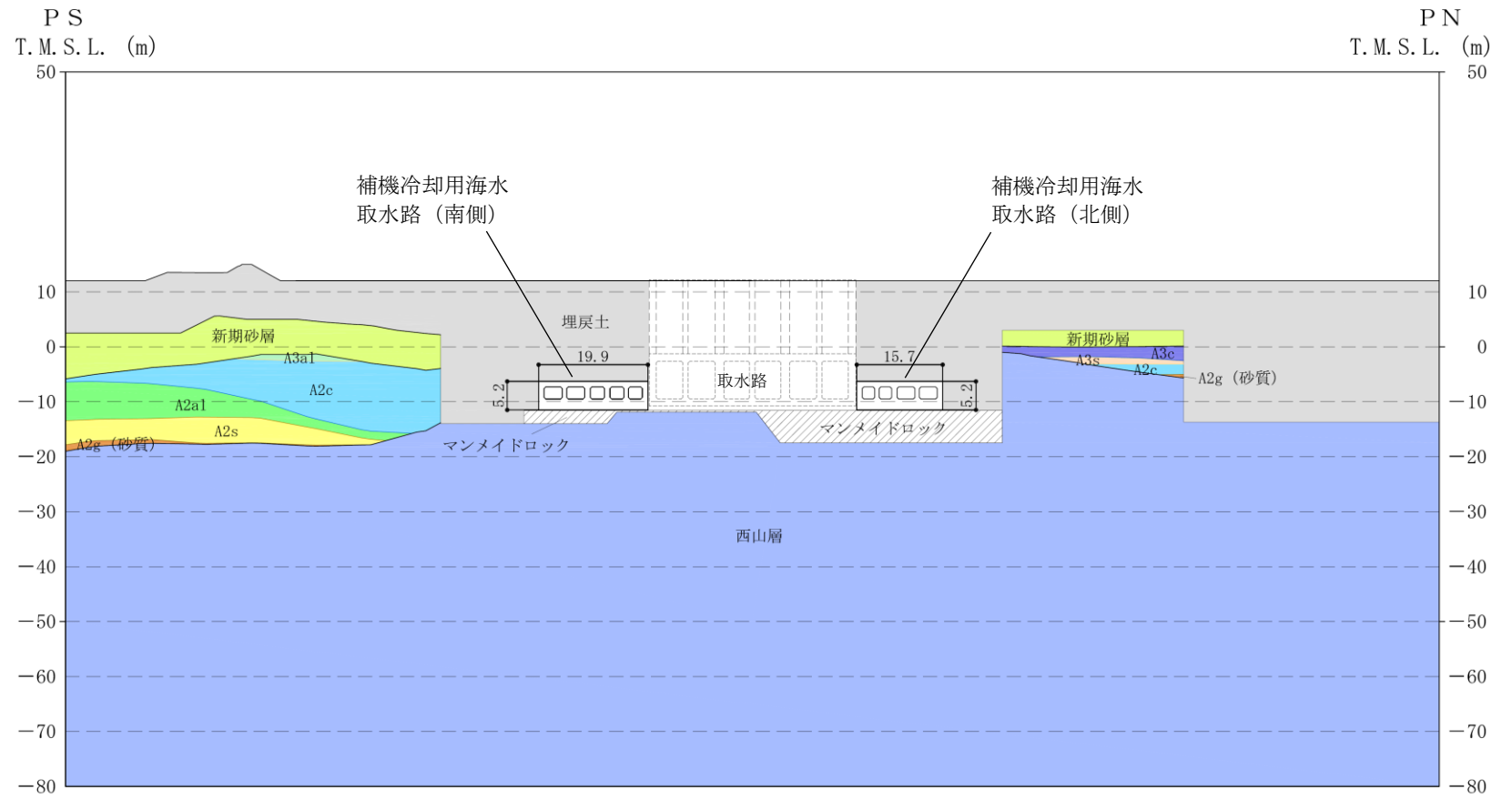


図5-18 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤 (2次元FEM) の地震応答解析までのフロー



(単位：m)

図 5-19 補機冷却用海水取水路（横断方向）の周辺地質断面図（A-A断面）

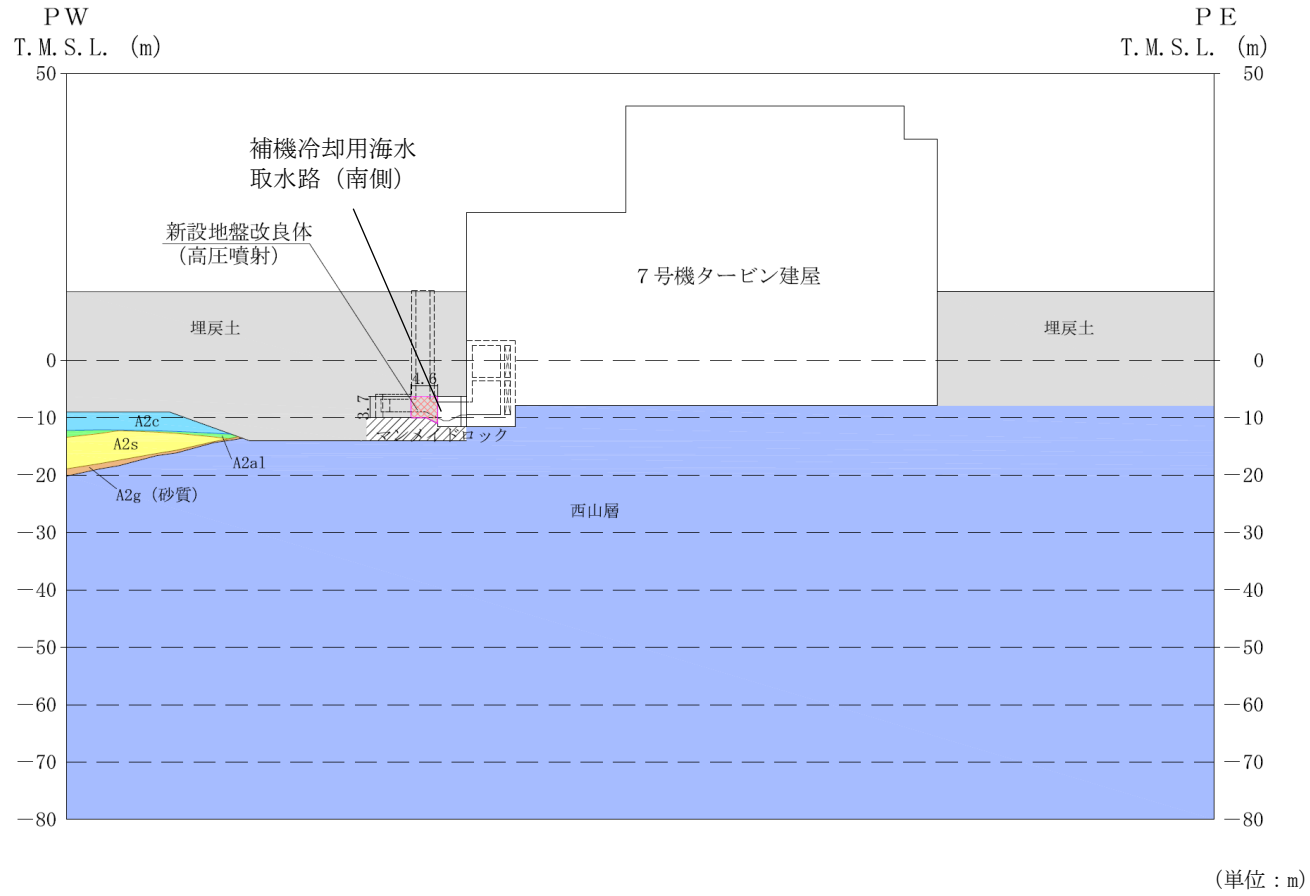


図 5-20 補機冷却用海水取水路 (南側) の縦断方向周辺地質断面図 (B-B 断面)

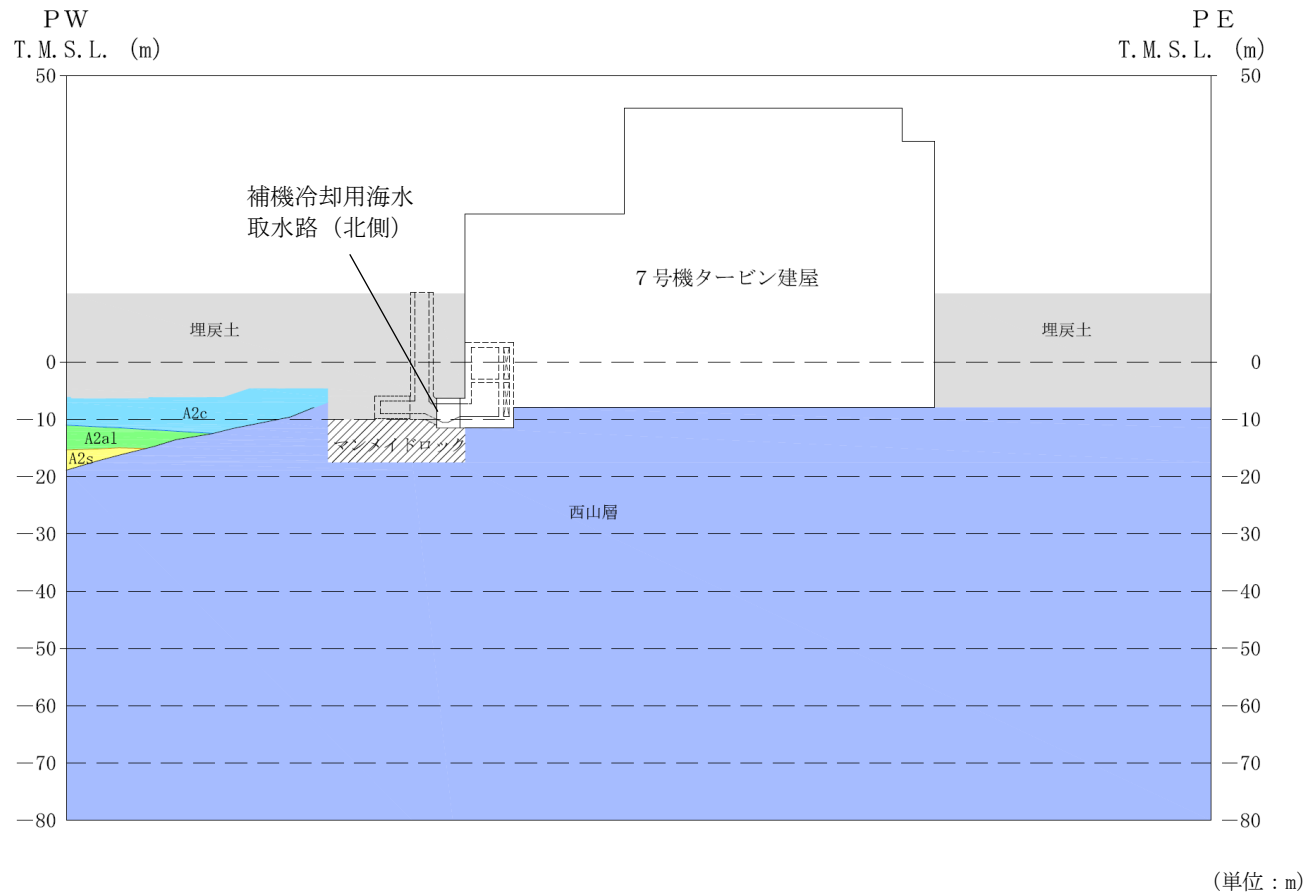


図 5-21 補機冷却用海水取水路 (北側) の縦断方向周辺地質断面図 (C-C断面)

(2) 境界条件

a. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 5-22 に示す。

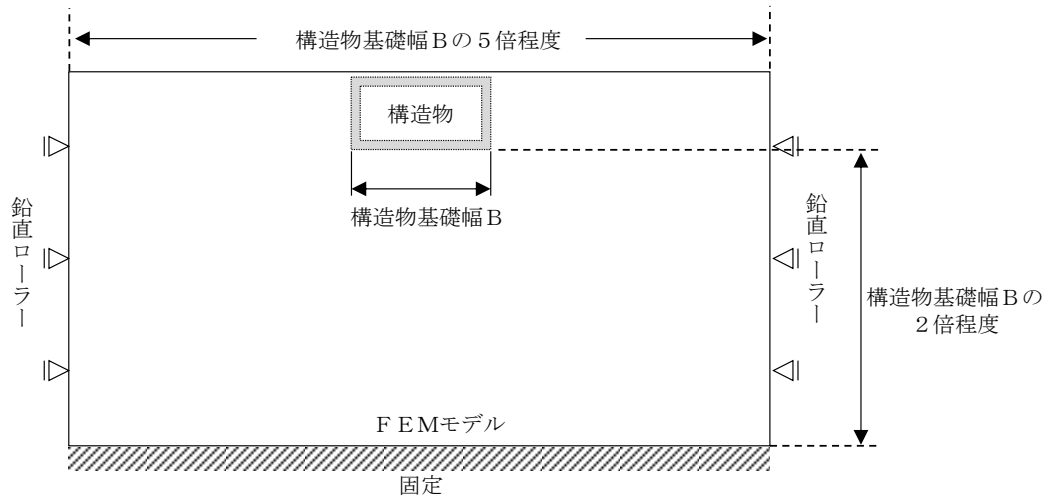


図 5-22 初期応力解析における境界条件の概念図

b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデルを図 5-23～図 5-25 に示す。

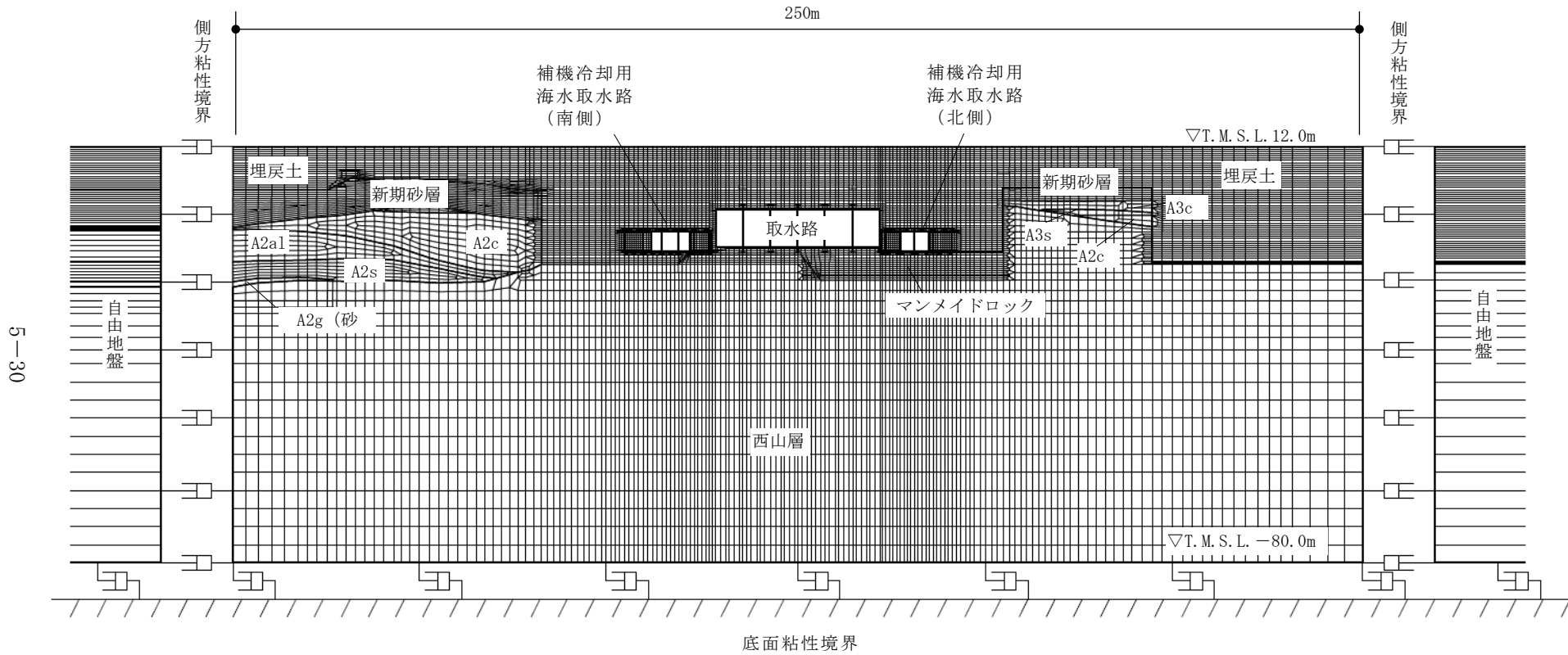


図 5-23 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル (A-A断面)

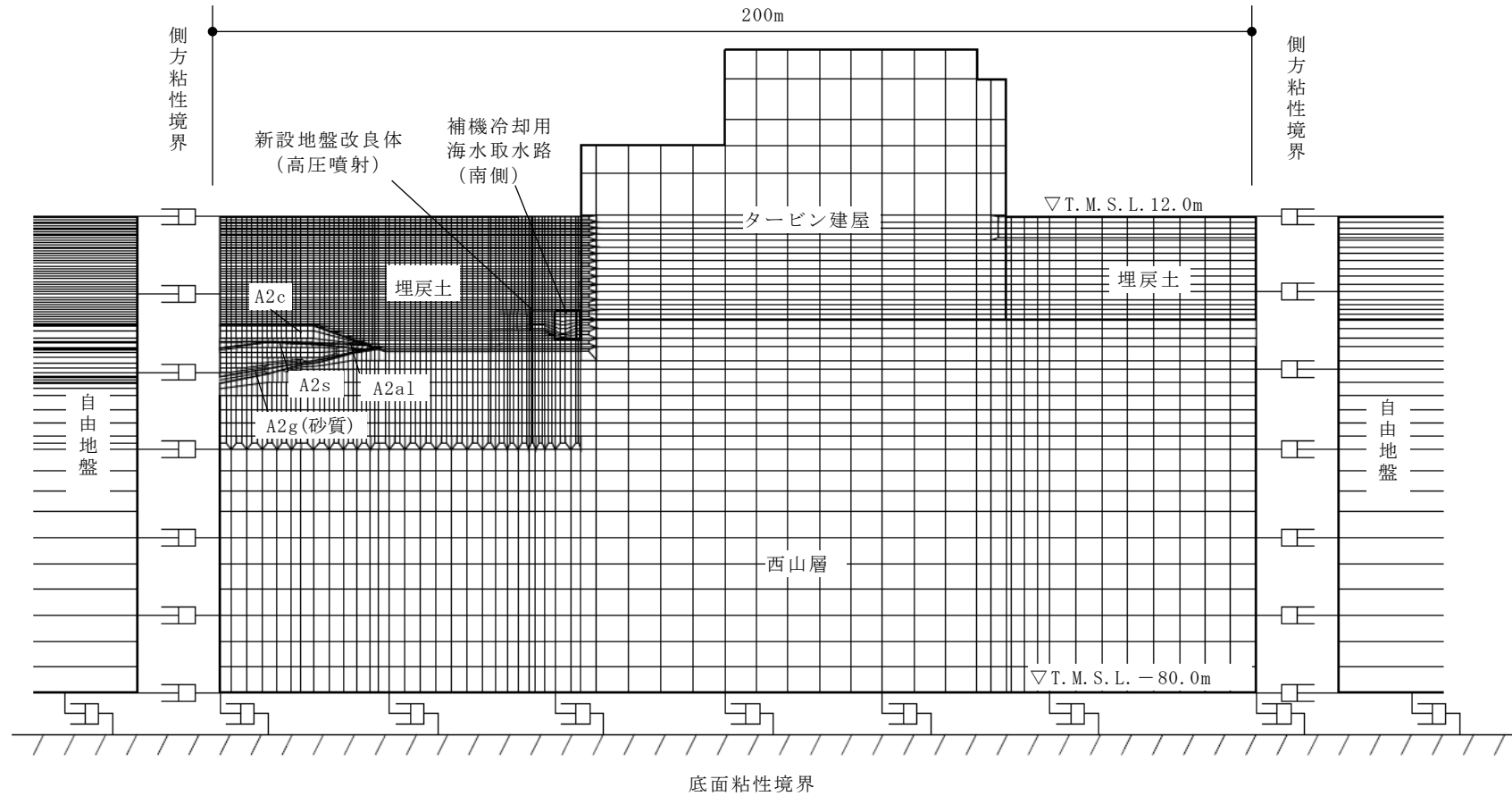
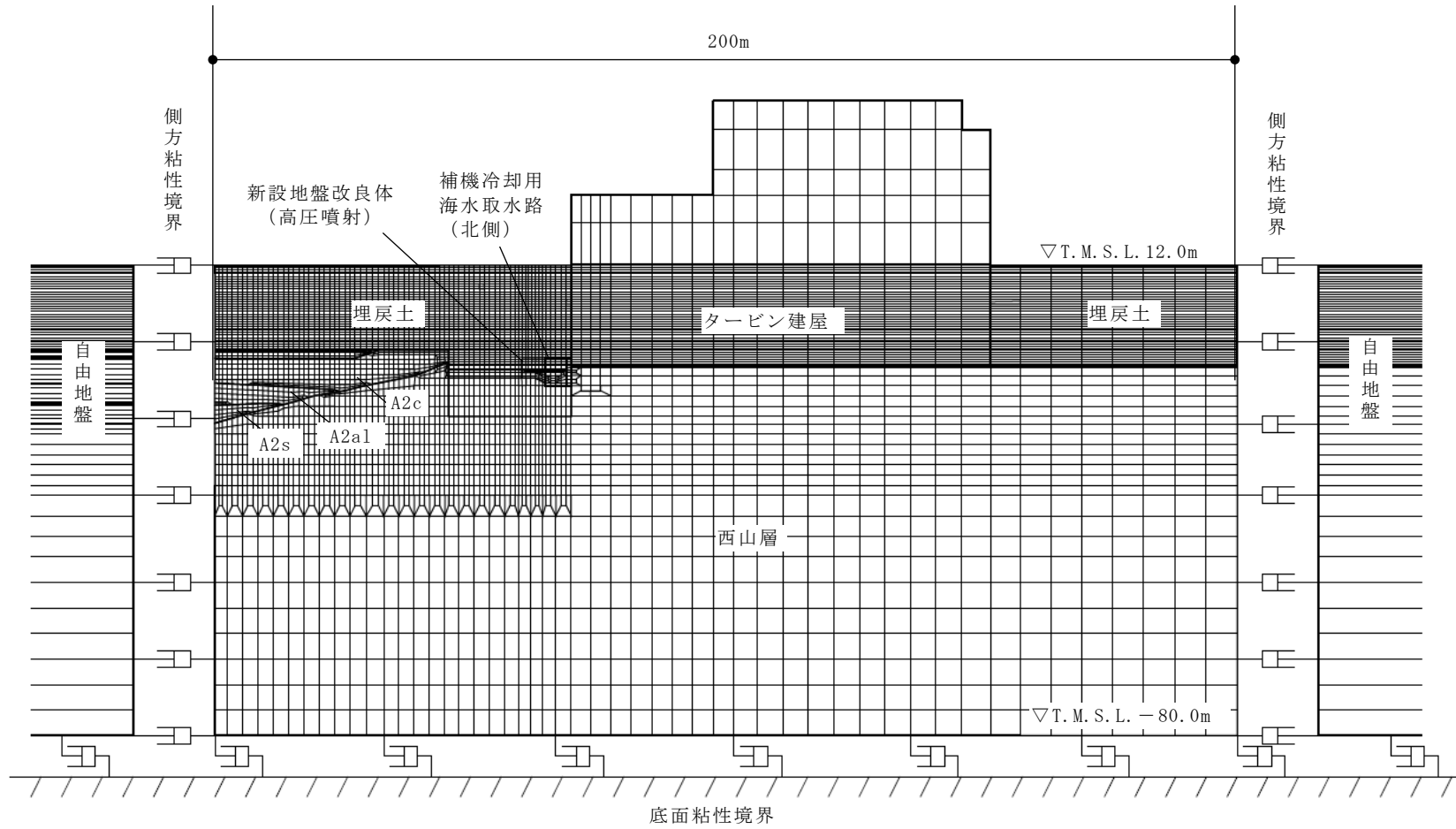


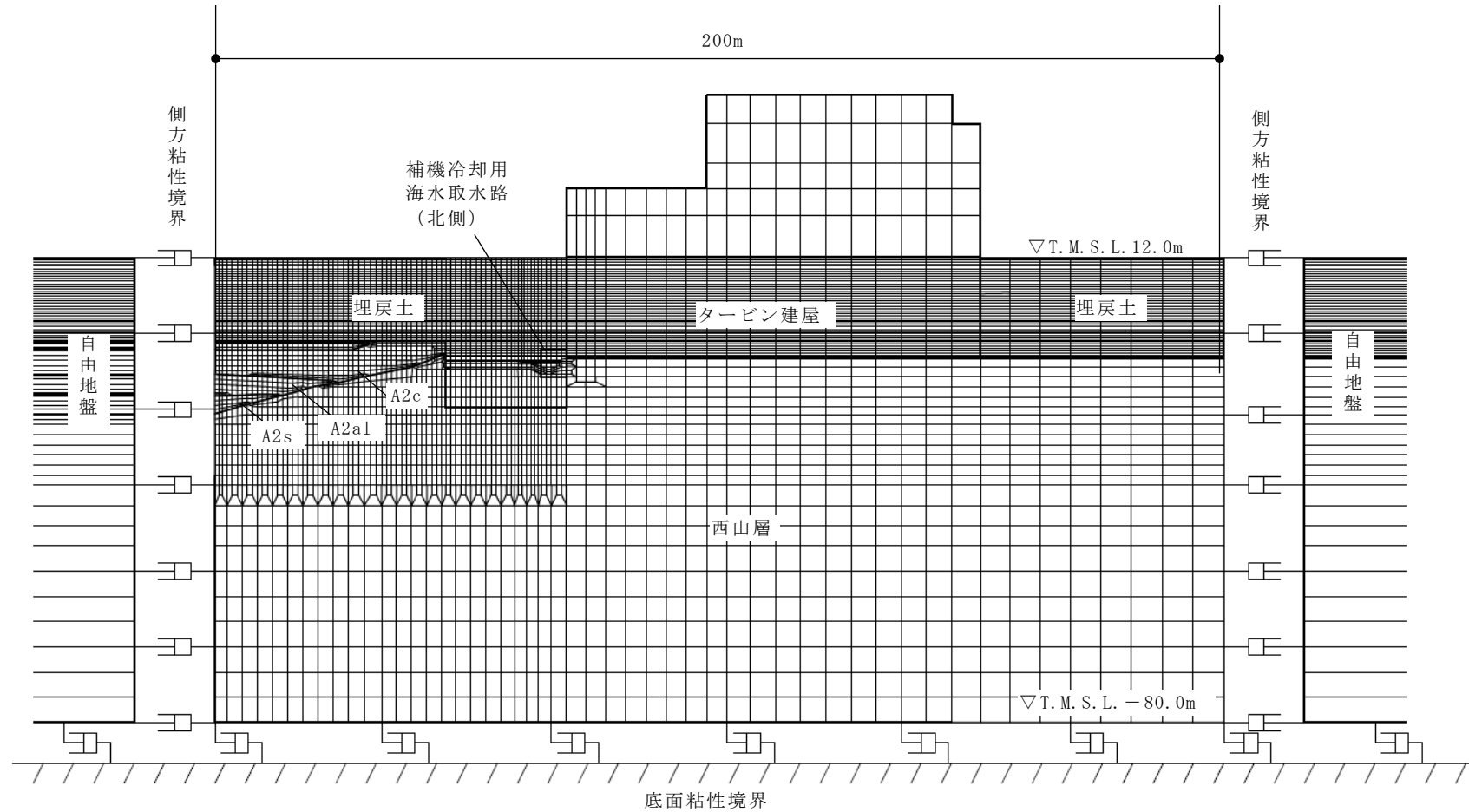
図 5-24 補機冷却用海水取水路（南側）の地震応答解析モデル（B-B断面）



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については、南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため、それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(a) 南妻壁側

図 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面）（1/2）



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については、南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため、それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(b) 北妻壁側

図 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面）（2/2）

(3) 構造物のモデル化

a. 横断方向 (NS 断面)

補機冷却用海水取水路の横断方向のA-A断面では、構造部材として考慮する側壁、隔壁、底版、頂版、柱を非線形はり要素でモデル化する。補機冷却用海水取水路の妻壁部については、線形平面ひずみ要素でモデル化する。なお、妻壁部を線形としてモデル化することは、地震時に躯体に作用する土圧を、非線形性を考慮した場合と比較して大きく評価することになるため、耐震評価の観点から保守的な設定となる。

構造部材 (側壁、隔壁、底版、頂版、柱) は、断面諸元 (鉄筋量・配筋) 及び部材奥行幅が解析奥行幅に占める割合に応じた非線形性を設定する。このうち、柱は、構造物の全奥行幅に対する部材の奥行幅が相対的に小さいことから、部材の奥行幅に応じた等価剛性を設定する。線形平面ひずみ要素でモデル化する妻壁部は、断面諸元 (鉄筋量・配筋) 及び部材奥行幅が解析奥行幅に占める割合に応じた等価剛性を設定する。等価剛性の算定の概念図を図 5-26 に、補機冷却用海水取水路の柱及び妻壁部の奥行幅を示した拡大図を、図 5-29～図 5-30 に示す。

それぞれの非線形はり要素の交点には、コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。また、妻壁部は頂版、側壁及び底版の接続面と節点を共有する。柱部は、頂版及び底版との交点のみ節点を共有する。補機冷却用海水取水路の解析モデルの詳細を、図 5-29～図 5-30 に示す。

なお、**に示す補機冷却用海水取水路の東側及び西側の底版の勾配部**は、補機冷却用海水取水槽への接続を円滑にするために設けられた非構造部材であることから、非線形はり要素としてモデル化する底版は、**勾配部の配筋・剛性を考慮せず、部材厚 1.0m としてモデル化する。**また、**地中埋設構造物である補機冷却海水取水路では、作用力として土圧による影響が支配的であることを踏まえ、勾配部に作用する慣性力についても考慮しない。**

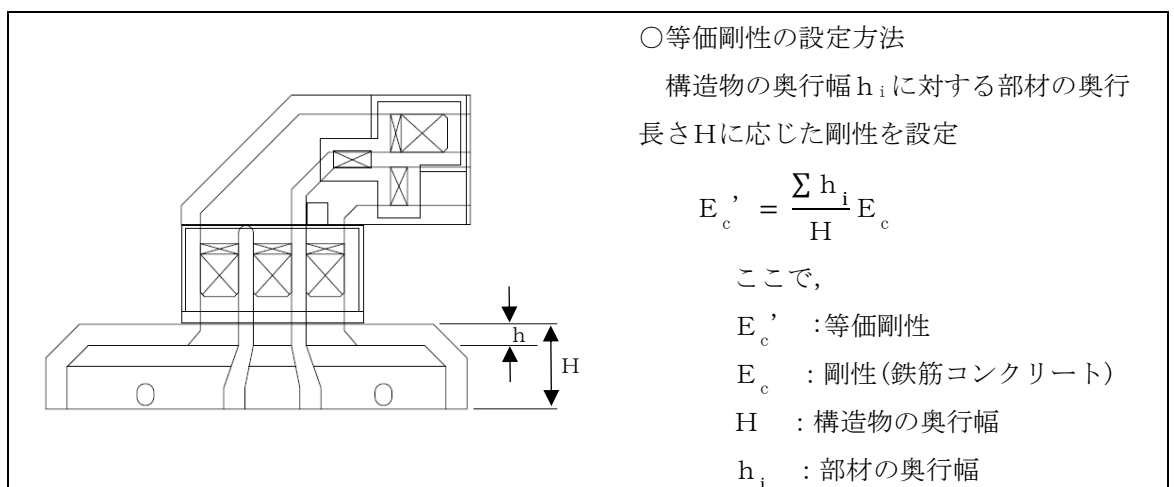


図 5-26 等価剛性の算定の概念図 (妻壁の例)

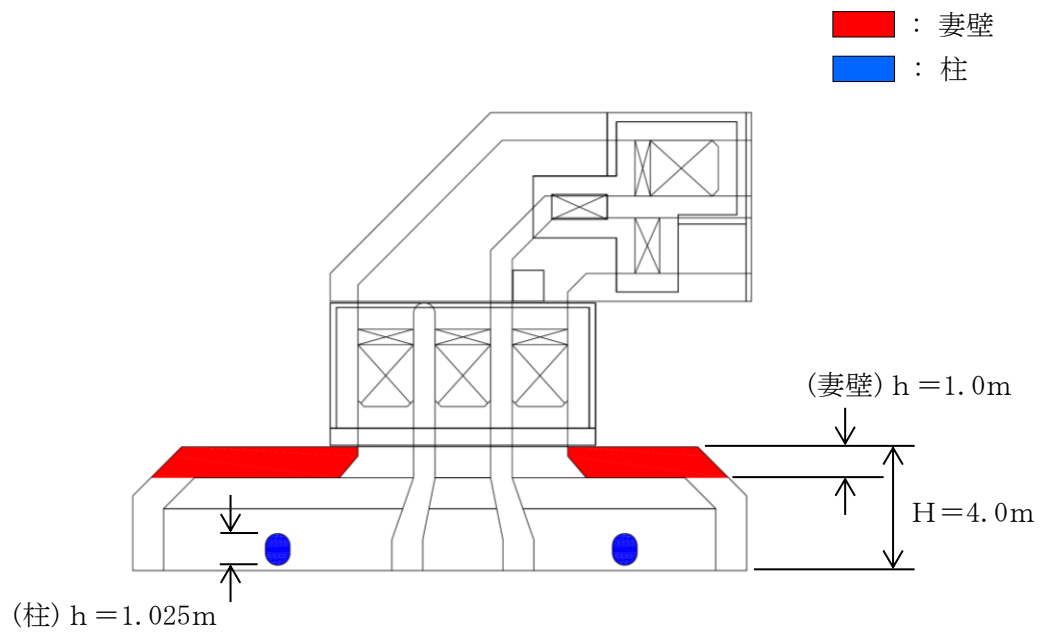


図 5-27 補機冷却用海水取水路（南側）の平面図

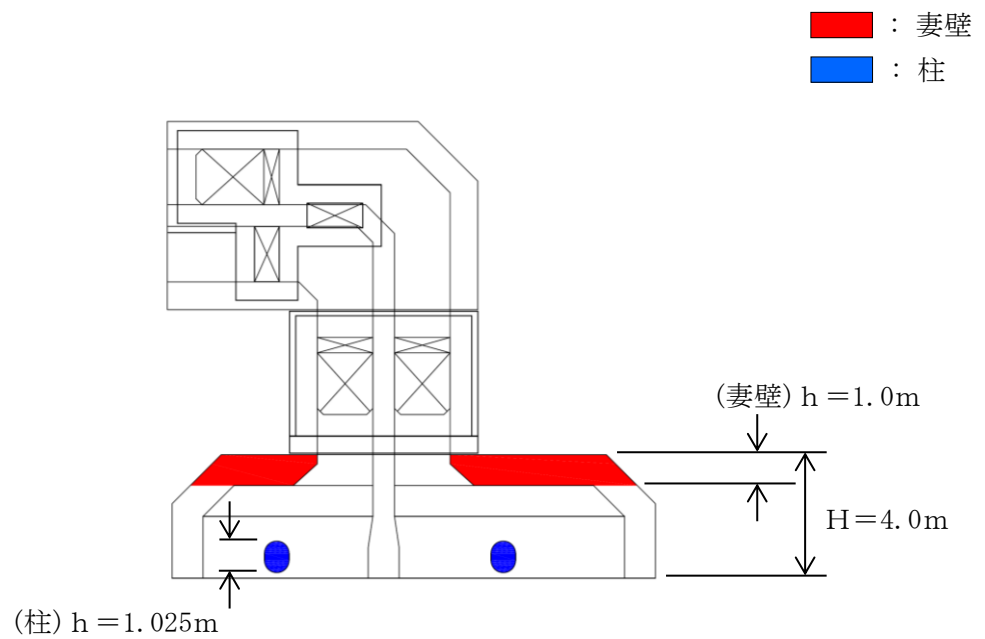
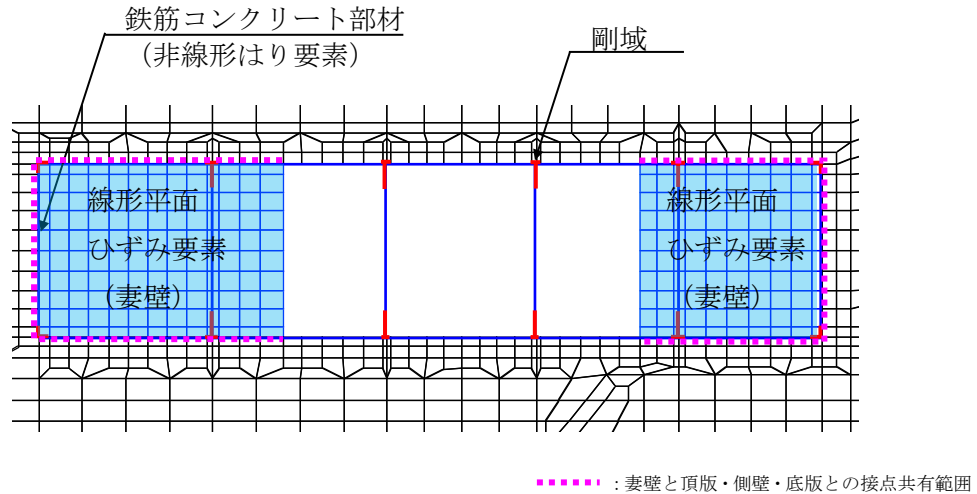


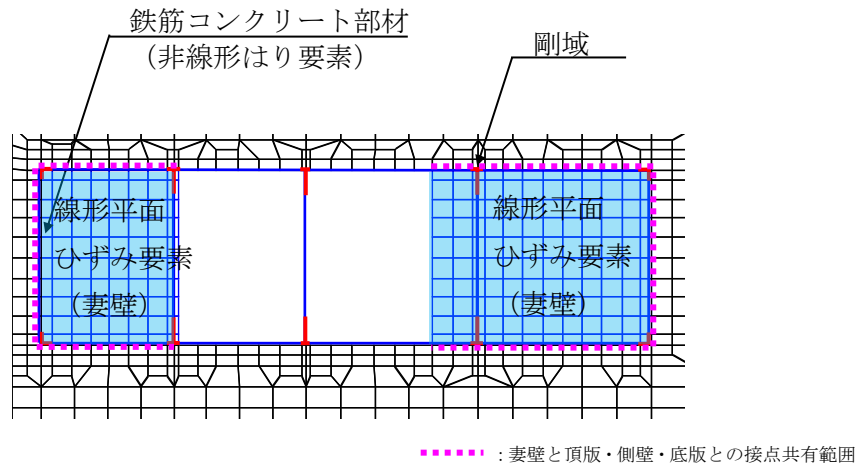
図 5-28 補機冷却用海水取水路（北側）の平面図



注1： 柱部は，頂版及び底版との交点のみ節点を共有する。

注2： 底版（非線形はり要素）は，勾配部の配筋・剛性・重量を考慮せず，部材厚 1.0m としてモデル化する。

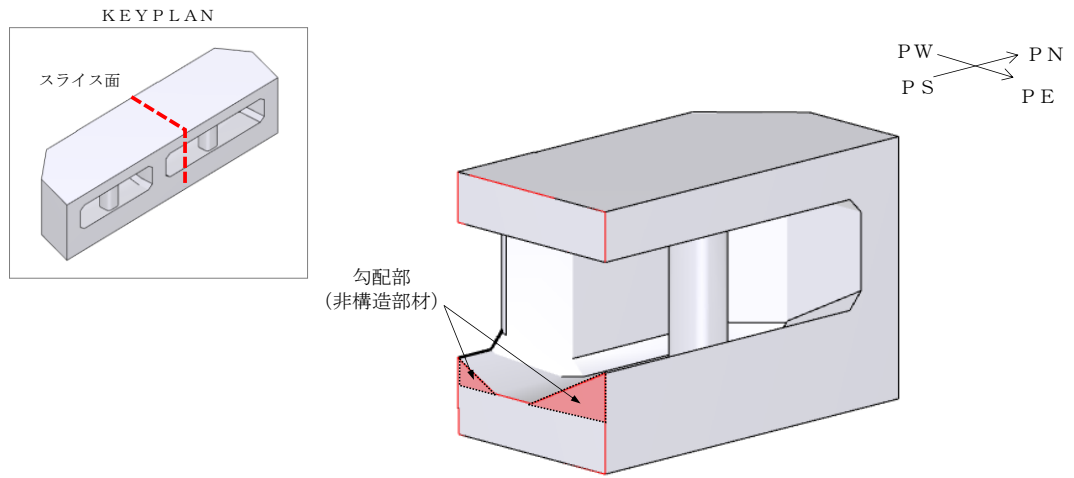
図 5-29 補機冷却用海水取水路（南側）の解析モデル（A-A断面，構造物拡大）



注1： 柱部は，頂版及び底版との交点のみ節点を共有する。

注2： 底版（非線形はり要素）は，勾配部の配筋・剛性・重量を考慮せず，部材厚 1.0m としてモデル化する。

図 5-30 補機冷却用海水取水路（北側）の解析モデル（A-A断面，構造物拡大）



注： 底版は、非構造部材である勾配部を除いた部材厚 1.0m としてモデル化する。

図 5-31 補機冷却海水取水路の勾配部

b. 縦断方向 (EW 断面)

補機冷却用海水取水路の縦断方向のB-B断面及びC-C断面では、補機冷却用海水取水路を線形平面ひずみ要素でモデル化する。側壁の剛性は、奥行方向の壁厚比に応じた等価剛性を設定する。等価剛性の算定の概念図を図5-32に、補機冷却用海水取水路の奥行幅を示した拡大図を、図5-33～図5-34に示す。

なお、構造部材を線形としてモデル化することは、地震時に躯体に作用する土圧を、非線形性を考慮した場合と比較して大きく評価することになるため、耐震評価の観点から保守的な設定となる。

補機冷却用海水取水路の解析モデルの詳細を、図5-35～図5-36に示す。

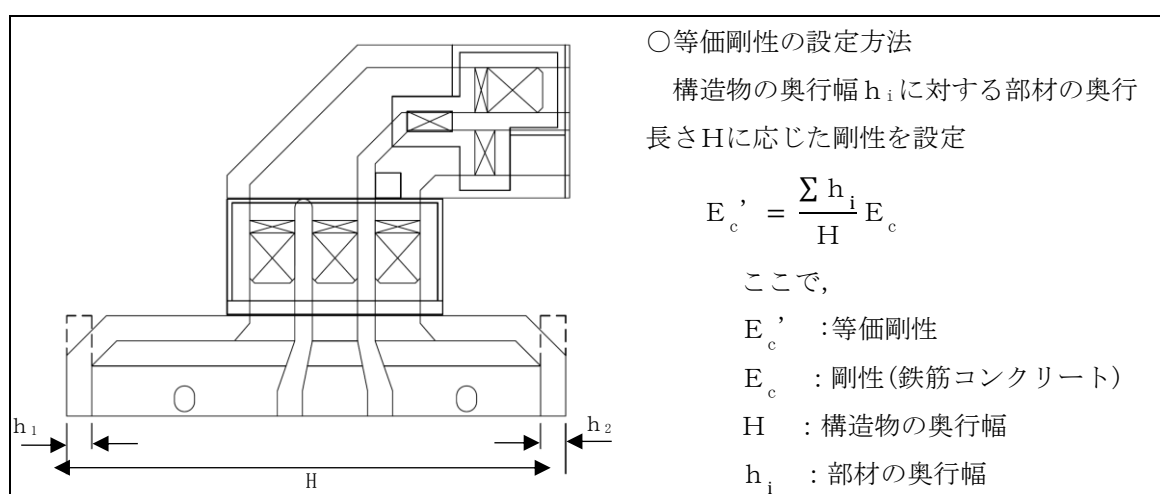


図5-32 等価剛性の算定の概念図 (補機冷却用海水取水路 (縦断方向))

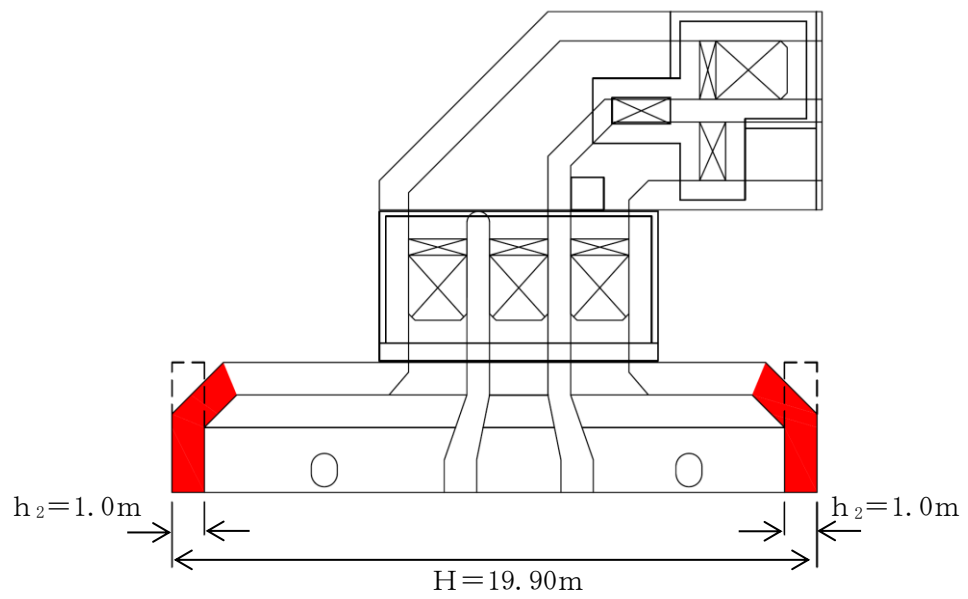


図 5-33 補機冷却用海水取水路（南側）の平面図

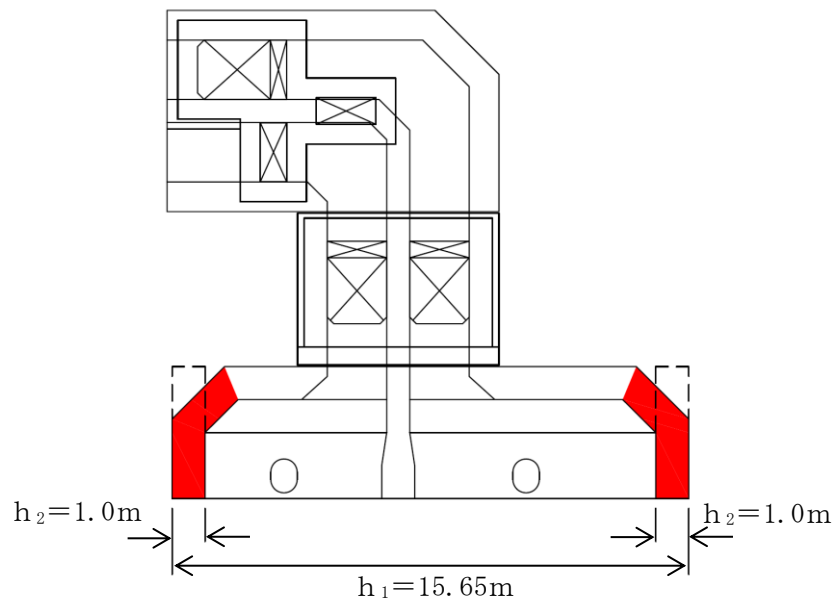


図 5-34 補機冷却用海水取水路（北側）の平面図

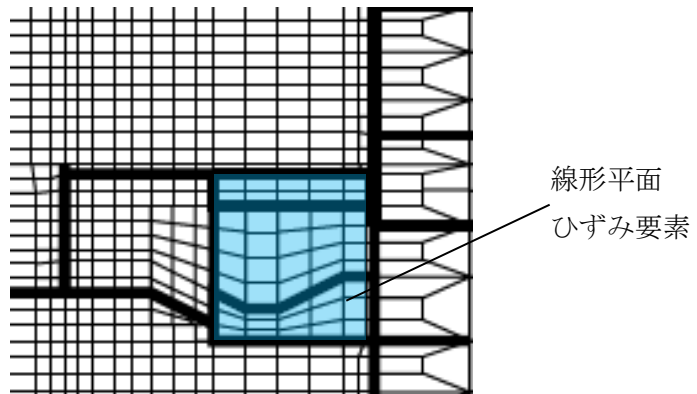
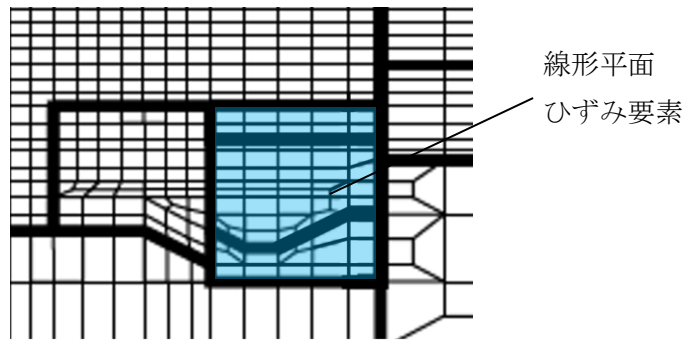


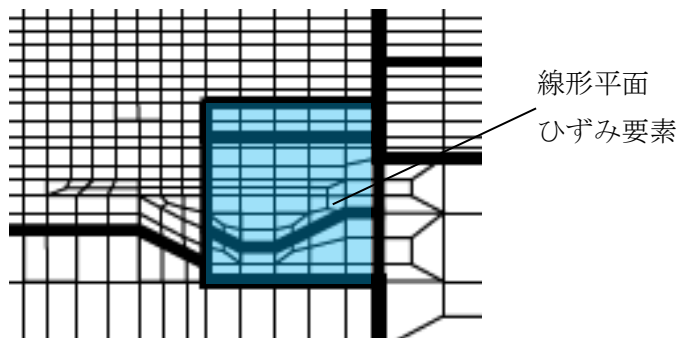
図 5-35 補機冷却用海水取水路（南側）の解析モデル（B-B断面，構造物拡大）



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については、南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため、それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(a) 南妻壁側

図 5-36 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面，構造物拡大）
(1/2)



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については、南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため、それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(b) 北妻壁側

図 5-36 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面，構造物拡大）
(2/2)

(4) 隣接構造物のモデル化

a. 取水路

補機冷却用海水取水路（横断方向）の隣接構造物である取水路は，構造部材として考慮する側壁，隔壁，底版，頂版を非線形はり要素でモデル化する。

それぞれの非線形はり要素の交点には，コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。隣接構造物の拡大図を，図 5-37 に示す。

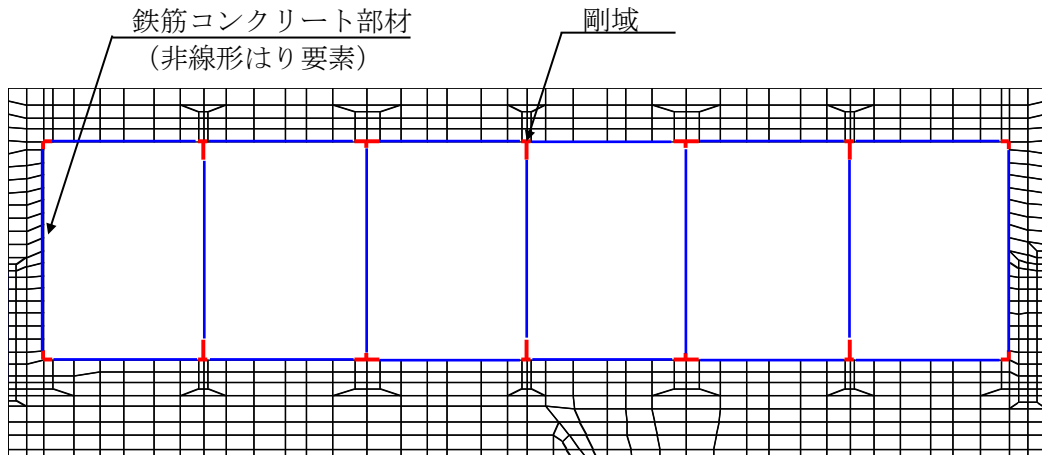


図 5-37 隣接構造物の解析モデル（A-A断面，取水路拡大）

b. タービン建屋

補機冷却用海水取水路の評価対象断面のうちB-B断面及びC-C断面には，隣接構造物である7号機タービン建屋をモデル化している。7号機タービン建屋のモデル化手法概念図を図 5-38 に示す。7号機タービン建屋は，設置変更許可申請書の基礎地盤安定性評価におけるモデル化と同様に，質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 K_H ，鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて，せん断剛性 G_i ，ポアソン比 ν_i 及びヤング係数 E_i を求め，等価な有限要素モデルを作成する。

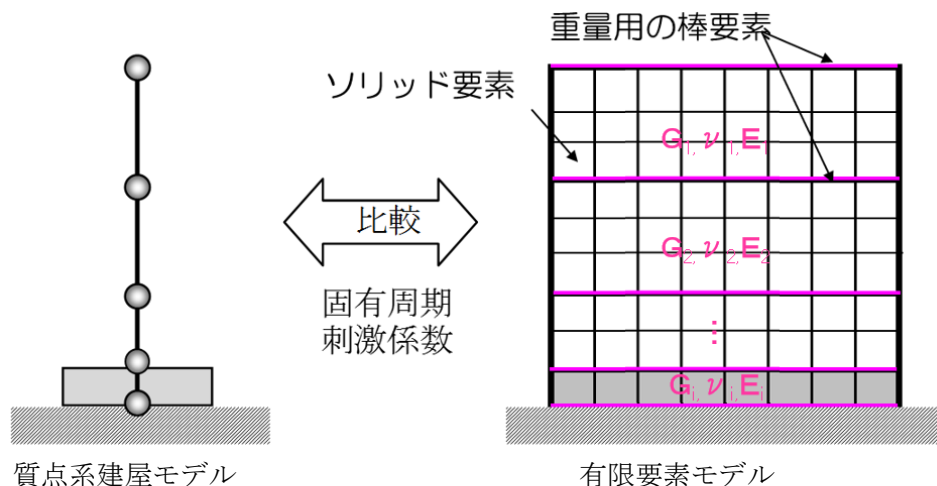


図 5-38 タービン建屋のモデル化手法概念図

(5) 地盤のモデル化

地盤はマルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(6) 地盤改良体のモデル化

地盤改良体は、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

「地盤と構造物」「地盤改良体と構造物」、「マンメイドロックと構造物」、「地盤と地盤改良体」及び「マンメイドロックと地盤改良体」との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の接合面における剥離及びすべりを考慮する。なお、「マンメイドロックと岩盤」との接合面については、マンメイドロックは、西山層と同等以上の力学特性を有する置き換え材料として設計されており、著しい剛性差がないことを踏まえ、ジョイント要素は配置しない。

ジョイント要素は、隣接する要素との接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時の圧縮荷重以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力を零とし、剥離を考慮する。せん断方向については、各要素間の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性を零とし、すべりを考慮する。

なお、せん断強度 τ_f は、次式により規定される。

$$\tau_f = c_B + \sigma' \tan \phi_B$$

ここで、

σ' : 要素間の直応力

c_B : 付着力

ϕ_B : 摩擦角

要素間の付着力 c_B 、摩擦角 ϕ_B は、表 5-11 に示す道路橋示方書の設定を参考に、表 5-12 のとおりに設定する。周辺地盤の粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ より、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、表 5-13 のとおりに設定する。

表 5-11 道路橋示方書における摩擦角 ϕ_B と付着力 c_B

| 条 件 | 摩擦角 ϕ_B (摩擦係数 $\tan \phi_B$) | 付着力 c_B |
|--------------------|--|-----------|
| 土とコンクリート | $\phi_B = \frac{2}{3} \phi$ | $c_B = 0$ |
| 土とコンクリートの間に栗石を敷く場合 | $\left. \begin{array}{l} \tan \phi_B = 0.6 \\ \phi_B = \phi \end{array} \right\} \text{の小さい方}$ | $c_B = 0$ |
| 岩とコンクリート | $\tan \phi_B = 0.6$ | $c_B = 0$ |
| 土と土又は岩と岩 | $\phi_B = \phi$ | $c_B = c$ |

ただし、 ϕ : 支持地盤のせん断抵抗角 ($^\circ$) c : 支持地盤の粘着力 (kN/m^2)

(道路橋示方書より引用)

表 5-12 要素間の付着力 c_B と摩擦角 ϕ_B

| 条 件 | 付着力 c_B (kN/m ²) | 摩擦角 ϕ_B (°) |
|-----------------|--------------------------------|------------------|
| 地盤と構造物 | 0 | $2/3 \phi$ |
| 地盤改良体と構造物 | 0 | 31 |
| マンメイドロック*と構造物 | 0 | 31 |
| 地盤と地盤改良体 | c | ϕ |
| マンメイドロック*と地盤改良体 | 0 | 31 |

注記* : マンメイドロックは, その性状から道路橋示方書における岩とみなす。

表 5-13 周辺地盤の粘着力 c と内部摩擦角 ϕ

| 地質区分 | 粘着力 c (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|------|------------------------------|------------------|
| 埋戻土 | 0.0 (9.6) * | 35.9 (34.8) * |

注記* : 括弧内の数字は, 地下水位以浅の数値を表す。

また, ジョイント要素のばね定数は, 数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として, 港湾構造物設計事例集(上巻)(沿岸技術研究センター, 平成19年3月)に従い, 表 5-14 の通り設定する。ジョイント要素の力学特性を図 5-39 に, ジョイント要素の配置を図 5-40 に示す。

表 5-14 ジョイント要素のばね定数

| 対象 | せん断剛性 k_s (kN/m ³) | 圧縮剛性 k_n (kN/m ³) |
|--------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 側方及び底面 | 1.0×10^6 | 1.0×10^6 |

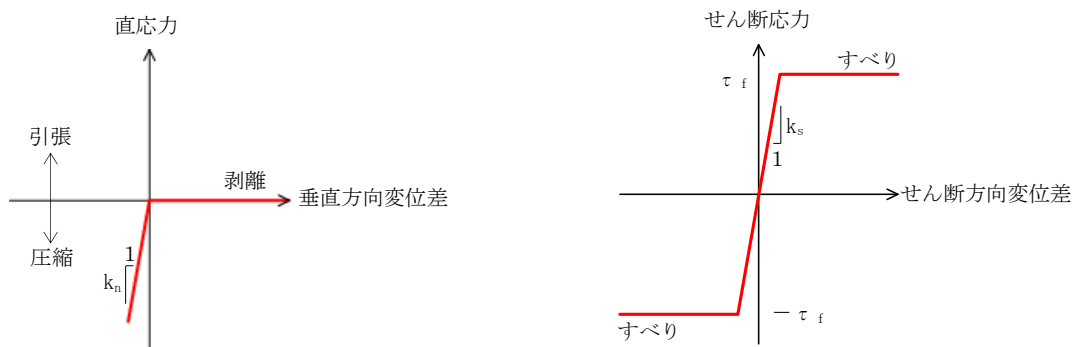
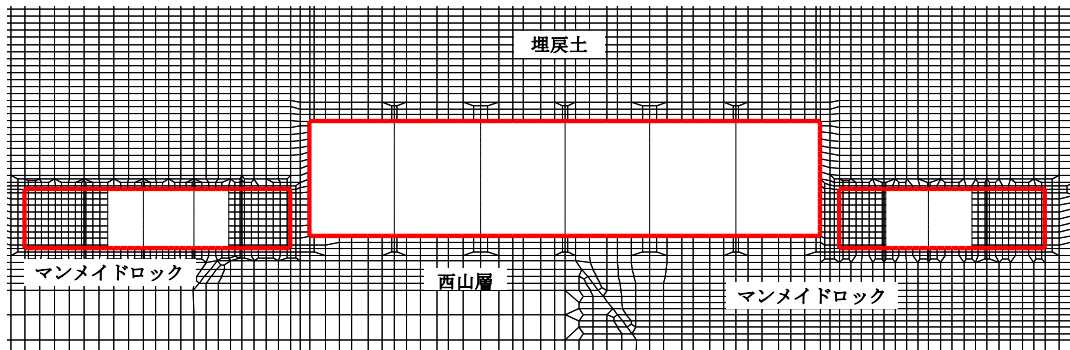
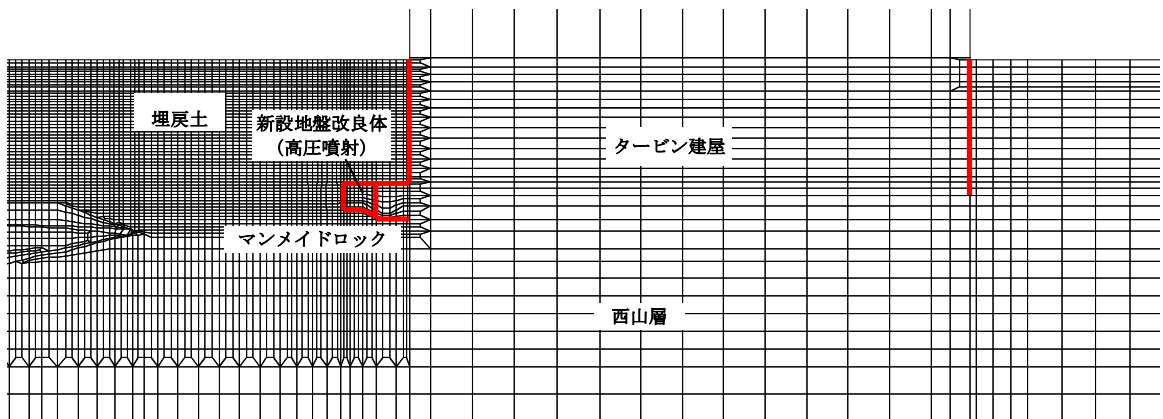


図 5-39 ジョイント要素の力学特性

— : ジョイント要素



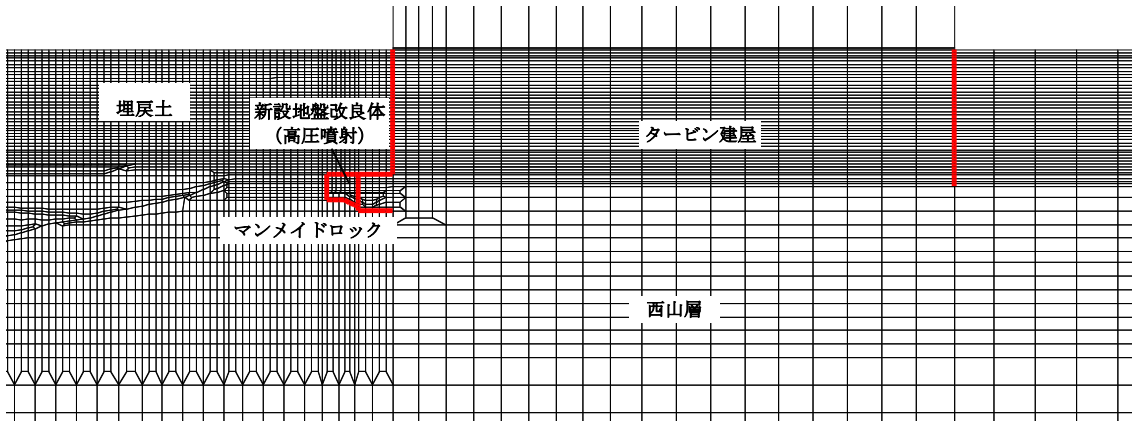
(a) 補機冷却用海水取水路 横断方向 (A-A断面)



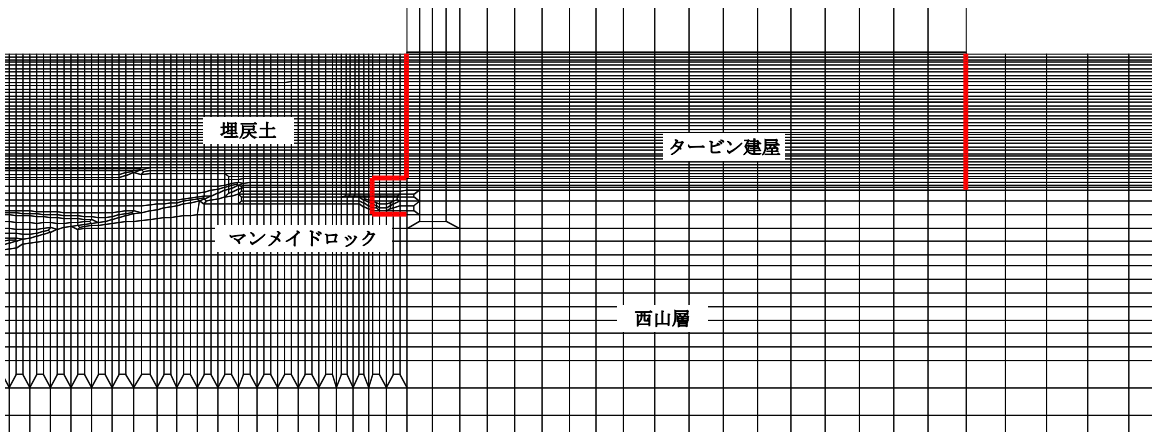
(北妻壁側, 南妻壁側)

(b) 補機冷却用海水取水路 (南側) 縦断方向 (B-B断面)

図 5-40 ジョイント要素の配置(1/2)



(南妻壁側)



(北妻壁側)

(b) 補機冷却用海水取水路 (北側) 縦断方向 (C-C断面)

図 5-40 ジョイント要素の配置 (2/2)

(8) 材料特性の設定

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素を用いてモデル化する。非線形特性の設定においては、コンクリート及び鉄筋について、それぞれの非線形性を考慮する。材料の非線形特性はコンクリート標準示方書に準拠し設定する。

部材の非線形特性は以下のとおりである。

図 5-41 に、鉄筋コンクリート部材における、 $M-\phi$ 関係のトリリニアモデルによる骨格曲線を示す。また、コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ曲線を図 5-42 及び図 5-43 に示す。トリリニアモデルによる骨格曲線と履歴特性の関係を図 5-44 に示す。履歴特性には、修正武田モデルを適用する。

有効応力解析コード「FLIP Ver. 7.4.1」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされることから、常時応力解析により各部材に発生する軸力にて当該非線形特性を設定する。軸力変動が部材の非線形特性に及ぼす影響については、(参考資料 3) に示す。

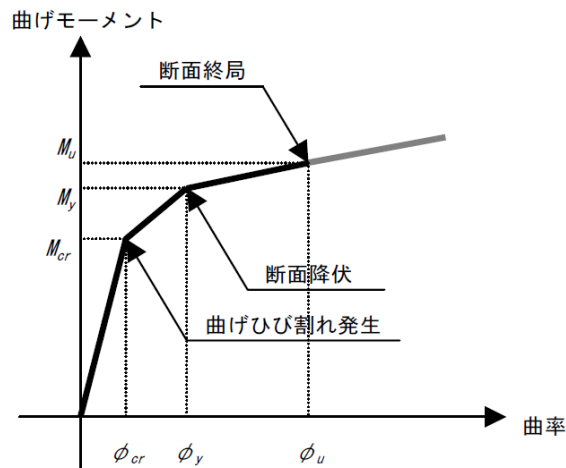


図 5-41 $M-\phi$ 関係のトリリニアモデルによる骨格曲線 (鉄筋コンクリート部材)

(土木学会マニュアルより引用)

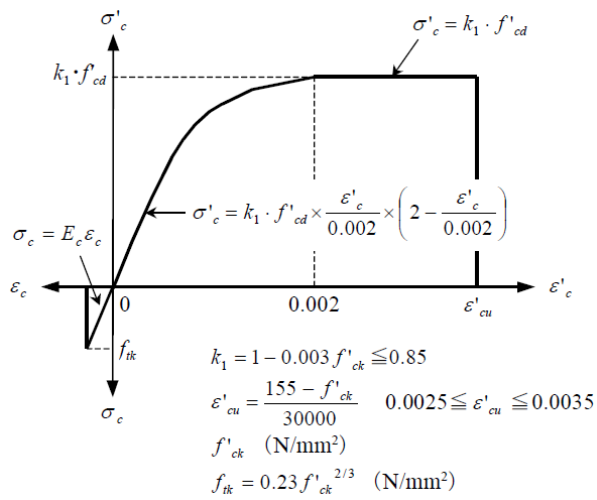


図 5-42 コンクリートの応力-ひずみ曲線
(土木学会マニュアルより引用)

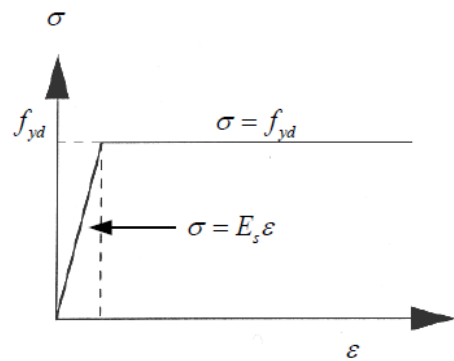


図 5-43 鉄筋の応力-ひずみ曲線
(土木学会マニュアルより引用)

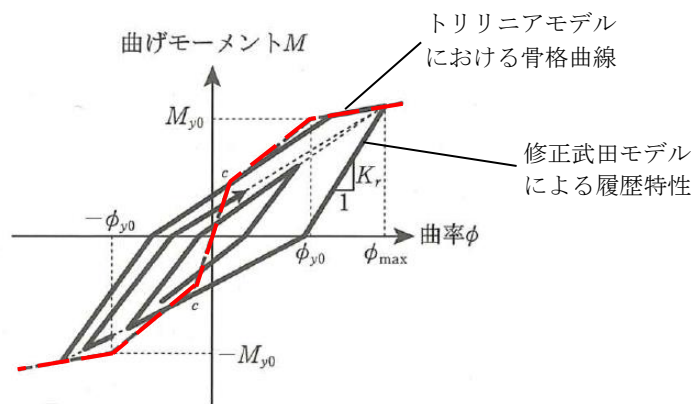


図 5-44 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)
(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (平成 14 年 3 月) に一部加筆)

5.3.3 減衰定数

減衰定数は、KK7 補足-027-1「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に基づき設定する。

5.3.4 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧及び動水圧の反力による荷重が含まれるものとする。なお、補機冷却用海水取水路には荷重として考慮すべき機器・配管は存在しない。

積雪荷重については、補機冷却用海水取水路が地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力を組合せる荷重としては除外した。

なお、補機冷却用海水取水路は地中に埋設された構造物であることから、運転時の異常な過度変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地中で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 5-15 に示す。

表 5-15 荷重の組合せ

| 種別 | | 荷重 | 算定方法の概要 |
|----------------|-------|---------|---|
| 永久荷重 | 固定荷重 | 躯体自重 | ○ ・設計図書に基づき、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する |
| | | 機器・配管自重 | — ・機器・配管はないことから、考慮しない |
| | | 土被り荷重 | ○ ・常時応力解析により設定する |
| | | 永久上載荷重 | — ・地盤表面に恒常的に置かれる設備等はないことから、考慮しない |
| | 静止土圧 | | ○ ・常時応力解析により算定する |
| | 外水圧 | | ○ ・地下水位（T.M.S.L. 5.0m）に応じた静水圧を設定する ・地下水の密度を考慮する |
| | 内水圧 | | ○ ・T.M.S.L. 1.0m*に応じた静水圧を設定する ・海水の密度を考慮する |
| | 雪荷重 | | — ・埋設構造物であるため、積雪を考慮しない |
| 偶発荷重 (地震荷重) | 水平地震動 | ○ | ・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮する ・躯体、動土圧を考慮する |
| | 鉛直地震動 | ○ | |
| | 動水圧 | ○ | ・水位条件及び密度は、永久荷重のうち内水圧と同様とする ・地震時動水圧を付加質量により考慮する |

注記*：内水圧の水位は、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対し、保守性を考慮し T.M.S.L. 1.0m とする。（共通：スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路）

(1) 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、T.M.S.L. 8.0m に設定する。設定の際は、地下水の密度として、 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

(2) 内水圧

補機冷却用海水取水路の内部には、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対して保守的に設定した T.M.S.L. 1.0m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

A-A断面（南側）における内水圧図を図 5-45 に、A-A断面（北側）における内水圧図を図 5-46 に示す。

(内水位) : ∇ T.M.S.L. 1.0m

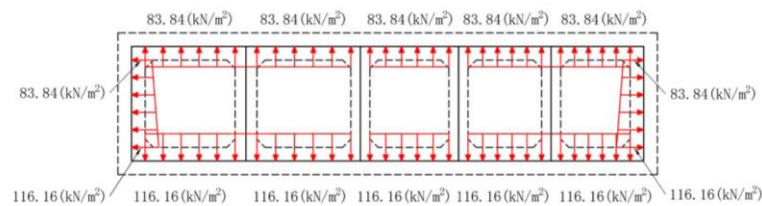


図 5-45 内水圧図 A-A断面（南側）

(内水位) : ∇ T.M.S.L. 1.0m

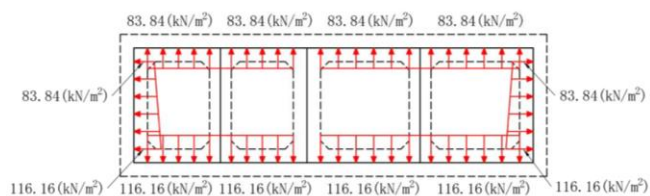


図 5-46 内水圧図 A-A断面（北側）

(3) 動水圧

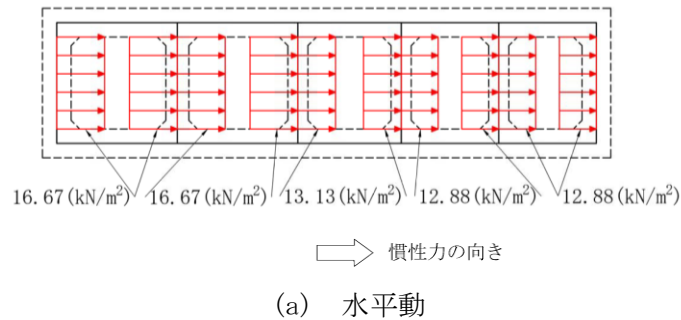
補機冷却海水取水路の内部には、朔望平均満潮位 T. M. S. L. 0.49m に対して保守的に設定した T. M. S. L. 1.0m を水面とした動水圧を付加質量として設定し、地震時の影響を考慮する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

a. A-A断面（南側）

A-A断面（南側）における動水圧図を図 5-47 に示す。

A-A断面（南側）は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1.0m



(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1.0m

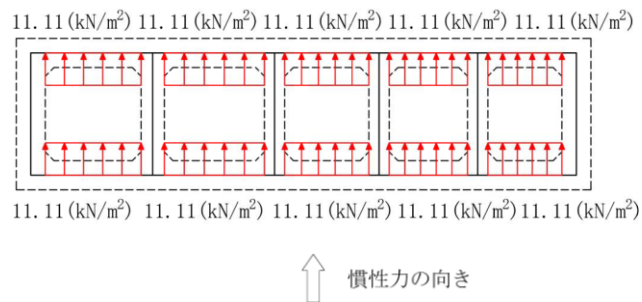


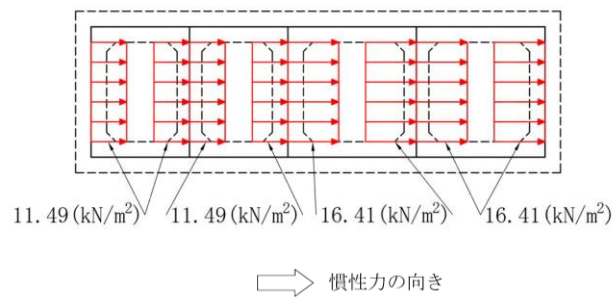
図 5-47 動水圧図 A-A断面（南側）

b. A-A断面（北側）

A-A断面（北側）における動水圧図を図 5-48 に示す。

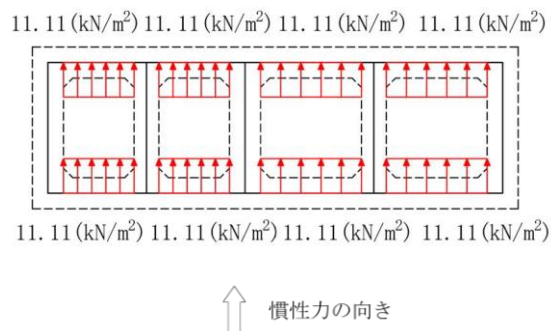
A-A断面（北側）は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1. 0m



(a) 水平動

(内水位) : ∇ T. M. S. L. 1. 0m



(b) 鉛直動

図 5-48 動水圧図 A-A断面（北側）

5.3.5 耐震評価における解析ケース

補機冷却用海水取水路は地中埋設構造物であるため、地震時の応答は地盤の応答に大きく影響される。また、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から地盤構造物間の摩擦を介して作用する頂版せん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、補機冷却用海水取水路の耐震評価においてばらつきを考慮する物性値は、地盤の初期せん断弾性係数 G_0 とする。

耐震評価における解析ケースを表 5-16 に示す。

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層（埋戻土及び新期砂層）のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層（沖積層及び古安田層）のばらつきは、各地層のPS 検層の結果からせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する（解析ケース②，③，⑤）。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1σ) にて設定する（解析ケース①，②，③）。

また、構造物への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する（解析ケース④，⑤）。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース（①～⑤）を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対して解析ケース①（基本ケース）で地震応答解析を実施し、基礎地盤の支持性能については得られた応答値から、曲げ軸力照査及びせん断力照査については3次元構造解析から照査値を算定する。また、解析ケース①において、曲げ軸力照査及びせん断力照査をはじめとした全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加解析ケースとして解析ケース②～⑤で地震応答解析を実施し、解析ケース①（基本ケース）と同様に照査値を算定する。最も厳しい地震動の選定は、照査値1.0に対して2倍の余裕となる照査値0.5以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図 5-49 に示す。

表 5-16 耐震評価における解析ケース

| 解析ケース | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | |
|------------|------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|--|--|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース | |
| 地盤剛性の設定 | | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1σ) | 地盤剛性 (-1σ) | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1σ) | |
| 液状化強度特性の設定 | | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化強度特性 (-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 | |
| 地震動 (位相) | Ss-1 | ++* | 実施 | | | | |
| | | + - * | 実施 | | | | |
| | | - + * | 実施 | | | | |
| | | --* | 実施 | | | | |
| | Ss-2 | | 実施 | | | | |
| | Ss-3 | ++* | 実施 | | | | |
| | | + - * | 実施 | | | | |
| | | - + * | 実施 | | | | |
| | | --* | 実施 | | | | |
| | Ss-4 | | 実施 | | | | |
| | Ss-5 | | 実施 | | | | |
| | Ss-6 | | 実施 | | | | |
| | Ss-7 | | 実施 | | | | |
| | Ss-8 | ++* | 実施 | | | | |
| + - * | | 実施 | | | | | |

全ての基準地震動 S_s に対して実施する①の解析ケース (基本ケース) において、せん断力照査及び曲げ軸力照査をはじめとした全ての照査項目について、各照査値が最も厳しい (許容限界に対する余裕が最も小さい) 地震動を用い、②～⑤より追加解析ケースを実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

注記* : 表中の符号+, -は地震動の位相 (水平, 鉛直) を示す。

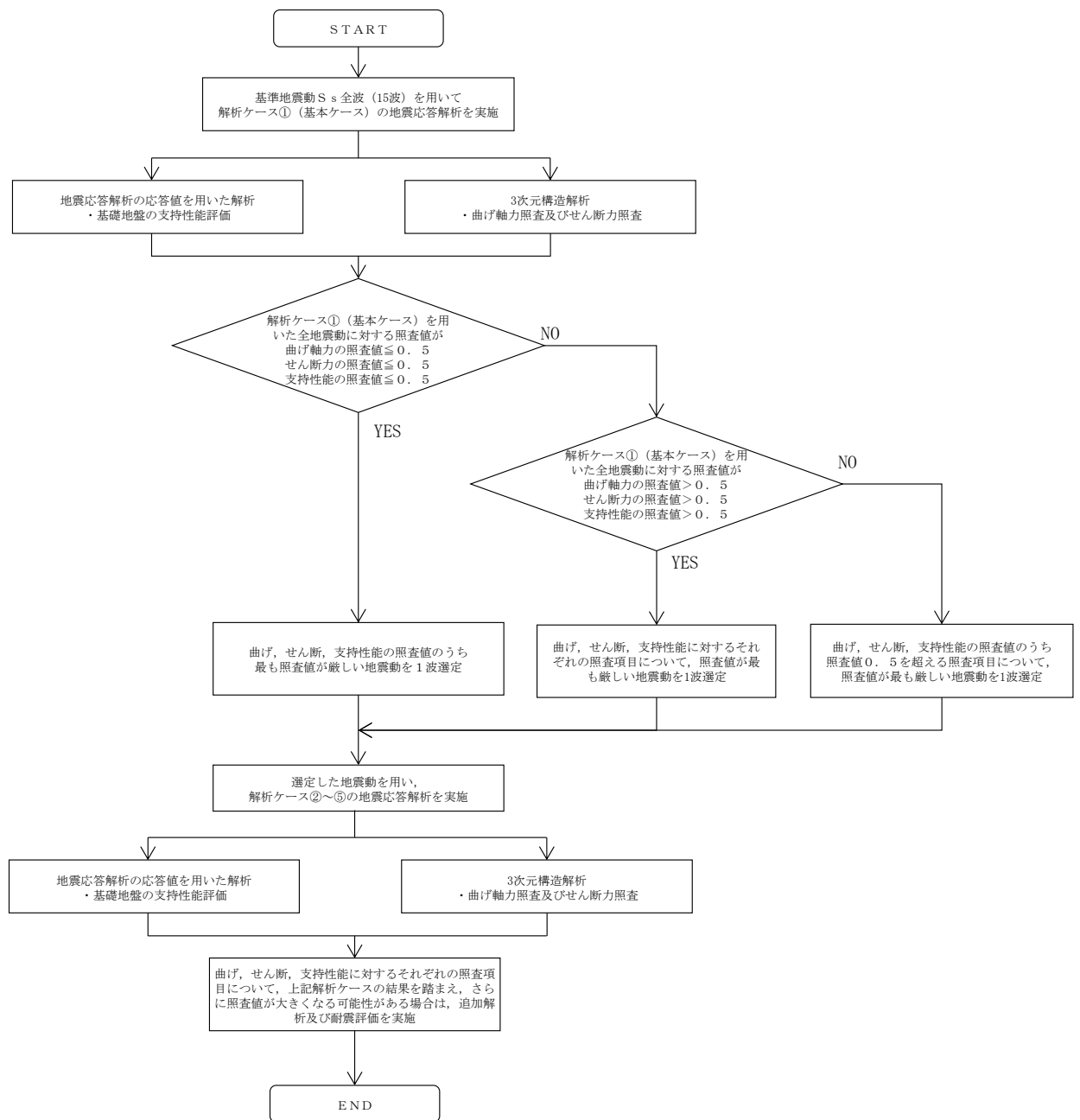


図 5-49 解析ケース②～⑤より追加解析ケースを実施する地震動の選定フロー

5.4 3次元構造解析

5.4.1 解析手法

補機冷却用海水取水路の評価は、構造物の三次元的な形状の影響を考慮するため、非線形積層シェル要素及び非線形はり要素でモデル化し、水平二方向及び鉛直方向の荷重に対する評価を、3次元構造解析を用いて行う。

補機冷却用海水取水路に作用する荷重は、地震応答解析（2次元動的有限要素法解析）において構造物の評価に支配的な荷重が作用する時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から設定する。3次元構造解析には、解析コード「Engineer's Studio Ver.8.0.1」を用いる。

本検討で扱う非線形積層シェル要素は、断面高さ方向に分割された鉄筋コンクリート部材の各層に対し、前川モデルに基づく非線形性を考慮しており、これを断面高さ方向に積分することで、面内変形だけではなく面外変形の非線形挙動も考慮する。

なお、前川モデルは新規制基準適合性審査において使用実績のある解析コード「WCOMD」に適用されている構成則であり、「コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2012年）」にも規定されている。

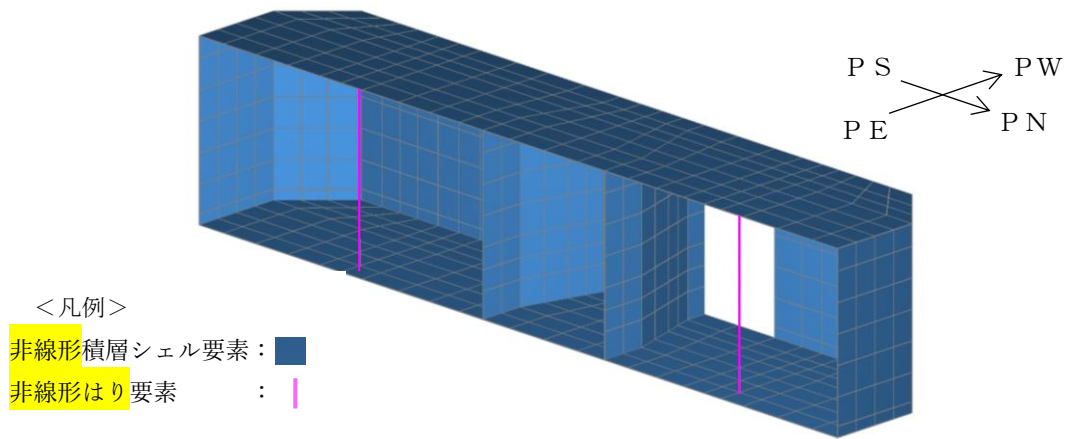
解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、V-2別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

5.4.2 解析モデルの設定

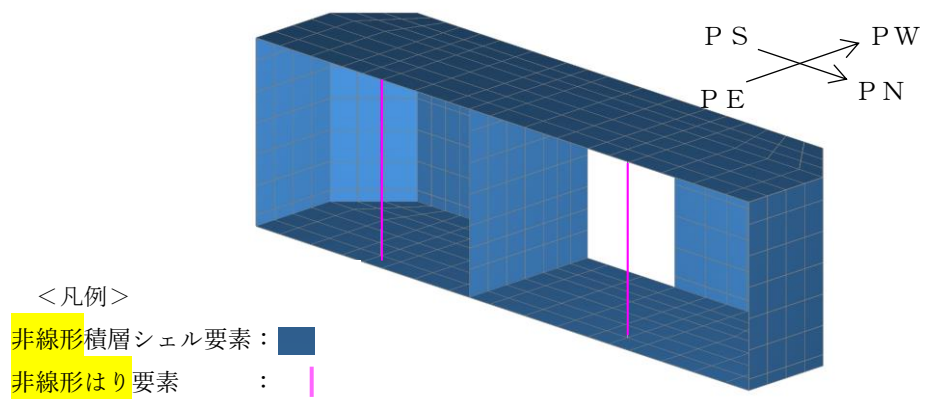
(1) 構造物のモデル化

補機冷却用海水取水路のうち、柱部材以外については材料の非線形特性を考慮した非線形積層シェル要素でモデル化する。非線形積層シェル要素は隔壁（部材厚 0.7m）は 6 層、隔壁以外（部材厚 1.0m）は 8 層とし、主鉄筋の位置が層の中心となるよう、主鉄筋位置に鉄筋コンクリート要素を設定する。鉄筋コンクリート要素を除く範囲は、無筋コンクリート要素としてモデル化する。非線形はり要素としてモデル化する柱部材については、断面を小領域に分割し、分割された小領域には積層シェル要素と同じ構成則を適用する。

モデル概念図を図 5-50 に、要素分割図を図 5-51～図 5-52 に示す。

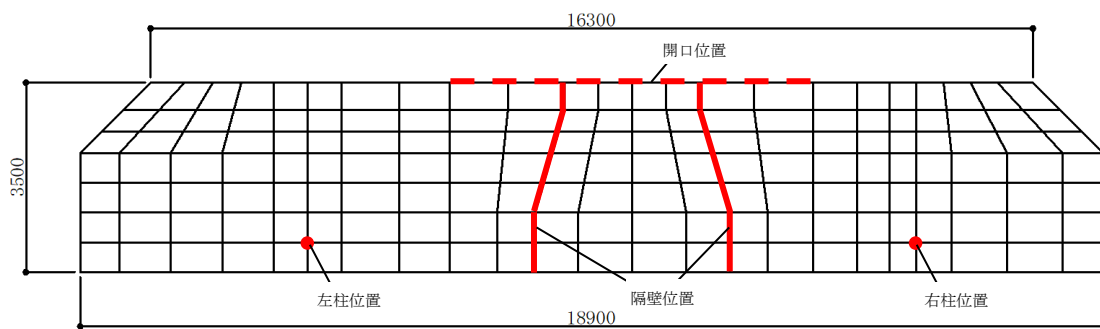
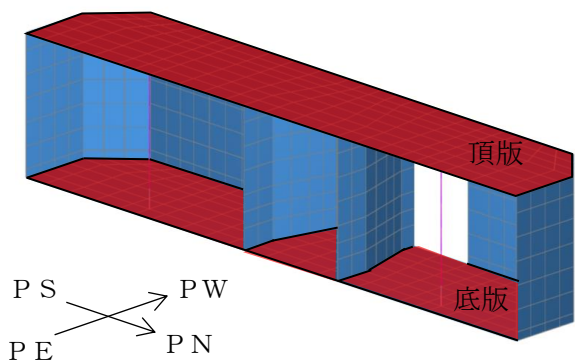


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

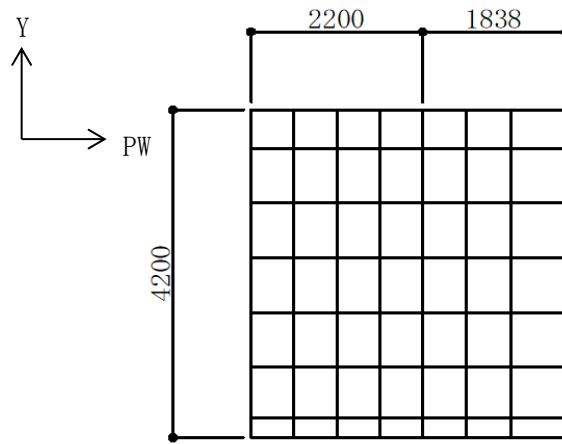
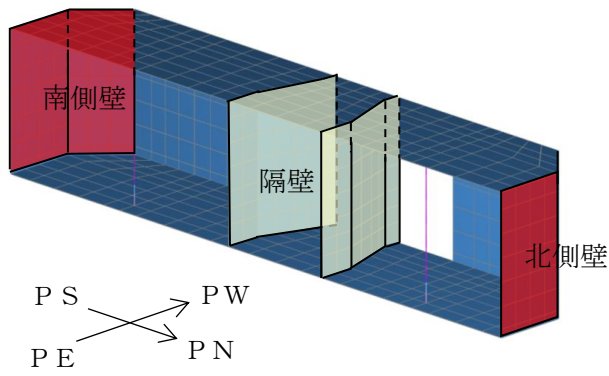
図 5-50 3次元構造解析モデルの概念図



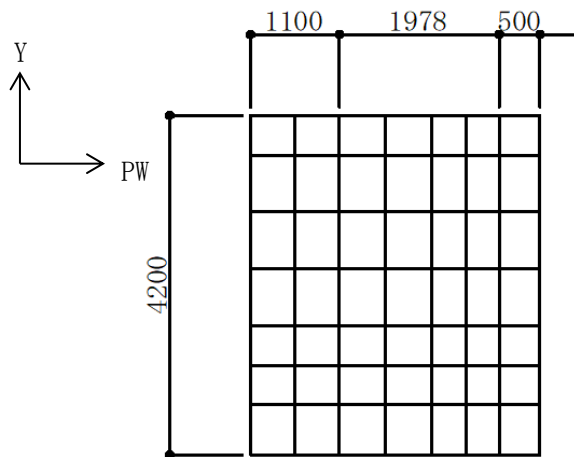
(a) 頂版及び底版

(単位 : mm)

図 5-51 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (南側)) (1/3)



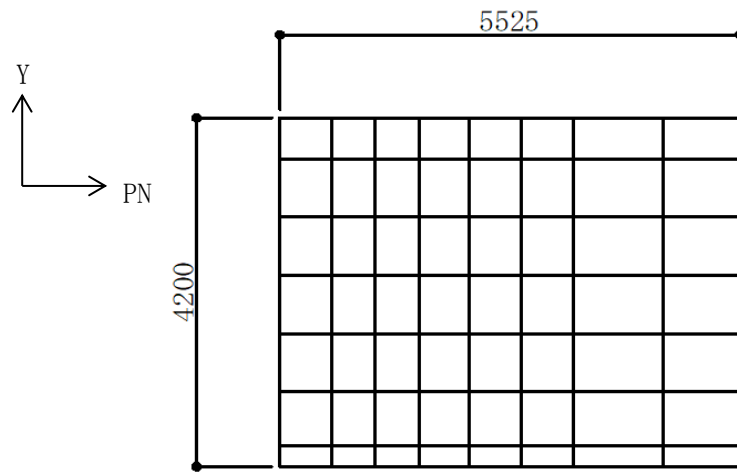
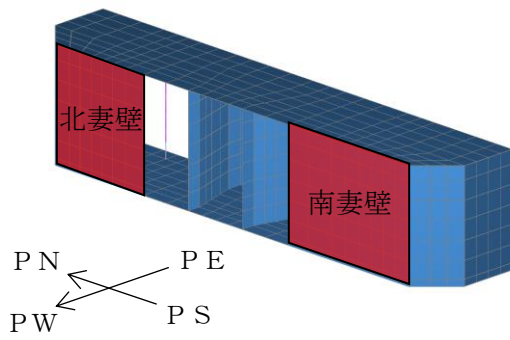
(b) 南及び北側壁



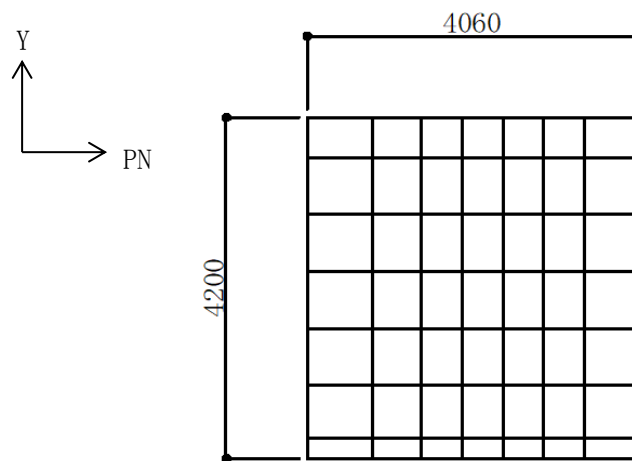
(c) 隔壁

(単位 : mm)

図 5-51 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (南側)) (2/3)



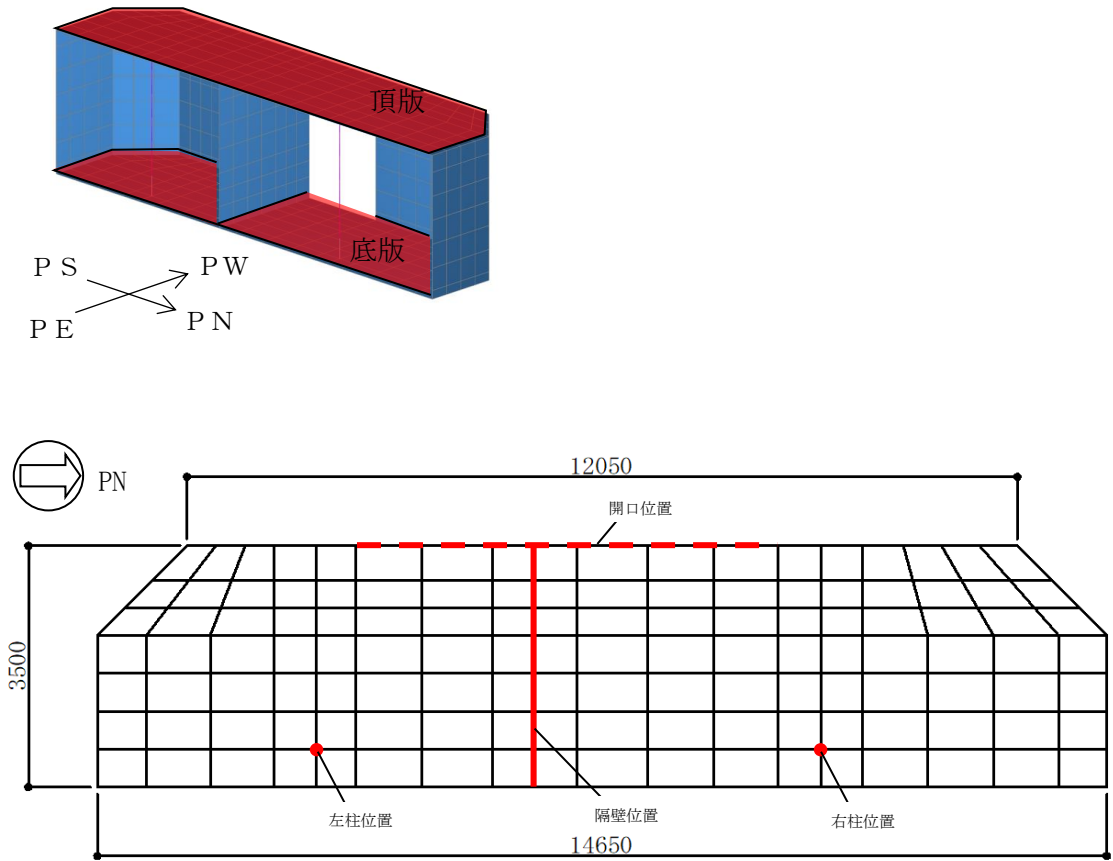
(d) 南妻壁



(e) 北妻壁

(单位: mm)

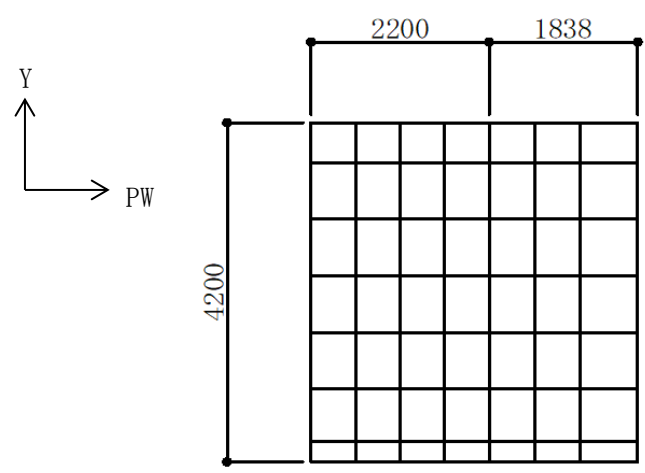
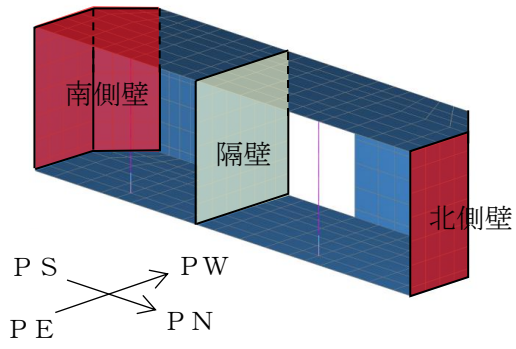
图 5-51 要素分割图 (補機冷却用海水取水路 (南侧)) (3/3)



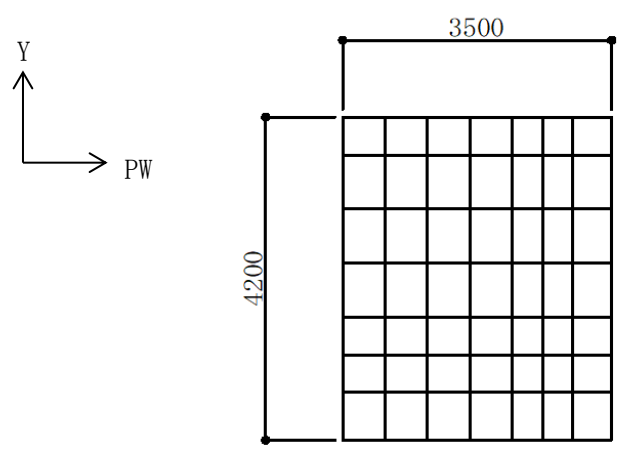
(a) 頂版及び底版

(単位：mm)

図 5-52 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (北側)) (1/3)



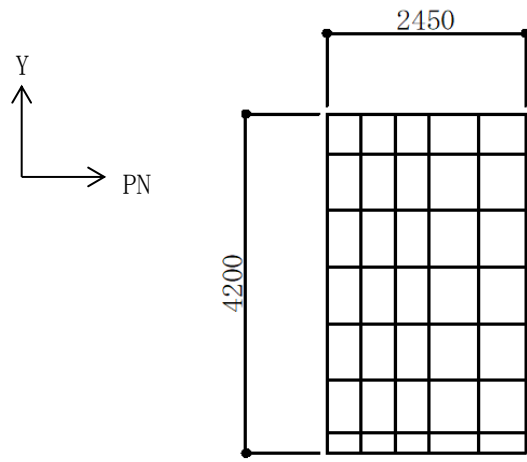
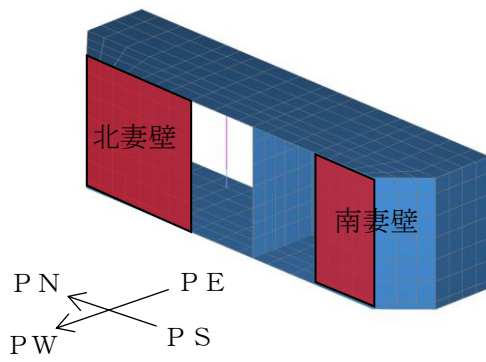
(b) 南及び北側壁



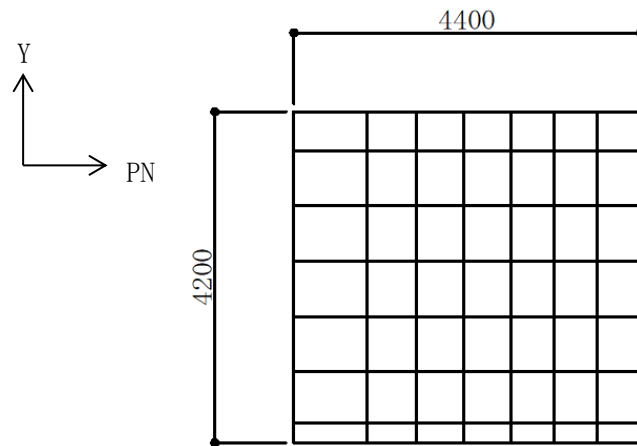
(c) 隔壁

(単位：mm)

図 5-52 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (北側)) (2/3)



(d) 南妻壁



(e) 北妻壁

(单位: mm)

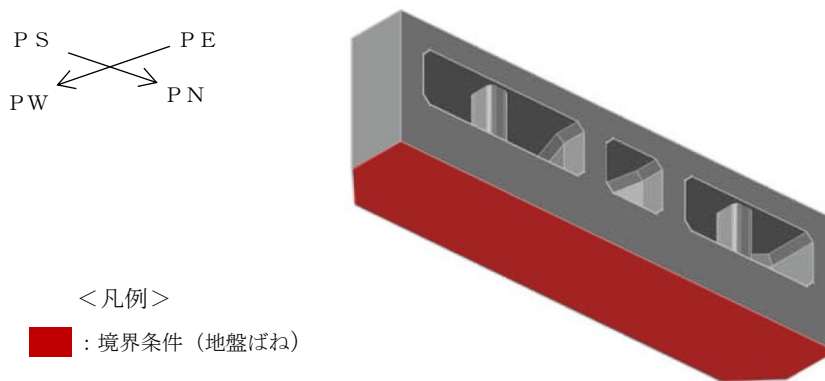
图 5-52 要素分割图 (補機冷却用海水取水路 (北側)) (2/3)

(2) 境界条件

3次元構造解析における境界条件として、底面には地盤ばね要素を配置する。

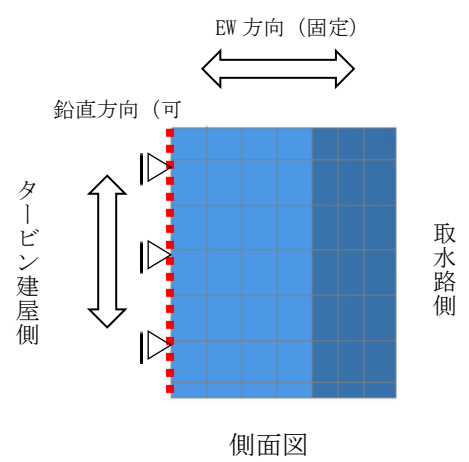
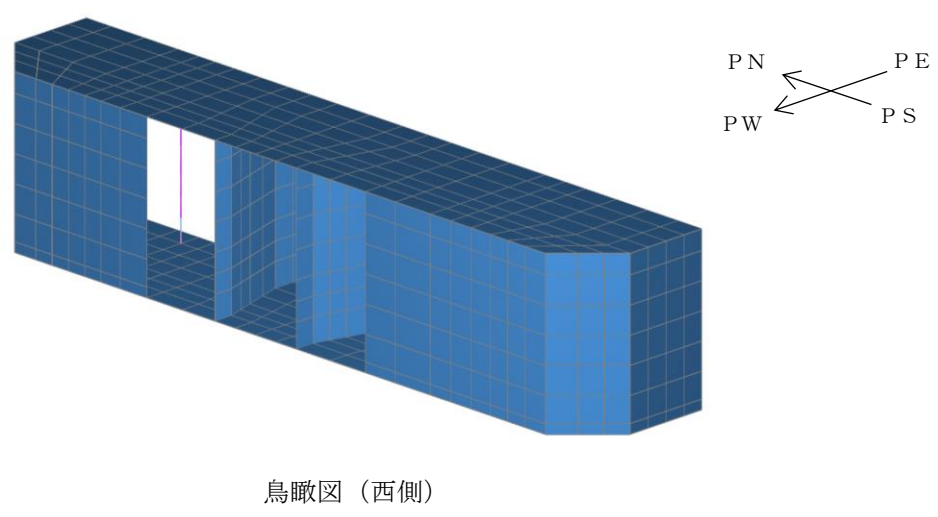
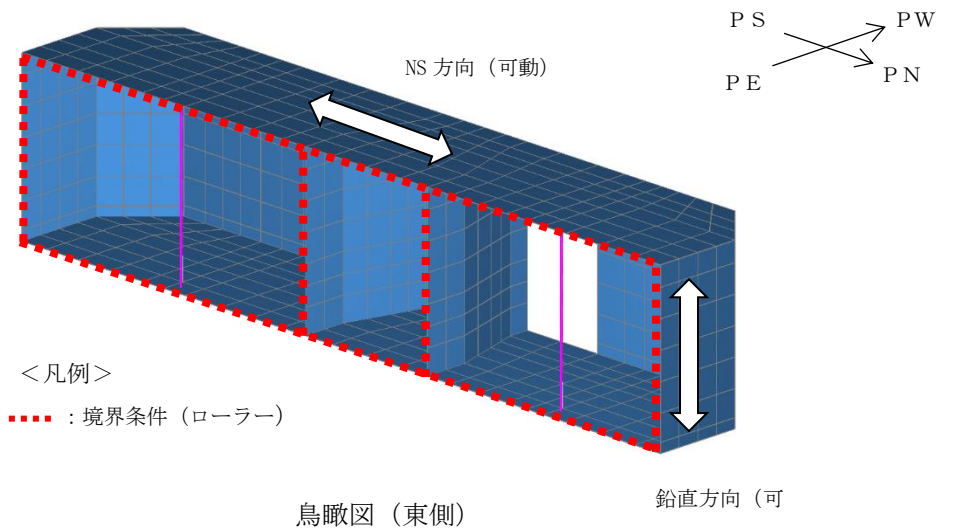
また、東側のタービン建屋との接続面については、耐震ジョイントが設置されていることから、NS方向および鉛直方向にはローラーを配置する。EW方向については、隣接するタービン建屋によって、構造物の変形が拘束されることから、固定とする。西側の水路部との接続面については、耐震ジョイントが設置されており、補機冷却用海水取水路に作用する土圧を踏まえると、タービン建屋側に変位することから、境界条件はフリーとする。

境界条件の概念図を図 5-45 に示す。



(a) 底面境界 (地盤ばね)

図 5-53 3次元構造解析モデルの境界条件の概念図 (1/2)



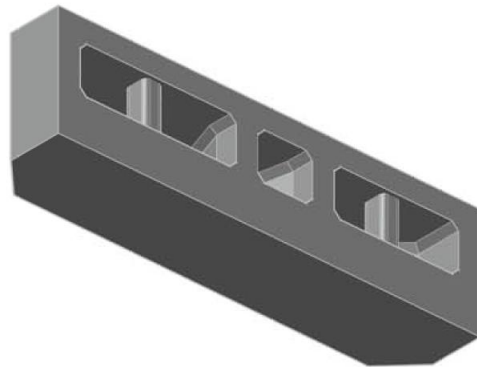
(b) タービン建屋境界 (ローラー)

図 5-53 3次元構造解析モデルの境界条件の概念図 (2/2)

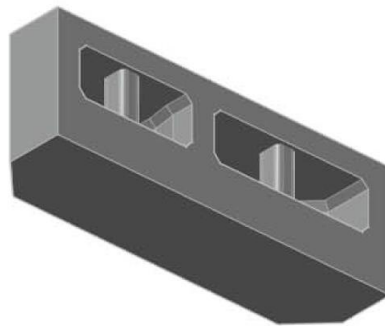
(3) 剛域の設定

補機冷却用海水取水路の3次元構造解析モデルでは、柱は非線形はり要素、側壁及び隔壁は非線形積層シェル要素でモデル化する。

一般に、3次元の解析モデルでは、2次元の地震応答解析モデルと同様の方法で剛域に大きな剛性を付与すると、フレームのような構造体だけで多くの荷重成分を受け持ち本来の構造躯体の特性を表現できない場合がある。これを避けるため、3次元構造解析モデルには剛域を設定しないことを基本とする。ただし、補機冷却用海水取水路については、図5-54に示すように、底版の部材厚（実形状）が他の部材と比較して相対的に厚いことを踏まえ、2次元の地震応答解析と同様に土木学会マニュアルに基づく剛域を設定する（図5-55参照）。

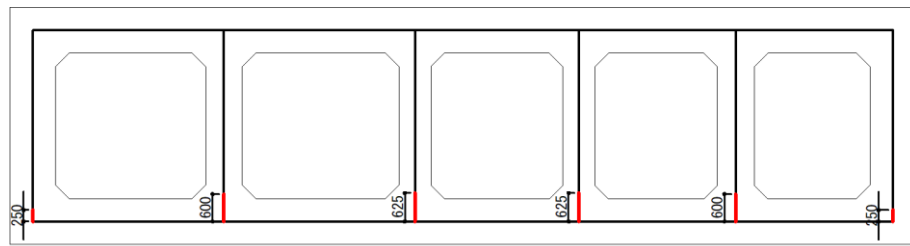
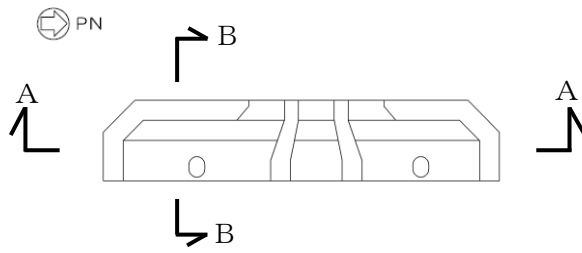


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



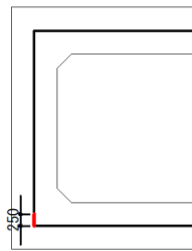
(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 5-54 補機冷却用海水取水路の実形状



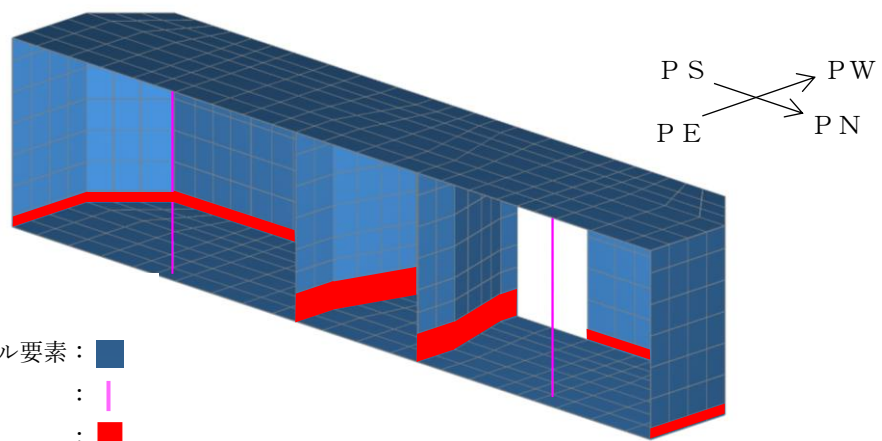
A-A断面

(単位：mm)



— : 剛域

B-B断面（妻壁を通る断面の構造形状）



<凡例>

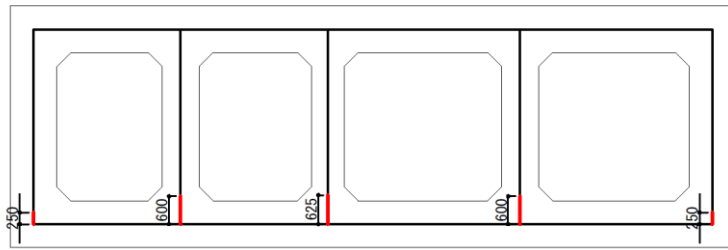
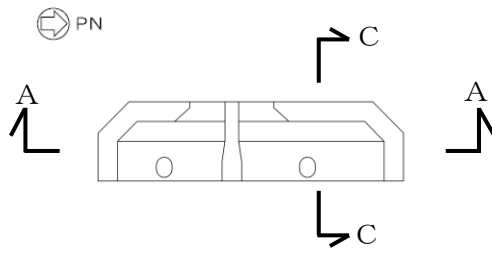
非線形積層シェル要素 : ■

非線形はり要素 : ■

剛域 : ■

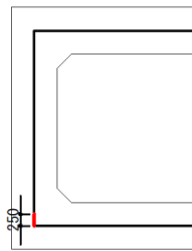
(a) 補機冷却用海水取水路（南側）

図 5-55 補機冷却用海水取水路 剛域設定範囲(1/2)



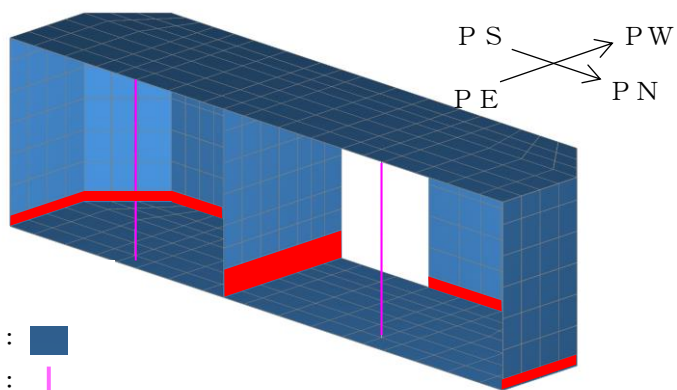
A-A断面

(単位：mm)



— : 剛域

C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)



- <凡例>
- 非線形積層シェル要素 :
 - 非線形はり要素 :
 - 剛域 :

(b) 補機冷却用海水取水路 (北側)

図 5-55 補機冷却用海水取水路 剛域設定範囲(2/2)

(4) 地盤ばね要素

構造物底面に設ける地盤ばね要素の剛性は、道路橋示方書に基づき設定する。なお、3次元構造解析における底面地盤ばねは、2次元地震応答解析と同様に構造物と地盤の剥離を考慮した設定とする。

鉛直方向の地盤反力係数 k_v は、道路橋示方書の直接基礎の地盤反力係数算定方法にある下式により算出する。水平方向せん断地盤反力係数 k_s は、鉛直方向地盤反力係数の $1/3$ とする。基礎の換算載荷幅は、基礎の載荷面積に応じて設定する。なお、3次元構造解析の入力荷重は、地震時の荷重であることから、地盤反力係数に用いる係数は地震時の係数を適用する。

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4}$$

ここで、

k_{v0} : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

$$k_{v0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

E_0 : マンメイドロックの変形係数 (kN/m²)

B_v : 基礎の換算載荷幅 (m)

$$B_v = \sqrt{A_v}$$

A_v : 鉛直方向の載荷面積 (m²)

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数 (地震時)

(5) 材料の非線形特性

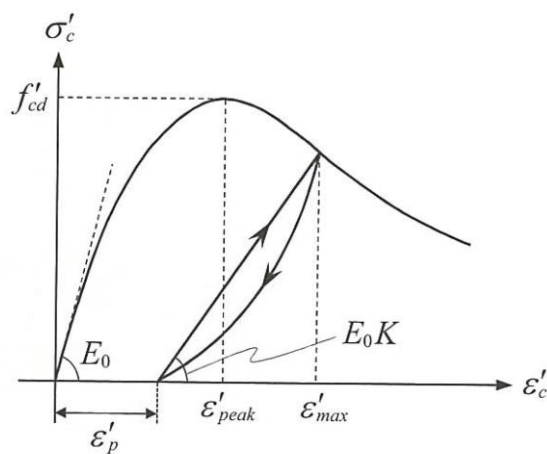
a. コンクリート

(a) 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図 5-56 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 5-57 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。



$$\sigma'_c = E_0K(\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

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

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

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

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$

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 5-56 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 [設計編] (土木学会, 2012 年) より引用)

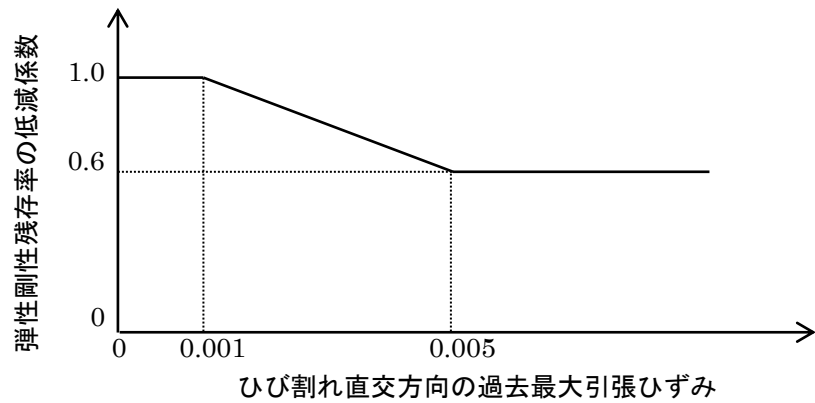


図 5-57 弾性剛性残存率の低減係数

(コンクリート標準示方書〔設計編〕(土木学会, 2012年)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 5-58 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。

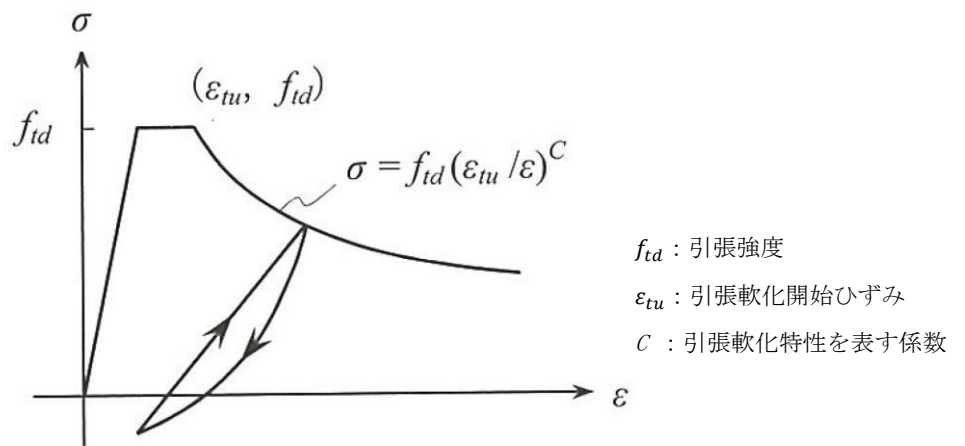


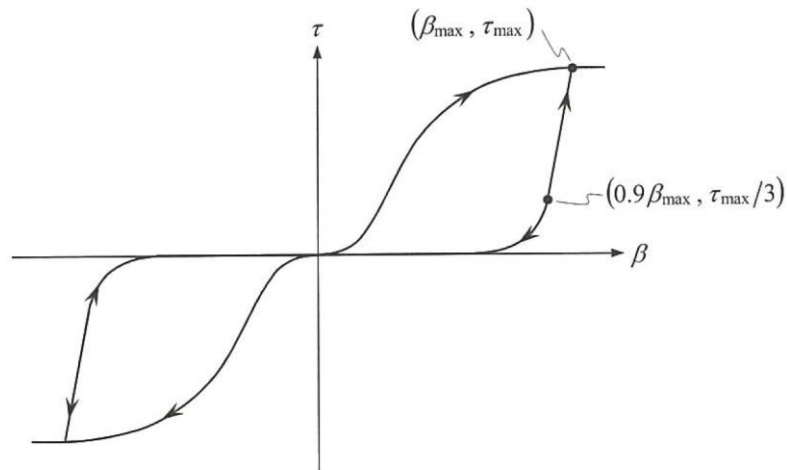
図 5-58 引張応力下における応力-ひずみ関係

(コンクリート標準示方書〔設計編〕(土木学会, 2012年)より引用)

(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 5-59 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。



- 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 (γ / ε)
- 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 5-59 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 [設計編] (土木学会, 2012 年) より引用)

b. 鉄筋

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 5-60 に示すひずみ硬化特性を考慮する。

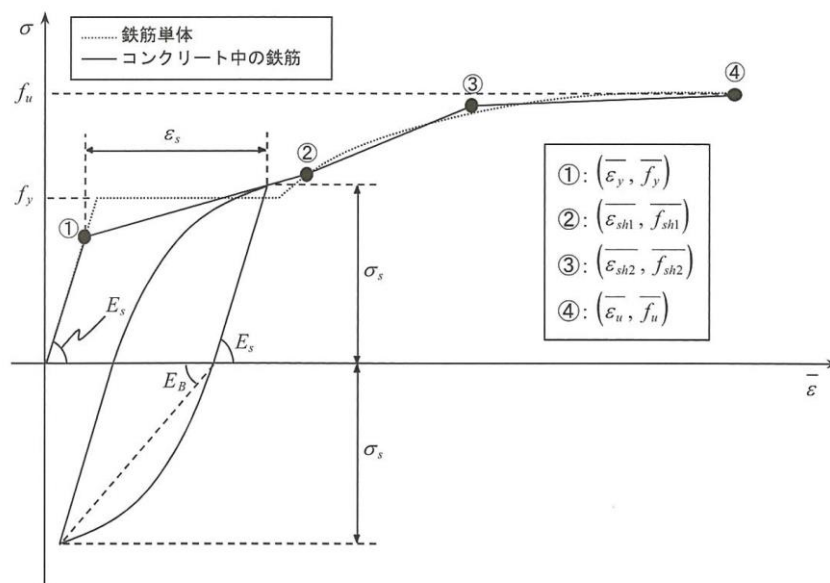


図 5-60 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係
(コンクリート標準示方書〔設計編〕(土木学会, 2012年)より引用)

c. 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。

注記* : 土木学会マニュアルより引用

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

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, $A_{RC} = A_s + A_c$

5.4.3 照査時刻の選定

補機冷却用海水取水路の耐震評価では、評価に支配的な荷重が発生する時刻として、表 5-17 に示す事象を各加振方向の照査時刻として選定する。なお、照査時刻選定の妥当性については、(参考資料 7) に詳細を示す。

妻壁に対する面内せん断照査については、面内せん断力が最大となる解析ケース及び時刻として、応力の観点から地震応答解析において妻壁の面内せん断応力が最大の解析ケース及び時刻を、変形の観点から地震応答解析において妻壁の層間変位が最大となる解析ケース及び時刻をそれぞれ選定し、照査を行う。

表 5-17 補機冷却用海水取水路の照査時刻

| 施設 | 加振方向 | 事象 |
|------------------------|------|---------------|
| 補機冷却用海水取水路 (北側, 南側) | NS | 妻壁の面内せん断応力最大時 |
| | EW | 妻壁の土水圧最大時 |

5.4.4 入力荷重

3次元構造解析の入力荷重は、「5.4.3 照査時刻の選定」にて選定した照査時刻に対し、地震応答解析から同時刻における水平 2 方向及び鉛直方向の応答値を抽出し、算定する。NS 方向の地震時応答は、A-A 断面から、EW 方向の地震時応答は B-B 断面及び C-C 断面から抽出する。鉛直方向の地震時応答は、補機冷却海水取水路（南側）は A-A 断面と B-B 断面からそれぞれ抽出される地震時応答のうち、より大きい方を使用する。同じく、補機冷却海水取水路（北側）は A-A 断面と C-C 断面からそれぞれ抽出される地震時応答のうち、より大きい方を使用する。

入力荷重の一覧を表 5-18 に、各荷重の算定フローを図 5-60 に示す。

「慣性力」及び「土圧及び水圧」については、抽出した地震時応答を用いて入力荷重を算定する。

表 5-18 入力荷重一覧

| 入力荷重 | | 地震応答解析から抽出する地震時応答 | 载荷位置 |
|---------|----------|-------------------|------|
| 慣性力 | 躯体（横断方向） | 応答加速度 | 躯体全体 |
| | 躯体（縦断方向） | 応答加速度 | 躯体全体 |
| 内水圧・動水圧 | 躯体（横断方向） | —* | 作用位置 |
| | 躯体（縦断方向） | —* | 作用位置 |
| 土圧及び水圧 | 躯体（横断方向） | 土圧・水圧 | 作用位置 |
| | 躯体（縦断方向） | 土圧・水圧 | 作用位置 |

注記* : 動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

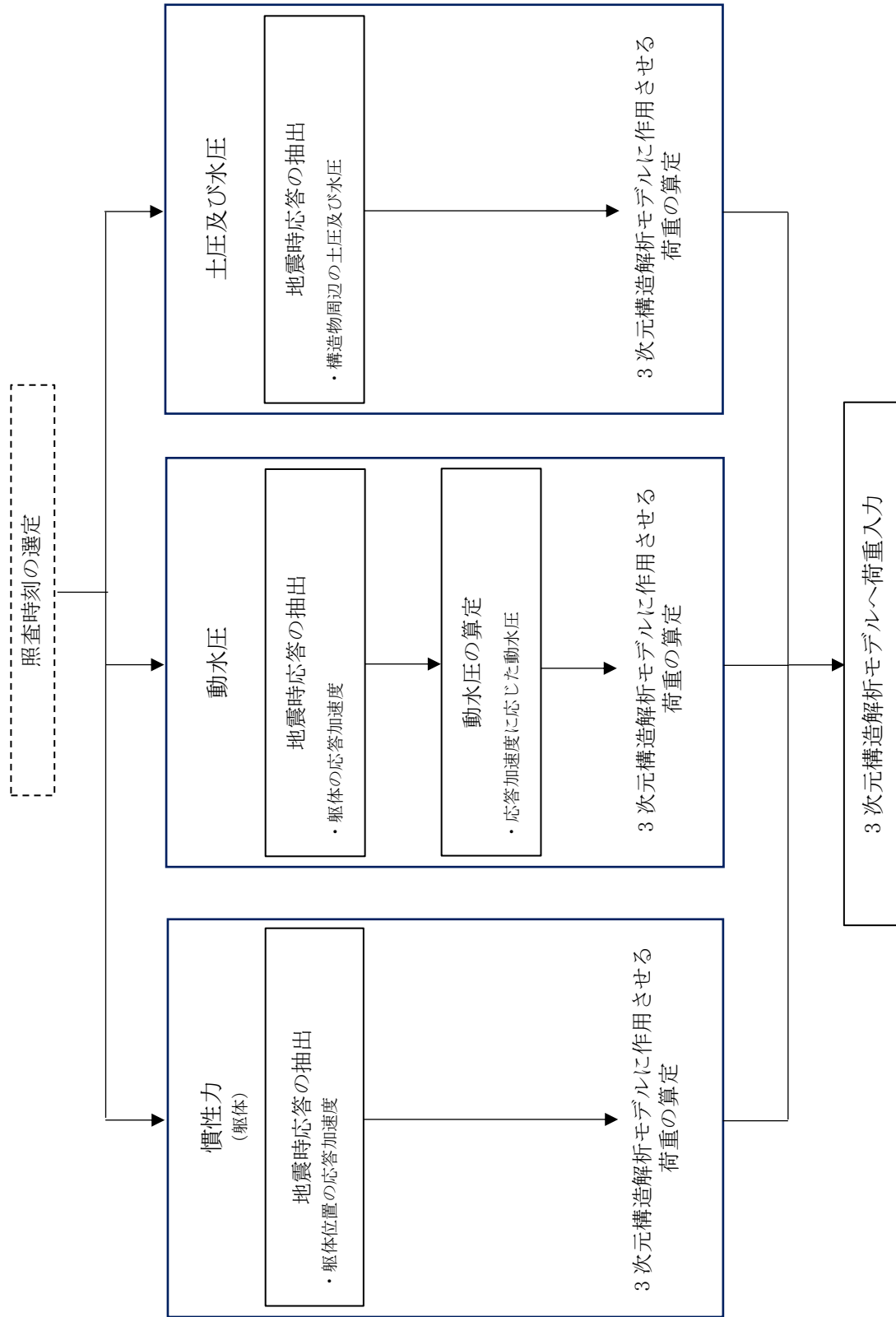


図 5-61 各入力荷重の算定フロー

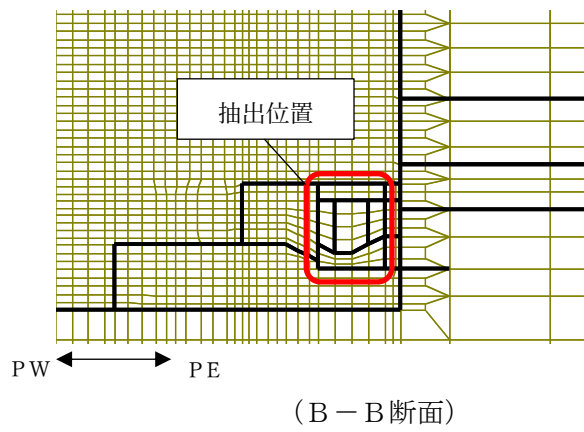
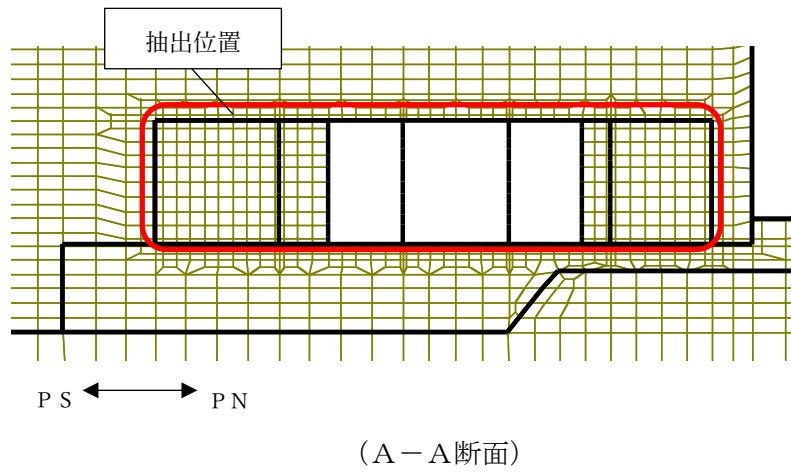
(1) 慣性力

補機冷却用海水取水路の慣性力は、地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材及び妻壁に位置する各節点の、照査時刻における応答加速度の平均値から算定する。応答加速度抽出位置を図 5-62 に示す。

補機冷却用海水取水路の慣性力については、NS方向の加速度については各断面の鉄筋コンクリート部材及び妻壁の位置にあたる全節点を、EW方向の加速度については各断面の鉄筋コンクリート部材及び妻壁の位置にあたる全節点を加速度抽出位置とする。

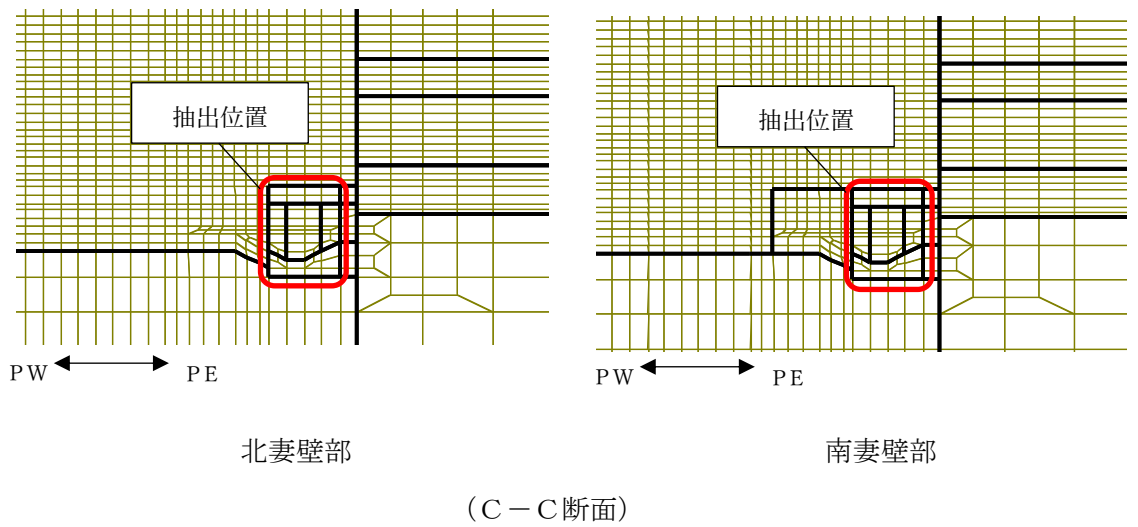
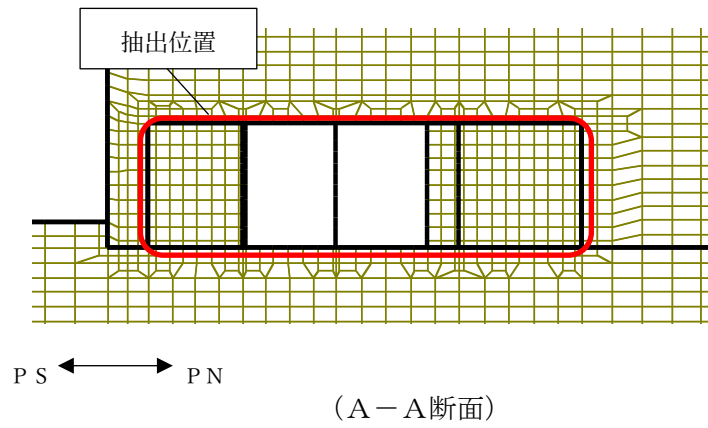
鉛直方向については、各断面におけるそれぞれの加速度抽出範囲の平均加速度のうち、より大きい方を使用して慣性力を算定する。

算定した慣性力は図 5-63 及び図 5-64 の概略図に示すとおり、補機冷却用海水取水路の3次元構造解析モデルに入力する。



(a) 補機冷却用海水取水路 (南側)

図 5-62 補機冷却用海水取水路の応答加速度抽出位置(1/2)



(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 5-62 補機冷却用海水取水路の応答加速度抽出位置 (2/2)

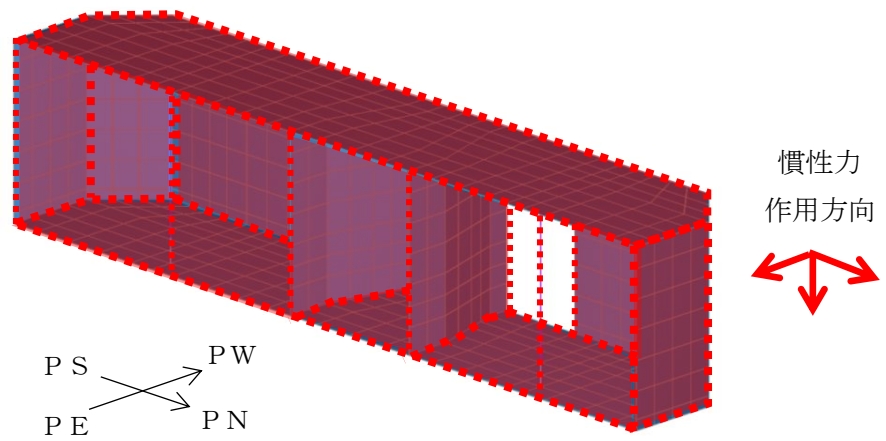


図 5-63 補機冷却用海水取水路（南側）の慣性力 概略図

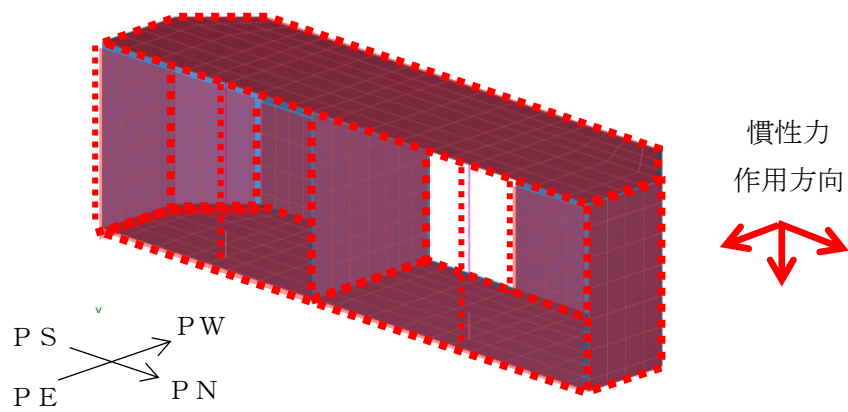


図 5-64 補機冷却用海水取水路（北側）の慣性力 概略図

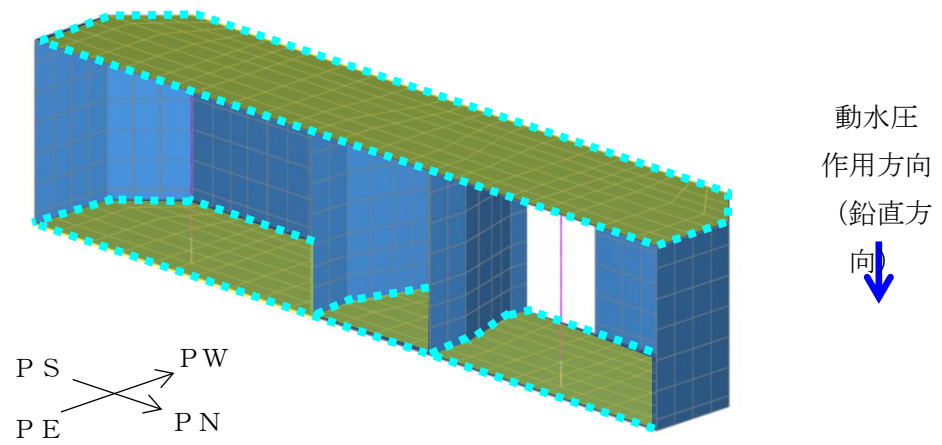
(2) 内水圧・動水圧

補機冷却用海水取水路の内部には、朔望平均満潮位 T. M. S. L. 0.49m に対して保守的に設定した T. M. S. L. 1.0m を静水面とした内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 1.03g/cm^3 を考慮する。

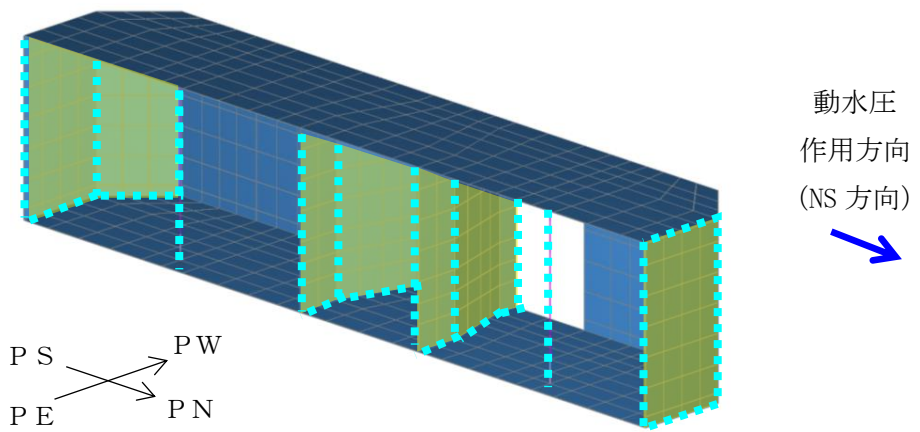
動水圧については、水路内は満水状態であることから、内空幅及び高さに対し、(1)で算定した各方向の慣性力に応じた荷重を作用させる。

算定した動水圧は図 5-65 及び図 5-66 の概略図に示すとおり、補機冷却用海水取水路の 3次元構造解析モデルに入力する。

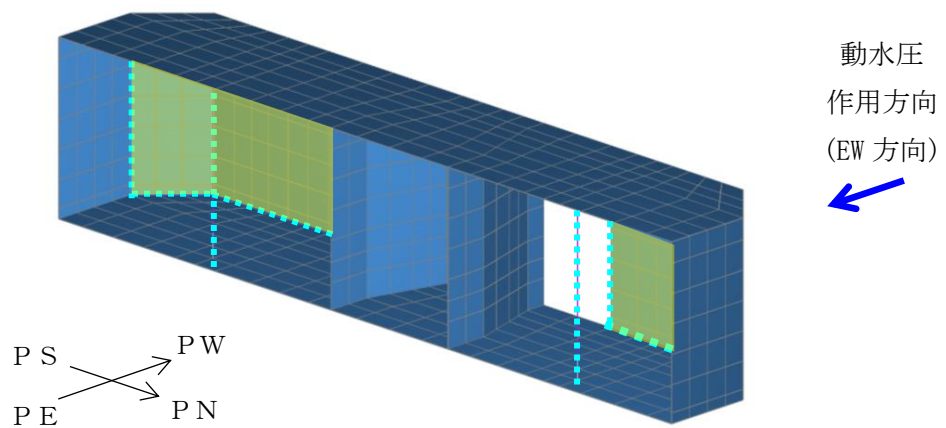
なお、外水圧については、後述(3)における、地震応答解析から抽出される土圧及び水圧の荷重に考慮されている。



(a) 鉛直方向

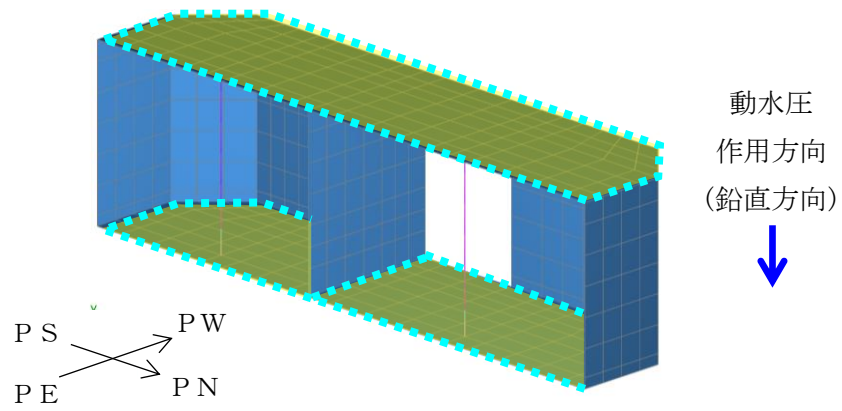


(b) NS方向

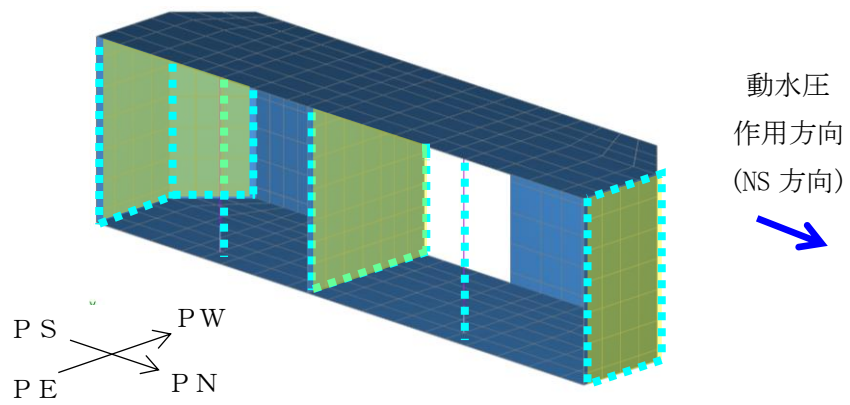


(c) EW方向

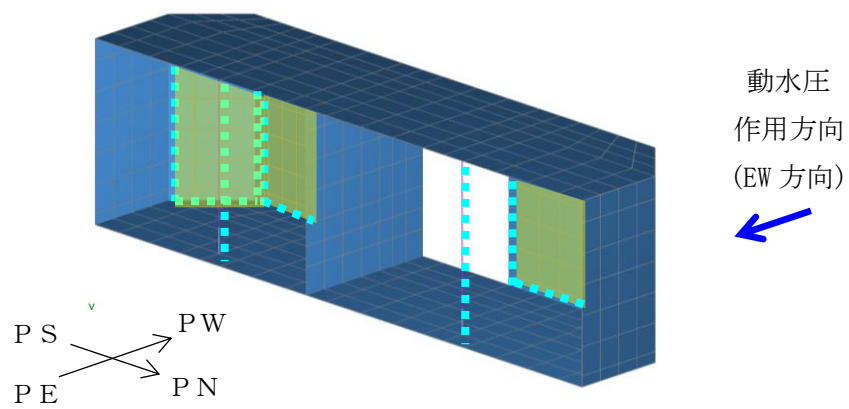
図 5-65 補機冷却用海水取水路 (南側) の動水圧 概略図



(a) 鉛直方向



(b) NS 方向



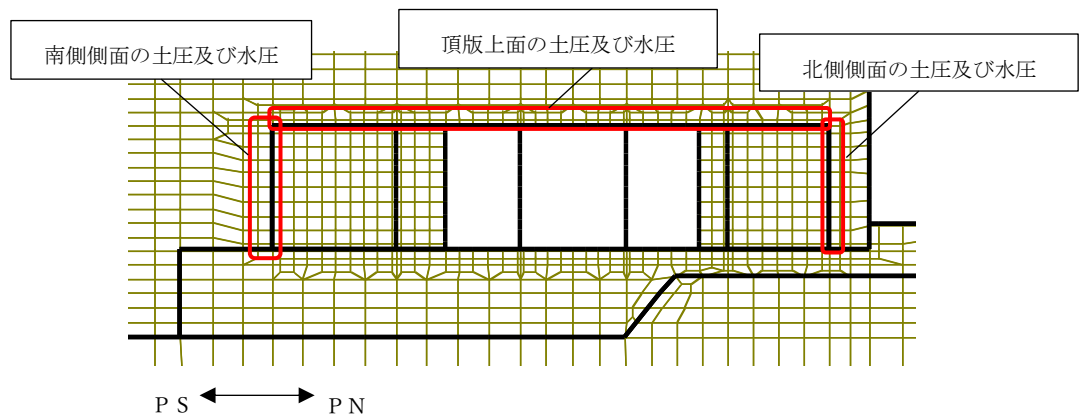
(c) EW 方向

図 5-66 補機冷却用海水取水路 (南側) の動水圧 概略図

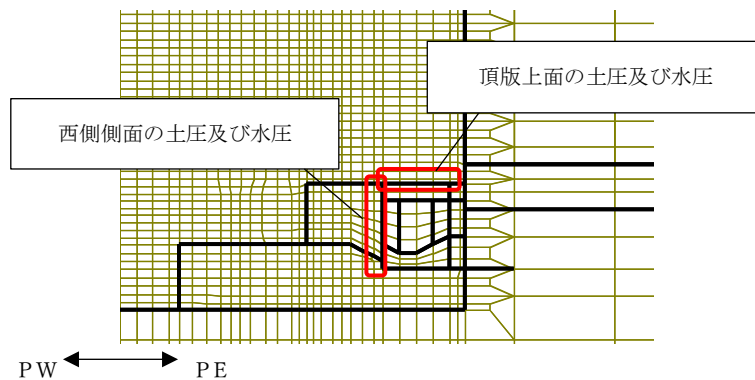
(3) 土圧及び水圧

補機冷却用海水取水路の側面及び頂版に作用する土圧及び水圧は、地震応答解析モデルにおける補機冷却用海水取水路の側面及び頂版上面に接する地盤のマルチスプリング要素及び間隙水要素の、照査時刻における要素応力から算定する。土圧及び水圧の抽出位置を図 5-67 に示す。

算定した土圧及び水圧は図 5-68 及び図 5-69 の概略図に示すとおり入力する。



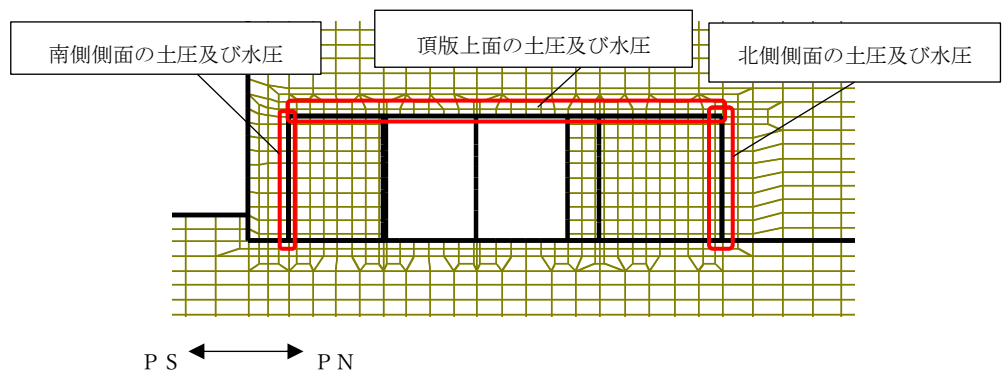
(A-A断面)



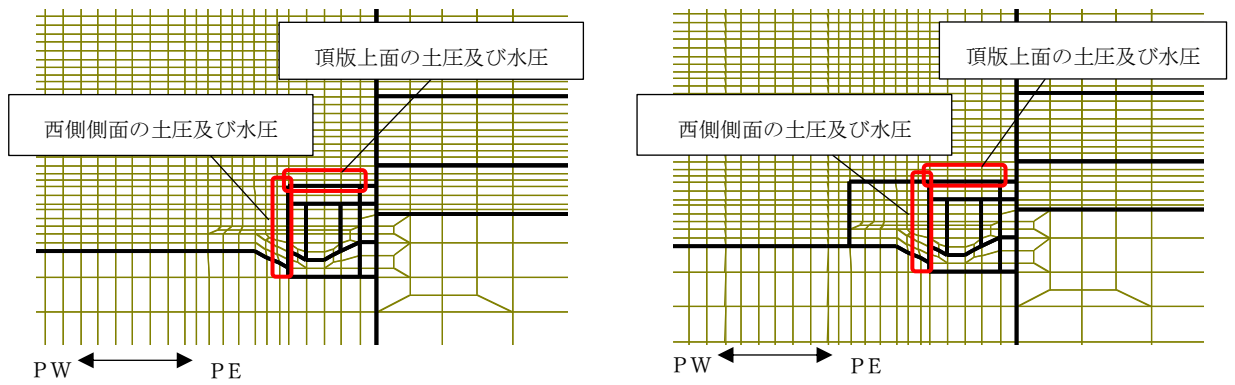
(B-B断面)

(a) 補機冷却用海水取水路 (南側)

図 5-67 土圧及び水圧の抽出位置(1/2)



(A-A断面)



(C-C断面)

(b) 補機冷却用海水取水路 (北側)

図 5-67 土圧及び水圧の抽出位置 (2/2)

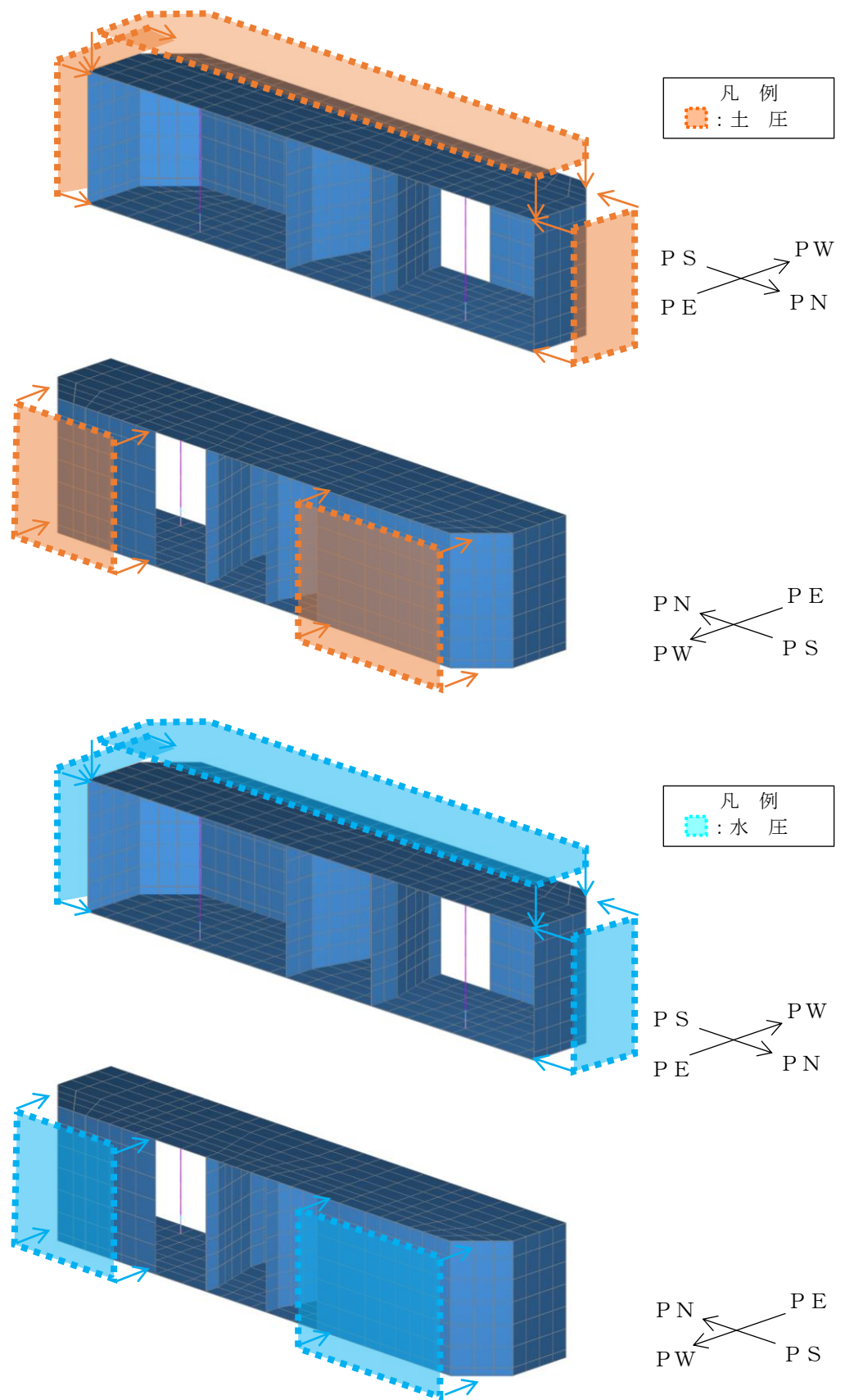


図 5-68 補機冷却用海水取水路（南側）の土圧及び水圧の概略図

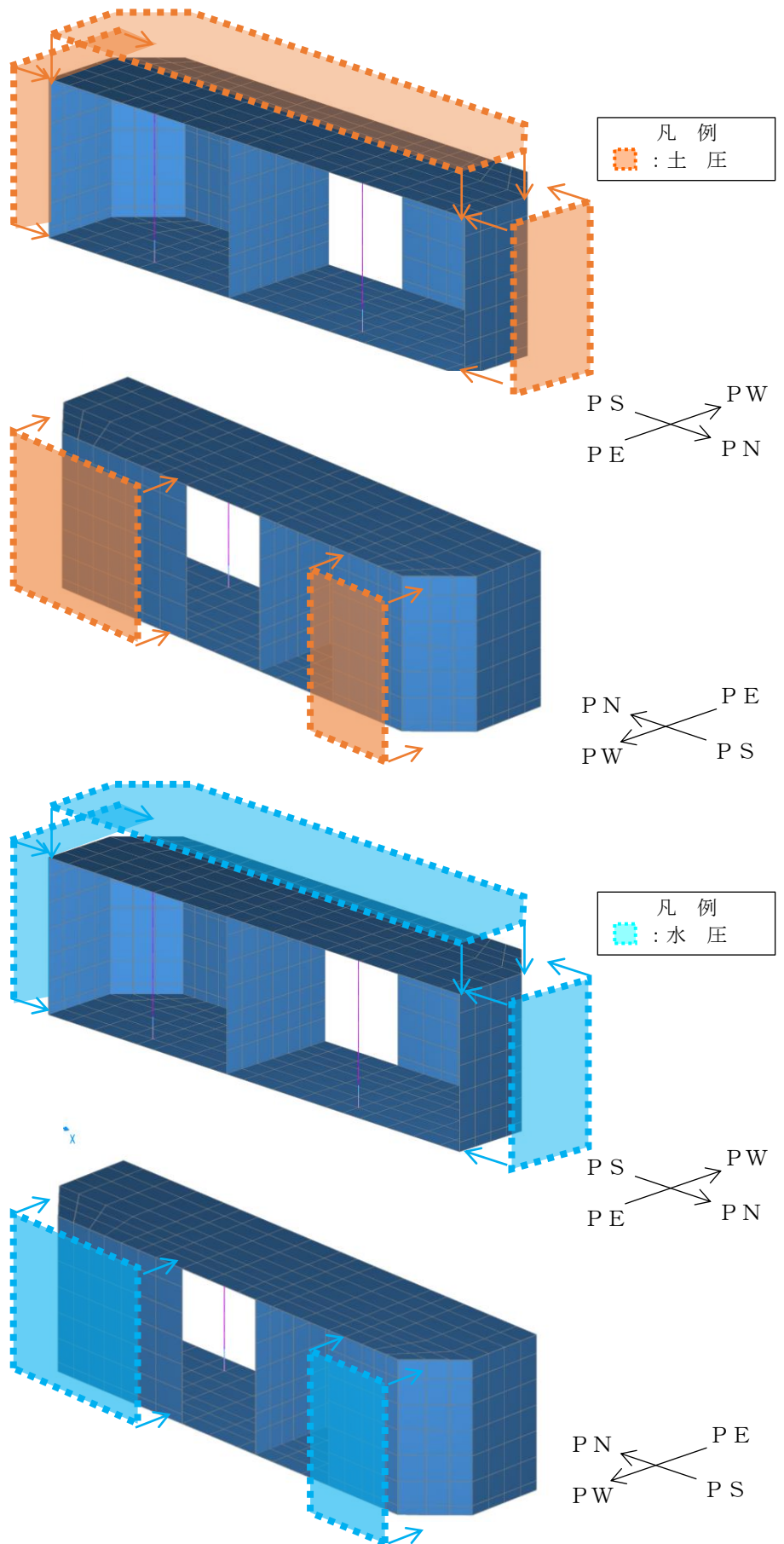


図 5-69 補機冷却用海水取水路（北側）の土圧及び水圧の概略図

5.5 評価内容

5.5.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動の設定においては、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルとし、原子炉建屋と同様のものをを用いる。

入力地震動算定の概念図を図 5-70 に、入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 5-71～図 5-96 に示す。入力地震動の算定には解析コード「S L O K Ver. 2.0」を使用する。

なお、基準地震動 S_s のうち特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。

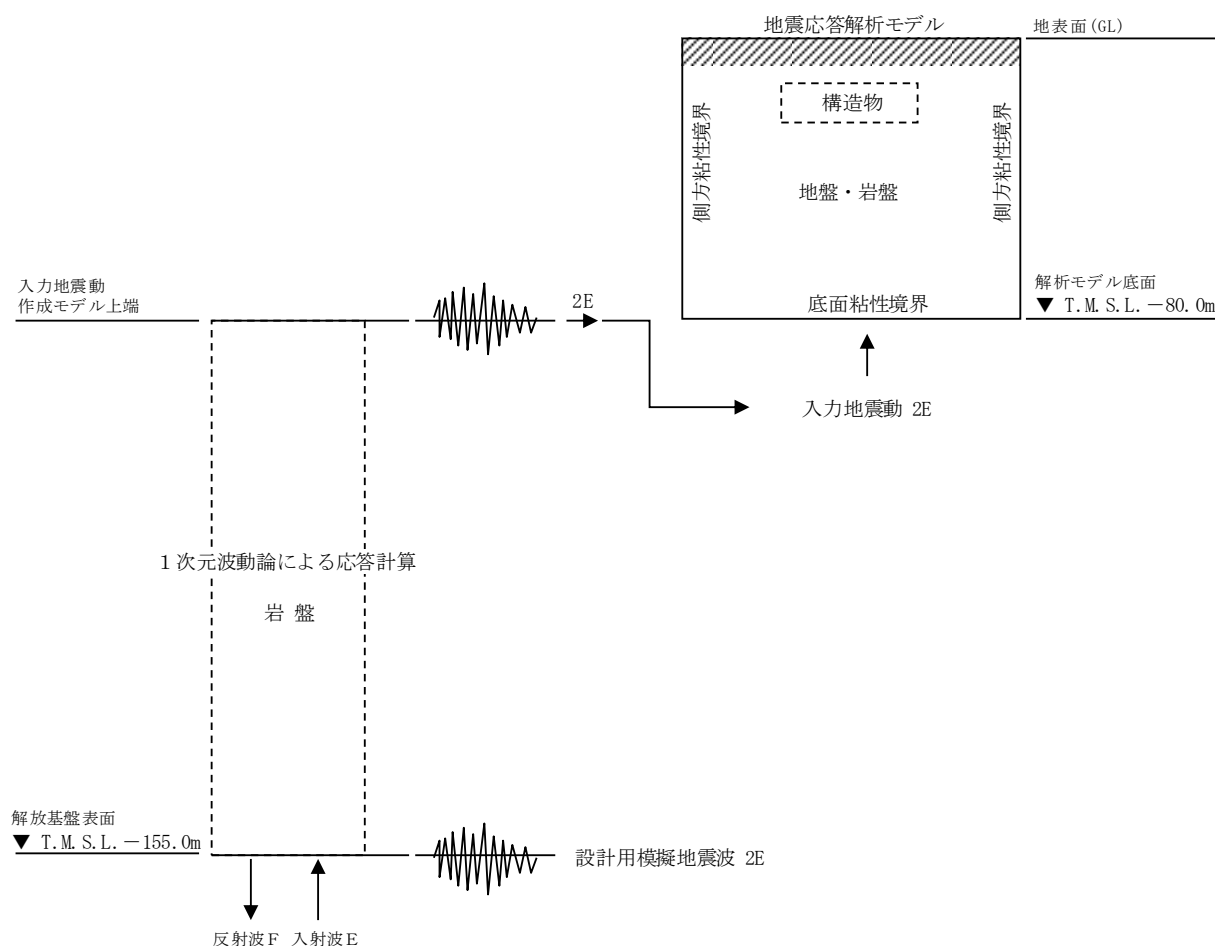
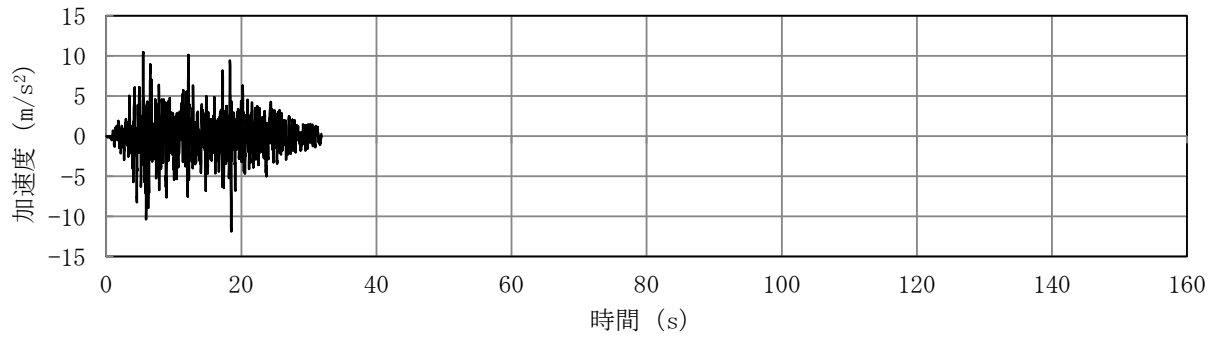
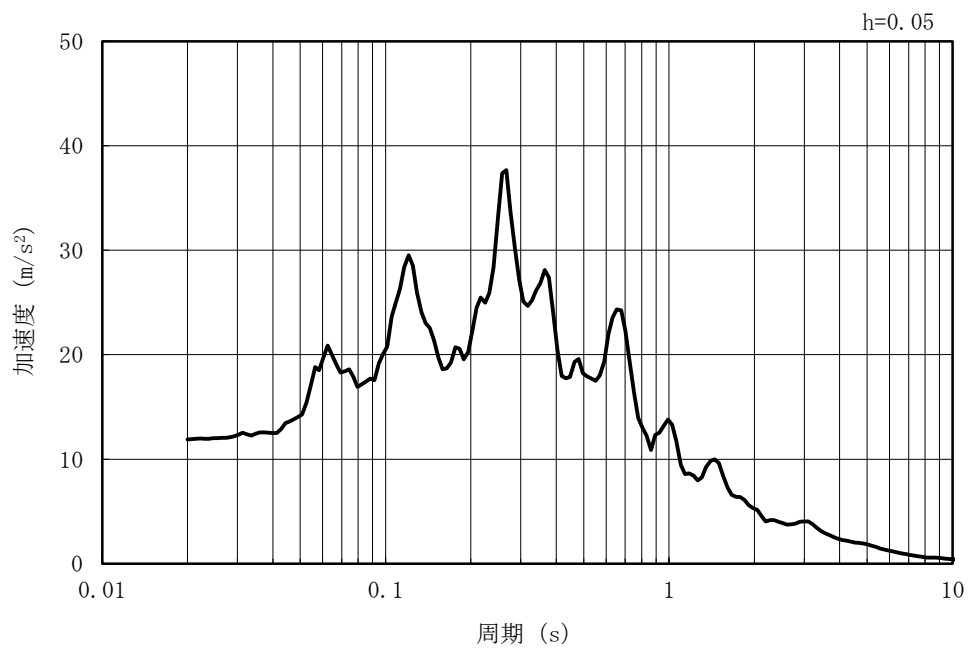


図 5-70 入力地震動算定の概念図

MAX 11.88m/s² (18.51s)



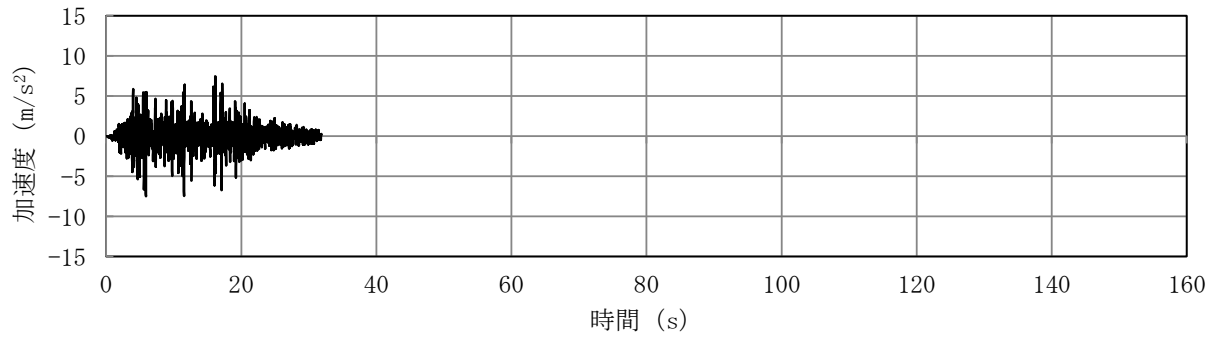
(a) 加速度時刻歴波形



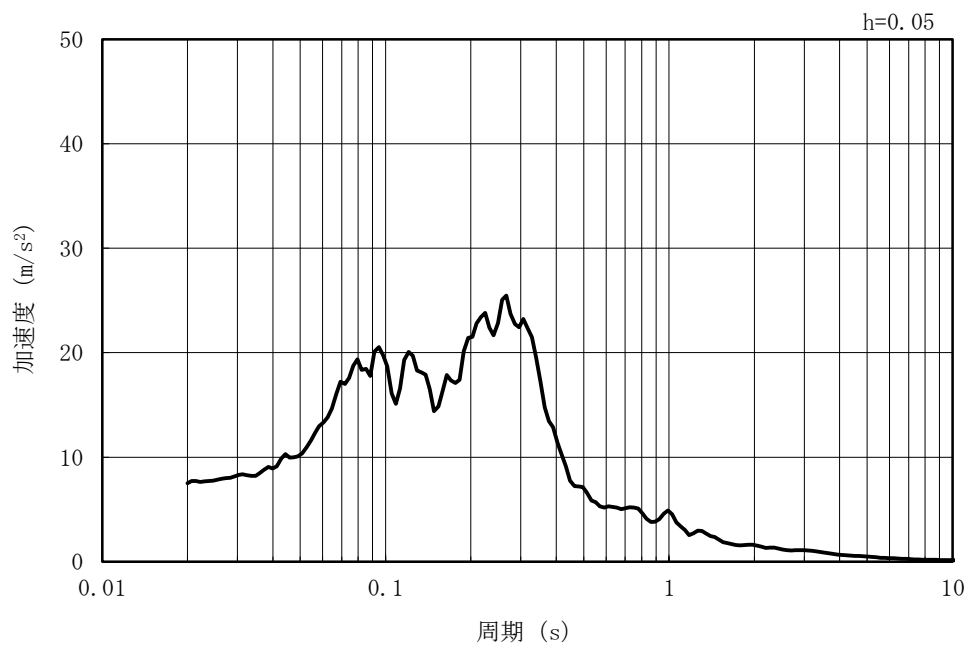
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-71 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-1)

MAX 7.49m/s² (5.88s)

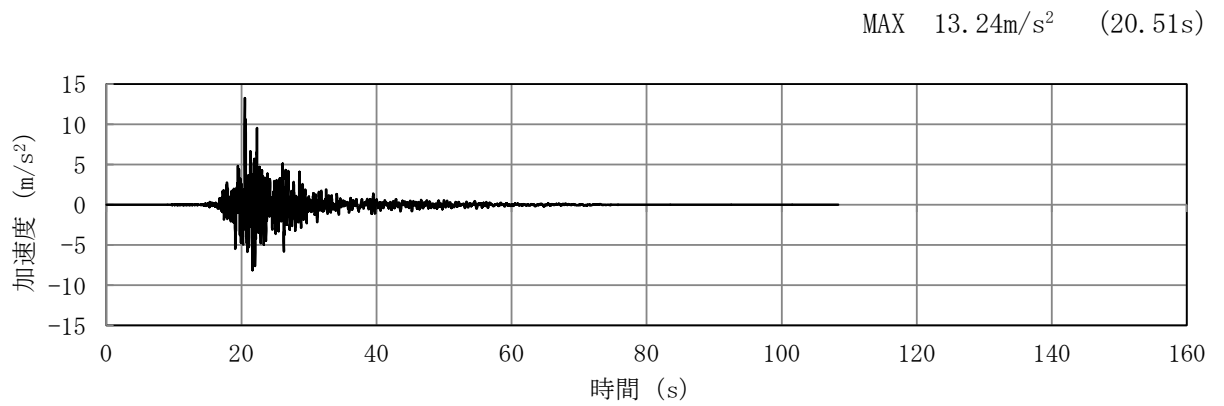


(a) 加速度時刻歴波形

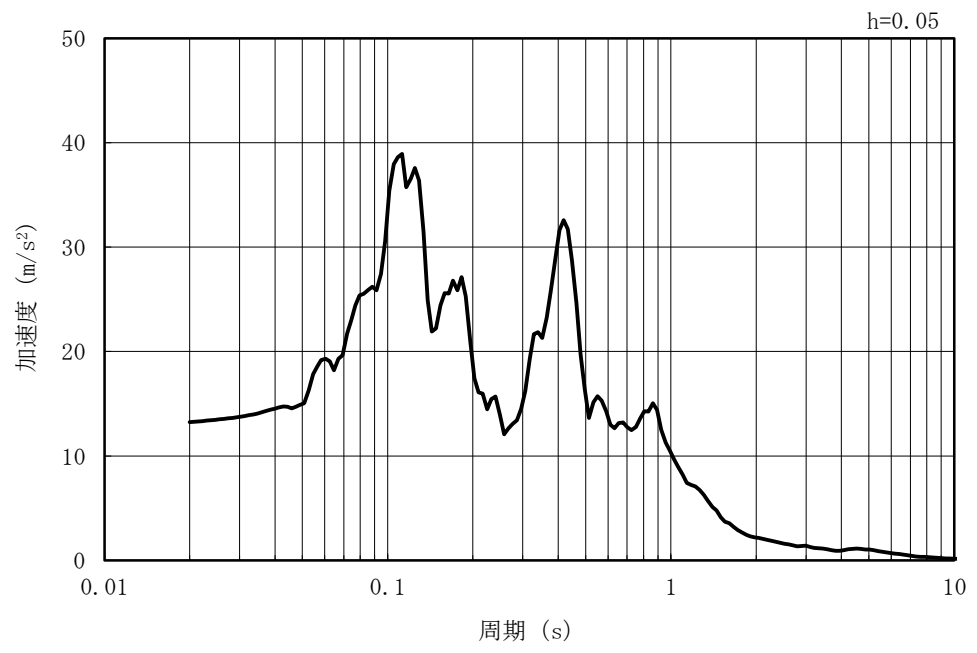


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-72 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-1)

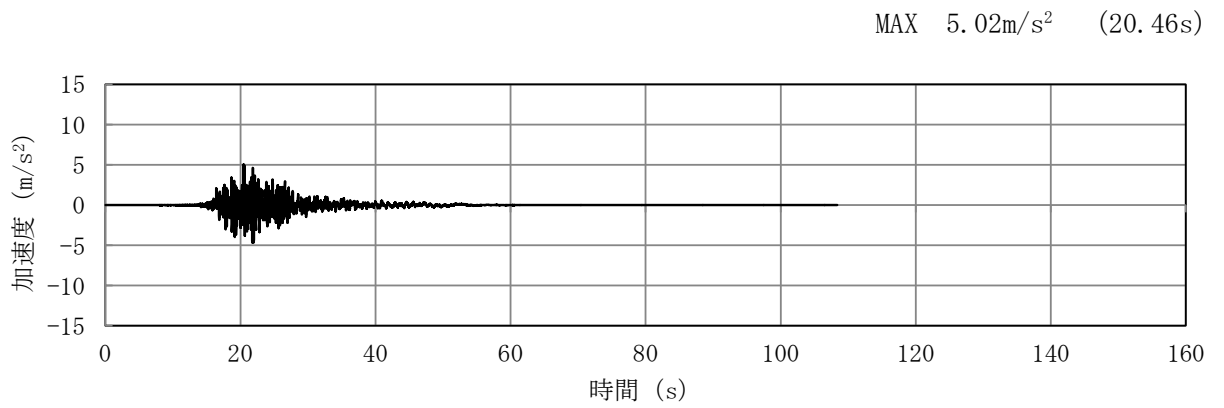


(a) 加速度時刻歴波形

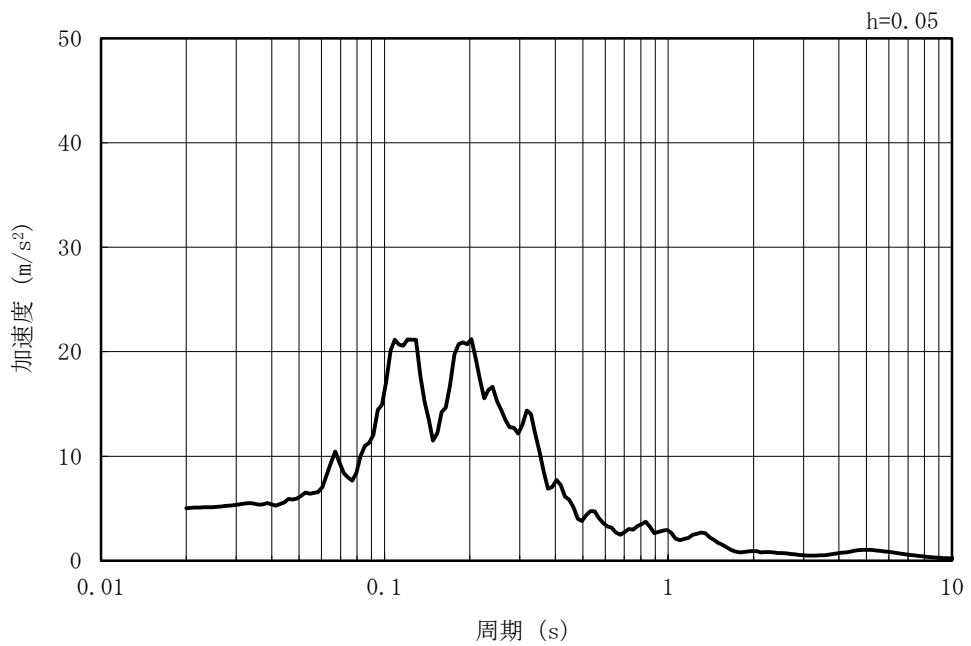


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-73 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2EW)

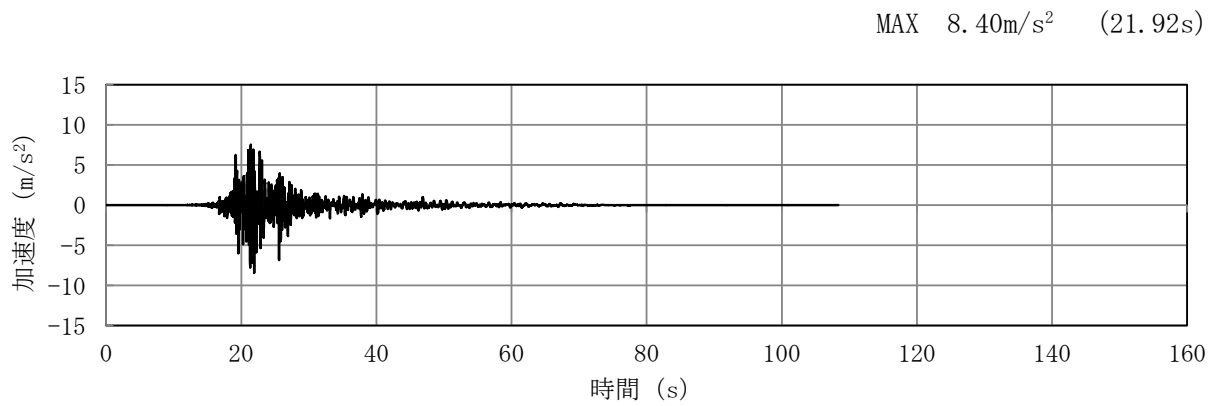


(a) 加速度時刻歴波形

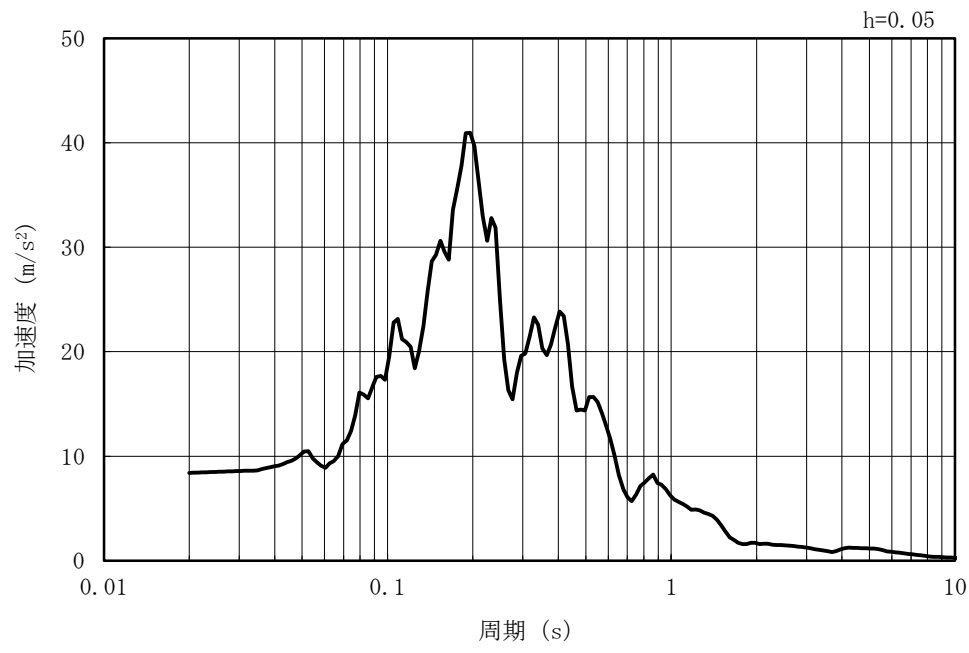


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-74 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-2EW)

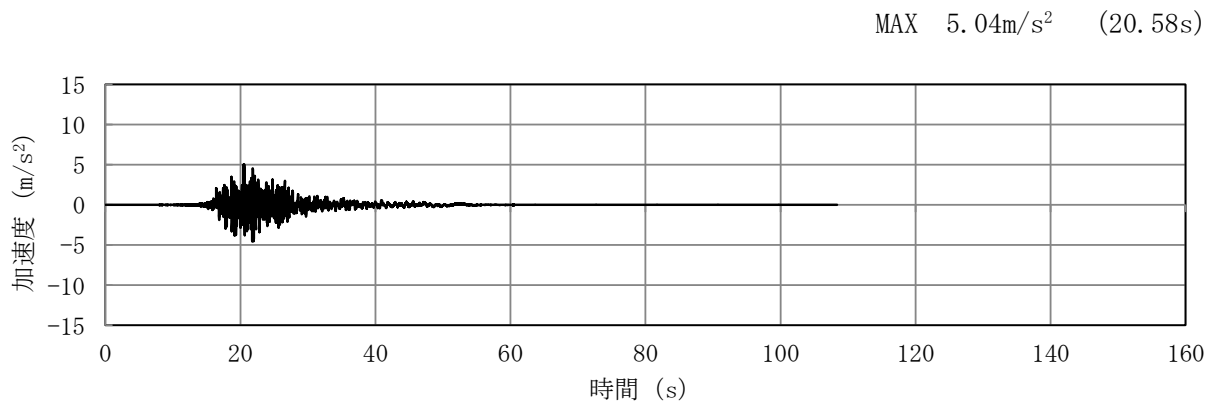


(a) 加速度時刻歴波形

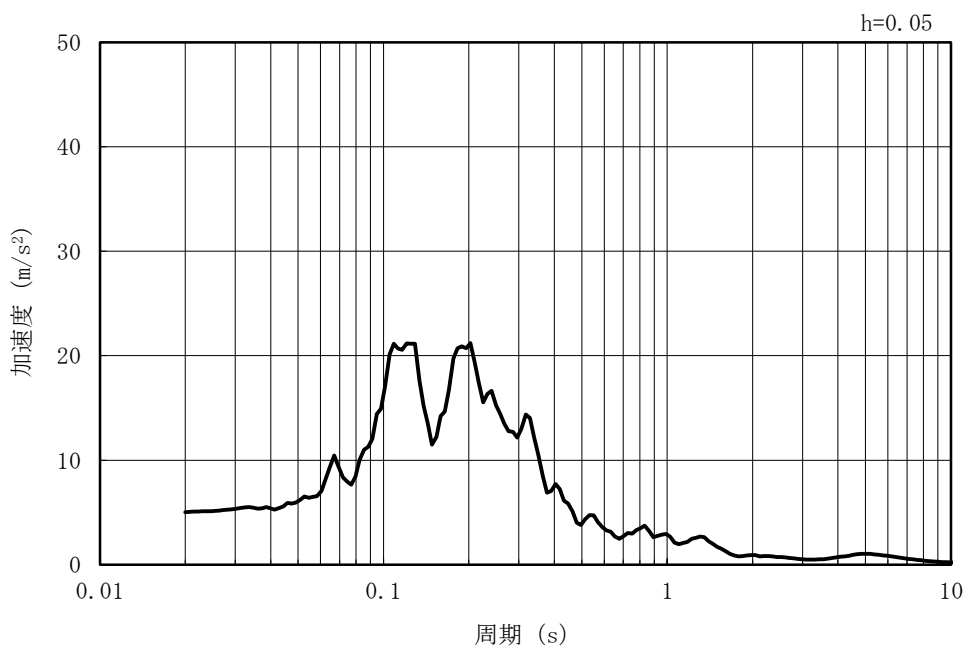


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-75 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2NS)



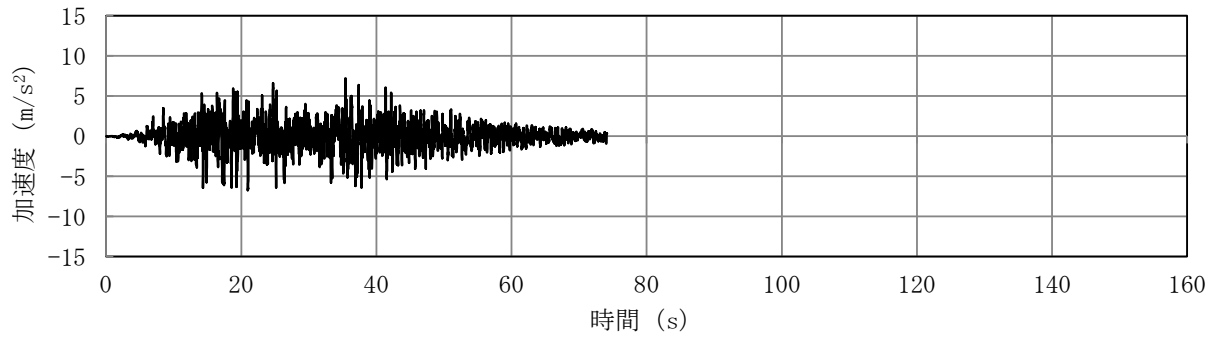
(a) 加速度時刻歴波形



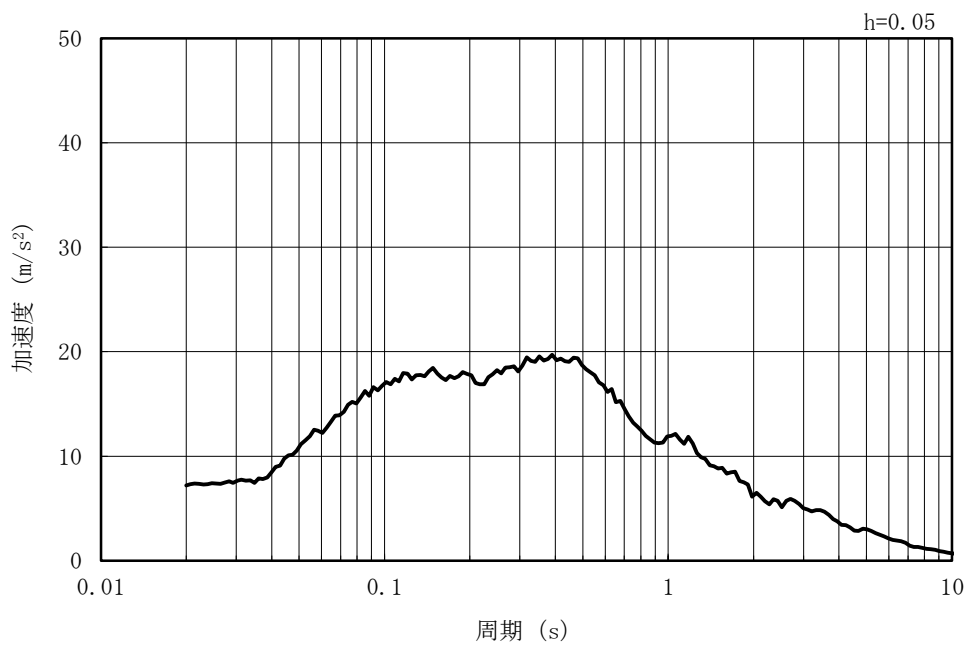
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-76 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-2NS)

MAX 7.18m/s² (35.43s)



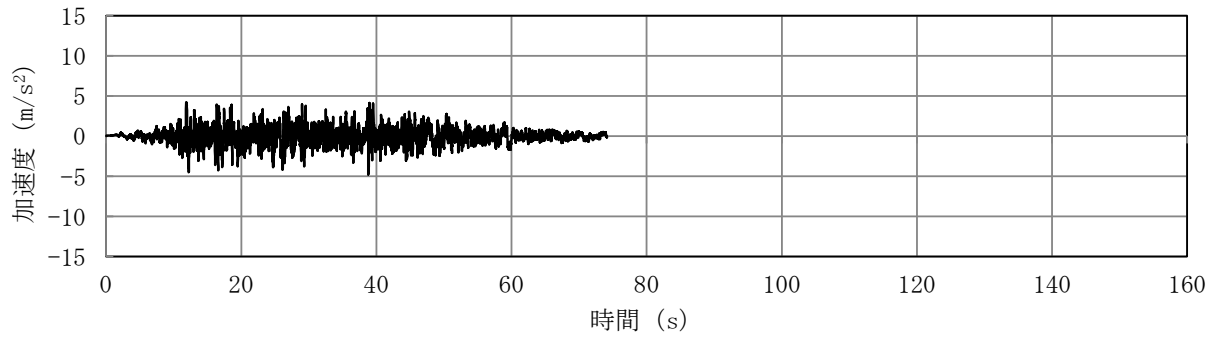
(a) 加速度時刻歴波形



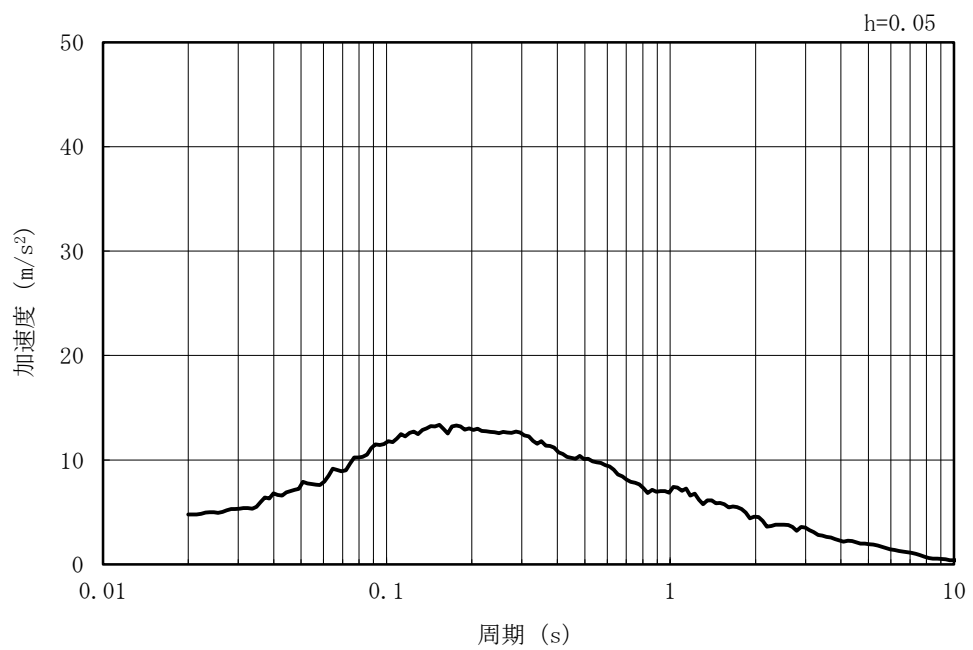
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-77 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-3)

MAX 4.78m/s² (38.80s)



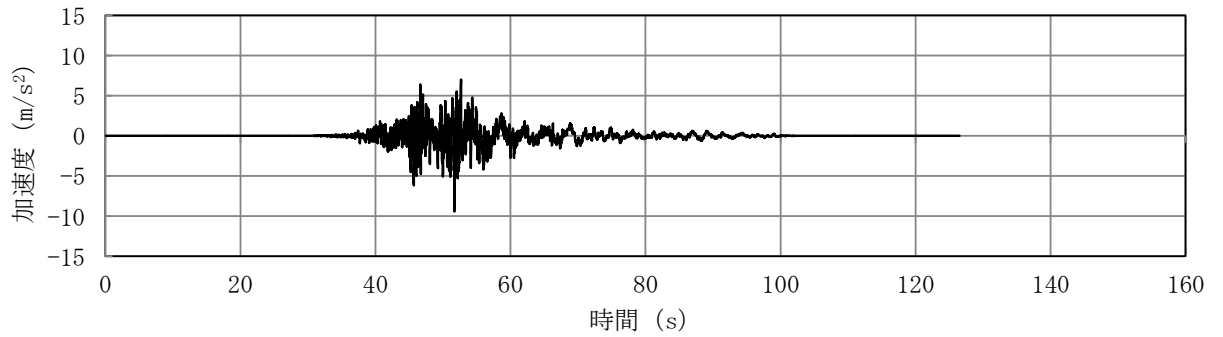
(a) 加速度時刻歴波形



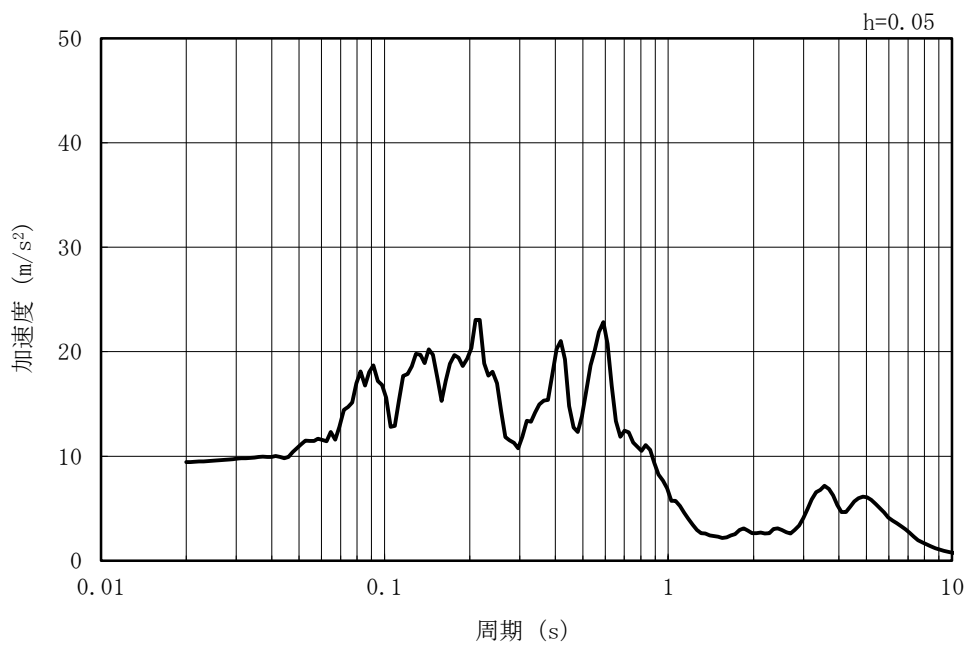
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-78 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-3)

MAX 9.42m/s² (51.71s)



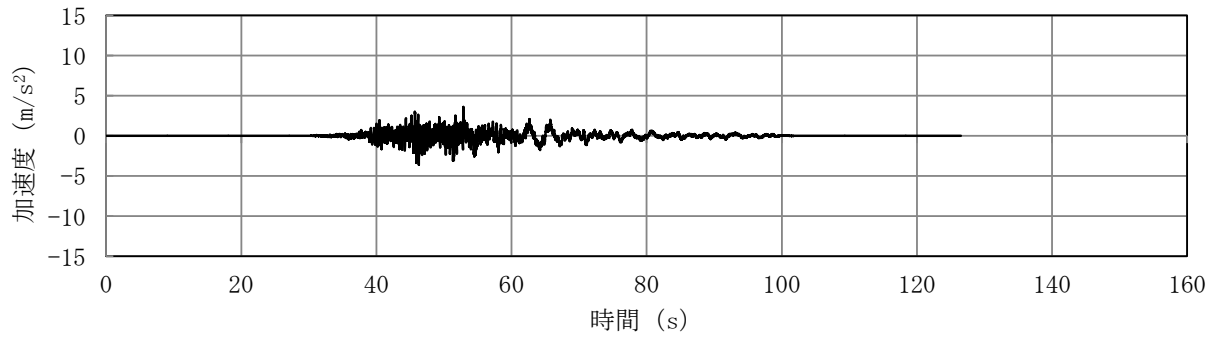
(a) 加速度時刻歴波形



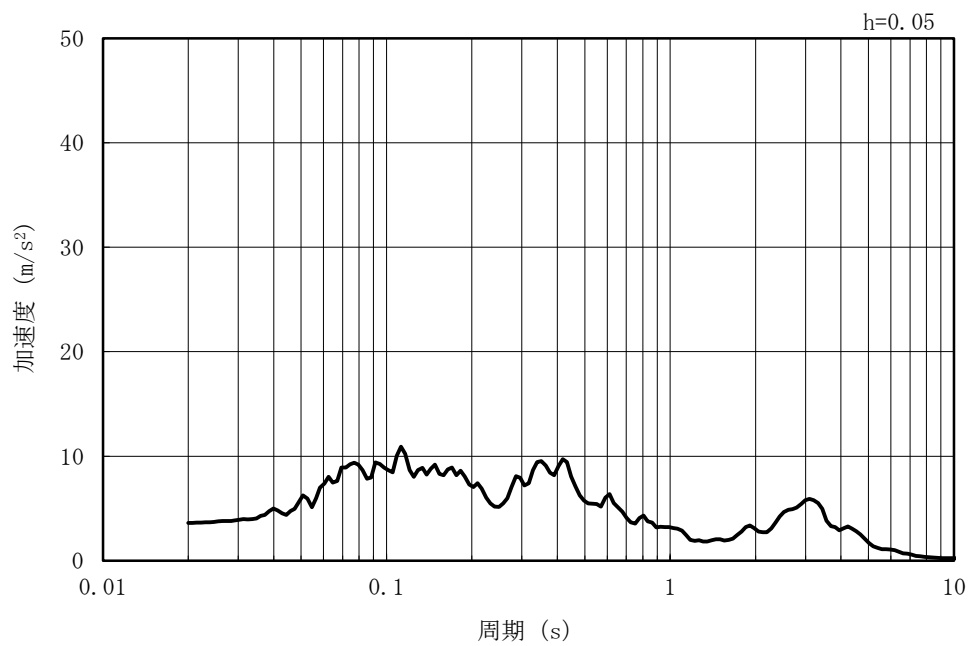
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-79 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-4EW)

MAX 3.60m/s² (52.87s)



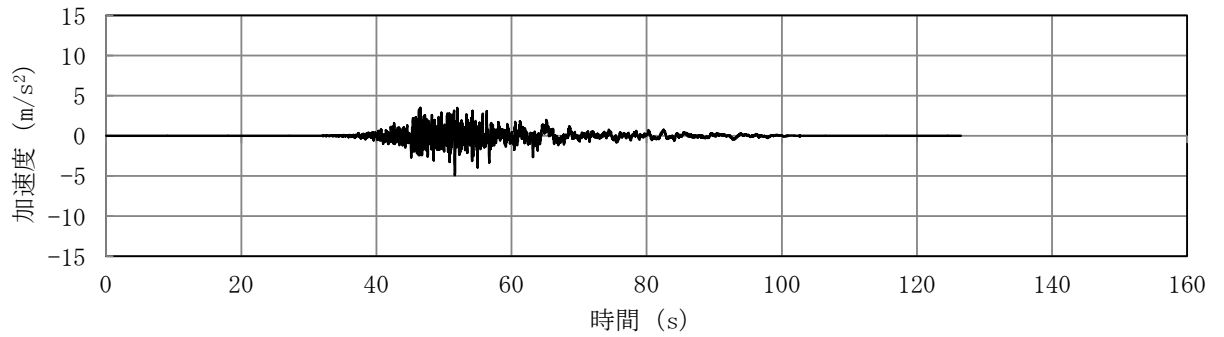
(a) 加速度時刻歴波形



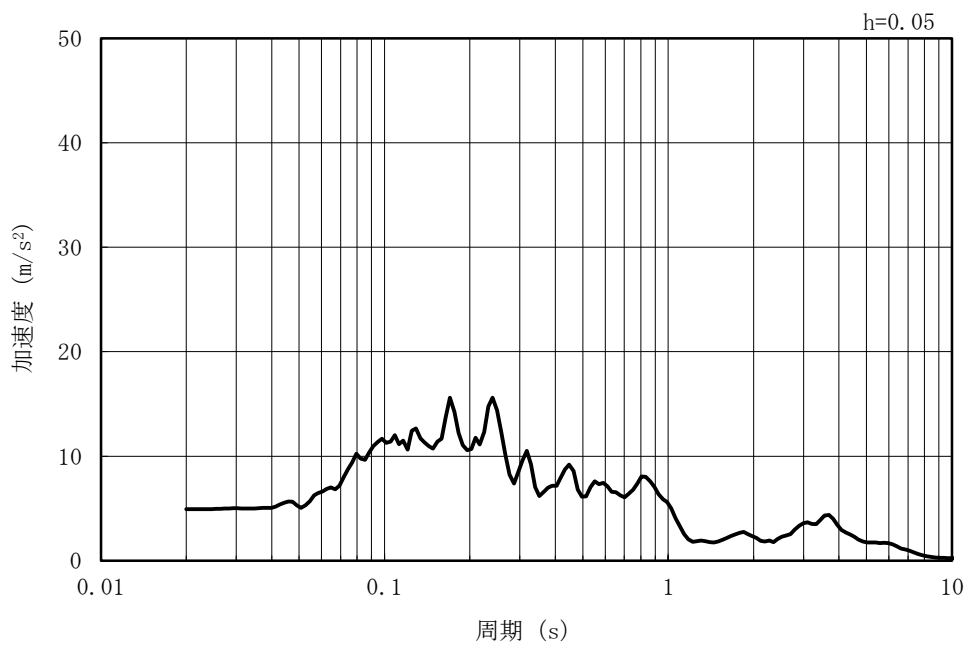
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-80 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4EW)

MAX 4.92m/s² (51.62s)



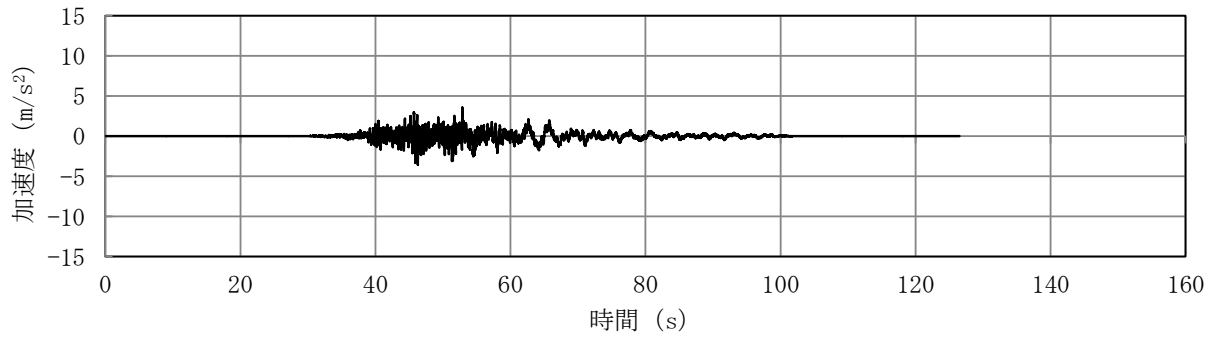
(a) 加速度時刻歴波形



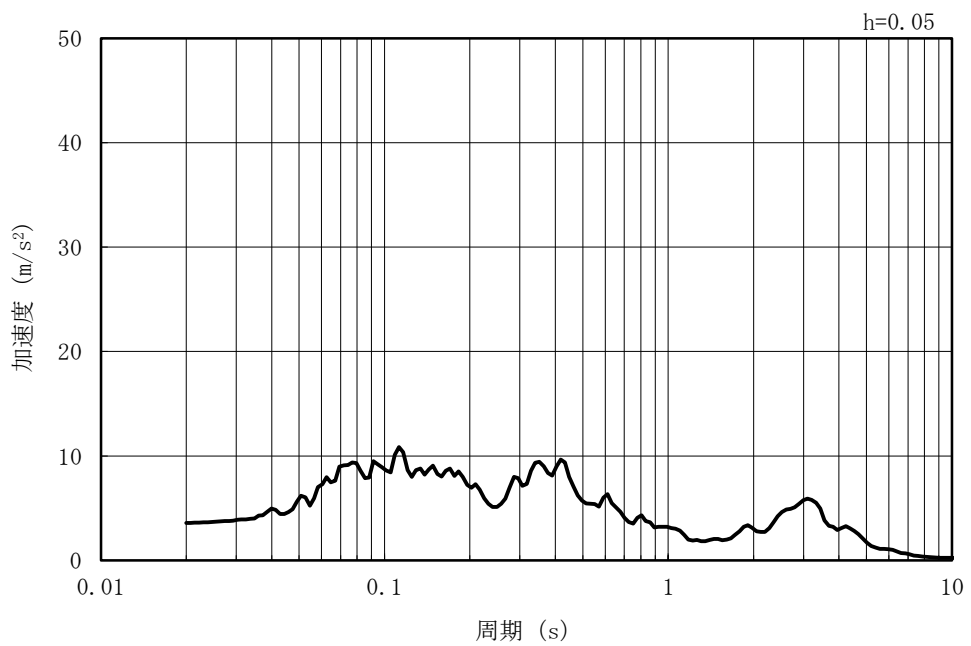
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-81 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-4NS)

MAX 3.57m/s² (46.29s)



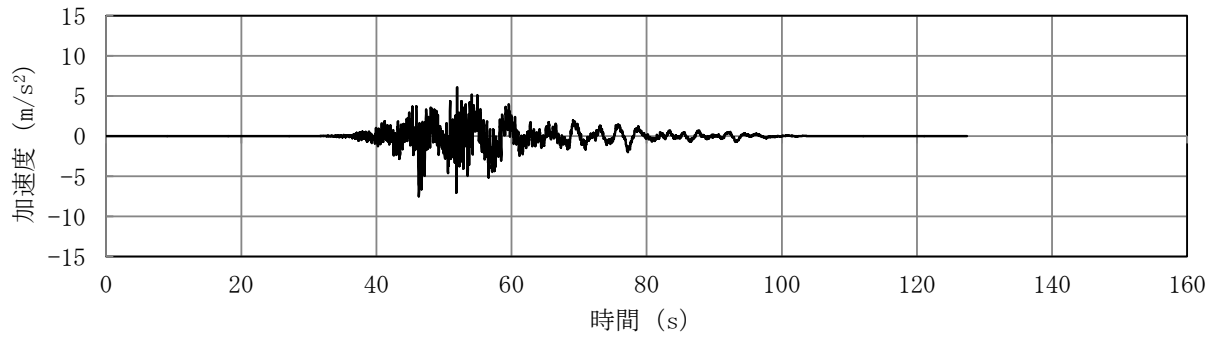
(a) 加速度時刻歴波形



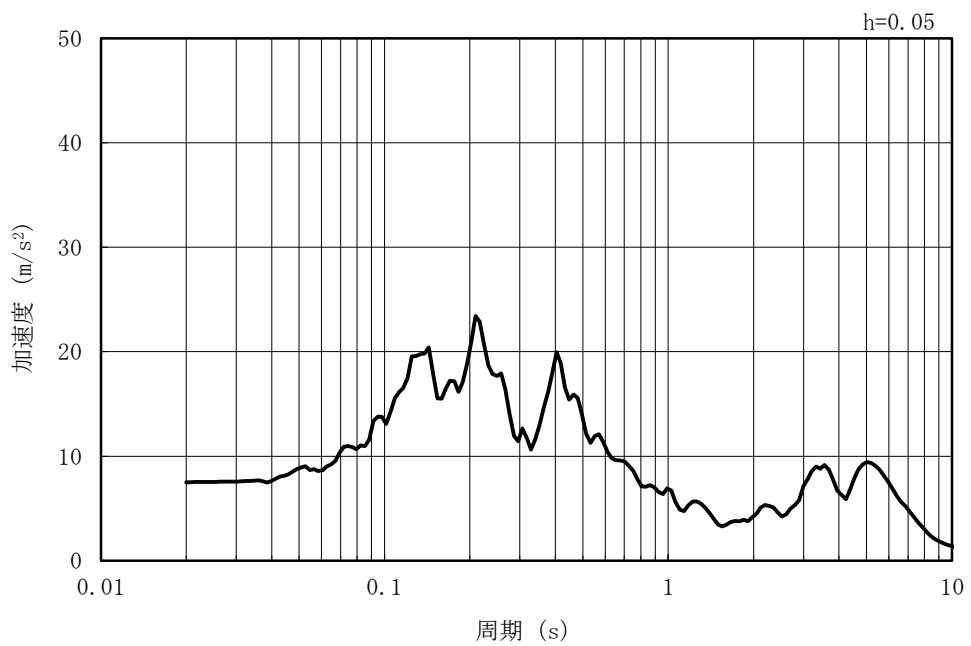
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-82 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4NS)

MAX 7.51m/s² (46.29s)



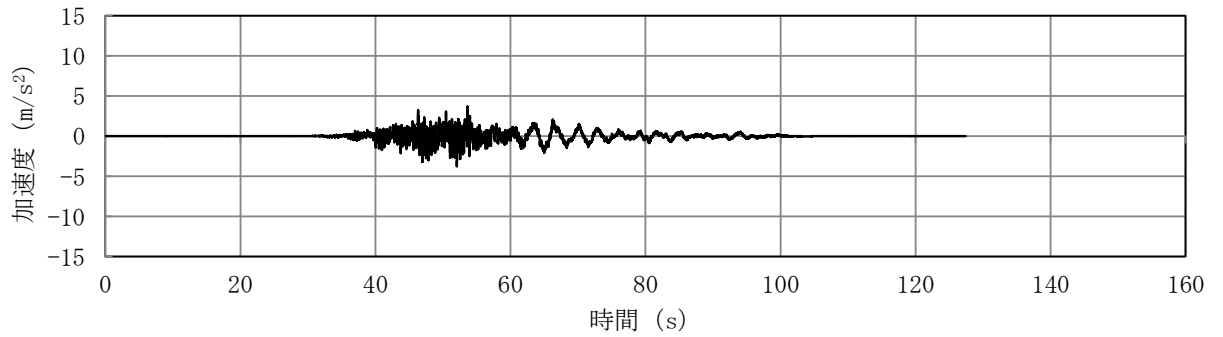
(a) 加速度時刻歴波形



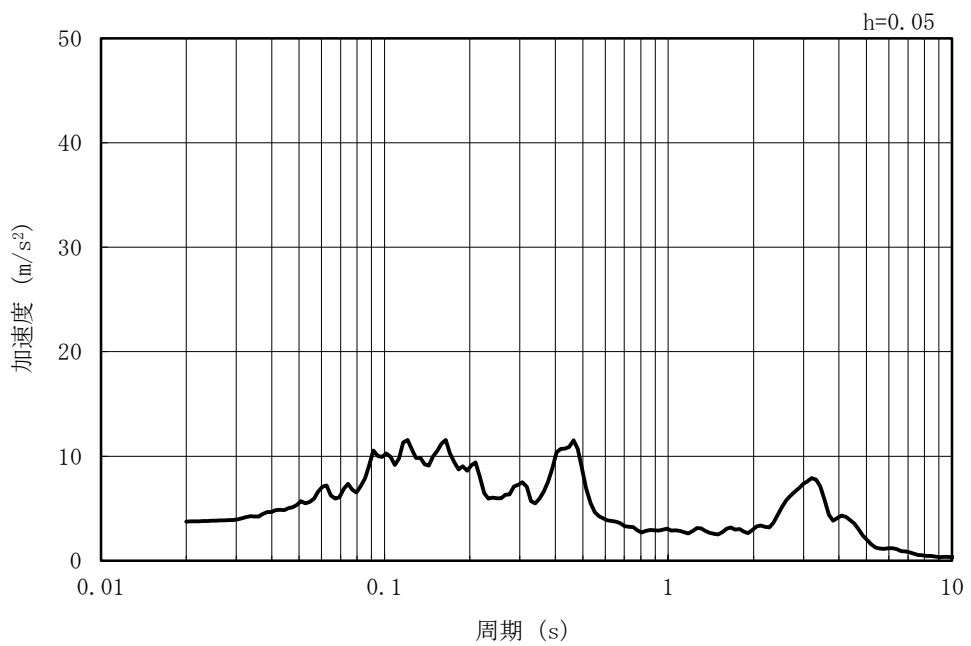
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-83 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5EW)

MAX 3.74m/s² (52.06s)



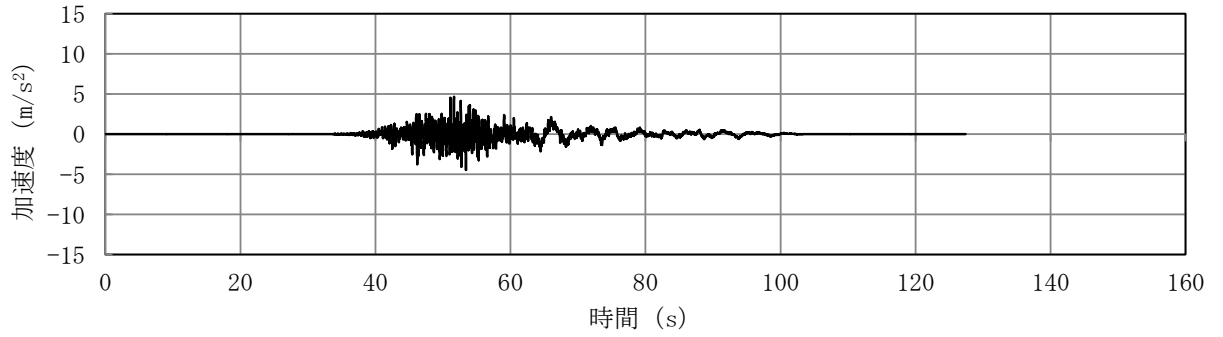
(a) 加速度時刻歴波形



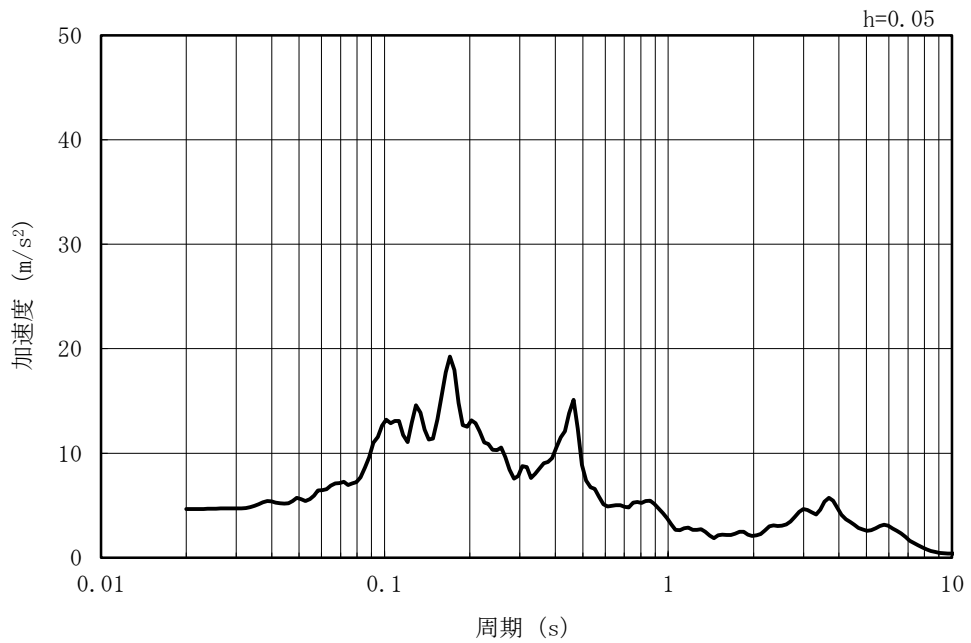
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-84 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-5EW)

MAX 4.64m/s² (51.64s)



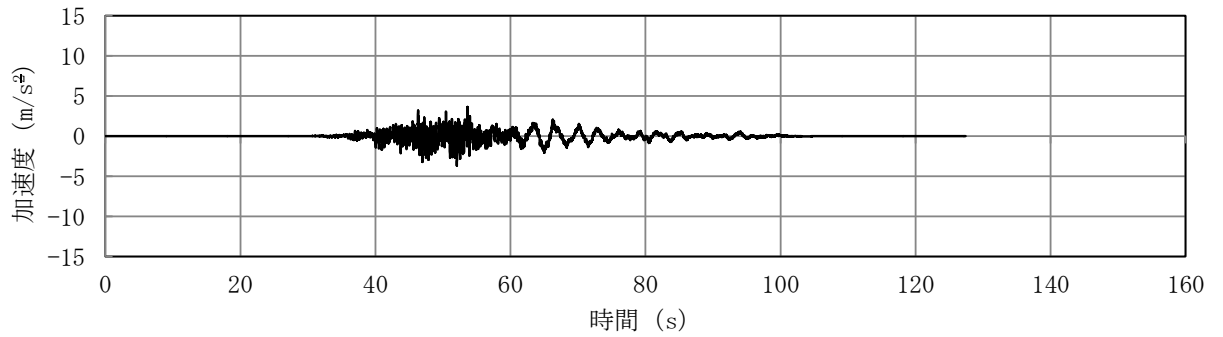
(a) 加速度時刻歴波形



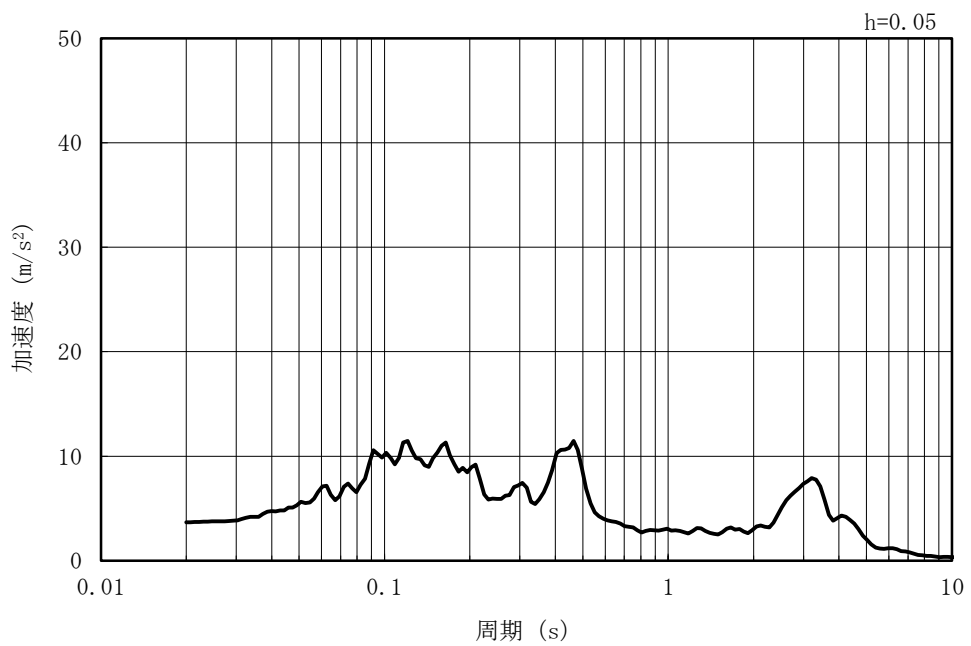
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-85 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5NS)

MAX 3.68m/s² (52.06s)



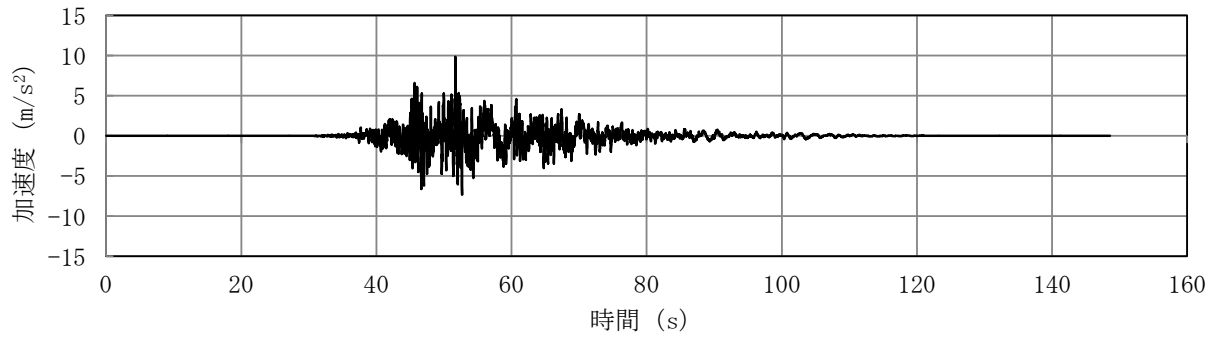
(a) 加速度時刻歴波形



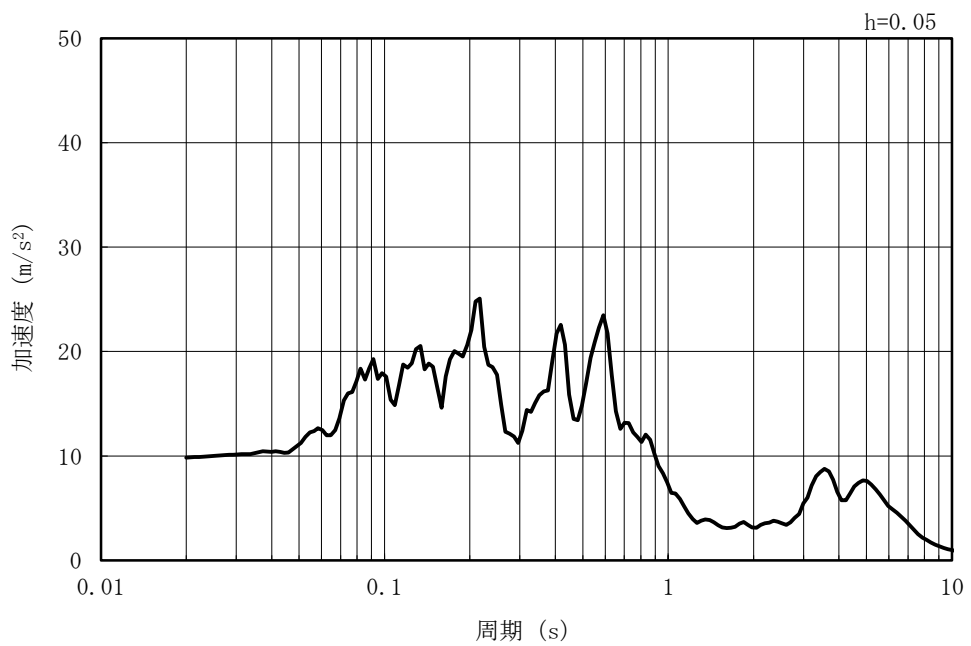
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-86 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-5NS)

MAX 9.84m/s² (51.71s)



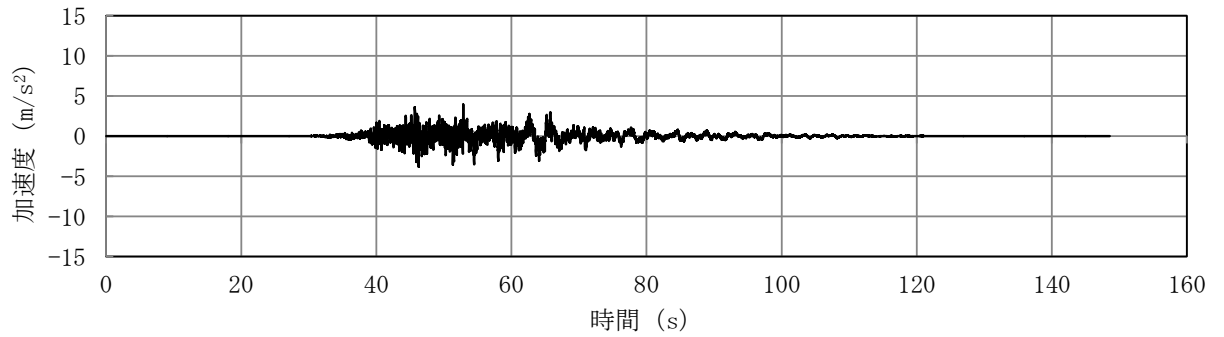
(a) 加速度時刻歴波形



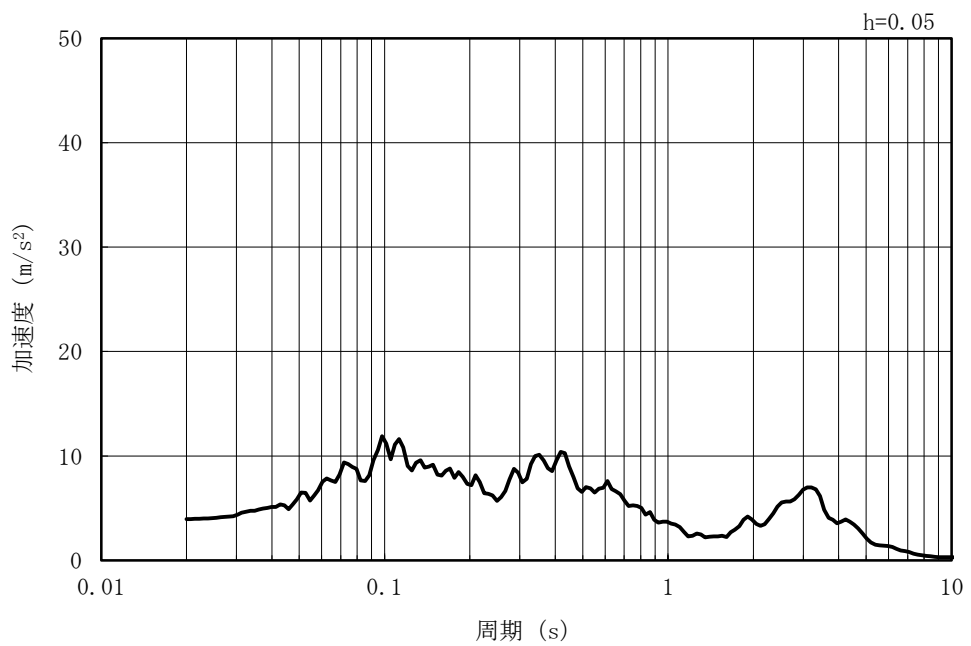
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-87 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6EW)

MAX 3.95m/s² (52.87s)

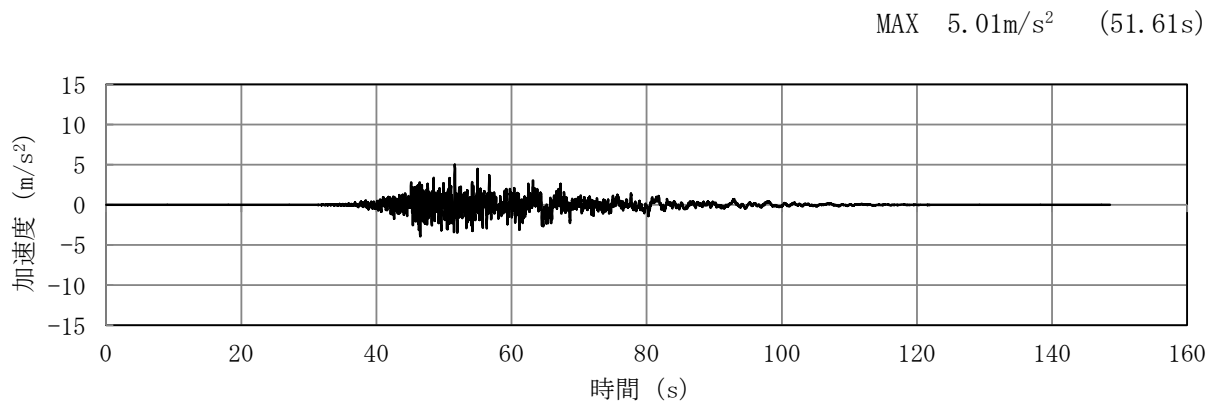


(a) 加速度時刻歴波形

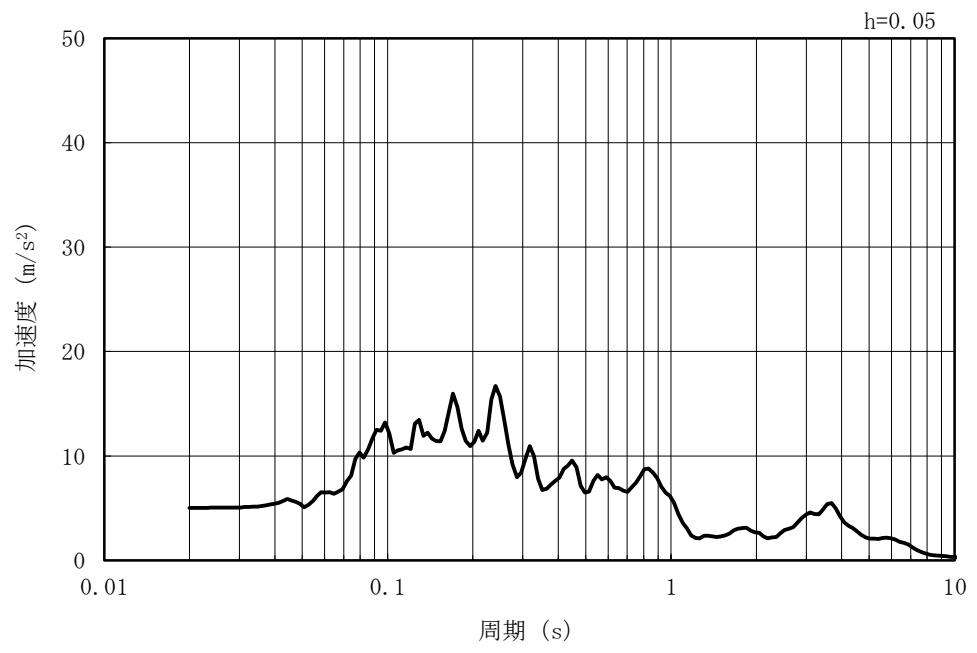


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-88 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6EW)



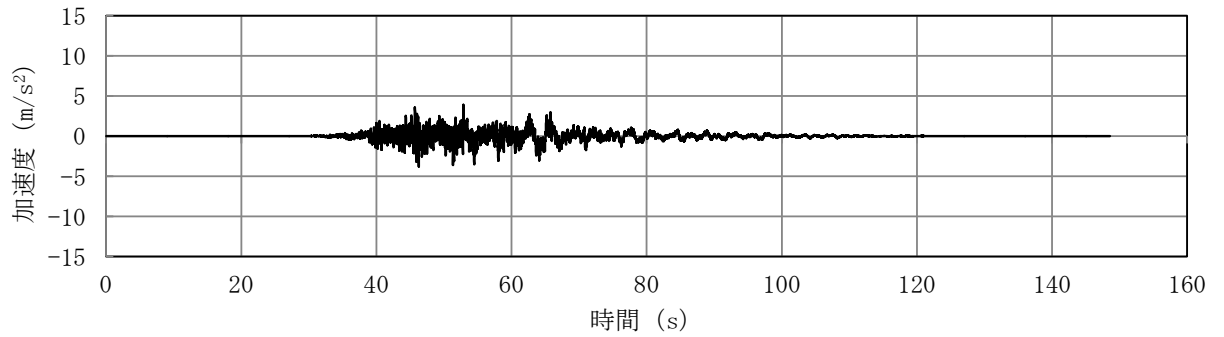
(a) 加速度時刻歴波形



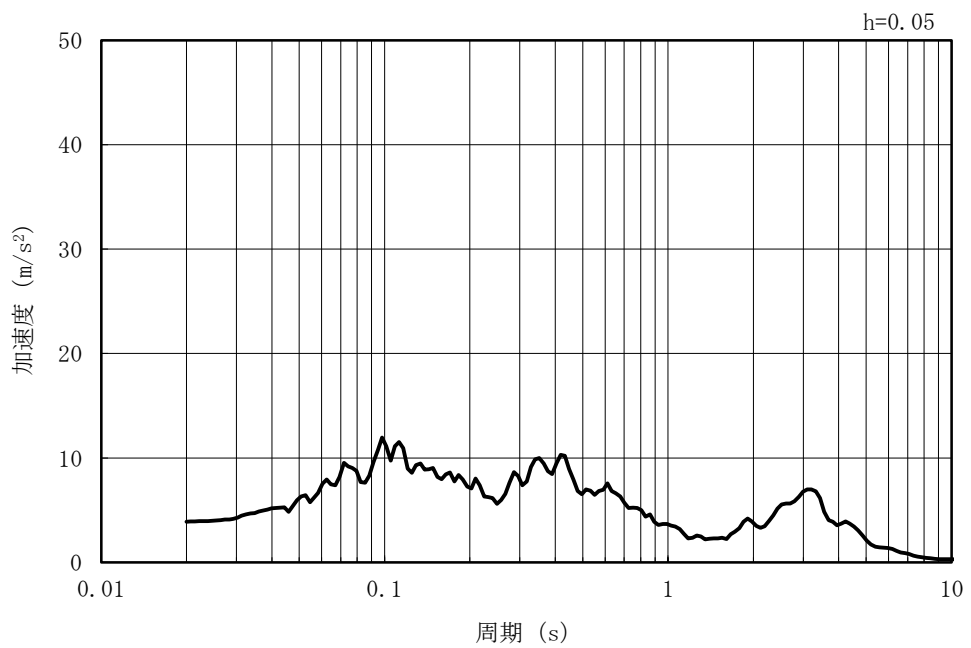
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-89 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6NS)

MAX 3.89m/s² (52.87s)



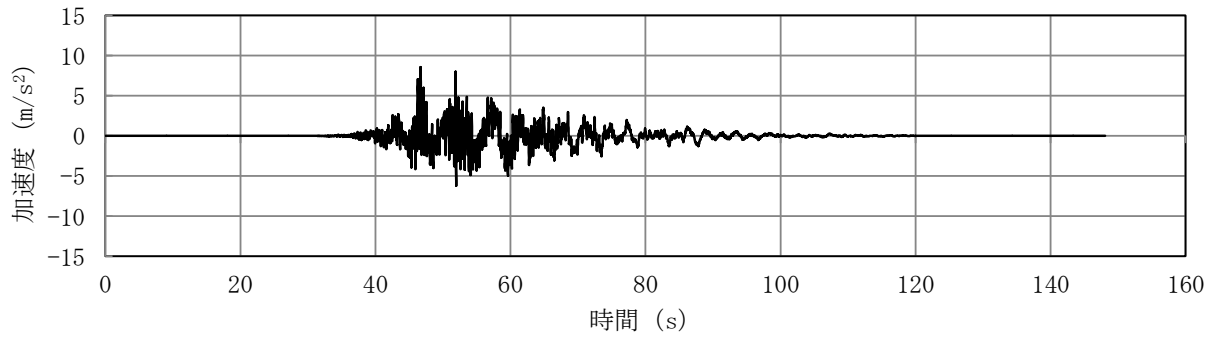
(a) 加速度時刻歴波形



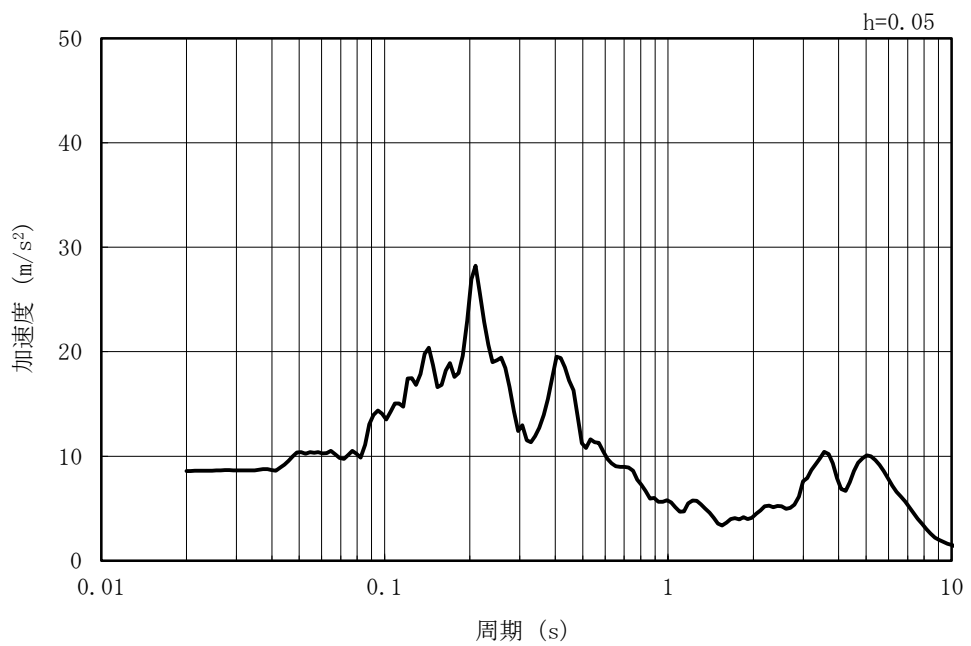
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-90 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6NS)

MAX 8.58m/s² (46.68s)



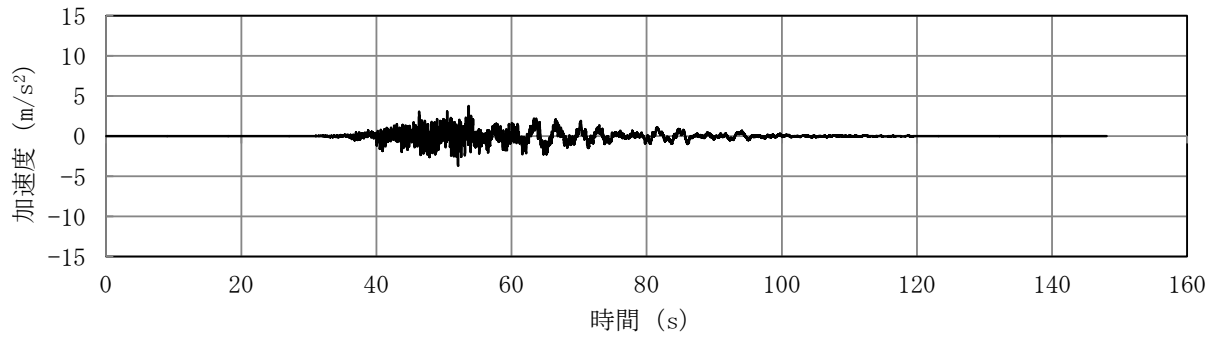
(a) 加速度時刻歴波形



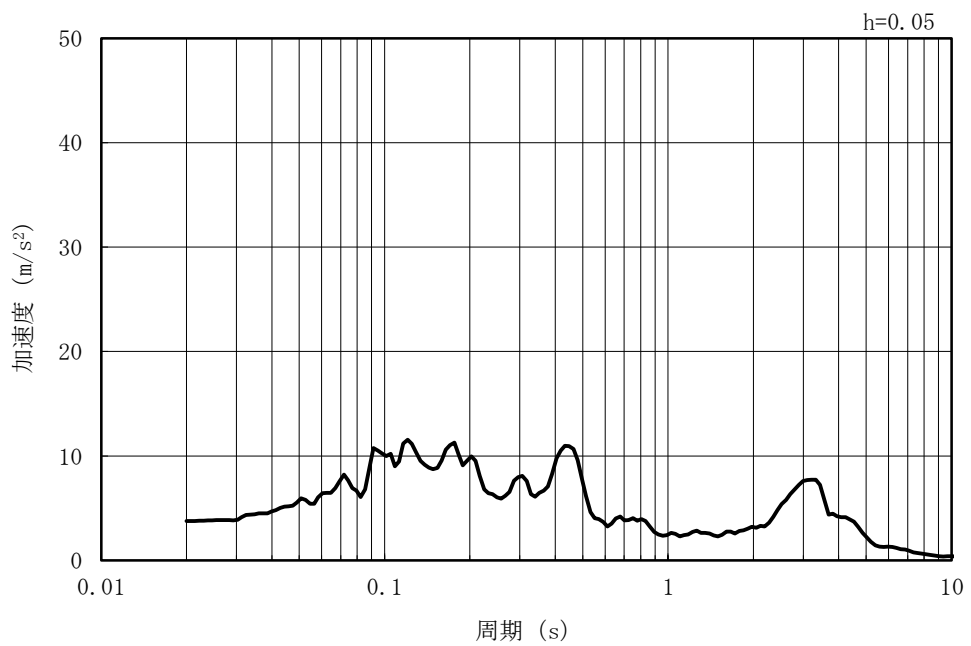
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-91 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-7EW)

MAX 3.76m/s² (53.65s)



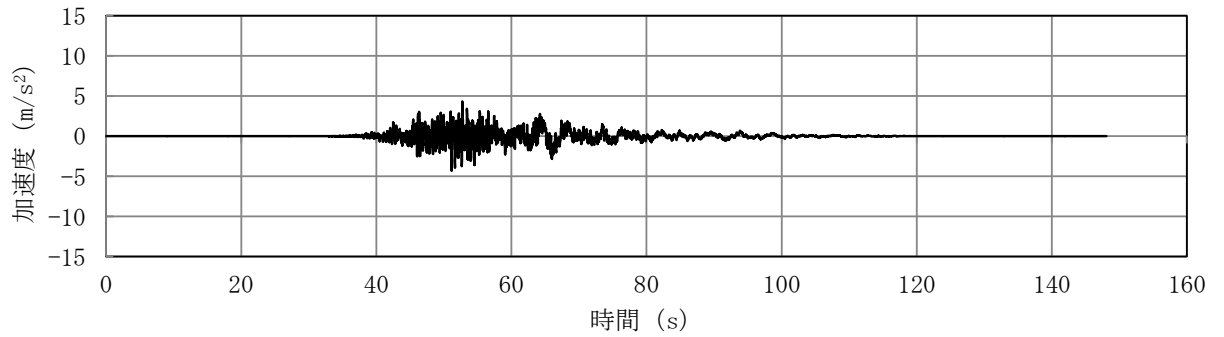
(a) 加速度時刻歴波形



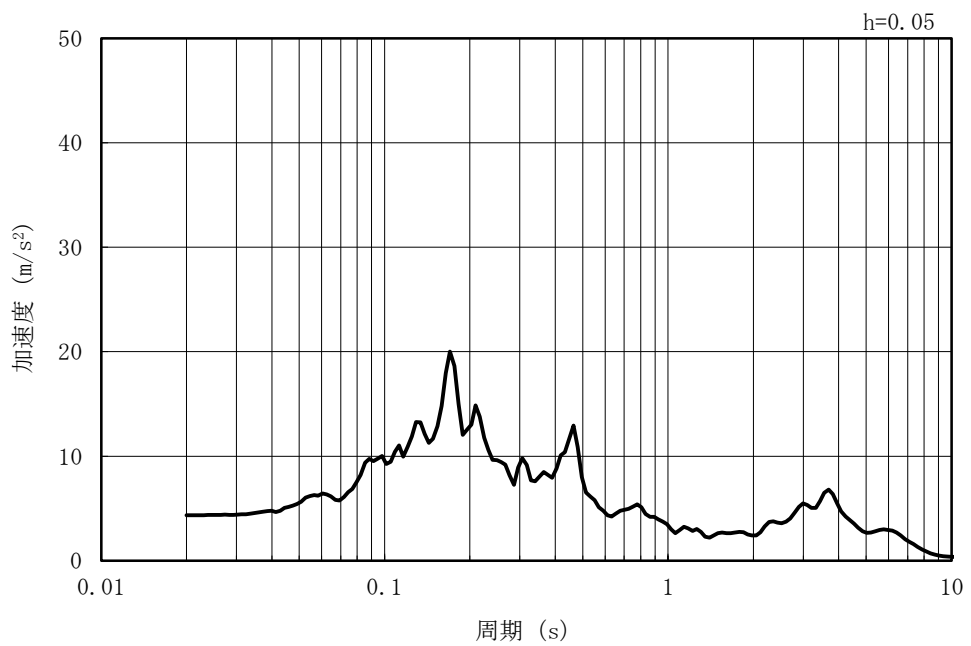
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-92 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-7EW)

MAX 4.33m/s² (52.75s)



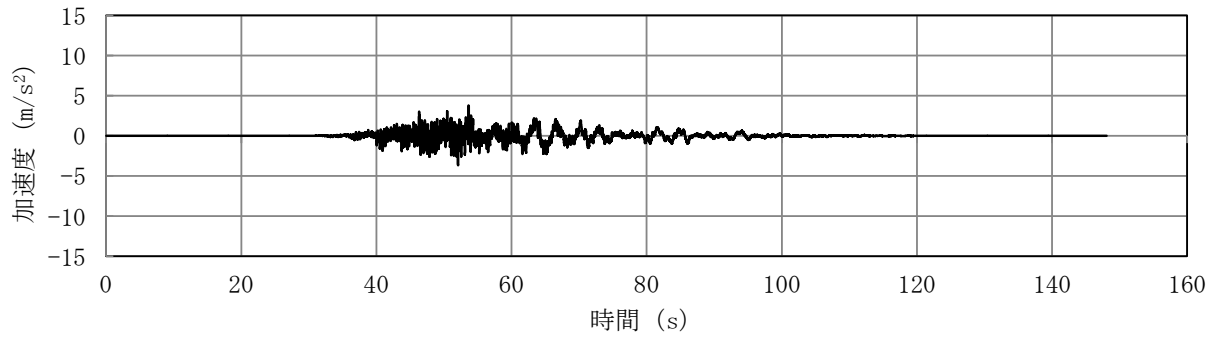
(a) 加速度時刻歴波形



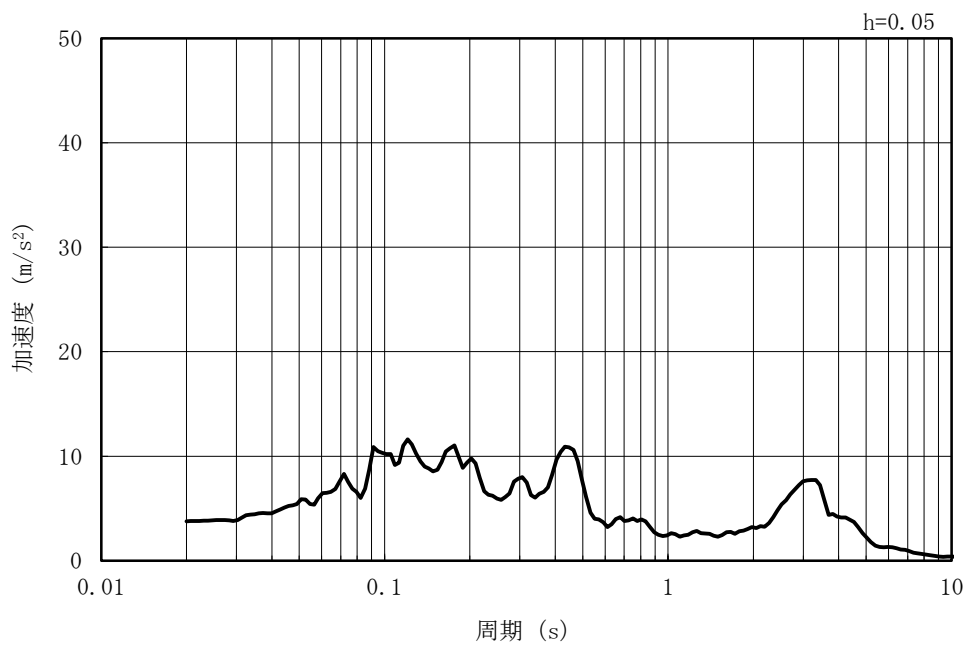
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-93 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-7NS)

MAX 3.77m/s² (53.65s)



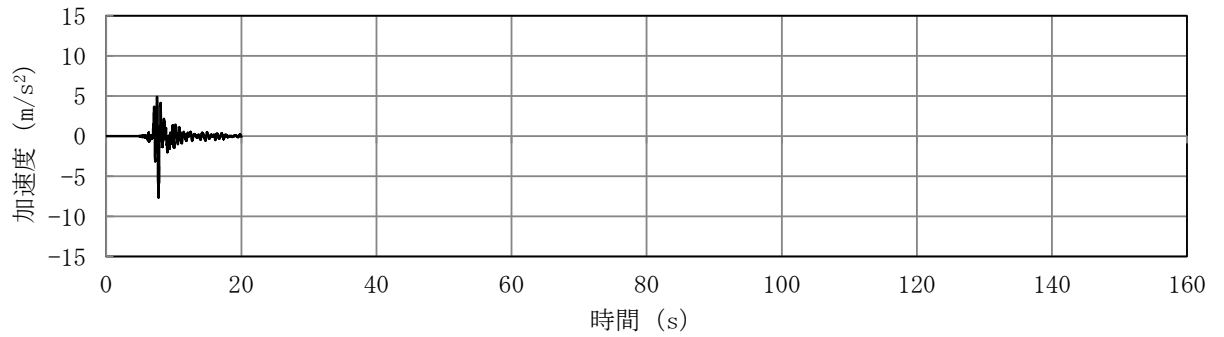
(a) 加速度時刻歴波形



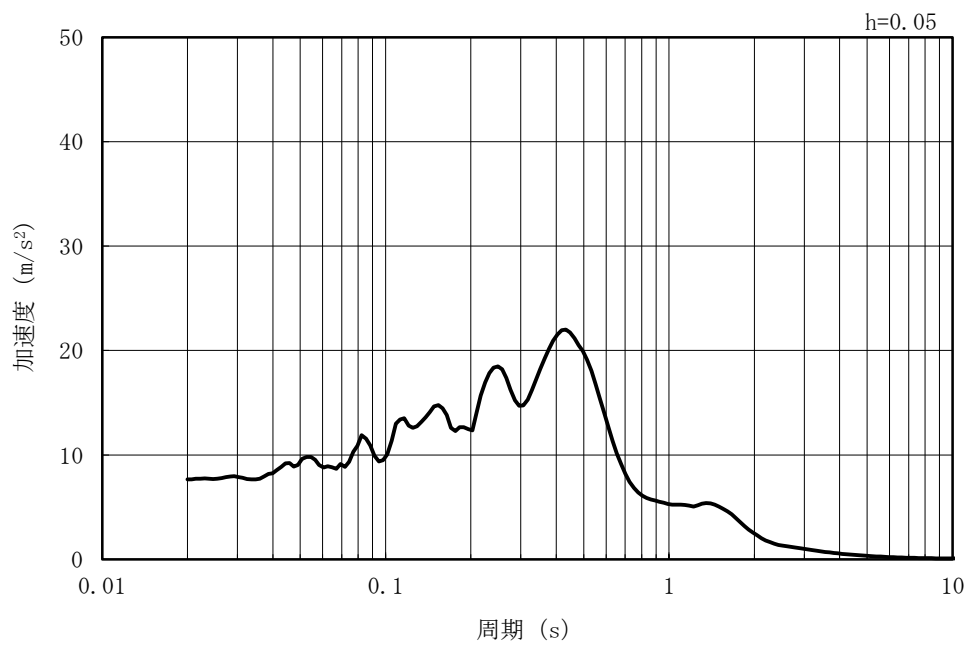
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-94 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-7NS)

MAX 7.65m/s² (7.74s)



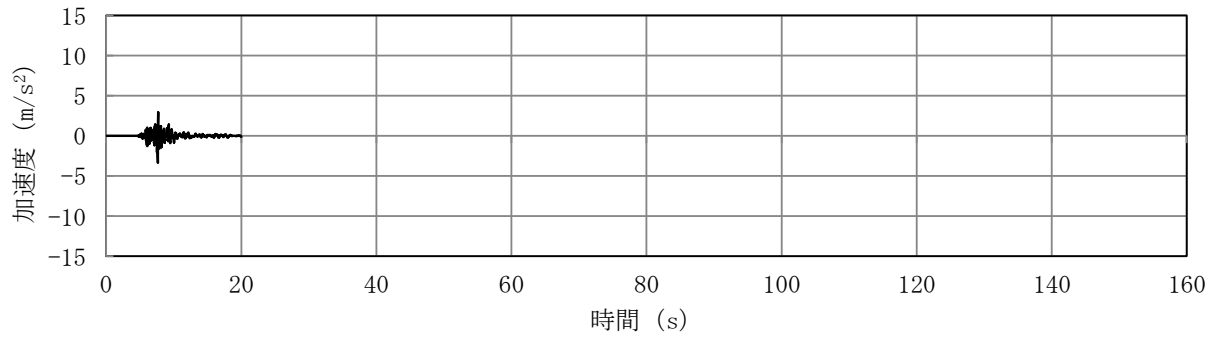
(a) 加速度時刻歴波形



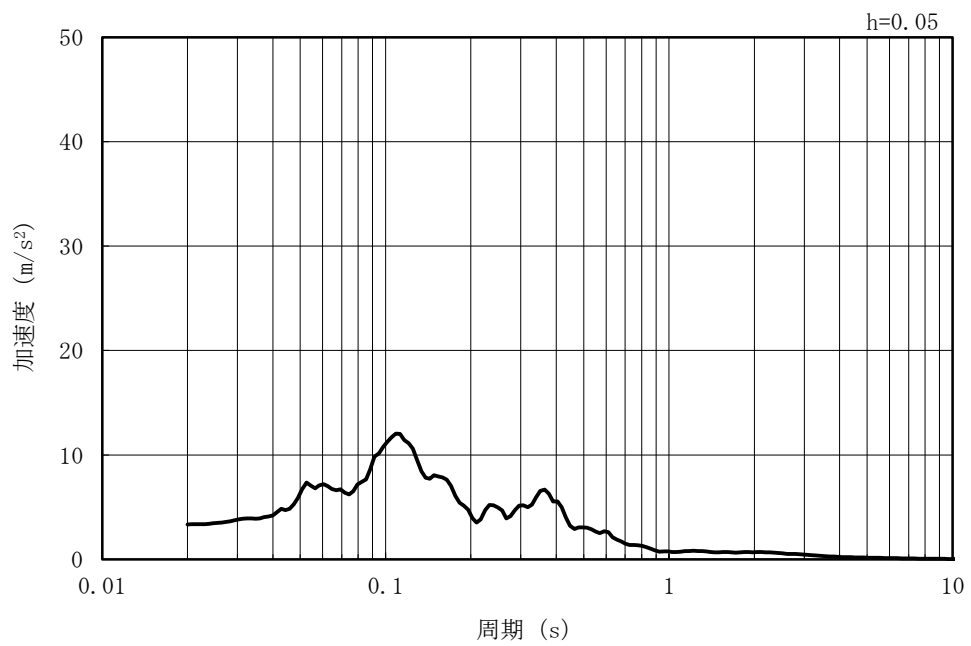
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-95 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-8)

MAX 3.35m/s² (7.64s)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 5-96 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-8)

5.5.2 許容限界の設定

(1) 通水機能を要求する部材の許容限界

a. 曲げに対する許容限界

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する照査は、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%）を許容限界とし、照査用コンクリートひずみが限界ひずみを下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査に用いるコンクリートの照査用圧縮ひずみは、3次元構造解析により得られたコンクリートの圧縮縁の発生ひずみに安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_r} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

ε_r : 限界ひずみ

ε_d : 照査用圧縮ひずみ ($\varepsilon_d = \gamma_a \cdot \varepsilon$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

ε : 圧縮縁の発生ひずみ

b. せん断に対する許容限界

鉄筋コンクリート部材のせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、(a)棒部材式及び(b)ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方を許容限界とし、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材のせん断照査に用いる照査用せん断力は、地震応答解析により得られたせん断力に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、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。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{yd}} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i=1.0$)

V_{yd} : せん断耐力

V_d : 照査用せん断力 ($V_d = \gamma_a \cdot V$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a=1.05$)

V : 応答計算によるせん断力値

構造部材のせん断に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、(a)棒部材式及び(b)ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方とする。

(a) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72$ (N/mm²) となる場合は
 $f_{vcd} = 0.72$ (N/mm²)

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_n = 1 + 2 M_0 / M_{ud} \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 4 M_0 / M_{ud} \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$ となる場合は $\beta_a = 1.0$

f'_{cd} : 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'_{ck} を
材料係数 γ_{mc} (=1.3) で除したもの

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$: 引張鉄筋比

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_{ud} : 軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

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

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

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

ここで、

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度を材料係数 γ_{ms} (1.0) で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上の時は、 800N/mm^2 以下とする。

α : せん断補強筋と部材軸のなす角

s : せん断補強筋の配置間隔

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 (=1.1)

(b) ディープビーム式

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

ここで、

V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

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

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

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

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

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

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

p_{wb} : せん断補強鉄筋比 (%)

また、分布荷重を受ける部材のせん断耐力については、図 5-97 に示す等価せん断スパンの考え方に基づき、せん断耐力を算定する。

(c) 等価せん断スパンの設定

時刻歴地震応答解析で得られる断面力分布に基づいて、支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメントが発生する位置（あるいはせん断力が零となる点）までを照査対象区間と考える。この区間において、等価せん断スパンを以下のように設定する。

- ① 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が存在する場合は、以下の2種類の等価せん断スパンを設定する。

第1等価せん断スパン(a1)：支承前面あるいははり・柱前面から反曲点までの距離

第2等価せん断スパン(a2)：反曲点から最大曲げモーメント点までの距離

- ② 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が無い場合は、以下のように等価せん断スパンを設定する。

等価せん断スパン(a)：支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメント点までの距離

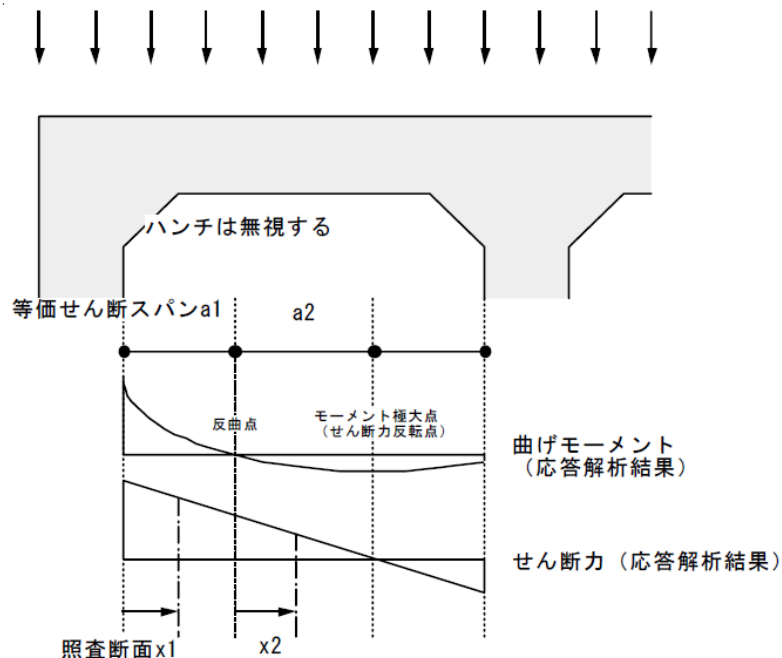


図 5-97 等価せん断スパンの設定方法

(土木学会マニュアルより引用)

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 5-19 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。

なお、部材係数 γ_b のうち、繰返し作用を受けても曲げせん断破壊しないことを保証するための裕度分 γ_{b2} については、部材降伏に至らない応答解析結果であることから、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

表 5-19 せん断耐力式において考慮している安全係数

| 安全係数 | | | 値 | 内容 | |
|--------|--------|---------------|------------|---------------------|---------------|
| 材料係数 | コンクリート | γ_{mc} | 1.30 | コンクリートの特性値（圧縮強度）を低減 | |
| 部材係数 | コンクリート | γ_{bc} | 1.30 | コンクリートが負担するせん断力を低減 | |
| | 鉄筋 | γ_{bs} | 1.10 | 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）を割り増し |

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

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

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

ここで、R：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おり、補機冷却用海水取水路は部材降伏に至らないことから、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

以上より、 $\gamma_{bc}=1.3 \times 1.0=1.30$ 、 $\gamma_{bs}=1.1 \times 1.0=1.10$ となる。

c. 妻壁の面内せん断に対する許容限界

妻壁の面内せん断に対する許容限界は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会) に基づき、以下の式で求まるせん断ひずみ度に関する許容限界の目安値とする。

妻壁の面内せん断照査に用いる照査用せん断ひずみは、3次元構造解析により得られた面内せん断ひずみに安全係数(構造解析係数) 1.2 を乗じることにより、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。

$$\gamma_i \frac{\gamma_d}{\gamma_A} < 1.0$$

ここで、 γ_i : 構造物係数 (=1.0)

$$\gamma_d = \gamma_a \cdot \gamma$$

γ_a : 構造解析係数 (=1.2)

γ : 応答計算による面内せん断ひずみ

γ_A : せん断ひずみ度に関する許容限界の目安値

$$\gamma_A = \gamma_u / 2.0$$

γ_u : 終局せん断ひずみ度で 4.0×10^{-3}

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界に対する許容限界

基礎地盤の支持性能については、構造物の接地圧が基礎地盤の極限支持力度を十分に下回ることを確認する。

補機冷却海水取水路の基礎地盤は、西山層の置き換え材料としてマンメイドロックが設置されている。マンメイドロックは西山層と同等以上の力学特性を有する材料として設計されていることから、マンメイドロックの極限支持力度は、西山層の西山層の岩盤支持力試験値とし、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、表 5-20 に示すとおりに設定する。

表 5-20 マンメイドロックの極限支持力度（西山層）

| 項目 | 許容限界 q_u (N/mm ²) | 備考 |
|---------|------------------------------------|----------|
| 岩盤支持力試験 | 6.17 | 西山層岩盤試験値 |

(3) 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材については、鉄筋の降伏（図 5-98）を許容限界とする。なお、部材の片側の鉄筋が降伏に至った場合でも、部材を貫通するひび割れが発生するまでは著しい漏水が生じる可能性は低いものと考えられる。そのため、部材を貫通するひび割れが発生（＝部材の両側ともに鉄筋降伏に至った状態）を貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界とする。

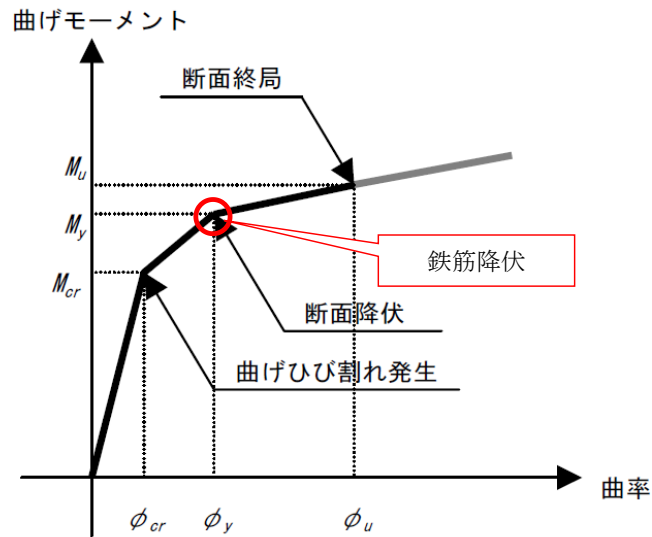


図 5-98 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

5.6 評価結果

5.6.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「最大せん断ひずみ分布」及び「最大過剰間隙水圧比分布」を記載する。

(1) 解析ケースと照査値

耐震評価においては、KK7 補足-027-1「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「9. 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定について」に基づき、全ての基準地震動 S_s に対して実施する解析ケース①（基本ケース）で地震応答解析を実施し、基礎地盤の支持性能については得られた応答値から、曲げ軸力照査及びせん断力照査については3次元構造解析から照査値を算定する。また、曲げ軸力照査、せん断力照査及び基礎地盤の支持性能照査の各評価項目について、照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加解析ケースとして解析ケース②～⑤で地震応答解析を実施し、解析ケース①（基本ケース）と同様に照査値を算定する。上記解析ケースを踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

a. 補機冷却用海水取水路（南側）

(a) 曲げ軸力照査

補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 5-21 に示す。

表 5-21 補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.015 | | | | |
| | -+ | 0.017 | | | | |
| | +- | 0.015 | 0.016 | 0.015 | 0.016 | 0.017 |
| | -- | 0.015 | | | | |
| Ss-2 | | 0.017 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.016 | | | | |
| | -+ | 0.015 | | | | |
| | +- | 0.014 | | | | |
| | -- | 0.015 | | | | |
| Ss-4 | | 0.014 | | | | |
| Ss-5 | | 0.015 | | | | |
| Ss-6 | | 0.013 | | | | |
| Ss-7 | | 0.014 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.016 | | | | |
| | -+ | 0.014 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.012 | | | | |
| | -+ | 0.015 | | | | |
| | +- | 0.021 | 0.021 | 0.020 | 0.017 | 0.017 |
| | -- | 0.012 | | | | |
| Ss-2 | | 0.016 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.017 | | | | |
| | -+ | 0.013 | | | | |
| | +- | 0.010 | | | | |
| | -- | 0.012 | | | | |
| Ss-4 | | 0.013 | | | | |
| Ss-5 | | 0.011 | | | | |
| Ss-6 | | 0.016 | | | | |
| Ss-7 | | 0.016 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.016 | | | | |
| | -+ | 0.014 | | | | |

表 5-21 補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（2/3）

隔壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.017 | | | | |
| | -+ | 0.017 | | | | |
| | +- | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.019 | 0.020 |
| | -- | 0.016 | | | | |
| Ss-2 | | 0.018 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.019 | | | | |
| | -+ | 0.018 | | | | |
| | +- | 0.016 | | | | |
| | -- | 0.015 | | | | |
| Ss-4 | | 0.012 | | | | |
| Ss-5 | | 0.012 | | | | |
| Ss-6 | | 0.015 | | | | |
| Ss-7 | | 0.015 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.021 | | | | |
| | -+ | 0.018 | | | | |

底版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.013 | | | | |
| | -+ | 0.021 | | | | |
| | +- | 0.020 | 0.020 | 0.021 | 0.014 | 0.014 |
| | -- | 0.017 | | | | |
| Ss-2 | | 0.013 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.022 | | | | |
| | -+ | 0.019 | | | | |
| | +- | 0.016 | | | | |
| | -- | 0.019 | | | | |
| Ss-4 | | 0.011 | | | | |
| Ss-5 | | 0.010 | | | | |
| Ss-6 | | 0.013 | | | | |
| Ss-7 | | 0.010 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.013 | | | | |
| | -+ | 0.016 | | | | |

表 5-21 補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.012 | | | | |
| | -+ | 0.016 | | | | |
| | +- | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.015 | 0.016 |
| | -- | 0.014 | | | | |
| Ss-2 | | 0.015 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.017 | | | | |
| | -+ | 0.015 | | | | |
| | +- | 0.011 | | | | |
| | -- | 0.013 | | | | |
| Ss-4 | | 0.011 | | | | |
| Ss-5 | | 0.010 | | | | |
| Ss-6 | | 0.014 | | | | |
| Ss-7 | | 0.015 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.018 | | | | |
| | -+ | 0.016 | | | | |

妻壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.022 | | | | |
| | -+ | 0.023 | | | | |
| | +- | 0.025 | 0.026 | 0.025 | 0.020 | 0.020 |
| | -- | 0.021 | | | | |
| Ss-2 | | 0.023 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.020 | | | | |
| | -+ | 0.021 | | | | |
| | +- | 0.019 | | | | |
| | -- | 0.019 | | | | |
| Ss-4 | | 0.016 | | | | |
| Ss-5 | | 0.017 | | | | |
| Ss-6 | | 0.017 | | | | |
| Ss-7 | | 0.017 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.024 | | | | |
| | -+ | 0.024 | | | | |

(b) せん断力照査

補機冷却用海水取水路（南側）の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 5-22 に示す。

表 5-22 補機冷却用海水取水路（南側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.36 | | | | |
| | -+ | 0.37 | | | | |
| | +- | 0.37 | 0.38 | 0.37 | 0.31 | 0.32 |
| | -- | 0.34 | | | | |
| Ss-2 | | 0.40 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.30 | | | | |
| | -+ | 0.37 | | | | |
| | +- | 0.33 | | | | |
| | -- | 0.32 | | | | |
| Ss-4 | | 0.29 | | | | |
| Ss-5 | | 0.30 | | | | |
| Ss-6 | | 0.28 | | | | |
| Ss-7 | | 0.27 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.33 | | | | |
| | -+ | 0.33 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.27 | | | | |
| | -+ | 0.35 | | | | |
| | +- | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.36 | 0.37 |
| | -- | 0.30 | | | | |
| Ss-2 | | 0.29 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.38 | | | | |
| | -+ | 0.33 | | | | |
| | +- | 0.26 | | | | |
| | -- | 0.30 | | | | |
| Ss-4 | | 0.22 | | | | |
| Ss-5 | | 0.23 | | | | |
| Ss-6 | | 0.27 | | | | |
| Ss-7 | | 0.27 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.27 | | | | |
| | -+ | 0.27 | | | | |

表 5-22 補機冷却用海水取水路（南側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（2/3）

隔壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.17 | | | | |
| | -+ | 0.16 | | | | |
| | +- | 0.17 | 0.16 | 0.18 | 0.15 | 0.15 |
| | -- | 0.15 | | | | |
| Ss-2 | | 0.15 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.15 | | | | |
| | -+ | 0.15 | | | | |
| | +- | 0.14 | | | | |
| | -- | 0.15 | | | | |
| Ss-4 | | 0.09 | | | | |
| Ss-5 | | 0.08 | | | | |
| Ss-6 | | 0.09 | | | | |
| Ss-7 | | 0.13 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.18 | | | | |
| | -+ | 0.17 | | | | |

底版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.49 | | | | |
| | -+ | 0.48 | | | | |
| | +- | 0.58 | 0.59 | 0.59 | 0.47 | 0.43 |
| | -- | 0.48 | | | | |
| Ss-2 | | 0.31 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.49 | | | | |
| | -+ | 0.47 | | | | |
| | +- | 0.44 | | | | |
| | -- | 0.45 | | | | |
| Ss-4 | | 0.26 | | | | |
| Ss-5 | | 0.25 | | | | |
| Ss-6 | | 0.35 | | | | |
| Ss-7 | | 0.40 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.54 | | | | |
| | -+ | 0.55 | | | | |

注： □は、前述 5.3.5 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

表 5-22 補機冷却用海水取水路（南側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|-----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.15 | | | | |
| | -+ | 0.12 | | | | |
| | + - | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.09 | 0.10 |
| | -- | 0.12 | | | | |
| Ss-2 | | 0.11 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.11 | | | | |
| | -+ | 0.11 | | | | |
| | + - | 0.12 | | | | |
| | -- | 0.12 | | | | |
| Ss-4 | | 0.06 | | | | |
| Ss-5 | | 0.06 | | | | |
| Ss-6 | | 0.07 | | | | |
| Ss-7 | | 0.09 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.12 | | | | |
| | -+ | 0.12 | | | | |

妻壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|-----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.41 | | | | |
| | -+ | 0.47 | | | | |
| | + - | 0.38 | 0.41 | 0.39 | 0.42 | 0.43 |
| | -- | 0.42 | | | | |
| Ss-2 | | 0.46 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.34 | | | | |
| | -+ | 0.39 | | | | |
| | + - | 0.38 | | | | |
| | -- | 0.41 | | | | |
| Ss-4 | | 0.39 | | | | |
| Ss-5 | | 0.39 | | | | |
| Ss-6 | | 0.36 | | | | |
| Ss-7 | | 0.35 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.42 | | | | |
| | -+ | 0.37 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

補機冷却用海水取水路（南側）の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 5-23 に示す。

表 5-23 補機冷却用海水取水路（南側）の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 基礎地盤の支持性能照査 | | | | |
|--------------|----|-------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.07 | | | | |
| | -+ | 0.07 | | | | |
| | +- | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.07 |
| | -- | 0.07 | | | | |
| Ss-2 | | 0.07 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.06 | | | | |
| | -+ | 0.06 | | | | |
| | +- | 0.06 | | | | |
| | -- | 0.06 | | | | |
| Ss-4 | | 0.06 | | | | |
| Ss-5 | | 0.06 | | | | |
| Ss-6 | | 0.06 | | | | |
| Ss-7 | | 0.06 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.05 | | | | |
| | -+ | 0.06 | | | | |

b. 補機冷却用海水取水路（北側）

(a) 曲げ軸力照査

補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 5-24 に示す。

表 5-24 補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.022 | | | | |
| | -+ | 0.022 | | | | |
| | +- | 0.024 | 0.024 | 0.023 | 0.019 | 0.018 |
| | -- | 0.023 | | | | |
| Ss-2 | | 0.016 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.015 | | | | |
| | -+ | 0.015 | | | | |
| | +- | 0.017 | | | | |
| | -- | 0.018 | | | | |
| Ss-4 | | 0.014 | | | | |
| Ss-5 | | 0.014 | | | | |
| Ss-6 | | 0.018 | | | | |
| Ss-7 | | 0.016 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.015 | | | | |
| | -+ | 0.012 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.025 | | | | |
| | -+ | 0.024 | | | | |
| | +- | 0.026 | 0.022 | 0.021 | 0.016 | 0.016 |
| | -- | 0.025 | | | | |
| Ss-2 | | 0.017 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.015 | | | | |
| | -+ | 0.012 | | | | |
| | +- | 0.019 | | | | |
| | -- | 0.020 | | | | |
| Ss-4 | | 0.012 | | | | |
| Ss-5 | | 0.015 | | | | |
| Ss-6 | | 0.019 | | | | |
| Ss-7 | | 0.018 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.015 | | | | |
| | -+ | 0.012 | | | | |

表 5-24 補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（2/3）

隔壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.022 | | | | |
| | -+ | 0.023 | | | | |
| | +- | 0.026 | 0.022 | 0.023 | 0.028 | 0.028 |
| | -- | 0.025 | | | | |
| Ss-2 | | 0.021 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.019 | | | | |
| | -+ | 0.017 | | | | |
| | +- | 0.017 | | | | |
| | -- | 0.019 | | | | |
| Ss-4 | | 0.015 | | | | |
| Ss-5 | | 0.018 | | | | |
| Ss-6 | | 0.020 | | | | |
| Ss-7 | | 0.016 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.023 | | | | |
| | -+ | 0.020 | | | | |

底版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.014 | | | | |
| | -+ | 0.014 | | | | |
| | +- | 0.019 | 0.019 | 0.020 | 0.021 | 0.021 |
| | -- | 0.018 | | | | |
| Ss-2 | | 0.014 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.015 | | | | |
| | -+ | 0.016 | | | | |
| | +- | 0.013 | | | | |
| | -- | 0.014 | | | | |
| Ss-4 | | 0.012 | | | | |
| Ss-5 | | 0.013 | | | | |
| Ss-6 | | 0.012 | | | | |
| Ss-7 | | 0.011 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.016 | | | | |
| | -+ | 0.014 | | | | |

表 5-24 補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.024 | | | | |
| | -+ | 0.024 | | | | |
| | +- | 0.026 | 0.026 | 0.027 | 0.030 | 0.029 |
| | -- | 0.025 | | | | |
| Ss-2 | | 0.019 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.020 | | | | |
| | -+ | 0.017 | | | | |
| | +- | 0.018 | | | | |
| | -- | 0.020 | | | | |
| Ss-4 | | 0.014 | | | | |
| Ss-5 | | 0.017 | | | | |
| Ss-6 | | 0.019 | | | | |
| Ss-7 | | 0.018 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.022 | | | | |
| | -+ | 0.020 | | | | |

妻壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.028 | | | | |
| | -+ | 0.027 | | | | |
| | +- | 0.029 | 0.028 | 0.029 | 0.035 | 0.035 |
| | -- | 0.027 | | | | |
| Ss-2 | | 0.023 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.022 | | | | |
| | -+ | 0.024 | | | | |
| | +- | 0.022 | | | | |
| | -- | 0.024 | | | | |
| Ss-4 | | 0.019 | | | | |
| Ss-5 | | 0.020 | | | | |
| Ss-6 | | 0.022 | | | | |
| Ss-7 | | 0.022 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.024 | | | | |
| | -+ | 0.021 | | | | |

(b) せん断力照査

補機冷却用海水取水路（北側）の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 5-25 に示す。

表 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.45 | | | | |
| | -+ | 0.44 | | | | |
| | +- | 0.49 | 0.48 | 0.50 | 0.53 | 0.52 |
| | -- | 0.46 | | | | |
| Ss-2 | | 0.42 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.38 | | | | |
| | -+ | 0.40 | | | | |
| | +- | 0.36 | | | | |
| | -- | 0.38 | | | | |
| Ss-4 | | 0.35 | | | | |
| Ss-5 | | 0.35 | | | | |
| Ss-6 | | 0.36 | | | | |
| Ss-7 | | 0.36 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.40 | | | | |
| | -+ | 0.35 | | | | |

側壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.48 | | | | |
| | -+ | 0.45 | | | | |
| | +- | 0.47 | 0.49 | 0.45 | 0.38 | 0.37 |
| | -- | 0.48 | | | | |
| Ss-2 | | 0.32 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.33 | | | | |
| | -+ | 0.30 | | | | |
| | +- | 0.38 | | | | |
| | -- | 0.38 | | | | |
| Ss-4 | | 0.25 | | | | |
| Ss-5 | | 0.28 | | | | |
| Ss-6 | | 0.35 | | | | |
| Ss-7 | | 0.33 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.29 | | | | |
| | -+ | 0.26 | | | | |

表 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（2/3）

隔壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.16 | | | | |
| | -+ | 0.17 | | | | |
| | +- | 0.21 | 0.20 | 0.23 | 0.31 | 0.30 |
| | -- | 0.20 | | | | |
| Ss-2 | | 0.17 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.13 | | | | |
| | -+ | 0.13 | | | | |
| | +- | 0.13 | | | | |
| | -- | 0.13 | | | | |
| Ss-4 | | 0.10 | | | | |
| Ss-5 | | 0.11 | | | | |
| Ss-6 | | 0.15 | | | | |
| Ss-7 | | 0.13 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.20 | | | | |
| | -+ | 0.19 | | | | |

底版

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.42 | | | | |
| | -+ | 0.45 | | | | |
| | +- | 0.59 | 0.58 | 0.62 | 0.76 | 0.76 |
| | -- | 0.57 | | | | |
| Ss-2 | | 0.45 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.45 | | | | |
| | -+ | 0.40 | | | | |
| | +- | 0.41 | | | | |
| | -- | 0.43 | | | | |
| Ss-4 | | 0.35 | | | | |
| Ss-5 | | 0.39 | | | | |
| Ss-6 | | 0.46 | | | | |
| Ss-7 | | 0.39 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.56 | | | | |
| | -+ | 0.50 | | | | |

注： □は、前述 5.3.5 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

表 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.14 | | | | |
| | -+ | 0.13 | | | | |
| | +- | 0.15 | 0.15 | 0.17 | 0.22 | 0.21 |
| | -- | 0.15 | | | | |
| Ss-2 | | 0.13 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.11 | | | | |
| | -+ | 0.12 | | | | |
| | +- | 0.11 | | | | |
| | -- | 0.11 | | | | |
| Ss-4 | | 0.10 | | | | |
| Ss-5 | | 0.09 | | | | |
| Ss-6 | | 0.12 | | | | |
| Ss-7 | | 0.10 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.15 | | | | |
| | -+ | 0.14 | | | | |

妻壁

| 解析ケース 地震動 | | 鉄筋コンクリートのせん断力照査 | | | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.52 | | | | |
| | -+ | 0.53 | | | | |
| | +- | 0.54 | 0.53 | 0.54 | 0.41 | 0.41 |
| | -- | 0.52 | | | | |
| Ss-2 | | 0.45 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.41 | | | | |
| | -+ | 0.43 | | | | |
| | +- | 0.42 | | | | |
| | -- | 0.46 | | | | |
| Ss-4 | | 0.38 | | | | |
| Ss-5 | | 0.40 | | | | |
| Ss-6 | | 0.43 | | | | |
| Ss-7 | | 0.42 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.40 | | | | |
| | -+ | 0.36 | | | | |

(c) 基礎地盤の支持性能

補機冷却用海水取水路（北側）の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 5-26 に示す。

表 5-26 補機冷却用海水取水路（北側）の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

| 解析ケース 地震動 | | 基礎地盤の支持性能照査 | | | | |
|--------------|----|-------------|------|------|------|------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| Ss-1 | ++ | 0.08 | | | | |
| | -+ | 0.07 | | | | |
| | +- | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| | -- | 0.07 | | | | |
| Ss-2 | | 0.06 | | | | |
| Ss-3 | ++ | 0.06 | | | | |
| | -+ | 0.06 | | | | |
| | +- | 0.07 | | | | |
| | -- | 0.06 | | | | |
| Ss-4 | | 0.06 | | | | |
| Ss-5 | | 0.06 | | | | |
| Ss-6 | | 0.06 | | | | |
| Ss-7 | | 0.06 | | | | |
| Ss-8 | ++ | 0.05 | | | | |
| | -+ | 0.06 | | | | |

(2) 妻壁の面内せん断力及び層間変位

地震応答解析における妻壁の面内せん断応力の最大値と時刻を表 5-27 及び表 5-28, 地震応答解析における妻壁の層間変位の最大値と時刻を表 5-29 及び表 5-30, 妻壁の位置を図 5-99～図 5-102 に示す。

表 5-27 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の面内せん断応力の最大値と時刻（A-A断面）

| 解析ケース | 地震動 | 面内せん断応力の最大値(kN/m ²) | | 面内せん断応力最大時の時刻(s) | |
|-------|--------|---------------------------------|------|------------------|-------|
| | | 南妻壁 | 北妻壁 | 南妻壁 | 北妻壁 |
| ① | Ss-1++ | 812 | 903 | 5.69 | 6.13 |
| | Ss-1-+ | 716 | 890 | 5.68 | 18.56 |
| | Ss-1+- | 856 | 906 | 5.67 | 4.73 |
| | Ss-1-- | 905 | 1149 | 5.67 | 5.68 |
| | Ss-2 | 632 | 753 | 19.35 | 21.90 |
| | Ss-3++ | 685 | 863 | 35.61 | 21.20 |
| | Ss-3-+ | 669 | 880 | 35.60 | 35.62 |
| | Ss-3+- | 657 | 807 | 24.89 | 21.21 |
| | Ss-3-- | 632 | 787 | 17.46 | 19.08 |
| | Ss-4 | 500 | 625 | 51.79 | 51.80 |
| | Ss-5 | 543 | 611 | 46.40 | 46.40 |
| | Ss-6 | 466 | 473 | 45.38 | 52.93 |
| | Ss-7 | 482 | 542 | 46.54 | 53.72 |
| | Ss-8++ | 721 | 813 | 8.00 | 8.01 |
| | Ss-8-+ | 774 | 734 | 8.00 | 7.31 |
| ② | Ss-1+- | 912 | 932 | 5.67 | 9.10 |
| ③ | Ss-1+- | 817 | 910 | 5.67 | 4.73 |
| ④ | Ss-1+- | 1051 | 1126 | 4.74 | 4.74 |
| ⑤ | Ss-1+- | 1228 | 1251 | 4.74 | 4.74 |

注： □は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

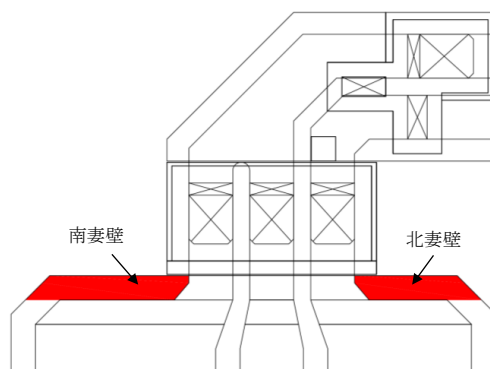


図 5-99 補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の位置

表 5-28 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の面内せん断応力の最大値と時刻（A-A断面）

| 解析ケース | 地震動 | 面内せん断応力の最大値(kN/m ²) | | 面内せん断応力最大時の時刻(s) | |
|-------|--------|---------------------------------|------|------------------|-------|
| | | 南妻壁 | 北妻壁 | 南妻壁 | 北妻壁 |
| ① | Ss-1++ | 786 | 671 | 5.15 | 6.11 |
| | Ss-1-+ | 769 | 763 | 4.79 | 5.69 |
| | Ss-1+- | 995 | 872 | 5.67 | 5.67 |
| | Ss-1-- | 863 | 825 | 4.73 | 5.67 |
| | Ss-2 | 672 | 617 | 20.52 | 19.35 |
| | Ss-3++ | 709 | 619 | 35.60 | 17.46 |
| | Ss-3-+ | 693 | 662 | 17.50 | 35.60 |
| | Ss-3+- | 673 | 650 | 12.28 | 17.45 |
| | Ss-3-- | 672 | 617 | 17.44 | 24.89 |
| | Ss-4 | 511 | 543 | 45.77 | 51.80 |
| | Ss-5 | 513 | 572 | 47.68 | 46.43 |
| | Ss-6 | 572 | 512 | 51.80 | 45.37 |
| | Ss-7 | 544 | 506 | 46.39 | 46.49 |
| | Ss-8++ | 722 | 742 | 7.30 | 7.99 |
| | Ss-8-+ | 773 | 755 | 8.01 | 8.00 |
| ② | Ss-1+- | 1018 | 911 | 5.67 | 5.67 |
| ③ | Ss-1+- | 993 | 864 | 5.67 | 5.67 |
| ④ | Ss-1+- | 1039 | 1012 | 5.68 | 4.75 |
| ⑤ | Ss-1+- | 1089 | 1143 | 5.69 | 4.74 |

注：□は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

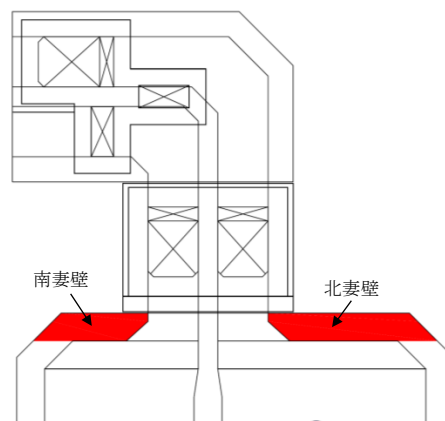


図 5-100 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の位置

表 5-29 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の層間変位の最大値と時刻（A-A断面）

| 解析ケース | 地震動 | 層間変位の最大値 (cm) | | 層間変位最大時の 時刻(s) | |
|-------|--------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------|
| | | 南妻壁 | 北妻壁 | 南妻壁 | 北妻壁 |
| ① | Ss-1++ | 4.52×10^{-2} | 4.24×10^{-2} | 5.69 | 6.12 |
| | Ss-1-+ | 4.08×10^{-2} | 4.94×10^{-2} | 5.69 | 5.69 |
| | Ss-1+- | 3.75×10^{-2} | 4.23×10^{-2} | 5.68 | 6.13 |
| | Ss-1-- | 4.74×10^{-2} | 5.50×10^{-2} | 5.68 | 5.68 |
| | Ss-2 | 2.45×10^{-2} | 2.80×10^{-2} | 19.78 | 21.49 |
| | Ss-3++ | 3.41×10^{-2} | 3.99×10^{-2} | 21.20 | 21.20 |
| | Ss-3-+ | 3.41×10^{-2} | 3.90×10^{-2} | 35.61 | 35.61 |
| | Ss-3+- | 3.25×10^{-2} | 3.83×10^{-2} | 21.20 | 21.20 |
| | Ss-3-- | 3.22×10^{-2} | 3.67×10^{-2} | 35.61 | 35.61 |
| | Ss-4 | 1.86×10^{-2} | 2.19×10^{-2} | 45.39 | 51.80 |
| | Ss-5 | 2.25×10^{-2} | 2.26×10^{-2} | 46.50 | 46.52 |
| | Ss-6 | 1.69×10^{-2} | 1.69×10^{-2} | 51.65 | 50.68 |
| | Ss-7 | 1.94×10^{-2} | 2.13×10^{-2} | 46.55 | 46.55 |
| | Ss-8++ | 3.88×10^{-2} | 4.11×10^{-2} | 8.00 | 8.00 |
| | Ss-8-+ | 3.58×10^{-2} | 3.65×10^{-2} | 8.00 | 7.31 |
| ② | Ss-1+- | 4.23×10^{-2} | 4.97×10^{-2} | 6.13 | 6.13 |
| ③ | Ss-1+- | 3.64×10^{-2} | 4.13×10^{-2} | 4.74 | 4.74 |
| ④ | Ss-1+- | 5.67×10^{-2} | 6.28×10^{-2} | 4.75 | 4.75 |
| ⑤ | Ss-1+- | 6.72×10^{-2} | 7.29×10^{-2} | 4.75 | 4.75 |

注：□は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

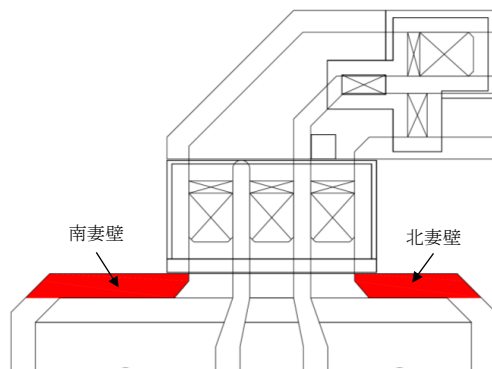


図 5-101 補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の位置

表 5-30 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の層間変位の最大値と時刻（A-A断面）

| 解析ケース | 地震動 | 層間変位の最大値 (cm) | | 層間変位最大時の 時刻(s) | |
|-------|--------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------|
| | | 南妻壁 | 北妻壁 | 南妻壁 | 北妻壁 |
| ① | Ss-1++ | 3.26×10^{-2} | 3.78×10^{-2} | 5.70 | 5.70 |
| | Ss-1-+ | 3.37×10^{-2} | 4.27×10^{-2} | 5.66 | 5.68 |
| | Ss-1+- | 4.10×10^{-2} | 4.44×10^{-2} | 5.67 | 5.68 |
| | Ss-1-- | 3.49×10^{-2} | 3.77×10^{-2} | 4.73 | 4.73 |
| | Ss-2 | 2.59×10^{-2} | 2.73×10^{-2} | 19.35 | 19.36 |
| | Ss-3++ | 2.59×10^{-2} | 3.03×10^{-2} | 35.59 | 17.46 |
| | Ss-3-+ | 2.55×10^{-2} | 3.14×10^{-2} | 21.19 | 17.47 |
| | Ss-3+- | 2.50×10^{-2} | 3.13×10^{-2} | 21.19 | 17.47 |
| | Ss-3-- | 2.54×10^{-2} | 3.03×10^{-2} | 17.45 | 17.46 |
| | Ss-4 | 1.56×10^{-2} | 1.65×10^{-2} | 45.37 | 45.38 |
| | Ss-5 | 1.90×10^{-2} | 2.09×10^{-2} | 46.51 | 46.51 |
| | Ss-6 | 1.87×10^{-2} | 1.98×10^{-2} | 45.37 | 51.80 |
| | Ss-7 | 1.82×10^{-2} | 2.20×10^{-2} | 46.54 | 46.55 |
| | Ss-8++ | 3.20×10^{-2} | 3.63×10^{-2} | 7.30 | 7.98 |
| | Ss-8-+ | 3.51×10^{-2} | 4.03×10^{-2} | 8.00 | 8.00 |
| ② | Ss-1+- | 4.46×10^{-2} | 4.74×10^{-2} | 5.67 | 5.68 |
| ③ | Ss-1+- | 4.04×10^{-2} | 4.39×10^{-2} | 5.67 | 5.68 |
| ④ | Ss-1+- | 5.31×10^{-2} | 5.36×10^{-2} | 5.70 | 4.76 |
| ⑤ | Ss-1+- | 5.97×10^{-2} | 6.12×10^{-2} | 5.71 | 4.75 |

注：□は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

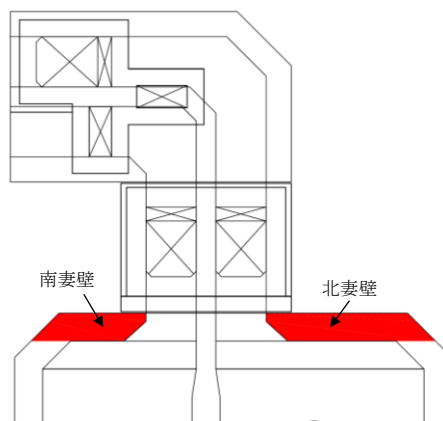


図 5-102 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の位置

(3) 最大せん断ひずみ分布

地盤に発生した最大せん断ひずみを確認するため、曲げ軸力照査及びせん断力照査において最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における最大せん断ひずみの分布を示す。表 5-31 に最大照査値を示す解析ケース一覧を示す。A-A断面における最大せん断ひずみ分布を図 5-103～図 5-104 に、B-B断面における最大せん断ひずみ分布を図 5-105～図 5-106 に、C-C断面における最大せん断ひずみ分布を図 5-107～図 5-110 示す。

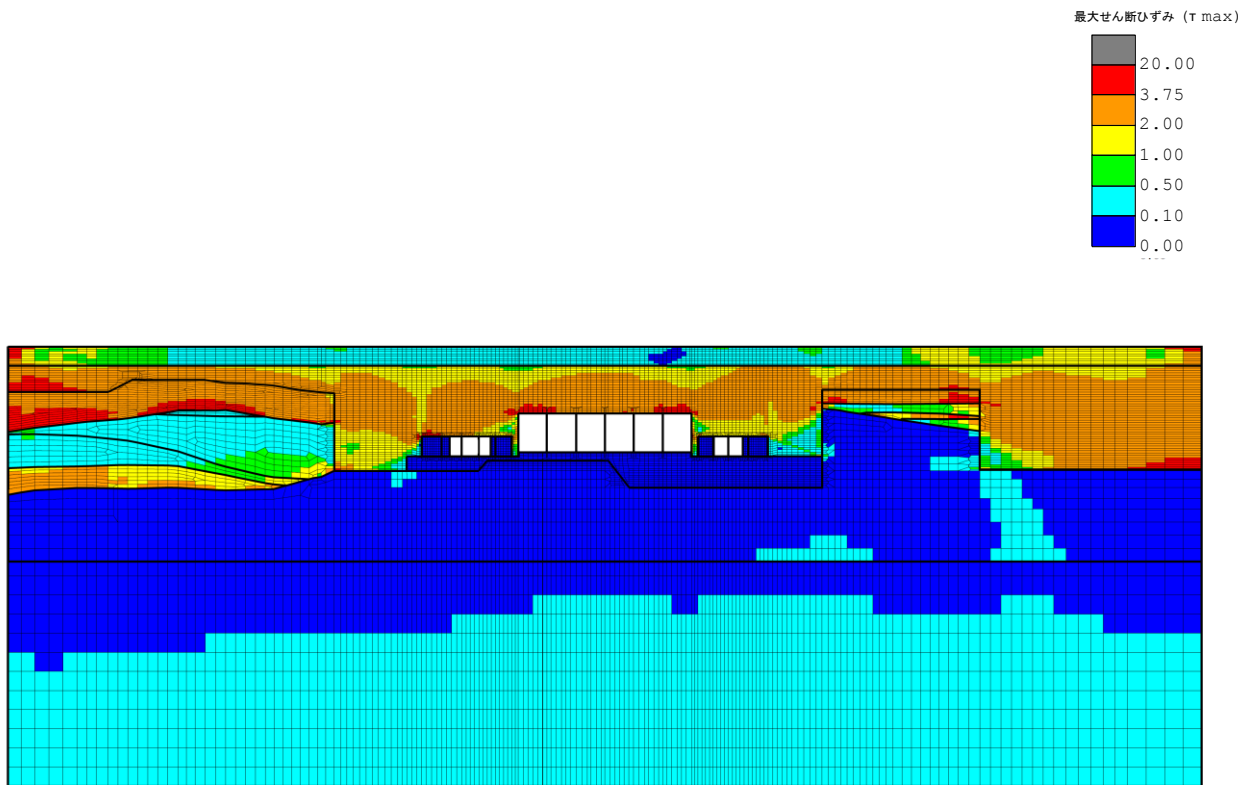
表 5-31 最大照査値を示す解析ケース一覧

| 評価部位 | 断面 | 評価項目 | |
|--------------------|----|---------------------|---------------------|
| | | 曲げ軸力照査 | せん断力照査 |
| 補機冷却用海水取水路 (南側) | — | Ss-1+- (解析ケース ②) | Ss-1+- (解析ケース ②) |
| 補機冷却用海水取水路 (北側) | — | Ss-1+- (解析ケース ④) | Ss-1+- (解析ケース ④) |

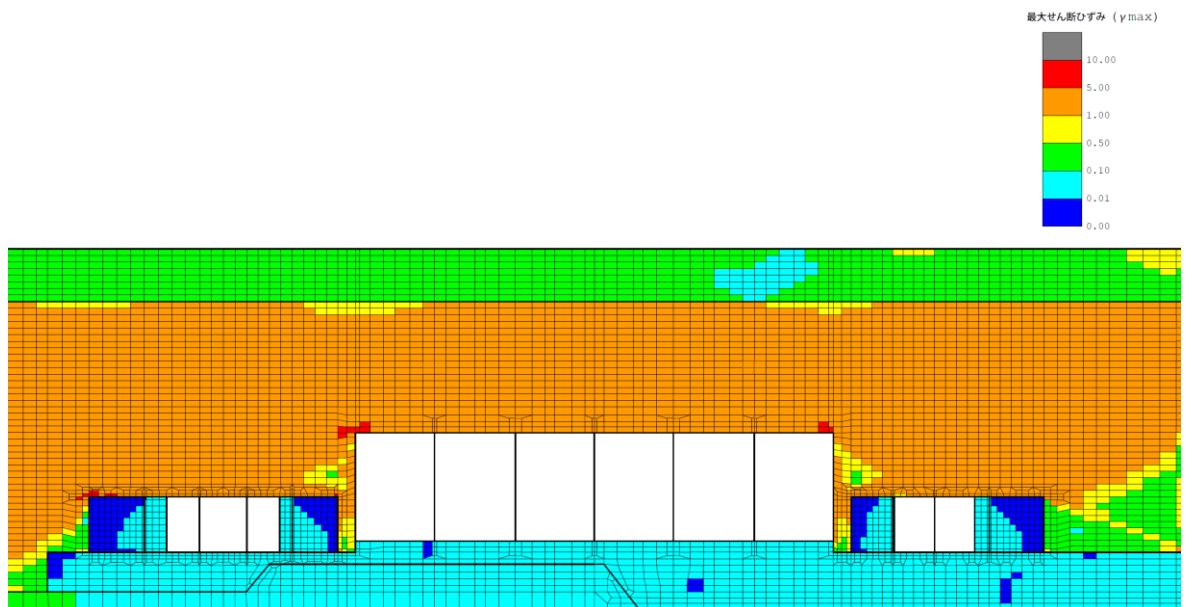
注：耐震評価における解析ケース一覧

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 解析ケース | 基本ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース |
| 地盤剛性の設定 | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) | 地盤剛性(-1σ) | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) |
| 液状化強度特性の設定 | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 |

a. A-A断面

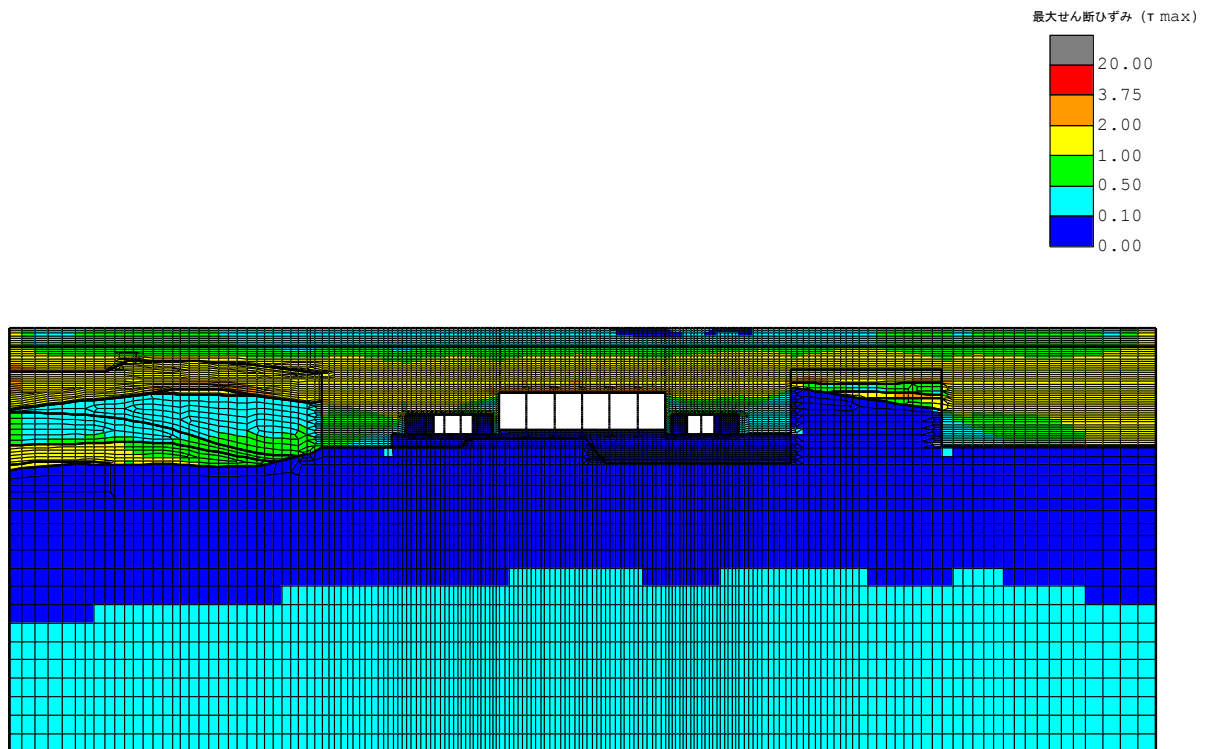


(a) 全体図

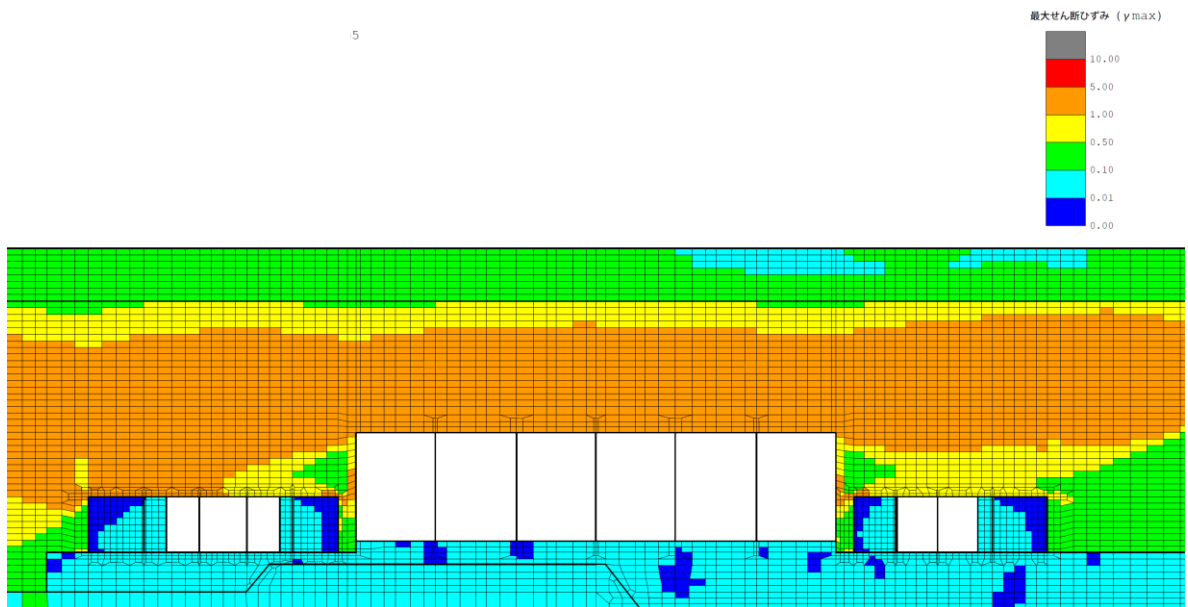


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-103 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



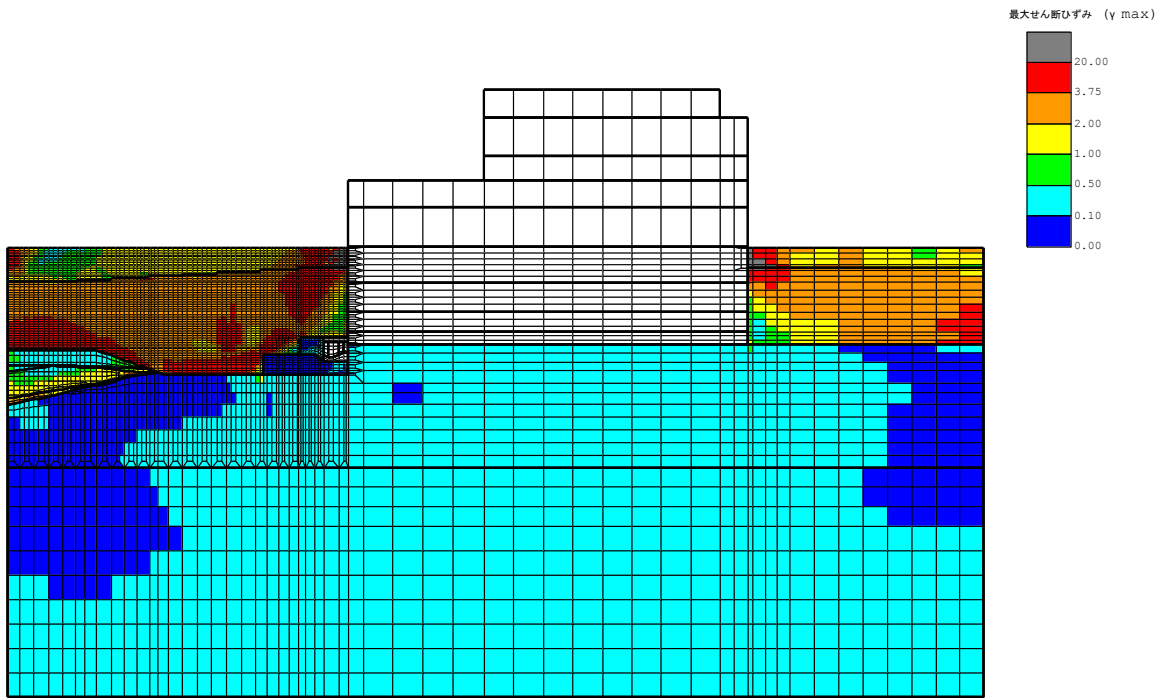
(a) 全体図



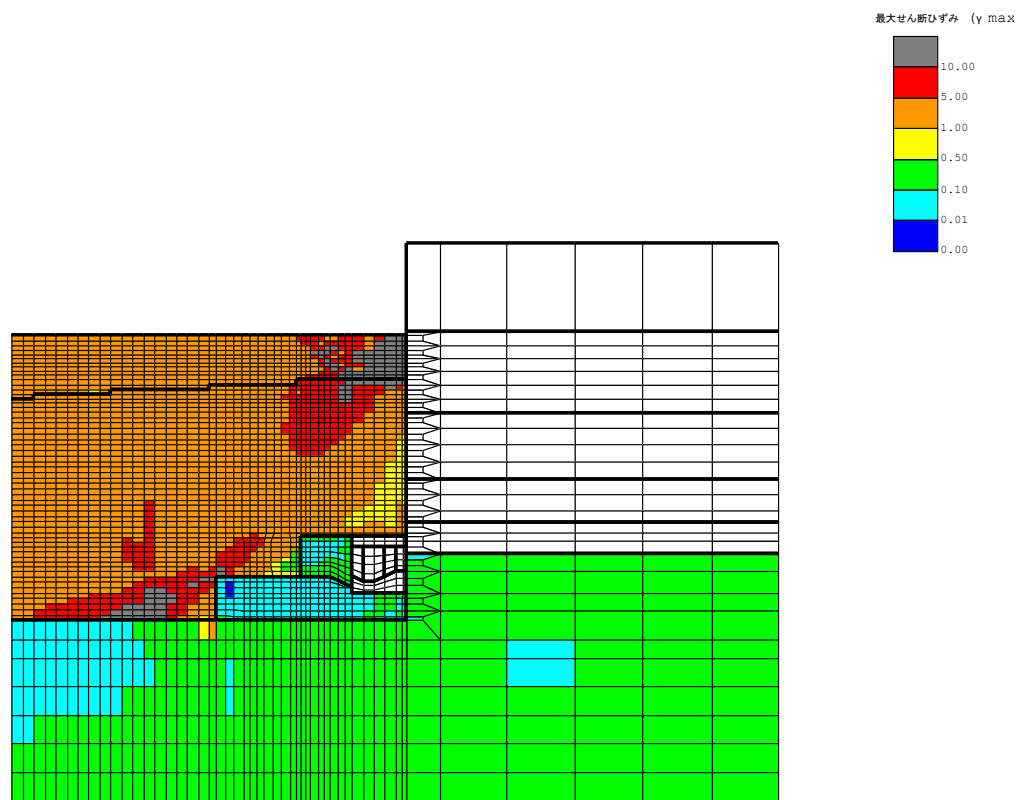
(b) 構造物周辺拡大図

図 5-104 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース④, 地震動 Ss-1+-)

b. B-B断面

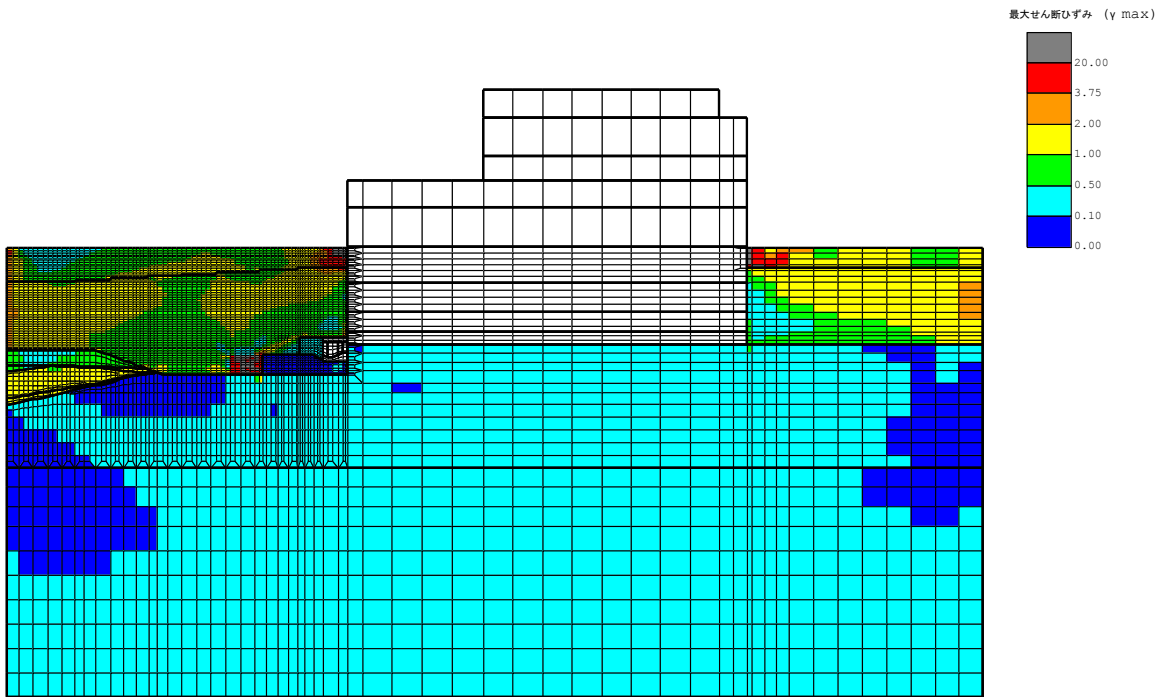


(a) 全体図

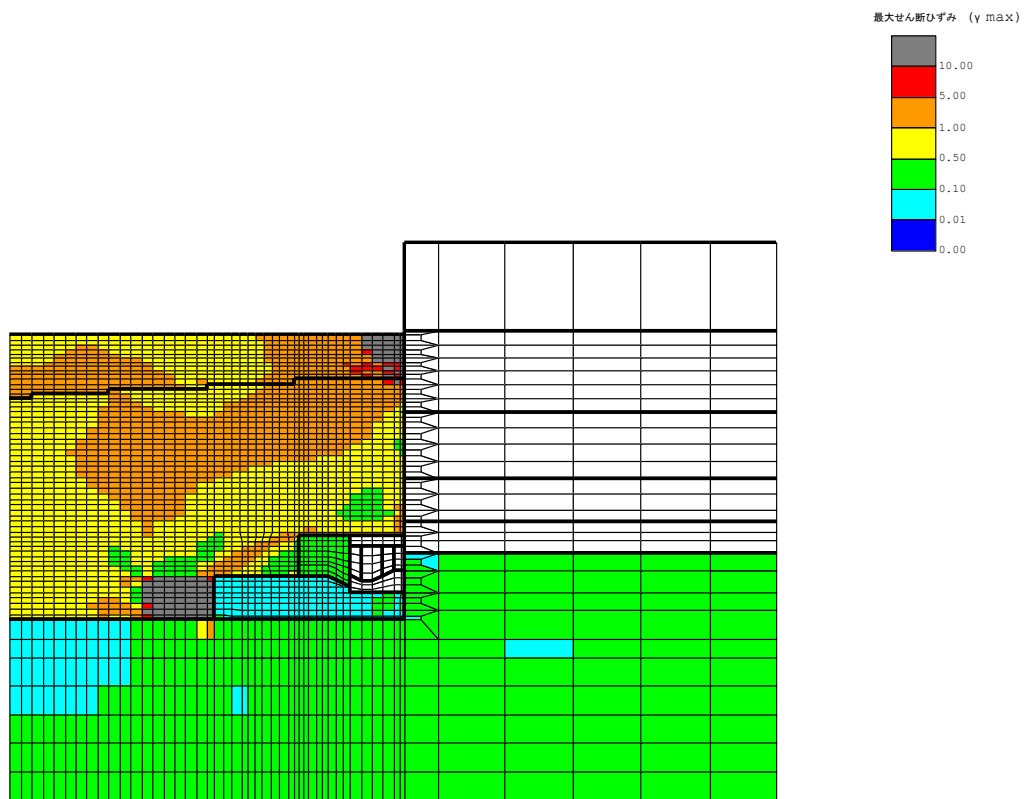


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-105 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



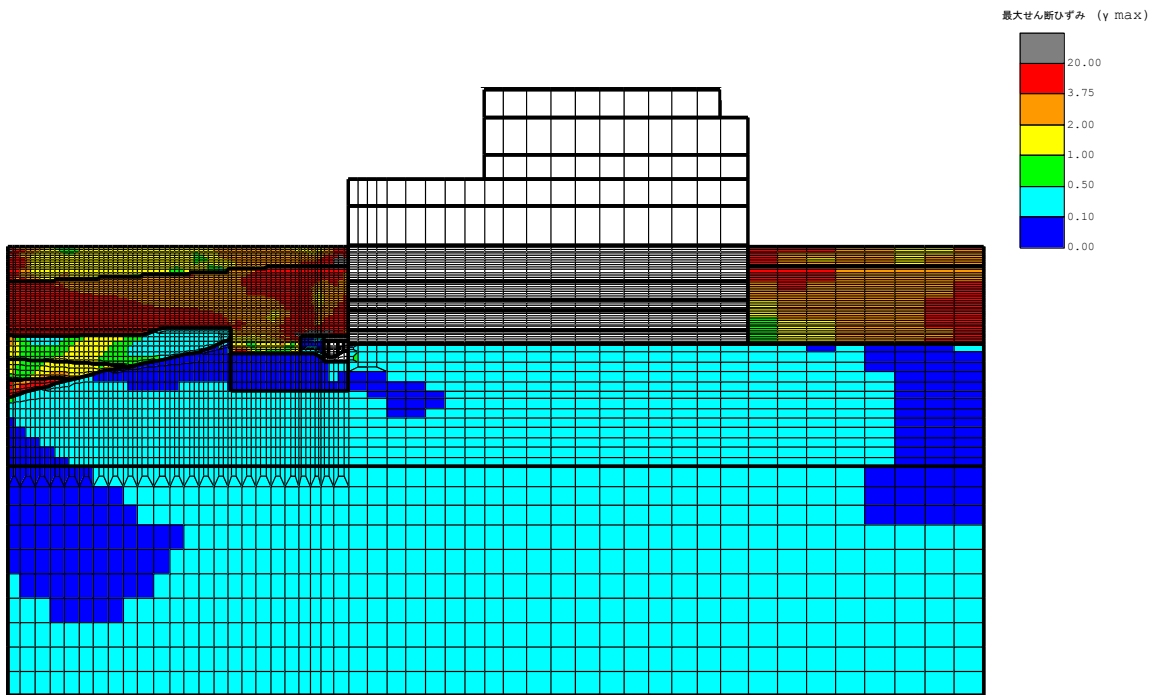
(a) 全体図



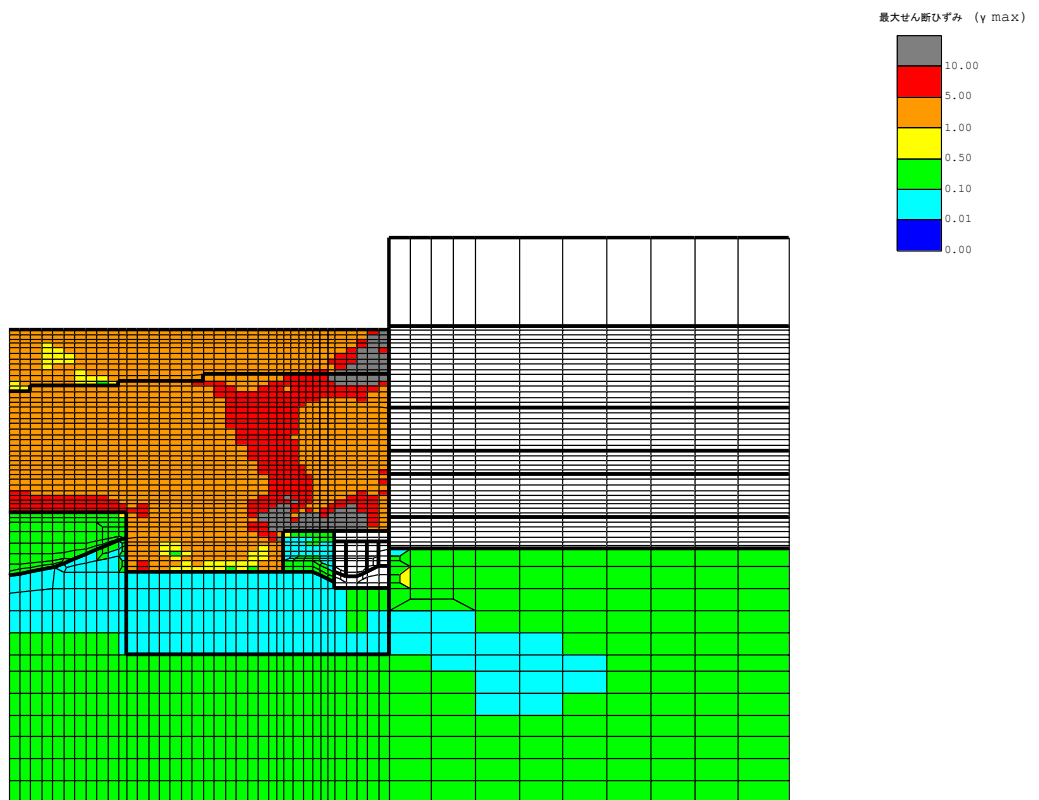
(b) 構造物周辺拡大図

図 5-106 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図
(解析ケース④, 地震動 Ss-1+-)

c. C-C断面

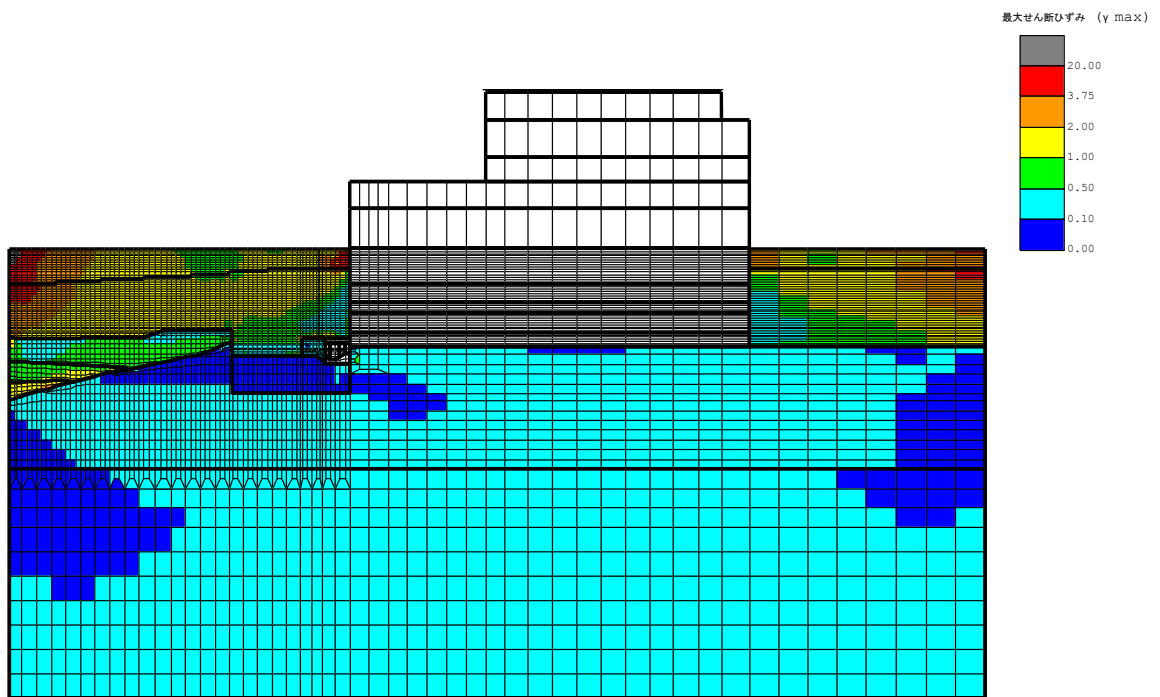


(a) 全体図

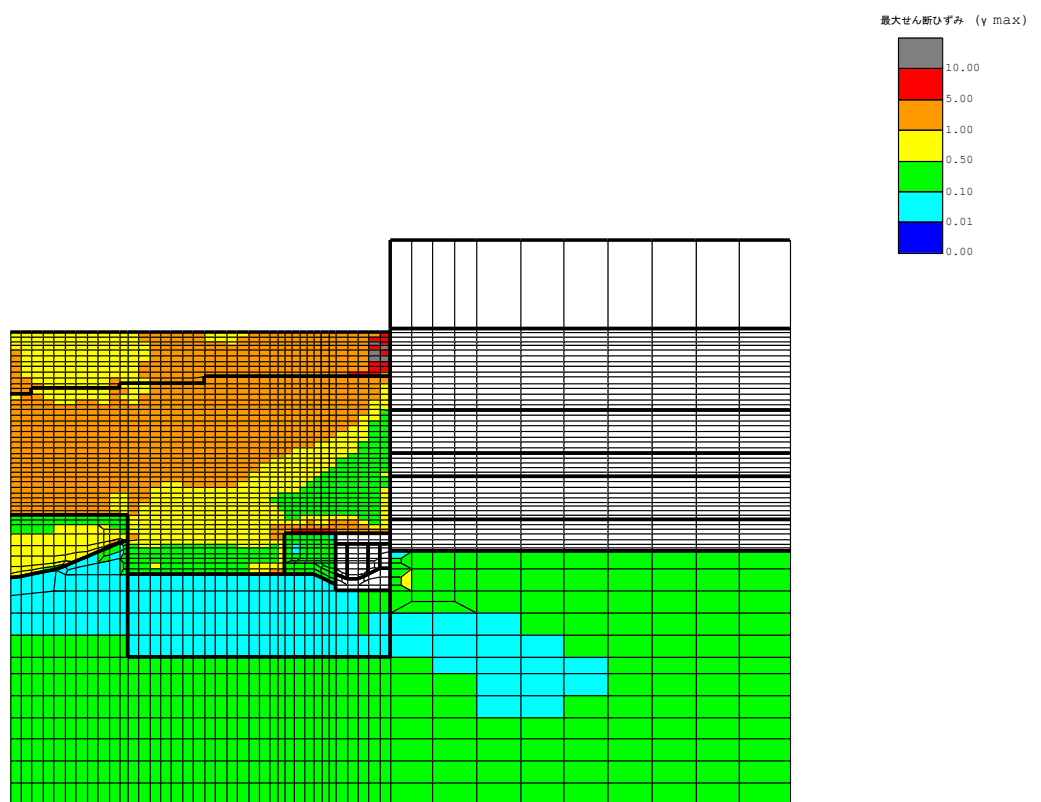


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-107 C-C断面（南妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図
（解析ケース②，地震動 Ss-1+-）

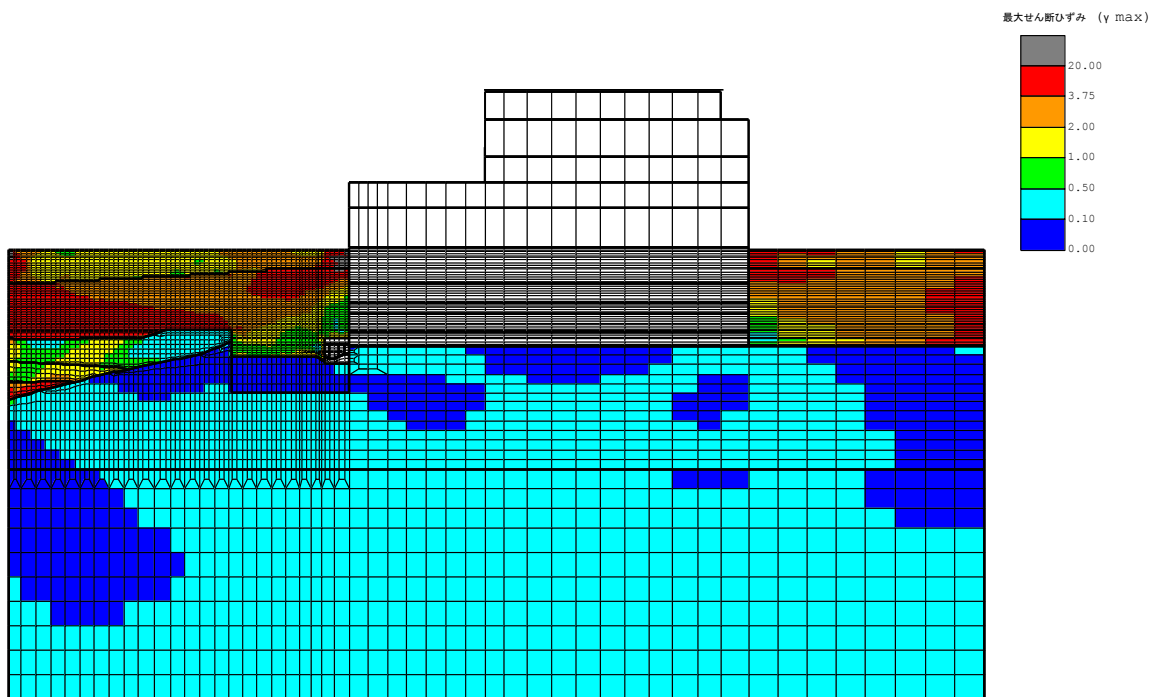


(a) 全体図

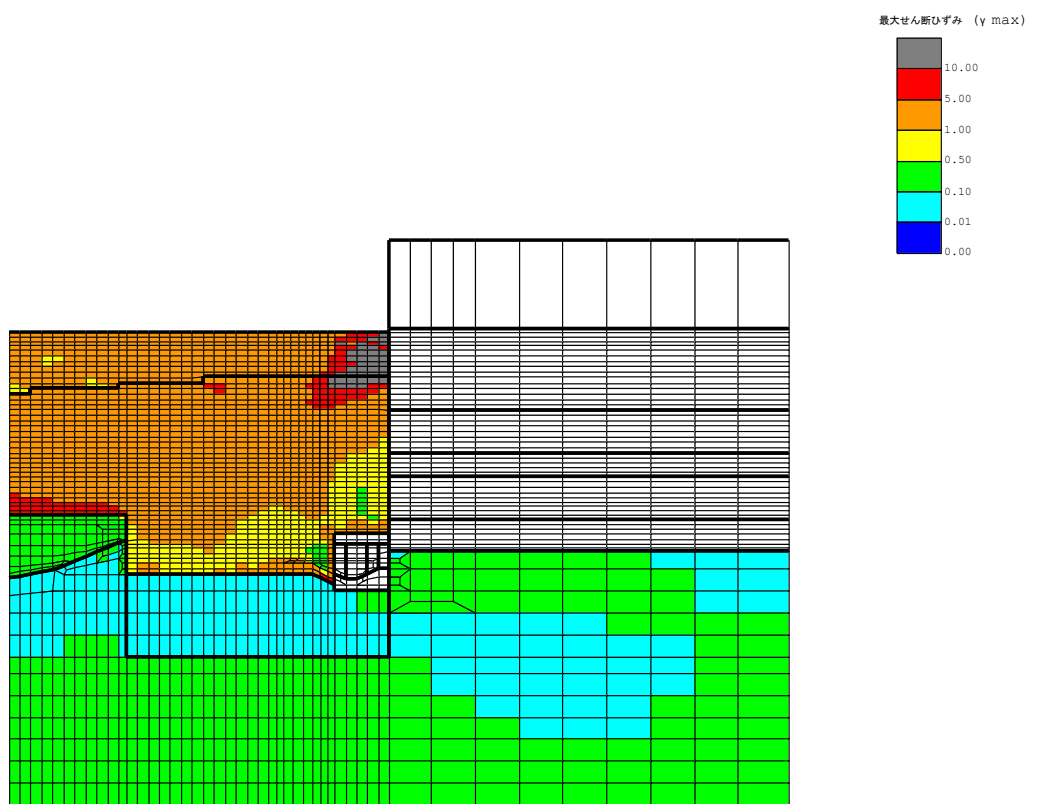


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-108 C-C断面（南妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図
 （解析ケース④，地震動 Ss-1+-）

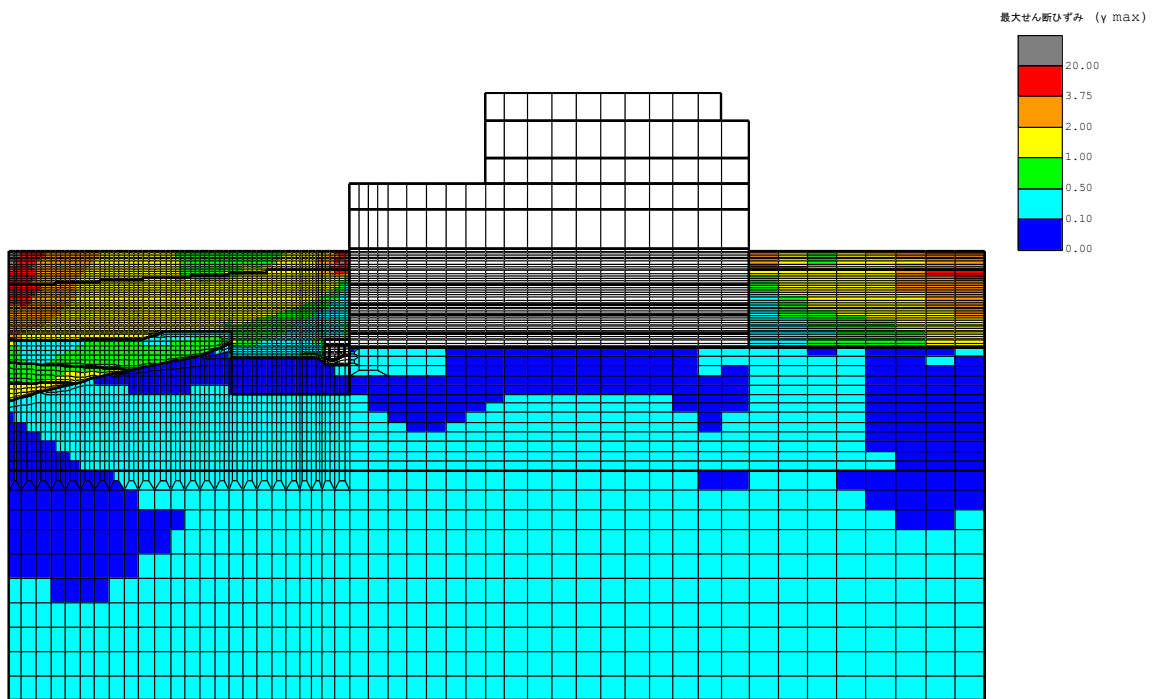


(a) 全体図

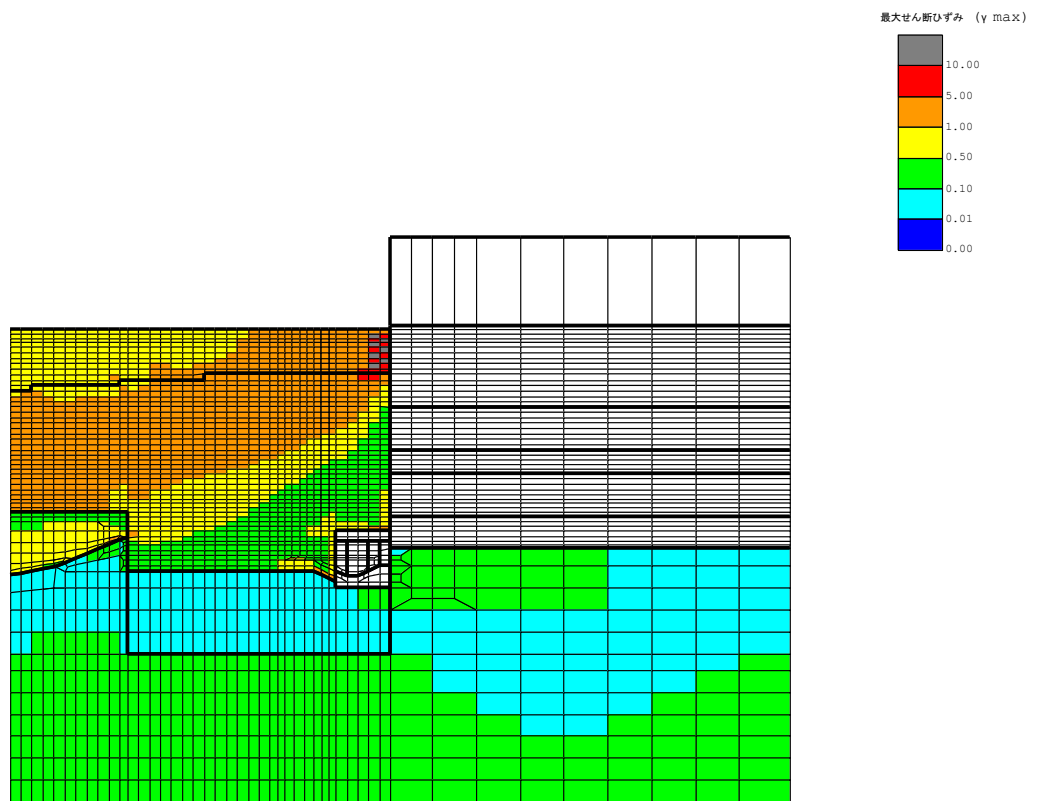


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-109 C-C断面（北妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図
 (解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-110 C-C断面（北妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図
 (解析ケース④, 地震動 Ss-1+-)

(4) 最大過剰間隙水圧比分布

地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、曲げ軸力照査及びせん断力照査において最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における地盤要素の過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。表 5-32 に最大照査値を示す解析ケース一覧を示す。なお、最大照査値が非液状化の条件である解析ケース④及び⑤である場合は、最大過剰間隙水圧比分布は記載せず、参考として、同地震動の解析ケース①（基本ケース）の最大過剰間隙水圧比分布を示す。

A-A断面における過剰間隙水圧比分布を図 5-111 に、B-B断面における過剰間隙水圧比分布を図 5-113 に、C-C断面における過剰間隙水圧比分布を図 5-115～図 5-117 に示す。

表 5-32 最大照査値を示す解析ケース一覧

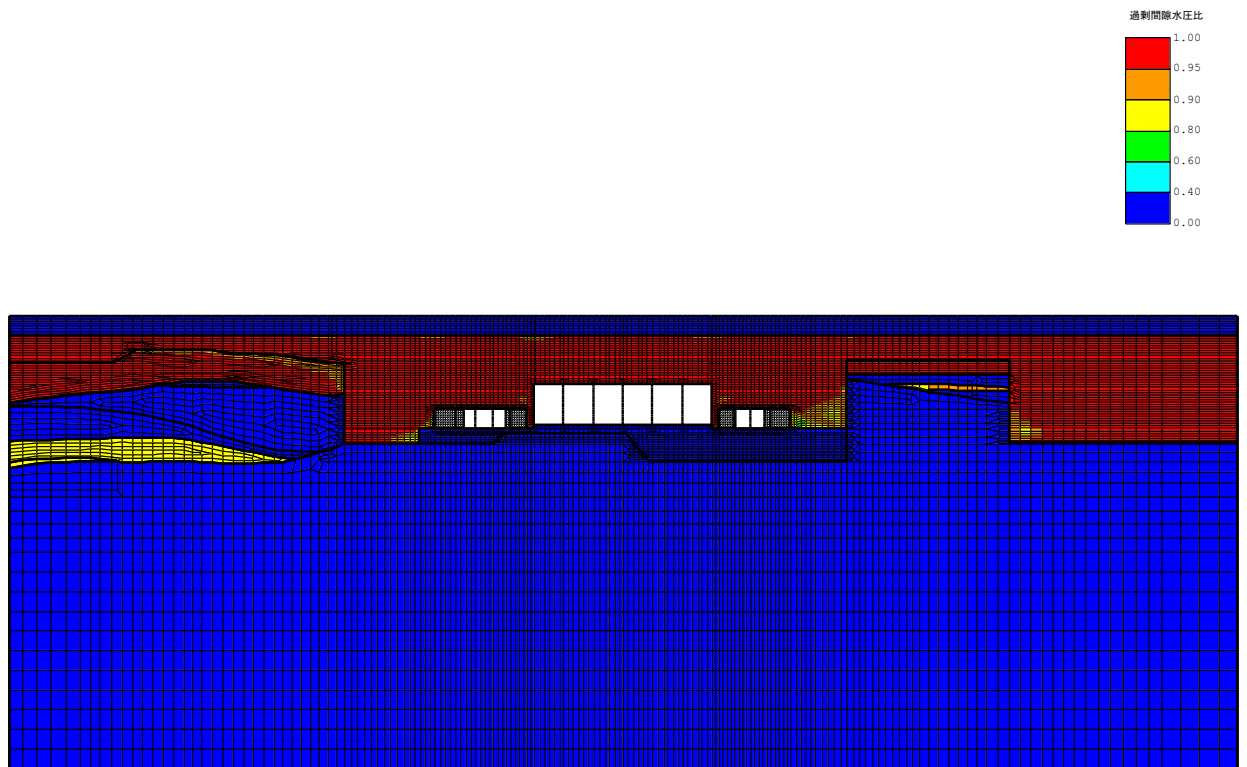
| 評価部位 | 評価項目 | |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| | 曲げ軸力照査 | せん断力照査 |
| 補機冷却用海水取水路 (南側) | Ss-1+- (解析ケース②) | Ss-1+- (解析ケース②) |
| 補機冷却用海水取水路 (北側) | Ss-1+- (解析ケース④) * | Ss-1+- (解析ケース④) * |

注記* : 非液状化を仮定した解析ケースについては、参考として、最大過剰間隙水圧比分布図は同地震動の解析ケース①を表示

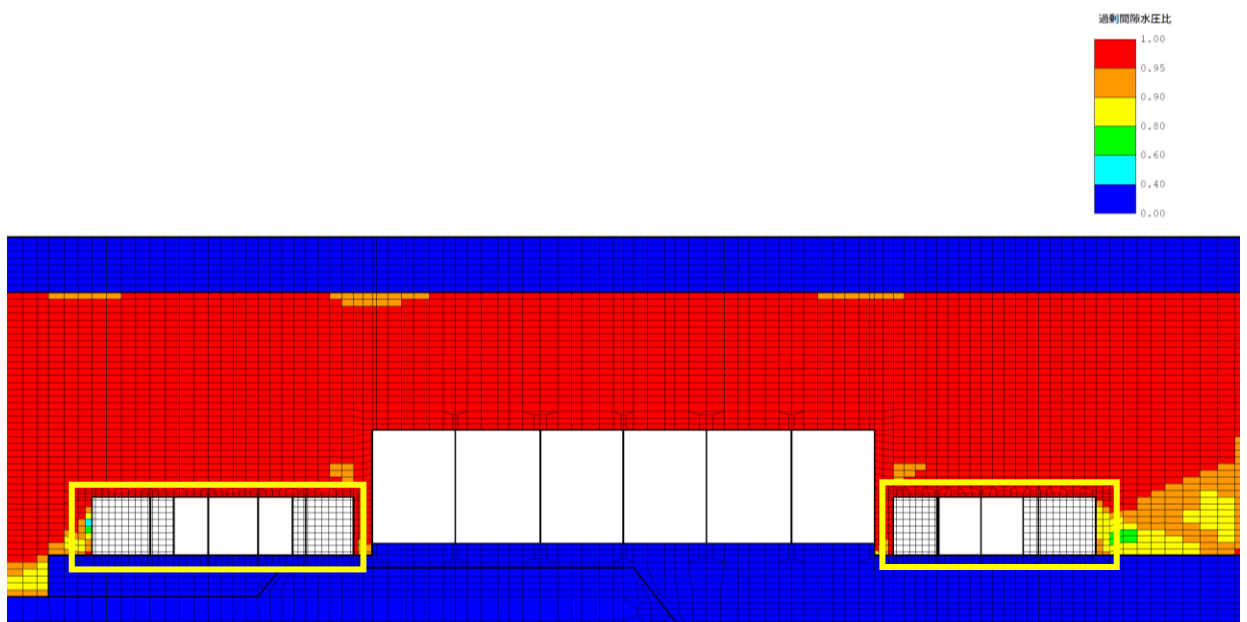
注：耐震評価における解析ケース一覧

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 解析ケース | 基本ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース | 非液状化の条件を仮定した解析ケース | 地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース |
| 地盤剛性の設定 | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) | 地盤剛性(-1σ) | 地盤剛性(平均値) | 地盤剛性(+1σ) |
| 液状化強度特性の設定 | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化強度特性(-1σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 |

a. A-A断面

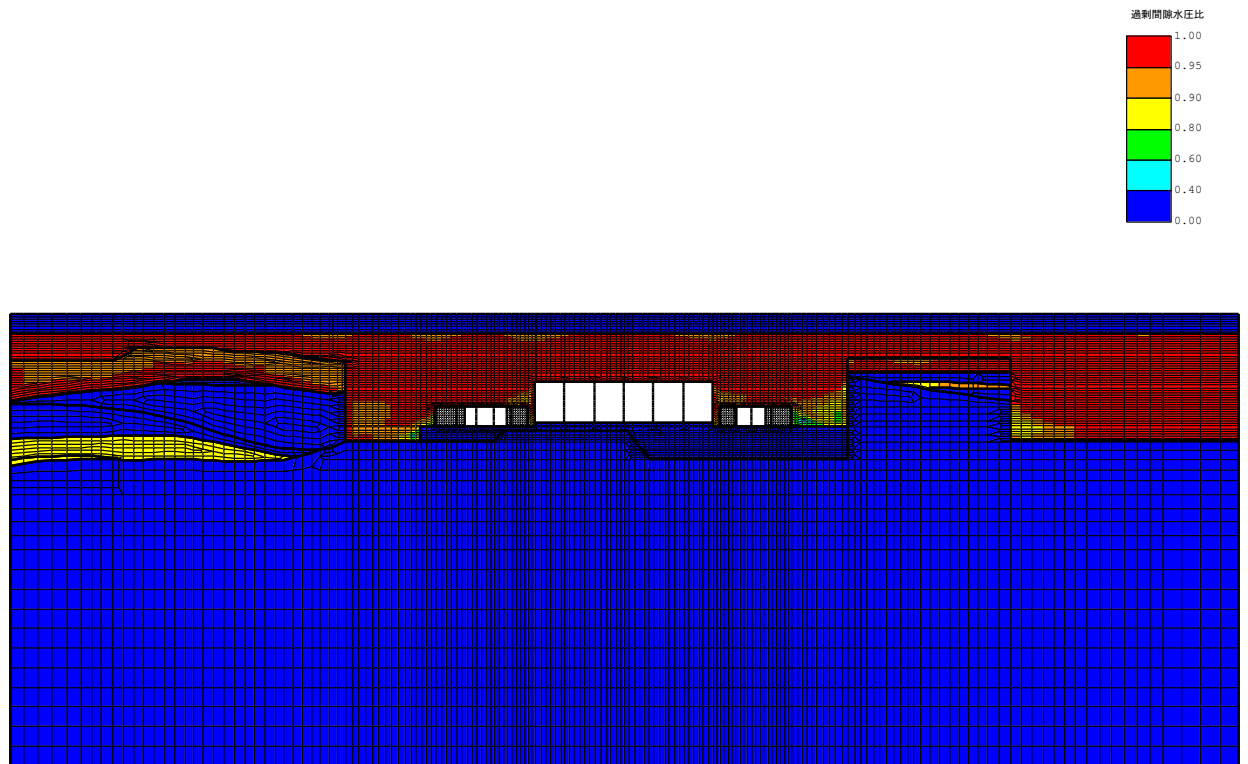


(a) 全体図

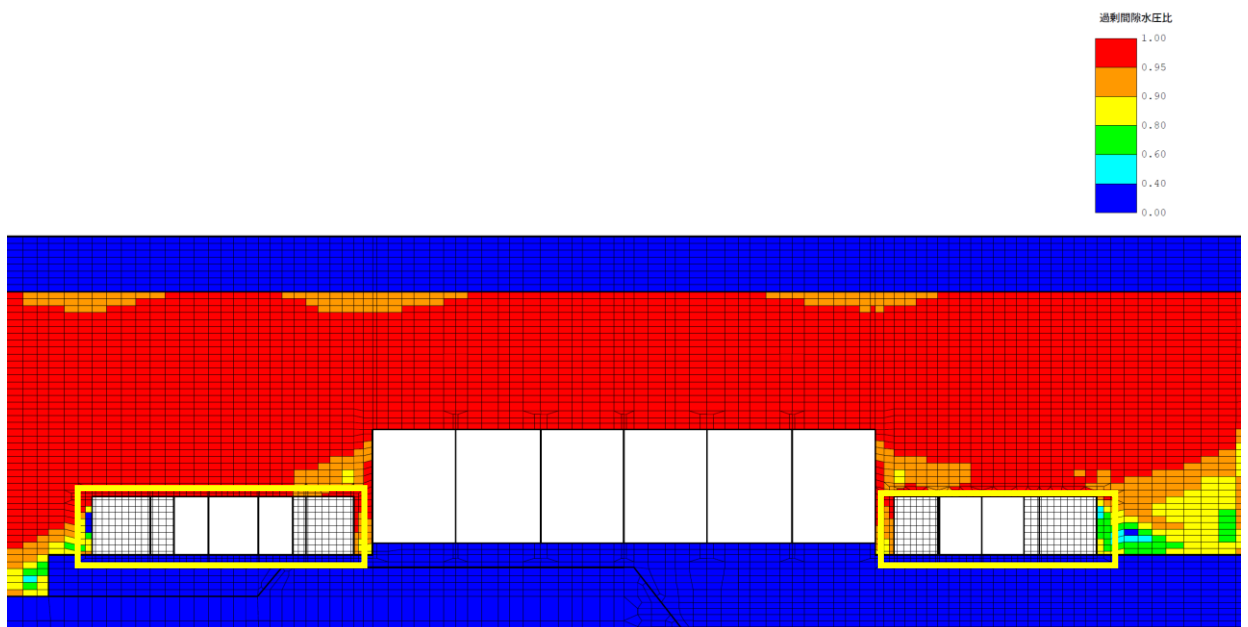


(b) 拡大図

図 5-111 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



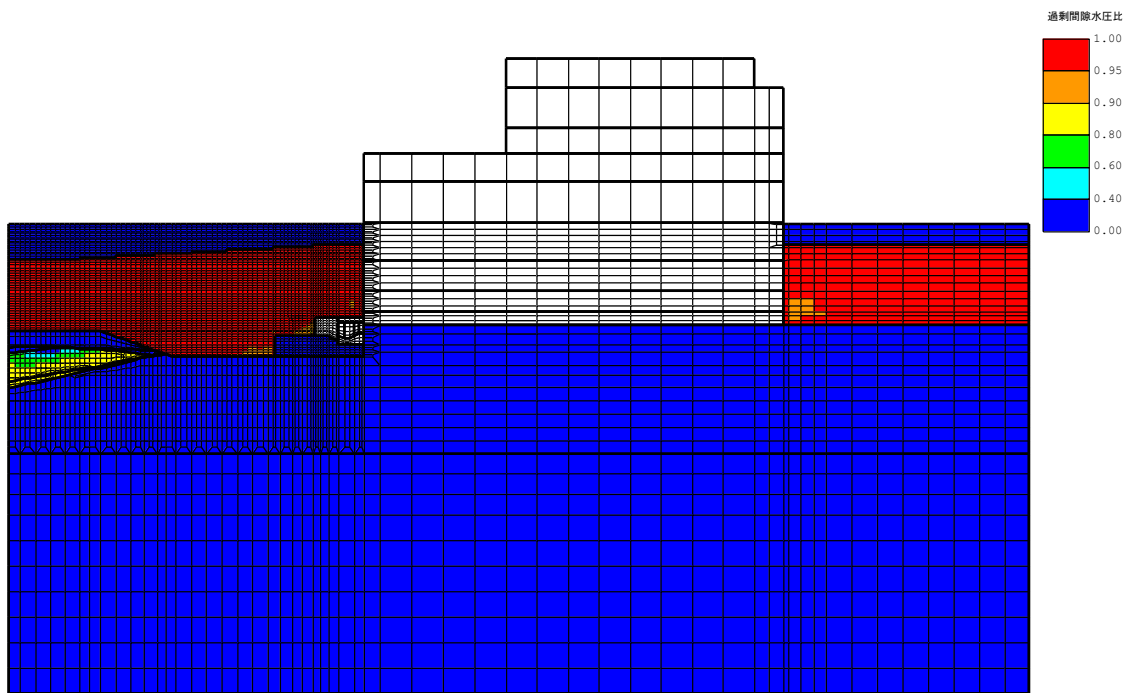
(a) 全体図



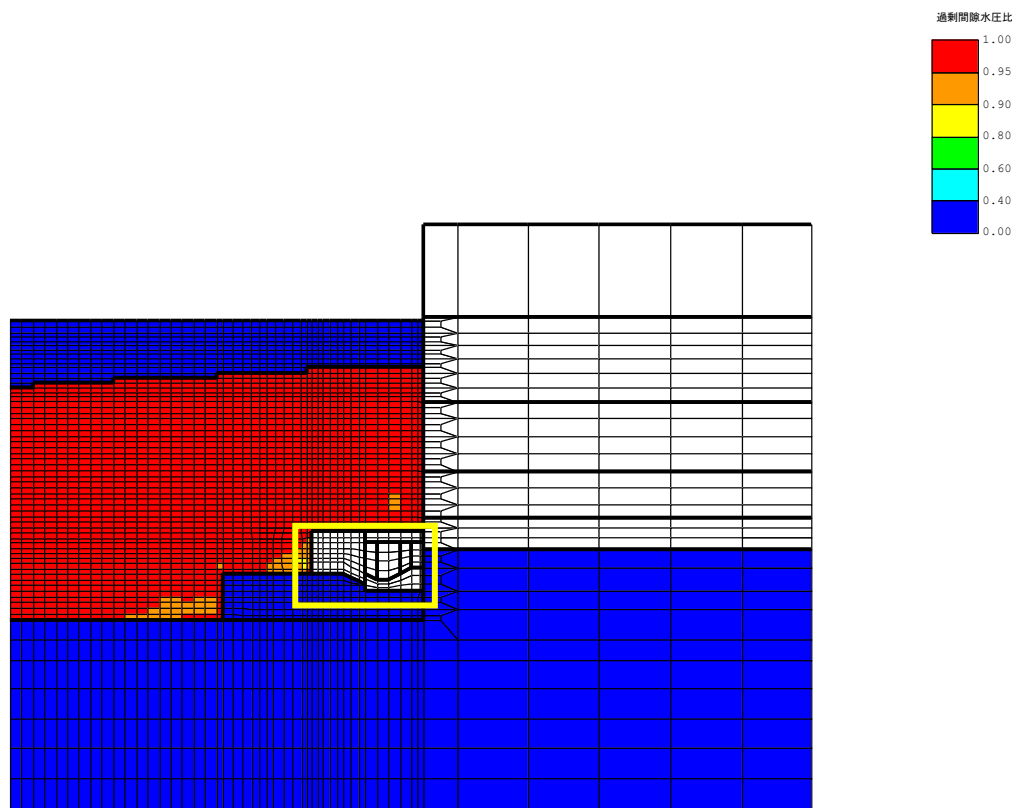
(b) 拡大図

図 5-112 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-)

b. B-B断面

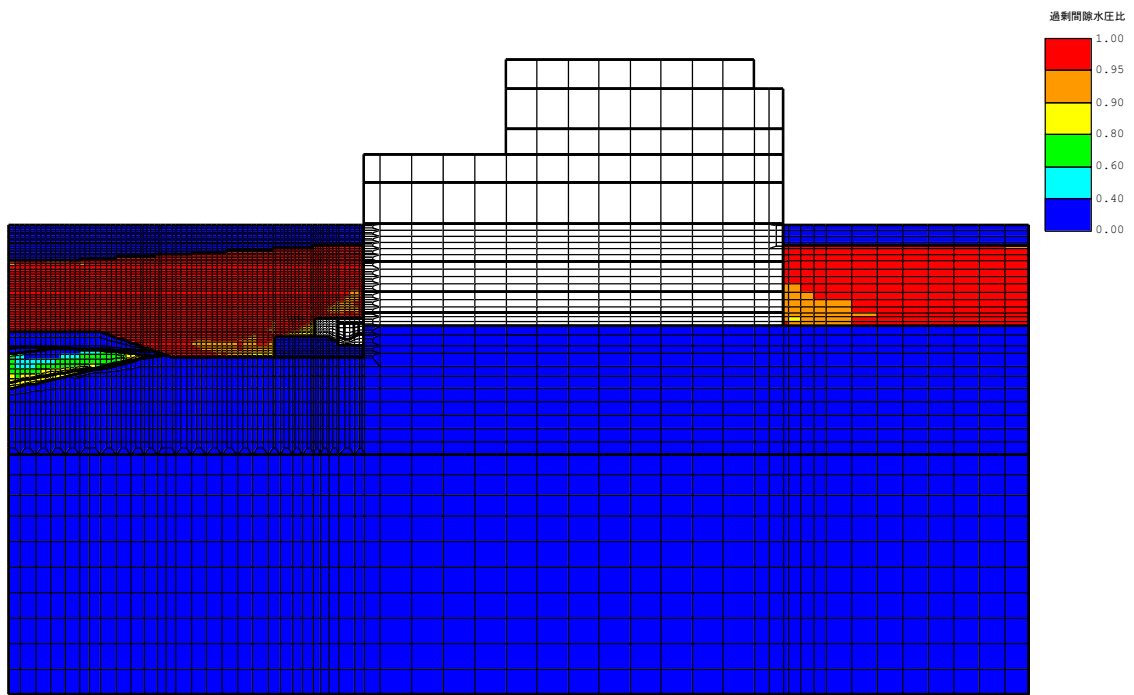


(a) 全体図

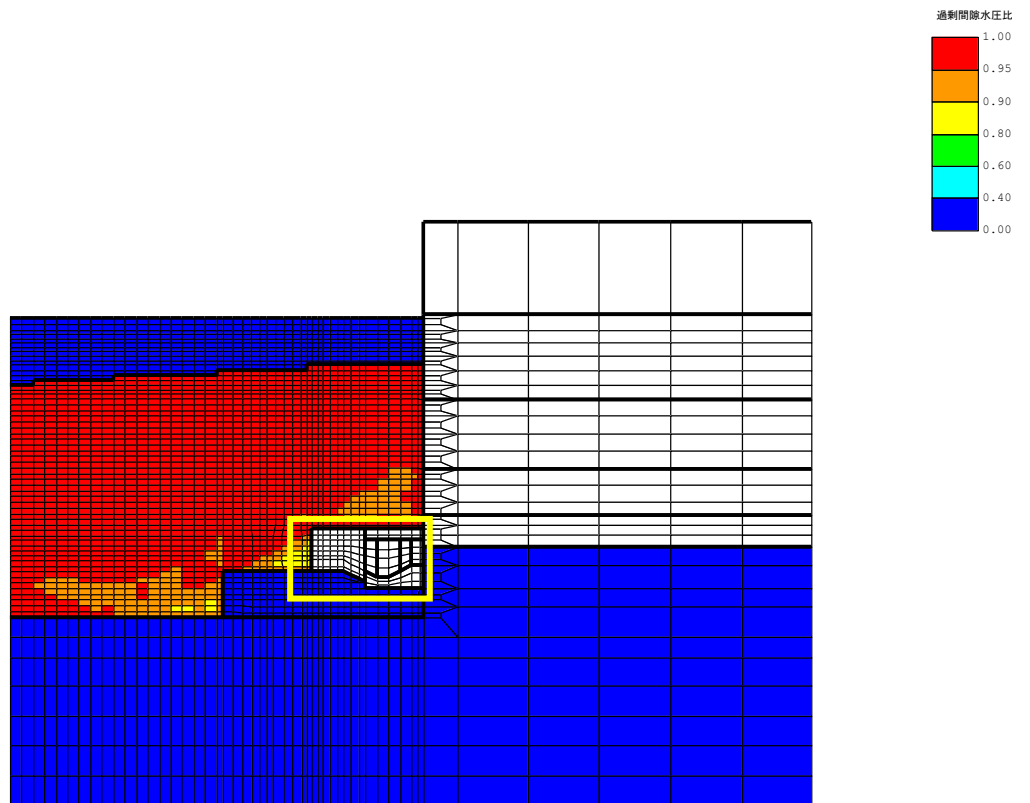


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-113 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



(a) 全体図

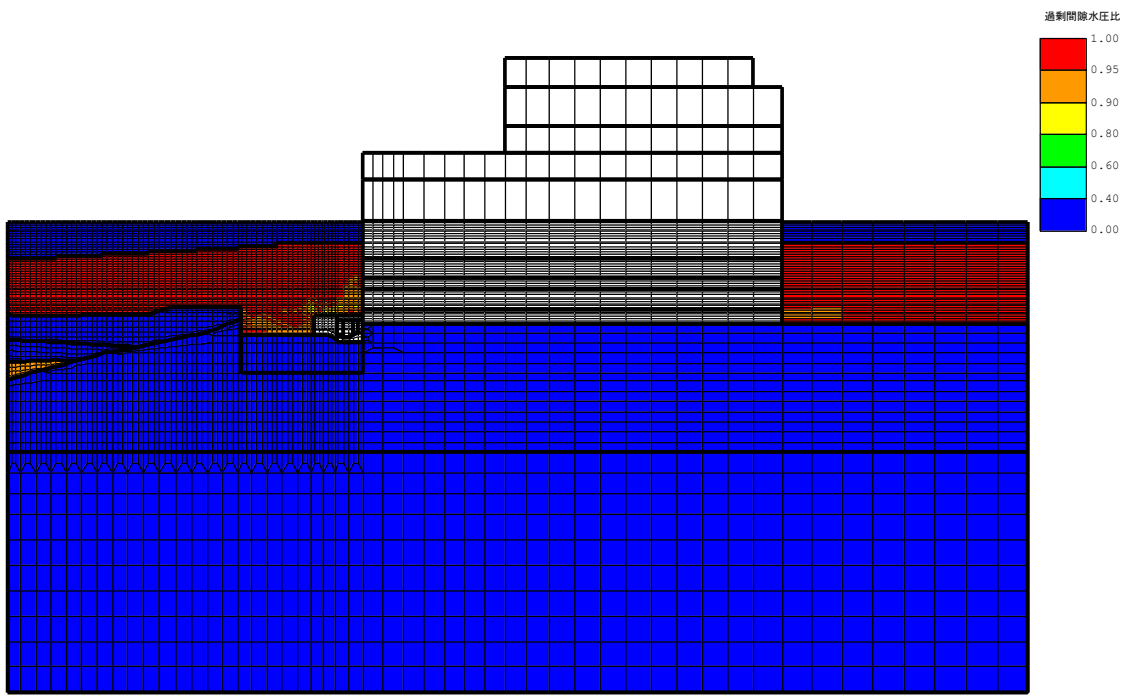


(b) 構造物周辺拡大図

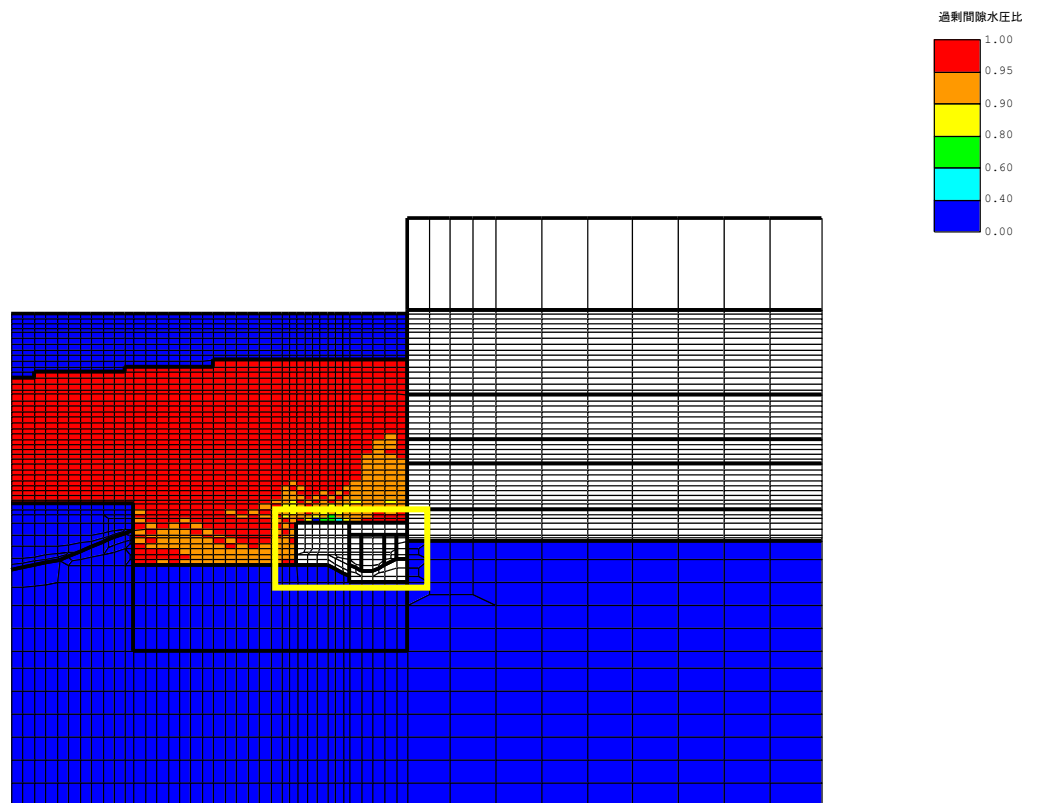
図 5-114 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図

(参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-)

c. C-C断面

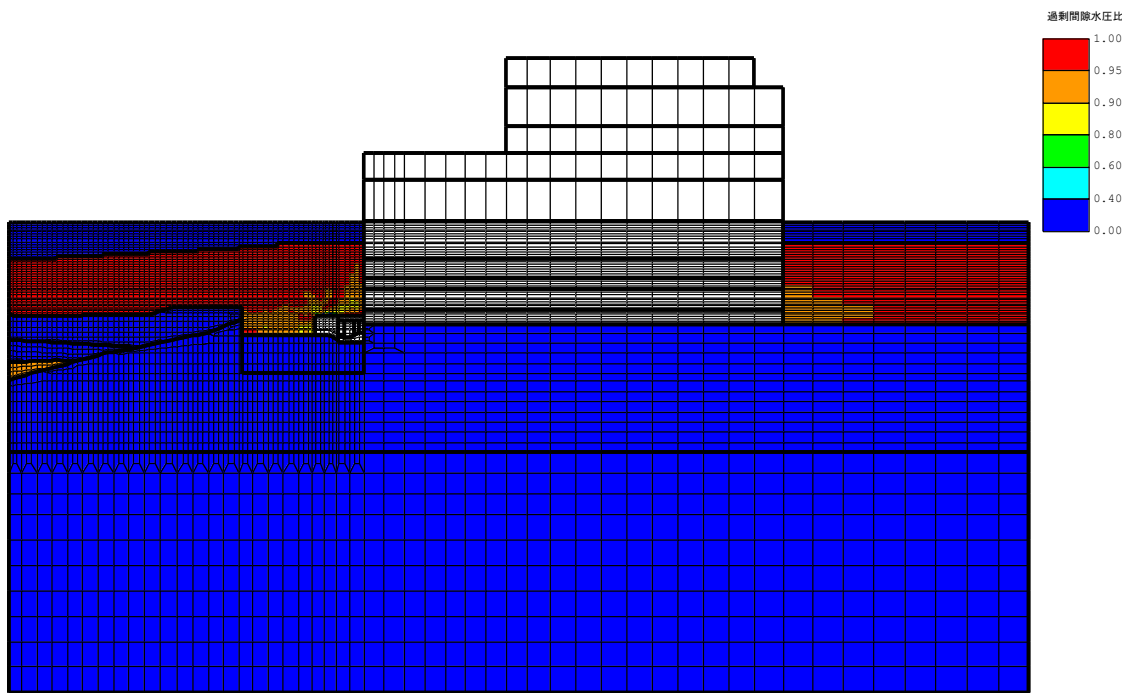


(a) 全体図

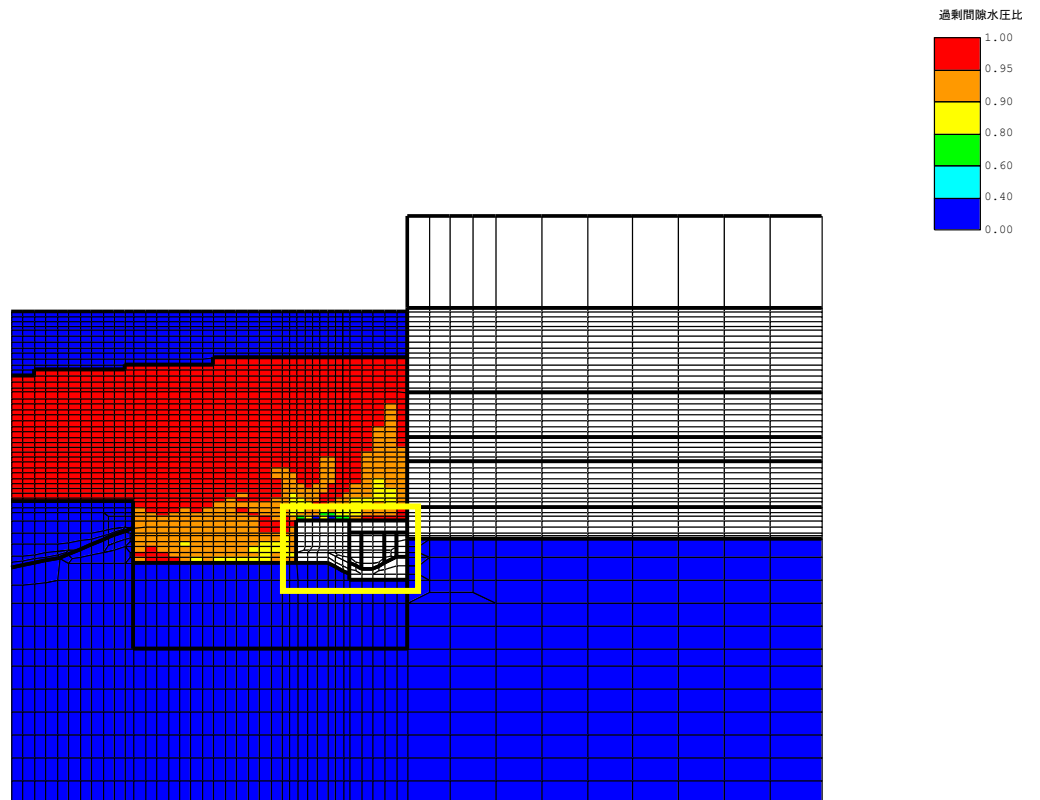


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-115 C-C断面（南妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図
 (解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)

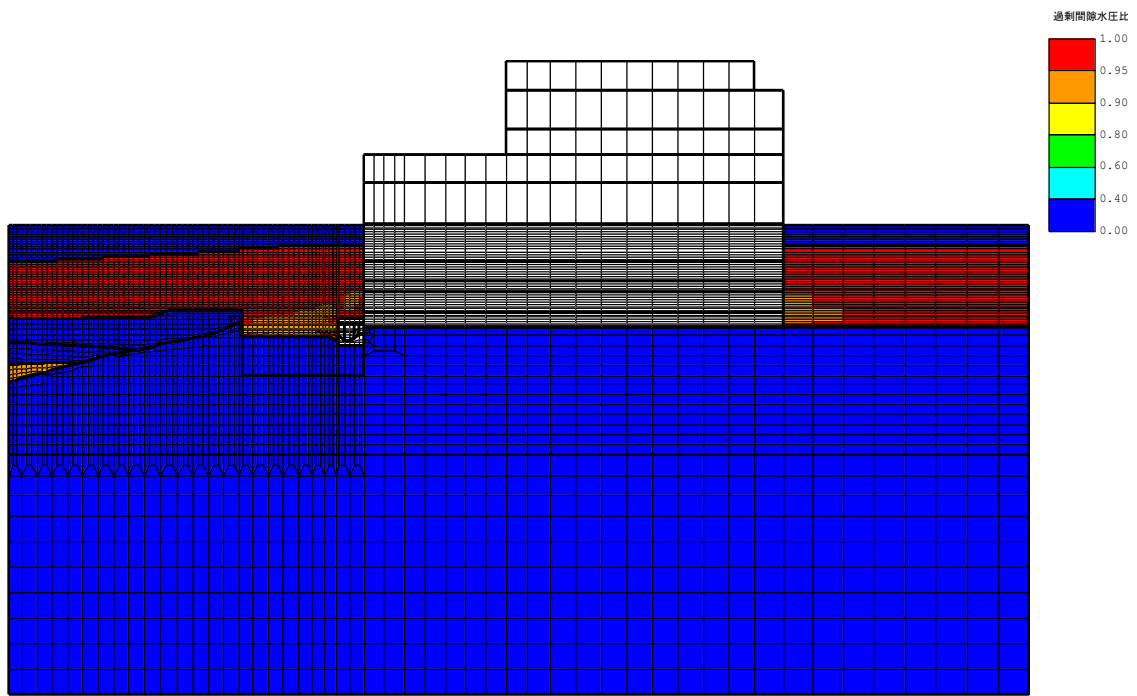


(a) 全体図

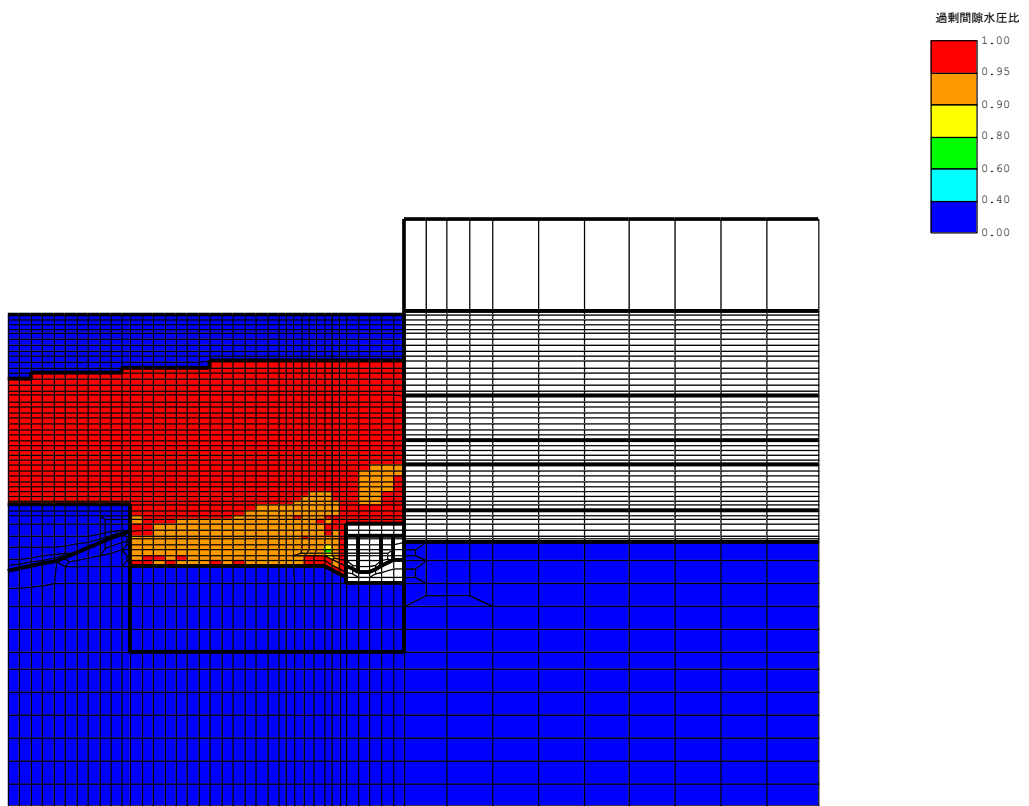


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-116 C-C断面（南妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図
 （参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-）

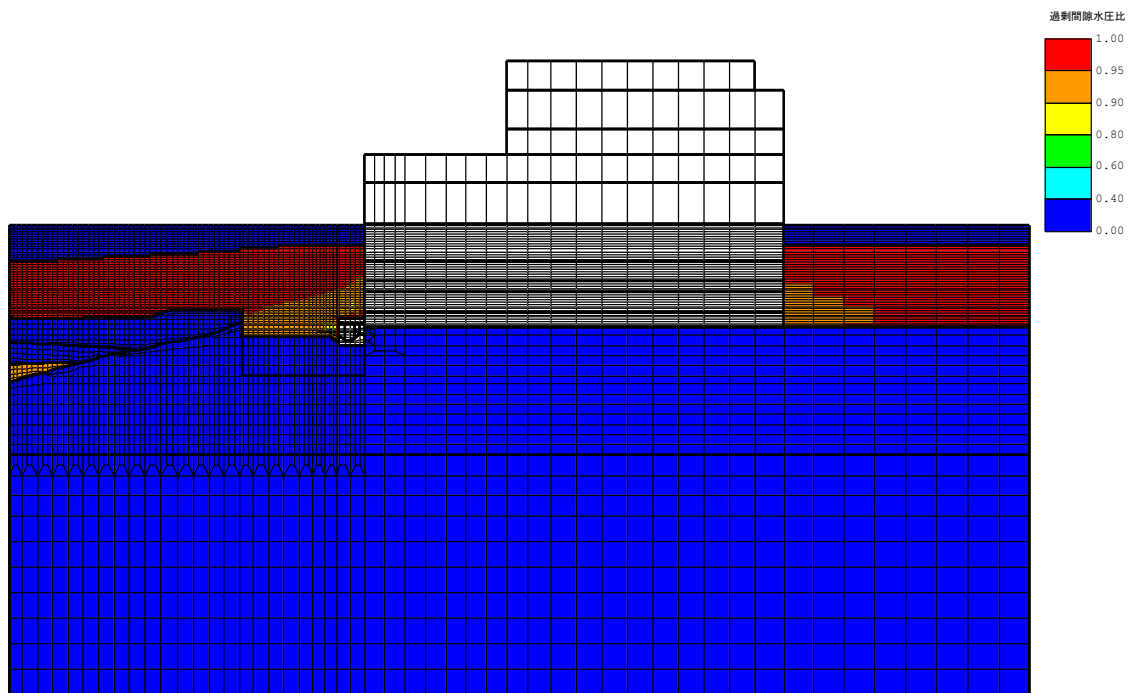


(a) 全体図

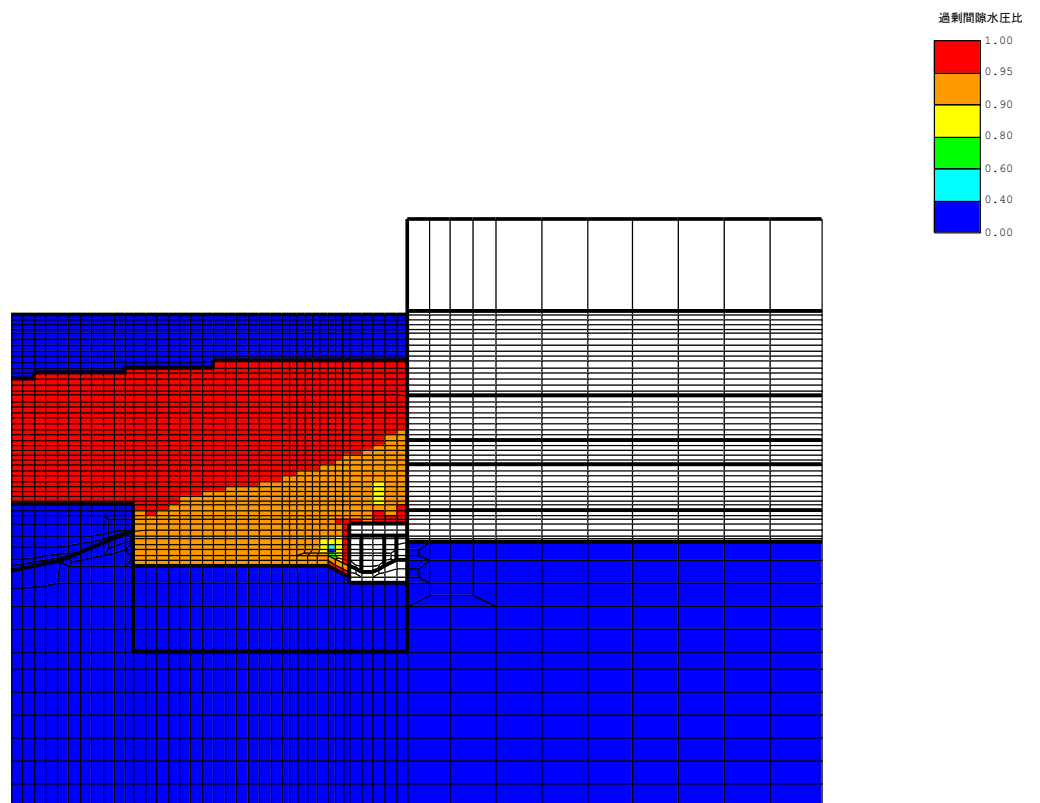


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-117 C-C断面（北妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図
 (解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-118 C-C断面（北妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図
 （参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-）

5.6.2 3次元構造解析結果

(1) 構造部材のひずみ分布（鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査）

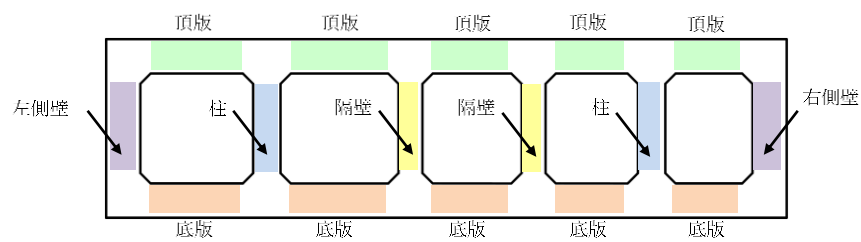
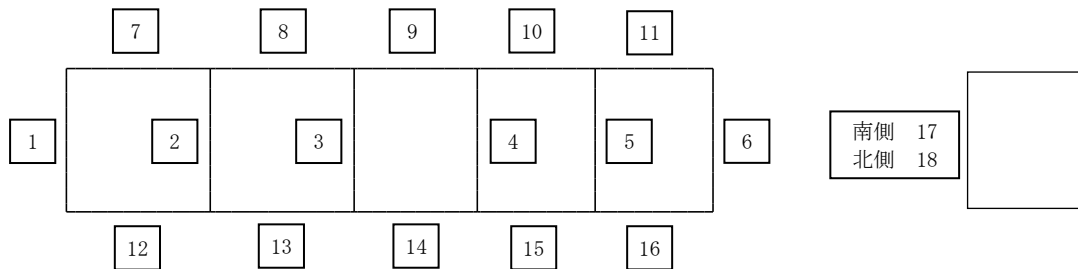
補機例冷却用海水取水路の鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-33 及び表 5-34 に示す。また、該当する解析ケースのひずみ分布図を図 5-119 及び図 5-120 に示す。なお、図 5-119 及び図 5-120 は、表 5-33 及び表 5-34 に示す解析ケースの照査値最大時における最大ひずみと同方向のひずみ分布を示している。

表 5-33 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果（補機冷却用海水取水路（南側））
（最も厳しい照査値とその地震動）

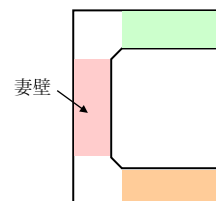
| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用圧縮ひずみ ε_d^{*2} (μ) | 限界ひずみ ε_r (μ) | 照査値 |
|--------|----|-----------|-------------|--|------------------------------------|-------|
| 頂版 | 8 | ① | S s - 1 - + | 168 | 10000 | 0.017 |
| 側壁 | 1 | ② | S s - 1 + - | 203 | 10000 | 0.021 |
| 隔壁 | 4 | ③ | S s - 1 + - | 217 | 10000 | 0.022 |
| 底版 | 12 | ① | S s - 3 + + | 214 | 10000 | 0.022 |
| 柱 | 2 | ② | S s - 1 + - | 208 | 10000 | 0.021 |
| 妻壁 | 18 | ② | S s - 1 + - | 253 | 10000 | 0.026 |

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

*2 : 照査用圧縮ひずみ $\varepsilon_d =$ 圧縮縁の発生ひずみ $\varepsilon \times$ 構造解析係数 γ_a



A-A断面（補機冷却用海水取水路（南側））



B-B断面（妻壁を通る断面の構造形状）

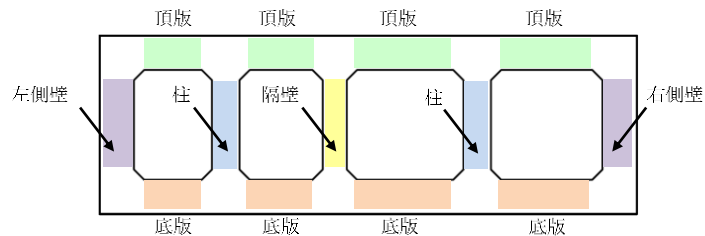
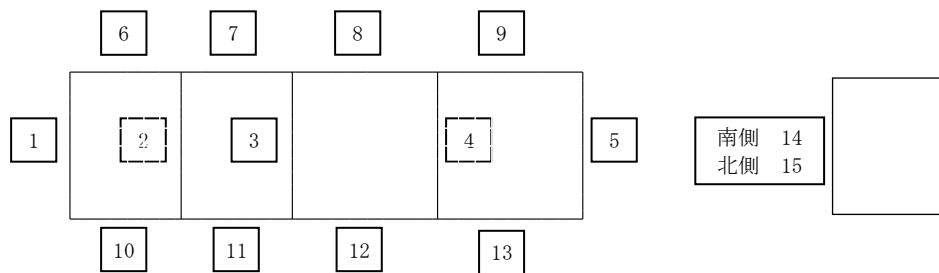
評価位置

表 5-34 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果（補機冷却用海水取水路（北側））
（最も厳しい照査値とその地震動）

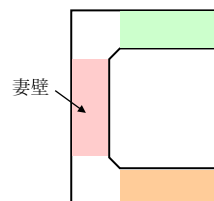
| 評価位置*1 | 解析 ケース | 地震動 | 照査用圧縮ひずみ ε_d^{*2} (μ) | 限界ひずみ ε_r (μ) | 照査値 |
|--------|-----------|-----|--|------------------------------------|-------|
| 頂版 | 8 | ② | 236 | 10000 | 0.024 |
| 側壁 | 5 | ② | 259 | 10000 | 0.026 |
| 隔壁 | 3 | ④ | 327 | 10000 | 0.033 |
| 底板 | 12 | ④ | 205 | 10000 | 0.021 |
| 柱 | 4 | ④ | 292 | 10000 | 0.030 |
| 妻壁 | 15 | ④ | 344 | 10000 | 0.035 |

注記*1：評価位置は下図に示す。

*2：照査用圧縮ひずみ $\varepsilon_d =$ 圧縮縁の発生ひずみ $\varepsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

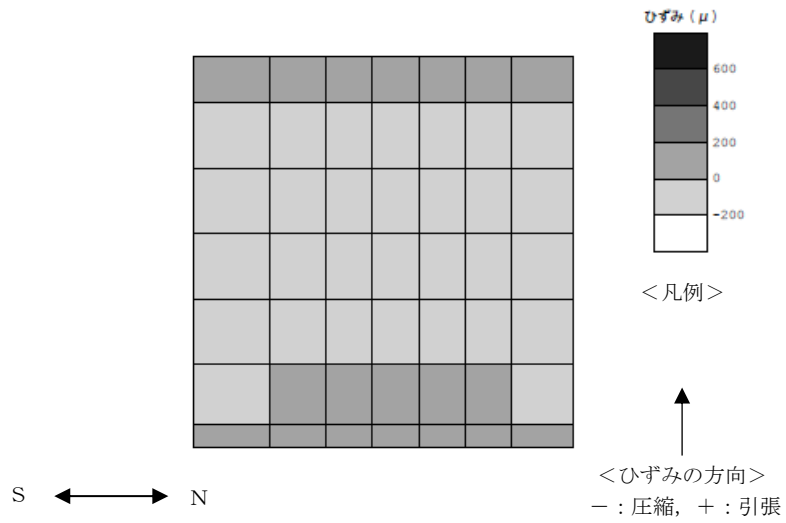
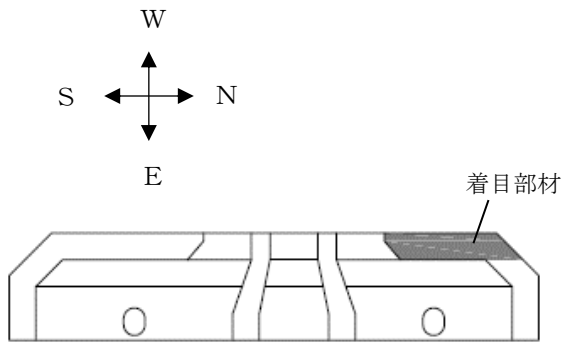


A-A断面（補機冷却用海水取水路（北側））

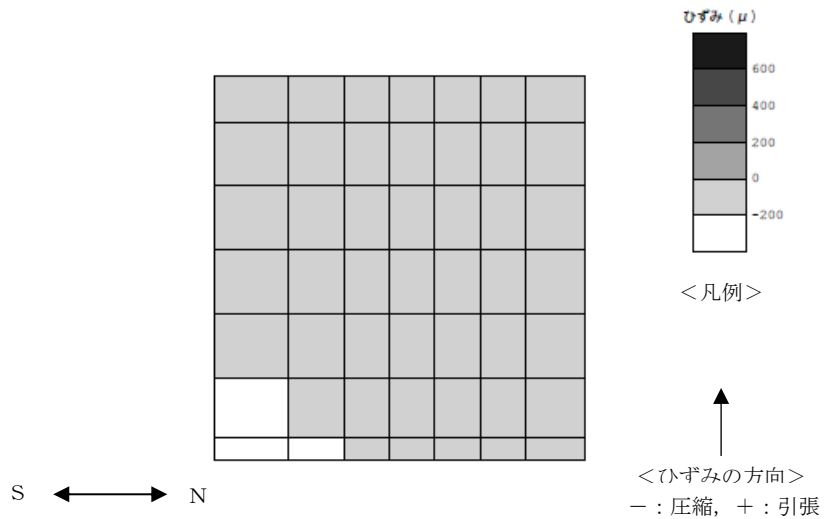


C-C断面（妻壁を通る断面の構造形状）

評価位置

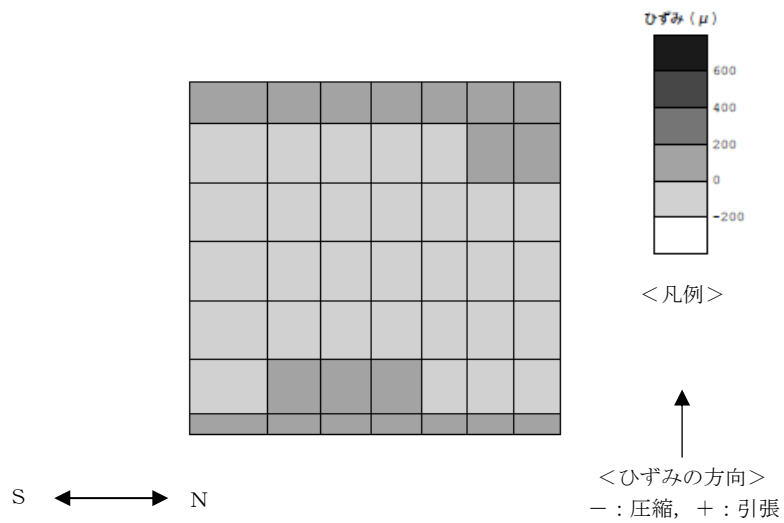
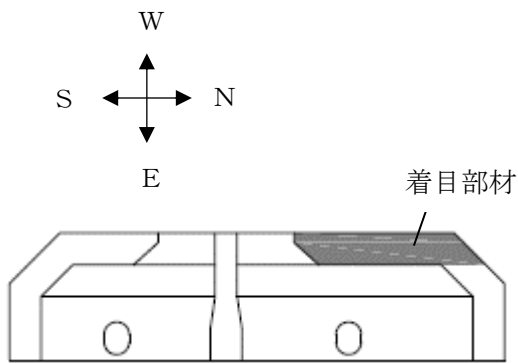


(a) 最外縁（西側）のひずみ分布

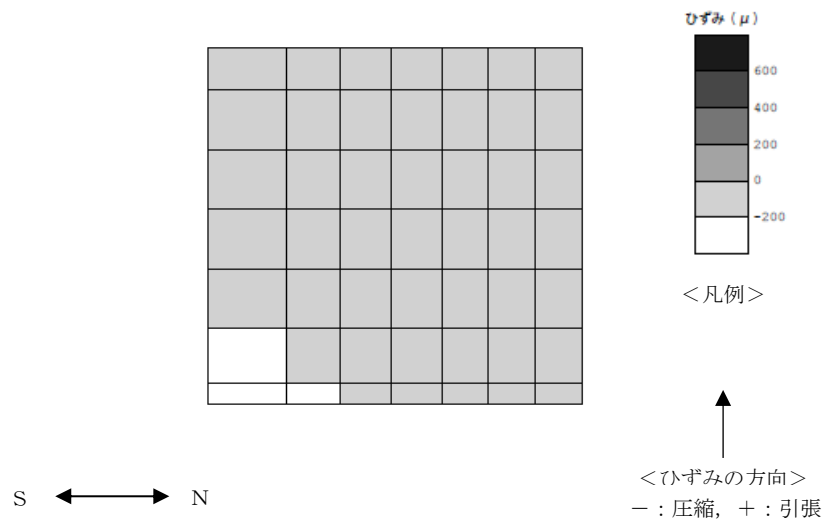


(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

図 5-119 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースでのひずみ分布図
(補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 妻壁, 解析ケース②, 地震動 Ss-1+-, t=5.67s)



(a) 最外縁（西側）のひずみ分布



(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

図 5-120 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースでのひずみ分布図
(補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 妻壁, 解析ケース④, 地震動 Ss-1+-, t=5.70s)

(2) 構造部材の断面力分布（鉄筋コンクリート部材のせん断力照査）

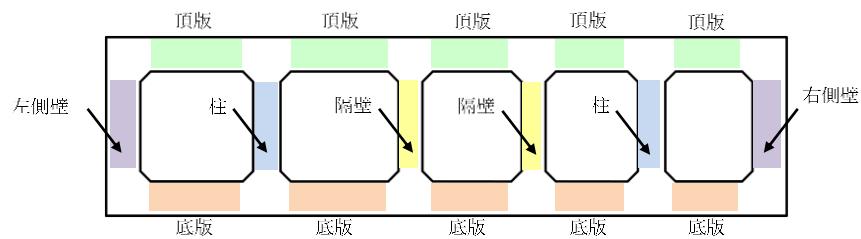
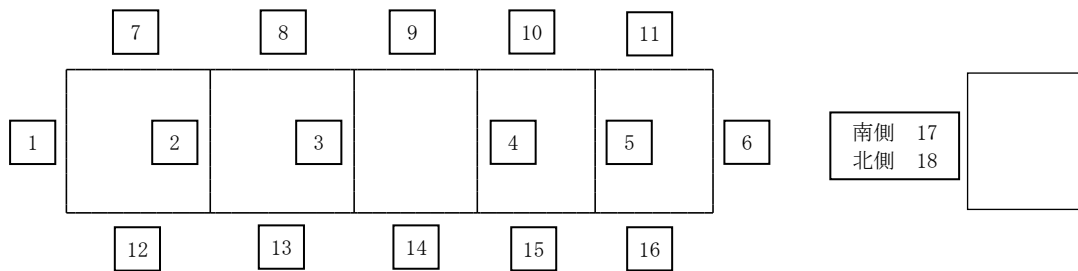
補機冷却用海水取水路の鉄筋コンクリート部材のせん断力照査において、各解析ケースのうち、最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧表を表 5-35 及び表 5-36 に示す。最も厳しい照査値となる時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図 5-121 及び図 5-122 に示す。なお、図 5-121 及び図 5-122 は、表 5-35 及び表 5-36 に示す解析ケースの照査値最大時における各断面力最大値と同方向の断面力分布を示している。

表 5-35 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果（補機冷却用海水取水路（南側））
（最も厳しい照査値とその地震動）

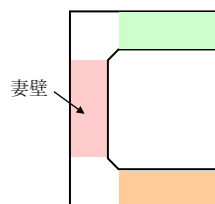
| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力*2 V_d (kN) | せん断耐力 V_{yd} (kN) | 照査値 V_d/V_{yd} |
|--------|----|-----------|----------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| 頂版 | 10 | ① | S s -2 | 1195 | 3050 | 0.40 |
| 側壁 | 6 | ① | S s -3++ | 1038 | 2773 | 0.38 |
| 隔壁 | 4 | ① | S s -8++ | 134 | 754 | 0.18 |
| 底版 | 15 | ② | S s -1+- | 1817 | 3098 | 0.59 |
| 柱 | 5 | ① | S s -1++ | 115 | 795 | 0.15 |
| 妻壁 | 17 | ① | S s -1-+ | 903 | 1958 | 0.47 |

注記*1：評価位置は下図に示す。

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



A-A断面（補機冷却用海水取水路（南側））



B-B断面（妻壁を通る断面の構造形状）

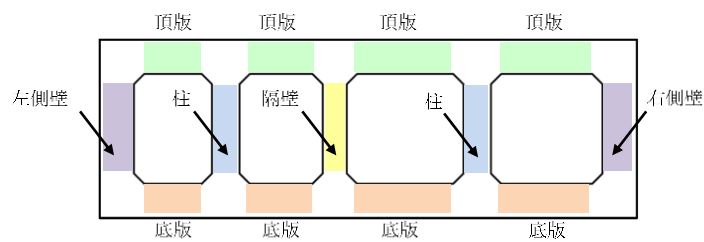
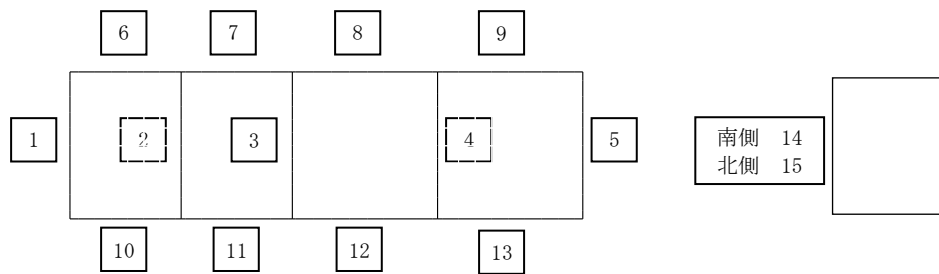
評価位置

表 5-36 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果（補機冷却用海水取水路（北側））
（最も厳しい照査値とその地震動）

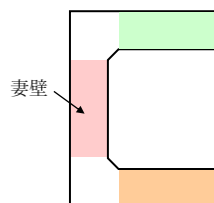
| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用せん断力*2 V_d (kN) | せん断耐力 V_{yd} (kN) | 照査値 V_d/V_{yd} |
|--------|----|-----------|----------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| 頂版 | 7 | ④ | S s -1+- | 1513 | 2890 | 0.53 |
| 側壁 | 5 | ② | S s -1+- | 937 | 1947 | 0.49 |
| 隔壁 | 3 | ④ | S s -1+- | 257 | 854 | 0.31 |
| 底版 | 12 | ④ | S s -1+- | 2380 | 3134 | 0.76 |
| 柱 | 2 | ④ | S s -1+- | 192 | 912 | 0.22 |
| 妻壁 | 15 | ③ | S s -1+- | 902 | 1695 | 0.54 |

注記*1：評価位置は下図に示す。

*2：照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

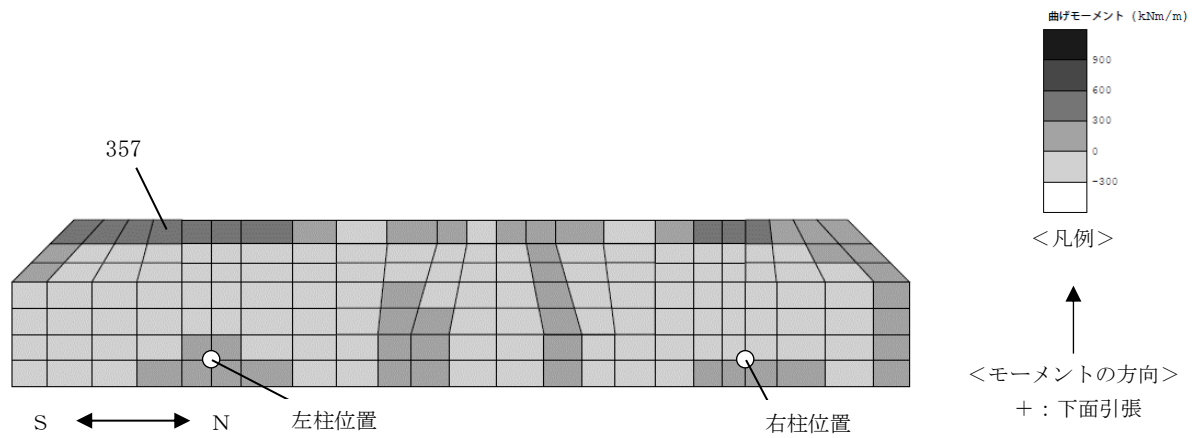


A-A断面（補機冷却用海水取水路（北側））

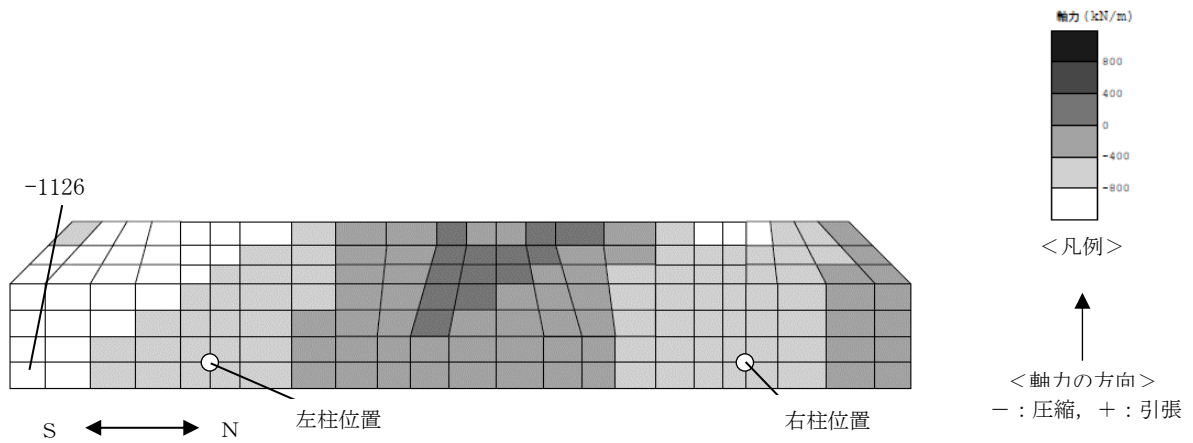


C-C断面（妻壁を通る断面の構造形状）

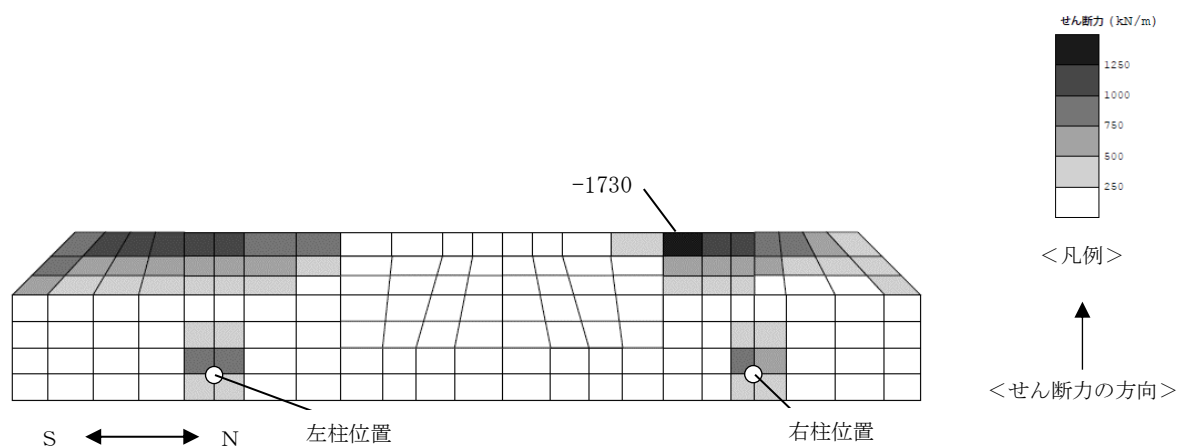
評価位置



(a) 曲げモーメント分布

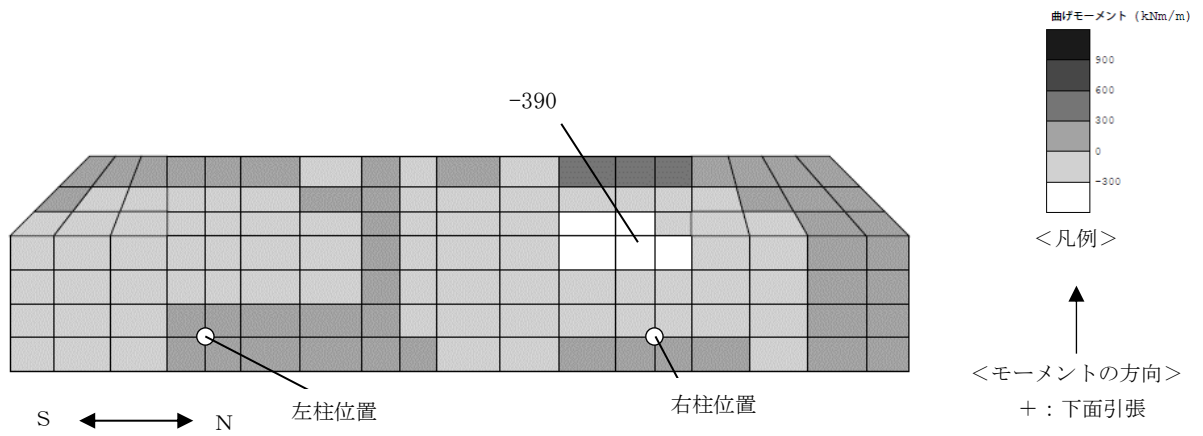


(b) 軸力分布

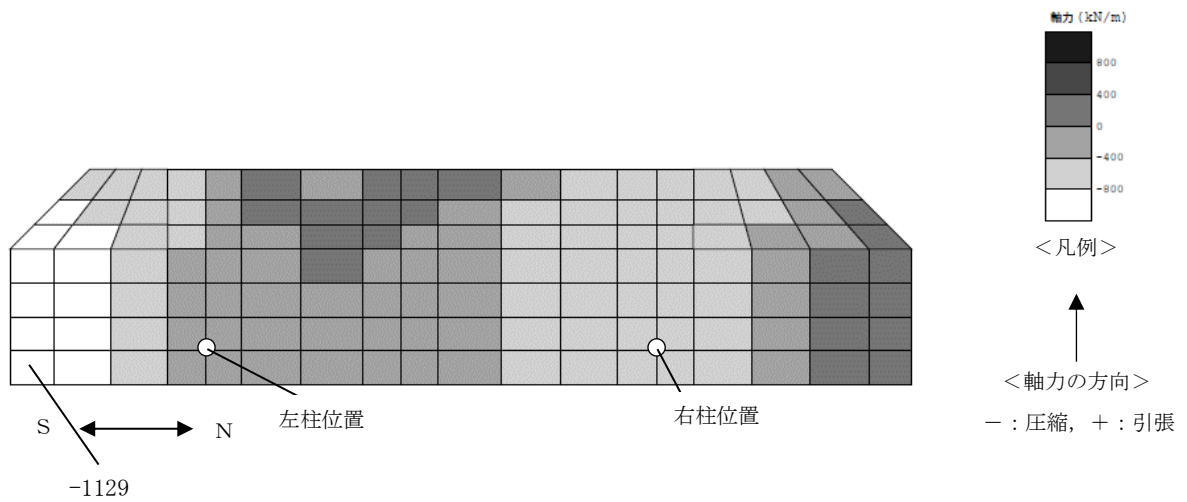


(c) せん断力分布

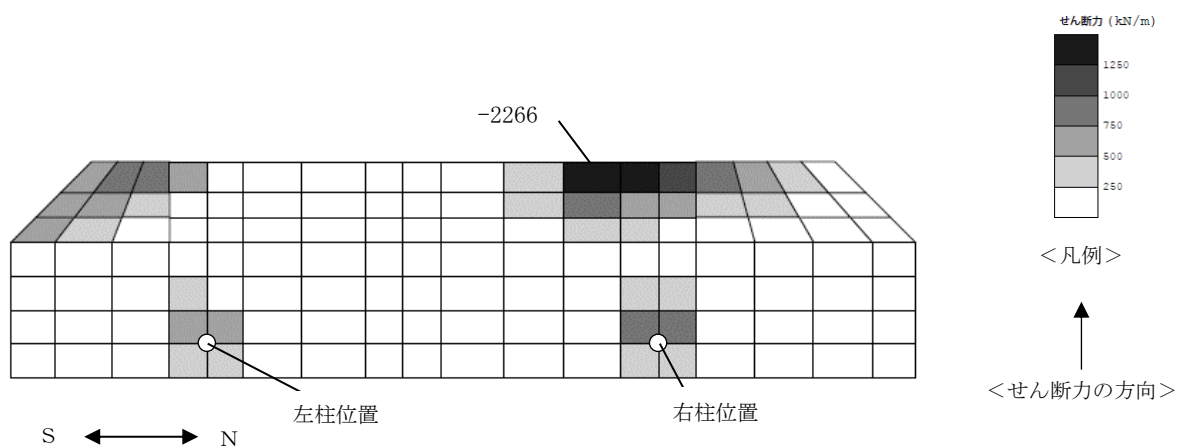
図 5-121 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査が最も厳しくなるケースでの断面力分布図 (補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 底版, 解析ケース②, 地震動 Ss-1+-, t=5.67s)



(a) 曲げモーメント分布



(b) 軸力分布



(c) せん断力分布

図 5-122 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査が最も厳しくなるケースでの断面力分布図
(補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 底版, 解析ケース⑤, 地震動 Ss-1+, t=5.70s)

5.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果

(1) 曲げ軸力に対する評価結果

a. 通水機能

3次元構造解析に基づく鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果を表 5-37 及び表 5-38, 評価位置を図 5-123 及び図 5-124 に示す。各表には, 「5.4.3 照査時刻の選定」に基づき選定した各照査時刻における評価結果のうち, 解析ケース, 地震動ごとに照査値が最大となる結果を示している。

照査結果より, 照査用コンクリートひずみが限界ひずみを下回ることを確認した。

表 5-37 曲げ軸力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（南側））（1/2）

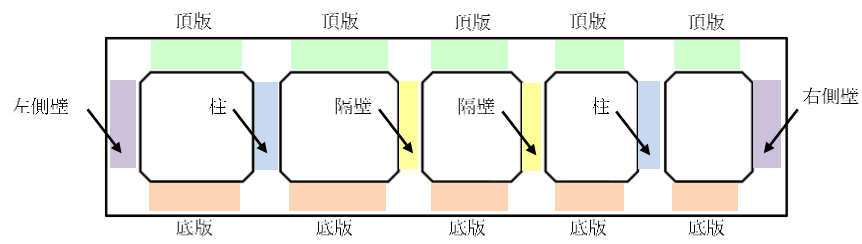
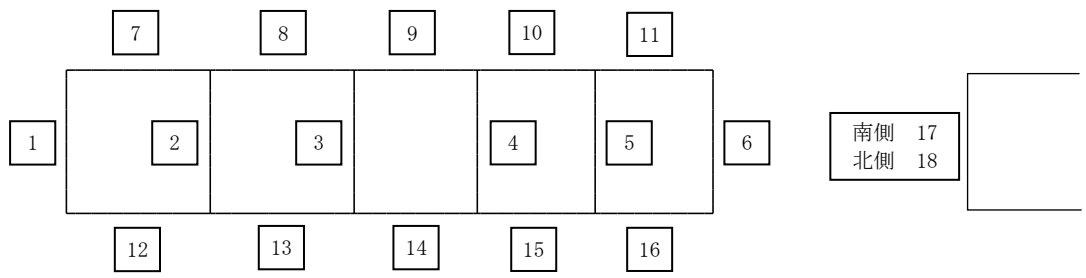
| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用ひずみ* | 限界ひずみ | 照査値 |
|-------|--------|------|----|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| | | | | $\varepsilon_d (\mu)$ | $\varepsilon_r (\mu)$ | $\varepsilon_d / \varepsilon_r$ |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 8 | 147 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 1 | 111 | 10000 | 0.012 |
| | | 隔壁 | 3 | 168 | 10000 | 0.017 |
| | | 底版 | 12 | 126 | 10000 | 0.013 |
| | | 柱 | 2 | 117 | 10000 | 0.012 |
| | | 妻壁 | 18 | 216 | 10000 | 0.022 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 8 | 168 | 10000 | 0.017 |
| | | 側壁 | 1 | 142 | 10000 | 0.015 |
| | | 隔壁 | 4 | 169 | 10000 | 0.017 |
| | | 底版 | 12 | 209 | 10000 | 0.021 |
| | | 柱 | 2 | 153 | 10000 | 0.016 |
| | | 妻壁 | 18 | 225 | 10000 | 0.023 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 9 | 144 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 1 | 201 | 10000 | 0.021 |
| | | 隔壁 | 4 | 214 | 10000 | 0.022 |
| | | 底版 | 12 | 197 | 10000 | 0.020 |
| | | 柱 | 2 | 206 | 10000 | 0.021 |
| | | 妻壁 | 18 | 248 | 10000 | 0.025 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 8 | 149 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 1 | 115 | 10000 | 0.012 |
| | | 隔壁 | 3 | 155 | 10000 | 0.016 |
| | | 底版 | 12 | 170 | 10000 | 0.017 |
| | | 柱 | 2 | 131 | 10000 | 0.014 |
| | | 妻壁 | 18 | 203 | 10000 | 0.021 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 8 | 163 | 10000 | 0.017 |
| | | 側壁 | 1 | 158 | 10000 | 0.016 |
| | | 隔壁 | 3 | 171 | 10000 | 0.018 |
| | | 底版 | 12 | 123 | 10000 | 0.013 |
| | | 柱 | 2 | 144 | 10000 | 0.015 |
| | | 妻壁 | 17 | 229 | 10000 | 0.023 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 11 | 156 | 10000 | 0.016 |
| | | 側壁 | 1 | 164 | 10000 | 0.017 |
| | | 隔壁 | 4 | 182 | 10000 | 0.019 |
| | | 底版 | 12 | 214 | 10000 | 0.022 |
| | | 柱 | 2 | 166 | 10000 | 0.017 |
| | | 妻壁 | 18 | 200 | 10000 | 0.020 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 7 | 141 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 1 | 129 | 10000 | 0.013 |
| | | 隔壁 | 3 | 172 | 10000 | 0.018 |
| | | 底版 | 12 | 190 | 10000 | 0.019 |
| | | 柱 | 2 | 144 | 10000 | 0.015 |
| | | 妻壁 | 18 | 210 | 10000 | 0.021 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 135 | 10000 | 0.014 |
| | | 側壁 | 1 | 97 | 10000 | 0.010 |
| | | 隔壁 | 3 | 153 | 10000 | 0.016 |
| | | 底版 | 12 | 152 | 10000 | 0.016 |
| | | 柱 | 2 | 109 | 10000 | 0.011 |
| | | 妻壁 | 18 | 185 | 10000 | 0.019 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 8 | 145 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 6 | 111 | 10000 | 0.012 |
| | | 隔壁 | 4 | 147 | 10000 | 0.015 |
| | | 底版 | 12 | 184 | 10000 | 0.019 |
| | | 柱 | 2 | 127 | 10000 | 0.013 |
| | | 妻壁 | 18 | 185 | 10000 | 0.019 |

注記* : 照査用圧縮ひずみ $\varepsilon_d =$ 圧縮縁の発生ひずみ $\varepsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

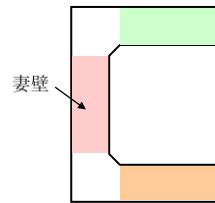
表 5-37 曲げ軸力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（南側））（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用ひずみ* | 限界ひずみ | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------------|--------------------|---------------------------|
| | | | | $\epsilon_d (\mu)$ | $\epsilon_r (\mu)$ | ϵ_d / ϵ_r |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 8 | 138 | 10000 | 0.014 |
| | | 側壁 | 1 | 123 | 10000 | 0.013 |
| | | 隔壁 | 4 | 119 | 10000 | 0.012 |
| | | 底版 | 14 | 103 | 10000 | 0.011 |
| | | 柱 | 2 | 106 | 10000 | 0.011 |
| | | 妻壁 | 18 | 157 | 10000 | 0.016 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 8 | 141 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 1 | 103 | 10000 | 0.011 |
| | | 隔壁 | 3 | 118 | 10000 | 0.012 |
| | | 底版 | 14 | 98 | 10000 | 0.010 |
| | | 柱 | 2 | 93 | 10000 | 0.010 |
| | | 妻壁 | 18 | 163 | 10000 | 0.017 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 8 | 128 | 10000 | 0.013 |
| | | 側壁 | 1 | 159 | 10000 | 0.016 |
| | | 隔壁 | 4 | 141 | 10000 | 0.015 |
| | | 底版 | 12 | 129 | 10000 | 0.013 |
| | | 柱 | 2 | 140 | 10000 | 0.014 |
| | | 妻壁 | 17 | 163 | 10000 | 0.017 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 8 | 138 | 10000 | 0.014 |
| | | 側壁 | 1 | 155 | 10000 | 0.016 |
| | | 隔壁 | 3 | 147 | 10000 | 0.015 |
| | | 底版 | 12 | 99 | 10000 | 0.010 |
| | | 柱 | 2 | 142 | 10000 | 0.015 |
| | | 妻壁 | 18 | 168 | 10000 | 0.017 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 8 | 151 | 10000 | 0.016 |
| | | 側壁 | 1 | 156 | 10000 | 0.016 |
| | | 隔壁 | 4 | 203 | 10000 | 0.021 |
| | | 底版 | 12 | 126 | 10000 | 0.013 |
| | | 柱 | 2 | 176 | 10000 | 0.018 |
| | | 妻壁 | 18 | 232 | 10000 | 0.024 |
| ① | Ss-8+ | 頂版 | 8 | 134 | 10000 | 0.014 |
| | | 側壁 | 1 | 138 | 10000 | 0.014 |
| | | 隔壁 | 4 | 173 | 10000 | 0.018 |
| | | 底版 | 12 | 151 | 10000 | 0.016 |
| | | 柱 | 2 | 159 | 10000 | 0.016 |
| | | 妻壁 | 18 | 236 | 10000 | 0.024 |
| ② | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 158 | 10000 | 0.016 |
| | | 側壁 | 1 | 203 | 10000 | 0.021 |
| | | 隔壁 | 4 | 213 | 10000 | 0.022 |
| | | 底版 | 12 | 195 | 10000 | 0.020 |
| | | 柱 | 2 | 208 | 10000 | 0.021 |
| | | 妻壁 | 18 | 253 | 10000 | 0.026 |
| ③ | Ss-1+- | 頂版 | 9 | 142 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 1 | 198 | 10000 | 0.020 |
| | | 隔壁 | 4 | 217 | 10000 | 0.022 |
| | | 底版 | 12 | 201 | 10000 | 0.021 |
| | | 柱 | 2 | 206 | 10000 | 0.021 |
| | | 妻壁 | 18 | 250 | 10000 | 0.025 |
| ④ | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 160 | 10000 | 0.016 |
| | | 側壁 | 1 | 161 | 10000 | 0.017 |
| | | 隔壁 | 3 | 184 | 10000 | 0.019 |
| | | 底版 | 13 | 135 | 10000 | 0.014 |
| | | 柱 | 2 | 150 | 10000 | 0.015 |
| | | 妻壁 | 18 | 199 | 10000 | 0.020 |
| ⑤ | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 164 | 10000 | 0.017 |
| | | 側壁 | 1 | 165 | 10000 | 0.017 |
| | | 隔壁 | 3 | 192 | 10000 | 0.020 |
| | | 底版 | 13 | 140 | 10000 | 0.014 |
| | | 柱 | 2 | 156 | 10000 | 0.016 |
| | | 妻壁 | 18 | 192 | 10000 | 0.020 |

注記* : 照査用圧縮ひずみ $\epsilon_d =$ 圧縮縁の発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (南側))



B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-123 補機冷却用海水取水路 (南側) の評価位置

表 5-38 曲げ軸力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（1/2）

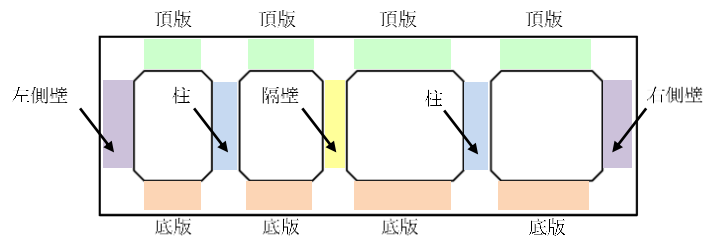
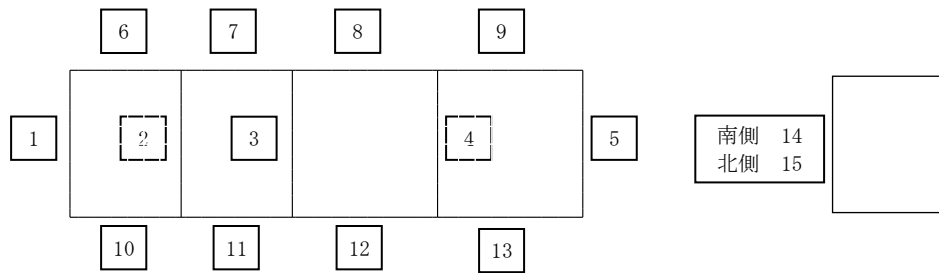
| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用ひずみ* | 限界ひずみ | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------------|--------------------|---------------------------|
| | | | | $\epsilon_d (\mu)$ | $\epsilon_r (\mu)$ | ϵ_d / ϵ_r |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 8 | 215 | 10000 | 0.022 |
| | | 側壁 | 5 | 242 | 10000 | 0.025 |
| | | 隔壁 | 3 | 218 | 10000 | 0.022 |
| | | 底版 | 13 | 139 | 10000 | 0.014 |
| | | 柱 | 4 | 233 | 10000 | 0.024 |
| | | 妻壁 | 15 | 271 | 10000 | 0.028 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 8 | 212 | 10000 | 0.022 |
| | | 側壁 | 5 | 234 | 10000 | 0.024 |
| | | 隔壁 | 3 | 224 | 10000 | 0.023 |
| | | 底版 | 13 | 136 | 10000 | 0.014 |
| | | 柱 | 4 | 234 | 10000 | 0.024 |
| | | 妻壁 | 15 | 267 | 10000 | 0.027 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 233 | 10000 | 0.024 |
| | | 側壁 | 5 | 253 | 10000 | 0.026 |
| | | 隔壁 | 3 | 259 | 10000 | 0.026 |
| | | 底版 | 13 | 184 | 10000 | 0.019 |
| | | 柱 | 4 | 257 | 10000 | 0.026 |
| | | 妻壁 | 14 | 281 | 10000 | 0.029 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 8 | 221 | 10000 | 0.023 |
| | | 側壁 | 5 | 246 | 10000 | 0.025 |
| | | 隔壁 | 3 | 246 | 10000 | 0.025 |
| | | 底版 | 13 | 175 | 10000 | 0.018 |
| | | 柱 | 4 | 241 | 10000 | 0.025 |
| | | 妻壁 | 15 | 264 | 10000 | 0.027 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 8 | 158 | 10000 | 0.016 |
| | | 側壁 | 5 | 161 | 10000 | 0.017 |
| | | 隔壁 | 3 | 210 | 10000 | 0.021 |
| | | 底版 | 13 | 139 | 10000 | 0.014 |
| | | 柱 | 4 | 188 | 10000 | 0.019 |
| | | 妻壁 | 14 | 229 | 10000 | 0.023 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 8 | 150 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 5 | 142 | 10000 | 0.015 |
| | | 隔壁 | 3 | 190 | 10000 | 0.019 |
| | | 底版 | 10 | 147 | 10000 | 0.015 |
| | | 柱 | 4 | 191 | 10000 | 0.020 |
| | | 妻壁 | 15 | 213 | 10000 | 0.022 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 9 | 143 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 5 | 116 | 10000 | 0.012 |
| | | 隔壁 | 3 | 161 | 10000 | 0.017 |
| | | 底版 | 10 | 157 | 10000 | 0.016 |
| | | 柱 | 4 | 164 | 10000 | 0.017 |
| | | 妻壁 | 15 | 233 | 10000 | 0.024 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 165 | 10000 | 0.017 |
| | | 側壁 | 12 | 185 | 10000 | 0.019 |
| | | 隔壁 | 12 | 168 | 10000 | 0.017 |
| | | 底版 | 12 | 121 | 10000 | 0.013 |
| | | 柱 | 4 | 176 | 10000 | 0.018 |
| | | 妻壁 | 12 | 214 | 10000 | 0.022 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 12 | 176 | 10000 | 0.018 |
| | | 側壁 | 12 | 198 | 10000 | 0.020 |
| | | 隔壁 | 12 | 188 | 10000 | 0.019 |
| | | 底版 | 12 | 132 | 10000 | 0.014 |
| | | 柱 | 4 | 196 | 10000 | 0.020 |
| | | 妻壁 | 13 | 232 | 10000 | 0.024 |

注記* : 照査用圧縮ひずみ $\epsilon_d =$ 圧縮縁の発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

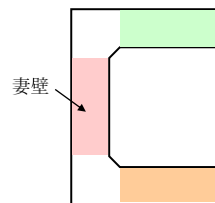
表 5-38 曲げ軸力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用ひずみ* | 限界ひずみ | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------------|--------------------|---------------------------|
| | | | | $\epsilon_d (\mu)$ | $\epsilon_r (\mu)$ | ϵ_d / ϵ_r |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 13 | 131 | 10000 | 0.014 |
| | | 側壁 | 13 | 119 | 10000 | 0.012 |
| | | 隔壁 | 13 | 147 | 10000 | 0.015 |
| | | 底版 | 13 | 118 | 10000 | 0.012 |
| | | 柱 | 4 | 140 | 10000 | 0.014 |
| | | 妻壁 | 13 | 189 | 10000 | 0.019 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 13 | 136 | 10000 | 0.014 |
| | | 側壁 | 13 | 143 | 10000 | 0.015 |
| | | 隔壁 | 13 | 172 | 10000 | 0.018 |
| | | 底版 | 13 | 121 | 10000 | 0.013 |
| | | 柱 | 4 | 168 | 10000 | 0.017 |
| | | 妻壁 | 13 | 196 | 10000 | 0.020 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 13 | 171 | 10000 | 0.018 |
| | | 側壁 | 13 | 187 | 10000 | 0.019 |
| | | 隔壁 | 13 | 192 | 10000 | 0.020 |
| | | 底版 | 13 | 112 | 10000 | 0.012 |
| | | 柱 | 4 | 190 | 10000 | 0.019 |
| | | 妻壁 | 13 | 216 | 10000 | 0.022 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 13 | 156 | 10000 | 0.016 |
| | | 側壁 | 10 | 174 | 10000 | 0.018 |
| | | 隔壁 | 10 | 159 | 10000 | 0.016 |
| | | 底版 | 10 | 109 | 10000 | 0.011 |
| | | 柱 | 4 | 174 | 10000 | 0.018 |
| | | 妻壁 | 10 | 214 | 10000 | 0.022 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 10 | 148 | 10000 | 0.015 |
| | | 側壁 | 10 | 144 | 10000 | 0.015 |
| | | 隔壁 | 10 | 229 | 10000 | 0.023 |
| | | 底版 | 11 | 154 | 10000 | 0.016 |
| | | 柱 | 4 | 216 | 10000 | 0.022 |
| | | 妻壁 | 11 | 240 | 10000 | 0.024 |
| ① | Ss-8+- | 頂版 | 11 | 117 | 10000 | 0.012 |
| | | 側壁 | 11 | 113 | 10000 | 0.012 |
| | | 隔壁 | 11 | 198 | 10000 | 0.020 |
| | | 底版 | 11 | 135 | 10000 | 0.014 |
| | | 柱 | 4 | 191 | 10000 | 0.020 |
| | | 妻壁 | 12 | 207 | 10000 | 0.021 |
| ② | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 236 | 10000 | 0.024 |
| | | 側壁 | 5 | 259 | 10000 | 0.026 |
| | | 隔壁 | 3 | 254 | 10000 | 0.026 |
| | | 底版 | 13 | 181 | 10000 | 0.019 |
| | | 柱 | 4 | 260 | 10000 | 0.026 |
| | | 妻壁 | 14 | 276 | 10000 | 0.028 |
| ③ | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 228 | 10000 | 0.023 |
| | | 側壁 | 5 | 245 | 10000 | 0.025 |
| | | 隔壁 | 3 | 269 | 10000 | 0.027 |
| | | 底版 | 13 | 191 | 10000 | 0.020 |
| | | 柱 | 4 | 263 | 10000 | 0.027 |
| | | 妻壁 | 14 | 288 | 10000 | 0.029 |
| ④ | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 183 | 10000 | 0.019 |
| | | 側壁 | 5 | 184 | 10000 | 0.019 |
| | | 隔壁 | 3 | 327 | 10000 | 0.033 |
| | | 底版 | 12 | 205 | 10000 | 0.021 |
| | | 柱 | 4 | 292 | 10000 | 0.030 |
| | | 妻壁 | 15 | 344 | 10000 | 0.035 |
| ⑤ | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 178 | 10000 | 0.018 |
| | | 側壁 | 5 | 186 | 10000 | 0.019 |
| | | 隔壁 | 3 | 326 | 10000 | 0.033 |
| | | 底版 | 12 | 204 | 10000 | 0.021 |
| | | 柱 | 4 | 289 | 10000 | 0.029 |
| | | 妻壁 | 15 | 344 | 10000 | 0.035 |

注記* : 照査用圧縮ひずみ $\epsilon_d =$ 圧縮縁の発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (北側))



C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-124 補機冷却用海水取水路 (北側) の評価位置

b. 貯水機能

貯水機能を要求する側壁及び頂版について、鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースにおける発生曲げモーメントと降伏モーメントの関係を図 5-125 及び図 5-126 に示す。同図は、発生曲げモーメントの変形に対応する降伏モーメントとの比が厳しい部材の結果を示す。

照査結果より、側壁及び頂版ともに、発生曲げモーメントが降伏モーメントを下回ることを確認した。

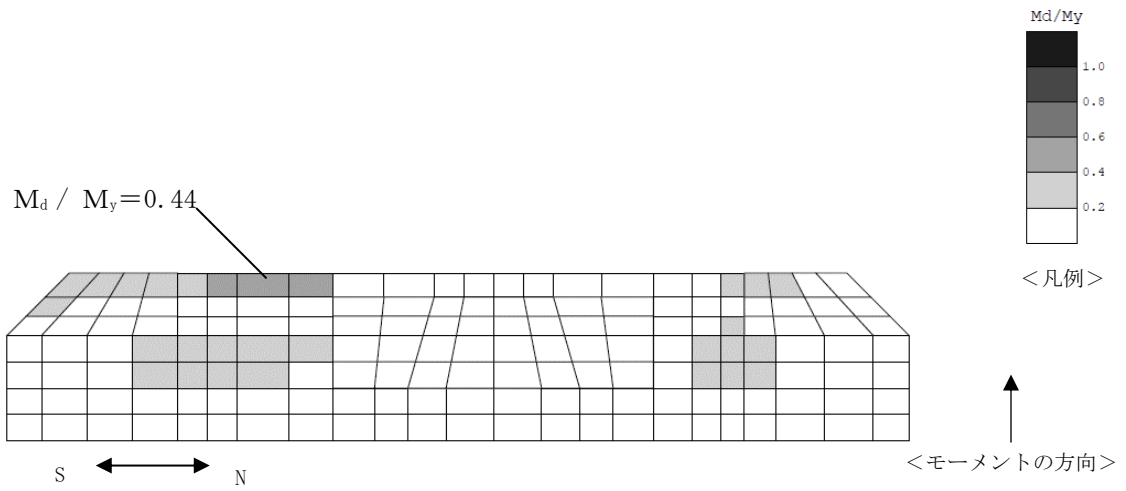


図 5-125 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケース
での発生曲げモーメント/降伏モーメント
(補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 頂版, 解析ケース②, 地震動 Ss-1+-, t=5.67s)

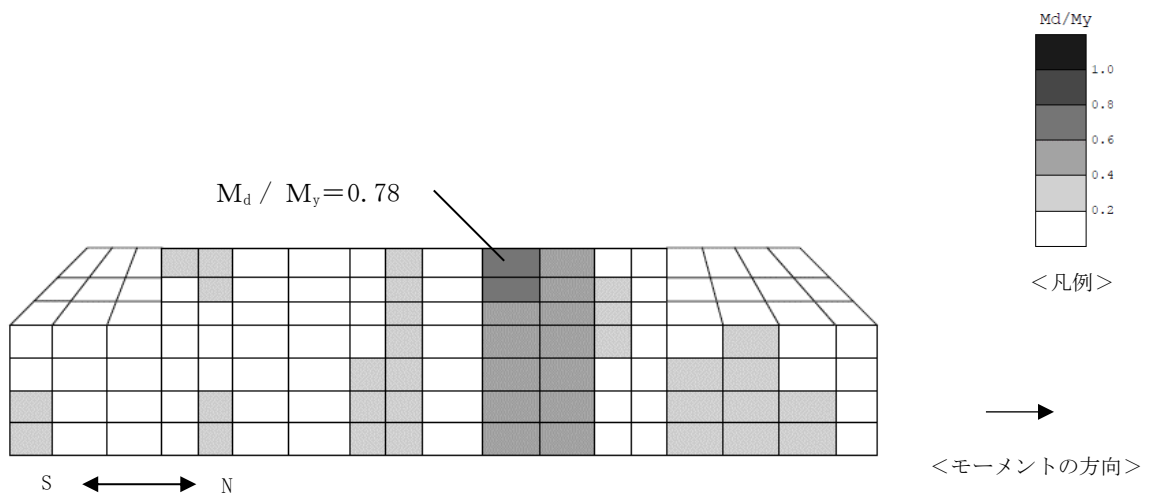


図 5-126 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケース
での発生曲げモーメント/降伏モーメント
(補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 頂版, 解析ケース④, 地震動 Ss-1+-, t=5.70s)

(2) せん断力に対する評価結果

3次元構造解析に基づく鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果を表 5-39 及び表 5-40, 評価位置を図 5-127 及び図 5-128 に示す。各表には, 「5.4.3 照査時刻の選定」に基づき選定した各照査時刻における評価結果のうち, 解析ケース, 地震動及び評価位置ごとに照査値が最大となる結果を示している。

照査結果より, 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 5-39 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（南側））（1/2）

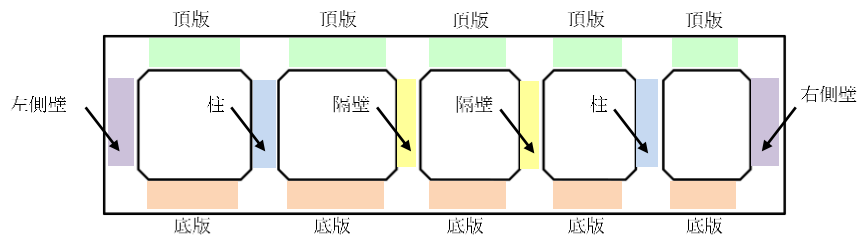
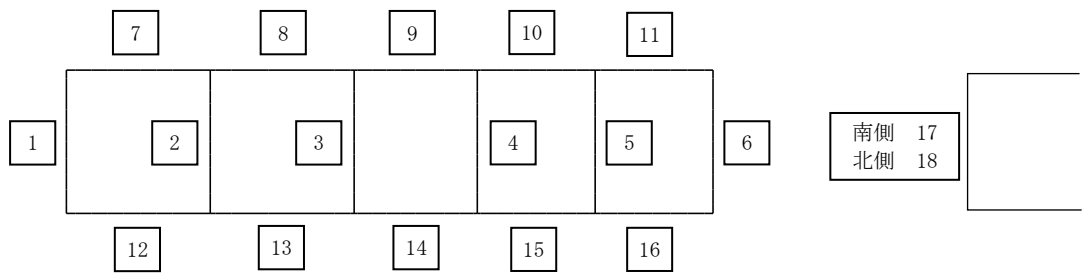
| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力* | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 10 | 1099 | 3054 | 0.36 |
| | | 側壁 | 1 | 709 | 2674 | 0.27 |
| | | 隔壁 | 4 | 152 | 940 | 0.17 |
| | | 底版 | 15 | 1442 | 3001 | 0.49 |
| | | 柱 | 5 | 115 | 795 | 0.15 |
| | | 妻壁 | 17 | 772 | 1910 | 0.41 |
| ① | Ss-1-+ | 頂版 | 10 | 1142 | 3107 | 0.37 |
| | | 側壁 | 6 | 972 | 2788 | 0.35 |
| | | 隔壁 | 4 | 140 | 926 | 0.16 |
| | | 底版 | 15 | 1443 | 3014 | 0.48 |
| | | 柱 | 5 | 97 | 854 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 17 | 903 | 1958 | 0.47 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 1115 | 3035 | 0.37 |
| | | 側壁 | 6 | 942 | 2758 | 0.35 |
| | | 隔壁 | 4 | 154 | 939 | 0.17 |
| | | 底版 | 15 | 1781 | 3083 | 0.58 |
| | | 柱 | 5 | 104 | 872 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 17 | 513 | 1365 | 0.38 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 10 | 1023 | 3048 | 0.34 |
| | | 側壁 | 1 | 781 | 2683 | 0.30 |
| | | 隔壁 | 4 | 133 | 933 | 0.15 |
| | | 底版 | 15 | 1454 | 3033 | 0.48 |
| | | 柱 | 5 | 93 | 839 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 17 | 793 | 1922 | 0.42 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 10 | 1195 | 3050 | 0.40 |
| | | 側壁 | 1 | 749 | 2587 | 0.29 |
| | | 隔壁 | 3 | 99 | 667 | 0.15 |
| | | 底版 | 13 | 900 | 2942 | 0.31 |
| | | 柱 | 2 | 81 | 766 | 0.11 |
| | | 妻壁 | 17 | 830 | 1844 | 0.46 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 8 | 806 | 2715 | 0.30 |
| | | 側壁 | 6 | 1038 | 2773 | 0.38 |
| | | 隔壁 | 4 | 135 | 909 | 0.15 |
| | | 底版 | 15 | 1461 | 3019 | 0.49 |
| | | 柱 | 5 | 91 | 867 | 0.11 |
| | | 妻壁 | 17 | 458 | 1386 | 0.34 |
| ① | Ss-3-+ | 頂版 | 10 | 1108 | 3031 | 0.37 |
| | | 側壁 | 1 | 876 | 2701 | 0.33 |
| | | 隔壁 | 4 | 132 | 923 | 0.15 |
| | | 底版 | 15 | 1397 | 3004 | 0.47 |
| | | 柱 | 5 | 92 | 848 | 0.11 |
| | | 妻壁 | 17 | 738 | 1897 | 0.39 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 10 | 968 | 3013 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 680 | 2662 | 0.26 |
| | | 隔壁 | 4 | 130 | 931 | 0.14 |
| | | 底版 | 15 | 1325 | 3017 | 0.44 |
| | | 柱 | 5 | 94 | 811 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 17 | 716 | 1906 | 0.38 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 10 | 967 | 3037 | 0.32 |
| | | 側壁 | 6 | 837 | 2812 | 0.30 |
| | | 隔壁 | 4 | 134 | 914 | 0.15 |
| | | 底版 | 15 | 1353 | 3019 | 0.45 |
| | | 柱 | 5 | 95 | 829 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 17 | 773 | 1930 | 0.41 |

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

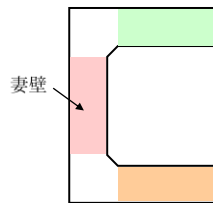
表 5-39 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（南側））（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|-------|------|
| | | | | せん断力* | | |
| | | | | V_d (kN) | | |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 10 | 856 | 2997 | 0.29 |
| | | 側壁 | 1 | 554 | 2548 | 0.22 |
| | | 隔壁 | 4 | 67 | 756 | 0.09 |
| | | 底版 | 13 | 744 | 2944 | 0.26 |
| | | 柱 | 2 | 46 | 871 | 0.06 |
| | | 妻壁 | 17 | 719 | 1891 | 0.39 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 10 | 887 | 3001 | 0.30 |
| | | 側壁 | 1 | 585 | 2564 | 0.23 |
| | | 隔壁 | 3 | 64 | 856 | 0.08 |
| | | 底版 | 13 | 705 | 2911 | 0.25 |
| | | 柱 | 5 | 41 | 731 | 0.06 |
| | | 妻壁 | 17 | 732 | 1885 | 0.39 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 8 | 738 | 2660 | 0.28 |
| | | 側壁 | 6 | 705 | 2693 | 0.27 |
| | | 隔壁 | 4 | 66 | 768 | 0.09 |
| | | 底版 | 15 | 1024 | 2964 | 0.35 |
| | | 柱 | 2 | 49 | 797 | 0.07 |
| | | 妻壁 | 17 | 679 | 1936 | 0.36 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 8 | 791 | 2978 | 0.27 |
| | | 側壁 | 1 | 587 | 2214 | 0.27 |
| | | 隔壁 | 4 | 93 | 728 | 0.13 |
| | | 底版 | 15 | 1177 | 2945 | 0.40 |
| | | 柱 | 5 | 70 | 847 | 0.09 |
| | | 妻壁 | 17 | 595 | 1705 | 0.35 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 10 | 986 | 3052 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 710 | 2679 | 0.27 |
| | | 隔壁 | 4 | 134 | 754 | 0.18 |
| | | 底版 | 15 | 1604 | 3002 | 0.54 |
| | | 柱 | 5 | 101 | 876 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 17 | 795 | 1929 | 0.42 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 10 | 970 | 3011 | 0.33 |
| | | 側壁 | 1 | 705 | 2672 | 0.27 |
| | | 隔壁 | 4 | 146 | 908 | 0.17 |
| | | 底版 | 15 | 1662 | 3063 | 0.55 |
| | | 柱 | 5 | 102 | 857 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 17 | 681 | 1879 | 0.37 |
| ② | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 1140 | 3048 | 0.38 |
| | | 側壁 | 6 | 955 | 2761 | 0.35 |
| | | 隔壁 | 4 | 150 | 940 | 0.16 |
| | | 底版 | 15 | 1817 | 3098 | 0.59 |
| | | 柱 | 5 | 96 | 908 | 0.11 |
| | | 妻壁 | 17 | 700 | 1726 | 0.41 |
| ③ | Ss-1+- | 頂版 | 8 | 1094 | 3012 | 0.37 |
| | | 側壁 | 6 | 940 | 2758 | 0.35 |
| | | 隔壁 | 4 | 166 | 963 | 0.18 |
| | | 底版 | 15 | 1787 | 3078 | 0.59 |
| | | 柱 | 5 | 111 | 902 | 0.13 |
| | | 妻壁 | 17 | 522 | 1371 | 0.39 |
| ④ | Ss-1+- | 頂版 | 10 | 853 | 2785 | 0.31 |
| | | 側壁 | 1 | 888 | 2518 | 0.36 |
| | | 隔壁 | 3 | 124 | 871 | 0.15 |
| | | 底版 | 15 | 1417 | 3019 | 0.47 |
| | | 柱 | 5 | 75 | 870 | 0.09 |
| | | 妻壁 | 17 | 732 | 1784 | 0.42 |
| ⑤ | Ss-1+- | 頂版 | 10 | 894 | 2807 | 0.32 |
| | | 側壁 | 1 | 914 | 2521 | 0.37 |
| | | 隔壁 | 3 | 129 | 869 | 0.15 |
| | | 底版 | 15 | 1280 | 2991 | 0.43 |
| | | 柱 | 5 | 77 | 852 | 0.10 |
| | | 妻壁 | 17 | 754 | 1783 | 0.43 |

注記* : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (南側))



B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-127 補機冷却用海水取水路 (南側) の評価位置

表 5-40 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（1/2）

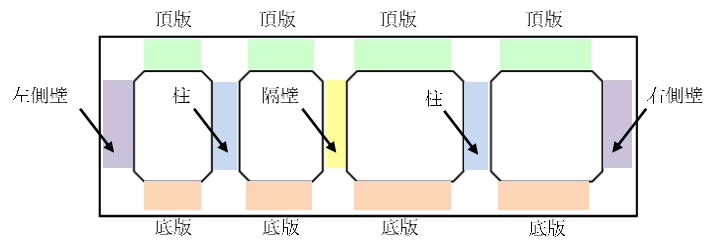
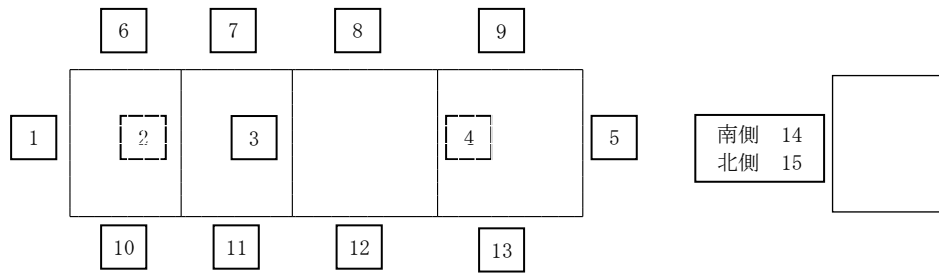
| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 せん断力* | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|--------------|----------------|-----------------|
| | | | | V_d (kN) | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| ① | Ss-1++ | 頂版 | 7 | 1290 | 2905 | 0.45 |
| | | 側壁 | 5 | 968 | 2023 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 3 | 149 | 947 | 0.16 |
| | | 底版 | 12 | 1269 | 3038 | 0.42 |
| | | 柱 | 4 | 110 | 817 | 0.14 |
| | | 妻壁 | 15 | 873 | 1684 | 0.52 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 1260 | 2892 | 0.44 |
| | | 側壁 | 5 | 863 | 1950 | 0.45 |
| | | 隔壁 | 3 | 146 | 880 | 0.17 |
| | | 底版 | 12 | 1363 | 3060 | 0.45 |
| | | 柱 | 2 | 106 | 846 | 0.13 |
| | | 妻壁 | 15 | 873 | 1676 | 0.53 |
| ① | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 1392 | 2876 | 0.49 |
| | | 側壁 | 5 | 898 | 1927 | 0.47 |
| | | 隔壁 | 3 | 196 | 953 | 0.21 |
| | | 底版 | 12 | 1812 | 3078 | 0.59 |
| | | 柱 | 2 | 140 | 934 | 0.15 |
| | | 妻壁 | 15 | 896 | 1684 | 0.54 |
| ① | Ss-1-- | 頂版 | 7 | 1317 | 2909 | 0.46 |
| | | 側壁 | 5 | 951 | 2000 | 0.48 |
| | | 隔壁 | 3 | 183 | 929 | 0.20 |
| | | 底版 | 12 | 1729 | 3032 | 0.58 |
| | | 柱 | 2 | 131 | 914 | 0.15 |
| | | 妻壁 | 15 | 865 | 1678 | 0.52 |
| ① | Ss-2 | 頂版 | 7 | 1170 | 2813 | 0.42 |
| | | 側壁 | 5 | 641 | 2043 | 0.32 |
| | | 隔壁 | 3 | 143 | 827 | 0.18 |
| | | 底版 | 12 | 1338 | 2953 | 0.46 |
| | | 柱 | 2 | 111 | 864 | 0.13 |
| | | 妻壁 | 15 | 821 | 1847 | 0.45 |
| ① | Ss-3++ | 頂版 | 7 | 1067 | 2875 | 0.38 |
| | | 側壁 | 5 | 718 | 2238 | 0.33 |
| | | 隔壁 | 3 | 131 | 1033 | 0.13 |
| | | 底版 | 12 | 1341 | 2989 | 0.45 |
| | | 柱 | 2 | 91 | 900 | 0.11 |
| | | 妻壁 | 15 | 691 | 1694 | 0.41 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 1217 | 3109 | 0.40 |
| | | 側壁 | 1 | 740 | 2487 | 0.30 |
| | | 隔壁 | 3 | 127 | 961 | 0.14 |
| | | 底版 | 12 | 1182 | 2938 | 0.41 |
| | | 柱 | 2 | 83 | 726 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 15 | 717 | 1696 | 0.43 |
| ① | Ss-3+- | 頂版 | 8 | 1007 | 2866 | 0.36 |
| | | 側壁 | 5 | 767 | 2053 | 0.38 |
| | | 隔壁 | 3 | 126 | 985 | 0.13 |
| | | 底版 | 12 | 1201 | 2916 | 0.42 |
| | | 柱 | 2 | 88 | 872 | 0.11 |
| | | 妻壁 | 15 | 639 | 1548 | 0.42 |
| ① | Ss-3-- | 頂版 | 8 | 1083 | 2877 | 0.38 |
| | | 側壁 | 5 | 735 | 1956 | 0.38 |
| | | 隔壁 | 3 | 132 | 997 | 0.14 |
| | | 底版 | 12 | 1251 | 2971 | 0.43 |
| | | 柱 | 2 | 91 | 867 | 0.11 |
| | | 妻壁 | 15 | 761 | 1690 | 0.46 |

注記* : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

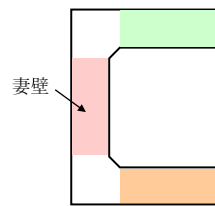
表 5-40 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（2/2）

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 照査用 | せん断耐力 | 照査値 |
|-------|--------|------|----|------------|----------------|-----------------|
| | | | | せん断力* | | |
| | | | | V_d (kN) | $V_{y d}$ (kN) | $V_d / V_{y d}$ |
| ① | Ss-4 | 頂版 | 7 | 978 | 2814 | 0.35 |
| | | 側壁 | 5 | 510 | 2118 | 0.25 |
| | | 隔壁 | 3 | 91 | 889 | 0.11 |
| | | 底版 | 12 | 1037 | 2936 | 0.36 |
| | | 柱 | 2 | 71 | 722 | 0.10 |
| | | 妻壁 | 15 | 696 | 1846 | 0.38 |
| ① | Ss-5 | 頂版 | 7 | 997 | 2855 | 0.35 |
| | | 側壁 | 5 | 550 | 1985 | 0.28 |
| | | 隔壁 | 3 | 94 | 869 | 0.11 |
| | | 底版 | 12 | 1136 | 2884 | 0.40 |
| | | 柱 | 2 | 63 | 714 | 0.09 |
| | | 妻壁 | 15 | 728 | 1857 | 0.40 |
| ① | Ss-6 | 頂版 | 7 | 1018 | 2842 | 0.36 |
| | | 側壁 | 5 | 664 | 1926 | 0.35 |
| | | 隔壁 | 3 | 135 | 884 | 0.16 |
| | | 底版 | 12 | 1384 | 3016 | 0.46 |
| | | 柱 | 2 | 99 | 871 | 0.12 |
| | | 妻壁 | 15 | 703 | 1668 | 0.43 |
| ① | Ss-7 | 頂版 | 8 | 994 | 2839 | 0.36 |
| | | 側壁 | 5 | 623 | 1925 | 0.33 |
| | | 隔壁 | 3 | 107 | 796 | 0.14 |
| | | 底版 | 12 | 1117 | 2879 | 0.39 |
| | | 柱 | 2 | 81 | 840 | 0.10 |
| | | 妻壁 | 15 | 648 | 1558 | 0.42 |
| ① | Ss-8++ | 頂版 | 7 | 1113 | 2813 | 0.40 |
| | | 側壁 | 1 | 724 | 2528 | 0.29 |
| | | 隔壁 | 3 | 165 | 817 | 0.21 |
| | | 底版 | 12 | 1680 | 3022 | 0.56 |
| | | 柱 | 2 | 125 | 874 | 0.15 |
| | | 妻壁 | 15 | 650 | 1657 | 0.40 |
| ① | Ss-8-+ | 頂版 | 7 | 977 | 2834 | 0.35 |
| | | 側壁 | 1 | 639 | 2504 | 0.26 |
| | | 隔壁 | 3 | 167 | 880 | 0.19 |
| | | 底版 | 12 | 1446 | 2937 | 0.50 |
| | | 柱 | 2 | 120 | 865 | 0.14 |
| | | 妻壁 | 15 | 598 | 1701 | 0.36 |
| ② | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 1373 | 2870 | 0.48 |
| | | 側壁 | 5 | 937 | 1947 | 0.49 |
| | | 隔壁 | 3 | 186 | 949 | 0.20 |
| | | 底版 | 12 | 1754 | 3063 | 0.58 |
| | | 柱 | 2 | 135 | 932 | 0.15 |
| | | 妻壁 | 15 | 882 | 1680 | 0.53 |
| ③ | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 1421 | 2883 | 0.50 |
| | | 側壁 | 5 | 863 | 1922 | 0.45 |
| | | 隔壁 | 3 | 215 | 962 | 0.23 |
| | | 底版 | 12 | 1877 | 3057 | 0.62 |
| | | 柱 | 2 | 151 | 932 | 0.17 |
| | | 妻壁 | 15 | 902 | 1695 | 0.54 |
| ④ | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 1513 | 2890 | 0.53 |
| | | 側壁 | 5 | 851 | 2292 | 0.38 |
| | | 隔壁 | 3 | 257 | 854 | 0.31 |
| | | 底版 | 12 | 2380 | 3134 | 0.76 |
| | | 柱 | 2 | 192 | 912 | 0.22 |
| | | 妻壁 | 15 | 652 | 1595 | 0.41 |
| ⑤ | Ss-1+- | 頂版 | 7 | 1479 | 2878 | 0.52 |
| | | 側壁 | 5 | 840 | 2275 | 0.37 |
| | | 隔壁 | 3 | 251 | 838 | 0.30 |
| | | 底版 | 12 | 2372 | 3127 | 0.76 |
| | | 柱 | 2 | 189 | 903 | 0.21 |
| | | 妻壁 | 15 | 644 | 1584 | 0.41 |

注記* : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (北側))



C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-128 補機冷却用海水取水路 (北側) の評価位置

(3) 妻壁の面内せん断に対する評価結果

3次元構造解析に基づく補機冷却用海水取水路の妻壁の面内せん断照査結果を表 5-41, 表 5-42, 評価位置を図 5-123, 図 5-124 に示す。

照査結果より, 照査用面内せん断ひずみが許容限界を下回ることを確認した

表 5-41 補機冷却用海水取水路 (南側) の妻壁の面内せん断照査結果 (1/2)

| ケースの 着目事象 | 解析 ケース | 地震動 | 時刻 | 評価位置 | 照査用面内 せん断ひずみ* γ_d | 許容限界 γ_A | 照査値 γ_d / γ_A |
|--------------|-----------|--------|------|------|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 応力 | ⑤ | Ss-1+- | 4.74 | 南妻壁 | 4.55×10^{-5} | 2.0×10^{-3} | 0.023 |
| | | | | 北妻壁 | 9.88×10^{-5} | | 0.050 |
| 変形 | ⑤ | Ss-1+- | 4.75 | 南妻壁 | 4.20×10^{-5} | | 0.021 |
| | | | | 北妻壁 | 9.85×10^{-5} | | 0.050 |

注記* : 照査用面内せん断ひずみ $\gamma_d =$ 発生面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

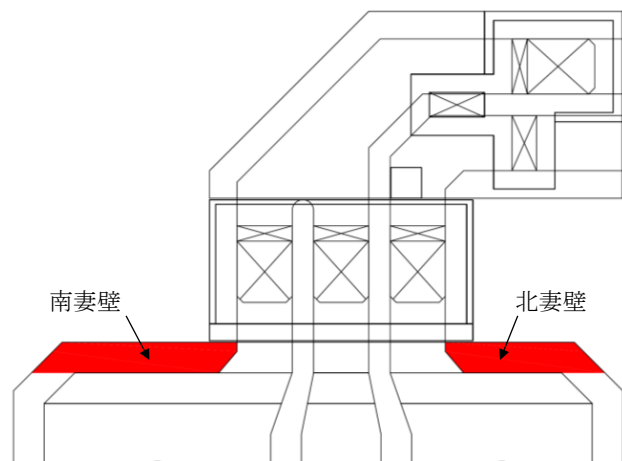


図 5-129 補機冷却用海水取水路 (南側) の評価位置

表 5-42 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の面内せん断照査結果（1/2）

| ケースの 着目事象 | 解析 ケース | 地震動 | 時刻 | 評価位置 | 照査用面内 せん断ひずみ* γ_d | 許容限界 γ_A | 照査値 γ_d / γ_A |
|--------------|-----------|--------|------|------|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 応力 | ⑤ | Ss-1+- | 4.74 | 南妻壁 | 2.34×10^{-5} | 2.0×10^{-3} | 0.012 |
| | | | | 北妻壁 | 7.68×10^{-5} | | 0.039 |
| 変形 | ⑤ | Ss-1+- | 4.75 | 南妻壁 | 2.74×10^{-5} | | 0.014 |
| | | | | 北妻壁 | 7.92×10^{-5} | | 0.040 |

注記* : 照査用面内せん断ひずみ $\gamma_d =$ 発生面内せん断ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

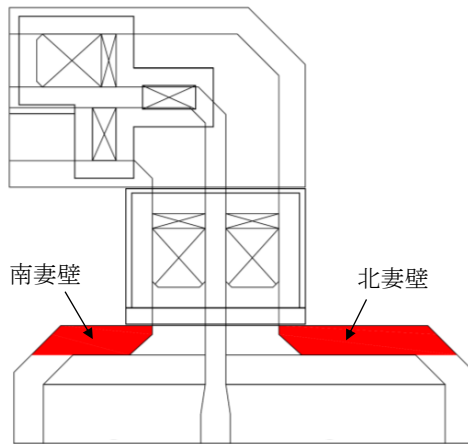


図 5-130 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の位置

5.6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

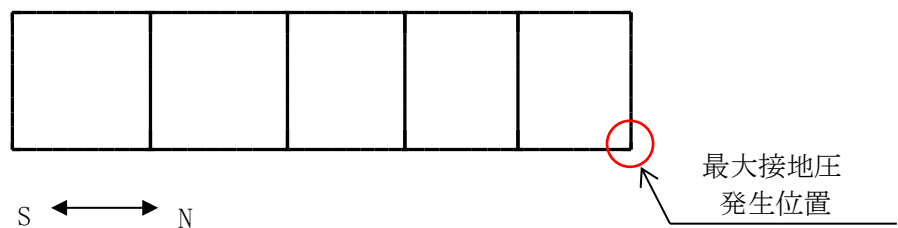
基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 5-43 及び表 5-44 に示す。

補機冷却用海水取水路の基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-43 基礎地盤の支持性能評価結果 補機冷却用海水取水路（南側）

| 解析ケース | 基準地震動 | 最大接地圧 σ (N/mm ²) | 極限支持力 q_u (N/mm ²) | 照査値 σ / q_u |
|-------|--------|--|-------------------------------------|-----------------------|
| ① | Ss-1++ | 0.86 | 6.17 | 0.14 |
| | Ss-1-+ | 0.85 | 6.17 | 0.14 |
| | Ss-1+- | 0.88 | 6.17 | 0.15 |
| | Ss-1-- | 1.03* | 6.17 | 0.17 |
| | Ss-2 | 0.71 | 6.17 | 0.12 |
| | Ss-3++ | 0.86 | 6.17 | 0.14 |
| | Ss-3-+ | 0.88 | 6.17 | 0.15 |
| | Ss-3+- | 0.85 | 6.17 | 0.14 |
| | Ss-3-- | 0.88 | 6.17 | 0.15 |
| | Ss-4 | 0.63 | 6.17 | 0.11 |
| | Ss-5 | 0.57 | 6.17 | 0.10 |
| | Ss-6 | 0.58 | 6.17 | 0.10 |
| | Ss-7 | 0.55 | 6.17 | 0.09 |
| | Ss-8++ | 0.70 | 6.17 | 0.12 |
| | Ss-8-+ | 0.65 | 6.17 | 0.11 |
| ② | Ss-1+- | 0.86 | 6.17 | 0.14 |
| ③ | Ss-1+- | 0.90 | 6.17 | 0.15 |
| ④ | Ss-1+- | 0.82 | 6.17 | 0.14 |
| ⑤ | Ss-1+- | 0.84 | 6.17 | 0.14 |

注記* : 最大接地圧発生位置を下記に示す。

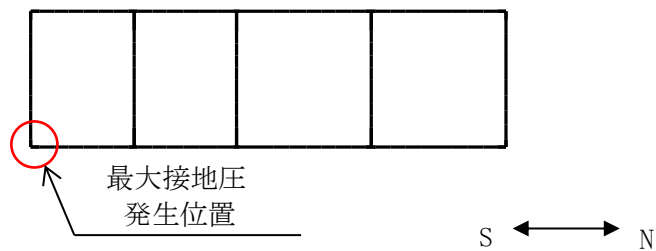


補機冷却用海水取水路（南側）の最大接地圧発生位置

表 5-44 基礎地盤の支持性能評価結果 補機冷却用海水取水路（北側）

| 解析ケース | 基準地震動 | 最大接地圧 (N/mm ²) | 極限支持力 q _u (N/mm ²) | 照査値 / q _u |
|-------|--------|-------------------------------|--|-------------------------|
| ① | Ss-1++ | 0.70 | 6.17 | 0.12 |
| | Ss-1-+ | 0.67 | 6.17 | 0.11 |
| | Ss-1+- | 0.83 | 6.17 | 0.14 |
| | Ss-1-- | 0.74 | 6.17 | 0.12 |
| | Ss-2 | 0.63 | 6.17 | 0.11 |
| | Ss-3++ | 0.66 | 6.17 | 0.11 |
| | Ss-3-+ | 0.66 | 6.17 | 0.11 |
| | Ss-3+- | 0.65 | 6.17 | 0.11 |
| | Ss-3-- | 0.69 | 6.17 | 0.12 |
| | Ss-4 | 0.56 | 6.17 | 0.10 |
| | Ss-5 | 0.57 | 6.17 | 0.10 |
| | Ss-6 | 0.54 | 6.17 | 0.09 |
| | Ss-7 | 0.53 | 6.17 | 0.09 |
| | Ss-8++ | 0.61 | 6.17 | 0.10 |
| | Ss-8-+ | 0.63 | 6.17 | 0.11 |
| ② | Ss-1+- | 0.84* | 6.17 | 0.14 |
| ③ | Ss-1+- | 0.82 | 6.17 | 0.14 |
| ④ | Ss-1+- | 0.81 | 6.17 | 0.14 |
| ⑤ | Ss-1+- | 0.82 | 6.17 | 0.14 |

注記* : 最大接地圧発生位置を下記に示す。



補機冷却用海水取水路（北側）の最大接地圧発生位置

5.7 まとめ

補機冷却用海水取水路は、基準地震動 S_s に対して、構造物の地震応答解析に基づく曲げ軸力に伴うコンクリートの圧縮ひずみ、せん断力が各部材の要求性能に応じた許容限界以下であることを確認した。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。

以上のことから、補機冷却用海水取水路は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造安定性、通水機能、貯水機能を維持できる。

スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価
に関する参考資料

目 次

: 今回説明範囲

| | |
|---|--------|
| (参考資料 1) 浮上り評価について | 参考 1-1 |
| (参考資料 2) 耐震ジョイントの健全性評価について | 参考 2-1 |
| (参考資料 3) 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について | 参考 3-1 |
| (参考資料 4) 材料非線形解析の部材係数について | 参考 4-1 |
| (参考資料 5) 液状化検討対象層を踏まえた支持性能評価について | 参考 5-1 |
| (参考資料 6) 静的地震力に対する耐震評価 | 参考 6-1 |
| (参考資料 7) 3次元構造解析における照査時刻の選定について | 参考 7-1 |
| (参考資料 8) タービン建屋接合部の健全性について | 参考 8-1 |
| (参考資料 9) 3次元構造解析におけるモデル化の妥当性について | 参考 9-1 |

(参考資料 1) 浮上りの評価について

1. 概要

柏崎刈羽原子力発電所 7 号機のスクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路及び 6 号機のスクリーン室，取水路は，液状化による構造物の浮上り対策として，構造物側方地盤の地盤改良を実施している。

本資料では，中空断面を有する構造物であるスクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路について，浮上り対策後の構造物の浮上り評価について示す。

2. 浮上り対策

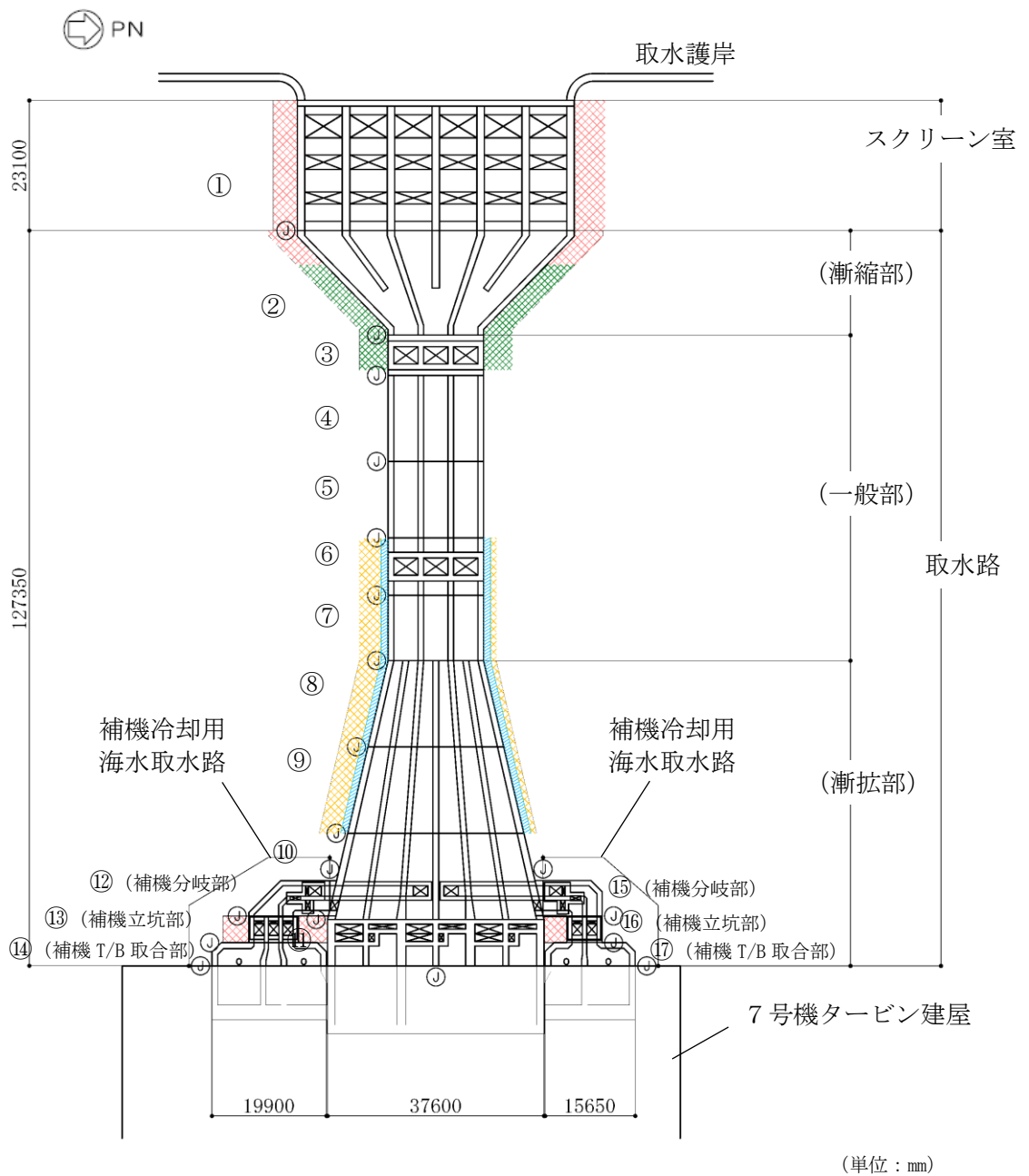
柏崎刈羽原子力発電所 7 号機のスクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路及び 6 号機のスクリーン室，取水路の浮上り対策の範囲を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

浮上り対策を目的とした地盤改良工法は，地盤に固化材を高圧で噴射・攪拌する「高圧噴射攪拌工法」，攪拌翼で固化材と地盤を攪拌混合する「機械攪拌工法」，地盤を開削し無筋コンクリートを投入し置換する工法「無筋コンクリート」，地盤を水平多軸掘削機で開削し流動化処理土を投入する「置換工法（地中連続壁工法）」の 4 種類が採用されている。表 2-1 にそれぞれの地盤改良工法の概念図を示す。

地盤改良体の改良幅については，浮上り防止を目的とし構造物を不透水層に根入れする観点から，構造物側面の埋戻土層の範囲（建設時における土留め内の掘削範囲）とすることを基本とする。ただし，建設時のオープン掘削により，構造物側面に埋戻土層が広範囲に分布する場合は，深層混合処理工法 設計・施工マニュアル 改訂版（(財) 土木研究センター，平成 16 年 3 月）に基づき，改良幅 B と高さ H の比を $B/H=0.5$ 以上として設定する。

地盤改良体の高さについては，共同溝設計指針（日本道路協会，1986）における浮上り検討対象外となる根入れとして 1m 以上を確保し，構造物の耐震性の観点から水路の頂版付近まで地盤改良を行うことを基本とする。

浮上り対策としての地盤改良は，構造物側面の摩擦抵抗を確保するため，躯体との密着性に配慮した施工を行う。具体的には，高圧噴射攪拌工法を適用する範囲では，躯体と改良範囲をラップさせて施工する。無筋コンクリートや置換工法（地中連続壁工法）は，躯体側方の地盤を開削し，固化材を投入して施工する。なお，機械攪拌工法については，回転翼が躯体と接触する可能性があることから，構造物側方の改良には適用しない。

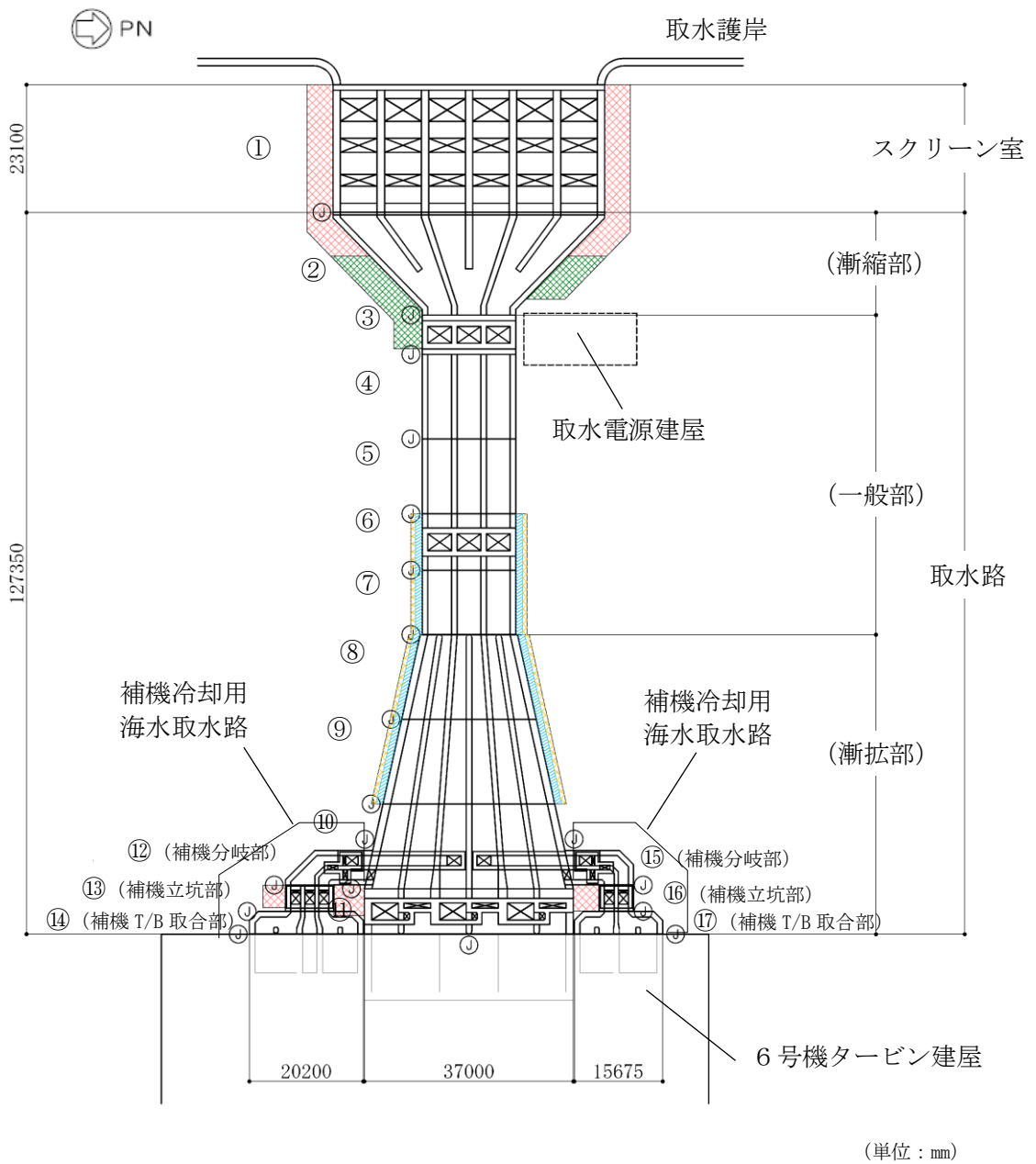


(単位：mm)

| 既設/新設 | 凡例 | 地盤改良工法 |
|---------|----|-----------|
| 新設地盤改良体 | | 高圧噴射 |
| | | 無筋コンクリート |
| | | 置換(地中連続壁) |
| | | 機械攪拌 |

注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 2-1 7号機のスクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の浮上り対策範囲



| 既設/新設 | 凡例 | 地盤改良工法 |
|---------|----|-----------|
| | | 高圧噴射 |
| 新設地盤改良体 | | 無筋コンクリート |
| | | 置換(地中連続壁) |
| | | 機械攪拌 |

注1：置換工法(地中連続壁), 機械攪拌工法の施工範囲の内, 地上構造物及び埋設構造物がある箇所では, 高圧噴射または置換(開削)を適用

注2：補機冷却用海水取水路(6号機設備)

⑫~⑰は浮上り評価の対象外

図 2-2 6号機のスクリーン室及び取水路の浮上り対策範囲

表 2-1 地盤改良工法の概念図(1/2)

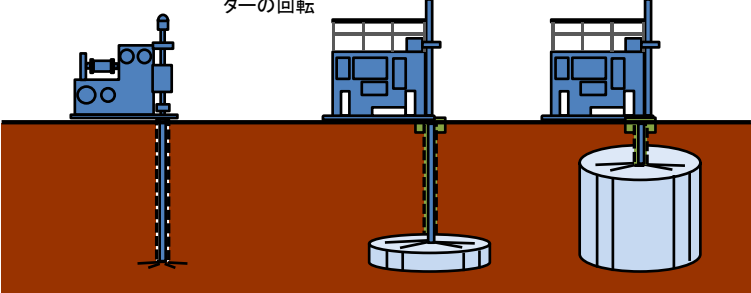
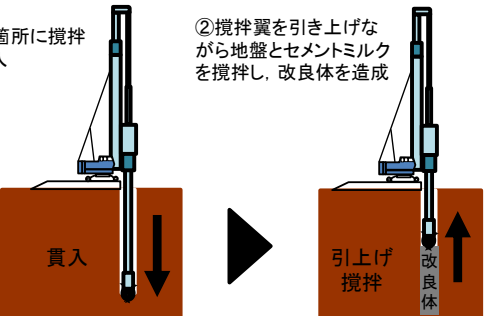
| 工 法 | 概 要 |
|----------------------|--|
| <p>高圧噴射攪拌 工法</p> | <p>高圧でセメントミルクを吐出し，原地盤を切削・攪拌することで改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がある，開削が困難な箇所にて採用。</p> <p>①ガイドホール設置 所定深度まで削孔</p> <p>②機器設置 ロッド建込み，超高圧 ジェットの噴射・モニ ターの回転</p> <p>③②の状態を保ちつつ モニターの引き上げ， スライムの排出</p>  <p>高圧噴射攪拌工法の概要</p> |
| <p>機械攪拌工法</p> | <p>原地盤に攪拌翼を貫入した後，地盤とセメントミルクを攪拌混合することで改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく，貫入が可能な箇所にて採用。</p> <p>①改良箇所に攪拌 翼を貫入</p> <p>②攪拌翼を引き上げな がら地盤とセメントミルク を攪拌し，改良体を造成</p>  <p>機械攪拌工法の概要</p> |

表 2-2 地盤改良工法の概念図(2/2)

| 工 法 | 概 要 |
|--------------------------------|--|
| <p>無筋 コンクリート</p> | <p>原地盤を開削し，無筋コンクリートを投入することで，改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく，開削が可能な箇所にて採用。</p> <div data-bbox="539 472 1281 786" style="text-align: center;"> <p>①置換箇所を掘削</p> <p>②掘削箇所に コンクリートを打設</p> <p>取水路</p> <p>コンクリート</p> <p>無筋 コンクリート</p> </div> <p style="text-align: center;">無筋コンクリートの概要</p> |
| <p>置換工法 (地中連続壁 工法)</p> | <p>原地盤を水平多軸掘削機で開削し，流動化処理土を投入することで，改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく，開削が可能な箇所にて採用。</p> <div data-bbox="571 1010 1249 1261" style="text-align: center;"> <p>①安定液による孔壁 保護を行いながら掘削機で掘削。</p> <p>②安定液を流動化処理土に 置換え，連続壁を構築。</p> <p>安定液</p> <p>掘削</p> <p>流動化処 理土</p> <p>連続壁</p> </div> <p style="text-align: center;">置換工法(地中連続壁工法)の概要</p> |

3. 評価内容

3.1 浮上り評価方法の選定

3.1.1 各指針・基準の浮上り評価方法の整理・選定

地盤の液状化に伴う構造物の浮上りに対する主な簡易評価手法としては、浮上り計算法がある。

浮上り計算法は、液状化による過剰間隙水圧の上昇に伴う揚圧力の増加を考慮した、力の釣り合いに基づく方法であり、共同溝設計指針（日本道路協会，1986）（以下、「共同溝設計指針」という。）、トンネル標準示方書（土木学会，2006）（以下、「トンネル標準示方書」という。）、鉄道構造物等設計標準・同解説（鉄道総合技術研究所，2012）（以下、「鉄道構造物等設計標準・同解説」という。）及び水道施設耐震工法指針・解説（日本水道協会，1997）（以下、「水道施設耐震工法指針・解説」という。）に示されている。

各指針・基準の概要を表 3-1 に整理する。

浮上りに対する安全率 F_s の算定は、共同溝設計指針、トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説では、いずれも同じ評価方法が採用されている。これは、水道施設耐震工法指針・解説は円形の管路を対象としており、他3者は矩形構造物を対象としているためと考えられる。

表 3-1 各指針・基準の浮上り評価方法の比較

| | 共同溝設計指針 (日本道路協会, 1986) | トンネル標準示方書 (土木学会, 2006) | 鉄道構造物等 設計標準・同解説 (鉄道総合技術研究所, 2012) | 水道施設耐震工法 指針・解説 (日本水道協会, 1997) |
|---------------------|---|--|--|--|
| 安全率 F_s の 算定式* | $\frac{W_S + W_B + Q_S + Q_B}{U_S + U_D}$ | $\frac{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B}{\gamma_i (U_S + U_D)}$ | $\frac{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B}{\gamma_i (U_S + U_D)}$ | $\frac{W_B + Q_1}{V_0 \cdot \gamma_s}$ |
| 力の定義* | | | | |
| 適用構造物 | 共同溝 (矩形) | 開削トンネル (矩形) | 開削トンネル (矩形) | 管路 (円形) |
| 所要安全率 | 1.1 | 1.0 | ≤ 1.0 | 1.0 |

注: γ_i は構造物係数を示す。

注記*: 共同溝設計指針とトンネル標準示方書, 鉄道構造物等設計標準・同解説の算定式の相違は, 力の定義におけるせん断抵抗 Q_s ・摩擦抵抗 Q_B を, 片側で「 Q 」とするか「 $Q/2$ 」とするかの表記上の相違であり, 算定内容は同一。

3.1.2 浮上り評価に用いる各指針・基準の選定結果

柏崎刈羽原子力発電所7号機における浮上り評価の対象構造物は、矩形のボックスカルバート構造であることから、共同溝設計指針、トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説に示される式(1)を用いて評価を実施する。浮上り評価の概念図を図3-1に示す。

$$F_s = \gamma_i (W_s + W_B + 2Q_s + 2Q_B) / (U_s + U_D) \quad \text{式(1)}$$

ここで、

- γ_i : 構造物係数 (=1.0)
- W_s : 上載土の荷重 (水の重量を含む)
- W_B : 構造物の自重
- Q_s : 上載土のせん断抵抗
- Q_B : 構造物側面の摩擦抵抗
- U_s : 構造物底面に作用する静水圧による揚圧力
- U_D : 構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力

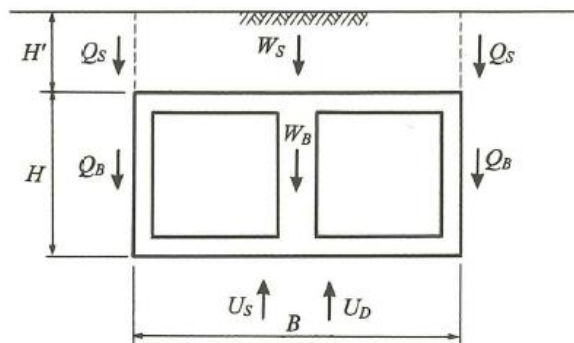


図 3-1 浮上り評価の概念図

非液状化層におけるせん断抵抗 Q_S 及び摩擦抵抗 Q_B の算出は、柏崎刈羽原子力発電所の評価対象地盤は、砂質土に限らず粘性土や地盤改良体が分布しており、せん断抵抗角 ϕ と粘着力 c を用いた回帰式が最も適していること、地盤改良の効果は主に粘着力 c として表現されることから、トンネル標準示方書に示される以下の式(2)及び式(3)を用いて評価を実施する。

$$Q_S = f_{rus} (c_S + K_0 \cdot \sigma'_{vs} \cdot \tan \phi_S) H' \quad \text{式(2)}$$

$$Q_B = f_{ruw} (c_B + K_0 \cdot \sigma'_{vB} \cdot \tan \phi_B) H \quad \text{式(3)}$$

ここで、

c_S : 上載土の粘着力

c_B : 側面の粘着力

ϕ_S : 上載土のせん断抵抗角

ϕ_B : 側面の壁面摩擦角で、 $\phi_B = 2\phi/3$ とする (ϕ : 周辺地盤の内部摩擦角)

K_0 : 静止土圧定数

σ'_{vs} , σ'_{vB} : 上載土と構造物側面の有効上載圧

H' : 上載土の厚さ

H : 構造物の高さ

f_{rus} , f_{ruw} : 液状化時の浮上りに関する安全係数

($f_{rus} = 1.0$, $f_{ruw} = 1.0$ が示されている)

静水圧による揚圧力 U_S の算定は、トンネル標準示方書に基づき式(4)により算定する。

$$U_S = \gamma_w \cdot (Z_B - Z_W) \cdot B \quad \text{式(4)}$$

ここで、

γ_w : 地下水の単位体積重量

Z_B : 地表から構造物底面までの深さ

Z_W : 地表から地下水面までの深さ

B : 構造物の幅

3.1.3 安全率

所要安全率は、表 3-1 に示す各指針・基準の所定安全率のうち、最も保守的な設定としている共同溝設計指針の「1.1」を採用する。

3.2 評価断面

共同溝設計指針では、図 3-2 に示すように構造物が粘性土などの不透水層に 1m 以上根入れされている場合は、当該構造物は浮上り検討の対象外としている。7 号機及び 6 号機の浮上り評価実施箇所を図 3-3～図 3-5 に示す。なお、6 号機の補機冷却用海水取水路については工事計画認可申請における評価対象施設でないことから、浮上り評価の対象外とする。

スクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路では、7 号機の①～③、⑥～⑨、⑪、⑬ブロック及び 6 号機の①～②、⑥～⑨、⑪ブロックは、構造物が透水性の低い地盤改良体に根入れされていることから、同指針では評価の対象外となるが、本評価では、不透水層への根入れの有無に関わらず、全てのブロックに対して浮上り評価を実施する。

なお、6 号機の⑤ブロックには、取水路の上部に放水路が位置する。

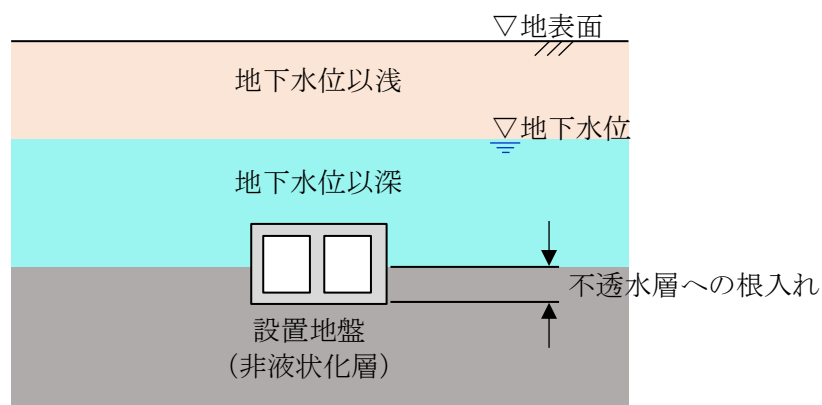


図 3-2 不透水層への根入れ

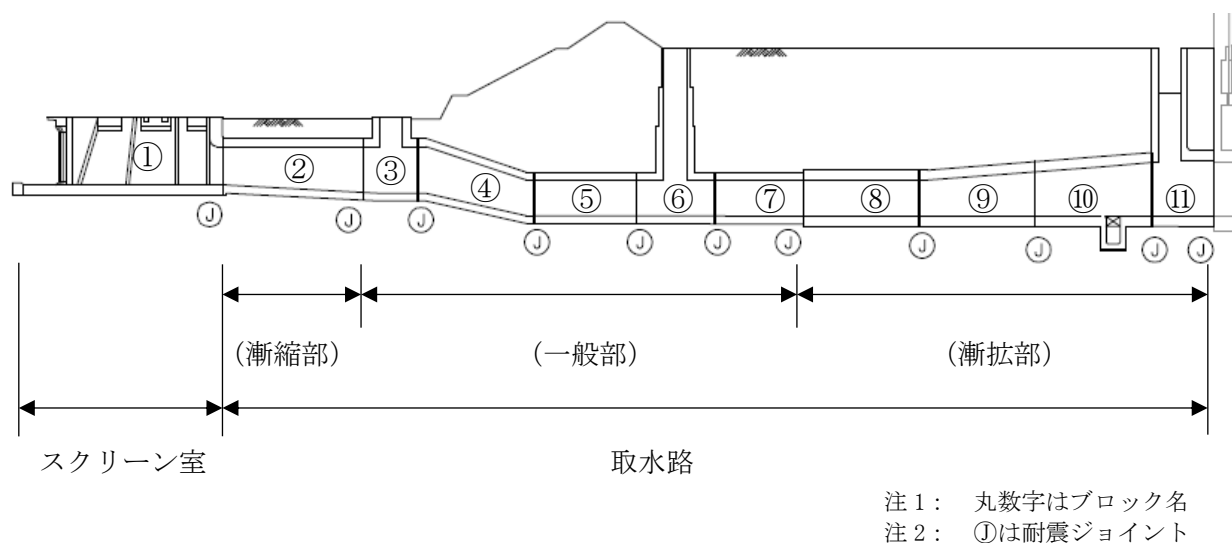


図 3-3 7 号機のスクリーン室及び取水路の浮上り評価実施箇所 (①～⑪ブロック)

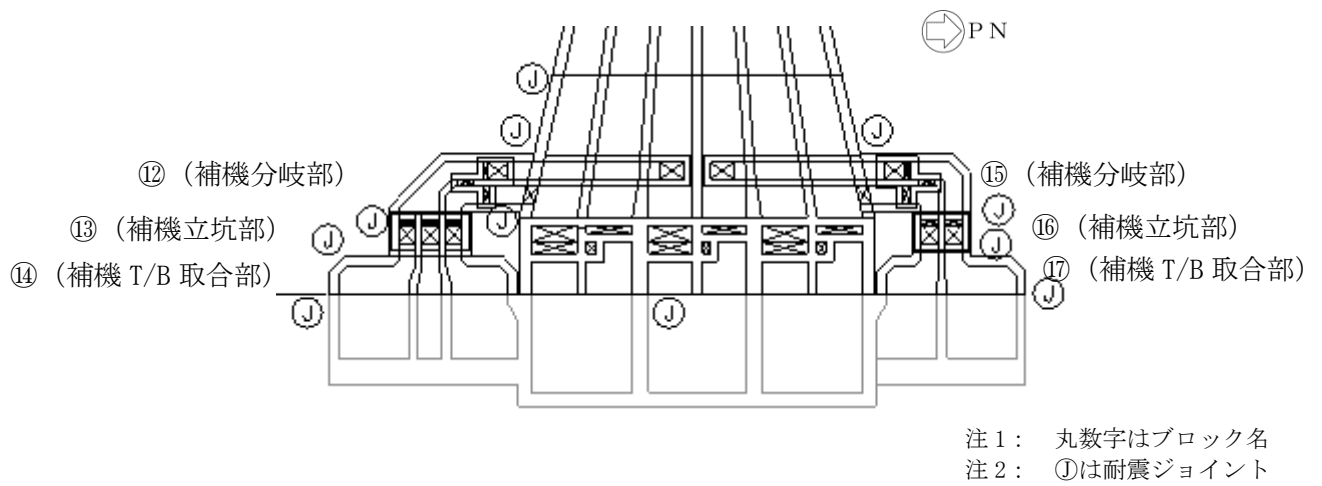


図 3-4 7号機の補機冷却用海水取水路の浮上り評価実施箇所 (⑫~⑰ブロック)

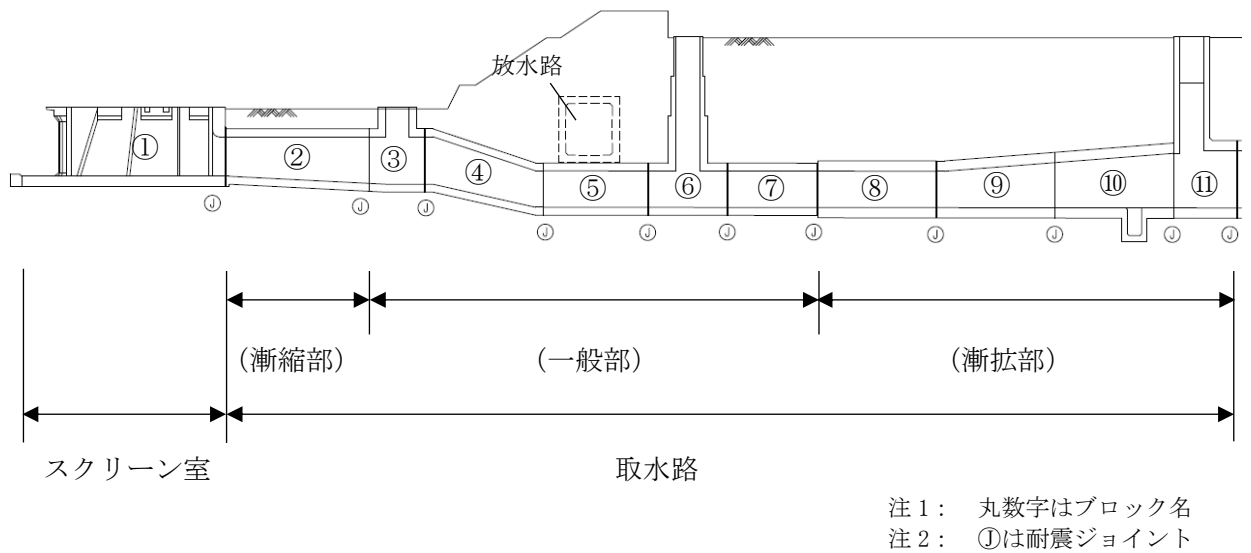


図 3-5 6号機のスクリーン室及び取水路の浮上り評価実施箇所 (①~⑪ブロック)

3.3 評価条件

浮上り評価の評価条件を以下に示す。

3.3.1 荷重・重量

表 3-2 に、上載土の荷重及び構造物の自重に関する評価条件を示す。

地盤の単位体積重量は、V-2-1-3「地盤の支持性能の基本方針」に基づき設定する。地下水の比重を 1.0、海水の比重を 1.03 とし、地下水及び海水の単位体積重量を設定する。鉄筋コンクリートの単位体積重量は、建設時の設計値に基づき設定する。

構造物の自重 W_B の算出においては、鉄筋コンクリートの躯体重量に加え、水路内の内水を考慮する。スクリーン室については、バースクリーン、レーキ付バースクリーン及びトラベリングスクリーンの機器荷重を考慮する。なお、躯体ハンチ部及び均しコンクリートの重量については考慮しない。

6号機取水路（一般部）の⑤ブロックについては、取水路の上部に放水路が設置されている。そのため、6号機取水路（一般部）⑤ブロックの浮上り評価においては、放水路の荷重を上載荷重として考慮する。なお、表 3-9 に示すとおり、放水路についても、浮上り評価により浮上りに対する安全性を有していることを確認している。

表 3-2 荷重・重量に関する評価条件

| 種別 | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | 備考 |
|-------------|---|-------------|
| 埋戻土（地下水位以浅） | 17.6 | 湿潤重量 |
| 埋戻土（地下水位以深） | 19.0 | 飽和重量 |
| 改良盛土 | 16.6 | 斜面部 |
| 鉄筋コンクリート | 23.5 | 建設時の設計値に基づく |
| 地下水 | 9.8 | 比重 1.00 |
| 海水（内水） | 10.1 | 比重 1.03 |
| 洗掘防止根固め工* | 17.9 | 高圧噴射攪拌工法 |
| 放水路脇改良体* | 19.8 | 高圧噴射攪拌工法 |

注記*：洗掘防止根固め工及び放水路脇改良体とは、図 3-6 に示す放水路の西側の地盤改良体を示す。なお、物性値は事後調査の物理試験から算定。

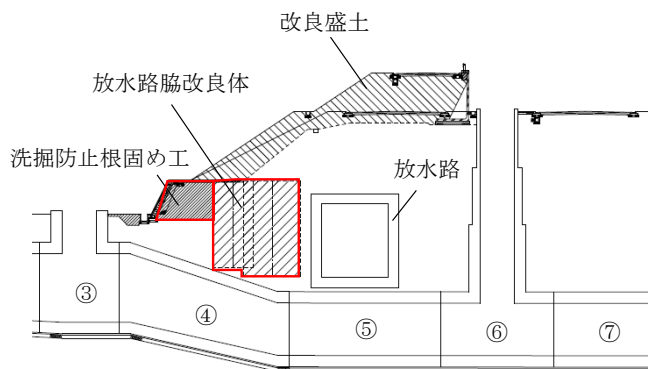


図 3-6 6号機 放水路断面図（拡大）

3.3.2 設計地下水位

6号機及び7号機のスクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の各ブロックにおける設計地下水位は，V-2-1-3「地盤の支持性能の基本方針」に基づき，地下水位の変動を考慮した保守的な地下水位として，表3-3のとおりを設定した。

表 3-3 設計地下水位

| 号機 | 設計地下水位 | 対象ブロック |
|-----|-------------------|---------|
| 7号機 | T. M. S. L. 3. 0m | ①, ②, ③ |
| | T. M. S. L. 5. 0m | ④～⑦ |
| | T. M. S. L. 8. 0m | ⑧～⑰ |
| 6号機 | T. M. S. L. 3. 0m | ①, ②, ③ |
| | T. M. S. L. 5. 0m | ④～⑦ |
| | T. M. S. L. 8. 0m | ⑧～⑪ |

3.3.3 構造物の寸法及び上載土の層厚

7号機のスクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路及び6号機のスクリーン室及び取水路の各ブロックの構造物の寸法及び上載土の層厚を表3-4及び表3-5に示す。

表 3-4 7号機のスクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の浮上り評価の諸元

| 7号機 | ブロック | 構造物 | | 地盤改良の有無* | 不透水層への根入れ | 上載土 | | 備考 | |
|----------------|------|------------|-----------|-----------|-----------|------|-------------------------|----------------------|---------|
| | | 高さ(m) H | 幅(m) B | | | 地盤種別 | 層厚H' (m) (地下水面以深の層厚) | | |
| スクリーン室 | ① | 10.0 | 48.1 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 0.0 (0.0) | | |
| 取水路 | 漸縮部 | ② | 7.0~8.0 | 48.1~16.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 2.5 (2.5) | |
| | 一般部 | ③ | 8.0~10.7 | 16.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 2.5 (2.5) | 海側立坑 |
| | | ④ | 8.0~6.6 | 16.6 | 無し | — | 改良盛土 | 3.4 (0.0) | 斜面部 |
| | | | | | | | 洗堀防止 | 3.3 (2.5) | |
| | | | | | | | 埋戻土 | 2.5~8.8 (2.5~6.7) | |
| | | ⑤ | 6.6 | 16.6 | 無し | — | 改良盛土 | 3.4 (0.0) | |
| | | | | | | | 埋戻土 | 14.9 (8.9) | |
| | ⑥ | 6.6~22.7 | 16.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.9 (8.9) | 立坑 | |
| | ⑦ | 6.6 | 16.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.9 (8.9) | | |
| | 漸拡部 | ⑧ | 7.2 | 17.3~24.0 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.6 (11.6) | |
| | | ⑨ | 7.2~8.3 | 24.0~30.9 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.0 (11.0) | |
| ⑩ | | 8.3~9.5 | 30.9~37.6 | 無し | — | 埋戻土 | 13.9 (9.9) | | |
| ⑪ | | 9.5~23.0 | 37.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 13.3 (9.3) | T/B 取合部 | |
| 補機冷却用 海水取水路 | 南側 | ⑫ | 4.0~26.3 | 6.1~8.6 | 無し | 1m以上 | 埋戻土 | 17.9 (13.9) | 分岐部 |
| | | ⑬ | 4.1~22.2 | 8.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 17.9 (13.9) | 立坑部 |
| | | ⑭ | 5.2 | 16.7~19.9 | 無し | 1m以上 | 埋戻土 | 18.3 (14.3) | T/B 取合部 |
| | 北側 | ⑮ | 4.0~26.3 | 6.1 | 無し | 1m以上 | 埋戻土 | 17.9 (13.9) | 分岐部 |
| | | ⑯ | 4.1~22.2 | 6.1 | 無し | 1m以上 | 埋戻土 | 17.9 (13.9) | 立坑部 |
| | | ⑰ | 5.2 | 12.5~15.7 | 無し | 1m以上 | 埋戻土 | 18.3 (14.3) | T/B 取合部 |
| | | | | | | | | | |

注：() 内の数値は，上載土のうち地下水面以深の層厚を示す。

注記*：対策前の浮上り照査の検討を踏まえ，地盤改良による浮上り対策範囲を決定している。

表 3-5 6号機のスクリーン室及び取水路の浮上り評価の諸元

| 6号機 | ブロック | 構造物 | | 地盤改良の有無* | 不透水層への根入れ | 上載土 | | 備考 | |
|----------|------|------------|-----------|-----------|-----------|------|-------------------------|----------------------|--------------|
| | | 高さ(m) H | 幅(m) B | | | 地盤種別 | 層厚H' (m) (地下水面以深の層厚) | | |
| スクリーン室 | ① | 10.0 | 48.1 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 0.0 (0.0) | | |
| 取水路 | 漸縮部 | ② | 7.0~8.0 | 48.1~16.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 2.5 (2.5) | |
| | 一般部 | ③ | 8.0~10.7 | 16.6 | 無し* | 1m以上 | 埋戻土 | 2.5 (2.5) | 海側立坑 |
| | | ④ | 8.0~6.6 | 16.6 | 無し | — | 改良盛土 | 3.4 (0.0) | 斜面部 |
| | | | | | | | 洗堀防止 | 3.3 (2.5) | |
| | | | | | | | 放水路脇改良体 | 7.8~8.9 (6.9~8.0) | |
| | | | | | | | 埋戻土 | 2.5~8.8 (2.5~6.7) | |
| | | ⑤ | 6.6 | 16.6 | 無し | — | 改良盛土 | 3.4 (0.0) | 取水路上部に放水路が設置 |
| | | | | | | | 放水路脇改良体 | 8.9 (8.0) | |
| | 埋戻土 | | | | | | 14.9 (8.9) | | |
| | ⑥ | 6.6~22.7 | 16.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.9 (8.9) | 立坑 | |
| | ⑦ | 6.6 | 16.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.9 (8.9) | | |
| 漸拡部 | ⑧ | 7.2 | 17.3~24.0 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.6 (11.6) | | |
| | ⑨ | 7.2~8.3 | 24.0~30.9 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 15.0 (11.0) | | |
| | ⑩ | 8.3~9.5 | 30.9~37.6 | 無し | — | 埋戻土 | 13.9 (9.9) | | |
| | ⑪ | 9.5~23.0 | 37.6 | 有り | 1m以上 | 埋戻土 | 13.3 (9.3) | T/B 取合部 | |
| (参考) 放水路 | — | 8.3 | 7.7 | 無し | — | 改良盛土 | 3.4 (0.0) | ⑤ブロック上部 | |
| | | | | | | 埋戻土 | 6.5 (0.5) | | |

注記*1 : 対策前の浮上り照査の検討を踏まえ、地盤改良による浮上り対策範囲を決定している。

*2 : ③ブロックの北側には取水電源建屋が設置されているため、③ブロックの南側のみ地盤改良を実施している。

3.3.4 地盤のせん断抵抗

地盤のせん断抵抗に関する評価条件として、地盤の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、V-2-1-3「地盤の支持性能の基本方針」に基づき、表 3-6 のとおりに設定する。

なお、浮上り評価においては、地震応答解析の結果によらず設計地下水位以深の液状化検討対象層（埋戻土）は液状化するものとして扱い、上載土のせん断抵抗 Q_s 及び構造物側面の摩擦抵抗 Q_B は考慮しない。

静止土圧係数 K_0 は 0.5 とする。

表 3-6 地盤の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

| 種別 | 粘着力 c (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|-------------|---------------------------------|---------------------|
| 埋戻土（地下水位以浅） | 9.6 | 34.8 |
| 改良盛土 | 462 | 0 |
| 洗掘防止根固め工* | 2154 | 0 |
| 放水路脇改良体* | 3925 | 0 |

注記* : 物性値は事後調査の力学試験から算定している。

3.3.5 構造物側面の摩擦抵抗

構造物側面の摩擦抵抗に関する評価条件を表 3-7 に示す。

構造物側面の摩擦抵抗は、地盤改良体を躯体に密着させるように施工することから、式 (5) に基づき地盤改良体の設計一軸圧縮強度 q_{ud} から算出した粘着力 c とする。なお、6号機の③ブロックについては、南側のみ地盤改良されていることから、南側のみ摩擦力を考慮する。

$$c = q_{ud} / 2 \quad \text{式(5)}$$

表 3-7 構造物側方の摩擦抵抗に関わる評価条件

| 種別 | 粘着力 c (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) | 備考 |
|-----------|---------------------------------|---------------------|--|
| 構造物—地盤改良体 | 500 | 0 | 設計一軸圧縮強度 $q_{ud} = 1000 \text{ kN/m}^2$ |

3.3.6 揚圧力

共同溝設計指針では、不透水層などへの根入れが不十分な場合（根入れ長が1m未満）には、安全側の配慮から式(6)に示すとおり、過剰間隙水圧による揚圧力を基礎底面に作用させ、浮上りの検討を行うものとしている。

7号機及び6号機の④、⑤、⑩ブロックは、構造物側方に地盤改良体が存在せず、粘性土への根入れが1m未満であることから、過剰間隙水圧による揚圧力 U_D を作用させるものとする。なお、6号機の③ブロックについては、南側のみ地盤改良されていることから、揚圧力 U_D を作用させる。

一方、地盤改良体に根入れもしくはマンメイドロック上に設置された7号機の①～③、⑥～⑨、⑪～⑰ブロック及び6号機の①～②、⑥～⑨、⑪～⑰ブロックに関しては、揚圧力 U_D は作用させない。

また、共同溝設計指針では、図3-7に示す液状化に対する抵抗率 F_L と過剰間隙水圧比 L_u の関係が示されているが、本検討では地震応答解析の結果によらず過剰間隙水圧比 $L_u = 1$ （最大値）として過剰間隙水圧による揚圧力 U_D を算出する。

$$U_D = L_u \cdot \sigma_v' \cdot B \quad \text{式(6)}$$

ここで、

L_u : 過剰間隙水圧比 (= 1)

σ_v' : 基礎底面位置における初期有効上載荷圧

B : 構造物の幅

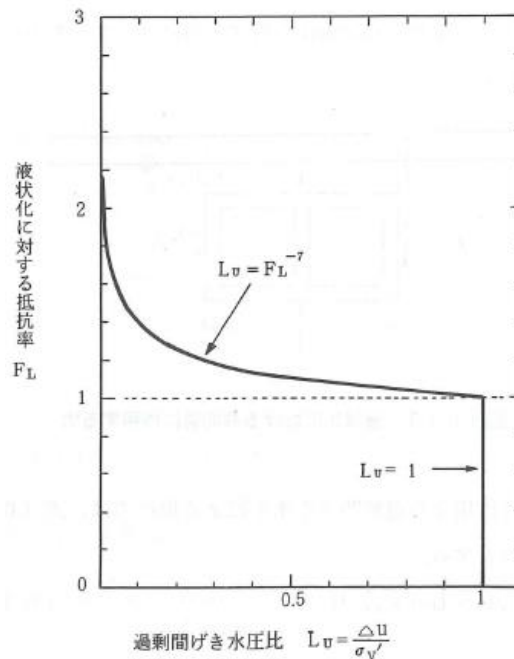


図 3-7 液状化に対する抵抗率 F_L と過剰間隙水圧比 L_u の関係

(共同溝設計指針 (日本道路協会, 1986) より引用)

3.4 評価結果

評価結果を表 3-8 に示す。7号機のスクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路及び6号機のスクリーン室及び取水路は浮上りに対して十分な安全性を有していることを確認した。

表 3-8 7号機のスクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の浮上りの評価結果

| | | ブロック | 地震時浮上り 安全率 (F _s) | 判定 (F _s ≥ 1.1) | 備考 |
|--------|--------------------|------|---------------------------------|------------------------------|---------|
| スクリーン室 | | ① | 2.98 | ○ | |
| 取水路 | 漸縮部 | ② | 4.93 | ○ | |
| | | 一般部 | ③ | 6.23 | ○ |
| | ④ | | 2.12 | ○ | 斜面部 |
| | ⑤ | | 1.34 | ○ | |
| | ⑥ | | 5.08 | ○ | 立坑 |
| | ⑦ | | 5.42 | ○ | |
| | 漸拡部 | ⑧ | 4.28 | ○ | |
| | | ⑨ | 3.85 | ○ | |
| | | ⑩ | 6.82 | ○ | |
| | | ⑪ | 3.39 | ○ | T/B 取合部 |
| | 補機冷却 用海水取 水路 | 南側 | ⑫ | 10.28 | ○ |
| ⑬ | | | 4.91 | ○ | 立坑部 |
| ⑭ | | | 2.52 | ○ | T/B 取合部 |
| 北側 | | ⑮ | 11.17 | ○ | 分岐部 |
| | | ⑯ | 4.02 | ○ | 立坑部 |
| | | ⑰ | 2.54 | ○ | T/B 取合部 |

表 3-9 6号機のスクリーン室及び取水路の浮上りの評価結果

| | | ブロック | 地震時浮上り 安全率 (F _s) | 判定 (F _s ≥ 1.1) | 備考 |
|--------|----------|------|---------------------------------|------------------------------|------------------|
| スクリーン室 | | ① | 2.98 | ○ | |
| 取水路 | 漸縮部 | ② | 4.91 | ○ | |
| | | 一般部 | ③ | 2.00 | ○ |
| | ④ | | 8.53 | ○ | 斜面部 |
| | ⑤ | | 1.77* | ○ | 取水路上部に 放水路が設置 |
| | ⑥ | | 5.08 | ○ | 立坑 |
| | ⑦ | | 5.42 | ○ | |
| | 漸拡部 | ⑧ | 4.28 | ○ | |
| | | ⑨ | 3.85 | ○ | |
| | | ⑩ | 6.82 | ○ | |
| | | ⑪ | 3.39 | ○ | T/B 取合部 |
| | (参考) 放水路 | — | 1.60 | ○ | ⑤ブロック上部 |

注記* : 取水路上部の放水路の荷重を上載荷重として考慮。

4. まとめ

本検討では、浮上り対策後の7号機のスクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び6号機のスクリーン室及び取水路の浮上り評価を実施した。

スクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路の周辺地盤の条件を踏まえると、共同溝設計指針では不透水層に十分根入れされており構造物は浮上り検討の対象外となる。本検討では保守的に不透水層への根入れの有無に関わらず、全ブロックについて浮上り評価を行った。

その結果、7号機のスクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び6号機のスクリーン室及び取水路は浮上りに対して十分な安全性を有していることを確認した。

(参考資料 1 (別紙)) 地盤改良体と構造物間の剥離の影響検討

1. はじめに

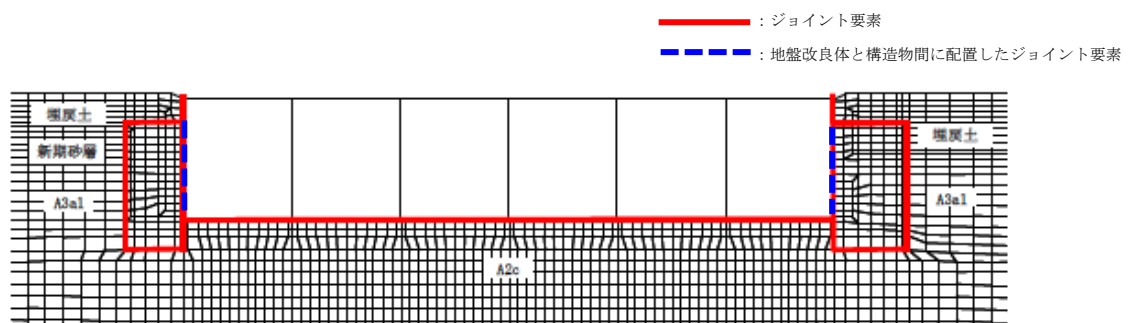
浮上り対策として設置される地盤改良体は、構造物側面の摩擦抵抗を確保するため構造物との密着性を確保した施工を行っているが、地震により地盤改良体が構造物から剥離する可能性が考えられる。

本検討では、念の為に、地震応答解析の結果より地盤改良体と構造物間のジョイント要素の剥離状況を確認した上で、地盤改良体と構造物間の剥離を考慮した浮上り評価を実施し、浮上りに対する安全性を確認する。

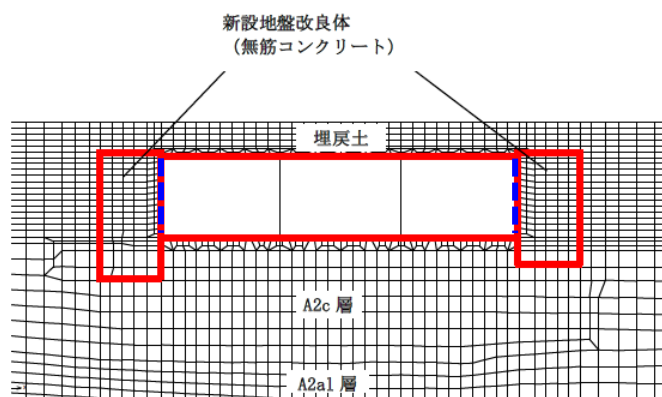
2. 地盤改良体と構造物間の剥離状況の確認

図 2-1 に示すとおり、地震応答解析では構造物と地盤改良体との間にジョイント要素を配置している。本検討では、地震応答解析後のジョイント要素の応力状態から、構造物と地盤改良体の剥離範囲を確認する。地盤改良体と構造物間の剥離範囲の指標として、構造物と地盤改良体の接触長さ L_j に対し、ジョイント要素の剥離長さ L'_j の占める比率 (=剥離率 α) を算定する。

構造物と地盤改良体の剥離範囲の確認結果を表 2-1 に示す。地震応答解析では、地盤改良体と構造物間の剥離範囲が 7 号機で最大 45%、6 号機で最大 23% となることを確認した。



(a) スクリーン室のジョイント要素の配置



(b) 取水路 (漸縮部) のジョイント要素の配置

図 2-1 ジョイント要素の配置

表 2-1 構造物と地盤改良体の剥離範囲の確認結果

| 7号機 | | | | 6号機 | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-------------------|-------|--------|--------|-------------------|------|----------|--------|-------------------|------|--------|--------|-------------------|------|
| K7スクリーン室 | | 剥離率 α (長さ) | | K7漸縮部 | | 剥離率 α (長さ) | | K6スクリーン室 | | 剥離率 α (長さ) | | K6漸縮部 | | 剥離率 α (長さ) | |
| | | 南側壁 | 北側壁 | | | 南側壁 | 北側壁 | | | 南側壁 | 北側壁 | | | 南側壁 | 北側壁 |
| 解析ケース① | Ss-1++ | 0.15 | 0.15 | 解析ケース① | Ss-1++ | 0.08 | 0.15 | 解析ケース① | Ss-1++ | 0.15 | 0.23 | 解析ケース① | Ss-1++ | 0.08 | 0.15 |
| | Ss-1-+ | 0.23 | 0.00 | | Ss-1-+ | 0.35 | 0.27 | | Ss-1-+ | 0.15 | 0.00 | | Ss-1-+ | 0.19 | 0.15 |
| | Ss-1+- | 0.00 | 0.15 | | Ss-1+- | 0.08 | 0.15 | | Ss-1+- | 0.15 | 0.23 | | Ss-1+- | 0.08 | 0.15 |
| | Ss-1-- | 0.23 | 0.00 | | Ss-1-- | 0.27 | 0.27 | | Ss-1-- | 0.15 | 0.00 | | Ss-1-- | 0.19 | 0.11 |
| | Ss-2 | 0.00 | 0.00 | | Ss-2 | 0.04 | 0.04 | | Ss-2 | 0.00 | 0.00 | | Ss-2 | 0.08 | 0.04 |
| | Ss-3++ | 0.31 | 0.00 | | Ss-3++ | 0.27 | 0.19 | | Ss-3++ | 0.15 | 0.08 | | Ss-3++ | 0.11 | 0.11 |
| | Ss-3+ | 0.00 | 0.08 | | Ss-3+ | 0.15 | 0.15 | | Ss-3+ | 0.08 | 0.23 | | Ss-3+ | 0.15 | 0.15 |
| | Ss-3+- | 0.31 | 0.00 | | Ss-3+- | 0.19 | 0.19 | | Ss-3+- | 0.15 | 0.08 | | Ss-3+- | 0.11 | 0.11 |
| | Ss-3-- | 0.00 | 0.08 | | Ss-3-- | 0.15 | 0.15 | | Ss-3-- | 0.15 | 0.23 | | Ss-3-- | 0.15 | 0.15 |
| | Ss-4 | 0.00 | 0.00 | | Ss-4 | 0.04 | 0.04 | | Ss-4 | 0.00 | 0.00 | | Ss-4 | 0.04 | 0.00 |
| | Ss-5 | 0.00 | 0.00 | | Ss-5 | 0.04 | 0.04 | | Ss-5 | 0.00 | 0.00 | | Ss-5 | 0.04 | 0.04 |
| | Ss-6 | 0.00 | 0.00 | | Ss-6 | 0.04 | 0.04 | | Ss-6 | 0.00 | 0.00 | | Ss-6 | 0.04 | 0.04 |
| | Ss-7 | 0.00 | 0.00 | | Ss-7 | 0.04 | 0.04 | | Ss-7 | 0.00 | 0.00 | | Ss-7 | 0.04 | 0.04 |
| | Ss-8++ | 0.08 | 0.00 | | Ss-8++ | 0.04 | 0.11 | | Ss-8++ | 0.15 | 0.00 | | Ss-8++ | 0.08 | 0.11 |
| Ss-8+ | 0.00 | 0.00 | Ss-8+ | 0.11 | 0.04 | Ss-8+ | 0.00 | 0.08 | Ss-8+ | 0.11 | 0.08 | | | | |
| 解析ケース② | Ss-3++ | 0.31 | 0.00 | 解析ケース② | Ss-3+- | 0.19 | 0.19 | 解析ケース② | Ss-1-+ | 0.15 | 0.00 | 解析ケース② | Ss-3-- | 0.15 | 0.23 |
| 解析ケース③ | Ss-3++ | 0.45 | 0.15 | 解析ケース③ | Ss-3+- | 0.19 | 0.19 | 解析ケース③ | Ss-1-+ | 0.00 | 0.08 | 解析ケース③ | Ss-3-- | 0.08 | 0.15 |
| 解析ケース④ | Ss-3++ | 0.15 | 0.00 | 解析ケース④ | Ss-3+- | 0.04 | 0.11 | 解析ケース④ | Ss-1-+ | 0.15 | 0.00 | 解析ケース④ | Ss-3-- | 0.08 | 0.08 |
| 解析ケース⑤ | Ss-3++ | 0.08 | 0.08 | 解析ケース⑤ | Ss-3+- | 0.04 | 0.11 | 解析ケース⑤ | Ss-1-+ | 0.15 | 0.00 | 解析ケース⑤ | Ss-3-- | 0.04 | 0.08 |
| 最大 | | 0.45 | 0.15 | 最大 | | 0.35 | 0.27 | 最大 | | 0.15 | 0.23 | 最大 | | 0.19 | 0.23 |

注： 剥離率 $\alpha = L_j' / L_j$

ここで、

L_j' : 地盤改良体と構造物間における剥離長さ

L_j : 地盤改良体と構造物間の接触長さ

3. 地盤改良体と構造物間の剥離範囲に応じた浮上り評価

3.1 評価方法

前述 2. を踏まえ、浮上り評価における構造物側面の摩擦抵抗を、地盤改良体と構造物間の剥離範囲に応じて低減させた場合の浮上り評価を実施する。

本評価は、式(7)に示す地盤改良体と構造物間の摩擦抵抗 Q_B について、地震応答解析から算出した地盤改良体と構造物間のジョイント要素の剥離率 α を考慮し、浮上り評価を実施する。なお、低減率 α は、表 2-1 に示した解析を行った全解析ケース・全地震動のうち、各号機ごとの低減率 α の最大値（7号機：0.45、6号機：0.23）を全てのブロックに適用する。

$$F_s = \gamma_i (W_s + W_B + 2Q_s + 2Q'_B) / (U_s + U_D) \quad \text{式(7)}$$

ここで、

γ_i : 構造物係数 (=1.0)

W_s : 上載土の荷重 (水の重量を含む)

W_B : 構造物の自重

Q_s : 上載土のせん断抵抗

Q'_B : 地盤改良体と構造物の剥離を考慮した構造物側面の摩擦抵抗

$$Q'_B = Q_B \cdot (1 - \alpha)$$

Q_B : 構造物側面の摩擦抵抗

α : 地盤改良体と構造物間のジョイント要素の剥離率

U_s : 構造物底面に作用する静水圧による揚圧力

U_D : 構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力

3.2 評価結果

評価結果を、表 3-1 及び表 3-2 に示す。

これより、地盤改良体と構造物間の摩擦抵抗を地盤改良体と構造物間の剥離範囲に応じて低減させた場合でも、浮上りに対する所定の安全率が確保されることを確認した。

表 3-1 地盤改良体と構造物間の摩擦力を低減させた場合の浮上り評価結果 (7号機)

| 7号機 | ブロック | 改良体 | 安全率 (Fs) | | 判定 | |
|--------|------------|-----|--------------------------|-----------------------------|-------|-------|
| | | | 地盤改良体の摩擦力 ($\alpha=0$) | 地盤改良体の摩擦力 ($\alpha=0.55$) | | |
| スクリーン室 | ① | あり | 2.98 | 2.22 | OK | |
| 取水路 | 漸縮部 | ② | あり | 4.93 | 3.47 | OK |
| | | 一般部 | ③ | あり | 6.23 | 4.12 |
| | ④ | | なし | 2.13 | 2.13 | OK |
| | ⑤ | | なし | 1.34 | 1.34 | OK |
| | ⑥ | | あり | 5.08 | 3.90 | OK |
| | ⑦ | | あり | 5.42 | 4.25 | OK |
| | 漸拡部 | ⑧ | あり | 4.28 | 3.40 | OK |
| | | ⑨ | あり | 3.85 | 3.14 | OK |
| | | ⑩ | なし | 6.82 | 6.82 | OK |
| | | ⑪ | あり | 3.39 | 2.77 | OK |
| | 補機冷却用海水取水路 | 南側 | ⑫ | なし | 10.28 | 10.28 |
| ⑬ | | | あり | 4.91 | 3.66 | OK |
| ⑭ | | | なし | 2.52 | 2.52 | OK |
| 北側 | | ⑮ | なし | 11.17 | 11.17 | OK |
| | | ⑯ | あり | 4.02 | 3.18 | OK |
| | | ⑰ | なし | 2.54 | 2.54 | OK |

表 3-2 地盤改良体と構造物間の摩擦力を低減させた場合の浮上り評価結果 (6号機)

| 6号機 | ブロック | 改良体 | 安全率 (Fs) | | 判定 | |
|--------|------|-----|--------------------------|-----------------------------|------|------|
| | | | 地盤改良体の摩擦力 ($\alpha=0$) | 地盤改良体の摩擦力 ($\alpha=0.77$) | | |
| スクリーン室 | ① | あり | 2.98 | 2.59 | OK | |
| 取水路 | 漸縮部 | ② | あり | 4.91 | 4.17 | OK |
| | | 一般部 | ③ | あり | 2.00 | 1.73 |
| | ④ | | なし | 8.53 | 8.53 | OK |
| | ⑤ | | なし | 1.77 | 1.77 | OK |
| | ⑥ | | あり | 5.08 | 4.47 | OK |
| | ⑦ | | あり | 5.42 | 4.82 | OK |
| | 漸拡部 | ⑧ | あり | 4.28 | 3.83 | OK |
| | | ⑨ | あり | 3.85 | 3.49 | OK |
| | | ⑩ | なし | 6.82 | 6.82 | OK |
| | | ⑪ | あり | 3.39 | 3.07 | OK |

4. まとめ

本検討では、地震応答解析により地盤改良体と構造物間のジョイント要素の剥離状況を確認した上で、地盤改良体と構造物間の剥離を考慮した浮上り評価を実施し、浮上りに対する安全性を確認した。

その結果、地盤改良体と構造物間において一部に剥離が生じることが確認されたものの、地盤改良体と構造物間の摩擦力を地盤改良体と構造物間の剥離範囲に応じて低減させた場合でも、浮上りに対する所定の安全率が確保されることを確認した。

(参考資料 5) 液状化検討対象層を踏まえた支持性能評価について

1. 概要

屋外重要土木構造物については、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮するため、液状化検討対象層を抽出して保守的な液状化パラメータを設定した上で、有効応力解析による耐震評価を実施している。有効応力解析には、サイクリックモビリティ及び地震後の残留変位を適切に考慮でき、かつ新潟県中越沖地震による地盤の変状等の再現性、適用性が確認された解析コードFLIPを用いている。

屋外重要土木構造物の耐震評価の結果、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能が確保出来ることを確認しているものの、一部の構造物の下方には、液状化検討対象層(A2s層)が分布していることから、液状化検討対象層(A2s層)を踏まえた支持性能評価を実施する。

2. 検討内容

2.1 検討方法

本検討では、構造物下方に液状化検討対象層(A2s層)が分布する施設を抽出し、その基礎形式や地震時の過剰間隙水圧分布比の確認結果から、評価対象断面を選定する。また、サイクリックモビリティの特性を整理し、液状化強度試験及び地震応答解析に基づきA2s層のサイクリックモビリティの有無を確認し、液状化検討対象層(A2s層)下部の西山層へ鉛直力が伝達されていることを確認する。さらに、液状化検討対象層(A2s層)の地震時に一時的に過剰間隙水圧比が0.95を超える点を踏まえ、地震時の過剰間隙水圧の上昇を踏まえた保守的な仮定による支持性能の評価を行う。なお、検討の結果、支持性能を満足しないと判断される場合は、より詳細な検討を行い、必要に応じて対策工事の検討を行う。検討フローを図2-1に示す。

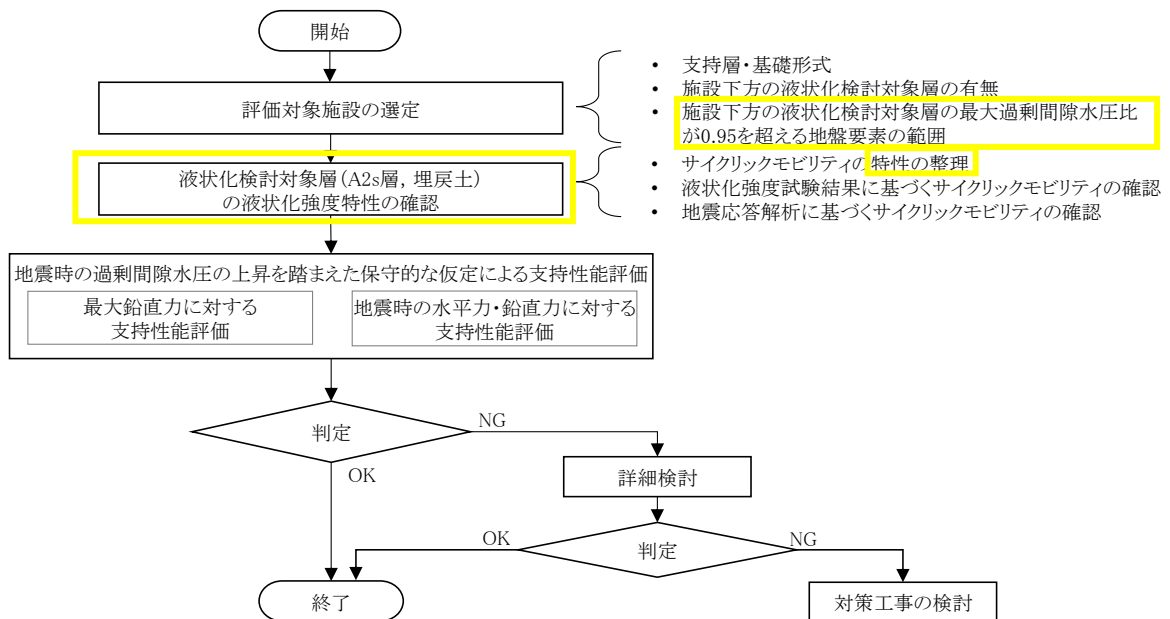


図 2-1 液状化検討対象層を踏まえた支持性能の検討フロー

2.2 評価断面の選定

(1) 支持層，基礎形式及び構造物下方における液状化検討対象層の整理

建物・構築物及び屋外重要土木構造物について，支持層，基礎形式及び構造物下方における液状化検討対象層（A2s層）の有無を整理した一覧を，表 2-1 に示す。

同表から，建物・構築物及び屋外重要土木構造物のうち，杭や鋼管矢板を介して岩盤に支持する基礎を除いた，古安田層に直接支持される施設で，構造物下方に液状化検討対象層（A2s層）が分布している施設としては，7号機のスクリーン室，取水路（漸縮部，一般部），6号機取水路（漸縮部，一般部）の5断面が抽出される。6，7号機のスクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の平面配置図を図 2-2～図 2-3 に示す。

(2) 地震時の過剰間隙水圧比分布の整理

次に，前述の5断面について有効応力解析による地震応答解析において液状化パラメータを設定する解析ケース①～③のうち，構造部材の曲げ軸力及びせん断力照査値最大となる解析ケースにおける過剰間隙水圧比分布を整理する。

地震時全時刻における各断面の各地盤要素の最大過剰間隙水圧比分布及び地震終了時の過剰間隙水圧比分布を，図 2-4～図 2-9 に示す。

地震時全時刻における最大過剰間隙水圧比については，7号機のスクリーン室，取水路（漸縮部）及び6号機の取水路（漸縮部）では，構造物下方の液状化検討対象層（A2s層）で液状化判断の指標とされる過剰間隙水圧比が 0.95 を超える地盤要素が認められるものの，地震終了時の過剰間隙水圧比分布では，過剰間隙水圧比が 0.95 を超える地盤要素は認められず，これらの地層はサイクリックモビリティを示していると考えられる。

なお，7号機の取水路（一般部）及び6号機取水路（一般部）においては，地震時全時刻における最大過剰間隙水圧比分布及び地震終了時の過剰間隙水圧比分布の何れにおいても構造物下方の液状化検討対象層（A2s層）で水圧比が 0.95 を超える地盤要素は認められないことを確認している。

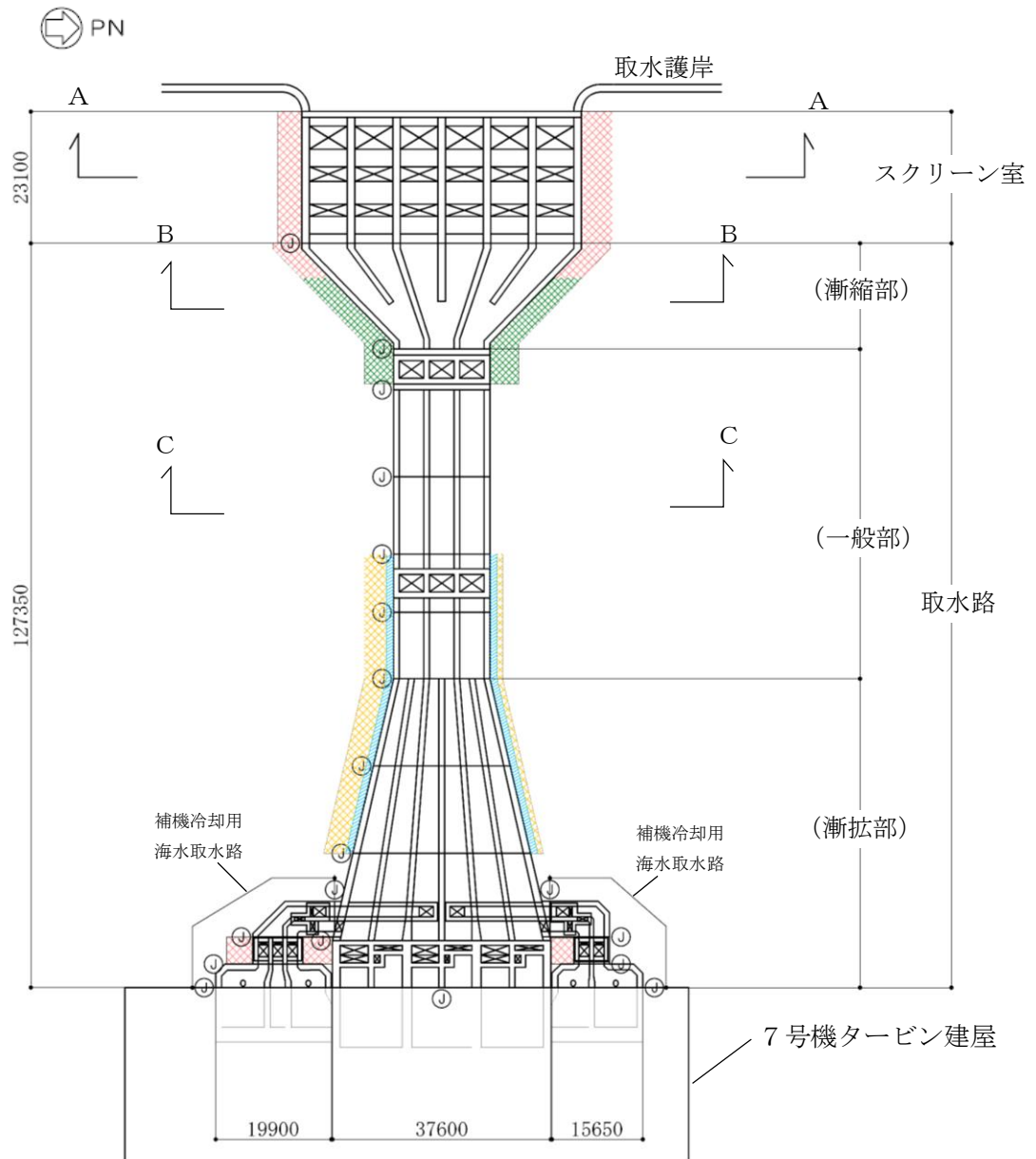
(3) 地震時の支持性能の評価断面の選定結果

(1)(2)の検討を踏まえ，液状化検討対象層を踏まえた地震時の支持性能の評価断面として，構造物下方の液状化検討対象層において過剰間隙水圧比が 0.95 を超える要素の範囲が比較的大きい「7号機 スクリーン室」，「6号機 取水路（漸縮部）」を選定した。

選定した評価対象断面について，地震時の過剰間隙水圧比分布の変化を図 2-10 及び図 2-11 に示す。同図に示すとおり，液状化検討対象層（A2s層）の過剰間隙水圧比は，一時的に 0.95 以上となる地盤要素が部分的に出現するものの，その範囲は限定的であり，地震終了時には構造物下方の地盤要素の過剰間隙水圧比は 0.95 以下となることがわかる。

表 2-1 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の支持層，基礎形式及び構造物下方における液状化検討対象層の有無 整理表

| 号機 | 評価対象施設 | 支持層 | 基礎形式 | 構造物下方における液状化検討対象層の有無 | 備考 | |
|--------------------------------------|---------------|------------------|-----------------------|----------------------|-------|-------|
| 7号機 | 格納容器圧力逃がし装置基礎 | 西山層 | 杭基礎 (杭を介して岩着) | — | — | |
| | 大物搬入建屋 | 西山層 | 杭基礎 (杭を介して岩着) | — | — | |
| | 海水貯留堰 | 古安田層，西山層 | 鋼管矢板基礎 | 無し | — | |
| | スクリーン室 | 古安田層 | 直接基礎 | 有り | A-A断面 | |
| | 取水路 | 漸縮部 | 古安田層 | 直接基礎 | 有り | B-B断面 |
| | | 一般部 | 古安田層 | 直接基礎 | 有り | C-C断面 |
| | | 漸拡部 | 古安田層，西山層， マンメイドロック | 直接基礎 | 無し | — |
| | 補機冷却用海水取水路 | マンメイドロック | 直接基礎 | 無し | — | |
| | 軽油タンク基礎 | 西山層 | 杭基礎 (杭を介して岩着) | — | — | |
| | 燃料移送系配管ダクト | 西山層 | 杭基礎 (杭を介して岩着) | — | — | |
| 第一ガスタービン発電機基礎 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 | 西山層 | 杭基礎 (杭を介して岩着) | — | — | | |
| 6号機 | 海水貯留堰 | 古安田層，西山層 | 鋼管矢板基礎 | 無し | — | |
| | スクリーン室 | 古安田層 | 直接基礎 | 無し | — | |
| | 取水路 | 漸縮部 | 古安田層 | 直接基礎 | 有り | D-D断面 |
| | | 一般部 | 古安田層 | 直接基礎 | 有り | E-E断面 |
| | | 漸拡部 | 古安田層， マンメイドロック | 直接基礎 | 無し | — |

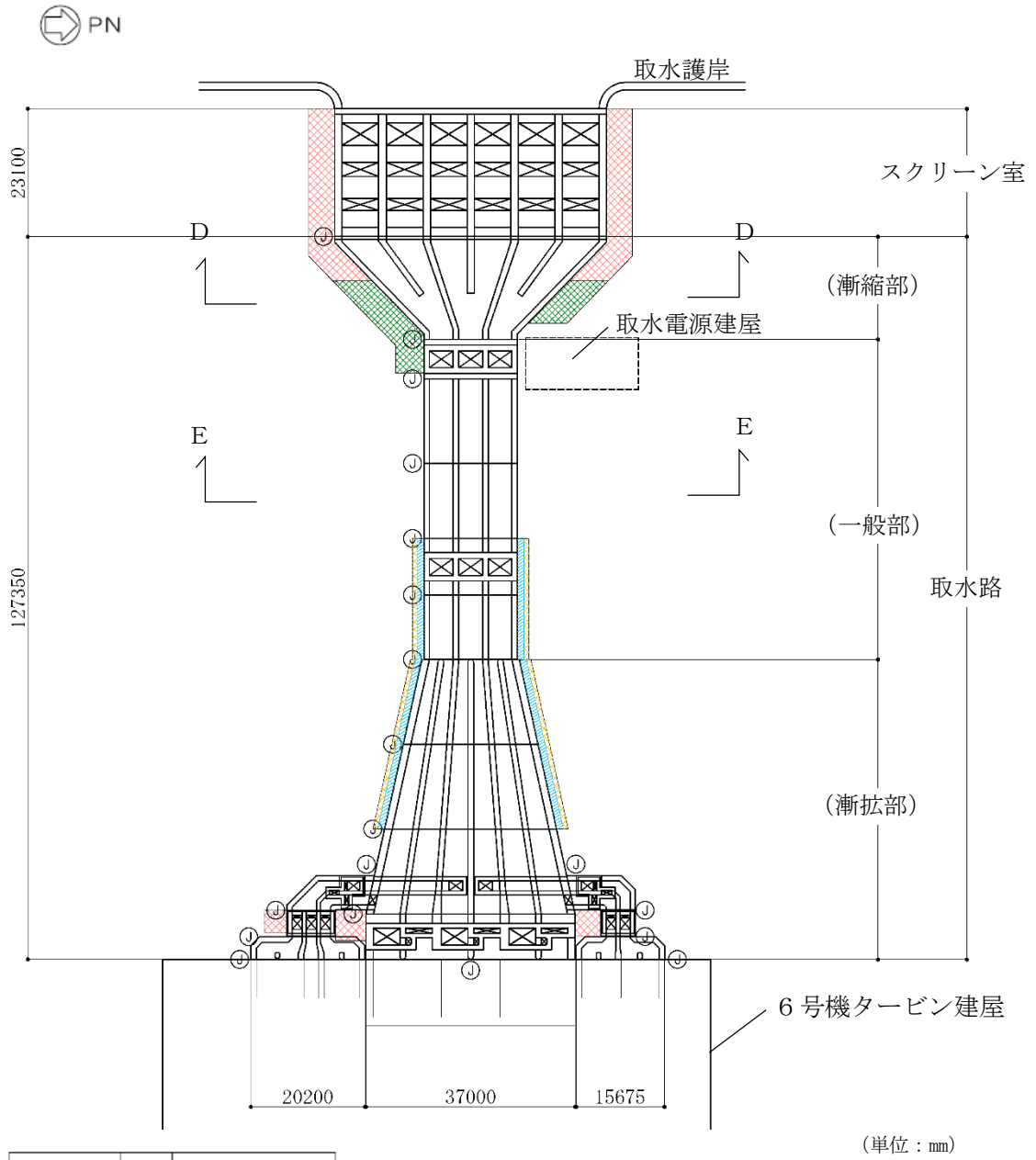


(単位：mm)

| 既設/新設 | 凡例 | 地盤改良工法 |
|---------|----|-----------|
| 新設地盤改良体 | | 高圧噴射 |
| | | 無筋コンクリート |
| | | 置換(地中連続壁) |
| | | 機械攪拌 |

注記* : ①は耐震ジョイント

図 2-2 7号機 スクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の平面配置図



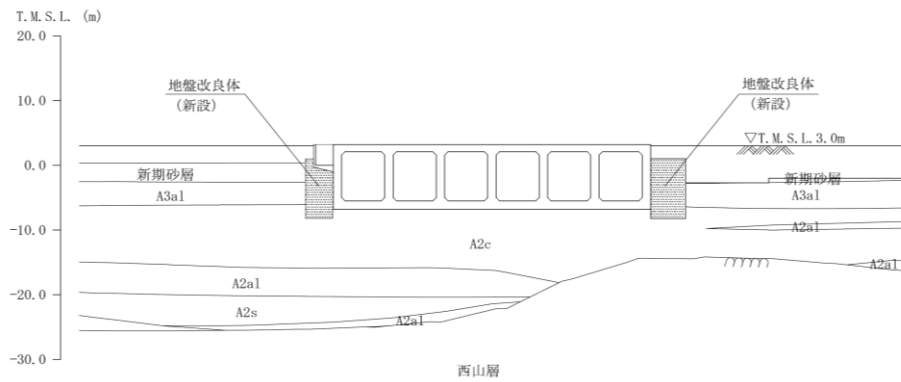
(単位：mm)

| 既設／新設 | 凡例 | 地盤改良工法 |
|---------|----|-----------|
| | | 高圧噴射 |
| 新設地盤改良体 | | 無筋コンクリート |
| | | 置換(地中連続壁) |
| | | 機械掘削 |

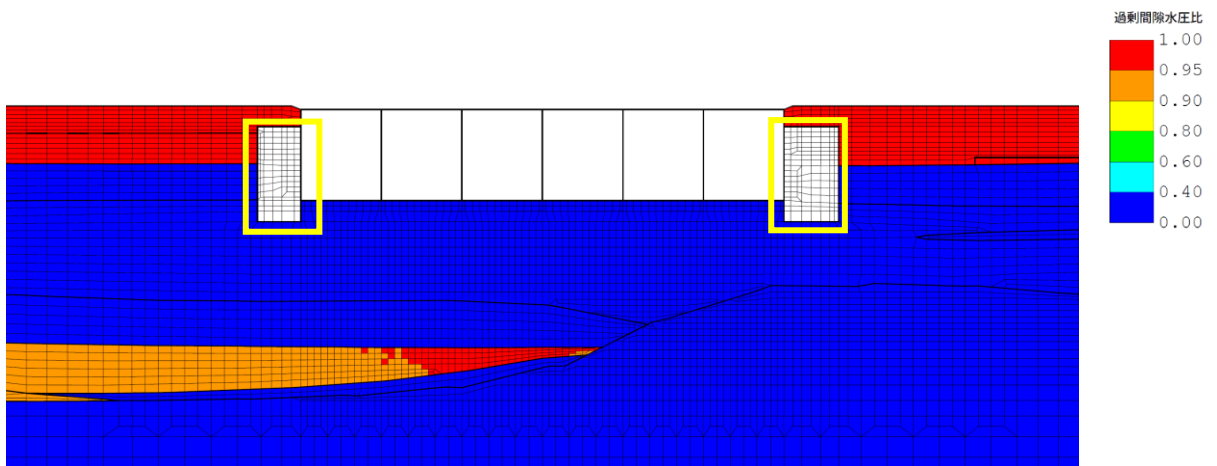
注記*：①は耐震ジョイント

図 2-3 6号機 スクリーン室及び取水路の平面配置図

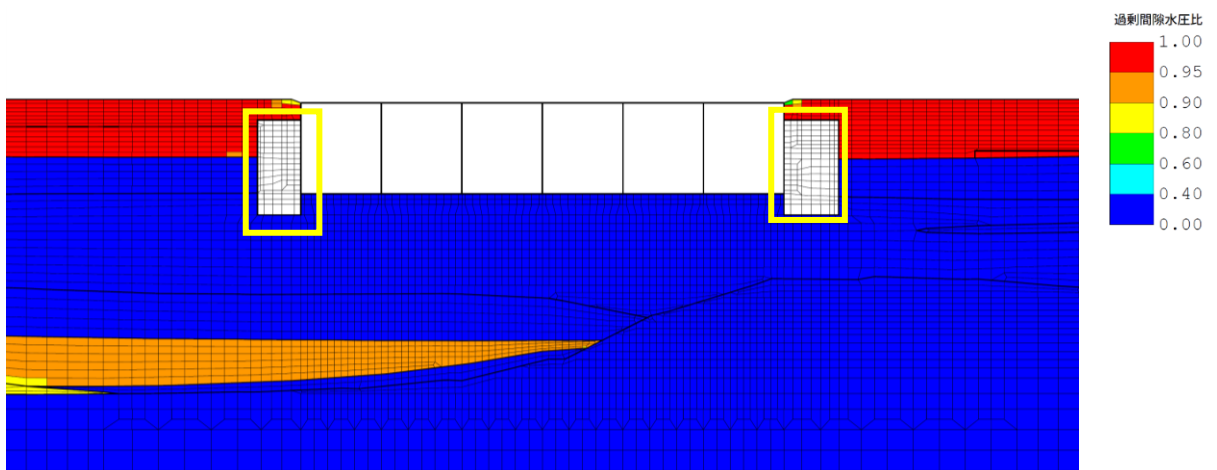
- (4) 7号機スクリーン室
- 曲げ軸力照査値最大



(a) 評価断面図



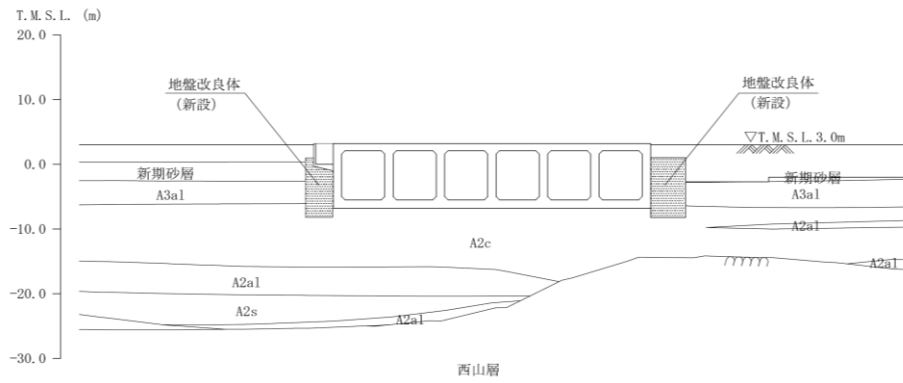
(b) 最大過剰間隙水圧比分布



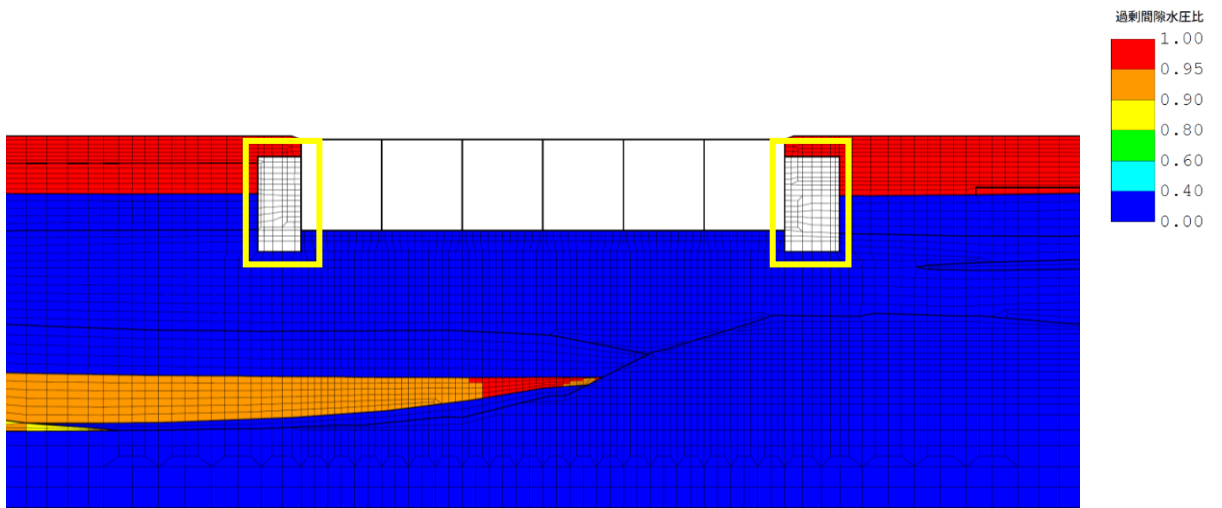
(c) 地震終了時の過剰間隙水圧比分布

図 2-4 7号機スクリーン室 (A-A断面) の過剰間隙水圧比分布図
(曲げ軸力照査値最大: 解析ケース①, Ss-3-)

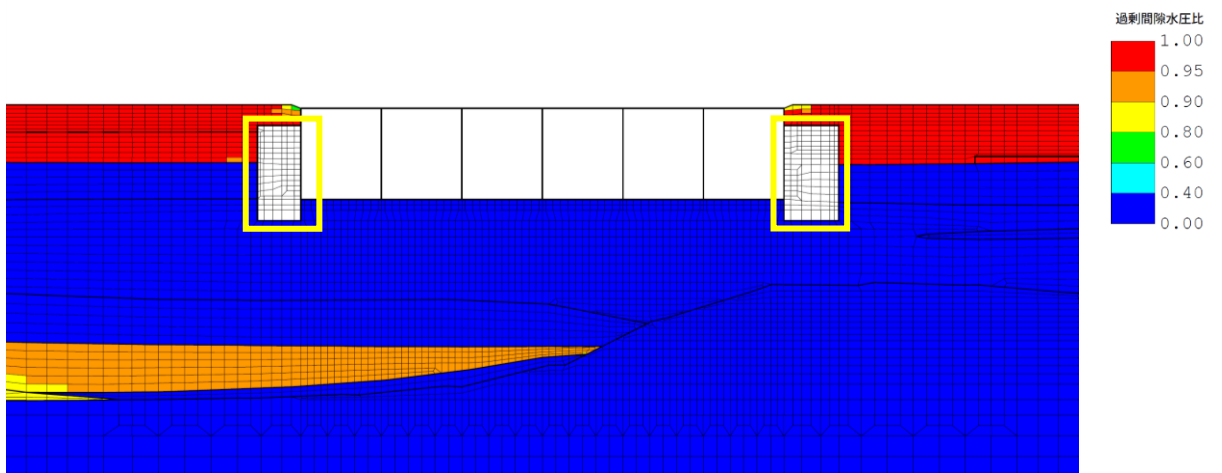
- せん断力照査値最大



(a) 評価断面図



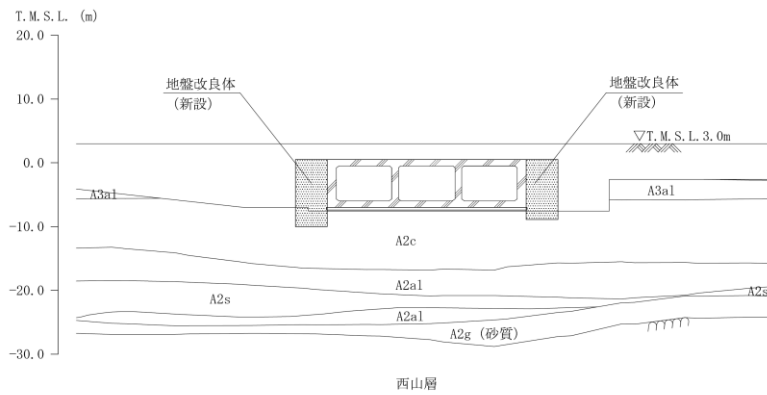
(b) 最大過剰間隙水圧比分布



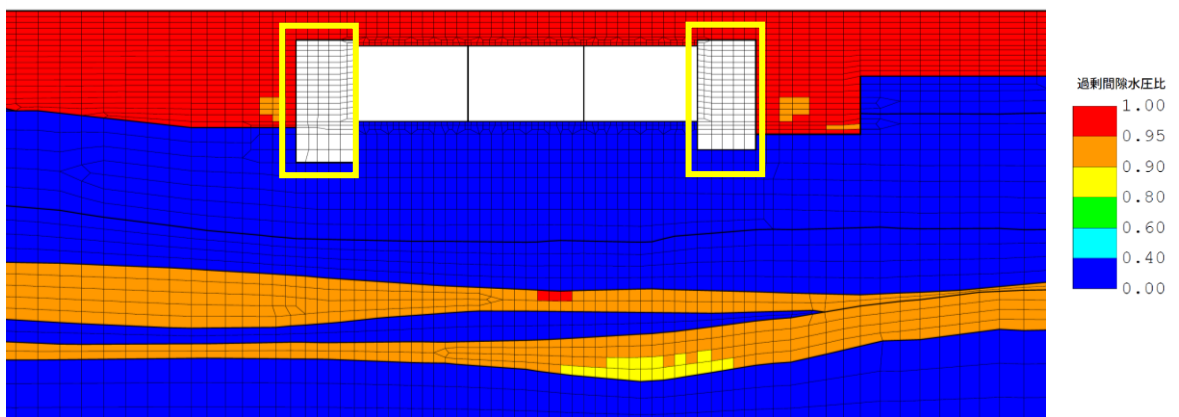
(c) 地震終了時の過剰間隙水圧比分布

図 2-5 7号機スクリーン室 (A-A断面) の過剰間隙水圧比分布図
(せん断力照査値最大: 解析ケース③, Ss-3+)

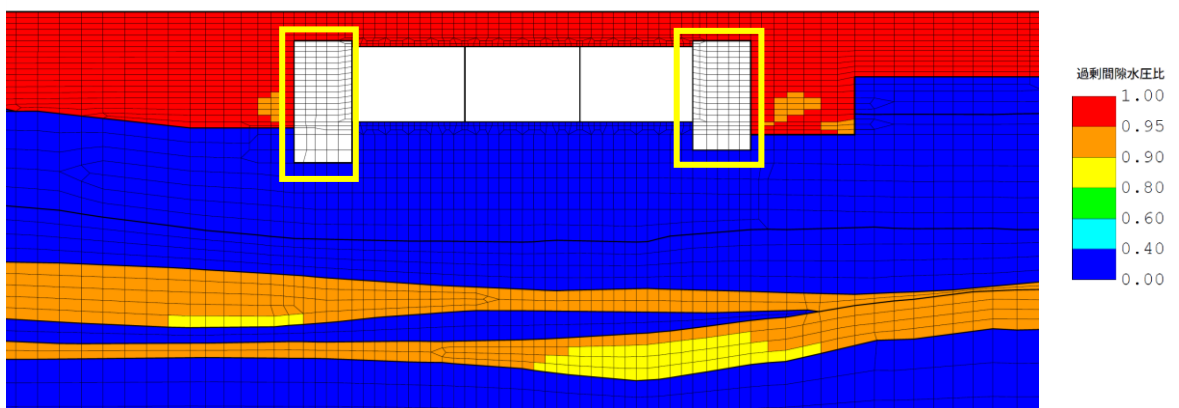
- (5) 7号機取水路（漸縮部）
- ・ 曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大



(a) 評価断面図



(b) 最大過剰間隙水圧比分布

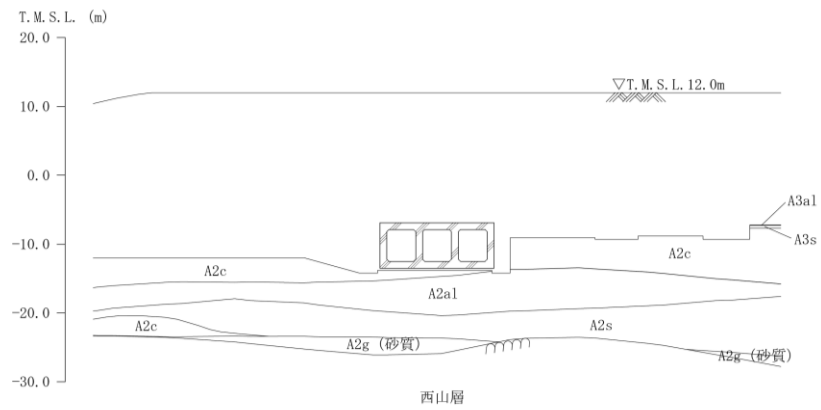


(c) 地震終了時の過剰間隙水圧比分布

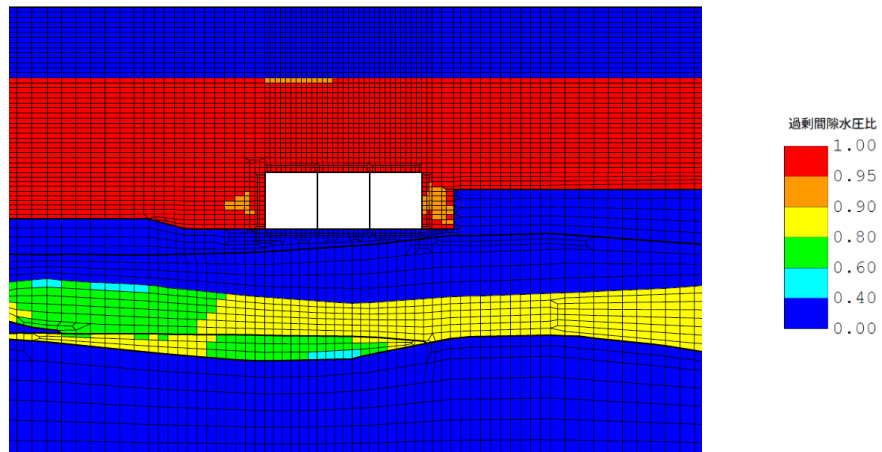
図 2-6 7号機取水路（漸縮部）(B-B断面)の過剰間隙水圧比分布図
 (曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大：解析ケース③, Ss-3+-)

(6) 7号機取水路（一般部）

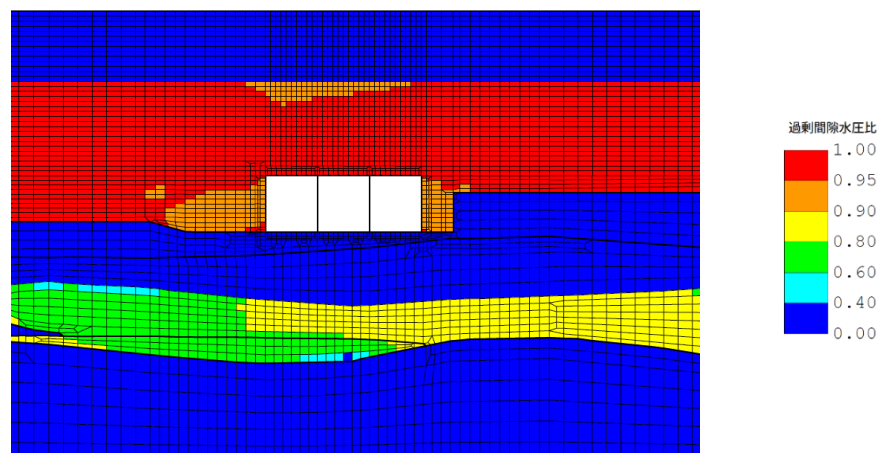
- ・ 曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大



(a) 評価断面図



(b) 最大過剰間隙水圧比分布

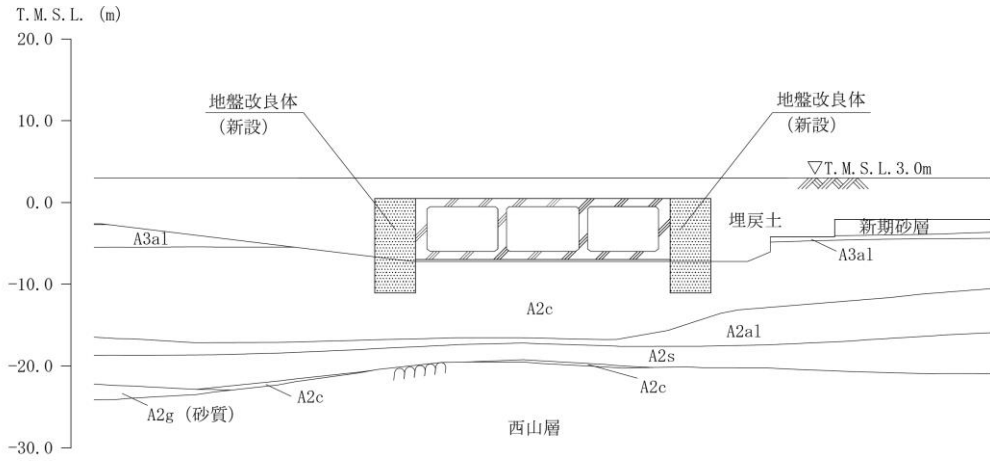


(c) 地震終了時の過剰間隙水圧比分布

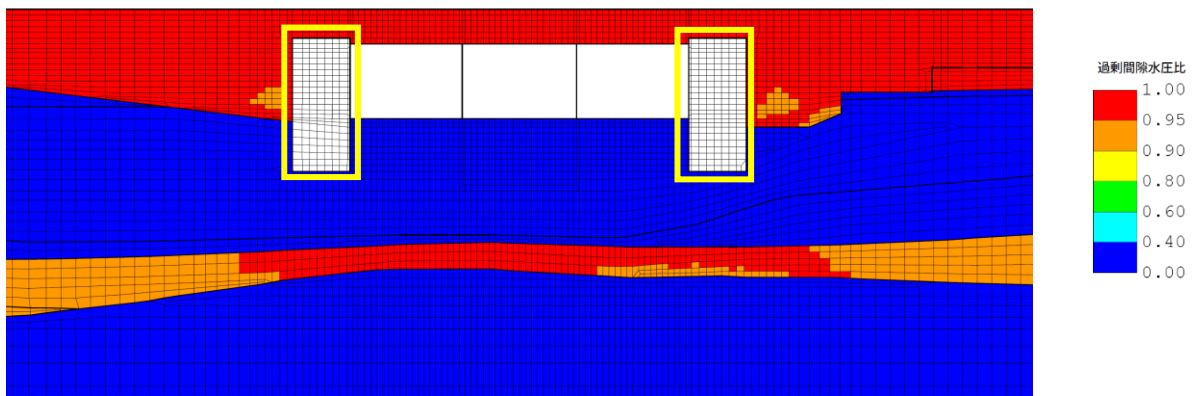
図 2-7 7号機取水路（一般部）（C-C断面）の過剰間隙水圧比分布図
（曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大：解析ケース②，Ss-1--）

(7) 6号機取水路（漸縮部）

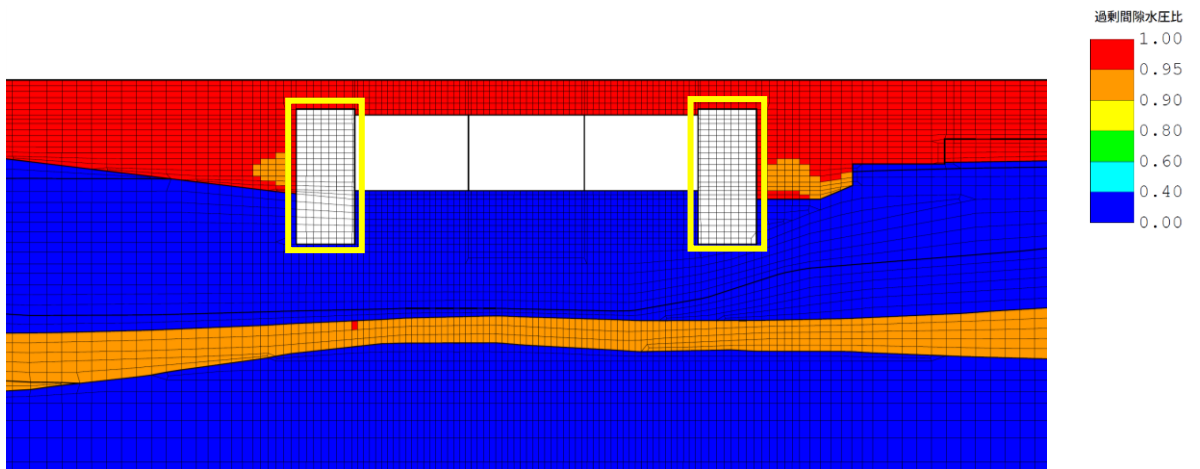
- ・ 曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大



(a) 評価断面図



(b) 最大過剰間隙水圧比分布

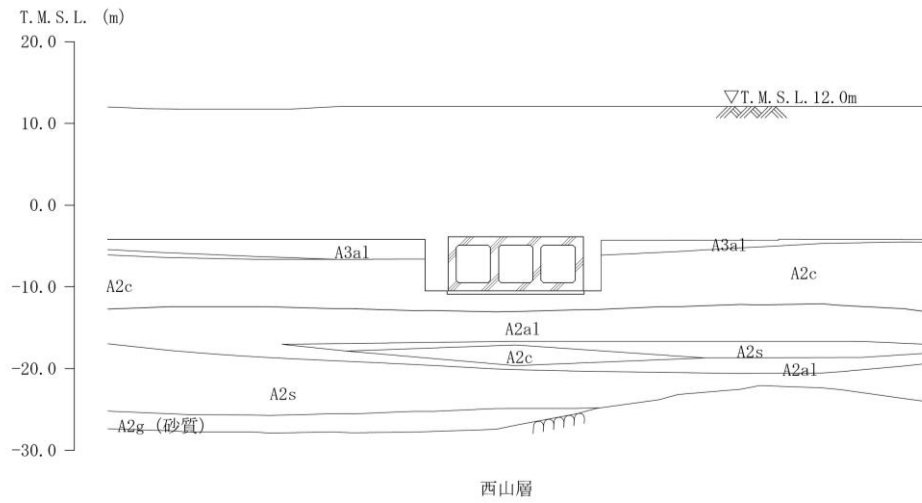


(c) 地震終了時の過剰間隙水圧比分布

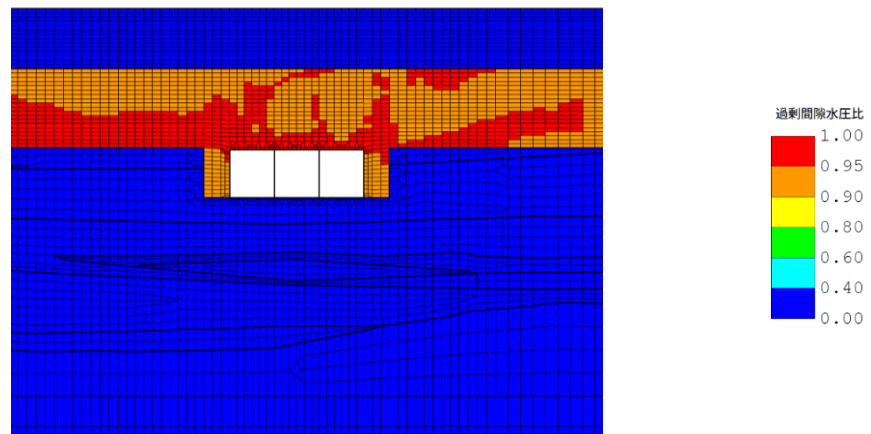
図 2-8 6号機取水路（漸縮部）（D-D断面）の過剰間隙水圧比分布図
（曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大：解析ケース③，Ss-3-1-1）

(8) 6号機取水路（一般部）

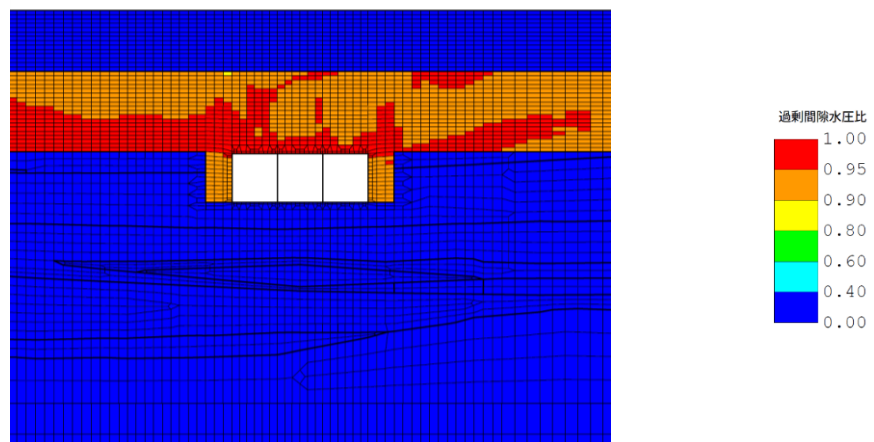
- ・ 曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大



(a) 評価断面図

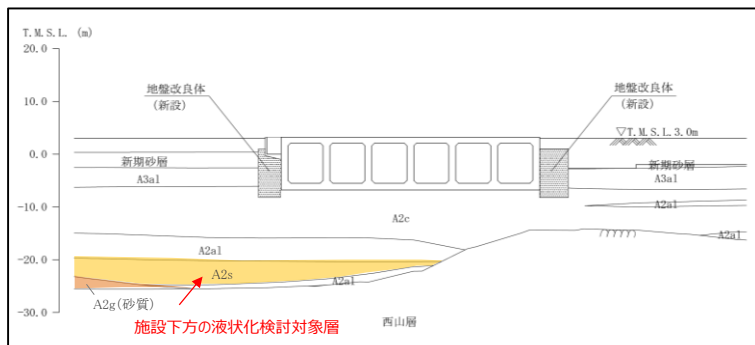


(b) 最大過剰間隙水圧比分布

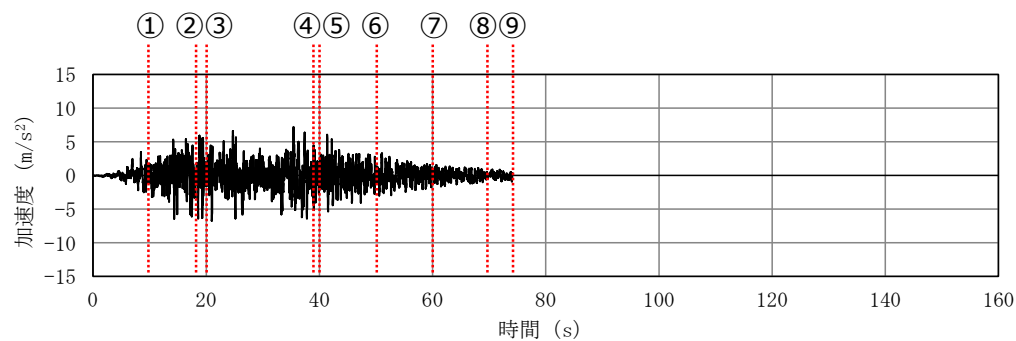


(c) 地震終了時の過剰間隙水圧比分布

図 2-9 6号機取水路（一般部）（E-E断面）の過剰間隙水圧比分布図
（曲げ軸力照査及びせん断力照査値最大：解析ケース③，Ss-8++）



7号機スクリーン室の断面図



基準地震動の時刻歴波形 (水平方向: Ss-3)

(参考) 5-12

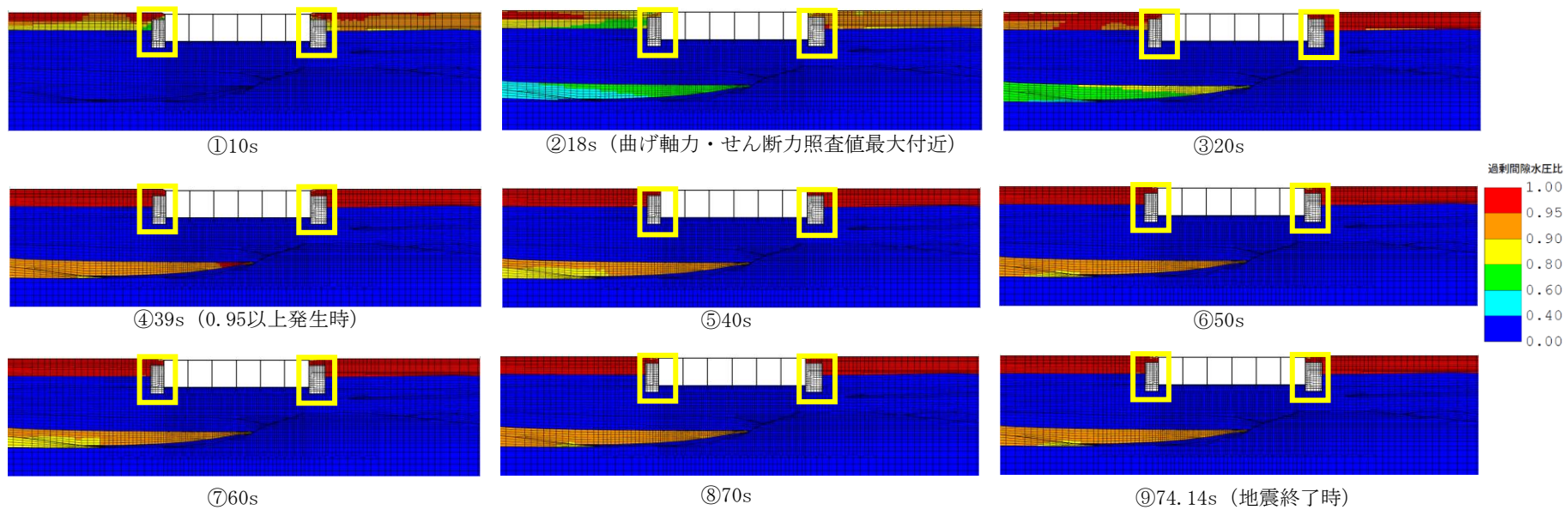
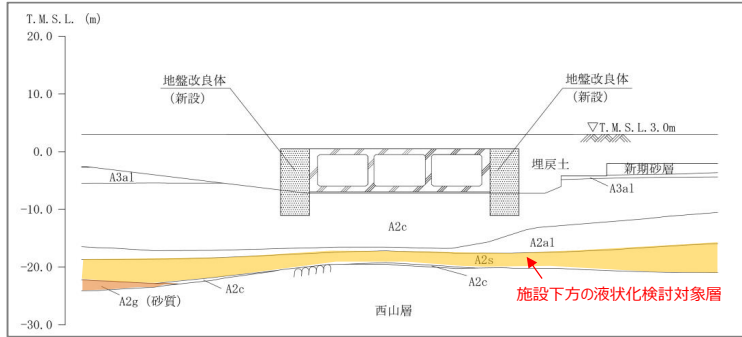
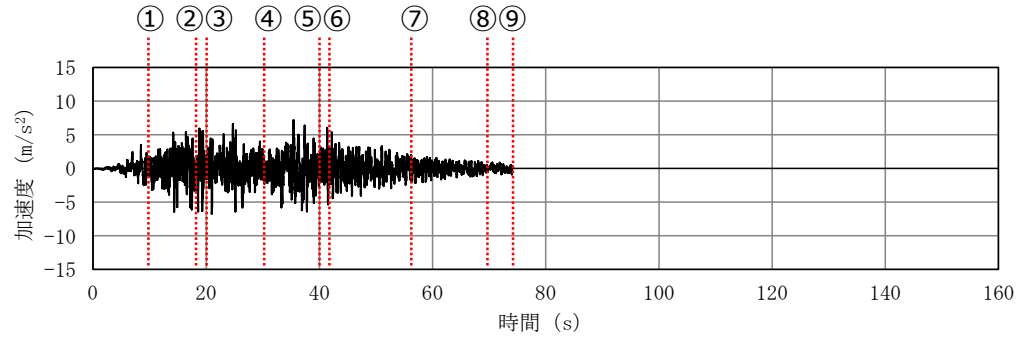


図 2-10 7号機スクリーン室の過剰間隙水圧の発生状況



6号機取水路（漸縮部）の断面図



基準地震動の時刻歴波形（水平方向：Ss-3）

（参考）5-13

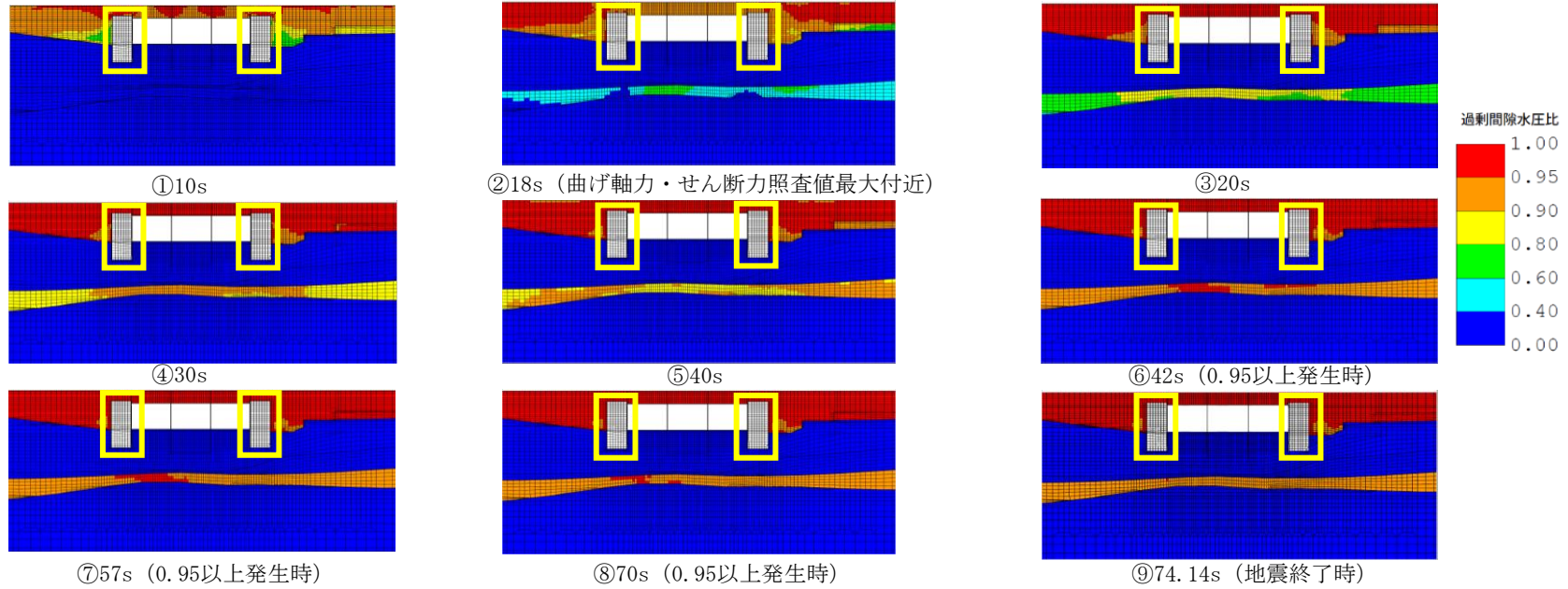


図 2-11 6号機取水路（漸縮部）の過剰間隙水圧の発生状況

3. 液状化検討対象層の液状化強度特性の確認

前述 2.2 に示したとおり，構造物下方の液状化検討対象層（A2s 層）において，地震時に過剰間隙水圧比が一時的に 0.95 を超える地盤要素が出現するものの，地震後には過剰間隙水圧比は 0.95 を下回っている。このことから，液状化検討対象層（A2s 層）は，地盤に大きなせん断ひずみが生じた際に，有効応力が回復するサイクリックモビリティの様相を示しているものと考えられる。

本項では，サイクリックモビリティの特性を整理し，液状化検討対象層（A2s 層）について，液状化強度試験及び解析コード F L I P の地震応答解析の結果から，サイクリックモビリティの有無を確認する。

3.1 サイクリックモビリティの特性の整理

レベル 2 地震動による液状化研究小委員会活動成果報告書（土木学会，2003）では，地盤の液状化及びそれに関連する事象の定義として，以下のように記載されている。

【液状化】

地震の繰返しせん断力などによって，飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し，有効応力がゼロまで低下し液体状となり，その後地盤の流動を伴う現象。

【サイクリックモビリティ】

繰返し载荷において土が「繰返し軟化」する過程で，限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなっても，ひずみが大きく成長しようとする時，正のダイレイタンシー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し，せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に，密な砂や礫質土，過圧密粘土のように正のダイレイタンシー特性が著しい土において顕著に現れる。

【繰返し軟化】

繰返し载荷による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し，それが繰返し回数とともに徐々に増大するが，土のもつダイレイタンシー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさにとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

これらの事象のうちサイクリックモビリティは、その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティに関する記述を示す。また、地盤のダイレイタンシー特性の概念図を図 3-1 に、緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を図 3-2 及び図 3-3 に示し、液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。

- サイクリックモビリティとは、砂などの繰返し载荷において、有効拘束圧がゼロに近づいてから、载荷時にせん断剛性の回復、除荷時に有効応力の減少を繰り返していくが、ひずみは有限の大きさにとどまる現象であり、液状化とは区別して用いられることがある。(地盤工学会, 2006)
- 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。(井合, 2008)
- サイクリックモビリティにおいて、有効応力がゼロになるのは、せん断応力がゼロになる瞬間だけであり、せん断応力が作用している間には有効応力が存在するので、間隙水圧比が100%に達した後でも、繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。(吉見, 1991)
- 密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が0になっても、その後にせん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加(回復)し、有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。(安田, 1991)

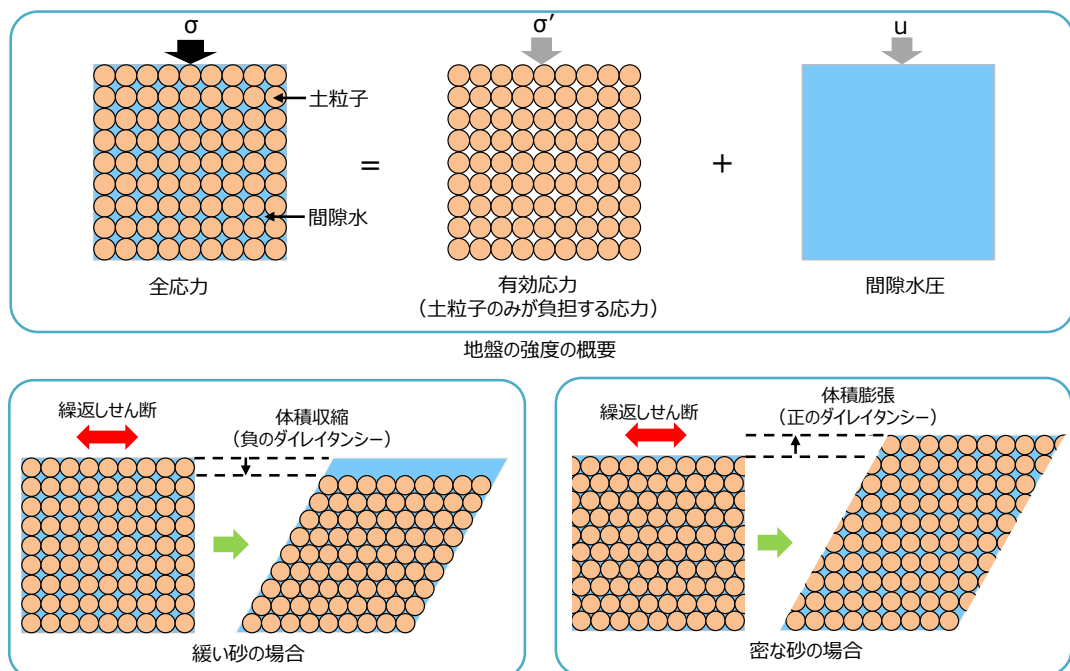
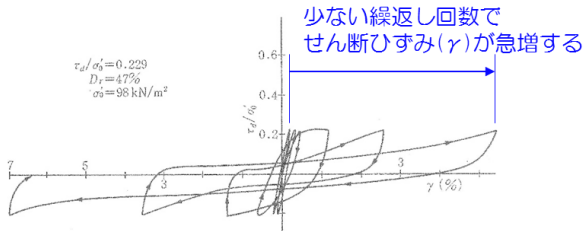
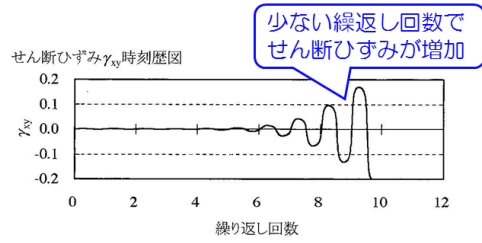


図 3-1 地盤のダイレイタンシー特性の概念図

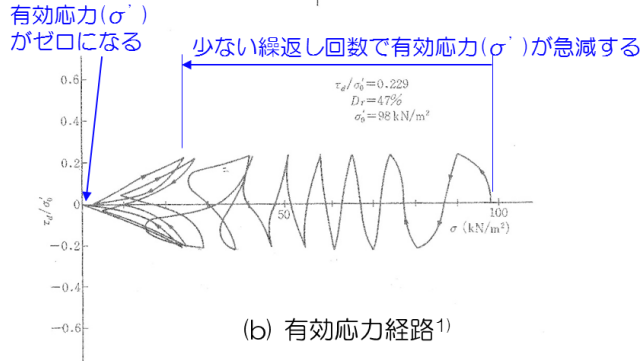
【液状化試験のイメージ（1）】



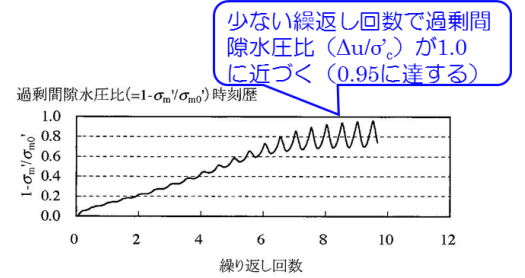
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係¹⁾



(c) せん断ひずみ²⁾



(b) 有効応力経路¹⁾



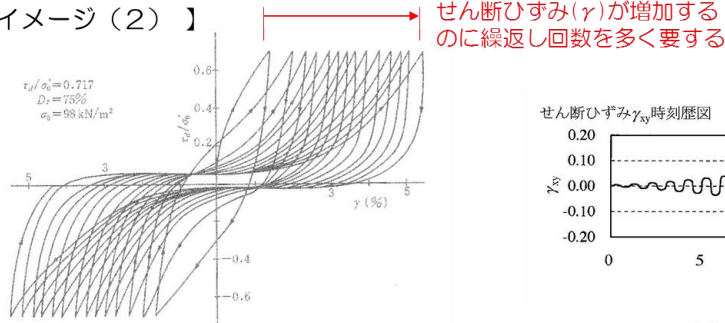
(d) 過剰間隙水圧比²⁾

液状化試験の例（液状化する場合）

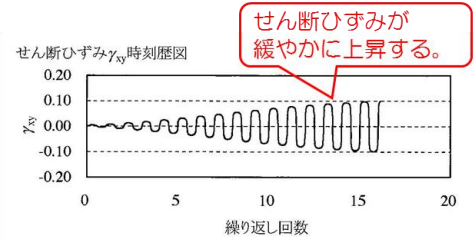
1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984
 2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷同時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008

図 3-2 ゆるい砂の液状化試験結果

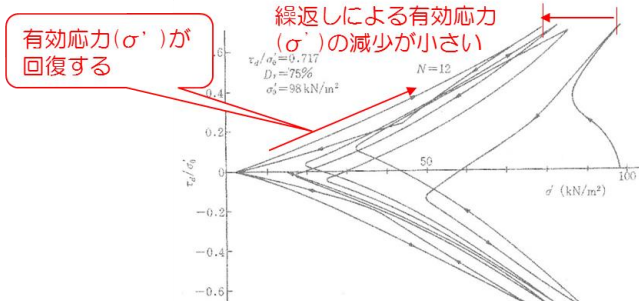
【液状化試験のイメージ（2）】



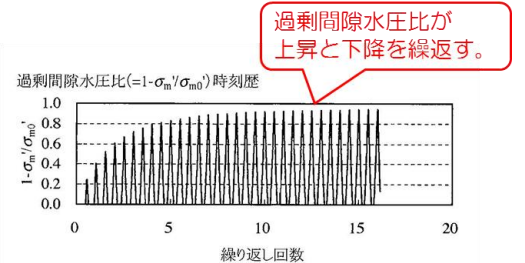
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係¹⁾



(c) せん断ひずみ²⁾



(b) 有効応力経路¹⁾



(d) 過剰間隙水圧比²⁾

液状化試験の例（サイクリックモビリティの場合）

1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984
 2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷同時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008

図 3-3 密な砂の液状化試験結果

3.2 液状化強度試験結果

液状化検討対象層（A2s 層）の液状化強度試験結果の一例を図 3-4 に示す。同図に示すように、せん断応力～せん断ひずみ関係からは、繰り返し载荷を受けてもせん断ひずみは緩やかに進行しており、せん断応力～平均有効主応力関係からは、せん断応力の増加に伴い有効応力が回復しており、平均有効主応力が 0 に近づかず有効応力を保持している。また、過剰間隙水圧比の時刻歴波形からは、過剰間隙水圧比が上昇と下降を繰り返す現象が認められる。このことから、液状化検討対象層（A2s 層）は、サイクリックモビリティの様相を示していることを確認した。

参考として、液状化検討対象層（埋戻土）の液状化強度試験結果の一例を図 3-5 に示す。同図に示すように、せん断応力～せん断ひずみ関係からは、せん断ひずみが急激に進行しており、せん断応力～平均有効主応力関係からは、平均有効主応力が 0 に近づいている。また、過剰間隙水圧比の時刻歴波形からは、過剰間隙水圧比が 0.95 を超える現象が認められる。このことから、液状化検討対象層（埋戻土）は、液状化の様相を示していることを確認した。

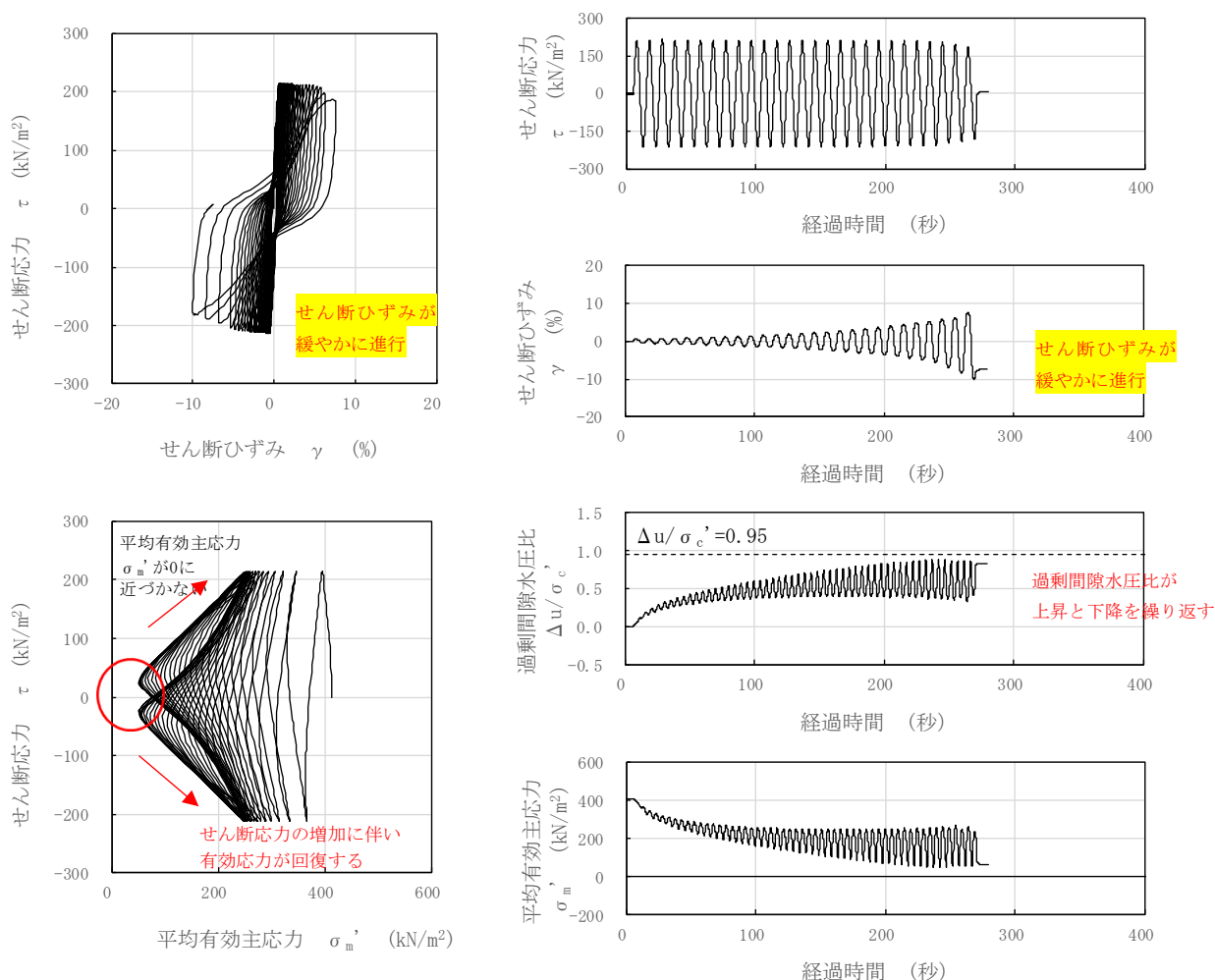


図 3-4 A2s 層の液状化強度試験結果の一例

(GL. -25.10～25.25m, 有効拘束圧 412kN/m², せん断応力比=0.519)

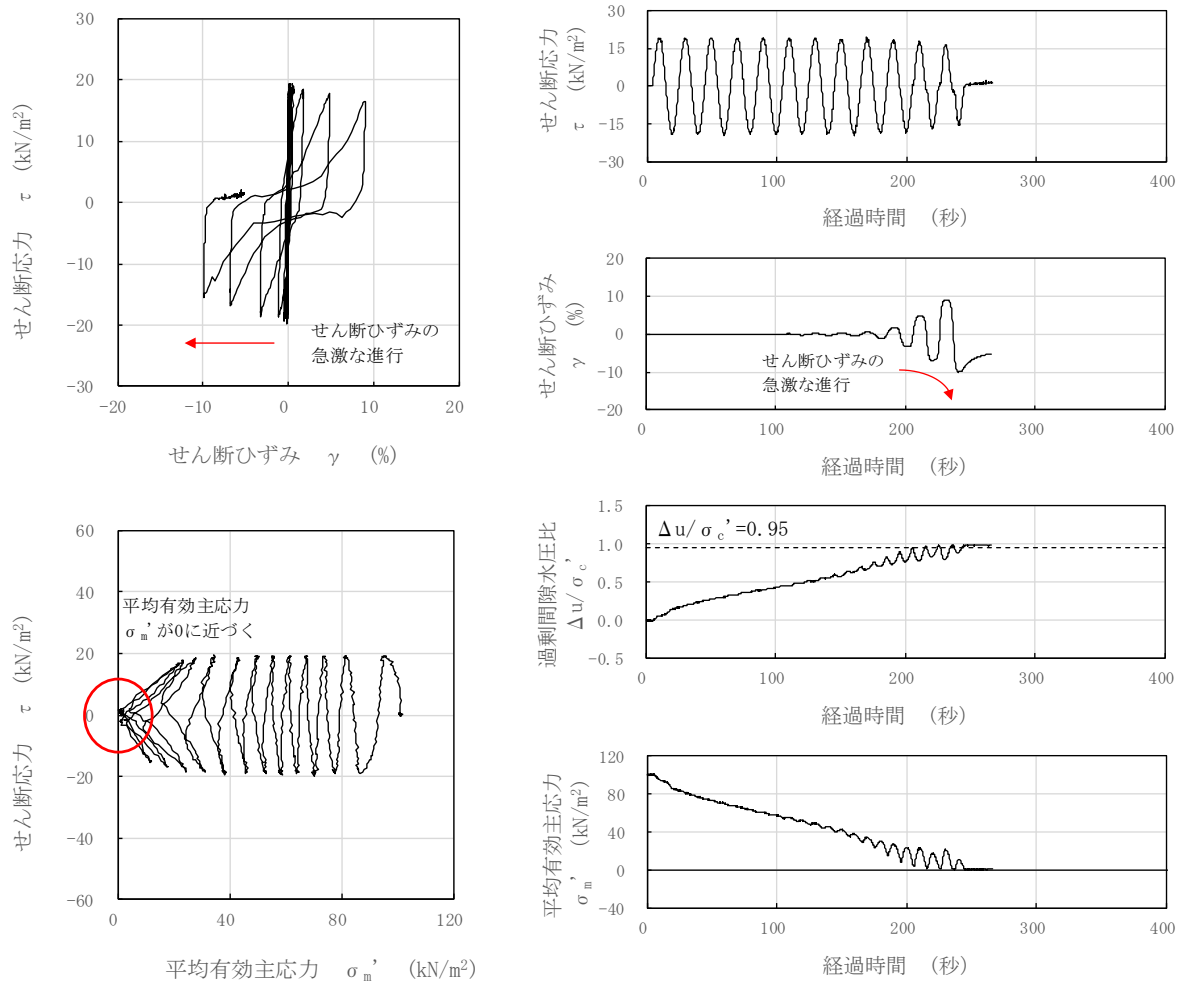


図 3-5 埋戻土の液状化強度試験結果の一例

(GL. -5.27~5.39m, 有効拘束圧 100kN/m², せん断応力比=0.190)

3.3 有効応力解析FLIPによる地震応答解析結果

(1) サイクリックモビリティに関する有効応力解析FLIPの適用性

耐震評価に用いる有効応力解析の解析コードFLIPについては、サイクリックモビリティを示す密な砂の挙動を適切に表現することが可能である。

解析コードFLIPを用いたサイクリックモビリティに関する再現解析の事例を以下に示す。

■ 事例

- ・ Iai et. al(1992)は、図 3-6 に示すように、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、解析コードFLIPを用いた解析を実施している。その結果、解析コードFLIPによる解析結果は、室内試験結果と良い対応を示したと報告されている。
- ・ Iai et. al(1995)は、解析コードFLIPを用いて、1993年釧路沖地震のシミュレーション解析を実施しており、密な地盤に対して液状化パラメータを設定している。図 3-7 に示すように、解析コードFLIPによる地表面加速度は、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告されている。なお、当サイクリックモビリティの実測例では、観測地点周辺において、地割れや噴水、噴砂などの地盤変状は発生していないことが報告されている。

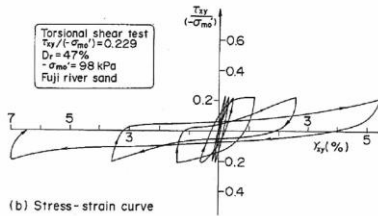
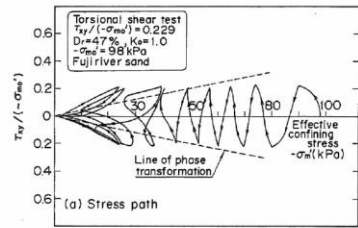


Fig. 1. Stress path and stress-strain curve for loose sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

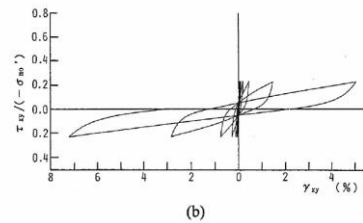
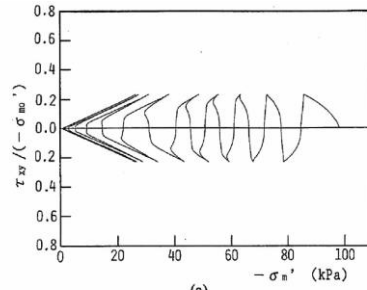


Fig. 9. Computed results of loose sand to be compared with the laboratory results in Fig. 1. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

実験結果

解析結果

(a) ゆるい砂 (相対密度 $D_r=47\%$)

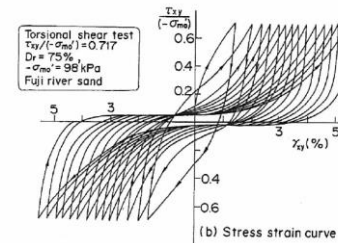
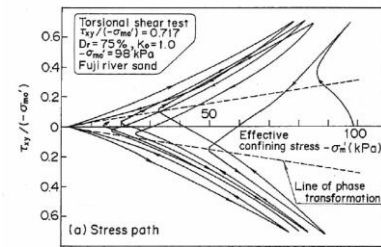


Fig. 2. Stress path and stress-strain curve for dense sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

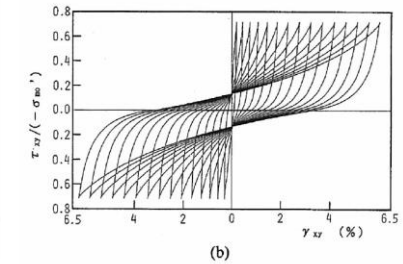
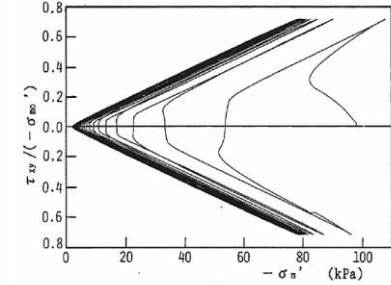


Fig. 10. Computed results of dense sand to be compared with the laboratory results in Fig. 2. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

実験結果

解析結果

(b) 密な砂 (相対密度 $D_r=75\%$)

(出典) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T (1992): STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 32, No. 2, pp. 1-15.

(参考) 相対密度: A2s層 (平均値 96%), 埋戻土 (平均値 75%)

図 3-6 ゆるい砂と密な砂の室内試験結果と解析コード F L I P を用いた解析結果の比較 (Iai et. al (1992) より抜粋)

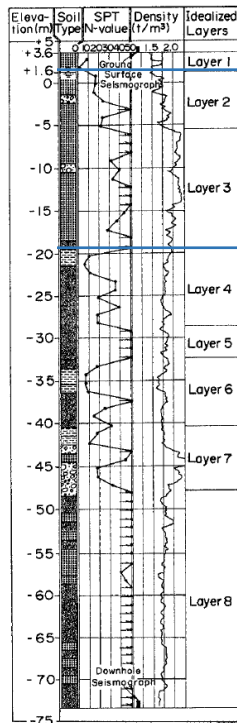


Fig. 21. Idealized soil layers for response analysis

解析モデル

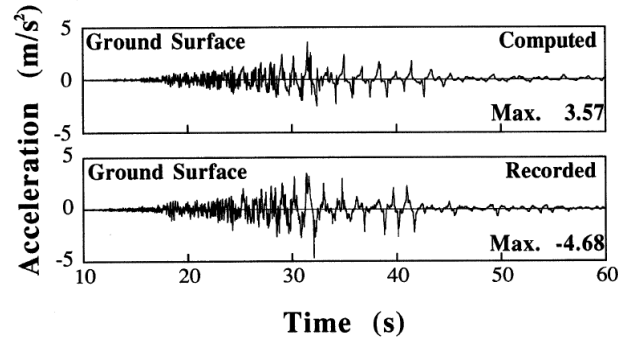


Fig. 24. Recorded and computed accelerations at the ground surface

地表面加速度の比較 (上段：解析値, 下段：観測値)

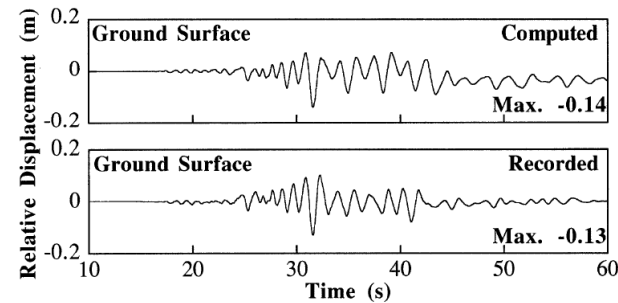


Fig. 25. Recorded and computed displacements at the ground surface relative to the base at a depth of 77 meters

地表面変位の比較 (上段：解析値, 下段：観測値)

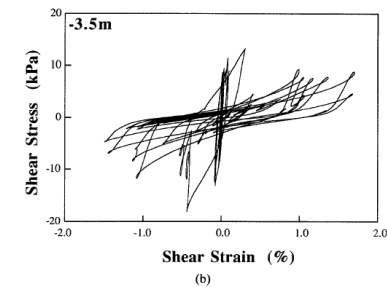
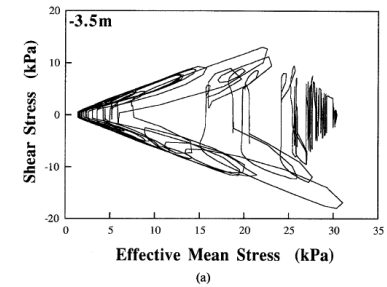


Fig. 26. Computed stress path and stress-strain relation at a depth of 3.5 meters in Layer 2; (a) stress paths and (b) stress strain relation

解析値の一例

(上段：有効応力経路,

下段：せん断応力-せん断ひずみ関係)

(出典) Iai, S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y. and Abiko, K. (1995): RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol, 35, No. 1, pp. 115-131.

図 3-7 有効応力解析プログラム F L I P を用いた 1993 年釧路沖地震のシミュレーション解析 (Iai et. al (1995) より抜粋 (一部加筆))

(2) 有効応力解析における液状化強度特性について

耐震評価に用いる有効応力解析の解析コードFLIPでは、液状化検討対象層の液状化強度特性について、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、液状化強度試験の代表性・網羅性を確認した上で、各地層で得られた液状化強度特性のばらつきを踏まえて、液状化抵抗曲線の平均値-1σに設定している。解析コードFLIPにおける液状化検討対象層（A2s層）の液状化抵抗曲線を図3-8に、液状化検討対象層（埋戻土）の液状化抵抗曲線を図3-9に示す。

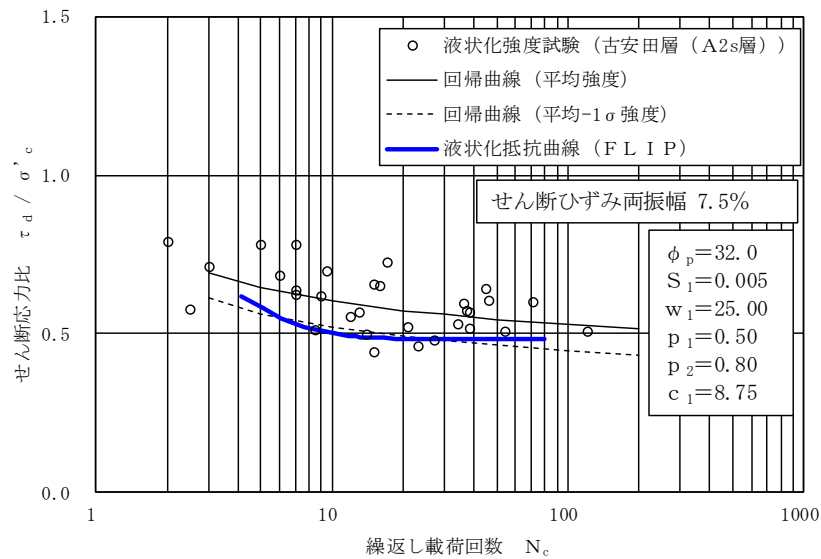


図 3-8 解析コードFLIPにおける液状化検討対象層（A2s層）の液状化抵抗曲線

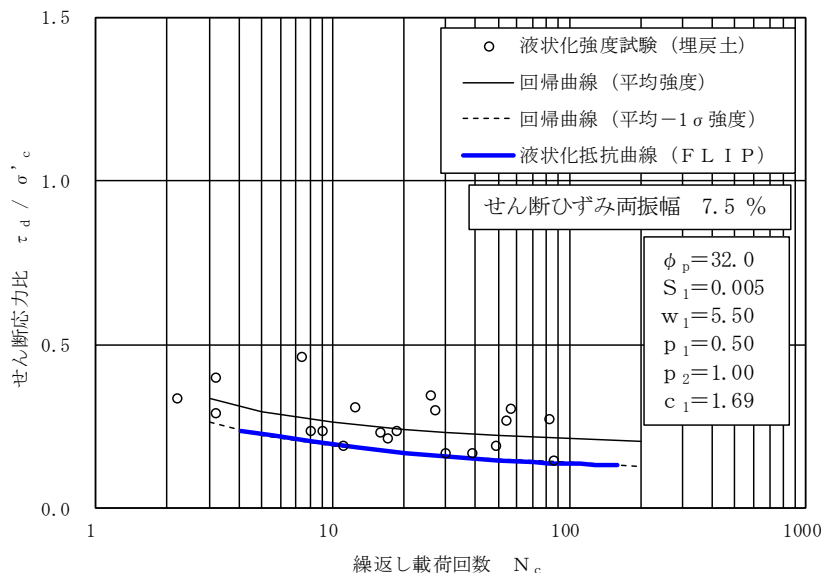


図 3-9 解析コードFLIPにおける液状化検討対象層（埋戻土）の液状化抵抗曲線

(3) 要素シミュレーションの結果

解析コードFLIPによる液状化検討対象層（A2s層）の要素シミュレーションの結果を図3-10に示す。ここで、要素シミュレーションとは、解析コードFLIPによる液状化強度試験（繰り返しせん断試験）の模擬解析を意味する。

図3-10より、液状化検討対象層（A2s層）は、前述3.2に示した液状化強度試験結果と同様に、せん断ひずみが緩やかに進行し、せん断応力の増加に伴い有効応力が回復する、過剰間隙水圧比が上昇と下降を繰り返す等といった様相が認められることから、解析コードFLIPによりA2s層のサイクリックモビリティを再現できることを確認した。

参考として、液状化検討対象層（埋戻土）の要素シミュレーションの結果を図3-11に示す。液状化検討対象層（埋戻土）は、液状化検討対象層（A2s層）と比べて、少ない繰り返し回数でせん断ひずみが急増し、また、少ない繰り返し回数で過剰間隙水圧比が95%に達しており、液状化の様相を示している。

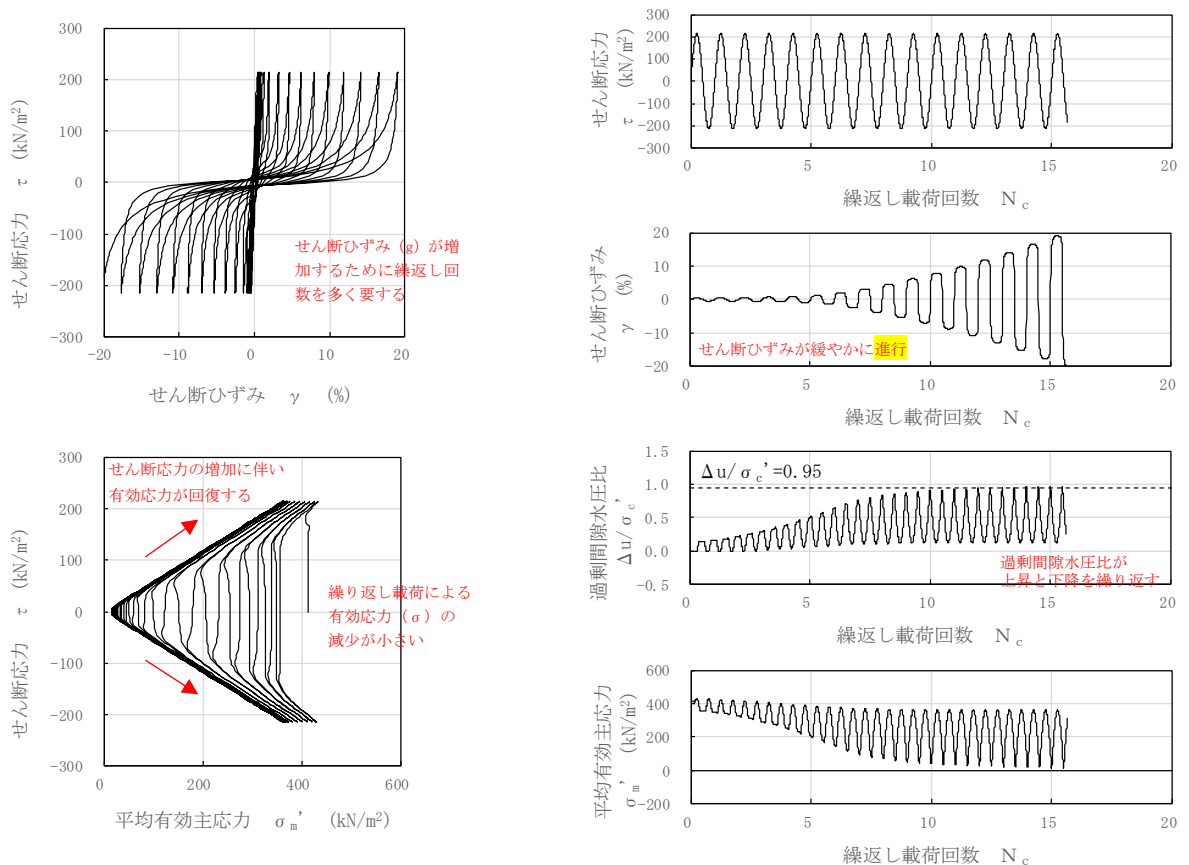


図 3-10 液状化検討対象層（A2s層）の要素シミュレーションの結果
 (有効拘束圧 412kN/m², せん断応力比 RL20=0.519)

(4) 地震応答解析における液状化検討対象層の応答

液状化検討対象層（A2s 層）の地震時の応答を確認するため、解析コード F L I P を用いた地震応答解析の結果を分析する。

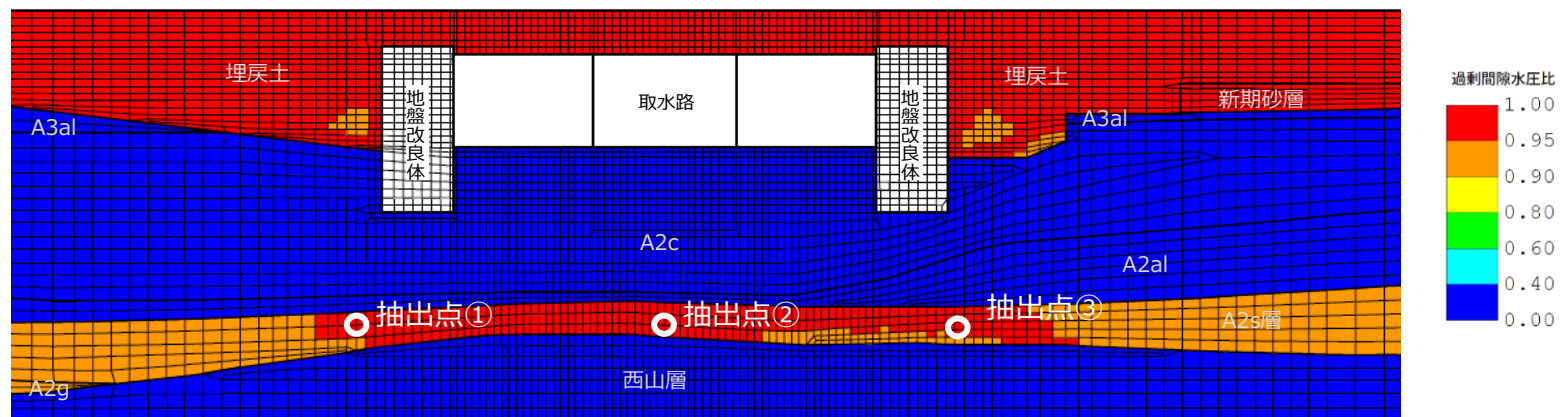
A2s 層の有効応力経路及びせん断応力～せん断ひずみ関係を図 3-12 に、せん断応力～せん断ひずみ関係を図 3-13 に、過剰間隙水圧比の時刻歴推移を図 3-14 に示す。

A2s 層の有効応力経路からは、せん断応力の発生に伴い初期の有効拘束圧（有効応力経路の始点）より大きくなるような剛性の急回復があることから、サイクリックモビリティの様相を呈していることを確認した。A2s 層のせん断応力～せん断ひずみ関係からは、せん断ひずみが大きくなるとせん断応力の急増が認められることから、サイクリックモビリティの様相を呈していることを確認した。また、過剰間隙水圧比の時刻歴推移からは、過剰間隙水圧比の上昇は比較的緩やかであり、過剰間隙水圧比が上下する現象（せん断ひずみの発生に伴う有効応力の回復）が確認されたことから、サイクリックモビリティの様相を呈していることを確認した。

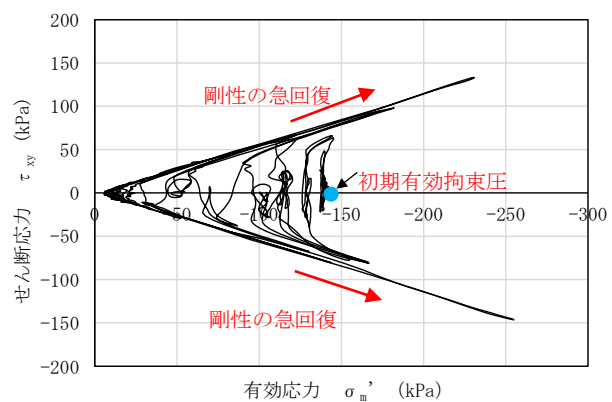
参考として、埋戻土の有効応力経路を図 3-15 に、せん断応力～せん断ひずみ関係を図 3-16 に、過剰間隙水圧比の時刻歴推移を図 3-17 に示す。

埋戻土の有効応力経路からは、せん断応力の発生に伴い有効応力が急激に低下していることから、液状化の様相を呈していることを確認した。埋戻土のせん断応力～せん断ひずみ関係からは、A2s 層で見られたひずみの増加に伴うせん断応力の急増が認められないことから、液状化の様相を呈していることを確認した。また、過剰間隙水圧比の時刻歴推移からは、地震直後に過剰間隙水圧比が急上昇しており、A2s 層で見られた過剰間隙水圧比の変動（せん断ひずみの発生に伴う有効応力の回復）が少ないことから、液状化の様相を呈していることを確認した。

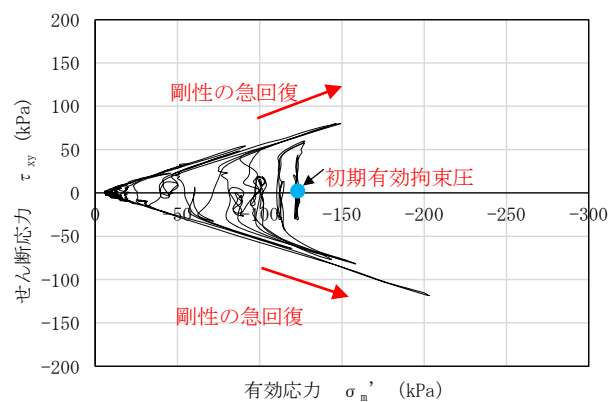
A2s 層



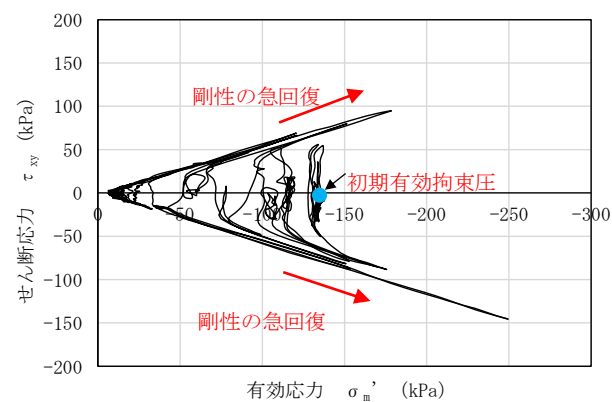
6号機取水路（漸縮部）の最大過剰間隙水圧比分布（解析ケース③，Ss-3--）



(a) 抽出点①



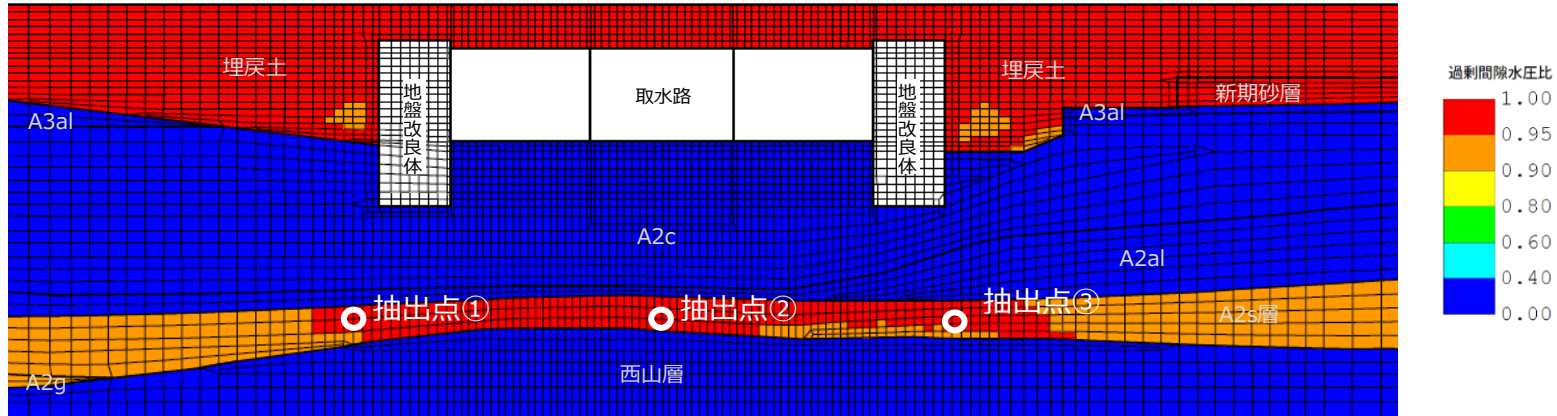
(b) 抽出点②



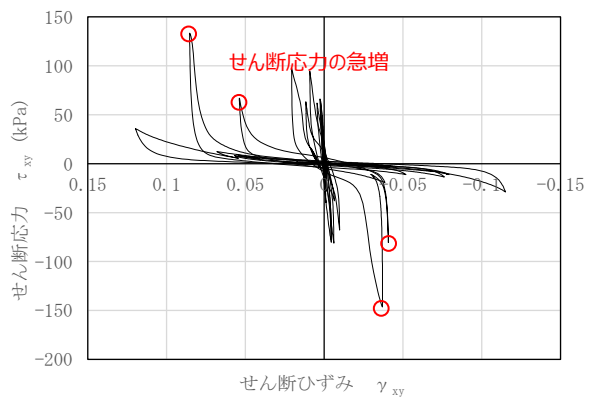
(c) 抽出点③

図 3-12 A2s 層の有効応力経路（解析ケース③，Ss-3--）

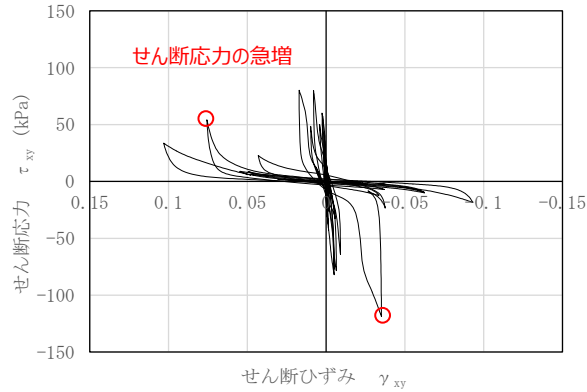
A2s 層



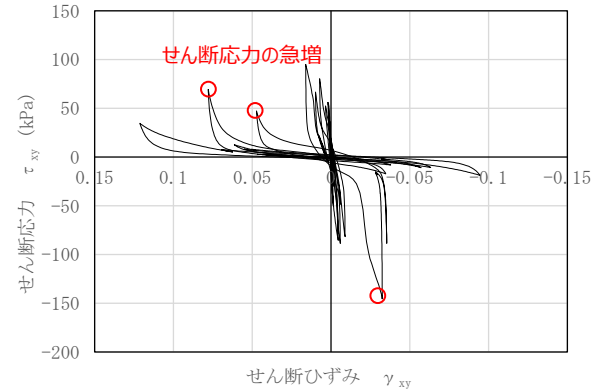
6号機取水路（漸縮部）の最大過剰間隙水圧比分布（解析ケース③，Ss-3--）



(a) 抽出点①



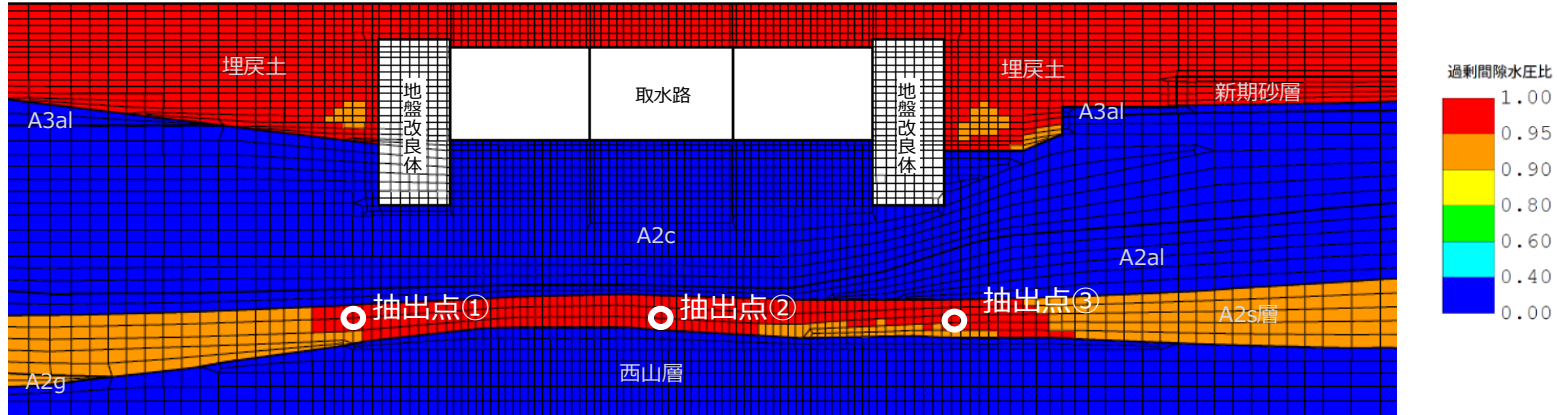
(b) 抽出点②



(c) 抽出点③

図 3-13 A2s 層のせん断応力～せん断ひずみ関係（解析ケース③，Ss-3--）

A2s 層



6号機取水路（漸縮部）の最大過剰間隙水圧比分布（解析ケース③，Ss-3--）

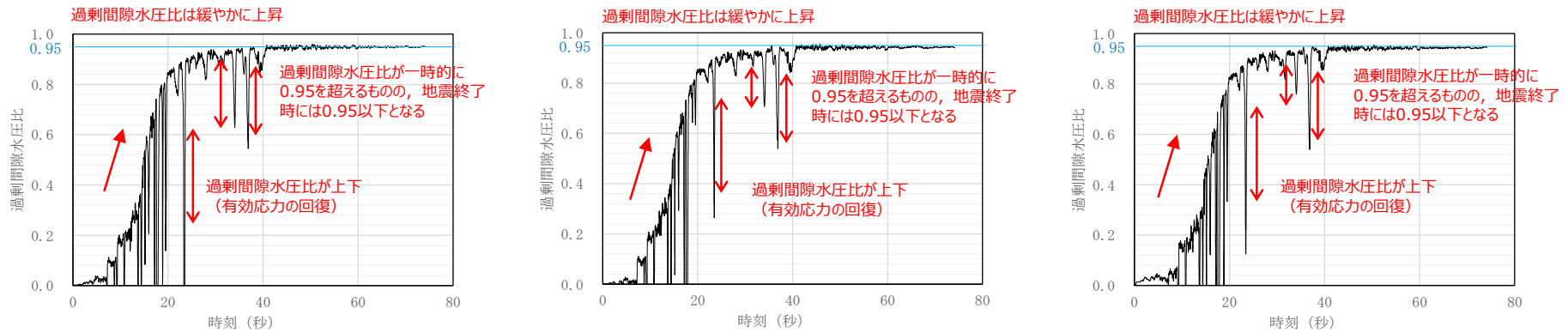
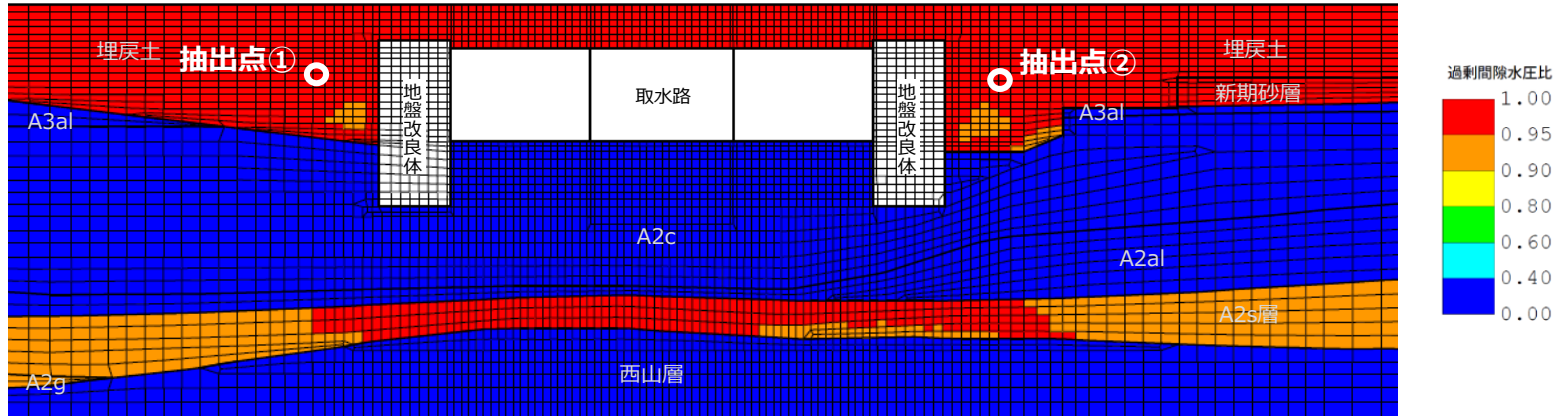
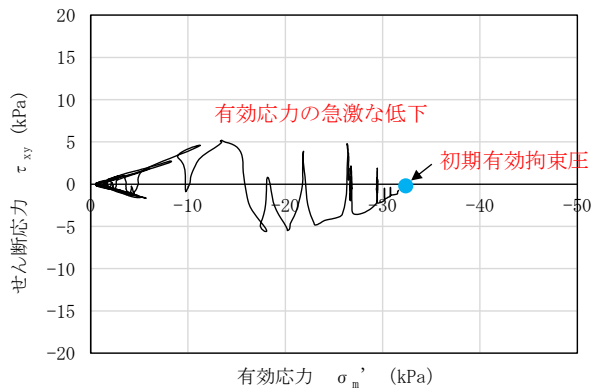


図 3-14 A2s 層の過剰間隙水圧比の時刻歴推移（解析ケース③，Ss-3--）

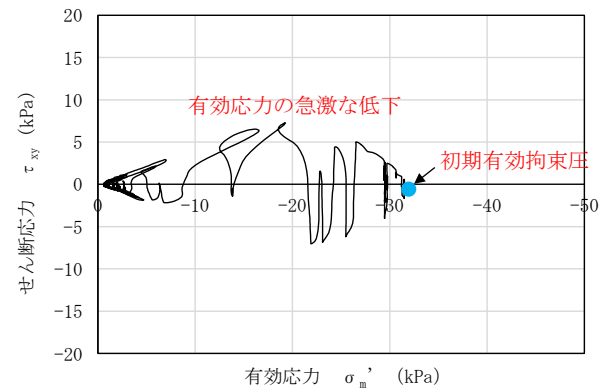
埋戻土



6号機取水路（漸縮部）の最大過剰間隙水圧比分布（解析ケース③，Ss-3--）



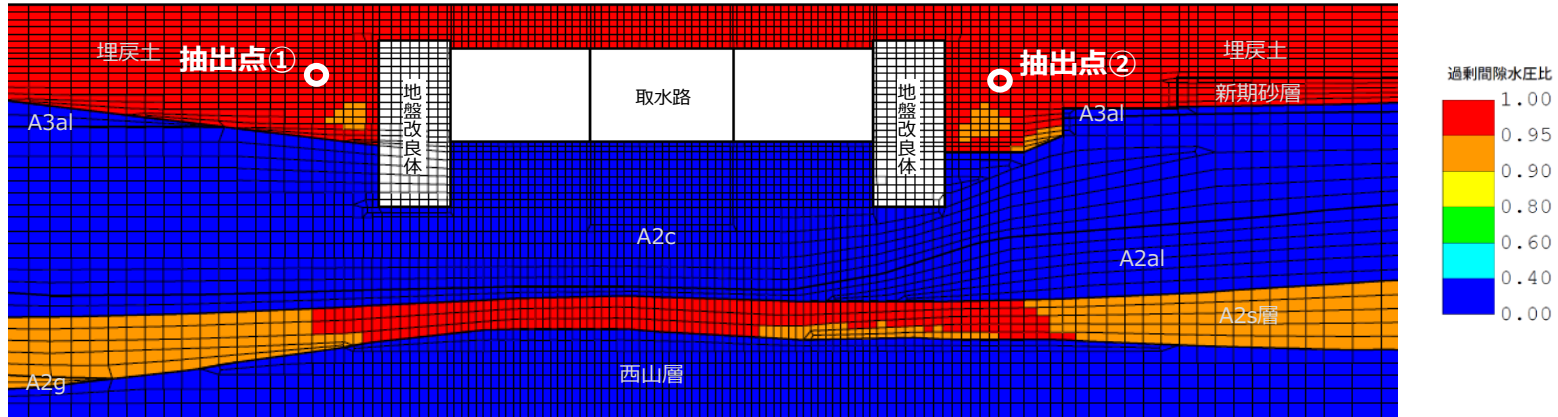
(a) 抽出点①



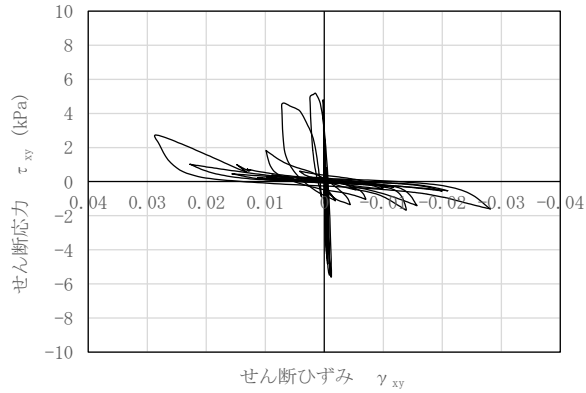
(b) 抽出点②

図 3-15 埋戻土の有効応力経路（解析ケース③，Ss-3--）

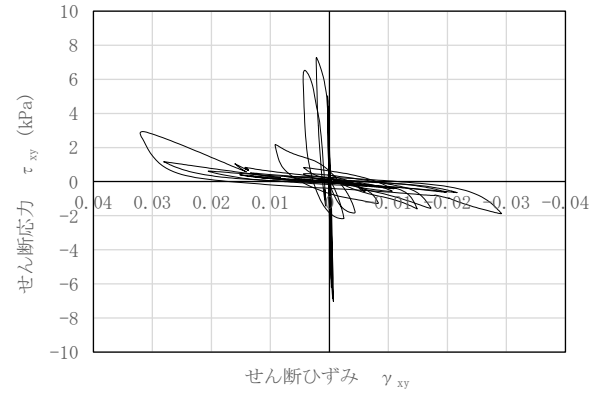
埋戻土



6号機取水路（漸縮部）の最大過剰間隙水圧比分布（解析ケース③，Ss-3--）



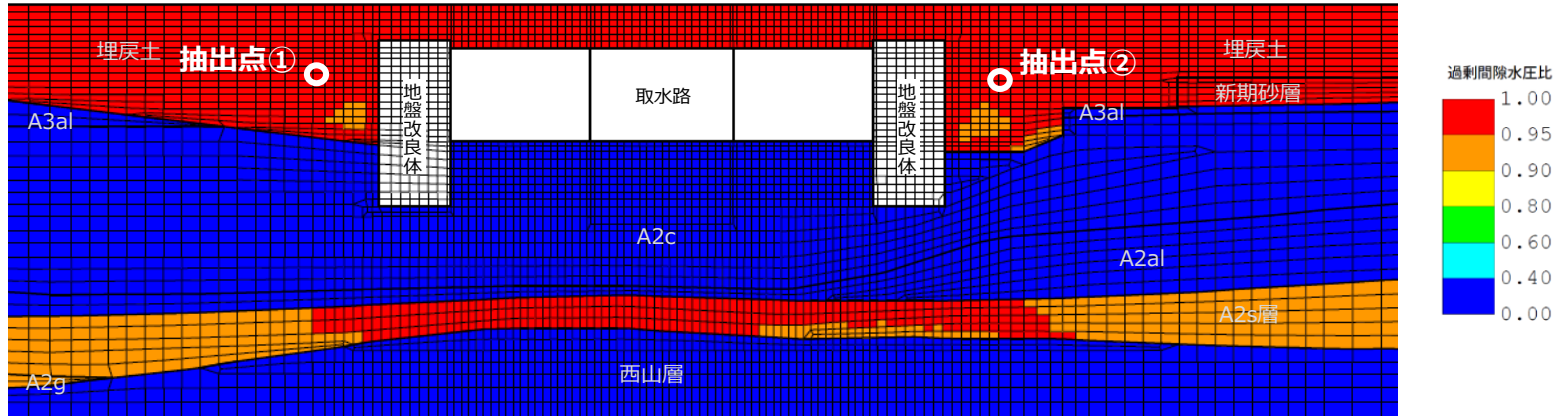
(a) 抽出点①



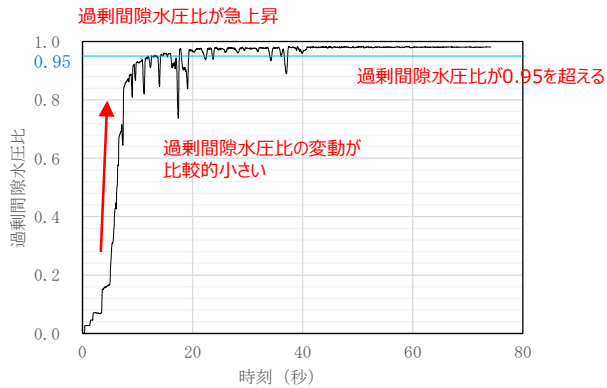
(b) 抽出点②

図 3-16 埋戻土のせん断応力～せん断ひずみ関係（解析ケース③，Ss-3--）

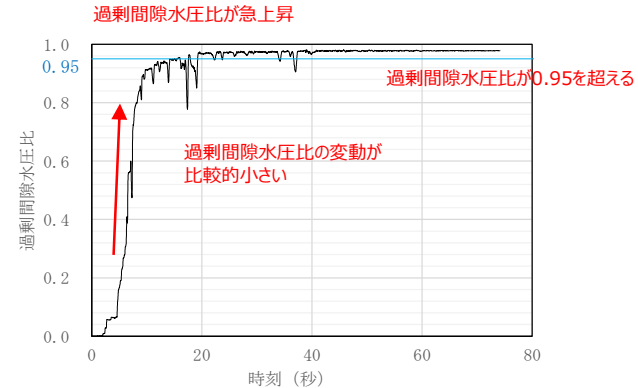
埋戻土



6号機取水路（漸縮部）の最大過剰間隙水圧比分布（解析ケース③，Ss-3--）



(a) 抽出点①

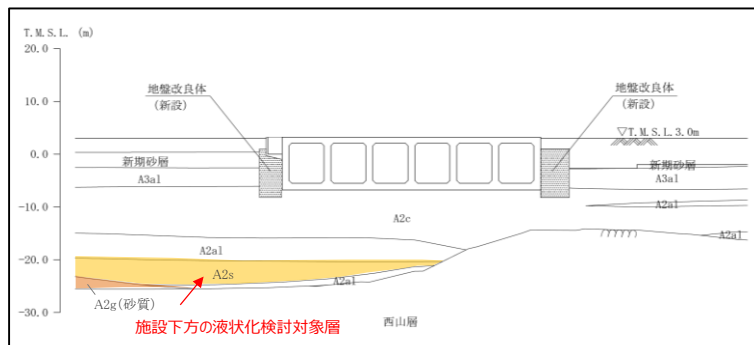


(b) 抽出点②

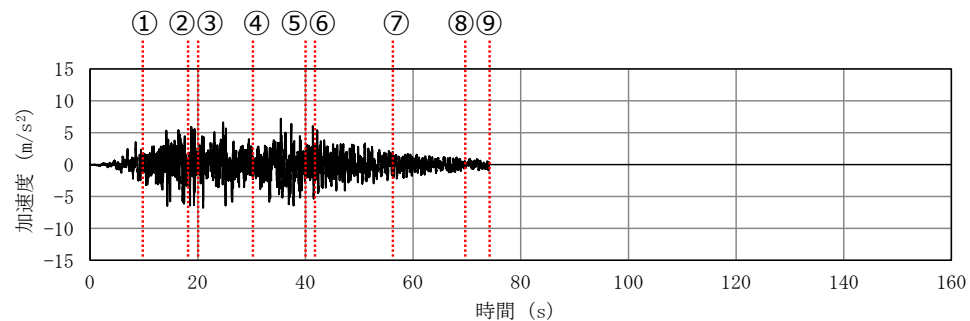
図 3-17 埋戻土の過剰間隙水圧比の時刻歴推移（解析ケース③，Ss-3--）

(5) 地盤の有効応力の時刻歴推移

地盤の有効応力の時刻歴推移を図 3-18 に示す。液状化検討対象層（A2s 層）の基準地震動 S_s に対する有効応力の時刻歴推移を確認した結果、全時刻において有効応力が保持されていることから、サイクリックモビリティの様相を呈しており、西山層まで鉛直力を伝達することを確認した。



6号機取水路（漸縮部）の断面図



基準地震動の時刻歴波形（水平方向：S s -3）

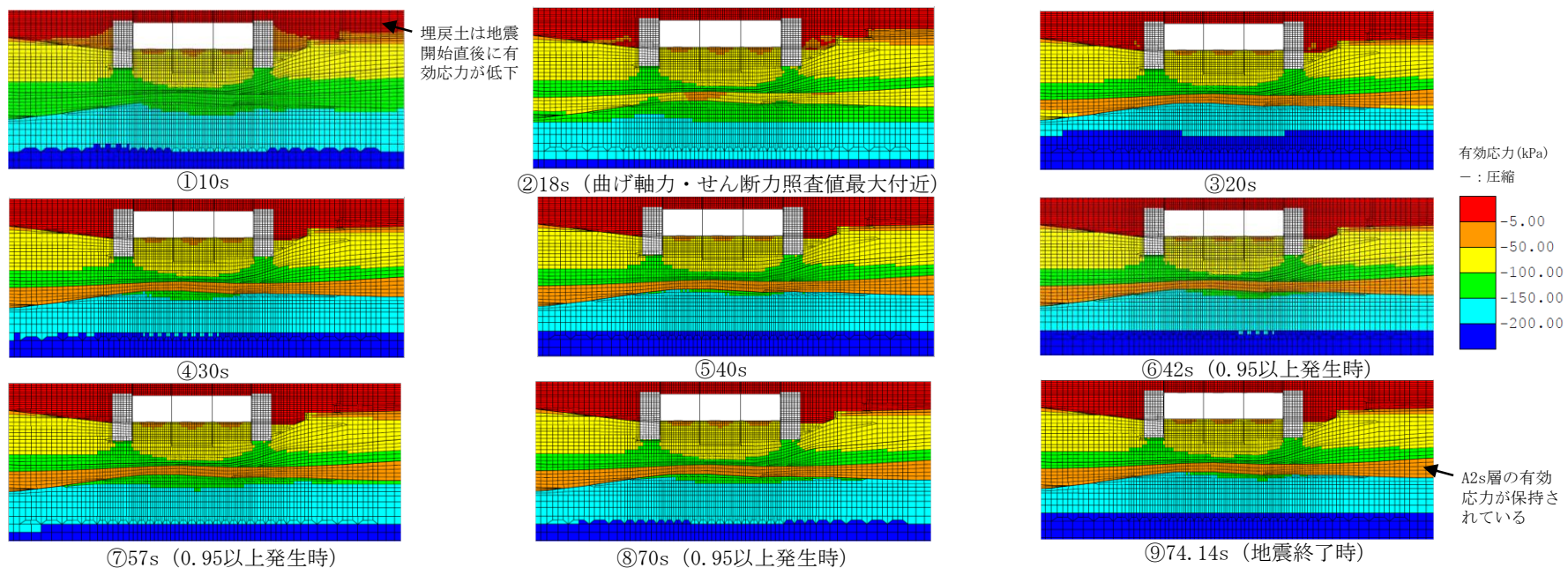


図 3-18 6号機取水路（漸縮部）の有効応力の発生状況

4. 地震時の過剰間隙水圧の上昇を踏まえた支持性能評価

前述「3. 液状化検討対象層の液状化強度特性の確認」に示したとおり、液状化検討対象層（A2s層）は地震時においても有効応力を保持し、西山層まで鉛直力が伝達することを確認した。一方、構造物下方に分布する液状化検討対象層（A2s層及びA2g層（砂質））の一部において地震に伴い過剰間隙水圧比が一時的に0.95を超えることを踏まえ、これらを踏まえた支持性能評価を実施する。

4.1 最大鉛直力に対する支持性能評価

4.1.1 評価方法

スクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路の基礎地盤の支持性能の許容限界は、道路橋示方書・同解説（I共通編・IV下部構造編）（日本道路協会、平成14年3月）（以下「道路橋示方書」という。）の直接基礎の算定式に基づく極限支持力より設定している。この極限支持力算定式は、Terzaghiの支持力理論に基づく算定式であり、図4-1に示す概念図のとおり、構造物直下のくさび形状を呈する主働領域Ⅰ、地表面側の受働領域Ⅱ及びこれらの遷移領域Ⅲにおけるすべり面を考慮し、力の釣合い条件から支持力を算定するものである。

そこで、本検討では、図4-2に示すとおり、保守的な仮定として、受働領域Ⅱ及び遷移領域Ⅲのすべり面の抵抗力は考慮せず、主働領域Ⅰのうち、過剰間隙水圧比が一時的に0.95を超える地盤要素がある液状化検討対象層よりも上側の地層におけるすべり面の抵抗力のみを考慮した場合でも支持性能が確保されることを確認する。

7号機 スクリーン室及び6号機 取水路（漸縮部）にて設定したTerzaghiの支持力理論に基づくすべり線を図4-3に示す。

抵抗力の算定方法は、主働領域Ⅰによって形成されるすべり線が通る地層の抵抗力Rを式(1)により算定する。

$$R = \sum (c' + \sigma'_n \cdot \tan \phi') \cdot l \quad \text{式(1)}$$

ここで、

c' : 各地層の粘着力

l : 各地層のすべり線長さ

σ'_n : すべり線法線方向応力

ϕ' : 各地層の内部摩擦角

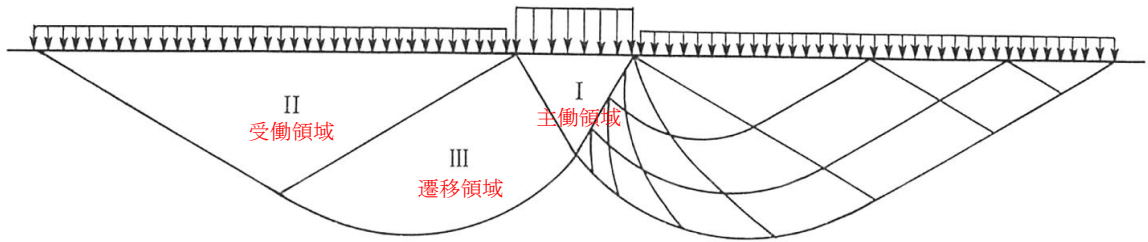


図 4-1 Terzaghi の支持力理論 概念図
 (引用：土質力学，石原研而，丸善に一部加筆)

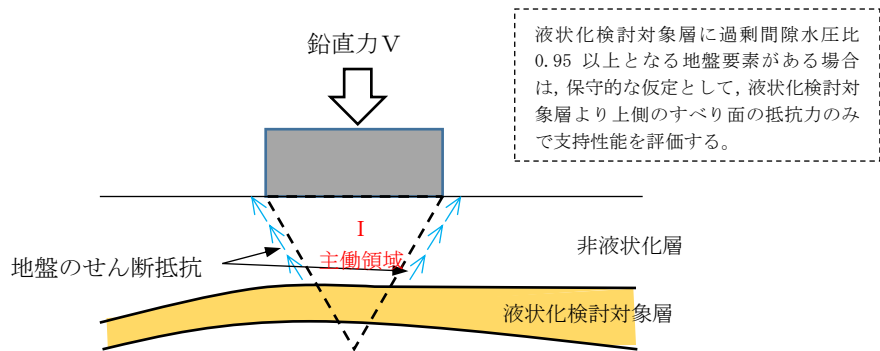
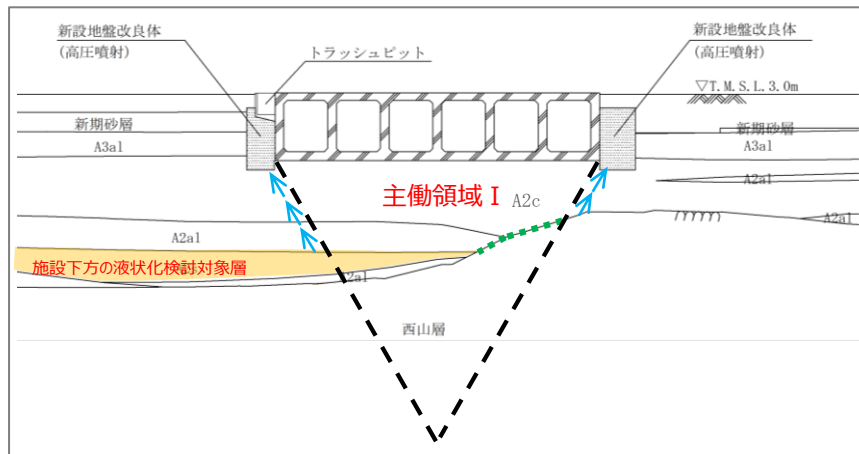
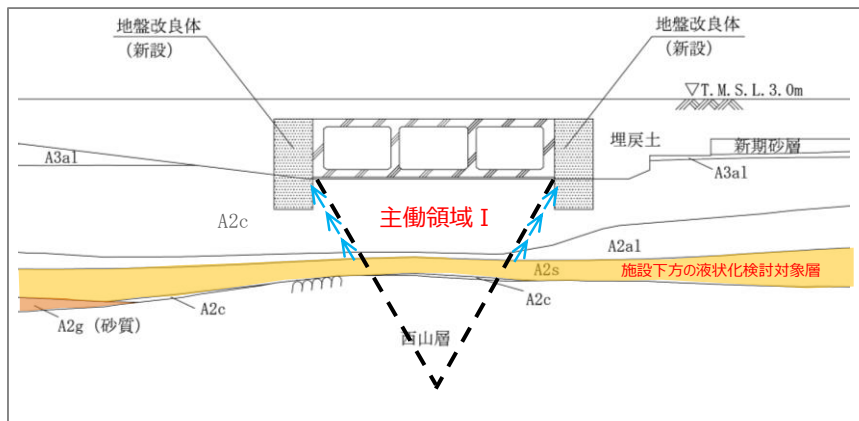


図 4-2 最大鉛直力に対する支持性能評価の概念図



(a) 7号機 スクリーン室



(b) 6号機 取水路 (漸縮部)

図 4-3 Terzaghi の支持力理論に基づくすべり線の設定

4.1.2 評価結果

前述「4.1.1 評価方法」に示した方法により、7号機スクリーン室及び6号機取水路（漸縮部）について、液状化検討対象層（A2s層及びA2g層（砂質））の過剰間隙水圧の上昇を踏まえた支持性能評価を実施した。評価結果を表4-1に示す。

なお、鉛直力については、各構造物において、地震応答解析を実施した全ての解析ケース及び地震動のうち、最大となる値を用いる。

同表に示すとおり、7号機スクリーン室及び6号機取水路（漸縮部）のいずれについても、保守的な仮定として、受働領域Ⅱ及び遷移領域Ⅲのすべり面の抵抗力は考慮せず主働領域Ⅰのうち、過剰間隙水圧比が一時的に0.95を超える地盤要素がある液状化検討対象層よりも上側の地層におけるすべり面の抵抗力のみを考慮した場合でも地震時の支持性能が確保されることを確認した。

表 4-1 最大鉛直力に対する支持性能評価結果

| 評価断面 | 最大鉛直力 R_a (kN) | 支持力 R_u (kN) | 照査値 R_a/R_u |
|--------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 7号機 スクリーン室 | 2530 | 2990 | 0.85 |
| 6号機 取水路（漸縮部） | 2200 | 2960 | 0.75 |

注記*1：鉛直力は、各構造物において地震応答解析を実施した全ての解析ケース及び地震動のうち、最大となる値。

*2：液状化検討対象層より上側のA2c層と西山層及びA2a1層と西山層との境界（図4-3（a）の緑破線部分）におけるせん断抵抗を考慮しない照査値。

4.2 地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価

4.2.1 評価方法

有効応力解析 F L I P による地震応答解析では、水平地震動と鉛直地震動を同時に入力し、耐震安全性評価を実施していることから、この解析結果を用いて地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価を行う。

本検討では、施設下方の液状化検討対象層の過剰間隙水圧が上昇する範囲を踏まえ、Terzaghi の支持力理論に基づくすべり線を設定する。続いて、有効応力解析 F L I P による地震応答解析から時刻歴の地盤の応力状態を抽出し、すべり線上の作用力と抵抗力を比較することにより支持性能評価を行う。

地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価のフロー図を図 4-4 に、地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価の概念図を図 4-5 に示す。

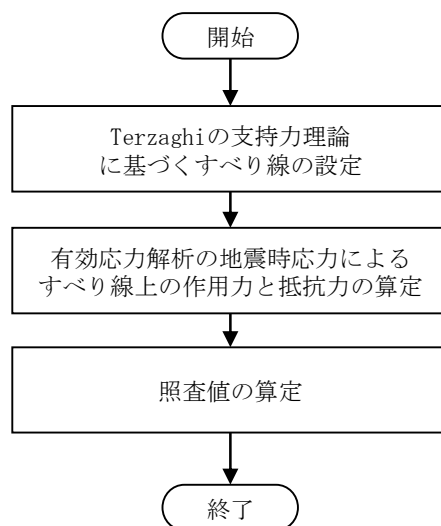


図 4-4 地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価のフロー図

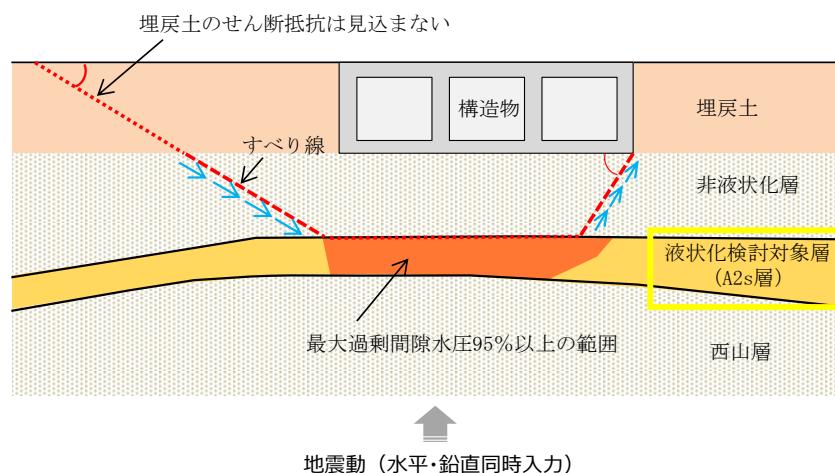
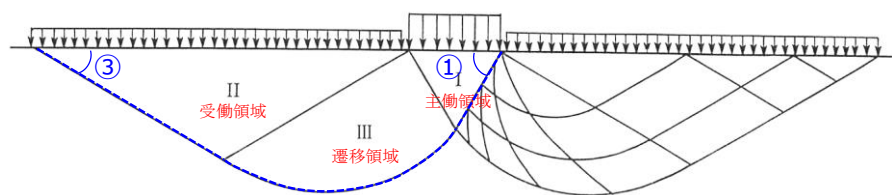


図 4-5 地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価の概念図

(1) すべり線の設定

すべり線の設定方法の概念図を図 4-6 に示す。

本検討におけるすべり線の選定は、まず、主働領域 I における構造物端部から、Terzaghi の支持力理論に基づき、地盤の内部摩擦角に応じた角度① ($45^\circ + \phi/2$) を設定する。次に、地震応答解析の結果から最大過剰間隙水圧比が 95%以上となる範囲に基づき、水平方向のすべり線として②の領域を設定する。最後に、②の領域の端部から地表面まで、Terzaghi の支持力理論に基づき、受働領域 II における角度③ ($45^\circ - \phi/2$) ですべり線を設定し、構造物端部から地表面までの連続したすべり線を設定する。



Terzaghi の支持力理論 概念図
(引用：土質力学，石原研而，丸善に一部加筆)

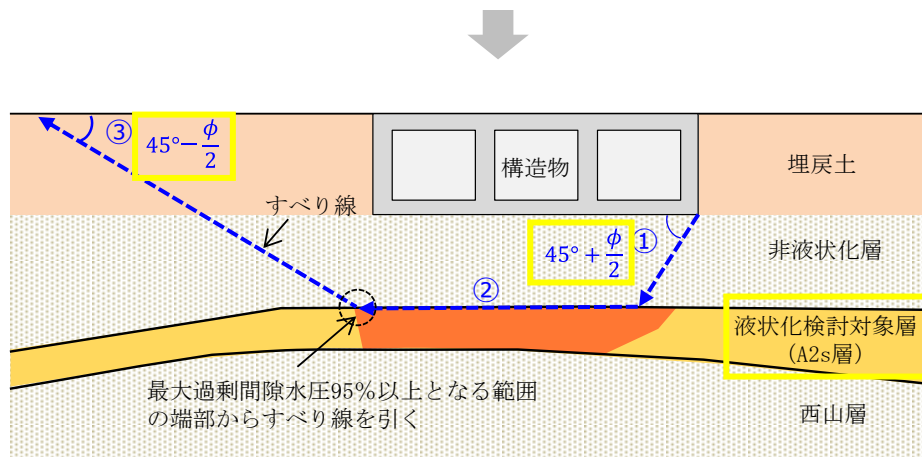
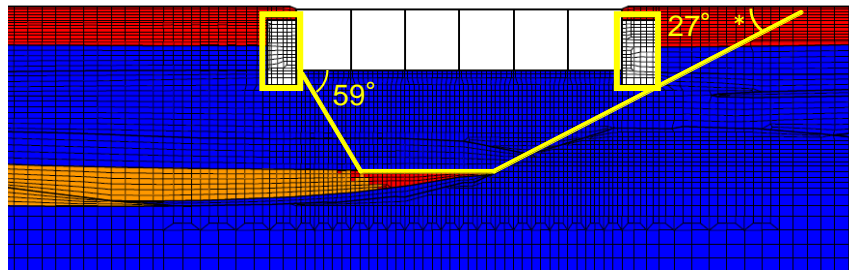
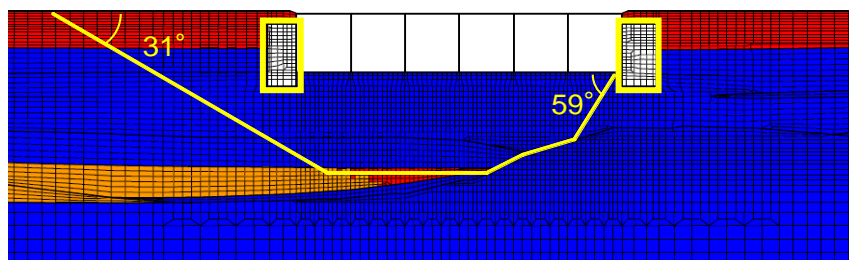


図 4-6 すべり線の設定方法の概念図



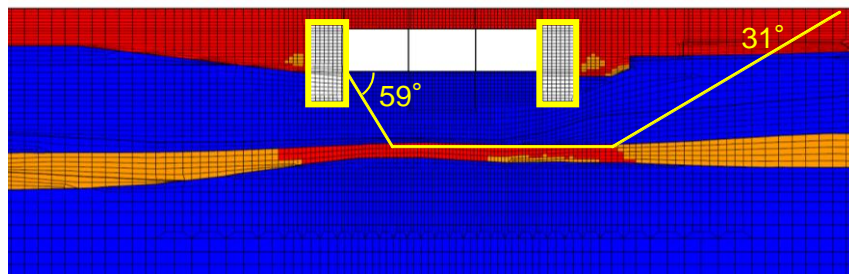
注記* : Terzaghi の支持力理論に基づき、角度③を設定した場合、すべり線上に地盤改良体が位置するため、地盤改良体を通らない位置にすべり線を設定し、角度を補正 ($31^{\circ} \rightarrow 27^{\circ}$)

(a) 右すべり線

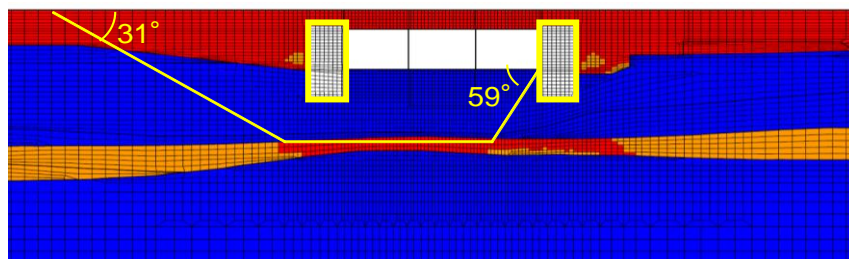


(b) 左すべり線

図 4-7 すべり線の設定結果 (7号機 スクリーン室)



(a) 右すべり線



(b) 左すべり線

図 4-8 すべり線の設定結果 (6号機 取水路 (漸縮部))

(2) 照査値の算定

地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価における照査値の算定フローを図 4-9 に、地盤の強度定数を表 4-2 に示す。なお、有効応力解析で過剰間隙水圧比が 0.95 以上となった地盤要素は、過剰間隙水圧比が 0.95 以上となった時刻以降の強度を 0 とする。

地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価は、表 4-3 に示す液状化を考慮した解析ケース①～③のうち、地震応答解析を実施している全ての解析ケース・地震動について行う。

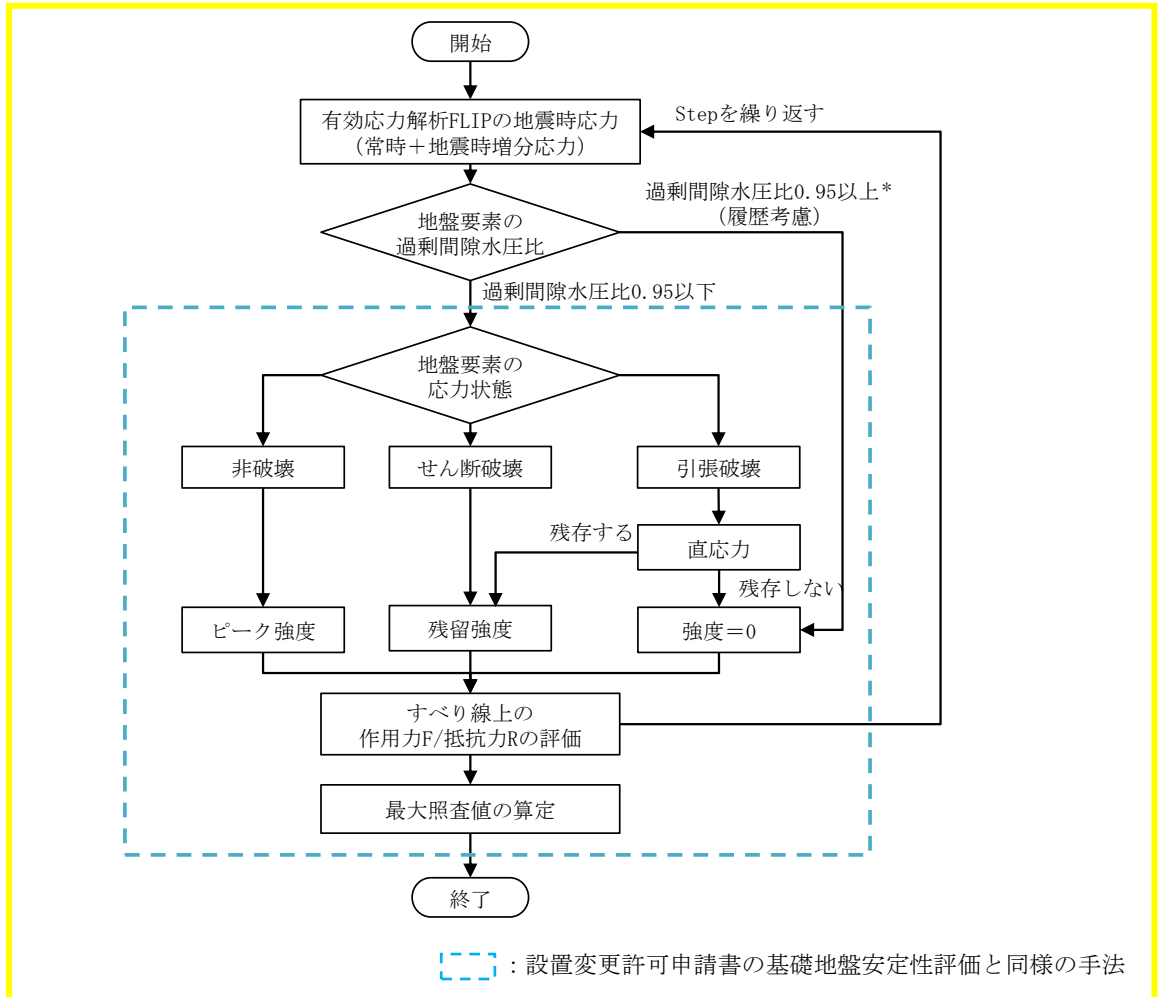


図 4-9 地震時の水平力・鉛直力に対する支持性能評価における照査値の算定フロー

表 4-2 地盤の強度定数

| | ピーク強度 | | 残留強度 | |
|--------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| | 粘着力 c' (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ' (°) | 粘着力 c' (kN/m ²) | 内部摩擦角 ϕ' (°) |
| A3a1 層 | 29.2 | 34.2 | 14.7 | 28.1 |
| A2c 層 | 113 | 27.9 | 73.9 | 18.8 |
| A2a1 層 | 82.8 | 28.7 | 62.8 | 22.9 |
| A2s 層* | 0 | 36.6 | 0 | 35.0 |

注：埋戻土及び新期砂層については、強度を 0 として扱う。

注記*：A2s 層の粘着力 c は 0 として扱う。

表 4-3 耐震評価における解析ケース一覧

| 解析ケース | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|------------------------|
| 地盤剛性の設定 | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1 σ) | 地盤剛性 (-1 σ) | 地盤剛性 (平均値) | 地盤剛性 (+1 σ) |
| 液状化強度特性の設定 | 液状化強度特性 (-1 σ) | 液状化強度特性 (-1 σ) | 液状化強度特性 (-1 σ) | 液状化パラメータを非適用 | 液状化パラメータを非適用 |

4.2.2 評価結果

評価結果を表 4-4 に示す。これより、7号機スクリーン室及び6号機取水路（漸縮部）は、いずれもすべり線上の作用力が抵抗力を下回ることから、水平力・鉛直力同時作用に対しても支持性能を有していることを確認した。

表 4-4 水平力・鉛直力同時作用に対する支持性能評価結果

| 評価断面 | 方向 | 解析ケース | 基準地震動 | すべり線上の作用力F (kN) | すべり線上の抵抗力R (kN) | 最大照査値 F/R | 判定 |
|-------------|------|-------|--------|-----------------|-----------------|-------------------|----|
| 7号機スクリーン室 | 右すべり | ① | Ss-1-- | 4885 | 6184 | 0.79 (4.88 s) | OK |
| | 左すべり | ① | Ss-3-- | 4362 | 5547 | 0.79 (17.65 s) | OK |
| 6号機取水路(漸縮部) | 右すべり | ③ | Ss-3-- | 5431 | 9326 | 0.59 (17.78 s) | OK |
| | 左すべり | ① | Ss-3-+ | 4417 | 7156 | 0.62 (17.72 s) | OK |

注： () 内の数値は最大照査値発生時刻を示す。

5. まとめ

スクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路のうち，当工事計画認可において液状化検討対象層として扱う A2s 層が構造物下方に分布する構造物について，地震時及び地震終了時の過剰間隙水圧比を確認した結果，一部の構造物において，液状化検討対象層（A2s 層）の過剰間隙水圧比が地震に伴い一時的に 0.95 を超えるものの，地震終了時には概ね 0.95 以下となることから，これらの地層はサイクリックモビリティを示していることを確認した。

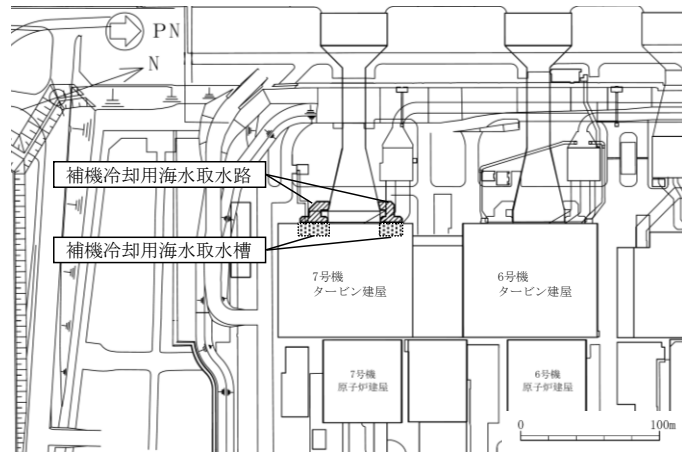
また，構造物下方に分布する液状化検討対象層（A2s 層）の過剰間隙水圧比が地震に伴い一時的に 0.95 を超える構造物に対して，保守的な仮定をした支持性能評価を実施した場合においても，十分な支持性能が確保されることを確認した。

(参考資料 8) タービン建屋接合部の健全性について

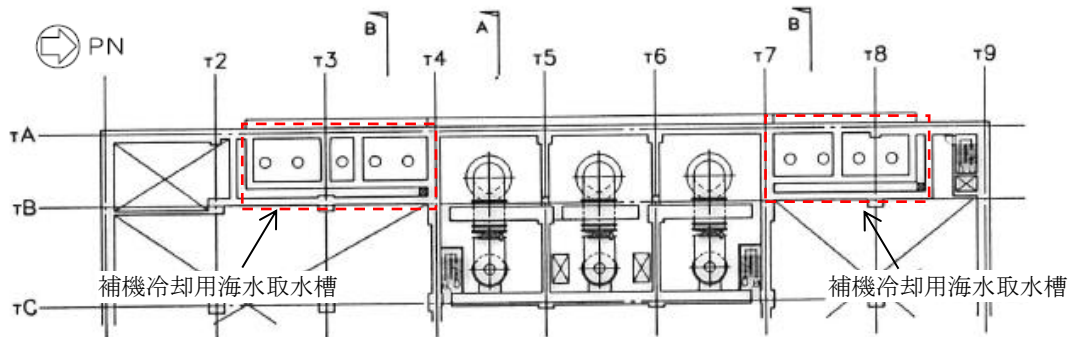
1. はじめに

図 1-1 に示すとおり，補機冷却用海水取水路は，タービン建屋内の補機冷却用海水取水槽と耐震ジョイントを介して接続している。

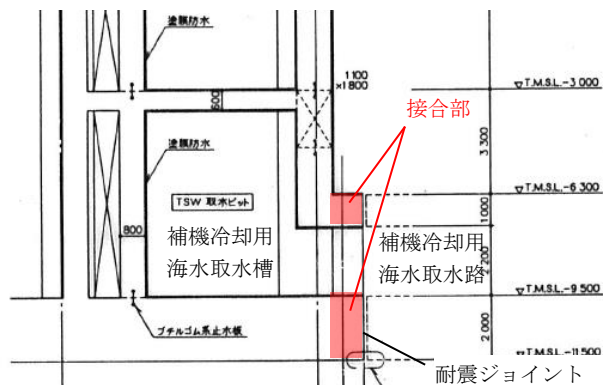
本検討では，地震時における補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽との接合部の健全性について検討する。



(a) 平面配置図



(a) 補機冷却用海水取水槽の平面図



(b) 補機冷却用海水取水槽の断面図 (B断面)

図 1-1 補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽との接合部 概要図

2. 検討内容

2.1 検討方針

地震時においては、補機冷却用海水取水路の妻壁に作用する土水圧により、耐震ジョイントを介して、補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽との接合部において、支圧破壊が発生することが想定される。

本検討では、3次元構造解析モデルを用いて、地震時における補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽の接合部における境界反力を抽出し、補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽の接合部における発生応力とコンクリートの許容支圧応力を比較し、補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽の接合部の健全性を確認する。

2.2 評価方法

3次元構造解析における補機冷却用海水取水路の解析モデルを、図 2-1 に示す。本モデルでは、補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽との接合部はローラー境界としており、NS方向及び鉛直方向は可動とし、EW方向には固定としている。

補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽の接合部に作用する応力は、本モデルの接合部における境界反力を抽出し、接合部の面積で除すことにより算定する。

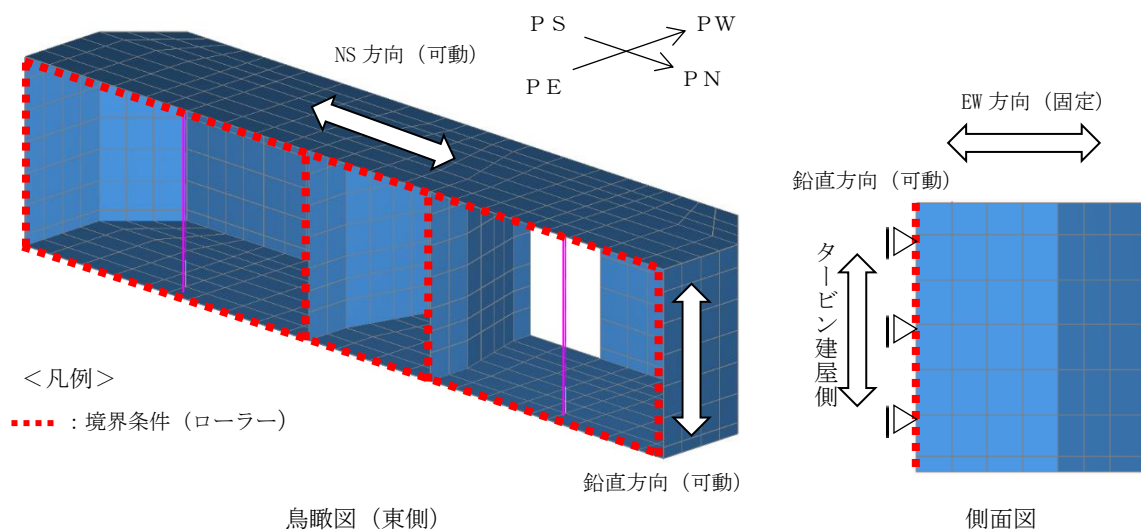


図 2-1 補機冷却用海水取水路の3次元構造解析モデル

2.3 許容限界

支圧破壊の照査は、コンクリート標準示方書の鉄筋コンクリートの許容応力度に基づき、評価を実施する。コンクリートの設計基準強度は、補機冷却用海水取水路は 23.5 (N/mm²)、補機冷却用海水取水槽は 29.4 (N/mm²) であることから、小さい方の 23.5 (N/mm²) を接合部の設計基準強度とする。

コンクリートの許容支圧応力度は、以下に示す式(1)に基づき、7.0 (N/mm²) とする。なお、許容支圧応力度の算定式は、図 1-1 に示したとおり、補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽の接合部が全面突合せで接合されていることから、全面載荷条件とする。

$$\sigma'_{ca} \leq 0.3f'_{ck} \quad \text{式(1)}$$

ここで、

σ'_{ca} : 許容支圧応力度

f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (=23.5 (N/mm²))

3. 評価結果

検討ケースは、補機冷却用海水取水路の 3 次元構造解析の地震動及び解析ケースのうち、EW 方向の土圧が最も大きい S s-1-+, 解析ケース①とする。

支圧破壊の評価結果を、表 3-1 に示す。

表 3-1 支圧破壊の評価結果

| | 接合部位 | 最大発生応力* σ (N/mm ²) | 許容支圧応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ / σ_{ca} |
|--------------------|------|--|---|-------------------------------|
| 補機冷却用海水取水路 (南側) | 頂版 | 1.00 | 7.0 | 0.15 |
| | 隔壁 | 0.22 | 7.0 | 0.05 |
| | 側壁 | 1.13 | 7.0 | 0.20 |
| | 底版 | 0.48 | 7.0 | 0.17 |
| 補機冷却用海水取水路 (北側) | 頂版 | 0.93 | 7.0 | 0.19 |
| | 隔壁 | 0.33 | 7.0 | 0.05 |
| | 側壁 | 0.99 | 7.0 | 0.21 |
| | 底版 | 0.47 | 7.0 | 0.17 |

注記* : 最大発生応力 σ は、接合部の各部位のうち、境界反力が最大となる要素における境界反力 P_{max} 及び同要素の載荷面積 A により算定。($\sigma = P_{max}/A$)

4. まとめ

本検討では、地震における補機冷却用海水取水路と補機冷却用海水取水槽との接合部の健全性について検討するため、補機冷却用海水取水路の 3 次元構造解析モデルの境界反力に基づき、接合部の支圧破壊に対する評価を実施した。

検討の結果、地震時に接合部に発生する支圧応力は、許容支圧応力度を下回ることから、地震時における補機冷却用海水取水路の接合部の健全性を確認した。

(参考資料 9) 3次元構造解析におけるモデル化の妥当性について

1. はじめに

補機冷却用海水取水路については、構造物の3次元的な形状の影響を考慮するため、地震応答解析(2次元動的有限要素法解析)による応答値を用いて、3次元構造解析(3次元静的有限要素法解析)により構造部材の耐震評価を実施している。

本検討では、補機冷却用海水取水路の地震応答解析と3次元構造解析の断面力及び変形を比較し、3次元構造解析モデルの妥当性について確認する。

2. 検討内容

2.1 解析モデルの概要

地震応答解析では、側壁、隔壁、底版、頂版及び柱を非線形はり要素で、妻壁部については線形平面ひずみ要素でモデル化している。3次元構造解析では、補機冷却用海水取水路の側壁、隔壁、底版、頂版及び妻壁を非線形積層シェル要素で、柱を非線形はり要素でモデル化している。

補機冷却用海水取水路の地震応答解析の解析モデルの概要を図 2-1 に、3次元構造解析の解析モデルの概要を図 2-2 に示す。

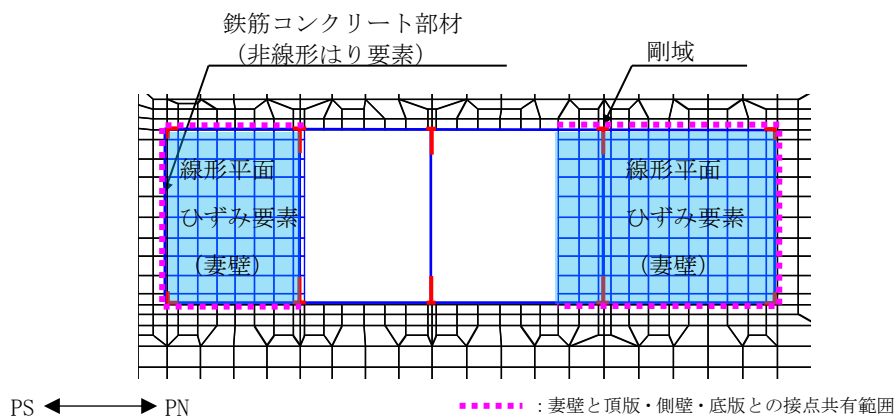


図 2-1 地震応答解析の解析モデルの概要 (補機冷却用海水取水路 (北側))

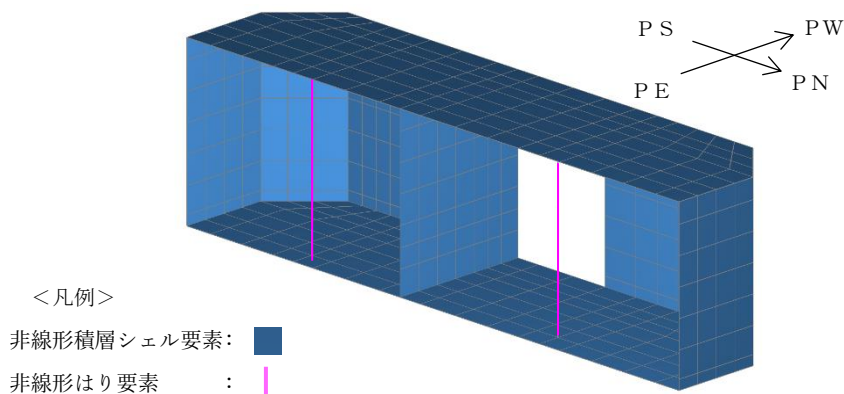


図 2-2 3次元構造解析の解析モデルの概要 (補機冷却用海水取水路 (北側))

2.2 比較条件

2.2.1 検討ケース

検討ケースは、補機冷却用海水取水路における3次元構造解析の照査値が最大となる解析ケース及び地震動とする。対象は、補機冷却用海水取水路（南側）よりも照査値が大きい補機冷却用海水取水路（北側）とする。

本検討は、3次元構造解析におけるモデル化の妥当性を確認する観点から、一方向加振による外力に対して検討を行うものとする。具体的には、A-A断面における地震応答解析の応答とNS方向及び鉛直方向の外力に対する3次元構造解析の応答を比較する。

表 2-1 検討ケース

| 対象 | 解析ケース | 地震動 | 照査時刻(s) |
|----------------|--------|---------|---------|
| 補機冷却用海水取水路（北側） | 解析ケース④ | S s-1+- | 4.76 |

2.2.2 比較項目

地震応答解析と3次元構造解析との比較項目を表 2-2 に示す。各項目の比較結果から、補機冷却用海水取水路の3次元構造解析におけるモデル化の妥当性を確認する。補機冷却用海水取水路（北側）の部材構成を図 2-3 に示す。

表 2-2 比較項目

| 比較項目 | | 着目箇所 |
|-------|---------|-----------------------------|
| 変形 | 変形図 | 構造物全体 |
| | 層間変位 | 側壁，隔壁 |
| 発生断面力 | 曲げモーメント | 地震応答解析における各部材の最大曲げモーメント発生位置 |
| | せん断力 | 地震応答解析における各部材の最大せん断力発生位置 |

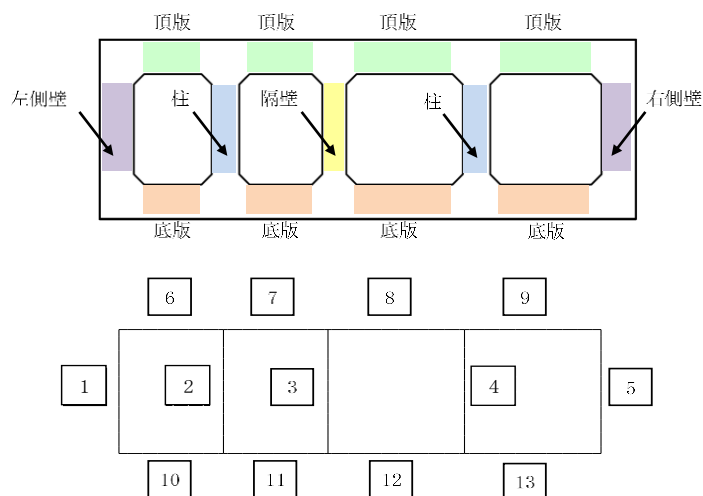


図 2-3 補機冷却用海水取水路（北側）の部材構成

2.3 比較結果

2.3.1 構造部材の変形

地震応答解析の変形図を図 2-4、3次元構造解析の変形図を図 2-5、側壁及び隔壁の層間変位の算定結果を表 2-3 に示す。

地震応答解析と3次元構造解析を比較すると、地震応答解析では開口部における変形が大きくなる傾向にあり、3次元構造解析では側壁（南側）や頂版などにおいて局部的なたわみが生じる傾向にある。また、表 2-3 に示す層間変位に着目すると、側壁では地震応答解析の方が層間変位が小さいが、隔壁では地震応答解析の方が層間変位が大きくなっている。

これは、前述 2.1 に示した解析モデルにおける妻壁のモデル化方法の違いに起因していると考えられる。例として、側壁に着目すると、3次元構造解析においては、土圧により部材中央部が大きく変形しているのに対し、地震応答解析においては、解析奥行き方向に対して等価な剛性として線形平面ひずみ要素でモデル化しているため、妻壁により変形が拘束されており、両者の側壁の変形モードが異なっている。

以上のことから、3次元構造解析においては、構造物を精緻にモデル化することにより、構造物の形状に則した3次元的な変形が現れていると判断できる。

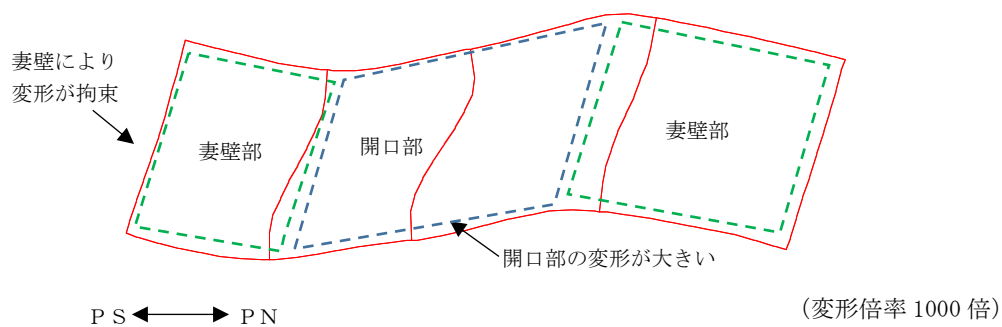


図 2-4 地震応答解析の変形図（補機冷却用海水取水路（北側））

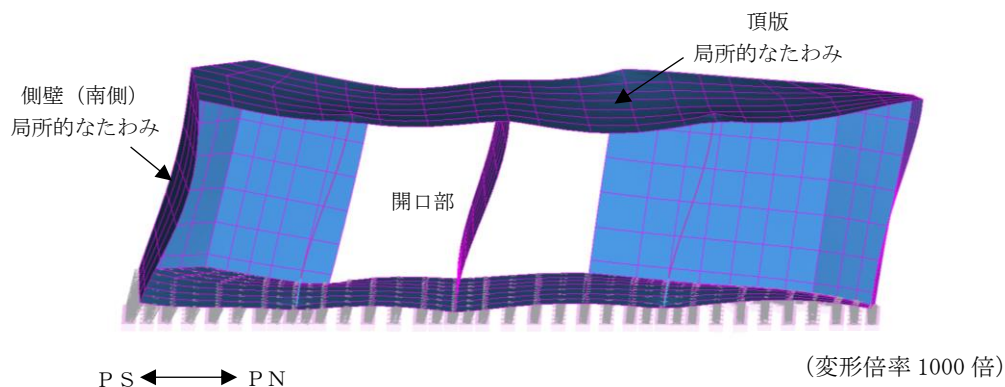


図 2-5 3次元構造解析の変形図（補機冷却用海水取水路（北側））

表 2-3 層間変位の算定結果 (単位: mm)

| 算定位置 | 地震応答解析 | 3次元構造解析 |
|-------------------|--------|--------------------|
| 側壁(南側)下端～側壁(南側)上端 | 0.55 | 0.68 ^{*1} |
| 隔壁下端～隔壁上端 | 2.02 | 1.05 ^{*2} |
| 側壁(北側)下端～側壁(北側)上端 | 0.60 | 0.51 ^{*3} |

注記*1: 底版(水路側開口部の範囲)の回転角を考慮した値

*2: 側壁(南側)の奥行方向の平均値(西側: 0.33 mm, 中央: 0.65 mm, 東側: 1.06 mm)

*3: 隔壁の奥行方向の平均値(西側: 1.02 mm, 中央: 0.98 mm, 東側: 1.15 mm)

*4: 側壁(北側)の奥行方向の平均値(西側: 0.14 mm, 中央: 0.44 mm, 東側: 0.96 mm)

2.3.2 構造部材の発生断面力

(1) 発生曲げモーメント

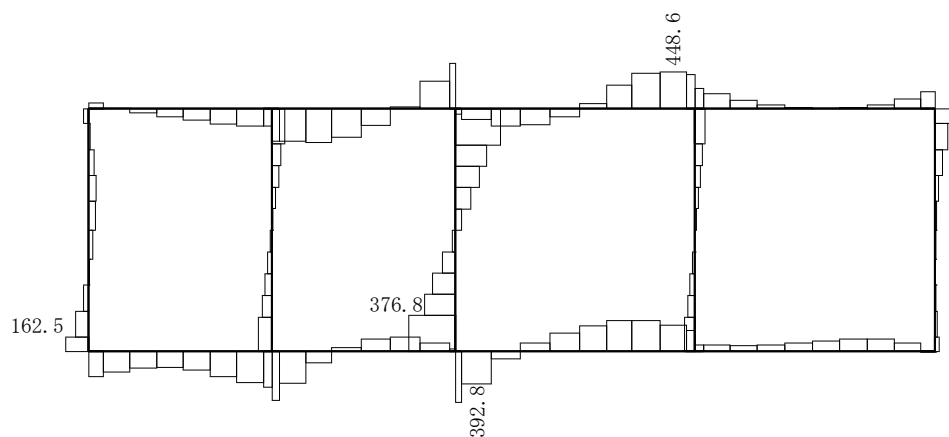
地震応答解析における発生曲げモーメントの断面力分布図を図 2-6, 3次元構造解析における発生曲げモーメントの断面力コンター図を図 2-7, 各部材の最大発生曲げモーメントの比較結果を表 2-4 に示す。

地震応答解析と3次元構造解析を比較した結果, 地震応答解析の方が隔壁, 頂版, 底版の応答が大きい結果となった。

この要因として, 前述 2.3.1 に示したように妻壁のモデル化方法に起因する変形モードの違いが考えられ, 地震応答解析では開口部に変形が大きく現れるため, 隔壁, 頂版, 底版の曲げモーメントが3次元構造解析と比べて大きくなったものと考えられる。

一方, 3次元構造解析では, 側壁, 底版, 頂版の東側で局部的な断面力が生じている。これは, 構造上, 妻壁がない東側の方が曲げ変形が発生しやすいためと考えられる。

以上のことから, 3次元構造解析においては, 構造物を精緻にモデル化することにより, 構造物の形状に則した3次元的な応答を示していると判断できる。



(単位: kN・m/m)

注: 記載の数値は各部材の発生曲げモーメントの最大値を示しており, 当該箇所について, 地震応答解析と3次元構造解析の発生曲げモーメントを表 2-4 で比較する。

図 2-6 地震応答解析における発生曲げモーメントの断面力分布図

(補機冷却用海水取水路(北側), S s-1+-, t=4.76(s))

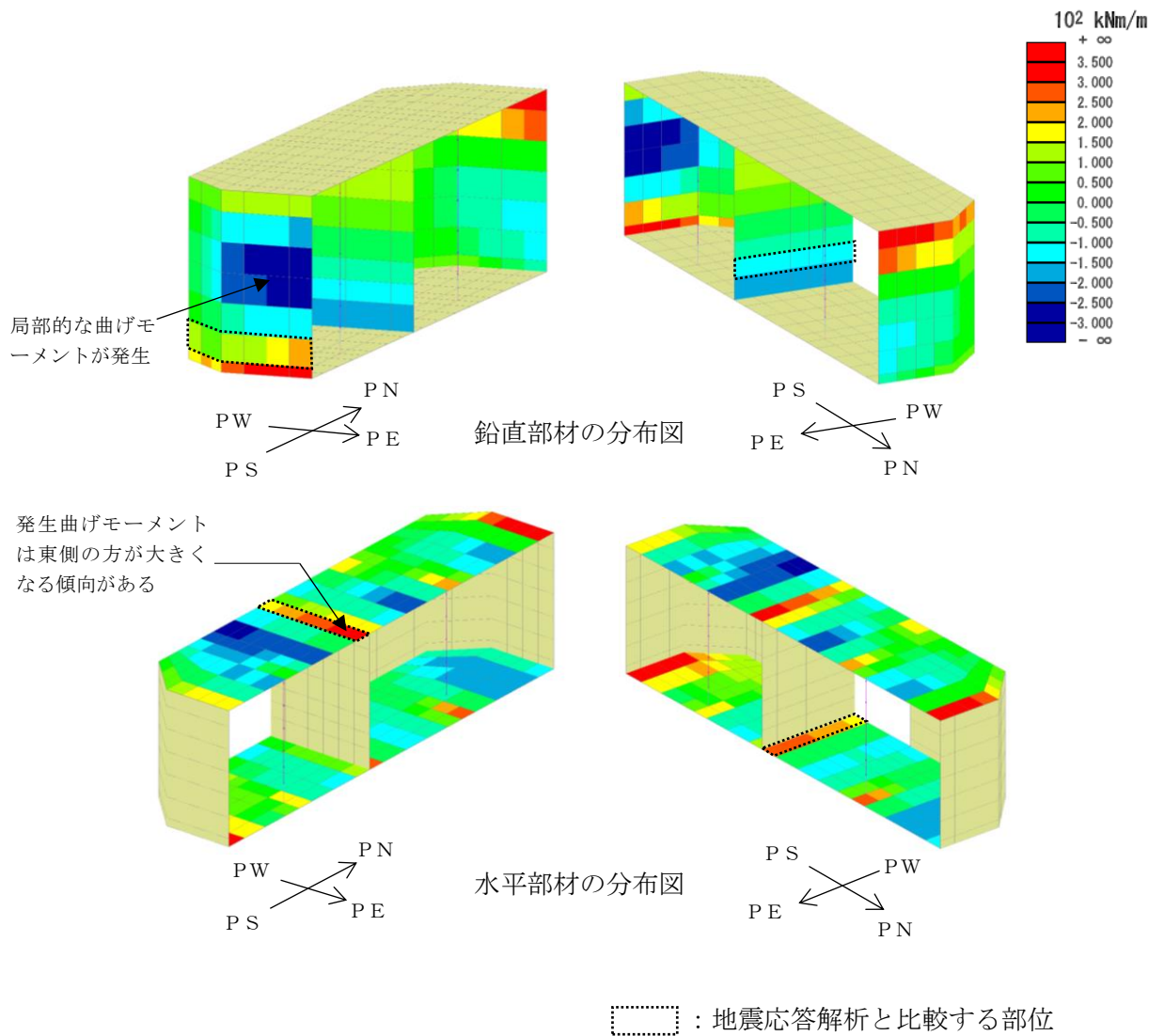


図 2-7 3次元構造解析における発生曲げモーメントの断面力コンター図

表 2-4 各部材の最大発生曲げモーメントの比較結果 (単位: kN・m/m)

| 部材 | 地震応答解析 | 3次元構造解析*1 | 評価位置*2 |
|----|--------|-----------|---------------------------------|
| 隔壁 | 376.8 | 113.6 | 3 |
| 側壁 | 162.5 | 137.9 | 1 |
| 頂版 | 448.6 | 258.4 | 8 (地震応答解析) *3 7 (3次元構造解析) *3 |
| 底版 | 392.8 | 245.9 | 12 |

注記*1 : 奥行方向の各要素の応答値を平均化し、曲げモーメントを算定。

*2 : 評価位置は図 2-3 に示す。

*3 : 地震応答解析と3次元構造解析で、応答がそれぞれ卓越する箇所と比較。

(2) 発生せん断力

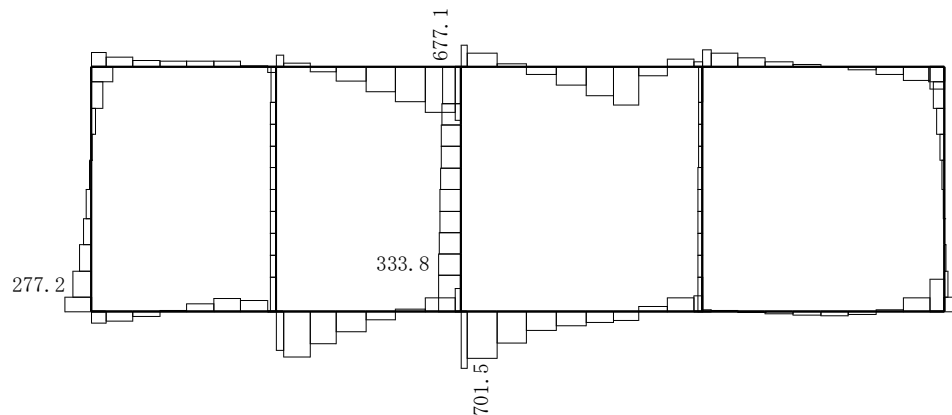
地震応答解析における発生せん断力の断面力分布図を図 2-8, 3次元構造解析における発生せん断力の断面力コンター図を図 2-9, 各部材の発生せん断力の比較結果を表 2-5 に示す。

発生せん断力は、隔壁、頂版、底版については地震応答解析の方が大きく、側壁については3次元構造解析の方が大きい結果となった。

この要因は、地震応答解析では開口部に変形が大きく現れるため、隔壁、頂版、底版の発生せん断力が3次元構造解析と比べて大きくなったものと考えられる。

一方、3次元構造解析では、妻壁のない東側の発生せん断力が大きくなっており、前述した発生曲げモーメントの応答と同様に、構造物の形状に応じた応答を示している。

以上のことから、3次元構造解析においては、構造物を精緻にモデル化することにより、構造物の形状に則した3次元的な応答を示していると判断できる。



(単位 : kN/m)

注 : 記載の数値は各部材の発生せん断力の最大値を示しており、当該箇所について、地震応答解析と3次元構造解析の発生せん断力を表 2-5 で比較する。

図 2-8 地震応答解析における発生せん断力の断面力分布図
(補機冷却用海水取水路 (北側), S_s-1+- , $t=4.76(s)$)

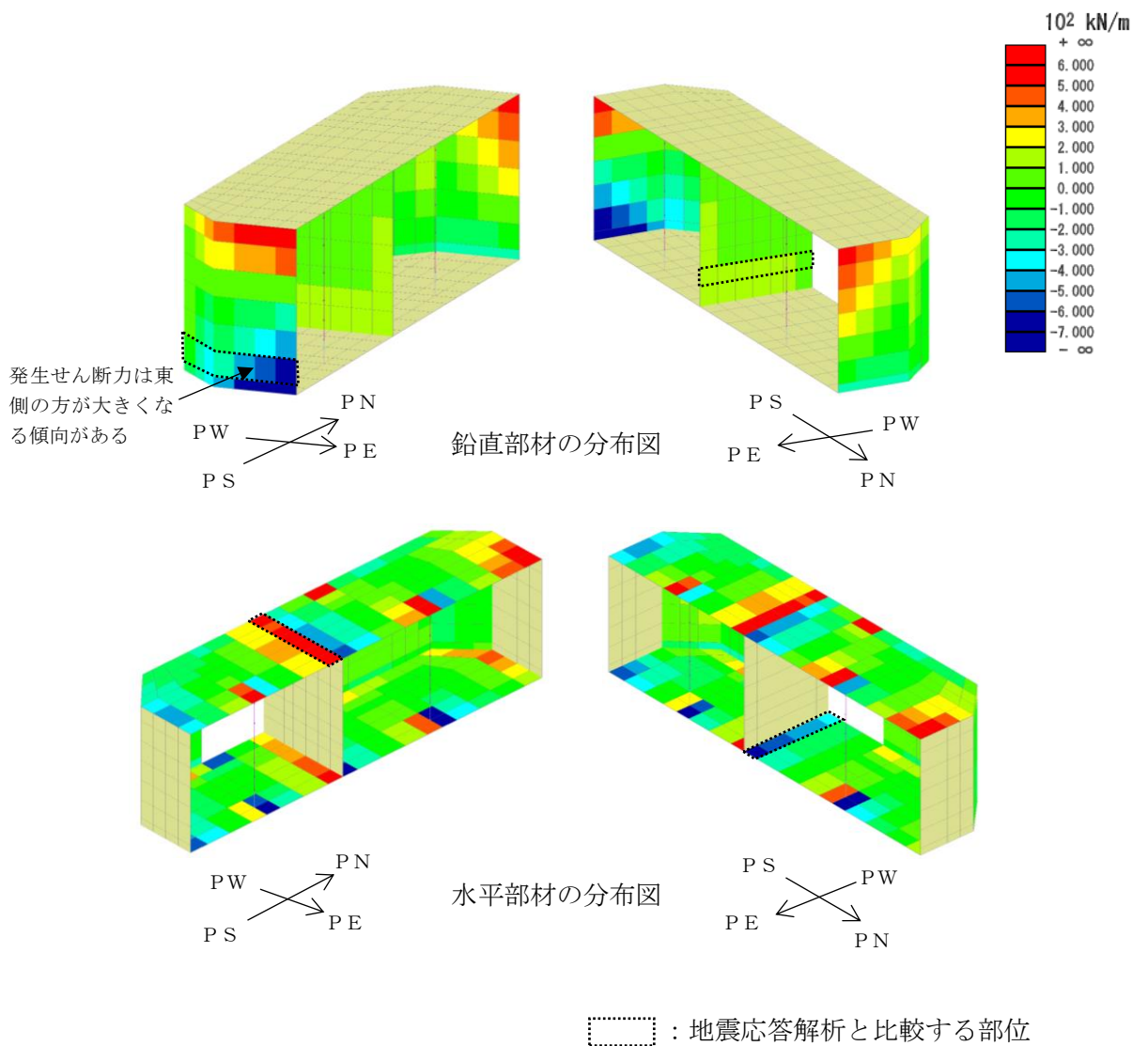


図 2-9 3次元構造解析における発生せん断力の断面力コンター図
(補機冷却用海水取水路 (北側), S s-1+-, t=4.76(s))

表 2-5 各部材の発生せん断力の比較結果 (単位: kN/m)

| 部材 | 地震応答解析 | 3次元構造解析* ¹ | 評価位置* ² |
|----|--------|-----------------------|--------------------|
| 隔壁 | 333.8 | 109.3 | 3 |
| 側壁 | 277.2 | 385.1 | 1 |
| 頂版 | 677.1 | 528.9 | 7 |
| 底版 | 701.5 | 495.9 | 12 |

注記*1 : 奥行方向の各要素の応答値を平均化し, せん断力を算定。

*2 : 評価位置は, 図 2-3 に示す。

3. まとめ

本検討では、補機冷却用海水取水路について、地震応答解析と3次元構造解析の変形及び断面力を比較し、補機冷却用海水取水路の3次元構造解析モデルの妥当性について確認した。

変形を比較した結果、妻壁のモデル化方法の違いに起因して、地震応答解析と3次元構造解析で変形モードが異なり、3次元構造解析では構造物の形状に則した3次元的な変形を示すことを確認した。

また、発生断面力を比較した結果、3次元構造解析は、妻壁のない東側で断面力が大きく現れており、構造物の形状に則した3次元的な応答を示していることを確認した。

以上のことから、水路軸方向に形状が変化する補機冷却用海水取水路に3次元構造解析を適用することは妥当であると判断できる。