資料6(4)

# <u>大飯発電所周辺斜面の安定性評価について</u>

## 関西電力株式会社

## 検討内容

- 〇平成23年11月11日に原子力安全・保安院より「平成23年東北地方太平洋沖地震の 知見等を踏まえた原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価の実施 について(指示)」を受けて大飯周辺斜面の安定性について検討した。
- ○基準地震動Ss(700gal)に対する周辺斜面の安定性について、「想定すべり面でのすべり安全率」等に着目して、原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2008)の評価 基準値1.2を上回るかどうか確認を行い、平成24年2月29日に原子力安全・保安院に対し評価結果について報告した。





・二次元動的有限要素法解析
 ・周波数応答解析手法を用い、
 等価線形化法によりせん断弾
 性係数および減衰定数のひず
 み依存性を必要に応じて考慮

- ※1 地盤の自重により求まる初 期荷重、掘削に伴う解放力 および建屋構築による荷重 を考慮
- ※2 水平地震動および鉛直地 震動による応答の同時性 を考慮

## 周辺斜面安定性評価の流れ



安全率算定フロー

5月14日地震・津波に関する意見聴取会資料より



・要素の応力状態に応じて、ピーク強度、残留強度、強度ゼロを使い分けている。

### (回答)

## ①岩盤等級の判定を行う

風化の度合、岩盤の硬さ、割れ目の間隔、割れ目の状態をもとに区分する

※ 岩盤は表層から次第に風化の程度が進んでくるが、明確な境界があるわけではなく、 評価の便宜上、岩盤等級として区分している。

## ②物性値を設定する

岩盤等級毎にせん断強度等を地盤工学会が定める試験方法により物性値

を設定している

例)輝緑岩の強度特性(平均値)

岩	罊筀級	ピーク強度	残留強度	σn=0.6N/mm²の時 (深度約20mの状態)	
		(N/mm²)	(N/mm²)	ピーク強度 (N/mm <sup>2</sup> )	残留強度 (N/mm <sup>2</sup> )
С	CH級	2. $1 + \sigma_n \times \tan 56. 1^\circ$	<b>2.</b> $6\sigma_n^{0.65}$	2. 99	1. 87
С	M級	1. 4+ $\sigma_{n}^{x}$ tan 38. 9°	<b>2</b> . <b>2</b> σ <sub>n</sub> <sup>0.41</sup>	1. 88	1. 78
C	CL級	0. 20+ $\sigma_{n}$ × tan 35. 1°	<b>Ο. 8</b> σ <sub>n</sub> <sup>0.65</sup>	0. 62	0. 57
	D級	0. 07+ σ <sub>n</sub> ×tan 17. 4°	0. 07 + $\sigma_n$ × tan17.4°	0. 26	0. 26

 $\sigma_n(N/mm^2)$ : すべり面に対して垂直に作用する応力

## 岩盤等級の判定

■岩盤等級の概念



■弾性波速度分布における岩盤等級の境界の例







## 岩盤の物性値(強度特性)

		強度特性(平均値)			強度特性(地盤のばらつきを考慮)		
		せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	<b>内</b> 部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	<b>内</b> 部摩擦角 (度)	残留強度 (N/mm <sup>2</sup> )
輝緑岩	CH級	2.1	56.1	$2.6 \sigma_{n}^{0.65}$	1.1	56.1	$2.2 \sigma_n^{0.65}$
	CM級	1.4	38.9	$2.2 \sigma_{n}^{0.41}$	0.88	38.9	$1.9 \sigma_{n}^{0.41}$
	CL級	0.20	35.1	$0.8\sigma_{n}^{0.65}$	0.13	35.1	0.6 $\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	0.07+σ <sub>n</sub> •tan17.4°	0.05	17.4	0.04+σ <sub>n</sub> •tan17.4°
班れい岩	CH級	2.1	56.1	2.6 $\sigma_n^{0.65}$	1.1	56.1	$2.2 \sigma_n^{0.65}$
	CM級	1.4	38.9	<b>2.2</b> $\sigma_{n}^{0.41}$	0.88	38.9	$1.9 \sigma_{n}^{0.41}$
	CL級	0.20	35.1	0.8 $\sigma_{n}^{0.65}$	0.13	35.1	0.6 $\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	0.07+σ <sub>n</sub> •tan17.4°	0.05	17.4	0.04+σ <sub>n</sub> •tan17.4°
	CH級	2.1	60.3	$2.2\sigma_{\rm n}^{0.62}$	1.2	60.3	$2.0 \sigma_n^{0.62}$
細粒石英	CM級	1.6	50.3	$2.2 \sigma_{n}^{0.58}$	0.78	50.3	$1.9\sigma_n^{0.58}$
閃緑岩	CL級	0.20	35.1	0.8 $\sigma_{n}^{0.65}$	0.13	35.1	0.6 $\sigma_n^{0.65}$
	D級	0.07	17.4	0.07+σ <sub>n</sub> •tan17.4°	0.05	17.4	0.04+σ <sub>n</sub> •tan17.4°
頁岩	CH級	2.1	60.3	$2.2 \sigma_n^{0.62}$	1.2	60.3	$2.0 \sigma_n^{0.62}$
	CM級	1.6	50.3	<b>2.2</b> $\sigma_{n}^{0.58}$	0.78	50.3	$1.9 \sigma_{n}^{0.58}$
	CL級	0.20	35.1	0.8 $\sigma_{\rm n}^{0.65}$	0.13	35.1	0.6 $\sigma_{n}^{0.65}$
	D級	0.06	18.3	0.06+ $\sigma_n$ ·tan18.3°	0.05	18.3	0.04+σ <sub>n</sub> •tan18.3°
崖錐堆積物, 新期扇状地堆積物 および沖積層		0.02	26.7	$\sigma_n$ •tan26.7°	0.01	26.7	$\sigma_n$ •tan26.7°
段丘堆積物		0.03	25.0	$\sigma_{n}$ •tan25.0°	0.02	25.0	$\sigma_{n}$ •tan25.0°
盛土および埋め戻し土		0.09	18.2	$\sigma_{n}$ •tan18.2°	0.08	18.2	$\sigma_n$ •tan18.2°
破砕帯		0.08	19.5	$\sigma_n$ •tan19.5°	0.06	19.5	$\sigma_n$ •tan19.5°

 $\sigma_n(N/mm^2)$ : すべり面に対して垂直に作用する応力

(回答)

#### 〇多数の円弧に対して想定すべり面を設定

評価の一例

〇円弧の中心(格子位置)および半径を多数変化させて検討する



〇最も厳しい安全率となる想定すべり面を抽出し、その面ですべりが発生するかどうかを詳細検討する。
〇この方法は、これまでの原子力発電所の斜面安定性評価やダム等の評価で一般的に用いられているものである。

10

(回答)

- 〇斜面は一体の岩盤であり、岩盤等級の境界面に弱部となる境界面が存在するというものではない。
- Oすべり安全率は、想定すべり面において、自重と地震力により求まる滑動力と、せん断 強度より求まる抵抗力とのバランスで決まり、必ずしも岩盤等級の境界面でのすべり安 全率が小さくなるわけではない。

例)1·2号機周辺斜面(B-B'断面)



すべり面①は、すべり面②に比べて岩盤等級 が低く、抵抗力は小さいが、自重が小さく地震 力も小さくなる効果により安全率は大きくなった



11

#### ■1·2号機周辺斜面(B-B'断面)



すべり安全率はいずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している



### ■1・2号機周辺斜面(①-①'断面)



すべり安全率はいずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している



■ 1·2号機周辺斜面(②-②' 断面)



すべり安全率はいずれも評価基準値1.2を上回ることから、すべりに対して十分な安定性を有している

評価結果すべり安全率一覧表(4)

■ 3·4号機周辺斜面(A-A'断面)



### 1・2号機周辺斜面表層部の検討

①一①'断面および②一②'断面の表層部において、風化等の影響 により強度が小さな自然の地盤が存在する為、その表層部の変位 量について基準地震動Ss(700gal)による検討を行った。



### 表層部の変位量の評価手法

地震時応答解析の応力結果を用いて、表層部の滑動力が抵抗力を上回る時間と、その時の 角速度を求め、累計での滑動変位量を算出



角加速度 $\ddot{\theta} = (M_D - M_R)/J$				
角速度	$\dot{\theta}_{t+\Delta t} = \dot{\theta}_t + \frac{1}{2} \left( \ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t} \right) \Delta t$			
角変位	$\theta_{t+\Delta t} = \theta_t + \dot{\theta}_t \Delta t + \frac{1}{6} \left( 2\ddot{\theta}_t + \ddot{\theta}_{t+\Delta t} \right) \Delta t^2$			
変位	$\delta = R \cdot \theta$			
$      heta$ :回転角、 $J$ :慣性モーメント $     M_D$ :滑動モーメント= $F_D \times R$ 、 $M_R$ :抵抗モーメント= $F_R \times R$ $     F_D$ :地震応答解析から求まるすべり面上の滑動力合計(時刻歴) $     F_R$ :地震応答解析から求まるすべり面上の抵抗力合計(時刻歴) $     R$ :すべり円弧の半径				

滑動モーメント 抵抗モーメント

 $M_D > M_R$ となった(角加速度>0)時刻、すなわち滑動力が抵抗力を上回る時刻から角速度0となる時刻まで変位計算

### 1・2号機周辺斜面表層部の検討結果



念のため、安全率が1を下回った時刻以降はすべて残留強度として滑動変位量を算出した結果でも滑動力が抵抗力を上回る時間は小さい ① - ① ' 断面:表層部の変位量0.11cm(滑動力が抵抗力を上回る時間0.05秒)

②-②'断面:表層部の変位量2.50cm(滑動力が抵抗力を上回る時間0.39秒)

18

#### (回答)

- 1・2号機周辺斜面には風化等の影響により強度が小さな自然の地盤が存在し、その表層部に変位が生じる為、 念のため耐震裕度向上工事を行う。
- 〇一方、3・4号機側周辺斜面には、建設時に既に表層部の自然の地盤は切取り済みであり、原子炉建屋側への 変位は生じない為、対策は不要である。



3・4号機周辺斜面について(切取り済み)

(3-4号機周辺斜面)



平面図

3・4号機周辺斜面については、建設時に既に表層を切取済みである。

1・2号機耐震裕度向上工事について

5月14日 意見聴取会資料

原子力安全·保安院

20

■耐震裕度向上工事について

- コメント回答(3)-4

・1・2号機周辺斜面の表層部分については、変位量は極めて小さく、滑動力が抵抗力 を上回る時間も極めて短いことから、表層部が滑落し、施設の安全機能に重大な影響 を与えることは無いものと考えられる。

・事業者からは意見聴取会でのコメントを踏まえ、耐震裕度向上を図るための対策工事 (次ページの対策工事(案)参照)を今後実施すると聞いている。

スケジュール(案)

※国定公園内の工事であることから、自然公園法許認可担当箇所(福井県)と今後調整を 行いながら設計を行う必要があり、工事内容によって本スケジュール(案)は変更となる。



## 周辺斜面安定性評価結果

- 〇大飯発電所周辺斜面について、基準地震動Ssによる 地震動に対する耐震安全性評価を行った結果、原子炉 施設の安全機能に重大な影響を与えるような崩壊を起こ さないことを確認した。
- 〇1・2号機周辺斜面には風化等の影響により強度が小さな自然の地盤が存在する為、その表層部に変位量が生じるが、その変位量は極めて小さく、滑動力が抵抗力を上回る時間も極めて短いことから、表層部が滑落し、施設の安全機能に重大な影響を与えることはないものと考えられる。
- 〇1・2号機周辺斜面の表層部については、念のため、耐 震裕度向上を図るための対策工事を今後実施する。