不連続性岩盤の3次元滑り安定解析

東北大学工学部	学生員	天谷 敦規
東北大学大学院	学生員	鄭 慈恵
東北大学大学院	正員	京谷 孝史

1. はじめに

岩盤は節理や層理といった不連続面をもつ複雑な構造体 であるため,その斜面崩壊を予測することが困難である. 従来の不連続性岩盤斜面の安全性評価解析はフェレニウス 法¹⁾による2次元解が主流であった.しかし実際の斜面 は3次元であり,不連続面の方向や岩盤形状を再現しきれ ていない

そこで本研究では,市販の数式処理ソフトを用いて3次 元で岩盤斜面形状や不連続面の方向・位置を再現し,不連 続性岩盤の滑り破壊に対する安定解析システムを開発した.

2. 安定解析の方法

3次元斜面安定解析方法には,様々な手法が提案されて いる.その中で Hovland²⁾が提案した極限平衡法をもとに, 岩盤斜面におけるすべり体を四角柱要素に分割して安定解 析を行う.

2.1 岩盤斜面の3次元モデルとすべり体の設定

岩盤斜面はレーザー測量や地図の等高線からその高さを 読みとり,平面上にあらかじめ設定したメッシュ格子点上 の鉛直高さの座標値に変換して,3次元座標データを作成 する.

岩盤内部に存在する不連続面群は一般に3つの卓越方向 を持っている.そこで無数に存在する不連続面群のうち, 各卓越方向から不連続面を1つずつ選び出し,その不連続 面と地表面に挟まれた部分をすべり体として設定する.3 方向の面は同時に一つの点で交わるため,その交点 Pの位 置を決めることで組み合わせが1つ決まり,図-1のように その交点 Pを岩盤内部の格子点上で移動させながら,設 定されたすべり体の安全率を計算する.

2.2 安全率の計算

すべり体がすべる可能性のある方向は,すべり面の最急 勾配方向とすべり面の交線方向である.図-2の場合,すべ り面の最急勾配を表すのは方向1と方向2で,すべり面の 交線を表すのは方向3である.このうち方向1のように岩 盤内にもぐりこむ方向を除外する.そしてすべり体は残っ た方向のうち,より重力の作用が大きい方向にすべる.こ れを単位ベクトルTで表す.

図-3 のようにすべり体を形成する四角柱要素を抽出し, 底面の最急勾配方向について,すべろうとする力 S_i と,抵 抗力 Q_i を次式を用いて計算する.



図-1 交点とすべり体の形状



図-2 すべり方向の候補

$$\boldsymbol{S}_i = \{\gamma V_i (\boldsymbol{t}_i \cdot \boldsymbol{e}_g) \boldsymbol{t}_i \tag{1}$$

$$\boldsymbol{Q}_{i} = -\{cA_{i} + \gamma V_{i}(-\boldsymbol{n}_{i} \cdot \boldsymbol{e}_{g}) \tan \phi\}\boldsymbol{t}_{i}$$
(2)

ここで n_i , t_i は要素底面の単位法線ベクトルと最急勾配 単位ベクトル, γ は岩盤の単位体積重量, ϕ と c は不連続 面の強度特性でそれぞれ摩擦角と粘着力である.

これらの力のすべり方向 T における成分を計算し,す べり体全体について和をとって次式で安全率を定義する.

$$F_{3D} = \frac{\sum_{i} (\boldsymbol{Q}_{i} \cdot \boldsymbol{T})}{\sum_{i} (\boldsymbol{S}_{i} \cdot \boldsymbol{T})}$$
(3)

3. 実斜面への適用

解析対象とする斜面は 1:1.8 の勾配となっているが,融 雪や降雨の影響により,小崩壊や押出し変状,クラック等

キーワード: 極限平衡法,卓越3方向,すべり方向

〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, TEL 022-795-7425, FAX 022-795-7423

表−1 せん断強度と安全率の関係

解析ケース	摩擦角	粘着力	安全率	すべり体積
	(°)	(kN/m^2)		(m^3)
ケース1	33	3.0	1.06	298.9
ケース 2	26	3.0	0.85	987.1
ケース 3	33	0.3	0.78	237.3
ケース 4	26	0.3	0.56	237.3



図-3 四角柱要素抽出

が発生し,最終的には1:3の勾配で切直し施工が行われた. 現地での観察結果をもとに,岩盤の単位堆積重量を 20 kN/m³ とし,不連続面の卓越方向の走向傾斜を (N88W/52S)(N150W/28ES)(N170W/40E)の3方向 と設定した.ここで法面の走向傾斜は(N33E/29ES)であ る.またこの不連続面のせん断試験³⁾も行われており,摩 擦角は乾燥状態に比べて湿潤状態で低下することがわかっ ている.そこで摩擦角を33.0°と26.0°の2パターン,ば らつきの大きかった粘着力を3.0 kN/m²と0.3 kN/m²の 2パターン,計4パターンで計算した.ケース1とケース 2,ケース3とケース4はそれぞれ乾燥状態と湿潤状態の 比較となっている.

それぞれのケースについて最も安全率の低い形状を表-1 にまとめた.図-4から図-7までがそのときの危険形状とな るすべり面である.安全率が1以上となったのはケース1 のみで,この法面は極めて危険な状態であったといえる. また実際に崩壊が起きた場所も解析とほぼ一致しており, その形状はケース2に近いものであった.ケース2のよう に大きなすべり面が危険形状となったのは,不連続面の摩 擦角に比べて粘着力が大きかったためと考えられる.さら にケース1とケース2は,融雪や降雨が原因で崩壊したと いう事実を再現している.

4. 終わりに

危険箇所や崩壊形状を予測することができれば,安全かつ効率的な管理が行える.この開発したシステムを用いて, 適切な解析を行い具体的な予測ができれば,災害の抑止につながると考える.



図-4 ケース1 すべり面形状



図-5 ケース2 すべり面形状





図-7 ケース4 すべり面形状

参考文献

- 1) 地盤工学会: 斜面の安定変形解析入門 基礎から実例まで , 丸善株式会社 , 2006.
- Hovland, H. J.: Three-dimensional slope stability analysis method, Journal of the Geotechnical Engineering, Vol.103, No.GT9, pp.971 ~ 986, 1977.
- 3) 小松順一, 村岡洋, 阿部真郎, 三田池利之: 軟岩切土法面に おける岩盤崩壊の地質的要因と不連続面のせん断強度日本地 すべり学会誌, Vol.41,No.60,pp.607-617,2005