

## 緩慢に変位する斜面の安定解析

(一財) 電力地中央研究所 正会員 ○小早川 博亮

(一財) 電力中央研究所 非会員 久野 春彦

### 1. はじめに

日本の様な山岳地域には、年間数 mm 程度の変位速度を持つ斜面移動現象が多数存在する。このような斜面に重要構造物が設置される場合、設備保全のための監視がなされることが多い。監視の基準の例として、孔内傾斜計の最も緩慢な基準に、日 10mm 以上の変位速度の管理値に対する、点検・要注意、または観測強化がある。これ以下の変位速度に対する動きは、計測による観測を継続するかの判断を迫られる。その判断の方法として、極限平衡法や FEM 解析による斜面の安定性評価がある。

通常の斜面の安定性評価は、力のつり合いに基づく安全率の評価によって実施される。安全率は、作用力と抵抗力の比によって求められる指標であるから、定常的な斜面移動に対しては、安全率をどのように考えるのかという問題点がある。この現象を斜面のクリープとしてとらえれば、クリープ破壊に対する上限降伏値を用いることができる可能性がある。そこで、変位箇所から採取した地盤材料に対する段階载荷クリープ試験により、上限降伏値を評価してきた<sup>2)</sup>。本論文では緩慢に変位する斜面から採取した材料によって求めた上限降伏値により、弾塑性有限要素法による斜面の安定解析を行い、計測の結果との比較により当該斜面の安定性について述べる。

### 2. 対象斜面

対象とする斜面周辺の地形図を図-1 に示す<sup>3)</sup>。斜面には当所で開発した FBG 光ファイバセンサ<sup>4)</sup>による孔内傾斜計 (FBG ひずみ計) を設置し、変位累積箇所の地すべり挙動を計測している。FBG ひずみ計を設置したボーリング孔のコア観察の結果から、すべり面と考えられる粘土層が分布する箇所 (25.2m 付近及び 26.2m 付近) に、ひずみの累積が認められている。図-2 に、当該深度のひずみの経時変化を示す。観測されたひずみは、出水期 (6 月～10 月) と非出水期でその速度が異なるものの、非出水期のひずみ速度は、経年によって変化していない。

斜面の地質は、表層部に薄い埋土と崖錐堆積物が分布し、それ以深は長崎変成岩類に属する砂質片岩で構成される。岩質は、堅岩部と地すべり起源と推定される破碎岩から構成さ

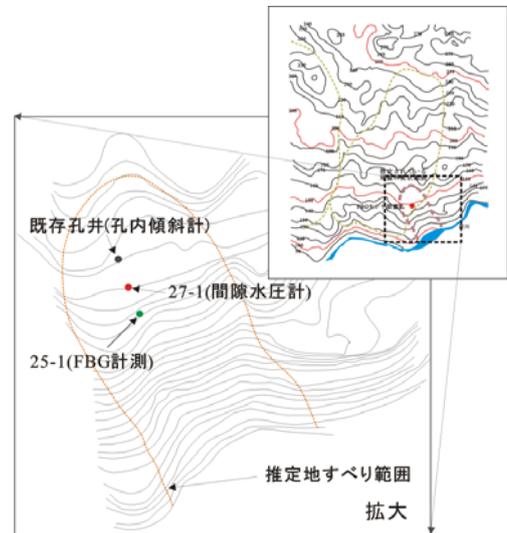


図-1 地すべり範囲と孔井配置図<sup>3)</sup>

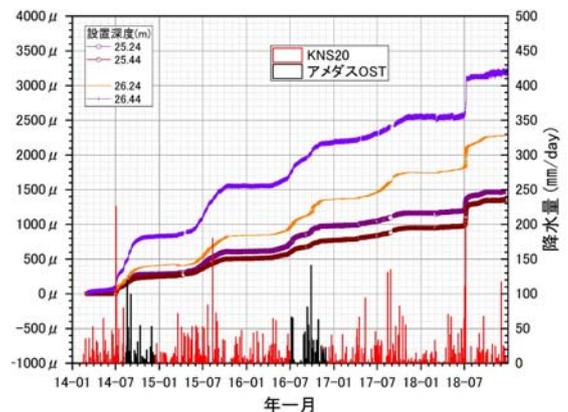


図-2 ひずみ累積箇所の経時変化

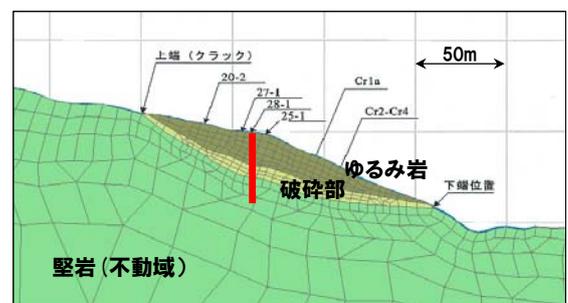


図-3 対象斜面の断面図

キーワード：斜面，上限降伏値，安定性評価，弾塑性有限要素法，FBG 光ファイバセンサ

連絡先：〒270-1194 我孫子市我孫子 1646 E-mail: [h-koba@criepi.denken.or.jp](mailto:h-koba@criepi.denken.or.jp)

れ、ボーリングコアの観察結果に脇坂ら<sup>5)</sup>による区分を当てはめて破碎岩を分類した<sup>3)</sup>。その結果、GL-19m 付近まではCr1aに区分され、19~26.4m 付近はCr2~Cr4に相当する岩相が互層状に分布し、26.4m 付近にC1相を挟んで堅岩となる。近隣に掘削したボーリング孔においてもほぼ同様な岩相分布が認められたことから、堅岩層の上にCr2~Cr4に区分される岩相（破碎部、一部C1に相当する岩相を挟む）が7~8m 程度の厚さで分布し、それ以浅ではCr1a相当の岩相（ゆるみ岩）が分布しているという分布を推定し、図-3に示すように深部から、堅岩相、破碎部、ゆるみ岩と区分した。

3. 計算条件

解析対象断面は図-3に示す3層とし、各々の力学特性は表-1のように設定した。破碎部は対象とする斜面から採取した材料の段階荷重クリープ試験の結果によって求めた上限降伏値から、粘着力とせん断抵抗角を算定したケース1（常時）と、三軸圧縮試験によるケース2（地震時）とした。段階荷重クリープ試験は既報<sup>2)</sup>と同様な装置、実験方法による。また、ゆるみ岩および堅岩は三軸圧縮試験に基づいて設定した。解析は、三次元弾塑性有限要素解析コードGA3D<sup>6)</sup>により実施した。GA3Dではせん断強度低減法によって斜面全体が破壊した時点で全体安全率が定義される。ケース2の地震時は静的な水平震度を0.2から0.4まで変化させた。

表-1 各層に与えた材料特性

	粘着力(kPa)	せん断抵抗角(°)	ヤング率(MPa)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
ゆるみ岩	568	21.3	1100	0.14	24.9
破碎部	上限降伏値	0	12.8	0.25	21.2
	三軸試験	37			
堅岩	4085	40.0	4340	0.14	25.8

4. 計算結果

計算によって得られた斜面の全体安全率を図-4に示す。ケース1の安全率は1.59であることから、常時の安定性は確保されている。一方、ケース2による地震時の解析によると、水平震度が0.3を超えると安全率が1.0を下回る結果が得られた。

図-5にケース1の八面体せん断ひずみ分布を示す。ゆるみ岩や堅岩部に比べて、破碎部でひずみが大きく、特に破碎部が地表に表れている箇所にひずみが集中していることが分かる。しかし、この状態でも安全率は1.59であることから、クリープによる崩壊は生じないことを示している。このことは、図-2に示したように非出水期のひずみの蓄積程度が経年で変化していないことと整合している。

5. まとめ

緩慢に変位する斜面から採取した材料のクリープ特性を室内試験により求め、当該斜面の安定性を弾塑性解析により評価した。クリープ破壊の上限降伏値に対する安全率は1.59と算定され安定性は確保されており、また、斜面のひずみ計測により変位が加速しているわけではないことと整合していることが分かった。上限降伏値を用いた方法により、常時の斜面安定性を評価できることが示唆される。

参考文献

1) 地すべり観測便覧編集委員会: 地すべり観測便覧, 社団法人地すべり対策技術協会, 1996. 2) 小早川博亮, 納谷朋広, 久野春彦: 緩慢に変位する斜面の安定性評価に関する一考察, 第14回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 講演番号074, 2017. 3) 久野春彦, 小早川博亮, 末永弘: 年間数mmの緩慢な斜面変位の計測と応用地質学的考察(その3), 応用地質学会平成28年度研究発表会講演論文集, 2017. 4) 小早川博亮, 久野春彦: 緩慢に変位する岩盤斜面の安定性評価手法の開発(その1)-FBG光ファイバセンサを用いた斜面の計測方法の開発-, 電力中央研究所研究報告, N13006, 2014. 5) 脇坂彦彦, 上妻睦男, 綿谷博之, 豊口佳之: 地すべり移動体を特徴づける破碎岩-四十帯の地すべりを例として-, 応用地質, 52巻, 6号, pp.231-247, 2012. 6) 地盤工学会 地盤技術者のためのFEMシリーズ編集委員会 弾塑性有限要素法を使う, 2003.

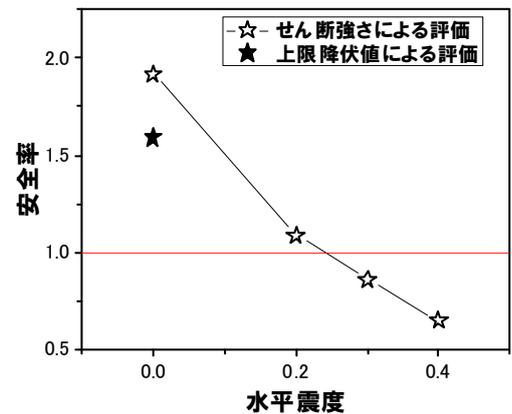


図-4 当該斜面の安全率

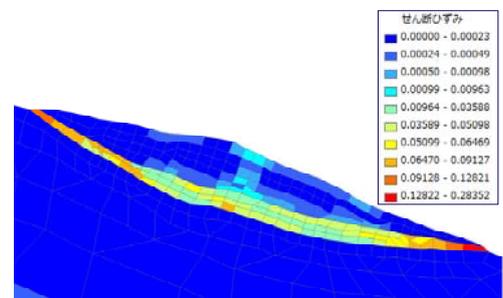


図-5 せん断ひずみの分布