

不連続性岩盤の3次元滑り安定解析

○東北大学大学院 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の斜面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斜面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。

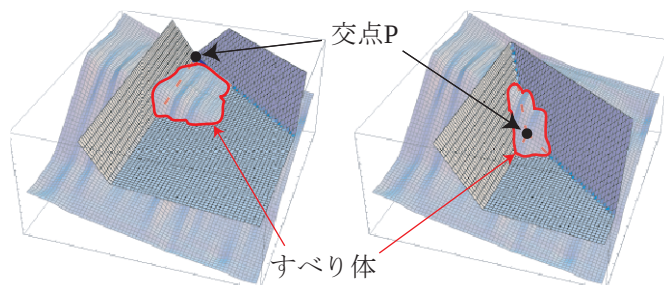


図-1 交点とすべり体の形状

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、抵抗抗力 Q_i を次式を用いて計算する。

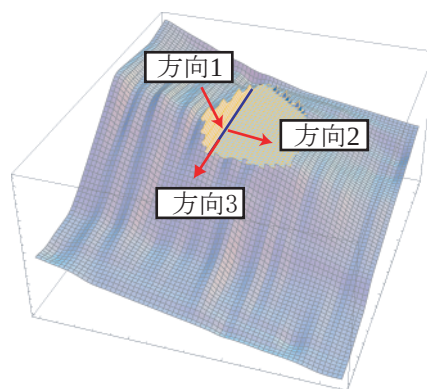


図-2 すべり方向の候補

$$S_i = \{\gamma V_i(t_i \cdot e_g)t_i \quad (1)$$

$$Q_i = -\{cA_i + \gamma V_i(-n_i \cdot e_g) \tan \phi\}t_i \quad (2)$$

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。

$$F_{3D} = -\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i \cdot T)}{\sum_{i=1}^N (S_i \cdot T)} \quad (3)$$

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、小崩壊や押し出し変状、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 セン断強度と安全率の関係

解析ケース	摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	安全率	すべり体積 (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

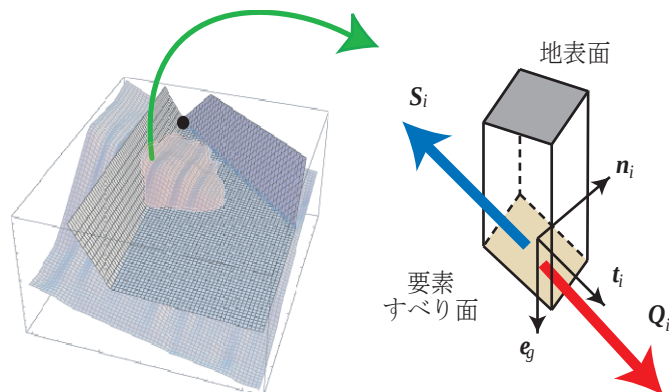


図-3 四角柱要素抽出

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思う。

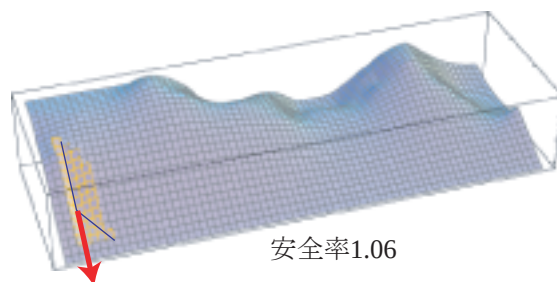


図-4 ケース1 すべり面形状

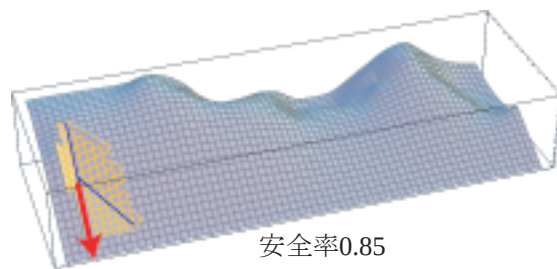


図-5 ケース2 すべり面形状

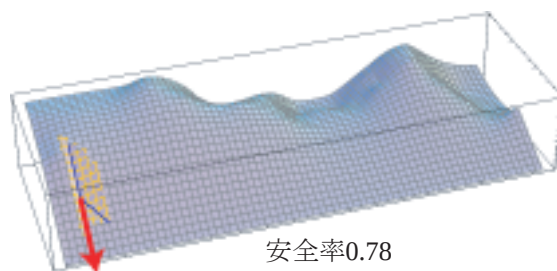


図-6 ケース3 すべり面形状

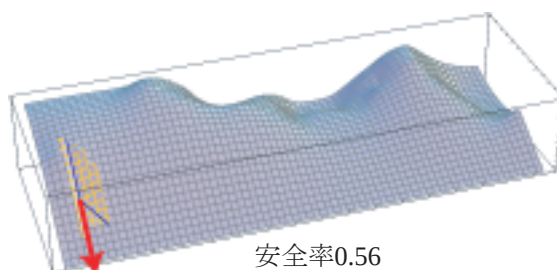


図-7 ケース4 すべり面形状

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.
- 2) 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