

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

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | 02-補-E-19-0610-20_改12 |
| 提出年月日 | 2021年7月28日 |

補足－610－20 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】

目 次

資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

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

資料 2 軽油タンク連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価

資料 4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震安全性評価

資料 5 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震安全性評価

資料 6 取水路（漸拡部）の耐震安全性評価

資料 7 軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 8 軽油タンク室（H）の耐震安全性評価

資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価

資料 10 取水口，貯留堰の耐震安全性評価

資料 11 取水路（標準部）の耐震安全性評価

資料 12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価

資料 13 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震安全性評価

資料 14 第 3 号機海水ポンプ室の耐震安全性評価



: 本日の説明範囲

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

補足説明資料と添付書類との関連

| 工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち 補足－610－20 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】 | 該当添付書類 |
|---|--|
| 1. 対象設備 | 共通事項 |
| 2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容 | |
| 2.1 支持機能 | 共通事項 |
| 2.2 通水機能 | 共通事項 |
| 2.3 貯水機能 | 共通事項 |
| 2.4 止水機能 | 共通事項 |
| 2.5 屋外重要土木構造物等の耐震安全性に関する整理 | 共通事項 |
| 3. 安全係数 | 共通事項 |
| 4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定 | |
| 4.1 断面選定の方針 | 共通事項 |
| 4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理 | 共通事項 |
| 4.3 解析手法選定の方針 | 共通事項 |
| 4.4 軽油タンク連絡ダクト | VI-2-2-19 軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書 |
| 4.5 排気筒連絡ダクト | VI-2-2-27 排気筒連絡ダクトの地震応答計算書 |
| 4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト | VI-2-2-11 原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)の地震応答計算書 VI-2-2-12-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の耐震性についての計算書 |
| 4.7 取水路(漸拡部) | VI-2-10-4-4-1 取水路(漸拡部)の耐震性についての計算書 |
| 4.8 軽油タンク室 | VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書 |

| | | |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| | 4.9 軽油タンク室 (H) | VI-2-2-15 軽油タンク室 (H) の地震応答計算書 |
| | 4.10 海水ポンプ室 | VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書 |
| | 4.11 取水口, 貯留堰 | VI-2-10-4-3 取水口の耐震性についての計算書 |
| | 4.12 取水路 (標準部) | VI-2-10-4-4-2 取水路 (標準部) の耐震性についての計算書 |
| | 4.13 復水貯蔵タンク基礎 | VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書 |
| | 4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室 | VI-2-2-17 ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書 |
| | 4.15 第3号機海水ポンプ室 | VI-2-2-9 第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書 |
| 5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法 | | |
| | 5.1 耐震安全性評価における解析ケース | 共通事項 |
| | 5.2 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケースの組合せ | 共通事項 |
| | 5.3 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース | 共通事項 |
| 6. 許容限界 | | |
| | 6.1 許容応力度法による耐震安全性評価 | 共通事項 |
| | 6.2 限界状態設計法による照査 | 共通事項 |
| | 6.3 土木学会マニュアル2005の適用性 | 共通事項 |
| 7. ジョイント要素のばね設定 | | |
| 8. 隣接構造物のモデル化方針 | | |
| 9. 地震応答解析における構造物の減衰定数 | | |
| | 9.1 時刻歴応答解析 (全応力解析) で設定する Rayleigh 減衰 | 共通事項 |
| | 9.2 時刻歴応答解析 (有効応力解析) で設定する Rayleigh 減衰 | 共通事項 |
| 10. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定 | | |
| | 10.1 評価方針 | 共通事項 |
| 11. 等価剛性モデルの設定方針 | | |
| | 11.1 等価剛性モデルを設定する構造物 | 共通事項 |
| | 11.2 等価剛性モデルの設定手順 | 共通事項 |

資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

目 次

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 1. 対象設備 | 1 |
| 2. 屋外重要土木構造物等の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容 | 2 |
| 2.1 支持機能 | 2 |
| 2.2 通水機能 | 3 |
| 2.3 貯水機能 | 3 |
| 2.4 止水機能 | 4 |
| 2.5 屋外重要土木構造物等の耐震安全性に関する整理 | 5 |
| 3. 安全係数 | 8 |
| 4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定 | 13 |
| 4.1 断面選定の方針 | 13 |
| 4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理 | 16 |
| 4.3 解析手法選定の方針 | 18 |
| 4.4 軽油タンク連絡ダクト | 22 |
| 4.5 排気筒連絡ダクト | 30 |
| 4.6 原子炉機器冷却海水配管ダクト | 46 |
| 4.7 取水路（漸拡部） | 57 |
| 4.8 軽油タンク室 | 71 |
| 4.9 軽油タンク室（H） | 79 |
| 4.10 海水ポンプ室 | 86 |
| 4.11 取水口，貯留堰 | 97 |
| 4.12 取水路（標準部） | 106 |
| 4.13 復水貯蔵タンク基礎 | 124 |
| 4.14 ガスタービン発電設備軽油タンク室 | 131 |
| 4.15 第3号機海水ポンプ室 | 138 |
| 5. 地盤物性及び材料物性のばらつきの考慮方法 | 148 |
| 5.1 耐震安全性評価における解析ケース | 148 |
| 5.2 屋外重要土木構造物等の耐震安全性評価における解析ケースの組合せ | 154 |
| 5.3 機器・配管系の耐震安全性評価に適用する解析ケース | 159 |
| 6. 許容限界 | 163 |
| 6.1 許容応力度法による耐震安全性評価 | 163 |
| 6.2 限界状態設計法による照査 | 165 |
| 6.3 土木学会マニュアル2005の適用性 | 175 |
| 7. ジョイント要素のばね設定 | 183 |
| 7.1 せん断強度の設定 | 184 |
| 7.2 ばね定数の設定 | 187 |
| 8. 隣接構造物のモデル化方針 | 189 |
| 9. 地震応答解析における構造物の減衰定数 | 191 |

| | | |
|------|----------------------------------|-----|
| 9.1 | 時刻歴応答解析（全応力解析）で設定する Rayleigh 減衰 | 191 |
| 9.2 | 時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定する Rayleigh 減衰 | 197 |
| 10. | 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定 | 198 |
| 10.1 | 評価方針 | 198 |
| 11. | 等価剛性モデルの設定方針 | 202 |
| 11.1 | 等価剛性モデルを設定する構造物 | 202 |
| 11.2 | 等価剛性モデルの設定手順 | 203 |

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価についての参考資料

参考資料 1 O.P. 14. 8m盤に分布する盛土・旧表土の液状化特性

参考資料 2 地中構造物の耐震性に支配的な要因の検討

参考資料 3 地震応答解析による断面選定の確認

参考資料 4 断層交差部の影響評価

参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定

参考資料 6 後施工せん断補強工法の適用性

参考資料 7 地中構造物への鉛直地震動の位相が与える影響

参考資料 8 等価剛性モデルにおける鉛直方向床応答への影響

参考資料 9 解析手法の選定 (④全応力解析) の補足確認結果

参考資料 10 追加解析ケースの詳細に選定方法の詳細について

参考資料 11 女川原子力発電所における地盤の振動特性について

参考資料 12 ジョイント要素のばね定数の妥当性確認結果について

参考資料 13 三次元構造解析による耐震評価の照査時刻の妥当性確認方針



: 本日の説明範囲

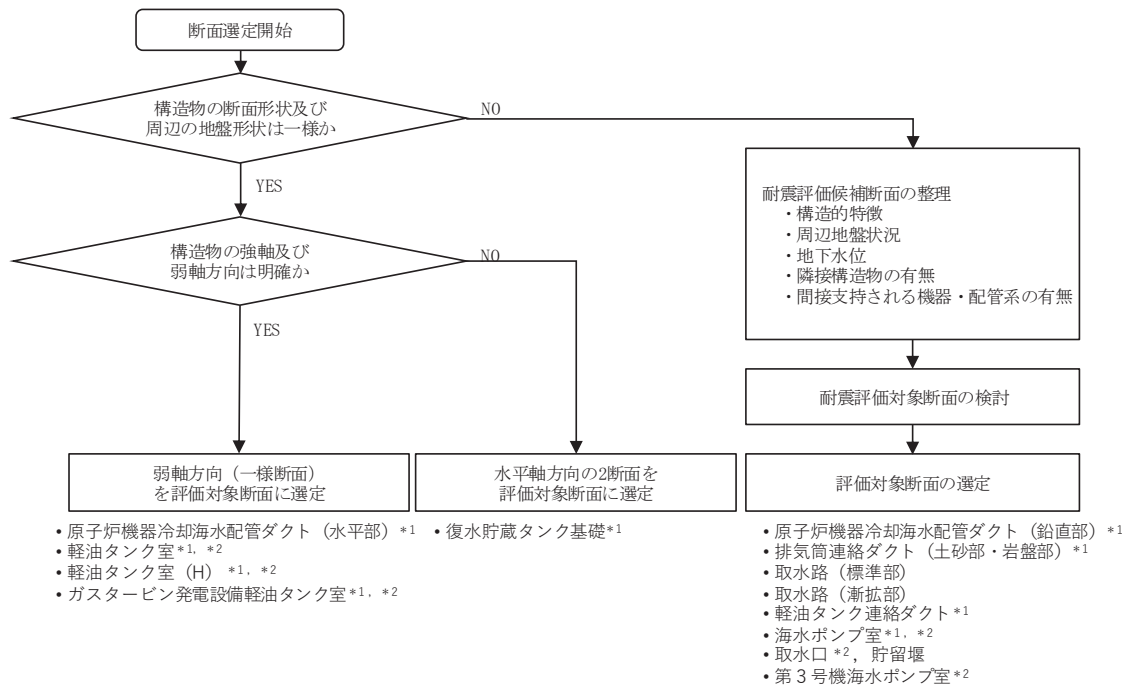
4. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定及び解析手法選定

4.1 断面選定の方針

屋外重要土木構造物等の評価対象断面については、構造物の形状、配置、周辺地盤状況、地下水位、隣接構造物の有無及び荷重条件等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

本節では断面選定の方針として、断面選定の流れ及び考慮する観点について説明し、具体的な断面選定及び結果については、4.4節以降に構造物毎に説明する。

評価対象断面の選定の流れについて、図4.1-1に示す。



注記*1：必要に応じ機器・配管系への応答加速度及び応答変位の観点から評価対象断面を選定
 *2：三次元構造解析で耐震評価するため、強軸方向荷重算定用の断面選定も実施

図4.1-1 評価対象断面の選定フロー

(1) 耐震評価候補断面の整理

以下の観点にて，耐震評価候補断面（以下「候補断面」という。）を整理する。

- ・ 構造的特徴（部材厚，内空断面，配筋，断面急変部，構造物間の連結部等）
- ・ 周辺地盤状況*¹（上載荷重，土被り厚，側方地盤，設置地盤，地盤改良体，地震波の伝播特性，断層交差部）
- ・ 地下水位*²
- ・ 隣接構造物の有無
- ・ 間接支持される機器・配管系の有無

注記*1：岩盤コンター図を図 4.1-2 に示す。

*2：地下水位低下設備を考慮した浸透流解析を実施し，その結果に基づき地下水位を設定する。地下水位の設定方法については，「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「5. 耐震評価における地下水位設定方針」に記載する。地下水位コンター図を図 4.1-3 に示す。

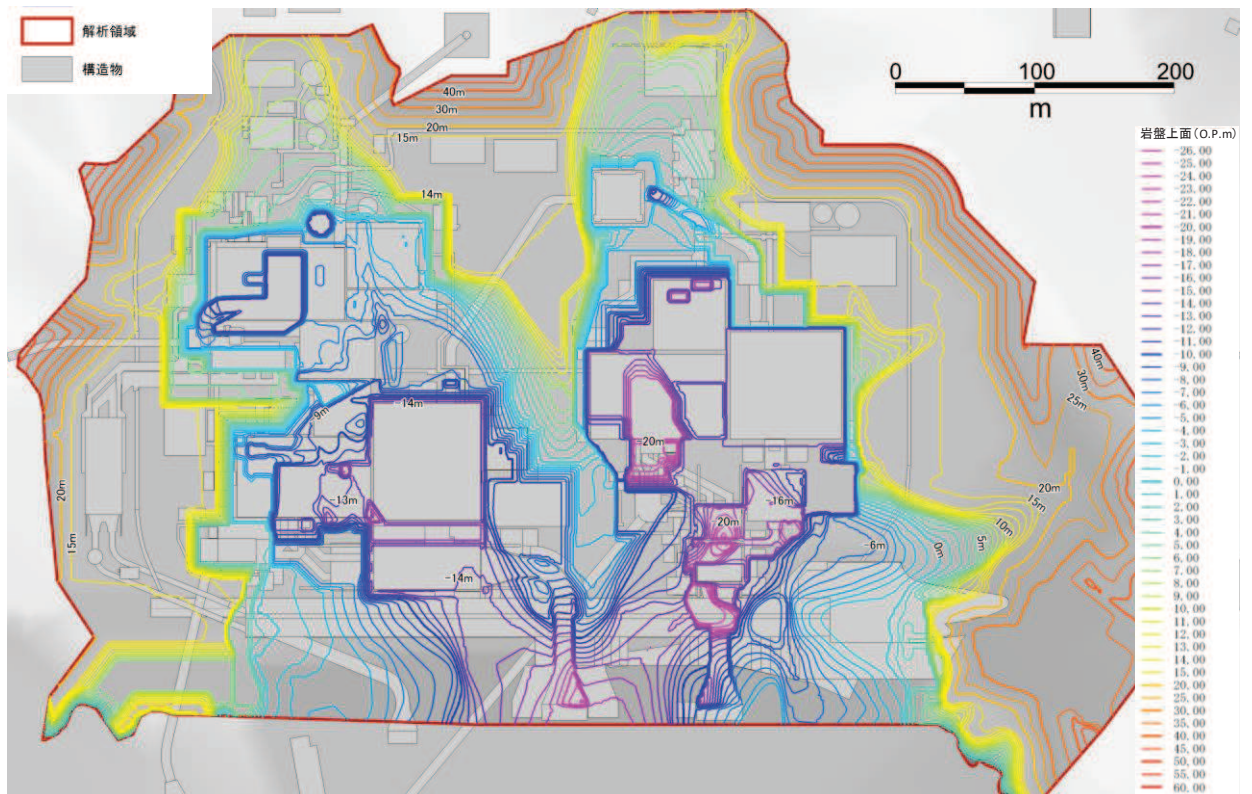


図 4.1-2 岩盤上面コンター図

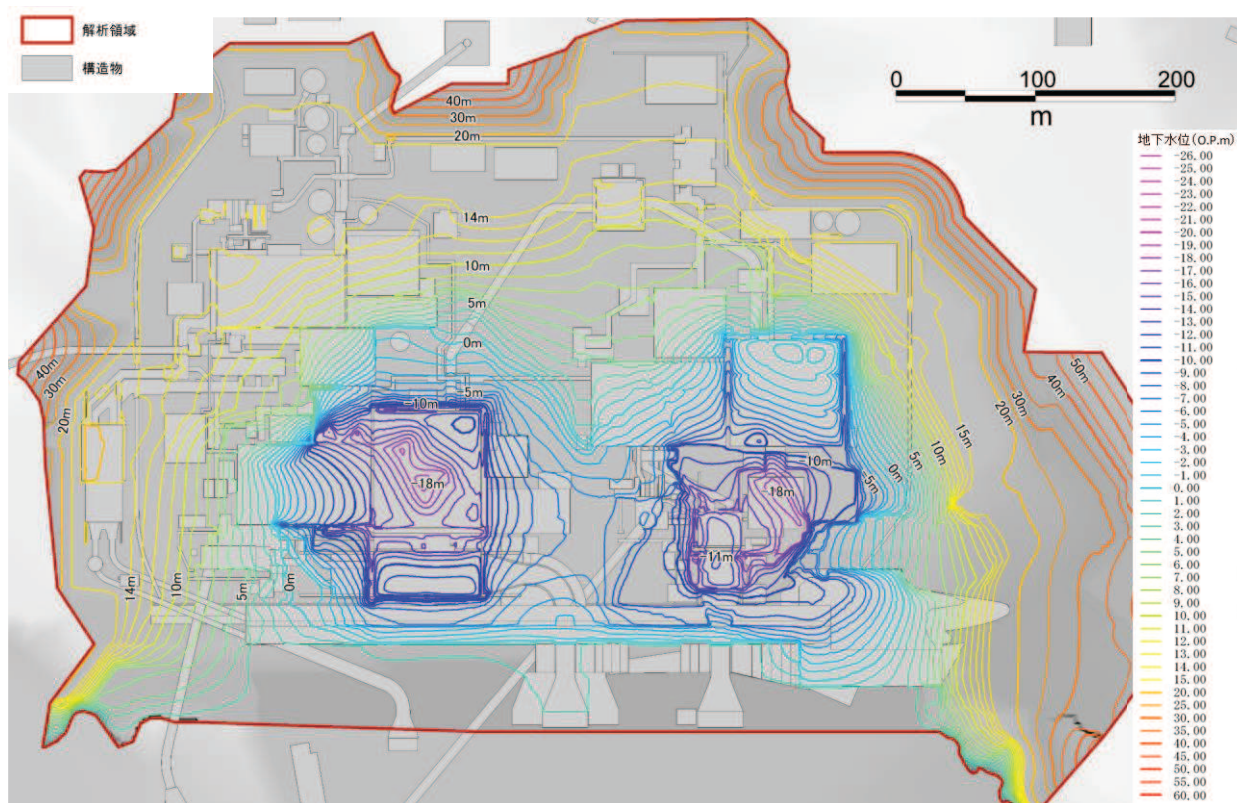


図 4.1-3 地下水位コンター図

(2) 評価対象断面の選定

構造的特徴，周辺地盤状況，地下水位，隣接構造物の有無，間接支持される機器・配管系の有無が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から，(1)にて整理した候補断面に対して，耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として選定する。

また，機器・配管系の応答加速度及び応答変位の観点から，評価対象以外の断面について地震応答解析を実施する場合がある。

4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理

女川原子力発電所の屋外重要土木構造物等は、延長方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置される構造物（以下「線状構造物」という。）と、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する構造物（以下「箱形構造物」という。）に大別される。

線状構造物は、横断方向（延長方向に直交する方向）に設置される構造部材が少なく、横断方向が明確に弱軸となることから、横断方向の断面から評価対象断面を選定する。

箱形構造物は、三次元モデルを用いて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を考慮して耐震評価を行う。三次元モデルに作用させる荷重は、等価な剛性をもつ二次元モデルを用いた二次元地震応答解析を実施し、各構造物の構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる照査時刻*を選定した上で、荷重を適切に評価する。したがって、断面選定においては、直交する 2 方向から評価対象断面として選定する。

各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理を表 4.2-1 に示す。

注記*：箱型構造物の照査時刻の妥当性の確認方針については、参考資料 13 に示す。

表 4.2-1 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理

| 名称 | 弱軸方向（一様断面）を評価対象断面に選定 | 水平軸方向の2断面を評価対象断面に選定 | 耐震評価対象断面の検討を行った上で、評価対象断面を選定 |
|-------|------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 線状構造物 | 軽油タンク連絡ダクト | | ○ |
| | 排気筒連絡ダクト | | ○ ^{*3} |
| | 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） | ○ | |
| | 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部） | | ○ |
| | 取水路（漸拡部） | | ○ |
| | 取水路（標準部） ^{*1} | | ○ |
| | 軽油タンク室 | ○ | |
| | 軽油タンク室（H） | ○ | |
| | 海水ポンプ室 | | ○ |
| | 取水口、貯留堰 ^{*2} | | ○ |
| 箱形構造物 | 復水貯蔵タンク基礎 | ○ | |
| | ガスタービン発電設備軽油タンク室 | ○ | |
| | 第3号機海水ポンプ室 | | ○ |
| | | | |

注記*1：構造物の断面が延長方向で同様であるが、延長方向に大きな曲線部や周辺地盤の剛性が急変する箇所が存在し、躯体のねじれや躯体への集中的な応力発生の影響が懸念されることから、三次元モデルを用いて耐震評価を行う線状構造物。

*2：貯留堰の耐震評価は、箱形構造物として三次元モデルを用いて耐震評価を行う取水口に含む。

*3：排気筒連絡ダクト（土砂部）は、「補足-600-1 【地盤の支持性能について】 3.2.2 耐震評価における設計用地下水水位設定方針」に記載の、水位が低い場合の影響検討を、選定された断面において確認する。

4.3 解析手法選定の方針

(1) 敷地地盤の液状化特性

敷地には、粒状材料で液状化する可能性のある地盤として、盛土及び旧表土が分布する。敷地に分布する液状化検討対象層（盛土、旧表土）は、「補足-600-1【地盤の支持性能について】」における液状化強度試験や、「参考資料 1 O.P. 14. 8m 盤に分布する盛土・旧表土の液状化特性」に示す通り、以下の液状化特性を示す。

- ・ 保守的な液状化特性（液状化強度試験の最低値）を設定した有効応力解析を用いて、基準地震動 S_s が作用した場合に液状化（過剰間隙水圧比 95%以上）が発生する範囲を評価すると、盛土は拘束圧の小さい地表面付近（深さ数メートル）のみであり、旧表土は深さによらず発生する可能性がある。
- ・ 液状化強度試験の結果、液状化（過剰間隙水圧比 95%以上）が発生した場合の盛土及び旧表土の挙動は共に、有効応力がゼロとなり液体状になることはなく、ひずみが漸増するねばり強い挙動、つまり、繰返し軟化現象を示す。

(2) 液状化を考慮した耐震評価方針

屋外重要土木構造物等は地中構造物であり、耐震評価にあたっては、地盤の液状化時の挙動を考慮したうえで、保守的な評価手法を選定する必要がある。具体的には、地盤の液状化時の挙動を考慮する必要がある場合に用いる有効応力解析と、考慮する必要が無い場合に用いる全応力解析の選定である。

屋外重要土木構造物等は、表 4.3-1 に示す通り、周辺地盤の状況に応じて、施設周辺の液状化の可能性を検討した上で解析手法を選定している。

施設周辺が液状化しないと考えられる場合は、「参考資料 2 地中構造物の耐震性に支配的な要因の検討」に示す通り、構造物の耐震性に支配的な要因は土圧であること、液状化に至る前段階において二次元の有効応力解析と全応力解析の比較より、土圧及び照査値が全応力解析で大きくなることから、全応力解析を実施する。

地盤が液状化（過剰間隙水圧比 95%以上）し、地表面の傾斜等の影響で地盤が一方方向に変形したり地盤の摩擦抵抗が失われ構造物に浮上りが発生する可能性がある場合や、杭基礎等の柔な構造物で地震時の地盤の変位に追随するように変形すること、常時土圧の影響を受けないことから、耐震性に支配的な要因が地盤の変位であると考えられる場合は、地盤の変形を保守的に評価する有効応力解析を実施する。

また、施設が耐震性を確認された隣接構造物等に囲まれており、構造物間も地盤改良されているが、施設周辺に局所的に分布する液状化層がある場合や、隣接構造物等の外側で液状化が発生しても施設に影響を及ぼす可能性がある場合には、有効応力解析による補足検討を行った上で、全応力解析を行う。

施設周辺で液状化発生の有無やその影響について判断がつかない場合は、全応力解析及び有効応力解析の両解析を行う。

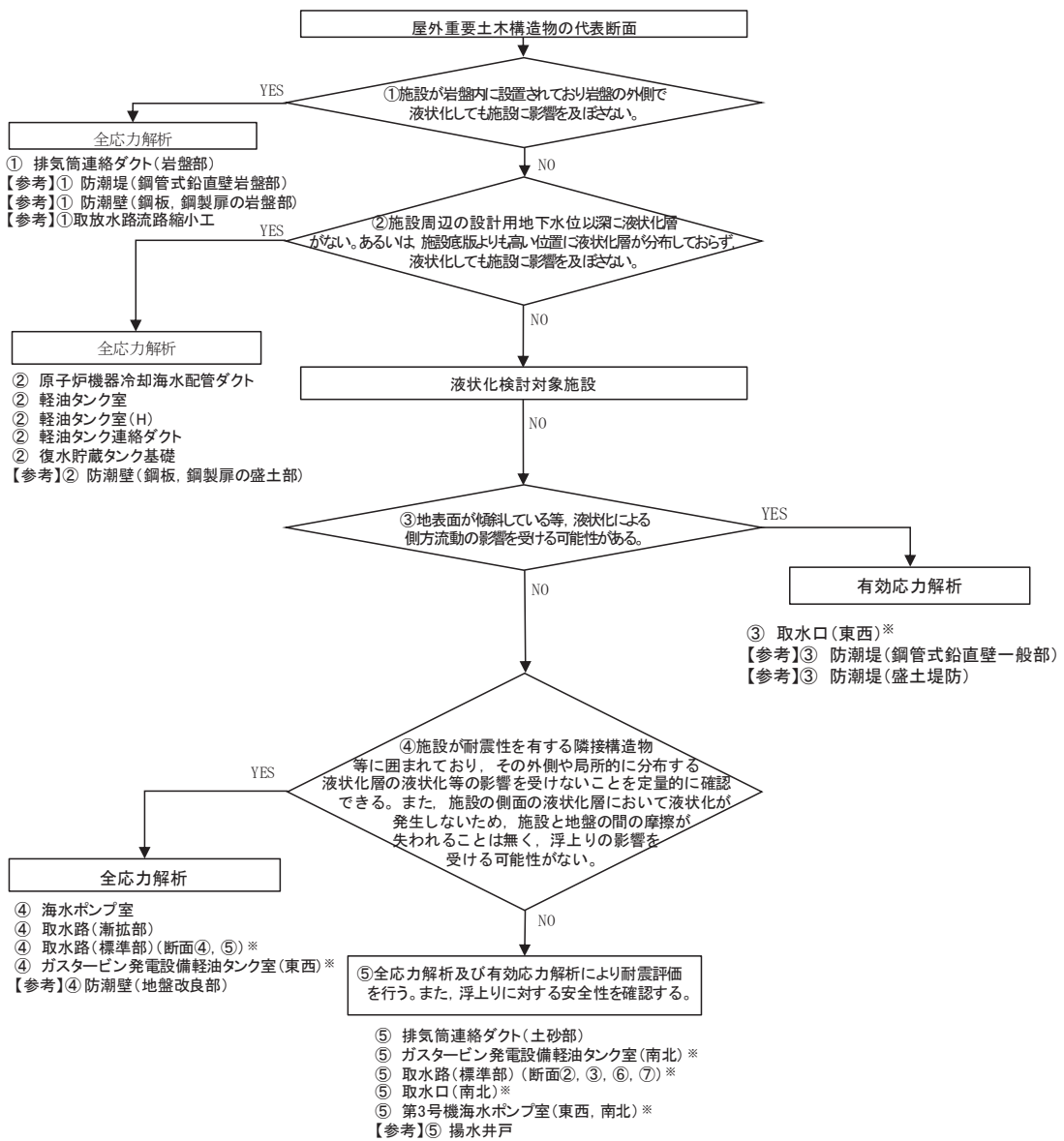
表 4.3-1 周辺地盤の状況に応じた解析手法の選定と補足検討内容

| | 周辺地盤の状況 | 基軸となる解析手法と補足検討内容 |
|---|--|---|
| ① | 施設が岩盤内に設置されている。 | 液状化の影響が施設に及ばないことから、液状化を考慮する必要がなく、 <u>全応力解析により耐震評価を実施。</u> |
| ② | 施設周辺の設計用地下水位以深に液状化層がない。 あるいは、施設底板よりも高い位置に液状化層が分布していない。 | 施設周辺で液状化が発生する可能性がない。あるいは、施設より深部の地盤で液状化が発生しても、浅部の施設に悪影響が及ばないことから、 <u>全応力解析により耐震評価を実施。</u> |
| ③ | 地下水位以深の液状化層近傍の地表面が傾斜している。あるいは、液状化層下部の岩盤が傾斜している。 | 液状化が発生した場合、地表面や岩盤の傾斜により、側方流動が発生し、一方向に変位・荷重が作用することから、 <u>有効応力解析により耐震評価を実施。</u> 補足検討として、液状化が発生しない場合の確認を実施。 |
| ④ | 施設が耐震性を確認された隣接構造物等に囲まれており、構造物間も地盤改良されている。また、浮上りの影響を受ける可能性がない。 | 施設の周辺で液状化は発生しないと定量的に判断されるため、 <u>全応力解析により耐震評価を実施。</u> 補足検討として、施設周辺に局所的に分布する液状化層や、隣接構造物等の外側で液状化が発生しても施設に影響を及ぼさないことを有効応力解析等により定量的に確認する。 |
| ⑤ | 施設周辺に地下水位以深の盛土・旧表土が分布する。または、施設周辺に改良地盤等があるが、その外側の液状化層の液状化等の影響について判断がつかない。また、浮上りの影響を受ける可能性がある。 | 施設周辺で液状化発生の有無やその影響について判断がつかないことから、 <u>全応力解析と有効応力解析の両解析により耐震評価を実施。</u> |

(3) 解析手法の選定

周辺地盤の状況に応じた解析手法の選定と補足検討内容を踏まえて、解析手法の選定フローを図 4.3-1 に示す。また、屋外重要土木構造物等及び代表的な津波防護施設、地下水位低下設備他について、解析手法の選定フローにより選定された分類と基軸となる解析手法及び補足検討の内容を表 4.3-2 に示す。

屋外重要土木構造物等以外に関する解析手法の選定の詳細について、防潮堤及び防潮壁は「補足-140-1【津波への配慮に関する説明書の補足説明資料】」に、揚水井戸は「補足-600-25-2【地下水低下設備の耐震性に関する補足説明資料】」に示す。



※：三次元構造解析に複数断面の荷重を作用させる場合、断面によって解析手法が異なる場合でも保守的に荷重の大きい組合せを採用する。

図 4.3-1 解析手法の選定フロー

表 4.3-1 構造物毎の解析手法と補足検討

| 解析手法の 選定フロー | 屋外重要土木構造物等 及び代表的な 津波防護施設，地下水位低下設備 | 解析手法と補足検討 |
|----------------|---|---|
| ① | <ul style="list-style-type: none"> ・ 排気筒連絡ダクト（岩盤部） ・ 防潮堤（鋼管式鉛直壁岩盤部） ・ 防潮壁（鋼板，鋼製扉の岩盤部） ・ 取放水路流路縮小工 | 全応力解析 |
| ② | <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉機器冷却海水配管ダクト ・ 軽油タンク室 ・ 軽油タンク室（H） ・ 軽油タンク連絡ダクト ・ 復水貯蔵タンク基礎 ・ 防潮壁（鋼板，鋼製扉の盛土部） | 全応力解析 |
| ③ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 取水口（東西）^{*1} ・ 防潮堤（鋼管式鉛直壁一般部） ・ 防潮堤（盛土堤防） | 有効応力解析 【補足検討】 ・ 液状化が発生しない場合について確認する。 |
| ④ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 海水ポンプ室 ・ 取水路（漸拡部） ・ 取水路（標準部）（断面④，⑤） ・ ガスタービン発電設備 ・ 軽油タンク室（東西） ・ 防潮壁（地盤改良部）^{*3} | 全応力解析 【補足検討】 ^{*2} ・ 隣接構造物や改良地盤の外側の液状化が施設に影響を及ぼさないことを有効応力解析等により確認する。 ・ 施設周辺に局所的に地下水位以深の盛土・旧表土が分布する場合は，液状化の可能性が無いことを有効応力解析等により確認する。 |
| ⑤ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 排気筒連絡ダクト（土砂部） ・ ガスタービン発電設備 ・ 軽油タンク室（南北） ・ 取水路（標準部） （断面②，③，⑥，⑦） ・ 取水口（南北） ・ 第3号機海水ポンプ室^{*3} ・ 揚水井戸 | 全応力解析 有効応力解析 |

注記*1：取水口（東西）は，水平2方向の検討ケース

*2：屋外重要土木構造物等の補足検討結果は，まとめて参考資料9に示す。

*3：第3号機海水ポンプ室周辺に設置する防潮壁については，変形抑制及び液状化対策を目的とし，杭周辺の地下水位以深の旧表土或いは盛土は地盤改良を行う計画としているため，全応力解析（解析手法選定フロー④）とし，その補足検討結果は「補足 140-1 6.3 防潮壁に関する補足説明 参考資料2」に示す。一方，第3号機海水ポンプ室は，部分的に防潮壁の変形抑制及び液状化対策を目的とした地盤改良が分布するものの，施設周辺に地下水位以深の盛土・旧表土が分布するため，施設周辺で液状化発生の有無やその影響について判断がつかないことから，全応力解析と有効応力解析の両解析（解析手法選定フロー⑤）により耐震評価を実施する。

4.4 軽油タンク連絡ダクト

軽油タンク連絡ダクトは、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である燃料移送系配管を間接支持しており、支持機能が要求される。

軽油タンク連絡ダクトの配置図を図 4.4-1 に、平面図を図 4.4-2 及び図 4.4-3 に、断面図を図 4.4-4 及び図 4.4-5 に、縦断面図を図 4.4-6 に示す。

軽油タンク連絡ダクトは、軽油タンク室と原子炉建屋を結ぶ鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長 52.30m、内空幅 1.25m、内空高さ 2.00m の二連ボックスカルバート構造の標準部（以下「標準部」という。）と、内空幅 1.55m（東西方向）×2.25m（南北方向）、内空高さ 3.05m の二連ボックスカルバート構造で軽油タンク室と接続する接続部（以下「接続部」という。）から構成される。

軽油タンク連絡ダクトは、MMR を復水貯蔵タンク基礎及び軽油タンク室と共有し、十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

軽油タンク連絡ダクトは、延長方向に約 13m 間隔で構造目地を介して分割され、原子炉建屋との接合部には耐震ジョイントが設置されており、延長方向に断面の変化が少ない線状構造物である。

標準部は、軽油タンク室と復水貯蔵タンク基礎に挟まれ、東西方向に延長するエリア（以下「エリア①」という。）と、復水貯蔵タンク基礎の東側に位置し南北方向に延長するエリア（以下「エリア②」という。）に分けられる。

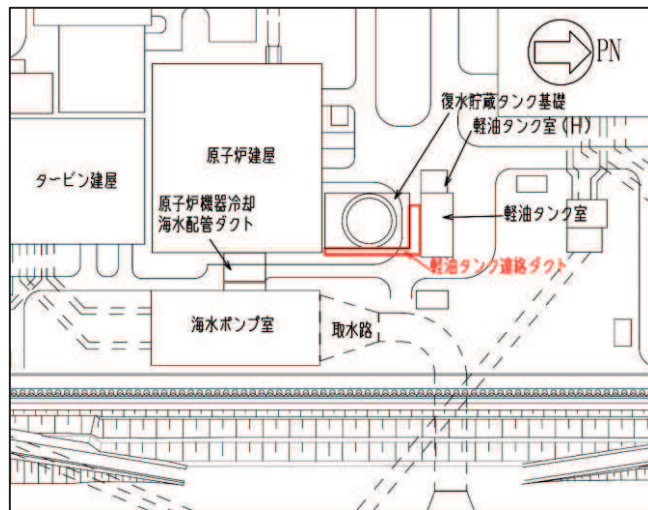


図 4.4-1 軽油タンク連絡ダクト配置図

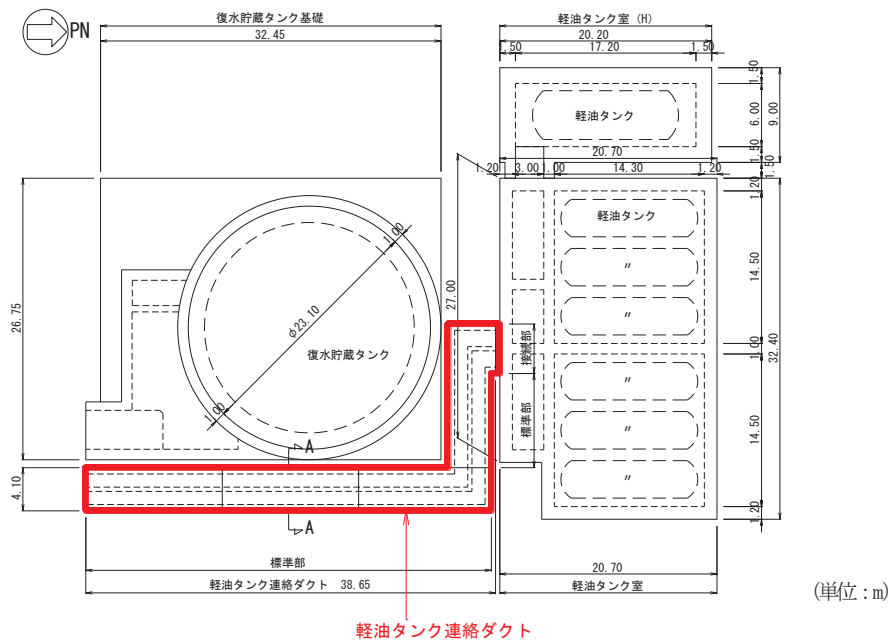


図 4.4-2 軽油タンク連絡ダクト平面図

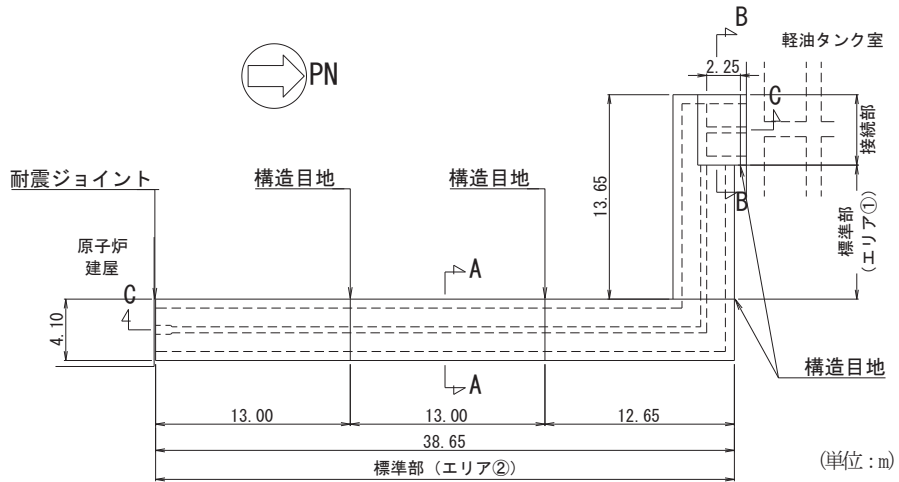


図 4.4-3 軽油タンク連絡ダクト平面図 (詳細)

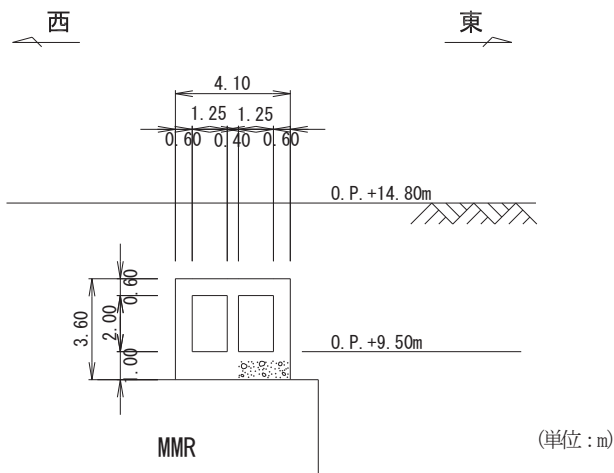


図 4.4-4 軽油タンク連絡ダクト断面図 (標準部, A-A)

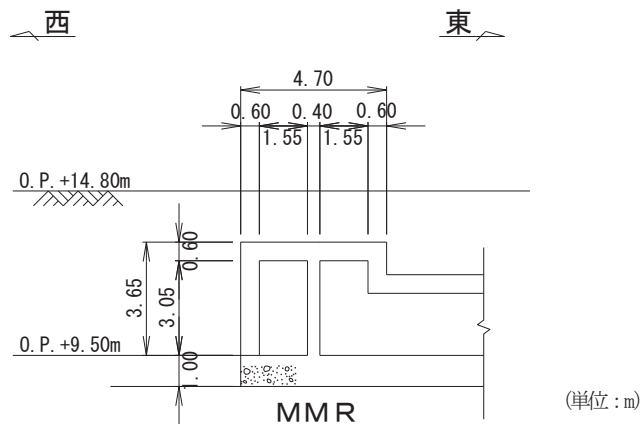


図 4.4-5 軽油タンク連絡ダクト断面図（接続部，B-B）

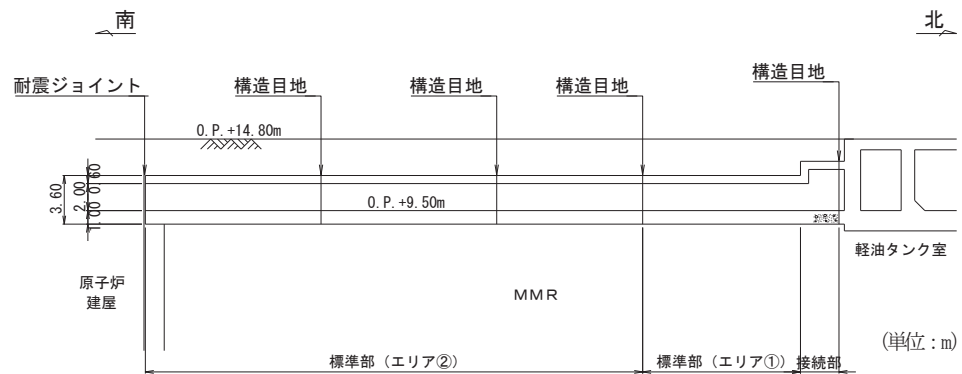


図 4.4-6 軽油タンク連絡ダクト縦断面図（C-C）

4.4.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

軽油タンク連絡ダクトは、断面選定の観点として軽油タンク室及び復水貯蔵タンク基礎が周辺構造物として配置されていることを考慮する。

標準部は、単純な二連ボックスカルバート構造の線状構造物であり、横断方向が明確な弱軸方向となるとともに、延長方向にブロック割されており、延長方向の応力は区画ごとに解放されることから、横断方向の断面を候補断面とする。

接続部は、標準部と断面形状が異なるため、構造的特徴の観点から、接続部からも候補断面を選定する。

接続部は、南北方向の側壁及び隔壁が耐震要素として機能し、東西方向と比較して、耐震上見込むことができる面部材が相対的に多いことから、南北方向が強軸方向となり、東西方向が弱軸方向となるため、接続部は東西方向の断面を候補断面と

する。

軽油タンク連絡ダクトは、燃料移送系配管を間接支持する支持機能が要求されるが、配管は延長方向に一様に設置されていることから、断面選定の観点として配管の設置位置による影響を考慮する必要はない。

また、地下水位は構造物底版より十分低く、地下水位及び土被り厚は延長方向にほぼ一様であることから、断面選定の観点として周辺状況の影響を考慮する必要はない。

軽油タンク連絡ダクトの掘削図を図 4.4-7 に、地質断面図を図 4.4-8、図 4.4-9 に示す。

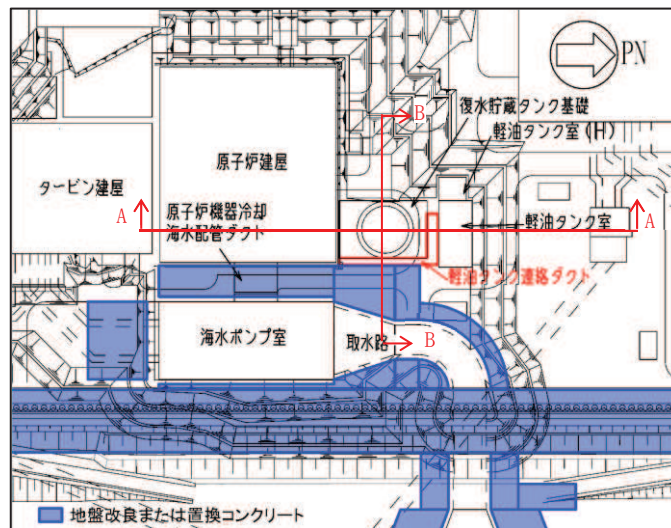


図 4.4-7 軽油タンク連絡ダクト掘削図

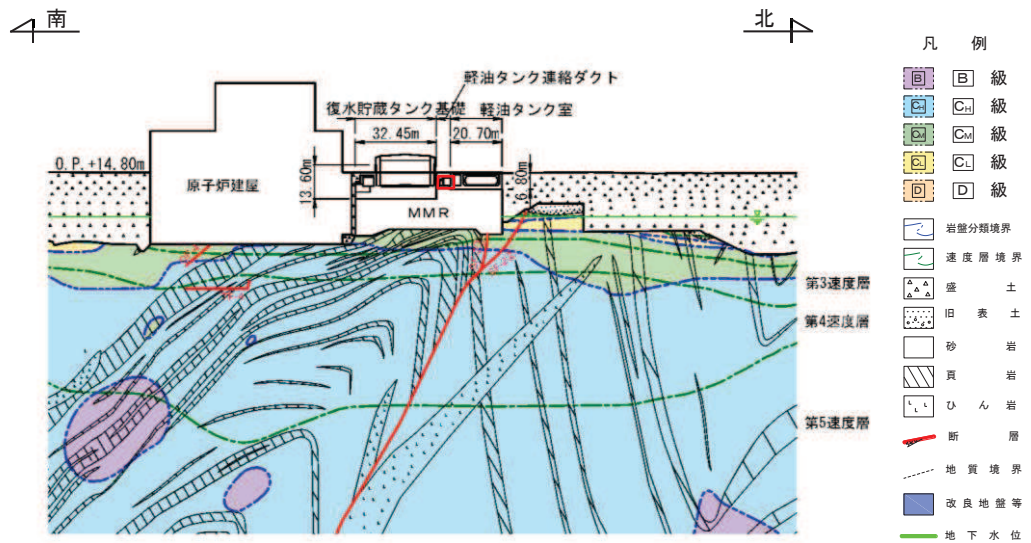


図 4.4-8 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (A-A)

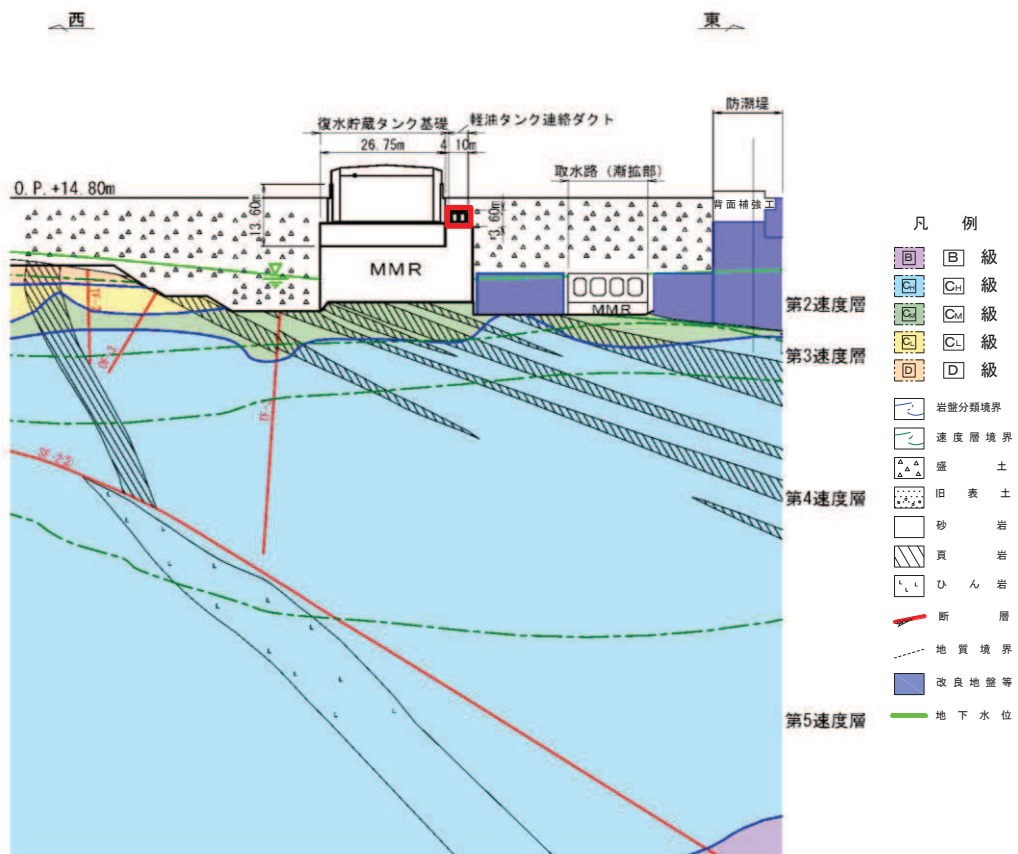


図 4.4-9 軽油タンク連絡ダクト地質断面図 (B-B)

(2) 評価対象断面の選定

標準部は、断面形状及び配筋も延長方向に一様であり、機器・配管も延長方向に一様に設置されている。

また、エリア①は、北側に軽油タンク室が、南側に復水貯蔵タンク基礎が隣接し、エリア①の弱軸方向である NS 方向の加振においては、これら周辺構造物が土圧の作用を抑制することから、エリア①はエリア②より地震時に作用する土圧が小さい。以上から、復水貯蔵タンク基礎の東側に位置するエリア②が耐震評価上、厳しい断面を有すると考えられるため、エリア②の横断方向の断面から評価対象断面を選定する。

標準部の周辺状況について、東側には一様に盛土が分布し、西側には復水貯蔵タンク基礎が隣接しその外側に盛土が一様に分布する。地下水位は延長方向にほぼ一様で差異がないことから、復水貯蔵タンクの中心を通る横断方向の断面を代表として、評価対象断面とする。

接続部は、標準部より断面がやや大きいですが、南側に耐震上機能する妻壁を有するとともに東側には標準部が位置し、東西方向の加振では標準部の側壁及び隔壁が耐震上機能すると考えられ、標準部の横断方向と比較して、耐震上見込むことができる面部材が多いことから、評価対象断面として選定しない。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 軽油タンク連絡ダクト 評価対象断面の選定結果

| 位置・エリア | 要求機能 | 構造的特徴 | 周辺状況 | 間接支持する主な設備 | 評価対象断面 | 選定結果 |
|---|------|--|--|---|--------|--|
| 標準部 エリア① (軽油タンク室と復水貯蔵タンク基礎に挟まれるエリア) | 支持機能 | <ul style="list-style-type: none"> 延長方向に一樣な断面の単純な二連のボックスカルバート構造 明確な弱軸方向・強軸方向を有し、横断方向が弱軸方向となる。 | <ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に設置されている。 北側には軽油タンク室が、南側には復水貯蔵タンク基礎が隣接し、MMR を共有する。 | <ul style="list-style-type: none"> 燃料移送系配管 | — | <ul style="list-style-type: none"> エリア①は、北側に軽油タンク室が、南側に復水貯蔵タンク基礎が隣接し、弱軸方向である南北方向の加振に対して、これら周辺構造物が土圧の作用を抑制する。このため、エリア②と比べて地震時の土圧が小さいと考えられることから、評価対象断面として選定しない。 |
| エリア② (復水貯蔵タンク基礎の東側に位置するエリア) | 同上 | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に設置されている。 西側には復水貯蔵タンク基礎が隣接し、MMR を共有する。 東側は、一樣に盛土が分布するが、地下水位が十分に低い。 | 同上 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 地震時土圧はエリア②の方がエリア①よりも大きいと考えられる。また、構造、配管の設置位置及び周辺状況について、延長方向に差異がないことから、復水貯蔵タンクの中心を通る横断方向の断面を、評価対象断面とする。 |
| 接続部 | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 標準部に比べ断面がやや大きく、一樣な断面の単純な二連のボックスカルバート構造 南北方向は、東西方向と比較し、耐震上見込むことが相対的に多いことから、東西方向が弱軸方向となる。 | <ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に設置されている。 北側には軽油タンク室が、南側には復水貯蔵タンク基礎が隣接し、MMR を共有する。 地下水位が十分に低い。 | 同上 | — | <ul style="list-style-type: none"> 南側に耐震上機能する妻壁を有する。また、東側には標準部が存在し、東西方向の加振では標準部の側壁及び隔壁が耐震上機能すると考えられ、標準部の横断方向と比較して耐震上見込むことができず、耐震上見込むことから、評価対象断面として選定しない。 |

4.4.2 解析手法の選定

軽油タンク連絡ダクトの地下水位は構造物底版より十分低いことから、施設より深部の地盤で液状化が発生しても、浅部の施設に悪影響が及ばない。従って、図 4.3-1 に示す解析手法の選定フローに基づき軽油タンク連絡ダクトの解析手法は、「②全応力解析」を選定する。

4.7 取水路（漸拡部）

取水路（漸拡部）は非常用取水設備であり，非常時における海水の通水機能及び貯水機能が要求される。

取水路（漸拡部）の配置図を図 4.7-1 に，平面図を図 4.7-2 に，断面図を図 4.7-3，図 4.7-4 に示す。

取水路（漸拡部）は，取水路（標準部）との接続部である内空幅 ，内空高さ の二連ボックスカルバート構造から，海水ポンプ室との接続部である内空幅 ，内空高さ の四連ボックスカルバート構造に変化し，縦断方向（延長方向）に断面が拡幅する地中構造物であり，直接又は MMR を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

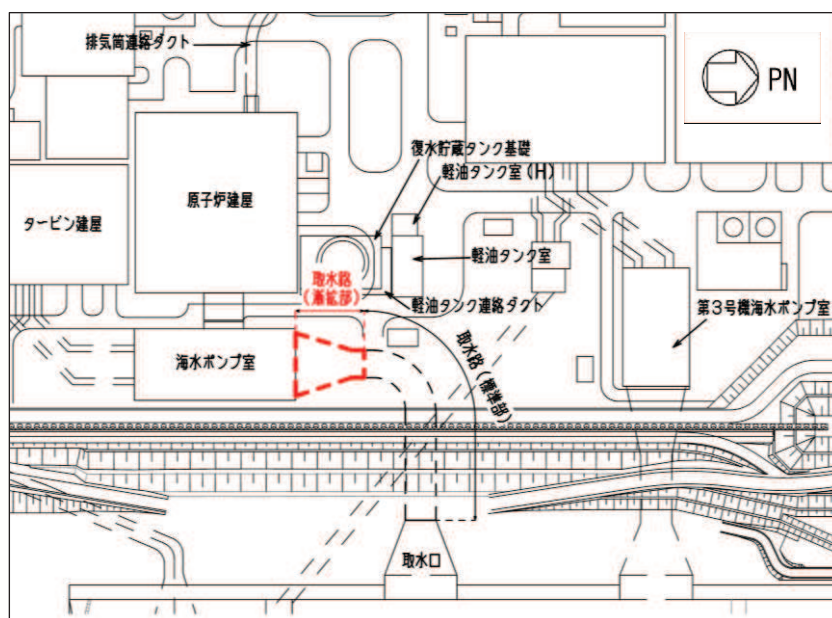
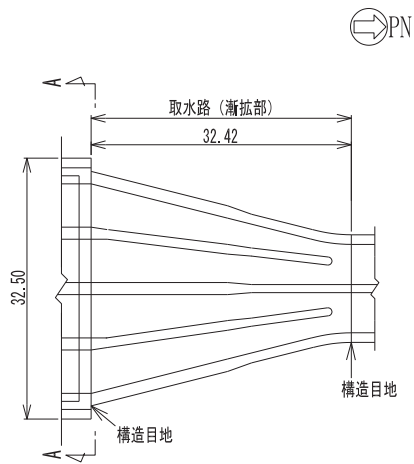


図 4.7-1 取水路（漸拡部）配置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(単位: m)

図 4.7-2 取水路 (漸拡部) 平面図

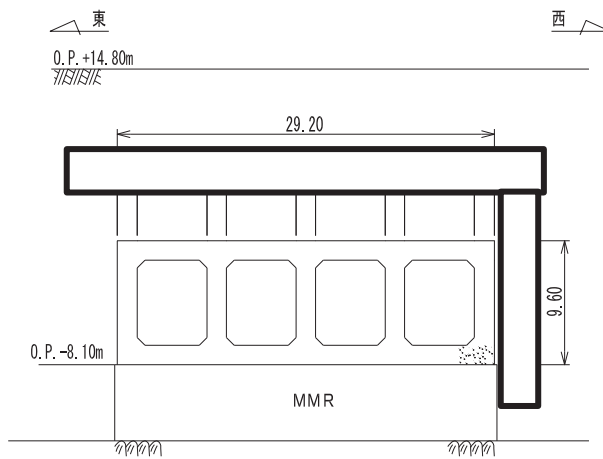


図 4.7-4 取水路 (漸拡部) 断面図 (A-A)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.7.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

取水路（漸拡部）は、横断方向に対して耐震要素として機能する面部材がない線状構造物であり横断方向が明確な弱軸となることから、横断方向の断面を候補断面とする。

地下水位は、底版位置から一様（ボックスカルバート延長方向と平行）で延長に変化がないことから、周辺状況は候補断面の整理の観点には含めない。四連ボックスカルバート部の配筋はすべて同一配筋であることから、候補断面の整理の観点には含めない。

取水路（漸拡部）のうち四連ボックスカルバート構造の区間は、延長方向に断面が拡幅し、海水ポンプ室と接続する終点で内空断面（内空幅 , 内空高さ) が最大となる。また、始点と終点の間には部材厚が変化する断面（始点側の部材厚が薄く、終点側の部材厚が厚い）が存在する。このことから、断面選定の観点として構造的特徴を考慮する。

取水路（漸拡部）の平面図及び候補断面の位置を図 4.7-5 に、縦断図及び候補断面の位置を図 4.7-6 に、断面図を図 4.7-7～図 4.7-9 に、地質断面図を図 4.7-10 及び図 4.7-11 に示す。

断面①は、四連ボックスカルバートの始点で、二連ボックスカルバート構造から四連ボックスカルバート構造へ変化する位置であり、内空断面が幅・高さともに、最小である。

断面②は、躯体の部材厚が変化する位置であり、部材厚が薄い区間（断面①～断面②）では内空断面が幅・高さともに、最大である。

断面③は、取水路（漸拡部）の終点の位置で、全区間を通じて、内空断面が幅・高さともに、最大である。

取水路（漸拡部）の周辺状況として、構造物の両側に改良地盤が設置されており、また、東側に改良地盤を介して防潮堤が、西側には地盤改良を介して復水貯蔵タンク基礎の MMR が設置されている。

取水路（漸拡部）の候補断面の特徴を表 4.7-1 に示す。

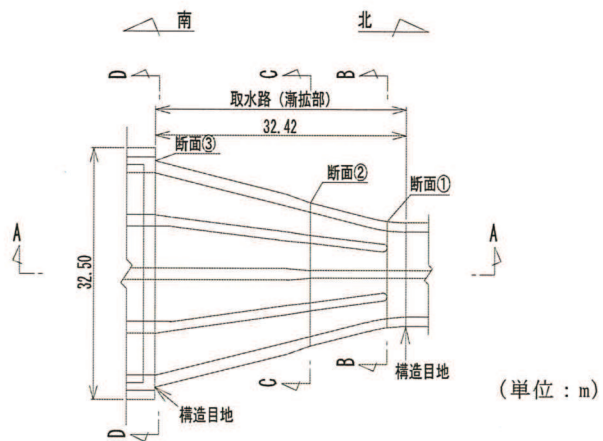


図 4.7-5 取水路（漸拡部）平面図及び候補断面位置

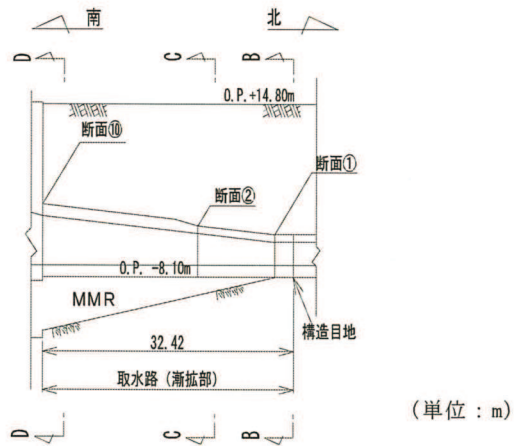


図 4.7-6 取水路（漸拡部）縦断図（A-A）及び候補断面位置

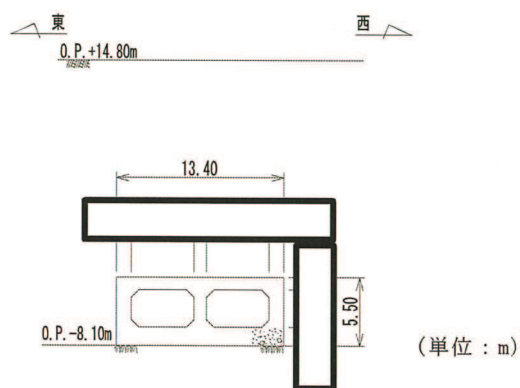


図 4.7-7 取水路（漸拡部）断面図（B-B 断面：断面①）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

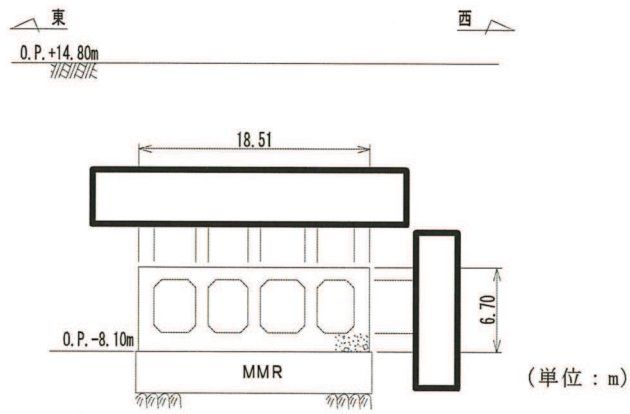


図 4.7-8 取水路（漸拡部）断面図（C-C 断面：断面②）

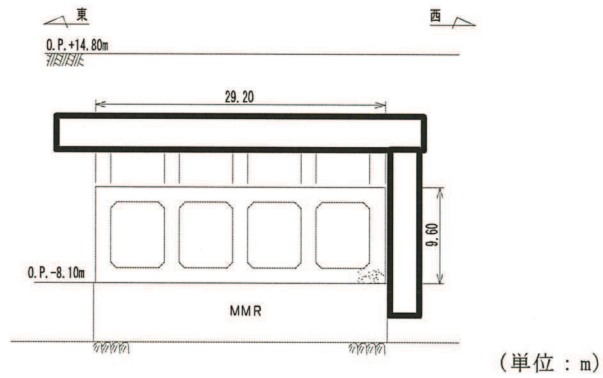


図 4.7-9 取水路（漸拡部）断面図（D-D 断面：断面③）

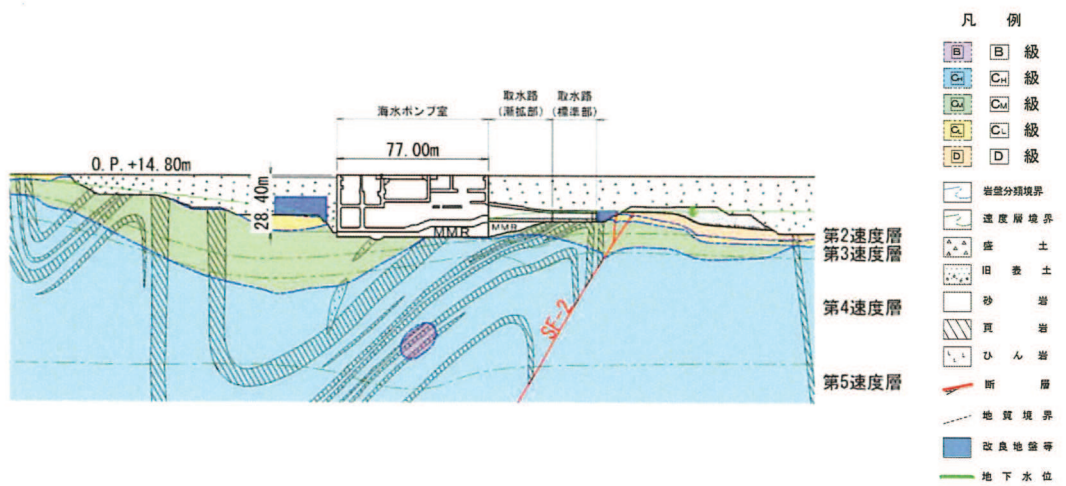


図 4.7-10 取水路（漸拡部）地質断面図（A-A 断面）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

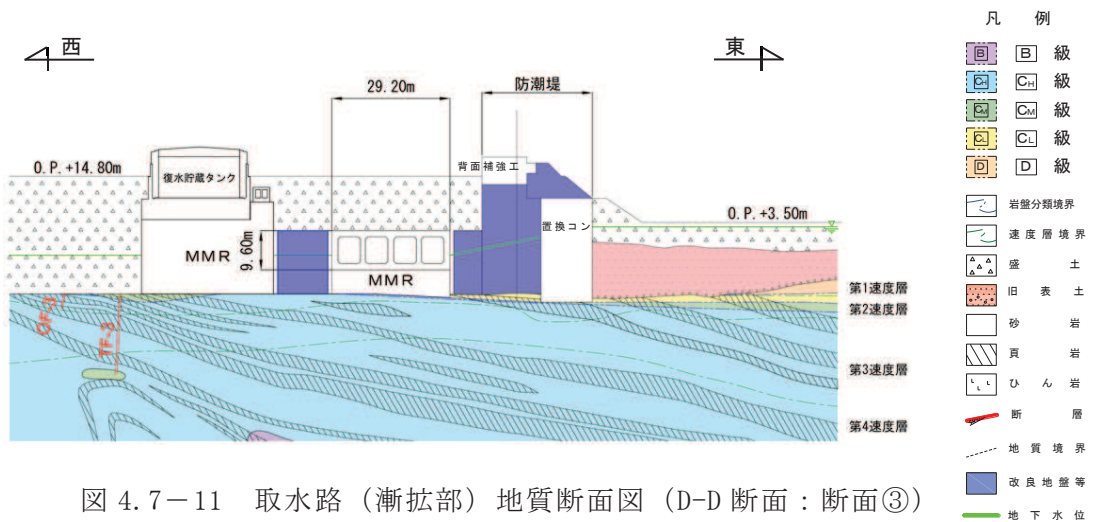


図 4.7-11 取水路（漸拡部）地質断面図（D-D 断面：断面③）

表 4.7-1 取水路（漸拡部） 候補断面の特徴

| 候補断面 | 要求機能 | 構造的特徴 | 周辺状況 |
|------|--------------|--|---|
| 断面① | 通水機能 貯水機能 | <ul style="list-style-type: none"> 二連ボックスカルバート構造から四連ボックスカルバート構造へ変化する位置であり、内空断面が幅・高さともに、最小である。 | <ul style="list-style-type: none"> 構造物の両側に改良地盤が設置されており、また、東側に改良地盤を介して防潮堤が、西側には地盤改良を介して復水貯蔵タンク基礎の MMR が設置されている。 |
| 断面② | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 躯体の部材厚が変化する位置であり、部材厚が薄い区間（断面①～断面②）では内空断面が幅・高さともに、最大である。 | 同上 |
| 断面③ | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 取水路（漸拡部）の終点の位置で、全区間を通じて、内空断面が幅・高さともに、最大である。 | 同上 |

(2) 評価対象断面の選定

断面①は、取水路（標準部）と幅及び高さが同様であることから、取水路（標準部）の評価で代表させることとし、評価対象断面には選定しない。

断面②及び断面③は、土被り、部材厚及び内空断面（幅、高さ）が異なり、土被りは断面②の方が厚く、部材厚及び内空断面（幅、高さ）は断面③の方が大きい。断面②及び断面③の寸法一覧を表 4.7-2 に示す。

評価対象断面の選定においては、土被り、部材厚及び内空断面（幅、高さ）が構造物の耐震性に与える影響を部材ごとに検討し、耐震評価上、構造物に対して厳しい断面を選定することとした。

取水路（漸拡部）に要求される機能は、通水機能及び貯水機能であり、曲げ・軸

力系の破壊に対しては鉄筋が降伏ひずみに至らないこと、せん断破壊に対しては終局状態に至らないことを目標性能としている。

このことから、曲げ・軸力系の破壊に対しては、鉄筋の発生引張応力に着目し、比較を行った。せん断破壊に対しては、部材スパンが断面②に比べて断面③の方が大きく、作用する荷重が大きくなり、発生せん断力は、断面③の方が大きくなるものと想定される。一方、配筋は同様であるため、部材厚が厚い断面③は、せん断耐力も大きくなることから、断面②と断面③のどちらの断面が、耐震評価上、厳しい断面であるかの検討を行った。

各断面における発生せん断力とせん断耐力との関係に着目し、発生せん断力とせん断耐力の比率（照査値の比率）を、両断面について部材ごとに整理した。検討に当たっては、荷重形態は等分布荷重を仮定し、部材は単純梁にモデル化した。また照査に当たっては、土木学会マニュアル 2005 を参照した。

構造物に作用する荷重のイメージ図を図 4.7-12 に、検討用モデル図を図 4.7-13 に示す。

表 4.7-2 断面②及び断面③の寸法一覧 (単位：m)

| 断面 | 土被り h | 部材厚 d | | | 内空断面 l | |
|-----|-------|-------|----|----|--------|----|
| | | 頂版 | 側壁 | 中壁 | 幅 | 高さ |
| 断面② | 16.2 | | | | | |
| 断面③ | 13.3 | | | | | |

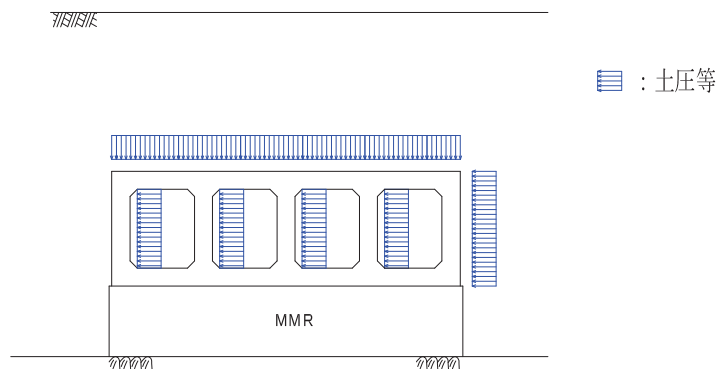


図 4.7-12 荷重イメージ図

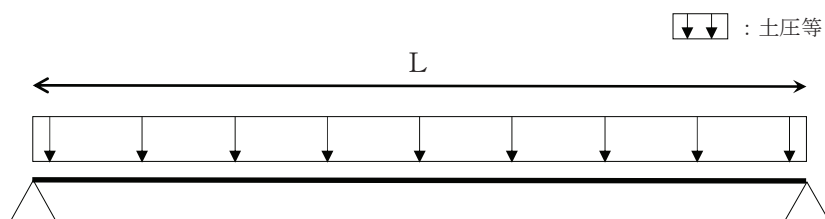


図 4.7-13 検討用モデル図

a. 曲げ・軸力系の破壊

曲げ・軸力系の破壊については、式(1)及び式(2)により算出される鉄筋の引張応力度 σ_s の比率により構造上厳しい断面を選定する。両断面に発生する鉄筋の引張応力度の比率（断面②の値を1.0とした場合の断面③の値）を表4.7-3に示す。なお、式(2)の分布荷重 w については、頂版は両断面で土被り h が異なることから、各断面での土被り厚さ h を考慮して算定した。側壁及び中壁に関しては、断面②と断面③で地震時に躯体に作用する分布荷重の単位荷重は同等と仮定した。

表4.7-3のとおり、曲げ・軸力系の破壊について、鉄筋に発生する引張応力度は、断面②に比べて断面③の方が大きいことから、断面③の方が、構造上厳しい断面であると考えられる。

$$\sigma_s = M / (A_s \cdot j \cdot d) \quad (1)$$

$$M = w l^2 / 8 \quad (2)$$

σ_s : 鉄筋の引張応力度

M : 発生曲げモーメント

A_s : 引張鉄筋断面積

d : 有効高さ（純かぶり=100mm）

j : $j = d / z$

z : 圧縮応力の合力作用位置から引張鉄筋までの距離

w : 分布荷重（頂版は $w = \gamma_s \cdot h$ ，側壁及び中壁は断面②と断面③で同一と仮定）

l : スパン長

γ_s : 盛土の単位体積重量

表 4.7-3 曲げ・軸力系の破壊に対する構造上の厳しさに係る検討結果
(断面②と断面③の比較)

| 曲げ・軸力系の破壊 | | | | 備考 |
|--|---|---|---|------------------------------------|
| 鉄筋の引張応力度 σ_s の比率 | | | | |
| $\sigma_s = M / (A_s \cdot j \cdot d)$ (1) $M = w l^2 / 8$ (2) 上記, 式(1), (2)及び $A_s = \text{一定}$ より $\sigma_{s③} / \sigma_{s②} = (w_{③} / w_{②}) \cdot (l_{③} / l_{②})^2 \cdot (d_{②} / d_{③})$ | | | | |
| | 頂版 | 側壁 | 中壁 | |
| | $(w_{③} / w_{②}) : 0.8$ $(l_{③} / l_{②}) : 1.5$ $(d_{②} / d_{③}) : 0.6$ | $(w_{③} / w_{②}) : 1.0$ $(l_{③} / l_{②}) : 1.6$ $(d_{②} / d_{③}) : 0.8$ | $(w_{③} / w_{②}) : 1.0$ $(l_{③} / l_{②}) : 1.6$ $(d_{②} / d_{③}) : 0.6$ | |
| $\sigma_{s③} / \sigma_{s②}$ | 1.3 | 1.9 | 1.6 | 断面③の方が断面②より各部材で σ_s が大きくなる。 |

b. セン断破壊

せん断破壊については, 部材に発生するせん断力 V は, 式(3)により算定され, 分布荷重 w 及びスパン長 l に比例する関係となる。両断面に発生するせん断力の比率 (断面②の値を 1.0 とした場合の断面③の値) を表 4.7-4 の(A)に示す。

$$V = w l / 2 \quad (3)$$

V : 発生せん断力

w : 分布荷重 (頂版は $w = \gamma_s \cdot h$, 側壁及び中壁は断面②と断面③で同一と仮定)

l : スパン長

一方, せん断耐力は, 式(4)のとおり, コンクリート負担分 $V_{c,d}$ と鉄筋負担分 $V_{s,d}$ に分けられる。コンクリート負担分 $V_{c,d}$ については式(5)により算定される。両断面のコンクリート負担分 $V_{c,d}$ のせん断耐力の比率 (断面②の値を 1.0 とした場合の断面③の値) を表 4.7-4 の(B)に示す。なお, f_{vcd} , b_w , γ_{bc} は断面②及び断面③で同等であり, β_n は同値と仮定し算出した。

また, 配筋は断面②と断面③で同様であることから, 鉄筋負担分 $V_{s,d}$ は両断面で同等である。

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d} \quad (4)$$

$V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c} \quad (5)$$

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

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

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

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

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

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

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

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$: 引張鉄筋比

A_s : 引張側鋼材の断面積

d : 部材の有効高さ

b_w : 腹部の幅

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、軸方向によって発生する

応力を打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 : 部材の内法長さ

$\gamma_{b c}$: 部材係数

表 4.7-4 のとおり,発生せん断力 V とせん断耐力 $V_{c,d}$ (コンクリート負担分)は,ともに断面②より断面③の方が大きい,せん断耐力 $V_{c,d}$ の増加割合に比べ,発生せん断力 V の増加割合の方が大きいことから,断面③の方が,構造上厳しい断面であると考えられる。

上記,「a. 曲げ・軸力系の破壊」,「b. せん断破壊」から,断面②に比べて断面③の方が耐震評価上厳しい断面と考えられることから,断面③を評価対象断面として選定する。なお,せん断耐力 $V_{y,d}$ に鉄筋負担分 $V_{s,d}$ を考慮した場合は,鉄筋負担分 $V_{s,d}$ の耐力は断面②と断面③で同値であるため,断面②に対する断面③のせん断耐力 $V_{y,d}$ の増加割合は,コンクリート負担分 $V_{c,d}$ のみの増加割合より小さくなり,断面③を選定することは安全側の評価となる。

(3) 断面選定結果

取水路(漸拡部)の評価対象断面の選定結果を表 4.7-5 に示す。

表 4.7-4 せん断破壊に対する構造上の厳しさに係る検討結果
(断面②と断面③の比較)

| せん断破壊 | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|-----------------------------|--|--|--|--|
| 発生せん断力V の比率 (A) | せん断耐力* (コンクリート負担分) V _{cd} の比率 (B) | せん断破壊に関する 照査値の比率 (A) / (B) | | | 備考 | | | | |
| | | 頂版 | 側壁 | 中壁 | | | | | |
| $V = w l / 2 \quad (3)$ 上記, 式(3)より $V_{\text{③}} / V_{\text{②}} = (w_{\text{③}} / w_{\text{②}}) \cdot (l_{\text{③}} / l_{\text{②}})$ | $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$ (5) 上記, 式(5)より $V_{cd} = (1/d)^{1/4} \cdot (1/d)^{1/3} \cdot (100 \cdot A_s / b_w)^{1/3}$ $A_s = \text{一定}, b_w = \text{一定より}$ $V_{cd\text{③}} / V_{cd\text{②}} = (d_{\text{②}} / d_{\text{③}})^{(-5/12)} \cdot (0.75 + 1.4 d_{\text{③}} / a_{\text{③}}) / (0.75 + 1.4 d_{\text{②}} / a_{\text{②}})$ | | | | | | | | |
| | | 頂版 | 側壁 | 中壁 | | | | | |
| $(w_{\text{③}} / w_{\text{②}}) : 0.8$ $(l_{\text{③}} / l_{\text{②}}) : 1.5$ | $(d_{\text{②}} / d_{\text{③}}) : 0.6$ $(d_{\text{③}} / a_{\text{③}}) : 0.3$ $(d_{\text{②}} / a_{\text{②}}) : 0.3$ | $(w_{\text{③}} / w_{\text{②}}) : 1.0$ $(l_{\text{③}} / l_{\text{②}}) : 1.6$ | $(d_{\text{②}} / d_{\text{③}}) : 0.8$ $(d_{\text{③}} / a_{\text{③}}) : 0.2$ $(d_{\text{②}} / a_{\text{②}}) : 0.3$ | $(d_{\text{②}} / d_{\text{③}}) : 0.6$ $(d_{\text{③}} / a_{\text{③}}) : 0.2$ $(d_{\text{②}} / a_{\text{②}}) : 0.2$ | | | | | |
| $V_{\text{③}} / V_{\text{②}} \quad (A)$ | $V_{cd\text{③}} / V_{cd\text{②}} \quad (B)$ | 1.3 | 1.6 | 1.6 | | | | | |
| | | 頂版 | 側壁 | 中壁 | | | | | |
| | | 1.1 | 1.5 | 1.3 | | | | | |
| | | | | | 断面③のせん断破壊に対する照査値の方が断面②より厳しい | | | | |

注記* : 式(4)のせん断耐力V_{yd}のうち鉄筋負担分V_{sd}は, 断面②と断面③で同値 (V_{sd②} = V_{sd③}) であるため, 鉄筋負担分V_{sd}を考慮した場合断面②に対する断面③のせん断耐力V_{yd}の増加割合 (V_{yd③} / V_{yd②}) は, コンクリート負担分のみ増加割合 (V_{cd③} / V_{cd②}) より小さくなり, 断面③を選定することとは安全側の評価となる。

表 4.7-5 取水路（漸拡部） 評価対象断面の選定結果

| 候補断面 | 要求機能 | 構造的特徴 | 周辺状況 | 評価対象断面 | 選定結果 |
|------|--------------|--|---|--------|--|
| 断面① | 通水機能 貯水機能 | <ul style="list-style-type: none"> 二連ボックスカルバート構造から四連ボックスカルバート構造へ変化する位置であり、内空断面が幅・高さともに、最小である。 | <ul style="list-style-type: none"> 構造物の両側に改良地盤が設置されており、また、東側に改良地盤を介して防潮堤が、西側には地盤改良を介して復水貯蔵タンク基礎のMMRが設置されている。 | — | <ul style="list-style-type: none"> 断面①は取水路（標準部と幅及び高さが同様であることから、取水路（標準部）の評価で代表させるとし、評価対象断面には選定しない。 |
| 断面② | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 躯体の部材厚が変化する位置であり、部材厚が薄い区間（断面①～断面②）では内空断面が幅・高さともに、最大である。 | 同上 | — | <ul style="list-style-type: none"> 断面③と比較し、断面②は曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対して、耐震評価上、厳しい断面とは考えられないことから、評価対象断面には選定しない。 |
| 断面③ | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 取水路（漸拡部）の終点の位置で、全区間を通じて、内空断面が幅・高さともに、最大である。 | 同上 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 漸拡部で断面が最大であり、断面②と比較し、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対して、耐震評価上、断面②より厳しい断面であると考えられることから、評価対象断面として選定する。 |

4.7.2 解析手法の選定

取水路（漸拡部）は、耐震性の確認された復水貯蔵タンク基礎の MMR と防潮堤に挟まれ、これら隣接構造物との間は地盤改良されていることから、液状化の影響が及ばないと判断し、図 4.3-1 に示す解析手法の選定フローに基づき「④全応力解析」を選定する。

ただし、取水路（漸拡部）と改良地盤の間等に局所的に地下水位以深の盛土が分布するため、2次元有効応力解析によりこれらの地盤が液状化しないことを確認した。

また、防潮堤の東側の O.P. +3.5m 盤に分布する地下水位以深の盛土・旧表土も耐震評価領域に含まれるため、同様に 2次元有効応力解析により取水路（漸拡部）が設置される O.P. +14.8m 盤へは影響が及ばないことを確認した。

なお、2次元有効応力解析による確認内容は、「参考資料9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果」に示す。

4.15 第3号機海水ポンプ室

第3号機海水ポンプ室は、耐震重要施設である防潮壁（第3号機海水ポンプ室）等を間接支持する支持機能及び浸水防止のための止水機能が要求される。

第3号機海水ポンプ室の配置図を図4.15-1に、平面図を図4.15-2に、縦断図を図4.15-3に、断面図を図4.15-4、図4.15-5に示す。

第3号機海水ポンプ室は、延長55.00m、幅32.10m、高さ29.00mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、上流側より、スクリーンエリア、循環水ポンプエリアの2つのエリアにて構成され、MMRを介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

第3号機海水ポンプ室は、地下2階または地下3階構造となっており、上部はスクリーンエリア及び循環水ポンプエリアの2エリアに分かれている。下部は水路となっており、スクリーンエリアの下部は四連のボックスカルバート構造、循環水ポンプエリアの下部は二連のボックスカルバート構造となっている。また、上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置レベルが異なる等、複雑な構造となっている。

第3号機海水ポンプ室は、構造物の断面が延長方向で異なり、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する箱形構造物であり、三次元モデルにて耐震評価を実施することから、三次元モデルに作用させる地震時荷重を算出するための断面（以下「地震時荷重算出断面」という。）を選定する。耐震評価に用いる三次元モデル図を図4.15-6に示す。

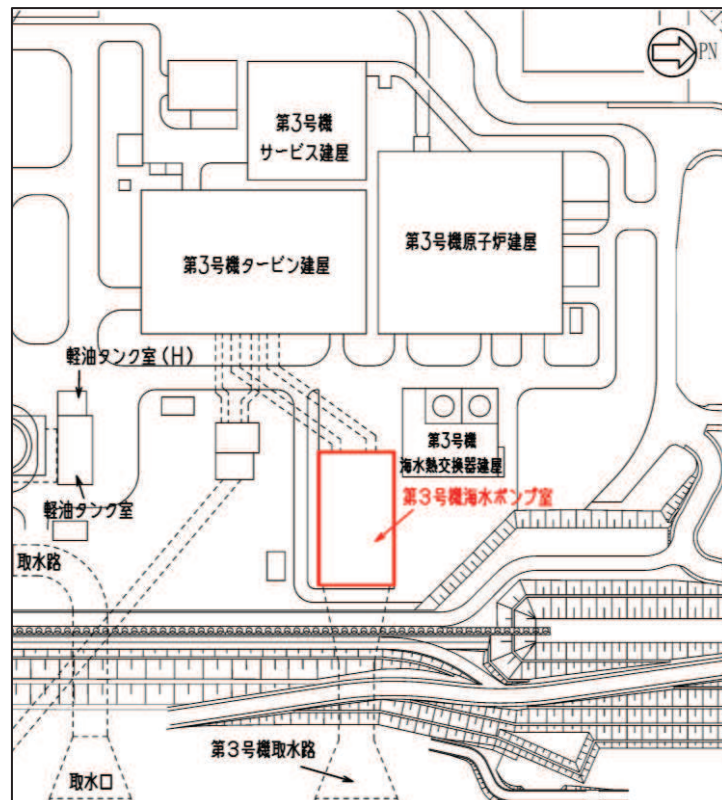


図4.15-1 第3号機海水ポンプ室配置図

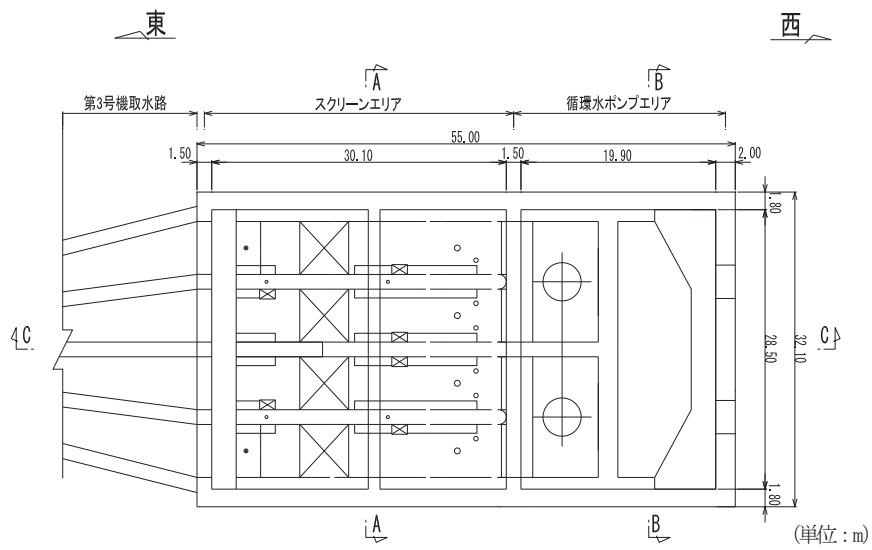


図 4.15-2 第 3 号機海水ポンプ室平面図

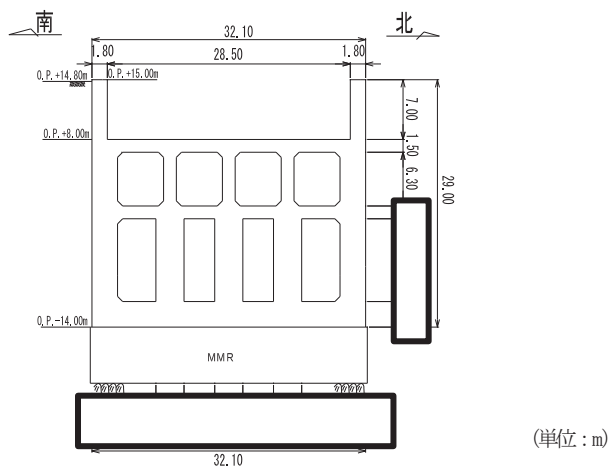


図 4.15-3 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (A-A)

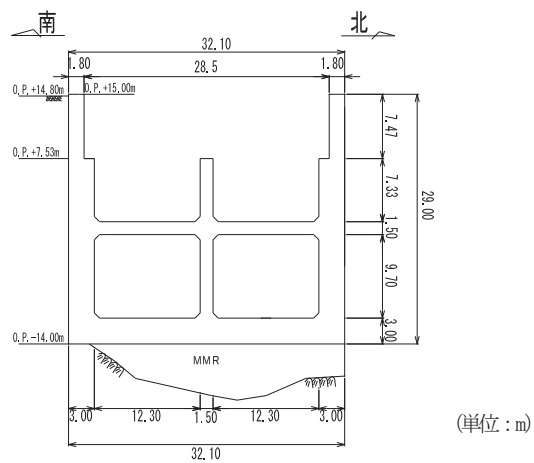


図 4.15-4 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (B-B)

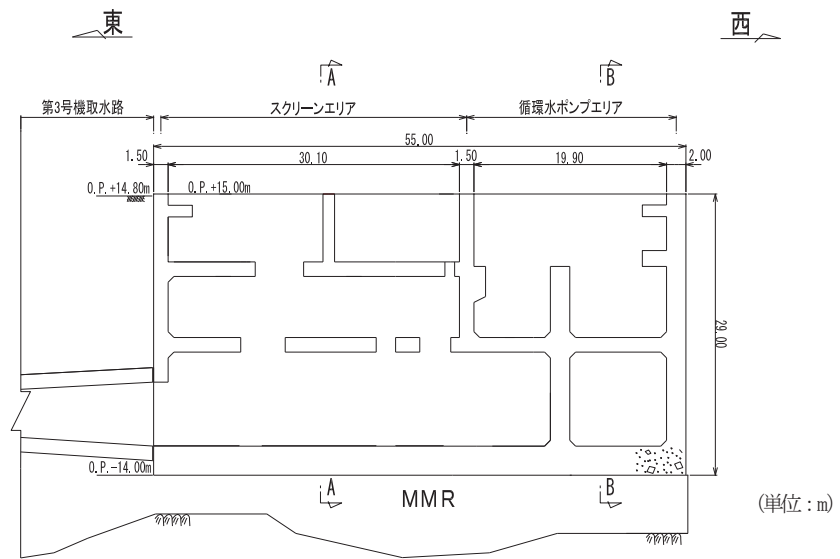


図 4.15-5 第 3 号機海水ポンプ室縦断図 (C-C)

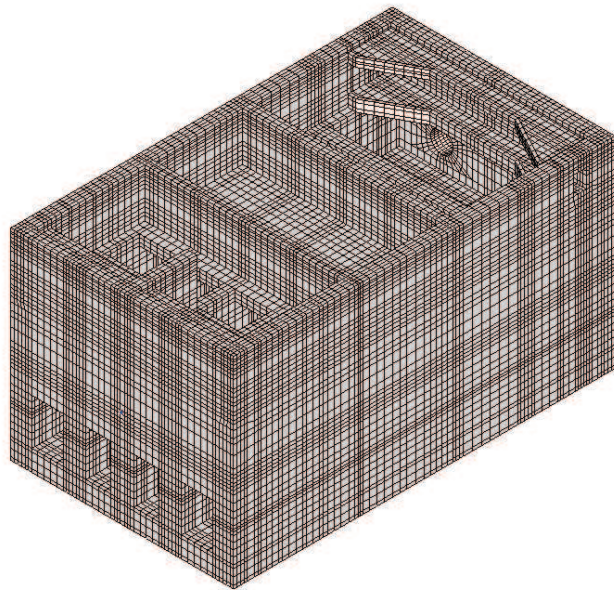


図 4.15-6 第 3 号機海水ポンプ室 三次元モデル図

4.15.1 断面選定

(1) 候補断面の整理

「4.1 断面選定の方針 (1) 耐震評価候補断面の整理」に従い、候補断面を整理する。

第3号機海水ポンプ室は、東西加振に対して、東西方向の側壁及び水路部の隔壁が耐震要素として機能し、南北加振と比較して、耐震上見込むことができる面部材が相対的に多いことから、東西方向が強軸方向となり、南北方向が弱軸方向となる。

南北方向については、スクリーンエリア、循環水ポンプエリアのそれぞれで剛性の差があり、各エリアでの剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすことから、地震時荷重及び床応答を算出するための二次元地震応答解析は、各エリアの南北方向の断面を候補断面とする。

第3号機海水ポンプ室に要求される機能は、スクリーンエリアと循環水ポンプエリアとの隔壁に防潮壁を間接支持する等の支持機能と止水機能が要求され、循環水ポンプエリアの中床版には止水機能が要求される。

周辺状況として、盛土により埋め戻されているものの、北側及び南側の地下水位以下は地盤改良がなされている。循環水ポンプエリアの北側は、第3号機海水熱交換器建屋が設置されている。また、東側は第3号機取水路と接続し、西側は一樣に盛土で埋め戻されている。

地下水位は、第3号機海水ポンプ室の延長方向にほぼ同様であり、底版上面よりも深く、地表面から十分深い位置にある。なお、防潮壁の地下水位の設定は、線状構造物であるため、第3号機海水ポンプ室の地下水位の設定方法と異なる。

床応答の観点から、南北方向と東西方向は剛性の差があり床応答も異なることから、両方向の断面を候補断面とする。

第3号機海水ポンプ室の掘削図を図4.15-7に、第3号機海水ポンプ室の地質断面図を図4.15-8、図4.15-9に示す。

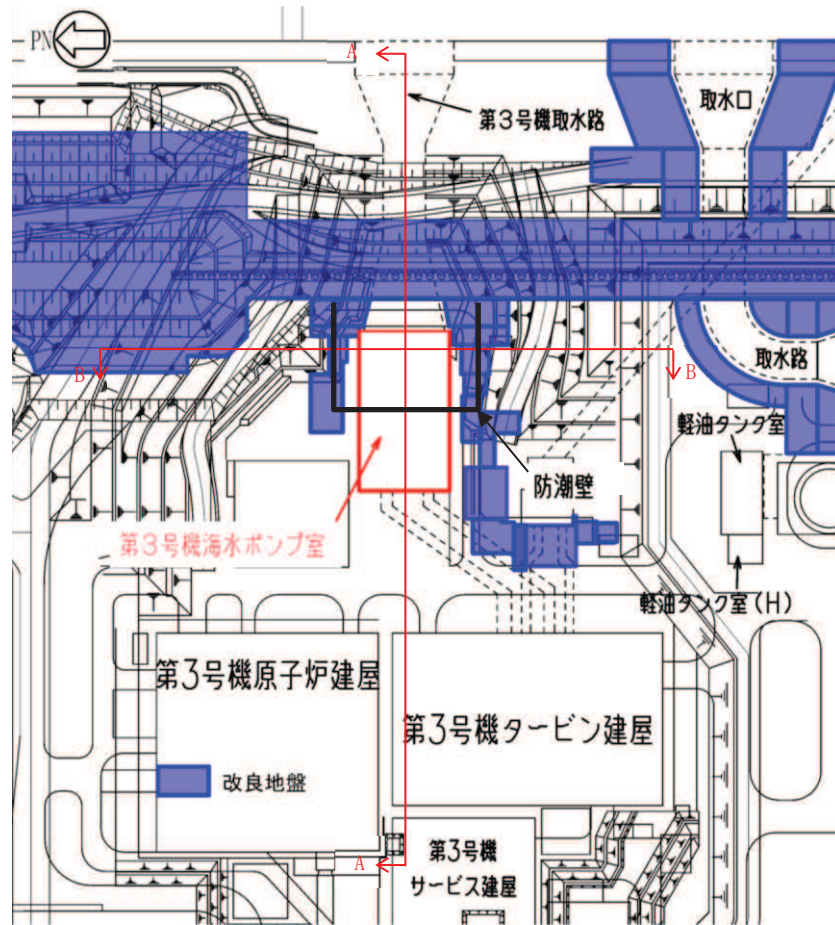


図 4.15-7 第 3 号機海水ポンプ室掘削図

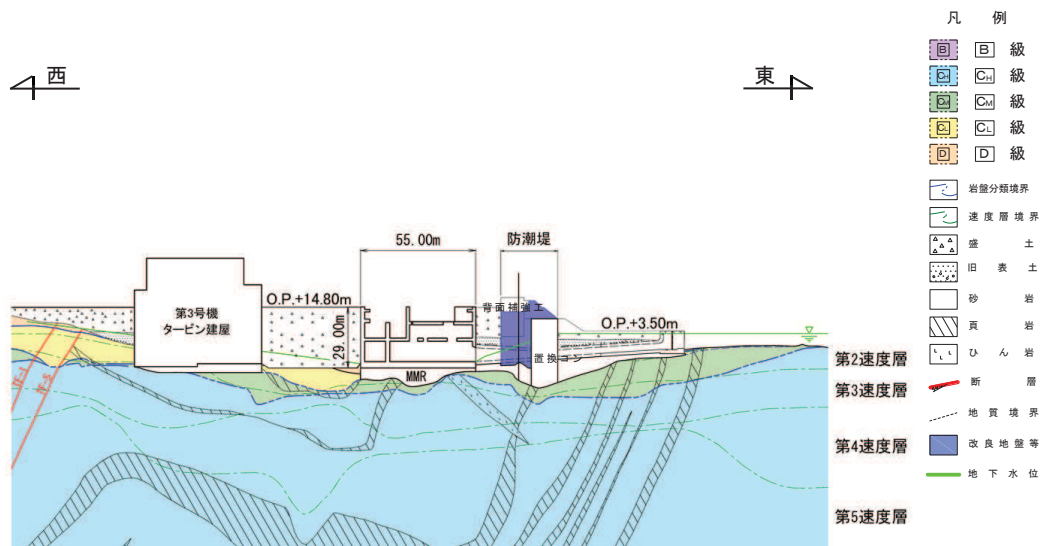


図 4.15-8 第 3 号機海水ポンプ室地質断面図 (A-A)

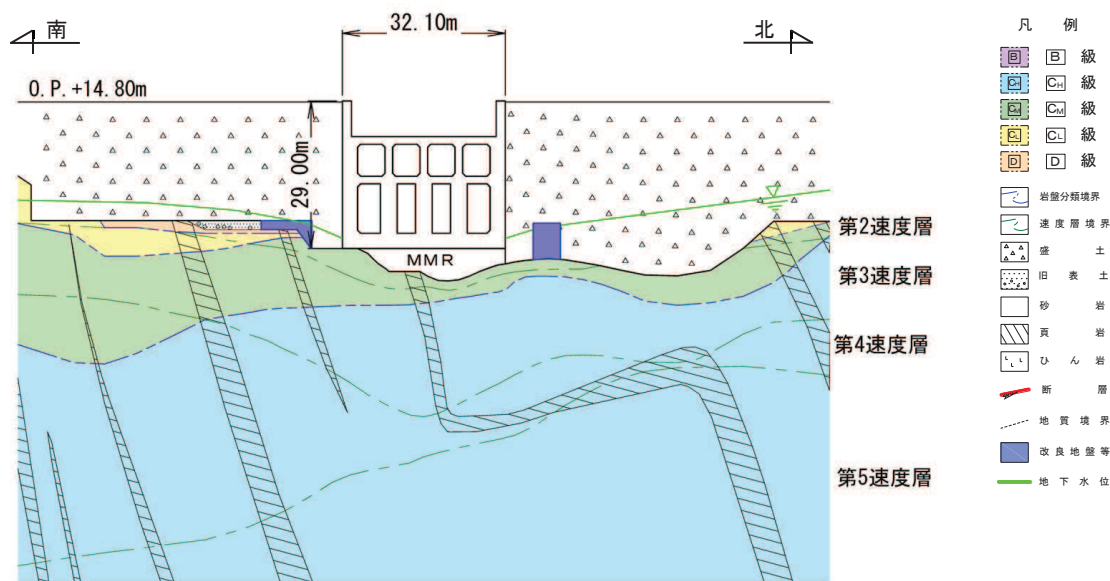


図 4.15-9 第 3 号機海水ポンプ室地質断面図 (B-B)

(2) 地震時荷重算出断面の選定

南北方向は、スクリーンエリア、循環水ポンプエリアの各エリアにおいて、構造物モデルを作成して地震応答解析に反映するが、第 3 号機海水ポンプ室の周辺状況は異なり、スクリーンエリアの両側は地盤改良がなされていることから、循環水ポンプエリアの方が地震時の土圧は大きいものと想定される。また、循環水ポンプエリアは、周辺状況に差異はないことから、循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を地盤モデルとして、地震時荷重算出断面とする。

東西方向は、軸心を中心とする対称性を有し、また周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。

(3) 断面選定結果

第 3 号機海水ポンプ室の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.15-1 に、地震時荷重算出断面図を図 4.15-10 に示す。

表 4.15-1 第 3 号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面の選定結果

| 方向 | 要求機能 | 構造的特徴 | 周辺状況 | 間接支持する主な設備 | 選定結果 |
|---------------|--------------|--|---|---|--|
| 南北方向 | 支持機能 止水機能 | <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造の地下3階構造で、下部は四連のカルバート構造、上部は開口部を有する中床版が設置されている。 耐震要素として機能する面材が少なく弱軸方向となる。 | <ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 両側に地盤改良がなされている。 地下水位は延長方向にほぼ一様であり、構造物底版と同程度に地表面から十分深い位置にある。 | <ul style="list-style-type: none"> 防潮壁 | <ul style="list-style-type: none"> スクリーンエリアの両側は地盤改良がなされており、循環水ポンプエリアに比べ、地震時の土圧は小さいものと想定されることから、循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。 構造モデルはスクリーンエリアの剛性を考慮する。 |
| 循環水ポンプ エリア | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、下部は二連のカルバート構造、上部は中床版が設置されている。 耐震要素として機能する面材が少なく弱軸方向となる。 | <ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 南側は盛土と接しその外側は地盤改良がなされている。北側は第3号機海水熱交換器建屋が設置されている。 地下水位は延長方向にほぼ一様であり、構造物底版と同程度に地表面から十分深い位置にある。 | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 循環水ポンプエリアは、周辺状況に差異はないことから、循環水ポンプエリアの中心を通る地質断面を地震時荷重算出断面とする。 構造モデルは循環水ポンプエリアの剛性を考慮する。 |
| 東西方向 | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート造の地下2階または地下3階の構造で、上部は、上記の2エリアに分かれている。下部は水路となっている。 側壁、隔壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。 | <ul style="list-style-type: none"> MMR を介して岩盤に支持されている。 東側には第3号機取水路が設置され、西側は一樣に盛土で埋め戻されている。 地下水位は構造物底版と同程度に地表面から十分深い位置にある。また、東側の地下水位は比較的高い。 | 同上 | <ul style="list-style-type: none"> 軸心を中心とする対称性を有し、また周辺状況の差異もないことから、構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。 |

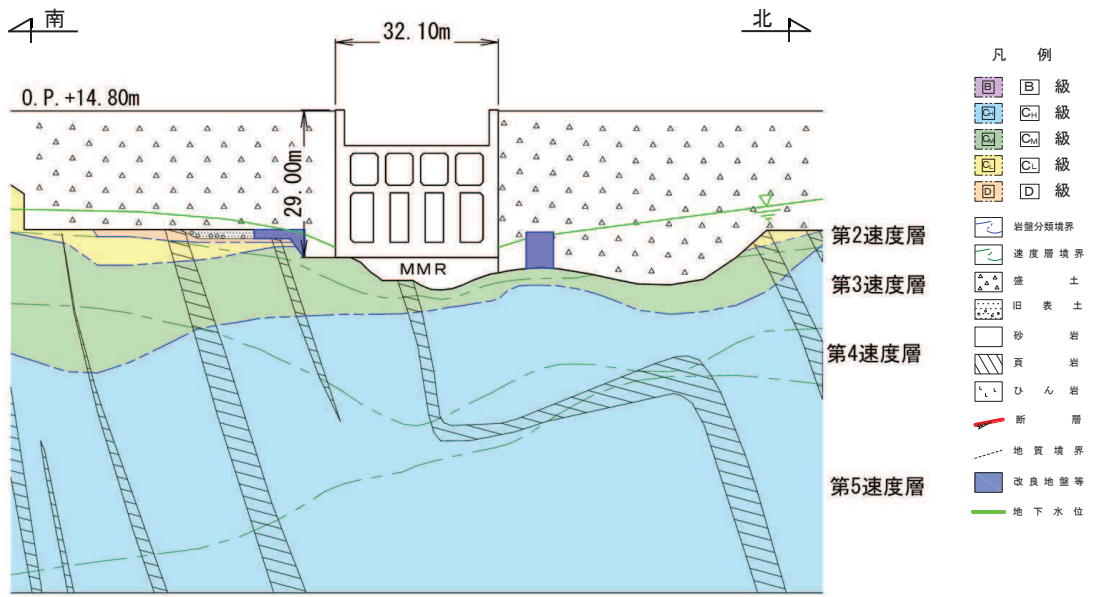


図 4.15-10(1) 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図
(南北方向：スクリーンエリア)

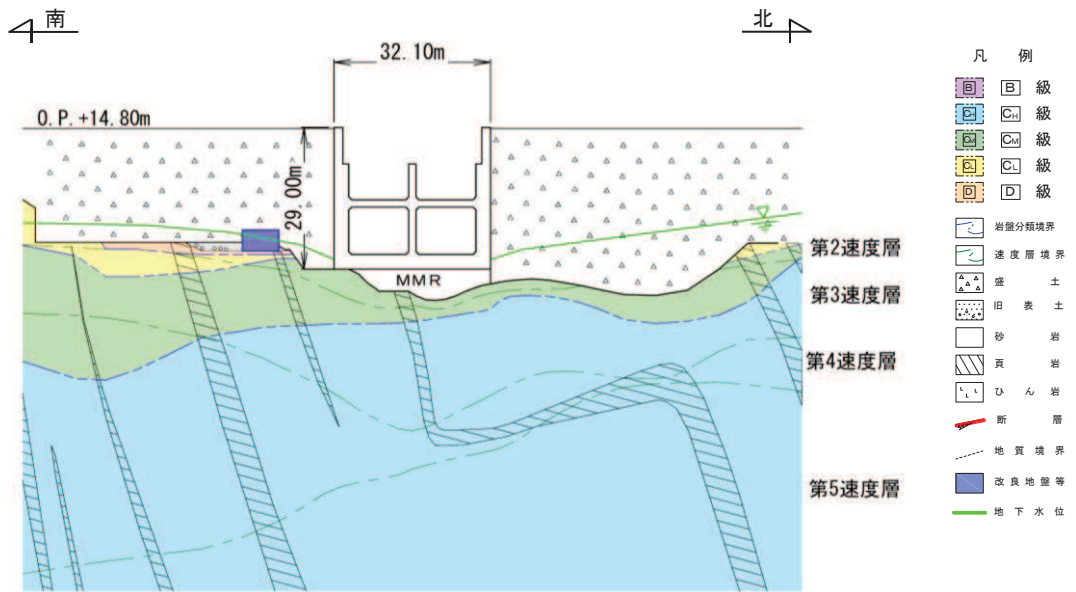


図 4.15-10(2) 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図
(南北方向：循環水ポンプエリア)

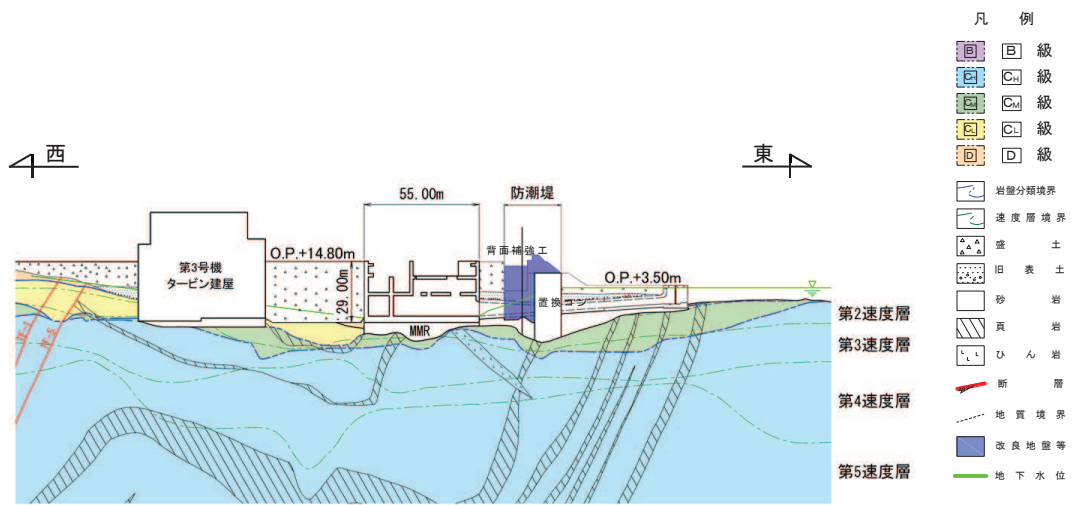


図 4.15-10(3) 第3号機海水ポンプ室 地震時荷重算出断面図（東西方向）

4.15.2 解析手法の選定

第3号機海水ポンプ室の周辺は部分的に防潮壁の変形抑制及び液状化対策を目的とした地盤改良が分布するものの、地下水位は構造物から遠ざかるにつれ上昇しており、地下水位以下の盛土の分布が広がり、施設周辺で液状化発生の有無やその影響について判断できないことから図4.3-1に示す解析手法の選定フローに基づき「⑤全応力解析及び有効応力解析」により耐震評価を行う。また、浮上りに対する安全性を確認する。

7. ジョイント要素のばね設定

「地盤と構造物 (MMR 含む)」、「地盤と改良地盤」及び「構造物と MMR」(以下「地盤と構造物等」という。)の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると、地盤又は MMR は構造物及び改良地盤から剥離する特徴がある。また、「地盤と構造物等」の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え、せん断ひずみを増加させていくと、地盤、構造物 (MMR 含む) 及び改良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。

時刻歴応答解析では、地震時における実挙動を正確に把握するために、「地盤と構造物等」の接合面にジョイント要素を設定し、地震時の「地盤と構造物等」の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、「地盤と構造物等」の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向は、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、ジョイント要素の剛性及び応力をゼロとし剥離を考慮する。せん断方向については、「地盤と構造物等」の接合面において、地盤、構造物 (MMR 含む) 及び改良地盤のせん断強度を超えるせん断応力が生じた場合、ジョイント要素のせん断剛性をゼロ、せん断応力をせん断強度で一定としすべりを考慮する。図 7-1 にジョイント要素の力学特性、図 7-2 にジョイント要素の配置図 (取水路 (漸拡部) の例) を示す。

ジョイント要素の配置によって、再現される挙動が変わることから、表 7-1 に構造物及び改良地盤にジョイント要素を設定する目的及び解析結果への影響を示す。

図 7-2 の取水路 (漸拡部) の例に示すとおり、屋外重要土木構造物の解析断面で確認される「地盤と構造物 (MMR 含む)」、「地盤と改良地盤」及び「構造物と MMR」の接合面にジョイント要素を設定する。ただし、防潮堤のように、表面を露出させて打継処理が可能である箇所についてはジョイント要素を設定しない。具体的には、背面補強工 (コンクリート) と改良地盤の水平境界及びセメント改良土とコンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいこと及び打継処理が可能であることから、ジョイント要素を設定しない。

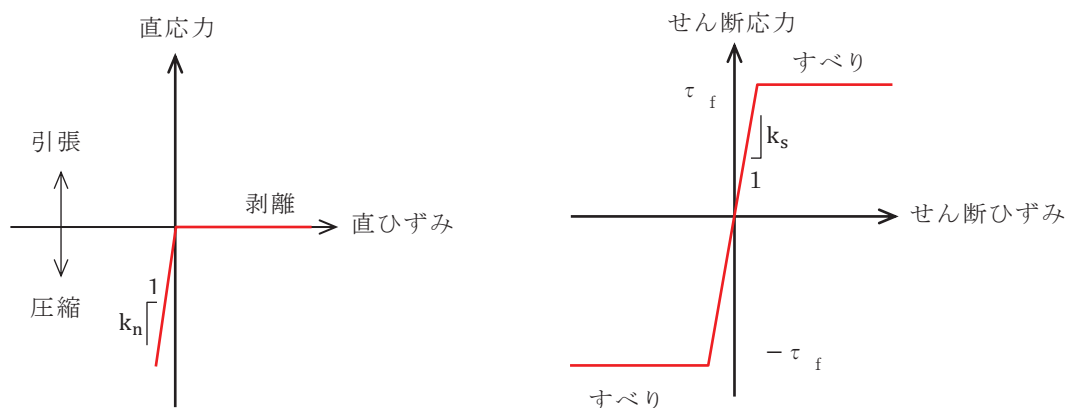


図 7-1 ジョイント要素の力学特性

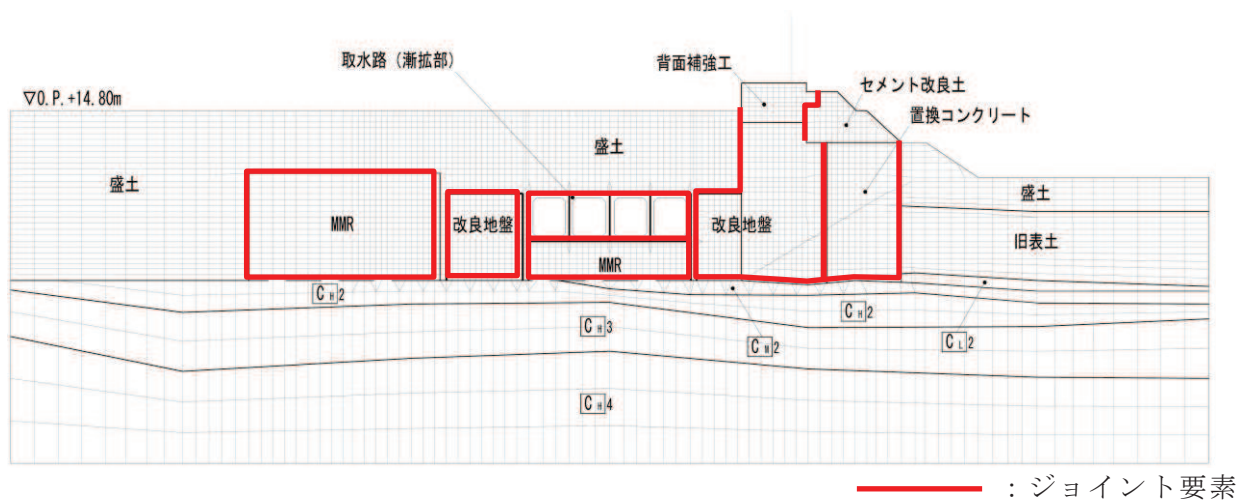


図 7-2 ジョイント要素の配置図 (取水路 (漸拡部) の例)

表 7-1 ジョイント要素設定の目的及び解析結果への影響

| | 再現する実挙動 | 構造物及びMMRにおける評価への影響 | 改良地盤が構造物に与える影響 |
|--------------|--|---|--|
| 構造物及び改良地盤の頂部 | <p>上載土の摩擦力が最大静止摩擦力を超えた場合、上載土の滑動が発生し、最大静止摩擦力以上に荷重の伝達をしないことから、主に上載土のすべりに伴うせん断応力の伝達を適切に再現するためにジョイント要素を設定する。</p> | <p>構造物における曲げ・軸力系の破壊及びびせん断破壊に対する評価について、頂版上の上載土のすべりを考慮することで、過大なせん断力が作用せず現実的な評価となる。</p> | <p>改良地盤における上載土とのすべりを考慮することで、改良地盤の頂部に過大な変形が生じず、構造物に対して現実的な土圧を考慮できる。</p> |
| 構造物及び改良地盤の底面 | <p>側方からの水平土圧が大きい場合、ロッキング振動が発生することから、底面の剥離によりロッキングを再現するために、ジョイント要素を設定する。</p> | <p>構造物における曲げ・軸力系の破壊及びびせん断破壊に対する評価について、底版の剥離を考慮することで、側壁に過大なせん断力が発生せず現実的な評価となる。 支持性能の評価に対して、底版の剥離を考慮することとで、接地面積が狭くなり、保守的な設定となる。</p> | <p>改良地盤における底面の剥離を考慮することで、改良地盤のロッキングに伴う土圧を考慮することが出来ることから、構造物に対して現実的な土圧を考慮できる。</p> |
| 構造物及び改良地盤の側方 | <p>側方地盤が相対的に離れる場合、地盤との界面では引張応力が作用しないことから、側方地盤の剥離により引張応力が伝達しないことを再現するためにジョイント要素を設定する。</p> | <p>構造物における曲げ・軸力系の破壊及びびせん断破壊に対する評価について、側壁の剥離を考慮することで、受動側の側壁に過大なせん断応力が作用されず現実的な評価となる。</p> | <p>改良地盤における側方の剥離を考慮することで、側方地盤が適切に変形することから、構造物に対して現実的な土圧を考慮できる。</p> |

7.1 せん断強度の設定

せん断強度 τ_f は式(1)の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ は、周辺地盤の c 、 ϕ とし、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に基づき表 7-2～表 7-3 のとおりとする。また、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は、隣り合う地盤、改良地盤又は構造物（MMR 含む）の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ を表 7-4 のとおり設定する。

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

ここに、 τ_f ：せん断強度

c ：粘着力

ϕ ：内部摩擦角

屋外重要土木構造物等は、主に地表面以下に設置された地中構造物であり、構造物の耐震性に支配的な損傷モードは地盤のせん断変形を伴う構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊となる。そのため、ジョイント要素のせん断強度を大きく設定することで、すべりの発生を抑え、地震時における構造物のせん断変形を抑制しない保守的な耐震評価を行うことができる。

ジョイント要素のせん断強度の設定における保守性として、防潮堤の置換コンクリートのせん断強度は、 $c = 0.2 f'_{ck}$ 、 $\phi = 0^\circ$ としているが、MMR のジョイント要素の設定における c 、 ϕ については、ACI レポート(1970)（参考文献(1)参照）において、コンクリートのせん断特性として、三軸試験の結果から得られる線形関数で関係付けられる圧縮強度、せん断強度及び内部摩擦角 ($\tan \phi$) が示されており、この関係を参照し置換コンクリートのせん断強度の考え方を下回らないように $c = 0.199 f'_{ck}$ 、 $\phi = 40^\circ$ と設定する（図 7-3 参照）。MMR のジョイント要素のせん断強度を ACI レポート(1970)を参照した c 、 ϕ とすることで、「補足-600-1 地盤の支持性能について」に基づくせん断強度よりも大きなせん断強度となる。

表 7-2 (1) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (狐崎部層)

| 地盤 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|-------------------|------------------------------|------------------|
| C _M 級* | 0.49 | 47.0 |
| C _H 級* | 1.72 | 43.0 |

注記* : 砂岩

表 7-2 (2) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (牧の浜部層)

| 地盤 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|-------------------|------------------------------|------------------|
| C _M 級* | 0.78 | 50.0 |
| C _H 級* | 1.29 | 54.0 |

注記* : 砂岩

表 7-3 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (共通)

| 地盤 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|-------------------|---------------------------------|------------------|
| 盛土* ¹ | 0.10 | 33.9 |
| 盛土* ² | 0.06 | 30.0 |
| 旧表土* ¹ | 0.00 | 38.7 |
| 旧表土* ² | 0.08 | 26.2 |
| セメント改良土 | 0.65 | 44.3 |
| 改良地盤 | 1.39 | 22.1 |
| D級 | 0.10 | 24.0 |
| C _L 級 | 0.46 | 44.0 |
| MMR | $c=0.199f'_{ck}$ * ³ | 40.0 |

注記*1 : 地下水位以浅

*2 : 地下水位以深

*3 : 設計基準強度

表 7-4 要素間の粘着力と内部摩擦角

| 条件 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|--|------------------------------|------------------|
| 盛土・旧表土－改良地盤 | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 盛土・旧表土－MMR | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 盛土・旧表土－構造物 | 盛土・旧表土 c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 改良地盤－岩盤 (D級, C _L 級, C _M 級) | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 改良地盤－岩盤 (C _H 級) | 改良地盤の c | 改良地盤の ϕ |
| 改良地盤－セメント改良土 | セメント改良土の c | セメント改良土の ϕ |
| 岩盤－構造物 | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 岩盤－MMR | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 構造物－MMR | MMR の c | MMR の ϕ |
| 背面補強工－盛土・旧表土 | 盛土・旧表土 c | 盛土・旧表土 ϕ |
| 背面補強工－セメント改良土 | セメント改良土の c | セメント改良土の ϕ |
| 置換コンクリート－盛土・旧表土 | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 置換コンクリート－岩盤 | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 置換コンクリート－改良地盤 | 改良地盤の c | 改良地盤の ϕ |

表-3.8.1 コンクリート*のせん断特性

| ダム名 | 材令 (日) | W/C | 圧縮強度 (C) | せん断強 度 (S) | $\tan \phi$ | S/C |
|--------------|-----------|-------|--------------------|--------------------|-------------|-------|
| | | | kg/cm ² | kg/cm ² | | |
| Grand Coulee | 28 | 0.52 | 369.08 | 82.25 | 0.90 | 0.223 |
| | 28 | 0.58 | 318.46 | 71.71 | 0.89 | 0.225 |
| | 28 | 0.64 | 267.84 | 58.35 | 0.92 | 0.218 |
| | 90 | 0.58 | 333.93 | 71.00 | 0.97 | 0.212 |
| | 112 | 0.58 | 345.88 | 68.89 | 1.05 | 0.199 |
| | 365 | 0.58 | 597.55 | 132.16 | 0.91 | 0.221 |
| Hungry Horse | 104 | 0.55† | 158.18 | 35.15 | 0.90 | 0.222 |
| | 140 | 0.55† | 213.71 | 47.80 | 0.89 | 0.224 |
| | 622 | 0.60† | 123.02 | 28.12 | 0.86 | 0.229 |
| Monticello | 28 | 0.62† | 196.84 | 42.88 | 0.93 | 0.218 |
| | 40 | 0.62† | 289.64 | 66.78 | 0.85 | 0.231 |
| Shasta | 28 | 0.50 | 403.52 | 80.14 | 1.05 | 0.199 |
| | 28 | 0.60 | 345.88 | 74.52 | 0.95 | 0.215 |
| | 90 | 0.50 | 383.14 | 76.63 | 1.05 | 0.200 |
| | 90 | 0.50 | 463.28 | 95.61 | 1.01 | 0.206 |
| | 90 | 0.60 | 351.50 | 73.11 | 1.00 | 0.208 |
| | 245 | 0.50 | 430.24 | 86.47 | 1.04 | 0.201 |

注) * $\phi 15 \times h 30$ cm の供試体で骨材最大寸法は 40 mm
 † W/C+P

粘着力 $c = 0.199 f'_{ck}$

・ せん断強度 (S) / 圧縮強度 (C) の最小値 0.199 より, $S = 0.199C$ と設定

内部摩擦角 $\phi = 40^\circ$

・ $\tan \phi$ の最小値 0.85 より, $\phi = 40.36 \div 40^\circ$ と設定

図 7-3 MMR の c , ϕ の設定 (参考文献(1)参照)

7.2 ばね定数の設定

ジョイント要素のばね定数は、数値計算上、不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値とし、松本らの方法（参考文献(2)参照）に従い設定する。

半無限弾性地盤上の基礎構造物に作用させる地盤ばねは、以下のように表すことができる。ばね定数算定のための形状係数を図 7-4 に示す。

$$K_z = \frac{G}{1-\nu} \beta_z \sqrt{BL}$$

$$K_x = 2(1+\nu)G\beta_x \sqrt{BL}$$

K_z : 鉛直方向の地盤ばね
 K_x : 水平方向の地盤ばね
 G : 地盤のせん断弾性係数
 ν : 地盤のポアソン比
 B : 基礎幅
 L : 基礎長さ
 β_z, β_x : 形状係数

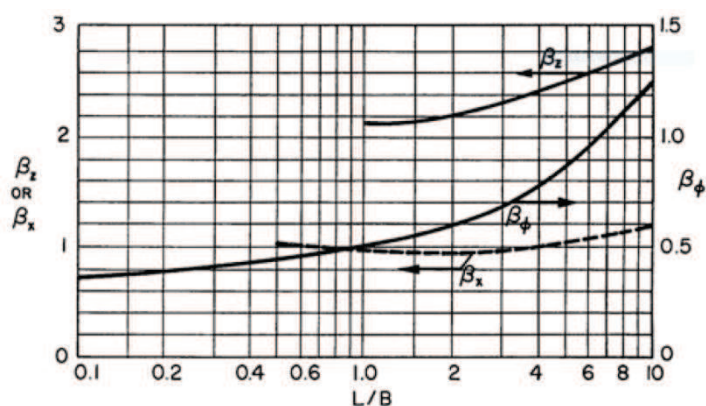


図 7-4 ばね定数算定のための形状係数

ジョイント要素の剛性は、単位面積当たりのばね定数として表現されるため、上記のばね定数を構造物の底面積で除する。既往の知見を踏まえ、この値を 5~10 倍したのち、整然とした数値に丸めることで設定した。表 7-5 に設定したジョイント要素のばね定数を示す。

表 7-5 ジョイント要素のばね定数

| 地盤 | 設定位置 | せん断剛性 k_s (kN/m^3) | 圧縮剛性 k_n (kN/m^3) |
|---------------------------|--------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 盛土, 旧表土 | 側方及び底面 | 1.0×10^6 | 1.0×10^6 |
| 岩盤, セメント改良土, 改良地盤, MMR | 側方及び底面 | 1.0×10^7 | 1.0×10^7 |

なお、表 7-5 に示すジョイント要素のばね定数の設定が妥当であることを確認するために代表構造物を選定し、ジョイント要素の剛性が与える影響として、断面力や土圧・加速度等の応答に有意な差がないこと等を確認する。

【参考文献】

- (1) 大友：ダム及び他の大型構造物に用いるマスコンクリート(その2)，コンクリートジャーナル Vol.9, No.3 March pp73-84, 1971
- (2) 松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp1061-1070, 2009

8. 隣接構造物のモデル化方針

隣接構造物のモデル化は、評価対象構造物との間の埋戻し材料や、それぞれの設置状況に応じて、隣接構造物が評価対象構造物の地震時応答に与える影響を踏まえて設定する。隣接構造物のモデル化の方針は以下のとおりとし、評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例を図 8-1 に示す。

(a) 評価対象構造物と隣接構造物の間が盛土で埋め戻されている場合

地中構造物の耐震評価においては、盛土よりも剛性の大きい隣接構造物をモデル化することにより、周辺地盤の変形が抑制されると考えられる。よって、評価対象構造物に作用する土圧を保守的に評価するため、隣接構造物の設置範囲を盛土としてモデル化する。

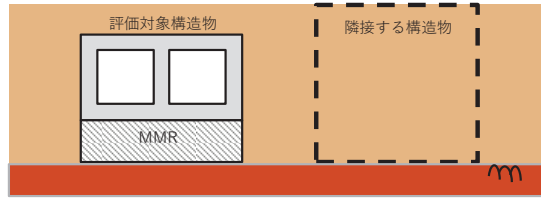
(b) 評価対象構造物と隣接構造物の間が地盤改良されている場合

評価対象構造物と隣接構造物の間に剛性の大きい改良地盤が存在する場合には、隣接構造物の地震時応答が剛性の大きい改良地盤を介して評価対象構造物に伝達することが考えられる。よって、隣接構造物が改良地盤を介して評価対象構造物に与える影響を考慮するため隣接構造物をモデル化する。

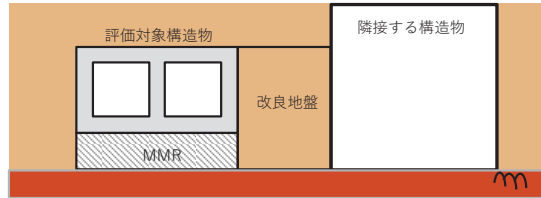
(c) 評価対象構造物と隣接構造物がマンメイドロックを共有している場合

評価対象構造物が隣接構造物とマンメイドロック（以下「MMR」という。）を共有して設置されている場合には、共有する MMR とともに互いに影響を受けながら振動するため、隣接構造物をモデル化する。

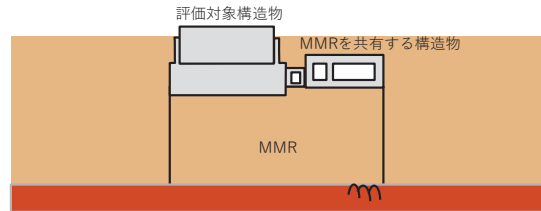
防潮堤は、地中部に大きな改良地盤や置換コンクリートを有しており、これらの地震応答は周辺地盤の挙動に大きな影響を及ぼすことから、評価対象構造物の近傍に防潮堤が存在する場合は、構造物に対する地盤の挙動を適切に評価するために防潮堤をモデル化する。ただし、評価対象構造物に作用する土圧を保守的に評価する場合には盛土としてモデル化することもある。



(a) 評価対象構造物と隣接構造物の間が盛土で埋め戻されている場合



(b) 評価対象構造物と隣接構造物の間が地盤改良されている場合



(c) 評価対象構造物と隣接構造物が MMR を共有している場合

図 8-1 評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例

参考資料 4 断層交差部の影響評価

敷地内に分布する断層が屋外重要土木構造物等の耐震性に与える影響を検討するため、断層と交差する構造物を整理し、交差する断層の諸元を整理し、影響評価を実施する構造物と断層を選定した。そのうえで、断層影響の評価を実施する評価断面の選定を実施した。その結果、軽油タンク室 (H)、軽油タンク室、排気筒連絡ダクト (土砂部) について影響評価を実施し、断層の交差は屋外重要土木構造物等の機能に影響を及ぼさないことを確認した。排気筒連絡ダクト岩盤部 (断面⑦) は、施設の周囲が岩盤に覆われており、岩盤と断層では剛性差が大きいことから、断層が構造物に与える影響があると考えられる。そのため、特殊部として、添付書類「VI-2-2-28 排気筒連絡ダクトの耐震性についての計算書」の別紙に評価結果を記載しているが、本書では参考として評価結果を記載している。

1. 断層が接する構造物の抽出

設置許可に係る適合性審査のうち敷地の地質・地質構造において、重要施設直下の断層に係る審査資料 (第 778 回審査委員会合, 2019 年 9 月 27 日) の抜粋を添付資料 1 に示す。敷地内には比較的破碎幅があり、連続する断層が 16 本分布しており、屋外重要土木構造物等と断層の位置関係を図 1-1 に示す。断層と交差する屋外重要土木構造物等は、表 1-1 に示す通り、軽油タンク室 (H)、軽油タンク室、原子炉機器冷却海水配管ダクト、排気筒連絡ダクト (土砂部) 及び排気筒連絡ダクト (岩盤部) である。

添付資料 1 に示す設置変更許可時における構造物と断層の位置関係の図面では、海水ポンプ室の直下に 0F-4 断層が分布するが、掘削後の底盤スケッチにおいて 0F-4 断層は確認されていない。設置変更許可時の断層はボーリングにより止めが確認された位置まで保守的に延長を記載するルールとしている。しかし、建設時の海水ポンプ室の底版スケッチにより、0F-4 断層の分布は確認されなかった。したがって、断層と交差する構造物の選定を行う本資料においては、海水ポンプ室直下に 0F-4 断層が無く、評価対象構造物から除外されることから、図 1-1 の断層分布図を見直した記載としている。

構造物と断層の交差位置を中心として、概ね解析領域に含まれる範囲において確認されている地点毎の断層幅と平面図を添付資料 2 に示す。なお、ここで示している断層幅は、代表例として図 1-2 に示す排気筒連絡ダクト (土砂部) 直下の TF-1 断層の底盤スケッチに記載の通り、破碎部や亀裂が分布するなど、断層活動による影響を受けたと思われる領域を保守的に評価した幅である。実際に断層活動により岩盤に変位が生じた粘土状物質の幅は更に小さい断層が多い。

地点毎に確認された断層幅及び粘土状物質の占める割合を深度方向に投影して作成した断層の断面図を図 1-3～図 1-7 に示す。

構造物へ与える影響は、構造物直下の粘土状物質の断層幅が支配的と考えられるもの

の、断層の挙動は深部まで連続する断層が一体となって変形することから、深部での断層幅も考慮し断層幅を決定する。つまり、直下の粘土状物質の幅と深部を含めた断層の平均幅のうち大きい方を用いる。屋外重要土木構造物等直下に分布する断層のモデル化幅を表 1-2 に示す。

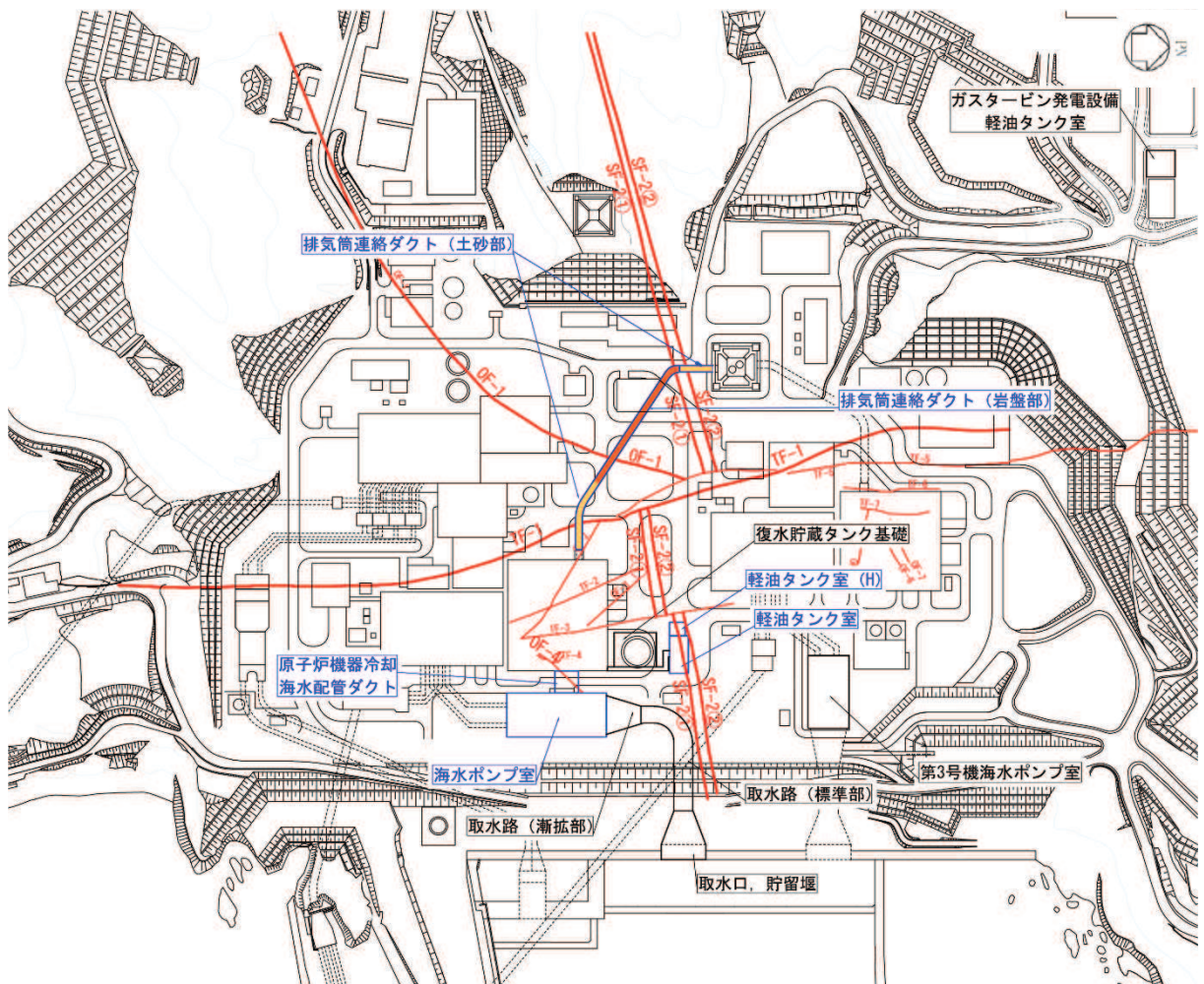


図 1-1 屋外重要土木構造物等の位置と主要断層の分布状況 (O.P. 約-14m)

表 1-1 屋外重要土木構造物等と直下に分布する断層*1

| 構造物 | 直下の断層 | 構造物と断層の 接合状況 | 構造物直下の断層性状 | 傾斜 | 解析領域の平均 幅*2 (モデル化幅) |
|--------------------|-------|------------------------|--|--------------|---------------------------|
| 軽油タンク室 (H) | SF-2② | 高さ 19.4m の MMR を介する | 掘削中だが同位置における試掘坑と同等と判断 試掘坑 I : 200~700mm (内粘土部分 : 700mm) | 40° ~ 50° E | 205mm |
| | SF-2① | 高さ 19.4m の MMR を介する | 掘削中だが同位置における試掘坑と同等と判断 試掘坑 I : 5~110mm (内粘土部分 : 110mm) | 40° ~ 78° E | 115mm |
| 軽油タンク室 | SF-2① | 高さ 18.0m の MMR を介する | 底盤スケッチ③ : 10~500mm (内粘土部分 : 0mm) | 62° ~ 100° S | 115mm |
| 原子炉機器冷却 海水配管ダクト | OF-4 | 高さ 4.4m の MMR を介する | 隣接する試掘坑と同等と判断 試掘坑 I : 20~60mm (内粘土部分 : 0mm) | 46° E | 31mm |
| | TF-1 | 断層処理 (MMR) | 底盤スケッチ③ : 1010~1610mm (内粘土部分 : 50mm) | 45° ~ 63° E | 1146mm |
| 排気筒連絡ダクト (土砂部) | SF-2② | 断層処理 (MMR) | 底盤スケッチ① : 0~100mm (内粘土部分 : 100mm) | 82° S | 613mm |
| | OF-1 | 断層処理 (MMR) | 底盤スケッチ③ : 20~40mm (内粘土部分 : 0mm) | 25° | 95mm |
| 排気筒連絡ダクト (岩盤部) | SF-2① | 断層処理 (MMR) | 底盤スケッチ① : 10~100mm (内粘土部分 : 0mm) | 65° S | 66mm |

注記*1 : 赤枠は評価対象として選定した断層

*2 : 観察位置毎の断層幅は添付資料 2 参照

TF-1断層帯。板状の割れ目が発達したCL”級岩盤相当の破碎帯。

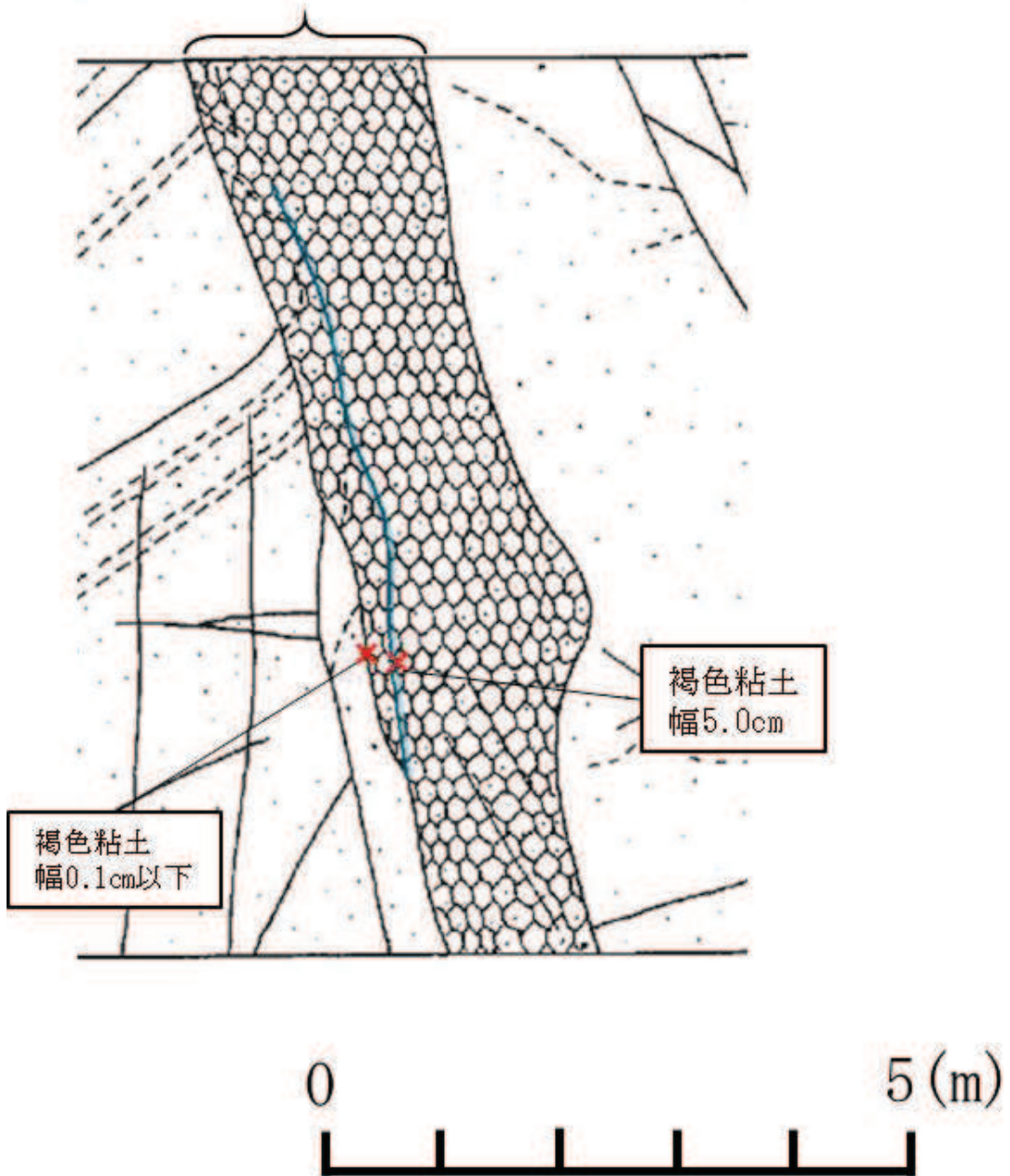
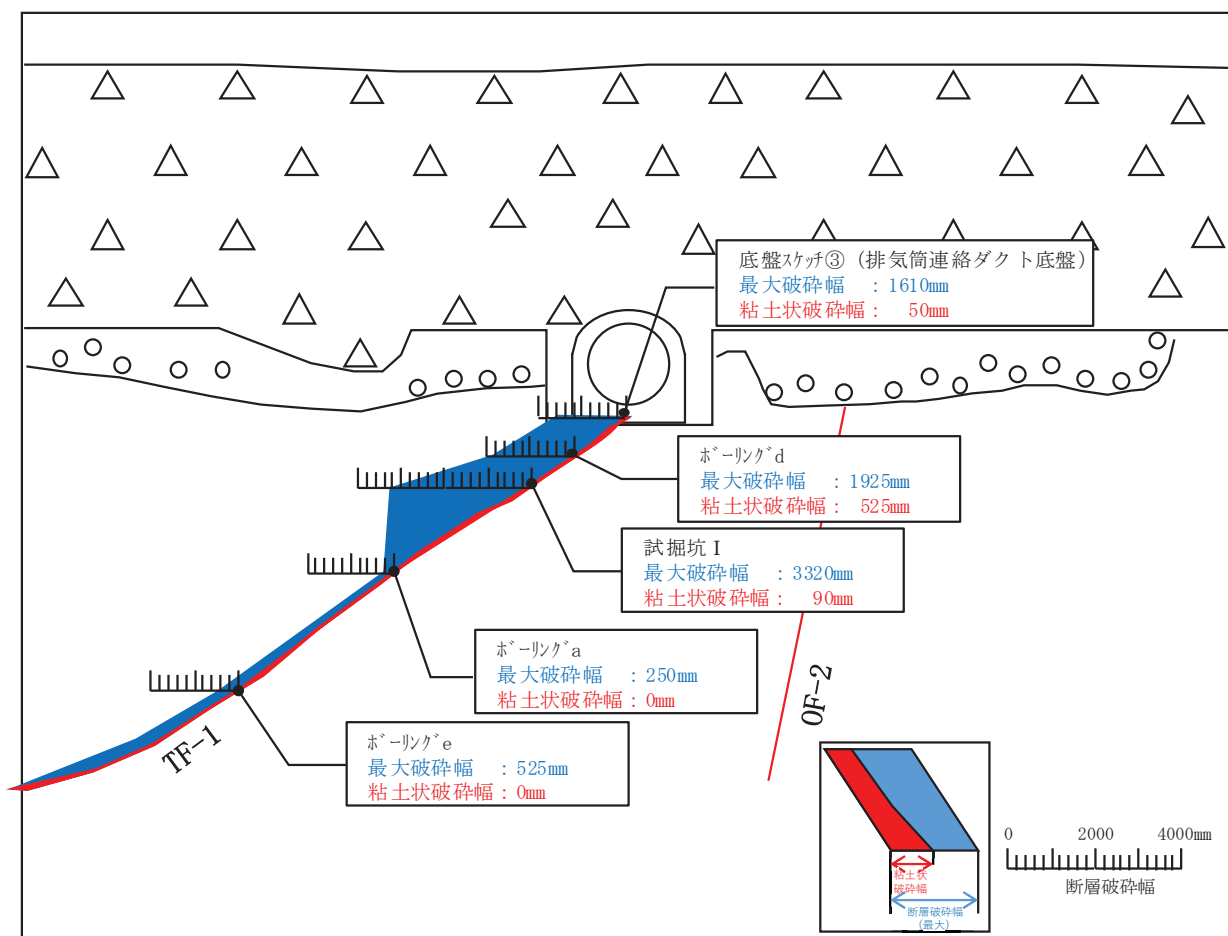
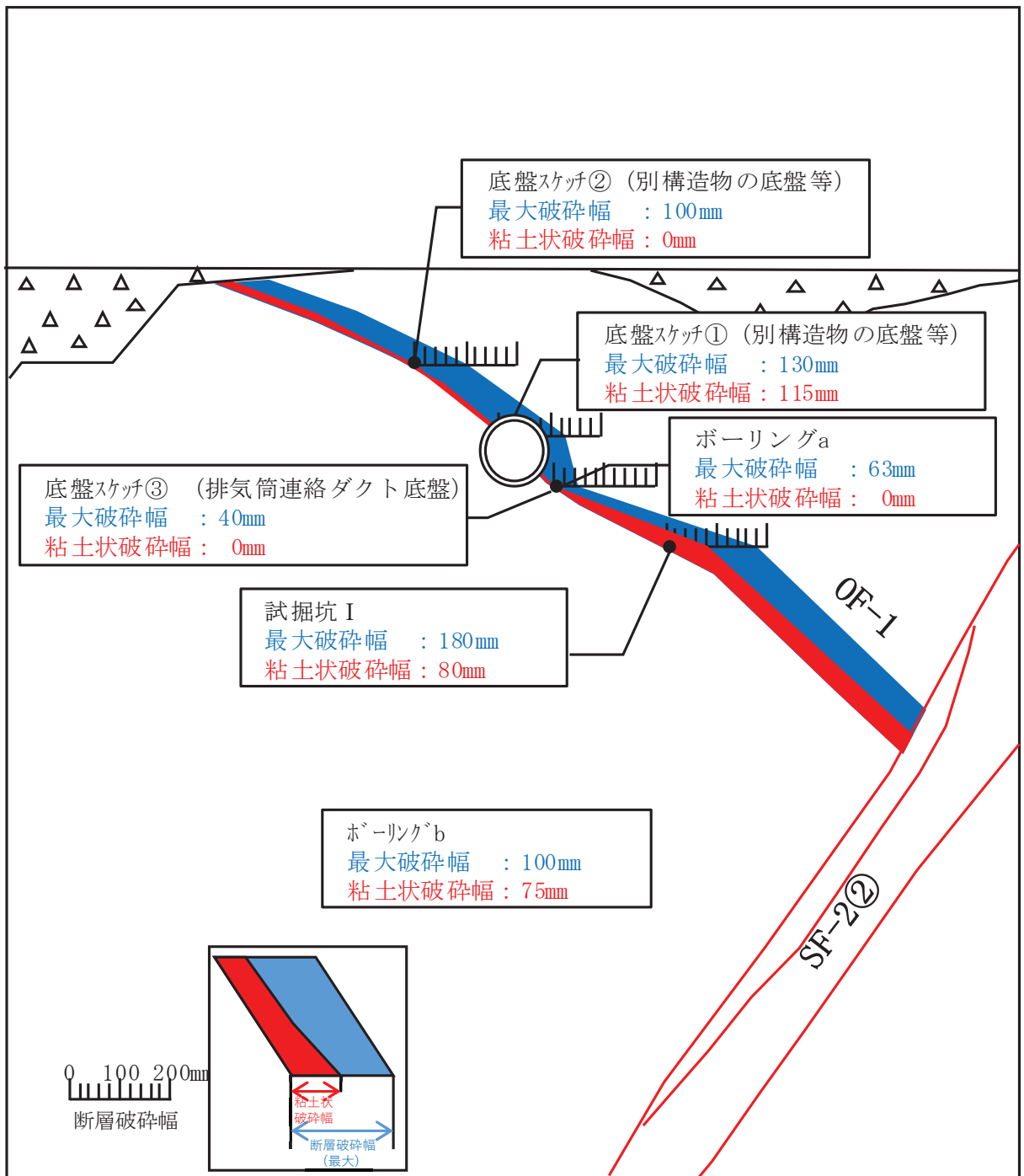


図1-2 排気筒連絡ダクト（土砂部） 底盤スケッチ（TF-1断層横断部）



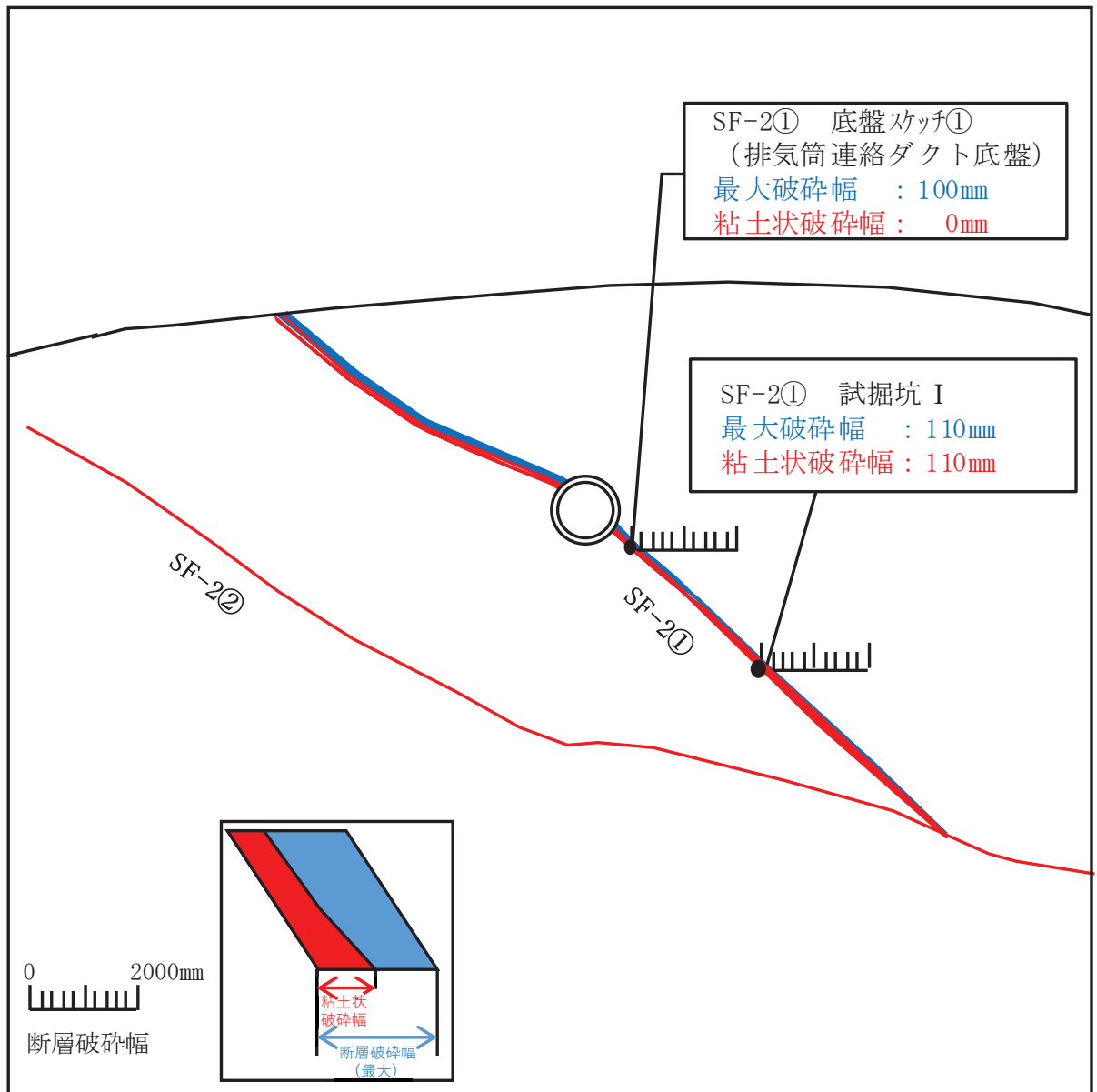
注：断層の No. は，添付資料 2 における図 2-4 及び表 2-1 の調査結果の値と同じ。

図 1-3 TF-1 断層断面図 (排気筒連絡ダクト (土砂部))



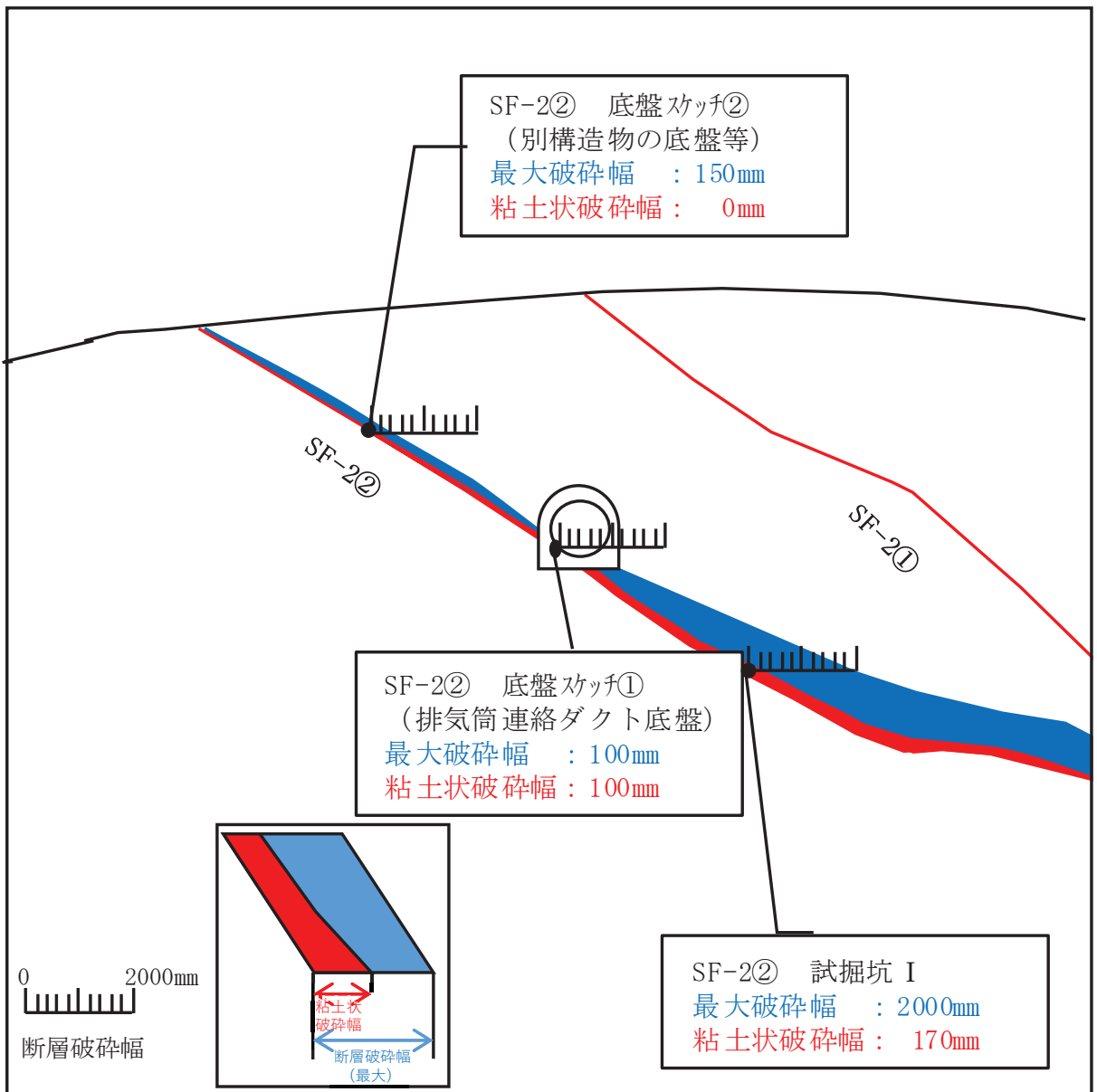
注：断層の No. は、添付資料 2 における図 2-6 及び表 2-1 の調査結果の値と同じ。

図 1-4 OF-1 断層断面図 (排気筒連絡ダクト (岩盤部))



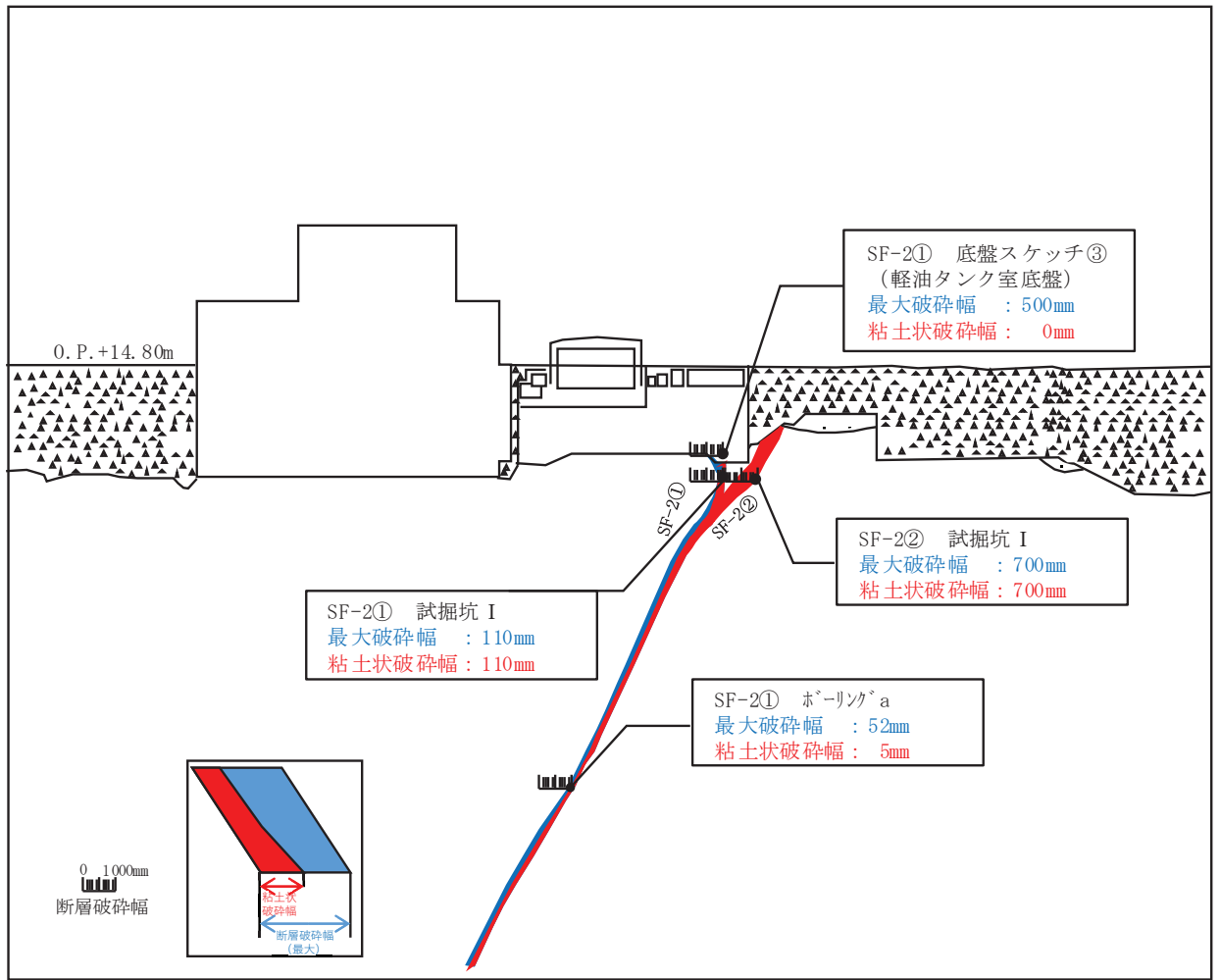
注：断層の No. は，添付資料 2 における図 2-7 及び表 2-1 の調査結果の値と同じ。

図 1-5 SF-2①断層断面図（排気筒連絡ダクト（岩盤部））



注：断層の No. は，添付資料 2 における図 2-5 及び表 2-1 の調査結果の値と同じ。

図 1-6 SF-2②断層断面図（排気筒連絡ダクト（土砂部））



注：断層の No. は、添付資料 2 における図 2-1、図 2-2 及び表 2-1 の調査結果の値と同じ。

図 1-7 SF-2 断層断面図 (軽油タンク室)

表 1-2 屋外重要土木構造物等直下に分布する断層のモデル化幅

| 構造物 | 直下の断層 | 構造物直下の 断層幅 (粘土状物質) | 解析領域の 平均幅 | 採用した モデル化幅 |
|-------------------|-------|--------------------------|--------------|---------------|
| 軽油タンク室 (H) | SF-2② | 700mm | 205mm | 700mm |
| | SF-2① | 110mm | 115mm | 115mm |
| 軽油タンク室 | SF-2① | 0mm | 115mm | 115mm |
| 排気筒連絡ダクト (土砂部) | TF-1 | 50mm | 1146mm | 1146mm |
| 排気筒連絡ダクト (岩盤部) | OF-1 | 0mm | 95mm | 95mm |

2. 評価断層の選定

断層交差部の影響評価を実施する断面は、構造物毎に評価断層を選定して実施する。地震時に断層が変形することによる構造物へ及ぼす影響を評価するための断層選定の観点として、断層と構造物の交差する幾何学的関係、及び断層幅に着目して選定する。断層幅については、破碎帯の膨縮や風化によって一様とはならないこと。また、構造物へ及ぼす断層の変形は、解析領域の断層の平均的な挙動に依存すると考えられることから、モデル化領域で得られた試掘坑調査、底盤スケッチ、ボーリング調査により得られた値の平均値により選定する。

軽油タンク室(H)は、直下のMMRにSF-2①断層とSF-2②断層が接していることから、両断層を対象断層とする。軽油タンク室は、SF-2①断層が直下のMMRに接していることから、SF-2①断層を対象断層とする。

原子炉機器冷却海水配管ダクトに接するOF-4断層は、添付資料1に示す通り、O.P.-20m付近で消滅しており、深部方向には連続しない断層である。原子炉機器冷却海水配管ダクトの支持岩盤は、O.P.-14.1mであることから、OF-4断層は深部に6m程度しか延長せず、端部は岩盤で閉じられていることから、地震動による岩盤表面の変位は小さいと想定される。更に、岩盤上には厚さ4.4mのMMRが施工され、原子炉機器冷却海水配管ダクトはMMR上に設置されていることから、断層の変形による原子炉機器冷却海水配管ダクトの耐震性への影響はないと判断し、検討は省略する。

排気筒連絡ダクト(土砂部)と排気筒連絡ダクト(岩盤部)は、躯体形状や配筋等が異なることから、それぞれの部位毎に評価断層を選定する。排気筒連絡ダクト(土砂部)と交差するTF-1断層とSF-2②断層は、構造物と交差する平面交差角度は、両者とも同等である。一方、断層の傾斜角度はSF-2②断層の方が高角度であり、TF-1断層の方が低角度である。地震動に対してはTF-1断層の方が変形しやすいと考えられる。構造物と断層の幾何形状からは、TF-1断層の方が地震動による構造物への影響は大きいと考えられる。次に断層幅は、TF-1断層の方が平均幅が大きく、構造物への影響は大きいと考えられる。以上より、幾何形状及び断層幅の観点から、TF-1断層を代表として排気筒連絡ダクト(土砂部)への影響を検討する。

排気筒連絡ダクト(岩盤部)と交差するOF-1断層とSF-2①断層は、構造物と交差する平面交差角度は、両者とも同等である。一方、断層の傾斜角度はSF-2①断層の方が高角度であり、OF-1断層の方が低角度である。地震動に対してはOF-1断層の方が変形しやすいと考えられる。構造物と断層の幾何形状からは、OF-1断層の方が地震動による構造物への影響は大きいと考えられる。次に断層幅は、OF-1断層の方が平均幅が大きく、構造物への影響は大きいと考えられる。以上より、幾何形状及び断層幅の観点から、OF-1断層を代表として排気筒連絡ダクト(岩盤部)への影響を検討する。

構造物毎に選定した断層は、表1-1の赤枠で囲まれた断層とする。

3. 断層の影響を評価する断面選定

断層の影響を評価する断面（以下「評価断面」という。）は、断層の変形の影響により耐震評価上、構造物に対して影響が大きいと考えられる断面を選定する。

軽油タンク室(H)は、断層の変形が MMR を介して構造物へ与える影響（断面力等）を適切に評価するために、SF-2①断層と SF-2②断層の両方が MMR に接する縦断方向（タンク軸方向）の断面を評価断面とする。

軽油タンク室は、断層の変形が MMR を介して構造物へ与える影響（断面力等）を適切に評価するために、SF-2①断層に対して構造物が交差する南北方向の断面を評価断面とする。

排気筒連絡ダクト（土砂部）及び排気筒連絡ダクト（岩盤部）は、横断方向（延長方向に直交する方向）に構造部材がない線状構造物であり横断方向（延長方向に直交する方向）が明確な弱軸になるとともに、全線にわたりブロック割されており、延長方向の応力は区画ごとに解放されることから、断層の変形による構造物への影響が大きいと考えられる、構造物へ与える影響を確認するのに適していると考えられる、横断方向（延長方向に直交する方向）に対し、構造物中心に断層が交差する断面を評価断面とする。

軽油タンク室(H)、軽油タンク室、排気筒連絡ダクト（土砂部）、排気筒連絡ダクト（岩盤部）のそれぞれについて、評価対象断面の選定結果を表 3-1 に、評価断面図を図 3-1～図 3-4 に示す。

表 3-1 評価断面の選定結果

| 構造物 | 断層 | 選定結果 |
|-------------------|--------------------|---|
| 軽油タンク室 (H) | SF-2②断層 SF-2①断層 | SF-2①断層及び SF-2②断層に対して、両方の断層が MMR に接している縦断方向（タンク軸方向）の断面を評価断面として選定する。 |
| 軽油タンク室 | SF-2①断層 | SF-2①断層が MMR に接している南北方向の断面を評価断面として選定する。 |
| 排気筒連絡ダクト (土砂部) | TF-1 断層 | 排気筒連絡ダクト（土砂部）にて、断層の規模（幅）が大きい TF-1 断層に対し、構造物中心に断層が交差する横断方向の断面を評価断面として選定する。 |
| 排気筒連絡ダクト (岩盤部) | OF-1 断層 | 排気筒連絡ダクト（岩盤部）にて、断層の規模（幅）が大きい OF-1 断層に対し、構造物中心に断層が交差する横断方向の断面を評価断面として選定する。 |

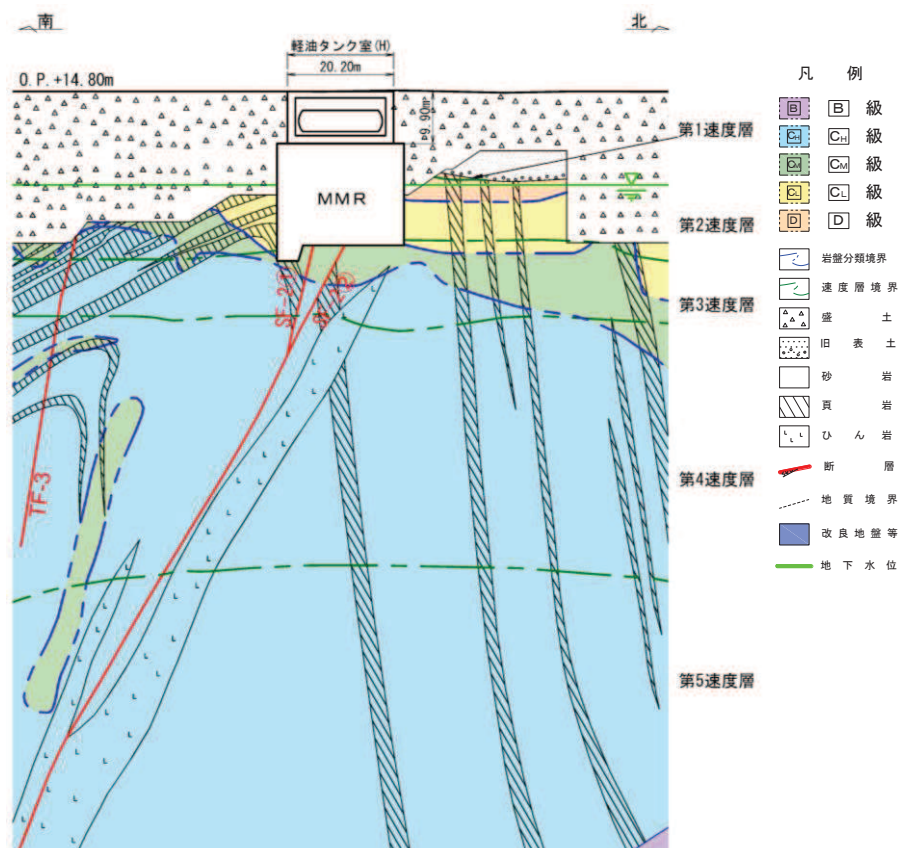


図 3-1 分類 a (MMR) 評価断面図 (軽油タンク室 (H) の縦断面)

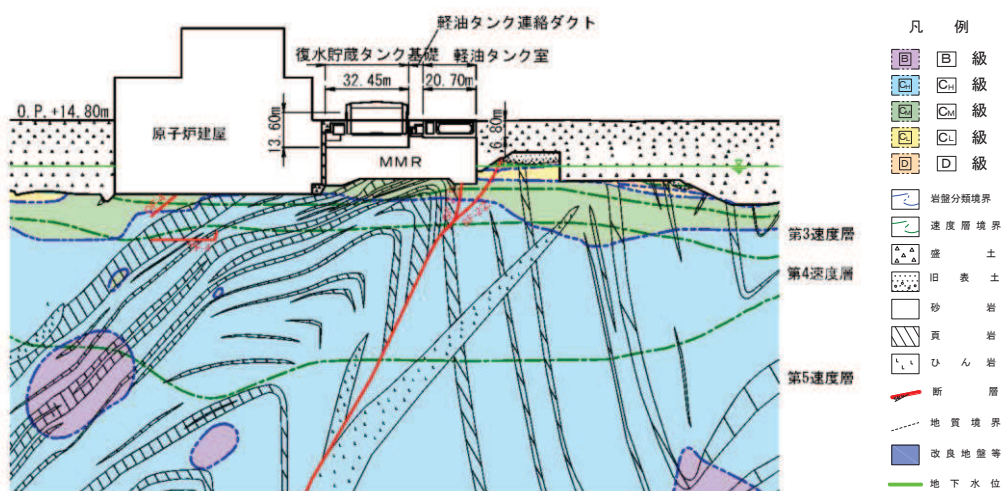


図 3-2 分類 a (MMR) 評価断面図 (軽油タンク室の南北断面)

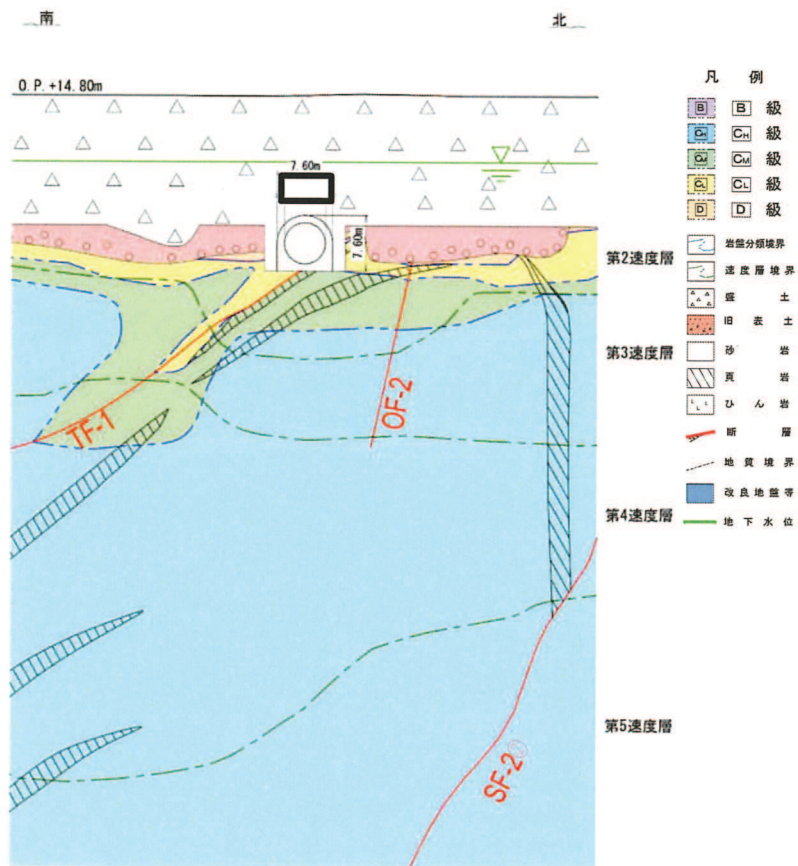


図 3-3 分類 b (盛土) 評価断面図
(排気筒連絡ダクト (土砂部) の横断面)

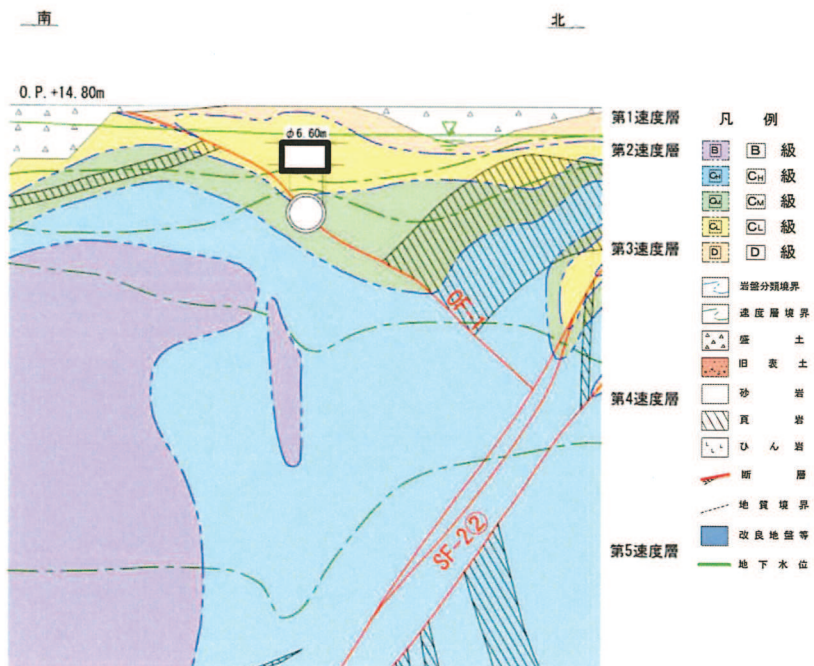


図 3-4 分類 c (岩盤) 評価断面図
(排気筒連絡ダクト (岩盤部) の横断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4. 断層の影響評価方針

女川の断層評価においては、「1. 断層が接する構造物の抽出」に既述の通り、断層の影響を否定できない領域を全て断層幅として保守的に評価している。更に、2次元有限要素解析による影響評価においては、粘土状物質以外の亀裂部等も含めた断層幅を全て粘土状物質によりモデル化する。なお、添付資料3に解析用物性値一覧と使用する粘土状物質の物性値を示す。

2次元有限要素解析における断層のモデル化は、「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>（土木学会，2009年）」（以下「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>」という。）を参考に、ソリッド要素及びジョイント要素により行う。また、松本ら*の「ソリッド要素による弱層のモデルに対し、ジョイント要素を用いた弱層のモデルは、同程度の地盤応答を再現できる」という知見と「設置変更許可時の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」における断層のモデル化方針を踏まえ、排気筒連絡ダクト（土砂部）と交差し層厚の厚いTF-1断層はソリッド要素でモデル化し、その他の断層についてはジョイント要素によりモデル化する。

ジョイント要素は「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>」を参考に、ばね値をせん断弾性係数と断層の厚さの関係から式4-1及び式4-2のとおり設定する。表4-1に影響評価を行う断層幅とモデル化の一覧を示す。

$$\text{せん断ばね：} \quad k_s = \frac{G}{t} \quad \dots \text{（式 4-1）}$$

$$\text{垂直ばね：} \quad k_n = \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \cdot \frac{G}{t} \quad \dots \text{（式 4-2）}$$

注記*：松本敏克，坂田勉，八木悟，森聡：非線形動的解析における地盤の弱層のモデル化に関する一考察，土木学会第66回年次学術講演会（平成23年度）

表 4-1 断層幅及びモデル化方法

| 構造物 | 断層 | 断層幅 (mm) | モデル化方法 |
|-------------------|---------|----------|---------|
| 軽油タンク室 (H) | SF-2①断層 | 115 | ジョイント要素 |
| | SF-2②断層 | 700 | ジョイント要素 |
| | TF-3 断層 | 800 | ジョイント要素 |
| 軽油タンク室 | SF-2①断層 | 115 | ジョイント要素 |
| | SF-2②断層 | 205 | ジョイント要素 |
| 排気筒連絡ダクト (土砂部) | TF-1 断層 | 1146 | ソリッド要素 |
| | SF-2①断層 | 125 | ジョイント要素 |
| | SF-2②断層 | 125 | ジョイント要素 |
| | OF-2 断層 | 50 | ジョイント要素 |
| 排気筒連絡ダクト (岩盤部) | OF-1 断層 | 95 | ジョイント要素 |
| | TF-1 断層 | 605 | ジョイント要素 |
| | SF-2②断層 | 742 | ジョイント要素 |

なお、断層のモデル化以外の内容については、軽油タンク室 (H) は「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」、軽油タンク室は「資料 7 軽油タンク室の耐震安全性評価」、排気筒連絡ダクト (土砂部) 及び排気筒連絡ダクト (岩盤部) は「資料 3 排気筒連絡ダクトの耐震安全性評価」と同様である。それぞれの地震応答解析モデルを図 4-1～図 4-4 に示す。

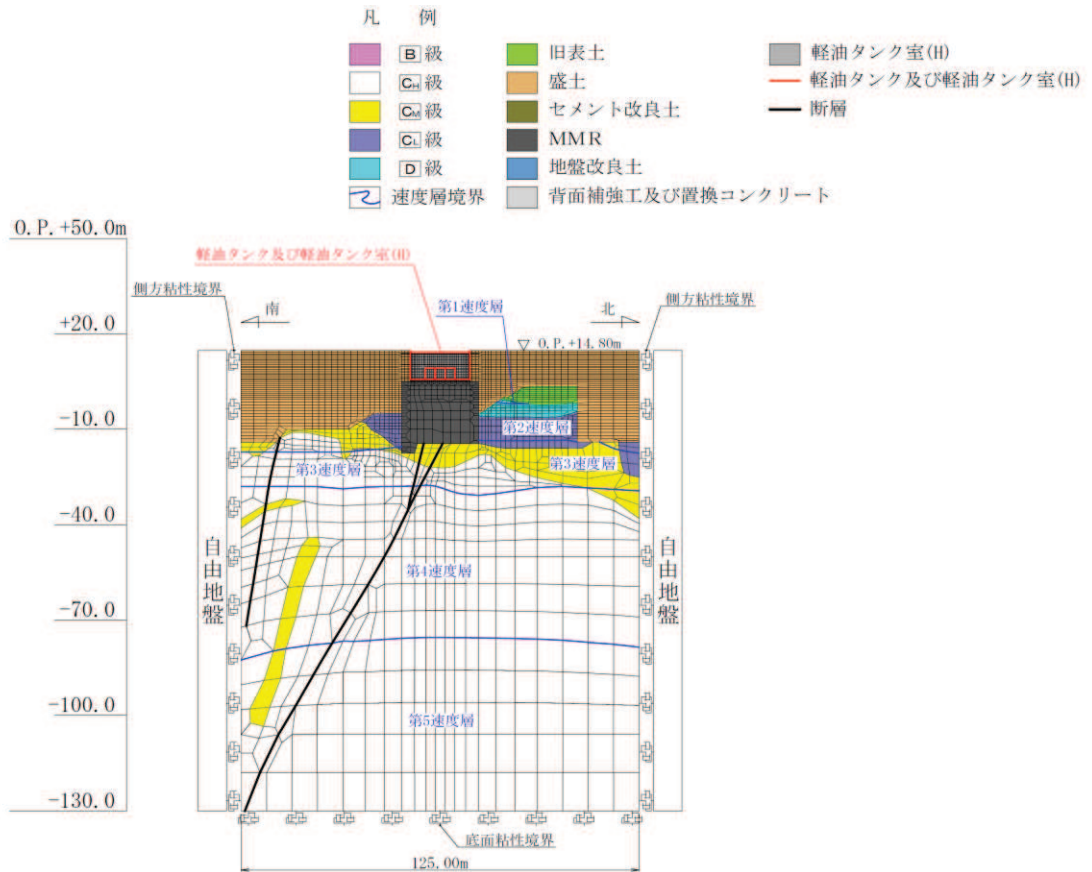


図 4-1 軽油タンク室 (H) の地震応答解析モデル図 (南北方向)

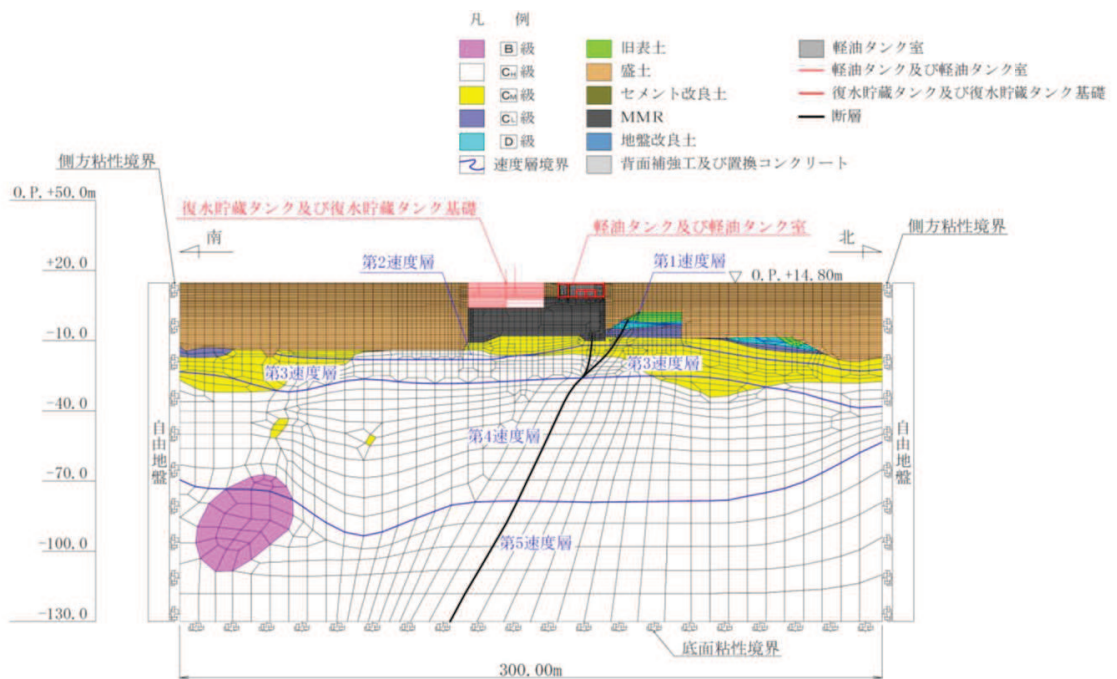

















図 4-2 軽油タンク室の地震応答解析モデル図 (南北方向)

- | | | | | | |
|---|-------|---|-----------------|--|------------|
| 凡 例 | | | | | |
|  | B級 |  | 旧表土 |  | 排気筒連絡ダクト |
|  | C級 |  | 盛土 |  | 断層 (ソリッド) |
|  | C級 |  | セメント改良土 |  | 断層 (ジョイント) |
|  | C級 |  | MMR | | |
|  | D級 |  | 地盤改良土 | | |
|  | 速度層境界 |  | 背面補強工及び置換コンクリート | | |

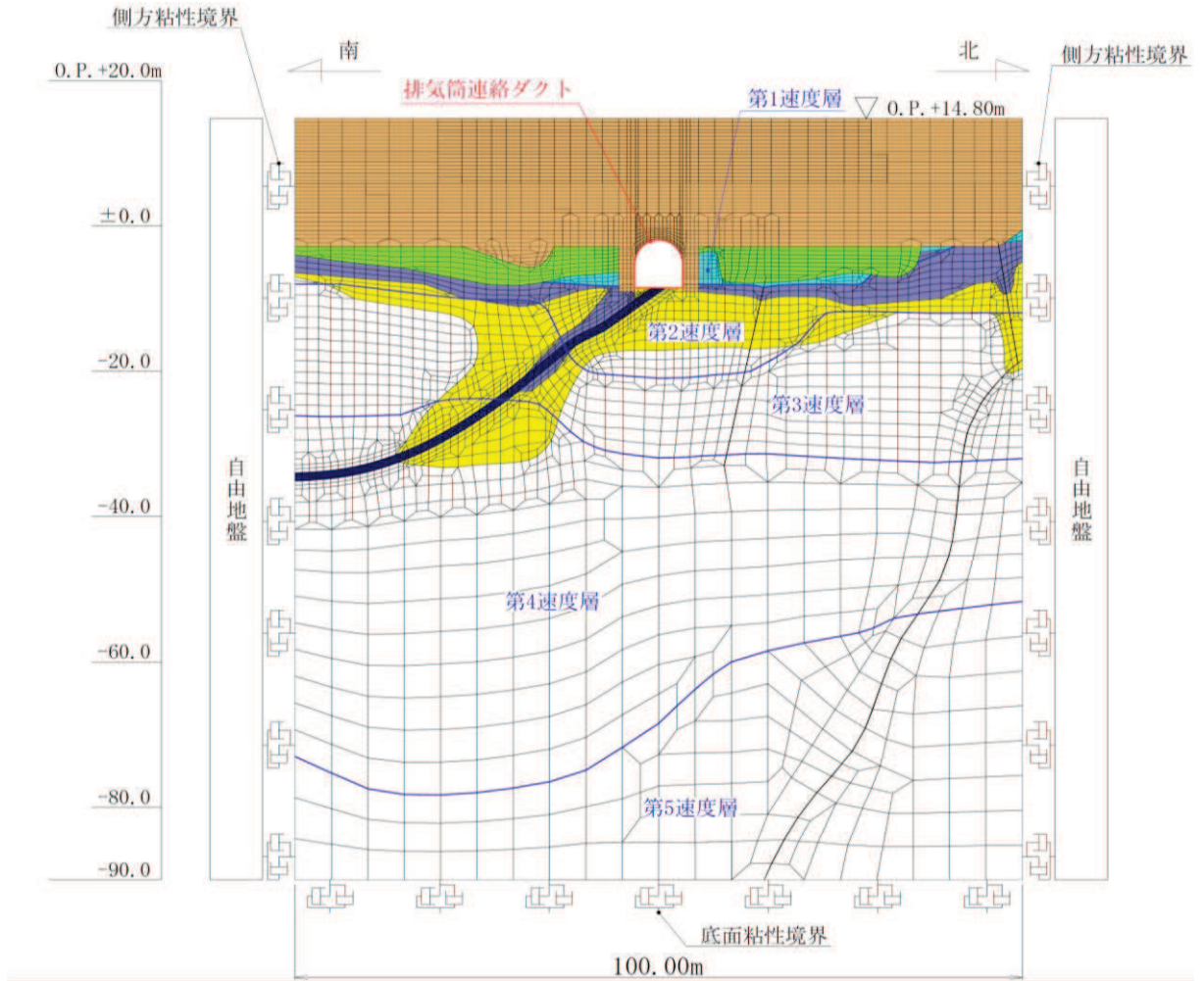


図 4-3 排気筒連絡ダクト (土砂部) の地震応答解析モデル図

- 凡 例
- | | | |
|--------------------|-------------------|--------------|
| ■ B級 | ■ 旧表土 | — 排気筒連絡ダクト |
| ■ C級 | ■ 盛土 | ■ 断層 (ソリッド) |
| ■ C ₂ 級 | ■ セメント改良土 | — 断層 (ジョイント) |
| ■ C ₃ 級 | ■ MMR | |
| ■ D級 | ■ 地盤改良土 | |
| 〰 速度層境界 | ■ 背面補強工及び置換コンクリート | |

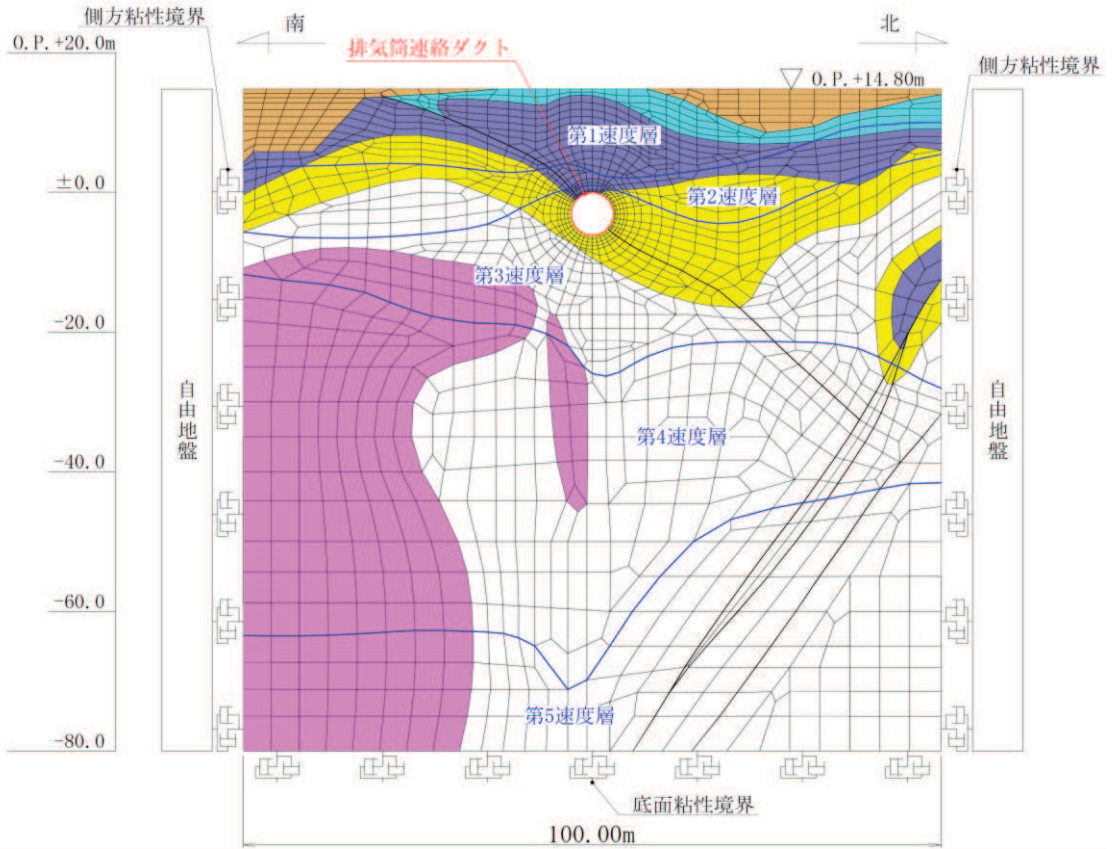


図 4-4 排気筒連絡ダクト (岩盤部) の地震応答解析モデル図

5. 断層の影響評価結果

各構造物の断層を考慮した影響評価として、基準地震動 S_s に水平動の位相反転を考慮した 14 ケースに対し、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持性能に対する評価結果を示す。なお、断層を考慮した影響評価の物性値は、解析ケース①（基本ケース）と同様、コンクリートの材料物性を設計基準強度、地盤物性を平均値とする。

軽油タンク室 (H) 及び軽油タンク室は、断層の有無による影響確認として、断層を考慮しない解析ケースとの比較を行い、排気筒連絡ダクト（土砂部）及び排気筒連絡ダクト（岩盤部）は、断層が横断する特殊部としての影響評価結果を示す。

断層を考慮した影響評価を行った結果、軽油タンク室 (H) 及び軽油タンク室は、断層の有無による耐震評価への影響は極めて軽微であることを確認した。排気筒連絡ダクト（土砂部）及び排気筒連絡ダクト（岩盤部）については、断層厚さを保守的に厚く設定した評価においても、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認した。

以上より、構造物への断層の交差は、施設の周囲が岩盤に覆われている排気筒連絡ダクト（岩盤部）を除いた屋外重要土木構造物等の評価に影響を及ぼさないことを確認した。

5.1 軽油タンク室 (H) の影響評価結果

軽油タンク室 (H) は S クラス施設の間接支持構造物であることから、構造強度を有することの確認及び S クラスの施設を支持する機能についての影響を確認する。

なお、軽油タンク室 (H) は、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する許容限界を短期許容応力度としており、構造強度を有することの確認と S クラスの施設を支持する機能の許容限界が同一である。

5.1.1 構造強度を有することの確認及び S クラスの施設を支持する機能の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-1 及び表 5-2 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-3 に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。

影響確認の結果、各照査値はほぼ同等となり、断層の有無による耐震評価への影響は極めて軽微であることを確認した。

表 5-1 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (コンクリート) 【断層考慮】

| 評価位置* | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げ モーメント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 発生 応力度 σ'_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ'_c / σ'_{ca} |
|---------|----|-----------|----------------|-------------------------|--------------|--|---|-----------------------------------|
| 底版 | 10 | ① | S s - D 2 (++) | -818 | -649 | 2.9 | 13.5 | 0.22 |
| 頂版 | 20 | ① | S s - F 3 (++) | -319 | -685 | 1.8 | 13.5 | 0.14 |
| 南北壁 | 30 | ① | S s - F 3 (++) | 682 | -619 | 2.4 | 13.5 | 0.18 |
| 東西壁 | 60 | ① | S s - F 3 (++) | -727 | -3440 | 3.5 | 13.5 | 0.26 |
| 接続部 底版 | 70 | ① | S s - F 3 (++) | 256 | -622 | 2.4 | 13.5 | 0.18 |
| 接続部 頂版 | 80 | ① | S s - D 1 (-+) | -98 | -902 | 1.3 | 13.5 | 0.10 |
| 接続部 南北壁 | 90 | ① | S s - F 3 (++) | -277 | 319 | 2.7 | 13.5 | 0.20 |

注記* : 評価位置は図 5-1 に示す。

表 5-1 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (コンクリート) 【断層非考慮】

| 評価位置* | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げ モーメント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 発生 応力度 σ'_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ'_c/σ'_{ca} |
|---------|----|-----------|----------------|-------------------------|--------------|--|---|---------------------------------|
| 底版 | 10 | ① | S s - D 2 (-+) | -945 | -594 | 3.3 | 13.5 | 0.25 |
| 頂版 | 20 | ① | S s - F 2 (-+) | -276 | -937 | 1.6 | 13.5 | 0.12 |
| 南北壁 | 40 | ① | S s - D 2 (-+) | -545 | -2095 | 2.4 | 13.5 | 0.18 |
| 東西壁 | 60 | ① | S s - D 2 (-+) | -936 | -3275 | 3.8 | 13.5 | 0.29 |
| 接続部 底版 | 70 | ① | S s - F 2 (-+) | 250 | -668 | 2.3 | 13.5 | 0.18 |
| 接続部 頂版 | 80 | ① | S s - F 2 (-+) | -94 | -1057 | 1.5 | 13.5 | 0.12 |
| 接続部 南北壁 | 90 | ① | S s - F 2 (-+) | -261 | 259 | 2.6 | 13.5 | 0.20 |

注記* : 評価位置は図 5-1 に示す。

表 5-2 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (鉄筋) 【断層考慮】

| 評価位置* | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げ モーメント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|---------|----|-----------|----------------|-------------------------|--------------|---|--|-------------------------------|
| 底版 | 10 | ① | S s - D 2 (++) | 558 | 595 | 82 | 309 | 0.27 |
| 頂版 | 20 | ① | S s - D 1 (-+) | -222 | 178 | 37 | 309 | 0.12 |
| 南北壁 | 30 | ① | S s - F 3 (++) | 616 | 239 | 69 | 309 | 0.23 |
| 東西壁 | 60 | ① | S s - D 2 (-+) | 256 | 1605 | 105 | 309 | 0.34 |
| 接続部 底版 | 70 | ① | S s - D 2 (++) | -83 | 383 | 59 | 309 | 0.20 |
| 接続部 頂版 | 80 | ① | S s - D 2 (++) | 40 | 486 | 59 | 309 | 0.20 |
| 接続部 南北壁 | 90 | ① | S s - F 3 (++) | -277 | 403 | 109 | 309 | 0.36 |

注記* : 評価位置は図 5-1 に示す。

表 5-2 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (鉄筋) 【断層非考慮】

| 評価位置* | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げ モーメント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|---------|----|-----------|----------------|-------------------------|--------------|---|--|-------------------------------|
| 底版 | 10 | ① | S s - D 2 (-+) | 574 | 609 | 84 | 309 | 0.28 |
| 頂版 | 20 | ① | S s - D 2 (++) | -225 | 172 | 37 | 309 | 0.12 |
| 南北壁 | 30 | ① | S s - F 2 (-+) | 509 | 481 | 71 | 309 | 0.23 |
| 東西壁 | 60 | ① | S s - F 2 (-+) | 371 | 1429 | 108 | 309 | 0.35 |
| 接続部 底版 | 70 | ① | S s - F 3 (-+) | -143 | 334 | 70 | 309 | 0.23 |
| 接続部 頂版 | 80 | ① | S s - F 3 (-+) | 63 | 453 | 63 | 309 | 0.21 |
| 接続部 南北壁 | 90 | ① | S s - F 3 (++) | -246 | 357 | 96 | 309 | 0.32 |

注記* : 評価位置は図 5-1 に示す。

表 5-3 (1) せん断破壊に対する最大照査値【断層考慮】

| 評価位置* | | 解析 ケース | 地震動 | 発生 せん断力 V (kN/m) | 短期許容 せん断力 V _a (kN/m) | 照査値 V/V _a |
|---------|----|-----------|--------------------------|---------------------------|--|-------------------------|
| 底版 | 10 | ① | S _s -D 2 (++) | 913 | 2390 | 0.39 |
| 頂版 | 20 | ① | S _s -N 1 (++) | 170 | 1817 | 0.10 |
| 南北壁 | 30 | ① | S _s -F 3 (++) | 982 | 2390 | 0.42 |
| 東西壁 | 60 | ① | S _s -F 3 (++) | 420 | 2390 | 0.18 |
| 接続部 底版 | 70 | ① | S _s -D 3 (++) | 221 | 943 | 0.24 |
| 接続部 頂版 | 80 | ① | S _s -D 3 (++) | 88 | 906 | 0.10 |
| 接続部 南北壁 | 90 | ① | S _s -F 3 (++) | 434 | 906 | 0.48 |

注記*：評価位置は図 5-1 に示す。

表 5-3 (2) せん断破壊に対する最大照査値【断層非考慮】

| 評価位置* | | 解析 ケース | 地震動 | 発生 せん断力 V (kN/m) | 短期許容 せん断力 V _a (kN/m) | 照査値 V/V _a |
|---------|----|-----------|--------------------------|---------------------------|--|-------------------------|
| 底版 | 10 | ① | S _s -D 2 (-+) | 1031 | 2390 | 0.44 |
| 頂版 | 20 | ① | S _s -N 1 (++) | 188 | 1817 | 0.11 |
| 南北壁 | 30 | ① | S _s -F 2 (-+) | 905 | 2390 | 0.38 |
| 東西壁 | 60 | ① | S _s -F 2 (-+) | 433 | 2390 | 0.19 |
| 接続部 底版 | 70 | ① | S _s -F 2 (++) | 272 | 943 | 0.29 |
| 接続部 頂版 | 80 | ① | S _s -F 2 (++) | 103 | 906 | 0.12 |
| 接続部 南北壁 | 90 | ① | S _s -F 2 (-+) | 420 | 906 | 0.47 |

注記*：評価位置は図 5-1 に示す。

5.1.2 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照査結果及びMMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表 6-4 及び表 6-5 に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。

表 5-4 (1) 基礎地盤の支持性能照査結果【断層考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d / R_u |
|-----------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| ① | S _s - F 2 (++) | 2.7 | 13.7 | 0.20 |

表 5-4 (2) 基礎地盤の支持性能照査結果【断層非考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d / R_u |
|-----------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| ① | S _s - D 1 (-+) | 2.1 | 13.7 | 0.16 |

表 5-5 (1) MMR（既設）の支持性能照査結果【断層考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 支圧強度 f'_a (N/mm ²) | 照査値 R_d / f'_a |
|-----------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| ① | S _s - D 2 (++) | 1.9 | 26.5 | 0.08 |

表 5-5 (2) MMR（既設）の支持性能照査結果【断層非考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 支圧強度 f'_a (N/mm ²) | 照査値 R_d / f'_a |
|-----------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| ① | S _s - D 2 (-+) | 2.1 | 26.5 | 0.08 |

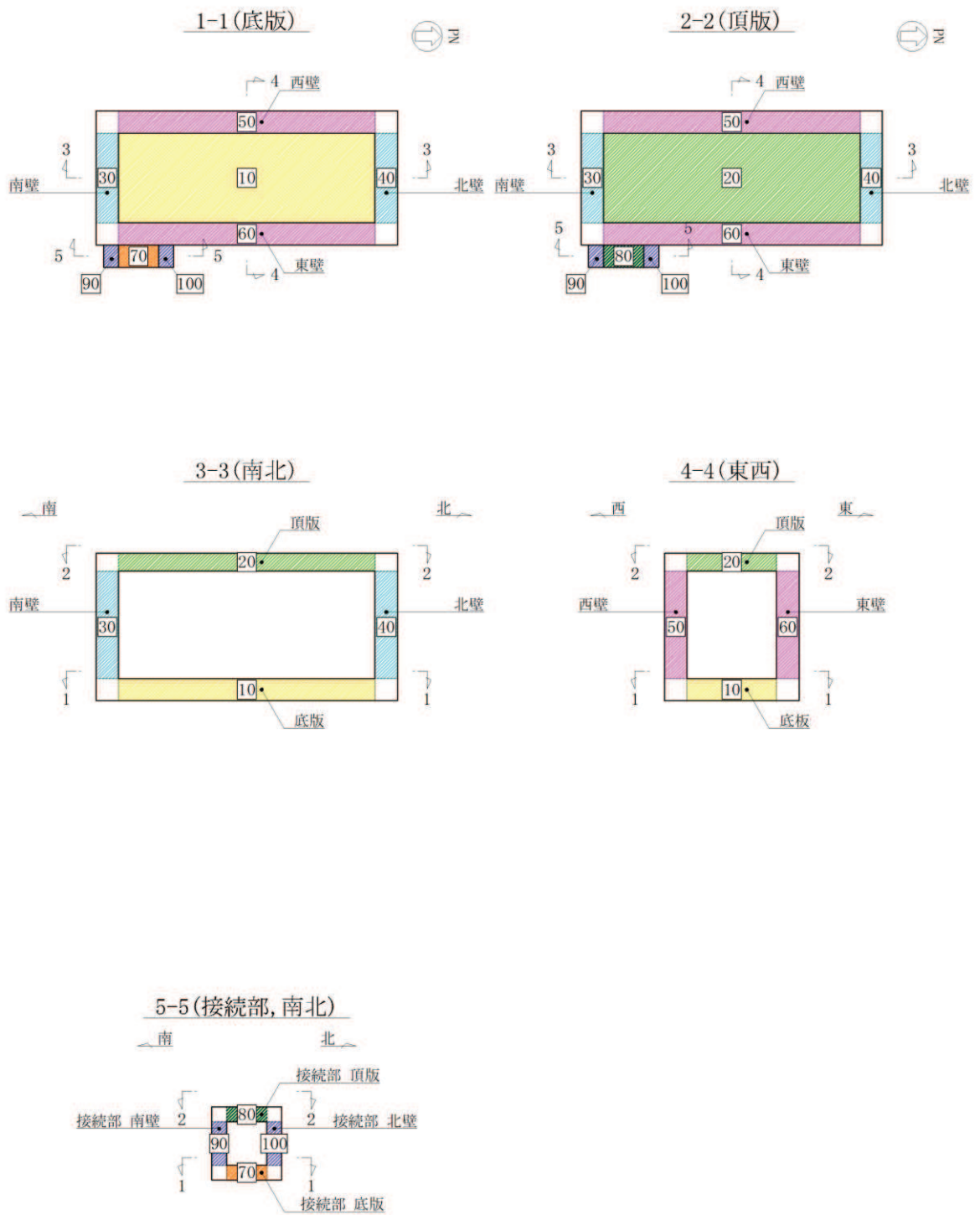


图 5-1 評価位置図

5.2 軽油タンク室の影響評価結果

軽油タンク室は S クラス施設の間接支持構造物であることから、構造強度を有することの確認及び S クラスの施設を支持する機能についての影響を確認する。

影響確認の結果、各照査値はほぼ同等となり、断層の有無による耐震評価への影響は極めて軽微であることを確認した。

5.2.1 構造強度を有することの確認の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-6 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-7 に、各部材の面内せん断（層間変形角）に対する最大照査値を表 6-8 に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。

表 5-6 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）
【断層考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 ひずみ*2 ϵ_d | 限界 ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------|----|-----------|----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 底版 | 12 | ① | S s - D 2 (-+) | 211 μ | 10000 μ | 0.03 |
| 頂版 | 22 | ① | S s - D 1 (-+) | 233 μ | 10000 μ | 0.03 |
| 南北壁 | 42 | ① | S s - D 1 (-+) | 122 μ | 10000 μ | 0.02 |
| 隔壁(東西) | 52 | ① | S s - D 2 (-+) | 177 μ | 10000 μ | 0.02 |
| 東西壁 | 61 | ① | S s - D 2 (-+) | 141 μ | 10000 μ | 0.02 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S s - D 2 (++) | 182 μ | 10000 μ | 0.02 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - D 2 (++) | 158 μ | 10000 μ | 0.02 |

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用ひずみ = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表 5-6 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (コンクリートの圧縮ひずみ)
【断層非考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 ひずみ*2 ϵ_d | 限界 ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------|----|-----------|------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 底版 | 12 | ① | S _s -D2(-+) | 219 μ | 10000 μ | 0.03 |
| 頂版 | 21 | ① | S _s -D1(++) | 253 μ | 10000 μ | 0.03 |
| 南北壁 | 41 | ① | S _s -F2(++) | 137 μ | 10000 μ | 0.02 |
| 隔壁(東西) | 52 | ① | S _s -D2(-+) | 186 μ | 10000 μ | 0.02 |
| 東西壁 | 61 | ① | S _s -D2(-+) | 147 μ | 10000 μ | 0.02 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S _s -F2(++) | 206 μ | 10000 μ | 0.03 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S _s -D2(++) | 181 μ | 10000 μ | 0.02 |

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 5-7 (1) せん断破壊に対する最大照査値【断層考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 せん断力*2 V_d (kN/m) | せん断 耐力 V_{yd} (kN/m) | 照査値 V_d / V_{yd} |
|--------|----|-----------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 底版 | 11 | ① | S _s -D2(-+) | 513 | 1071 | 0.48 |
| 頂版 | 22 | ① | S _s -D1(-+) | 317 | 564 | 0.57 |
| 南北壁 | 42 | ① | S _s -D2(++) | 504 | 1173 | 0.43 |
| 隔壁(東西) | 53 | ① | S _s -D2(++) | 402 | 708 | 0.57 |
| 東西壁 | 72 | ① | S _s -D2(++) | 228 | 443 | 0.52 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S _s -D1(-+) | 14 | 470 | 0.03 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S _s -D2(-+) | 47 | 511 | 0.10 |

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表 5-7 (2) せん断破壊に対する最大照査値【断層非考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 せん断力*2 V_d (kN/m) | せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m) | 照査値 $V_d / V_{y d}$ |
|--------|----|-----------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 底版 | 11 | ① | $S_s - F 2 (+ +)$ | 331 | 585 | 0.57 |
| 頂版 | 22 | ① | $S_s - D 2 (- +)$ | 336 | 564 | 0.60 |
| 南北壁 | 41 | ① | $S_s - D 2 (+ +)$ | 566 | 1174 | 0.49 |
| 隔壁(東西) | 53 | ① | $S_s - D 2 (+ +)$ | 449 | 718 | 0.63 |
| 東西壁 | 72 | ① | $S_s - D 2 (+ +)$ | 262 | 443 | 0.60 |
| 隔壁(南北) | 81 | ① | $S_s - D 2 (+ +)$ | 22 | 470 | 0.05 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | $S_s - D 2 (- +)$ | 50 | 511 | 0.10 |

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表 5-8 (1) 壁部材の面内せん断（層間変形角）に対する照査【断層考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間 変形角*2 γ_d | 許容限界 γ_R | 照査値 γ_d / γ_R |
|--------|----|-----------|-------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 南北壁 | 30 | ① | $S_s - D 2 (- +)$ | 13μ | 2000μ | 0.01 |
| 隔壁(東西) | 50 | ① | $S_s - D 2 (+ +)$ | 26μ | 2000μ | 0.02 |
| 東西壁 | 60 | ① | $S_s - D 2 (- +)$ | 67μ | 2000μ | 0.04 |
| 隔壁(南北) | 80 | ① | $S_s - D 2 (+ +)$ | 142μ | 2000μ | 0.08 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | $S_s - D 2 (+ +)$ | 101μ | 2000μ | 0.06 |

注記*1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用層間変形角＝発生する層間変形角×構造解析係数 γ_a

表 5-8 (2) 壁部材の面内せん断（層間変形角）に対する照査【断層非考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間 変形角*2 γ_d | 許容限界 γ_R | 照査値 γ_d / γ_R |
|--------|----|-----------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 南北壁 | 30 | ① | S s - F 3 (-+) | 14 μ | 2000 μ | 0.01 |
| 隔壁(東西) | 50 | ① | S s - D 2 (++) | 29 μ | 2000 μ | 0.02 |
| 東西壁 | 72 | ① | S s - F 2 (++) | 78 μ | 2000 μ | 0.04 |
| 隔壁(南北) | 80 | ① | S s - D 2 (++) | 164 μ | 2000 μ | 0.09 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - F 2 (++) | 116 μ | 2000 μ | 0.06 |

注記*1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用層間変形角＝発生する層間変形角×構造解析係数 γ_a

5.2.2 Sクラスの施設を支持する機能の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-9及び表5-10に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-11に、各部材の面内せん断（層間変形角）に対する最大照査値を表5-12に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。

表5-9 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）

【断層考慮】

| 評価位置*1 | | 解析ケース | 地震動 | 照査用ひずみ*2 ϵ_d | 限界ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------|----|-------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 底版 | 12 | ① | S _s -D2(-+) | 211 μ | 2000 μ | 0.11 |
| 頂版 | 22 | ① | S _s -D1(-+) | 233 μ | 2000 μ | 0.12 |
| 南北壁 | 42 | ① | S _s -D1(-+) | 122 μ | 2000 μ | 0.07 |
| 隔壁(東西) | 52 | ① | S _s -D2(-+) | 177 μ | 2000 μ | 0.09 |
| 東西壁 | 61 | ① | S _s -D2(-+) | 141 μ | 2000 μ | 0.08 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S _s -D2(++) | 182 μ | 2000 μ | 0.10 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S _s -D2(++) | 158 μ | 2000 μ | 0.08 |

注記*1：評価位置は図5-2に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表5-9 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）

【断層非考慮】

| 評価位置*1 | | 解析ケース | 地震動 | 照査用ひずみ*2 ϵ_d | 限界ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------|----|-------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 底版 | 12 | ① | S _s -D2(++) | 219 μ | 2000 μ | 0.11 |
| 頂版 | 21 | ① | S _s -D1(++) | 253 μ | 2000 μ | 0.13 |
| 南北壁 | 41 | ① | S _s -F2(++) | 137 μ | 2000 μ | 0.07 |
| 隔壁(東西) | 52 | ① | S _s -D2(-+) | 186 μ | 2000 μ | 0.10 |
| 東西壁 | 61 | ① | S _s -D2(-+) | 147 μ | 2000 μ | 0.08 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S _s -F2(++) | 206 μ | 2000 μ | 0.11 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S _s -D2(++) | 181 μ | 2000 μ | 0.10 |

注記*1：評価位置は図5-2に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 5-10 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋ひずみ）【断層考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 ひずみ*2 ϵ_d | 限界 ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------|----|-----------|----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 底版 | 11 | ① | S s - D 2 (++) | 92 μ | 1725 μ | 0.06 |
| 頂版 | 22 | ① | S s - D 1 (-+) | 172 μ | 1725 μ | 0.10 |
| 南北壁 | 41 | ① | S s - D 2 (++) | 77 μ | 1725 μ | 0.05 |
| 隔壁(東西) | 52 | ① | S s - D 2 (++) | 101 μ | 1725 μ | 0.06 |
| 東西壁 | 72 | ① | S s - D 2 (++) | 58 μ | 1725 μ | 0.04 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S s - D 2 (-+) | 103 μ | 1725 μ | 0.06 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - D 2 (-+) | 111 μ | 1725 μ | 0.07 |

注記*1：評価位置は図 6-2 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 5-10 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋ひずみ）【断層非考慮】

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 ひずみ*2 ϵ_d | 限界 ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------|----|-----------|----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 底版 | 11 | ① | S s - D 2 (++) | 104 μ | 1725 μ | 0.07 |
| 頂版 | 22 | ① | S s - D 2 (-+) | 193 μ | 1725 μ | 0.12 |
| 南北壁 | 41 | ① | S s - F 2 (++) | 107 μ | 1725 μ | 0.07 |
| 隔壁(東西) | 51 | ① | S s - F 2 (++) | 133 μ | 1725 μ | 0.08 |
| 東西壁 | 72 | ① | S s - F 2 (++) | 68 μ | 1725 μ | 0.04 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S s - D 2 (-+) | 113 μ | 1725 μ | 0.07 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - D 2 (++) | 121 μ | 1725 μ | 0.08 |

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 5-11 (1) せん断破壊に対する最大照査値【断層考慮】(再掲)

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 せん断力*2 V_d (kN/m) | せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m) | 照査値 $V_d/V_{y d}$ |
|--------|----|-----------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 底版 | 11 | ① | S s - D 2 (-+) | 513 | 1071 | 0.48 |
| 頂版 | 22 | ① | S s - D 1 (-+) | 317 | 564 | 0.57 |
| 南北壁 | 42 | ① | S s - D 2 (++) | 504 | 1173 | 0.43 |
| 隔壁(東西) | 53 | ① | S s - D 2 (++) | 402 | 708 | 0.57 |
| 東西壁 | 72 | ① | S s - D 2 (++) | 228 | 443 | 0.52 |
| 隔壁(南北) | 82 | ① | S s - D 1 (-+) | 14 | 470 | 0.03 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - D 2 (-+) | 47 | 511 | 0.10 |

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表 5-11 (2) せん断破壊に対する最大照査値【断層非考慮】(再掲)

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 せん断力*2 V_d (kN/m) | せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m) | 照査値 $V_d/V_{y d}$ |
|--------|----|-----------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 底版 | 11 | ① | S s - F 2 (++) | 331 | 585 | 0.57 |
| 頂版 | 22 | ① | S s - D 2 (-+) | 336 | 564 | 0.60 |
| 南北壁 | 41 | ① | S s - D 2 (++) | 566 | 1174 | 0.49 |
| 隔壁(東西) | 53 | ① | S s - D 2 (++) | 449 | 718 | 0.63 |
| 東西壁 | 72 | ① | S s - D 2 (++) | 262 | 443 | 0.60 |
| 隔壁(南北) | 81 | ① | S s - D 2 (++) | 22 | 470 | 0.05 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - D 2 (-+) | 50 | 511 | 0.10 |

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

表 5-12 (1) 壁部材の面内せん断（層間変形角）に対する照査【断層考慮】（再掲）

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間 変形角*2 γ_d | 許容限界 γ_R | 照査値 γ_d / γ_R |
|--------|----|-----------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 南北壁 | 30 | ① | S s - D 2 (-+) | 13 μ | 2000 μ | 0.01 |
| 隔壁(東西) | 50 | ① | S s - D 2 (++) | 26 μ | 2000 μ | 0.02 |
| 東西壁 | 60 | ① | S s - D 2 (-+) | 67 μ | 2000 μ | 0.04 |
| 隔壁(南北) | 80 | ① | S s - D 2 (++) | 142 μ | 2000 μ | 0.08 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - D 2 (++) | 101 μ | 2000 μ | 0.06 |

注記*1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用層間変形角＝発生する層間変形角×構造解析係数 γ_a

表 5-12 (2) 壁部材の面内せん断（層間変形角）に対する照査【断層非考慮】（再掲）

| 評価位置*1 | | 解析 ケース | 地震動 | 照査用層間 変形角*2 γ_d | 許容限界 γ_R | 照査値 γ_d / γ_R |
|--------|----|-----------|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 南北壁 | 30 | ① | S s - F 3 (-+) | 14 μ | 2000 μ | 0.01 |
| 隔壁(東西) | 50 | ① | S s - D 2 (++) | 29 μ | 2000 μ | 0.02 |
| 東西壁 | 72 | ① | S s - F 2 (++) | 78 μ | 2000 μ | 0.04 |
| 隔壁(南北) | 80 | ① | S s - D 2 (++) | 164 μ | 2000 μ | 0.09 |
| 隔壁(西) | 90 | ① | S s - F 2 (++) | 116 μ | 2000 μ | 0.06 |

注記*1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用層間変形角＝発生する層間変形角×構造解析係数 γ_a

5.2.3 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照査結果及びMMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表5-13及び表5-14に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。

表5-13 (1) 基礎地盤の支持性能照査結果【断層考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d / R_u |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| ① | $S_s - D1$ (-+) | 3.2 | 13.7 | 0.24 |

表5-13 (2) 基礎地盤の支持性能照査結果【断層非考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d / R_u |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| ① | $S_s - D2$ (++) | 2.5 | 13.7 | 0.19 |

表5-14 (1) MMR（既設）の支持性能照査結果【断層考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 支圧強度 f'_a (N/mm ²) | 照査値 R_d / f'_a |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| ① | $S_s - D1$ (-+) | 1.2 | 15.6 | 0.08 |

表5-14 (2) MMR（既設）の支持性能照査結果【断層非考慮】

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 支圧強度 f'_a (N/mm ²) | 照査値 R_d / f'_a |
|-----------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| ① | $S_s - D2$ (++) | 1.3 | 15.6 | 0.09 |

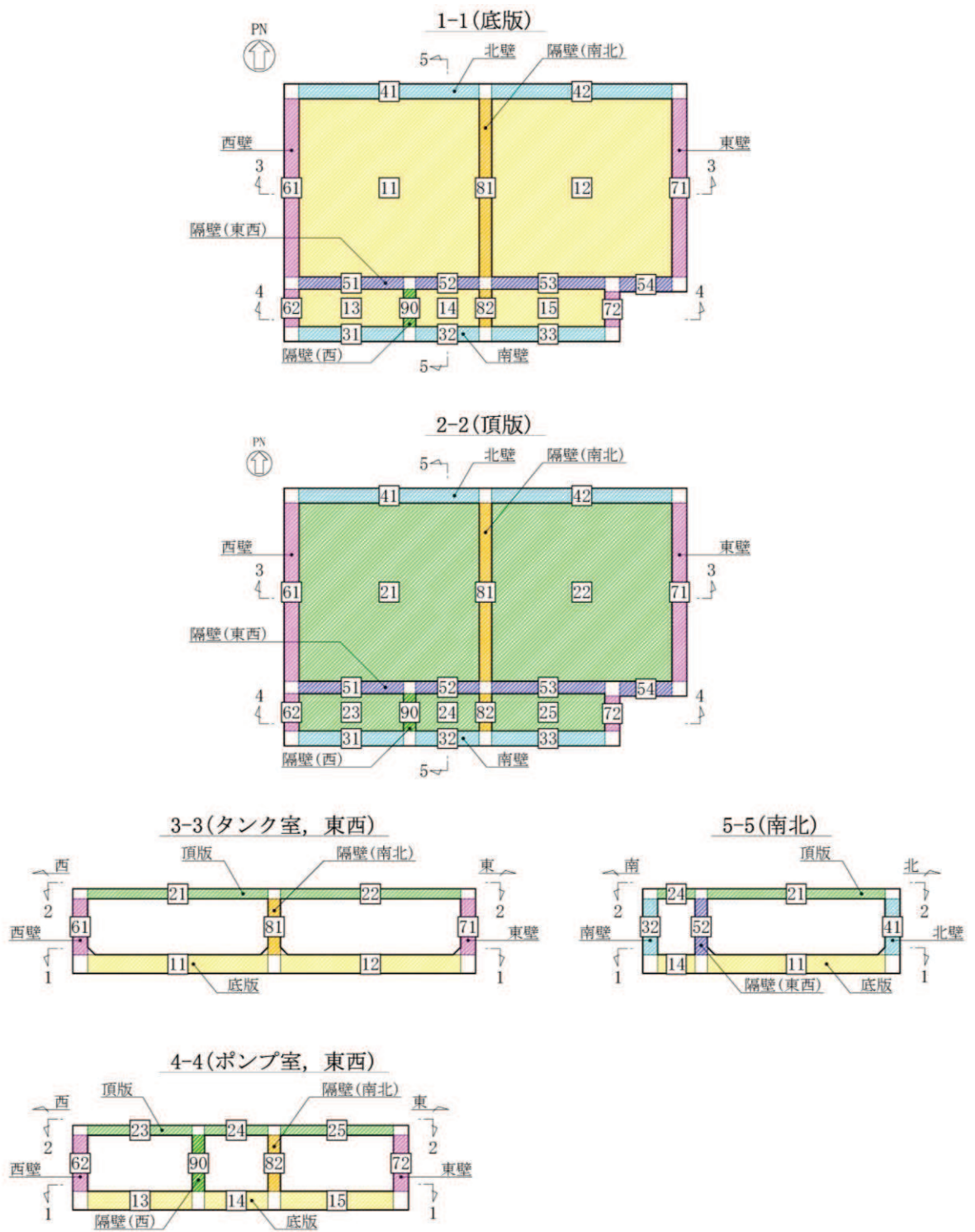


図 5-2 評価位置図（曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊）

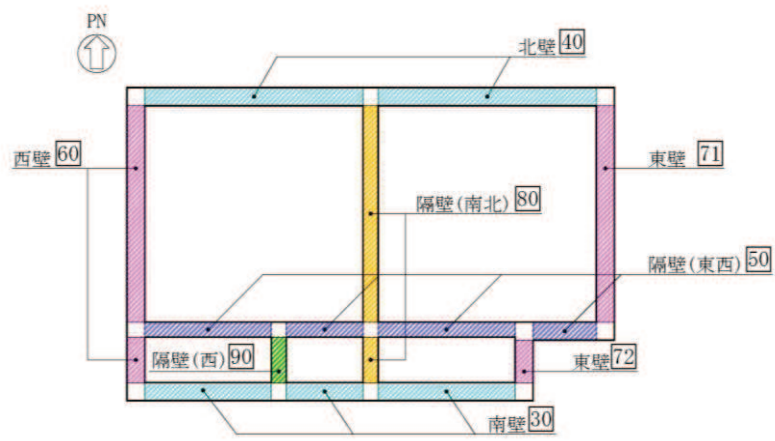


図 5-3 評価位置図（壁部材の面内せん断（層間変形角））

5.3 排気筒連絡ダクト（土砂部）の影響評価結果

排気筒連絡ダクト（土砂部）はSクラス施設の間接支持構造物であることから、構造強度を有することの確認及びSクラスの施設を支持する機能についての影響を確認する。

影響確認の結果、断層厚さを保守的に厚く設定した評価においても、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認した。

5.3.1 構造強度を有することの確認の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-15に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-16に示す。

表5-15 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

| 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 | $S_s - F1$ (++) | 1.27×10^{-3} | 1.0×10^{-2} | 0.13 |

注記*：照査用層間変形角 $R_d =$ 発生する層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

表5-16 せん断破壊に対する最大照査値

| 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 $V_d/V_{y d}$ |
|--------|---|-------|--------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| アーチ | 1 | ① | $S_s - D2$ (-+) | 883 | 1110^{*3} | 0.80 |
| 側壁 | 2 | ① | $S_s - F1$ (-+) | 1507 | 2370^{*4} | 0.64 |
| 底版 | 4 | ① | $S_s - N1$ (++) | 1887 | 2191^{*4} | 0.87 |

注記*1：評価位置は図5-4に示す。

*2：照査用せん断力 = 発生せん断力 \times 構造解析係数 γ_a

*3：部材非線形解析によるせん断耐力

*4：材料非線形解析によるせん断耐力

5.3.2 Sクラスの施設を支持する機能の評価結果

鉄筋コンクリート部材（底版）の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-17 及び表 5-18 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-19 に示す。

表 5-17 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）

| 評価位置 ^{*1} | | 解析ケース | 地震動 | 照査用ひずみ ^{*2} ϵ_d | 限界ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------------------|---|-------|--|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 底版 | 4 | ① | S _s -D ₂ (-+) | 858 μ | 2000 μ | 0.43 |

注記*1：評価位置は図 5-4 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 5-18 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋ひずみ）

| 評価位置 ^{*1} | | 解析ケース | 地震動 | 照査用ひずみ ^{*2} ϵ_d | 限界ひずみ ϵ_R | 照査値 ϵ_d / ϵ_R |
|--------------------|---|-------|--|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 底版 | 4 | ① | S _s -D ₂ (-+) | 1170 μ | 1725 μ | 0.68 |

注記*1：評価位置は図 5-4 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 5-19 せん断破壊に対する最大照査値（再掲）

| 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 $V_d / V_{y d}$ |
|--------------------|---|-------|--|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 底版 | 4 | ① | S _s -N ₁ (++) | 1887 | 2191 ^{*3} | 0.87 |

注記*1：評価位置は図 5-4 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析によるせん断耐力

5.3.3 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照査結果を表 5-20 に示す。

表 5-20 基礎地盤の支持性能照査結果

| 解析ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d/R_u |
|-------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| ① | S _s -D 2 (-+) | 3.5 | 13.7 | 0.26 |

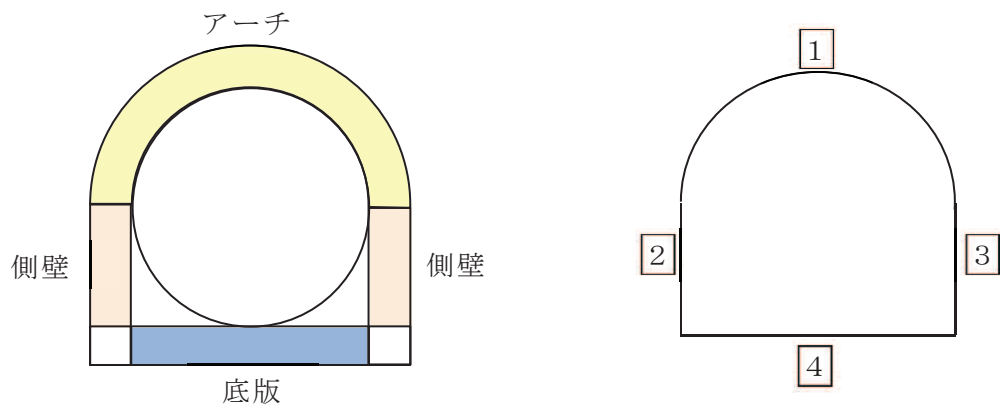


図 5-4 評価位置図

5.4 排気筒連絡ダクト（岩盤部）の影響評価結果

排気筒連絡ダクト（岩盤部）はSクラス施設の間接支持構造物であることから、構造強度を有することの確認及びSクラスの施設を支持する機能についての影響を確認する。なお、排気筒連絡ダクト（岩盤部）は、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する許容限界を短期許容応力度としており、構造強度を有することの確認とSクラスの施設を支持する機能の許容限界が同一である。

影響確認の結果、断層厚さを保守的に厚く設定した評価においても、基準地震動S_sに対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認した。

5.4.1 構造強度を有することの確認及びSクラスの施設を支持する機能の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-21及び表5-22に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-23に示す。

表5-21 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

| 評価位置* | 解析ケース | 地震動 | 曲げ | 軸力 | 発生 | 短期許容 | 照査値 | |
|-------|-------|-----|------------------------|------|--|---|------|------|
| | | | モーメント (kN・m) | (kN) | 応力度 σ'_c (N/mm ²) | 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²) | | |
| 覆工部 | 1 | ① | S _s -D1(++) | 63 | -117 | 3.5 | 11.7 | 0.30 |

注記*：評価位置は図5-5に示す。

表5-22 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

| 評価位置* | 解析ケース | 地震動 | 曲げ | 軸力 | 発生 | 短期許容 | 照査値 | |
|-------|-------|-----|------------------------|------|---|--|-----|------|
| | | | モーメント (kN・m) | (kN) | 応力度 σ_s (N/mm ²) | 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | | |
| 覆工部 | 1 | ① | S _s -N1(++) | 49 | -6 | 135 | 294 | 0.46 |

注記*：評価位置は図5-5に示す。

表5-23 せん断破壊に対する最大照査値

| 評価位置* | 解析ケース | 地震動 | 発生 | 発生 | 短期許容 | 照査値 | |
|-------|-------|-----|------------------------|---|--|------|------|
| | | | せん断力 (kN) | 応力度 τ_d (N/mm ²) | 応力度 τ_{a1} (N/mm ²) | | |
| 覆工部 | 1 | ① | S _s -F2(++) | 153 | 0.44 | 0.63 | 0.70 |

注記*：評価位置は図5-5に示す。

5.4.2 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照査結果を表 5-24 に示す。

表 5-24 基礎地盤の支持性能照査結果

| 解析ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d/R_u |
|-------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| ① | S s - D 2 (++) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |

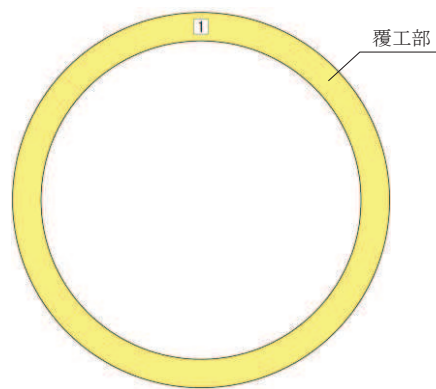


図 5-5 評価位置図

6. まとめ

敷地内に分布する断層が屋外重要土木構造物等の耐震性に与える影響を検討するため、断層と交差する構造物及び交差する断層の諸元を整理し、軽油タンク室（H）、軽油タンク室、排気筒連絡ダクト（土砂部）、排気筒連絡ダクト（岩盤部）について影響評価を実施した。

断層を考慮した影響評価を行った結果、軽油タンク室（H）及び軽油タンク室は、断層の有無による耐震評価への影響は極めて軽微であることを確認した。排気筒連絡ダクト（土砂部）及び排気筒連絡ダクト（岩盤部）については、断層厚さを保守的に厚く設定した評価においても、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認した。

以上より、構造物への断層の交差は、施設の周囲が岩盤に覆われている排気筒連絡ダクト（岩盤部）を除いた屋外重要土木構造物等の評価に影響を及ぼさないことを確認した。

第780回審査会合 (R17.26)
資料1-2-1 p65 一部修正

111

3. 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の直下にある断層の選定
 3.2 2号炉の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の位置関係
 【敷地の断層分布：断層と構造物の位置関係】

女川原子力発電所2号炉申請に対応する耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の位置関係について整理。
 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の直下には、SF-2断層、OF-1～4断層及びTF-1～4断層がある。
 なお、SF-1断層、OF-5～7断層及びTF-5～7断層は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の直下に対応しない。

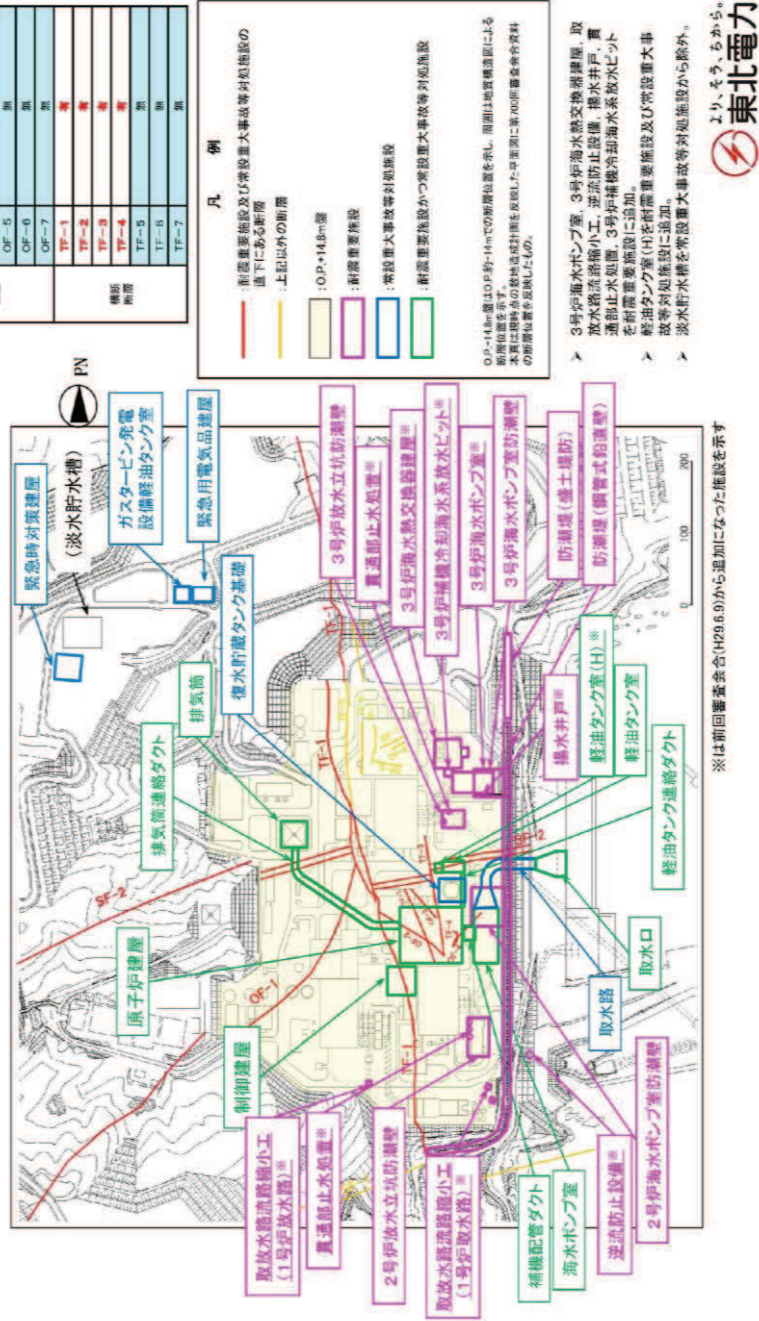


図1-1 断層と構造物の位置関係 (第778回審査会合 資料1-2-1「女川原子力発電所2号炉 地盤(敷地の地形、地質・地質構造)について」より抜粋)

2. 敷地の断層 2.2 斜交断層 (OF系)

2.2.4 OF-4断層【確認位置、性状及び連続性】

【OF-4断層の性状】

- 2号炉試験掘坑内において、OF-4断層を
確認。(①)
- ✓ 試験坑、水平ボーリングで確認。
- ✓ 概ねNNE-SSW走向、46° SE傾斜。
- ✓ 破砕幅は、最大で約6cm。

【鉛直方向の連続性】

- 深部方向には連続しない。
- ✓ 深部方向の想定延長位置のボーリングコアには断層が存在しないことを確認。(Y-Y'断面) (②)

【水平方向の連続性】

- 断層の北端は、原子炉建屋北東方の海水ポンプ室掘削底盤付近までに消滅。(③)
- ✓ 掘削底盤データにより、断層想定延長部には断層が存在しないことを確認。
- 断層の南端は、原子炉建屋範囲内(東側)で消滅。(④)
- ✓ 掘削基礎底盤内で、消滅していることを確認。

【他の断層との関係】

- 掘削基礎底盤にて、OF-4断層はTF-4断層を切っている状況を確認している。(④)

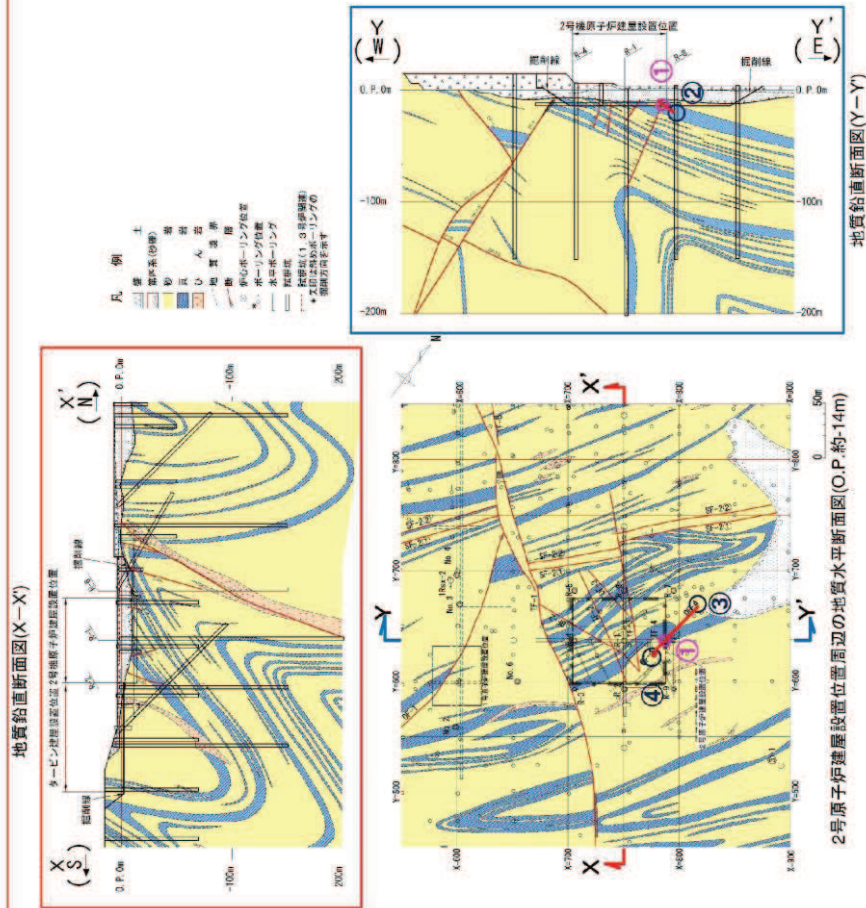


図 1-2 OF-4 断層の確認位置、性状及び連続性

(第 778 回審査委員会 資料 1-2-1 「女川原子力発電所 2 号炉 地盤 (敷地の地形、地質・地質構造) について (補足説明資料)」より抜粋)

2. 敷地の断層 2.2 斜交断層(OF系)
2.2.4 OF-4断層【深部方向の連続性(Y-Y'断面)】

- 深部方向には連続しない。
- ✓ 深部方向の想定延長位置のボーリングコア(R-8孔)には断層が存在しないことを確認。

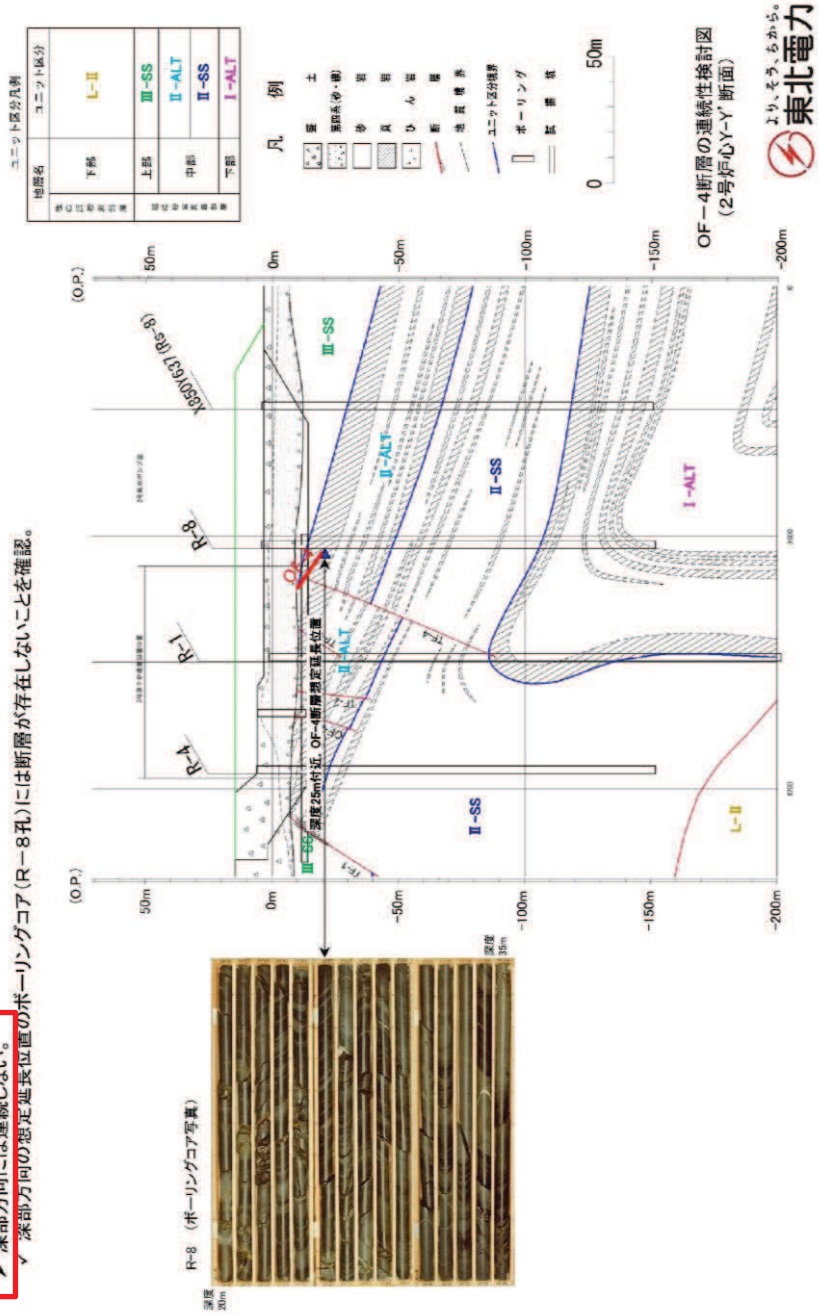
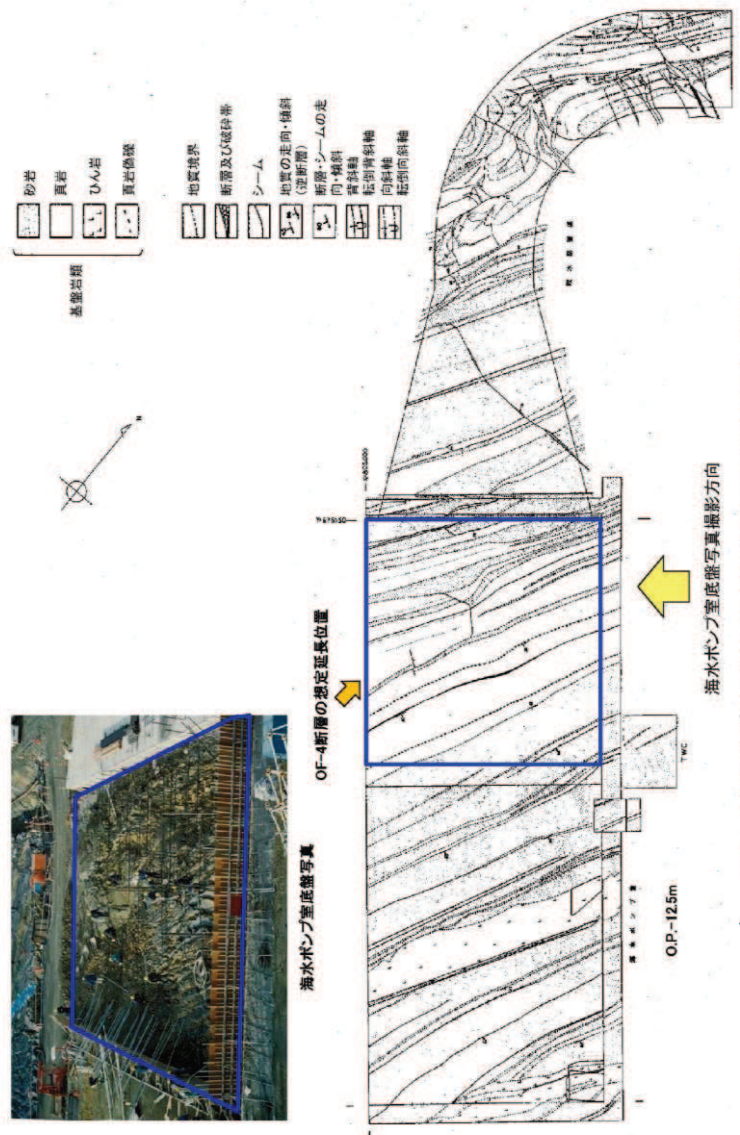


図 1-3 OF-4 断層の深部方向の連続性 (Y-Y'断面)

(第 778 回審査委員会 資料 1-2-1 「女川原子力発電所 2 号炉 地盤 (敷地の地形, 地質・地質構造) について (補足説明資料)」より抜粋)

2. 敷地の断層 2.2 斜交断層 (OF系)
2.2.4 OF-4断層 【水平方向の連続性(北端部：海水ポンプ室掘削底盤)】

➤ 断層の北端は、原子炉建屋北東方の海水ポンプ室底盤付近までに消滅。
 ✓ 掘削底盤データにより、海水ポンプ室底盤の断層想定延長部には断層が存在しないことを確認。



OF-4断層の連続性検討図(海水ポンプ室・取水路蓋渠底盤スケッチ)

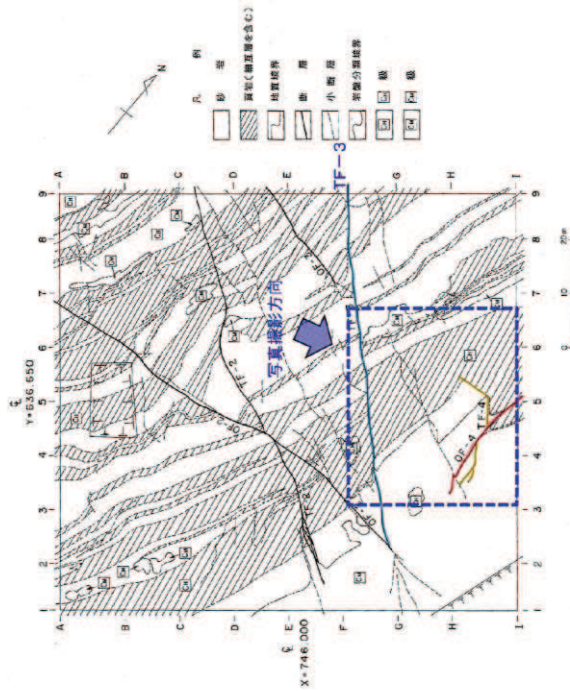
図1-4 OF-4断層の水平方向の連続性(北端部：海水ポンプ室掘削底盤)
 (第778回審査委員会 資料1-2-1「女川原子力発電所2号炉 地盤(敷地の地形、地質・地質構造)」より抜粋)

2. 敷地の断層 2.2 斜交断層 (OF系)

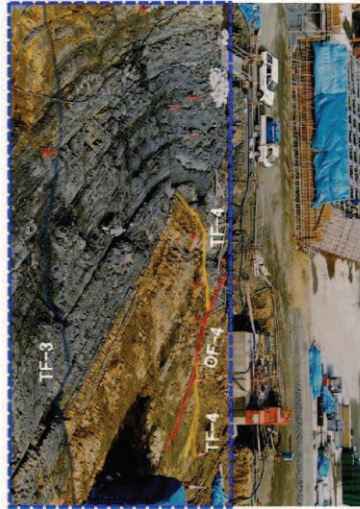
2.2.4 OF-4断層

【水平方向の連続性(南端部及びTF-4断層との関係:2号原子炉建屋掘削底盤)】

- 断層の南端は、2号原子炉建屋範囲内(東部)で消滅。
 ✓ OF-4断層は掘削基礎底盤内で消滅していることを確認。
- OF-4断層は、TF-4断層を切っている状況を確認。



2号原子炉建屋掘削底盤スケッチ

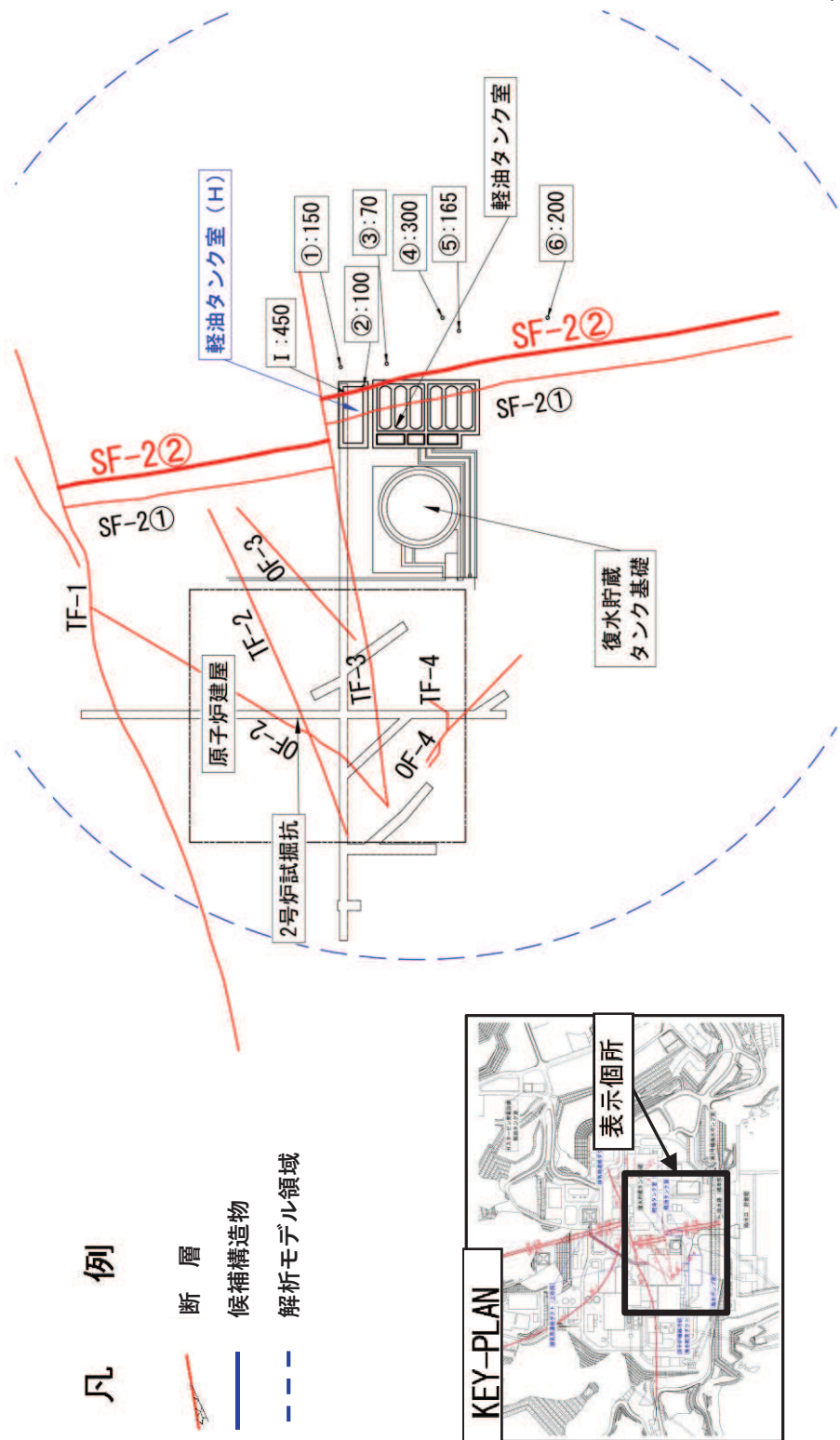


2号原子炉建屋掘削時の岩盤状況写真
(写真は天地を反転)



図1-5 OF-4断層の水平方向の連続性(南端部及びTF-4断層との関係:2号原子炉建屋掘削底盤)

(第778回審査会合 資料1-2-1「女川原子力発電所2号炉 地盤(敷地の地形,地質・地質構造)について(補足説明資料)」より抜粋)



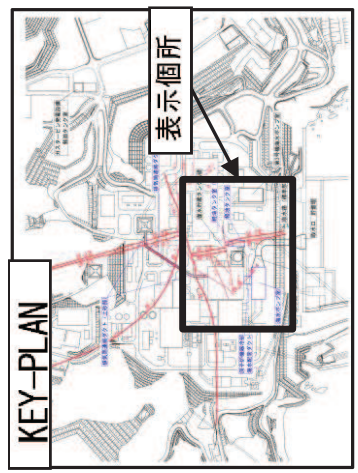
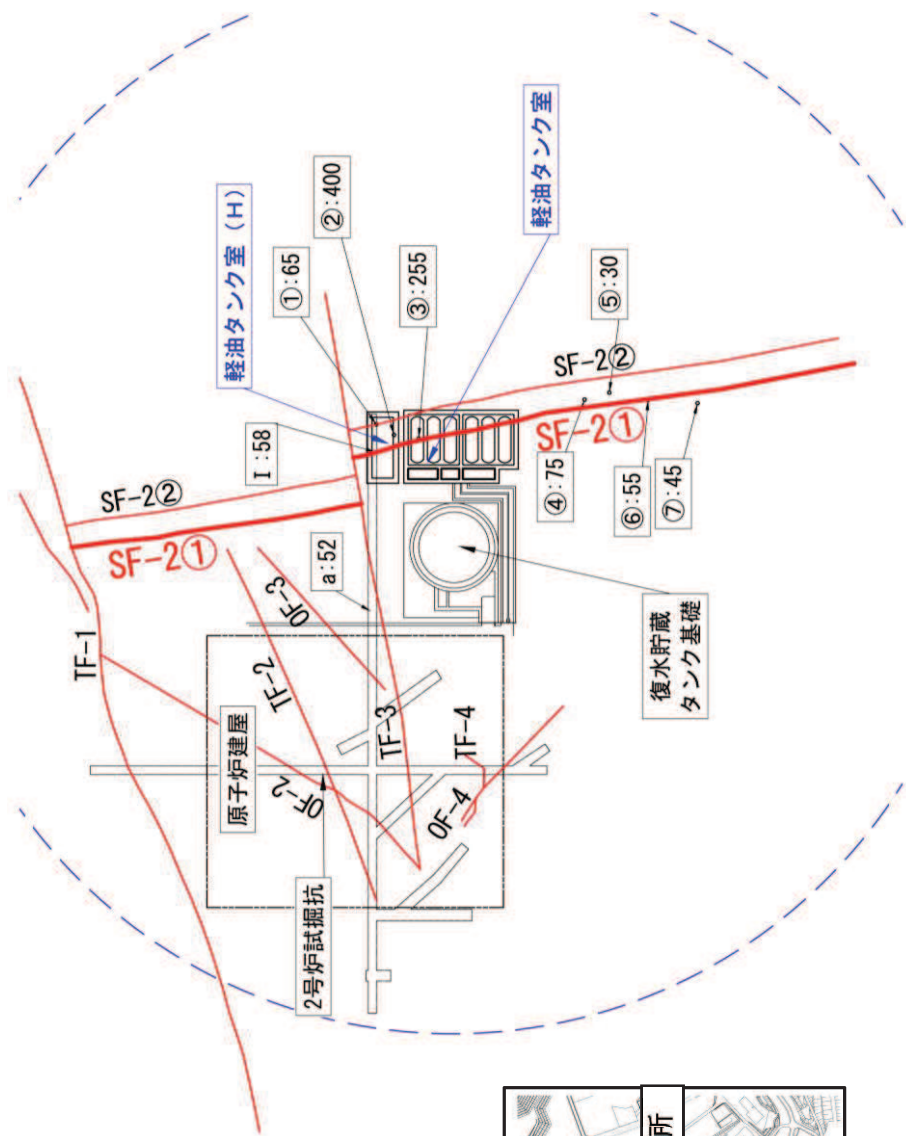
注1：Iは試掘坑調査，①～⑥は底盤スケッチの結果

注2：断層幅を示した位置「・」とO.P.約14mで示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図2-1 軽油タンク室 (H) に接するSF-2②断層の断層幅の分布 (O.P.約14m)

凡例

-  断層
-  候補構造物
-  解析モデル領域



注1：I は試掘坑調査，①～⑦は底盤スケッチ，aはボーリング調査の結果

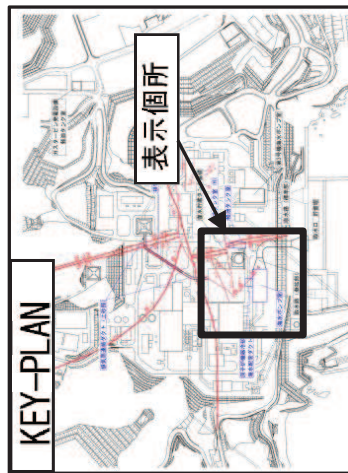
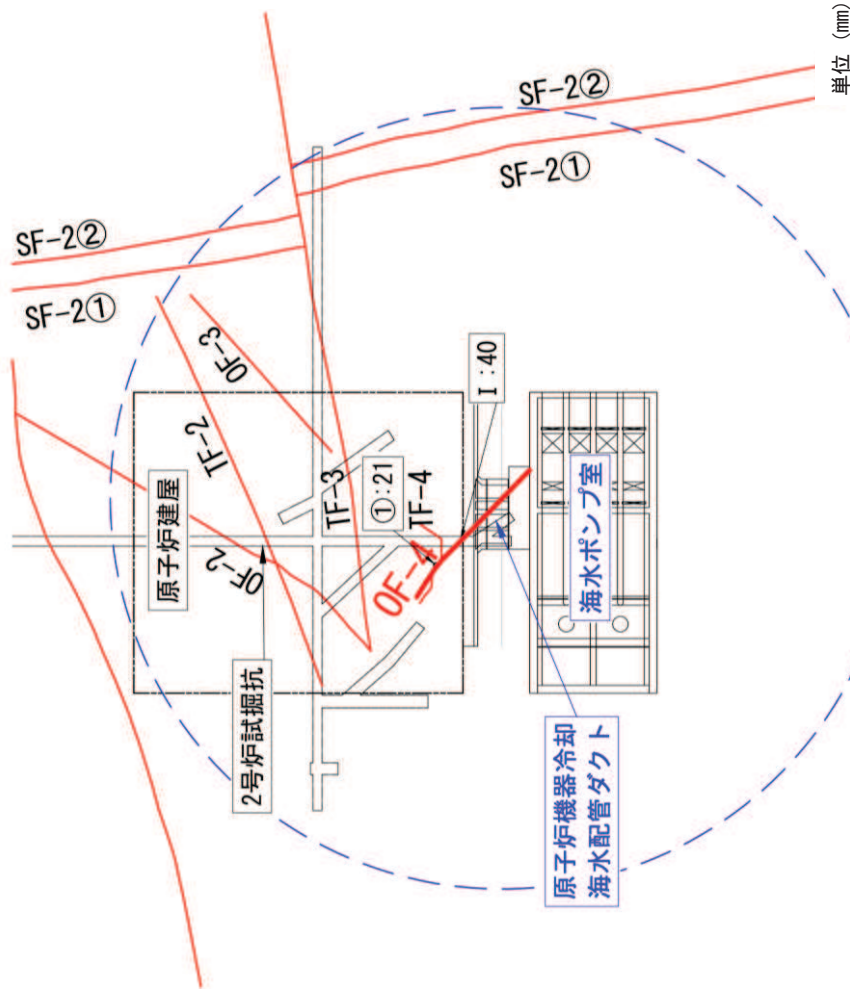
注2：断層幅を示した位置「・」とO.P.約14mで示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

単位 (mm)

図2-2 軽油タンク室 (H) 及び軽油タンク室に接するSF-2①断層の断層幅の分布 (O.P.約14m)

凡例

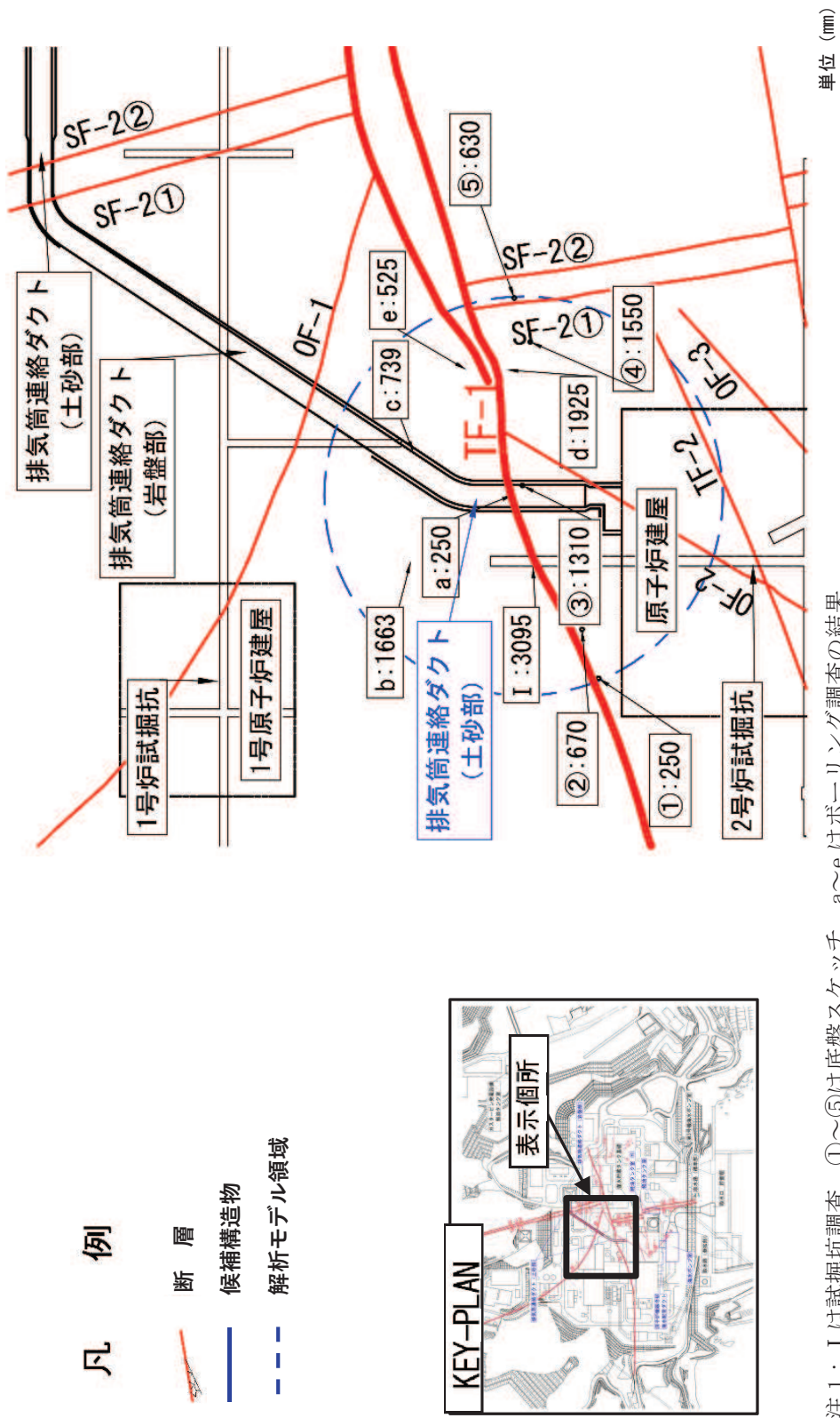
-  断層
-  候補構造物
-  解析モデル領域



注1：Iは試験掘坑調査，①～⑦は底盤スケッチ，aはボーリング調査の結果

注2：断層幅を示した位置「.」とO.P.約-14mで示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図2-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト及び海水ポンプ室に接する0F-4断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)

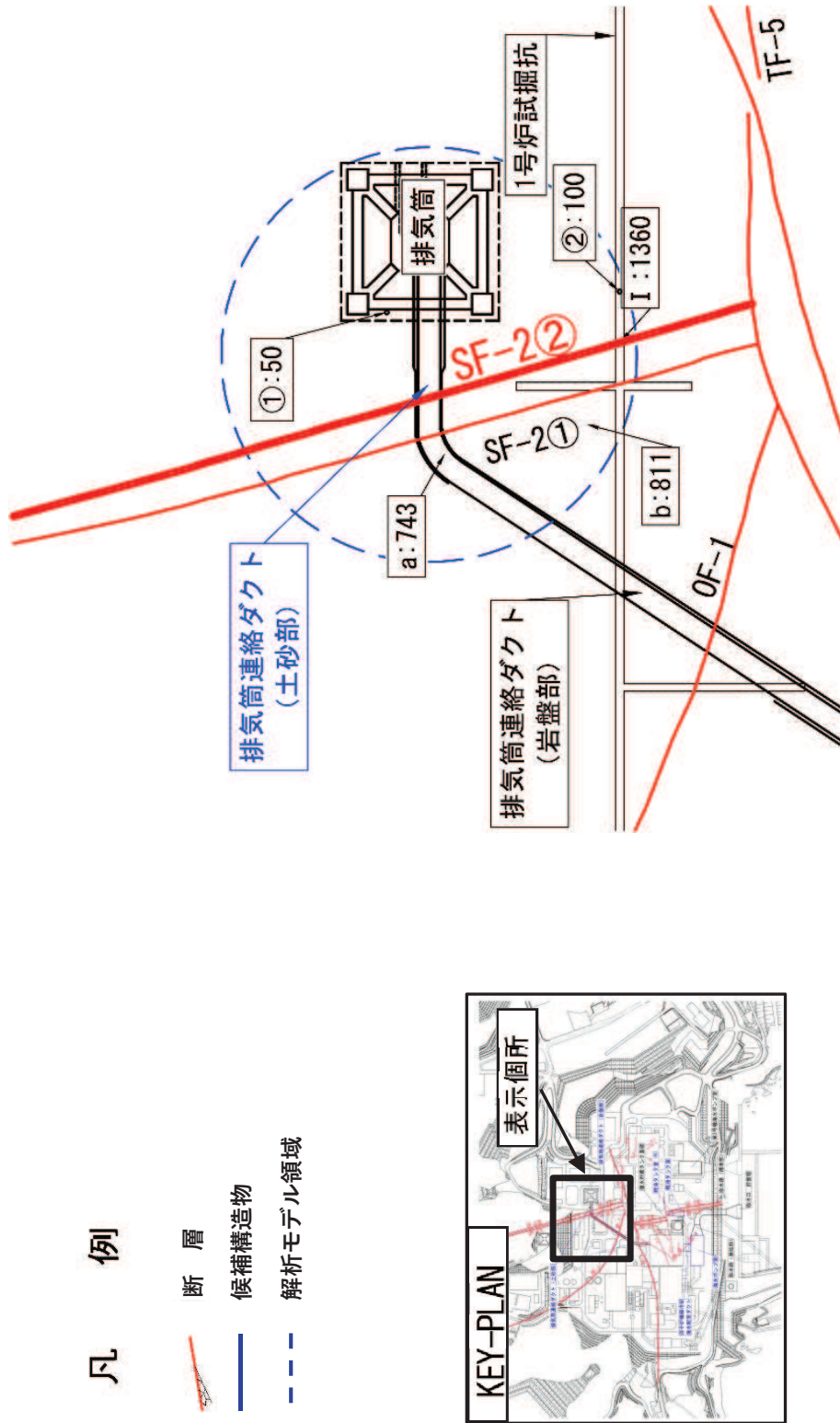


注1: Iは試掘坑調査, ①~⑤は底盤スケッチ, a~eはボーリング調査の結果
 注2: 断層幅を示した位置「・」とO.P.約-14mで示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図2-4 排気筒連絡ダクト (土砂部) に接するTF-1断層の断層幅の分布 (O.P.約-14m)

凡例

-  断層
-  候補構造物
-  解析モデル領域

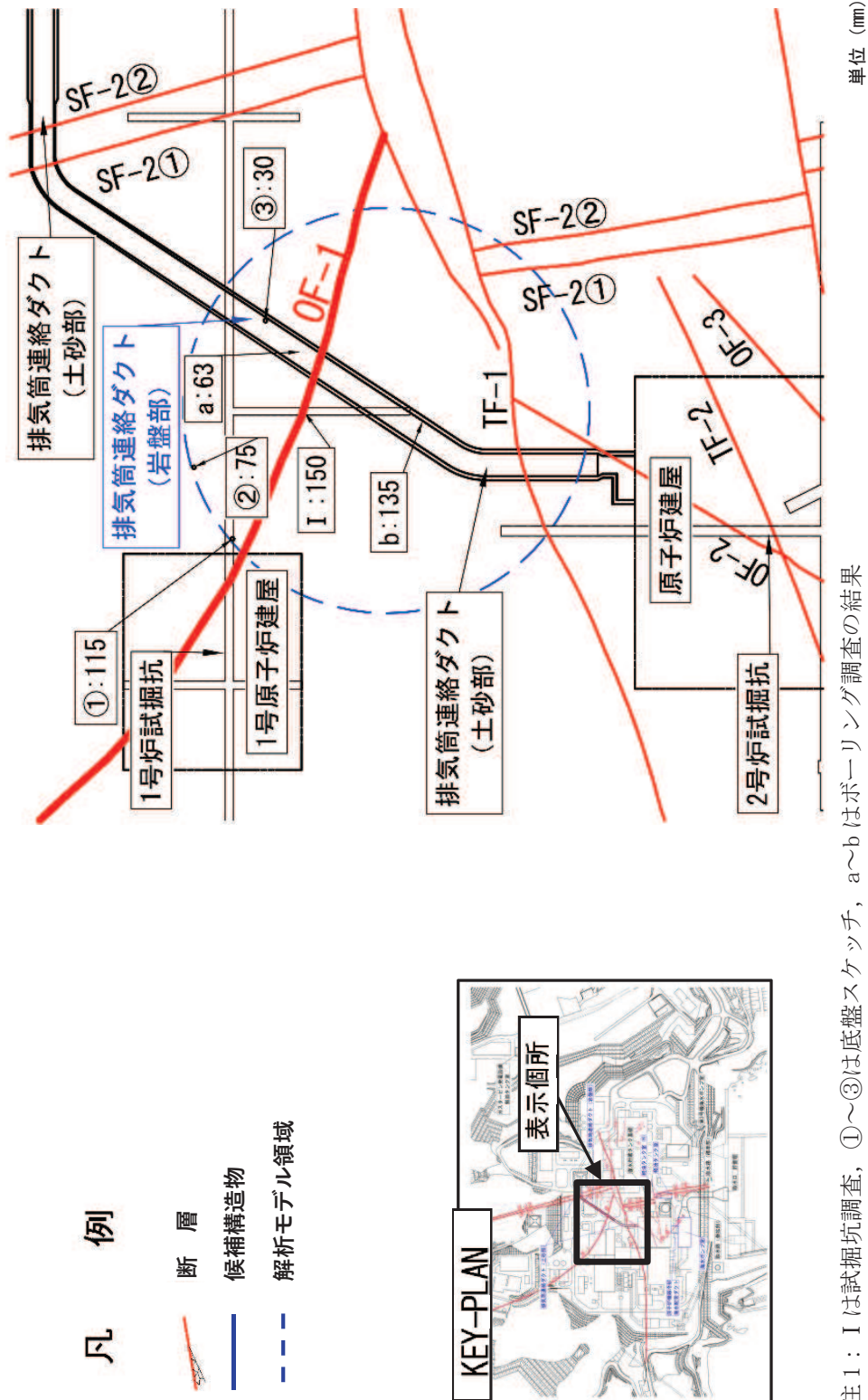


単位 (mm)

注1：I は試掘坑調査，①～②は底盤スケッチ，a～b はボーリング調査の結果

注2：断層幅を示した位置「・」と O.P. 約-14m で示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図 2-5 排気筒連絡ダクト (土砂部) に接する SF-2②断層の断層幅の分布 (O.P. 約-14m)



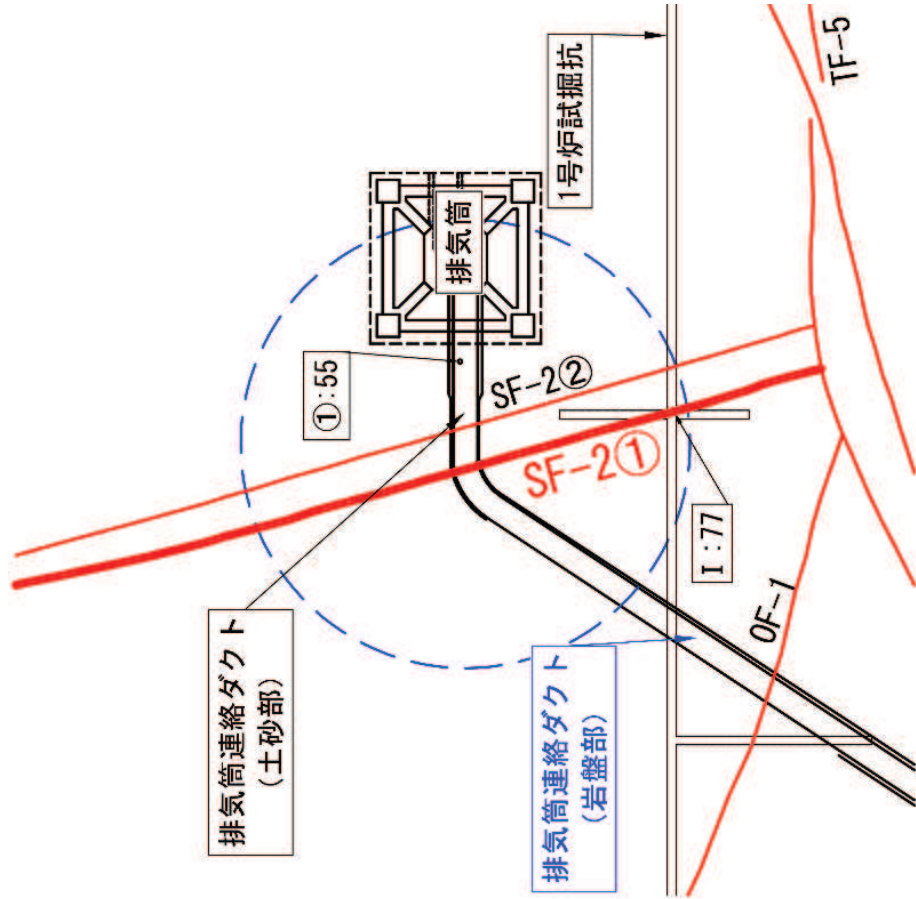
注1：Iは試掘坑調査，①～③は底盤スケッチ，a～bはボーリング調査の結果

注2：断層幅を示した位置「・」とO.P.約-14mで示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

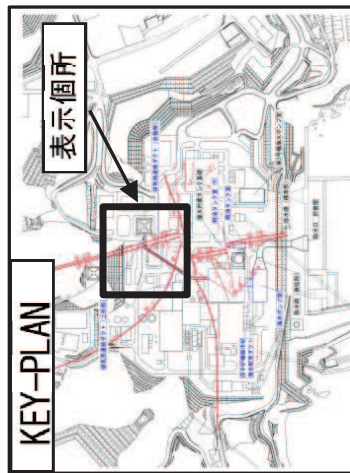
図2-6 排気筒連絡ダクト(岩盤部)に接するOF-1断層の断層幅の分布(O.P.約-14m)

凡例

-  断層
-  候補構造物
-  解析モデル領域



単位 (mm)



注1：I は試掘坑調査，①は底盤スケッチの結果
 注2：断層幅を示した位置「I」とO.P.約14mで示した断層位置は調査位置の関係で合致しない

図2-7 排気筒連絡ダクト (岩盤部) に接するSF-2①断層の断層幅の分布 (O.P.約14m)

表2-1(1) 候補構造物の断層幅の調査結果の一覧
(軽油タンク室(H)・軽油タンク室)

| 構造物 | 断層 | 調査内容 | No. | 調査断層幅 (mm) | | 断層幅*1 (mm) |
|----------------|---------------|-------------|----------|------------|-----|------------|
| | | | | 調査値 | 平均値 | |
| 軽油 タンク室 (H) | SF-2② 断層*2 | 底盤 スcaff | I | 200 ~ 700 | 450 | 205 |
| | | | ① | 150 | 150 | |
| | | | ② | 50 ~ 150 | 100 | |
| | | | ③ | 70 | 70 | |
| | | | ④ | 300 | 300 | |
| | | | ⑤ | 30 ~ 300 | 165 | |
| | ⑥ | 200 | 200 | | | |
| | SF-2① 断層*2 | 底盤 スcaff | I | 5 ~ 110 | 58 | 115 |
| | | | ① | 50 ~ 80 | 65 | |
| | | | ② | 400 | 400 | |
| | | | ③ | 10 ~ 500 | 255 | |
| | | | ④ | 50 ~ 100 | 75 | |
| | | | ⑤ | 30 | 30 | |
| ⑥ | | | 50 ~ 60 | 55 | | |
| ⑦ | 10 ~ 80 | 45 | | | | |
| 軽油 タンク室 | SF-2① 断層 | 底盤 スcaff | a | 52 | 52 | 115 |
| | | | I | 5 ~ 110 | 58 | |
| | | | ① | 50 ~ 80 | 65 | |
| | | | ② | 400 | 400 | |
| | | | ③ | 10 ~ 500 | 255 | |
| | | | ④ | 50 ~ 100 | 75 | |
| | ⑤ | 30 | 30 | | | |
| | ボ*リソグ* | 底盤 スcaff | ⑥ | 50 ~ 60 | 55 | 115 |
| | | | ⑦ | 10 ~ 80 | 45 | |
| | | | a | 52 | 52 | |
| | | | I | 5 ~ 110 | 58 | |
| | | | ① | 50 ~ 80 | 65 | |
| | | | ② | 400 | 400 | |
| ③ | | | 10 ~ 500 | 255 | | |
| ④ | 50 ~ 100 | 75 | | | | |
| ⑤ | 30 | 30 | | | | |
| ⑥ | 50 ~ 60 | 55 | | | | |
| ⑦ | 10 ~ 80 | 45 | | | | |
| a | 52 | 52 | | | | |

注記*1：平均値（各構造物に接する断層ごとの平均値）

*2：軽油タンク室 (H) に接する SF-2①断層及びSF-2②断層の断層幅については、軽油タンク室 (H) に隣接し軽油タンク室 (H) の解析モデル領域を包絡している、軽油タンク室の解析モデル領域の調査結果に基づき設定する。

表 2-1 (2) 候補構造物の断層幅の調査結果の一覧
 (原子炉機器冷却海水配管ダクト・海水ポンプ室・排気筒連絡ダクト (土砂部))

| 構造物 | 断層 | 調査内容 | No. | 調査断層幅 (mm) | | 断層幅* (mm) | |
|--------------------------------------|----------|------------|------------|------------|-------------|-----------|------|
| | | | | 調査値 | 平均値 | | |
| 原子炉機器冷却海水配管ダクト 排気筒連絡ダクト (土砂部) | OF-4 断層 | 試験坑 | I | 20 ~ 60 | 40 | 31 | |
| | | 底盤 スラッチ | ① | 1 ~ 40 | 21 | | |
| | TF-1 断層 | 試験坑 | 岩盤 スラッチ | I | 2870 ~ 3320 | 3095 | 1146 |
| | | | | ① | 250 | 250 | |
| | | | | ② | 670 | 670 | |
| | | | | ③ | 1010 ~ 1610 | 1310 | |
| | | | | ④ | 1550 | 1550 | |
| | | ⑤ | 630 | 630 | | | |
| | | ホーリング* | | a | 250 | 250 | |
| | | | | b | 1663 | 1663 | |
| | | | | c | 739 | 739 | |
| | | | | d | 1925 | 1925 | |
| | e | | | 525 | 525 | | |
| | SF-2② 断層 | 試験坑 | 岩盤 スラッチ | I | 720 ~ 2000 | 1360 | 613 |
| | | | | ① | 0 ~ 100 | 50 | |
| | | ホーリング* | | a | 50 ~ 150 | 100 | |
| | | | | b | 743 ~ 811 | 743 | |

注記* : 平均値 (各構造物に接する断層ごとの平均値)

表 2-1 (3) 候補構造物の断層幅の調査結果の一覧 (排気筒連絡ダクト (岩盤部))

| 構造物 | 断層 | 調査内容 | No. | 調査断層幅 (mm) | | 断層幅* (mm) |
|-----------------------|-------------|-------------------|-----|------------|-----|-----------|
| | | | | 調査値 | 平均値 | |
| 排気筒 連絡ダクト (岩盤部) | OF-1 断層 | 試験坑 | I | 120 ~ 180 | 150 | 95 |
| | | | ① | 100 ~ 130 | 115 | |
| | | 底盤 スガツチ | ② | 50 ~ 100 | 75 | |
| | | | ③ | 20 ~ 40 | 30 | |
| | | ボアログ* | a | 63 | 63 | |
| | | | b | 135 | 135 | |
| | SF-2① 断層 | 試験坑 底盤 スガツチ | I | 43 ~ 110 | 77 | |
| | | | ① | 10 ~ 100 | 55 | |

注記*：平均値 (各構造物に接する断層ごとの平均値)

表 3-1(1) 全応力解析に用いる解析用物性値(狐崎部層)

| 岩種・岩級 | 物理特性 | | 強度特性 | | | | 変形特性 | | | |
|--------------------|---|--|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--|---|---|-----------|
| | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断強度 τ_0 (N/mm ²) | 静的・動的特性 | | | 静的特性 | | 動的特性 | | 減衰定数 h |
| | | | 内部摩擦角 ϕ (°) | 残留強度 τ (N/mm ²) | 静弾性係数 E_s (N/mm ²) | 静ポアソン比 ν_s | 動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²) | 動ポアソン比 ν_d | | |
| [B]級 | 砂岩 | 26.4 | 1.72 | 43.0 | $1.30\sigma^{0.73}$ | 1,770 | 0.25 | 表 3-1(2) 参照 | 0.03 | |
| | 頁岩 | 26.9 | 1.58 | 46.0 | $1.36\sigma^{0.62}$ | 2,160 | 0.28 | | 0.03 | |
| | ひん岩 | 28.7 | 1.72 | 43.0 | $1.30\sigma^{0.73}$ | 1,770 | 0.31 | | 0.03 | |
| [C] _H 級 | 砂岩 | 26.2 | 1.72 | 43.0 | $1.30\sigma^{0.73}$ | 1,770 | 0.24 | | 0.03 | |
| | 頁岩 | 26.6 | 1.58 | 46.0 | $1.36\sigma^{0.62}$ | 2,160 | 0.25 | | 0.03 | |
| | ひん岩 | 28.0 | 1.72 | 43.0 | $1.30\sigma^{0.73}$ | 1,770 | 0.29 | | 0.03 | |
| [C] _M 級 | 砂岩 | 25.2 | 0.49 | 47.0 | $1.16\sigma^{0.62}$ | 980 | 0.26 | | 0.03 | |
| | 頁岩 | 25.8 | 0.49 | 47.0 | $1.16\sigma^{0.62}$ | 980 | 0.20 | | 0.03 | |
| | ひん岩 | 25.2 | 0.49 | 47.0 | $1.16\sigma^{0.62}$ | 980 | 0.26 | | 0.03 | |
| [C] _L 級 | 砂岩 | 24.1 | 0.46 | 44.0 | $0.73\sigma^{0.76}$ | 400 | 0.31 | | 0.03 | |
| | 頁岩 | 24.1 | 0.44 | 27.0 | $0.58\sigma^{0.31}$ | 400 | 0.31 | 0.03 | | |
| | ひん岩 | 24.1 | 0.46 | 44.0 | $0.73\sigma^{0.76}$ | 400 | 0.31 | 0.03 | | |
| [D]級 | 砂岩 | 20.2 | 0.10 | 24.0 | $0.41\sigma^{0.49}$ | 78 | 0.38 | $G_0 = 255.4\sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1+119\gamma^{0.63})$ | $h =$ $0.085\gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$ | |
| | 頁岩 | 20.2 | 0.10 | 24.0 | $0.12\sigma^{0.21}$ | 39 | 0.38 | | | |
| | ひん岩 | 20.2 | 0.10 | 24.0 | $0.41\sigma^{0.49}$ | 78 | 0.38 | | | |

表 3-1(2) 全応力解析に用いる解析用物性値(狐崎部層)

| 岩種・岩級 | | 速度層 | 動的変形特性 | |
|------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | | | 動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$ | 動ポアソン比 ν_d |
| B級 及び C _H 級 | 砂岩 | 第2速度層 | 1.5×10^3 | 0.44 |
| | | 第3速度層 | 5.9×10^3 | 0.40 |
| | | 第4速度層 | 13.2×10^3 | 0.36 |
| | | 第5速度層 | 16.5×10^3 | 0.35 |
| | 頁岩 | 第2速度層 | 1.6×10^3 | 0.44 |
| | | 第3速度層 | 6.0×10^3 | 0.40 |
| | | 第4速度層 | 13.5×10^3 | 0.36 |
| | | 第5速度層 | 16.7×10^3 | 0.35 |
| | ひん岩 | 第3速度層 | 6.4×10^3 | 0.40 |
| | | 第4速度層 | 14.2×10^3 | 0.36 |
| | | 第5速度層 | 17.6×10^3 | 0.35 |
| | C _M 級 | 砂岩 | 第1速度層 | 0.2×10^3 |
| 第2速度層 | | | 1.5×10^3 | 0.44 |
| 第3速度層 | | | 5.7×10^3 | 0.40 |
| 第4速度層 | | | 12.7×10^3 | 0.36 |
| 第5速度層 | | | 15.8×10^3 | 0.35 |
| 頁岩 | | 第1速度層 | 0.2×10^3 | 0.48 |
| | | 第2速度層 | 1.5×10^3 | 0.44 |
| | | 第3速度層 | 5.9×10^3 | 0.40 |
| | | 第4速度層 | 13.0×10^3 | 0.36 |
| | | 第5速度層 | 16.2×10^3 | 0.35 |
| ひん岩 | | 第2速度層 | 1.5×10^3 | 0.44 |
| | | 第3速度層 | 5.7×10^3 | 0.40 |
| | | 第4速度層 | 12.7×10^3 | 0.36 |
| C _L 級 | 第1速度層 | 0.2×10^3 | 0.48 | |
| | 第2速度層 | 1.4×10^3 | 0.44 | |
| | 第3速度層 | 5.5×10^3 | 0.40 | |
| D級 | 第1速度層 | 表 3-1(1) 参照 | 0.48 | |
| | 第2速度層 | | 0.44 | |

表 3-2 全応力解析に用いる解析用物性値(盛土ほか)

| 岩種・岩級 | 物理特性 | | | | 強度特性 | | | | | 変形特性 | | | |
|-------------|---|--|---------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------|--|-------------------|--|--|--|--|
| | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断強度 τ_0 (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) | 静的・動的的特性 | | せん断弾性係数 E_s (N/mm ²) | 静ポアソン比 ν_s | 動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²) | 動ポアソン比 ν_d | 減衰定数 h | | | |
| | | | | 引張強度 σ_t (N/mm ²) | 残留強度 τ (N/mm ²) | | | | | | | | |
| 盛土 | 20.6 | 0.06 | 30.0 | — | $0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$ | $198 \sigma^{0.60}$ | 0.40 | $G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00036)^*$ | 0.48 | $h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$ | | | |
| 旧表土 | 19.0 | 0.08 | 26.2 | — | $0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$ | $302 \sigma^{0.80}$ | 0.40 | $G_d/G_0 = G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $1/(1 + \gamma/0.00087)$ | 0.46 | $\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.020 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.091 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$ | | | |
| 断層 及びシーム | 18.6 | 0.067 | 22.2 | — | $0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$ | 圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$ | 0.40 | $G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.0012)^*$ | 0.46 | $\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089 (\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$ | | | |
| セメント改良土 | 21.6 | 0.65 | 44.3 | 0.46 | $0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$ | 690 | 0.26 | $G_0 = 1670$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00085)$ | 0.36 | $\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.031 \log \gamma$ | | | |
| 改良地盤 | 20.6 | 1.39 | 22.1 | 0.65 | $0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$ | 4,480 | 0.19 | $G_0 = 1940$ $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/0.00136)$ | 0.35 | $\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.050 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$ | | | |
| 背面補強工 | 24.0 | — | | | | 28,000 | 0.2 | 11,667 | 0.2 | 0.05 | | | |
| 置換コンクリート | 22.5 | — | | | | | | | | | | | |

* : 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間
 $G_0 = E_s/2 (1 + \nu_s)$, $G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/\gamma_m)$, $\gamma_m = \tau_t/G_0$

表 3-3 有効応力解析に用いる解析用物性値（液状化検討対象層）

| | | 敷地全体 | | 防潮堤 | |
|-------|---|---------------------|---------------------|--|-------|
| | | 旧表土 | 盛土 | 旧表土 | |
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 1.94 (1.88) * | 2.10 (1.90) * | 敷地全体旧表土 と同値 (物理特性, 変形特性, 強度特性) | |
| | 間隙率 n | 0.437 | 0.363 | | |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²) | 2.110×10^5 | 7.071×10^4 | | |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²) | 1.0×10^3 | 1.0×10^3 | | |
| | ポアソン比 ν | 0.40 | 0.40 | | |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.220 | 0.183 | | |
| 強度特性 | 粘着力 c (N/mm ²) | 0.08 (0.00) * | 0.06 (0.10) * | | |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 26.2 (38.7) * | 30.0 (33.9) * | | |
| 液状化特性 | 変相角 ϕ_p (°) | 28.0 | 28.0 | | 28.0 |
| | 液状化パラメータ | S_1 | 0.005 | | 0.005 |
| | | w_1 | 1.0 | 14.0 | 1.3 |
| | | p_1 | 1.4 | 1.0 | 1.2 |
| | | p_2 | 1.5 | 0.6 | 0.8 |
| | | c_1 | 2.0 | 2.8 | 2.75 |

* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

表 3-4 有効応力解析に用いる解析用物性値（非液状化層）

| | | D 級岩盤 | 改良地盤 | セメント改良土 | |
|------|---|---------------------|--|--------------------|------|
| 物理特性 | 密度 ρ (g/cm ³) | 2.06 (1.95) * | 2.10 (2.00) * | 2.20 | |
| | 間隙率 n | 0.349 | 0.00 | 0.00 | |
| 変形特性 | 動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²) | 2.000×10^5 | 1.94×10^6 (1.84×10^6) | 1.67×10^6 | |
| | 基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²) | 1.0×10^3 | 1.0×10^3 | 1.0×10^3 | |
| | ポアソン比 ν | 第1速度層 | 0.48 | 0.35 | 0.36 |
| | | 第2速度層 | 0.44(狐崎部層) 0.45(牧の浜部層) | | |
| | 減衰定数の上限値 h_{max} | 0.113 | 0.113 | 0.080 | |
| 強度特性 | 粘着力 c (N/mm ²) | 0.10 | 1.39 | 0.65 | |
| | 内部摩擦角 ϕ (°) | 24.0 | 22.1 | 44.3 | |

* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

表3-5 解析用物性値 (MMR)

| | 物理特性 | 強度特性 | | | | 変形特性 | | | |
|--|---|--|---------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-------------|
| | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断強度 τ_0 (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) | 引張強度 σ_t (N/mm ²) | 残留強度 τ (N/mm ²) | ヤング係数 (N/mm ²) | せん断剛性 (N/mm ²) | ポアソン比 | 減衰定数 (%) |
| MMR (既設) ($f'_{ck} = 15.6$ N/mm ²) | 22.6 | 3.12 | -* | 1.43 | -* | 20590 | 8579 | 0.2 | 3 |
| MMR (新設) ($f'_{ck} = 21.0$ N/mm ²) | 22.5 | 4.20 | -* | 1.75 | -* | 23500 | 9792 | 0.2 | 3 |

* : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

参考資料6 後施工せん断補強工法の適用性

目次

| | |
|---|-----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. CCb 工法について..... | 18 |
| 2.1 CCb 工法を適用した部位 | 18 |
| 2.2 CCb 工法の概要 | 18 |
| 3. 建設技術審査証明報告書の概要 | 20 |
| 3.1 CCb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け..... | 20 |
| 3.2 建設技術審査証明報告書における CCb 工法の適用範囲 | 21 |
| 3.3 建設技術審査証明報告書における CCb 工法の設計方法 | 22 |
| 3.3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法..... | 22 |
| 3.3.2 使用材料・強度..... | 44 |
| 3.3.3 構造部材の評価..... | 50 |
| 3.3.4 構造細目..... | 52 |
| 3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認 | 53 |
| 3.4.1 施工の確実性..... | 53 |
| 3.4.2 施工の容易性..... | 53 |
| 3.4.3 施工手順の設定..... | 53 |
| 4. 女川 2 号機における CCb 工法の適用性の確認 | 67 |
| 4.1 適用性確認フロー | 67 |
| 4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定 | 69 |
| 4.3 ①適用性確認項目の抽出 | 70 |
| 4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認 | 72 |
| 4.5 ③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認 | 85 |
| 4.5.1 せん断補強効果の確認内容..... | 85 |
| 4.5.2 せん断補強効果の確認..... | 85 |
| 4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認..... | 88 |
| 4.6.1 削孔方法..... | 88 |
| 4.6.2 削孔角度..... | 89 |
| 4.6.3 削孔位置..... | 91 |
| 4.6.4 グラウトの充てん性..... | 92 |
| 4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認 | 102 |
| 4.7.1 施工実績の整理..... | 102 |
| 4.7.2 過去の地震の経験事例..... | 105 |
| 4.7.3 レベル 2 地震動を対象とした設計事例..... | 106 |
| 4.7.4 後施工せん断補強工法の比較..... | 106 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.7.5 | 後施工せん断補強筋に関する研究事例..... | 109 |
| 4.8 | 女川2号機におけるCCb工法の保守性と設計上の制限の整理..... | 119 |
| 4.8.1 | CCb工法の保守性..... | 119 |
| 4.8.2 | 女川2号機においてCCbにより耐震補強を行うにあたっての保守性..... | 119 |
| 4.8.3 | 女川2号機においてCCbにより耐震補強を行うにあたっての設計上の制限..... | 119 |
| 4.8.4 | 有効係数 β_{aw} の保守性..... | 120 |
| 4.8.5 | CCb工法によるせん断補強の設計検討フロー..... | 122 |
| 4.9 | CCbの適用性確認結果..... | 123 |
| 5. | 女川2号機におけるCCb工法の適用性確認のまとめ..... | 124 |

| | |
|-------|-------------------------------------|
| 添付資料1 | 建設技術審査証明書 |
| 添付資料2 | 女川2号機における部材諸元他の適用性の検討 |
| 添付資料3 | 女川2号機におけるひび割れに対する定着機能保持の検討 |
| 添付資料4 | 女川2号機におけるコンクリートの健全性の検討 |
| 添付資料5 | ディープビーム的な破壊に対するCCb工法の適用性の検討 |
| 添付資料6 | 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性の検討 |
| 添付資料7 | 詳細設計を踏まえCCb補強を行う構造物に対するCCb工法の適用性の検討 |
| 添付資料8 | 屋外重要土木構造物等のCCb工法適用条件の確認結果 |

 : 設置変更許可審査時から内容を補足した箇所

: 本日の説明範囲

1. 概要

女川2号機の屋外重要土木構造物等には、基準地震動S_sの大加速度化に伴い、せん断破壊に対して耐震補強工事が必要となる既設鉄筋コンクリート構造物がある。

せん断破壊に対する補強工法としては、部材のせん断耐力を向上させる後施工せん断補強工法の外に、増厚工法や地盤改良工法等があるが、女川2号機の屋外重要土木構造物等については、部材の耐力を直接向上させる合理的な補強工法で、後施工せん断補強工法の一つである、セラミックキャップバー（以下「CCb」という。）工法を採用している。（表1-1、表1-2参照）

CCb工法は、図1-1に示すとおり、既設の鉄筋コンクリート構造物に後施工によりせん断補強を行う工法の一つであり、部材を削孔後、その孔内にCCbを挿入し、グラウト充てんにて固定し、せん断耐力を向上させるものである。

CCbによる耐震補強の対象となる構造物の一覧を表1-2に、配置図を図1-2に、耐震補強箇所及び補強概要を図1-3～図1-13に示す。図1-3～図1-13に示すCCbによる耐震補強箇所は、既設のせん断補強筋の配置や計算結果を踏まえ、「3.3.4 構造細目」に規定されているとおり、計算上でCCbによる補強が必要となる区間の外側の有効高さに等しい区間にも、同量のCCbを配置している。

なお、詳細設計を踏まえCCb補強を行う構造物に対するCCb工法の適用性の確認については、添付資料7において設置変更許可審査時と同様の確認をしている。

本資料は、本補強工法が開発された際の実験の範囲と女川2号機で用いる部材厚や破壊形態に差異があること等から、CCb工法を採用する目的、効果及び女川2号機への適用性について説明するものである。

表1-1 主なせん断補強工法




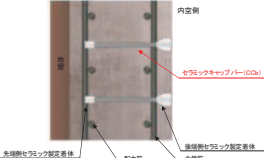
| | 従来工法（先施工） | 増厚工法 | 地盤改良工法 | 後施工せん断補強工法 |
|----|---|--|--|---|
| 概要 | <ul style="list-style-type: none"> コンクリート打設前の鉄筋組立時に、せん断補強筋を主筋または配力筋にフックを掛けて定着させる工法。 せん断補強筋を配置することで、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。 | <ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリート構造物表面にコンクリートを打ち足すことで、断面を増厚する工法。 部材厚の増により、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。 | <ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリート構造物周辺地盤にセメントミルク等を噴射し、地盤改良体を構築する工法。 地盤改良を行うことにより、地震時荷重（主に土圧）が低減され、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。 | <ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリート構造物を削孔し、その孔内にせん断補強筋を差し込み充てん材で固定する工法。 せん断補強筋を配置することで、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。 |
| 図 |  |  |  |  |
| 備考 | <ul style="list-style-type: none"> 女川2号炉他、多数の施工実績がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 女川2号炉では施工実績はないが、一般土木構造物において施工実績がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 女川2号炉他、多数の施工実績がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 美浜3号炉にて、工認実績有り。（ポストヘッドバー（PHb工法）） |

表 1-2(1) CCb による耐震補強対象の構造物

| 構造物 名称 | 部 材 | 部材厚 (mm) | CCb 径 | せん断 スパン比* | 備 考 | |
|---------------------------------|------------|-------------|-----------------------|--------------|-------------|--|
| 取水路 (漸拡部) | 隔壁 | 1,200 | D16, D22 | 5.61 | | |
| 原子炉機器 冷却海水配 管ダクト (水平部) | 隔壁 | 1,200 | D25 | 6.02 | | |
| 軽油 タンク室 | 底版 | 1,500 | D25 | 図 1-7 参照 | | |
| | 側壁 | 1,200 | D22 | | | |
| | 隔壁 | 1,000 | D16 | | | |
| 復水貯蔵 タンク基礎 | 遮蔽壁 | 地上部 | 500 | D13 | 図 1-8 参照 | |
| | | 地中部 | 1,000 | D16, D25 | | |
| | バルブ室 | 頂版 | 800 | D16 | | |
| | | 側壁 | 1,000 | D19 | | |
| | | 隔壁 | 600 | D16 | | |
| | 連絡 トレンチ | 頂版 | 800 | D16 | | |
| 側壁 | | | | | | |
| 取水口 | 頂版 | 1,000 | D16, D19, D22, D25 | 1.15~12.03 | 詳細設計 反映 | |
| | 底版 | 1,500~3,200 | D22, D29 | 1.39~7.64 | | |
| | 側壁 | 1,200~1,500 | D25, D29 | 2.80~7.30 | | |
| | 導流壁 | 1,000~1,200 | D19, D22, D29 | 2.80~9.35 | | |
| | 妻壁 | 1,500 | D22 | 2.92~3.65 | | |
| 取水路 (標準部) | 頂版 | 1,000 | D25 | 5.75 | 詳細設計 反映 | |
| | 底版 | 1,500 | D22 | 3.79 | | |
| | 隔壁 | 1,000 | D25 | 3.45 | | |

注記* : せん断スパン比 : a/d (a : 支間長, d : 有効高さ)

表 1-2(2) Ccb による耐震補強対象の構造物

| 構造物 名称 | 部 材 | 部材厚 (mm) | Ccb 径 | せん断 スパン比* | 備 考 |
|---------------------------------|-----|-------------|--------------------|--------------|------------|
| 海水 ポンプ室 | 底版 | 2,000~3,500 | D16, D22, D25, D32 | 0.83~35.59 | 詳細設計 反映 |
| | 側壁 | 2,000~4,700 | D22, D25, D29, D32 | 1.86~35.59 | |
| | 隔壁 | 1,000~2,000 | D25, D29, D32 | 1.02~37.01 | |
| | 妻壁 | 1,500 | D22, D25, D29, D32 | 3.54~22.44 | |
| | 導流壁 | 1,500 | D22, D25, D29, D32 | 3.54~49.61 | |
| | 中床版 | 1,000~1,500 | D22, D25, D29, D32 | 2.13~17.32 | |
| 原子炉機器 冷却海水 配管ダクト (鉛直部) | 側壁 | 700 | D16 | 4.14 | 詳細設計 反映 |
| | 隔壁 | 800 | D19 | 3.24 | |
| 第 3 号機海水 ポンプ室 | 底版 | 3,000 | D25, D29, D32 | 1.30~14.80 | 詳細設計 反映 |
| | 側壁 | 1,800~3,000 | D25, D29, D32 | 2.27~14.80 | |
| | 隔壁 | 1,200~2,000 | D32 | 4.14~29.38 | |
| | 妻壁 | 1,500~2,000 | D25, D29, D32 | 2.83~16.10 | |
| | 導流壁 | 1,500~3,300 | D25, D29, D32 | 2.15~32.28 | |
| | 中床版 | 1,500 | D25, D29, D32 | 2.83~20.55 | |

注記* : せん断スパン比 : a/d (a : 支間長, d : 有効高さ)

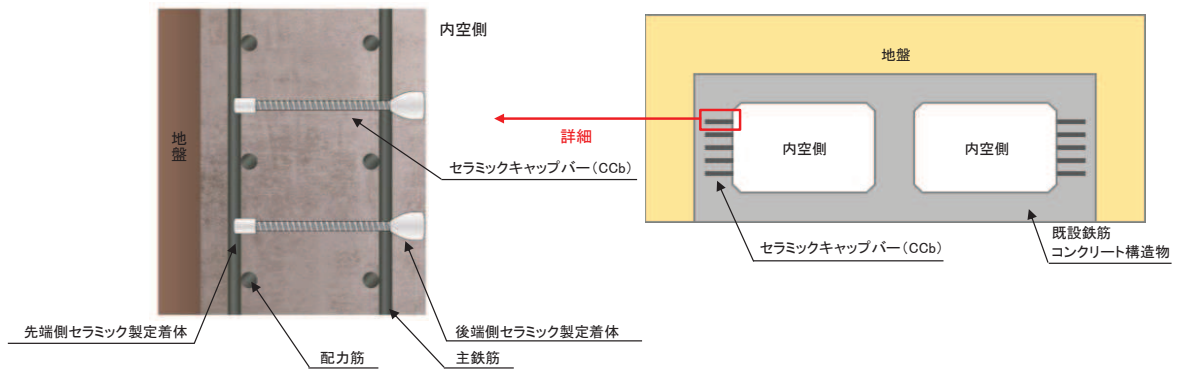


図 1-1 CCb 工法の概要図*

注記* : セラミックキャップバー (CCb) 工法研究会 HP より引用。一部修正・加筆。

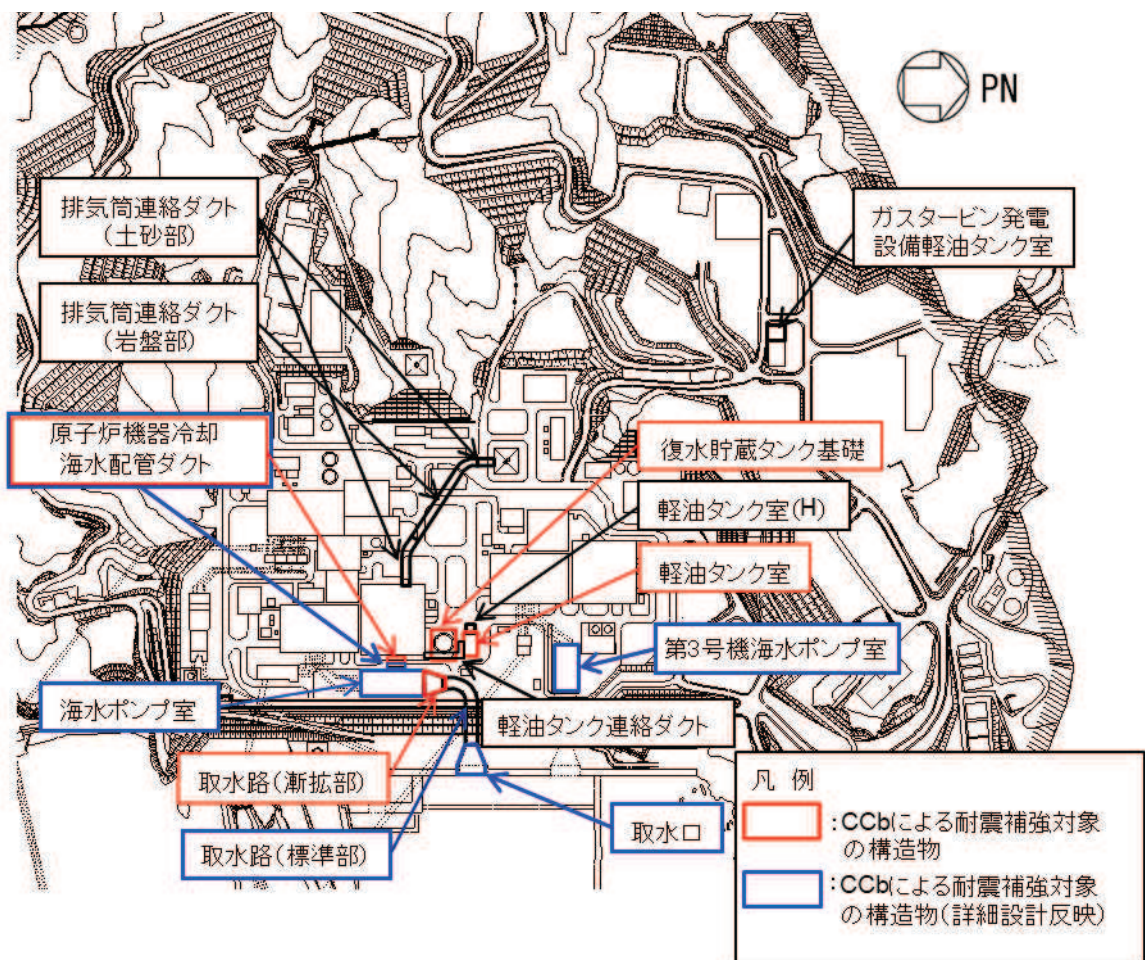
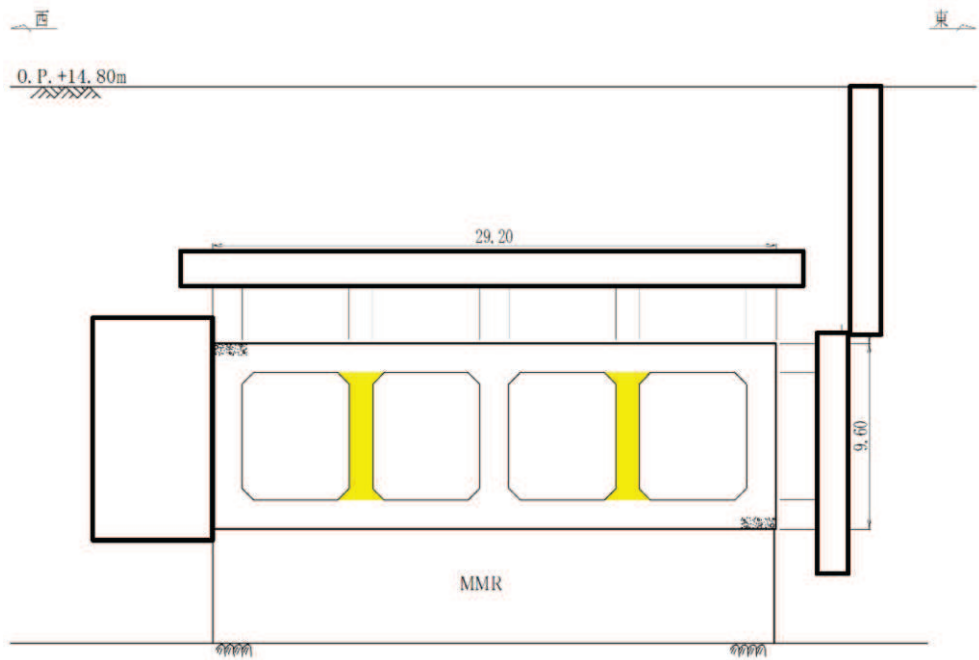


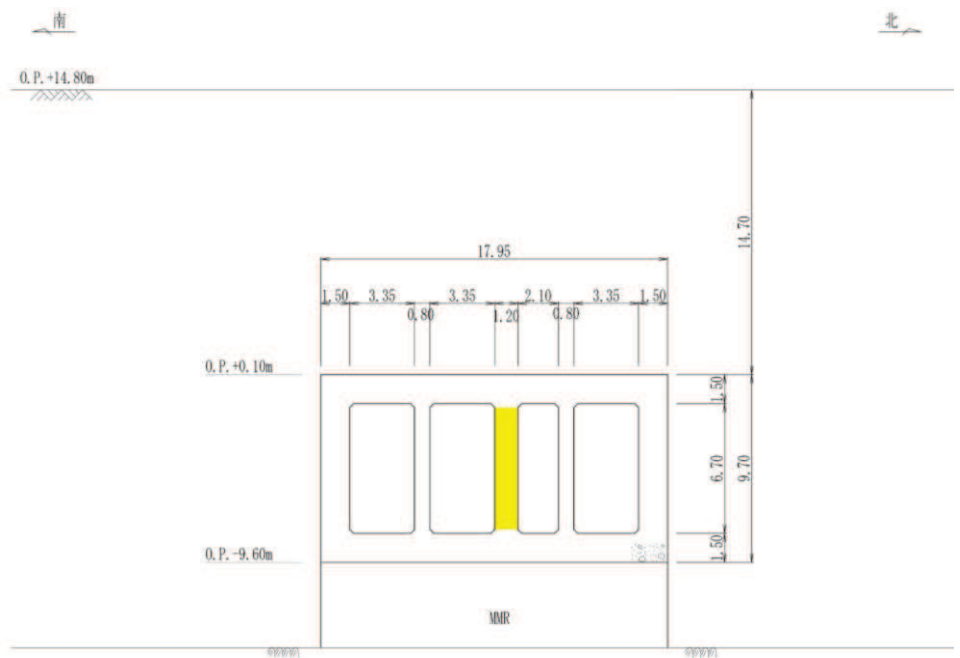
図 1-2 CCb による耐震補強対象の構造物 (配置図)



(単位：m)

■ : CCbによる耐震補強箇所

図1-3 CCbによる耐震補強対象の構造物
(取水路(漸拡部))

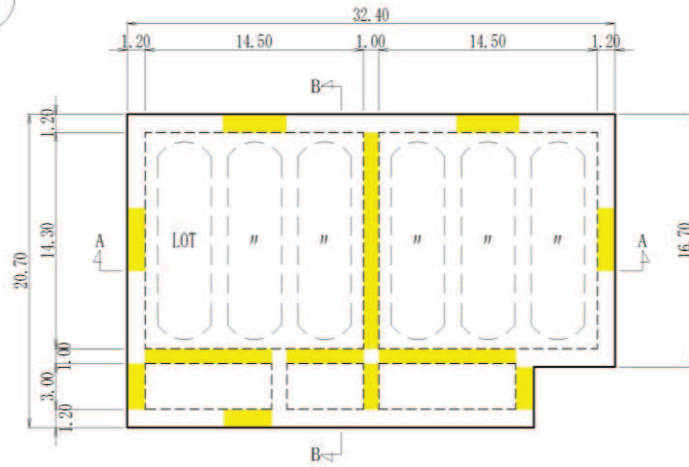


(単位：m)

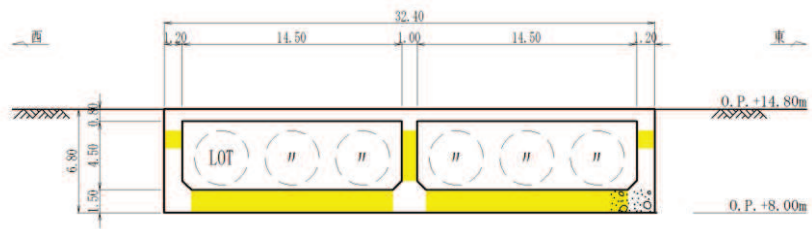
■ : CCbによる耐震補強箇所

図1-4 CCbによる耐震補強対象の構造物
(原子炉機器冷却海水配管ダクト)

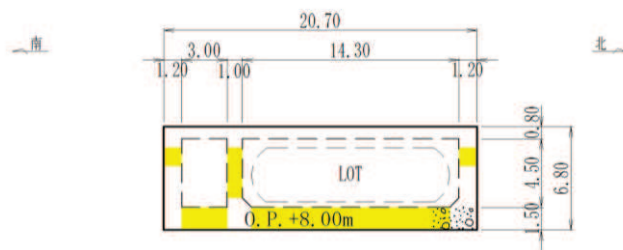
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



平面図



A-A 断面

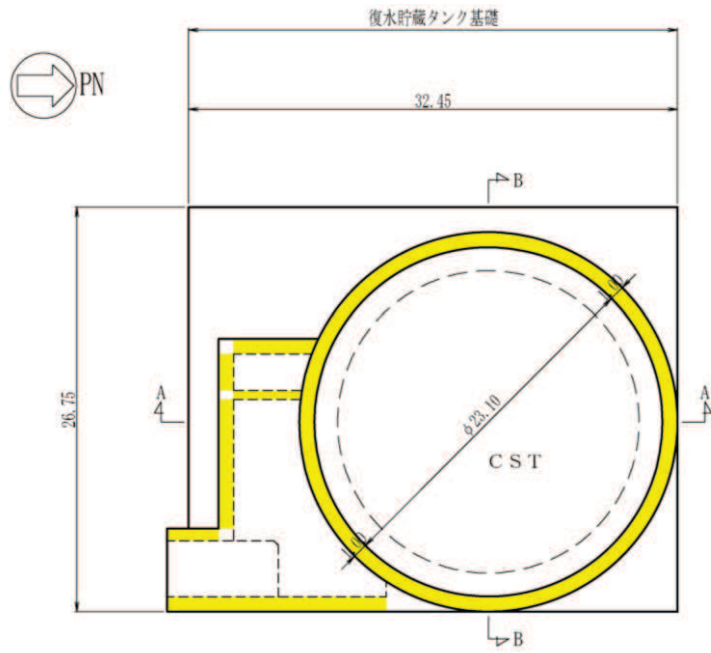


B-B 断面

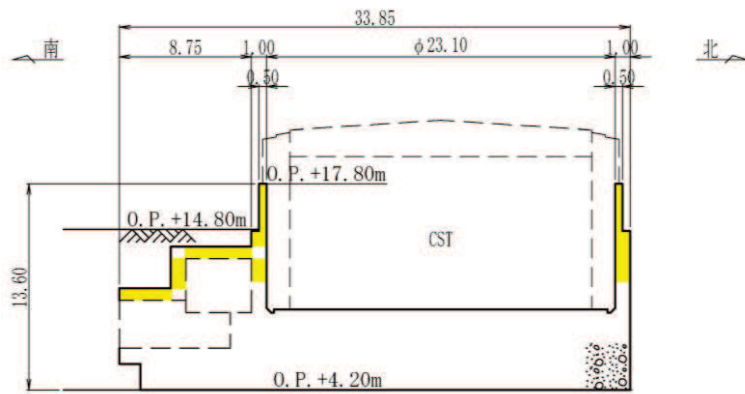
(単位：m)

■ : Ccbによる耐震補強箇所

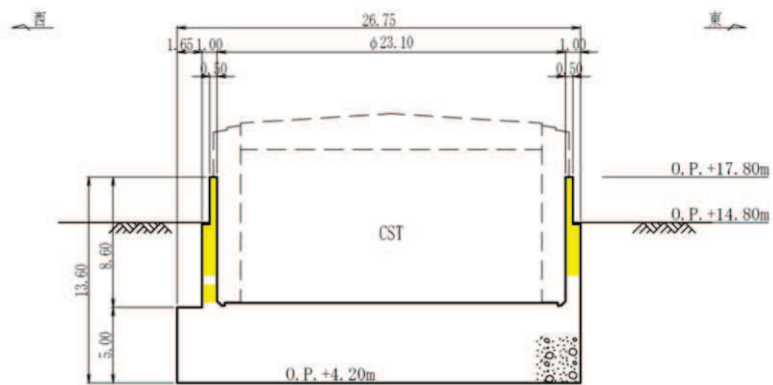
図1-5 Ccbによる耐震補強対象の構造物
(軽油タンク室)



平面図



A-A 断面



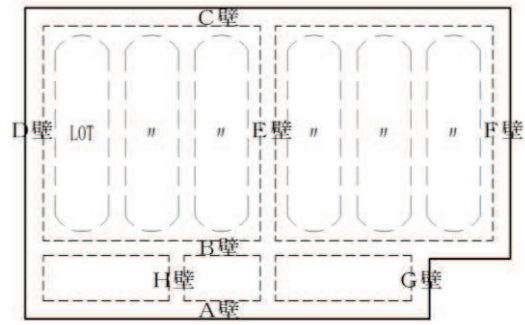
B-B 断面

(単位：m)

■ : Ccb による耐震補強箇所

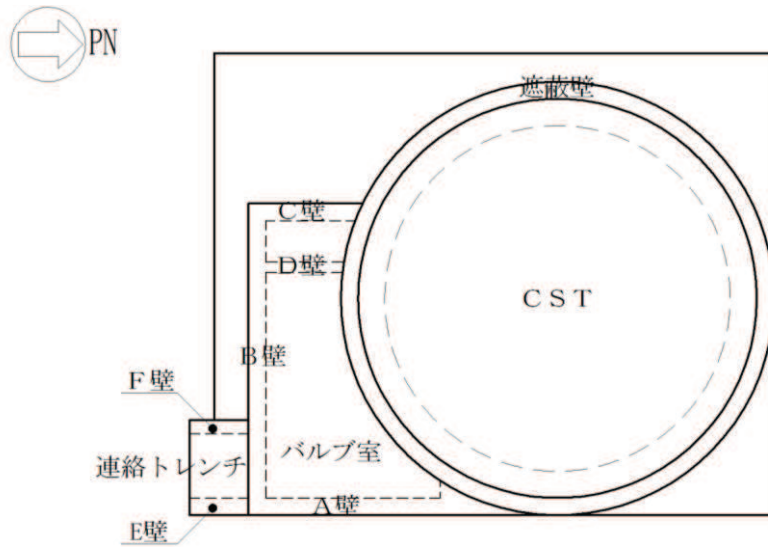
図 1-6 Ccb による耐震補強対象の構造物
(復水貯蔵タンク基礎)

(参考) 6-7



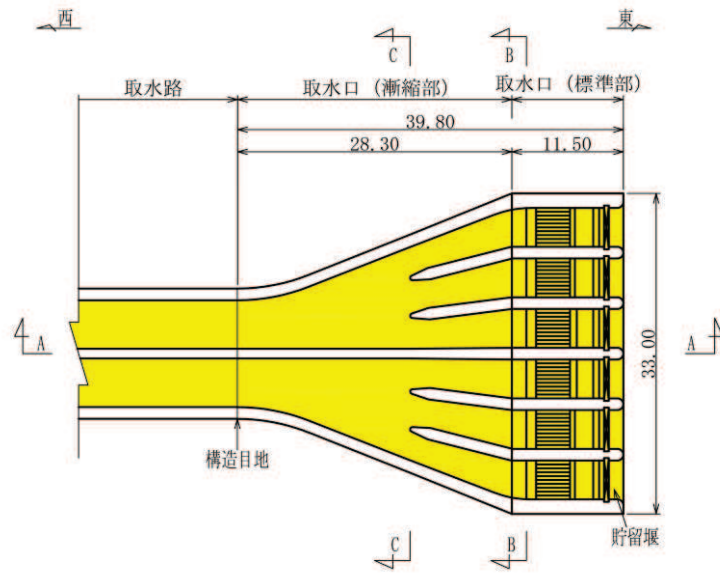
| | | 東西方向・水平方向 | | | 南北方向・鉛直方向 | | | |
|----------------|----|------------|------------|-------------|------------|-------|-------------|------|
| | | 支間長 | 有効高さ | せん断 スパン比 | 支間長 | 有効高さ | せん断 スパン比 | |
| | | a (m) | d (m) | a / d | a (m) | d (m) | a / d | |
| 軽油 タンク 室 | 底版 | 5.10~14.50 | 1.30 | 3.92~11.15 | 3.00~14.30 | 1.30 | 2.31~11.00 | |
| | 側壁 | A壁 (南壁) | 8.40 | 1.00 | 8.40 | 4.50 | 1.00 | 4.50 |
| | | C壁 (北壁) | 14.50 | 1.00 | 14.50 | 4.50 | 1.00 | 4.50 |
| | | D壁 (西壁) | 3.00~14.30 | 1.00 | 3.00~14.30 | 4.50 | 1.00 | 4.50 |
| | | F壁 (東壁) | 14.30 | 1.00 | 14.30 | 4.50 | 1.00 | 4.50 |
| | | G壁 (東壁) | 3.00 | 1.00 | 3.00 | 4.50 | 1.00 | 4.50 |
| | 隔壁 | B壁 (中壁) | 5.10~9.10 | 0.85 | 6.00~10.71 | 4.50 | 0.85 | 5.29 |
| E壁 (中壁) | | 3.00~14.30 | 0.85 | 3.53~16.82 | 4.50 | 0.85 | 5.29 | |

図 1-7 Ccb による耐震補強対象の構造物
(せん断スパン比：軽油タンク室)

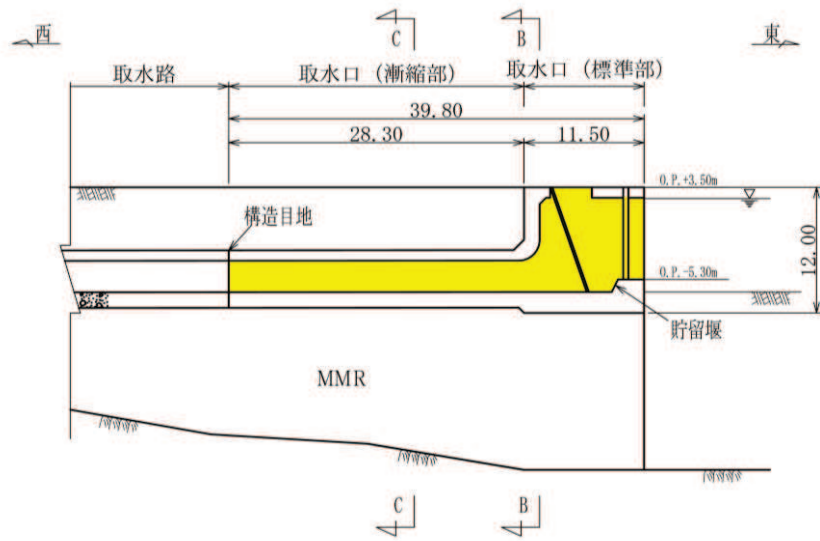


| | | 東西方向・水平方向 | | | 南北方向・鉛直方向 | | | | |
|-----------|--------|-----------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|
| | | 支間長 | 有効高さ | せん断 スパン比 | 支間長 | 有効高さ | せん断 スパン比 | | |
| | | a (m) | d (m) | a / d | a (m) | d (m) | a / d | | |
| 復水貯蔵タンク基礎 | 遮蔽壁 | 地上部 | — | — | — | 3.10 | 0.40 | 7.75 | |
| | | 地中部 | — | — | — | 4.15~8.60 | 0.90 | 4.61~9.56 | |
| | バルブ室 | 頂版 | 1.00~13.05 | 0.68 | 1.47~19.19 | 4.53~10.10 | 0.68 | 6.66~14.86 | |
| | | 側壁 | A壁 (東壁) | 10.10 | 0.88 | 11.48 | 3.65 | 0.88 | 4.15 |
| | | | B壁 (南壁) | 2.40~13.05 | 0.88 | 2.73~14.83 | 1.95~3.65 | 0.88 | 2.22~4.15 |
| | | | C壁 (西壁) | 5.19 | 0.88 | 5.89 | 3.65 | 0.88 | 4.15 |
| | 隔壁 | D壁 (中壁) | 4.53 | 0.48 | 9.43 | 3.65 | 0.48 | 7.60 | |
| | 連絡トレンチ | 頂版 | 3.70 | 0.68 | 5.44 | — | — | — | |
| | | 側壁 | E壁 (東壁) | — | — | — | 3.15 | 0.68 | 4.63 |
| | | | F壁 (西壁) | — | — | — | 3.15 | 0.68 | 4.63 |

図1-8 Ccbによる耐震補強対象の構造物
(せん断スパン比：復水貯蔵タンク基礎)



平面図



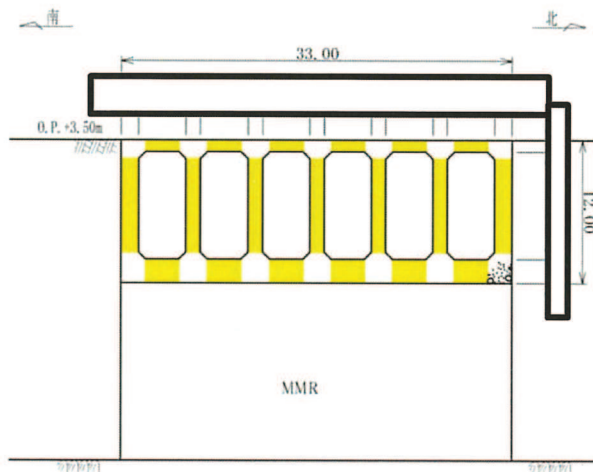
A-A 断面

(単位：m)

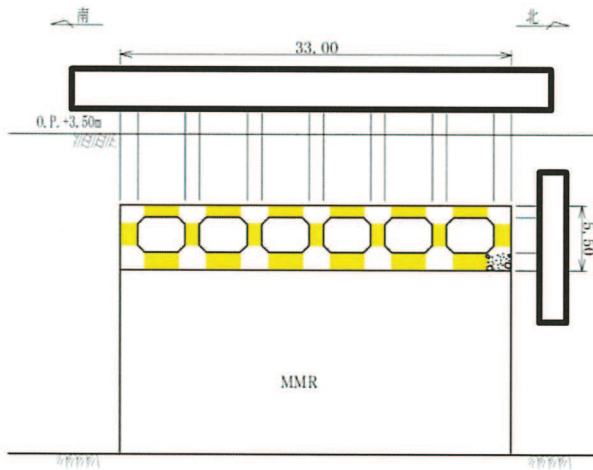
■ : Ccbによる耐震補強箇所

図 1-9 (1) Ccbによる耐震補強対象の構造物 (詳細設計反映)

(取水口) (1/2)



B-B 断面



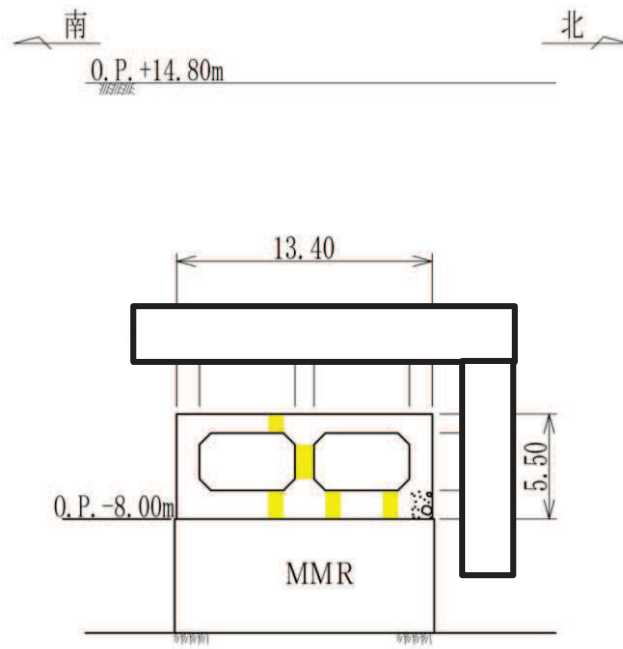
C-C 断面

(単位：m)

■ : Ccb による耐震補強箇所

図 1-9 (2) Ccb による耐震補強対象の構造物 (詳細設計反映)
(取水口) (2/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

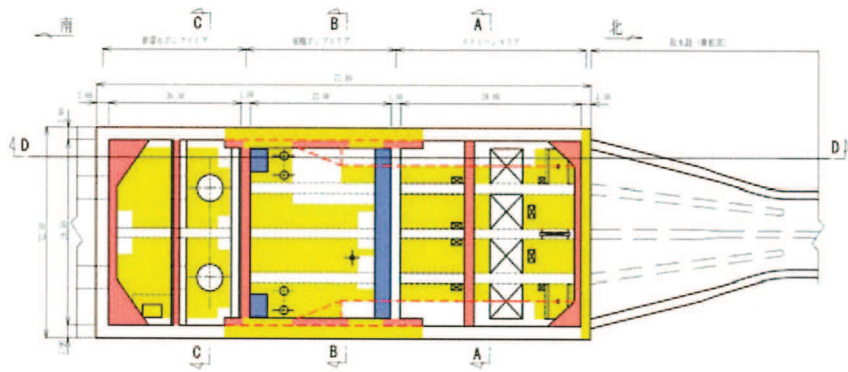


(単位：m)

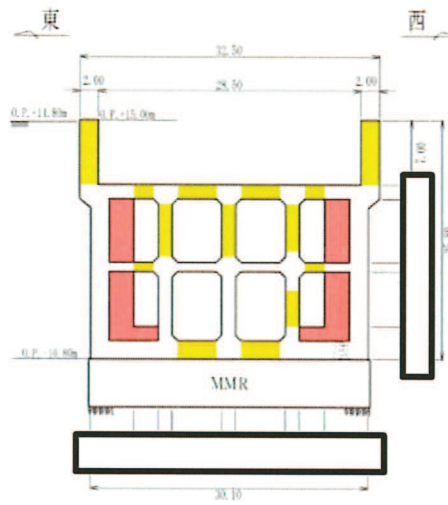
■ : Ccbによる耐震補強箇所

図1-10 Ccbによる耐震補強対象の構造物（詳細設計反映）
（取水路（標準部））

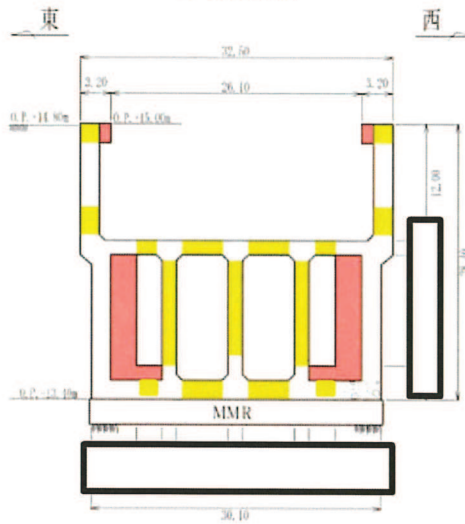
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



平面図



A-A 断面



B-B 断面

(単位：m)

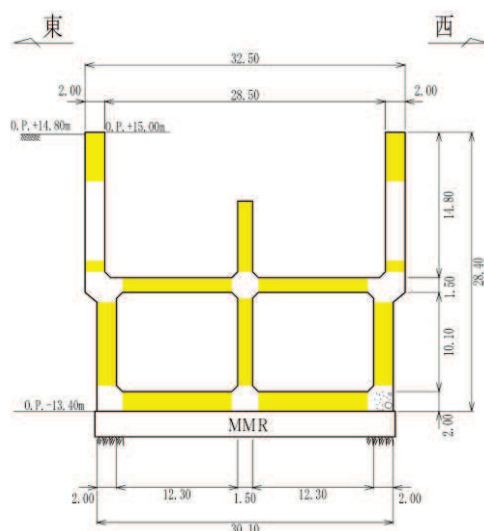
- : CCb による耐震補強箇所
- : 部材増厚または部材追加箇所
- : 竜巻防護ネット支持部

図 1-11 (1) CCb による耐震補強対象の構造物 (詳細設計反映)

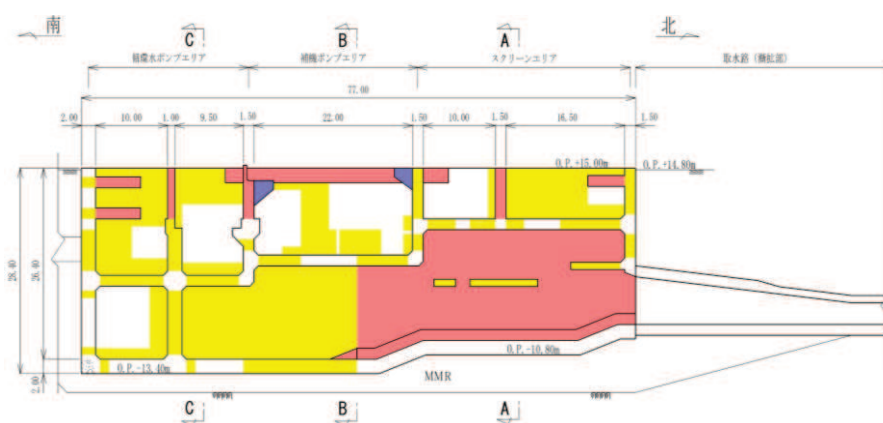
(海水ポンプ室) (1/2)

(参考) 6-13

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



C-C 断面



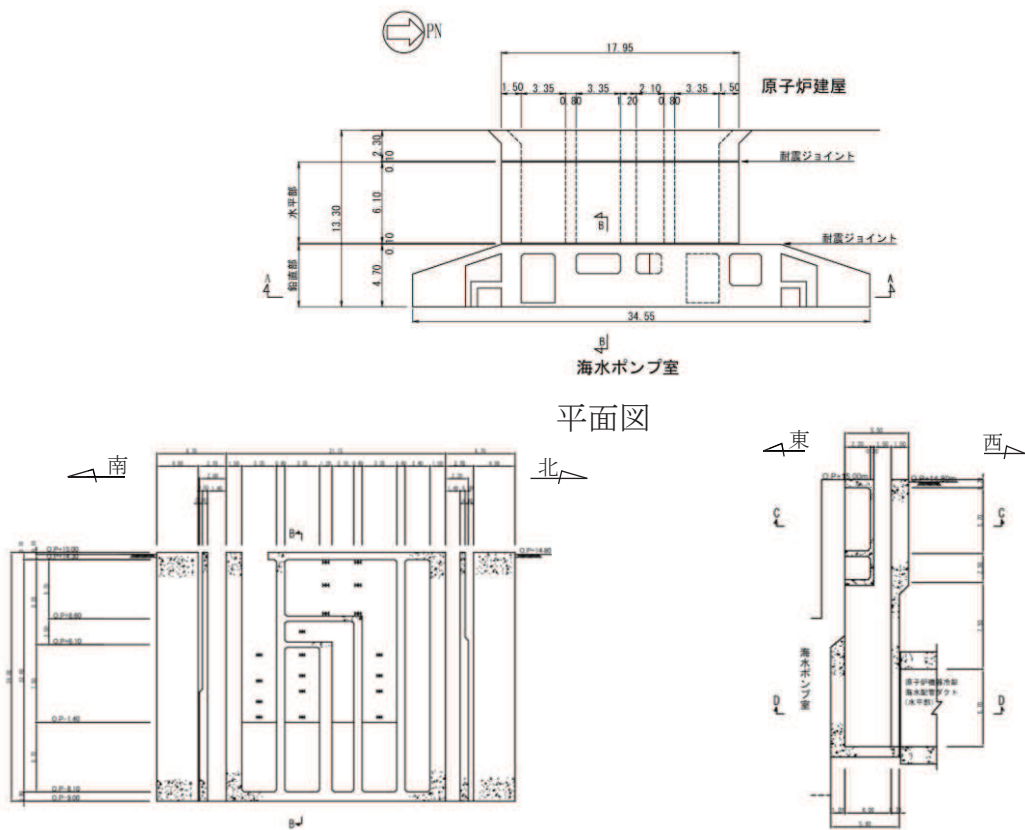
D-D 断面（投影）

（単位：m）

- : Ccb による耐震補強箇所
- : 部材増厚または部材追加箇所
- : 竜巻防護ネット支持部

図 1-11 (2) Ccb による耐震補強対象の構造物（詳細設計反映）

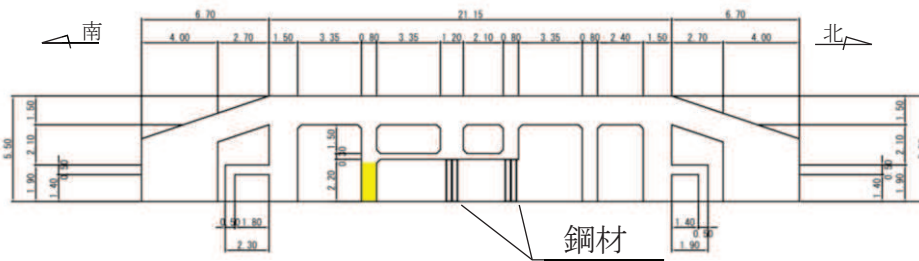
（海水ポンプ室）(2/2)



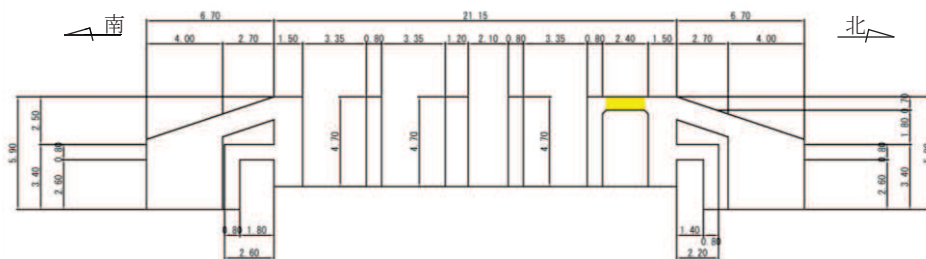
注記* : 図中の H は鋼材を示す。

正面図 (A-A 断面)

縦断面図 (B-B 断面)



断面図 (C-C 断面)

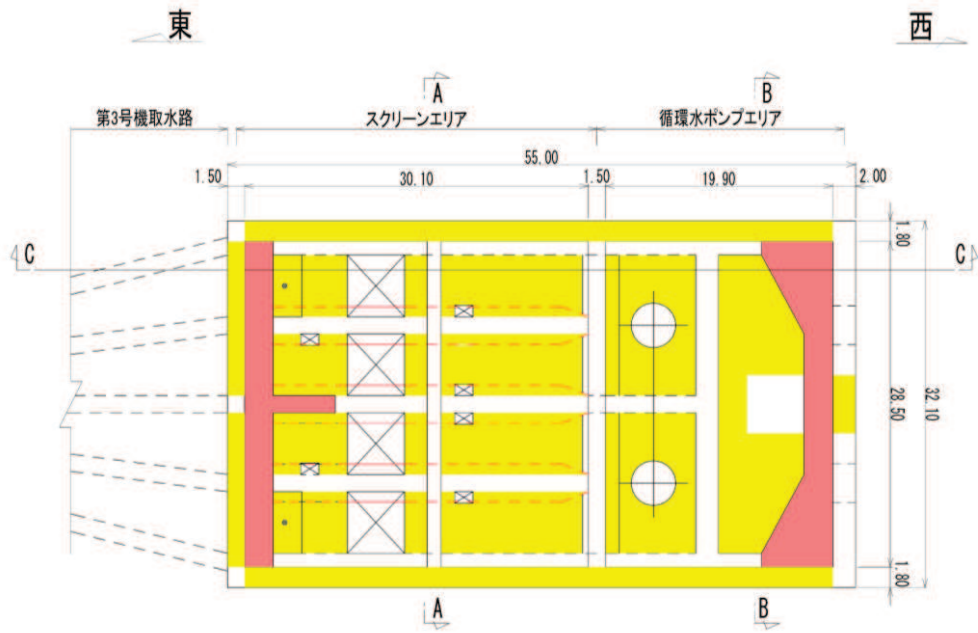


断面図 (D-D 断面)

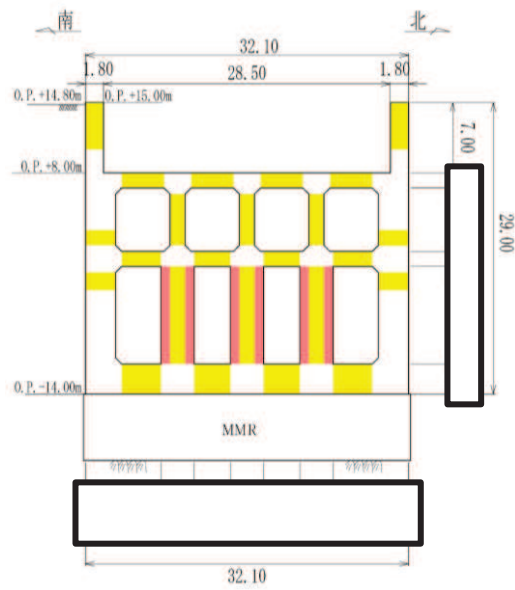
(単位 : m)

■ : Ccb による耐震補強箇所

図 1-12 Ccb による耐震補強対象の構造物 (詳細設計反映)
(原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部))



平面図



A-A 断面

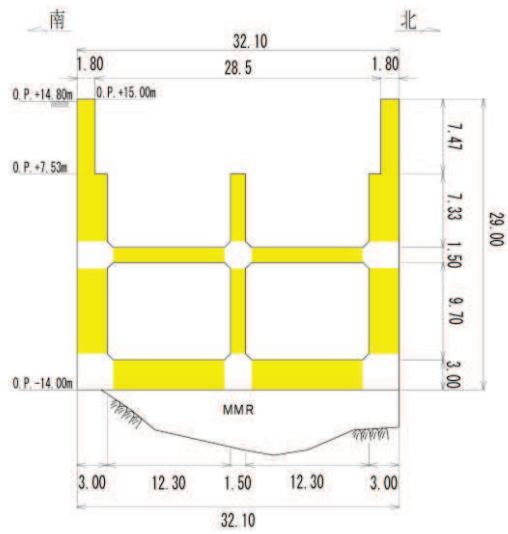
(単位：m)

- : CCb による耐震補強箇所
- : 部材増厚または部材追加箇所

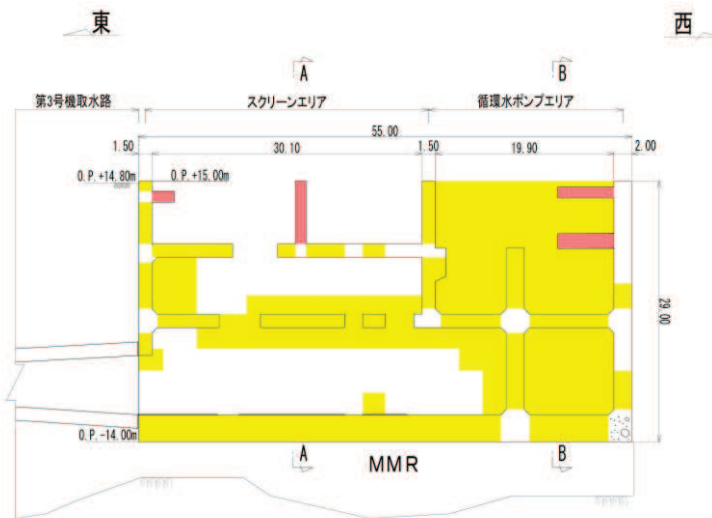
図 1-13 CCb による耐震補強対象の構造物 (詳細設計反映)

(第 3 号機海水ポンプ室) (1/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



B-B 断面



C-C 断面

(単位：m)

■ : Ccb による耐震補強箇所

■ : 部材増厚または部材追加箇所

図 1-13 Ccb による耐震補強対象の構造物 (詳細設計反映)

(第 3 号機海水ポンプ室) (2/2)

2. Ccb 工法について

2.1 Ccb 工法を適用した部位

女川 2 号機の屋外重要土木構造物等においては、基準地震動発生時に屋外重要土木構造物等としての機能（設計基準対象施設のうち耐震 S クラス施設の間接支持機能、重大事故等対処施設の間接支持機能、非常時における海水の通水機能、貯水機能及び止水機能）を維持するために、耐震安全性を確保する必要がある。そのため、屋外重要土木構造物等の一部の部材においては、せん断に対する安全性を確保するために、Ccb 工法を適用し、せん断耐力の向上を図っている。

Ccb 工法を適用した部材は、表 1-2、表 1-3 表及び図 1-3～図 1-13 に示すとおり、各構造物の隔壁、側壁、底版等である。

2.2 Ccb 工法の概要

Ccb 工法は、既設の鉄筋コンクリート構造物に後施工によりせん断補強を行う工法の一つであり、Ccb を既設の鉄筋コンクリート構造物の部材に挿入・一体化させて、せん断耐力を向上させるものである。Ccb は図 2-1 に示すように、せん断補強筋の両端に耐腐食性に優れたセラミック製の定着体を取り付けた構造となっており、海水を通水する取水路（漸拡部）のような構造物に適した材料である。

Ccb 工法の具体的な施工方法は、表 2-1 に示すように、既設の鉄筋コンクリート構造物の表面からドリルで削孔を行い、その孔内にせん断補強材である Ccb を差し込み、充てん材で固定することにより構造躯体と一体化を図っており、従来工法（先施工）とは施工方法が異なる。

また、Ccb 工法は表 2-2 に示すように、「セラミック定着体とコンクリート間の支圧（後端側）」と「セラミック定着体及び Ccb とコンクリート間の付着（先端側）」により定着しており、フックを掛けて定着する従来工法（先施工）とは定着機構が異なる。そのため、Ccb 工法では設計・照査において、通常の従来工法（先施工）であるせん断補強筋によるせん断耐力に有効性を示す係数（ β_{aw} ）を乗じることにより、せん断補強効果を評価している。

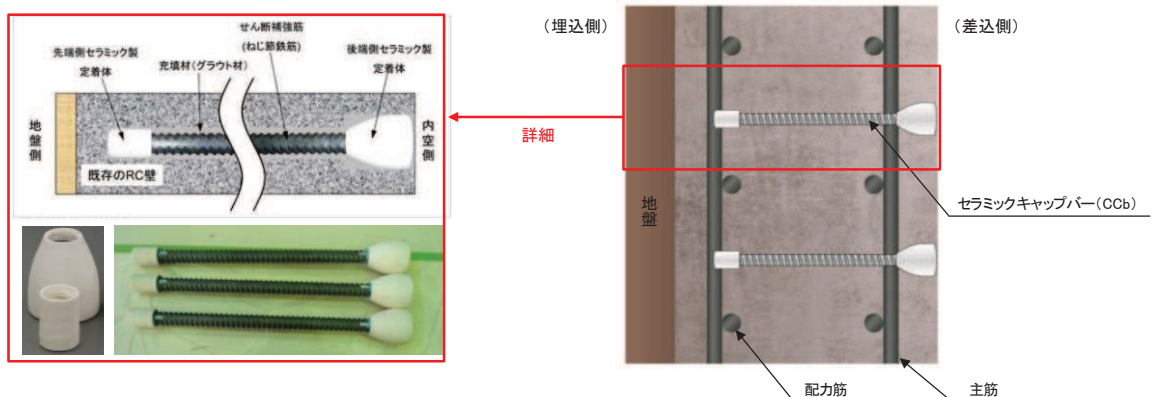


図 2-1 Ccb の詳細図*

注記*：セラミックキャップバー (Ccb) 工法研究会及び鹿島建設 HP より引用。一部修正・加筆。

表 2-1 施工方法の違い

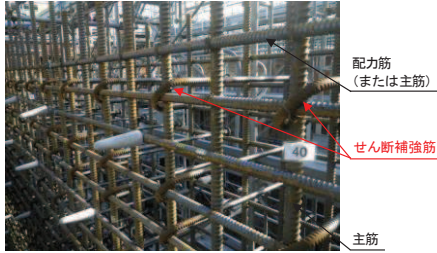
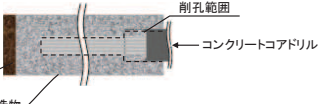
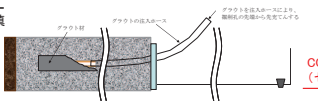
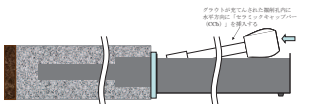
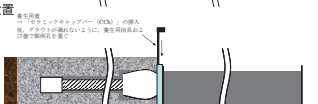

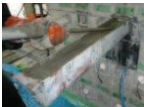


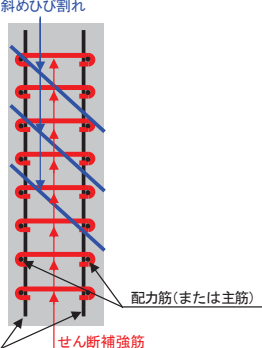
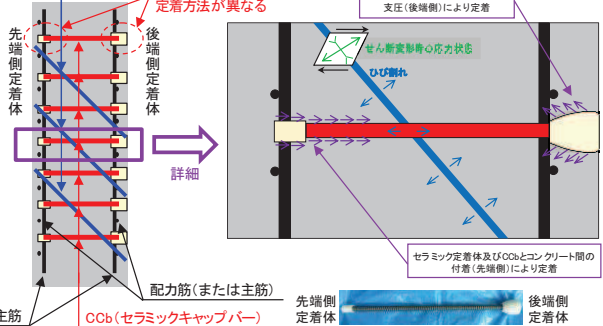
| 従来工法（先施工） | CCb工法（後施工） |
|--|---|
|  | <p>①削孔工 コンクリートコアドリルによる削孔</p>  <p>削孔範囲 コンクリートコアドリル</p> <p>地盤 既設鉄筋 コンクリート構造物</p> <p>②CCb定着工 グラウトの充填</p>  <p>グラウト材 グラウトの流入コース グラウトを流入コースに送り、隙間を充填し、硬化させる。</p> <p>CCbの挿入</p>  <p>グラウトが硬化するまで、CCbの挿入を中止し、グラウトを硬化させる。</p> <p>養生用蓋の設置</p>  <p>養生用蓋（セラミックキャップバー（CCb））の挿入後、グラウトの硬化を促すために、養生用蓋を密着状態で設置する。</p>     |
| <ul style="list-style-type: none"> コンクリート打設前の鉄筋組立時に、せん断補強筋を主筋または配力筋にフックを掛けて設置している。 多数の施工実績があり、コンクリート打設前にせん断補強筋を設置するという確実性の高い施工方法である。 | <ul style="list-style-type: none"> 既設コンクリート構造物を削孔し、その孔内にCCbを差し込み、グラウトで一体化している。 従来工法（先施工）と比較すると施工実績が少なく、既設コンクリートを削孔して部材と直交する方向にCCbを設置し削孔部をグラウトにて充てんするものである。 |

表 2-2 定着機構の違い

| 従来工法（先施工） | CCb工法（後施工） |
|---|---|
| <p>斜めひび割れ</p>  <p>配力筋(または主筋) せん断補強筋 主筋</p> | <p>斜めひび割れ</p> <p>先施工のせん断補強筋と定着方法が異なる</p> <p>セラミック定着体とコンクリート間の実圧(後端側)により定着</p> <p>せん断補強筋のひび割れ状態</p> <p>ひび割れ</p> <p>セラミック定着体及びCCbとコンクリート間の付着(先端側)により定着</p> <p>先端側定着体 後端側定着体</p> <p>CCb(セラミックキャップバー)</p> <p>配力筋(または主筋) 主筋</p> <p>詳細</p>  |
| <ul style="list-style-type: none"> せん断補強筋は、主筋または配力筋にフックを掛けて定着しており、主に当該部にて定着効果を期待している。 | <ul style="list-style-type: none"> CCbは「セラミック定着体とコンクリート間の支圧(後端側)」と「セラミック定着体及びCCbとコンクリート間の付着(先端側)」により定着している。 |

3. 建設技術審査証明報告書の概要

3.1 Ccb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け

女川 2 号機のせん断補強が必要な各構造部材に配置した Ccb については、『建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー (Ccb)」』(以下「建設技術審査証明報告書」という。)に適用範囲及び設計方法が示されている。

本工法は、添付資料 1 「建設技術審査証明書」のとおり、高度な技術を有する第三者機関である一般財団法人土木研究センター(以下「PWRC*」という。)により審査証明を受けており、試験データを用いて、Ccb が受け持つせん断耐力の算定方法において、Ccb の規格降伏強度を使用して求めた値に対し、適用部材の軸方向鉄筋間隔及び Ccb の埋込側の必要定着長から評価される有効係数を乗じたものとして評価できることが確認された。なお、建設技術審査証明報告書では、片側からしか補強の施工ができない部材について、Ccb を設置する手順を設定し、この工事に必要な施工要素(補強設計に基づく Ccb の配置、Ccb 配置位置での削孔方法、削孔内への Ccb の固定方法、Ccb 設置後の仕上げ等の施工性)を確認しており、それぞれの要素に対して施工上の考慮を示すなど、施工性に関しても審査対象となっている。

また、建設技術審査証明報告書では、設計・施工マニュアルが添付され、材料及び施工に関する事項が示されている。

注記* : PWRC は、国土交通大臣認可の公益法人として国土建設技術の発展向上に寄与することを目的に設立された公益法人組織であり、土木に関して、河川、道路、土質・地盤、施工、橋梁等、幅広い分野にまたがる研究開発と調査研究の受託、さらに開発された技術の普及及び技術支援に取り組んでいる。PWRC では、建設技術審査証明事業を行っており、当該審査証明技術について学識経験者及び当センターの専門技術者による審査証明委員会を設け、開発の趣旨、開発目標及び技術内容、既存の技術との対比、実績等について審査を行っており、高度な技術を有し、十分な信頼性を有した第三者機関である。

3.2 建設技術審査証明報告書における Ccb 工法の適用範囲

本工法では、地震時の変形量が限定される地中構造物など、背面に地盤等があり部材の片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対しても、後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。Ccb が受け持つせん断耐力は鉄筋の材質 (SD295A, SD295B, SD345), 径 (D13~D32) ごとに定め、その値は、先施工のせん断補強鉄筋に Ccb のせん断耐力の向上への有効性を示す係数 β_{aw} を考慮することにより評価が可能である。

Ccb は、主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、片側から施工する既設コンクリート構造物に対し、後施工によるせん断補強の目的で用いる。

また、両側から施工が可能な既設コンクリート構造物であり、じん性確保を目的としない場合、後施工によるせん断補強の目的で用いる。

3.3 建設技術審査証明報告書における CCb 工法の設計方法

3.3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法

本工法では実験により性能を確かめることで、設計方法等を設定しており、その概要を以下にまとめた。

(1) 実験方法

本工法を用いた設計で CCb のせん断耐力への寄与分を確認するために、梁試験体の交番載荷試験（せん断破壊モード試験体）を実施することにより、CCb を用いて補強することによるせん断耐力の向上の確認が行われている（図 3-1 参照）。

試験に用いられた試験体の諸元一覧を表 3-1 に、せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法を図 3-2 に、せん断耐力向上性能試験の加力要領を図 3-3 に示す。

| |
|--|
| <p>3. 1. 2 「セラミックキャップバー (CCb)」後施工によるせん断耐力</p> <p>梁試験体の正負交番繰返し静的加力試験（せん断破壊モード試験体）を実施することにより、「セラミックキャップバー (CCb)」を用いた後施工補強のせん断耐力の向上効果を確認する。梁試験体は、せん断補強鉄筋に D22 を用いたものが 3 体（シリーズ 1）、せん断補強鉄筋に D29 を用いたものが 2 体（シリーズ 2）、およびせん断補強鉄筋 D16 を用いたものが 10 体（シリーズ 3、4）である。</p> <p>シリーズ 1 は、825×685mm の断面を有する RC 梁部材において、せん断スパンにせん断補強鉄筋のない試験体 (No.1-1)、通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体 (No.1-2) および「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工してせん断補強を行った試験体 (No.1-3) の 3 体である。なお、No.1-3 試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み深さは、削孔の先端が補強面と反対側のコンクリート表面から 50mm となる 635mm である。</p> <p>シリーズ 2 は、825×800mm の断面を有する RC 梁部材において、そのせん断スパンに通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体 (No.2-1) および「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工してせん断補強を行った試験体 (No.2-2) の 2 体である。なお、No.2-2 試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み深さは、削孔の先端が補強面と反対側のコンクリート表面から 50mm となる 750mm である。</p> <p>シリーズ 3、4 は、600×500×4500mm の断面を有する RC 梁部材において、せん断スパンにせん断補強鉄筋のない試験体 (No.3-1)、通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体 (No.3-2) および「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工してせん断補強を行った試験体 (No.3-3～3-6、4-1～4-4) の 10 体である。このうち、No.3-3～3-6 試験体は、「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置が異なる。すなわち、埋込み側の先端位置は、主鉄筋の図心位置、主鉄筋の手前、または配力鉄筋の手前である。No.3-4 と No.3-5 については、ばらつきを確認するため同条件の試験体である。No.4-1～4-3 試験体は両端に先端型定着体を用いた両端先端型、No. 4-4 試験体は両端に後端型定着体を用いた両端後端型であり、定着体は両端とも、コンクリート表面に一致している。なお、No.4-1 と No.4-2 については、ばらつきを確認するため同条件の試験体である。</p> <p>各ケースの試験体の種類を表 II-3.2～3.5 に、試験体図を図 II-3.6～3.8 に示す。また、載荷装置図を図 II-3.9 に示す。載荷は、規格強度に基づいた各試験体のせん断耐力の計算値に達するまでは、段階的に荷重制御により加力を行い、以後は、その時点の加力点変位を基準とする同一振幅における繰返し回数 1 回の振幅漸増型の変位制御による交番加力を行った。</p> |
|--|

図 3-1 実験方法

(建設技術審査証明報告書より抜粋)

表 3-1 各ケースの試験体の諸元
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

| | No.1-1 | No.1-2 | No.1-3 |
|---------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 断面寸法 $b \times h$ | 825×685 mm | | |
| せん断スパン長 a | 1,640 mm | | |
| せん断スパン比 a/d | 2.78 | | |
| 実験時の コンクリート圧縮強度 f'_c | 32N/mm ² | 33N/mm ² | 34 N/mm ² |
| 帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状 | — | SD345 D22 両端フック | SD345 D22 セラミックキャ ップバー (CCb) |
| せん断補強鉄筋比 p_w | 0 | 0.29 % | |
| 試験の目的 | コンクリート負担分 V_c の評価 | 後施工せん断補強鉄筋による 有効率 β_{aw} の評価 | |

| | No.2-1 | No.2-2 |
|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 断面寸法 $b \times h$ | 825×800 mm | |
| せん断スパン長 a | 1,960 mm | |
| せん断スパン比 a/d | 2.78 | |
| 実験時の コンクリート圧縮強度 f'_c | 37N/mm ² | 38N/mm ² |
| 帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状 | SD345 D29 両端フック | SD345 D29 セラミックキャ ップバー (CCb) |
| せん断補強鉄筋比 p_w | 0.48 % | |
| 試験の目的 | 後施工せん断補強鉄筋による 有効率 β_{aw} の評価 | |

表 3-1 各ケースの試験体の諸元
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

| | No.3-1 | No.3-2 | No.3-3 | No.3-4 | No.3-5 | No.3-6 |
|--|-----------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------|
| 断面寸法 $b \times h$ | 600×500 mm | | | | | |
| せん断スパン長 a | 1,195mm | | | | | |
| せん断スパン比 a/d | 2.78 | | | | | |
| 実験時のコンクリート 圧縮強度 f'_c [N/mm ²] | 41.2 | 40.6 | 42.4 | 42.6 | 42.9 | 42.6 |
| 帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状 | — | SD345 D16 両端フック | SD345 D16 セラミックキャップバー (CCb) | | | |
| せん断補強鉄筋比 ρ_w | 0.33% | | | | | |
| セラミックキャップ バー (CCb) の埋込み 側先端位置 | — | — | 主鉄筋の 図心 | 主鉄筋の表面 から 5mm 手前 | 配力鉄筋の 表面から 5mm 手前 | |
| 定着体の組合せ | — | — | 標準型 | | | |
| 試験の目的 | 試験体諸元の 妥当性検討 | | 後施工せん断補強鉄筋による 有効率 β_{aw} の評価 | | | |

| | No.4-1 | No.4-2 | No.4-3 | No.4-4 |
|--|-----------------------------------|--------|----------------------|--------|
| 断面寸法 $b \times h$ | 600×500 mm | | | |
| せん断スパン長 a | 1,195mm | | | |
| せん断スパン比 a/d | 2.78 | | | |
| 実験時のコンクリート 圧縮強度 f'_c [N/mm ²] | 34.0 | 34.3 | 35.5 | 33.9 |
| 帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状 | SD345 D16 セラミックキャップバー (CCb) | | | |
| せん断補強鉄筋比 ρ_w | 0.33% | | | |
| セラミックキャップ バー (CCb) の埋込み 側先端位置 | 主鉄筋の表面から 5mm 手前 | | 配力鉄筋の表面か ら 5mm 手前 | — |
| 定着体の組合せ | 両端先端型 | | | 両端後端型 |
| 試験の目的 | 後施工せん断補強鉄筋による有効率 β_{aw} の評価 | | | |

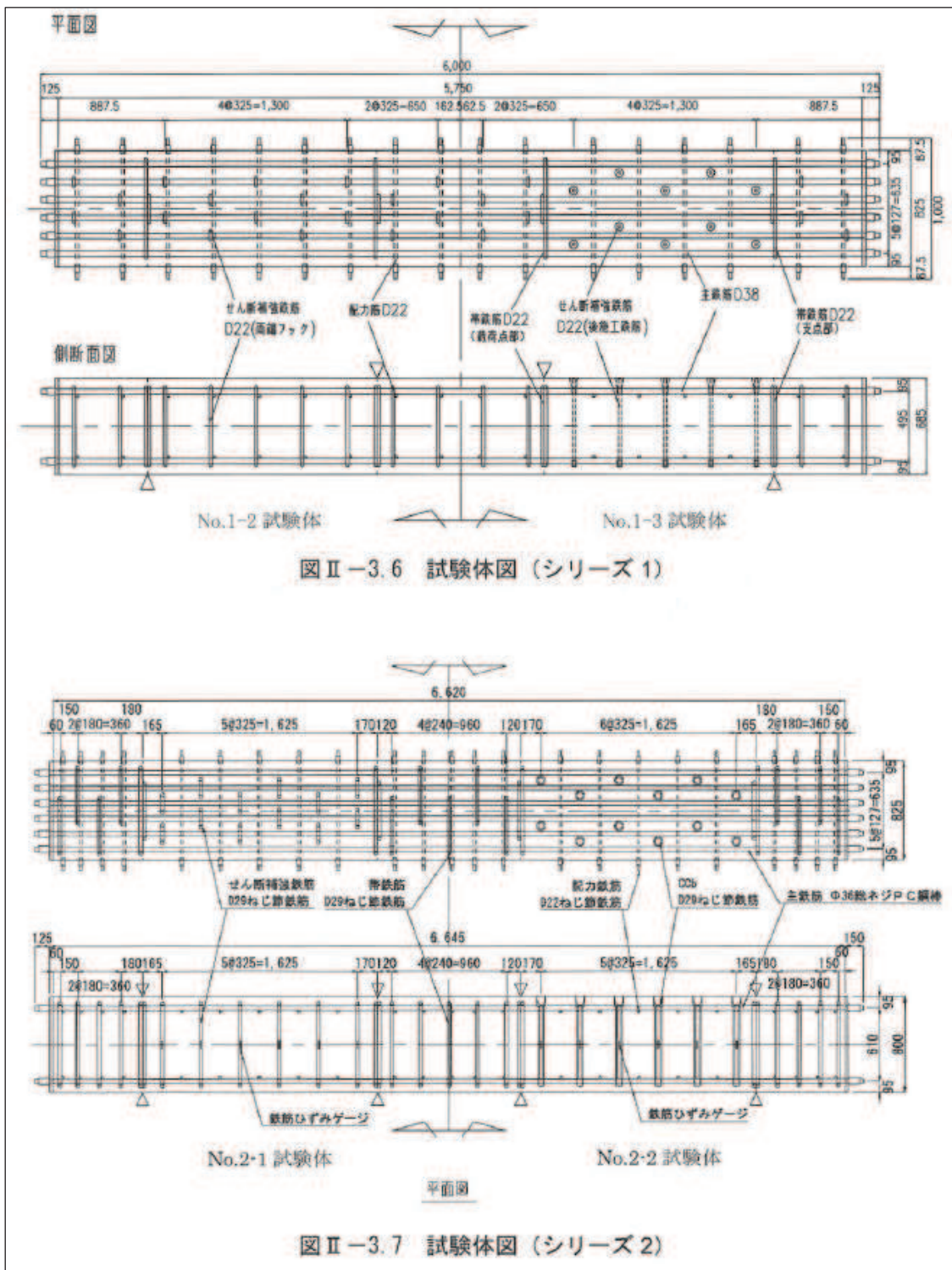


図 3-2 セン断耐力向上性能試験体の種類と補強方法
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

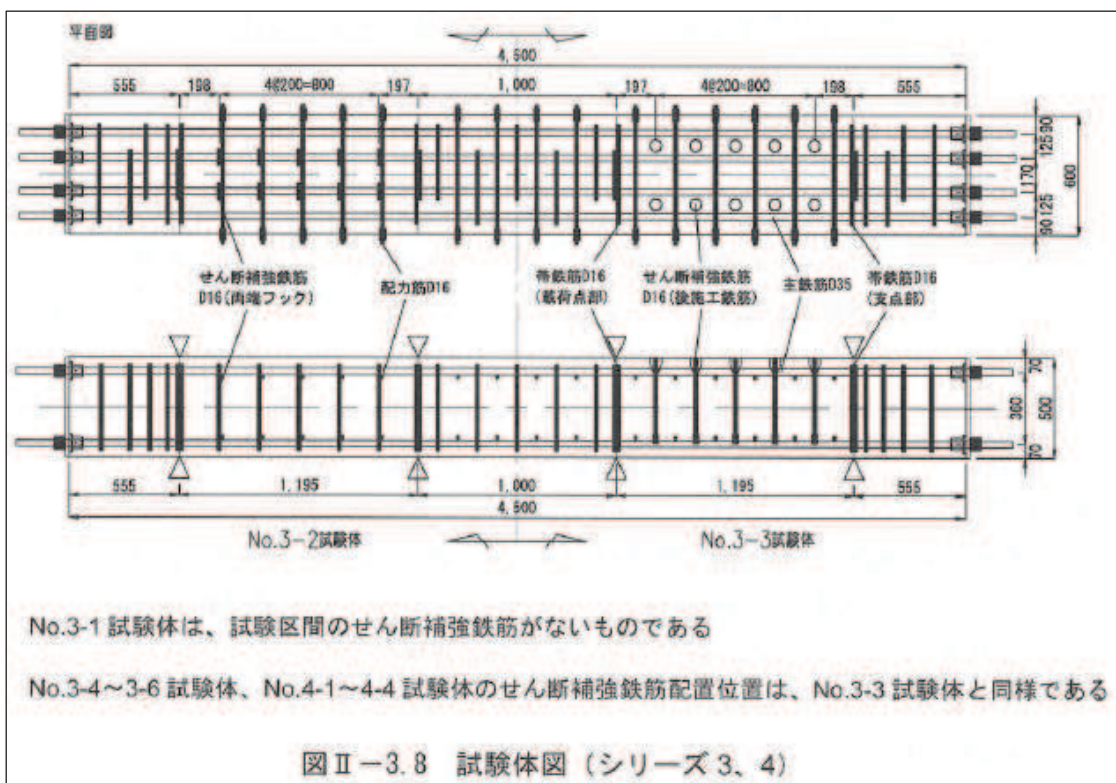


図 3-2 せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

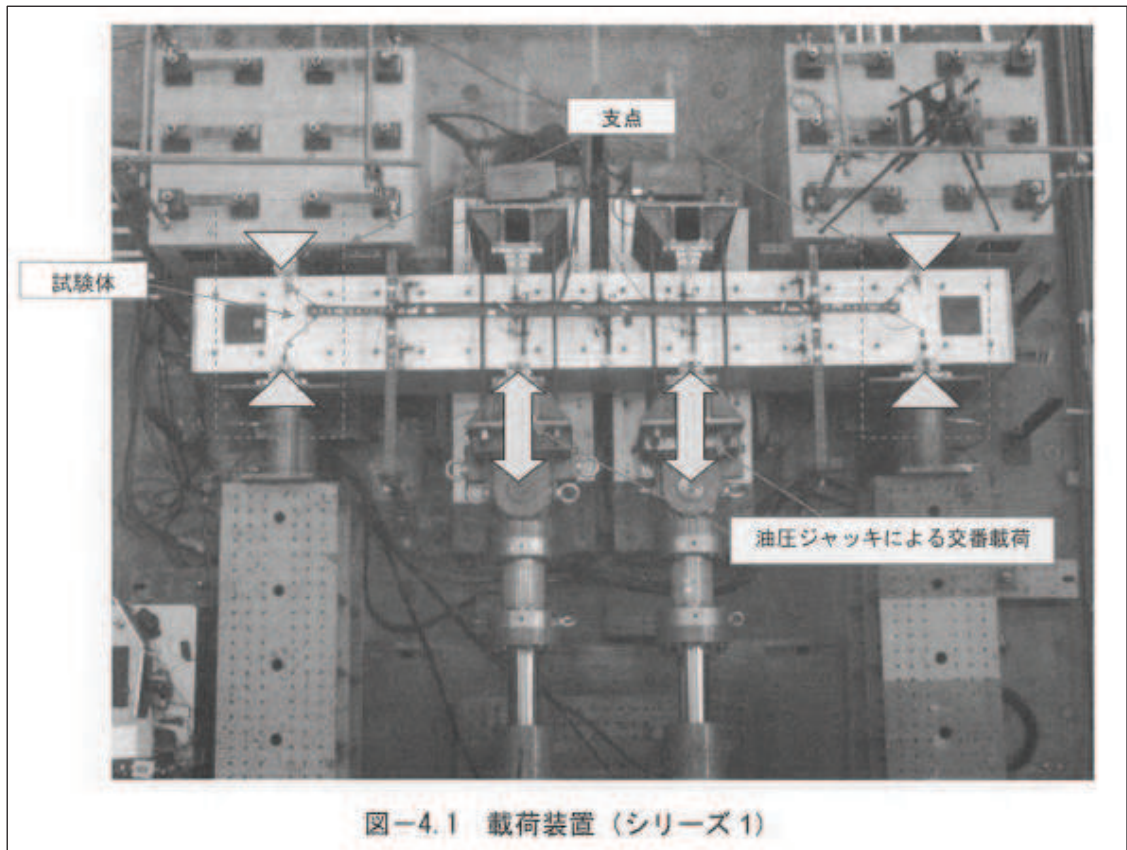


図 3-3 せん断耐力向上性能試験の加力要領
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

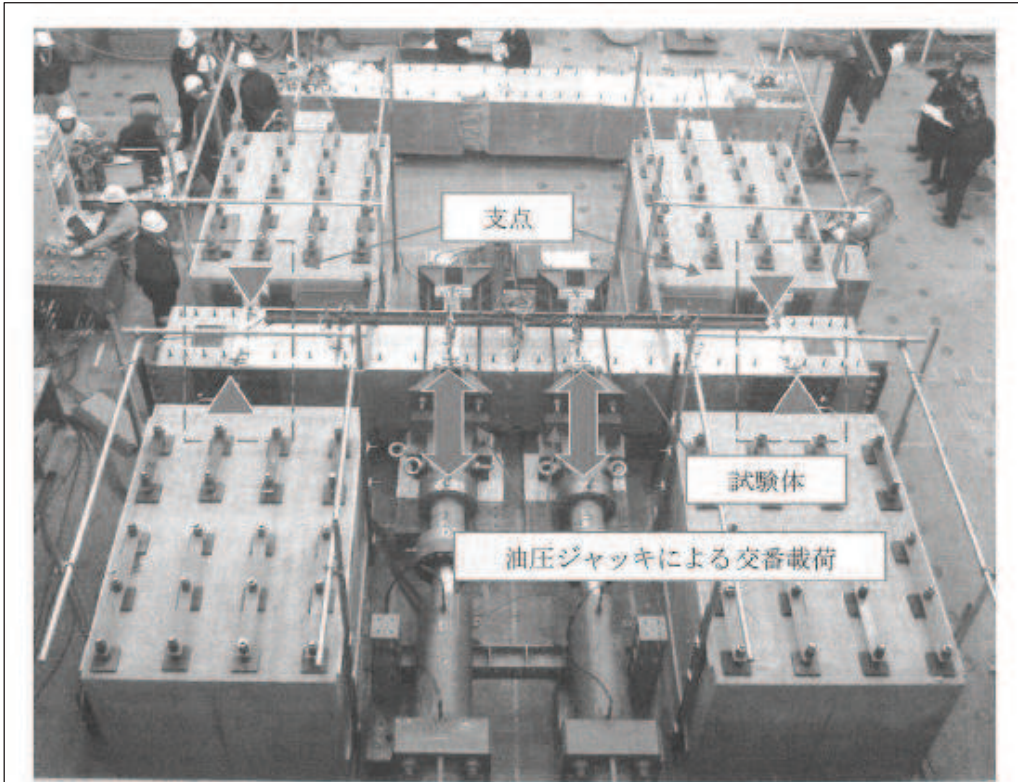


図-4.2 载荷装置 (シリーズ2)

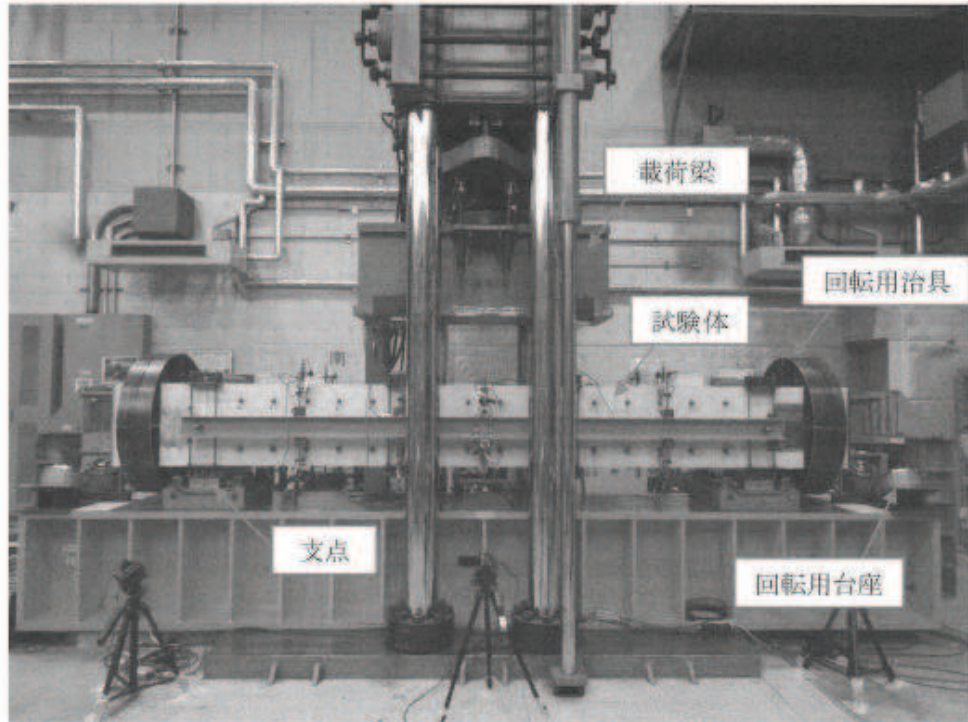


図-4.3 载荷装置 (シリーズ3、4)

図3-3 せん断耐力向上性能試験の加力要領
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

(2) 実験結果

(1)の実験結果を、図3-4及び表3-2に示す。

本実験では、セラミックキャップバー（CCb）工法によるせん断耐力の向上効果を評価するために、せん断破壊する梁試験体に対する交番載荷実験を行った。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

- ・ セラミックキャップバー（CCb）で後施工せん断補強した梁試験体の最大せん断耐力は、同量の両端フック型のせん断補強鉄筋であらかじめせん断補強した梁試験体のそれと、概ね等しい値であった。
- ・ 梁の交番載荷実験時におけるセラミックキャップバー（CCb）のひずみ挙動は、両端フック型のせん断補強鉄筋と同様であり、せん断ひび割れを架橋する複数のセラミックキャップバー（CCb）が規格降伏強度相当以上のせん断力を負担していることを確認した。
- ・ セラミックキャップバー（CCb）の埋込み位置の先端を主鉄筋の表面から5mm手前および配力筋の表面から5mm手前に配置した試験体においても、せん断ひび割れを架橋する複数のセラミックキャップバー（CCb）が規格降伏強度相当以上のせん断力を負担していることを確認した。
- ・ 定着体の組合せのうち、両端に先端型定着体を装着した試験体、および両端に後端型定着体を装着した試験体のいずれにおいても、せん断ひび割れを架橋する複数のセラミックキャップバー（CCb）が規格降伏強度相当以上のせん断力を負担していることを確認した。
- ・ せん断補強鋼材として、D16、D22 および D29 のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合、いずれの試験ケースにおいても同様のメカニズムでせん断補強鉄筋として機能していることが確認された。
- ・ 両端フック型のせん断補強鉄筋のせん断耐力負担分に対する、セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力負担分の比で表される有効率 β_{aw} は、いずれの鉄筋径においても計算値以上であった。
- ・ セラミックキャップバー（CCb）の埋込み位置の先端および定着体の組合せを検討したいずれの試験ケースにおいても、通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する、セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力負担分の比

図3-4 実験結果

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

で表される有効率 β_{aw} は計算値以上であった。

- ・ 実験におけるセラミックキャップバー (CCb) のせん断補強効果に対する有効率 β_{aw} は、式(5)または式(9)～(12)による算出値よりも大きかった。また、複数のセラミックキャップバー (CCb) が通常のせん断補強鉄筋と同様にせん断ひび割れを架橋し、せん断耐力を負担できている。このことから、セラミックキャップバー (CCb) によるせん断補強効果を、トラス理論に基づいて通常のせん断補強鉄筋により負担されるせん断耐力に式(5)または式(9)～(12)による有効率 β_{aw} を乗じて評価することは、安全側であることが分かる。

図 3-4 実験結果

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

注記* : 図 3-4 に示す式(5) は 3.3.1(3)に、式(9)～(12)は 3.3.1(4)に詳細を示す。

表 3-2 実験結果の一覧
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

| | | No.1-1 | No.1-2 | No.1-3 | 備考 |
|-----------------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------------------|--|
| せん断補強鉄筋の種類・形状 | | せん断補強鉄筋なし | SD345 D22 両端フック | SD345 D22 セラミック定着体 | |
| せん断耐力の実験値 | V | 454 kN | 1,045 kN | 1,050 kN | 実験における正側破壊時の 載荷荷重として |
| | V _c | 454 kN | 401 kN | 403 kN | 実験時のコンクリート強度 に基づく計算値。 |
| | V _s | 0 kN | 644 kN | 647 kN | V _s =V-V _c として |
| せん断耐力の計算値 | V _{cal} | 396 kN | 898 kN | 837 kN | 計算値は、コンクリート 標準示方書 [設計編] に 基づき、安全係数を 1.0 として算出した値。 |
| | V _{c cal} | 396 kN | 401 kN | 403 kN | |
| | V _{s cal} | 0 kN | 497 kN | 437 kN | No.1-3 は示方書による V _s に有効率 β=0.88 を乗じ た値。 |
| せん断補強鉄筋の有効率 β _{aw} | | | | 647 / 644=1.00 | No.1-2 試験体と No.1-3 試 験体の比較による値。 |

| | | No.2-1 | No.2-2 | 備考 | |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|--|--------------------------------------|
| せん断補強鉄筋の種類・形状 | | SD345D29 両端フック | SD345D29 セラミック定着体 | | |
| せん断耐力の実験値 | 正側 | V | 1597kN | 1598kN | 実験における正側破壊時の 載荷荷重として |
| | | V _c | 429kN | 434kN | 実験時のコンクリート強度 に基づく計算値 |
| | | V _s | 1168kN | 1164kN | V _s =V-V _c として |
| | 負側 | V | 1577kN | 1498kN | 実験における正側破壊時の 載荷荷重として |
| | | V _c | 429kN | 434kN | 実験時のコンクリート強度 に基づく計算値 |
| | | V _s | 1148kN | 1064kN | V _s =V-V _c として |
| せん断耐力の計算値 | V _{cal} | 1372kN | 1263kN | 計算値は、コンクリート標準 示方書 [設計編] に基づき、 安全係数を 1.0 として算出 した値 | |
| | V _{c cal} | 429kN | 434kN | | |
| | V _{s cal} | 943kN | 829kN | No.2-2 は示方書による V _s に 有効率 β=0.88 を乗じた値 | |
| せん断補強鉄筋の有効率 β _{aw} | | 正側 | 1164/1168=1.00 | No.2-1 試験体と No.2-2 試験 体の比較による値 | |
| | | 負側 | 1064/1148=0.93 | | |

表 3-2 実験結果の一覧
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

表-8.4 実験結果の一覧 (シリーズ 3、4)

| 試験 ケース | 「セラミックキャップ (CCb)」の仕様 | | 実験での最大 せん断耐力(kN) | | 算定式による せん断耐力(kN) $V_{cal}=V_{cs}+V_s$ | | | 「セラミックキャッ プ(CCb)」が負担 するせん断力(kN) | | せん断補強鉄筋の 有効率 β_{sm} (V_{CCb}/V_s) | | | 有効率の 設計値 β_{sm} |
|-----------|-------------------------|--------------------|---------------------|------------|---|----------|-------|--|-----------|---|-------------|------|-----------------------------|
| | | | 正側 | 負側 | V_{cal} | V_{cd} | V_s | 正側 | 負側 | 正側 | 負側 | 平均 | |
| | 定着体の 組合せ | 先端位置 | V_{exp} | V_{exp} | | | | V_{CCb} | V_{CCb} | | | | |
| No.3-3 | 標準型 | 主鉄筋位置 | <u>563</u> | <u>499</u> | 542 | 253 | 289 | 310 | 246 | <u>1.07</u> | 0.85 | 0.96 | 0.83 |
| No.3-4 | 標準型 | 主鉄筋の表面 より5mm手前 | <u>515</u> | <u>570</u> | 543 | 254 | 289 | 261 | 316 | <u>0.90</u> | <u>1.09</u> | 1.00 | |
| No.3-5 | 標準型 | 主鉄筋の表面 より5mm手前 | <u>531</u> | 509 | 543 | 254 | 289 | 277 | 255 | <u>0.96</u> | 0.88 | 0.92 | |
| No.3-6 | 標準型 | 配力鉄筋の表面 より5mm手前 | <u>497</u> | <u>526</u> | 543 | 254 | 289 | 243 | 272 | <u>0.84</u> | <u>0.94</u> | 0.89 | 0.78 |
| No.4-1 | 両端先端型 | 主鉄筋の表面 より5mm手前 | <u>532</u> | <u>520</u> | 525 | 235 | 290 | 297 | 285 | <u>1.02</u> | <u>0.98</u> | 1.00 | 0.82 |
| No.4-2 | 両端先端型 | 主鉄筋の表面 より5mm手前 | <u>520</u> | <u>535</u> | 526 | 236 | 290 | 284 | 299 | <u>0.98</u> | <u>1.03</u> | 1.01 | 0.82 |
| No.4-3 | 両端先端型 | 配力鉄筋の表面 より5mm手前 | <u>539</u> | <u>546</u> | 524 | 234 | 290 | 305 | 312 | <u>1.05</u> | <u>1.08</u> | 1.06 | 0.78 |
| No.4-4 | 両端後端型 | — | <u>667</u> | <u>568</u> | 525 | 235 | 290 | 426 | 333 | <u>1.47</u> | <u>1.15</u> | 1.31 | 1.00 |

※1 下線は正負交番載荷で最初にせん断破壊したことを示す
 ※2 斜体はせん断破壊をしていない場合、その載荷方向での最大荷重を示す

(3) Ccb のせん断補強の考え方

Ccb のせん断補強の考え方を図 3-5 に示す。

(5) 「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断補強効果の考え方

「セラミックキャップバー (CCb)」は通常の方法でせん断補強せず、既設構造物を後からせん断補強するために、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕のせん断耐力式におけるせん断補強鉄筋が負担するせん断力 V_{sd} を全て見込むことは困難であると考えられる。そこで「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断補強効果を、アルカリ骨材反応を受けて破断したせん断補強鉄筋のせん断耐力評価と同じ方法（参考文献：土木学会アルカリ骨材反応対策小委員会報告書、2005.9）により検討した。

せん断補強鉄筋が破断した場合は、せん断ひび割れ箇所から破断箇所までの付着長さが短くなることにより、せん断ひび割れを架橋する箇所でせん断補強鉄筋が全強度を発揮できなくなり、せん断補強効果が低下すると考えられる。この効果を以下のように考慮し、定着不良が生じた場合のせん断耐力をトラス理論により評価する。

せん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋を考えたとき、せん断ひび割れが破断位置にある場合は、そのせん断補強鉄筋はせん断力を負担することができず、一方、破断位置から定着長さ l_y 以上離れた位置にせん断ひび割れがあるせん断補強鉄筋では、付着により十分な定着性能が確保されていると判断され、降伏強度相当のせん断力を負担することができる。また、破断位置から定着長さ l_y 以下の範囲にせん断ひび割れがあるせん断補強鉄筋は、ある程度のせん断力は負担できるが定着性能が低下しているため、降伏強度相当より小さなせん断力のみが負担できるとした。その場合について、せん断ひび割れからのせん断補強鉄筋の定着長さにしたがって負担できるせん断力を線形で仮定したのが、図 II-4.33 に示す概念図である。この仮定によれば、平均化した破断した鉄筋の負担応力の低下率 η は次式で表すことができる。

$$\eta = (d-d')/(4l_y) \quad \text{if } (d-d') \leq 2l_y \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta = 1-l_y/(d-d') \quad \text{if } (d-d') > 2l_y \dots\dots\dots (2)$$

一部のせん断補強鉄筋のみが破断している場合には、その破断割合 α を考慮すると、破断したせん断補強鉄筋を含む有効せん断補強効果割合 β は式(3)となる。

$$\beta = \eta \alpha + (1-\alpha) \dots\dots\dots (3)$$

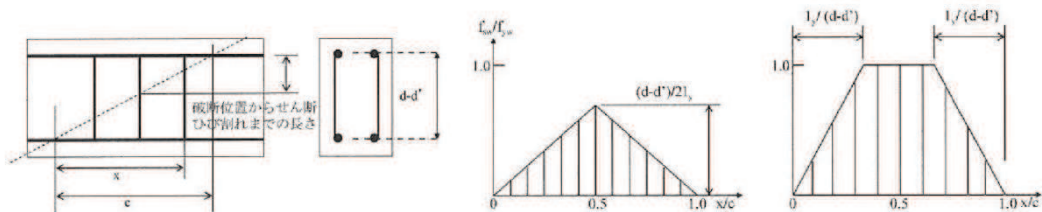


図 II-4.33 斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力

図 3-5 Ccb のせん断補強の考え方
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

すなわち、全てのせん断補強鉄筋が有効であるとして、トラス理論に基づきコンクリート標準示方書式で算出したせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力分に、有効せん断補強効果割合 β を乗じることにより、定着が不良であるものを含むせん断補強鉄筋のせん断耐力負担分を評価することができる。

以上の考え方に「セラミックキャップバー (CCb)」の定着性能を適用することにより、「セラミックキャップバー (CCb)」工法のせん断補強効果を評価することができる。「セラミックキャップバー (CCb)」の定着性能については、引抜き試験により以下について明らかとなっている。

- ・ 先端型定着体が、「セラミックキャップバー (CCb)」の規格降伏強度相当以上の定着力を確保するための必要定着長は、定着体の先端から 5D (D: 鉄筋の直径) である。
- ・ 後端型定着体は、単体で「セラミックキャップバー (CCb)」の規格引張強度相当以上の定着力を発揮できる。

「セラミックキャップバー (CCb)」の定着長 l_y が 5D であることと、「セラミックキャップバー (CCb)」工法の適用部材における主鉄筋間隔が $2l_y$ 以上であるとすると、「セラミックキャップバー (CCb)」の応力低下率 η の算出では、式(2)を基本とすることができる。また、後端型定着体部においては、せん断補強鉄筋の材端までせん断耐力に対して有効に作用することから、式(2)の第 2 項の $l_y/(d-d')$ には、係数 1/2 が乗じられる (式(4))。さらに、式(3)において破断している鉄筋は無いことから $\alpha=1$ とすると、「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断補強の有効率 β_{aw} は、式(5)により算出できる。

$$\eta = 1 - \frac{l_y}{2(d-d')} \dots\dots\dots (4)$$

$$\beta_{aw} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2(d-d')} \dots\dots\dots (5)$$

図 3-5 Ccb のせん断補強の考え方
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

(4) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価

実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価について、図 3-6 に示す。

(6) 実験結果に基づく「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断補強効果の評価

i) 「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断補強効果の評価

上記の考え方の適用性を検討するために、「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率 β_{aw} をシリーズ 1 の実験結果に基づいて評価する。

「セラミックキャップバー (CCb)」によって負担されるせん断耐力 V_{CCb} は、式(6)に示すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力 $V_{exp,no1-3}$ から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力 V_{cd} を差し引いて求められる。また、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力 V_s は、式(7)に示すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力 $V_{exp,no1-2}$ から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力 V_{cd} を差し引いて求められる。

図 3-6 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/9)

「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効性は、前述のように有効率 β_{aw} により評価される。有効率 β_{aw} は、「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効率である。すなわち、本実験においては、No.1-2 試験体におけるせん断補強鉄筋が負担するせん断力 V_s と、No.1-3 試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」が負担するせん断力 V_{CCb} との比として式(8)のように評価することができる。

$$V_{CCb} = V_{exp,no1-3} - V_{c,no1-3} \dots\dots\dots(6)$$

$$V_s = V_{exp,no1-2} - V_{c,no1-2} \dots\dots\dots(7)$$

$$\beta_{aw} = V_{CCb} / V_s \dots\dots\dots(8)$$

ここで、

V_{CCb} : 「セラミックキャップバー (CCb)」による負担されるせん断耐力

$V_{exp,no1-2}$: 実験で得られた No.1-2 試験体のせん断耐力

$V_{exp,no1-3}$: 実験で得られた No.1-3 試験体のせん断耐力

$V_{c,no1-2}$: せん断補強鉄筋を用いない場合の No.1-2 試験体のせん断耐力の計算値

$V_{c,no1-3}$: せん断補強鉄筋を用いない場合の No.1-3 試験体のせん断耐力の計算値

V_s : 通常のせん断補強鉄筋に負担されるせん断耐力の計算値

β_{aw} : 「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断耐力の補強効果を示す有効率

表Ⅱ-4.1 に各試験体の実験結果、および土木学会コンクリート標準示方書 [設計編] に基づいて算出した設計計算値を示す。なお、No.1-2、1-3 試験体のコンクリート負担分 V_c は、実験時のコンクリート強度を用いて土木学会コンクリート標準示方書 [設計編] に基づいて算出した。また、表中の計算値は、土木学会コンクリート標準示方書 [設計編] に基づいて算出したものであり、No.1-3 試験体のせん断耐力については、有効率 β_{aw} を式(5)により以下のように算出し、No.1-2 試験体のせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力の計算値に乗じている。

$$d - d' = 495\text{mm}, l_y = 110\text{mm} (5D, D = 22\text{mm}) \text{ より}$$

$$\beta_{aw} = 1 - 1/2 \cdot l_y / (d - d') = 1 - 1/2 \cdot (110/495) = 0.88$$

表Ⅱ-4.1 より、各試験体の実験結果に基づいて算出される「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率 β_{aw} が、コンクリート負担分を計算値に基づいた場合で 1.00 であり、式(5)による有効率 0.88 以上であることが分かる。また、各試験体の設計計算値と実験結果との比較においても、全ての試験体の実験結果は設計計算値よりも大きくなっている。

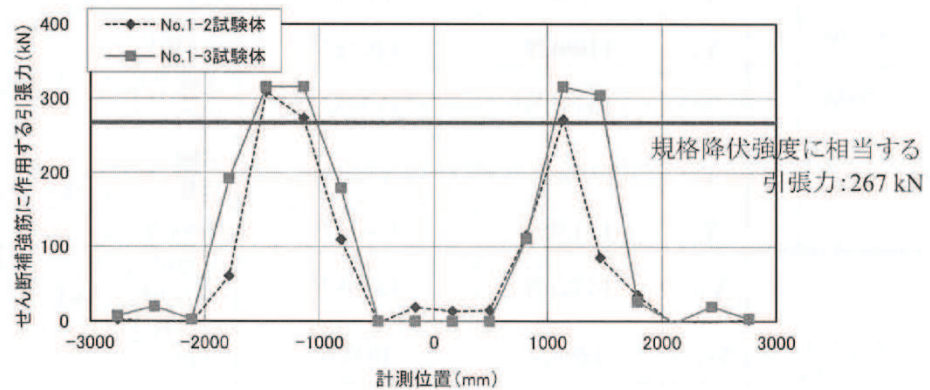
次に、図Ⅱ-4.34 に最大せん断耐力経験時におけるせん断補強鉄筋に作用する引張力の分布について、比較したものを示す。なお、図Ⅱ-4.34 におけるせん断補強鉄筋の引張力

図 3-6 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/9)

は、せん断補強鉄筋のひずみゲージの測定値を材料試験による応力-ひずみ関係に基づいて引張応力に換算し、断面積を乗じた値である。図Ⅱ-4.34より、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強した No.1-3 試験体においても、通常のせん断補強を行った No.1-2 試験体と同様に、1つの斜めひび割れに対して複数本の「セラミックキャップバー (CCb)」が規格降伏強度以上の引張力を負担していることが確認できる。

表Ⅱ-4.1 実験結果の一覧 (シリーズ1)

| | | No.1-1 | No.1-2 | No.1-3 | 備 考 |
|--------------------------|-------------|-----------|--------------------|-----------------------|--|
| 補強鉄筋の種類・形状 | | せん断補強鉄筋なし | SD345 D22 両端フック | SD345 D22 セラミック定着体 | |
| せん断耐力の実験値 | V | 454 kN | 1,045 kN | 1,050 kN | 実験における正側破壊時の載荷荷重として |
| | V_c | 454 kN | 401 kN | 403 kN | 実験時のコンクリート強度に基づく計算値 |
| | V_s | 0 kN | 644 kN | 647 kN | $V_s = V - V_c$ として |
| せん断耐力の計算値 | V_{cal} | 396 kN | 898 kN | 837 kN | 計算値は、コンクリート標準示方書 [設計編] に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値 |
| | $V_{c cal}$ | 396 kN | 401 kN | 403 kN | |
| | $V_{s cal}$ | 0 kN | 497 kN | 437 kN | No.1-3 は示方書による V_s に有効率 $\beta = 0.88$ を乗じた値 |
| せん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} | | | | 647 / 644 = 1.00 | No.1-2 試験体と No.1-3 試験体の比較による値 |



図Ⅱ-4.34 せん断補強鉄筋に作用する引張力の比較 (シリーズ1)

また、シリーズ2のD29の「セラミックキャップバー (CCb)」においても、セラミック定着体および周囲へ充てんされたグラウトによって、両端フックを有するせん断補強鉄筋

図3-6 実験結果に基づくCCbによるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/9)

と同様なメカニズムでせん断補強鉄筋として機能することが確認された。そこで、シリーズ1と同様に「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率を実験に基づいて評価する。

表Ⅱ-4.2に各試験体の実験結果、および土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕に基づいて算出した設計計算値を示す。載荷方向正側と負側でせん断耐力が若干異なるものの、「セラミックキャップバー(CCb)」による補強効果が小さい方である負側の有効率は0.93であった。これに対し、No.2-2の試験体の諸元から式(5)に基づいて以下の様に算出される有効率の設計計算値は0.88 ($d-d' = 610\text{mm}$, $l_y = 145\text{mm}$ (5D, $D = 29\text{mm}$))である。つまり、D29のセラミックキャップバー (CCb) を用いた場合でも、式(5)から算出される有効率以上のせん断補強効果が期待できることが確認された。

次に、図Ⅱ-4.35に最大せん断耐力経験時におけるせん断補強鉄筋に作用する引張力の分布について、比較したものを示す。同図より、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強したNo.2-2試験体においても、通常のせん断補強を行ったNo.2-1試験体と同様に、1つの斜めひび割れに対して複数本の「セラミックキャップバー (CCb)」が規格降伏強度以上の引張力を負担していることが確認できる。

表Ⅱ-4.2 実験結果の一覧 (シリーズ2)

| | | No.2-1 | No.2-2 | 備考 | |
|----------------------|-------------|-------------------|----------------------|---|---------------------|
| 補強鉄筋の種類・形状 | | SD345D29 両端フック | SD345D29 セラミック定着体 | | |
| せん断耐力の実験値 | 正側 | V | 1597kN | 1598kN | 実験における正側破壊時の載荷荷重として |
| | | V_c | 429kN | 434kN | 実験時のコンクリート強度に基づく計算値 |
| | | V_s | 1168kN | 1164kN | $V_s = V - V_c$ として |
| | 負側 | V | 1577kN | 1498kN | 実験における正側破壊時の載荷荷重として |
| | | V_c | 429kN | 434kN | 実験時のコンクリート強度に基づく計算値 |
| | | V_s | 1148kN | 1064kN | $V_s = V - V_c$ として |
| せん断耐力の計算値 | V_{cal} | 1372kN | 1263kN | 計算値は、コンクリート標準示方書〔設計編〕に基づき、安全係数を1.0として算出した値 | |
| | $V_{c cal}$ | 429kN | 434kN | | |
| | $V_{s cal}$ | 943kN | 829kN | No.2-2は示方書による V_s に有効率 $\beta = 0.88$ を乗じた値 | |
| せん断補強鉄筋の有効率 B_{aw} | 正側 | | 1164/1168=1.00 | No.2-1試験体とNo.2-2試験体の比較による値 | |
| | 負側 | | 1064/1148=0.93 | | |

図3-6 実験結果に基づくCCbによるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (4/9)

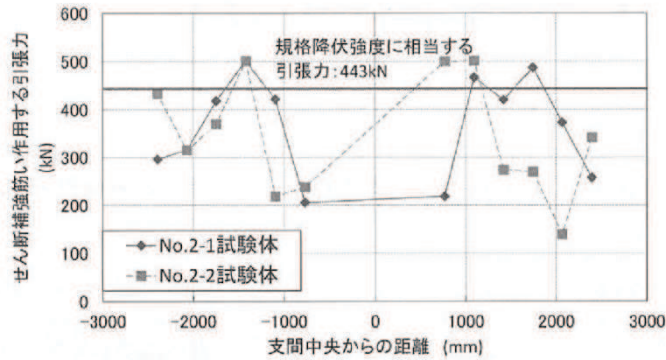


図 II-4.35 せん断補強鉄筋に作用する引張力の比較 (シリーズ 2)

以上より、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を、トラス理論に基づいて算出した「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋と見なして求められるせん断耐力負担分に、式(5)による有効率 β_{aw} を乗じて算出することは、設計上、安全側となることが分かる。

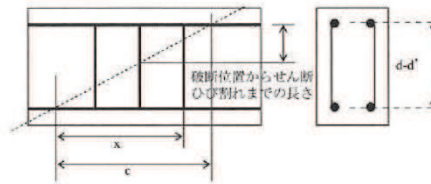
ii) 「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置および定着体の組合せによるせん断補強効果の評価

「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率 β_{aw} に対して、「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置の先端および定着体の組合せが及ぼす影響をシリーズ 3、4 の実験結果に基づいて評価する。

前述の結果より、式(5)による有効率 β_{aw} を乗じて「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を評価できる。シリーズ 3、4 における実験結果より、斜めひび割れ発生状況およびせん断補強鉄筋のせん断力負担はシリーズ 1、2 とほぼ同様であることが確認されている。つまり、埋込み位置の先端が主鉄筋の図心より手前となる「セラミックキャップバー (CCb)」や、定着体の組合せが標準型、両端先端型、両端後端型である「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断耐力負担分を、シリーズ 1、2 と同様の手法で評価できると考えられる。

ここで、各種条件に応じた「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率算定における概念図を図 II-4.36 に示す。検討ケースは、表 II-4.3 に示すとおりである。

図 3-6 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (5/9)



(a) 斜めひび割れ内に定着不良が生じたせん断補強鉄筋

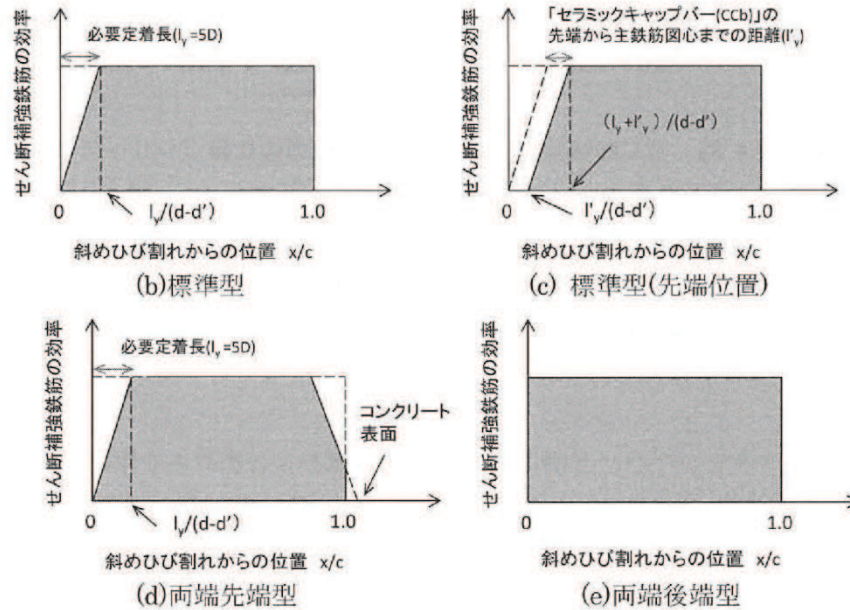


図 II-4.36 有効率算定の概念図

表 II-4.3 検討ケースの一覧

| 検討ケース | 埋込側の定着体タイプ | 差込側の定着体タイプ | 埋込み位置 |
|-------------------|------------|------------|------------|
| (b) 標準型 | 先端型定着体 | 後端型定着体 | 主鉄筋の図心 |
| (c) 標準型 (先端位置) | 先端型定着体 | 後端型定着体 | 主鉄筋の図心より手前 |
| (d) 両端先端型 | 先端型定着体 | 先端型定着体 | 主鉄筋の図心 |
| (e) 両端後端型 | 後端型定着体 | 後端型定着体 | — |

先端型定着体の先端位置が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前となる「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率は、図 II-4.36(c) に示すように、実際の埋込み位置から差込側の主鉄筋の図心までの範囲の有効率 (β_{awxd-f}) のみを考慮することで算出できると考えられる。

両端ともに先端型定着体を設置した「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率 (β_{awxx}) は、差込側においても埋込側と同様に、必要定着長に応じた有効率の低減を考慮すること

図 3-6 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (6/9)

で評価できる。ただし、差込側の定着体は、コンクリートの表面に定着されていることを考慮して、図Ⅱ-4.36(d)に示すような有効率を算出することとする。

両端ともに後端型定着体を設置した「セラミックキャップバー (CCb)」では、両側で標準フックと同等の定着性能が期待できる。そのため、その補強効果も両端フックのせん断補強鉄筋と同様となり、有効率 (β_{awdd}) は 1.0 であると考えることができる。

図Ⅱ-4.36 を参考に式(5)を拡張すると、それぞれのせん断補強有効率は式(9)~(11)と表すことができる。なお、両端先端型を用いて、かつ埋込み位置が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前となる場合は、式(10)に対して式(9)の算出方法を組み合わせることで式(12)により有効率 (β_{awxx-f}) を評価することができる。

$$\beta_{awxd-f} = \eta = 1 - \frac{(l_y + 2l'_y)}{2(d - d')} \dots\dots\dots (9)$$

$$\beta_{awxx} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2(d - d')} \frac{(l_y - d')^2}{2l_y(d - d')} \dots\dots\dots (10)$$

$$\beta_{awdd} = \eta = 1 \dots\dots\dots (11)$$

$$\beta_{awxx-f} = \eta = 1 - \frac{(l_y + 2l'_y)}{2(d - d')} - \frac{(l_y - d')^2}{2l_y(d - d')} \dots\dots\dots (12)$$

ここで、

β_{awxd-f} : 標準型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いて、その埋込み位置の先端が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前である場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

β_{awxx} : 両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

β_{awdd} : 両端後端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

β_{awxx-f} : 両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いて、その埋込み位置の先端が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前である場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

d' : 差込側の部材表面から圧縮鋼材図心までの距離

l'_y : 埋込側の主鉄筋の図心から「セラミックキャップバー (CCb)」の先端までの距離

上記の考え方の適用性を検討するために、「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率 β_{aw} をシリーズ 3、4 の実験結果に基づいて評価する。

「セラミックキャップバー (CCb)」によって負担されるせん断耐力 V_{CCb} は、式(13)に示

図 3-6 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (7/9)

すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力 V_{exp} から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力 V_{cd} を差し引いて求められる。また、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力 V_s は、式(14)に示すように、「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋と見なすことで求めることができる。つまり、「セラミックキャップバー (CCb)」の鉄筋配置が決まれば、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕のせん断耐力式と同様に求められる。なお、安全係数は 1.0 とした。

「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効性は、前述のように有効率 β_{aw} により評価される。有効率 β_{aw} は、「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効率である。すなわち、各試験体諸元を基に通常のせん断補強鉄筋と仮定して算出されるせん断耐力 V_s と、その試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」が負担するせん断力 V_{CCb} との比として式(15)のように評価することができる。

$$V_{CCb} = V_{exp} - V_{cd} \dots\dots\dots(13)$$

$$V_s = [A_{aw} f_{awyd} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / s_{aw}] z / \gamma_b \dots\dots\dots(14)$$

$$\beta_{aw} = V_{CCb} / V_s \dots\dots\dots(15)$$

ここで、

V_{CCb} : 「セラミックキャップバー (CCb)」による負担されるせん断耐力

V_{exp} : 実験で得られたせん断耐力

V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない場合のせん断耐力の計算値

V_s : 「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋とみなして求められるせん断耐力の計算値

A_{aw} : 単位長さあたりの区間 s_{aw} におけるセラミックキャップバー (CCb) の総断面積

f_{awyd} : 「セラミックキャップバー (CCb)」の降伏強度で 400N/mm² 以下とする

α_{aw} : 「セラミックキャップバー (CCb)」が部材軸となる角度

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、一般に $d/1.15$ とし
てよい

γ_b : ここでは、1.0

β_{aw} : 「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断耐力の補強効果を示す有効率

表Ⅱ-4.4 にシリーズ 3、4 における実験結果の一覧を示す。有効率 β_{aw} は、正側載荷時および負側載荷時についてそれぞれ算出した。また、梁の正負交番載荷実験において、最初にせん断破壊した載荷方向におけるせん断力に表中に下線で示す。実験から得られた最初にせん断破壊した側の有効率 β_{aw} は、式(9)~(12)で算出される有効率 β_{aw} よりも、い

図 3-6 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (8/9)

れの試験ケースにおいても大きな値であることが分かる。つまり、「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置の先端および定着体の組合せが異なる場合においても、式(9)~(12)から算出される有効率 β_{aw} 以上のせん断補強効果が期待できることが確認された。

以上より、鉄筋の埋込み位置の先端および定着体の組合せが異なる場合においても、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を、トラス理論に基づいて算出した「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋と見なして求められるせん断耐力負担分に、式(9)~(12)による有効率 β_{aw} を乗じて算出することは、設計上、安全側となることが分かる。

表 II-4.4 実験結果の一覧 (シリーズ 3、4)

| 試験ケース | 「セラミックキャップバー (CCb)」の仕様 | | 実験での最大せん断耐力(kN) | | 算定式によるせん断耐力(kN) $V_{cal}=V_{cal}+V_s$ | | | 「セラミックキャップバー (CCb)」が負担するせん断力(kN) | | せん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} (V_{CCb}/V_s) | | | 有効率の設計値 β_{aw} |
|--------|------------------------|----------------|-----------------|------------|--|----------|-------|----------------------------------|-----------|---|-------------|------|----------------------|
| | | | 正側 | 負側 | V_{cal} | V_{od} | V_s | 正側 | 負側 | 正側 | 負側 | 平均 | |
| | 定着体の組合せ | 先端位置 | V_{exp} | V_{exp} | V_{cal} | V_{od} | V_s | V_{CCb} | V_{CCb} | 正側 | 負側 | 平均 | |
| No.3-3 | 標準型 | 主鉄筋位置 | <u>563</u> | <i>499</i> | 542 | 253 | 289 | 310 | 246 | <u>1.07</u> | 0.85 | 0.96 | 0.83 |
| No.3-4 | 標準型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | <u>515</u> | <i>570</i> | 543 | 254 | 289 | 261 | 316 | <u>0.90</u> | <i>1.09</i> | 1.00 | |
| No.3-5 | 標準型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | <u>531</u> | 509 | 543 | 254 | 289 | 277 | 255 | <u>0.96</u> | 0.88 | 0.92 | |
| No.3-6 | 標準型 | 配力鉄筋の表面より5mm手前 | <u>497</u> | <i>526</i> | 543 | 254 | 289 | 243 | 272 | <u>0.84</u> | <i>0.94</i> | 0.89 | 0.78 |
| No.4-1 | 両端先端型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | <u>532</u> | <i>520</i> | 525 | 235 | 290 | 297 | 285 | <u>1.02</u> | <i>0.98</i> | 1.00 | 0.82 |
| No.4-2 | 両端先端型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | <u>520</u> | <i>535</i> | 526 | 236 | 290 | 284 | 299 | <u>0.98</u> | <i>1.03</i> | 1.01 | 0.82 |
| No.4-3 | 両端先端型 | 配力鉄筋の表面より5mm手前 | <u>539</u> | <i>546</i> | 524 | 234 | 290 | 305 | 312 | <u>1.05</u> | <i>1.08</i> | 1.06 | 0.78 |
| No.4-4 | 両端後端型 | — | <i>661</i> | <u>568</u> | 525 | 235 | 290 | 426 | 333 | <i>1.47</i> | <u>1.15</u> | 1.31 | 1.00 |

※1 下線は正負交番荷重で最初にせん断破壊したことを示す

※2 斜体はせん断破壊をしていない場合、その荷重方向での最大荷重を示す

図 3-6 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (9/9)

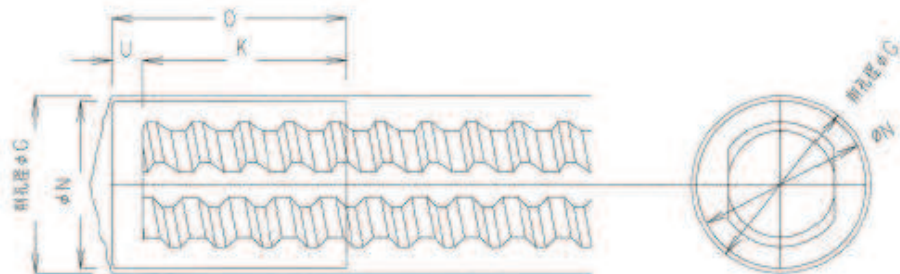
3.3.2 使用材料・強度

実験を元にした本設計法では、図 3-7 に示すとおり使用材料を定めている。今回の設計でも、これらに適合する使用材料・強度を用いる。

- (1) セラミックキャップバー (CCb) 工法は、使用の目的に対してせん断耐力が不足する部材のせん断補強および地震時のじん性が不足する部材のじん性確保などの目的に使用する。
- (2) セラミックキャップバー (CCb) 工法の適用範囲は、以下の条件に該当するものとする。
 - ・主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、片側から施工する既設コンクリート構造物に対し、後施工によるせん断補強の目的で用いる。
 - ・両側からの施工が可能な既設のコンクリート構造物であり、じん性確保を目的としない場合、後施工によるせん断補強の目的で用いる。

図 3-7 使用材料・強度
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/6)

セラミックキャップバー（CCb）は、D32、D29、D25、D22、D19、D16、D13のねじ鉄筋の両端に高純度アルミナ系セラミック製のキャップを設け定着体をなす構造とする。先端型・後端型の定着体の例、およびねじ鉄筋の寸法を図-2.1～2.3に示す。



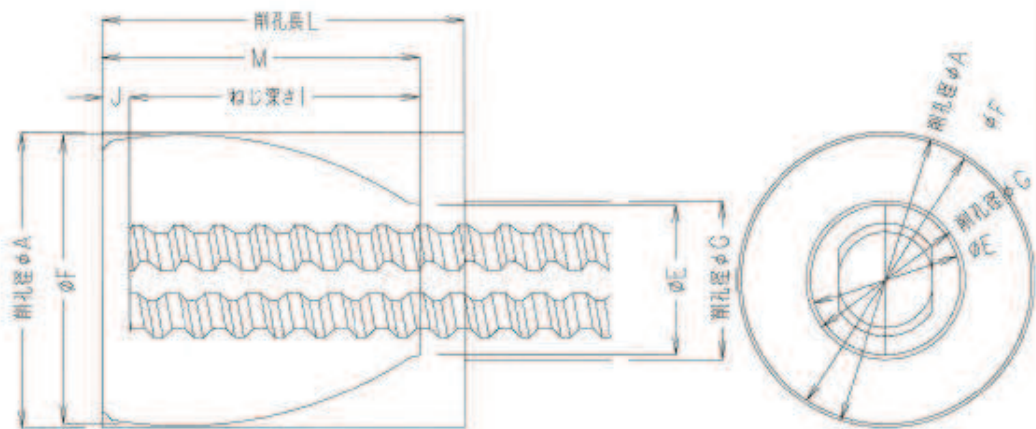
| 呼び名 | 削孔寸法 | |
|-----|-------------|----------------------|
| | 削孔径φG mm | 継手仕様時 削孔径φG mm |
| D13 | 30.0 | 30.0 |
| D16 | 30.0 | 34.0 |
| D19 | 34.0 | 36.0 |
| D22 | 36.0 | 40.0 |
| D25 | 46.0 | 46.0 |
| D29 | 50.0 | 50.0 |
| D32 | 55.0 | 55.0 |

| 呼び名 | 定着体の寸法 | | | |
|-----|----------|---------|-------------|---------|
| | φN mm | O mm | ねじ深さK mm | U mm |
| D13 | 25.0 | 36.0 | 30.0 | 6.0 |
| D16 | 27.0 | 46.0 | 40.0 | 6.0 |
| D19 | 30.0 | 46.0 | 40.0 | 6.0 |
| D22 | 33.0 | 46.0 | 40.0 | 6.0 |
| D25 | 42.0 | 52.0 | 46.0 | 6.0 |
| D29 | 45.0 | 59.0 | 53.0 | 6.0 |
| D32 | 50.0 | 64.0 | 58.0 | 6.0 |

【先端型定着体(CX)】

図-2.1 セラミック定着体、ねじ鉄筋の例（その1）

図 3-7 使用材料・強度
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/6)



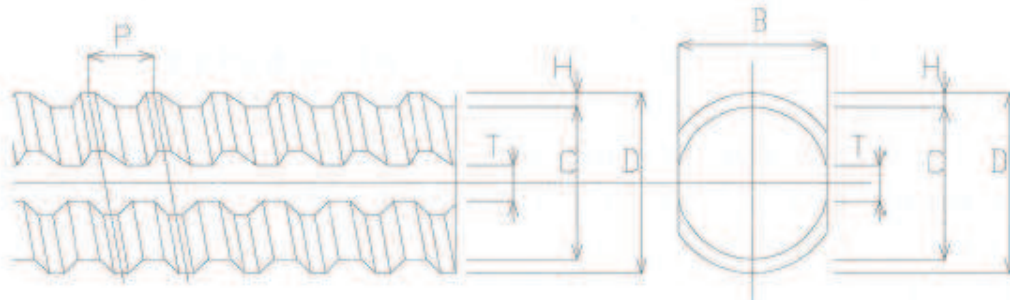
| 呼び名 | 削孔寸法 | | |
|-----|-------------|-------------|------------|
| | 削孔径φA mm | 削孔径φG mm | 削孔長L mm |
| D13 | 60.0 | 30.0 | 80.0 |
| D16 | 60.0 | 30.0 | 80.0 |
| D19 | 65.0 | 34.0 | 80.0 |
| D22 | 65.0 | 36.0 | 80.0 |
| D25 | 70.0 | 46.0 | 80.0 |
| D29 | 75.0 | 50.0 | 80.0 |
| D32 | 75.0 | 55.0 | 80.0 |

| 呼び名 | 定着体の寸法 | | | | |
|-----|----------|----------|---------|------------|---------|
| | φF mm | φE mm | M mm | ねじ深さ mm | J mm |
| D13 | 53.5 | 22.0 | 70.0 | 64.0 | 6.0 |
| D16 | 55.5 | 25.0 | 70.0 | 64.0 | 6.0 |
| D19 | 58.5 | 29.0 | 70.0 | 64.0 | 6.0 |
| D22 | 62.5 | 32.0 | 70.0 | 64.0 | 6.0 |
| D25 | 65.5 | 35.0 | 70.0 | 64.0 | 6.0 |
| D29 | 69.5 | 39.0 | 70.0 | 64.0 | 6.0 |
| D32 | 72.5 | 42.0 | 70.0 | 64.0 | 6.0 |

【後端型定着体(CD)】

図-2.2 セラミック定着体、ねじ筋鉄筋の例 (その2)

図 3-7 使用材料・強度
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/6)



| 呼び名 | 公称寸法 | | | 外径 φD mm | 基形部 寸法 | | 節の寸法mm | | 節のすきま の和 T×2 mm |
|-----|----------|------------------------|--------------|----------------|-----------|---------|----------|---------|-----------------------|
| | 直径 mm | 断面積 cm ² | 単位重量 kg/m | | B mm | C mm | ピッチ P | 高さ H | |
| D13 | 12.7 | 1.267 | 0.995 | 14.0 | 11.6 | 12.0 | 7.0 | 1.00 | 6.2 |
| D16 | 15.9 | 1.986 | 1.56 | 18.0 | 14.7 | 15.2 | 8.0 | 1.40 | 7.8 |
| D19 | 19.1 | 2.865 | 2.25 | 21.5 | 17.5 | 18.0 | 8.0 | 1.75 | 8.4 |
| D22 | 22.2 | 3.871 | 3.04 | 24.8 | 20.5 | 21.0 | 9.0 | 1.90 | 9.2 |
| D25 | 25.4 | 5.067 | 3.98 | 28.2 | 23.6 | 24.2 | 10.0 | 2.00 | 10.8 |
| D29 | 28.6 | 6.424 | 5.04 | 32.1 | 26.6 | 27.2 | 12.0 | 2.45 | 11.4 |
| D32 | 31.8 | 7.942 | 6.23 | 35.7 | 29.8 | 30.4 | 13.0 | 2.65 | 12.0 |

【ねじ節鉄筋】

図-2.3 セラミック定着体、ねじ節鉄筋の例（その3）

図 3-7 使用材料・強度

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (4/6)

セラミック定着体は、JIS R 1600 に示すファインセラミックスに分類されるセラミックにて製作されており、顆粒物性においてアルミナ純度 96%以上のアルミナ材で、焼成体物性において 300N/mm² 以上の曲げ強度(JIS R 1601)を製造会社が保証するものを用いることを原則としている。

セラミック定着体の寸法、ねじ節強度及び密度については、以下のとおり品質管理基準を定めている。

・セラミック定着体

解説表-3.4 セラミック定着体の品質管理基準

| 管理項目 | 管理内容 | 規格値 | 管理頻度 |
|-------|-----------|---|-----------------------------------|
| 最外径 | ノギスによる計測 | (D13~D25) 先端型：設計値±0.8mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 (D29、D32) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 | 1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。 |
| 全高 | ノギスによる計測 | (D13~D25) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 (D29、D32) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.2mm 以内 | 1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。 |
| ねじ部長さ | 測定治具による計測 | (D13~D25) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 (D29、D32) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 | 1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。 |
| ねじ節強度 | ねじ節強度試験 | 母材となるねじ節鉄筋の規格降伏強度相当以上 | 1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 3 体。 |
| 密度 | 密度試験 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 製造者から発行される材料 証明書の密度との誤差が ±0.05g/cm³ 以内 ・ 各試験値が平均値の ±1.5% 以内 ・ 各試験値が 3.75 g/cm³ 以上 | 1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。 |

図 3-7 使用材料・強度
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (5/6)

(1) セラミックキャップバー (CCb)

セラミックキャップバー (CCb) を構成するねじ節鉄筋は、JIS G 3112に準拠したネジテツコン (東京鐵鋼株式会社製ねじ節鉄筋) で、種類はSD295A、SD295B、SD345とし、呼び名はD32、D29、D25、D22、D19、D16、D13とする。特性値 f_{yk} および f_{uk} はJIS G 3112の下限值としてよい。また、限界状態の検討に用いる異形鉄筋の断面積は、JIS G 3112による各呼び名の公称断面積としてよい。

(2) 充てん材

充てん材は補強する構造体コンクリートと同等な性能であるとする。

図 3-7 使用材料・強度
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (6/6)

3.3.3 構造部材の評価

3.3.1 で示した基本的考え方に基づき、図 3-8 で示す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 2012」という。）の考え方を準用した設計式を用いてせん断耐力を定めている。

セラミックキャップバー（CCb）により補強された壁部材のせん断耐力が作用するせん断力より大きいことを確認することにより、補強後の構造物の安全性の照査を行う。

セラミックキャップバー（CCb）により補強された壁部材の単位長さ当たりのせん断耐力 V_{pyd} は、式(1)と式(2)によりセラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力への寄与を考慮し、2012年制定コンクリート標準示方書〔設計編：標準〕3編 2.4.3.2に準じて、以下のように求めてよい。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{CCbd} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{CCbd} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} = \beta_{aw} [A_{aw} \cdot f_{awyd} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw}] z / \gamma_b \dots\dots\dots (2)$$

$$\beta_{awd} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2S_{cb}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\beta_{awd} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2S_{cb}} \frac{(l_y - d')^2}{2l_y S_{cb}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\beta_{awd} = \eta = 1 \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 V_{cd} ：せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅当たりのせん断耐力
 V_{sd} ：既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力
 V_{CCbd} ：セラミックキャップバー（CCb）により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力
 V_{awd} ：セラミックキャップバー（CCb）を通常のスターラップとみなして求められる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力
 β_{aw} ：セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力の向上への有効性を示す係数
 β_{awxd} ：標準型のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数
 β_{awxx} ：両端先端型のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数
 β_{awdd} ：両端後端型のセラミックキャップバー（CCb）を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数
 A_{aw} ：単位長さあたりの区間 S_{aw} におけるセラミックキャップバー（CCb）の総断面積
 f_{awyd} ：セラミックキャップバー（CCb）の設計降伏強度で 400N/mm^2 以下とする

図 3-8 せん断に対する安全性照査
 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（1/2）

α_{aw} : セラミックキャップバー (CCb) が部材軸となす角度
 S_{aw} : セラミックキャップバー (CCb) 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一般に $d/1.15$ としてよい
 γ_b : 部材係数 (一般に 1.10 としてよい)
 l_y : セラミックキャップバー (CCb) の先端型定着体の定着長 (5D としてよい)
 S_{rb} : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

図 3-8 せん断に対する安全性照査
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

3.3.4 構造細目

本設計方法では、想定外の破壊形式をとらないように、図 3-9 で示す構造細目を定めている。

- (1) セラミックキャップバー (CCb) によって補強された壁部材では、補強前に配置されていたせん断補強鉄筋とセラミックキャップバー (CCb) を加えたせん断補強鉄筋の断面積比が0.15%以上になるように、セラミックキャップバー (CCb) を配置する。
- (2) セラミックキャップバー (CCb) を配置する最大の間隔は、補強前に配置されていたせん断補強鉄筋の位置も含めて、壁部材の有効高さの1/2でかつ300mm以下としなければならない。また、計算上でセラミックキャップバー (CCb) による補強を必要とする区間の外側の有効高さに等しい区間にも、これと同量のセラミックキャップバー (CCb) を配置しなければならない。
- (3) 差込側のセラミック定着体は、差込側のコンクリート表面に配置することを標準とする。
- (4) 埋込側の先端は、主鉄筋の中心まで配置することを原則とする。ただし、掘削孔の先端から埋込側の表面まで厚さは50mm以上とする。

図 3-9 構造細目 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認

3.4.1 施工の確実性

建設技術審査証明報告書において確認されている、CCb の施工の確実性について、図 3-10 に示す。

背面に地盤などがあり、片側からしか施工できない RC 部材に対して、補強後の掘削孔内にエア抜き用ホースを残置せずにせん断補強できることが確認された。

両側からの施工が可能な既設鉄筋コンクリート部材に対し、両端に後端型定着体を設置する場合、片方のセラミック定着体をグラウト中で接合することで、施工が確実に進められることが確認された。

図 3-10 施工の確実性
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

3.4.2 施工の容易性

建設技術審査証明報告書において確認されている、CCb の施工の容易性について、図 3-11 に示す。

狭い空間や複雑な部位において、大型機材を用いずに容易に施工でき、安定した品質を確保できることが確認された。

挿入する「セラミックキャップバー (CCb)」の長さを確保できないような狭い空間での施工においても、カプラーによる機械式継手を用いて、安定した品質の作業を容易に施工できることが確認された。

図 3-11 施工の容易性
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

3.4.3 施工手順の設定

建設技術審査証明報告書において設定されている、CCb の施工手順について、図 3-12 に示す。

片側からしか補強施工できない部材について、鉛直下向きに「セラミックキャップバー (CCb)」を差し込む手順、および横向きあるいは鉛直上向きに「セラミックキャップバー (CCb)」を差し込む手順を設定し、この工事に必要な施工要素を確認した。

横向きあるいは鉛直下向き、上向きに「セラミックキャップバー (CCb)」を差し込む場合 (先充てん後挿入)、および鉛直上向きに「セラミックキャップバー (CCb)」を差し込む場合 (先挿入後充てん) の各々の工法における施工手順を図 II-4.44 に、設置方法の例を図 II-4.45~図 II-4.54 に示す。

両側からの施工が可能な部材に対する設置方法の例を図 II-4.55~図 II-4.57 に示す。

さらに、カプラーによる機械式継手を使用し、接続しながら、「セラミックキャップバー (CCb)」を差し込む場合の設置方法の例を図 II-4.58、59 に示す。

図 3-12 CCb の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/14)

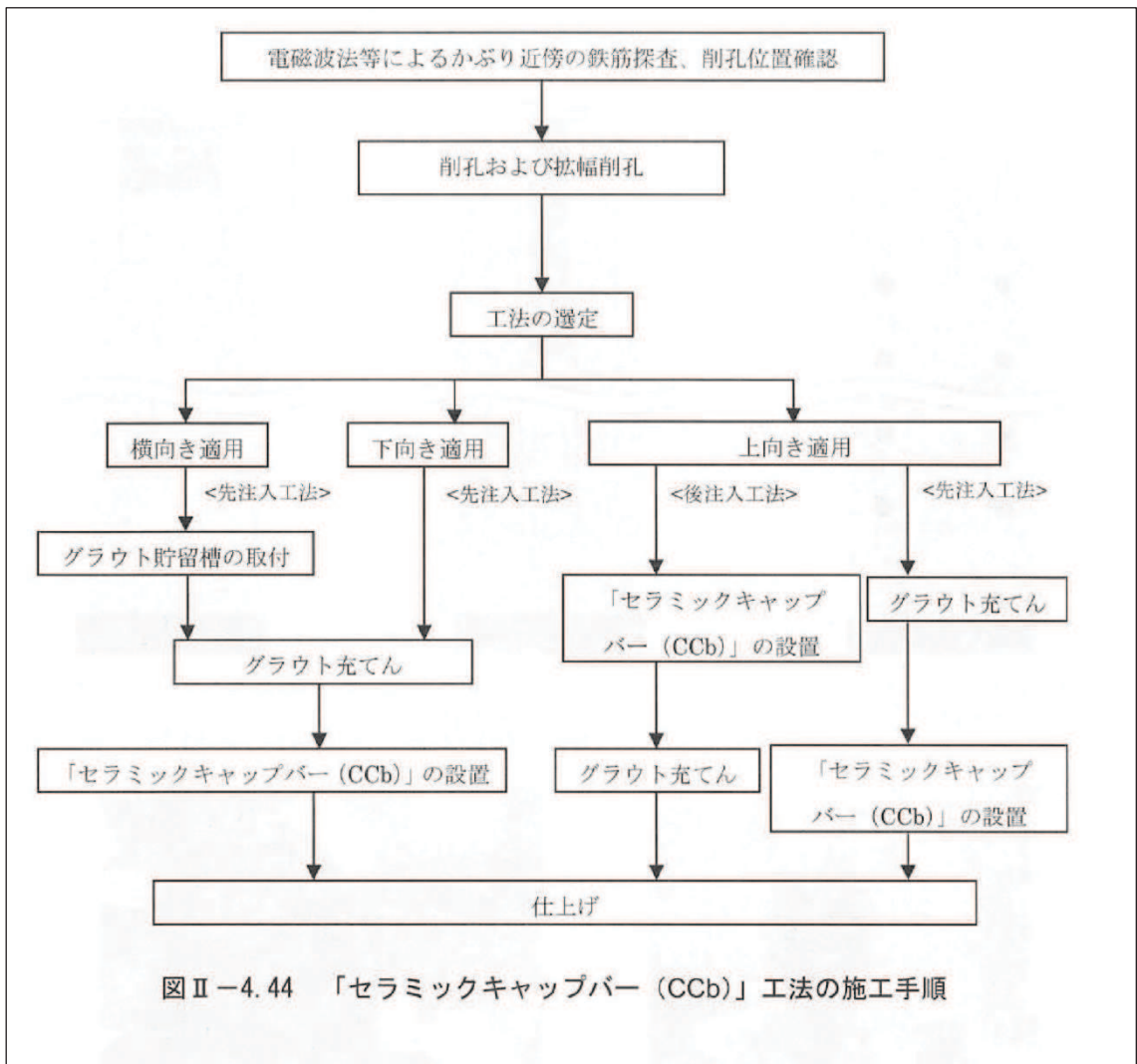


図 3-12 Ccb の施工手順の設定
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/14)

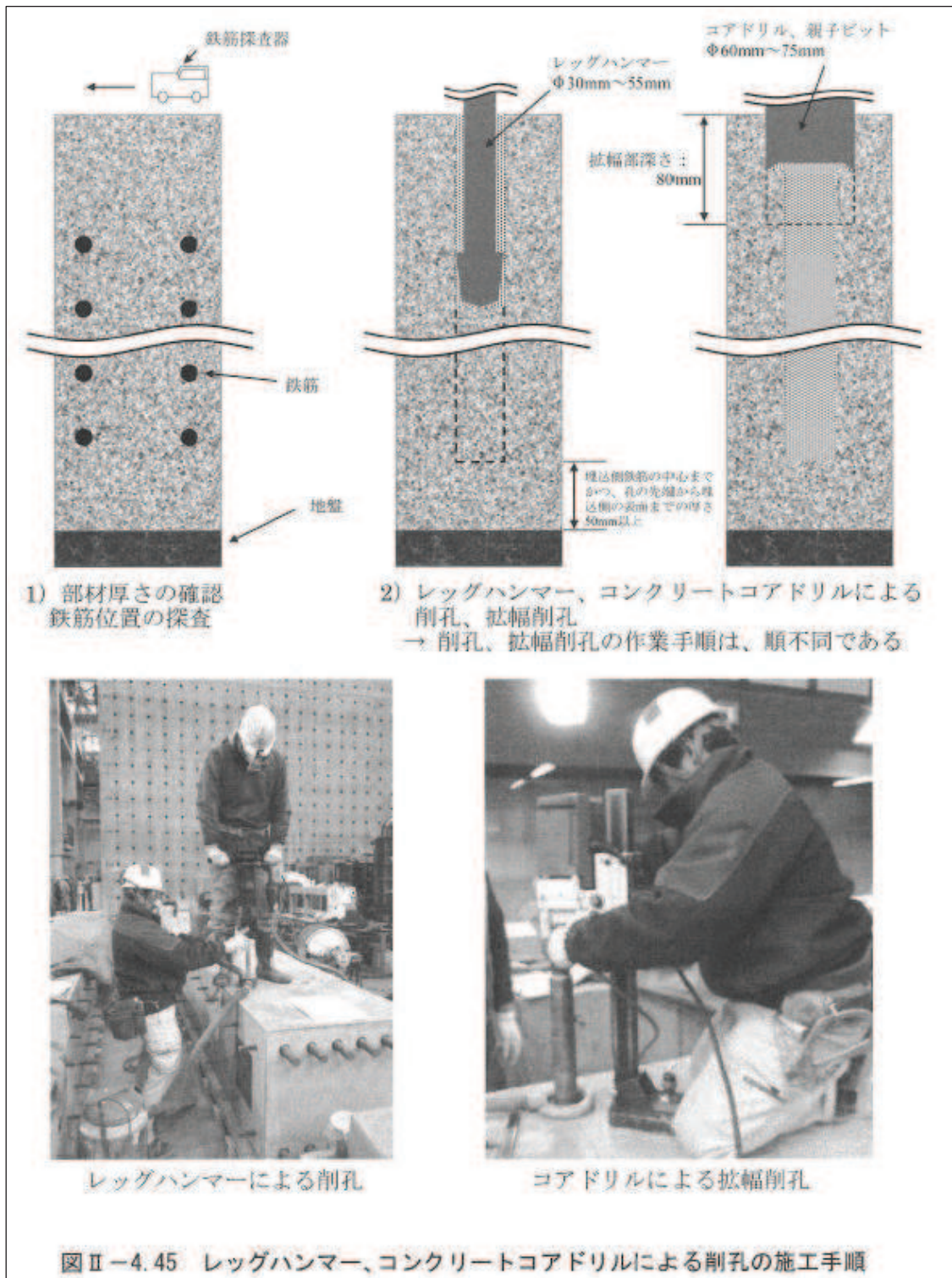
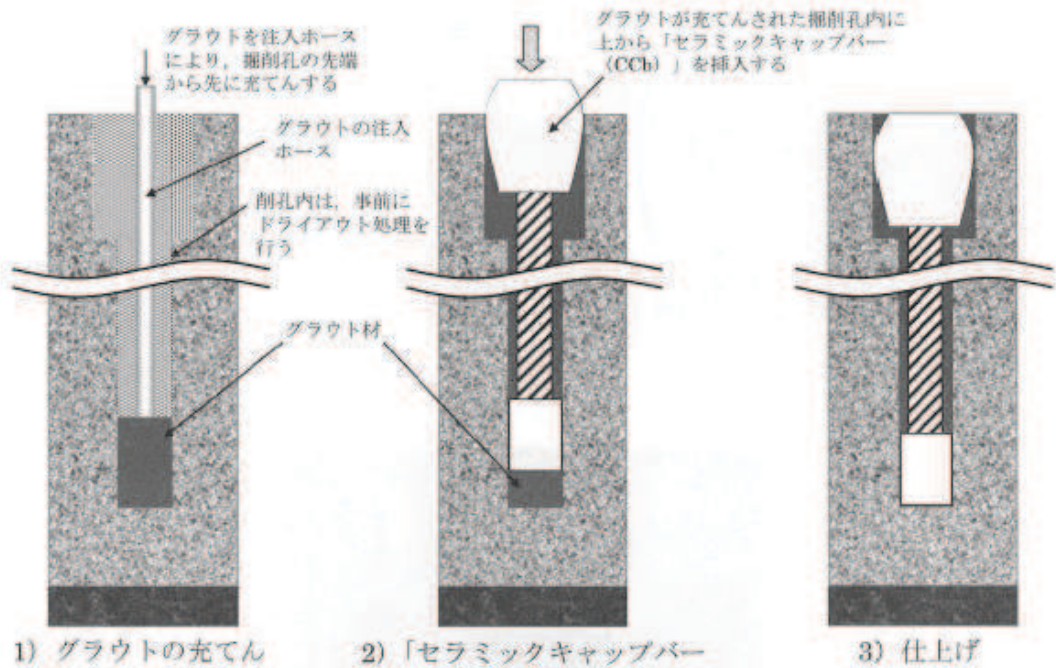


図 3-12 CCb の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/14)



拡幅削孔用親子ビット

図Ⅱ-4.46 親子ビットを用いたレッグハンマーによる削孔の施工手順



1) グラウトの充てん

2) 「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入

3) 仕上げ



「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入

図Ⅱ-4.47 先充てん後挿入法 (下向き) の施工手順

図 3-12 CCb の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (4/14)

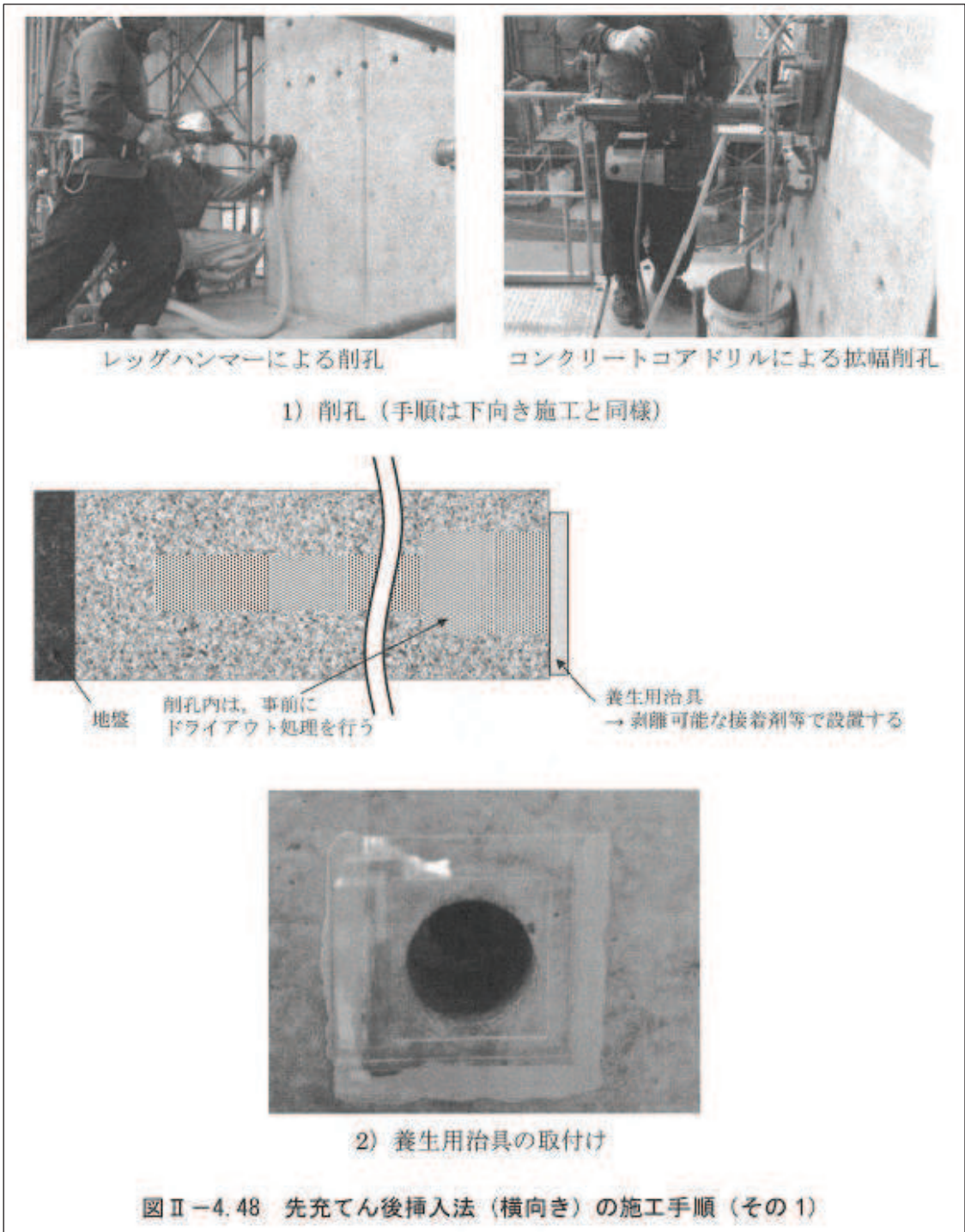


図3-12 Ccbの施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (5/14)

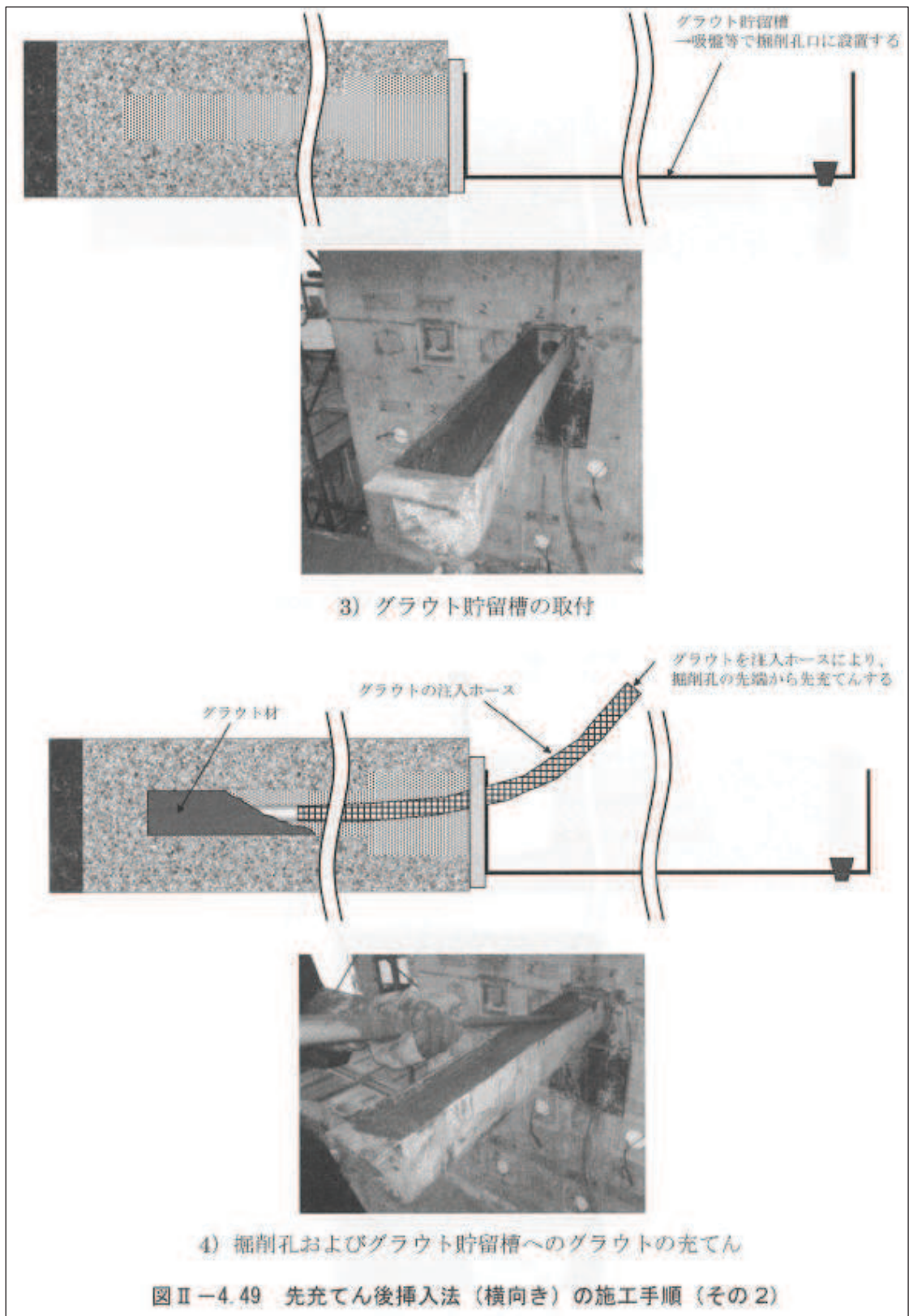


図 3-12 Ccb の施工手順の設定
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (6/14)

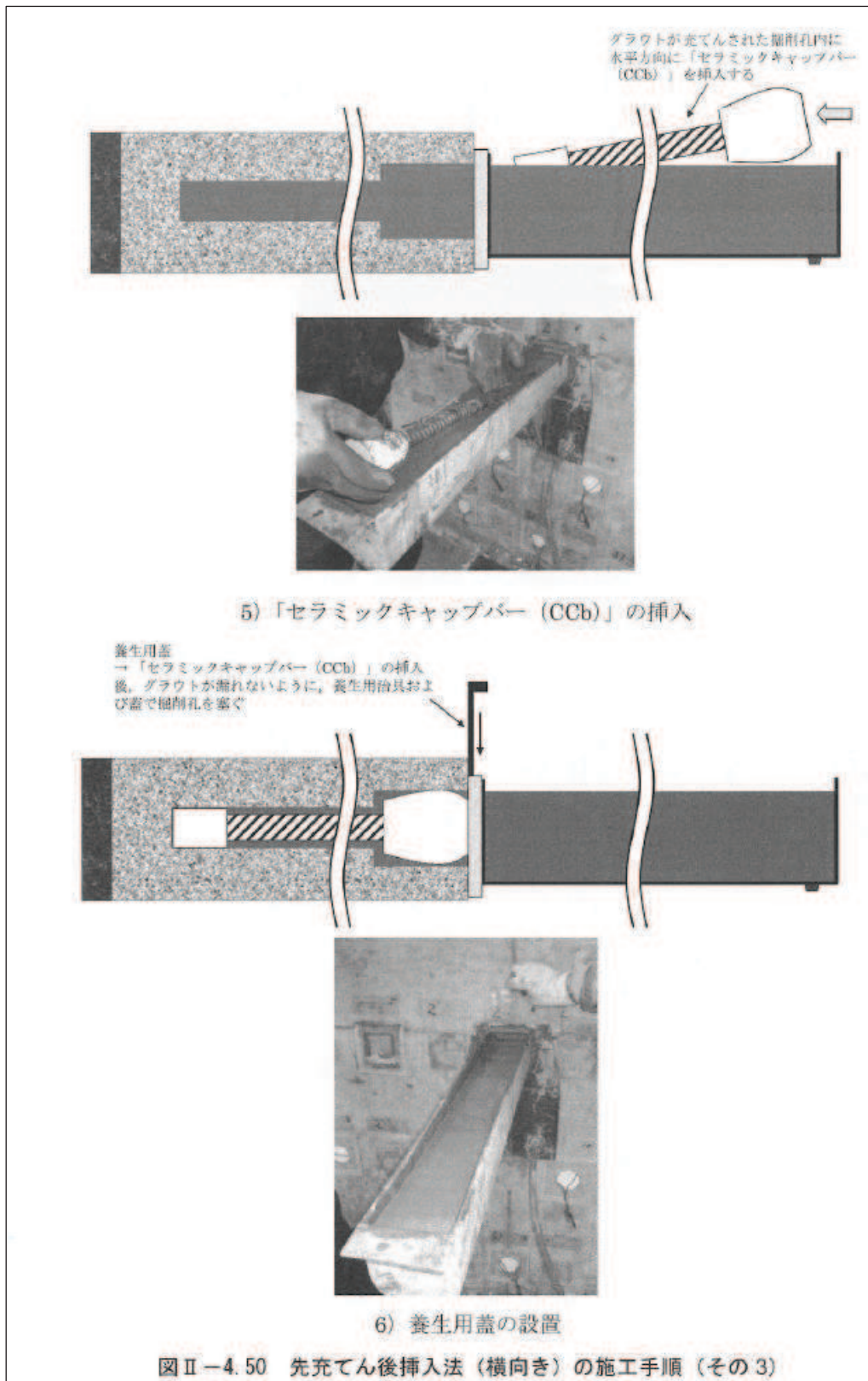


図 3-12 CcB の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (7/14)

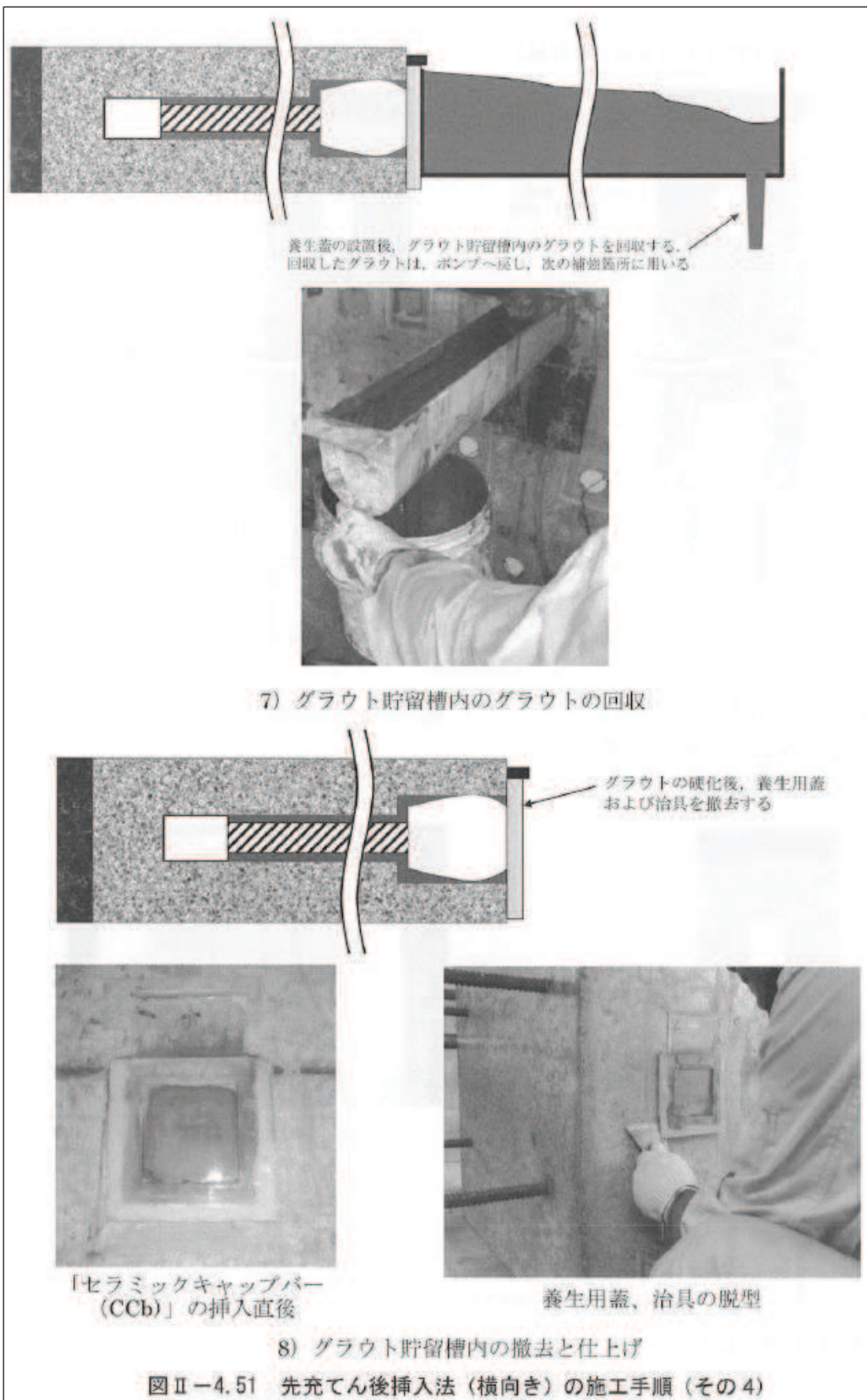


図 3-12 CcB の施工手順の設定
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (8/14)

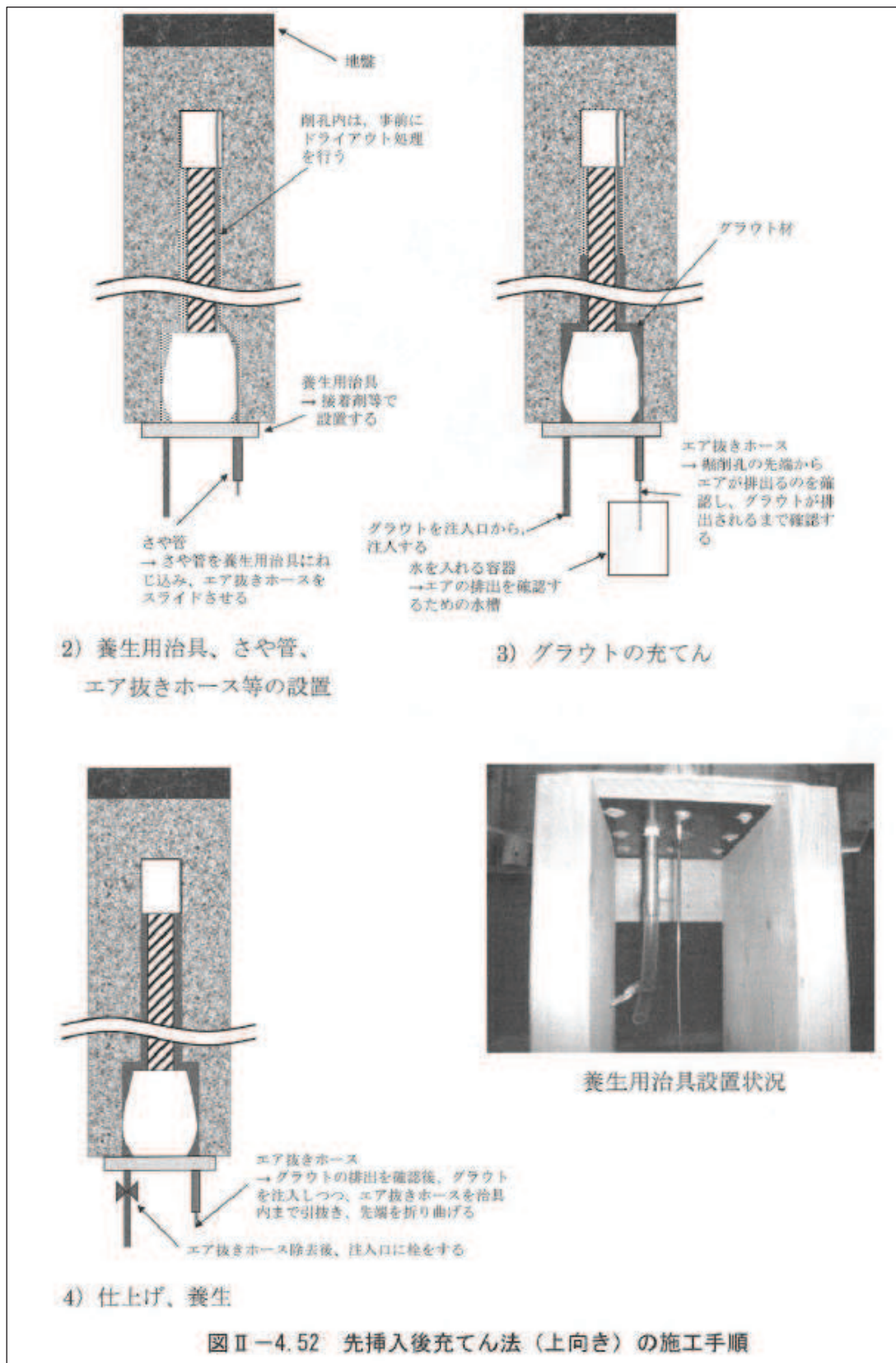
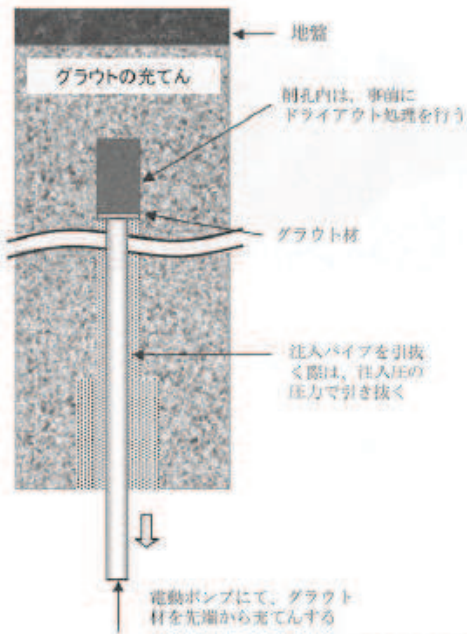
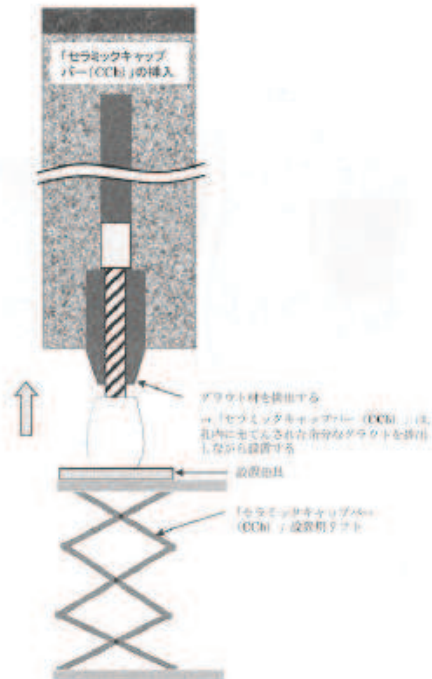


図 3-12 CCB の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (9/14)

1) 削孔（手順は下向き施工と同様）



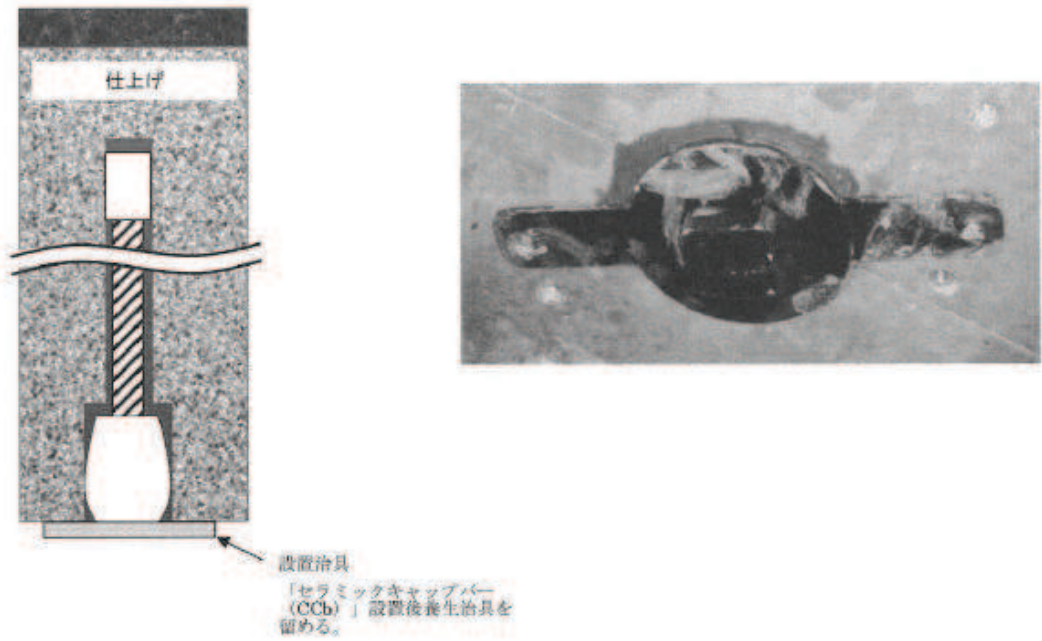
2) グラウトの充てん



3) 「セラミックキャップバー (CCb)」設置例

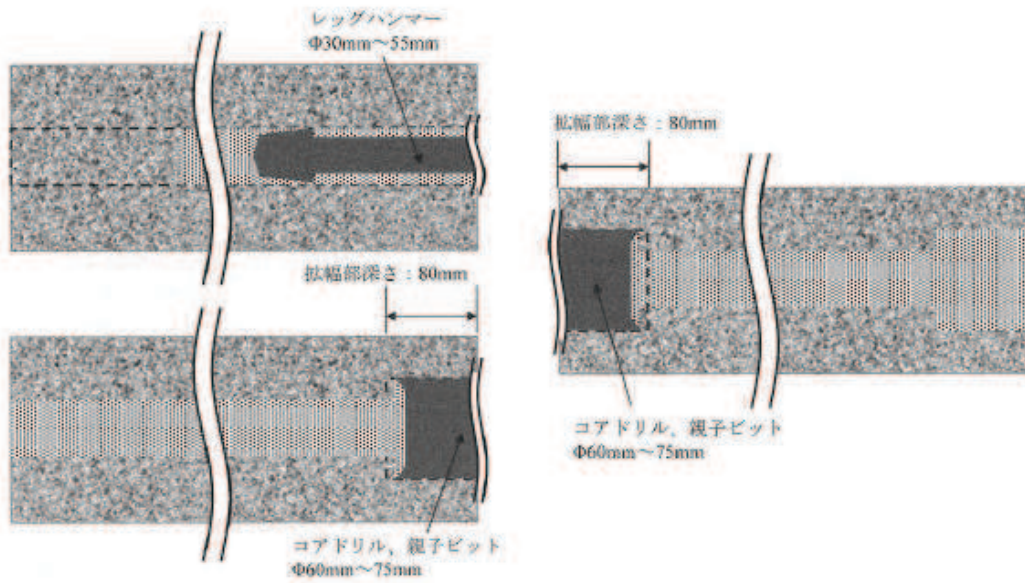
図Ⅱ-4.53 先充てん後挿入法（上向き）の施工手順（その1）

図 3-12 CCb の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (10/14)



4) 仕上げ

図Ⅱ-4.54 先充てん後挿入法（上向き）の施工手順（その2）



1) 一方からレッグハンマー、コアドリルによる削孔、拡幅削孔
（削孔、拡幅削孔の作業手順は、順不同である）

2) 他方からコアドリルによる拡幅削孔
（削孔中心を合わせる）

図Ⅱ-4.55 先充てん後挿入法（両端後端型）の施工手順（その1）

図3-12 CcBの施工手順の設定
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（11/14）

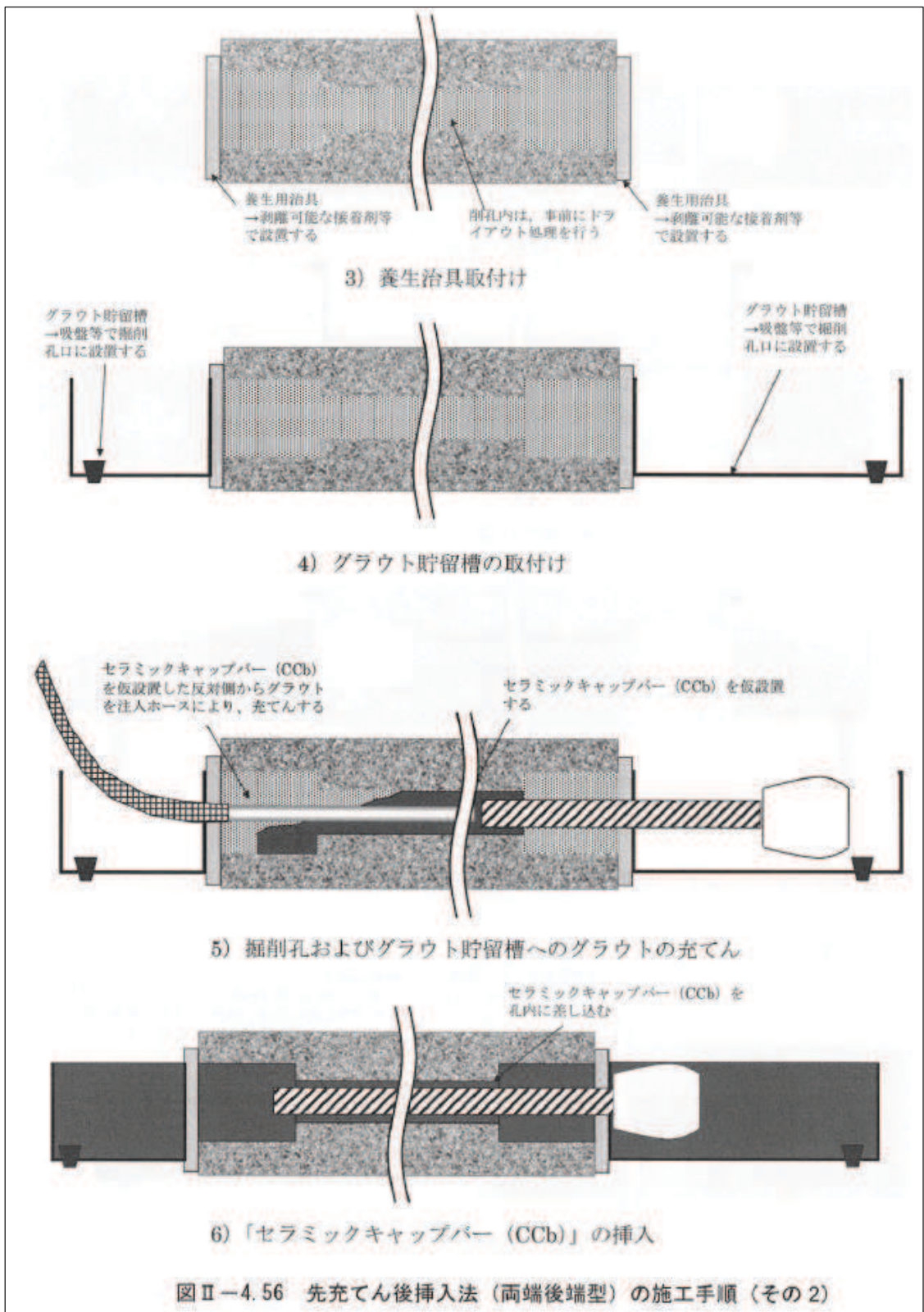


図 3-12 CCB の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (12/14)

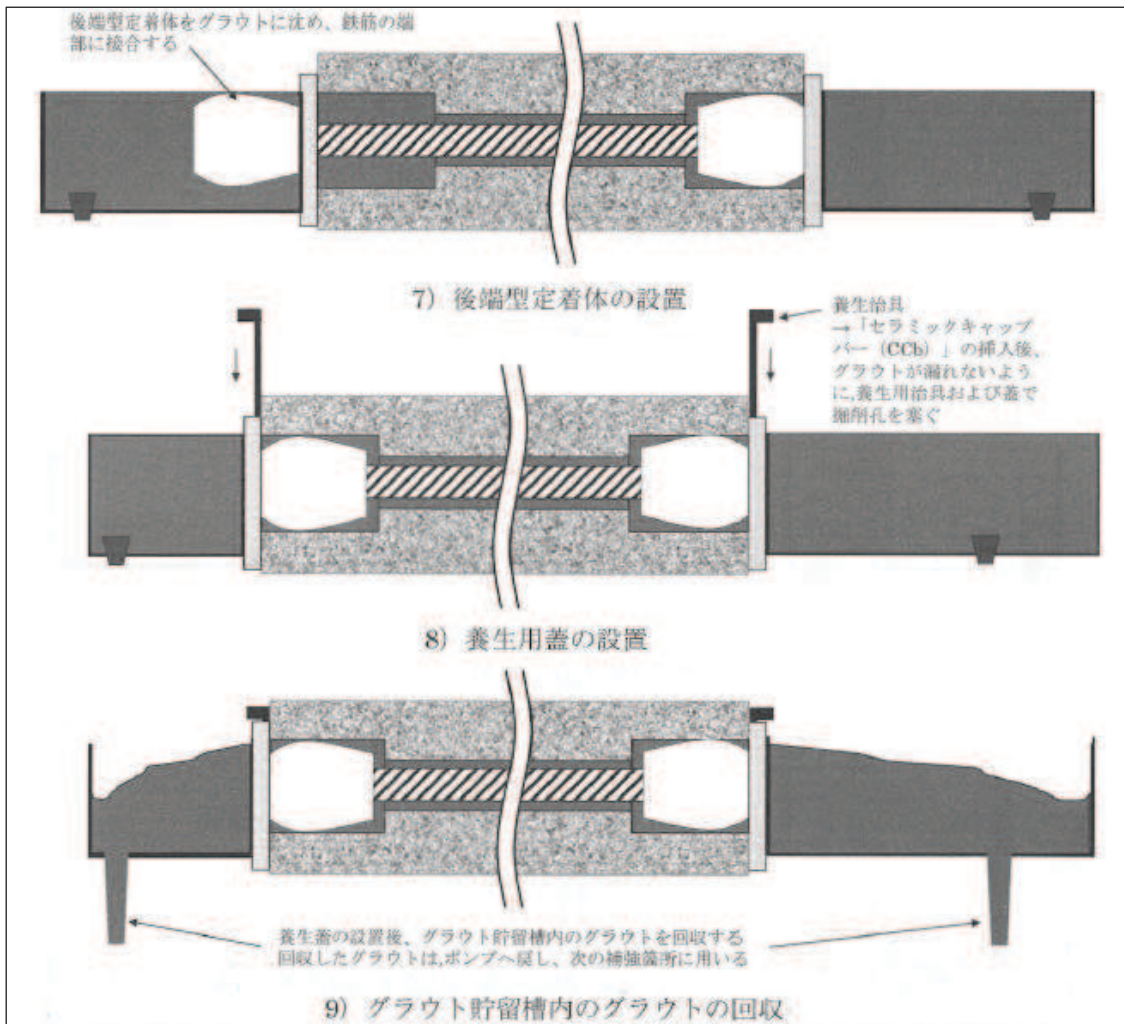


図 II-4.57 先充てん後挿入法（両端後端型）の施工手順（その 3）

1) 削孔（手順は下向き施工と同様）

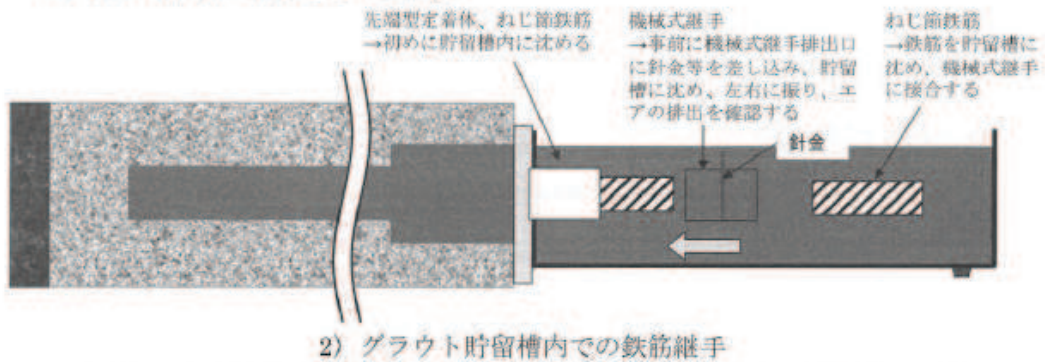


図 II-4.58 先充てん後挿入法（機械式継手仕様）の施工手順（その 1）

図 3-12 CCb の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (13/14)

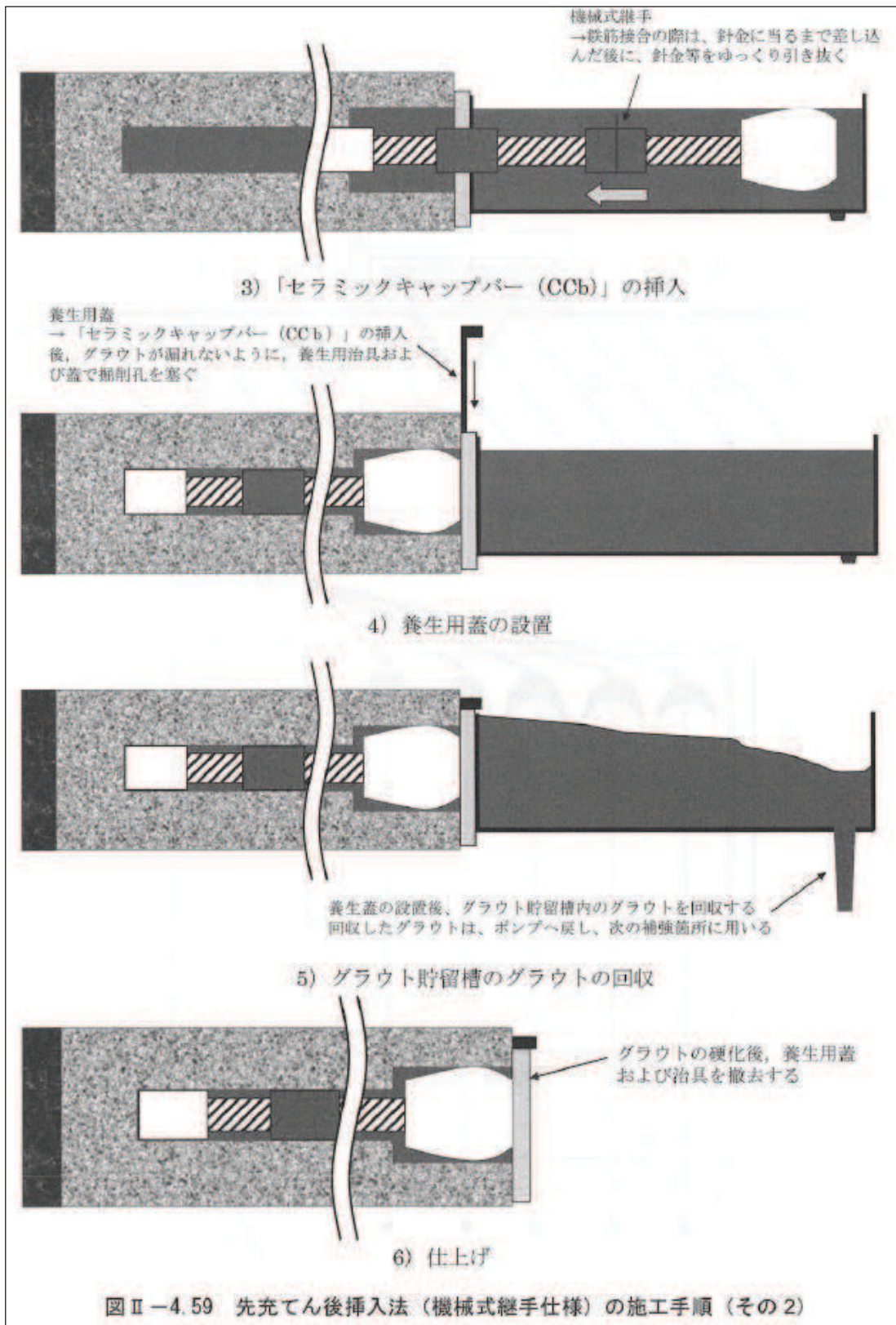


図 3-12 CCb の施工手順の設定
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (14/14)

4. 女川 2 号機における Ccb 工法の適用性の確認

4.1 適用性確認フロー

Ccb 工法は、建設技術審査証明報告書により後施工せん断補強方法としての有効性が証明されており、これまでに数多くの施工実績がある。

Ccb 工法を女川 2 号機の屋外重要土木構造物等に適用するにあたり、建設技術審査証明報告書、美浜 3 号機で工認実績のある PHb 工法、施工実績及び研究事例等から適用範囲を整理し、女川 2 号機の屋外重要土木構造物等の構造形式・部材諸元、使用環境等が適用範囲に該当することを図 4-1 に示すフローにて確認する。

① 適用性確認項目の抽出

後施工によるせん断補強において、せん断補強効果に影響を与えられとされる項目及び美浜 3 号機で工認実績のある PHb 工法との差異を抽出する。

その際、建設技術審査証明報告書に記載されている審査証明の範囲及び各種実験等から適用性確認項目を抽出する。

② 建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認

女川 2 号機の屋外重要土木構造物等に採用した補強仕様が Ccb 工法の建設技術審査証明報告書において規定されている適用範囲内に収まっているか確認する。

③ ②以外の項目に対するせん断補強効果の確認

①で挙げた適用性確認項目のうち②で確認できていない項目について、適用性の確認を実施する。適用性確認の際は、せん断補強効果が期待できるかという点について検討する。

④ Ccb の施工精度に影響を与える項目の確認

Ccb の施工を行う際に、施工精度に影響を与える項目がないか確認を行う。

施工精度に影響を与える項目（施工上考慮すべき項目）がある場合は、施工上又は設計上どのように考慮するかを決定したうえで、必要により再設計を実施するか適宜判断を行う。

⑤ 施工実績・研究事例等の確認

後施工せん断補強筋に関する施工実績・研究事例について、要旨、着目すべき事項を整理し、Ccb 工法への反映事項を確認する。

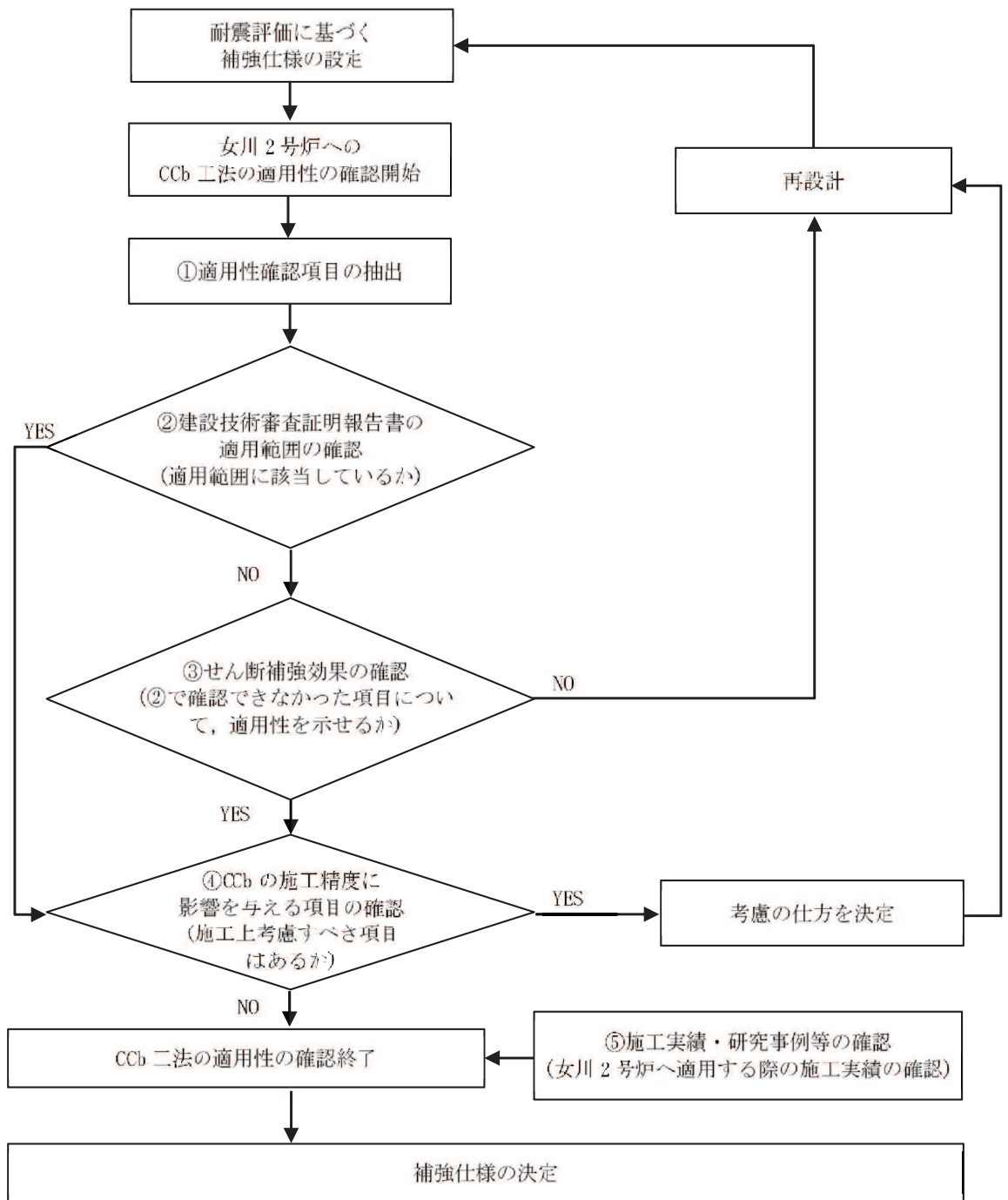


図 4-1 Ccb 工法の適用性確認フロー

4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定

耐震安全性評価を実施し、せん断に対する安全性を確保するように設定した結果の一例として、取水路（漸拡部）での補強仕様を図4-2に示す。

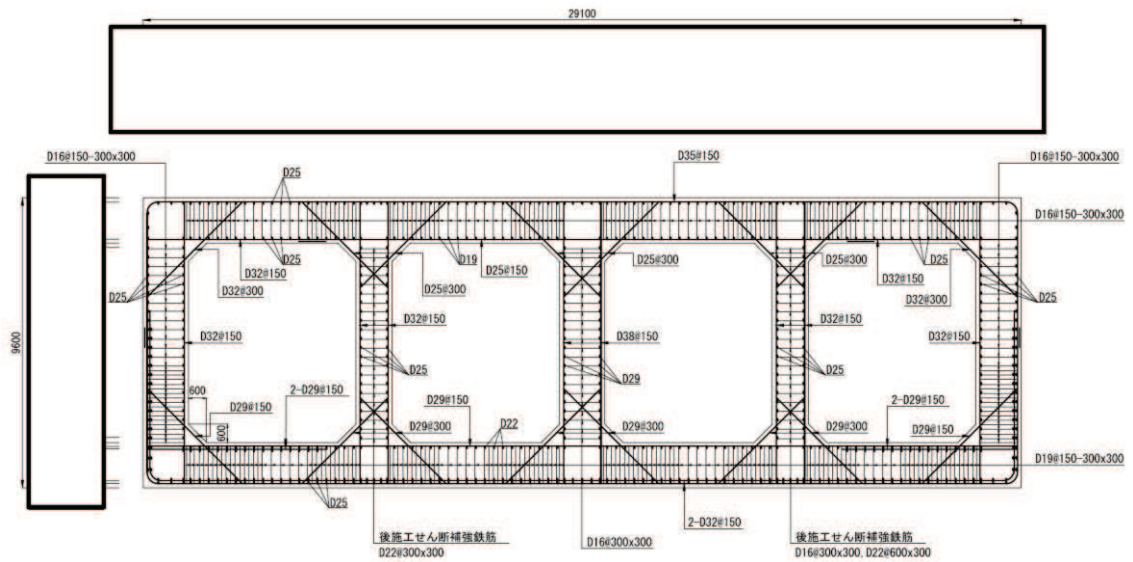


図4-2 取水路（漸拡部）の補強仕様

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

4.3 ①適用性確認項目の抽出

CCb 工法の特徴，女川 2 号機固有の条件及び美浜 3 号機における確認項目等の観点から，適用性を確認するために必要な項目を抽出する。以下に項目と確認内容を示す。

I. 使用目的

建設技術審査証明報告書に明記されている目的に該当しているか。

II. 構造形式

建設技術審査証明報告書で想定している構造形式に該当しているか。

III. 構造細目

建設技術審査証明報告書で規定している構造細目に該当しているか。

IV. 部材諸元

建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された部材あるいは実績のある部材厚か。

せん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度について，建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された範囲内であるか，又は範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるか。

V. 載荷方法

建設技術審査証明報告書の実験適用性が確認された範囲内であること，又は範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるか。

VI. 使用材料（せん断補強筋）

建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。

せん断補強筋は，JIS G 3112 に準拠した熱間圧延異形棒鋼ネジテツコン（東京鐵鋼株式会社製）で，鉄筋の種類は SD295A，SD295B，SD345 とし，呼び名は D32，D29，D25，D22，D19，D16，D13 とする。

VII. 使用材料（セラミック製定着体）

建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。

VIII. 使用材料（充てん材）

建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。

IX. せん断補強鉄筋の定着長

建設技術審査証明報告書で設定している定着長を考慮して設計しているか。

X. せん断ひび割れ抑制効果の確認

建設技術審査証明報告書の実験にて確認していない諸元において、せん断ひび割れ抑制効果を確認できるか。

X I. ひび割れに対する定着機能の保持

CCb 工法は、従来工法（先施工）とせん断補強筋の定着機構が異なることから、せん断補強筋としての機能を発揮するために、定着体部にひび割れが生じても、定着機能が保持されているか。

X II. 変形量

変形に伴うかぶりコンクリート部の剥落によって、CCb の定着体部の定着機能を阻害するおそれがあることから、建設技術審査証明報告書の実験の変形量を超えていないか。

X III. 使用環境

建設技術審査証明報告書で想定している使用環境において使用しているか。

また、女川 2 号機では海水環境下にて使用していることから、海水環境下相当での実績があるか。

X IV. CCb を適用した部材のコンクリートの健全性

CCb を適用した部材のコンクリートに CCb のせん断補強効果を阻害するひび割れがなく、構造物が健全であるか。

X V. PHb 工法（美浜 3 号機）との差異

PHb 工法及び美浜 3 号機での適用実績と比較を行い、抽出された差異が建設技術審査証明報告書で規定された適用範囲に収まっているか。

X VI. 増厚補強部への適用性*

建設技術審査証明報告書で規定又は建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された範囲内であるか、又は範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるか。

注記*：詳細設計を踏まえ適用性の確認を補足する項目

4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認

CCb 工法を適用するにあたり、4.3 で抽出した項目について建設技術審査証明報告書から適用範囲を確認する。確認結果を以下に示す。

(1) I. 使用目的

CCb により耐震補強を行った構造物は地中構造物であり、既設コンクリート部材に対して後施工によるせん断補強の目的で用いていることから、建設技術審査証明報告書に合致している。(表 4-1 参照)

表 4-1 Ccb 工法の適用範囲と使用状況
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

4. 2 審査証明の範囲

主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、施工が片側からしか実施できない壁状の既設鉄筋コンクリート部材に対し、鉄筋の埋込側に先端型定着体を、差込側に後端型定着体を設置した標準型、または、鉄筋の両端に先端型定着体を設置した両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」により、後施工によるせん断補強の目的で用いる。

ただし、両側からの施工が可能な既設の構造物に対しては、変形性能の向上を目的としないことを前提として、鉄筋の両端に後端型定着体を設置した両端後端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。

| 建設技術審査証明報告書の適用範囲 | 使用箇所及び状況 |
|--|--|
| 主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、施工が片側からしか実施できない壁状の既設鉄筋コンクリート部材に対し、鉄筋の埋込側に先端型定着体を、差込側に後端型定着体を設置した標準型又は鉄筋の両端に先端型定着体を設置した、両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」により、後施工によるせん断補強の目的で用いる。 | 地中構造物であり、片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対して、後施工によるせん断補強の目的で用いる。 |
| ただし、両側からの施工が可能な既設の構造物に対しては、変形性能の向上を目的としないことを前提として、鉄筋の両端に後端型定着体を設置した両端後端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。 | 両側からの施工が可能な既設の構造物に対して、変形性能の向上を目的としないことを前提として、後施工によるせん断補強の目的で用いる。 |

(2) II. 構造形式

建設技術審査証明報告書に、「CCb 補強工法によれば、相次ぐ地震によりその耐震補強の必要性が高まっている原子力施設などの重要地下構造物、高速道路、鉄道及び上下水処理施設などの地下構造物、また、水門あるいは堰の門柱・堰柱など、構造上、巻立て補強が適用できない構造物の耐震性能を改善することができる」と記載されていることから、女川 2 号機の屋外重要土木構造物等にも適用可能である。

(3) III. 構造細目

建設技術審査証明報告書に、以下のとおり構造細目として記載されており、建設技術審査証明報告書と合致している。

- ① せん断補強筋の断面積比 $\geq 0.15\%$ とする。
- ② 補強前に配置されていたせん断補強筋を含めた CCb との最大配置間隔 \leq 補強対象部材の有効高さの $1/2$ かつ 300mm とする。
- ③ CCb の配置は図 4-3 に示す標準配置によるものとする。
- ④ CCb の埋込側の先端は、主鉄筋の中心まで配置することを原則とする。ただし、孔の先端から埋込側の表面までの厚さは 50mm 以上とする。

②の最大配置間隔 300mm は、収縮等によるひび割れの発生を防ぐための用心鉄筋としての配慮である。

用心鉄筋としての配慮については棒部材の場合、スターラップが露出面（腹部）に配置されることから、「露出面の用心鉄筋」に規定される「 1m 当たり 500mm^2 以上の鉄筋を 300mm 以下の間隔で配置する」に準じて規定されたものである。一方、面的な広がりをもつボックスカルバートや箱型構造物の各部材に配置されるせん断補強鉄筋は、各部材の中間的な位置に配置され、「露出面の用心鉄筋」としての機能は不要であるため、「面部材ではせん断補強鋼材の配置間隔は、部材有効高さの $1/2$ 倍以下で配置すればよい」とされている（コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会、2017）（以下「コンクリート標準示方書 2017」という。））（図 4-3 参照）。

女川 2 号機において CCb により耐震補強を行った構造物は建設後 20 年以上経過しており、収縮が収束していると考えられること、また、せん断補強鋼材が露出面に配置されない面部材に対する耐震補強であることから、この規定（最大配置間隔 300mm 以下）は除外することができる。

なお、CCb により耐震補強を行った構造物に対する、せん断補強鉄筋比及び最大配置間隔の適用範囲及び整理結果を表 4-2 及び表 4-3 に「(4) IV. 部材諸元, V. 載荷方法」と併せて示す。

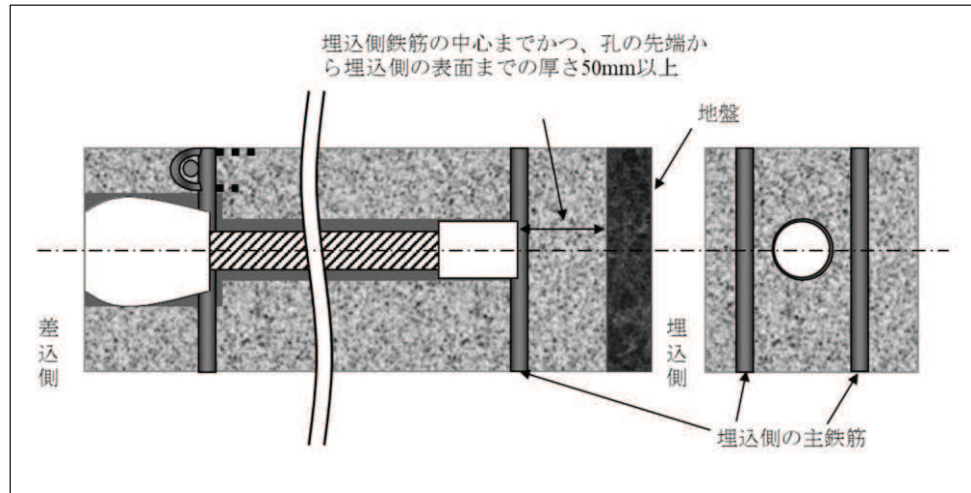


図 4-3 Ccb 標準配置
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

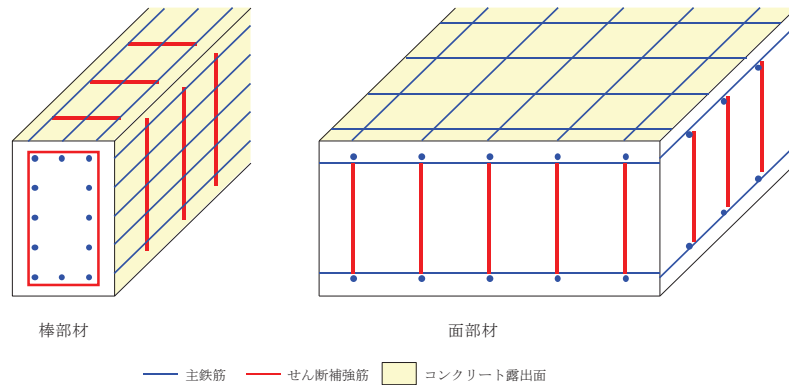


図 4-4 露出面の用心鉄筋 (棒部材・面部材)

(4) IV. 部材諸元, V. 載荷方法

構造細目, 部材諸元及び載荷方法について, Ccb により耐震補強を行った構造物への適用範囲及び整理結果を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

表 4-3 に示すとおり, 部材諸元については, 部材厚, せん断スパン比及び主鉄筋比が, 建設技術審査証明報告書又は建設技術審査証明報告書の実験から確認した範囲に合致していない。

また, 載荷方法については, 集中荷重による正負交番載荷を行っているが, 女川 2 号機にて Ccb により耐震補強を行った構造物に作用する荷重は, 実験より大きく, 集中荷重及び分布荷重であるため合致していない。

よって, 部材諸元及び載荷方法については, フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として, 4.5 にて確認する。

表 4-2 適用範囲の整理

| 建設技術審査証明報告書で規定されている適用範囲 | III. 構造細目 | | IV. 部材諸元 | | | | V. 載荷方法 | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|------------------|---------|----------|-----------|------|
| | せん断補強鉄筋比 (%) ≥0.15%以上 | せん断補強鉄筋比 (%) ≥0.15%以上 | 部材厚 (mm) | せん断スパン比 | CCbの鉄筋径 | CCbの鉄筋種別 | 主鉄筋比 (%) | 荷重形態 |
| 建設技術審査証明報告書の適用範囲 | — | — | 500~800 | 2.78 (棒部材の破断) | — | — | 1.05~1.48 | 集中荷重 |

表 4-3 CCbにより耐震補強を行った構造物への整理結果

| 構造物名称 | 部材 | III. 構造細目 | | | IV. 部材諸元 | | | | V. 載荷方法 | |
|--------------|-------------|--------------|--------------------------|----------|--------------------------|------------|-------------|-------------|---------|--|
| | | せん断補強鉄筋比 (%) | 最大配置間隔 (mm) 有効高さ (mm) | 部材厚 (mm) | せん断スパン比 ^{a,1,2} | CCbの鉄筋径 | CCbの鉄筋種別 | 主鉄筋比 (%) | 荷重形態 | |
| 取水路 (漸拡部) | 隔壁 | 0.430~0.436 | 300 1070 | 1,200 | 5.61 | D16 D22 | SD345 | 0.495 | 集中荷重 | |
| | 隔壁 | 0.563 | 300 1080 | 1,200 | 6.02 | D25 | | 0.590 | 集中荷重 | |
| 軽油タンク室 | 底版 | 0.187 | 600 1300~1350 | 1,500 | 2.31~11.15 | D25 | | 0.317~0.981 | 分布荷重 | |
| | 側壁 | 0.191~0.430 | 450 1000~1050 | 1,200 | 3.00~14.50 | D22 | | 0.408~0.857 | 分布荷重 | |
| | 隔壁 | 0.220~0.441 | 300 850 | 1,000 | 3.53~16.82 | D16 | | 0.225 | 集中荷重 | |
| 復水貯蔵タンク基礎 | 地上部 | 0.231 | 200 400 | 500 | 7.75 | D13 | | 0.250~0.261 | 集中荷重 | |
| | | 0.178~0.315 | 300 900 450 900 | 1,000 | 4.61~9.56 | D16 D25 | | 0.218~0.507 | 分布荷重 | |
| | 頂版 | 0.248 | 200 680 | 800 | 1.47~19.19 | D16 | | 0.211~0.285 | 分布荷重 | |
| | 側壁 | 0.358 | 200 880 | 1,000 | 2.22~14.83 | D19 | | 0.220~0.365 | 分布荷重 | |
| バルブ室 | 隔壁 | 0.248 | 200 480 | 600 | 7.60~9.43 | D16 | | 0.298~0.403 | 集中荷重 | |
| | 頂版 | 0.248 | 200 680 | 800 | 5.44 | D16 | 0.211~0.373 | 分布荷重 | | |
| 側壁 | 0.248~0.372 | 200 680 | 800 | 4.63 | 0.211~0.285 | | 分布荷重 | | | |

□ : フロー② (建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認) より確認できた範囲 □ : フロー③ (せん断補強効果の確認) より確認する範囲

※1: せん断スパン比^a/d (a: 支間長, d: 有効高さ)

※2: せん断スパン比^{a/d}が3.5以上 (土木学会で) かつ荷重形態が集中荷重の場合は棒部材と判断して「フロー②」より確認できる範囲とし、a/dが3.5以上であっても荷重形態が分布荷重の場合は等価せん断スパン比を考慮すると、デュービーーム的なせん断スパン比となる可能性があることから「フロー③」より確認する範囲として整理している。

(5) VI～VIII. 使用材料（せん断補強筋、セラミック製定着体、充てん材）

建設技術審査証明報告書に記載されている使用材料と合致している。（表 4-4 参照）

使用材料のうち、セラミック製定着体及び充てん材は従来工法（先施工）と Ccb 工法の特微的な差異となることから、これらの材料の役割と要求性能について詳細に整理する。

表 4-5 に示すとおり、材料特性や要求性能に対する性能確認試験（定着性能試験・ねじ節強度試験）により、弱部が生じないことや部材と一体となって挙動するといった要求性能が満たされていることが確認されており、Ccb 工法を採用するにあたり、その性能に悪影響を与える要因がないことを確認している。

また、定着体であるセラミックキャップの損傷（割れや欠け）の要因となる傷がないことを確認している。さらに、施工箇所となる部材にはセラミックキャップの損傷となるような衝撃荷重が作用しないことから、定着体が破損する要因はない。

表 4-4 Ccb の適用条件と使用状況
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

| 2. 2 セラミック定着体 | | 2. 3 材料の設計値 |
|-----------------------------|---|---|
| (1) セラミック定着体は、所定の材料により製作する。 | (2) セラミック定着体は、所定の製造工程で製作されたものを用いる。 | (3) セラミック定着体の検査は、形状、外観、ねじ節強度、密度について、所定の頻度で実施する。 |
| | | (1) セラミックキャップバー（CCb） セラミックキャップバー（CCb）を構成するねじ節鉄筋は、JIS G 3112に準拠したネジテツコン（東京鐵鋼株式会社製ねじ節鉄筋）で、種類はSD295A、SD295B、SD345とし、呼び名はD32、D29、D25、D22、D19、D16、D13とする。特性値 f_{yk} および f_{tm} はJIS G 3112の下限值としてよい。また、限界状態の検討に用いる異形鉄筋の断面積は、JIS G 3112による各呼び名の公称断面積としてよい。 |
| | | (2) 充てん材 充てん材は補強する構造体コンクリートと同等な性能であるとする。 |
| | 建設技術審査証明報告書の材料範囲等 | 使用状況 |
| せん断補強筋 （ねじ節鉄筋） | 径 : D13～D32 強度 : SD295A, SD295B, SD345 | 左記範囲内の材料を使用する。 (D16～D32 SD345) |
| セラミック 定着体 | 所定の材料、製造工程で製作され、所定の頻度で形状、外観、ねじ節強度、密度について検査されたもの | 左記検査を受けた材料を使用する。 |
| 充てん材 | 構造体コンクリートと同等な性能 | 躯体コンクリート以上の強度とする。 |

表 4-5 各使用材料の役割・要求性能・材料特性 (1/3)

| 使用材料 | 役割 | 要求性能 | 要求性能を踏まえた材料特性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|----------------|------|------|-----|------|------|-----|-----------|--------|----------------|------|--------|---------------------------------|---------|-----|-------|------------------------------------|----------------|------|--------|---------------------------------|
| <p>充てん材 (グラウト)</p> | <ul style="list-style-type: none"> CCbと掘削孔の空隙を充てんし、既設構造部材との一体化を図る。 | <ul style="list-style-type: none"> CCbと掘削孔の充てん時に、隙間ができないこと。 充てん部が弱部とならないこと。 | <ul style="list-style-type: none"> 硬化後に空隙が発生しないよう、充てん性を考慮した流動性を有する無収縮グラウトを使用している。 既設コンクリートと同等以上の強度を有するため、弱部とならない。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>グラウトの品質管理基準</p> <table border="1" data-bbox="501 282 667 819"> <thead> <tr> <th>品質管理対象</th> <th>管理項目</th> <th>管理内容</th> <th>規格値</th> <th>管理制度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">グラウト</td> <td>流動性</td> <td>J-A ロート試験</td> <td>15~30秒</td> <td rowspan="2">作業開始前 500本毎</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>圧縮強度試験</td> <td>28日強度が49.0N/mm²以上*</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">可塑性グラウト</td> <td>流動性</td> <td>フロー試験</td> <td>静止時105mm~120mm 15回打撃150mm~200mm</td> <td rowspan="2">作業開始前 500本毎</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>圧縮強度試験</td> <td>28日強度が49.0N/mm²以上*</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1: グラウト強度については、標準となる材料に対する製造者の目標仕様を記載している。 なお、<u>充てん材の強度は補強する既設コンクリート単位と同程度以上</u>である必要がある。</p> | | | | 品質管理対象 | 管理項目 | 管理内容 | 規格値 | 管理制度 | グラウト | 流動性 | J-A ロート試験 | 15~30秒 | 作業開始前 500本毎 | 圧縮強度 | 圧縮強度試験 | 28日強度が49.0N/mm ² 以上* | 可塑性グラウト | 流動性 | フロー試験 | 静止時105mm~120mm 15回打撃150mm~200mm | 作業開始前 500本毎 | 圧縮強度 | 圧縮強度試験 | 28日強度が49.0N/mm ² 以上* |
| 品質管理対象 | 管理項目 | 管理内容 | 規格値 | 管理制度 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| グラウト | 流動性 | J-A ロート試験 | 15~30秒 | 作業開始前 500本毎 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 圧縮強度 | 圧縮強度試験 | 28日強度が49.0N/mm ² 以上* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 可塑性グラウト | 流動性 | フロー試験 | 静止時105mm~120mm 15回打撃150mm~200mm | 作業開始前 500本毎 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 圧縮強度 | 圧縮強度試験 | 28日強度が49.0N/mm ² 以上* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> 定着体の強度を確認する定着性能試験により、定着体の定着性能が発揮される材料であること及び鉄筋の規格降伏強度を超える引張荷重を作用させても、CCbが抜け出さないことを確認している。 よって、充てん材とコンクリート面の境界面は弱部とならない。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 4-5 各使用材料の役割・要求性能・材料特性 (2/3)


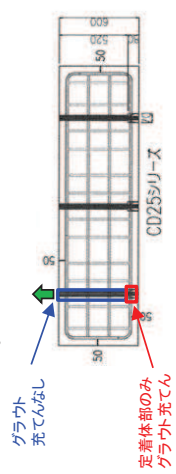
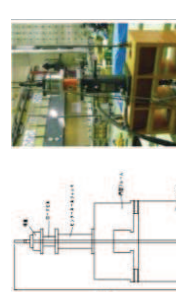
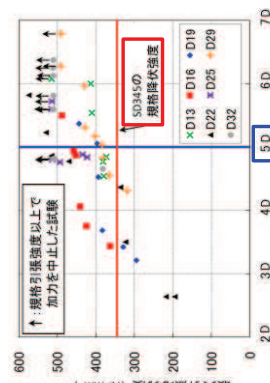

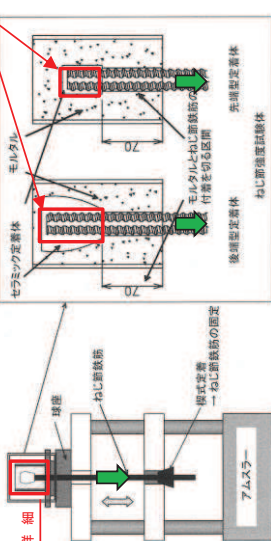
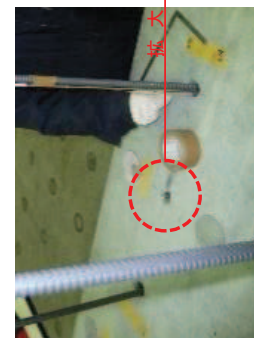
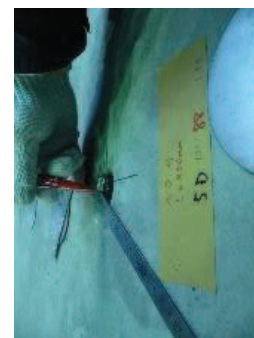
| 使用材料 | 役割 | 要求性能 | 要求性能を踏まえた材料特性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|--|--|--|------|-----|--------|---|---|-------------|-------|---|----------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|------|---------------------------|-----|---|------|------|-----|------|--------------------|-------------|---------------------|----|---------------------|-----------|-----------------------|------------------|----|-------------------|
| セラミック 定着体 (先端・後端) | <ul style="list-style-type: none"> 後施工せん断補強筋として、従来工法(先施工)のフックの代わりとなるために、同等程度の定着性能を得る。 | <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート中の定着体が弱部とならないこと。 | <ul style="list-style-type: none"> セラミック(アルミナ材)はコンクリートに比べ高強度(曲げ強度300N/mm²以上)であり、鉄筋コンクリートの耐力に影響を与えないことから弱部とならない。 アルミナ材の一般物性の試験結果 <table border="1" data-bbox="462 369 622 772"> <thead> <tr> <th></th> <th>アルミナ</th> <th>参考値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コンクリート</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>強度(HV (kN))</td> <td>12.74</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ヤング率 (kN/mm²)</td> <td>317.5</td> <td>205.8</td> </tr> <tr> <td>熱膨張係数</td> <td>6.84×10⁻⁶</td> <td>10.0×10⁻⁶</td> </tr> <tr> <td>ポアラン比</td> <td>0.227</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>曲げ強度 (N/mm²)</td> <td>398</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>※：コンクリートの曲げ強度は、一般的に圧縮強度の1/5～1/8程度</p> <ul style="list-style-type: none"> また、定着体であるセラミックヤップの損傷(割れや欠け)の要因となる傷がないことを確認している。 なお、建設技術審査証明報告書に示す梁試験終了後(せん断破壊後)の状態を確認した結果、定着体に割れや欠けは確認されず、健全である。 <p>CCbの品質管理基準</p> <table border="1" data-bbox="790 331 965 828"> <thead> <tr> <th>管理項目</th> <th>管理内容</th> <th>規格値</th> <th>管理制度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>セラミック定着体へのねじ埋込部の長さ</td> <td>マーキングに基づき確認</td> <td>定着体の端部がマーキングにあつていこと</td> <td rowspan="4">全数</td> </tr> <tr> <td>セラミックヤップの長さ(CCb)の長さ</td> <td>メジャーによる計測</td> <td>前孔に確定した挿入長さ+10～50mm以内</td> </tr> <tr> <td>セラミック定着体・鉄筋表面のキズ</td> <td>目視</td> <td>深さ0.5mm以上のキズは無いこと</td> </tr> </tbody> </table> <p>試験後のセラミック定着体の状況</p>  <p>後端定着体 (定着体表面に見られる灰色の部分は、定着体に充てん材が付着したものであり、定着体の割れや欠け等の損傷ではない。)</p> <p>充てん材</p> | | アルミナ | 参考値 | コンクリート | — | — | 強度(HV (kN)) | 12.74 | — | ヤング率 (kN/mm ²) | 317.5 | 205.8 | 熱膨張係数 | 6.84×10 ⁻⁶ | 10.0×10 ⁻⁶ | ポアラン比 | 0.227 | 0.17 | 曲げ強度 (N/mm ²) | 398 | — | 管理項目 | 管理内容 | 規格値 | 管理制度 | セラミック定着体へのねじ埋込部の長さ | マーキングに基づき確認 | 定着体の端部がマーキングにあつていこと | 全数 | セラミックヤップの長さ(CCb)の長さ | メジャーによる計測 | 前孔に確定した挿入長さ+10～50mm以内 | セラミック定着体・鉄筋表面のキズ | 目視 | 深さ0.5mm以上のキズは無いこと |
| | アルミナ | 参考値 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| コンクリート | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 強度(HV (kN)) | 12.74 | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヤング率 (kN/mm ²) | 317.5 | 205.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 熱膨張係数 | 6.84×10 ⁻⁶ | 10.0×10 ⁻⁶ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ポアラン比 | 0.227 | 0.17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 曲げ強度 (N/mm ²) | 398 | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 管理項目 | 管理内容 | 規格値 | 管理制度 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| セラミック定着体へのねじ埋込部の長さ | マーキングに基づき確認 | 定着体の端部がマーキングにあつていこと | 全数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| セラミックヤップの長さ(CCb)の長さ | メジャーによる計測 | 前孔に確定した挿入長さ+10～50mm以内 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| セラミック定着体・鉄筋表面のキズ | 目視 | 深さ0.5mm以上のキズは無いこと | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリートと一体となって挙動すること。 | <ul style="list-style-type: none"> セラミックを構成するアルミナ材の熱膨張係数、ポアソン比及びヤング率はコンクリート・鋼材と同等であり、一体となって挙動する(上表「アルミナ材の一般物性の試験結果」青枠部参照)。 定着体の強度を確認する「定着性能試験」及びねじ部部の強度を確認する「ねじ節強度試験」により、定着体がせん断補強効果を発揮するための定着性能を有していることを確認している。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

表 4-5 各使用材料の役割・要求性能・材料特性 (3/3)

| 項目 | 定着性能試験 | ねじ筋強度試験 | | | | | | |
|-------------------|---|---|-------|-------------------|----|--------|----|--|
| 目的 | <ul style="list-style-type: none"> 「定着体部のみ（後端側）」または「定着体部と設計定着長をグラウト充填した試験体（先端側）」の定着部が、母材であるねじ筋の規格降伏強度相当の引張荷重以上のねじ筋強度を有していることを確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> 定着体のねじ筋部（定着体とねじ筋鉄筋の接合部）が、母材となるねじ筋鉄筋の規格降伏強度相当の引張荷重以上のねじ筋強度を有していることを確認する。 | | | | | | |
| 確認内容 | <p>【後端型定着体】</p> <ul style="list-style-type: none"> 定着体部のみをグラウト充填し、定着体のみで定着強度が母材の規格降伏強度以上であることを確認しており、せん断補強効果を発揮するための定着性能を有している。  <p>【先端型定着体】</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計定着長（5D、D：鉄筋径）の範囲をグラウト充填し、定着体及び鋼材とコンクリートの付着による定着強度が母材の規格降伏強度以上であることを確認しており、せん断補強効果を発揮するための定着性能を有している。 設計定着長（5D）は、下図「先端型定着体の定着力と定着長の関係」のとおり、鉄筋の直径の5倍以上の定着長があれば母材の規格降伏強度相当以上まで定着力を確保できることが確認できている。 また、下表「定着体の有無による定着長の比較」のとおりCC6の先端型定着体を取り付けることで、定着体無しのケースよりも設計定着長を20%程度低減させ、定着性能を向上させることができる。   <table border="1" data-bbox="1197 1456 1340 1792"> <caption>定着体の有無による定着長の比較</caption> <thead> <tr> <th>定着体の種類</th> <th>設計定着長</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>定着体有り (先端側定着体)</td> <td>5D</td> </tr> <tr> <td>定着体無し※</td> <td>6D</td> </tr> </tbody> </table> <p>※：RMA及びベストグラウトバーを参照し記載。</p> | 定着体の種類 | 設計定着長 | 定着体有り (先端側定着体) | 5D | 定着体無し※ | 6D |     <p>試験終了時[※]の状況 (孔周辺のコンクリート表面にはひび割れ等は認められない。)</p> <p>※：規格降伏強度確認後、コンクリート表面位置で鉄筋を切断した状況の写真。</p> |
| 定着体の種類 | 設計定着長 | | | | | | | |
| 定着体有り (先端側定着体) | 5D | | | | | | | |
| 定着体無し※ | 6D | | | | | | | |

(6) IX. せん断補強筋の定着長

建設技術審査証明報告書で設定されている定着長を考慮していることを確認している。

(7) X. せん断ひび割れ抑制効果の確認

建設技術審査証明報告書の実験と女川 2 号機にて Ccb により耐震補強を行った構造物の各種諸元（部材厚，せん断スパン比，主鉄筋比，載荷方法）が異なっていることから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。

(8) X I. ひび割れに対する定着機能の保持

建設技術審査証明報告書の実験と女川 2 号機にて Ccb により耐震補強を行った構造物では，発生するひび割れ性状が異なる可能性がある。

さらに，定着体部に実験と性状が異なるひび割れが生じても定着機能が保持されていることを確認する必要があることから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。

(9) X II. 変形量

Ccb により耐震補強を行った構造物の変形量が建設技術審査証明報告書の実験の変形量を超えないことを確認している。

確認の一例として，添付資料 2 「女川 2 号機における部材諸元他の適用性の検討」にて検討した取水路（漸拡部）の結果を示す。図 4-5 に示すように，取水路（漸拡部）の層間変形角は最大でも 0.29% (29/10,000) 程度（基準地震動 S s - D 2 による照査結果）であり，梁試験体の変形量（1%を超える範囲まで確認）以下に収まっていることを確認している。

なお，女川 2 号機では，かぶりコンクリートの剥落により，Ccb の定着体部の定着機能を阻害するおそれがあるため，かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態である圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% 又は層間変形角 1% (1/100) に，十分な余裕をもって Ccb 工法を使用する。

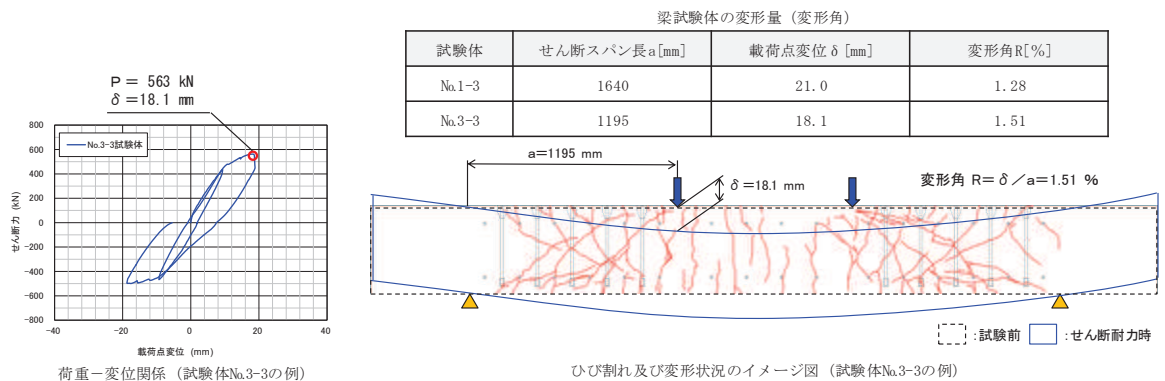


図 4-5 梁試験体の変形量

(10) XⅢ. 使用環境

建設技術審査証明報告書に、「CCb 補強工法によれば、相次ぐ地震によりその耐震補強の必要性が高まっている原子力施設などの重要地下構造物、高速道路、鉄道及び上下水処理施設などの地下構造物、また、水門あるいは堰の門柱・堰柱など、構造上、巻立て補強が適用できない構造物の耐震性能を改善することができる」と記載されており、原子力施設などの重要地下構造物及び女川 2 号機のような海水環境下よりも、より使用環境が厳しい下水処理施設を対象としていることから、女川 2 号機の屋外重要土木構造物等にも適用可能である。

また、4.7 に記載のとおり、CCb 工法については気中及び水中で数多くの施工実績があることが確認されており、硫酸等の影響を受ける腐食環境下にある下水道施設での施工実績もある。

よって、海水中よりも厳しい環境下での施工実績が確認できているため、使用環境として問題がないことを確認している。

(11) XⅣ. CCb を適用した部材のコンクリートの健全性

建設技術審査証明報告書の実験では、新規に供試体を作成しているが、女川 2 号機にて CCb により耐震補強を行った構造物については、東北地方太平洋沖地震 (2011 年 3 月 11 日) 及び宮城県沖の地震 (2011 年 4 月 7 日) により、建設時の基準地震動を一部周期帯で超過する地震動を経験していることから、部材の健全性を確認する。

CCb 工法のせん断補強効果を発揮するためには、コンクリートが CCb 工法のせん断補強効果に悪影響を及ぼす状態にないことを確認する必要があることから、フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として、4.5 にて確認する。

(12) XV. PHb 工法（美浜 3 号機）との差異

PHb 工法と Ccb 工法の差異及び美浜 3 号機と女川 2 号機の適用性確認における差異を表 4-6 に示す。

表 4-6 に示すとおり，定着体の構造，対象部材，せん断耐力の設計法（ β_{aw} の設定），検討対象構造物（構造諸元，荷重形態）及び定着体部の状況に差異があることが確認できる。

これらのうち，定着体の構造及びせん断耐力の設計法（ β_{aw} の設定）については，PHb 工法と Ccb 工法で差異があるものの，建設技術審査証明報告書に合致していることを確認している。

しかしながら，対象部材，検討対象構造物（構造諸元，荷重形態）及び定着体部の状況については，建設技術審査証明報告書から確認できないことから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。

(13) XVI. 増厚補強部への適用性*

建設技術審査証明報告書及び建設技術審査証明報告書の実験では，既設部材へ Ccb による耐震補強を行った後に増厚補強を行った部材を対象としていないことから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5 にて確認する。

注記*：詳細設計を踏まえ適用性の確認を補足する項目

表 4-6 PHb 工法 (美浜 3 号機) と Ccb 工法 (女川 2 号機) の差異 (1/2)

| 確認項目 | PHb 工法 (美浜3号機) | Ccb 工法 (女川2号機) | 差異の有無及び確認結果と概要 |
|---|--|--|---|
| 目的 | <ul style="list-style-type: none"> 地震時荷重によるせん断破壊に対する補強工法として、使用している。 | <ul style="list-style-type: none"> 左に同じ。 | 無 |
| 定着体の構造 | <ul style="list-style-type: none"> せん断補強筋の両端部にプレートを取り付けたもの。 プレートは、摩擦圧接により取り付けられている。 | <ul style="list-style-type: none"> せん断補強筋の両端部にファイブセミック製の定着体を取り付けたもの。 定着体とせん断補強筋は、ねじ節構造であり、ねじの噛合せ及びエポキシ樹脂により取り付けられている。 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 定着体部に差異有り。 IVII. 使用材料 (セラミック製定着体) と同様、建設技術審査証明報告書に合致することを確認した。 |
| 施工方法 | <ul style="list-style-type: none"> 既設の鉄筋コンクリート構造物の表面からドリルにより削孔→孔内にPHbを挿入→充填材で固定。 | <ul style="list-style-type: none"> 左に同じ (使用材料 (PHbまたはCcb) の違いのみ)。 既設の鉄筋コンクリート構造物の表面からドリルにより削孔→孔内にCcbを挿入→充填材で固定。 | 無 |
| 認定方法 | <ul style="list-style-type: none"> 一般財団法人土木研究センターより建設技術審査証明を受けている。 | <ul style="list-style-type: none"> 左に同じ。 | 無 |
| 対象部材 | <ul style="list-style-type: none"> 梁試験体として、棒部材 (せん断スパン比*: a/d=2.7 他) に加え、せん断スパン比が小さいデイベーム (a/d=1.19~1.58) についても性能確認試験を行っている。 PHb工法の性能確認は、梁試験体による正負交番載荷試験により確認している。 | <ul style="list-style-type: none"> 梁試験体として、棒部材 (a/d=2.78) を対象に性能確認試験を行っている。 Ccb工法の性能確認は、梁試験体による正負交番載荷試験により確認している。 | <ul style="list-style-type: none"> ○ フロー③にて確認 各工法の性能確認方法に違いはないが、Ccb工法の性能確認試験ではデイベームを対象とした試験を行っていない。 |
| せん断耐力の設定 計法① (せん断耐力の算出方法) | $V_{\text{sw}} = V_{\text{swd}} \times \beta_{\text{sw}}$ $V_{\text{swd}} : \text{PHbで負担されるせん断耐力}$ $V_{\text{swd}} : \text{PHbを通常のせん断補強鋼材とみなして求められるせん断耐力}$ $\beta_{\text{sw}} : \text{PHbのせん断耐力向上への有効性を示す係数}$ | $V_{\text{Ccb}} = V_{\text{swd}} \times \beta_{\text{sw}}$ $V_{\text{Ccb}} : \text{Ccbで負担されるせん断耐力}$ $V_{\text{swd}} : \text{Ccbを通常のせん断補強鋼材とみなして求められるせん断耐力}$ $\beta_{\text{sw}} : \text{Ccbのせん断耐力向上への有効性を示す係数}$ | 無 |
| せん断耐力の設定 計法② (β_{sw} の設定) | $\beta_{\text{sw}} = 1 - l_v / (2 \cdot S_{\text{tb}})$ $l_v : \text{定着長}$ $S_{\text{tb}} : \text{補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔}$ <ul style="list-style-type: none"> β_{sw} の上限値を、0.9としている。 | <ul style="list-style-type: none"> β_{sw} の算出式は、左に同じ。 β_{sw} の上限値は、ない。 | <ul style="list-style-type: none"> ○ β_{sw} の算出式に差異はないが、Ccb工法は β_{sw} に上限値なし。 建設技術審査証明報告書に合致することを確認した。 |

※: せん断スパン比 a/d (a: 支間長, d: 有効高さ)

PHb工法に係る記載内容については、会社資料やHP等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

表 4-6 PHb 工法 (美浜 3 号機) と Ccb 工法 (女川 2 号機) の差異 (2/2)

| 確認項目 | PHb 工法 (美浜 3 号炉) | CCb 工法 (女川 2 号炉) | 差異の有無及び確認結果と概要 |
|---|--|---|--|
| 適用性 | <ul style="list-style-type: none"> 適用性確認のためのフローを設定している。 建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目については、個別に数値実験等を用いてせん断補強効果を確認している。 | <ul style="list-style-type: none"> 左に同じ。 | 無 |
| 検討対象 構造物① (構造諸元) | <ul style="list-style-type: none"> 構造物：海水ポンプ室 対象部材：底版 部材厚：2000mm 部材照査：梁に発生する断面力に対して照査を実施。 | <p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> 構造物：取水路(漸拡部) 対象部材：隔壁 部材厚：1200mm 部材照査：梁に発生する断面力に対して照査を実施。 <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> 構造物：軽油タンク室 対象部材：側壁 部材厚：1500mm 部材照査：版や壁部材に発生する断面力に対して照査を実施。 | <ul style="list-style-type: none"> フロー③にて確認 女川 2 号炉では、版や壁部材(面部材)へ Ccb 工法を適用しており、面内荷重と面外荷重が同時に作用することから、その影響について確認する必要がある。 |
| 検討対象 構造物② (荷重形態) | <ul style="list-style-type: none"> 分布荷重系 | <ul style="list-style-type: none"> 集中荷重系 | <ul style="list-style-type: none"> 有 |
| 定着体部の 状況 | <ul style="list-style-type: none"> PHbにより耐震補強を行っている海水ポンプ室及び海水管トレンチは、M-Φ曲線の第1折点(ひび割れ発生)程度であり、かぶりコンクリートに顕著なひび割れは発生せず、健全である。 | <ul style="list-style-type: none"> CCbにより耐震補強を行っている構造物は、主筋の降伏強度以下、M-Φ曲線の第2折点以下(主筋の降伏)または主筋のひずみ降伏ひずみ以下の範囲にて Ccb 工法を使用することとしており、部材にひび割れが発生する可能性がある。 | <ul style="list-style-type: none"> 有 |
| 適用性確認における差異 | | | |
| <p>※：「IV. 載荷方法」と同一の内 容であることから、「IV. 載荷方法」にて確認する。</p> <p>※：「XI. ひび割れに対する定着機構の保持」と同一の内 容であることから、「XI. ひび割れに対する定着機構の保持」にて確認する。</p> | | | |

他サイトの情報に係る記載内容については、会合資料やHP等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。

4.5 ③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認

4.5.1 せん断補強効果の確認内容

4.3 で抽出した適用性確認項目のうち、4.4 の建設技術審査証明報告書の適用範囲から確認できなかった項目について、4.5.2 以降において、数値解析による検証及び建設技術審査証明報告書の実験の確認等により、せん断補強効果が期待できることを確認する。確認する項目を以下に示す。

- (1) 部材諸元
- (2) 載荷方法
- (3) せん断ひび割れ抑制効果の確認
- (4) ひび割れに対する定着機能の保持
- (5) Ccb を適用した部材のコンクリートの健全性
- (6) PHb 工法（美浜 3 号機）との差異
- (7) 増厚補強部への適用性*

注記*：詳細設計を踏まえ適用性の確認を補足する項目

4.5.2 せん断補強効果の確認

- (1)部材諸元、(2)載荷方法、(3)せん断ひび割れ抑制効果の確認

女川 2 号機で Ccb により耐震補強を行った構造物の多くが、部材諸元（部材厚、せん断スパン比、主鉄筋比、コンクリート設計基準強度）や載荷方法が建設技術審査証明報告書に記載の実験と異なっても、せん断ひび割れを抑制し、せん断補強効果を期待できるかを数値解析により確認する。

数値解析の詳細については、添付資料 2 「女川 2 号機における部材諸元他の適用性の検討」に示す。添付資料 2 に示すとおり、建設技術審査証明報告書の実験条件と異なる項目である (1)～(3) の項目においても、Ccb 工法が適用可能であること及びせん断ひび割れ抑制効果があることを確認した。併せて、終局荷重時においても特異なひび割れや変形が発生しないことを確認した。

- (4) ひび割れに対する定着機能の保持

女川 2 号機において Ccb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れ（曲げひび割れ、面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びディープビームに生じる 45 度を超える高角度のひび割れ）が Ccb の定着体部やその周囲に生じても、定着機能が保持されることを確認する。

詳細は、添付資料 3 「女川 2 号機におけるひび割れに対する定着機能保持の検討」に示す。添付資料 3 に示すとおり、女川 2 号機において Ccb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れが、Ccb の定着体部やその周囲に実験と性状が異なるひび割れとして生じても、定着機能が保持されていることを建設技術審査証明報告書の実験との対比から確認した。

なお、建設技術審査証明報告書の実験は、せん断耐力を確認するための実験であることから、曲げ降伏させないよう主鉄筋に高強度の鉄筋（SD490）を使用しており、せ

ん断破壊時における主鉄筋のひずみは、表 4-7 に示すとおり、降伏ひずみ未満の 2363 μ まで確認されている。これらを踏まえ、主鉄筋に SD345 を用いている女川 2 号機において Ccb により耐震補強を行った構造物については、応答値として主鉄筋のひずみが降伏ひずみ (1725 μ) 未満又は応力が降伏強度 (345N/mm²) 未満であることを確認する。

確認例として、取水路 (漸拡部) の評価結果 (基準地震動 S s - D 2 による照査結果) を示す。取水路 (漸拡部) は、部材非線形解析 (M- ϕ モデル) により評価していることから、M- ϕ 曲線の第 2 折点 (主鉄筋の降伏に相当) 以下であることを確認する。図 4-6 に示すとおり、応答値を M- ϕ 曲線上にプロットすると M- ϕ 曲線の第 1 折点 (ひび割れ発生) 付近であり、主鉄筋は降伏していないため Ccb 工法が適用可能であることがわかる。

表 4-7 梁試験体に生じた鉄筋ひずみ

| 項 目 | | 備 考 |
|-------|--------------|----------------------------|
| 鉄筋ひずみ | 2363 μ * | 降伏ひずみ : 2450 μ (SD490) |

注記* : コンクリートの引張応力を無視し、縦ひずみは断面の中立軸からの距離に比例するものとして算出した。

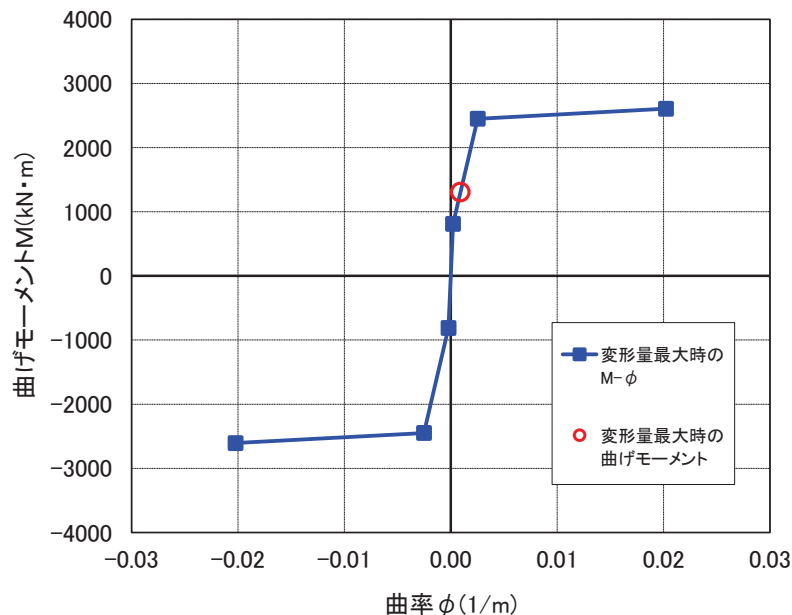


図 4-6 取水路 (漸拡部) の M- ϕ 曲線

(5) Ccb を適用した部材のコンクリートの健全性

Ccb 工法のせん断補強効果を発揮するためには、コンクリートが健全である必要があることから、ひび割れ状況及び圧縮強度試験によりコンクリートの健全性を確認する。

詳細については、添付資料4「女川2号機におけるコンクリートの健全性の検討」に示す。添付資料4に示すとおり、地震後（東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）及び宮城県沖の地震（2011年4月7日））のひび割れ状況及び構造物から採取したコンクリートコアの圧縮強度試験結果から、Ccbにより耐震補強を行った構造物の既設コンクリートの状態が、Ccbのせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認した。

(6) PHb 工法（美浜3号機）との差異

表4-6に示すとおり、Ccb工法ではディープビームを対象とした性能確認試験を行っていないこと、及び女川2号機では面内荷重を面外荷重が同時に作用する部材も対象としていることから、これらの適用性について確認する。

詳細については、添付資料5「ディープビーム的な破壊に対するCcb工法の適用性の検討」及び添付資料6「面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCcb工法の適用性の検討」に示す。

添付資料5に示す、ディープビーム的な破壊形態が想定される部材への適用性については、「応力の負担機構」、「設計における保守性」及び「ひび割れの影響」の観点から整理を行い、女川2号機においてCcbを用いる部材については棒部材式を用いてせん断力に対する評価を行うことに加え、せん断耐力と設計せん断力に対する比（以下、「照査値」という。）を0.8程度に抑える設計上の配慮を行うこと、及びディープビーム的な破壊形態において発生する可能性のある高角度のひび割れについても実験によりCcbの補強効果が発揮されることが確認されていることから問題ない。更には、ディープビームを対象とした模型実験を実施し、ディープビームにおいてもCcb工法によりせん断補強効果が発揮され、棒部材式で算定されるせん断耐力を上回ることを確認した。

添付資料6に示す、面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCcb工法の適用性については、「設計の考え方」及び「ひび割れの影響」の観点から整理を行い、面内荷重及び面外荷重に対する設計上の負担する荷重の観点及び面内荷重により発生するひび割れは、建設技術審査証明報告書の実験で同等のひび割れが生じて、せん断補強効果を確認していることが確認されていることから問題はない。更には、面内荷重と面外荷重が同時に作用する面部材を対象とした数値解析（三次元静的材料非線形解析）を実施し、面内荷重が作用してもCcbへ悪影響がなく、Ccbにより十分なせん断補強効果が得られていることを確認した。

(7) 増厚補強部への適用性

女川 2 号機において Ccb による耐震補強を行った部材に増厚補強を行った部材が、せん断補強効果を発揮することを確認する。

詳細は、「資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価」に示す。「資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価」に示すとおり、Ccb による補強部材と増厚部材を二次元静的材料非線形解析により解析し、せん断補強効果が発揮され、新設した増厚部材と一体となつてせん断耐力が得られることを確認した。

4.6 ④Ccb の施工精度に影響を与える項目の確認

Ccb 工法によるせん断補強においては、施工精度の低下により計画どおり施工できなかった場合、期待するせん断補強効果に影響を及ぼす可能性がある。そのため、施工精度に影響を与える項目を抽出し、施工精度の低下やせん断補強効果に大きな影響を与えないことを確認する。以下に、抽出した項目を示す。

- ① 削孔方法
- ② 削孔角度
- ③ 削孔位置
- ④ グラウトの充てん性

4.6.1 削孔方法

Ccb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが、その削孔方法としてはレッグハンマードリル又はコンクリートコアドリルの使用が主となっている。コンクリートコアドリルは設置面に強固に固定でき、掘削方向と掘削深さを精度良く確保することが容易であることから、原子力発電所施設では主にコンクリートコアドリルでの削孔を採用している。

また、削孔時に既存鉄筋の切断を回避するため、既存鉄筋干渉時にコンクリートコアドリルの回転を停止させる鉄筋センサーの使用を標準装備としている（図 4-7 参照）。

なお、削孔においては表 4-8 のとおり、施工精度を確保するために管理基準を設けている。

表 4-8 削孔に関する品質管理基準

| 管理項目 | 管理内容 | 規格値 | 管理頻度 |
|-----------------------------|-------------------------|--|------|
| 一般部の削孔長 | メジャーによる計測 | 0mm ≤ 設計値 ≤ 20mm かつ、削孔先端から埋込側表面までの厚さ 50mm 以上 | 全数 |
| 一般部の削孔径 拡幅部の削孔長及び 削孔径 | セラミックキャップバー (CCb) による計測 | CCb が完全に挿入できること | |

4.6.2 削孔角度

CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが、削孔角度に誤差が生じた場合、CCb のせん断補強効果に影響が及ぶ可能性がある。そのためコンクリートコアドリルを専用架台に設置し、ドリルの鉛直方向、水平方向が削孔面に対して垂直となるよう水平器、金尺等で確認し削孔することにより、削孔角度のばらつきが生じる可能性を低減させる。

また、「建設技術審査証明報告書 技術名称 あと施工型せん断補強用無機系モルタルカプセル及びせん断補強筋「RMA」(建技審証第 1203 号)」ではコンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験を実施している(図 4-8 参照)。コンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験では、幅 1200mm × 高さ 600mm × 長さ 1200mm のコンクリートブロック 4 体を削孔し、削孔位置のずれを確認している。コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果を、表 4-9 に示す。女川 2 号機の CCb により耐震補強を行った構造物のうち、最大部材厚は 1500mm である。削孔角度誤差を換算すると、長さ 1200mm, 2400mm は 0.72° , 長さ 3600mm で 0.66° となり、コアドリルによる長尺削孔は十分精度があることが示されている。



図 4-7 削孔状況

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 4-8 試験概要図

表 4-9 コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.6.3 削孔位置

CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが、部材内部に障害物があり計画位置で削孔できず CCb を計画どおり配置できない可能性がある。その場合は、付近を再削孔し CCb を挿入することで設計上必要な鉄筋量を確保する。再削孔し CCb を配置する際は、4.4 に示す記載事項を満足するものとする。なお、図 4-9 に示すせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図のとおり、再削孔する際は削孔計画位置（赤丸）から位置をずらし、せん断補強効果に影響のない位置に削孔することが可能である。再削孔の際、新たに別の鉄筋に干渉してしまう可能性があることから、孔を隣接させて削孔することが可能なコンクリートコアドリルを使用し、再削孔時の精度向上を図る。

以上より、削孔位置に変更が生じて必要鉄筋量を確保できるためせん断補強効果に影響を及ぼさない。

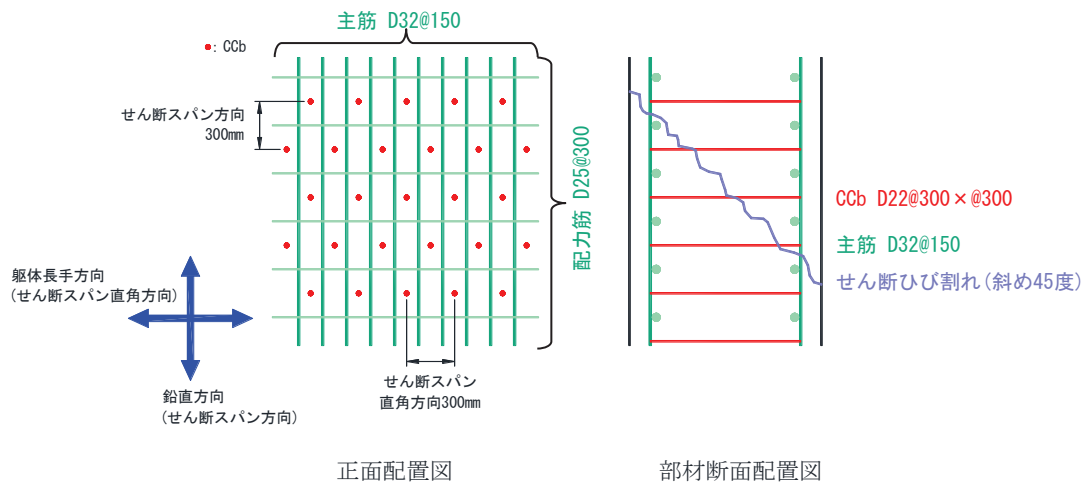


図 4-9 取水路（漸拡部）のせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図

4.6.4 グラウトの充てん性

グラウトの充てん性については、グラウト充てん性確認実験により、削孔内に設置したCCbの先端定着部までグラウトが密実に充てんされ、CCbとコンクリート躯体が一体となっていることを確認している。以下に、建設技術審査証明報告書に記載されているグラウト充てん性確認実験の内容を示す。

グラウト充てん性確認実験は、①先充てん工法（横向き）、②先充てん工法（下向き）、③先充てん工法（上向き）、④後充てん工法（上向き）にて実施されている（図4-10参照）。

なお、グラウト充てんでは残留エアが施工品質に影響を与えることから、高流動グラウトを使用する横向き施工においては、残留エアの有無をかき出しにより確認しており、残留エアが無いことを全数確認している。

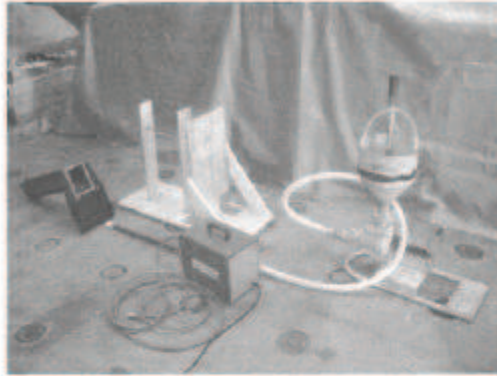
① 先充てん工法（横向き）

先充てん工法（横向き）の場合、コンクリート躯体面に養生用治具を止水剤、接着剤等で設置し、グラウト貯留槽を真空ポンプと吸盤で固定する。そして、グラウトポンプを用いて、掘削孔の先端からエアを追出すようにグラウトを充てんし、削孔部分およびグラウト貯留槽部分にグラウトを満たす。その状態で「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入することにより、エア抜きホースを残置すること無く、「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入およびその周囲へのグラウトの充てんを行う。

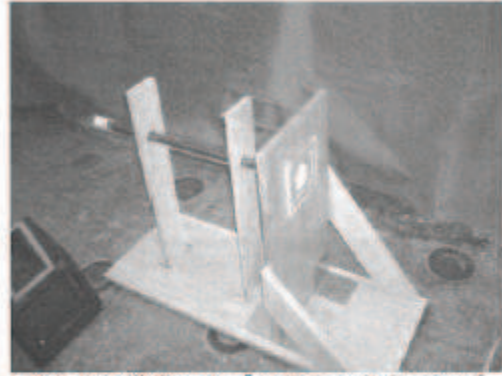
写真Ⅱ-4.9～写真Ⅱ-4.11に示すように、グラウトが充てんされた削孔内に「セラミックキャップバー（CCb）」を抵抗無く挿入でき、エア抜きホースを残置することなく、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんできることを、アクリル模型およびRC部材を用いた施工試験により確認した。また、実際の施工では、ほぼ水平となるように削孔することが可能であるが、アクリル模型の先端を2°以上、上に傾けた状態でのグラウトの充てん確認試験を実施し、孔内後端部の上部の角部にエアが残留した場合でも、エア抜き工具を用いて残留エアの有無の確認と除去が可能であることを確認している（写真Ⅱ-4.10）。

図4-10 グラウトの充てん性確認実験
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（1/10）

グラウトはプレミックス材料であり、施工現場では、所定量の水を加えてハンドミキサーで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できるので、最小限の設備と人員での「セラミックキャップパー (CCb)」の横向きの設置が可能である。



試験器具一式



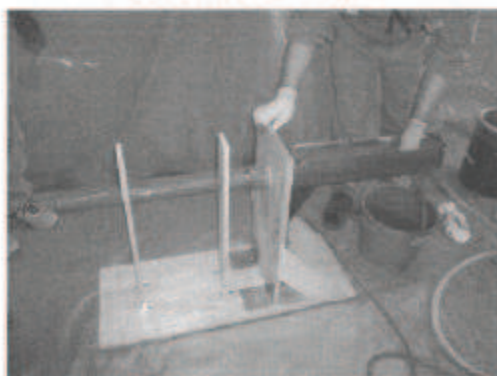
アクリル模型への「セラミックキャップパー (CCb)」の仮設置



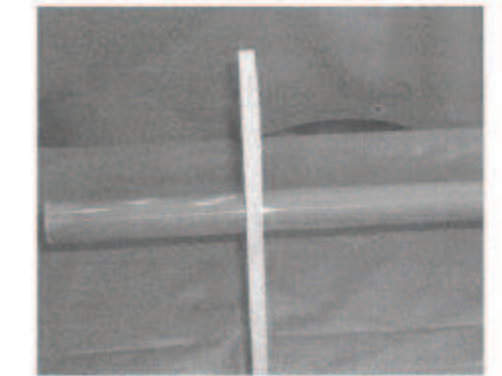
グラウトの充てん状況



グラウトの充てん状況 (先端)



「セラミックキャップパー (CCb)」の挿入



先端部の充てん状況

写真Ⅱ-4.9 アクリル模型によるグラウト充てん性確認実験 (横向き)

図 4-10 グラウトの充てん性確認実験
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/10)

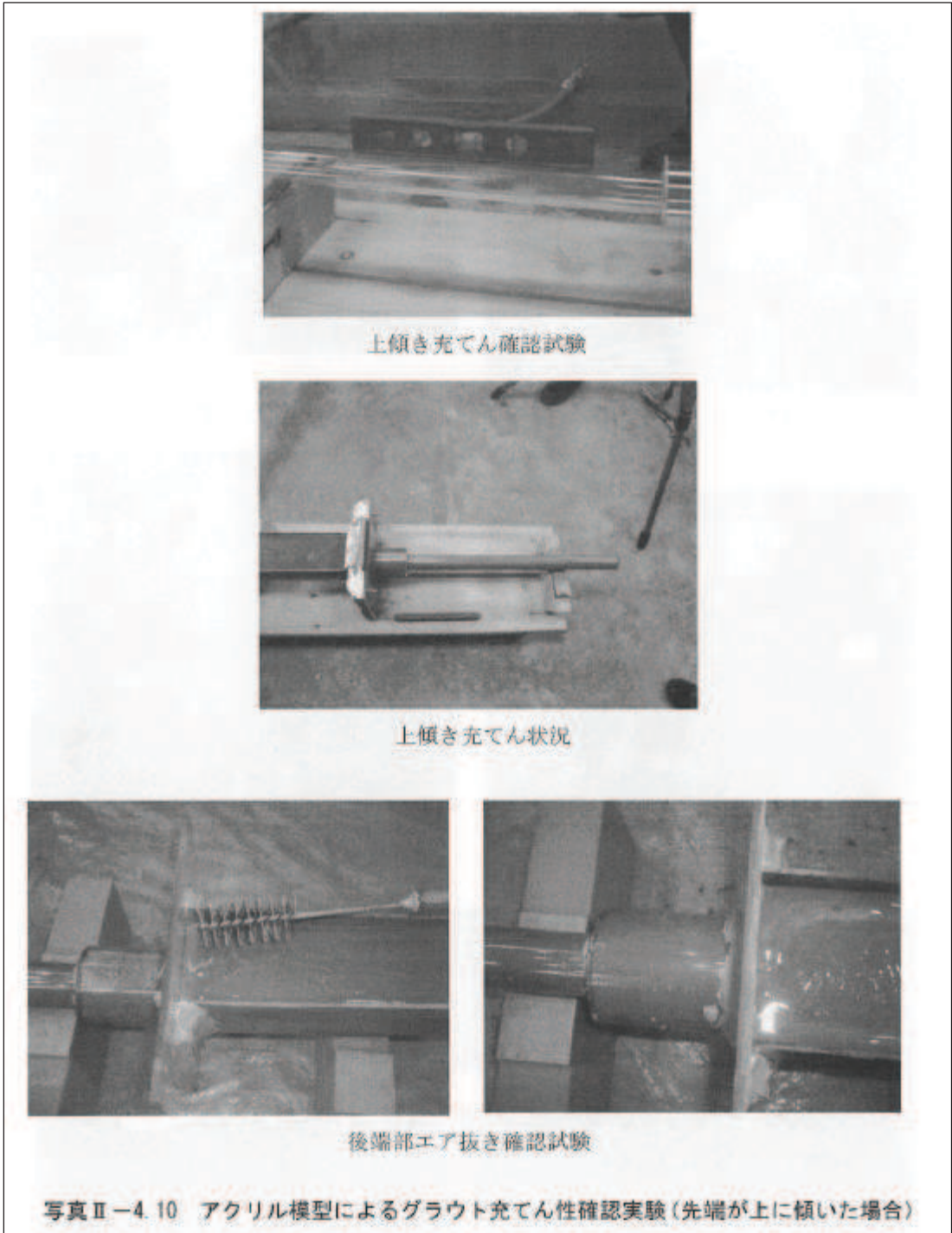
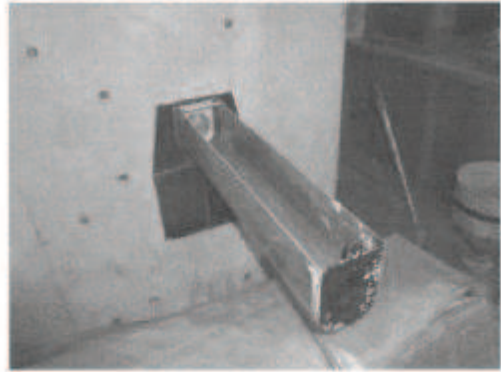


図4-10 グラウトの充てん性確認実験
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/10)



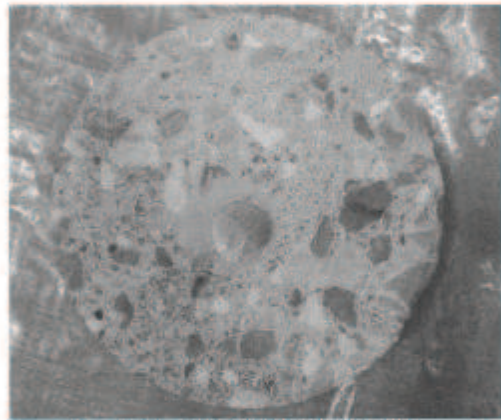
RC 部材への削孔



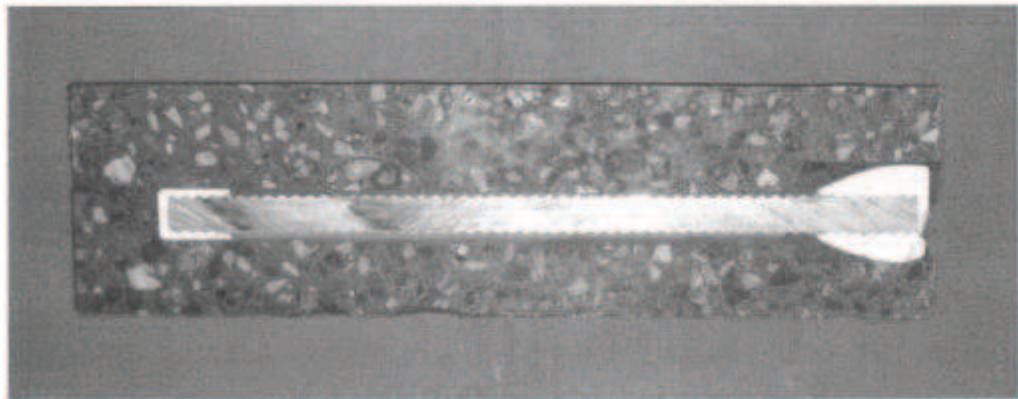
グラウト貯留槽の設置



「セラミックキャップパー (CCb)」の挿入



グラウトの注入状況 (鉄筋部)
「セラミックキャップパー (CCb)」挿入部を切断したもの



グラウトの注入状況 (全体)

「セラミックキャップパー (CCb)」の挿入部

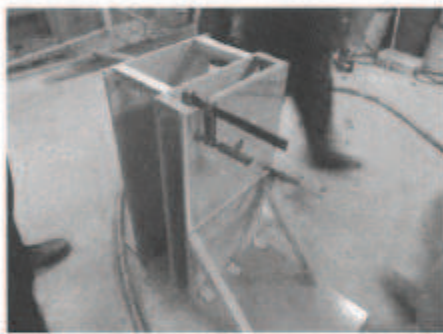
写真Ⅱ-4.11 RC 部材によるグラウト充てん性確認実験 (横向き)

図 4-10 グラウトの充てん性確認実験
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (4/10)

ハンチ部の施工や、支障物が近傍にあるために、グラウト貯留槽が使用できない箇所は、表Ⅱ-1.4に示す可塑性グラウトを用いて作業を行うことにより、グラウト貯留槽を用いた時と同様の充てん性能を有していることをアクリル模型の施工試験で確認している。

グラウトポンプを用いて、掘削孔の先端からエアを追出すようにグラウトを充てんする。その後に「セラミックキャップバー (CCb)」をゆっくり挿入することにより、エア抜きホースを残留することなく、「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入およびその周囲へのグラウトの充てんを行う。

グラウトは、セメントに所定の水を加えてハンドミキサーで練り混ぜ、その後に所定の可塑性剤を添加して再度練り混ぜて使用する。



アクリル模型試験体



「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入



「セラミックキャップバー (CCb)」の設置

写真Ⅱ-4.12 アクリル模型による可塑性グラウト充てん性確認試験 (横向き)

表Ⅱ-1.4 可塑性グラウトの性能

| 本セメント比 (%) | 添加率 (%) | テーブルフロー値 (mm) | ブリーディング率 (%) | 膨脹収縮率 (%) | 圧縮強度(N/mm ²) | | |
|------------|-------------|---|--------------|-------------|--------------------------|------|------|
| | | | | | 3日 | 7日 | 28日 |
| 33.0~39.0 | 0.28%~0.32% | (静止) 105mm~120mm (15回打撃) 150mm~200mm | 0.0 | 0.12%~0.18% | 35.9 | 45.5 | 56.4 |

圧縮強度は現場封緘養生による結果である。

図4-10 グラウトの充てん性確認実験
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (5/10)

② 先充てん工法（下向き）

先充てん工法（下向き）の場合、削孔内にグラウトを充てんし、「セラミックキャップパー（CCb）」を上方から差し込むだけで配置を完了する。削孔内面は、グラウトを充てんする前に湿潤状態にするか、あるいはドライアウト防止剤を散布し、グラウトが吸湿されないようにする。

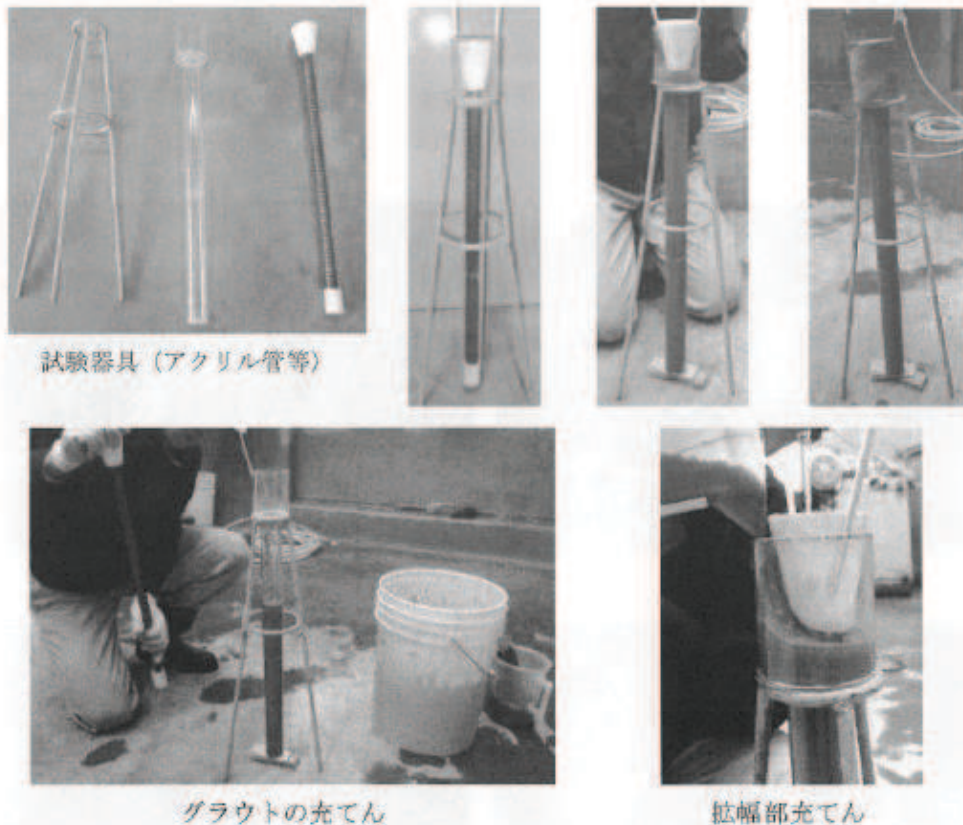
写真Ⅱ-4.8 に示すように、グラウトが表Ⅱ-1.2 に示すものであれば、「セラミックキャップパー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんすることを、アクリル模型を用いた施工試験により確認した。

グラウトはプレミックス材料であり、施工現場では、所定量の水を加えてハンドミキサーで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できる。

表Ⅱ-1.3 グラウトの性能

| 水セメント 比 (%) | JA ロート 流下時間 (秒) | ブリーディ ング率 (%) | 膨脹収縮率 (%) | 圧縮強度(N/mm ²) | | | |
|----------------|--------------------|------------------|--------------|--------------------------|------|------|------|
| | | | | 1日 | 3日 | 7日 | 28日 |
| 33.0~39.0 | 15~30 | 0.0 | 0.14~0.23 | 22.2 | 38.6 | 58.3 | 65.3 |

圧縮強度は現場封緘養生による結果である。



写真Ⅱ-4.8 グラウト充てん性確認実験（下向き）

図4-10 グラウトの充てん性確認実験
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（6/10）

③ 先充てん工法（上向き）

先充てん工法（上向き）の場合、可塑性グラウトを削孔内にグラウトを充てんし、「セラミックキャップバー（CCb）」を下方から差込むだけで配置を完了する。

写真Ⅱ-4.14、写真Ⅱ-4.15 に示すように、可塑性グラウトであればグラウトで充てんされた削孔内に、「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入でき、エア抜きホースを残留すること無く、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんできることを、アクリル模型およびRC部材を用いた施工試験、専用エアメータを用いた上向き充てん試験により確認した。

グラウトは、セメントに所定の水を加えてハンドミキサで練り混ぜ、その後に所定の可塑剤を添加して再度練り混ぜて使用できる。



グラウトの充てん



「セラミックキャップバー（CCb）」の設置



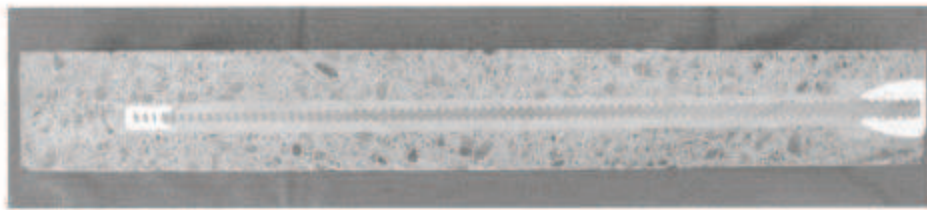
グラウトの充てん



「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入

写真Ⅱ-4.14 先充てん後挿入工法グラウト充てん性確認実験（上向き）（その1）

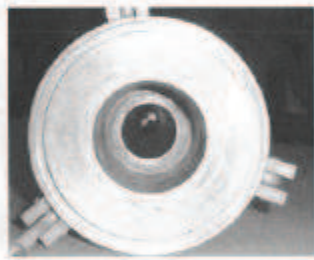
図4-10 グラウトの充てん性確認実験
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（7/10）



拡幅部通常コア



拡幅部親子ピット
グラウトの注入状況（全体）



CCb 工法仕様上向き空気量測定

写真Ⅱ-4.15 先充てん後挿入工法グラウト充てん性確認実験（上向き）（その2）

図 4-10 グラウトの充てん性確認実験
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（8/10）

④ 後充てん工法（上向き）

後充てん工法（上向き）の場合、写真Ⅱ-4.13に示すように、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部にエア抜きホースを設置した養生治具を用意し、「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入した削孔口部分に設置する。

そして、高流動性のグラウトを下方から注入し、エア抜きホースから掘削孔内の空気を排出して充てんする。この時、あらかじめ配置した「セラミックキャップバー（CCb）」が削孔の中心部に配置されるように、差込側の定着体に対し、注入治具側にスペーサ等を設置し位置を調整する。削孔内面は、グラウトの注入前に湿潤状態にするか、あるいはドライアウト防止剤を散布し、グラウトが吸湿されないようにする。グラウトの充てん状況は、グラウト注入時におけるエア抜きホースからの空気の排出と、グラウトの流失を確認することによって把握する。そして、グラウトの注入圧を保ったまま、エア抜きホースを養生治具の位置まで引き抜き、その口を閉じる。

写真Ⅱ-4.13に示すように、上向き施工でも「セラミックキャップバー（CCb）」の先端までグラウトを充てんでき、エア抜きホースを残置することなく、「セラミックキャップバー（CCb）」設置できることを、アクリル模型を用いた施工試験により確認した。

グラウトはプレミックス材料であり、施工現場では、所定量の水を加えてハンドミキサーで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できる。

図4-10 グラウトの充てん性確認実験
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (9/10)



図 4-10 グラウトの充てん性確認実験
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (10/10)

4.6.1～4.6.4 に示すとおり，施工上の配慮により，せん断補強効果に大きな影響を及ぼすような施工精度の低下が生じる可能性は低いことが確認できる。

しかし，現時点では後施工による施工精度に対して，施工実績に基づく十分な統計がとれていないため，施工精度の低下による影響が生じる可能性を否定することはできない。

以上を踏まえて，適切な施工管理を実施してもなお発生しうる施工精度の低下への設計上の配慮として，耐震評価上の裕度（例えば照査値を 8 割程度に抑える）を持たせた設計を行うこととする。

4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認

CCb の施工実績及び後施工せん断補強に関する研究事例を踏まえ、CCb 工法及び施工への反映事項を確認する。

4.7.1 施工実績の整理

CCb の施工実績は、表 4-10 に示すように 2017 年 9 月 30 日までに、道路・地下街、浄化センター、浄水場、水門、排水機場、排水路、発電所・プラントなど、施工中案件を含め 174 件の工事に適用され、37.6 万本以上が施工されている。

表 4-10 Ccb の施工実績 (2017 年 9 月 30 日現在)

| 対象施設 | | 施工件数 |
|----------|-------------|------|
| 道路・地下街 | 道路橋他 | |
| 浄化センター | 最終沈澱池、ポンプ室他 | |
| 浄水場 | 配水池他 | |
| 水門 | 防潮水門他 | |
| 排水機場 | 排水機場他 | |
| 排水路 | 地下排水路 | |
| 発電所・プラント | 貯水池・水路他 | |
| ダム | ダム | |
| 空港 | 空港 | |
| 護岸 | 防潮堤他 | |
| 栈橋 | 栈橋 | |

施工中案件を含む 合計：174 件 376,000 本以上

CCb の施工実績を部材厚、鉄筋径及び使用環境ごとに整理する。部材厚ごとに整理した結果を表 4-11 に、鉄筋径ごとに整理した結果を表 4-12 に、使用環境（気中又は水中）ごとに整理した結果を表 4-13 に示す。なお、カウントする際は、1 件の工事のうち複数にまたがって該当する場合には、各項目でそれぞれカウントしている（例：同一工事内で D13、D16、D19 の鉄筋を用いている場合は D13、D16、D19 のすべてにカウント）。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-11 Ccb の施工実績（部材厚）（1/4）*

| 部材厚(mm) | 件数 |
|-----------|-----|
| ～500 | 78 |
| 501～1000 | 126 |
| 1001～1500 | 77 |
| 1501～2000 | 39 |
| 2001～3000 | 10 |
| 3001～ | 7 |

表 4-11 Ccb の施工実績（部材厚）*

（上記実績のうち横向き施工）（2/4）

| 部材厚(mm) | 件数 |
|-----------|----|
| ～500 | 53 |
| 501～1000 | 87 |
| 1001～1500 | 47 |
| 1501～2000 | 17 |
| 2001～3000 | 5 |
| 3001～ | 2 |

表 4-11 Ccb の施工実績（部材厚）*

（上記実績のうち下向き施工）（3/4）

| 部材厚(mm) | 件数 |
|-----------|----|
| ～500 | 35 |
| 501～1000 | 61 |
| 1001～1500 | 48 |
| 1501～2000 | 29 |
| 2001～3000 | 6 |
| 3001～ | 5 |

表 4-11 Ccb の施工実績（部材厚）*
（上記実績のうち上向き施工）（4/4）

| 部材厚(mm) | 件数 |
|-----------|----|
| ～500 | 6 |
| 501～1000 | 22 |
| 1001～1500 | 14 |
| 1501～2000 | 0 |
| 2001～3000 | 0 |
| 3001～ | 0 |

注記*：ハッチング箇所は，女川 2 号機の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

表 4-12 Ccb の施工実績（鉄筋の種類）*

| 補強鉄筋の種類 | | 件数 |
|---------|-----|----|
| SD345 | D13 | 42 |
| | D16 | 71 |
| | D19 | 82 |
| | D22 | 80 |
| | D25 | 61 |
| | D29 | 30 |
| | D32 | 33 |

注記*：ハッチング箇所は，女川 2 号機の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

表 4-13 Ccb の施工実績（使用環境）*

| 施工場所 | 件数 |
|------|-----|
| 気中 | 12 |
| 水中 | 162 |

注記*：ハッチング箇所は，女川 2 号機の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

4.7.2 過去の地震の経験事例

CCbにより耐震補強を行った構造物は、過去に多くの地震を受けている(表4-14)。その中には、震度5強の地震を受けた事例もあり、CCb工法研究会に確認したところ、いずれの地点においても、現時点では被害・不具合が発生したという報告はない。

表4-14 震度4以上の地震を受けた構造物

| |
|--|
| |
|--|

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.7.3 レベル2地震動を対象とした設計事例

広島空港直下を通る用倉トンネルにおいて、レベル2地震動を対象として耐震補強に鉄筋差込工法（後施工せん断補強鉄筋工法 RMA 工法）を適用したせん断補強事例が報告されている*。本事例においては、広島空港が大都市拠点空港として空港輸送上重要な空港に位置づけられたため、耐震性能照査を行った結果、せん断耐力が不足していることが判明したことによる。用倉トンネルは現場打ちのアーチカルバートの上に20m弱の盛土をおこなった構造物である。構造形式等の詳細については、4.7.5④に記載する。

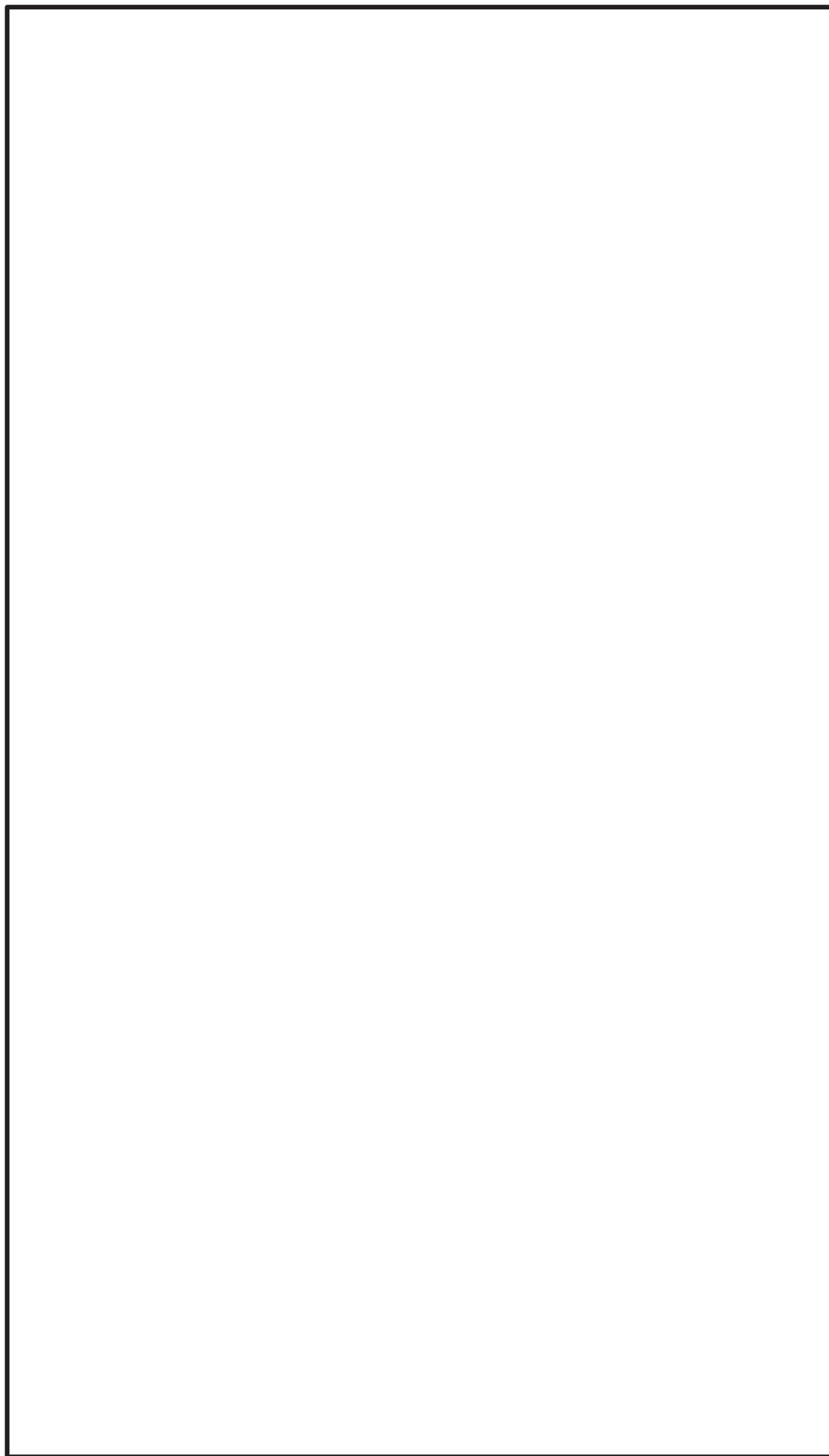
注記*：参考文献

後施工型せん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について（岡崎大宜）

4.7.4 後施工せん断補強工法の比較

CCb工法以外にも土木研究センターにおいては、類似する後施工せん断補強工法の建設技術審査証明が実施されている。後施工せん断補強工法の比較結果を、表4-15に示す。工法に差異はあるものの、コンクリート部分に付着を期待してせん断耐力の向上を期待する点は共通している。また、せん断耐力の算出方法については、工法により多少の差異は存在するものの、おおむねトラス理論を基にせん断耐力の算出を行っている。

表 4-15 後施工せん断補強工法の比較 (1/2)



注記* 土木研究センター建設技術審査証明関係資料に基づき作成

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-15 後施工せん断補強工法の比較 (2/2)

| |
|--|
| |
|--|

注記* 土木研究センター建設技術審査証明関係資料に基づき作成

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.7.5 後施工せん断補強筋に関する研究事例

後施工せん断補強工法に関する研究事例や施工実績に関する文献から着目すべき事項を整理し、女川2号機におけるCCb工法への反映事項を確認する。

① コンクリート構造物の後施工せん断補強技術

◆ 文献の要旨

既存のコンクリート構造物の耐震補強技術のうち、カルバートや地下貯水槽の壁（地下壁構造）に用いられるせん断補強（後施工せん断補強）技術について述べられたものである。

◆ 着目すべき事項

- ・ 後施工せん断補強筋の定着性能の確認試験として、鉄筋の引抜き試験が例示されている。
- ・ 標準フックのせん断補強筋（先施工）が負担できるせん断力に対する後施工せん断補強筋が負担できるせん断力の割合である有効係数を用いて評価する手法が例示されている。
- ・ 後施工せん断補強効果の確認試験として、梁試験体の正負交番載荷試験が例示されている。
- ・ 「マルチプルナット」、「セラミックキャップバー (CCb)」、「Post-Head-bar (PHb)」の建設技術審査証明報告書を参考文献としている。

◆ 女川2号機におけるCCb工法への反映事項の確認

- ・ 後施工せん断補強技術が地下壁構造に対して効果的であることを確認した。
- ・ CCb工法の建設技術審査証明報告書には、本文献と同様の引抜き試験、梁試験体の正負交番載荷試験が実施され、それら試験結果に基づいた有効係数による評価手法が明記されていることを確認した。

② 耐震補強等に用いるあと施工型せん断補強技術（RMA 工法）

◆ 文献の要旨

既設の地中構造物を後施工によりせん断補強する工法として RMA 工法が報告されている。

◆ 着目すべき事項

- ・ 後施工せん断補強筋の性能確認実験として、引抜き試験による定着性能の確認、梁試験体の正負交番載荷によるせん断補強効果の確認を実施している。
- ・ 後施工せん断補強において、せん断補強筋の定着長を考慮した有効係数によるせん断補強効果の評価手法が示されている。なお、この評価手法は参考文献として示されている「アルカリ骨材反応対策小委員会報告書」（土木学会，2005）に準じている。
- ・ RMA 工法により補強が実施された構造物は、東日本大地震においても損傷がなかったことが報告されている。

◆ 女川 2 号機における CCb 工法への反映事項の確認

- ・ 本文献の工法（RMA 工法）と同様の性能確認試験を CCb 工法でも実施していることを確認した。
- ・ 本文献の工法（RMA 工法）と CCb 工法とでは、定着方法の差異により定着長が異なるが、有効係数の算出方法は同様であり、CCb 工法の建設技術審査証明報告書に示される有効係数の算出方法が一般的であることを確認した。
- ・ CCb により耐震補強を行った構造物において、現時点で地震による被害・不具合が発生していないことを確認した。

③ 論文 異形鉄筋の埋込みによるあと施工せん断補強効果に関するはりの載荷実験

◆ 文献の要旨

既存のボックスカルバート等の連続壁に異形鉄筋を埋込みせん断補強を行う方法に対し、その有効性を確認するために梁供試体を用いたせん断試験が行われている。

◆ 着目すべき事項

- ・ 後施工せん断補強した供試体のせん断耐力を実験で確認した結果、先施工として算出したせん断耐力（設計値）とほぼ同等のせん断耐力が得られている（実験値/設計値=0.93～1.12）。
- ・ 後施工によりせん断補強した供試体のせん断耐力は、先施工した供試体のせん断耐力と同等のせん断耐力を有している（後施工/先施工=0.85～1.07）。

◆ 女川2号機におけるCCb工法への反映事項の確認

- ・ 先施工のせん断補強に対するCCb工法の有効係数は、建設技術証明報告書に記載されている梁の交番載荷試験により妥当性が確認された有効係数としていることを確認した。

④ 後施工型のせん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について

◆ 文献の要旨

広島空港の滑走路及び誘導路直下の地下構造物（用倉トンネル）が、レベル2地震動に対する耐震性能照査においてせん断耐力が不足していることが確認された。用倉トンネル(アーチカルバート)に対し耐震補強工法の選定・検討を実施し、RMA工法による後施工せん断補強が行われている。

◆ 着目すべき事項

- ・ 重要施設である空港滑走路及び誘導路直下の地下構造物（アーチカルバート）に対して、後施工型せん断補強工法（RMA工法）による耐震補強が実施されている。
- ・ アーチカルバートの補強には、増厚工法，後施工せん断補強工法（鉄筋差込工法），接着工法，巻立て工法の中から，施工後においても現況の内空断面を確保でき，坑内からの施工も可能である後施工せん断補強工法が選定されている。
 - ・ 補強対象のアーチカルバートの部材厚は1600mmである。

◆ 女川2号機におけるCCb工法への反映事項の確認

- ・ 地下構造物の補強工法として，後施工せん断補強工法が効果的であることを確認した。
- ・ 女川2号機原子炉機器冷却海水配管ダクト及び取水路（漸拡部）の部材厚（隔壁：1200mm）相当の構造物に対して後施工せん断補強工法の施工実績があることを確認した。

⑤ 地下駅舎 RC 壁のせん断力評価と耐震補強対策

◆ 文献の要旨

地中構造物の側壁隅角部を対象に載荷試験を行い，先施工せん断補強と後施工せん断補強との耐力比較及び後施工せん断補強筋の埋込長の違いによる耐力比較が行われている。

◆ 着目すべき事項

- ・ せん断補強筋のピッチ 300mm 以下の規定については，新設構造物を対象とした乾燥収縮等によるひび割れを防ぐためのものであることから考慮せず，有効高さの 1/2 としている。
- ・ 先端を 45 度にカットした後施工によるせん断補強の場合，先施工の設計耐力に対して最低でも 80%程度のせん断耐力が実験で得られている。

◆ 女川 2 号機における CCb 工法への反映事項の確認

- ・ 女川 2 号機において CCb により耐震補強を行った構造物は建設後 20 年以上経過しており乾燥収縮は終了していることから，せん断補強筋のピッチ 300mm 以下の規定は除外した。
- ・ 先施工のせん断補強に対する CCb 工法の有効係数は，建設技術審査証明報告書に記載される梁の交番載荷試験により妥当性が確認された有効係数としていることを確認した。

⑥ 論文 セン断補強筋の定着不良が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響

◆ 文献の要旨

せん断補強筋の定着不良が RC はりのせん断抵抗機構に及ぼす影響を確認することを目的として、せん断補強筋の定着フック及び端部付近の付着を除去したはりを作製し、せん断耐力の低下と破壊モードを実験的に検証している。また、材料非線形解析における定着不良部のモデル化について検討されている。

◆ 着目すべき事項

- ・ セン断補強筋の定着不良部から鉄筋径の 10 倍程度を鉄筋無効区間として要素内鉄筋比をゼロとすれば、二次元ひび割れ解析でせん断耐力を概略評価することが可能であることが示されている。

◆ 女川 2 号機における CCb 工法への反映事項の確認

- ・ 女川 2 号機における解析によるせん断補強効果の確認について（添付資料 2）において、CCb のモデル化に本解析手法を参考とし、実験結果と整合する鉄筋径の 5 倍を後施工せん断補強筋の無効区間とし検討を実施した。

⑦ 地下道における PHb(ポストヘッドバー)工法の採用と積雪寒冷地の施工について

◆ 文献の要旨

既設地下道を耐震補強する目的で採用した PHb 工法の実施内容及び積雪寒冷地での施工方法が報告されている。

◆ 着目すべき事項

- ・ 充てん材の温度と強度の関係を把握するための試験施工が実施されており、充てん材料が 0℃以下の履歴を受けた場合、強度発現が低下することが確認されている。

◆ 女川 2 号機における Ccb 工法への反映事項の確認

- ・ Ccb 工法においては充てん材料が 0℃以下とならないように、施工上の管理基準(5℃以上)を設けて適切な施工管理を実施した。

⑧ せん断補強鉄筋埋込工法（あと施工）による東京湾第二航路海底トンネルの側壁補強

◆ 文献の要旨

東京都港湾局が後施工せん断補強工法における補強効果確認のために行った室内せん断実験の概要，その実験結果の設計への反映，実施工への適用及びその施工結果についての考察が報告されている。

◆ 着目すべき事項

- ・ 施工上予想される不具合を設計上考慮し，せん断耐力に対して低減係数 0.75 を乗じている。

◆ 女川 2 号機における CCb 工法への反映事項の確認

- ・ CCb 工法は第三者機関による審査証明が行われており，その中で施工の確実性についても審査対象となっていることから，本研究事例の低減係数をそのまま設計に適用する必要はない。なお，4.6 にて施工精度の向上に向けた方策を記載している。

⑨ セラミック定着型せん断補強鉄筋（CCb 工法）による既設地下コンクリート構造物の耐震補強

第 57 回 電力土木講習会テキスト 平成 27 年 2 月
一般社団法人 電力土木技術協会

◆ 文献の要旨

CCb 工法の設計法および施工法の概要と、電力分野での実績を含む施行実績が紹介されている。

◆ 着目すべき事項

- ・ CCb 工法の施工実績は、下水道処理場のポンプ棟、分水槽、重力濃縮槽、汚泥処理槽、ポンプ室及び放流渠等が多い。
- ・ CCb 工法の定着体は、アンカーやインサートにも広く用いられている高い耐食性を有する高純度アルミナ系セラミックス製であるため、塩害や硫酸などの影響を受ける厳しい環境（海水に接する発電所の取・放水路や腐食環境にある下水道施設）においても、耐久性を確保できる。

◆ 女川 2 号機における CCb 工法への反映事項の確認

- ・ CCb 工法が様々な施設で施工実績があることを確認した。
- ・ 塩害や硫酸などの影響を受ける厳しい環境下においても CCb 工法が使用されていることを確認した。

後施工せん断補強筋に関する施工実績及び各研究事例を踏まえて、設計及び施工へ反映している事項を以下に示す。

- 硫酸等の影響を受ける腐食環境下である浄化センター（下水道処理施設）での実績もあり、女川2号機で採用する環境よりも厳しい環境下での施工実績を確認した。
- 後施工せん断補強筋の性能確認実験として、定着性能の確認、梁試験体の正負交番載荷によるせん断補強効果の確認を実施しており、CCb工法においても同様の確認を行っている。
- 標準フックのせん断補強筋（先施工）が負担できるせん断力に対する、後施工せん断補強筋が負担できるせん断力の割合である有効係数を用いて評価する手法が例示されており、CCb工法においても同様の評価手法であることを確認した。

4.8 女川2号機におけるCCb工法の保守性と設計上の制限の整理

女川2号機において、CCbにより耐震補強を行うにあたっての保守性と設計上の制限について整理する。

4.8.1 CCb工法の保守性

設計においてCCbが負担するせん断耐力を算出する際に乗じる有効係数 β_{aw} (CCbのせん断耐力の補強効果を示す有効係数)は、建設技術審査証明報告書において、表4-16のとおり試験結果に対して保守的に小さい値を設定しており、せん断耐力を安全側に評価している。(詳細は、4.8.4に示す。)

表4-16 有効係数 β_{aw} の保守性

| 試験ケース | 「セラミックキャップパー(CCb)」の仕様 | | 実験での最大せん断耐力(kN) | | 算定式によるせん断耐力(kN) $V_{cal}=V_{cal}^*V_s$ | | | 「セラミックキャップパー(CCb)」が負担するせん断耐力(kN) | | せん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} (V_{CCb}/V_s) | | | 有効率の設計値 β_{aw} |
|--------|-----------------------|----------------|------------------|------------------|---|------------------|----------------|----------------------------------|------------------|---|------|------|----------------------|
| | 定着体の組合せ | 先端位置 | V _{exp} | V _{exp} | V _{cal} | V _{cal} | V _s | V _{CCb} | V _{CCb} | せん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} (V_{CCb}/V_s) | | | |
| | | | | | | | | | | 正側 | 負側 | 平均 | |
| No.3-3 | 標準型 | 主鉄筋位置 | 563 | 499 | 542 | 253 | 289 | 310 | 246 | 0.77 | 0.85 | 0.86 | 0.89 |
| No.3-4 | 標準型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | 515 | 570 | 543 | 254 | 289 | 261 | 316 | 0.90 | 1.09 | 1.00 | 0.83 |
| No.3-5 | 標準型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | 531 | 509 | 543 | 254 | 289 | 277 | 255 | 0.96 | 0.88 | 0.92 | |
| No.3-6 | 標準型 | 配力鉄筋の表面より5mm手前 | 497 | 526 | 543 | 254 | 289 | 243 | 272 | 0.84 | 0.94 | 0.89 | 0.78 |
| No.4-1 | 両端先端型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | 532 | 520 | 525 | 235 | 290 | 297 | 285 | 1.02 | 0.98 | 1.00 | 0.82 |
| No.4-2 | 両端先端型 | 主鉄筋の表面より5mm手前 | 520 | 535 | 526 | 236 | 290 | 284 | 299 | 0.98 | 1.07 | 1.01 | 0.82 |
| No.4-3 | 両端先端型 | 配力鉄筋の表面より5mm手前 | 539 | 546 | 524 | 234 | 290 | 305 | 312 | 1.05 | 1.08 | 1.06 | 0.78 |
| No.4-4 | 両端後端型 | — | 667 | 566 | 525 | 235 | 290 | 426 | 333 | 1.47 | 1.15 | 1.31 | 1.00 |

※1 下線は正負交番載荷で最初にせん断破壊したことを示す
 ※2 斜体はせん断破壊をしていない場合、その載荷方向での最大荷重を示す

4.8.2 女川2号機においてCCbにより耐震補強を行うにあたっての保守性

設計においてCCbが負担するせん断耐力は、棒部材式により算出されるせん断耐力よりもディープビーム式により算出されるせん断耐力の方が大きくなるが、保守的に棒部材式により算出されるせん断耐力により部材の照査を行うことで、本来必要と考えられるせん断補強筋量以上のせん断補強筋を配置している。

4.8.3 女川2号機においてCCbにより耐震補強を行うにあたっての設計上の制限

建設技術審査証明報告書の梁試験では、主鉄筋ひずみが2363 μ (SD490)まで達した状態でのひび割れ状況においてもせん断耐力を保持していることが確認されているが、女川2号機ではSD345の鉄筋を使用していることから、面内せん断力と面外力の合力による鉄筋のひずみが1725 μ 以下(応力が降伏強度以下)、もしくは面内せん断力に対して、コンクリートのみで抵抗可能な部材を対象におおむね弾性範囲となる状況下でCCb工法を使用する。

建設技術審査証明報告書の梁試験では層間変形角が1%(1/100)を超えている範囲までせん断耐力が保持されていることが確認されているが、かぶりコンクリートの剥落によってCCbの定着機能を阻害するおそれがある。そのため、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態である圧縮縁コンクリートひずみ1.0%又は層間変形角1%(1/100)に、十分な余裕をもってCCb工法を使用する。なお、当使用制限は一般に上記に示す鉄筋のひず

みに対する制限により満足される。

CCb の施工において、施工精度の低下が生じる可能性は低いと完全に否定できるものではないこと等から、設計上の配慮として耐震評価上の裕度（せん断破壊に対する照査値を 0.8 程度に抑える）を持たせた設計を行う。

4.8.4 有効係数 β_{aw} の保守性

設計において CCb が負担するせん断耐力を算出する際に乗じる有効係数 β_{aw} の保守性を、設計式と実験結果及び数値解析実験結果の比較により確認する。保守性は、設計式から得られる有効係数 β_{aw} よりも実験値及び解析値から得られる。

β_{aw} の方が大きいことにより確認する。有効係数 β_{aw} は、せん断耐力評価式で算定するせん断補強筋が負担するせん断耐力 V_{sd} に対する CCb が負担するせん断耐力 V_{ccbd} の比として定義される。なお、実験値及び解析値の有効係数 β_{aw} は、設計式から得られるせん断補強筋が負担するせん断耐力 V_{sd} をベースに算出しており、実験及び解析の CCb が負担するせん断耐力 V_{ccbd} は、実験又は解析から得られたせん断耐力から設計式より算出したコンクリートが負担するせん断耐力 V_{cd} を減じて算出する。

検討ケースは、添付資料 2 に示す数値解析実験結果のうち、比較データ（実験結果と解析結果）が充実しているステップ①の材料非線形解析にて対象としている試験体 (No.3-3) とする。結果を表 4-17 に示す。

表 4-17 より、CCb が負担するせん断耐力 V_{ccbd} は、設計式、解析値、実験値の順に大きくなっており、設計式が保守的な評価になっていることが確認できる。よって、設計式、実験値及び解析値から得られる有効係数 β_{aw} の比較結果より、設計式から得られる β_{aw} よりも実験値及び解析値から得られる β_{aw} の方が大きく、設計式から得られる β_{aw} の保守性が確認された。

表 4-17 有効係数 β_{aw} の比較検討結果

| 試験ケース | せん断耐力 (kN) *1 | | | | | | 有効係数 β_{aw} *2 | | | |
|--------|----------------|------------|----------------------------|-------------|---------------|-------------|----------------------|-------|-------|-------|
| | 設計式 (せん断耐力評価式) | | | 実験値 | | | 解析値 | | | |
| | ① V_{ca1} | ② V_{cd} | ③ $V_{sd'}$ $V_{ccb,d}$ | ④ V_{exp} | ⑤ $V_{ccb,d}$ | ⑥ V_{ana} | ⑦ $V_{c,d}$ | ⑧ 設計式 | ⑨ 実験値 | ⑩ 解析値 |
| No.3-3 | 従来工法 | 542 | 253 | 289 | — | — | — | — | — | — |
| | CCb 工法 | 510 | — | 257 | 563 | 253 | 310 | 297 | 0.89 | 1.07 |
| | | | | | | | | | | 1.03 |

ここに、

V_{ca1} : 設計式 (せん断耐力評価式) から得られるせん断耐力

V_{cd} : コンクリートが負担するせん断耐力

$V_{sd}(V_{ccb,d})$: せん断補強筋 (CCb) が負担するせん断耐力

V_{exp} : 実験から得られるせん断耐力

V_{ana} : 解析から得られるせん断耐力

$\beta_{aw}(V_{ccb,d})$: せん断補強筋 (CCb) のせん断耐力の補強効果を示す有効係数 $\beta_{aw} = (1 - (1 - V_{exp} / V_{ca1}) / 2 S_{r,b})$

注記*1 : 各せん断耐力の算出について

- ①・②・③ : せん断耐力評価式 (棒部材式) より算出
- ④ : 実験から得られたせん断耐力
- ⑤ : 「実験から得られたせん断耐力」から「設計式により算出したコンクリートが負担するせん断耐力」を減じて算出 (⑤=④-②)
- ⑥ : 解析から得られたせん断耐力
- ⑦ : 「解析から得られたせん断耐力」から「設計式により算出したコンクリートが負担するせん断耐力」を減じて算出 (⑦=⑥-②)

注記*2 : 有効係数 β_{aw} の算出について

- ⑧ : 設計式より得られる有効係数 $(1 - (1 - V_{exp} / 2 S_{r,b}))$, I_y : CCb の定着長 (5D, D : 鉄筋径), $S_{r,b}$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔
- ⑨・⑩ : CCb を通常のせん断補強筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効係数
- ⑨ : 「実験から得られた CCb が負担するせん断耐力」を「設計式から得られる通常のせん断補強筋が負担するせん断耐力」で除して算出 (⑨=⑤($V_{ccb,d}$)/③(V_{sd}))
- ⑩ : 「解析から得られた CCb が負担するせん断耐力」を「設計式から得られる通常のせん断補強筋が負担するせん断耐力」で除して算出 (⑩=⑦($V_{ccb,d}$)/③(V_{sd}))

4.8.5 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

4.8.1～4.8.4 に示す，女川 2 号機において Ccb により耐震補強を行うにあたっての保守性及び設計上の制限を考慮した設計検討フローを図 4-11 に示す。

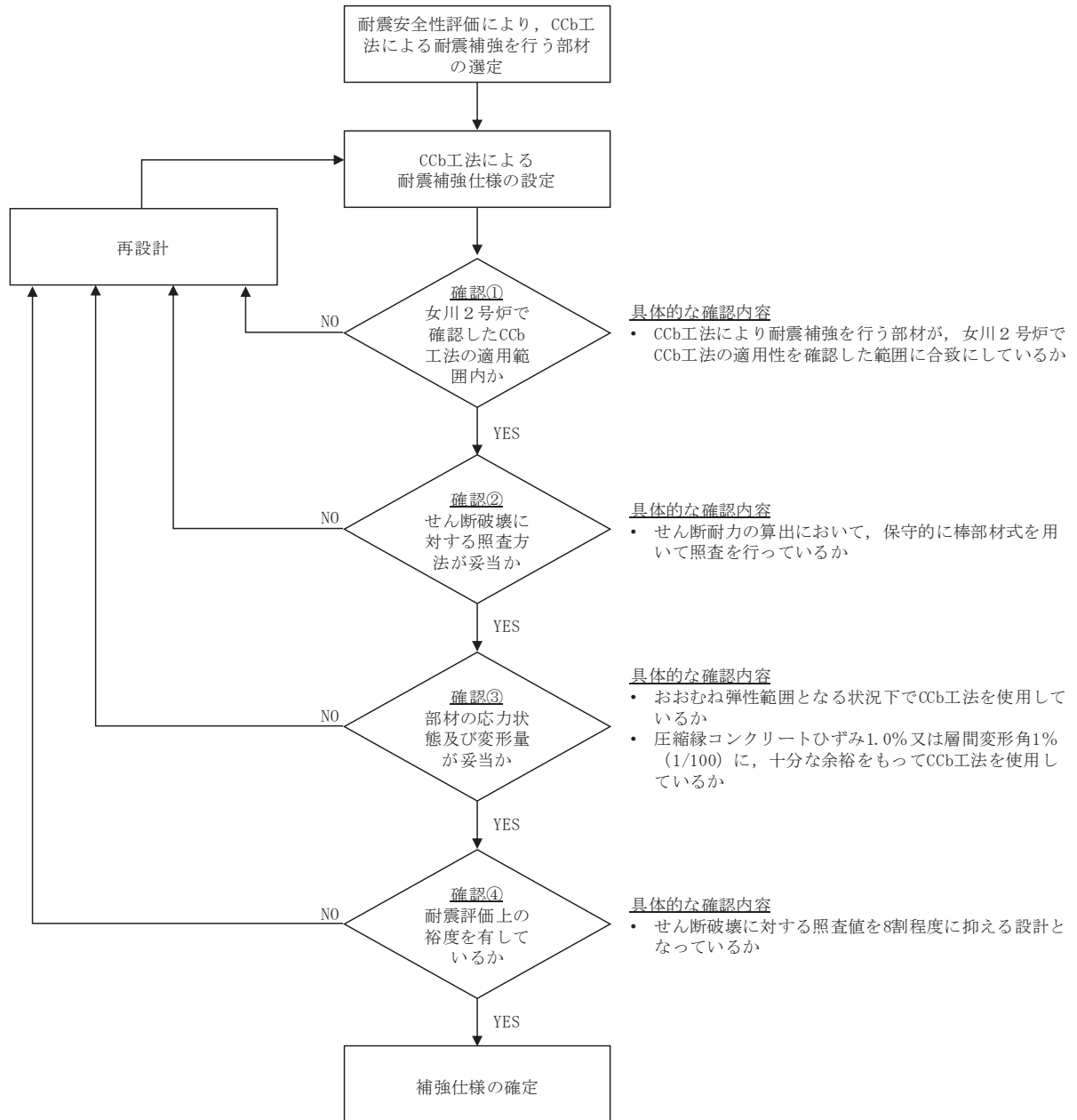


図 4-11 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

4.9 Ccb の適用性確認結果

4.2 で設定した取水路（漸拡部）の補強仕様について、4.1 に従い女川 2 号機屋外重要土木構造物等への Ccb 工法の適用性を検討した結果、建設技術審査証明報告書に記載のとおり、せん断補強効果が期待できることを確認した（図 4-12 参照）。

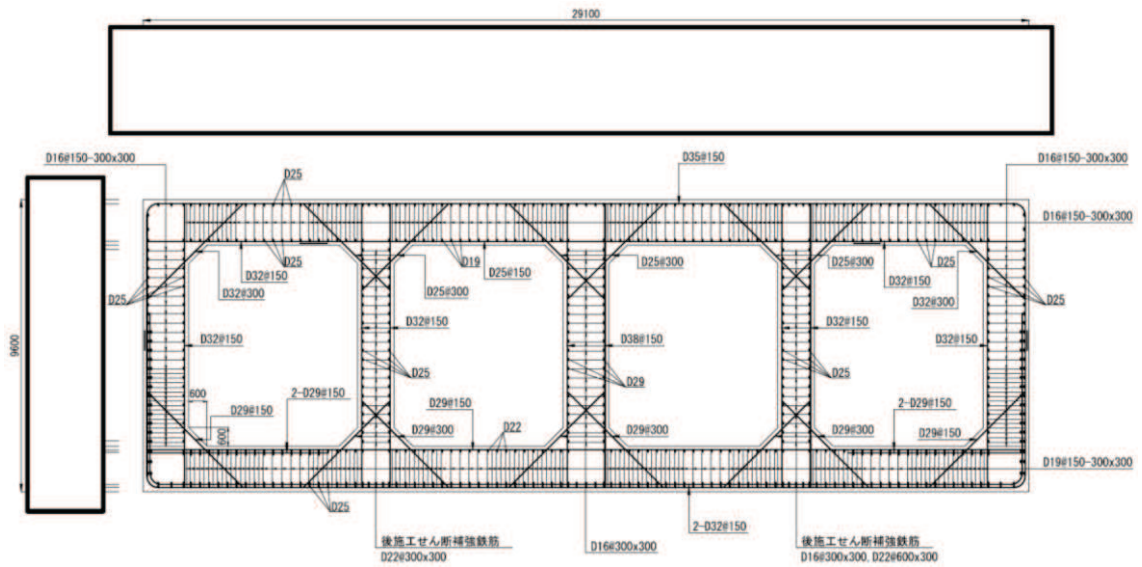


図 4-12 取水路（漸拡部）の補強仕様

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

5. 女川2号機におけるCCb工法の適用性確認のまとめ

女川2号機の取水路（漸拡部）、原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）、軽油タンク室、復水貯蔵タンク基礎、取水口、取水路（標準部）、海水ポンプ室、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）及び第3号機海水ポンプ室は、CCb工法による耐震補強の対象となっており、その適用性について以下のとおり確認した。

- ・ 建設技術審査証明報告書の実験を上回る部材厚においても、せん断ひび割れ抑制効果を確認できており、CCb工法が適用できることを確認した。
建設技術審査証明報告書の実験と実施工部材では部材諸元及び載荷方法（設計荷重）等が異なるが、女川2号機でCCbにより耐震補強を行った構造物の部材諸元においても、せん断ひび割れ抑制効果を確認できており、CCb工法が適用できることを確認した。
- ・ CCbにより耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れ（曲げひび割れ、面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びディープビームに生じる45度を超える高角度の斜めひび割れ）が、CCbの定着体部やその周囲に生じてても定着機能が保持され、所要のせん断補強効果が発揮できていることを確認した。
- ・ 女川2号機でCCbにより耐震補強を行った構造物にCCbのせん断補強効果に影響を与えるひび割れはなく、圧縮強度においても設計基準強度以上であったことから、既設コンクリートの状態がCCbのせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認した。
- ・ 建設技術審査証明報告書に記載の梁試験体ではディープビームを対象とした試験を実施していないが、ディープビームを対象とした模型実験を実施し、ディープビーム的な破壊となる部材に対しても、CCb工法が適用できることを確認した。
- ・ 女川2号機でCCbにより耐震補強を行った構造物には、面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材があるが、数値解析を実施し、当該部材に対してもCCb工法が適用できることを確認した。
- ・ 女川2号機でCCbによる耐震補強の対象となる構造物には、既設部材へCCbによる耐震補強を行った後に増厚補強を行う部材があるが、当該部材に対してもCCb工法が適用できることを確認した。
- ・ 建設技術審査証明報告書の実験にて確認できている範囲を踏まえ、女川2号機にてCCb工法を適用するにあたっての保守性を設定すると共に、設計上の制限を設定し適用することとした。

面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性の検討

1. はじめに

女川2号機においてCCbによりせん断補強を行った部材には、面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材があることから、荷重が同時に作用する場合でもCCbのせん断補強効果が損なわれないことを確認する。三次元ソリッド要素で面部材をモデル化し、面外荷重として等分布荷重を作用させた場合のCCbの状態が、更に面内せん断変形を作用させた時においても変化が生じず、面内荷重はCCbには影響のないことを数値解析により確認した。

2. 面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性

面内荷重と面外荷重が作用する部材へのCCb工法の適用性については、「設計の考え方」及び「ひび割れの影響」の観点に着目し適用性を確認する。

2.1 面内荷重及び面外荷重に対する設計の考え方

女川2号機においてCCbを適用する構造物のうち面内荷重と面外荷重を同時に受ける部材の設計に当たっては、面内荷重は主筋及びコンクリートで負担し、面外荷重は主筋、せん断補強筋及びコンクリートで負担する設計としている。そのため、部材に面内荷重と面外荷重が同時に作用してもCCbは面内荷重を負担させない設計としていることから、CCbへの影響はなく負担する荷重の観点からは適用性に問題はない（図6-1、図6-2及び表6-1参照）。

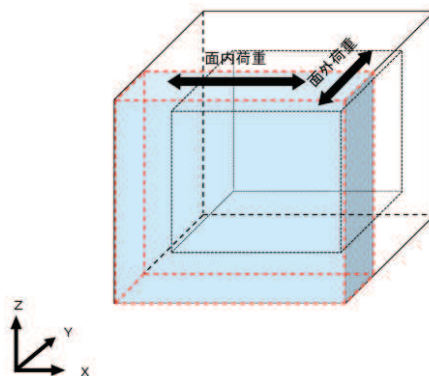


図6-1 三次元モデルへ作用する荷重の概念図

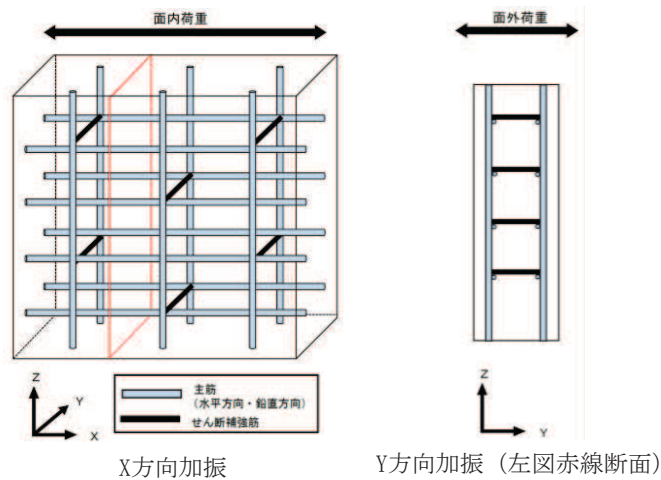


図 6-2 X 方向・Y 方向の壁部材の概要配筋状況

表 6-1 面内荷重・面外荷重に対する設計の考え方

| | 面内荷重 (X方向加振) | 面外荷重 (Y方向加振) |
|--------|-----------------|-----------------|
| 主筋* | ○ | ○ |
| せん断補強筋 | × | ○ |

○：荷重を負担する

×：荷重を負担しない

注記*：主筋は降伏ひずみ以下の範囲で使用する。

2.2 面内荷重により発生するひび割れの影響

面内荷重が作用することにより、部材を貫通するひび割れ（面内せん断力によるひび割れ）が発生する可能性があるが、女川 2 号機においては Ccb を採用する面部材については、面内せん断ひずみを $2,000\mu$ 以下とすることや、主筋のひずみが降伏ひずみ以下で用いることなどの使用制限を設けることとしており、ひび割れの発生が限定的な範囲で発生することとしている。

なお、面内せん断力によるひび割れにより、Ccb の定着性能に影響を与える可能性があるが、添付資料 3 に示すとおり建設技術審査証明報告書の梁試験より、同等のひび割れ状態においてもせん断補強効果を確認していることから、Ccb 工法の適用性に問題はない。

3. 面内荷重と面外荷重が作用する部材への Ccb 工法の適用性に関する数値解析による検討

面内荷重と面外荷重が作用する部材への Ccb 工法の適用性は、2.1 及び 2.2 より Ccb への悪影響はなく問題ないと考えられるが、面内荷重と面外荷重が作用する面部材を対象とした数値解析（三次元静的材料非線形解析（解析コード：COM3））により、Ccb への影響を確認する。

4. 検討概要

検討対象とする面部材は、箱形構造物において、面外荷重として地震時土圧が作用する側壁のうち、CCbのみ（先施工せん断補強筋がない）でせん断補強を行う軽油タンク室の側壁とした。

軽油タンク室の平面図及び断面図（検討対象部材）を図6-3に、モデル概念図を図6-4に示す。対象とする面部材は、幅3m、高さ4.5m、厚さ1.2mであり、D22のCCbが施工されている壁部材である。

本検討は、等分布の面外荷重が作用している面部材に対し、面内荷重を作用させた場合に、CCbに生じる軸ひずみや、面内せん断ひび割れの影響を確認することにより行う。

また、先施工のケースについても同様の数値解析を実施し、CCb工法との比較を行う。

5. 解析モデル及び荷重条件

5.1 解析モデル

解析対象部材の断面図（配筋モデル概要図）を図 6-5 に、解析モデル図を図 6-6 に示す。厚さ方向（X 方向）のモデル化は、主鉄筋位置や Ccb の鉄筋無効区間のモデル化を考慮して要素分割を行った。具体的には、Ccb 後端側（内面側）の主鉄筋の芯かぶりは 150 mm であり、芯かぶりの 2 倍の 300 mm を主鉄筋が配置される要素高さとした。Ccb 先端側（外面側）の主鉄筋は、1 段目が芯かぶり 150 mm、2 段目が芯かぶり 250 mm の 2 段配筋となっており、図心位置かぶり $[200 \text{ mm} = (150 \text{ mm} + 250 \text{ mm}) / 2]$ の 2 倍の 400 mm を主鉄筋が配置される要素高さとした。このうち、Ccb 先端側の無効区間は、主鉄筋かぶり（200 mm）と Ccb 必要定着長（ $5D = 5 \times 22 \text{ mm} = 110 \text{ mm}$ ）の合計（310 mm）として設定した。

以上のとおり、厚さ方向（X 方向）に対しては、外面側から内面側に向かい、「①主鉄筋配置区間 + Ccb 無効区間」、「②主鉄筋配置区間 + Ccb 有効区間」、「③主鉄筋なし + Ccb 有効区間」、「④主鉄筋配置区間 + Ccb 有効区間」の合計 4 分割とした。

幅方向（Y 方向）のモデル化は、面内荷重を載荷させる際に部材全体に面内せん断変形が作用し、均一に斜め 45 度のひび割れを発生させることを目的に部材を幅方向に延長している。幅方向のモデル長として、軽油タンク室の水平方向の最大支間長である 14.5m を採用した。

先施工のせん断補強鉄筋に対するモデル化は、厚さ方向に対して、せん断補強筋の設置区間全体を有効としてモデル化する以外は、Ccb と同様である。

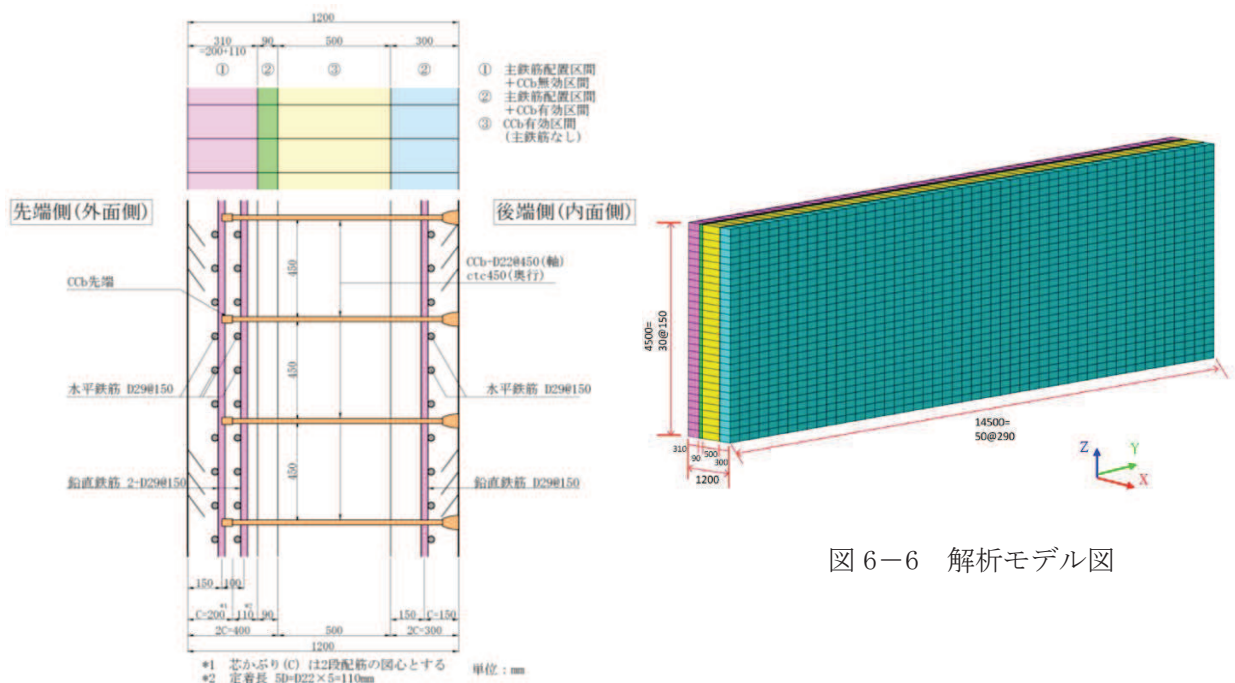


図 6-6 解析モデル図

図 6-5 配筋モデル概要図

5.2 荷重条件

面外荷重と面内荷重が部材に同時に作用した状況を想定するため、まず、面外荷重のみを作用させた状態を再現し (STEP1)、次に面外荷重載荷の最終ステップの応力及びひずみの状態を引継ぎ、面内荷重を漸増載荷する (STEP2)。面外荷重及び面内荷重の作用方法並びに境界条件を示した概念図を図 6-7 に示す。

面外荷重作用時は、境界条件を底面固定、その他をフリーとした片持ち梁としてモデル化し、外面側から等分布荷重を作用させる。面外荷重は部材が破壊する前かつ面外荷重の効果が表れるように、ピーク時相当荷重*の 0.8 程度に相当する荷重とした。

面内荷重 (面内せん断力) 作用時は、境界条件を 1 点ヒンジ、短辺を水平ローラー支持及び長辺を鉛直ローラー支持とし、解析モデル 4 辺に強制変位を与え、モデル全体に一樣なせん断変形を作用させた。作用させる変形は、女川の CCb 補強部材で見込まれている設計応答値 (500 μ 程度) に十分な余裕を見込んだ値として 750 μ まで作用させた。

注記*：荷重漸増解析 (荷重制御) による P- δ 関係から、変位が急増するときの荷重

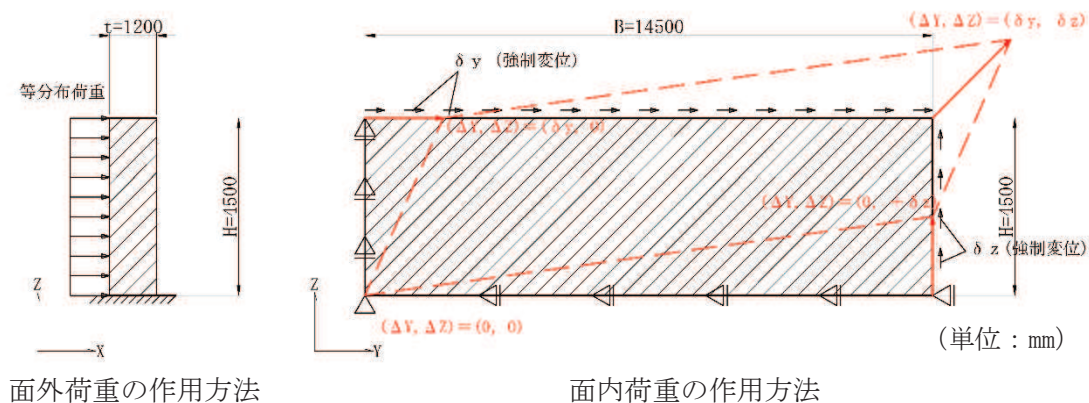


図 6-7 面外荷重及び面内荷重の作用概念図

6. 解析結果

各荷重状態におけるせん断補強鉄筋の応答を確認するため、せん断補強鉄筋の軸方向のひずみ (ϵ_x) を確認する。

せん断補強鉄筋の軸方向のひずみは、面外荷重に対するせん断補強としての効果が顕著に表れる位置に着目し整理する。着目位置として、モデル高さ方向 (Z 方向) は面外せん断力の照査位置である解析モデル下端から部材厚の 1/2 (600mm) の位置とし、厚さ方向 (X 方向) については、面外荷重による斜めひび割れを生じる断面中央位置とした。なお、幅方向 (Y 方向) は解析モデル中央とする。着目要素を図 6-8 に示す。

各解析ステップにおけるせん断補強鉄筋の軸方向 (X 方向) のひずみの進展状況を図 6-9 に示す。

面外荷重作用時の初期段階では、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみに変化が見られないが、面外

荷重の増加に伴い斜めひび割れが生じ、斜めひび割れ発生後はコンクリートの引張軟化開始を起点に面外荷重の増加とともに単調増加しており、せん断補強鉄筋が面外荷重に対してせん断補強効果を発揮していることが確認できる。

面外荷重の載荷完了時点（面外荷重最終ステップ）では、ひずみレベルは 570μ 程度で、降伏ひずみ (1725μ (SD345)) 以下であり、せん断補強鉄筋の降伏には至っていない状態である。

面外荷重載荷による、斜めひび割れ発生時、コンクリートの引張軟化開始時及び載荷完了時点（面外荷重最終ステップ）でのひび割れ図を図 6-10 に示す。図 6-10 のとおり、面外荷重が作用する外面側では曲げひび割れが生じ、断面中央位置では斜めひび割れが生じており、面外荷重の増加と共に、ひび割れの進展が確認できる。なお、斜めひび割れ発生時及びコンクリートの引張軟化開始時は、図 6-11 に示すコンクリートの応力-ひずみ関係の設計引張強度（図中の (a)）及び引張軟化開始点（図中の (b)）に該当する。

その後、面外荷重載荷の最終ステップの応力及びひずみの状態を引継ぎ、面内荷重を漸増載荷させる。図 6-9 に示すように、面内荷重を最終ステップとなる面内せん断ひずみ 750μ 程度まで作用させても、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみは、多少の減少傾向が確認されるものの、ほぼ一定となり、面内荷重の増加は、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみに影響を与えず、せん断補強鉄筋が面内荷重を負担しないことを確認した。なお、面内荷重載荷時に確認されたせん断補強筋の軸方向ひずみの減少は、面外荷重に加えて面内荷重を載荷させることにより、主ひずみの方向が変化し、面外せん断ひび割れが閉じる方向に面内荷重が作用したためである。面内荷重作用時における、面内せん断ひび割れ発生に相当するひずみ (130μ 程度) 及び面内荷重最終ステップ (750μ) の面内せん断ひずみ分布を図 6-12 に示す。せん断ひずみに一部濃淡はあるが、おおむね部材全体に一樣に面内荷重が作用していることが確認できる。

先施工の場合にも、CCb 工法とほぼ同じ結果であることを確認している。

また、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみの抽出位置の差異の影響として、図 6-13 に示すように、幅方向 (Y 方向) を 4 分割する位置、同様に高さ方向 (Z 方向) を 4 分割する位置の軸方向ひずみを抽出し確認を行った。図 6-13 に示すとおり、モデル上部の抽出位置においては作用する面外荷重が小さいことから軸方向ひずみの増加は確認されず、その後、面内荷重を載荷させても、軸方向ひずみの増加は見られず、せん断補強鉄筋が面内荷重を負担しないことを確認した。モデル下部の幅方向 (Y 方向) の差異で抽出した位置においては、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみは、ほぼ一定となり、面内荷重の増加は、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみに影響を与えず、せん断補強鉄筋が面内荷重を負担しないことを確認した。

以上より、面外荷重と面内荷重が作用する部材については、面内せん断ひずみが 750μ までの範囲内において CCb 工法を適用できることを確認した。

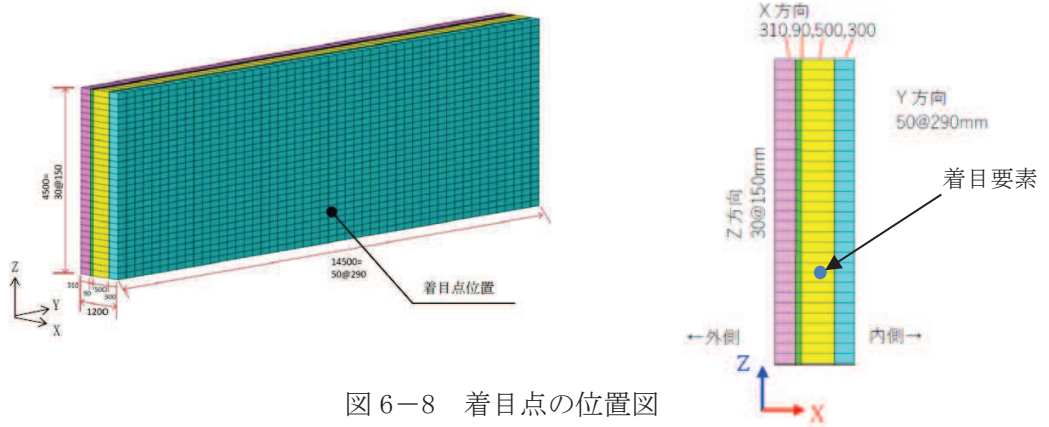
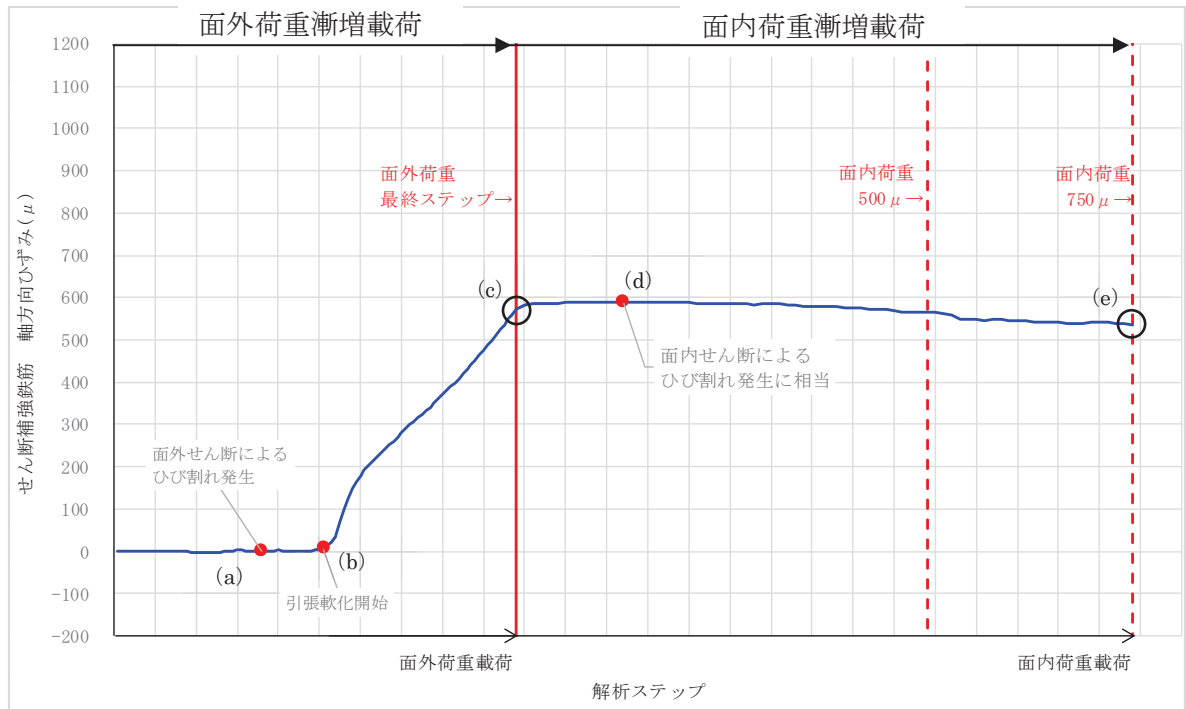


図 6-8 着目点の位置図



CCb 工法

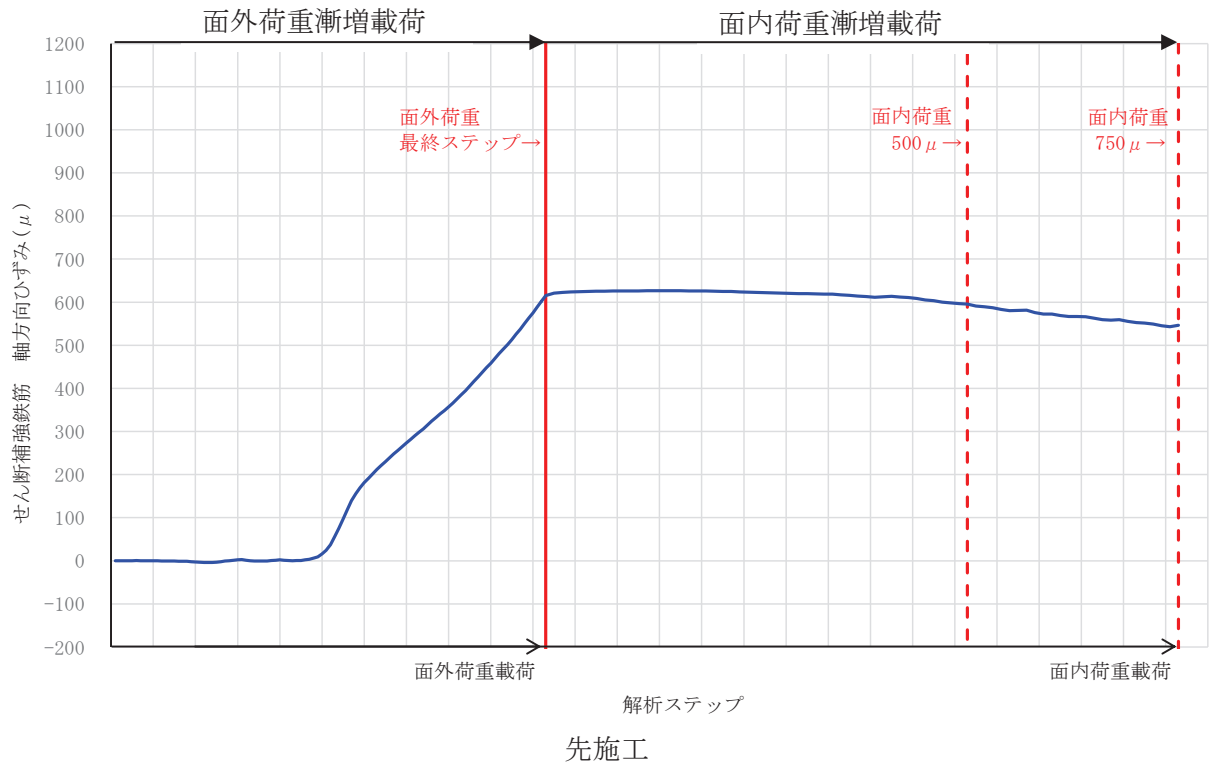
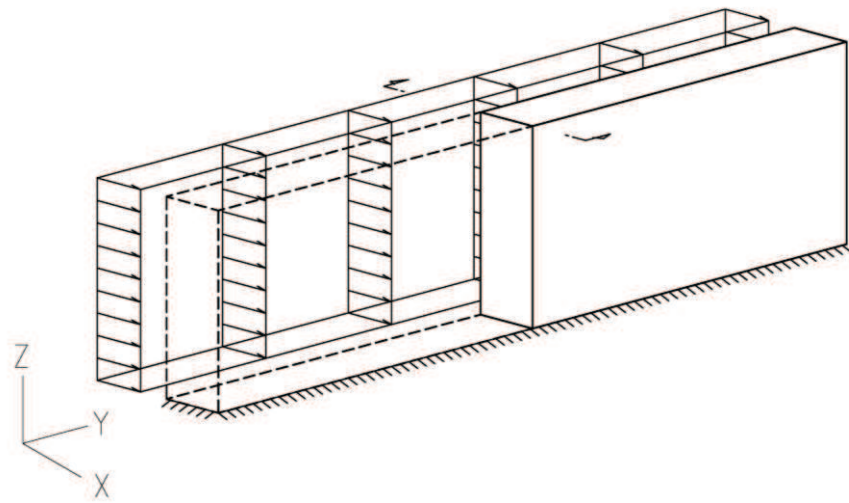
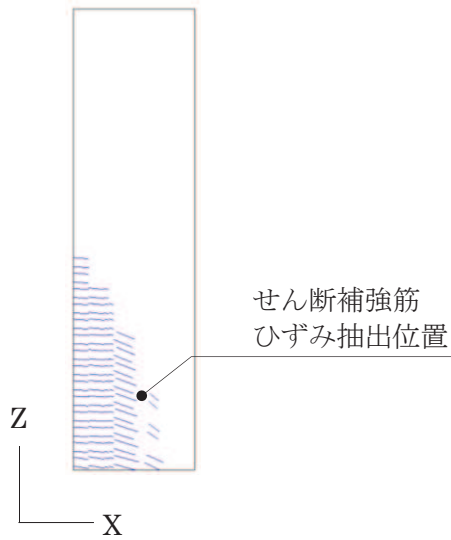


図 6-9 せん断補強鉄筋の軸方向ひずみ

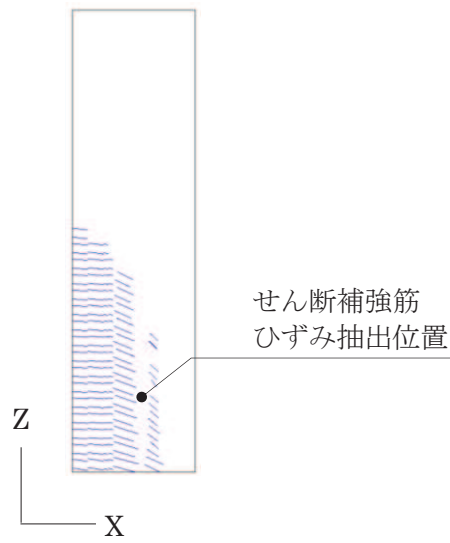


ひび割れ状況の確認断面位置

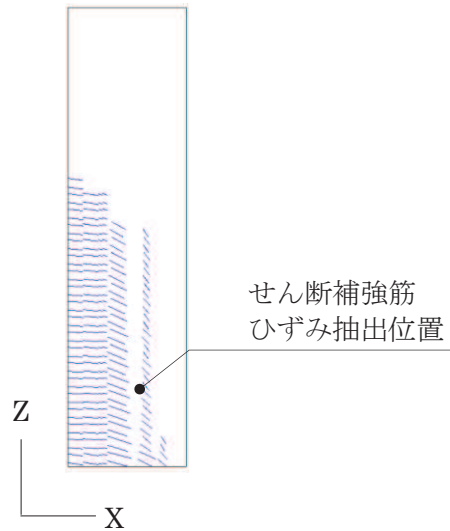


(a) ひび割れ状況 (面外せん断によるひび割れ発生時)

図 6-10 (1) 確認断面位置とひび割れ状況



(b) ひび割れ状況（コンクリートの引張軟化開始時）



(c) ひび割れ状況（面外荷重最終ステップ時）

図 6-10 (2) 確認断面位置とひび割れ状況

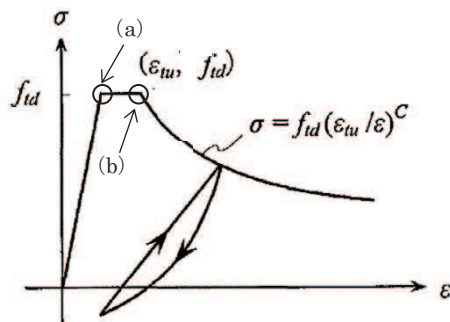
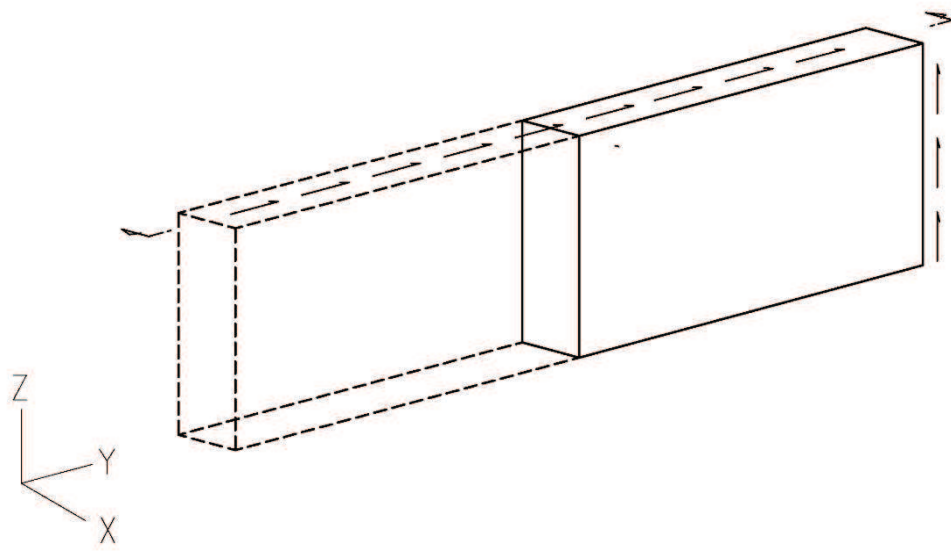
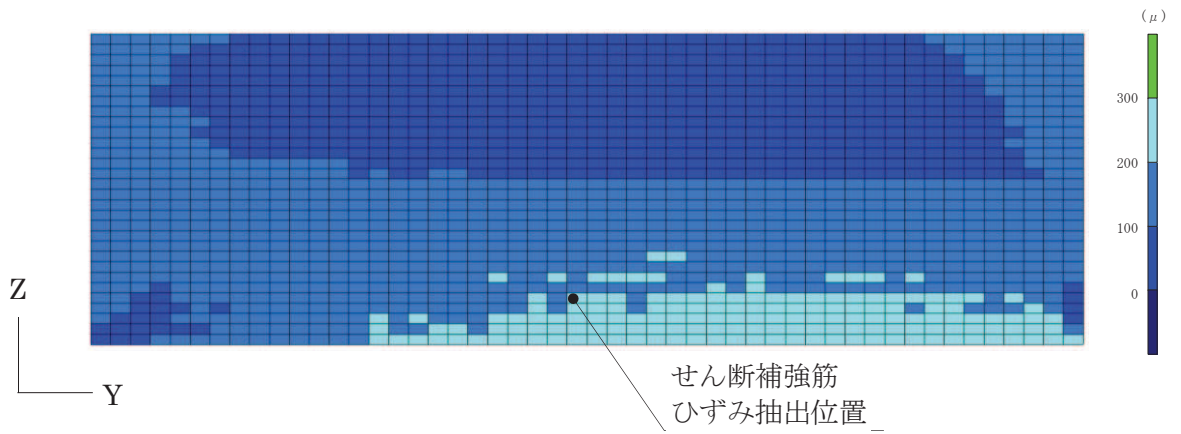


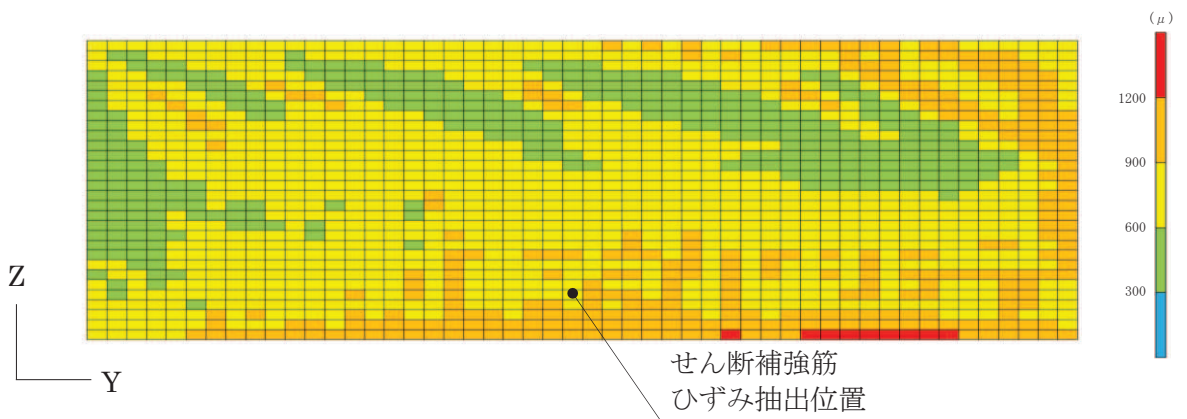
図 6-11 引張応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した応力-ひずみ関係
（コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会 2017 年制定）に一部加筆）



面内せん断ひずみの確認断面位置

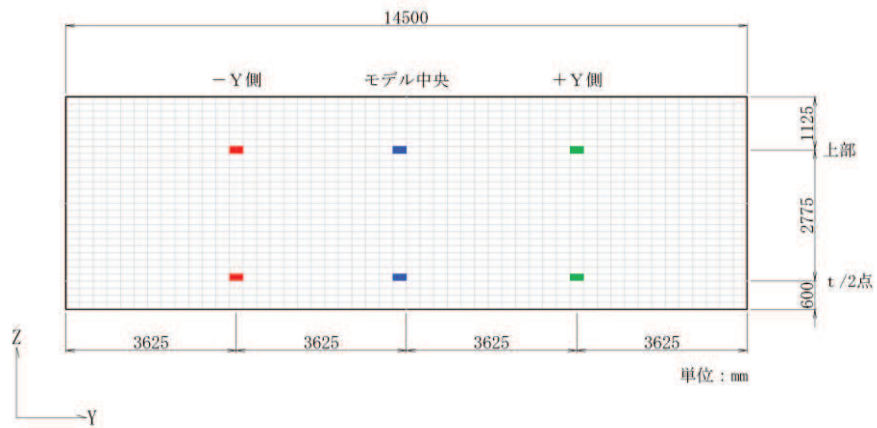


(d) 面内せん断ひずみ分布 (面内せん断によるひび割れ発生に相当)

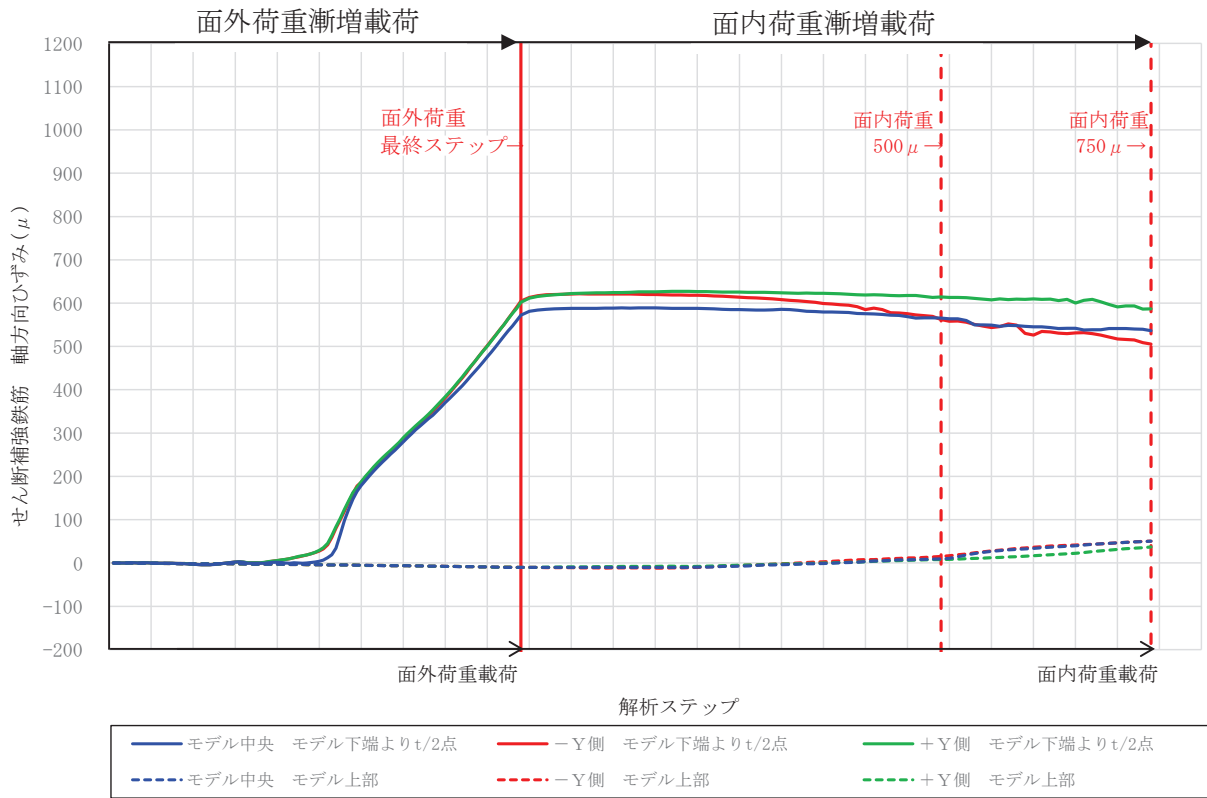


(e) 面内せん断ひずみ分布 (面内荷重最終ステップ)

図 6-12 確認断面位置と面内せん断ひずみ分布



軸方向ひずみの抽出位置



せん断補強鉄筋の軸方向ひずみ (CCb 工法)

図 6-13 せん断補強鉄筋の軸方向ひずみの抽出位置による差異の確認 (CCb 工法)

7. 面内荷重載荷後のせん断耐力への影響確認

面内荷重を載荷させた後に面外荷重を漸増載荷させることによる、CCb のせん断補強効果（せん断耐力）への影響について確認を行う。確認は、面外荷重を漸増載荷させたケース（ケース1）と面内荷重載荷後に面外荷重を載荷するケース（ケース2）のせん断耐力の比較により行う。

面内荷重載荷後に面外荷重を載荷するケース（ケース2）の解析は、「5. 解析モデル及び荷重条件」及び「6. 解析結果」に示す条件と同様とし、面内せん断ひずみが 750μ となるまで面内荷重を載荷し、その後、面内荷重の最終ステップの応力及びひずみの状態を引継ぎ、面外荷重を漸増載荷させ、せん断耐力の確認を行った。

せん断耐力の算定結果を表7-1に、せん断力-変位関係を図7-1に示す。せん断耐力は、せん断力-変位関係において変位が急増した際の直前のせん断力としている。

表7-1に示すように、ケース1及びケース2でせん断耐力は同等であり、面内荷重を載荷させた後に面外荷重を載荷させてもCCbのせん断補強効果に影響を与えないことを確認した。

表7-1 せん断耐力の算定結果 (CCb)

| 解析ケース | | せん断耐力 (kN/m) |
|-------|--------------------------------|--------------|
| ケース1 | 面外荷重漸増載荷 | 2084 |
| ケース2 | 面内荷重載荷 (750μ) → 面外荷重漸増載荷 | 2306 |

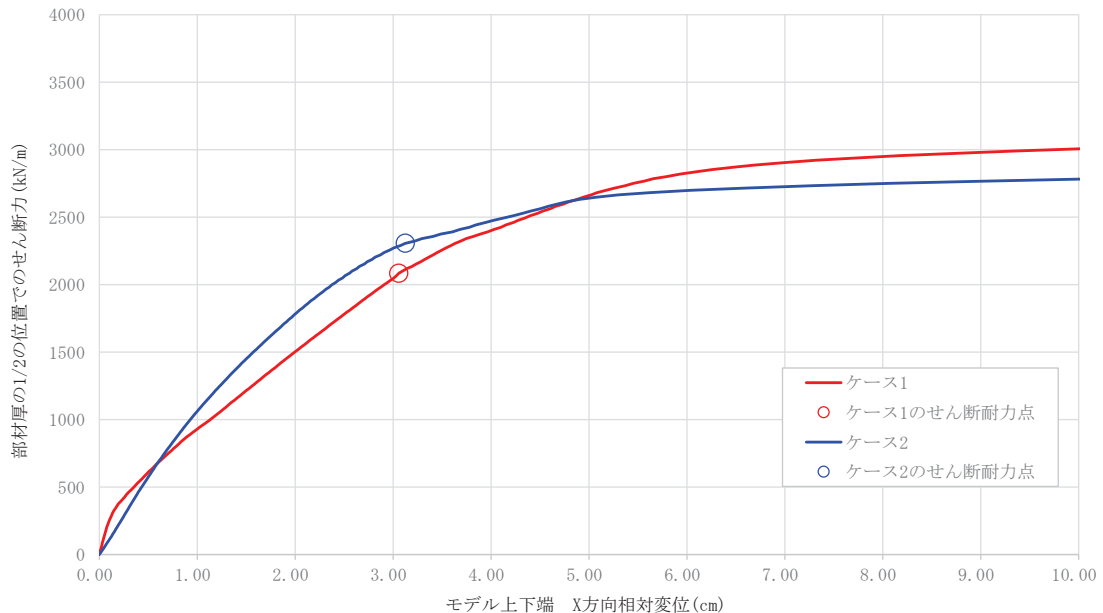


図7-1 せん断耐力の算定 (せん断力-変位関係 (CCb))

8. 面内荷重及び面外荷重が同時に作用する部材への Ccb 工法の適用性

三次元静的材料非線形解析により、面外荷重と面内荷重が同時に作用する部材への Ccb 工法の適用性の確認として、面外荷重のみを作用させた状態を再現し、次に面外荷重載荷の最終ステップの応力及びひずみの状態を引継ぎ、面内荷重を漸増載荷させ Ccb に生じる軸方向ひずみ等を確認した。その結果、面外荷重載荷後に面内荷重を面内せん断ひずみ 750μ 程度まで作用させても、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみは、ほぼ一定となり、面内荷重の増加は、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみに影響を与えず、せん断補強鉄筋が面内荷重を負担しないこと及び面内荷重が作用しても Ccb により十分なせん断補強効果が得られることを確認した。

また、面内荷重載荷後に面外荷重を漸増載荷させることによる Ccb へのせん断補強効果の確認として、面内荷重を作用させず面外荷重を漸増載荷させたケースとの比較を行った。その結果、せん断耐力が同等であり、面内せん断ひずみが 750μ となる面内荷重を載荷させた後に面外荷重を載荷させても、Ccb のせん断補強効果に影響を与えないことを確認した。

Ccb 工法と先施工のせん断補強鉄筋のひずみ挙動は、Ccb 工法と先施工で同様であり、面外荷重と面内荷重が同時に作用する部材への Ccb 工法の適用性が確認できた。

以上より、面外荷重と面内荷重が作用する部材については、面内せん断ひずみが 750μ までの範囲内において Ccb 工法を使用する。

なお、Ccb を適用した部材のせん断破壊に対する評価では、棒部材式で算出するせん断耐力に対する照査値を 0.8 程度に抑える設計としていることから、今回の数値解析で作用させた面外荷重は、実構造物に作用する荷重と比較して保守的な荷重設定となっている。

屋外重要土木構造物等の Ccb 工法適用条件の確認結果

1. はじめに

CCb 工法の適用にあたっては、確実に機能が発揮されるよう以下の 3 つの条件を満足することとしている。

- ・ 棒部材式によるせん断耐力による照査で、照査値が 0.8 程度であること
- ・ 部材はおおむね弾性範囲であること
- ・ 面内変形する可能性のある部材は面内せん断ひずみが 750μ 未満であること

本資料は、基準地震動 S_s に対する照査結果をまとめ、CCb 工法による耐震補強対象の構造物が上記 3 つの条件を満足していることを確認するものである。

2. Ccb 工法による耐震補強対象の構造物とその部位

以下に、「参考資料 6 後施工せん断補強工法の適用性」の「1 概要」に示している Ccb 工法による耐震補強対象の構造物とその部位を、図 1-1～図 1-9 に再掲する。

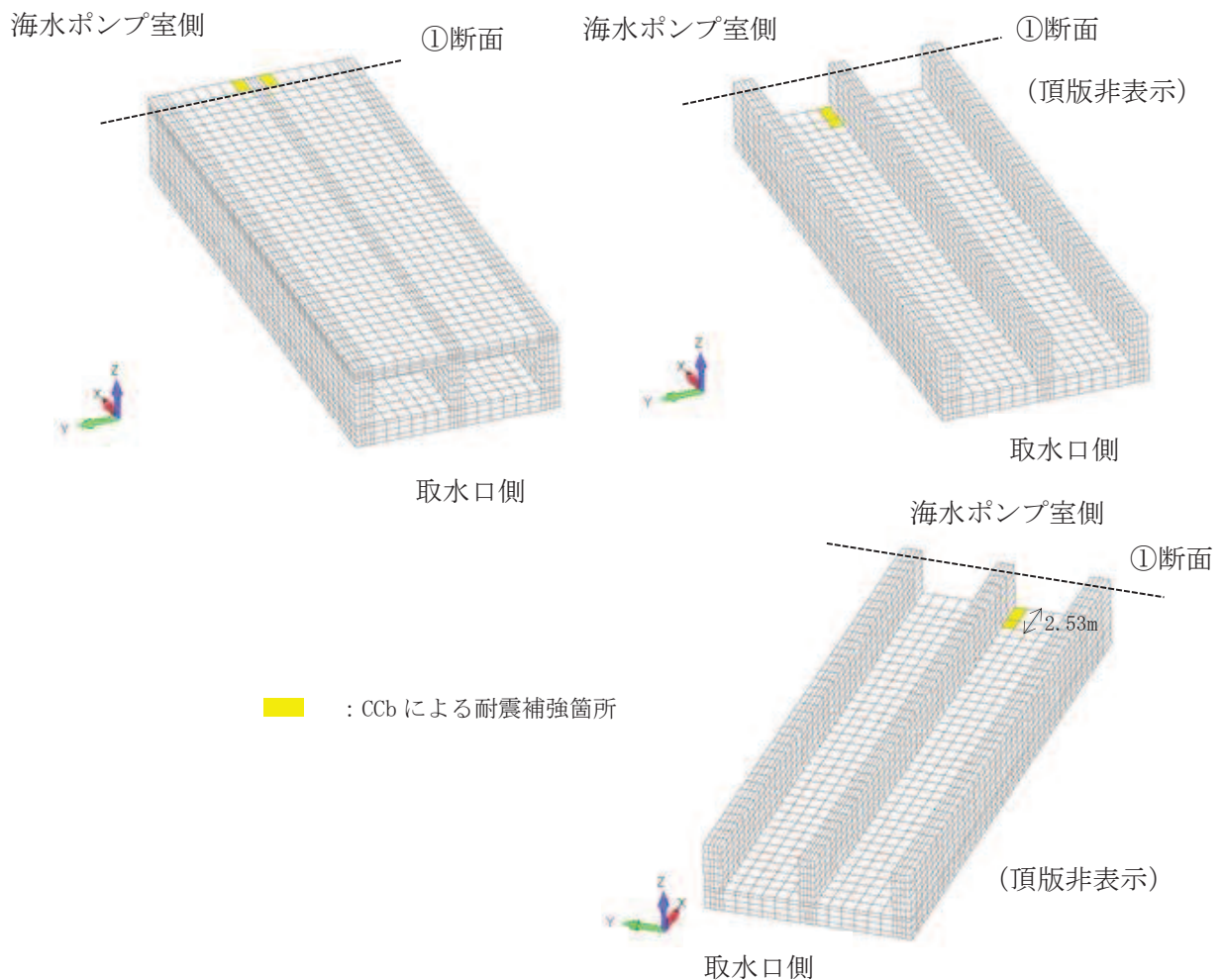


図 1-1(1) Ccb による耐震補強箇所 (直線部)

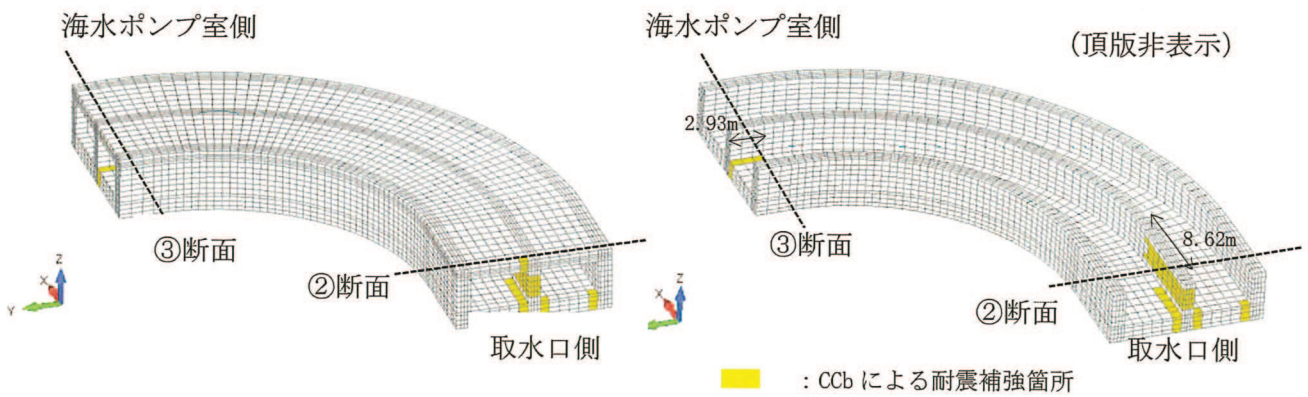


図 1-1(2) Ccbによる耐震補強箇所（曲線部）

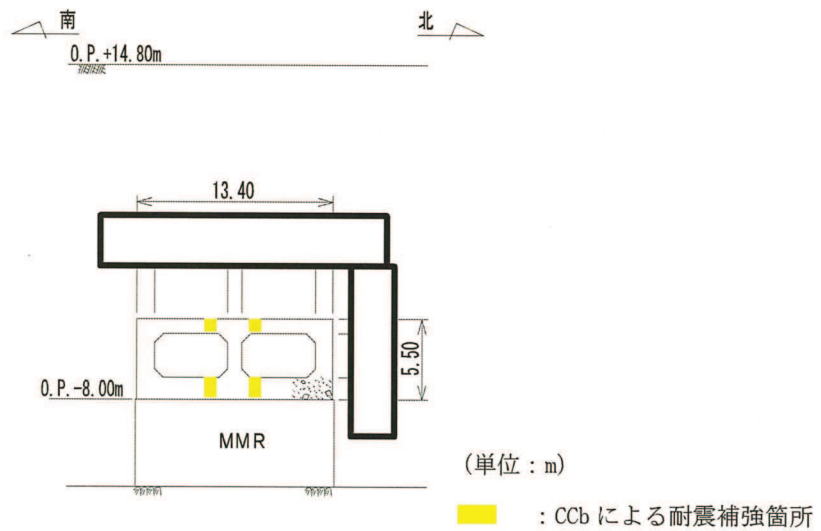


図 1-1(3) Ccbによる耐震補強箇所（①断面，直線部）

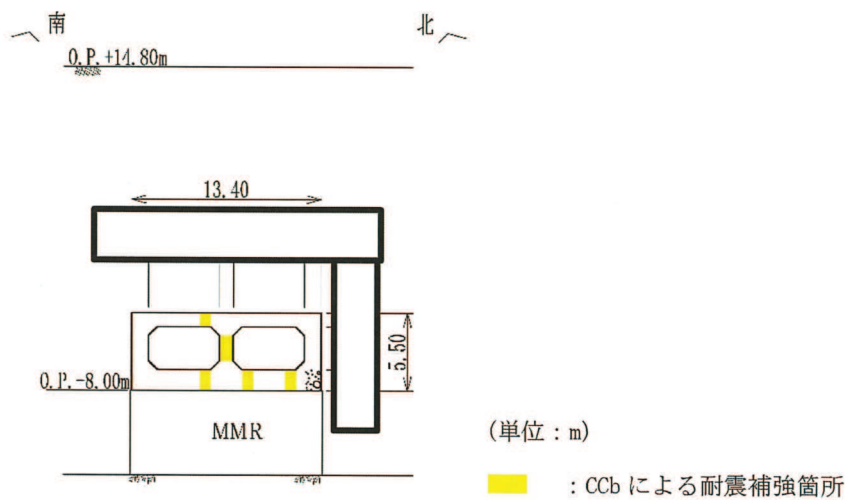


図 1-1(4) Ccbによる耐震補強箇所（②断面，曲線部；取水口側）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

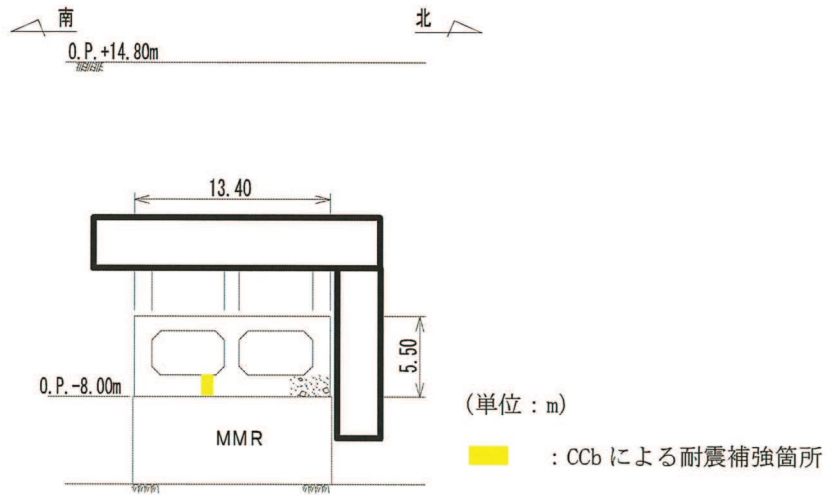


図 1-1(5) Ccbによる耐震補強箇所 (③断面, 曲線部; 海水ポンプ室側)

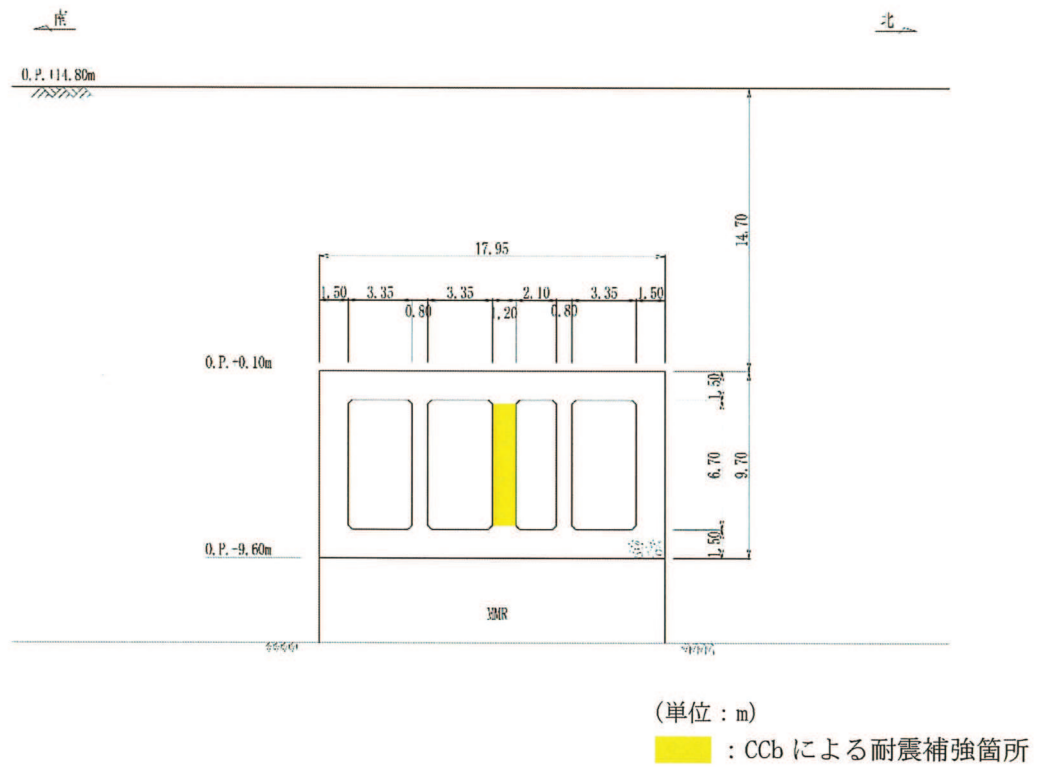
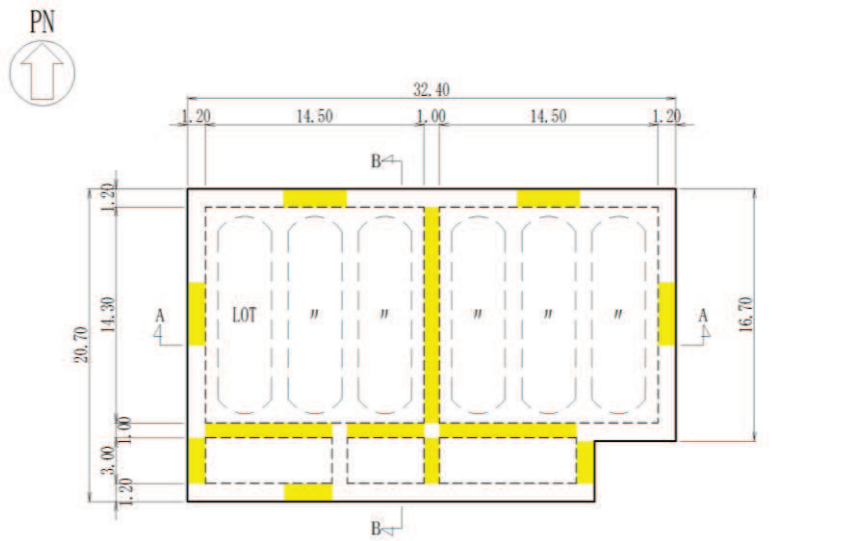
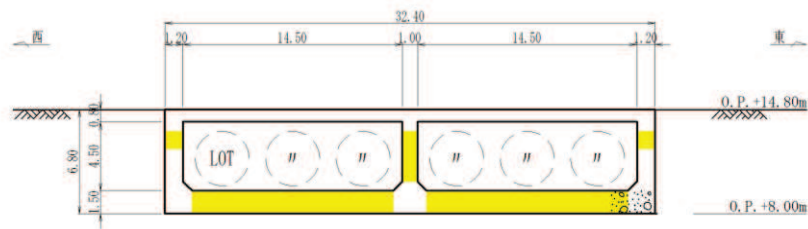


図 1-2 Ccbによる耐震補強対象の構造物
(原子炉機器冷却海水配管ダクト (水平部))

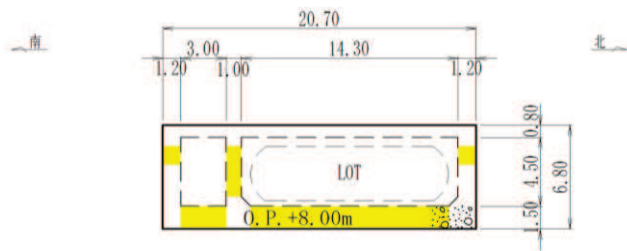
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



平面図



A-A 断面



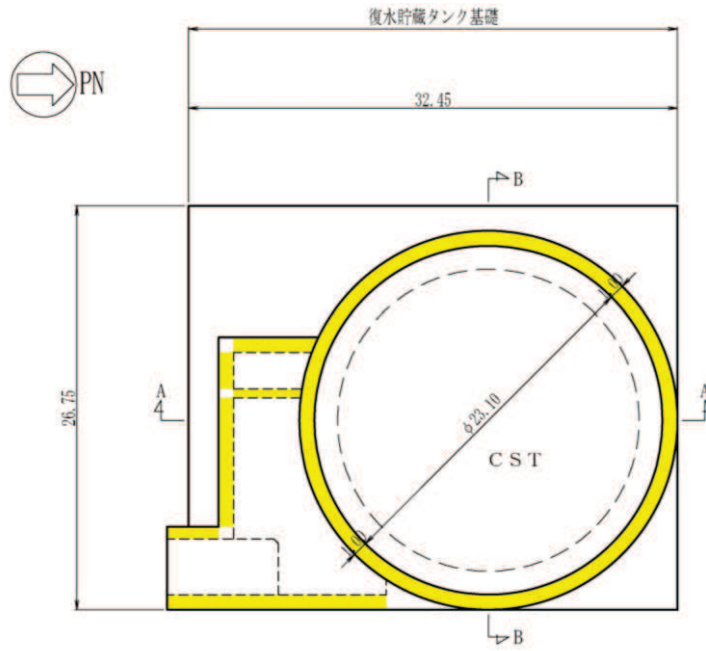
B-B 断面

(単位 : m)

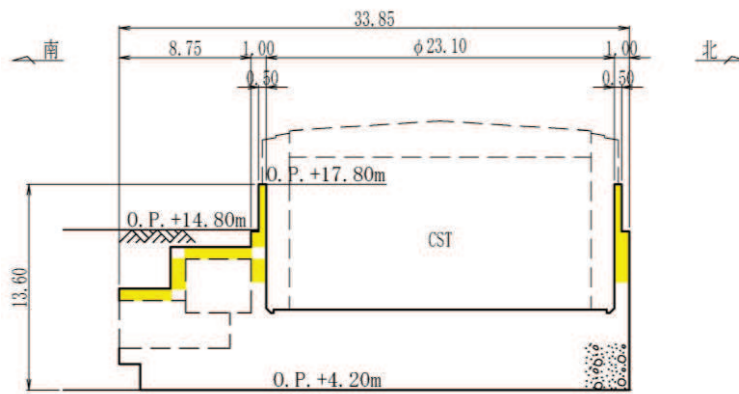
■ : CCb による耐震補強箇所

図 1-3 CCb による耐震補強対象の構造物
(軽油タンク室)

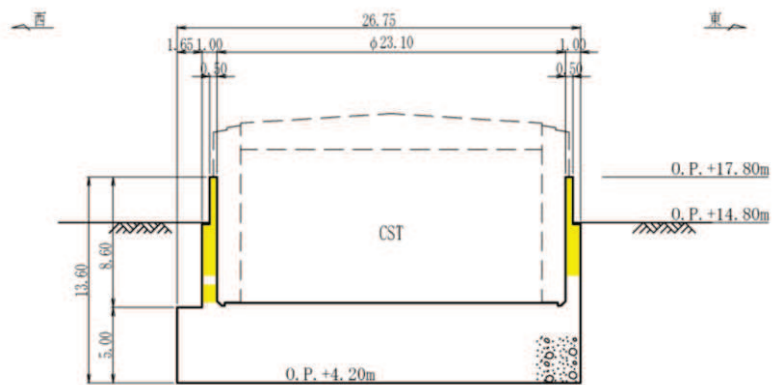
(参考) 6-添 8-4



平面図



A-A 断面



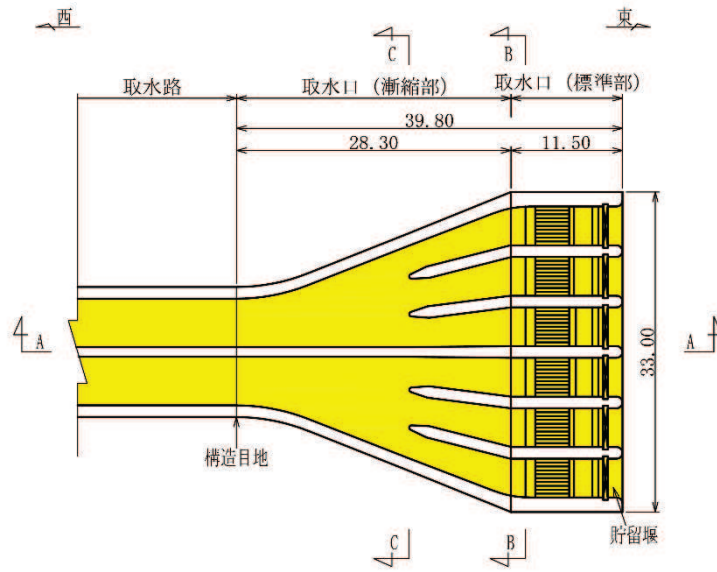
B-B 断面

(単位：m)

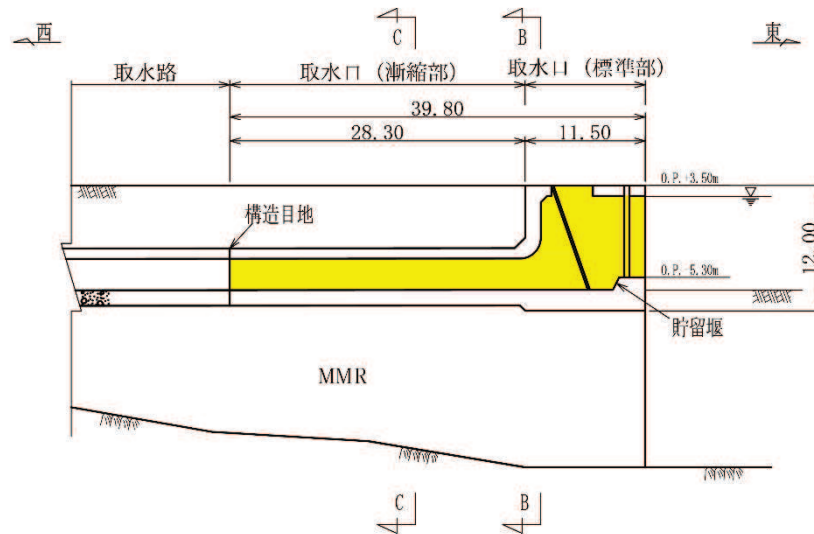
■ Ccbによる耐震補強箇所

図1-4 Ccbによる耐震補強対象の構造物
(復水貯蔵タンク基礎)

(参考) 6-添 8-5



平面図

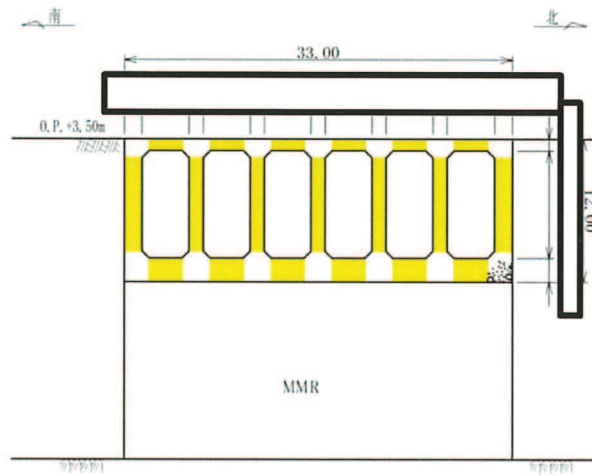


A-A 断面

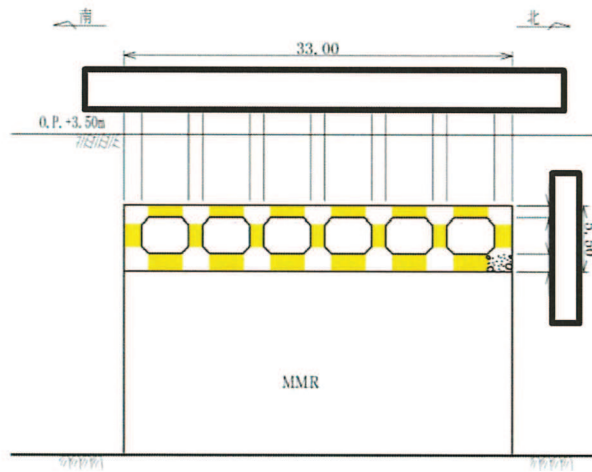
(単位：m)

■ : CCb による耐震補強箇所

図 1-5 (1) CCb による耐震補強対象の構造物
(取水口) (1/2)



B-B 断面



C-C 断面

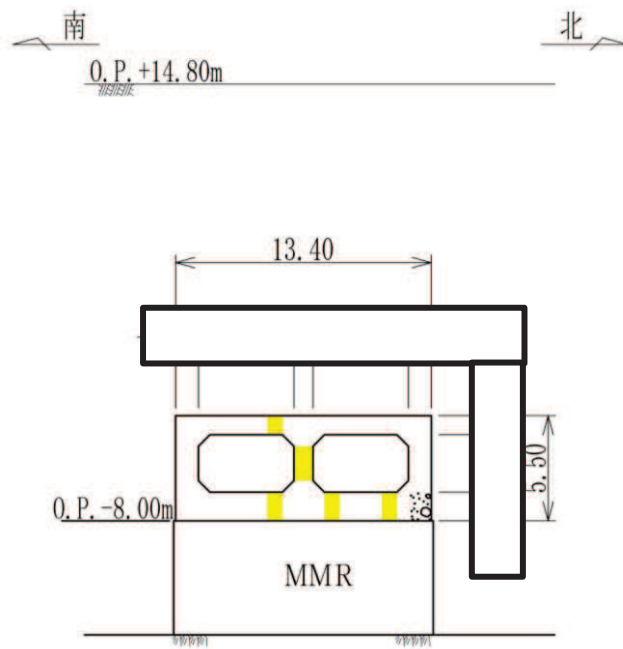
(単位：m)

■ : CCb による耐震補強箇所

図 1-5 (2) CCb による耐震補強対象の構造物
(取水口) (2/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

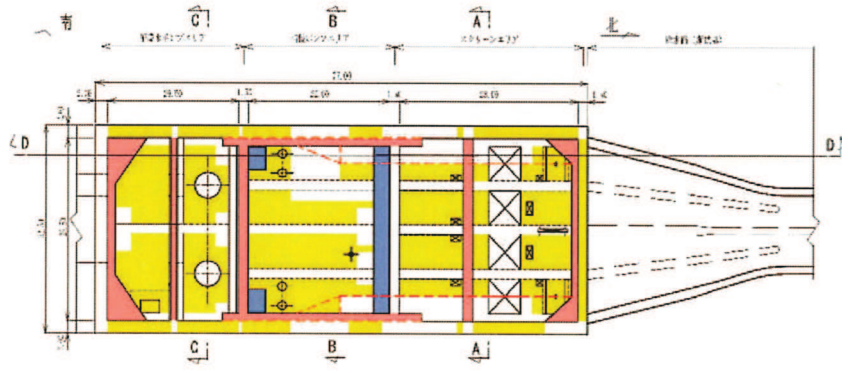
(参考) 6-添 8-7



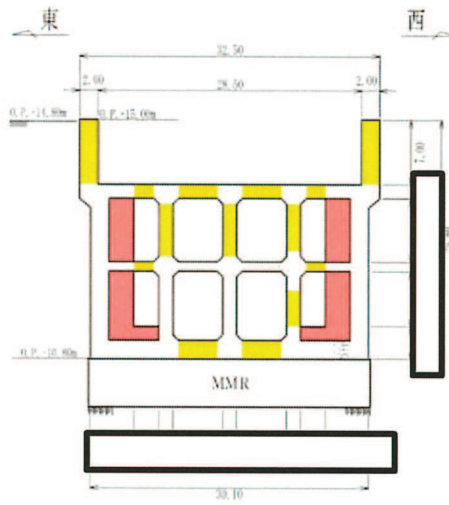
(単位 : m)

■ : CCb による耐震補強箇所

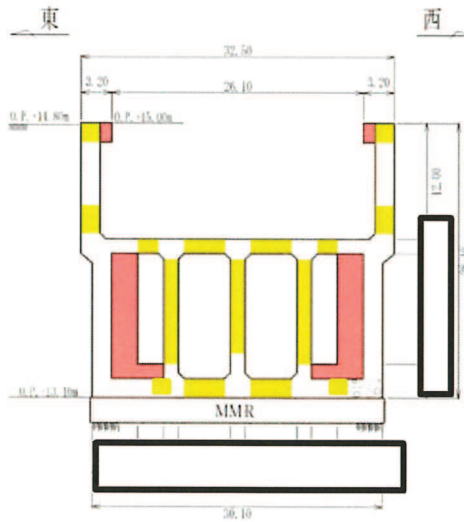
図 1-6 CCb による耐震補強対象の構造物
(取水路 (標準部))



平面図



A-A 断面



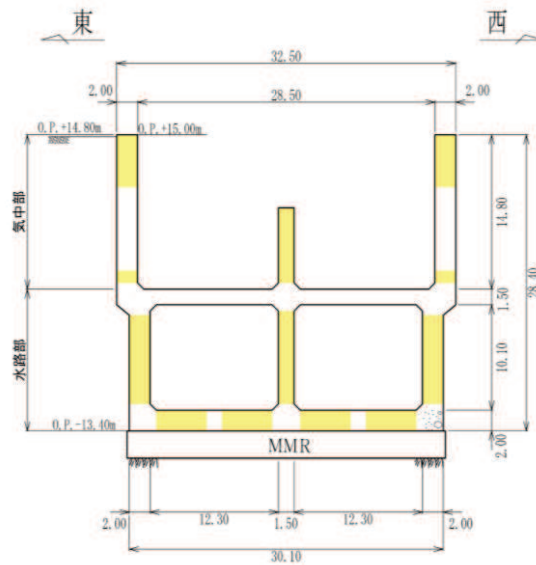
B-B 断面

(単位：m)

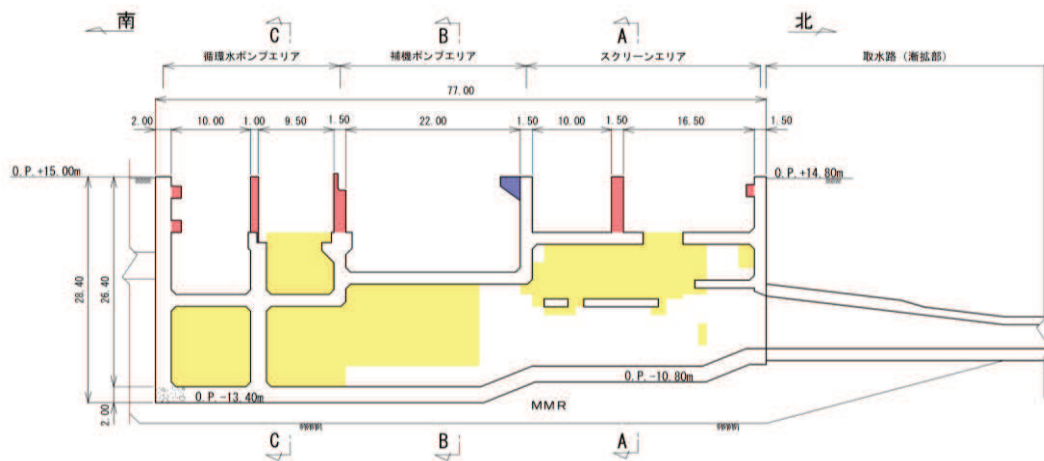
- : Ccb による耐震補強箇所
- : 部材増厚または部材追加箇所
- : 竜巻防護ネット支持部

図 1-7 (1) Ccb による耐震補強対象の構造物
(海水ポンプ室) (1/2)
(参考) 6-添 8-9

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



C-C 断面

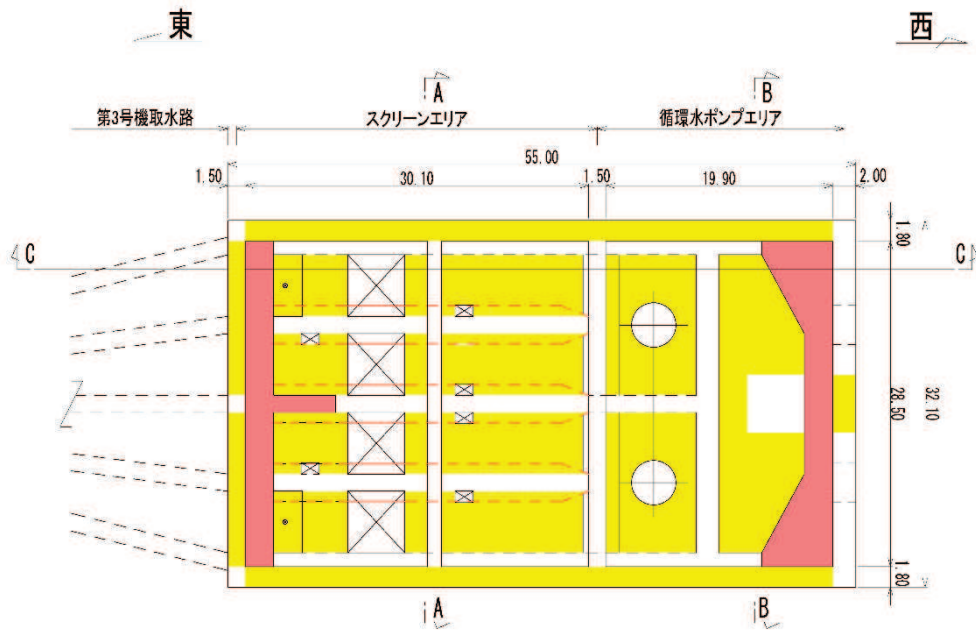


(単位：m)

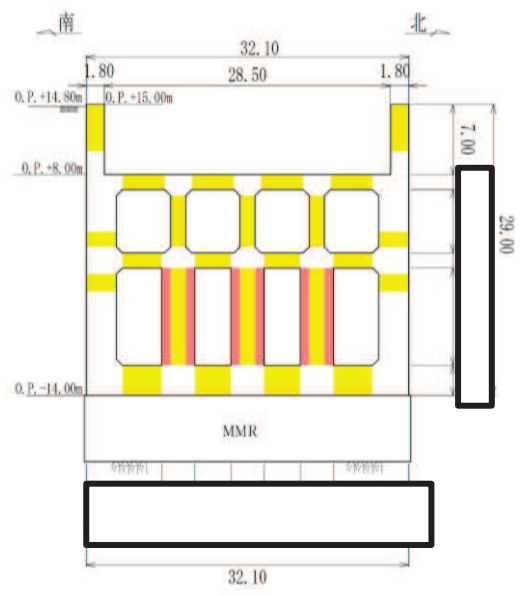
D-D 断面 (投影)

- : CCb による耐震補強箇所
- : 部材増厚または部材追加箇所
- : 竜巻防護ネット支持部

図 1-7 (2) CCb による耐震補強対象の構造物
(海水ポンプ室) (2/2)



平面図



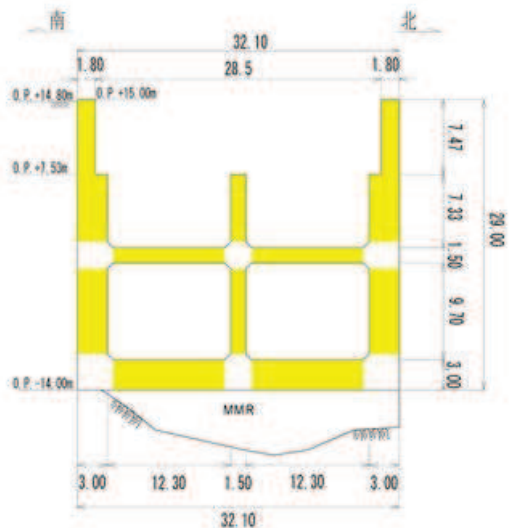
A-A 断面

- (単位 : m)
- : CCb による耐震補強箇所
 - : 部材増厚または部材追加箇所

図 1-9 CCb による耐震補強対象の構造物
(第 3 号機海水ポンプ室) (1/2)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(参考) 6-添 8-12

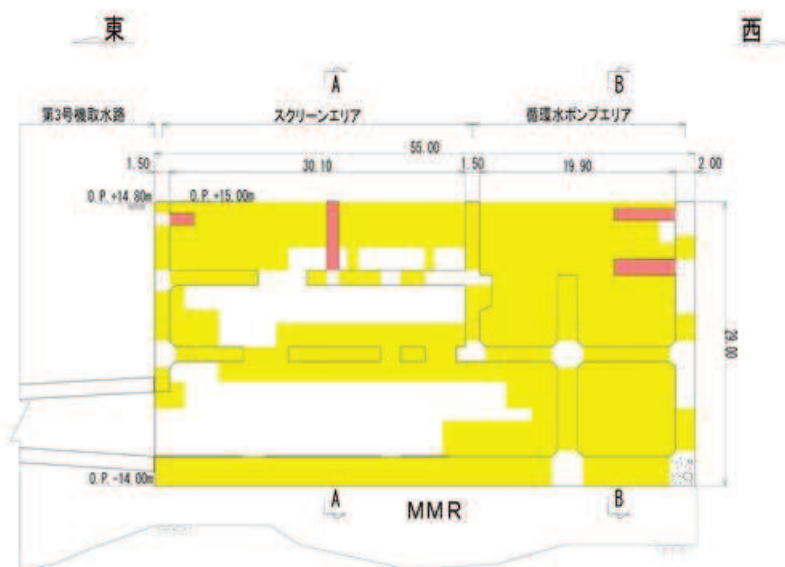


(単位 : m)

■ : CCb による耐震補強箇所

■ : 部材増厚または部材追加箇所

B-B 断面



C-C 断面

(単位 : m)

■ : CCb による耐震補強箇所

■ : 部材増厚または部材追加箇所

図 1-9 CCb による耐震補強対象の構造物

(第 3 号機海水ポンプ室) (2/2)

2. Ccb 補強の対象構造物の照査結果

2.1 せん断破壊に対する照査結果

せん断破壊に対する照査において、Ccb 工法を適用する部材は、棒部材式によるせん断耐力により照査を行うとともに、照査値が 0.8 程度であることを確認する。照査値が最大となる部材の評価結果を表 2-1 に示す。また、図 2-1～図 2-4 に、Ccb 工法の適用部材における最大照査位置を示す。

表 2-1 Ccb 工法を適用する部材におけるせん断破壊に対する照査結果

| 構造物 | 部材 | | 解析ケース | 地震動 | | 照査値 |
|---------------------|--------------------|-----|-------|-----------|----|------|
| | | | | | | |
| 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） | 隔壁 | 80 | ③ | S s - N 1 | ++ | 0.32 |
| 復水貯蔵タンク基礎 | バルブ室（南壁） | 32 | ① | S s - D 1 | -+ | 0.71 |
| 海水ポンプ室 | 隔壁 | 101 | ② | S s - N 1 | ++ | 0.83 |
| 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部） | 隔壁（東西） | 233 | ④ | S s - D 2 | ++ | 0.71 |
| 取水路（漸拡部） | 追而 ・照査結果は、別途示す。 | | | | | |
| 軽油タンク室 | | | | | | |
| 取水口 | | | | | | |
| 取水路（標準部） | | | | | | |
| 第 3 号機海水ポンプ室 | | | | | | |

注：耐震評価における解析ケース一覧

【全応力解析】

| 解析ケース | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ |
|-------|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 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 | 材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース |
| 地盤物性 | 平均値 | 平均値+1σ | 平均値-1σ | 平均値 |
| 材料物性 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 実強度に基づく圧縮強度 |

【有効応力解析】

| 解析ケース | ケース⑥ | ケース⑦ | ケース⑧ |
|-------|--------|----------------------------|----------------------------|
| | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース |
| 地盤物性 | 平均値 | 平均値+1σ | 平均値-1σ |
| 材料物性 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 |

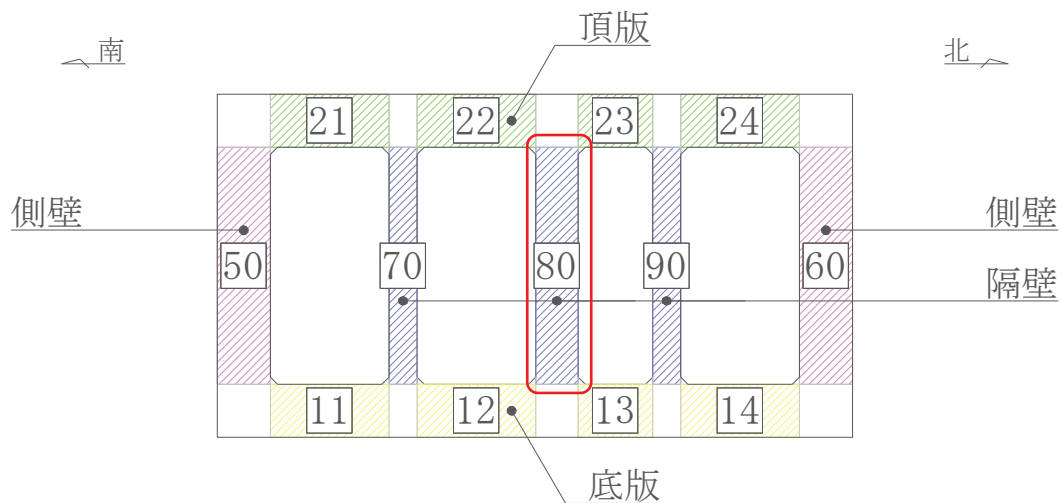
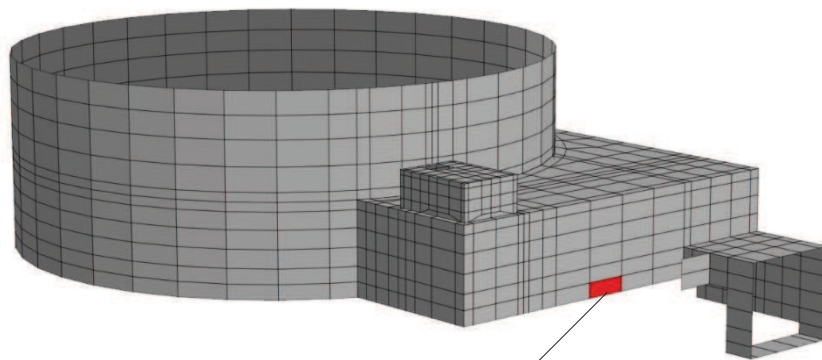
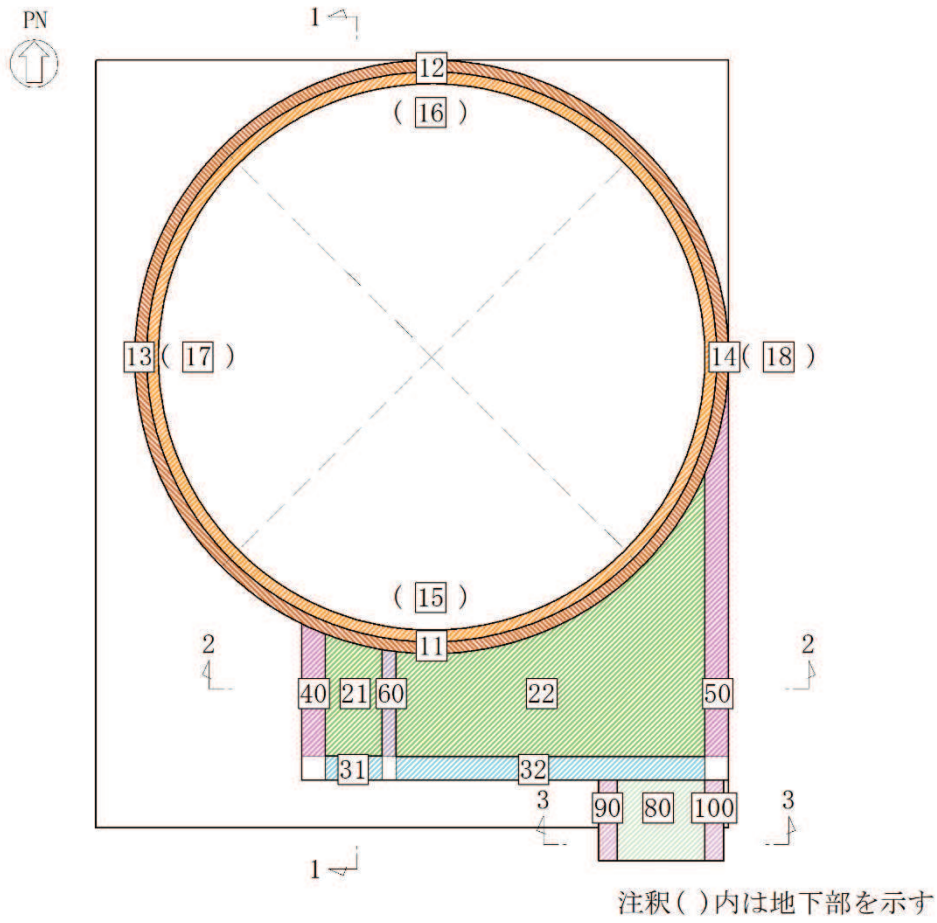


図 2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） Ccb 工法の適用部材における最大照査位置



最大照査位置図

図 2-2 復水貯蔵タンク基礎 Ccb 工法の適用部材における最大照査位置

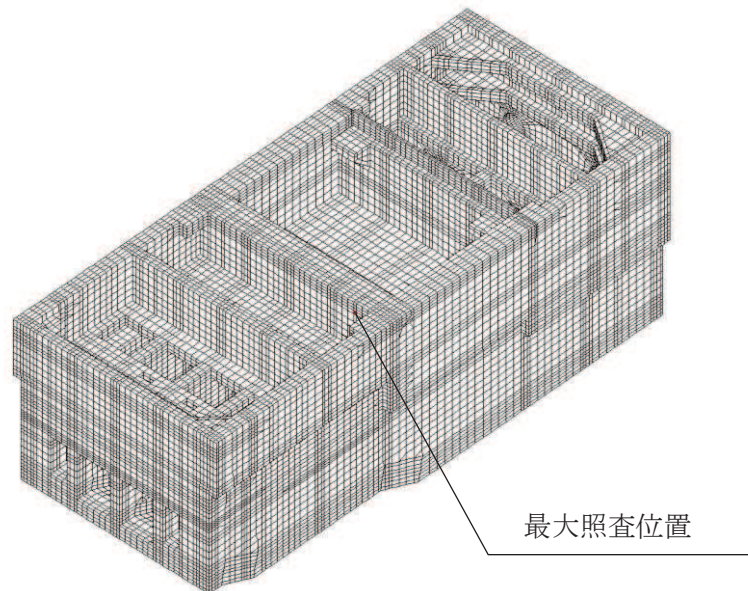
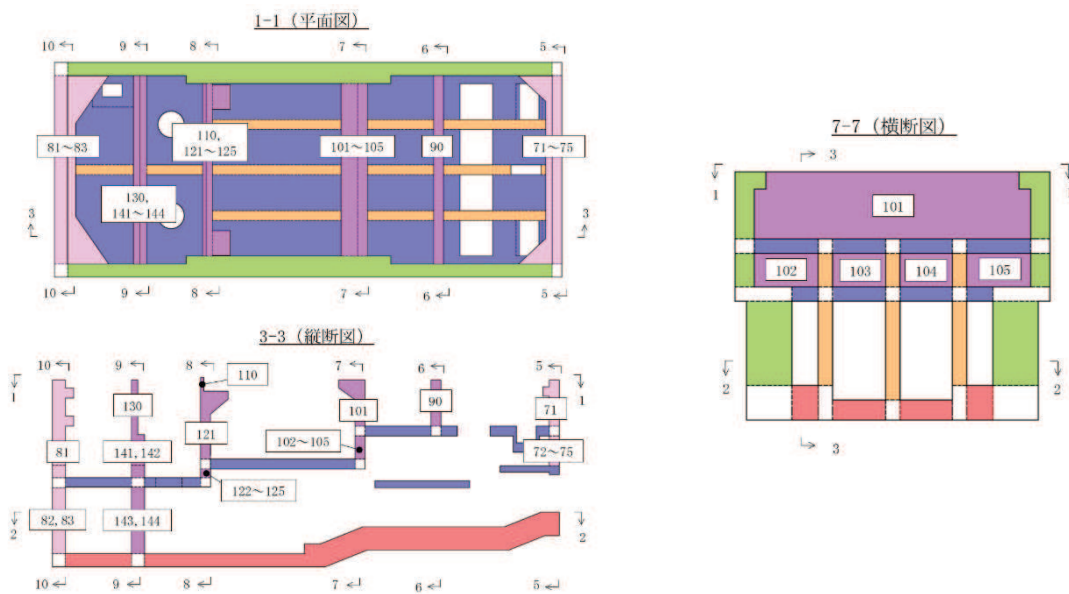
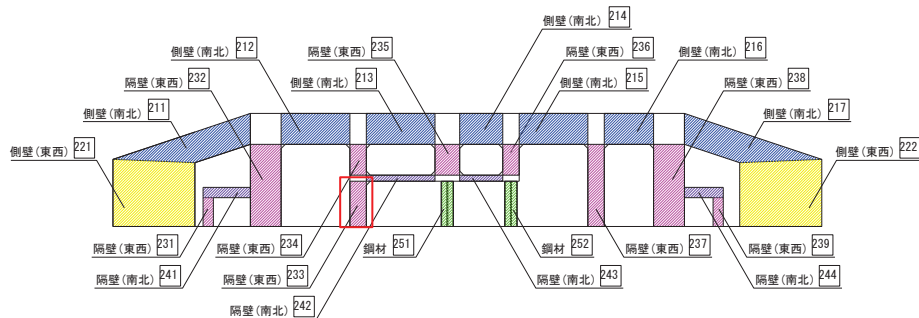


図 2-3 海水ポンプ室 Ccb 工法適用部材における最大照査位置



注記*：赤枠は Ccb 工法を適用している部材を示す。

図 2-4 海水配管ダクト（鉛直部）（断面②） Ccb 工法の適用部材における最大照査位置

2.2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果

曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、CCb工法はおおむね弾性範囲となる状況下で使用することから、コンクリート及び鉄筋のひずみが、部材降伏に相当する限界ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ： 2000μ ，主筋ひずみ： 1725μ ）を下回ることを確認し、両者のうち最大照査値となる部材の評価結果を表2-2に示す。なお、原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）については、照査用曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることを確認する。

表2-2 Ccb工法を適用する部材における曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果

| 構造物 | 部材 | | 解析ケース | 地震動 | | 照査値 |
|---------------------|--------------------|----|-------|-----------|-----|------|
| 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部） | 隔壁 | 80 | ③ | S s - N 1 | - + | 0.61 |
| 復水貯蔵タンク基礎 | 追而 ・照査結果は、別途示す。 | | | | | |
| 海水ポンプ室 | 底版 | 1 | ② | S s - N 1 | ++ | 0.97 |
| 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部） | 追而 ・照査結果は、別途示す。 | | | | | |
| 取水路（漸拡部） | 隔壁 | 90 | ④ | S s - F 2 | - + | 0.69 |
| 軽油タンク室 | 追而 ・照査結果は、別途示す。 | | | | | |
| 取水口 | 導流壁 | 55 | ③ | S s - D 2 | - + | 0.84 |
| 取水路（標準部） | 底版 | 11 | ③ | S s - N 1 | - + | 0.33 |
| 第3号機海水ポンプ室 | 中床版 | 14 | ③ | S s - N 1 | - + | 0.85 |

2.3 壁部材の面内せん断に対する照査結果

箱型構造物の壁部材の面内せん断に対する照査において、CCb 工法を適用する部材は、「添付資料 6 面内荷重と面外荷重が作用する部材への CCb 工法の適用性の検討」で行った数値解析より、照査用面内せん断ひずみが 750μ を下回ることを確認する。照査用面内せん断ひずみが最大となる部材の評価結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 CCb 工法を適用する部材における壁部材の面内せん断に対する照査結果

| 構造物 | 部材 | 解析 ケース | 地震動 | 照査用面 内せん断 ひずみ |
|--------------|---------------------------|-----------|-----|---------------------|
| 復水貯蔵タンク基礎 | 追而 ・照査結果は、別途示す。 | | | |
| 海水ポンプ室 | | | | |
| 軽油タンク室 | | | | |
| 取水口 | | | | |
| 第 3 号機海水ポンプ室 | | | | |

3. まとめ

屋外重要土木構造物等のうち CCb 工法による耐震補強対象の構造物が基準地震動 S_s に対して、CCb 工法の以下の 3 つの条件を満足することで、CCb 工法の適用範囲内であることを確認した。

- ・棒部材式によるせん断耐力による照査で、照査値が 0.8 程度であること
- ・部材はおおむね弾性範囲であること
- ・面内変形する可能性のある部材は面内せん断ひずみが 750μ 未満であること

参考資料 9 解析手法の選定（④全応力解析）の補足確認結果

1. はじめに

屋外重要土木構造物のうち、海水ポンプ室、取水路（漸拡部）、取水路（標準部、断面④及び⑤）及びガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）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 4.3 解析手法選定の方針」に示す解析手法の選定フローにより、④全応力解析に分類されている。

しかし、各構造物と地盤改良の間や解析断面の周辺領域に地下水位以下の盛土や旧表土が分布していることから、これらの地盤の液状化の可能性等を確認するため有効応力解析を行い、全応力解析による耐震評価で問題無いことと、液状化による浮上りの評価が不要であることを確認した。

以下に構造物毎に検討内容を示す。

2. 海水ポンプ室（東西方向）及び取水路（漸拡部）に対する確認

海水ポンプ室（東西方向）と取水路（漸拡部）は相互に接続して設置されており、周囲の改良地盤や盛土・旧表土の分布等の地質状況も類似しているため、両構造物に対する確認をまとめて行う。

海水ポンプ室（東西方向）及び取水路（漸拡部）の評価対象位置図を図 2-1 に、地質断面図を図 2-2 及び図 2-3 にそれぞれ示す。両構造物とも、躯体と改良地盤の間には地下水位以深の盛土が分布していることから、この盛土の液状化の可能性を確認する。また、両断面とも隣接する防潮堤の東側には、0.P. 3.5m 盤の地下水位以深の盛土・旧表土が分布していることから、盛土・旧表土の液状化による構造物への影響を確認する。

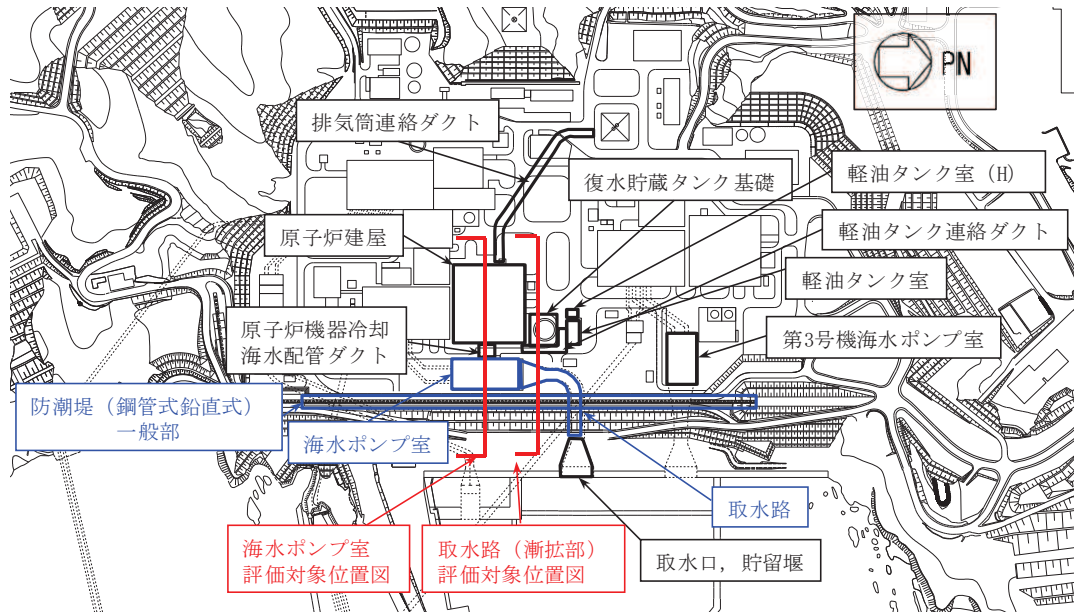


図 2-1 海水ポンプ室及び取水路（漸拡部）評価対象位置図

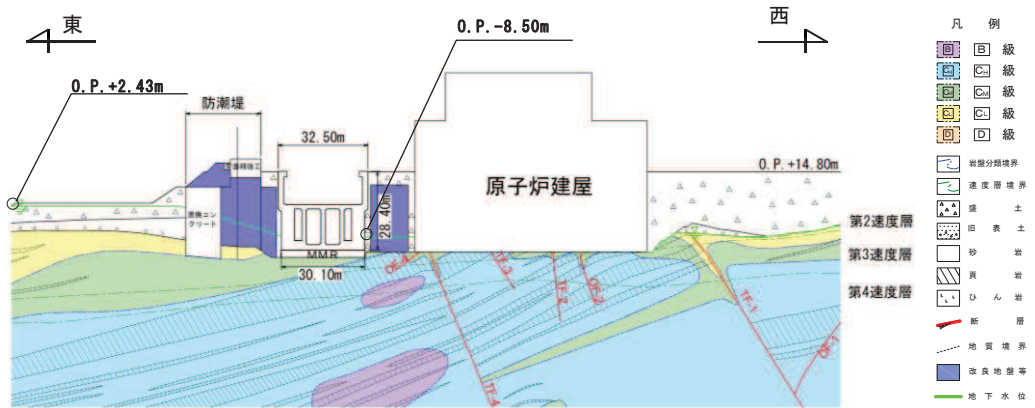


図 2-2 海水ポンプ室地質断面図（東西（補機ポンプエリア））

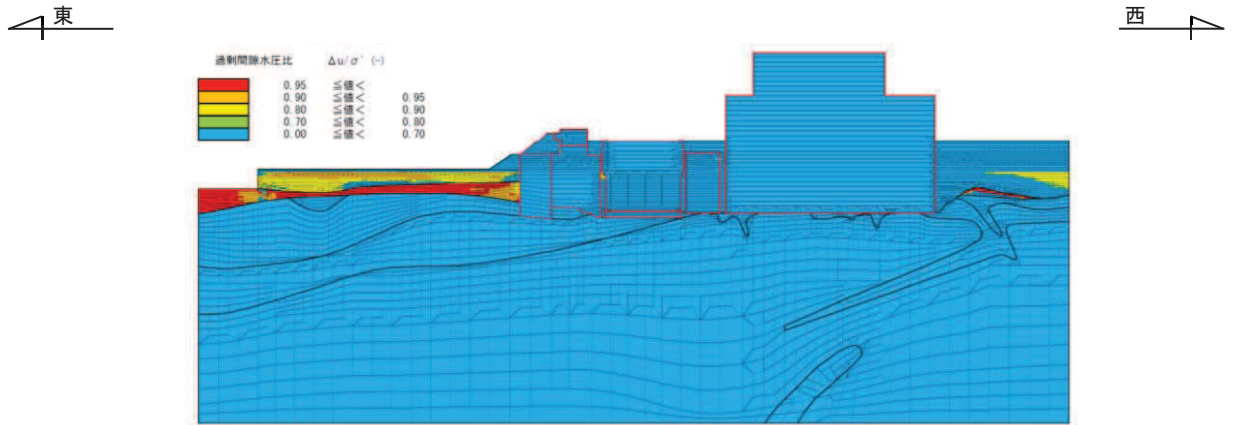


图 2-4(1) 最大過剩間隙水圧比分布 (S s - D 1 (++))

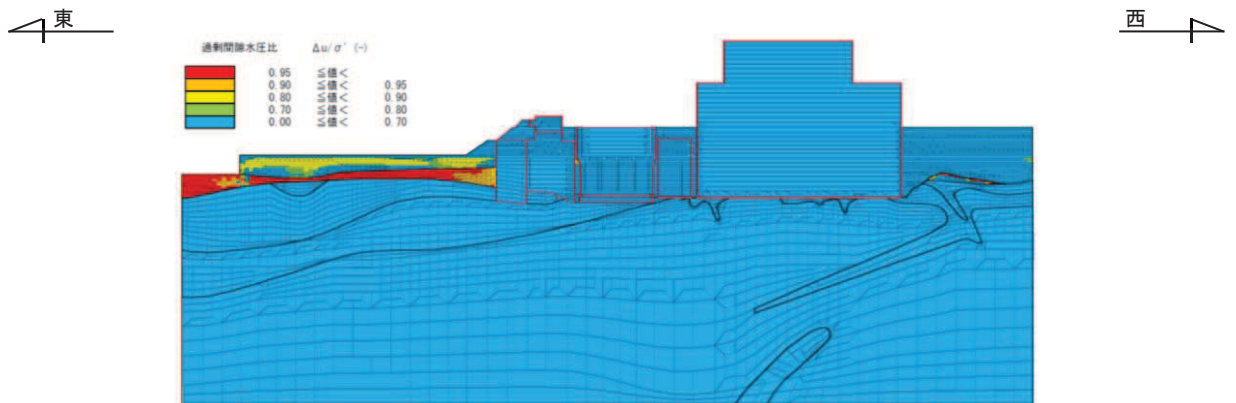


图 2-4(2) 最大過剩間隙水圧比分布 (S s - D 2 (++))

2.2 0.P.3.5m 盤の盛土・旧表土による影響の確認

影響の確認は、防潮堤を対象として実施した全応力解析と有効応力解析による地盤のせん断ひずみ、**残留変形及び過剰間隙水圧比**等に注目し比較する。解析断面は、液状化強度比が比較的小さい旧表土が厚く分布する図 2-5 の断面②とする。断面②の解析モデルを図 2-6 に示す。入力地震動は、防潮堤の耐震評価が厳しくなる S_s-D2 (ー) とする。

全応力解析及び有効応力解析によるせん断ひずみ分布を、図 2-7(1)と図 2-7(2)に、**過剰間隙水圧比**を図 2-8 に示す。解析の結果、0.P.3.5m 盤の旧表土は液状化しているものの、防潮堤西側（陸側）における両解析のせん断ひずみの分布は類似しており、ひずみレベルも両解析ともに 2%以下である。

また、有効応力解析による残留変形図を図 2-8 に示す。0.P.+3.5m 盤の旧表土及び盛土は、液状化に伴う残留変形を示しているものの、防潮堤西側（陸側）では残留変形はほとんど示していない。

以上より、0.P.3.5m の液状化の影響は、両構造物の分布する 0.P.14.8m 盤の地盤に影響を及ぼさないと判断した。

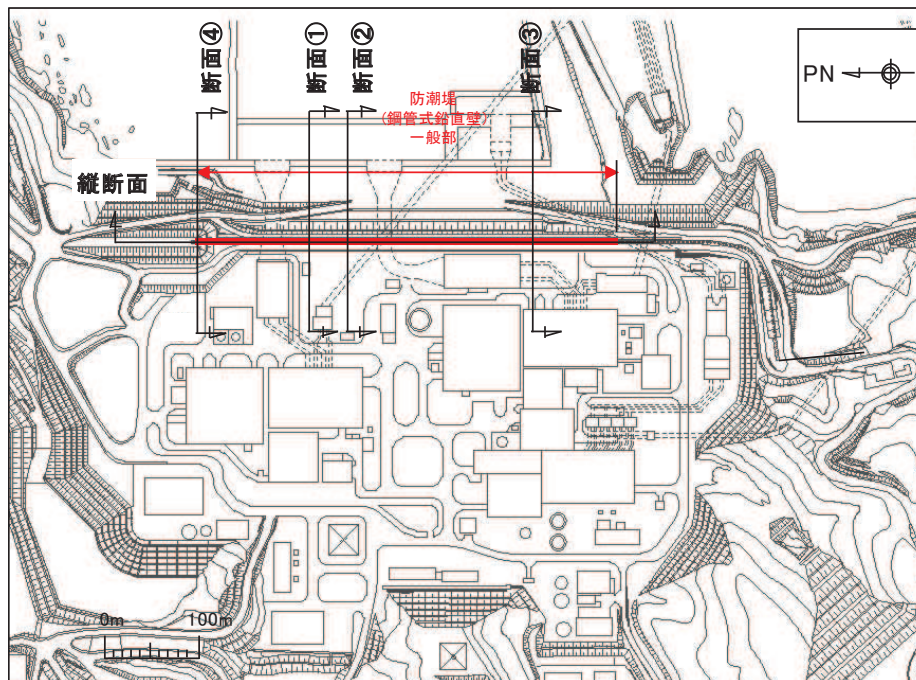


図 2-5 防潮堤の解析断面位置図（断面②）

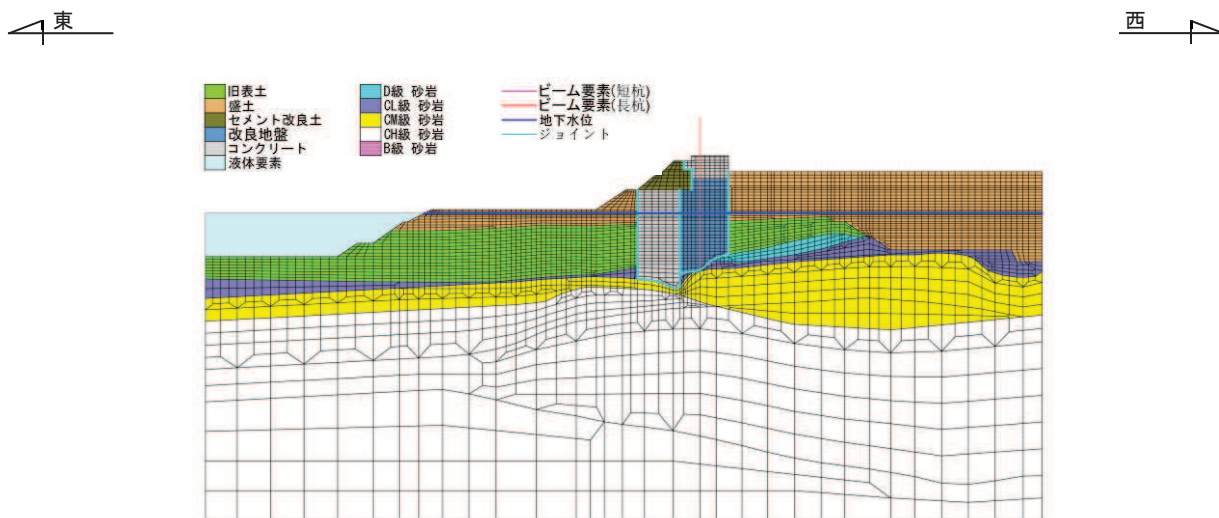


図 2-6 断面②の解析モデル

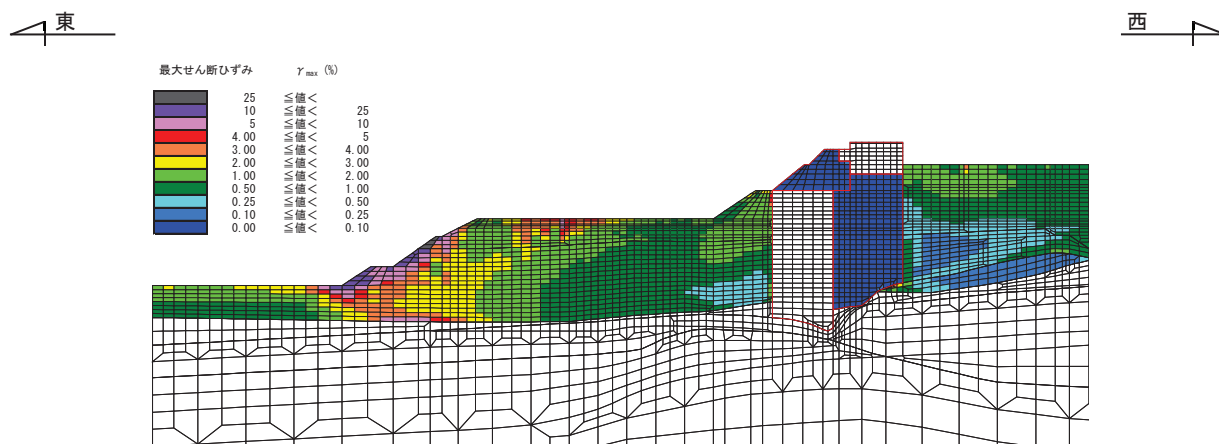


図 2-7(1) 全応力解析 (断面②) の最大せん断ひずみ分布

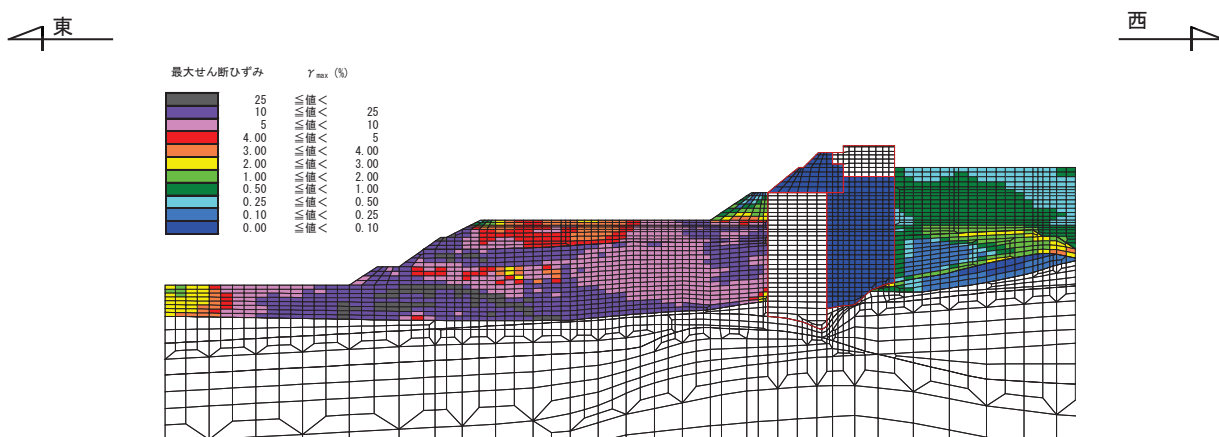


図 2-7(2) 有効応力解析 (断面②) の最大せん断ひずみ分布

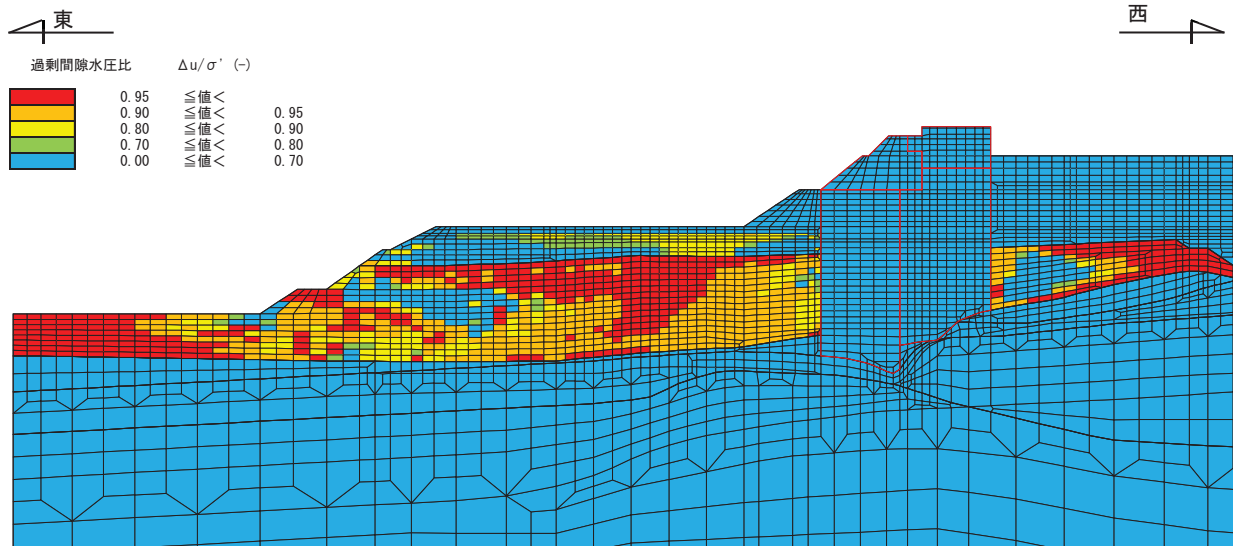
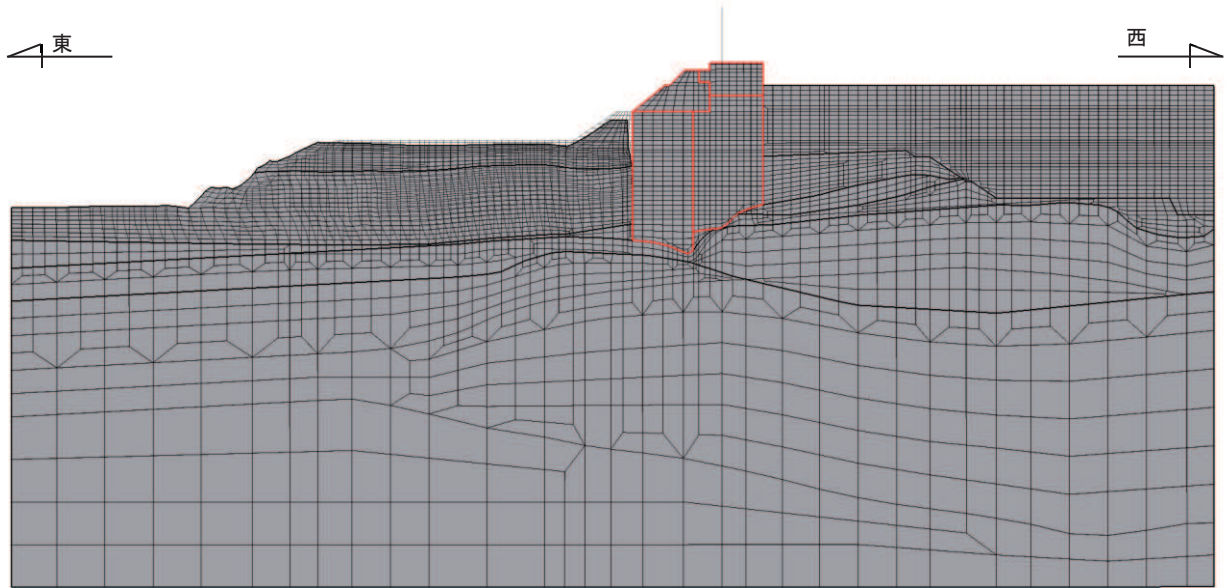


図 2-8 有効応力解析（断面②）の過剰間隙水圧比分布



変形倍率：2 倍

図 2-9 有効応力解析（断面②）の残留変形図

3. 海水ポンプ室（南北方向）に対する確認

海水ポンプ室（南北方向）の平面図を図 3-1 に、地質断面図を図 3-2 に示す。

海水ポンプ室の北側には取水路が存在し、取水路周辺の地下水以深については改良地盤がなされていることから液状化による影響はないと考えられる。

海水ポンプ室の南側は改良地盤がなされ、その外側には地下水位以深の盛土が分布していることから、この盛土の液状化の可能性を確認する。

確認は、図 3-2 に示す改良地盤の南側で地下水位が高く土被りが小さく液状化しやすい箇所を対象に基準地震動 S_s を用いた有効応力解析により盛土の過剰間隙水圧比に着目して実施する。解析ケースは、有効応力解析の基本ケースであるケース⑥に加え、地盤のばらつきを考慮したケース⑦及び⑧とする。改良地盤により液状化による躯体への影響を軽減されると想定されることから、一次元有効応力解析により、隣接構造物がない水平成層地盤を想定することにより保守的に評価を行った。

なお、海水ポンプ室の南西角に地下水揚水井戸 No2 が設置されるため、改良地盤されていない領域がある。当該域の設計用地下水位は、揚水ポンプの故障時を想定して設定されており、図 3-3 の通り、盛土の深部に局所的に地下水位以深の部分がある。この部分については、上載土厚が 22.2m であるのに対し、図 3-2 に示す海水ポンプ室南側の 1 次元有効応力解析による評価を行う位置における上載土厚は 14.6m であるため、海水ポンプ室南側の方が有効拘束圧は小さい。そのため、海水ポンプ室南西部の評価は、有効拘束圧が小さく液状化しやすい地盤条件である海水ポンプ室南側の一次元有効応力解析で代表する。

一次元有効応力解析に用いる土層モデルを図 3-4 に、解析結果として過剰間隙水圧比分布を図 3-5 に示す。解析の結果、盛土の過剰間隙水圧比は 0.95 以下となっていることから、液状化の影響及び浮上がりの可能性はないと判断した。

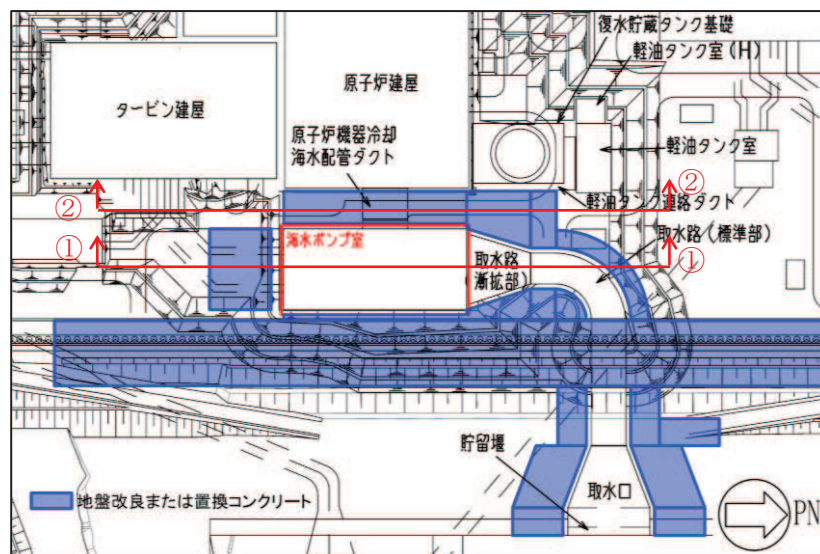


図 3-1 海水ポンプ室の平面図

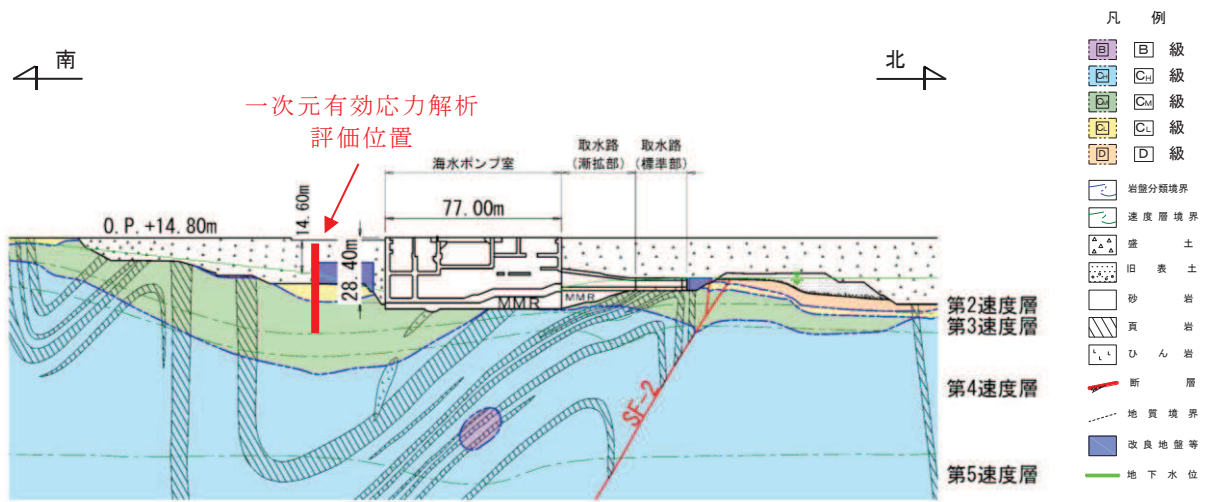


図 3-2 海水ポンプ室評価対象地質断面図 (断面①)

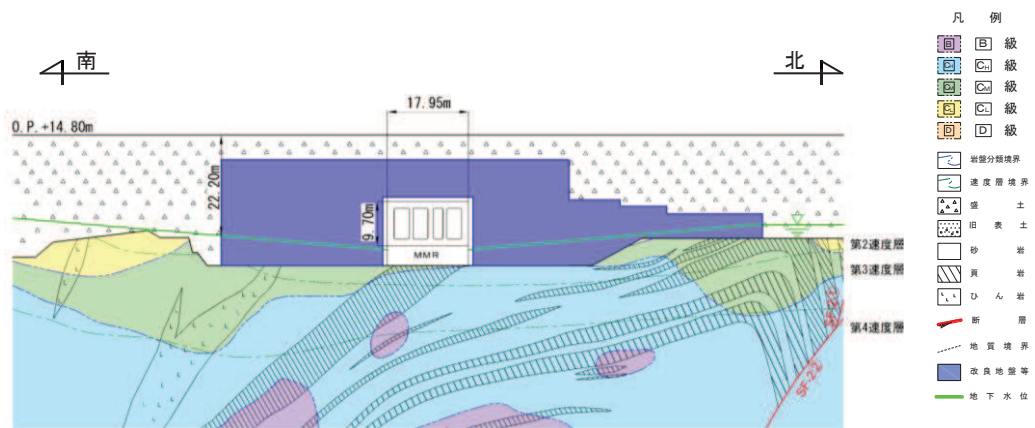


図 3-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト (水平部) 対象評価地質断面図 (断面②)

| | | |
|----|----|-----------------------|
| | | O. P. +14.800m |
| 盛 | 土 | 地下水位 O. P. -0.799m |
| | | O. P. -5.087m |
| CL | 2速 | O. P. -12.685m |
| CM | 2速 | O. P. -20.000m |

図 3-4 海水ポンプ室 一次元解析モデル

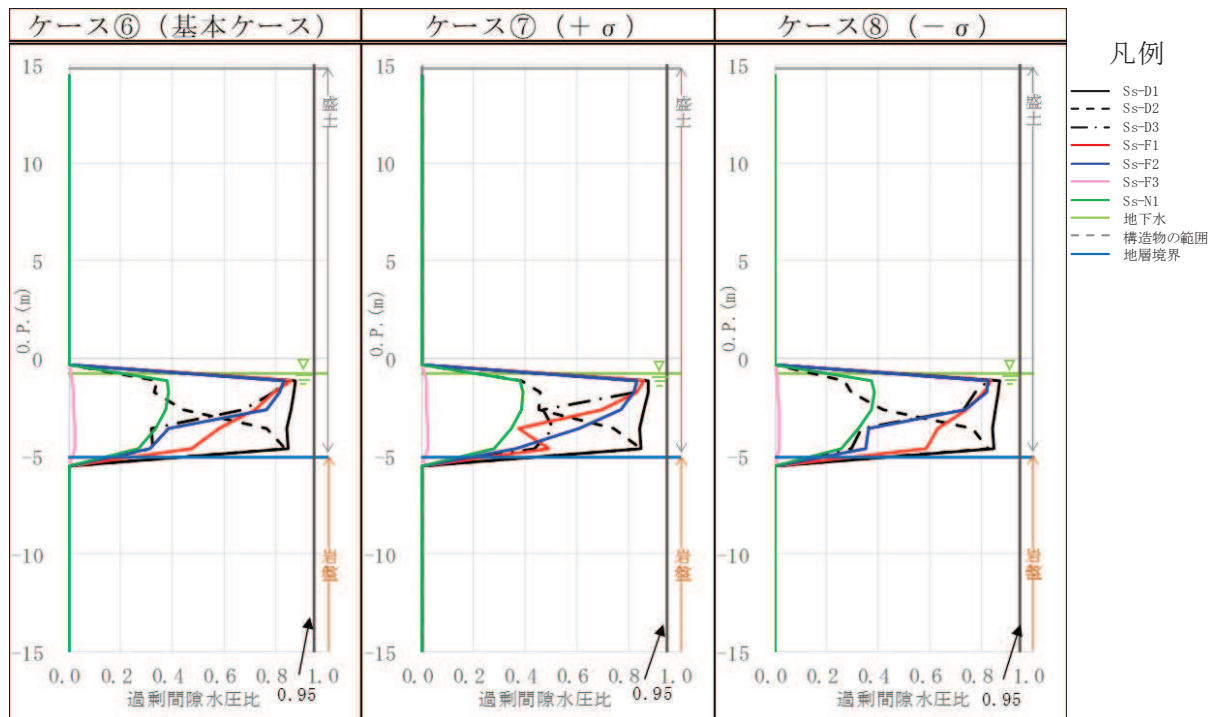


図 3-5 最大過剰間隙水圧比分布

4. 取水路（標準部、断面④及び断面⑤）に対する確認

取水路（標準部、断面④及び断面⑤）の平面図を図4-1に、地質断面図を図4-2及び図4-3にそれぞれ示す。両断面とも、躯体の側面及び頂部に地下水位以深の盛土が分布している。この盛土については、断面④では躯体と防潮堤の置換コンクリートに挟まれ、断面⑤では躯体と防潮堤の改良地盤に挟まれ、変形を拘束されていることから、せん断変形を受けて過剰間隙水圧が蓄積する可能性は小さいと考えられる。したがって、両断面とも躯体近傍の盛土の液状化の影響やそれに起因する浮上りの影響は無いと判断した。

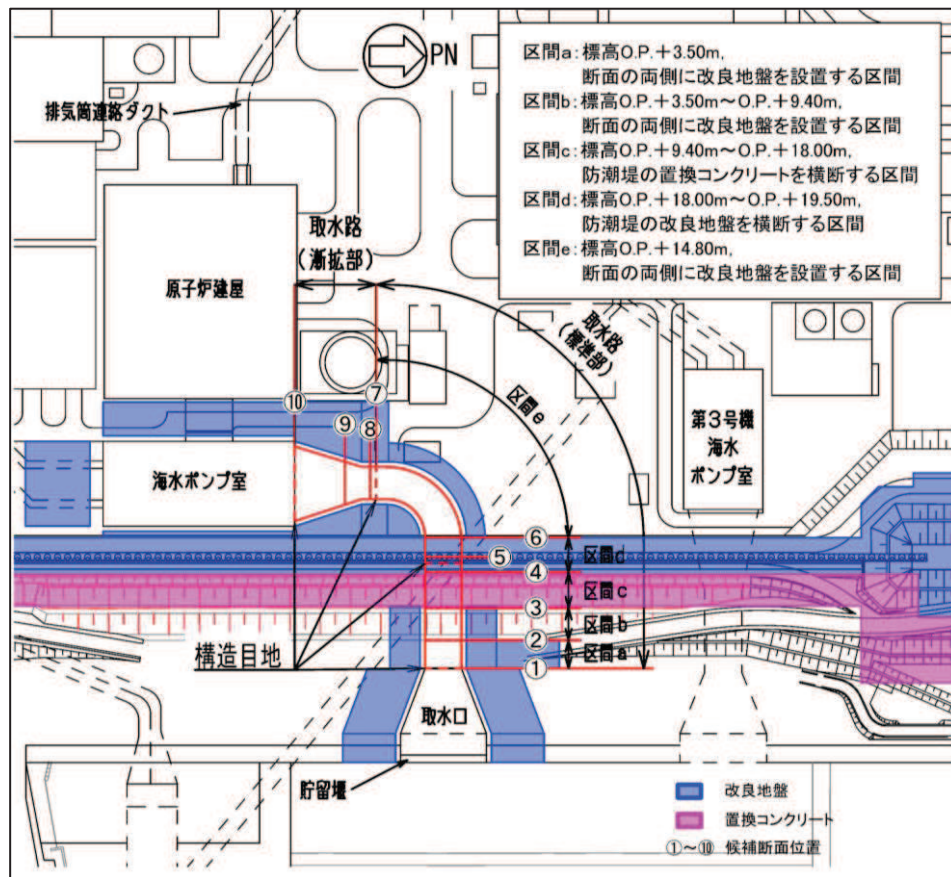


図4-1 取水路（標準部、断面④及び⑤）平面図

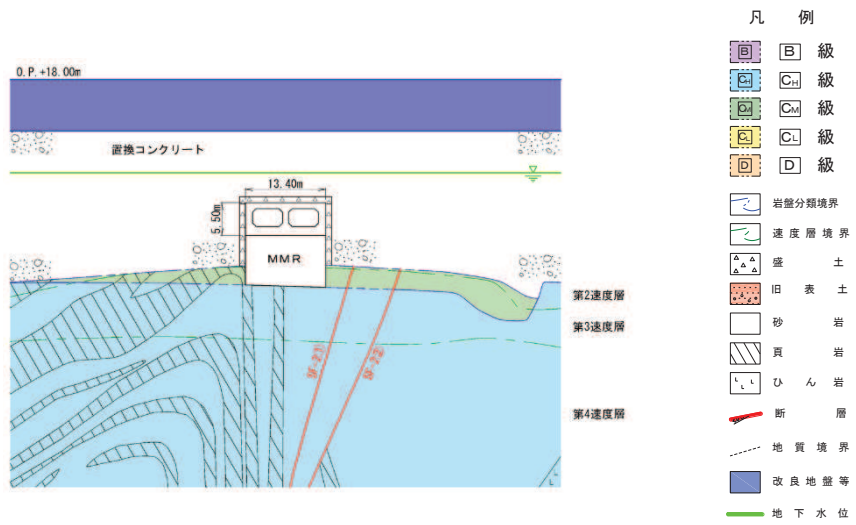


図 4-2 取水路（標準部）地質断面図（断面④：直線部）

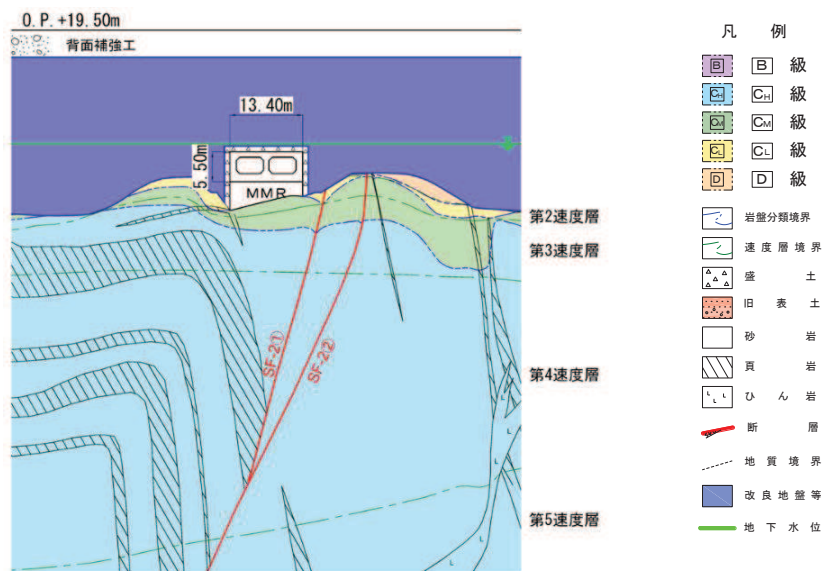


図 4-3 取水路（標準部）地質断面図（断面⑤：曲線部）

5. ガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）に対する確認

ガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）の平面図を図 5-1 に、地質断面図を図 5-2 に示す。躯体の東側には電気品建屋が隣接するが、電気品建屋との間の地盤は、地下水位以深の盛土が分布していることから、この盛土の液状化の可能性を確認する。

確認は、基準地震動 S_s を用いた一次元有効応力解析により盛土の過剰間隙水圧比に着目して実施する。解析ケースは、有効応力解析の基本ケースであるケース⑥に加え、地盤のばらつきを考慮したケース⑦及び⑧とする。地盤のばらつきを考慮した検討の対象とする盛土は、ガスタービン発電設備軽油タンク室と電気品建屋に挟まれ、変形を拘束されているが、一次元有効応力解析により、隣接構造物が無い水平成層地盤を想定することにより保守的に評価を行った。

一次元有効応力解析に用いる土層モデルを図 5-3 に、解析結果として最大過剰間隙水圧比分布を図 5-4 に示す。解析の結果、盛土の過剰間隙水圧比は 0.95 以下となっていることから、液状化の影響及び浮上りの可能性はないと判断した。

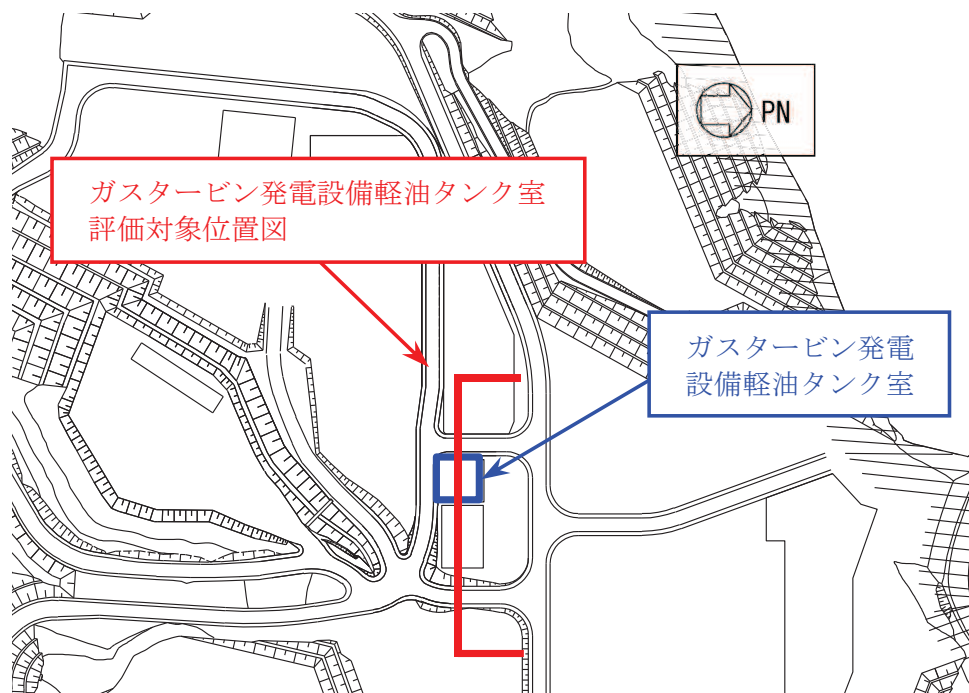


図 5-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

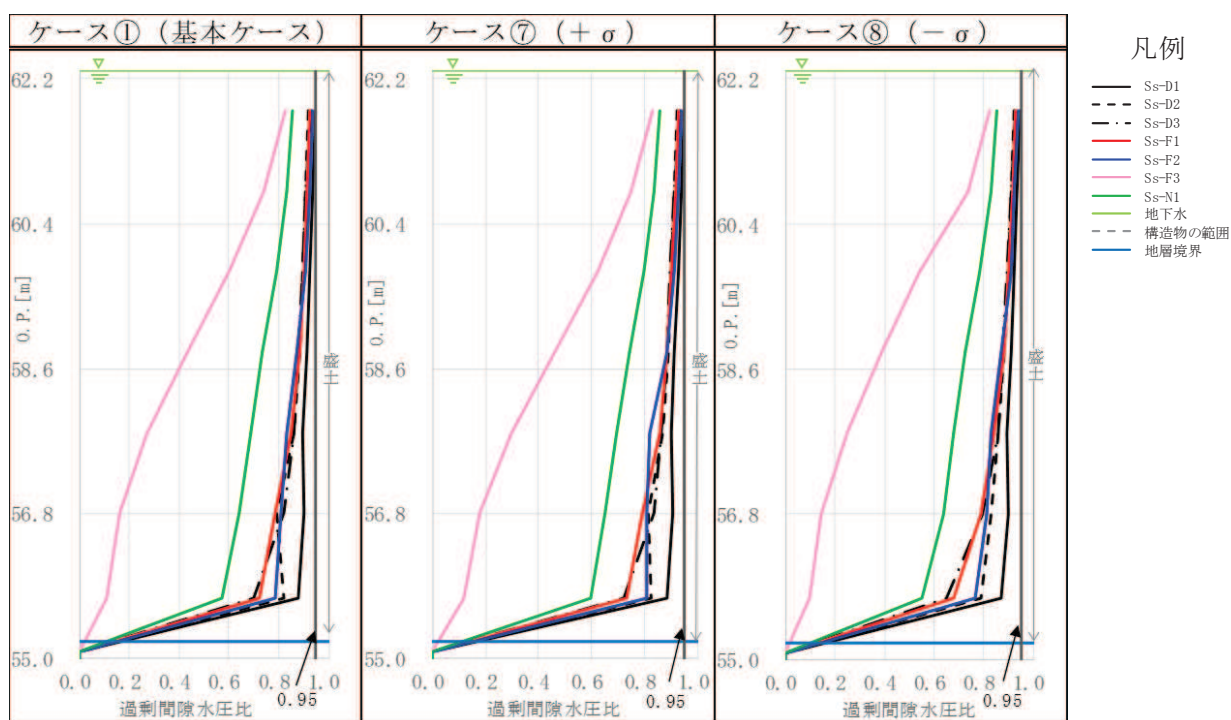


図 5-4 最大過剰間隙水圧比分布

5. まとめ

全応力解析により耐震評価を実施する海水ポンプ室，取水路（漸拡部），取水路（標準部，断面④及び断面⑤），及びガスタービン発電設備軽油タンク室（東西方向）について，躯体の近傍に局所的に分布する盛土の液状化可能性について検討し，いずれの構造物の盛土も液状化は発生せず，液状化の影響及びそれに起因する浮上りの影響は無いと判断した。

具体的には，海水ポンプ室（東西方向）及び取水路（漸拡部）については，二次元有効応力解析により盛土の過剰間隙水圧比は 0.95 以下であることを確認した。取水路（標準部，断面④及び断面⑤）については，周囲を置換えコンクリート又は改良地盤で囲われており，盛土の変形が拘束されていることから定性的に液状化の影響及び浮上りの可能性はないと判断した。海水ポンプ室（南北方向）及びガスタービン発電設備軽油タンク（東西方向）については，一次元有効応力解析により盛土の過剰間隙水圧比は 0.95 以下であることを確認した。

海水ポンプ室（東西方向）及び取水路（漸拡部）については，隣接する防潮堤の東側に分布する盛土・旧表土の液状化による影響の確認として，防潮堤の陸側について，発生する地盤のせん断ひずみが，二次元全応力解析と二次元有効応力解析の両解析でひずみレベル 2%以下と小さいこと及び二次元有効応力解析により残留変形を示していないことから全応力解析を選定することの妥当性を確認した。

以上の確認により，解析手法の選定で④全応力解析と選定された断面には，盛土や旧表土が分布するものの全応力解析を選定することの妥当性が確認された。

1. 概要

「7. ジョイント要素のばね設定」に示すとおり、ジョイント要素のばね定数は、数値計算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、松本らの方法（参考文献(1)参照）に従い、表 1-1 のとおり設定する。

本項では、表 1-1 のとおり設定しているジョイント要素のばね定数が、数値計算上不安定な挙動を起こさず、かつ、地盤から構造物への圧縮荷重、せん断荷重が確実に伝達され得る適切な設定値であることを確認する。

表 1-1 ジョイント要素のばね定数

| 地盤 | 設定位置 | せん断剛性 k_s (kN/m ²) | 圧縮剛性 k_n (kN/m ²) |
|-----------------------|--------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 盛土, 旧表土 | 側方及び底面 | 1.0×10^6 | 1.0×10^6 |
| 岩盤, セメント改良土, 改良地盤, MR | 側方及び底面 | 1.0×10^7 | 1.0×10^7 |

2. 評価方法

表 1-1 のとおり設定しているジョイント要素のばね定数が、数値計算上不安定な挙動を起こさず、かつ、地盤から構造物への圧縮荷重、せん断荷重が確実に伝達され得る適切な設定値であるかを確認するため、ジョイント要素のばね定数について影響評価を実施する。具体的には、今回の工事計画認可申請にて、松本らの方法に従い設定しているジョイント要素のばね定数に対して、ばね定数の値を 1/10 倍、1 倍、10 倍、100 倍とした場合の解析を実施し、構造物の照査値、地盤と構造物の接合面における剥離・すべり量及び構造物位置での応答加速度の比較を行う。

評価対象とする構造物は、屋外重要土木構造物において躯体の断面形状が比較的大きく、地盤と構造物の接合面で多数のジョイント要素を設けており、ジョイント要素のばね定数の設定値による影響を生じやすいと考えられる取水路（漸拡部）とする。解析ケースは基本ケース①とし、地震動は、基本ケース（検討ケース 2）におけるせん断破壊に対する照査値が最も厳しく、全周期帯で加速度応答スペクトルが大きい $S_s - D1 (+ +)$ を用いる。

表 2-1 にジョイント要素のばね定数に係る影響評価の検討ケース、図 2-1 に取水路（漸拡部）の平面図、図 2-2 に断面図、図 2-3 にジョイント要素の配置図をそれぞれ示す。

表 2-1 検討ケース

| 検討ケース | ばね定数の倍率 | ジョイント要素のばね定数 (kN/m ³) | |
|-------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | | 盛土, 旧表土 | 岩盤, セメント改良土, 改良地盤, MMR |
| 1 | 0.1 倍 | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^5$ | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^6$ |
| 2 | 1 倍 (基本ケース) | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^6$ | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^7$ |
| 3 | 10 倍 | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^7$ | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^8$ |
| 4 | 100 倍 | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^8$ | $k_s = k_n = 1.0 \times 10^9$ |

注： k_s ：せん断剛性， k_n ：圧縮剛性

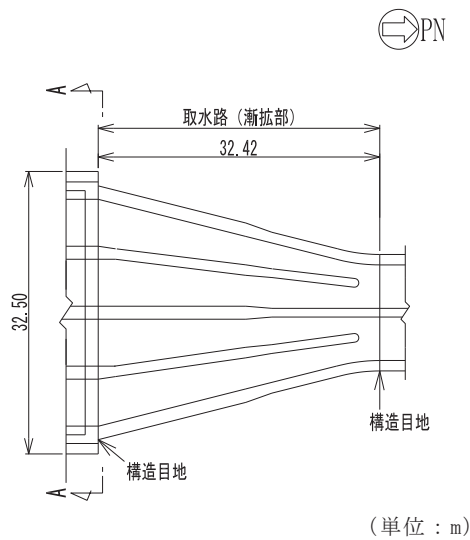


図 2-1 取水路 (漸拡部) の平面図

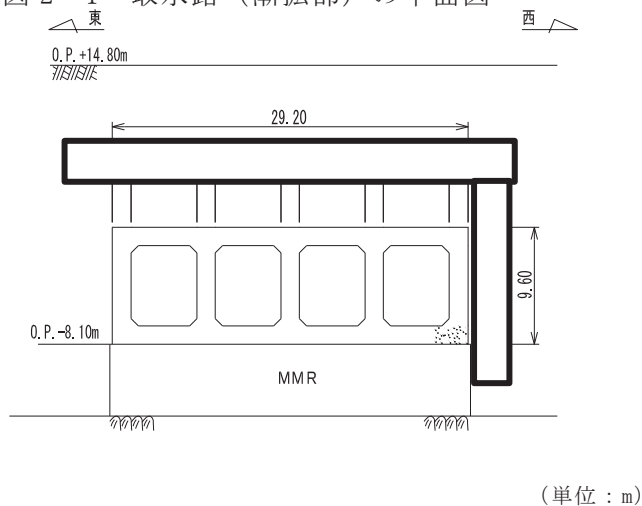
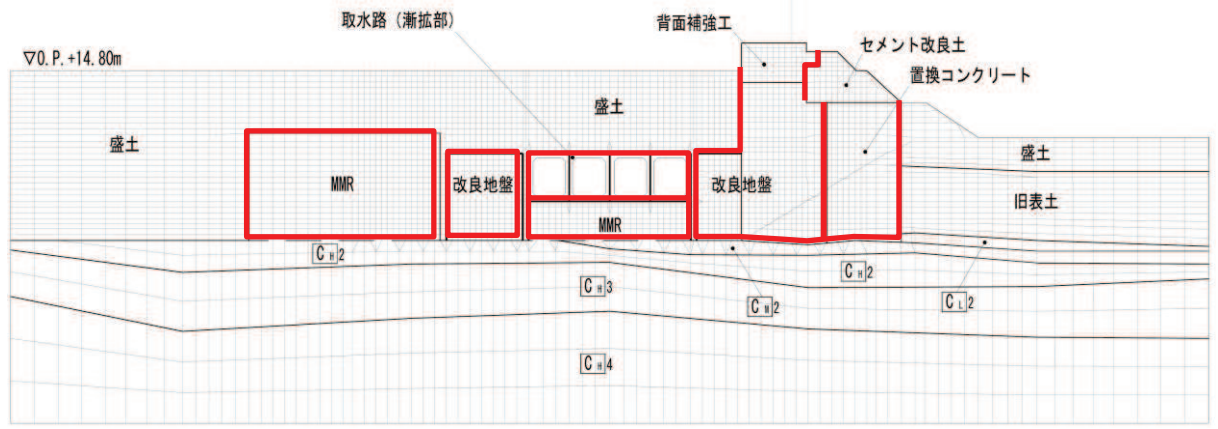


図 2-2 取水路 (漸拡部) の断面図 (A-A 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



— : ジョイント要素

図 2-3 ジョイント要素の配置図

3. 評価結果

ジョイント要素のばね定数の設定値と、各設定値に対する取水路（漸拡部）の構造物の照査値（曲げ・軸力系の破壊に対する照査値及びせん断破壊に対する照査値）の比較結果を表 3-1 に、地盤と構造物の接合面における剥離・すべり量の比較結果を図 3-1 に、構造物位置における加速度応答スペクトルの比較結果を図 3-2 に示す。

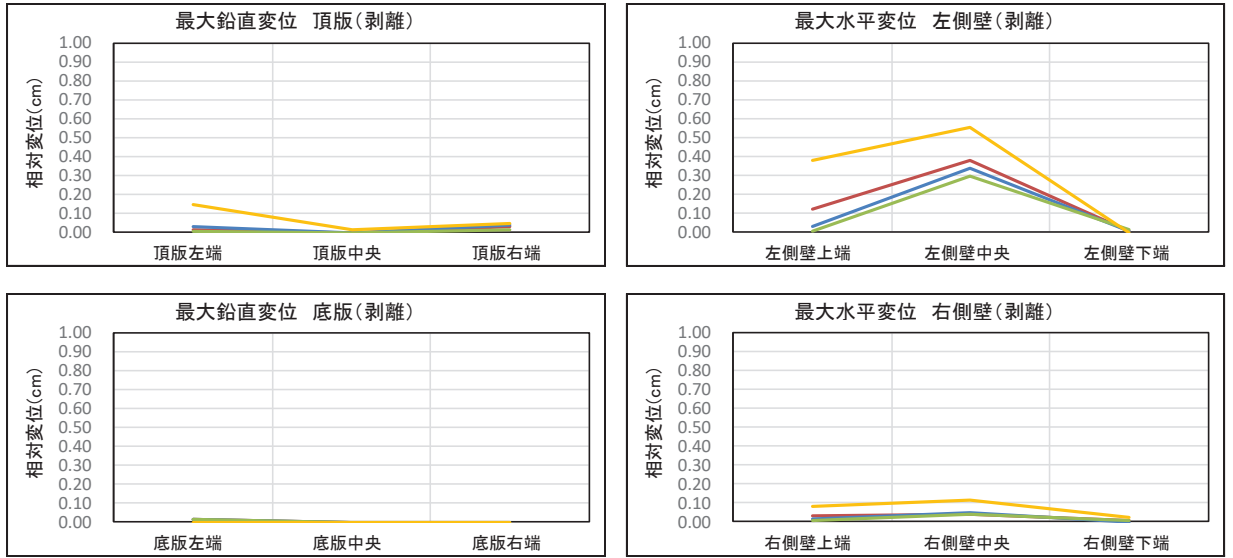
表 3-1 に示す通り、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値及びせん断破壊に対する照査値とともに、ジョイント要素のばね定数が大きくなるほど、照査値が小さく、裕度が大きくなっている。図 3-1 に示すとおり、ばね定数が 1 倍、10 倍の設定において、剥離・すべり量に大きな差は無い。ばね定数 0.1 倍においては、剥離・すべり量が明確に大きくなっている。ばね定数 100 倍においては、右側壁中央のすべり量が特に大きくなっている。図 3-2 に示すとおり、ばね定数 1 倍以上の設定において、加速度応答スペクトルに大きな差は無い。

以上の結果から、ばね定数 1 倍、10 倍では数値計算上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値となっており、地盤から構造物への圧縮荷重、せん断荷重が確実に伝達され得る適切な設定値であることを確認した。また、松本らの方法に従い設定したばね定数 1 倍は、ばね定数 10 倍に比べて保守的な設定となっており、ジョイント要素のばね定数の設定は問題無いことを確認した。

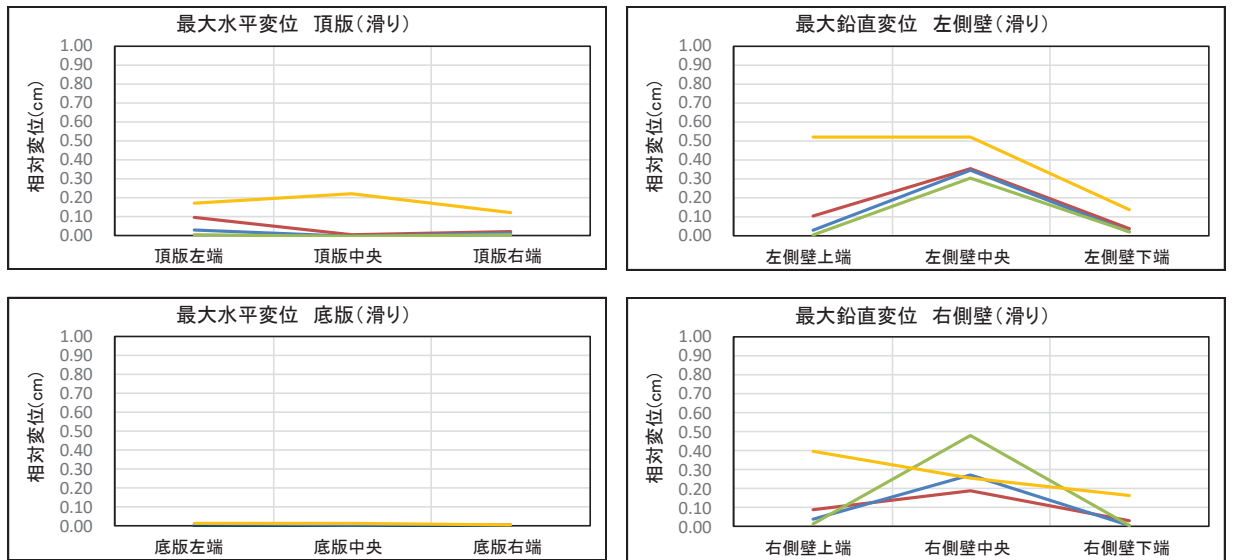
表 3-1 構造物の照査値の比較結果 $S_s - D_1$ (++)

| 検討ケース | ばね定数の倍率 | 曲げ・軸力系の破壊 に対する照査値 | せん断破壊 に対する照査値* |
|-------|---------|----------------------|-------------------|
| 1 | 0.1 倍 | 0.12 | 0.75 |
| 2 | 1 倍 | 0.09 | 0.69 |
| 3 | 10 倍 | 0.08 | 0.67 |
| 4 | 100 倍 | 0.08 | 0.63 |

注記*：部材非線形解析の結果を示す。全ての検討ケースにおいて照査位置は照査値が最も厳しい頂版の値である。



(a) 剥離量



(b) すべり量

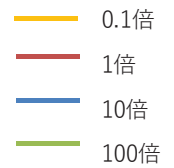
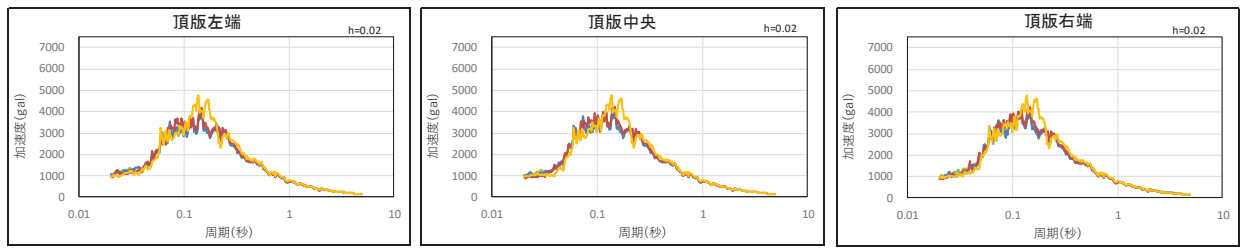
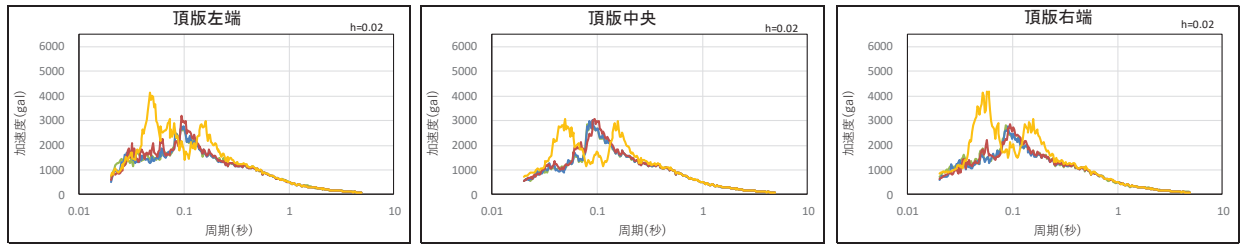


図 3-1 地盤と構造物の接合面における剥離・すべり量の比較
(基本ケース①, $S_s - D1 (+ +)$)



(a) 水平加速度



(b) 鉛直加速度



図 3-2 構造物位置における加速度応答スペクトルの比較
(基本ケース①, $S_s - D1 (+ +)$)

【参考文献】

- (1) 松本敏克, 坂田勉, 八木悟, 森聡, 沢田純男: 基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法, 応用力学論文集 Vol.12 pp1061-1070, 2009

参考資料 13 三次元構造解析による耐震評価の照査時刻の妥当性確認方針

1. はじめに

三次元構造解析においては、耐震評価結果が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定して地震時荷重を算出し、選定した時刻の荷重を三次元構造解析モデルに作用させて評価を行っている。

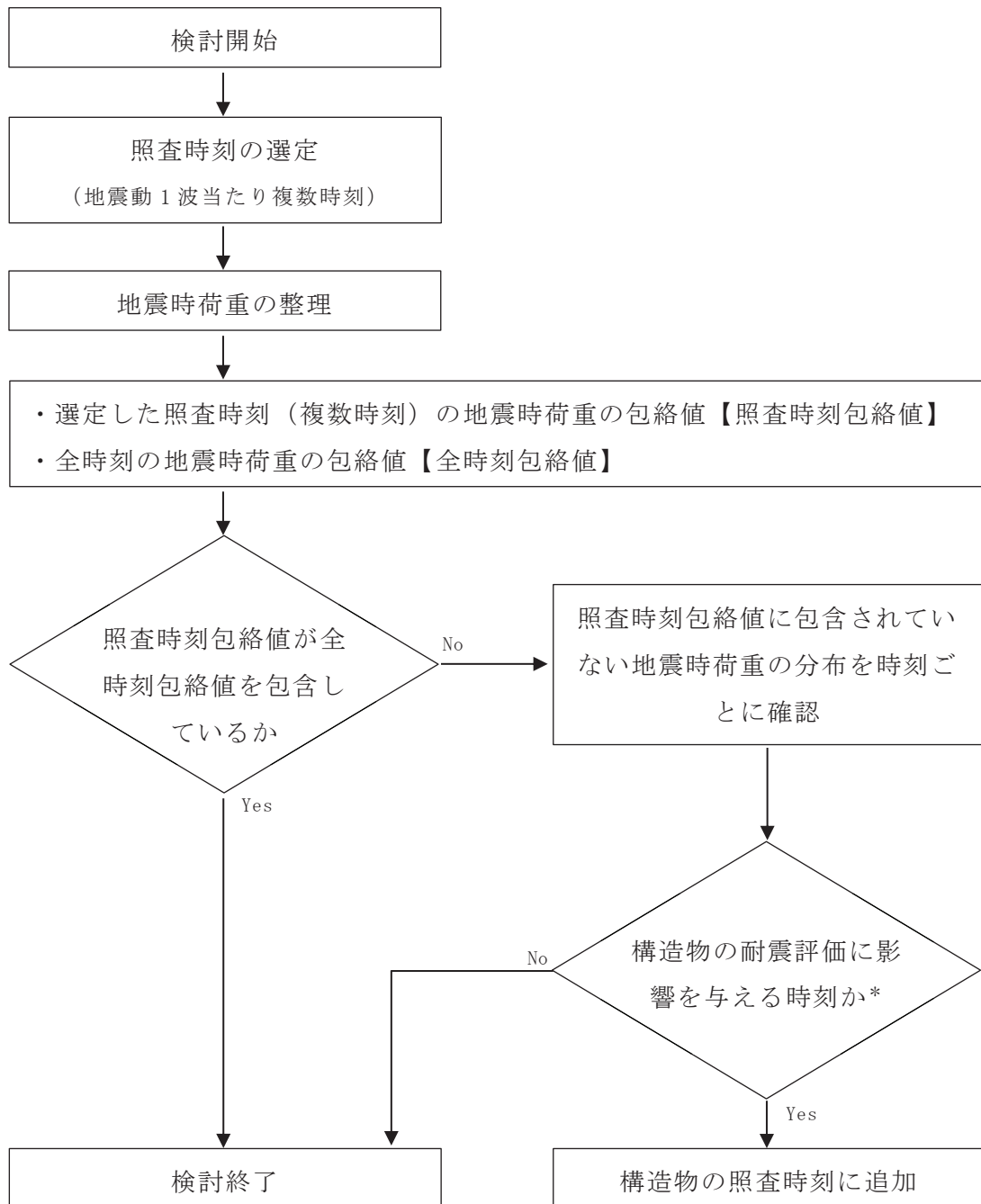
本資料は、照査時刻の選定の妥当性を確認するための方針について取りまとめたものである。具体的には、複数の照査時刻における地震時荷重の包絡値（照査時刻包絡値）と、全時刻における地震時荷重の包絡値（全時刻包絡値）の深度分布を比較し、照査時刻以外の荷重状態が、耐震評価に影響を及ぼすことがないことを確認する。また、三次元構造解析を行う箱形構造物を、構造形式の違いにより3つに分類し、それぞれの分類から妥当性確認を行う構造物を代表構造物として選定する。

なお、各構造物の照査時刻の妥当性確認結果は、個別の補足説明資料に示す。

2. 照査時刻の選定の妥当性確認方法

三次元構造解析を行う箱形構造物は、構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる照査時刻を選定し耐震評価を行っている。照査時刻の妥当性の検証は、図 2-1 に示すフローに基づき行うこととし、選定した複数の照査時刻とは異なる時刻における荷重状態が、耐震評価に影響を及ぼさないことを確認する。

確認方法は、選定した複数の照査時刻の地震時荷重の包絡値（照査時刻包絡値）と全時刻の地震時荷重の包絡値（全時刻包絡値）の深度分布を比較し、照査時刻包絡値と全時刻包絡値の大小関係を確認する。照査時刻包絡値が全時刻包絡値を包含していない場合は、包含していない時刻を抽出し、その時刻の荷重状態が構造物の耐震評価に影響を与える可能性があるかを確認する。地震時荷重の分布から判断が難しい場合は、構造解析等による個別の評価により耐震評価への影響を確認する



注記*：深度方向の地震時荷重の分布により確認する。地震時荷重の分布から判断が難しい場合は、構造解析等による個別の評価により耐震評価への影響を確認する。

図 2-1 確認フロー

3. 照査時刻の選定の妥当性確認を行う代表構造物の整理

三次元構造解析を行う箱形構造物を構造形式毎に分類し、照査時刻の選定の妥当性確認を行う代表構造物について整理した結果を表 3-1 に示す。

3.1 頂版を有さない箱形構造物

頂版を有さない箱形構造物として、海水ポンプ室及び第3号機海水ポンプ室が該当し、両施設は、延長方向に隔壁によってエリア分割されたおおむね同一の構造形式である。このうち、3つのエリアに分かれ照査時刻を多く有する海水ポンプ室を代表構造物として選定する。

確認結果は、「資料9 海水ポンプ室の耐震安全性評価」に示す。

3.2 頂版を有する箱形構造物

頂版を有する箱形構造物として、軽油タンク室、軽油タンク室(H)、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び取水口が該当するが、地震時荷重に構造全体で抵抗することや構成される部材が同一であることから、構造的特徴に大きな差異はなく、着目する照査時刻の考え方も同様である。このうち、比較的構造が単純で、三次元静的材料非線形解析を行っている軽油タンク室を代表構造物として選定する。

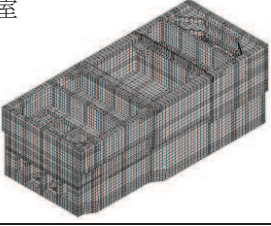
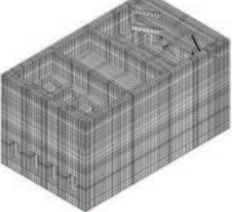
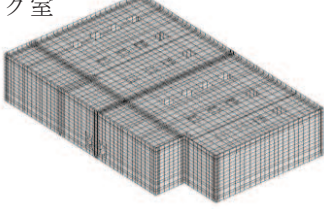
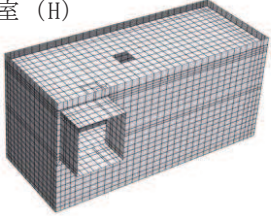
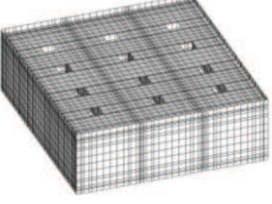
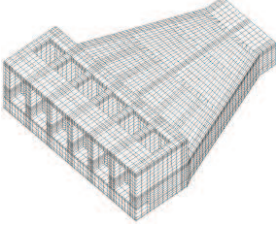
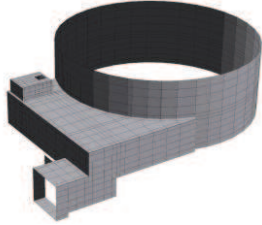
確認結果は、「資料7 軽油タンク室の耐震安全性評価」に示す。

3.3 構造の一部が地上に露出し、複数の部位から構成される構造物

復水貯蔵タンク基礎以外に該当する構造物が存在しないことから、復水貯蔵タンク基礎により照査時刻の選定の妥当性確認を行う。

確認結果は、「資料12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価」に示す。

表 3-1 箱形構造物の構造形式

| No. | 構造形式 | 構造物名称／三次元モデル | 代表構造物の選定 |
|-----|------------------------------|---|--|
| 1 | 頂版を有さない 箱形構造物 | <p>海水ポンプ室</p>  <p>第 3 号機 海水ポンプ室</p>  | <ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室及び第 3 号機海水ポンプ室は、延長方向に隔壁によってエリア分割された構造であり、おおむね同一の構造であることから、<u>海水ポンプ室</u>を代表に照査時刻の選定の妥当性を確認する。 確認結果は、「資料 9 海水ポンプ室の耐震安全性評価」に示す。 |
| 2 | 頂版を有する 箱形構造物 | <p>軽油タンク室</p>  <p>軽油タンク室 (H)</p>  <p>ガスタービン 発電設備 軽油タンク室</p>  <p>取水口</p>  | <ul style="list-style-type: none"> 左記に示す構造物は頂版を有するため、地震時荷重に構造全体で抵抗することや構成される部材が同一であり構造的特徴に大きな差異がなく、着目する照査時刻の考え方も同様であることから、比較的構造が単純であり、三次元静的材料非線形解析を行っている<u>軽油タンク室</u>を代表に照査時刻の選定の妥当性を確認する。 確認結果は、「資料 7 軽油タンク室の耐震安全性評価」に示す。 |
| 3 | 構造の一部が地上に露出し、複数の部位から構成される構造物 | <p>復水貯蔵タンク基礎</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <u>復水貯蔵タンク基礎</u>を代表に照査時刻の選定の妥当性を確認する。 確認結果は、「資料 12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価」に示す。 |

資料 5 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震安全性評価

追而

- ・ 参考資料 2 については，別途示す。
- ・ 参考資料 3 については，別途示す。
- ・ 断面⑥の評価結果については，別途示す。

目 次

| | |
|----------------------|---------|
| 1. 評価方法 | 資料 5-1 |
| 2. 評価条件 | 資料 5-1 |
| 2.1 適用規格 | 資料 5-1 |
| 2.2 構造及び補強の概要 | 資料 5-4 |
| 2.3 耐震評価フロー | 資料 5-16 |
| 2.4 地震時荷重算出断面の選定 | 資料 5-19 |
| 2.5 使用材料及び材料の物性値 | 資料 5-24 |
| 2.6 地盤物性値 | 資料 5-24 |
| 2.7 評価構造物諸元 | 資料 5-29 |
| 2.8 地下水位 | 資料 5-32 |
| 3. 地震応答解析 | 資料 5-34 |
| 3.1 地震応答解析手法 | 資料 5-34 |
| 3.2 地震応答解析モデルの設定 | 資料 5-37 |
| 3.2.1 解析モデル領域 | 資料 5-37 |
| 3.2.2 境界条件 | 資料 5-39 |
| 3.2.3 構造物のモデル化 | 資料 5-44 |
| 3.2.4 隣接構造物のモデル化 | 資料 5-45 |
| 3.2.5 地盤及び MMR のモデル化 | 資料 5-45 |
| 3.2.6 ジョイント要素の設定 | 資料 5-45 |
| 3.3 減衰定数 | 資料 5-51 |
| 3.4 荷重の組合せ | 資料 5-59 |
| 3.4.1 機器・配管荷重 | 資料 5-60 |
| 3.4.2 外水圧 | 資料 5-63 |
| 3.4.3 積載荷重 | 資料 5-63 |
| 3.5 地震応答解析の解析ケース | 資料 5-64 |
| 3.5.1 耐震評価における解析ケース | 資料 5-64 |
| 4. 二次元構造解析 | 資料 5-70 |
| 4.1 評価対象部材 | 資料 5-70 |
| 4.2 解析方法 | 資料 5-72 |
| 4.3 解析モデルの諸元 | 資料 5-72 |
| 4.3.1 解析モデル | 資料 5-72 |
| 4.3.2 使用材料及び材料の物性値 | 資料 5-75 |
| 4.4 入力荷重 | 資料 5-75 |
| 4.4.1 常時荷重 | 資料 5-76 |
| 4.4.2 慣性力 | 資料 5-82 |
| 4.4.3 地震時土圧及び周面せん断力 | 資料 5-85 |
| 5. 評価内容 | 資料 5-88 |

| | | |
|-------|------------------------|----------|
| 5.1 | 入力地震動の設定 | 資料 5-88 |
| 5.2 | 許容限界の設定 | 資料 5-117 |
| 5.2.1 | 鉄筋コンクリート部材の健全性に対する許容限界 | 資料 5-117 |
| 5.2.2 | 鋼材の健全性に対する許容限界 | 資料 5-142 |
| 5.2.3 | 基礎地盤の支持性能に対する許容限界 | 資料 5-144 |
| 6 | 評価結果 | 資料 5-145 |
| 6.1 | 地震応答解析結果 | 資料 5-145 |
| 6.1.1 | 解析ケースと照査値 | 資料 5-145 |
| 6.1.2 | 作用荷重分布図 | 資料 5-162 |
| 6.1.3 | 最大せん断ひずみ分布 | 資料 5-164 |
| 6.2 | 二次元構造解析結果 | 資料 5-169 |
| 6.2.1 | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | 資料 5-169 |
| 6.2.2 | せん断破壊に対する照査 | 資料 5-183 |
| 6.3 | 構造部材の健全性に対する評価結果 | 資料 5-189 |
| 6.3.1 | 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 | 資料 5-189 |
| 6.3.2 | せん断破壊に対する評価結果 | 資料 5-246 |
| 6.4 | 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 資料 5-295 |
| 7. | まとめ | 資料 5-296 |

参考資料

- 参考資料 1 津波に対する止水機能を有する施設の評価について・・・・・・・・資料 5- (参考) 1-1
- 参考資料 2 静的地震力に対する評価結果・・・・・・・・資料 5- (参考) 2-1
- 参考資料 3 側壁新設部の既設部との接合方法について・・・・・・・・資料 5- (参考) 3-1
- 参考資料 4 地震応答解析モデルの検証について・・・・・・・・資料 5- (参考) 4-1
- 参考資料 5 頂版及び底版への側壁モーメントの影響について・・・・・・・・資料 5- (参考) 5-1
- 参考資料 6 鋼材端部を固定境界とした場合の照査結果・・・・・・・・資料 5- (参考) 6-1
- 参考資料 7 防潮壁と海水配管ダクト（鉛直部）の相互作用・・・・・・・・資料 5- (参考) 7-1

: 本日の説明範囲

参考資料 7 防潮壁と海水配管ダクト（鉛直部）の相互影響

1. はじめに

海水配管ダクト（鉛直部）の及び海水ポンプ室の周辺には防潮壁が近接して設置されており、一部止水機能を目的とする M 型ジョイントで連結されている。

本資料では、海水配管ダクト（鉛直部）と防潮壁との位置関係を示し、海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価において、防潮壁との相互影響がないことを説明する。

2. 海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価における防潮壁の考慮

2.1 海水配管ダクト（鉛直部）の頂版との相互影響の確認

海水配管ダクト（鉛直部）周辺を示した平面図を図 2-1 に、断面図を図 2-2 に示す。図 2-3 のとおり、海水配管ダクト（鉛直部）と鋼桁の鉛直方向の離隔は 169mm となっており、境界には止水性能がある M 型ジョイントが設置されていること、鋼桁は杭基礎で支えられていることから相互の荷重の伝達は発生しない構造としている。なお、図 2-4 のとおり、海水ポンプ室の隔壁と防潮壁も近接しているが、同様に相互の荷重の伝達は発生しない構造としている。

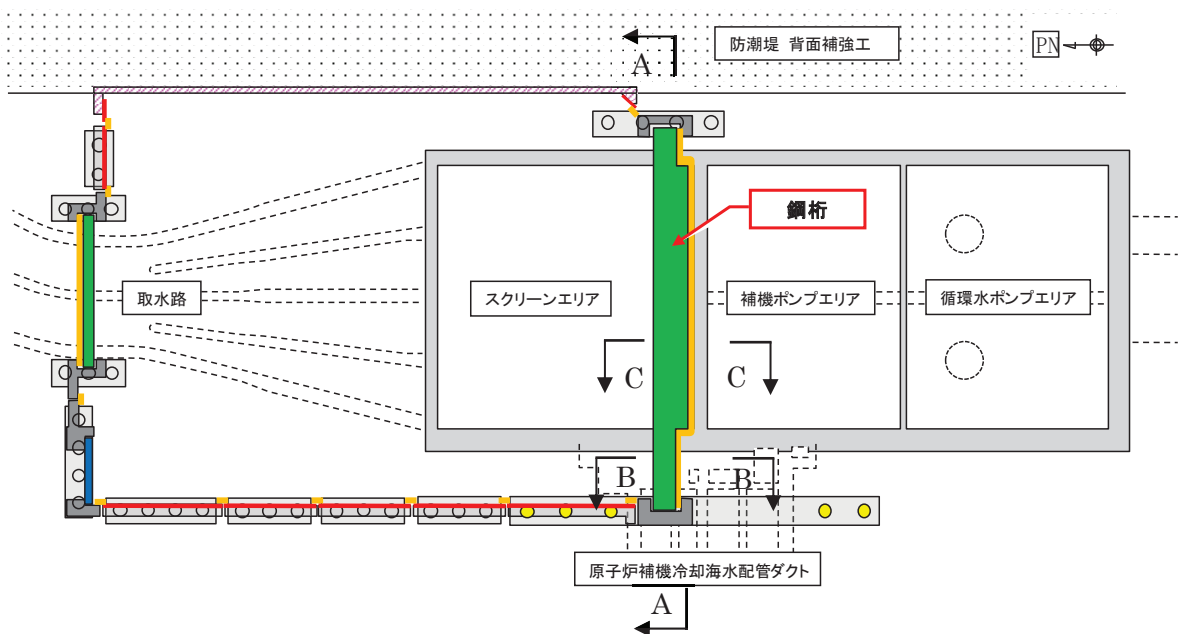
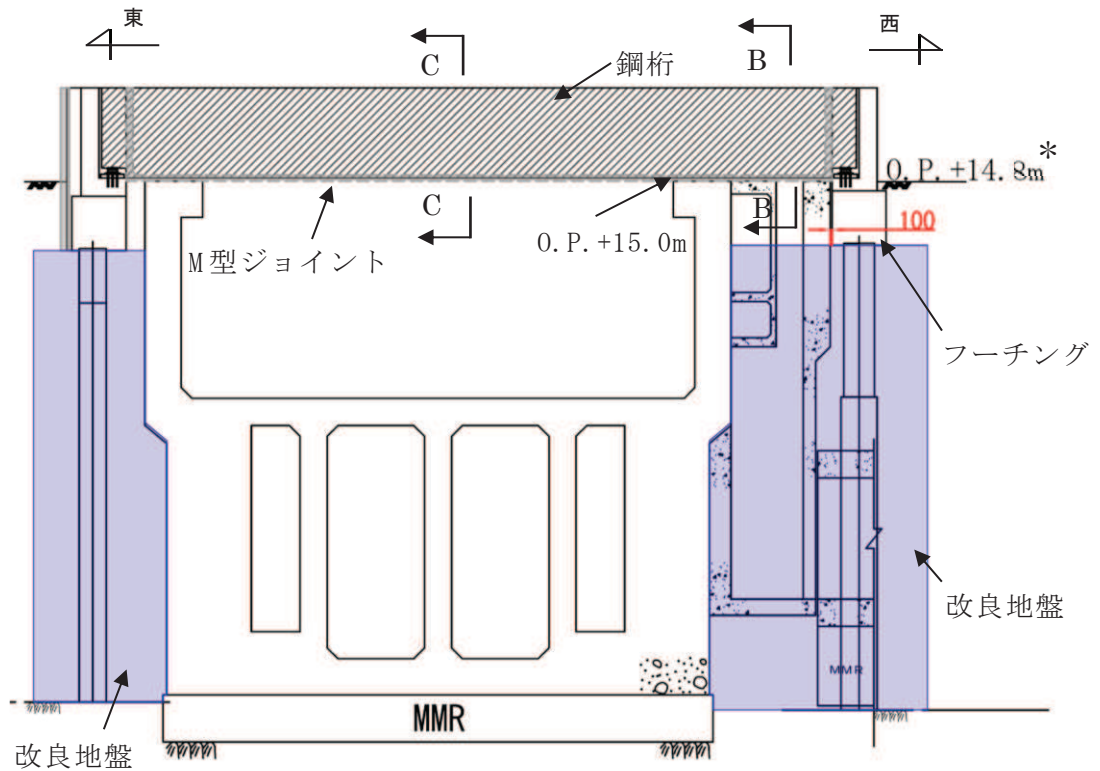


図 2-1 海水配管ダクト（鉛直部） 平面図



注記*：海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価は、敷地高さを O.P. +14.8m として実施しているのに対し、防潮壁の耐震評価では、敷地高さを O.P. +13.8m で考慮している。これは、東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下の考慮方法による違いであり、前者は敷地高さ O.P. +14.8m を固定し、朔望平均満潮位を O.P. +1.43m から O.P. +2.43m とすることで考慮しており、後者は敷地高さを 1.0m 下げた敷地高さを O.P. +13.8m とすることで考慮している。

図 2-2 東西断面 (A-A 断面)

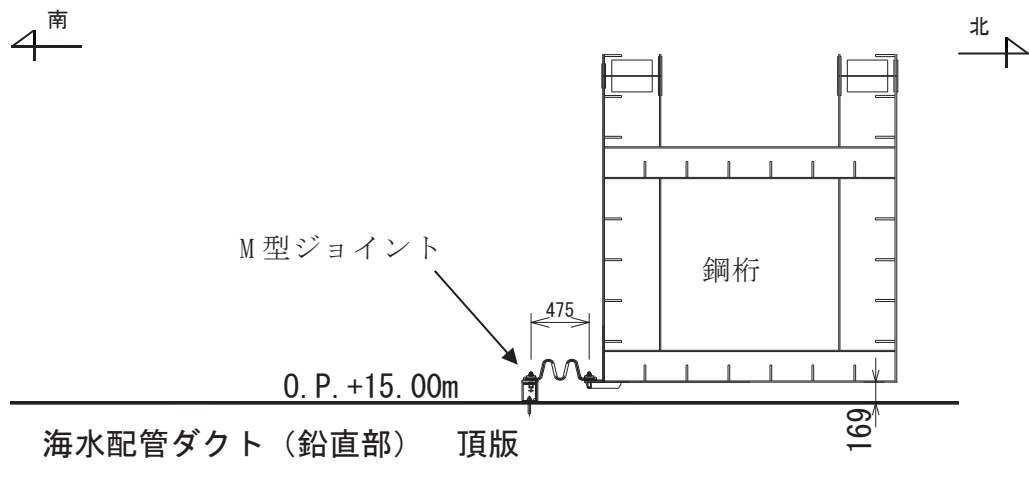


図 2-3 海水配管ダクト（鉛直部）の頂版と防潮壁の設置状況（B-B 断面）

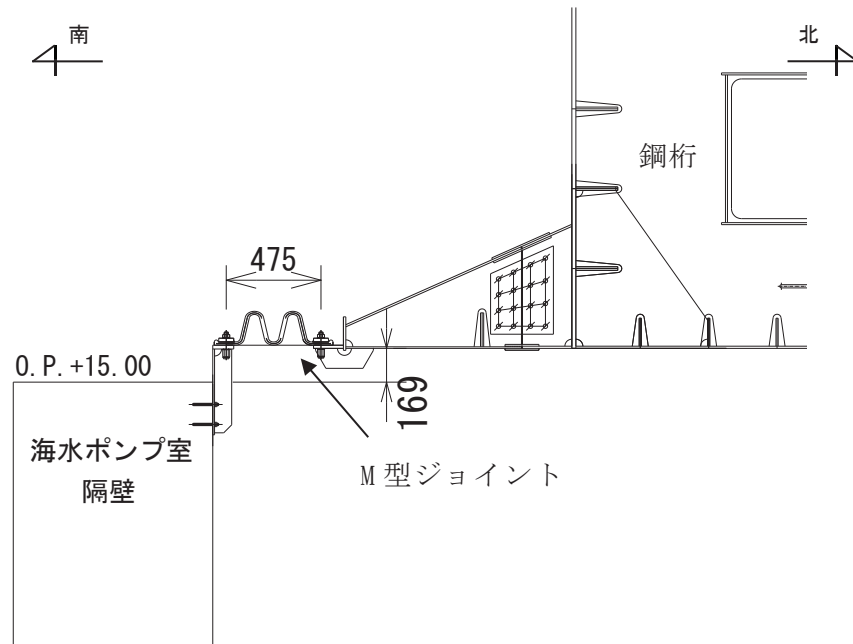


図 2-4 海水ポンプ室の隔壁と防潮壁の設置状況（C-C 断面）

2.2 海水配管ダクト（鉛直部）の側壁に防潮壁が与える影響

海水配管ダクト（鉛直部）と防潮壁との位置関係は、図 2-5 に示すとおり、海水配管ダクト（鉛直部）の外側に、100mm の砂質土を介し、防潮壁基礎のフーチングが存在することから、海水配管ダクト（鉛直部）に作用する土圧は防潮壁基礎のフーチングが受け持つが、海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析では防潮壁基礎のフーチングを盛土としてモデル化している。

図 2-6 に示すとおり、防潮壁におけるフーチング下端の鋼管杭は改良地盤に囲まれていることから、地震時に防潮壁と改良地盤は一体の挙動を示すと考えられることから、防潮壁の鋼管杭を改良地盤としてモデル化している。

なお、海水配管ダクト（鉛直部）と防潮壁が逆位相で挙動したとしても、基準地震動 S_s に対する防潮壁の最大変位量と海水配管ダクト（鉛直部）の最大変位量の総和が 42.7mm であることを確認した。

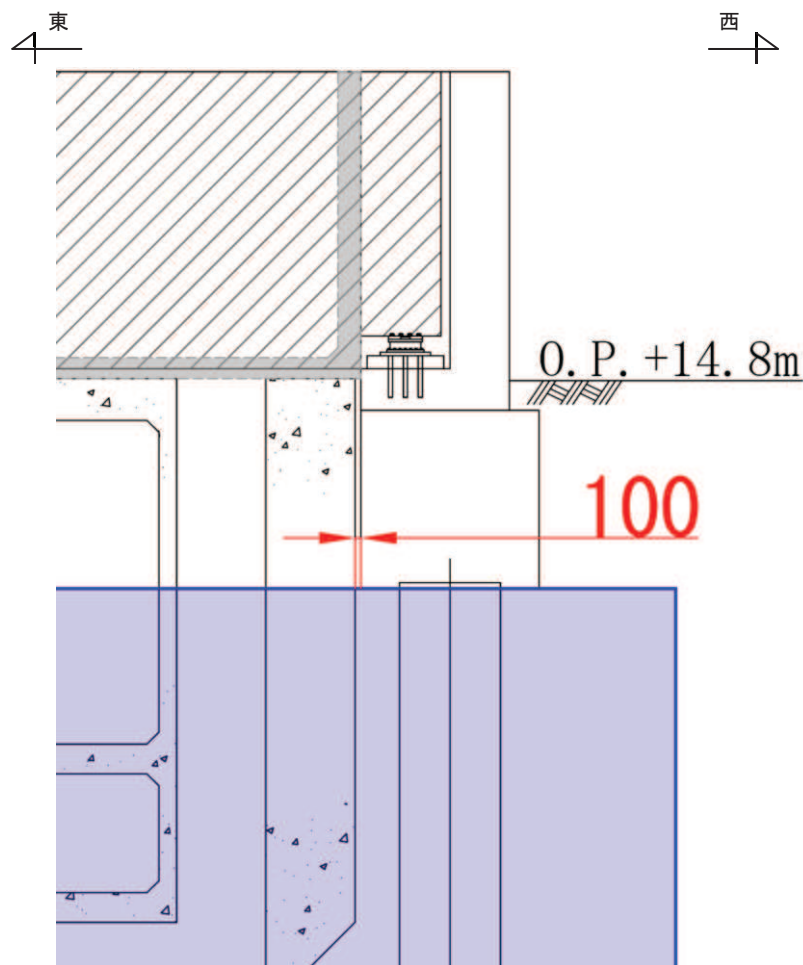
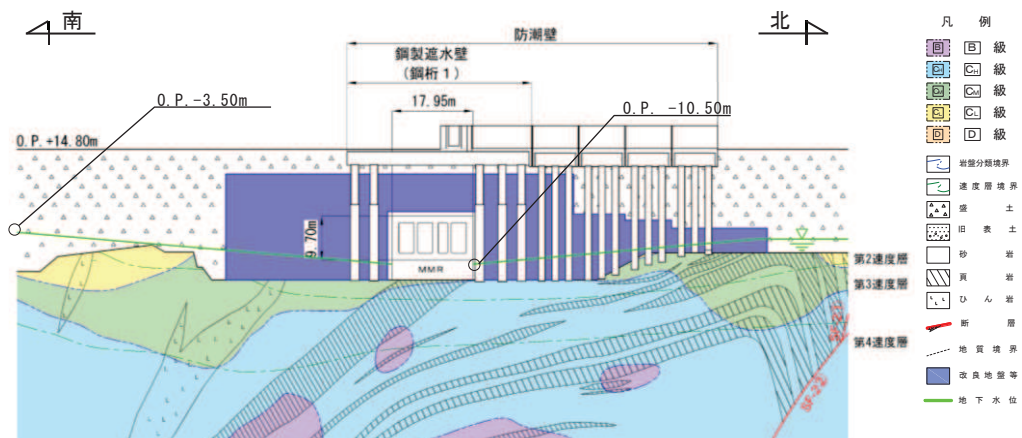


図 2-5 海水配管ダクト（鉛直部）と防潮壁の離隔（図 2-2 の拡大図）



注記*：防潮壁を投影して表示

図 2-6 防潮壁基礎（西側）の地質構成図

3. まとめ

海水配管ダクト（鉛直部）周辺に設置されている防潮壁との位置関係を詳細に示し，海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価において，相互影響が無いことを確認した。