

Ⅲ-17 三次元数値地形データを利用した 斜面安定解析システムについて

東北大学 学生会員 ○三浦 史恵 正会員 京谷 孝史
フェロー 岸野 佑次 学生会員 山本 雄介

1. はじめに

我が国は山脈が多く、降雨、地震など自然条件も厳しいため、斜面崩壊による災害が多発している。災害防止のためには適切な斜面安定性評価をふまえた防災管理が不可欠である。これをうけて、広範囲の地形から危険な箇所を自動的かつ定量的に評価するシステムが開発されている^{1),3)}。

本研究では山本らが開発した三次元斜面安定解析システム³⁾の実用化を目的に、従来の解析システムに改良を加え、その実用性を検証する。

2. 三次元斜面安定解析システム

本システムは数式処理言語 Mathematica を用いて構築した。緯度、経度、標高の数値化された地形データを利用して、有限要素法における4節点アイソパラメトリック要素の考え方を適用して地表面およびすべり面を近似し、Hovland が提案した極限平衡法²⁾を応用して、安全率 F を求めている。すなわち図-1に示す要素毎の S_i 、 Q_i をすべり体の全体について求め、合力 $Q = \sum_i Q_i$ 、 $S = \sum_i S_i$ を求め、次式によって三次元斜面安全率 F を算定する。

$$F = \frac{-Q \cdot (S / \|S\|)}{\|S\|} = \frac{-Q \cdot S}{S \cdot S} \quad (1)$$

任意の楕円体を対象領域全域にわたり適宜設定し、その中から最小安全率を示すすべり体を選定する。

従来のシステム³⁾では地形の地下構造の多様性は考慮されていない。そこで、表層を複数の地層に分割し、物性値をそれぞれ設定可能にする。さらに、地下水による影響も考慮できるように機能を新たに拡張する。

地層構造は地表面と同様に、地層境界面、地下水面をメッシュ状の数値データとして扱う。土柱の重量は各地層が占める体積から求められる。ここで、土柱に対する各地層の体積比は各地層厚の比と等しいと仮定する。地層厚および土柱の深さは、土柱の中心を通る鉛直方向の軸と地層境界面、すべり面との交点から求める。

地下水位についても地層構造と同様に、土柱内の地下水の高さ H_i を求める。この H_i とすべり面面積 A_i から間隙水圧の合力 U_i は

$$U_i = \gamma_w H_i A_i = \gamma_w V_{wi}$$

と表すことができる。ここで γ_w は水の単位体積重量、 V_{wi} は地下水が浸透している部分の体積である。

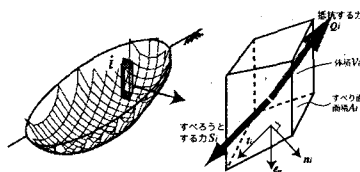


図-1 土柱に作用する力

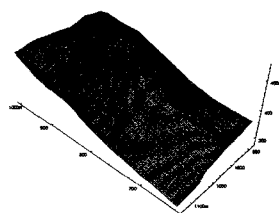


図-2 解析対象地形

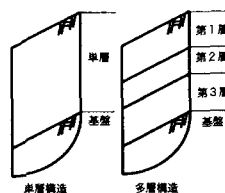


図-3 地層構造

以上より、土柱 i の抵抗力 Q_i とすべろうとする力 S_i は、

$$Q_i = \left[cA_i + \left(\sum_l \gamma_l V_{li} - \gamma_w V_{wi} \right) (n_i \cdot e_g) \tan \phi \right] t_i \quad (2)$$

$$S_i = -\{(t_i \cdot e_g) \sum_l \gamma_l V_{li}\} t_i \quad (3)$$

となる。ここに、 l は土柱 i 内の地層を表す指標、 γ は層ごとの土の単位体積重量、 c, ϕ はすべり面が存在する地層の強度定数である。強度定数は地下水の有無により変化する。

3. 適用例

本解析システムを図-2に示す地形に適用した。地層構造については図-3の2ケースについて解析を行う。解析に用いた物性値を表-1に示す。また、地下水位を地表から地下2mの位置に設定するケースと影響がないケースの2ケースについて解析した。なお、検証例題であることからすべり体の形状については長軸方向の半径は20mに固定するなど計算時間の短縮のためにある程度の制限を設けた。

表-2にそれぞれのケースにおける最小安全率を示す。ケー

表-1 設定する物性値

表土改良工の物性値				
表層 厚さ 7 m	単層		多層	
	物性値	厚さ	物性値	厚さ
	$c=50\text{kN/m}^2$ $\phi=30^\circ$ $\gamma=26\text{kN/m}^3$	7m	$c=50\text{kN/m}^2$ $\phi=30^\circ$	2.5m
			$\gamma=26\text{kN/m}^3$ $c=9.1\text{kN/m}^2$ $\phi=35^\circ$	1.5m
			$\gamma=23\text{kN/m}^3$ $c=58\text{kN/m}^2$ $\phi=25^\circ$ $\gamma=24\text{kN/m}^3$	3m
基盤	$c=9.8\text{kN/m}^2$, $\phi=20^\circ$, $\gamma=22\text{kN/m}^3$			

表-2 各ケースの最小安全率

	単層構造	多層構造
地下水なし	1.434(ケース 1)	1.267(ケース 2)
地下水あり	1.045(ケース 3)	1.042(ケース 4)

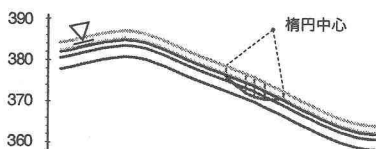


図-4 ケース 4 のすべり体の長軸方向断面図

ス 4 のすべり体断面図を図-4 に、各ケースの安全率が最も低かったすべり面形状を図-5～8 に図示する。解析で得られた結果には表層を単層としたケースと多層構造にしたケースで最小安全率に違いが見られる。このことから、本解析システムが表層の地層構造が斜面安全率に与える影響を反映していることが分かる。

また、地下水があるケースの方が地下水がないケースより最小安全率が低くなった。これは水圧により地盤反力が失われる分、すべりに抵抗する力が減少する効果を反映した、妥当な結果である。この結果から、地下水の影響を考慮に入れた解析が行えたことを確認した。

4. 終わりに

地層構造の任意設定と地下水による影響の考慮について従来システムの機能を拡張し、その性能を確認した。その結果、より現実に近い条件で解析が行えるようになった。

謝辞

最後に、応用地質株式会社の比留間誠之氏、能見忠蔵氏、復建技術コンサルタントの渡辺豊彦氏、佐藤喜一郎氏には本研究を進めるため、数々のご示唆、ご協力を頂きました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 周 国云, 江崎哲郎, 謝 謨文, 三谷泰浩: GIS とモンテカルロ法を用いた新しい三次元空間斜面安定評価方法の提案, 土と基礎, Vol.50, No.5, pp.23～25, 2002.
- 2) Hovland, H.J.: Three-dimensional slope stability analysis method, Journal of the Geotechnical Engineering, Vol.103, No. GT9, 971～986, 1977.
- 3) 山本 雄介, 京谷 孝史: 数値地形データを用いた三次元斜面安定解析システムの開発, 地盤工学研究発表会発表講演集, Vol.38, pp.2203 2204, 2003.

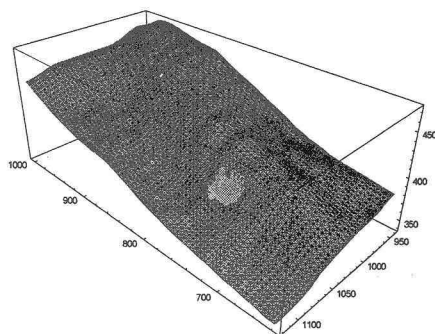


図-5 ケース 1 で最小安全率を示したすべり面形状

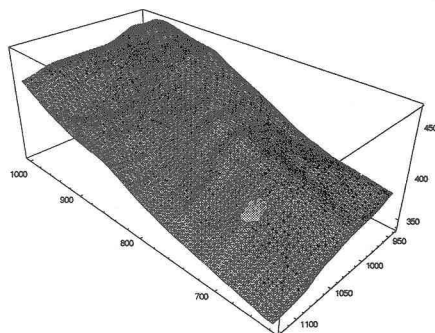


図-6 ケース 2 で最小安全率を示したすべり面形状

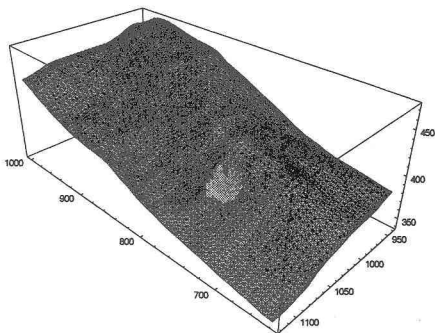


図-7 ケース 3 で最小安全率を示したすべり面形状

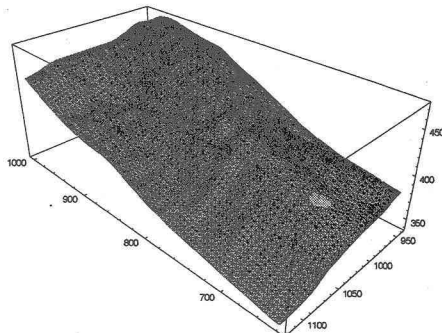


図-8 ケース 4 で最小安全率を示したすべり面形状