

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-026-01 改 08
提出年月日	2023年4月3日

## 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

2023年4月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目次

1. 対象設備
2. 屋外重要土木構造物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
  - 2.2 通水機能
  - 2.3 貯水機能
  - 2.4 止水機能
  - 2.5 遮蔽機能
  - 2.6 屋外重要土木構造物の耐震安全性に関する整理
3. 安全係数
4. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方及び解析手法選定
  - 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 取水槽の断面選定の考え方
  - 4.5 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の断面選定の考え方
  - 4.6 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の断面選定の考え方
  - 4.7 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の断面選定の考え方
  - 4.8 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の断面選定の考え方
  - 4.9 取水管の断面選定の考え方
  - 4.10 取水口の断面選定の考え方
  - 4.11 第1ベントフィルタ格納槽の断面選定の考え方
  - 4.12 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の断面選定の考え方
  - 4.13 緊急時対策所用燃料地下タンクの断面選定の考え方
  - 4.14 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の断面選定の考え方
  - 4.15 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の断面選定の考え方
5. 解析ケースの選定方法
  - 5.1 耐震評価における解析ケース
  - 5.2 耐震評価における解析ケースの組合せ
  - 5.3 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース



- 6. 許容限界
  - 6.1 許容応力度法による耐震安全性評価
  - 6.2 限界状態設計法による耐震安全性評価
  - 6.3 土木学会マニュアル2005の適用性
  - 6.4 具体的な照査方法
- 7. ジョイント要素のばね設定
  - 7.1 せん断強度の設定
  - 7.2 ばね定数の設定
- 8. 解析モデルの作成方針
  - 8.1 隣接構造物のモデル化方針
  - 8.2 モデル化の範囲
- 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
  - 9.2 時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定するRayleigh減衰
- 10. 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定
  - 10.1 評価方針
- 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
  - 11.2 等価剛性モデルの設定手順
- 12. 屋外重要土木構造物の耐震評価における地下水位及び内水位の設定
  - 12.1 地下水位の設定
  - 12.2 内水位の設定

## 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

今回提出範囲：

- 参考資料 1 非常用取水設備に要求される貯水機能の要否について
- 参考資料 2 箱型構造物の評価について
- 参考資料 3 構造物周辺の無筋コンクリートの定義及び評価方針について
- 参考資料 4 放水槽を埋戻土としてモデル化することの妥当性について
- 参考資料 5 補助消火水槽の位置付けについて
- 参考資料 6 安全対策工事着工前の周辺地盤状況を踏まえた断面選定及び解析手法の選定について
- 参考資料 7 追加解析ケースの選定方法の詳細について
- 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について
- 参考資料 9 解析手法の選定の補足確認結果
- 参考資料 10 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 11 浮上り評価について
- 参考資料 12 後施工せん断補強筋の適用性について
- 参考資料 13 屋外重要土木構造物設置位置における地盤の振動特性
- 参考資料 14 材料非線形解析の部材係数  $\gamma_{b1}$  の設定について
- 参考資料 15 非線形はり要素のモデル化方法に関する補足
- 参考資料 16 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について
- 参考資料 17 線状構造物の強軸方向床応答の影響について
- 参考資料 18 入力地震動の算定に用いる地盤モデルの作成方針について
- 参考資料 19 解析コードの差異による応答への影響について

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

工事計画に係る説明資料 屋外重要土木構造物の耐震性についての計算書 のうち NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について		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	遮蔽機能	共通事項
2.6	屋外重要土木構造物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の耐震評価における断面選定の考え方及び解析手法選定		
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	取水槽の断面選定の考え方	VI-2-2-18 取水槽の地震応答計算書
4.5	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の断面選定の考え方	VI-2-2-20 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答計算書
4.6	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の断面選定の考え方	VI-2-2-22 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の地震応答計算書

4.7	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の断面選定の考え方	VI-2-2-24	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書
4.8	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の断面選定の考え方	VI-2-2-26	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地震応答計算書
4.9	取水管の断面選定の考え方	VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書
4.10	取水口の断面選定の考え方	VI-2-2-29	取水口の耐震性についての計算書
4.11	第1ベントフィルタ格納槽の断面選定の考え方	VI-2-2-30	第1ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書
4.12	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の断面選定の考え方	VI-2-2-32	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書
4.13	緊急時対策所用燃料地下タンクの断面選定の考え方	VI-2-2-34	緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書
4.14	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の断面選定の考え方	VI-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書
4.15	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の断面選定の考え方	VI-2-2-37	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書
5. 解析ケースの選定方法			
5.1	耐震評価における解析ケース	共通事項	
5.2	耐震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耐震安全性評価	共通事項	
6.3	土木学会マニュアル2005の適用性	共通事項	

6.4	具体的な照査方法	共通事項
7.	ジョイント要素のばね設定	共通事項
7.1	せん断強度の設定	共通事項
7.2	ばね定数の設定	共通事項
8.	解析モデルの作成方針	共通事項
8.1	隣接構造物のモデル化方針	共通事項
8.2	モデル化の範囲	共通事項
9.	地震応答解析における構造物の減衰定数	共通事項
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
12.	屋外重要土木構造物の耐震評価における地下水位及び内水位の設定	
12.1	地下水位の設定	共通事項
12.2	内水位の設定	共通事項

## 1. 対象設備

耐震評価の対象とする屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管系を間接支持する支持機能若しくは非常時における海水の通水機能を求められる屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）、取水管及び取水口である。また、Sクラスの機器・配管系を間接支持する支持機能、非常時における海水の通水機能及び止水機能を求められる取水槽である。

同様に耐震評価の対象とする「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）」を間接支持する支持機能が求められる取水槽、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）、第1ベントフィルタ格納槽、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽\*、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎及び屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）についても記載する。加えて、「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に該当する緊急時対策所用燃料地下タンク及び「常設重大事故緩和設備」に該当し、設計基準事故対処設備の一部を流路として使用する取水槽、取水管及び取水口についても記載する。

これらの屋外重要土木構造物等の位置図を図1-1に示す。本資料では、図1-1に示す対象施設を屋外重要土木構造物として扱い、以下に耐震評価の詳細を示す。また、屋外重要土木構造物に設置される主要な設備を表1-1に示す。

なお、本資料においては、安全対策工事に伴う掘削後の状態を前提とする。

注記\*：低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の一部は「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に該当する低圧原子炉代替注水槽である。

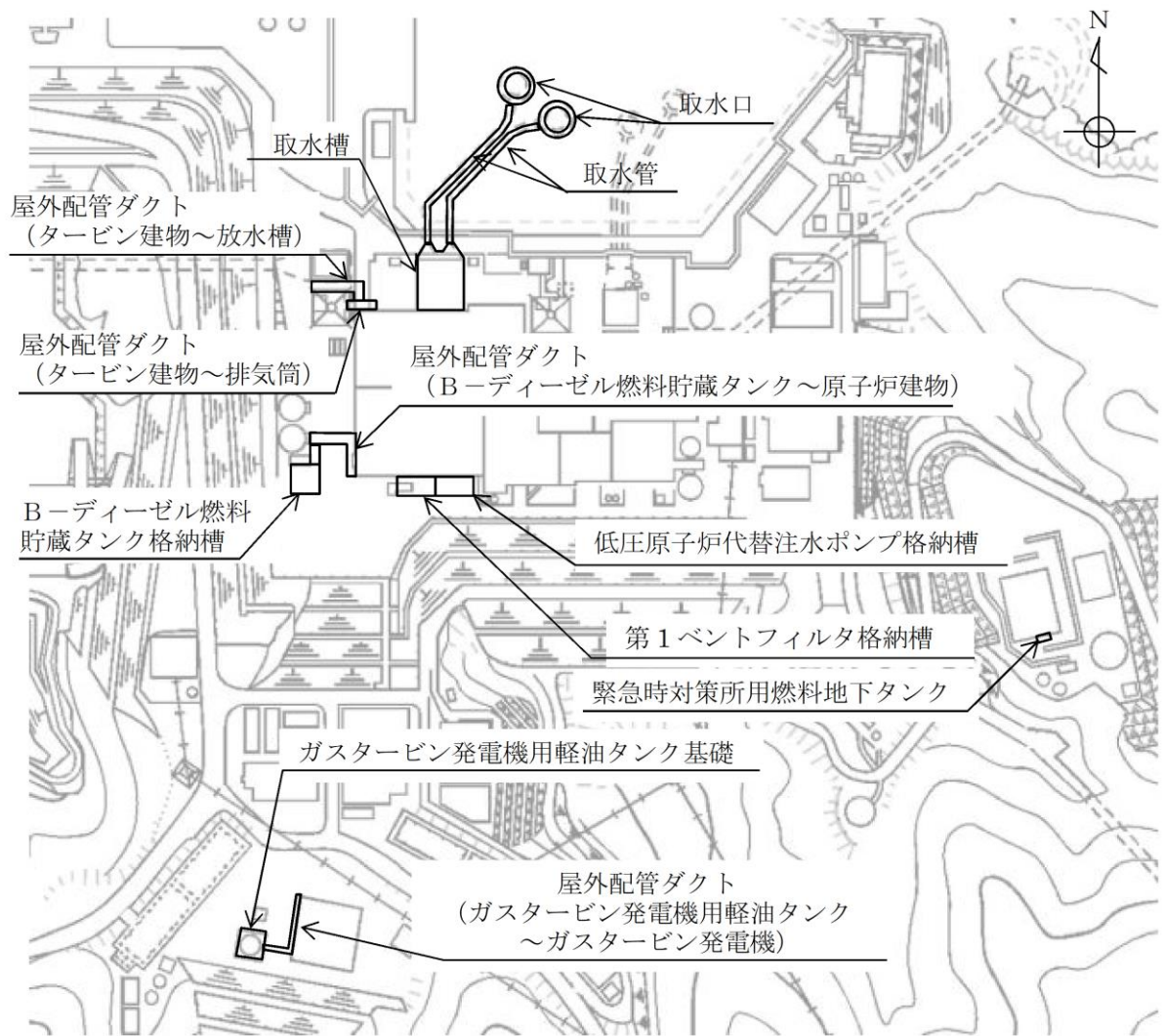


図 1-1 屋外重要土木構造物等位置図



表 1-1 屋外重要土木構造物に設置される主要な設備

設備名称	① 屋外重要 土木構造物	② 常設重大 事故等対 処設備	③ 常設重大 事故等対 処施設	①又は③に設置される設備				
				名称	耐震	耐津波		常設重大 事故等対 処設備
						浸水防止 設備	津波監視 設備	
取水槽*1	○	○	○	原子炉補機海水ポンプ	○	—	—	○
				原子炉補機海水ストレーナ	○	—	—	○
				原子炉補機海水系 配管・弁	○	—	—	○
				高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○	—	—	○
				高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○	—	—	○
				高圧炉心スプレイ補機海水系 配管・弁	○	—	—	○
				タービン補機海水ポンプ	—	○	—	—*2
				タービン補機海水系 配管・弁 (ポンプ出口～第二出口 弁)	—	○	—	—*2
				循環水ポンプ	—	○	—	—*2
				循環水系 配管・弁 (ポンプ出口～タービン建物外壁)	—	○	—	—*2
				除じんポンプ	—	○	—	—*2
				除じん系 配管・弁 (ポンプ入口配管, ポンプ出口～取水 槽海水ポンプエリア境界壁)	—	○	—	—*2
				貫通部止水処置	—	○	—	—*2
				取水槽除じん機エリア防水壁	—	○	—	—*2
				取水槽除じん機エリア水密扉	—	○	—	—*2
				取水槽漏えい検知器	—	○	—	—*2
取水槽床ドレン逆止弁	—	○	—	—*2				
取水槽水位計	—	—	○	—*2				
屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	○	—	○	非常用ガス処理系 配管・弁	○	—	—	○
				非常用ディーゼル発電設備 A-燃料配管 配管・弁	○	—	—	○
				高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料配管 配 管・弁	○	—	—	○
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	○	—	○	非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ	○	—	—	○
				非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク	○	—	—	○
				非常用ディーゼル発電設備 B-燃料配管 配管・弁	○	—	—	○
屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵 タンク～原子炉建物)	○	—	○	非常用ディーゼル発電設備 B-燃料配管 配管・弁	○	—	—	○
屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)	○	—	—	原子炉補機海水系 配管 (放水配管)	—	○	—	—*2
				タービン補機海水系 配管・弁 (放水配管) (逆止弁下 流)	—	○	—	—*2
				液体廃棄物処理系 配管・弁 (逆止弁下流)	—	○	—	—*2
				タービン建物漏えい検知器 (屋外配管ダクト (タービン建 物～放水槽))	—	○	—	—*2
				貫通部止水処置	—	○	—	—*2
取水管*1	○	○	—	—	—	—	—	
取水口*1	○	○	—	—	—	—	—	
第1ペントフィルタ格納槽	—	—	○	第1ペントフィルタ スクラバ容器	—	—	—	○
				第1ペントフィルタ 銀ゼオライト容器	—	—	—	○
				第1ペントフィルタ出口放射線モニタ (低レンジ)	—	—	—	○
				圧力開放板	—	—	—	○
				格納容器フィルタペント系 配管・弁	—	—	—	○
				第1ペントフィルタ出口放射線モニタ (高レンジ)	—	—	—	○
				スクラバ容器圧力	—	—	—	○
				スクラバ容器温度	—	—	—	○
				スクラバ容器水位	—	—	—	○
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—	○*3	○	低圧原子炉代替注水ポンプ	—	—	—	○
				低圧原子炉代替注水系 配管・弁	—	—	—	○
				SAロードセンタ	—	—	—	○
				SA1コントロールセンタ	—	—	—	○
				代替注水流量 (常設)	—	—	—	○
				低圧原子炉代替注水水位	—	—	—	○
緊急時対策用燃料地下タンク	—	○	—	低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力	—	—	—	○
				—	—	—	—	
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	—	—	○	ガスタービン発電機用軽油タンク	—	—	—	○
				ガスタービン発電機 燃料配管 配管・弁	—	—	—	○
屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用 軽油タンク～ガスタービン発電機)	—	—	○	ガスタービン発電機 燃料配管 配管・弁	—	—	—	○

屋外重要土木構造物：Sクラスの機器・配管系を間接支持する支持機能若しくは非常時における海水の通水機能を求められる土木構造物  
 常設重大事故等対処設備：常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備に該当する土木構造物  
 常設重大事故等対処施設：常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) (当該設備が属する耐震重要度  
 分類がSクラスのものが設置される重大事故等対処施設に該当する土木構造物)  
 耐震：耐震重要施設 (浸水防止設備、津波監視設備を除く)

注記\*1：非常用取水設備  
 \*2：常設重大事故等対処設備に対する浸水防止設備又は津波監視設備  
 \*3：低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽のうち低圧原子炉代替注水槽

## 2. 屋外重要土木構造物の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容

屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管系の間接支持構造物又は非常用取水設備であることを考慮し、その要求機能については、想定する地震動に対して次のように設定する。

- ①支持機能：Sクラスの機器・配管系を間接支持する構造物について、機器・配管系の各機能を安全に支持できること。
- ②通水機能：非常用取水設備のうち、通水断面を有する構造物について、通水機能を保持できること。
- ③貯水機能：貯水機能の維持が要求される施設について、著しい漏水がなく、所要の水を貯留できること。
- ④止水機能：以下の3つの観点に対し、部材からの漏水により、Sクラスの機器・配管系の安全機能を損なうことがないように止水できること。  
(観点1) 津波の押し波時における外郭防護  
(観点2) 屋外タンク損傷時における内郭防護  
(観点3) 循環水系配管破壊時における内部溢水
- ⑤遮蔽機能：遮蔽性の維持が要求される施設について、遮蔽体の形状及び厚さを確保することで、放射線障害から公衆等を守ること。

上記、機能維持については、必ずしも同一の評価基準を満足することで確認できるものではないことから、以下のとおり、要求機能ごとに条件を整理し、基本となる評価内容及び要求機能を踏まえた追加検討内容について定める。

なお、屋外重要土木構造物の要求機能と要求機能に対する耐震評価は、以下の基本設計方針に基づく。

- ・ VI-2-1-1 「耐震設計の基本方針」
- ・ VI-2-1-3 「地盤の支持性能に係る基本方針」
- ・ VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」
- ・ VI-2-1-9 「機能維持の基本方針」

### 2.1 支持機能

支持機能については、屋外重要土木構造物が間接支持する機器・配管系による耐荷性能を維持できることと同義であることから、構造物が終局限界に至らないことを目標性能とする。したがって、目標性能に対応した許容限界として、曲げ・軸力系の破壊については限界層間変形角<sup>\*1</sup>、終局限界に対する限界ひずみ<sup>\*2</sup>、終局曲げモーメント<sup>\*3</sup>又は許容応力度、せん断破壊についてはせん断耐力又は許容応力度を設定する(限界ひずみ、終局曲げモーメント及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる)。

また、面内変形に対しては、部材の面内せん断ひずみが J E A G 4 6 0 1 -1987 で規定されている支持機能の許容限界(限界せん断ひずみ)\*<sup>4</sup>に至らないことを確認する(限界せん断ひずみの許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる)。

ただし、構造物が間接支持する機器・配管系の機能維持のための与条件がある場合は、当該項目について別途検討を行う。加えて、後施工アンカー定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば、定着性能に影響を及ぼさないことから、鉄筋が降伏しないことを目標性能とし、部材のモデル化方法に応じて、部材降伏に対する限界ひずみ\*<sup>5</sup>、又は発生曲げモーメントが降伏曲げモーメント\*<sup>6</sup>を下回ることを確認する(限界ひずみの許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる)。

注記\*1：層間変形角 1/100

\*2：圧縮縁コンクリート限界ひずみ 1.0% (10000  $\mu$ )

\*3：構造物の終局状態に対応する曲げモーメント

\*4：限界せん断ひずみ 2/1000 (2000  $\mu$ )

\*5：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000  $\mu$

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725  $\mu$

\*6：鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

## 2.2 通水機能

通水機能については、屋外重要土木構造物の構造部材が損傷した場合でも、所定の水量を確保できるだけの通水断面が保持されればよいため、「2.1 支持機能」と同様に、構造物が終局限界に至らないことを目標性能とする。

## 2.3 貯水機能

貯水機能については、構造部材を貫通するような顕著なひび割れが生じていない状態であれば、構造部材からの漏水は無いと判断できることから、断面が降伏に至らないことを目標性能とする。構造部材のせん断については、せん断破壊が脆性的な破壊形態を示すことから、せん断耐力に至るまでは部材を貫通するような顕著なひび割れは発生しないと判断し、終局限界に至らないことを目標性能とする。したがって、目標性能に対応した許容限界として、曲げ・軸力系の破壊については、部材降伏に対する限界ひずみ\*<sup>6</sup>、降伏曲げモーメント\*<sup>7</sup>又は許容応力度、せん断破壊についてはせん断耐力又は許容応力度を設定する。

また、面内変形に対しては、部材の面内せん断ひずみが J E A G 4 6 0 1 -1987 で規定されているスケルトンカーブの第一折点 ( $\gamma_1$ ) を下回れば面内せん断ひび割れは発生せず、水密性はあると考えられ、 $\gamma_1$  を超過する場合については、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。

注記\*6：部材降伏に対する限界ひずみ

圧縮ひずみ 圧縮強度に対応するひずみ 2000  $\mu$

主筋ひずみ 降伏強度に対応するひずみ 1725  $\mu$

\*7：鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント

## 2.4 止水機能

止水機能については、構造部材を貫通するような顕著なひび割れが生じていない状態であれば、構造部材からの漏水は無いと判断できることから、「2.3 貯水機能」と同様に、断面が降伏に至らないことを目標性能とする。なお、構造物周辺の地下水による浸水の有無の確認については、「補足-015 工事計画に係る説明資料（発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書）」のうち「鉄筋コンクリート壁の水密性について」にて説明する。

## 2.5 遮蔽機能

遮蔽機能については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」において、生体遮蔽装置である建物・構築物の許容限界として、「質点系モデルによる地震応答解析の最大せん断ひずみが  $2.0 \times 10^{-3}$  を超えないこと、部材に生じる応力が終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること又は部材に生じる応力若しくはひずみが CCV 規格における荷重状態 IV の許容値を超えないこととする。」と記載されている。屋外重要土木構造物等では、建物・構築物における許容限界を準用し、面内変形により照査する場合は最大せん断ひずみが  $2.0 \times 10^{-3}$  を超えないこと、面外変形により照査する場合は構造物の終局状態に対応する限界ひずみ\*8 に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。

注記\*8：構造物の終局状態に対応する限界ひずみ 3500  $\mu$

## 2.6 屋外重要土木構造物の耐震安全性に関する整理

支持機能及び通水機能に対しての許容限界は、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊ともに終局限界とする。また、貯水機能及び止水機能に対しての許容限界として、曲げ・軸力系の破壊については断面降伏を、せん断破壊については終局限界（せん断耐力）を適用する。さらに、遮蔽機能に対しての許容限界は、曲げ・軸力系の破壊については断面終局（終局耐力）を、せん断破壊については終局限界（せん断耐力）を適用する。

結果として、せん断に対しては、いずれの要求機能に対しても終局限界が統一的な許容限界として適用されることになるが、この許容限界について各種安全係数を考慮することで、せん断破壊についても終局限界に対し妥当な安全余裕を考慮した設計を行う方針とする。各要求機能と許容限界の関係の概念を図 2.6-1 に示す。

表 2.6-1 に、屋外重要土木構造物の要求機能及び目標性能の整理表を示す。また、表 2.6-2 に屋外重要土木構造物の要求機能一覧を示す。なお、非常用取水設備の要求

機能について、基準津波による引き波時においても連続取水可能であることから、貯水機能が要求されない。非常用取水設備に要求される貯水機能の要否について、参考資料1に示す。

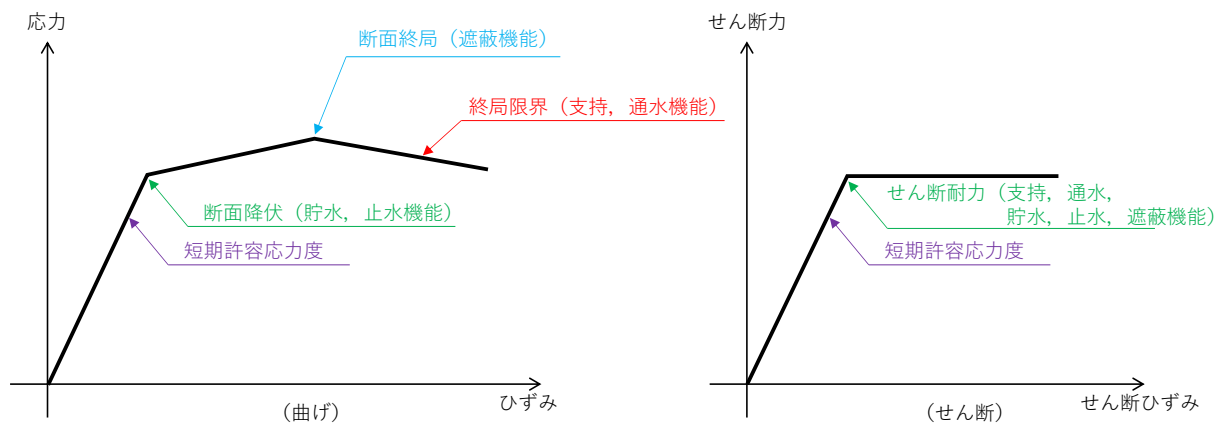


図 2.6-1 各要求機能と許容限界の関係の概念

表 2.6-1 屋外重要土木構造物の要求機能及び目標性能の整理表

屋外重要土木構造物に求められる機能					
	①支持機能	②通水機能	③貯水機能	④止水機能	⑤遮蔽機能
要求機能	Sクラスの機器・配管系を完全に支持できる	海水の通水断面を閉塞しない	漏水がなく、貯水性を保持できる	Sクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないよう止水できる	遮蔽壁又は遮蔽床を貫通するひび割れが直線的に残留せず遮蔽性を維持できる
目標性能	・ 部材が終局限界に至らない	・ 部材が終局限界に至らない	・ 鉄筋が降伏しない ・ 発生せん断力がせん断耐力を下回る	・ 鉄筋が降伏しない ・ 発生せん断力がせん断耐力を下回る	・ 部材が終局状態に至らない
設定理由	支持機能については、屋外重要土木構造物が間接支持する機器・配管系による耐荷性能を維持できることと同義であることから、構造物が終局限界に至らないことを目標性能とする。ただし、構造物が間接支持する機器・配管系の機能維持のため、与条件がある場合は、当該項目について別途検討を行う。	構造物が終局限界に至った場合でも、直ちに通水断面の閉塞に繋がる事象には至らないが、保守的に「①支持機能」と同様、終局限界に至らないことを目標性能とする。	部材が降伏に至らない状態及びせん断耐力以下であれば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れは発生しないことから、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力以下であることを目標性能とする。	部材が降伏に至らない状態及びせん断耐力を下回れば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しないこと及び発生せん断力がせん断耐力を下回ることを目標性能とする。	部材が終局に至らなければ、貫通するひび割れが直線的に残留しないと考えられるため、部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。
限界状態	終局限界	終局限界	降伏耐力	降伏耐力	終局耐力
主な照査 指標・許 容限界	曲げ	発生ひずみ<圧縮縁コンクリート限界ひずみ 層間変形角<1/100	発生ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ、降伏強度に対応するひずみ 発生曲げモーメント<鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント	発生ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ、降伏強度に対応するひずみ 発生曲げモーメント<鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント	発生ひずみ<終局耐力に対応するひずみ
	せん断	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力
	面内	面内せん断ひずみ<限界せん断ひずみ 2/1000 (2000μ)	面内せん断ひずみ<第1折点 (γ <sub>1</sub> )	面内せん断ひずみ<第1折点 (γ <sub>1</sub> )	面内せん断ひずみ<限界せん断ひずみ 2/1000 (2000μ)

注記\*：常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）を含む。

表 2.6-2 屋外重要土木構造物の要求機能一覧

構造物名称	要求機能					非常用 取水設備
	① 支持 機能	② 通水 機能	③ 貯水 機能	④ 止水 機能	⑤ 遮蔽 機能	
取水槽	○	○	—	○	—	○
屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	○	—	—	—	—	—
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽	○	—	—	—	—	—
屋外配管ダクト (B-ディー ゼル燃料貯蔵タンク ～原子炉建物)	○	—	—	—	—	—
屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)	○	—	—	—	—	—
取水管	—	○	—	—	—	○
取水口	—	○	—	—	—	○
第1ベントフィルタ格納槽	○*2	—	—	—	○	—
低圧原子炉代替 注水ポンプ格納槽	○*2	—	○	—	—	—
緊急時対策所用 燃料地下タンク	—	—	○*1	—	—	—
ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎	○*2	—	—	—	—	—
屋外配管ダクト (ガスタービ ン発電機用軽油タンク ～ガスタービン発電機)	○*2	—	—	—	—	—

注記\*1：非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される。

\*2：常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）を間接支持する支持機能が要求される。

### 3. 安全係数

屋外重要土木構造物の許容限界については、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」のとおり、以下の基本方針としている。

屋外重要土木構造物は、曲げ・軸力系の破壊については限界層間変形角、限界ひずみ、降伏曲げモーメント及び終局曲げモーメント、せん断破壊についてはせん断耐力を許容限界とする。なお、限界ひずみ、降伏曲げモーメント、終局曲げモーメント及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせることとし、それぞれの安全余裕については、各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

上記の基本方針に基づき、取水槽、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）、第1ベントフィルタ格納槽、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎及び屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の耐震評価にあたっては、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、限界層間変形角、限界ひずみ、降伏曲げモーメント又は終局曲げモーメントを許容限界とした評価を実施する。また、鉄筋コンクリート部材のせん断破壊に対する照査は、せん断耐力を許容限界とした評価を実施する。

取水管及び取水口の耐震評価にあたっては、鋼材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査は、許容応力度を許容限界とした評価を実施する。

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震評価にあたっては、構造物の鉄筋コンクリート部材と鋼材（コンクリート躯体内側のライナ）の間を無筋コンクリート等で中詰めし、一体化された構造であることから鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査は、許容応力度を許容限界とした評価を実施し、鋼材（コンクリート躯体内側のライナ）の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査は、許容応力度を許容限界とした評価を実施する。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査について限界層間変形角、限界ひずみ、降伏曲げモーメント及び終局曲げモーメントを用いる耐震評価及びせん断破壊に対する照査についてせん断耐力を用いる耐震評価では、当該許容限界値に対して妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。

安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を図3-1に示す。

安全係数の設定については、屋外重要土木構造物の構造的な特徴を踏まえ、その適用性を判断したうえで、参考とする規格・基準類を表3-1のとおり選定した。

表3-2～表3-4に、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。



安全係数については、各規格・基準類で、必ずしも一定の値が定められているわけではないことから、屋外重要土木構造物の特徴、耐震評価における解析手法及び物性値の設定根拠等を考慮し、表 3-2～表 3-4 に示すとおり設定する。

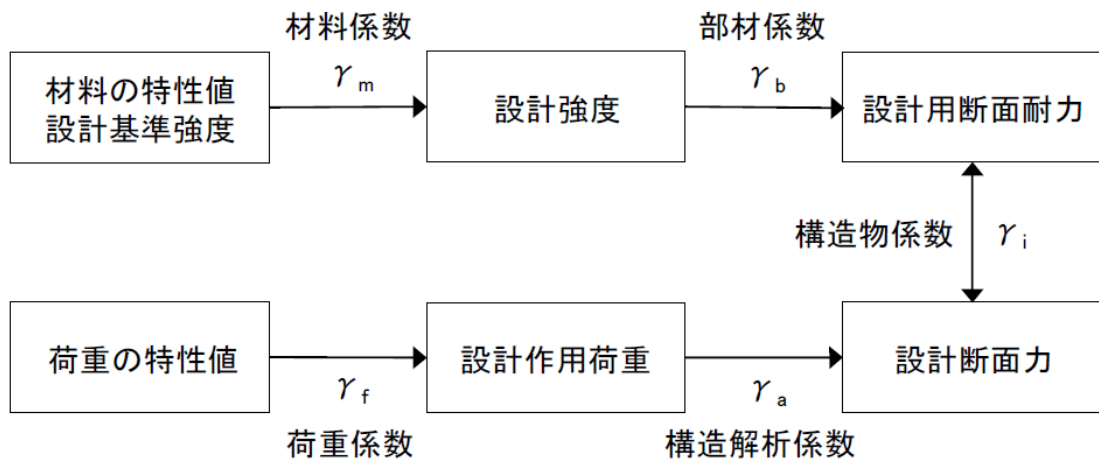


図 3-1 安全係数の考え方

表 3-1 安全係数の設定において参考とした規格・基準類とその適用性

参考とした規格・基準	規格・基準の適用範囲・対象構造物	適用性
①土木学会マニユアル 2005*1	原子力発電所屋外重要土木構造物 (Sクラスの機器・配管等を支持する鉄筋コンクリート構造物, 又は同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物)	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力発電所屋外重要土木構造物に特化した規格・基準であり, 屋外重要土木構造物の特徴(埋設された鉄筋コンクリート構造)を十分に考慮されたものであり, 適用性がある。</li> <li>部材に対する照査方法として二次元材料非線形解析を用いた限界値の算定方法が規定されている。</li> <li>対象とする構造物には地下構造物があり, 土圧が直接作用する構造物であるなど, 構造上の特徴が, 屋外重要土木構造物と比較的類似しており適用性がある。</li> </ul>
②鉄道構造物等設計標準 2012*2	鉄道の橋梁, 高架橋, 橋台, 擁壁, 特殊な条件下のトンネル等の鉄道構造物	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力発電所屋外重要土木構造物に特化した規格・基準であり, 屋外重要土木構造物の特徴(埋設された鉄筋コンクリート構造)を十分に考慮されたものであり, 適用性がある。</li> <li>面部材で構成された三次元構造物の載荷実験を踏まえ, 三次元材料非線形解析を用いた照査方法が規定されている。</li> </ul>
③土木学会マニユアル 2018*3	原子力発電所屋外重要土木構造物及び同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物 (Sクラスの機器・配管等の間接支持機能が求められる鉄筋コンクリート構造物, 及び非常時における海水の通水機能が求められる鉄筋コンクリート構造物) 「第2章 部材非線形解析を用いた耐震性能照査」及び「第3章 材料非線形解析を用いた耐震性能照査」がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力発電所屋外重要土木構造物に特化した規格・基準であり, 屋外重要土木構造物の特徴(埋設された鉄筋コンクリート構造)を十分に考慮されたものであり, 適用性がある。</li> <li>面部材で構成された三次元構造物の載荷実験を踏まえ, 三次元材料非線形解析を用いた照査方法が規定されている。</li> </ul>
④コンクリート標準示方書 2017*4	一般の鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造で構成される構造物(圧縮強度の特性値 80N/mm <sup>2</sup> 以下) 「設計編 標準 10 編」に非線形有限要素解析による性能照査がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>土木系コンクリート構造物の設計から維持管理に至るまで幅広く活用されており, 適用性がある。</li> <li>非線形有限要素解析による性能照査として, 三次元材料非線形有限要素解析を用いた性能照査が示されている。</li> </ul>

注記\*1: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニユアル 2005年6月 土木学会 2005年6月 土木学会 原子力土木委員会

\*2: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 平成24年9月

\*3: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニユアル・照査例 2018年10月 土木学会 原子力土木委員会

\*4: コンクリート標準示方書 設計編 2017年制定 土木学会

表 3-2 鉄筋コンクリート部材の耐震評価における安全係数の考え方  
(曲げ・軸力系の破壊に対する照査(変形))

安全係数	係数の概要・ 設定に至る経緯	考慮の方法	各種規格・基準に基づく 標準的な値*1				屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値及び 設定の考え方
			①	②	③	④	
材料係数 $\gamma_m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>変形評価に用いる材料の設計用値の評価</li> <li>物性のばらつきや供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性の経時的変化を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する。</li> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	$1.0^{*2,4}$	-	$1.0^{*2,4}$	1.0	文献①, ③, ④に基づく標準的な値を設定。
部材係数 $\gamma_b$	<ul style="list-style-type: none"> <li>限界値計算上の不確実性、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要度を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>変形に対する限界値を当該値で除する。</li> </ul>	$1.0^{*3}$	-	$1.0^{*3}$	1.0	文献①, ③, ④に基づく標準的な値を設定。
構造解析係数 $\gamma_a$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析手法自体の精度や不確実性を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生主ひずみに当該値を乗じる。</li> </ul>	$1.2^{*2}$	-	$1.2^{*2}$	1.0~1.2	文献①, ③, ④に基づく保守的な値を設定。
荷重係数 $\gamma_f$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動、荷重の算定方法の不確実性、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久荷重、変動荷重、偶発荷重(地震荷重)の特性値に当該荷重を乗じる。</li> </ul>	$1.0^{*2}$	-	$1.0^{*2}$	1.0	偶発荷重については、文献①, ③, ④に基づく標準的な値を設定。永久荷重及び変動荷重については、FEM解析の適用により評価精度は高いことから、1.0に設定。
構造物係数 $\gamma_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要度、限界状態に達した時の社会的影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>応答値と限界値の比に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.0	-	1.0	1.0~1.2	構造物の重要度及び限界状態に達した時の社会的影響については、屋外重要土木構造物として基準地震動 $S_s$ による地震力を適用することで十分に考慮されているとして文献①, ③, ④に基づき1.0に設定。

注記\*1: ①は土木学会マニュアル2005, ②は鉄道構造物等設計標準2012, ③は土木学会マニュアル2018, ④はコンクリート標準示方書2017に記載の値。①, ③の曲げ・軸力系の破壊に対する照査は変形量による照査手法を標準としているのに対し, ②は材料係数を見込んだ設計強度から設計用断面耐力にて照査する手法である。④は照査手法に整合する, 変形による照査を行う場合の手法を参照している。照査手法に整合する文献①, ③, ④を参照する。

\*2: 応答値算定用の安全係数

\*3: 限界値算定用の安全係数

\*4: 限界値算定用の材料係数は1.0を設定

表 3-3 鉄筋コンクリート部材の耐震評価における安全係数の考え方  
(曲げ・軸力系の破壊に対する照査(断面力))

安全係数	係数の概要・ 設定に至る経緯	考慮の方法	各種規格・基準に基づく 標準的な値*				屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値及び 設定の考え方
			①	②	③	④	
材料係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面力評価に用いる材料の設計用値の評価</li> <li>物性のばらつきや供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性の経時的変化を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する。</li> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	-	1.3	-	1.3	文献②、④に基づく標準的な値を設定。
部材係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>限界値計算上の不確実性、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要度を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げ耐力を当該値で除する。</li> </ul>	-	1.0~1.15	-	1.1	文献②に基づく保守的な値を設定。
構造解析係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析手法自体の精度や不確実性を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	-	1.0	-	1.0	文献②、④に基づく標準的な値を設定。
荷重係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動、荷重の算定方法の不確実性、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ばず影響、環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久荷重、変動荷重、偶発荷重(地震荷重)の特性値に当該荷重を乗じる。</li> </ul>	-	1.0	-	1.0~1.2 (偶発荷重は1.0)	偶発荷重については、文献②、④に基づく標準的な値を設定。永久荷重及び変動荷重については、FEM解析の適用により評価精度は高いことから、1.0に設定。
構造物係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要度、限界状態に達した時の社会的影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	-	1.0	-	1.0~1.2	構造物の重要度及び限界状態に達した時の社会的影響については、屋外重要土木構造物として基準地震動Ssによる地震力を適用することとで十分に考慮されているとして文献②、④に基づき1.0に設定。

注記\*：①は土木学会マニュアル2005、②は鉄道構造物等設計標準2012、③は土木学会マニュアル2018、④はコンクリート標準示方書2017に記載の値。①、

③の曲げ・軸力系の破壊に対する照査は変形量による照査手法を標準としているのに対し、②は材料係数を見込んだ設計強度から設計用断面耐力にて照査する手法である。④は照査手法に整合する、断面力による照査を行う場合の手法を参照している。照査手法に整合する文献②、④を参照する。



表 3-4 鉄筋コンクリート部材の耐震評価における安全係数の考え方  
(せん断破壊に対する照査)

安全係数	係数の概要・ 設定に至る経緯	考慮の方法	各種規格・基準に基づく 標準的な値*1				屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値及び 設定の考え方
			①	②	③	④	
材料係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面力評価に用いる材料の設計用値の評価</li> <li>物性のばらつきや供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性の経時的変化を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する。</li> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	1.3*3,4	1.3	1.3*3,4	1.3	文献①～④に基づき標準的な値を設定。
部材係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>部材耐力の計算上の不確かさ、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要性を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートが負担するせん断耐力を当該値で除する。</li> <li>せん断補強筋が負担するせん断耐力を当該値で除する。</li> <li>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.3*3	1.1~1.3	1.3*3	1.3	せん断耐力評価式による評価においては、文献①～④に基づき標準的な値を設定。材料非線形解析によりせん断耐力を算定する場合、キャリブレーション解析により設定。
構造解析係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面力の評価</li> <li>断面力算定時の構造解析の不確か性等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断補強筋が負担するせん断耐力を当該値で除する。</li> <li>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.1*3	1.3	1.1*3	1.1	1.1*6
荷重係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動、荷重の算定方法の不確か性、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久荷重、変動荷重、偶発荷重（地震荷重）の特性値に当該荷重を乗じる。</li> </ul>	1.05*2	1.0	1.05*2	1.0	1.05
構造物係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要度、限界状態に達した時の社会的影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.0	1.0	1.0*2	1.0	1.0

注記\*1：①は土木学会マニュアル2005、②は鉄道構造物等設計標準2012、③は土木学会マニュアル2018、④はコンクリート標準示方書2017に記載の値

\*2：応答値算定用の安全係数

\*3：限界値算定用の安全係数

\*4：応答値算定用の材料係数は1.0を設定。

\*5： $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$  表中の値は $\gamma_{b1}$ の値であり、 $\gamma_{b2}$ は応答計算の結果、部材が降伏していないことを確認のうえ、1.0を設定

\*6：後施工せん断補強筋 (PHb・CCb) についても、建設技術審査証明書に基づき、部材係数1.1を考慮する。

#### 4. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方及び解析手法選定

##### 4.1 断面選定の方針

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の形状、配置、周辺状況、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。

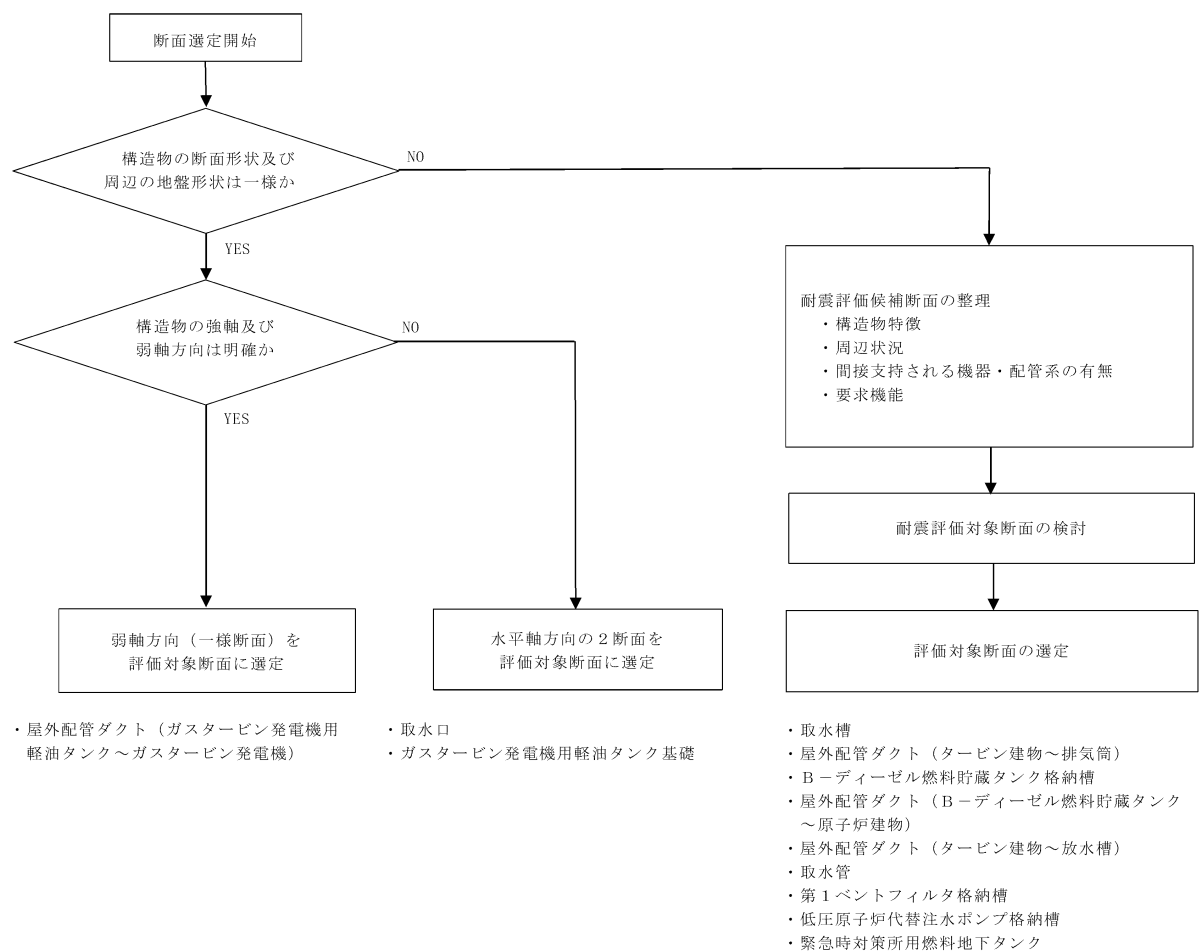


図 4.1-1 評価対象断面の選定フロー

(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）
- ・ 周辺状況（上載荷重，土被り厚，側方地盤，設置地盤，地盤改良体，隣接構造物，地下水位，斜面）
- ・ 間接支持される機器・配管系の有無
- ・ 要求機能

(2) 評価対象断面の選定

(1)にて整理した候補断面に対して，構造的特徴，周辺状況，間接支持する機器・配管系の有無及び要求機能が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から，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。

評価対象断面における地震応答解析の結果を用いて，屋外重要土木構造物及び機器・配管系の耐震評価を実施する。

また，機器・配管系の応答加速度及び応答変位の観点から，評価対象断面以外の断面について地震応答解析を実施する床応答算定断面を追加で選定する場合がある。

#### 4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理

屋外重要土木構造物は、箱型構造物、線状構造物、円筒状構造物、直接基礎及び管路構造物の5つの構造形式に分類される。また、構造上の特徴として、明確な強軸及び弱軸を有するものと、強軸及び弱軸が明確でないものが存在することから、構造的特徴を踏まえ、2次元地震応答解析により耐震評価を行う構造物と、3次元構造解析モデルにより耐震評価を行う構造物に分けられる。構造形式ごとの断面選定の方針について以下に示す。また、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に示し、断面選定結果を4.4節以降で示す。

##### (1) 箱型構造物及び線状構造物

箱型構造物は、通水方向及び配管の管軸方向又はタンク等の長手方向と直交する断面に構造部材の配置が少ないため、明確に通水方向及び配管の管軸方向又はタンク等の長手方向と直交する断面が弱軸となる。よって、弱軸方向から耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定し、耐震評価を実施する。また、機器・配管系や水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せへの影響の観点も踏まえ、強軸方向からも評価対象断面を選定する。

弱軸方向断面では、はり要素の曲げ・軸力系及び面外せん断破壊に対する評価を実施するが、弱軸方向断面で評価できない部材（強軸方向断面の側壁等）についても、耐震安全性を網羅的に確認する。弱軸方向断面及び強軸方向断面の具体的な評価手法の考え方については、参考資料2に示す。

加えて、強軸方向断面の評価が弱軸方向の構造部材（側壁又は隔壁）の評価に影響がないことを「補足-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」で確認する。

線状構造物は、弱軸方向断面と強軸方向断面が明確であるため、弱軸方向断面から評価対象断面を選定するが、床応答の観点において強軸方向断面も含めて選定する。

一方で、妻壁を耐震要素として考慮する箱型構造物である取水槽や、複数の構造物が一体化しており、弱軸方向断面の評価のみでは構造物全体の耐震性の説明が困難な線状構造物である屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、3次元構造解析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。したがって、3次元構造解析モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定する。

箱型構造物の断面選定及び評価の考え方について表4.2-2に示す。また、妻壁のモデル化方法の概念図を図4.2-1に示す。モデル化する妻壁の剛性及び重量は、以下のとおり等価剛性及び等価重量に換算して用いる。



$$E = E_c \times \alpha, \quad W = W_c \times \alpha$$

ここに,

$E$  : 妻壁の等価弾性係数

$E_c$  : コンクリートの弾性係数

$W$  : 妻壁の等価重量

$W_c$  : 鉄筋コンクリートの重量

$\alpha$  : 構造物の奥行長さに対する妻壁の厚さの比率 ( $L_e / L$ )

$L_e$  : 妻壁の厚さ (複数の妻壁を有する場合はその和)

$L$  : 構造物の奥行長さ

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

構造		設備名称	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	評価対象断面の検討を行った上で選定*
箱型構造物	加振方向に平行に配置される壁の厚さの割合が小さい方が基本的に弱軸となるが、複数の妻壁を有する構造物もあるため、二次元地震応答解析もしくは三次元モデルを用いて耐震評価を行う構造物。 ⇒三次元モデルについては、作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定。	取水槽 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 第1ベントフィルタ格納槽 緊急時対策用燃料地下タンク			○ ○ ○ ○ ○
線状構造物	横断方向が明確に弱軸となることから、横断方向の二次元地震応答解析により耐震評価を行う構造物。 ⇒構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置から横断方向の断面を評価対象断面として選定。	屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒) 屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)			○ ○ ○
円筒状構造物	線状構造物や箱型構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確でないことから、三次元モデルを用いて耐震評価を行う構造物。 ⇒三次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定。	屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 取水口	○	○	
直接基礎		ガスタービン発電機用軽油タンク基礎		○	
管路構造物	管軸直交方向が明確に弱軸となることから、管軸直交方向の二次元地震応答解析により耐震評価を行う構造物 ⇒延長方向の構造物の応答が耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置から管軸直交方向の断面を評価対象断面として選定する。	取水管			○

注記\*：各構造物の断面選定において、考え方及び選定結果を記載する。

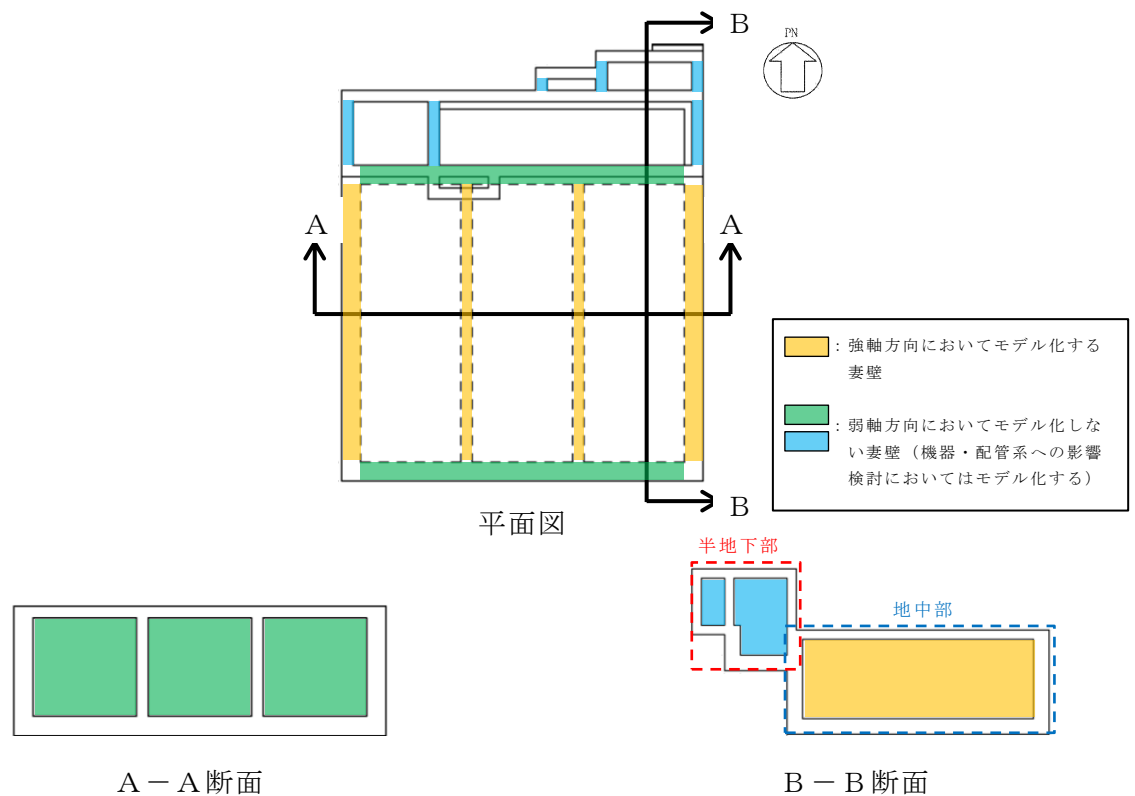


図 4.2-1 妻壁のモデル化方法の概念図（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽）

(2) 円筒状構造物及び直接基礎

円筒状構造物及び直接基礎に分類される評価対象構造物は、鋼製及び鉄筋コンクリート造の構造物であり、円筒状及び正方形であるため、箱型構造物や線状構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではないことから、3次元構造解析モデルを用いて水平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。したがって、3次元構造解析モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を構造物中央を通る断面及びその直交方向断面の特徴を踏まえて選定する。

(3) 管路構造物

管路構造物に分類される評価対象構造物は、海水の通水機能を維持するため、通水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ていることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。評価対象構造物は、鋼製部材で構成されており、管軸方向が強軸方向となり、管軸直交方向が弱軸方向となる。強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。弱軸方向断面では、延長方向の構造的特徴が一様であることから、代表となる範囲を周辺状況を踏まえて耐震評価候補断面とする。なお、「水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP 029-2006（日本水道鋼管協会，2006.2.2）」に基づき、一般的な地中埋設管路の設計で考慮される管軸方向断面についても検討する。

表 4.2-2 箱型構造物の断面選定及び評価の考え方

対象構造物	対象断面	弱軸/強軸	弱軸/強軸の選定理由	耐震安全率評価	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ	機器・配管系への応答値抽出
取水槽	A-A断面	—	—	★ (等価剛性モデルから抽出した荷重を用いた3次元解析を実施する)	★ (3次元解析により考慮される)	★ (等価剛性モデルを用いて応答値を抽出する。ただし、応答値の保守性については、別途確認する。)
	B-B断面	弱軸	A-A断面及びB-B断面(半地下部)はB-B断面(地中部)と比較して耐震評価上考慮できる妻壁の割合が小さいことから、構造上の弱軸方向断面となる	●	—	● (■：影響検討として実施)
	C-C断面	弱軸	同上	●	—	● (■：影響検討として実施)
	D-D断面	強軸	同上	●	■	■
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	A-A断面	弱軸	A-A断面及びB-B断面はC-C断面と比較して耐震評価上考慮できる妻壁の割合が小さいことから、構造上の弱軸方向断面となる	●	—	● (■：影響検討として実施)
	B-B断面	弱軸	同上	●	—	● (■：影響検討として実施)
	C-C断面	強軸	同上	★ (4辺固定版)	■	■
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	A-A断面	弱軸	A-A断面及びB-B断面はC-C断面と比較して耐震評価上考慮できる妻壁の割合が小さいことから、構造上の弱軸方向断面となる	●	—	● (■：影響検討として実施)
	B-B断面	弱軸	同上	●	—	● (■：影響検討として実施)
	C-C断面	強軸	同上	★ (4辺固定版)	■	■
緊急時対策用燃料地下タンク	A-A断面	弱軸	A-A断面はB-B断面と比較して耐震評価上考慮できる妻壁の割合が小さいことから、構造上の弱軸方向断面となる	●	—	— (機器・配管系を間接支持しない)
	B-B断面	強軸	同上	★ (4辺固定版)	■	— (機器・配管系を間接支持しない)

注：表中の記号は以下のとおりとする。

●：妻壁を耐震要素として見込まない(妻壁の剛性を平面要素として考慮しない)解析モデルを用いる。

■：妻壁を耐震要素として見込み(妻壁の剛性を平面要素として考慮する)解析モデルを用いる。

★：その他の手法により評価する。

—：評価不要

注記\*：B-B断面の妻壁のモデル化方法については、図4.2-1を参照する。

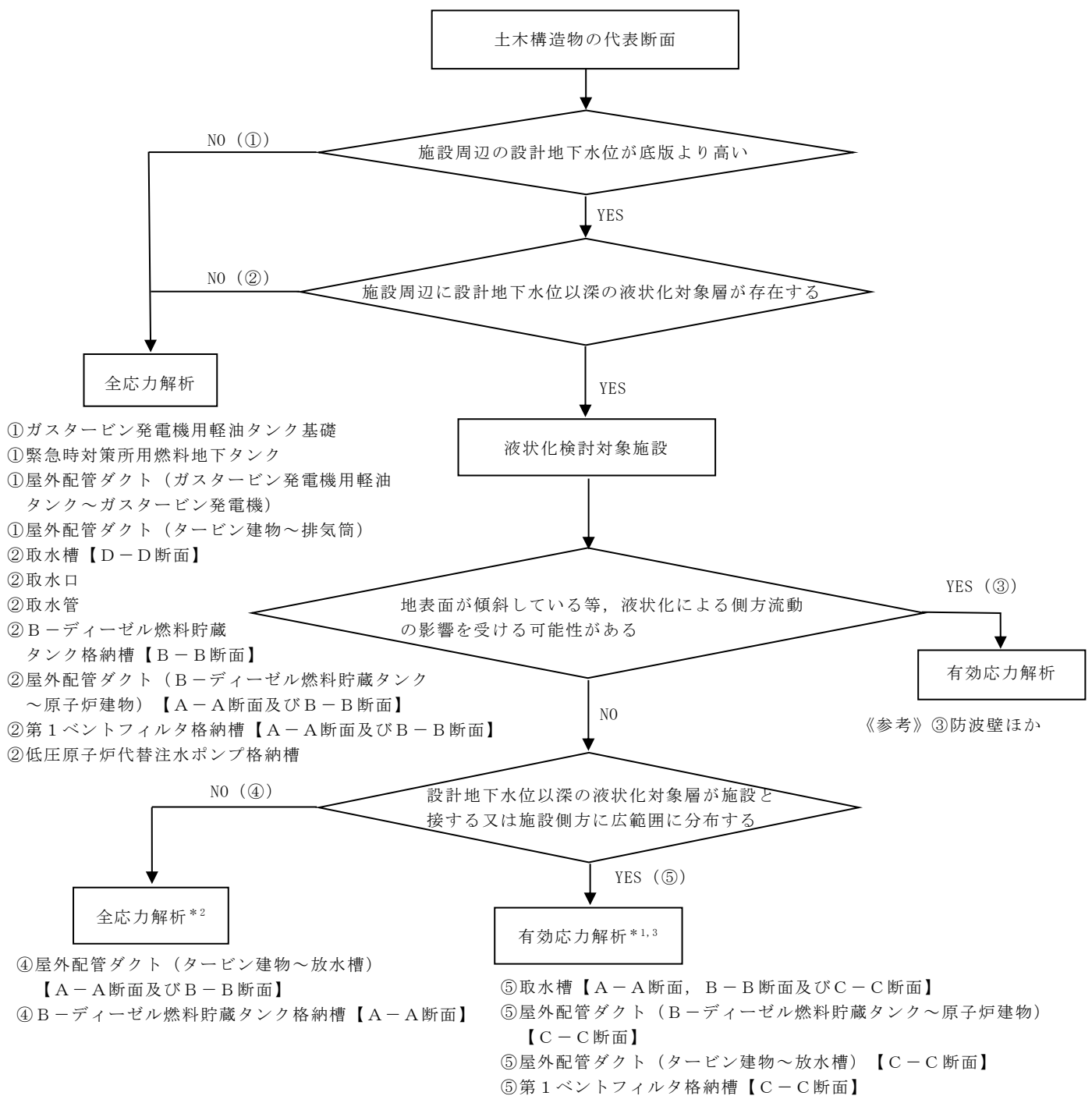
### 4.3 解析手法選定の方針

評価対象断面における構造物の周辺地盤について、表 4.3-1 に示すとおり各構造物の設計地下水位を踏まえた液状化検討対象層の分布や周囲の構造物等の設置状況を踏まえて、①～⑤の観点で解析手法の選定を行う。なお、液状化検討対象層の詳細については、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

各構造物及び断面ごとの解析手法の選定フローを図 4.3-1 に示し、**選定された解析手法と補足検討内容**を表 4.3-2 に示す。また、各構造物の地質断面図を図 4.3-2 に示す。

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	施設周辺の設計地下水位が底版より低い。	施設周辺で、液状化が発生する可能性が低く、液状化等の影響が及ばないと考えられるため、全応力解析により耐震評価を実施。
②	施設周辺に設計地下水位以深の液状化対象層が存在しない。	施設周辺に、液状化対象層が存在しないため、全応力解析により耐震評価を実施。
③	地表面が傾斜している等、液状化による側方流動の影響を受ける可能性がある。	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、有効応力解析により耐震評価を実施。 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	設計地下水位以深の液状化対象層と施設の間に離隔があり、かつ液状化対象層が局所的に分布する。	施設に液状化等の影響が及ばないと考えられるため、全応力解析により耐震評価を実施。 補足検討として、液状化等の影響が及んでいないことの確認を有効応力解析により実施。
⑤	設計地下水位以深の液状化対象層が施設と接する又は施設側方に広範囲に分布する。	施設近傍で液状化が発生する可能性がある。あるいは、施設周辺の地盤で液状化が発生した場合、その影響について判断がつかないことから、有効応力解析により耐震評価を実施。 補足検討として、液状化が発生しない場合の確認を実施。



《参考》については、③に該当する屋外重要土木構造物が存在しないため、補足的に記載した。

注記\*1：非液状化の条件を仮定した全応力解析についても実施する。  
 \*2：設計地下水位以深の液状化対象層の分布が局所的である断面のため全応力解析を実施するが、液状化の影響が構造物に及んでいないことを有効応力解析により確認する。  
 \*3：土木構造物の耐震評価の追加解析ケースとして、液状化しない場合の全応力解析を実施する。また、全応力解析について、有効応力解析の解析コードとの差異による影響を代表構造物（例：取水槽）で確認する。

図 4.3-1 解析手法の選定フロー

表 4.3-2 構造物毎の解析手法と補足検討

解析手法 選定の観点	屋外重要土木構造物及び対象断面	補足説明
① (全応力解析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガスタービン発電機用軽油タンク基礎【B-B断面】</li> <li>・ 緊急時対策所用燃料地下タンク【A-A断面及びB-B断面】</li> <li>・ 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）【A-A断面】</li> <li>・ 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）【A-A断面】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設計地下水水位が施設底版よりも低い*</li> <li>・ 設計地下水水位が施設底版よりも低い*</li> <li>・ 設計地下水水位が施設底版よりも低い*</li> <li>・ 設計地下水水位（EL. 4.9m）が施設底版（EL. 5.5m）よりも低い</li> </ul>
② (全応力解析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 取水槽【D-D断面】</li> <li>・ 取水口【A-A断面】</li> <li>・ 取水管【A-A断面及びE-E断面】</li> <li>・ B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽【B-B断面】</li> <li>・ 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）【A-A断面及びB-B断面】</li> <li>・ 第1ペントフィルタ格納槽【A-A断面及びB-B断面】</li> <li>・ 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽【A-A断面、B-B断面及びC-C断面】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 隣接構造物に囲まれ、隣接構造物との間の埋戻土は改良地盤である</li> <li>・ 施設周辺に地下水水位以深の液状化対象層が存在しない</li> </ul>
③ (有効応力解析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 【参考】防波壁ほか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地表面や岩盤の傾斜により、側方流動が発生する可能性がある</li> </ul>
④ (全応力解析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）□【A-A断面及びB-B断面】</li> <li>・ B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽【A-A断面】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水水位以深の液状化対象層と施設の間には離隔があり、かつ液状化対象層の分布が局所的である</li> </ul>
⑤ (有効応力解析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 取水槽【A-A断面、B-B断面及びC-C断面】</li> <li>・ 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）【C-C断面】</li> <li>・ 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）【C-C断面】</li> <li>・ 第1ペントフィルタ格納槽【C-C断面】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水水位以深の液状化対象層が施設側方に広範囲に分布する</li> <li>・ 施設が地下水水位以深の液状化対象層に接している</li> </ul>

注記\*：地下水水位が施設設置地盤より十分低い場合、設計地下水水位を設定しない構造物（「補足-023-01 地盤の支持性能について」参照）

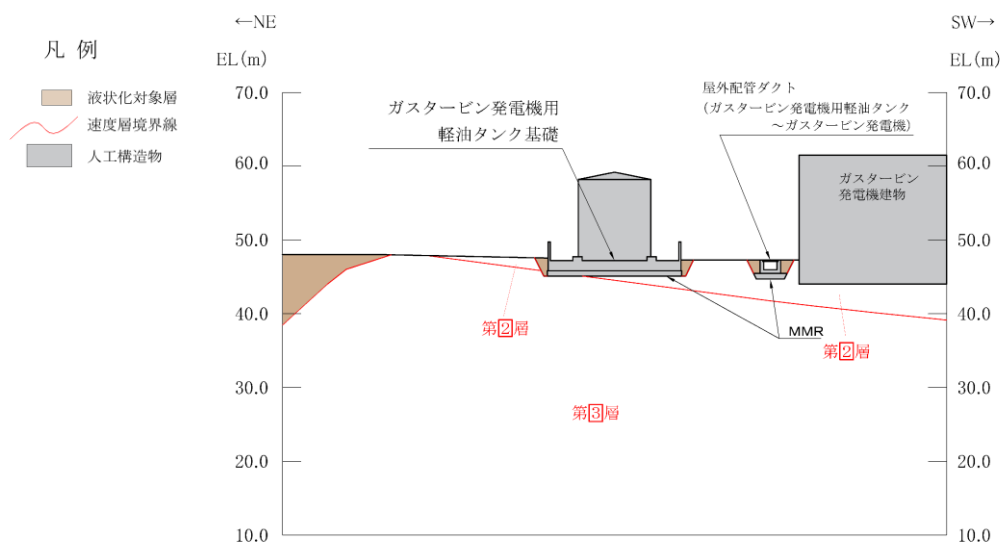


図 4.3-2(1) ガスタービン発電機用軽油タンク基礎【B-B断面位置】  
地質断面図 (①全応力解析)

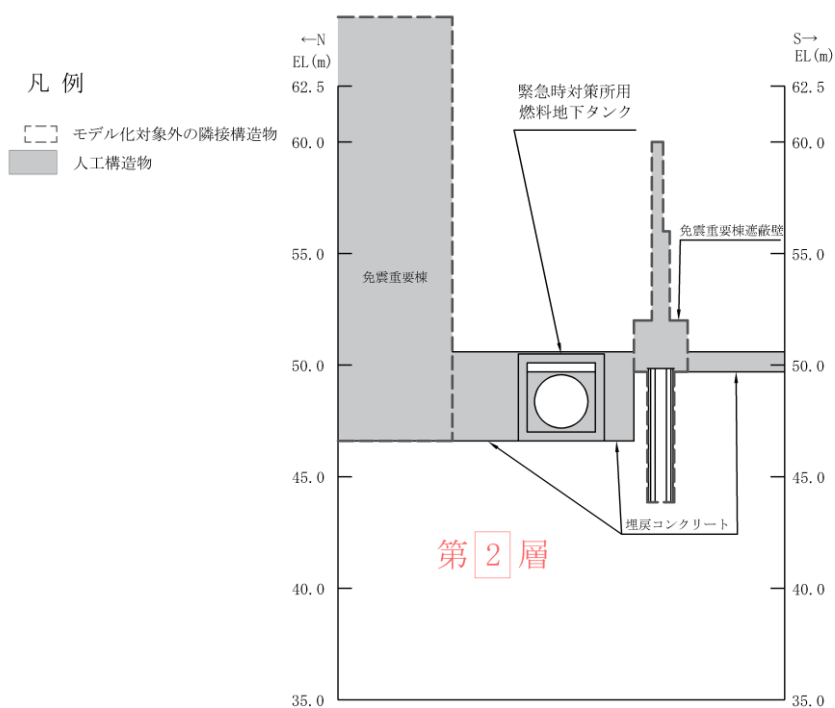


図 4.3-2(2) 緊急時対策所用燃料地下タンク【A-A断面位置】  
地質断面図 (①全応力解析)



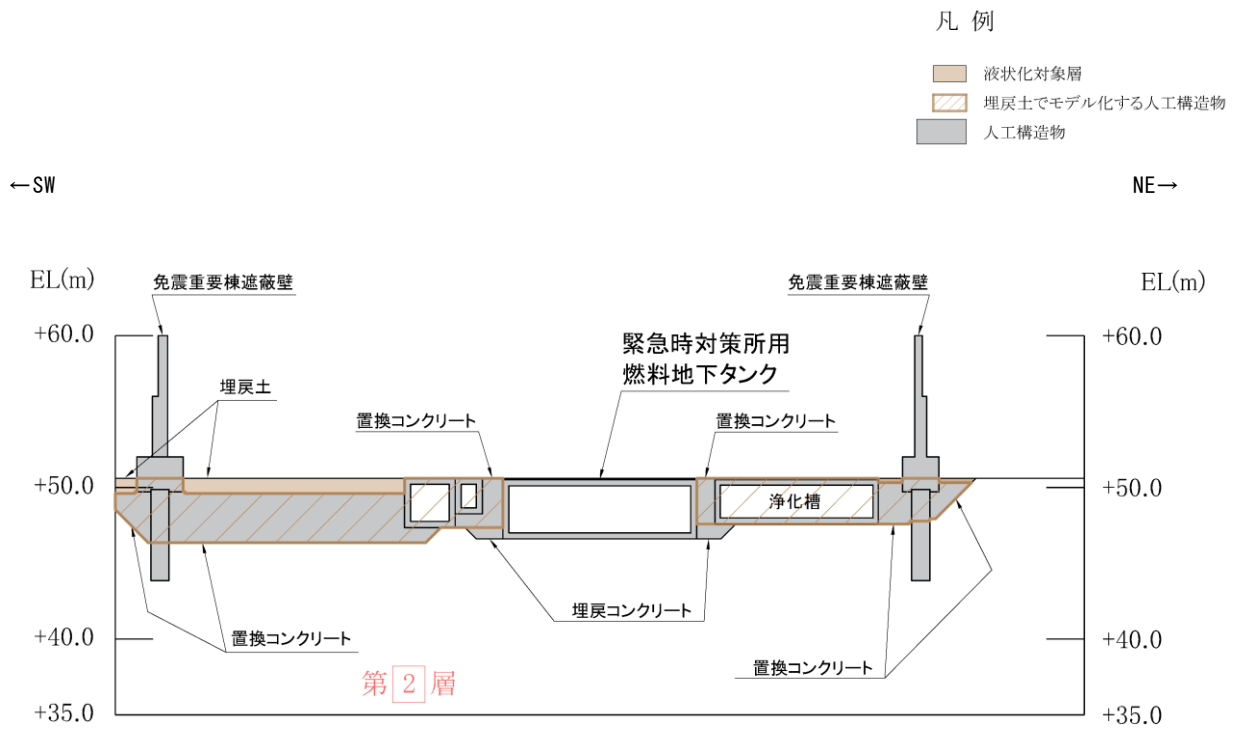


図 4.3-2(3) 緊急時対策所用燃料地下タンク【B-B断面位置】

地質断面図 (①全応力解析)

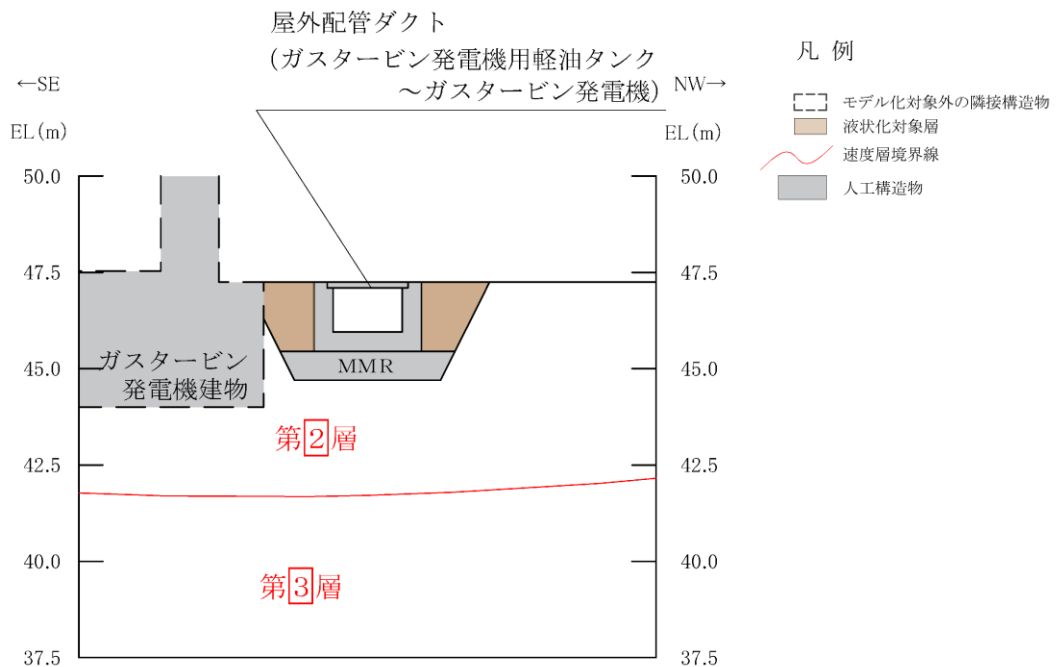


図 4.3-2(4) 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)

【A-A断面位置】 地質断面図 (①全応力解析)

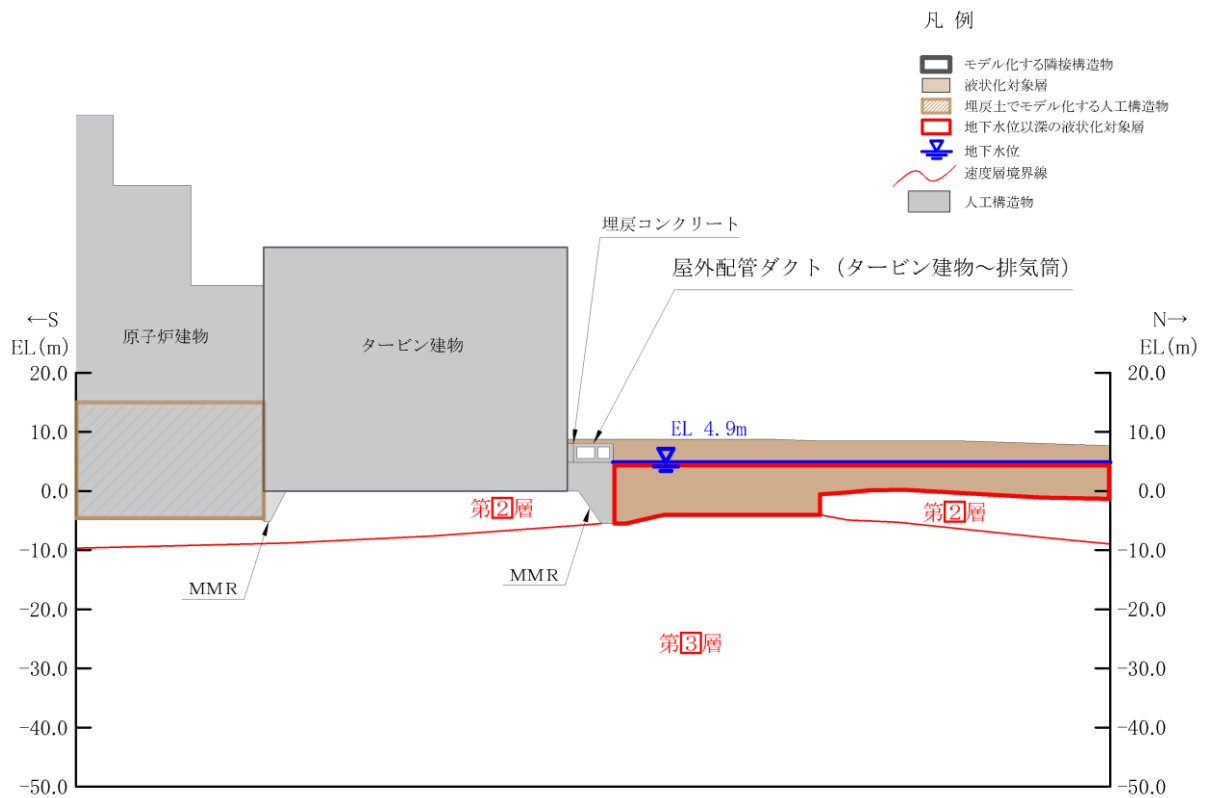


図 4.3-2(5) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 【A-A断面位置】  
地質断面図 (①全応力解析)

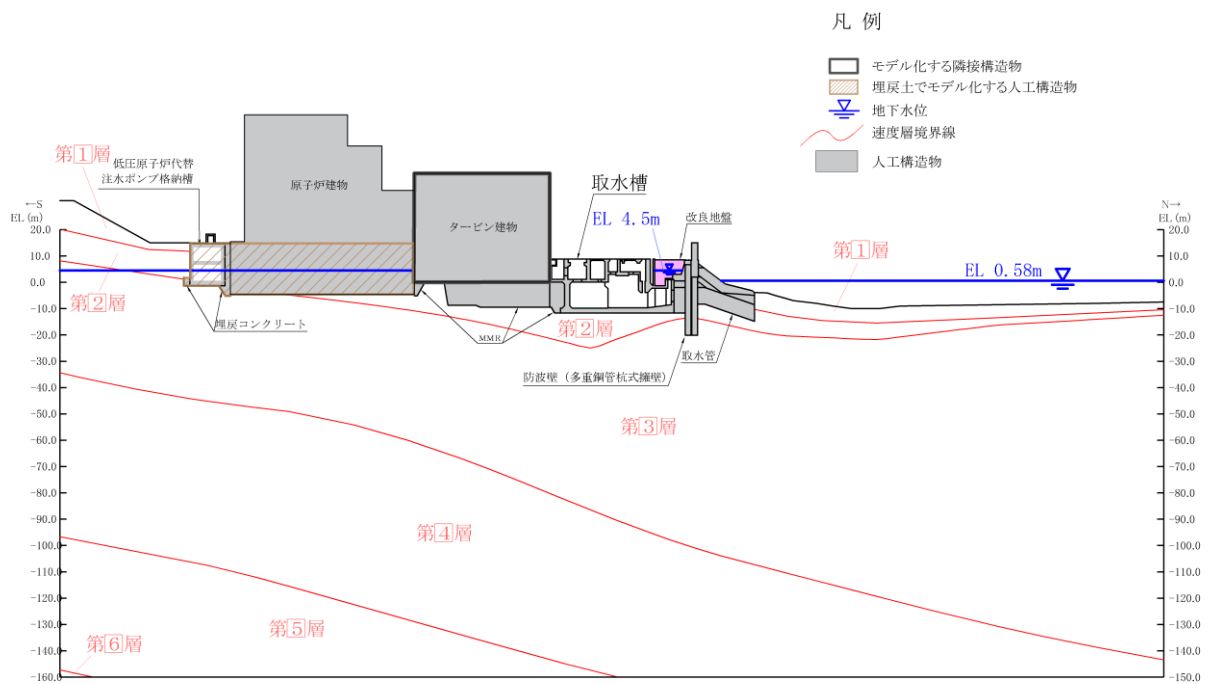


図 4.3-2(6) 取水槽 【D-D断面位置】 地質断面図 (②全応力解析)

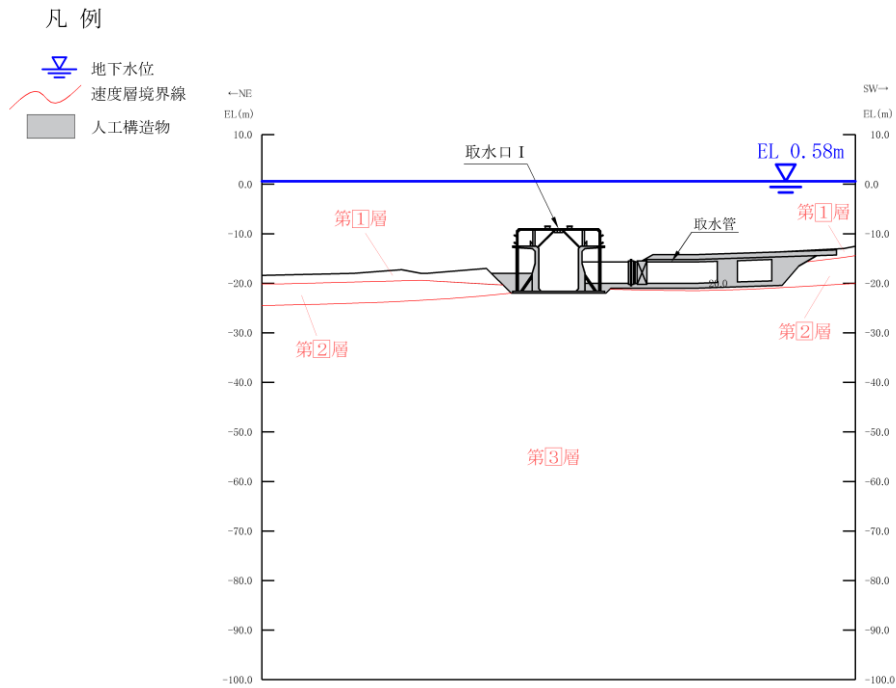


図 4.3-2(7) 取水口【A-A断面位置】 地質断面図 (②全応力解析)

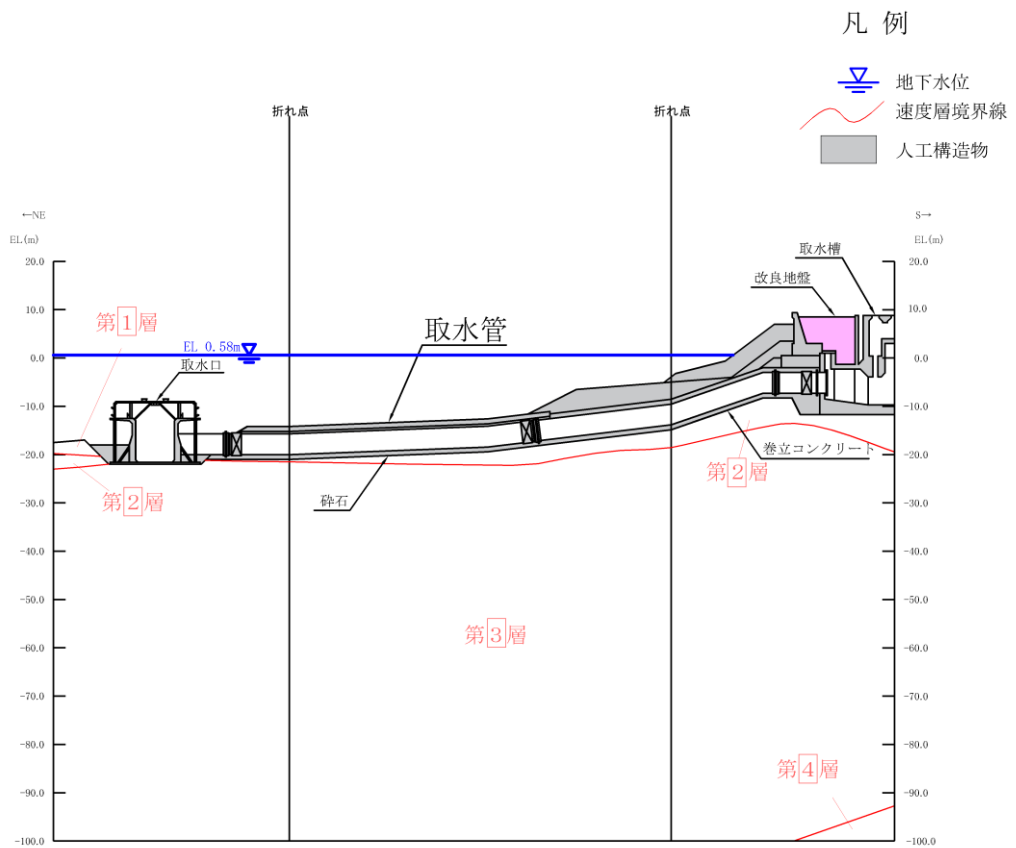


図 4.3-2(8) 取水管【A-A断面位置】 地質断面図 (②全応力解析)

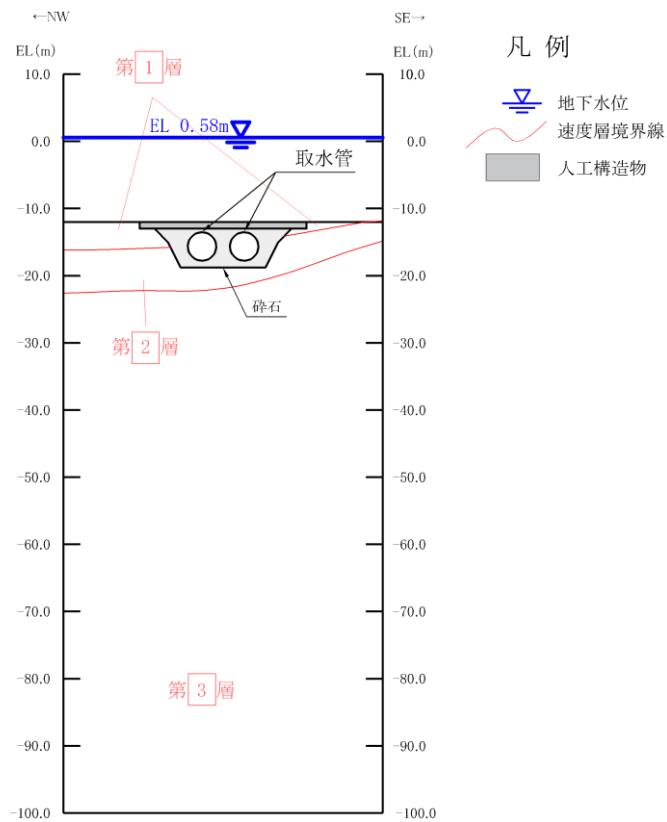


図 4.3-2(9) 取水管【E-E断面位置】 地質断面図 (②全応力解析)

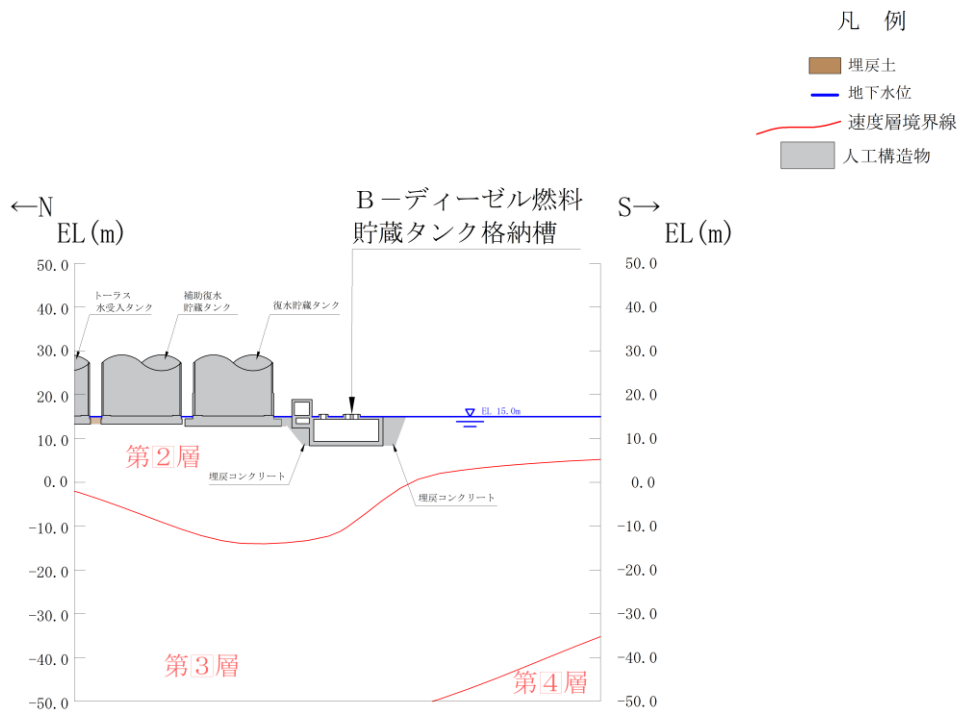


図 4.3-2(10) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽【B-B断面位置】 地質断面図 (②全応力解析)

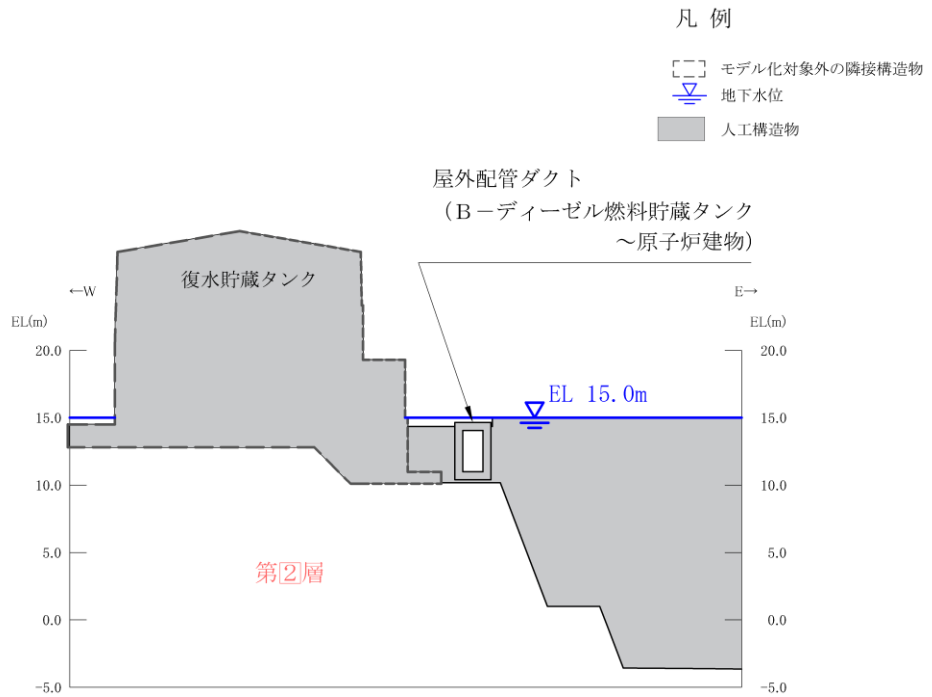


図 4.3-2(11) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
【A-A断面位置】 地質断面図 (②全応力解析)

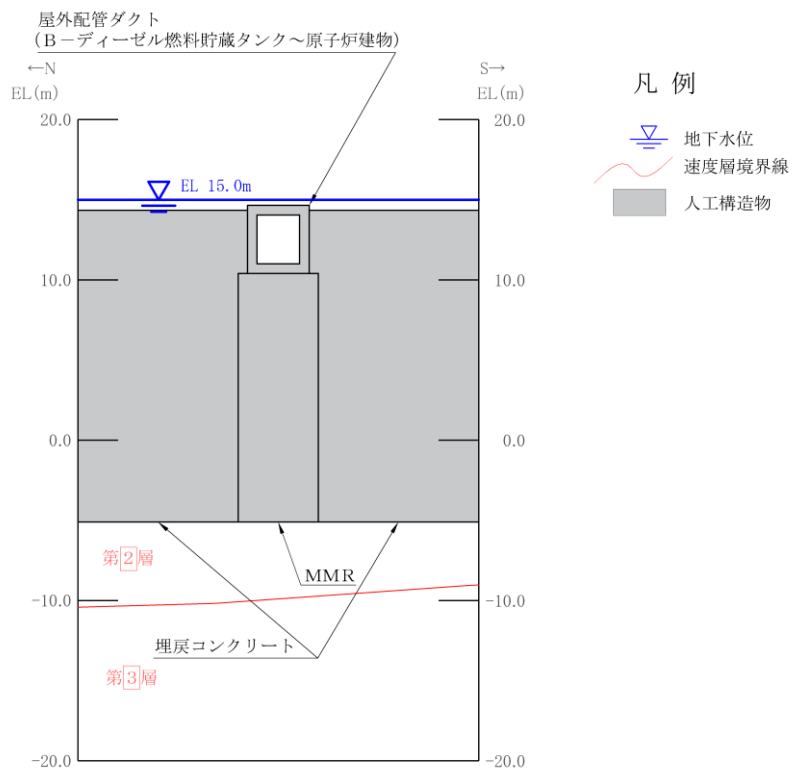









図 4.3-2(12) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
【B-B断面位置】 地質断面図 (②全応力解析)

凡例

-  モデル化する隣接構造物
-  液状化対象層
-  埋戻土でモデル化する人工構造物
-  地下水位以深の液状化対象層
-  地下水位
-  速度層境界線
-  人工構造物

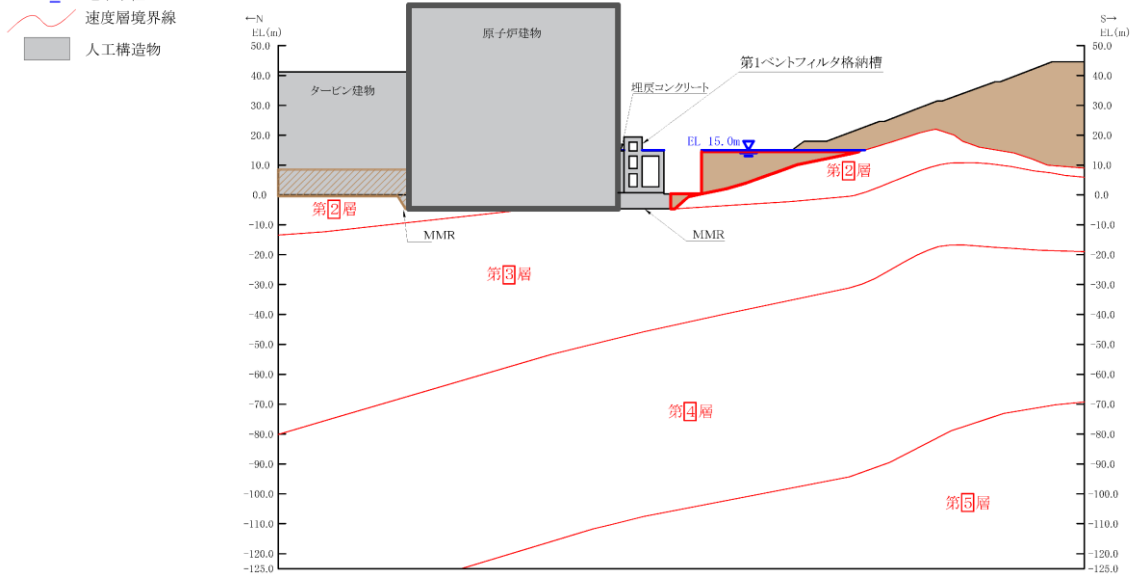









図 4.3-2(13) 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 【A-A断面位置】  
(②全応力解析)

凡例

-  モデル化する隣接構造物
-  液状化対象層
-  埋戻土でモデル化する人工構造物
-  地下水位以深の液状化対象層
-  地下水位
-  速度層境界線
-  人工構造物

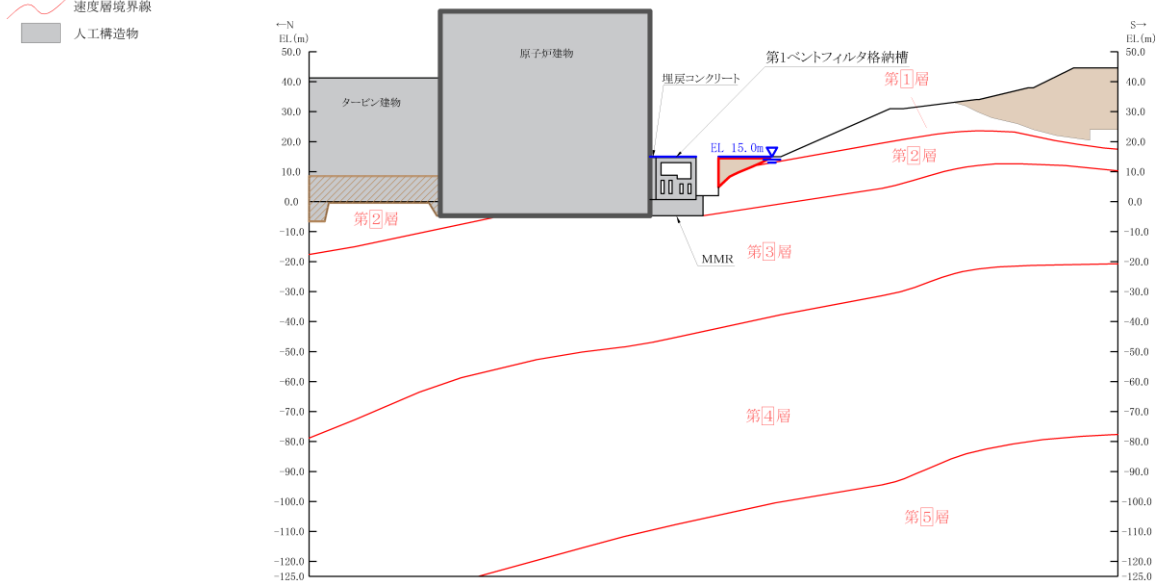


図 4.3-2(14) 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 【B-B断面位置】  
(②全応力解析)

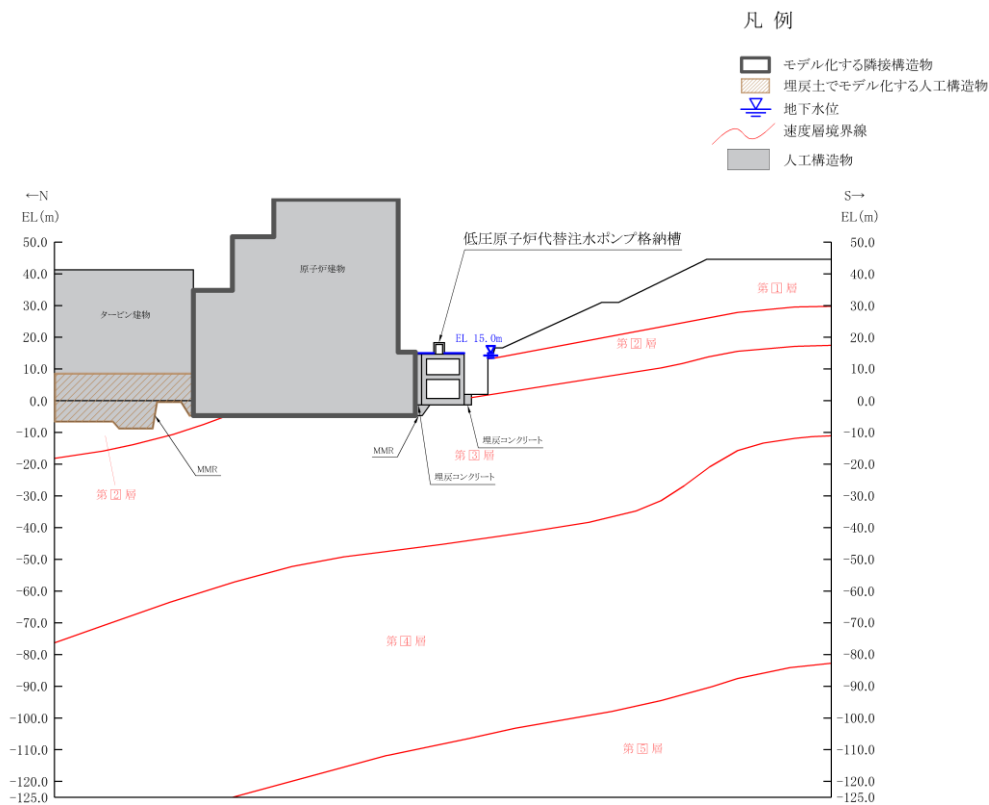


図 4.3-2(15) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽【A-A断面位置】

地質断面図 (②全応力解析)

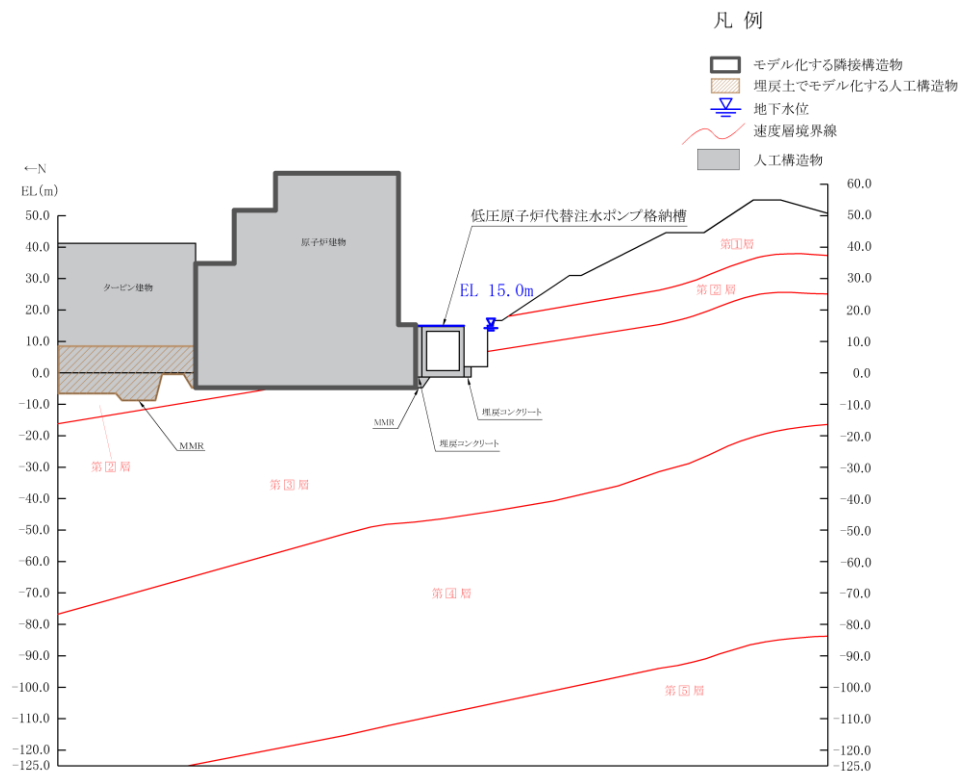


図 4.3-2(16) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽【B-B断面位置】

地質断面図 (②全応力解析)

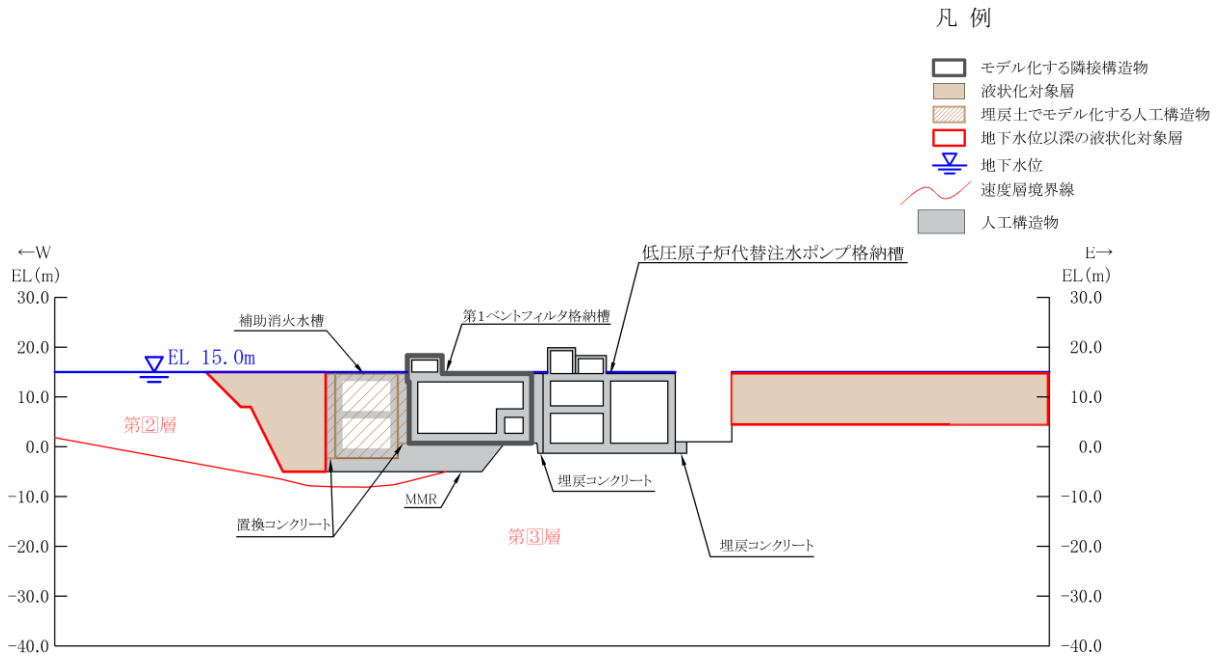
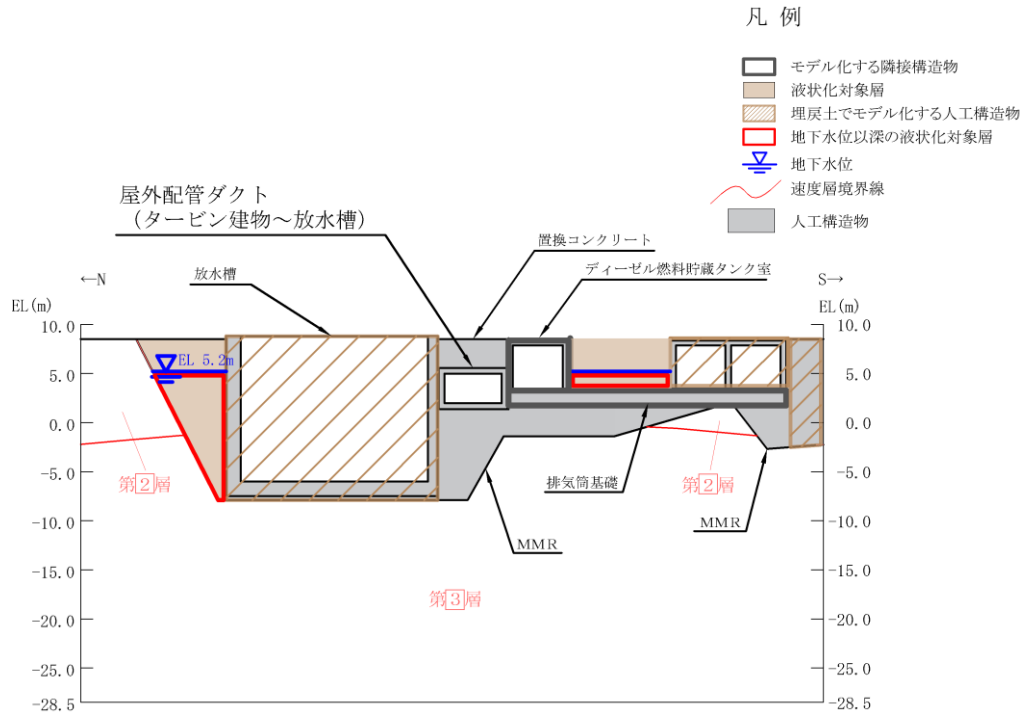


図 4.3-2(17) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽【C-C断面位置】

地質断面図 (②全応力解析)

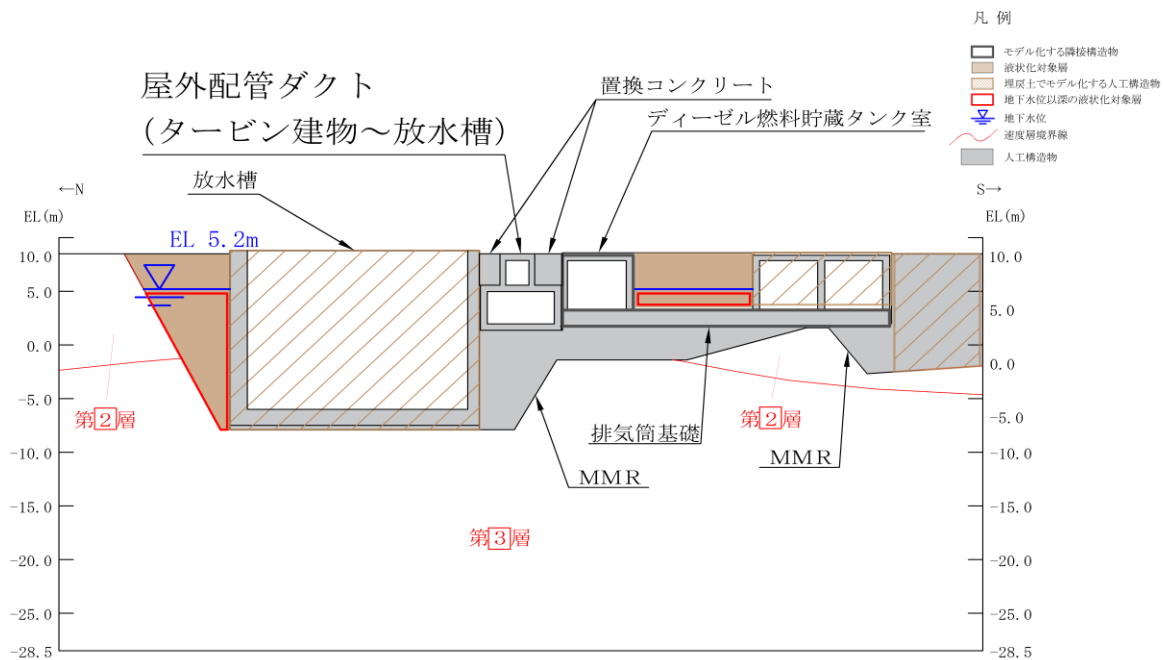


補足検討として、液状化等の影響が及んでいないことの確認を有効応力解析により実施。

図 4.3-2(18) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)【A-A断面位置】

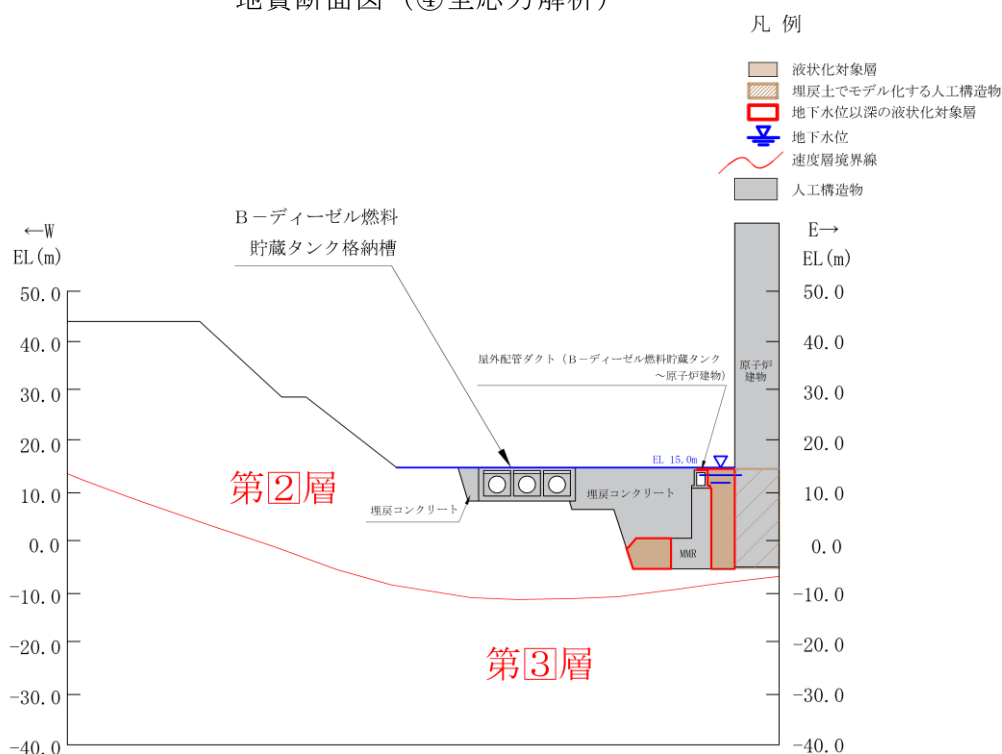
地質断面図 (④全応力解析)





補足検討として、液状化等の影響が及んでいないことの確認を有効応力解析により実施。

図 4.3-2(19) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 【B-B断面位置】  
地質断面図 (④全応力解析)



補足検討として、液状化等の影響が及んでいないことの確認を有効応力解析により実施。

図 4.3-2(20) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 【A-A断面位置】  
地質断面図 (④全応力解析)

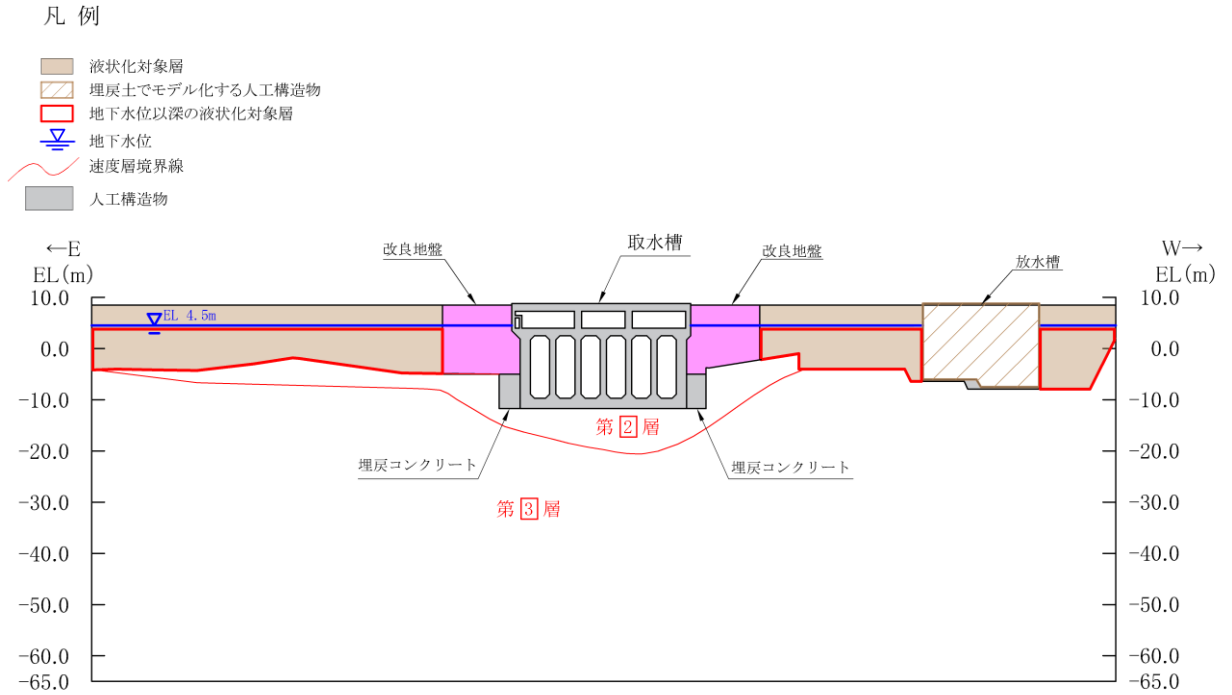


図 4.3-2 (21) 取水槽【A-A断面位置】 地質断面図 (⑤有効応力解析)

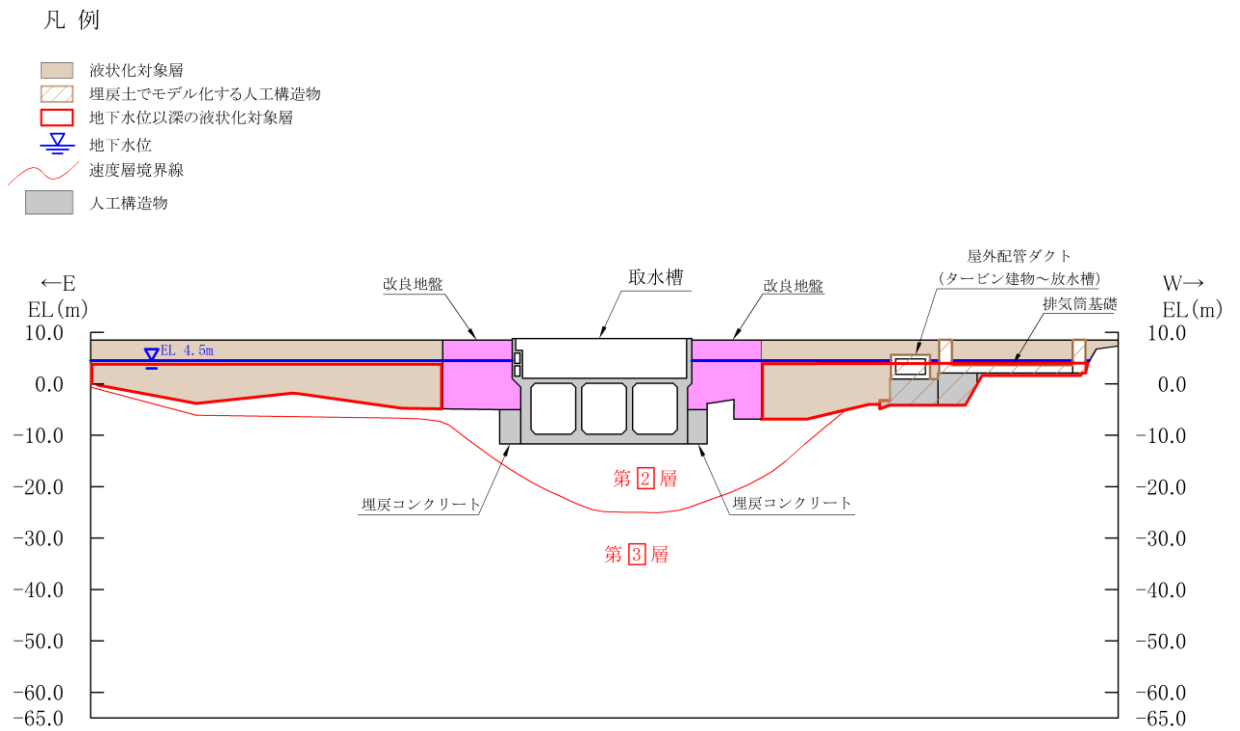


図 4.3-2 (22) 取水槽【B-B断面位置】 地質断面図 (⑤有効応力解析)

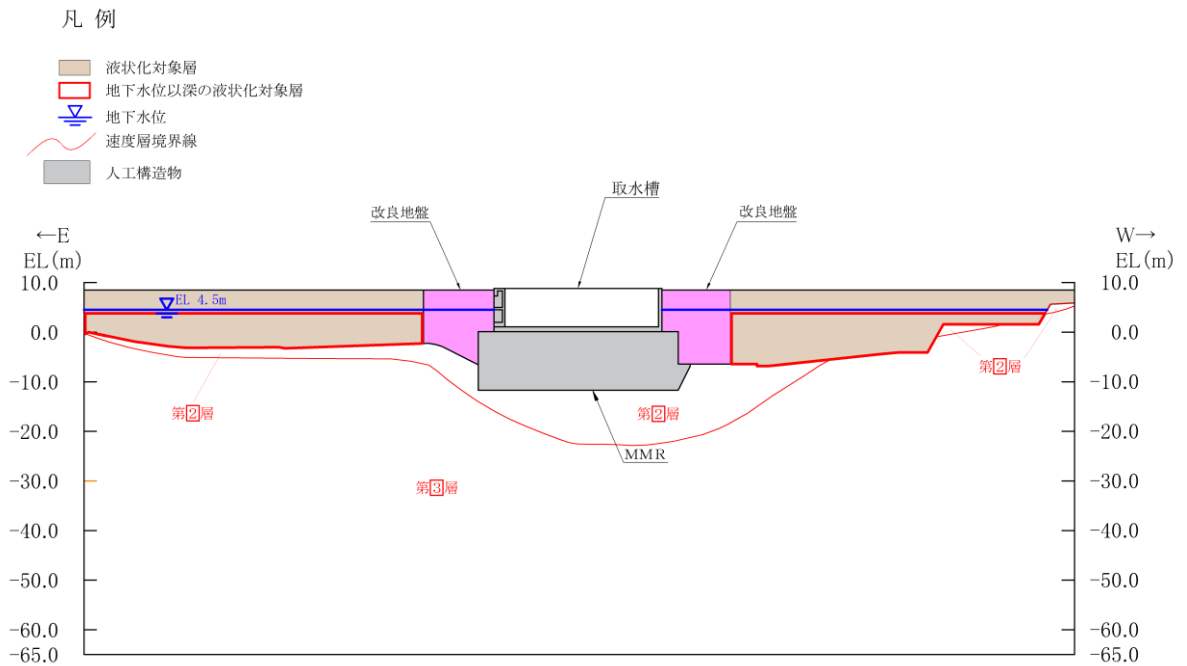


図 4.3-2 (23) 取水槽【C-C断面位置】 地質断面図 (⑤有効応力解析)

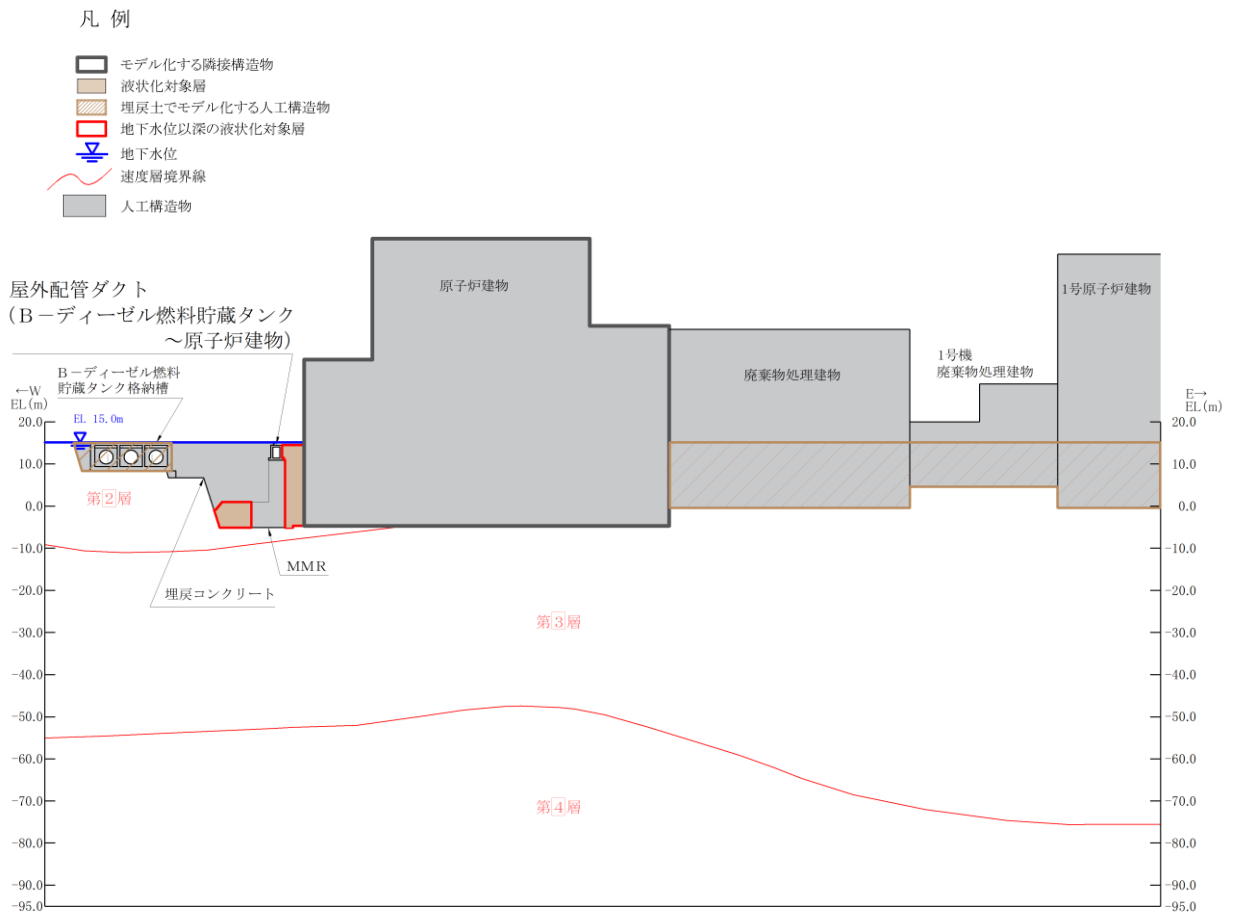


図 4.3-2 (24) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)

【C-C断面位置】 地質断面図 (⑤有効応力解析)

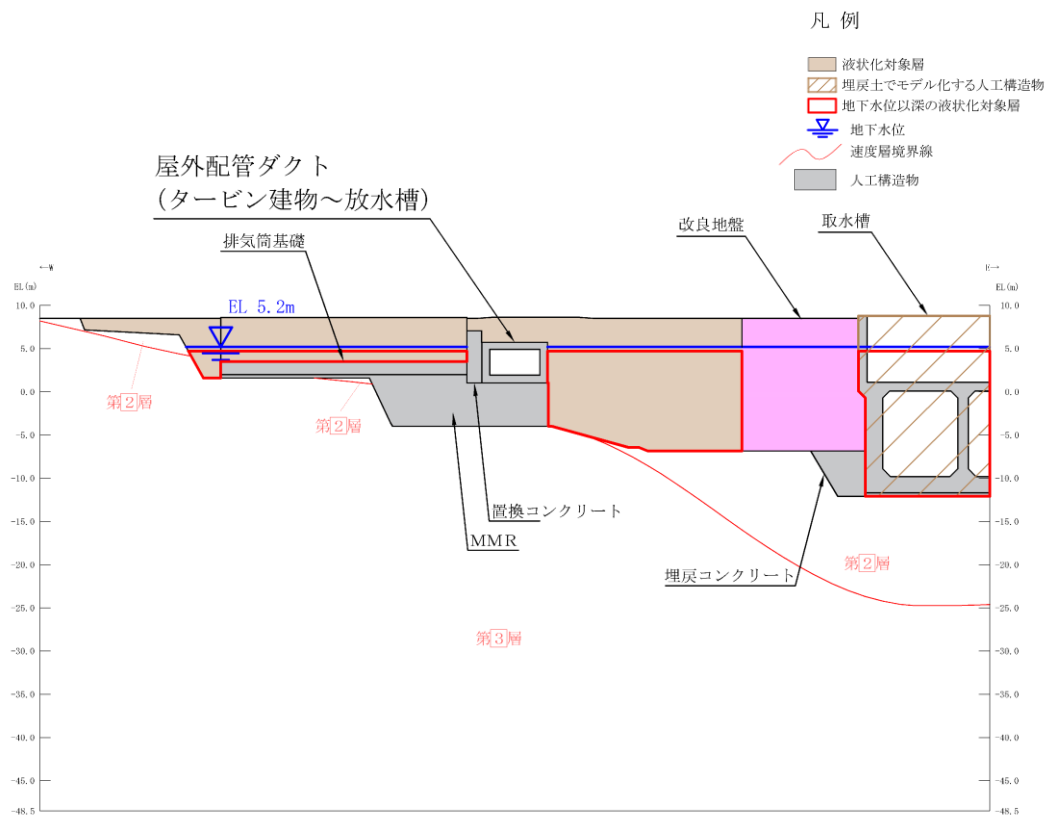









図 4.3-2(25) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 【C-C 断面位置】  
地質断面図 (⑤有効応力解析)

凡例

-  モデル化する隣接構造物
-  液化化対象層
-  埋戻土でモデル化する人工構造物
-  地下水位以深の液化化対象層
-  地下水位
-  速度層境界線
-  人工構造物

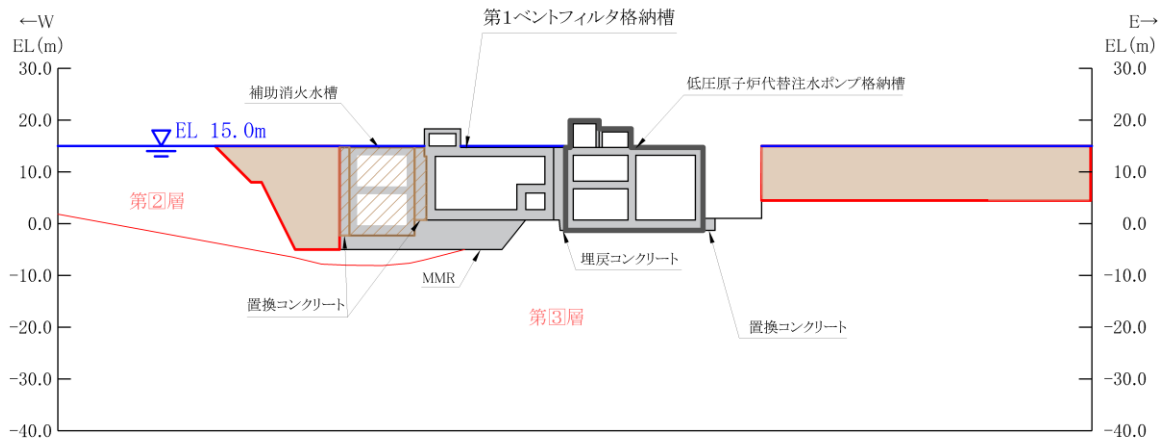


図 4.3-2(26) 第1ベントフィルタ格納槽図【C-C断面位置】

地質断面図 (⑤有効応力解析)

#### 4.4 取水槽の断面選定の考え方

取水槽は非常用取水設備であり，耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機海水ポンプ等を間接支持する支持機能，非常時における海水の通水機能及び浸水防止のための止水機能が要求される。

取水槽の配置図を図 4.4-1 に，平面図を図 4.4-2 に，断面図を図 4.4-3 に示す。

取水槽は，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要素として考慮する箱型構造物であり，3次元構造解析モデルにて耐震評価を実施することから，3次元構造解析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。)及び床応答算定断面を選定する。耐震評価に用いる3次元構造解析モデルを図 4.4-4 に示す。

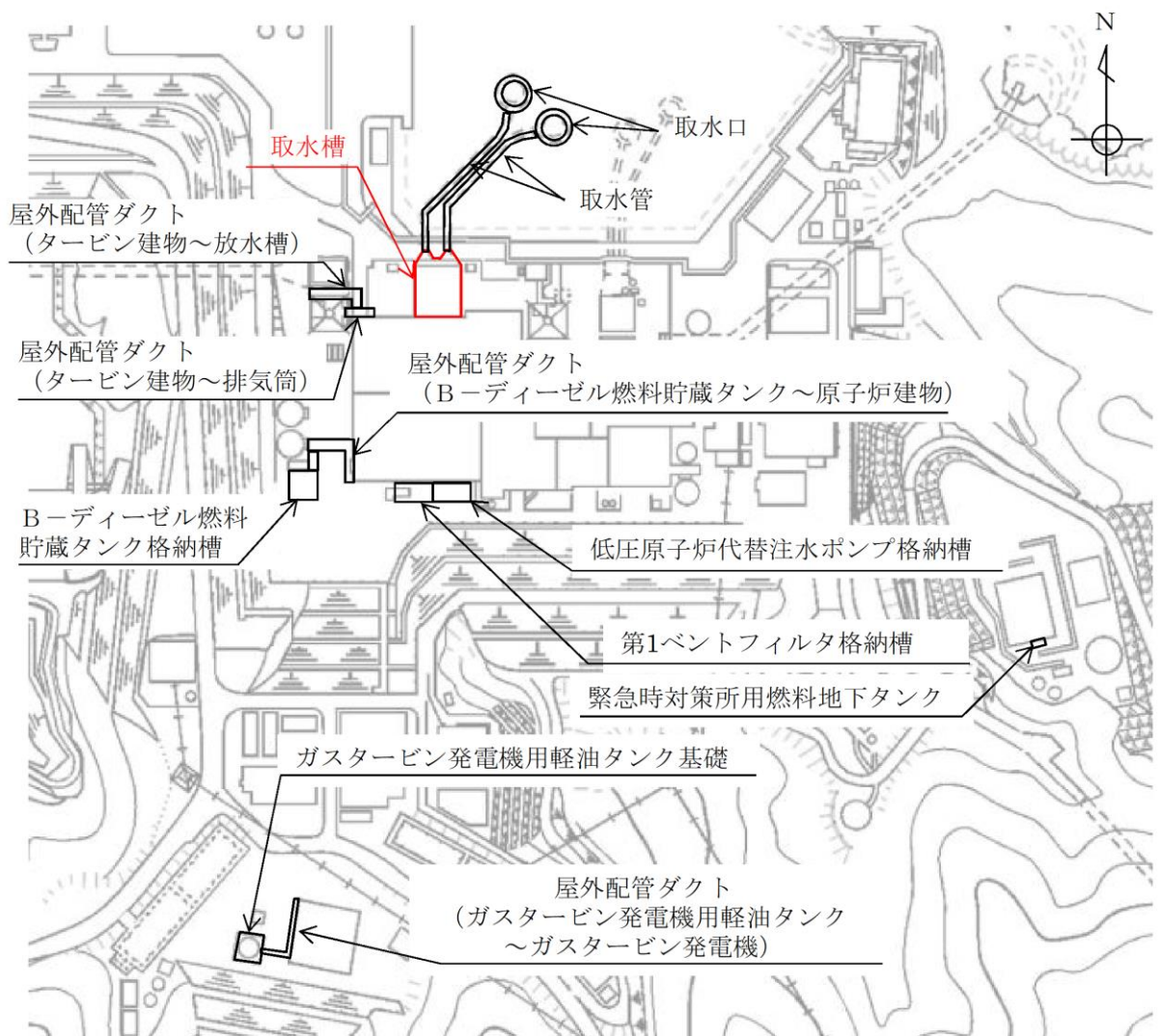


図 4.4-1 取水槽 配置図

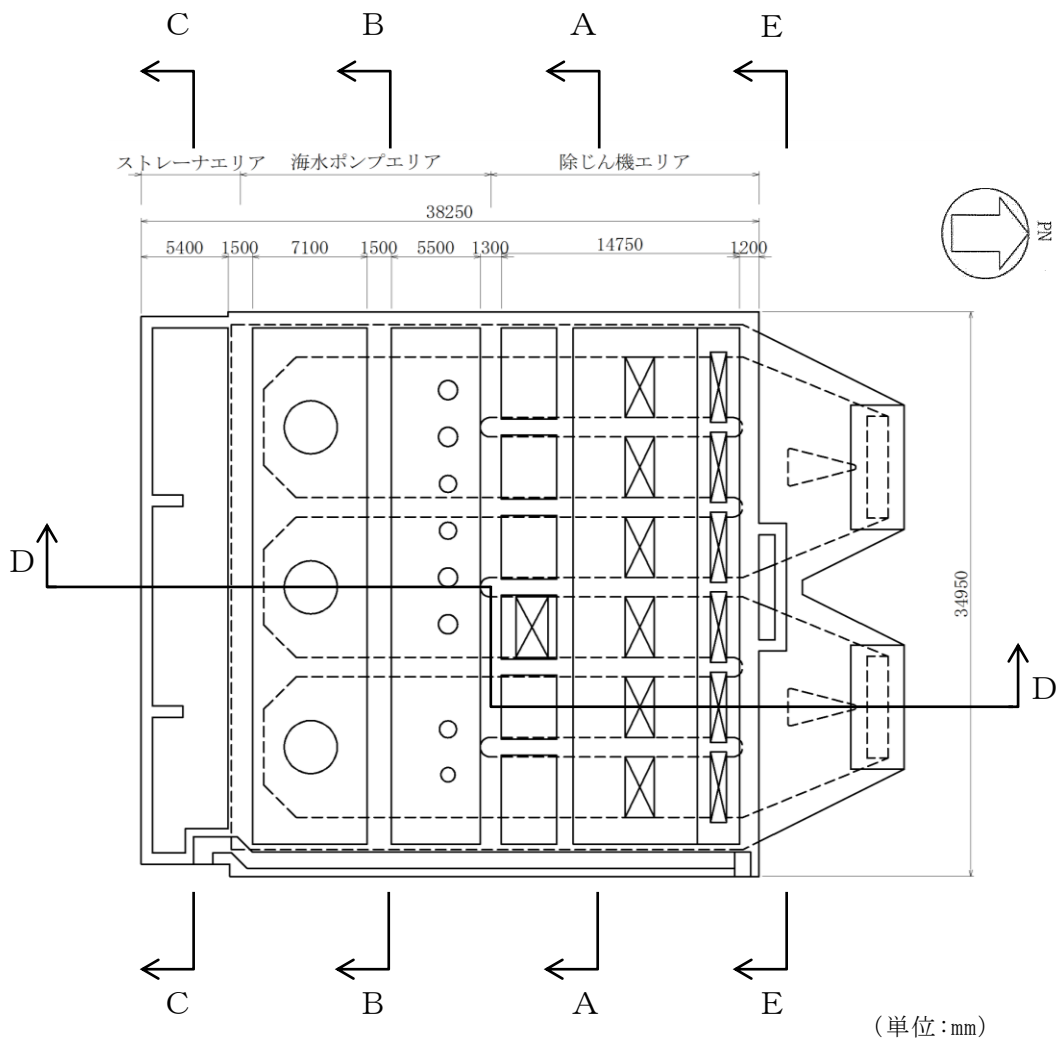


図 4.4-2 取水槽 平面図



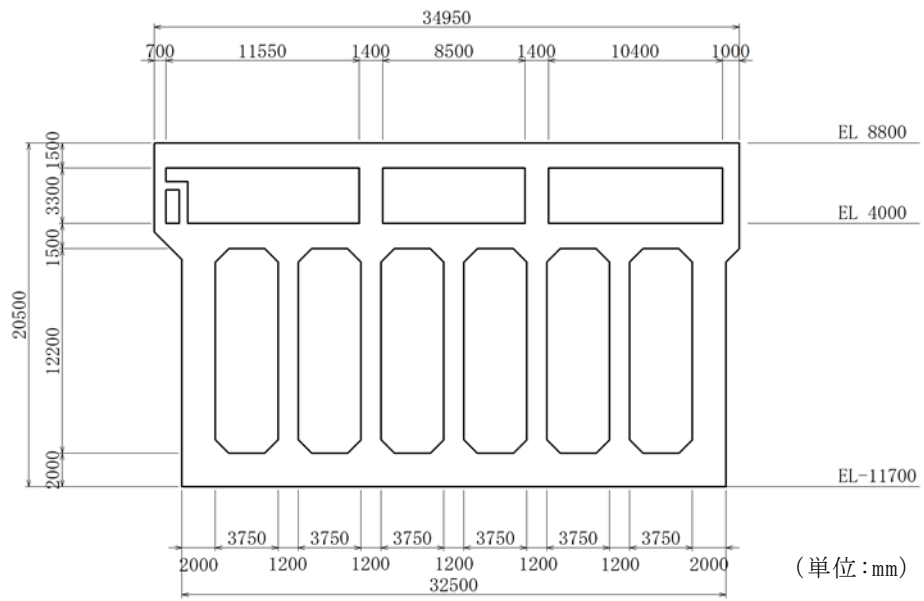


图 4.4-3(1) 取水槽 断面图(A-A断面)

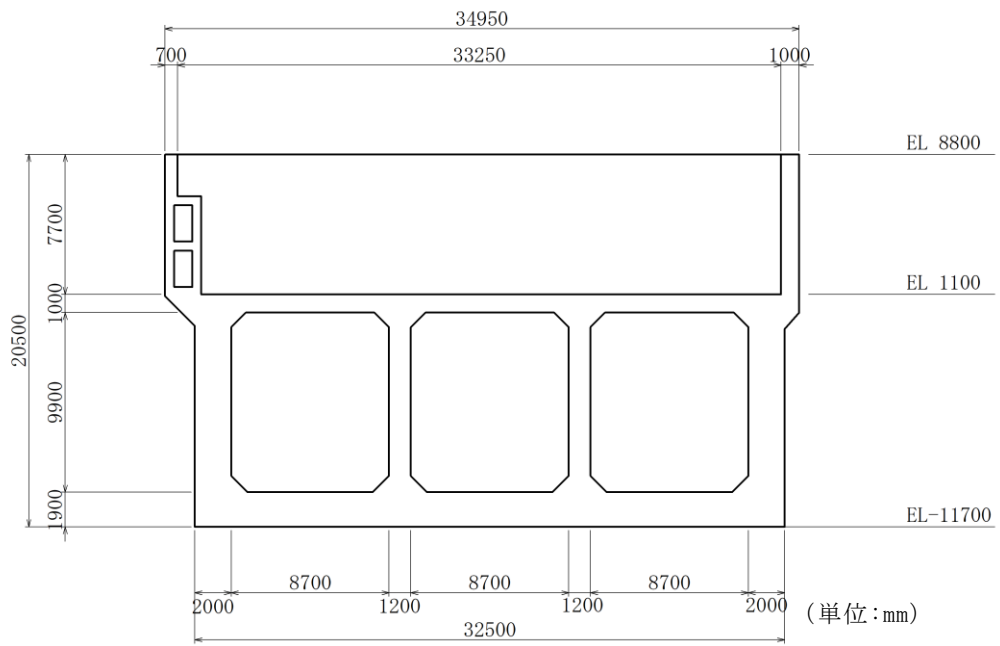


图 4.4-3(2) 取水槽 断面图(B-B断面)

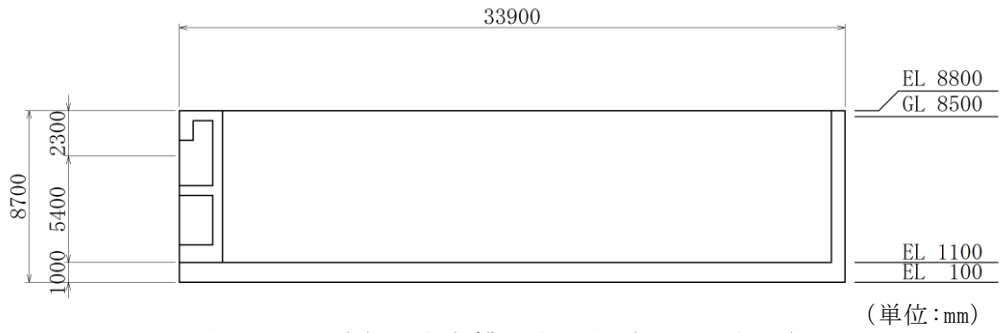


図 4.4-3(3) 取水槽 断面図(C-C断面)

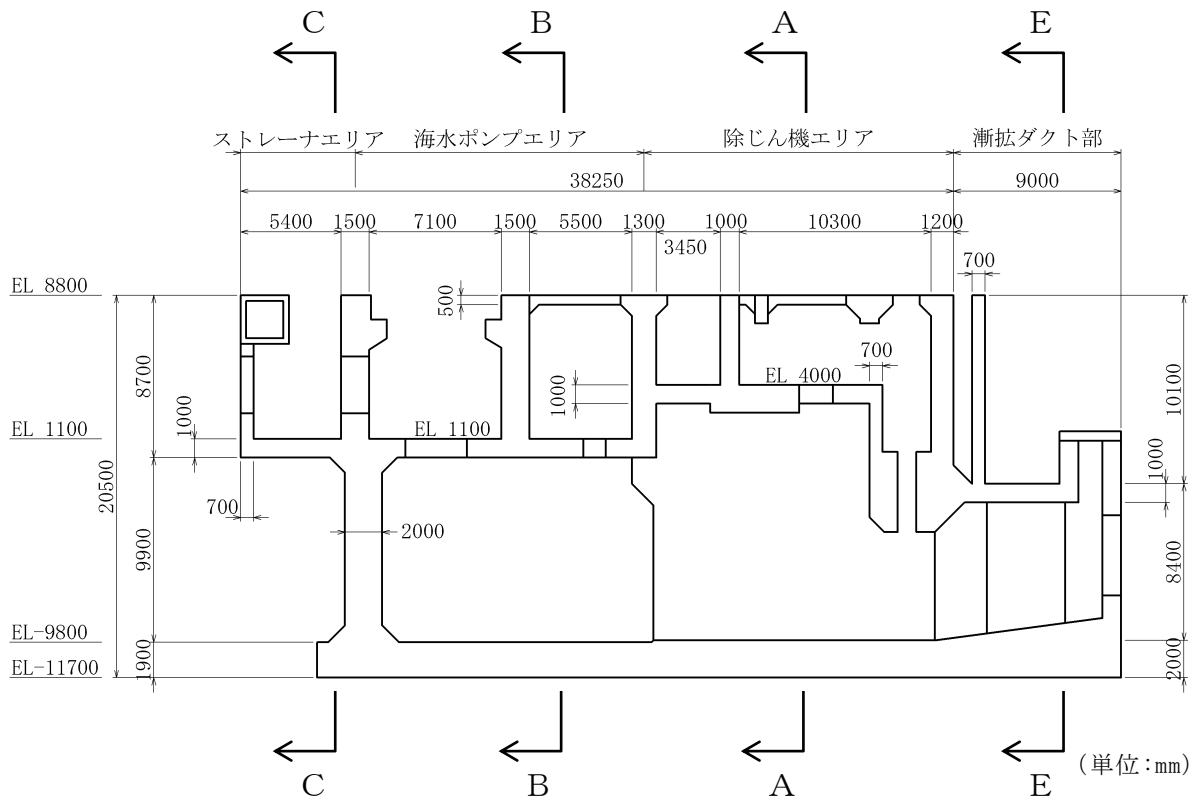


図 4.4-3(4) 取水槽 断面図(D-D断面)

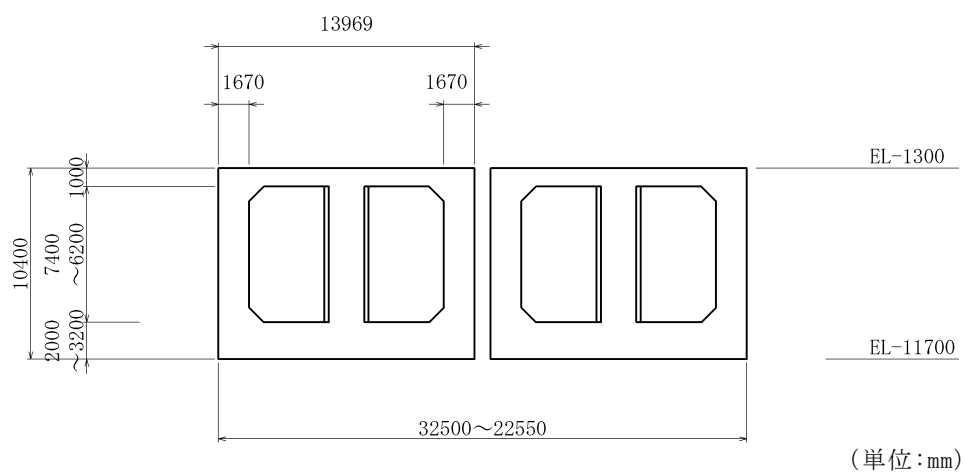


図 4.4-3(5) 取水槽 断面図(E-E断面)

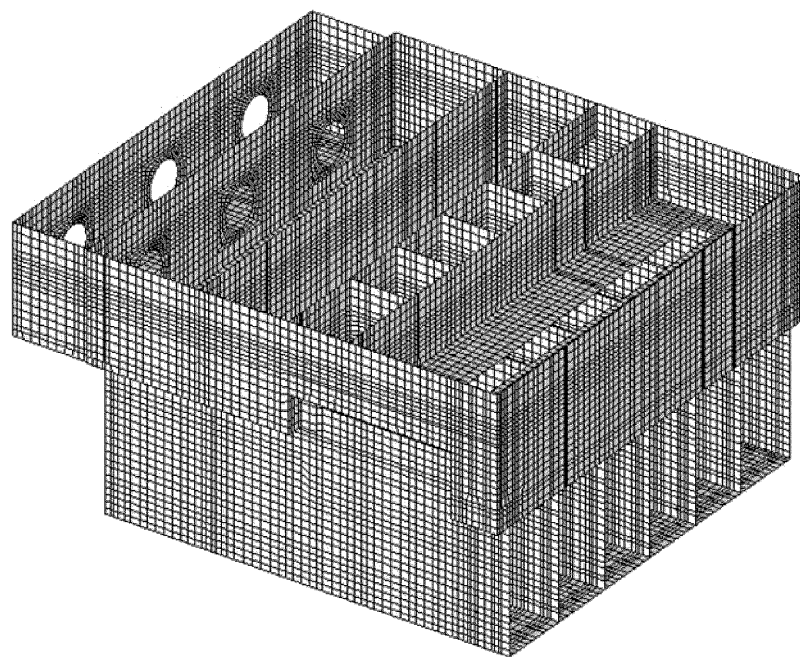


図 4.4-4 取水槽 3次元構造解析モデル

#### 4.4.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

取水槽は、延長 38.25m、幅 34.95m、高さ 20.50m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、上部は上流側より、漸拡ダクト部、除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアの4つのエリアから構成されている。

除じん機エリア及び海水ポンプエリアは、地下2階構造となっている。下部は水路となっており、除じん機エリアの下部は6連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアの下部は3連のボックスカルバート構造となっており、取水槽の主たる構造である。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。

また、ストレーナエリアについては、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、妻壁、隔壁等の面部材を有する箱型構造物である。漸拡ダクト部については、除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアと比較して、内空断面積が小さく、複雑な妻壁の拘束効果を受けない線状構造物とみなすことができる。ストレーナエリア及び漸拡ダクト部は範囲が限定的であるため、取水槽の主たる構造ではない。

なお、各エリア内での部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。

南北加振に対して、南北方向の側壁及び水路部の隔壁が耐震要素として機能し、東西加振と比較して、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、南北方向が強軸方向となり、東西方向が弱軸方向となる。

東西方向については、漸拡ダクト部、除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアのそれぞれで開口部の有無及び中床版の設置レベルが異なる等の影響で剛性に差があり、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。

南北方向においては、構造物軸心を中心とする対称性を有する。

###### b. 周辺状況

取水槽のうち、A-A断面、B-B断面、C-C断面及びD-D断面の地質断面図を図4.4-5に示す。また、E-E断面の周辺状況概要図を図4.4-6示す。周辺状況として、取水槽周りは改良地盤、埋戻コンクリート又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）が敷設され、南北方向については、北側は改良地盤を介して防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が、南側はタービン建物が隣接しており、地下構造は北に緩やかに傾斜している。東西方向については、改良地盤又は埋戻コンクリートを介して埋戻土又は岩盤と接しており、地下構造は全体的な傾向と

して、水平であるが、取水槽付近では第2層が厚く分布する。また、支持地盤として、A-A断面については十分な支持機能を持つC<sub>M</sub>級岩盤が、B-B断面及びC-C断面についてはC<sub>L</sub>級岩盤及びC<sub>M</sub>級岩盤が分布している。

取水槽の設計地下水位は、周辺に様に設定することから、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。

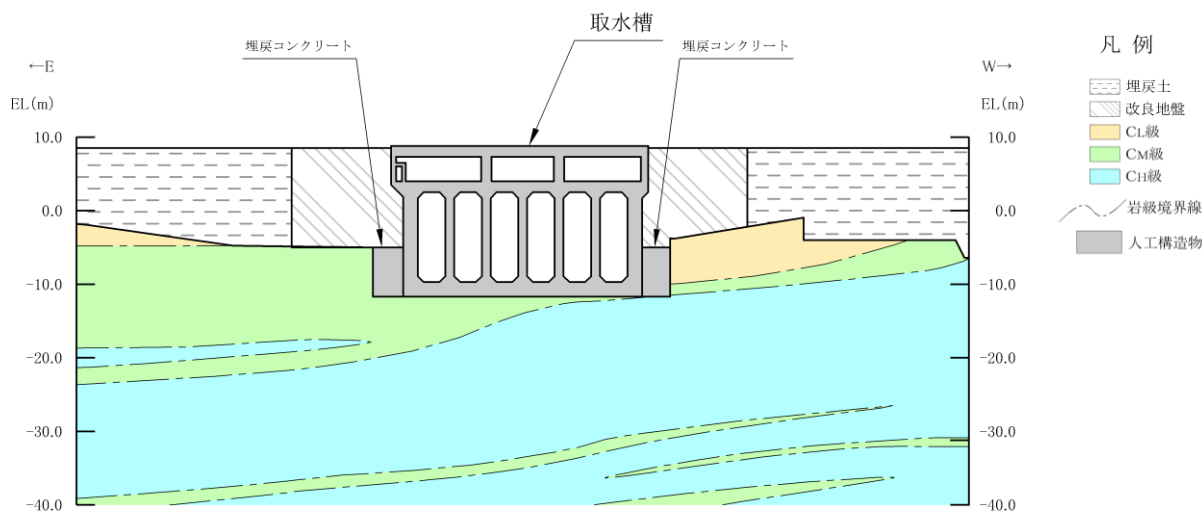
なお、構造物周辺の無筋コンクリートの定義及び評価方針について、参考資料3に示す。

c. 間接支持される機器・配管系の有無

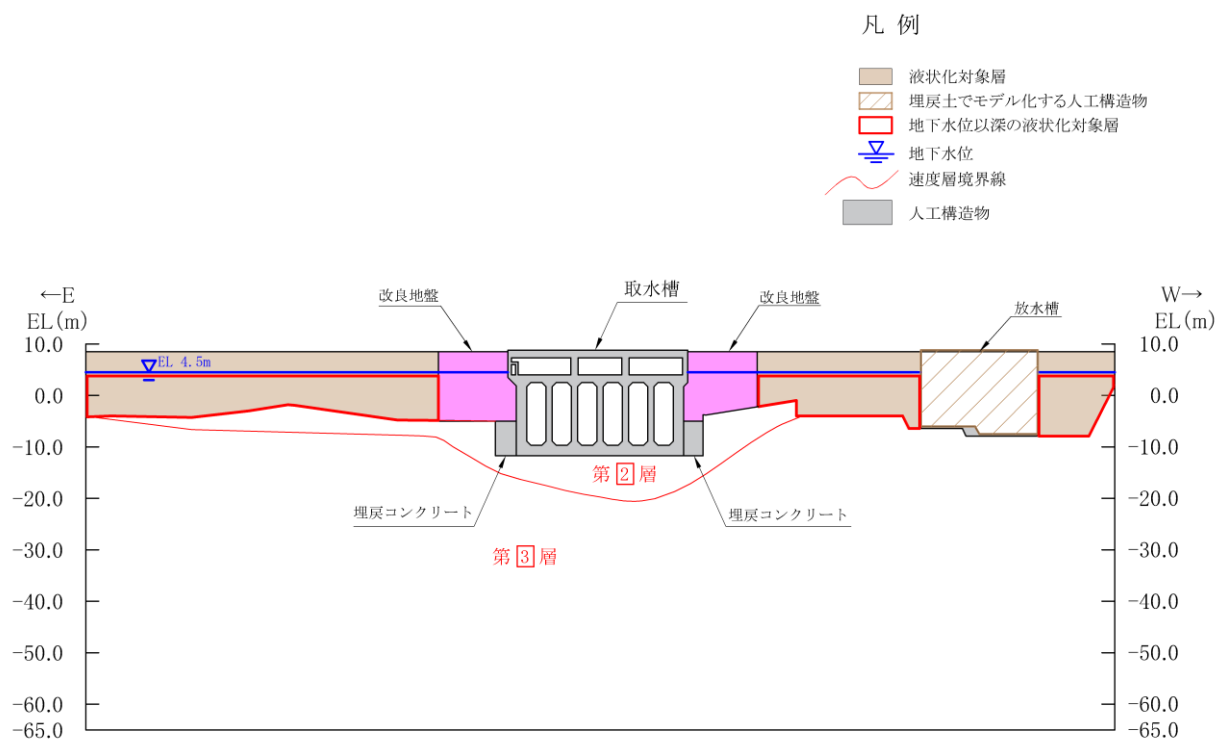
南北断面及び東西断面のうち除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアは機器・配管系を支持するが、東西断面のうち漸拡ダクト部は機器・配管系を支持しない。

d. 要求機能

漸拡ダクト部には、通水機能が要求され、除じん機エリア及び海水ポンプエリアには、支持機能、通水機能及び止水機能が要求され、ストレーナエリアには、支持機能が要求される。取水槽のうち止水機能が要求される範囲について、図4.4-7に示す。

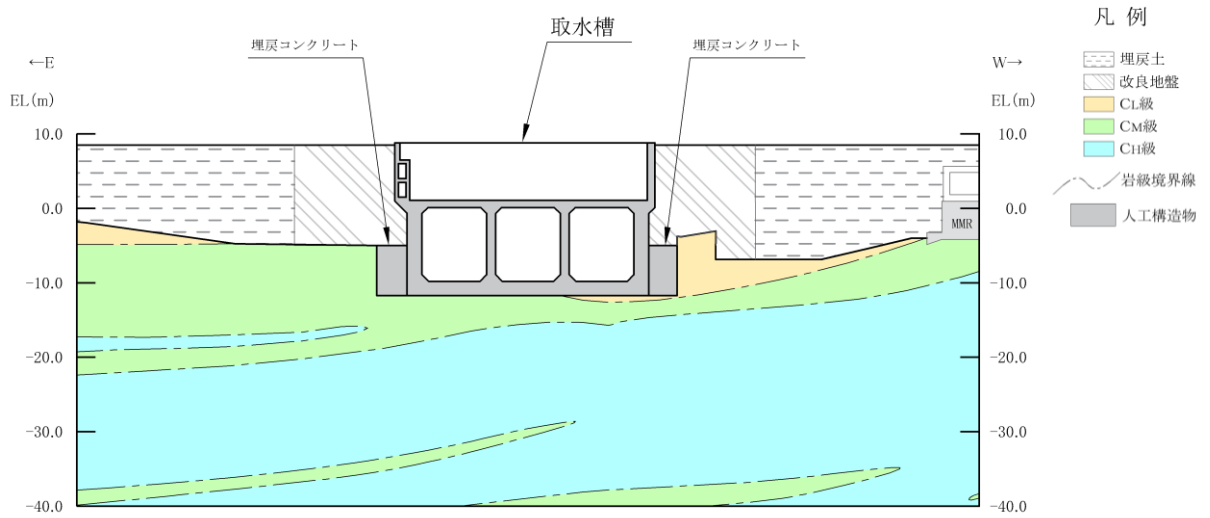


(岩級図)

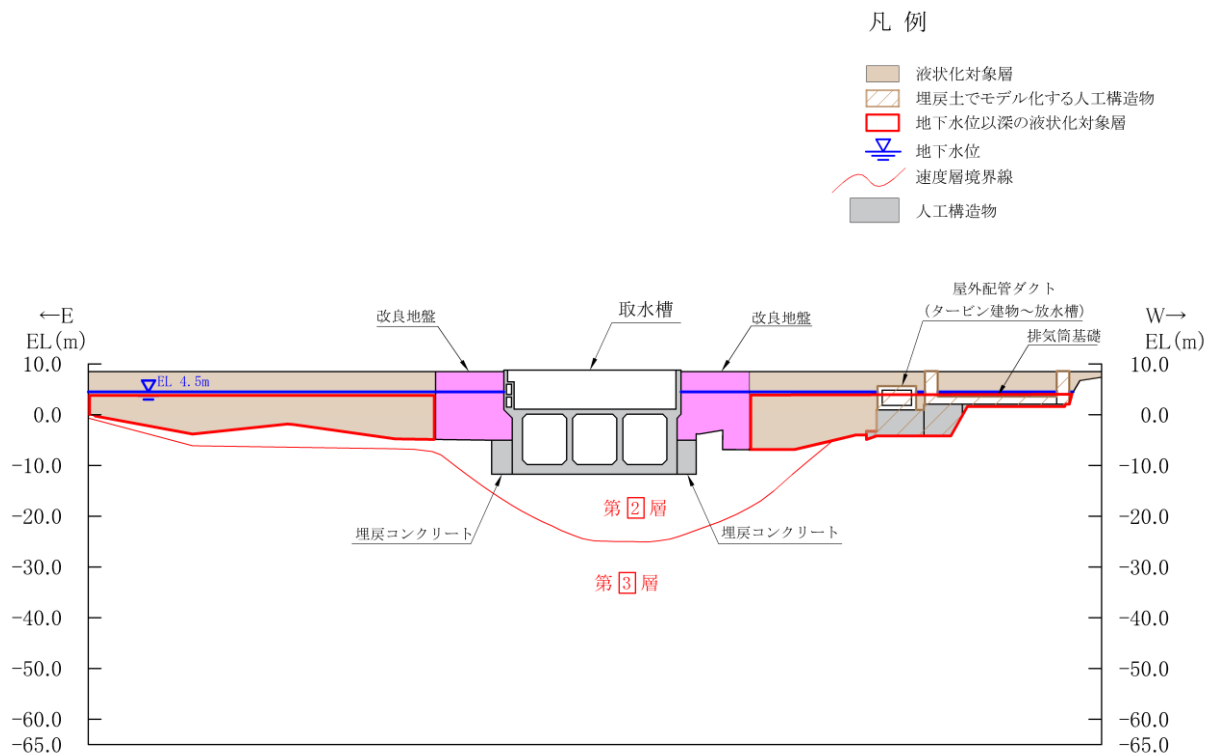


(速度層図)

図 4.4-5 (1) 取水槽 地質断面図 (A-A断面位置)

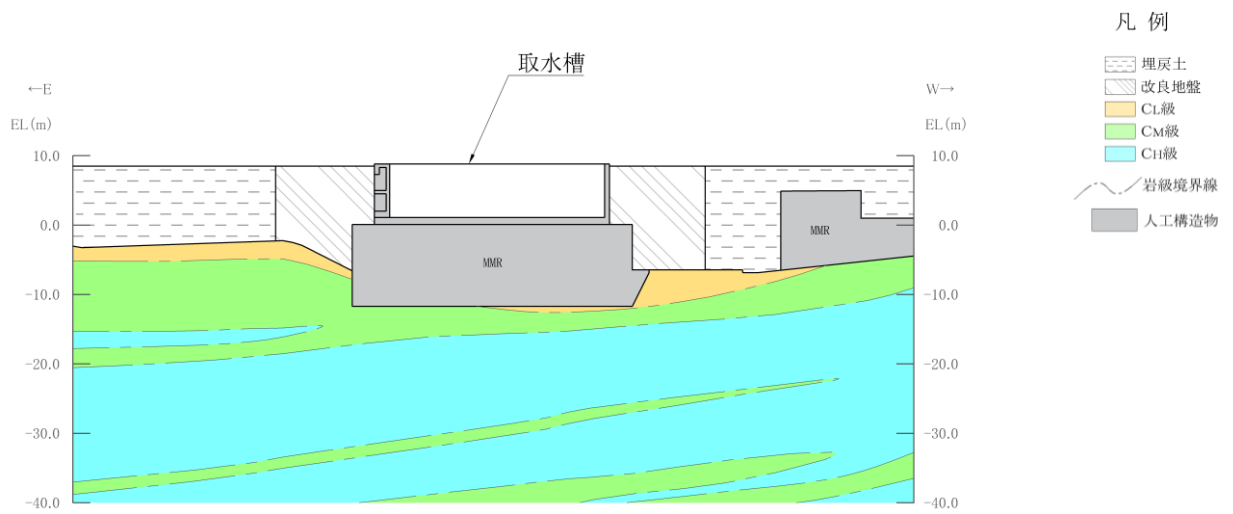


(岩級図)

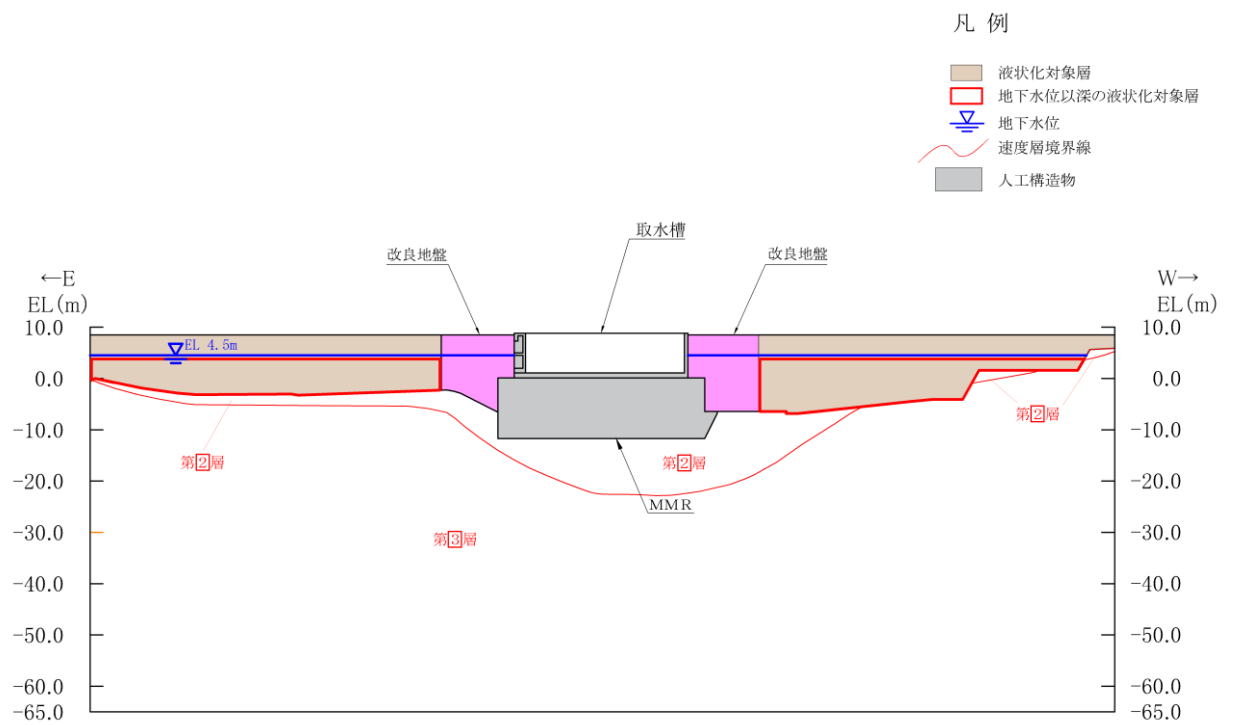


(速度層図)

図 4.4-5 (2) 取水槽 地質断面図 (B-B 断面位置)



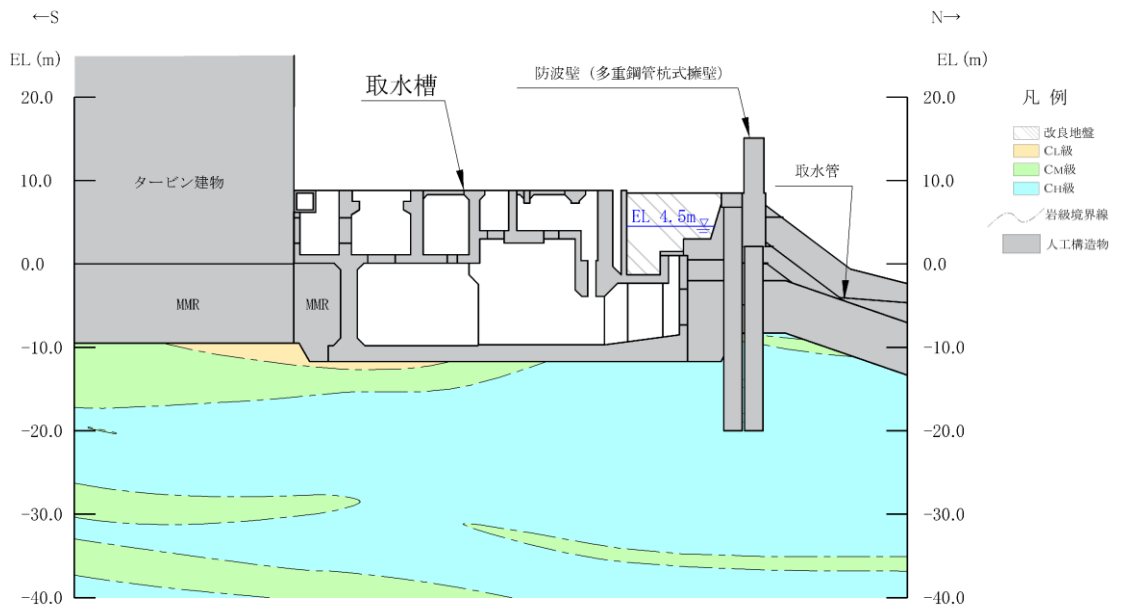
(岩級図)



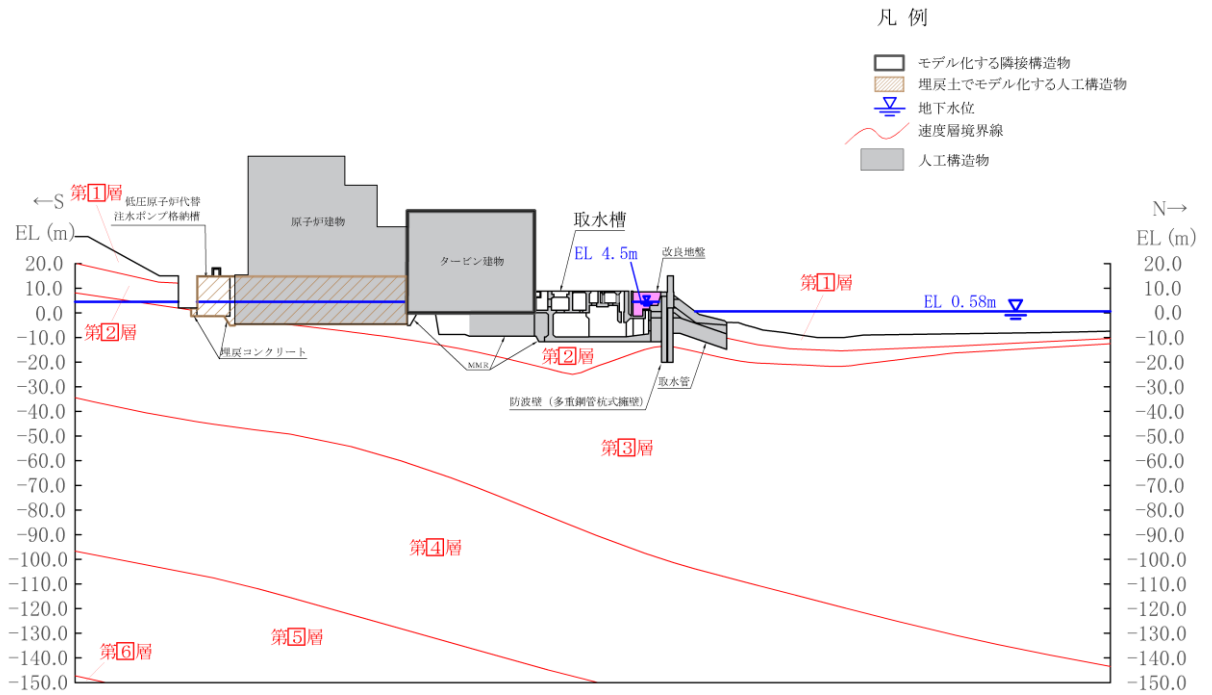
(速度層図)

図 4.4-5 (3) 取水槽 地質断面図 (C-C 断面位置)





(岩級図)



(速度層図)

図 4.4-5 (4) 取水槽 地質断面図 (D-D 断面位置)

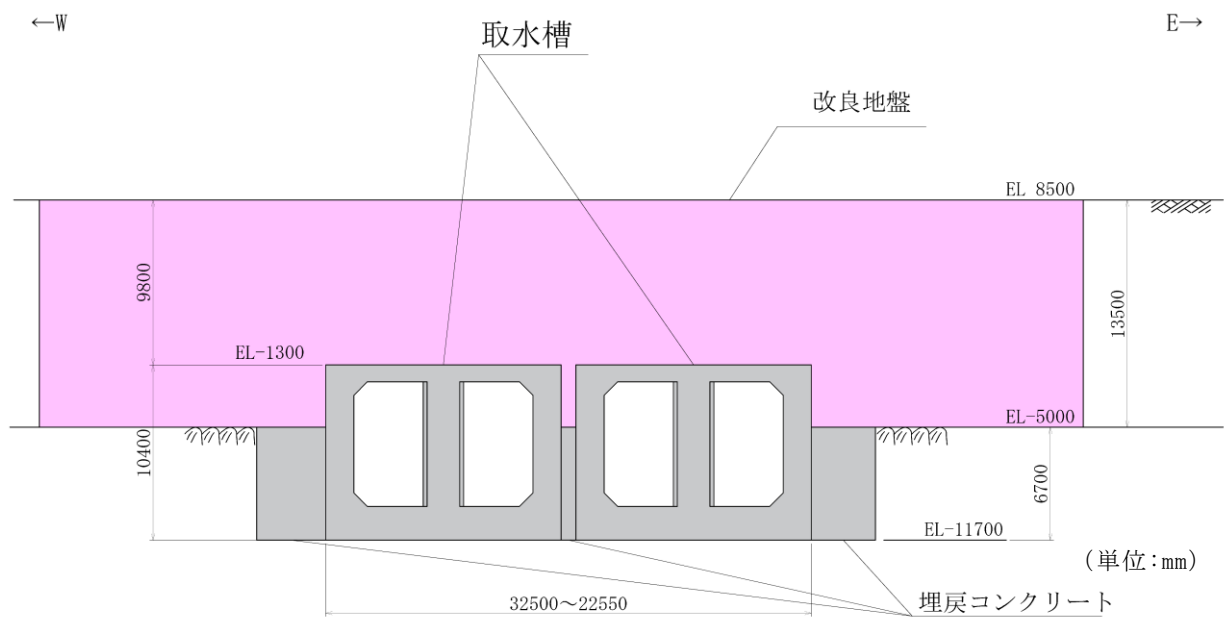
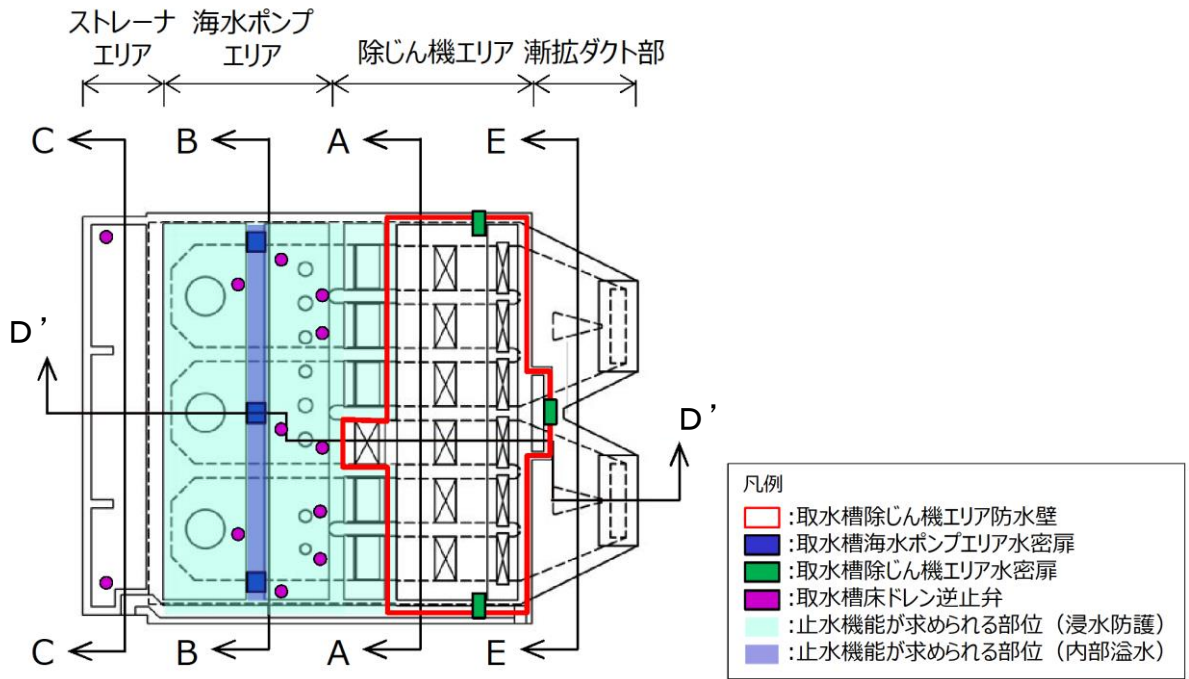
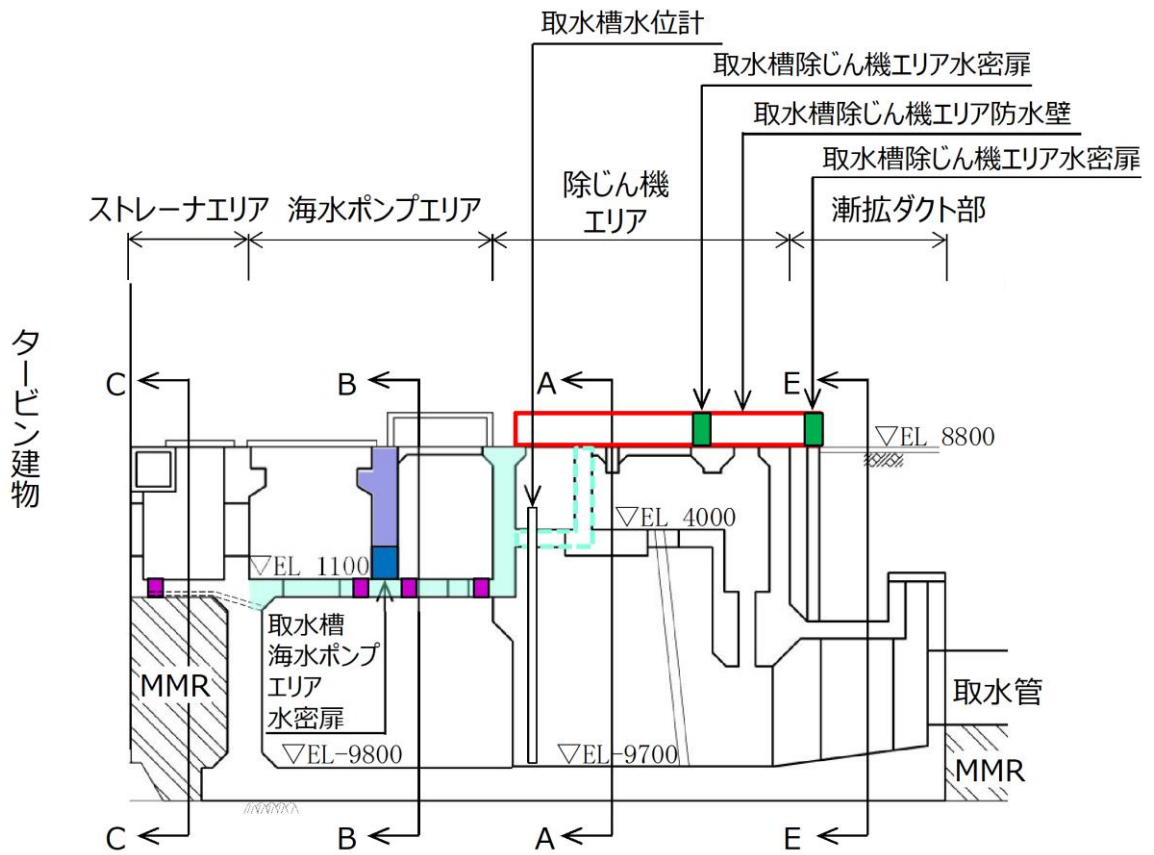


図 4.4-6 取水槽 周辺状況概要図 (E-E 断面位置)



平面図



縦断面図

図 4.4-7 取水槽のうち止水機能が要求される範囲

## (2) 地震時荷重算出断面及び床応答算定断面の選定

4.4.1 (1) 候補断面の整理より，東西断面のうち，除じん機エリア（A－A断面）及び海水ポンプエリア（B－B断面）については，弱軸方向であり，取水槽の主たる構造である。また，それぞれのエリアで剛性に差があることから，除じん機エリア（A－A断面）及び海水ポンプエリア（B－B断面）を地震時荷重算出断面及び床応答算定断面として選定する。

また，漸拡ダクト部（E－E断面）については，弱軸方向であるが，取水槽本体と縁が切れていること，海水ポンプ室エリア（B－B断面）と比べ内空が小さいこと（海水ポンプ室エリア：9.9m×8.7m×3，漸拡ダクト部：7.4m×10.6～13.6m×2），頂版，側壁及び底版に十分なせん断補強筋（D29@250×250）が入っており剛な構造物であると考えられること，機器・配管系も支持していないことから，地震時荷重算出断面及び床応答算定断面として選定しない。

ストレーナエリア（C－C断面）も同様であるが，3次元構造解析モデルに地震時荷重を適切に作用させる観点から，地震時荷重算出断面として選定する。

南北断面については，構造物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及び床応答算定断面として選定する。

## (3) 断面選定結果

取水槽の地震時荷重算出断面の選定結果を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 取水槽 地震時荷重算出断面の選定結果

方向	a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
東西方向	<p>漸広ダクト部 (E-E断面)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、北から南に向けて漸広していることから、位置によって断面形状が異なる。</li> <li>範囲が限定的であるため、取水槽の主たる構造ではない。</li> <li>他の断面に比べ内径が小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>十分な支持性能を有するC<sub>10</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>構造物周辺は地盤改良がなされており、その外側は埋戻土が一樣に分布している。</li> <li>設計地下水位は断面によらず一律に設定される。</li> <li>改良地盤又は置換コンクリートを介して埋戻土又は岩盤と接している。</li> <li>岩盤の地質構造はおおむね水平成層となっており、取水槽の南北位置によって地震動に差異はない。</li> <li>十分な支持性能を有するC<sub>10</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>設計地下水位は断面によらず一律に設定される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>なし</li> </ul>	<p>通水機能</p>	<p>弱軸方向であるが、他断面と比較して範囲が限定的であるため、地震時荷重算出断面及び床応答算定断面として選定しない。</p>
	<p>除じん機エリア (A-A断面)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物で、妻壁、隔壁等の面材を有する箱型構造物である。</li> <li>地下2階構造の下部は6連のボックスカルバート構造である。上部は各エリアが隔壁により仕切られており、取水槽の主たる構造である。</li> <li>エリア内での部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> <li>耐震要素として機能する面材が相対的に少なく、東西方向が弱軸となる。</li> <li>開口部の有無及び中床版の設置レベルが異なる等の影響で隣接する海水ポンプエリアと剛性に差がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良地盤又は置換コンクリートを介して埋戻土又は岩盤と接している。</li> <li>岩盤の地質構造はおおむね水平成層となっており、取水槽の南北位置によって地震動に差異はない。</li> <li>C<sub>10</sub>級及びC<sub>15</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>設計地下水位は断面によらず一律に設定される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機海水ポンプ</li> <li>高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ</li> <li>海水ポンプエリア水密扉</li> <li>原子炉補機海水系配管・弁</li> <li>高圧炉心スプレイ補機海水系配管・弁</li> </ul>	<p>支持性能 通水機能 止水機能</p>	<p>弱軸方向であり、取水槽の主たる構造である。隣接する除じん機エリアと剛性に差があることから地震時荷重算出断面及び床応答算定断面として選定する。</p>
	<p>海水ポンプエリア (B-B断面)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物で、妻壁、隔壁等の面材を有する箱型構造物である。</li> <li>地下2階構造の下部は3連のボックスカルバート構造である。上部は各エリアが隔壁により仕切られており、取水槽の主たる構造である。</li> <li>エリア内での部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> <li>耐震要素として機能する面材が相対的に少なく、東西方向が弱軸となる。</li> <li>開口部の有無及び中床版の設置レベルが異なる等の影響で隣接する除じん機エリアと剛性に差がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良地盤を介して埋戻土と接している。</li> <li>岩盤の地質構造はおおむね水平成層となっており、取水槽の南北位置によって地震動に差異はない。</li> <li>MMRを介してC<sub>10</sub>級及びC<sub>15</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>設計地下水位は断面によらず一律に設定される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機海水ストレーナ</li> <li>高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ</li> <li>原子炉補機海水系配管・弁</li> </ul>	<p>支持性能</p>	<p>弱軸方向であるが、他断面と比較して範囲が限定的であるため、床応答算定断面として選定しない。ただし、3次元解析構造解析モデルに地震時荷重を適切に作用させる観点から、地震時荷重算出断面として選定する。</p>
南北方向 (D-D断面)	<p>鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアの3エリアに分かれ、下部は水路となっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>側壁、隔壁等が耐震要素として機能し、南北方向が強軸となる。</li> <li>構造物軸心を中心とする対称性を有している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接又はMMRを介してC<sub>10</sub>級〜C<sub>15</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>北側は改良地盤を介して防波壁(多重鋼管杭式擁壁)が、南側はタービン建物が隣接している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>東西方向断面において間接支持する設備</li> </ul>	<p>支持性能 通水機能 止水機能</p>	<p>構造物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及び床応答算定断面として選定する。</p>

#### 4.4.2 解析手法の選定

取水槽の南北方向は、耐震性の確認されたタービン建物と防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に挟まれ、タービン建物とは直接接しており、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）との間の埋戻土は地盤改良されていることから、解析手法の選定フローに基づき「②全応力解析」を選定する。

東西方向は、改良地盤又は埋戻コンクリートに囲まれているが、改良地盤の外側は液状化検討対象層が幅広く分布しており、液状化による影響を否定できないことから、解析手法の選定フローに基づき「⑤有効応力解析」を選定する。

#### 4.5 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の断面選定の考え方

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は非常用ガス処理系配管・弁等を間接支持する支持機能が要求される。

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の配置図を図 4.5-1 に、平面図を図 4.5-2 に、断面図を図 4.5-3 に示す。

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の一部は、屋外配管ダクト（タービン建屋～放水槽）の一部と一体構造（以下「一体化部」という。）となっており、タービン建物及び排気筒の接合部には構造目地が設置されている。当該部位のような複雑な構造における立体的な作用荷重を精緻に評価するために、一体構造であることを考慮した 3 次元構造解析モデルにて耐震評価を実施する。

3次元構造解析モデルを図 4.5-4 に示す。

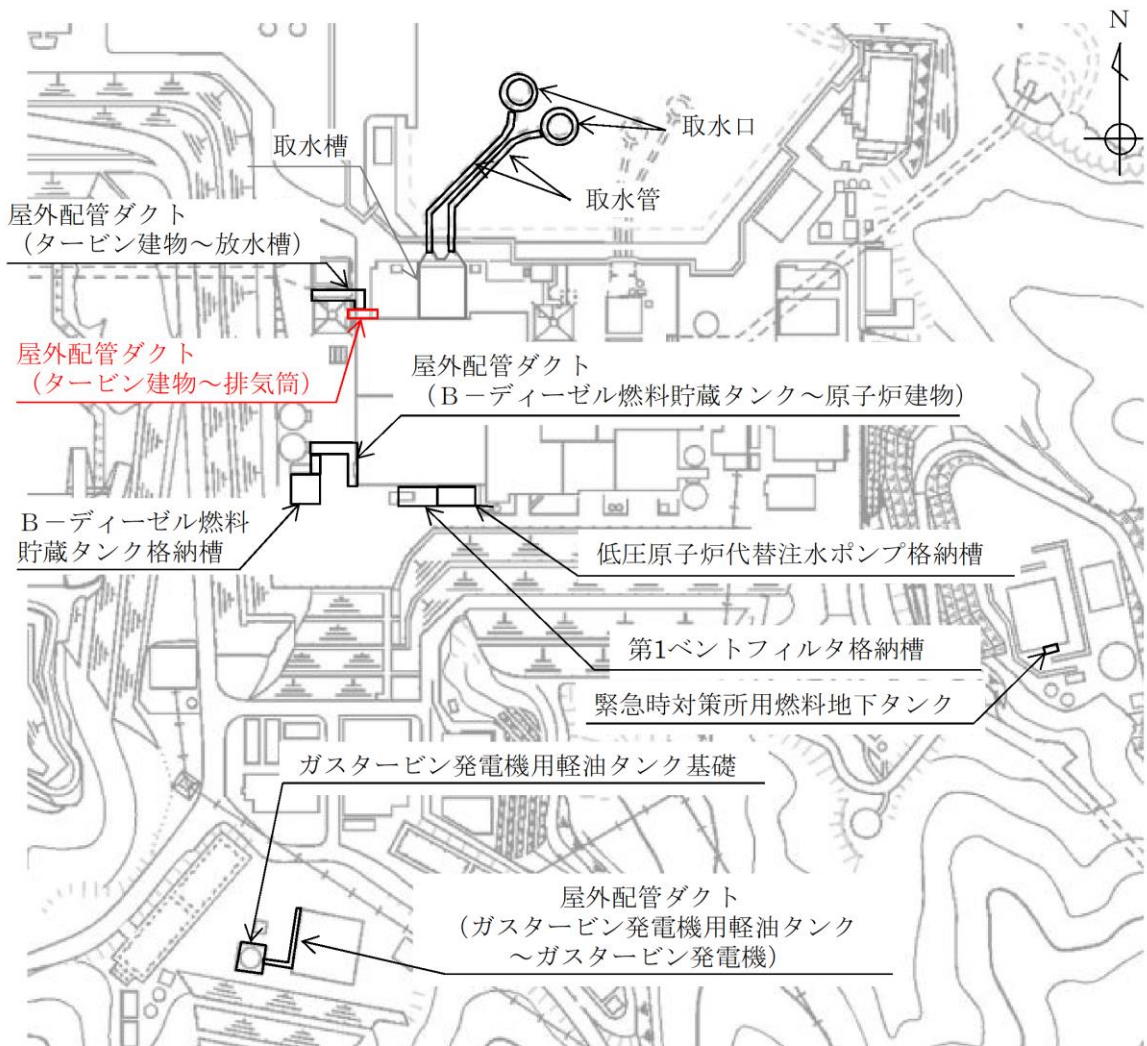


図 4.5-1 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 配置図

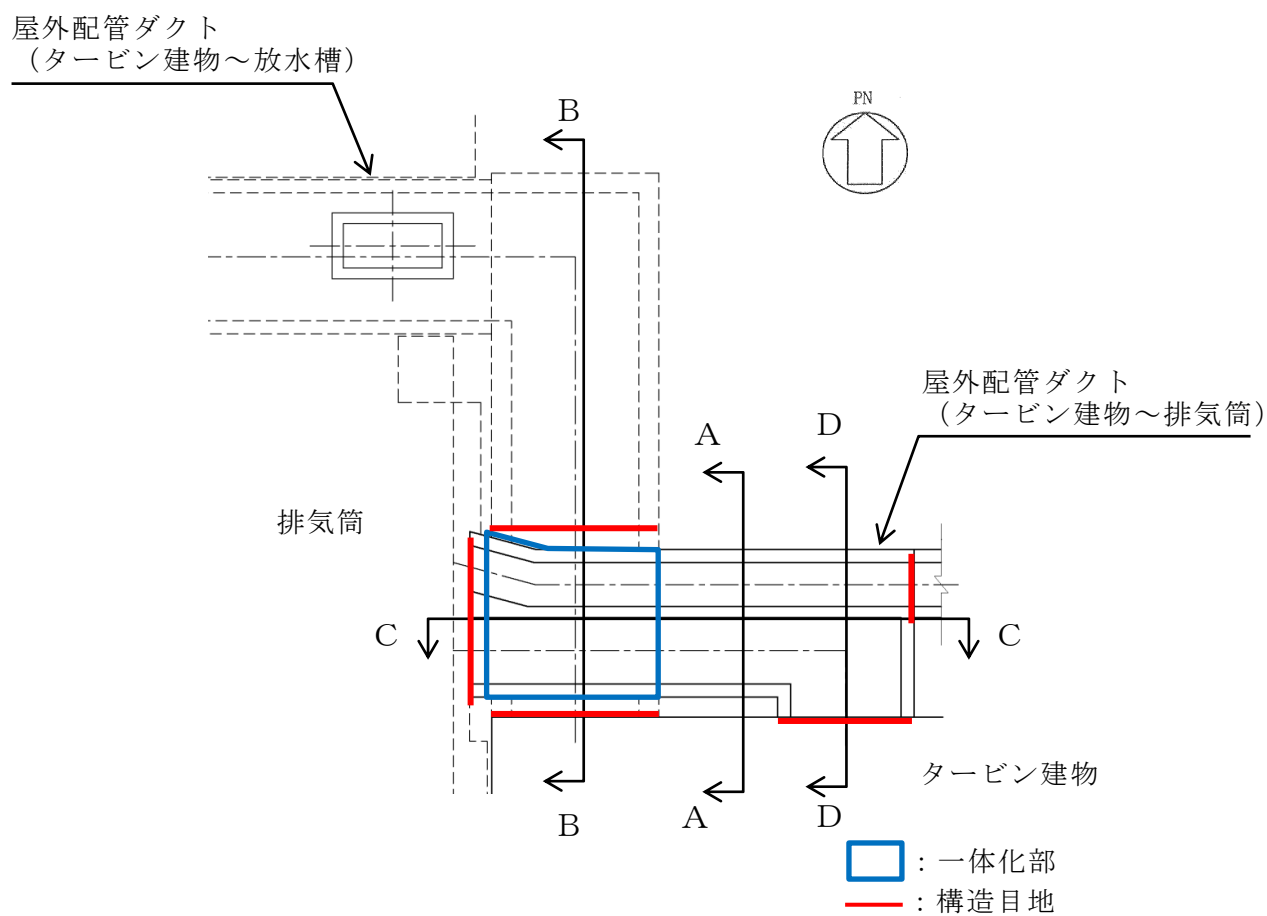


図 4.5-2 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 平面図



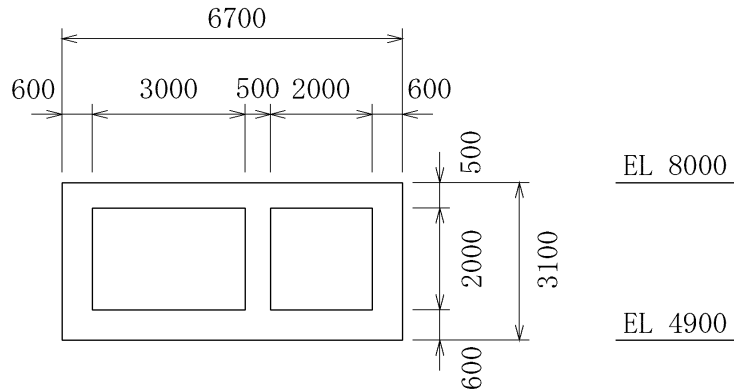


図 4.5-3 (1) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (A-A 断面)

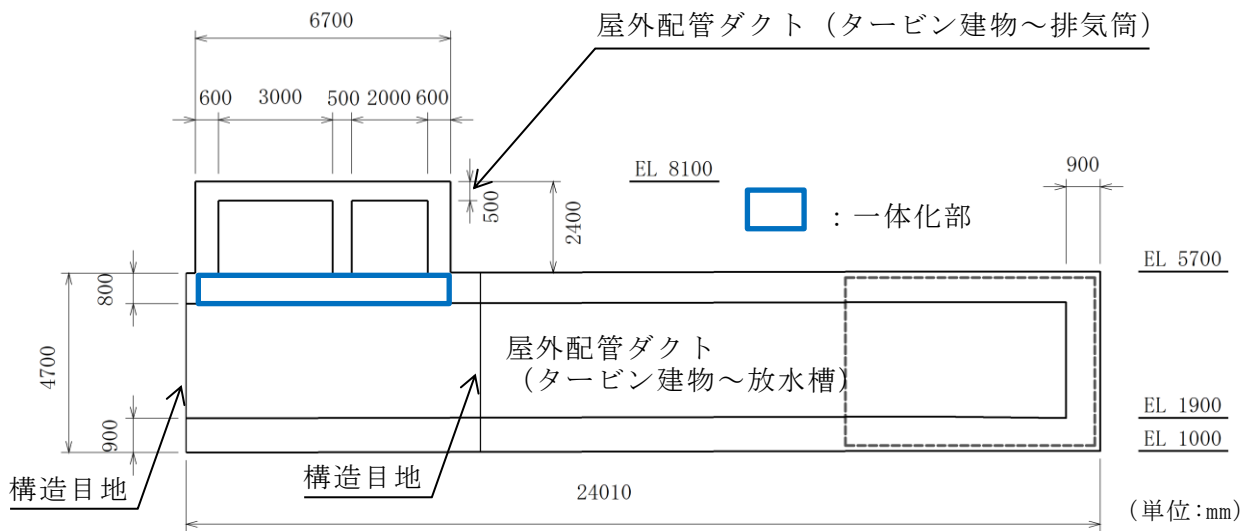


図 4.5-3 (2) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (B-B 断面)

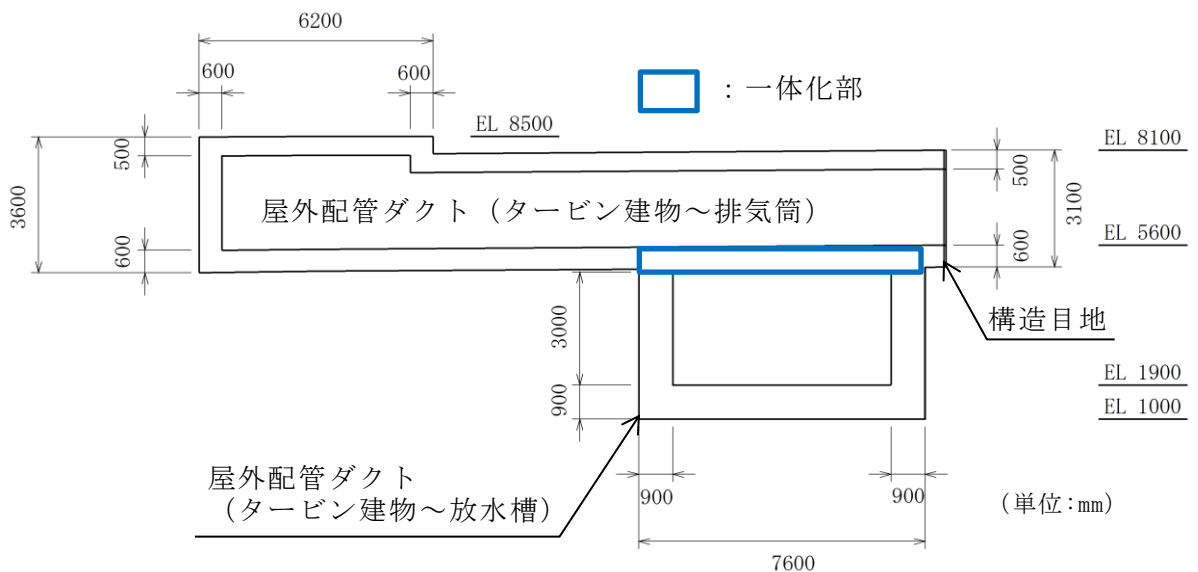


図 4.5-3 (3) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (C-C 断面)

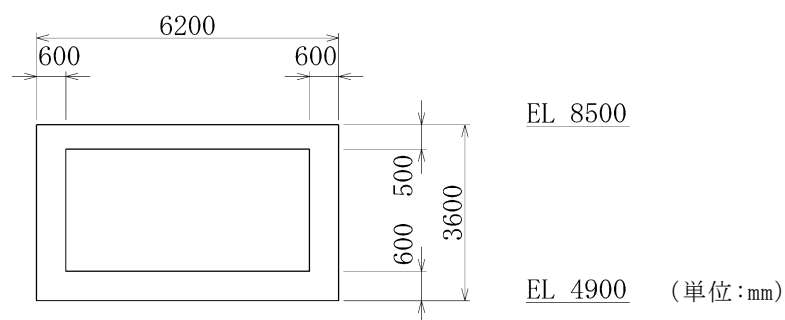


図 4.5-3 (4) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (D-D 断面)

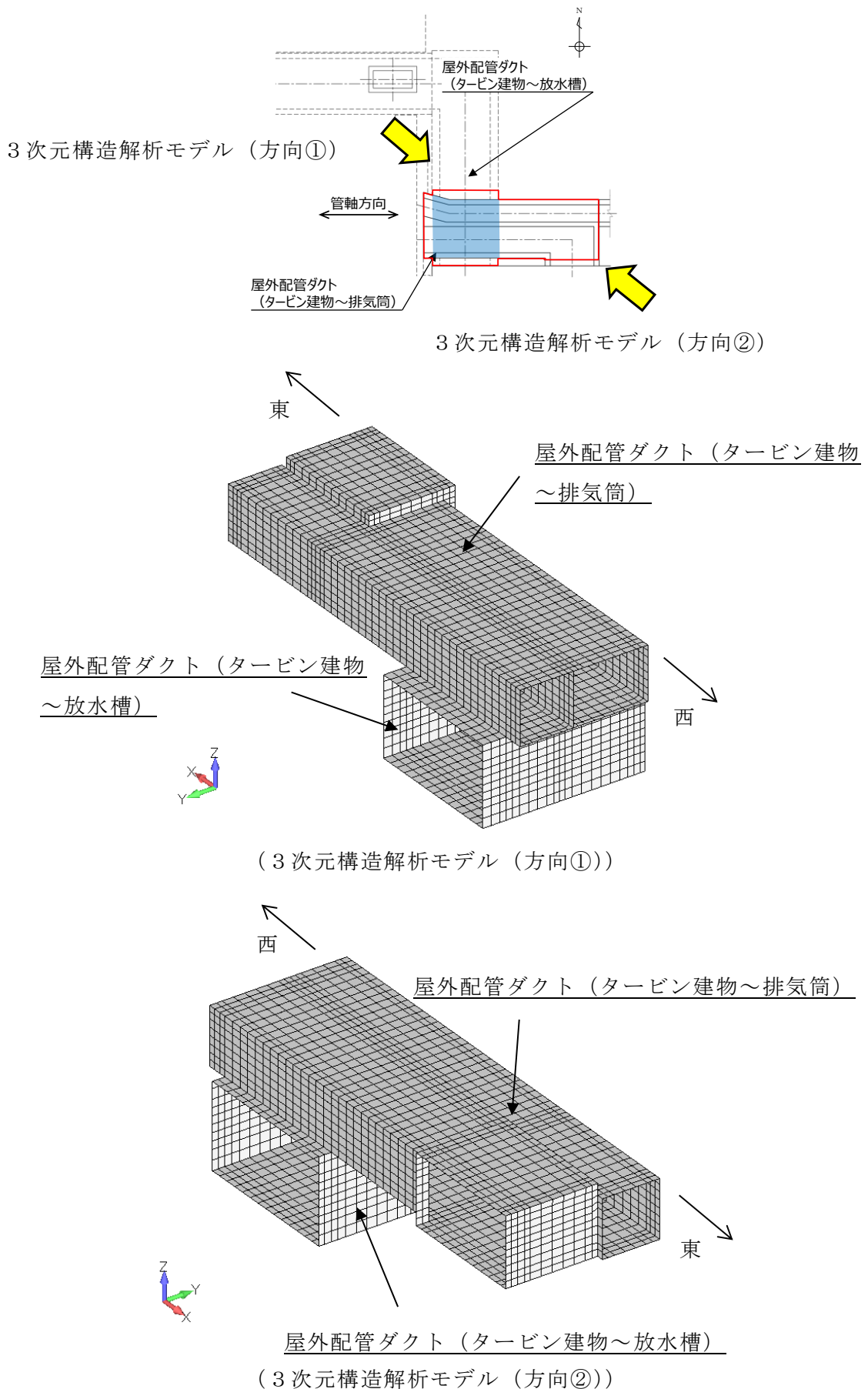


図 4.5-4 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 3次元構造解析モデル

#### 4.5.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長約 20m、幅 6.7m、高さ 3.1m の 2 連のボックスカルバート構造から構成された延長方向におおむね一様な線状構造物である。また、間接支持する配管の管軸方向（延長方向）と平行に配置されている壁部材が多いため、間接支持する配管の管軸方向（延長方向）が強軸方向となり、横断方向（A-A 断面及び B-B 断面）が弱軸方向となっている。さらに、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の一部と一体化した断面（B-B 断面及び C-C 断面）が存在し、複雑な構造を有することから、立体的な作用荷重を精緻に評価する必要がある。

D-D 断面については、タービン建物との接合部であり、延長が短く、管軸直交方向（東西方向）には、A-A 断面の側壁が妻壁に相当する役割を果たしており、せん断変形を抑制する構造となっている。

なお、各断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一である。

###### b. 周辺状況

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地質断面図を図 4.5-5 に示す。周辺状況として、埋戻土が一様に分布しており、延長方向に一様である。また、南北方向（A-A 断面及び B-B 断面）の地下構造は、緩やかに傾斜しているものの、ダクト付近ではおおむね水平である。東西方向（C-C 断面）の地下構造については、東に緩やかに傾斜している。

A-A 断面及び D-D 断面については、MMR を介して C<sub>M</sub> 級又は C<sub>L</sub> 級岩盤に支持されており、B-B 断面については、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）、C-C 断面については、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）又は MMR を介して C<sub>M</sub> 級又は C<sub>L</sub> 級岩盤に支持されている。また、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の南側はタービン建物が隣接し、西側は排気筒が隣接している。地下水位については、構造物底版よりも低く、延長方向に一様である。

###### c. 間接支持される機器・配管系の有無

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、延長方向に一様に非常用ガス処理系・配管等を支持する。

d. 要求機能

Sクラス設備である非常用ガス処理系配管等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。

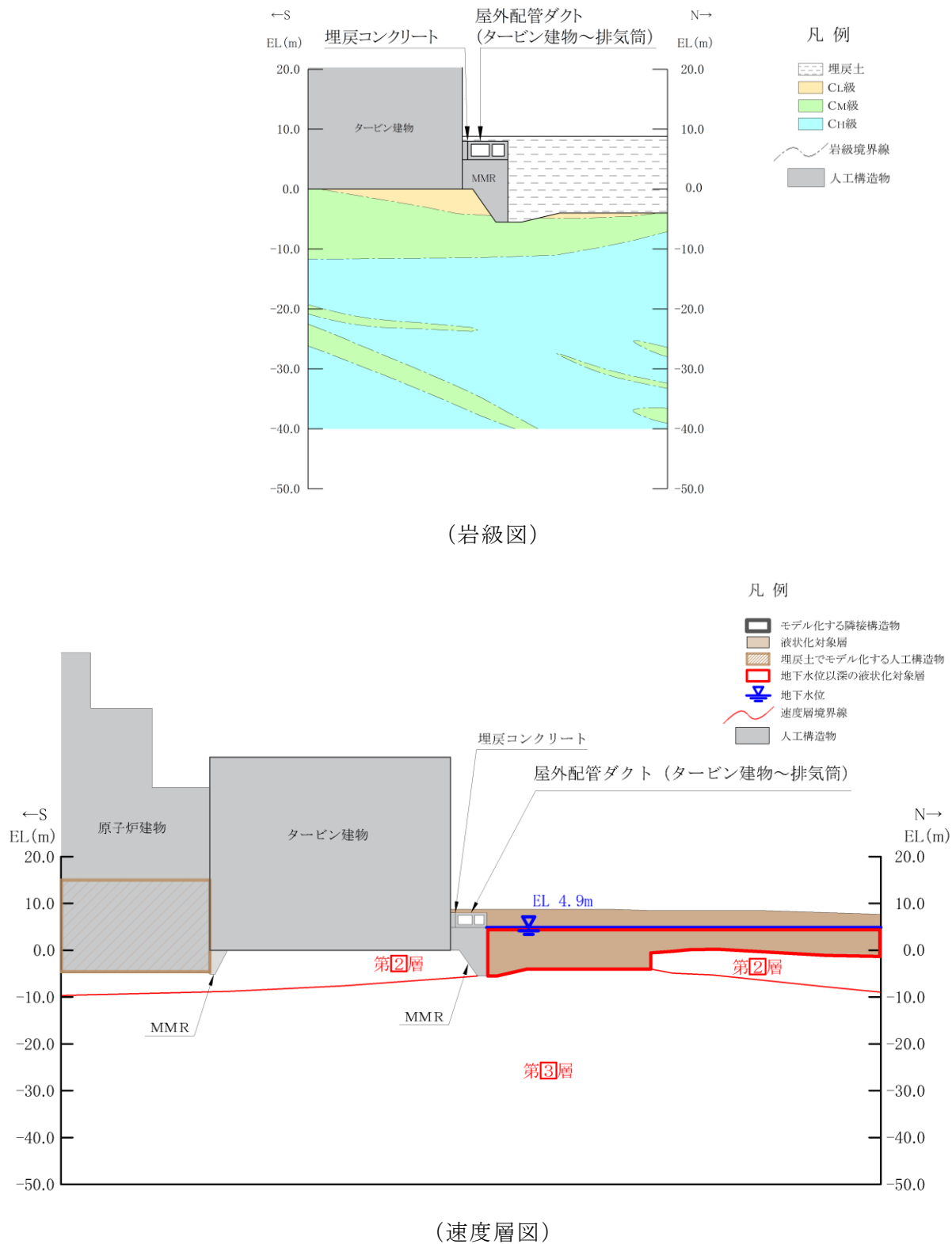


図 4.5-5(1) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 地質断面図 (A-A断面位置)

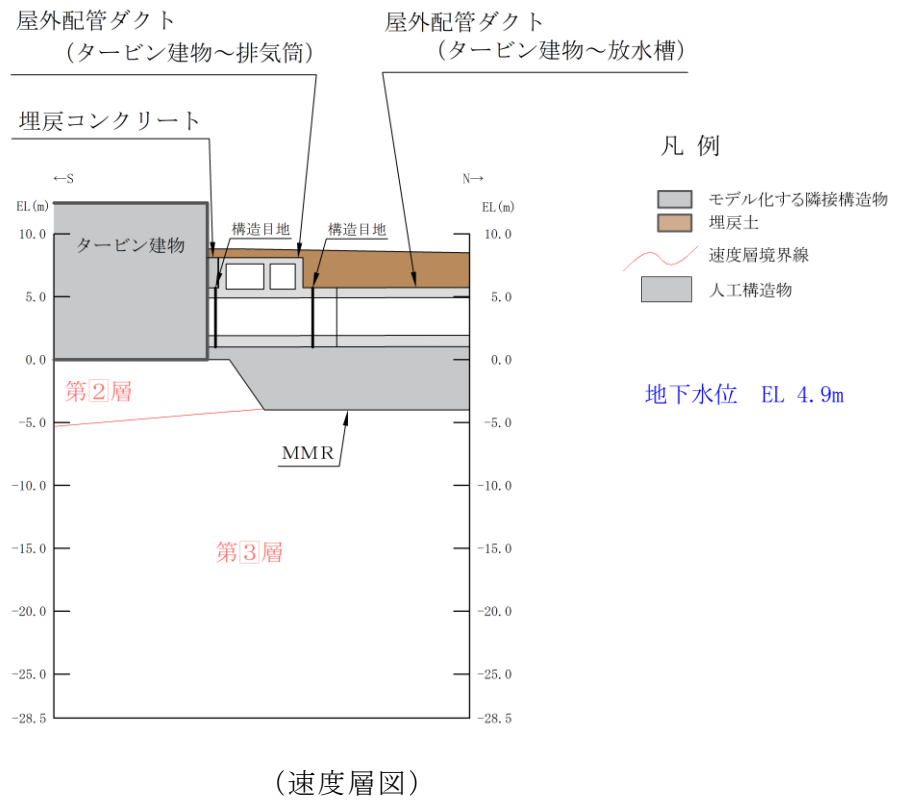
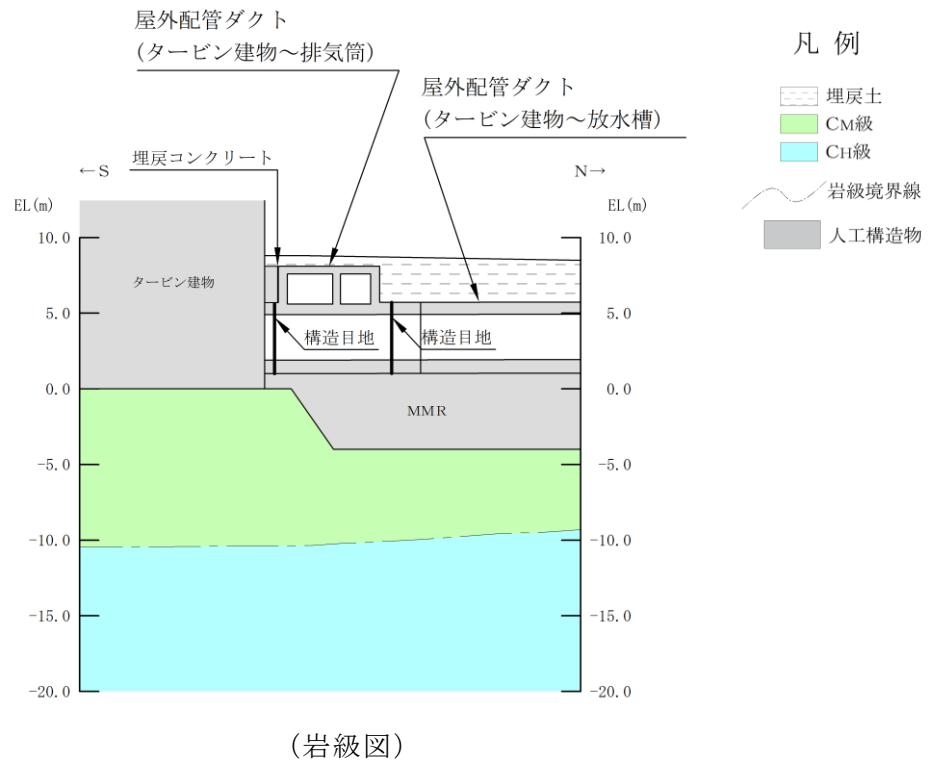
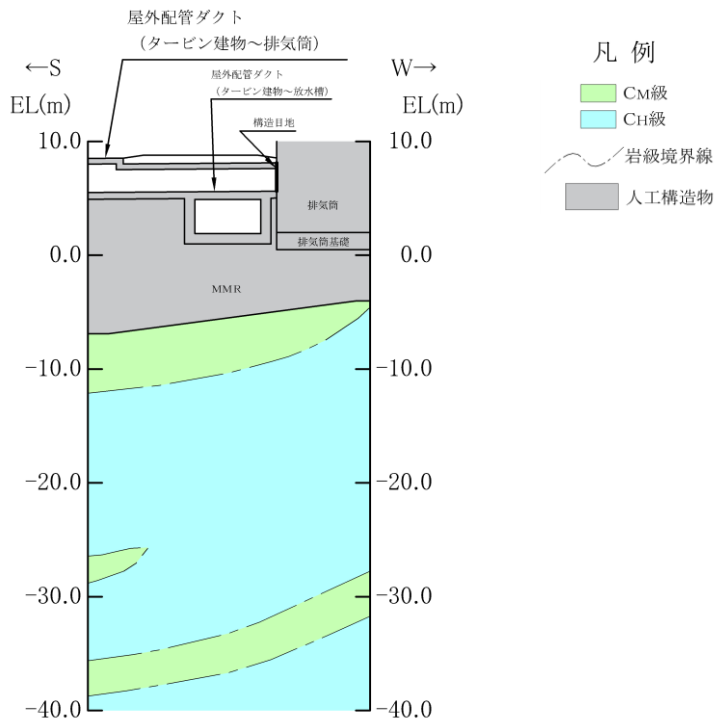
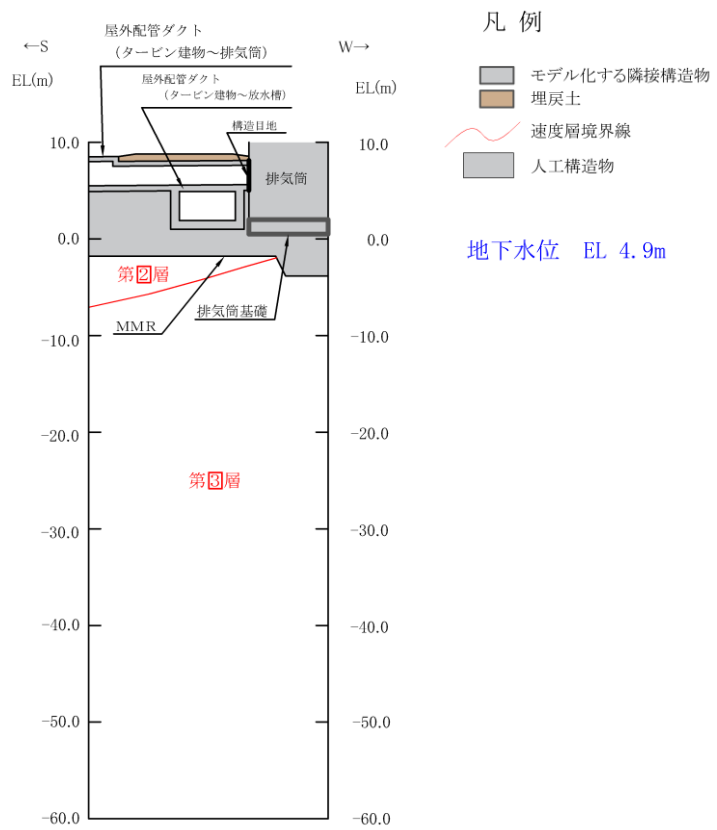


図 4.5-5(2) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 地質断面図 (B-B 断面位置)



(岩級図)



(速度層図)

図 4.5-5(3) 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 地質断面図 (C-C 断面位置)

## (2) 評価対象断面及び地震時荷重算出断面の選定

4.5.1 (1) 候補断面の整理より、標準的な断面形状及び周辺状況は延長方向におおむね一様であり、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の中心を通る横断方向の断面であるA-A断面を評価対象断面として選定する。

また、弱軸となる南北方向の断面として、標準断面のA-A断面に加えて、下部に屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）が位置するB-B断面を地震時荷重算出断面として選定する。

C-C断面については、水平2方向载荷における東西方向の地震時荷重算出断面として選定する。

なお、D-D断面については、延長が短く、管軸直交方向にせん断変形を抑制する部材を有するため選定しない。ただし、D-D断面については横断方向のA-A断面と直交する断面であることから、機器・配管系に対する床応答加速度への保守的な配慮として、A-A断面の検討の際に、A-A断面と直交する方向の成分の地震動も含めて評価する。

## (3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.5-1に示す。



表 4.5-1 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 評価対象断面及び地震時荷重算出断面の選定結果

位置・エリア	a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果	
横断方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>延長方向に一樣な2連のボックスカルバート構造となっている。</li> <li>延長方向に一樣な線形構造物であり、耐震要素として機能する面部材が少ないため、横断方向が弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介してC<sub>M</sub>級又はC<sub>L</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>埋戻土は一樣に分布している。</li> <li>南側にタービン建屋が隣接している。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも低く、延長方向に一樣である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用ガス処理系配管・弁</li> <li>非常用ディーゼル発電設備A-燃料配管・弁</li> <li>高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料配管・弁</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となるため、評価対象断面及び地震時荷重算出断面として選定する。</li> </ul>
	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体構造となっている。</li> <li>延長方向に一樣な線形構造物であり、耐震要素として機能する面部材が少ないため、横断方向が弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）に支持されている。</li> <li>埋戻土は一樣に分布している。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも低く、延長方向に一樣である。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体構造であり、複雑な構造を有することから、3次元構造解析モデルを用いた耐震評価を実施するため、弱軸となる南北方向の地震時荷重算出断面として選定する。</li> </ul>
延長方向	C-C断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体構造となっている。</li> <li>配管の管軸方向と平行に配置される壁部材が多いため、強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）又はMMRを介してC<sub>M</sub>級又はC<sub>L</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>埋戻土は一樣に分布している。</li> <li>西側は排気筒と接続している。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも低く、延長方向に一樣である。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>3次元構造解析モデルを用いた耐震評価における水平2方向載荷時の東西方向の地震時荷重算出断面として選定する。</li> </ul>
	D-D断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>タービン建物との接合部であり、延長が短く、管軸直交方向（東西方向）にA-A断面の側壁が耐震要素に相当する役割を果たしており、せん断変形を抑制する構造となっている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介してC<sub>M</sub>級又はC<sub>L</sub>級岩盤に支持されている。</li> <li>埋戻土は一樣に分布している。</li> <li>南側はタービン建物と接続している。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも低く、延長方向に一樣である。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>延長が短く、管軸直交方向にせん断変形を抑制する部材を有するため、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>

#### 4.5.2 解析手法の選定

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）周辺の地下水位は、構造物底版よりも低く、延長方向に一樣である。そのため、**すべて**の選定断面（A-A断面・B-B断面及びC-C断面）において液状化が発生する可能性が低く、発生後も液状化の影響が及ばないと判断し、解析手法のフローに基づき「①全応力解析」を選定する。

#### 4.6 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の断面選定の考え方

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、Sクラス設備であるB-ディーゼル燃料貯蔵タンク等の間接支持機能が要求される。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の配置図を図4.6-1に、平面図を図4.6-2に、断面図を図4.6-3に示す。

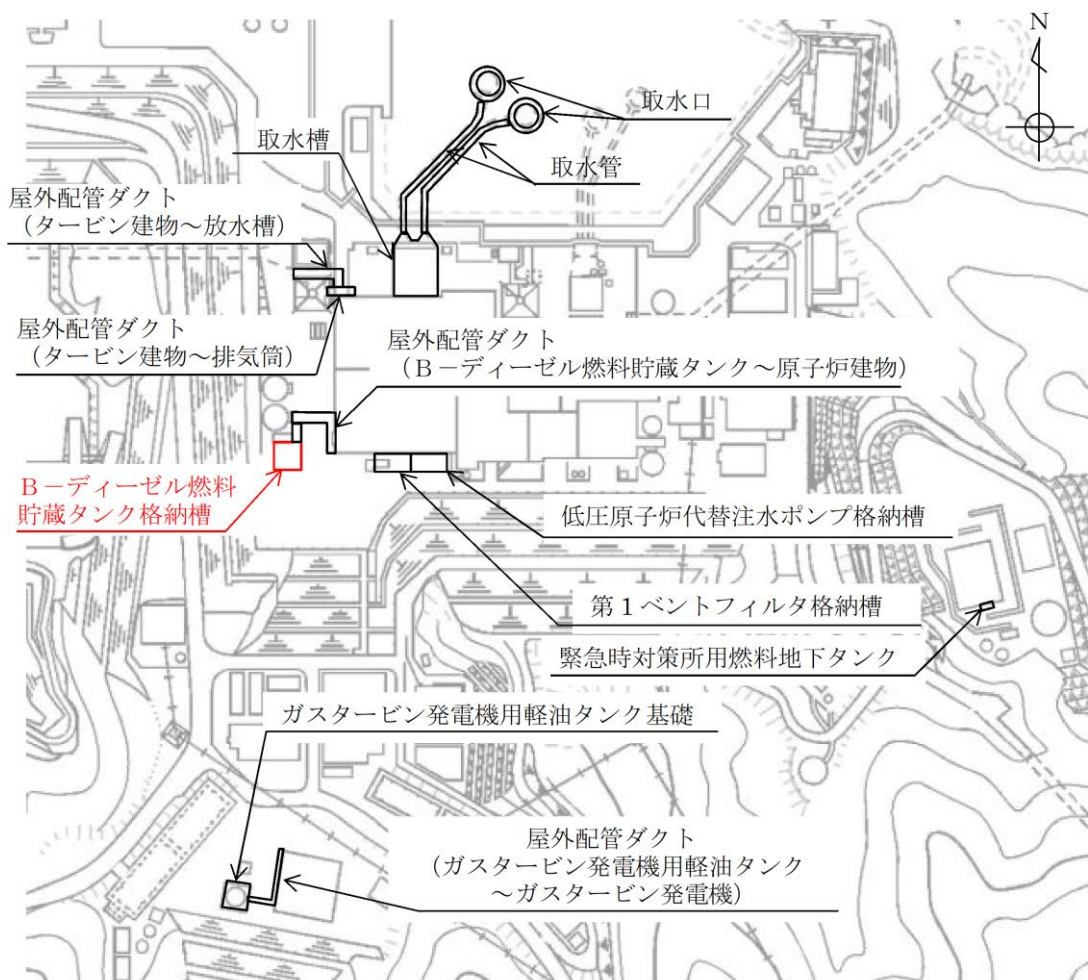


図 4.6-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 配置図

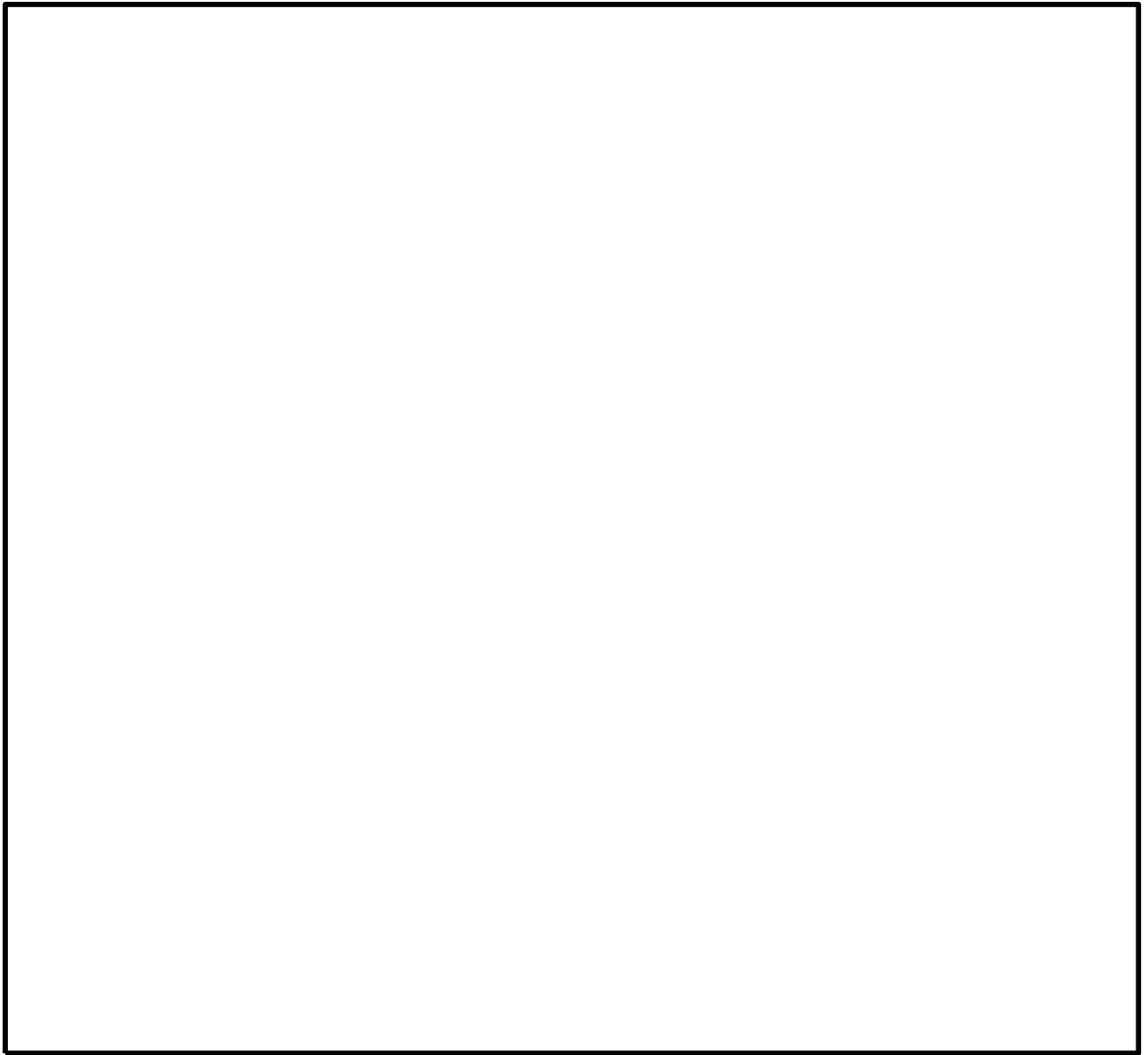


図 4.6-2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 平面図



図 4.6-3 (1) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (A-A 断面)

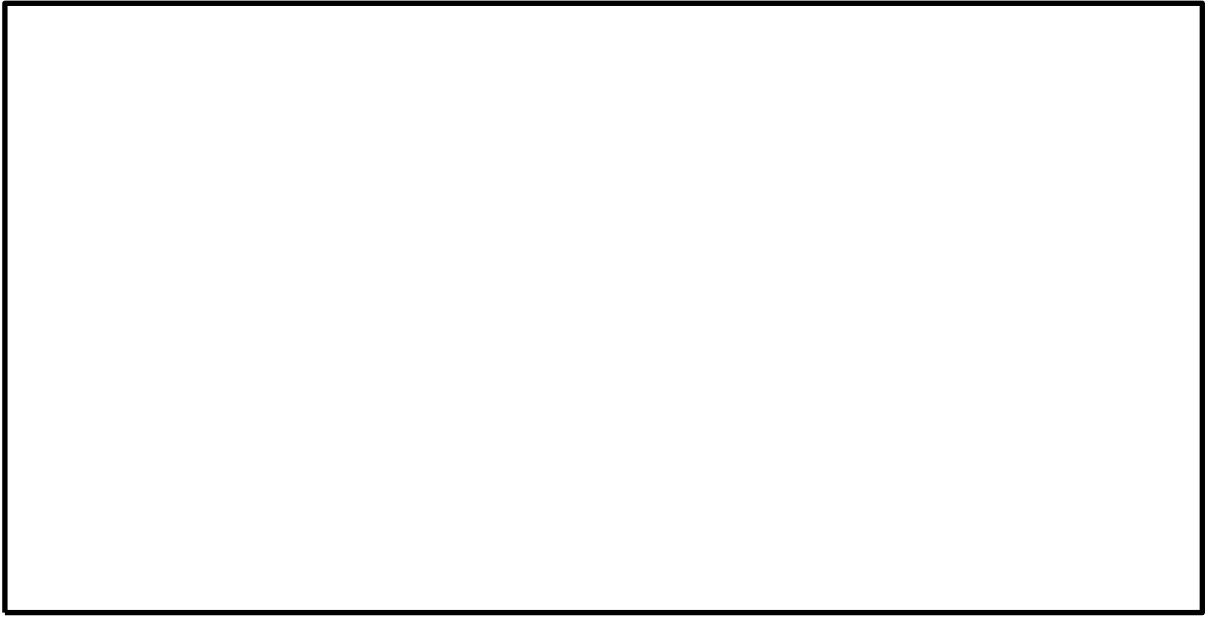


図 4.6-3 (2) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (B-B 断面)

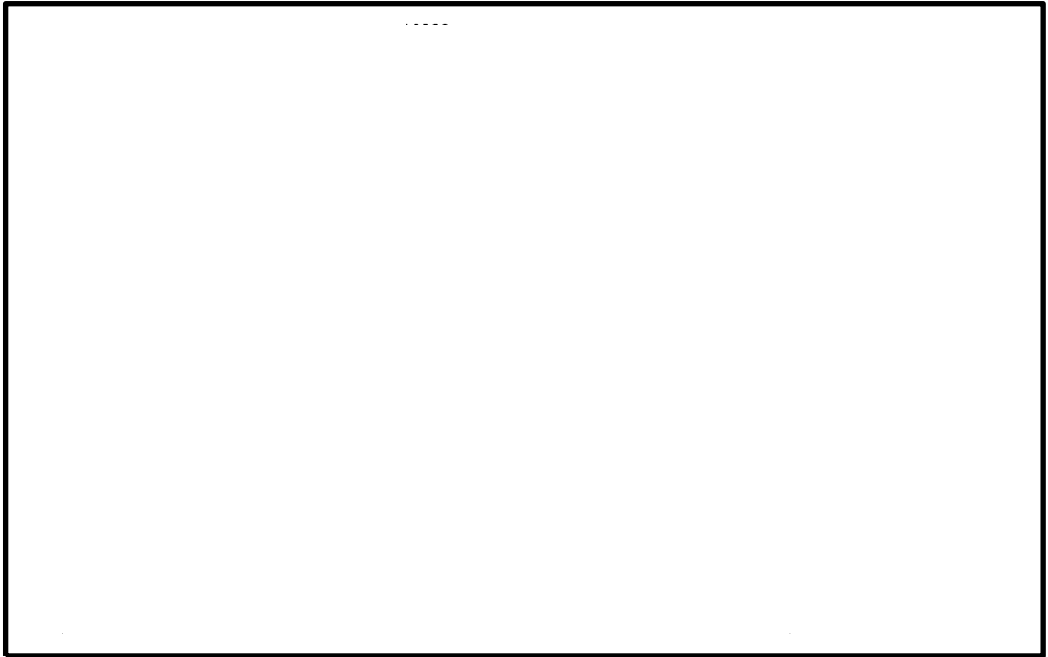


図 4.6-3 (3) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (C-C 断面)

#### 4.6.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、延長約 20.8m、幅約 19.2m、高さ約 10.6m の鉄筋コンクリート造の地中及び半地下構造物であり、半地下部、地中部の 2 つのエリアから構成されている。

半地下部は、隔壁及び中床版を有しており、地中部は、3 連ボックスカルバートにより構成されている。

長辺方向（地中部は南北方向、半地下部は東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される妻壁同士の離隔が小さく強軸方向となるが、短辺方向（地中部は東西方向、半地下部は南北方向）に加振した場合は、耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく、弱軸方向となる。

なお、各断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。

###### b. 周辺状況

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地質断面図を図 4.6-4 に示す。周辺状況として、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽周りは埋戻コンクリートが敷設され、十分な支持性能を有する C<sub>M</sub>級岩盤に直接支持される。東西方向については、埋戻コンクリートを介して西側に造成された岩盤斜面が広がっており、東側は幅約 22m の埋戻コンクリートが存在する。地下構造については、ほぼ水平であるが、西側の斜面においては、斜面形状に沿って傾斜している。南北方向については、岩盤等を介して北側に復水貯蔵タンク遮蔽壁が隣接し、南側は埋戻コンクリートを介して岩盤が一様に分布している。地下構造については、全体的に北に緩やかに傾斜しているが、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の北側では第 2 層がやや厚く分布する。

なお、設計地下水位については、一様に地表面で設定することから、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。

###### c. 間接支持される機器・配管系の有無

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、短辺方向（東西方向）及び長辺方向（南北方向）において B-ディーゼル燃料移送系配管・弁等を間接支持する。

d. 要求機能

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、短辺方向（南北方向）及び長辺方向（東西方向）において支持機能が要求される。

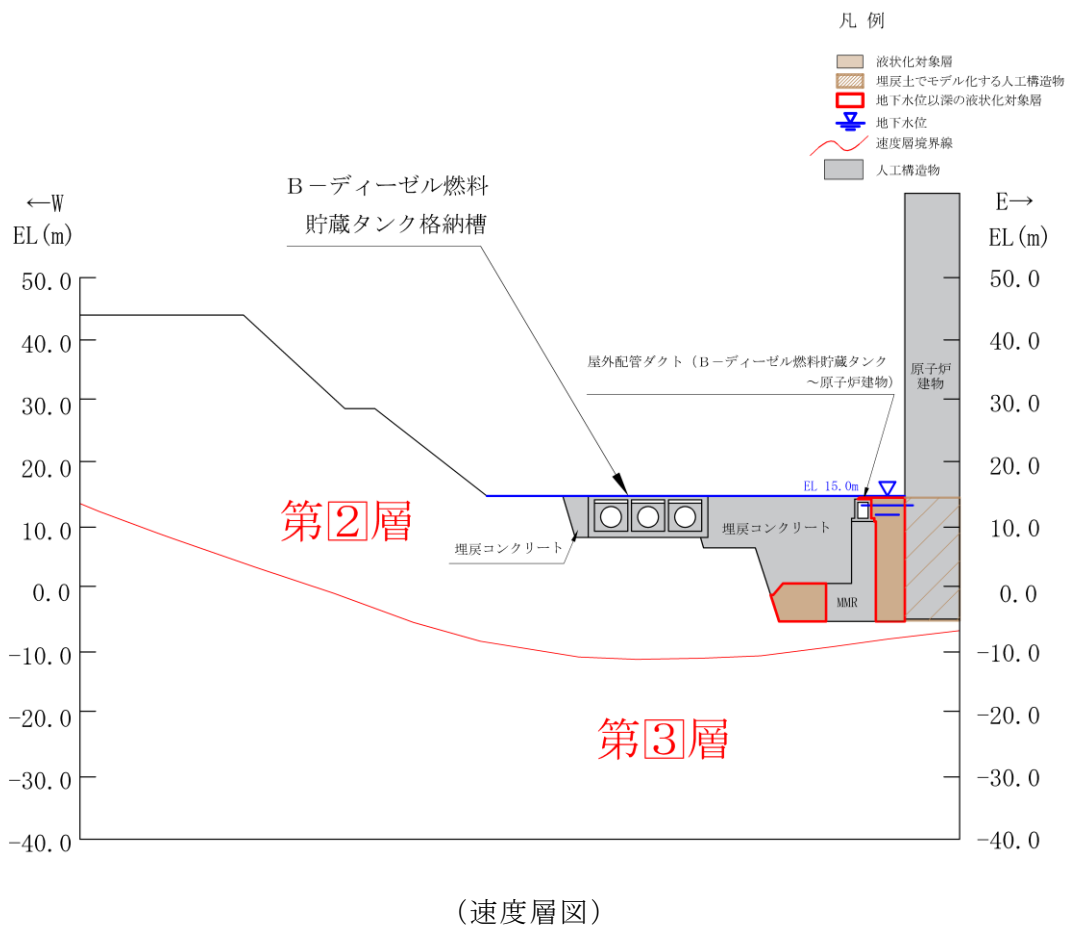
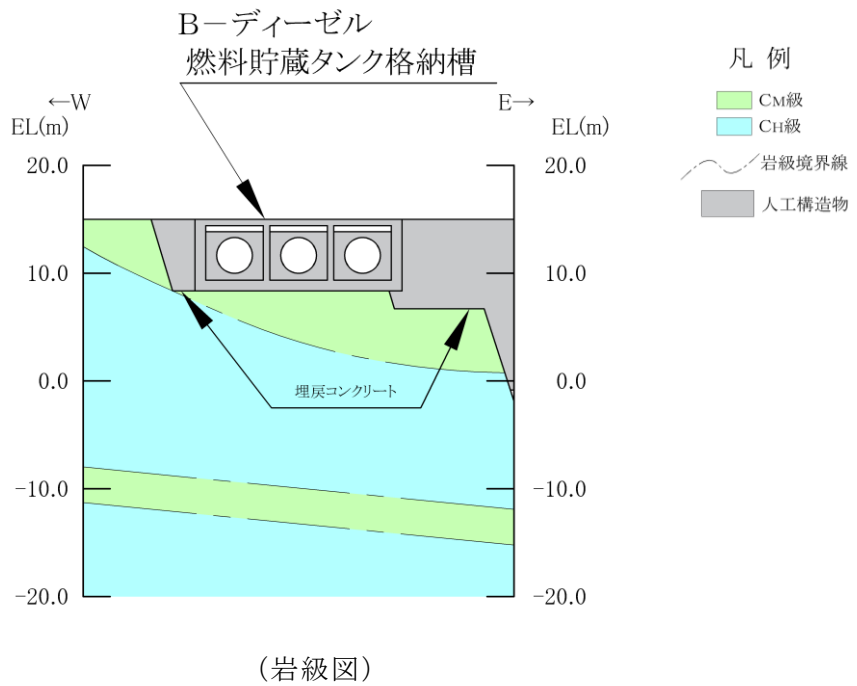
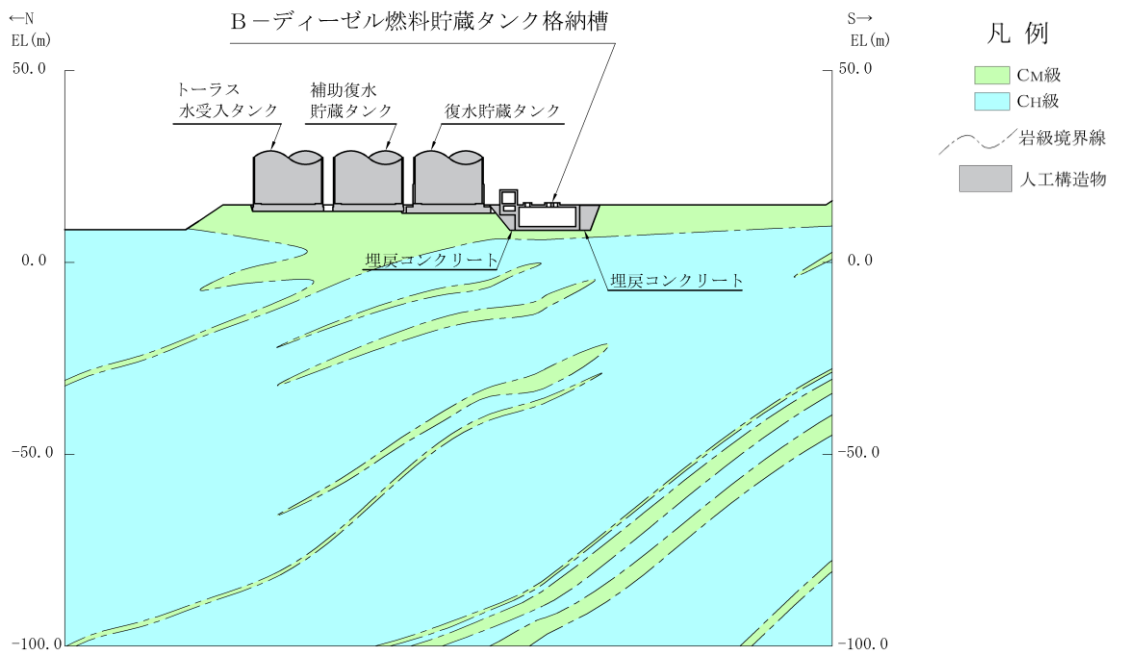
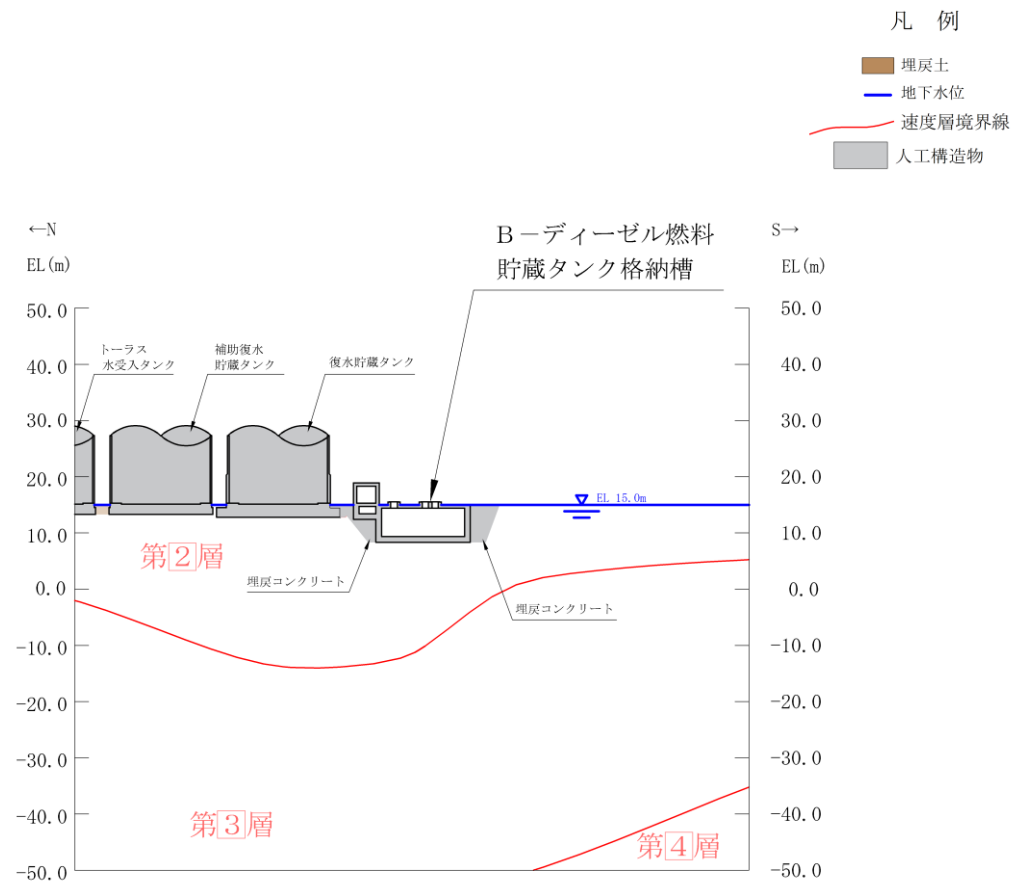


図 4.6-4 (1) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 地質断面図 (A-A断面位置)



(岩級図)



(速度層図)

図 4.6-4 (2) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 地質断面図 (B-B断面位置)



(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.6.1 (1) 候補断面の整理より、耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となる短辺方向の断面として、地中部に対してはA-A断面、半地下部に対してはB-B断面を評価対象断面として選定する。

機器・配管系への応答加速度の観点より、長辺方向のB-B断面を床応答算定断面として選定する。

なお、長辺方向は構造上の強軸方向であるが、弱軸方向で評価できない妻壁（強軸方向の側壁）についても、弱軸方向断面と同様に評価対象とする。

長辺方向は、B-B断面（地中部）及びC-C断面のうち、地中に位置しており周辺地盤の変形による影響を受けるB-B断面（地中部）を対象とする。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.6-1に示す。

表 4.6-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 評価対象断面の選定結果

位置・エリア		a. 構造の特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
東西方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、3連ボックスカルバートにより構成されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺は埋戻コンクリートが敷設され、十分な支持性能を有するC<sub>30</sub>級岩盤に直接又はMMRを介して支持される。</li> <li>埋戻コンクリートを介して西側に造成された岩盤斜面が広がっており、東側は幅約22mの埋戻コンクリートが存在する。</li> <li>設計地下水位については、一様に地表面で設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>B-ディーゼル燃料移送系配管・弁</li> <li>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する（地下部）。</li> </ul>
	C-C断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の半地下構造物であり、隔壁及び中床版を有している。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>B-ディーゼル燃料移送系配管・弁</li> <li>B-ディーゼル燃料移送ポンプ</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>半地下構造のため、頂版及び側壁の一部が地上部にあり、周辺地盤の変形による影響が小さいと考えられることから、長辺方向の評価については、B-B断面（地中部）を代表とし、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>
南北方向	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中及び半地下構造物であり、半地下部は耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>一方で側壁及び隔壁が耐震要素として機能し、地下部において強軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周辺は埋戻コンクリートが敷設され、十分な支持性能を有するC<sub>30</sub>級岩盤に直接又はMMRを介して支持される。</li> <li>埋戻コンクリートを介して北側に復水貯蔵タンク遮蔽壁が隣接し、南側には岩盤が一様に分布している。</li> <li>設計地下水位については、一様に地表面で設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>B-ディーゼル燃料移送系配管・弁</li> <li>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク</li> <li>B-ディーゼル燃料移送ポンプ</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する（半地下部）。</li> <li>地中部においては、長辺方向であり、構造上の強軸方向であるが、弱軸方向断面で評価できない妻壁（強軸方向の側壁）についても、弱軸方向断面と同様に評価対象とする。</li> <li>機器・配管系への応答加速度の観点より床応答算定断面として選定する（地中部）。</li> </ul>

#### 4.6.2 解析手法の選定

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の東西方向（A-A断面）について、周辺は埋戻コンクリートが敷設され、その外側や局所的に分布する液状化検討対象層の液状化等の影響を受けないと判断し、解析手法のフローに基づき「④全応力解析」を選定する。なお、補足検討として、液状化等の影響が及んでいないことの確認を有効応力解析により実施する。

南北方向（B-B断面）についても、周辺は埋戻コンクリートが敷設され、その外側には岩盤が一様に分布していることから、解析手法のフローに基づき「②全応力解析」を選定する。

なお、弱軸方向断面における耐震評価においては、機器・配管系への影響検討として、妻壁の剛性を考慮したモデルにおける解析も実施する。さらに、強軸方向断面においては、機器・配管系に対する床応答の算定に加え、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の観点も踏まえ、妻壁の耐震評価（面内）を実施し、その結果を「補足-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」に示す。

#### 4.7 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の断面選定の考え方

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は、Sクラス設備であるB-ディーゼル燃料移送系配管・弁等の間接支持機能が要求される。

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）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に示す。

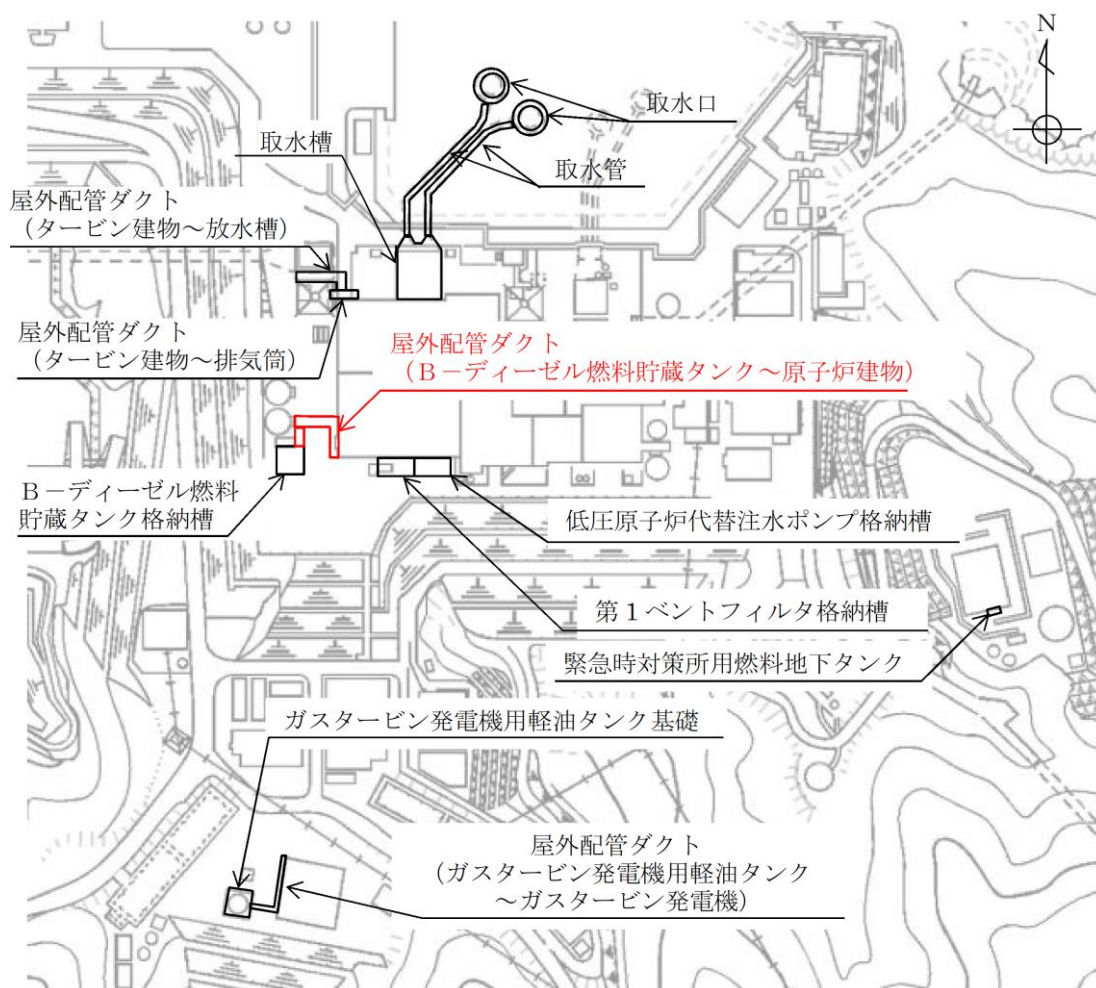


図4.7-1 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物） 配置図

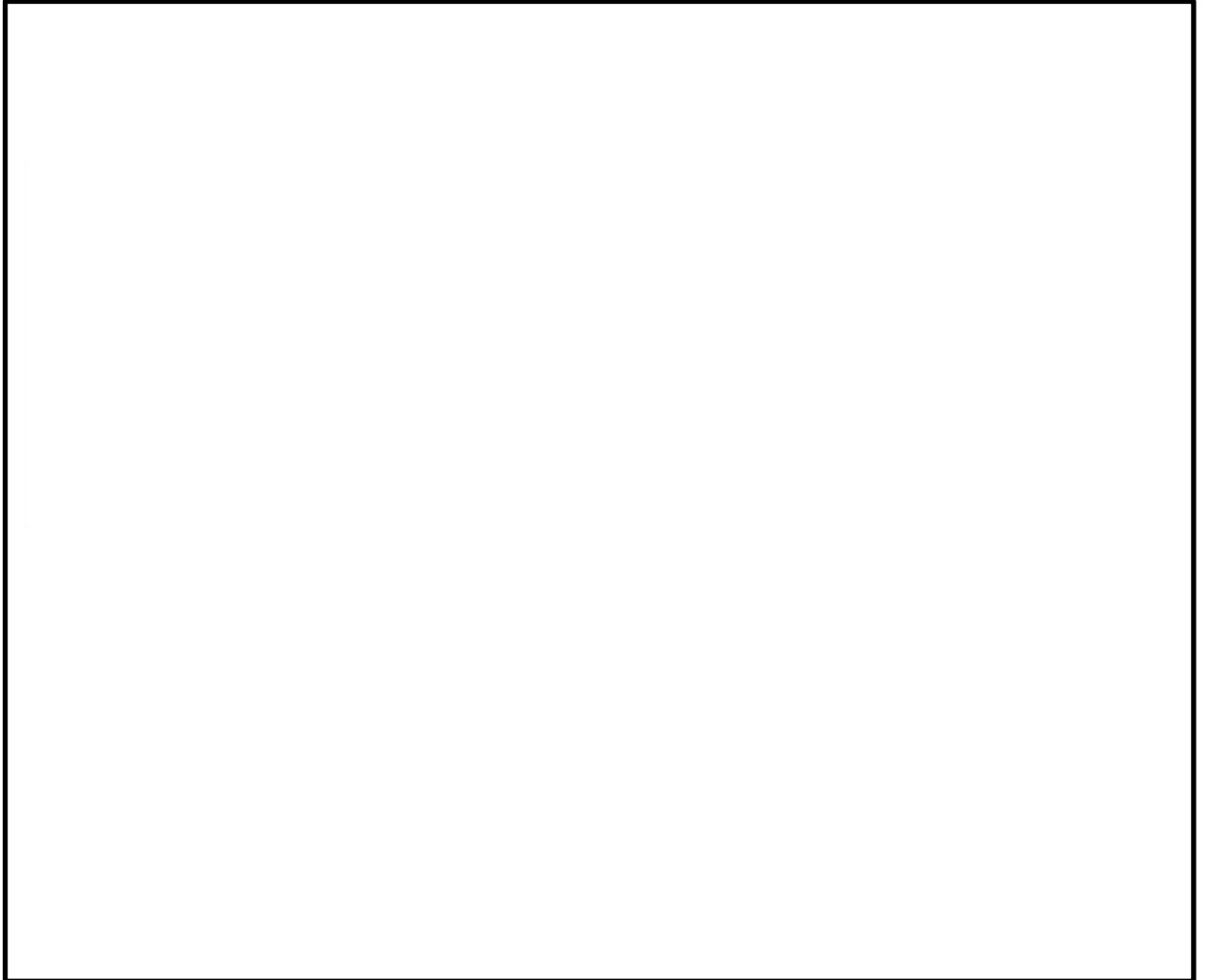


図 4.7-2 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）  
平面図

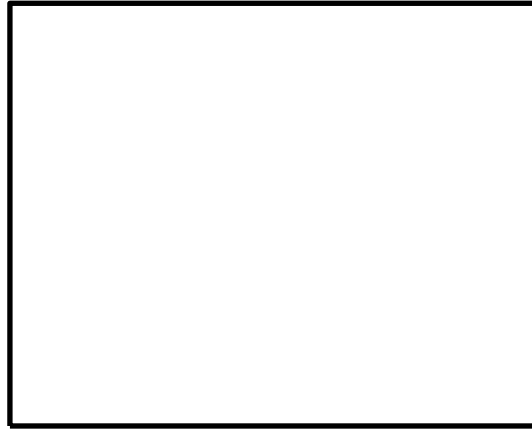


図 4.7-3 (1) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
断面図 (A-A 断面)



図 4.7-3 (2) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
断面図 (B-B 断面)



図 4.7-3 (3) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
断面図 (C-C 断面)



図 4.7-3 (4) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
断面図 (D-D断面)

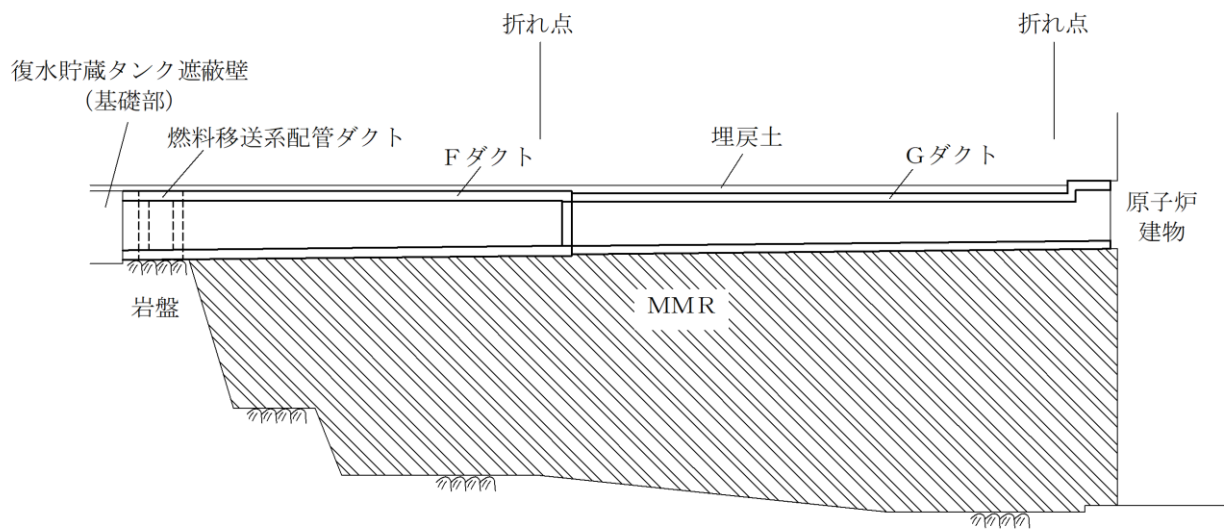


図 4.7-3 (5) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
断面図 (E-E断面)

#### 4.7.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は、延長約75mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅2.7m～3.85m、高さ3.55m～4.25mのボックスカルバート構造の延長方向に断面変化の小さい線状構造物である。また、屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は燃料移送系配管ダクト、Fダクト、Gダクトの3つのダクトから構成されている。

間接支持する配管の管軸方向（延長方向）と平行に配置されている壁部材が多いため、間接支持する配管の管軸方向（延長方向）が強軸方向となり、管軸直交方向（横断方向）が弱軸方向となっている。

なお、同一ダクト内での部材厚や配筋についてはおおむね同一であり、延長方向に内空断面が変化するのみである。

###### b. 周辺状況

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地質断面図を図4.7-4に示す。周辺状況として、燃料移送系配管ダクトは、十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級岩盤に直接支持され、北側はFダクトと接続し、南側はB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に接続している。管軸直交方向となる東西方向については、西側に置換コンクリートを介してノンクラスの構造物である復水貯蔵タンク遮蔽壁（基礎部）が隣接し、東側は埋戻コンクリートが敷設されている。地下構造については、第2層が一様に分布している。

Fダクトは、MMRを介してC<sub>H</sub>級岩盤に支持され、西側は復水貯蔵タンク遮蔽壁（基礎部）と接続し、東側はGダクトと接続している。管軸直交方向となる南北方向については、周辺に埋戻コンクリートが敷設されており、地下構造については、ほぼ水平である。

Gダクトは、MMRを介してC<sub>H</sub>級岩盤に支持され、北側はFダクトと接続しており、南側は原子炉建物と接続している。管軸直交方向となる東西方向については、西側に埋戻コンクリートが敷設され、東側は埋戻土を介して原子炉建物が隣接する。地下構造については、原子炉建物東側では、第3層がやや厚く分布するものの、ダクト付近ではほぼ水平である。

なお、設計地下水位については、一様に地表面で設定することから、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。

c. 間接支持される機器・配管系の有無

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は，Sクラス設備であるB-ディーゼル燃料移送系配管・弁等等を間接支持する。

d. 要求機能

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は，Sクラス設備であるB-ディーゼル燃料移送系配管・弁等等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。



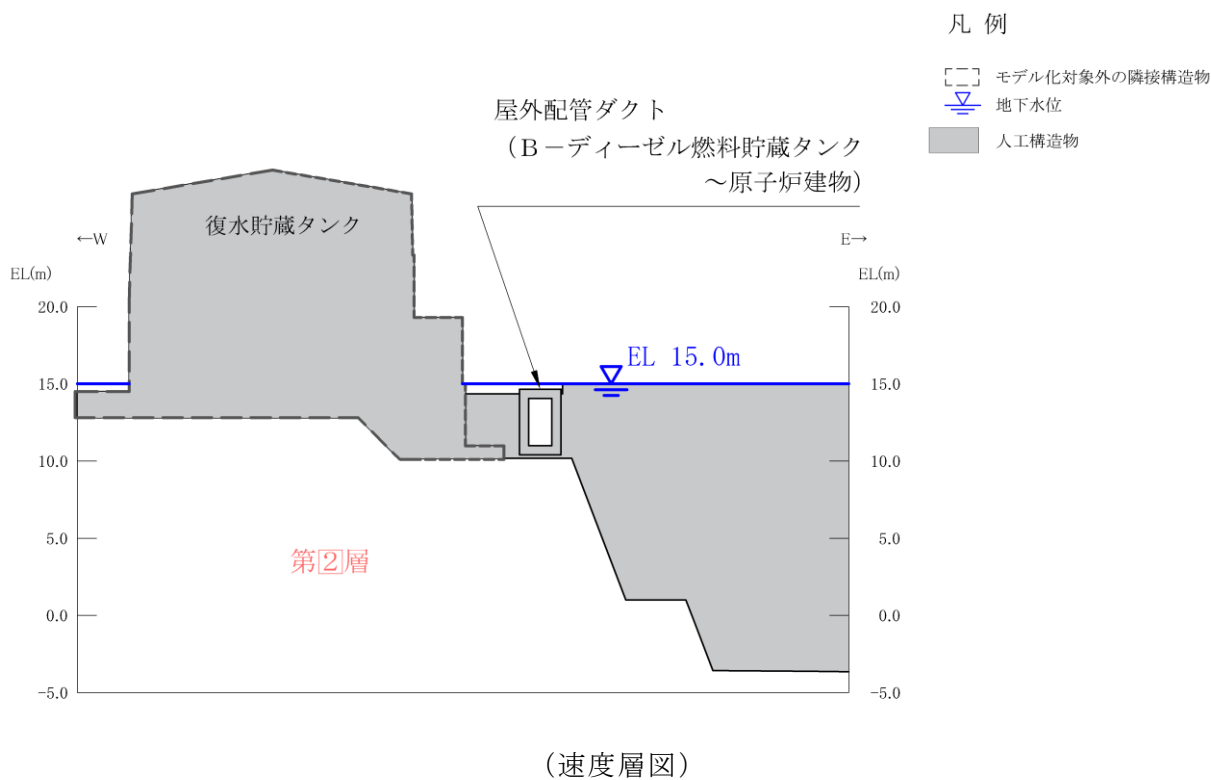
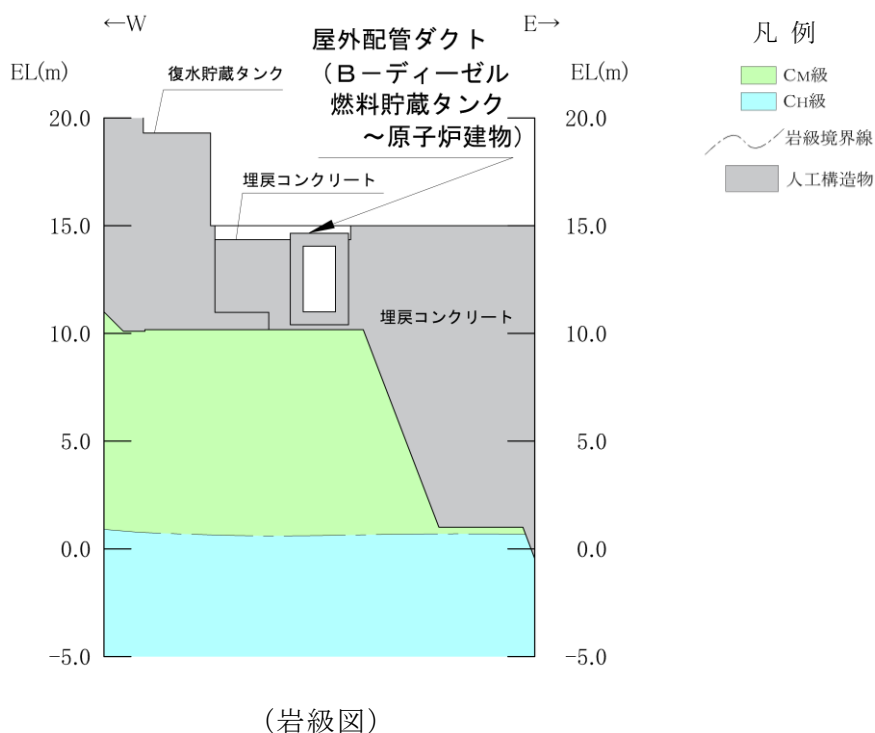
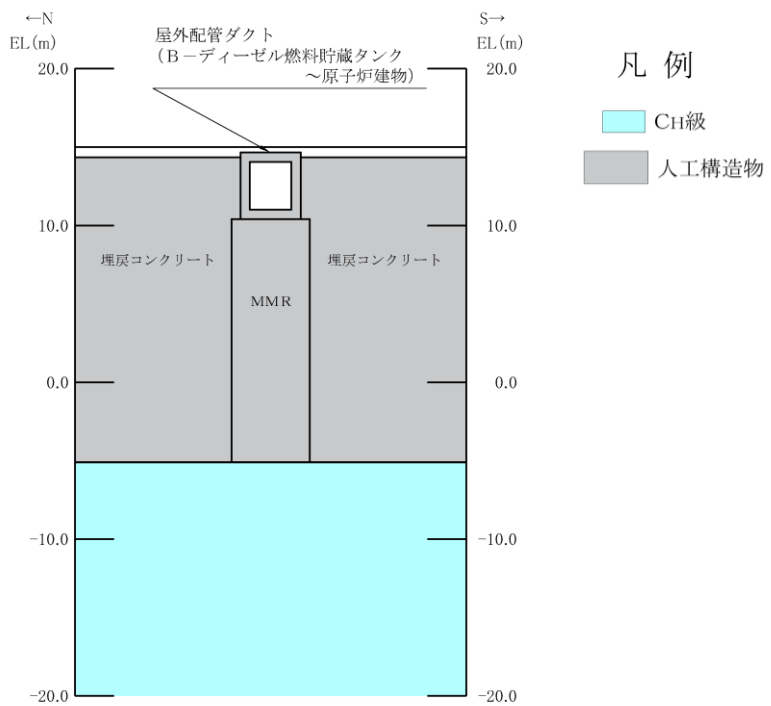
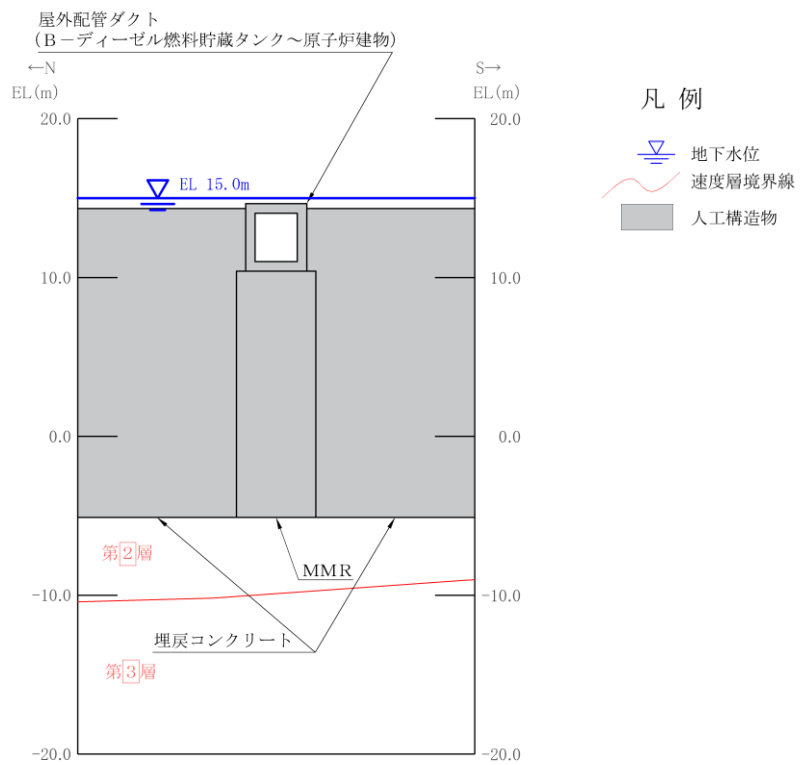


図 4.7—4 (1) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
地質断面図 (A-A 断面位置)

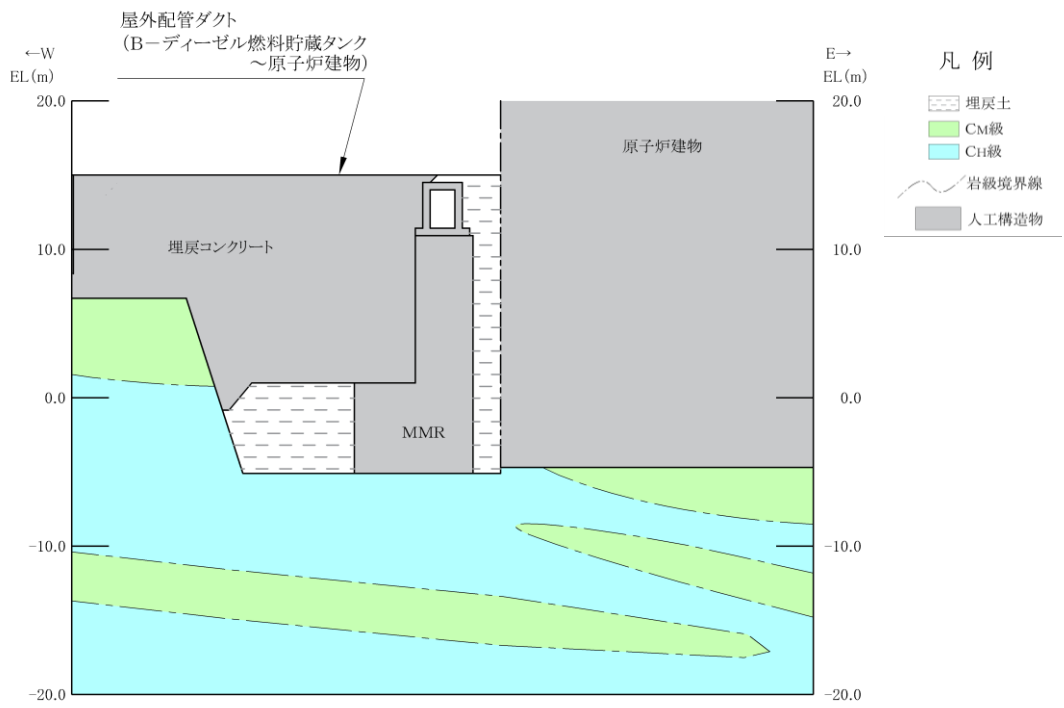


(岩級図)

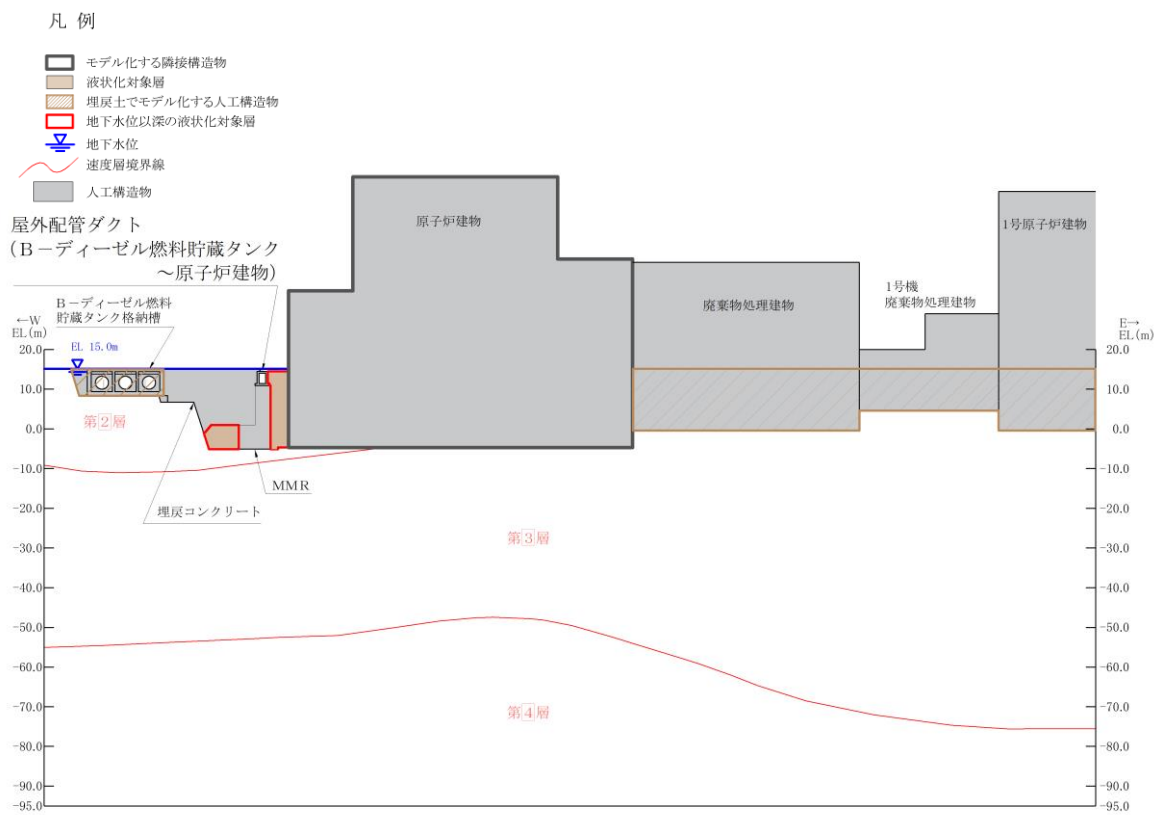


(速度層図)

図 4.7-4 (2) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
地質断面図 (B-B 断面位置)



(岩級図)



(速度層図)

図 4.7-4 (3) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物) 地質断面図 (C-C断面位置)

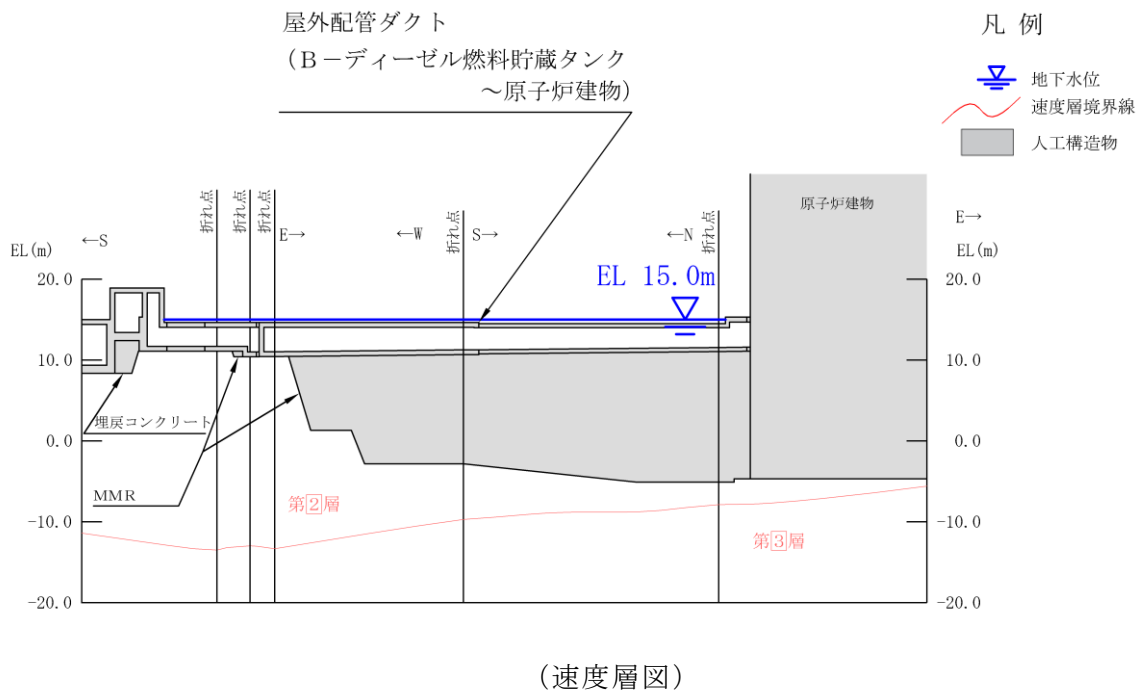
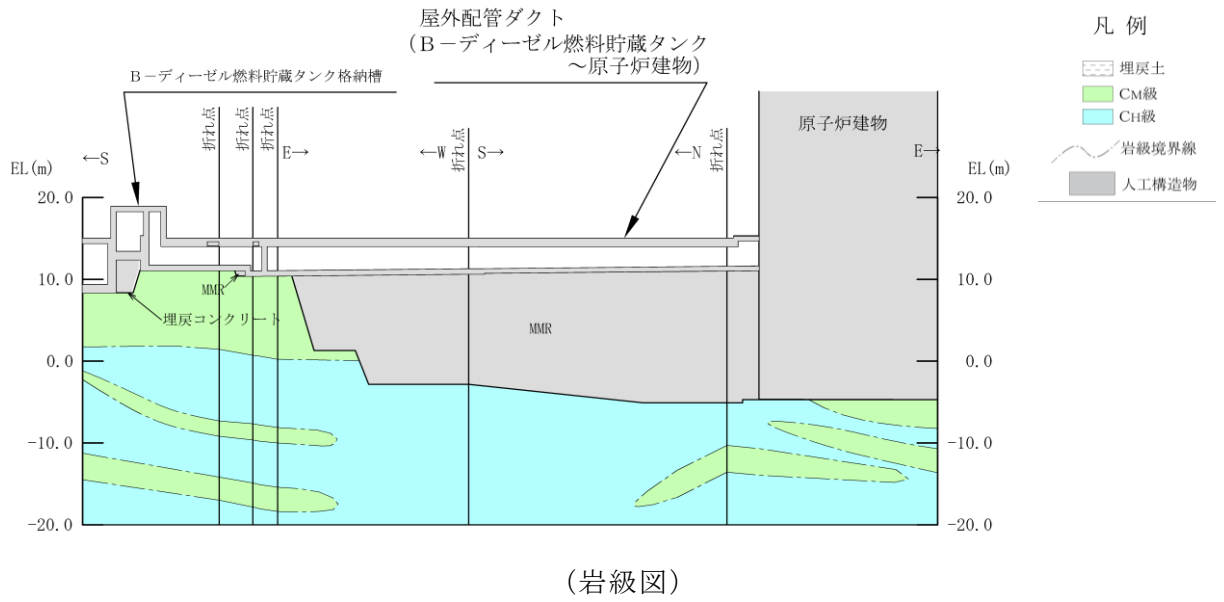


図 4.7-4 (4) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)  
地質断面図 (D-D断面位置及びE-E断面位置)

(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.7.1 (1) 候補断面の整理より、燃料移送系配管ダクト、Fダクト、Gダクトの3つのダクトからそれぞれ耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となる横断方向の断面のうち、内空断面の大きいA-A断面、B-B断面及びC-C断面を評価対象断面として選定する。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.7-1に示す。

表4.7-1 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）  
評価対象断面の選定結果

位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
横断方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>・延長方向に様な線形構造物であり、耐震要素として機能する面部材が少ないため、横断方向が弱軸方向となる。</li> <li>・延長方向に様な1連のボックスカルバート構造となっている。</li> <li>・同一ダクト内で部材厚や配筋についてはおおむね同一であり、延長方向に内空断面が変化するのみである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・十分な支持性能を有するC<sub>10</sub>級岩盤に直接支持される。</li> <li>・北側はFダクトと接続し、南側はB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に接続している。</li> <li>・西側は置換コンクリートを介してノンクラスの構造物である復水貯蔵タンク遮蔽壁（基礎部）が隣接し、東側は埋戻コンクリートが敷設されている。</li> <li>・地下水位については、一様に地表面で設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・B-ディーゼル燃料移送系配管・弁</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・明確な弱軸方向となる横断方向を、評価対象断面として選定する。</li> <li>・同一ダクト内で、内空の大きい断面を選定する。</li> </ul>
	B-B断面	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MMRを介してC<sub>10</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>・周辺は埋戻コンクリートが敷設されている。</li> <li>・西側はノンクラスの構造物である復水貯蔵タンク遮蔽壁（基礎部）と接続し、東側はGダクトと接続している。</li> <li>・地下水位については、一様に地表面で設定する。</li> </ul>	同上	同上	同上
	C-C断面	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MMRを介してC<sub>10</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>・北側はFダクトと接続しており、南側は原子炉建物と接続している。</li> <li>・西側に埋戻コンクリートが敷設され、東側は埋戻土を介して原子炉建物が隣接する。</li> <li>・地下水位については、一様に地表面で設定する。</li> </ul>	同上	同上	同上

#### 4.7.2 解析手法の選定

燃料移送系配管ダクト（A-A断面）及びFダクト（B-B断面）は、周辺に埋戻コンクリート又は置換コンクリートが敷設されており、ノンクラスの構造物である復水貯蔵タンク遮蔽壁（基礎部）や舗装は保守的に埋戻土としてモデル化するため、実際には液状化対象層による液状化等による影響を受けないと判断し、解析手法のフローに基づき「②全応力解析」を選定する。

Gダクト（C-C断面）は、西側に埋戻コンクリートが敷設されているが、東側は原子炉建物との間に存在する液状化対象層と接していることから、解析手法のフローに基づき「⑤有効応力解析」を選定する。

#### 4.8 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の断面選定の考え方

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は、Sクラス設備である原子炉補機海水系配管等の間接支持機能が要求される。

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の配置図を図 4.8-1 に、平面図を図 4.8-2 に、断面図を図 4.8-3 に示す。

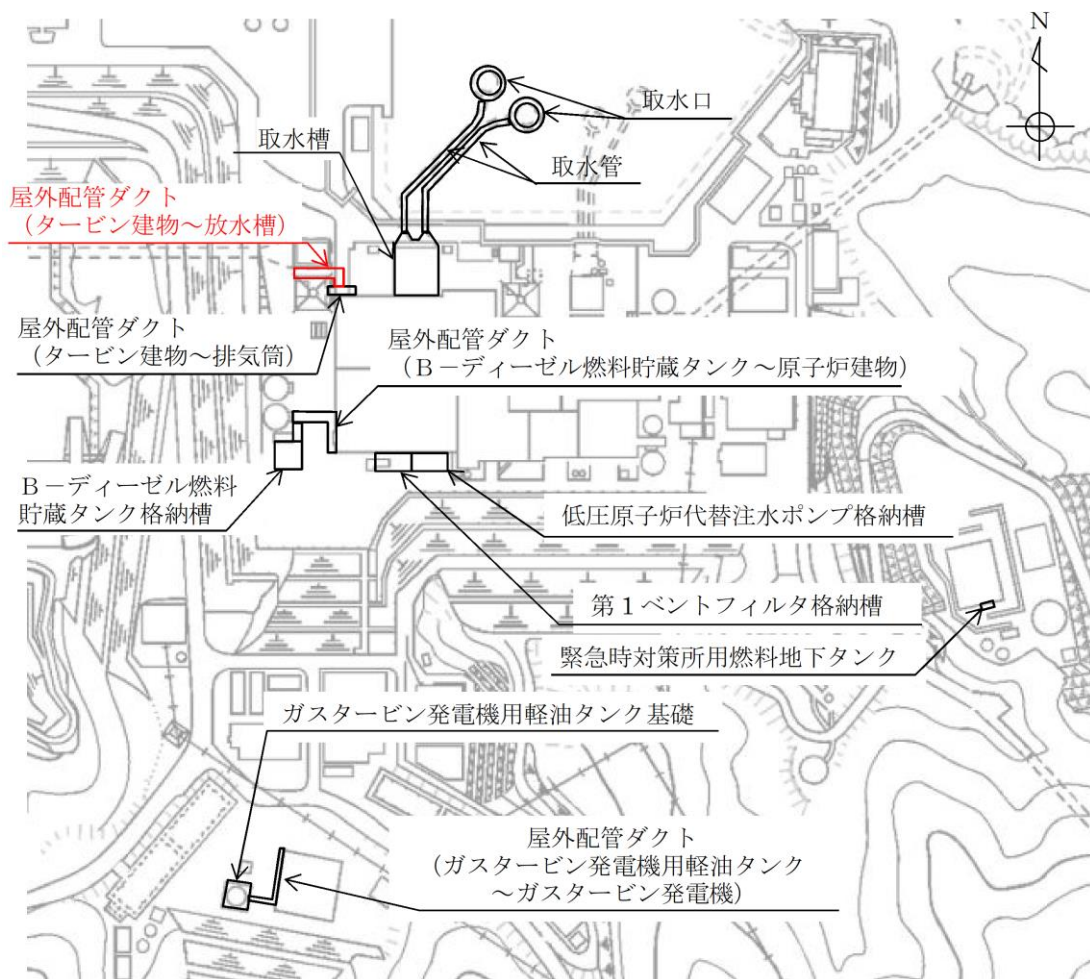


図 4.8-1 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 配置図

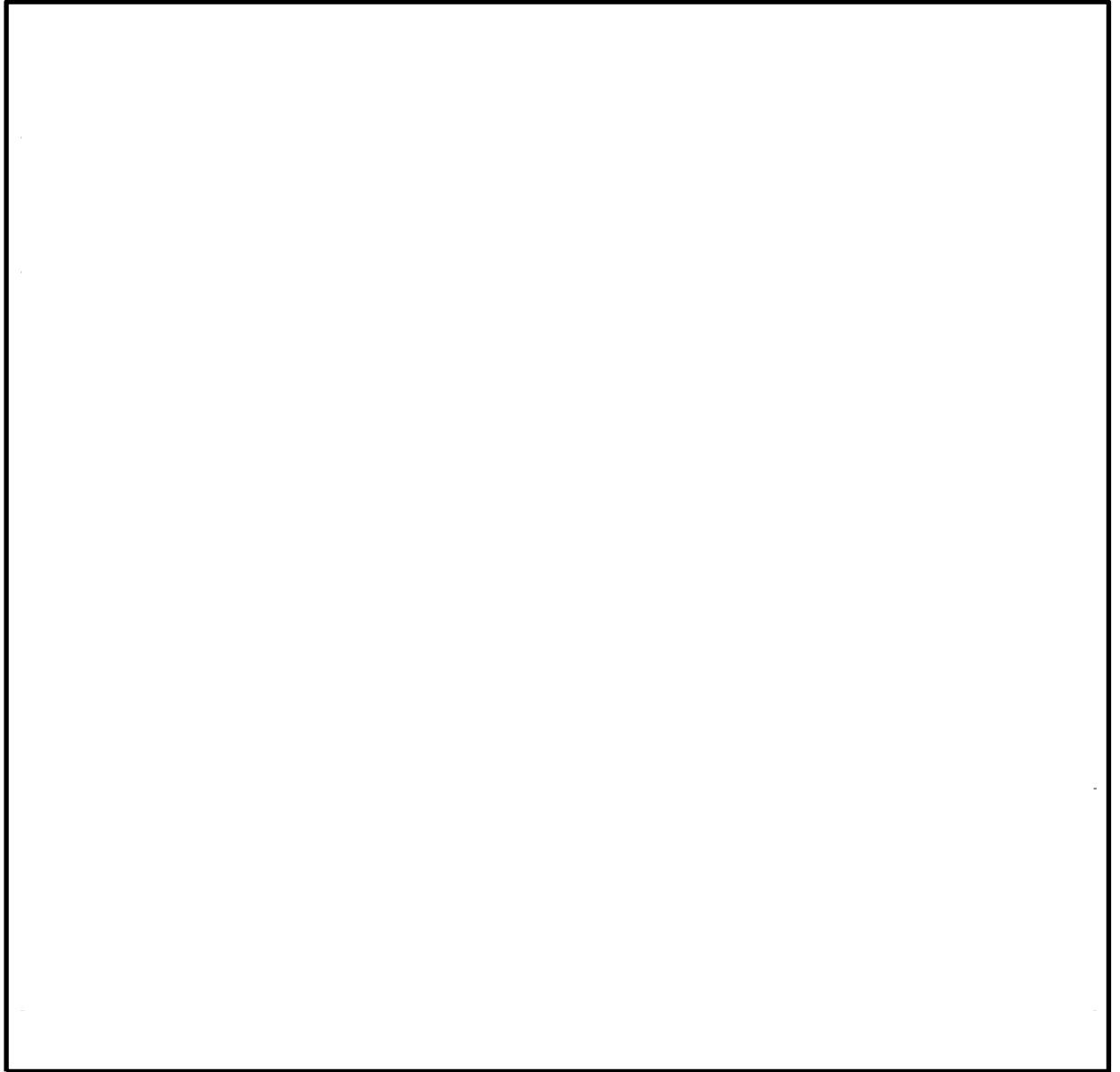


図 4.8-2 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 平面図



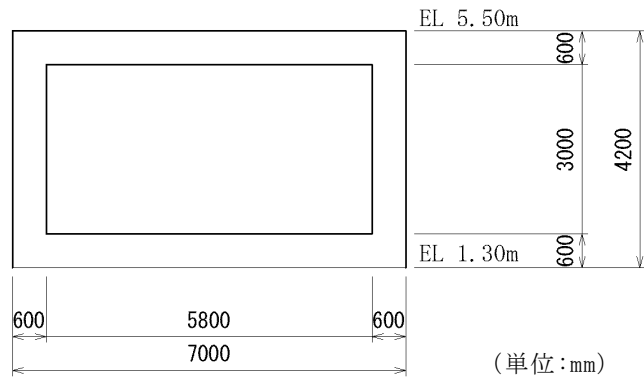


図 4.8-3 (1) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 断面図 (A-A 断面)

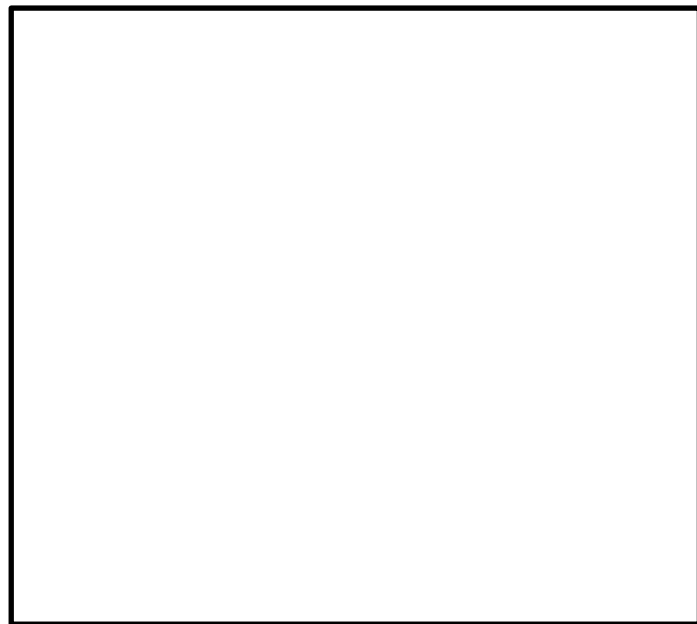


図 4.8-3 (2) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 断面図 (B-B 断面)

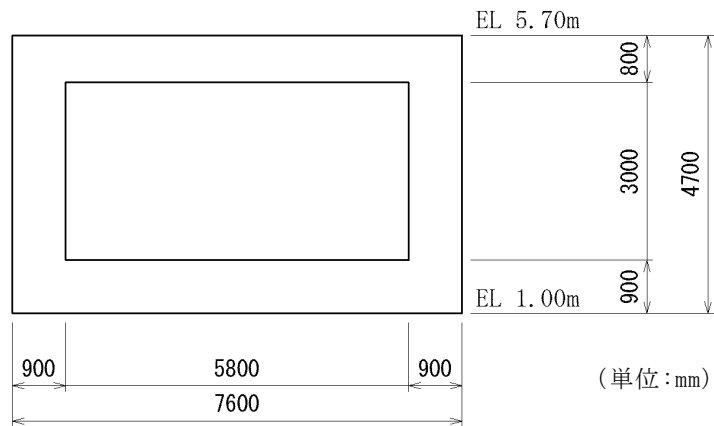


図 4.8-3 (3) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 断面図 (C-C 断面)

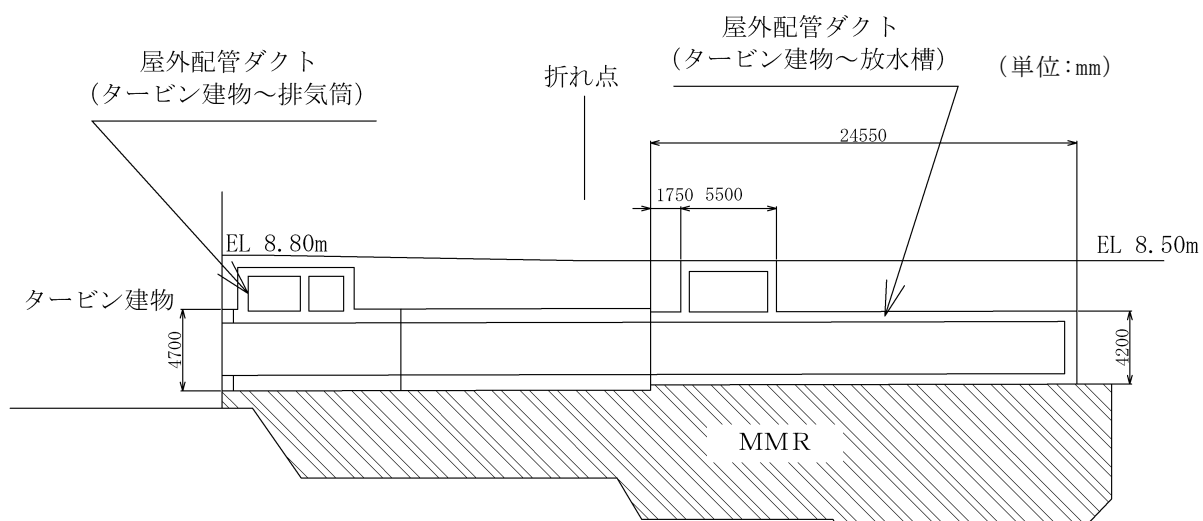


図 4.8-3 (4) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 断面図 (D-D断面)

#### 4.8.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は、延長約 49m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅 7.6m、高さ 4.7m のボックスカルバート構造、幅 7.0m、高さ 4.2m のボックスカルバート構造に大別される延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である。また、間接支持する配管の管軸方向と平行に配置される壁部材が多いため、間接支持する配管の管軸方向が強軸となる。

なお、各断面の奥行き方向について、部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一である。

###### b. 周辺状況

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地質断面図を図 4.8-4 に示す。周辺状況として、MMR を介して十分な支持性能を有する  $C_M$  級又は  $C_H$  級岩盤に支持される。また、南北方向（A-A 断面及び B-B 断面）の地下構造は、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）付近では第 3 層が一様に分布しており、東西方向（C-C 断面）の地下構造については、全体的に東に傾斜しており、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の東側に位置する取水槽直下では、第 2 層が厚く分布するが、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）付近では緩やかになる。

A-A 断面は、北側に放水槽が隣接し、南側には排気筒及びディーゼル燃料貯蔵タンク室が隣接している。B-B 断面は、A-A 断面と比較して周辺状況に差異はないが、頂版部分が管搬入口となっており、A-A 断面とは構造的特徴が異なる。C-C 断面については、置換コンクリートを介して西側に排気筒が隣接し、東側には埋戻土が一様に分布している。

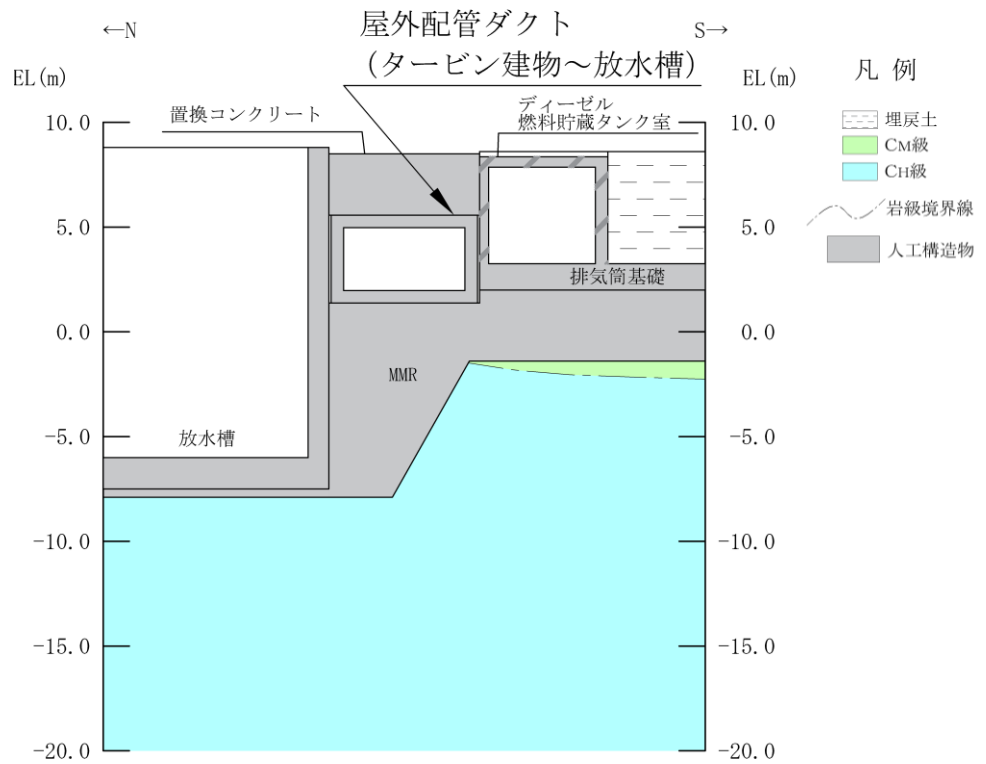
また、設計地下水位については、周辺に一様に設定することから、断面選定の観点として周辺状況の影響を考慮する必要はない。

###### c. 間接支持される機器・配管系の有無

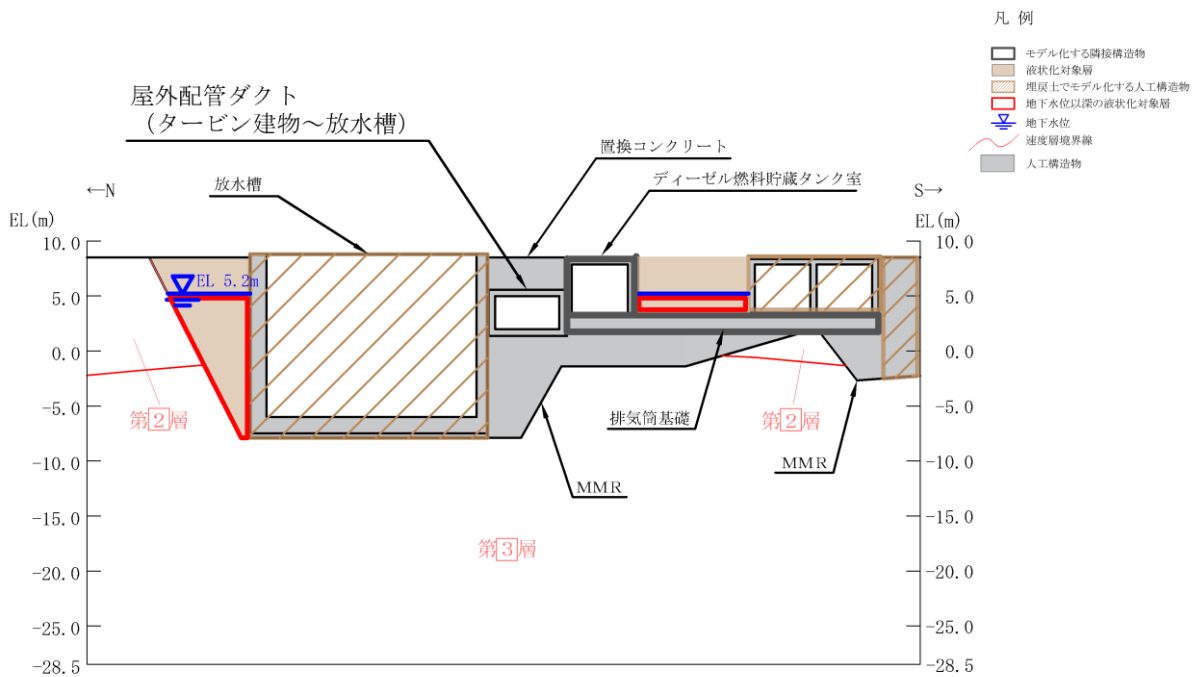
屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は、S クラス設備である原子炉補機海水系配管等を間接支持する。

###### d. 要求機能

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は、S クラス設備である原子炉補機海水系配管等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。

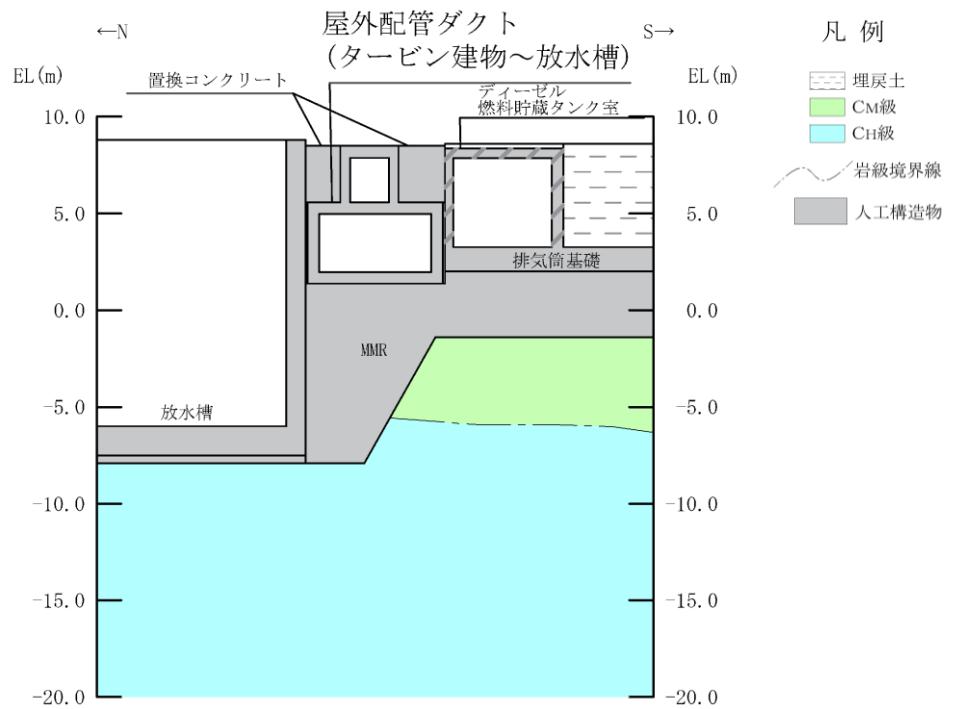


(岩級図)

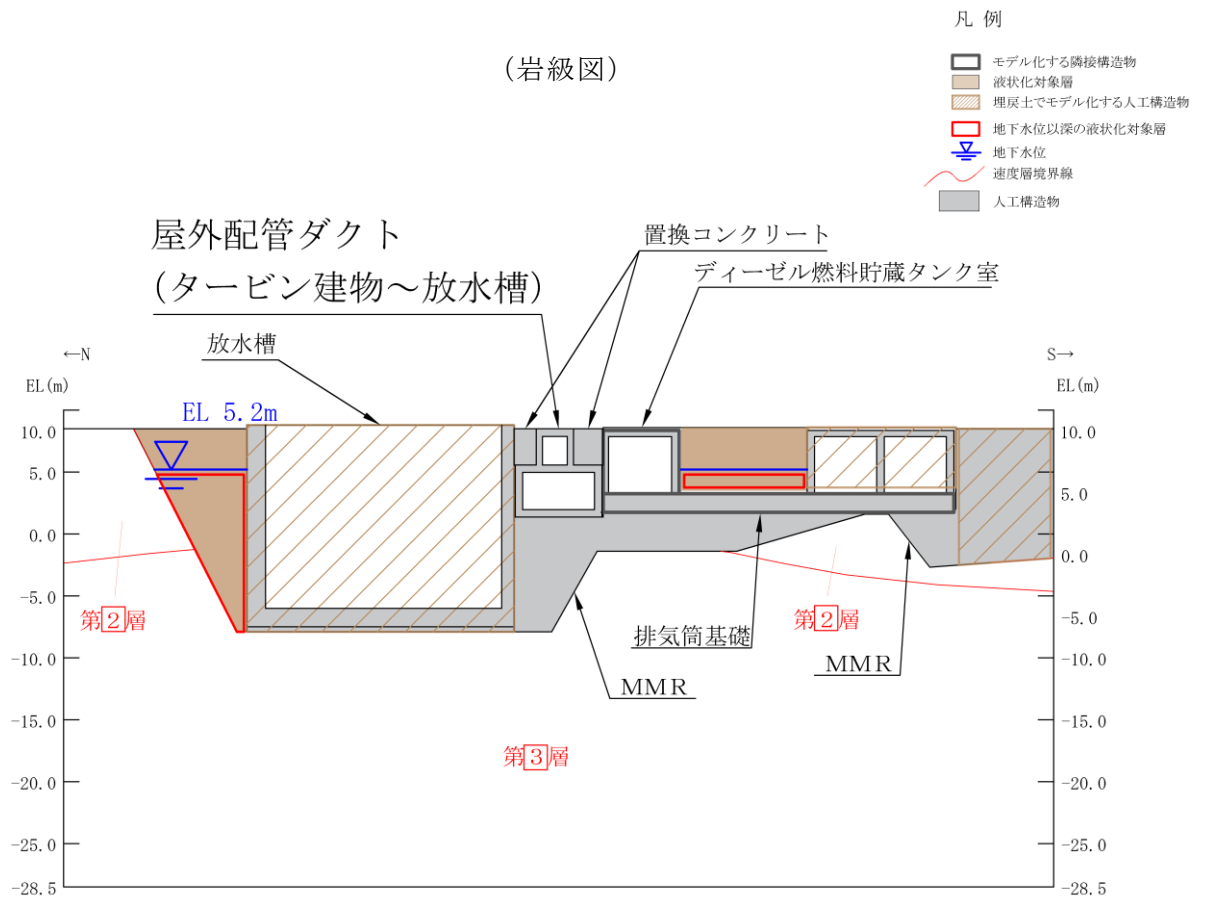


(速度層図)

図 4.8—4 (1) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)  
地質断面図 (A—A 断面位置)



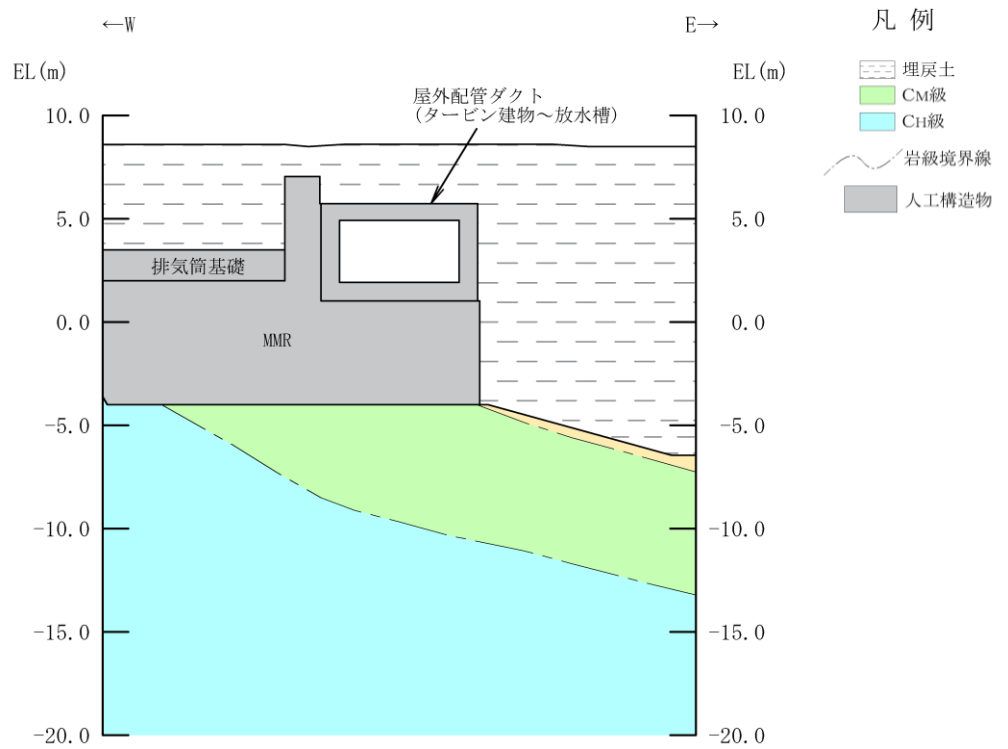
(岩級図)



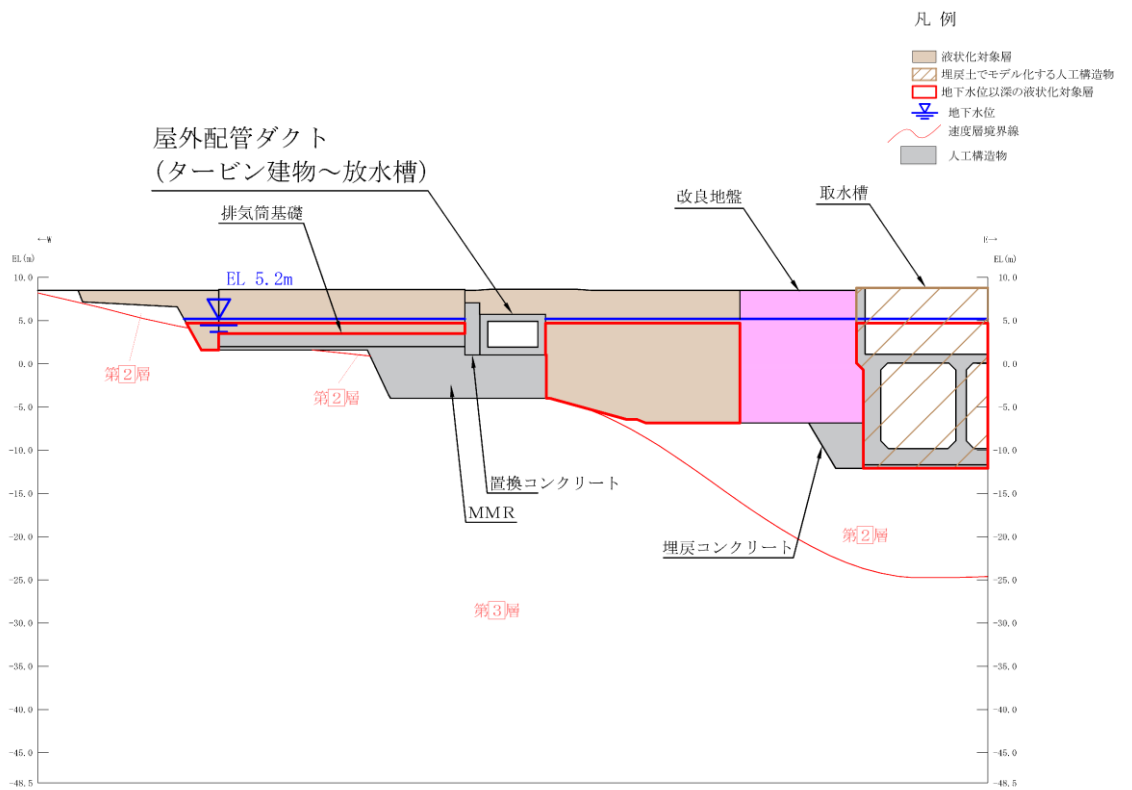
(速度層図)

図 4.8—4 (2) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)

地質断面図 (B-B 断面位置)



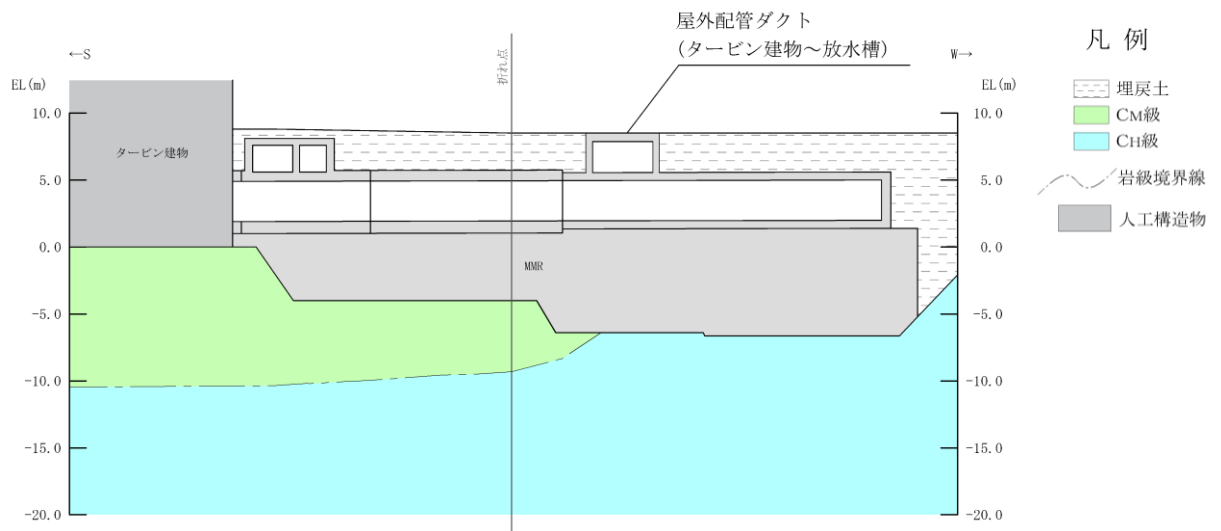
(岩級図)



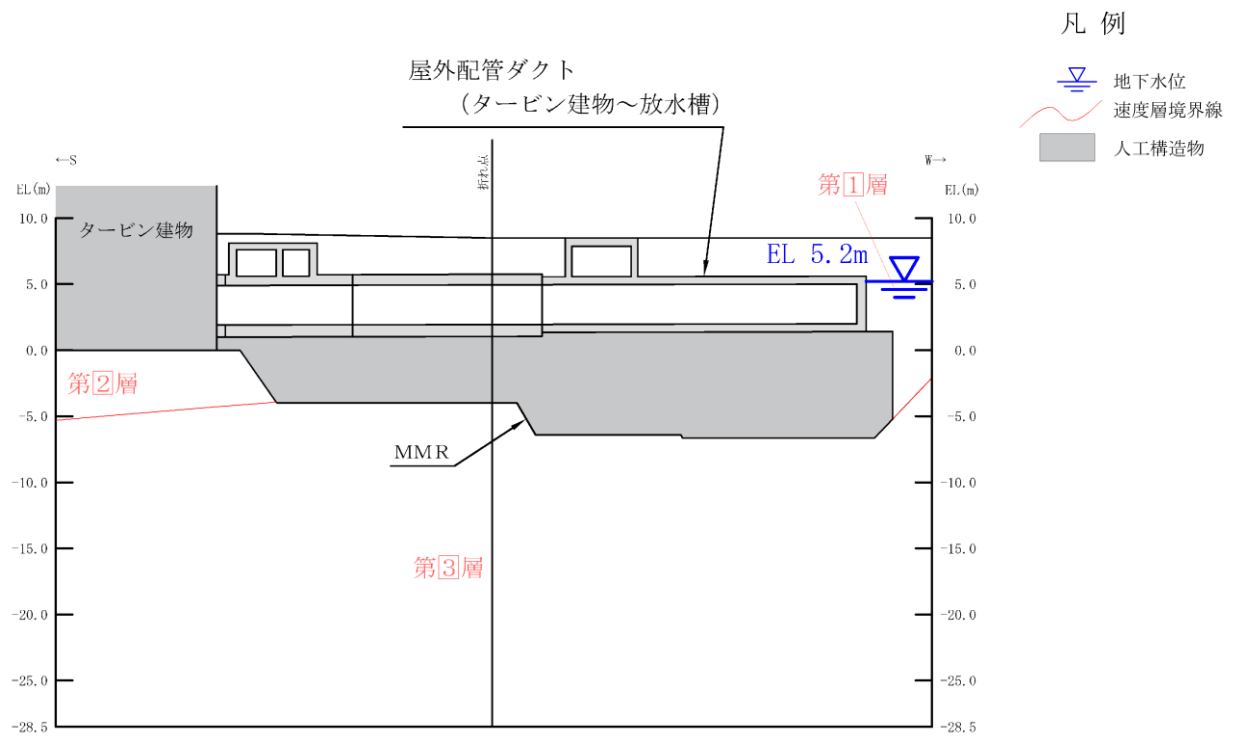
(速度層図)

図 4.8—4 (3) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)

地質断面図 (C—C断面位置)



(岩級図)



(速度層図)

図 4.8—4 (4) 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)  
地質断面図 (D-D断面位置)

(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.8.1 (1) 候補断面の整理より、耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となる横断方向のA-A断面、B-B断面及びC-C断面を評価対象断面として選定する。

なお、C-C断面のうち南側に位置する屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）との一体部については、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）における評価対象断面として選定する。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.8-1に示す。

表4.8-1 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 評価対象断面の選定結果

位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
横断方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下構造物であり、延長方向に断面変形のないダクト構造の線状構造物である。</li> <li>間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないため、管軸直交方向が明確な弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して十分な支持性能を有するC<sub>30</sub>級又はC<sub>40</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>北側に放水槽が隣接し、南側には排気筒及びディーゼル燃料貯蔵タンク室が隣接している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機海水系配管</li> <li>タービン補機海水系配管・弁</li> <li>液体廃棄物処理系配管・弁</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>明確な弱軸方向となる横断方向を、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下構造物であり、延長方向に断面変形のないダクト構造の線状構造物である。</li> <li>間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないため、管軸直交方向が明確な弱軸方向となる。</li> <li>頂版部分が管搬入口となっている。</li> </ul>	同上	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>A-A断面と比較して周辺状況に差異はないが、構造的特徴が異なるため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	C-C断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下構造物であり、延長方向に断面変形のないダクト構造の線状構造物である。</li> <li>屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）との一体部が存在する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して十分な支持性能を有するC<sub>30</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>置換コンクリートを介して西側に排気筒が隣接し、東側には埋戻土が一様に分布している。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>明確な弱軸方向となる横断方向を、評価対象断面として選定する。</li> <li>屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）との一体部については、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）側で説明する。</li> </ul>



#### 4.8.2 解析手法の選定

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の南北方向（A－A断面及びB－B断面）は、北側に放水槽が隣接し、南側には排気筒及びディーゼル燃料貯蔵タンク室\*が隣接している。北側はノンクラスの構造物である放水槽を保守的に埋戻土としてモデル化するが、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は放水槽の北側の液状化対象層との離隔を十分に有し、かつ液状化対象層の分布が局所的である。同様に南側についても、隣接構造物であるディーゼル燃料貯蔵タンク室を介して液状化対象層が存在するが、分布が局所的であり、離隔を十分に有することから、液状化対象層による液状化等による影響を受けないと判断し、解析手法のフローに基づき「④全応力解析」を選定する。なお、補足検討として、液状化等の影響が及んでいないことの確認を有効応力解析により実施する。また、ノンクラスの構造物である放水槽を埋戻土としてモデル化することの妥当性について、参考資料4に示す。

東西方向（C－C断面）は、置換コンクリートを介して西側に排気筒が隣接しているが、東側は一様に分布した液状化対象層と接していることから、解析手法のフローに基づき「⑤有効応力解析」を選定する。

注記\*：ディーゼル燃料貯蔵タンク室については、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の隣接構造物としてモデル化するノンクラスの構造物であり、構造物の補足説明資料の中で基準地震動 $S_s$ に対する耐震性の確認を実施する。

#### 4.9 取水管の断面選定の考え方

取水管は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

取水管の配置図を図 4.9-1 に、平面図を図 4.9-2 に、断面図を図 4.9-3 に示す。

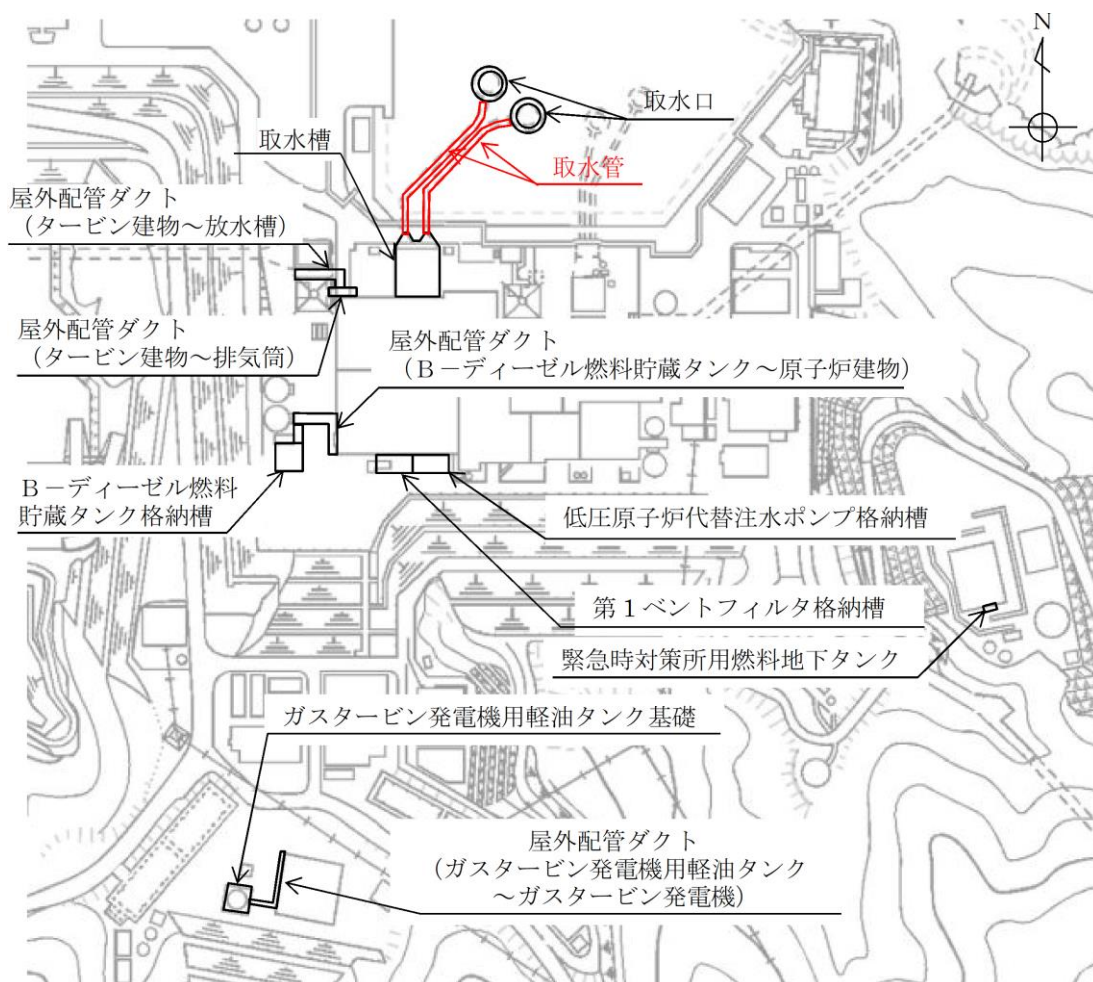


図 4.9-1 取水管 配置図

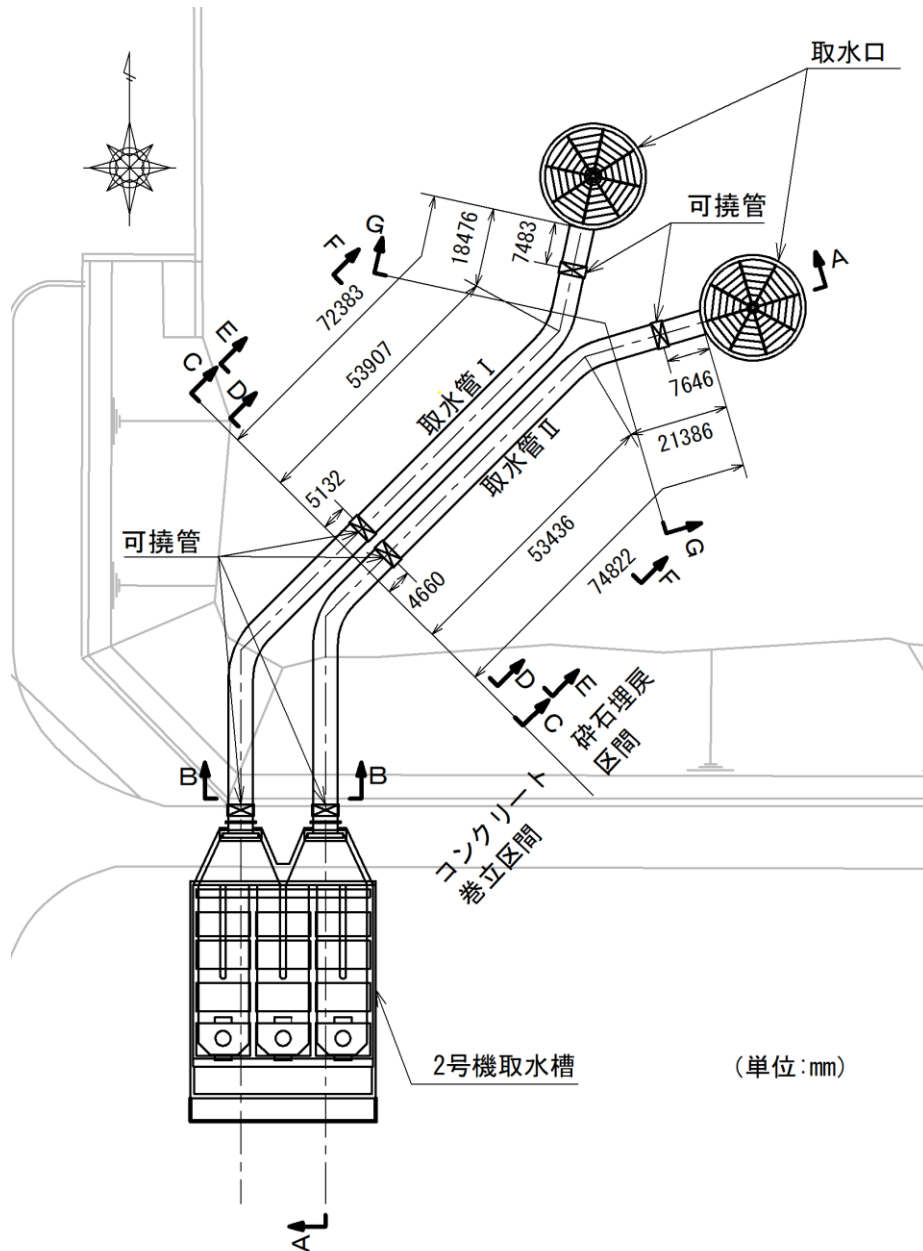


図4.9-2 取水管 平面図

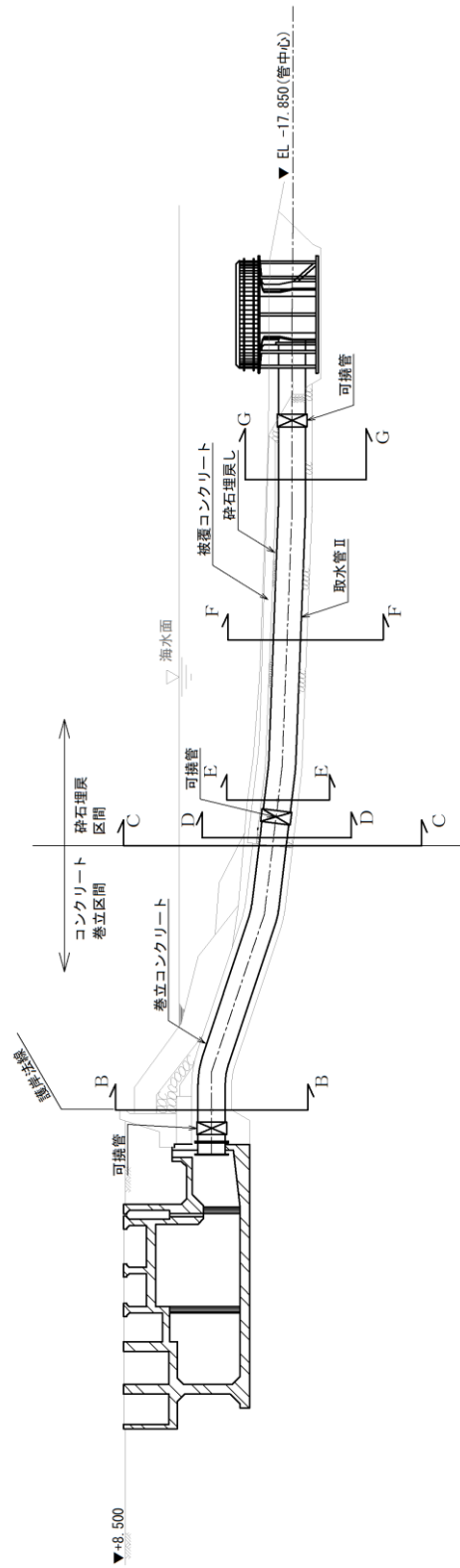


図 4.9-3 (1) 取水管 断面図 (A-A 断面)

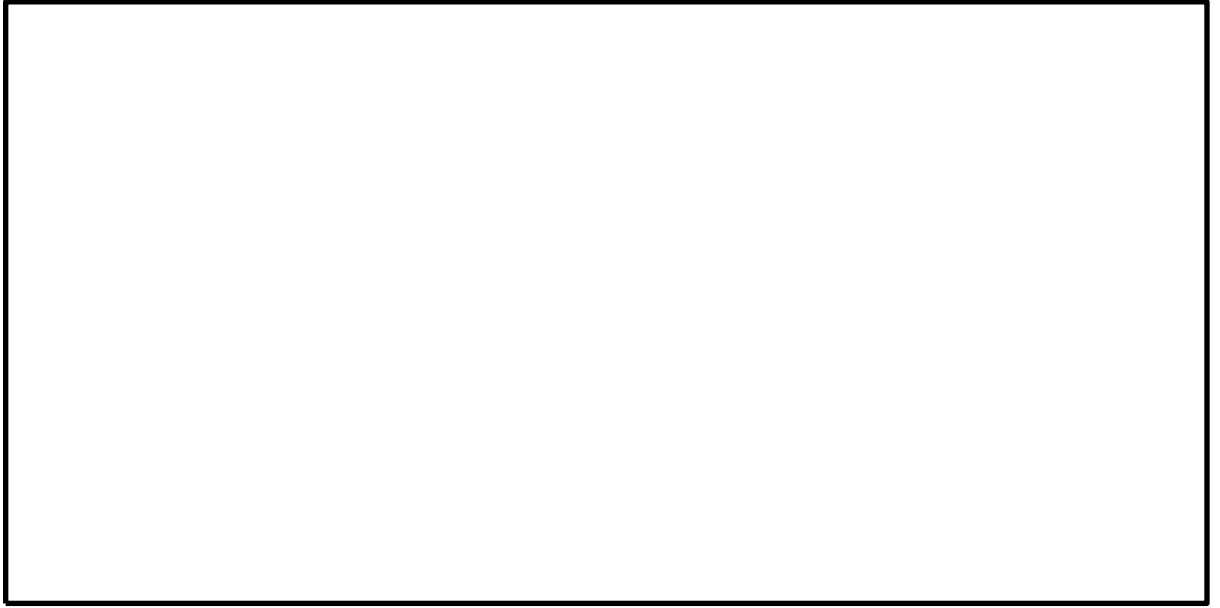


图 4.9-3 (2) 取水管 断面图 (B-B 断面)

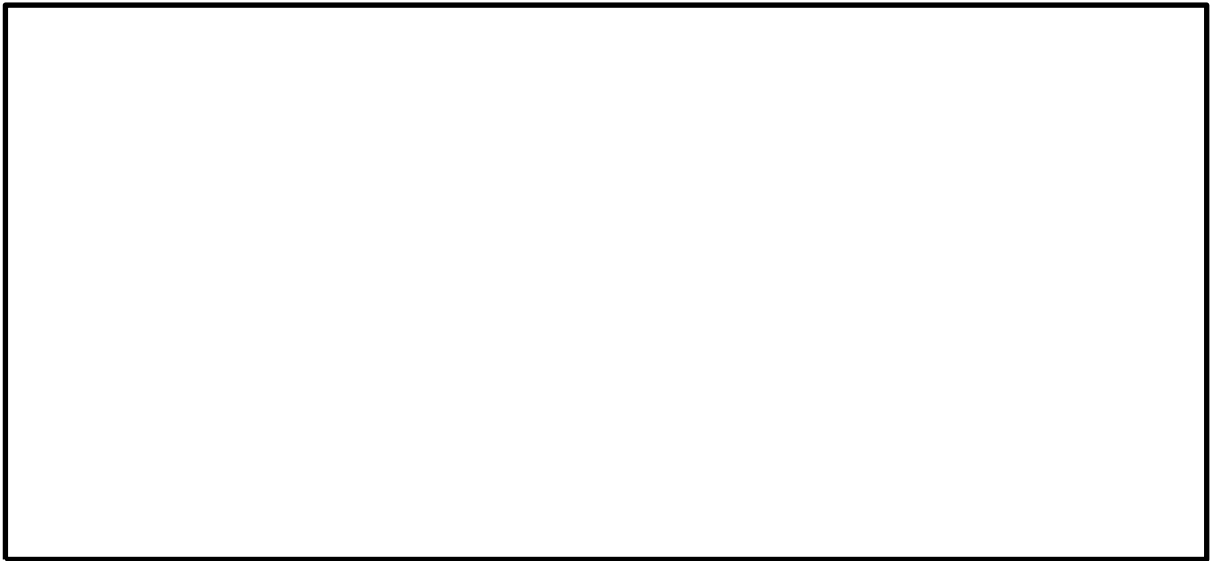


图 4.9-3 (3) 取水管 断面图 (C-C 断面)



图 4.9-3 (4) 取水管 断面图 (D-D 断面)



图 4.9-3 (5) 取水管 断面图 (E-E 断面及 F-F 断面)



图 4.9-3 (6) 取水管 断面图 (G-G 断面)

#### 4.9.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

取水管は、取水口と取水槽を結ぶ、管径  の鋼製管 2 条で構成される水中構造物であり、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である。また、敷地護岸法先から取水槽取付部までのコンクリート巻立部（B-B 断面及び C-C 断面）と、取水口から敷地護岸法先までの砕石埋戻部（D-D 断面～G-G 断面）に大別される。

取水管の縦断方向（通水方向）は、通水方向に対して空間を保持できるように管路が形成されていることから強軸となり、横断方向（通水に対する直交方向）が弱軸となる。

###### b. 周辺状況

取水管の地質断面図を図 4.9-4 に示す。周辺状況として、取水管の周りは岩盤が分布している。また、南北方向（A-A 断面）及び東西方向（B-B 断面～G-G 断面）の地下構造については、ほぼ水平である。

コンクリート巻立部（B-B 断面及び C-C 断面）は、基盤となる岩盤を掘削し設置され、コンクリートで巻き立てている。砕石埋戻部（D-D 断面～G-G 断面）については、基盤となる岩盤を掘削し設置され、周辺を砕石で埋め戻されており、砕石上には被覆コンクリート（厚さ 1.0m）を打設している。また、取水管の北側は取水口に接続し、南側は取水槽に接続している。

なお、設計地下水位については、取水管は水中構造物であることから、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。

###### c. 間接支持される機器・配管系の有無

取水管は、機器・配管系を間接支持しない。

###### d. 要求機能

取水管は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

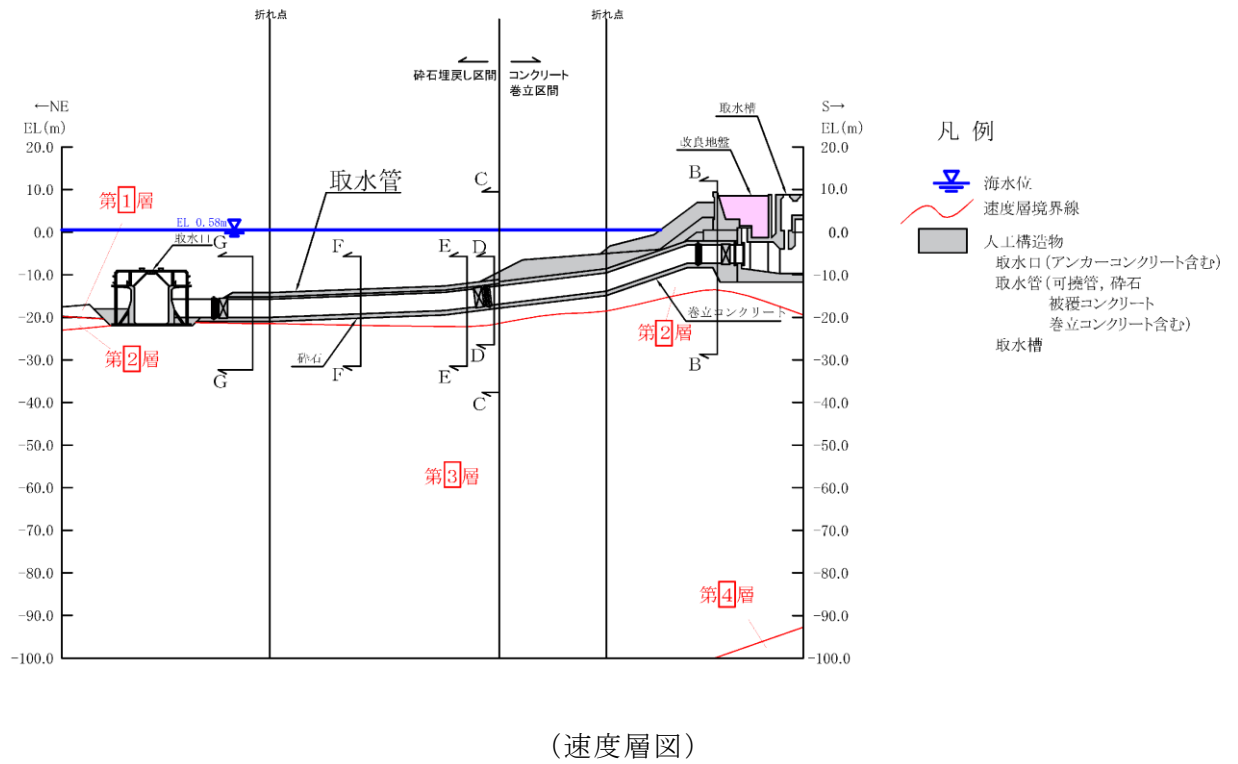
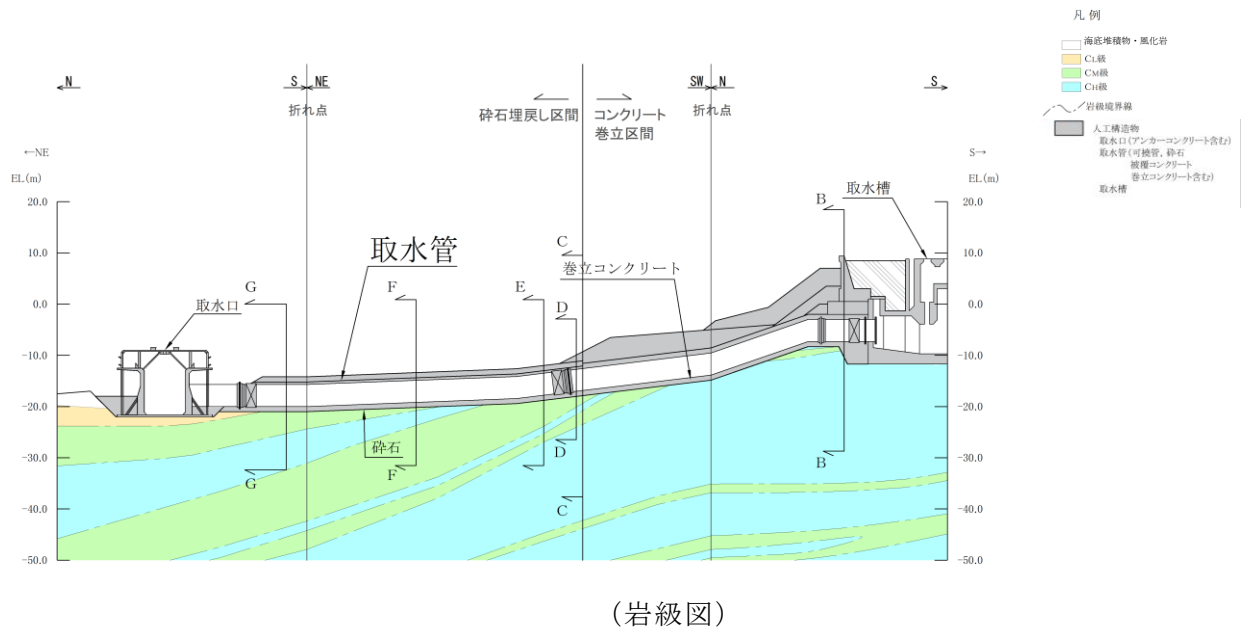
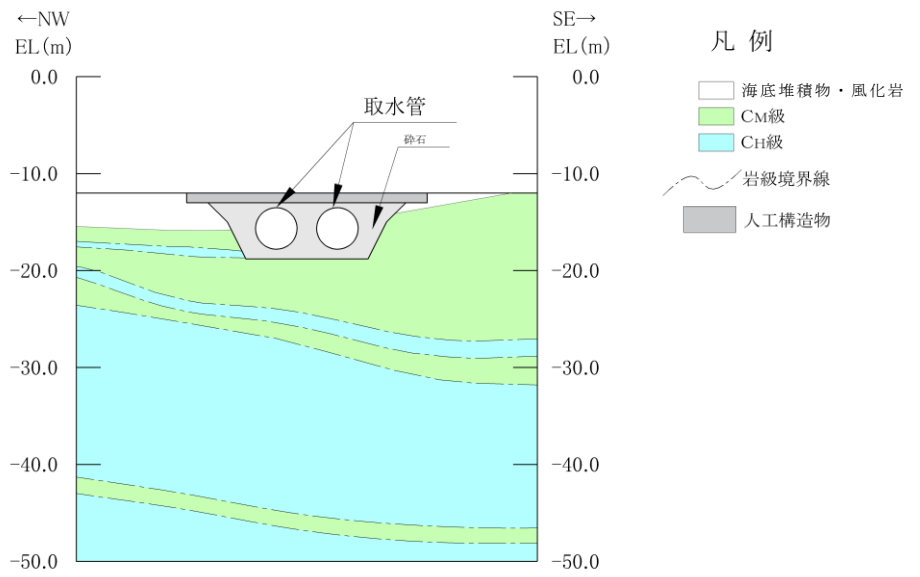
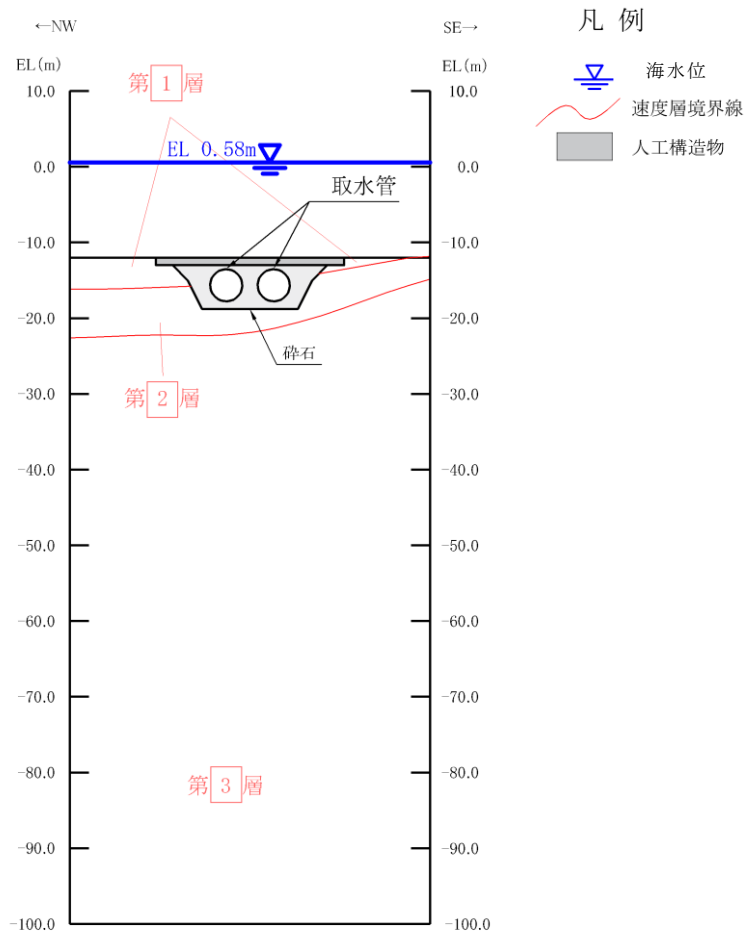


図 4.9-4 (1) 取水管 地質断面図 (A-A'断面位置)





(岩級図)



(速度層図)

图 4.9-4 (2) 取水管 地質断面图 (E-E 断面位置)

(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.9.1 (1) 候補断面の整理より、通水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ている強軸に対して、横断方向（通水に対する直交方向）が明確な弱軸方向となる。

横断方向のうち、コンクリート巻立部（B－B断面及びC－C断面）については、周囲をコンクリートで巻き立てられているため、砕石埋戻部（D－D断面～G－G断面）と比較して取水管に作用する土圧荷重が小さい。

砕石埋戻部（D－D断面～G－G断面）においては、図4.9-4（1）に示すように、取水槽側（南側）方向に $\boxed{2}$ 層が厚く分布するE－E断面が保守的な断面である。

また、「水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP 029-2006（日本水道鋼管協会，2006.2.2）」に基づき、一般的な地中埋設管路の設計で考慮される管軸方向断面についても評価対象断面として選定する。この際、取水管Ⅰ及び取水管Ⅱにおいては、取水管の延長が長い取水管Ⅱ（A－A断面）を評価対象断面として選定する。管軸方向の評価対象断面として選定した（A－A断面）については、砕石埋戻部（D－D断面～取水口）の間に設置されている2箇所可撓管で3区間に分割した際に、最も延長が長い区間を評価対象とする。

なお、取水管は機器・配管系を支持していないため、床応答算定断面を選定しない。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.9-1に示す。

表 4.9-1 取水管 評価対象断面の選定結果

位置・エリア	a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果	
横断 方向	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製管2条で構成される水中構造物であり、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である。</li> <li>横断方向（通水に対する直交方向）が明確な弱軸となる。</li> <li>コンクリート巻立部である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>巻立コンクリートを介してC<sub>M</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> <li>取水管の北側は取水口に接続し、南側は取水槽に接続している。</li> <li>第②層が厚く分布している。</li> </ul>	なし	通水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>弱軸方向であるが、周辺はコンクリートで巻き立てられており、土圧低減等が考えられることから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>
	C-C断面	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>巻立コンクリートを介してC<sub>M</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> <li>第②層が厚く分布している。</li> </ul>	同上	同上	同上
	D-D断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製管2条で構成される水中構造物であり、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である。</li> <li>横断方向（通水に対する直交方向）が明確な弱軸となる。</li> <li>砕石埋戻部である。</li> <li>延長*は短く、北側は可撓管と接続している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>砕石を介してC<sub>M</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> <li>取水管上部は砕石を介して被覆コンクリートを打設している。</li> <li>第②層が厚く分布している。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>弱軸方向かつ砕石埋戻部であり第②層が厚く分布する断面であるが、延長*が短くE-E断面の評価に包絡されると考えられることから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>
	E-E断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製管2条で構成される水中構造物であり、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である。</li> <li>横断方向（通水に対する直交方向）が明確な弱軸となる。</li> <li>砕石埋戻部である。</li> <li>延長*が最も長く、北側及び南側は可撓管と接続している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>砕石を介してC<sub>M</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> <li>取水管上部は砕石を介して被覆コンクリートを打設している。</li> <li>第②層が厚く分布している。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>弱軸方向かつ砕石埋戻部であり第②層が厚く分布する断面である。さらに延長*が最も長いことから、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	F-F断面	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>砕石を介してC<sub>M</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> <li>取水管上部は砕石を介して被覆コンクリートを打設している。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>E-E断面と比較して第②層が薄いため、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>
	G-G断面	同上	同上	同上	同上	同上
延長 方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製管2条で構成される水中構造物であり、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である。</li> <li>通水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ていることから強軸となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート及び砕石を介して、C<sub>M</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>「水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP 029-2006（日本水道鋼管協会，2006.2.2）」に基づき、一般的な地中埋設管路の設計で考慮される管軸方向断面についても評価対象断面として選定する。</li> </ul>

注記\*：砕石埋戻部の間に設置されている2箇所の可撓管で3区間に分割した際の延長

#### 4.9.2 解析手法の選定

取水管は、基盤となる岩盤を掘削し設置され、周辺を砕石又はコンクリートで埋戻されている。

以上より、施設周辺に液状化対象層が存在しないため、解析手法のフローに基づき「②全応力解析」を選定する。

#### 4.10 取水口の断面選定の考え方

取水口は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。

取水口の配置図を図 4.10-1 に、平面図を図 4.10-2 に、断面図を図 4.10-3 に示す。また、取水口は、円筒状構造物であり、強軸及び弱軸が明確でないことから、3次元モデルで耐震評価を実施する。3次元構造解析モデルを図 4.10-4 に示す。

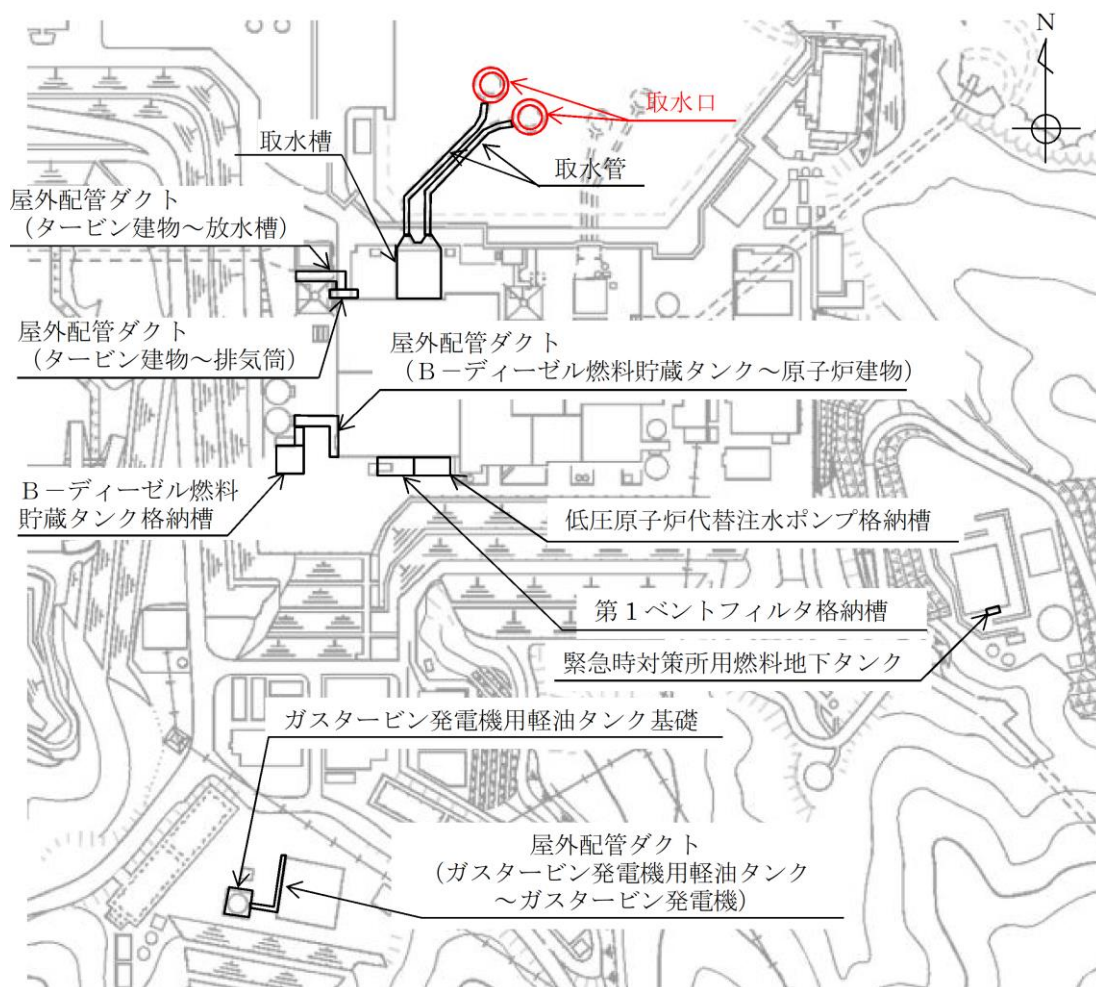


図 4.10-1 取水口 配置図

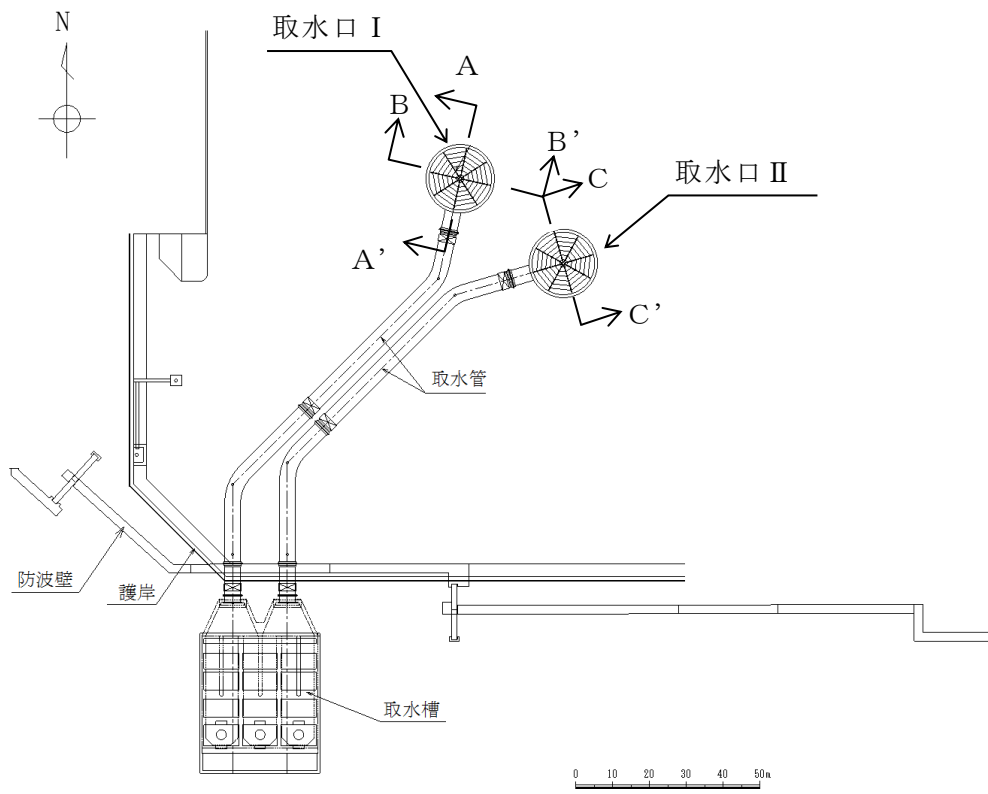


图 4.10-2 取水口 平面图

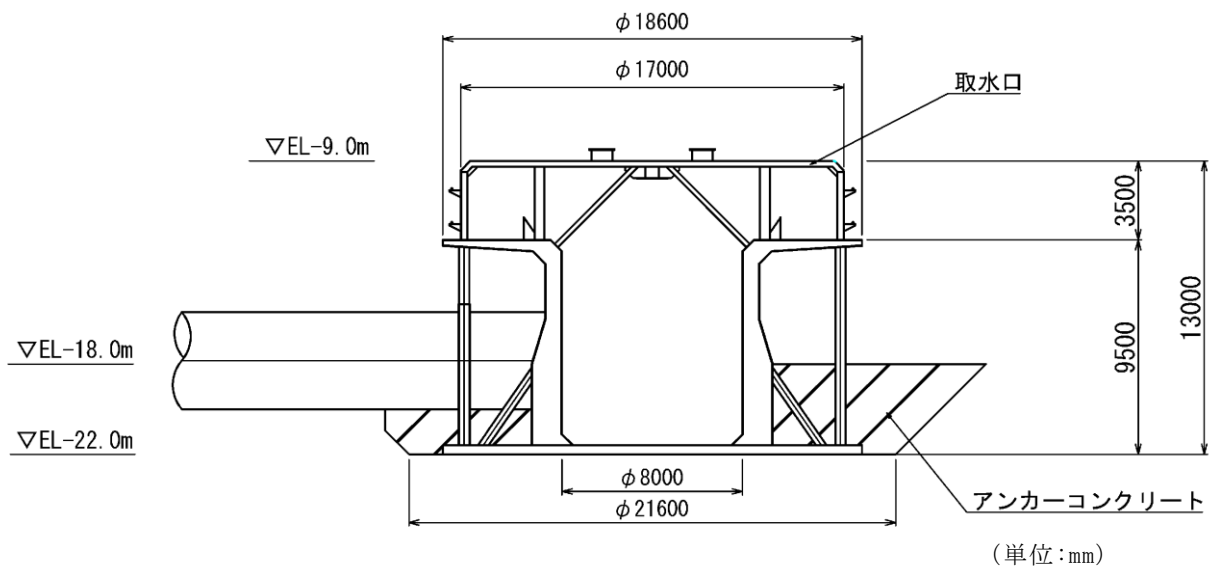


図 4.10-3 (1) 取水口 断面図 (A-A'断面)

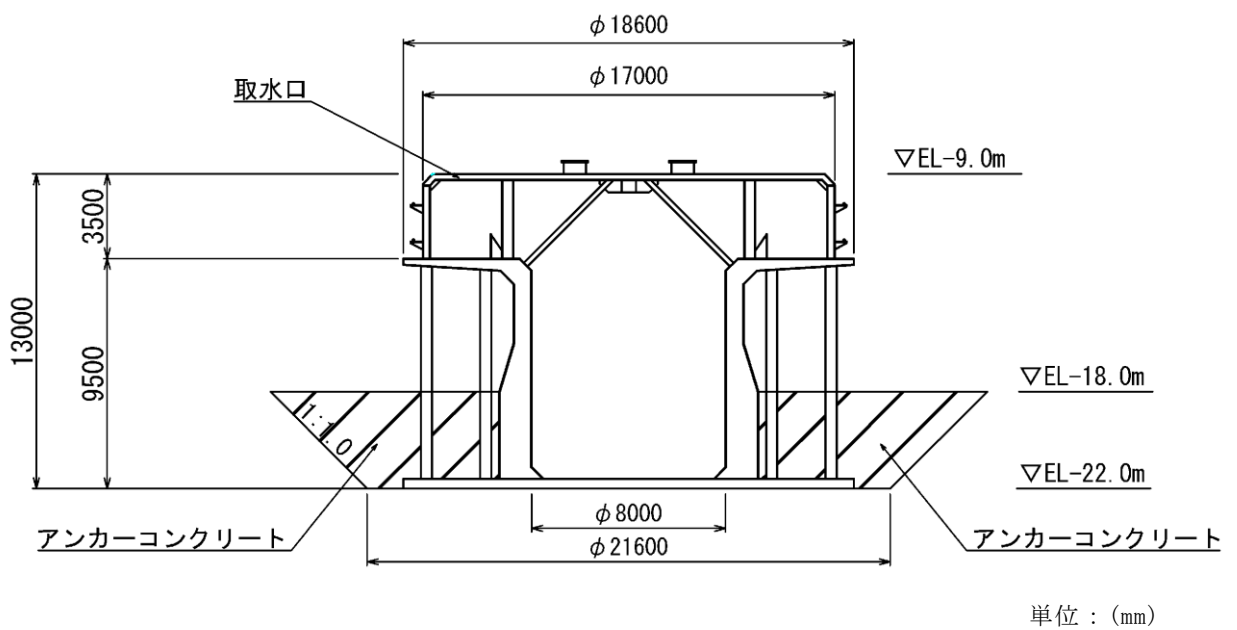


図 4.10-3 (2) 取水口 断面図 (B-B'断面)

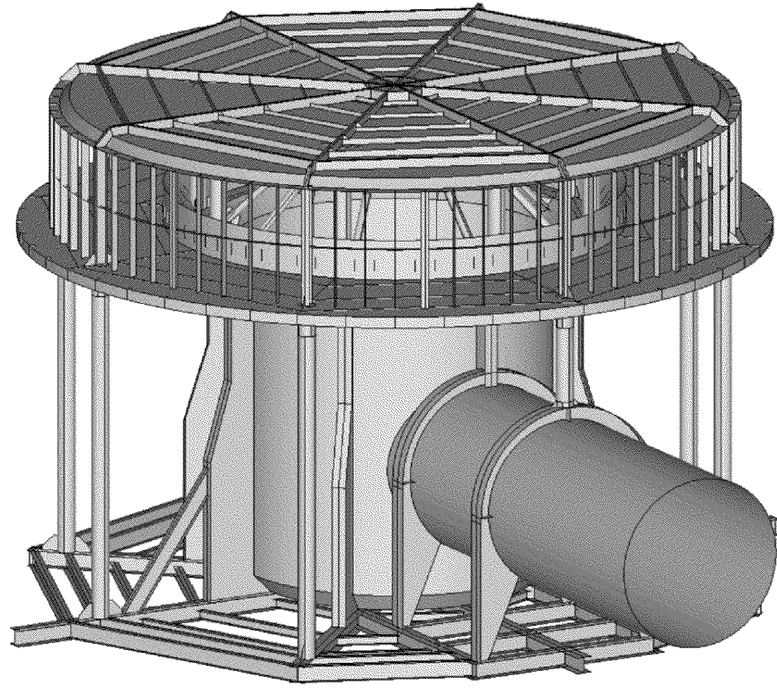


図 4.10-4 取水口 3次元構造解析モデル

#### 4.10.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

取水口は、直径 18.6m、高さ 13m の基部をアンカーコンクリートで巻き立てられた鋼製の構造物である。また、円筒状構造物であり、箱型構造物や線状構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確でないことから、3次元構造解析モデルで耐震評価を実施する必要がある。

取水口は2つで構成され、各取水口の仕様は接続管の設置方向を除いて同様である。

###### b. 周辺状況

取水口の地質断面図を図 4.10-5 に示す。周辺状況として、十分な支持性能を有する  $C_L \sim C_M$  級岩盤に直接支持される。また、基部をアンカーコンクリートで巻立てられており、その外側には岩盤（風化岩）が分布している。

B-B'断面及びC-C'断面の地下構造については、取水口Ⅰでは  $C_L$  級岩盤が分布し、取水口ⅠとⅡの中心付近では  $C_L$  級岩盤が厚くなり、取水口Ⅱでは  $C_L \sim C_M$  級岩盤が分布している。

なお、設計地下水位については、取水管は水中構造物であることから、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。

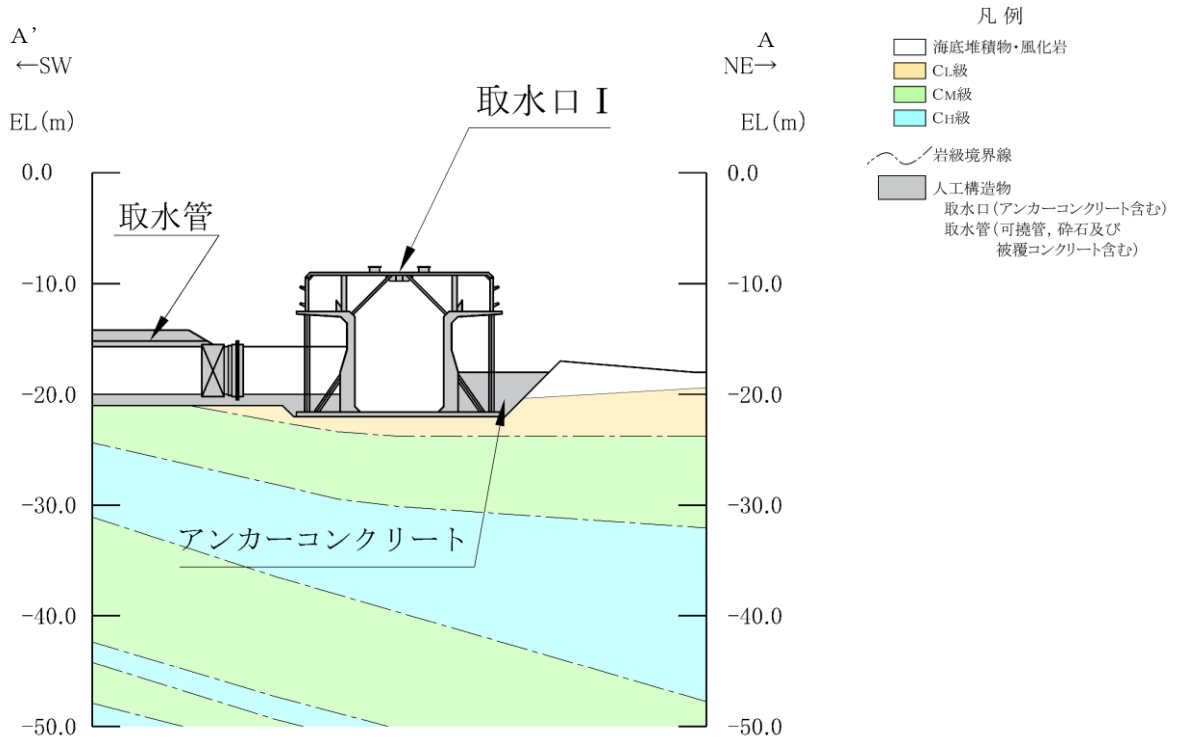
###### c. 間接支持される機器・配管系の有無

取水口は、機器・配管系を間接支持しない。

###### d. 要求機能

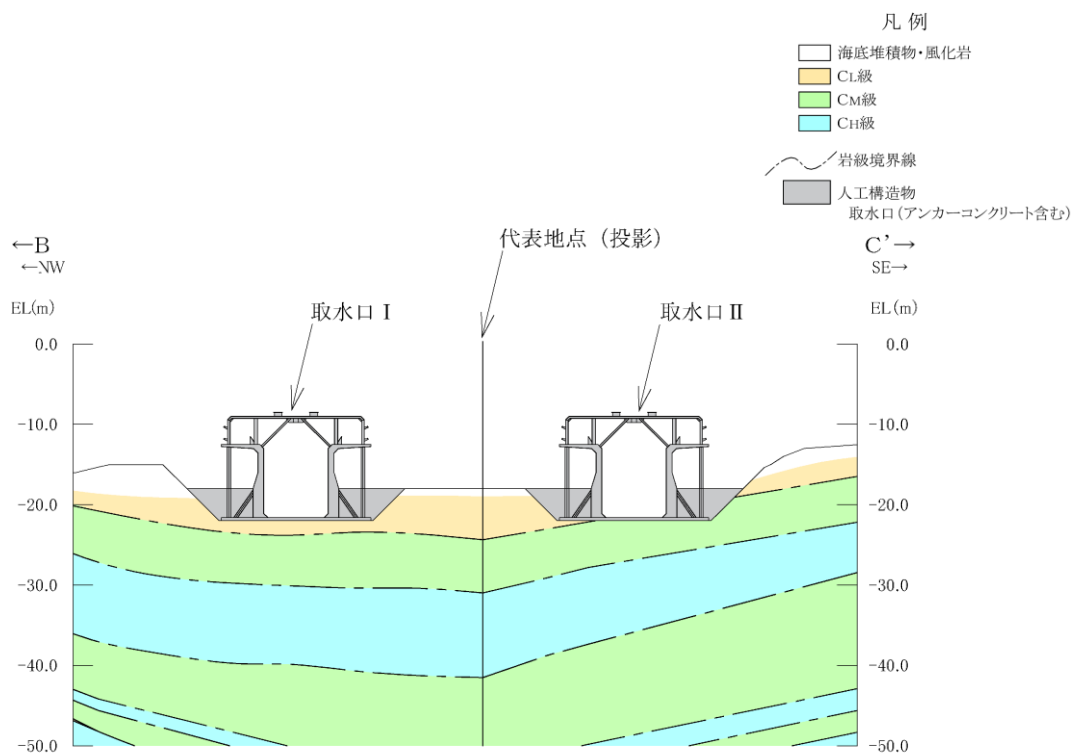
取水口は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。





(岩級図)

図 4.10-5 (1) 取水口 地質断面図 (A-A'断面位置)



(岩級図)

図 4.10-5 (2) 取水口 地質断面図 (B-B'断面及びC-C'断面位置)

(2) 地震時荷重算出断面及び床応答算定断面の選定

4.10.1 (1) 候補断面の整理より、取水口は円筒状構造物であり、断面形状による耐震評価上の違いはない。また、取水管との間にはジョイントが設置されており、取水管による地震応答への影響はない。

B-B'断面及びC-C'断面より、取水口Ⅰでは $C_L$ 級岩盤が分布し、取水口ⅠとⅡの中心付近では $C_L$ 級岩盤が厚くなり、取水口Ⅱでは $C_L \sim C_M$ 級岩盤が分布している。そのため、取水口の代表地点としては取水口Ⅰ及び取水口Ⅱの中心付近を選定する。選定断面平面図を図4.10-6に示す。

なお、取水口は機器・配管系を支持していないため、床応答算定断面を選定しない。

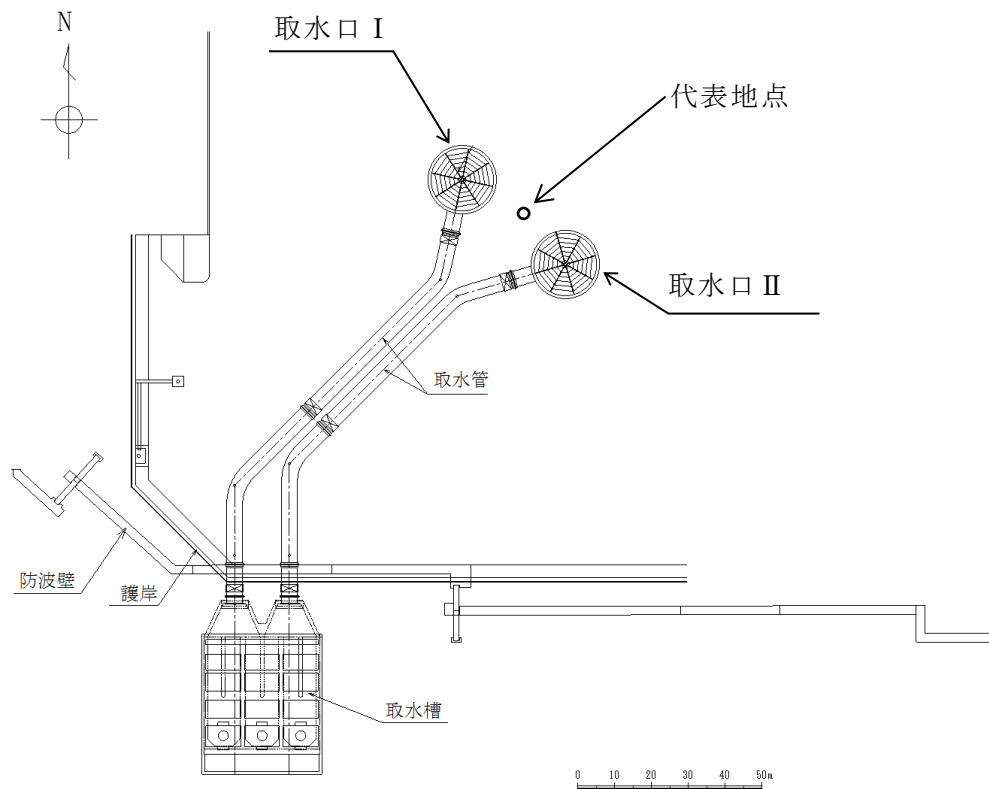


図 4.10-6 取水口選定断面平面図

### (3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4.10-1 に示す。

表 4.10-1 取水口 地震時荷重算出断面の選定結果

位置・エリア	a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
取水口 I	<ul style="list-style-type: none"> <li>基部をアンカーコンクリートで巻き立てられた鋼製の水中構造物である。</li> <li>軸芯を中心とする対称性を有している。</li> <li>円筒状構造物であり、強軸及び弱軸が明確ではない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>十分な支持性能を有する C<sub>1</sub> 級岩盤に支持される。</li> <li>基部をアンカーコンクリートで巻き立てられており、その外側には風化岩が分布している。</li> </ul>	なし	通水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>取水口 I と取水口 II の中心付近で、取水口 I 及び取水口 II の下部よりも C<sub>1</sub> 級岩盤が厚く分布することから、中心付近を代表断面として選定するため、地震時荷重算出断面として選定しない。</li> </ul>
取水口 II	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>十分な支持性能を有する C<sub>1</sub> 級～C<sub>30</sub> 級岩盤に支持される。</li> <li>基部をアンカーコンクリートで巻き立てられており、その外側には風化岩が分布している。</li> </ul>	同上	同上	同上
取水口 I と取水口 II の中心付近	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>十分な支持性能を有する C<sub>1</sub> 級岩盤が存在するが、C<sub>1</sub> 級岩盤の厚みは取水口 I 及び取水口 II の下部より厚く分布している。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>取水口 I と取水口 II の中心付近で、取水口 I 及び取水口 II の下部よりも C<sub>1</sub> 級岩盤が厚く分布することから、中心付近を代表地点として選定し、代表地点を中心とした南北断面及び東西断面を評価対象断面とする。</li> </ul>

#### 4.10.2 解析手法の選定

取水口の基部周りは、アンカーコンクリートで固められており、その外側には岩盤が一様に分布している。

以上より、施設周辺に液状化対象層が存在しないため、解析手法のフローに基づき「②全応力解析」を選定する。

#### 4.11 第1ベントフィルタ格納槽の断面選定の考え方

第1ベントフィルタ格納槽は、常設重大事故等対処設備である第1ベントフィルタスクラバ容器等を間接支持しており、支持機能が要求される。また、一部の部材に遮蔽機能が要求される。

第1ベントフィルタ格納槽の配置図を図4.11-1に、平面図を図4.11-2に、断面図を図4.11-3に示す。

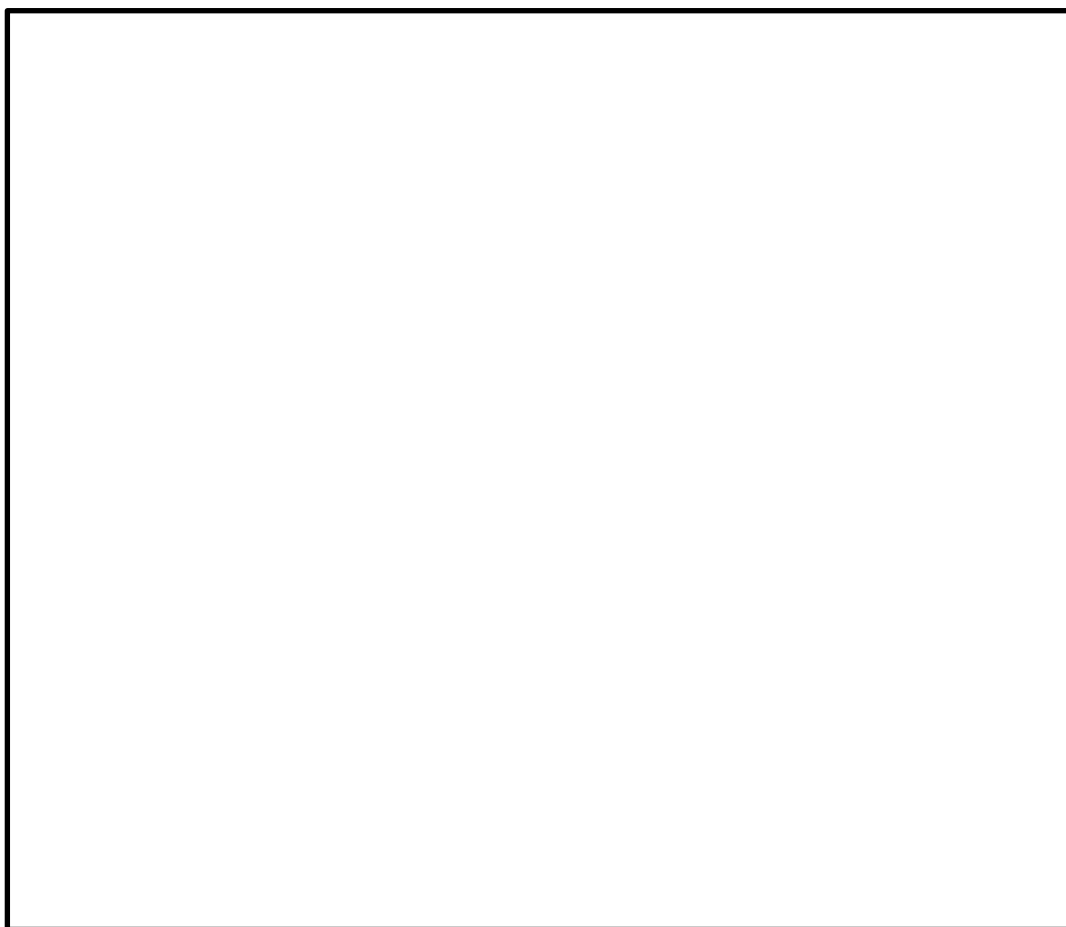


図4.11-1 第1ベントフィルタ格納槽 配置図

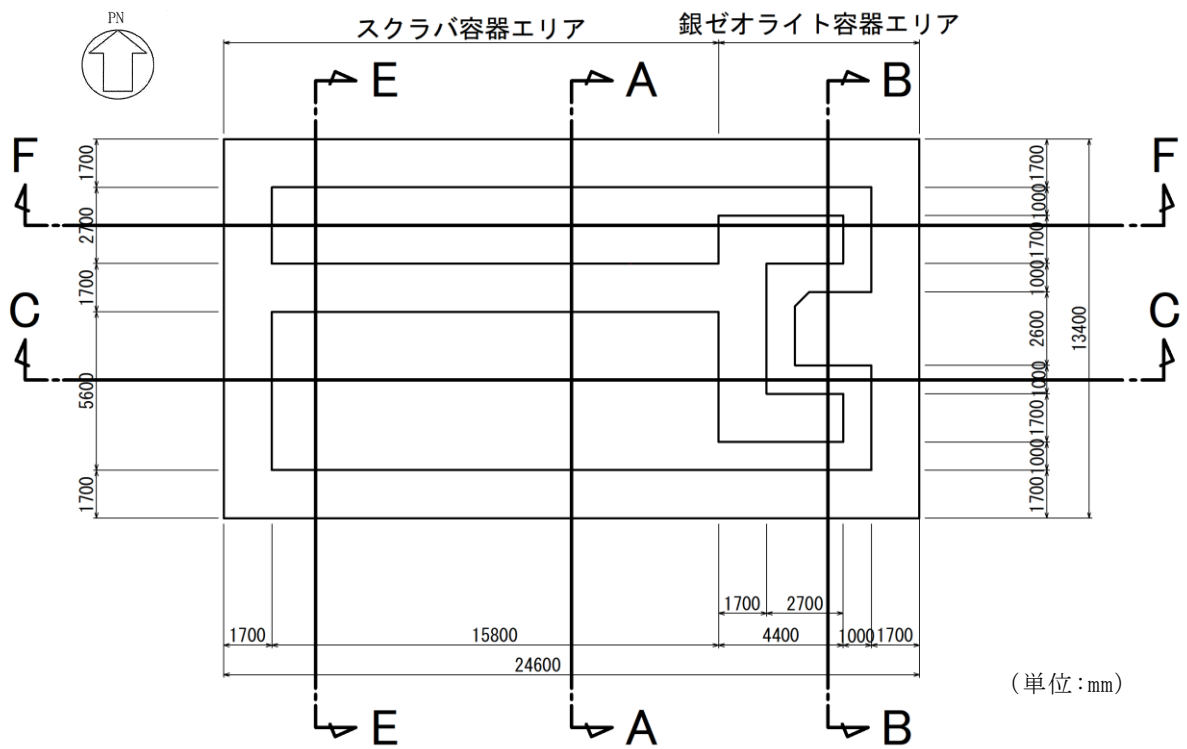


図 4.11-2 (1) 第 1 ベントフィルタ格納槽 平面図 (EL 3.00m)



図 4.11-2 (2) 第 1 ベントフィルタ格納槽 平面図 (EL 9.00m)

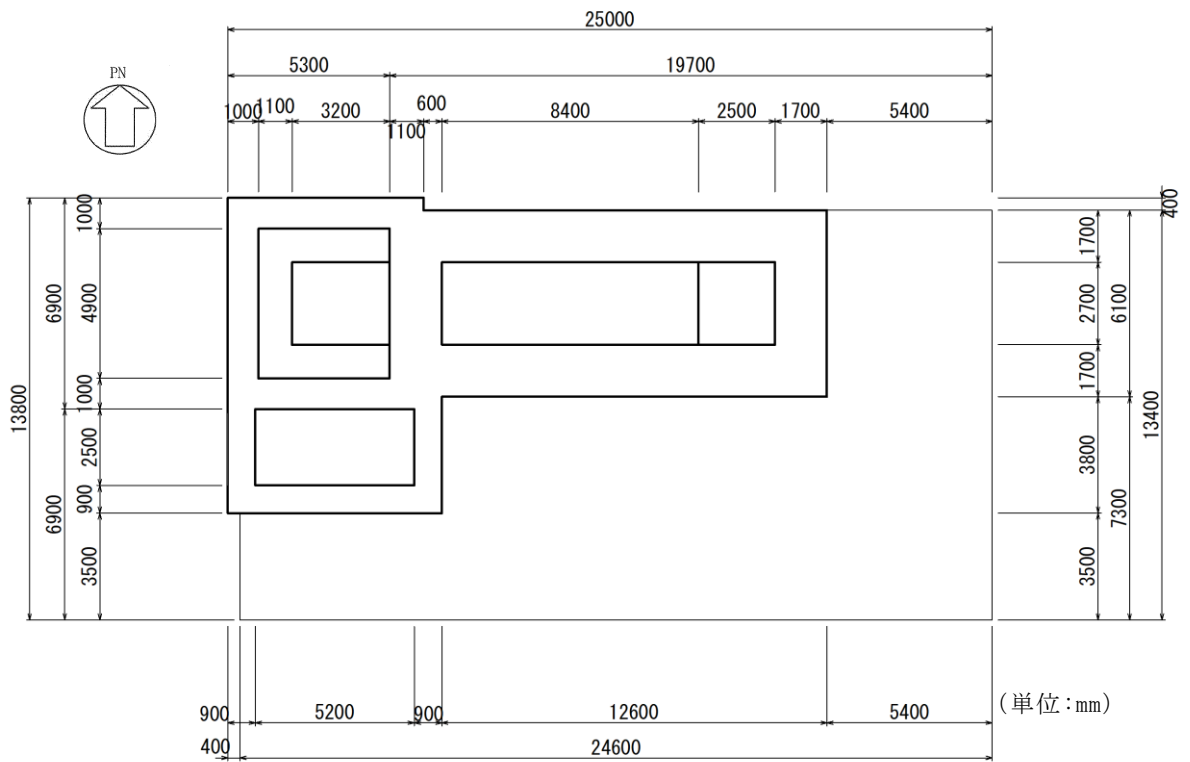


図 4.11-2 (3) 第 1 ベントフィルタ格納槽 平面図 (EL 16.00m)

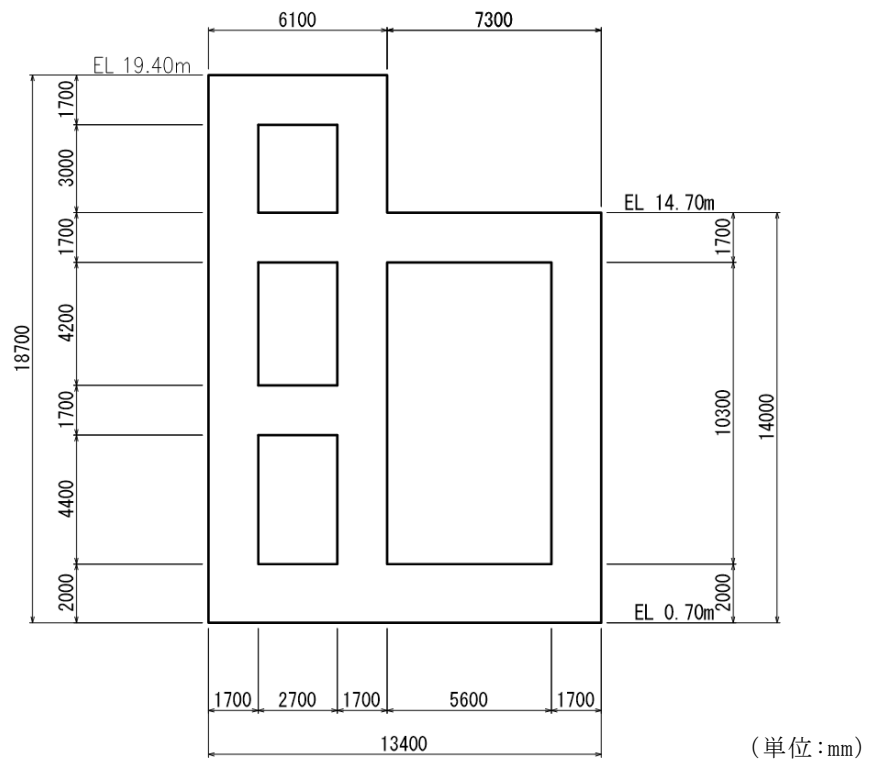


図 4.11-3 (1) 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (A-A 断面)

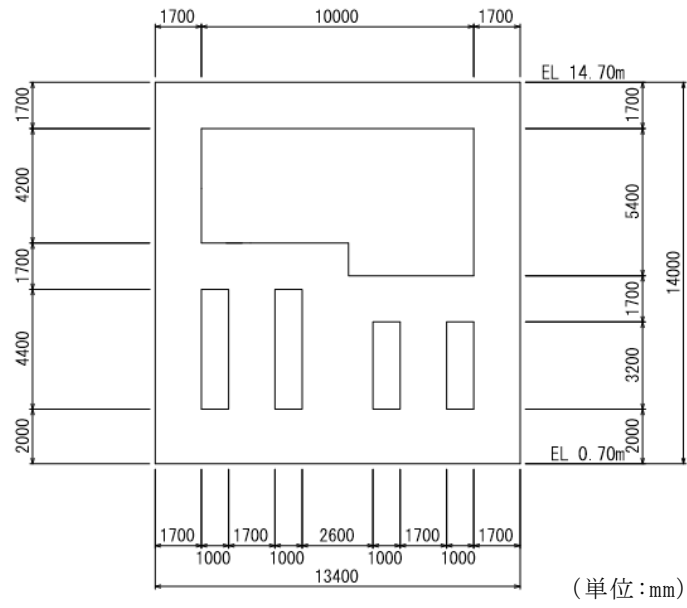


図 4.11-3 (2) 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (B-B 断面)

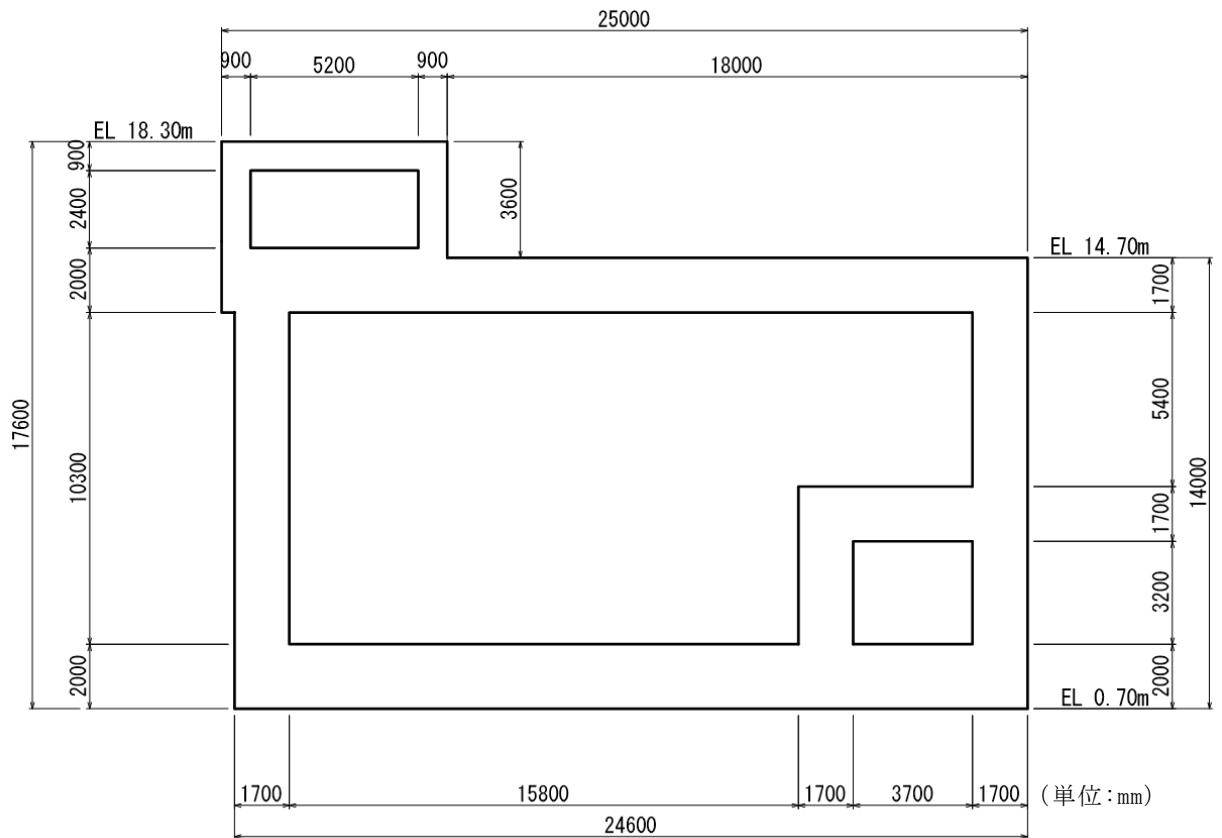


図 4.11-3 (3) 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (C-C 断面)

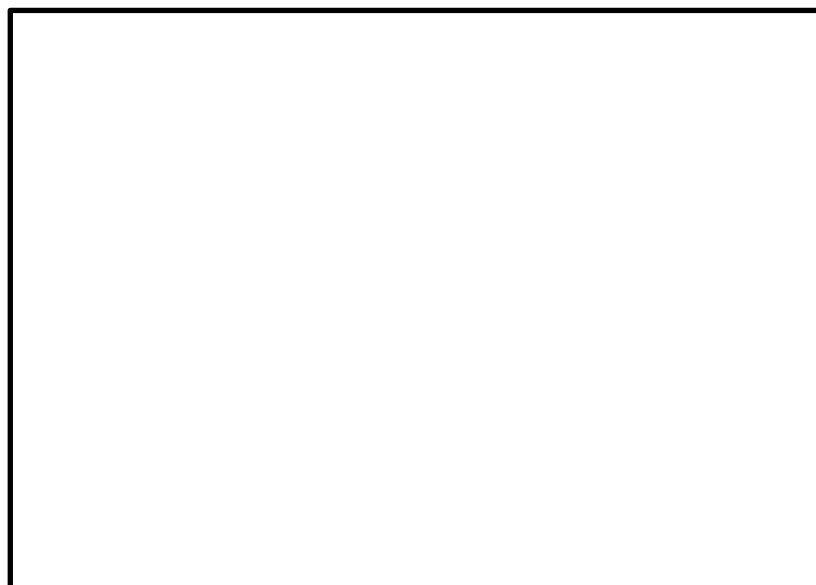


図 4.11-3 (4) 第1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (D-D断面)

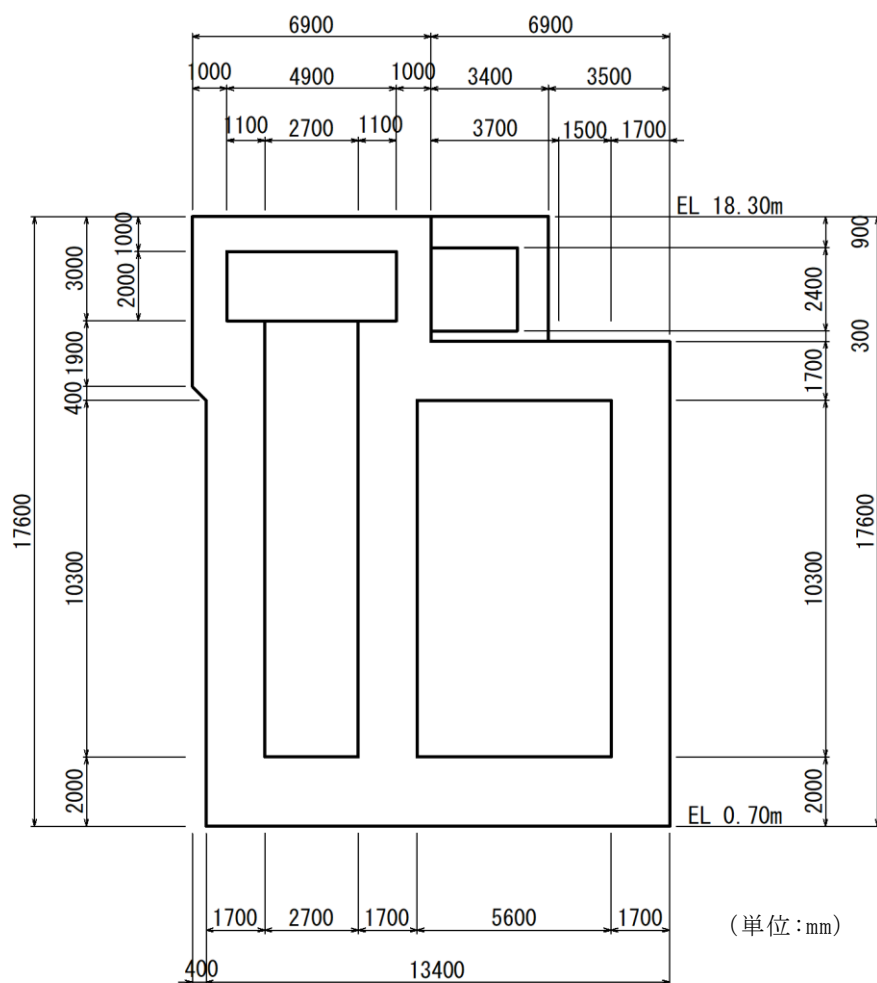


図 4.11-3 (5) 第1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (E-E断面)



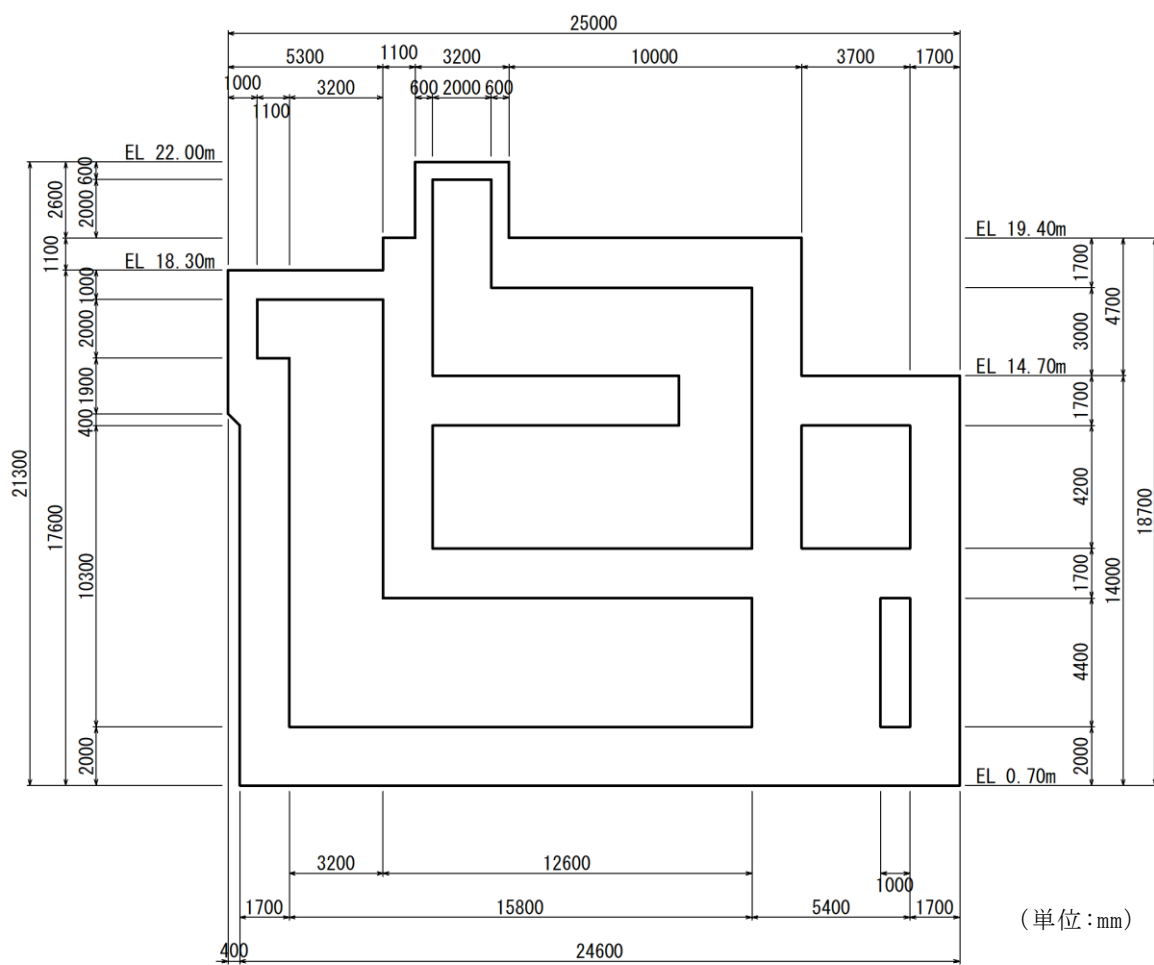


図 4.11-3 (6) 第1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (F-F 断面)

#### 4.11.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

第1ベントフィルタ格納槽は、幅24.6m（東西方向）×13.4m（南北方向）、高さ約18.7mの中壁、中床版を有する鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部及び原子炉建物との接続部を含む）構造物である。長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される妻壁同士の離隔が小さく強軸方向となるが、短辺方向（南北方向）に加振した場合は、耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく弱軸方向となる。

短辺方向（南北方向）では、A-A断面、B-B断面及びE-E断面はそれぞれの断面で中壁の有無及び中床版の設置レベルが異なる等の影響で剛性に差があり、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。

なお、各断面の奥行き方向について、部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一である。

D-D断面については、他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいが、配筋は同等である。

###### b. 周辺状況

第1ベントフィルタ格納槽の地質断面図を図4.11-4に示す。周辺状況として、MMRを介して十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に支持される。短辺方向（南北方向）については、ともに北側は埋戻コンクリートを介して原子炉建物に接しており、南側は安全対策工事に伴う掘削箇所となっている。また、地下構造は、北に緩やかに傾斜している。

長辺方向（東西方向）については、東側は埋戻コンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽と接しており、西側は置換コンクリートを介して補助消火水槽と接している。補助消火水槽はノンクラスの構造物であり、耐震性を説明しない構造物である。補助消火水槽の位置付けについて、参考資料5に示す。地下構造については、西側に第2層が分布しているが、おおむね第3層が一樣に分布している。

D-D断面については、第1ベントフィルタ格納槽と原子炉建物の接続部であり、周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれている。

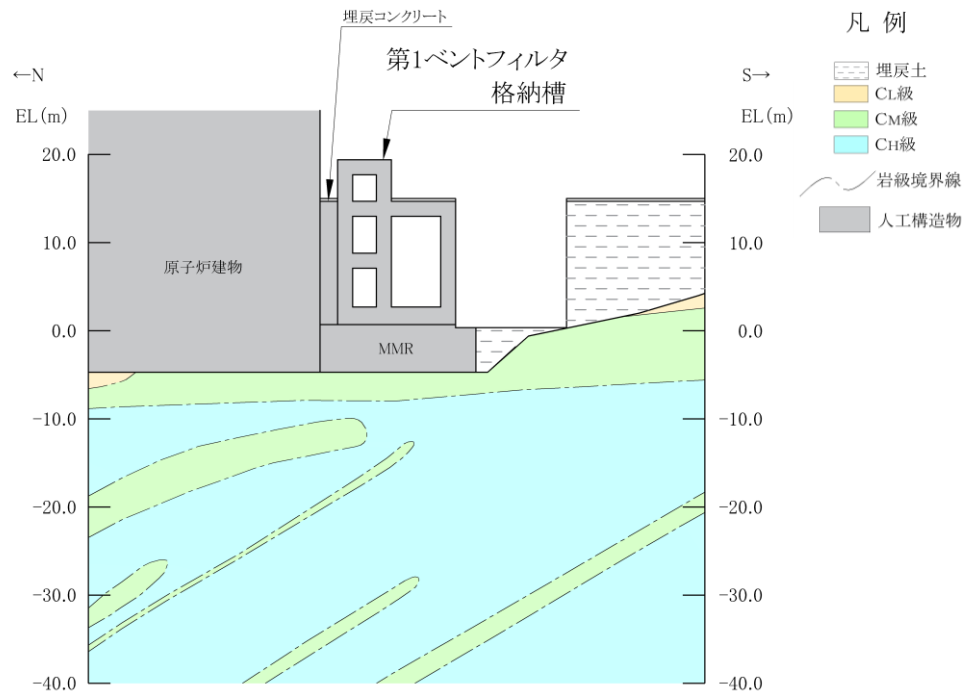
また、設計地下水位については、一樣に地表面で設定することから、断面選定の観点として周辺状況の影響を考慮する必要はない。

c. 間接支持される機器・配管系の有無

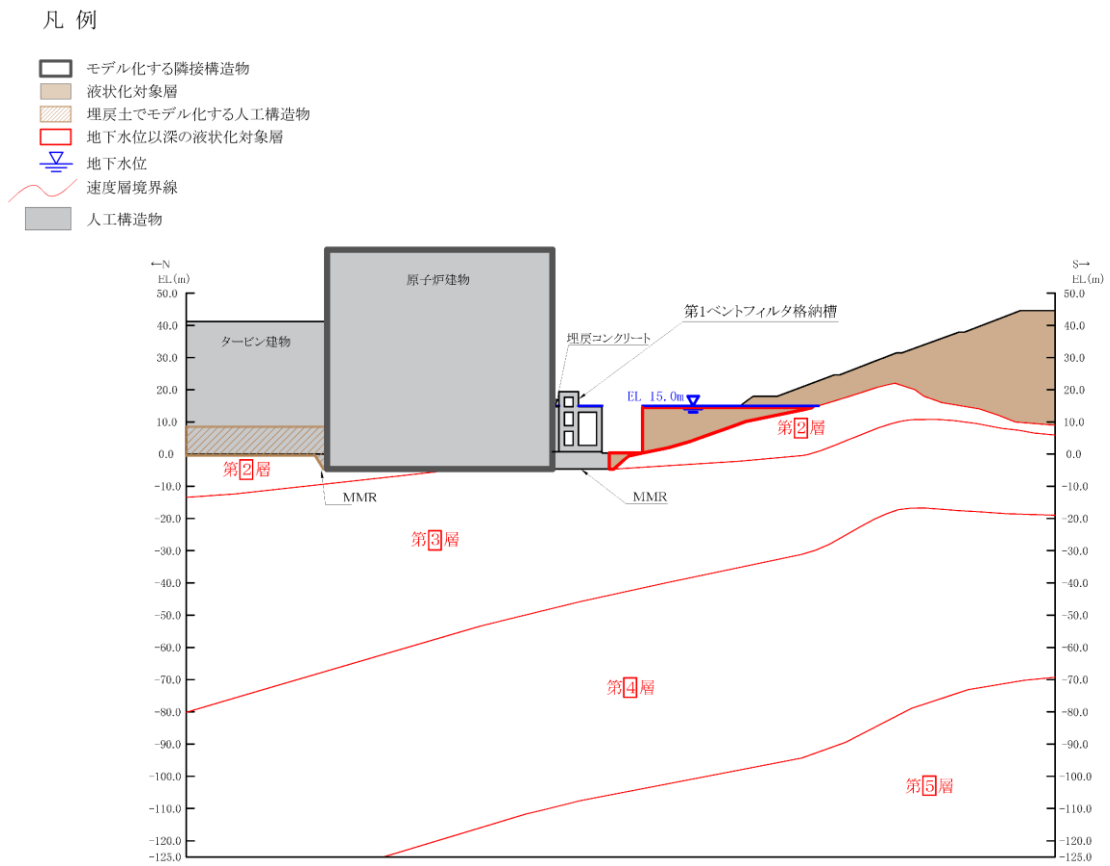
第1ベントフィルタ格納槽は、短辺方向（南北方向）及び長辺方向（東西方向）において第1ベントフィルタスクラバ容器等を間接支持する。また、接続部（D-D断面）において、格納容器フィルタベント系配管・弁を間接支持する。

d. 要求機能

第1ベントフィルタ格納槽は、短辺方向（南北方向）、長辺方向（東西方向）及び接続部（D-D断面）において支持機能が要求される。また、**すべて**の断面において遮蔽機能が要求される遮蔽壁及び遮蔽床を有している。図4.11-5に第1ベントフィルタ格納槽のうち遮蔽機能が要求される範囲を示す。

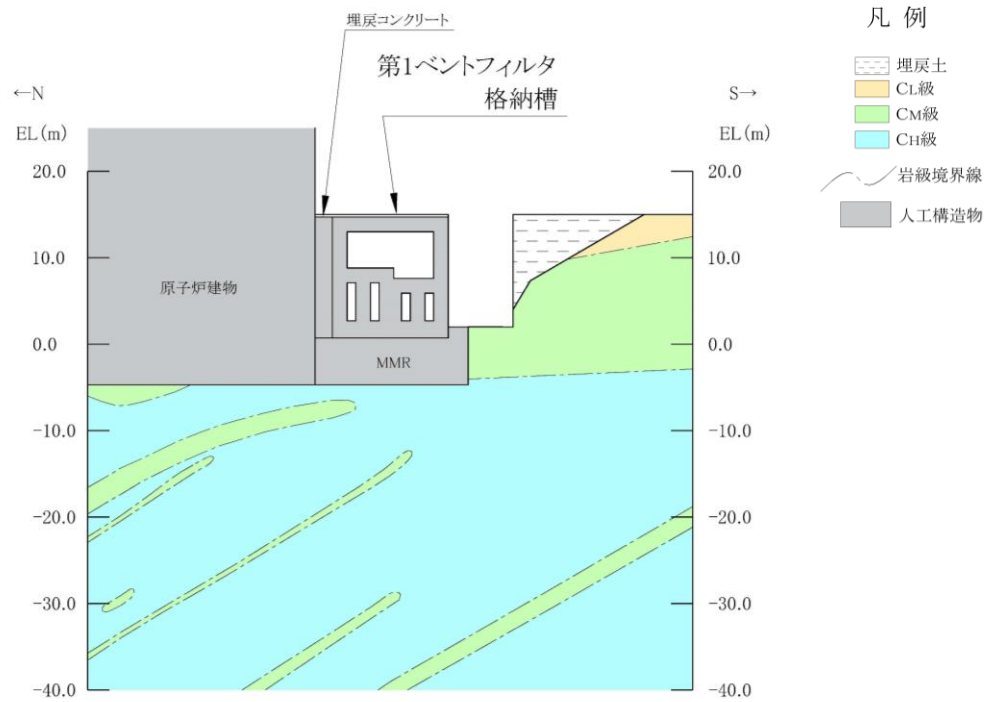


(岩級図)

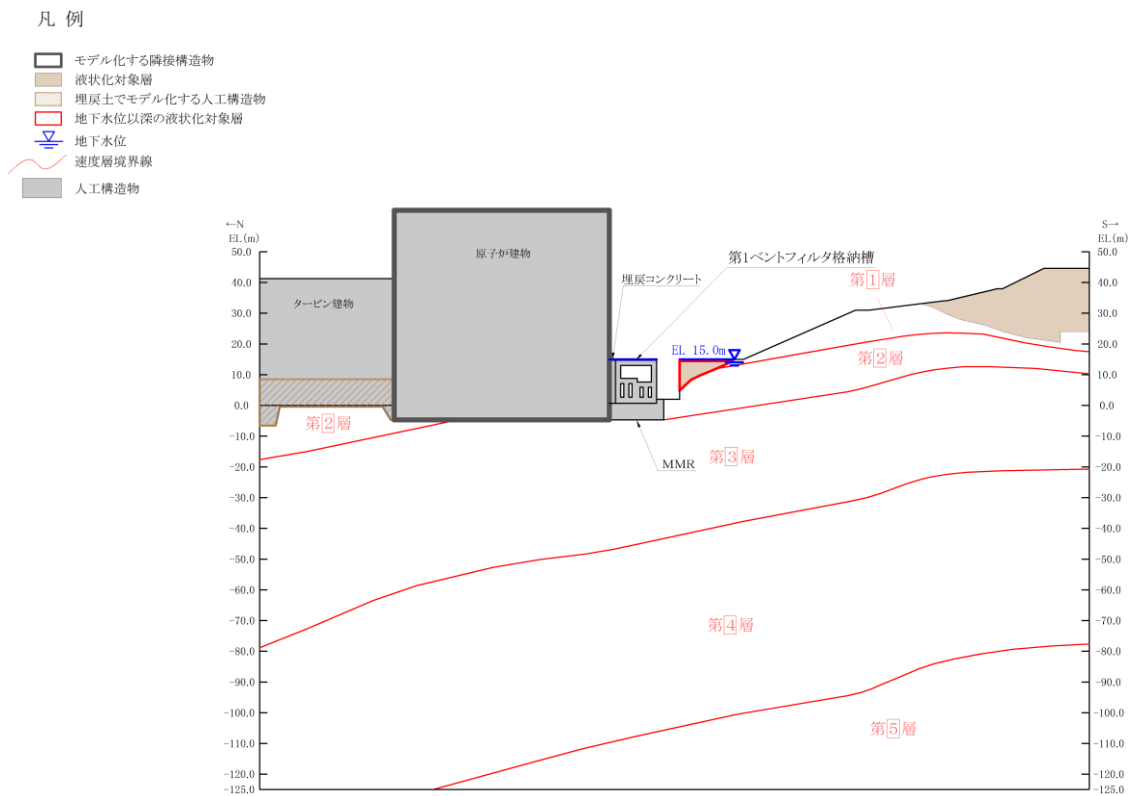


(速度層図)

図 4.11—4 (1) 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (A-A断面位置)



(岩級図)



(速度層図)

図 4.11—4 (2) 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (B-B断面位置)

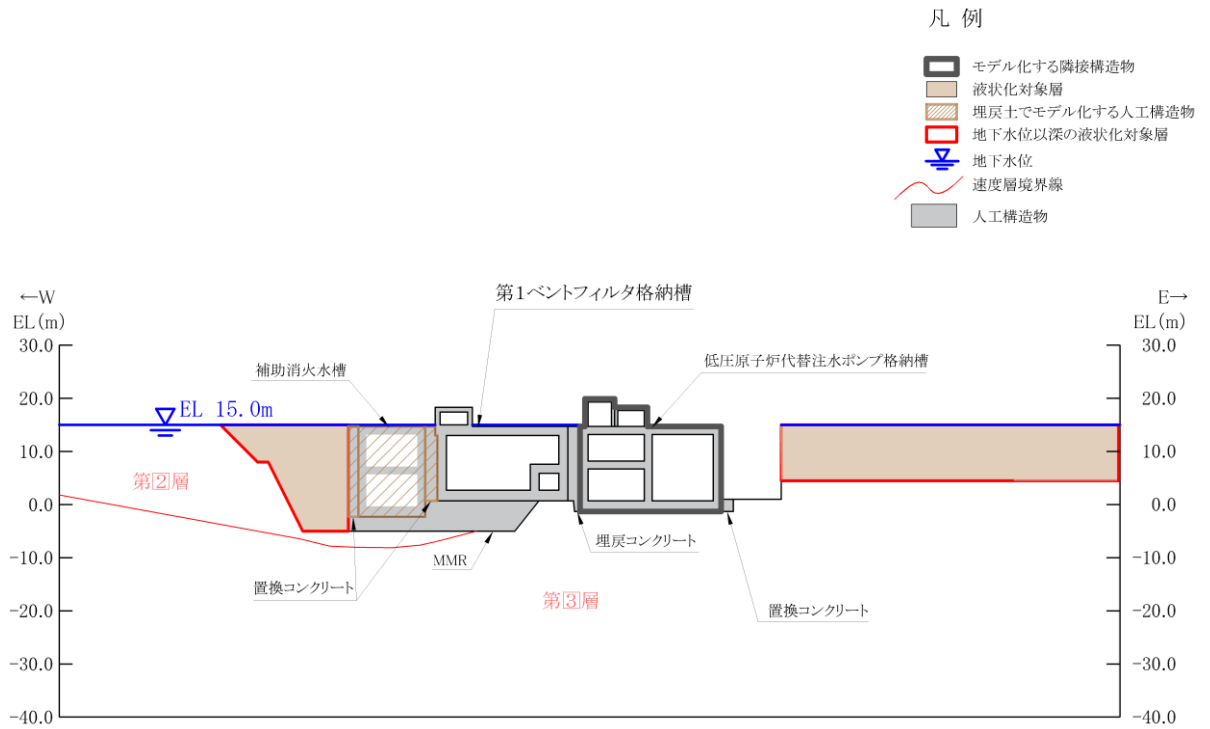
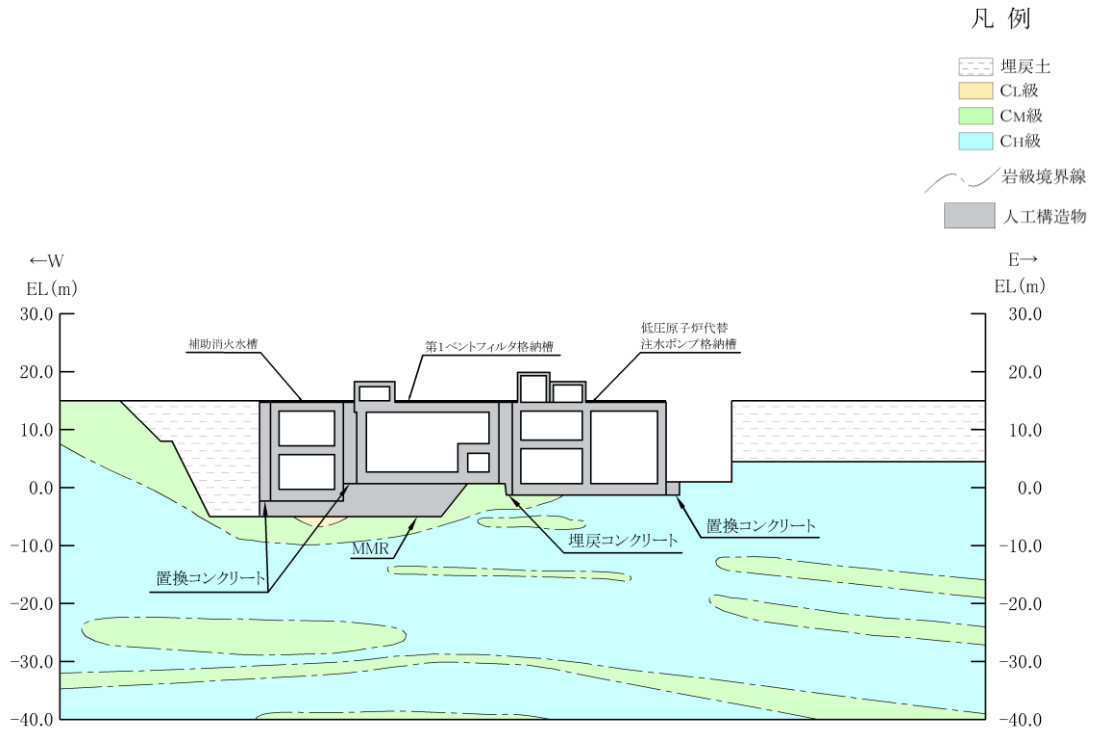
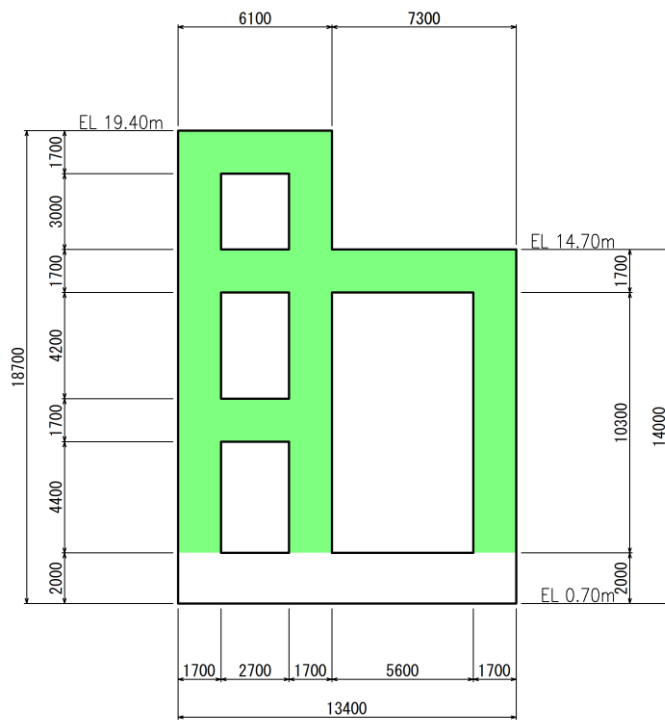


図 4.11—4 (3) 第 1 ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (C—C 断面位置)

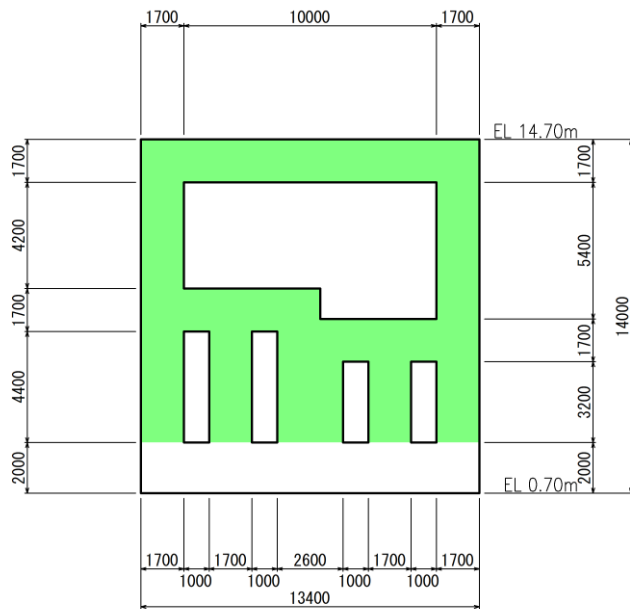


(単位:mm)

■ : 遮蔽壁又は遮蔽床

(第1ベントフィルタ格納槽遮蔽)

図 4.11—5 (1) 第1ベントフィルタ格納槽のうち遮蔽機能が要求される範囲 (A—A断面)

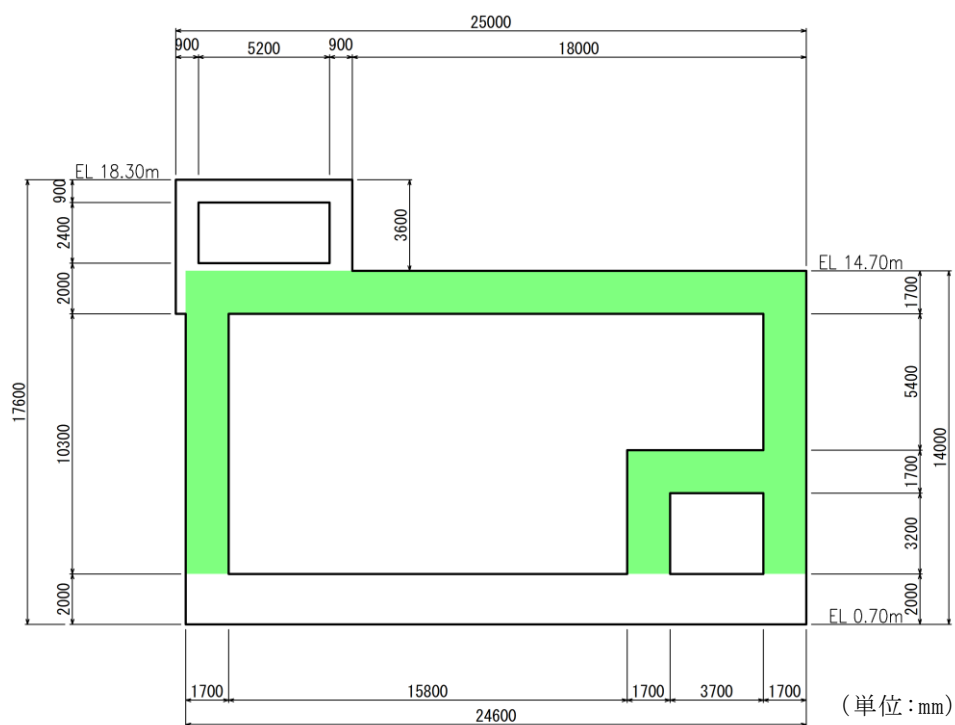


(単位:mm)

■ : 遮蔽壁又は遮蔽床

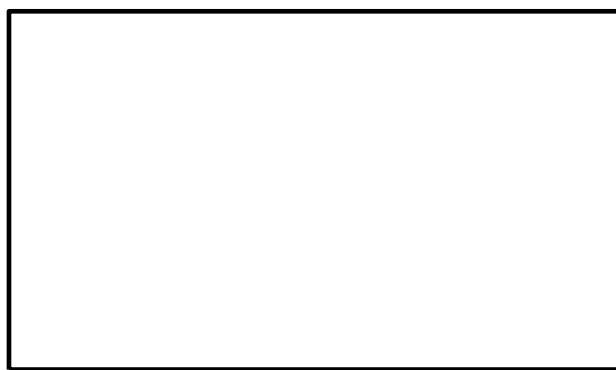
(第1ベントフィルタ格納槽遮蔽)

図 4.11—5 (2) 第1ベントフィルタ格納槽のうち遮蔽機能が要求される範囲 (B—B断面)



: 遮蔽壁又は遮蔽床  
 (第1 ベントフィルタ格納槽遮蔽)

図 4.11—5 (3) 第1 ベントフィルタ格納槽のうち遮蔽機能が要求される範囲  
 (C—C断面)



: 遮蔽壁又は遮蔽床 (配管遮蔽)

図 4.11—5 (4) 第1 ベントフィルタ格納槽のうち遮蔽機能が要求される範囲  
 (D—D断面)



(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.11.1 (1) 候補断面の整理より，加振方向に平行な部材全体を耐震設計上見込むことが出来ず，弱軸方向となる短辺方向から選定する。銀ゼオライト容器エリアにおいてはB－B断面を選定し，スクラバ容器エリアについては平均的な断面であるA－A断面を選定する。

長辺方向については，妻壁間の距離が大きいC－C断面を選定し，短辺方向で評価できない部材（隔壁及び側壁）についても，耐震安全性を網羅的に確認する。

D－D断面については，周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれていることに加え，他の断面と比較して部材厚に対する内空は小さいが，配筋は同等であるため，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 4.11-1 に示す。

表 4.11-1 第1ベントフィルタ格納槽 評価対象断面の選定結果

位置・エリア	a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果	
南北方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部を含む）構造物であり、中壁、中床版を有する。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>北側は埋戻しコンクリートを介して原子炉建物に接しており、南側は安全対策工事に伴う掘削箇所となっている。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1ベントフィルタスクラバ容器</li> <li>圧力解放板</li> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁他</li> </ul>	支持機能 遮蔽機能*	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>B-B断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	E-E断面	同上	同上	同上	同上	スクラバ容器エリアの平均的な断面であるA-A断面に包括されるため、評価対象断面として選定しない。
	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、中壁、中床版等を有する。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1ベントフィルタスクラバ容器</li> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁他</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>A-A断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
東西方向	C-C断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部及び原子炉建物との接続部を含む）構造物であり、中壁、中床版等を有する。</li> <li>側壁が耐震要素として機能するため、強軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>東側は埋戻しコンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽と接しており、西側は置換コンクリートを介して補助消火水槽と接している。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1ベントフィルタスクラバ容器</li> <li>圧力解放板</li> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器・配管系への応答加速度の観点より床応答算定断面として選定する。</li> <li>構造上の強軸方向であるが、弱軸方向断面で評価できない部材（強軸方向の側壁等）についても、弱軸方向断面と同様に評価対象とする。</li> </ul>
	F-F断面	同上	同上	同上	同上	構造上の強軸方向であるが、妻壁間の距離が大きいC-C断面に包括されるため、評価対象として選定しない。
	D-D断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、第1ベントフィルタ格納槽と原子炉建物の接続部である。</li> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいが、配筋は同等である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>周囲全周を埋戻しコンクリートで囲まれている。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいため、耐震評価上有利と考えられることから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>

注記\*：第1ベントフィルタ格納槽の一部は、遮蔽機能を要求される第1ベントフィルタ格納槽遮蔽又は配管遮蔽であり、その範囲を図4.11-5に示す。

#### 4.11.2 解析手法の選定

南北方向については、北側は埋戻コンクリートを介して原子炉建物、南側は安全対策工事に伴う掘削箇所と接しており、施設周辺に液状化対象層が存在しないことから、解析手法のフローに基づき、「②全応力解析」を選定する。

東西方向については、東側は埋戻コンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽と接しており、西側は置換コンクリートを介して補助消火水槽と接している。なお、補助消火水槽は耐震性を説明しない構造物であるため、保守的に埋戻土としてモデル化する。

以上より、東西方向の断面においては、施設近傍で液状化が発生する可能性があることから、「⑤有効応力解析」を選定する。

なお、弱軸方向断面における耐震評価においては、機器・配管系への影響検討として、妻壁の剛性を考慮したモデルにおける解析も実施する。さらに、強軸方向断面においては、機器・配管系に対する床応答の算定に加え、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の観点も踏まえ、妻壁の耐震評価（面内）を実施し、その結果を「補足-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」に示す。

上記に加え、安全対策工事着工前の周辺地盤状況を踏まえた断面選定及び解析手法の選定について、参考資料6に示す。

#### 4.12 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の断面選定の考え方

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、常設重大事故等対処設備である低圧原子炉代替注水ポンプ等を間接支持しており、支持機能が要求される。また、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の一部である低圧原子炉代替注水槽については、貯水機能が要求される。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の配置図を図 4.12-1 に、平面図を図 4.12-2 に、断面図を図 4.12-3 に示す。

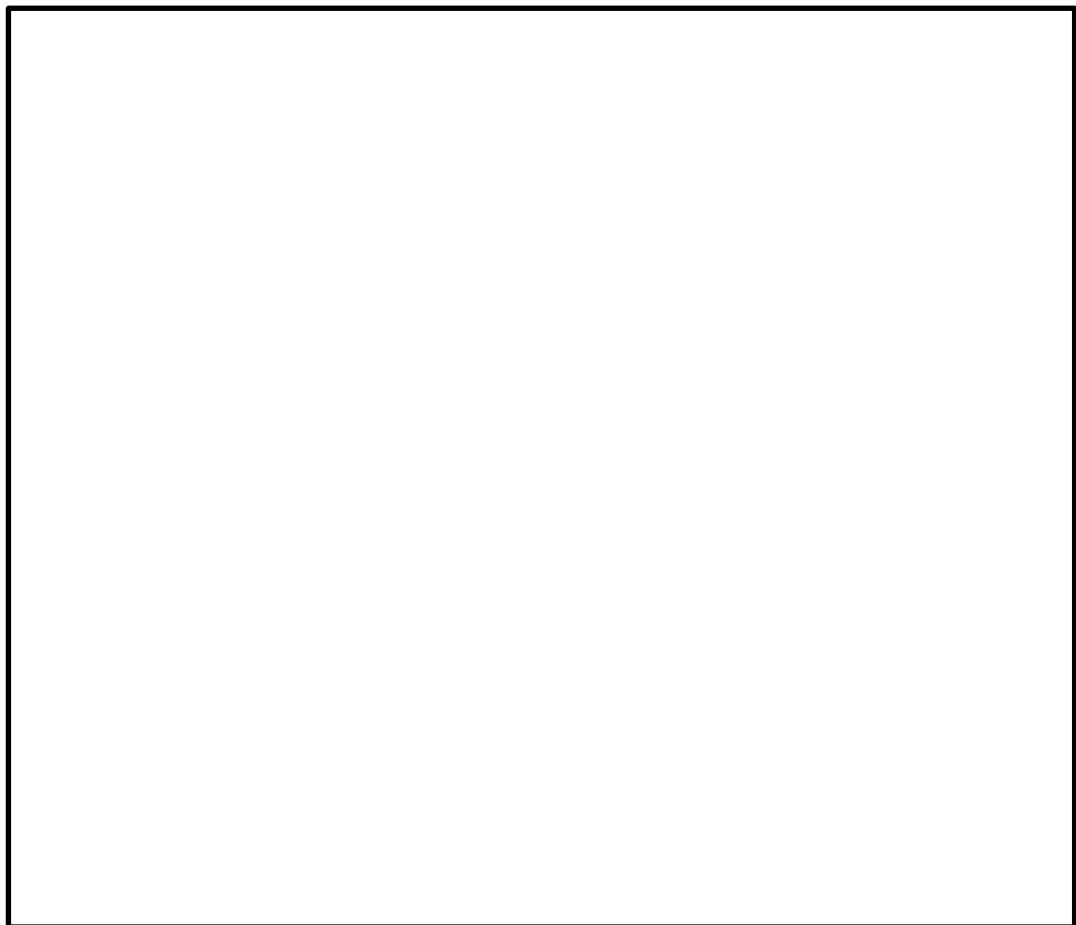


図 4.12-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 配置図

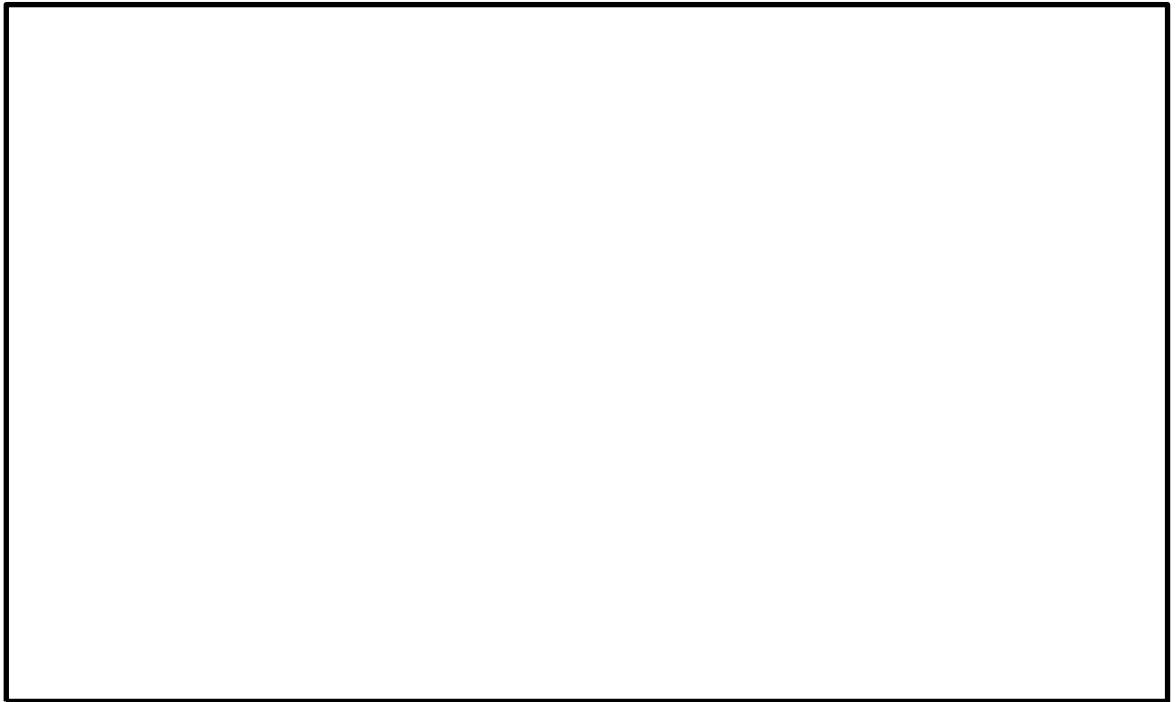


図 4.12-2 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

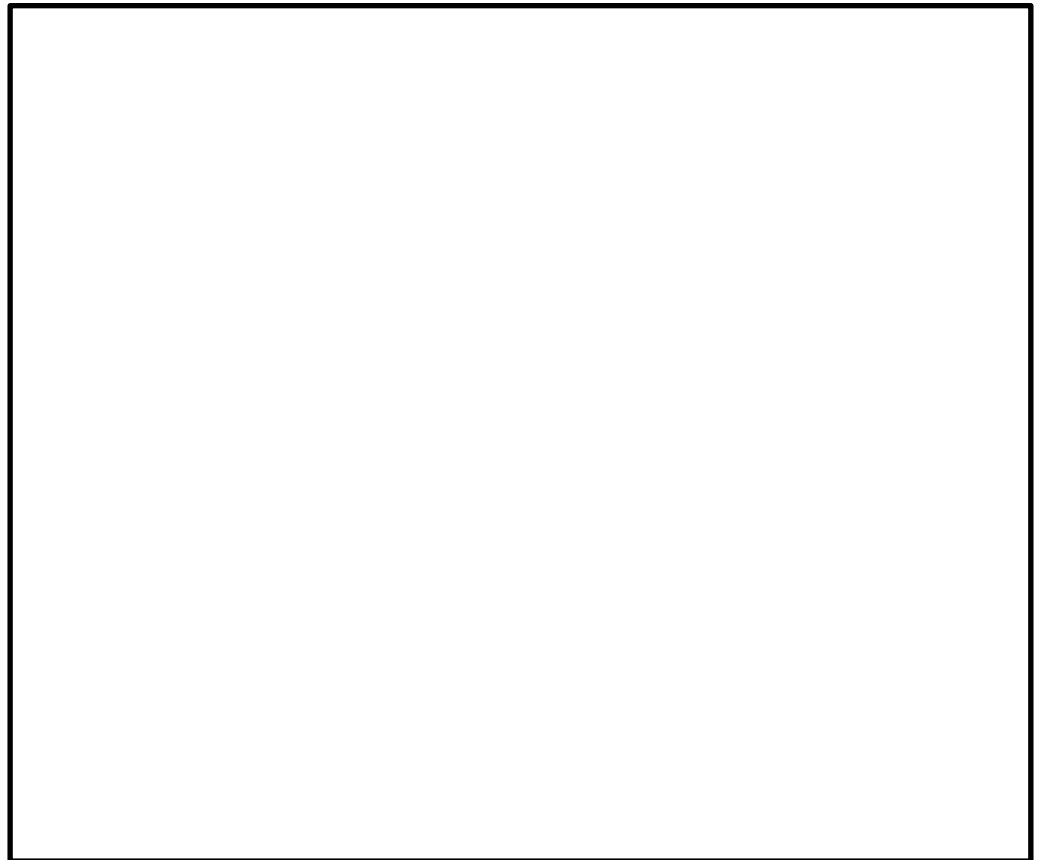


図 4.12-3 (1) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A断面)

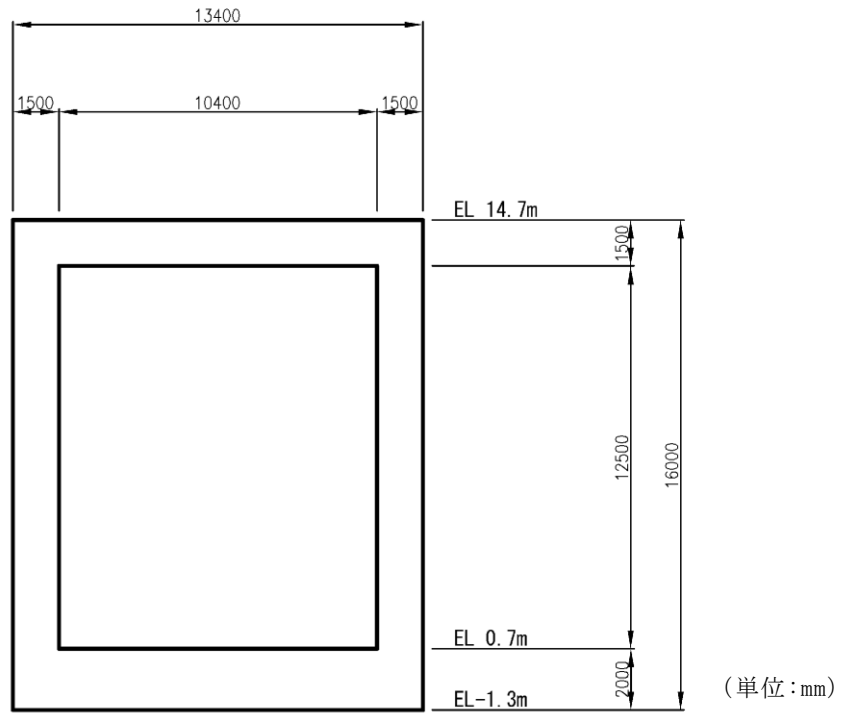


図 4.12-3 (2) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B 断面)

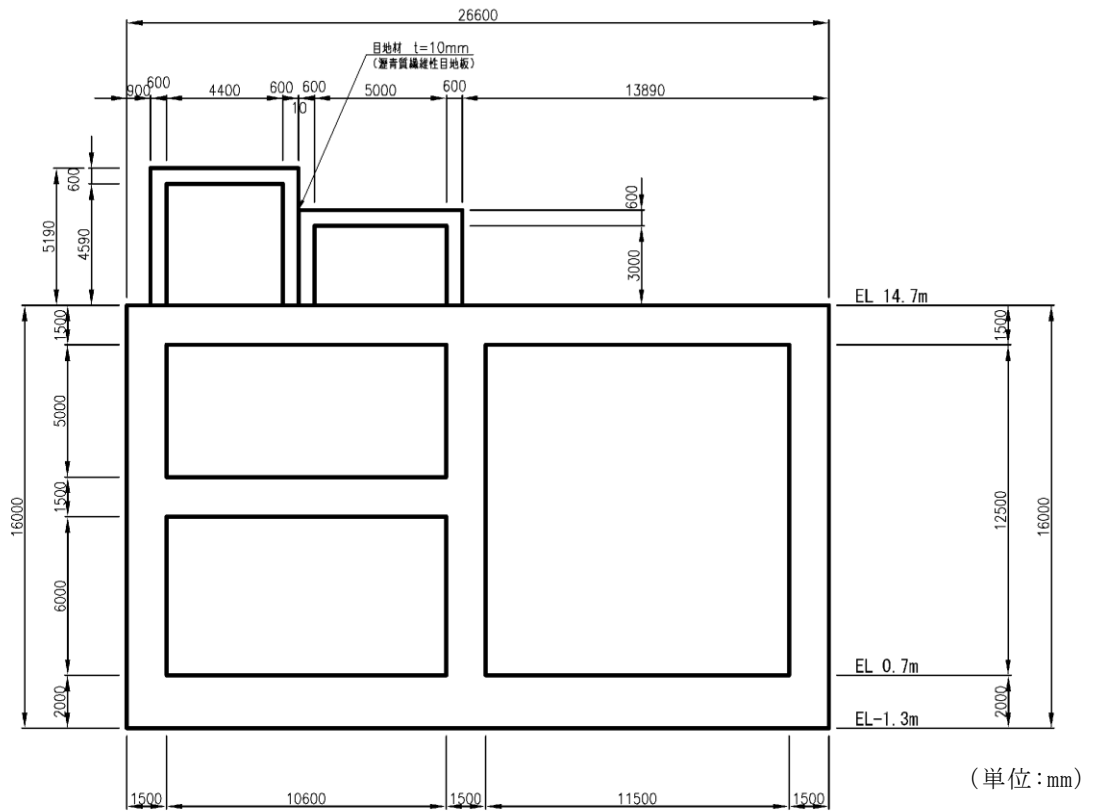


図 4.12-3 (3) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C 断面)

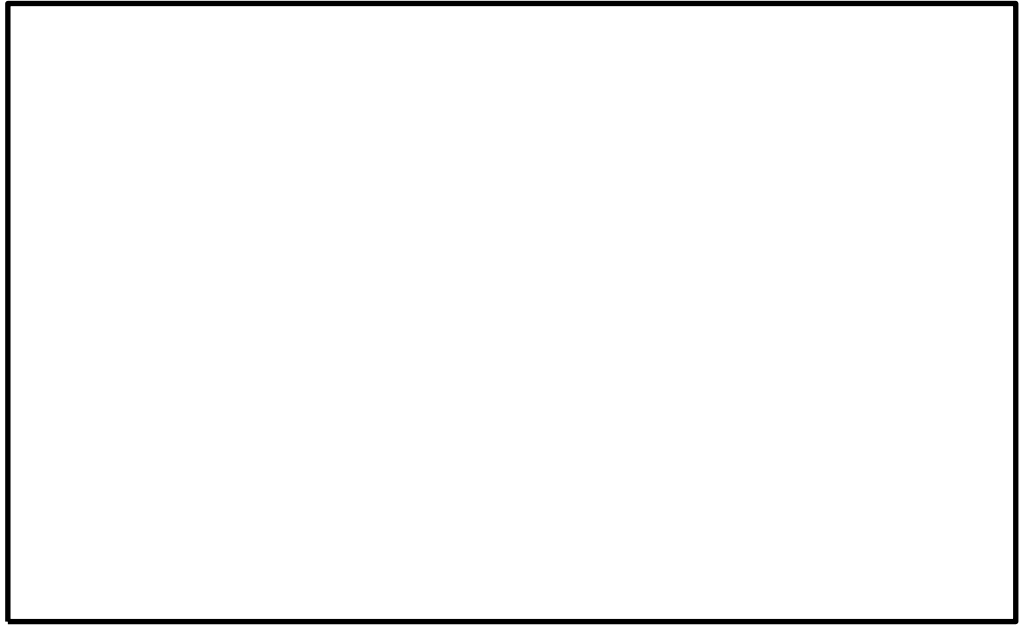


図 4.12-3 (4) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (D-D断面)

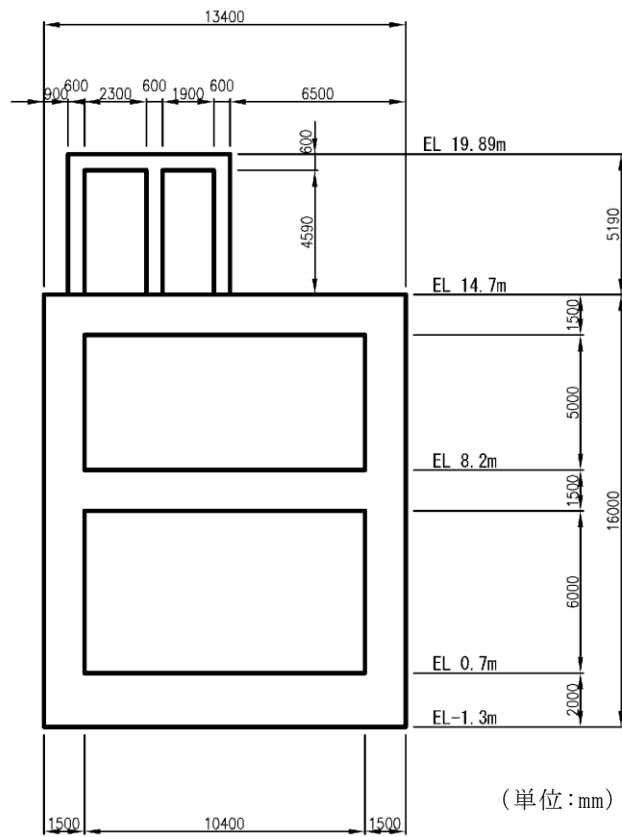


図 4.12-3 (5) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (E-E断面)

#### 4.12.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、低圧原子炉代替注水槽を有し、低圧原子炉代替注水ポンプ等を間接支持する幅 26.6m（東西方向）×13.4m（南北方向）、高さ約 21.2m の鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部及び原子炉建物との接続部を含む）構造物である。長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される妻壁同士の離隔が小さく強軸方向となるが、短辺方向（南北方向）に加振した場合は、耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく、弱軸方向となる。

短辺方向（南北方向）では、中床版を有する A-A 断面及び E-E 断面と矩形構造である B-B 断面では剛性に差があり、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。

なお、各断面の奥行き方向について、部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一である。

D-D 断面については、他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいが、配筋は同等である。

A-A 断面と E-E 断面は、地中部は同様の構造であるが、地上部の構造が異なる。

###### b. 周辺状況

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地質断面図を図 4.12-4 に示す。周辺状況として、C<sub>M</sub>級又は C<sub>H</sub>級岩盤に直接支持される。また、南北方向（A-A 断面及び B-B 断面）の地下構造は、北に緩やかに傾斜しており、東西方向（C-C 断面及び D-D 断面）の地下構造については、第 3 層が一様に分布している。

A-A 断面、B-B 断面及び E-E 断面は、埋戻コンクリートを介して北側に原子炉建物が隣接し、南側は安全対策工事に伴う掘削箇所と接している。C-C 断面は、西側に埋戻コンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である第 1 ベントフィルタ格納槽と接しており、東側は安全対策工事に伴う掘削箇所と接している。

D-D 断面については、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽と原子炉建物の接続部であり、周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれている。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の設計地下水位は、一様に地表面で設定することから、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。

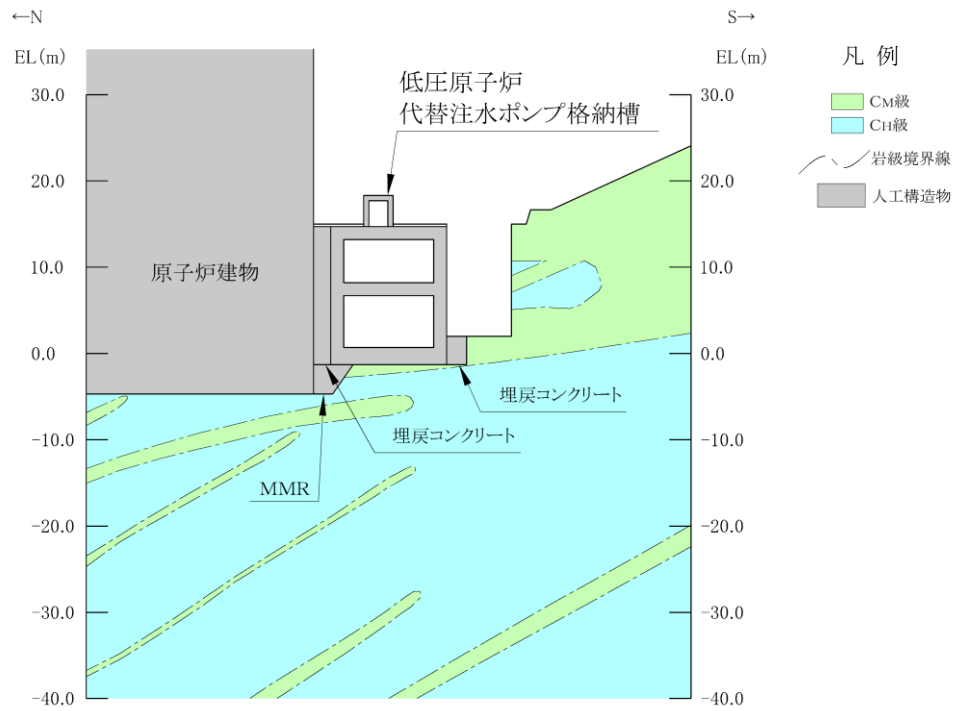


c. 間接支持される機器・配管系の有無

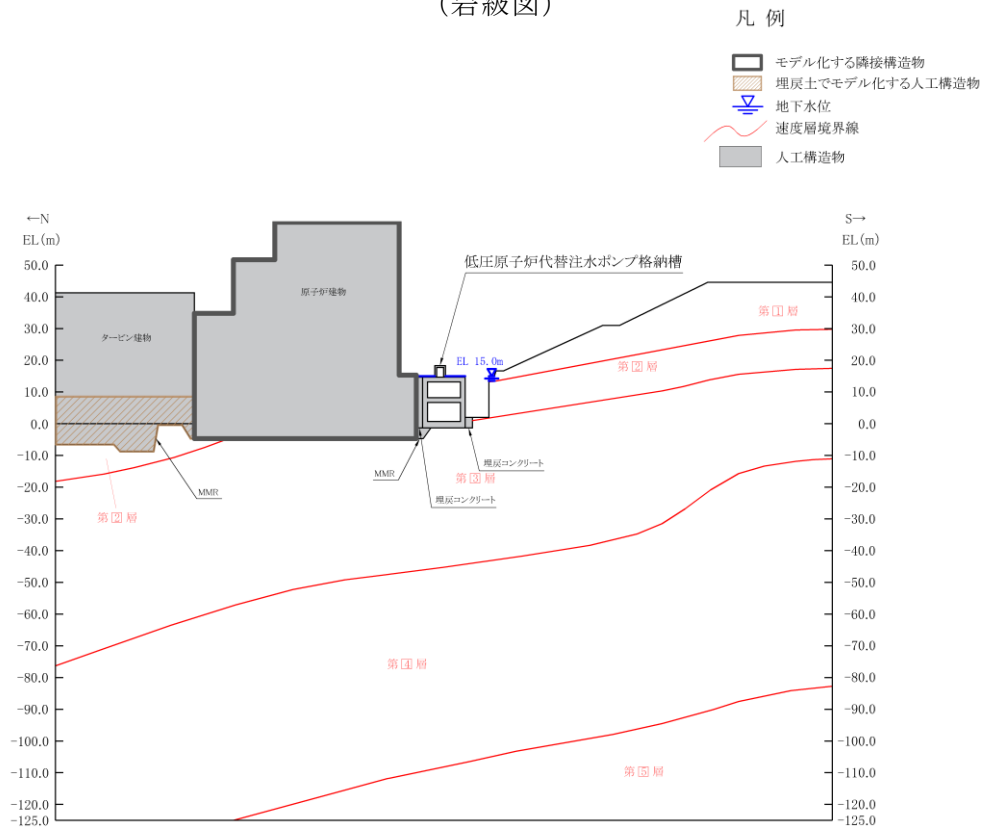
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、短辺方向（南北方向）及び長辺方向（東西方向）において低圧原子炉代替注水ポンプ等を支持している。また、接続部（D-D断面）において、低圧原子炉代替注水系配管・弁を間接支持する。

d. 要求機能

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、支持機能が要求される。また、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の一部である低圧原子炉代替注水槽（B-B断面）については、貯水機能が要求される。

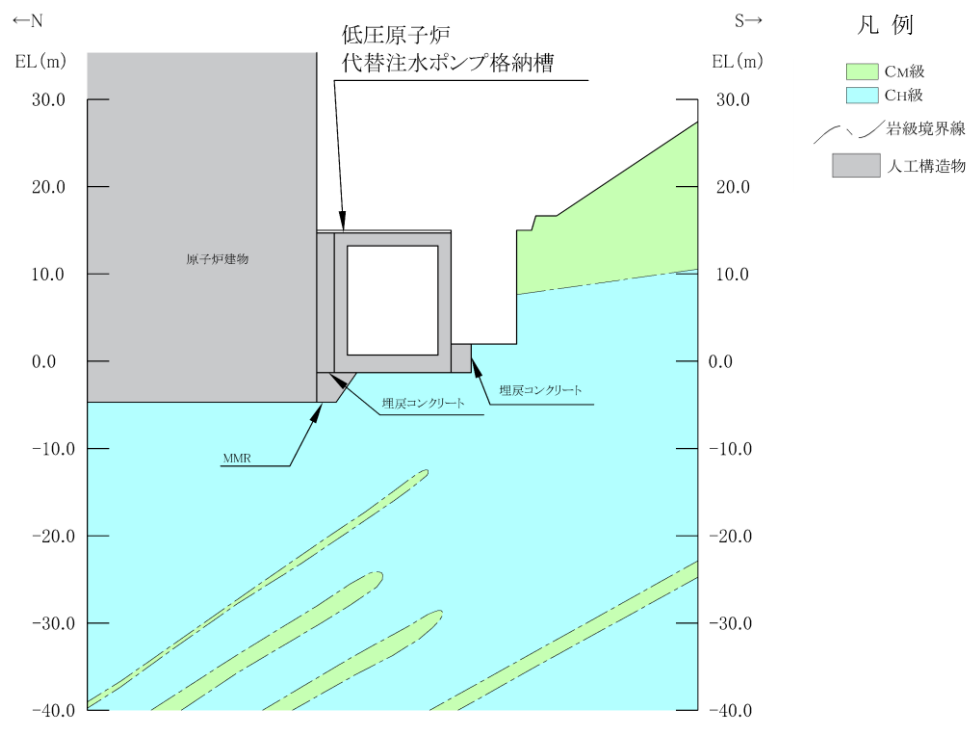


(岩級図)

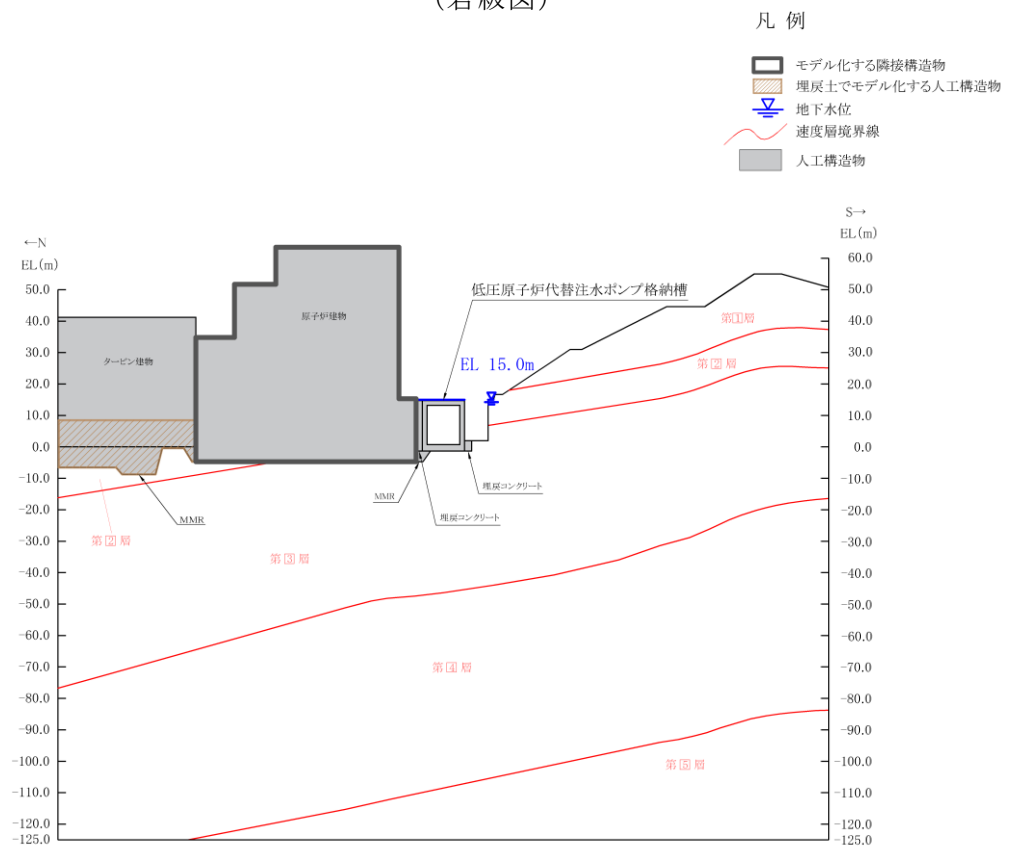


(速度層図)

図 4.12-4 (1) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (A-A 断面位置)

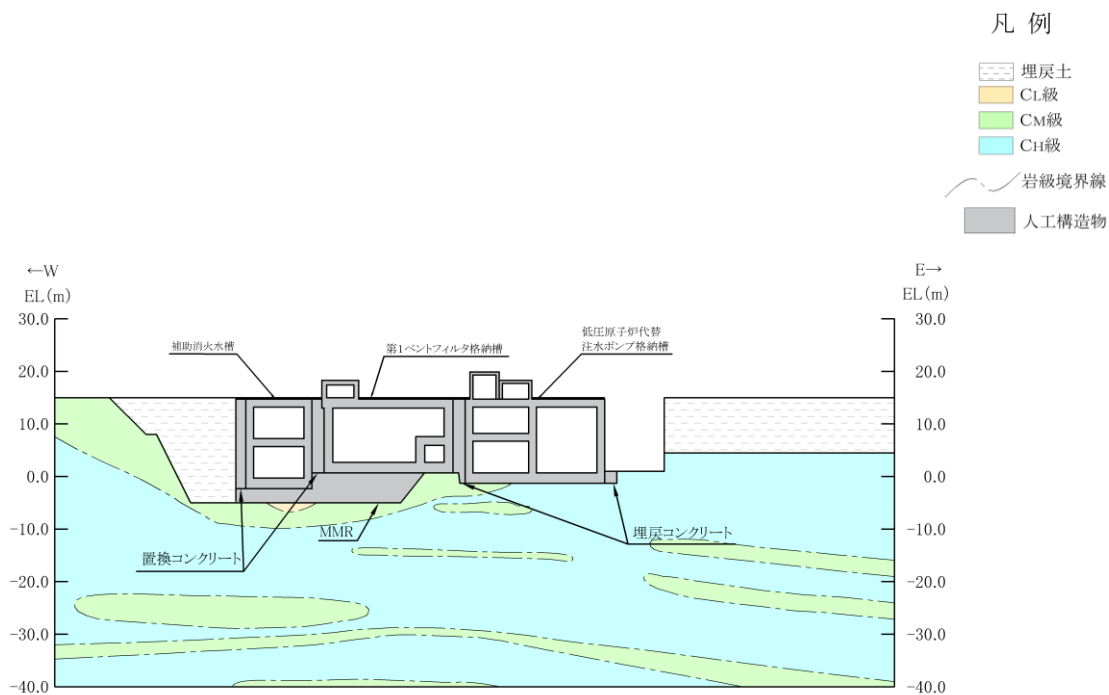


(岩級図)

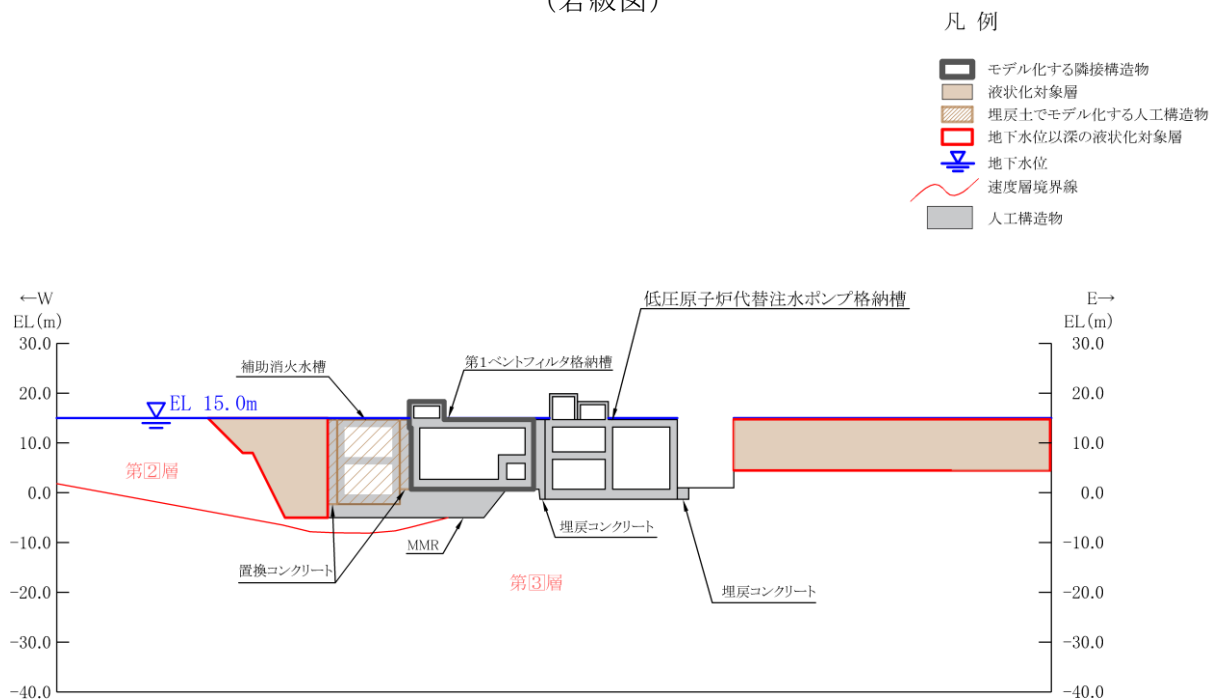


(速度層図)

図 4.12-4 (2) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (B-B 断面位置)



(岩級図)



(速度層図)

図 4.12-4 (3) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (C-C断面位置)

(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.12.1 (1) 候補断面の整理より、耐震要素として機能する面部材が少なく、明確な弱軸方向となる横断方向のA-A断面及びB-B断面は、それぞれの断面で剛性に差があり、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ため、A-A断面及びB-B断面を評価対象断面として選定する。また、機器・配管系への応答加速度の観点より、構造上の強軸方向となる長辺方向のC-C断面を床応答算定断面として選定する。

なお、長辺方向は構造上の強軸方向であるが、弱軸方向断面で評価できない部材（強軸方向の妻壁等）についても、弱軸方向断面と同様に評価対象とする。

D-D断面については、周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれていることに加え、他の断面と比較して部材厚に対する内空は小さいが、配筋は同等であるため、評価対象断面として選定しない。

A-A断面とE-E断面は地上部の構造が異なるが、A-A断面のほうが設置される機器・配管荷重が大きく、常設重大事故等対処設備が設置される地中部に及ぼす影響が大きいと考えられるため、E-E断面は選定しない。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.12-1に示す。

表 4.12-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面の選定結果

位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する 主な設備	d. 要求 機能	選定結果
南北 方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部含む）構造物であり、中床版を有する。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に直接支持される。</li> <li>埋戻コンクリートを介して北側に周辺構造物（原子炉建物）が、南側は安全対策工事に伴う掘削箇所となっている。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低圧原子炉代替注水ポンプ</li> <li>低圧原子炉代替注水系配管・弁他</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>B-B断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、短形構造である。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	同上	なし*	貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>A-A断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	E-E断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>A-A断面と同様であるが、地上部の構造のみ異なる。</li> </ul>	A-A断面と同様	A-A断面と同様	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>A-A断面と比較して、地上部で考慮する機器・配管荷重が小さいことから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>
東西 方向	C-C断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部を含む）構造物であり、中床版を有する。</li> <li>側壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に直接支持される。</li> <li>埋戻コンクリートを介して西側は第1ベントフィルタ格納槽と接しており、東側は安全対策工事に伴う掘削箇所となっている。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低圧原子炉代替注水ポンプ</li> <li>低圧原子炉代替注水系配管・弁他</li> </ul>	支持機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器・配管系への応答加速度の観点より床応答算定断面として選定する。</li> <li>構造上の強軸方向であるが、弱軸方向断面で評価できない部材（強軸方向の側壁等）についても、弱軸方向断面と同様に評価対象とする。</li> </ul>
	D-D断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽と原子炉建物の接続部である。</li> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいが、配筋は同等である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれている。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低圧原子炉代替注水系配管・弁他</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいため、耐震評価上有利と考えられることから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>

注記\*：B-B断面は鉄筋コンクリート構造物そのものが重大事故等対処設備である低圧原子炉代替注水槽である。

#### 4.12.2 解析手法の選定

南北方向及び東西方向において、一方は埋戻コンクリートを介して原子炉建物、もう一方は安全対策工事に伴う掘削箇所と接しており、施設周辺に液状化対象層が存在しないことから、解析手法の選定フローに基づき「②全応力解析」を選定する。

なお、弱軸方向断面における耐震評価においては、機器・配管系への影響検討として、妻壁の剛性を考慮したモデルにおける解析も実施する。さらに、強軸方向断面においては、機器・配管系に対する床応答の算定に加え、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の観点も踏まえ、妻壁の耐震評価（面内）を実施し、その結果を「補足-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」に示す。

上記に加え、安全対策工事着工前の周辺地盤状況を踏まえた断面選定及び解析手法の選定について、参考資料6に示す。

#### 4.13 緊急時対策所用燃料地下タンクの断面選定の考え方

緊急時対策所用燃料地下タンクは、鉄筋コンクリート躯体及びライナ（鋼製タンク）で構成され、非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される構造物である。要求機能を期待する部位は、ライナ（鋼製タンク）であり、燃料の漏出を抑制するため貯水機能相当\*が要求される。なお、緊急時対策所用燃料地下タンクに設備として要求される事項として、「A-ディーゼル燃料貯蔵タンクと共通要因によって同時に機能を損なわないよう、位置的分散を図る設計とする」等があり、緊急時対策所の基本設計方針等に記載している。

緊急時対策所用燃料地下タンクの配置図を図 4.13-1 に、平面図を図 4.13-2 に、断面図を図 4.13-3 に示す。

注記\*：貯水機能は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」において、重大事故等時に熔融炉心の冷却水を確保するための設備に対して貯水機能を確保し、漏えいを防止することと定義されている。緊急時対策所用燃料地下タンクの要求機能はこれに該当するものではないが、重大事故等時に燃料の漏出を防止する観点から、貯水機能と同等の機能を維持するものとし、要求機能を「貯水機能相当」と表現する。

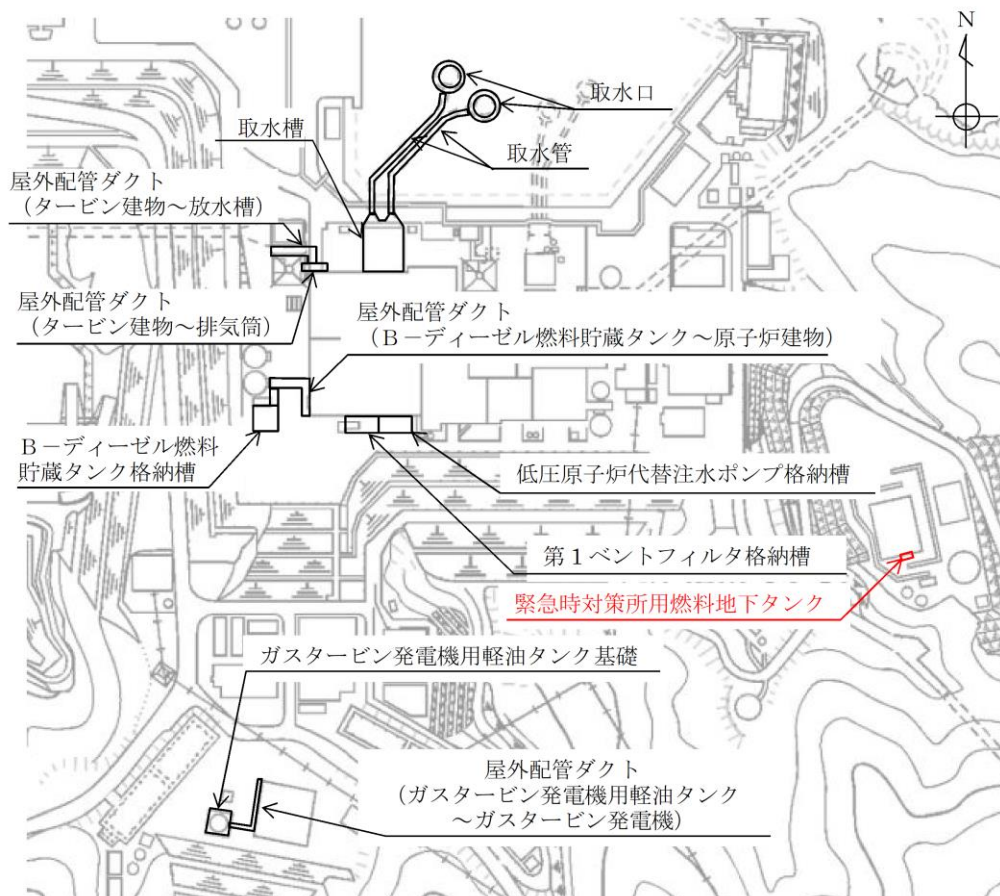


図 4.13-1 緊急時対策所用燃料地下タンク 配置図



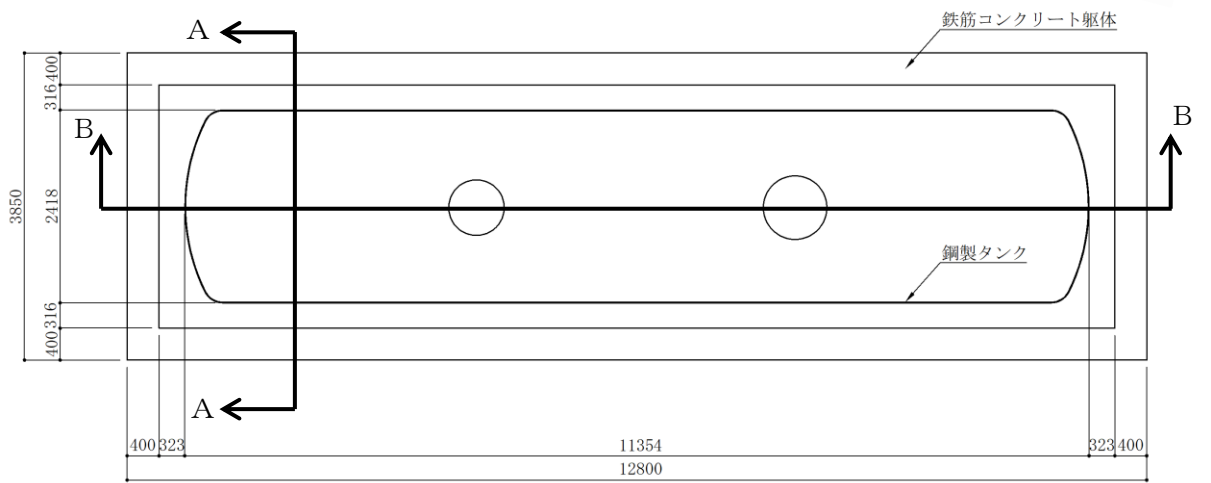


図 4.13-2 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図 (単位: mm)

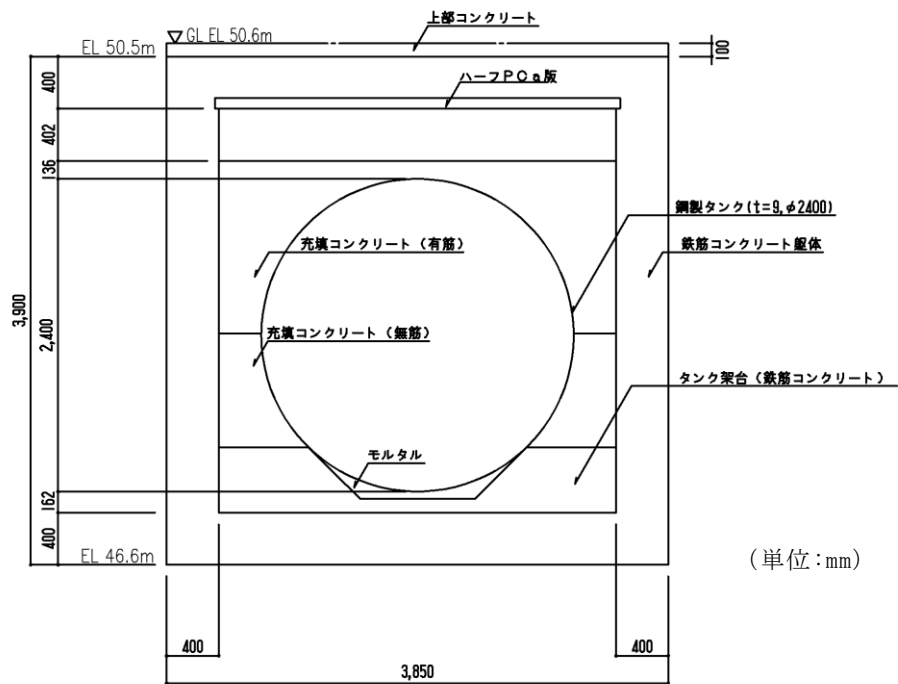
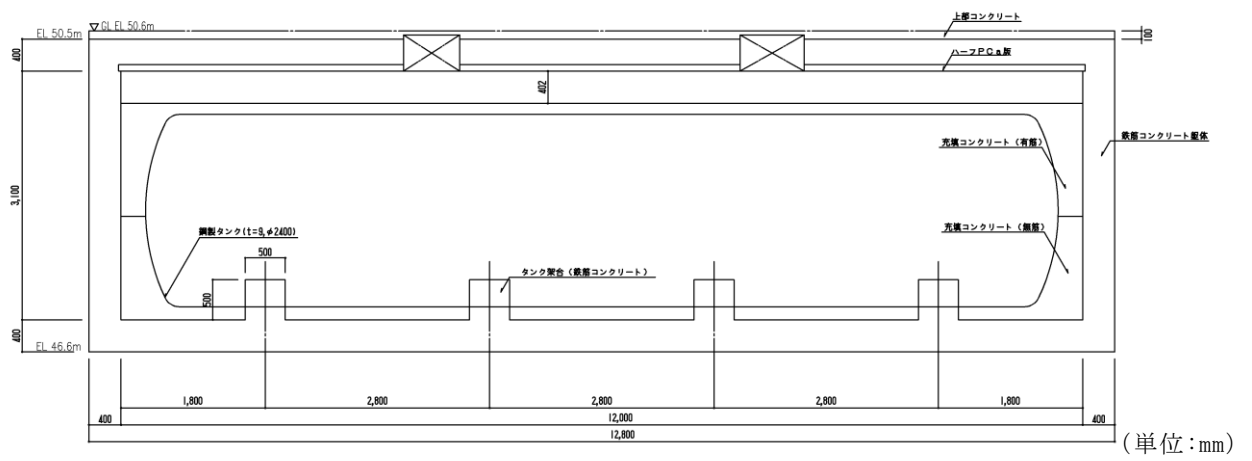


図 4.13-3 (1) 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (A-A断面)



#### 4.13.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

緊急時対策所用燃料地下タンクは、延長 12.8m、幅 3.85m、高さ 3.9m の鉄筋コンクリート造で鋼製タンク（ $t=9\text{mm}$ 、 $\phi=2400\text{mm}$ ）を内包する地中構造物である。

長辺方向に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される妻壁同士の離隔が小さく強軸方向となるが、短辺方向に加振した場合は、耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく弱軸方向となる。

また、短辺方向・長辺方向ともに軸心を中心とする対称性を有しており、各断面の奥行き方向について、部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一である。

###### b. 周辺状況

緊急時対策所用燃料地下タンクの地質断面図を図 4.13-4 に示す。周辺状況として、 $C_H \sim C_L$  級岩盤に直接支持される。また、南北方向（A-A 断面）及び東西方向（B-B 断面）の地下構造については、第 2 層が一様に分布する。

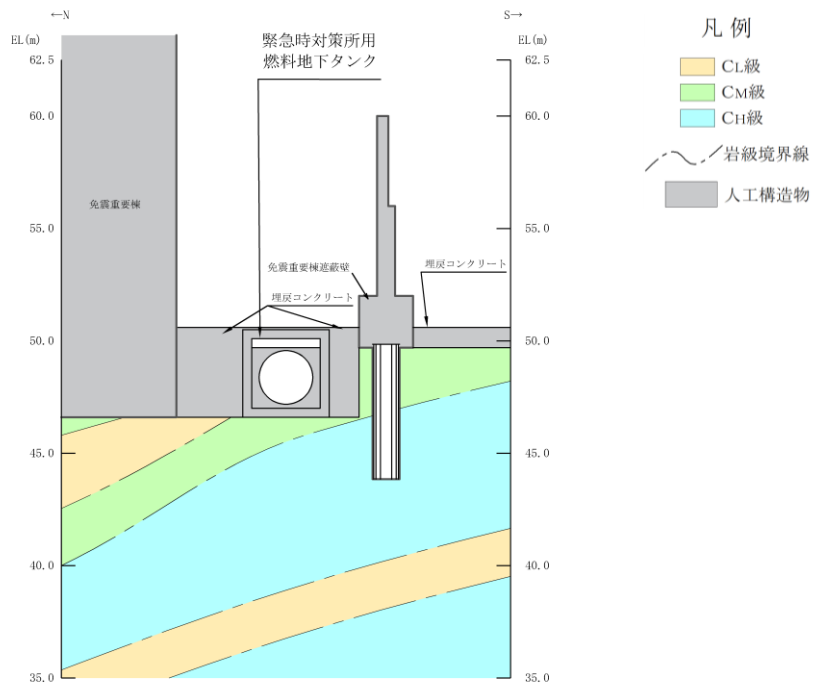
A-A 断面は、北側は埋戻コンクリートを介して免震重要棟と接しており、南側は埋戻コンクリートを介して岩盤が分布し、一部免震重要棟遮蔽壁に接している。B-B 断面は、置換コンクリートを介してノンクラス構造物である浄化槽等と接しており、その外側は埋戻土や置換コンクリートが主として分布する。周辺の地下水位は、構造物底版より十分に低くほぼ一様に分布している。

###### c. 間接支持される機器・配管系の有無

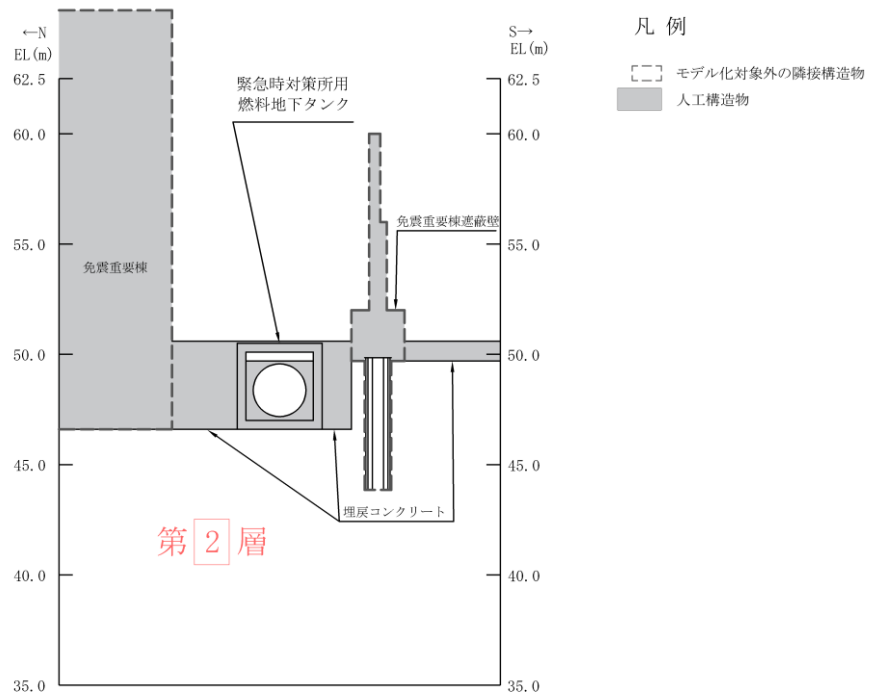
緊急時対策所用燃料地下タンクは機器・配管系を間接支持しない。

###### d. 要求機能

緊急時対策所用燃料地下タンクは貯水機能が要求される。



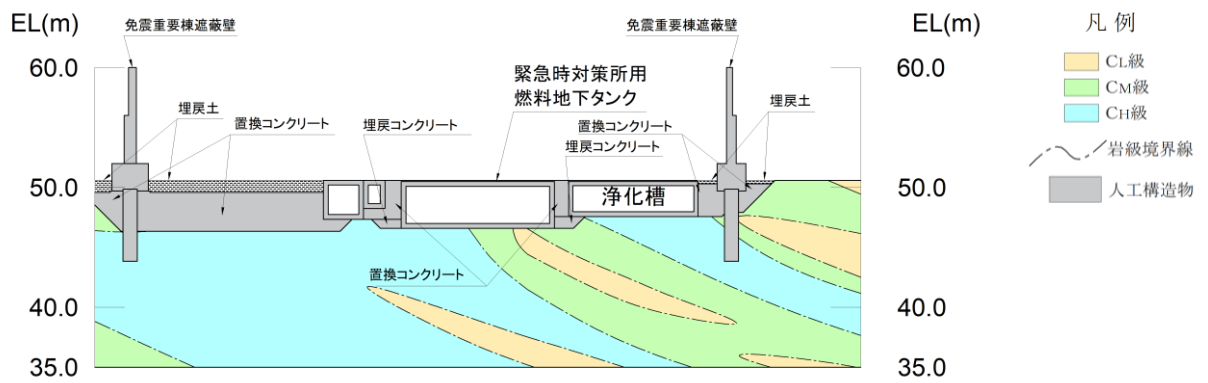
(岩級図)



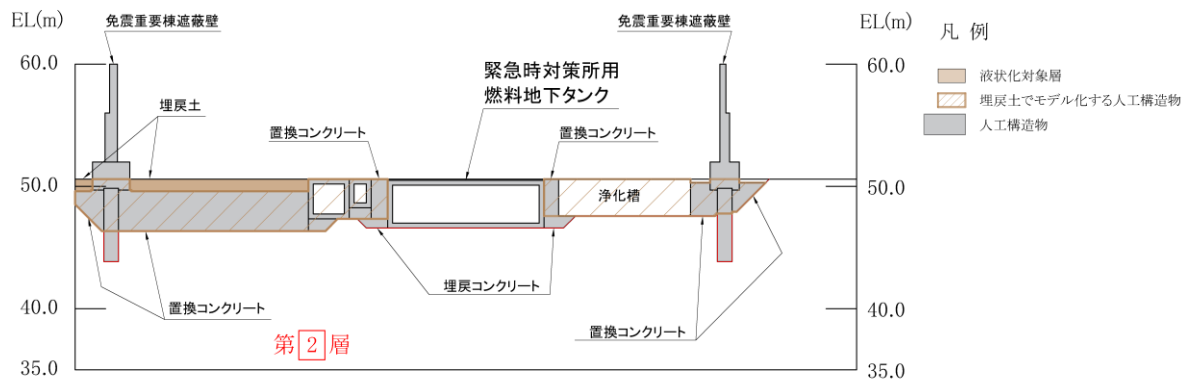
地下水位は施設設置地盤より十分低いため、設計地下水位を設定しない構造物  
(三次元浸透流解析による自然水位：EL 22.1m～22.6m)

(速度層図)

図 4.13-4(1) 緊急時対策所用燃料地下タンク 地質断面図 (A-A断面位置)



(岩級図)



地下水位は施設設置地盤より十分低いため、設計地下水位を設定しない構造物  
(三次元浸透流解析による自然水位：EL 22.1m～22.6m)

(速度層図)

図 4.13-4(2) 緊急時対策所用燃料地下タンク 地質断面図 (B-B断面位置)

(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.13.1 (1) 候補断面の整理より，耐震要素として機能する面部材が少なく，明確な弱軸方向となる短辺方向のA-A断面を評価対象断面として選定する。また，長辺方向は構造上の強軸方向であるが，弱軸方向断面で評価できない妻壁（強軸方向の側壁）についても，弱軸方向断面と同様に評価対象とする。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表 4.13-1 に示す。

表 4.13-1 緊急時対策所用燃料地下タンク 評価対象断面の選定結果

位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
短辺方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物である。</li> <li>軸心を中心とする対称性を有している。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく弱軸方向となる。</li> <li>同一断面内での部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C<sub>M</sub>級岩盤に直接支持される。</li> <li>北側は埋戻コンクリートを介して、免震重要棟と接しており、埋戻コンクリートを介して岩盤が分布し、一部免震重要棟遮蔽壁に接している。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも十分に低く、一様である。</li> </ul>	なし	貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>短辺方向が明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
長辺方向	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物である。</li> <li>軸心を中心とする対称性を有している。</li> <li>側壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。</li> <li>同一断面内での部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C<sub>H</sub>～C<sub>L</sub>級岩盤に直接支持される。</li> <li>置換コンクリートを介してノックラス構造物である浄化槽等と接しており、その外側は埋戻土や置換コンクリートが主として分布する。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも十分に低く、一様である。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>長辺方向は構造上の強軸方向であるが、弱軸方向断面で評価できない妻壁（強軸方向の側壁）についても、弱軸方向断面と同様に評価対象とする。</li> </ul>

#### 4.13.2 解析手法の選定

周辺の地下水位は、構造物底版より十分に低くほぼ一様に分布している。そのため、液状化が発生する可能性がないことから解析手法のフローに基づき「④全応力解析」を選定する。なお、強軸方向断面においては、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の観点も踏まえ、妻壁の耐震評価（面内）を実施し、その結果を「補足-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」に示す。

#### 4.14 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の断面選定の考え方

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等の間接支持機能が要求される。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の配置図を図 4.14-1 に、平面図を図 4.14-2 に、断面図を図 4.14-3 に示す。また、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、正方形の直接基礎であり、強軸及び弱軸が明確でないことから、3次元構造解析モデルで耐震評価を実施する。よって、3次元構造解析モデルに作用させる地震時荷重を算出するための断面である地震時荷重算出断面及び床応答算定断面を選定する。

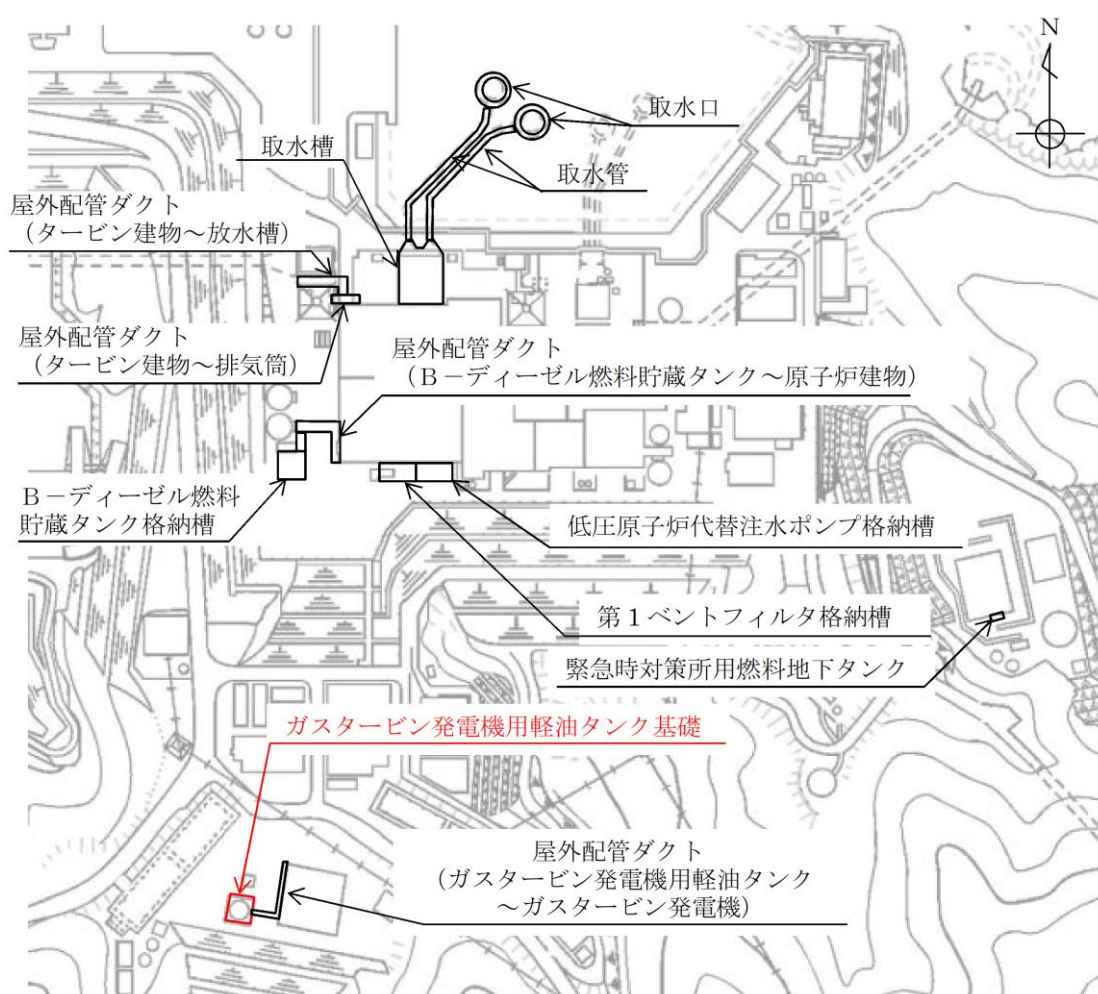


図 4.14-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 配置図



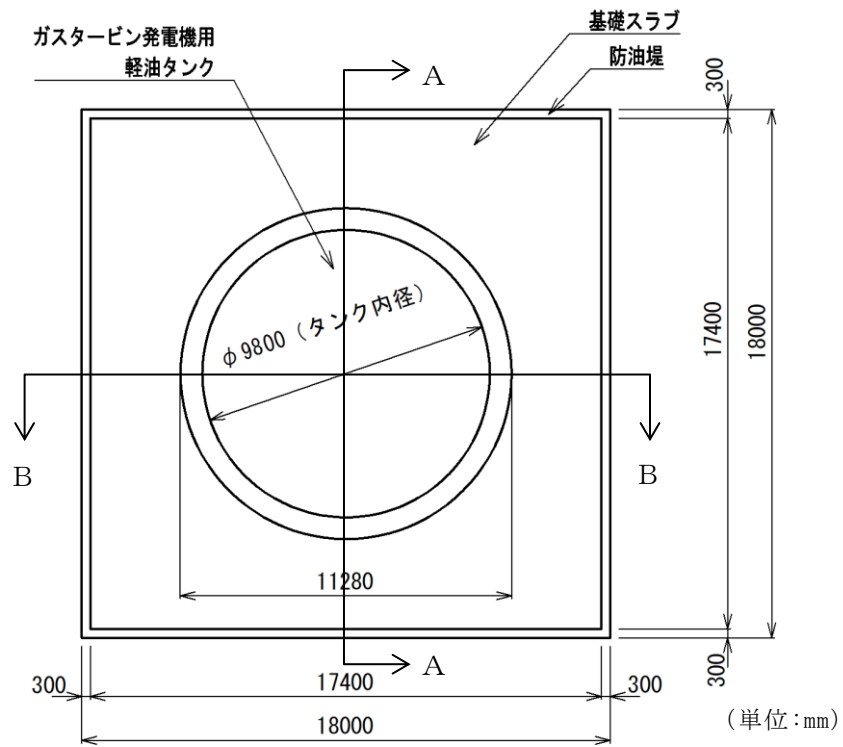


図 4. 14-2 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図

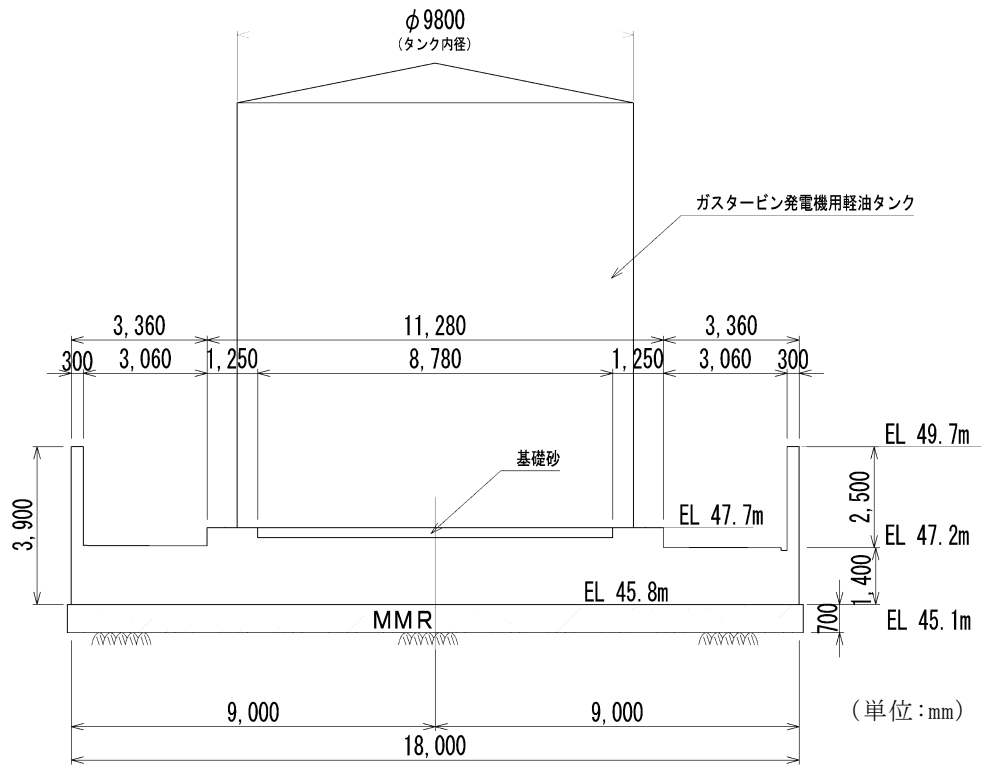


図 4. 14-3 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図  
(A-A断面及びB-B断面)

#### 4.14.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

###### a. 構造的特徴

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、幅 18.0m×18.0m、厚さ 1.4m の鉄筋コンクリート造の構造物であり、防油堤は幅 0.3m、高さ 2.5m の鉄筋コンクリート造の構造物である。また、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は正方形の直接基礎であり、箱型構造物や線状構造物と比較して強軸及び弱軸が明確でないことから、3次元構造解析モデルで耐震評価を実施する必要がある。

###### b. 周辺状況

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地質断面図を図 4.14-4 に示す。周辺状況として、MMR を介して C<sub>L</sub> 級岩盤に支持される。ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の北側は埋戻土を介して岩盤が一様に分布し、南側には岩盤斜面が存在する。また、南北方向（A-A 断面）の地下構造は、ほぼ水平であり、東西方向（B-B 断面）の地下構造については、西に緩やかに傾斜しており、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の東側には第 1 層が分布する。

なお、地下水位は構造物底版より十分低いことから、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。

###### c. 間接支持される機器・配管系の有無

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設耐震重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等を間接支持する。

###### d. 要求機能

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設耐震重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等を支持する支持機能が要求される。

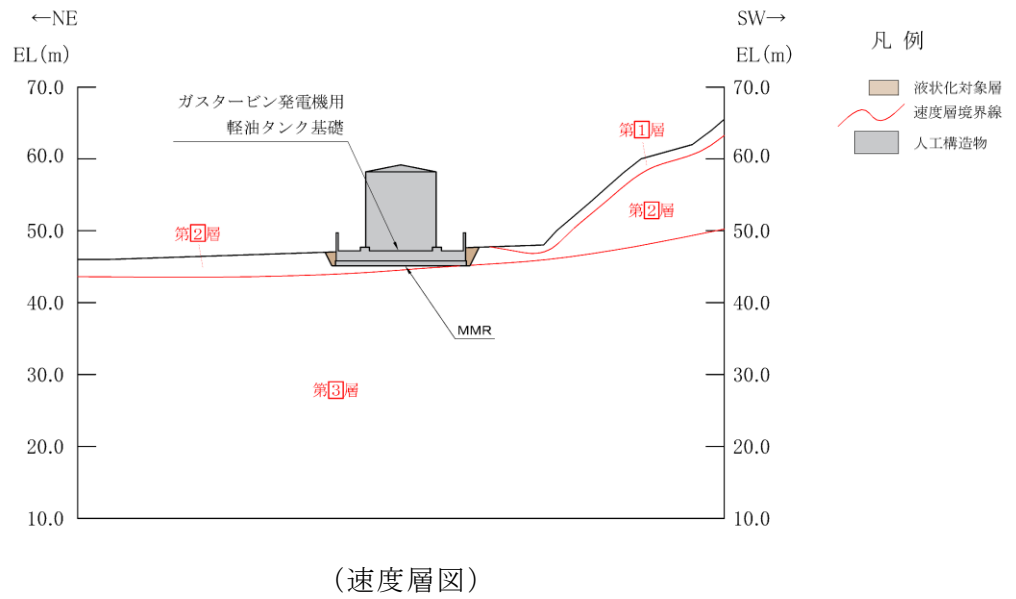
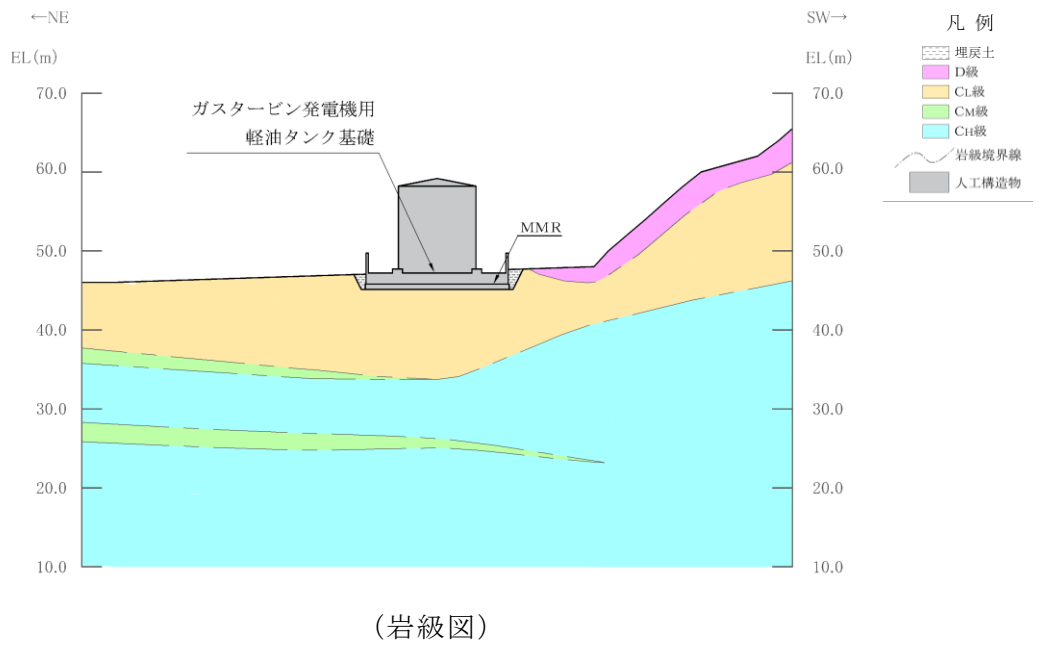


図 4.14—4 (1) ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地質断面図 (A-A断面位置)

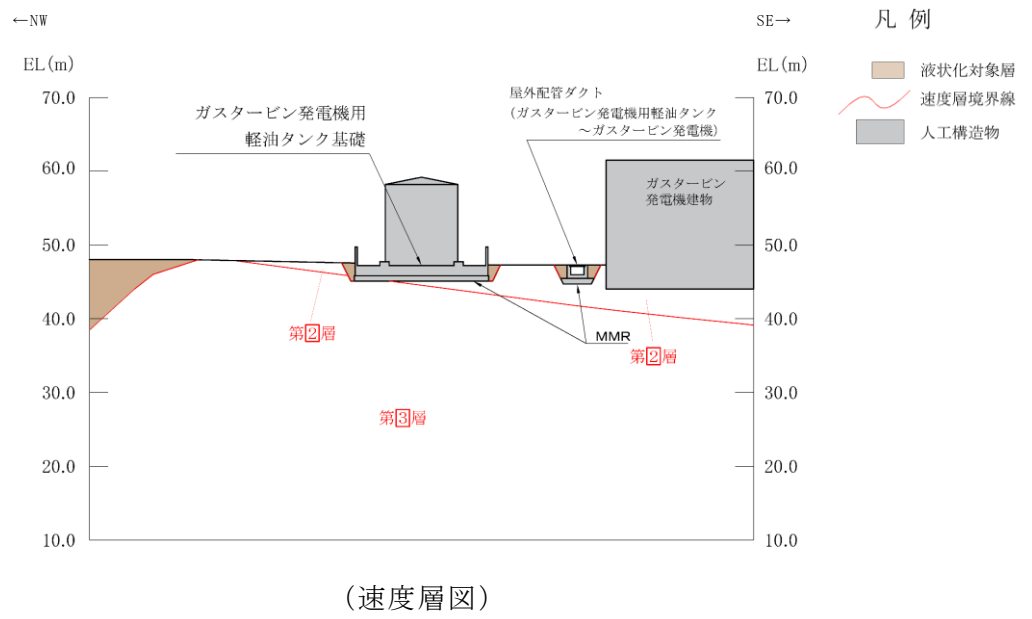
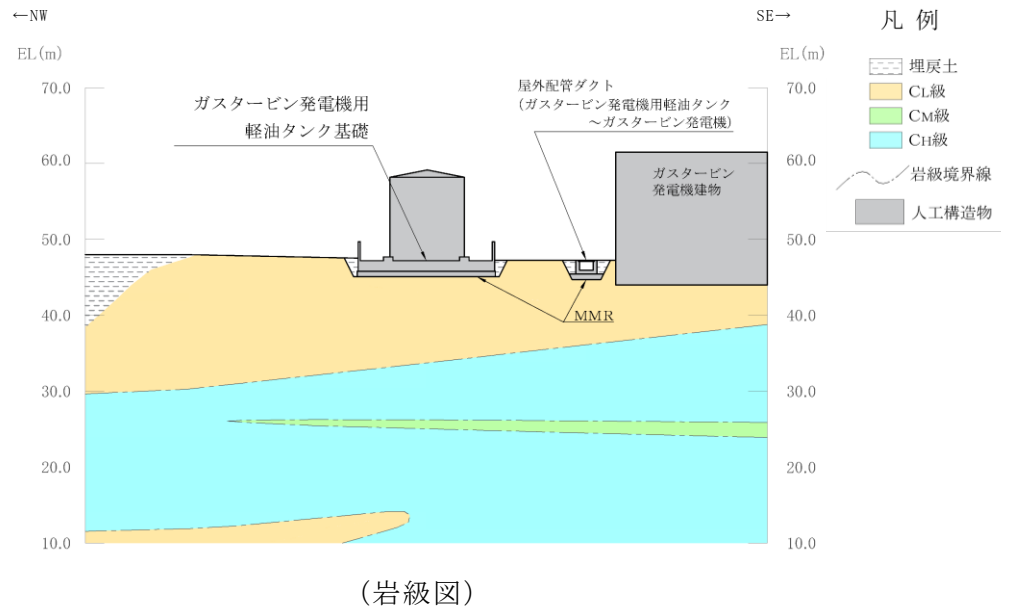


図 4.14—4 (2) ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地質断面図 (B—B 断面位置)

(2) 地震時荷重算出断面及び床応答算定断面の選定

4.14.1 (1) 候補断面の整理より、構造物の耐震設計及び機器・配管系に対する応答加速度抽出における地震時荷重算出断面及び床応答算定断面は、A-A断面及びB-B断面とする。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.14-1に示す。

表 4.14-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地震時荷重算出断面の選定結果

位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
南北方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸心を中心とする対称性を有している。</li> <li>正方形の直接基礎であり、強軸及び弱軸が明確でない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して十分な支持性能を有するC<sub>L</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> <li>北側は埋戻土を介して岩盤が様に分布し、南側には岩盤斜面が存在する。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも十分に低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガスタービン発電機用軽油タンク</li> <li>ガスタービン発電機用燃料移送系配管・弁</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時荷重算出断面及び床応答算定断面として選定する。</li> </ul>
東西方向	B-B断面	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して十分な支持性能を有するC<sub>L</sub>級以上の岩盤に支持される。</li> <li>東側は埋戻土を介して主として岩盤が分布し、西側には埋戻土を介して岩盤が様に分布する。</li> <li>地下水位は構造物底版よりも十分に低い。</li> </ul>	同上	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時荷重算出断面及び床応答算定断面として選定する。</li> </ul>

4.14.2 解析手法の選定

地下水位は構造物底版より十分低く、延長方向にほぼ一様であるため、液状化が発生する可能性がないことから、解析手法のフローに基づき「①全応力解析」を選定する。

4.15 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の断面選定の考え方

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用燃料移送配管・弁を間接支持しており、支持機能が要求される。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の配置図を図 4.15-1 に、平面図を図 4.15-2 に、断面図を図 4.15-3 に示す。

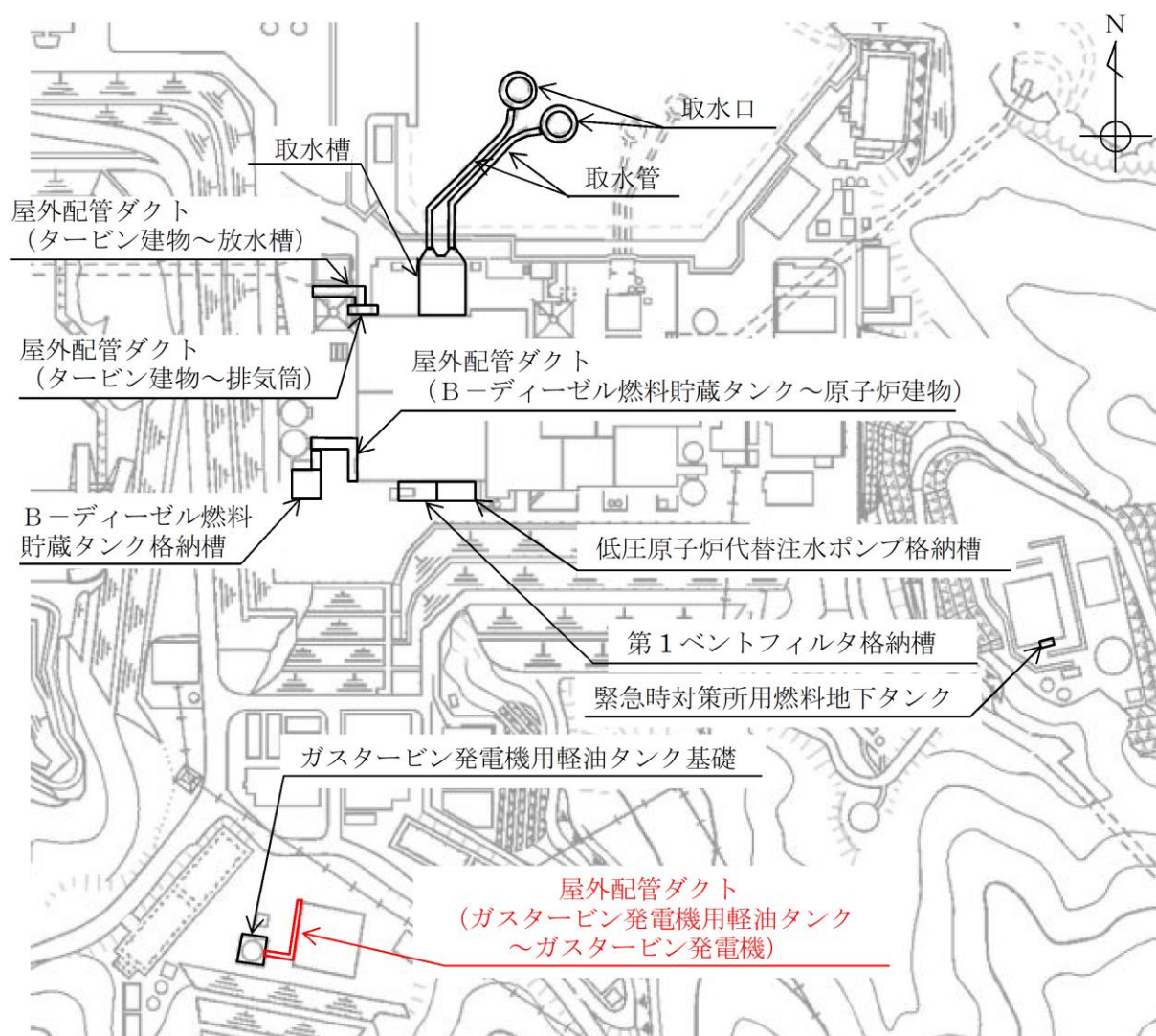


図 4.15-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）配置図

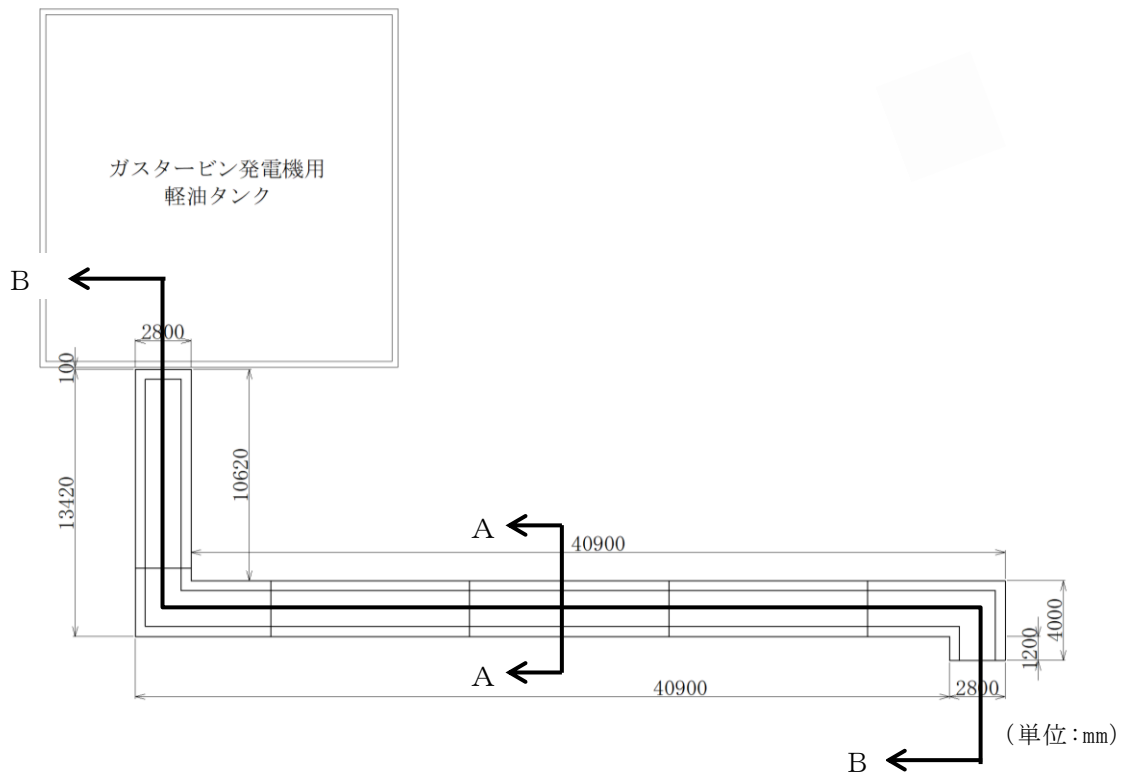


図 4.15-2 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）  
平面図

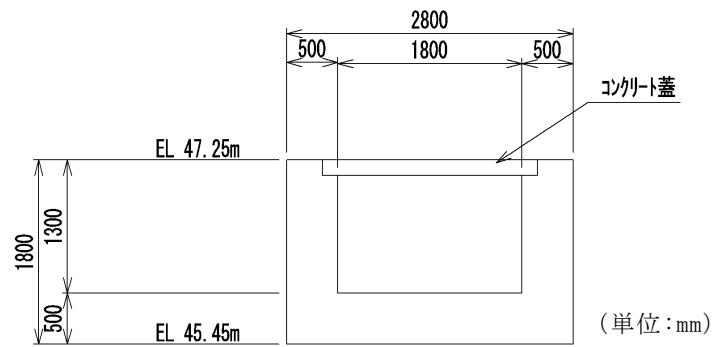


図 4.15-3 (1) 屋外配管ダクト  
（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機） 断面図（A-A断面）

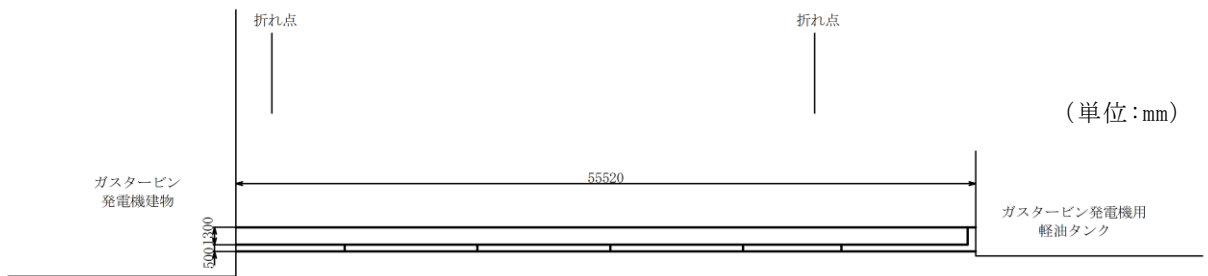


図 4.15-3 (2) 屋外配管ダクト  
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 断面図 (B-B断面)

#### 4.15.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

##### a. 構造的特徴

屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) は、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎とガスタービン発電機建物を結ぶ延長約 55.5m、幅 2.8m、高さ 1.8m (内空幅 1.8m、内空高さ 1.3m) の鉄筋コンクリート造の地中構造物である。また、延長方向に約 9m 間隔で構造目地を設置した延長方向の断面変化がないダクト構造である。間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないため、管軸直交方向 (横断方向) が明確な弱軸方向となり、側壁が耐震要素として機能する管軸方向 (延長方向) が強軸方向となる。

##### b. 周辺状況

屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) の地質断面図を図 4.15-4 に示す。周辺状況として、A-A断面及びB-B断面ともにMMRを介してC<sub>L</sub>級岩盤に支持され、周囲には埋戻土が一様に存在する。また、B-B断面の両端は、ガスタービン発電機建物及びガスタービン発電機用軽油タンク基礎と接続している。また、B-B断面の地下構造については、構造物の管軸方向において顕著な差異はなく、管軸直交方向についてはA-A断面においてほぼ水平である。なお、横断方向の断面位置によって地震動に差はない。

地下水位は構造物底版より十分低いことから、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。



c. 間接支持される機器・配管系の有無

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用燃料移送配管・弁を支持しており、配管は延長方向に一様に設置することから、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がない。

d. 要求機能

常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用燃料移送配管・弁を間接支持する支持機能が要求される。

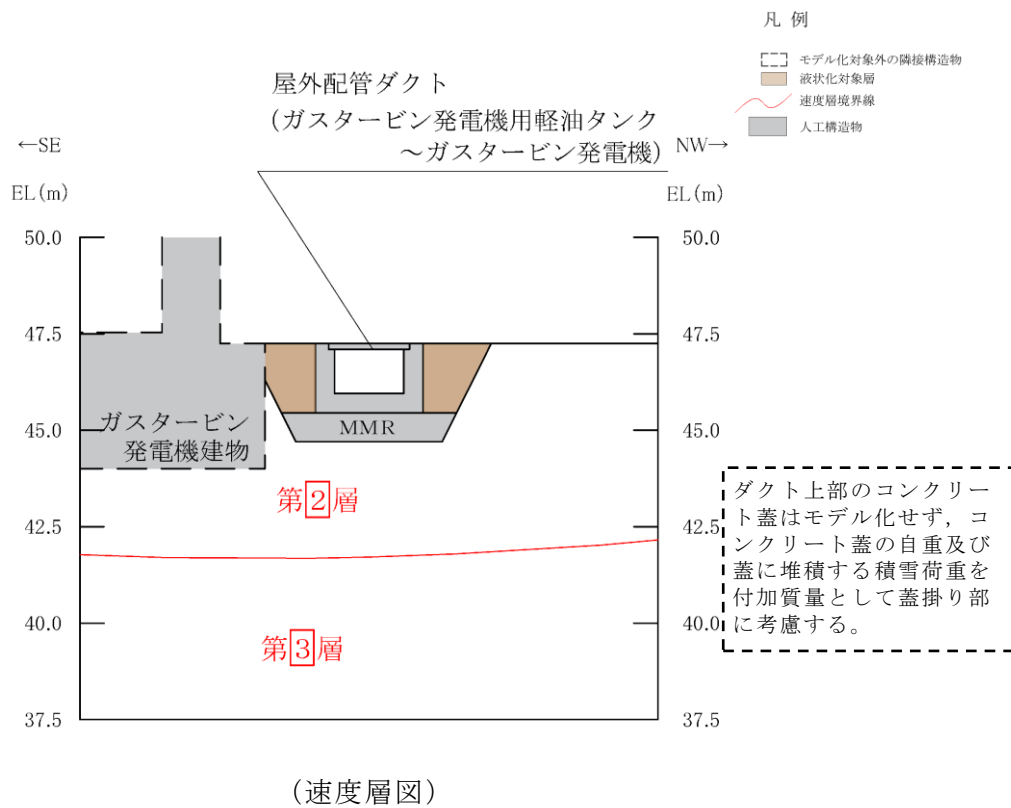
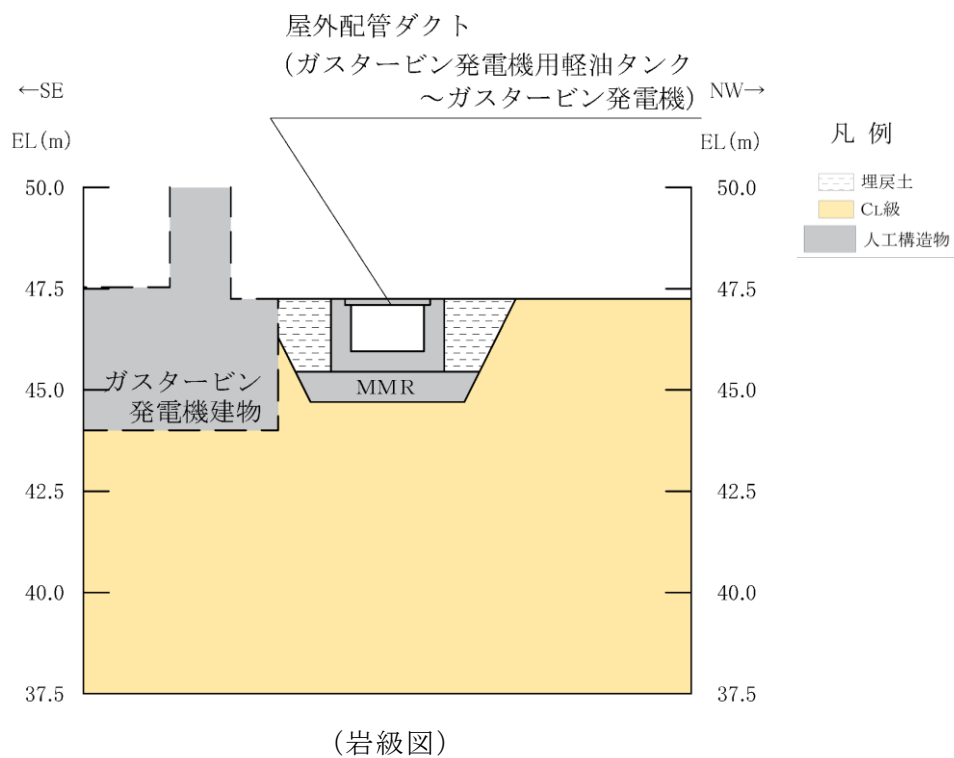
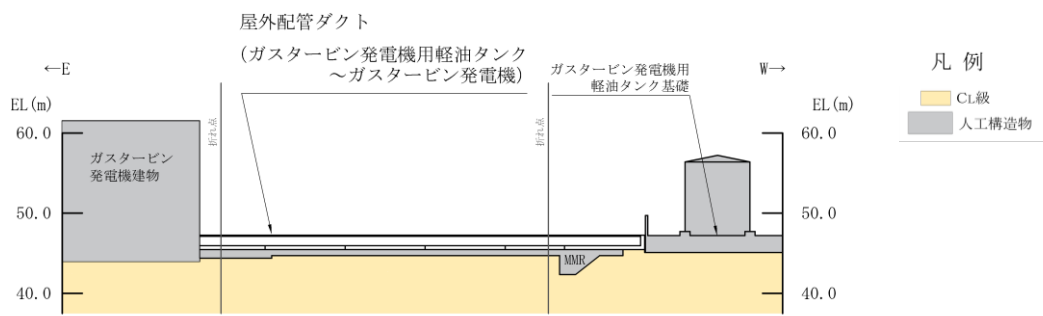
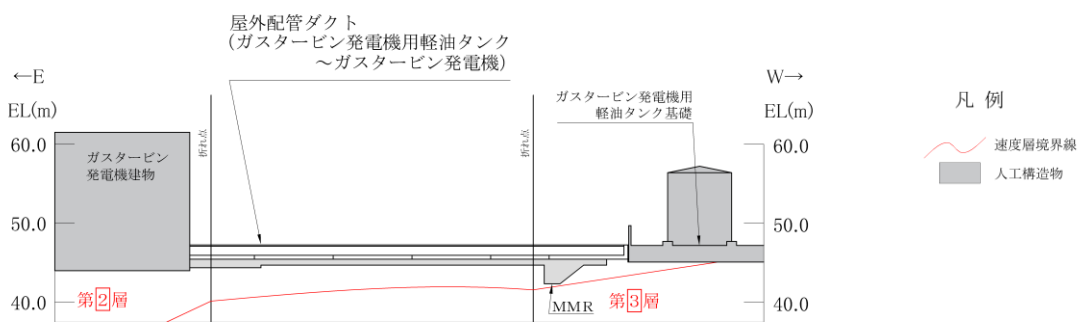


図 4.15-4 (1) 屋外配管ダクト  
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)  
地質断面図 (A-A断面位置)



(岩級図)



(速度層図)

図 4.15-4 (2) 屋外配管ダクト  
(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)  
地質断面図 (B-B 断面位置)

(2) 評価対象断面及び床応答算定断面の選定

4.15.1 (1) 候補断面の整理より、明確な弱軸方向となる横断方向のA-A断面を評価対象断面として選定する。また、A-A断面は最も長い直線区間の中心付近を通る位置とする。ただし、構造物の延長において、選定された断面(A-A断面)と直交する断面も含むことから、機器・配管系に対する床応答加速度への保守的な配慮として、A-A断面の検討の際に、A-A断面と直交する方向の成分の地震動も含めて評価する。

(3) 断面選定結果

評価対象断面の選定結果を表4.15-1に示す。

表 4.15-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）  
評価対象断面の選定結果

位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
横断方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長方向に断面変形のないダクト構造である。</li> <li>間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないため、管軸直交方向が明確な弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介してC<sub>1</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>周囲には埋戻土が一樣に存在する。</li> <li>地下水位は構造物底版より十分低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガスタービン発電機燃料移送配管・弁</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>明確な弱軸方向となる横断方向を、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
延長方向	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長方向に断面変形のない1連ダクト構造である。</li> <li>側壁が耐震要素として機能するため、強軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介してC<sub>1</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>地下構造については、構造物の管軸方向において顕著な差異はない。</li> <li>両端は、ガスタービン発電機建物及びガスタービン発電機用軽油タンク基礎と接続している。</li> <li>周囲には埋戻土が一樣に存在する。</li> <li>地下水位は構造物底版より十分低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>延長方向が強軸断面となるため、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>

#### 4.15.2 解析手法の選定

地下水位は構造物底版より十分低く、延長方向にほぼ一樣であるため、液状化が発生する可能性がないことから、解析手法のフローに基づき「①全応力解析」を選定する。

## 5. 解析ケースの選定方法

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価においては、島根原子力発電所の特徴を踏まえて、不確かさ要因として、地盤物性や材料物性のばらつき及び地下水位の変動を検討のうえ適切に考慮する必要がある。本章では、「4.3 解析手法選定の方針」に基づき選定された解析手法（基本ケース）における地盤物性のばらつき等を考慮した解析ケースの選定方法について記載する。

### 5.1 耐震評価における解析ケース

屋外重要土木構造物の耐震評価は表 5.1-1 に示すとおり、「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基づき「a)全応力解析を基本ケースとする構造物」又は「b)有効応力解析を基本ケースとする構造物」に分けられる。基本ケースにおいては、地盤物性の平均値及び設計地下水位を用いて、基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全 12 波による耐震評価を実施する。設計地下水位の設定方法の詳細は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

また、屋外重要土木構造物の地震時の応答は、構造物と周辺地盤の相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を評価するにあたっては、解析モデルに分布する地盤のうち、主に構造物の応答に支配的となる地盤を選定することとし、構造物周辺の地盤状況に応じて、埋戻土又は岩盤の物性値のばらつきを考慮する。ばらつきを考慮する物性値は地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし、平均値  $\pm 1.0 \times$  標準偏差 ( $\sigma$ ) のケースについて確認を行う。なお、ばらつきの設定方法の詳細は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

有効応力解析を実施する場合、基本ケースにおける液状化強度特性は下限値を設定しており、最も液状化の影響が大きい物性を採用しているが、仮に液状化が発生しなかった場合の影響を鑑みて、非液状化の条件を仮定した解析ケースを実施する。非液状化の状態は液状化した場合と比較して埋戻土の剛性が大きい傾向があるため、埋戻土のせん断弾性係数のばらつき ( $+\sigma$ ) を考慮することで影響を幅広く確認する。

材料物性については、コンクリートの強度は設計基準強度を用いており、実強度より小さい強度を設定していることから、地震時荷重に伴う部材の変形量が大きくなり、保守的な照査を実施できるため、材料物性のばらつきは考慮しない。ただし、コンクリートの実強度を用いることによる、機器・配管系の床応答への影響が否定できないことから、保守的な配慮としてコンクリート実強度を用いた影響検討を実施する。

また、地下水位については、地下水位低下設備に期待せず、保守的に高く設計地下水位を設定していることから、機器・配管系の床応答への影響を確認するため、地下水位が低下している状態での影響検討を実施する。

表 5.1-1 耐震安全性評価における解析ケース

	解析手法の選定 フローにおける分類	周辺地盤状況	考慮する地盤物性の ばらつき
a) 全応力解析を 基本ケースとする構造物	①, ②, ④	評価対象構造物周辺に主として埋戻土のような動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布し、これらの地盤が地震時に構造物への応答に大きく影響を与えると判断される場合は、これらの物性のばらつきについて影響を確認する。 (例：開削工法により構築し埋戻土によって埋め戻された線状構造物又は箱型構造物)	埋戻土 (初期せん断弾性係数 $G_0$ )
b) 有効応力解析を 基本ケースとする構造物	③, ⑤	評価対象構造物周辺に埋戻土のような動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しておらず、主として $C_L$ 級岩盤、 $C_M$ 級岩盤及び $C_H$ 級岩盤が分布し、これらの地盤が地震時に構造物への応答に大きく影響を与えると判断される場合は、これらの物性のばらつきについて影響を確認する。 (例：開削工法により構築し、置換コンクリート等によって埋め戻された線状構造物又は箱型構造物)	岩盤 (動せん断弾性係数 $G_d$ )
b) 有効応力解析を 基本ケースとする構造物	③, ⑤	有効応力解析を実施する構造物は、周囲の埋戻土の液状化による影響が支配的となることから、埋戻土の物性のばらつきについて影響を確認する。	埋戻土 (初期せん断弾性係数 $G_0$ )

## 5.2 耐震評価における解析ケースの組合せ

### (1) 全応力解析を基本ケースとする構造物

「a)全応力解析を基本ケースとする構造物」の解析ケースの組合せを表 5.2-1 に示す。耐震評価においては、基準地震動  $S_s$  全波（6 波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6 波）を加えた全 12 波を用いて基本ケース（解析ケース①）を実施する。

上記の解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査における照査値が 0.5 以上となるすべての照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、解析ケース②及び③の追加解析を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。

また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

表 5.2-1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価における解析ケース  
a)全応力解析を基本ケースとする構造物

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ )を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ )を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1 $\sigma$		平均値-1 $\sigma$	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 $S_s$ (6 波) に位相反転を考慮した地震動 (6 波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する余裕が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。			
		-+*	○				
		+ - *	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○				
		-+*	○				
$S_s - N 2$ (EW)	++*	○					
	-+*	○					

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



(2) 有効応力解析を基本ケースとする構造物

「b)有効応力解析を基本ケースとする構造物」の解析ケースの組合せを表 5.2-2 に示す。耐震評価においては、有効応力解析（解析ケース④～⑥）に加え影響検討として全応力解析（解析ケース⑦，⑧）を行う。

解析ケース④について、基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全 12 波を用いて基本ケースを実施する。上記の解析ケース④において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査における照査値が 0.5 以上となる **すべて**の照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、解析ケース⑤～⑧の追加解析を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース⑤～⑧を実施する。

また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

表 5.2-2 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価における解析ケース

b)有効応力解析を基本ケースとする構造物

解析ケース	有効応力解析			全応力解析	
	ケース④	ケース⑤	ケース⑥	ケース⑦	ケース⑧
基本ケース	基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	非液化化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液化化の条件を仮定した解析ケース
地盤物性	平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ	平均値	平均値 + 1σ
地震動 (位相)	++*	○			
	-+*	○			
	+ -*	○			
	- -*	○			
	S s - F 1	○			
	S s - F 2	○			
	S s - N 1	○			
	S s - N 2 (NS)	○			
	S s - N 2 (EW)	○			
		○			

基準地震動 S s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12波に対し、ケース④ (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース⑤~⑧を実施する。  
すべての照査項目の照査値が 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース⑤~⑧を実施する。

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

### 5.3 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース

#### (1) 全応力解析を基本ケースとする構造物

「a)全応力解析を基本ケースとする構造物」の解析のうち、機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケースを表 5.3-1 に示す。屋外重要土木構造物に支持される機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位の算定では、基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全 12 波を用いて解析ケース①～③を行い、影響検討ケースとして解析ケース④及び⑤の追加解析を実施する。なお、影響検討ケースは位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動  $S_s - D$  に対して実施することとする。

表 5.3-1 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース  
a) 全応力解析を基本ケースとする構造物

解析ケース*2	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	
	基本 ケース	地盤物性のばらつき (+1σ)を考慮した 解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ)を考慮した 解析ケース	材料物性(コンクリ ート)の実強度を考 慮した解析ケース	地下水が低い場 合を仮定した解 析ケース	
地盤物性	平均値	平均値+1σ	平均値-1σ	平均値	平均値	
地震動(位相)	++*1	○	○	○	△	△
	-+*1	○	○	○	-	-
	+-*1	○	○	○	-	-
	--*1	○	○	○	-	-
	++*1	○	○	○	-	-
	++*1	○	○	○	-	-
	++*1	○	○	○	-	-
	-+*1	○	○	○	-	-
	++*1	○	○	○	-	-
	-+*1	○	○	○	-	-
	++*1	○	○	○	-	-
	-+*1	○	○	○	-	-

注記\*1：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

\*2：○は設計に用いる解析ケースを示し，△は影響検討ケースを示す。影響検討ケースについては，S s - D (++)により影響の程度を確認する。

(2) 有効応力解析を基本ケースとする構造物

「b)有効応力解析を基本ケースとする構造物」の解析のうち，機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケースを表 5.3-2 に示す。屋外重要土木構造物に支持される機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位の算定では，有効応力解析（解析ケース⑥～⑩）に加え，全応力解析（解析ケース⑪）を行う。

解析ケース⑥～⑧及び⑪について，基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全 12 波を用いて解析を行い，影響検討ケースとして解析ケース⑨及び⑩の追加解析を実施する。なお，影響検討ケースは位相特性の偏りがなく，全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動  $S_s - D$  に対して実施することとする。

表 5.3-2 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース

b)有効応力解析を基本ケースとする構造物

解析ケース*2	有効応力解析					全応力解析	
	ケース⑥	ケース⑦	ケース⑧	ケース⑨	ケース⑩	ケース⑪	
	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) の実強度 を考慮した解析ケ ース	地下水が低い場 合を仮定した解 析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮し て非液状化の条件を 仮定した解析ケース	平均値 + 1σ
地震物性	平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ	平均値	平均値	平均値	
地震動 (位相)	++*1	○	○	○	△	△	○
	-+*1	○	○	○	-	-	○
	+-*1	○	○	○	-	-	○
	--*1	○	○	○	-	-	○
	S s - D	○	○	○	-	-	○
	S s - F 1	○	○	○	-	-	○
	S s - F 2	○	○	○	-	-	○
	S s - N 1	○	○	○	-	-	○
	S s - N 2	○	○	○	-	-	○
	(N S)	○	○	○	-	-	○
	S s - N 2	○	○	○	-	-	○
	(E W)	○	○	○	-	-	○

注記\*1：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

\*2：○は設計に用いる解析ケースを示し，△は影響検討ケースを示す。影響検討ケースについては，S s - D (++) により影響の程度を確認する。

(3) 弾性設計用地震動による解析ケース

弾性設計用地震動による機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケースのうち「a) 全応力解析を基本ケースとする構造物」の解析ケース⑫～⑭を表 5.3-3 に示し、「b) 有効応力解析を基本ケースとする構造物」の解析ケース⑮～⑰を表 5.3-4 に示す。

「a) 全応力解析を基本ケースとする構造物」において、解析ケース⑫～⑭について、弾性設計用地震動 S d 全波（7 波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（9 波）を加えた全 16 波を用いて解析を行う。

「b) 有効応力解析を基本ケースとする構造物」においては、解析ケース⑮～⑰（有効応力解析）及び解析ケース⑱（全応力解析）について、弾性設計用地震動 S d 全波（7 波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（9 波）を加えた全 16 波を用いた解析を行う。

表 5.3-3 機器・配管系に対する床応答算定のための解析ケース  
a) 全応力解析を基本ケースとする構造物（弾性設計用地震動 S d）

解析ケース		ケース⑫		ケース⑬		ケース⑭	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値 + 1σ		平均値 - 1σ	
地震動 (位相)	S d - D	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	
		+ - *	○	○	○	○	
		--*	○	○	○	○	
	S d - F 1	++*	○	○	○	○	
	S d - F 2	++*	○	○	○	○	
	S d - N 1	++*	○	○	○	○	
		-+*	○	○	○	○	
	S d - N 2 (N S)	++*	○	○	○	○	
		-+*	○	○	○	○	
	S d - N 2 (E W)	++*	○	○	○	○	
		-+*	○	○	○	○	
	S d - 1	++*	○	○	○	○	
		-+*	○	○	○	○	
		+ - *	○	○	○	○	
		--*	○	○	○	○	

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



表 5.3-4 機器・配管系に対する床応答算定のための解析ケース  
 b) 有効応力解析を基本ケースとする構造物（弾性設計用地震動 S d）

解析ケース* <sup>2</sup>			有効応力解析			全応力解析
			ケース⑮	ケース⑯	ケース⑰	ケース⑱
			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	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮し て非液状化の条件を 仮定した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ	平均値 + 1σ
地震動 (位相)	S d - D	++*	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○
		+ -*	○	○	○	○
		--*	○	○	○	○
	S d - F 1	++*	○	○	○	○
	S d - F 2	++*	○	○	○	○
	S d - N 1	++*	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○
	S d - N 2 (NS)	++*	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○
	S d - N 2 (EW)	++*	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○
	S d - 1	++*	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○
		+ -*	○	○	○	○
		--*	○	○	○	○

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

## 6. 許容限界

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価は、「2. 屋外重要土木構造物の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容」に示すとおり、各構造物の要求機能と要求機能に応じた許容限界を設定し照査を行う。

耐震安全性評価は、限界状態設計法又は許容応力度法を用いることとし、限界状態設計法については以下に詳述する。

### 6.1 許容応力度法による耐震安全性評価

許容応力度法を用いて耐震安全性評価を行う場合、許容応力度を許容限界とし、発生応力度が許容限界を下回ることを確認する。その場合、構造物を構成する各部材はおおむね弾性状態にあり、限界状態又は終局状態に至らないことは自明であるため、各要求機能のすべてを満足することとなり、個別の要求機能に応じた許容限界の設定は不要である。

なお、許容応力度法を用いた曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査は、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年)」(以下「コンクリート標準示方書 2002」という。)又は「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—(社)日本建築学会, 2005 年)」に基づき、各部材(材料)に許容応力度及び短期許容応力度を設定して行う。屋外重要土木構造物等に適用する各部材(材料)の許容応力度、割増し係数及び短期許容応力度を表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 屋外重要土木構造物等に適用する各部材(材料)の許容応力度、割増し係数及び短期許容応力度

部材 (材料)	規格	項目	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	割増し 係数*	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	設計基準強度 $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容曲げ圧縮 応力度	9.0	1.5	13.5
		許容せん断応力度	0.45		0.675
鉄筋	SD345	許容引張応力度	196		294
	SD295A		176		
鋼材	SS400	許容引張応力度	156		235
		許容せん断応力度	90		135

注記\*：設計に用いる許容応力度は地震の影響を考慮した荷重の組合せに対して割増し係数を乗じた値とすることが規格、基準類に記載されている。

## 6.2 限界状態設計法による耐震安全性評価

限界状態設計法を用いて耐震安全性評価を行う屋外重要土木構造物においては、各部材に適用する要求機能に応じて許容限界が異なることから、要求機能に応じた許容限界を設定する。

なお、各許容限界は、既工認実績のある原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル2005」という。），J E A G 4 6 0 1 - 1987 及びコンクリート標準示方書2002等を参照のうえ設定しており、このうち耐震設計に係る工認審査ガイドに記載のない土木学会マニュアル2005の適用性は、「6.3 土木学会マニュアル2005の適用性」に示す。

### 6.2.1 支持機能

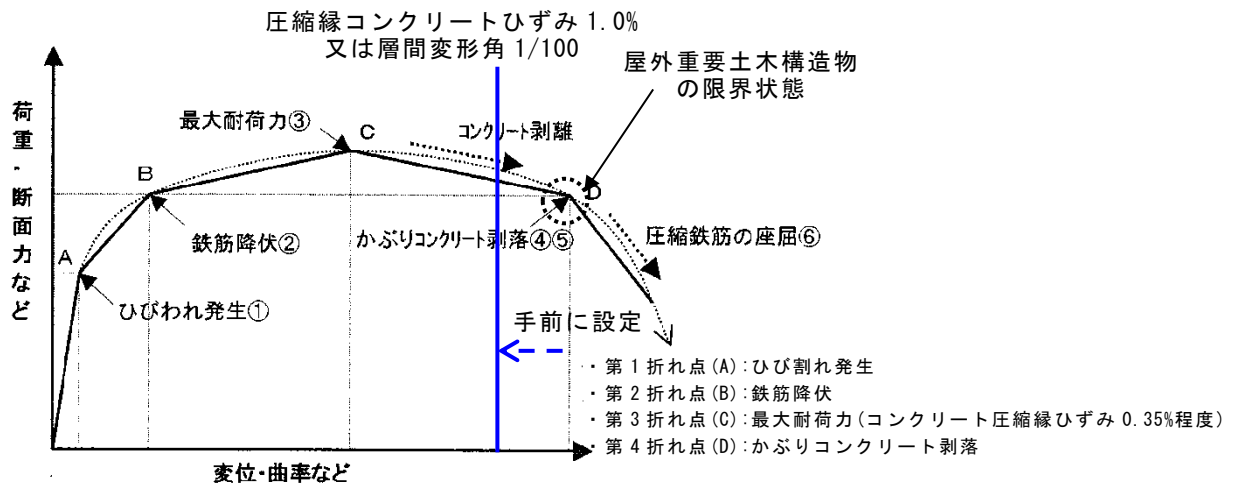
支持機能は、部材が終局限界に至らない状態を想定する。部材状態に応じた許容限界として、曲げ・軸力系の破壊は、圧縮縁コンクリートひずみ1.0%（ $10000\mu$ ），限界層間変形角1/100又は終局曲げモーメント，せん断破壊については、面内せん断に対しては面内せん断ひずみ2/1000（ $2000\mu$ ），面外せん断に対してはせん断耐力とする。なお、後施工アンカー定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば定着性能に影響を及ぼさないことから、断面降伏に至らない部材状態を想定する（表6.2-1参照）。

表 6.2-1 支持機能の許容限界

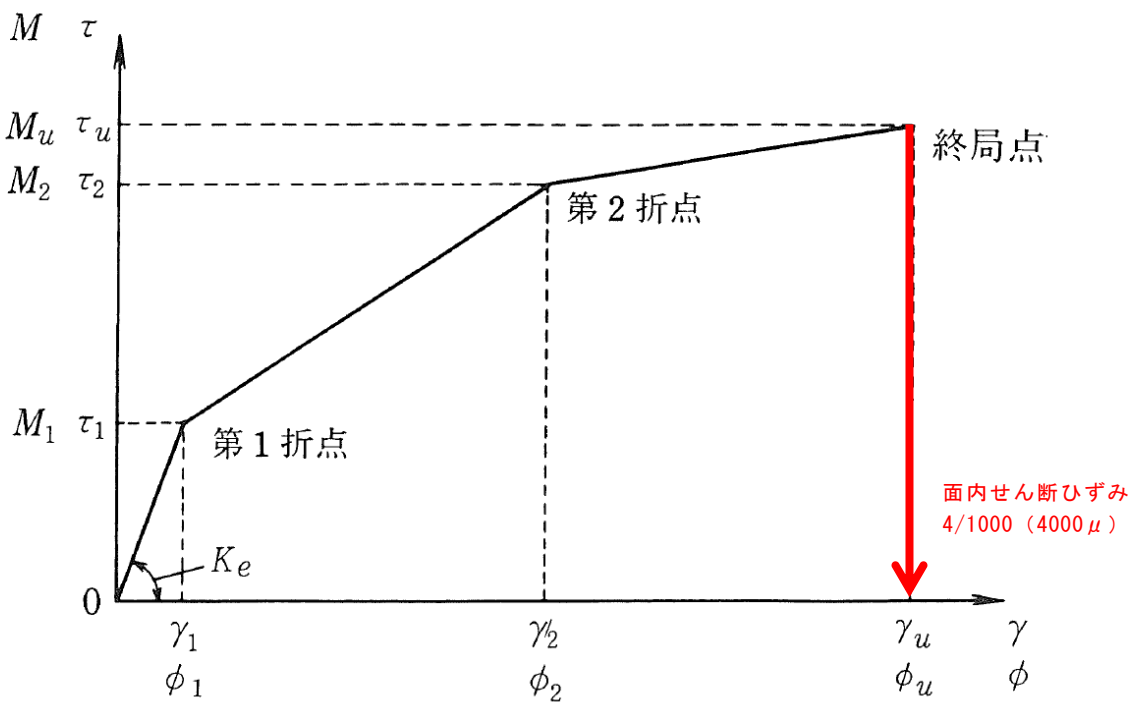
破壊モード	許容限界		備考
	指標	許容値	
曲げ・軸力系の破壊	圧縮縁コンクリートひずみ	1.0% (10000 $\mu$ )	土木学会マニュアル 2005 に規定されている。
	層間変形角 (面外)	1/100	
	発生曲げモーメント	終局曲げモーメント	コンクリート標準示方書 2002 に規定されている。
	コンクリートの圧縮ひずみ*	2000 $\mu$	おおむね弾性範囲となる許容限界であり、コンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されている。 また、上記に示す鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント。
	主筋ひずみ*	1725 $\mu$ (SD345)	
	発生曲げモーメント*	降伏曲げモーメント	
せん断破壊	面内せん断ひずみ	2/1000 (2000 $\mu$ )	J E A G 4 6 0 1 -1987 において、耐震壁の終局耐力に相当する面内せん断ひずみ 4/1000 (4000 $\mu$ ) に余裕を見込んだ許容限界として規定されている。
	発生せん断力	せん断耐力	コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 に規定されている。

注記\* : コンクリートの圧縮ひずみ、主筋ひずみ及び発生曲げモーメントについては、後施工アンカー定着部周辺において、損傷が部材降伏程度であることを確認する際に用いる。

圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000  $\mu$ ) と層間変形角 1/100 に至る状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。これらの状態を限界値とすることで構造物全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を図 6.2-1 に示す。



壁部材の面内せん断に対する許容限界については、J E A G 4 6 0 1 - 1987 において、図 6.2-2 に示すとおり、耐震壁の終局時の変形として面内せん断ひずみ 4/1000 と規定されており、終局状態の面内せん断ひずみ 4/1000 に安全率 2 を有するように面内せん断ひずみ 2/1000 を設定する。



面外せん断に対する照査は、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることにより確認する。

なお、せん断耐力式には、複数の安全係数を見込むことにより、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ設計とする。

#### 6.2.2 通水機能

通水機能は、部材が破壊し通水断面を閉塞しないことにより満足され、「6.2.1 支持機能」と同様に、終局限界に至らない部材状態を想定する。

#### 6.2.3 貯水機能

貯水機能は、重大事故等時に必要となる冷却用水を安全に貯留できることが要求される機能であるため、保守的に部材を貫通するようなひび割れが発生しない状態を想定し、許容限界を断面降伏及びせん断耐力とする（表 6.2-2 参照）。

この許容限界は、表 6.2-3 に示すとおり、水道施設耐震工法指針・解説（日本水道協会，2009 年）に規定されている照査基準と同じレベルの許容値である。

面内変形に対しては、面内せん断ひずみが図 6.2-3 に示す J E A G 4 6 0 1 - 1987 に規定されているスケルトンカーブの第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を下回ることを許容限界と設定する。

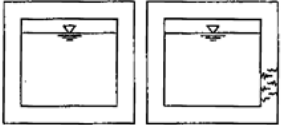
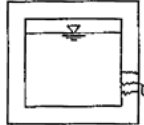
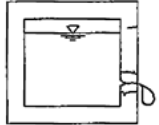
第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) の評価式は、壁板の面内せん断実験における中央斜めひび割れ発生時の平均せん断応力度に対応するよう定められていることから、せん断変形が第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を下回る場合、水密性に影響のあるせん断ひび割れは生じないと考えられる。

面内せん断ひずみが第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を超過する場合については、漏水量を算定し、ひび割れに伴う漏水を許容したより詳細な検討を実施することで、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。

表6.2-2 貯水機能の許容限界

破壊モード	許容限界		備考
	指標	許容値	
曲げ・軸力系の破壊	コンクリートの圧縮ひずみ	2000 $\mu$	おおむね弾性範囲となる許容限界であり、コンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されている。 また、上記に示す鉄筋の降伏に対応する曲げモーメント。
	主筋ひずみ	1725 $\mu$ (SD345)	
	発生曲げモーメント	降伏曲げモーメント	
せん断破壊	面内せん断ひずみ	第1折点 ( $\gamma_1$ ) を下回ること。	J E A G 4 6 0 1 -1987 に規定されている。
	発生せん断力	せん断耐力	コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 に規定されている。

表6.2-3 池状構造物（RC構造物）の耐震性能と照査基準  
(水道施設耐震工法指針・解説に加筆)

耐震性能	耐震性能 1	耐震性能 2	耐震性能 3
限界状態 <sup>*1</sup>	限界状態 1 ( <u>降伏耐力以下</u> )	限界状態 2 (最大耐力以下)	限界状態 3 (終局変位以下、せん断耐力以下)
損傷状態	 <p>無被害又はひび割れは生じるが漏水は生じない。<u>修復の必要ない。</u></p>	 <p>軽微なひび割れから漏水は生じるが地震後に早期に修復可能である。</p>	 <p>ひび割れ幅が拡大し、漏水が生じるが施設全体が崩壊しない。修復可能。</p>
照査項目例 <sup>*2</sup>	断面力 (曲げ、せん断)、応力度	断面力 (曲げ、せん断)、塑性率	変位量、曲率、断面力 (せん断)
照査用限界値例 <sup>*3</sup>	断面力 (曲げ) $\leq$ <u>降伏曲げ耐力</u> 断面力 (せん断) $\leq$ <u>せん断耐力</u> 応力度 $\leq$ <u>許容応力度</u>	断面力 (曲げ) $\leq$ 最大曲げ耐力 断面力 (せん断) $\leq$ せん断耐力 塑性率 $\leq$ 許容塑性率	変位量 $\leq$ 終局変位量 曲率 $\leq$ 終局曲率 断面力 (せん断) $\leq$ せん断耐力

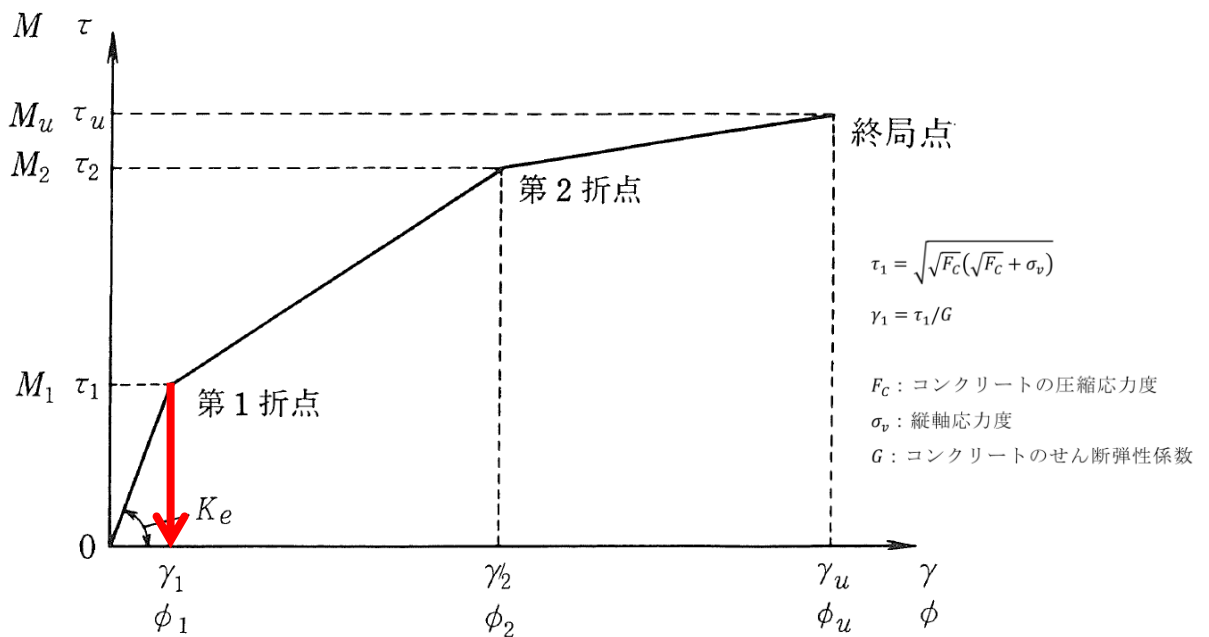


図6.2-3 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ 関係）と評価式  
（J E A G 4 6 0 1 -1987に加筆）

#### 6.2.4 止水機能

止水機能は、以下に示す3つの観点に対し、部材からの漏水により、Sクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないように止水できることが要求される機能であり、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しない状態を想定する。

- （観点1）津波の押し波時における外郭防護
- （観点2）屋外タンク損傷時における内郭防護
- （観点3）循環水系配管破壊時における内部溢水

部材状態に応じた許容限界として、「6.2.3 貯水機能」と同様に断面降伏及びせん断耐力とし、面内変形に対しては、貯水機能と同様に面内せん断ひずみがスケルトンカーブの第1折点（ $\gamma_1$ ）を下回ることを許容限界と設定する（表6.2-2参照）。

#### 6.2.5 遮蔽機能

遮蔽機能は、貫通するひび割れが直線的に残留しないことにより満足されるため、建物・構築物における許容限界「質点系モデルによる地震応答解析の最大せん断ひずみが  $2.0 \times 10^{-3}$  を超えないこと、部材に生じる応力が終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること又は部材に生じる応力若しくはひずみが CCV 規格における



荷重状態Ⅳの許容値を超えないこととする。」を参考に、終局状態に至らない部材状態を想定する（表 6.2-4 参照）。

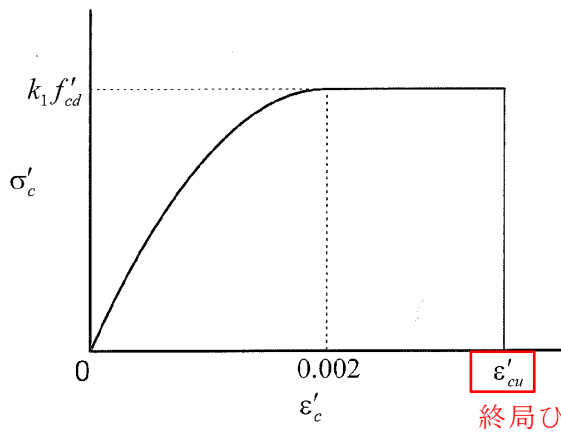
面内変形により照査する場合は、J E A G 4 6 0 1 -1987 において、図 6.2-2 に示すとおり、耐震壁の終局時の変形として面内せん断ひずみ 4/1000 と規定されており、終局状態の面内せん断ひずみ 4/1000 に安全率 2 を有するように面内せん断ひずみ 2/1000 を設定する。

面外変形により照査する場合は、曲げ・軸力系の破壊については、コンクリート標準示方書 2002 に基づき、図 6.2-4 に示す構造物の終局状態に対応する限界ひずみに対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。せん断に対する照査は、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることにより確認する。

なお、せん断耐力式には、複数の安全係数を見込むことにより、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ設計とする。

表 6.2-4 遮蔽機能の許容限界

破壊モード	許容限界		備考
	指標	許容値	
曲げ・軸力系の破壊	コンクリートの圧縮ひずみ	3500 $\mu$	構造物の終局状態に対応するひずみであり、コンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されている。
せん断破壊	面内せん断ひずみ	2/1000 (2000 $\mu$ )	J E A G 4 6 0 1 -1987 において、耐震壁の終局耐力に相当する面内せん断ひずみ 4/1000 (4000 $\mu$ ) に余裕を見込んだ許容限界として規定されている。
	発生せん断力	せん断耐力	コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 に規定されている。



$$k_1 = 1 - 0.003 f'_{ck} \leq 0.85$$

$$\varepsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_{ck}}{30000} \quad 0.0025 \leq \varepsilon'_{cu} \leq 0.0035$$

ここで、 $f'_{ck}$  の単位は  $\text{N/mm}^2$

曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_{cd} \times \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \times \left( 2 - \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \right)$$

終局ひずみ 3500  $\mu$

図6.2-4 コンクリートの応力-ひずみ関係と評価式  
(コンクリート標準示方書 2002 に加筆)

### 6.3 土木学会マニュアル 2005 の適用性

限界状態設計法のうち、構造部材の圧縮縁コンクリート限界ひずみによる曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断耐力評価式によるせん断破壊に対する照査に係る土木学会マニュアル 2005 の適用性について検討を行う。

#### 6.3.1 曲げ・軸力系の破壊

曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、土木学会マニュアル 2005 に基づき、照査用圧縮縁コンクリートひずみが限界圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%を下回ることや照査用層間変形角が層間変形角 1/100 を下回ることを確認する。コンクリート標準示方書 2002 では、構造部材の終局変位は、部材の荷重-変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書 2002 による構造部材の終局変位の考え方を図 6.3-1 に示す。

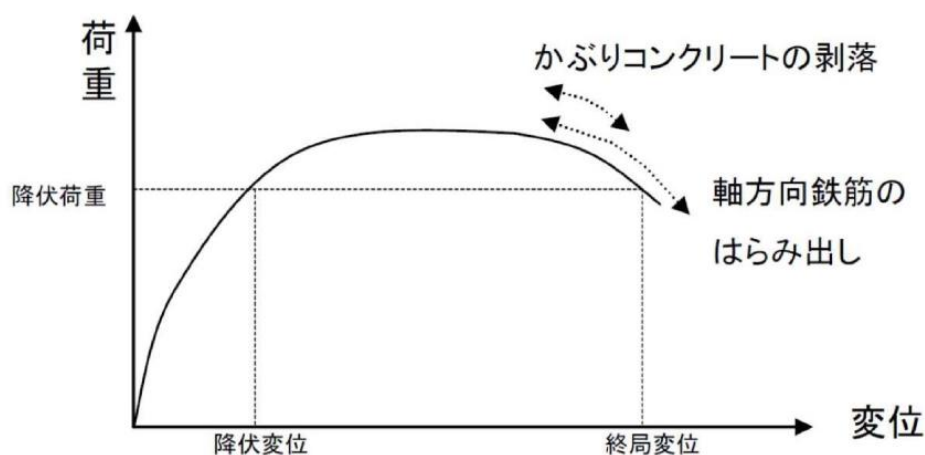


図6.3-1 構造部材の終局変位の考え方（コンクリート標準示方書2002）

一方、土木学会マニュアル 2005 では、以下の考え方に基づいている。

実験や材料非線形解析の観点から、かぶりコンクリートの剥落時点は、全体系の荷重-変形関係との対応を見ると、終局限界より前の段階（変形が小さい範囲）であることが確認されている。土木学会マニュアル 2005 における鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を図 6.3-2 に示す。

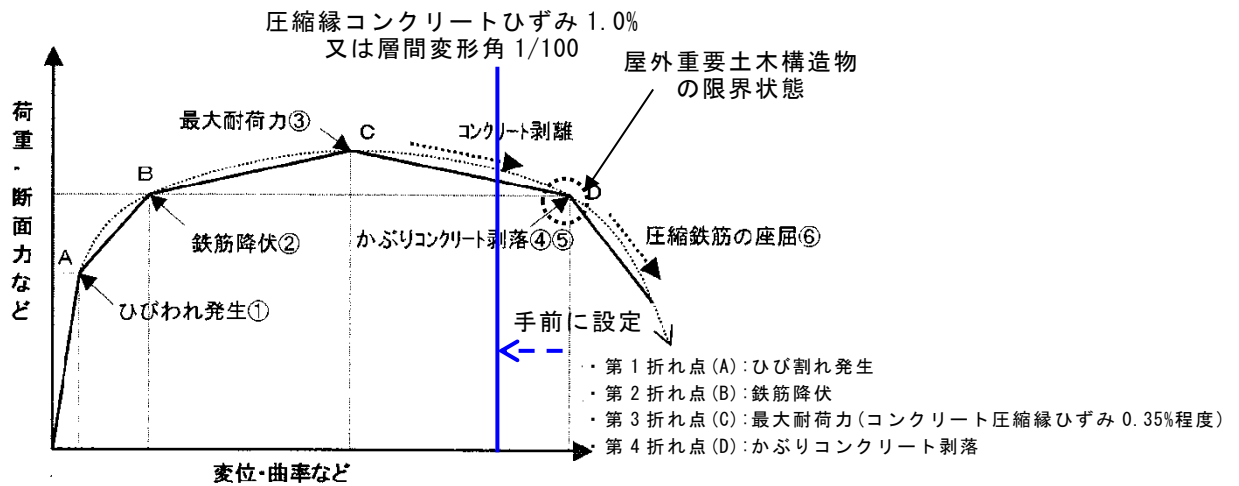
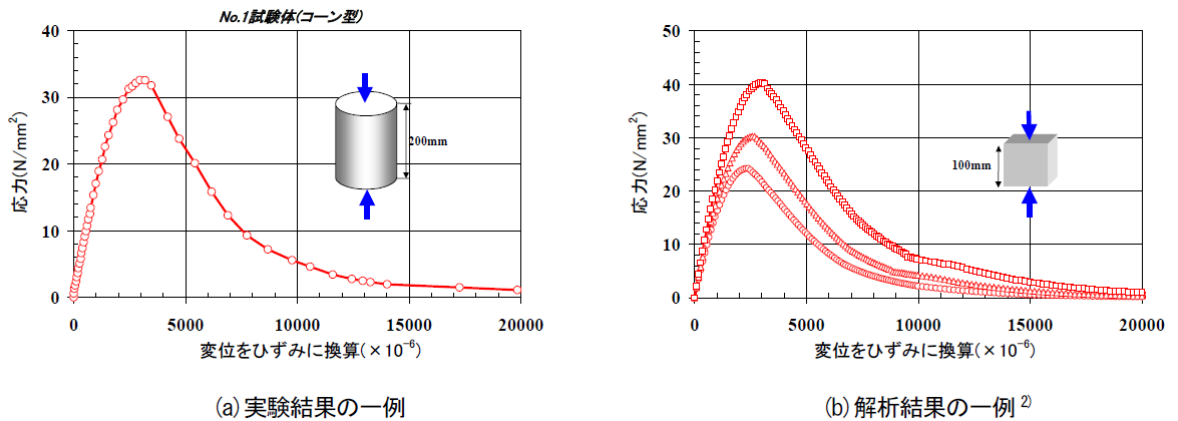


図6.3-2 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図  
(土木学会マニュアル2005に加筆)

かぶりコンクリート剥落の必要条件は、「コンクリートの応力が零に近い」である。コンクリートの圧縮ひずみが 1.0% (10000  $\mu$ ) 時のコンクリートの圧縮応力は、圧縮強度のレベルにもよるが、おおむね 2~7N/mm<sup>2</sup> 程度残留している状態であり(図 6.3-3 参照)、これはかぶりコンクリートの剥落に対して若干の裕度を含んだ妥当な設定であると判断できる。

以上より、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000  $\mu$ ) に至る状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であり、荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで、構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。なお、土木学会マニュアル 2005 では、限界層間変形角 1/100 以下であることを確認することで、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000  $\mu$ ) を保証したものとみなすことも記載されている。



(a) 実験結果の一例 (b) 解析結果の一例<sup>2)</sup>  
図6.3-3 コンクリートの圧縮ひずみが1.0% (10000  $\mu$ ) 時点における残留応力  
(土木学会マニュアル2005)

したがって、土木学会マニュアル 2005 による曲げ・軸力系の破壊に対する照査手法は、コンクリート標準示方書 2002 による照査よりも安全側の評価を与えるため、適用性を有している。参考に、鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説（日本建築学会，2004 年）（以下「建築学会指針 2004」という。）における曲げ降伏先行型の部材について、復元力特性と限界状態の関係の概念図を図 6.3-4 に示す。建築学会指針 2004（図 6.3-4）と土木学会マニュアル 2005（図 6.3-2）は表 6.3-1 のとおりおおむね対応が取れており、いずれにおいても圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%（10000 $\mu$ ）は第 4 折れ点よりも手前にあり、限界状態に至っていないと考えられる。よって、土木学会マニュアル 2005 の各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。

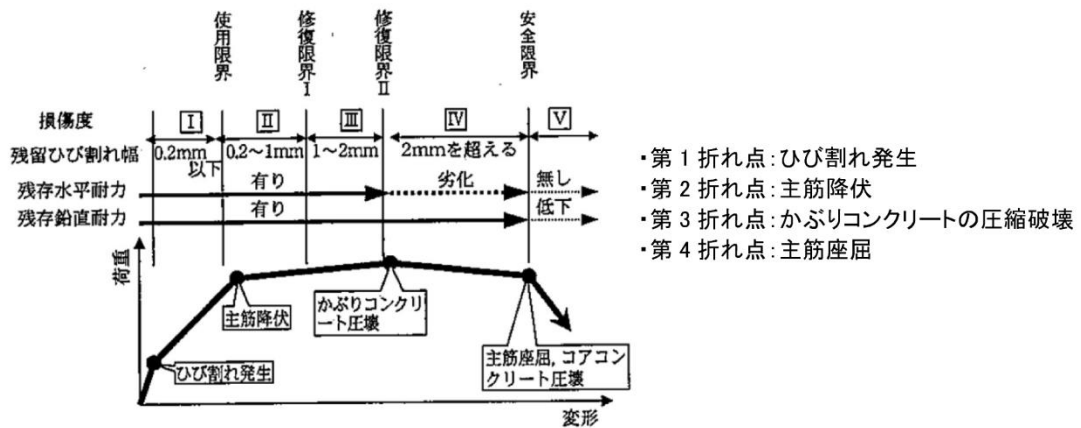


図6.3-4 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態の関係の概念図  
（建築学会指針2004）

表 6.3-1 土木学会マニュアル 2005 と建築学会指針 2004 の記載の比較

	土木学会マニュアル 2005 の記載	建築学会指針 2004 の記載
第 1 折れ点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>コンクリートに曲げひびわれが発生する時点</u>に対応する。</li> <li>・コンクリートは引張強度に達している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>ひび割れが発生する。</u></li> </ul>
第 2 折れ点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>引張鉄筋が降伏する時点</u>に対応する。</li> <li>・これ以降鉄筋の塑性化が進む。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>主筋が降伏する。</u></li> </ul>
第 3 折れ点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最大荷重点に対応する。</li> <li>・これ以降、<u>かぶりコンクリートの剥離</u>などの現象が生じる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>かぶりコンクリートが圧壊する。</u></li> </ul>
第 4 折れ点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・第 2 折れ点相当の降伏荷重を維持する時点に対応する。</li> <li>・かぶりコンクリートが剥落して、<u>圧縮鉄筋が降伏し、内部コンクリートが損傷する状態</u>になる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主筋が座屈し、<u>コアコンクリートが圧壊する。</u></li> </ul>
第 4 折れ点以降	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧縮鉄筋が座屈したり場合によっては引張鉄筋が破断する。</li> </ul>	

曲げ・軸力系の破壊に対する照査において考慮している安全係数は、表 6.3-2 に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアル 2005 において以下の考えにより定められている。

(1) 材料係数

コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が 5.0%以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格（J I S）の規格範囲の下限値を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は 1.0 としている。

(2) 部材係数

安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は 1.0 としている。

(3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。

(4) 構造解析係数

地盤特性－構造物連成系の応答解析手法の妥当性は、大型振動台実験を行い、その実験結果に基づいて検証されているが、限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響などを考え併せて、構造解析係数は1.2以上を標準としている。

(5) 構造物係数

基準地震動  $S_s$  は地点ごとにサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。したがって、構造物係数によりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。

表6.3-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査において考慮している安全係数

安全係数		曲げ・軸力系の破壊に対する照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.0
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数		—	1.0
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.2	—
構造物係数		1.0	

以上のことから、土木学会マニュアル 2005 による曲げ・軸力系の破壊に対する照査手法は、コンクリート標準示方書 2002 による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断した。

### 6.3.2 せん断破壊

せん断破壊に対する照査は，コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 に基づき，照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。土圧等の分布荷重を受ける部材については，土木学会マニュアル 2005 に準拠した線形被害則を適用し，表 6.3-3 に記載の基本式によりせん断耐力を算定する。また，表 6.3-4 にせん断破壊に対する照査において考慮している安全係数を示す。

コンクリート標準示方書 2002 と土木学会マニュアル 2005 のせん断耐力式の考え方については，棒部材式のうちせん断スパンより設定される係数  $\beta_a$  の考慮の有無において差異がある。ただし，屋外重要土木構造物の評価にあたっては，保守的に  $\beta_a$  を考慮しない ( $\beta_a = 1.0$ ) ことから，コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 の差異はない。



表6.3-3 せん断耐力式の比較表

	コンクリート標準示方書2002	土木学会マニュアル2005
棒部材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd}$ : せん断耐力 $V_{cd}$ : コンクリート負担 $V_{sd}$ : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p$ : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 $\beta_n$ : 発生曲げモーメントで決まる係数 $f_{vcd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる $b_w$ : 腹部の幅 $d$ : 有効高さ $\gamma_b$ : 安全係数	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd}$ : せん断耐力 $V_{cd}$ : コンクリート負担 $V_{sd}$ : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p$ : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 $\beta_n$ : 発生曲げモーメントで決まる係数 $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ $f_{vcd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる $b_w$ : 腹部の幅 $d$ : 有効高さ $\gamma_b$ : 安全係数
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土木学会マニュアル2005では, せん断スパンより設定される係数<math>\beta_a</math>を考慮しコンクリート標準示方書2002のせん断耐力式を精緻化</li> <li>・屋外重要土木構造物の評価においては, 保守的に<math>\beta_a</math>を考慮しない (<math>\beta_a = 1.0</math>)</li> </ul>	
デュープリーム	$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$ $V_{ydd}$ : せん断耐力 $V_{cdd}$ : コンクリート負担 $V_{sdd}$ : せん断補強筋負担 $V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ $a_v$ : 荷重作用点から支承前面までの距離 $f_{dd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる	$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$ $V_{ydd}$ : せん断耐力 $V_{cdd}$ : コンクリート負担 $V_{sdd}$ : せん断補強筋負担 $V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ $a_v$ : 荷重作用点から支承前面までの距離 $f_{dd}$ : 設計基準強度, 安全係数等で決まる
	同一の評価式	

(1) 材料係数

限界値算定時に適用する材料係数はコンクリート標準示方書 2002 に準拠して、コンクリートに対して 1.3, 鉄筋に対して 1.0 としている。応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が、特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定していることから、安全側の照査がなされているため、材料係数は 1.0 としている。

(2) 部材係数

コンクリート標準示方書 2002 に準拠して、コンクリート寄与分に対して 1.3, 鉄筋寄与分に対して 1.1 としている。

(3) 荷重係数

地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は 1.0 としている。

(4) 構造解析係数

変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて 1.05 としている。

(5) 構造物係数

基準地震動  $S_s$  は地点ごとにサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。したがって、構造物係数によりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は 1.0 としている。

表6.3-4 せん断破壊に対する照査において考慮している安全係数

安全係数		せん断照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数	コンクリート	—	1.3
	鉄筋	—	1.1
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.05	—
構造物係数		1.0	

以上のことから，土木学会マニュアル 2005 によるせん断破壊に対する照査手法は，屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため，技術的妥当性及び適用性を有すると判断した。

## 6.4 具体的な照査方法

曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する具体的な照査方法について記載する。なお、本節では2次元時刻歴応答解析による応答値に対する照査について記載し、3次元静的解析における照査方法については、個別構造物の計算書において記載する。

### 6.4.1 限界状態設計法による照査

#### (1) 曲げ・軸力系の破壊

曲げ・軸力系の破壊については全時刻照査を実施することとし、層間変形角、ひずみ及び曲げモーメントを許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

#### a. 層間変形角で照査をする場合

層間変形角で照査をする場合、図 6.4-1 のとおり各鉛直部材ごとに層間変形角を算定し、許容限界である 1/100 を下回ることを確認する。

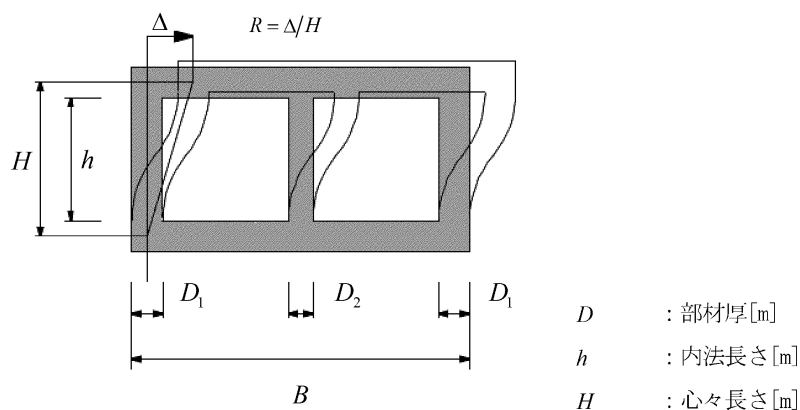


図 6.4-1 層間変形角の定義（土木学会マニュアル 2005）

#### b. ひずみで照査をする場合

ひずみで照査する場合、非線形はり要素（ファイバー要素）を構成する全要素におけるひずみを対象とする。なお、コンクリートのひずみは圧縮側を、鉄筋のひずみは圧縮及び引張の両方を参照し、許容限界を下回ることを確認する。照査に用いるひずみ値の算出方法を図 6.4-2 に示す。

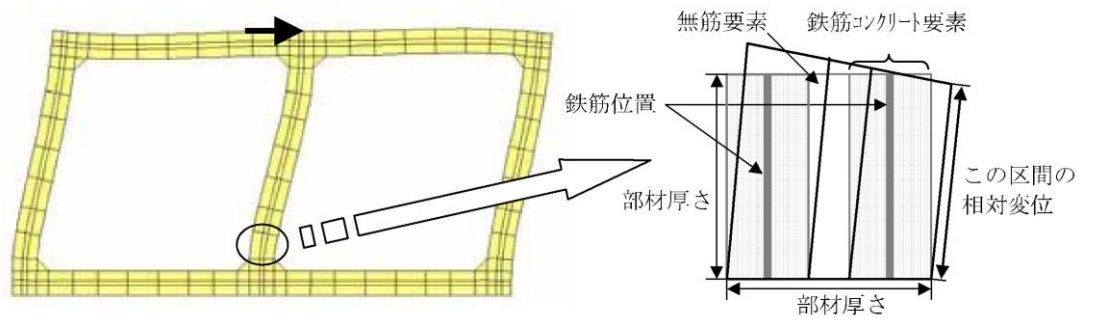


図 6.4-2 照査に用いるひずみ値の算出方法（土木学会マニュアル 2005）

c. 曲げモーメントで照査をする場合

曲げモーメントで照査をする場合、非線形はり要素（ $M-\Phi$ モデル）を構成する全要素において設定した断面降伏に相当する曲げモーメントを発生曲げモーメントが下回ることを確認する。鉄筋コンクリート部材の $M-\Phi$ 関係について図 6.4-3 に示す。

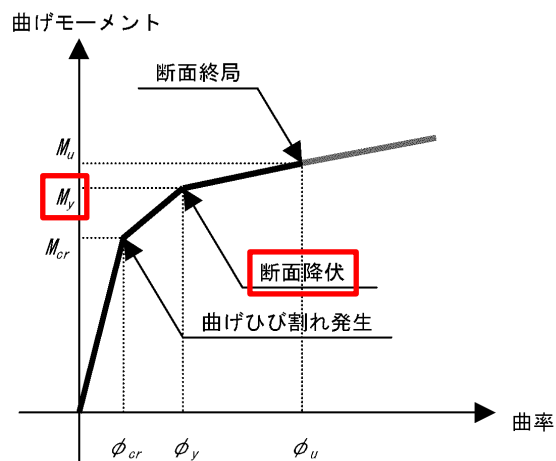


図 6.4-3 鉄筋コンクリート部材の $M-\Phi$ 関係（土木学会マニュアル 2005 に加筆）

(2) せん断破壊

せん断破壊については全時刻照査を実施することとし、はり要素を構成する全要素（ただし、支承前面から $D/2$ （ $D$ ：断面高さ）の区間は対象から除外する）における発生せん断力をせん断耐力で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

せん断耐力式については、コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 に準拠することを基本とする。図 6.4-4 に土木学会マニュアル 2005 に記載のせん断耐力式を示す。なお、保守的に $\beta_a$ を考慮しない（ $\beta_a = 1.0$ ）ことで、コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 の差異はない。

ただし、コンクリート標準示方書 2002 及び土木学会マニュアル 2005 に準拠することで、軸方向引張力が卓越した時刻においてコンクリートが分担するせん断耐力 $V_{c,d}$ が合理的に算定できず、見かけ上極めて微小なせん断力に対しても抵抗できない結果となる場合がある。このような場合においては、既往の実験結果をもとに実験値と計算値の比較を行い、せん断耐力式を構成する係数 $\beta_n$ の考え方を見直したコンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2007年）に準拠する。

a. 棒部材式

$$V_{sd} = V_{cd} + V_{sd} \quad (6.3-3)$$

ここに、 $V_{cd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sd}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc} \quad (6.3-4)$$

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

$$\beta_d = \sqrt[3]{\sqrt{d}} \quad (d[\text{m}]) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

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

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

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

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

( $a/d = 5.6$  で  $\beta_a = 1.0$  となって示方書棒部材式に一致)

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$  : 引張鉄筋比

$A_s$  : 引張側鋼材の断面積

$b_w$  : 部材の有効幅

$N'_d$  : 設計軸圧縮力

$M_d$  : 設計曲げモーメント

$M_0 = N'_d \cdot D / 6$  :  $M_d$  に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打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

$a$  : 後述の(3)で定めるスパン

$\gamma_{bc}$  : 部材係数 (表 6.1-1 参照, コンクリート寄与分用の値)

$$V_{sd} = \{A_w f_{vwd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z / \gamma_{bs} \quad (6.3-5)$$

$A_w$  : 区間  $s$  におけるせん断補強鉄筋の総断面積

$f_{vwd}$  : せん断補強鉄筋の降伏強度で、 $400 \text{ N/mm}^2$  以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値  $f_{ck}$  が  $60 \text{ N/mm}^2$  以上のときは、 $800 \text{ N/mm}^2$  以下としてよい。(特性値を材料係数で除したもの)

$\alpha$  : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

$s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、一般に  $d/1.15$  としてよい。

$\gamma_{bs}$  : 部材係数 (表 6.1-1 参照, せん断補強筋寄与分用の値)

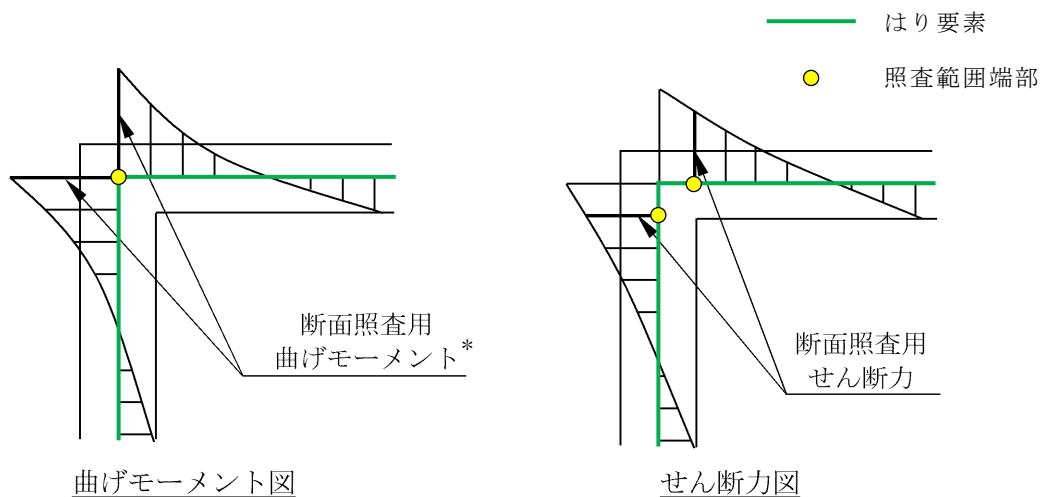
コンクリート標準示方書[設計編] (土木学会, 2007年) においては、以下の形に見直されている。  
 $\beta_n = 1 + 4M_0 / M_{ud}$   
 ここで、 $M_{ud}$  : 軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

図 6.4-4 せん断耐力式 (土木学会マニュアル 2005) (赤線・赤字で加筆)

#### 6.4.2 許容応力度法による照査

許容応力度法により照査をする場合、地震応答解析において構造部材（鉄筋コンクリート）を構成するはり要素に発生した断面力を用いる。

図 6.4-5 に示すとおり、曲げ・軸力系の破壊に対する照査では要素端部までを照査範囲とし、せん断破壊に対する照査では部材端部（支承前面）までを照査範囲とする。



注記\*：応力の算定においては、同一節点における軸力も用いる

図 6.4-5 はり要素における照査位置

#### 6.4.3 剛域の設定の有無について

剛域については、一般に構造物の部材寸法に占める剛域長の割合が 10%程度以下であることから、構造物の地震時挙動及び耐震安全性評価に与える影響は軽微であると考えられるが、設定の有無により地震応答解析における応答値及び部材照査に少なからず影響を及ぼす可能性がある。具体的には、剛域を設定することで、構造物全体のせん断剛性が相対的に大きくなり、地震応答解析における応答値である変形を小さく評価する又は発生断面力を大きく評価する可能性がある。

また、部材照査においては剛域内の断面力を無視できることから、保守的ではないが、合理的な部材照査を行うことができる。一方で、剛域部の要素分割が他の一般部と比較して細かくなりすぎる傾向もある。

以上を踏まえ、剛域を考慮する構造物については、当該構造物の補足説明資料に剛域の設定について記載する。



## 7. ジョイント要素のばね設定

一般に、「地盤と構造物（置換コンクリート及びMMRを含む）」、「地盤と改良地盤」、「構造物と改良地盤」及び「構造物と置換コンクリート又は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、地盤と構造物等の接合面は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。ただし、岩盤と無筋コンクリートの接合面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。

ジョイント要素は、地盤と構造物の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向は、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、地盤と構造物の接合面において、地盤と構造物等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（屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）（A-A断面）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 に一例として構造物周辺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。

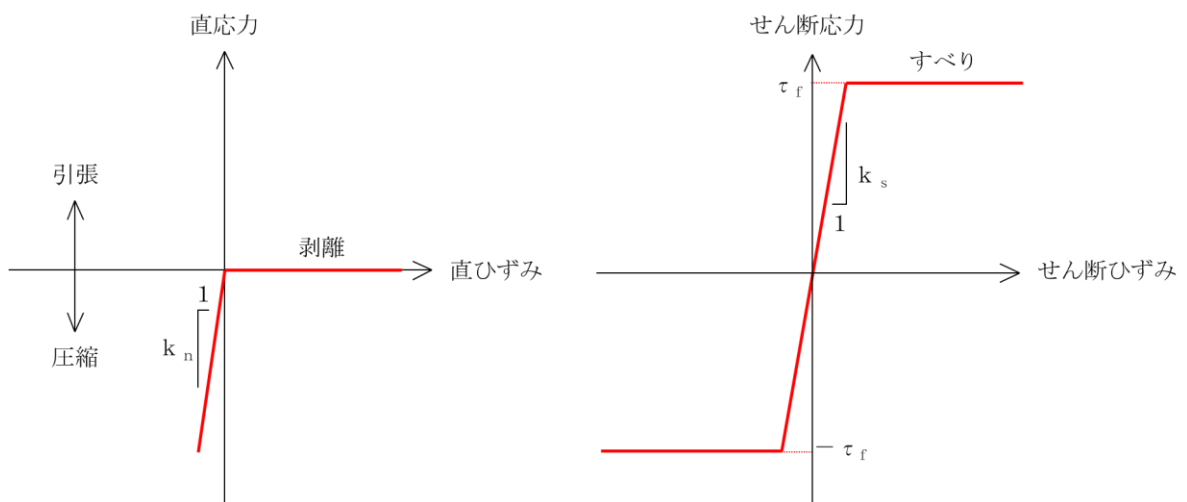


図7-1 ジョイント要素の力学特性

- : 岩盤（第2層）
  - : 埋戻コンクリート
  - : 埋戻土
- : 評価対象構造物
  - : 構造物（妻壁）
  - : ジョイント要素

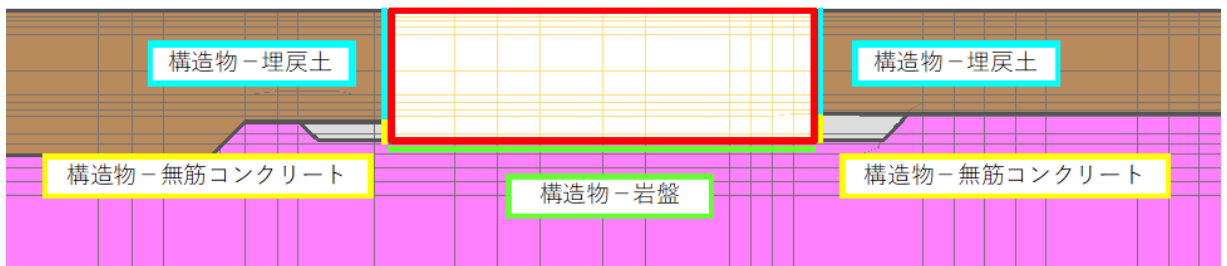


図7-2 ジョイント要素の配置図（緊急時対策所用燃料地下タンク（B-B断面）の例）

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（構造物周辺の例）

ジョイント要素 設定位置	再現する実挙動	構造物の評価への影響
構造物の頂部	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。	構造物における曲げ・軸力系の破壊及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。
構造物の底面	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。	構造物における曲げ・軸力系の破壊及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で、接地面積が狭くなり、保守的な設定となる。
構造物の側方	側方地盤が相対的に離れる場合、地盤との境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。	構造物における曲げ・軸力系の破壊及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。

## 7.1 せん断強度の設定

せん断強度  $\tau_f$  は式(1)の Mohr-Coulomb 式により規定される。接合面に設定するジョイント要素の粘着力  $c$  及び内部摩擦角  $\phi$  は、周辺地盤の  $c$ 、 $\phi$  とし、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に基づき設定する。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（置換コンクリート及びMMRを含む）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  $\phi$  を表 7.1-1 のとおり設定する。

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

ここに、 $\tau_f$ ：せん断強度  
 $c$ ：粘着力  
 $\phi$ ：内部摩擦角

表 7.1-1 要素間の粘着力と内部摩擦角

接合条件		粘着力 $c$ (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)
材料 1	材料 2		
構造物	無筋コンクリート*1	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	改良地盤	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	埋戻土	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	岩盤	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
改良地盤	無筋コンクリート*1	材料 1 の $c$	材料 1 の $\phi$
	埋戻土	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	C <sub>H</sub> ・C <sub>M</sub> 級岩盤	材料 1 の $c$	材料 1 の $\phi$
	C <sub>L</sub> 級岩盤	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
無筋コンクリート*1	無筋コンクリート*1	設計基準強度が 小さい材料の $c$	設計基準強度が 小さい材料の $\phi$
	埋戻土	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	岩盤	—*2	—*2

注記\*1：MMR，置換コンクリート及び埋戻コンクリートの総称

\*2：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。

## 7.2 ばね定数の設定

ジョイント要素のばね定数は、土木学会マニュアル 2005 を参考に、数値計算上、不安定な挙動を起こさない程度に周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。

表 7.2-1 にジョイント要素のばね定数を示す。

表7.2-1 ジョイント要素のばね定数

圧縮剛性 $k_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	せん断剛性 $k_s$ (kN/m <sup>3</sup> )
$1.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$

なお、表 7.2-1 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を確認する。

## 8. 解析モデルの作成方針

### 8.1 隣接構造物のモデル化方針

隣接構造物は、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対象は、岩盤上に設置されており、評価対象構造物と同等以上の大きさで埋め込みを有し、かつ耐震性を有する建物・構築物（原子炉建物等）とする。

隣接構造物は、建物・構築物の多質点系モデルを基に有限要素モデルでモデル化する。多質点系モデルのフロア毎に重量を、層毎に剛性を集約し、多質点系モデルと振動的に等価な単軸モデル（水平、鉛直）を作成し、1次モードの固有周期が同等となるよう単軸モデルのせん断断面積及び断面2次モーメントを補正する。その後、単軸モデルの水平剛性 $K_H$ 、鉛直剛性 $K_V$ 及び曲げ剛性 $K_\theta$ を有限要素モデルのせん断剛性 $G$ 、ポアソン比 $\nu$ 及びばね定数 $k_s$ に変換し、単軸モデルと有限要素モデルが振動的に等価となるよう一致させる。なお、重量については、各節点の分担長に応じて層毎に設定する。調整結果については、各構造物の補足説明資料において記載する。

隣接構造物のモデル化は、当該隣接構造物の耐震クラス（Sクラスかどうか）、当該隣接構造物が直接的もしくは間接的に評価対象構造物に荷重を伝達するか、評価対象構造物と隣接構造物の間の埋戻し状況等を踏まえ、図8.1-1に示す隣接構造物のモデル化フローに基づき決定する。評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例を図8.1-2、フローに対応する各解析断面の地質断面図を図8.1-3に示す。

なお、隣々接構造物（隣接構造物のさらに外側に位置する隣接構造物）の及ぼす影響については、硬質岩盤においては隣接建物が検討対象建物の応答に与える影響が小さいとされており、硬岩サイトである島根原子力発電所第2号機においても同様の傾向であることを「補足023-07 隣接建物の影響に関する補足説明資料」で確認していることを踏まえ、隣々接構造物は保守的に埋戻し土としてモデル化する。

#### (a) 評価対象構造物と十分な離隔を有する場合

評価対象構造物と隣接構造物の間が十分な離隔を有する場合、隣接構造物の応答が評価対象構造物の地震時応答に与える影響は小さいことから、隣接構造物はモデル化しない。

#### (b) 隣接構造物（候補）\*のうち耐震性を有さない構造物が隣接する場合

構造物を保守的に埋戻し土としてモデル化する。構造物の範囲の埋戻し土は液状化を考慮しないことを基本とするが、設計地下水位が評価対象構造物の底版より高く、隣接構造物周辺の液状化対象層が評価対象構造物に対して影響を及ぼす可能性がある場合は、液状化を考慮する。

(c) 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合

評価対象構造物と隣接構造物が接している場合には、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。

(d) 評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻コンクリートで埋め戻されている場合

評価対象構造物と隣接構造物の間に剛性の大きい埋戻コンクリート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埋戻コンクリート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、隣接構造物が埋戻コンクリート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。

(e) 評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻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、埋戻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埋戻土としてモデル化する。

ただし、評価対象構造物と隣接構造物の間の埋戻土の幅が狭い場合、隣接構造物の振動が評価対象構造物の応答に影響を及ぼすと考えられるため、埋戻土の幅が評価対象構造物の高さよりも狭い場合においてのみ隣接構造物をモデル化する。

注記\*：岩盤上に設置されており、評価対象構造物と同等以上の大きさと地中部に埋設された建物・構築物

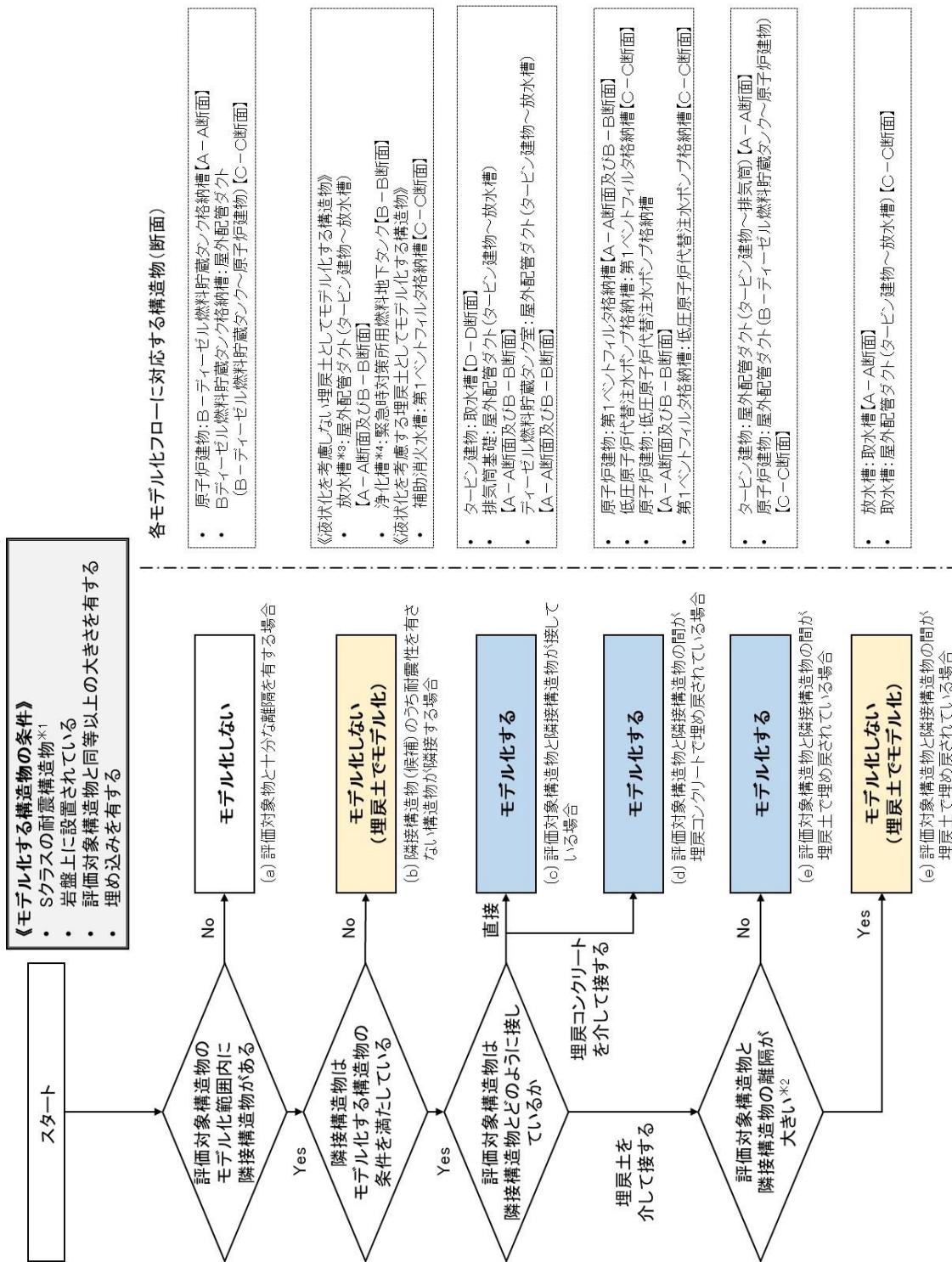
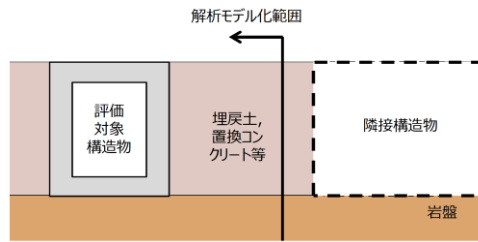


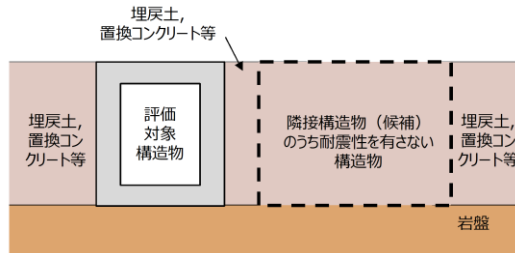
図 8.1-1 隣接構造物のモデル化フロー

注記 \* 1: ディーゼル燃料貯蔵タンク室は、屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)の補足説明資料において耐震性を有することを説明しており、モデル化する構造物に含める。  
 \* 2: 埋戻しの幅が評価対象構造物の高さより広い場合、離隔が大きいと判断する。  
 \* 3: 隣接構造物周辺の液化化対象層が屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)に対して影響を及ぼす可能性が無いことを参考資料4で確認していることから、液化化を考慮しない。  
 \* 4: 設計地下水水位が評価対象構造物の底版より低いいため、液化化を考慮しない。





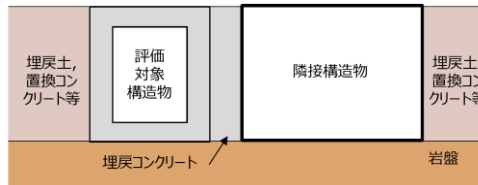
(a) 評価対象構造物と十分な離隔を有する場合



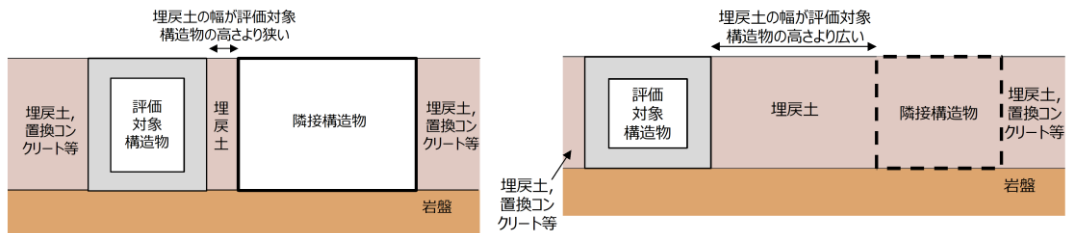
(b) 隣接構造物（候補）のうち耐震性を有さない構造物が隣接する場合



(c) 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合



(d) 評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻コンクリートで埋め戻されている場合



(e) 評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻土で埋め戻されている場合

図 8.1-2 評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例

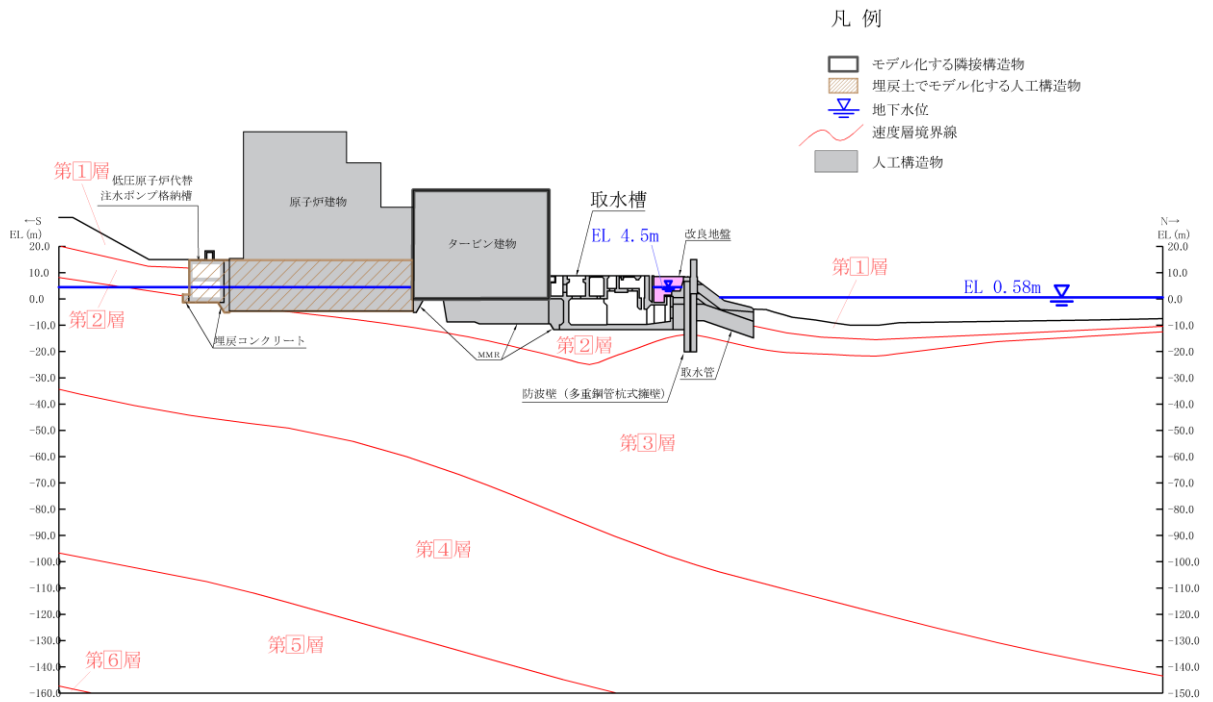


図 8.1-3(1) 隣接構造物としてモデル化する場合の例

(a) タービン建物：取水槽【D-D断面位置】

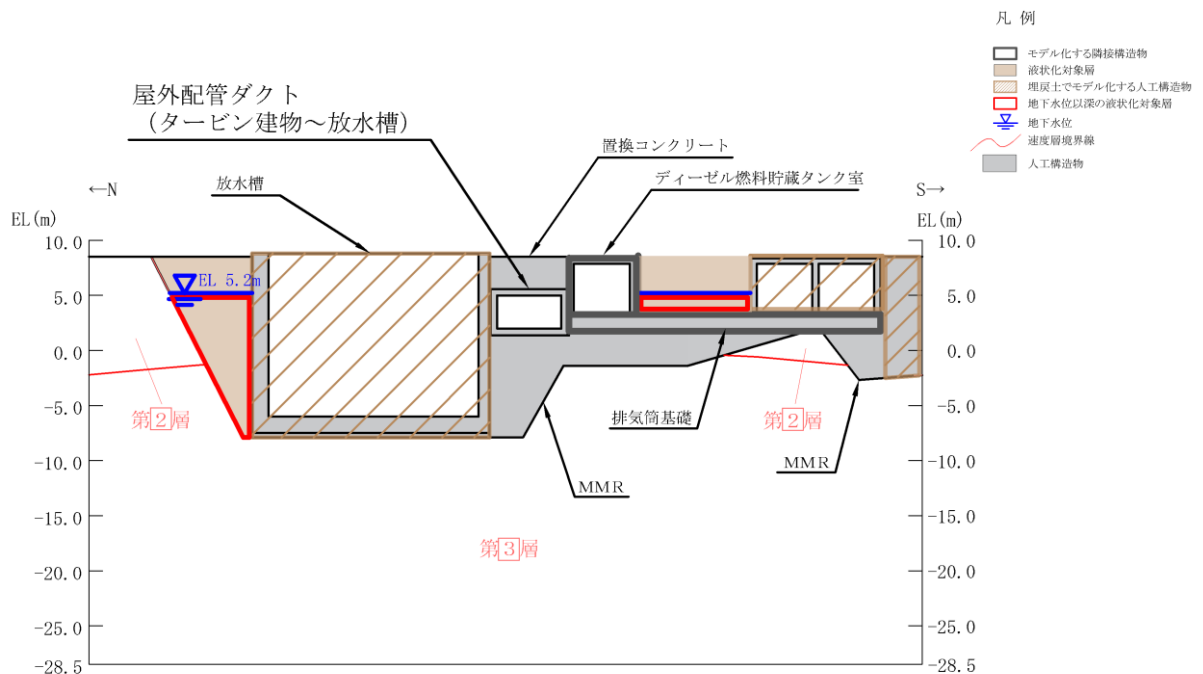


図 8.1-3(2) 隣接構造物としてモデル化する場合の例

(a) 排気筒基礎及びディーゼル燃料貯蔵タンク室：屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)【A-A断面位置】

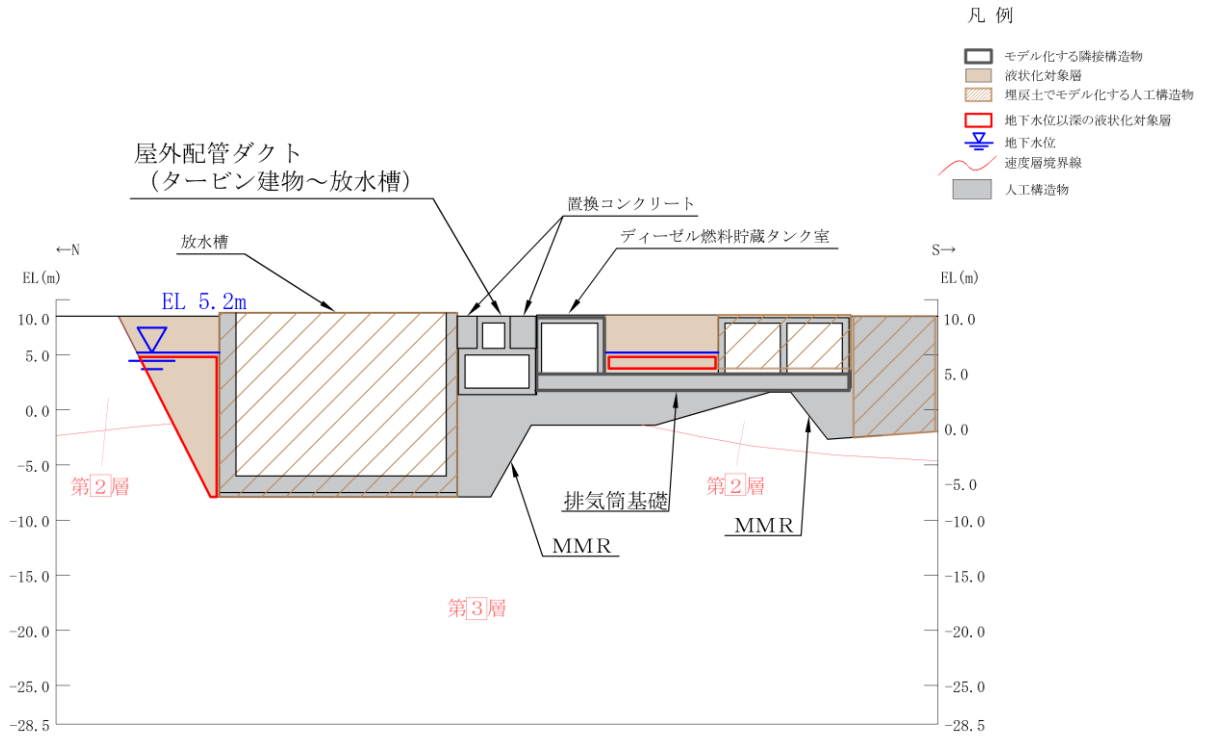


図 8.1-3(3) 隣接構造物としてモデル化する場合の例  
 (a) 排気筒基礎及びディーゼル燃料貯蔵タンク室：屋外配管ダクト  
 (タービン建物～放水槽) 【B-B断面位置】

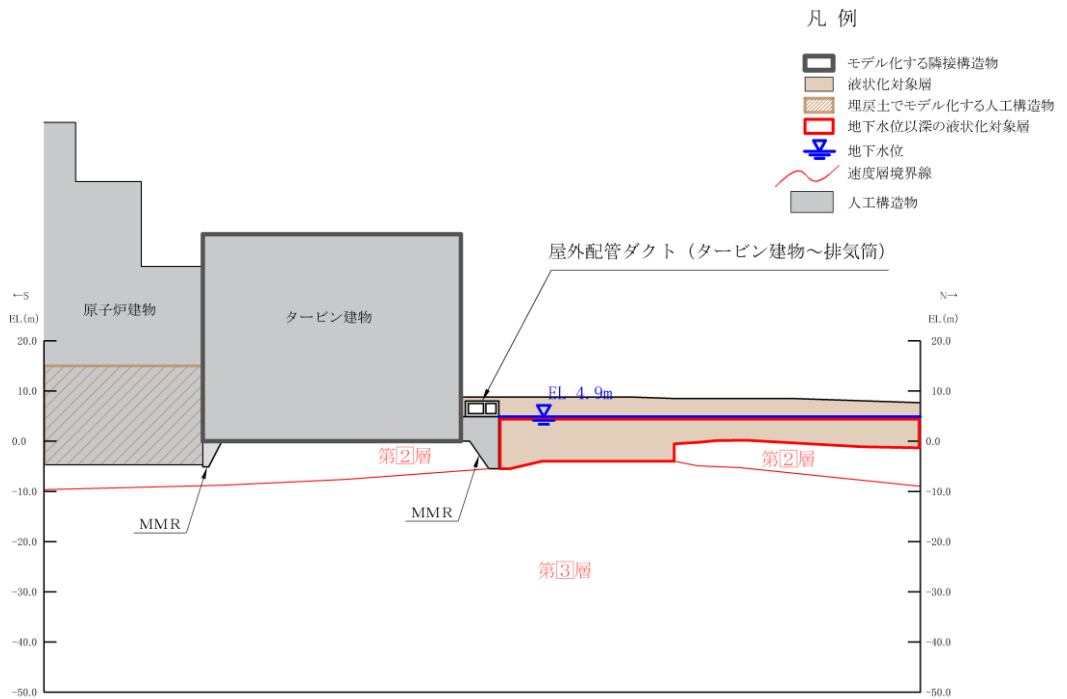


図 8.1-3(4) 隣接構造物としてモデル化する場合の例  
 (b) タービン建物：屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 【A-A断面位置】

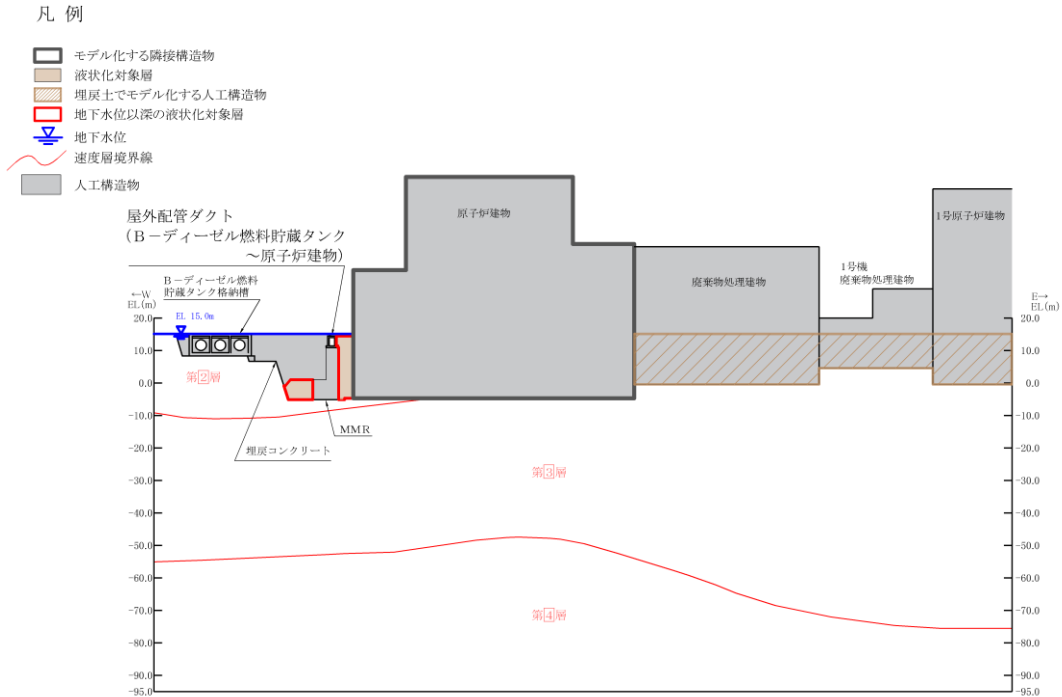


図 8.1-3(5) 隣接構造物としてモデル化する場合の例

(b) 原子炉建物：屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)

【C-C 断面位置】

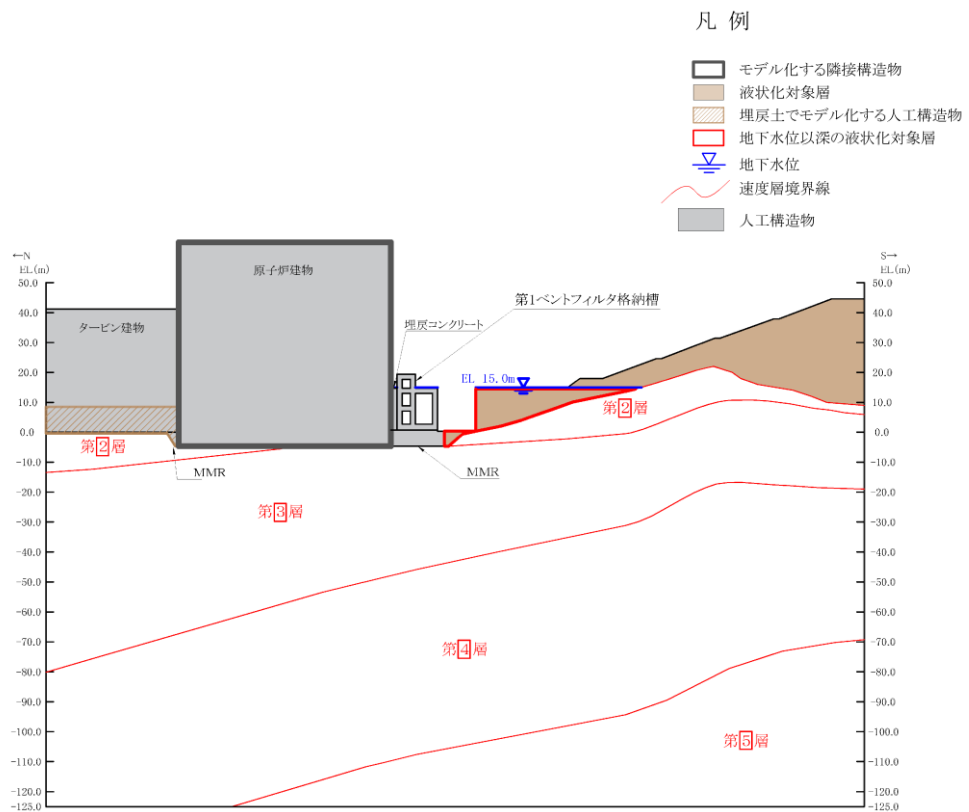


図 8.1-3(6) 隣接構造物としてモデル化する場合の例

(c) 原子炉建物：第1ベントフィルタ格納槽【A-A 断面位置】

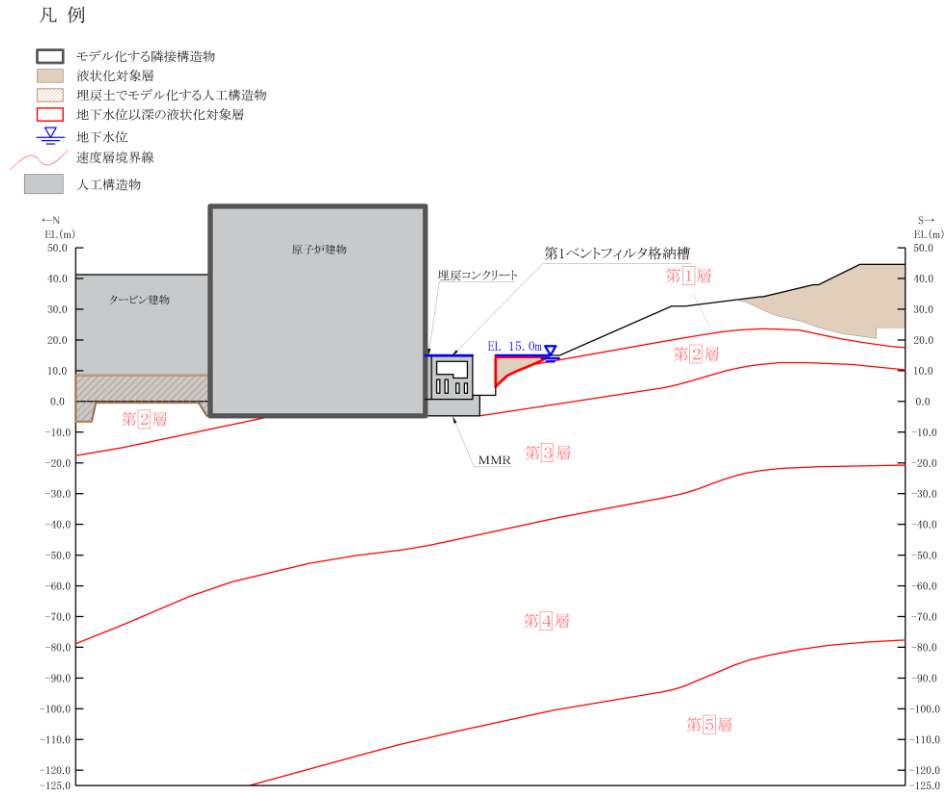


図 8.1-3(7) 隣接構造物としてモデル化する場合の例  
 (c) 原子炉建物：第1ベントフィルタ格納槽【B-B断面位置】

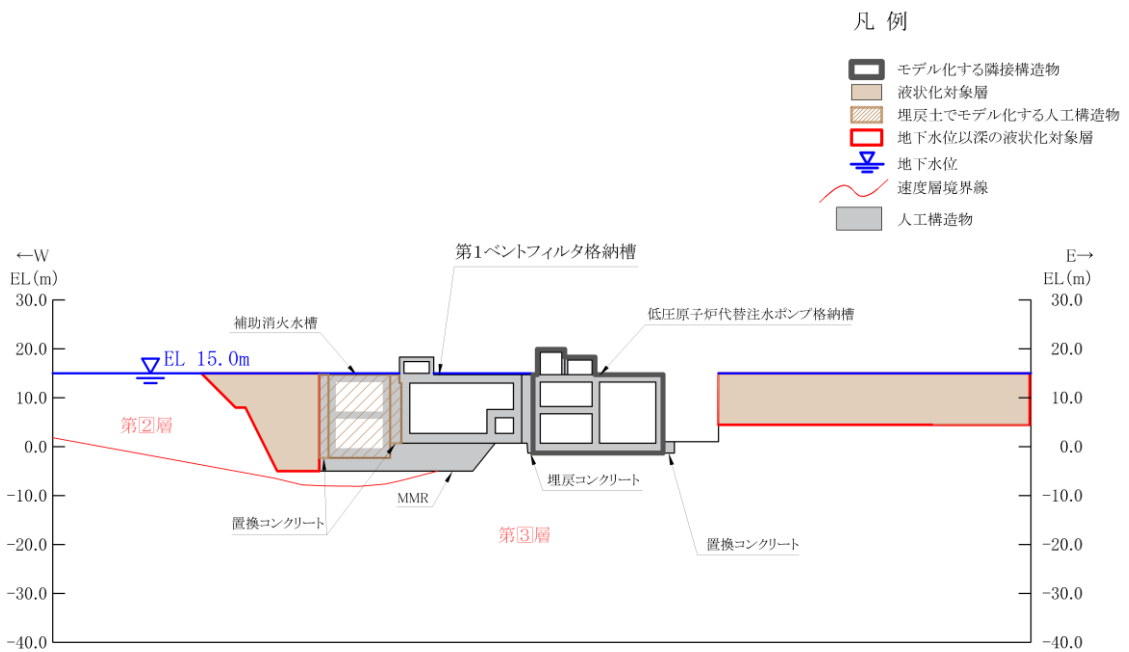


図 8.1-3(8) 隣接構造物としてモデル化する場合の例  
 (c) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽：第1ベントフィルタ格納槽【C-C断面位置】

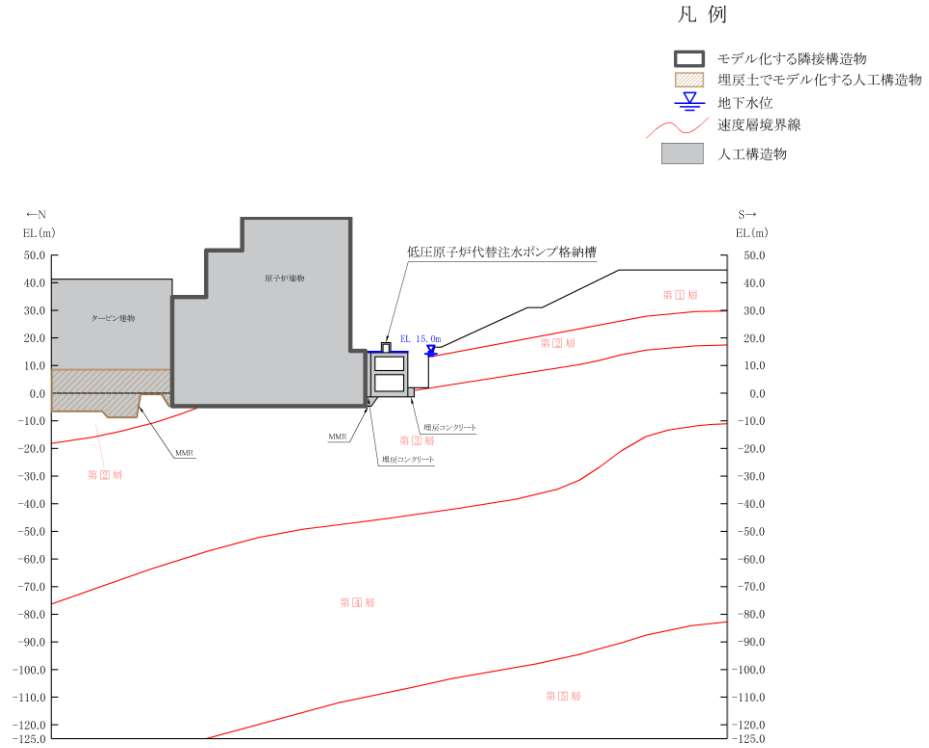


図 8.1-3(9) 隣接構造物としてモデル化する場合の例  
 (c) 原子炉建物：低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽【A-A断面位置】

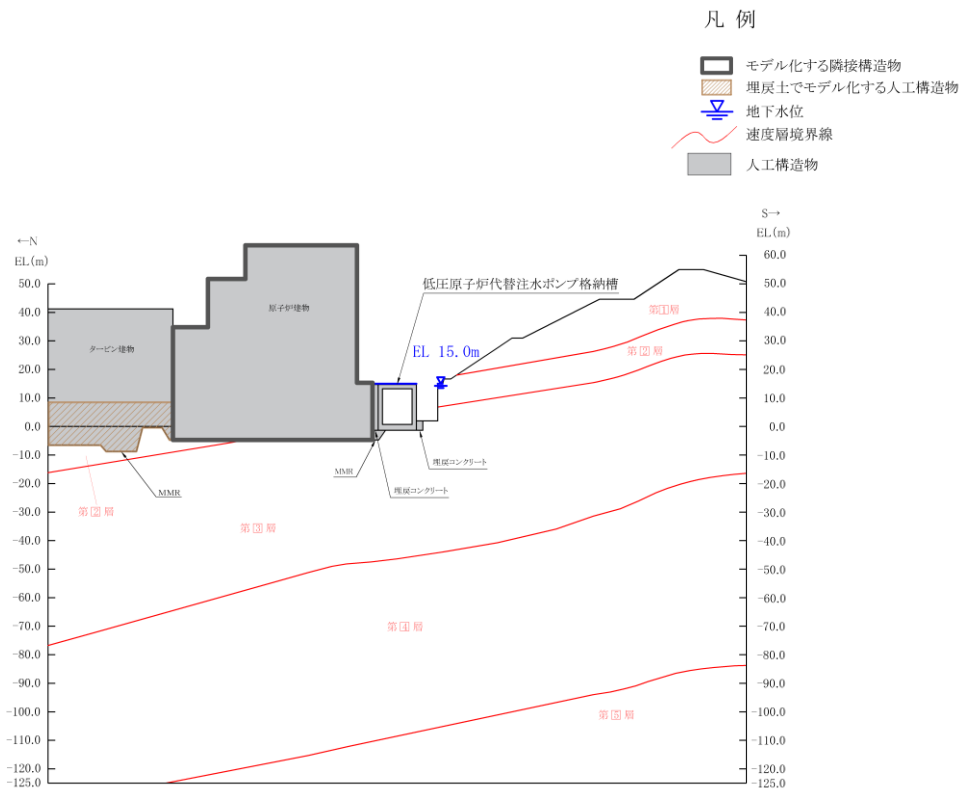









図 8.1-3(10) 隣接構造物としてモデル化する場合の例  
 (c) 原子炉建物：低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽【B-B断面位置】

凡例

-  モデル化する隣接構造物
-  液状化対象層
-  埋戻土でモデル化する人工構造物
-  地下水位以深の液状化対象層
-  地下水位
-  速度層境界線
-  人工構造物

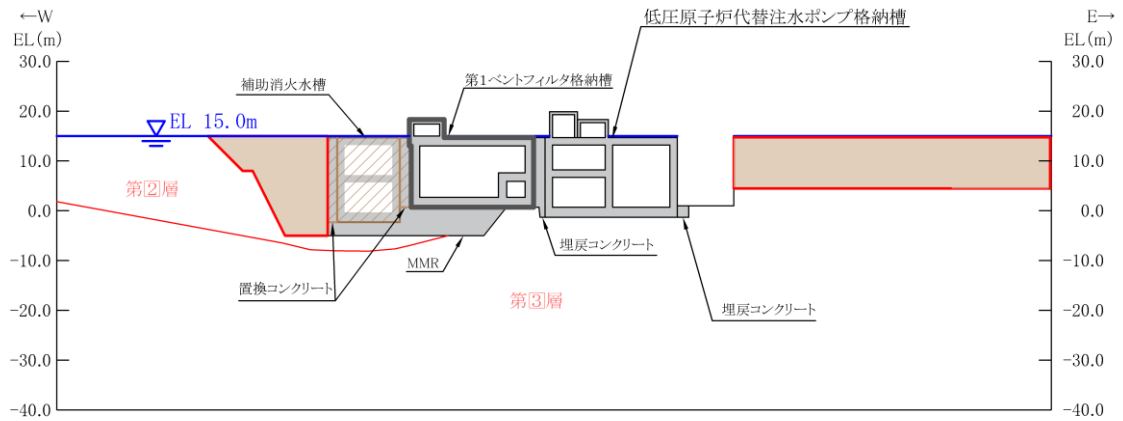


図 8.1-3(11) 隣接構造物としてモデル化する場合の例

(c) 第1ベントフィルタ格納槽：低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽【C-C断面位置】

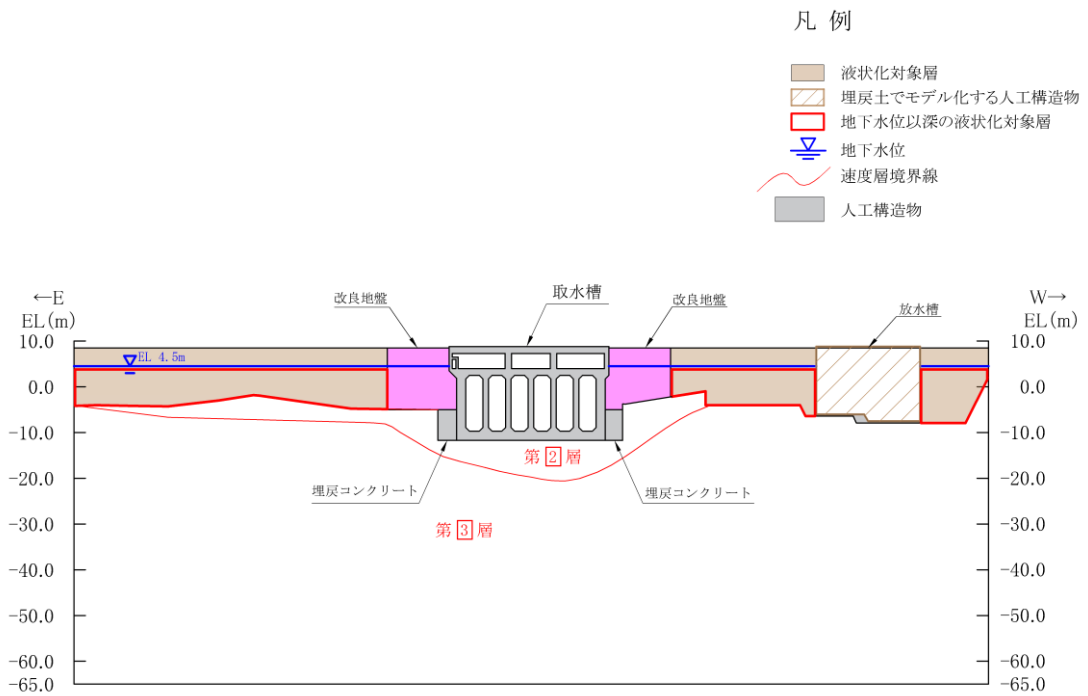


図 8.1-3(12) 埋戻土（非液状化）としてモデル化する場合の例

(b) 放水槽：取水槽【A-A断面位置】

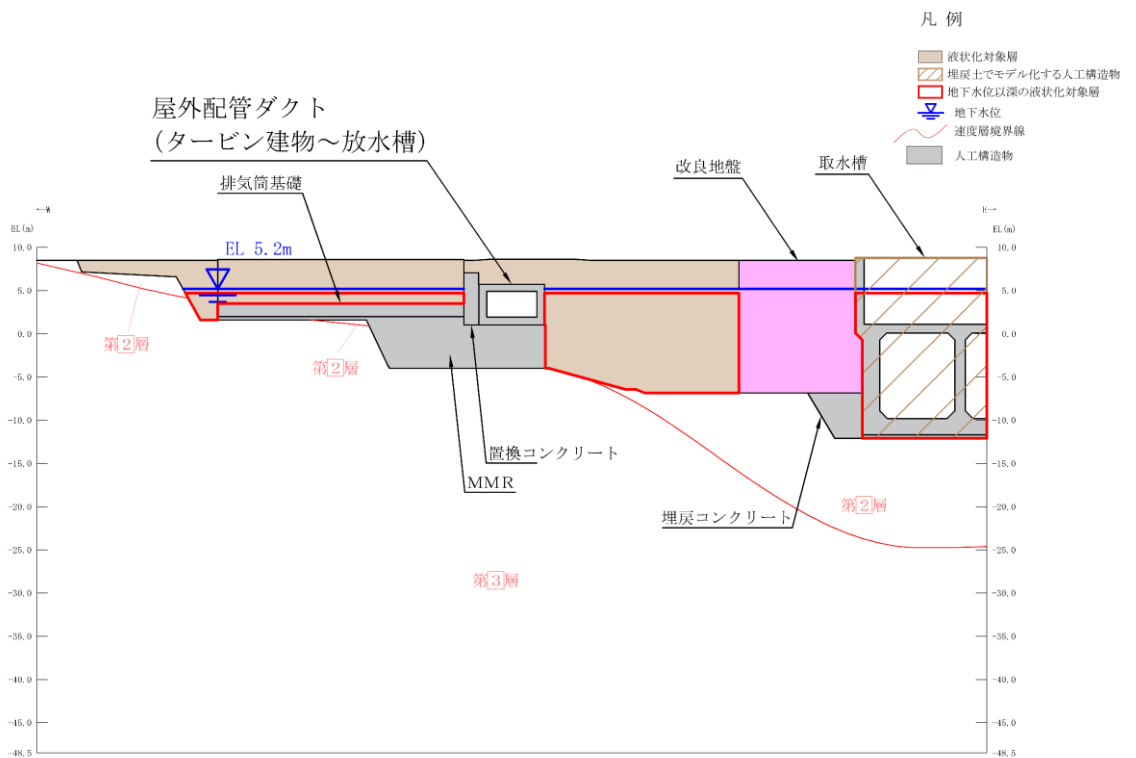


図 8.1-3(13) 埋戻土（非液状化）としてモデル化する場合の例

(b) 取水槽：屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）【C-C断面位置】



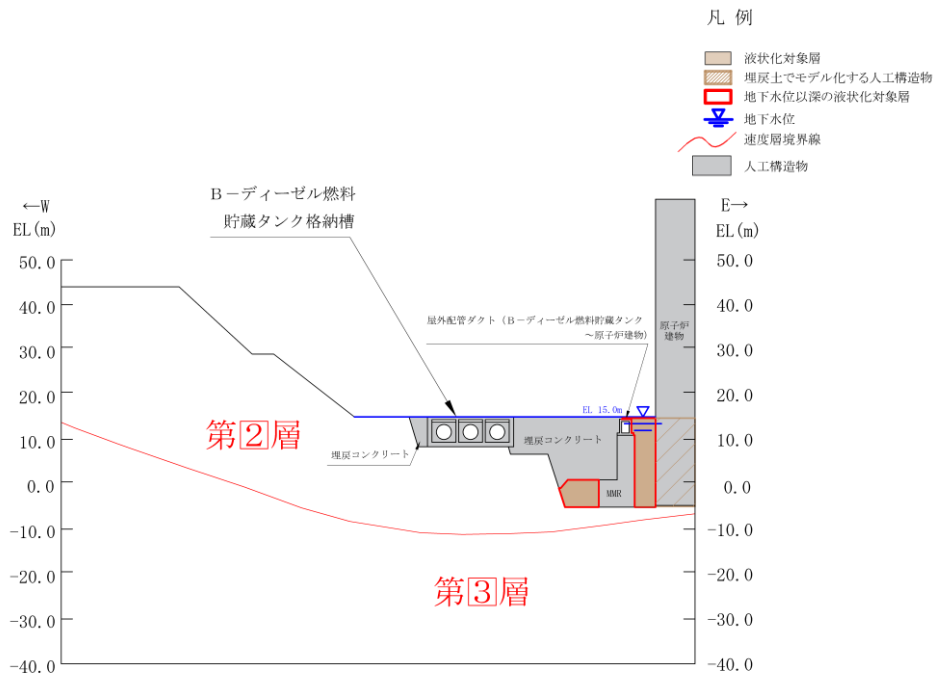


図 8.1-3(14) 埋戻土（非液状化）としてモデル化する場合の例

(d) 原子炉建物：B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽【A-A断面位置】

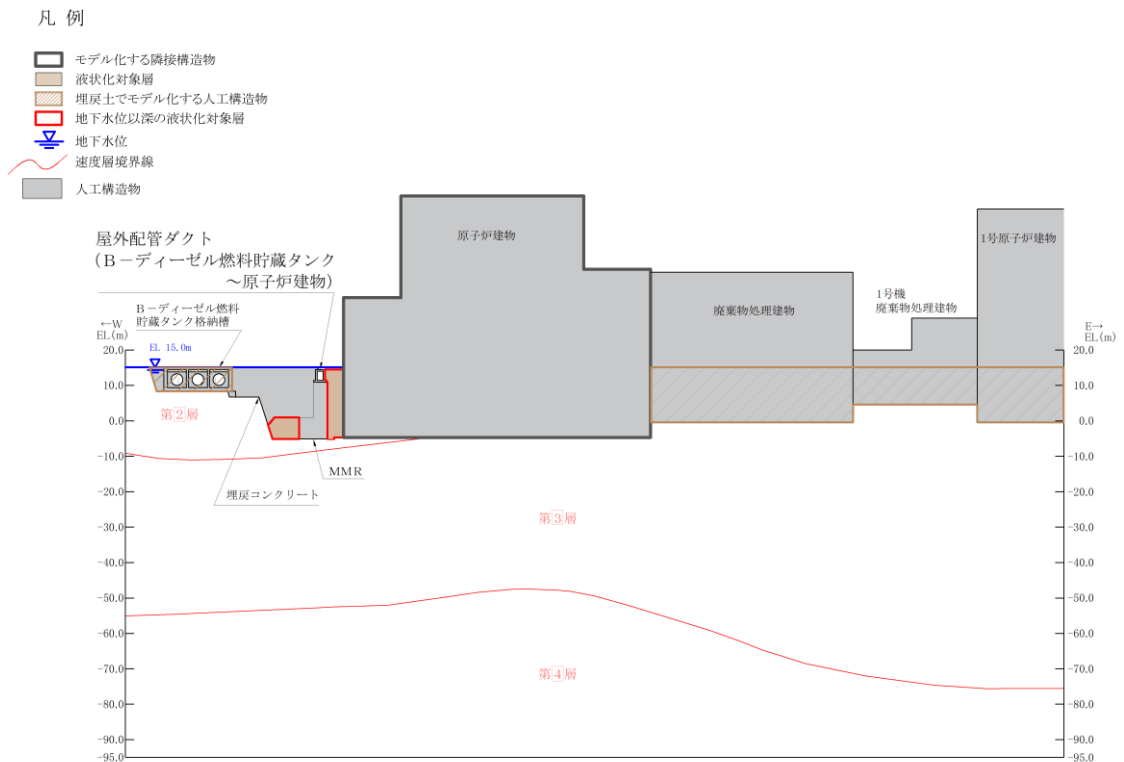


図 8.1-3(15) 埋戻土（非液状化）としてモデル化する場合の例

(d) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽：屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)【C-C断面位置】

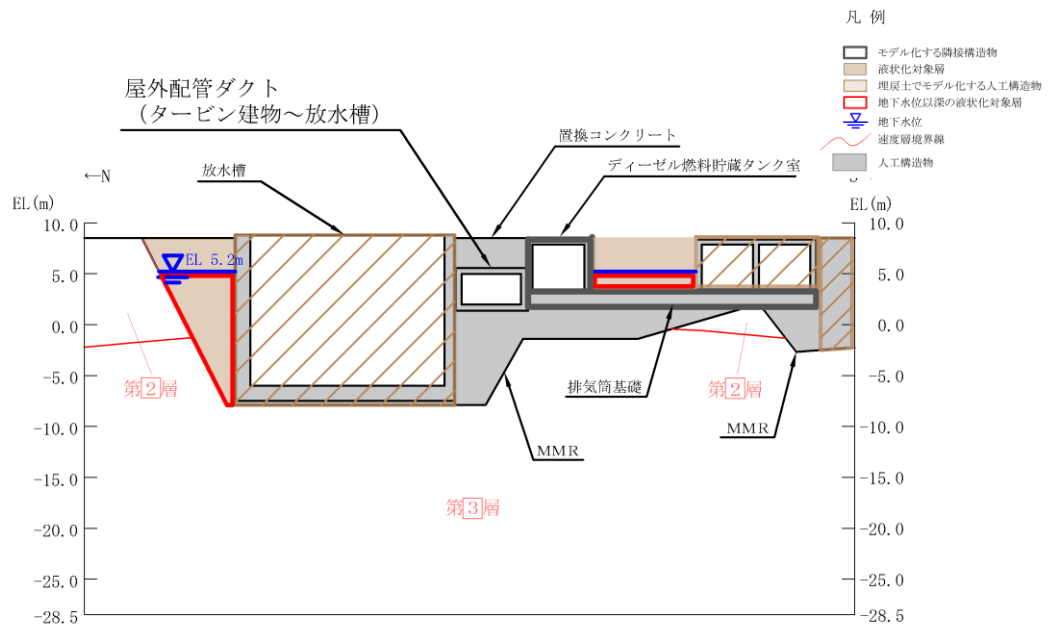


図 8.1-3(16) 耐震性を有さない構造物を埋戻土としてモデル化する場合の例  
 (e) 放水槽：屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）【A-A断面位置】

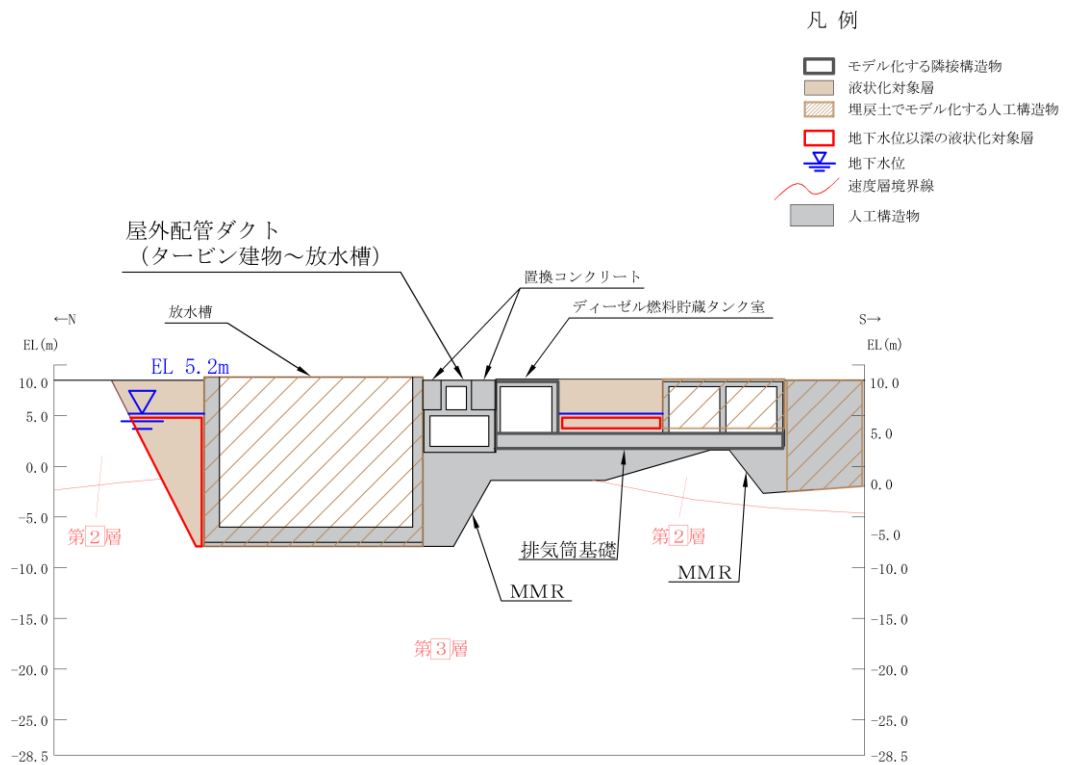


図 8.1-3(17) 耐震性を有さない構造物を埋戻土としてモデル化する場合の例  
 (e) 放水槽：屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）【B-B断面位置】

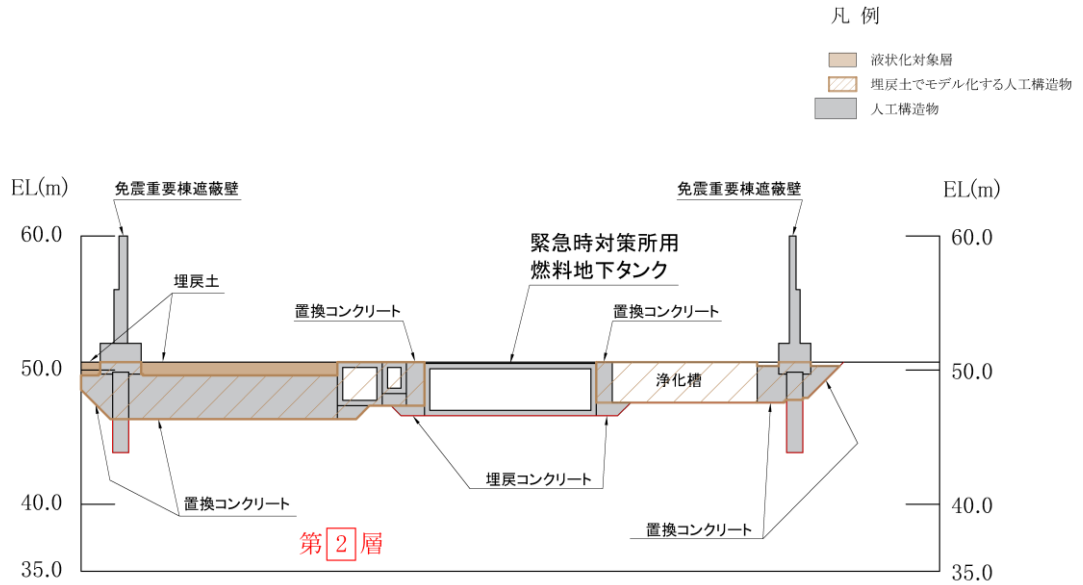


図 8.1-3(18) 耐震性を有さない構造物を埋戻土としてモデル化する場合の例  
 (e) 浄化槽：緊急時対策所用燃料地下タンク【B-B断面位置】

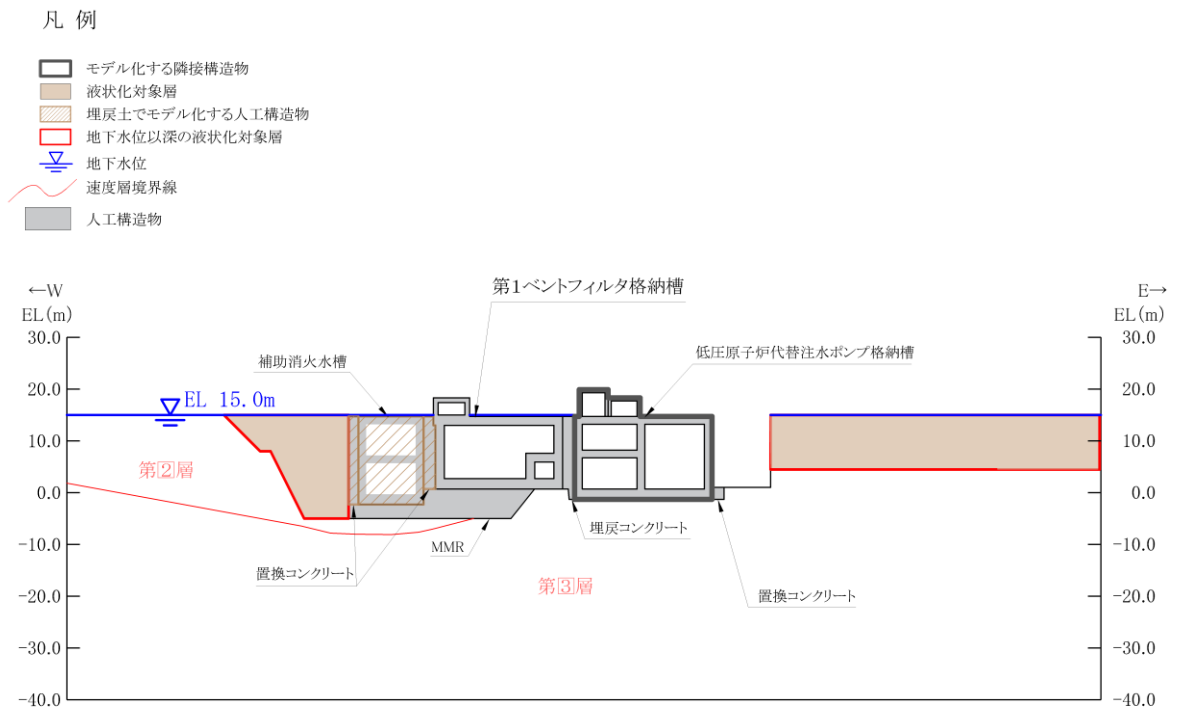


図 8.1-3(19) 耐震性を有さない構造物を埋戻土としてモデル化する場合の例  
 (e) 補助消火水槽：第1ベントフィルタ格納槽【C-C断面位置】

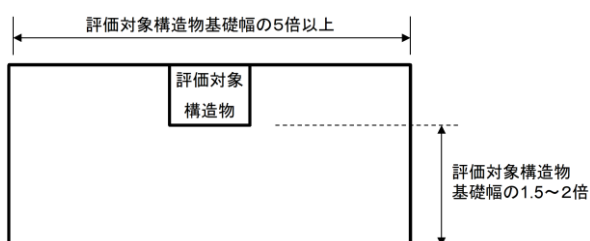
## 8.2 モデル化の範囲

2次元FEMによる地震応答解析モデルの範囲は、地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域としており、具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987 を適用し、モデル幅を評価対象構造物基礎幅の5倍以上、地盤モデルの入力基盤深さを評価対象構造物基礎幅の1.5～2倍確保している。

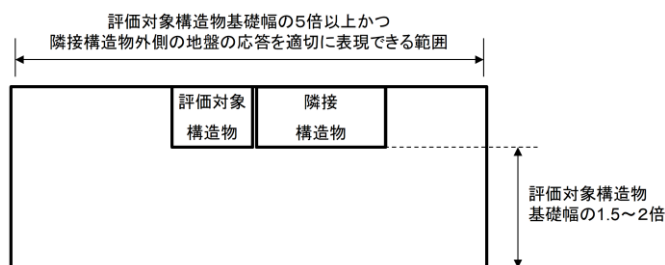
隣接構造物のモデル化においては、上記モデル幅に加え、隣接構造物外側の地盤の応答を適切に表現できる範囲を設定する。

また、モデル化範囲に斜面が存在する場合、斜面による影響を表現できる範囲をモデル化範囲を設定する。

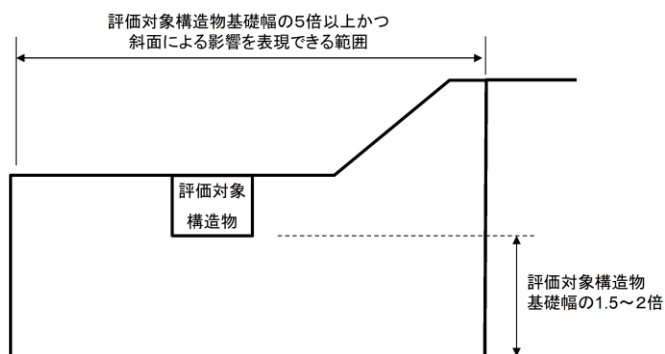
各パターンにおけるモデル化の範囲の例を図8.2-1に示す。



(a) 通常のモデル化範囲



(b) 隣接構造物をモデル化する場合のモデル化範囲



(c) 通常のモデル化範囲内に斜面が存在する場合のモデル化範囲

図 8.2-1 モデル化範囲の例

## 9. 地震応答解析における減衰定数

時刻歴応答解析における構造物及び地盤の減衰定数は、履歴減衰及び粘性減衰で考慮している。

履歴減衰は、応力-ひずみ関係の非線形性に起因する減衰であり、履歴曲線が面積を持つとき、その分だけ力学的なエネルギーが失われ、振動が小さくなる現象として現れる。構造物の履歴減衰は構造部材の非線形性（曲げモーメント-曲率関係又はコンクリート、鉄筋の応力-ひずみ関係）の程度に応じた値、地盤の履歴減衰は地盤の非線形性（せん断剛性-せん断ひずみ関係）の程度に応じた値となる。

粘性減衰は、時刻歴数値解析において急変時等に対して計算を安定させるために用いられる数値粘性の一種で、解析モデルに減衰を付加するものであり、実現象に影響を与えない程度に小さな減衰として与えることが推奨される。今回採用する Rayleigh 減衰は、実務的によく用いられる粘性減衰であり、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で式(9.1)のとおり表される。

島根の屋外重要土木構造物の耐震計算では、Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与えており、固有値解析にて求められる解析モデル全体の固有周期と各材料の減衰比に基づき設定している。

なお、構造物及び地盤のモデル化方法（線形又は非線形）によらず、係数  $\alpha$ 、 $\beta$  の設定方法は同一としており、構造物及び地盤を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみを設定する。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k] \quad \text{式 (9.1)}$$

$[c]$  : 減衰係数マトリックス

$[m]$  : 質量マトリックス

$[k]$  : 剛性マトリックス

$\alpha$ 、 $\beta$  : 係数

## 9.1 時刻歴応答解析（全応力解析）で設定する Rayleigh 減衰

全応力による時刻歴応答解析では、土木学会マニュアル 2005 に準拠し、質量比例型減衰と剛性比例型減衰の組み合わせ（ $\alpha, \beta \geq 0$ ）による Rayleigh 減衰を設定する。

Rayleigh 減衰における係数  $\alpha, \beta$  は、低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して、固有値解析結果より得られる卓越するモードの減衰と Rayleigh 減衰が一致するように、式(9.2)により設定する。なお、卓越するモードは全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定するが、係数  $\alpha, \beta$  が負値となる場合は当該モードを選定しない。

$$h_i = \alpha / 2 \omega_i + \beta \omega_i / 2 \quad \text{式 (9.2)}$$

$h_i$  : 固有値解析により求められた  $i$  次モードの減衰定数

$\omega_i$  : 固有値解析により求められた  $i$  次モードの固有円振動数

Rayleigh 減衰の設定フローを図 9.1-1 に示す。また、設定した Rayleigh 減衰の一例（緊急時対策所用燃料地下タンク A-A 断面）を図 9.1-2 に、固有値解析のモード図を表 9.1-1 に示す。

緊急時対策所用燃料地下タンクの固有値解析結果について、各モード次数の減衰定数は 3% 程度となっており、これは緊急時対策所用燃料地下タンク周辺に岩盤（減衰定数 3%）が一様に分布していることが影響していると判断した。

また、Rayleigh 減衰の設定に際しては、地中構造物に対して影響が大きいと考えられる水平方向の刺激係数及びモード図を選定の指標としており、緊急時対策所用燃料地下タンクの場合、1 次モード及び 3 次モードを選定している。

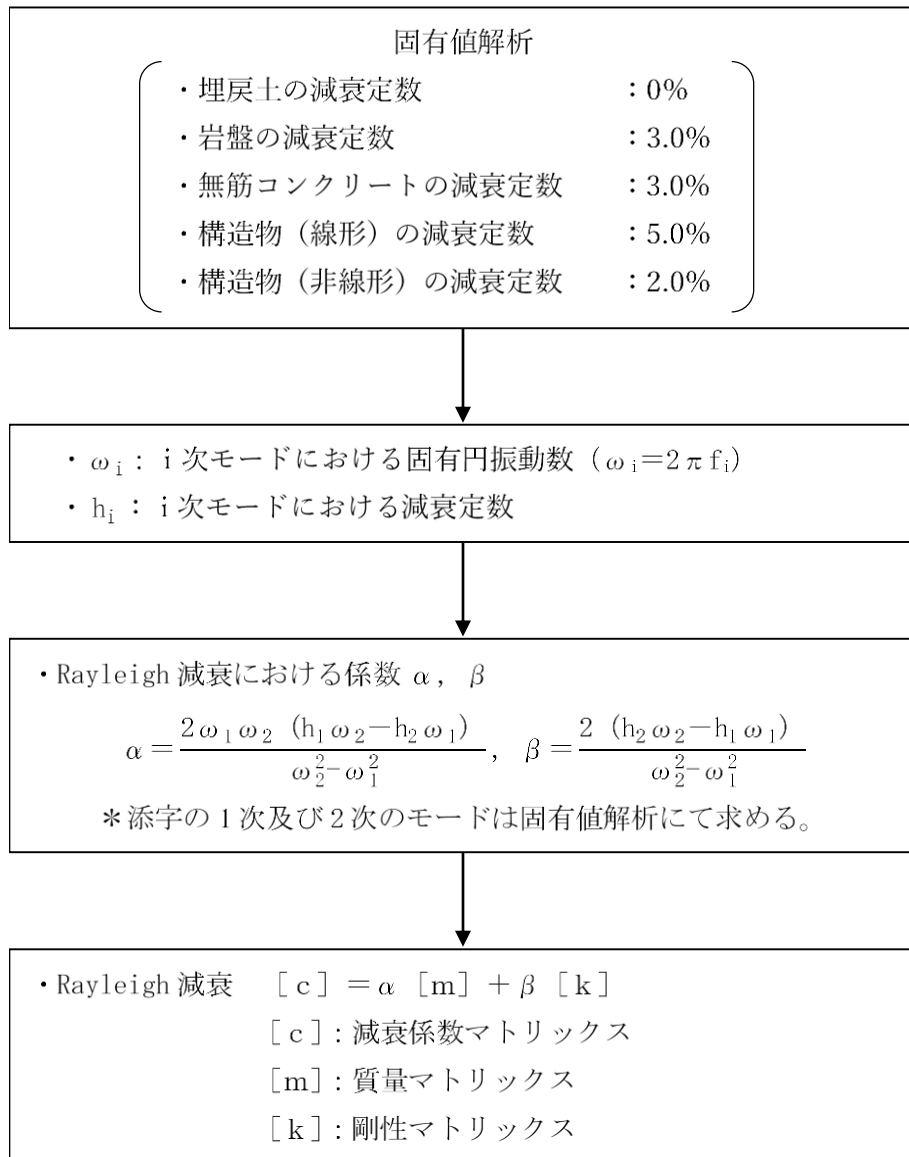
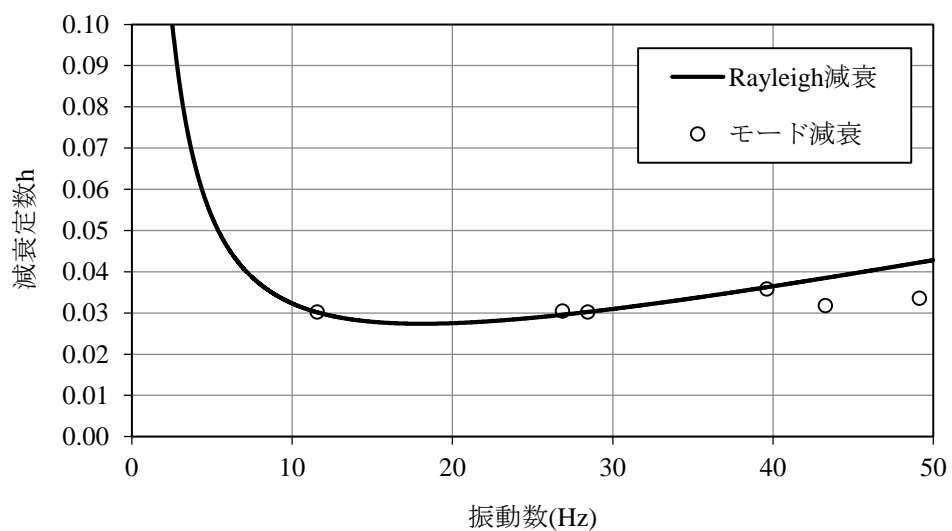


図 9.1-1 Rayleigh 減衰の設定フロー

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		$T_x$	$T_y$	$\beta_x$	$\beta_y$	
1	11.542	74	0	22.81	0.00	1次として採用
2	26.858	0	70	0.00	22.10	
3	28.430	14	0	-9.78	0.00	2次として採用
4	39.614	0	1	0.00	-2.83	
5	43.268	4	0	5.52	-0.00	
6	49.130	0	11	0.00	8.86	
7	59.569	2	0	4.02	0.00	
8	66.893	0	2	0.00	-4.12	
9	73.468	0	1	0.00	-2.01	
10	73.775	1	0	1.58	0.00	

(固有値解析結果)



(Rayleigh 減衰)

図 9.1-2 設定した Rayleigh 減衰 (緊急時対策所用燃料地下タンクの例)



表 9.1-1(1) 固有値解析のモード図 (緊急時対策所用燃料地下タンクの例)

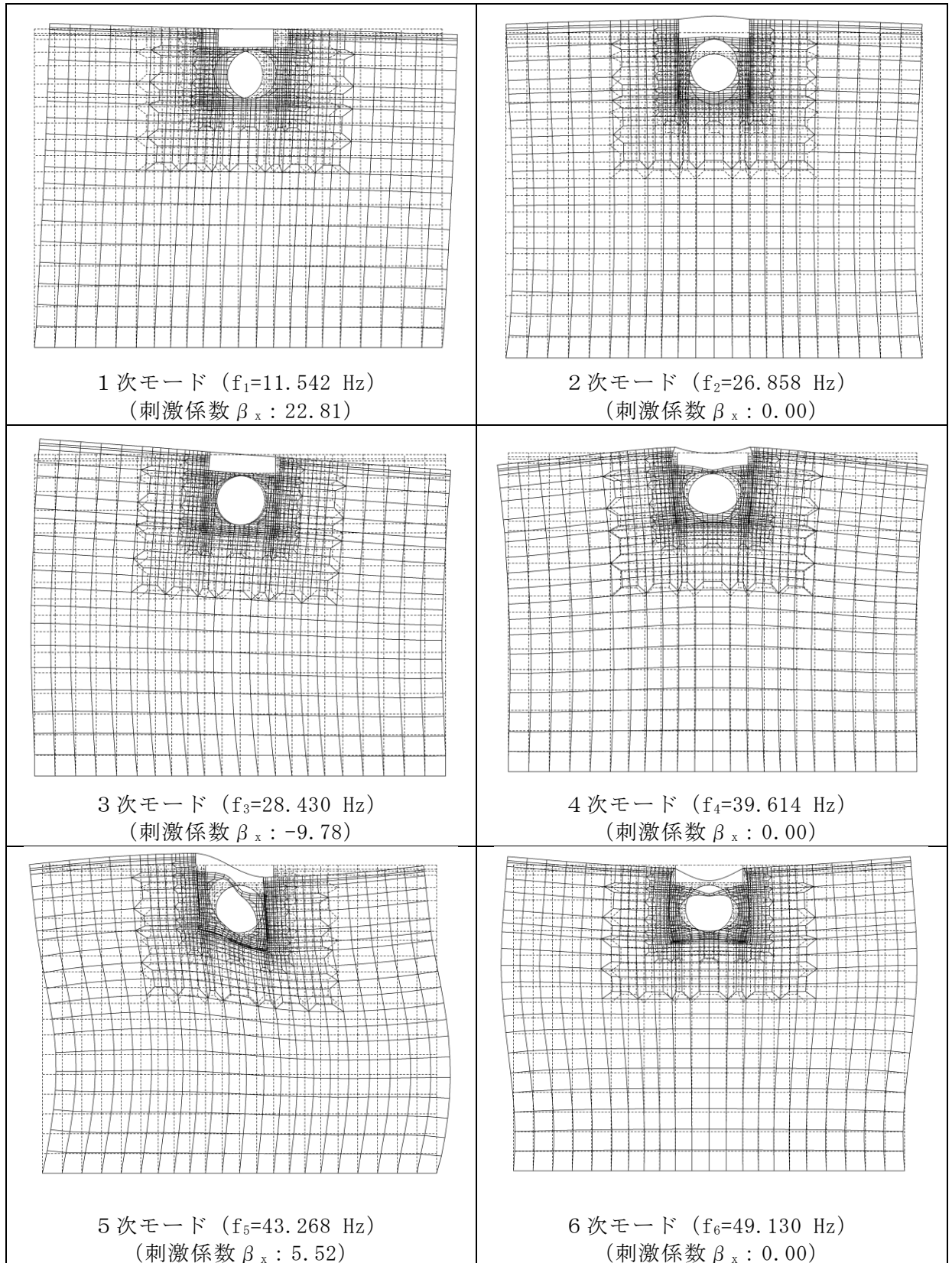
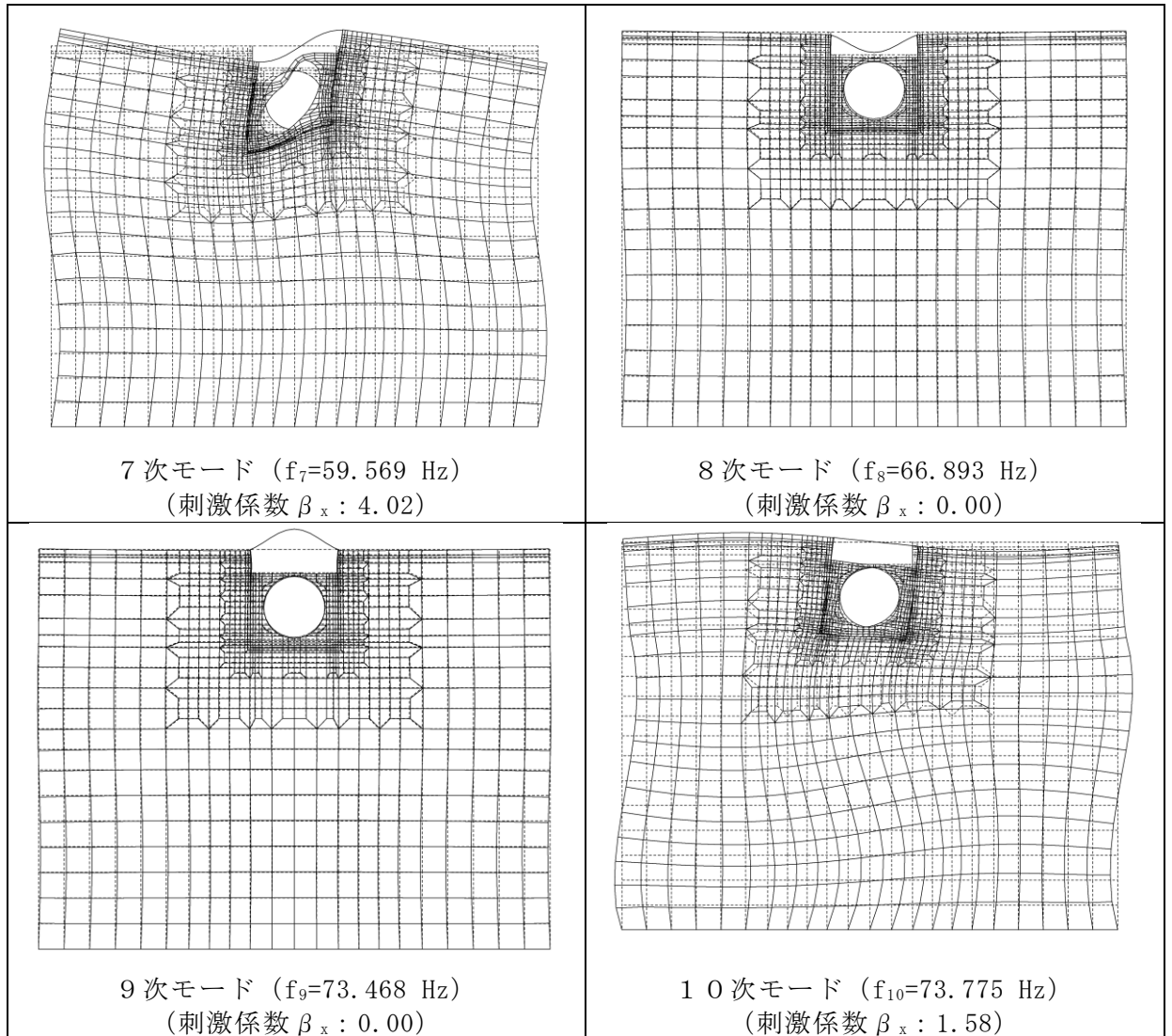


表 9.1-1(2) 固有値解析のモード図 (緊急時対策所用燃料地下タンクの例)



## 9.2 時刻歴応答解析（有効応力解析）で設定する Rayleigh 減衰

有効応力による時刻歴応答解析では，地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う 1 次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて，地盤応答の保守的な評価が行えるように係数  $\alpha$  を 0 として設定し，低振動数帯で減衰  $\alpha$  [m] の影響がない剛性比例型減衰としている。

係数  $\beta$  の設定については，「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に， $\beta = 0.002$  と設定している。

## 10. 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定

本章では、屋外重要土木構造物の耐震安全性評価における追加解析ケースの選定方法について記載する。

### 10.1 評価方針

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価においては、「5. 解析ケースの選定方法」に示すとおり、基本ケースの照査結果に応じて追加解析ケースを実施する。具体的には、基準地震動  $S_s$ （6波）に位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波を基本ケースとして実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いて追加解析ケースを実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて追加解析ケースを実施する。

また、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合の追加解析ケースの選定方法を参考資料7に示す。

追加解析を実施する地震動の選定フローを図10.1-1に示す。

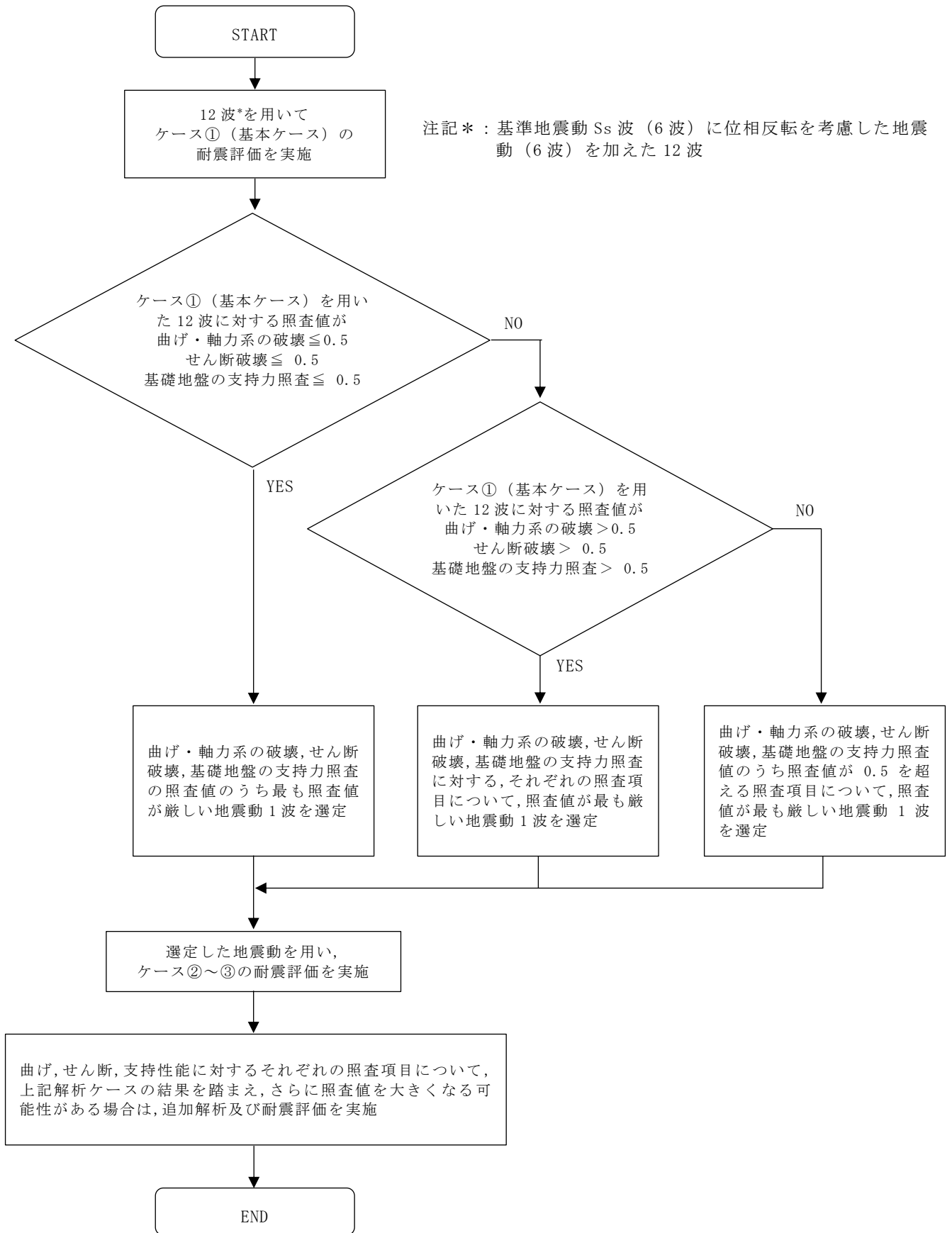


図 10.1-1 追加解析を実施する地震動の選定フロー  
(全応力解析を基本ケースとする構造物の例)

## 11. 等価剛性モデルの設定方針

屋外重要土木構造物のうち妻壁や隔壁等の面部材を有する箱型構造物等の3次元的な挙動を確認する必要があると考えられる構造物は、2次元地震応答解析により地震時荷重を算定し、その荷重を3次元構造解析モデルに作用させて耐震安全性評価を行う。

地震時荷重算定時の2次元地震応答解析における構造物モデルは、構造物と地盤の相互作用により生じる土圧及び慣性力を適切に評価するため、妻壁や隔壁の剛性を考慮し、3次元構造解析モデルと等価な剛性を持つ2次元等価剛性モデル（以下「等価剛性モデル」という。）とする。本資料では、等価剛性モデルの設定方針について示す。

### 11.1 等価剛性モデルを設定する構造物

2次元地震応答解析の構造物のモデル化に等価剛性モデルを適用する構造物は、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要素として考慮する箱型構造物である取水槽及び底版の一部を他の構造物と共有する一体構造となっている屋外配管ダクト（タービン建屋～排気筒）である。

### 11.2 等価剛性モデルの設定手順

断面奥行方向で部材の配置が異なり、複雑な構造である取水槽（図 11.2-1～図 11.2-4 参照）を例として、等価剛性モデルの設定手順を示す。

なお、剛性調整の結果については、各構造物の耐震評価と併せて説明する。

等価剛性モデルの構造部材は図 11.2-5 に示すとおり、側壁、中床版及び底版のように加振に対して面外変形で抵抗する部材は、はり要素でモデル化し、妻壁及び隔壁のように加振に対して面内変形で抵抗する部材は、平面要素にてモデル化することとし、地震時荷重を保守的に評価するために、はり要素及び平面要素は線形モデルとする。以下に各部材の剛性設定手順を示す。

各部材の剛性は、以下の式に基づき設定する。

$$E = E_c \times \alpha \times \beta$$

ここに、

E：等価剛性モデルの弾性係数

$E_c$ ：コンクリートの弾性係数

$\alpha$ ：構造物の奥行長さに対する各部材の奥行長さの比率（ $L_e/L$ ）

$L_e$ ：部材の奥行長さ

L：構造物の奥行長さ

$\beta$ ：変位を合わせるための弾性係数の補正係数

補正係数  $\alpha$ ， $\beta$  については以下の手順 1，手順 2 により、それぞれ設定する。

手順 1 : 構造物の奥行長さに対する, 各部材の奥行長さの比率から補正係数  $\alpha$  を線形はり要素及び平面要素それぞれに設定する。

手順 2 : 線形の 3 次元構造解析モデルに水平荷重として単位荷重 ( $100\text{kN/m}^2$ ) を作用させ, 構造物の奥行方向の平均的な水平変位を算定する。さらに, 補正係数  $\alpha$  を設定した 2 次元モデルに同じ単位荷重を作用させ変位を算定し, 3 次元構造解析モデルの水平変位と等しくなるように補正係数  $\beta$  を算定する。コンクリートの弾性係数  $E_c$  に補正係数  $\alpha, \beta$  を乗じ, 等価剛性モデルの弾性係数 (剛性) を設定する。また, 補正係数  $\beta$  は平面要素に対してのみ設定する。なお, 単位荷重を載荷させる 3 次元構造解析モデル及び 2 次元モデルの底面の境界条件は, 構造物の変位に着目するため固定境界としている。(図 11.2-6)

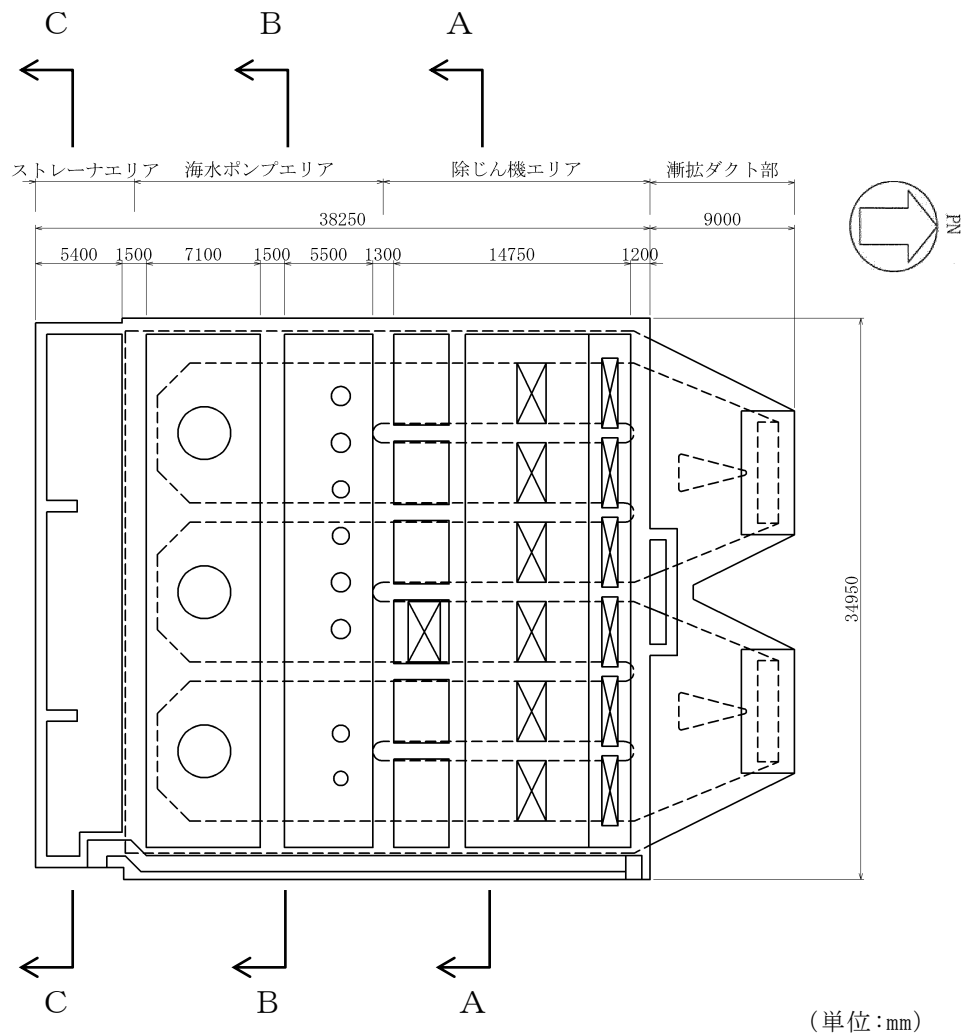


図 11.2-1 取水槽平面図

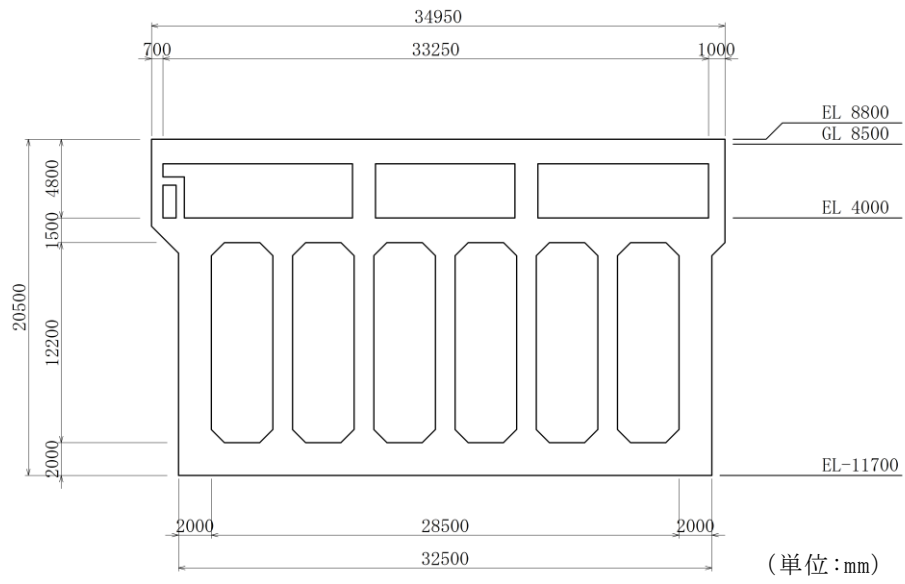


图 11.2-2 取水槽断面图(A-A断面)

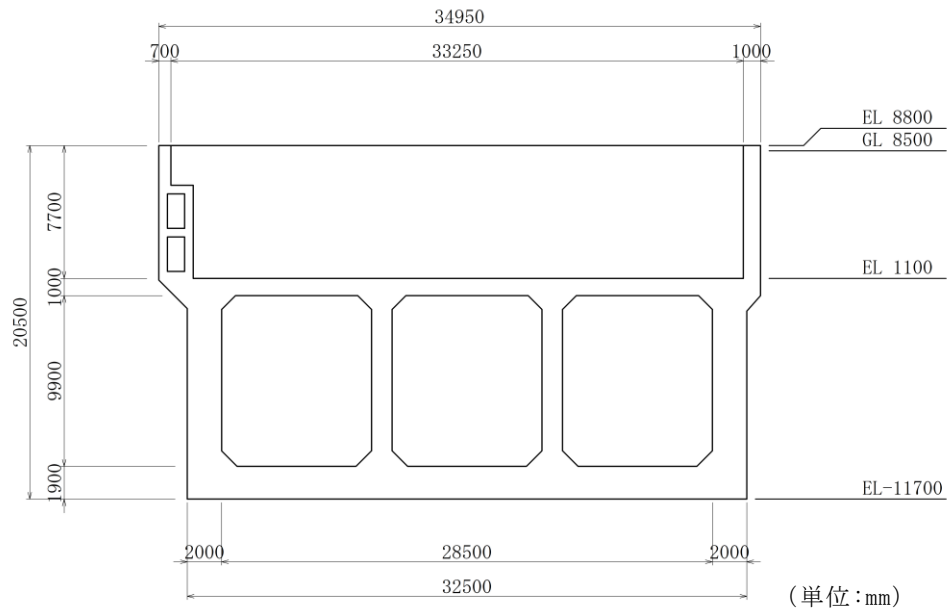


图 11.2-3 取水槽断面图(B-B断面)

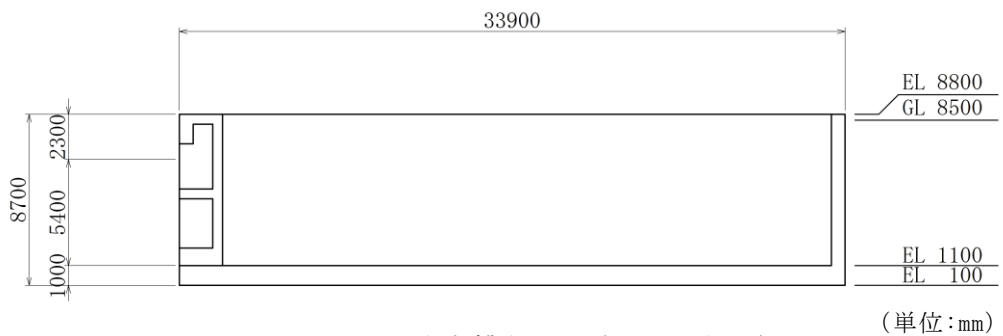


图 11.2-4 取水槽断面图(C-C断面)



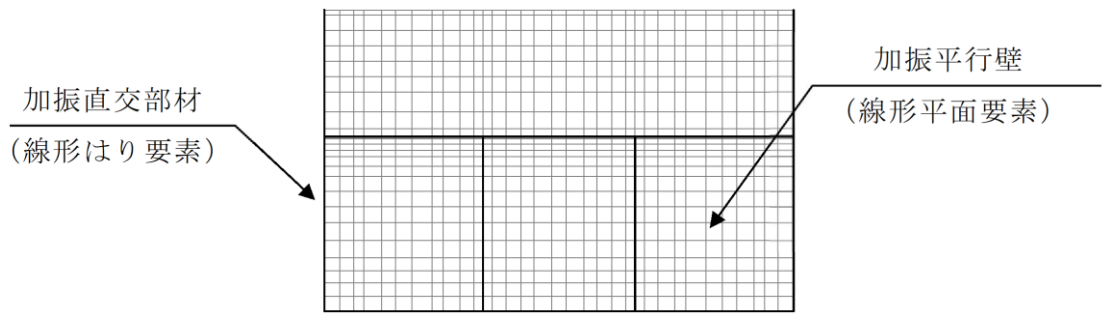
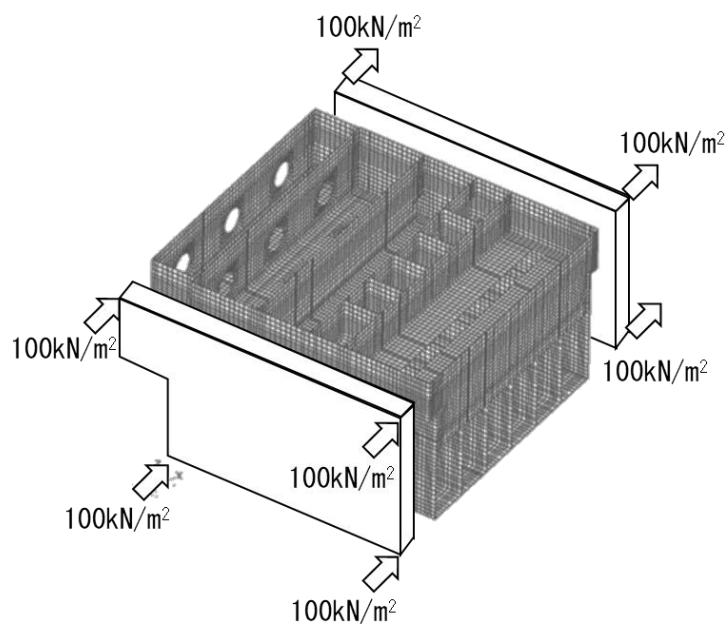
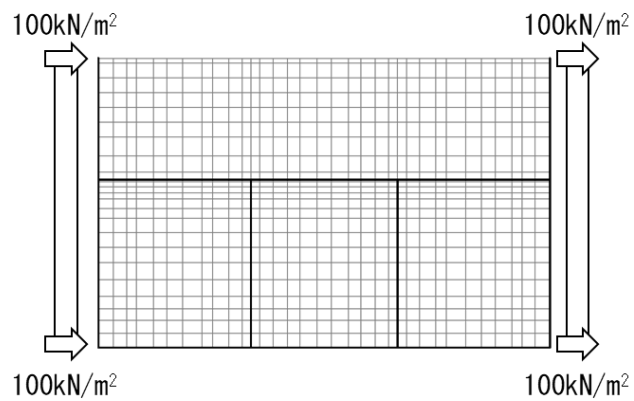


図 11.2-5 構造部材のモデル化 (B-B断面の例)



(a) 3次元構造解析モデルへ単位荷重載荷



(b) 2次元モデルへ単位荷重載荷 (B-B断面の例)

図 11.2-6 補正係数  $\beta$  の算定方法 (取水槽)

## 12. 屋外重要土木構造物の耐震評価における地下水位及び内水位の設定

### 12.1 地下水位の設定

屋外重要土木構造物の地下水位の設定は、浸透流解析を実施し、その結果に基づき設定する。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。構造物周囲の水質については、図 12.1-1 に示すとおり防波壁を境界に陸域は淡水、海域は海水の分布が支配的であると考えられ、海水及び淡水それぞれの密度については表 12.1-1 のとおり設定する。

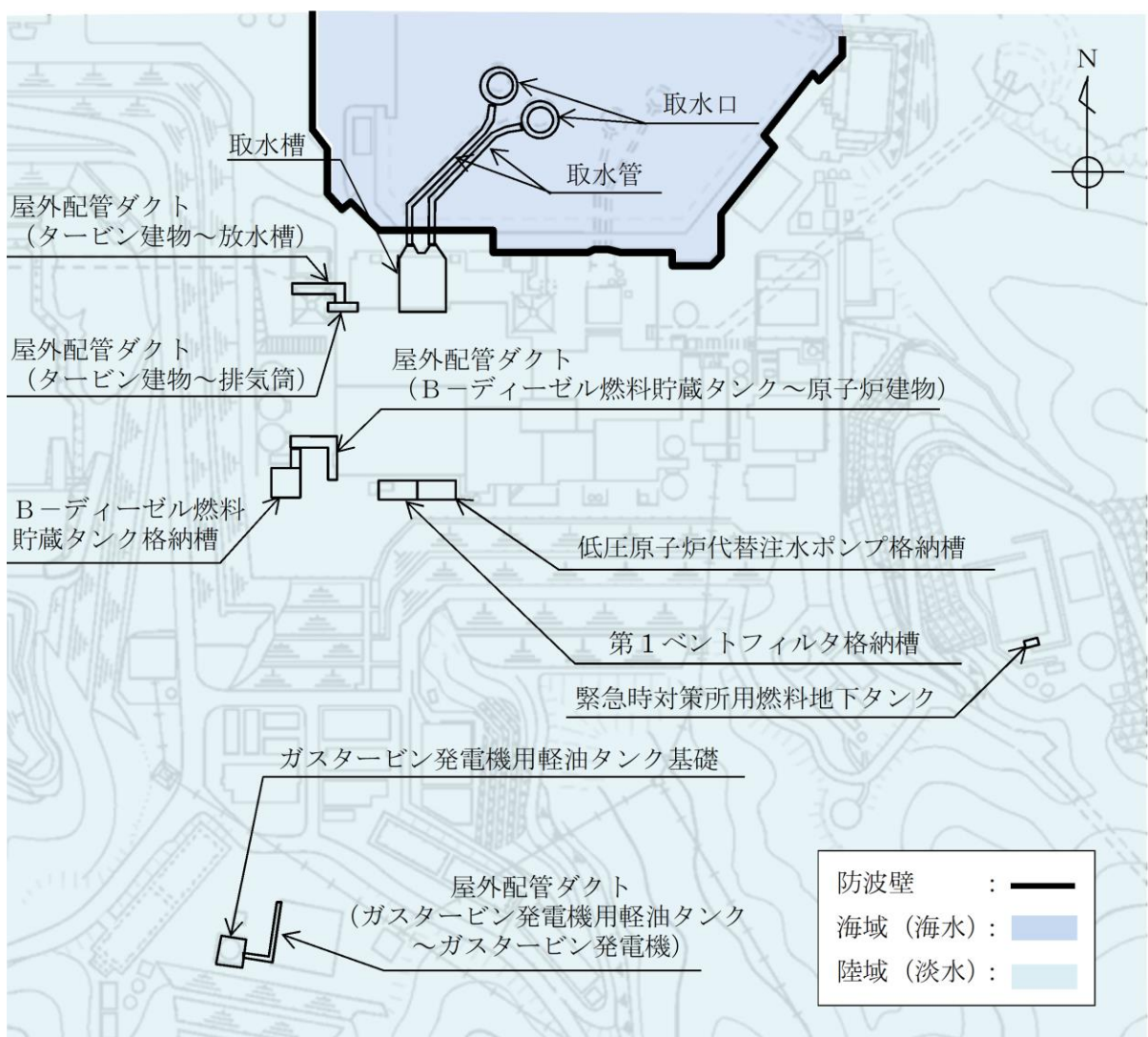


図12.1-1 屋外重要土木構造物の耐震評価に用いる地下水の整理

表12.1-1 海水及び淡水の密度

	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
海域 (海水)	1.03
陸域 (淡水)	1.00

## 12.2 内水位の設定

非常用取水設備に設定する内水位について、耐震評価において内水は付加重量として考慮されるため、保守的に朔望平均満潮位 EL 0.58m を静水面として設定する。内水の密度は、海水の密度である 1.03g/cm<sup>3</sup> として設定する。

同様に、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の一部である低圧原子炉代替注水槽においては、重大事故等時に必要となる冷却用水（淡水）が貯留されていることから、運用上の最高水位より保守的な EL 11.2m を静水面として設定する。内水の密度は、淡水の密度である 1.00g/cm<sup>3</sup> として設定する。

## 参考資料 1 非常用取水設備に要求される貯水機能の要否について

### 1. 概要

本資料は、非常用取水設備の要求機能のうち貯水機能の要否について整理するものである。

### 2. 基準津波による水位下降時の取水性について

#### (1) 評価方法

非常用取水設備の貯水機能は、基準津波による水位下降側の入力津波高さが非常用取水設備通水ルート下面の最高標高及び非常用海水ポンプの取水可能水位のいずれかを下回った場合に要求される機能である。そのため、基準津波による水位下降側の入力津波高さとこれらの標高を比較し、非常用取水設備の要求機能のうち貯水機能の要否を確認する。

#### (2) 評価内容

非常用取水設備の通水ルート下面の最高標高は、取水管下端の EL-7.30m となる。

(図 2-1)

管路解析により得られた基準津波による取水槽内の水位下降側の入力津波高さは、EL-8.31m (循環水ポンプ運転時) となる。これに対して、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの取水可能水位は各々 EL-8.32m, EL-8.85m となるため、大津波警報が発令された場合は、気象庁により発表される第一波の到達予想時刻の 5 分前までに運転員による手動操作で循環水ポンプを停止する。以上の結果、取水槽の水位下降側の入力津波高さは EL-6.1m となる。なお、大津波警報が発令された場合に循環水ポンプを停止する手順を整備し、保安規定に定めて管理する。一方、海域活断層から想定される地震による取水槽内の水位下降側の入力津波高さは、敷地までの到達時間が短く循環水ポンプの運転条件を考慮し、EL-6.5m (循環水ポンプ運転時) である。

以上より、基準津波による水位下降側の入力津波高さ (EL-6.5m) が非常用取水設備通水ルート下面の最高標高 (EL-7.30m) 及び非常用海水ポンプの取水可能水位 (EL-8.32m) を上回ることから、基準津波による水位低下に対して非常用海水ポンプは機能保持できる。

(3) 評価結果

以上のことから、基準津波による水位下降時においても海水が連続して供給され、非常用海水ポンプの取水が可能のため、非常用取水設備に貯水機能は要求されない。

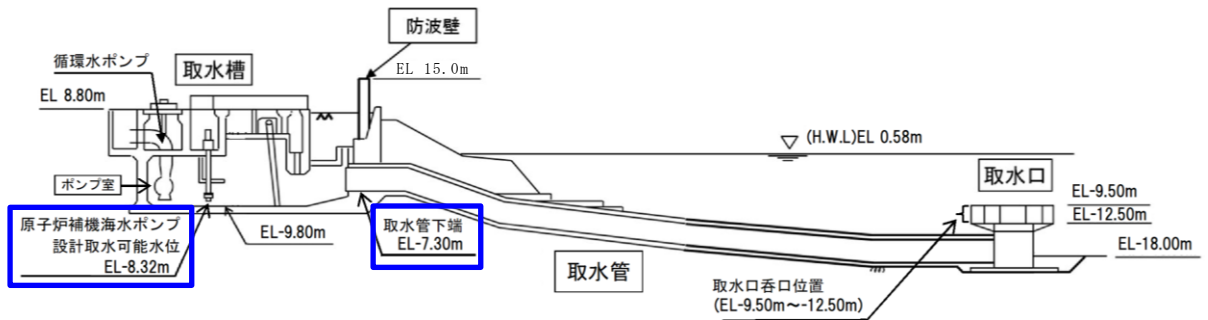


図 2-1 縦断面図（取水口～取水槽）

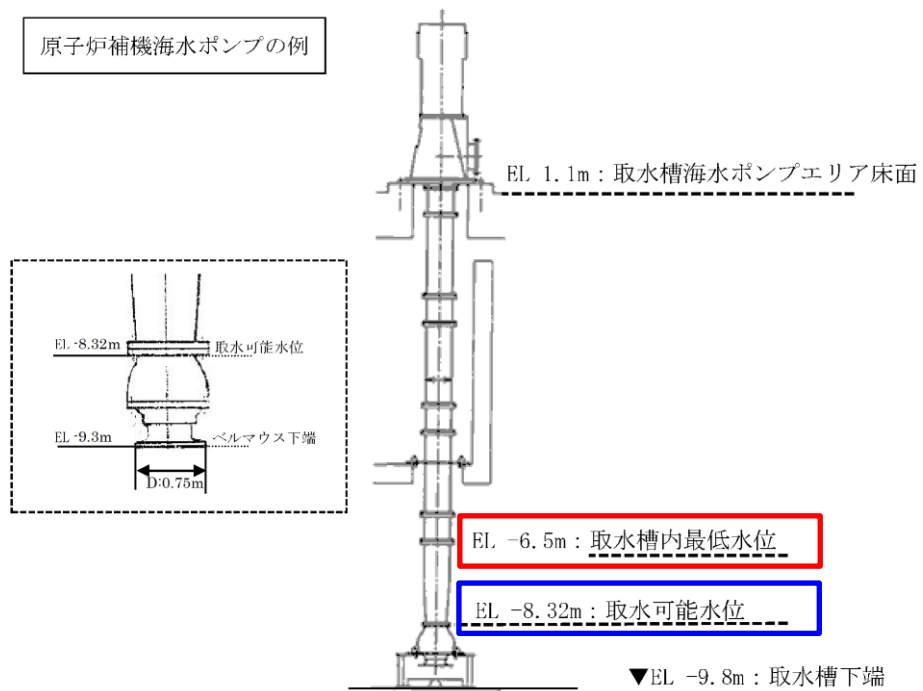


図 2-2 原子炉補機海水ポンプの取水可能水位

(参考) 1-2

## 参考資料 2 箱型構造物の評価について

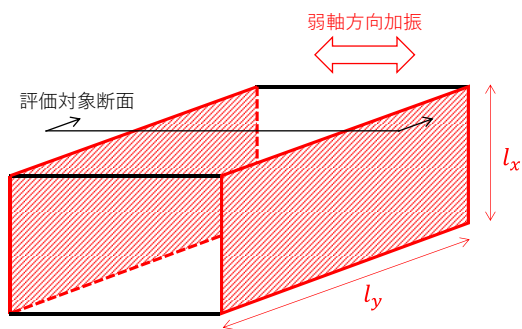
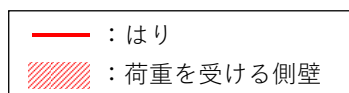
### 1. 概要

箱型構造物の評価において、妻壁の面内せん断の影響を合理的に考慮したい場合等には 3次元解析が有効である。一方で、2次元解析はより実務的な手法であり、豊富な適用実績を有する。本資料では、箱型構造物のうち2次元有限要素法解析により耐震評価を実施する構造物の評価手法について記載する。

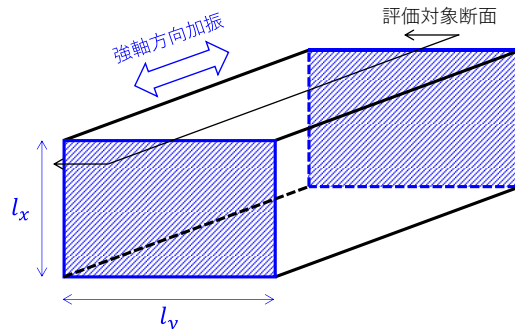
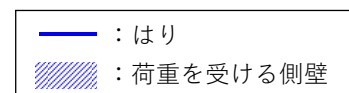
### 2. 弱軸方向断面及び強軸方向断面の評価手法の考え方

箱型構造物については、「4.2 (1) 箱型構造物及び線状構造物」に記載のとおり、弱軸方向断面による耐震評価に加え、弱軸方向断面で評価できない部材（強軸方向の側壁等）についても、強軸方向断面を用いて同様の評価を実施することとしている。これらの断面を2次元有限要素法解析により評価するにあたり、保守的に妻壁を耐震要素として見込まない、すなわち妻壁の剛性を平面要素として考慮しないものとする。

ただし、強軸方向断面は弱軸方向断面と比較して妻壁同士の距離が近く、妻壁が耐震要素として寄与している割合が大きいため、妻壁を見込まないことは過度に保守的な条件となる。上記を踏まえ、強軸方向断面の部材については、「保守的に妻壁を耐震要素として見込まない2次元有限要素法解析」又は「妻壁による拘束効果を固定境界として考慮した4辺固定版」により耐震安全性を確認する。箱形構造物の評価手法の概念図を図 2-1 に示す。



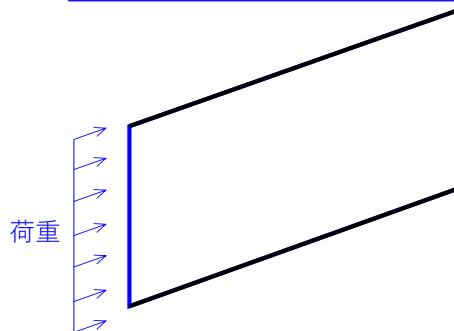
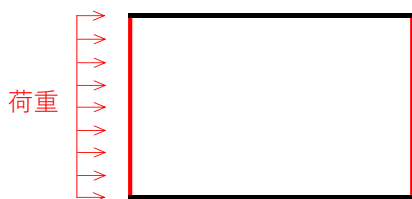
弱軸方向断面



強軸方向断面

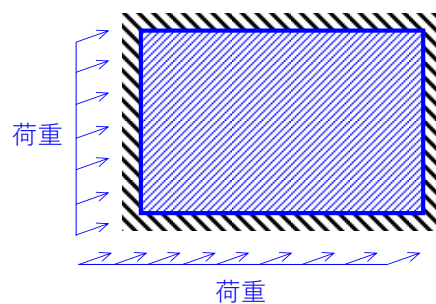
2次元有限要素法解析によるはり要素の評価  
 (保守的に妻壁の剛性を考慮しない)

2次元有限要素法解析によるはり要素の評価  
 (保守的に妻壁の剛性を考慮しない)



又は

2次元有限要素法解析による応答値を用いた4辺固定版による評価



弱軸方向断面の側壁評価手法

強軸方向断面の側壁評価手法

図 2-1 箱型構造物の評価手法の概念図

(参考) 2-2

### 3. 4辺固定版の評価手法について

本資料の「2. 弱軸方向断面及び強軸方向断面の評価手法の考え方」の整理を踏まえ、強軸方向断面で評価する部材を4辺固定版により評価する際の条件について整理した。

4辺固定版は、線形シェル要素によりモデル化する。また、4辺固定版に入力する荷重については、強軸方向断面の2次元有限要素法解析における応答値（土圧及び慣性力）とする。

許容限界は構造物の要求機能に関わらず、解析モデルが線形モデルであることを踏まえて短期許容応力度とし、コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊について照査を実施する。

上記以外の具体的な条件については、各構造物の計算書又は補足説明資料において記載する。



### 参考資料 3 構造物周辺の無筋コンクリートの定義及び評価方針について

#### 1. 概要

本資料は、構造物周辺の無筋コンクリートの定義及び評価方針について整理するものである。

#### 2. 構造物周辺の無筋コンクリートの定義

構造物周辺の無筋コンクリートの設置位置や目的を踏まえ、MMR、置換コンクリート及び埋戻コンクリートとしてそれぞれ定義する。また、それぞれのコンクリートの設置状況の例を図 2-1 に示す。

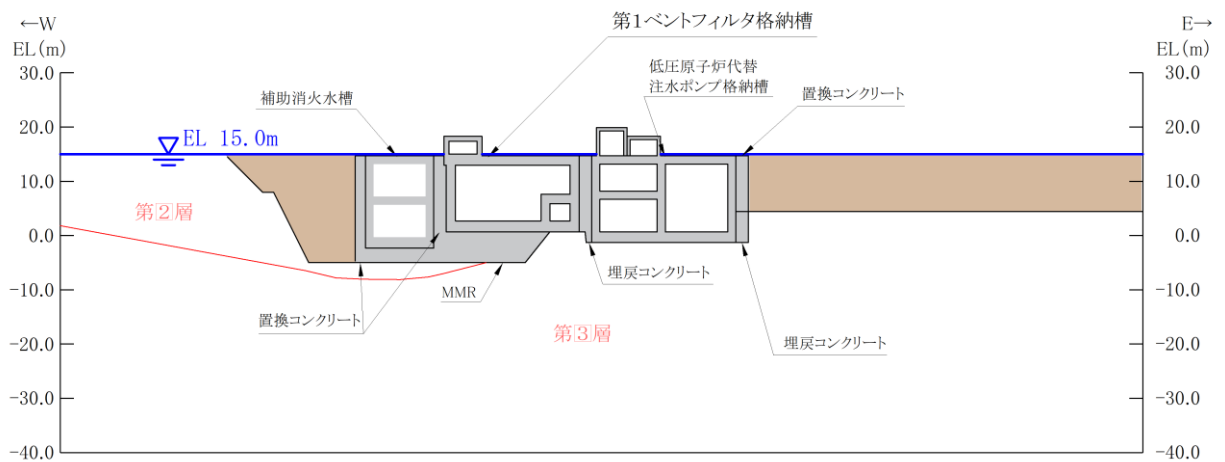


図 2-1 MMR、置換コンクリート及び埋戻コンクリートの設置状況の例

##### 2.1 構造物下側

###### (1) MMR

構造物の基礎岩盤の代替として使用する人工岩盤であり、地盤として扱う。

##### 2.2 構造物側方及び上側

###### (1) 置換コンクリート

土圧低減等を目的として構造物周辺に配置する無筋コンクリートであり、健全性を確認する。

###### (2) 埋戻コンクリート

対象構造物と岩盤又は隣接構造物の間を埋め戻す目的として配置する無筋コンクリートであり、地盤として扱う。

### 3. 評価方針

MMR, 置換コンクリート及び埋戻コンクリートについて, それぞれの評価方針を示す。

#### (1) MMR

MMRは地震時に評価対象構造物から受ける接地圧を基礎岩盤に伝達する役割が求められるため, MMRに作用する最大接地圧がコンクリートの支圧強度を下回ることを確認する。支圧強度は図3-1に示すとおりコンクリート標準示方書2002に基づき, 以下の式により算定する。なお, 係数 $\eta$ については保守的に1とする。

支圧強度  $f'_{ak} = \eta \cdot f'_{ck}$        $f'_{ck}$ : コンクリートの設計基準強度

ただし,  $\eta = \sqrt{A/A_a} \leq 2$       ( $\eta$  は保守的に1とする)

ここに,  $A$  : コンクリート面の支圧分布面積

$A_a$  : 支圧を受ける面積

図3-1 支圧強度の算定式 (コンクリート標準示方書2002に加筆)

また, MMRについては上記に加えて健全性評価を実施することとし, せん断強度及び引張強度に対する局所安全係数が1.0以上となることを確認する。

せん断強度及び引張強度の設定方法を表3-1に示す。

表3-1 せん断強度及び引張強度の設定方法

	算定式	準拠図書
せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$1/5f'_{ck}$	コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] (土木学会, 2013年)
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_{ck}{}^{2/3}$	コンクリート標準示方書2002

#### (2) 置換コンクリート

置換コンクリートは地震時に評価対象構造物が周辺地盤から受ける土圧の低減に寄与していることから, せん断強度及び引張強度に対する局所安全係数が1.0以上となることを確認する。せん断強度及び引張強度の設定方法は, MMRと同様に表3-1に示すとおりとする。なお, 解析モデルにおいて保守的にその効果に期待しない場合は, 埋戻土としてモデル化する。

(参考) 3-2

(3) 埋戻コンクリート

対象構造物と線形材料である岩盤又は隣接構造物の間を埋め戻しているコンクリートであり、万が一局部的な破壊が生じたとしても構造物の耐震評価に与える影響は軽微と考えられるため、評価は不要と判断した。

参考資料 4 放水槽を埋戻土としてモデル化することの妥当性について

1. 概要

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の A-A 及び B-B 断面において、北側に隣接する放水槽（ノンクラス）は、基準地震動  $S_s$  に対する耐震性の確保が困難なため、解析モデル上は当該箇所を保守的に埋戻土としてモデル化する方針としている。

本資料では、低耐震性の構造物を保守的に埋戻土としてモデル化することの妥当性について確認する。

2. 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）が受ける影響の整理

低耐震性の放水槽が基準地震動  $S_s$  を受けた際に、上位クラスである屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）に影響を及ぼす可能性がある。

放水槽は地中構造物ではあるが、本ケースにおいては両構造物が接しているため、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の考え方を参照し、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）に及ぼす影響を表 2-1 のとおり整理する。

表 2-1 放水槽が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）に及ぼす影響の整理

波及的影響を考慮した施設の設計の観点	波及的影響の可能性の有無	波及的影響の可能性に対する検討
①設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）と放水槽は直接又はMMRを介して岩盤上に設置されていることから、①の観点による影響は無い。	-
②耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響*1	-（対象外）	-
③建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響	-（対象外）	-
④建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響	<p><b>【損傷】</b></p> <p>(i)放水槽の部材が損傷することにより、放水槽周囲の埋戻土が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）側に流入する可能性があるが、放水槽下端（EL-7.5m）に対し、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の下端（EL 1.6m）が十分高いため影響は無い。</p> <p>(ii)屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）と接する放水槽の部材（南側壁）が損傷することにより、部材の重量に応じた慣性力が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）に影響を及ぼす可能性がある。</p> <p><b>【転倒】</b></p> <p>放水槽は地中構造物であることから地震時の転倒による影響は無い。また、仮に浮上りが生じた際も、耐震性を有する置換コンクリートやMMRが屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との接触を阻害することから、影響は無い。</p> <p><b>【落下】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>放水槽の南側壁は北側へ落下するため、影響は無い。</li> <li>放水槽の北側壁は南側へ落下する可能性があるが、高さ約 14.8m に対して、北側壁と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の離隔が約 18.6m あることから、放水槽の落下による影響は無い。</li> </ul>	左欄の(ii)における放水槽（南側壁）の損傷について、損傷した部材が与える慣性力よりも、放水槽全体を埋戻土とした際の土圧の影響が大きい*2。そのため、保守的に放水槽全体を埋戻土としてモデル化し、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の構造成立性を確認することで、波及的影響は無い。

注記\*1：上位クラス施設と下位クラス施設との接続部における機器・配管系を対象とした観点

\*2：公式等を用いた概略検討により、明らかに土圧のほうが大きいことを確認

### 3. 解析上の放水槽の扱いについて

2.の整理を踏まえ、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の解析においては、放水槽を埋戻土としてモデル化することで、放水槽が基準地震動  $S_s$  を受けた際に及ぼす影響を踏まえた保守的な解析条件となることを確認した。なお、当該埋戻土については構造物を保守的に埋戻土としていることから、液状化しないものとする。モデル化の概念図を図3-1に示す。

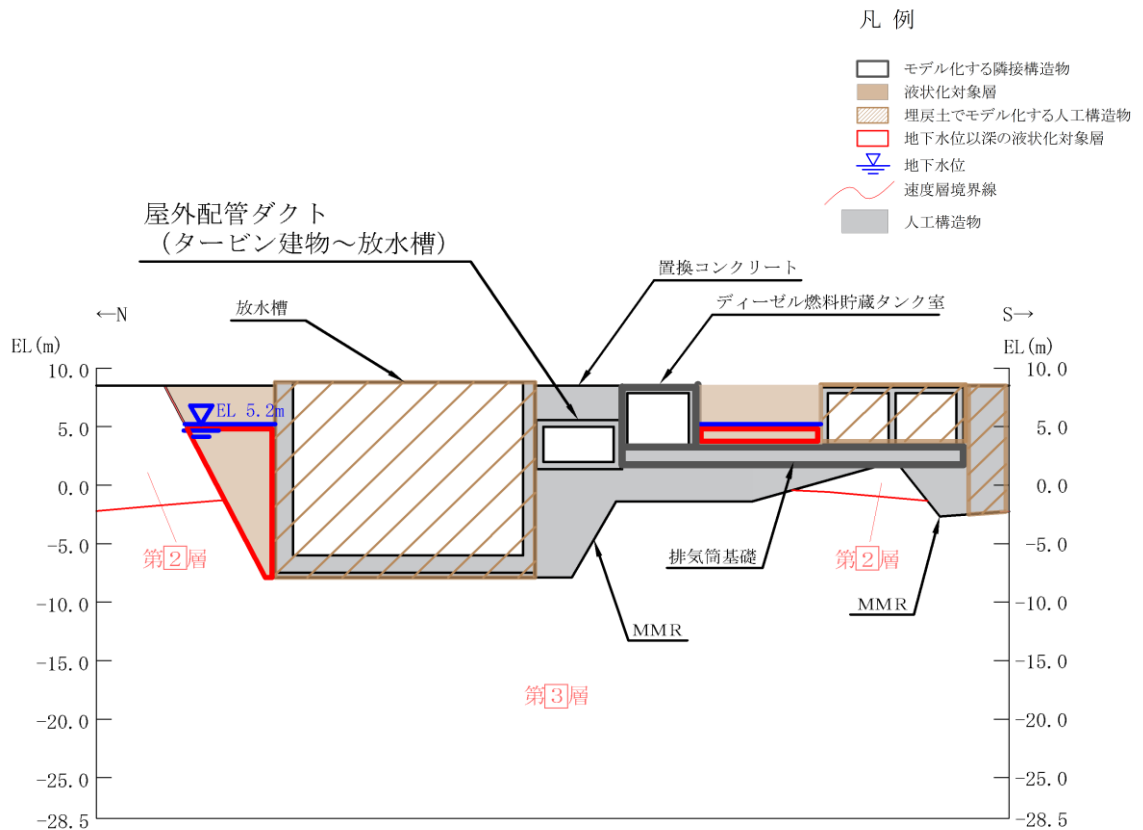


図3-1 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）のモデル化の概念図

## 参考資料 5 補助消火水槽の位置付けについて

### 1. 概要

本資料は、補助消火水槽の位置付けについて整理するものである。

### 2. 補助消火水槽の位置付け

補助消火水槽は、その他発電用原子炉の附属施設のうち火災防護設備であり、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災の影響を限定し、早期の消火を行うため、補助消火ポンプの水源として設置する。

- ・ 要目表 : 対象 (種類: 貯蔵槽)
- ・ クラス : ノンクラス (クラス外)
- ・ 耐震要求 : 耐震Cクラス
- ・ 耐震計算書 : 作成対象外
- ・ 強度計算書 : 作成対象外

### 3. 補助消火水槽の構造の概要

補助消火水槽は、図 3-1 に示すとおり、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である第1ベントフィルタ格納槽と隣接しており、鉄筋コンクリート造の貯蔵槽である。補助消火水槽の平面図を図 3-2 に、断面図を図 3-3 に示す。

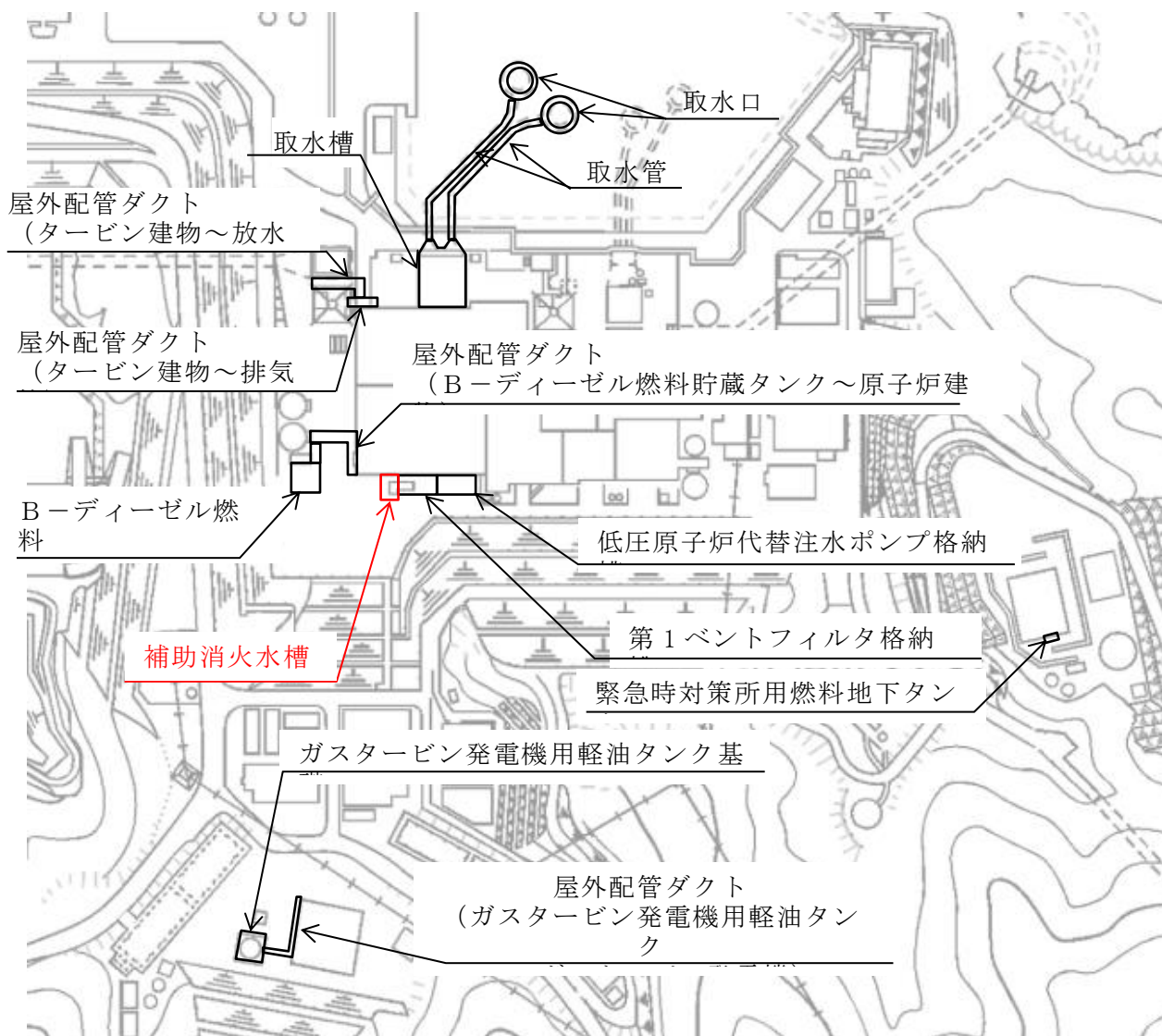


図 3-1(1) 補助消火水槽の周辺状況

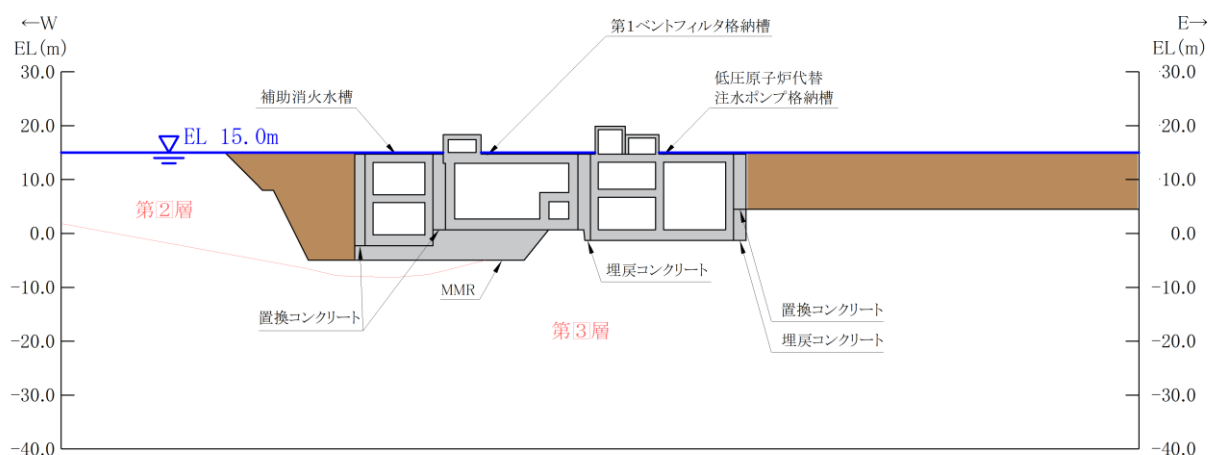


図 3-1 (2) 補助消火水槽の周辺状況

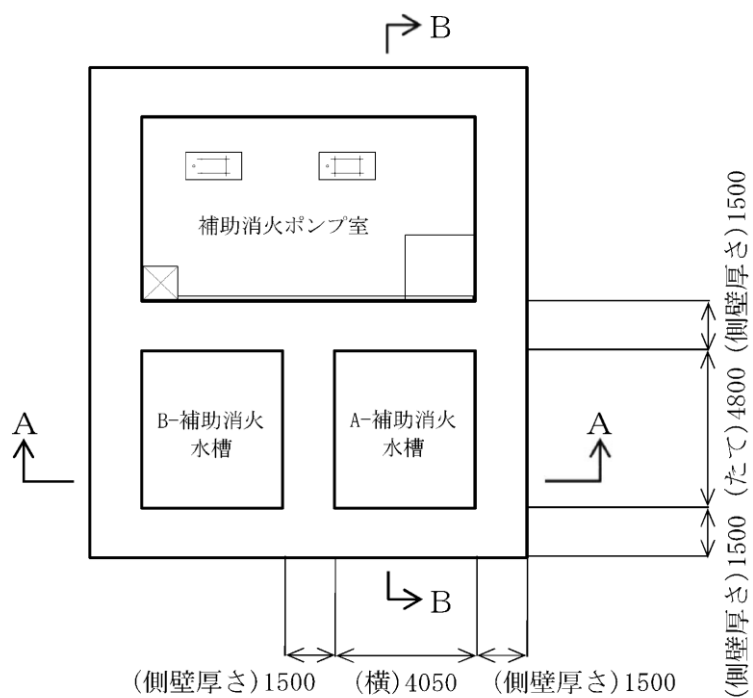


図 3-2 補助消火水槽 平面図

(参考) 5-3



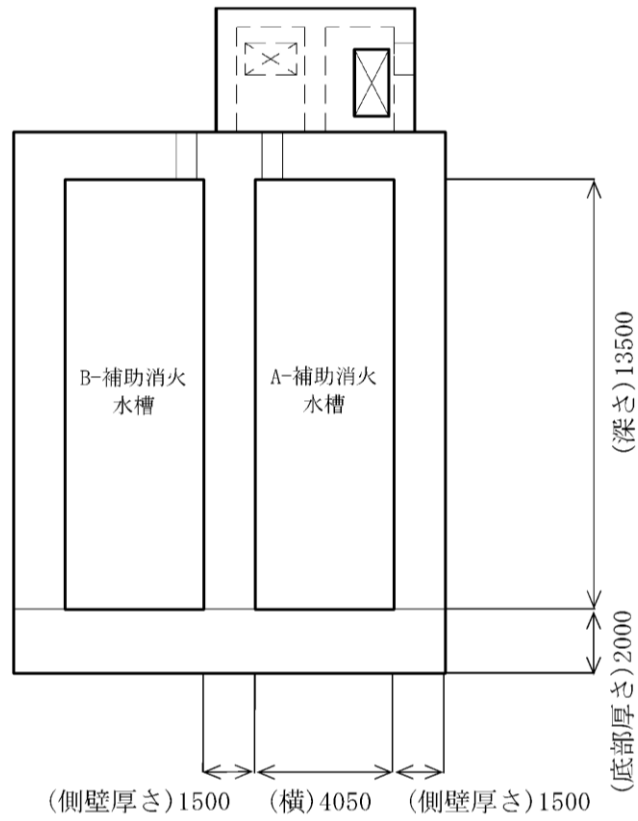


図 3-3(1) 補助消火水槽 断面図 (A-A 断面)

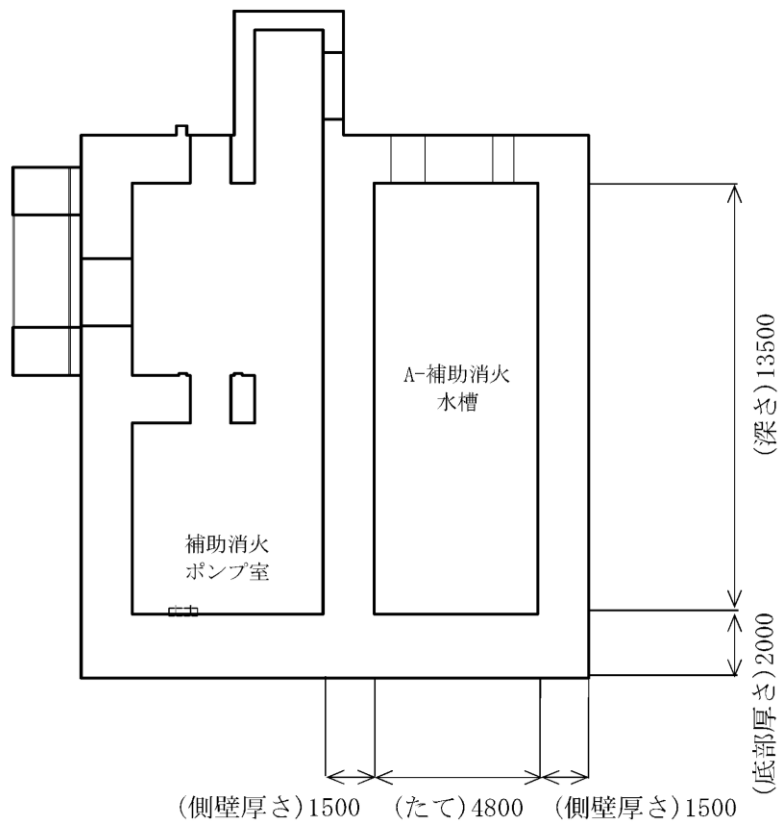


図 3-3(2) 補助消火水槽 断面図 (B-B 断面)

(参考) 5-4

#### 4. 補助消火水槽のモデル化

補助消火水槽は、設工認審査において耐震性を説明しない構造物であるため、保守的に埋戻土としてモデル化する。

## 参考資料 6 安全対策工事着工前の周辺地盤状況を踏まえた断面選定及び解析手法の選定について

### 1. 概要

島根 2 号機周辺では、第 3 系統直流電源設備設置工事等の安全対策工事に伴い掘削を実施しており、第 1 ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は掘削箇所に近接している。補足説明資料本文においては、安全対策工事に伴う掘削を考慮した周辺地盤状況に基づき断面選定及び解析手法の選定方針をしているため、本資料では安全対策工事着工前の周辺地盤状況における断面選定及び解析手法の選定方針を示す。

## 2. 第1ベントフィルタ格納槽

断面選定及び解析手法の選定については、補足説明資料本文と同様の考え方で実施する。ただし、C-C断面の部材評価については、安全対策工事着工前後で周辺状況がおおむね同等であることから、安全対策工事に伴う掘削後の評価で代表させる。安全対策工事着工前の周辺地盤状況における断面選定結果を表2-1に示し、安全対策工事に伴う掘削後との相違点を下線部にて識別した。

解析手法については、第1ベントフィルタ格納槽は南側が置換コンクリートを介して埋戻土と接しており、西側においても補助消火水槽の西側に存在する液状化対象層の分布が広範囲であることから、解析手法のフローに基づき、南北方向及び東西方向の断面において「⑤有効応力解析」を選定する。

なお、耐震評価は基準地震動 $S_s$ 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対して実施することとし、基本ケースを対象とする。

第1ベントフィルタ格納槽の平面図を図2-1に、地質断面図を図2-2に示す。

表2-1 安全対策工事着工前の周辺地盤状況における断面選定結果

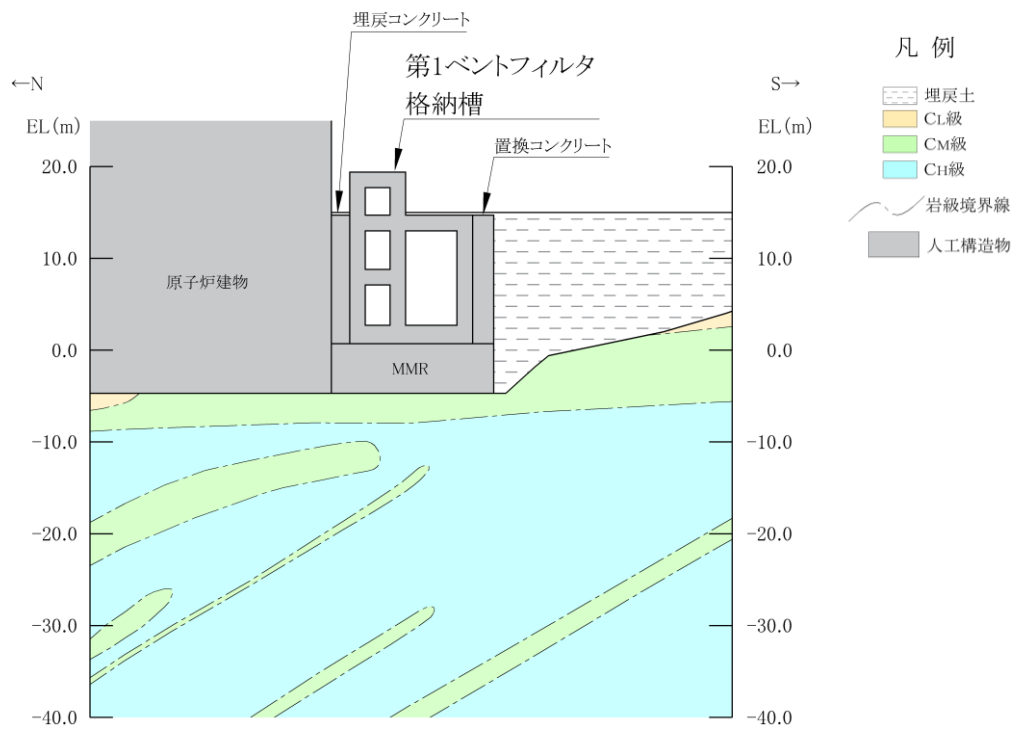
位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する主な設備	d. 要求機能	選定結果
南北方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部を含む）構造物であり、中壁、中床版を有する。</li> <li>耐震要素として機能する面材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有する<math>C_{30}</math>級又は<math>C_{25}</math>級岩盤に支持される。</li> <li>北側は埋戻コンクリートを介して原子炉建物の接しており、南側は置換コンクリートを介して埋戻土と接している。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1ベントフィルタスクラバ容器</li> <li>圧力解放板</li> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁他</li> </ul>	支持機能 遮蔽機能*	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面材が少なく、明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>B-B断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、中壁、中床版等を有する。</li> <li>耐震要素として機能する面材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1ベントフィルタスクラバ容器</li> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁他</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面材が少なく、明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>A-A断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
東西方向	C-C断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部及び原子炉建物との接続部を含む）構造物であり、中壁、中床版等を有する。</li> <li>側壁が耐震要素として機能するため、強軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有する<math>C_{30}</math>級又は<math>C_{25}</math>級岩盤に支持される。</li> <li>東側は埋戻コンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽と接しており、西側は置換コンクリートを介して補助消火水槽と接している。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1ベントフィルタスクラバ容器</li> <li>圧力解放板</li> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器・配管系への応答加速度の観点より床応答算定断面として選定する。</li> <li>部材評価については、安全対策工事着工前後で周辺状況がおおむね同等であることから、安全対策工事に伴う掘削後の評価で代表させる。</li> </ul>
	D-D断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、第1ベントフィルタ格納槽と原子炉建物の接続部である。</li> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいが、配筋は同等である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有する<math>C_{30}</math>級又は<math>C_{25}</math>級岩盤に支持される。</li> <li>周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれている。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器フィルタベント系配管・弁</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいため、耐震評価上有利と考えられることから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>

注記\*：第1ベントフィルタ格納槽の一部は、遮蔽機能を要求される第1ベントフィルタ格納槽遮蔽又は配管遮蔽である。

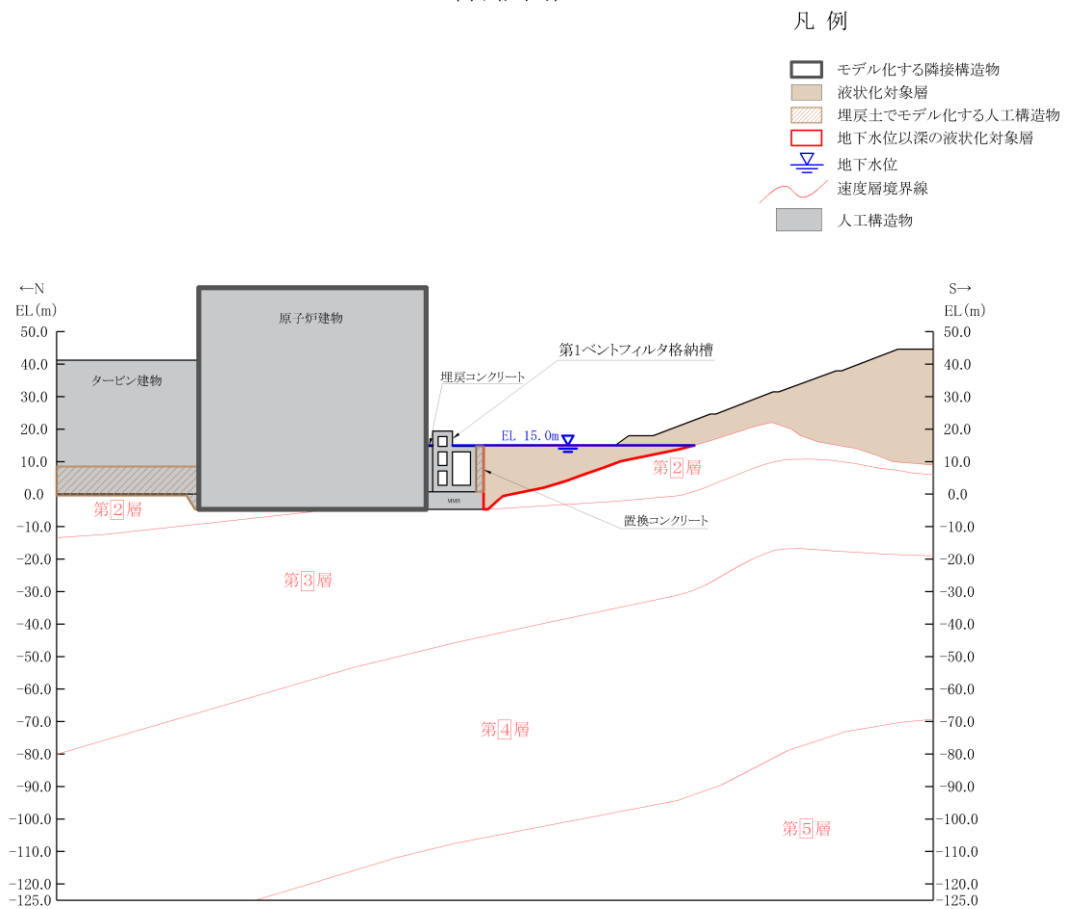
(参考) 6-2



図 2-1 第 1 ベントフィルタ格納槽 平面図

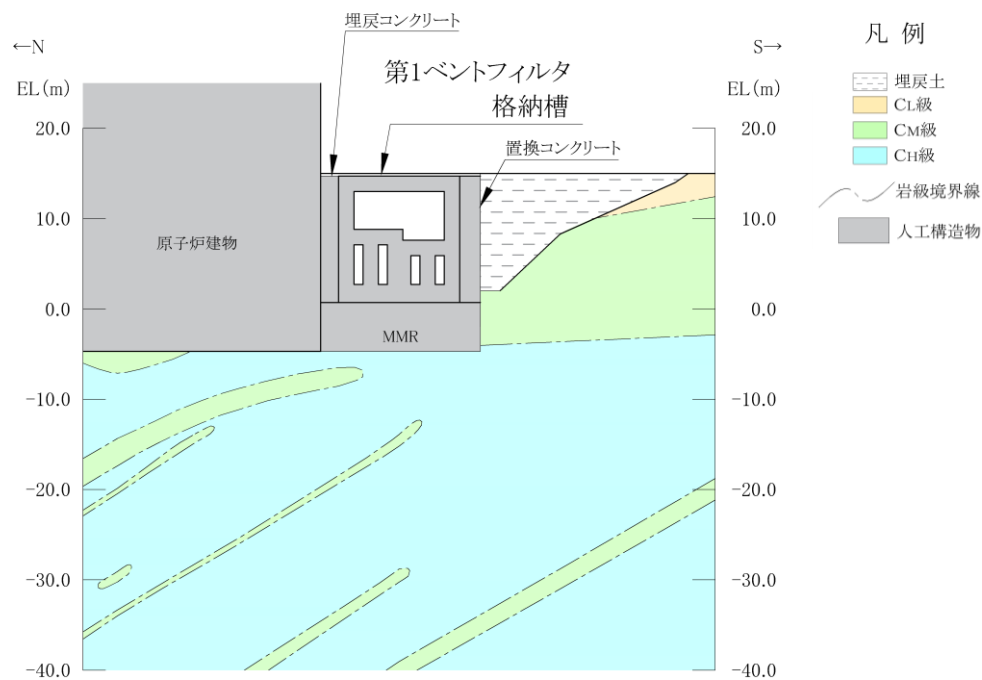


(岩級図)

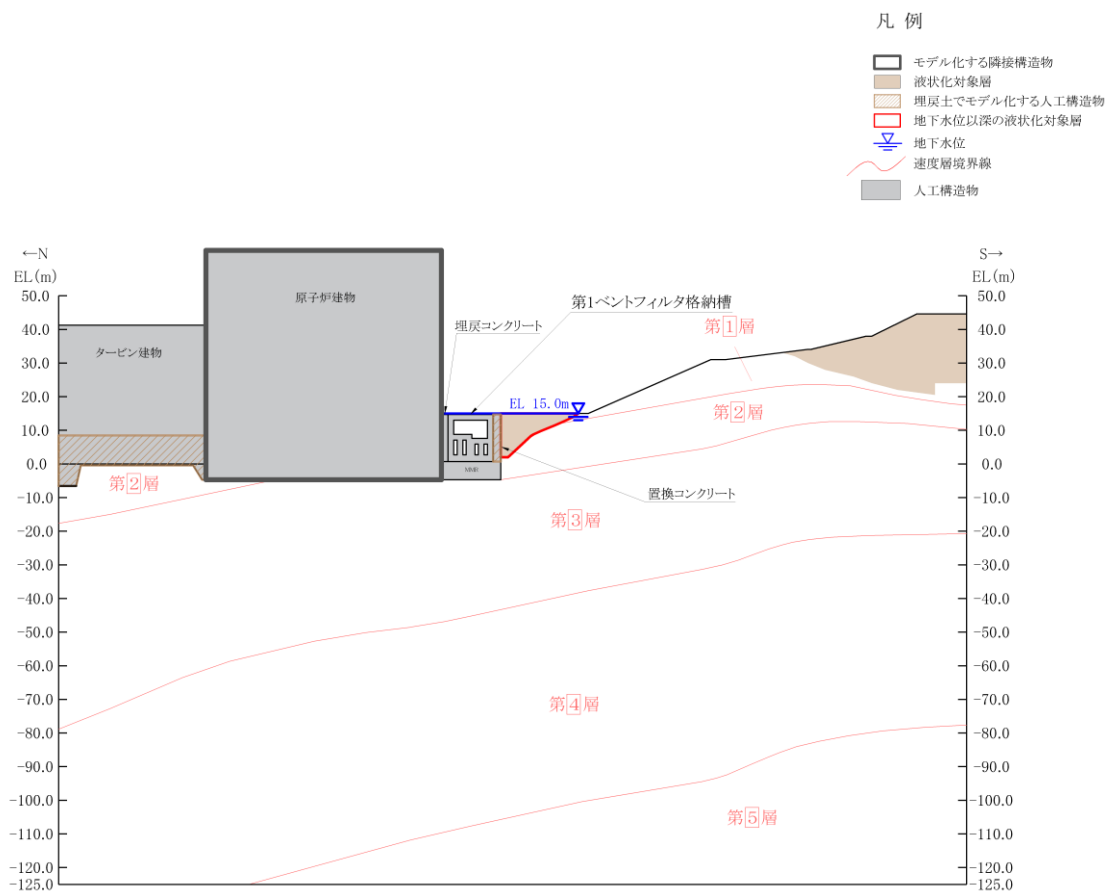


(速度層図)

図 2-2 (1) 第 1 ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (A-A 断面)  
(参考) 6-4



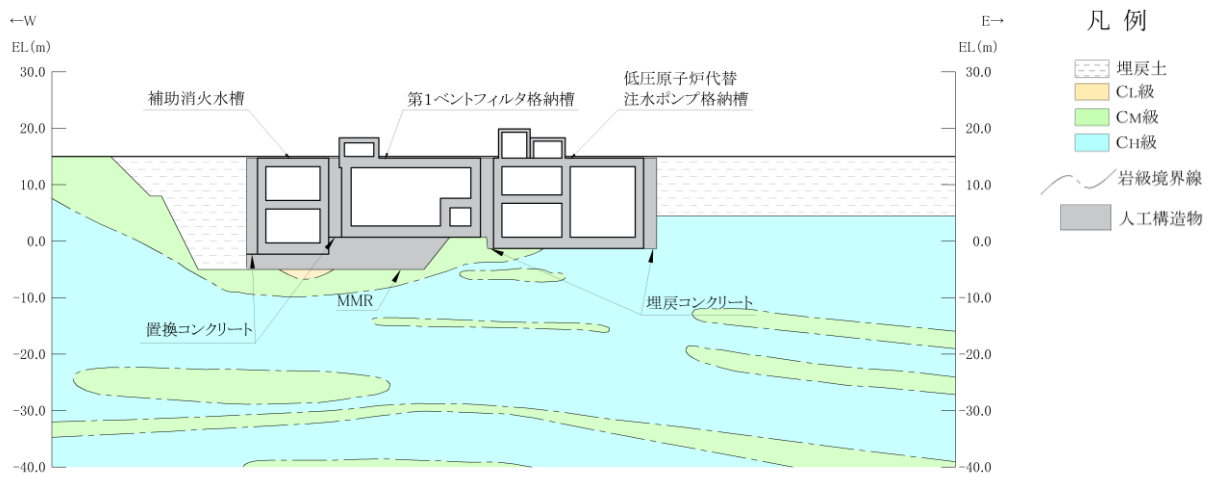
(岩級図)



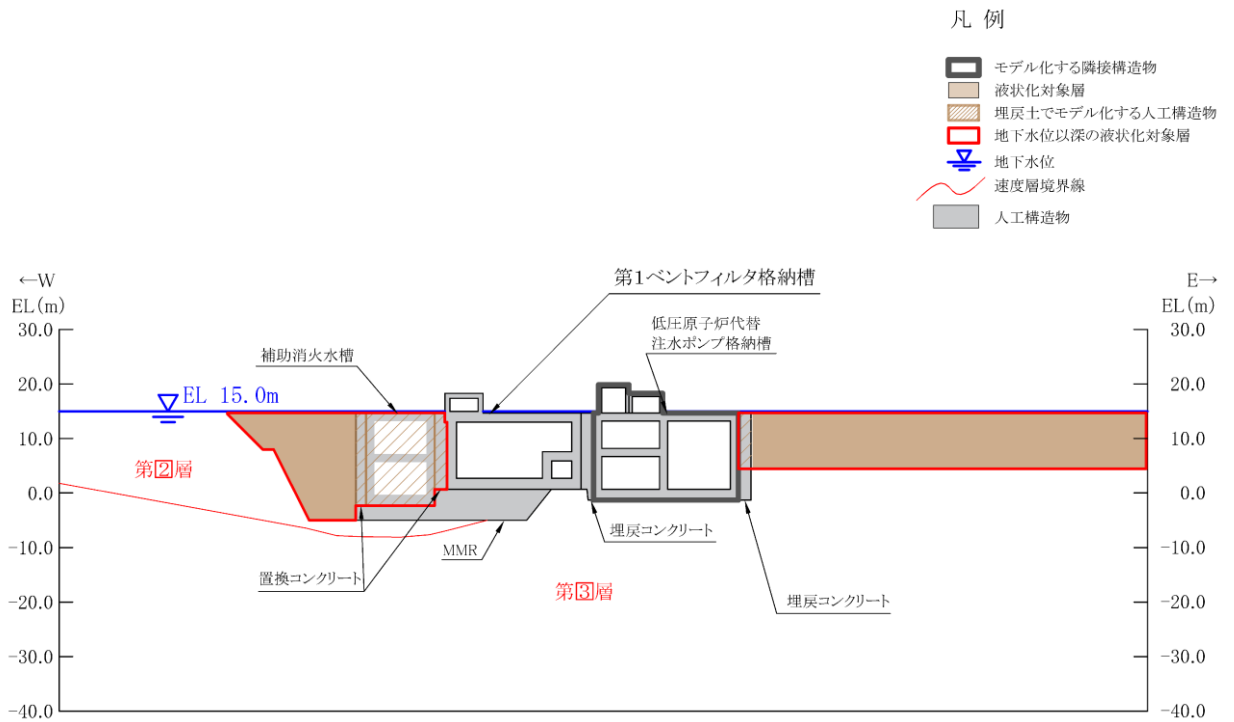
(速度層図)

図 2-2 (2) 第 1 ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (B-B 断面)

(参考) 6-5



(岩級図)



(速度層図)

図 2-2 (3) 第 1 ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (C-C 断面)

(参考) 6-6



### 3. 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

断面選定及び解析手法の選定については、補足説明資料本文と同様の考え方で実施する。安全対策工事着工前の周辺地盤状況における断面選定結果を表 3-1 に示し、安全対策工事に伴う掘削後との相違点を下線部にて識別した。

解析手法については、南北方向では北側は埋戻コンクリートを介して原子炉建物に接しており、南側は埋戻コンクリートを介して岩盤と接しているため、解析手法の選定フローに基づき「②全応力解析」を選定する。東西方向については、西側は埋戻コンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である第 1 ベントフィルタ格納槽と接しているが、東側は置換コンクリートを介して埋戻土と接しているため、解析手法のフローに基づき「⑤有効応力解析」を選定する。なお、耐震評価は基準地震動  $S_s$  全波（6 波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6 波）を加えた全 12 波に対して実施することとし、基本ケースを対象とする。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の平面図を図 3-1 に、地質断面図を図 3-2 に示す。

表 3-1 安全対策工事着工前の周辺地盤状況における断面選定結果

位置・エリア		a. 構造的特徴	b. 周辺状況	c. 間接支持する 主な設備	d. 要求 機能	選定結果
南北 方向	A-A断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部含む）構造物であり、中床版を有する。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に直接支持される。</li> <li>埋戻コンクリートを介して北側に周辺構造物（原子炉建物）が、南側は埋戻コンクリートを介して岩盤及び斜面が隣接している。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低圧原子炉代替注水ポンプ</li> <li>低圧原子炉代替注水系配管・弁他</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>B-B断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	B-B断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、短形構造である。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく、弱軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	同上	なし*	貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく明確な弱軸方向となるため、評価対象断面として選定する。</li> <li>A-A断面との剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすため、評価対象断面として選定する。</li> </ul>
	E-E断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>A-A断面と同様であるが、地上部の構造のみ異なる。</li> </ul>	A-A断面と同様	A-A断面と同様	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>A-A断面と比較して、地上部で考慮する機器・配管荷重が小さいことから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>
東西 方向	C-C断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部を含む）構造物であり、中床版を有する。</li> <li>側壁が耐震要素として機能し、強軸方向となる。</li> <li>断面の奥行き方向において、部材厚や内空断面及び配筋についてはおおむね同一である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に直接支持される。</li> <li>埋戻コンクリートを介して西側は第1ペントフィルタ格納槽と接しており、東側は置換コンクリートを介して埋戻土と接している。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低圧原子炉代替注水ポンプ</li> <li>低圧原子炉代替注水系配管・弁他</li> </ul>	支持機能 貯水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器・配管系への応答加速度の観点より床応答算定断面として選定する。</li> <li>構造上の強軸方向であるが、弱軸方向断面で評価できない部材（強軸方向の側壁等）についても、弱軸方向断面と同様に評価対象とする。</li> </ul>
	D-D断面	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽と原子炉建物の接続部である。</li> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいが、配筋は同等である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して、十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級又はC<sub>H</sub>級岩盤に支持される。</li> <li>周囲全周を埋戻コンクリートで囲まれている。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低圧原子炉代替注水系配管・弁他</li> </ul>	支持機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>他の断面と比較して部材厚に対して内空が小さいため、耐震評価上有利と考えられることから、評価対象断面として選定しない。</li> </ul>

注記\*：B-B断面は鉄筋コンクリート構造物そのものが重大事故等対処設備である低圧原子炉代替注水槽である。

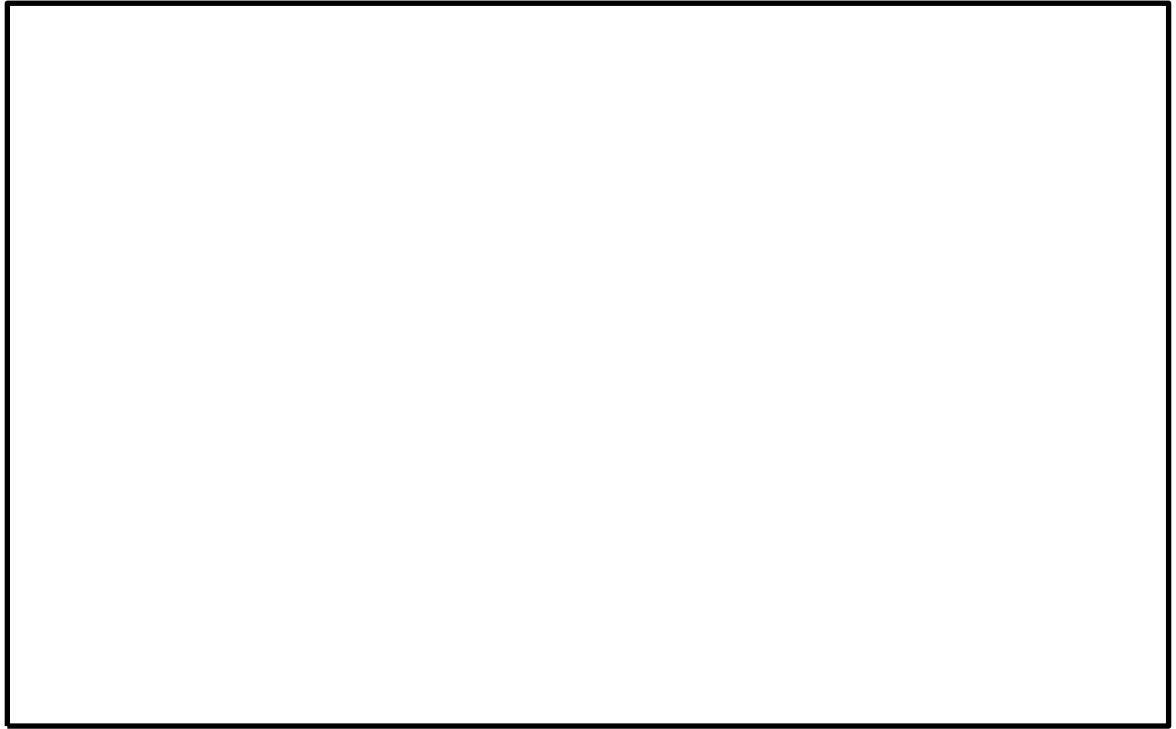
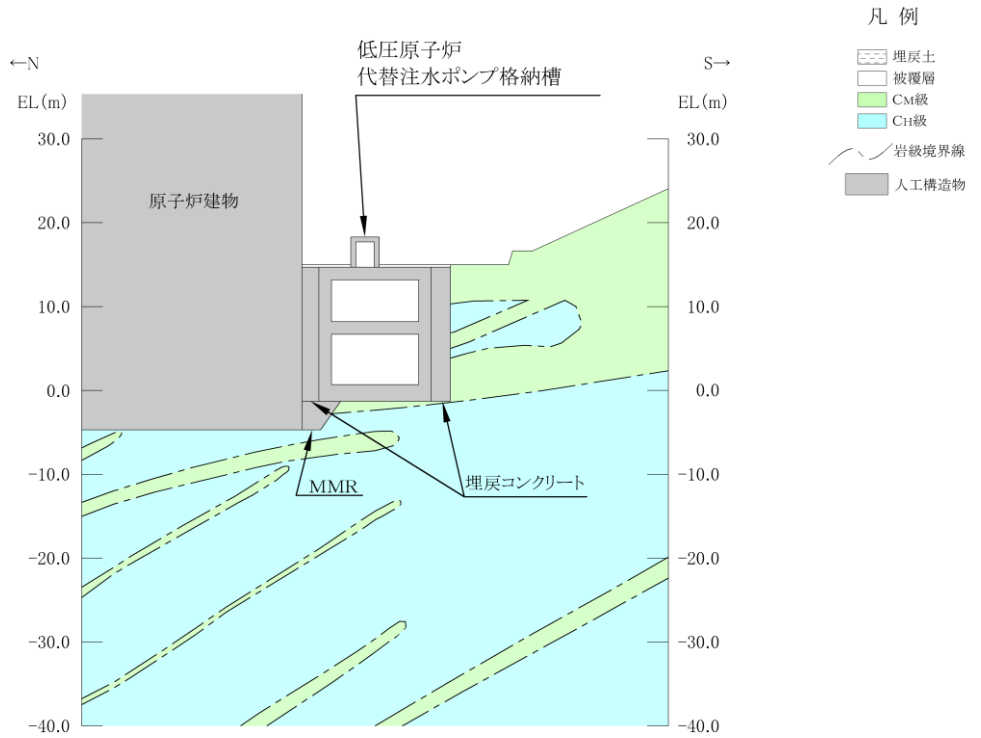
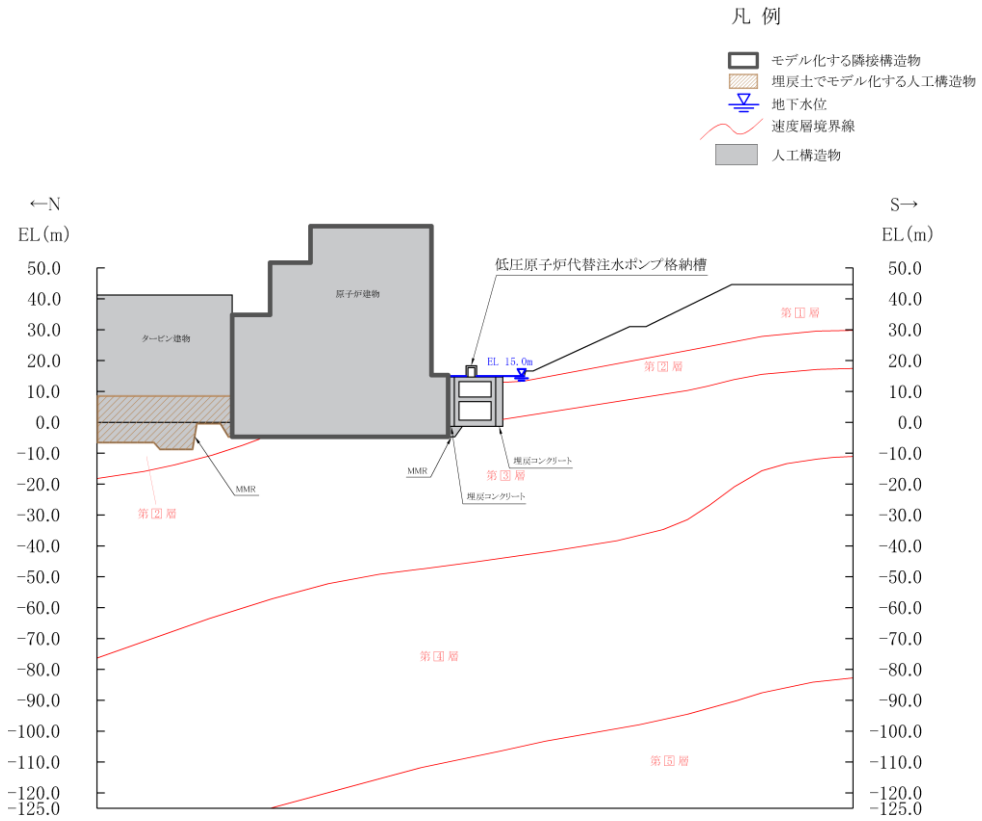


図 3-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図



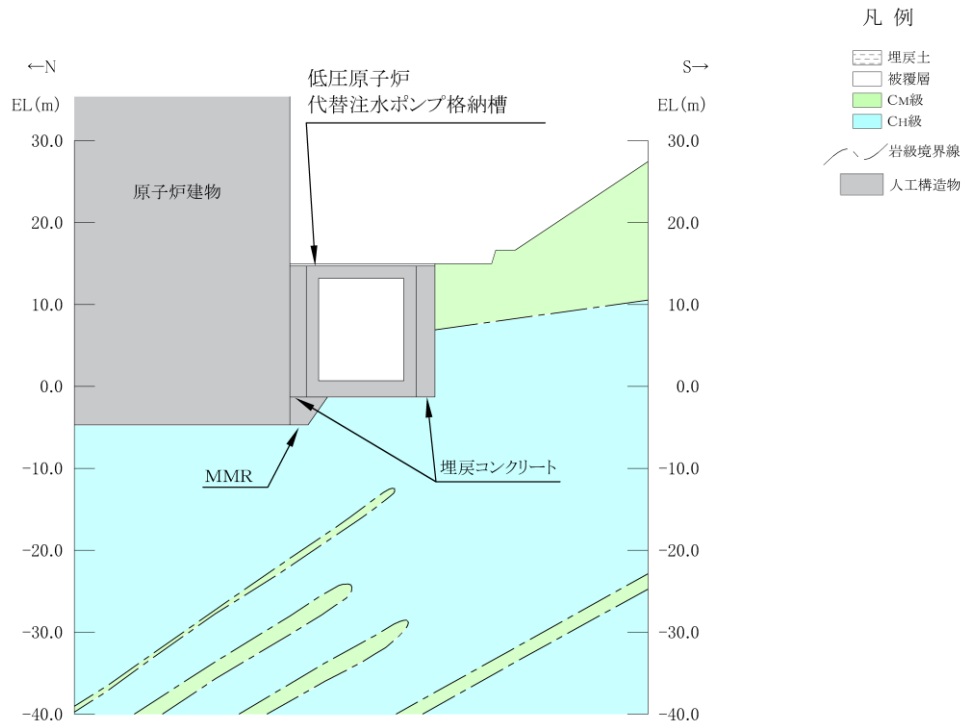
(岩級図)



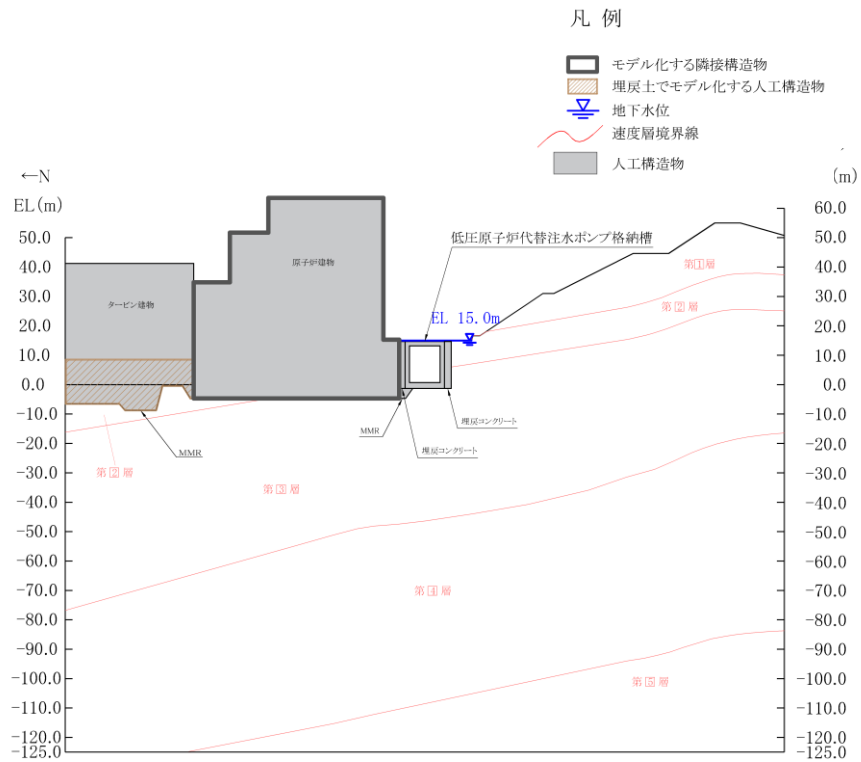
(速度層図)

図 3-2 (1) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (A-A断面)

(参考) 6-10



(岩級図)



(速度層図)

図 3-2 (2) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (B-B 断面)

(参考) 6-11

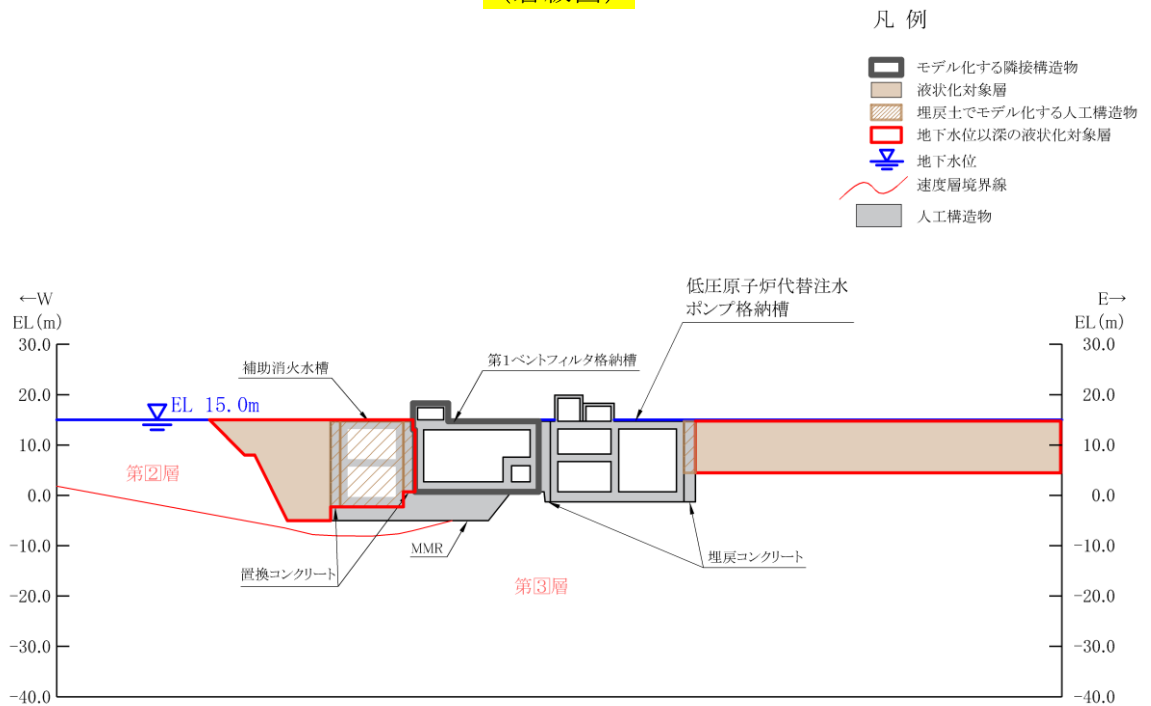
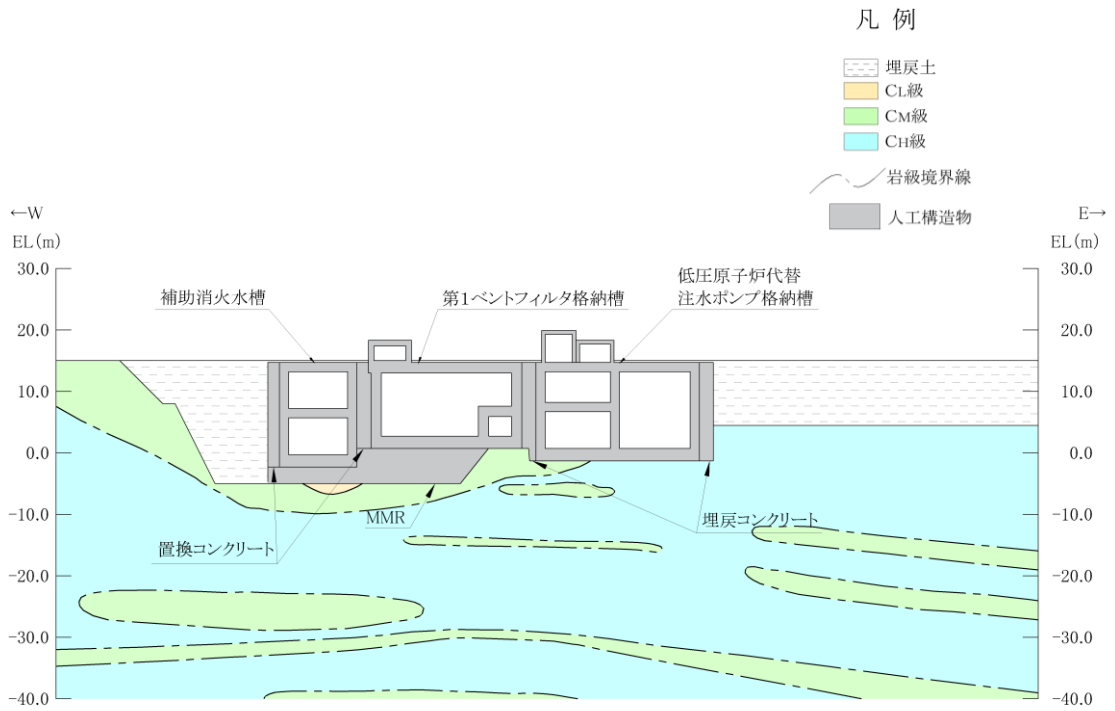


図 3-3 (3) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (C-C断面)

(参考) 6-12

## 参考資料 7 追加解析ケースの選定方法の詳細について

### 1. 概要

「10. 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定」に示すとおり、曲げ軸力、せん断力及び支持力の照査において、照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

本項では、追加解析ケースの選定方法の方針を示す。

### 2. 選定方法

耐震評価においては、すべての基準地震動  $S_s$  に対して実施する基本ケースにおいて、曲げ軸力、せん断力及び支持力の照査において照査値が 0.5 を超えるすべての照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加ケースを実施する。

追加解析の結果を踏まえ、照査値に以下の傾向が認められる場合は、更なるケースの追加を検討する。なお、具体的な追加解析ケースについては、個別構造物の耐震評価結果を踏まえて確定する。

- ・基本ケースと追加ケースの照査値の差分が大きい場合
- ・基本ケース又は追加ケースの照査値が厳しい場合

## 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について

### 1. 概要

屋外重要土木構造物等のうち、3次元構造解析モデルを用いた耐震評価を実施する取水槽及び屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）については、2次元地震応答解析における構造物モデルを等価剛性モデルとしている。等価剛性モデルでは、補正係数 $\alpha$ 、 $\beta$ を設定しており、補正係数 $\alpha$ は構造物の奥行長さに対する各部材の奥行長さから比率を算出し、補正係数 $\beta$ は3次元モデルの水平変位と等しくなるように算出し、等価剛性モデルの弾性係数（剛性）を設定している。

補正係数 $\beta$ は2次元等価剛性モデルの平面応力要素及びはり要素に対して設定しており、平面応力要素においては、水平・鉛直方向で等方のため、方向に応じて剛性を変更することはできない。そのため、本書では、水平方向の剛性を等価としない場合の鉛直方向の床応答を算定し、剛性調整による鉛直方向床応答への影響について確認する。

### 2. 検討方法

検討方法として、2次元地震応答解析により、水平方向の剛性を合わせた場合（ $\beta$ 調整）と、合わせない場合（ $\beta = 1$ ）の床応答について加速度応答スペクトル比較を行う。

検討対象構造物は、補正係数 $\beta$ の調整量の差が最大の構造物である取水槽（除じん機エリア）を選定する。取水槽（除じん機エリア）における最小の調整量は $\beta = 0.063$ であり、最大の調整量は $\beta = 2.969$ となる。合わせない場合（ $\beta = 1$ ）と比較して、補正係数 $\beta$ は約1/16倍～約3倍であり、調整量に大きな差があるため、取水槽（除じん機エリア）を用いて影響検討を実施する。

取水槽（除じん機エリア）について、水平方向の剛性を合わせる要素を図2-1に、調整結果を表2-1に示す。

検討では、基準地震動S<sub>s</sub>全12波の基本ケースを包絡した加速度応答スペクトルを用い、加速度応答スペクトルの抽出位置は、床応答算出箇所のうち応答加速度が最大となる節点を抽出する。取水槽における抽出位置を図2-2に示す。



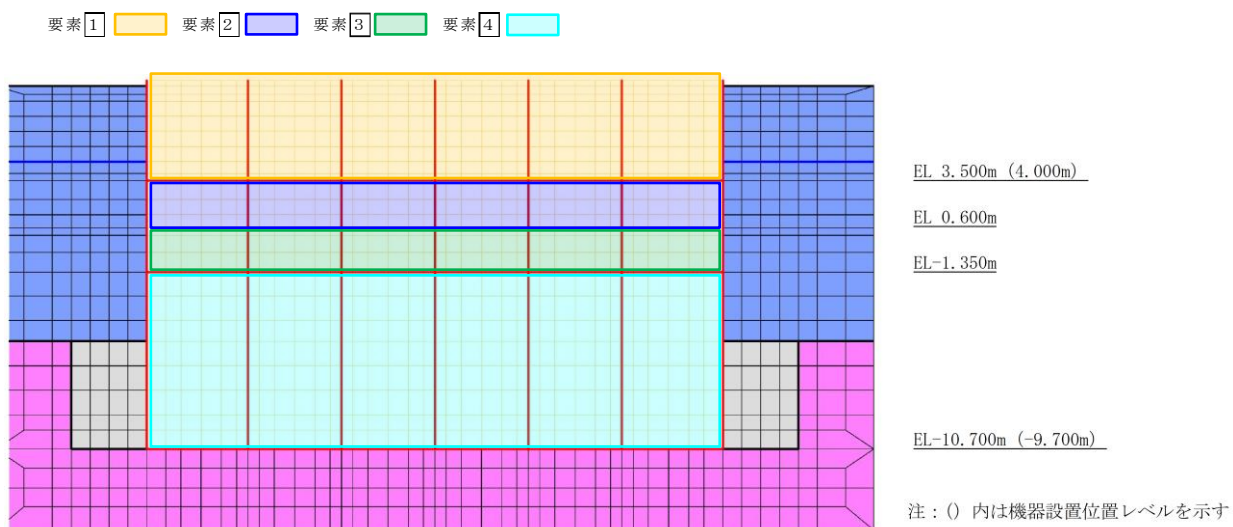


図 2-1 取水槽（除じん機エリア）において水平方向の剛性を合わせる要素

表 2-1 取水槽の調整結果

要素番号	$\alpha$	$\beta$
1	0.229	0.063
2	0.220	2.969
3	0.145	0.268
4	0.145	0.134

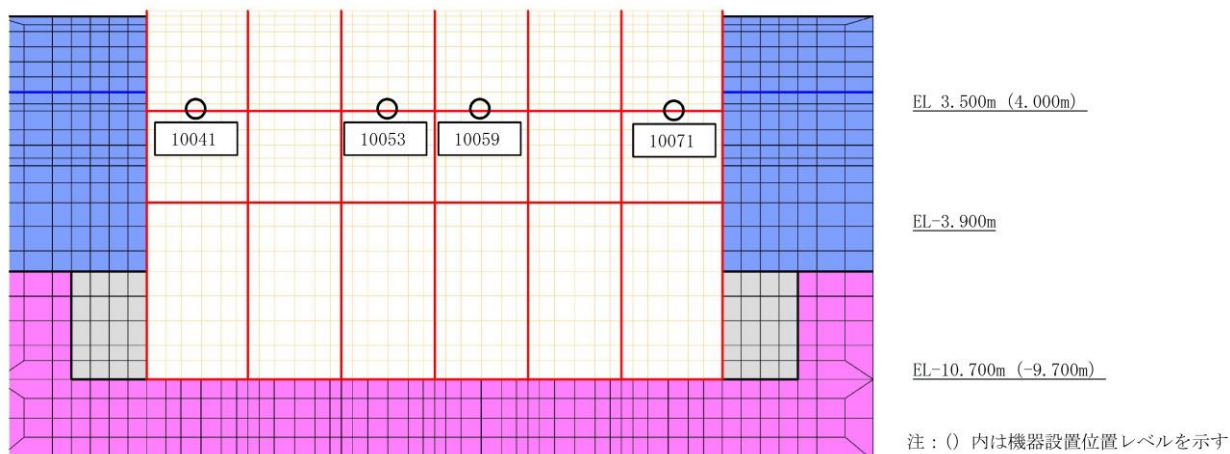


図 2-2 取水槽（除じん機エリア）の抽出位置

### 3. 検討結果

取水槽（除じん機エリア）の加速度応答スペクトルの比較検討結果を図 3-1 に示す。

検討の結果，補正係数  $\beta$  を約 1/16 倍～約 3.0 倍に調整した取水槽は，補正係数  $\beta = 1$ （調整しない）の場合に比べて応答が多少大きくなり，保守的な結果となった。

補正係数  $\beta$  を調整する場合，方向に応じて剛性を変更することはできないことから，鉛直方向の応答の多少影響を及ぼすが，影響は軽微であった。

以上の結果から，補正係数  $\beta$  の調整により，鉛直方向床応答への影響を与える場合があるが，島根原子力発電所 2 号機の屋外重要土木構造物等の設定には問題ないことを確認した。

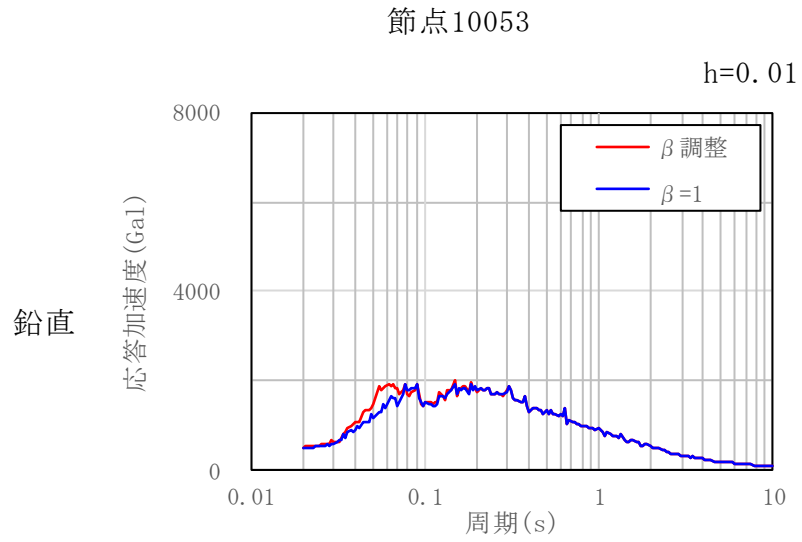
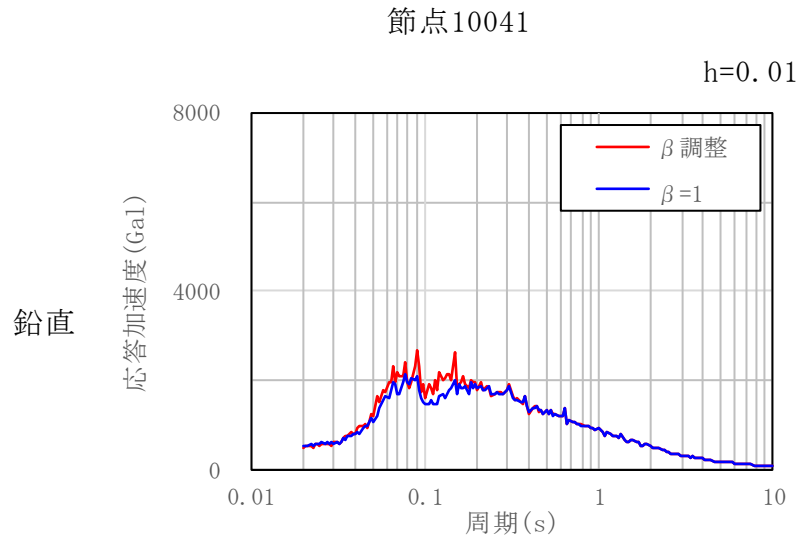


図 3-1 (1) 取水槽 (除じん機エリア) の加速度応答スペクトル (鉛直方向)

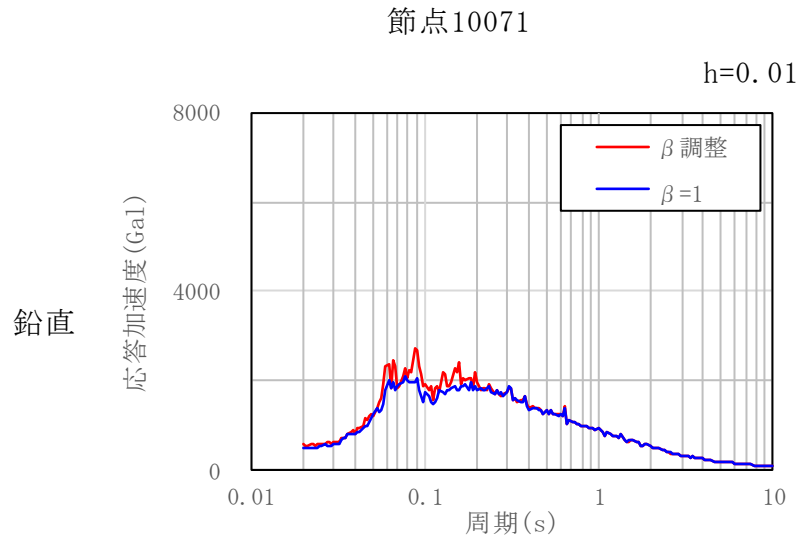
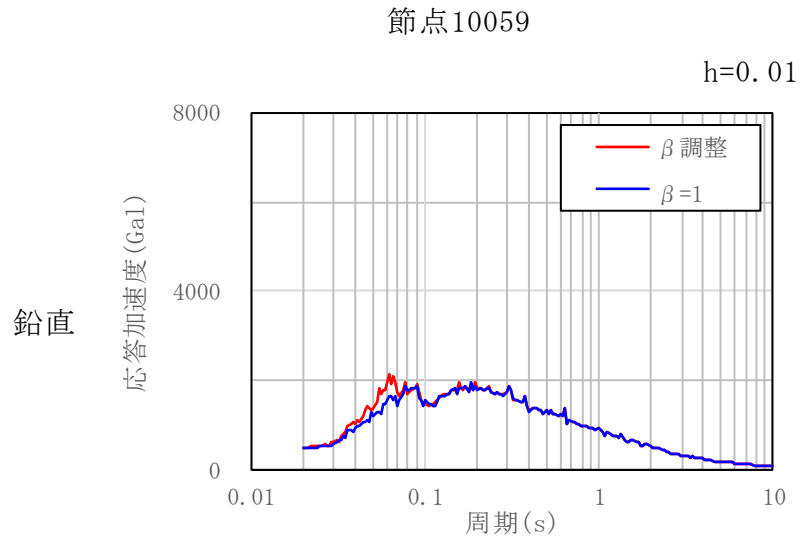


図 3-1 (2) 取水槽 (除じん機エリア) の加速度応答スペクトル (鉛直方向)

## 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周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。

表 1-1 にジョイント要素のばね定数を示す。

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

圧縮剛性 $k_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	せん断剛性 $k_s$ (kN/m <sup>3</sup> )
$1.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$

## 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、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、構造位置での応答加速度及び側壁最大土圧の比較を行う。

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が生じやすいと考えられる取水槽（A-A 断面）とする。解析ケースは基本ケース①とし、地震動は、全周波数帯で加速度応答スペクトルが大きい  $S_s - D (+)$  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 に取水槽の平面図、図 2-2 に取水槽（A-A 断面）の断面図、図 2-3 にジョイント要素の配置図を示す。

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 <sup>3</sup> )	
		圧縮剛性 $k_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	せん断剛性 $k_s$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	0.1 倍	$1.0 \times 10^6$	$1.0 \times 10^6$
2	1 倍	$1.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$
3	10 倍	$1.0 \times 10^8$	$1.0 \times 10^8$

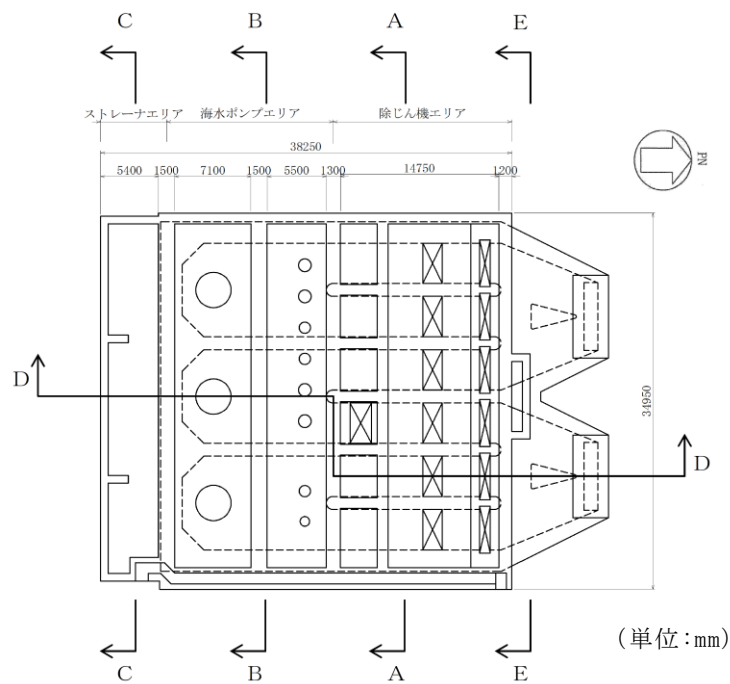


図 2-1 取水槽平面図

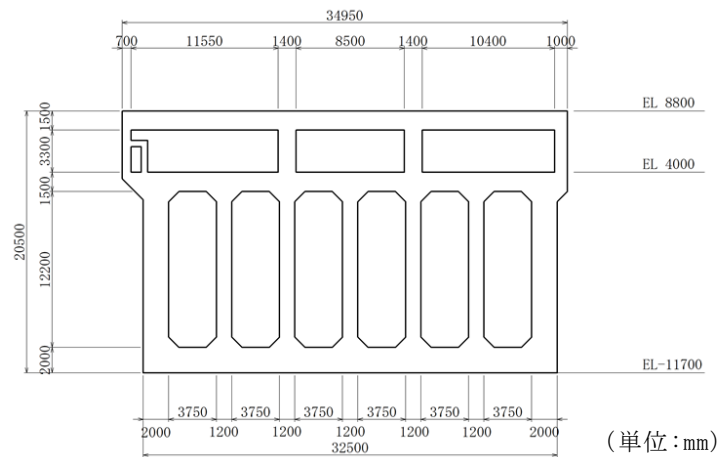







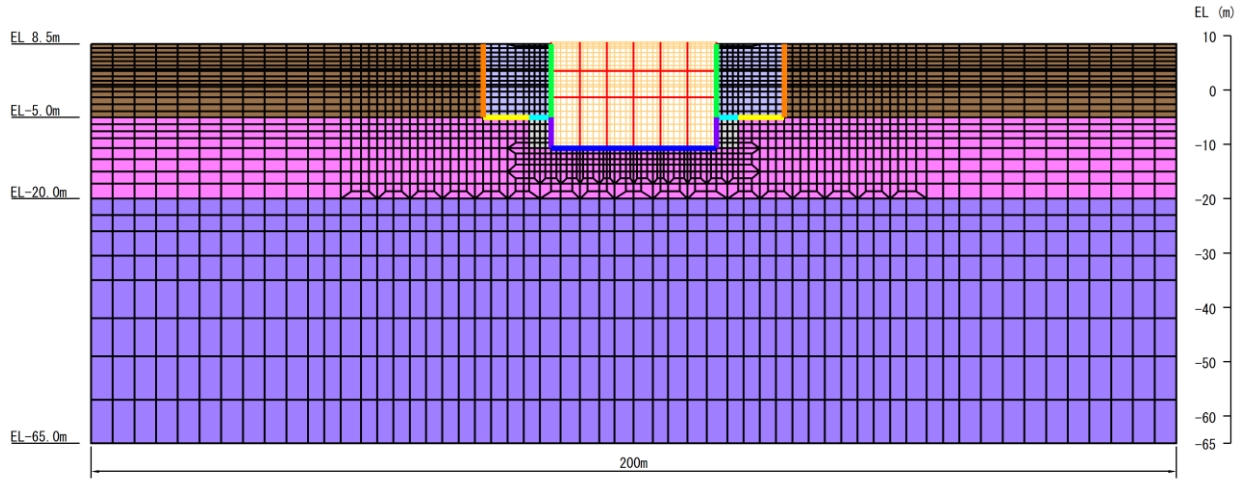




図 2-2 取水槽断面図 (A-A 断面)

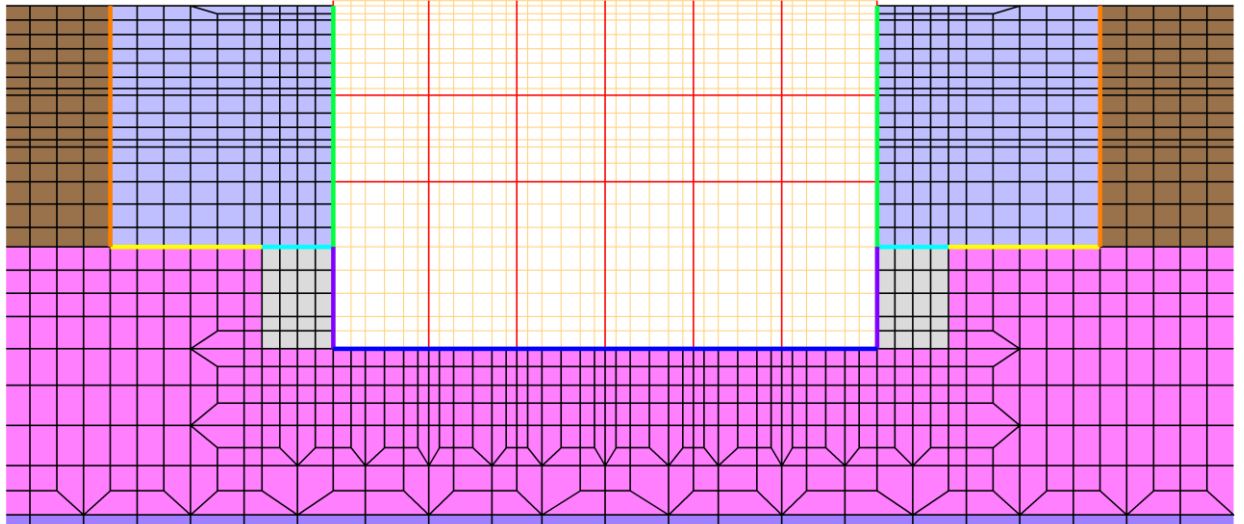
(参考) 10-2

- |  |  |   |
|--|--|---|
|  : 岩盤 (第2速度層) |  : 埋戻土      |  : 構造物     |
|  : 岩盤 (第3速度層) |  : 埋戻コンクリート |  : ジョイント要素 |
|  |  : 改良地盤     |   |



(全体図)

- |   |  |
|---|--|
|  : 構造物-改良地盤ジョイント要素     |  : 改良地盤-埋戻土ジョイント要素      |
|  : 構造物-埋戻コンクリートジョイント要素 |  : 改良地盤-埋戻コンクリートジョイント要素 |
|  : 構造物-岩盤ジョイント要素       |  : 改良地盤-岩盤ジョイント要素       |



(ジョイント要素拡大)

図 2-3 ジョイント要素の配置図

(参考) 10-3

### 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槽（A-A断面）の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及び図3-2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3-3及び図3-4に、取水槽（A-A断面）における側壁最大土圧の比較結果を図3-5に示す。

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、底版右端及び右側壁の上端において剥離が大きくなり、右側壁下端においては、剥離・すべり量がともに明確に大きくなっている。また、図3-3及び図3-4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ない。なお、図3-5に示す、側壁最大土圧についても、ばね定数の設定値による大きな差は無い。

以上の結果から、ばね定数1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。



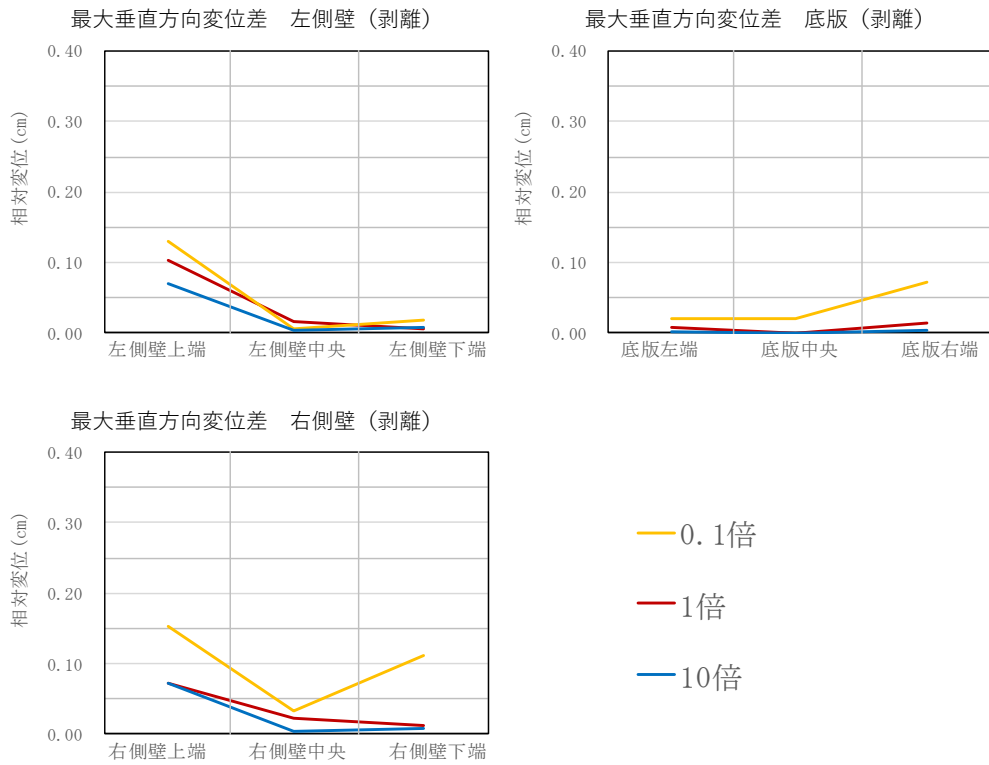


図 3-1 地盤と構造物の接合面接合面における剥離の比較  
(基本ケース①,  $S_s - D$  (++))

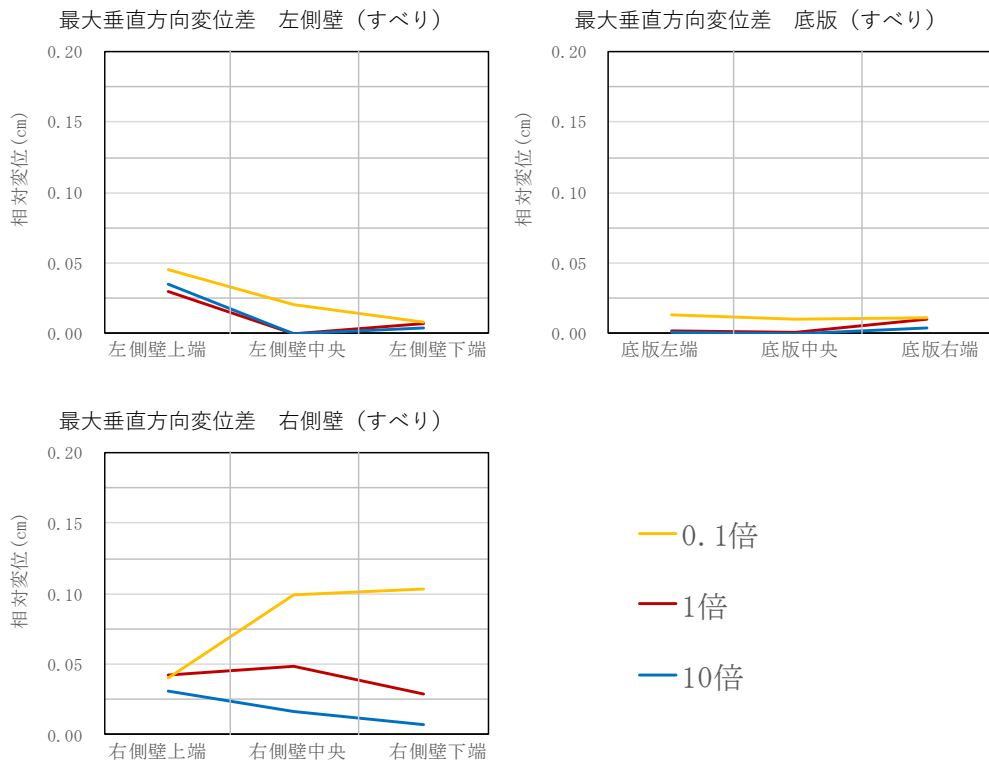


図 3-2 地盤と構造物の接合面接合面におけるすべり量の比較  
(基本ケース①,  $S_s - D$  (++))

(参考) 10-5

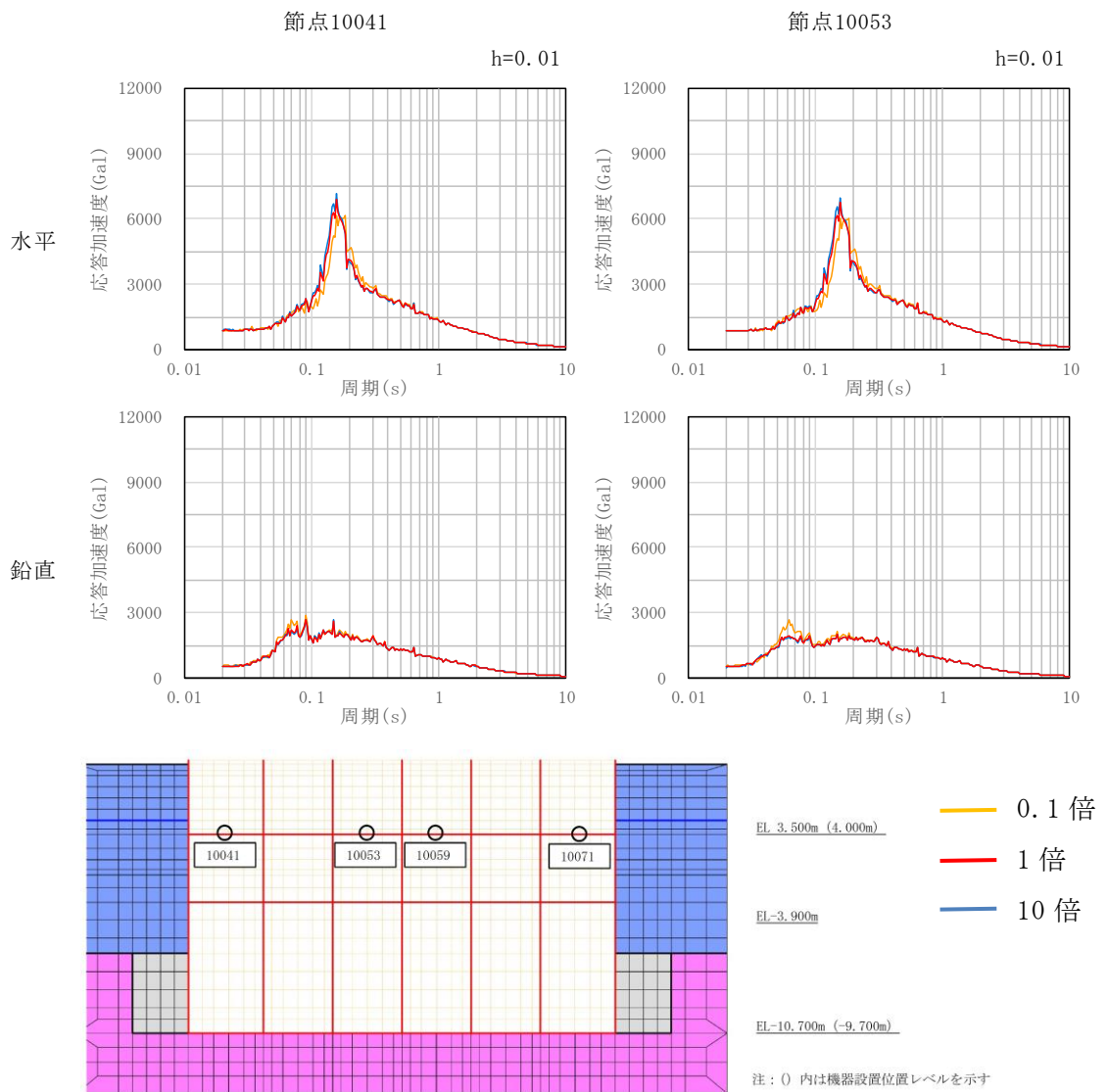


図 3-3 構造物位置における加速度応答スペクトルの比較  
(基本ケース①,  $S_s - D(++)$ )

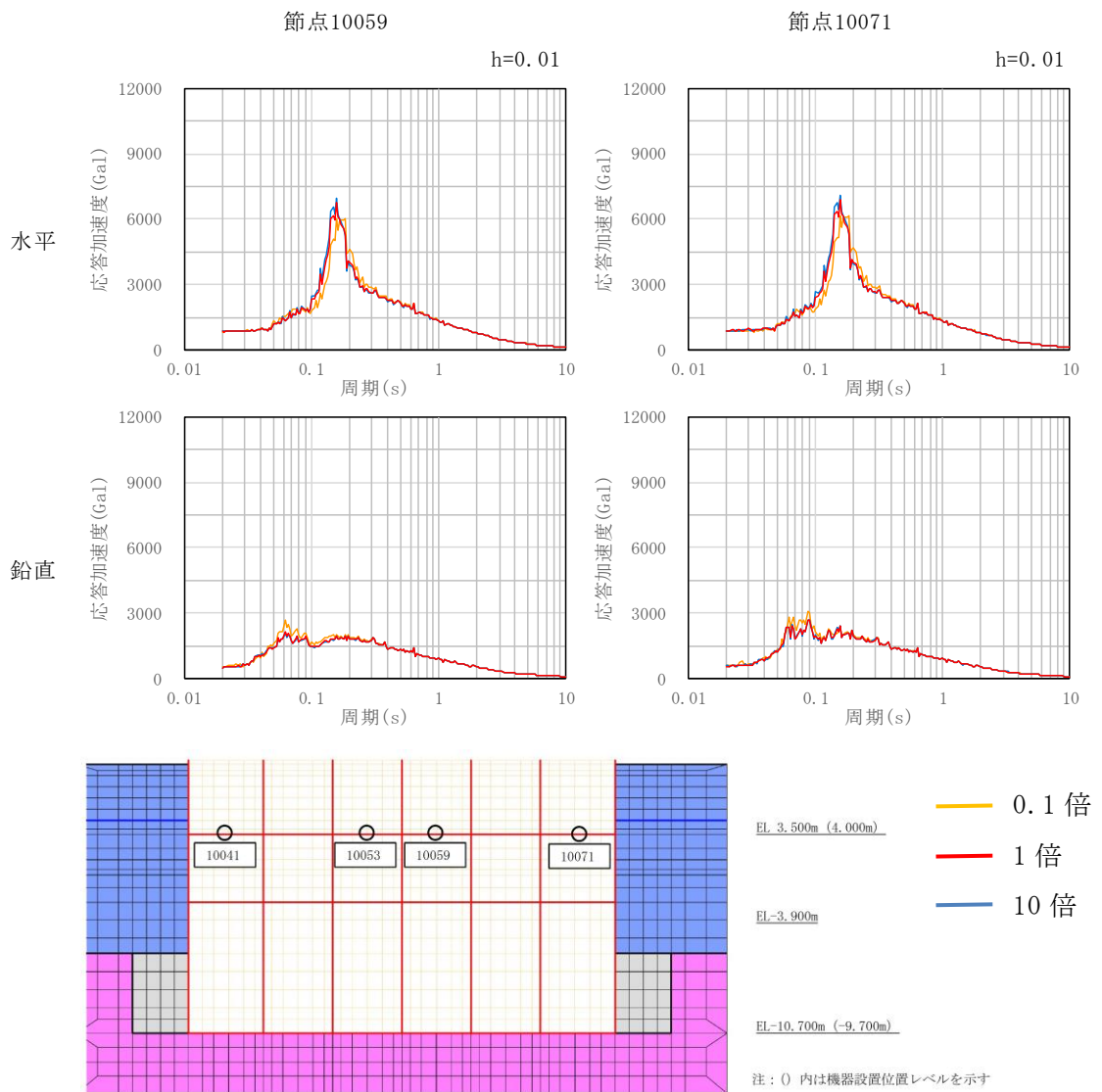


図 3-4 構造物位置における加速度応答スペクトルの比較  
 (基本ケース①,  $S_s - D(++)$ )

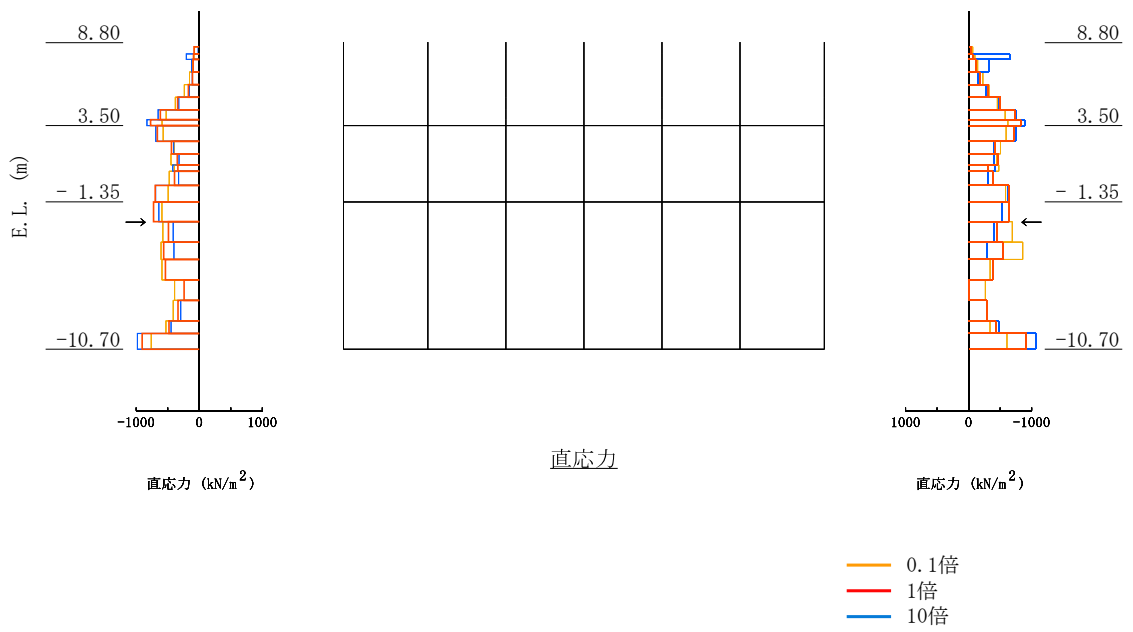


図 3-5 取水槽（除じん機エリア）における側壁最大土圧の比較  
 （基本ケース①，S<sub>s</sub>-D（++））

参考資料 11 浮上り評価について

1. 概要

屋外重要土木構造物等のうち、設計地下水位が地表面と同等の高さの構造物に対して、浮上りの影響を受ける可能性があるため、浮上り評価を行うこととしている。

本検討では、常時の浮上りに対する評価結果をとりまとめ、影響がないことを示す。

評価は、トンネル標準示方書（土木学会，2016）（以下「トンネル標準示方書」という。）に基づき実施する。評価対象構造物の上端高さ及び設計地下水位を表 1-1 に示す。

なお、屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）のC-C断面については、有効応力解析を実施する構造物であるため、地震時の過剰間隙水圧分布を踏まえた検討を別途実施する。検討結果については、「補足-026-5 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書及び耐震性についての計算書に関する補足説明資料」に示す。

表 1-1 評価対象構造物の上端高さ及び設計地下水位

施設名称		構造物上端 (EL m) *	設計地下水位 (EL m)
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	A-A断面	15.00	15.00
	B-B断面		
屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ～原子炉建物)	A-A断面	14.65	15.00
	B-B断面		
	C-C断面	14.50	
第1ベントフィルタ格納槽	A-A断面	14.70	15.00
	B-B断面		
	C-C断面		
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	A-A断面	14.70	15.00
	B-B断面		
	C-C断面		

注記\*：構造物の一部に地上部を有する構造物については、地上部を除く高さを記載している。

## 2. 評価内容

### 2.1 浮上り評価に用いる指針・基準の選定

屋外重要土木構造物等における浮上り評価の対象構造物は、主に矩形のボックスカルバート構造であることから、共同溝設計指針、トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説に示される式(2.1)を用いて評価を実施する。浮上り評価の概念図を図2-1に示す。

$$\gamma_i (U_S + U_D) / (W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B) \leq 1.0 \dots \dots \dots \text{式 (2.1)}$$

ここで、

- $\gamma_i$  : 構造物係数で、 $\gamma_i = 1.0$  とする
- $U_S$  : 構造物底面に作用する静水圧による揚圧力 (kN/m)
- $U_D$  : 構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力 (kN/m)
- $W_S$  : 上載土の荷重 (水の重量を含む) (kN/m)
- $W_B$  : 構造物の自重 (kN/m)
- $Q_S$  : 上載土のせん断抵抗 (kN/m)
- $Q_B$  : 構造物側面の摩擦抵抗 (kN/m)

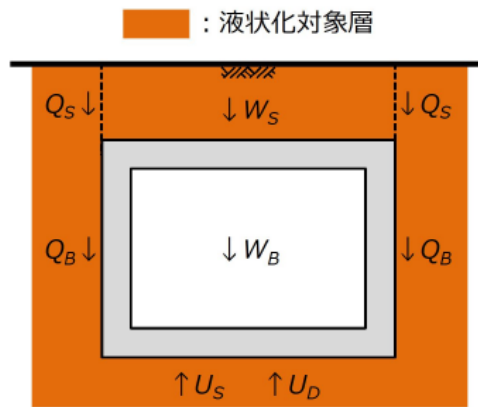


図 2-1 算定方法の概念図

上載土のせん断抵抗  $Q_s$  及び構造物側面の摩擦抵抗  $Q_b$  は、トンネル標準示方書に示される式 (2.2) 及び式 (2.3) に基づき算定する。

$$Q_s = f_{UW} \cdot (c_s + K_0 \cdot \sigma'_{vS} \cdot \tan \phi_s) \cdot H \dots \dots \dots \text{式 (2.2)}$$

$$Q_b = f_{US} \cdot (c_b + K_0 \cdot \sigma'_{vB} \cdot \tan \phi_b) \cdot H \dots \dots \dots \text{式 (2.3)}$$

ここで、

- $c_s$  : 上載土の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $c_b$  : 構造物側面の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi_s$  : 上載土のせん断抵抗角 (°)
- $\phi_b$  : 構造物側面の壁面摩擦角で、 $\phi_b = 2\phi / 3$  とする (°)
- $\phi$  : 構造物周辺地盤の内部摩擦角 (°)
- $K_0$  : 静止土圧係数
- $\sigma'_{vS}$  : 上載土中央深さにおける有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma'_{vB}$  : 構造物中央深さにおける有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- $H$  : 上載土の厚さ (m)
- $H$  : 構造物の高さ (m)
- $f_{UW}, f_{US}$  : 液状化時の浮上りに関する安全係数で、  
 $f_{UW} = 1.0, f_{US} = 1.0$  とする

構造物底面に作用する静水圧による揚圧力 $U_S$ は、トンネル標準示方書に示される式(2.4)に基づき算定する。

$$U_S = A_w \cdot \gamma_w \cdot \dots \dots \dots \text{式 (2.4)}$$

ここで、

$\gamma_w$  : 地下水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$A_w$  : 水位以深面積 (m<sup>2</sup>)

構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力 $U_D$ は、トンネル標準示方書に示される式(2.5)に基づき算定する。

$$U_D = A_w (\gamma_s - \gamma_w) \cdot \dots \dots \dots \text{式 (2.5)}$$

ここで、

$U_D$  : 構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力 (kN/m)

$\gamma_s$  : 水位以深単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)



## 2.2 評価対象断面

### 2.2.1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の平面図を図 2-2 に、地質断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、断面図を図 2-5 及び図 2-6 示す。

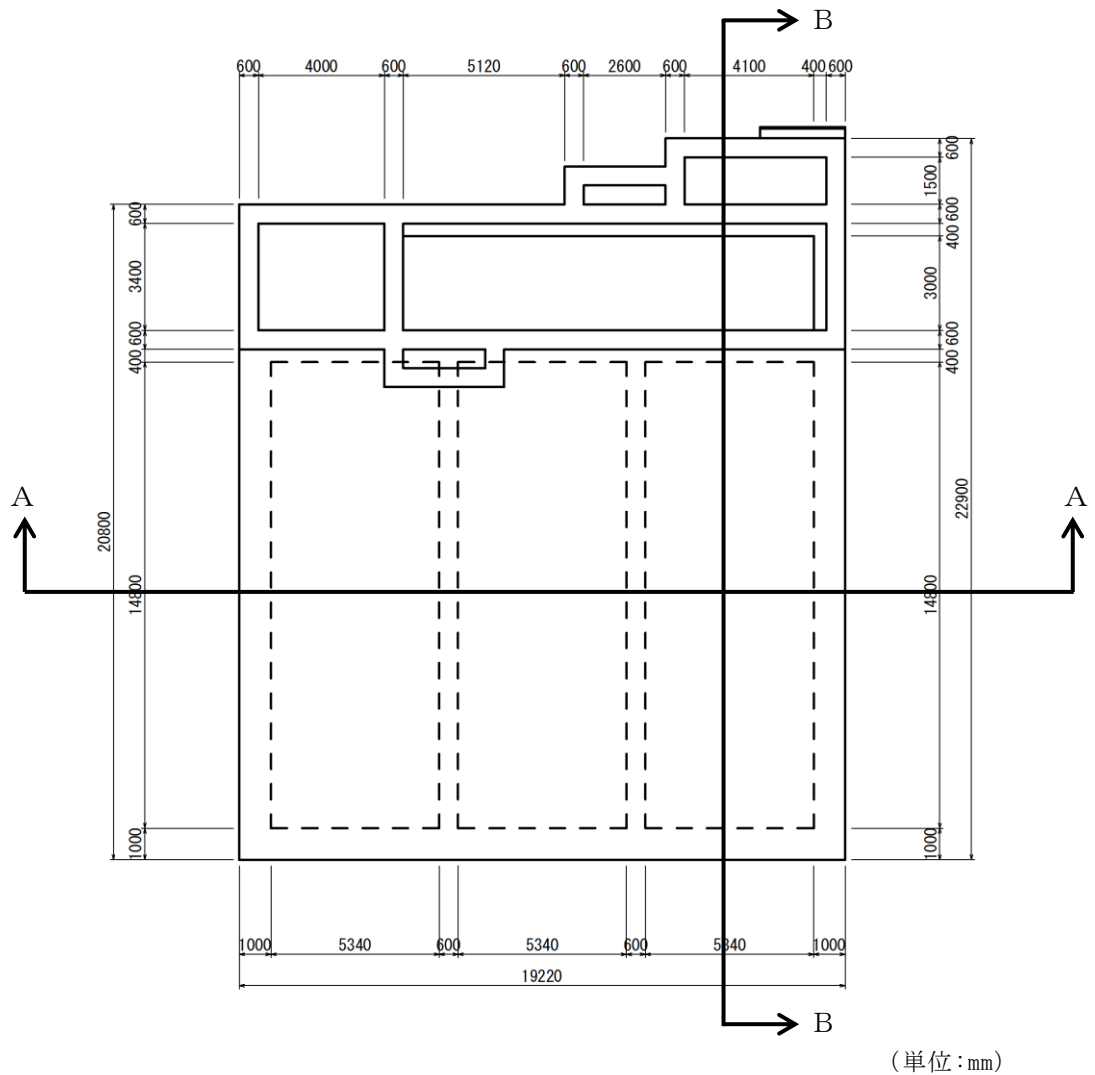


図 2-2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 平面図

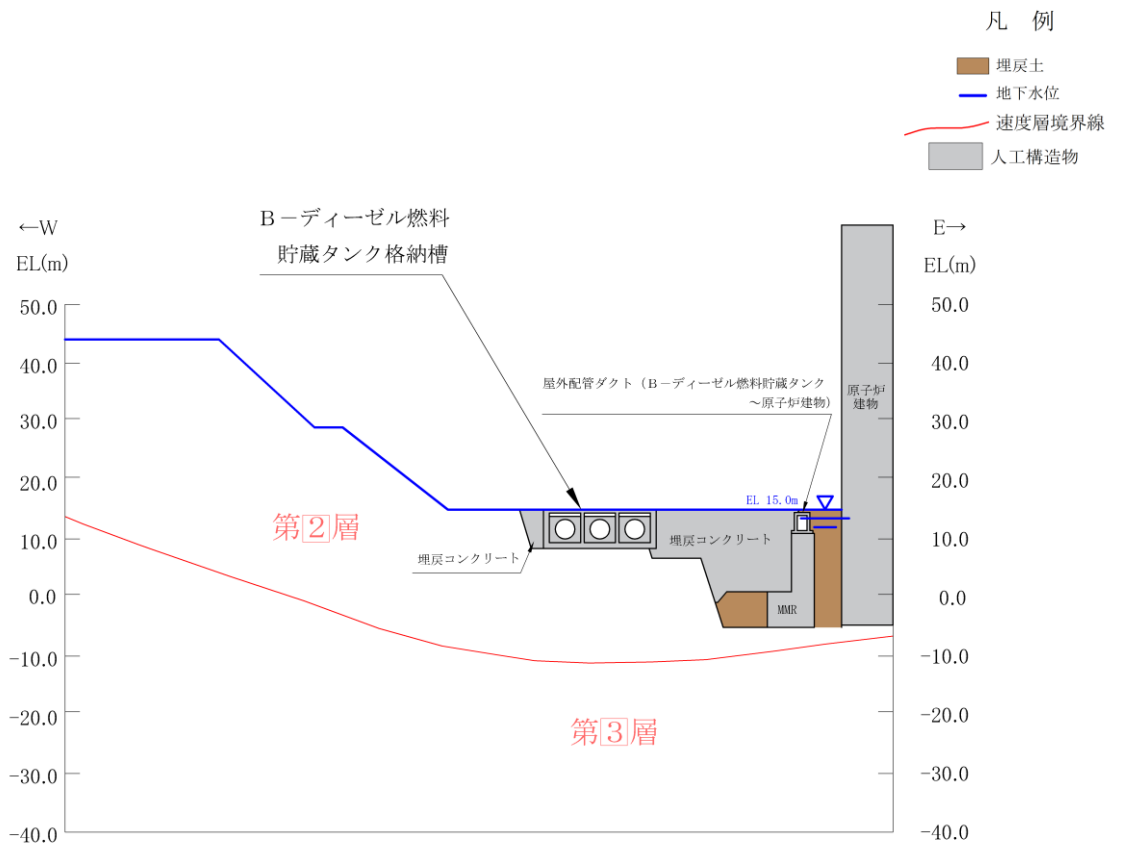


図 2-3 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 地質断面図 (A-A断面位置)

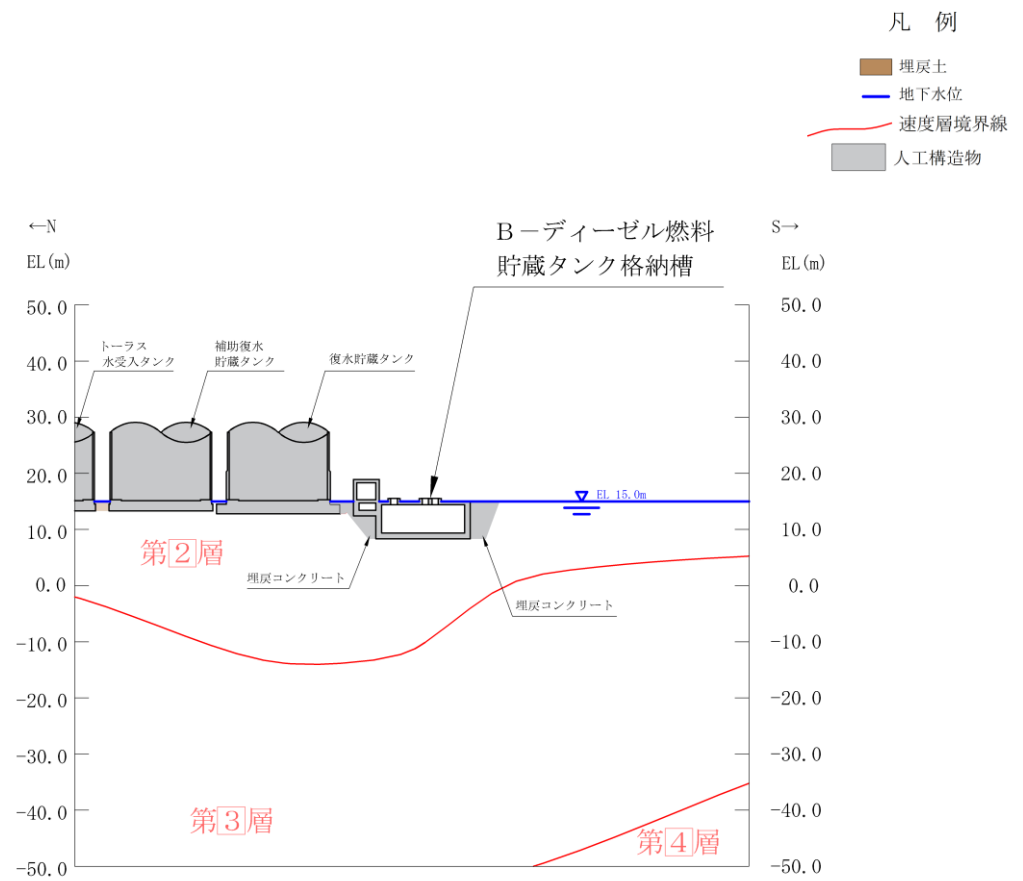


図 2-4 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 地質断面図 (B-B 断面位置)

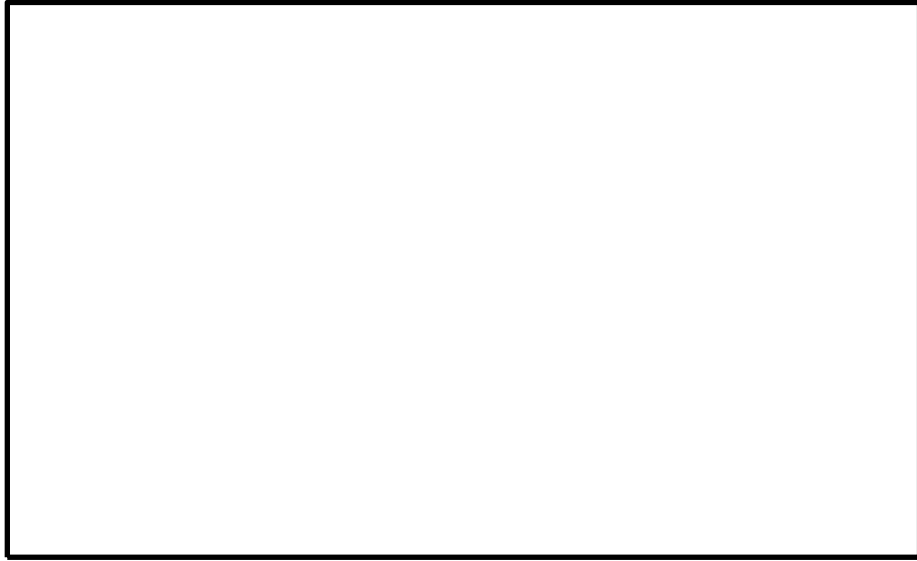


図 2-5 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (A-A断面位置)

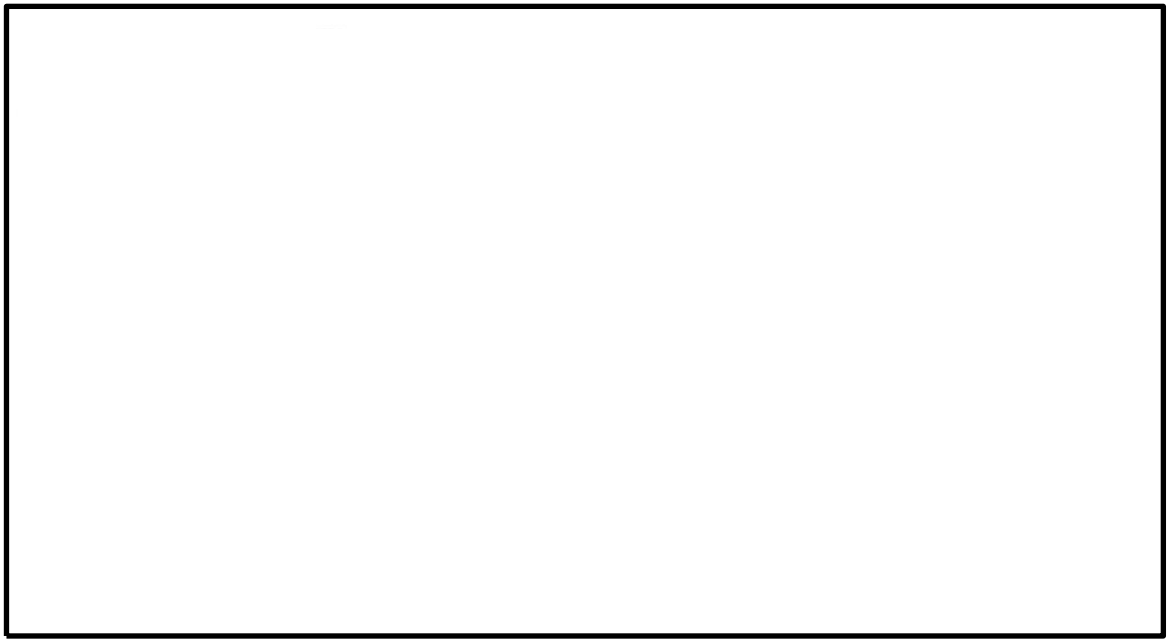


図 2-6 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (B-B断面位置)

2.2.2 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の平面図を図2-7に，地質断面図を図2-8～図2-10に，断面図を図2-11～図2-13示す。

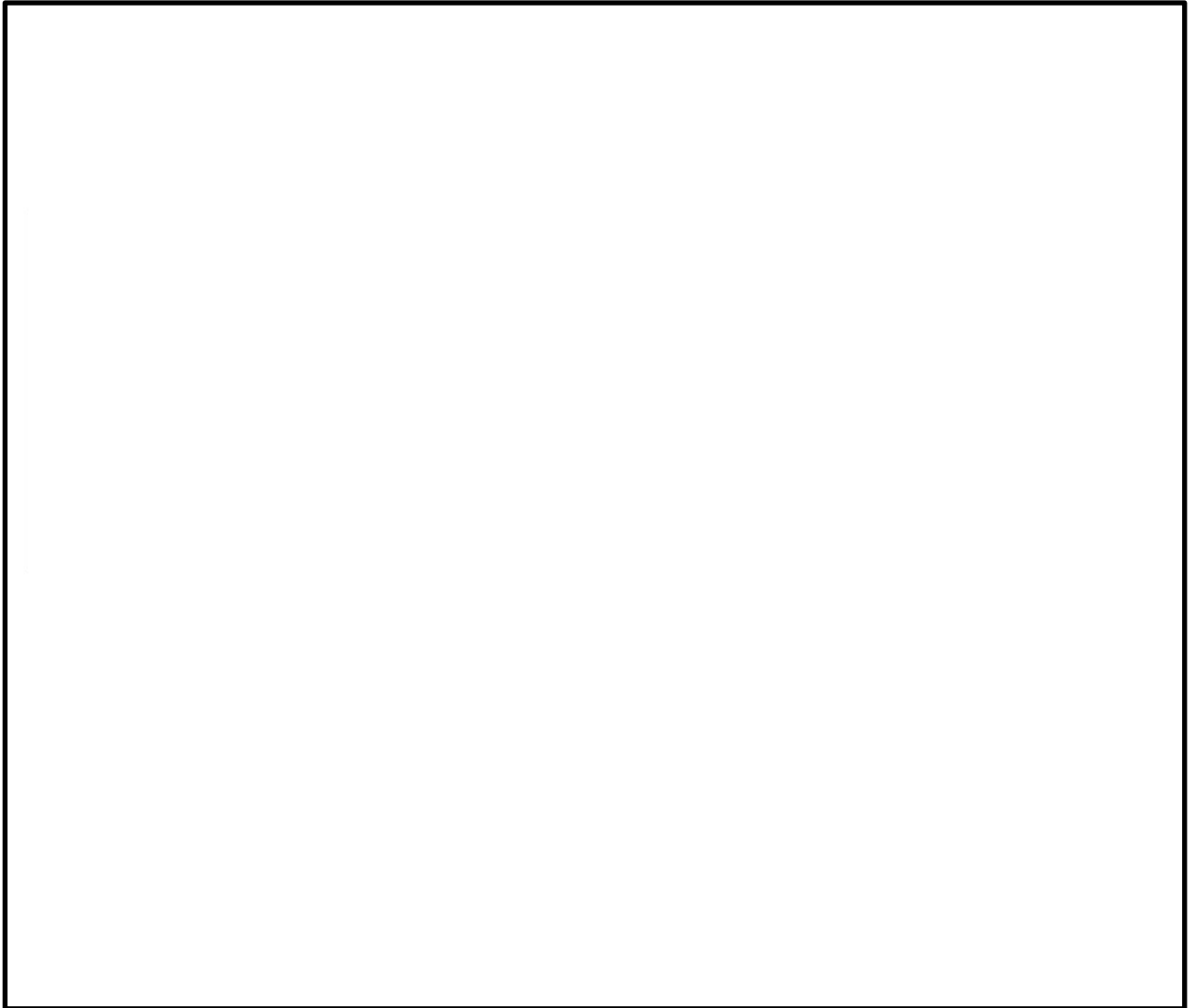





図2-7 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物） 平面図

凡例

-  モデル化対象外の隣接構造物
-  地下水位
-  人工構造物

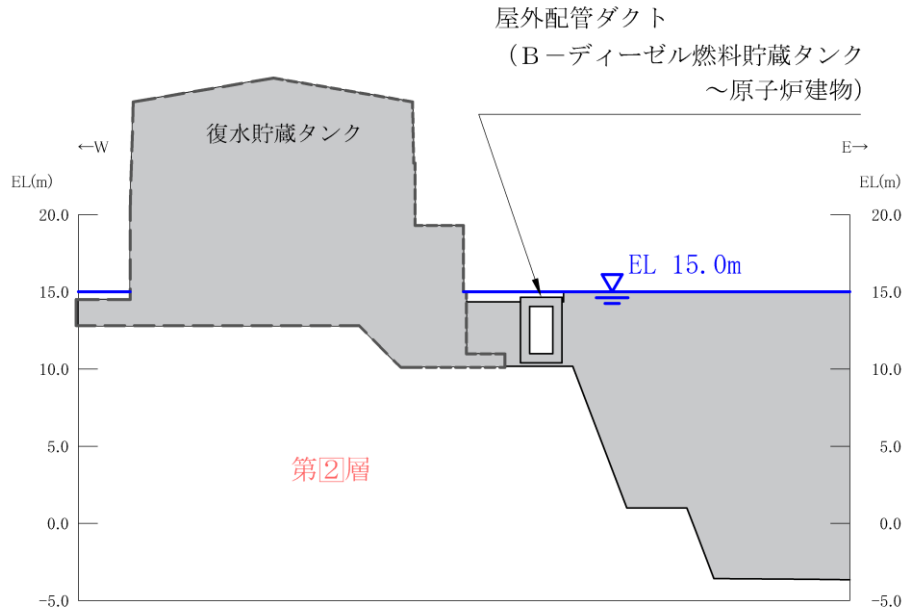


図 2-8 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
地質断面図 (A-A断面位置)

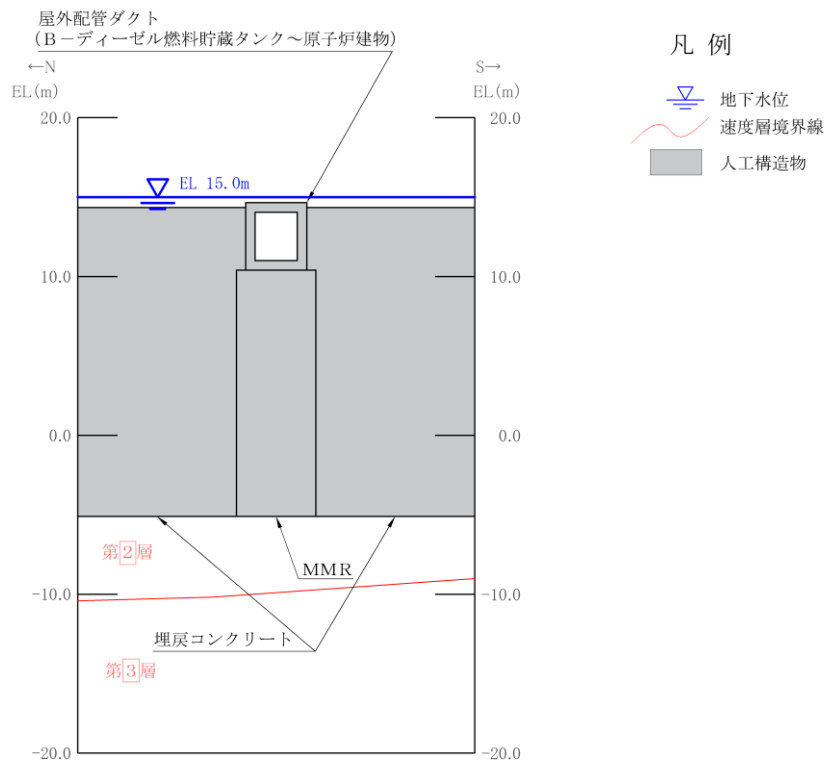
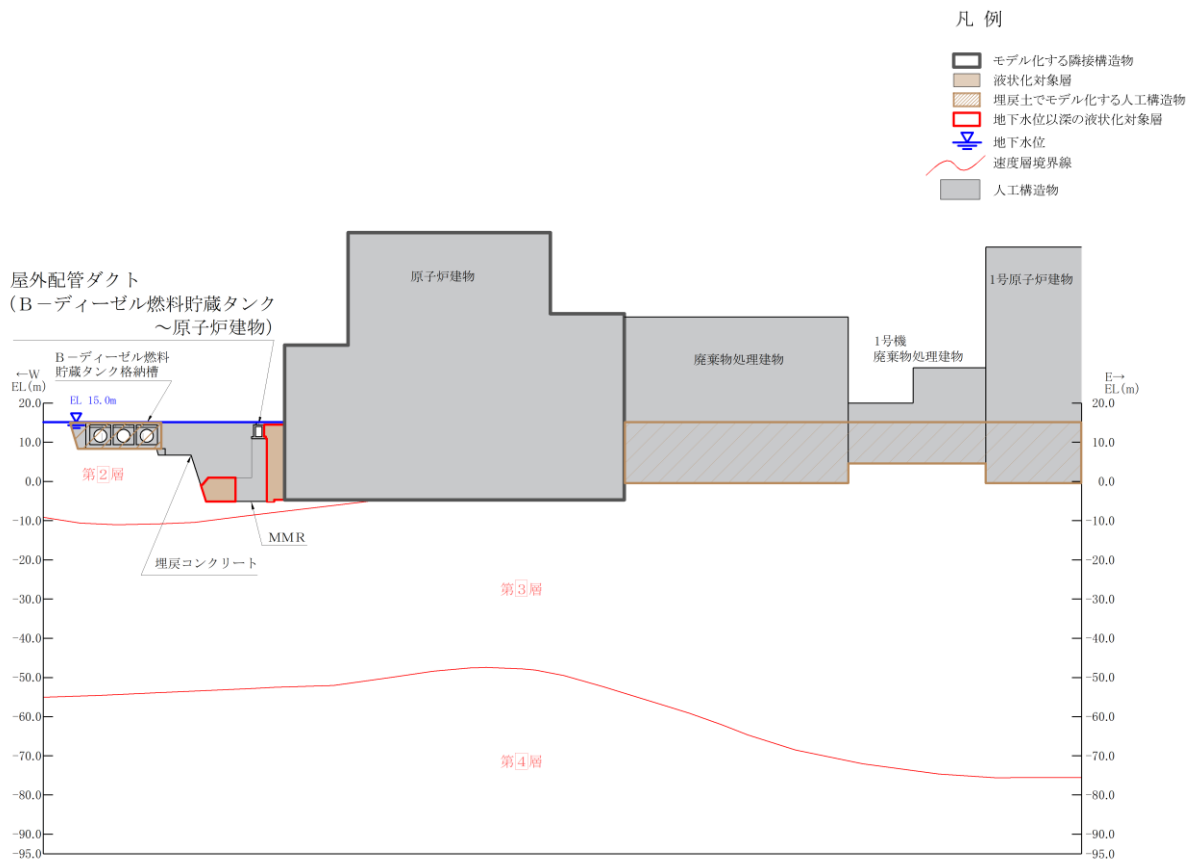
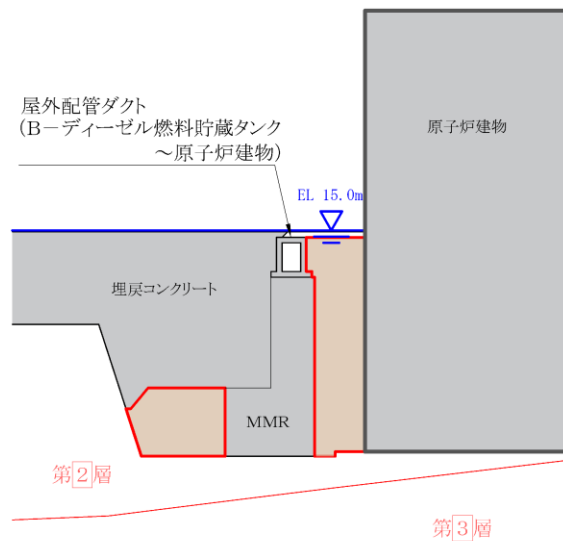


図 2-9 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
地質断面図 (B-B 断面位置)



(全体図)



(拡大図)

図 2-10 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)  
地質断面図 (C-C 断面位置)



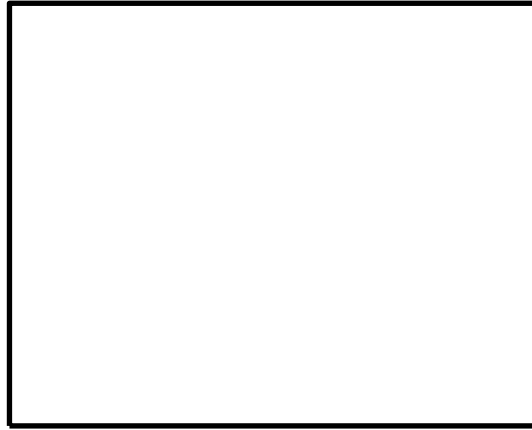


図 2-11 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）  
断面図（A-A 断面位置）



図 2-12 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）  
断面図（B-B 断面位置）



図 2-13 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）  
断面図（C-C 断面位置）

### 2.2.3 第1ベントフィルタ格納槽

第1ベントフィルタ格納槽の平面図を図2-14に、地質断面図を図2-15～図2-17に、断面図を図2-18～図2-20示す。評価対象断面は、安全対策工事着工前のA-A断面、B-B断面及びC-C断面とする。

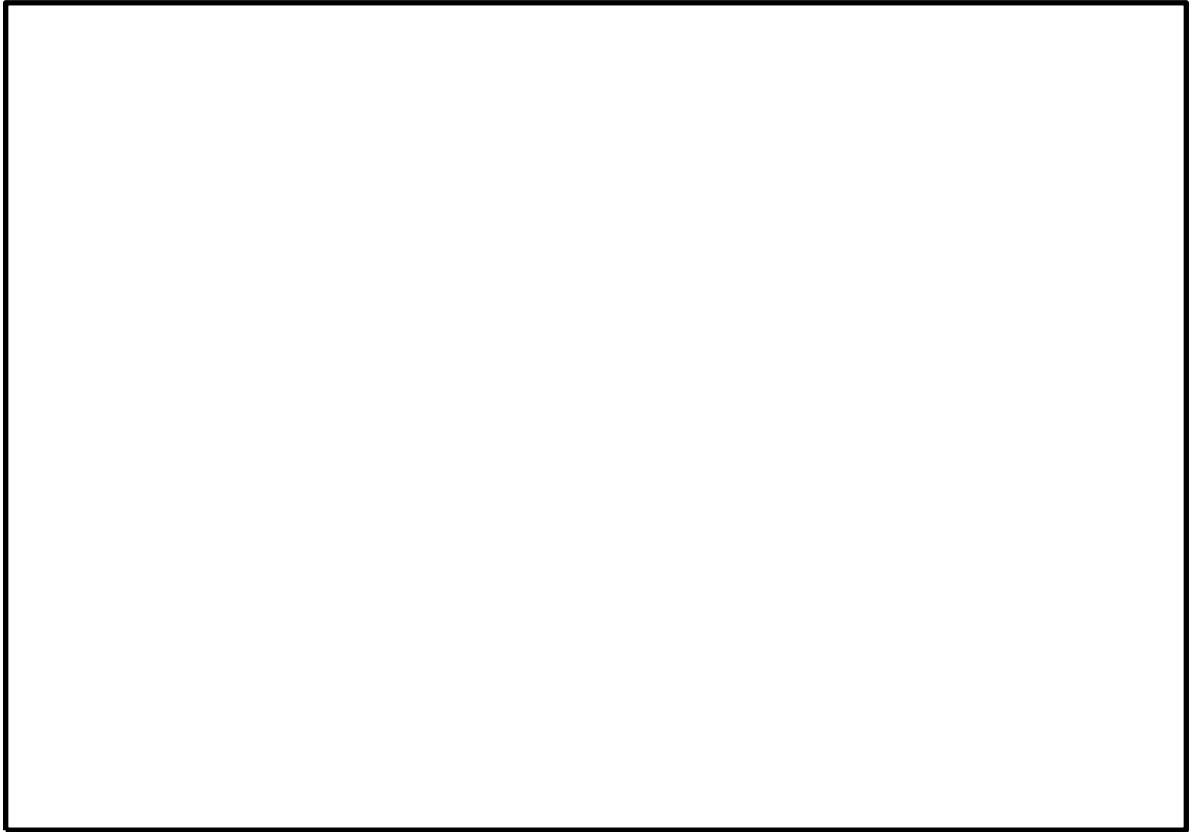
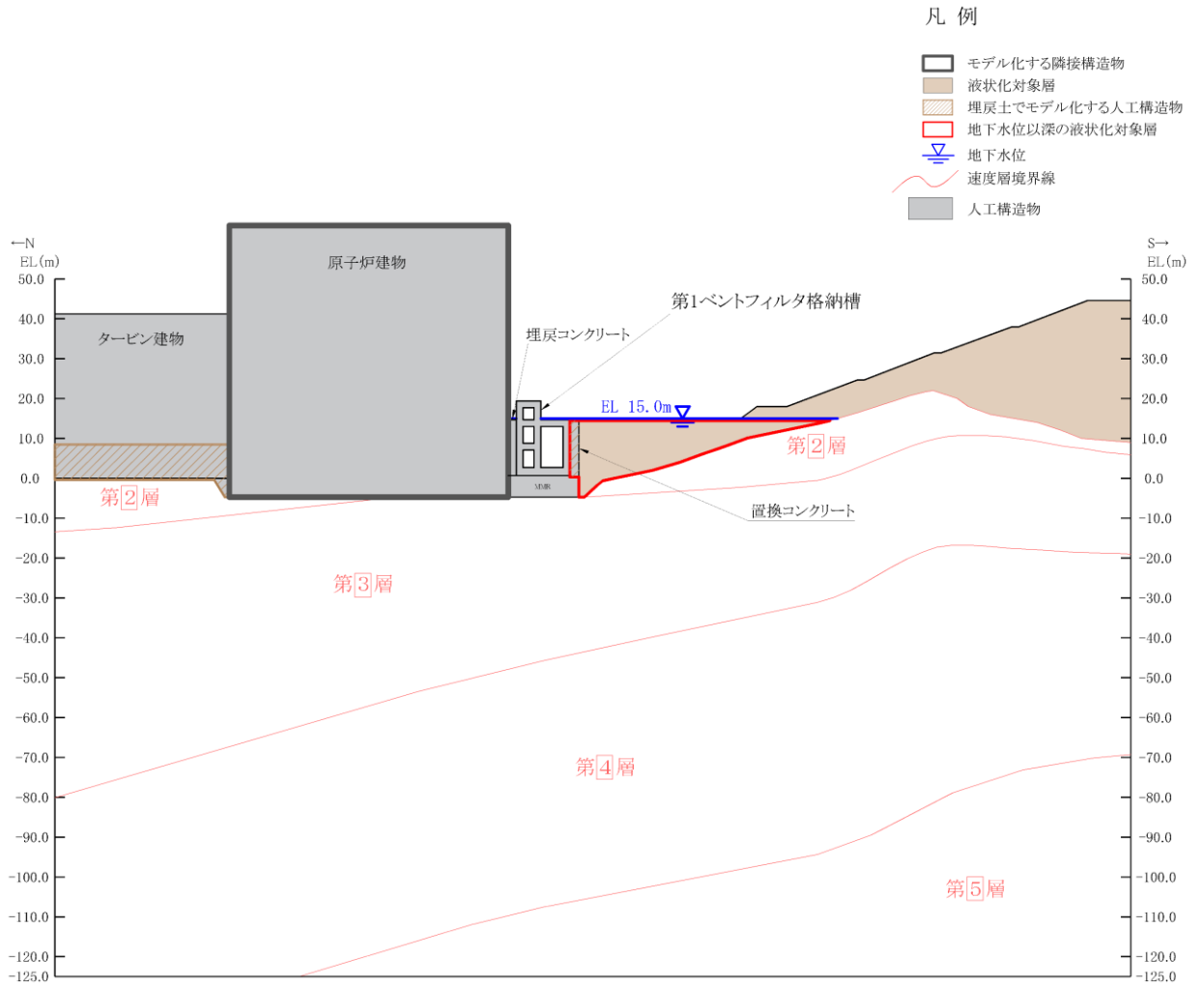
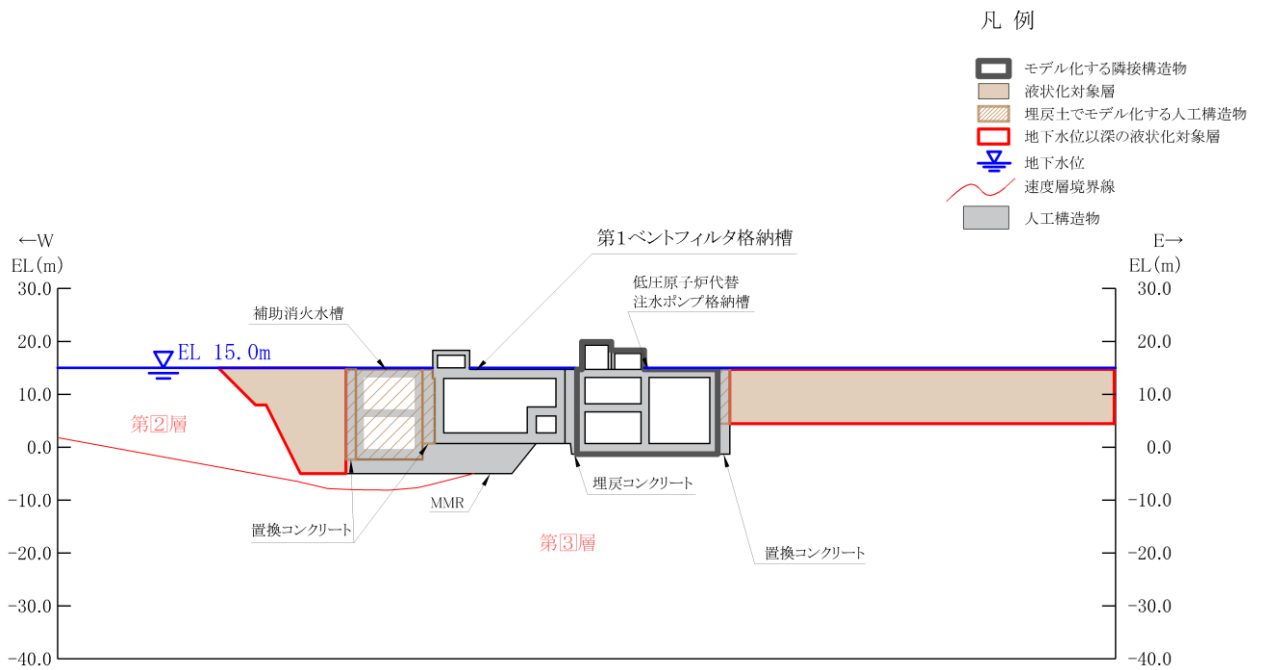
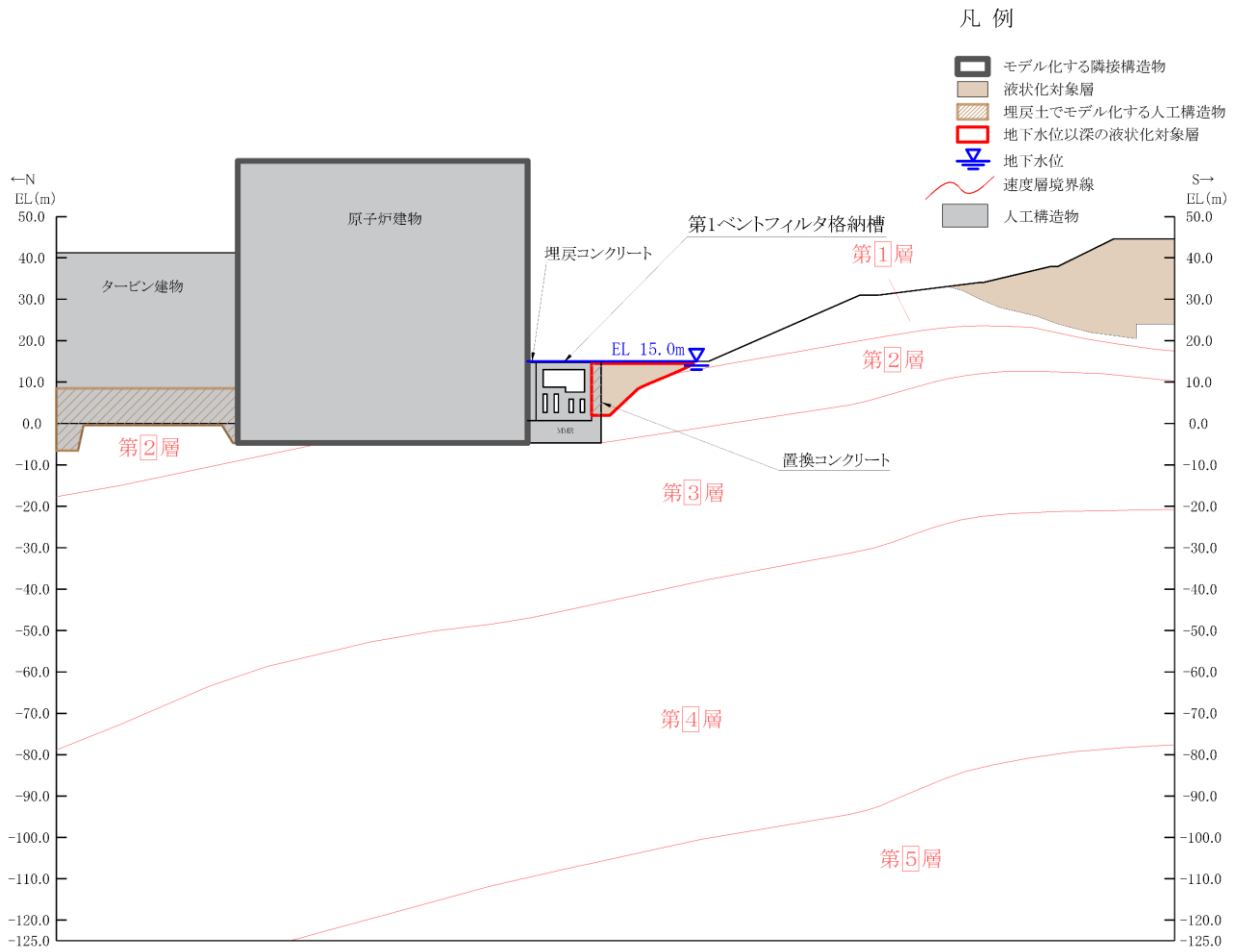
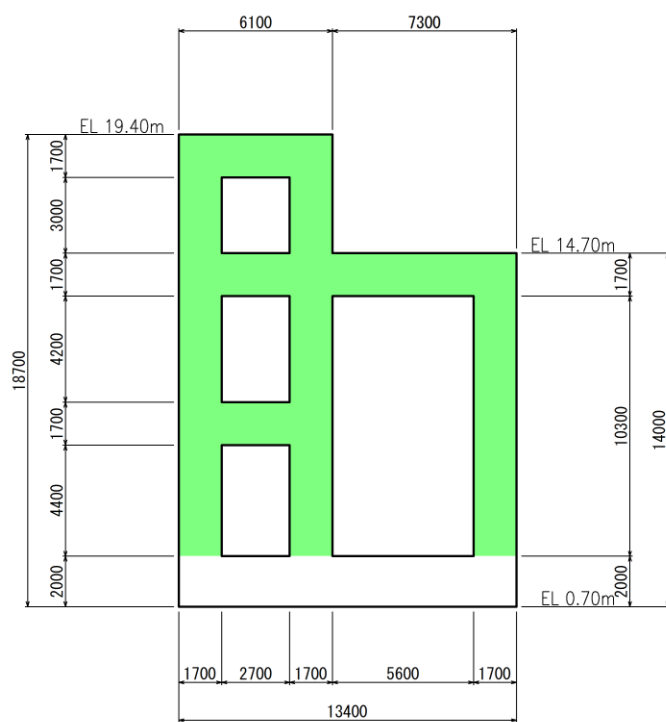


図2-14 第1ベントフィルタ格納槽 平面図



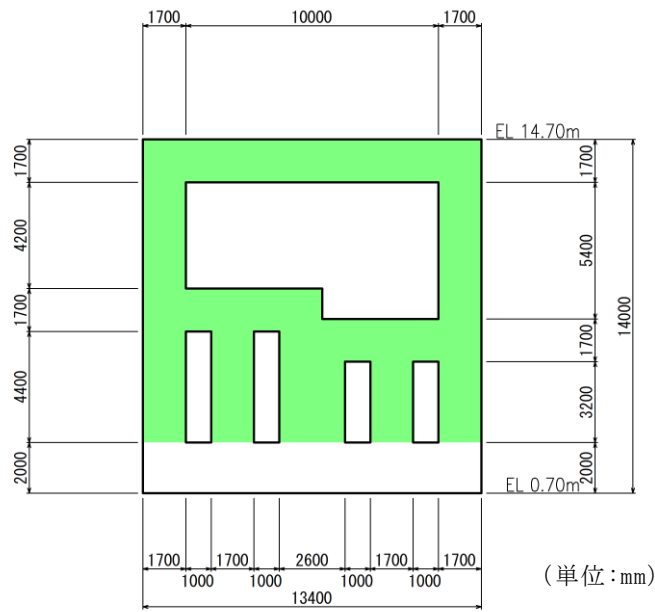




(単位:mm)

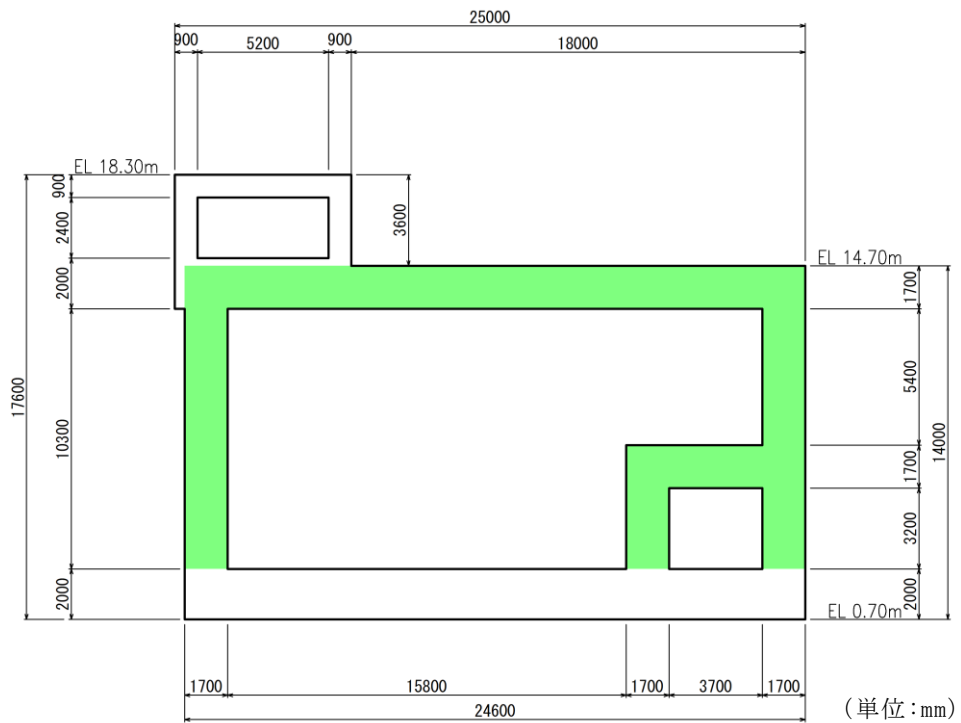
■: 遮蔽壁又は遮蔽床

図 2-18 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (A-A 断面位置)



■ : 遮蔽壁又は遮蔽床

図 2-19 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (B-B 断面位置)



■ : 遮蔽壁又は遮蔽床

図 2-20 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (C-C 断面位置)

#### 2.2.4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の平面図を図 2-21 に，地質断面図を図 2-22～図 2-24 に，断面図を図 2-25～図 2-27 に示す。評価対象断面は，安全対策工事着工前の A-A 断面，B-B 断面及び C-C 断面とする。

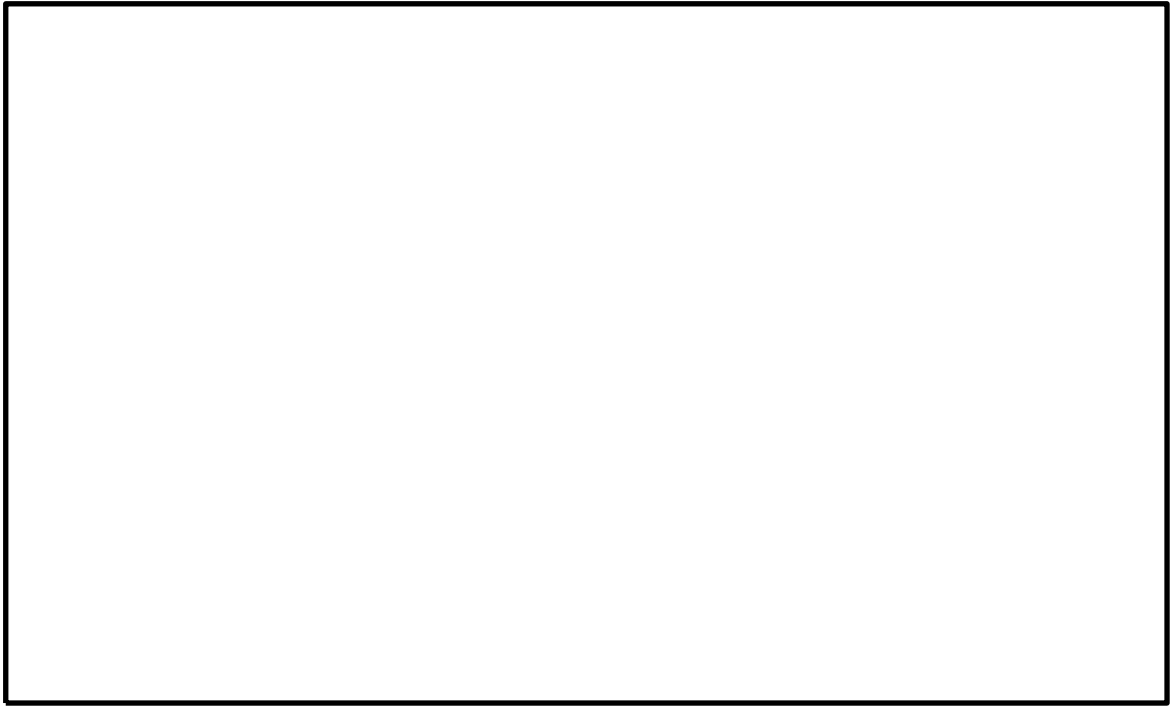


図 2-21 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

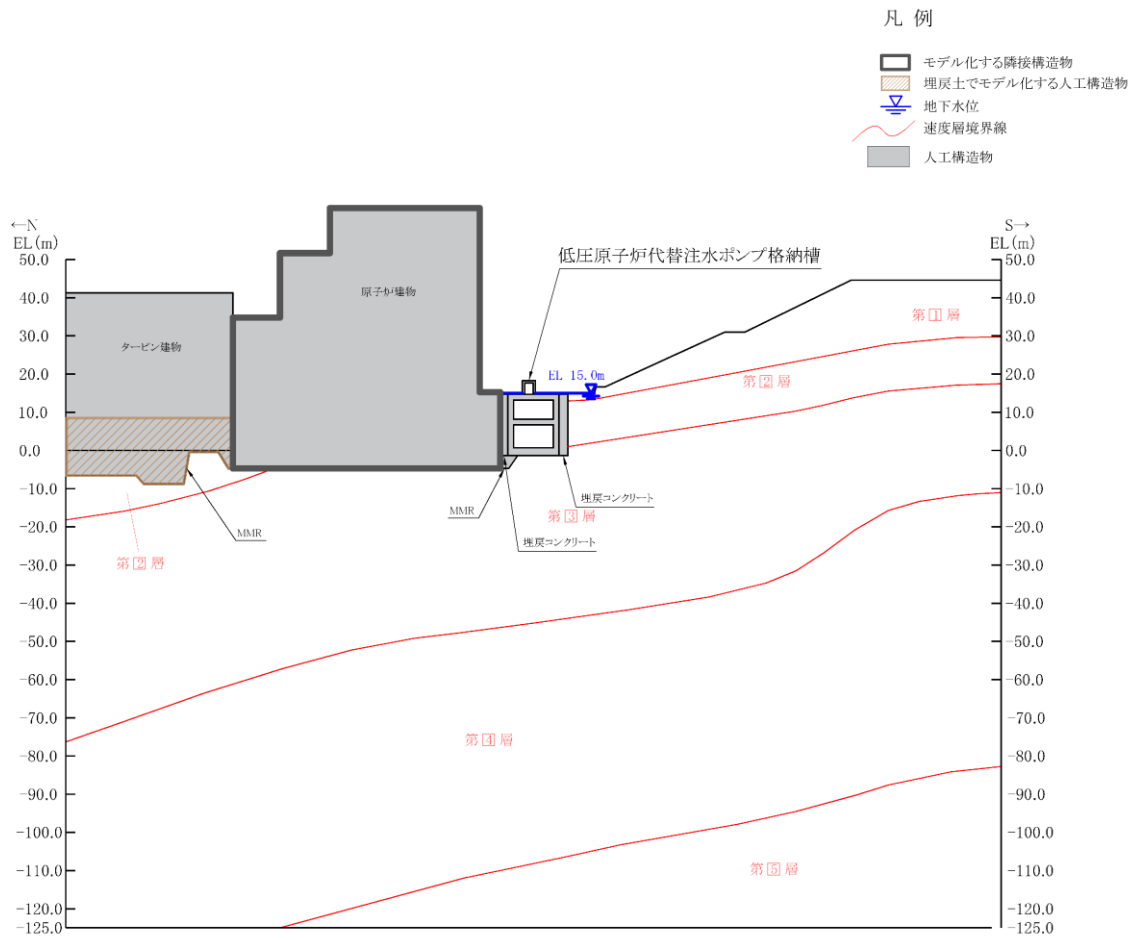


図 2-22 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽断面図 (A-A断面位置)



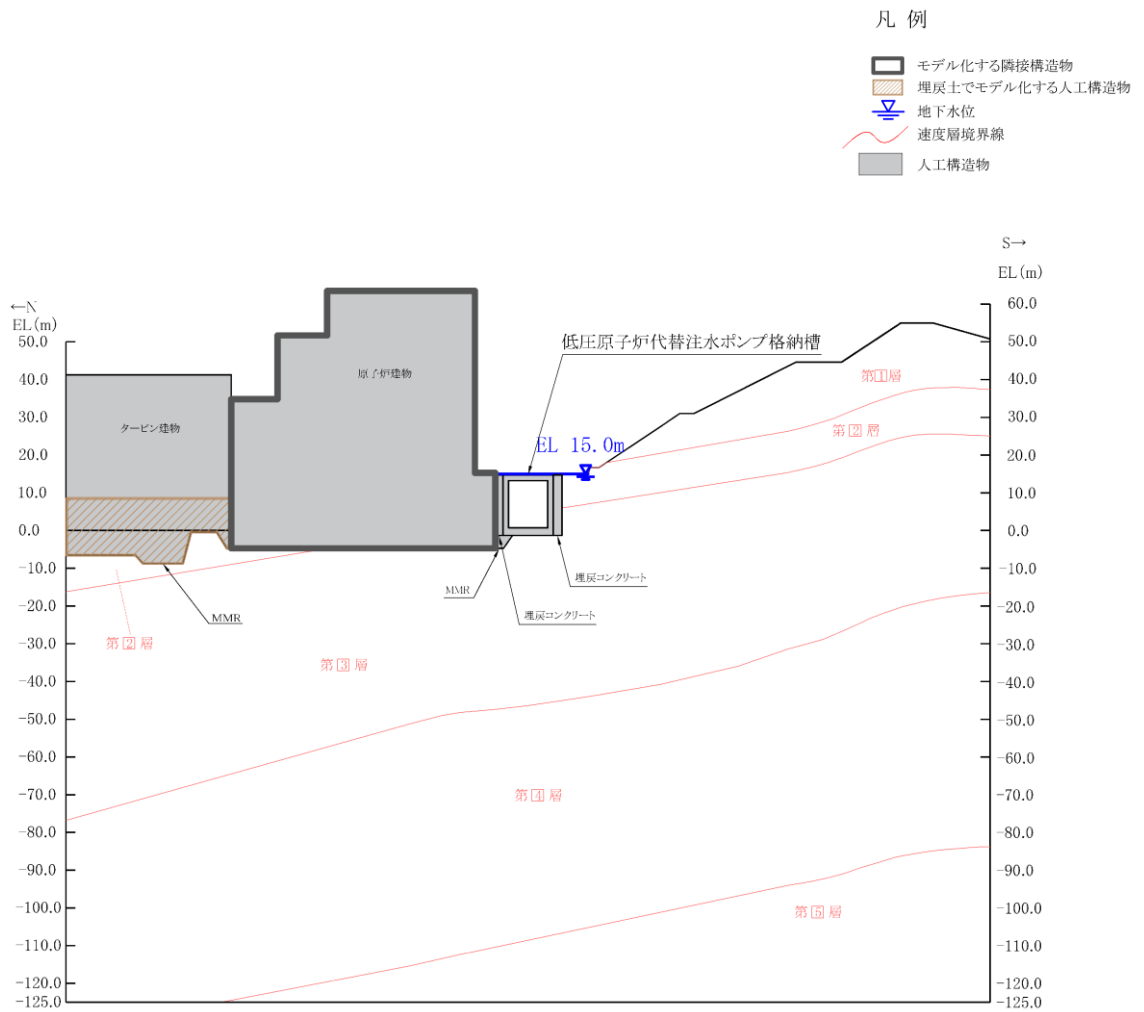


図 2-23 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B 断面位置)

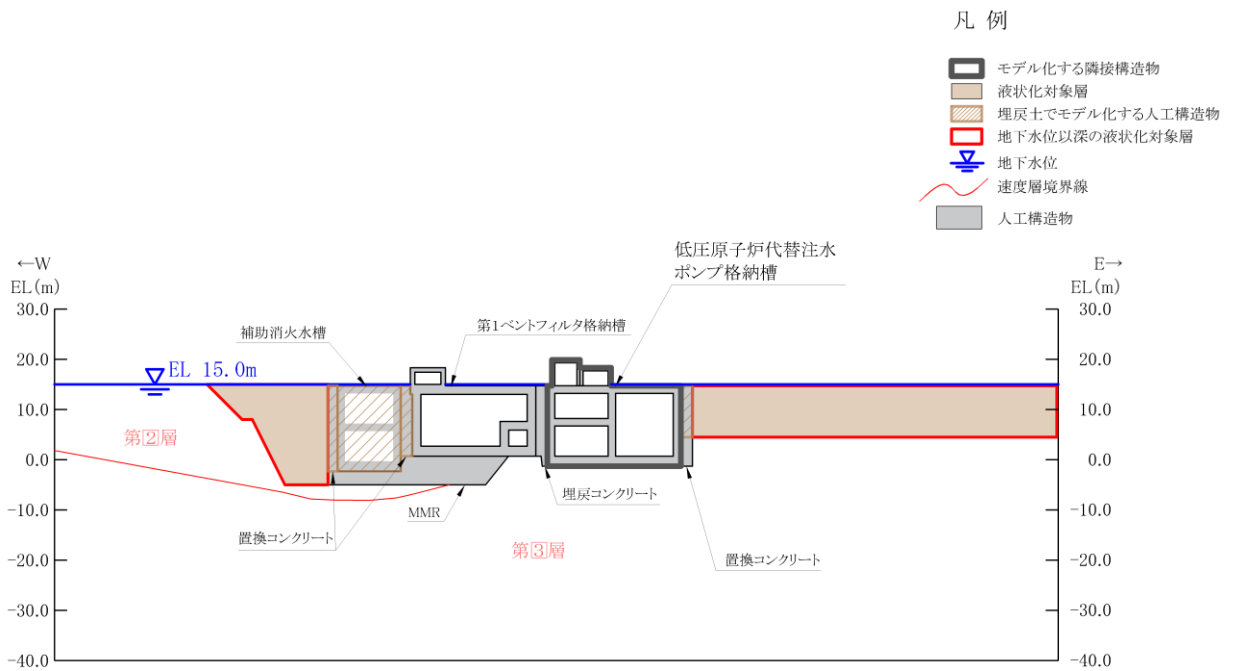


図 2-24 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C 断面位置)

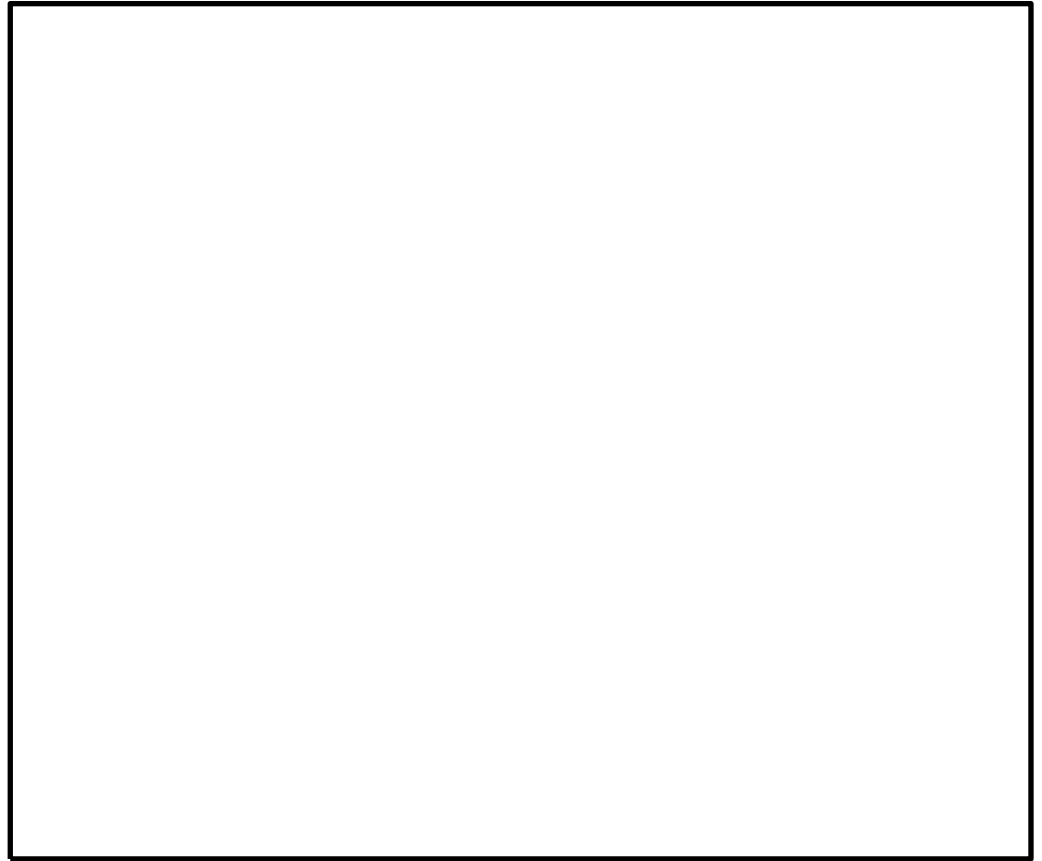


図 2-25 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A 断面)

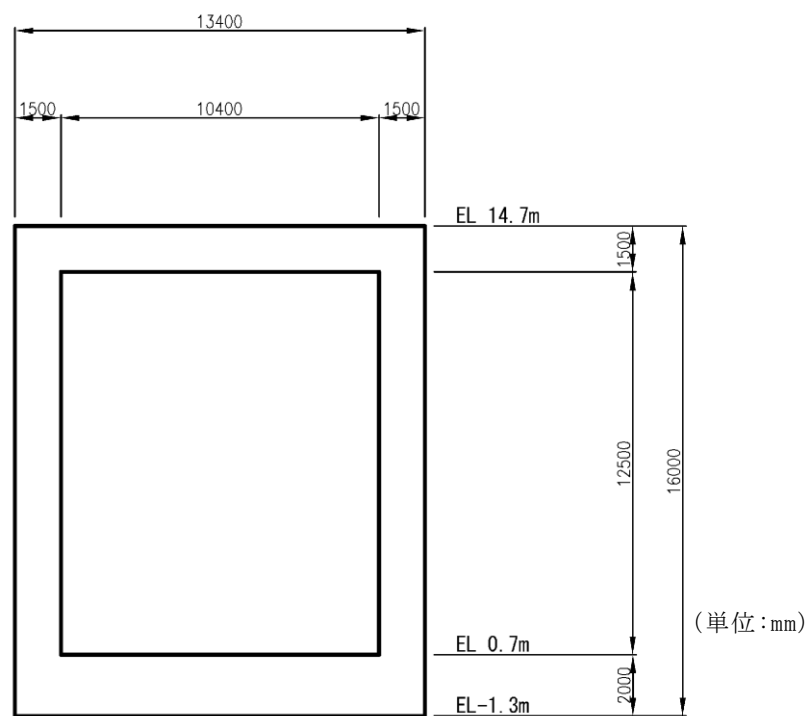


図 2-26 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B 断面)

(参考) 11-22

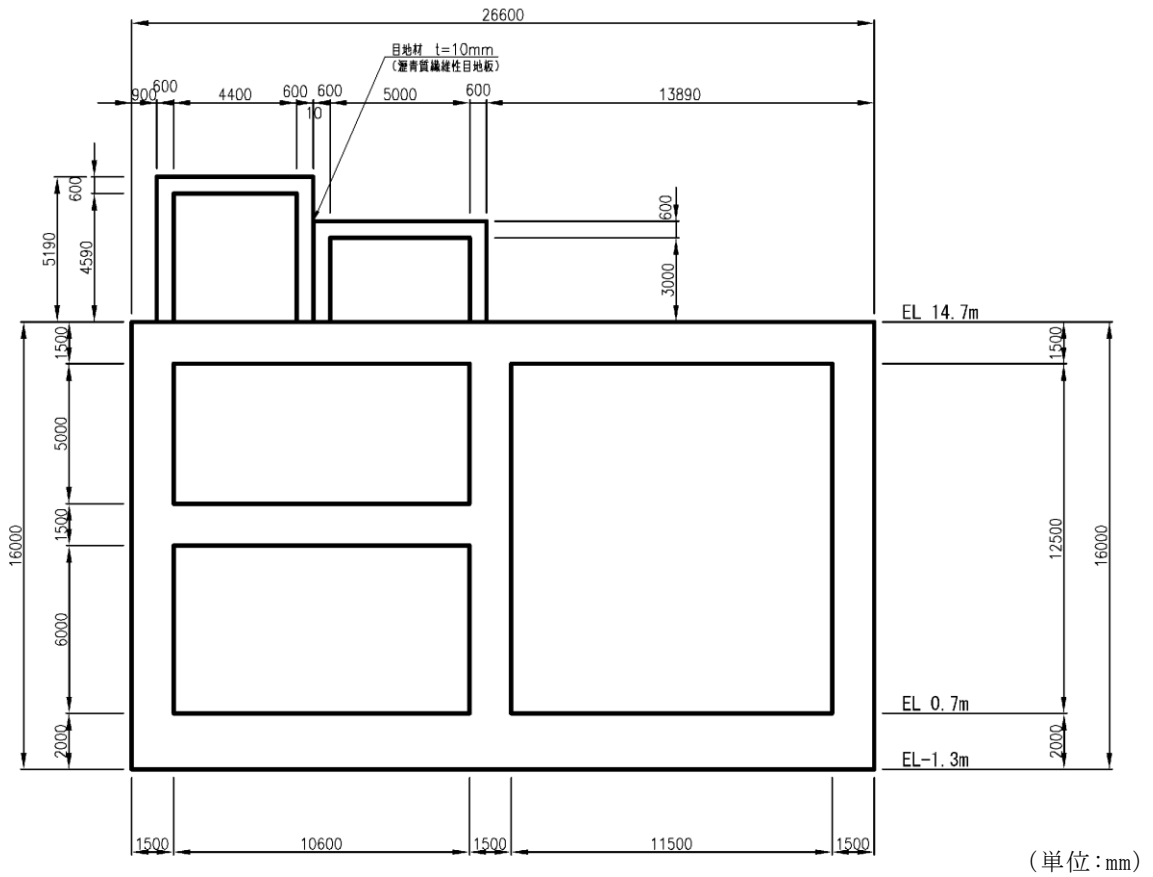


図 2-27 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C 断面)

## 2.3 評価条件

### 2.3.1 荷重・重量

表 2-1 に、上載土の荷重及び構造物の重量に関する評価条件を示す。

なお、上載土の荷重及び構造物の自重以外の重量（機器・配管荷重等）については、保守的に考慮しないこととする。

表 2-1 荷重・重量に関する評価条件

種別	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
上載土（地下水位以浅）	19.6
上載土（地下水位以深）	20.7
地下水	10.1*
鉄筋コンクリート	24.0

注記\*：保守的に海水の単位体積重量 10.1kN/m<sup>3</sup> を使用する。

### 2.3.2 構造物のせん断抵抗

本評価においては、せん断抵抗  $Q_s$  及び構造物側面の摩擦抵抗  $Q_B$  は保守的に 0 とする。

### 2.3.3 揚圧力

構造物底面に作用する揚圧力のうち、静水圧による揚圧力  $U_s$  は表 1-1 に示す設計地下水位に基づき設定する。なお、本検討は常時の浮上りを対象としているため、過剰間隙水圧による揚圧力  $U_D$  は考慮しない。

### 3. 評価結果

評価結果を表 3-1 に示す。対象構造物は浮上りに対して十分な安全性を有していることを確認した。

表 3-1 浮上り評価結果

施設名称		照査値	判定
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	A-A断面	1.15 (0.84) *1	○
	B-B断面	0.97	○
屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ～原子炉建物)	A-A断面	0.63	○
	B-B断面	0.73	○
	C-C断面	0.43	○
第1ベントフィルタ格納槽	A-A断面	0.62	○
	B-B断面	0.62	○
	C-C断面	0.93	○
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	A-A断面	0.84	○
	B-B断面	1.03 (0.87) *2	○
	C-C断面	0.98	○

注記\*1：構造物内に充填された乾燥砂を含んだ場合の照査値。乾燥砂の諸元については、  
図 3-1 参照

\*2：構造物内に内包された淡水を含んだ場合の照査値。内水位は運用上の下限值である EL 4.65m とし、単位体積重量は 9.81 (kN/m<sup>3</sup>) としている。



図 3-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 (A-A断面) に充填された乾燥砂の諸元

参考資料 1 2 後施工せん断補強工法の適用性について

参考資料 1 2 - 1

後施工せん断補強工法（PHb 工法）の適用性について

## 目次

1. 概要	1
2. PHb 工法について	14
2.1 PHb 工法を適用した部位	14
2.2 PHb 工法の概要	14
3. 建設技術審査証明報告書の概要	16
3.1 PHb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け	16
3.2 建設技術審査証明報告書における PHb 工法の適用範囲	17
3.3 建設技術審査証明報告書における PHb 工法の設計方法	18
3.3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法	18
3.3.2 使用材料・強度	38
3.3.3 構造部材の評価	41
3.3.4 構造細目	43
3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認	44
3.4.1 施工の確実性	44
3.4.2 施工の容易性	44
3.4.3 施工手順の設定	44
4. 島根 2 号機における PHb 工法の適用性の確認	47
4.1 適用性確認フロー	47
4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定	49
4.3 ①適用性確認項目の抽出	50
4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲及び 先行原子力発電所における審査実績の確認	52
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	59
4.5.1 せん断補強効果の確認内容	59
4.5.2 せん断補強効果の確認	59
4.6 ④PHb の施工精度に影響を与える項目の確認	59
4.6.1 削孔方法	59
4.6.2 削孔角度	61
4.6.3 削孔位置	62
4.6.4 グラウトの充てん性	63
4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認	67
4.7.1 施工実績の整理	67
4.7.2 過去の地震の経験事例	70
4.7.3 レベル 2 地震動を対象とした設計事例	73
4.7.4 後施工せん断補強工法の比較	73
4.7.5 後施工せん断補強筋に関する研究事例	76
4.8 島根 2 号機における PHb 工法の保守性と設計上の制限の整理	85



4.8.1	PHb 工法の保守性	85
4.8.2	島根 2 号機において PHb により耐震補強を行うにあたっての保守性	85
4.8.3	島根 2 号機において PHb により耐震補強を行うにあたっての設計上の制限	86
4.8.4	PHb 工法によるせん断補強の設計検討フロー	87
4.9	PHb の適用性確認結果	88

添付資料 1	建設技術審査証明書
添付資料 2	島根 2 号機における部材諸元他の適用性の検討

## 1. 概要

島根 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他に、増厚工法や地盤改良工法等があるが、島根 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、Post-Head-bar（以下「PHb」という。）工法を採用している。（表 1-1 参照）

PHb 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 PHb 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。

PHb による耐震補強の対象となる構造物を表 1-2 に、配置図を図 1-2 に、耐震補強箇所を図 1-3 に示す。図 1-3 に示す PHb による耐震補強箇所は、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 PHb 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 PHb を配置している。

本資料は、PHb 工法を採用する目的、効果及び島根 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"> <li>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又は配力筋にフックを掛けて定着させる工法。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
図				
備 考	<ul style="list-style-type: none"> <li>島根 2 号機他、多数の施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>島根 2 号機他、一般土木構造物において施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>島根 2 号機他、多数の施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>美浜 3 号炉にて、工認実績が有る。（PHb 工法）</li> </ul>

表 1-2 PHb による耐震補強対象の構造物

構造物 名称	部 材	部材厚 (mm)	PHb 径	せん断 スパン比*
取水槽	底版	1,000~2,000	D22, D25, D29	1.99~37.75
	中床版	1,000	D22, D29	1.96~15.32
	側壁	700~2,000	D22, D25, D29	1.38~21.20
	導流壁	1,200	D22	9.11~13.52
	妻壁	700~2,000	D22, D25	3.88~51.59
1号機取水槽	中床版	1,000	D19	4.33~9.99
	妻壁	1,000	D29	5.42~7.26
復水貯蔵タンク遮蔽壁	遮蔽壁	500	D13	19.05~28.57
補助復水貯蔵タンク遮蔽壁	遮蔽壁	300	D13, D19, D22	1.74~52.17
トーラス水受入タンク遮蔽壁	遮蔽壁	300	D13	1.74~52.17

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

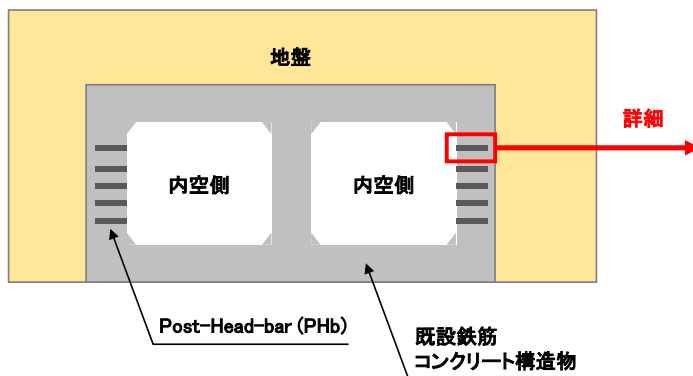


図 1-1 PHb 工法の概要図

(参考) 12-1-2

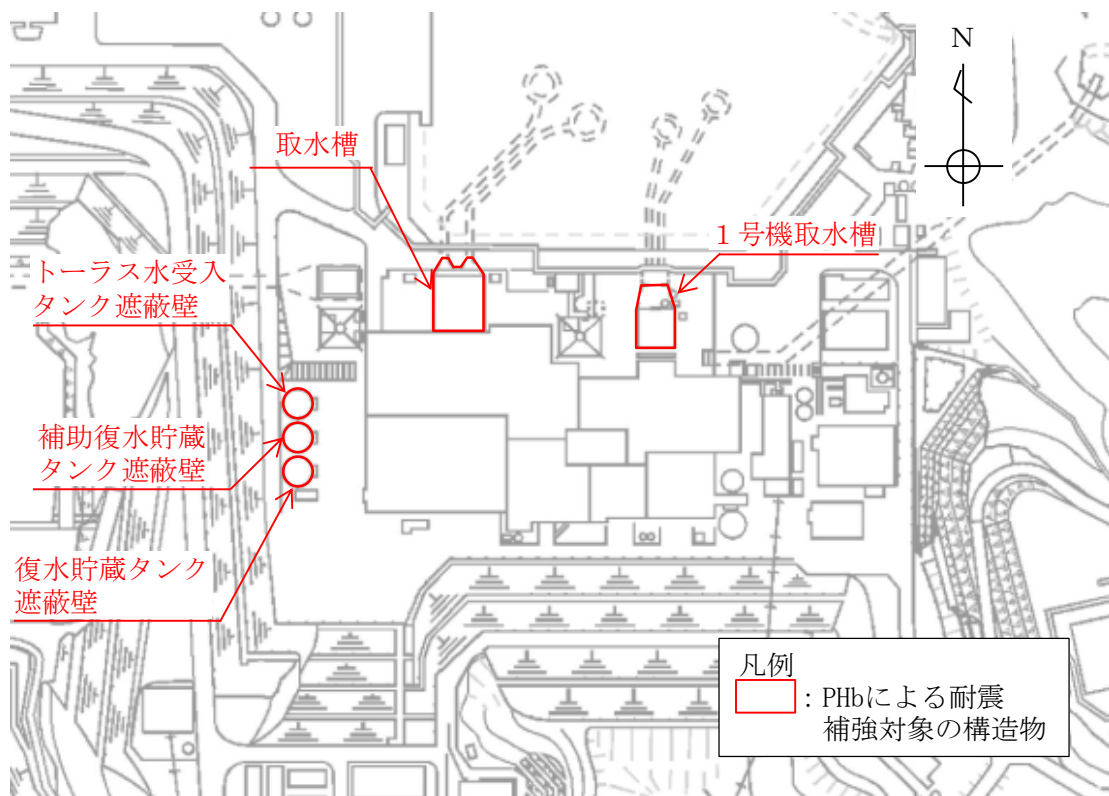
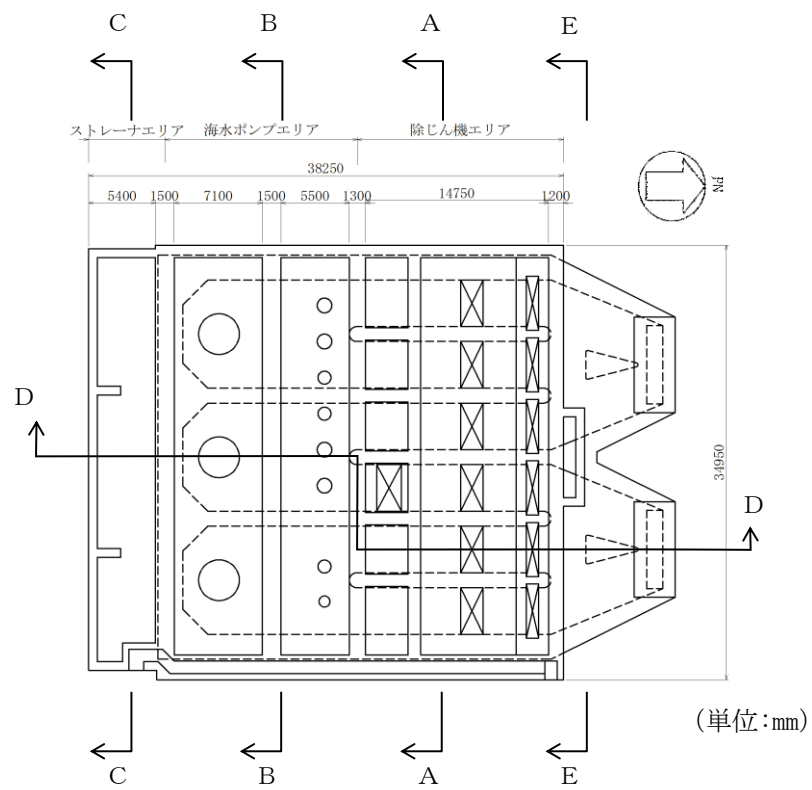
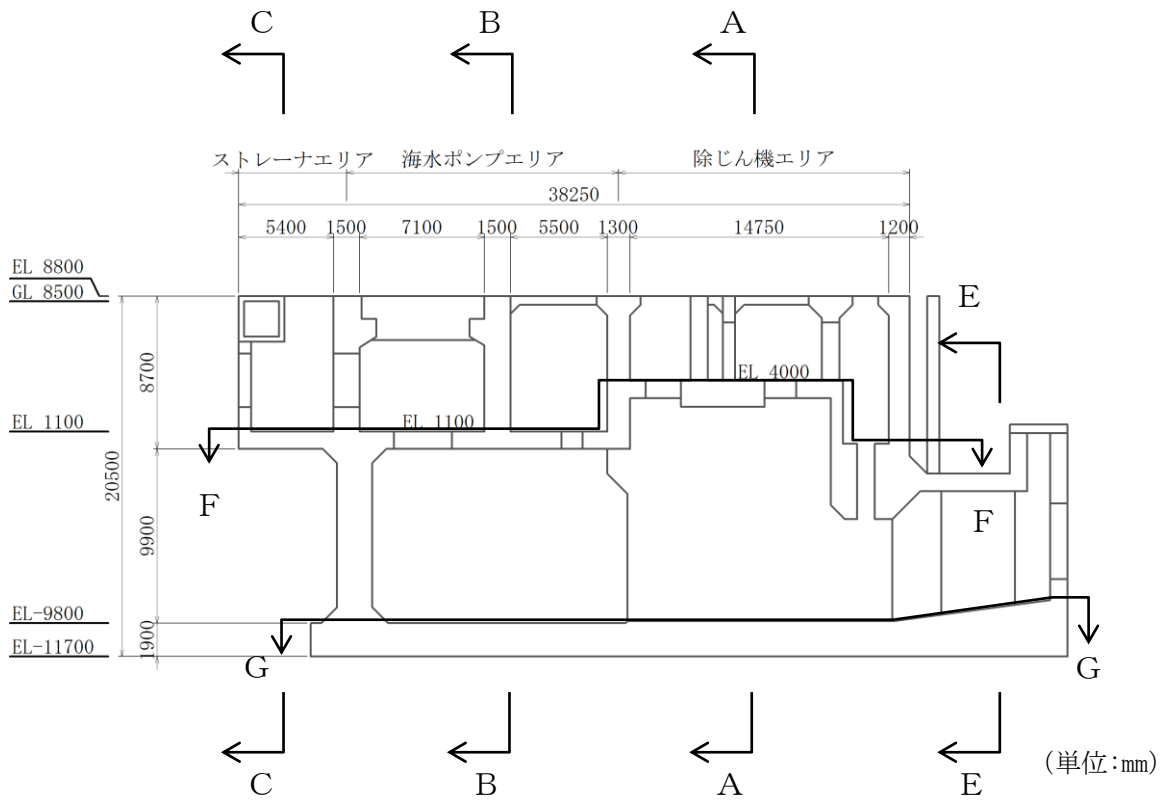


図 1-2 PHb による耐震補強対象の構造物 (配置図)



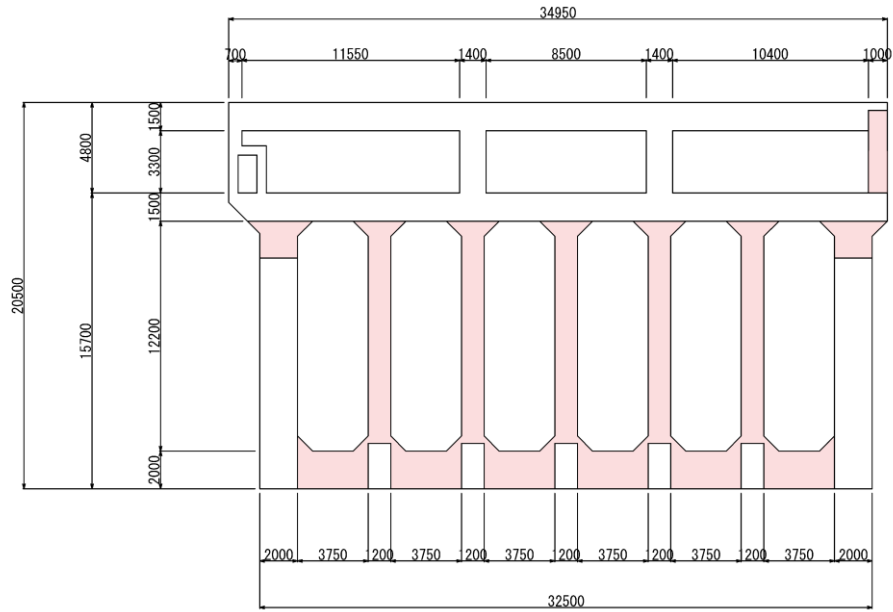
(平面図)



(縦断図)

図 1-3(1) PHb による耐震補強対象の構造物 (取水槽)

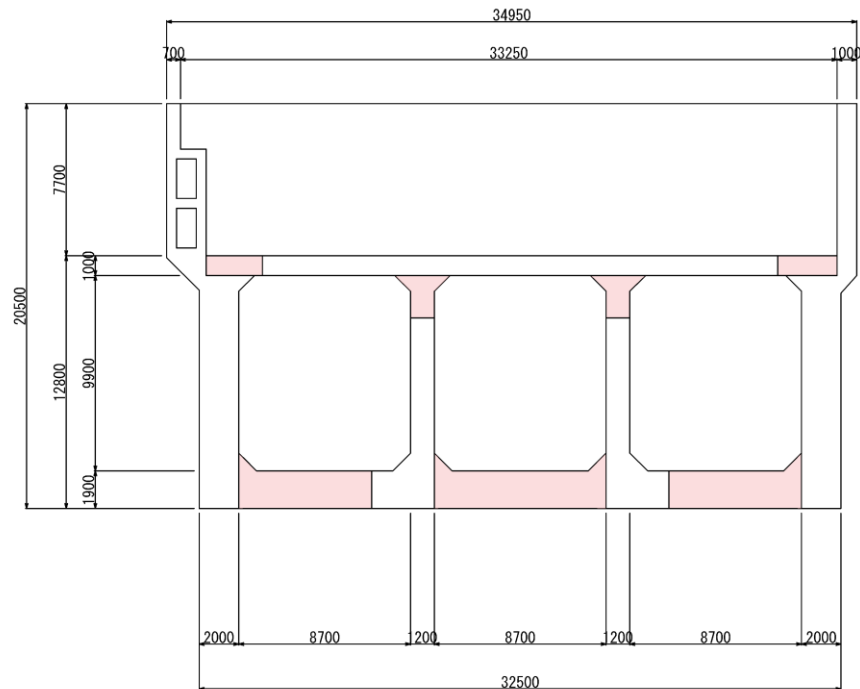
(参考) 12-1-4



(単位：mm)

■：PHb 工法適用箇所

(A-A断面)



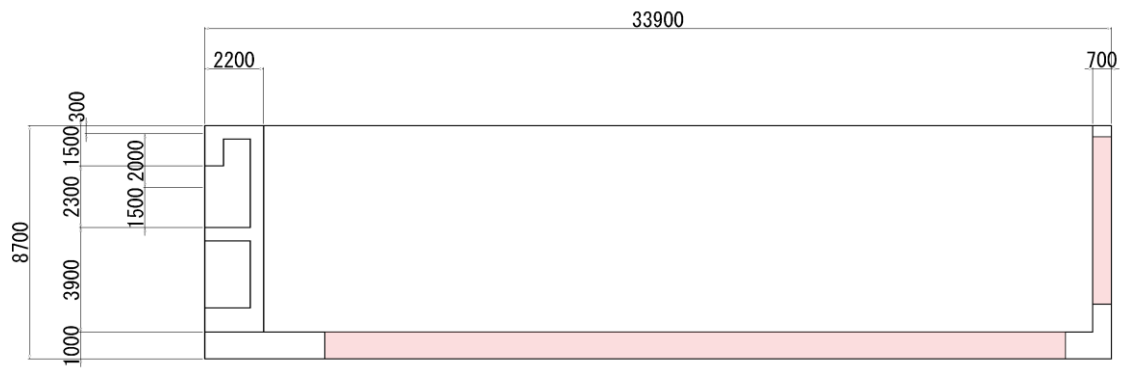
(単位：mm)

■：PHb 工法適用箇所

(B-B断面)

図 1-3(2) PHb による耐震補強対象の構造物 (取水槽)

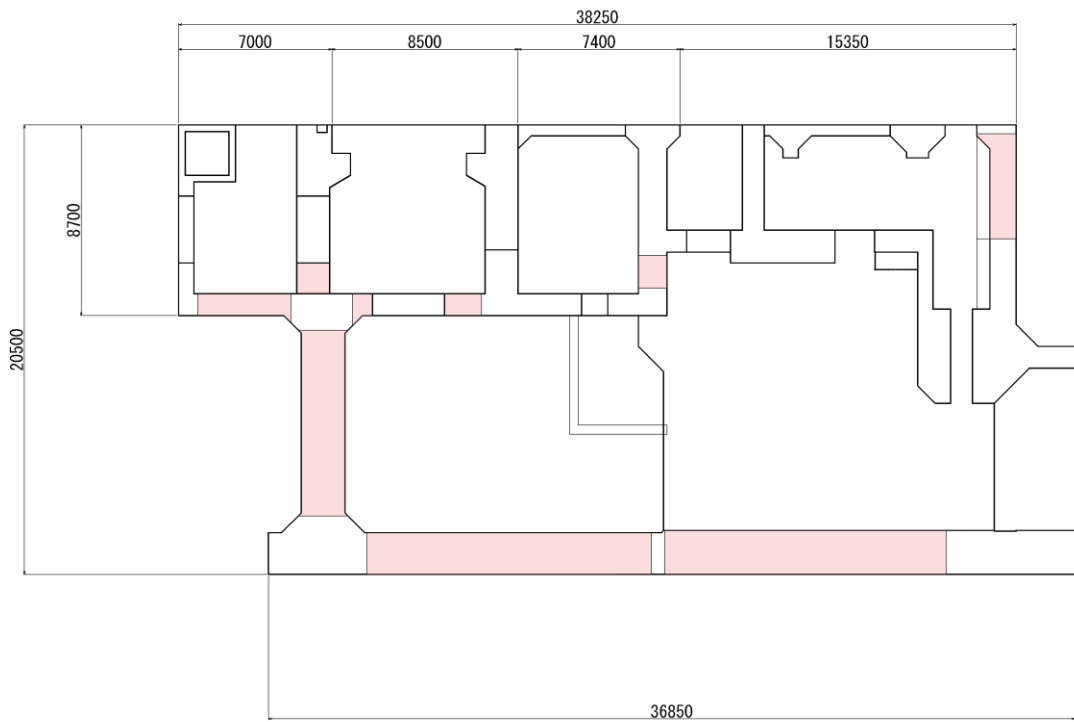
(参考) 12-1-5



(単位：mm)

■：PHb 工法適用箇所

(C-C断面)



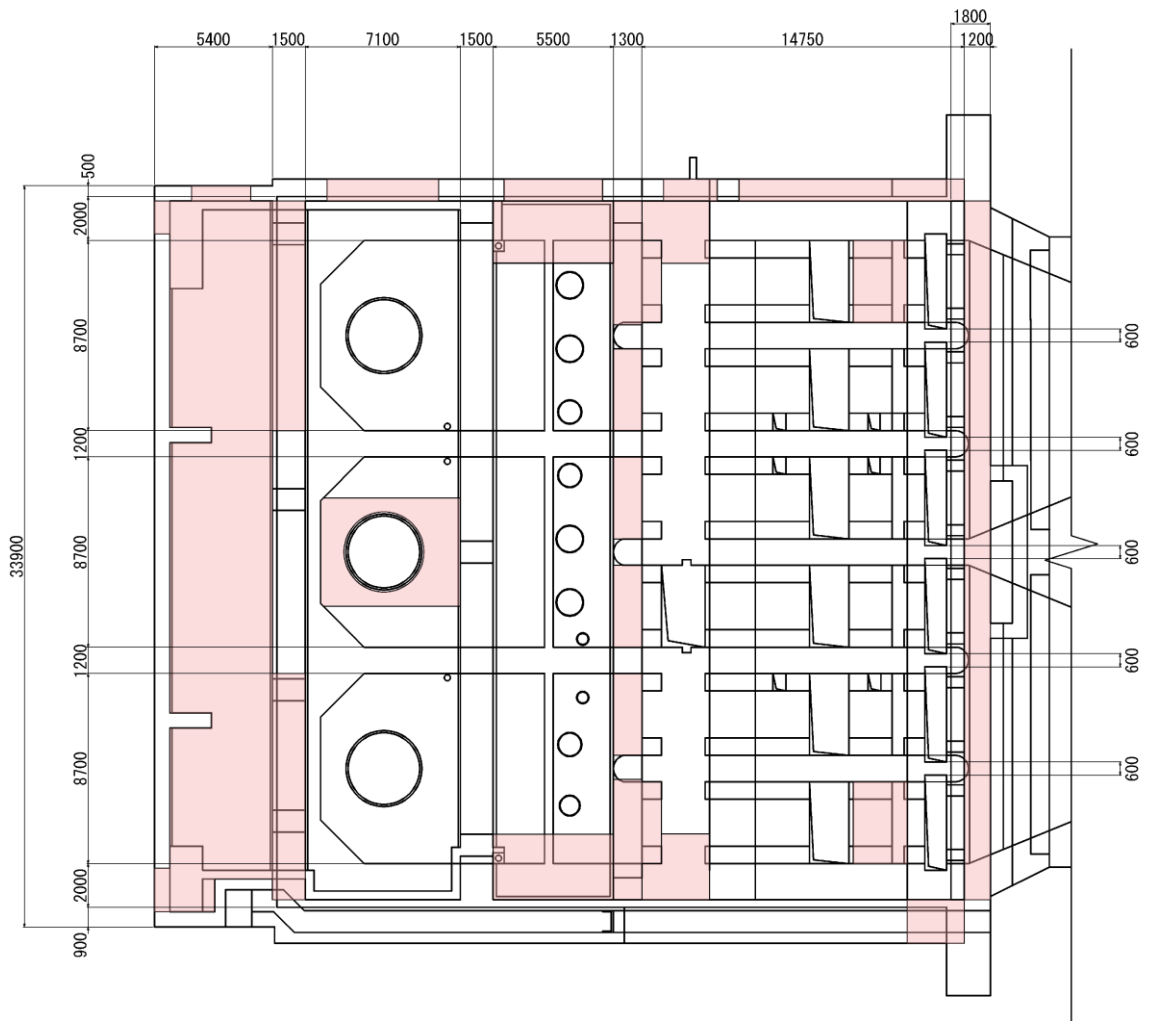
(単位：mm)

■：PHb 工法適用箇所

(D-D断面)

図 1-3(3) PHb による耐震補強対象の構造物 (取水槽)

(参考) 12-1-6



(単位：mm)

■ : PHb 工法適用箇所

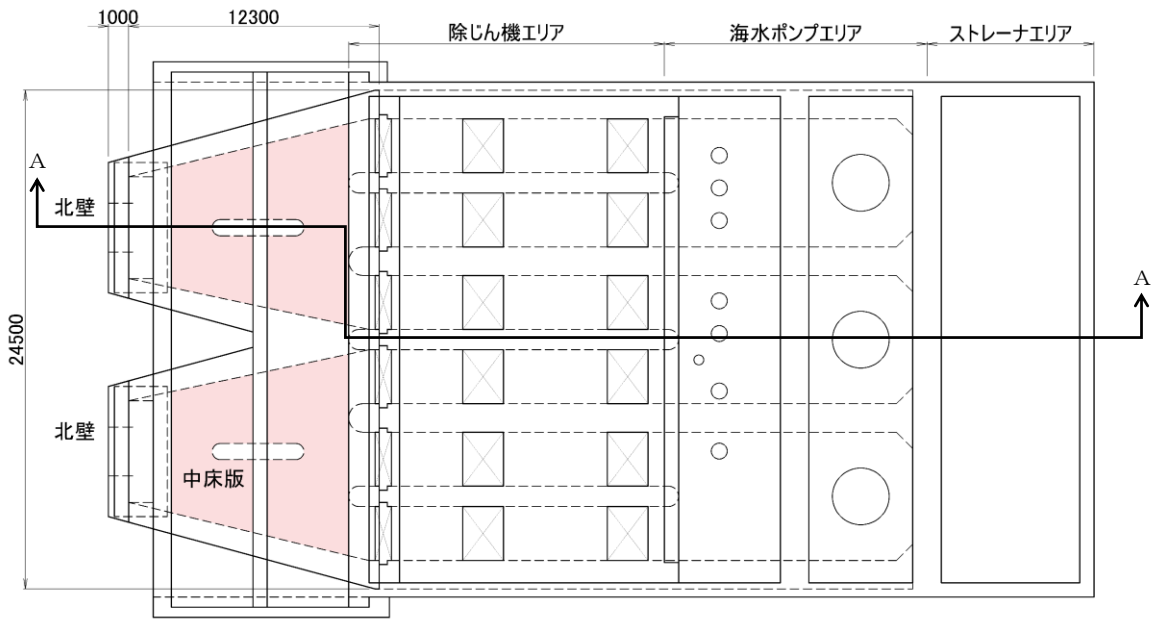
(F - F 断面)

図 1-3(4) PHb による耐震補強対象の構造物 (取水槽)

(参考) 12-1-7



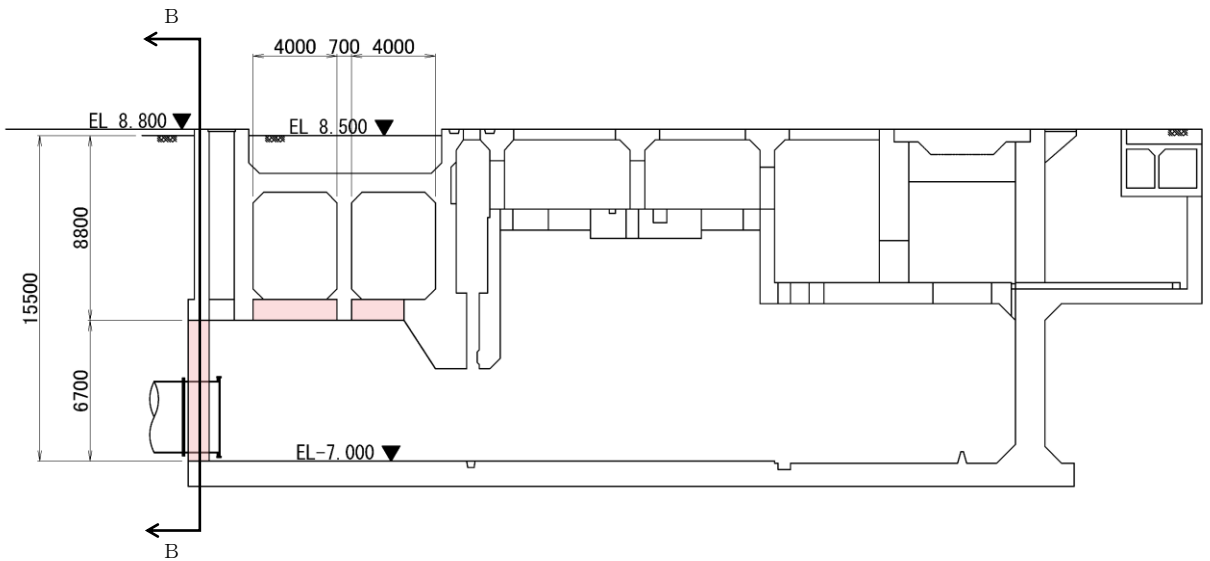




(単位 : mm)

■ : PHb 工法適用箇所

(平面図)



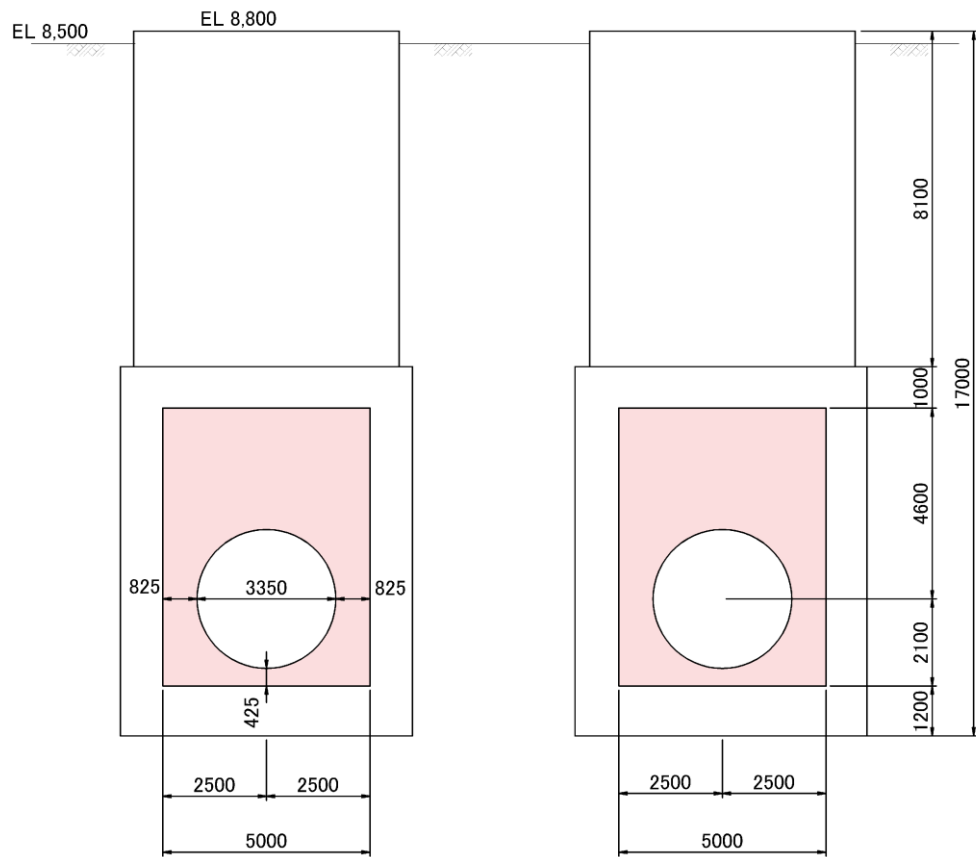
(単位 : mm)

■ : PHb 工法適用箇所

(A-A断面)

図 1-3(6) PHb による耐震補強対象の構造物 (1号機取水槽)

(参考) 12-1-9



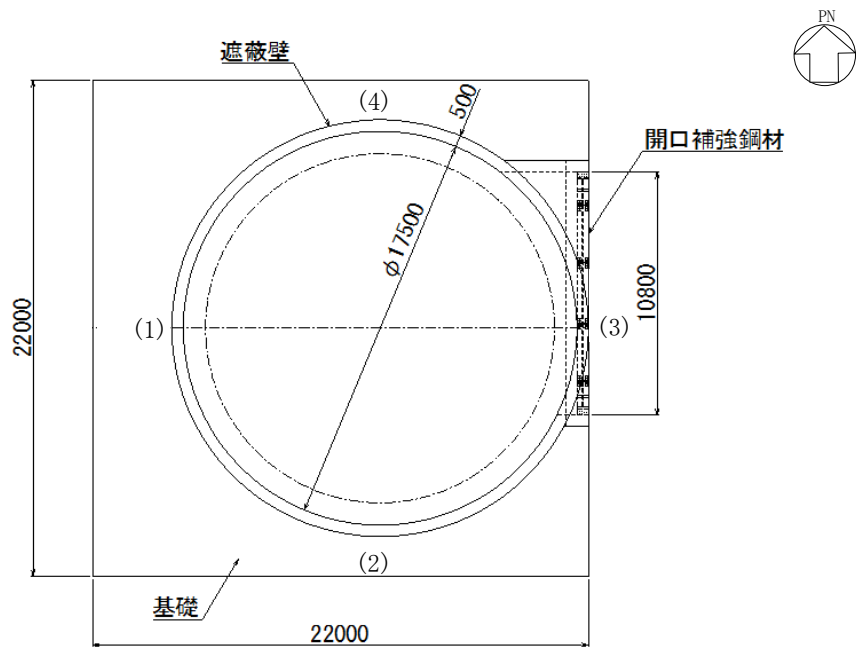
(単位：mm)

■：PHb 工法適用箇所

(B-B 断面)

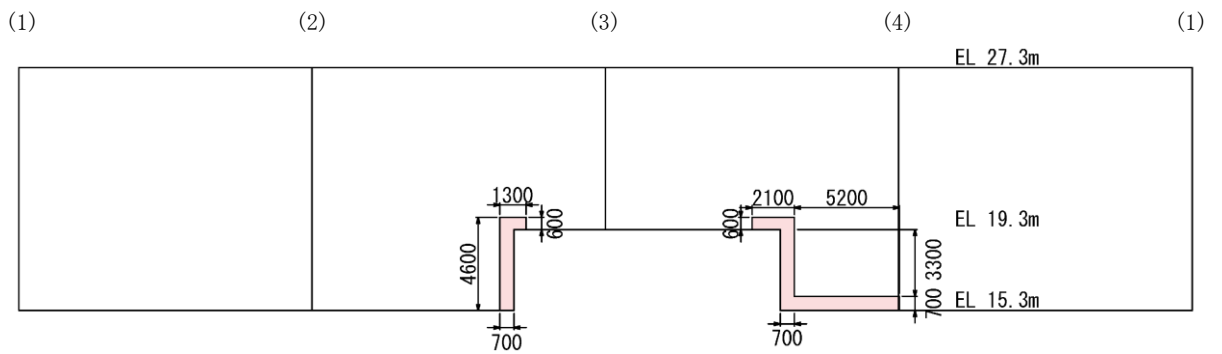
図 1-3(7) PHb による耐震補強対象の構造物 (1号機取水槽)

(参考) 12-1-10



(単位：mm)

(平面図)



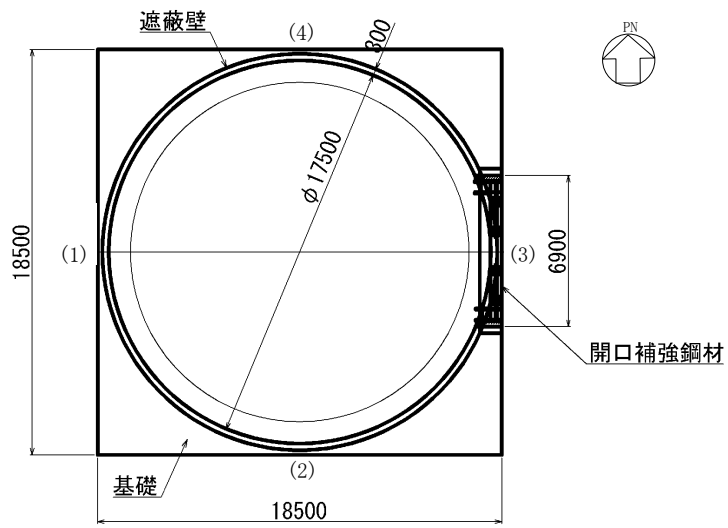
(単位：mm)

■ : PHb 工法適用箇所

(展開図)

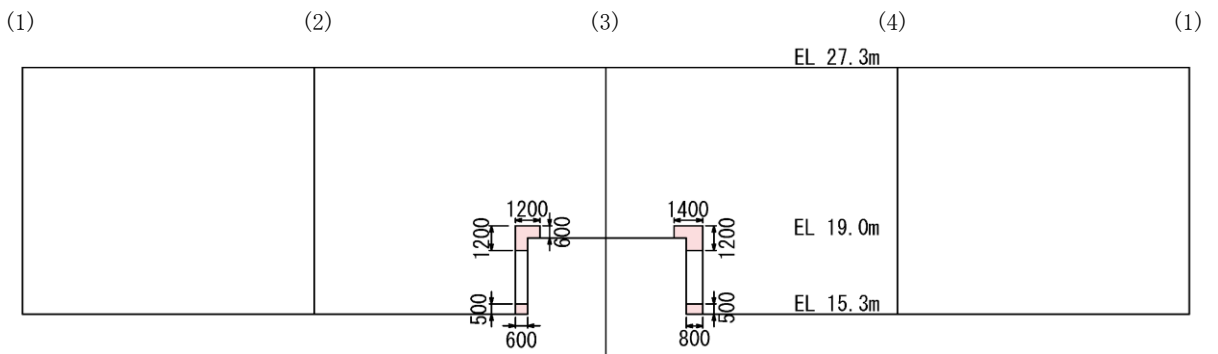
図 1-3(8) PHb による耐震補強対象の構造物 (復水貯蔵タンク遮蔽壁)

(参考) 12-1-11



(単位：mm)

(平面図)

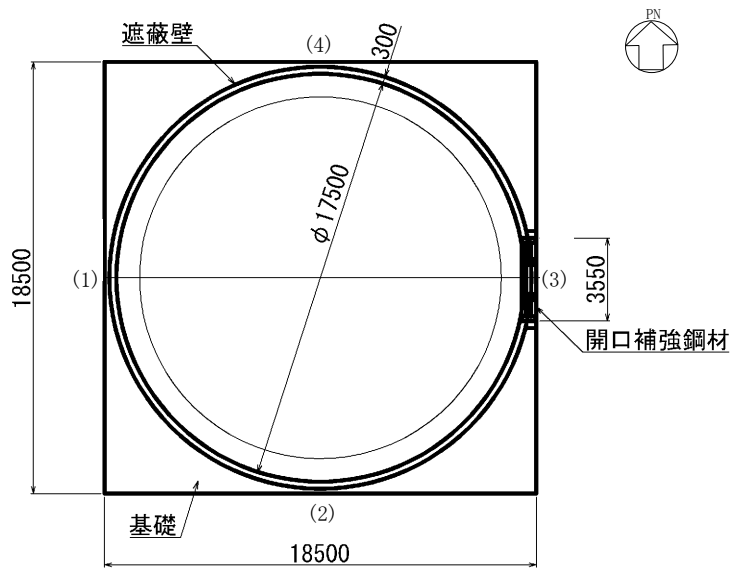


(単位：mm)

■：PHb 工法適用箇所

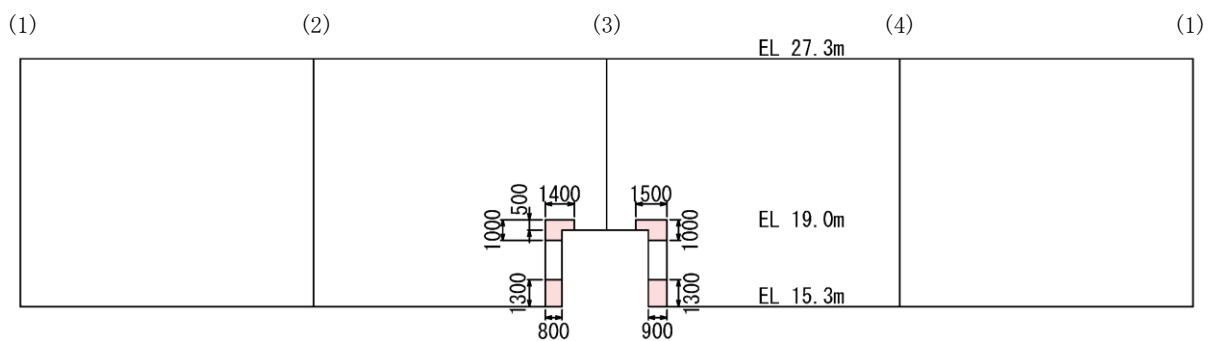
(展開図)

図 1-3(9) PHb による耐震補強対象の構造物 (補助復水貯蔵タンク遮蔽壁)



(単位：mm)

(平面図)



(単位：mm)

■：PHb 工法適用箇所

(展開図)

図 1-3(10) PHb による耐震補強対象の構造物 (トーラス水受入タンク遮蔽壁)

(参考) 12-1-13

## 2. PHb 工法について

### 2.1 PHb 工法を適用した部位

島根 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、PHb 工法を適用し、せん断耐力の向上を図っている。

PHb 工法を適用した部材は、表 1-2 及び図 1-3 に示すとおりである。

### 2.2 PHb 工法の概要

PHb 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、PHb 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。PHb は図 2-1 に示すように、手前側に矩形プレートもしくは小型の円形プレートを摩擦接合し、埋込側に小型の円形プレートを摩擦接合した異形鉄筋である。

PHb 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 PHb 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、PHb 工法は表 2-2 に示すように、「PHb とコンクリート間の付着」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、PHb 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（ $\beta_{aw}$ ）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 PHb の詳細図

表 2-1 施工方法の違い

--

表 2-2 定着機構の違い

--



### 3. 建設技術審査証明報告書の概要

#### 3.1 PHb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け

島根 2 号機のせん断補強が必要な各構造部材に配置した PHb については、一般財団法人土木研究センター（以下「PWRC\*」という。）の『建設技術審査証明報告書（土木系材料・製品・技術、道路保全技術） 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Header」，建技審証第 0522 号，有効期限：2025 年 12 月 20 日』（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 PWRC により審査証明を受けており、試験データを用いて、PHb が受け持つせん断耐力の算定方法において、PHb 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 PHb 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、PHb 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 PHb の配置、PHb 配置位置での削孔方法、削孔内への PHb の固定方法、PHb 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 PHb 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。PHb が受け持つせん断耐力は鉄筋の材質 (SD295, SD345, SD390) , 径 (D13~D32) ごとに定め、その値は、先施工のせん断補強鉄筋に PHb のせん断耐力の向上への有効性を示す係数  $\beta_{aw}$  を考慮することにより評価が可能である。

PHb 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 PHb 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 PHb 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、PHb 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。

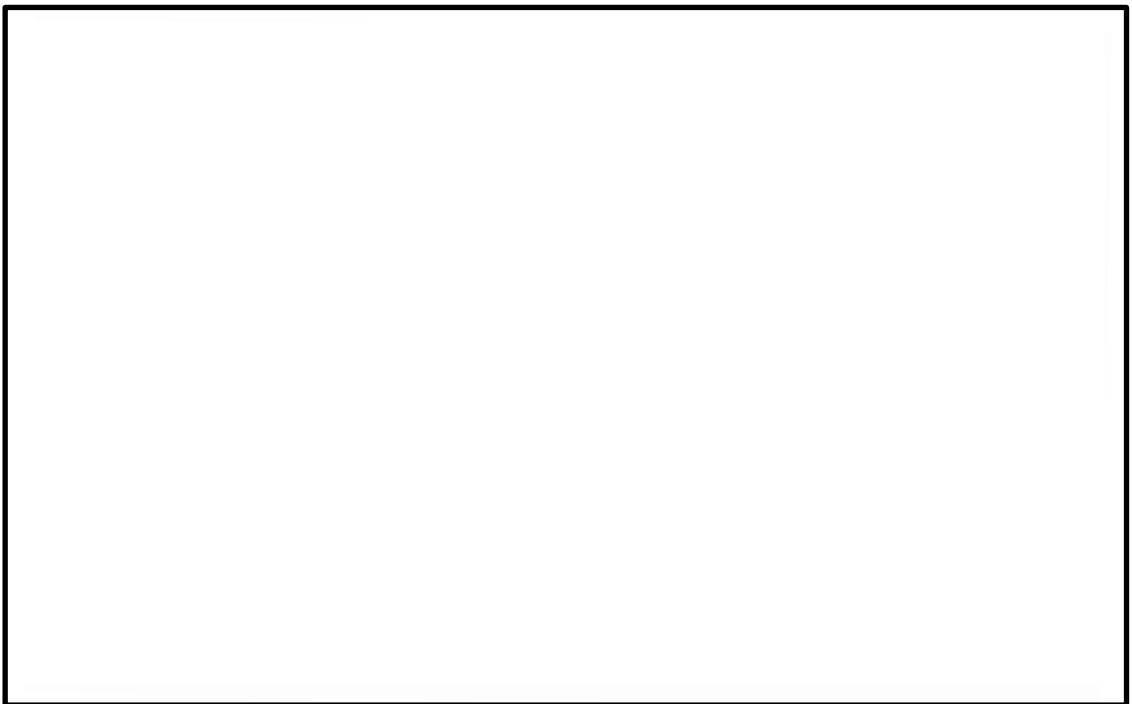


図 3-1 実験方法（建設技術審査証明報告書より抜粋）

表 3-1(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）

--

表 3-1(2) 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)

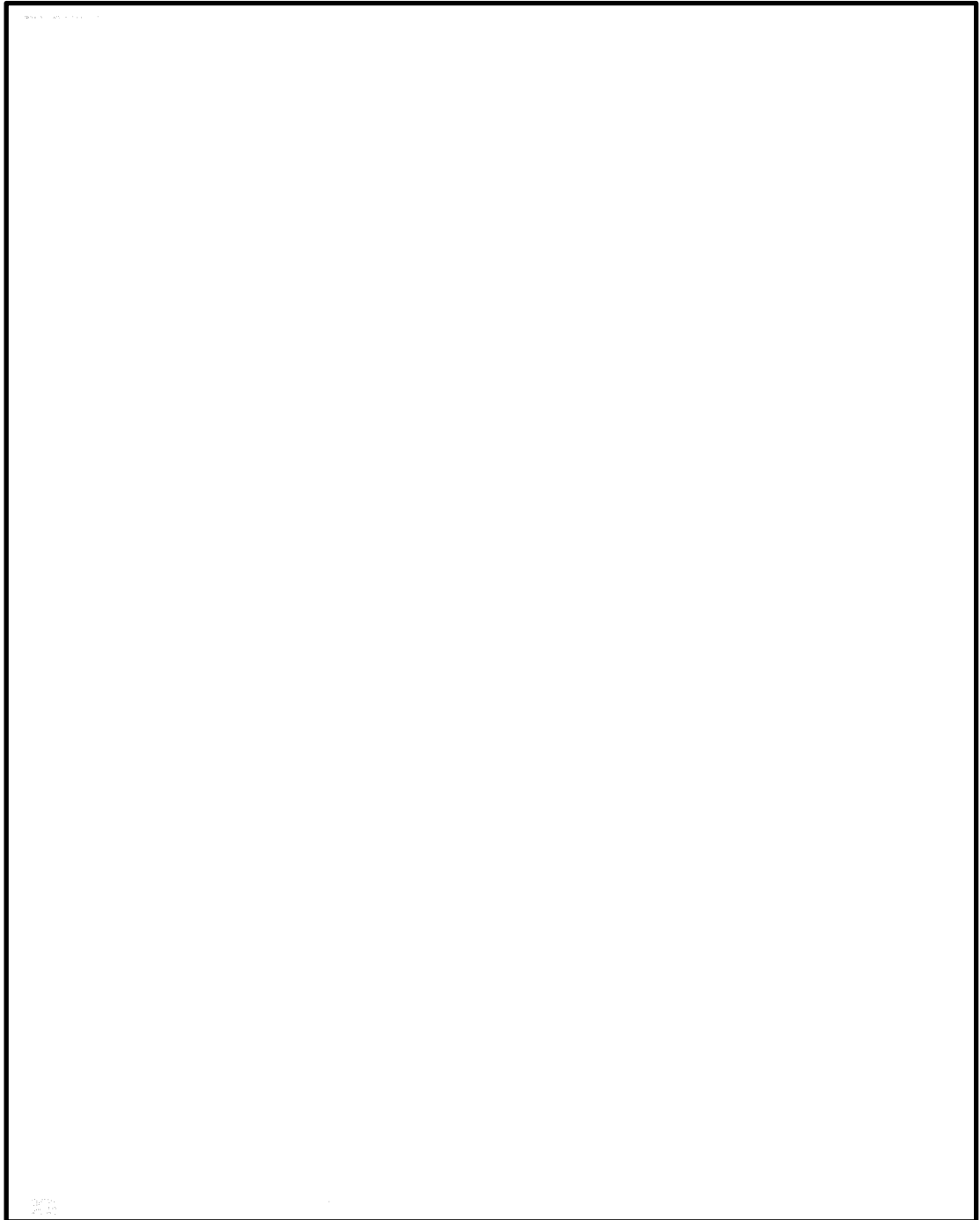




図 3-2(1) せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

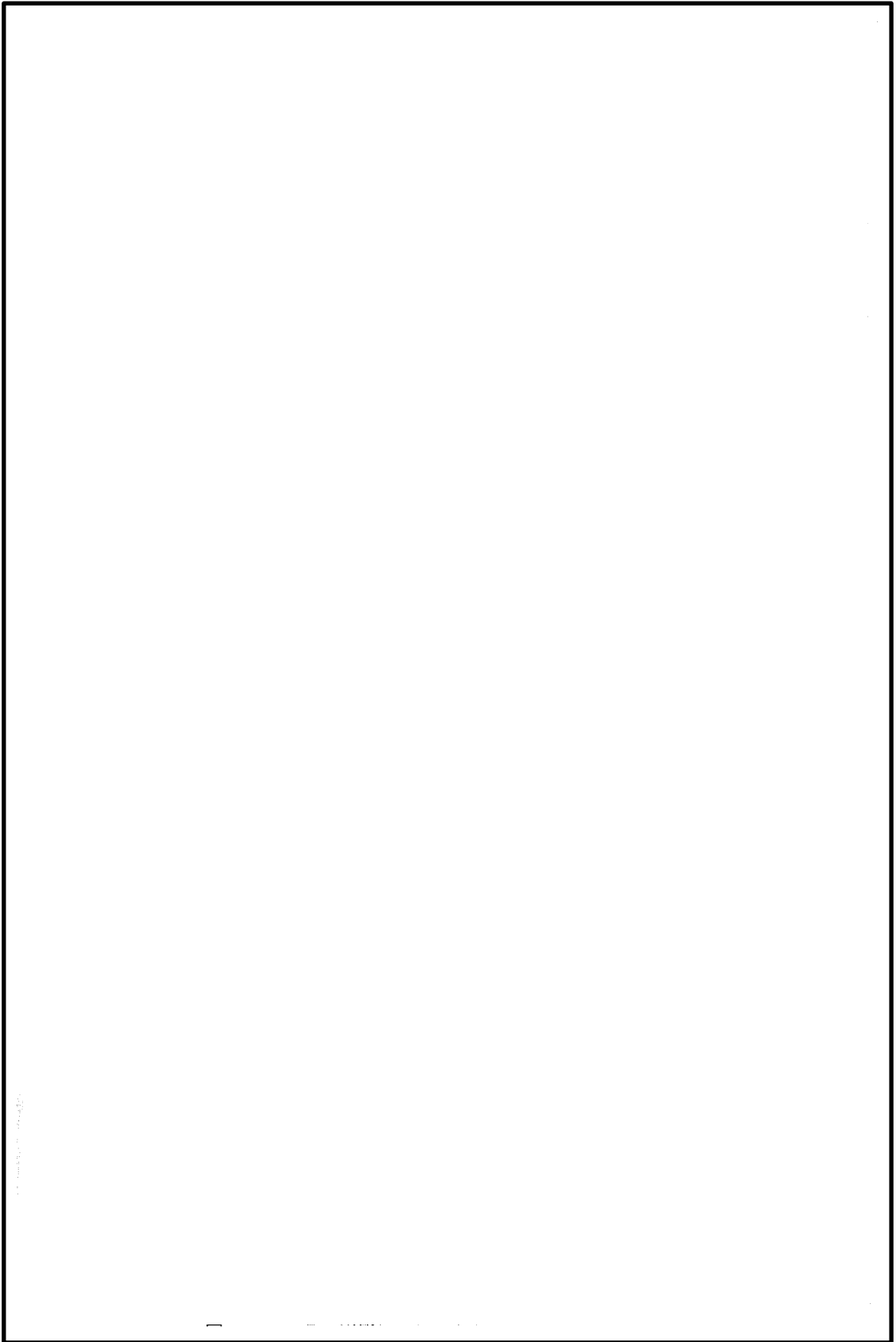


図 3-2(2) せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-22

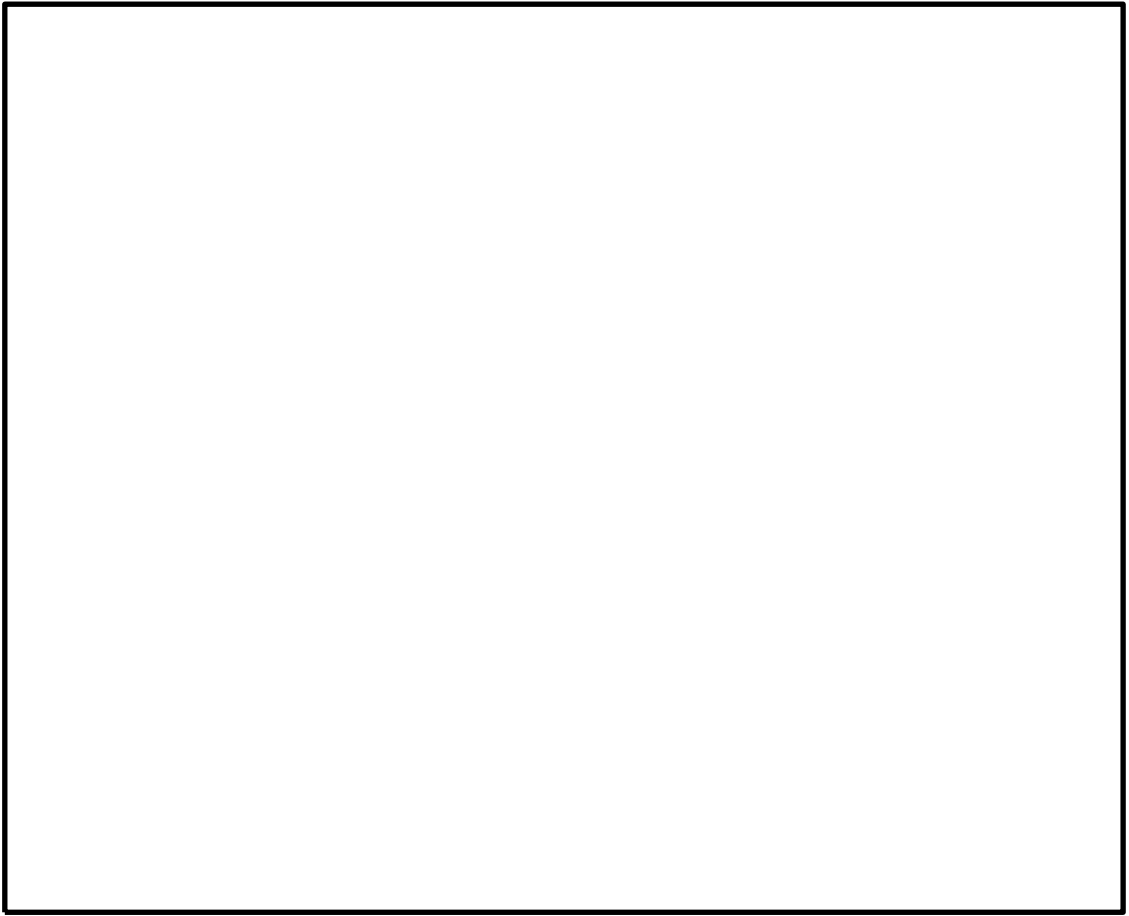


図 3-2(3) せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 (建設技術審査証明報告書より抜粋)



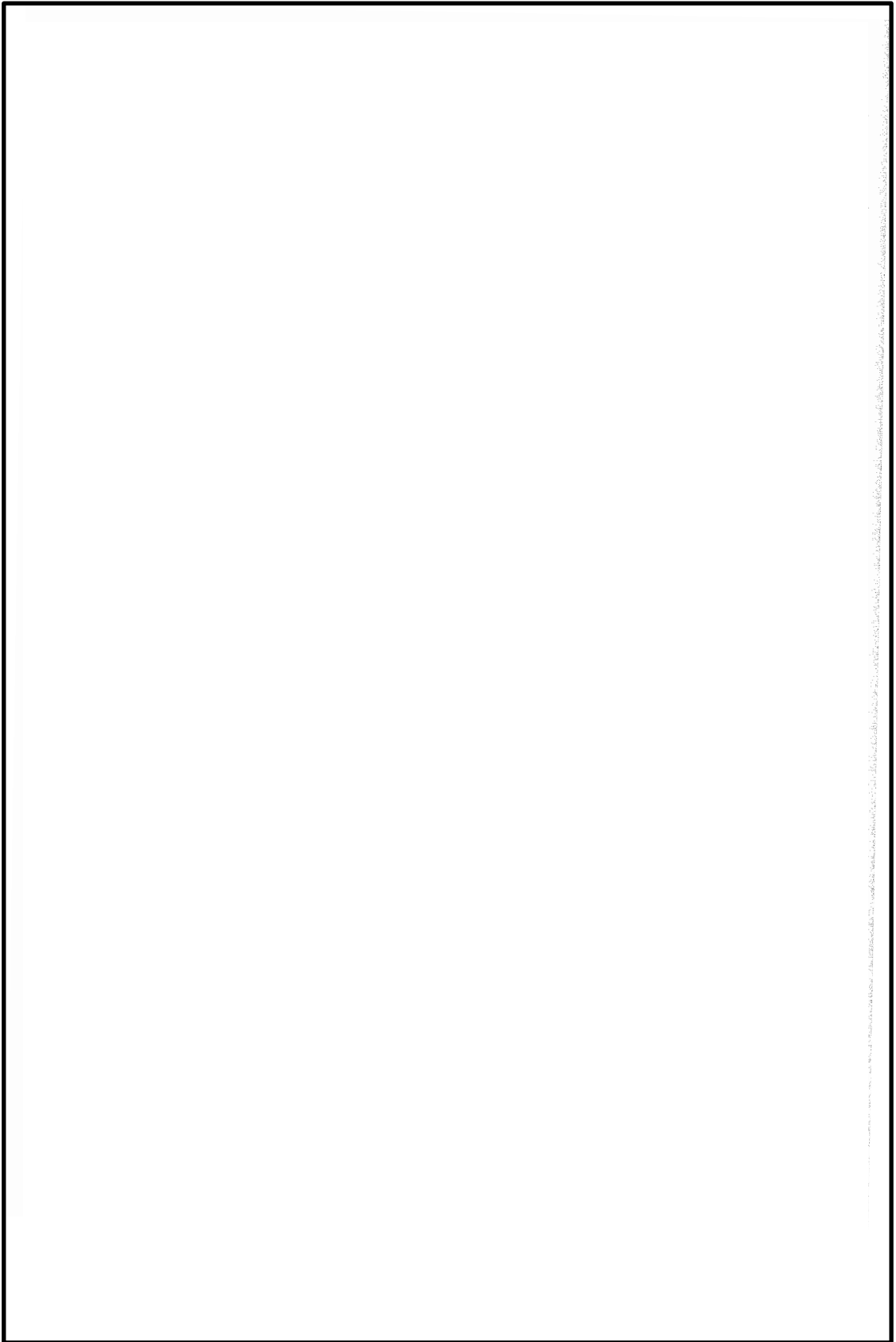


図 3-2(4) せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-24

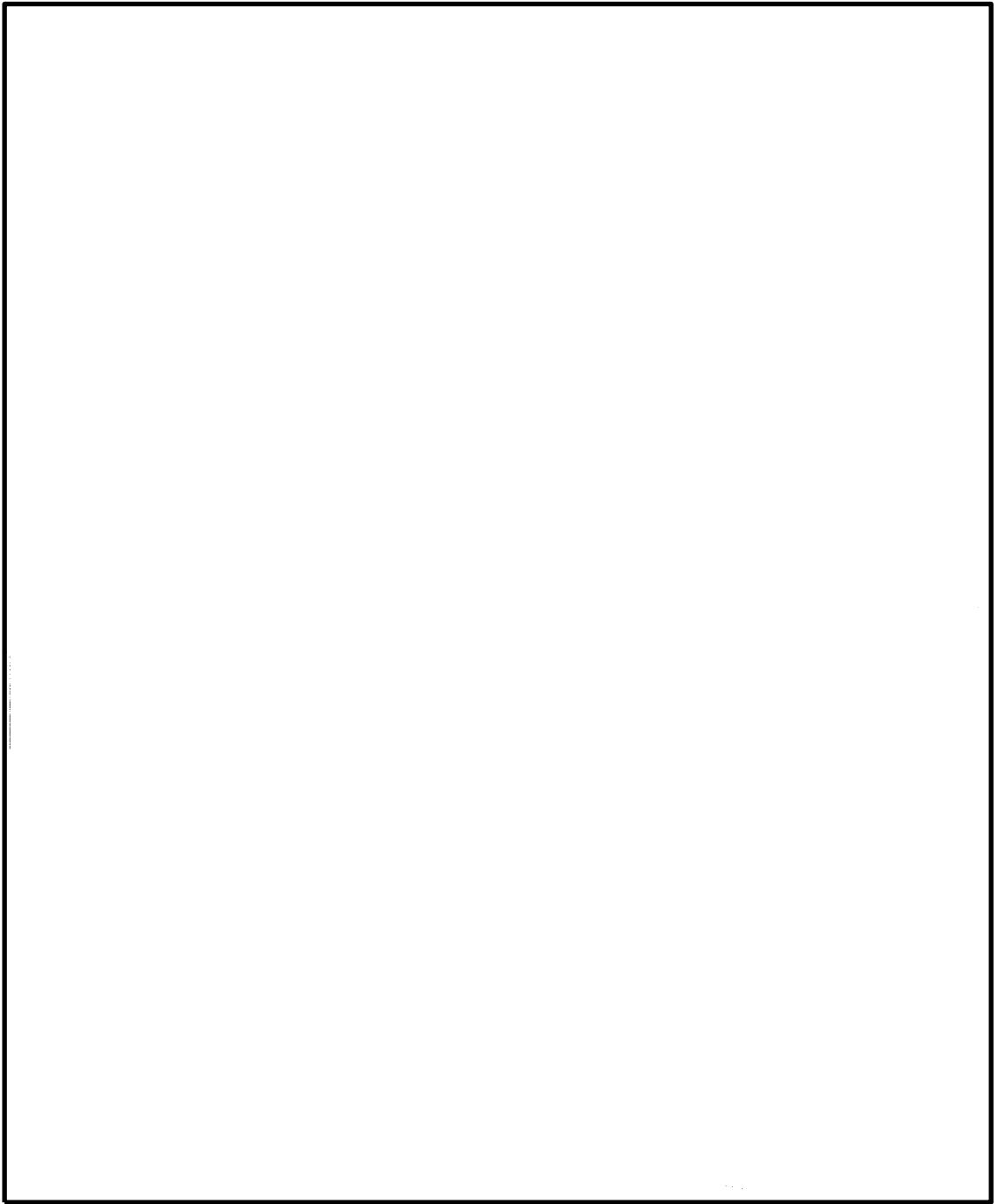


図 3-3(1) せん断耐力向上性能試験の加力要領（建設技術審査証明報告書より抜粋）

（参考） 12-1-25

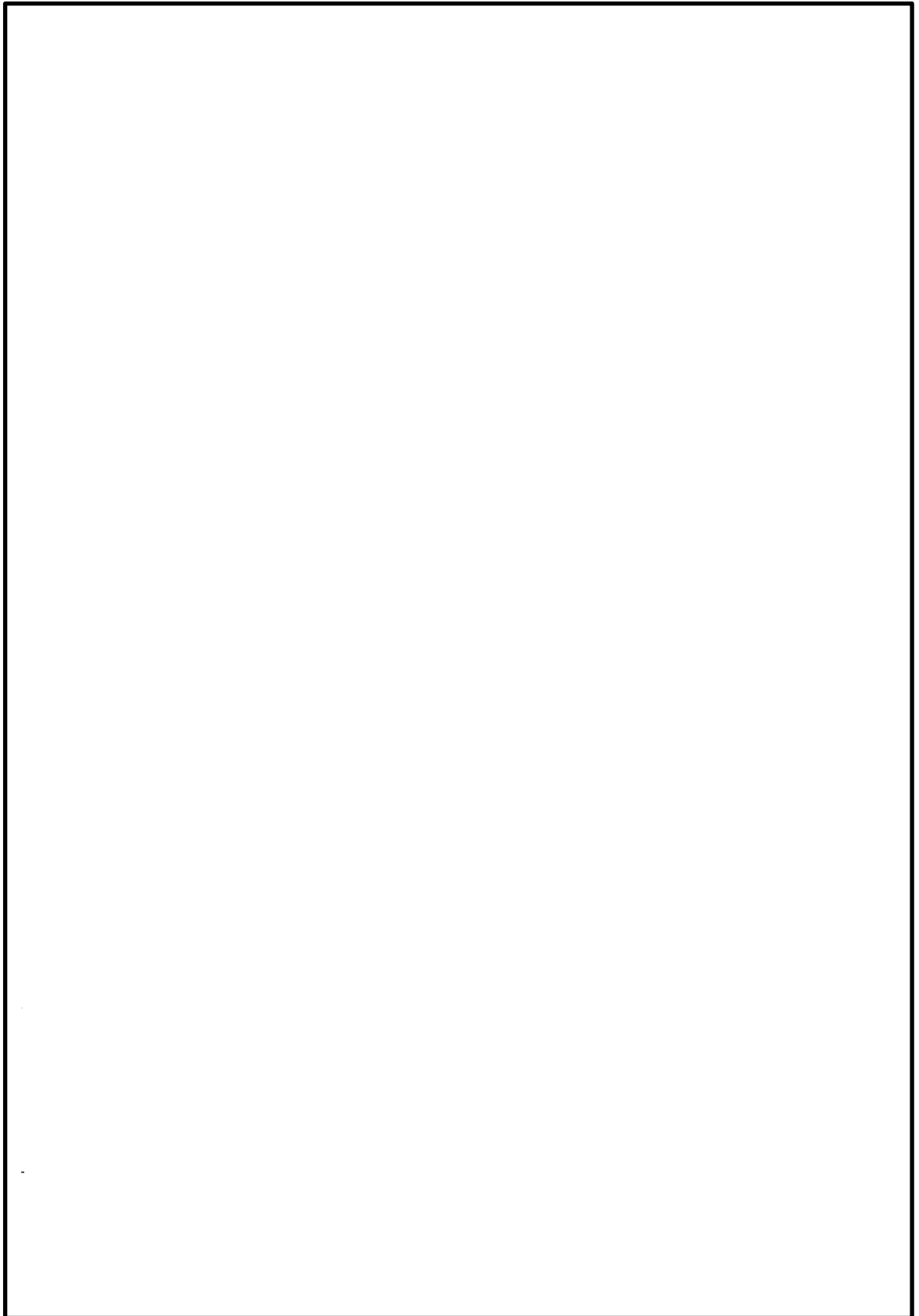


図 3-3(2) せん断耐力向上性能試験の加力要領 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-26

(2) 実験結果

(1)の実験結果を、表 3-2 に示す。

表 3-2(1) 実験結果の一覧（建設技術審査証明報告書より抜粋）

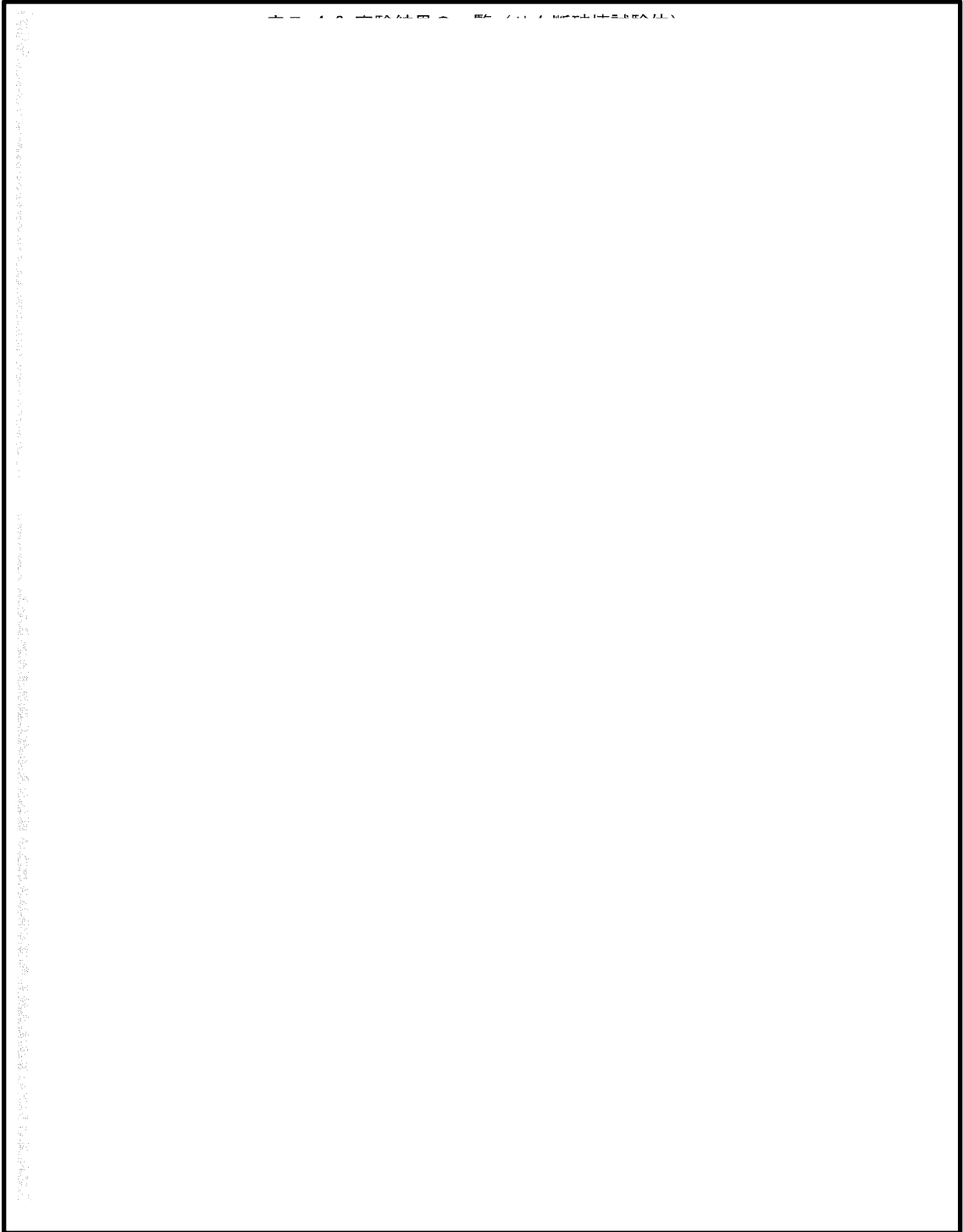
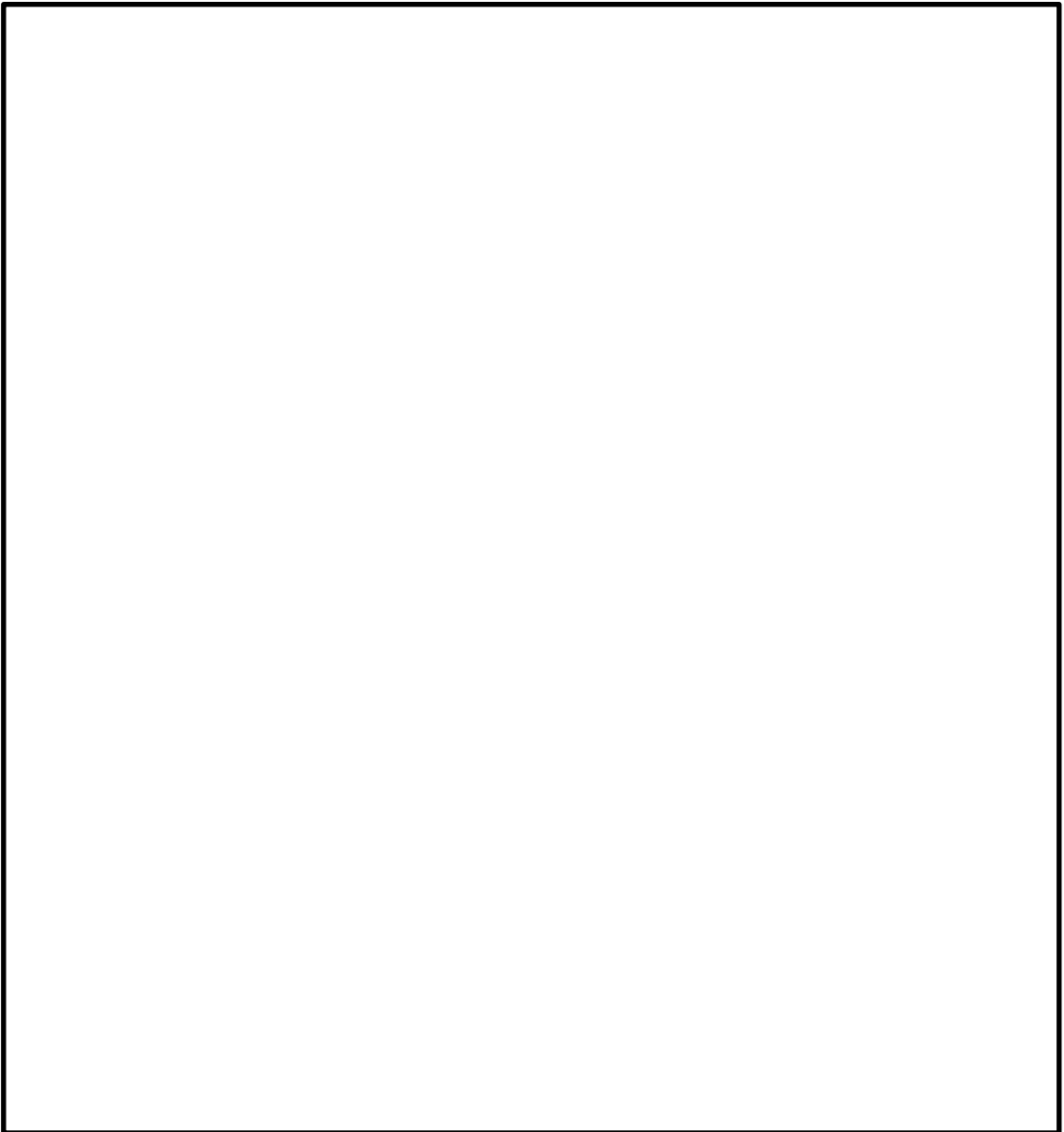


表 3-2(2) 実験結果の一覧 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

A large empty rectangular box with a black border, intended for the table of experimental results. The box is currently blank.

(3) PHb のせん断補強の考え方

PHb のせん断補強の考え方を図 3-4 に示す。

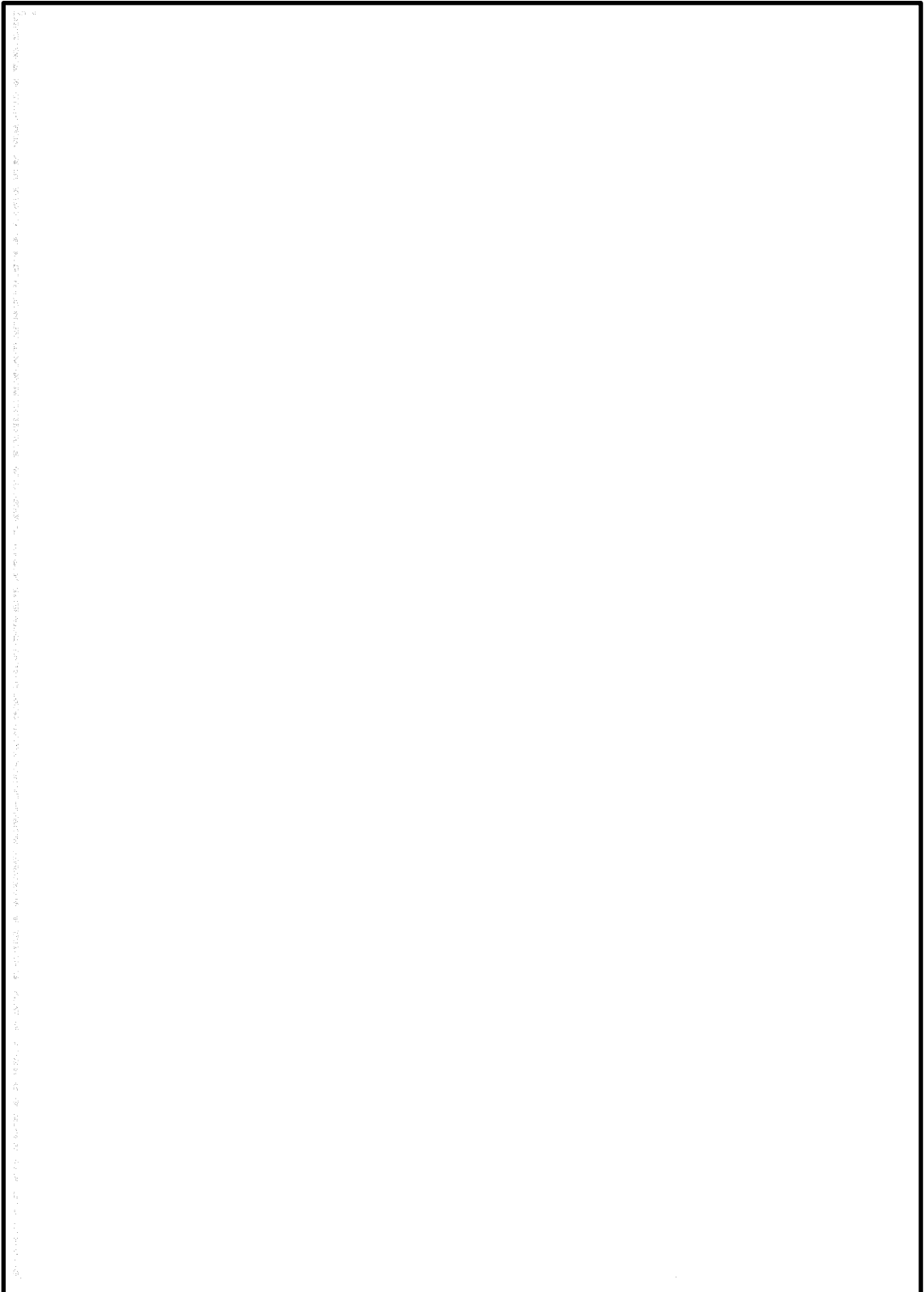


図 3-4(1) PHb のせん断補強の考え方 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-29

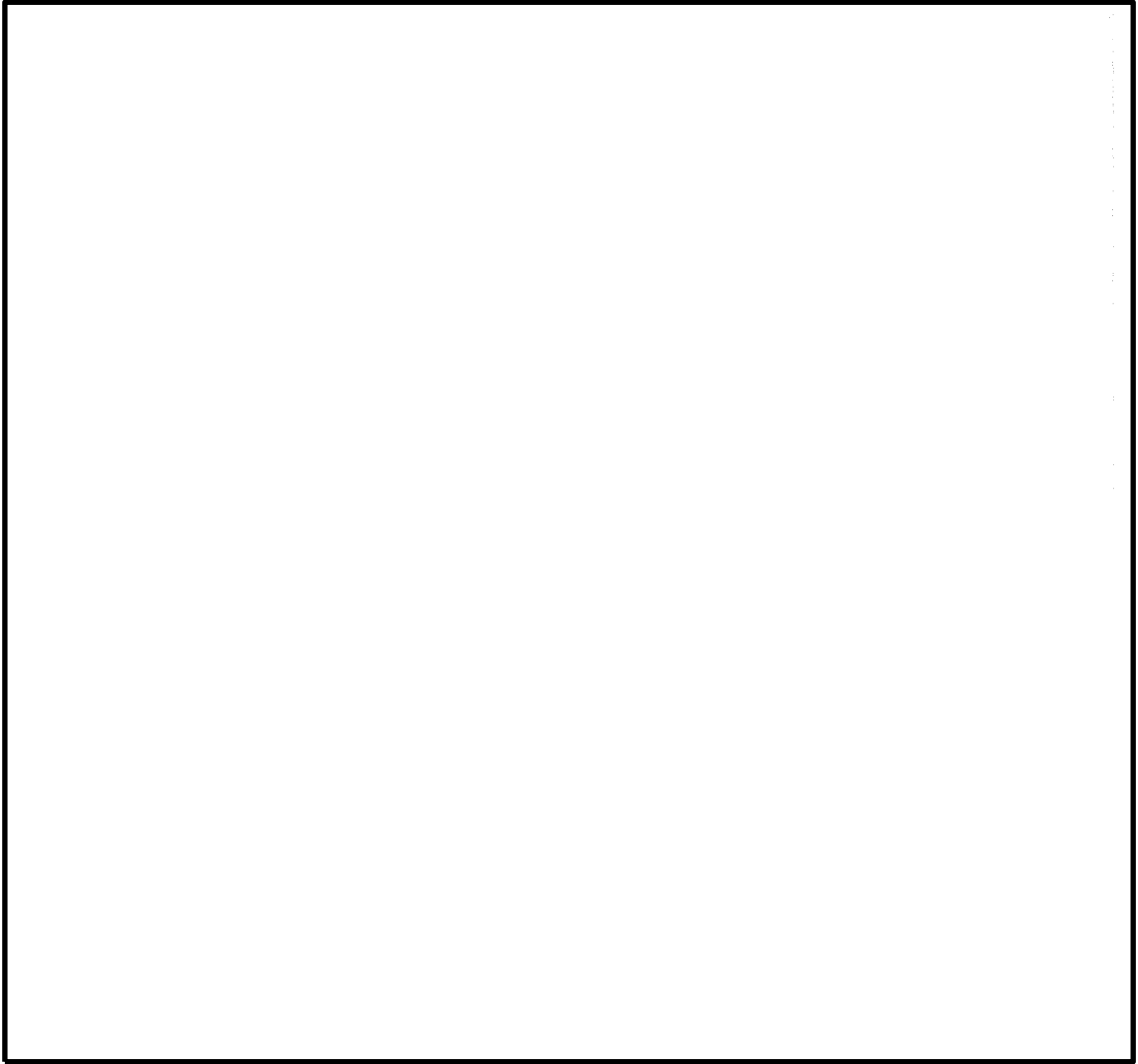


図 3-4(2) PHb のせん断補強の考え方 (建設技術審査証明報告書より抜粋)



図 3-4(3) PHb 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)



(4) 実験結果に基づく PHb によるせん断補強効果の評価

実験結果に基づく PHb によるせん断補強効果の評価について、図 3-5 に示す。



図 3-5(1) 実験結果に基づく PHb 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)

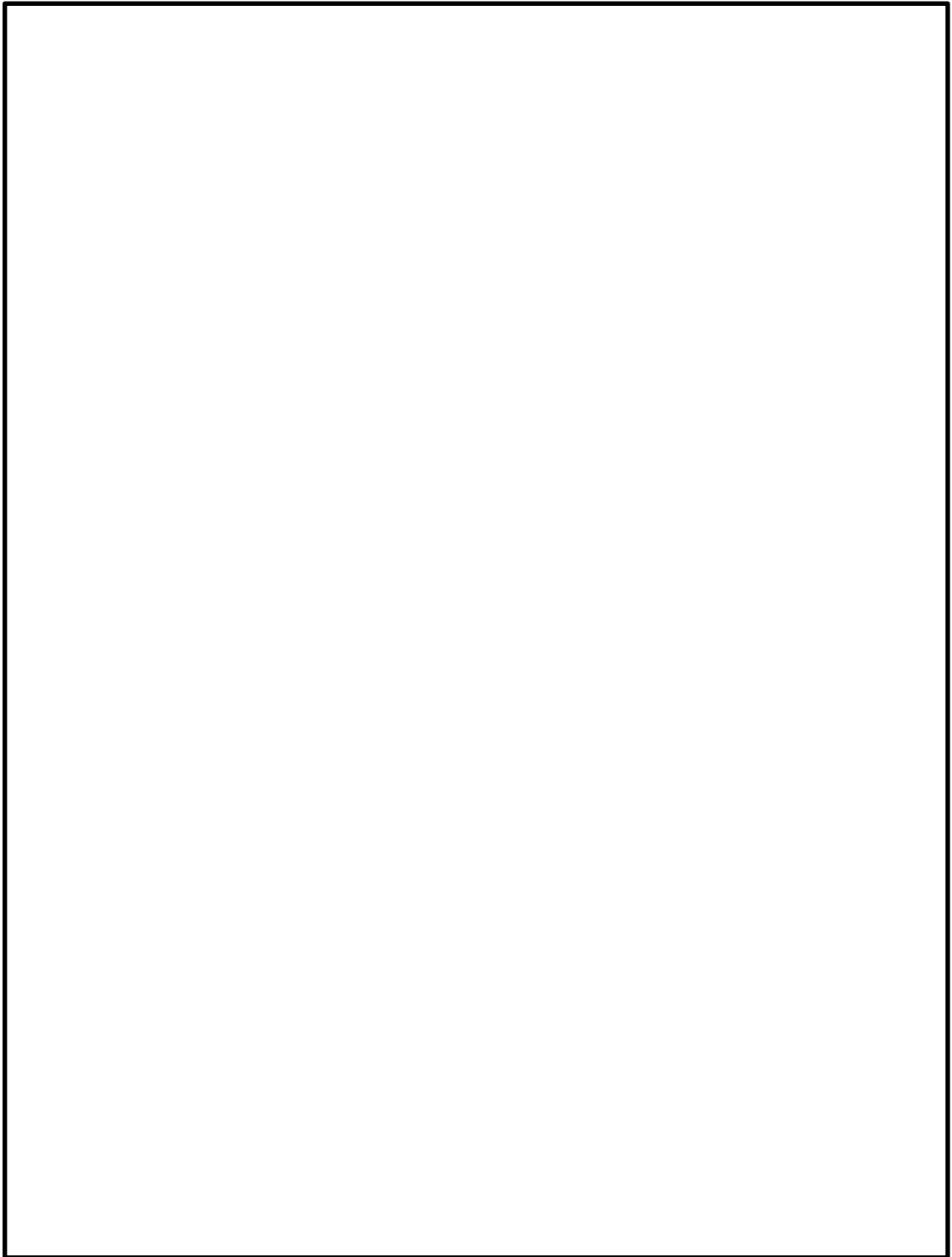


図 3-5(2) 実験結果に基づく PHb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-33



図 3-5(3) 実験結果に基づく PHb 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)

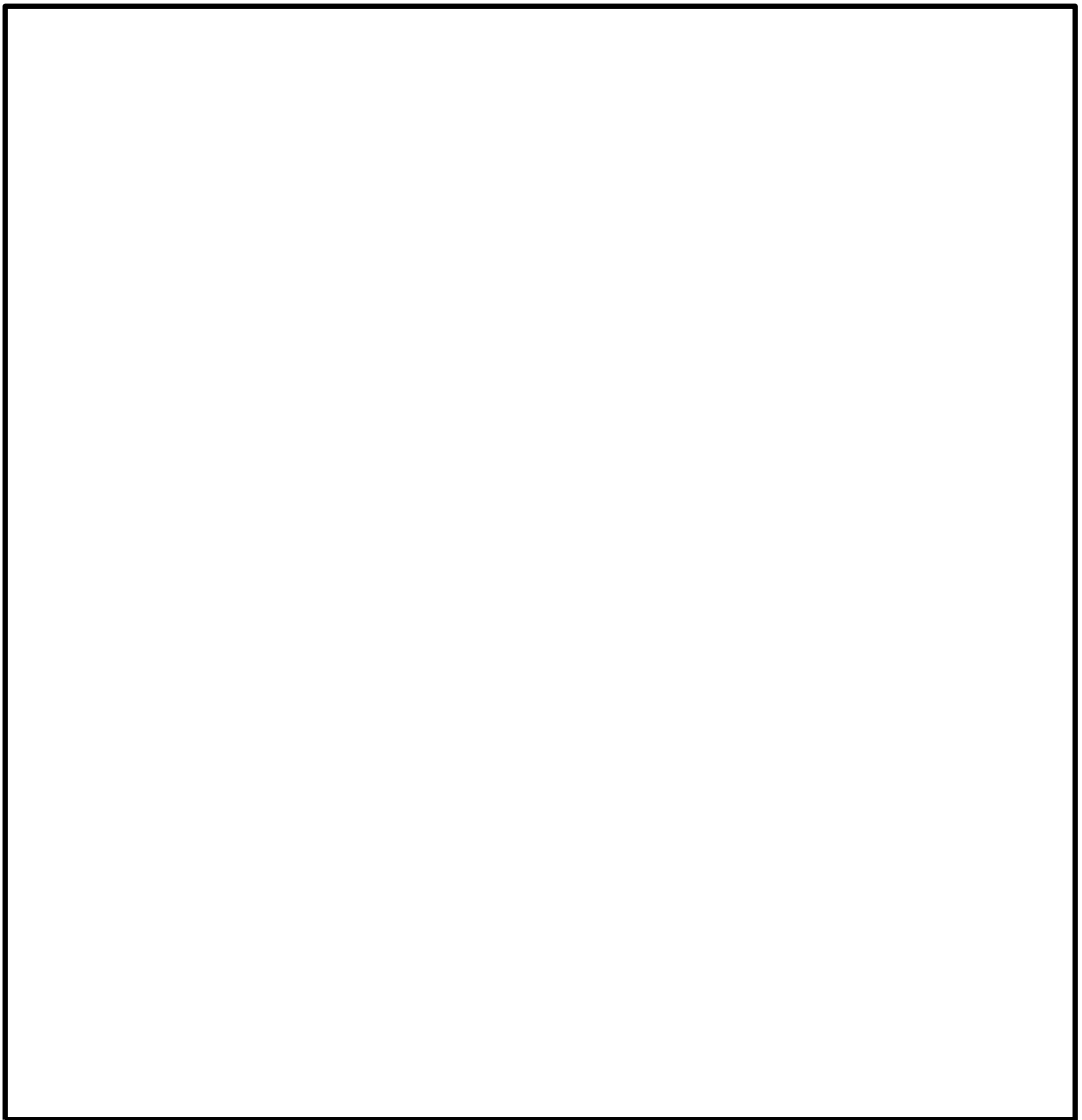


図 3-5(4) 実験結果に基づく PHb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(5) PHbによるせん断補強効果のまとめ

PHbによるせん断補強効果のまとめについて、図3-6に示す。

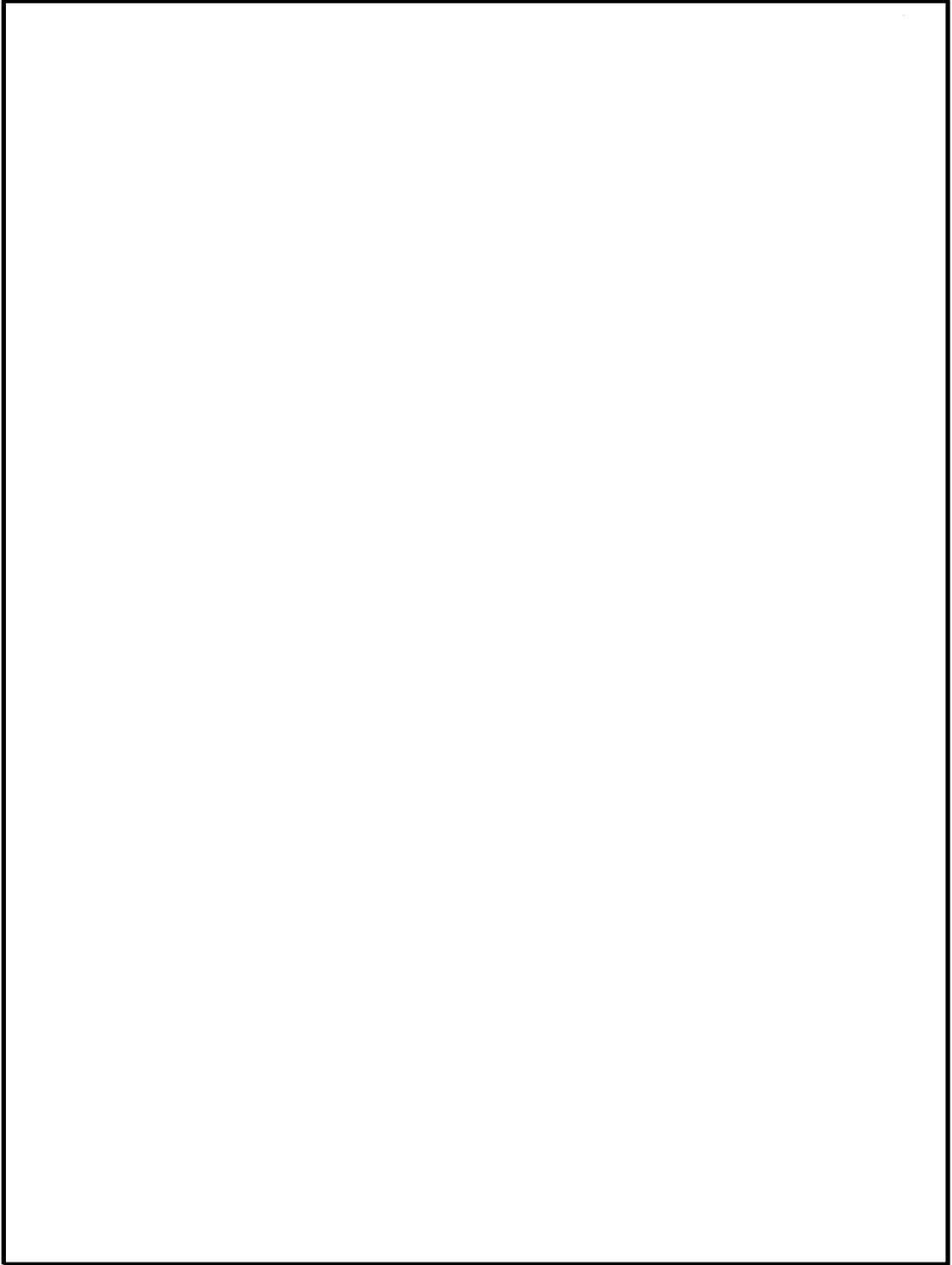


図3-6(1) PHbによるせん断補強効果のまとめ  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-36

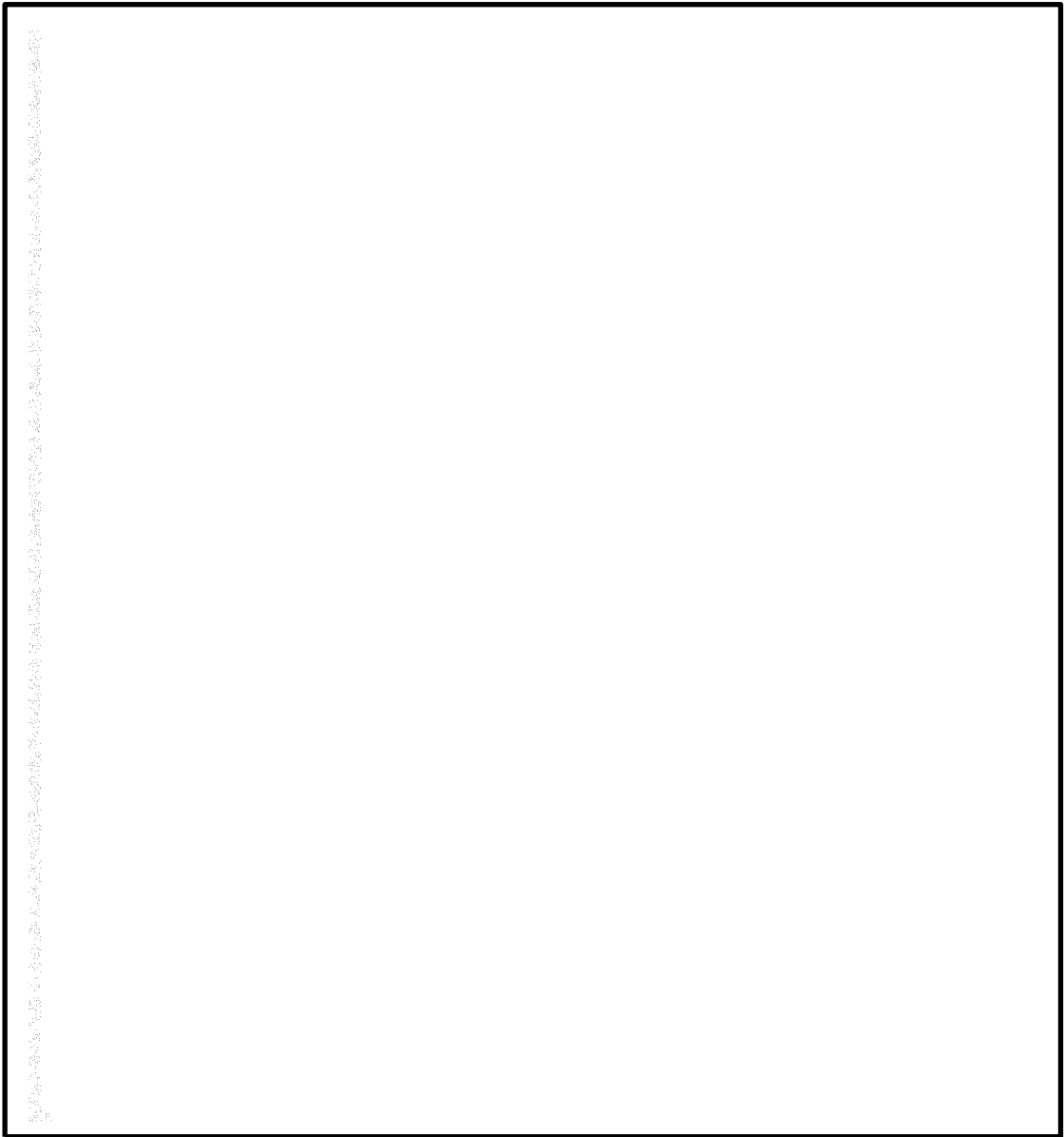


図 3-6(2) PHb によるせん断補強効果のまとめ  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

### 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。



図3-7(1) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）

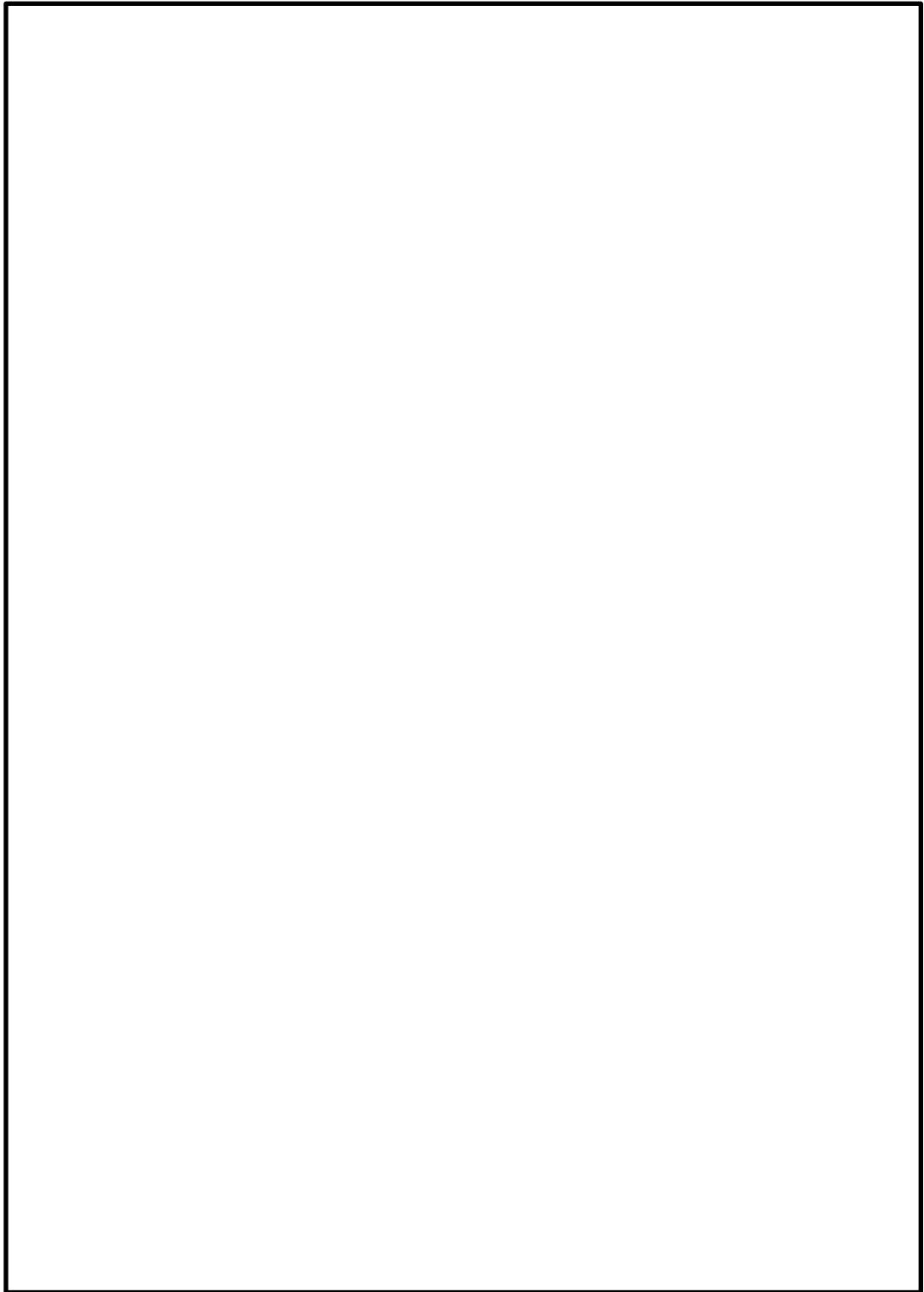


図 3-7(2) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）

（参考） 12-1-39



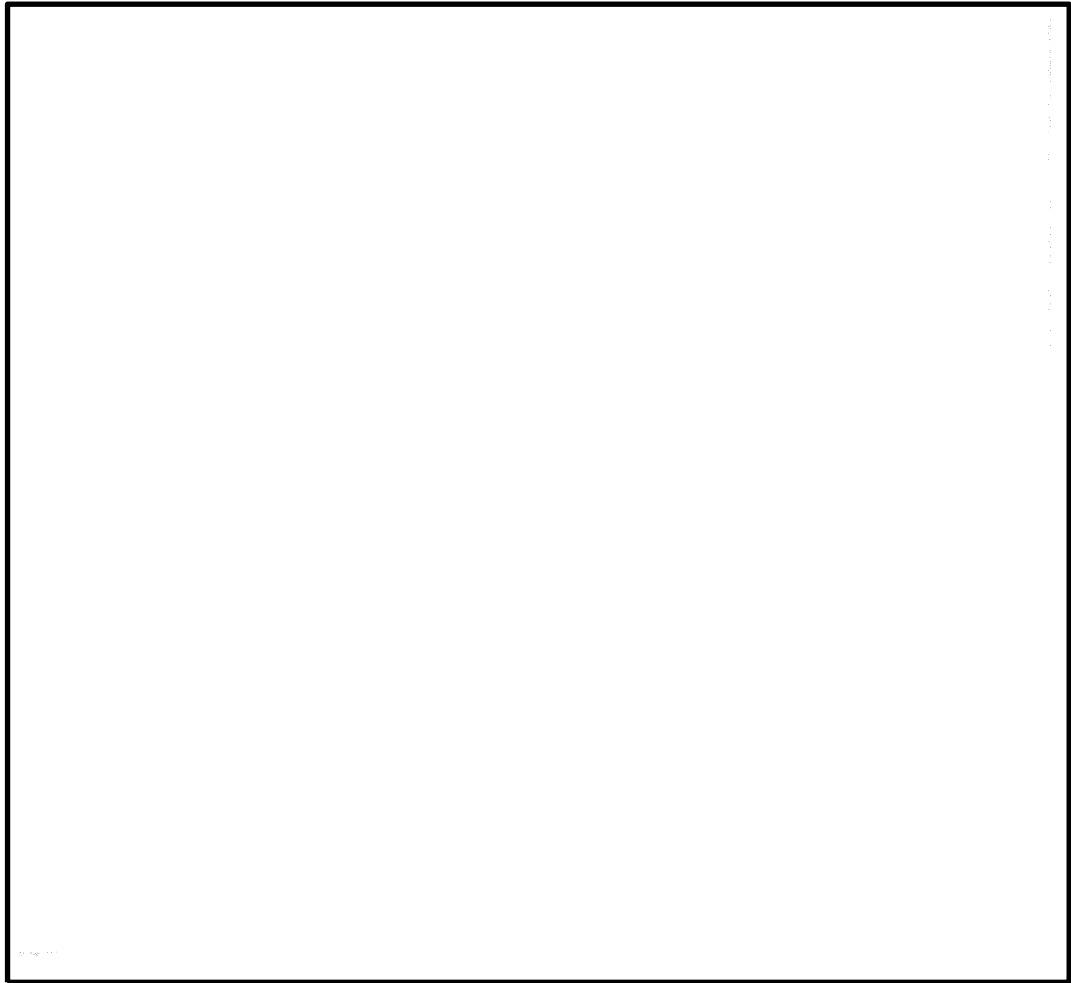


図 3-7(3) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）

### 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，2017）（以下「コンクリート標準示方書 2017」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。

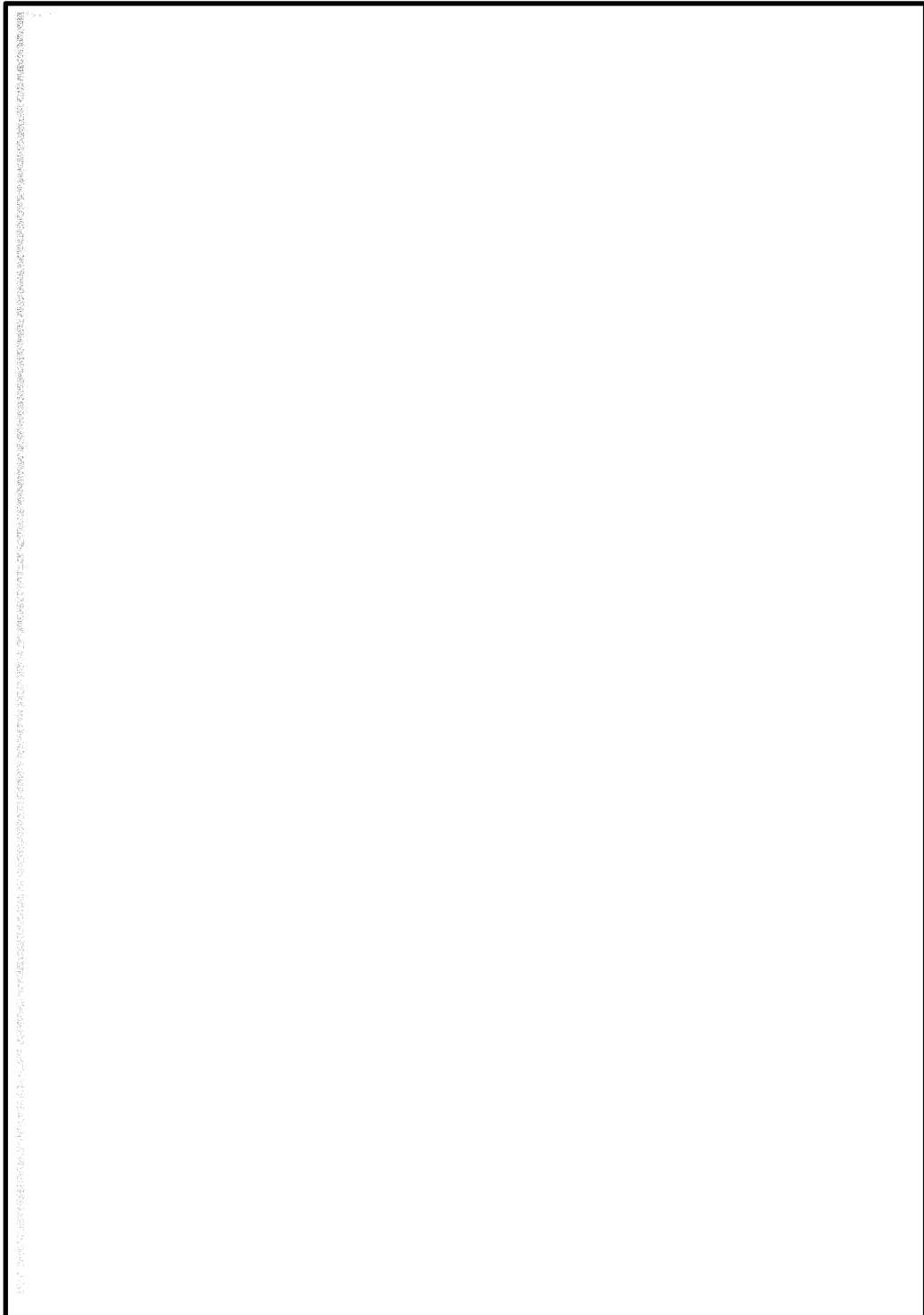


図 3-8(1) せん断に対する安全性照査（建設技術審査証明報告書より抜粋）

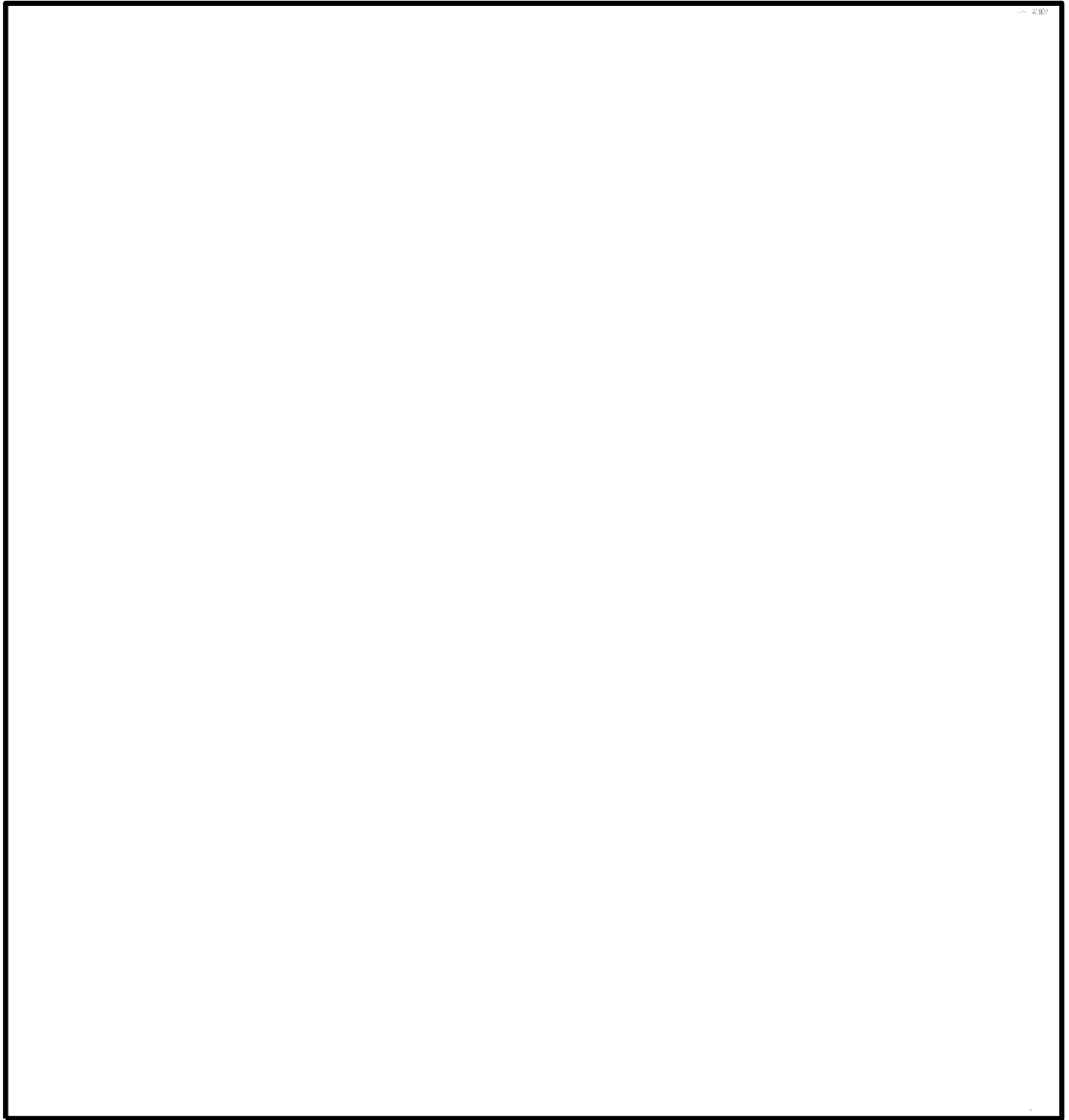


図 3-8(2) せん断に対する安全性照査（建設技術審査証明報告書より抜粋）

### 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。

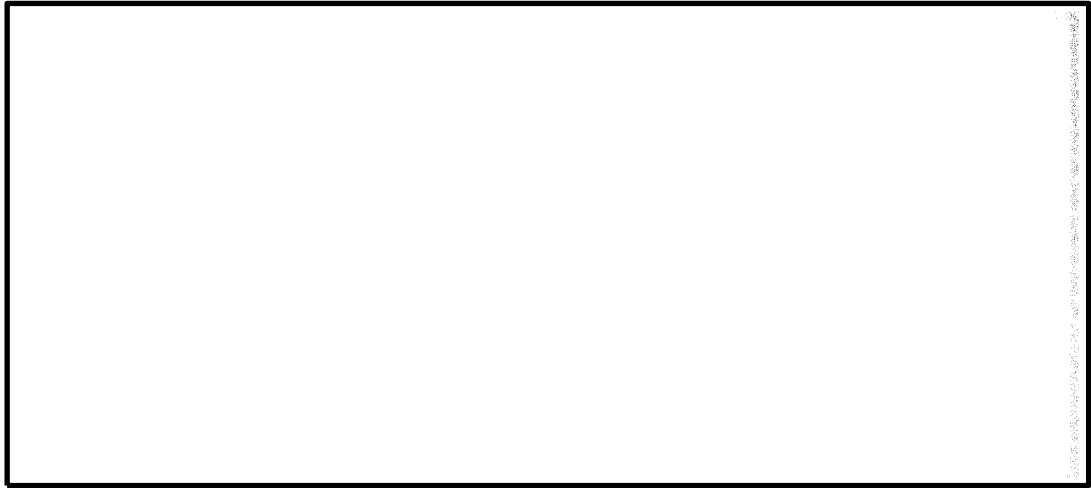


図3-9 構造細目（建設技術審査証明報告書より抜粋）

### 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、PHbの施工の確実性について、図3-10に示す。

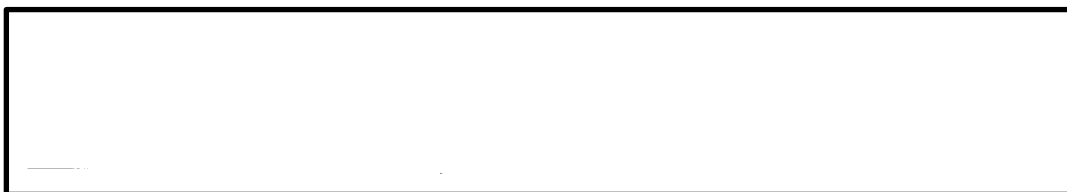


図3-10 施工の確実性（建設技術審査証明報告書より抜粋）

#### 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、PHbの施工の容易性について、図3-11に示す。



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、PHbの施工手順について、図3-12に示す。

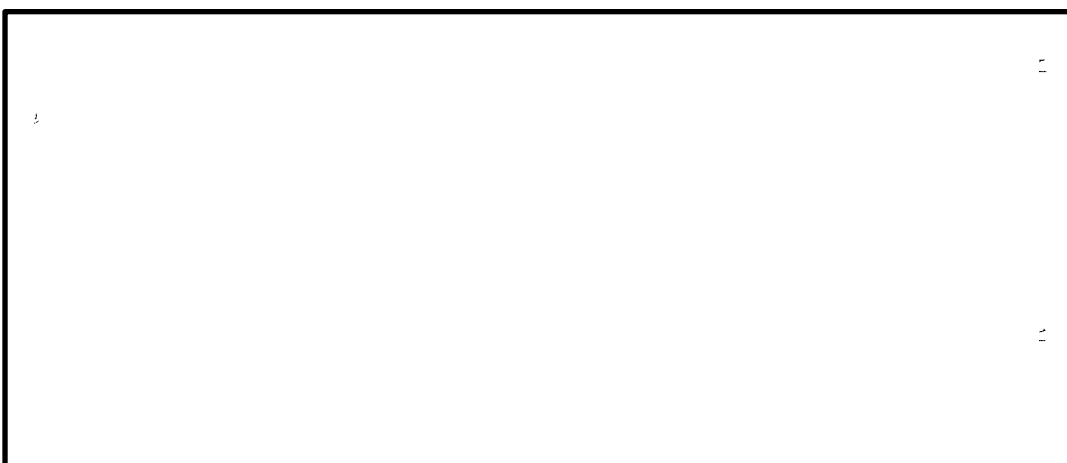


図3-12(1) PHbの施工手順の設定（建設技術審査証明報告書より抜粋）

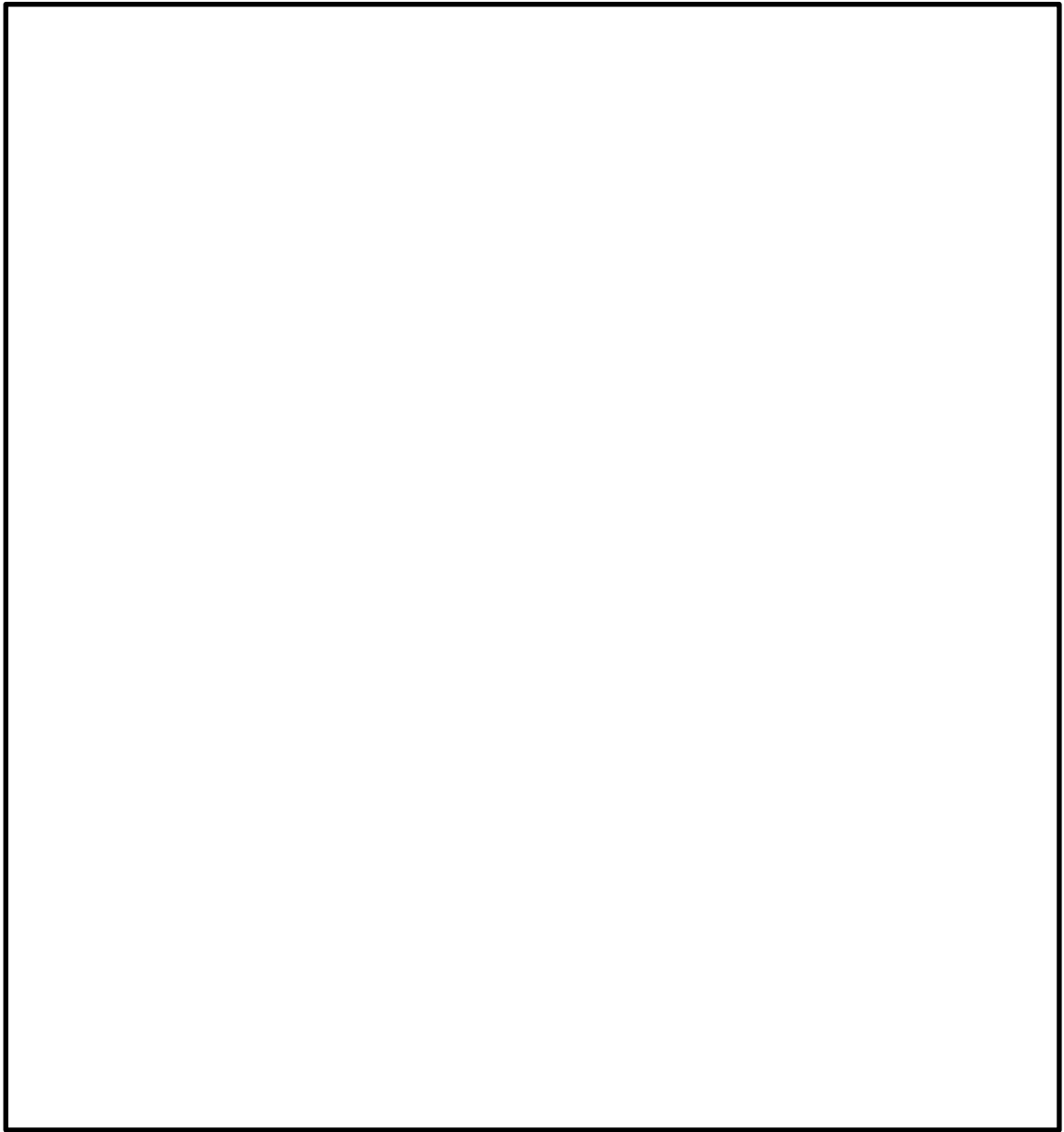


図 3-12(2) PHb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

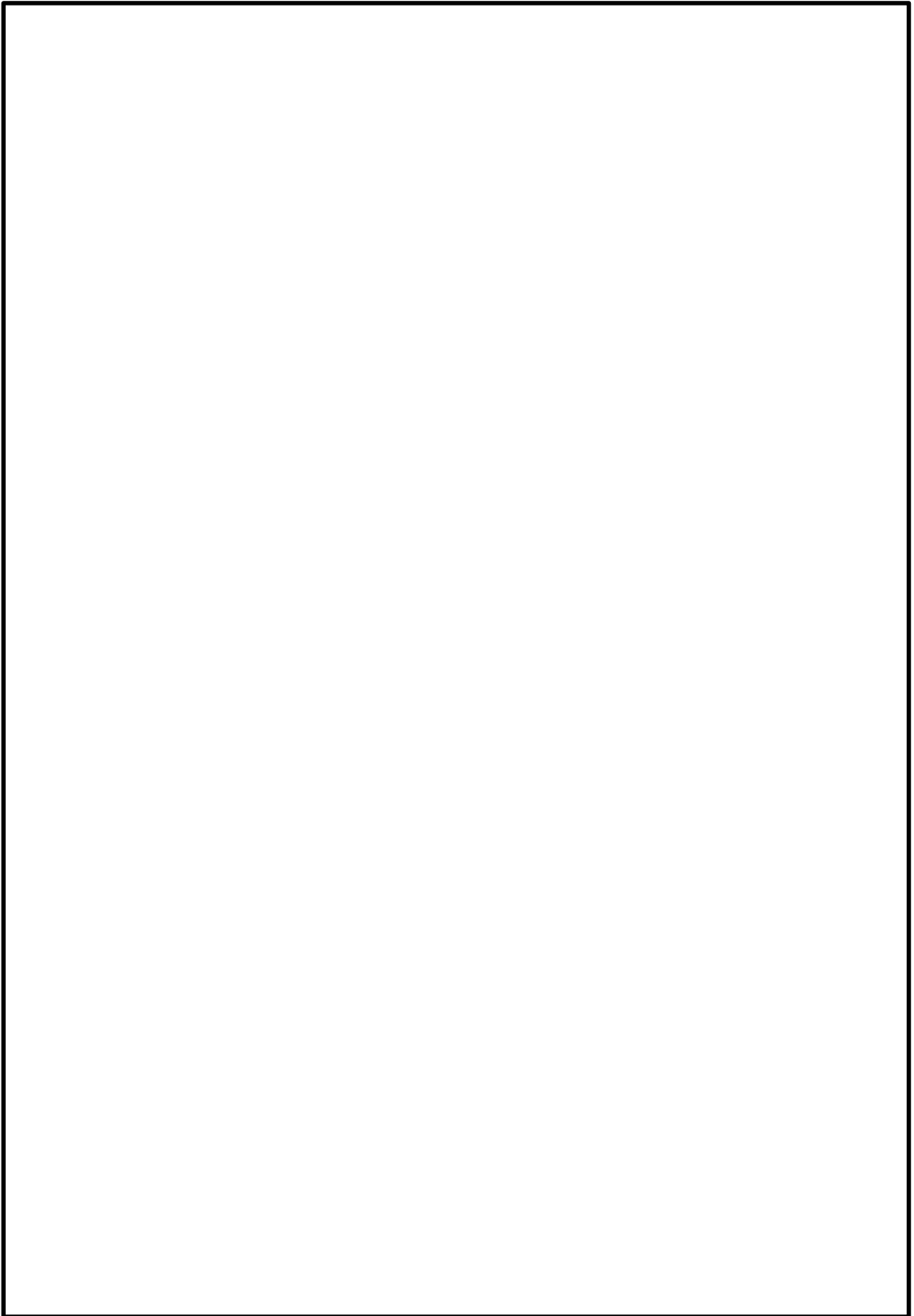


図 3-12(3) PHb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-46

#### 4. 島根 2 号機における PHb 工法の適用性の確認

##### 4.1 適用性確認フロー

PHb 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。

PHb 工法を島根 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、施工実績及び研究事例等から適用範囲を整理し、島根 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及び先行原子力発電所における審査実績の確認

島根 2 号機の屋外重要土木構造物等に採用した補強仕様が PHb 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及び先行原子力発電所における審査実績内に収まっているか確認する。

##### ③ 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 PHb の施工精度に影響を与える項目の確認

PHb 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、PHb 工法への反映事項を確認する。



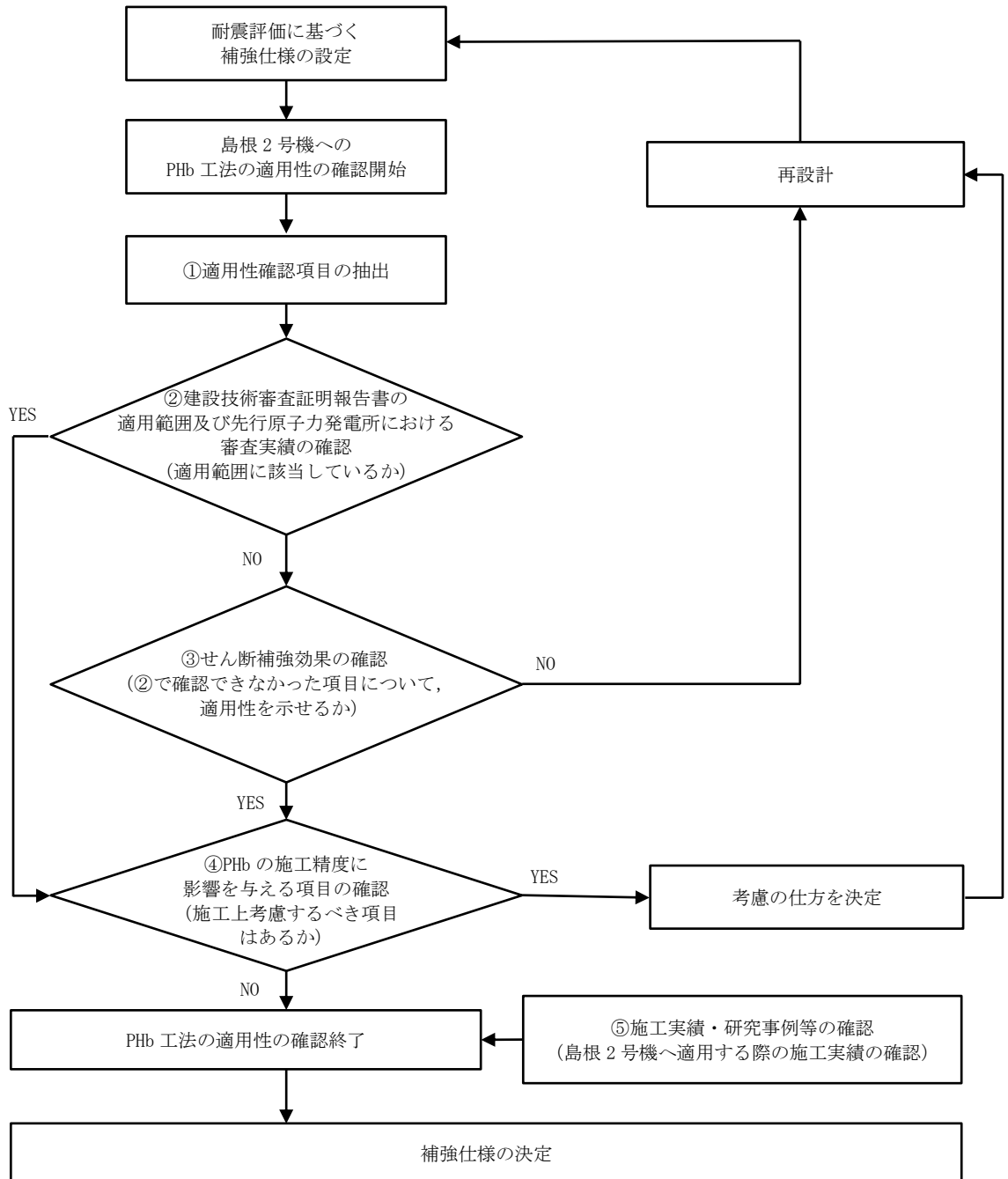
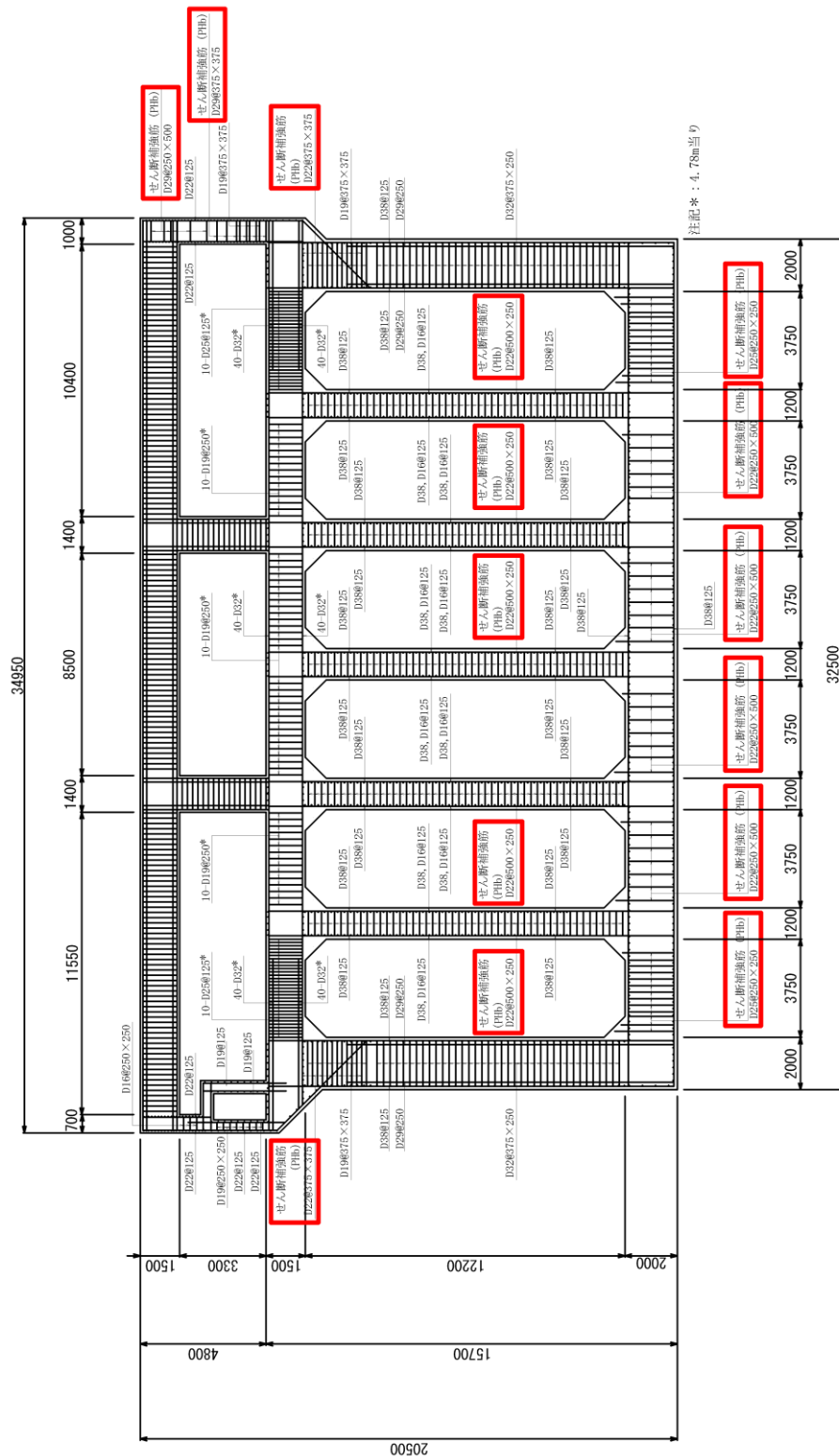


図 4-1 PHb 工法の適用性確認フロー

#### 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、取水槽の補強仕様を図4-2に示す。



(単位: mm)

□ : PHb 工法適用箇所

図4-2 取水槽の補強仕様

(参考) 12-1-49

#### 4.3 ①適用性確認項目の抽出

PHb 工法の特徴及び島根 2 号機固有の条件等の観点から、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で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 に適合する SD295，SD345 あるいは SD390 とし，呼び名は D13，D16，D19，D22，D25，D29，D32 とする。

##### VII. 使用材料（プレート）

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. 使用材料（断面修復材）

建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。

X. 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 I. 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 II. ひび割れに対する定着機能の保持

PHb 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 III. 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、PHb 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 IV. 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。

4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲及び先行原子力発電所における審査実績の確認

PHb 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の適用範囲及び先行原子力発電所における審査実績を確認する。確認結果を以下に示す。

(1) I. 使用目的, II. 構造形式

PHb による耐震補強は，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。また，構造形式についても，地中構造物及び地上構造物を想定しており，島根 2 号機の屋外重要土木構造物等に適用可能である。（表 4-1 参照）

表 4-1 PHb 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)



建設技術審査証明報告書の適用範囲	使用箇所及び状況
	<p>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。</p>
	<p>既設の地上構造物に対して，変形性能の更なる改善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。</p>

(2) 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 補強前に配置されていたスターラップと Post-Head-bar を加えたせん断補強鉄筋の断面積比が 0.15%以上とする。
- ② Post-Head-bar を配置するせん断スパン方向の最大間隔は、補強対象部材の有効高さの 1/2 倍以下かつ 300mm 以下とする。
- ③ Post-Head-bar の配置は図 4-3 に示す標準配置によるものとする。
- ④ Post-Head-bar の埋込先端は、軸方向鉄筋の位置まで配置することを原則とする。ただし、埋込先端のかぶりは、必要なかぶりを確保しかつ 50mm 以上とする。

②の最大配置間隔 300mm は、収縮ひび割れに対する用心鉄筋としての配慮であることから、収縮が収束していると考えられる部材の補強ではこの規定を外すことができる。

島根 2 号機において PHb 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、PHb 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 に「(4) Ⅳ. 部材諸元, Ⅴ. 載荷方法」と併せて示す。

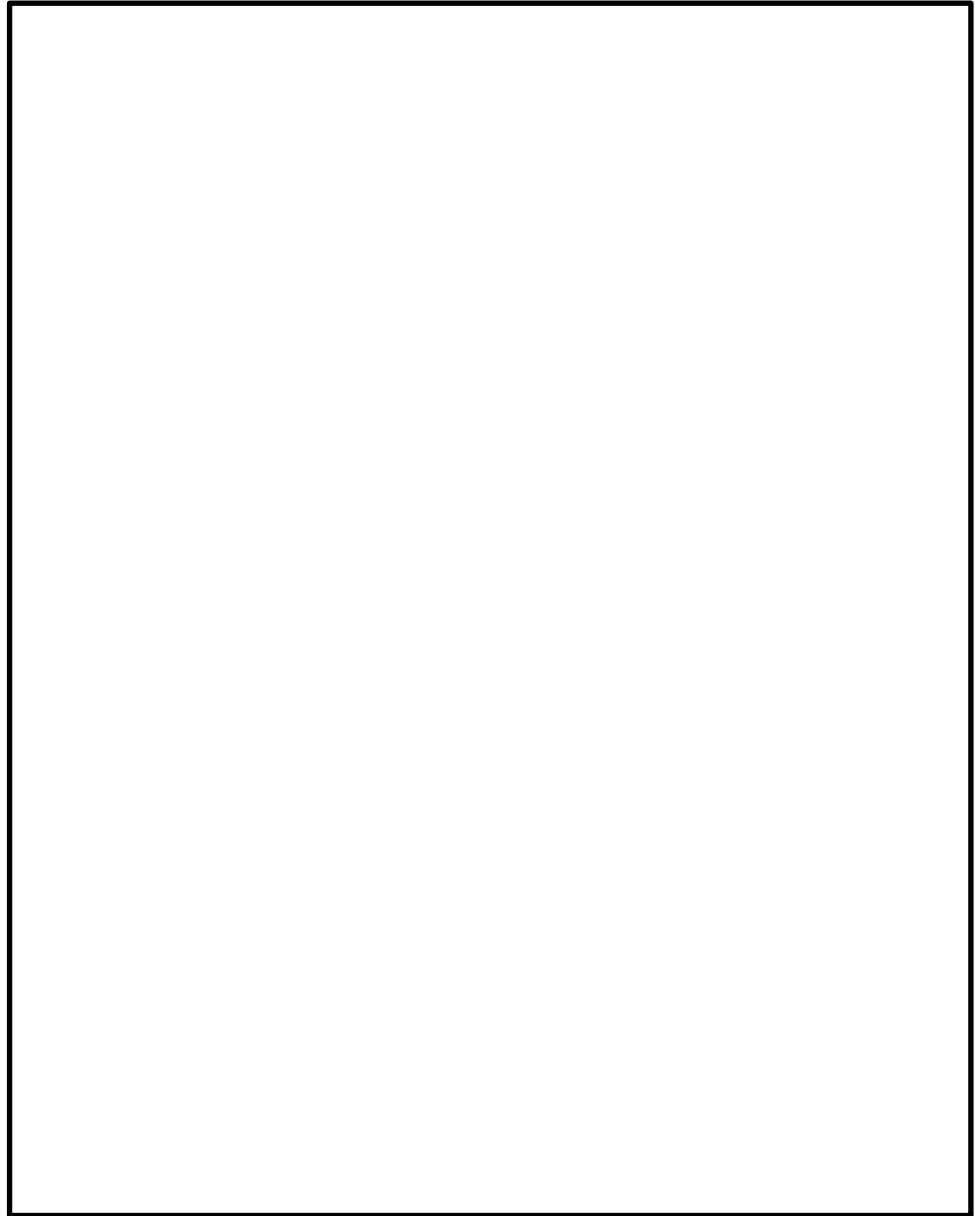


図 4-3 PHb 標準配置 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(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, PHb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に示す。

せん断スパン比については, 建設技術審査証明報告書及び先行原子力発電所における審査実績の範囲よりも大きい部材があるが, せん断スパン比が大きい部材は建設技術審査証明報告書で想定している棒部材であり, せん断スパン比が大きくなることによる適用性への影響はないと考えられる。

主鉄筋比については, 取水槽において建設技術審査証明報告書及び先行原子力発電所における審査実績の範囲よりも大きい部材があるが, 取水槽には多くの隔壁があり, 隔壁が耐震壁のように地震力の大半を負担するため, 取水槽の構造部材は短期荷重に対して付着割裂破壊を生じるおそれがない曲げ材であると考えられる。このことから, 主鉄筋比が大きくなることによる適用性への影響はないと考えられる。

また, 載荷方法については, 先行の審査実績において, 集中荷重及び分布荷重が作用する部材に対する適用性が実証されていることから, 適用範囲内であると考えられる。

部材厚については, 建設技術審査証明報告書及び先行原子力発電所における審査実績の範囲よりも小さい部材があることから, 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。



表 4-2 適用範囲の整理結果

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)	せん断スパン比*	Pfbの鉄筋種別	主鉄筋比 (%)	荷重形態
建設技術審査証明書で規定されている適用範囲 建設技術審査証明書の実験から確認した範囲 先行原子力発電所における審査実績 (美浜3号機) 先行原子力発電所における審査実績 (東海第二)	底版	250 861~1,889	1.99~37.75	D22, D25, D29	SD345	分布荷重
	中床版	250 865~941	1.96~15.32	D22, D29	SD345	集中荷重
	側壁	250 623~1,889	1.38~21.20	D22, D25, D29	SD345	分布荷重
	溝流壁	250 1,087	9.11~13.52	D22	SD345	集中荷重
	表壁	250 620~1,887	3.88~51.59	D22, D25	SD345	集中荷重
1号機取水槽	中床版	300 923	4.33~9.99	D19	SD345	集中荷重
	表壁	300 923	5.42~7.26	D29	SD345	分布荷重
復水貯蔵タンク遮断壁	遮断壁	150 420	19.05~28.57	D13	SD345	集中荷重
	補助復水貯蔵タンク遮断壁	115 230	1.74~52.17	D13, D19, D22	SD345	集中荷重
トラス水受入タンク遮断壁	遮断壁	115 230	1.74~52.17	D13	SD345	集中荷重
	遮断壁	115 230	1.74~52.17	D13	SD345	集中荷重

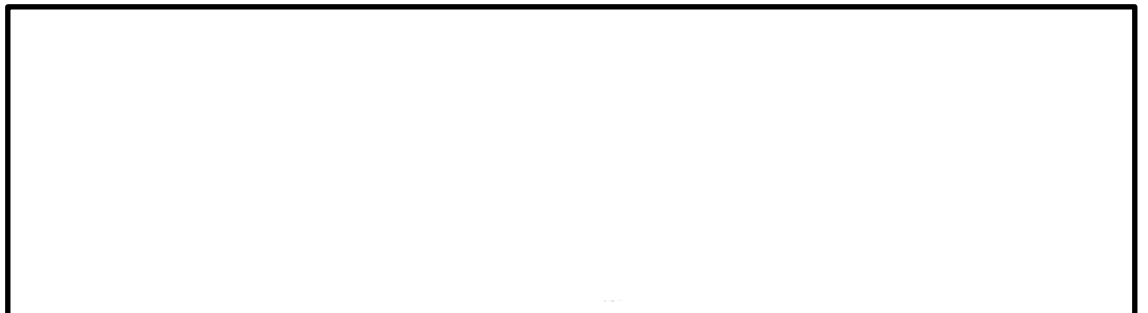
① : フロー② (建設技術審査証明書報告書の適用範囲及び先行原子力発電所における審査実績の確認) より確認できた範囲

② : フロー③ (せん断補強効果の確認) より確認する範囲

注記\*: せん断スパン比 a/d (a: 支間長, d: 有効高さ)

- (5) VI～IX. 使用材料（せん断補強筋，プレート，充てん材，断面修復材）  
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 4-3 参照）

表 4-3 PHb 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）



	建設技術審査証明報告書の材料範囲	使用状況
せん断補強筋 (ねじ節鉄筋)		左記範囲内の材料を使用する。 (D13～D29 SD345)
プレート		SM490 相当の材料を使用する。
充てん材		構造体コンクリート以上の強度とする。
断面修復材		構造体コンクリート以上の強度とする。

- (6) X. 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) XI. 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及び先行原子力発電所における審査実績と、島根 2 号機にて PHb により耐震補強を行った構造物の部材厚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 II. ひび割れに対する定着機能の保持

主鉄筋にSD345を用いている島根2号機においてPHb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 $\mu$ )未満又は応力が降伏強度(345N/mm<sup>2</sup>)未満であることを確認している。

(9) X III. 変形量

PHb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。

建設技術審査証明報告書の梁試験体における層間変形角は0.4%以上程度であるが、島根2号機においてPHbにより耐震補強を行った構造物の層間変形角は最大でも0.06%程度であり、梁試験体の変形量以下に収まっていることを確認している。

(10) X IV. 使用環境

建設技術審査証明報告書に、「橋脚では鋼板巻き立て、RC巻き立て工法等による耐震補強が一般的であるが、これらの補強工法の適用が困難な周辺環境・立地条件下において、「Post-Head-bar」の特徴を活かしたせん断補強が可能となる場合が考えられる。それ以外でも、背面が地盤である橋台のせん断補強や、上下水処理施設の地下部から連続して立ち上がっている地上部の構造物などが考えられる。」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、島根2号機の屋外重要土木構造物等にも適用可能である。

PHbそのものはすべて構造物内に埋設され、かぶり部分によって腐食に対する抵抗性が確保される。また、4.7に記載のとおり、気中及び水中で数多くの施工実績があることが確認できている。

#### 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 ①適用性確認項目の抽出」で抽出した適用性確認項目のうち、「4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲及び先行原子力発電所における審査実績の確認」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（部材厚）
- (2) せん断ひび割れ抑制効果の確認

##### 4.5.2 せん断補強効果の確認

- (1)部材諸元（部材厚）、(2)せん断ひび割れ抑制効果の確認

部材厚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「島根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、部材厚が建設技術審査証明報告書の実験条件と異なっても、PHb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。

#### 4.6 ④PHbの施工精度に影響を与える項目の確認

PHb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

PHb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。

なお、削孔においては表4-5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 4-5 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 拡幅部の削孔長	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 拡幅部の削孔径	ノギスによる計測	設計削孔径以上	

#### 4.6.2 削孔角度

PHb 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、PHb 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 4-6 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 4-6 に示す。削孔角度誤差を換算すると、長さ 1200mm、2400mm は  $0.72^\circ$ 、長さ 3600mm で  $0.66^\circ$  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 4-6 試験概要図

表 4-6 コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果

#### 4.6.3 削孔位置

PHb 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 PHb 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 PHb 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 PHb 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 4-7 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も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。

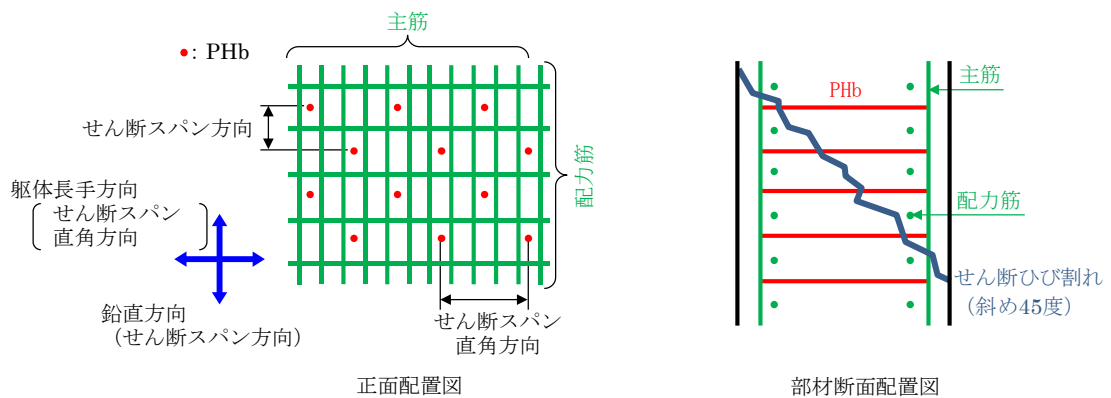


図 4-7 せん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図

#### 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、充てん確認実験により、削孔内に設置した PHb の先端定着部までグラウトが密実に充てんされ、PHb 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充てん確認実験の内容を示す。

充てん性確認実験は、①横向き施工、②上向き施工にて実施されている（図 4-8 参照）。



図 4-8(1) グラウトの充てん確認実験（建設技術審査証明報告書より抜粋）



①横向き施工

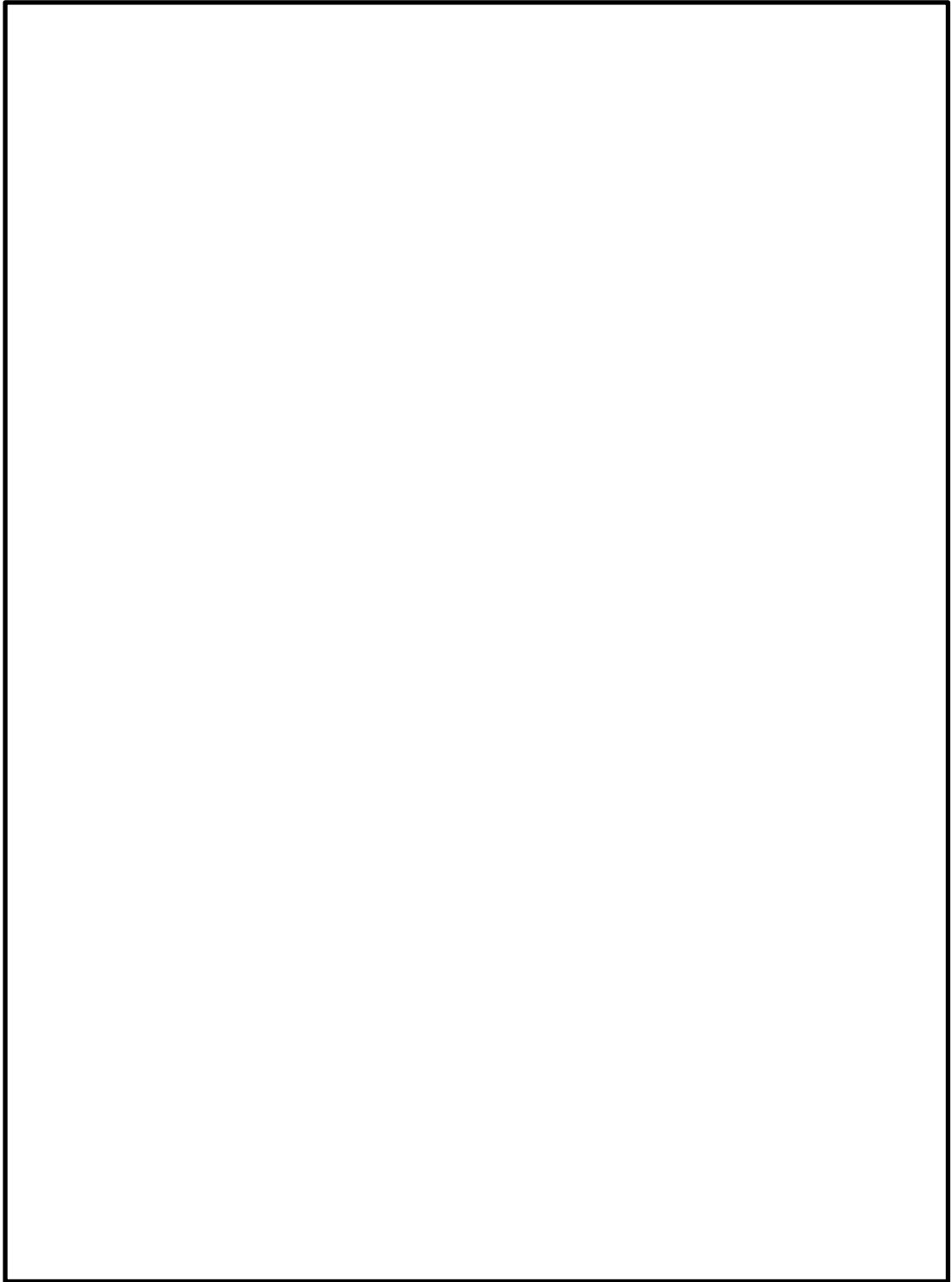


図 4-8(2) グラウトの充てん確認実験 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-64

②上向き施工

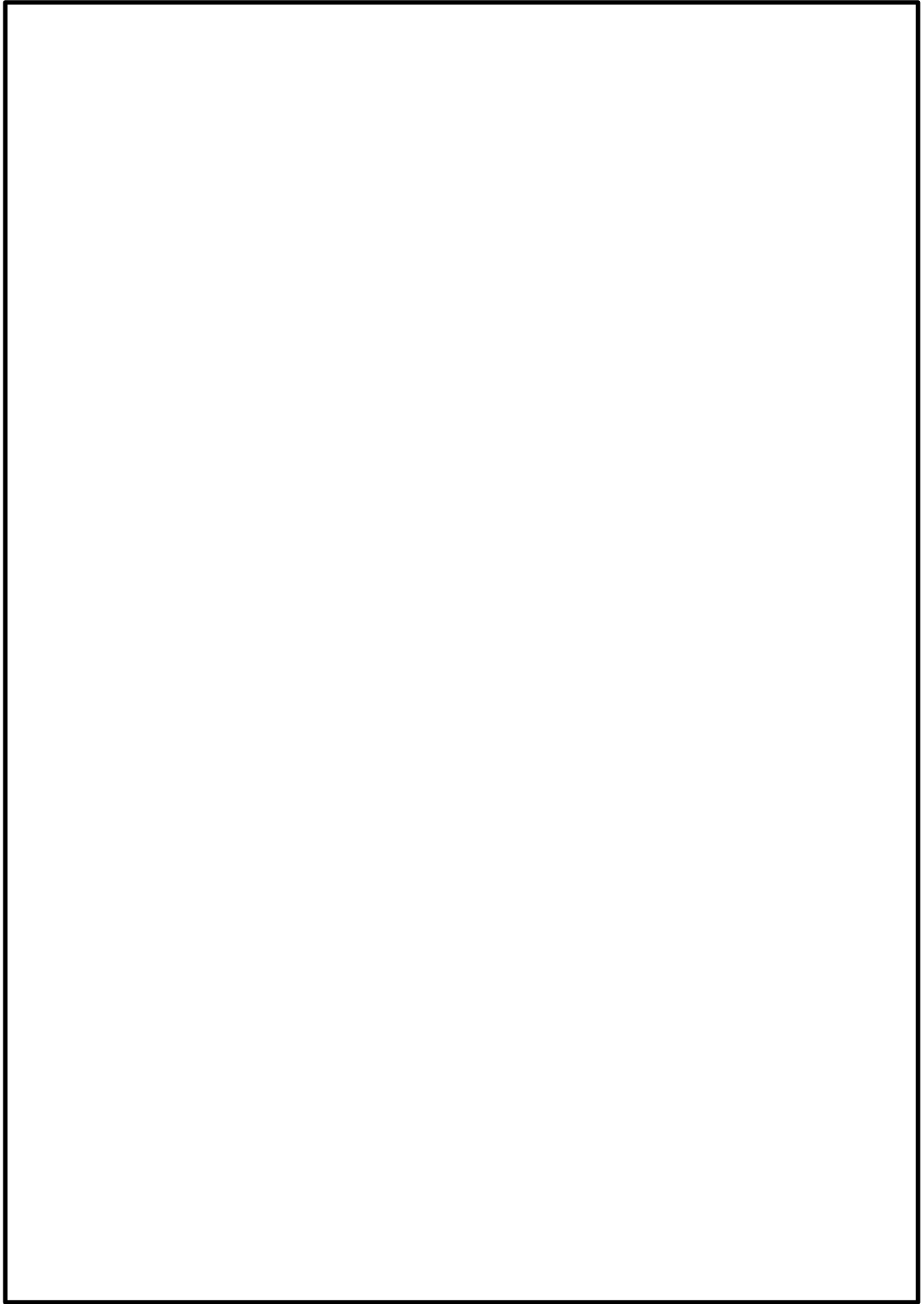


図 4-8(3) グラウトの充てん確認実験 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-1-65

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

PHb 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、PHb 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

PHb の施工実績は、表 4-7 に示すように 2018 年 4 月 1 日までに、道路、浄化センター、ポンプ場、鉄道、浄水場、水門、配水路、発電所・プラントなど施工中案件を含めて 711 件の工事に適用され、119.2 万本以上が施工されている。

表 4-7 PHb の施工実績



PHb 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 4-8 に、鉄筋径ごとに整理した結果を表 4-9 に、使用環境（気中又は水中）ごとに整理した結果を表 4-10 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）。

表に示すとおり、十分に実績のある範囲にあることが確認できる。

表 4-8(1) PHb の施工実績 (部材厚) \*

部材厚(mm)	件数
～500	249
501～1000	504
1001～1500	352
1501～2000	212
2001～	170

注記\* : ハッチング箇所は、島根 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 4-8(2) PHb の施工実績 (部材厚) \*

(上記実績のうち横向き施工)

部材厚(mm)	件数
～500	191
501～1000	335
1001～1500	197
1501～2000	118
2001～	118

注記\* : ハッチング箇所は、島根 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 4-9 PHb の施工実績 (鉄筋の種類) \*

補強鉄筋の種類		件数
SD345	D13	199
	D16	419
	D19	334
	D22	366
	D25	222
	D29	166
	D32	123

注記\* : ハッチング箇所は、島根 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 4-10 PHb の施工実績（使用環境）\*

施工場所	件数
気中	48
水中	694

注記\*：ハッチング箇所は、島根 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

PHb 施工実績のうち、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震において、震度 5 強以上が観測された地域にある、地震発生前に施工された実績若しくは施工中であった実績を抽出した。

東北地方太平洋沖地震及び熊本地震において K-NET 又は KIK-NET で観測された加速度及び PHb を施工した箇所の位置関係を図 4-9 及び図 4-10 に示す。東北地方太平洋沖地震においては、最大震度 6 強、熊本地震においては、最大震度 6 弱の地震を受けた事例があることを確認した。PHb 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。

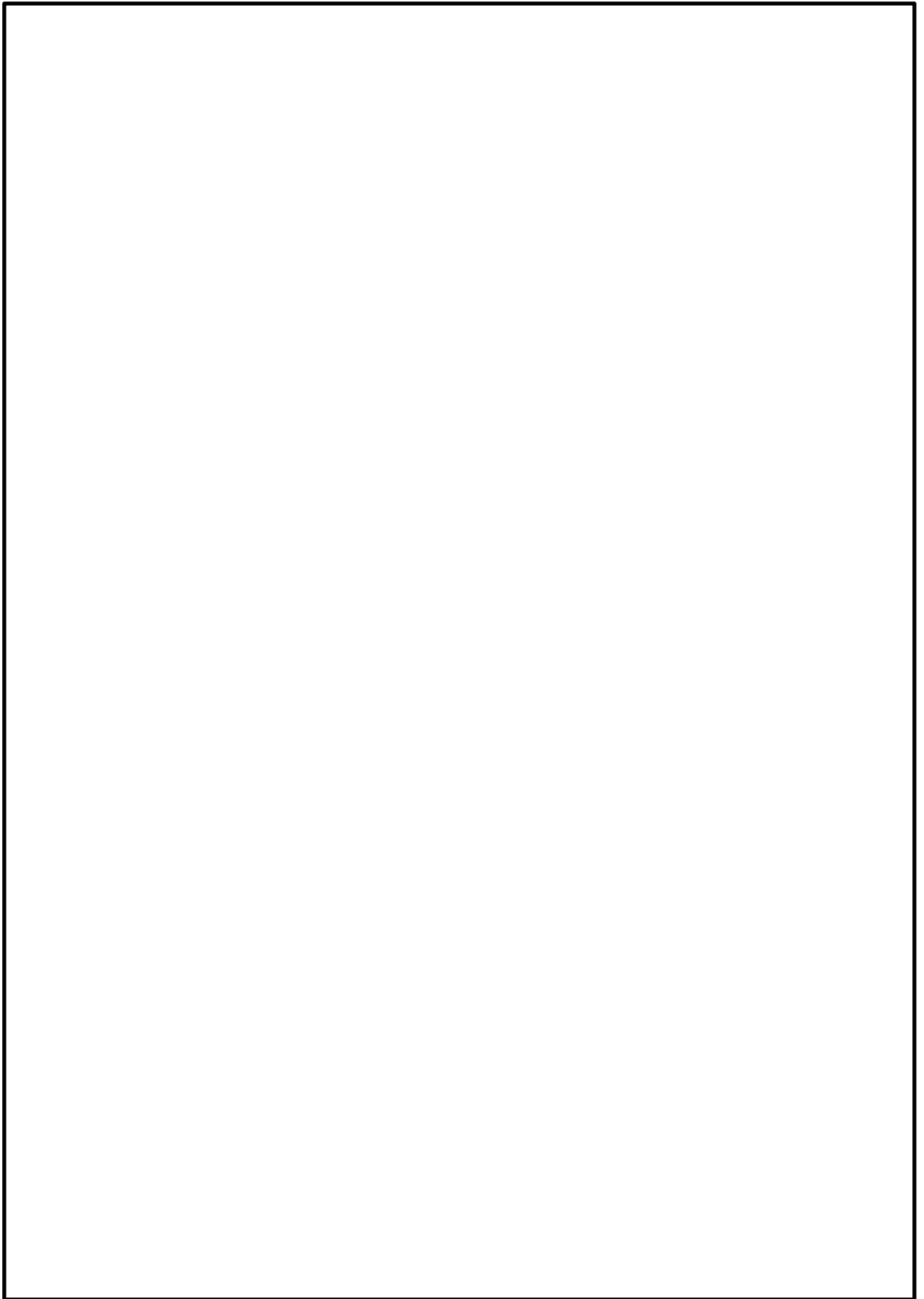


図 4-9 東北地方太平洋沖地震の強震域にある施工実績

(参考) 12-1-71



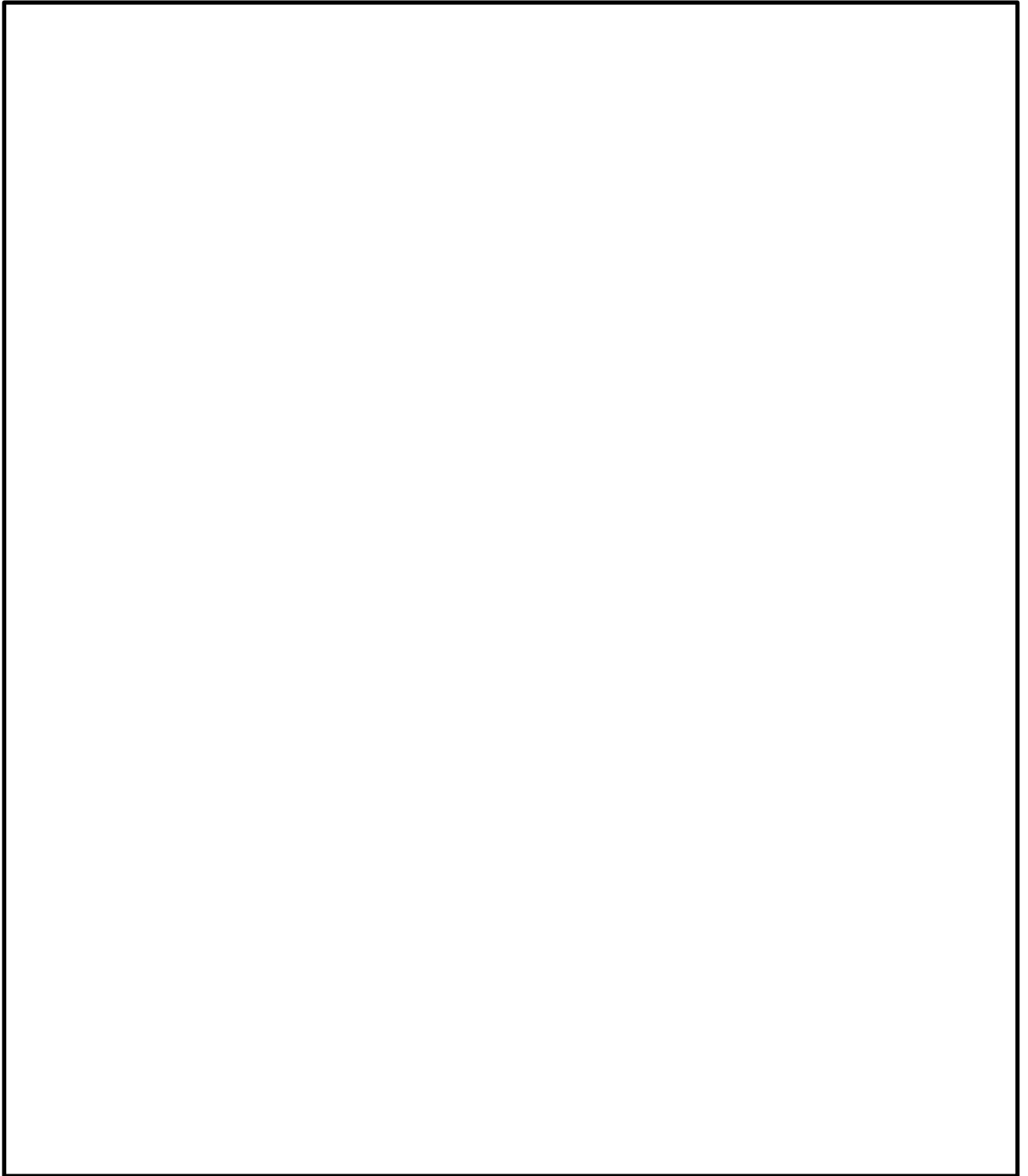


図 4-10 熊本地震の強震域にある施工実績

(参考) 12-1-72

#### 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。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

PHb 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 4-11 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 4-11(1) 後施工せん断補強工法の比較

--

注：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

(参考) 12-1-74

表 4-11(2) 後施工せん断補強工法の比較

--

注：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

#### 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、島根2号機におけるPHb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（PHb）」、「Post-Header（PHb）」の建設技術審査証明報告書を参考文献としている。

###### ◆ 島根2号機におけるPHb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。
- ・ PHb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。

### ◆ 島根 2 号機における PHb 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 PHb 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 PHb 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、PHb 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。
- ・ PHb 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）。

◆ 島根2号機におけるPHb工法への反映事項の確認

- ・ 先施工のせん断補強に対するPHb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。

◆ 島根2号機におけるPHb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。
- ・ 島根2号機においてPHbにより耐震補強を行った部材と同程度又はそれ以上の部材厚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。

### ◆ 島根 2 号機における PHb 工法への反映事項の確認

- ・ 島根 2 号機において PHb 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 PHb 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。
- ◆ 島根 2 号機における PHb 工法への反映事項の確認
  - ・ 島根 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、PHb のモデル化に本解析手法を参考とした。

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。

◆ 島根 2 号機における PHb 工法への反映事項の確認

- ・ PHb 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。

◆ 島根 2 号機における PHb 工法への反映事項の確認

- ・ PHb 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。

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、島根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、PHb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、PHb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 島根2号機におけるPHb工法の保守性と設計上の制限の整理

島根2号機において、PHb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 PHb工法の保守性

建設技術審査証明報告書において、図4-11のとおりせん断耐力の設計計算値と比較して、せん断耐力の実験値が大きかった結果が示されている。このことから、設計においてPHbが負担するせん断耐力を算出する際に乗じる有効係数 $\beta_{aw}$ （PHbのせん断耐力の補強効果を示す有効係数）を用いることで、せん断耐力を安全側に評価することができる。

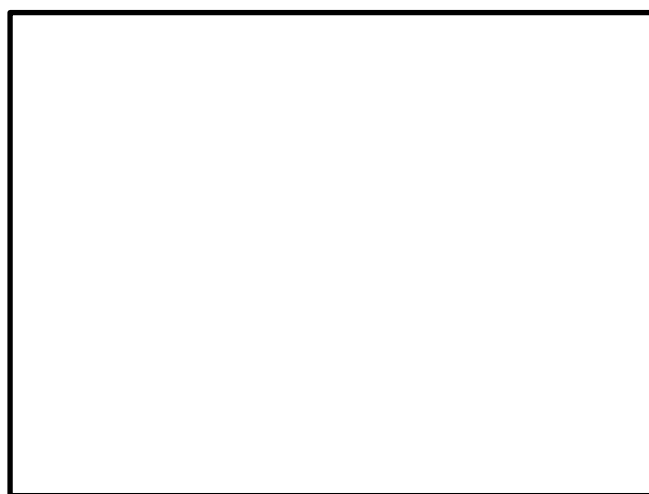


図4-11 有効係数 $\beta_{aw}$ の保守性

##### 4.8.2 島根2号機においてPHb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PHb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 島根2号機においてPHbにより耐震補強を行うにあたっての設計上の制限

島根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 $1725\mu$ 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PHb工法を使用する。

また、かぶりコンクリートの剥落によってPHbの定着機能を阻害するおそれがあることから、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PHb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。

PHbの施工において、施工精度の低下が生じる可能性は低い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おおむね0.8程度に抑える）を持たせた設計を行う。

#### 4.8.4 PHb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

4.8.1～4.8.3 に示す，島根 2 号機において PHb 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 4-12 に示す。

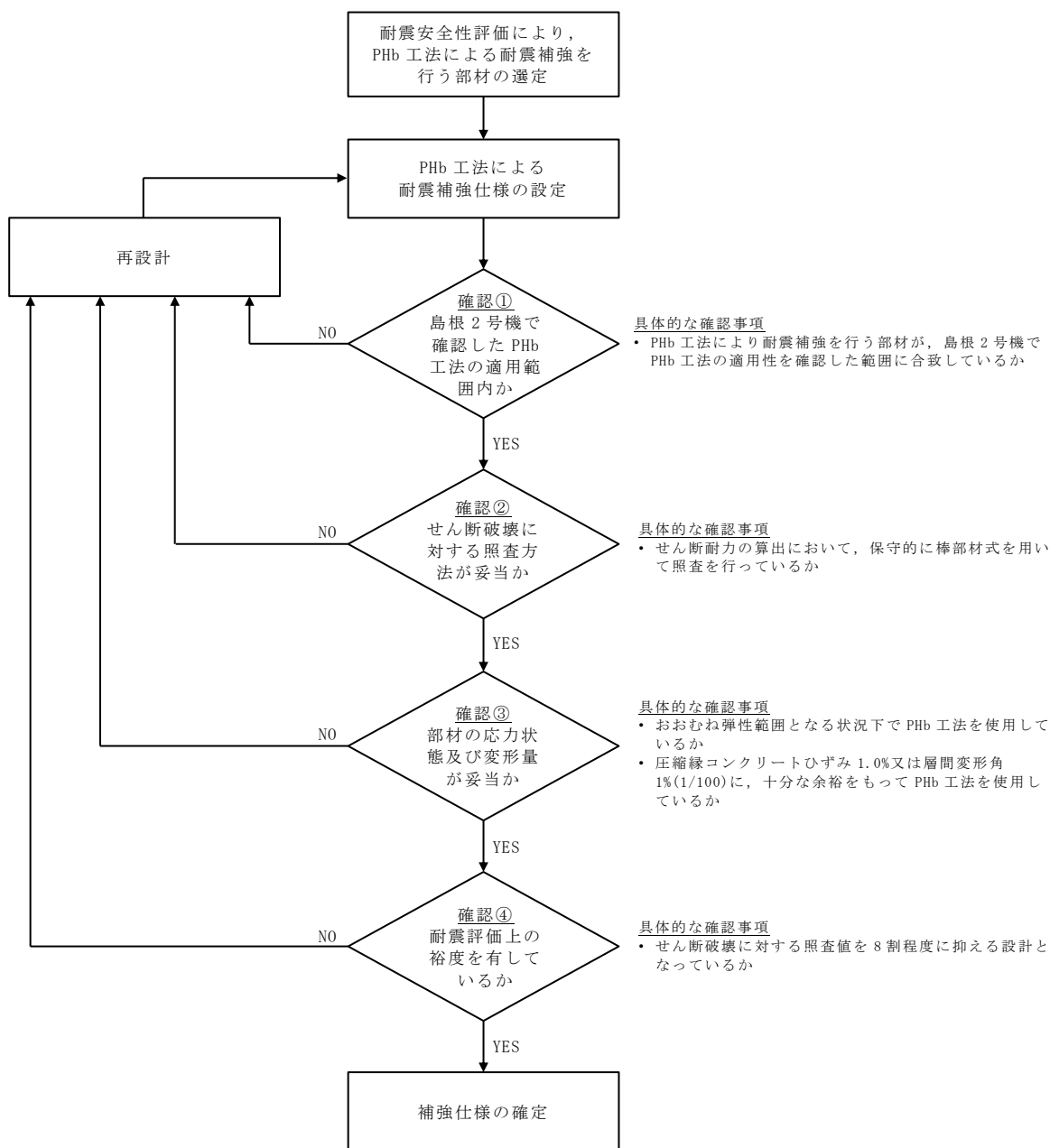


図 4-12 PHb 工法によるせん断補強の設計検討フロー



#### 4.9 PHb の適用性確認結果

島根 2 号機において PHb により耐震補強を行った構造物の補強仕様について、4.1 に従い PHb 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。

建設技術審査証明書



## 建設技術審査証明書

建技審証第 0522 号

**技術名称** 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋  
**「Post-Head-bar」**

(開発の趣旨)  
 せん断補強を構造物の内側からしか行うことができない供用中の既設構造物に対して、部材の片側からのみの施工が可能で、かつ、せん断耐力のみを向上して、せん断耐力を向上させ、せん断破壊モードから曲げ破壊モードに移行させることができる後施工せん断補強鉄筋を提供する。

(開発目的)

- (1) 力学的性能
  - 1) 後施工せん断補強鉄筋の定着性能  
後施工せん断補強鉄筋の実降伏荷重を發揮するために必要な円形プレート側の定着長が、鉄筋の種類および呼び名に応じて設定できること。
  - 2) 施工後のせん断耐力  
「Post-Head-bar」のせん断耐力への寄与分は、新設構造物に一般に用いられている半円形フックタイプのせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力の算定方法において「Post-Head-bar」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および「Post-Head-bar」の円形プレート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。また、せん断スパン比の小さい部材に対しても、SD345 以上の「Post-Head-bar」により補強した場合には、せん断スパン比が小さい部材に適用されるせん断耐力算定式に「Post-Head-bar」の有効係数を用いて評価できること。
  - 3) 施工後の変形性能  
新設構造物で一般に用いられる半円形フックタイプのせん断補強鉄筋を用いた部材の軸方向鉄筋の座屈が生じるまでの変形レベルと同等のじん性を確保されること。補強後の部材の骨格曲線は、補強後の合計せん断補強鉄筋量に上限値を考慮して設定した量のせん断補強鉄筋が配置された部材として算定できること。
- (2) 施工性
  - 1) 適用部材  
背面に地盤や水、機器などの障害物などがあるような制約のある施工条件においても、構造物の片側からのみの施工によりせん断補強できること。
  - 2) 施工の容易性と迅速性の評価  
狭い空間や複雑な部位においても、大型機材を必要とせず、かつ、短時間に施工できる作業の容易さがあること。

一般財団法人土木研究センターの建設技術審査証明事業実施要領に基づき、依頼のあった標記の技術について下記のとおりに証明する。

2005 年 12 月 21 日 2010 年 12 月 21 日 2011 年 8 月 22 日 2015 年 12 月 21 日	2016 年 10 月 17 日 2018 年 6 月 18 日 2020 年 12 月 21 日
内容変更・更新 内容変更 内容変更 更新	内容変更 内容変更 内容変更・更新

建設技術審査証明事業実施機関

**一般財団法人 土木研究センター**

理事長 **常田 賢一**

記

1. 審査証明の結果  
 「Post-Head-bar」は以下の性能を有することが確認された。
  - (1) 力学的性能
    - 1) 後施工せん断補強鉄筋の定着性能  
後施工せん断補強鉄筋の実降伏荷重を發揮するために必要な円形プレート側の定着長が、鉄筋の種類および呼び名に応じて審査証明報告書に示す値で設定できることが確認された。
    - 2) 施工後のせん断耐力  
「Post-Head-bar」のせん断耐力への寄与分は、新設構造物に一般に用いられている半円形フックタイプのせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力の算定方法において「Post-Head-bar」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および「Post-Head-bar」の円形プレート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。ただし、有効係数の上限値は 0.9 とする。せん断スパン比が小さい部材に対しても、SD345 以上の「Post-Head-bar」により補強した場合には、せん断スパン比が小さい部材に適用されるせん断耐力算定式に「Post-Head-bar」の有効係数を用いて評価できることが確認された。
    - 3) 施工後の変形性能  
新設構造物で一般に用いられる半円形フックタイプのせん断補強鉄筋を用いた部材の軸方向鉄筋の座屈が生じるまでの変形レベルと同等のじん性を確保されることが確認された。  
補強後の部材の骨格曲線は、補強後のせん断補強鉄筋と「Post-Head-bar」を合わせた実配筋に対し、変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の設定値に上限を設けた部材として算定できることが確認された。
  - (2) 施工性
    - 1) 適用部材  
背面に地盤や水、機器などの障害物などがあることで片側からしか施工できない RC 部材に対しても、せん断補強できることが確認された。
    - 2) 施工の容易性と迅速性の評価  
狭い空間や複雑な部位においても、大型機材を必要とせず、かつ、短時間に施工できる作業の容易さがあることが確認された。
2. 審査証明の前提
  - (1) 本審査証明は、依頼者からの試験データ等の資料を基に審査し、確認したものである。
  - (2) 「Post-Head-bar」は、所定の材料を用いて、適正な品質管理のもとで製造されるものとする。
  - (3) 「Post-Head-bar」は、適正な補強設計によって計画されるものとする。
  - (4) 「Post-Head-bar」は、適正な機材および施工手順によって設置されるものとする。
  - (5) 「Post-Head-bar」は、適正な管理のもとで施工されるものとする。
3. 審査証明の範囲
  - (1) 地盤時の変形量が限定される地中構造物など、背面に地盤などがあり片側からしか施工できない制約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。
  - (2) 渠、水門、橋台や橋脚等の既設の平地下および地上構造物に適用する場合には、地中構造物の場合と同様にせん断補強の目的で用いるものとし、現状で曲げ破壊モードにある構造物の変形性能の更なる改善を目的とする補強に用いてはならない。せん断補強により 2 次的に得られる変形性能を考慮する場合には、変形の応答値は変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の上限を「Post-Head-bar」の矩形プレート側で 0.30%、円形プレート側で 0.15% として求めた部材の骨格曲線の範囲内に限定する。
  - (3) 板で支持される橋脚のフーチングのようなせん断スパン比の小さい部材に対して、後施工によるせん断補強の目的で用いる。
  - (4) 「Post-Head-bar」を配置するせん断スパン方向の最大間隔は、補強対象部材の有効高さの 1/2 倍以下とする。なお、補強面の構造物内に配置されているステークアップ等の位置が明確であれば、それらの鉄筋を考慮してもよいものとする。
  - (5) 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔 (d - d') と円形プレート側の必要定着長 l<sub>1</sub> について、片端型プレート型「Post-Head-bar」の場合は (d - d') ≥ l<sub>1</sub>、両端円形プレート型「Post-Head-bar」の場合は (d - d') ≥ 2l<sub>1</sub> を満たす場合に適用できる。ただし、鉄筋の呼び名が D32 の両端円形プレート型「Post-Head-bar」については、(d - d') ≥ 700mm も満たす場合に限り適用できる。
  - (6) 適用可能な既孔長の標準値は斜向き施工・下向き施工で 9m 以下、上向き施工で 3.5m 以下とし、大型構造物などでこれよりも長くなる部材へ適用する場合には、別途施工試験を行ってモルタル充填性などを確認する。
4. 審査証明の詳細：建設技術審査証明報告書
5. 審査証明の有効期限：2025 年 12 月 20 日
6. 審査証明の依頼者

**大成建設株式会社**  
所在地：東京都新宿区西新宿 1-25-1

**成和リニューアルワークス株式会社**  
所在地：東京都港区六本木 1-6-1

## 島根 2 号機における部材諸元他の適用性の検討

## 1. はじめに

PHb による補強効果については、建設技術審査証明報告書の各種実験にて検証している。ここでは、島根 2 号機において PHb により耐震補強を行った補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁の部材厚が建設技術審査証明報告書に記載の実験で用いられた部材厚よりも薄い場合においても、せん断ひび割れを抑制し、せん断補強効果を期待できることを材料非線形解析を用いた数値実験により確認する。

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

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

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

## 2. せん断補強効果の確認

## 2.1 検討方針

PHb を考慮した材料非線形解析により力学的挙動を確認し、島根 2 号機において PHb により耐震補強を行った構造物への PHb 工法の適用性をステップ①、②により確認する（図 2-1 参照）。

なお、従来工法である先施工のせん断補強筋を想定した材料非線形解析も比較ケースとして実施する。

## 2.1.1 ステップ①：PHb の解析上のモデル化方法の確認

材料非線形解析を実施するにあたり、PHb の解析上のモデル化方法を確認する。

PHb は従来工法（先施工）のせん断補強筋と異なり、PHb とコンクリート間の付着により定着していることから、PHb 工法は従来工法よりも定着性能が劣るものと仮定し、PHb のモデル化方法の妥当性を確認する。モデル化は、前川らによる「せん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（コンクリート工学年次論文集 Vol. 26, No. 2, 2004）（以下「前川ら」という。）を参考に、せん断補強筋が機能しない区間（無効区間：要素内鉄筋比をゼロとする区間）を設定することとしている。

モデル化方法の妥当性は、建設技術審査証明報告書のせん断耐力実験を対象に解析モデルを作成し、実験結果と解析結果のせん断耐力の比較により確認する。

- 2.1.2 ステップ②：建設技術審査証明報告書の実験よりも小さな部材厚に対する適用性の確認
- 島根2号機のPHbにより耐震補強を行った構造物のうち、最も部材厚の小さい補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁（ $t=300\text{mm}$ ）を想定して材料非線形解析を行い、実験よりも小さな部材厚に対する適用性を確認する。適用性の確認は、ステップ①とステップ②により行う。

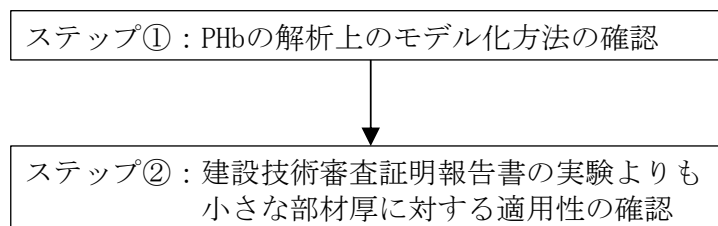


図2-1 島根2号機における部材諸元他の適用性確認フロー

### 3. ステップ①：PHbの解析上のモデル化方法

PHbの定着効果及び付着効果を考慮したモデル化方法の妥当性の確認を目的に、建設技術審査証明報告書の実験で用いた試験体をモデル化し、材料非線形解析を行う。

モデル化の対象とする試験体はPHb先端位置が主鉄筋手前であり、島根2号機の施工実績と合致するCASE5を選定する。図3-1に試験体（CASE5）の諸元を示す。

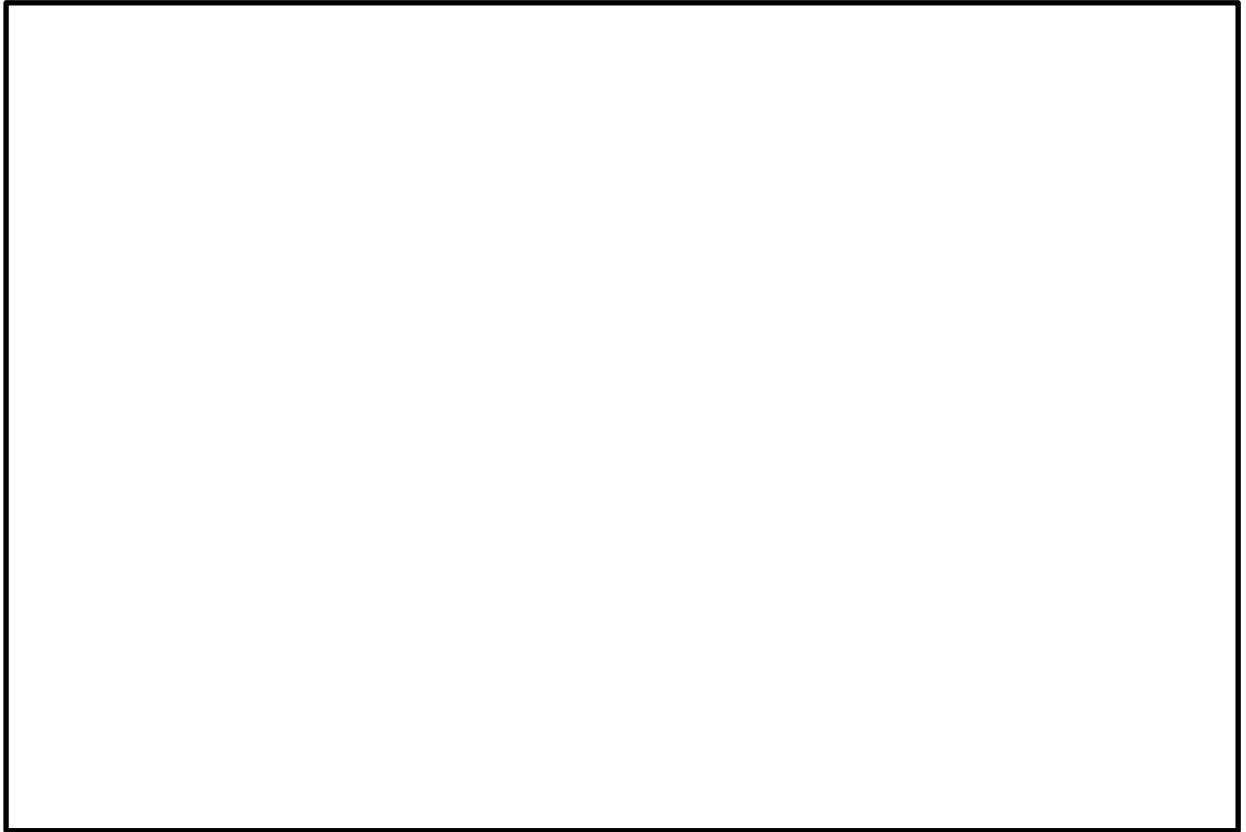


図3-1 試験体 (CASE 5) の諸元  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

### 3.1 PHb の定着効果のモデル化

PHb のせん断補強効果を確認するための材料非線形解析による数値実験において、PHb 先端の領域では先施工より定着性能が劣る可能性があることから、せん断補強筋が機能しない(無効区間)ものとしてPHbのモデル化を行う。せん断補強筋の無効区間の設定に関する考え方は、前川らの論文を参照しており、せん断補強筋の定着不良を有する部材のせん断耐力評価は、材料非線形解析を用いてせん断補強筋の無効区間を設けることで評価可能であることが示されている。

#### 3.1.1 前川らの検討内容

前川らは、せん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の確認を目的に、実験的検証に加え材料非線形解析による定着不良部のモデル化について検討している。せん断補強筋の定着不良を模擬するため、せん断補強筋端部近傍の定着を効かなくした梁に対する実験を行い、その実験の再現として、せん断補強筋の定着不良部を鉄筋無効区間として要素内鉄筋比をゼロとした材料非線形解析を行うことで、実験のせん断耐力を評価することが可能であることを示している。



### 3.1.2 モデル化方法

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

PHb のモデル化は、PHb 先端の領域では定着が十分ではない可能性があるため、せん断補強筋が機能しない（無効区間）ものとして、せん断補強鉄筋比をゼロとしてモデル化する（図 3-2 参照）。

無効区間は、以下のとおり、PHb 先端側の主筋領域（芯かぶりの 2 倍： $70\text{mm} \times 2 = 140\text{mm}$ ）とした。

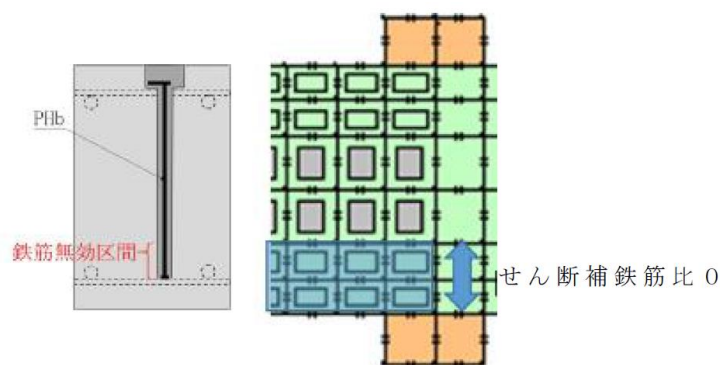


図 3-2 PHb のモデル化概念図

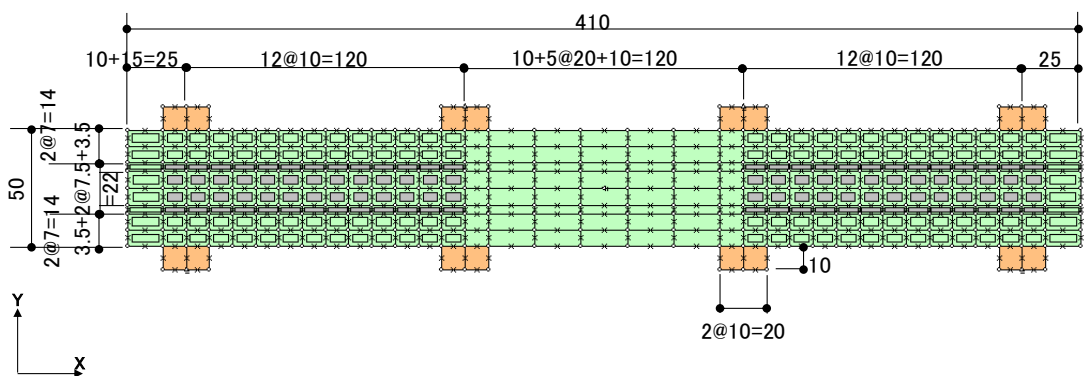
また、解析の入力データとなるコンクリートの材料特性及び鉄筋の材料特性を、表 3-1 及び表 3-2 に示す。これらの条件により設定した解析モデル図を図 3-3 に示す。

表 3-1 コンクリートの材料特性

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

表 3-2 鉄筋の材料特性

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



(単位 : cm)

図 3-3 解析モデル図

### 3.1.3 荷重条件

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

### 3.1.4 破壊判定基準

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

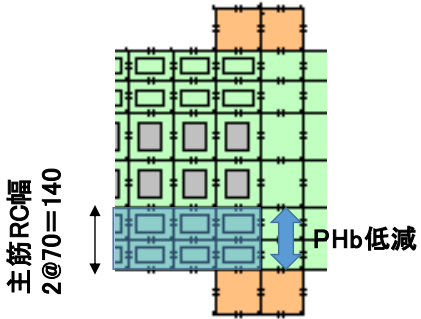
### 3.1.5 妥当性の確認

定着効果のモデル化の妥当性は、建設技術審査証明報告書の梁試験の結果から得られるせん断耐力と材料非線形解析より得られるせん断耐力を比較し、試験のせん断耐力を再現できているかにより確認を行う。

表 3-3 に単調荷重を行った解析結果を、試験体 (CASE 5) の実験結果を図 3-4 に示す。表 3-3 に示すとおり、材料非線形解析により PHb をモデル化することで、試験のせん断

耐力を良好に再現できることを確認した。また、PHb を材料非線形解析でモデル化する際、主筋領域（芯かぶりの2倍分）相当を目安として鉄筋無効区間としてモデル化することで、保守的な評価が可能であることを確認した。なお、従来の先施工によるせん断補強鉄筋を考慮した場合の材料非線形解析も併せて実施することにより PHb の有効性を確認することとする。

表 3-3 モデル化の妥当性確認結果

PHb のモデル化	実験のせん断耐力 (kN)	解析によるせん断耐力 (kN)
 <p>主筋RC幅 2@70=140</p> <p>PHb低減</p> <p>無効区間：PHb 先端側の主筋領域 (芯かぶりの2倍：70mm×2=140mm)</p>	486kN	476kN（実験値の98%）



荷重－変位関係

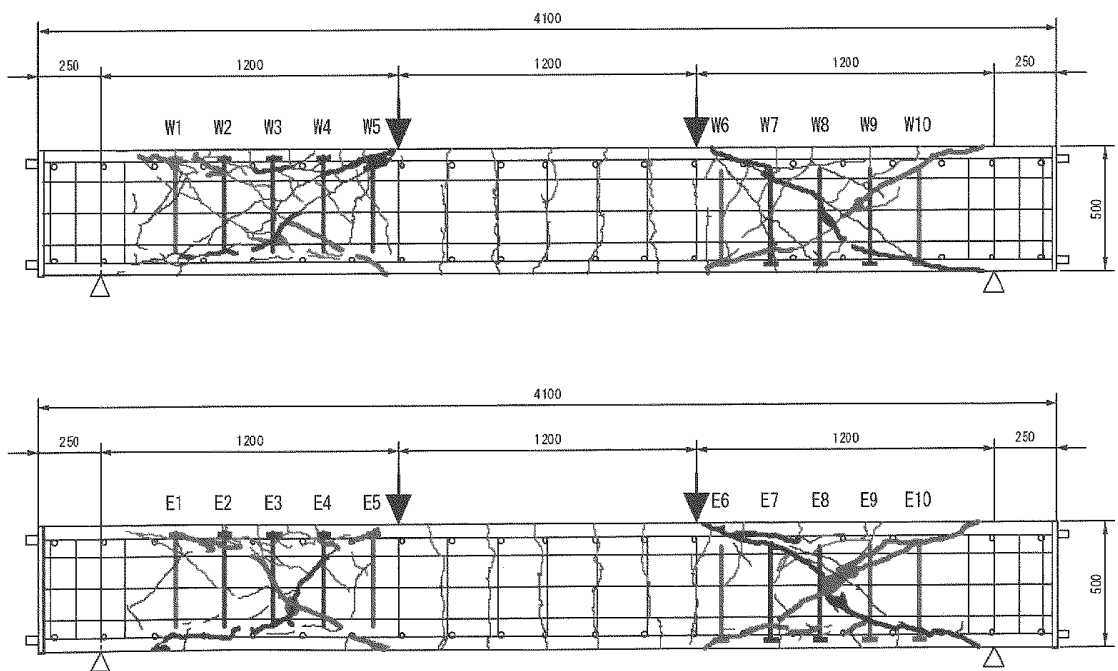
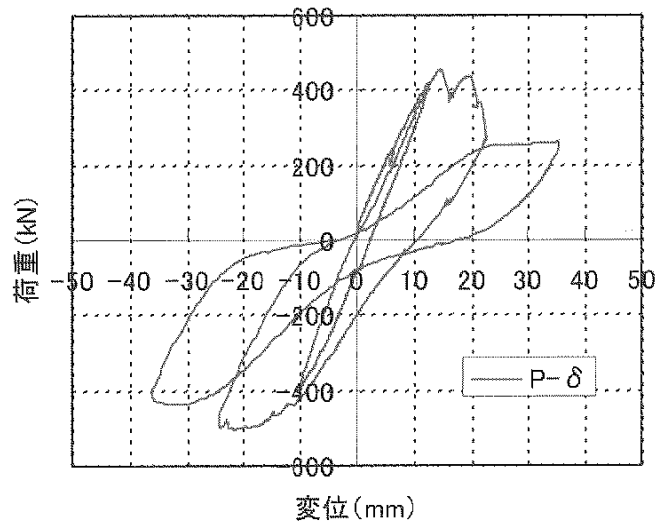
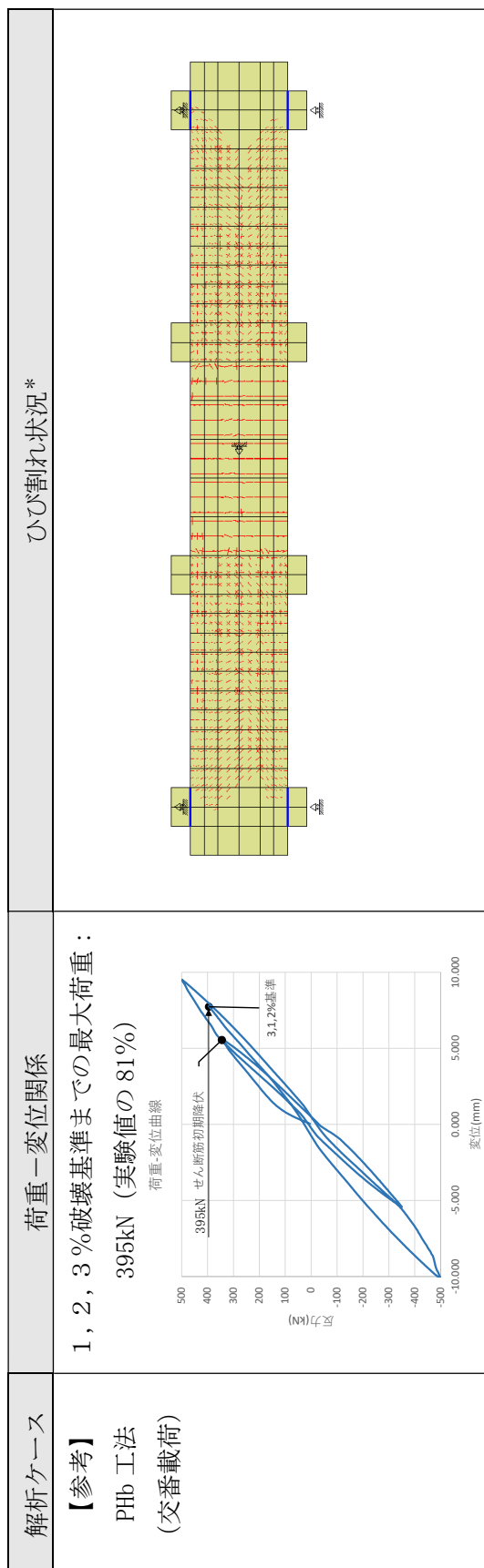


図 3-4 構造実験 (CASE 5) の荷重-変位関係とひび割れ状況  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

また、建設技術審査証明報告書の実験では交番载荷が行われていることから、参考として交番载荷を行った解析結果を表 3-4 に示す。表 3-4 に示すように、ひび割れ状況は部材全体にひび割れが分散しており、特異な状況は確認されなかった。なお、荷重の再現性は表 3-3 に示すように単調载荷により確認されており、せん断耐力は良好に再現されている。

表 3-4 試験体 CASE 5 (交番载荷)の荷重-変位関係とひび割れ状況【参考】



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

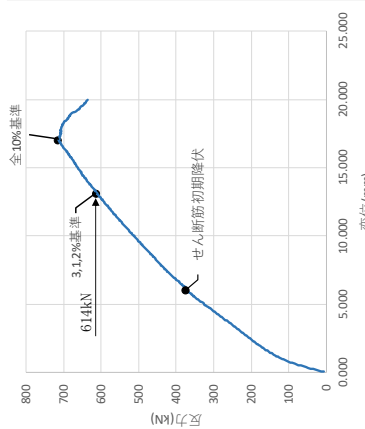
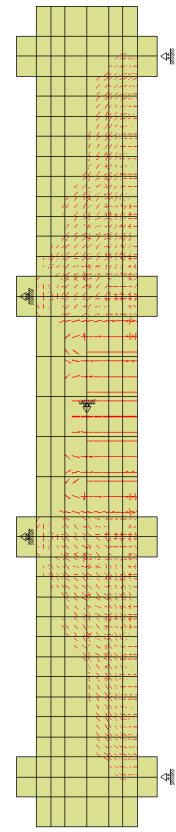
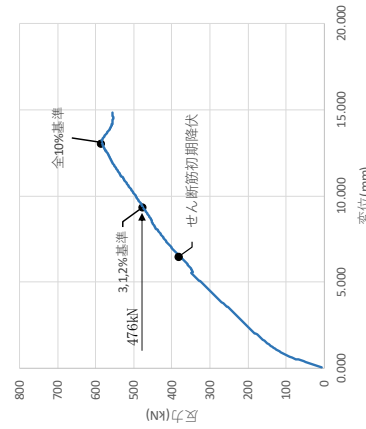
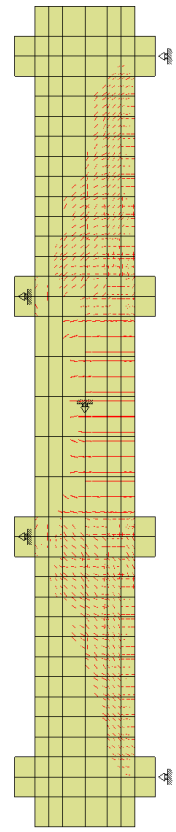
### 3.1.6 従来工法と PHb 工法の材料非線形解析の比較

従来工法（先施工）と PHb 工法の材料非線形解析の比較を行う。解析結果を表 3-5 に示す。

せん断耐力の実験値（CASE 5：486kN）に対して，従来工法を想定した解析結果では，PHb の定着不良領域（無効区間）を設定していないことから，せん断耐力が PHb の実験値を上回っていることが確認できる。また，PHb 工法を想定した解析結果では，せん断耐力は実験をおおむね再現できていることがわかる。

次に，ひび割れ状況を従来工法と PHb 工法で比較すると，PHb 工法はひび割れの分散性が若干低下しているが，これは無効区間の設定方法について参考とした前川らの論文においても同様の傾向が確認できており，PHb の定着不良域（無効区間）を適切にモデル化できている。

表 3-5 従来工法と Phb 工法の材料非線形解析結果

解析ケース	荷重-変位関係	ひび割れ状況*
従来工法	<p>1, 2, 3%破壊基準までの最大荷重：614kN</p> 	
Phb 工法	<p>1, 2, 3%破壊基準までの最大荷重： 476kN (実験値の98%)</p> 	

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

### 3.2 PHb の付着効果のモデル化

3.1 と同様に、PHb とコンクリート間の付着効果の妥当性の確認を行う。付着効果の妥当性は、建設技術審査証明報告書の実験結果と実験を模擬した材料非線形解析の結果のひび割れ状況の比較により確認する。

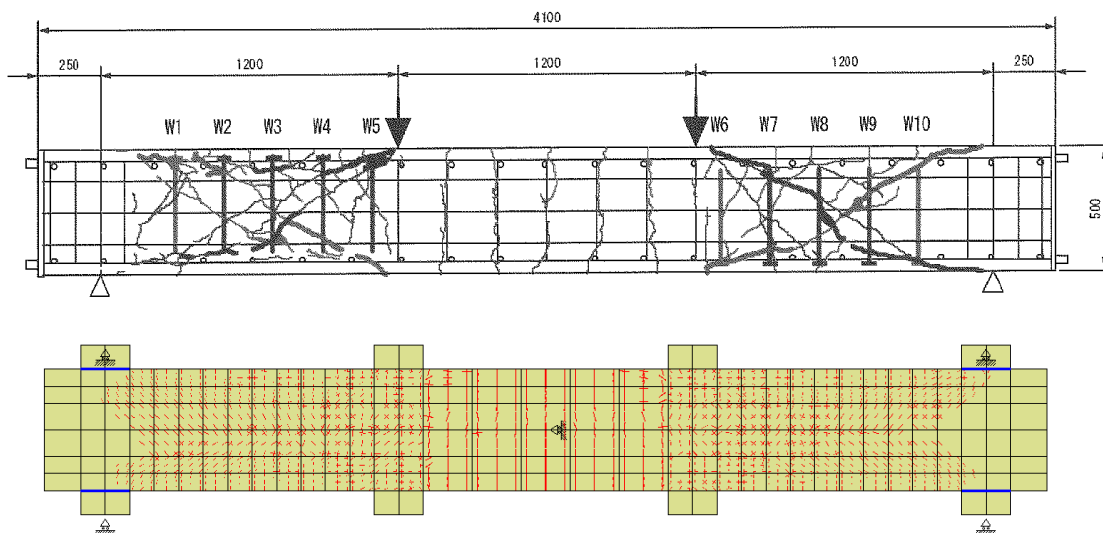
#### 3.2.1 モデル化方法

PHb のせん断補強効果を確認するための材料非線形解析による数値実験において、PHb の付着が有効な領域は鉄筋コンクリート要素にて、PHb とコンクリートが完全付着であるものとしてモデル化しており、付着の影響が及ばない領域は無筋コンクリート領域としてモデル化している。定着部の強度試験より、PHb とコンクリートの定着部で破壊は生じないことから、鉄筋コンクリートの分散ひび割れモデルにおいて、ひび割れの影響は鉄筋コンクリート要素の剛性を低下させることにより考慮している。

#### 3.2.2 妥当性の確認

付着効果のモデル化の妥当性の確認は、建設技術審査証明報告書の試験体 CASE 5 を例に交番載荷試験の結果と材料非線形解析による PHb の無効区間を考慮し試験の再現解析結果の比較により行う。交番載荷試験と材料非線形解析のひび割れ状況の比較結果を図 3-5 に示す。

図 3-5 に示すように、PHb とコンクリートが付着していると仮定した解析結果は、ひび割れ状況を良好に再現できていることが確認できる。



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

図 3-5 試験結果と解析結果のひび割れ状況の比較

### 3.2.3 PHb の解析上のモデル化方法のまとめ

PHb の解析上のモデル化方法について、PHb の定着効果及び付着効果を材料非線形解析によるせん断耐力の再現性や実験と解析のひび割れ状況の整合性の観点から確認を行った。

その結果、PHb 先端側主筋領域（芯かぶりの2倍）の鉄筋比をゼロとするモデル化を行うことで、実験のせん断耐力やひび割れ発生状況を良好に再現できることを確認した。ここで採用した材料非線形解析では分散ひび割れモデルを用いており、PHb に発生したひび割れによる付着性能の低下を完全に模擬することはできないが、今回採用したモデル化により実験のせん断耐力やひび割れ状況を十分に再現できており、PHb の定着効果及び付着効果を間接的に表現し得ることが確認できた。

## 4. ステップ②：小さな部材厚に対する適用性確認

### 4.1 モデル化について

建設技術審査証明報告書の実験よりも小さな部材厚に対する適用性の確認を目的に、島根2号機においてPHb工法を適用した構造物のうち最も部材厚が小さい補助復水貯蔵タンク遮蔽壁及びトラス水受入タンク遮蔽壁（ $t=300\text{mm}$ ）を想定し、せん断スパン比（ $a/d$ ）がステップ①と同等となるような部材寸法（ステップ①の躯体の相似形）の解析モデルにより材料非線形解析を行う。配筋は、主鉄筋及びせん断補強筋共に鉄筋比が一定となるように、3.1.2に準じて設定する。PHbのモデル化は、ステップ①と同様の方法とし、材料物性については、構造実験と同一とする。

適用性の確認は、従来工法とPHb工法の材料非線形解析におけるひび割れ状況の比較を行うと共に、解析から得られる有効係数 $\beta_{aw}$ と、建設技術審査証明報告書に記載された計算式に基づく設計計算値である $\beta_{aw}$ を比較することにより確認する。解析モデル図を図4-1に示す。

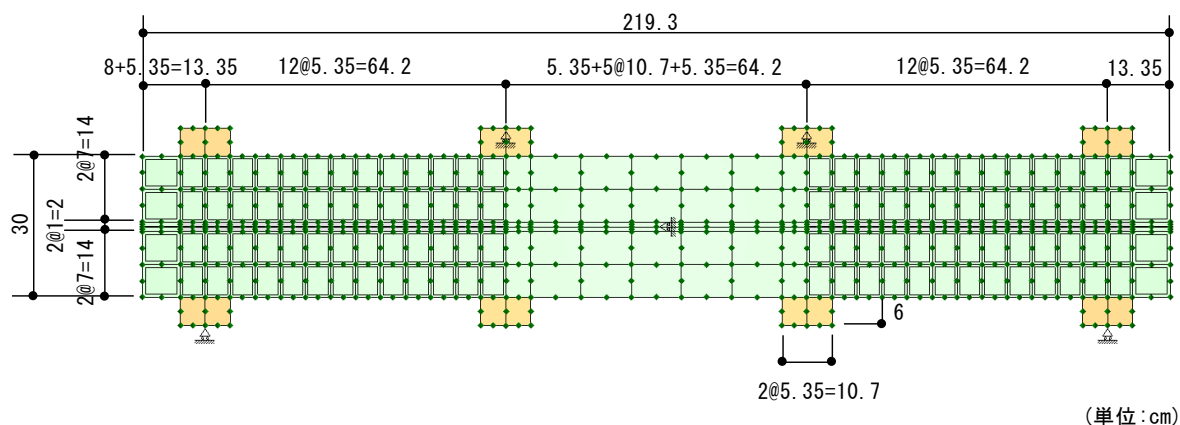


図4-1 解析モデル図

#### 4.2 荷重条件

3.1.3 に準じて設定する。

#### 4.3 破壊判定基準

3.1.4 に準じて設定する。

#### 4.4 検討ケース

検討ケースは、表 4-1 に示すとおり 3 ケースとする。従来工法によるせん断補強を想定したケースをケース②-A、PHb 工法によるせん断補強を想定したケースをケース②-B とし、参考ケースとして交番載荷としたケースをケース②-C とする。

表4-1 検討ケース一覧

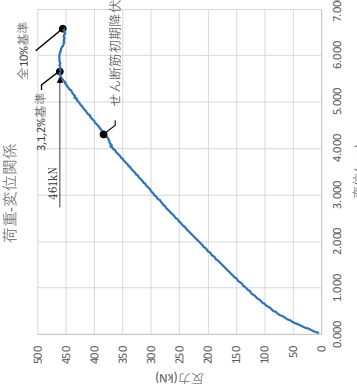
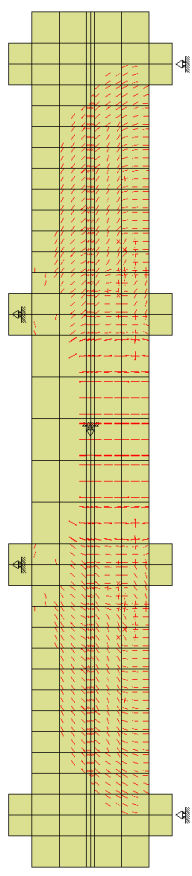
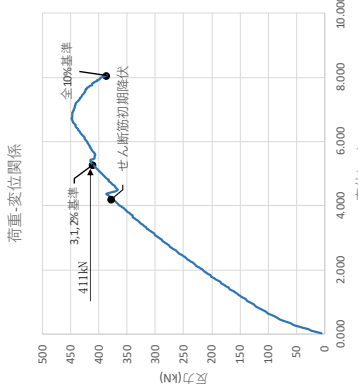
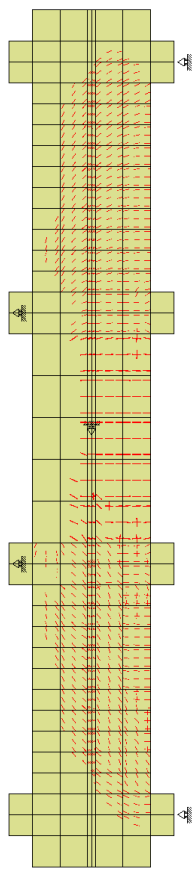
ケース	荷重載荷方法
②-A 従来工法	単調載荷
②-B PHb 工法	単調載荷
②-C PHb 工法	交番載荷【参考】

#### 4.5 確認結果

各ケースの解析結果を表 4-2 に示す。また、参考として交番載荷を行った解析結果を表 4-3 に示す。表 4-2 及び表 4-3 のひび割れ状況に示すとおり、全体的にひび割れが分散しており、従来工法と顕著な差は見られなかった。

参考に、ケース②-A 及びケース②-B について、各損傷状況における変形状況、ひび割れ状況及び鉄筋降伏状況を表 4-4 及び表 4-5 に示す。表 4-4 及び表 4-5 に示すとおり、各損傷状況において、従来工法と PHb 工法の間で PHb によるせん断補強効果に影響を与えるような顕著な差は確認されなかった。

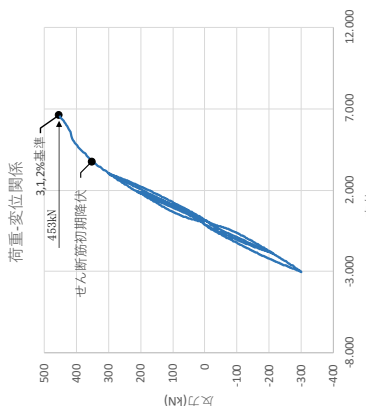
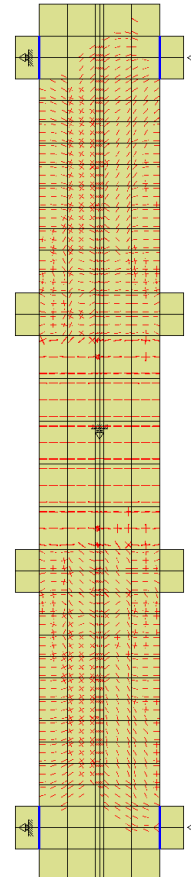
表4-2 各ケースの荷重-変位関係とひび割れ状況

解析ケース	荷重-変位関係	ひび割れ状況*
<p>②-A 従来工法 (単調載荷)</p>	<p>1, 2, 3%破壊基準までの 最大荷重：461kN</p> 	
<p>②-B PHb 工法 (単調載荷)</p>	<p>1, 2, 3%破壊基準までの 最大荷重：411kN</p> 	

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

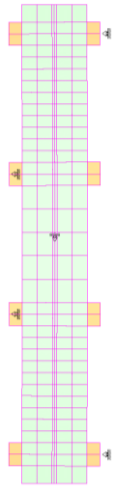
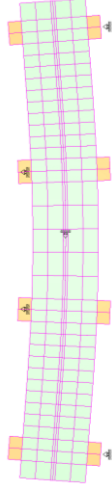
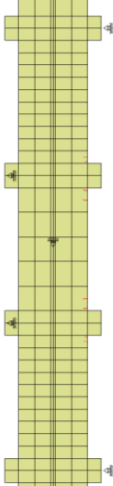
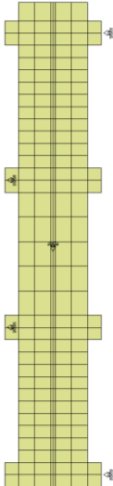
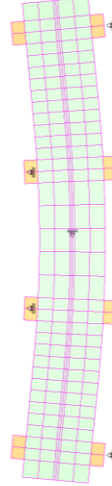
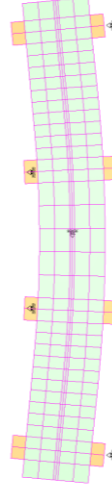
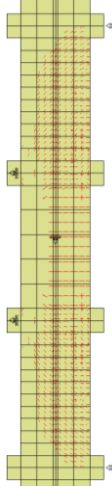
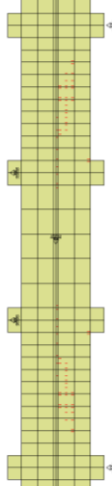






表4-3 各ケースの荷重-変位関係とひび割れ状況

解析ケース	荷重-変位関係	ひび割れ状況*
<p>【参考】 ②-C PHb工法 (交番載荷)</p>	<p>1, 2, 3%破壊基準までの 最大荷重：453kN</p>  <p>The graph shows the load-displacement relationship for the PHb construction method. The vertical axis represents Load (kN) ranging from -400 to 500. The horizontal axis represents Displacement (mm) ranging from -8,000 to 12,000. The curve shows a peak load of 453kN at approximately 7,000mm displacement. Key points on the curve are labeled: 'せん断筋初期降伏' (Initial yielding of shear reinforcement) at approximately 2,000mm displacement and '3.1.2%基準' (3.1.2% criterion) at the peak load. The label '荷重-変位関係' (Load-Displacement Relationship) is also present.</p>	 <p>The diagram illustrates the crack pattern of the specimen under load. It shows a long, narrow rectangular specimen with several vertical and diagonal cracks. Red arrows indicate the direction and intensity of the cracks. The specimen is supported at both ends, and the load is applied at the top. The label 'ひび割れ状況*' (Crack Pattern*) is present.</p>

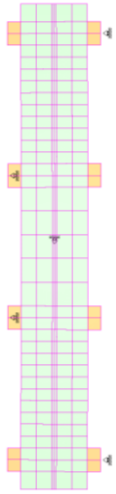
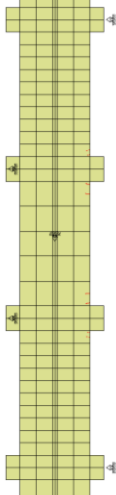
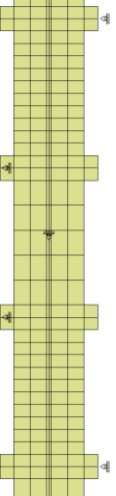
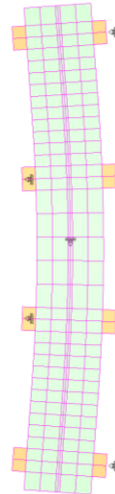
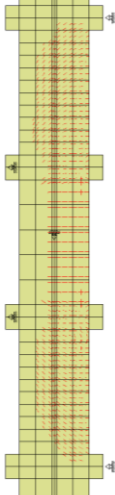
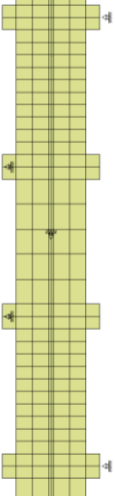
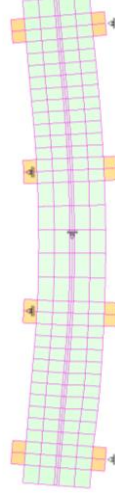
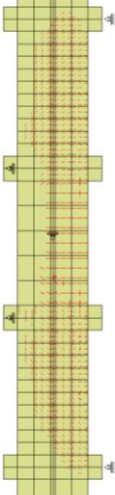
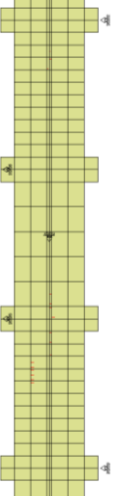
注記\*：図中の赤線は各要素のガウス積分点におけるひずみが、ひび割れ発生ひずみに達したことを示す。

表4-4 ケース②-A (従来工法) の解析結果

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

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

表4-5 ケース②-B (PHb工法) の解析結果

損傷状況	変形状況 (変形倍率10倍)	ひび割れ状況*	鉄筋降伏状況
初期ひび割れ発生時の状況			
初期降伏時の損傷状況			
終局荷重時の損傷状況			

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

解析結果から算出した有効係数  $\beta_{aw}'$  と建設技術審査証明報告書に記載された計算式に基づく設計計算値である有効係数  $\beta_{aw}$  の比較を表 4-6 に示す。なお、 $\beta_{aw}'$  の算出にあたっては、PHb が負担するせん断力を解析結果のせん断耐力  $V_{cd}+V_{phb}$  と、計算値であるコンクリートのせん断耐力  $V_{cd}$  の差で算出しており、この方法は建設技術審査証明報告書における算出方法と同様である。

表 4-6 に示すとおり、コンクリートのせん断耐力を棒部材式で算出した場合、解析から得られる  $\beta_{aw}'$  が 1 を超える結果となった。 $\beta_{aw}'$  が大きくなる要因として、棒部材式は土木構造物のように部材厚が比較的厚い構造物を対象とした式であり、部材厚を 300mm とした場合は、棒部材式でコンクリートのせん断耐力を算出すると、過度に保守的なせん断耐力が算出されている可能性が考えられる。

このため、追加検討として、梁や柱といった部材厚が比較的薄いものを対象としていると考えられる「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下「RC規準」という。）からコンクリートのせん断耐力を確認し、その場合の  $\beta_{aw}'$  を算出した。

上記のとおり棒部材式及びRC規準より算出した  $\beta_{aw}'$  のうち小さい値を採用しても、解析から得られる  $\beta_{aw}'$  は設計計算値における  $\beta_{aw}$  よりも大きく、構造評価において設計計算値である  $\beta_{aw}$  を使用することで保守的な評価が可能であることを確認した。

表4-6 解析結果から算出した有効係数  $\beta_{aw}'$  と設計計算値における有効係数  $\beta_{aw}$  の比較

ケース			PHb 工法・単調載荷 (ケース②-B)	
			Vcd : 棒部材式	Vcd : RC規準
解析結果	コンクリート+ せん断補強筋の せん断耐力 (kN)	$V_{cd}+V_{phb}$	411	411
計算値	コンクリートの せん断耐力 (kN)	$V_{cd}$	144	297
解析結果	PHbが負担する せん断力 (kN)	$V_{phb}$	267	114
計算値 (棒部材式)	従来工法とした場合に せん断補強筋が負担する せん断耐力 (kN)	$V_{sd}$	137	137
解析結果	有効係数 $\beta_{aw}'$ (解析)	$V_{phb}/V_{sd}$	1.95	0.83
計算値	有効係数 $\beta_{aw}^*$ (計算値)		0.75	0.75

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

ここで、 $I_y$  : PHb の埋込側に必要な定着長

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

## 5. まとめ

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

参考資料 1 2 - 2

後施工せん断補強工法（CCb 工法）の適用性について

## 目次

1. 概要	1
2. CCb 工法について	6
2.1 CCb 工法を適用した部位	6
2.2 CCb 工法の概要	6
3. 建設技術審査証明報告書の概要	8
3.1 CCb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け	8
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	9
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	10
3.3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法	10
3.3.2 使用材料・強度	32
3.3.3 構造部材の評価	38
3.3.4 構造細目	40
3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認	41
3.4.1 施工の確実性	41
3.4.2 施工の容易性	41
3.4.3 施工手順の設定	41
4. 島根 2 号機における CCb 工法の適用性の確認	55
4.1 適用性確認フロー	55
4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定	57
4.3 ①適用性確認項目の抽出	58
4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲及び 先行原子力発電所における審査実績の確認	60
4.5 ③せん断補強効果の確認	66
4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認	66
4.6.1 削孔方法	66
4.6.2 削孔角度	67
4.6.3 削孔位置	68
4.6.4 グラウトの充てん性	69
4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認	79
4.7.1 施工実績の整理	79
4.7.2 過去の地震の経験事例	82
4.7.3 レベル 2 地震動を対象とした設計事例	83
4.7.4 後施工せん断補強工法の比較	83
4.7.5 後施工せん断補強筋に関する研究事例	86
4.8 島根 2 号機における CCb 工法の保守性と設計上の制限の整理	95
4.8.1 CCb 工法の保守性	95
4.8.2 島根 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	95

4.8.3	島根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……………	96
4.8.4	CCb工法によるせん断補強の設計検討フロー……………	97
4.9	CCbの適用性確認結果……………	98

添付資料1            建設技術審査証明書



## 1. 概要

島根 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、島根 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 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を表 1-2 に、配置図を図 1-2 に、耐震補強箇所を図 1-3 に示す。図 1-3 に示す CCb による耐震補強箇所は、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。

本資料は、CCb 工法を採用する目的、効果及び島根 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"> <li>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又は配力筋にフックを掛けて定着させる工法。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
図				
備 考	<ul style="list-style-type: none"> <li>女川 2 号機他、多数の施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>女川 2 号機にて、工認実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>女川 2 号機他、多数の施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>女川 2 号機にて、工認実績がある。（CCb 工法）</li> </ul>

表 1-2 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*
屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)	側壁	600	D25	5.83
	頂版	800	D19	8.11

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

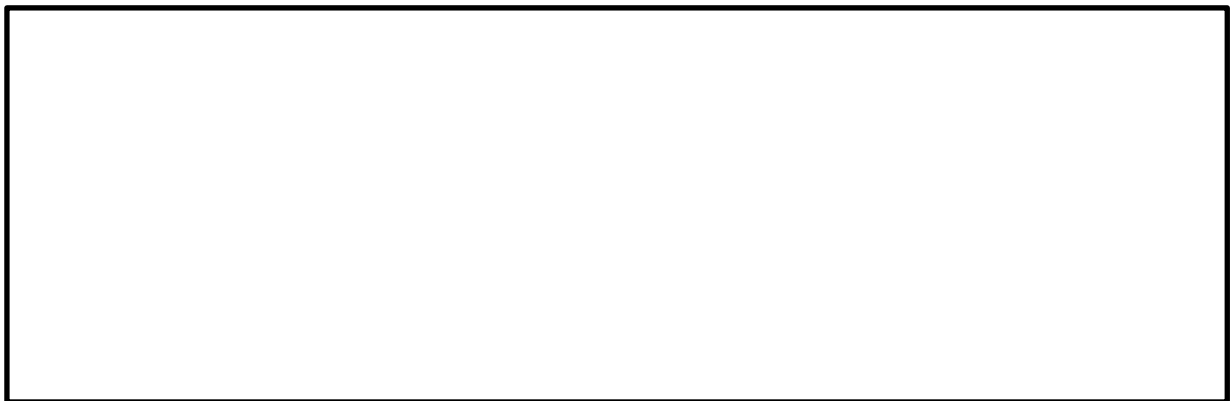


図 1-1 Ccb 工法の概要図\*

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。

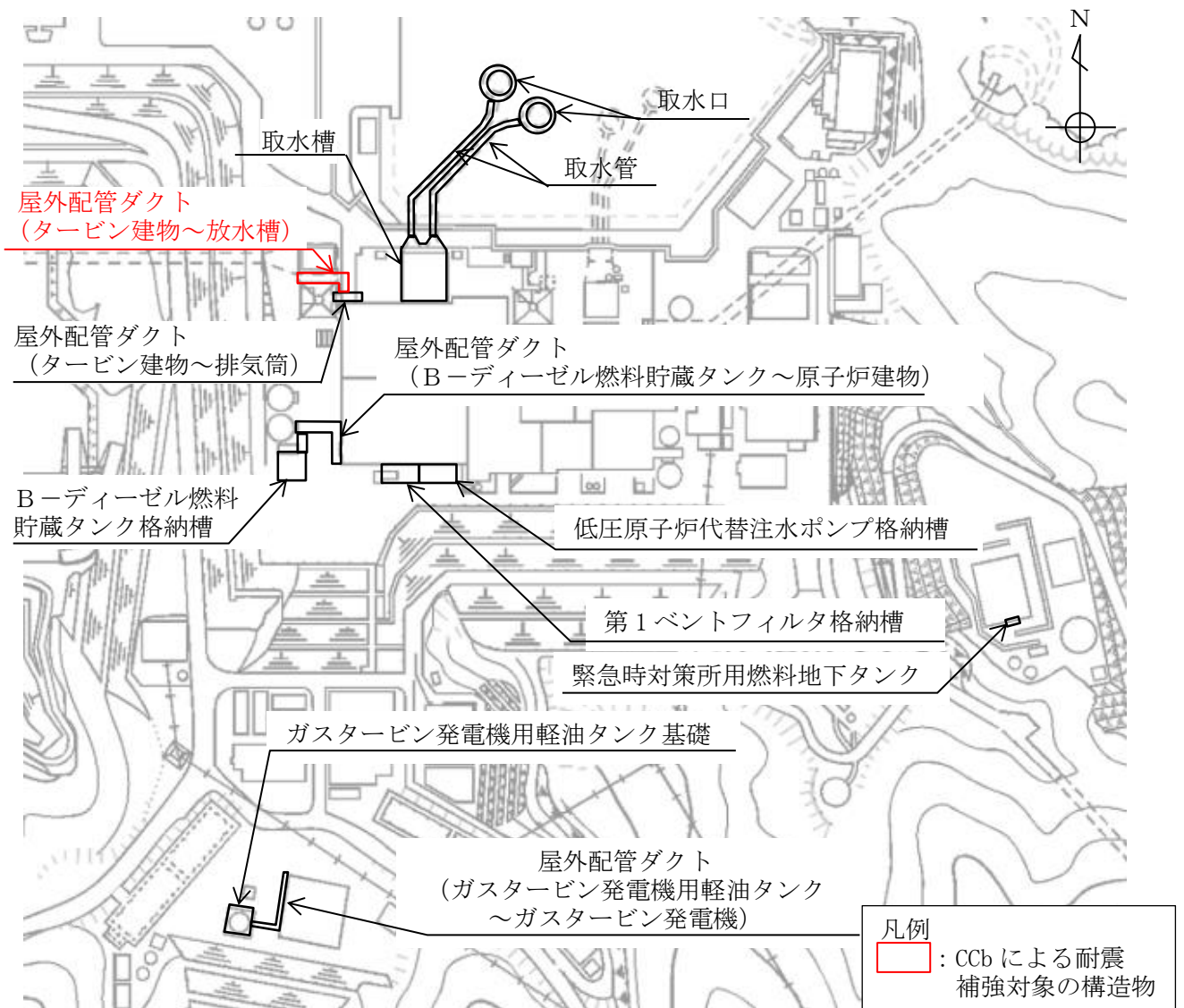
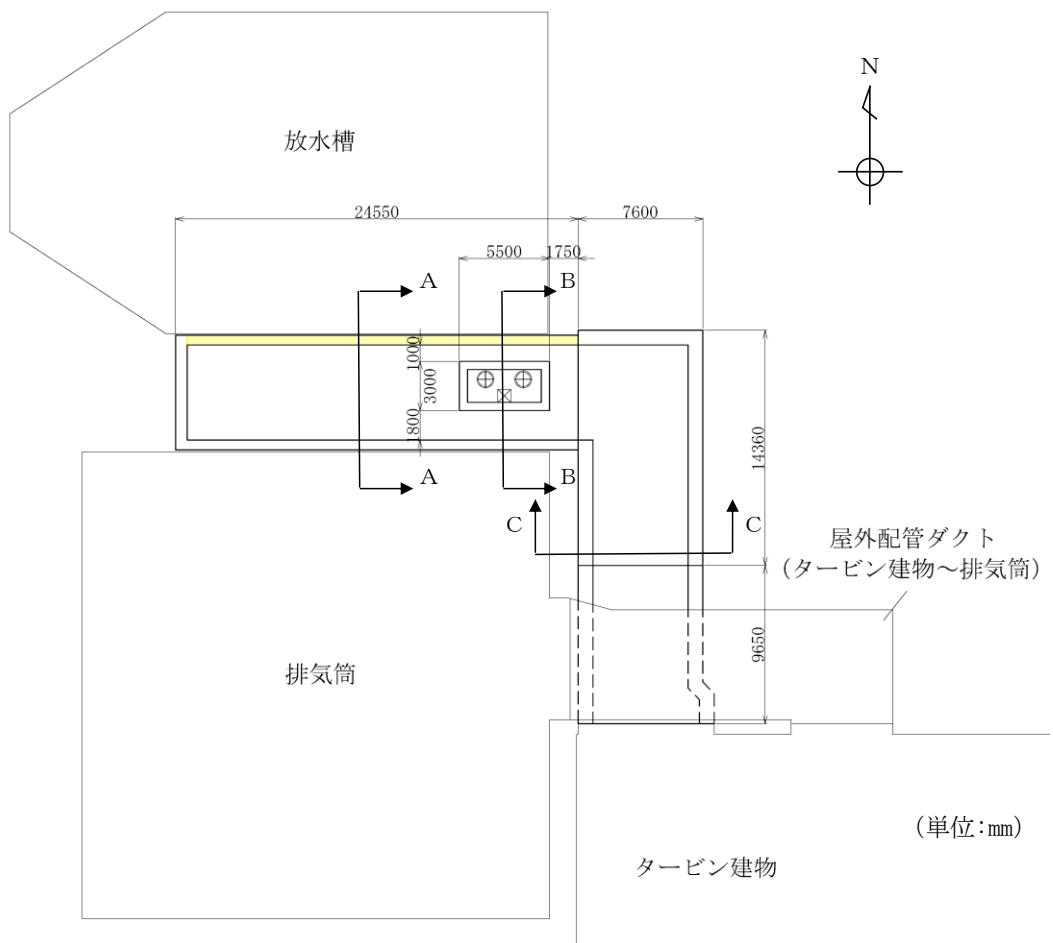


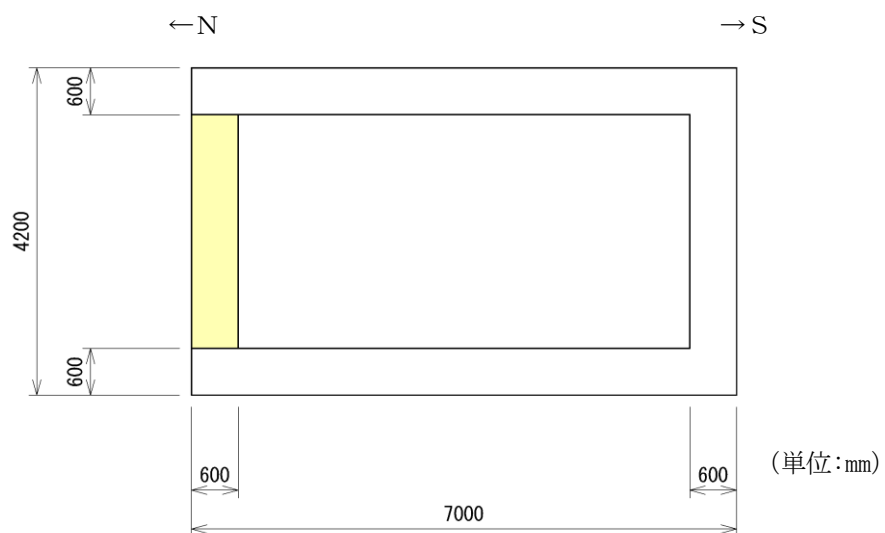
図 1-2 Ccb による耐震補強対象の構造物 (配置図)



(単位:mm)

黄色 : Ccbによる耐震補強箇所

平面図



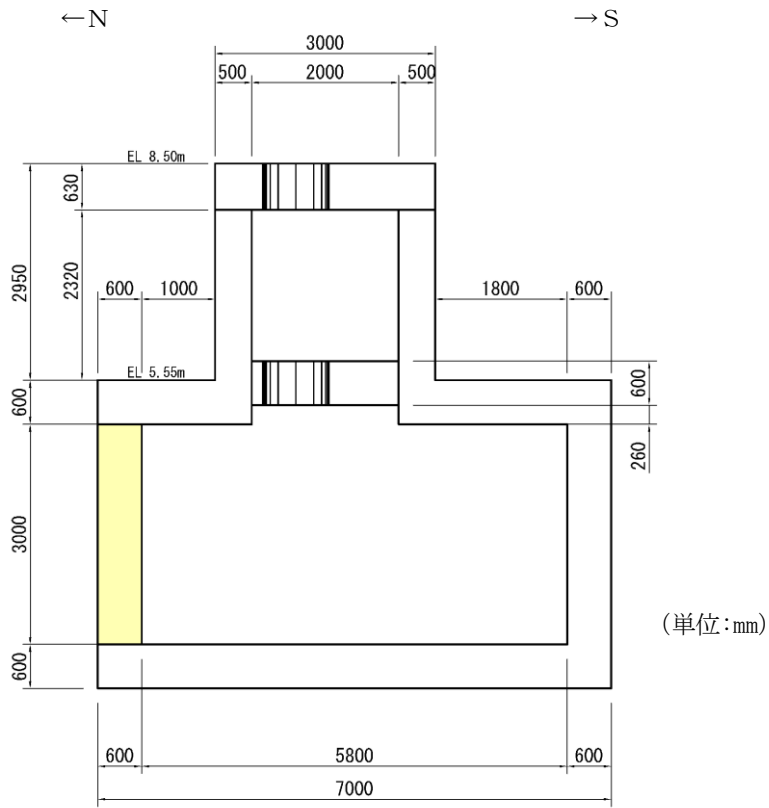
(単位:mm)

黄色 : Ccbによる耐震補強箇所

A-A断面

図1-3 (1) Ccbによる耐震補強対象の構造物  
(屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽))

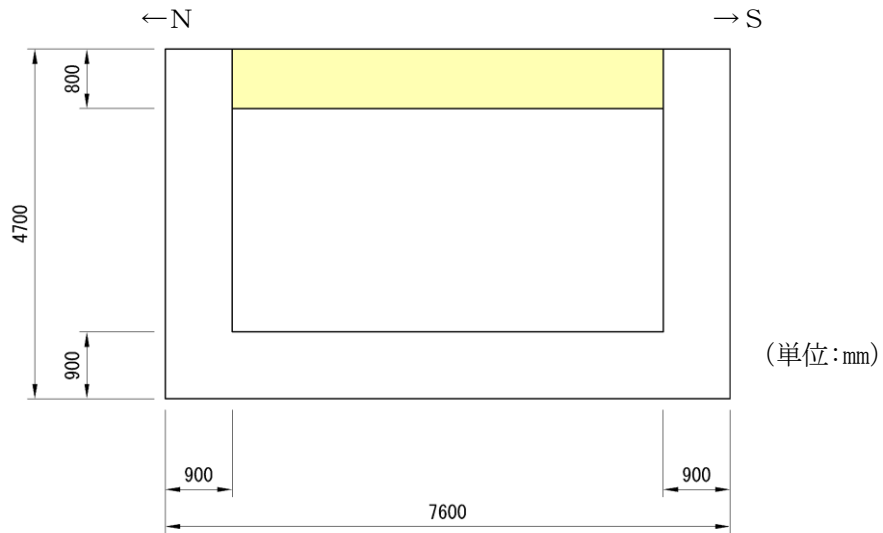
(参考) 12-2-4



(単位: mm)

：CCbによる耐震補強箇所

B-B断面



(単位: mm)

：CCbによる耐震補強箇所

C-C断面

図1-3(2) CCbによる耐震補強対象の構造物  
(屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽))

(参考) 12-2-5

## 2. Ccb 工法について

### 2.1 Ccb 工法を適用した部位

島根 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 及び図 1-3 に示すとおりである。

### 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、海水環境下にある構造物にも適した材料である。

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（ $\beta_{aw}$ ）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

--

表 2-2 定着機構の違い

--

(参考) 12-2-7

### 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

島根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、一般財団法人土木研究センター（以下「PWRC\*」という。）の『建設技術審査証明報告書（土木系材料・製品・技術、道路保全技術） 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)」，建技審証第 0811 号，有効期限：2024 年 2 月 2 日』（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 PWRC 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、施工性につい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  $\beta_{aw}$  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。

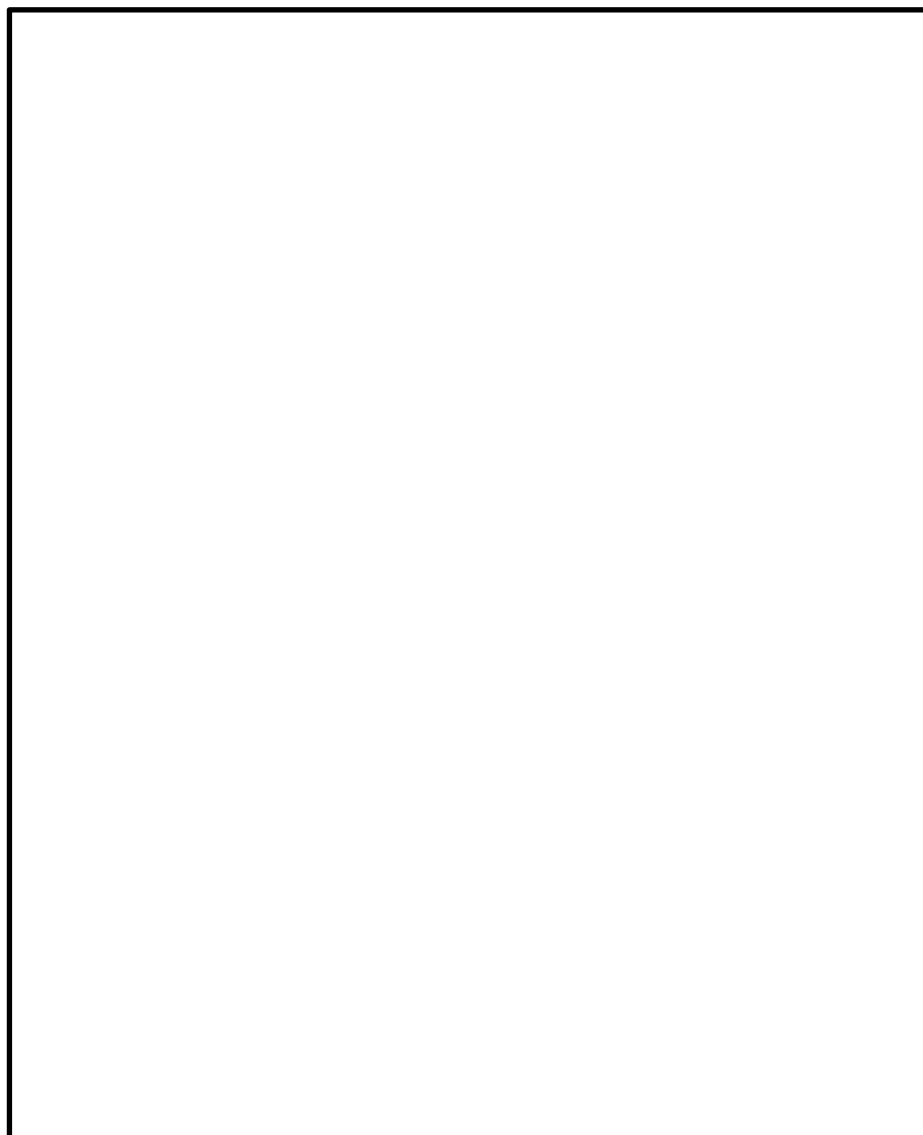


図 3-1 実験方法（建設技術審査証明報告書より抜粋）

表 3-1(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)

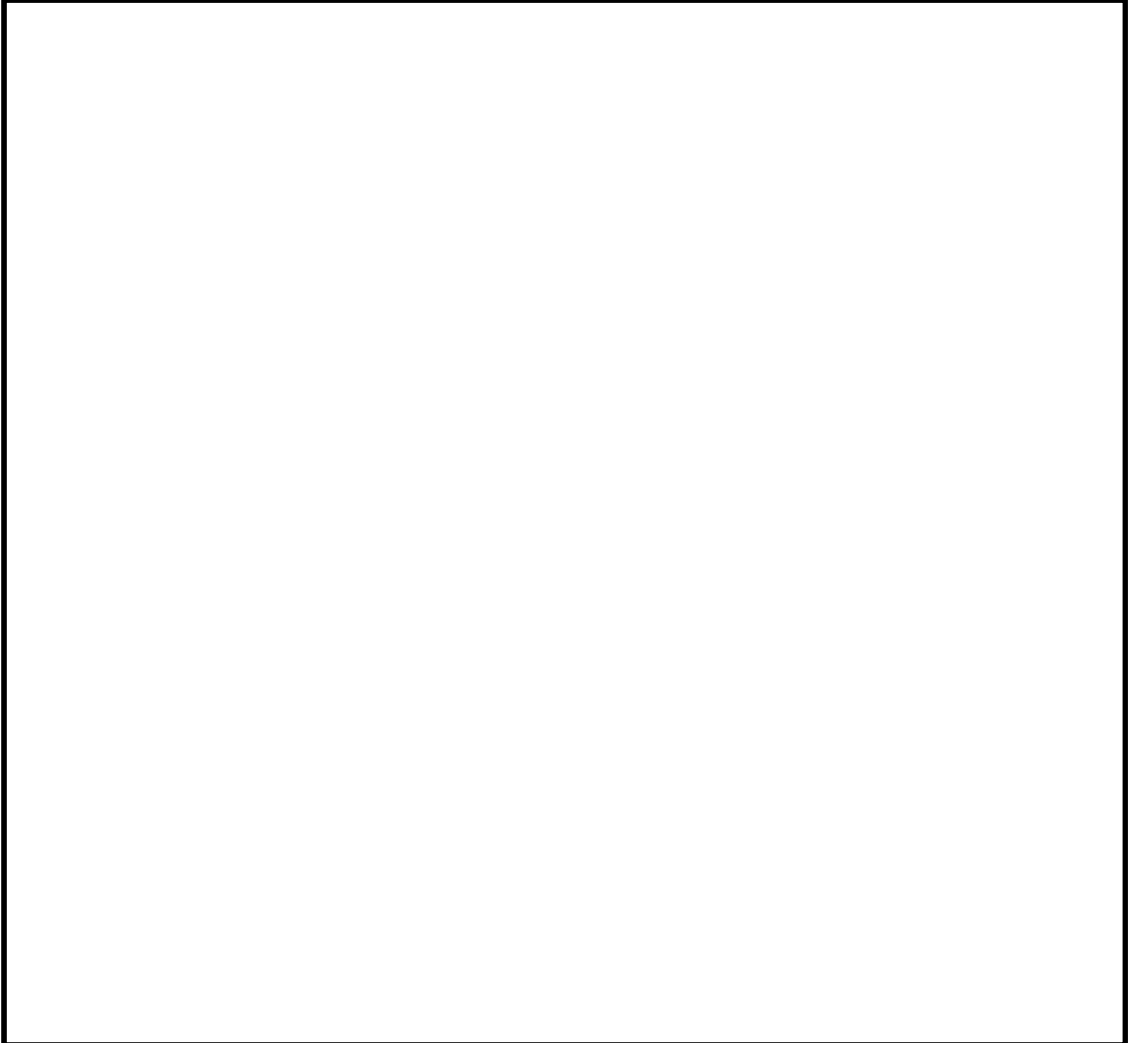


表 3-1(2) 各ケースの試験体の諸元 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

--

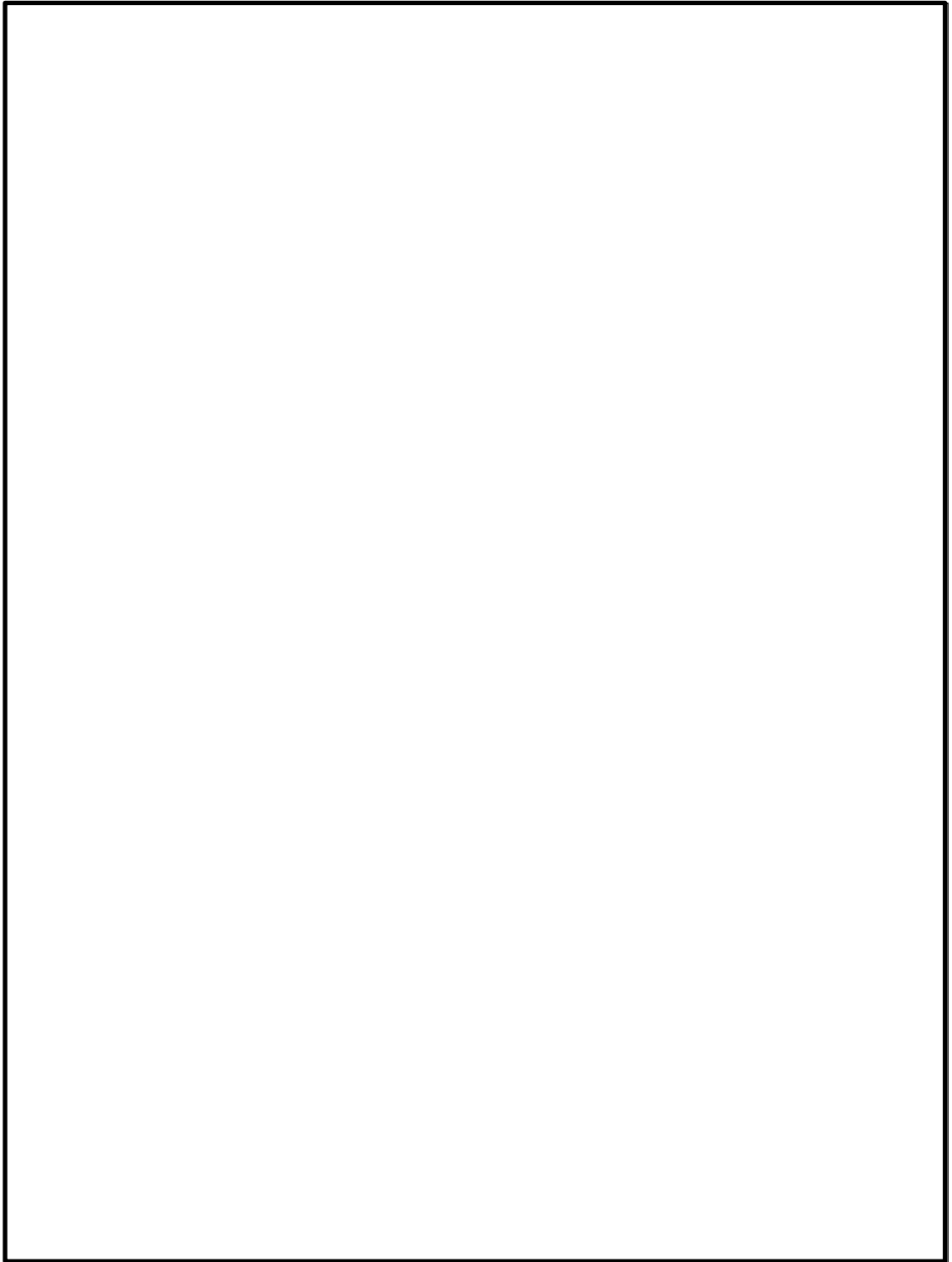


図 3-2(1) セン断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-13

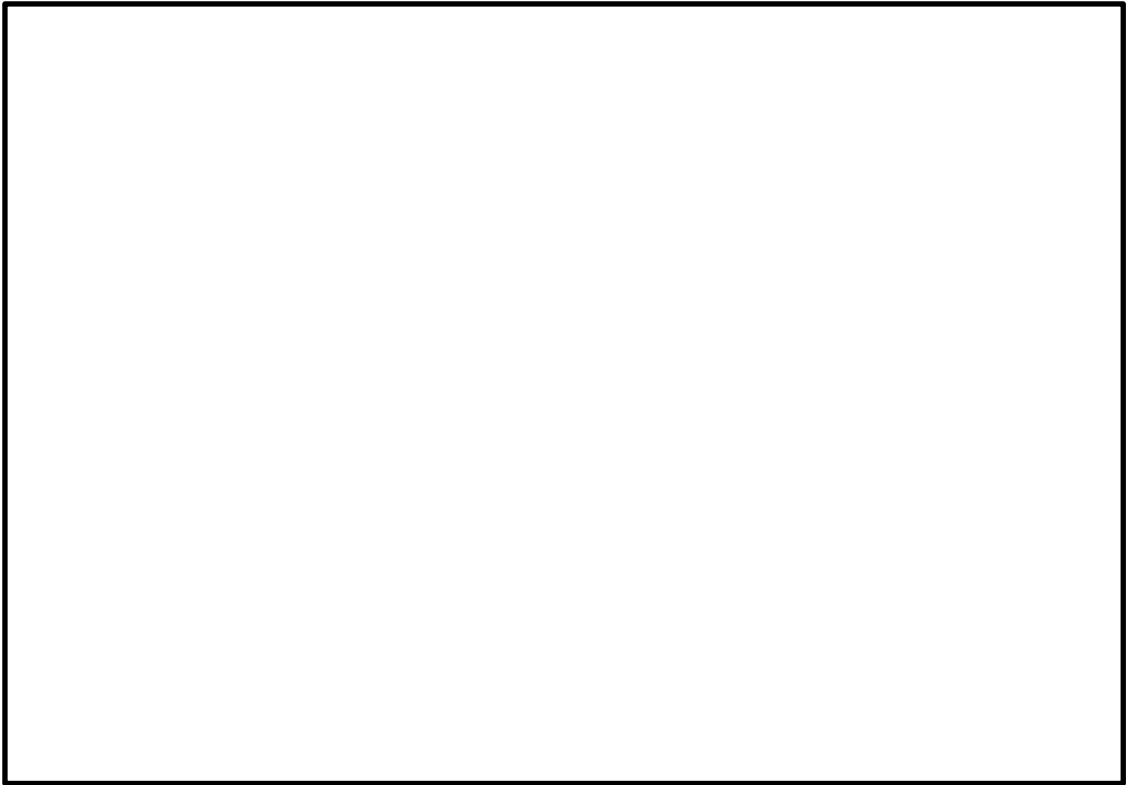


図 3-2(2) せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

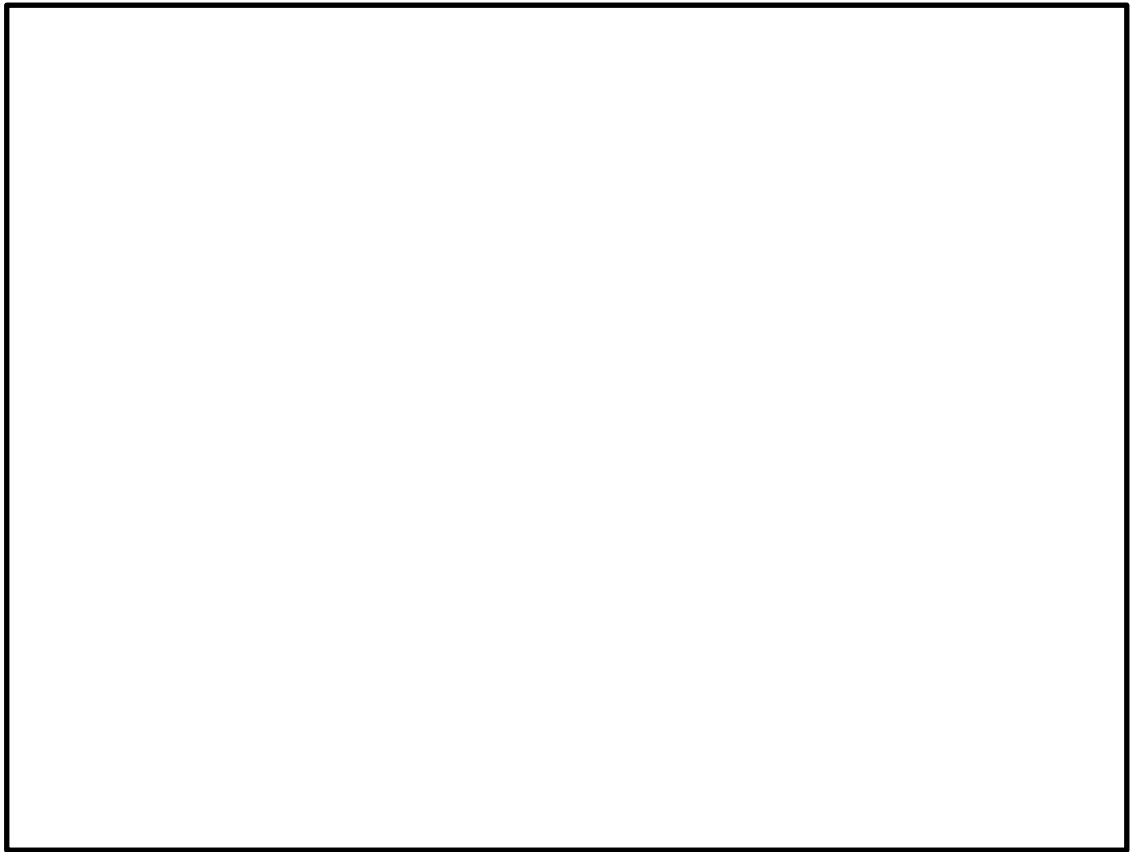


図 3-3(1) せん断耐力向上性能試験の加力要領（建設技術審査証明報告書より抜粋）

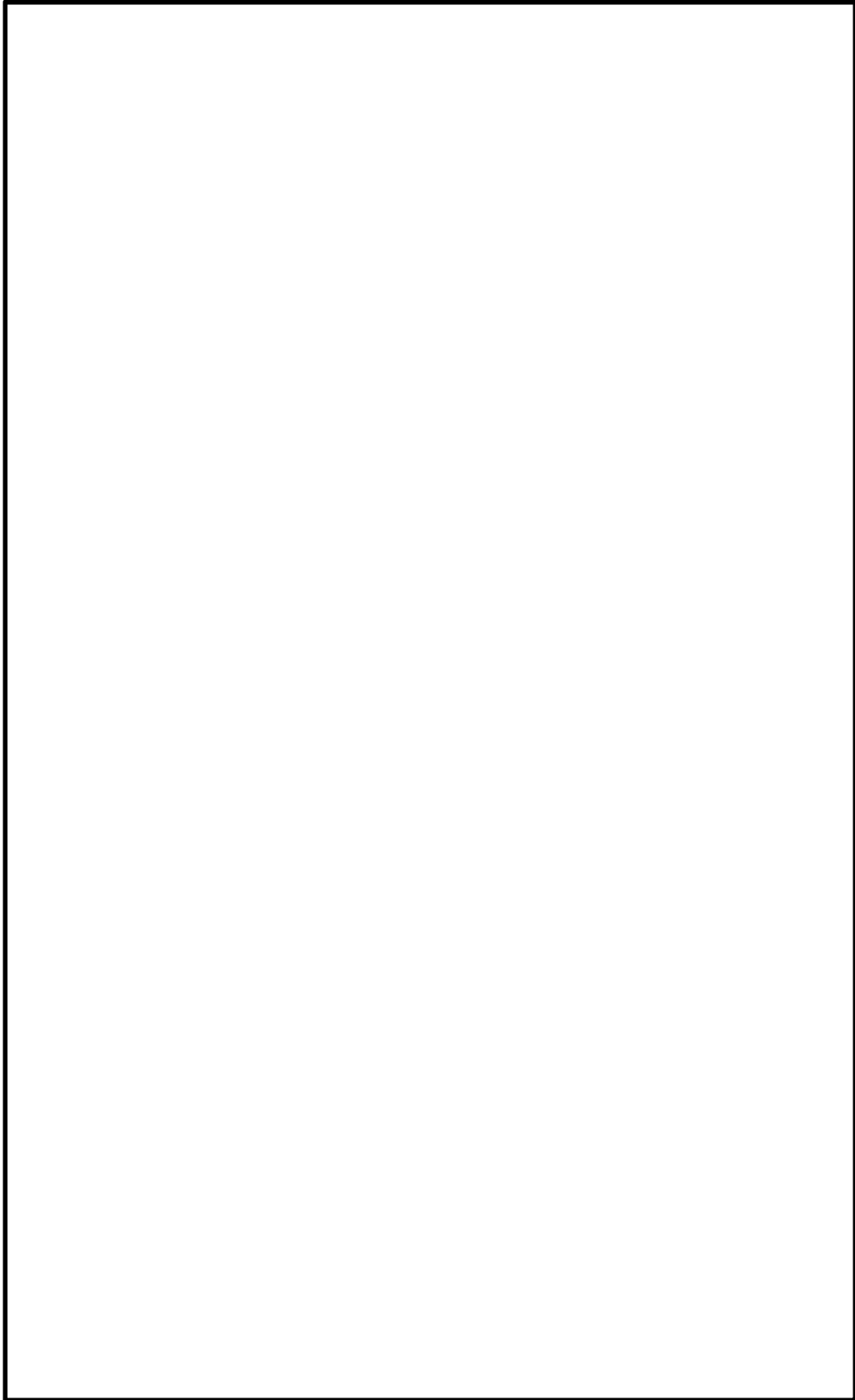


図 3-3(2) せん断耐力向上性能試験の加力要領（建設技術審査証明報告書より抜粋）

（参考） 12-2-16



(2) 実験結果

(1)の実験結果を，図 3-4 及び表 3-2 に示す。

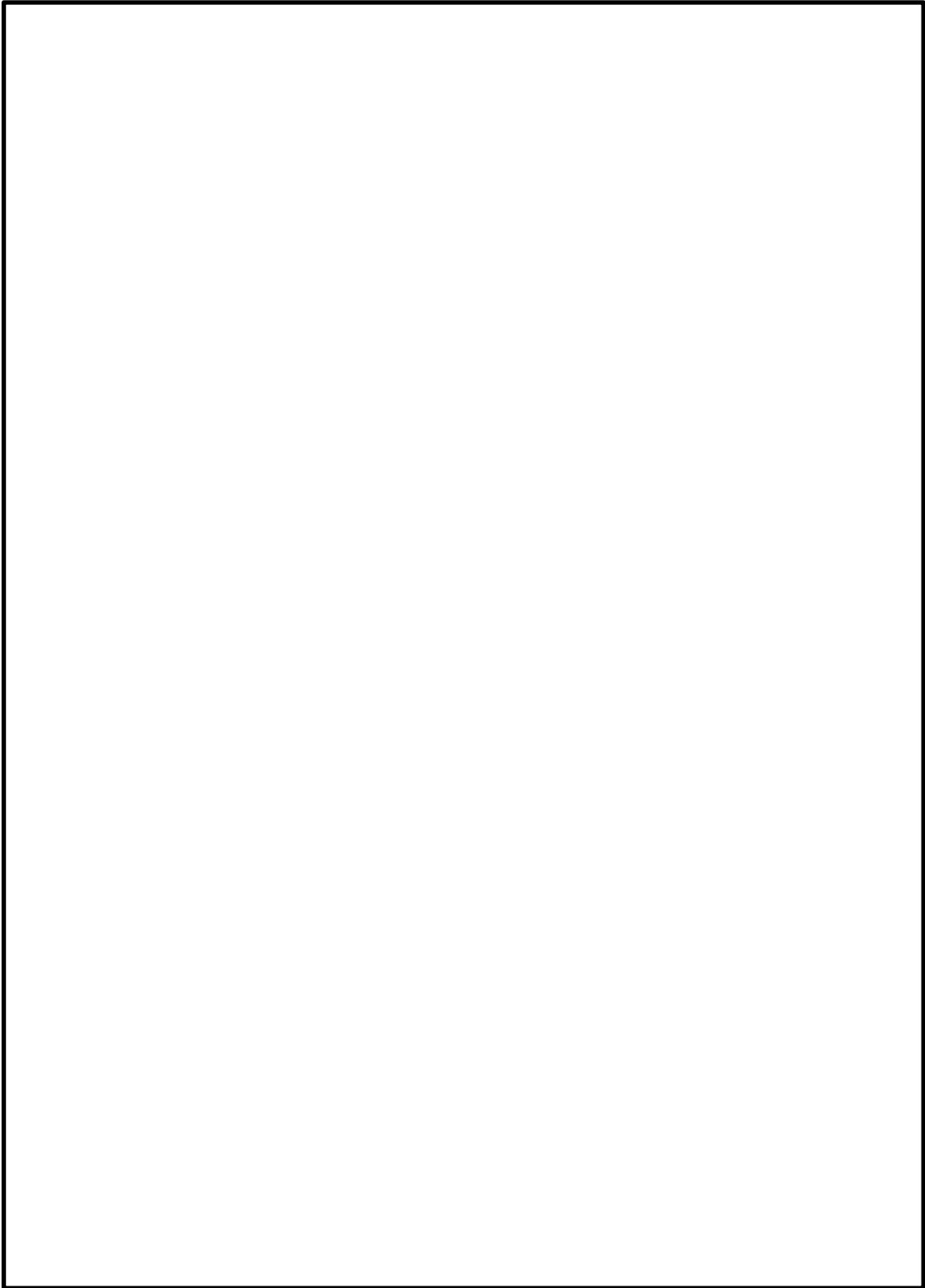


図 3-4(1) 実験結果 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-17

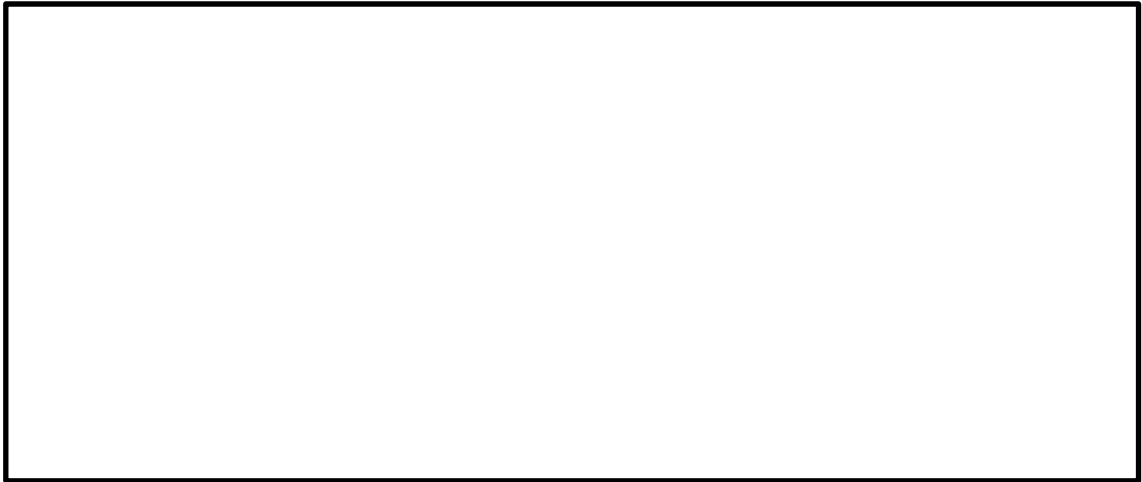


図 3-4(2) 実験結果 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

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(1) 実験結果の一覧（建設技術審査証明報告書より抜粋）

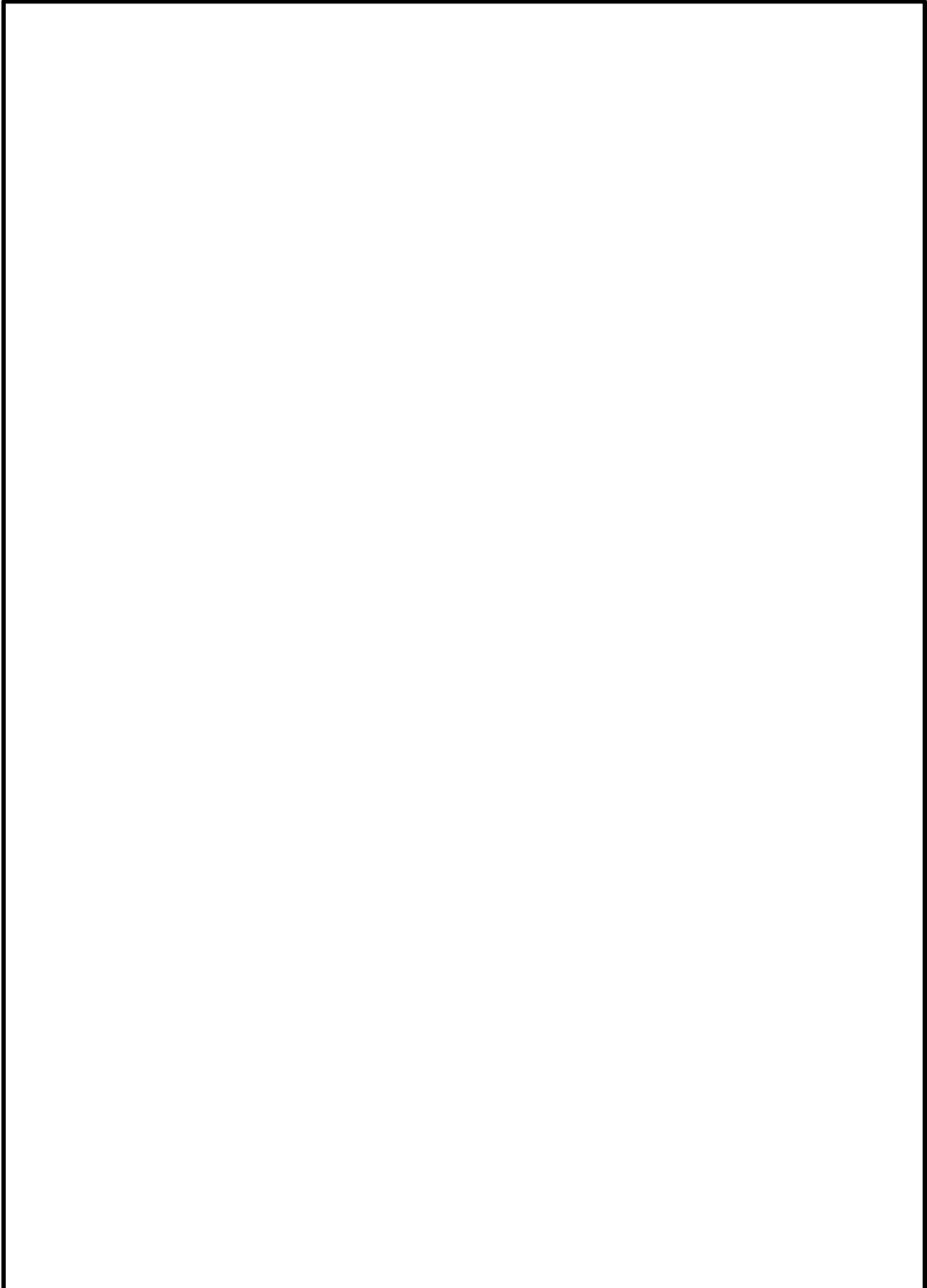
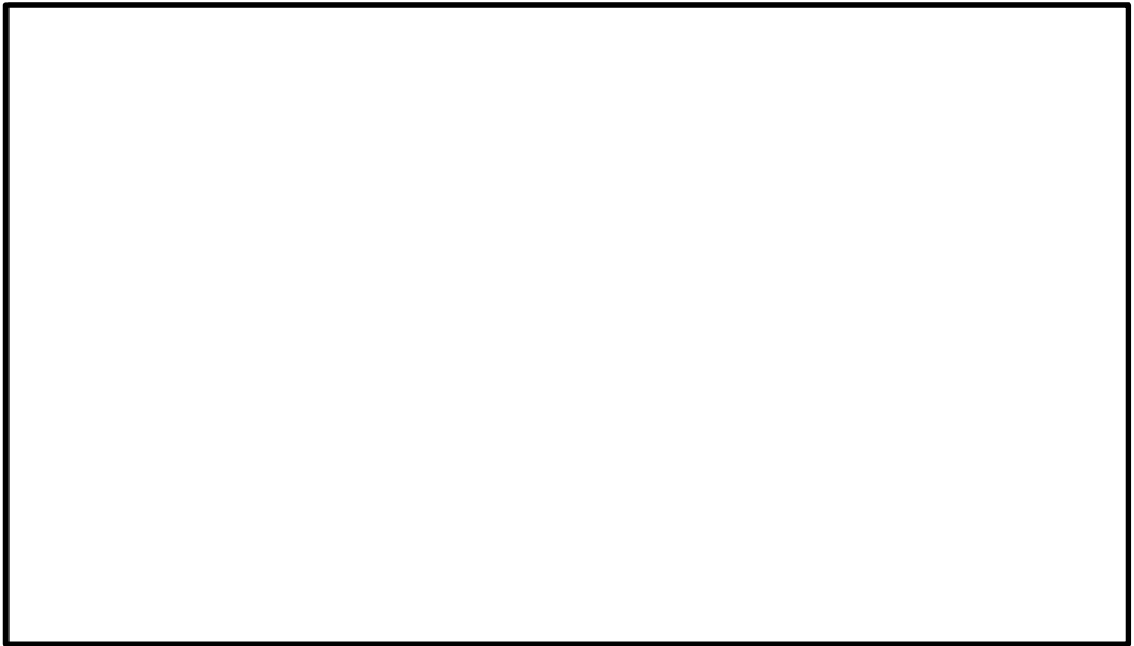


表 3-2(2) 実験結果の一覧 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

A large empty rectangular box with a black border, intended for the table of experimental results mentioned in the caption above. The box is currently blank.

(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。



図 3-5(1) 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)

(参考) 12-2-21

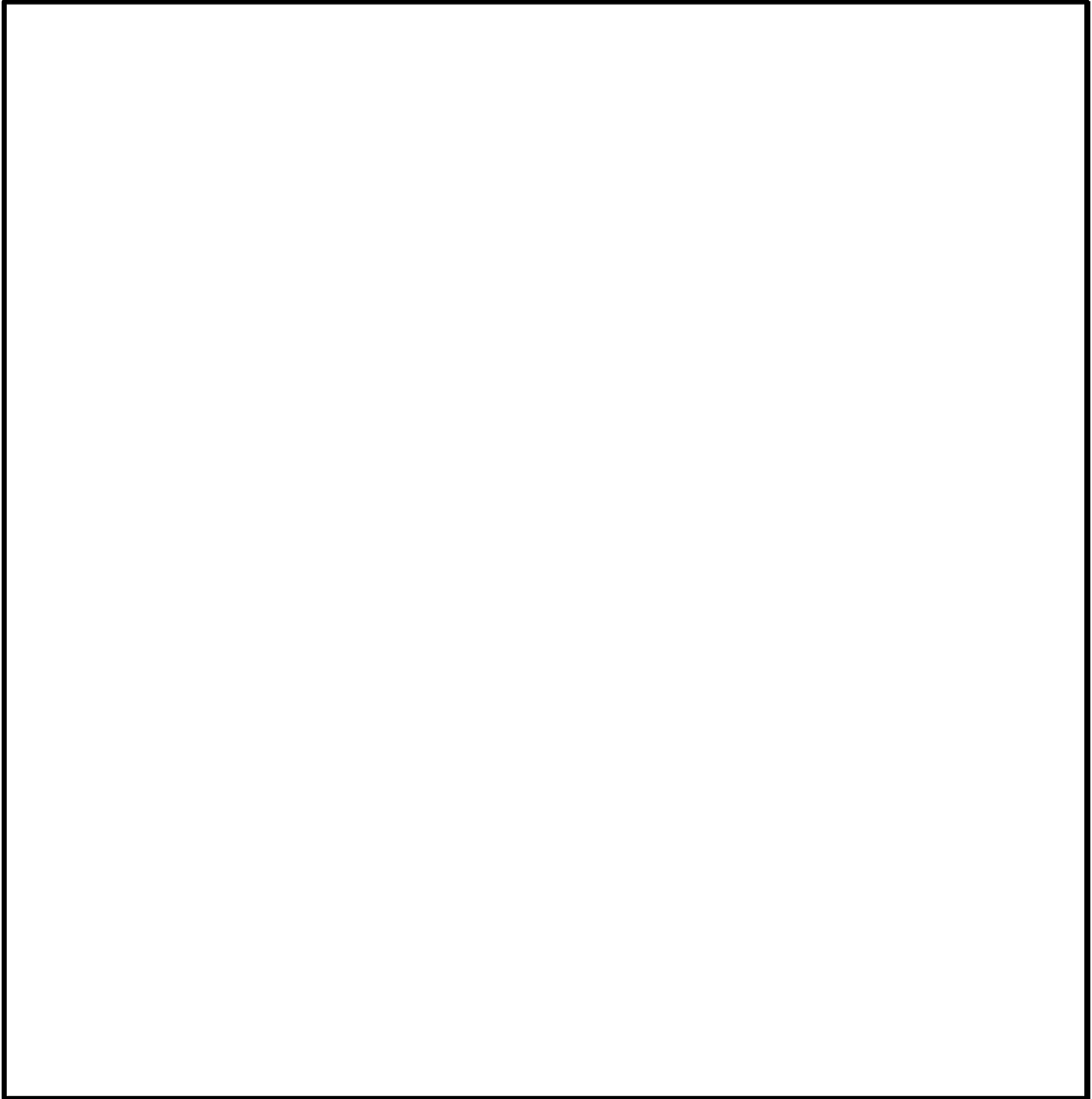


図 3-5(2) Ccb のせん断補強の考え方 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(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。

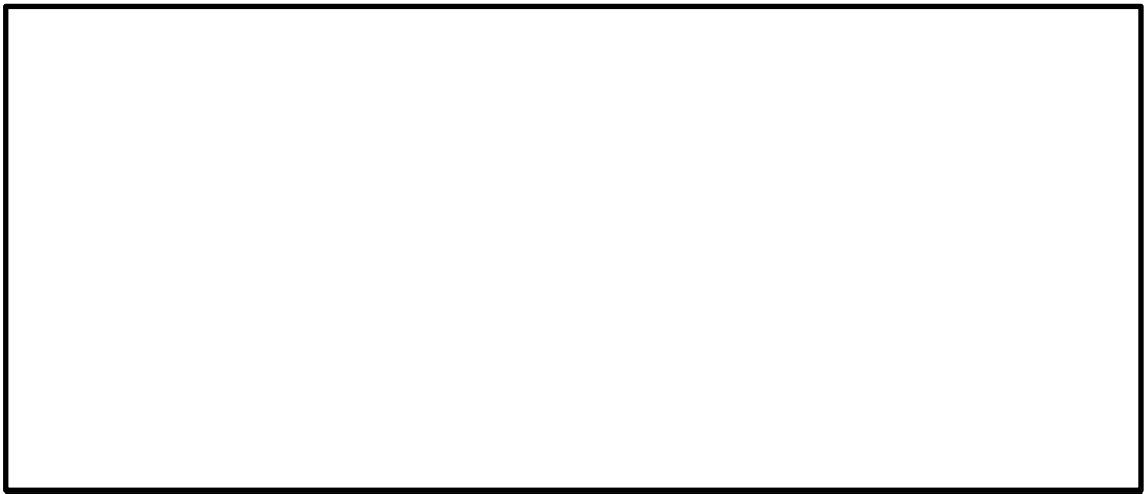


図 3-6(1) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

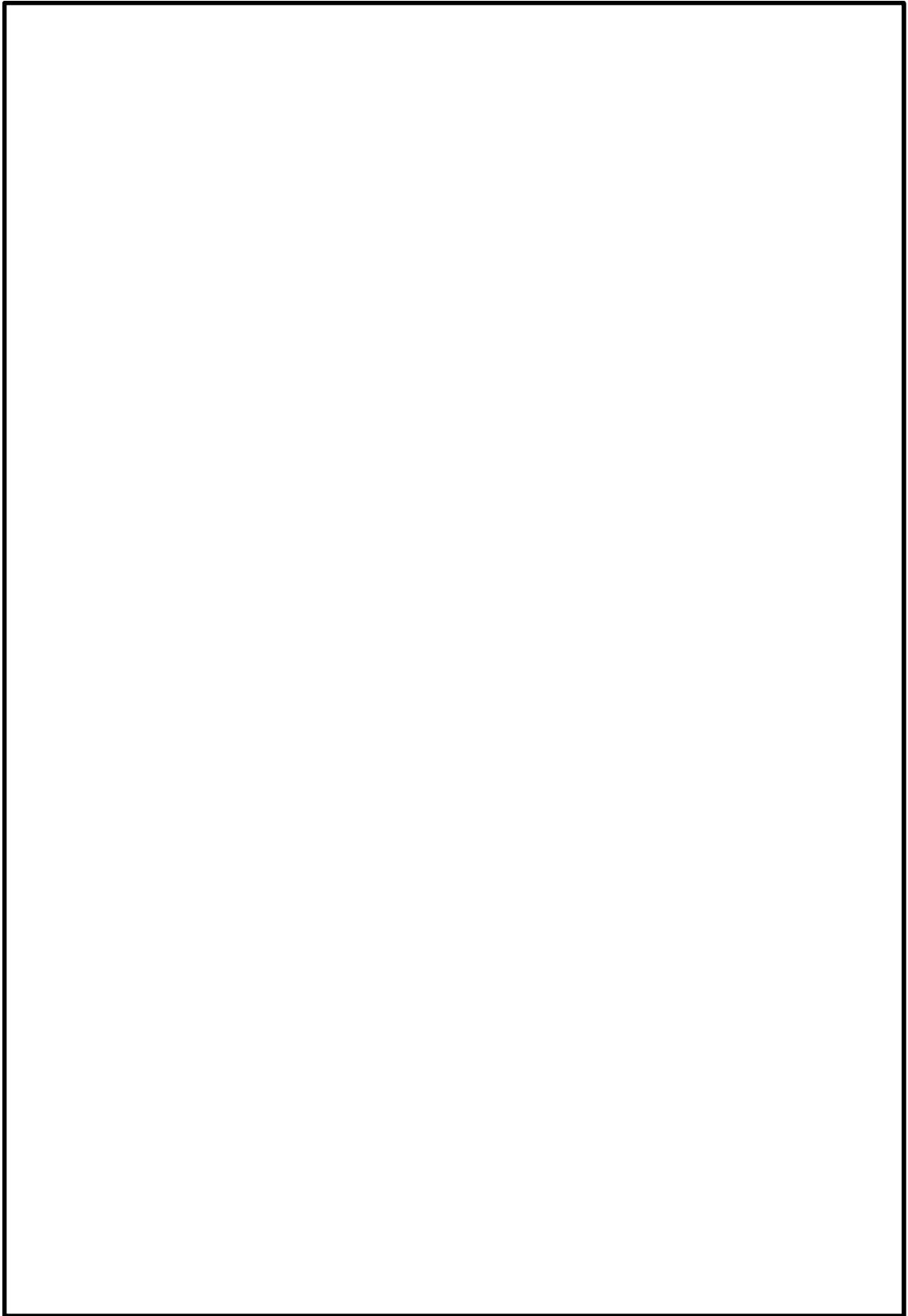


図 3-6(2) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-24



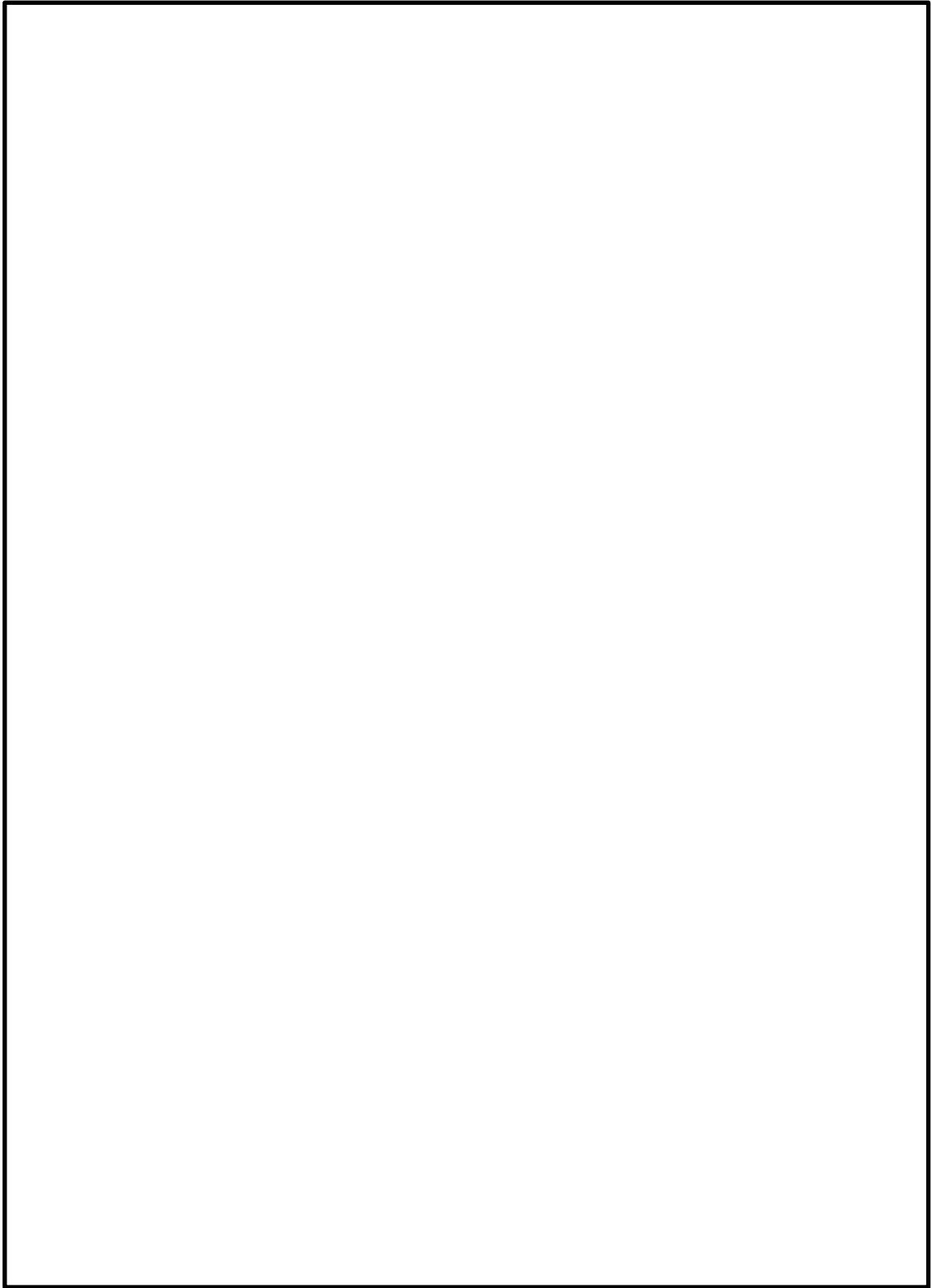


図 3-6(3) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-25

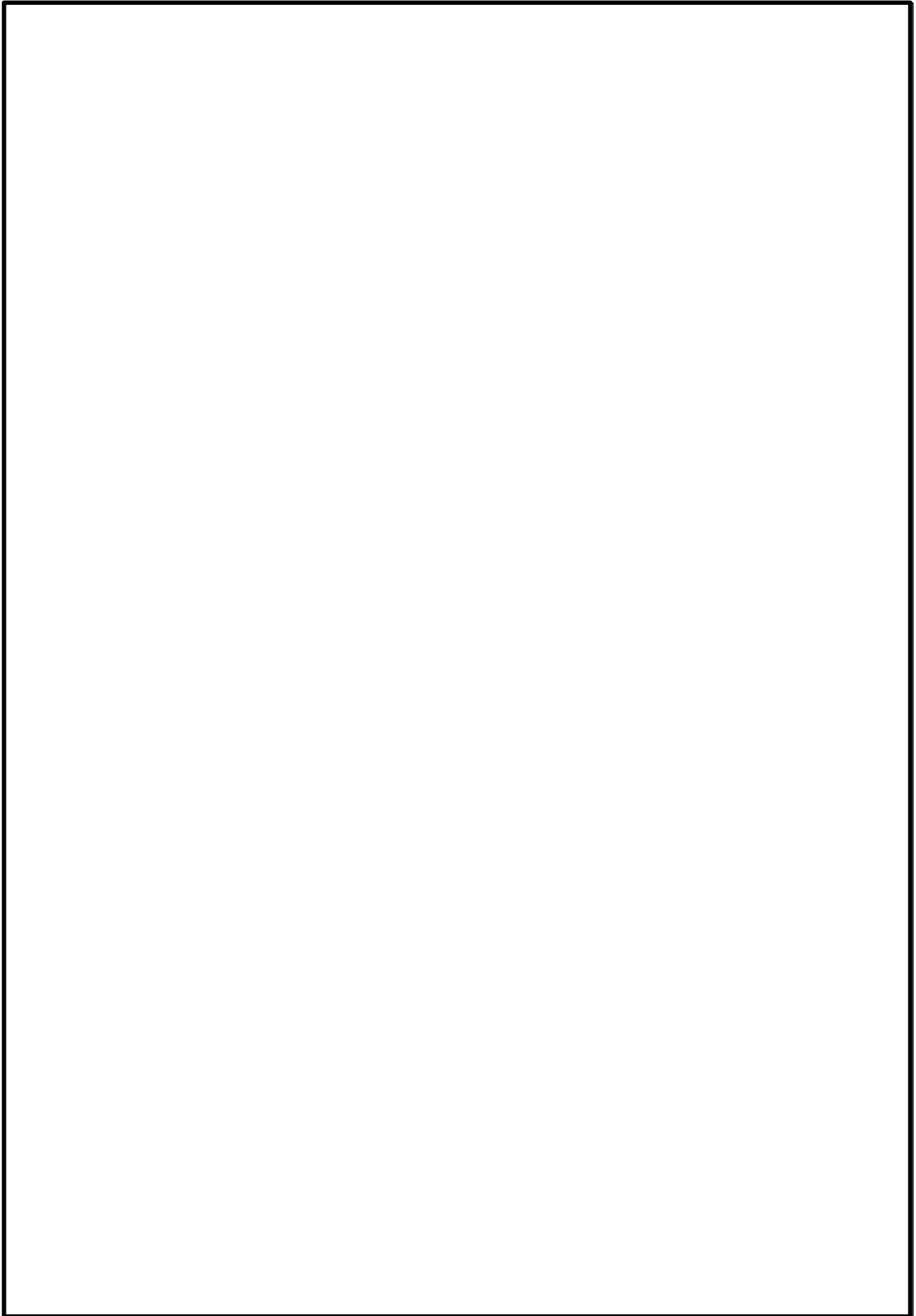


図 3-6(4) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-26

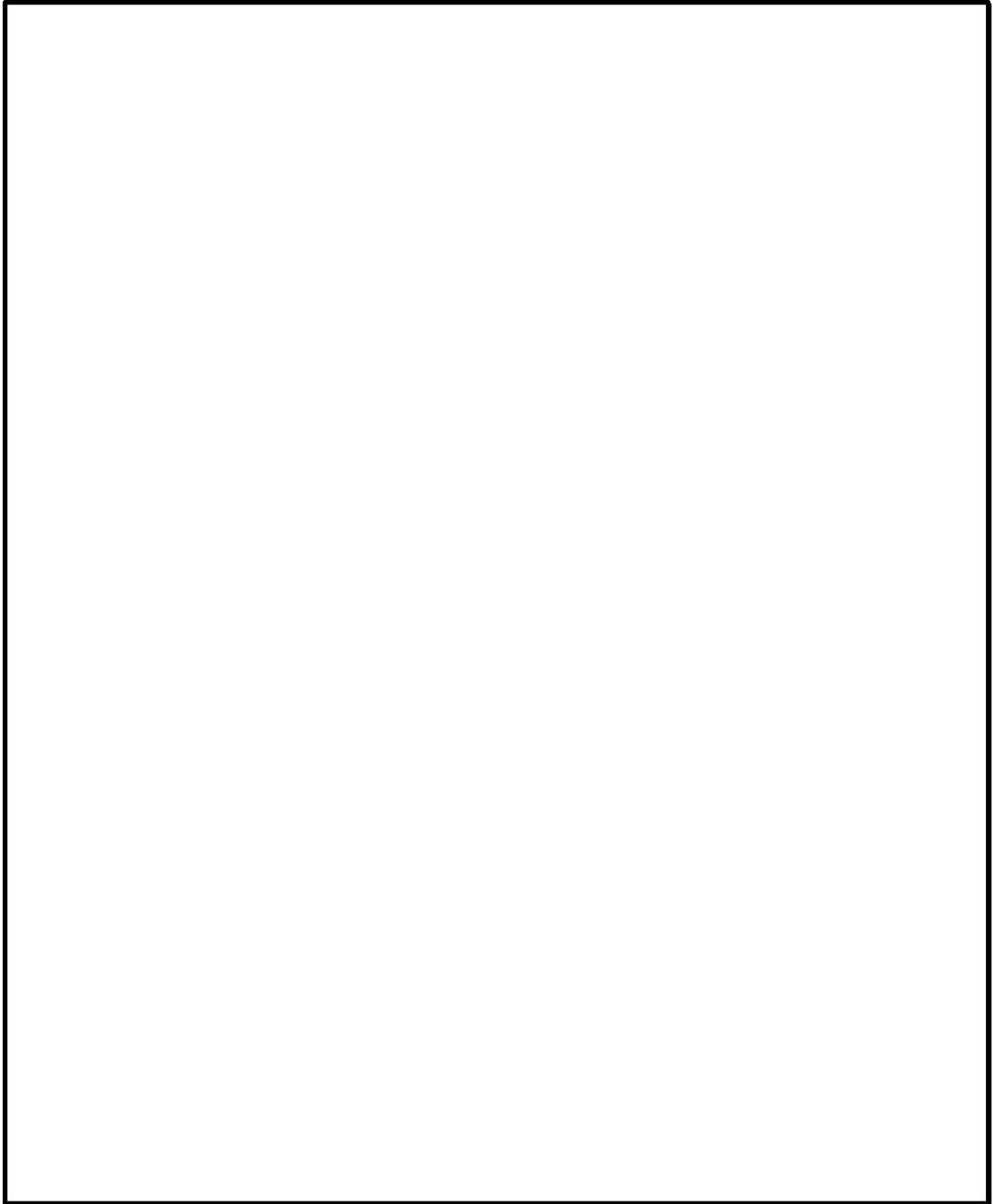


図 3-6(5) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

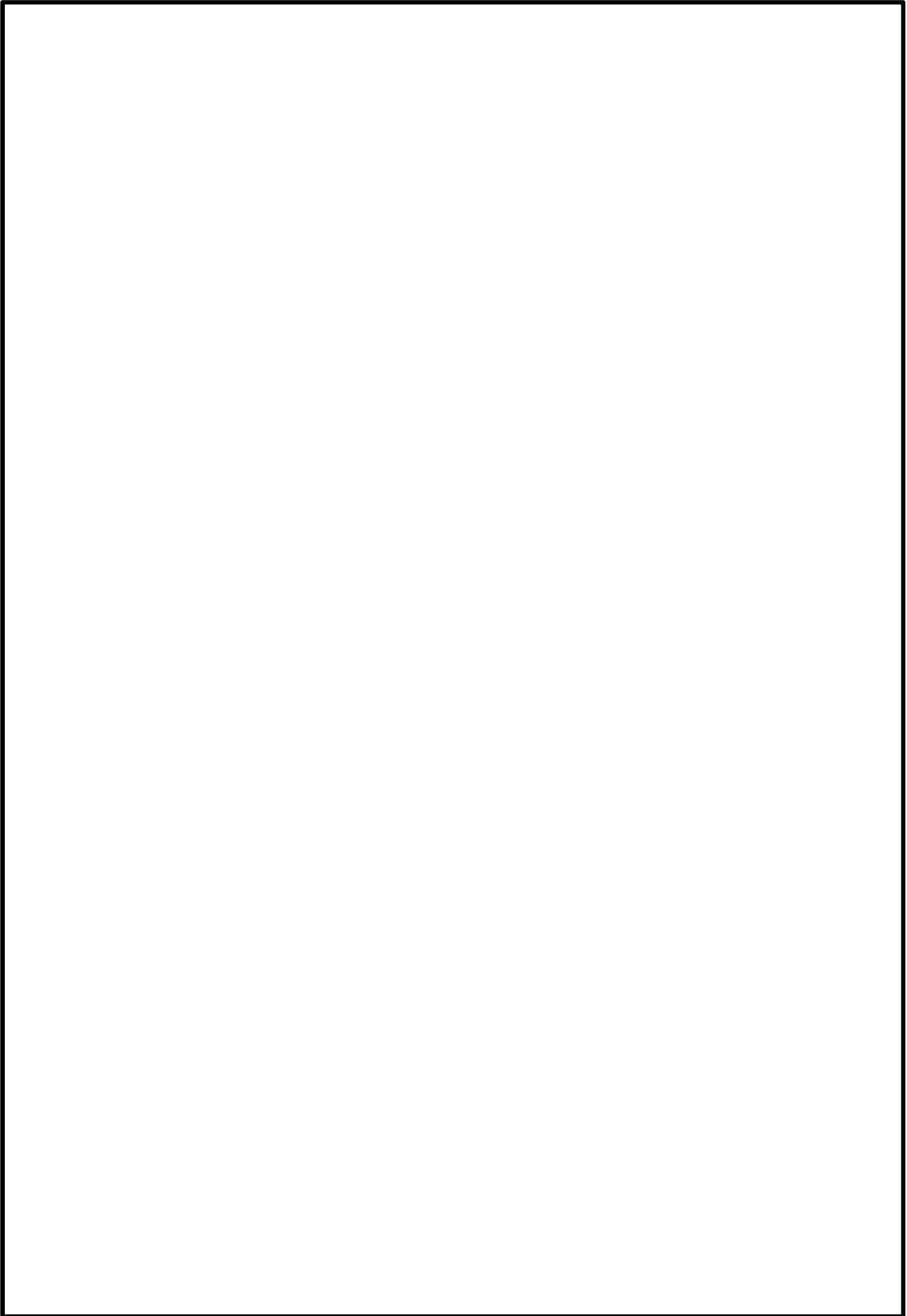


図 3-6(6) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-28

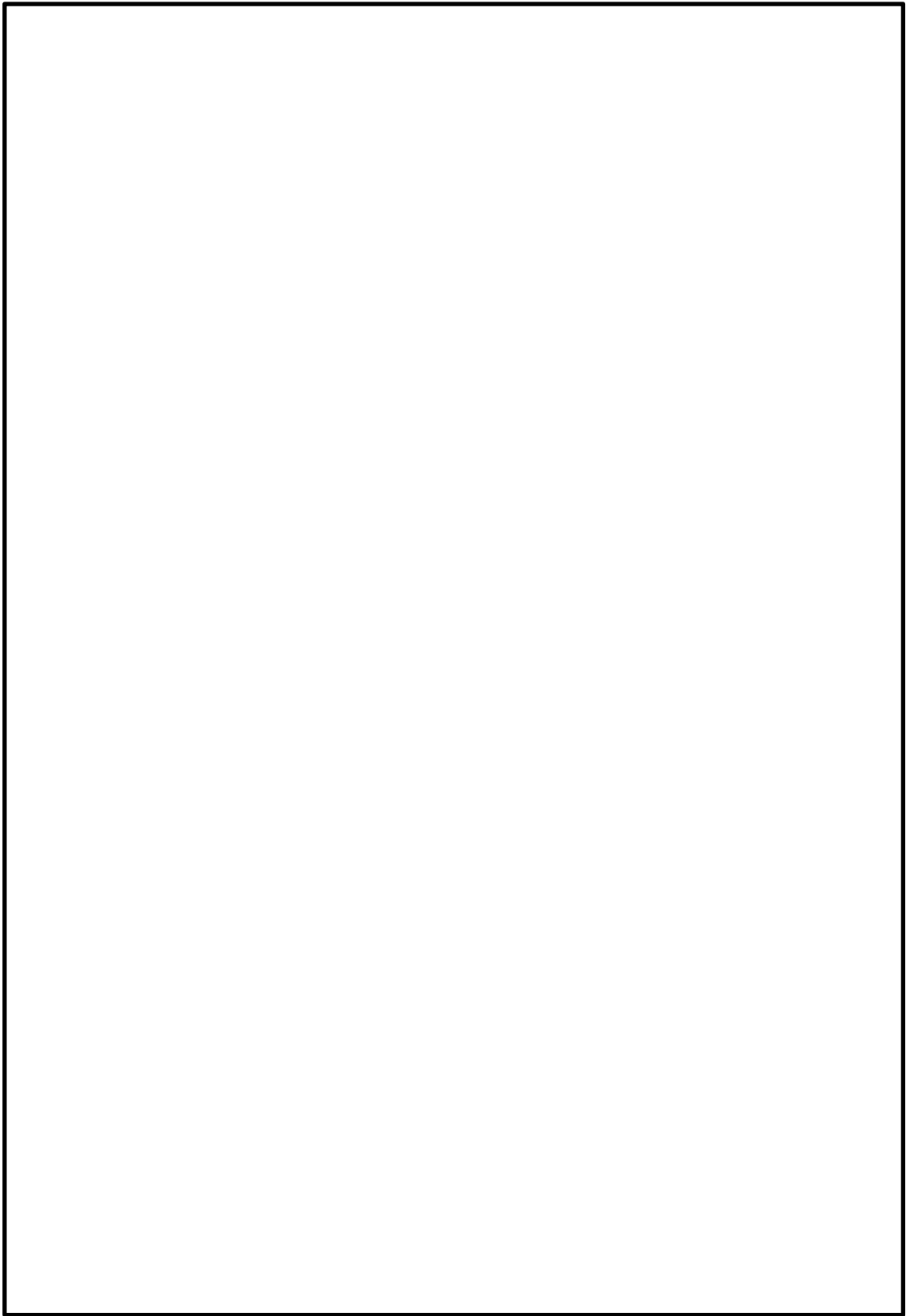


図 3-6(7) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-29

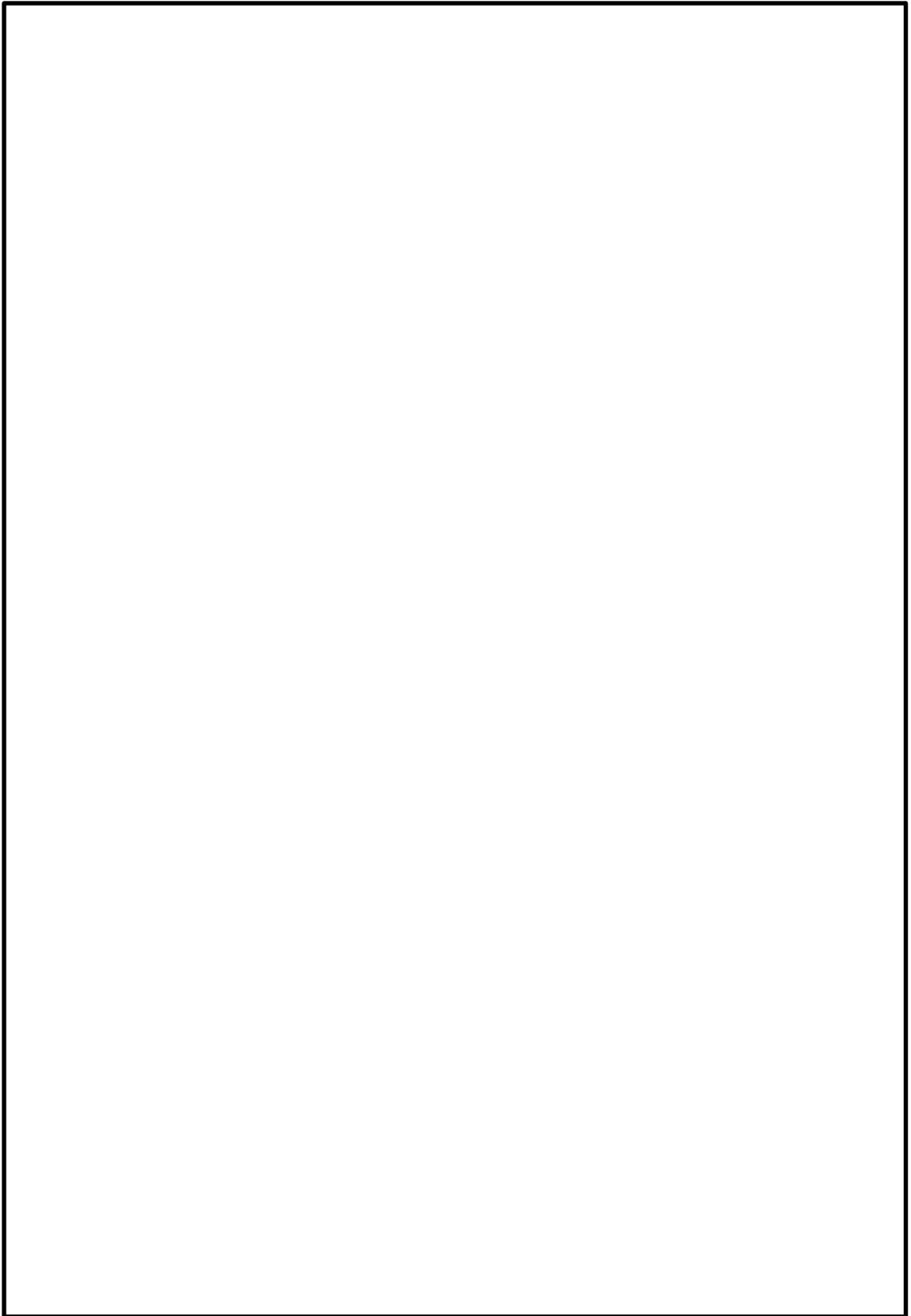


図 3-6(8) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-30

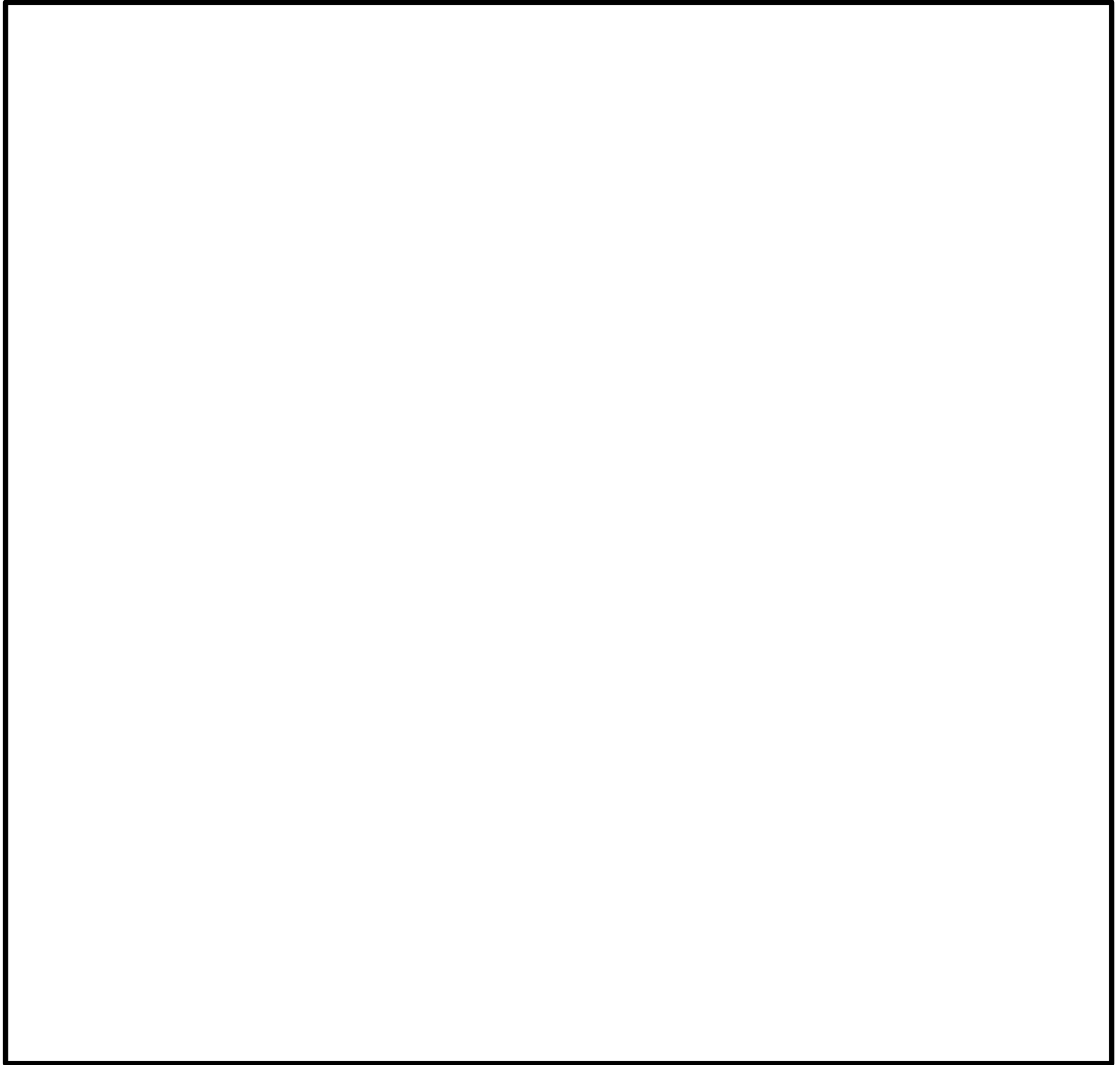


図 3-6(9) 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

### 3.3.2 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。

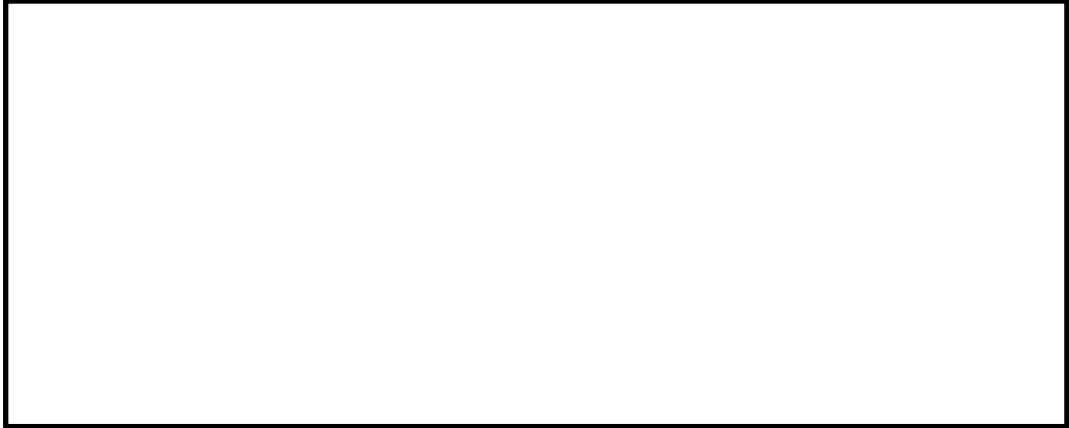


図 3-7(1) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）



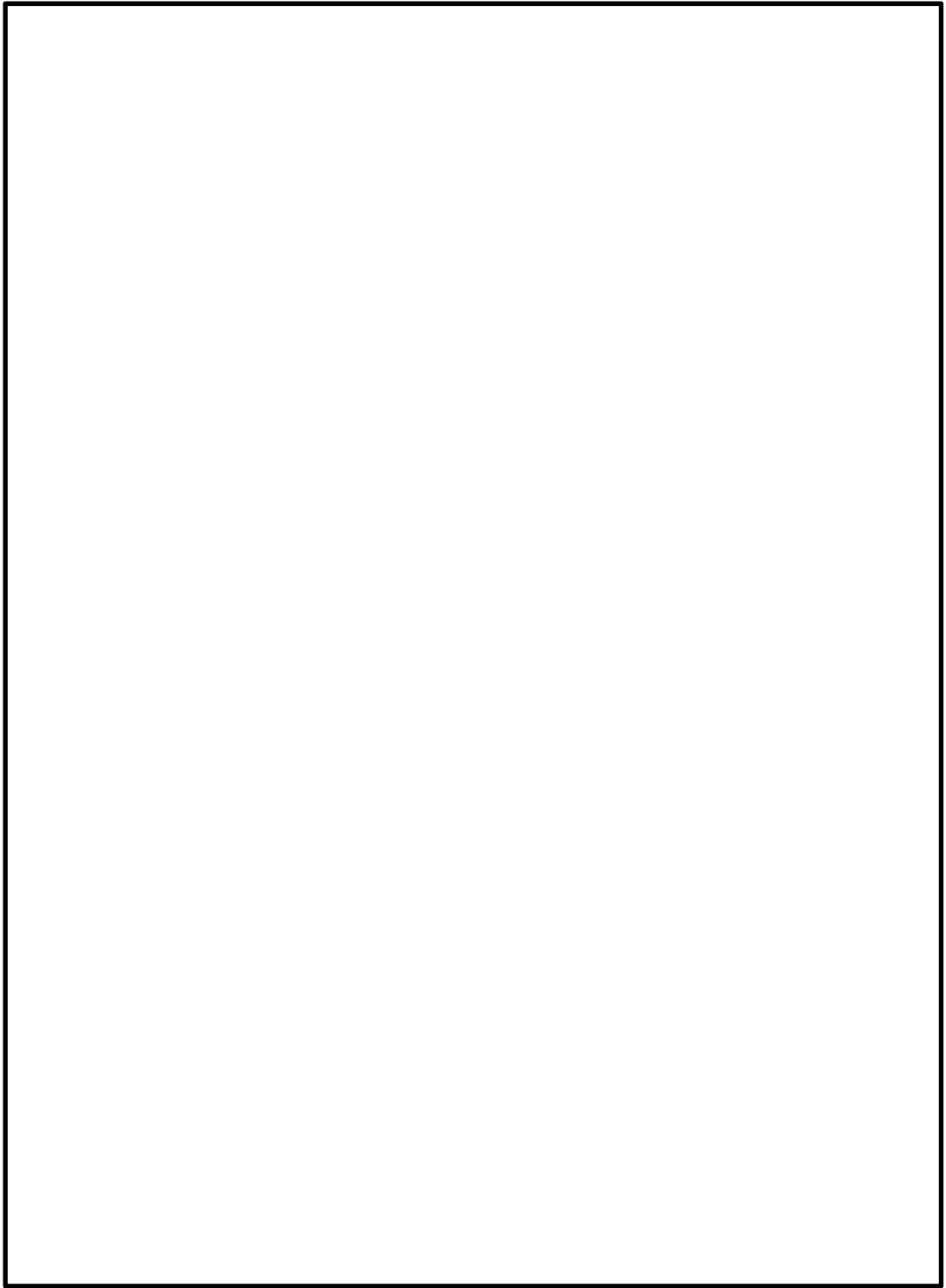


図 3-7(2) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）

（参考） 12-2-33

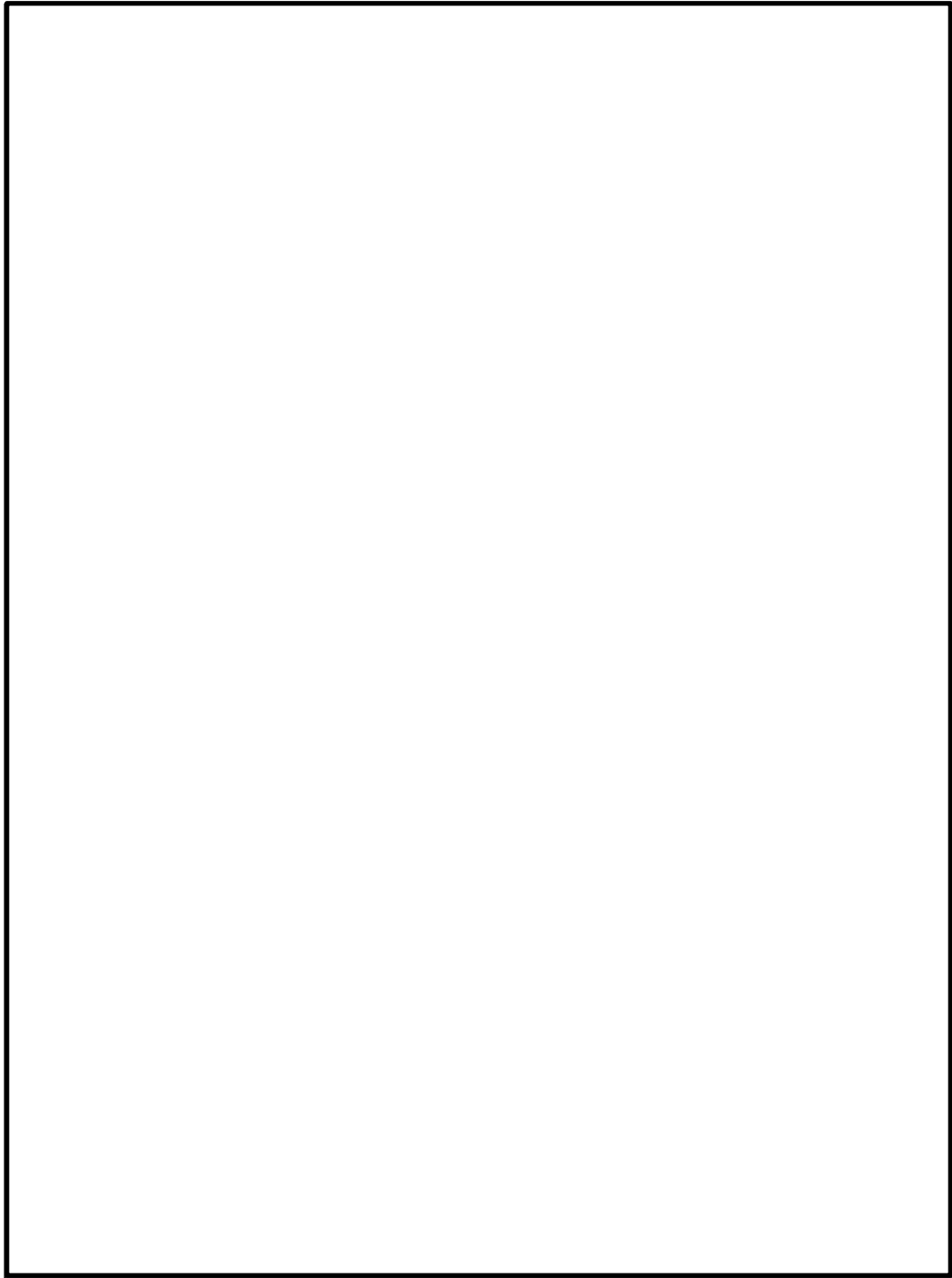


図 3-7(3) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）

（参考） 12-2-34

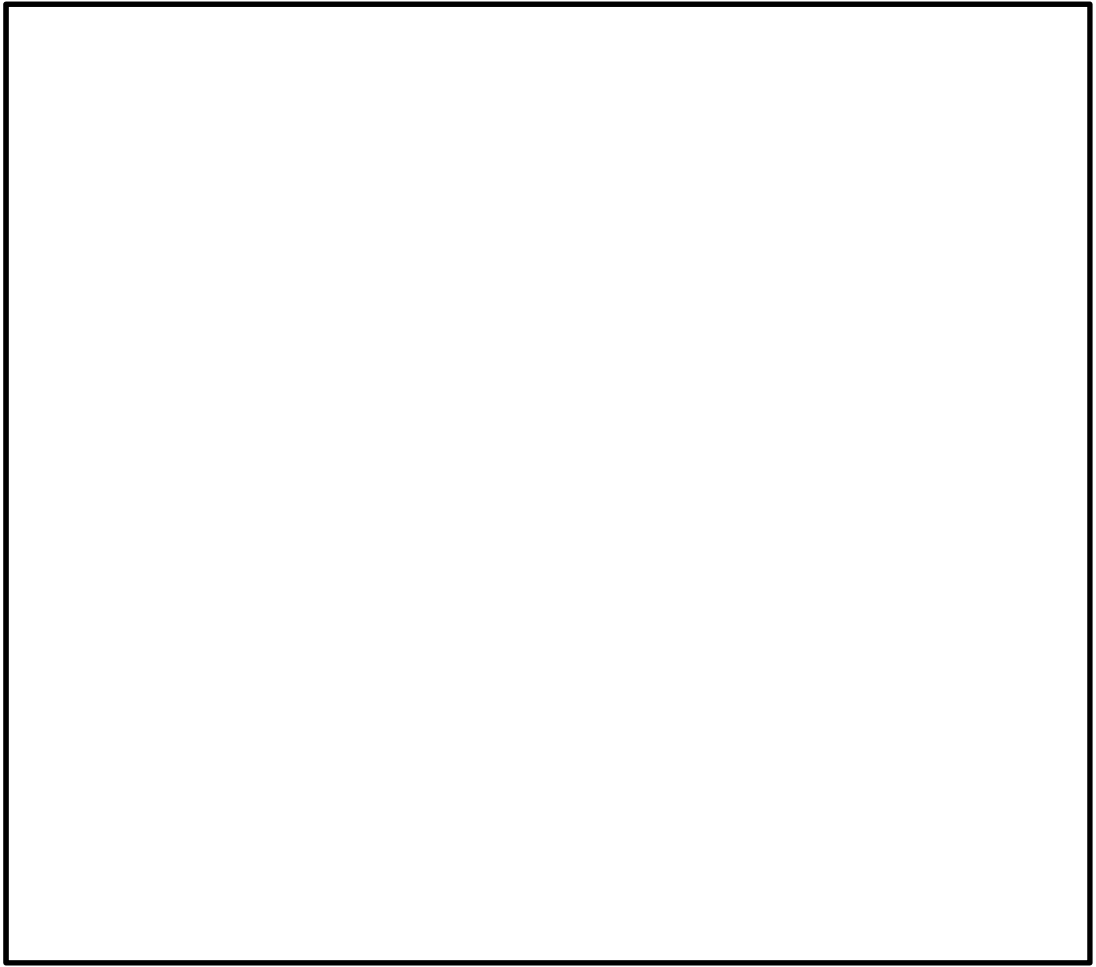


図 3-7(4) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）

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  $300\text{N}/\text{mm}^2$  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、ねじ筋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。

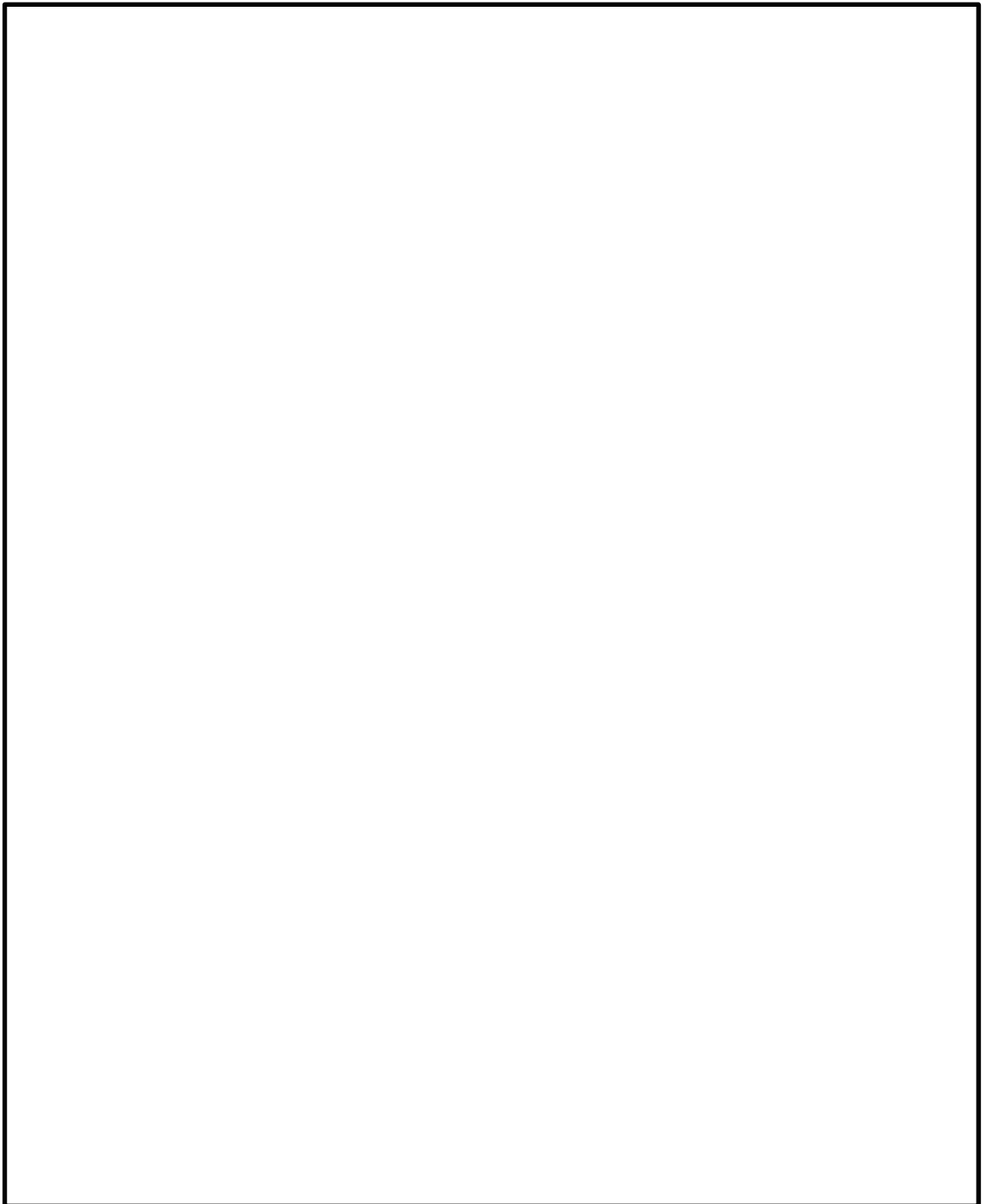


図 3-7(5) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）



図 3-7(6) 使用材料・強度（建設技術審査証明報告書より抜粋）

### 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。

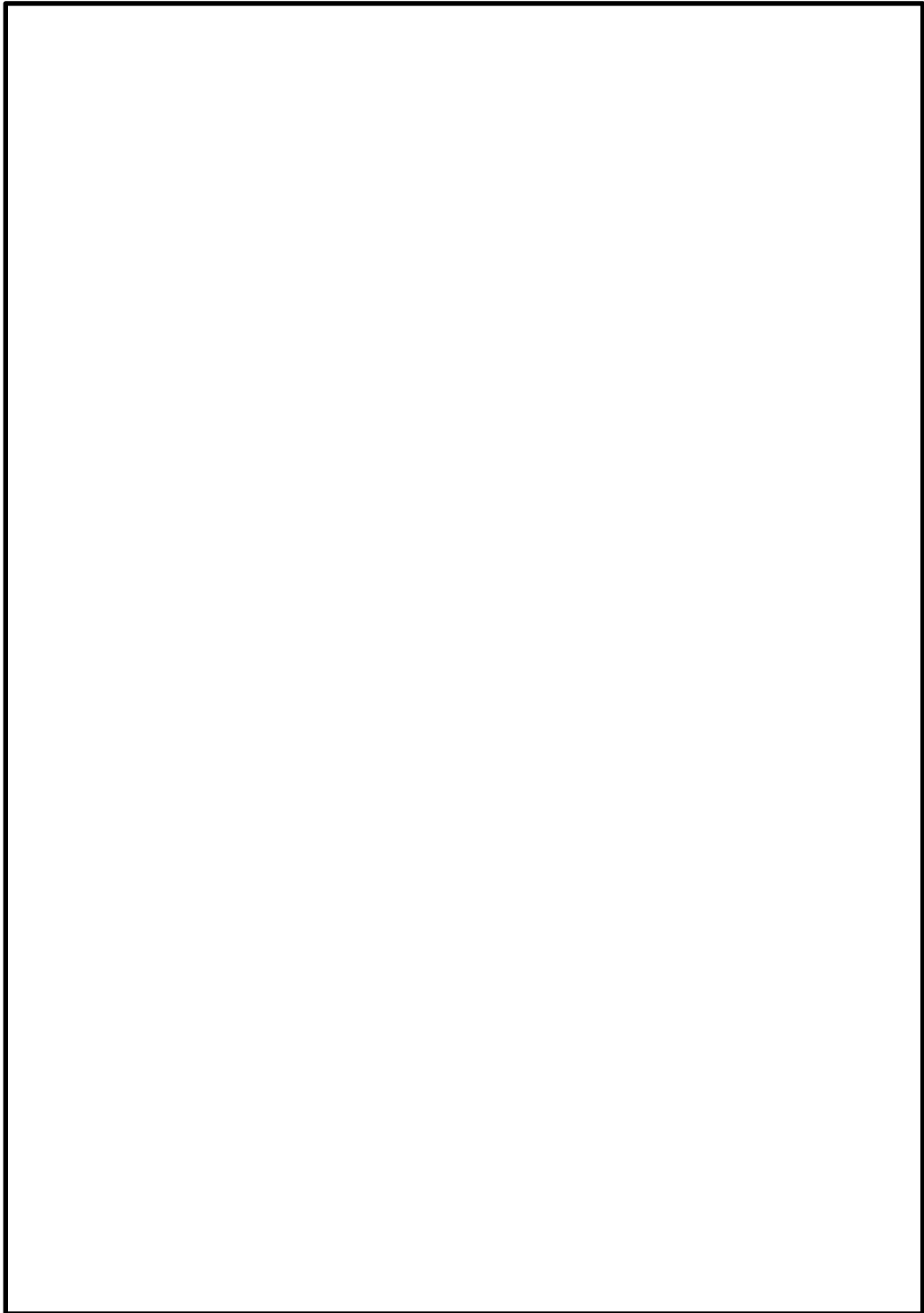


図 3-8(1) せん断に対する安全性照査（建設技術審査証明報告書より抜粋）

（参考）12-2-38



図 3-8(2) 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）

#### 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。

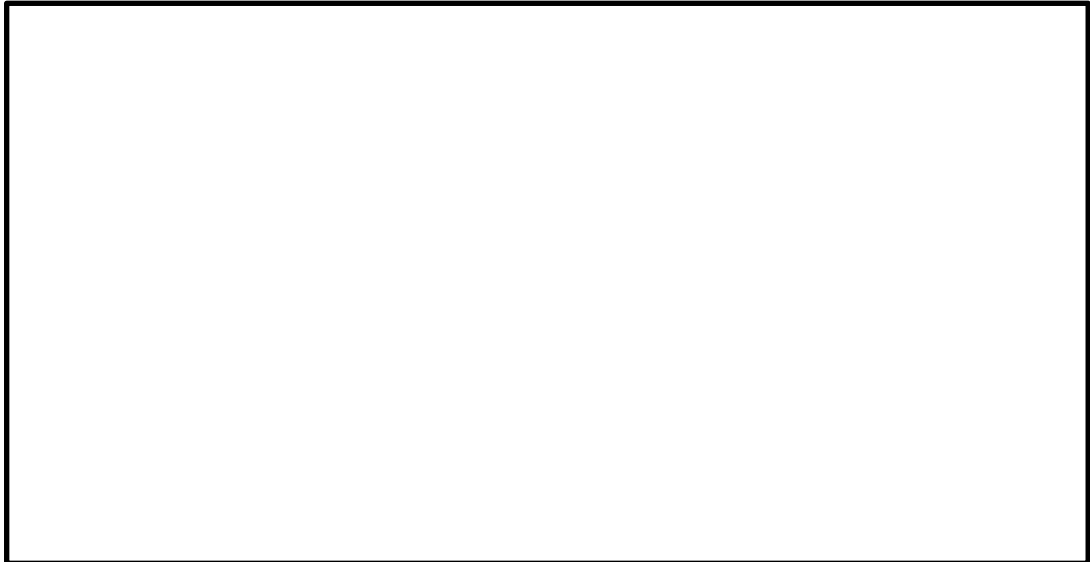


図3-9 構造細目（建設技術審査証明報告書より抜粋）



### 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 施工の确实性

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



図 3-10 施工の确实性 (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。



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。



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

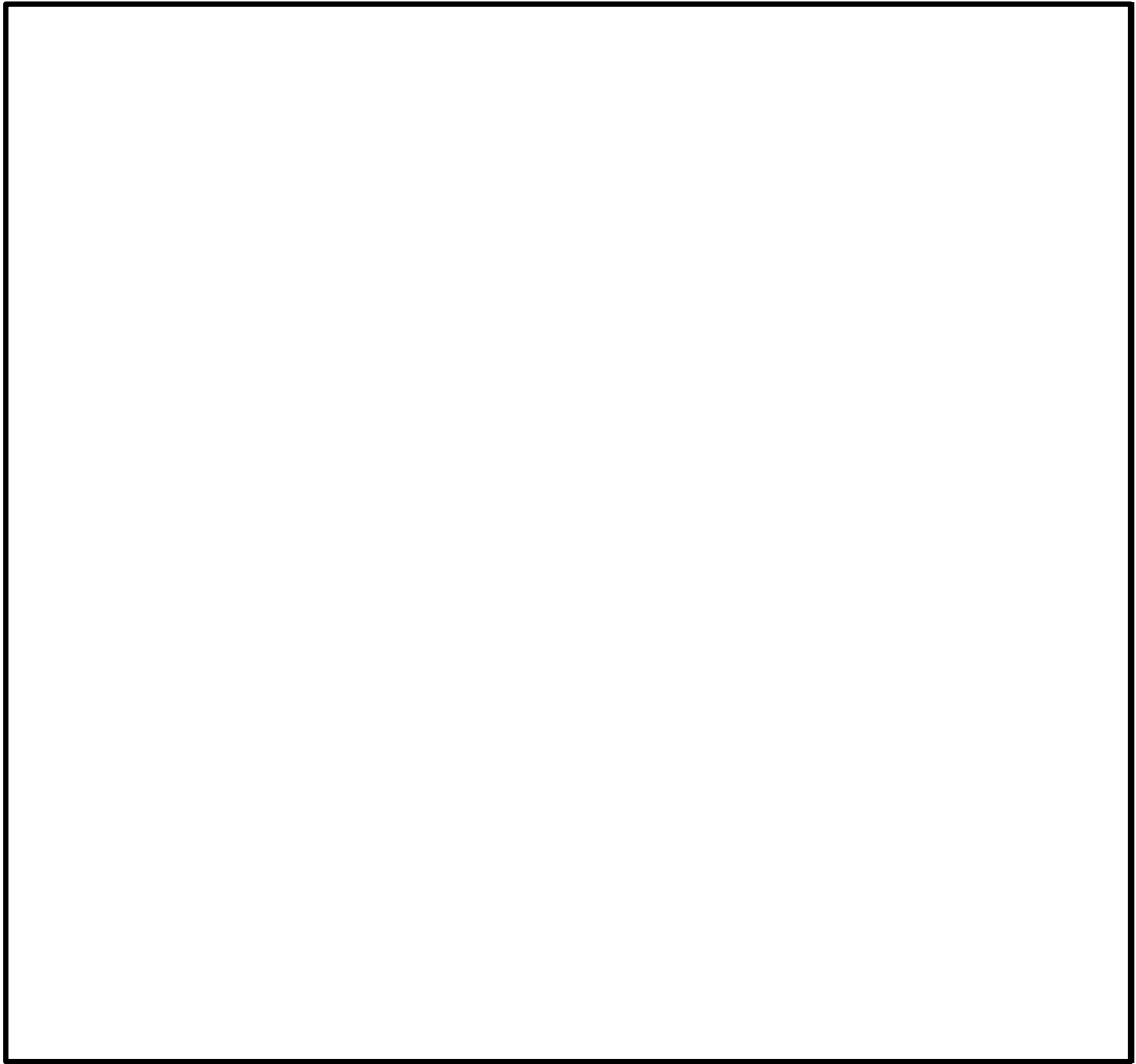


図 3-12(2) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

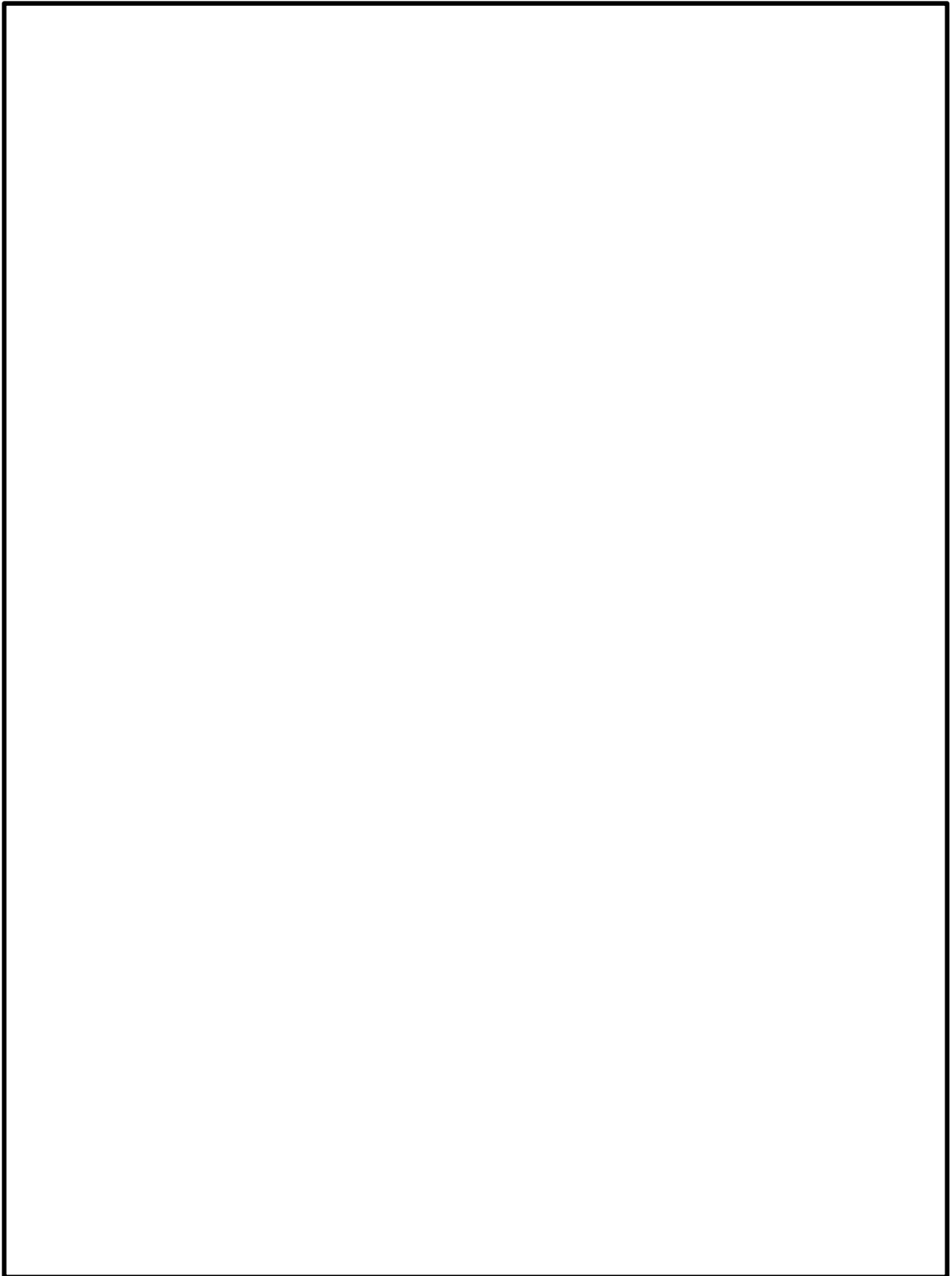


図 3-12(3) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-43

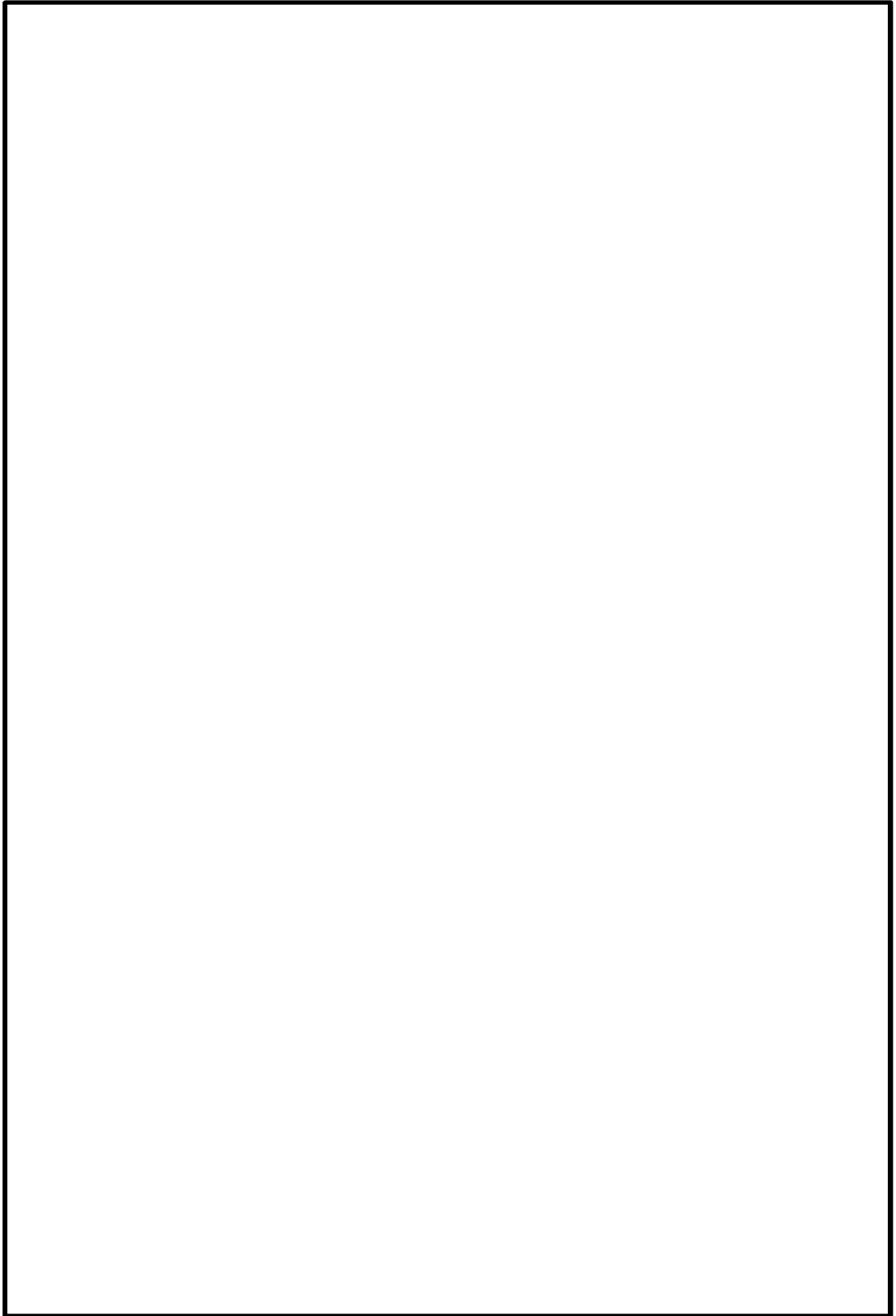


図 3-12(4) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-44

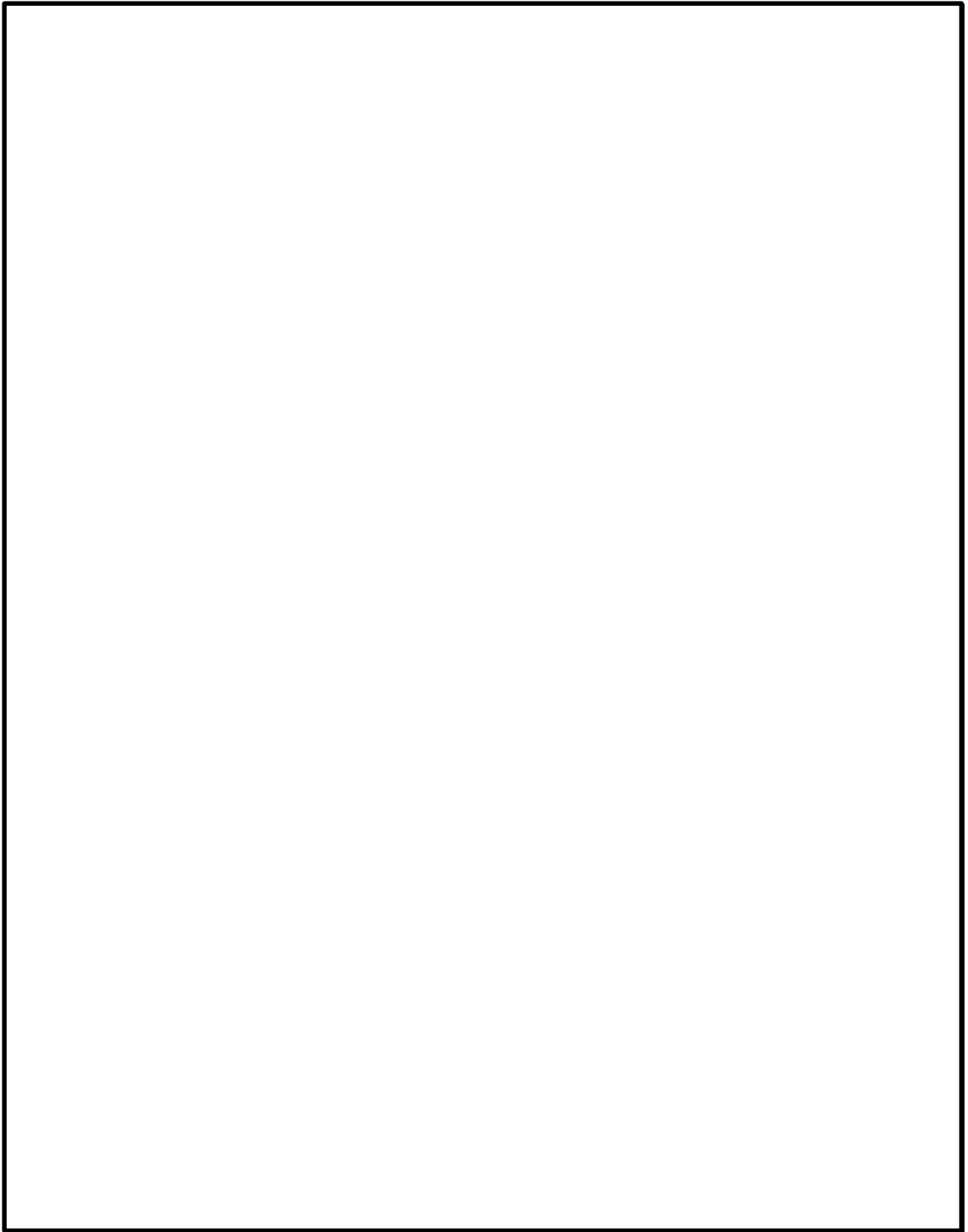


図 3-12(5) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-45

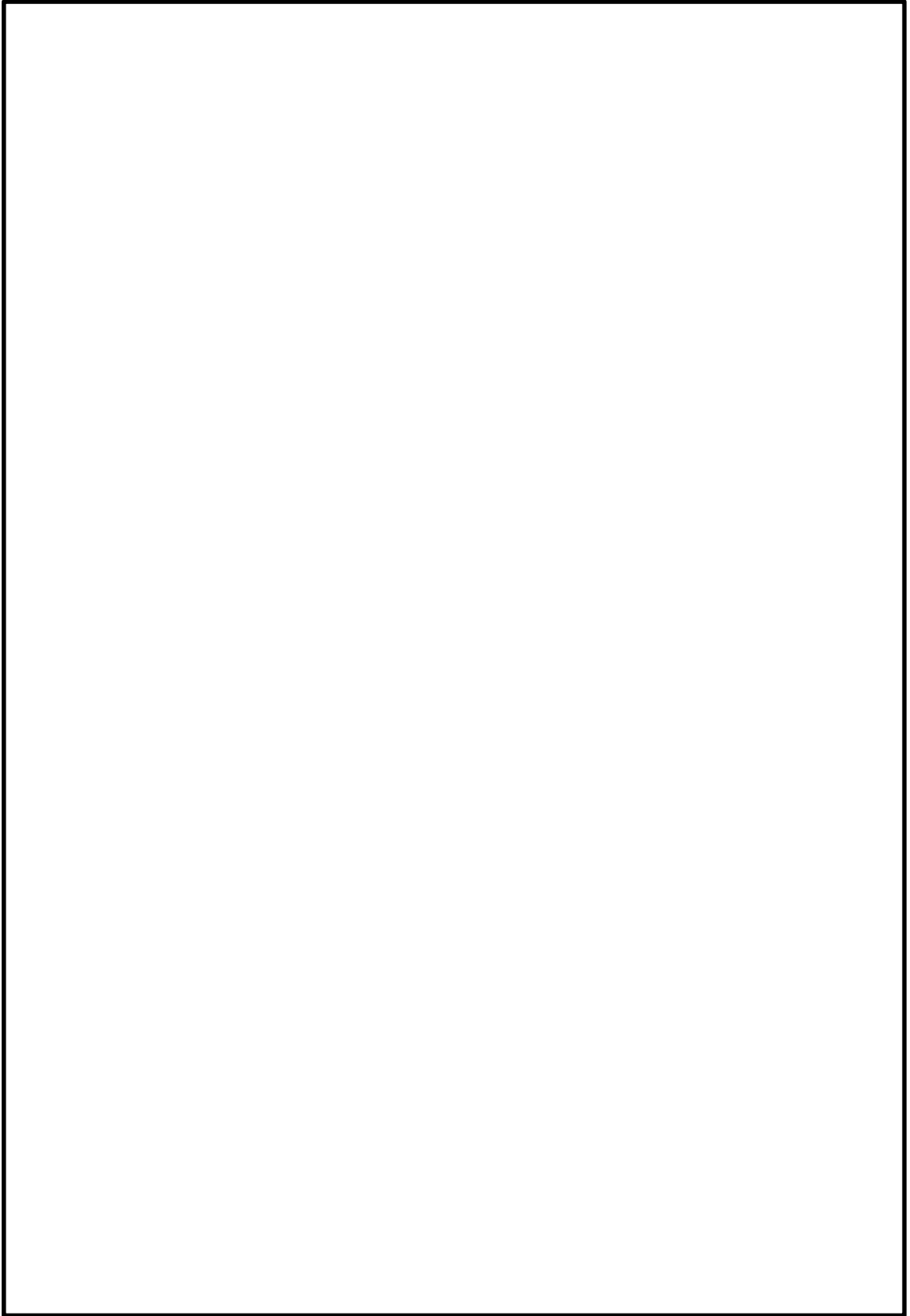


図 3-12(6) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-46

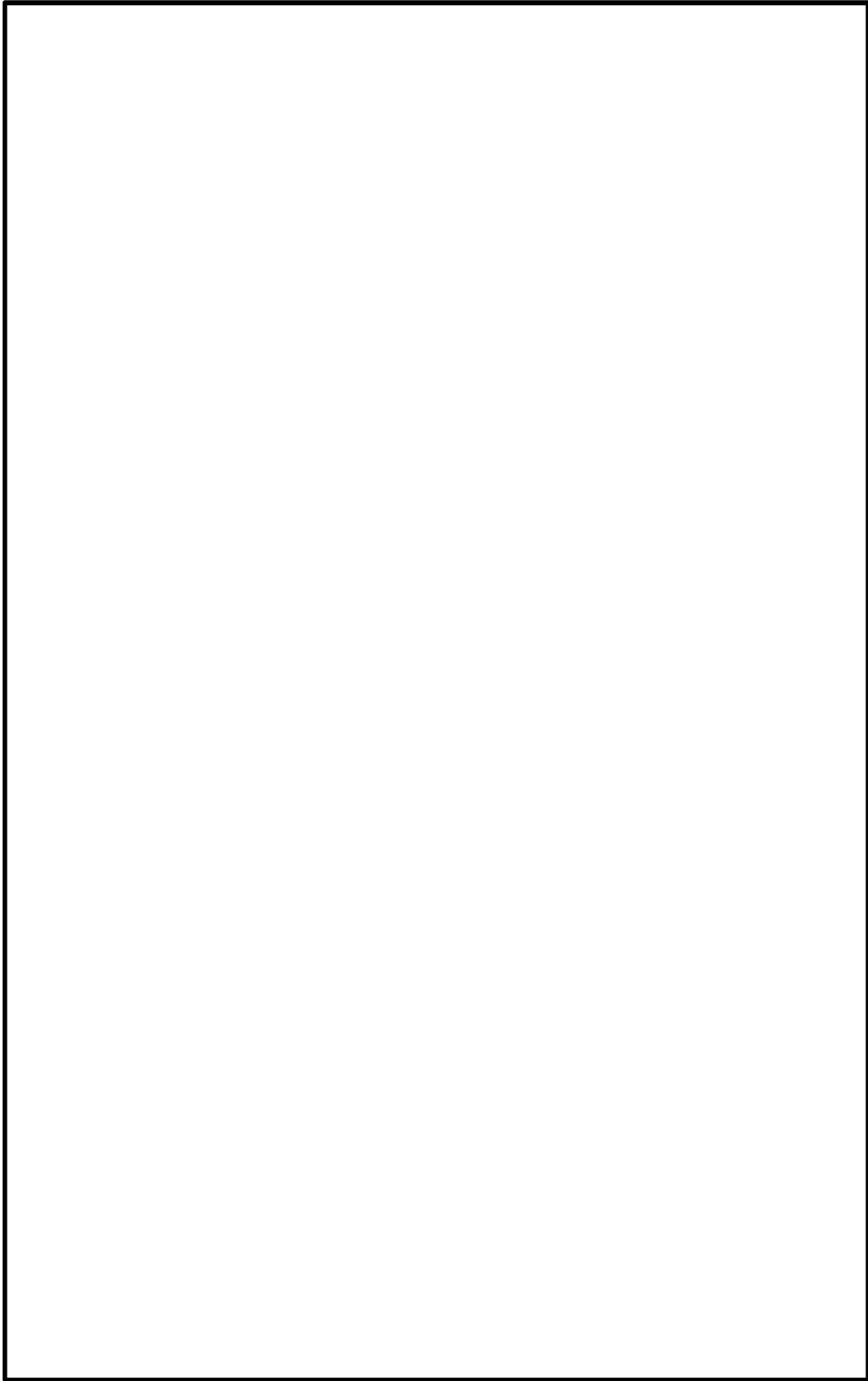


図 3-12(7) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-47

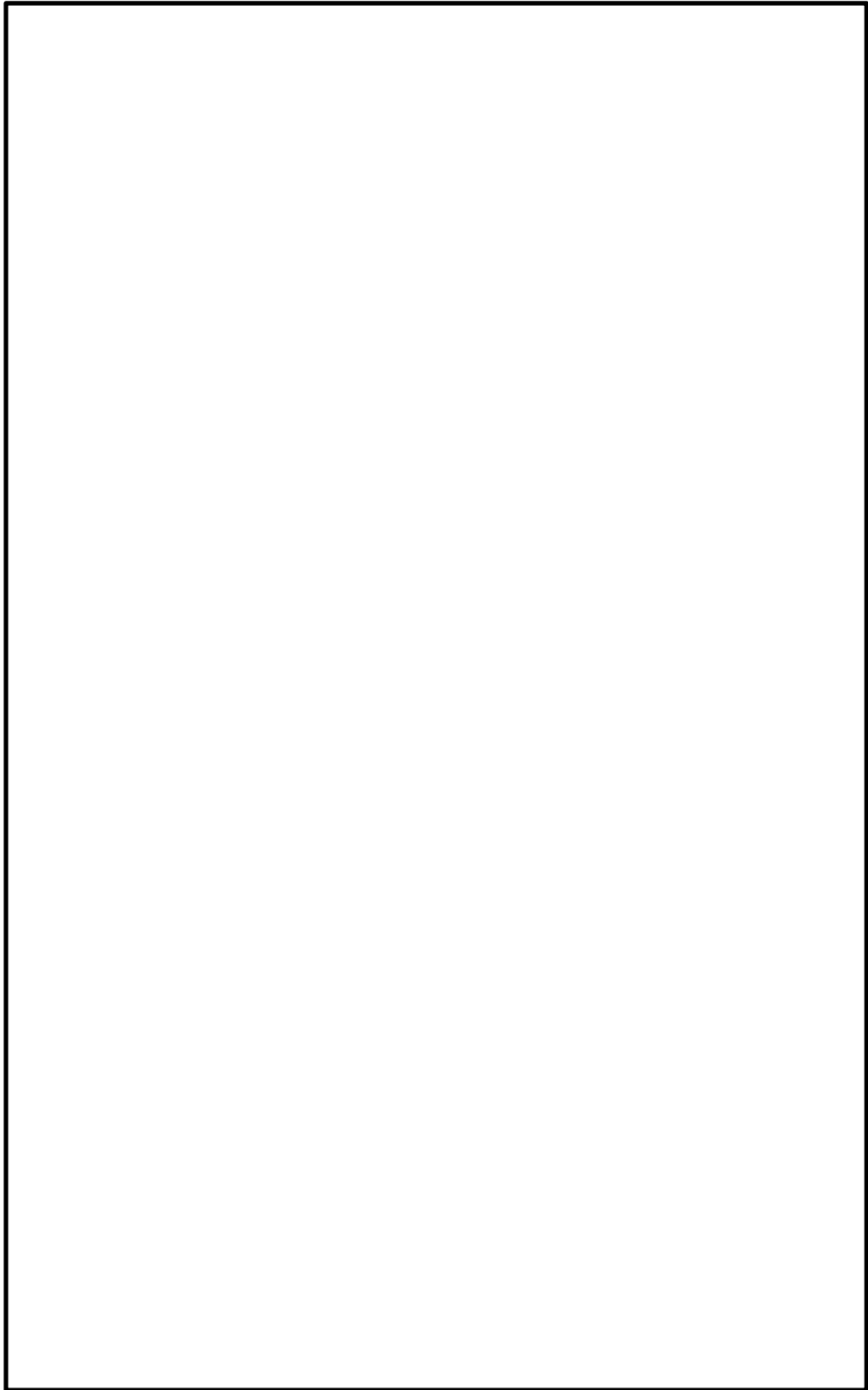


図 3-12(8) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-48



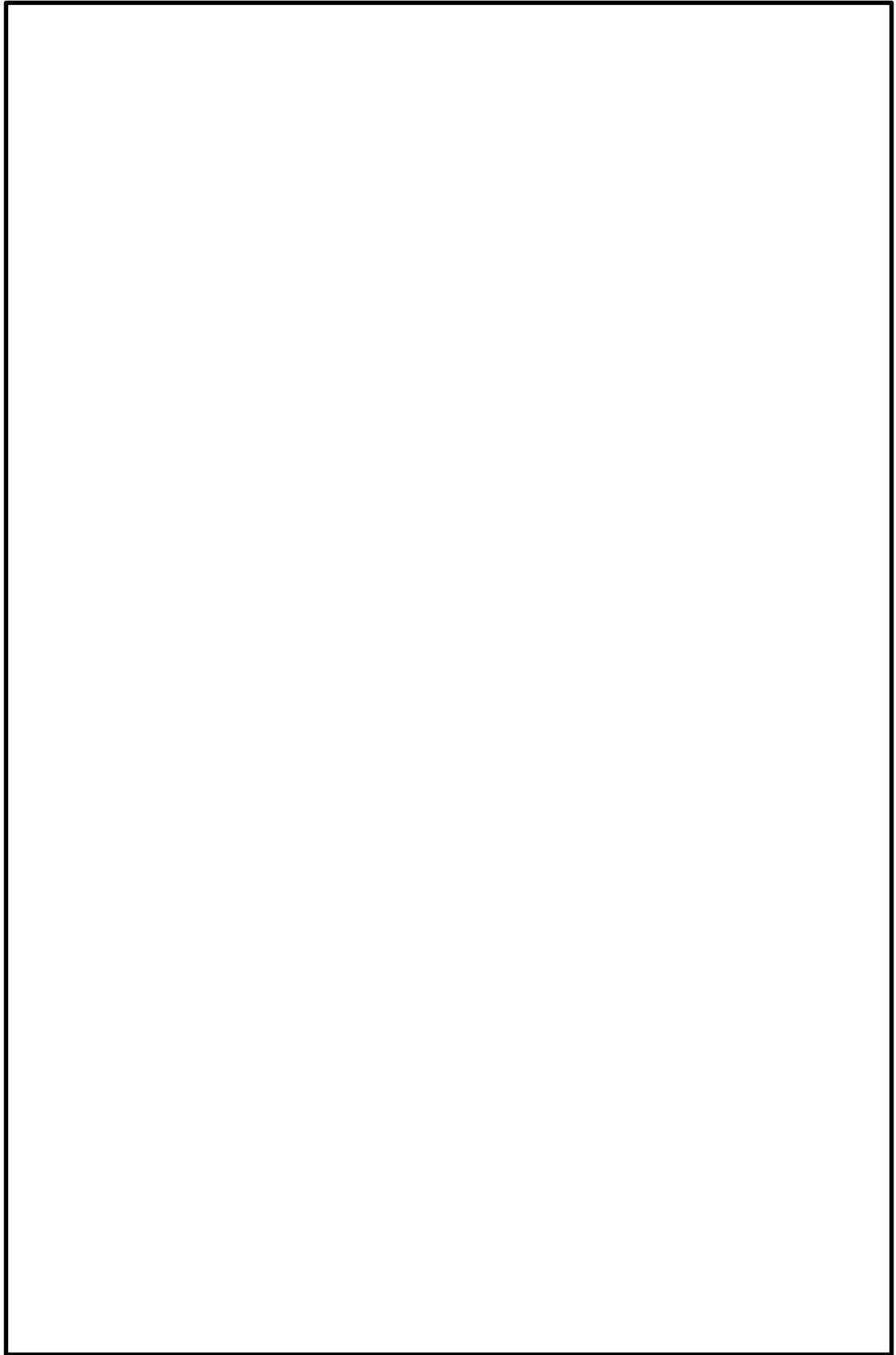


図 3-12(9) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-49

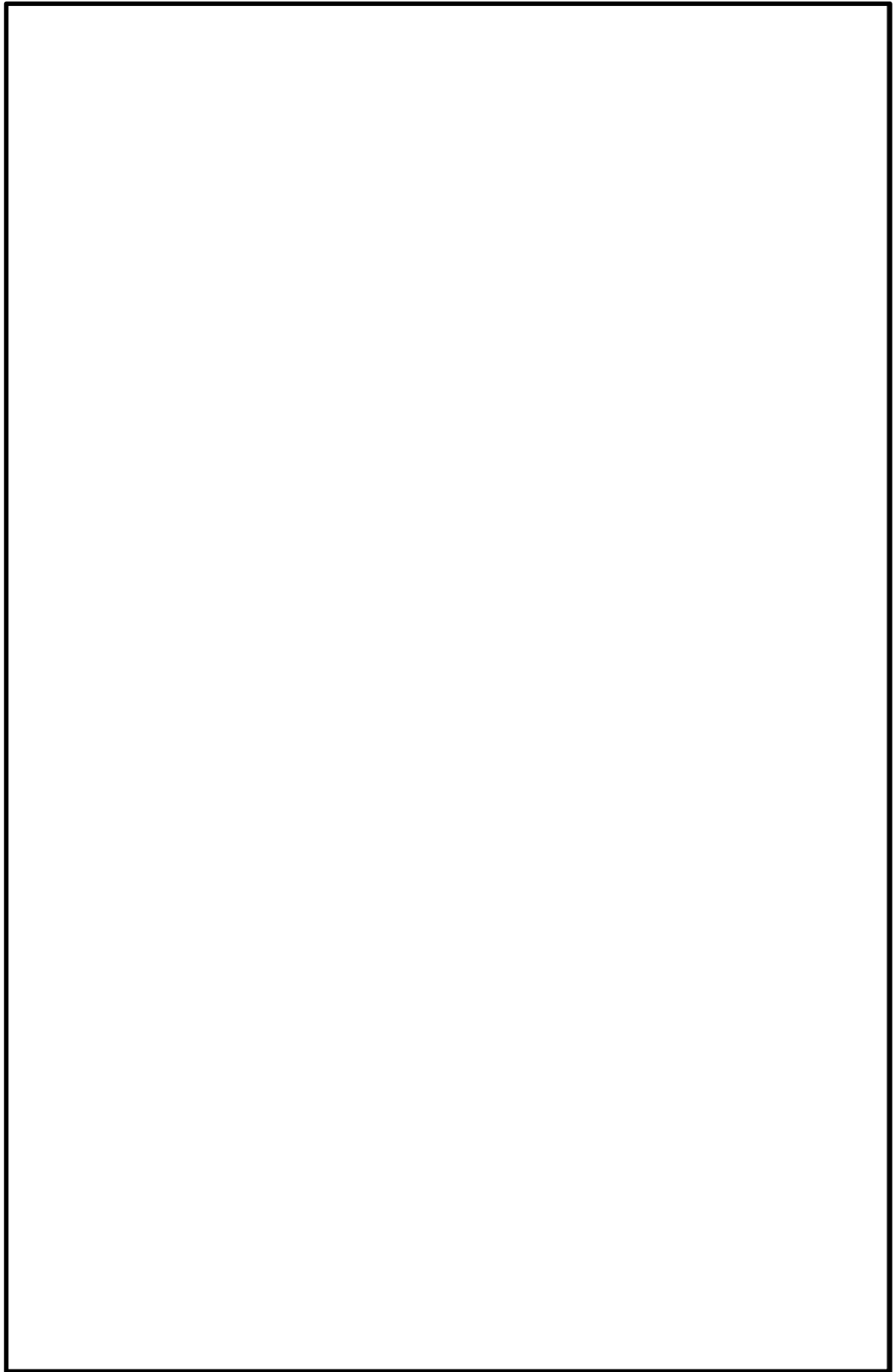


図 3-12(10) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-50

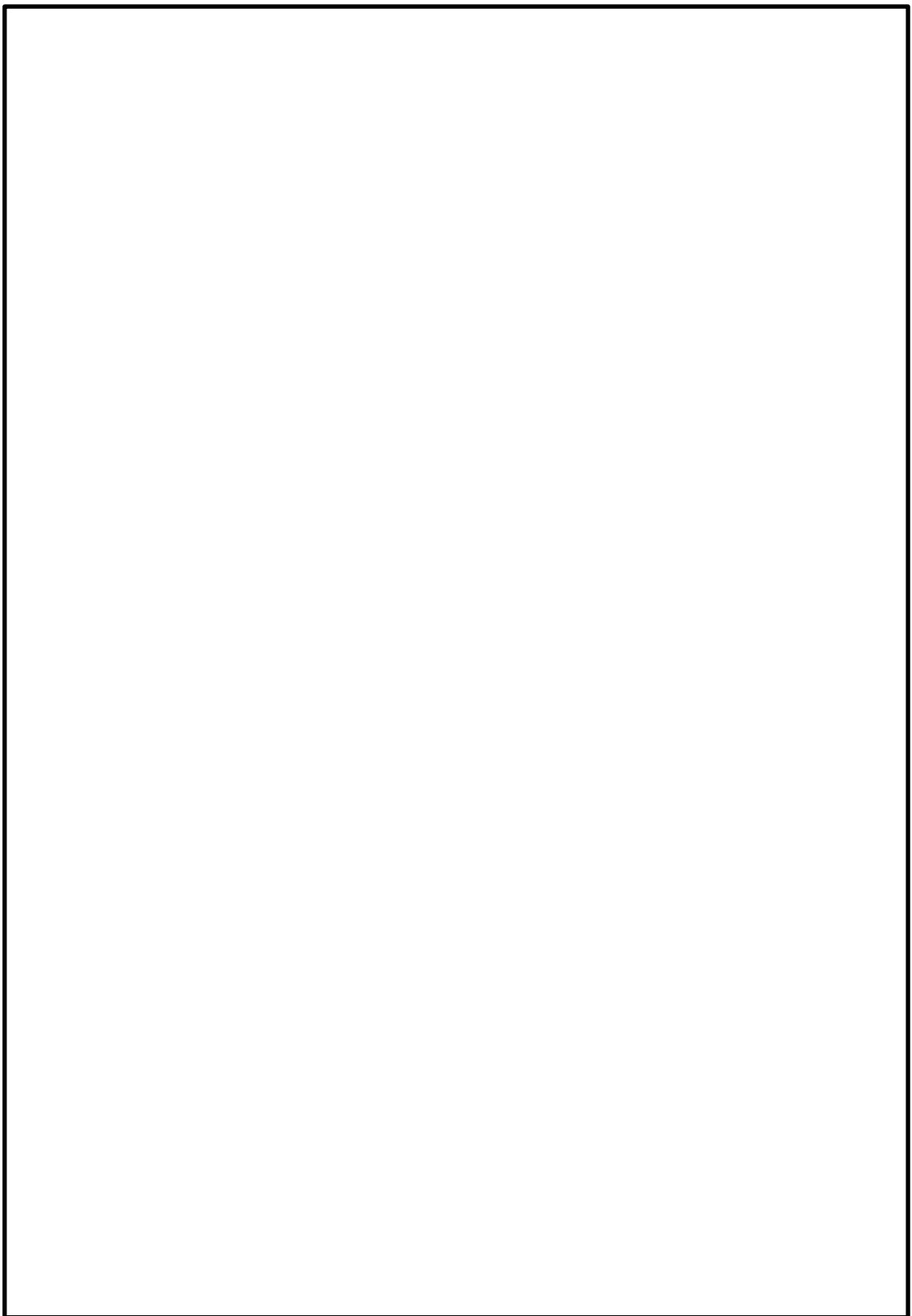


図 3-12(11) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-51

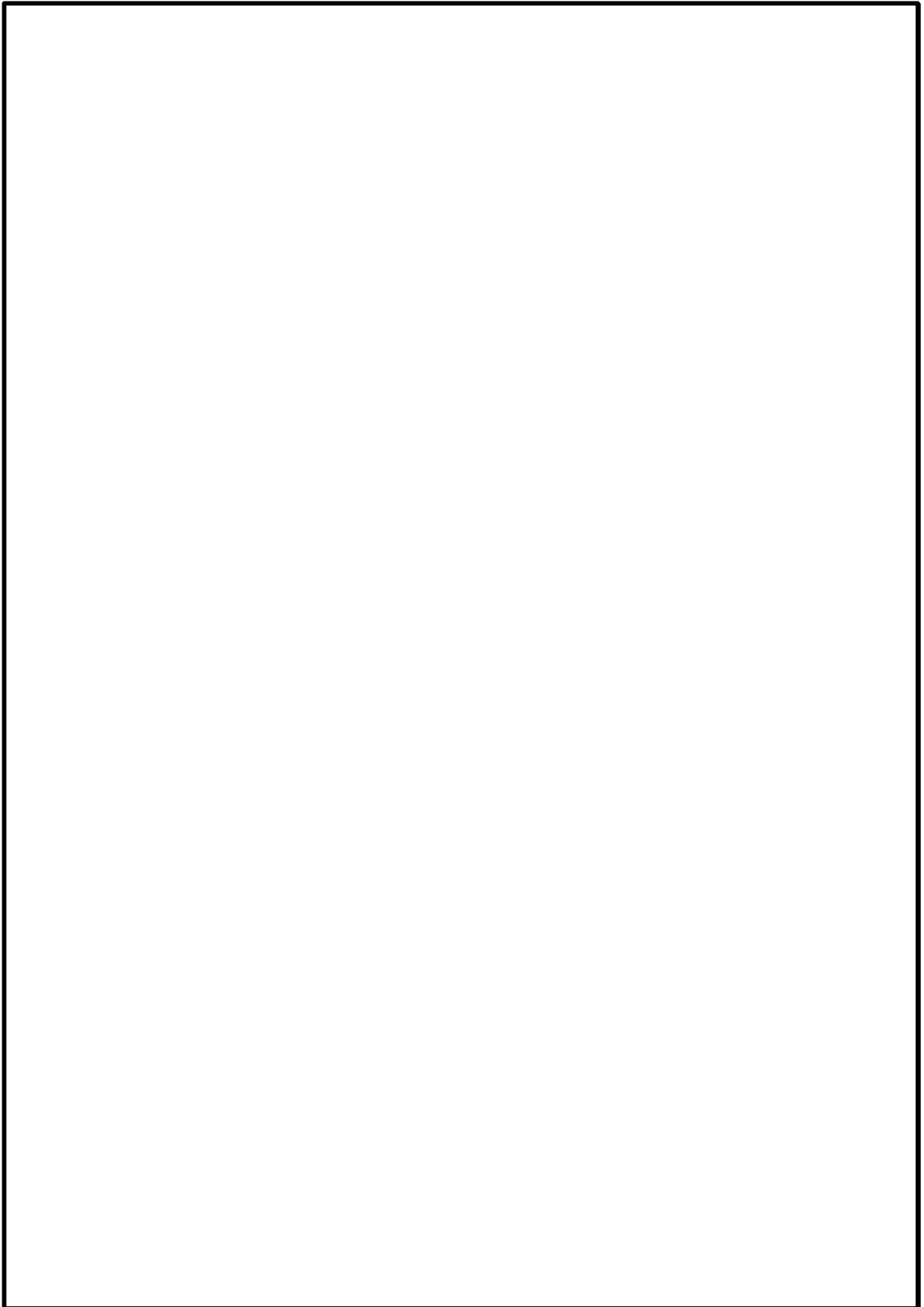


図 3-12(12) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-52

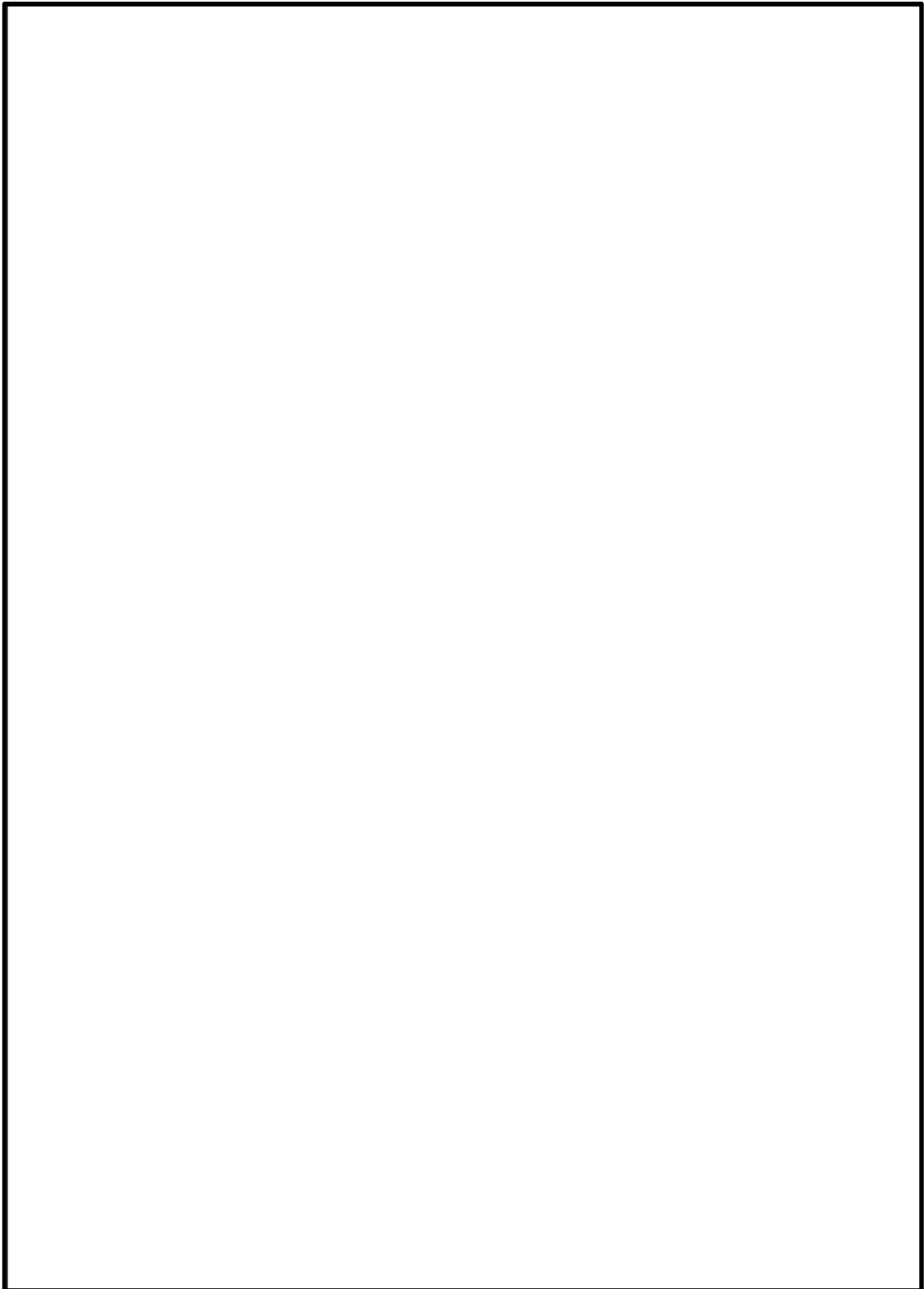


図 3-12(13) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-53

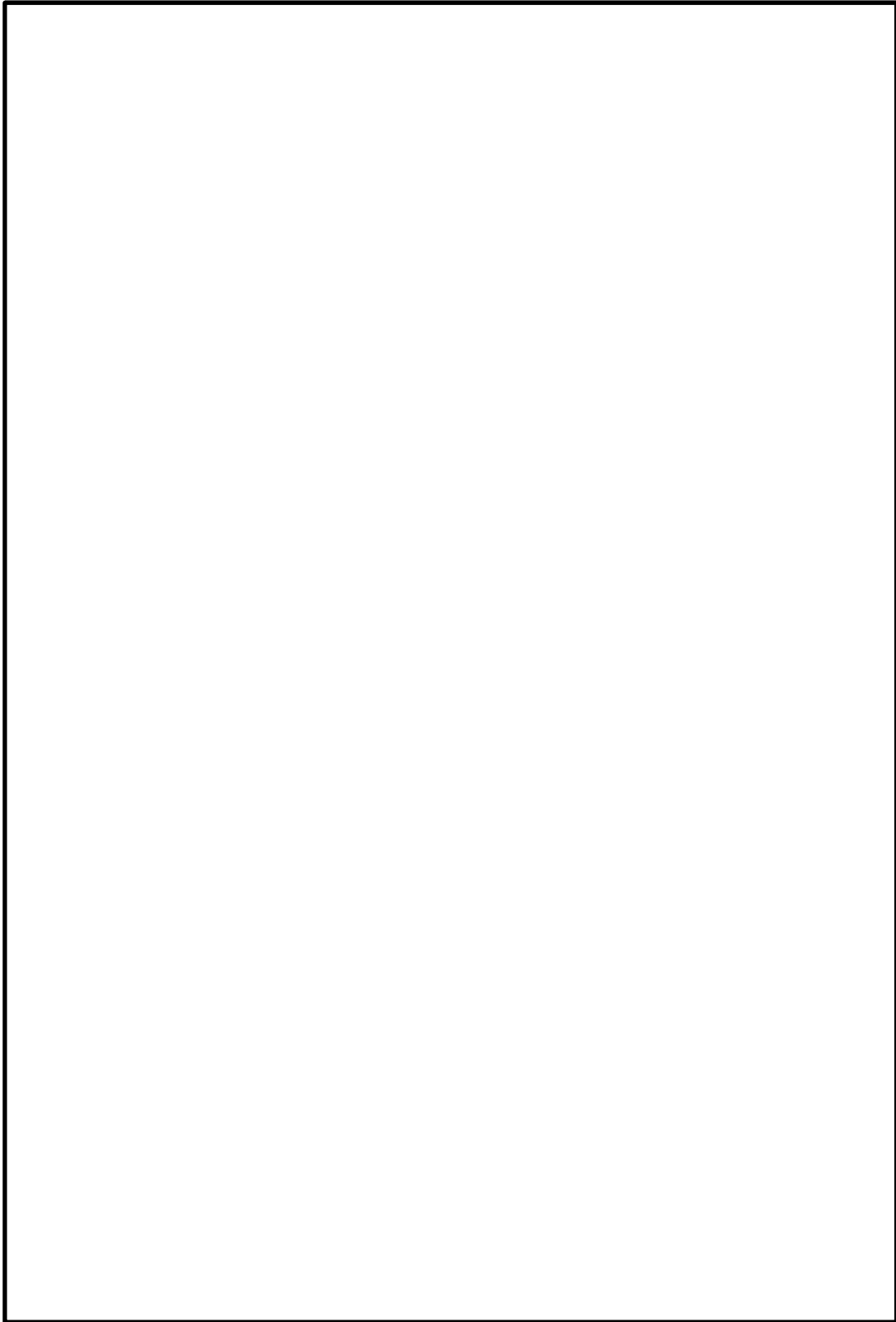


図 3-12(14) Ccb の施工手順の設定 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-54

#### 4. 島根 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 工法を島根 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、施工実績及び研究事例等から適用範囲を整理し、島根 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

島根 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 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。

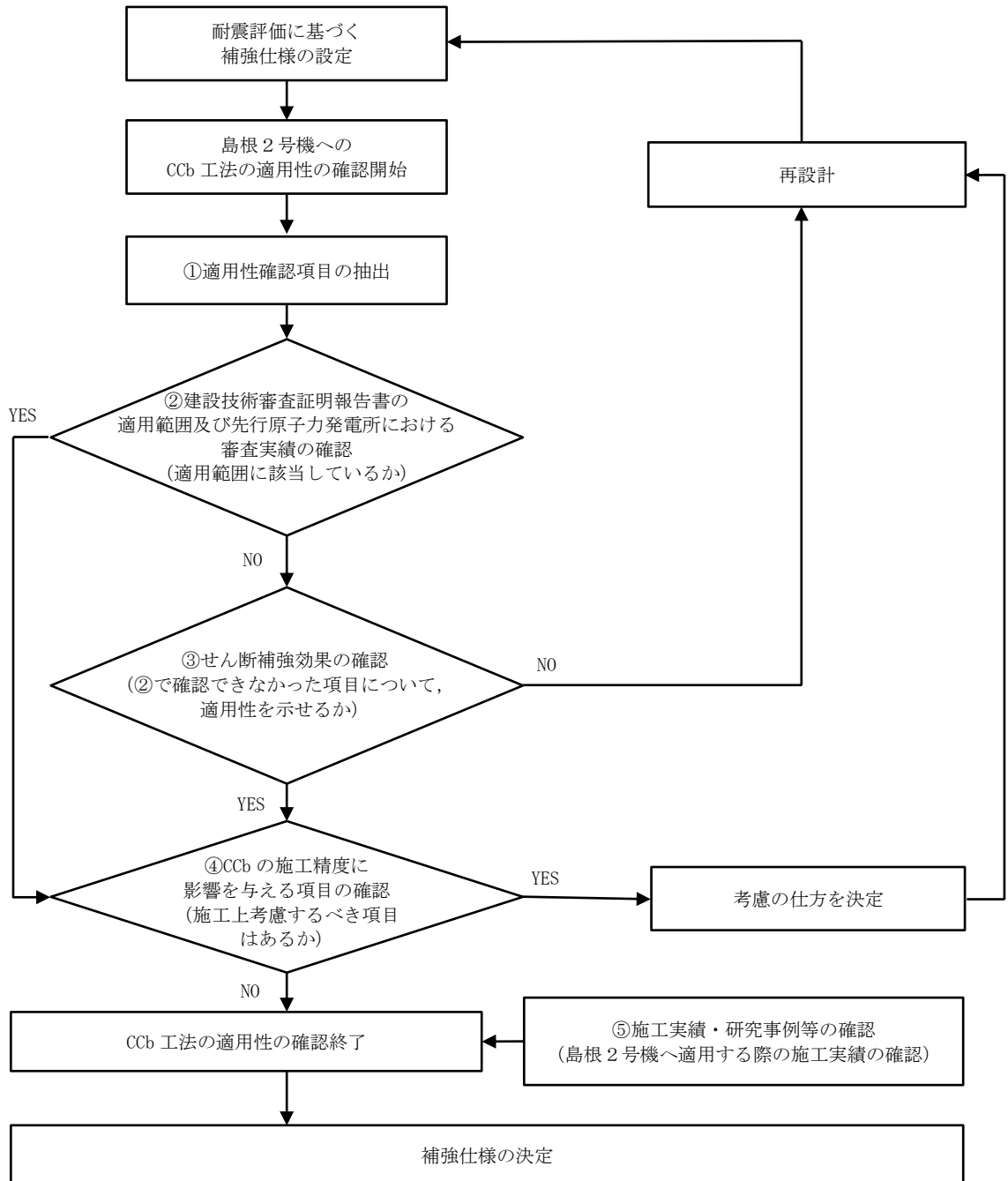


図 4-1 Ccb 工法の適用性確認フロー



#### 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として，屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の補強仕様を図 4-2 に示す。

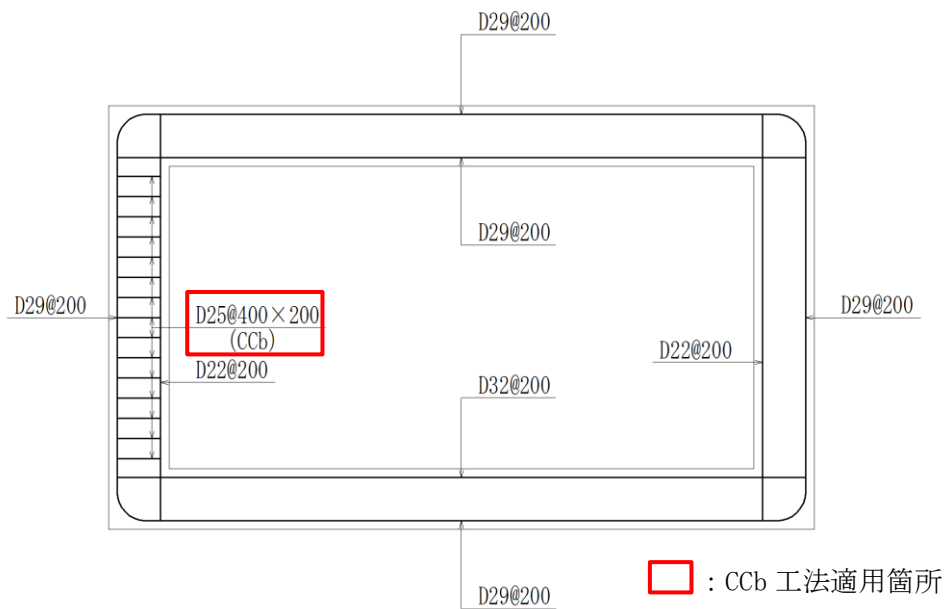


図 4-2 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の補強仕様

#### 4.3 ①適用性確認項目の抽出

CCb 工法の特徴及び島根 2 号機固有の条件等の観点から、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で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。

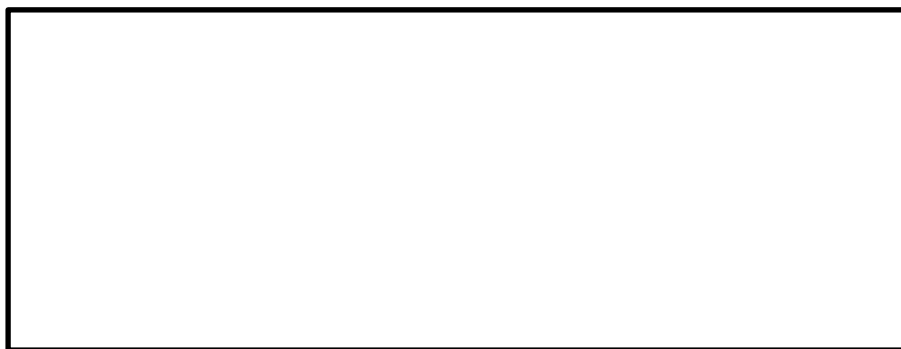
4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲及び先行原子力発電所における審査実績の確認

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及び先行原子力発電所における審査実績を確認する。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)



建設技術審査証明報告書の適用範囲	使用箇所及び状況
	<p>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。</p>
	<p>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。</p>

(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、島根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 $300\text{mm}$ 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 $50\text{mm}$ 以上とする。

②の最大配置間隔 $300\text{mm}$ 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ことから、収縮が収束していると考えられる部材の補強ではこの規定を外すことができる。

島根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から、この規定（最大配置間隔 $300\text{mm}$ 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。

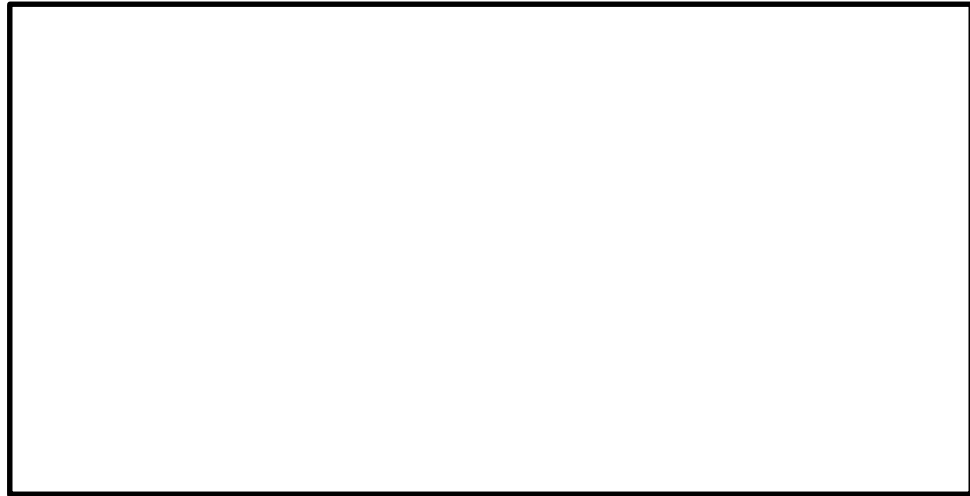


図 4-3 Ccb 標準配置（建設技術審査証明報告書より抜粋）

(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 に示す。

表 4-2 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る。せん断スパン比及び主鉄筋比は先行の審査実績において, Ccb 適用部材と同程度の部材に対する適用性が実証されている。以上より, 部材諸元については適用範囲内であると考えられる。

載荷方法についても, 先行の審査実績において, 集中荷重及び分布荷重が作用する部材に対する適用性が実証されていること, 適用部材のせん断スパン比も先行の審査実績において確認された範囲内であることから, 適用範囲内であると考えられる。

表 4-2 適用範囲の整理結果

	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*1	CCbの鉄筋径	CCbの鉄筋種別	主鉄筋比 (%)
建設技術審査証明書で規定されている適用範囲							
建設技術審査証明書の実験から確認した範囲							
先行原子力発電所*2における審査実績							
CCb 適用部材 (屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽))	0.63	200 515	600	5.83	D25	SD345	0.64
	0.36	200 715	800	8.11	D19	SD345	0.79
側壁							分布荷重
頂版							分布荷重

注記\*1：せん断スパン比 a/d (a：支間長, d：有効高さ)

\*2：女川2号機

- (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 4-3 参照）

表 4-3 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）

	建設技術審査証明報告書の材料範囲	使用状況
せん断補強筋 (ねじ節鉄筋)		左記範囲内の材料を使用する。 (D25 SD345)
セラミック 定着体		左記検査を受けた材料を使用する。
充てん材		躯体コンクリート以上の強度とする。

- (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  
島根 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）が建設技術審査証明報告書の実験又は先行の審査実績において確認された範囲内であり，せん断ひび割れ抑制効果が確認されている。



(8) X I . ひび割れに対する定着機能の保持

主鉄筋にSD345を用いている島根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 $\mu$ )未満又は応力が降伏強度(345N/mm<sup>2</sup>)未満であることを確認している。

(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。

建設技術審査証明報告書の梁試験体における層間変形角は1%を超える範囲まで確認されている。これを踏まえ、島根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、圧縮縁コンクリートひずみ1.0%又は層間変形角1.0%(1/100)に、十分な余裕をもってCCb工法を使用している。

屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)の圧縮縁コンクリートひずみは最大でも0.06%程度であり、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。

(10) X III . 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、島根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。

#### 4.5 ③せん断補強効果の確認

「4.3 ①適用性確認項目の抽出」で抽出した適用性確認項目に対し、「4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認」で、島根2号機においてCCb工法を適用した部材は全項目において、適用範囲内であることを確認した。よって、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と判断する。

#### 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。

なお、削孔においては表4-5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4-5 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 拡幅部の削孔長	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 拡幅部の削孔径	ノギスによる計測	設計削孔径以上	

#### 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 4-5 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 4-6 に示す。削孔角度誤差を換算すると、長さ 1200mm、2400mm は  $0.72^\circ$ 、長さ 3600mm で  $0.66^\circ$  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 4-5 試験概要図

表 4-6 コンクリートコアドリル長尺削孔精度の計測結果

削孔長さ (mm)	削孔角度誤差 (°)
1200	0.72
2400	0.72
3600	0.66

### 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 4-6 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も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。

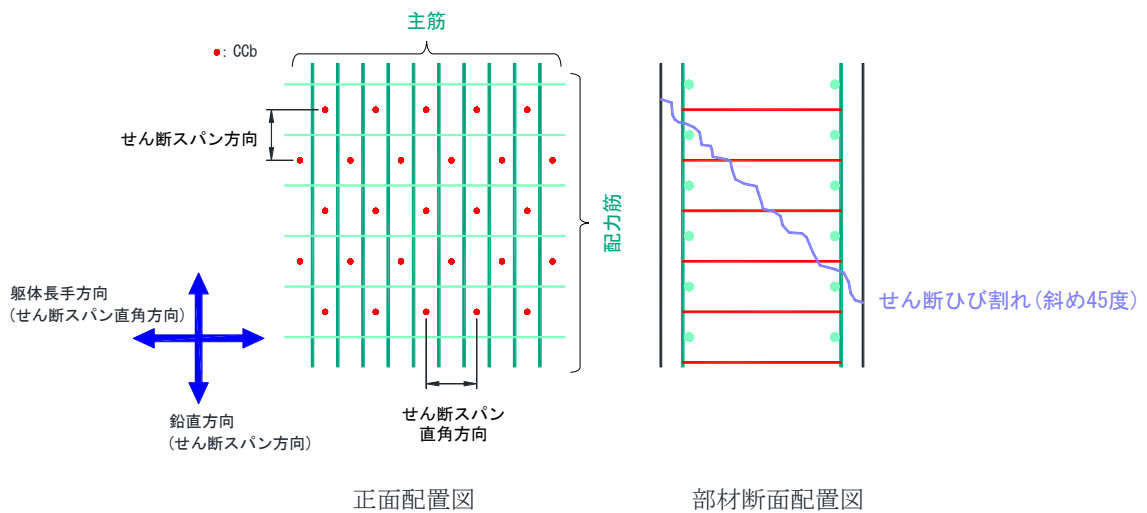


図 4-6 せん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図

#### 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4-7参照）。

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）



図4-7(1) 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）

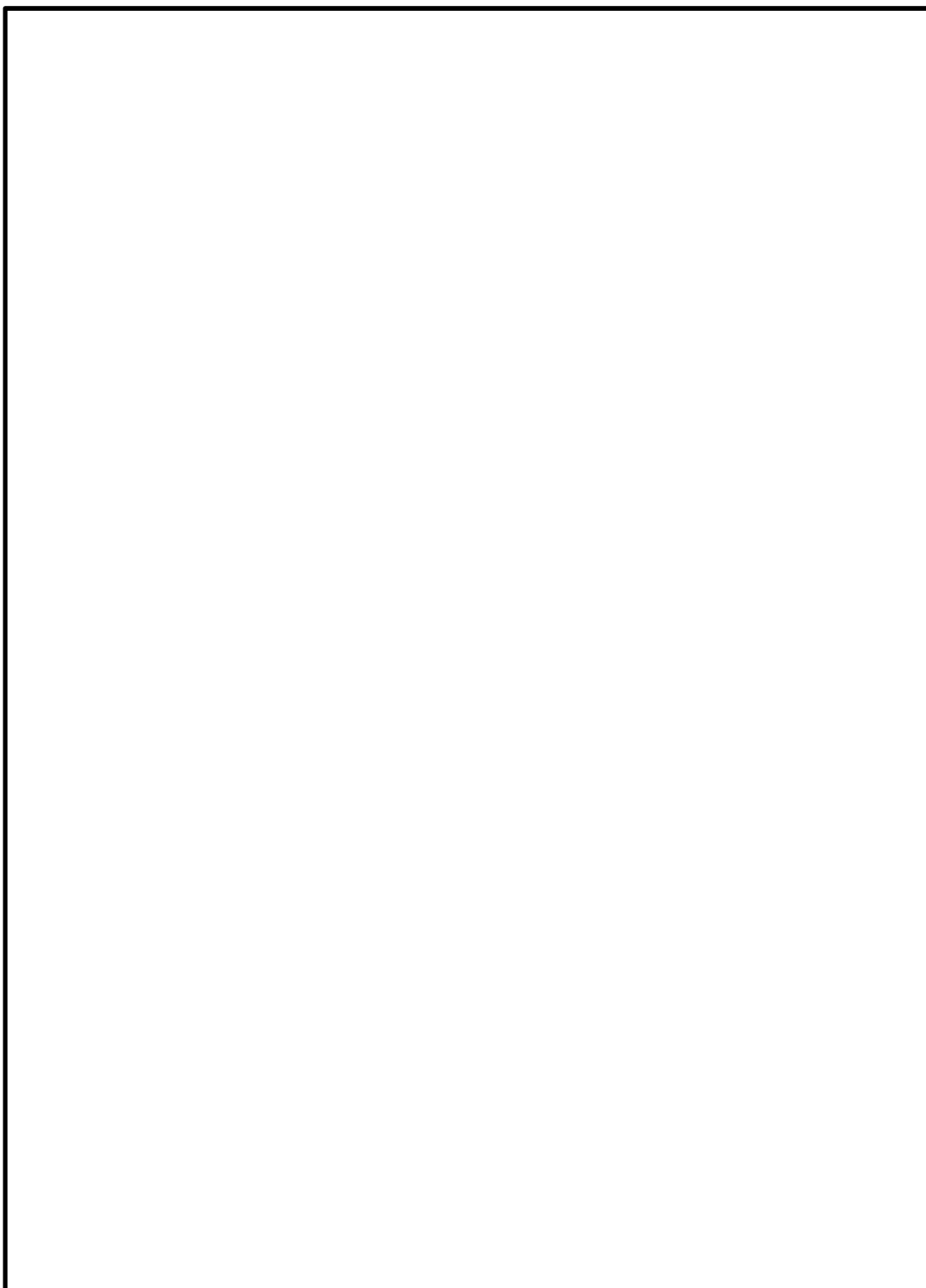


図 4-7(2) グラウトの充てん性確認実験 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-70

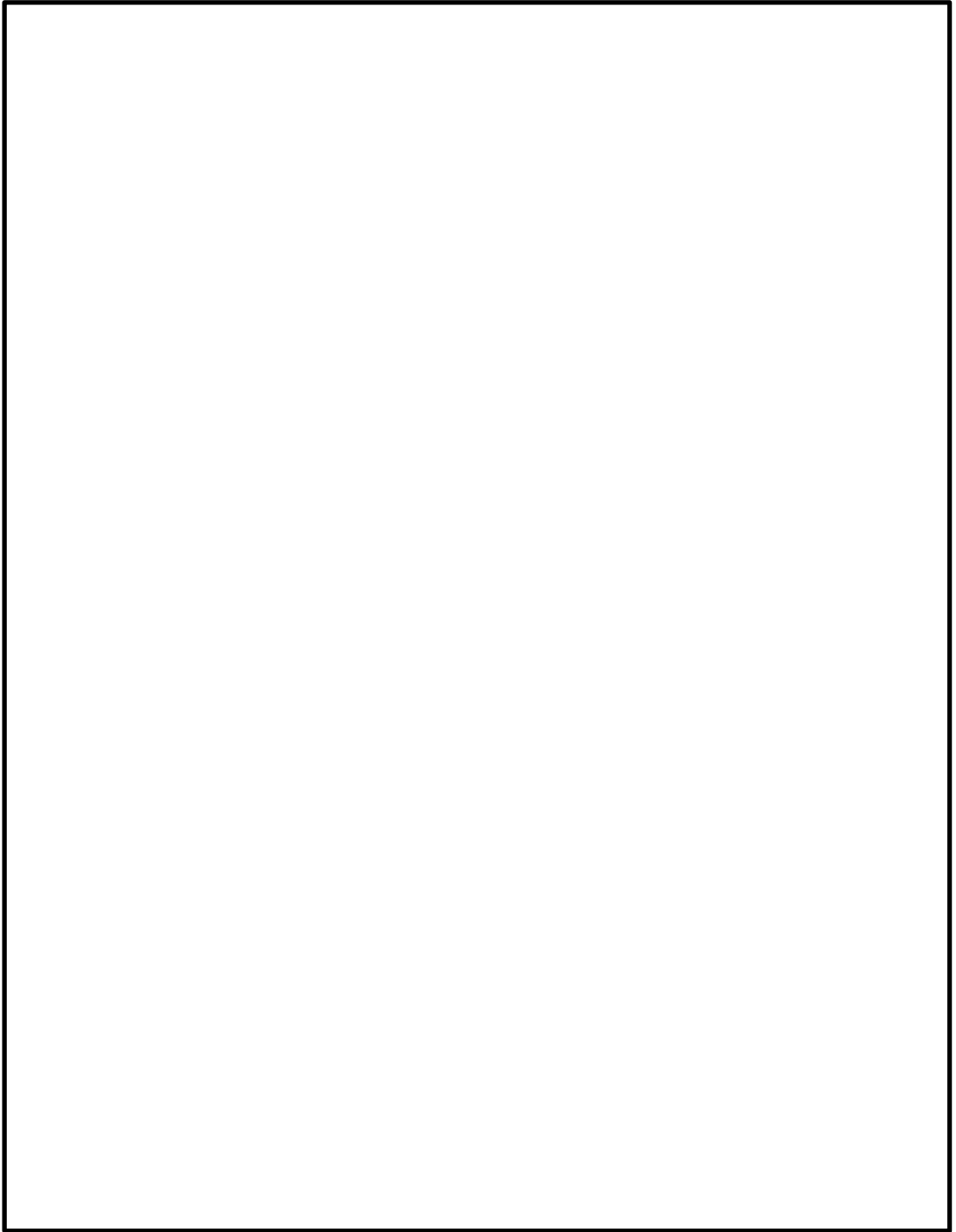


図 4-7(3) グラウトの充てん性確認実験 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

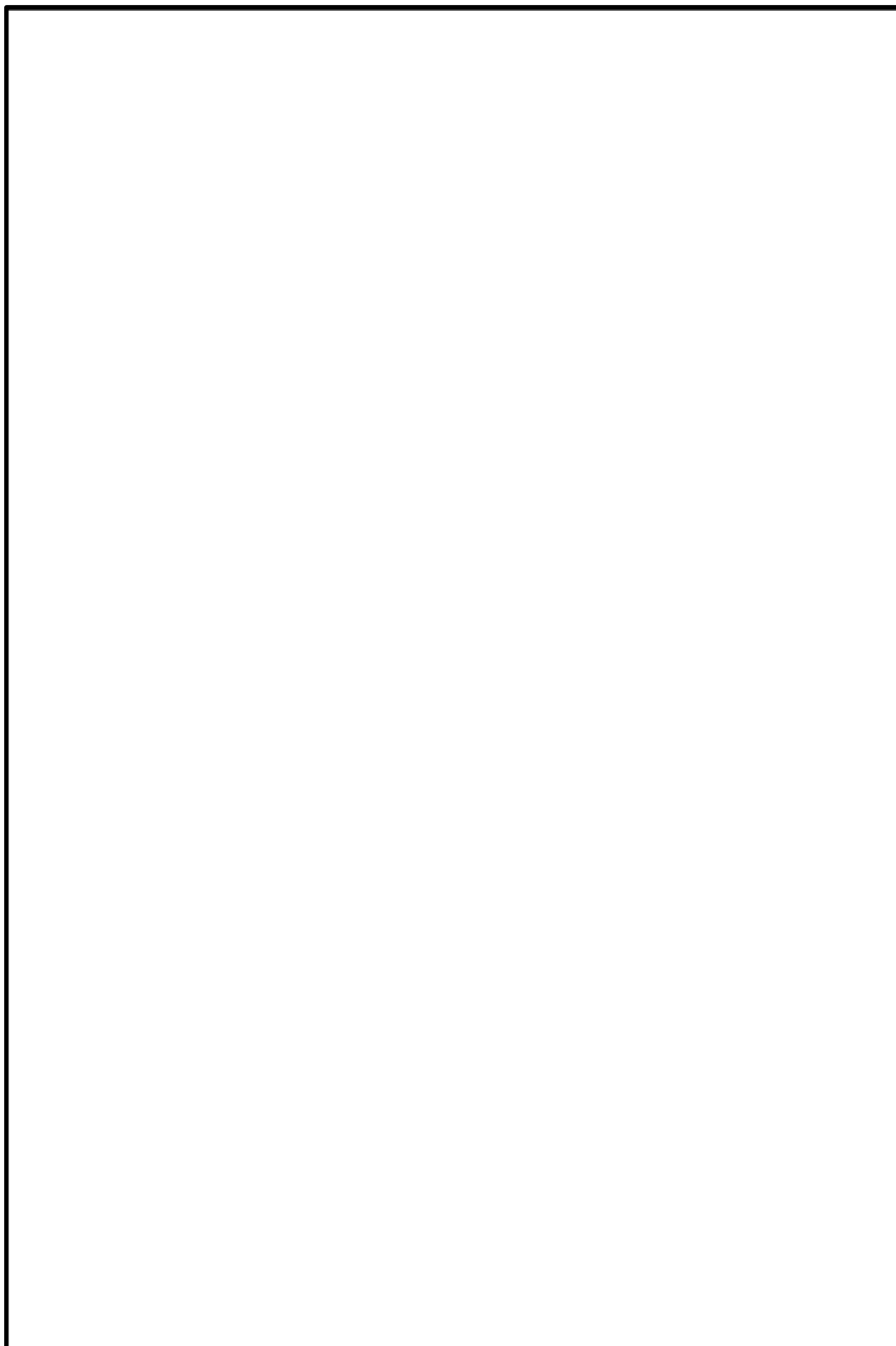


図 4-7(4) グラウトの充てん性確認実験 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-72



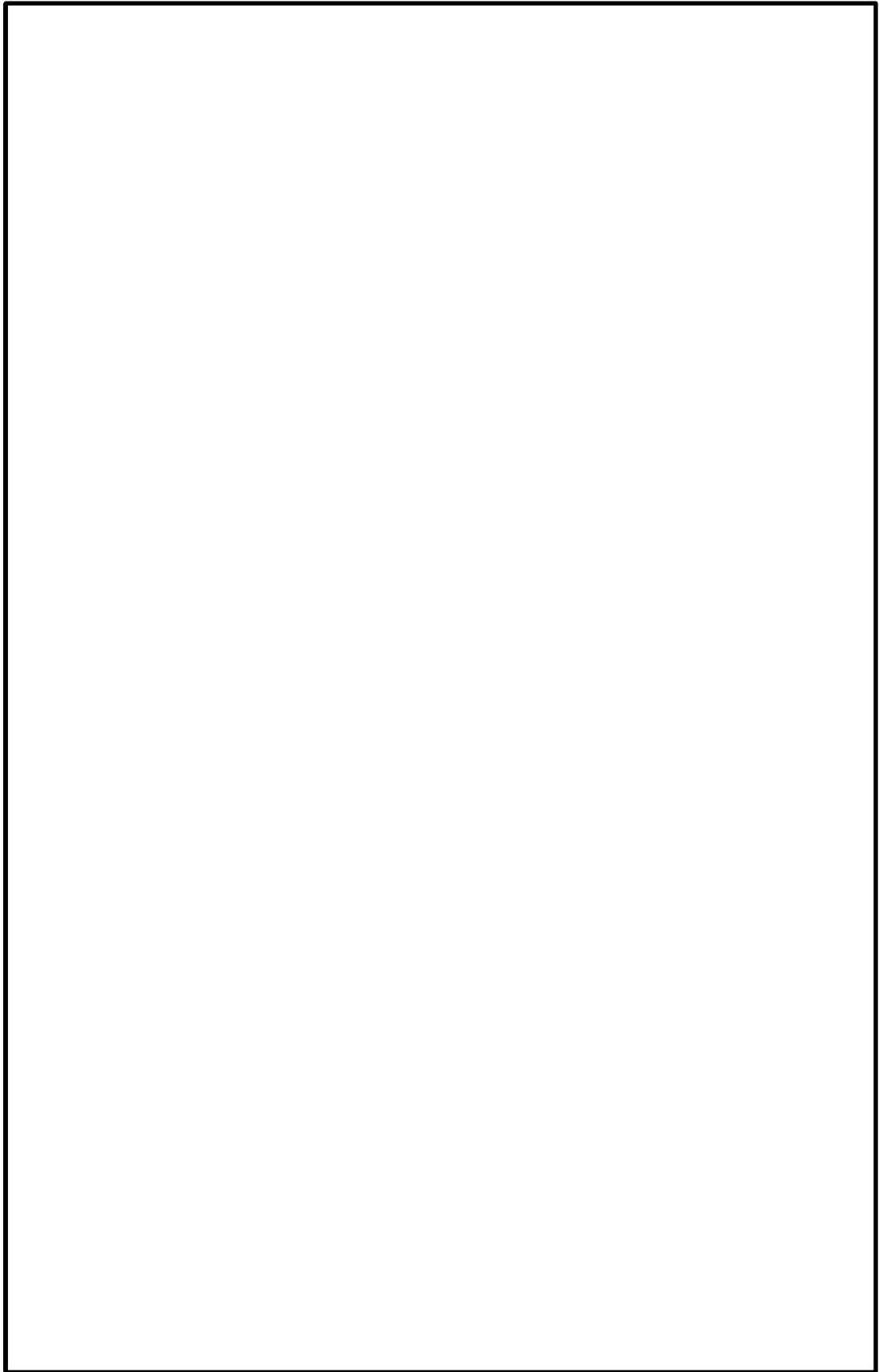


図 4-7(5) グラウトの充てん性確認実験 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-73

② 先充てん工法（下向き）

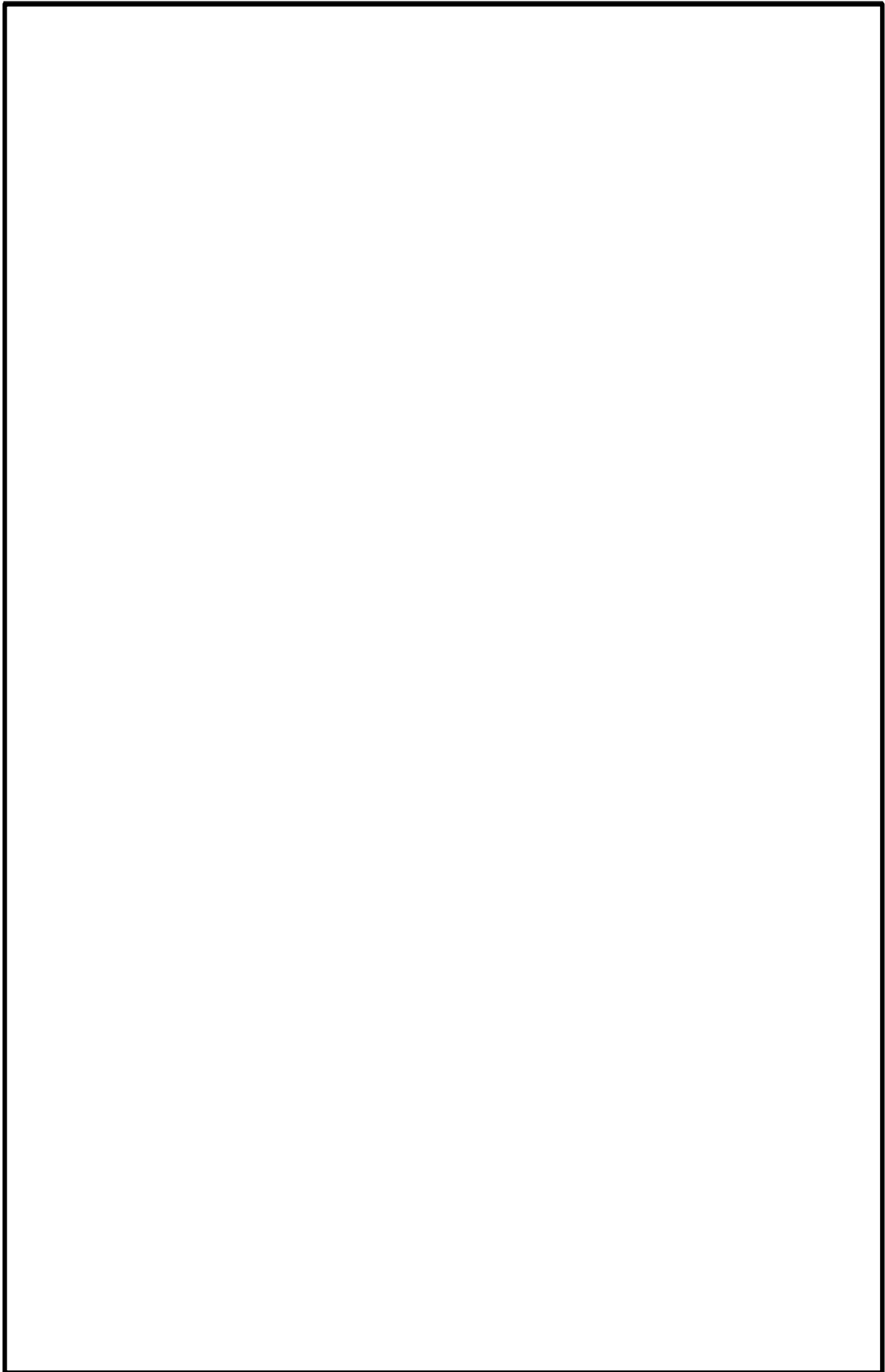


図 4-7(6) グラウトの充てん性確認実験（建設技術審査証明報告書より抜粋）

（参考） 12-2-74

③ 先充てん工法（上向き）

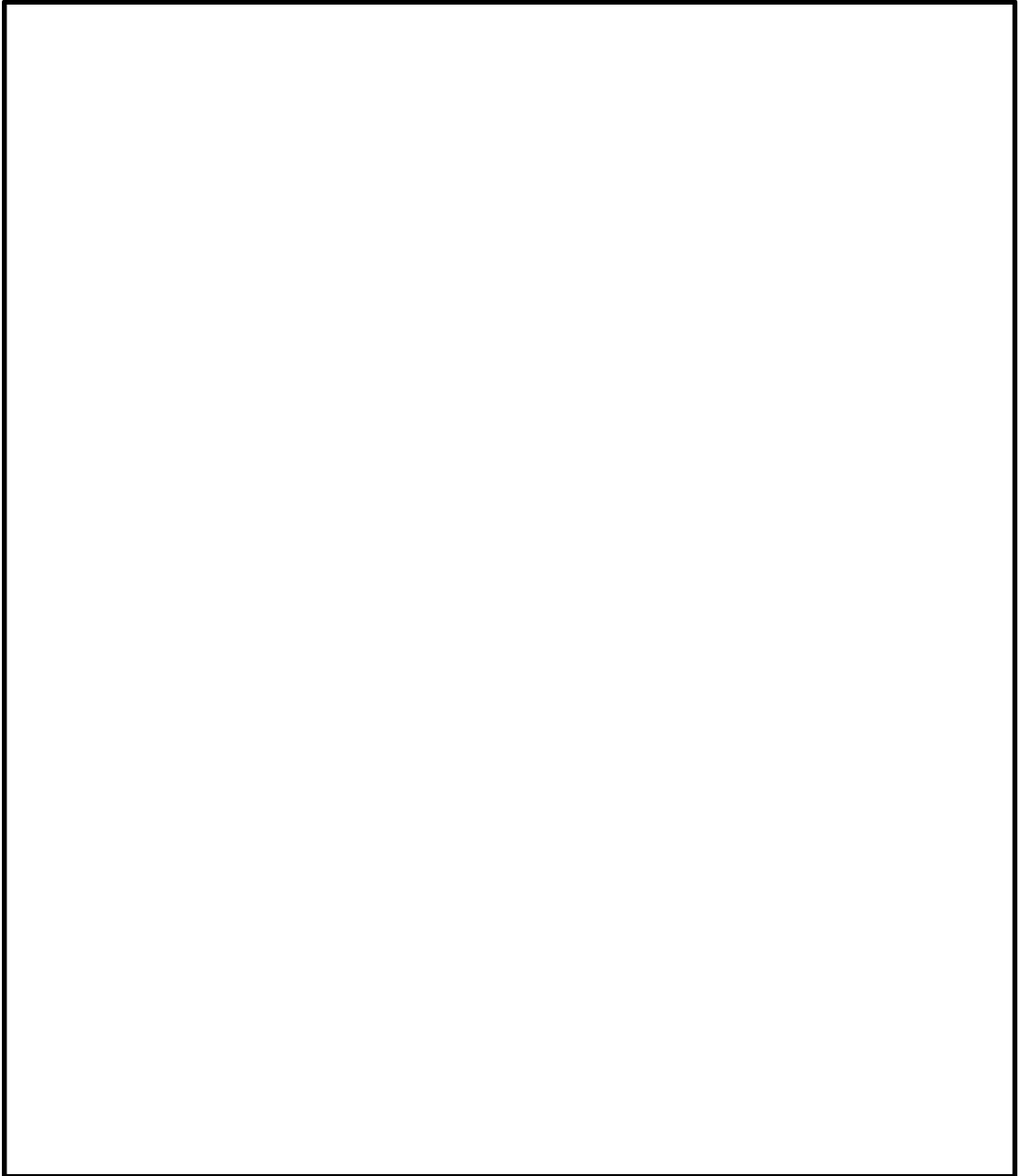


図 4-7(7) グラウトの充てん性確認実験（建設技術審査証明報告書より抜粋）

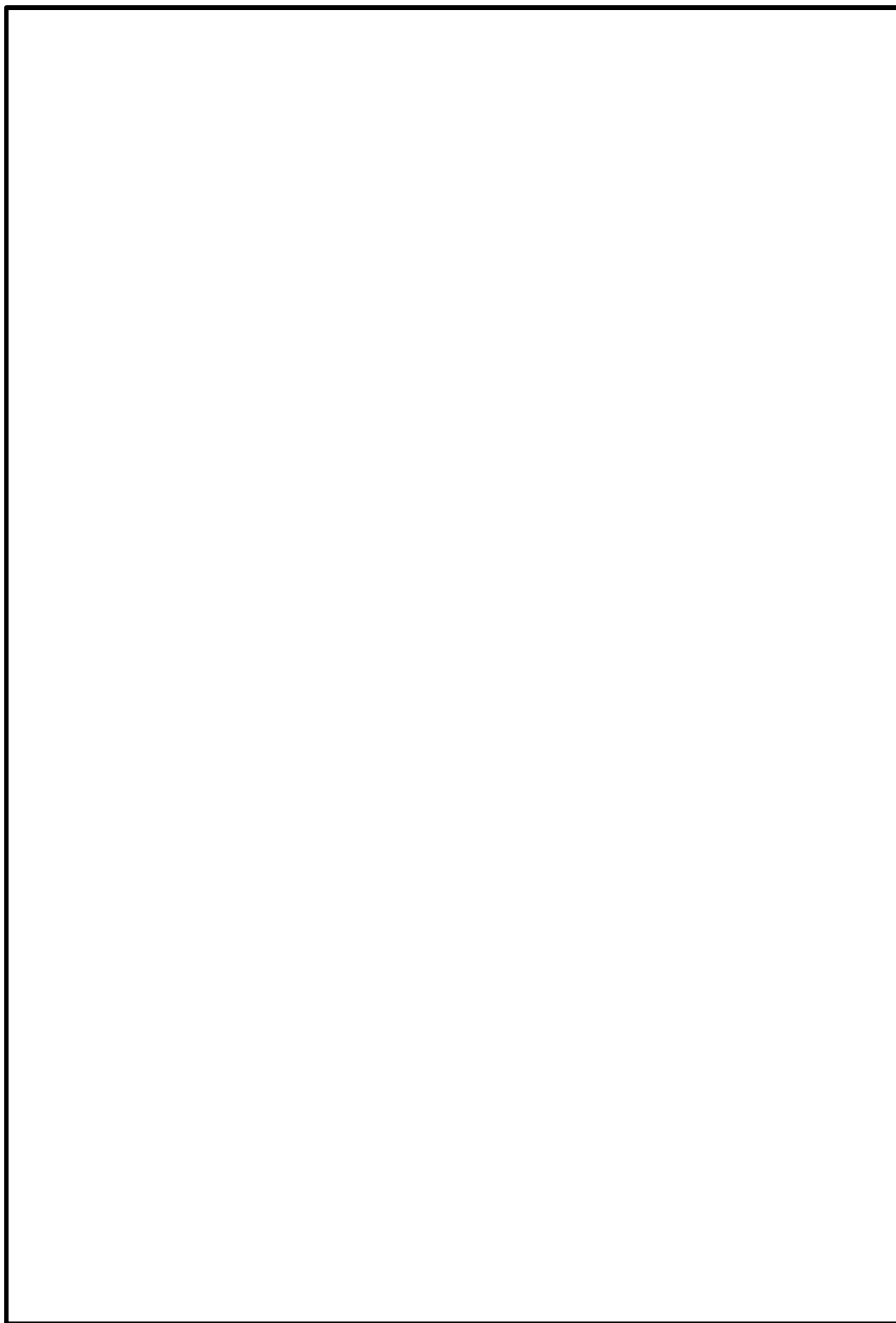


図 4-7(8) グラウトの充てん性確認実験 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

(参考) 12-2-76

④ 後充てん工法（上向き）

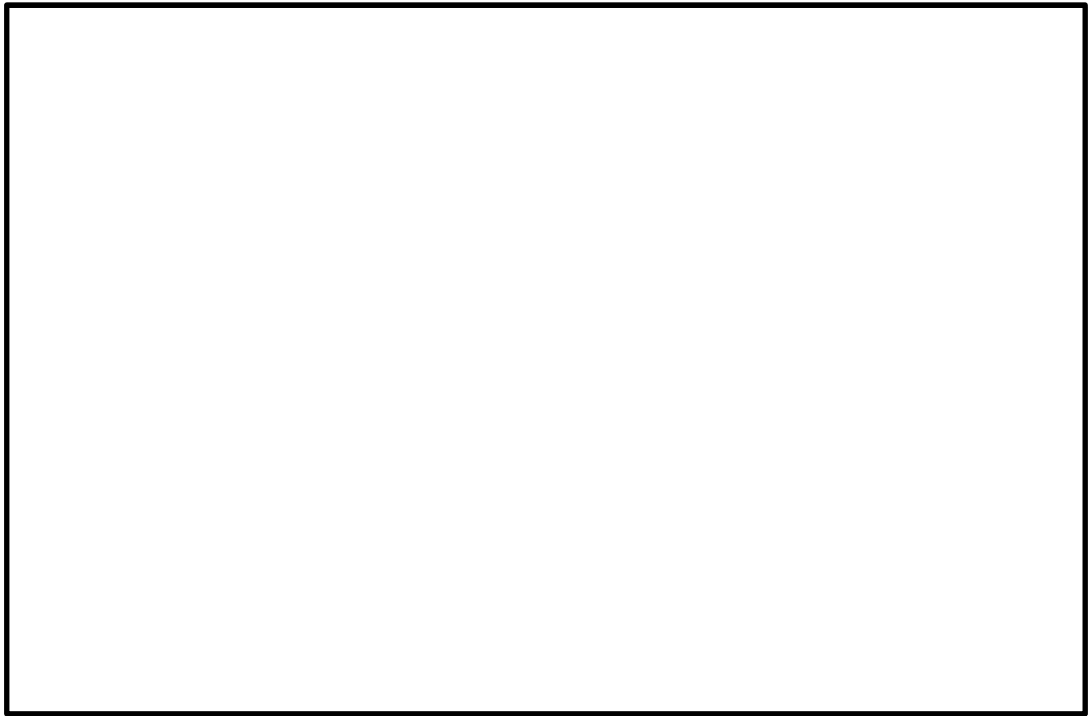


図 4-7(9) グラウトの充てん性確認実験（建設技術審査証明報告書より抜粋）

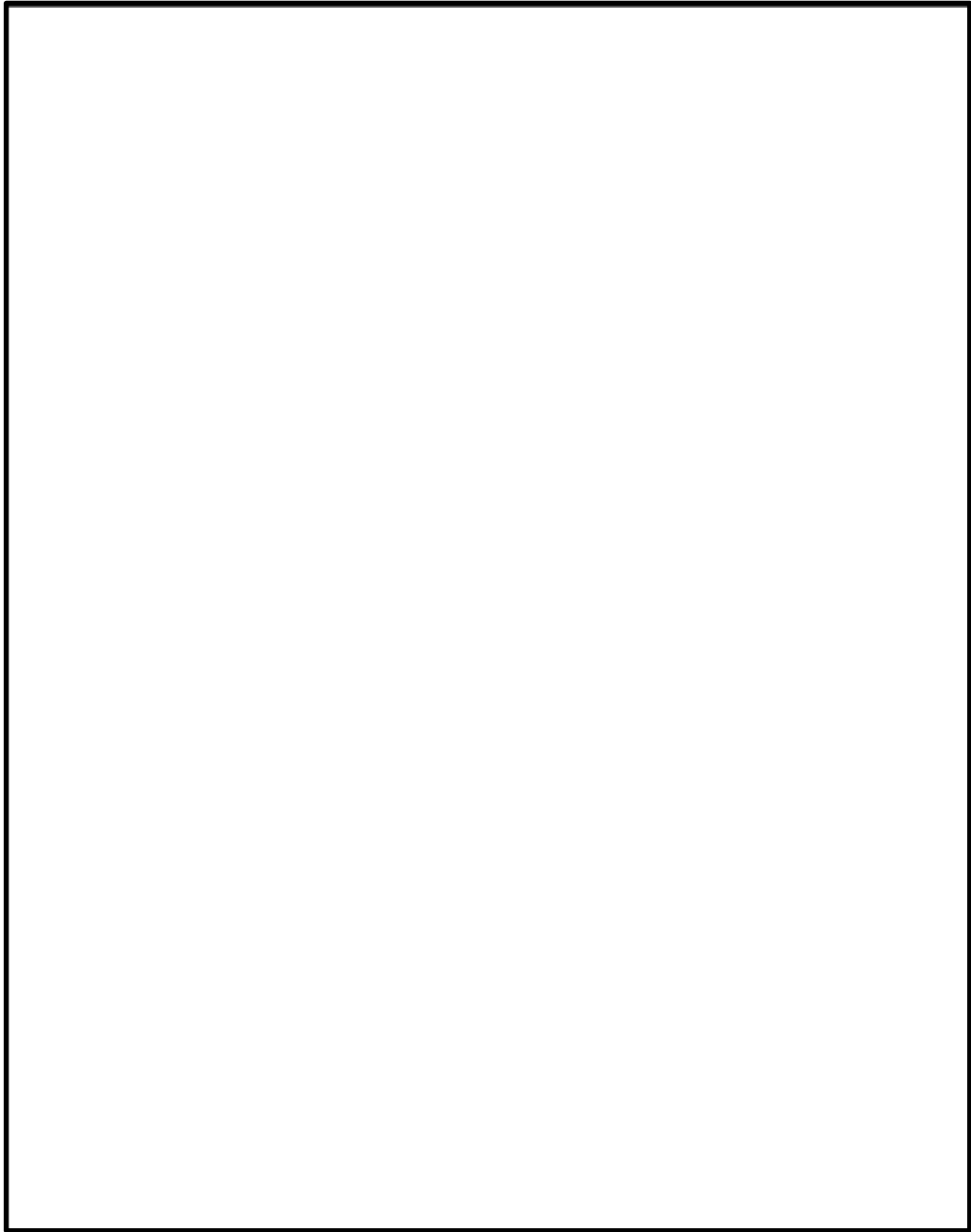


図 4-7(10) グラウトの充てん性確認実験（建設技術審査証明報告書より抜粋）

4.6.1～4.6.4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。

（参考）12-2-78

#### 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 4-7 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 4-7 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 4-8 に、鉄筋径ごとに整理した結果を表 4-9 に、使用環境（気中又は水中）ごとに整理した結果を表 4-10 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）。

表 4-8(1) Ccb の施工実績 (部材厚) \*

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

注記\* : ハッチング箇所は、島根 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 4-8(2) Ccb の施工実績 (部材厚) \*

(上記実績のうち横向き施工)

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

注記\* : ハッチング箇所は、島根 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 4-8(3) Ccb の施工実績 (部材厚) \*

(上記実績のうち下向き施工)

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



表 4-8(4) Ccb の施工実績 (部材厚) \*  
(上記実績のうち上向き施工)

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

表 4-9 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、島根 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 4-10 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、島根 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4-11）。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4-11 震度4以上の地震を受けた構造物

--

#### 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。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 4-12 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 4-12(1) 後施工せん断補強工法の比較

--

注：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

表 4-12(2) 後施工せん断補強工法の比較

--

注：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

(参考) 12-2-85

#### 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、島根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。

###### ◆ 島根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。

### ◆ 島根 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）。

◆ 島根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。

◆ 島根 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。
- ・ 島根 2 号機において Ccb により耐震補強を行った部材と同程度又はそれ以上の部材厚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。

### ◆ 島根 2 号機における CCb 工法への反映事項の確認

- ・ 島根 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 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。

◆ 島根 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。

⑦ 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。

◆ 島根 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。

⑧ 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。

◆ 島根 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、島根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 島根2号機におけるCCb工法の保守性と設計上の制限の整理

島根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 $\beta_{aw}$ （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4-13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。

表4-13 有効係数 $\beta_{aw}$ の保守性



##### 4.8.2 島根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 島根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

島根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 $1725\mu$ 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。

また、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ことから、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おおむね0.8程度に抑える)を持たせた設計を行う。



#### 4.8.4 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

4.8.1～4.8.3 に示す，島根 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 4-8 に示す。

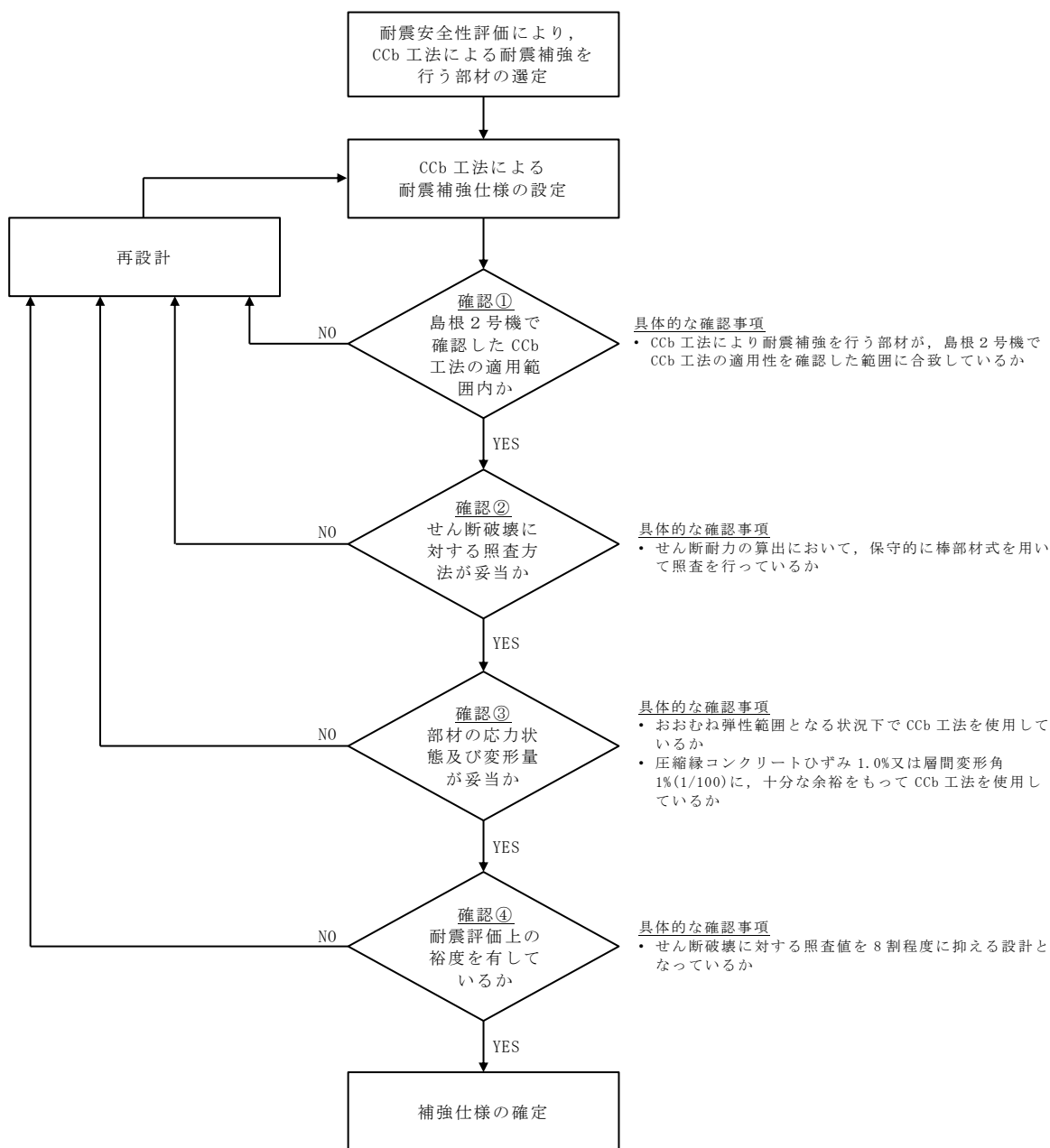


図 4-8 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

#### 4.9 Ccb の適用性確認結果

屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の補強仕様について，4.1 に従い 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。

建設技術審査証明書



建設技術審査証明書

建技審証第 0811 号

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)」

(開発の趣旨)  
両端に耐久性が高いセラミック定着体を設置したねじ鉄筋を用いることにより、補強で最もコンクリート表面に近くなる定着体の耐久性を確保しつつ、高い効率でせん断耐力、じん性の向上を図ることができる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)」を提供する。

(開発の目標)  
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)」の開発目標を以下に示す。  
(1) 定着性能  
規格降伏強度相当の定着力を確保するために必要な「セラミックキャップバー (CCb)」の先端型定着体の定着長が5D (D:鉄筋の直径) であること。後端型定着体については、定着体単体で規格降伏強度相当以上の定着力を確保できること。  
(2) 配置後のせん断耐力  
「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の負担分を、通常の方法でせん断補強した部材のせん断補強鉄筋によるせん断耐力寄与分に、選用部材の主鉄筋の間隔および「セラミックキャップバー (CCb)」の各定着体を用いた場合の定着長から評価される有効率を乗じたものとして評価できること。  
(3) 配置後のじん性  
「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強した RC 部材において、先端型定着体が圧縮となる場合は、拘束効果を無視した終局変位の計算値より大きな変形性能が確保されること。また、後端型定着体が圧縮となる場合は、通常の方法でせん断補強した RC 壁と同等以上の変形性能が確保されること。  
(4) 施工の確実性  
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。両側からの施工が可能な RC 部材に対し、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、両端に後端型定着体を設置する施工が確実に進めることができること。  
(5) 施工の容易性  
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。  
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、カバ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。  
一般財団法人土木研究センターの建設技術審査証明事業実施要領に基づき、依頼のあった標記の技術について下記のとおり証明する。

2009年2月3日		2010年5月17日	内容変更	2019年2月3日	更新
2012年2月6日	内容変更	2013年3月18日	内容変更		
2013年9月30日	内容変更	2014年2月3日	更新		
2014年8月25日	内容変更	2018年1月16日	内容変更		

建設技術審査証明事業実施機関

一般財団法人



理事長

土木研究センター  
常田 賢一

記

1. 審査証明の結果

上記の開発の趣旨、開発の目標に照らして審査した結果、「セラミックキャップバー (CCb)」は以下の性能を有することが確認された。

- (1) 定着性能  
引抜き試験によれば、規格降伏強度相当の定着力を確保するために必要な「セラミックキャップバー (CCb)」の先端型定着体の定着長が5D (D:鉄筋の直径) であること、並びに、後端型定着体については、定着体単体で規格降伏強度相当以上の定着力を確保できることが確認された。
- (2) 配置後のせん断耐力  
せん断破壊モードの梁試験体の正負交番繰返し静的加力試験によれば、「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の負担分は、通常の方法でせん断補強した部材のせん断補強鉄筋によるせん断耐力寄与分に、選用部材の主鉄筋の間隔、および「セラミックキャップバー (CCb)」の各定着体を用いた場合の定着長から評価される有効率を乗じたものとして評価できることが確認された。
- (3) 配置後のじん性  
曲げ破壊モードの RC 壁試験体の正負交番繰返し静的加力試験によれば、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強した RC 部材において、先端型定着体が圧縮となる場合は、拘束効果を無視した終局変位の計算値より大きな変形性能が確保されること。また、後端型定着体が圧縮となる場合は、通常の方法でせん断補強した RC 壁と同等以上の変形性能が確保されることが確認された。
- (4) 施工の確実性  
施工試験等によれば、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 RC 部材に対し、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、両端に後端型定着体を設置する施工が確実に進めることが確認された。
- (5) 施工の容易性  
典型的な補強工事のケーススタディの照査によれば、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、カバ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。

2. 審査証明の前提

- (1) 本審査証明は、依頼者からの試験データ等の資料を基に審査し、確認したものである。
- (2) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、所定の材料を用いて、適正な品質管理のもとで製造されるものとする。
- (3) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、適正な補強設計によって用いられるものとする。
- (4) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、適正な機材および施工手順によって設置されるものとする。
- (5) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、適正な管理のもとで施工されるものとする。

3. 審査証明の範囲

- (1) 本審査証明は、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、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構造物に対し、鉄筋の周辺部に先端型定着体を、差込部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、両端にせん断補強の目的で、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。
- (2) 使用するグラウトは、高流動グラウトまたは可塑性グラウト (後添加タイプまたはプレミックスタイプ) とする。
- (3) 使用する鉄筋は、JIS G 3112 に適合するネジテッコン (東京鉄鋼製ねじ鉄筋) とし、鉄筋の種類は SD295A、SD295B、SD345、呼び名は D13 ~ D32 とする。
- (4) 適用可能な構造物の部材厚は、横向き施工で 7m 以下、下向き施工で 5m 以下、上向き施工で 4m 以下とする。

4. 審査証明の詳細

建設技術審査証明報告書

2024年2月2日

5. 審査証明の有効期限

2024年2月2日

6. 審査証明の依頼者

鹿島建設株式会社

所在地: 東京都港区元赤坂 1-3-1

カジマ・リノベイト株式会社

所在地: 東京都新宿区住吉町 1-20

参考資料 13 屋外重要土木構造物設置位置における地盤の振動特性

1. 概要

本資料は、図 1-1 に示す屋外重要土木構造物が設置される地盤の振動特性について、取水槽の海水ポンプエリアを代表断面として、地盤の最大加速度分布図、最大変位分布図及び最大せん断ひずみ分布図を示すものである。

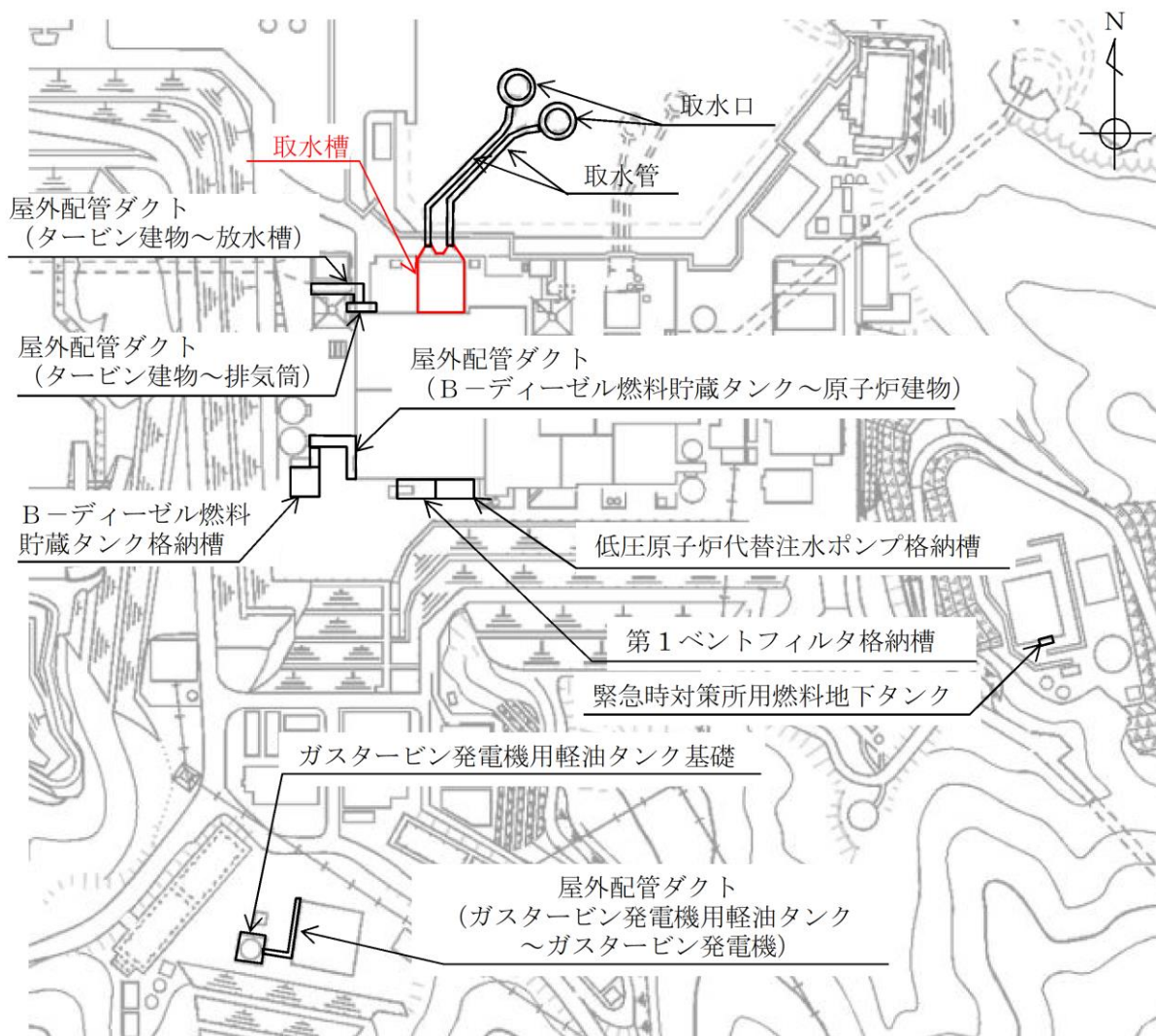


図 1-1 屋外重要土木構造物等の配置平面図



## 2. 対象断面の選定

対象断面は、代表的な屋外重要土木構造物として、周囲に埋戻土が分布する取水槽の海水ポンプエリア（B-B断面）を選定する。取水槽の平面図を図2-1、対象断面における地質断面図を図2-2、解析モデル図を図2-3に示す。

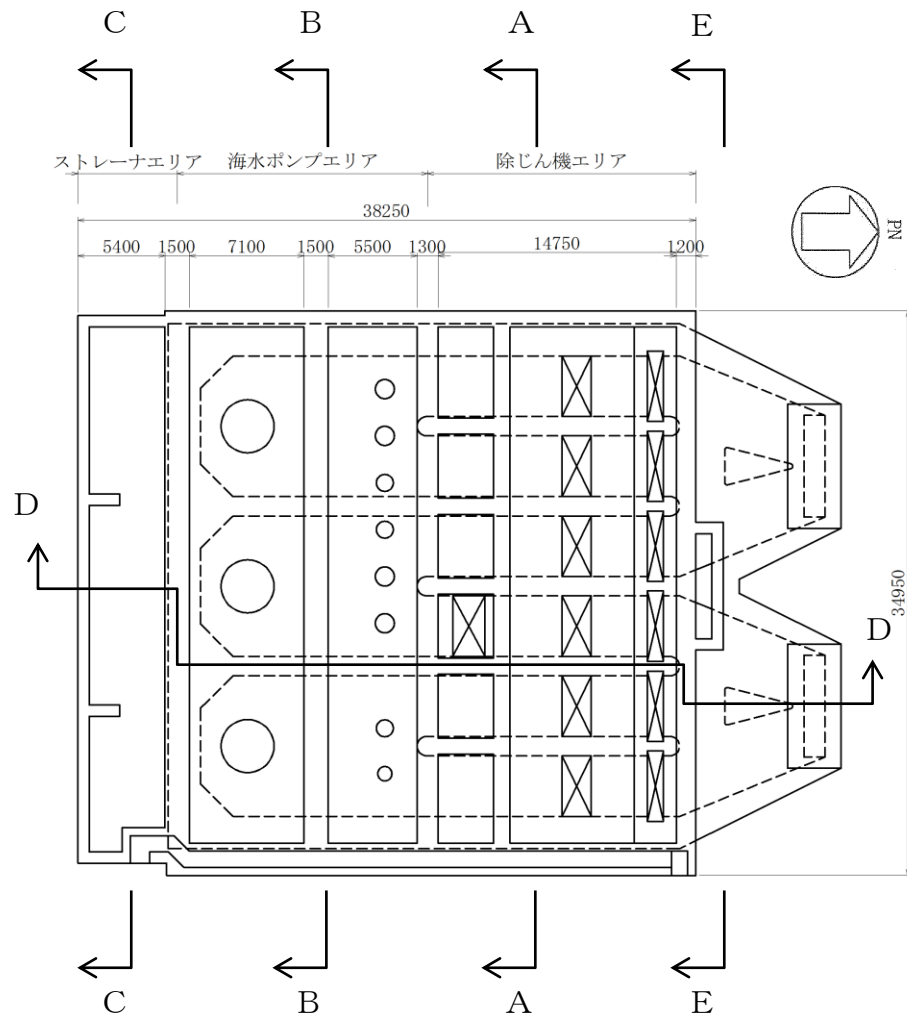
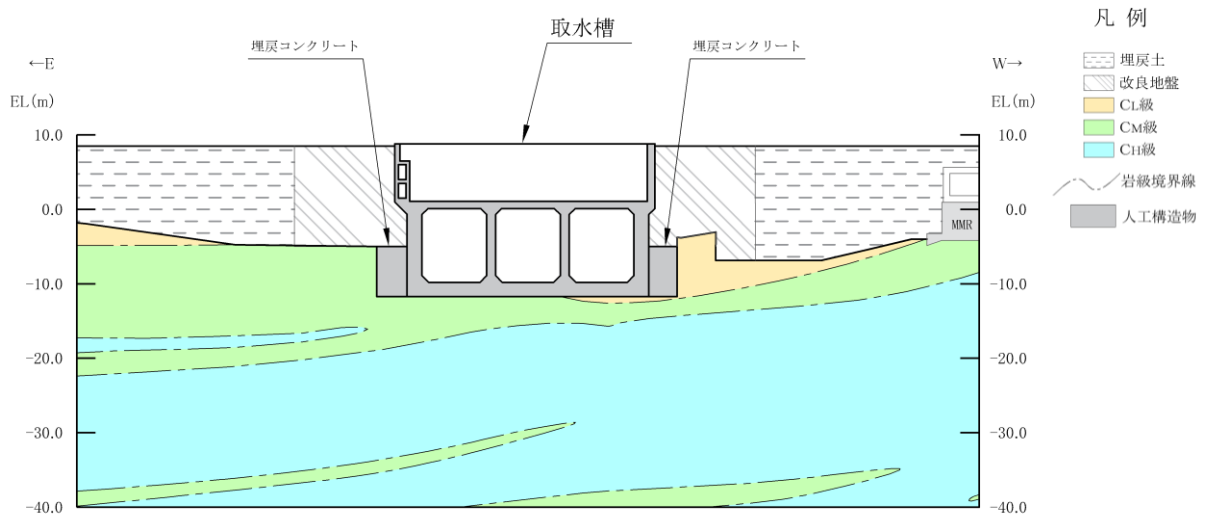
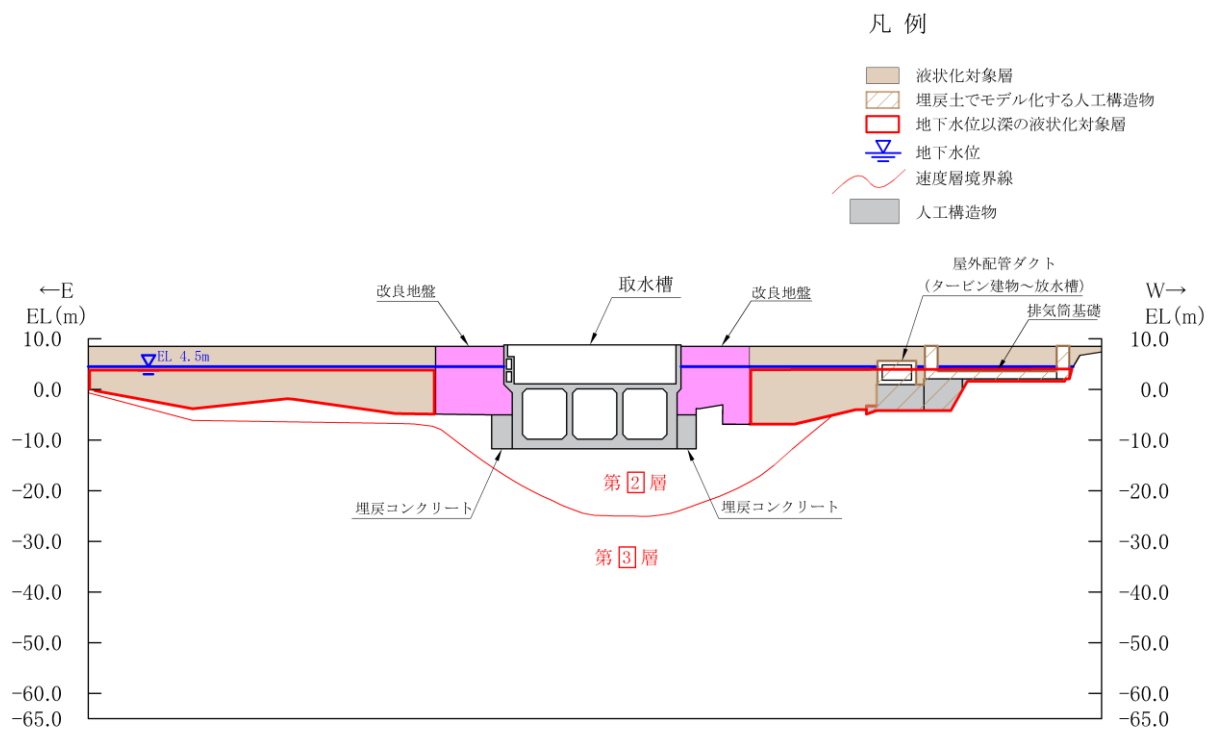


図2-1 取水槽平面図



(岩級図)



(速度層図)

図 2-2 地質断面図 (取水槽海水ポンプエリア (B-B 断面位置))

(参考) 13-3

- : 岩盤 (第②速度層)
- : 埋戻土
- : ジョイント要素
- : 岩盤 (第③速度層)
- : 埋戻コンクリート
- : 改良地盤

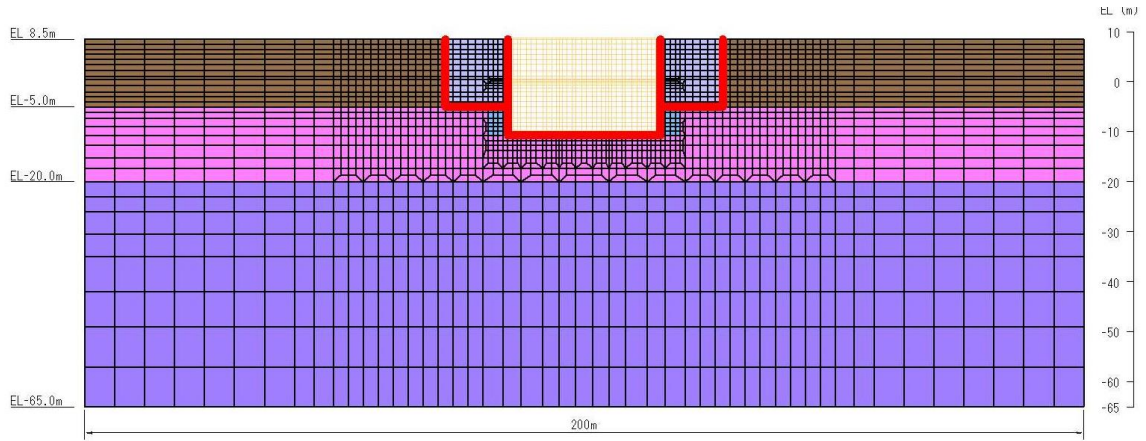


図 2-3 解析モデル図 (取水槽海水ポンプエリア (B-B 断面位置))

### 3. 解析方針

地盤の最大加速度分布図，最大変位分布図及び最大せん断ひずみ分布図は，「VI-2-2-18 取水槽の地震応答計算書」に基づき地震応答解析を実施し，作成する。検討に用いる地震動は，代表的な基準地震動として  $S_s - D$  (++) とし，地盤物性はケース①（有効応力解析，平均物性）とする。対象断面の解析ケース及び地震動を表 3-1 に示す。

表 3-1 対象断面の解析ケース及び地震動

対象断面	解析ケース	地震動	分布図の記載箇所		
			最大 加速度	最大 変位	最大せん断 ひずみ
取水槽 海水ポンプ エリア (B-B断面)	ケース① (有効応力解析, 平均物性)	$S_s - D$ (++)	図 4-1	図 4-2	図 4-3



#### 4. 解析結果

地震応答解析により算出された対象断面における最大加速度分布図，最大変位分布図及び最大せん断ひずみ分布図を図 4-1～図 4-3 に示す。

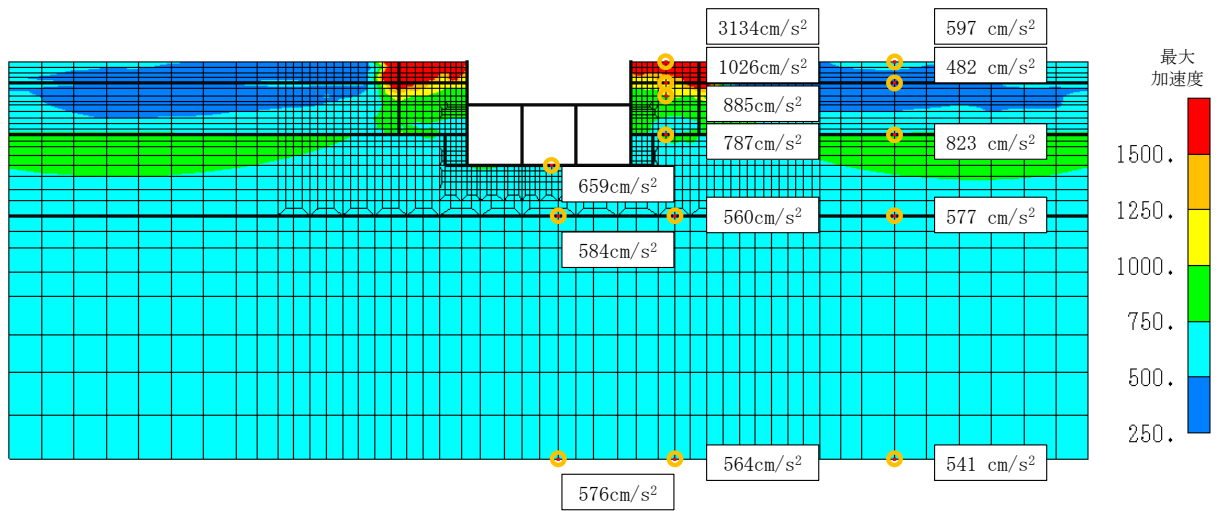


図 4-1 取水槽海水ポンプエリア（B-B 断面位置）における最大加速度分布図

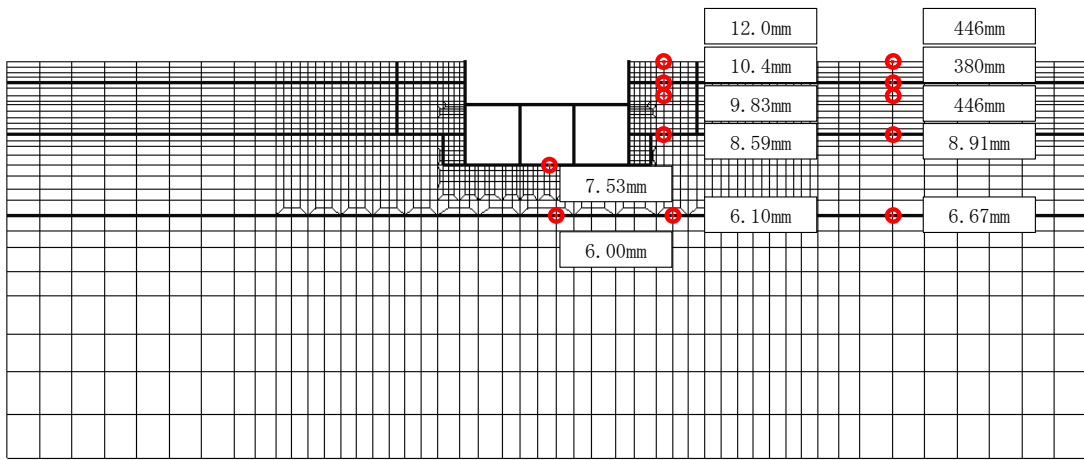


図 4-2 取水槽海水ポンプエリア（B-B断面位置）における最大変位分布図

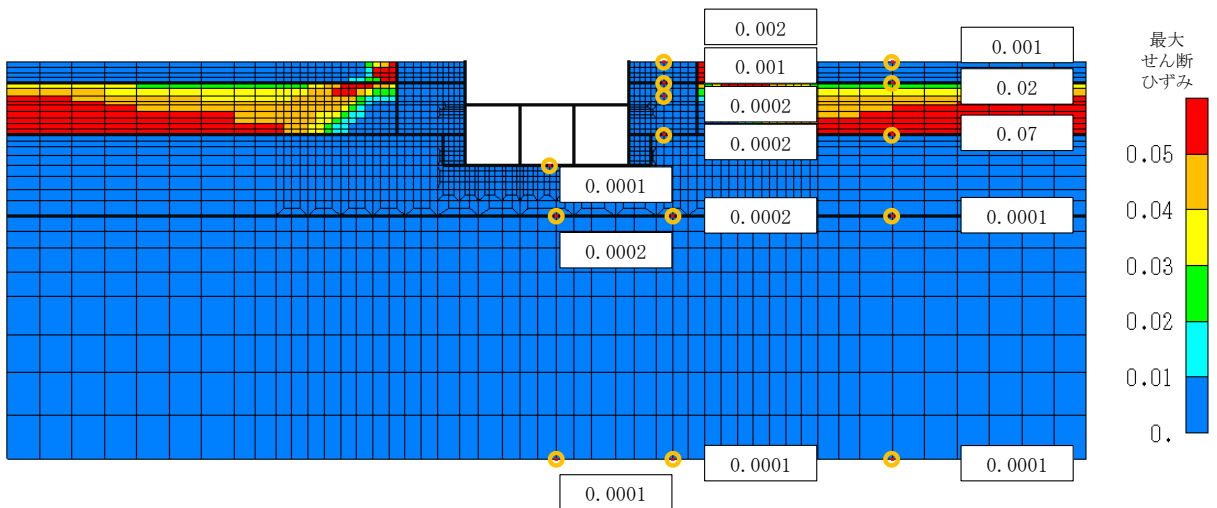


図 4-3 取水槽海水ポンプエリア（B-B断面位置）における最大せん断ひずみ分布図

(参考) 13-7

## 参考資料 14 材料非線形解析の部材係数 $\gamma_{b1}$ の設定について

### 1. 概要

材料非線形解析では、各種構成則の差異、要素の種類、要素分割、材料特性の設定、入増分等、多岐の項目に関して解析者間で差異が生じることを考慮し、実験等によるせん断耐力及び材料非線形解析によるせん断耐力の比をもって部材係数  $\gamma_{b1}$  の設定を行う。

本資料では、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）」（以下「土木学会マニュアル」という。）に示されている部材係数設定用モデルを対象に材料非線形解析を実施し、せん断破壊に対する照査で使用する部材係数  $\gamma_{b1}$  の設定について示す。

### 2. 計算機コード

材料非線形解析に用いる解析コードは、WCOMD - S t u d i o (Ver. 1.3.3)とする。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5-50「計算機プログラム（解析コード）の概要・WCOMD S t u d i o」に示す。

### 3. 部材係数設定用モデルの概要

土木学会マニュアルに示されている部材係数設定用モデルは、集中荷重部材 9 体 (Case No. 1~9) 及び分布荷重部材 8 体 (Case No. 10~17) の計 17 体である。各モデルの概要を以下に示す。

#### 3.1 集中荷重部材

集中荷重部材 Case No. 1~9 の構造諸元、材料諸元及びせん断耐力を表 3-1 に示す。また、Case No. 1~9 の構造形状を図 3-1 に示す。

Case No. 1~9 は、集中荷重を受ける単純梁である。この形式に関して、土木学会マニュアルでは、せん断耐力評価式を用いて十分な精度の評価が可能と判断されている。

このことから、Case No. 1~9 のせん断耐力は、せん断耐力評価式（棒部材式、ディープビーム式）により算定する。

表 3-1 材料諸元及びせん断耐力（集中荷重部材 Case No. 1~9）

Case No.	スパン [m]	部材幅 [m]	部材厚 [m]	有効部材厚 [m]	コンクリート圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	主筋降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張鉄筋比	軸力比	せん断補強筋補強筋比	せん断補強筋降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	せん断耐力[kN]	着目点
1	0.50	1.00	0.30	0.25	24.0	350	0.030	0	0	0	475	No.1~9の基本モデル
2	0.25	1.00	0.30	0.25	24.0	350	0.030	0	0	0	1187	a/dの効果
3	1.00	1.00	0.30	0.25	24.0	350	0.030	0	0	0	324	
4	1.50	1.00	0.30	0.25	24.0	350	0.030	0	0	0	294	
5	0.50	1.00	0.30	0.25	36.0	350	0.030	0	0	0	581	コンクリート圧縮強度の効果
6	0.50	1.00	0.30	0.25	24.0	350	0.010	0	0	0	329	引張鉄筋比の効果
7	2.50	1.00	1.50	1.25	24.0	350	0.030	0	0	0	1587	寸法効果
8	1.00	1.00	0.30	0.25	24.0	350	0.030	0.1	0	0	350	軸力効果
9	0.50	1.00	0.30	0.25	24.0	350	0.030	0	0.005	350	855	せん断補強の効果

集中荷重部材

(参考) 14-2

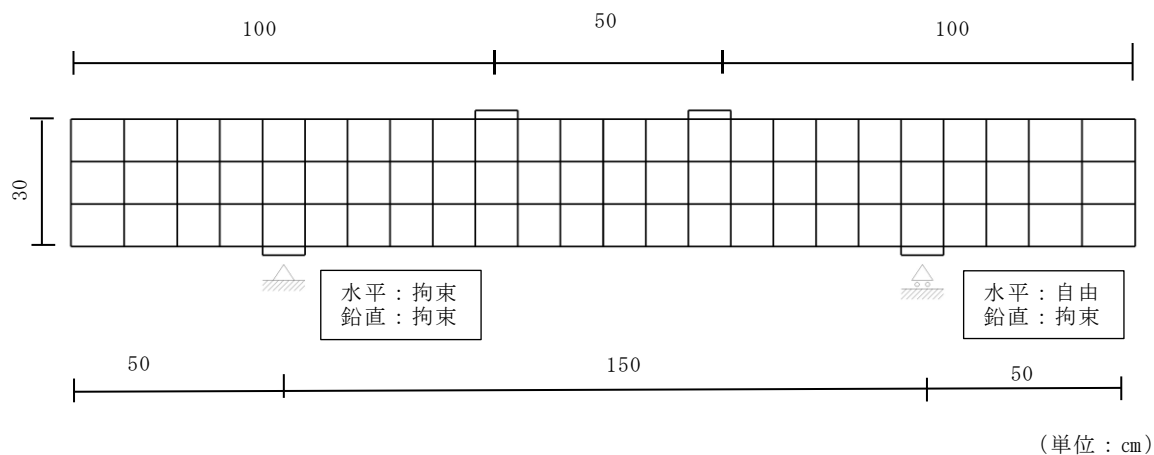


図 3-1 集中荷重を受ける単純梁モデル

(集中荷重部材 Case No. 1~9 の基本モデルとなる Case No. 1)

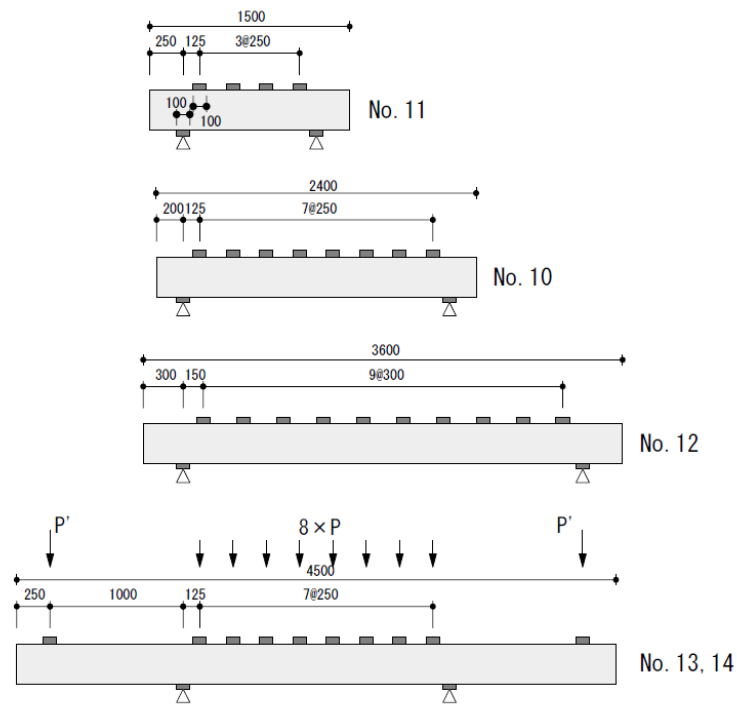
### 3.2 分布荷重部材

分布荷重部材 Case No. 10~17 の構造諸元，材料諸元及びせん断耐力を表 3-2 に示す。また，Case No. 10~17 の構造形式，配筋状況を図 3-2 及び図 3-3 に示し，実験終了時のひび割れ状況を図 3-4 に示す。

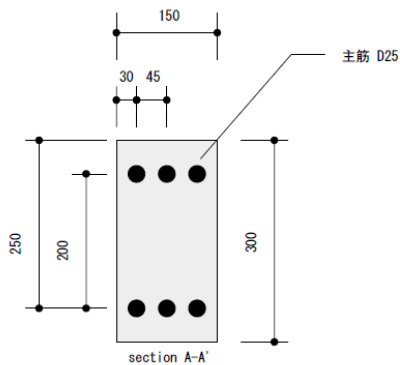
表 3-2 材料諸元及びせん断耐力 (分布荷重部材 Case No. 10~17)

Case No.	スパン [m]	部材幅 [m]	部材厚 [m]	有効部材厚 [m]	コンクリート圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	主筋降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張鉄筋比	軸力比	せん断補強筋比	せん断補強筋降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	P' / P (各立面図参照)	せん断耐力 (支点位置) [kN]	着目点
10	1.00	0.15	0.30	0.25	32.3	363	0.041	0	0	0	0	165	No.10-14 の基本モデル
11	0.50	0.15	0.30	0.25	41.4	363	0.041	0	0	0	0	333	分布荷重を受けるスパンの効果
12	1.50	0.15	0.30	0.25	41.7	363	0.041	0	0	0	0	127	
13	1.00	0.15	0.30	0.25	33.6	363	0.041	0	0	0	1.5	188	モーメント分布の効果
14	1.00	0.15	0.30	0.25	36.2	363	0.041	0	0	0	2	163	
15	1.00	0.16	0.30	0.26	33.7	511	0.035	0.1	0	0	1.5	273	No.15-17 の基本モデル
16	1.00	0.16	0.30	0.26	35.0	511	0.035	0.1	0.038	332	1.5	356	せん断補強の効果
17	1.00	0.16	0.30	0.26	34.4	511	0.035	0.1	0	0	1.5	432	ハンチの効果

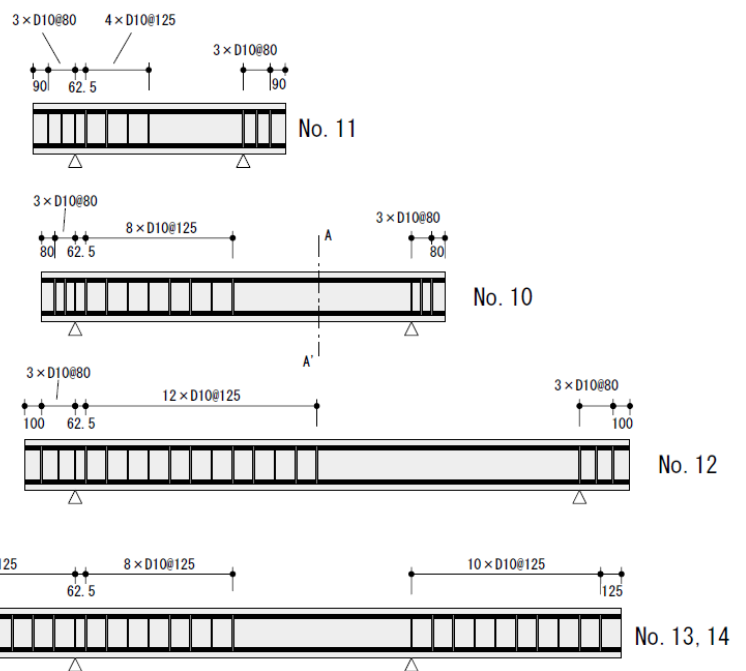
分布荷重部材



[ 立面図 ]



[ 断面図 ]

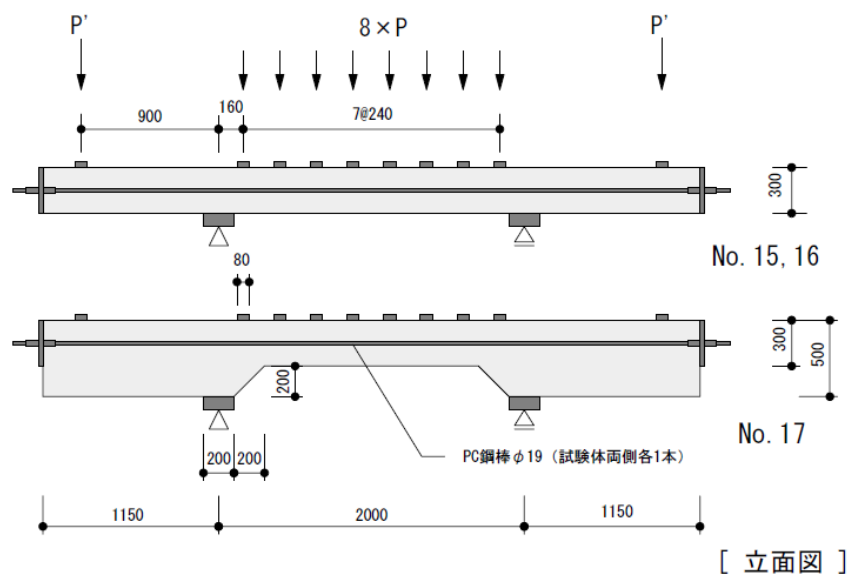


単位 [mm]

[ 配筋図 ]

図 3-2 構造形式, 配筋状況 (Case No. 10~14) (土木学会マニュアル)

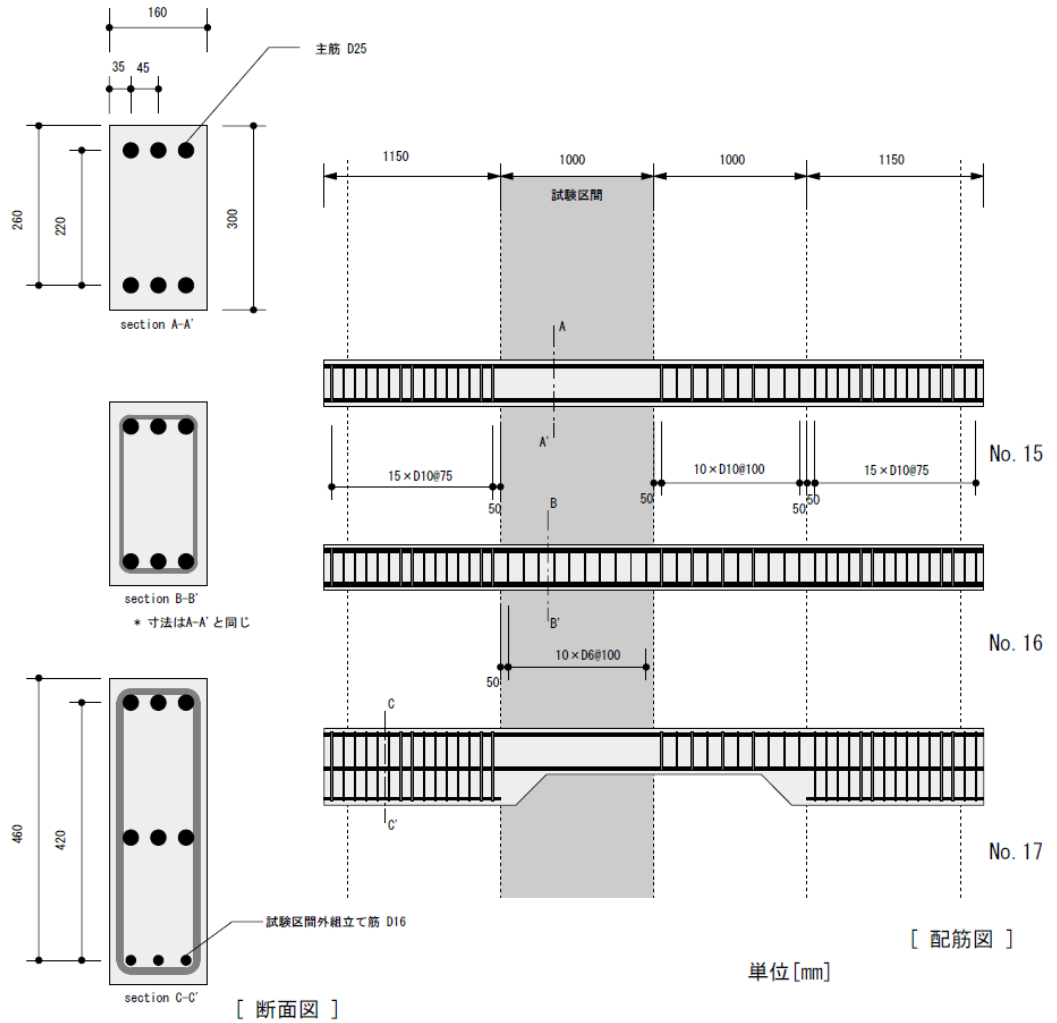
(参考) 14-5



No. 15, 16

No. 17

[ 立面図 ]



No. 15

No. 16

No. 17

[ 配筋図 ]

単位 [mm]

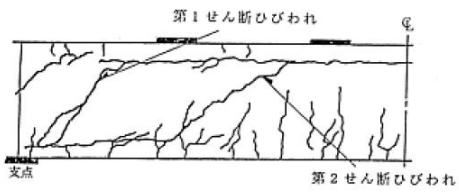
[ 断面図 ]

図6.3-9 No.15-17の詳細

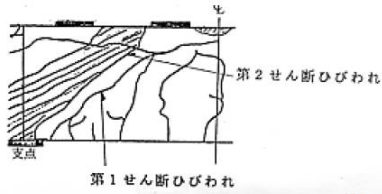
図 3-3 構造形式, 配筋状況 (Case No. 15~17) (土木学会マニュアル)

(参考) 14-6

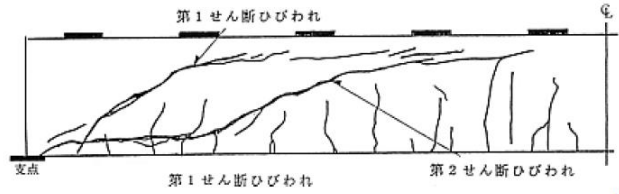




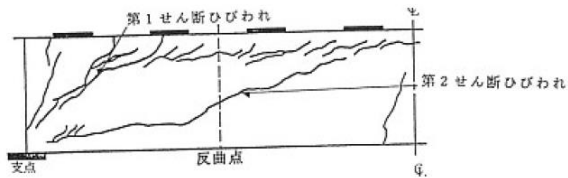
No. 10



No. 11



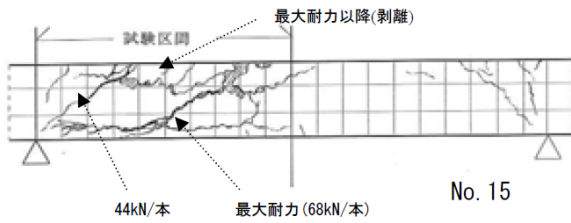
No. 12



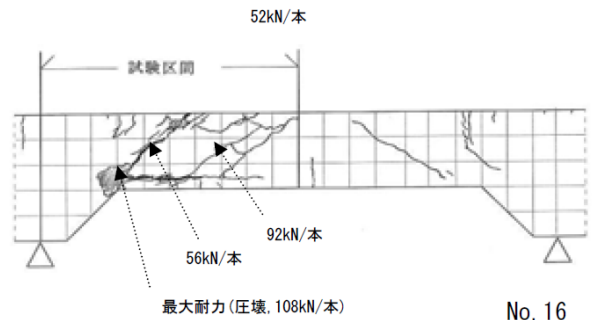
No. 13



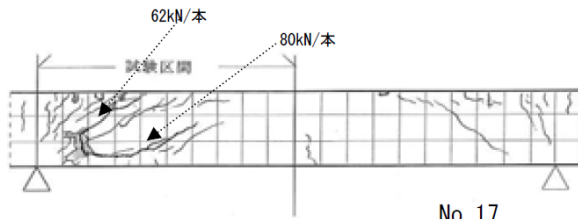
No. 14



No. 15



No. 16



No. 17

図 3-4 ひび割れ状況 (Case No. 10~17) (土木学会マニュアル)

#### 4. 解析条件

##### 4.1 解析要素分割

WCOMD-Studioにおける構造部材のモデル化については、土木学会マニュアルに従って、図4-1に示すとおり、鉄筋コンクリート要素でモデル化する領域と無筋コンクリートでモデル化する領域に分けてモデル化する。鉄筋コンクリート要素の厚さは、鉄筋を中心としてかぶり厚さの2倍とする。

また、土木学会マニュアルでは、部材厚方向の要素分割数については、「鉄筋を含む要素と含まない要素あわせて3分割以上の要素分割とすることが望ましい」こと及び「3層以上の分割数を取る場合、解析結果に大きな差異が生じない」ことが記載されており、分割数は3層以上を基本とする。

解析モデルの概要を図4-2に示す。解析モデルは、試験体全体をモデル化し、左側支点の水平・鉛直方向変位及び右側支点の鉛直方向変位を拘束する。

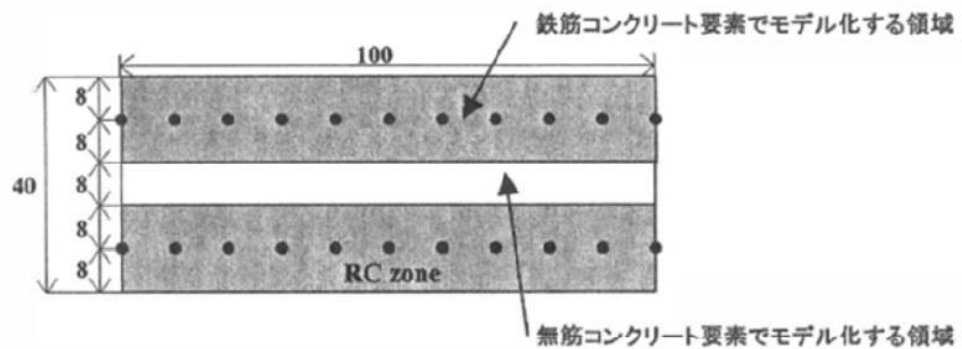
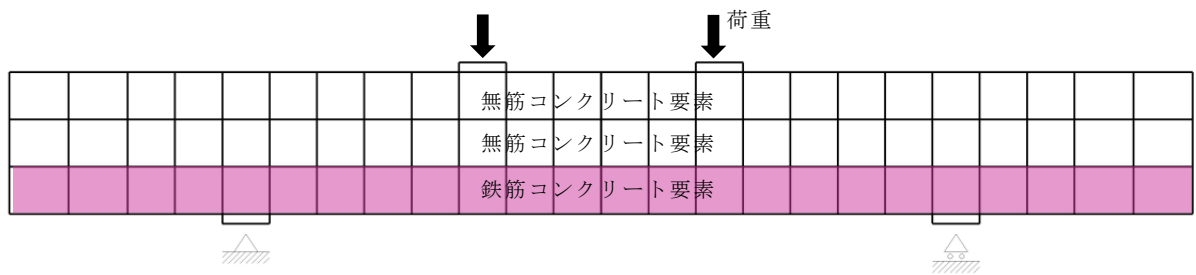
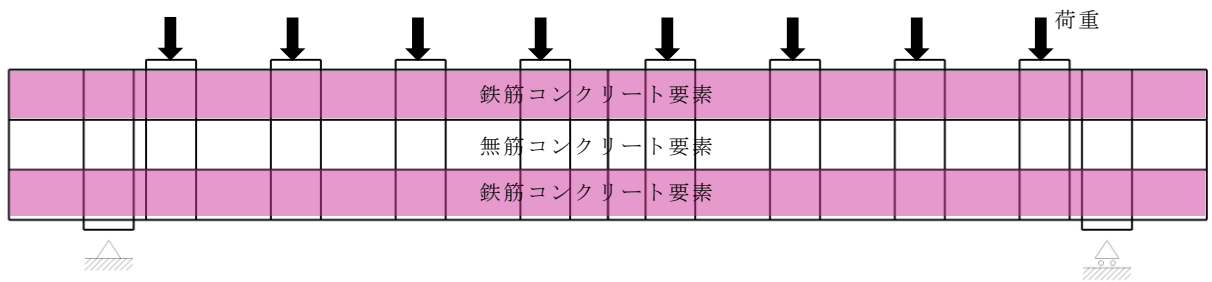


図4-1 鉄筋コンクリート部材の要素分割の例（土木学会マニュアル）



(a)集中荷重部材 (Case No. 1~9) の解析モデル



(b)分布荷重部材 (Case No. 10~17) の解析モデル

図 4-2 鉄筋コンクリート部材の要素分割の例

#### 4.2 材料特性

材料強度及びせん断耐力は、表 3-1 及び表 3-2 のとおり土木学会マニュアルで示されている値を用いる。

なお、土木学会マニュアルで示されている材料特性以外は、「コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2012年）」（以下「コンクリート標準示方書」という。）に基づいて設定した。

#### 4.3 荷重載荷方法

材料非線形解析を用いる方法にてせん断照査を行う際には、荷重制御でせん断耐力を評価するため、部材係数を設定するための材料非線形解析も荷重制御による載荷を行う。

また、解析結果から得られた荷重と変位の関係において、変位増加が急増する状態を当該部材の破壊点（終局状態）と考え、この時の荷重値をせん断耐力とする。

5. 解析モデル及び解析用物性値

土木学会マニュアルに示されている部材係数設定用モデル 17 体について、材料非線形解析の解析モデル及び解析用物性値を以下に示す。

(1) Case No.1 (Case No.1~9 の基本モデル)

Case No.1 は Case No.1~9 の基本モデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-1 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-1 に、材料諸元を表 5-2 に示す。要素鉄筋比を図 5-2 及び図 5-3 に、引張に対する軟化係数を図 5-4 及び図 5-5 に示す。

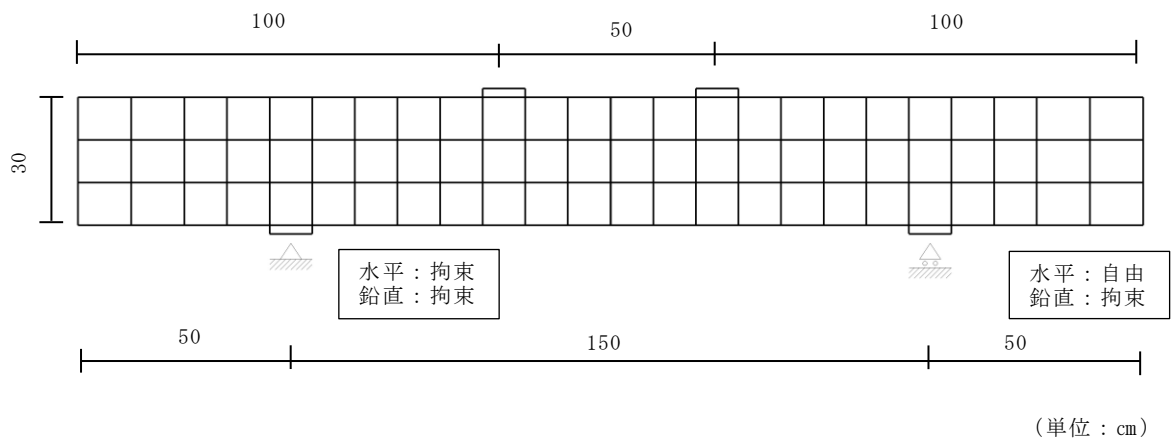


図 5-1 メッシュ図及び境界条件

表 5-1 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-2 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

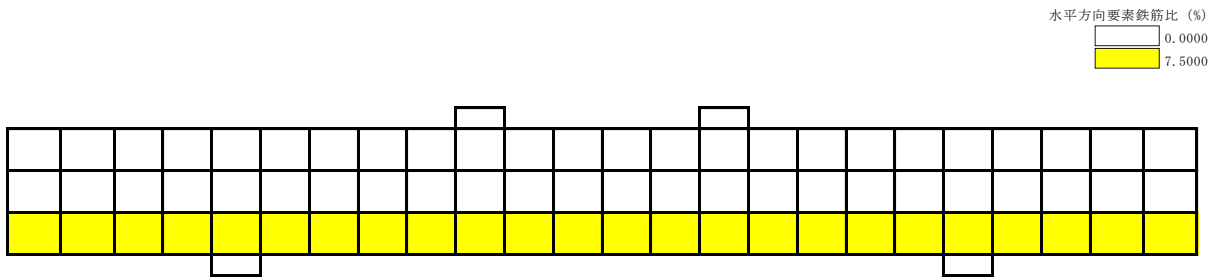


図 5-2 要素鉄筋比 (水平方向)

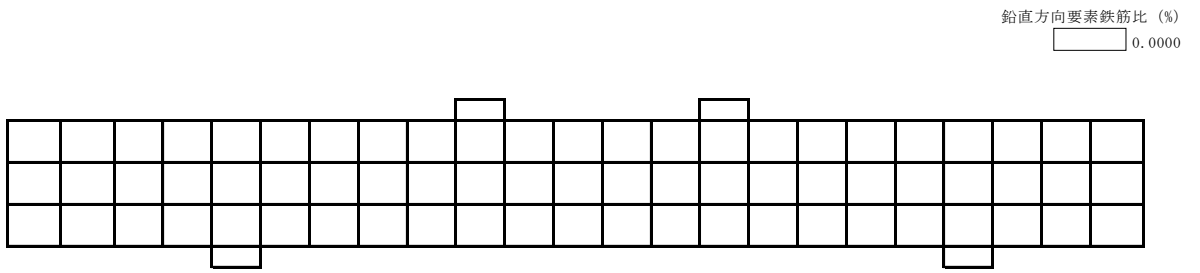


図 5-3 要素鉄筋比 (鉛直方向)

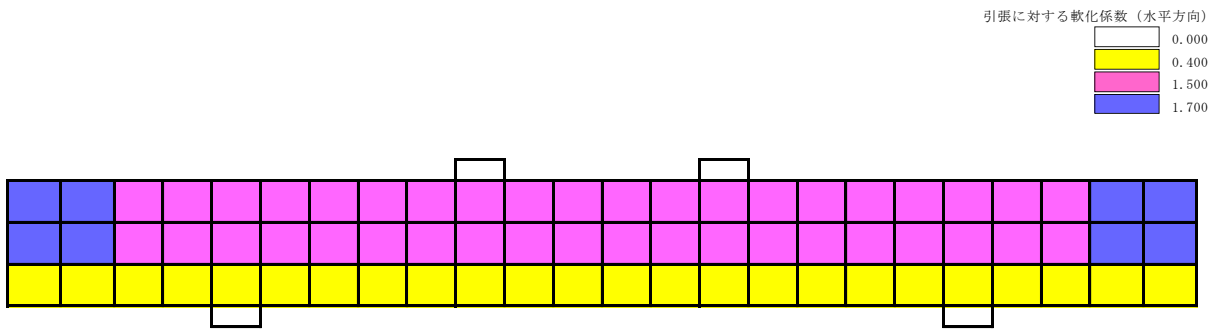


図 5-4 引張に対する軟化係数 (水平方向)

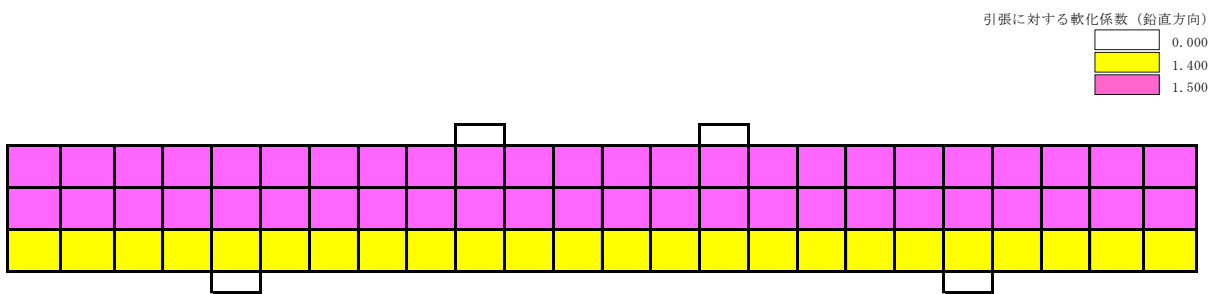


図 5-5 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(2) Case No. 2(着目点 : a/d の効果)

Case No. 2 は基本モデル Case No. 1 のスパンの長さ (0.50m→0.25m) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-6 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-3 に、材料諸元を表 5-4 に示す。要素鉄筋比を図 5-7 及び図 5-8 に、引張に対する軟化係数を図 5-9 及び図 5-10 に示す。

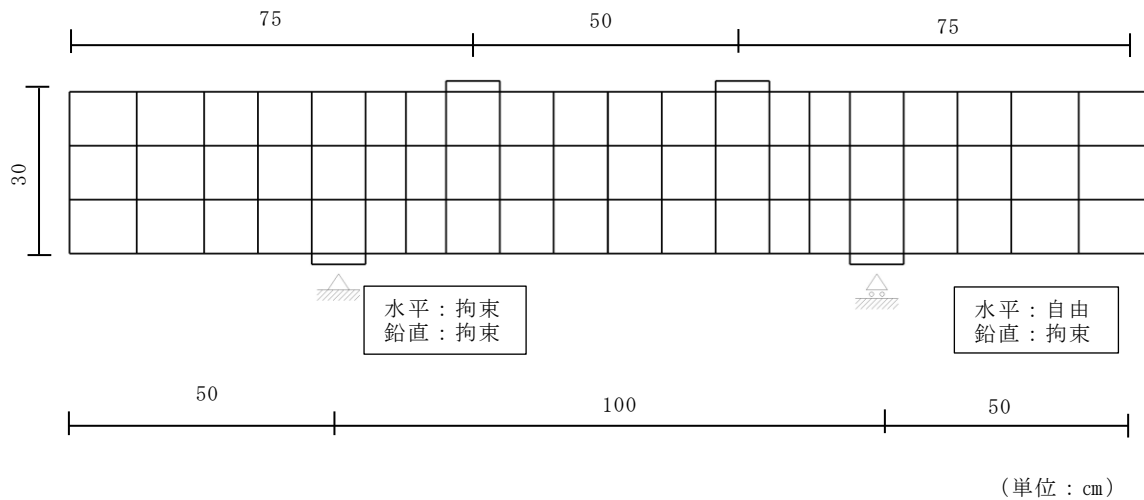


図 5-6 メッシュ図及び境界条件



表 5-3 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅(cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚(cm)	30	同 上
有効部材厚(cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-4 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

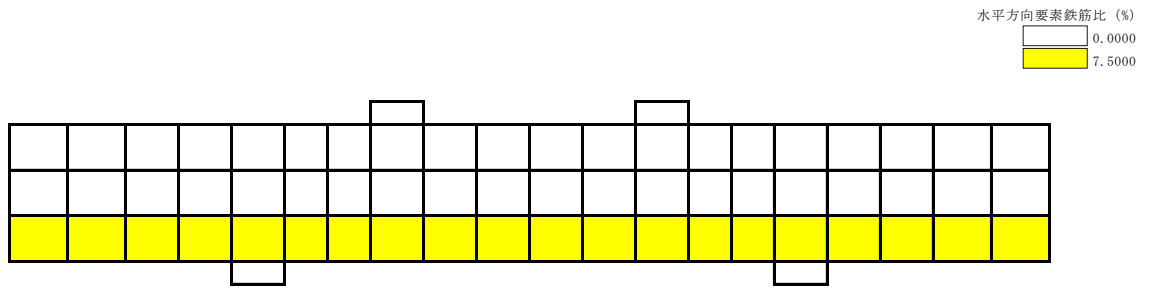


図 5-7 要素鉄筋比 (水平方向)

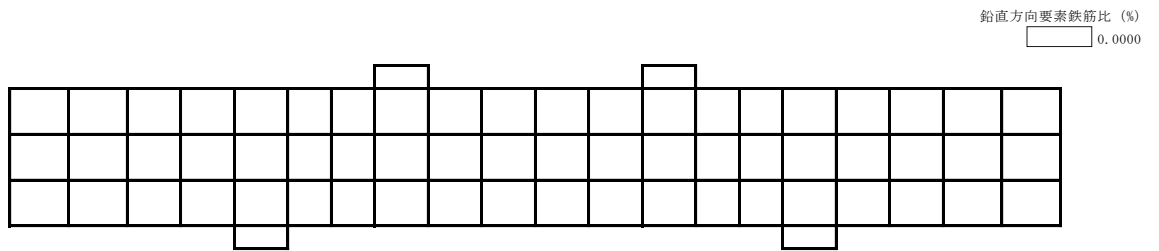


図 5-8 要素鉄筋比 (鉛直方向)

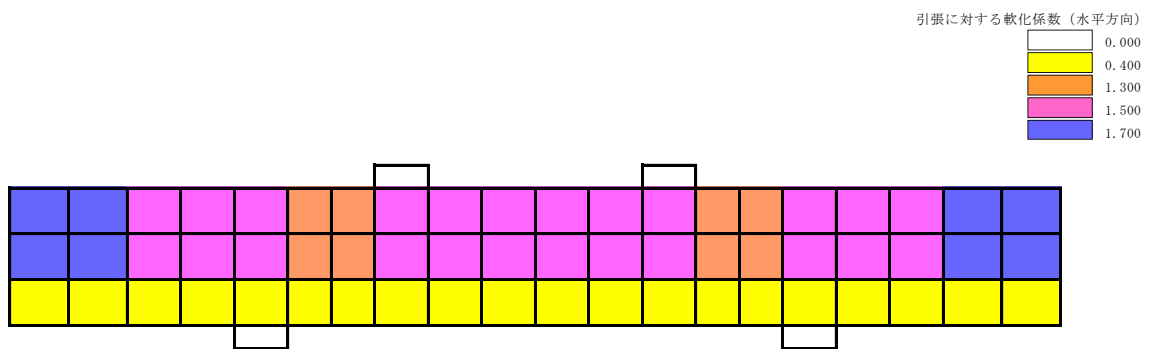


図 5-9 引張に対する軟化係数 (水平方向)

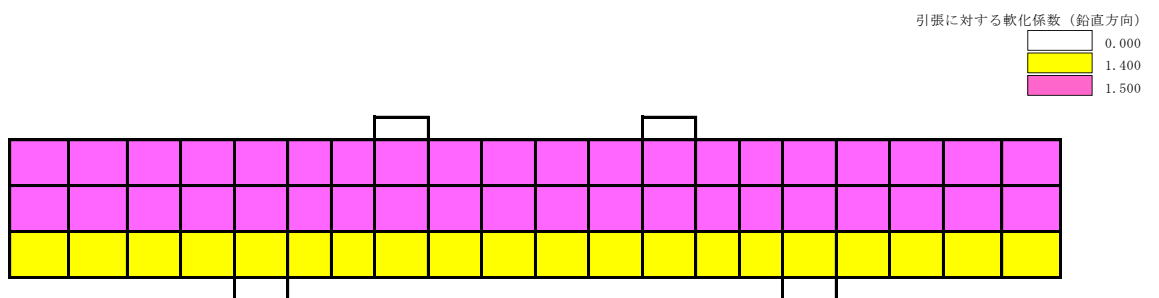


図 5-10 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(3) Case No. 3(着目点 : a/d の効果)

Case No. 3 は基本モデル Case No. 1 のスパンの長さ (0.50m→1.00m) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-11 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-5 に、材料諸元を表 5-6 に示す。要素鉄筋比を図 5-12 及び図 5-13 に、引張に対する軟化係数を図 5-14 及び図 5-15 に示す。

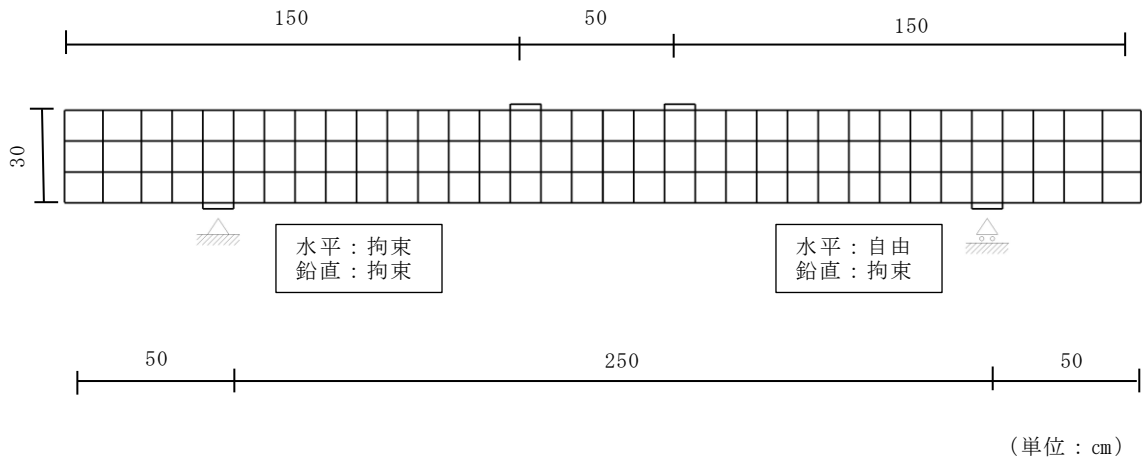


表 5-5 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-6 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

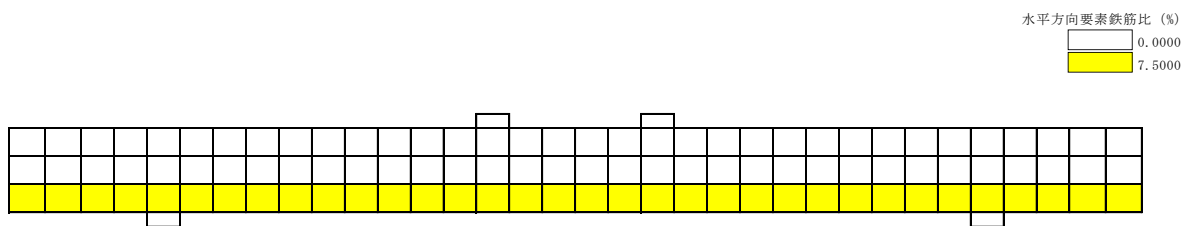


図 5-12 要素鉄筋比 (水平方向)

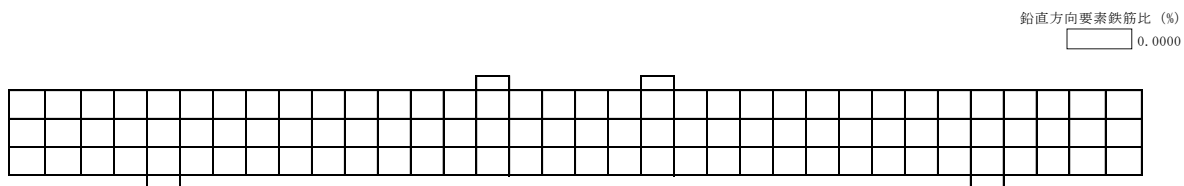


図 5-13 要素鉄筋比 (鉛直方向)

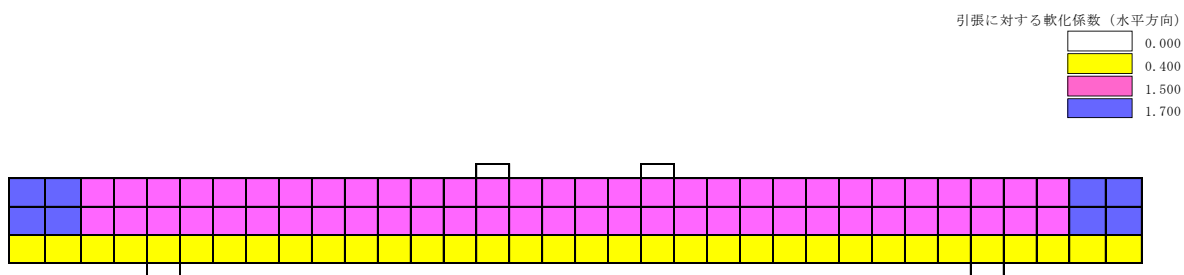


図 5-14 引張に対する軟化係数 (水平方向)

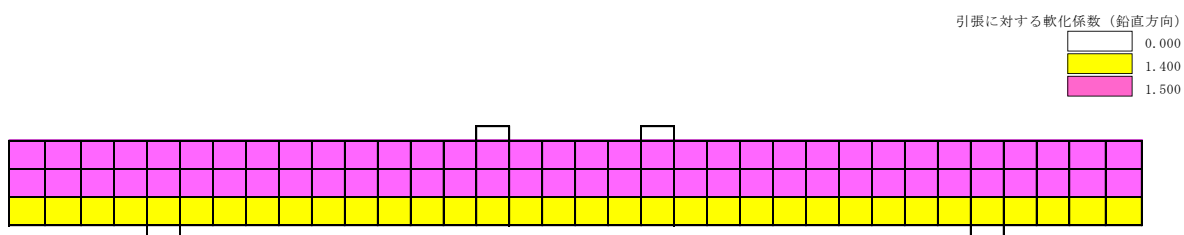


図 5-15 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(4) Case No. 4(着目点 : a/d の効果)

Case No. 4 は基本モデル Case No. 1 のスパンの長さ (0.50m→1.50m) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-16 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-7 に、材料諸元を表 5-8 に示す。要素鉄筋比を図 5-17 及び図 5-18 に、引張に対する軟化係数を図 5-19 及び図 5-20 に示す。

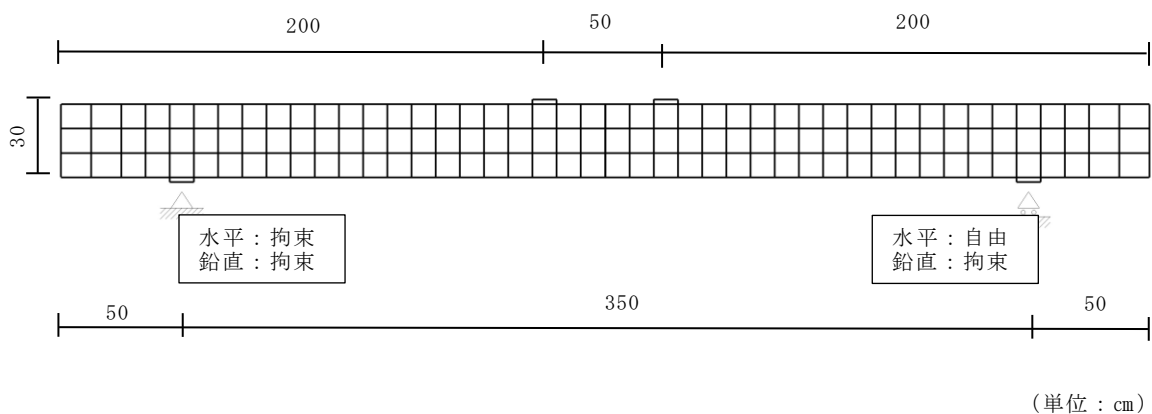


図 5-16 メッシュ図及び境界条件

表 5-7 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-8 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

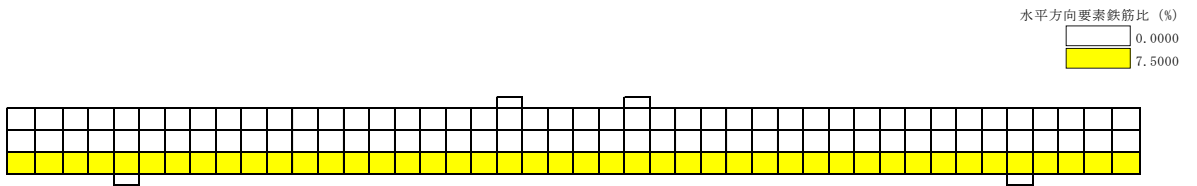


図 5-17 要素鉄筋比 (水平方向)

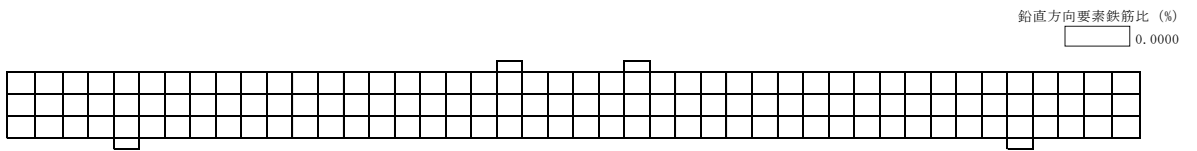


図 5-18 要素鉄筋比 (鉛直方向)

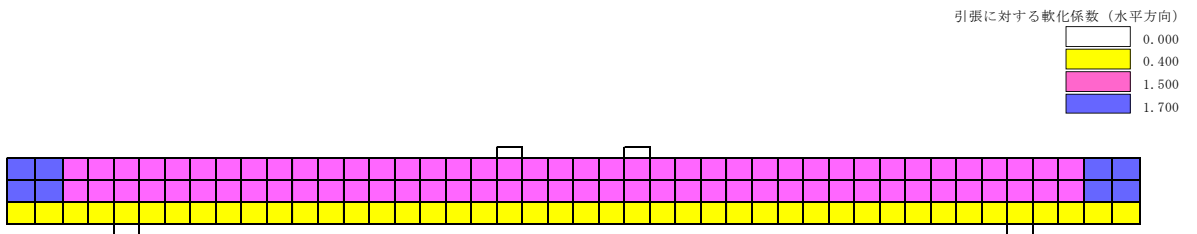


図 5-19 引張に対する軟化係数 (水平方向)

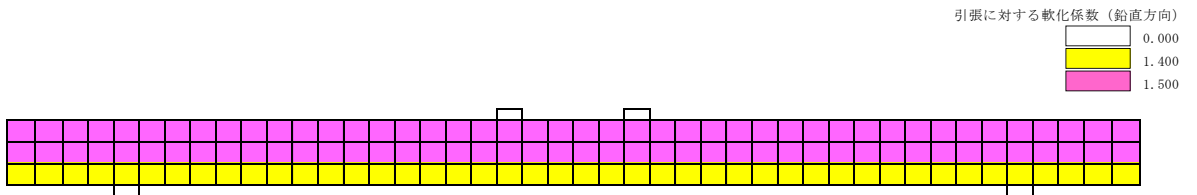


図 5-20 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)



(5) Case No. 5(着目点：コンクリートの圧縮強度の効果)

Case No. 5 は基本モデル Case No. 1 のコンクリートの圧縮強度 (24.0 N/mm<sup>2</sup>→36.0 N/mm<sup>2</sup>) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-21 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-9 に、材料諸元を表 5-10 に示す。要素鉄筋比を図 5-22 及び図 5-23 に、引張に対する軟化係数を図 5-24 及び図 5-25 に示す。

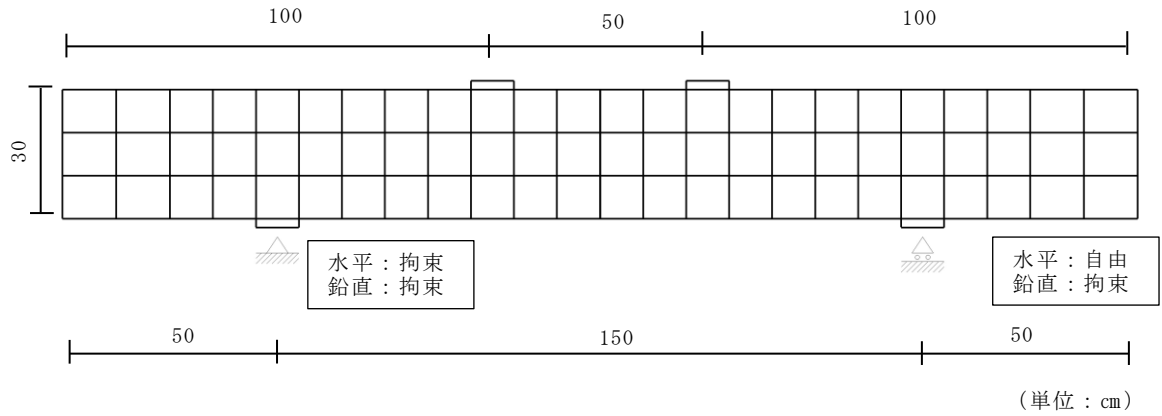


図 5-21 メッシュ図及び境界条件

表 5-9 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅(cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚(cm)	30	同 上
有効部材厚(cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-10 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	36	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.51	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 36^{2/3}$ = 2.507 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

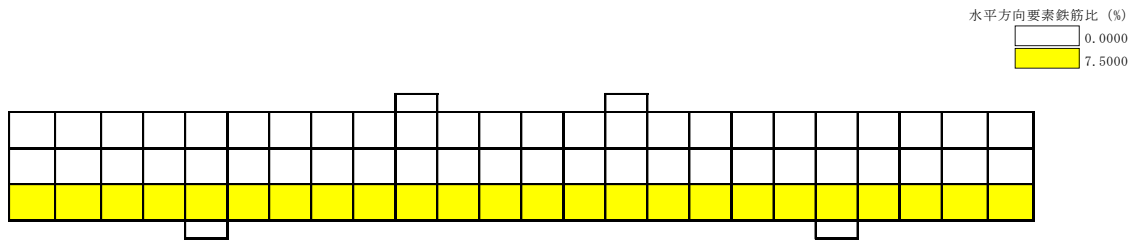


図 5-22 要素鉄筋比 (水平方向)

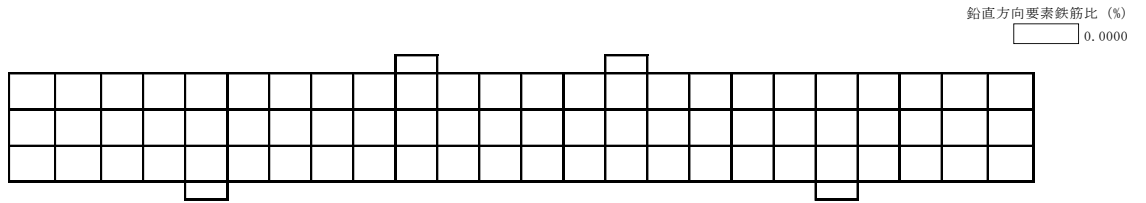


図 5-23 要素鉄筋比 (鉛直方向)

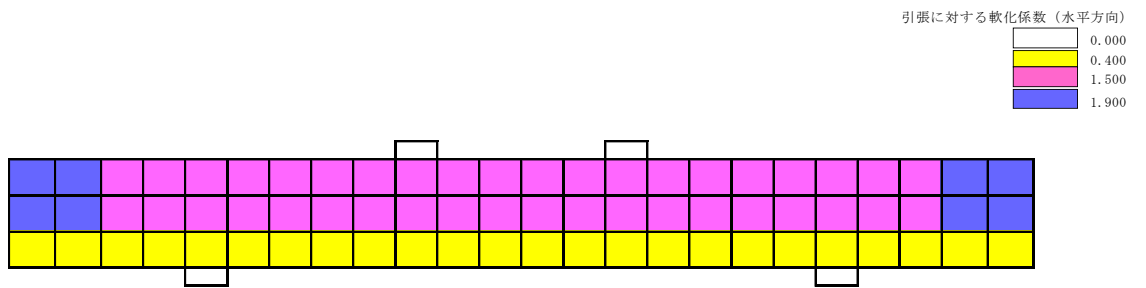


図 5-24 引張に対する軟化係数 (水平方向)

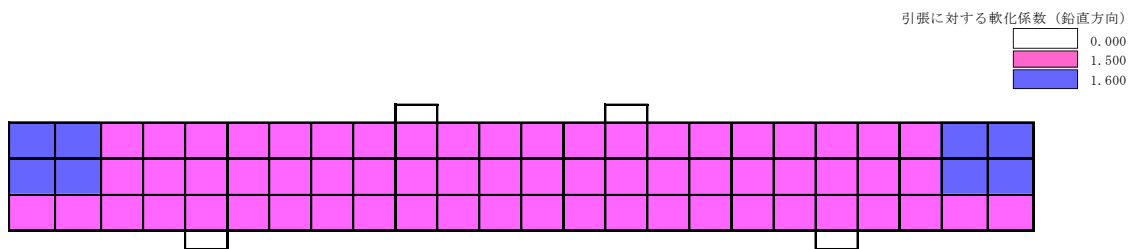


図 5-25 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(6) Case No. 6(着目点：引張鉄筋比の効果)

Case No. 6 は基本モデル Case No. 1 の引張鉄筋比 (0.03→0.01) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-26 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-11 に、材料諸元を表 5-12 に示す。要素鉄筋比を図 5-27 及び図 5-28 に、引張に対する軟化係数を図 5-29 及び図 5-30 に示す。

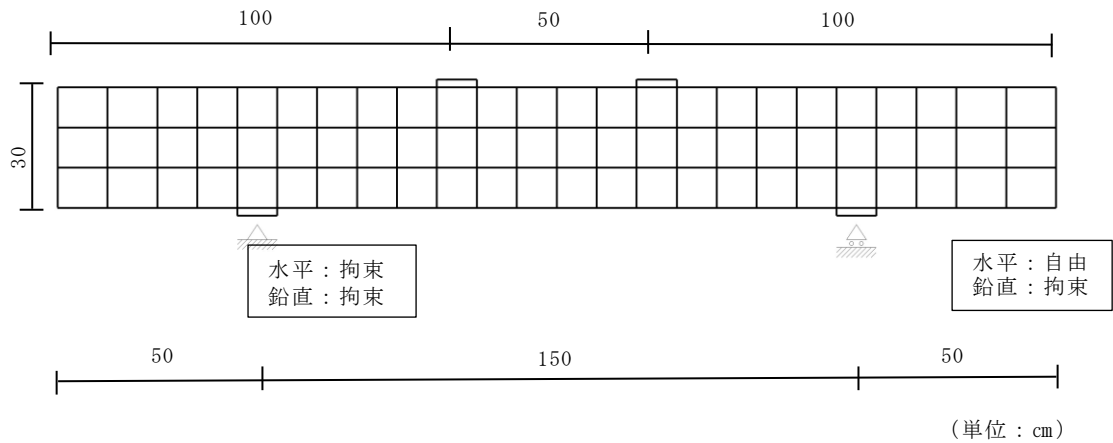


表 5-11 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅(cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚(cm)	30	同 上
有効部材厚(cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.01	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-12 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

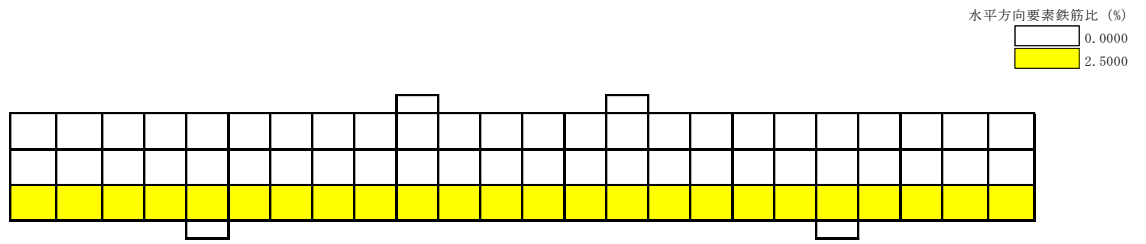


図 5-27 要素鉄筋比 (水平方向)

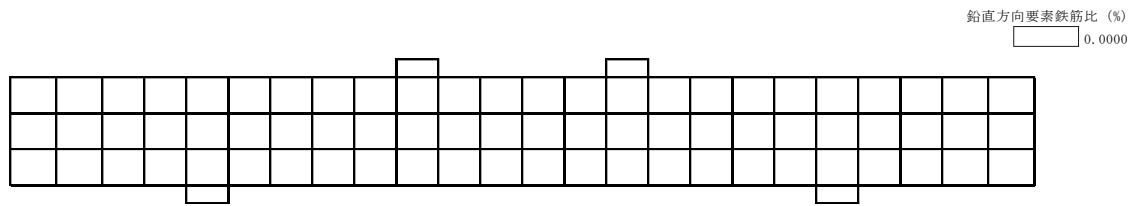


図 5-28 要素鉄筋比 (鉛直方向)

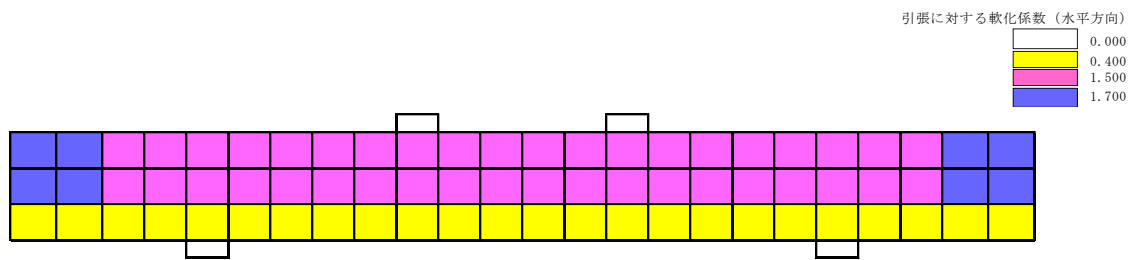


図 5-29 引張に対する軟化係数 (水平方向)

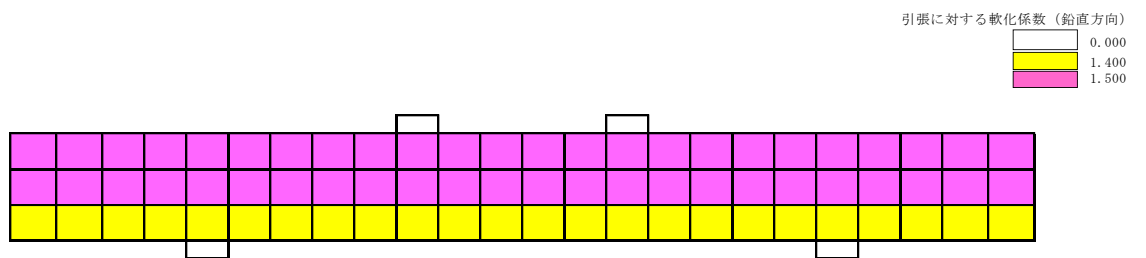
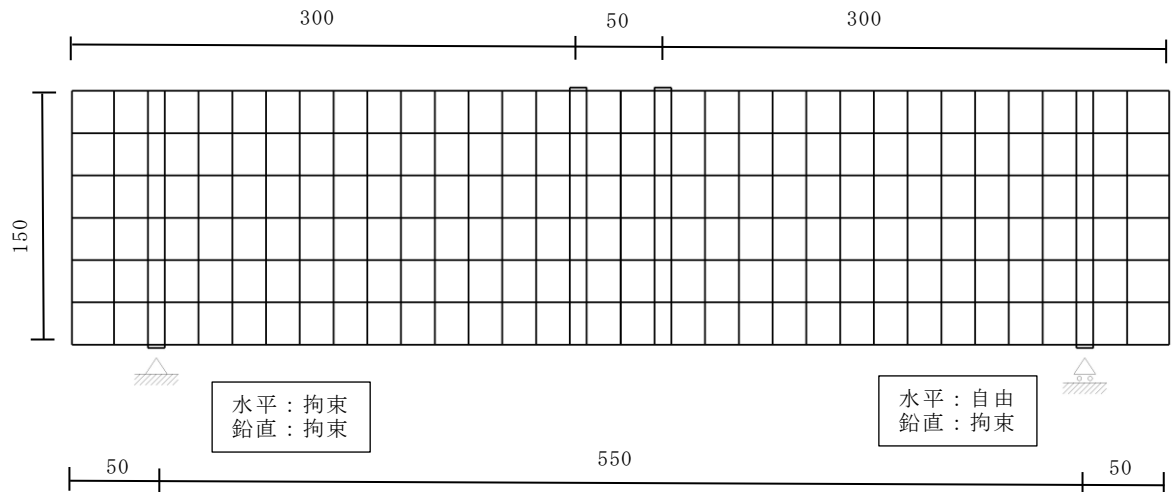


図 5-30 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(7) Case No. 7 (着目点：寸法効果)

Case No. 7 は基本モデル Case No. 1 のスパンの長さ (0.50m→2.50m), 部材厚 (0.30m→1.50m) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-31 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-13 に, 材料諸元を表 5-14 に示す。要素鉄筋比を図 5-32 及び図 5-33 に, 引張に対する軟化係数を図 5-34 及び図 5-35 に示す。



(単位：cm)

図 5-31 メッシュ図及び境界条件

表 5-13 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅(cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚(cm)	150	同 上
有効部材厚(cm)	125	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-14 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書



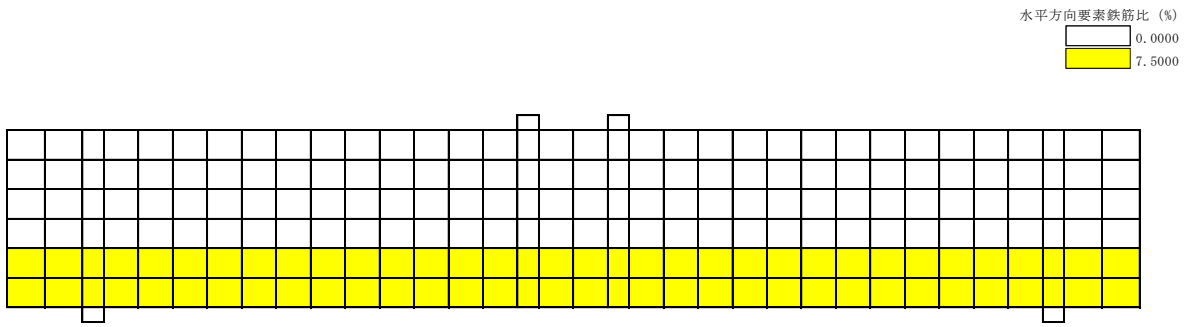


図 5-32 要素鉄筋比 (水平方向)

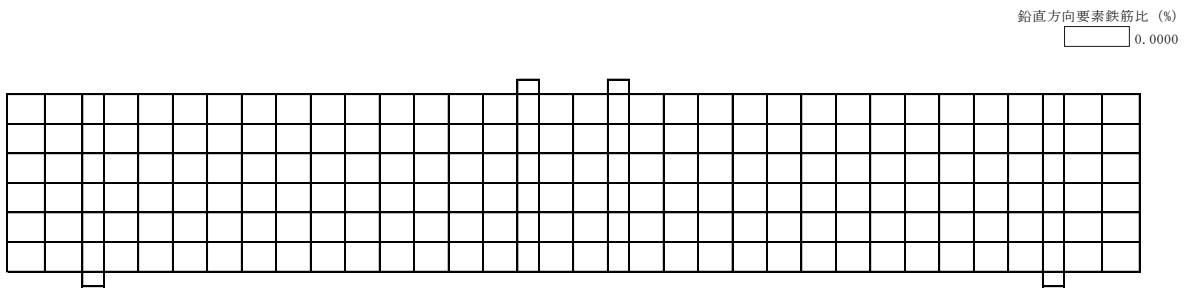


図 5-33 要素鉄筋比 (鉛直方向)

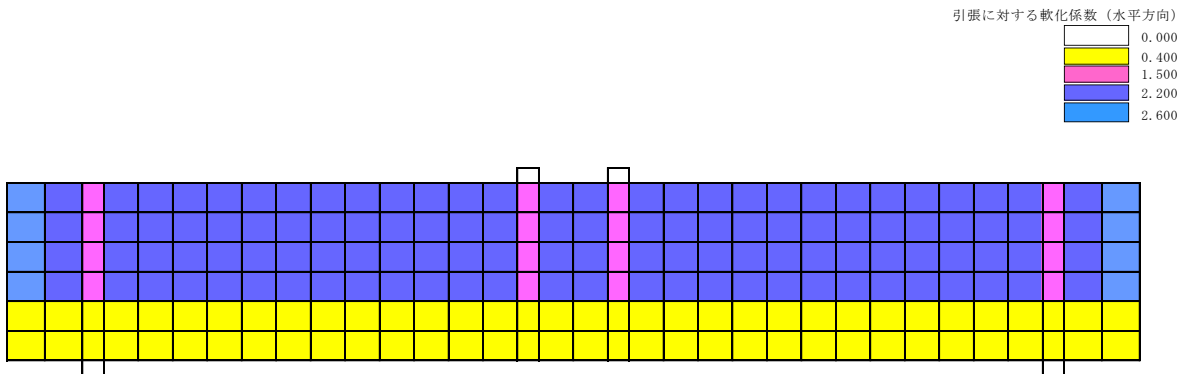


図 5-34 引張に対する軟化係数 (水平方向)

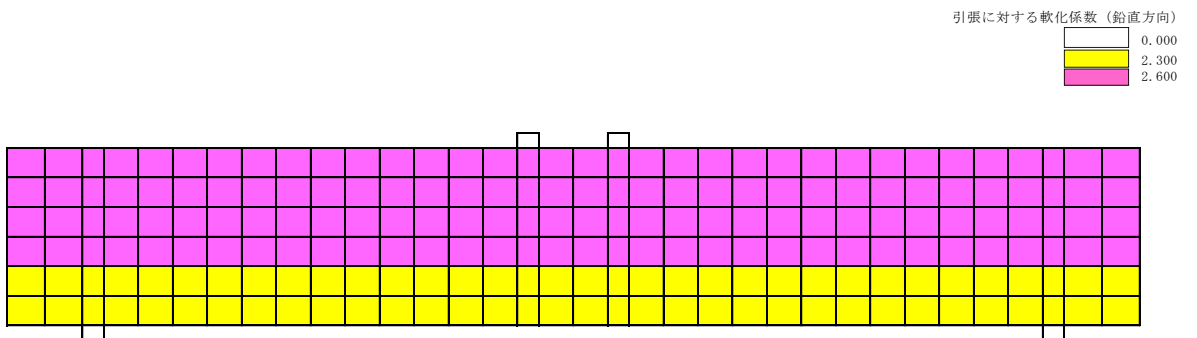


図 5-35 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(8) Case No. 8(着目点：軸力の効果)

Case No. 8 は基本モデル Case No. 1 のスパンの長さ (0.50m→1.00m) を変更し、軸力比を追加したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-36 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-15 に、材料諸元を表 5-16 に示す。要素鉄筋比を図 5-37 及び図 5-38 に、引張に対する軟化係数を図 5-39 及び図 5-40 に示す。

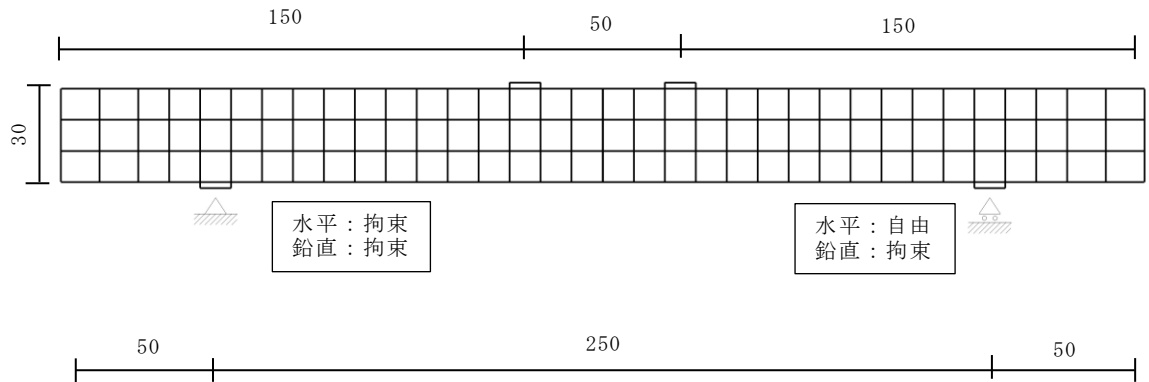


図 5-36 メッシュ図及び境界条件

(単位：cm)

表 5-15 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.00	同 上

表 5-16 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

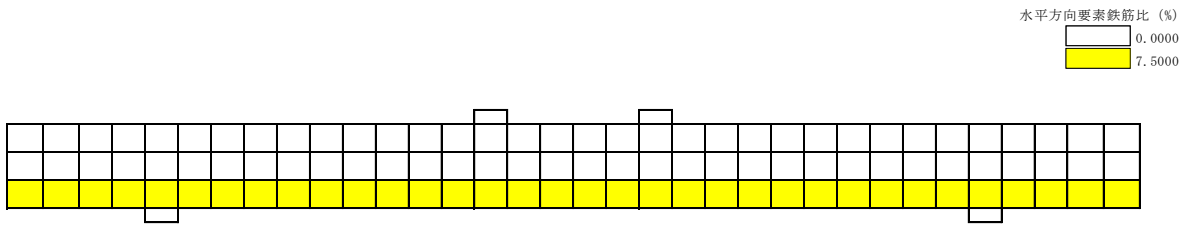


図 5-37 要素鉄筋比 (水平方向)

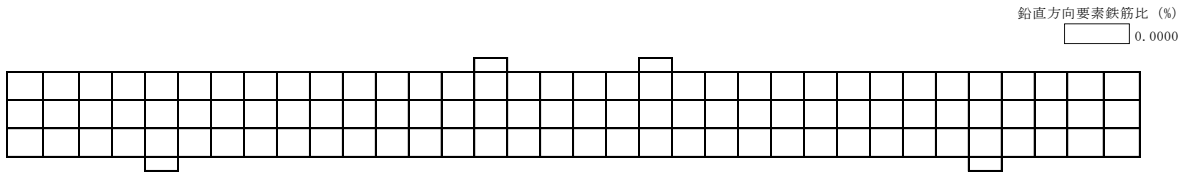


図 5-38 要素鉄筋比 (鉛直方向)

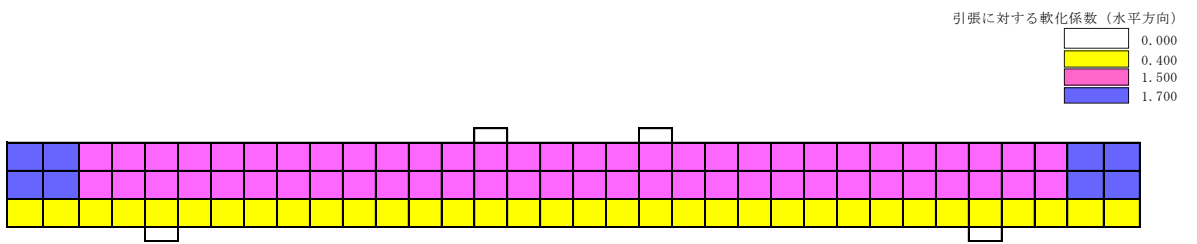


図 5-39 引張に対する軟化係数 (水平方向)

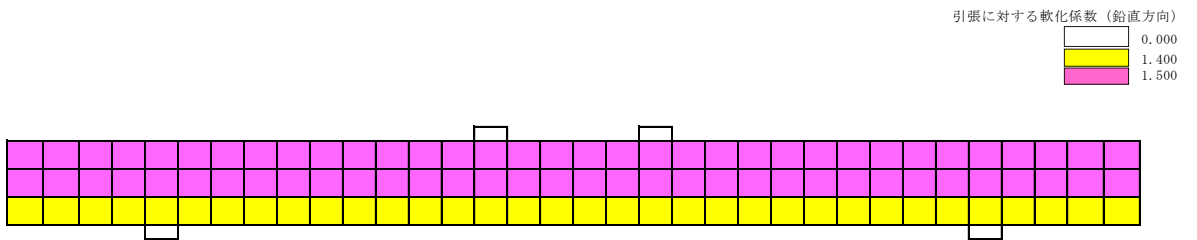


図 5-40 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(9) Case No. 9(着目点：せん断補強筋の効果)

Case No. 9 は基本モデル Case No. 1 にせん断補強筋を追加したモデルである解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-41 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-17 に、材料諸元を表 5-18 に示す。要素鉄筋比を図 5-42 及び図 5-43 に、引張に対する軟化係数を図 5-44 及び図 5-45 に示す。

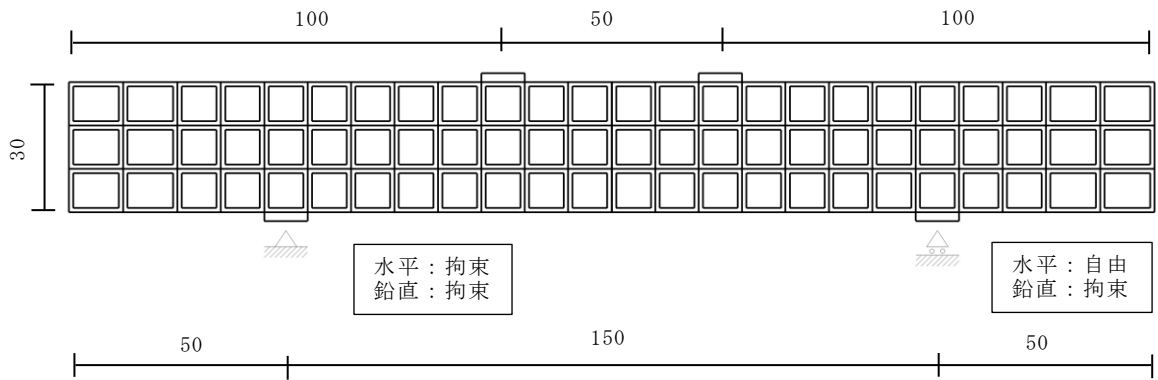


図 5-41 メッシュ図及び境界条件

(単位：cm)

表 5-17 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	100	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.03	同 上
せん断補強筋比	0.005	同 上

表 5-18 材料諸元

材 料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	24	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	1.91	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3}$ = 1.913 コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断 補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	350	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

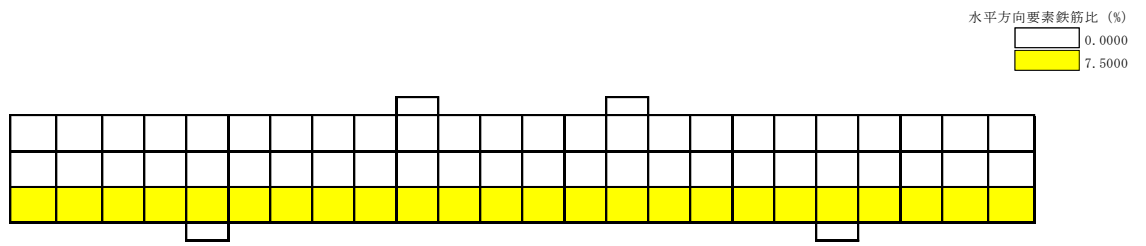


図 5-42 要素鉄筋比 (水平方向)

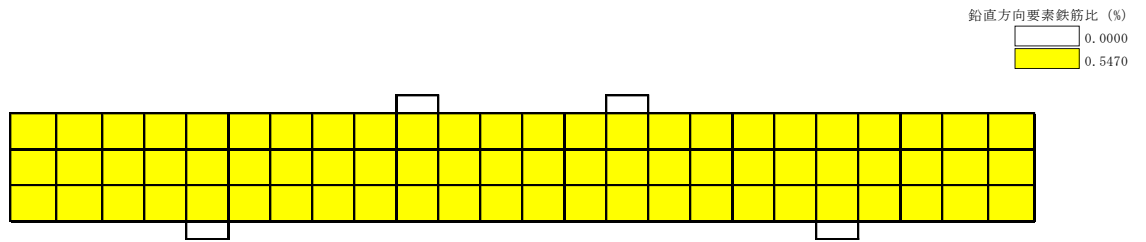


図 5-43 要素鉄筋比 (鉛直方向)

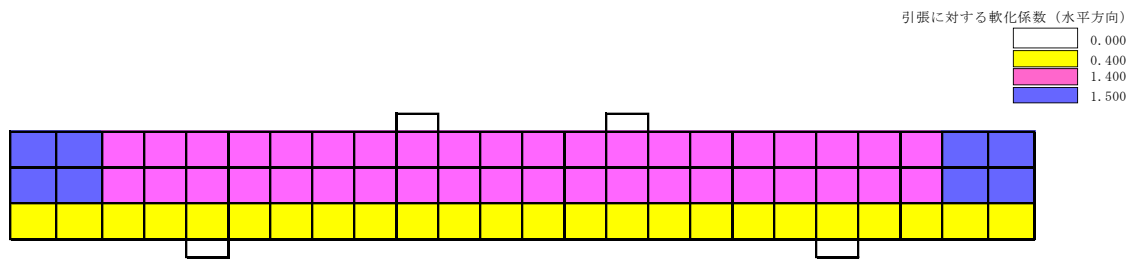


図 5-44 引張に対する軟化係数 (水平方向)

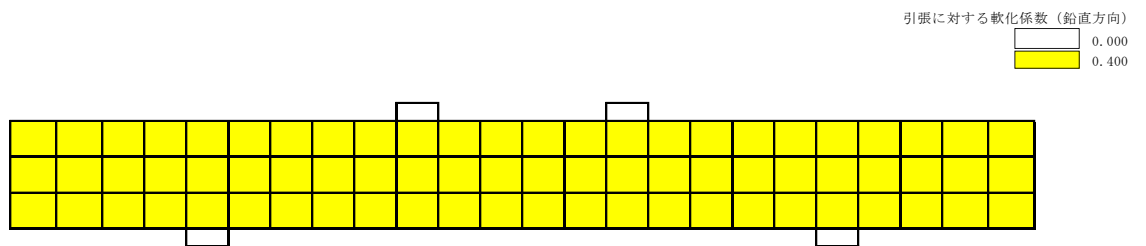


図 5-45 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(10) Case No. 10 (Case No. 10~14 の基本モデル)

Case No. 10 は Case No. 10~14 の基本モデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-46 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-19 に、材料諸元を表 5-20 に示す。要素鉄筋比を図 5-47 及び図 5-48 に、引張に対する軟化係数を図 5-49 及び図 5-50 に示す。

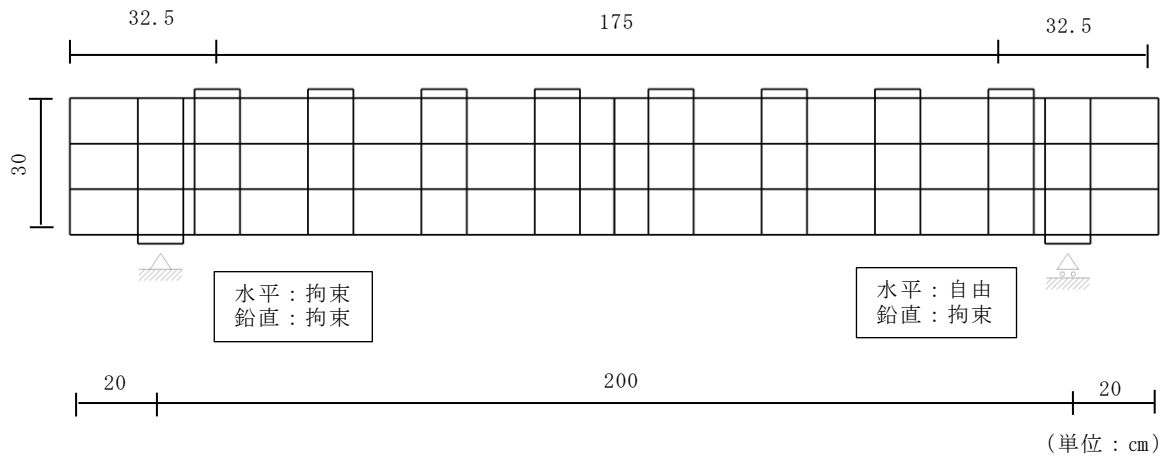


図 5-46 メッシュ図及び境界条件



表 5-19 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	15	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.041	同 上
せん断補強筋比 (試験区間) *	0.000	同 上

注記\* : 当該部材の破壊について着目する区間であり, 他の区間より先行して破壊に至るように, 鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-20 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	32.3	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.33	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 32.3^{2/3} = 2.333$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	363	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

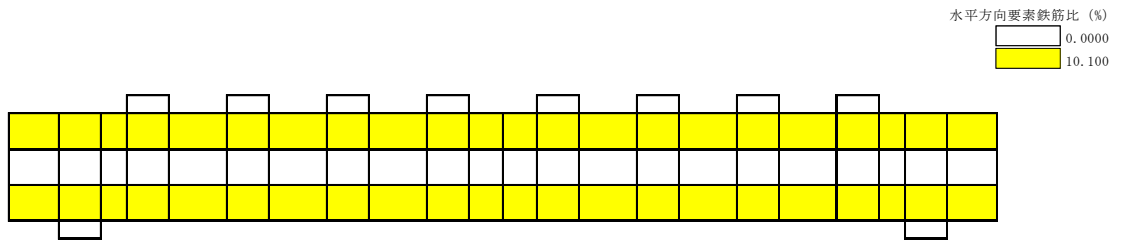


図 5-47 要素鉄筋比 (水平方向)

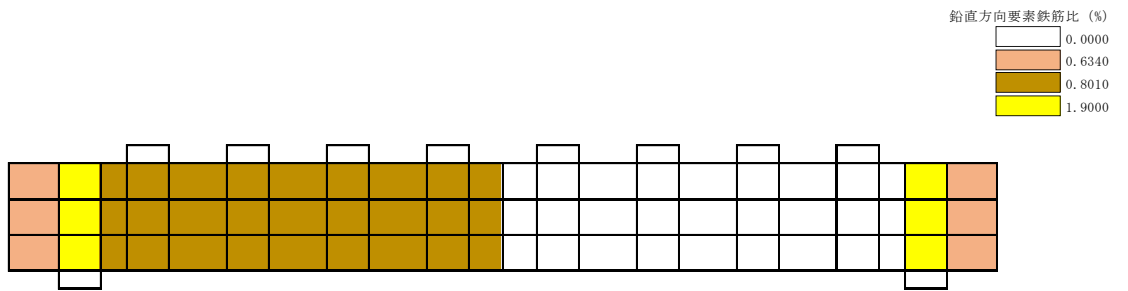


図 5-48 要素鉄筋比 (鉛直方向)

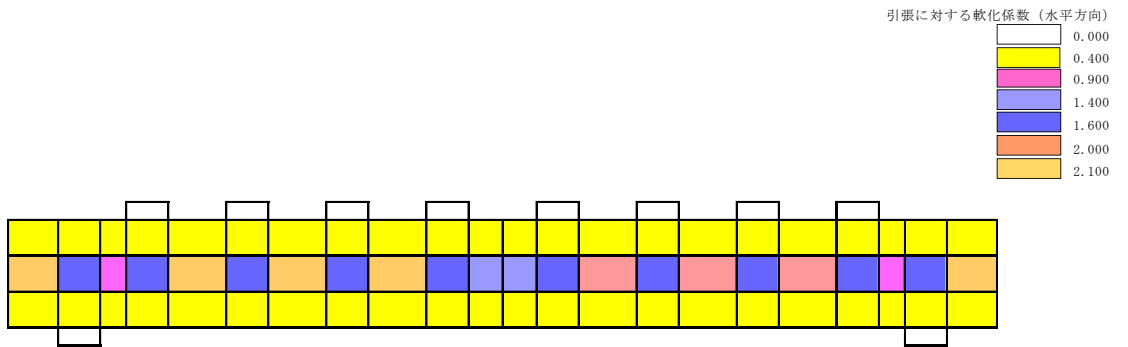


図 5-49 引張に対する軟化係数 (水平方向)

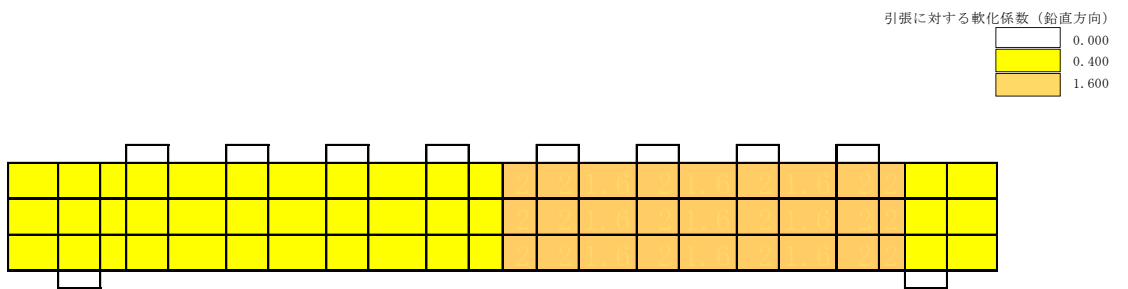
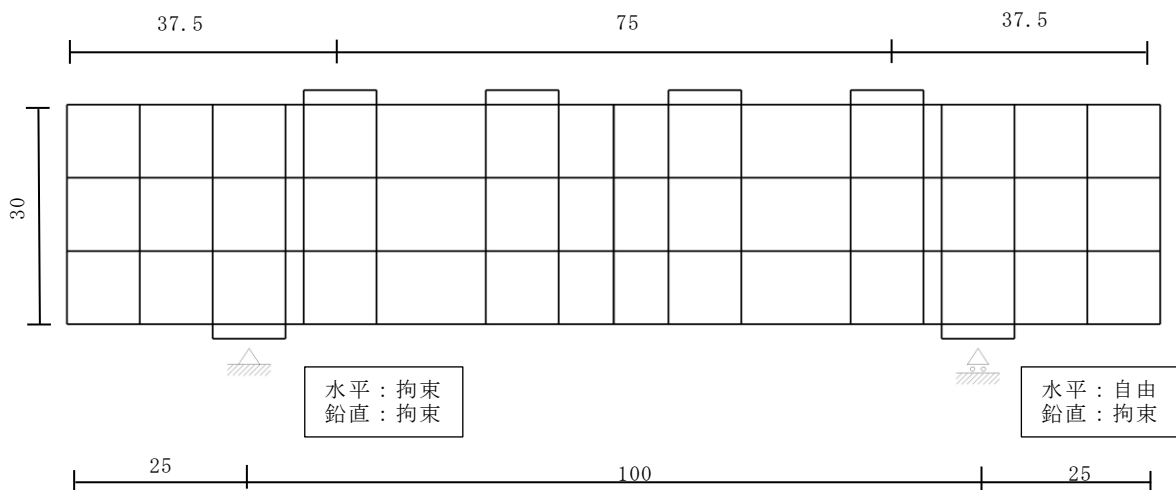


図 5-50 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(11) Case No. 11(着目点：分布荷重を受けるスパンの効果)

Case No. 11 は基本モデル Case No. 10 のスパンの長さ (1.00m→0.50m) 及びコンクリートの圧縮強度 (32.3N/mm<sup>2</sup>→41.4N/mm<sup>2</sup>) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-51 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-21 に、材料諸元を表 5-22 に示す。要素鉄筋比を図 5-52 及び図 5-53 に、引張に対する軟化係数を図 5-54 及び図 5-55 に示す。



(単位：cm)

図 5-51 メッシュ図及び境界条件

表 5-21 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	15	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.041	同 上
せん断補強筋比 (試験区間) *	0.000	同 上

注記\* : 該部材の破壊について着目する区間であり、他の区間より先行して破壊に至るように、鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-22 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	41.4	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.75	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 41.4^{2/3} = 2.753$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	363	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

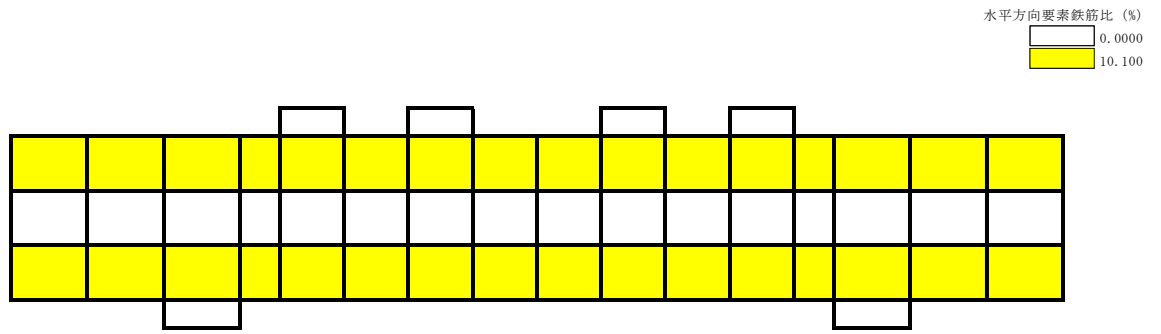


図 5-52 要素鉄筋比 (水平方向)

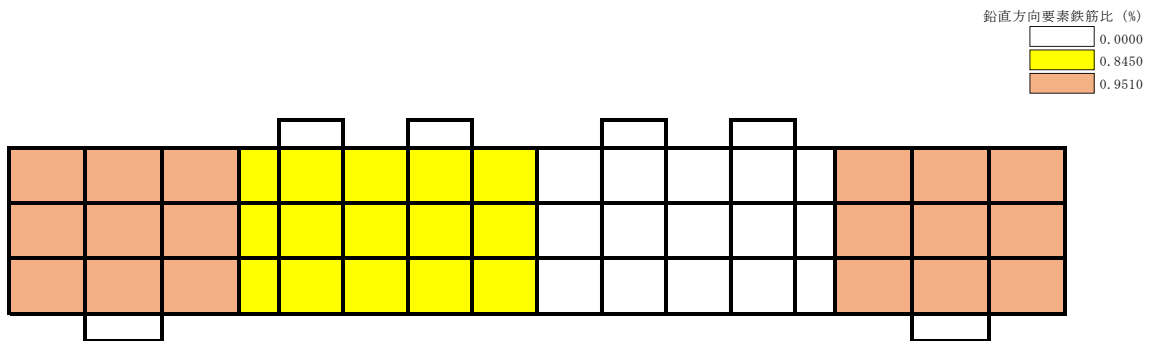


図 5-53 要素鉄筋比 (鉛直方向)

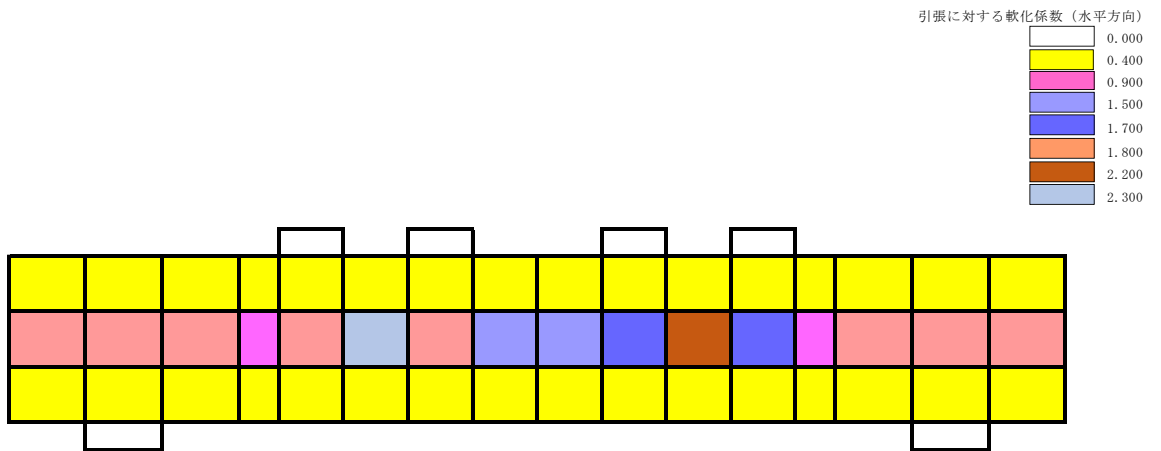


図 5-54 引張に対する軟化係数 (水平方向)

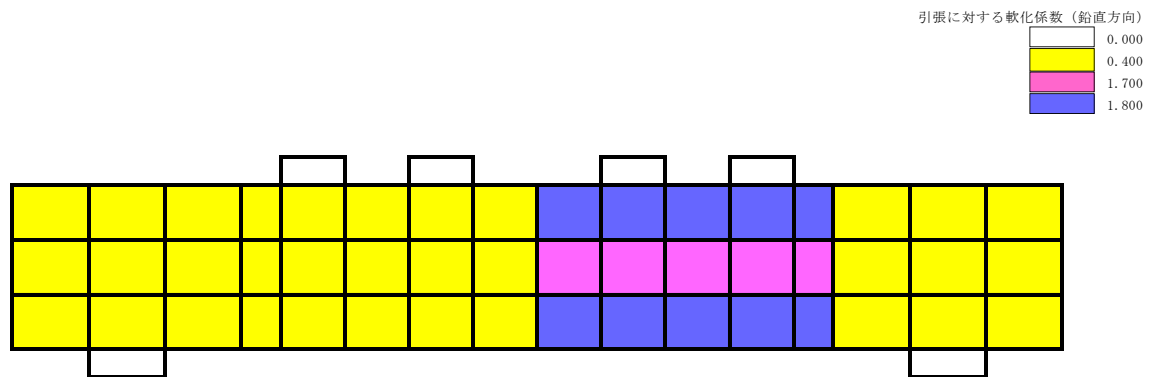
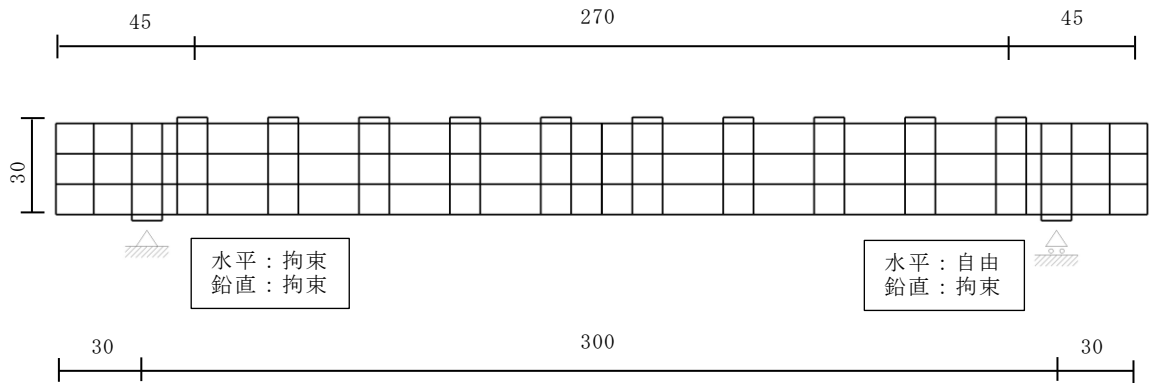


図 5-55 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(参考) 14-43

(12) Case No. 12(着目点：分布荷重を受けるスパンの効果)

Case No. 12は基本モデル Case No. 10のスパンの長さ (1.00m→1.50m)及びコンクリートの圧縮強度 (32.3N/mm<sup>2</sup>→41.7N/mm<sup>2</sup>)を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図5-56に示す。断面性状及び鉄筋比を表5-23に、材料諸元を表5-24に示す。要素鉄筋比を図5-57及び図5-58に、引張に対する軟化係数を図5-59及び図5-60に示す。



(単位：cm)

図5-56 メッシュ図及び境界条件

表 5-23 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	15	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.041	同 上
せん断補強筋比 (試験区間) *	0.000	同 上

注記\* : 該部材の破壊について着目する区間であり、他の区間より先行して破壊に至るように、鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-24 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	41.7	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.77	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 41.7^{2/3} = 2.765$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	363	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

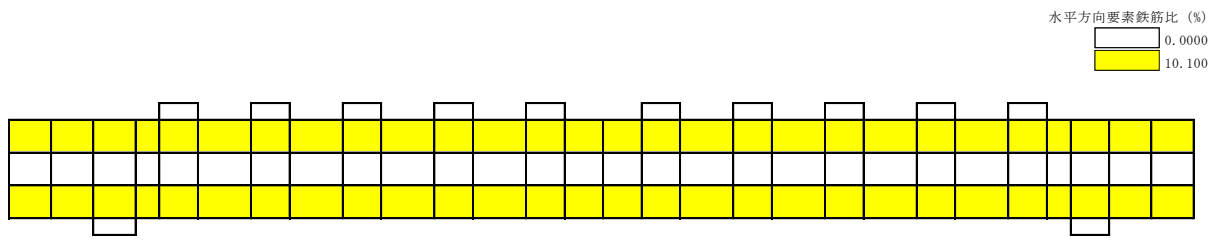


図 5-57 要素鉄筋比（水平方向）

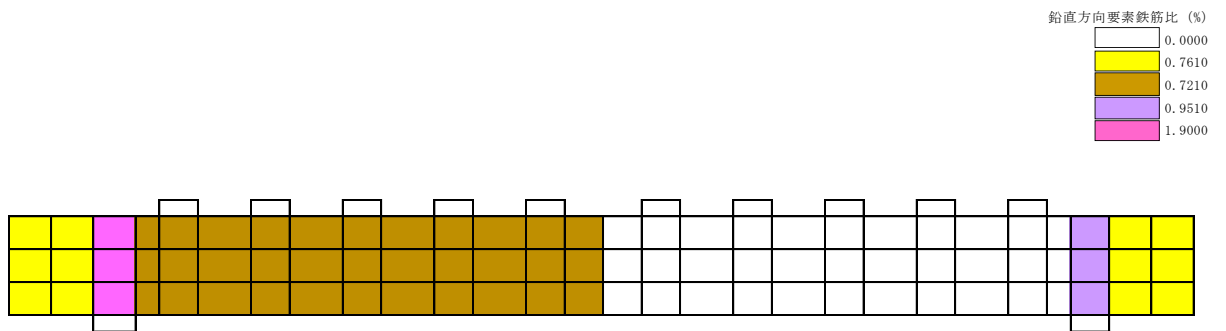


図 5-58 要素鉄筋比（鉛直方向）

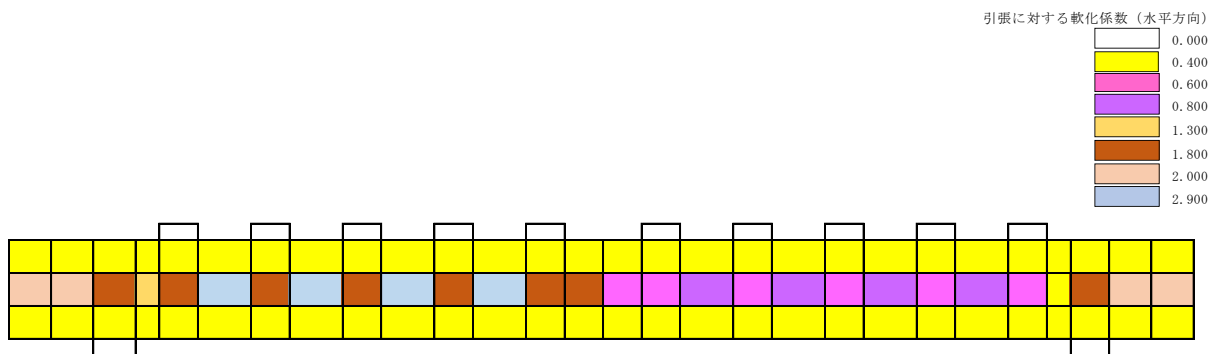


図 5-59 引張に対する軟化係数（水平方向）

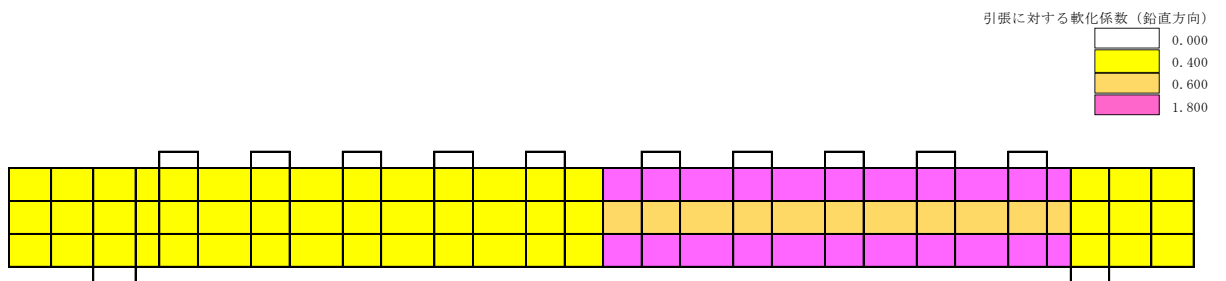


図 5-60 引張に対する軟化係数（鉛直方向）



(13) Case No. 13(着目点：モーメント分布の効果)

Case No. 13 は基本モデル Case No. 10 の作用荷重倍率 ( $P' / P = 0 \rightarrow 1.50$ ) 及びコンクリートの圧縮強度 ( $32.3\text{N/mm}^2 \rightarrow 33.6\text{N/mm}^2$ ) を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-61 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-25 に、材料諸元を表 5-26 に示す。要素鉄筋比を図 5-62 及び図 5-63 に、引張に対する軟化係数を図 5-64 及び図 5-65 に示す。

表 5-25 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅(cm)	15	土木学会マニュアル
部材厚(cm)	30	同 上
有効部材厚(cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.041	同 上
せん断補強筋比(試験区間)*	0.000	同 上

注記\* : 当該部材の破壊について着目する区間であり、他の区間より先行して破壊に至るように、鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-26 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	33.6	( $\text{N/mm}^2$ )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.39	( $\text{N/mm}^2$ )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 33.6^{2/3} = 2.3949$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	( $\text{kN/m}^3$ )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	( $\text{kN/mm}^2$ )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	363	( $\text{N/mm}^2$ )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	( $\text{kN/m}^3$ )	コンクリート標準示方書

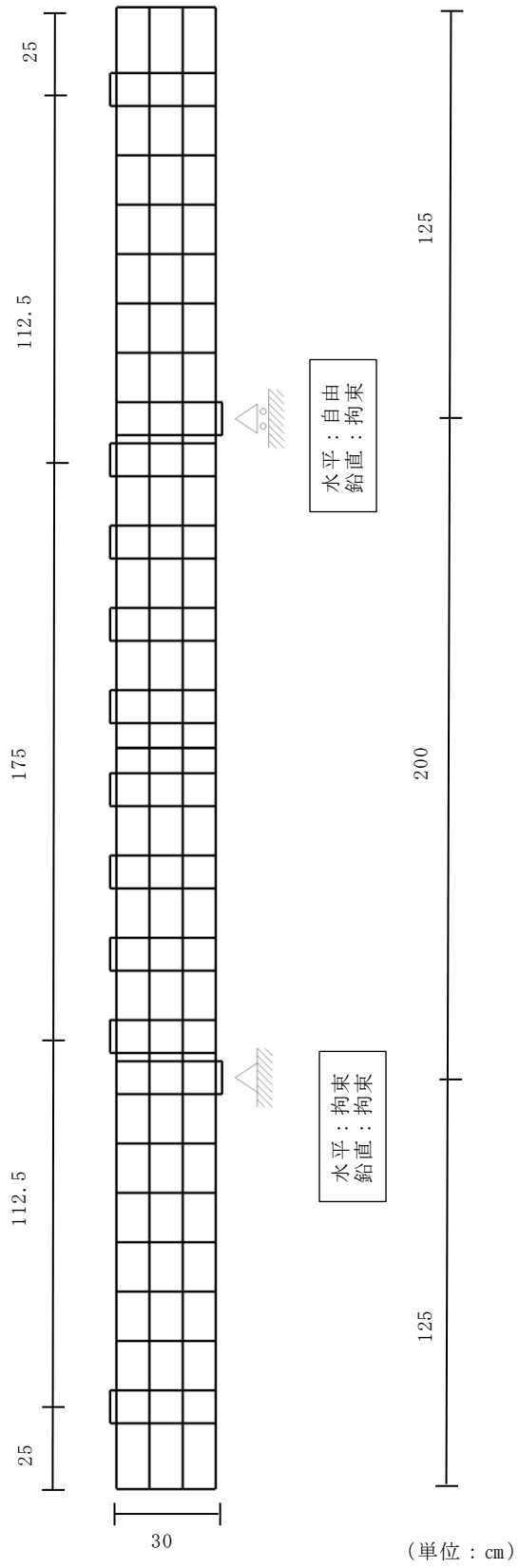


図 5-61 メッシュ図及び境界条件

(参考) 14-48

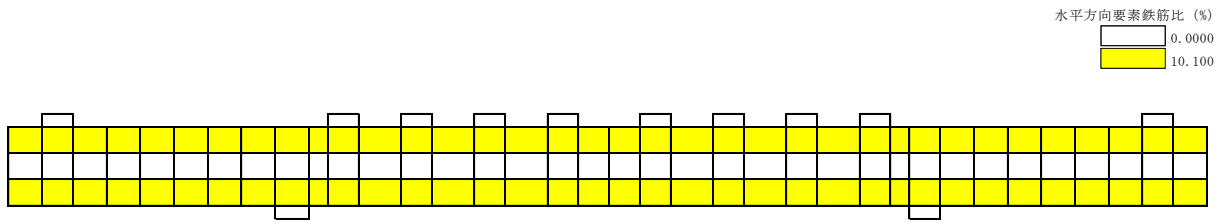


図 5-62 要素鉄筋比 (水平方向)

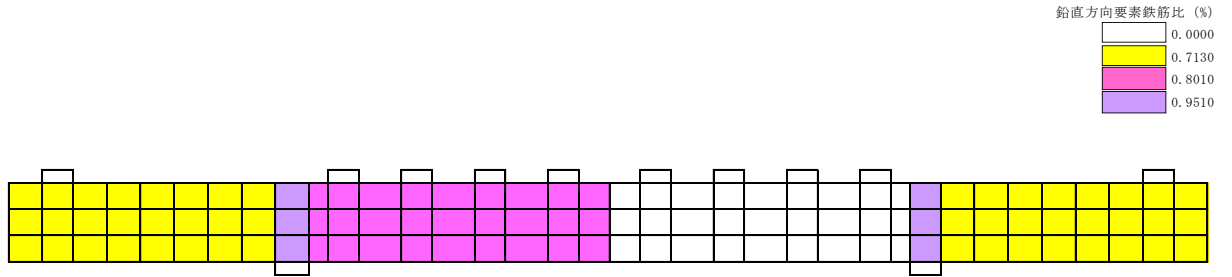


図 5-63 要素鉄筋比 (鉛直方向)

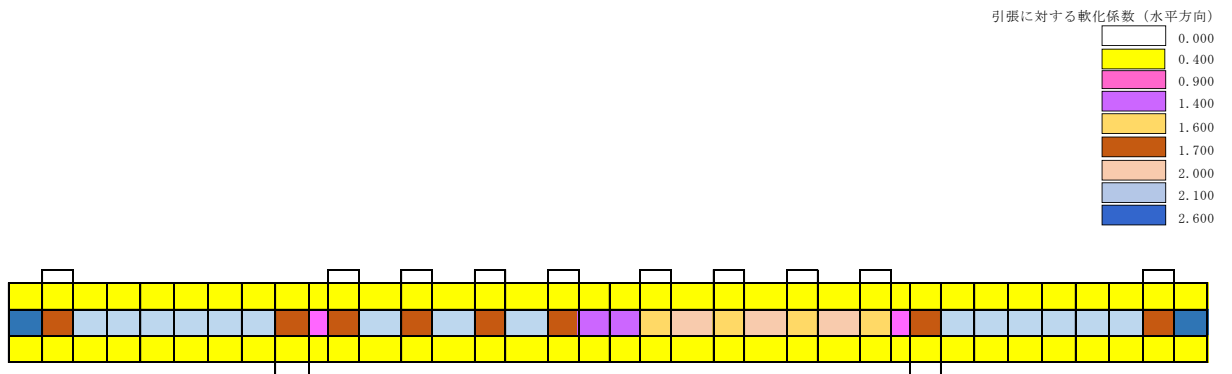


図 5-64 引張に対する軟化係数 (水平方向)

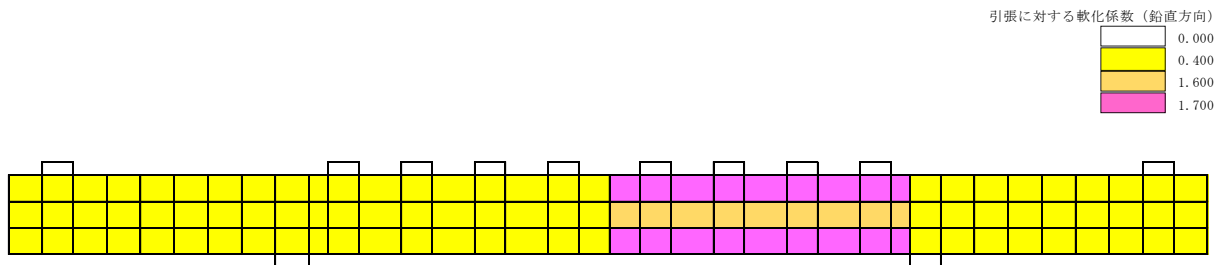


図 5-65 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(14) Case No. 14(着目点：モーメント分布の効果)

Case No. 14は基本モデル Case No. 10の作用荷重倍率 ( $P' / P = 0 \rightarrow 2.00$ )及びコンクリートの圧縮強度 ( $32.3\text{N/mm}^2 \rightarrow 36.2\text{N/mm}^2$ )を変更したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-66 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-27 に、材料諸元を表 5-28 に示す。要素鉄筋比を図 5-67 及び図 5-68 に、引張に対する軟化係数を図 5-69 及び図 5-70 に示す。

表 5-27 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅(cm)	15	土木学会マニュアル
部材厚(cm)	30	同 上
有効部材厚(cm)	25	同 上
引張鉄筋比	0.041	同 上
せん断補強筋比(試験区間)*	0.000	同 上

注記\* : 当該部材の破壊について着目する区間であり、他の区間より先行して破壊に至るように、鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-28 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	36.2	( $\text{N/mm}^2$ )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.52	( $\text{N/mm}^2$ )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 36.2^{2/3} = 2.516$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	( $\text{kN/m}^3$ )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	( $\text{kN/mm}^2$ )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	363	( $\text{N/mm}^2$ )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	( $\text{kN/m}^3$ )	コンクリート標準示方書

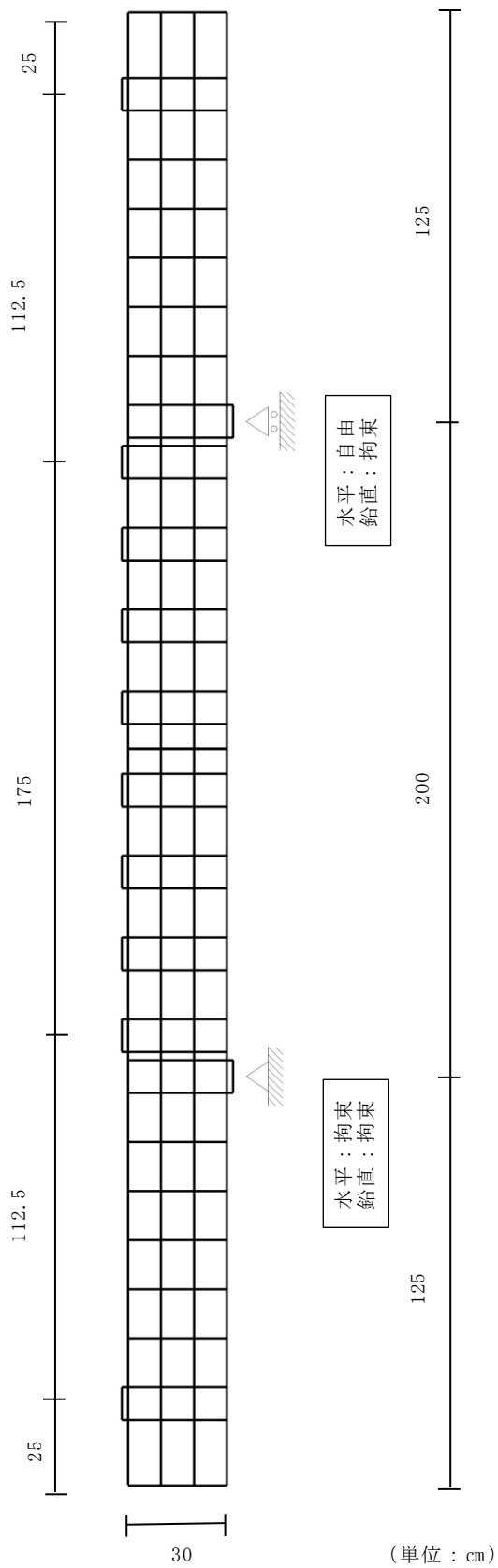


図 5-66 メッシュ図及び境界条件

(参考) 14-51

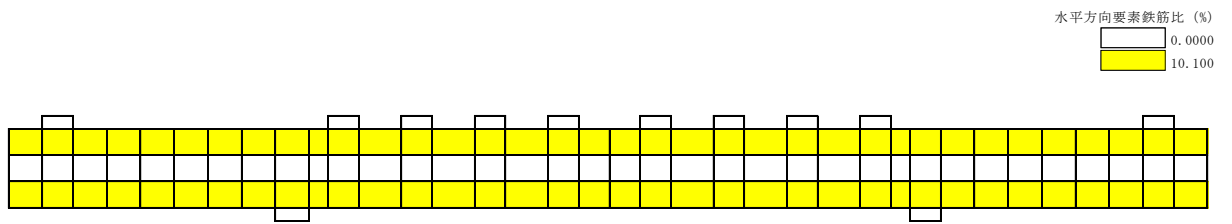


図 5-67 要素鉄筋比 (水平方向)

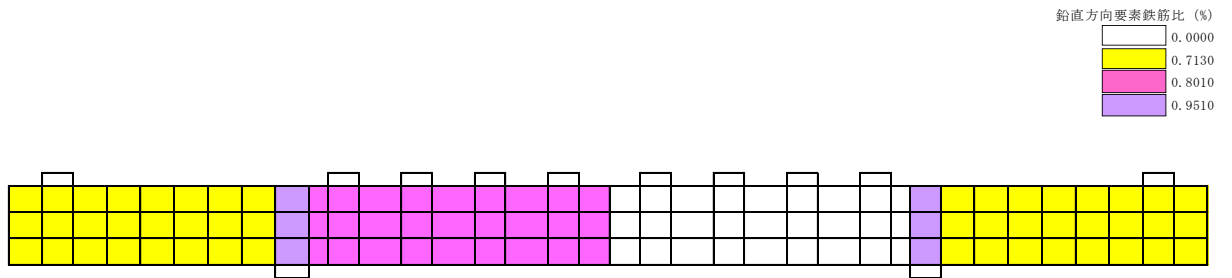


図 5-68 要素鉄筋比 (鉛直方向)

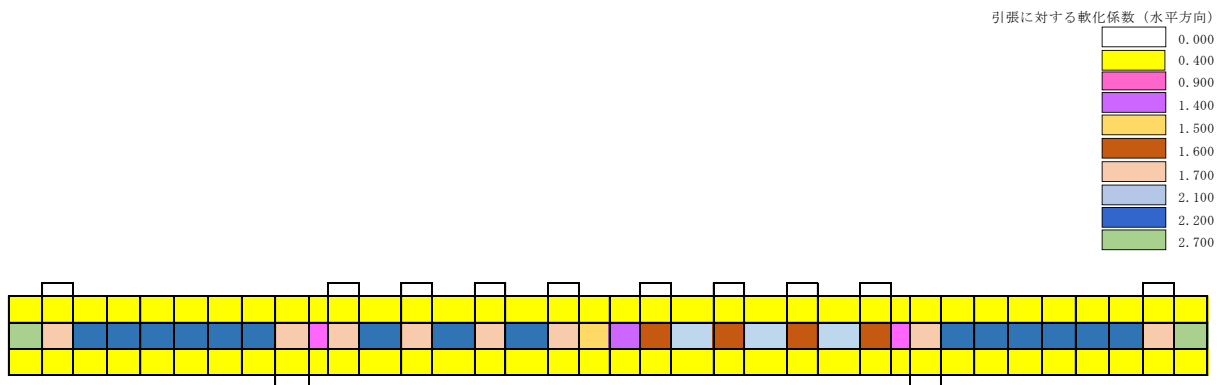


図 5-69 引張に対する軟化係数 (水平方向)

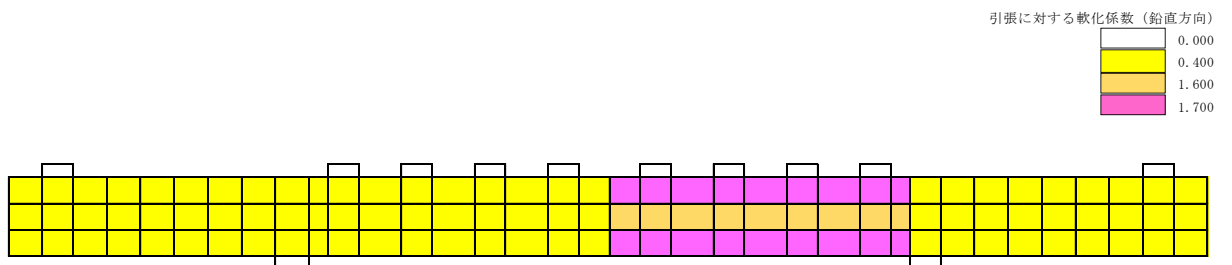


図 5-70 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(15) Case No. 15 (Case No. 15~17 の基本モデル)

Case No. 15 は Case No. 15~17 の基本モデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-71 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-29 に、材料諸元を表 5-30 に示す。要素鉄筋比を図 5-72 及び図 5-73 に、引張に対する軟化係数を図 5-74 及び図 5-75 に示す。

表 5-29 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	16	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	26	同 上
引張鉄筋比	0.035	同 上
せん断補強筋比 (試験区間) *	0.000	同 上

注記\* : 当該部材の破壊について着目する区間であり、他の区間より先行して破壊に至るように、鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-30 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	33.7	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.40	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 33.7^{2/3} = 2.399$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	511	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

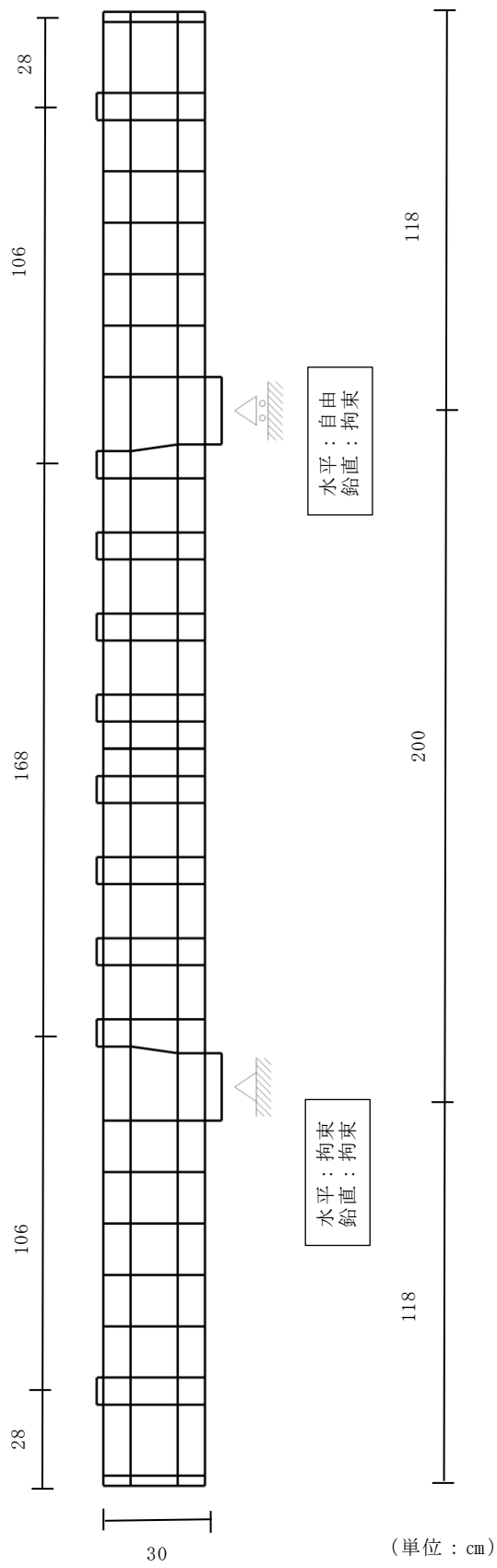


図 5-71 メッシュ図及び境界条件

(参考) 14-54



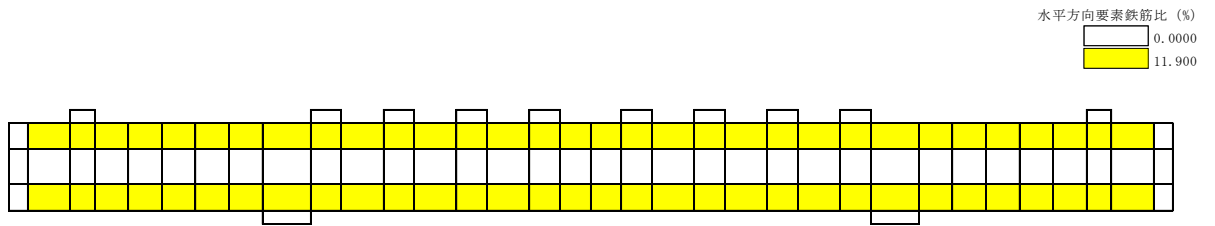


図 5-72 要素鉄筋比 (水平方向)

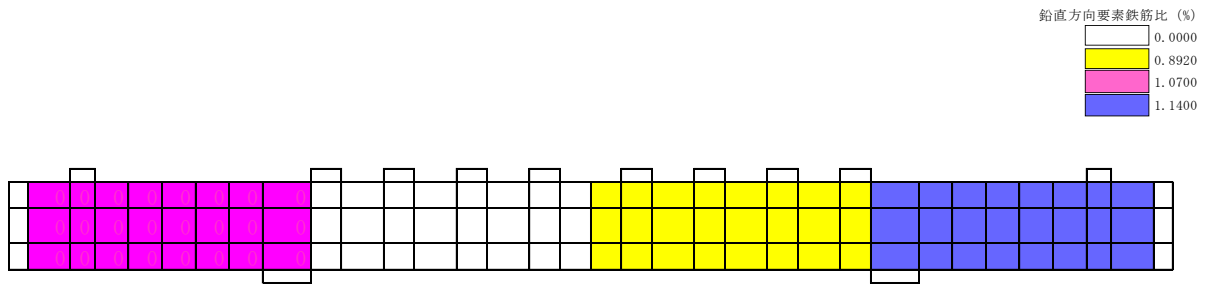


図 5-73 要素鉄筋比 (鉛直方向)

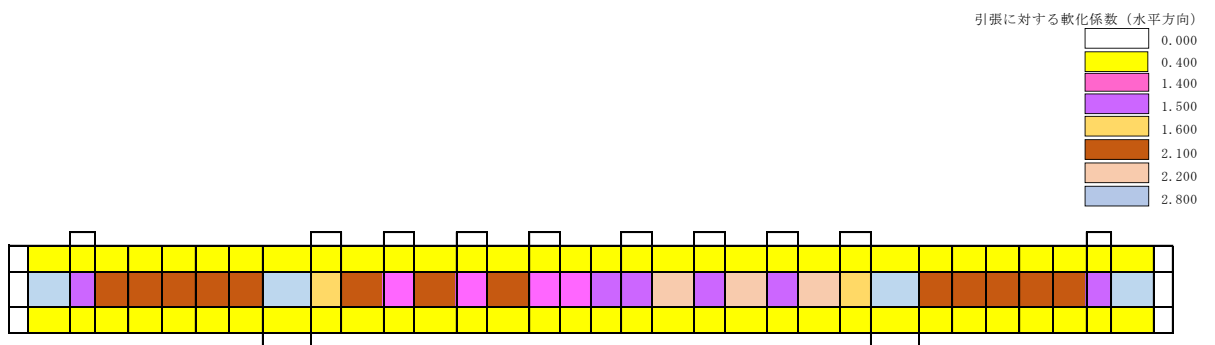


図 5-74 引張に対する軟化係数 (水平方向)

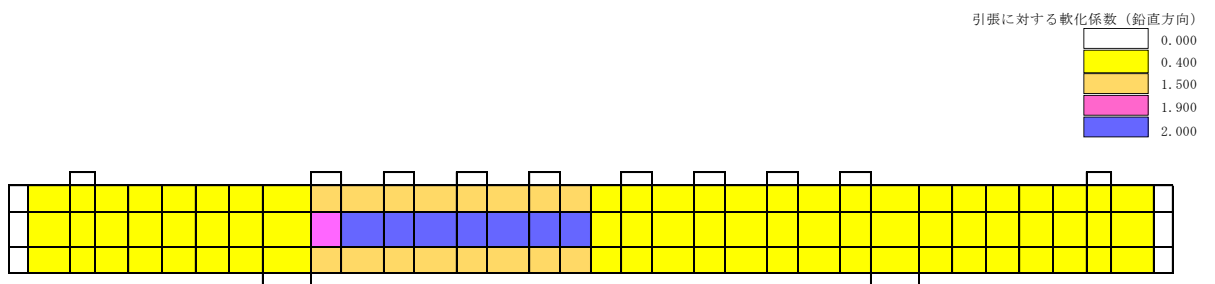


図 5-75 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(16) Case No. 16(着目点：せん断補強筋の効果)

Case No. 16 は基本モデル Case No. 15 にせん断補強筋を追加したモデルである。解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-76 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-31 に、材料諸元を表 5-32 に示す。要素鉄筋比を図 5-77 及び図 5-78 に、引張に対する軟化係数を図 5-79 及び図 5-80 に示す。

表 5-31 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅(cm)	16	土木学会マニュアル
部材厚(cm)	30	同 上
有効部材厚(cm)	26	同 上
引張鉄筋比	0.035	同 上
せん断補強筋比(試験区間)*	0.038	同 上

注記\* : 当該部材の破壊について着目する区間であり、他の区間より先行して破壊に至るように、鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-32 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	35.0	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.46	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 35.0^{2/3} = 2.4609$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	511	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

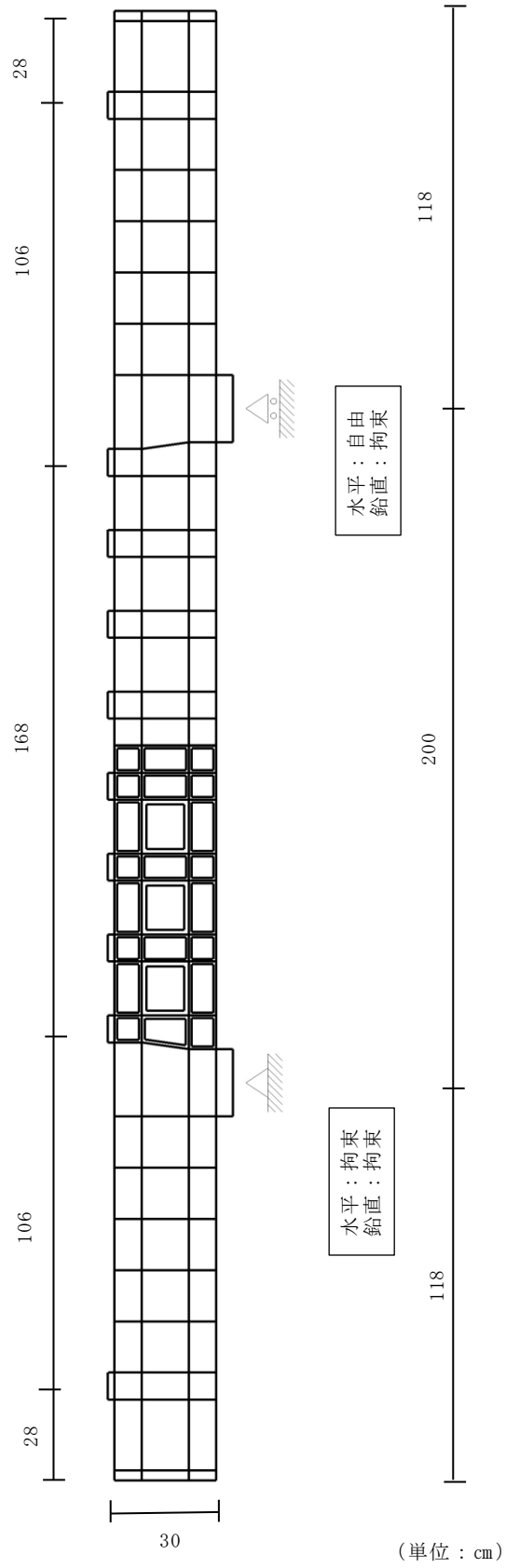


図 5-76 メッシュ図及び境界条件

(参考) 14-57

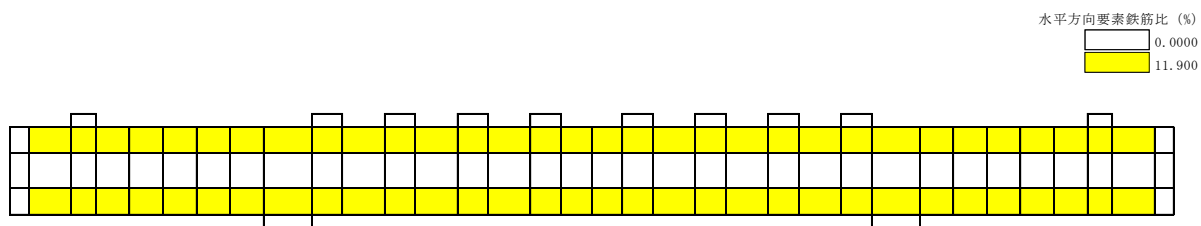


図 5-77 要素鉄筋比 (水平方向)

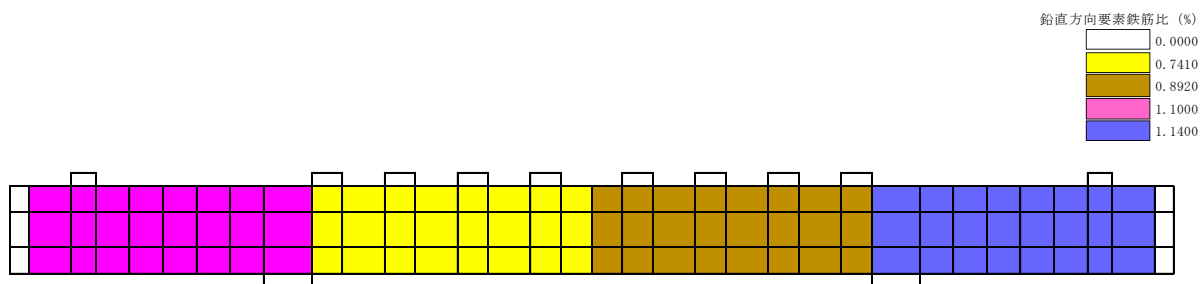


図 5-78 要素鉄筋比 (鉛直方向)

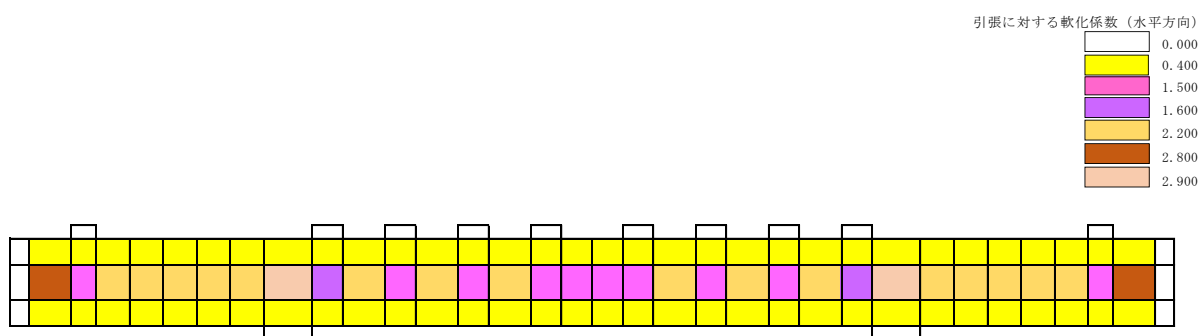


図 5-79 引張に対する軟化係数 (水平方向)

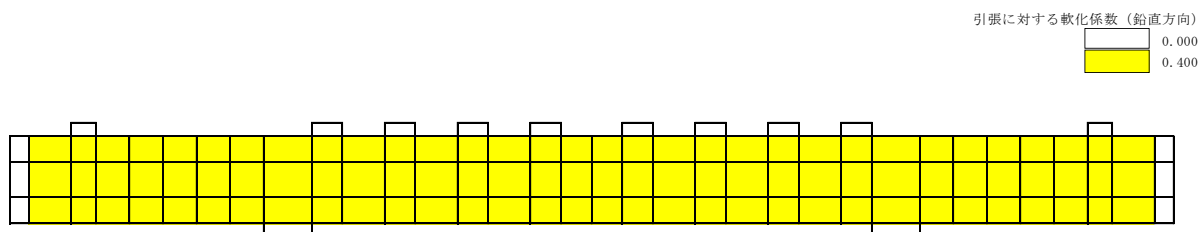


図 5-80 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)

(17) Case No. 17(着目点：ハンチの効果)

Case No. 17 は基本モデル Case No. 15 にハンチを追加したモデルである解析モデルのメッシュ図及び境界条件を図 5-81 に示す。断面性状及び鉄筋比を表 5-33 に、材料諸元を表 5-34 に示す。要素鉄筋比を図 5-82 及び図 5-83 に、引張に対する軟化係数を図 5-84 及び図 5-85 に示す。

表 5-33 断面性状及び鉄筋比

諸元	設定値	設定根拠
部材幅 (cm)	16	土木学会マニュアル
部材厚 (cm)	30	同 上
有効部材厚 (cm)	26	同 上
引張鉄筋比	0.035	同 上
せん断補強筋比 (試験区間) *	0.000	同 上

注記\* : 当該部材の破壊について着目する区間であり、他の区間より先行して破壊に至るように、鉛直方向のせん断補強鉄筋を配置しない区間のこと。

表 5-34 材料諸元

材料	諸元	設定値	単位	設定根拠
コンクリート	圧縮強度 $f'_c$	34.4	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	引張強度 $f_t$	2.43	(N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_c{}^{2/3} = 0.23 \times 34.4^{2/3} = 2.433$ コンクリート標準示方書
	単位重量 $\gamma$	23	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書
鉄筋 (主鉄筋, せん断補強鉄筋)	ヤング係数 $E$	200	(kN/mm <sup>2</sup> )	コンクリート標準示方書
	降伏強度 $f_y$	511	(N/mm <sup>2</sup> )	土木学会マニュアル
	単位重量 $\gamma$	77	(kN/m <sup>3</sup> )	コンクリート標準示方書

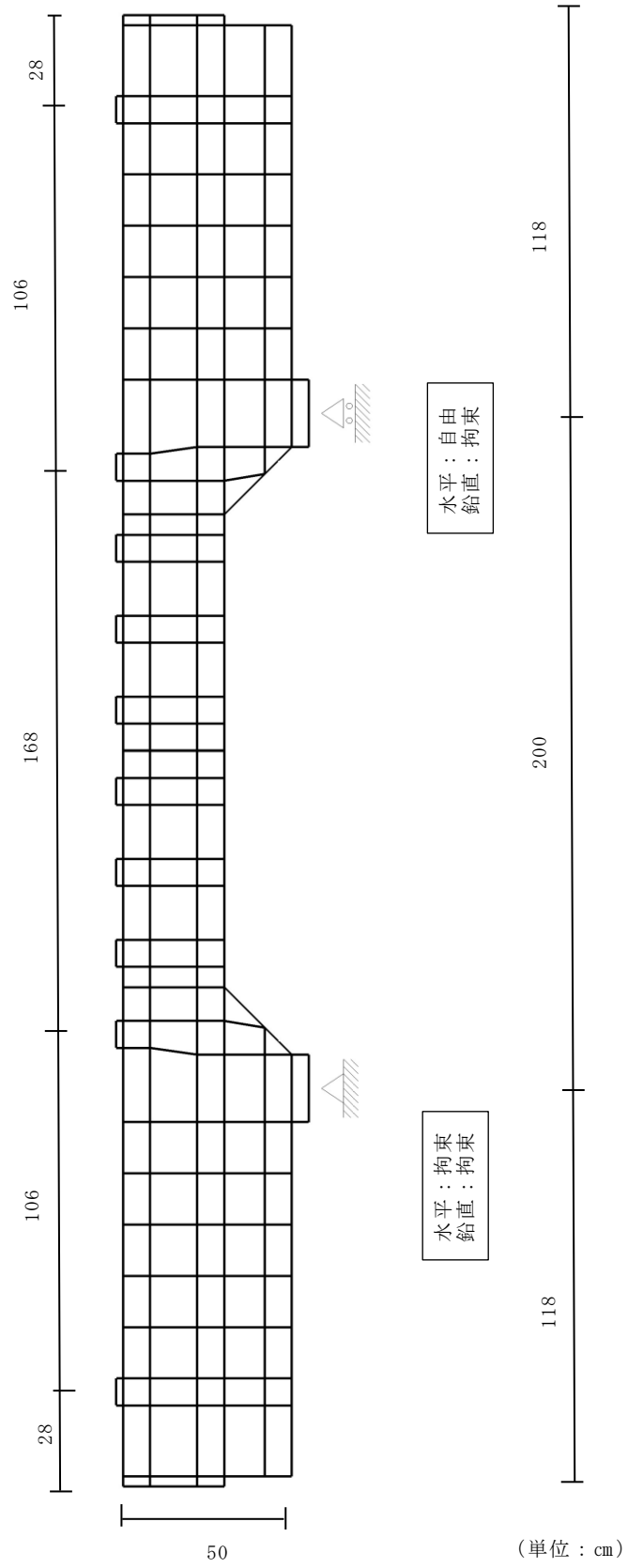


図 5-81 メッシュ図及び境界条件

(参考) 14-60

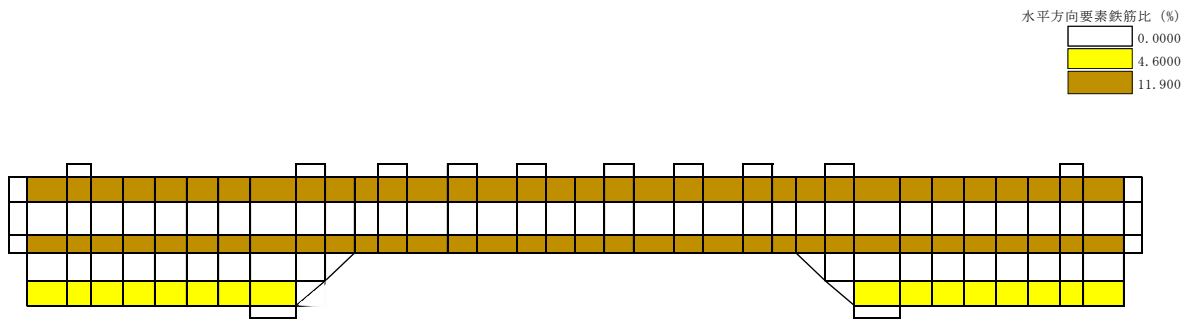


図 5-82 要素鉄筋比 (水平方向)

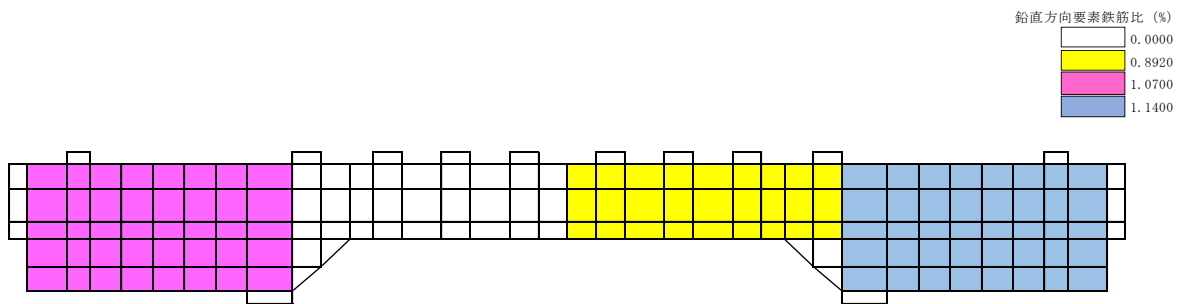


図 5-83 要素鉄筋比 (鉛直方向)

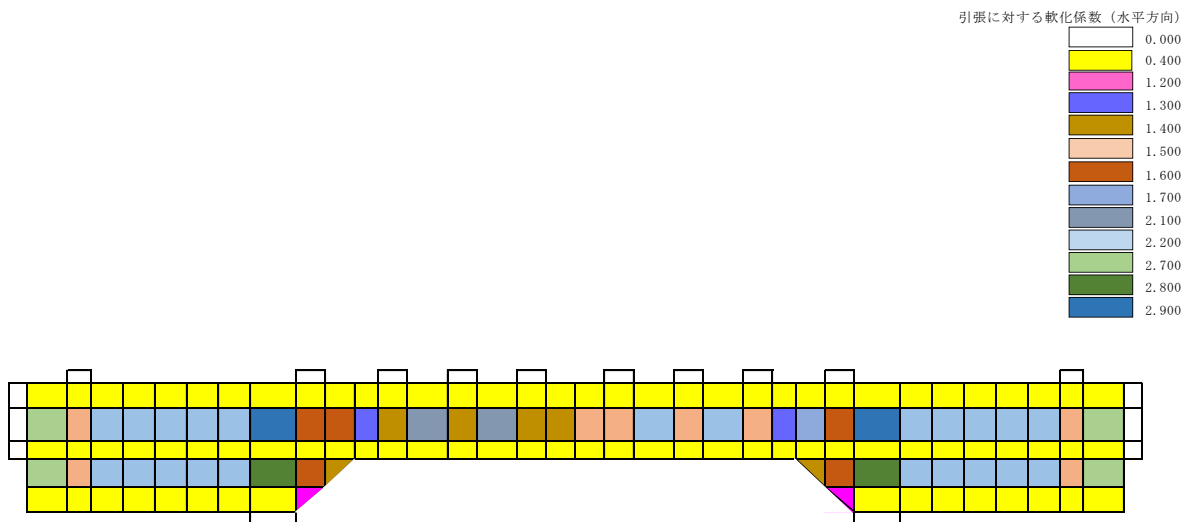


図 5-84 引張に対する軟化係数 (水平方向)

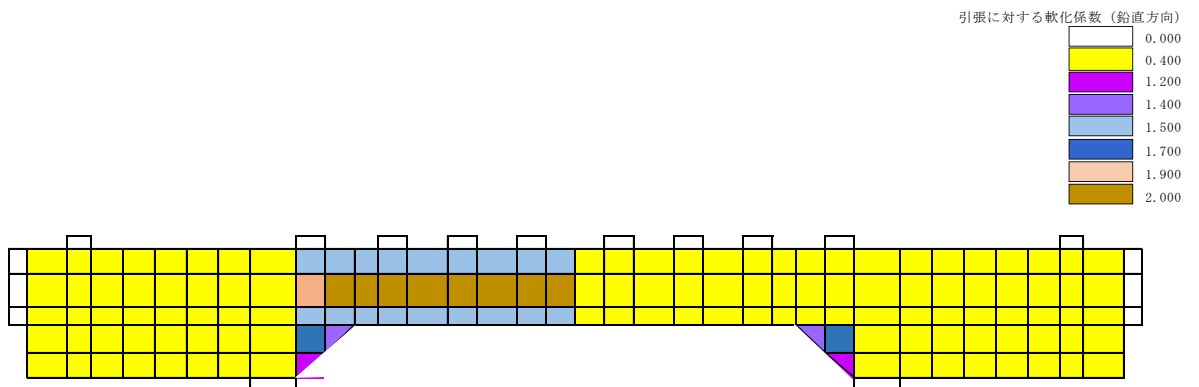


図 5-85 引張に対する軟化係数 (鉛直方向)  
(参考) 14-61

## 6. 解析結果と部材係数の設定

土木学会マニュアルに示されている部材係数設定用モデル 17 体について、材料非線形解析を実施した。また、その解析結果に基づいて、材料非線形解析を用いたせん断照査で使用する部材係数  $\gamma_{b1}$  の設定を行った。

### 6.1 解析結果

材料非線形解析結果から得られた支点反力と載荷点変位の関係及び破壊時（変位増分が急増するステップあるいは最大荷重時）の変形図及びひび割れ状態を図 6-1～図 6-34 に示す。



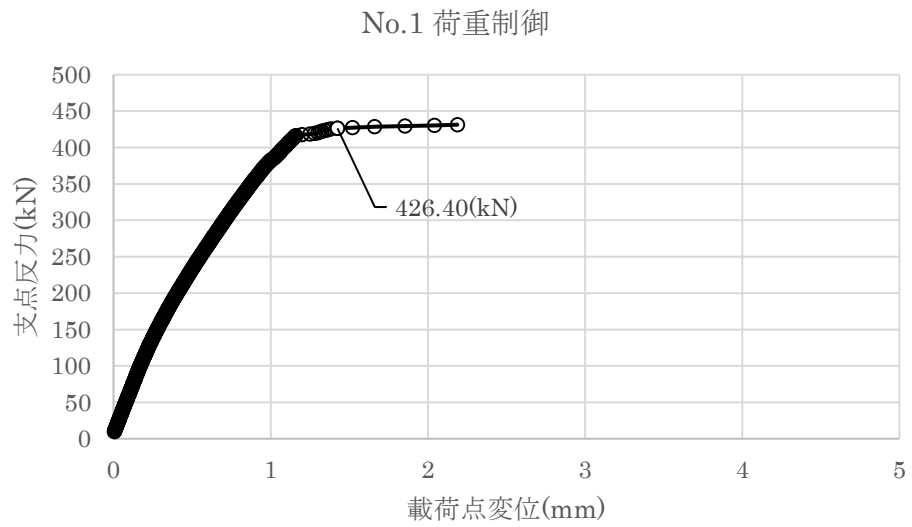
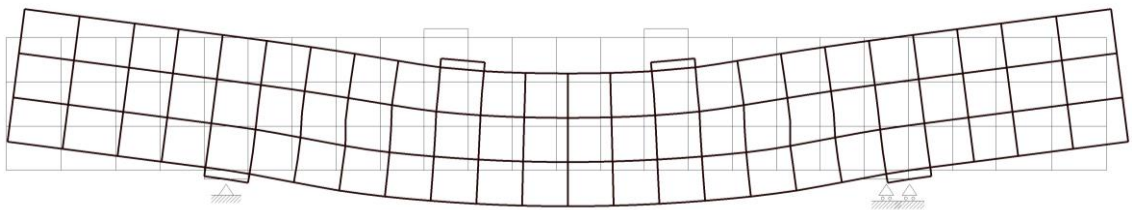


図 6-1 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 1)

<変形>

ステップ 418



×50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 418

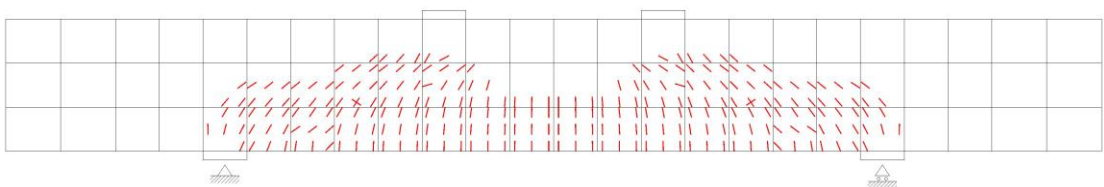


図 6-2 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 1)

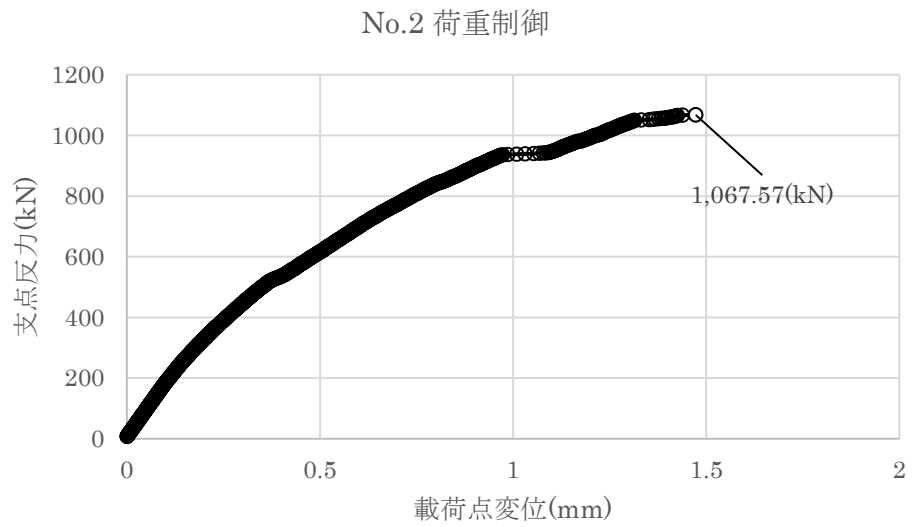
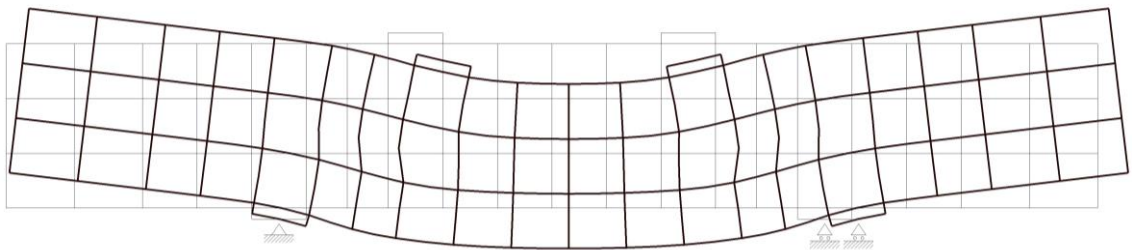


図 6-3 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 2)

<変形>

ステップ 1061



×50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 1061

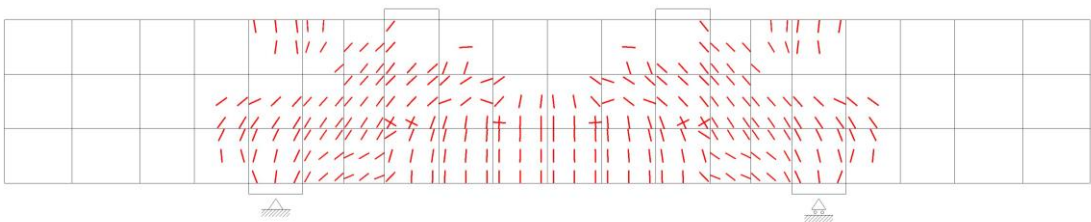


図 6-4 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 2)

(参考) 14-64

No.3 荷重制御

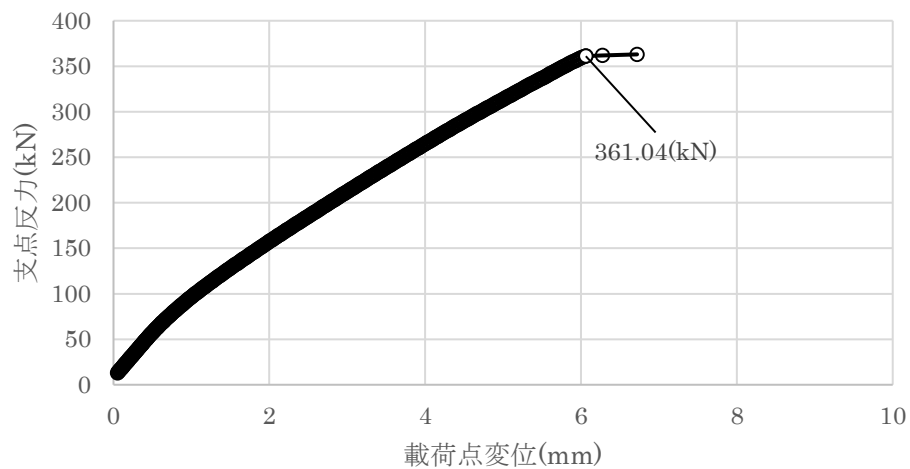
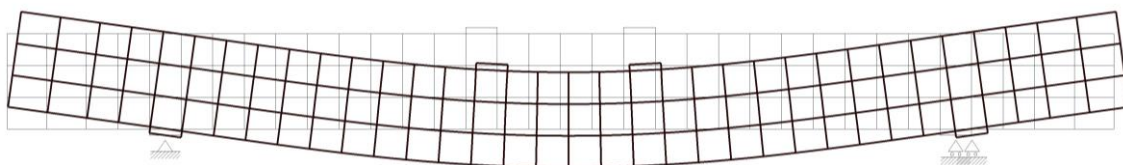


図 6-5 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 3)

<変形>

ステップ 349



×20.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 349

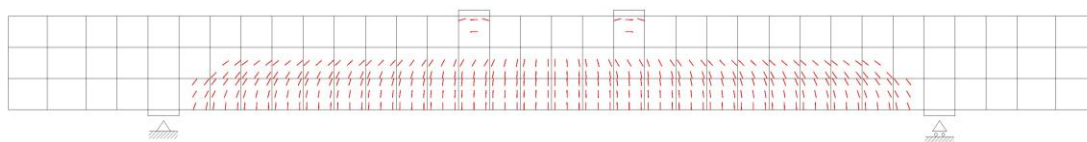


図 6-6 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 3)

(参考) 14-65

No.4 荷重制御

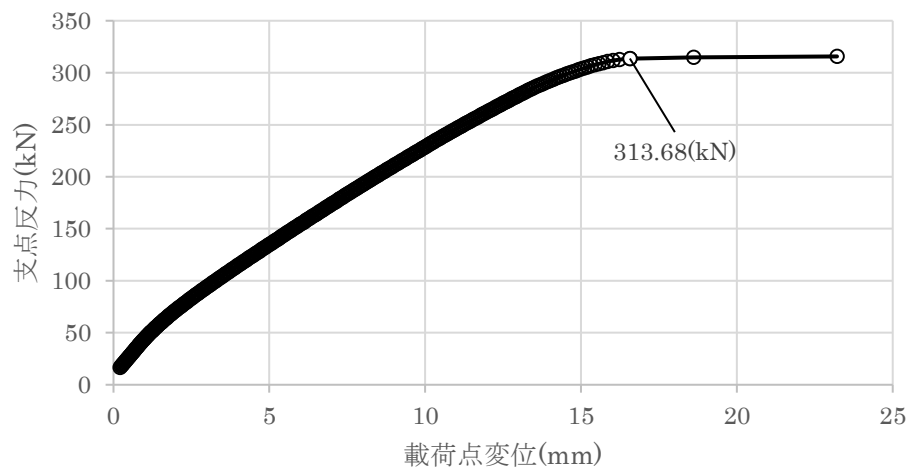


図 6-7 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 4)

<変形>

ステップ 298



×10.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 298

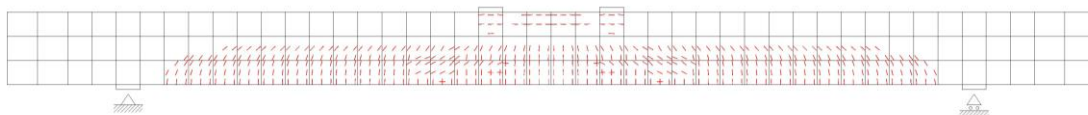


図 6-8 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 4)

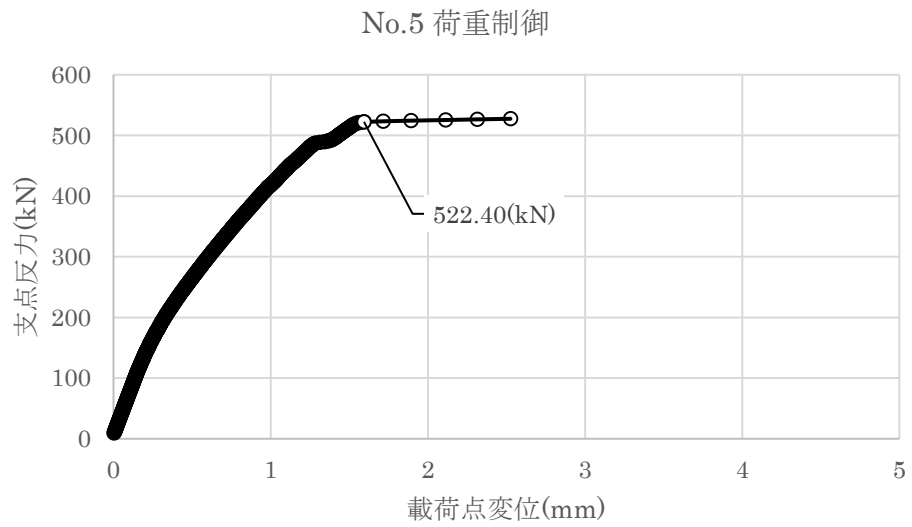
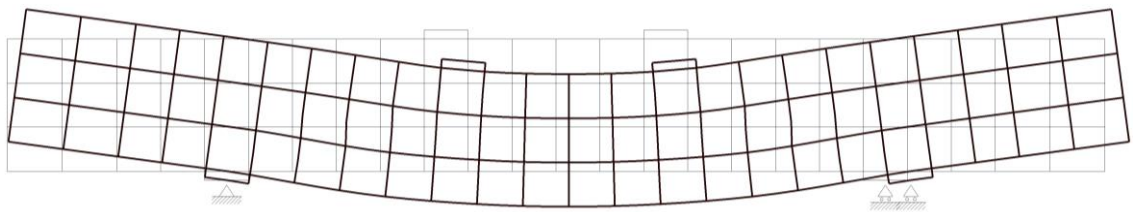


図 6-9 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 5)

<変形>

ステップ 514



× 50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 514

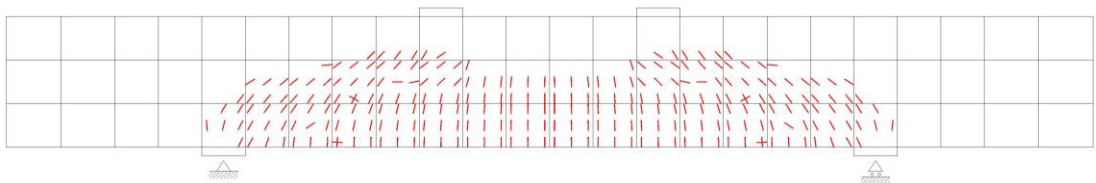


図 6-10 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 5)

(参考) 14-67

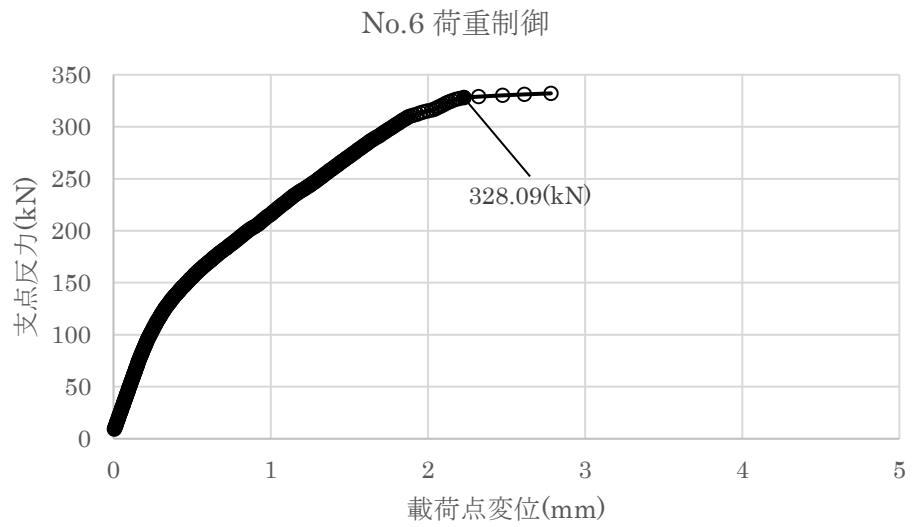
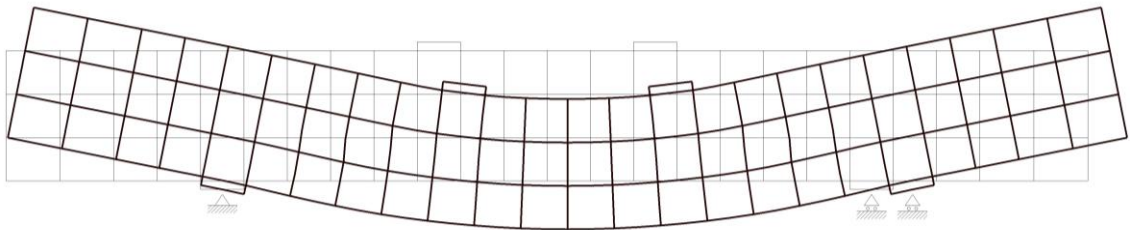


図 6-11 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 6)

<変形>

ステップ 320



×50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 320

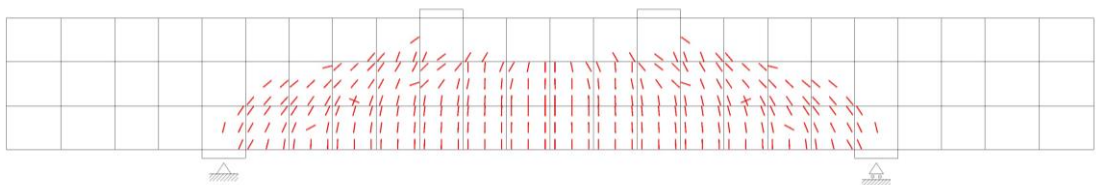


図 6-12 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 6)

(参考) 14-68

No.7 荷重制御

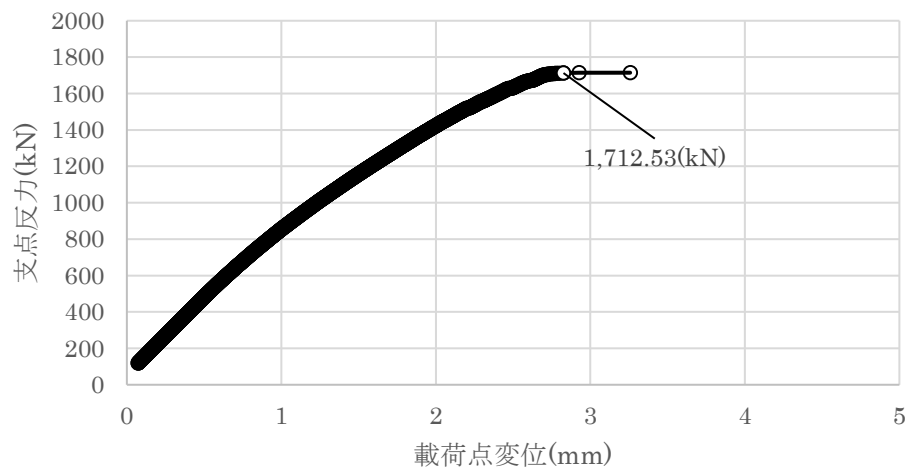
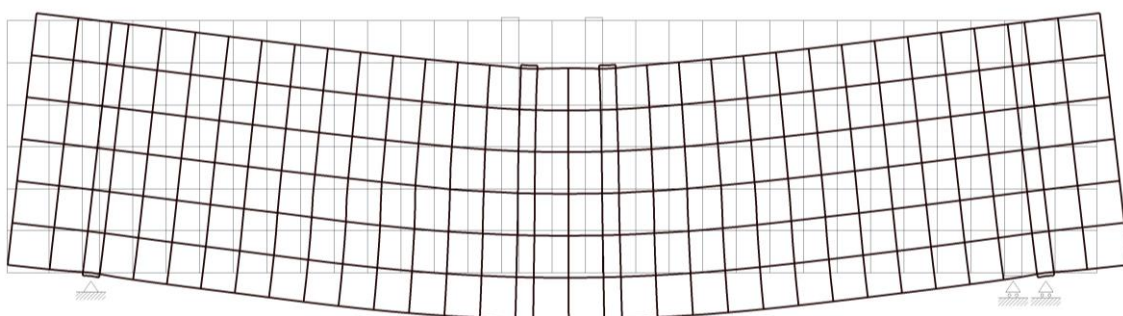


図 6-13 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 7)

<変形>

ステップ 1595



×100.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 1595

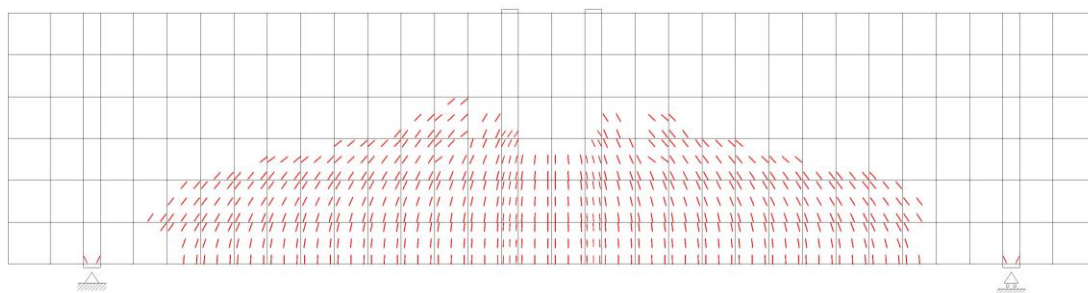


図 6-14 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 7)  
(参考) 14-69

No.8 荷重制御

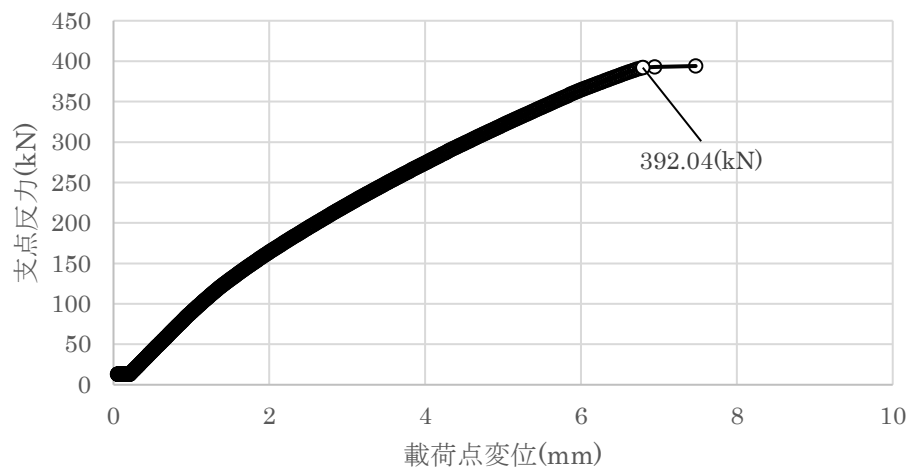
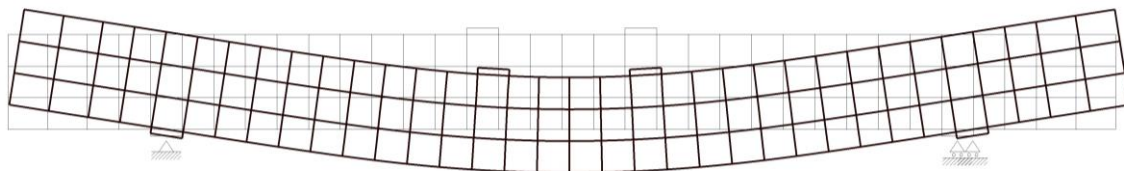


図 6-15 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 8)

<変形>

ステップ 480



×20.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 480

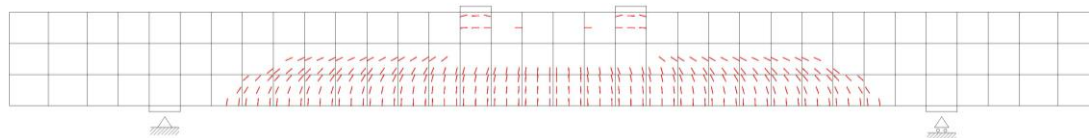


図 6-16 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 8)

(参考) 14-70



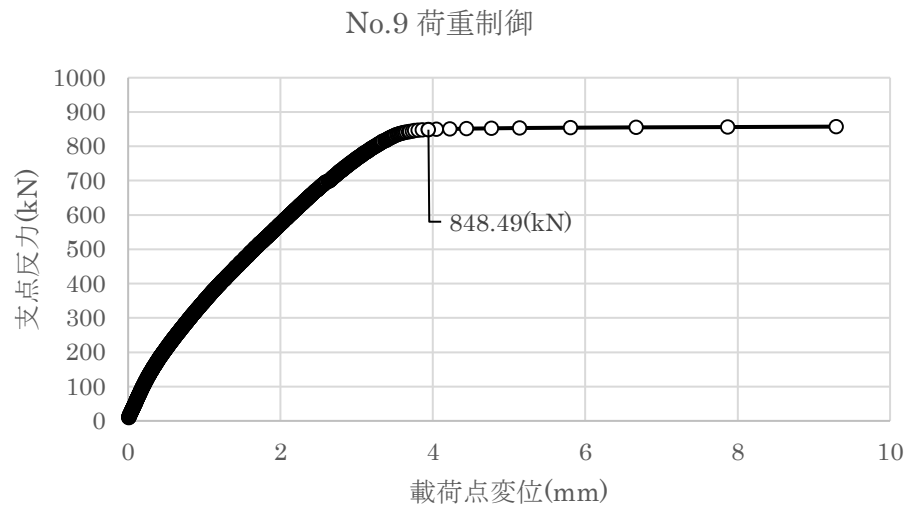
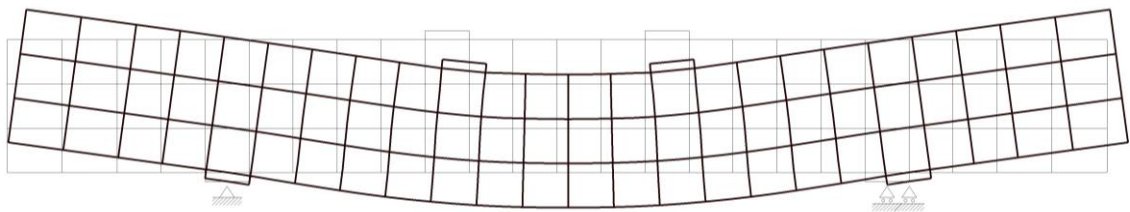


図 6-17 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 9)

<変形>

ステップ 840



×20.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 840

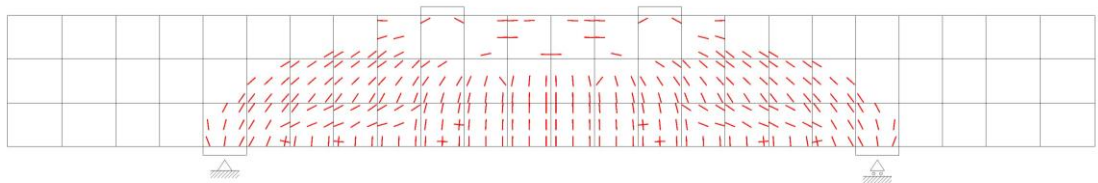


図 6-18 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 9)

(参考) 14-71

No.10 荷重制御

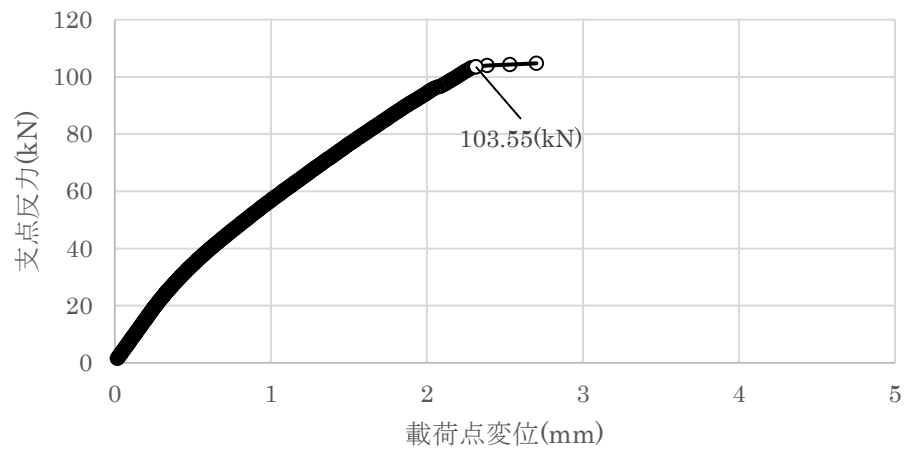
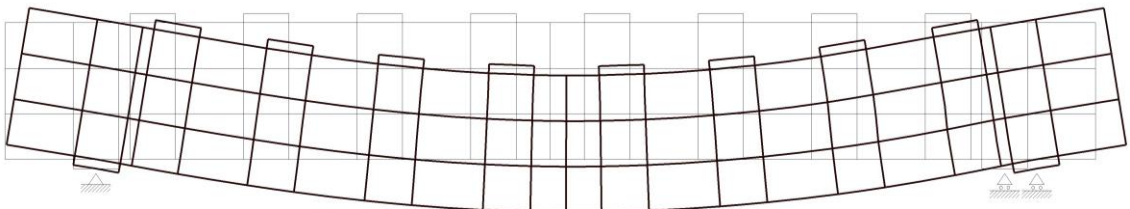


図 6-19 支点反力と載荷点変位の関係 (Case No. 10)

<変形>

ステップ 256



×50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 256

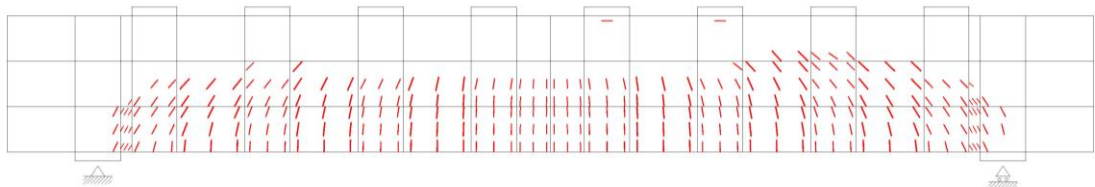


図 6-20 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 10)

(参考) 14-72

No.11 荷重制御

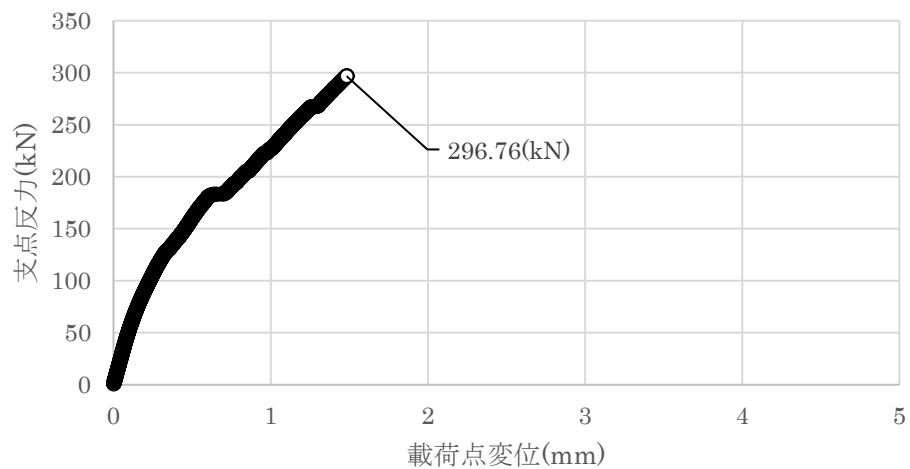
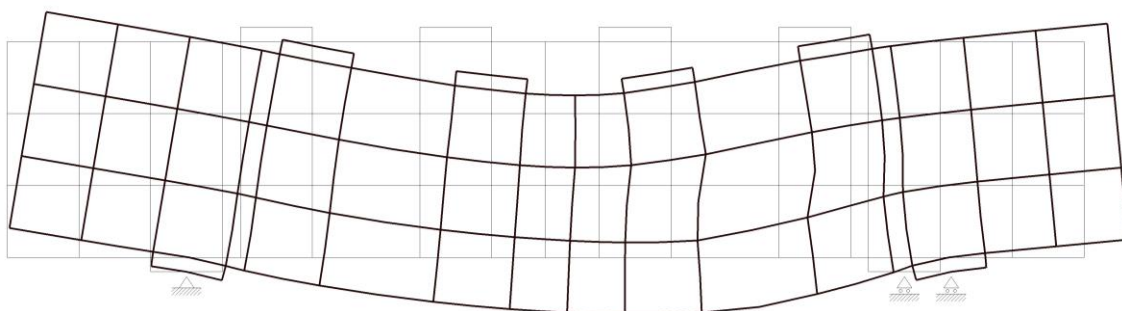


図 6-21 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 11)

<変形>

ステップ 1480



×50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 1480

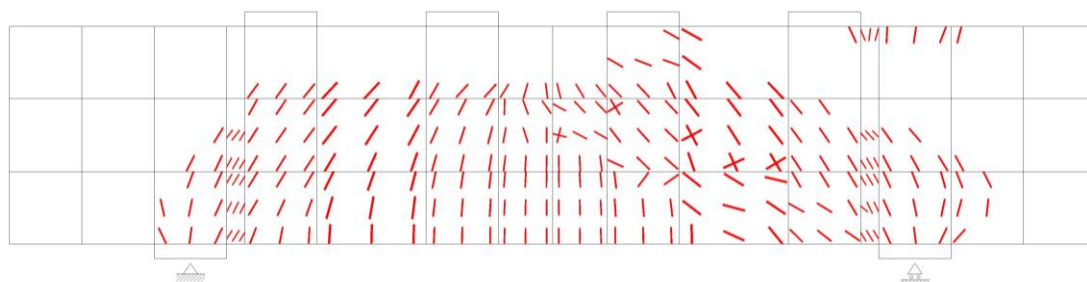


図 6-22 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 11)  
(参考) 14-73

No.12 荷重制御

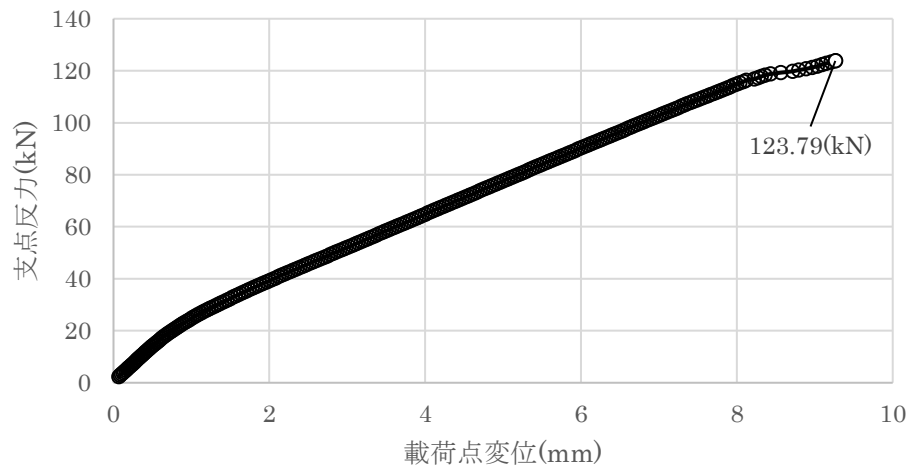
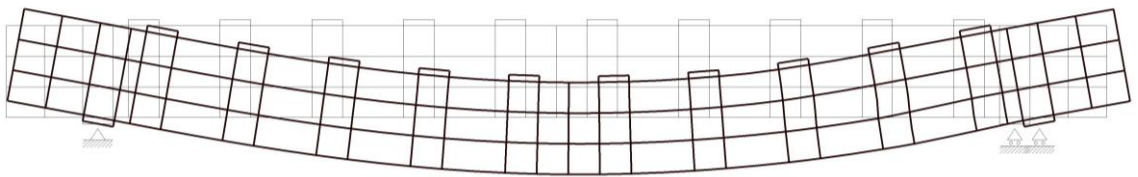


図 6-23 支反力と荷重点変位の関係 (Case No. 12)

<変形>

ステップ 244



×20.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 244

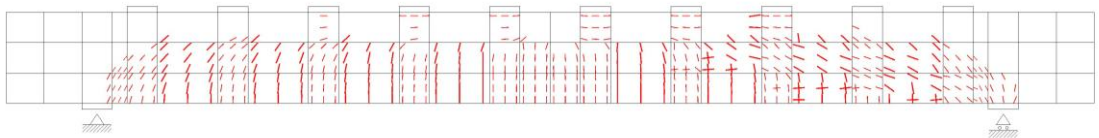


図 6-24 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 12)

(参考) 14-74

No.13 荷重制御

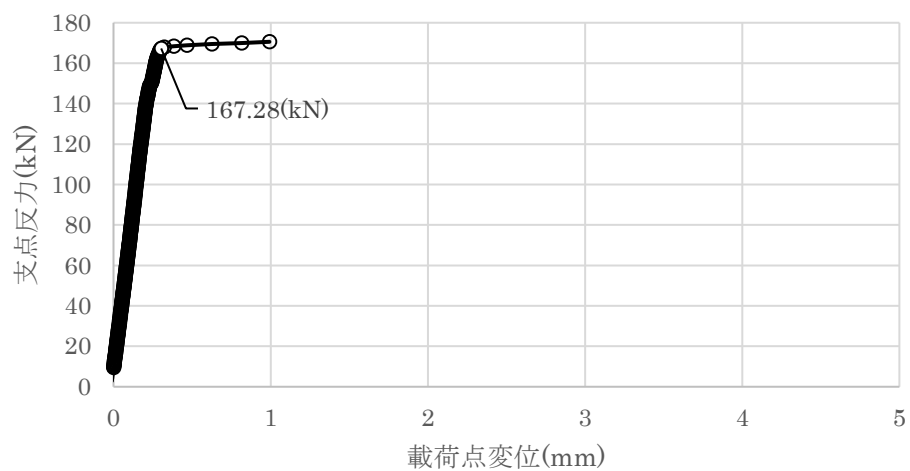
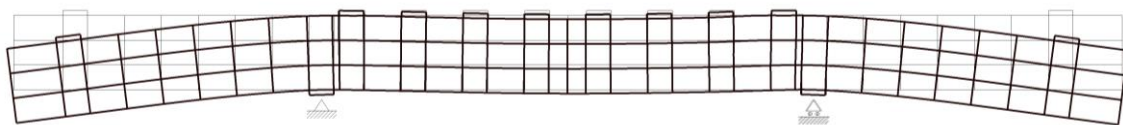


図 6-25 支反力と荷点変位の関係 (Case No. 13)

<変形>

ステップ 300



×50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 300

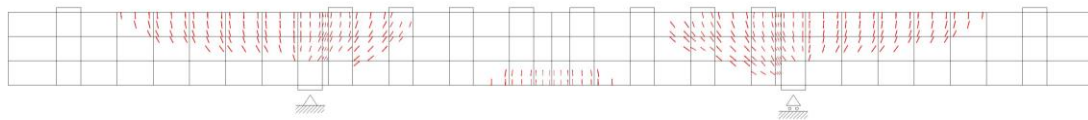


図 6-26 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 13)

No.14荷重制御

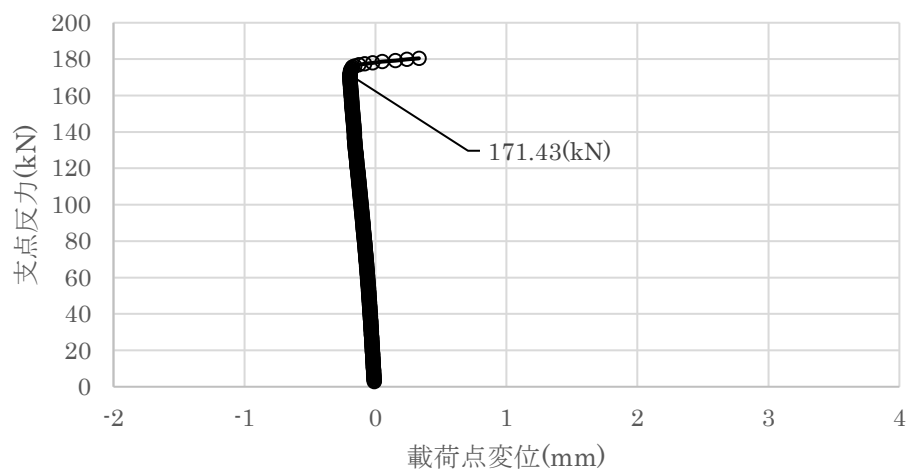
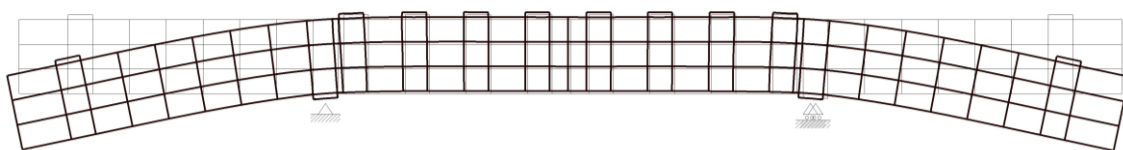


図 6-27 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 14)

<変形>

ステップ 282



×50.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 282

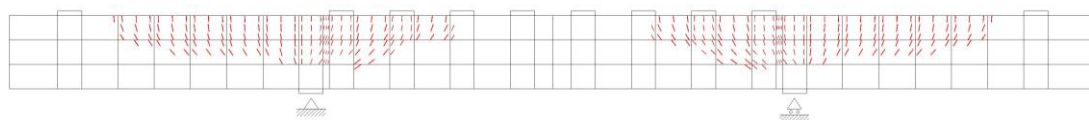


図 6-28 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 14)

(参考) 14-76

No.15 荷重制御

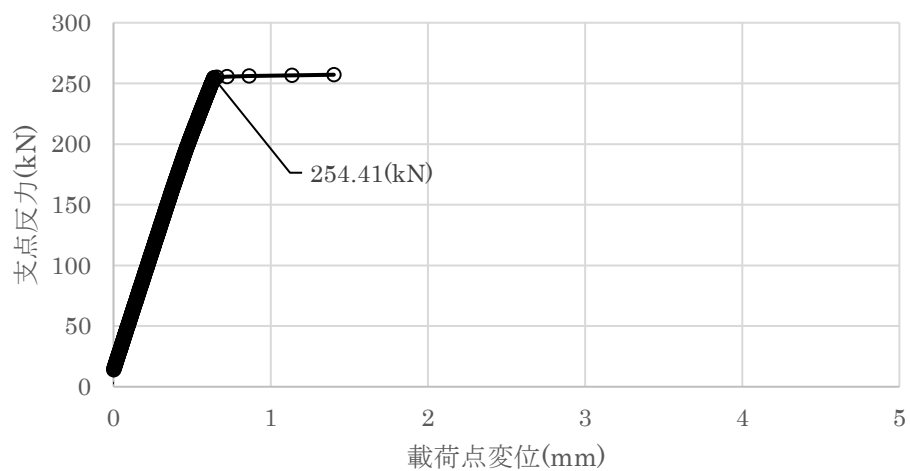


図 6-29 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 15)

<変形>

ステップ 558



×100.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 558

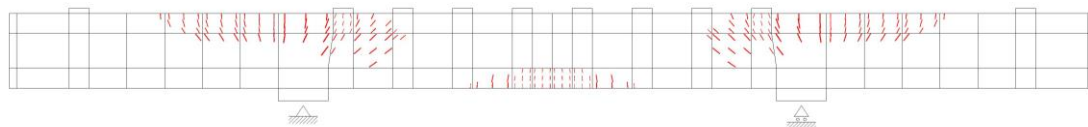


図 6-30 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 15)

(参考) 14-77

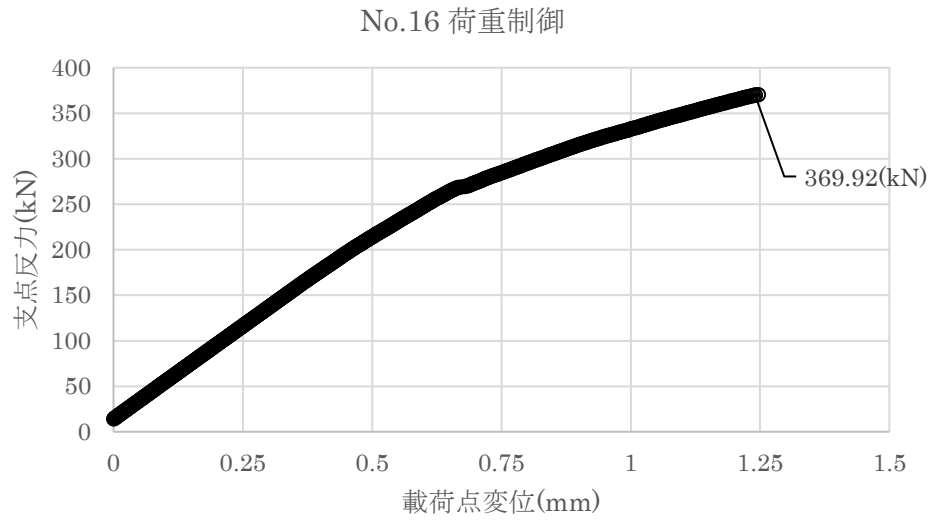
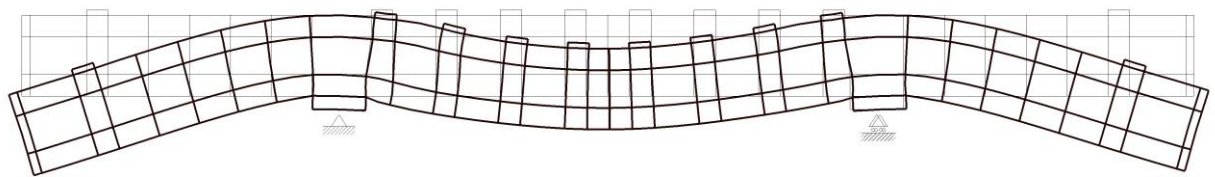


図 6-31 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 16)

<変形>

ステップ 768



×100.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 768

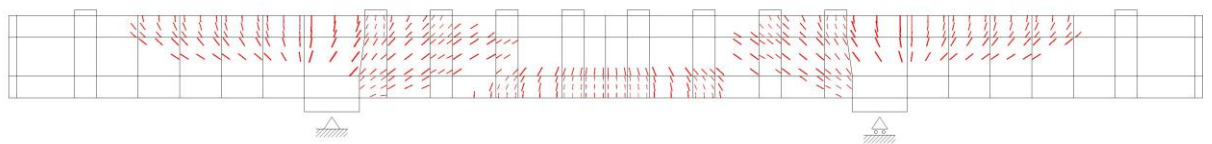


図 6-32 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 16)

(参考) 14-78



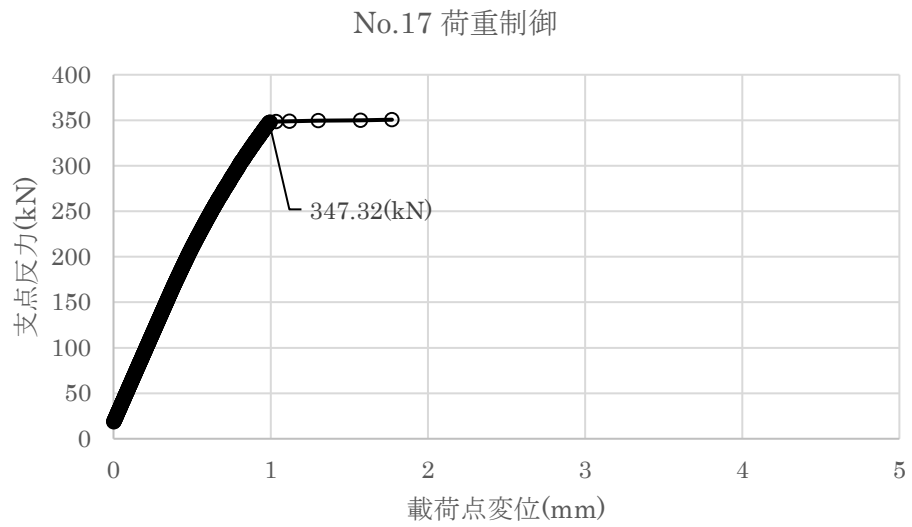
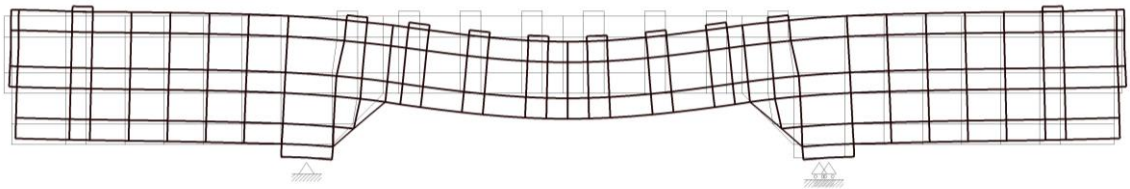


図 6-33 支点反力と载荷点変位の関係 (Case No. 17)

<変形>

ステップ 725



×100.0 倍率

<ひび割れ状態>

ステップ 725

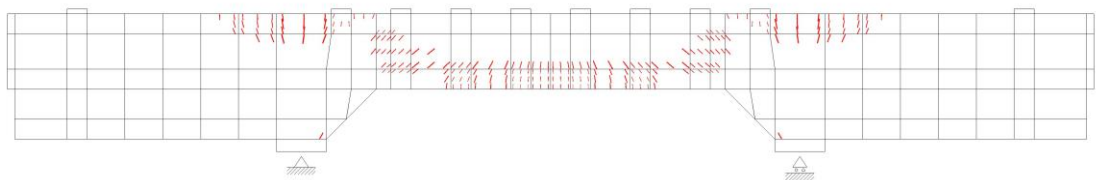


図 6-34 破壊時の変形及びひび割れ状態 (Case No. 17)

(参考) 14-79

## 6.2 部材係数の設定

土木学会マニュアルに準拠した部材係数  $\gamma_{b1}$  の算定を行った。算定結果を表 6-1 に示す。

材料非線形解析によるせん断耐力を評価する際に用いる部材係数  $\gamma_{b1}$  は、全モデルの部材係数で最大となる 1.12 とする。

表 6-1 部材係数  $\gamma_{b1}$  の設定

Case No.	試験結果	解析結果	部材係数 (解析結果/ 実験結果) (②/①)	備考
	せん断耐力 (kN) ①	せん断耐力 (kN) ②		
1	475	426	0.90	
2	1187	1068	0.90	
3	324	361	1.11	
4	294	314	1.07	
5	581	522	0.90	
6	329	328	1.00	
7	1587	1713	1.08	
8	350	392	1.12	最大値
9	855	848	0.99	
10	165	104	0.63	
11	333	297	0.89	
12	127	124	0.97	
13	188	167	0.89	
14	163	171	1.05	
15	273	254	0.93	
16	356	370	1.04	
17	432	347	0.80	

## 参考資料 15 非線形はり要素のモデル化方法に関する補足

### 1. はじめに

地震応答解析に用いる解析コードは、全応力解析では「TDAPⅢ」を、有効応力解析では「FLIP」をそれぞれ使用している。構造物（鉄筋コンクリート部材）の非線形特性は、全応力解析ではファイバーモデル、有効応力解析ではM-φモデル（修正武田モデル）でモデル化している。

ファイバーモデル及びM-φモデルはいずれも鉄筋コンクリートの非線形特性としての実績を有するものの、M-φモデルでは地震時の軸力変動の影響を考慮できない点において差異がある。

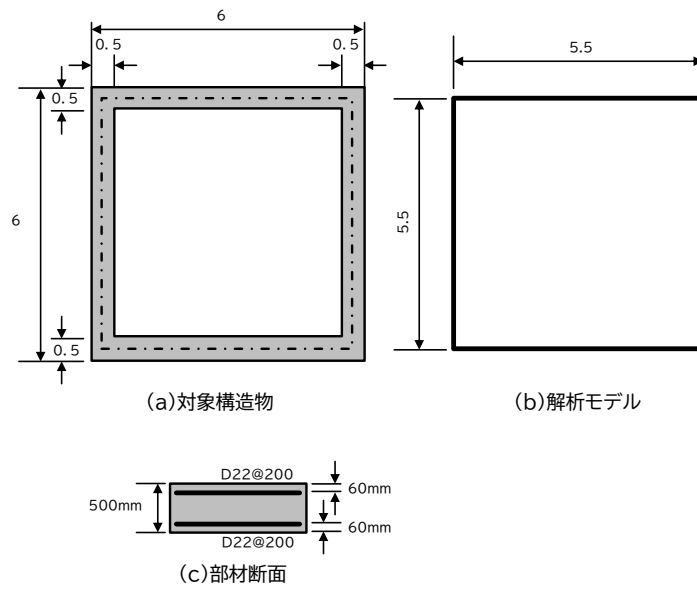
本書では、非線形はり要素のモデル化の違い（有効応力解析において軸力による影響を考慮できないM-φモデルを使用すること）が解析結果へ与える影響が軽微であることを確認する。

### 2. 評価方針

検証対象は、カルバート型構造物とする。図2-1に検証モデルの概要を示す。構造物の内空高さは5m、幅は5m、部材厚は0.5mであり、図2-1に示す鉄筋コンクリート断面を仮定する。表2-1に材料の諸元を示す。解析では、構造物を部材軸心位置に設置したはり要素によりモデル化する。

解析における荷重の載荷方法を図2-2に示す。まず、載荷ステップ1において、常時土圧を想定した鉛直荷重及び水平荷重を分布荷重として各部材に静的に作用させる。次に、載荷ステップ2において、地震時の繰り返し荷重を想定し正負交番載荷を行う。正負交番載荷は、部材降伏後の挙動までを追跡するため変位制御で行うこととし、頂版端部の節点に降伏変位 $\delta_y$ の0.5倍、1倍、1.5倍の水平変位振幅を静的に与える。図2-3に入力変位振幅を示す。

検討は、はり要素にファイバーモデルを使用した場合、及びM-φモデルを使用した場合について実施する。使用する解析コードは、ファイバーモデルは「TDAPⅢ」、M-φモデルは「FLIP」とする。



(単位：mm)

図 2-1 検証モデルの概要

表 2-1 材料の諸元

	項目	設定値
コンクリート	設計基準強度	20.6 N/mm <sup>2</sup>
	ヤング係数	2.33×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>
	ポアソン比	0.2
鉄筋	降伏強度	345 N/mm <sup>2</sup>
	ヤング係数	2.00×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>

(参考) 15-2

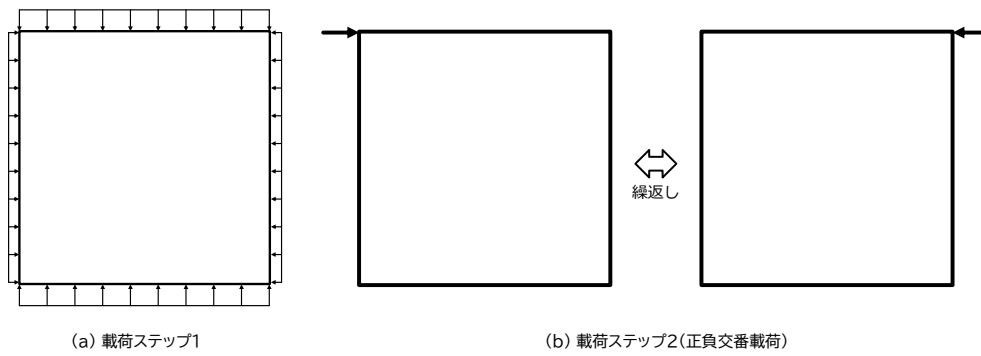


図 2-2 荷重の荷重方法

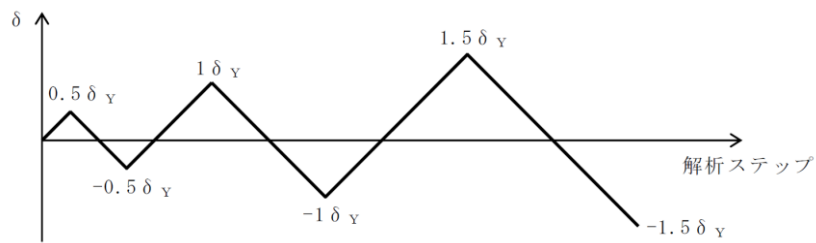


図 2-3 入力変位振幅 (正負交番荷重)

### 3. 検証結果

解析によって得られた荷重－変位関係を図 3-1 に示す。ファイバーモデルとM- $\phi$ モデルとで、荷重－変位の履歴は似ており、全体的な挙動は両解析でおおむね整合している。

解析の最終ステップにおける各部材の断面力分布を図 3-2 及び図 3-3 に示す。せん断力及び曲げモーメントの分布は、両解析でおおむね一致している。

以上から、非線形はり要素のモデル化の違い（有効応力解析において軸力による影響を考慮できないM- $\phi$ モデルを使用すること）が解析結果へ与える影響が軽微であることを確認した。

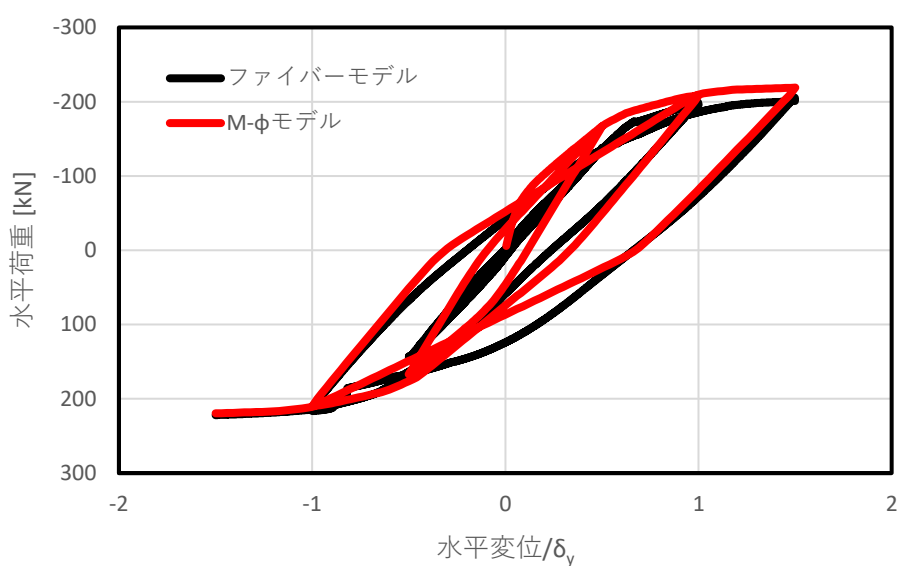
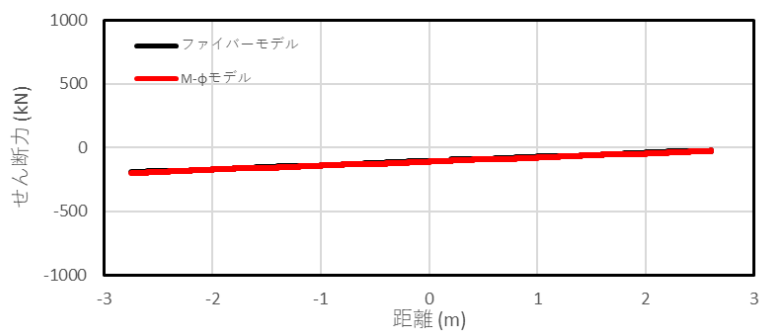
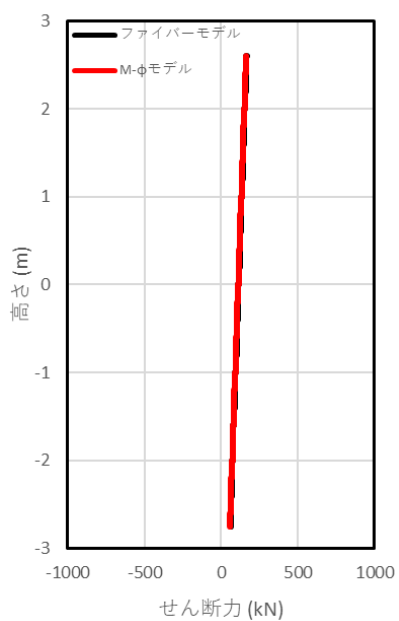


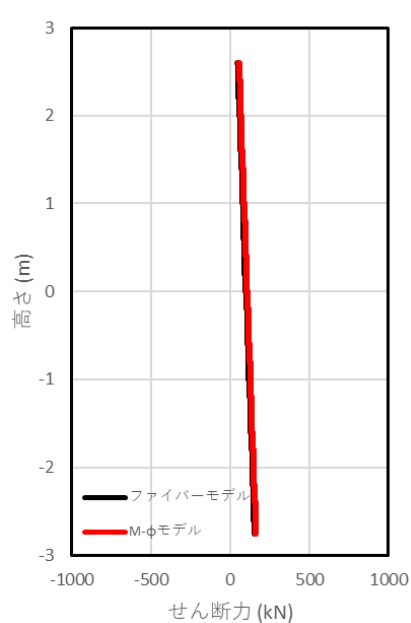
図 3-1 荷重－変位関係



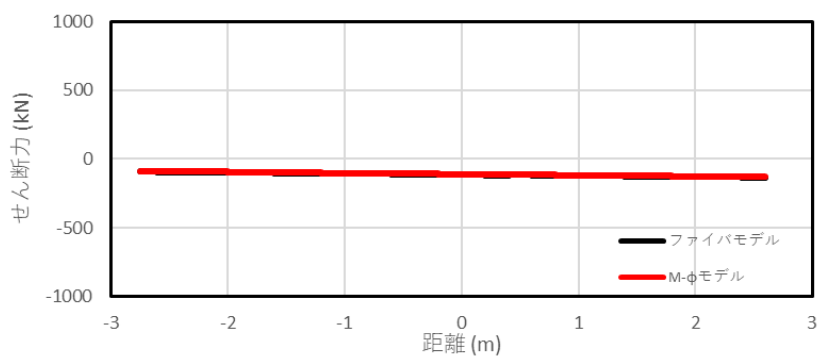
(a) 頂版



(b) 左側壁



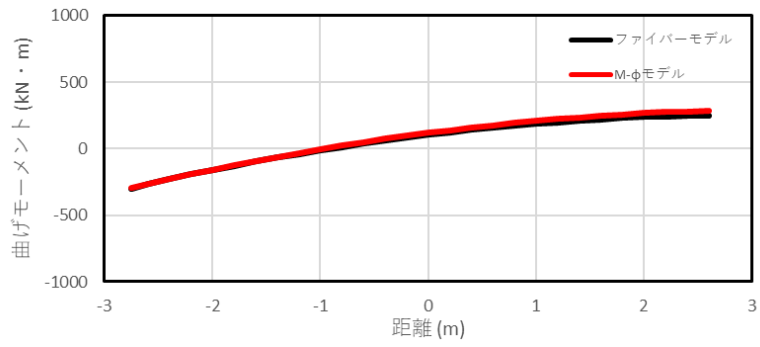
(c) 右側壁



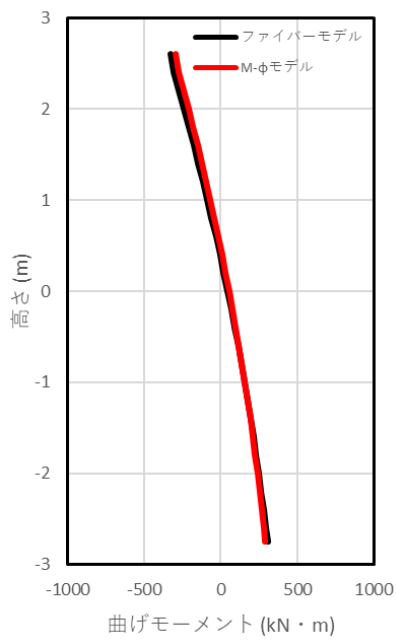
(d) 底版

図 3-2 断面力分布 (せん断力)

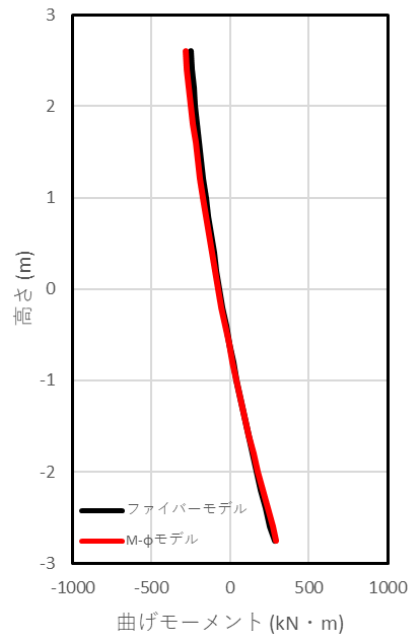
(参考) 15-5



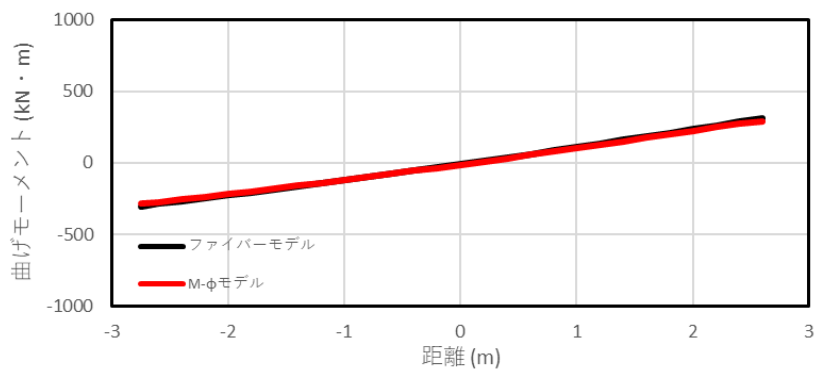
(a) 頂版



(b) 左側壁



(c) 右側壁



(d) 底版

図 3-3 断面力分布 (曲げモーメント)

(参考) 15-6



## 参考資料 16 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について

### 1. 概要

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）C-C断面の地震応答解析では、全応力解析及び有効応力解析を実施しており、鉄筋コンクリート部材を非線形はり要素にてモデル化している。有効応力解析においては、非線形特性(M- $\phi$ 関係)にはトリリニアモデルを適用しており、コンクリートの履歴特性は修正武田モデルを適用している。解析コードはFLIPとしており、地震時における鉄筋コンクリート部材の軸力は一定として扱われる。

本項では、基準地震動 $S_s$ を入力とした地震応答解析による鉄筋コンクリート部材の軸力及び曲げモーメントの変動範囲を踏まえた上で、部材の非線形特性に与える影響を検討し、耐震評価において軸力が一定となる非線形特性を用いることの妥当性を検討する。

### 2. 検討内容

#### 2.1 検討ケース

本検討では、屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）C-C断面において、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値が最も厳しい解析ケース、地震動を代表ケースとして選定する。部材の軸力変動範囲を確認するための検討ケースを表2-1に示す。

対象部材は、土被り荷重を分担する鉛直部材である側壁及び隔壁とし、それぞれの部材において曲げ損傷が大きい部位に着目する。検討ケースにおける対象部材・部位を図2-1に示す。

表 2-1 材料の諸元

項目	条件
解析ケース	解析ケース④（有効応力解析における地盤物性の平均値を考慮した解析ケース）
入力地震動	$S_s - D$ （--）
解析断面	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）C-C断面
確認対象部材	図2-1に示すとおり

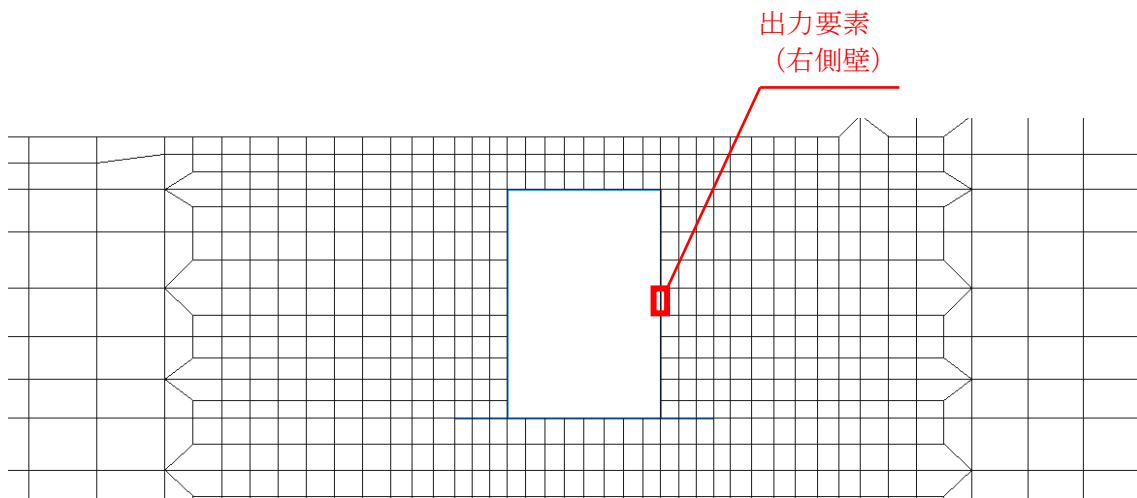


図 2-1 検討ケースにおける対象部材・部位

## 2.2 検討方法

地震応答解析により鉄筋コンクリート部材における軸力及び曲げモーメントの変動範囲を抽出し、当該部材の $M_u$ （終局モーメント）- $N$ （軸力）関係及び $M_y$ （降伏モーメント）- $N$ （軸力）関係と比較することにより、軸力変動の影響を検討する。

### 3. 検討結果

図3-1に、検討ケースにおける鉄筋コンクリート部材の軸力及び曲げモーメントの変動範囲と、当該部材の $M_u-N$ 関係及び $M_y-N$ 関係を示す。また、同図には、「FLIP」にて非線形特性として用いられている $M_u$ 及び $M_y$ の設定根拠である常時応力解析による当該部材の軸力をプロットしている。

これより、地震時の鉄筋コンクリート部材における軸力の変動範囲は、おおむね常時応力解析における軸力と同程度であることがわかる。また、本検討での評価対象部位に発生する曲げモーメントは、 $M_y$ （降伏モーメント）以下であり、弾性範囲内に収まっている。

以上より、鉄筋コンクリート部材において、軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響は軽微であり、耐震評価において軸力が一定となる解析コード「FLIP」の当該非線形特性を用いることは妥当である。

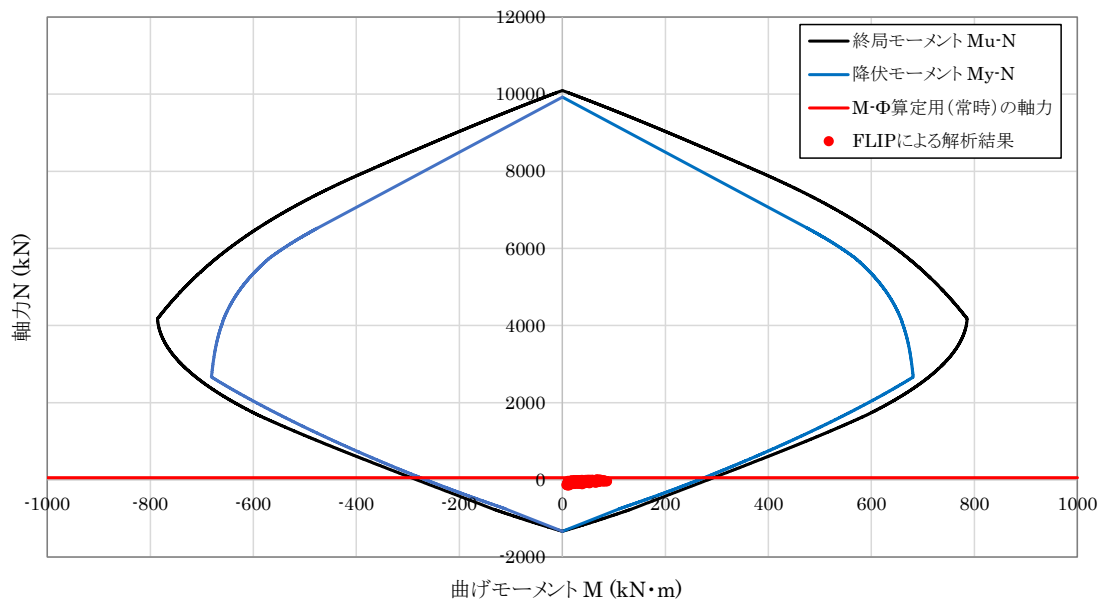


図 3-1 基準地震動  $S_s$  による屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) C-C断面の応答範囲

参考資料 17 線状構造物の強軸方向床応答の影響について

1. 概要

線状構造物について、機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、強軸方向の解析を実施する。

代表的な線状構造物として、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）を選定し、強軸方向を評価対象断面とする。屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の平面図を図 1-1、断面図を図 1-2、評価対象断面図及び評価対象地質断面図を図 1-3 に示す。

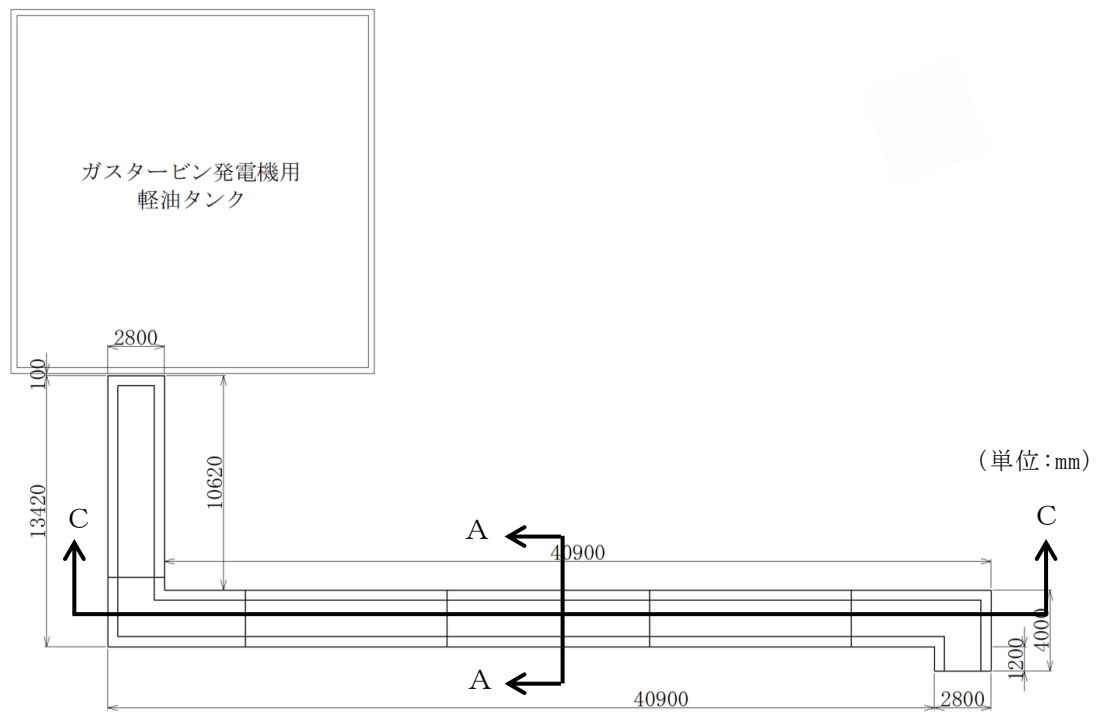


図 1-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）  
平面図



## 2. 解析方針

解析方針は、「NS2-補-026-13 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書及び耐震性についての計算書に関する補足説明資料」における評価条件に基づき実施する。強軸方向の解析モデル図を図 2-1 に示す。

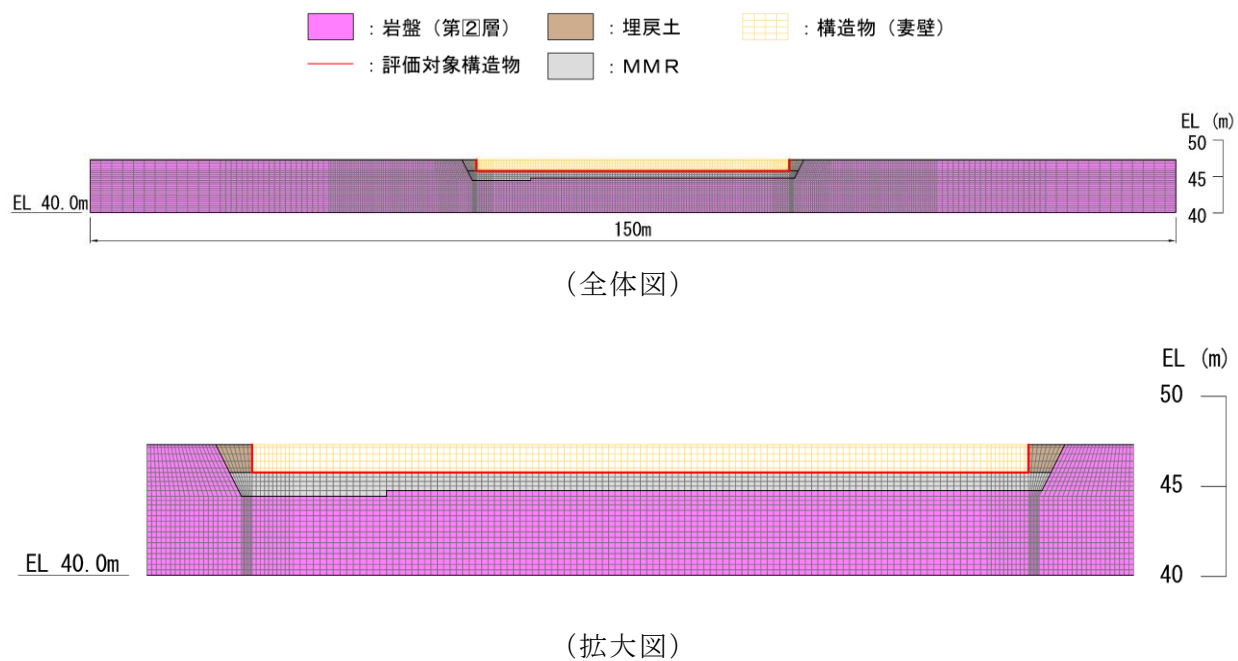
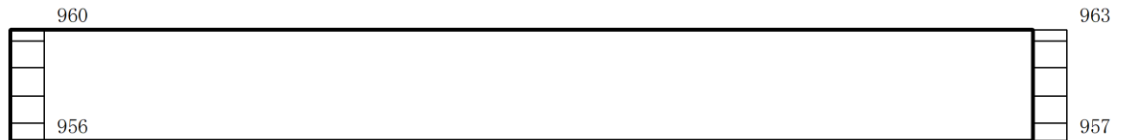


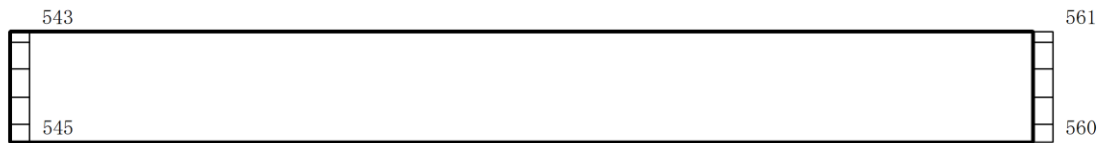
図 2-1 解析モデル図

### 3. 解析結果

地震応答解析結果として、基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 3-1 に示す。水平方向の最大応答加速度は  $963\text{cm/s}^2$  であり、弱軸方向の最大応答加速度と比較して小さいことから、線状構造物の強軸方向床応答は機器・配管系の耐震評価に影響しないことを確認した。



(a)  $S_s - D$  (++) 水平



(b)  $S_s - D$  (++) 鉛直

構造スケール 0 1 (m)

応答値スケール 0 2000 ( $\text{cm/s}^2$ )

図 3-1 最大応答加速度分布図



1. 概要

屋外重要土木構造物等の地震応答解析に用いる入力地震動については、解放基盤面で定義される基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  を、逆応答解析及び順応答解析により解析モデル底面位置まで引き上げた地震動を用いている。

本書では、入力地震動算定における地盤モデルのモデル化方針を説明する。

2. 地盤モデル作成方針

順応答解析に用いる地盤モデルの作成方針を以下に示す。

- ・ 構造物周辺の地盤状況を踏まえて代表地点を選定し、地盤モデルを作成する。なお、評価対象断面を複数有する構造物（例：線状構造物）についても、屋外重要土木構造物等に延長の長い構造物が無いことから、構造物周辺で代表1地点を選定し、地盤モデルを作成する。
- ・ 順応答解析では水平成層を仮定するため、表 2-1 に示すとおり局所的な構造物等はモデル化せず、埋戻土又は岩盤の物性値のみを用いる。

表 2-1 順応答解析における地盤モデル作成の考え方

実際の地質状況	地盤モデル
埋戻土	埋戻土としてモデル化する。
岩盤	岩盤としてモデル化する。
構造物	配置が局所的であるため、構造物の周辺の地盤状況を踏まえ、埋戻土又は岩盤としてモデル化する。
改良地盤	
MMR	