

清水建設(株) 土木本部開発部 正員 鈴木 誠

清水建設(株) 大崎研究室 正員 石井 清

1. はじめに

本研究は、確率有限要素法¹⁾を適用して、河川の増水あるいは渇水期における堤体の斜面安定解析を行ったものである。解析では2つの有限要素法を組み合わせることで堤体斜面の破壊確率を求める。すなわち、その1つは河川の水位により定まる地下水流に対して斜面内の各要素のポテンシャル勾配を求める2次元定常浸透流解析である。もう1つは、浸透流解析の結果として算定されるポテンシャル勾配より物体力を求め、さらに地盤定数の不確定性を考慮して、斜面の円弧すべりに対して破壊確率を算定する2次元確率有限要素法解析である。この手法によれば、河川の水位の上昇や下降による斜面の安定性がどのように変化するかということ破壊確率という尺度によって定量的に評価することができる。また、河川水位が急激に低下する場合等についても、定常浸透流解析を非定常浸透流解析に変更することにより、容易に適用可能である。

2. 解析手法の概要

本研究における解析手法は、一次ガウス近似法を適用した確率有限要素法である。この手法の特徴は、次の通りである。すなわち、①性能関数の定義式によらず解の不変性を有する。②確率変数が正規分布以外の場合にも解の精度が良い。手法の詳細については、文献1)を参照されたい。さて、ここでは文献1)において述べていない円弧すべりに対する斜面の破壊確率についてのみ以下に簡単に補足説明する。

円弧すべりにおけるすべり面を仮想の層理面と考える。円弧すべり面における全体破壊の性能関数 $\tilde{Q}_s$ は、せん断応力による滑動モーメントと粘着力や内部摩擦角による抵抗モーメントとの差により以下のように定義することができる²⁾。

$$\tilde{Q}_s(x_0, y_0, r_0) = r_0 \int_0^{\theta_0} Q_s d\theta$$

ここで、 (x_0, y_0) はすべり円弧の中心座標、 r_0 は半径、 θ_0 は中心角である。また、 Q_s は各要素の層理面上での性能関数であり、各要素のつり合いを表していると考えてよい。従って、 Q_s を層理面に沿って積分して得られる $\tilde{Q}_s$ が負または0となったとき、斜面は破壊する。上式に対する実際の計算は、円弧すべり面が各要素を切る長さとその要素の Q_s を用いて、 $\tilde{Q}_s$ を離散的に求める。

地下水流による影響は、次のように考慮される。すなわち、定常浸透流解析から求められる各要素重心位置におけるポテンシャル勾配(=流速/透水係数)に水の単位体積重量を乗じることにより算定される物体力が、各要素に作用するものとする³⁾。ここで浸透流解析の結果は透水係数の不確定性による影響を受けるが、以下に示す例題では、斜面を一層地盤により構成されるものとし、かつ定常浸透流として地下水流を解析することから、ポテンシャル勾配は変化しない。このことから、透水係数の不確定性を考慮する必要はなく、確定値として取り扱う。

3. 解析結果

図-1に本検討に用いた断面形状を示す。これより、浸透流解析および斜面安定解析に用いる解析モデルは、図-2のように節点数119、要素数192のモデルとした。

浸透流解析の結果として得られた堤体斜面内の流速分布を図-3, 4に示す。流速分布に基づき算定される物体力を各要素に作用させ、さらに表-1に示される地盤材料の不確定性を含めて求められた全体破壊確率を図-5, 6に示す。図-5, 6では破壊確率が最も大きくなるすべり円弧を示している。また図の右上には円弧の中心を移動させて求めた全体破壊確率をコンターとして示したものである。これより、河川水位が上昇することにより、破壊確率が0.042から0.129に増加し、斜面の安全性が減少しているのがわかる。さらに、参考として各要素の局部破壊確率を図-7, 8に示す。図-8から、堤体の左側部分では法先の局部破壊が進行していくことがわかる。

4. まとめ

本検討では、確率有限要素法を適用することにより、地下浸透流の影響を考慮した斜面の安全性を定量的に評価できることを示した。

参考文献

- 1) 鈴木・石井; 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, 1985.11.
- 2) 辰己 他; 確率有限要素法による護岸の信頼性解析 (その2), 第20回土質工学研究発表会, 1985.6.
- 3) 川本・林; 地盤工学における有限要素解析, 培風館, 1978.

表-1 解析に用いたパラメータ

材料特性	確率統計値	
	平均値	変動係数
弾性係数 E	500.0 tf/m^2 ($4.9 \times 10^3 \text{ kPa}$)	0.3
ポアソン比 ν	0.3	0.3
単位体積重量 γ	1.8 tf/m^3 (17.8 kN/m^3)	0.05
内部摩擦角 ϕ	35°	0.2
透水係数	$1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$	0
間隙率	0.3	0
備考	確率変数の分布形は正規分布とする(変動係数0のものは、確定値として取り扱われる)	

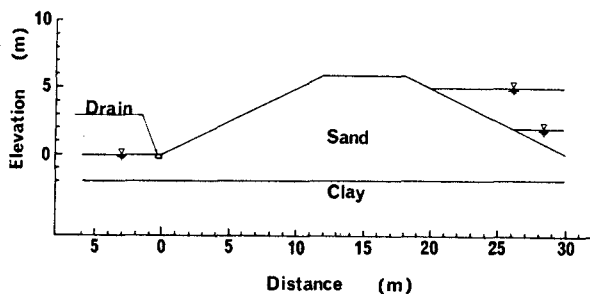


図-1 断面形状

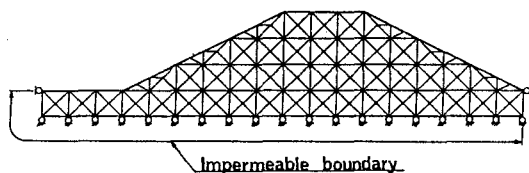


図-2 解析モデル

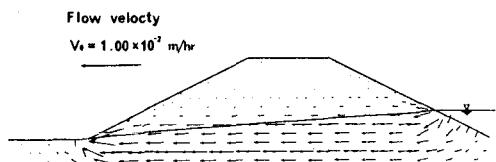


図-3 流速分布(渇水期)

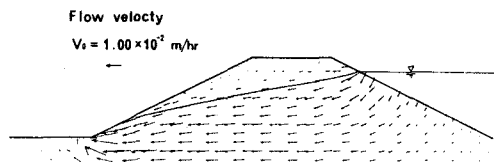


図-4 流速分布(増水期)

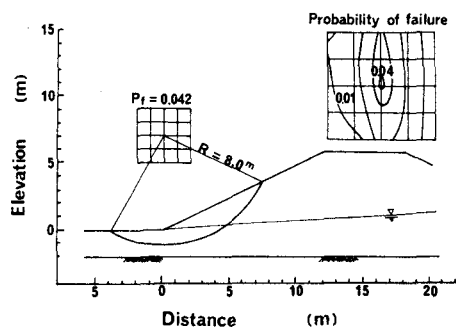


図-5 円弧すべりによる全体破壊確率(渇水期)

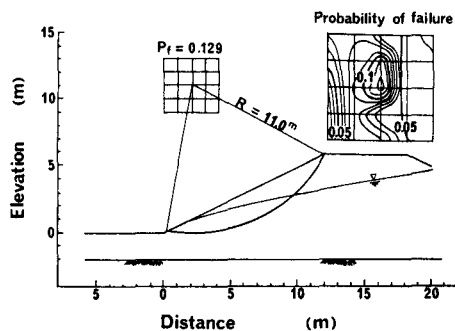


図-6 円弧すべりによる全体破壊確率(増水期)



図-7 局部破壊確率(渇水期)

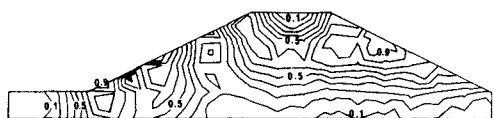


図-8 局部破壊確率(増水期)