

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-026-01
提出年月日	2022年1月27日

## 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

2022年1月

中国電力株式会社

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 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. 地盤物性のばらつきの考慮方法
  - 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・配管系に対する応答加速度及び応答変位算定のための解析ケース
6. 許容限界について
  - 6.1 限界状態設計法による照査
  - 6.2 土木学会マニュアル2005の適用性
7. ジョイント要素のばね設定

8. 隣接構造物のモデル化方針
9. 地震応答解析における構造物の減衰定数
10. 屋外重要土木構造物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

参考資料1 後施工せん断補強工法の適用性

参考資料2 地中構造物への鉛直地震動の位相が与える影響

参考資料3 等価剛性モデルにおける鉛直方向床応答への影響

参考資料4 解析手法の選定の補足確認結果

参考資料5 追加解析ケースの選定方法の詳細について

参考資料6 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7 三次元構造解析による耐震評価の照査時刻の妥当性確認方針

参考資料8 浮き上がり評価について

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 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	VI-2-2-26 屋外配管ダクト（タービ

	槽) の断面選定の考え方	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. 地盤物性のばらつきの考慮方法		
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・配管系に対する応答加速度及び 応答変位算定のための解析ケース	共通事項
6. 許容限界について		
6.1	限界状態設計法による照査	共通事項
6.2	土木学会マニュアル2005の適用性	共通事項
7.	ジョイント要素のばね設定	共通事項
8.	隣接構造物のモデル化方針	共通事項
9.	地震応答解析における構造物の減衰定数	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」に該当する土木構造物である取水槽、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、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）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」に該当する土木構造物であ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」に該当する土木構造物であり、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。なお、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。

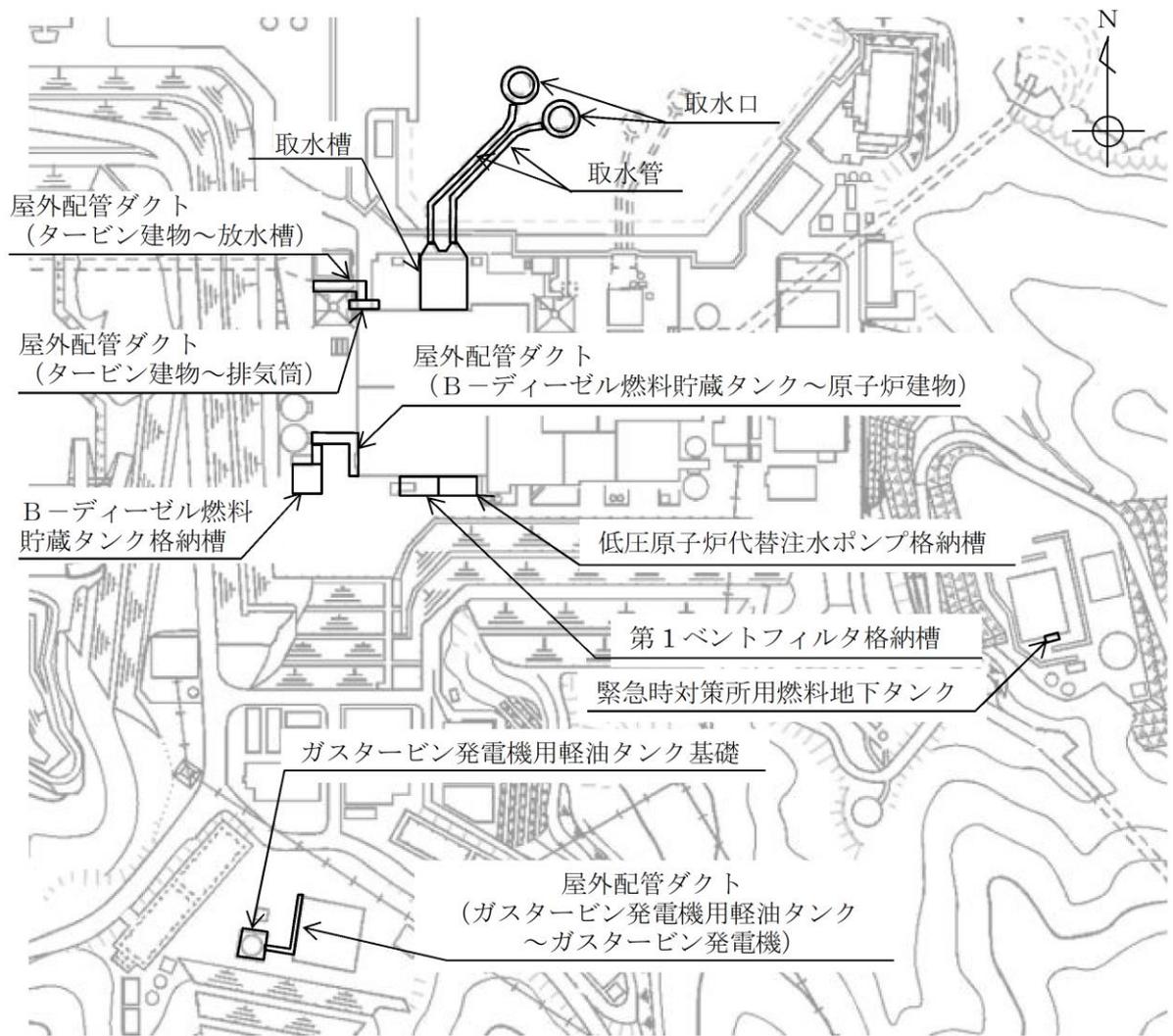


図 1-1 屋外重要土木構造物等位置図

## 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、その要求性能については、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2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) 循環水単一破壊時における内部溢水

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、以下の通り、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、構造物が終局状態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終局状態に対する限界ひずみ\*<sup>1</sup>、曲げ耐力又は許容応力度、せん断破壊についてはせん断耐力又は許容応力度（限界ひずみ、曲げ耐力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。）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 で規定されている支持機能の許容限界(限界せん断ひずみ)\*<sup>2</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。

注記\*1：圧縮縁コンクリート限界ひずみ 1.0% (10000  $\mu$ )

\*2：限界せん断ひずみ 2/1000 (2000  $\mu$ )

## 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、構造物が終局状態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、終局状態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\*3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\*3：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  $\mu$

## 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。

## 2.5 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。

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 2.5-1 に示す。

表 2.5-1 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 2.5-2 に屋外重要土木構造物の要求機能一覧を示す。

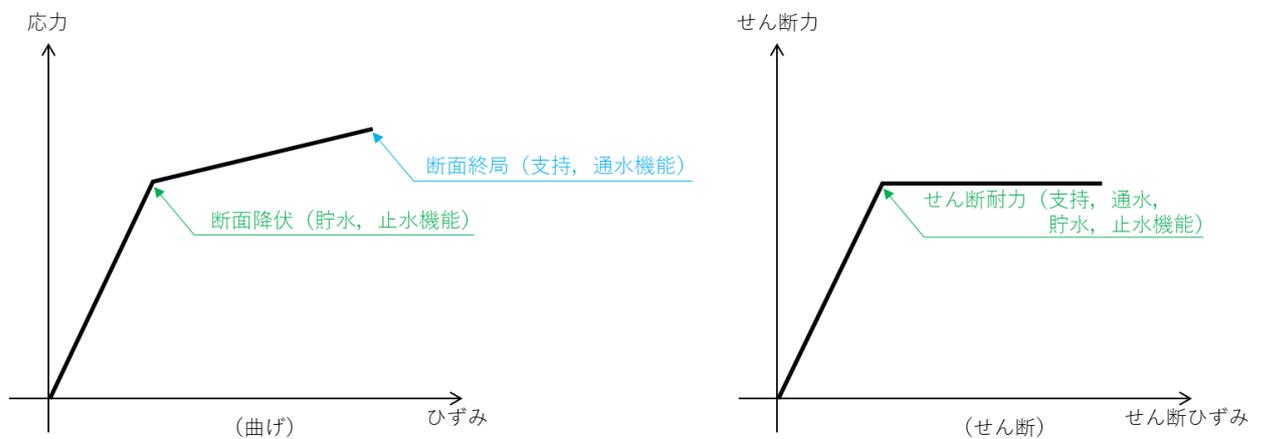


図 2.5-1 各要求機能と許容限界の関係の概念

表 2.5-1 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		
要求機能	S クラスの機器・配管系を安全に支持できる	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
目標性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材が終局状態に至らない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材が終局状態に至らない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋が降伏しない。</li> <li>・発生せん断力がせん断耐力を下回る</li> </ul>
設定理由	<p>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、構造物が終局状態に至らないことを目標性能とする。</p> <p>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。</p>	<p>構造物が終局状態に至った場合でも、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」と同様に、終局状態に至らないことを目標性能とする。</p>	<p>断面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を下回ることを目標性能とする。</p>
限界状態	終局耐力	終局耐力	降伏耐力
主な照査指標・許容限界	<p>曲げ</p> <p>照査用ひずみ &lt; 圧縮縁コンクリート限界ひずみ</p>	<p>照査用ひずみ &lt; 圧縮縁コンクリート限界ひずみ</p>	<p>&lt;コンクリート&gt; 照査用ひずみ &lt; 圧縮強度に対応するひずみ &lt;鉄筋&gt; 照査用ひずみ &lt; 降伏強度に対応するひずみ</p>
	<p>せん断</p> <p>照査用せん断力 &lt; せん断耐力</p> <p>照査用面内せん断ひずみ &lt; 限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)</p>	<p>照査用せん断力 &lt; せん断耐力</p> <p>照査用面内せん断ひずみ &lt; 限界せん断ひずみ 2/1000 (2000 μ)</p>	<p>発生せん断力 &lt; せん断耐力</p> <p>照査用面内せん断ひずみ &lt; 第1折点 (γ<sub>i</sub>)</p>

表 2.5-2 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	
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)	○	—	—	—	—
取水菅	—	○	—	—	○
取水口	—	○	—	—	○
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	○	—	○	—	—
緊急時対策所用 燃料地下タンク*	—	—	○*	—	—
ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎	○	—	—	—	—
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)	○	—	—	—	—

注記\*：非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される。

### 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ひずみ及び曲げ耐力、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、曲げ耐力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、限界ひずみ又は曲げ耐力を許容限界とした終局状態を想定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終局状態を想定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、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、限界ひずみ、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終局状態を想定した評価を実施する。加えて、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ひずみ、曲げ耐力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に示す通り設定する。

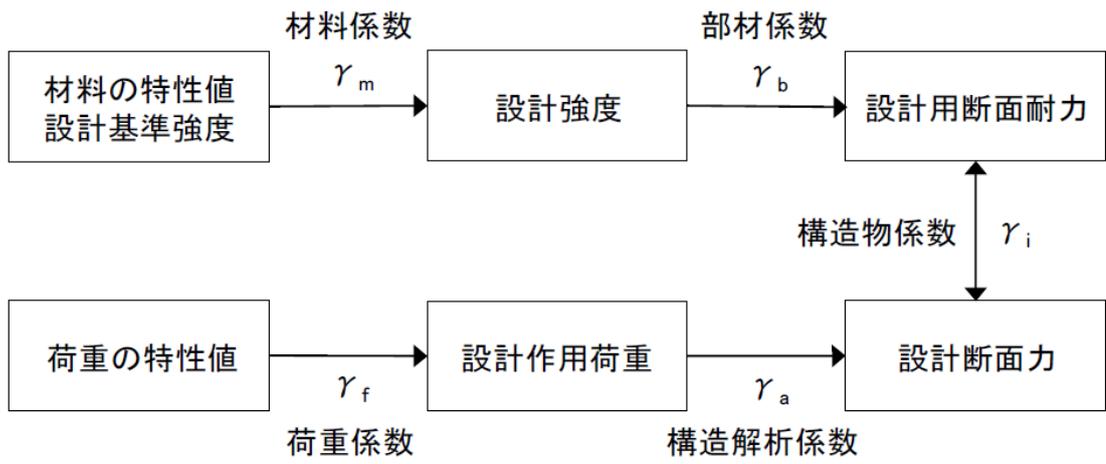


図 3-1 安全係数の考え方

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*				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	$\gamma_m$ ・変形評価に用いる材料の 設計用値の評価 ・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	・コンクリートの設計 圧縮強度を当該値 で除する。 ・鉄筋の降伏強度を当 該値で除する。	1.0	1.3	1.0	1.0	文献に基づき標準的な値を設定。
			1.0	1.0	1.0	1.0	文献に基づき標準的な値を設定。
部材係数	・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	・変形に対する限界値 を当該値で除する。	1.0	1.0~ 1.15	1.0	1.0	文献に基づき標準的な値を設定。
構造解析係数	・構造解析手法自体の精度 や不確実性を考慮	・発生主ひずみに当該 値を乗じる。	1.2	1.0	1.2	1.0~ 1.2	文献に基づき保守的な値を設定。
荷重係数	$\gamma_f$ ・設計荷重評価 ・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	・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。	1.0	1.0	1.0	1.0	偶発荷重については、文献に基づき標準的な値 を設定。永久荷重及び変動荷重については、F E M解析の適用により評価精度は高いことから、 1.0 に設定。
			1.0	1.0	1.0	1.0	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 1.0 に設定。
構造物係数	$\gamma_i$ ・構造物の総合的な安全性 評価 ・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	・応答値と限界値の比 に当該値を乗じる。	1.0	1.0	1.0	1.0~ 1.2	

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、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。

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 $\gamma_m$	<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> </ul>	1.0	1.3	1.0	1.3	文献に基づく標準的な値を設定。
		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する。</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0	文献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>曲げ耐力を当該値で除する。</li> </ul>	1.0	1.0~1.15	1.0	1.1	文献に基づく保守的な値を設定。
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>発生断面力に当該値を乗じる。</li> </ul>	1.2	1.0	1.2	1.0	文献に基づく標準的な値を設定。
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	1.0	1.0	1.0	偶発荷重については、文献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。
		<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	1.0~1.2 (偶発荷重は1.0)
構造物係数 $\gamma_i$			1.0	1.0	1.0	1.0	

注記\*：①は土木学会マニユアル2005、②は鉄道構造物等設計標準2012、③は土木学会マニユアル2018、④はコンクリート標準示方書2017に記載の値。  
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>物体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*2	1.3	1.3*2	1.3*2	文献に基づく標準的な値を設定。
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、部材の重要度を考慮</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	1.1~1.3	1.3	1.3	文献に基づく標準的な値を設定。
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	1.1	1.1	1.1*4	せん断耐力評価式による評価においては、文献に基づく標準的な値を設定。材料非線形解析によりせん断耐力を算定する場合は、キャリブレーション解析により設定。
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か性、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が境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	1.0	1.0	1.0	保守的に文献①、③に基づき 1.05 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	1.0	1.0	偶発荷重については、文献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。

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：応答値算定用の材料係数は 1.0 を設定。

\*3： $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$  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。

\*4：後施工せん断補強筋 (PHb) についても、建設技術審査証明報告書 (後施工プレート定着型せん断補強鉄筋 [Post-Head-bar]) 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、周辺地盤状況、地下水位、隣接構造物の有無及び荷重条件等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

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

評価対象断面の選定の流れについて、図4.1-1に示す。

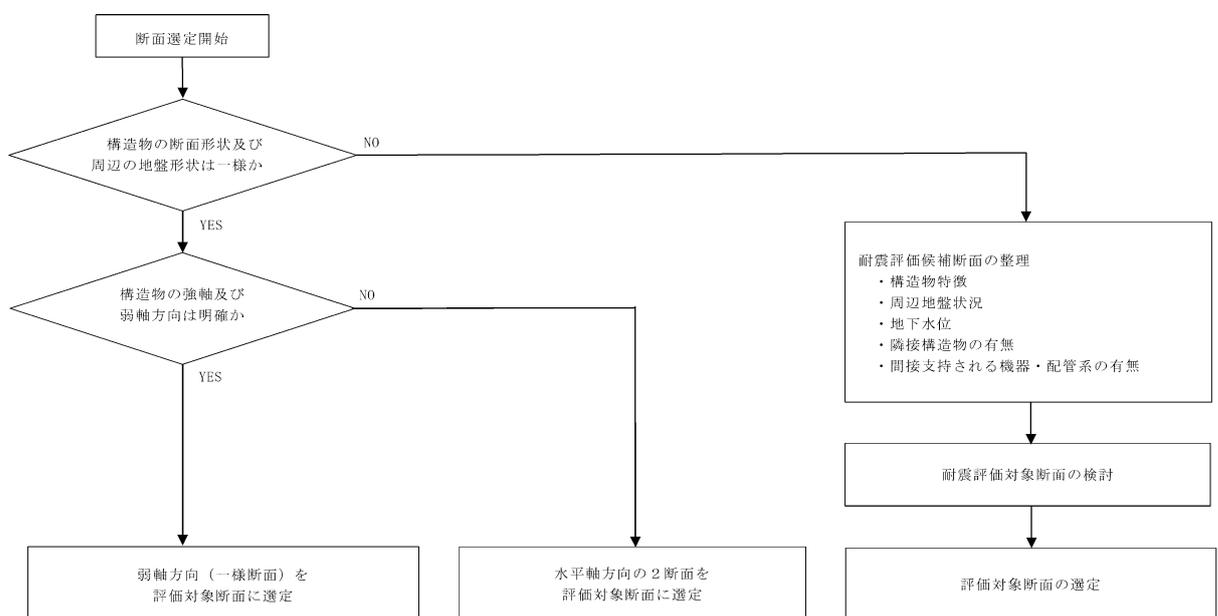


図 4.1-1 評価対象断面の選定フロー

##### (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、断面変化部、構造物間の連結部等）
- ・ 周辺地盤状況（土被り厚、側方地盤、設置地盤、地盤改良体等）
- ・ 地下水位
- ・ 隣接構造物の有無
- ・ 間接支持される機器・配管系の有無
- ・ 要求機能

## (2) 評価対象断面の選定

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

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

### 4.2 各施設の構造上の特徴と断面選定の方針の整理

屋外重要土木構造物は、線状構造物、箱形構造物、円筒構造物、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、二次元地震応答解析により耐震評価を行う構造物と、三次元モデルにより耐震評価を行う構造物に分けられる。

通水方向及び配管の管軸方向と直交する断面に構造部材の配置が少なく、明確に通水方向及び配管の管軸方向と直交する断面が弱軸となる構造物は、二次元地震応答解析により耐震評価を行う。よって、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する。また、弱軸方向断面と強軸方向断面が明確な線状構造物については、弱軸方向断面を候補断面とするが、床応答の観点において強軸方向断面も含めて選定する。

強軸及び弱軸が明確でない構造物及び弱軸方向断面において加振方向と平行に配置される妻壁を複数有する構造物や複数の構造物が一体化している構造物等の複雑な構造を有する構造物は、三次元モデルを用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を考慮して耐震評価を行う。したがって、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する。

#### 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冷却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～図 4.4-6 に示す。

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、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 つのエリアから構成され、十分な支持性能を有する C<sub>M</sub>級岩盤に設置されている。

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いる。また、上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置レベルが異なる等、複雑な構造となっている。

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部材として考慮する箱形構造物であり、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)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 4.4-7 に示す。

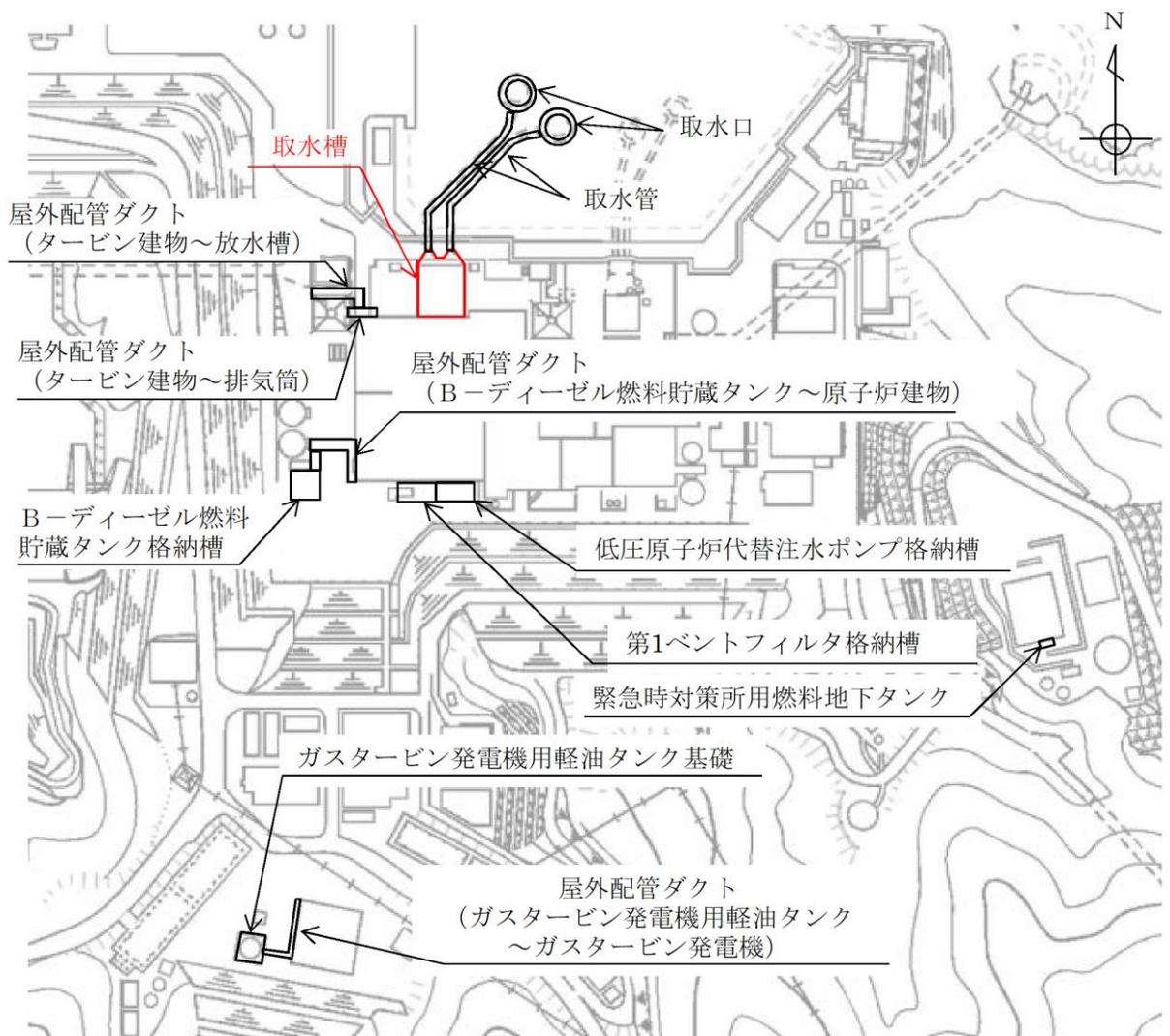


図 4.4-1 取水槽 配置図

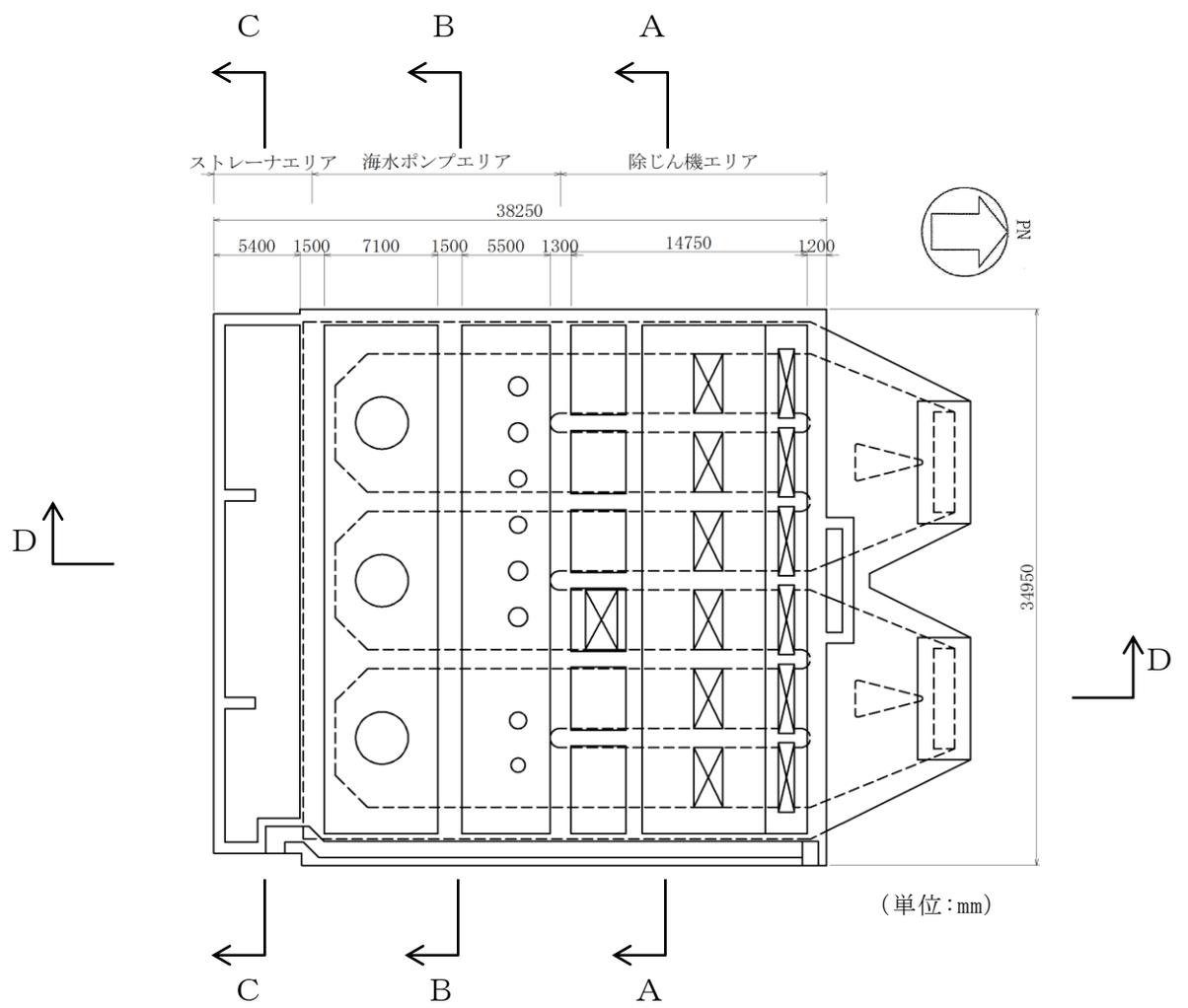


図 4.4-2 取水槽 平面図

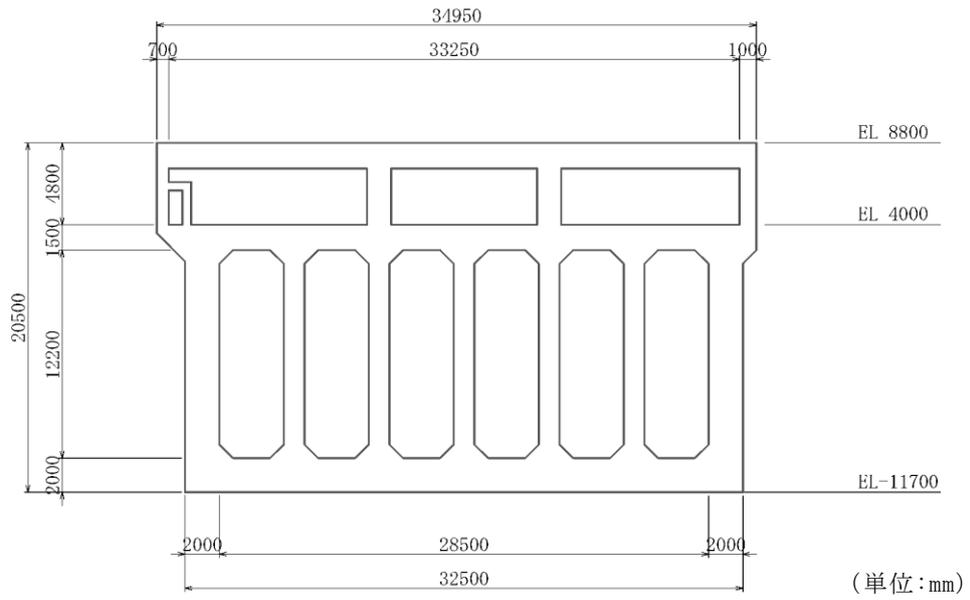


图 4.4-3 取水槽 断面图(A-A断面)

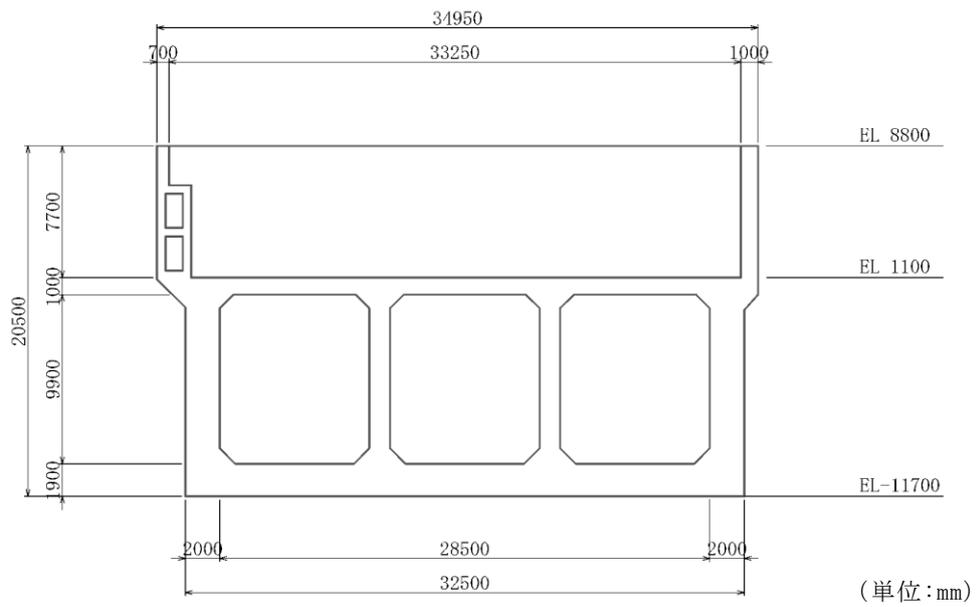


图 4.4-4 取水槽 断面图(B-B断面)

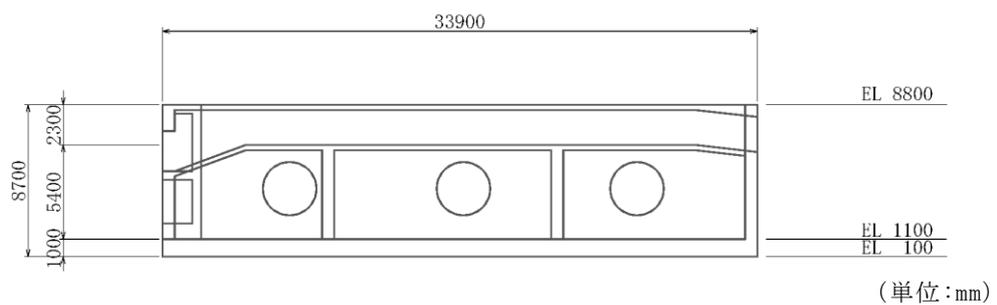


图 4.4-5 取水槽 断面图(C-C断面)

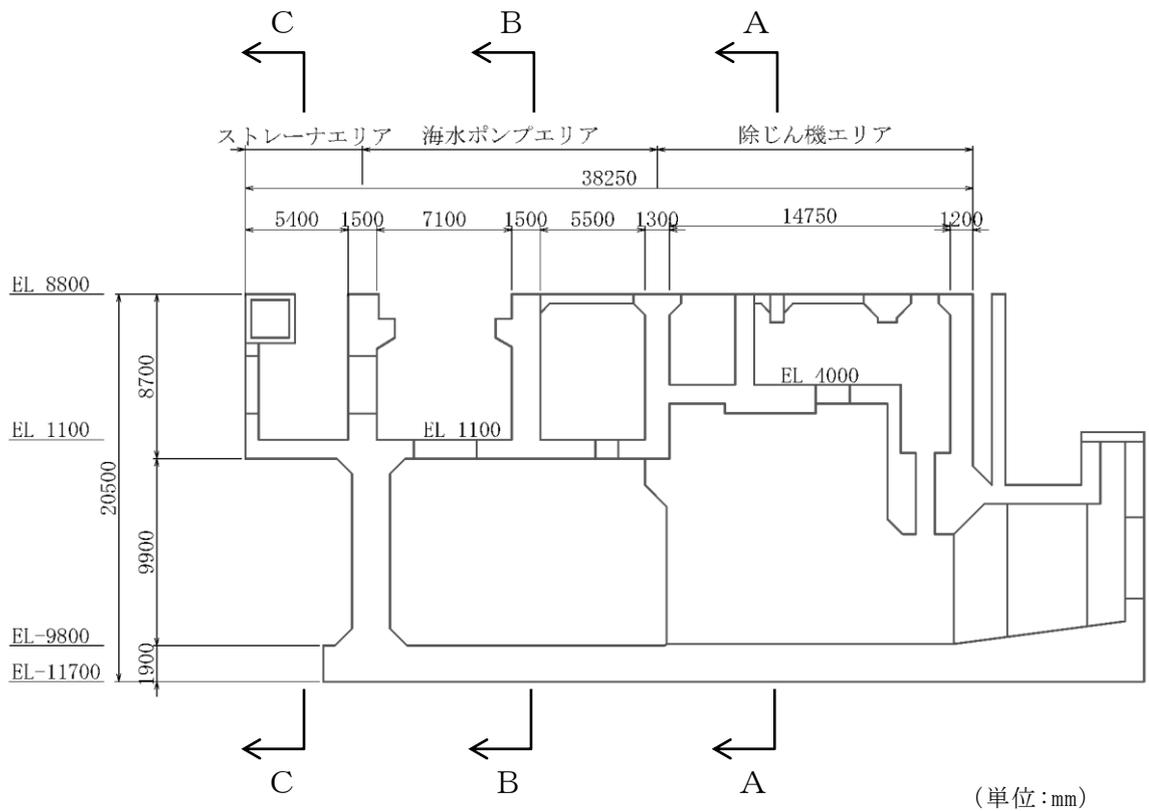


図 4.4-6 取水槽 断面図(D-D断面)

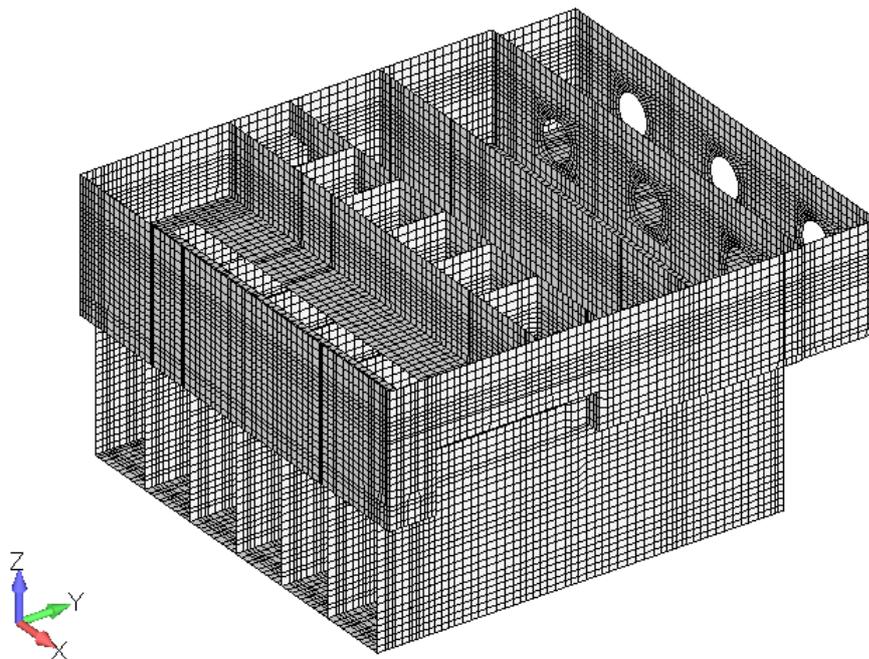


図 4.4-7 取水槽 3次元構造解析モデル

#### 4.4.1 断面選定

##### (1) 候補断面の整理

取水槽は、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、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剛性の差があり、各エリアでの剛性の違いが地震時荷重に影響を及ぼすことから、地震時荷重を算出するための2次元地震応答解析は、各エリアの東西方向の断面を候補断面とする。

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。

周辺状況として、北側は防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が、南側はタービン建物が隣接し、取水槽周りは地盤改良がなされている。また、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。取水槽の設計地下水位は、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。

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

取水槽の地質断面図を図4.4-8に示す。

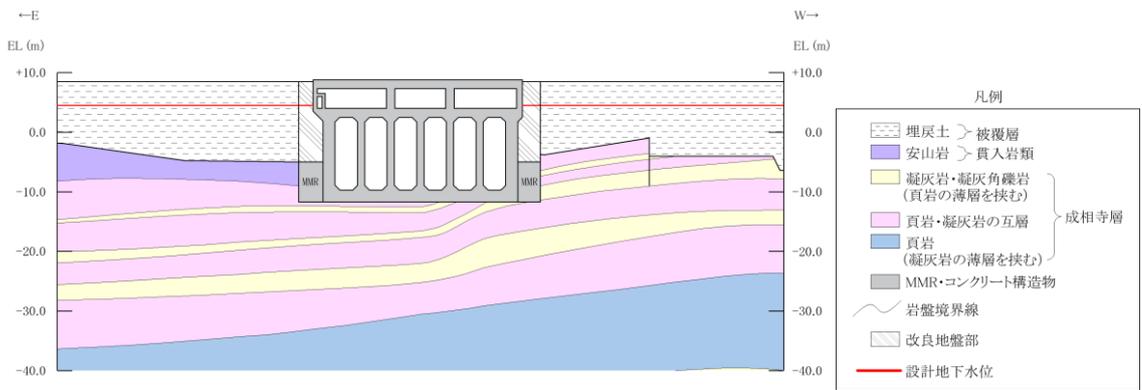


図 4.4-8 (1) 取水槽 地質断面図 (A-A 断面)

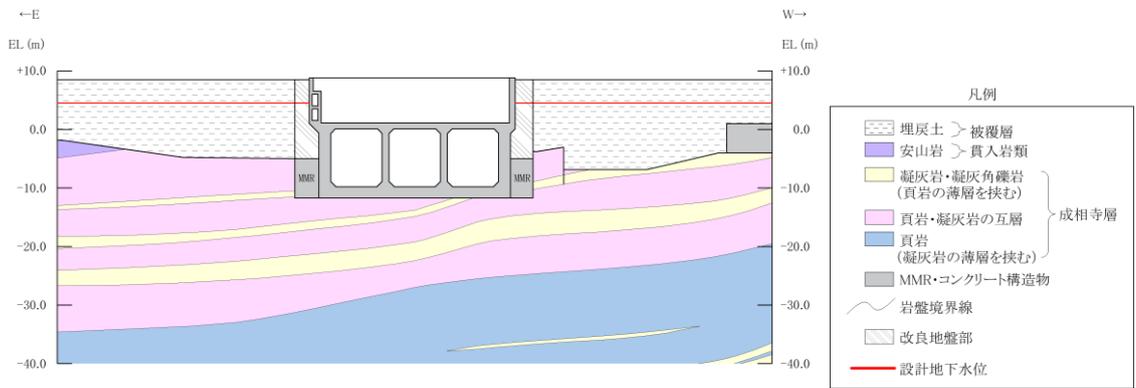


図 4.4-8 (2) 取水槽 地質断面図 (B-B 断面)

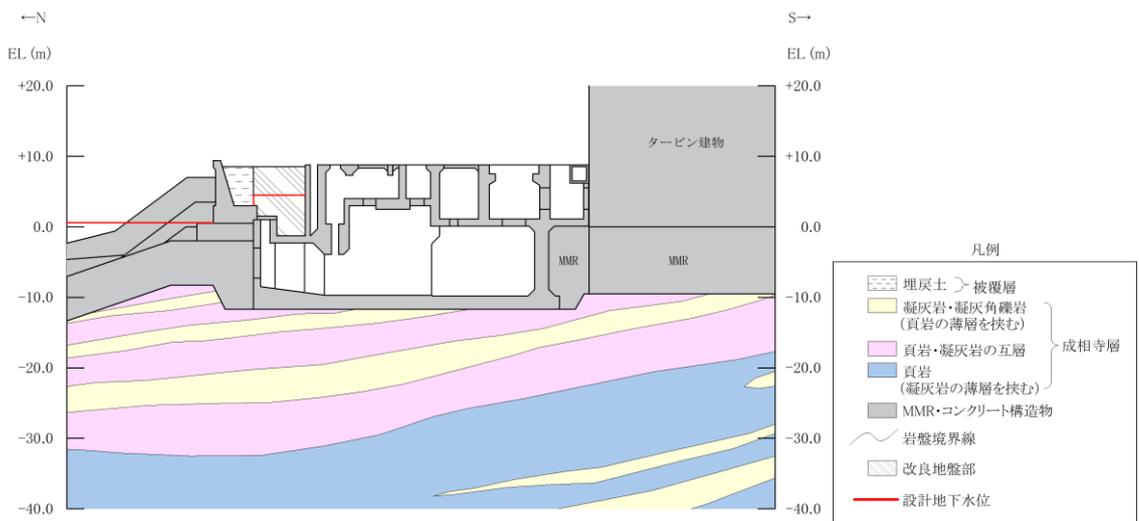


図 4.4-8 (3) 取水槽 地質断面図 (D-D 断面)

(2) 地震時荷重算出断面の選定

東西方向は、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各エリアにおいて、構造物モデルを作成する。周辺地盤はおおむね水平成層であり、各エリアで差異がないことから奥行方向に一樣な地盤モデルとし、地震時荷重算出断面とする。

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

(3) 断面選定結果

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 (1) 取水槽 地震時荷重算出断面の選定結果

方向		要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	選定結果
東西方向	除じん機 エリア	支持性能 通水機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、下部は6連のカルバート構造、上部は開口部を有する中床版が設置されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく東西方向が弱軸となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>除じん機エリア防水壁</li> <li>除じん機エリア水密扉</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造モデルは除じん機エリアの剛性を考慮し、地震時荷重算出断面とする。</li> </ul>
	海水ポンプ エリア	支持性能 通水機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリート造の地下2階構造で、下部は3連のカルバート構造、上部は開口部を有する中床版が設置されている。</li> <li>耐震要素として機能する面部材が少なく東西方向が弱軸となる。</li> </ul>	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉補機冷却海水ポンプ</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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造モデルは海水ポンプエリアの剛性を考慮し、地震時荷重算出断面とする。</li> </ul>
	ストレーナ エリア	支持性能	<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、隔壁等の面部材を有する箱型構造物である。</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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して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> </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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造モデルはストレーナエリアの剛性を考慮し、地震時荷重算出断面とする。</li> </ul>

表 4.4-1 (2) 取水槽 地震時荷重算出断面の選定結果

方向	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	選定結果
南北方向	支持性能 通水機能 止水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤又は岩盤上にあるMMRに支持されている。</li> <li>防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及びタービン建物と隣接し、取水槽と防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の間は地盤改良されており、一部に埋戻土が分布する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>除じん機エリア防水壁</li> <li>除じん機エリア水密扉</li> <li>原子炉補機冷却海水ポンプ</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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の中心を通る断面を地震時荷重算出断面とする。</li> </ul>

#### 4.4.2 解析手法の選定

「4.3 解析手法選定の方針」と併せて追而とする

#### 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～図 4.5-5 に示す。

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断面の変化が小さい線状構造物で、MMR を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

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（タービン建物～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。

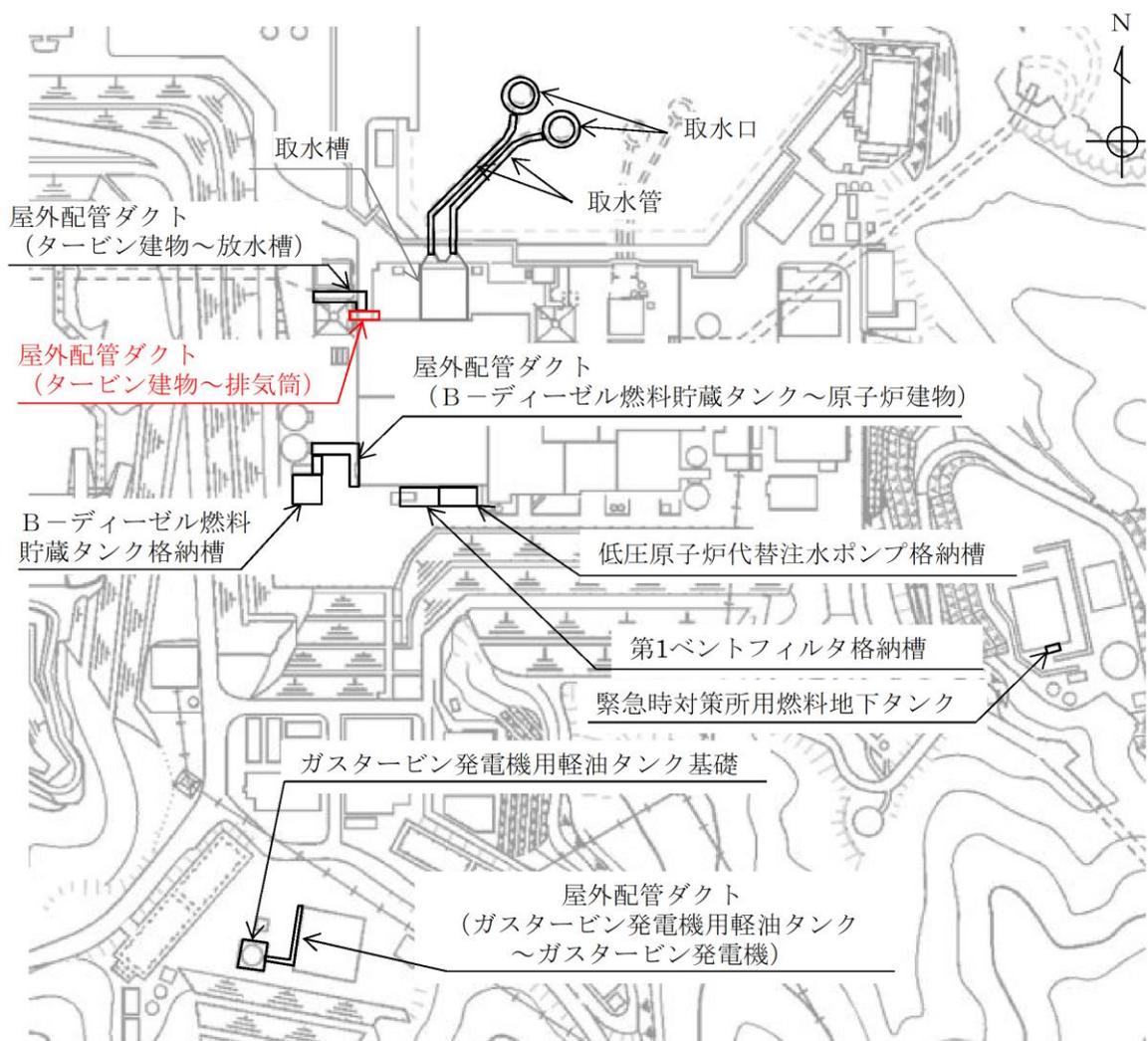


図 4.5-1 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 配置図

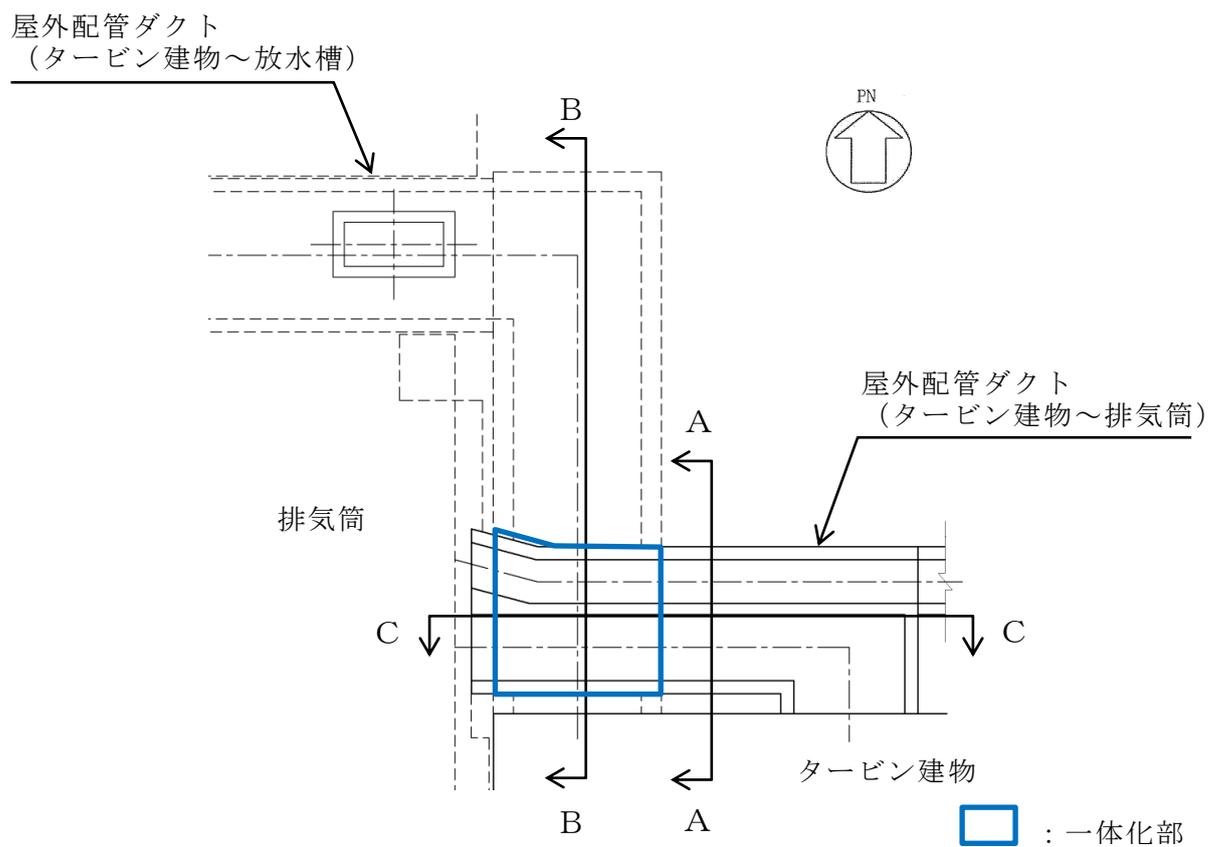


図 4.5-2 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 平面図

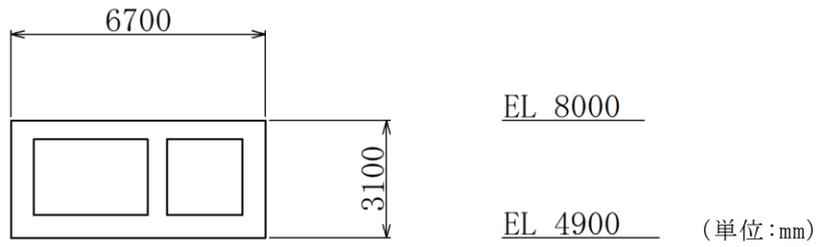


図 4.5-3 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (A-A断面)

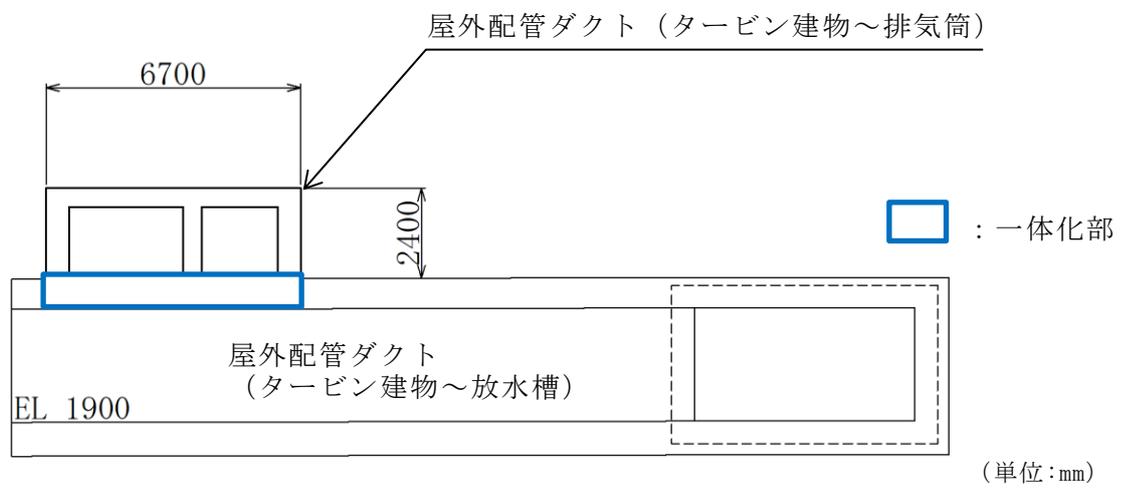


図 4.5-4 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (B-B断面)

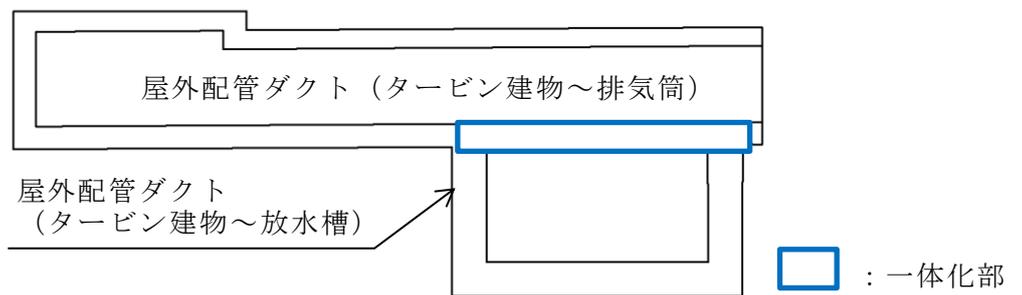


図 4.5-5 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (C-C断面)

#### 4.5.1 断面選定

##### (1) 候補断面の選定

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は，延長方向に一様な線状構造物であり，明確な弱軸方向，強軸方向を有し，横断方向が弱軸方向となることからA-A断面を候補断面とする。また，下部にある屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体構造であるB-B断面及びC-C断面を選定する。

周辺状況としては，埋戻土が一様に分布しており，地下水位も構造物底版よりも低く，延長方向で一様である。また，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おり，断面選定の観点として考慮する必要はない。

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地質断面図を図4.5-6に示す。

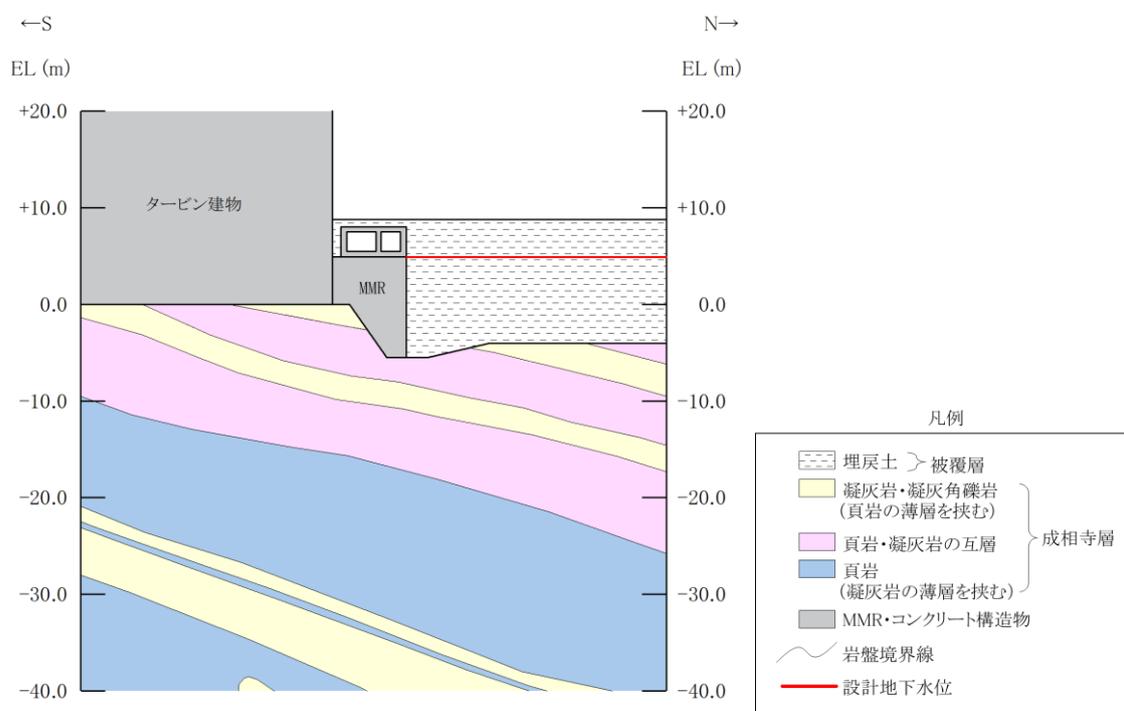


図 4.5-6 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）  
地質断面図（A-A断面）

(2) 評価対象断面の選定

標準的な断面形状及び周辺状況は延長方向に一様であり、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を評価対象断面として選定する。また、B-B断面及びC-C断面については、一体化した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別途実施し、一体化による影響を確認することとする。

(3) 断面選定結果

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の断面選定結果を表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） 評価対象断面の選定結果

方向	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	選定結果
横断方向	A-A断面	支持性能 ・延長方向に一様な2連のボックスカルバート構造となっている。 ・明確な弱軸方向、強軸方向を有し、横断方向が弱軸方向となる。	・MMRを介して岩盤に支持されている。 ・埋戻土は一様に分布している。 ・南側にタービン建屋が隣接している。	・非常用ガス処理系配管・弁	・明確な弱軸方向であるため、評価対象断面として選定する。
	B-B断面	同上 ・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。	・屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）に支持されている。 ・埋戻土は一様に分布している。 ・南側にタービン建屋が隣接している。	同上	・一体構造について、3次元モデルを用いた影響評価を別途実施する。
延長方向	同上	同上 ・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。	・屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）に支持されている。 ・埋戻土は一様に分布している。 ・西側に排気筒が隣接している。	同上	同上

#### 4.5.2 解析手法の選定

「4.3 解析手法選定の方針」と併せて追而とする

#### 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、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。

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～図4.11-5に示す。

第1ベントフィルタ格納槽は、幅24.6m（EW方向）×13.4m（NS方向）、高さ約18.7mの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、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有するC<sub>M</sub>級岩盤に支持される。

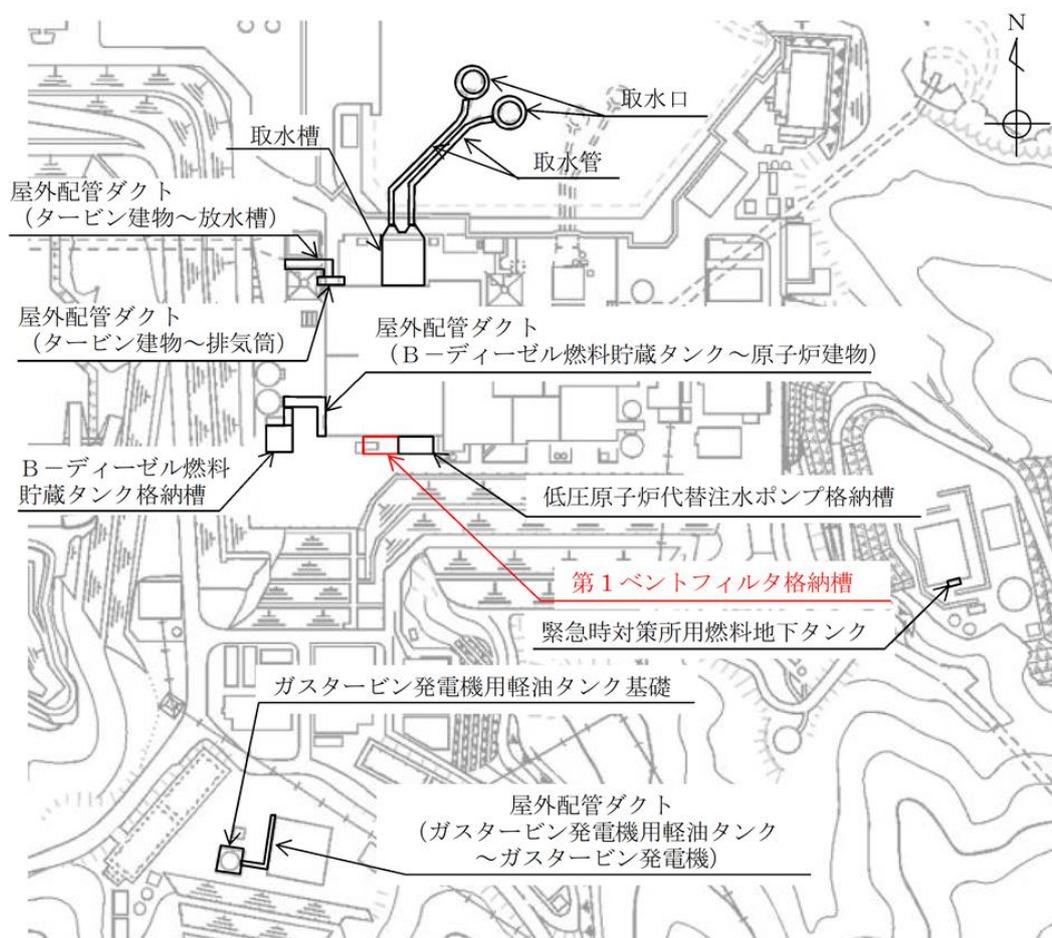


図4.11-1 第1ベントフィルタ格納槽 位置図

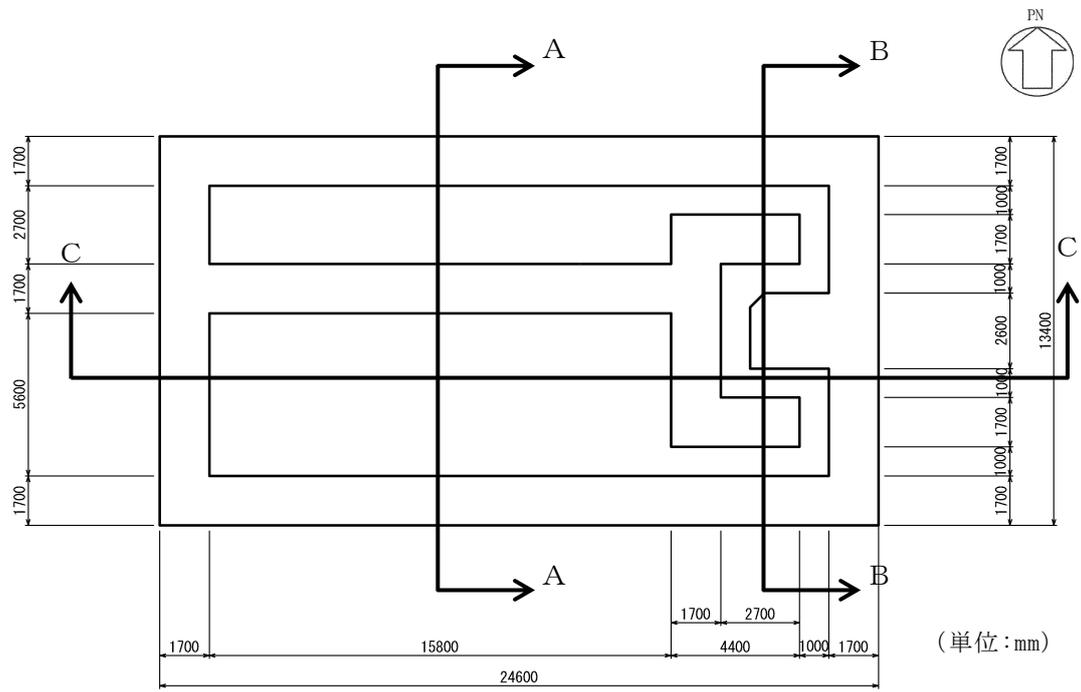


図 4.11-2 第1 ベントフィルタ格納槽 平面図

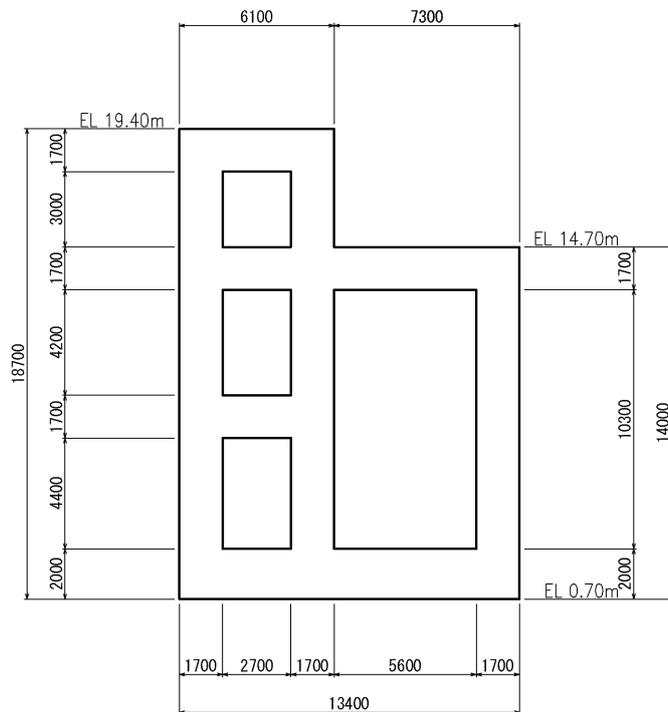


図 4.11-3 第1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (A-A 断面)

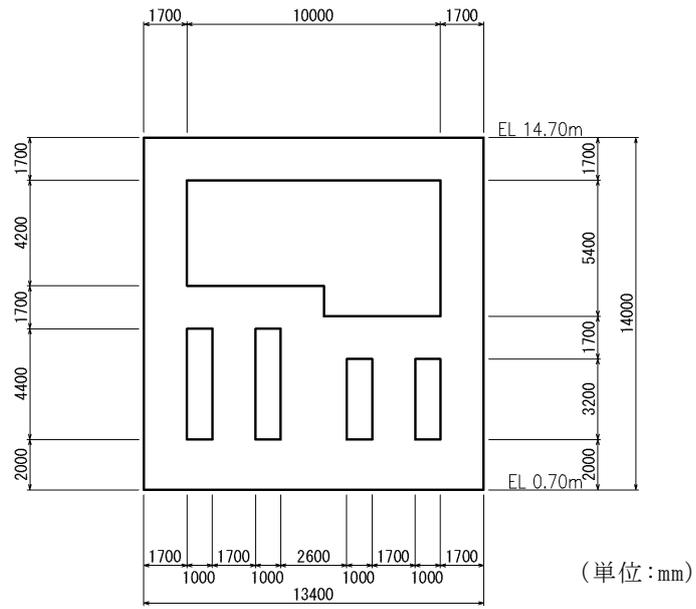


図 4.11-4 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (B-B 断面)

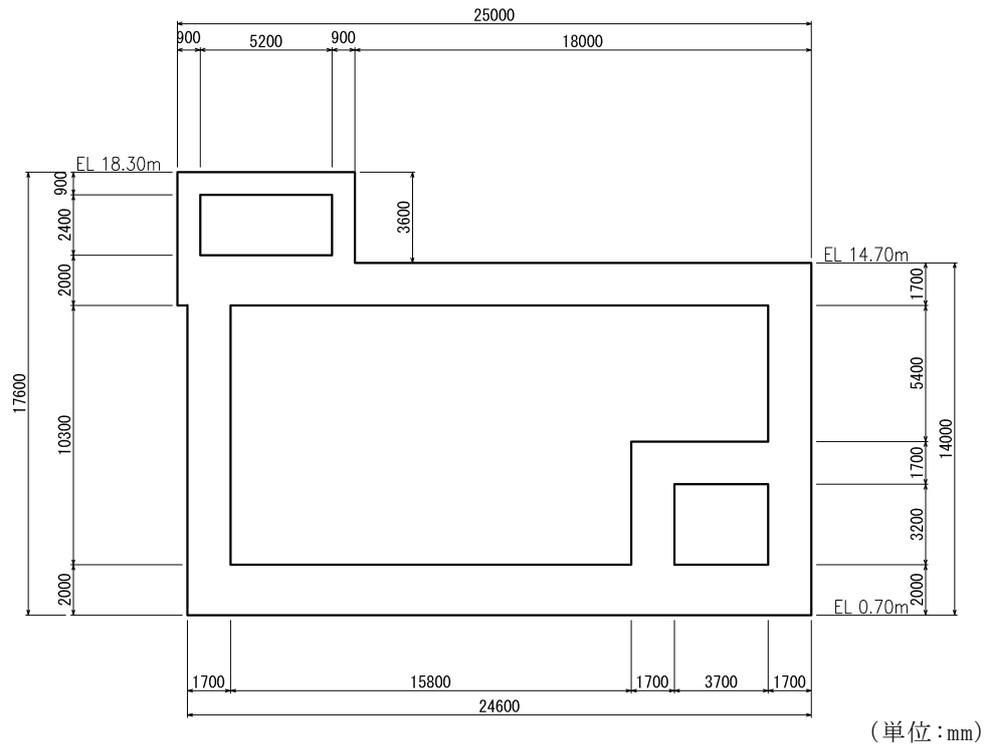


図 4.11-5 第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (C-C 断面)

#### 4.11.1 断面選定

##### (1) 候補断面の選定

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壁の厚さの割合が大きくなるため，長辺方向が強軸方向となり，短辺方向（南北方向）が弱軸方向となる。

短辺方向（南北方向）については，A－A断面，B－B断面のそれぞれで剛性の差があり，各エリアでの剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすことから，地震時荷重及び床応答を算出するための2次元地震応答解析は，各断面の東西方向の断面を候補断面とする。

周辺状況として，第1ベントフィルタ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。

候補断面としては，弱軸方向となるA－A断面及びB－B断面とする。また，強軸方向となるC－C断面についても，機器・配管系への応答加速度の影響を評価する観点から候補断面とする。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地質断面図を図4.11-6～図4.11-8に示す。

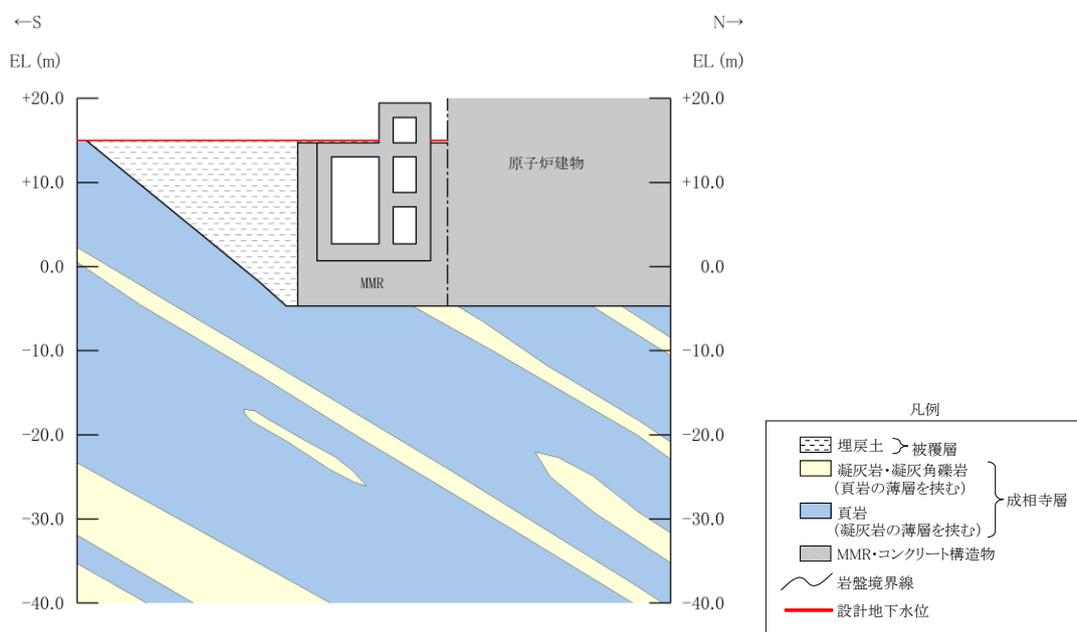


図4.11-6 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図（A－A断面）

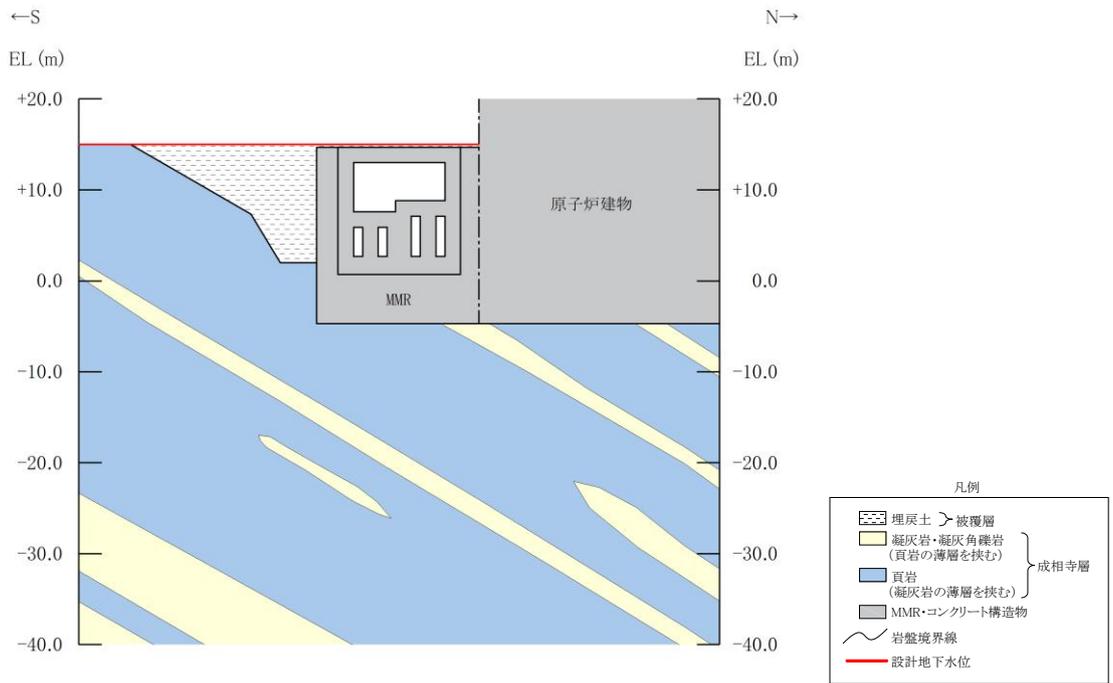


図 4.11-7 第1 ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (B-B 断面)

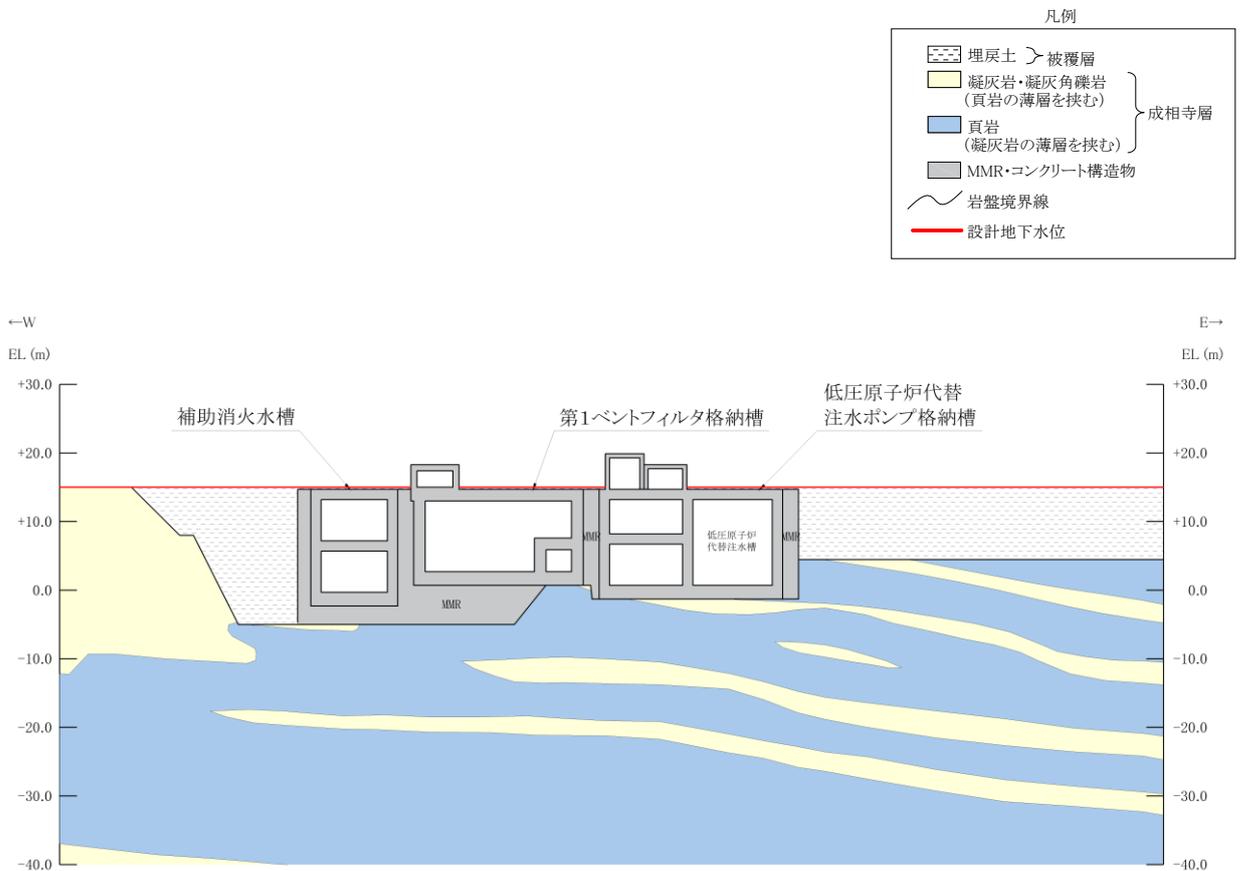


図 4.11-8 第1 ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (C-C 断面)

(2) 評価対象断面の選定

弱軸方向となる横断方向のA-A断面及びB-B断面を評価対象断面として選定する。C-C断面は強軸方向のため、機器・配管系に対する応答加速度抽出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4.11-1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	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する 主な設備	評価対象 断面	選定結果
A-A断面	支持機能	<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、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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して岩盤に設置している。</li> <li>MMRで囲まれており、その外側には、北側に周辺構造物（原子炉建物）が、南側に埋戻土が存在する。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</li> </ul>	第1ベントフィルタスクラバ容器	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象断面として選定する。</li> </ul>
B-B断面	同上	<ul style="list-style-type: none"> <li>同上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同上</li> </ul>	同上	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>同上</li> </ul>
C-C断面	同上	<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、中壁、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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して岩盤に設置している。</li> <li>MMRで囲まれており、両側に周辺構造物（地下構造物）が存在し、更にその外側は埋戻土が存在する。</li> <li>設計地下水位は地表面で設定している。</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選定する。</li> </ul>

#### 4.11.2 解析手法の選定

「4.3 解析手法選定の方針」と併せて追而とする

#### 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、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～図 4.12-5 に示す。

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 (EW 方向) × 13.4m (NS 方向)、高さ約 21.2m の鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部を含む）構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する  $C_M$  級岩盤に支持される。

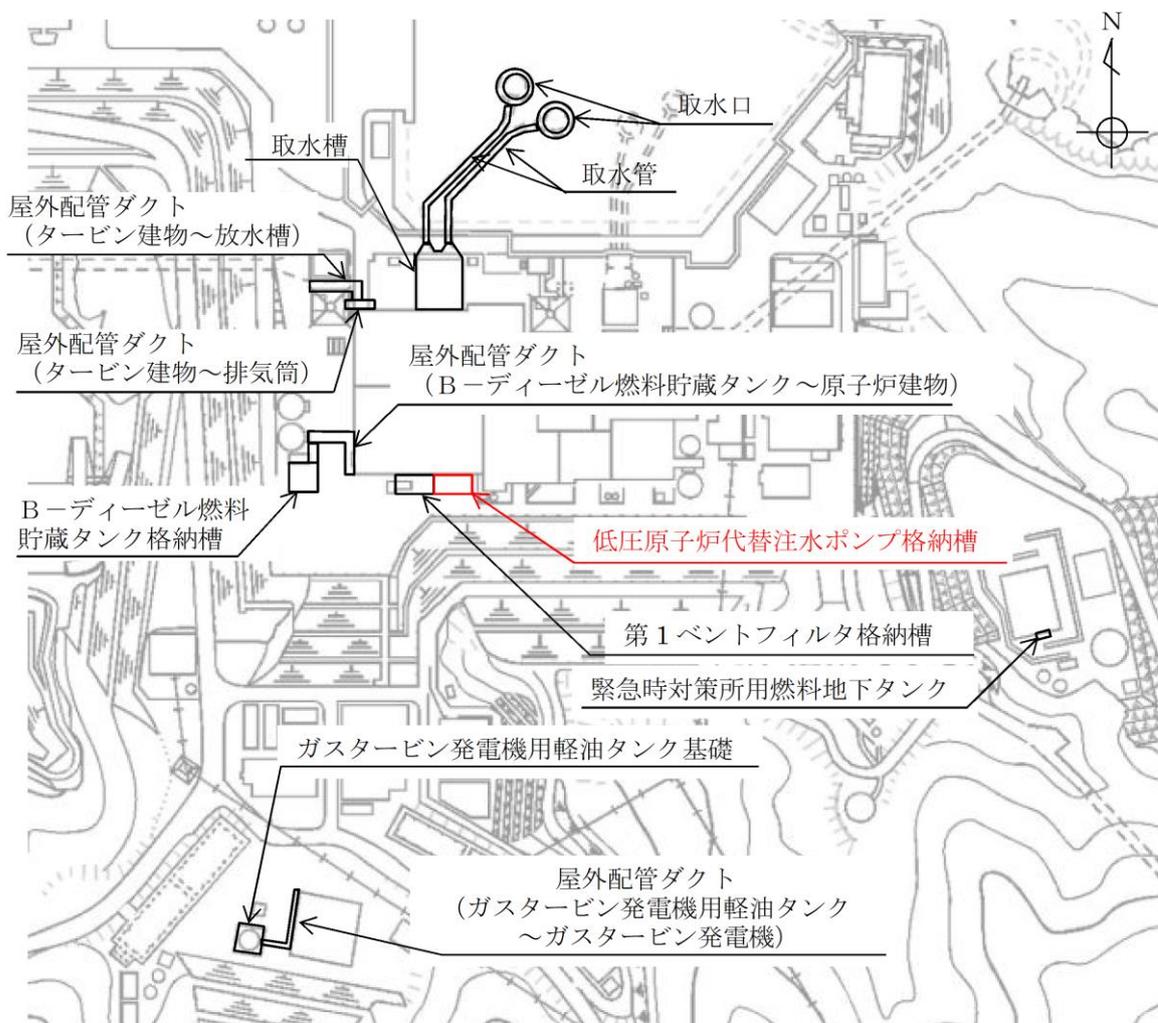


図 4.12-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 位置図

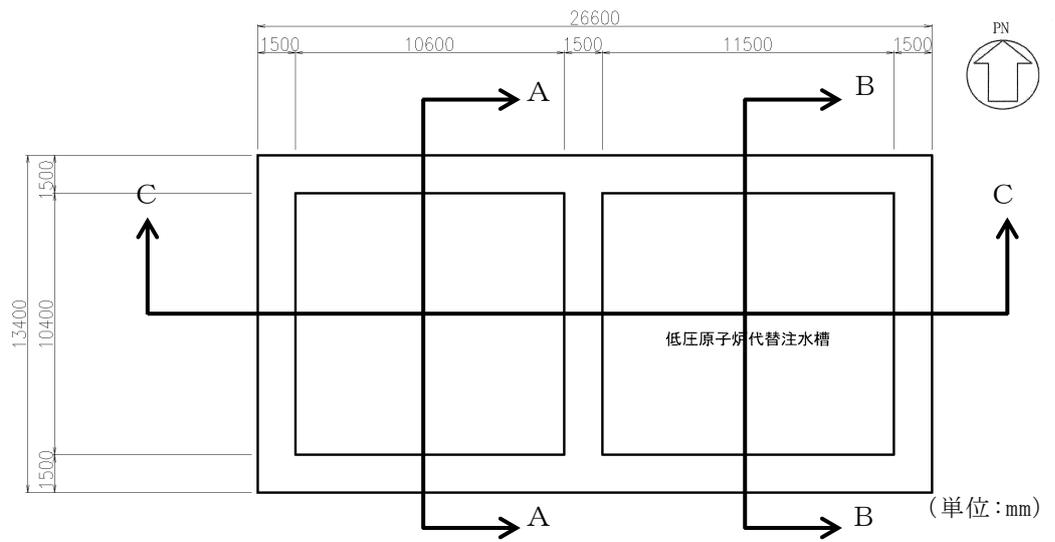


図 4.12-2 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

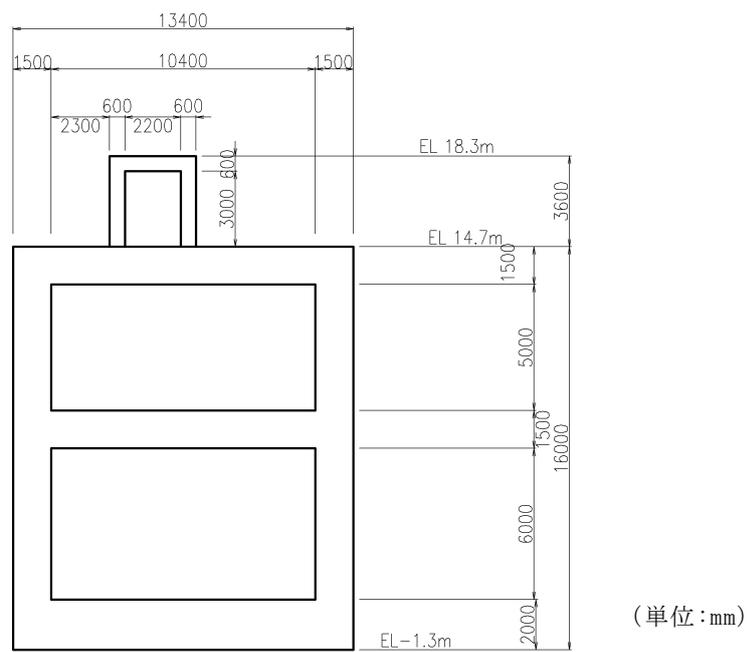


図 4.12-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A断面)

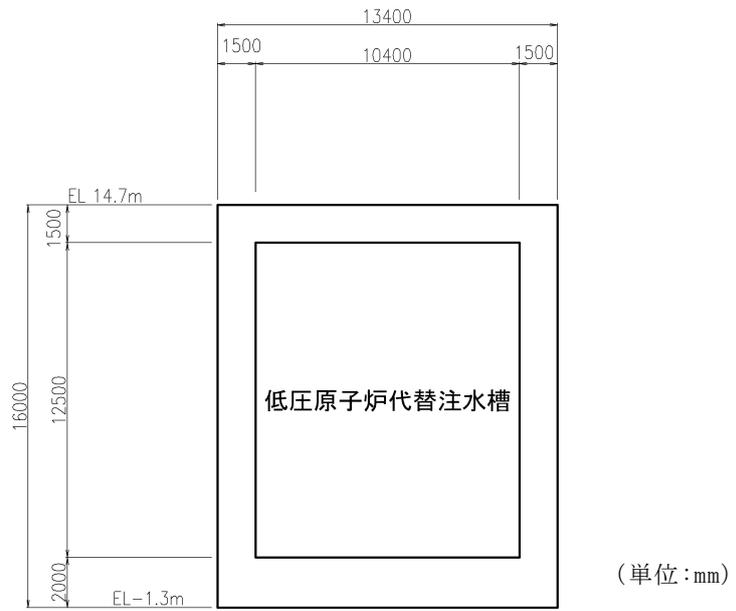


図 4.12-4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B 断面)

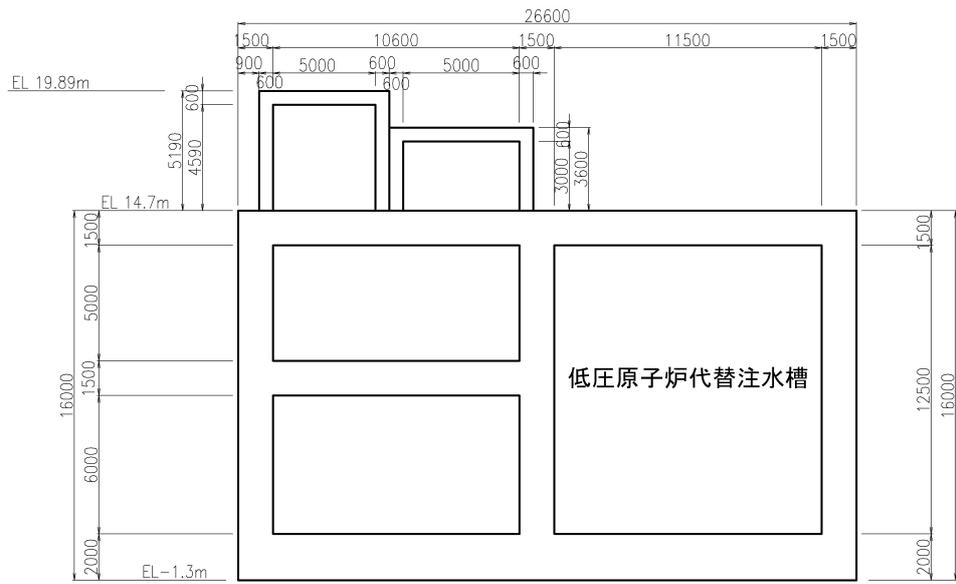


図 4.12-5 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C 断面)

(単位: mm)

#### 4.12.1 断面選定

##### (1) 候補断面の選定

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壁の厚さの割合が大きくなるため，長辺方向が強軸方向となり，短辺方向（南北方向）が弱軸方向となる。

短辺方向（南北方向）については，A－A断面，B－B断面のそれぞれで剛性の差があり，各エリアでの剛性の違いが地震時荷重及び床応答に影響を及ぼすことから，地震時荷重及び床応答を算出するための2次元地震応答解析は，各断面の東西方向の断面を候補断面とする。

周辺状況として，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。

候補断面としては，弱軸方向となるA－A断面及びB－B断面とする。また，強軸方向となるC－C断面についても，機器・配管系への応答加速度の影響を評価する観点から候補断面とする。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地質断面図を図4.12-6～図4.12-8に示す。

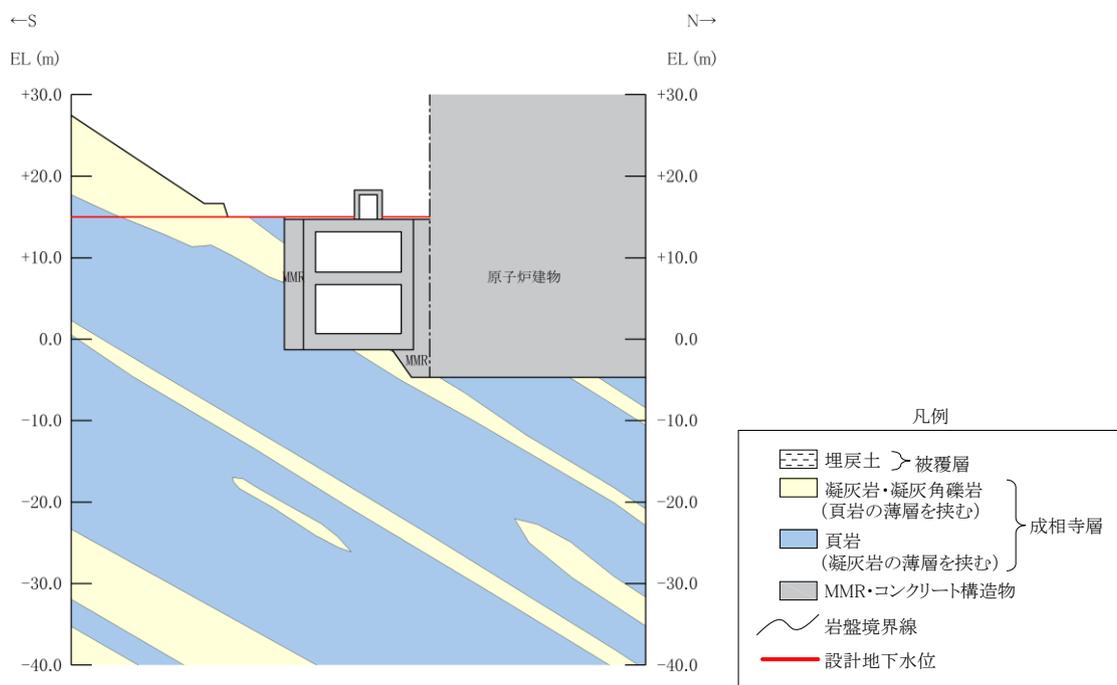


図 4.12-6 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (A－A断面)

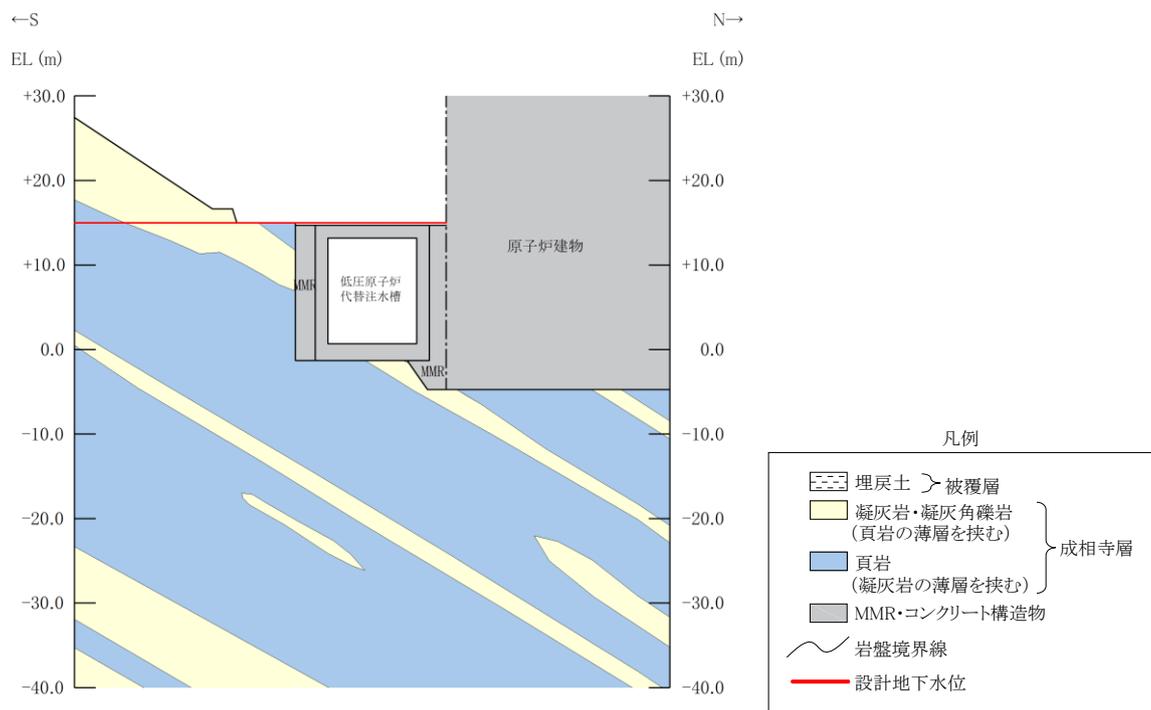


図 4.12-7 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (B-B 断面)

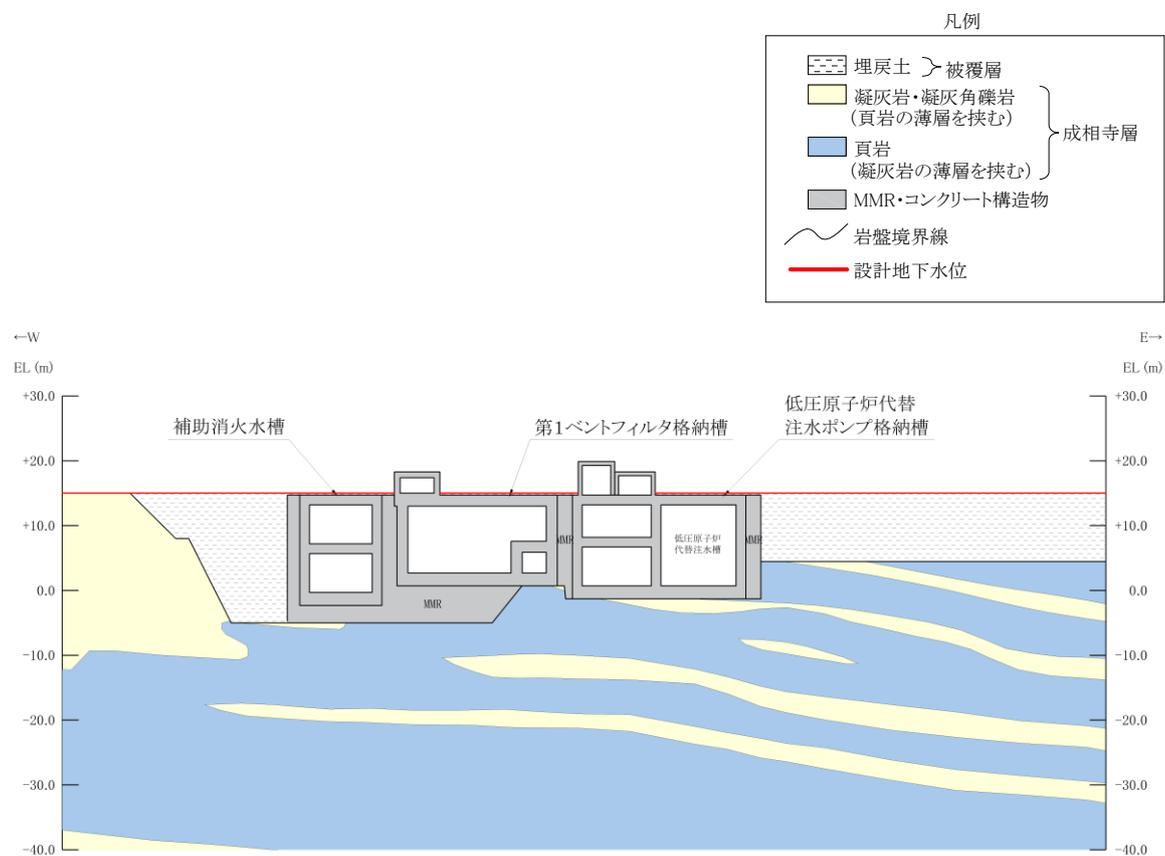


図 4.12-8 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図 (C-C 断面)

(2) 評価対象断面の選定

弱軸方向となる横断方向のA-A断面及びB-B断面を評価対象断面として選定する。C-C断面は強軸方向となるが、機器・配管系に対する応答加速度抽出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4.12-1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	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する 主な設備	評価対象 断面	選定結果
A-A断面	支持機能	<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、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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して岩盤に設置している。</li> <li>MMRで囲まれており、その外側には、北側に周辺構造物（原子炉建物）が、南側に岩盤が分布している。</li> </ul>	低圧原子炉代替注水ポンプ	○	・評価対象断面として選定する。
B-B断面	貯水機能 支持機能	<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、矩形構造である。</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> </ul>	・同上	低圧原子炉代替注水槽	○	・同上
C-C断面	支持機能	<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、中壁、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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤に設置している。</li> <li>MMRで囲まれており、両側に周辺構造物（地下構造物）が存在し、更にその外側は埋戻土が存在する。</li> </ul>	低圧原子炉代替注水ポンプ	○	・機器・配管系への応答加速度の観点より選定する。

#### 4.12.2 解析手法の選定

「4.3 解析手法選定の方針」と併せて追而とする

#### 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、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）の位置図を図 4.15-1 に、平面図を図 4.15-2 に、断面図を図 4.15-3 及び図 4.15-4 に示す。

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り、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する C<sub>M</sub>級岩盤に支持される。

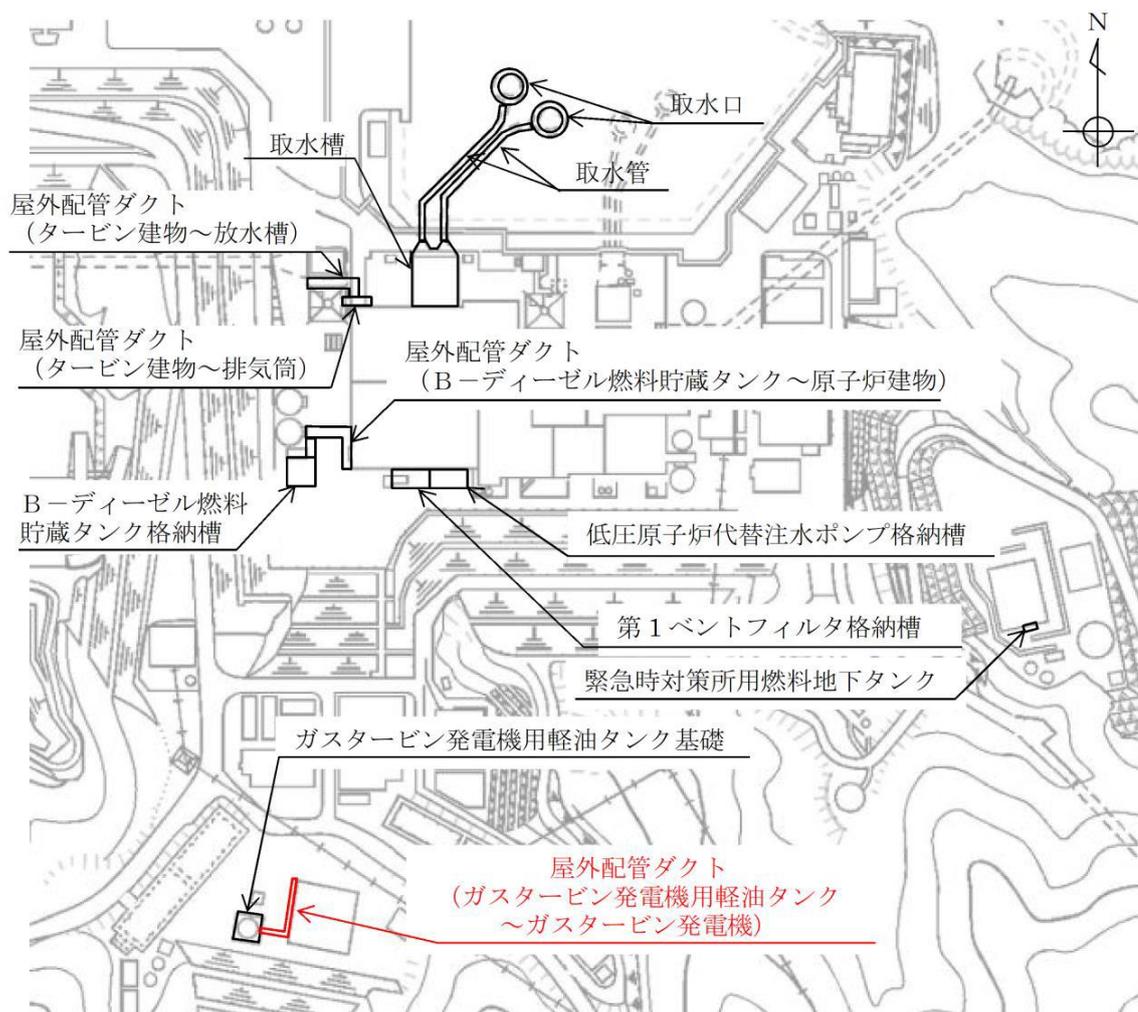


図 4.15-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）

位置図

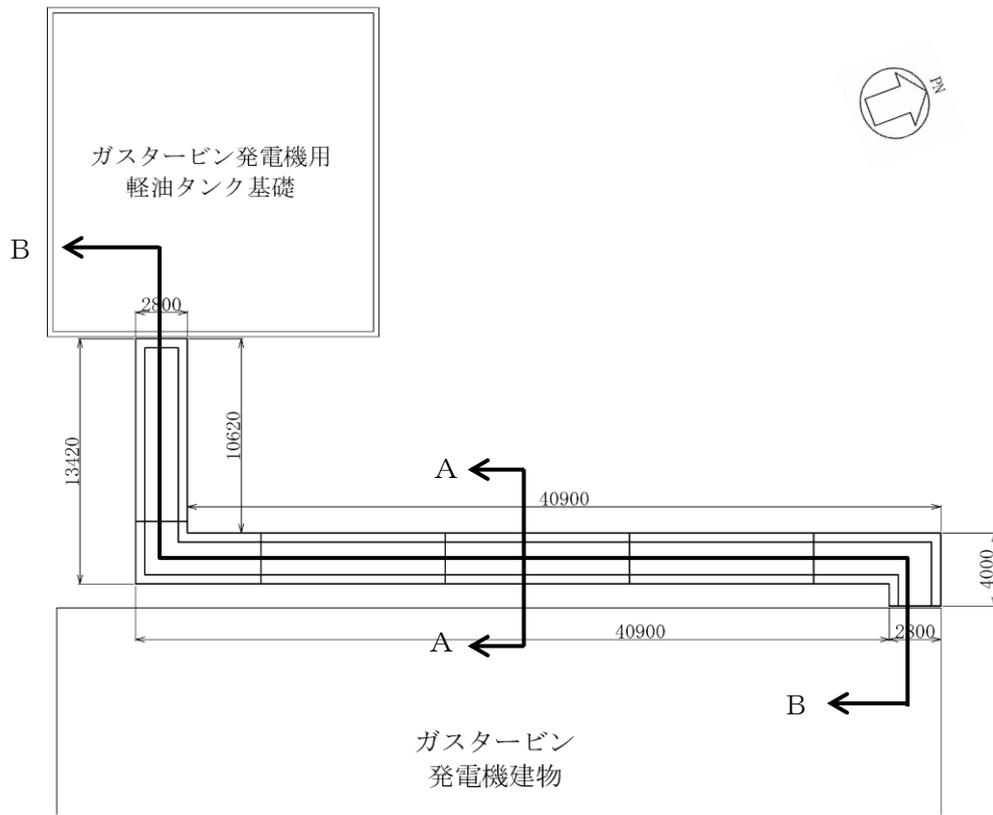


図 4.15-2 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）  
平面図

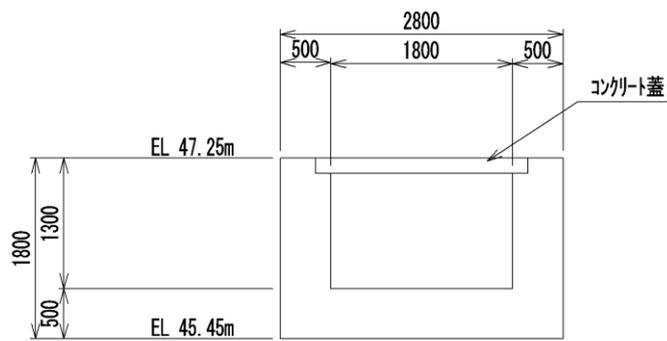


図 4.15-3 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）  
断面図（A-A断面）

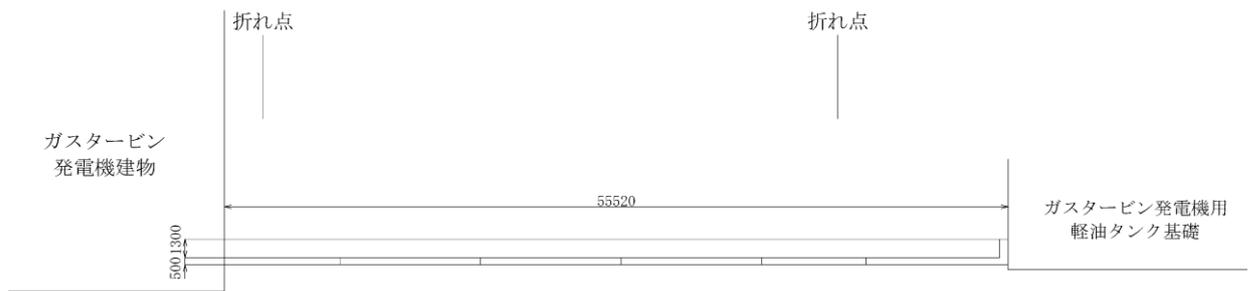


図 4.15-4 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）  
断面図（B-B断面）

#### 4.15.1 断面選定

##### (1) 候補断面の選定

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）は、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線状構造物であり、横断方向が明確な弱軸方向となるとともに、延長方向にブロック割しており、延長方向の応力はブロック毎に解放される。また、岩盤の地質構造はおおむね水平成層となっており、横断方向の断面位置によって地震動に差はないことから、A-A断面を候補断面とする。

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）は、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が、配管は延長方向に一樣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はない。また、地下水位は構造物底版より十分低く、地下水位は延長方向にほぼ一樣であることから、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。

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 4.15-5 に示す。

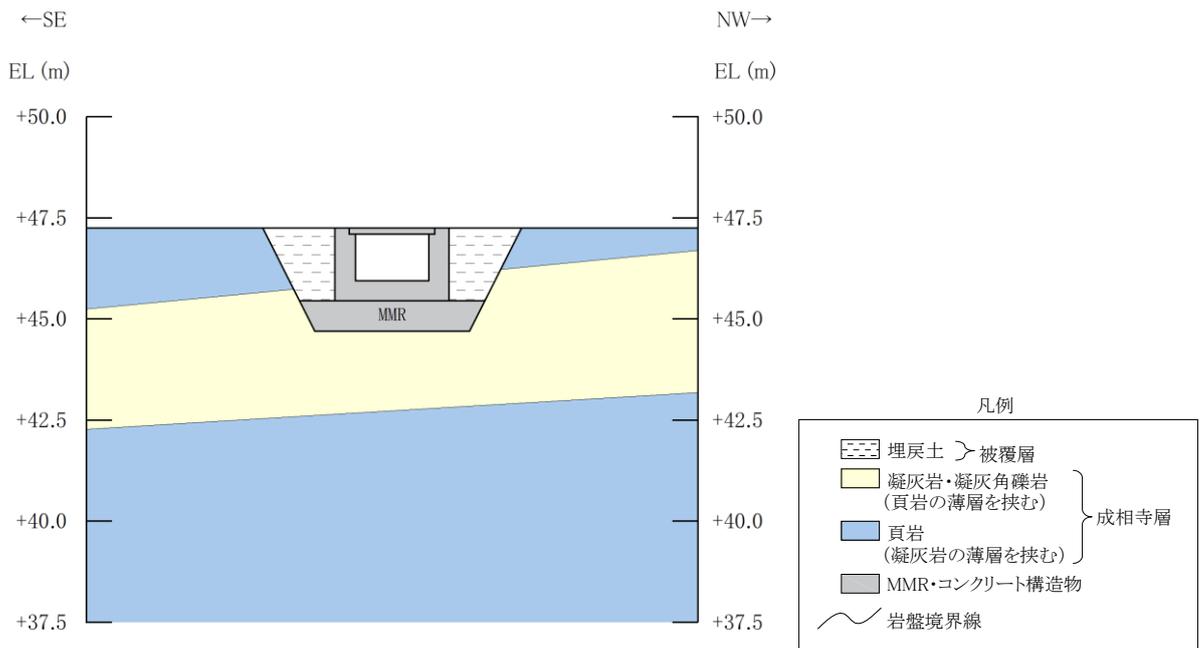


図 4.15-5 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）  
地質断面図（A-A断面）

(2) 評価対象断面の選定

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。

(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	要求機能	構造的特徴	周辺状況	間接支持する主な設備	評価対象断面	選定結果
A-A断面	支持機能	<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、延長方向は1連のダクト構造である。</li> <li>明確な弱軸方向、強軸方向を有し、横断方向が弱軸方向となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMRを介して岩盤に設置している。</li> <li>周辺構造物（建物）が存在する。</li> <li>周囲はMMRに囲まれており、その外側は岩盤が分布している。</li> <li>地下水位は構造物底板より十分低い。</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>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>土圧・構造・配管の設置位置及び周辺状況について、延長方向の差異がないことから、評価対象断面として選定する。</li> </ul>

#### 4.15.2 解析手法の選定

「4.3 解析手法選定の方針」と併せて追而とする

## 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 限界状態設計法による照査

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〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）（以下「コンクリート標準示方書2002」という。）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、「6.2 土木学会マニュアル2005の適用性について」に示す。

#### 6.1.1 支持機能

支持機能は、部材が終局状態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  $\mu$ )，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(表 6.1-1 参照)。

表 6.1-1 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。
	発生曲げモーメント	曲げ耐力	コンクリート標準示方書 2002 に規定されている。
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。

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 6.1-1 に示す。

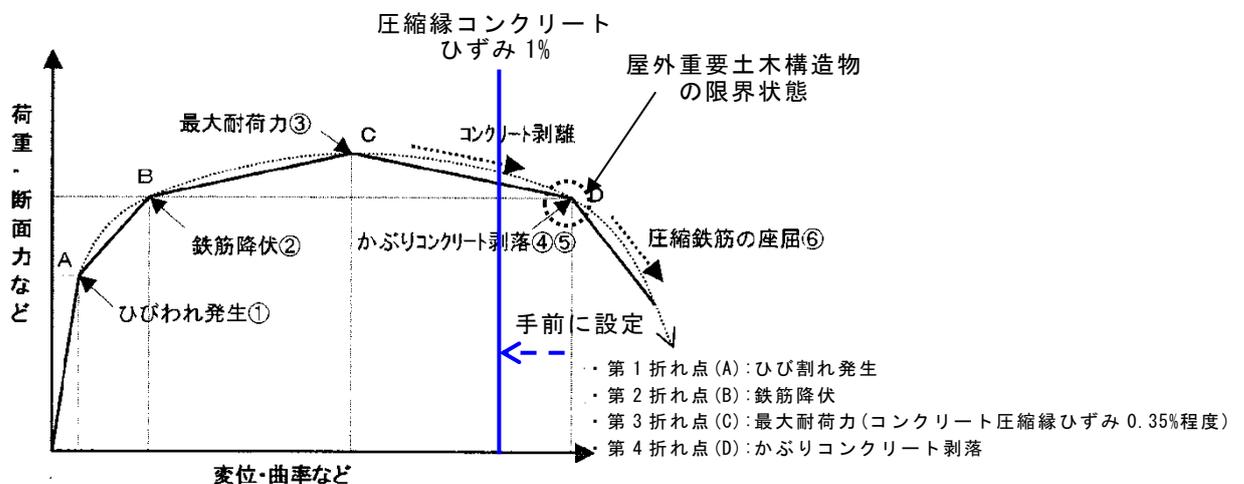


図 6.1-1 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図 (土木学会マニュアル 2005 に加筆)

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 6.1-2 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。

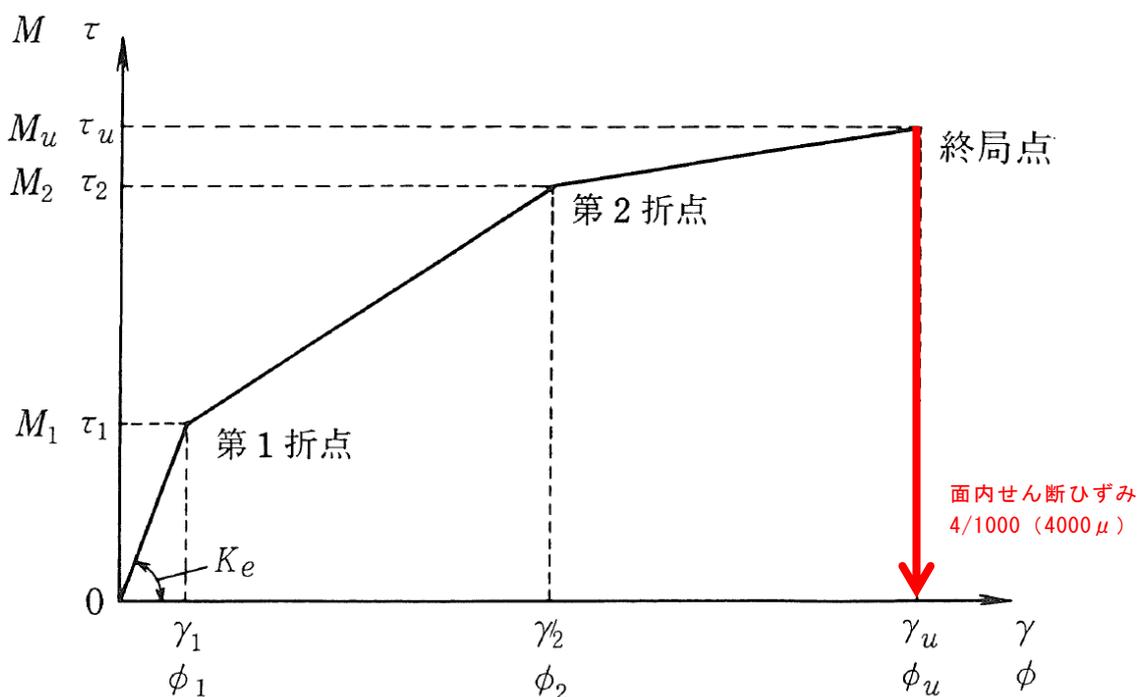


図6.1-2 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau$ - $\gamma$  関係）

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。

### 6.1.2 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、「6.1.1 支持機能」と同様に、終局状態に至らない部材状態を想定する。

### 6.1.3 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。ひび割れに伴う漏水を許容したうえで貯水機能を適切に評価することは困難であることから、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 6.1-3 参照）。

この許容限界は，表 6.1-4 に示すとおり，「水道施設耐震工法指針・解説 2009」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。

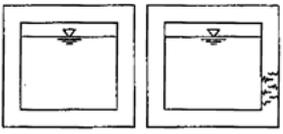
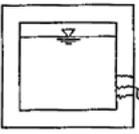
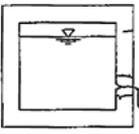
面内変形に対しては，面内せん断ひずみが図 6.1-3 に示す J E A G 4 6 0 1 - 1987 に規定されているスケルトンカーブの第 1 折点 ( $\gamma_1$ ) を下回ることを許容限界と設定する。

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。

表6.1-3 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。
	主筋ひずみ	1725 $\mu$ (SD345)	
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6.1-4 池状構造物（RC構造物）の耐震性能と照査基準

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 (降伏耐力以下)	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	 無被害又はひび割れは生じるが漏水は生じない。修復の必要ない。	 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。	 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。
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） $\leq$ 降伏曲げ耐力 断面力（せん断） $\leq$ せん断耐力 応力度 $\leq$ 許容応力度	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

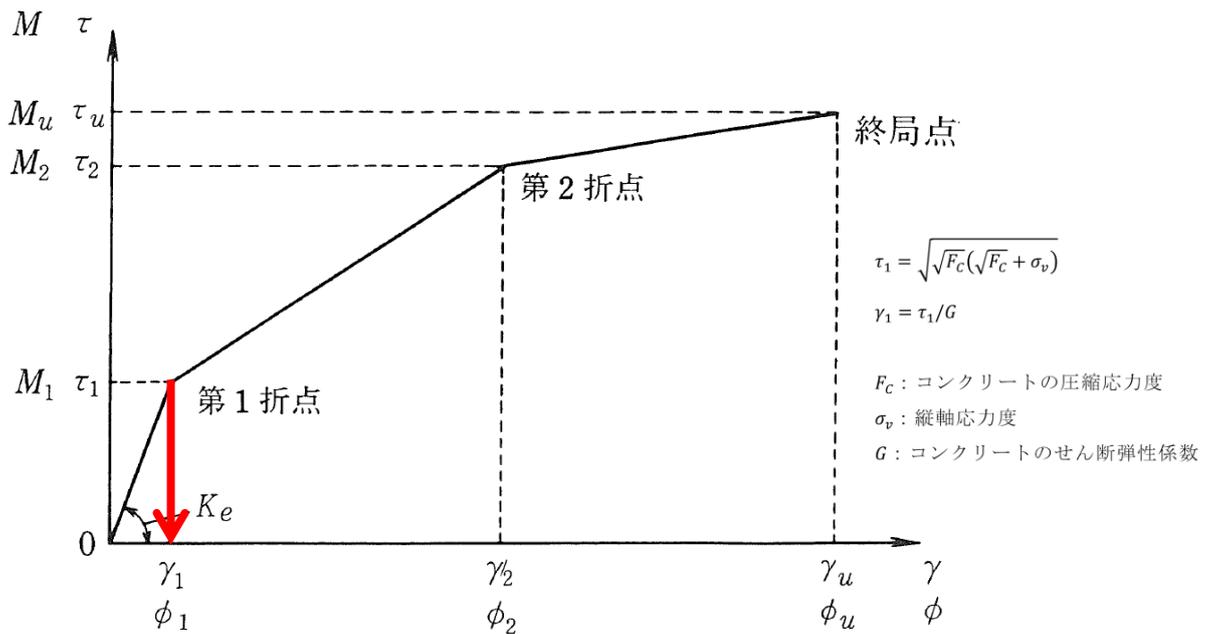


図6.1-3 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ 関係）と評価式

#### 6.1.4 止水機能

止水機能は、以下に示す2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) 循環水管単一破損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 6.1-5 参照)。

### 6.2 土木マニュアル 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。

#### 6.2.1 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 6.2-1 に示す。

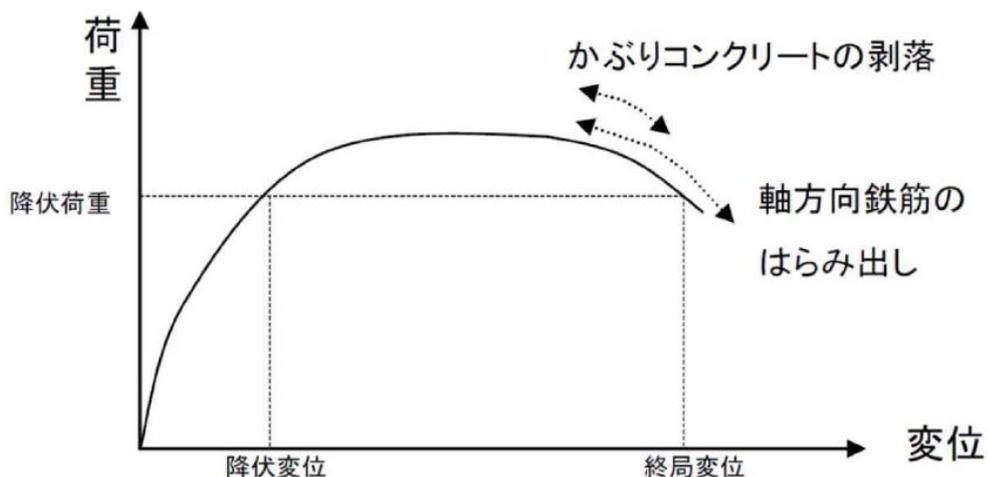


図6.2-1 コンクリート標準示方書2002による構造部材の終局変位の考え方

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

図) 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 6.2-2 に示す。

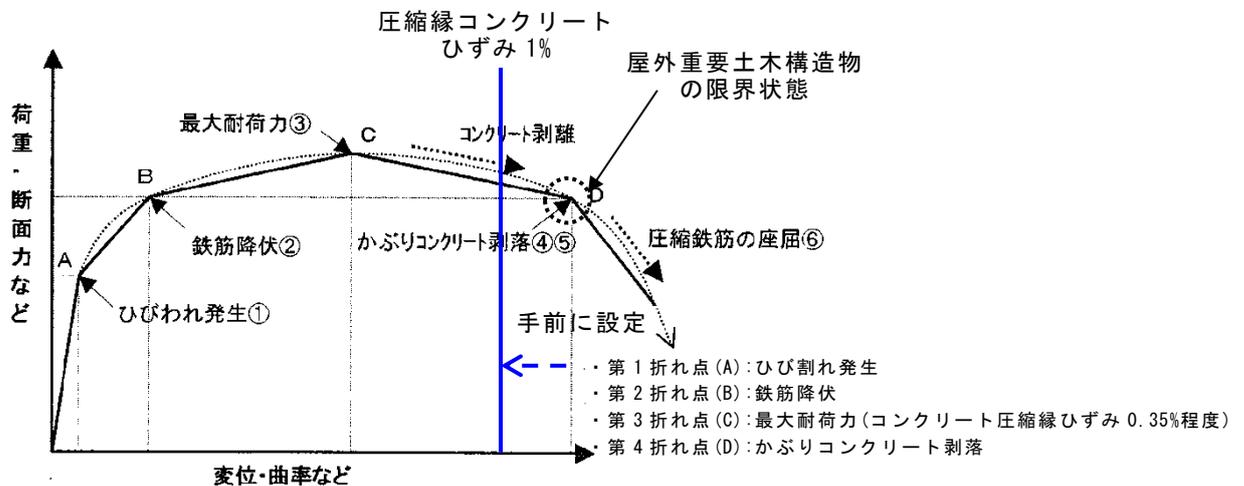


図6.2-2 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図 (土木学会マニュアル2005に加筆)

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 6.2-3 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。

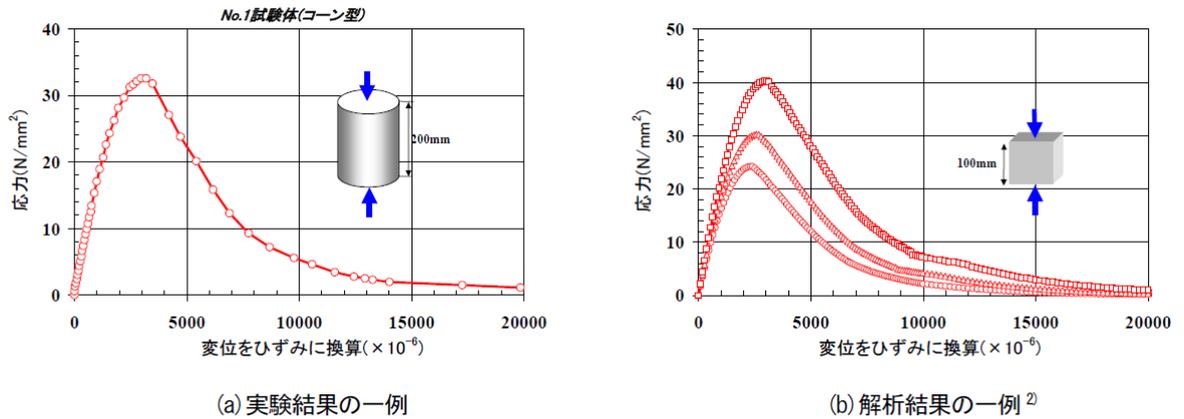


図6.2-3 コンクリートの圧縮ひずみが1.0% (10000 $\mu$ ) 時点における残留応力(土木学会マニュアル2005より引用)

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、日本建築学会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 6.2-4 に示す。日本建築学会 (図 6.2-4) と土木学会マニュアル 2005 (図 6.2-2) は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。

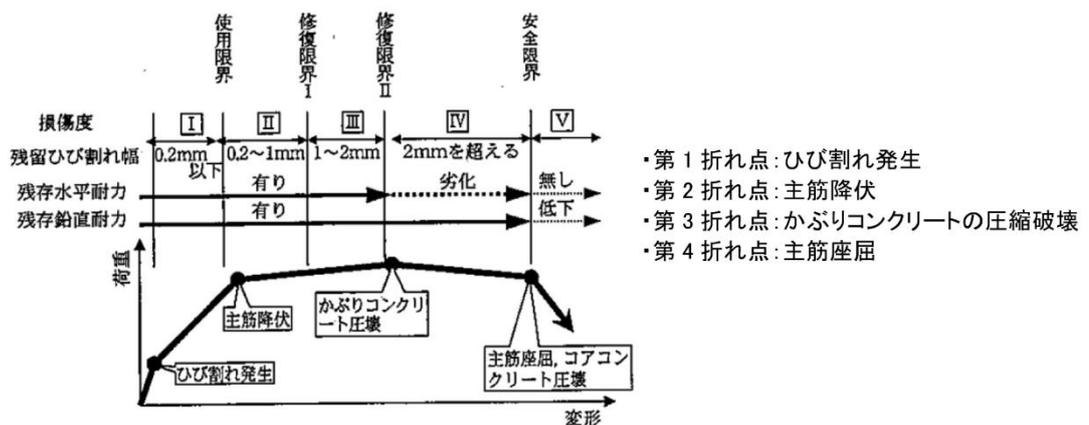


図6.2-4 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態の関係の概念図 (日本建築学会)

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 6.2-1 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）の規格範囲の下限值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6.2-1 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。

#### 6.2.2 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 6.2-2 に記載の基本式によりせん断耐力を算定する。

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6.2-2 セン断耐力式の比較表

	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	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd}$ : セン断耐力 $V_{cd}$ : コンクリート負担 $V_{sd}$ : セン断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p$ : 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 決まる $b_w$ : 腹部の幅 $d$ : 有効高さ $\gamma_b$ : 安全係数	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ $V_{yd}$ : セン断耐力 $V_{cd}$ : コンクリート負担 $V_{sd}$ : セン断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_d, \beta_p$ : 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 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、セン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のセン断耐力式を精緻化</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 イ ー プ ビ ー ム	$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$ $V_{ydd}$ : セン断耐力 $V_{cdd}$ : コンクリート負担 $V_{sdd}$ : セン断補強筋負担 $V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ $a_v$ : 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 決まる	$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$ $V_{ydd}$ : セン断耐力 $V_{cdd}$ : コンクリート負担 $V_{sdd}$ : セン断補強筋負担 $V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ $a_v$ : 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 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6.2-3 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。

## 7. ジョイント要素のばね設定

一般に、地盤と構造物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、地盤は構造物から剥離する特徴がある。また、地盤と構造物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の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造物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。

図7-2の例に示すとおり、屋外重要土木構造物の解析断面で確認される地盤と構造物の接合面にジョイント要素を設定する。

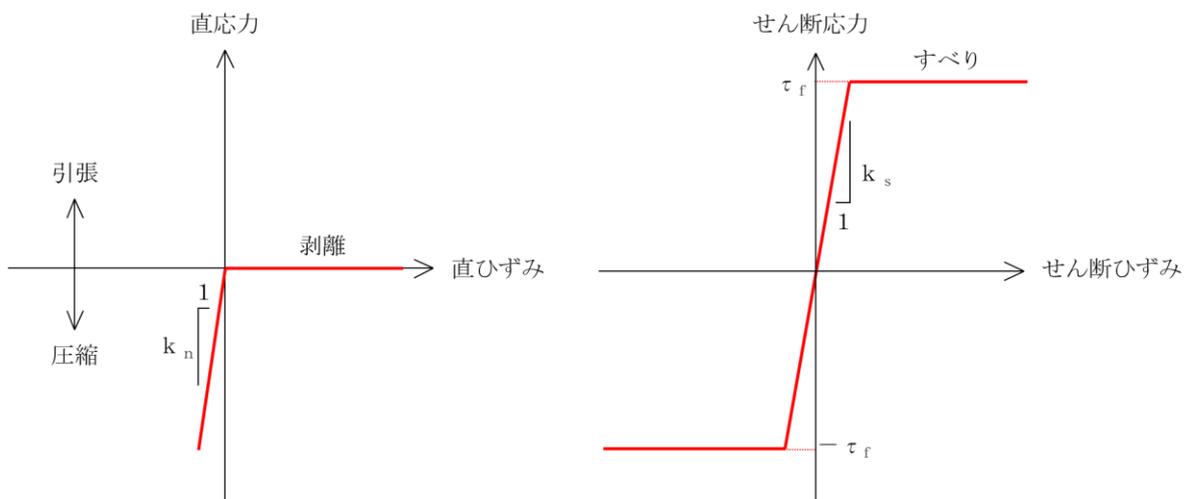


図7-1 ジョイント要素の力学特性

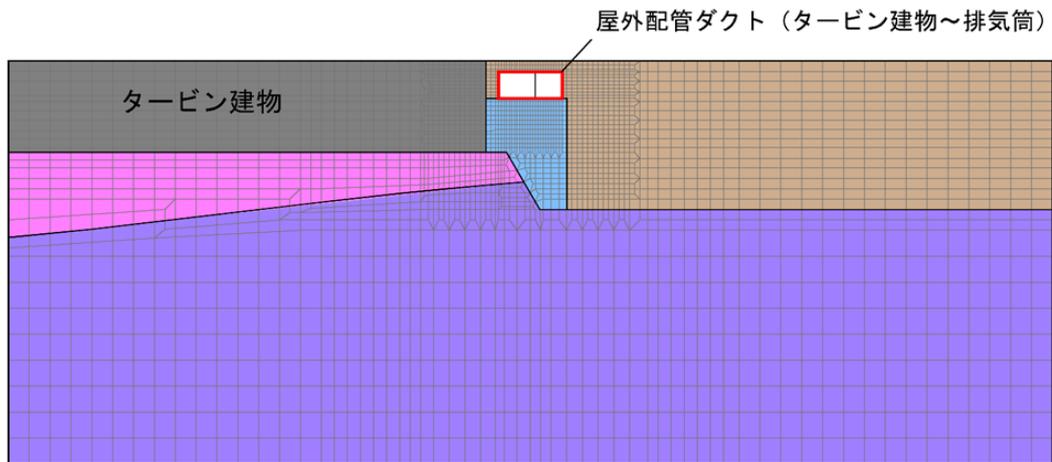
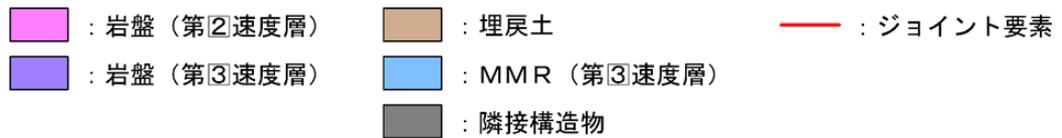


図7-2 ジョイント要素の配置図  
(屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) (A-A断面) の例)

### 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付着力  $c_B$  及び摩擦角  $\phi_B$  は、表 7.1-1 に示す道路橋示方書・同解説IV下部構造編を参考に表 7.1-2 のとおり設定する。周辺地盤の粘着力  $c$  及び内部摩擦角  $\phi$  は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に基づき設定する。

$$\tau_f = c_B + \sigma \tan \phi_B \quad (1)$$

ここに、  $\tau_f$  : せん断強度

$c_B$  : 付着力

$\phi_B$  : 摩擦角

表7.1-1 道路橋示方書における摩擦角  $\phi_B$  及び付着力  $c_B$

表-解 10.3.4 摩擦角と付着力

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

ただし、 $\phi$ : 支持地盤のせん断抵抗角 (°)  $c$ : 支持地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

## 7.2 ばね定数の設定

ジョイント要素のばね定数は、「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）」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

せん断剛性 $k_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	圧縮剛性 $k_n$ (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等を確認する。

## 8. 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耐震性を有する建物・構築物（原子炉建物等）とし、等価剛性でモデル化する。

各パターンにおける隣接構造物のモデル化の方針は以下のとおりとし、評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例を図 8-1 に示す。

### (a) 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合

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。

### (b) 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。

### (c) 評価対象構造物と隣接構造物の間がマンメイドロック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マンメイドロック（以下「MMR」という。）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MMR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MMR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。

### (d) 評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合（隣接構造物が評価対象構造物の解析モデル範囲外にある場合）

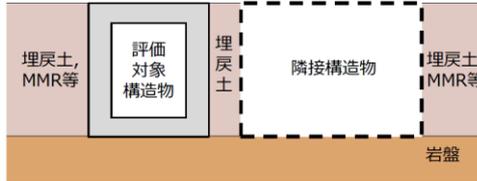
評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない、又は評価対象構造物と隣接構造物の間が十分な離隔を有する場合、隣接構造物の応答が評価対象構造物の地震時応答に与える影響は小さいことから、隣接構造物はモデル化しない。

### (e) 評価対象物の周辺にモデル化対象の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合

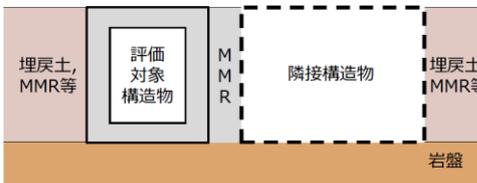
評価対象構造物の周辺に、モデル化対象の建物・構築物（原子炉建物等）以外の構造物が隣接する場合、隣接構造物をモデル化せず、埋戻土としてモデル化する。



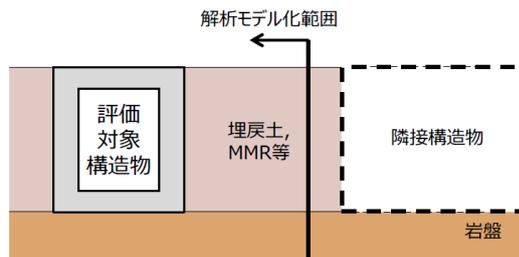
(a) 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合



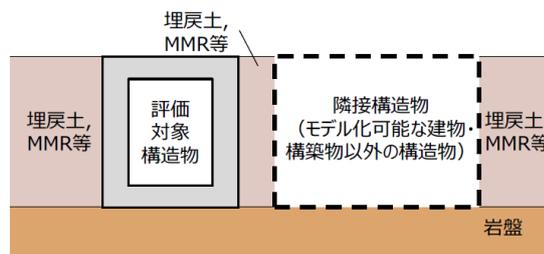
(b) 評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻土で埋め戻されている場合



(c) 評価対象構造物と隣接構造物の間がMMRで埋め戻されている場合



(d) 評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合（隣接構造物が評価対象構造物の解析モデル範囲外にある場合）



(e) 評価対象物の周辺にモデル化対象の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合

図8-1 評価対象構造物と隣接構造物の位置関係の例

## 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、応カー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（曲げモーメントー曲率関係又はコンクリート、鉄筋の応カーひずみ関係）の程度に応じた値、地盤の履歴減衰は地盤の非線形性（せん断剛性ーせん断ひずみ関係）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、「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）」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。

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

$h_i$  : 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。

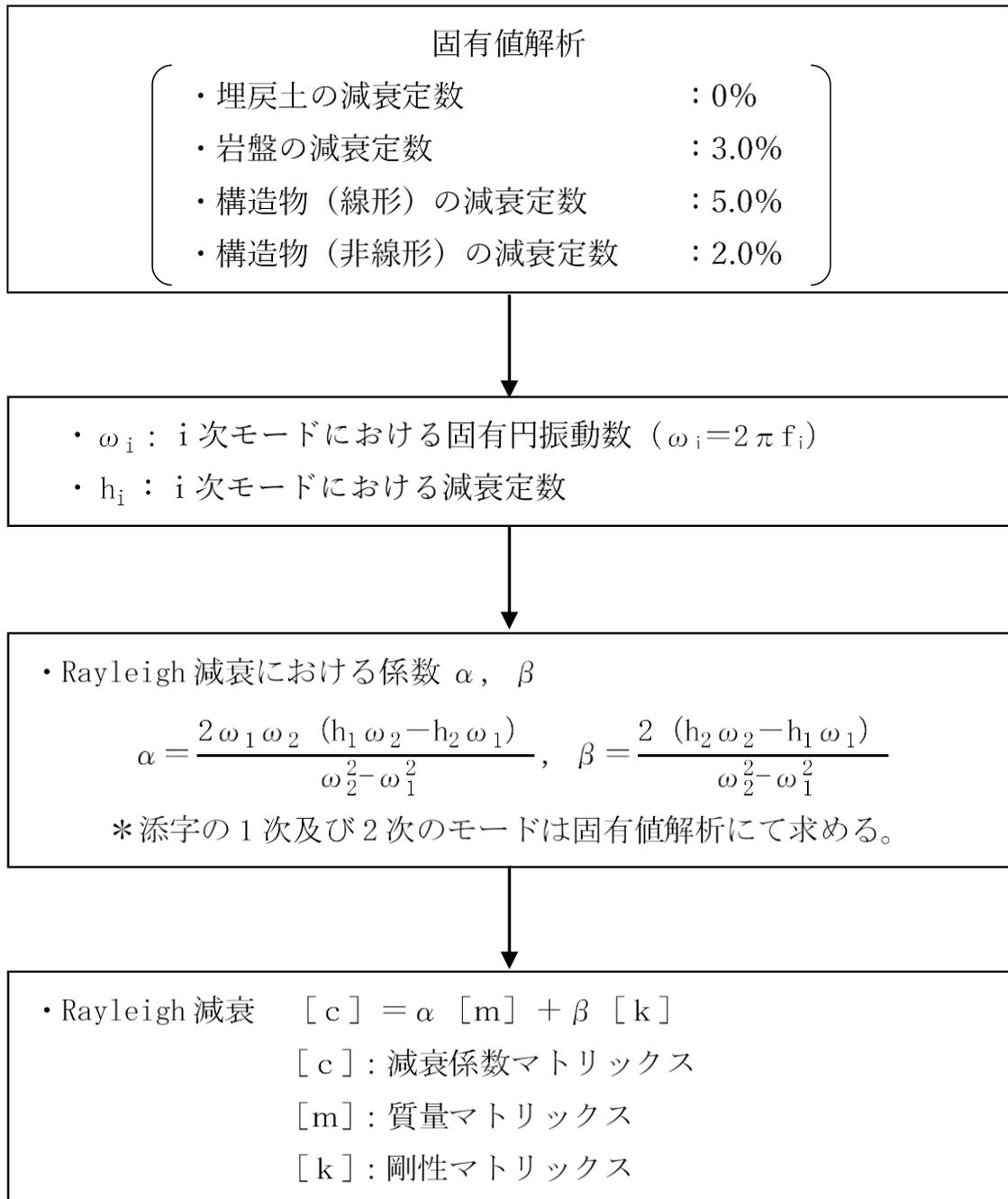


図9.1-1 Rayleigh減衰の設定フロー

## 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。

## 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。

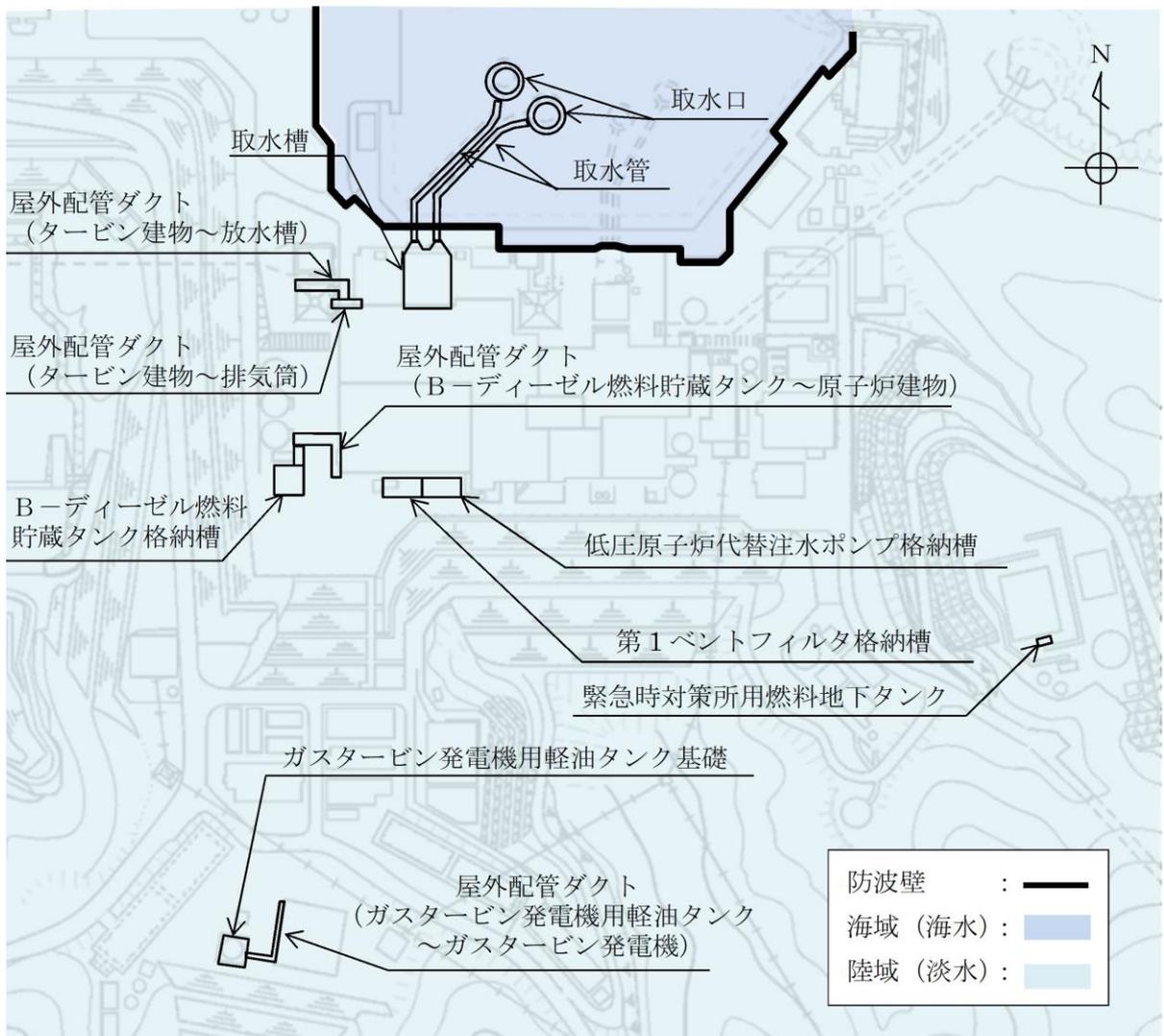


図12.1-1 屋外重要土木構造物の耐震評価に用いる地下水の整理

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、循環水ポンプ稼働時の水位である EL-0.30m 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。

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、運用上の水位である 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。