

III-437

地震時斜面安定性に関する材料物性値の感度分析

中部電力(株) 土木建築部 正員 藍田 正和 ○鈴木 英也
清水建設(株) 大崎研究室 正員 石井 清 鈴木 誠

1. まえがき

材料物性値のばらつきは、地震時の斜面安定性評価に直接影響することから、特にばらつきが大きいときには、解析に用いる設計値の設定と安定性の照査に用いる安全率の選択が重要な問題となる^{1),2)}。本研究ではこの問題に対する手掛かりを得るために、確率有限要素法³⁾を用いた感度分析を行うことにより、斜面安定性に大きく影響を与える物性値の検討を行う。

2. 解析概要

図-1に示すような3層からなる地盤モデルを対象として、確率有限要素法を用いて円弧すべり解析を行う。ここで用いる確率有限要素法は、拡張2次モーメント法による数値解析手法にもとづいており、材料物性値の平均値や標準偏差値のほかに、物性値が有する空間的なばらつきを考慮することができる。すなわち、地盤モデルは確率過程(あるいは確率場)としてモデル化されており、離散化された相互に相関をもつ445個の三角形要素に分割されている。解析ケースとして、粘着力が支配的な斜面(CASE-1)と内部摩擦角が支配的な斜面(CASE-2)の2ケースを考える。地盤の材料物性値は正規確率過程として、平均値を表-1のように設定する。また、各土層間の相関性や材料物性値間の相関性は考慮せずに独立とする。物性値の変動係数は、一律の0.1~0.4と変化させる。

表-1 材料物性値の平均値

	弾性定数 E (tf/m ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ_t (tf/m ³)	粘着力 c (tf/m ²)		内部摩擦角 ϕ (°)	
				CASE-1	CASE-2	CASE-1	CASE-2
C_L	1.3×10^5	0.18	2.4	10	70	37	27
C_M	4.1×10^5	0.18	2.5	10	100	40	30
C_H	1.3×10^6	0.18	2.6	20	150	43	33

さらに、物性値の空間的なばらつきを表す自己相関係数モデルは、成層過程や風化を考慮して次式を用いる。

$$\rho(\Delta x, \Delta y) = \exp \left[- \left\{ \left(\frac{\Delta x \cos \theta + \Delta y \sin \theta}{a} \right)^2 + \left(\frac{-\Delta x \sin \theta + \Delta y \cos \theta}{b} \right)^2 \right\} \right] \quad (1)$$

ここで、 $\Delta x, \Delta y$ はそれぞれ水平・鉛直方向の距離を示す。またパラメータ a, b は相関係数が $e^{-1}=0.368$ となる距離を表しており、 θ は基準座標 x, y からパラメータ a, b を用いる角度である。解析にあたり、 $a=100.0$ m, $b=20.0$ m, $\theta=20^\circ$ と仮定する。解析フローは、初期地盤応力のための自重解析、鉛直震度による静的解析と水平震度による静的解析の重ね合わせから、円弧すべり安全率を求める。各解析では解析モデルの境界条件を2種類用い、自重解析におけるポアソン比は0.45と仮定する。確率有限要素法は、物性値のばらつきの影響が大きいと考えられる水平震度解析のみに用い、自重解析と鉛直震度解析では確定値とする。解析結果は、円弧すべり安全率の変動係数としてまとめた。

3. 解析結果

物性値の平均値を用いて最小安全率となるすべり円弧は、表層すべりを除くと、CASE-1, 2とも図-1に示す円弧となる。このすべり円弧を対象として、各物性値とすべての物性値のばらつきによる安全率の変動係数を求めたものを図-2, 3に示す。図-2がCASE-1の結果、図-3がCASE-2の結果である。図中の実線は物性値の変動係数を一律0.4としたケースであり、変動係数をそれぞれ破線では0.3、点鎖線では0.2、2点鎖線では0.1としたものである。感度としての安全率の変動係数を、確率有限要素法から直接の求めることができない

ため、安全性指標の逆数から計算した。実際の解析では、感度のほかに物性値の変動係数も影響するため、単位体積重量のような変動係数が小さい物性値の安定性評価への影響は小さい。物性値の変動係数は、安全率の分散に直接影響するため、安全率の変動係数は平均値によって影響されることになる。図-2,3のすべての物性値を変化させたときの値が、同じ変動係数の物性値によっても異なるのは、安全率の平均値が異なるためである。粘着力が支配的な斜面であるCASE-1では粘着力が、内部摩擦角が支配的な斜面であるCASE-2では内部摩擦角が斜面の安定性に最も影響を与えるパラメータとなっている。すなわち、せん断強度のうちの支配的な物性値のばらつきを斜面安定解析では特に考慮する必要があることがわかる。また、弾性定数による影響は比較的小さいが、変動係数によっては無視できないものである。ポアソン比は自重解析に影響するが、今回の検討では自重解析にばらつきを考慮していないため、安定性評価にあまり影響を与えない結果となった。しかし、初期地盤応力の評価にかなりの不確定性を含んでいることも考えられることから、この点も今後検討すべき課題の1つである。

4. まとめ

通常の極限平衡法である円弧すべり解析では、最小安全率となるすべり円弧を破壊モードとしているため、確率論的なアプローチが複雑になる。しかし、斜面安定性評価に与える物性値のばらつきを相対的に評価することは可能であり、結果として、本解析モデルにおいては、せん断強度の影響が最も大きいことがわかった。

参考文献

1) 土質工学会：土質基礎の信頼性設計，土質基礎工学ライブラリー-28, 1985.
2) 伊藤 洋・新孝一：地盤物性値のばらつきの影響評価，電力土木, No. 208, 1987.
3) 鈴木 誠・石井 清：確率有限要素法による斜面安定解析，土木学会論文集, 第364号 / III-4, 1985.

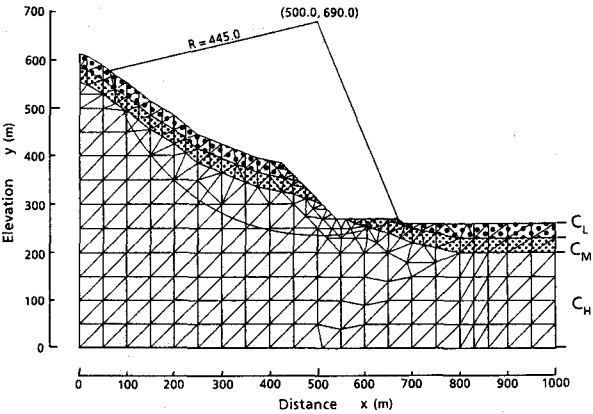


図-1 解析モデル

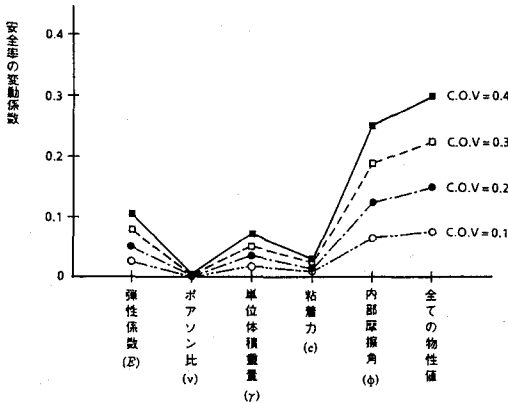


図-2 物性値のばらつきの影響評価 (CASE-1)

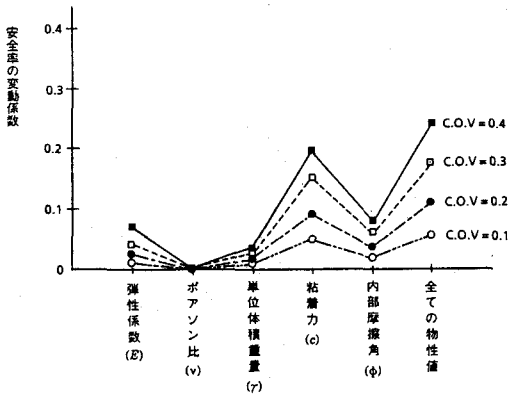


図-3 物性値のばらつきの影響評価 (CASE-2)