

# 岩盤斜面の地震時安定性に関する 複合降伏モデルの適用性

黒岡 浩平<sup>1\*</sup>・広兼 修治<sup>1</sup>・谷田 哲也<sup>1</sup>・岩田 直樹<sup>2</sup>・片山 吉史<sup>2</sup>・笹井 友司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国電力(株) 電源事業本部 耐震土木担当 (〒730-8701 広島市中区小町4-33)

<sup>2</sup>中電技術コンサルタント(株) 原子力プロジェクト室 (〒734-8510 広島市南区出汐2-3-30)

\*E-mail: 358524@pnet.energia.co.jp

岩盤斜面の地震時安定性は、岩盤内に分布する不連続面の分布や力学特性に大きな影響を受けるが、一般的に不連続面を考慮しない解析法により評価されている。そこで本研究では、弱層を有する実斜面を対象として、水平および鉛直震度を作用させた場合の挙動について、岩盤の不連続面の分布や変形特性の非線形性を考慮できる複合降伏モデルを用いた解析を行い、不連続面を考慮しないモデルとの比較を行った。この結果、弱層を通るすべり線に対するすべり安全率は、複合降伏モデルと不連続面を考慮しないモデルでほぼ同程度となり、当該斜面のように弱層を有する岩盤斜面では、弱層の挙動が支配的であるため不連続面を考慮しないモデルで評価しても問題ないことを確認した。

**Key Words** : seismic stability, FEM, Multiple Yield Model, scale effect, rock slope, seam

## 1. はじめに

一般に、硬質岩盤上に建設される原子力発電所の基礎地盤および周辺斜面の安定性検討に当たっては、岩盤変形試験・原位置せん断試験等の原位置岩盤試験に基づく強度特性および変形特性を用いた有限要素法による連続体解析が実施されており、その場合、断層、破碎帯などの規模の大きい不連続面は考慮されるが、節理などの不連続面は考慮されていない。また、解析に用いる岩盤物性値は原位置岩盤試験により設定されるが、標準的な原位置岩盤試験の試験面は $0.5\text{m}^2$ 以下であり、不連続面の間隔が試験面より密な場合は岩盤物性に不連続面の影響も考慮されるが、不連続面の間隔が試験面よりも大きい場合には、岩盤物性に不連続面の影響が考慮されない。

こういった問題に対して、野口ら<sup>1)</sup>は原子力発電所建設に伴う本館基礎掘削工事において、岩盤不連続面の変形特性の拘束応力依存性や非線形性を考慮できる有限要素法による等価連続体解析の一種である複合降伏モデル (the multiple yield model, 以下MYMと呼ぶ)<sup>2)</sup>を用いた掘削壁の挙動予測解析により土留工の合理的な設計を行うとともに、解析結果をもとに施工時の管理基準値を設定し計測管理を行った。また、吉中ら<sup>3)</sup>は複数の岩盤の大規模鉛直掘削を対象として、岩盤不連続面の分布と寸法効果を考慮した物性値を用いたMYMによる解析結果を

計測値と比較し、不連続面を考慮した解析を行うことにより実挙動を精度よく予測できることを示した。

本研究では、不連続面が地震時の岩盤斜面に与える影響を把握するため、ボーリング供試体を用いた不連続面の試験を実施し、試験結果より不連続面の変形および強度特性を把握するとともに、MYMを用いて水平および鉛直震度を作用させた静的解析を実施し、原位置岩盤試験結果より岩盤物性を設定した不連続面を考慮しないモデル (以下、弾性体モデルと呼ぶ) との比較を行った。

## 2. 解析理論の概要

### (1) 岩盤の変形特性

MYMは佐々木ら(1994)<sup>2)</sup>により提案されたモデルであり、有限要素法の構成則に弾性コンプライアンスを適用することにより、式(1)に示すように岩盤の総ひずみ $\{\epsilon_T\}$ を母岩のひずみ $\{\epsilon_R\}$ と複数の節理群のひずみ $\{\epsilon_I\}$ の和で表現されるものと仮定している。

$$\{\epsilon_T\} = \sum \{\epsilon_I\} + \{\epsilon_R\} \quad (1)$$

ここで、各節理群は周期的に存在し、それらの体積が母岩に比較して無視できるものと仮定し、母岩の応力と節理群の応力は等しいものとする、岩盤の総ひずみは次

式で表すことができる。

$$\{\varepsilon_T\} = [\Sigma[F_I] + [E]^{-1}] \cdot \{\sigma\} = [C] \cdot \{\sigma\} \quad (2)$$

ここに、 $\{\varepsilon_T\}$ ：岩盤の総ひずみベクトル、 $\{\sigma\}$ ：総応力ベクトル、 $[E]$ ：等方弾性体の応力-ひずみマトリックス、 $[F_I]$ ：節理群のコンプライアンスマトリックス、 $[C]$ ：母岩と節理群の和のコンプライアンスマトリックスである。

## (2) 節理群の降伏条件

式(3)に示すMohr-Coulombの降伏条件を節理群に用いる。

$$F_S = |\tau_s| / (C + \sigma_n \tan \phi_J) \quad (3)$$

ここに、 $F_S$ ：破壊接近度、 $\tau_s$ ：不連続面のせん断応力、 $\sigma_n$ ：不連続面の垂直方向応力、 $C$ ：不連続面の粘着力、 $\phi_J$ ：不連続面の摩擦角である。

## (3) 節理群の変形特性

不連続面の垂直剛性  $K_n$  は式(4)に示す Bandis らの提案式による双曲線型の変形特性<sup>4)</sup>を用いた。

$$K_n = K_{ni} \left[ 1 - \frac{\sigma_n}{V_m K_{ni} + \sigma_n} \right]^{-2} \quad (4)$$

ここに、 $K_{ni}$ ：初期垂直剛性、 $V_m$ ：不連続面の最大閉合量、 $\sigma_n$ ：不連続面の垂直応力である。

不連続面の垂直方向の繰返し載荷試験では、図-1に示すように除荷過程においても非線形性を示し、残留変形を生じる。任意の拘束圧  $\sigma_{ni}$  における不連続面の閉合量を  $V_i$  とし、これを弾性変形  $V_{ei}$  と塑性変形  $V_{pi}$  の和として式(5)で表し、弾性変形  $V_{ei}$  は式(6)に示す最大閉合量  $V_m$  の二次関数で定義する。除荷時の変形特性は、この弾性変形  $V_{ei}$  を Bandis の提案式の除荷特性に付加した<sup>5)</sup>。

$$V_i = V_{ei} + V_{pi} \quad (5)$$

$$V_{ei} = \left( 1 - \frac{V_i}{V_m} \right)^2 V_i \quad (6)$$

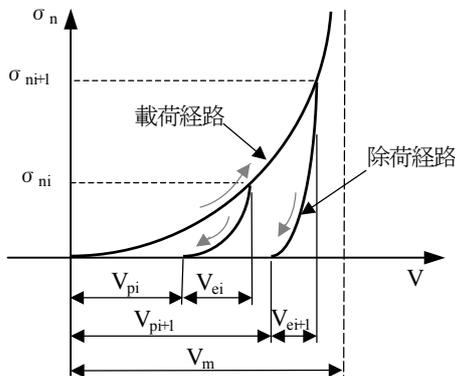


図-1 不連続面の垂直方向の変形特性

また、不連続面のせん断剛性  $K_s$  は式(7)に示す Kulhawy の提案式による双曲線型の変形特性<sup>6)</sup>を用いた。

$$K_s = K_{si} \left( \frac{\sigma_n}{p_a} \right)^{nj} \left( 1 - \frac{\tau_s \cdot R_f}{\tau_p} \right)^2 \quad (7)$$

ここに、 $K_{si}$ ：初期せん断剛性、 $\sigma_n$ ：不連続面の垂直応力、 $p_a$ ：大気圧、 $\tau_p$ ： $C$ 、 $\phi_J$ により計算されるせん断強度、 $\tau_s$ ：せん断応力、 $nj$ ：剛性係数、 $R_f$ ：破壊比であり一般的に0.7~0.9の係数である。なお、一般的に係数  $nj$ 、 $R_f$  は不連続面のせん断試験結果をもとに設定される。

不連続面のせん断方向の繰返し載荷試験においても、図-2に示すように除荷過程で残留変形が生じる。垂直方向と同様に、任意の拘束圧  $\tau_i$  における不連続面のせん断変位  $U_i$  を、弾性変形  $U_{ei}$  と塑性変形  $U_{pi}$  の和として式(8)で表し、弾性変形  $U_{ei}$  は式(9)に示す破壊接近度  $\tau_i / \tau_p$  の二次関数で定義する。除荷経路の変形特性は、単純化のために線形とした<sup>5)</sup>。

$$U_i = U_{ei} + U_{pi} \quad (8)$$

$$U_{ei} = U_i \left( 1 - \frac{\tau_i \cdot R_f}{\tau_p} \right)^2 \quad (9)$$

## 3. 岩盤不連続面のモデル化と解析用物性値の設定

### (1) 地質区分<sup>7)</sup>

図-3に対象とする岩盤切取斜面の地質断面図を示す。当該斜面は、平均法勾配が1:2であり、法面最上部から最下端の法尻までの高低差が約100mとなる長大斜面である。地質は、新第三紀中新世の堆積岩および貫入岩から構成され、堆積岩は、10°~20°Nの同斜構造をなし、法肩付近は背斜軸の影響で地層の傾斜が急勾配となる特徴を有する。電研式岩盤分類を基本とした岩級区分によると、切取面から深度30~40m程度までは風化によりC<sub>L</sub>~D級岩盤が分布するが、大半はC<sub>H</sub>級~C<sub>M</sub>級である。堆積岩は、頁岩類(黒色頁岩、凝灰質頁岩)およ

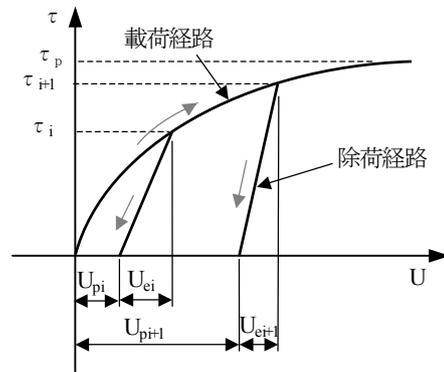


図-2 不連続面のせん断方向の変形特性

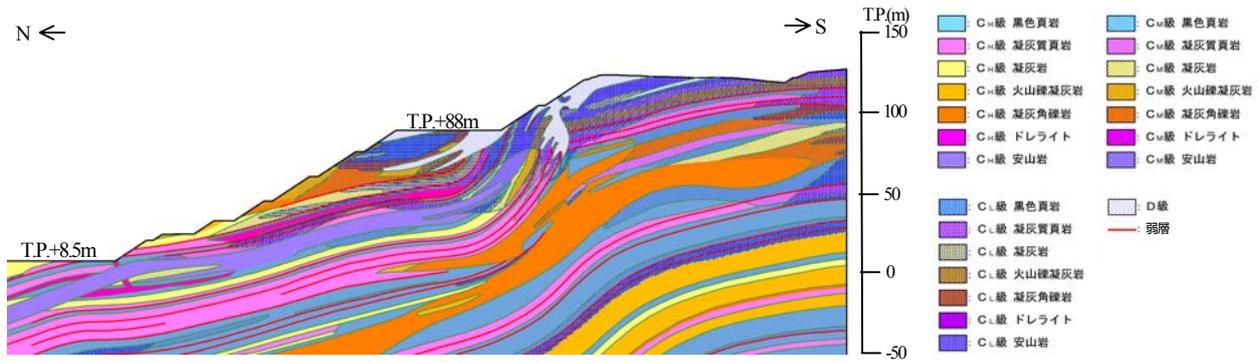


図-3 地質断面図

表-1 解析用物性値

岩級・岩種	C <sub>H</sub> 級			C <sub>M</sub> 級			C <sub>L</sub> 級				
	頁岩類	火砕岩類	貫入岩	頁岩類	火砕岩類	貫入岩	頁岩類	火砕岩類	貫入岩		
単位体積重量γ (kN/m <sup>3</sup> )	25.4	24.2	26.3	25.3	23.1	26.3	25.3	22.5	25.4		
弾性体	弾性係数 E (×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	5.97	8.55	10.72	1.59	1.76	1.91	0.78	0.86	0.93	
	ポアソン比 ν	0.19	0.16	0.25	0.20	0.17	0.25	0.27	0.27	0.27	
	せん断強度 τ <sub>o</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	1.64	1.68	2.01	0.74	0.76	0.91	0.49	0.51	0.61	
	内部摩擦角 φ (°)	53	57	58	44	47	48	44	47	48	
MYM	不連続面間隔 (m)	1.22	7.69	6.55	0.38	7.69	2.05	0.16	0.85	0.88	
	母岩	寸法効果による低減率	0.35	0.25	0.25	0.50	0.25	0.30	0.65	0.40	0.40
		せん断強度 τ <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	8.21	3.65	7.37	6.90	1.50	5.73	5.99	1.23	5.36
		内部摩擦角 φ (°)	40	40	40	35	35	35	35	35	35
		弾性係数 E (×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	7.17	2.41	6.42	7.80	0.84	6.32	3.19	0.78	5.48
	ポアソン比 ν	0.19	0.16	0.25	0.20	0.17	0.25	0.27	0.27	0.27	
	不連続面	せん断強度 τ <sub>p</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	0.73 σ <sup>0.75</sup>	0.67 σ <sup>0.70</sup>	0.57 σ <sup>0.75</sup>	0.87 σ <sup>0.75</sup>	0.67 σ <sup>0.70</sup>	0.68 σ <sup>0.75</sup>	0.56 σ <sup>0.90</sup>	0.63 σ <sup>0.90</sup>	0.43 σ <sup>0.90</sup>
		初期垂直剛性 K <sub>v</sub> (MN/m <sup>3</sup> )	155.8	16.9	29.0	500.7	16.9	92.7	1,956.0	164.6	255.3
		初期せん断剛性 K <sub>s</sub> (MN/m <sup>3</sup> )	268.1 σ <sup>0.70</sup>	136.3 σ <sup>0.45</sup>	109.3 σ <sup>0.70</sup>	500.2 σ <sup>0.70</sup>	136.3 σ <sup>0.45</sup>	203.2 σ <sup>0.70</sup>	790.0 σ <sup>0.70</sup>	441.8 σ <sup>0.45</sup>	319.3 σ <sup>0.70</sup>
		剛性係数 n <sub>j</sub>	0.7	0.45	0.45	0.7	0.45	0.45	0.7	0.45	0.45
破壊比 R <sub>f</sub>		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
最大閉合量 (mm)	1.1	2.1	1.6	0.7	2.1	1.2	0.6	1.1	1.1		

※ 不連続面のせん断強度, 初期せん断剛性で用いているσは不連続面の垂直応力を示す。

び火砕岩類(凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰角礫岩)から構成され, 頁岩類の境界の一部に厚さ 3cm 程度以下の弱層を挟在する。

## (2) 岩盤不連続面の分布

不連続面のモデル化はC<sub>H</sub>~C<sub>L</sub>級岩盤について行い, D級岩盤は不連続面が認識できないことから等方弾性体として扱う。

図-4は試掘坑壁の節理調査とボーリング孔のBTVによる調査結果から整理した節理のステレオ投影図(下半径投影)を示す。試掘坑壁(延長890m)では, 低角度節理は発破掘削の影響を受けて層理面が分離したものも含んでいるため, 60°を超える高角度節理(532本)のみを抽出し, ボーリング孔(延長143m)については, BTVのデータを用いて低角度の節理(209本)のみを抽出した。ステレオ投影図に見られる通り, 節理はバラツキが少なく集中度が高い層理面方向と層理面に直交する2系列が存在する。

層理面沿いの不連続面の間隔は, ボーリング孔の全延長1,200mを岩種(頁岩類, 火砕岩類および貫入岩)・岩

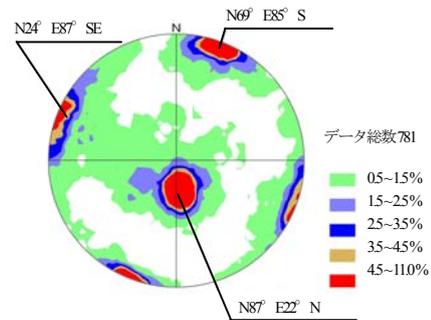


図-4 節理面のステレオ投影図

級ごとに算定した節理の本数で割ることにより算定を行い, 層理面方向と層理面直交方向の節理間隔が等しいものと仮定した。

## (3) 解析用岩盤物性値

表-1に解析用物性値を示す。

不連続面を考慮しない弾性体モデルの物性値は, 岩盤変形試験およびブロックせん断試験をもとに設定した<sup>7)</sup>。

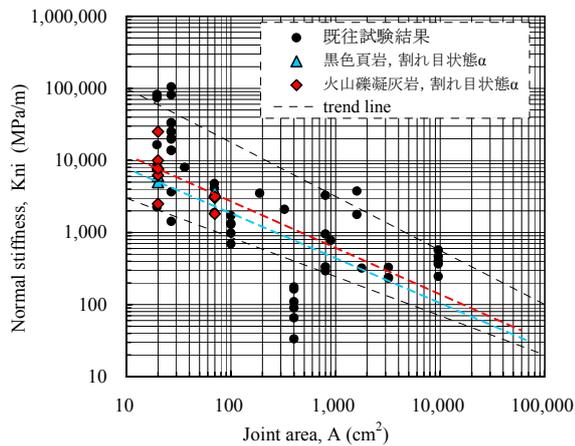


図-5 不連続面の垂直剛性に対する寸法効果

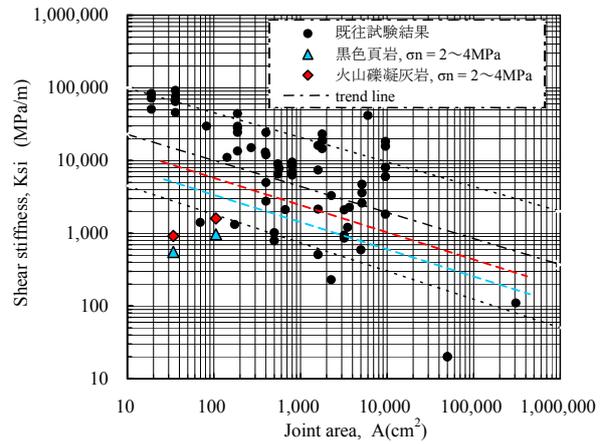


図-6 不連続面のせん断剛性に対する寸法効果

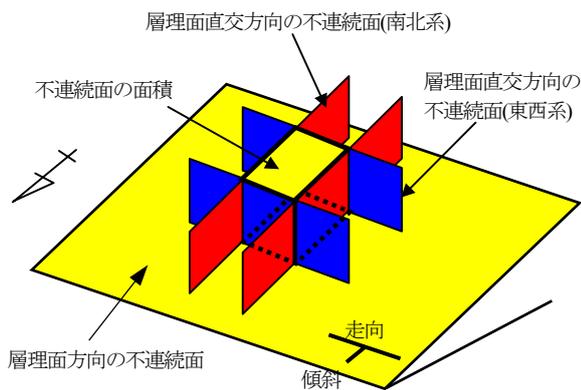


図-7 不連続面の面積設定の考え方

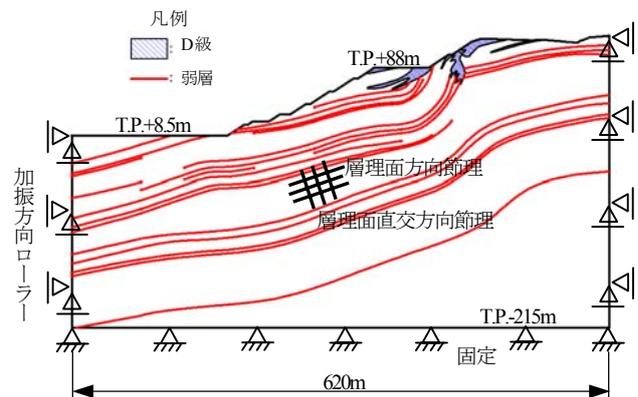


図-8 解析モデル図

MYMの不連続面の物性設定にあたっては、直接せん断試験装置<sup>8)</sup>を開発し、供試体による一面せん断試験および垂直荷試験を行い、この結果に寸法効果による物性低下を考慮して設定を行った。試験は、黑色頁岩および火山礫凝灰岩の2岩種について割れ目状態 $\alpha$  (新鮮)、 $\beta$  (褐色化)の異なる不連続面を対象に $\phi 50\text{mm}$  および $\phi 100\text{mm}$ のコアを採取して実施した。試験より求まる不連続面の初期垂直剛性と初期せん断剛性を吉中ら<sup>9)</sup>の不連続面の剛性と面積の関係のグラフにプロットしたものを図-5 および図-6 に示す。既往試験に基づくトレンドラインを参考に各不連続面の面積-剛性の関係を設定し、図-7 に示す不連続面で区切られる立方体の表面積と不連続面の面積-剛性の関係より不連続面の初期剛性を設定した。

母岩の物性設定は、一軸圧縮試験結果に基づき、母岩の強度の寸法効果<sup>10)</sup>を考慮して岩種・岩級ごとに低減率を算定し、これを強度のみならず変形特性にも適用し設定を行った。ここで寸法効果に用いる面積比は、一軸圧縮試験の供試体 $\phi 50\text{mm}$ の面積と不連続面の寸法効果で用いた不連続面の面積の比とした。この結果、不連続面の間隔が大きい岩盤ほど強度および変形特性の低減率は大きく、 $C_H$ 級の火砕岩類では、岩石試験結果の25%に

まで低減する。

#### 4. 解析内容

解析モデルは、地質断面図をもとに図-8に示す幅620m、深さTP-215mまでの範囲を対象に、岩盤は平面ひずみ要素、弱層はジョイント要素でモデル化を行った。岩盤の初期応力は等方応力状態と仮定し、自重計算により初期応力を設定した後、掘削解析、水平および鉛直震度を作用させた静的解析を行った。地震力は水平震度0.3G、鉛直震度0.15Gとし、各震度を30分割し交互に所定の地震力まで作用させる。境界条件は、底面は固定、側方は初期応力解析、掘削解析および鉛直震度作用時は鉛直ローラー、水平地震力作用時は水平ローラーとした。

#### 5. 解析結果

##### (1) 不連続面の剛性分布および岩盤物性

地震時の層理面方向の不連続面の垂直剛性およびせん断剛性の分布を図-9に示す。垂直剛性は、全体的には表

層からの土被りに応じた分布となり、岩種ごとにみると不連続面の間隔の大きい火砕岩類が頁岩類に比べてやや剛性は大きくなる。また、斜面中腹部の地層傾斜角が大きいところには、不連続面の垂直応力が小さくなるため剛性が小さくなる領域が発生する。一方、せん断剛性は、拘束圧依存性が垂直剛性ほど大きくないため土被りによる剛性の増加は顕著ではないが、岩種ごとにみると、垂直剛性と同様に不連続面の間隔が大きい火砕岩類および貫入岩の剛性が大きくなる。なお、こういった傾向は層理面直交方向の不連続面も同様であるが、斜面中腹部の地層傾斜角が大きいところでは、層理面方向とは逆に垂直応力が大きくなるため剛性が大きく設定される。

図-10 に MYM と弾性体モデルの地震時の岩盤のせん断剛性分布図を示す。母岩の剛性と不連続面の剛性の足し合わせにより評価される MYM の岩盤物性は、表層付近の  $C_M$ 、 $C_L$  級岩盤では弾性体モデルと同程度の剛性となるが、 $C_H$  級岩盤では寸法効果により弾性体モデルよりも小さな剛性となり、土被りや地質条件に応じて滑らかに変化する分布となる。このため、弾性体モデルの斜面部で貫入岩により帯状に発生していた剛性の高い領域がなくなり、急激な剛性のコントラストが生じなくなる。また、弾性体モデルの剛性が MYM より大きくなっている点は、弾性体モデルの物性設定で用いられている岩盤変形試験の載荷面積が不連続面の間隔よりも小さいため、寸法効果により剛性が高く評価されるとの考え方とも一致する。

## (2) 発生応力およびすべり安全率

図-11 に MYM と弾性体モデルの応力差の分布図を示す。なお、MYM の応力が弾性体モデルより大きい場合は正の値となり、小さい場合は負の値となる。MYM による岩盤の主応力は、弾性体モデルに比べ表層付近と不連続面の間隔の大きい火砕岩類および貫入岩で小さくなっている。これは、MYM による火砕岩類の剛性が、拘束圧の小さい表層付近で弾性体モデルよりも小さくなるため、弾性体モデルにおいて剛性の高い火砕岩類および貫入岩に集中していた応力が、周辺岩盤に配分されるためである。なお、弱層については元来周辺岩盤に比べて剛性が非常に小さいことから、多少周辺岩盤の剛性に違いが生じて、発生する応力に大きな変化は見られない。

すべり安全率は、MYM と弾性体モデルともに図-12 に示す斜面内に分布する弱層を通り法尻に抜けるすべり線-1 で最小となるが、弾性体モデルでは 1.80 であるのに対し MYM では 1.75 とほぼ同程度の安全率となっている。この傾向は、他の弱層を通るすべり線について

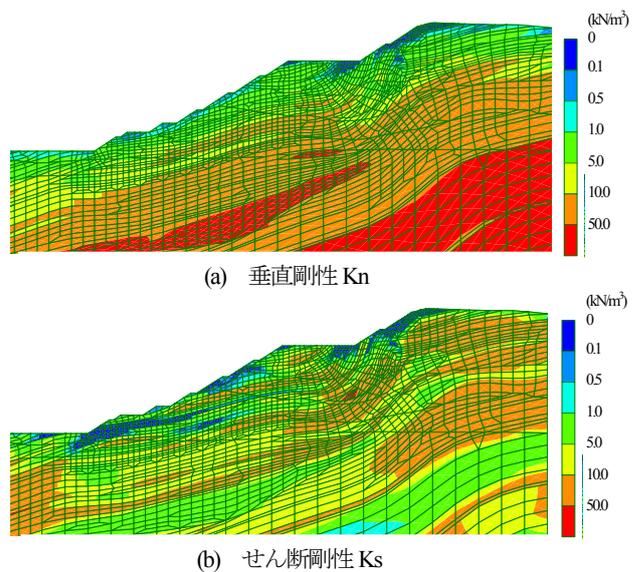


図-9 地震時の層理面方向の不連続面の剛性分布

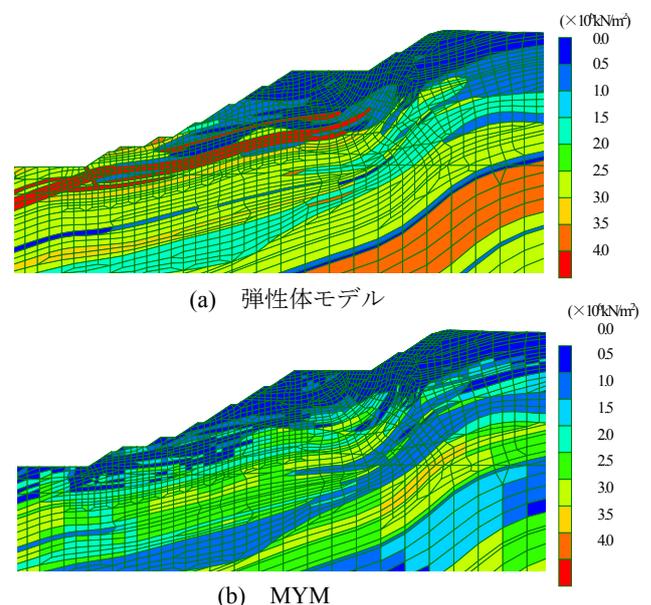


図-10 MYM と弾性体モデルの岩盤のせん断剛性の比較

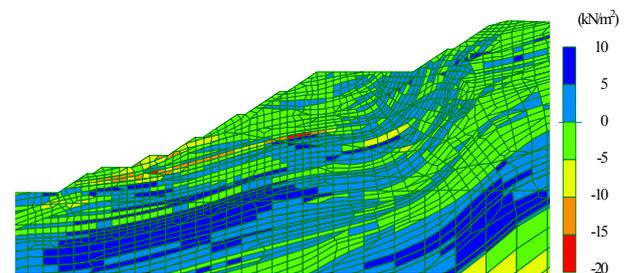


図-11 MYM と弾性体モデルの発生応力差

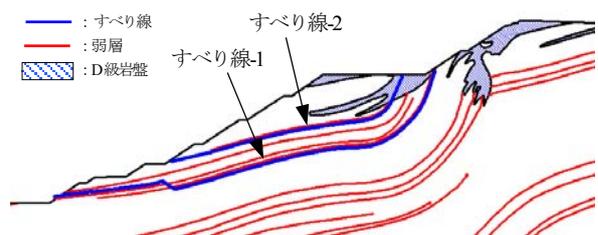


図-12 すべり線図

でも同様である。このことは、周辺岩盤の剛性に違いが生じて、弱層に発生する応力に大きな相違がないことが原因である。一方、図-12 に示すすべり線-2 のように岩盤を通る部分が多いすべり線については、MYM と弾性体モデルでは岩盤の応力状態が異なるため、弾性体モデルでは 2.68 に対し MYM では 2.92 とやや異なった安全率となるが、大部分が弱層を通るすべり線に比べると安全率は大きくなる。

上記のケースは、層理面方向と層理面直交方向の不連続面の間隔を同一と仮定した場合の結果であるが、別途、不連続面の間隔の違いによる影響についても比較検討を行ったが、弱層を通るすべり線のすべり安全率はいずれのケースもほぼ同様の結果となった。

## 6. おわりに

本研究では、岩盤内に分布する不連続面が長大斜面の地震時挙動に与える影響を明らかにするため、室内岩石試験により不連続面の変形特性および強度特性を把握するとともに、母岩と節理の特性を個別にモデル化することが可能な複合降伏モデルを用いた有限要素法による解析を実施し、原位置岩盤試験結果による物性値を用いた不連続面を考慮しない弾性体モデルとの比較を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) MYM の岩盤の剛性分布は概ね深度に応じた滑らかな分布となり、弾性体モデルと比べると剛性のコントラストが小さい。
- (2) MYM の岩盤の応力は、弾性体モデルと異なる分布となるが、弱層の応力については大きな違いは生じない。
- (3) 当該斜面のような弱層が分布する斜面では、弱層沿いのすべり安全率は弾性体モデルと同程度となる。
- (4) 弱層を有する斜面においては、不連続面を考慮しな

いモデルによりすべり安全率に対する地震時安定性を適正に評価できる。

なお、今後は不連続面の非線形性が顕著になる大きな地震力を作用させた場合や、動的に地震動を作用させた場合についても同様の傾向が得られるかを検討する必要があると考えている。

## 参考文献

- 1) 野口雅之, 杉原聡, 石森慎一郎: 島根原子力発電所 3 号機 本館基礎掘削工事における土留め工の設計・施工, 電力土木 No.334, pp.115~120, 2008.
- 2) 佐々木猛, 吉中龍之進, 永井文男: 有限要素法による節理性岩盤の複合降伏モデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 505/III-29, pp.59-68, 1994.
- 3) 吉中龍之進, 岩田直樹, 佐々木猛, 佐々木勝司, 吉田淳: 岩盤の大規模鉛直掘削に伴う壁面変位の挙動の考察, 第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.833-840, 2008.
- 4) Bandis S. C., Limsden A. C. and Barton, H. R.: Fundamentals of rock joint deformation, *Int. J. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol. 20, No. 6, pp. 249-268, 1983.
- 5) Sasaki T., Yoshida J., Sasaki K., Yoshinaka R., Iwata N.: Parameter studies of a plate-loading test of jointed rock mass by Multiple Yield Model, *ISRM Symposium & 3<sup>rd</sup> Asia Rock Mechanics Symposium*, Millpress, pp.1153-1158, 2004.
- 6) Kulhawy F. H.: Stress-deformation properties of rock and discontinuities, *Engng. Geol.* 8, pp. 327-350, 1975.
- 7) 中国電力株式会社: 島根原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(1 号及び 2 号原子炉施設の変更並びに 3 号原子炉の増設), pp.6(3)-3-112-6(3)-3-126, 2005.
- 8) 吉田淳, 国西達也, 家島大輔, 永瀬昌宏, 曾我部淳, 佐々木勝司: 岩盤不連続面の力学特性評価のための直接せん断試験装置の開発, 第 40 回地盤工学研究発表会平成 17 年度発表講演集, pp.557-558, 2005.
- 9) 吉中龍之進, 吉田淳, 佐々木猛, 佐々木勝司: 寸法効果を考慮した岩盤不連続面の設計用物性値の設定, 土木学会論文集 C, Vol. 62 No.2, pp. 457-470, 2006.
- 10) 岩盤上の大型構造物基礎, 土木学会 岩盤力学委員会 大型構造物基礎小委員会, pp.36, 1998.

## APPLICABILITY OF MULTIPLE YIELD MODEL TO SEISMIC STABILITY OF ROCK SLOPE

Kohei KUROOKA, Syuuji HIROKANE, Tetuya TANIDA, Naoki IWATA,  
Yoshifumi KATAYAMA, Yuuji SASAI

This paper describes the comparison of elastic model and the Multiple Yield Model (MYM) that could consider a non-linear deformability characteristic of a discontinuous plane, on seismic stability of the discontinuous rock slope with seams. In the modeling of joints, analysis parameters are based on the results of geological investigations and laboratory joint tests and joint stiffness is decided considering the scale effects. As a result, seismic stability of slope with seams depends on the behaviour of seams and the safety factors of slip lines through seams calculated by MYM are the same as the ones of elastic model with seams.