

Ⅲ-A354

亀裂を有する岩盤斜面上基礎の支持力解析

五洋建設株式会社 正会員 山路智生

長岡技術科学大学 正会員 大塚 悟

高松工業高等専門学校 正会員 土居正信

1.はじめに：巨視的な亀裂を内在する岩盤構造物は連続体としてモデル化することができず、またそのような亀裂は構造物の全体安定性に甚大な影響を及ぼす。慣用解析手法では亀裂の配置を考慮したすべり面を適宜仮定して安定性評価を行うが、亀裂と岩盤部分との相互作用あるいは亀裂が複数存在する場合の亀裂間相互の影響などを適切に考慮して解析を行うことは困難である。他方、岩盤を剛体と仮定するブロック体力学に基づく解析手法では、岩盤部分のせん断破壊を表現することができない。以上より巨視的な亀裂を内在する岩盤構造物に対しては、連続体である岩盤部分のせん断破壊と不連続面である亀裂の開口・すべりの両者を考慮できる安定性評価手法が望まれる。本研究では岩盤構造物に特有の破壊形態、すなわち

- 1) 岩盤部分ではせん断破壊が生ぜず、亀裂のみが開口・すべりを生じる破壊形態
- 2) 亀裂では開口・すべりが生ぜず、岩盤部分のみがせん断破壊を生じる破壊形態
- 3) 亀裂での開口・すべりと同時に、岩盤部分でのせん断破壊も生じる破壊形態

の3形態全てを統一的に扱うことのできる安定性評価手法を開発し、岩盤構造物の安定性を評価することを目的とする。

2. 亀裂の接触条件を考慮した安定解析

本研究では構造体内に存在する亀裂における、接触応力に関する制約条件を解析手法に導入し、簡単な塑性定理(下界定理)により安定解析を線形計画問題として定式化している。ここでは岩盤部分を弾完全塑性体と仮定する。まず塑性変形によって生じる応力を残留応力 σ^R と定義し、岩盤部分に生じる応力 σ を弾性応力 σ^E

と残留応力の和として $\sigma = \sigma^E + \sigma^R$ と表わす。亀裂での接触応力 p についても同様に、弾性応力と残留応力の和 $p = p^E + p^R$ で表わす。亀裂の開口やすべりを塑性変形と見なすと、残留応力 p^R が発生する。亀裂の接触条件は、亀裂の垂直応力 p_n 及びせん断応力 p_s を用いて式(1)のように表わす。

式(1)では亀裂での引張力について引張強度 c_n を、またせん断力についてはせん断強度 c_d を仮定した。下界定理によると、巨視的な亀裂を含む岩盤構造物の支持力問題は最終的に荷重 F に対する荷重係数 α の最大値 s を求める次式(2)のような線形計画問題に帰着する。

$$s = \max \left\{ \alpha \left| N^T \left(\alpha \begin{Bmatrix} \sigma^E \\ p^E \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \sigma^R \\ p^R \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \sigma_0 \\ p_0 \end{Bmatrix} \right) \leq K, \quad B^T \begin{Bmatrix} \sigma^E \\ p^E \end{Bmatrix} = F, \quad B^T \begin{Bmatrix} \sigma^R \\ p^R \end{Bmatrix} = 0 \right. \right\} \quad (2)$$

ここに、式(2)の右辺第1式は線形不等式群で表わされる岩盤部分の降伏関数ならびに亀裂の接触条件を表す。なお指標 σ_0 は初期応力を指す。右辺第2,3式は弾性応力および残留応力に関する力の釣り合い式である。力の釣り合い式は岩盤応力と亀裂の接触応力の関数として陽に表わしている。またこれらの式は有限要素離散化形式を用いて表記している。亀裂の開口やすべりは接触条件を破る際に生じる塑性変形として取り扱われる。亀裂に関しても残留応力を導入することにより、開口やすべりによる岩盤構造物全体の応力再配分を考慮することができる。

3. 巨視的な亀裂を含む岩盤斜面の安定性：岩盤部分のせん断および亀裂の開口・すべりが岩盤斜面全体の安定性に及ぼす影響について考察し、様々な岩盤斜面の破壊形態に対する本手法の適用性を確認する。ここでは図1

キーワード：岩盤斜面、巨視的な亀裂、極限支持力、下界定理、線形計画問題

連絡先：〒986-0835 宮城県石巻市南浜町1-2-22 五洋建設石巻寮 Tel. 0225-94-4436

に示すような亀裂配置が異なる4種類の岩盤斜面モデルについて解析事例を示す。各タイプとも図中の実線部分に亀裂が位置する。表1は解析定数である。図2はせん断強度に関して岩盤、亀裂とも Mises 基準に従うと仮定し、岩盤のせん断強度を $c=1000(\text{kPa})$ に固定した場合の支持力解析結果である。図2より、まず全体的な傾向としていずれのタイプも亀裂のせん断強度 c_d の増加に応じて構造物全体の極限支持力 q_u が増大し、最終的に約 $3000(\text{kPa})$ に収束している。これより、 c_d が小さい場合は各タイプ固有の不連続体的挙動が表現されており、 c_d が大きい場合は全タイプ共通して連続体的挙動が表現されていることが分かる。したがって亀裂の c_d が岩盤の c に近づくと、岩盤部分のせん断のみを原因とする破壊形態が生じると考えられる。各タイプの亀裂配置を考慮すると、全般的に Type 1,2,3,4 の順に極限支持力が大きいことも合理的である。また Type 1,2 は Type 3,4 と比較して極限支持力が亀裂のせん断強度の影響を強く受けていないことから、岩盤部分のせん断による影響を強く受ける破壊形態であることが分かる。一方 Type 4 は他のタイプと比較して極限支持力が亀裂のせん断強度の影響を最も強く受けていることから、その亀裂配置からも分かるように亀裂における開口・すべりの影響を強く受ける破壊形態であることが分かる。

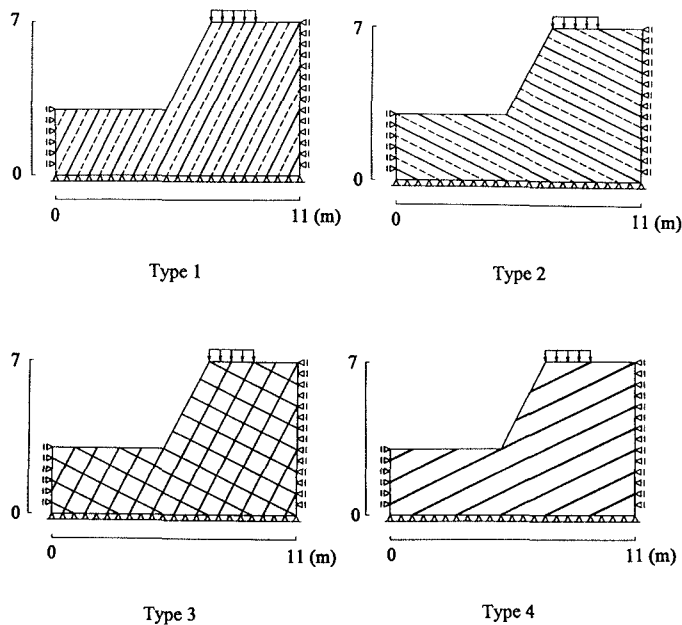


図1 岩盤斜面モデル

表1 解析定数

岩盤
$\gamma_t = 23.0 (\text{kN} / \text{m}^3)$
$E = 10^6 (\text{kPa}) \quad \nu = 0.33333$
$c = 1000 (\text{kPa})$
亀裂
$k_s = k_n = 10^{12} (\text{kPa} / \text{m})$
$c_n = 10 (\text{kPa}) \quad c_d = \text{variable}$

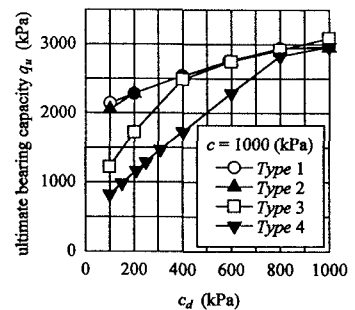


図2 解析結果(地盤、亀裂とも Mises 基準に従う場合)

4. 結 論：本研究では連続体である岩盤部分と不連続面である亀裂両者の相互作用を考慮した下界定理に基づく解析手法を開発し、これを用いて巨視的亀裂を有するいくつかの岩盤斜面モデルについて安定解析を行った。この解析事例より、亀裂の配置・数・角度による極限支持力の変化を表現でき、さらに亀裂を含む岩盤にて可能な3つの破壊形態を統一的に取り扱うことができることが示された。

参考文献

- 1) 鈴木忠夫ら：亀裂の微細構造による巨視的せん断強度特性の数値解析的考察,第 32 回地盤工学研究発表会,1997.
- 2) 大塚悟ら：亀裂の接触条件を考慮した岩盤の支持力解析,第 42 回地盤工学シンポジウム発表論文集,pp.43-48,1997.