

III-185 確率有限要素法による掘削斜面の信頼性解析 その2

岡山大学農学部 正員 ○西村伸一

京都大学農学部 正員 長谷川高士

1. はじめに 有限要素法における入力パラメータを確率変数と考慮して解析を行う確率有限要素法について様々な研究がなされている。その中で、テラー展開による線形近似理論を斜面の信頼性解析に導入した桜井、土居の研究¹⁾が存在する。本研究は、基本的な定式化をこれに従い、これを掘削斜面の信頼性解析に適用したものである。この研究に対し、著者らはすでに、Critical-State理論に基づく状態境界面モデル²⁾を用いて、確率有限要素解析に必要なパラメータの推定法を考案し、完全飽和の非排水正規圧密状態にある掘削斜面の局部破壊確率を求めた³⁾。今回は、円弧すべり面を仮定した極限平衡法を用いて、斜面の全体破壊確率を求めた。

2. 斜面の破壊確率の定式化

いま、円弧すべり面を仮定すると、すべり面全体の破壊を定義する性能関数 Q_0 は、次の式で与えられる。

$$\tilde{Q}_0 = M_R - M_0 = r \int_0^{\theta_0} Q_{0i} d\theta = r \sum_{i=1}^N Q_{0i} \Delta L_i \quad (1)$$

M_R : 抵抗モーメント M_0 : 滑動モーメント r : 円弧の半径 θ_0 : 円弧の中心角

N : すべり円が横切る要素の数 ΔL_i : すべり円が要素を横切る長さ

ここで、 Q_{0i} は、すべり円弧が横切る各要素に対する性能関数を表す。従って、 $\tilde{Q}_0$ の期待値と分散が次の式で与えられ、また、 $\tilde{Q}_0$ の分布を正規分布と仮定することによって破壊確率が求められる。

$$E[\tilde{Q}_0] = r \sum_{i=1}^N E[Q_{0i}] \Delta L_i \quad (2)$$

$$VAR[\tilde{Q}_0] = (r)^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \Delta L_i \Delta L_j COV[Q_{0i}, Q_{0j}] \quad (3)$$

3. すべり面の選定

本研究で用いている極限平衡法においては、すべり面として円弧すべり面を考え、最大の破壊確率をもつ円弧を潜在すべり面と考え、それに対する破壊確率を斜面の破壊確率とする。本研究では、この方法を採用する他、特に次のような手法も採用する。通常、斜面全体の崩壊は局部破壊から始る。この事実に基づき、すべり面が必ず局部せん断破壊確率最大の要素を β の傾きをもって横切る、という拘束条件を設ける。 β は、その要素の応力の状態、強度から最も破壊状態に近いと推定される面が水平軸となす角である。

$$\beta = \psi \pm (45^\circ + 1/2 \phi) \quad (4)$$

ψ : 最大主応力面が水平軸となす角 ϕ : 内部摩擦角

このような円弧の中から、破壊確率が最大のものを選定し、これに対する破壊確率を斜面の破壊確率とする。また、必ずしも最大でなくても、数箇所に局部破壊確率の大きな要素が散在するときは、それぞれについて上記の手法を適用し、複数のすべり面を仮定する。

4. 掘削

斜面の信頼性解析

地盤モデル

ル Fig.

1に、解析

を行う地盤

のモデルと

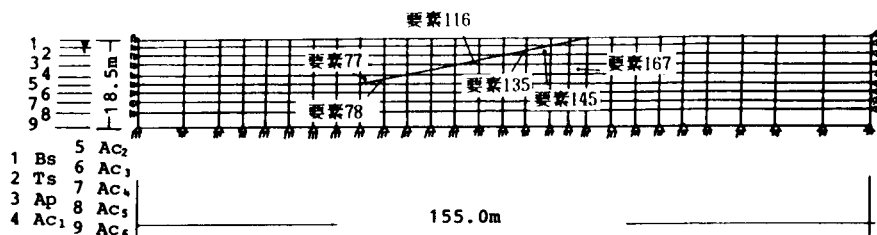


Fig.1 地盤のモデルと有限要素

有限要素を示す。地盤は、第四紀沖積層に属し、Bs, Ts, Ap, Acなる四層からなっており、さらに、Ac層を6層に細分化して考える。地盤は、全層、完全飽和の非排水、正規圧密状態にある。この地盤の五段階掘削を行う。

確率有限要素解析入力パラメータの決定 状態境界面モデルを用いて土質室内試験結果を処理することにより、Table 1に示すように、単位体積重量 γ 、有効応力に基づく土圧係数 K_0 、非排水ヤング率 E_u 、非排水強度 C_u の期待値と変動係数、また、ここには載せていないが、これらのパラメータ間の空間的相関係数を求めた。FEM解析に必要な弾性定数の一つである非排水ボアソン比は、全層において、0.46の一定値をとるものとし、確定値として扱う。また、安定解析を行うにあたって $\phi_u=0$ とした。

解析結果 掘削1～5段階のそれぞれについて、拘束を設けた場合と設けない場合の破壊確率とすべり面を求めた。破壊確率の定式化は上記のとおりであるが、 $\beta=\psi \pm 45^\circ$

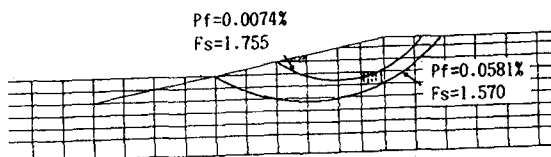
($\phi_u=0$)の計算に対しては、 ψ の平均値を用いた。結果を、掘削3～5段階目についてFig.2に示したが、拘束を設けた場合は実線、拘束を設けない場合は点線ですべり面が与えられている。それと共にすべり面の破壊確率Pfと中央安全率Fsが与えられている。また、図の下には、拘束する要素の番号とその要素のせん断破壊確率を与えた。拘束条件を設ける場合、2箇所で局部破壊確率が大きい場合は、2つの破壊モードを考えた。（掘削3，4段階目）また、掘削3段階目では、点線が、要素167で拘束される深いほうの実線すべり面に一致している。全体をとおして、掘削が進むにつれてすべり面が深くなり、斜面の破壊確率が飛躍的に大きくなってゆくのがわかる。

5. まとめ 状態境界面モデルを用いて非排水正規圧密状態にある材料定数の統計量を推定し、掘削斜面の安定性を破壊確率によって検討することができた。また、すべり面の選定に局部破壊確率の影響を盛り込むことができた。

参考文献 (1)桜井,土居:土木学会論文報告集, No.330, pp.87-97, 1983. (2)Atkinson, J.H.: Foundations and Slopes, MacGraw-Hill, 1981. (3)長谷川, 西村:土木学会第41回年次学術講演会講演概要集, 第3部, pp.635-636, 1986.

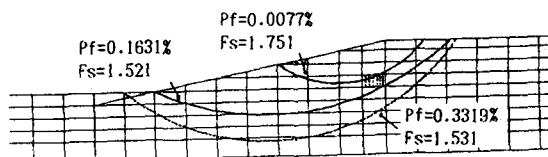
Table 1 FEM解析に必要なパラメータの期待値と変動係数

層	γ (t/m^3)	K_0	E_u (kg/cm^2)	C_u (t/cm^2)
期待値				
変動係数				
1 Bs	1.70 8.2%	0.943 13.3%	95 24.4%	0.36 13.0%
2 Ts	1.36 5.9%	0.943 13.6%	453 39.0%	0.82 11.9%
3 Ap	1.20 8.8%	0.742 24.4%	265 60.1%	1.16 11.4%
4 AC ₁	1.54 6.3%	0.806 11.4%	851 32.9%	1.34 9.4%
5 AC ₂			1070 31.1%	1.69 9.6%
6 AC ₃			1288 30.1%	2.04 10.5%
7 AC ₄			1505 29.5%	2.38 11.4%
8 AC ₅			1724 29.1%	2.73 12.1%
9 AC ₆			1996 28.8%	3.17 12.9%



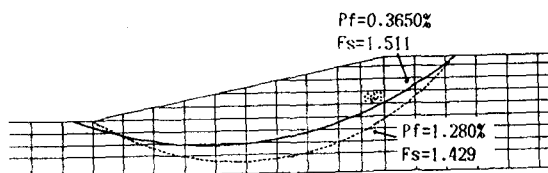
要素135のせん断破壊確率 Pf=14.99%

要素167のせん断破壊確率 Pf=6.359%
excavation process 3



要素135のせん断破壊確率 Pf=10.33%

要素167のせん断破壊確率 Pf=13.51%
excavation process 4



要素167のせん断破壊確率 Pf=17.36%
excavation process 5

Fig.2 すべり面と斜面の破壊確率