

地盤安定性評価

平成19年9月13日
(財)電力中央研究所
伊藤 洋

我が国における原子力発電所地盤の耐震安定性に係る関連指針・基準類

原子炉立地審査指針及びその適用に関する判断のめやすについて(1964年5月制定、1989年3月一部改正)

発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針
(原子力安全委員会、1981年7月制定、2006年9月改正)

原子力発電所の地質・地盤に関する安全審査の手引き
(原子炉安全専門審査会内規、1978年8月制定、現在改正作業中)

「原子力発電所地質・地盤の調査・試験法及び地盤の耐震安定性評価法」報告書
(土木学会原子力土木委員会、1985年3月)

原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601補-1987
(日本電気協会電気技術基準調査委員会、1987年8月制定、現在改訂作業中)
原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991
(日本電気協会電気技術基準調査委員会、1991年8月制定)

国の指針類等

民間の基準類等

耐震審査指針の基本方針と耐震重要度分類

【基本方針】

- ・想定されるいかなる地震力に対しても**十分耐震性**を有すること
- ・建物・構築物は原則として、**剛構造**にすること
- ・重要な建物・構築物は**岩盤上に支持**させること

【耐震重要度分類の定義】

地震により発生する可能性のある放射線による環境への影響の観点から、**耐震設計上の施設別重要度を4クラスに分類**(旧指針による)



出典:日本の原子力発電所(CRIEPI)

Asクラス	その破損により冷却材喪失をひき起こすおそれのあるもの、原子炉を緊急停止させ、かつ、安全停止状態に維持するために必要なもの、使用済み燃料を貯蔵するための施設、及び原子炉格納容器
Aクラス	原子炉事故の際に放射線障害から公衆を守るために必要なもの及びその機能喪失が公衆に放射線障害を及ぼすおそれのあるものでAsクラスに属する以外のもの
Bクラス	高放射性物質に関連するものであって、As及びAクラスに属する以外のもの
Cクラス	放射性物質にかかわる施設で、上記耐震クラスに属さないもの、及び放射線安全に関係しない施設

2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

3

原子炉施設の設備区分の考え方

【原子炉施設の設備区分】・施設に課せられる機能の度合い等からの区分

- **主要設備**: ある特定の安全機能に直接関連する系統設備
- **補助設備**: ある特定の安全機能に間接的に関連しその補助的な役割をする設備
- **直接支持構造物**: 主要設備、補助設備に取り付けられる支持構造物、あるいはこれら設備の荷重を直接受ける支持構造物
- **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RC及び鉄骨等の支持構造物
- **設備相互間に影響を考慮すべき設備**: 下位分類のものの破損で上位分類のものに波及的影響を及ぼすおそれのある設備

設備区分と安全機能上からの耐震重要度分類

- 上記設備の設置される**基礎地盤**: 間接支持構造物に準じた取り扱い
- **背後斜面**: その崩壊が安全上重要な設備に影響するおそれのある場合、**設備相互間の影響を考慮すべき設備**に準じた取り扱い
- **屋外重要土木構造物(非常用取水設備)**: 間接支持構造物

Mihama Power Station ●Mihama-cho, Mikata-gun, Fukui Pref.



出典:日本の原子力発電所(CRIEPI)

Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

4

地盤の耐震重要度の考え方

○原子炉建屋基礎地盤:

- ・As～Aクラスを含む建物・構築物を支持するので、間接支持構造物に準じて**Asクラスの耐震設計上の評価(Cクラス(S₂チェック))**

○周辺斜面:

- ・定義:斜面のり尻と重要施設との離間距離が約50m以内の斜面、あるいは斜面高さの1.4倍以内の斜面
- ・地震時に崩壊しても原子炉建屋等に波及的影響を及ぼさないことを確認するために、設備相互間の影響を考慮すべき設備に準じた**Asクラスの耐震設計上の評価(Cクラス(S₂チェック))**

Tomari Power Station Tomari, Hokkaido



北海道電力(株)提供

2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

5

土木構造物の耐震重要度の考え方

○屋外重要土木構造物(非常用取水設備):

- ・取水口、取水路、取水ピット(ポンプ室)、海水管ダクト等の海水管支持構造物
- ・地震時に取水路の通水機能、ポンプ及び海水管支持機能を維持し、地震後も原子炉が完全に停止し、安全停止状態を維持する機能を維持できることのため、**A～Asクラスの耐震設計上の評価(S₁:弾性設計、S₂:機能維持)**。

○その他構造物

- ・港湾施設、復水器冷却水取放水設備、タンク基礎、電気・機器・配管設備基礎、道路・橋梁、擁壁等。
- ・土木学会、建築学会、各種協会、官庁手続き等に示す**関連の基準・指針を参考として設計(Cクラス設計)**
- ・地震時に隣接する構造物に支障を与えないような設計とする。

Shimane Nuclear Power Station ●Kashima-cho, Yatsuka-gun, Sh



出典:日本の原子力発電所

2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

6

施設・構造物の耐震重要度と設計用地震力

	耐震重要度	基準地震動 層せん断力係数 静的震度	水平地震力	鉛直地震力
建物・構築物	As	基準地震動	S_2	$1/2 \cdot S_2$
	As, A	基準地震動	S_1	$1/2 \cdot S_1$
		層せん断力係数 静的震度	$3.0C_1$	C_v
	B	層せん断力係数	$1.5C_1$	---
C	層せん断力係数	C_1	---	
基礎地盤	C(As)	基準地震動相当	S_2 相当	K_v
周辺斜面	C(As)	基準地震動相当	S_2 相当	K_v
屋外重要土木構造物	As~A相当	基準地震動相当	S_1, S_2 相当	K_v

基準地震動 S_1 : 発生源として1万年以降活動した活断層を考慮した設計用最強地震による地震動
基準地震動 S_2 : 発生源として5万年前以降活動した活断層を考慮した設計用限界地震による地震動
 及び直下地震(M6.5)を考慮した地震動

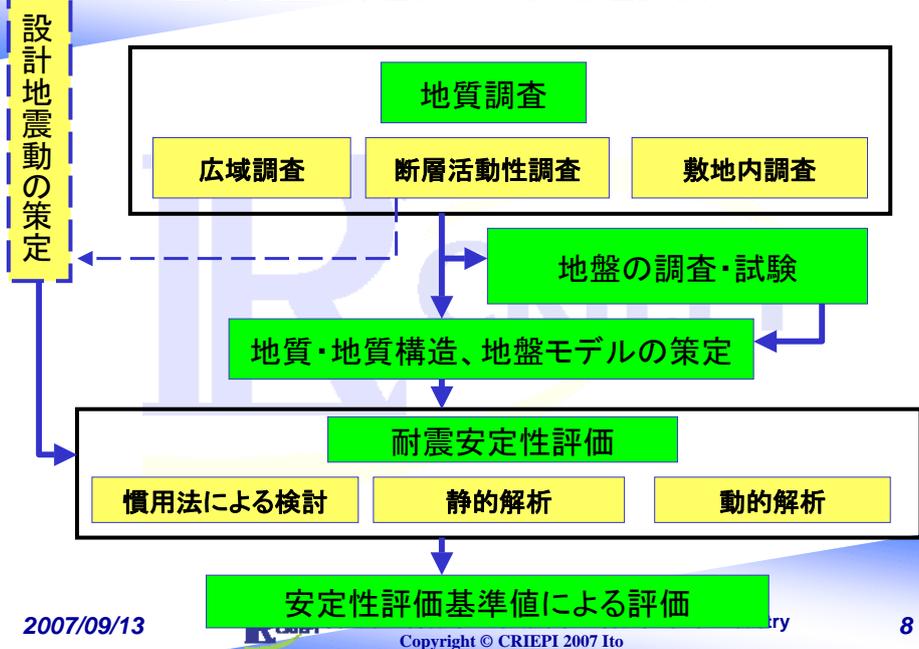
2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

7

基礎地盤・周辺斜面の安定性評価フロー



2007/09/13



Copyright © CRIEPI 2007 Ito

8

地質調査の概要

● 広域地質調査

調査範囲;半径30Km程度
調査の種類;
・文献調査
・地形・リニアメント調査
・地表地質調査
・海底調査(海上音波探査) など



● 敷地内調査及び断層活動性調査

調査範囲;半径1km程度
調査の種類;
・文献調査
・地形・リニアメント調査
・地表地質調査
・ボーリング調査
炉心中心から半径200m程度
深度:基礎幅相当以上
基礎直下で5本のボーリング
・試掘坑調査
建屋基礎底面直上部で互いに直交する横坑
基礎幅を含む適切な長さ
(必要に応じて)
・物理探査
・トレンチ調査
・断層活動年代調査 など

2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

9

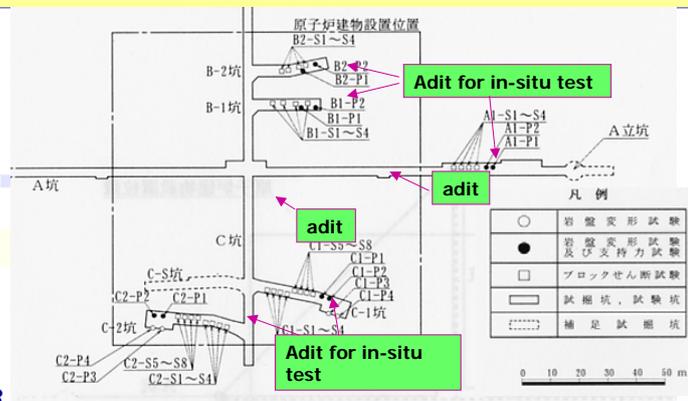
地盤調査・試験の概要

○ 調査範囲;

地盤構造の複雑さ、地盤の応力変化、安定解析用地盤モデルの大きさを考慮して設定

○ 調査・試験の種類;

- ・ボーリング及び試掘坑による地盤構造調査、
- ・室内岩石試験(物理、一軸、三軸試験等)
- ・岩盤せん断試験、
- ・岩盤変形・支持力試験、
- ・弾性波速度試験
- (必要に応じて)
- ・ボーリング孔を利用した孔内載荷試験、透水試験
- ・地下水位変動調査



2007/09/13

Copyright © CRIEPI 2007 Ito

10

基礎地盤及び周辺斜面の設計用地震力

	慣用法及び静的解析		動的解析	
	設計用震度		水平地震動	鉛直地震力
	水平震度	鉛直震度		
原子炉建屋	S_2 または $3C_1$ のうちいずれか大きい方の値	$C_v=1/2 \cdot S_2$ または $C_v=0.3 \cdot R_v$	S_2	$C_v=1/2 \cdot S_2$
基礎地盤	等価震度 K_{H1}	$K_v=1/2 \cdot K_{H1}$	S_2	$K_v=1/2 \cdot K_{H1}$
	$K_{H2}=0.2$ ($S_2=500\text{gal}$ 以下)	$K_v=0.1$	S_2	$K_v=0.1$ ($S_2=500\text{gal}$ 以下)
周辺斜面	等価震度 K_{H3}	$K_v=1/2 \cdot K_{H3}$	S_2	$K_v=1/2 \cdot K_{H3}$
	$K_{H4}=0.3$ ($S_2=500\text{gal}$ 以下)	$K_v=0.15$	S_2	$K_v=0.15$ ($S_2=500\text{gal}$ 以下)

* S_2 : 敷地の解放基盤面 ($V_s=700\text{m/S}$ で第三紀層以前の岩盤)で策定された基準地震動

2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

11

耐震安定性評価－評価項目と評価法－

【 安定性評価項目 】

支持力安定 不同沈下 すべり安定

【 耐震安定性評価手法 】

1) 慣用法による検討

- 支持力安定: 平板載荷結果との比較、あるいは支持力公式による
- 不同沈下: 弾性理論による(プーシネスクによる半無限地盤の理論解)
- すべり安定: ビショップ法、ヤンプ法等によるすべり解析

2) 静的解析

- すべり安定、不同沈下: FEM等による線形および非線形解析

3) 動的解析

- すべり安定、不同沈下: FEM等による動的な線形および等価線形解析

(FLUSH系の周波数応答解析中心)

2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

12

安定性評価基準値

【原子炉建屋基礎地盤】

慣用法 (すべり面法)	静的解析	動的解析
2.0	2.0	1.5

【周辺斜面】

慣用法 (すべり面法)	静的解析	動的解析
1.5	1.5	1.2

* 表中の基準値はすべり安全率に対する耐震性評価の目安



2007/09/13

出典:日本の原子力発電所(CRIEPI)
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

13

改定指針類等—基礎地盤&周辺斜面—

1. 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針
(原子力安全委員会:2006年9月18日改訂)
2. 原子力発電所の地質・地盤に関する安全審査の手引き
(原子力安全委員会:現在改訂作業中)
3. 原子力発電所耐震設計技術指針—JEAG—
(日本電気協会電気技術基準調査委員会:現在改訂中)

【その他関連指針等】

- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・同マニュアル(土木学会原子力土木委員会:2005年6月)
- ・原子力発電所の断層系評価技術(土木学会原子力土木委員会:2004年3月)

2007/09/13

 Central Research Institute of Electric Power Industry
Copyright © CRIEPI 2007 Ito

14

主な改定事項－基礎地盤&周辺斜面関連－

【発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針】改訂版

- ・建物・構築物；岩盤上に支持 ⇒ 十分な支持性能を持つ地盤
- ・耐震重要度分類；4クラス ⇒ 3クラス
(基本的にAs、Aクラス ⇒ Sクラス)
原子炉建屋基礎地盤、周辺斜面；C(As) ⇒ C(S)
- ・基準地震動； S_1 及び S_2 ⇒ S_s で一本化
- ・地震随件事象に対する考慮；周辺斜面の評価

【原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG)】改訂中

- ・安定性評価手法；
慣用法と動的応答解析、必要に応じて静的(非線形)解析
- ・設計用地震動；基準地震動 S_s 、鉛直動も地震動で入力
水平地震動と鉛直地震動を同時入力

2007/09/13



Central Research Institute of Electric Power Industry

Copyright © CRIEPI 2007 Ito

15