

東北大学大学院工学研究科 学 ○ 欧陽 立珠
 東北大学大学院工学研究科 学 比嘉 靖洋
 東北大学大学院工学研究科 正 京谷 孝史
 東北大学大学院工学研究科 正 岸野 佑次

1. はじめに

著者らは、均質化法に基づいて、岩盤を構成する岩石の力学特性と不連続面の画像情報から、岩盤の安定性を評価する方法を提案している¹⁾。この提案法を用いて実際の岩盤斜面の安定評価を試み、提案法の実岩盤への適用性を検討した。

2. 岩盤の巨視的弾性係数の算定

岩盤の不連続面を薄い弱層として扱い、岩盤を微視的周期構造を持つ連続体として理想化することにより、均質化弾性係数は次のようになる。

$$E_{ijkl}^H = \frac{1}{|Y|} \int_Y \left(E_{ijkl}(y) - E_{ijpq}(y) \frac{\partial \chi_p^{kl}(y)}{\partial x_q} \right) dY \quad (1)$$

上式の $E_{ijkl}(y)$ はユニットセル内の弾性係数の分布、 $\chi_p^{kl}(y)$ は特性変位関数と呼ばれ、ユニットセルに関する方程式

$$\int_Y E_{ijpq}(y) \frac{\partial \chi_p^{kl}}{\partial x_q} \frac{\partial v_i}{\partial x_j} dY = \int_Y E_{ijkl}(y) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} dY \quad (2)$$

を解くことによって得られる。この均質化弾性係数 E_{ijkl}^H を用いて与えられた境界条件に基づき、つりあい式を解くことで岩盤中に作用する平均応力 Σ_{mn} が得られる。

3. 岩盤の巨視的破壊基準の決定

平均応力 Σ_{mn} が得られると、ユニットセル内部に分布する微視的応力が次式によって求められる。

$$\sigma_{ij}^0(y) = \left[\left(E_{ijkl} - E_{ijpq} \frac{\partial \chi_p^{kl}}{\partial x_q} \right) (E^H)^{-1} \right]_{klmn} \Sigma_{mn} \quad (3)$$

この微視的応力 $\sigma_{ij}^0(y)$ は、岩盤内部のある一点におけるユニットセルに作用する巨視的応力が Σ_{mn} であるときに、ユニットセル内部の構造材料に直接的に作用する応力を表す。

(3)式の微視的応力 $\sigma_{ij}^0(y)$ が、ユニットセル内部において構成材料である岩石の降伏基準に達すれば、ユニットセルの降伏が始まると考えることができる。室内試験から岩石の降伏基準が、 $f(\sigma_{ij}^0) = 0$ と定められているとすれば、求めるべき「巨視的破壊基準」は平均応力に対する基準として次のように求められる。

6次元空間に単位球を考え、そこに均等に分布する単位平均応力ベクトル $\bar{\Sigma}_{ij}$ を考える。そして、 $\bar{\Sigma}_{ij}$ に対して式(3)で与えられる微視応力を求め、それらがユニットセル内で岩石の降伏基準以下になるような係数の最大値を

$$\beta_{\max} = \max \left\{ \beta > 0 \mid f(\beta \sigma_{ij}^0(y)) \leq 0, \forall y \in Y \right\} \quad (4)$$

のように定めると、 $\Sigma_{ij} = \beta_{\max} \bar{\Sigma}_{ij}$ が破壊時の平均応力を与えることになる。こうして定められた6次元応力

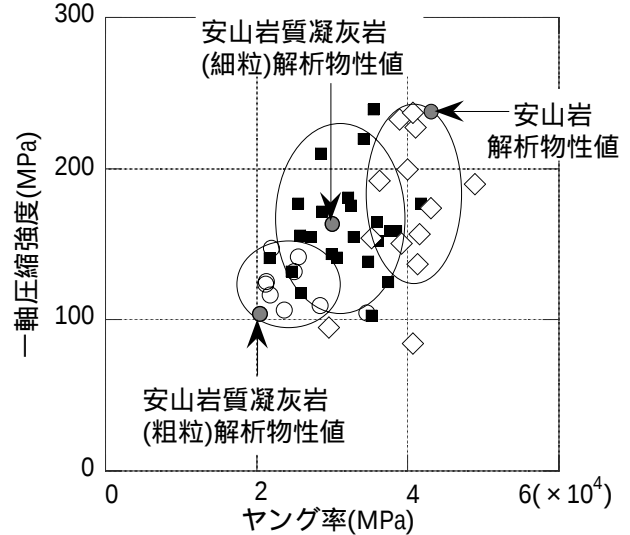


図-1 室内試験による岩石材料物性値

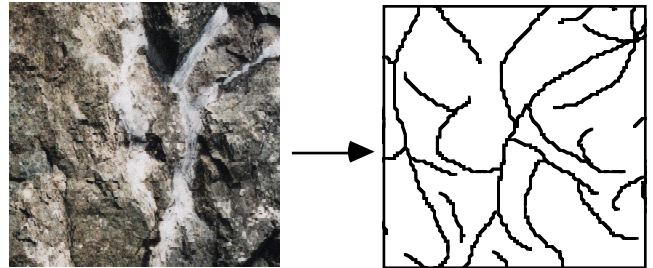


図-2 ユニットセルの作成(左:岩盤写真)

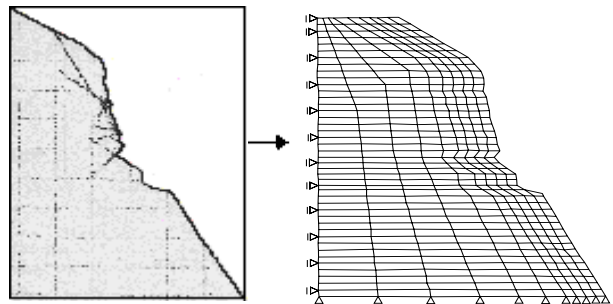


図-3 斜面の有限要素モデル

空間におけるこれらの点を二次曲面

$$F(\{\Sigma\}) = \{\Sigma\}^t [A] \{\Sigma\} + \{b\}^t \{\Sigma\} - 1 = 0 \quad (6)$$

で近似すれば岩盤の巨視的破壊基準が定まる．この巨視的破壊基準を用いた極限支持力解析によって，岩盤構造物の安定性が定量的に評価できる．

4. 岩盤斜面の安定解析

1) 岩盤の調査

対象とする岩盤はリアス式海岸地帯の岩盤斜面であり，地層は白亜系の安山岩及び安山岩質凝灰岩が分布している．岩盤の不連続面分布を知るために解析対象の岩盤から不連続面の配置状況の写真撮影とスケッチを行った．

2) 岩石の室内試験

現地で採取されたボーリングコアから直径5cm×高さ10cmの円柱供試体を作成した．供試体は安山岩，安山岩質凝灰岩（細粒），安山岩質凝灰岩（粗粒）の3グループの分類することができた．一軸圧縮試験を行い，岩石のヤング率と一軸圧縮強度を求めた（図-1）．この結果を元に，図中●印で示した3通りの岩石の材料物性値を安定計算で用いることにした．

3) 岩盤のユニットセルモデルの作成

岩盤の写真の中から代表的な不連続面の配置パターンを示す領域を選んで300×300画素の画像データとして取り込み，1画素に1要素が対応した有限要素モデルを作成した（図-2）．

4) 解析方法

ユニットセルと岩石の材料物性値から岩盤の平均弾性係数と巨視的破壊基準（二次曲面）が得られる．図-4に得られた破壊二次曲面を示す．この破壊基準を用い，自重を外荷重として極限支持力解析を行って斜面が自重の何倍で破壊に至るかを計算した．

5. 解析結果と考察

亀裂パターンの異なる2つケースに対する解析結果を図-5および図-6に示す．図には3種類の岩石と3つの斜面形状の組み合わせについての結果を示している．解析では，対象とする岩盤斜面は自重によって破壊はしないが，そのわずか1.3倍で破壊し得るという結果が得られた．この斜面は崩壊の危険性が指摘されて既に対策工が施されている．解析の結果は，そうした現実の判断に合致するものであり，提案手法の妥当性を裏付けるものとなった．

参考文献

1) 京谷孝史，寺田賢二郎，欧陽立珠：岩石の力学特性と不連続面画像情報による岩盤の変形強度特性評価，土木学会論文集，No.631/III-48（1999），131-150.

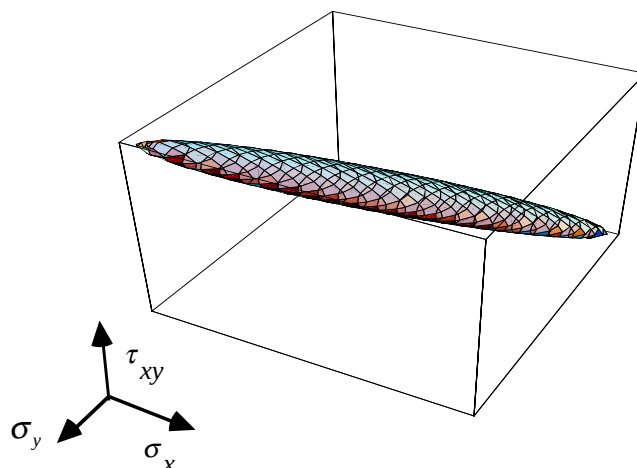


図-4 巨視的破壊基準二次曲面

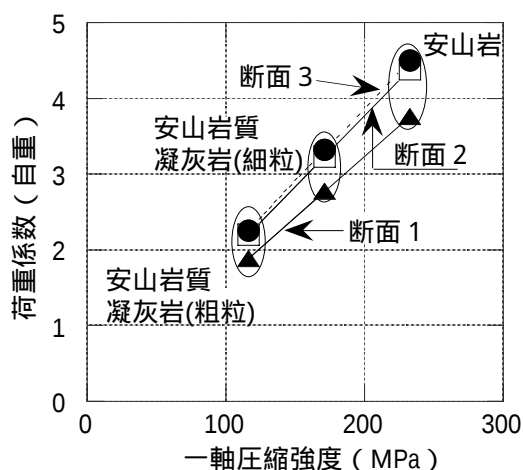


図-5 亀裂パターン1

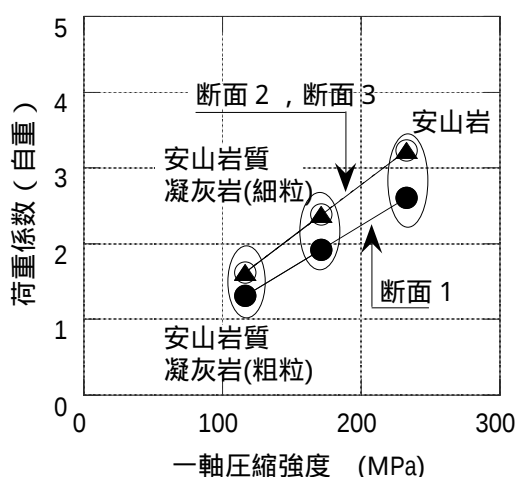


図-6 亀裂パターン2