

# せん断強度低減法に基づく斜面三次元安定解析と適用事例

長崎大学大学院工学研究科 学生会員 ○志田侑士郎 フェロー会員 蔣 宇静  
 長崎大学大学院工学研究科 正会員 李 博 学生会員 石田純平

## 1. はじめに

近年、頻発する豪雨による斜面崩壊を予測するため、多くの数値解析的検討が実施されているが、その多くは、二次元断面を用いたものであり、自然に存在する斜面の三次元的な地形影響を考慮したものは少ない。自然斜面の崩壊は、三次元空間内で発生するため、その崩壊の発生位置は地形条件に大きく影響されると考えられるので、三次元数値解析モデルを用いることで、崩壊発生予測の精度向上に繋がると考えられる。

そこで本研究では、近年、整備が進められている高精度な数値地形データ（DEM）を用いて三次元解析モデルを作成し、せん断強度低減法を用いた安定解析を実施することで斜面の全体安全率を求める。また、ある領域内に複数の崩壊が危惧される斜面が存在する場合、対策工の実施にあたって、より危険性が高い斜面を選定する必要があることから、解析領域内で崩壊の危険性が高い斜面を特定する方法についても検討する。

## 2. せん断強度低減法に基づく斜面安定解析の概要

### 2.1 解析モデル

本研究では、過去に落石、土砂崩れが多く発生した地域を対象地域とした。現在は、崩壊の危険性が高い斜面沿いの道路や線路を保護するため、ロックシェッド等の対策工が施されている。しかし、対策工が実施されていない箇所についても、崩壊の危険性が危惧される斜面が存在している。図-1 に本研究で対象とした領域の赤色立体地図を示す。航空レーザ計測によって得られたDEMデータを用いて、図中の赤枠で囲まれた箇所の三次元解析モデルを図-2 のように作成した。この区域は、ロックシェッド等の対策が行われていないが、赤色立体地図を見てもわかるように、急傾斜地となっている。解析モデルの地層区分と各地層の入力物性値は、既往研究における現場の試料を用いて実施された試験に

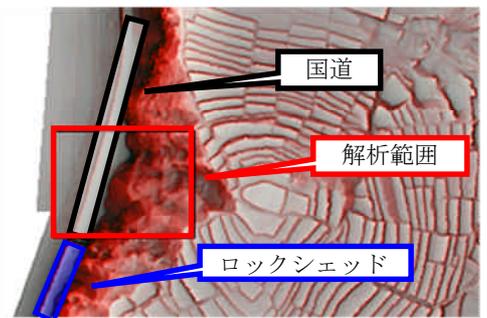


図-1 三次元解析対象地域の赤色立体地図

よって得られた結果を参考に、表-1 のように設定した<sup>1)</sup>。モデルの底面および側面の境界を拘束状態とした。

### 2.2 せん断強度低減法に基づいた数値解析の概要

本解析は斜面の全体安全率を求めるため、せん断強度低減法に基づいて実施した。土の破壊がモール・クーロンの破壊規準に従う場合、仮想すべり面上の各位置における最大せん断応力 $\tau_f$ は式(1)で表される。式中の $c$ 、 $\phi$ は粘着力、内部摩擦角、 $\sigma$ はすべり面上の垂直応力である。本研究ではまず地下水の影響を考慮せず、全応力に基づいて数値解析を実施する。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

$$\tau_{fs} = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\tan \phi}{F} = c_s + \sigma \tan \phi_s \quad (2)$$

表-1 入力物性値<sup>1)</sup>

岩種区分	凝灰角礫岩 1 (図-2 の 1)	凝灰角礫岩 2 (図-2 の 2)	火山礫凝灰岩 (図-2 の 3)
密度 $d(\text{kg/m}^3)$	1500	1600	1900
粘着力 $c(\text{kPa})$	70	140	264
せん断抵抗角 $\phi(^{\circ})$	30	30	40
変形係数 $E(\text{MPa})$	45	80	104
ポアソン比 $\nu$	0.356	0.356	0.356

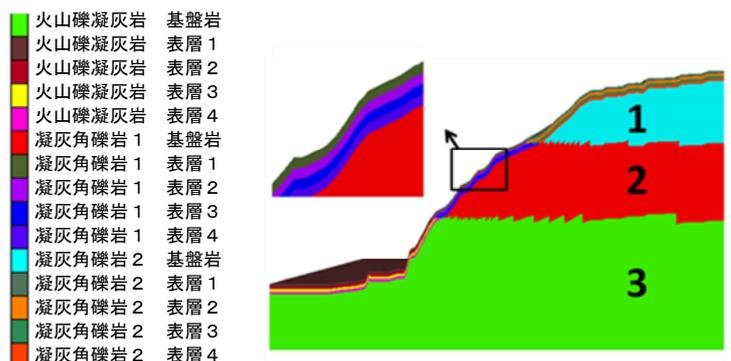


図-2 三次元解析モデル断面図

斜面の全体安全率を  $F$  とし、式(1)の  $\tau_f$  を  $F$  で除した大きさのせん断強度を有すると仮定する。新たなせん断強度を  $\tau_{fs}$  とおくと、破壊規準は式(2)のように表される。  $c_s$  と  $\phi_s$  はそれぞれせん断強度低減法で使用する見かけの粘着力、内部摩擦角である。まず  $F$  を小さな値とした時のせん断強度を入力し、自重解析を実施する。 $F$  を小さな値とすることでせん断強度は大きくなり、モデルは安定となる解析結果を得ることができる。続いて段階的に  $F$  を増加させ、その度、自重解析を繰り返すうちに斜面が不安定化となる。その時のせん断強度と地形条件に満足する斜面は潜在的に危険度の高い斜面であると判断する。

本解析の手順は、まず、対象区域を選定し、その区域の高精度 DEM データを用いてモデルを作成する。表層の風化を考慮するために表層を風化土層とした。対象地域に分布する凝灰角礫岩の風化帯の厚さは 3~4m 程度であるため、本解析では風化層の厚さを 4m と設定した<sup>2)</sup>。また、粘着力の低減によって風化を再現することとし、風化土層での粘着力を基盤岩側から表層へ向けて 1m ごとに 50%、36.7%、23.4%、10% と段階的に低減させた。それらの低減率は表層の凝灰角礫岩の岩石物性を考慮し設定した。その後モデルの境界条件と各種パラメータを入力し、自重による弾性解析を実施することで初期状態を再現した後、せん断強度低減法を用いて斜面全体の安定解析を行った。

### 3. 解析結果と考察

本解析の対象斜面は、斜面の全体安全率  $F$  が 2.5 となった時点でモデルが不安定となり、計算結果が収束しなくなった。計算終了時の斜面表面での最大せん断ひずみ分布を図-3 に、また、A-A'断面内の分布を図-4 に示す。図-4 から斜面上部の枠で囲まれた箇所でせん断ひずみが増大していることが確認できる。せん断ひずみが大きく生じている箇所を把握するために垂直変位分布図を図-5 に示す。この図より、せん断ひずみが増加している箇所で、周囲の斜面より大きく変位が生じることも確認できる。三次元解析モデルを用いた斜面安定解析を実施することにより、実現場に近しい条件での斜面崩壊発生予測を行うことが可能であり、斜面の高さと傾斜角のみで選定された数多くの危険斜面の中から、より精度よく崩壊の危険性が高い斜面を選定することが可能となる。また、本解析の結果では、全体安全率  $F$  が 2.5 であり、比較的安定した斜面であると考えられるが、実現場の風化層等が詳細に再現しておらず、また、降雨についても考慮していないため、崩壊が危惧されると判断された斜面箇所に対しては、より詳細な検討が必要である。

3. 解析結果と考察

### 4. おわりに

本研究では、赤色立体地図から危険斜面を抽出し、高精度 DEM データを用いて三次元解析モデルを作成し、せん断強度低減法を用いた安定解析を実施することで斜面の安定性を評価した。今後、本研究での対象現場のような対策工が実施されていない箇所のうち、崩壊の危険性が危惧される道路沿い斜面に対して同じく安定解析を行い既存研究による二次元解析との比較やメッシュの分割方法等を検討することでより詳細な検討を行っていく。

#### 【参考文献】

- 1) 森谷ゆうみ(2010)：個別要素法と GIS による道路沿い岩盤斜面の安定性評価とハザードマッピング，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，III-85，pp. 497-498.
- 2) 西山賢一・千木良雅弘(2002)：1982 年長崎豪雨災害で発生した斜面崩壊の地質的特徴，京都大学防災研究所年報，No45 B，pp.47-59.

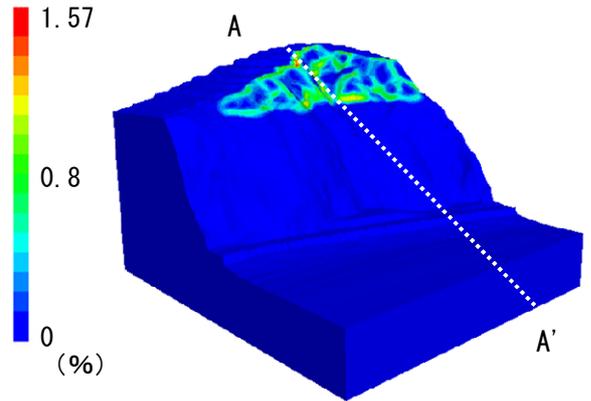


図-3 最大せん断ひずみ分布(全体図)

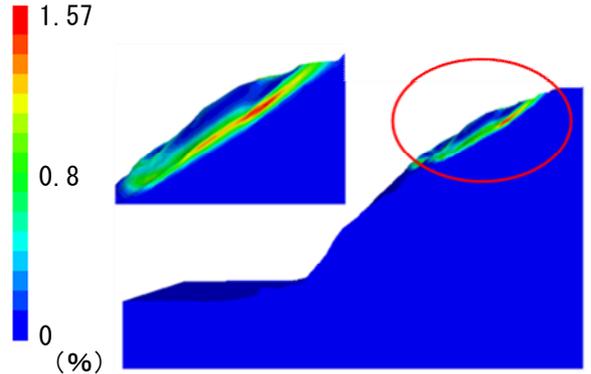


図-4 最大せん断ひずみ分布 (A' A 断面)

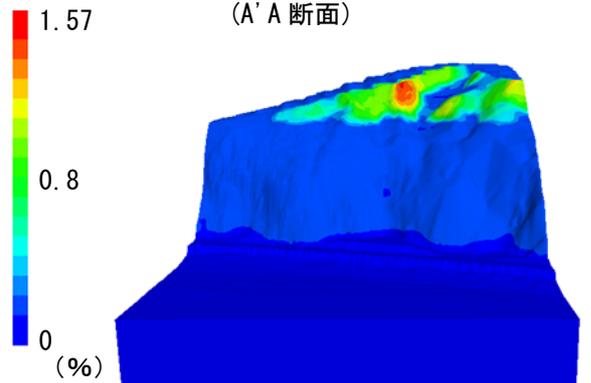


図-5 垂直変位コンター図