

「地中構造物の耐震性能照査高度化」に関する公開講演会

屋外重要土木構造物の耐震性評価の概要

平成28年7月27日 和仁雅明



INDEX

- 01 | 屋外重要土木構造物とは
- 02 | 屋外重要土木構造物の耐震性評価の概要
- 03 | 評価例
- 04 | さらなる安全性向上へのとりくみ

01

屋外重要土木構造物とは

01 | 屋外重要土木構造物とは



原子力発電所の土木構造物

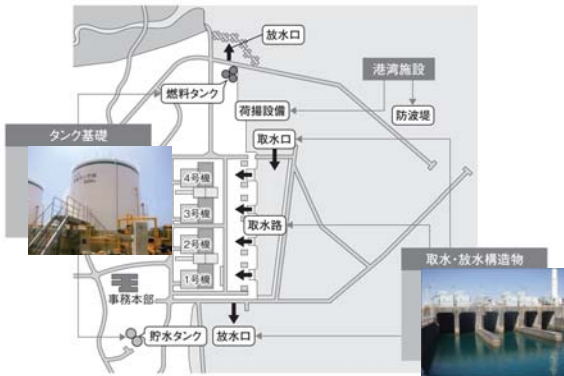
土木構造物の種類	概要（具体例）
取水・放水構造物	タービンを駆動させた後の蒸気を冷却し水に戻すために使う冷却水について、海から取り入れ、また、海に戻すための構造物。 (例) 取水口、取水路、取水ピット、放水路、放水口
配管・ケーブル用ダクト	取水口から取り入れた海水を発電所内に循環させる配管や燃料油・用水等の移送用配管、電気・計測関係のケーブル類を収納するための地中構造物。 (例) 海水管ダクト、電気ケーブルダクト
タンク基礎	非常用ディーゼル発電機の燃料油や発電所内で使用する用水等のタンクを間接支持する基礎構造物。 (例) 燃料タンク基礎
港湾施設	海路で輸送される原子燃料や資機材を荷揚げするための専用施設や棧橋、港湾施設を波浪から守る防波堤等。 (例) 防波堤、棧橋
その他施設	その他発電所の管理に必要な諸設備。 (例) 道路、橋梁、排水路

出典：鹿島出版会「原子力耐震工学」

01 | 屋外重要土木構造物とは



原子力発電所の土木構造物



出典：鹿島出版会「原子力耐震工学」

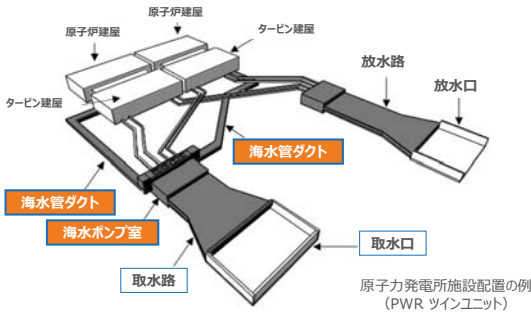
01 | 屋外重要土木構造物とは



原子力規制委員会「耐震設計に係る工認審査ガイド」 (平成25年6月)

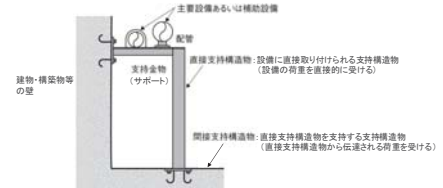
屋外重要土木構造物とは、**耐震安全上重要な機器・配管系の間接支持機能**、もしくは**非常時における海水の通水機能**を求められる土木構造物であり、非常用取水設備に関連する海水ポンプ室基礎、海水管ダクト等を対象とする。

- ① 耐震設計上重要な **機器・配管系の間接支持機能** を有する構造物
- ② **原子炉の冷却に必要な海水の通水機能** を有する構造物



「間接支持機能」とは (設備区分)

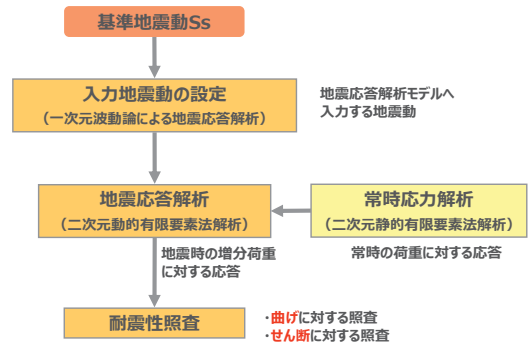
主要設備	当該機能に直接的に関連する系統
補助設備	当該機能に間接的に関連し、その補助的役割を持つ設備
直接支持構造物	設備に直接取り付けられる支持構造物 ・設備の荷重を直接的に受ける支持構造物
間接支持構造物	直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物 →直接支持構造物を支持する構造物
設備相互間の影響を考慮すべき設備	下位の分類に属するものの破損によって上位の分類に属するものに波及的影響を及ぼすおそれのある設備



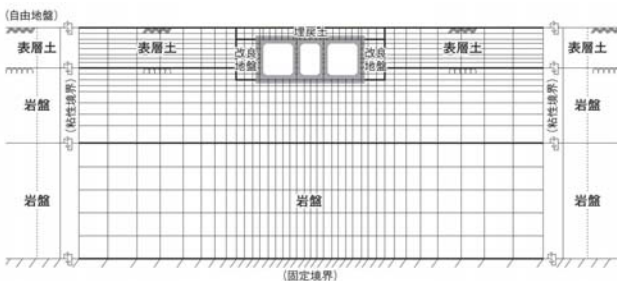
02

屋外重要土木構造物の耐震性評価の概要

耐震性照査の手順



地震応答解析モデルの例 (地盤 - 構造物連成系の二次元 FEM 解析)



地盤 - 構造物連成系の地震応答解析手法の分類

解析手法の区分		地震応答解析	
項目		線形解析	非線形解析
材料モデル	地盤	等価線形 ひずみ振幅に依存した剛性、減衰を考慮	全応力あるいは有効応力に基づく非線形モデル
	構造物	初期剛性 等価線形 (剛性低下)	鉄筋コンクリート部材としての非線形性を考慮した履歴依存マクロモデル コンクリートおよび鉄筋の非線形性を考慮した材料構成則モデル
解析により求められる応答値	応力	曲げモーメント 軸力	曲げモーメント、軸力 圧縮線コンクリートひずみ、曲率、層間変位
		せん断力	せん断力 せん断ひずみ

地震応答解析における構造物のモデル化（非線形）

解析手法	部材非線形モデル	材料非線形モデル		
モデル化	骨組	有限要素		
解析次元	一次元	二次元	三次元	
構成則	M-φ、M-θなど	応力ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面要素	立体要素
ガウス積分	M-φ、M-θなど	M-φに変換	応力-ひずみ	
特徴	汎用性	狭い ← → 広い		
	解析時間	短い ← → 長い		

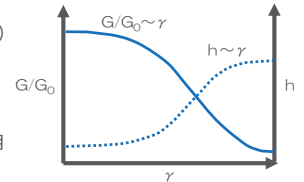
地震応答解析における地盤のモデル化

解析手法	タイムイタシ	材料特性	非線形の扱い	支配方程式
全応力モデル	非考慮	一定	等価線形	一相系
有効応力モデル	考慮	逐次変化	非線形モデル (骨格曲線、 履歴曲線、 履歴法則)	

◆地盤のせん断変形に対して、**剛性および減衰のひずみ依存性**を考慮 ($G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$)

- ◆代表的な骨格曲線（全応力モデル）
- ・ R-Oモデル
 - ・ H-Dモデル
 - ・ GHEモデル

◆履歴曲線は通常、Masing則を適用



耐震性能と地震応答解析手法との対応

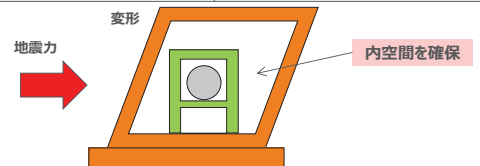
区分	目標性能	選択される標準的な解析手法			
	限界状態	線形解析	等価線形解析	部材非線形解析	材料非線形解析
1	構造物の構成部材が降伏に至らない	↑	↑	↑	↑
2	構造物が最大耐力に至らない	↑	↑	↑	↑
3	構造物が崩壊しない	↑	↑	↑	↑

簡易 (労力小) → 詳細 (労力大)

出典：鹿島出版会「原子力耐震工学」

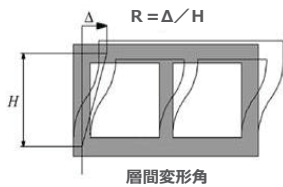
要求性能に対する構造物の限界状態

要求性能	構造物の限界状態
機器・配管の支持機能の維持 (スクラスの機器・配管を安全に支持)	① 構造物が終局状態に至らない ・ 構造物の内空間を確保 ② 機器・配管の制約条件を満足する ・ 機器の稼働を維持 ・ 配管を潰さない
非常用の通水機能維持 (通水断面を閉塞しない)	① 構造物が終局状態に至らない ・ 構造物の内空間を確保 (必要量の海水が取水可能であること)

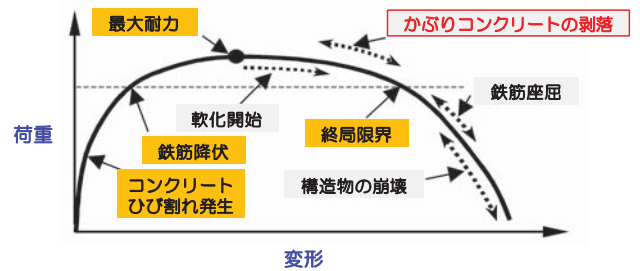


耐震性照査における構造物の限界値

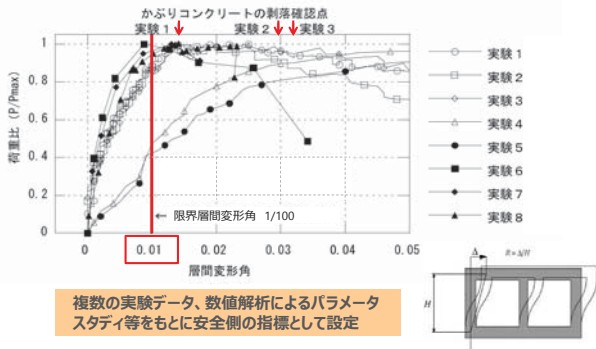
照査項目	限界値
曲げ破壊	圧縮線コンクリートひずみ 1.0%
	圧縮線コンクリートひずみ 1.0% に対応する曲率
	圧縮線コンクリートひずみ 1.0% に対応する層間変形角
せん断破壊	層間変形角 1/100
	せん断耐力 (せん断耐力評価式による方法)
	せん断耐力 (材料非線形解析による方法)



鉄筋コンクリート構造物の破壊過程（曲げ系破壊の場合）

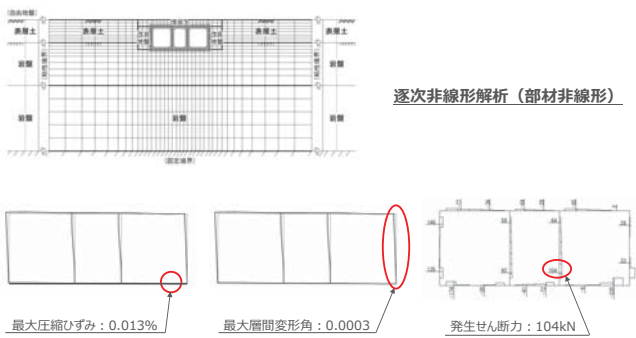


層間変形角1/100を指標とする根拠

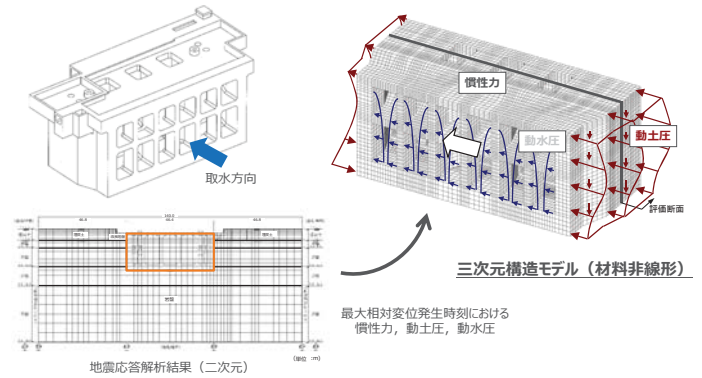


03 | 評価例

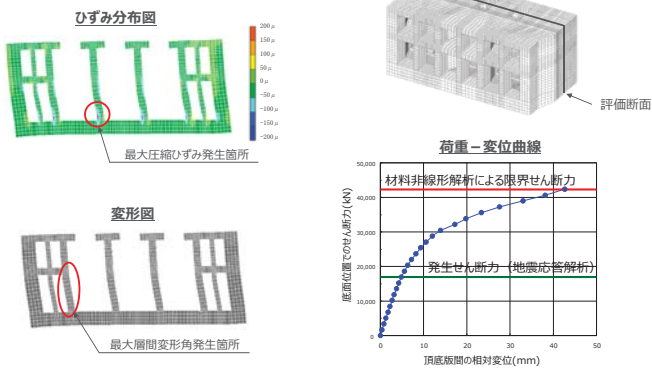
評価例-1：配管ダクト（3連ボックスカルバート）



評価例-2：海水ポンプ室（箱型構造）



評価例-2：海水ポンプ室（箱型構造）



04 | さらなる安全性向上へのとりくみ

新規規制基準の概要

＜従来の規制基準＞

＜新規規制基準＞

＜基本的な考え方＞

耐震・耐津波性能
自然現象等に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能

耐震・耐津波性能	設計基準
自然現象等に対する考慮 (竜巻・火山・森林火災を明記)	
火災に対する考慮	設計基準
内部溢水に対する考慮	
電源の信頼性	
その他の設備の性能	
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)	重大事故基準
格納容器破損防止対策	
放射性物質の拡散抑制対策	
意図的な航空機衝突への対応	

●共通要因による安全機能の
一斉喪失を防止
・自然現象の想定と対策を
大幅に引き上げ
・自然現象以外（例：火災等）
でも対策を強化

●万一の重大事故等に備えた
対策を要求
①炉心損傷防止
②格納容器破損防止
③放射性物質拡散抑制
→それぞれ対策を確し、多段階にわたる
防護措置を講じる
●テロとしての航空機衝突への
対策も要求

重大事故に備えた対策
(電力会社の
自主的な取り組み)

浜岡原子力発電所の安全性向上対策（設計基準への対応）

【重大事故等に至らせない】

様々な事態に対しても、原子炉施設の安全を確保するための機器が機能喪失しないようにします。

＜地震対策＞

- ①配管サポート工事
- ②配管高補強工事（震災以前の当社自主対策）



＜津波対策＞

- ①防波壁・敷地東西盛土
- ②取水槽溢水防止壁
- ③大物搬入口
- ④建屋開口部自動閉止装置



＜その他自然災害・火災対策＞

- ①内部火災対策
- ②内部溢水対策
- ③飛来物防護対策
- ④軽油タンクの地下化
- ⑤防火壁



□ ○ 土木構造物（一部を含む）

津波対策における土木構造物の例

敷地東西盛土（改良盛土）



防波壁



取水槽溢水防止壁



浜岡原子力発電所の安全性向上対策（重大事故基準への対応）

【重大事故等に備える】

仮に原子炉施設の安全を確保するための機器が機能喪失しても、冷やす機能確保し、重大事故に至らないようにします。

また、万一が重大事故等が発生した場合に備え、事故の進展を防ぐ機能を強化します。

＜電源対策＞

- ①ガスタービン発電機
- ②電源車
- ③予備蓄電池
- ④災害対策用発電機



＜注水対策＞

- ①緊急時淡水貯槽
- ②可搬型注水ポンプ車
- ③可搬型取水ポンプ車



＜除熱対策＞

- ①緊急時海水取水設備
- ②フィルタベント設備
- ③代替熱交換器車



＜その他対策＞

- ①緊急時対策所増設
- ②可搬設備保管場所・アクセスルート



□ ○ 土木構造物（一部を含む）

重大事故対策における土木構造物の例



緊急時淡水貯槽



ベントフィルタ格納槽



緊急時海水取水設備（EWS）



01 | 屋外重要土木構造物とは

- ・耐震安全上重要な機器・配管系の間接支持機能
- ・非常時における海水の通水機能

02 | 屋外重要土木構造物の耐震性評価の概要

- ・手順、解析手法、モデル化（地盤-構造物連成系）
- ・要求性能に対する限界値の設定の考え方（曲げ、せん断）

03 | 評価例

- ・配管ダクト（部材非線形解析）
- ・海水ポンプ室（材料非線形解析）

04 | さらなる安全性向上へのとりくみ

- ・新規規制基準への対応（要求性能、外力条件の多様化）
- ・安全対策工事における土木構造物（浜岡の事例紹介）



中部電力