

「鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査技術」に関する講習会

## 屋外重要土木構造物の耐震性能照査の現状

小委員会副幹事長  
両角 浩典(関西電力)

### 原子力発電所の耐震設計(その1)

大地震に遭遇した場合にも一般公衆及び従事者等に過度の放射線被曝を与えないように施設を設計

#### <原子力発電所の安全確保>

原子炉を「止める」、「冷やす」  
放射線を「閉じこめる」

2

### 原子力発電所の耐震設計(その2)

耐震安全性を合理的に担保するため  
各施設を安全上の観点から重要度分類し、  
設計を実施

**Sクラス** 基準地震動  $S_s$

**Bクラス** 建築基準法の1.5倍の地震力

**Cクラス** 一般と同程度

3

### 耐震設計上の重要度分類(その1)

自ら放射線を内蔵している又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能喪失により放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの、並びにこれらの事故発生の際に外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響の大きいもの

**Sクラス**

**Bクラス**

上記において、影響が比較的小さいもの

**Cクラス**

Sクラス、Bクラス以外であって、一般産業施設の同等の安全性を保持すればよいもの

4

### 耐震設計上の重要度分類(その2)

**Sクラス**

「止める」「冷やす」「閉じこめる」の機能を確保する重要な機器類

**Bクラス**

**Cクラス**

下位に属するものの破損が上位に属するものに波及的影響を及ぼしてはいけない

5

### 耐震設計 耐震クラスごとの耐震設計方針

耐震重要度分類	地震荷重	施設の状態
Sクラス	基準地震動 $S_s$ による地震力 弾性設計用地震力 $S_d$ による地震力 静的地震力 $(3.0 \times C_i)$	安全機能が保持される 耐える(概ね弾性範囲)
Bクラス	静的地震力 $(1.5 \times C_i)$ 共振のおそれのある施設について、その影響を検討する。 その際は、「 $0.5 \times$ 弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力」の考慮を可とする。	耐える(概ね弾性範囲)
Cクラス	静的地震力 $(1.0 \times C_i)$	耐える(概ね弾性範囲)

注) 基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  は、水平方向および鉛直方向の地震動をそれぞれ策定  
注)  $C_i$ : 地震層せん断力係数。なお、標準せん断力係数  $C_0=0.2$ 、地域係数  $Z=1.0$  とする。

6

原子力発電所の  
主な屋外重要土木構造物に係わる設備系統およびその機能

設備系統	主な屋外重要土木構造物および要求される機能		
S ク ラ ス	原子炉補機冷却系設備 (PWR・BWR共通設備)	取水ピット	非常時に、機器ポンプなど安全に保持する
		海水管ダクト	非常時に、海水管を安全に保持する
	非常用電源設備 (PWR・BWR共通設備)	ディーゼル発電用燃料タンク基礎	非常時に、ディーゼル発電用タンクを安全に保持する
		ディーゼル発電用燃料配管ダクト	非常時に、ディーゼル発電用油配管を安全に保持する
	間 接 支 持 機 能	燃料取替用水タンク基礎	非常時に、筒場熱を除去するためのホウ酸水等を確保するため、各タンクを安全に保持する
		復水タンク基礎	
		燃料取替用水配管ダクト	非常時に、各配管を安全に保持する
		復水配管ダクト	
	安全注入系・補助給水系設備 (PWR設備)	非常用ガス処理系配管ダクト	非常時に、非常用ガス処理系配管からの漏気を防ぐために、配管を安全に保持する
		排気筒基礎	非常時に、制限高度以下からの漏気を防ぐために、排気筒を安全に保持する
非常用ガス処理系設備 (BWR設備)	取水口	非常時に、必要水量を確保する	
	取水路		
	取水トンネル		
	取水ピット	非常時に、必要水量を確保する	

7

本指針・マニュアルで扱う屋外重要土木構造物

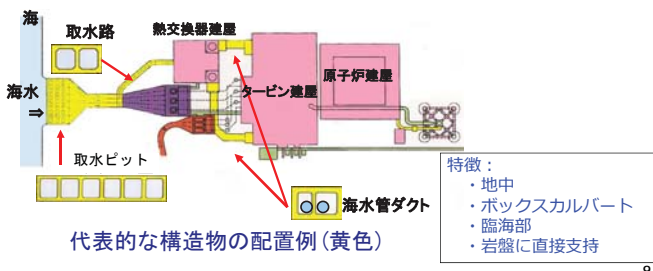
- **Sクラスの機器・配管系** (耐震安全性を直接的に担保する設備) の**間接支持機能**が求められる**鉄筋コンクリート構造物** (例: 取水ピット、海水管ダクト)
- **非常時における海水の通水機能**が求められる**鉄筋コンクリート構造物** (例: 取水口、取水路、取水ピット)

※ 基礎(マスコンクリート)は対象としない

8

屋外重要土木構造物の例 (BWR施設)

- 耐震重要度分類におけるSクラスの機器・配管系の**間接支持機能**が求められる**鉄筋コンクリート構造物**
- 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**
- 上記と同等の**耐震安全性**が要求される**鉄筋コンクリート構造物**



9

性能の表現

**要求性能**: 社会的に求められる構造物の性能、性能の周知を意図として表現される

**目標性能**: 要求性能に対して工学的な目標となる性能、想定する荷重作用と、構造物の許容しうる限界状態にて記述される

耐震性能  
耐久性能  
として設定する

**照査項目**: 照査を実施する項目、実際に照査が可能な項目として各目標性能を書き下したのもの

曲げ破壊しない  
せん断破壊しない  
など

10

屋外重要土木構造物の性能 (その1)

**要求性能**

(設定する内容が一般的・社会的に理解しやすい表現で)

- 間接支持機能が求められる屋外重要土木構造物  
→ **機器・配管の各機能を維持するように支持**  
(機器・配管が海水を吸い上げたり、流したりするのを維持)
- 非常時の通水機能が求められる屋外重要土木構造物  
→ **冷却用海水を取水、通水する機能を維持**

**目標性能** (要求性能に対して工学的な目標を示すもので、構造物の許容しうる限界状態として表現する)

11

屋外重要土木構造物の性能 (その2)

**目標性能**

- 間接支持機能が求められる屋外重要土木構造物  
→ **機器・配管が機能維持のための制約条件を満足**  
(機器・配管から提示される条件)  
**構造物が崩壊しない**
- 非常時の通水機能が求められる屋外重要土木構造物  
→ **構造物が崩壊しない**

**照査項目** (限界状態の具体的な評価指標として表現される  
→ 部材の断面力やひずみ、構造物の変形量など)

12

## 耐震性照査に用いる解析手法

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

13

## 耐震設計

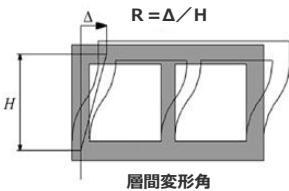
## 地中構造物の耐震解析

		地震応答解析			
		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	等価剛性 (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材料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	曲げモーメント	曲げモーメント	曲げモーメント
		軸力	軸力	軸力	軸力
		せん断力	せん断力	せん断力	せん断力

14

## 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	圧縮縁コンクリートひずみ <b>1.0%</b>
	圧縮縁コンクリートひずみ <b>1.0%</b> に対応する曲率
	圧縮縁コンクリートひずみ <b>1.0%</b> に対応する層間変形角
	層間変形角 <b>1/100</b>
せん断破壊	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)



15

## これまでの取り組み(前史)

- 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」 1992年9月刊行 <岡村甫主査>  
⇒限界状態設計法、地盤・構造物連成解析、分布荷重でのせん断耐力評価
- 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」 2002年5月刊行 <岡村甫主査>  
⇒大型せん断土槽振動台実験、動的非線形解析、変形性能照査
- 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(改訂版)」 2005年6月刊行 <丸山久一主査>  
⇒地盤モデルの適用性、上下動の取扱い、せん断照査の合理化
- 「原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン」 2008年7月刊行 <宮川豊章主査>  
⇒経年化した構造物の健全性
- 「原子力発電所屋外重要土木構造物の構造健全性評価に関するガイドライン(改訂版)」 2012年10月刊行 <宮川豊章主査>  
⇒地震損傷の影響

16

## 屋外重要土木構造物に係る研究課題

### 現状

#### 耐震性能照査指針・マニュアル(2005)

特長: ①地盤と構造物の連成を考慮した動的非線形地震応答解析, ②塑性変形・限界状態を考慮した性能照査, ③耐久性能照査の位置づけを明確化

⇒構造健全性評価ガイドライン(2012)の刊行

### 課題

①構造物の横断面方向の評価のみ(二次元解析), ②せん断は耐力照査まで, ③耐久性能照査では補修効果は未考慮, ④機器・配管への影響は別途考慮, ⑤既設構造物の材料物性に実測値の影響は未考慮

### 目指す方向

#### 耐震性能照査指針・マニュアル(2018)

①三次元応答解析と②変形指標を適用可能な耐震性能照査および③補修効果を考慮した耐久性能照査, ④機器類との境界部の影響も考慮可能な照査, ⑤既設構造物も対象

⇒設計想定を超えた状態についても陽に表現

17

以上

18