

III-48

均質化法による不連続性岩盤斜面の安定性評価

東北大学工学部	学生員	○比嘉	靖洋
東北大学工学部	学生員	欧陽	立珠
東北大学工学部	正会員	京谷	孝史
東北大学工学部	正会員	岸野	佑次

1. はじめに

近年、全国でトンネル坑口部と落石覆土工箇所
の緊急点検が実施され、応急的な対策が施されてい
る。本研究ではそのような岩盤斜面の1つを例に取
り上げ、均質化法に基づく安定解析を実施して、岩
盤斜面が自重の何倍で破壊に至るかを算定した。

2. 均質化法

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。

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

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

$$\int_Y E_{ijpq}(y) \frac{\partial \chi_p^i}{\partial x_q} \frac{\partial v_j}{\partial x_i} dY = \int_Y E_{ij}(y) \frac{\partial v_j}{\partial x_i} dY \quad (2)$$

を解くことによって得られる。この均質化弾性係数
 E_{ij}^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弾性応力分
布 $\bar{\sigma}$ が得られる。更に、微視的構造内部に分布する
微視的局所応力の近似解が次式によって求められる。

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

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 $\bar{\sigma}_{mn}$ 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. 巨視的破壊基準の決定

(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
ら構成材料の降伏基準を、Drucker-Prager型として特
定すれば、ユニットセルの局所的降伏条件は次式の
ようになる。

$$f(\sigma_{ij}^0) = \sqrt{\frac{1}{2} s_{ij}^0 s_{ij}^0} - \alpha \sigma_{kk}^0 - K = 0 \quad (4)$$

上式の α は材料定数、 s_{ij}^0 は σ_{ij}^0 の偏差応力である。求
めるべき「巨視的破壊基準」は平均応力に対する基準
 $\bar{f}(\bar{\sigma}_{ij}) = 0$ であり、不連続面の配置を反映して空間座
標に固定した形で表現する。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。この単位応力に対して次のような関係を考
えることができる。

$$\beta = \max \left\{ \beta' > 0 \mid f(\beta' \sigma_{ij}^0(y)) \leq 0, \forall y \in Y \right\} \quad (5)$$

(3)式で与えられる微視的応力がユニットセル内で(4)式

の材料の降伏基準以下になるような係数 β の最大値を
求めると $\bar{\sigma}_{ij} = \beta \bar{\sigma}'_{ij}$ 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次元応力空間における
これらの点を通る曲面が決まり、これには扱いが容易
な二次曲面

$$\bar{f}(\{\bar{\sigma}\}) = \{\bar{\sigma}\}^t [A] \{\bar{\sigma}\} + \{b\}^t \{\bar{\sigma}\} - 1 = 0 \quad (6)$$

を用い、係数マトリックス $[A]$ 並びにベクトル $\{b\}$ を最
小二乗法によって定めることにより巨視的破壊基準が
得られる。巨視的破壊基準を用いて、破壊曲面を区分
近似し、岩盤斜面の極限支持力解析を行うことで安全
率が求まる。

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こ
の辺りは急崖が多く、急崖を構成する地層は白亜系の
安山岩及び安山岩質凝灰岩が分布している。岩盤斜面
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) 室内試験による岩石の材料特性

岩盤斜面からボーリングした岩石のうち亀裂の無い
ものを直径5cm×高さ10cmの円柱形に整形し、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)に分類し、一軸圧縮試
験を行った。その弾性挙動と破壊荷重から岩石のヤン
グ率と一軸圧縮強度が求めた。(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
定計算で用いた。

3) ユニットセル作成

ユニットセルは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び、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) 斜面のメッシュ図作成

岩盤斜面の危険箇所での断面図を三種類用意し、そ
れぞれについて図-3に示すような有限要素モデルを
作成した。

5) 解析方法

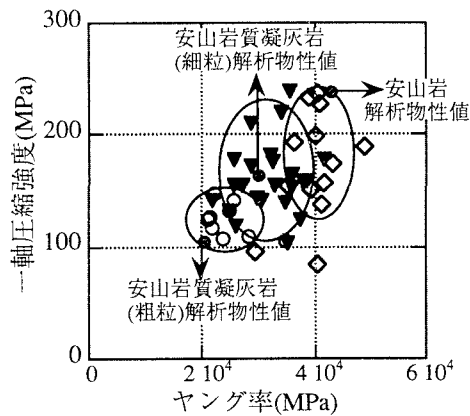
ユニットセルと岩石の材料物性値から均質化法によ
り、均質化弾性係数と巨視的破壊基準が得られる。図
-4に示すような岩盤に対する最小二乗法で近似した
破壊二次曲面をこの巨視的破壊基準で極限支持力解析
を行い、自重に対する斜面の安定性を定量評価する。

5. 解析結果と考察

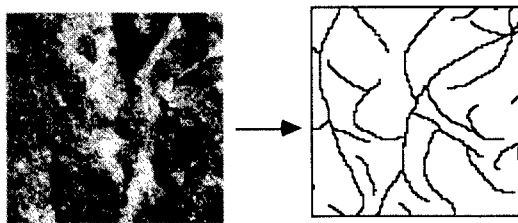
亀裂パターンの異なる2つケースに対する解析結果
を図-5および図-6に示す。図には3種類の岩石と3
つの斜面形状の組み合わせについて行い、それぞれ9
つの安全率を示している。自重によって破壊すること
は無いが、そのわずかに1.3倍で破壊し得るという予測
結果が得られた。この地点は既に対策工が施されてい
るがその処置は妥当であると言えそうである。

参考文献

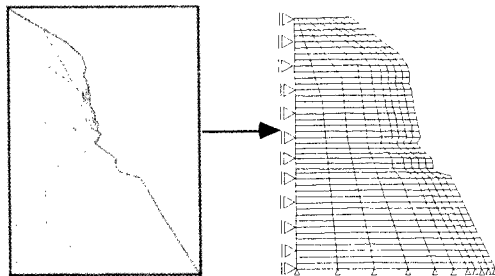
1) 欧陽立珠：均質化法と極限支持力解析を用いた不連続性岩盤安定解析システムの開発，東北大学工学部土木工学専攻修士論文，1998．



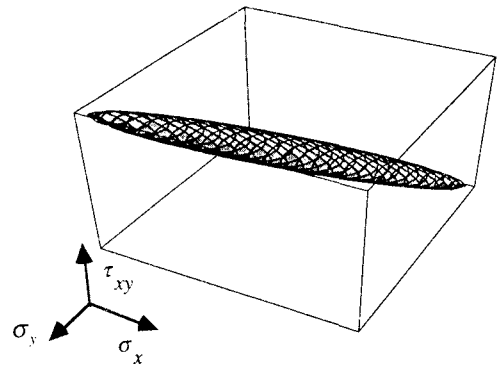
図－1 室内試験による岩石材料物性値



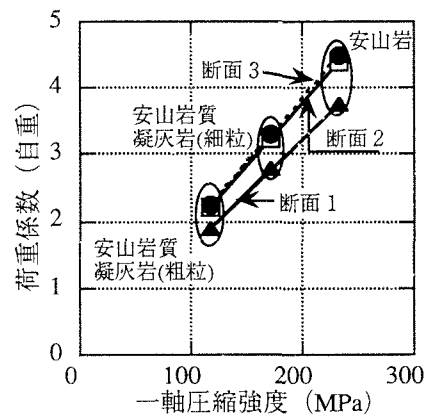
図－2 ユニットセルの作成（左：岩盤写真）



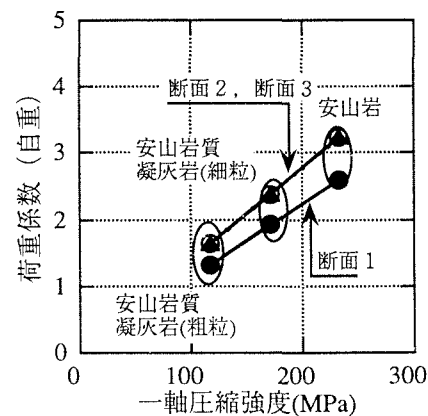
図－3 斜面の有限要素モデル



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