

III-445

非定常浸透流下にある斜面の安定解析プログラムの開発

仁田ソイロック(株) 正 ○ 安富 英樹

徳島大学工学部 正 山上 拓男

1. はじめに

本研究は、非定常浸透の時々刻々における間隙水圧分布を考慮した斜面安定解析プログラムを開発せんとするものである。

自然斜面の豪雨時の安定性、河川堤防の洪水時の安定性、あるいはフィルタイプダム貯水池水位変動時の安定性等、斜面が非定常浸透流の作用下にある時の安定性を検討せねばならない事例は枚挙にいとまがない。このとき、担当設計技術者の立場からすれば、時々刻々変化するであろう安全率の時間的推移を連続的に知ることができれば設計上最も好都合である。しかしこのことは一般に極めて困難であるため、通常改善の策として、ある特定の時刻ないし状態に着目した解析がなされている。たとえば、外水位が最高位にあるとき、あるいは逆に貯水側水位が低下しきったとき、などに注目した検討である。

そこで筆者らは、任意時刻の安全率が即座に算出できるプログラムの開発を行った。本文では、新たに作成した非定常浸透流下にある斜面の安定解析プログラムを仮想地盤に適用した結果について報告する。

2. 基礎式と解析手法の概要

非定常浸透流解析には、飽和・不飽和領域を一体としたFEM解析手法を採用した。また、斜面の安定性は極限平衡法の安全率で表現するものとし、ここでは円形すべり面理論の中では最も精度の高い手法の1つに位置づけされているBishop法を想定した。

飽和・不飽和領域を一体とした流れの場の支配方程式は、多孔体と間隙水をともに非圧縮性と仮定すると次式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = C \frac{\partial H}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 k_x, k_y : x, y 方向の透水係数、 C : 比水分容量、 H : 全水頭、 t : 経過時間。

Bishop法による安全率算定式は次のように表される。

$$F_s = \frac{1}{\sum W \sin \alpha + \frac{Q}{r}} \sum \frac{c' l \cos \alpha + (P_v + W - u \cdot l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + \frac{1}{F_s} \sin \alpha \tan \phi'} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 F_s : 安全率、 W : 間隙水も含めたスライスの全重量、 α : スライス底面に立てた垂線が鉛直線となす角、 Q : すべり土塊に作用する自重以外の力によるモーメント、 r : 円弧の半径、 c' : 粘着力、 ϕ' : 内部摩擦角、 l : スライス底面の長さ、 P_v : スライス上面に働く水圧の鉛直成分、 u : スライス底面上の間隙水圧。

式(1)をFEM解析することにより、任意の時刻におけるポテンシャル分布が明かとなる。次いで、この結果をただちに安定解析に反映させることで、スライスにおける間隙水圧分布を的確に評価し、精度の高い安全率を導出することができる。

3. 適用例

図-1にみられる仮想地盤に対して適用した結果を示す。地盤の物性値は $c' = 1.0 \text{ tf/m}^2$ 、 $\phi' = 25^\circ$ 、 $\gamma_t = 1.8 \text{ tf/m}^3$ 、 $\gamma_{\text{sat}} = 2.0 \text{ tf/m}^3$ 、 $k = 5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ であり、不飽和浸透特性は図-2に示すとおりである。

まず、図-1の堤体右岸側⑥の外水位が9m、左岸側④の外水位が5m(地表面に一致)の定常浸透がある場合の安全率を算出した。臨界すべり面は図-3に示される円弧となり、最小安全率は $F_s = 1.373$ となった。また、この円弧に対して、従来一般に行われている水面までの鉛直距離で水圧分布を評価した場合には、 $F_s = 1.350$ であった。

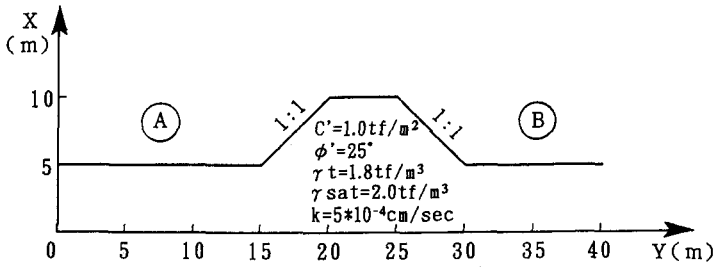


図-1 仮想地盤への適用

後者の安全率の値が幾分小さいのは、間隙水圧分布をすべり面と水面との鉛直距離で評価しているため、FEM解析より得られた水圧分布よりも幾分大きな値となっているためである。

次に、図-1の①②両側において、図-4に示す外水位変化が生じた場合の安全率を算出した。図-5に安全率の経時変化を示す。また、表-1にはいくつかピックアップした経過日数での、臨界すべり面を与える円弧の中心と半径およびその時の安全率を表す。図-6は、この問題において最小の安全率

となった経過日数28,125日目での臨界すべり面と最小安全率を示している。本問題において一点興味深いところは、堤体の上・下流側水位の差が最大である時が必ずしも最小安全率を与えるとは限らない、点である。なお、本プログラムは、自由水面が既知の定常浸透下の斜面に対しても、直ちに水圧分布を考慮した最小安全率が算出できる旨つけ加えておく。

4. おわりに

飽和・不飽和領域を一体としたFEM解析手法とBishop法を組み合わせたプログラムを開発し、非定常浸透流下にある斜面の安定解析を行った。本プログラムによれば、任意時刻における安全率を自動的に算出できるため、従前大変煩雑であった浸透流のある斜面の設計業務を簡略化することが可能となり、労力の軽減化を計ることができる。今後、Janbu法、Morgenstern・Price法等を想定した非円形すべり面場を対象としたプログラムの開発を予定している。

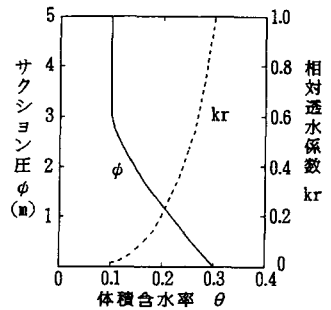


図-2 不飽和浸透特性

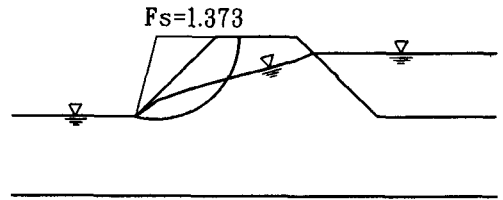


図-3 解析結果(定常問題)

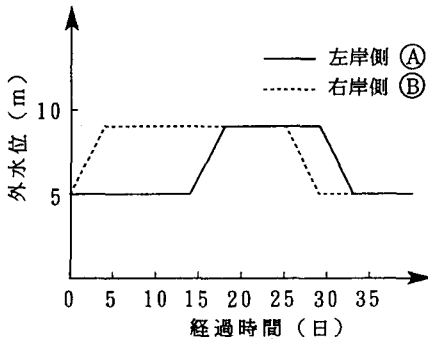


図-4 外水位変化曲線

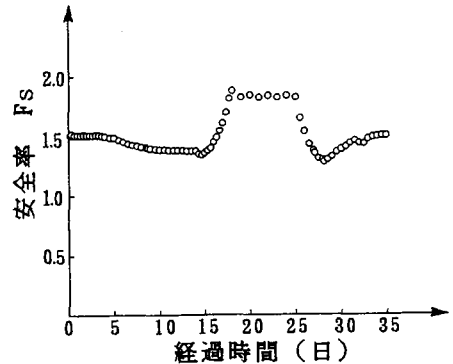


図-5 安全率の経時変化

表-1 経過日数と安全率の関係

経過日数	円弧の中心座標 X (m)	円弧の中心座標 Y (m)	半径 r (m)	安全率 Fs
1,000	14.875	12.000	6.996	1.506
2,000	14.875	12.000	6.996	1.506
3,000	14.875	12.000	6.996	1.505
4,000	14.875	12.000	6.996	1.496
14,000	16.000	10.000	5.070	1.375
15,000	16.000	10.000	5.070	1.358
16,000	16.000	11.125	6.202	1.449
17,000	15.125	12.500	7.500	1.612
18,000	30.000	12.500	7.491	1.878
25,000	15.000	13.000	7.938	1.826
26,000	30.000	13.375	8.364	1.536
27,000	29.000	11.125	6.202	1.374
28,000	29.000	10.000	5.070	1.299
28,125	29.000	10.000	5.070	1.281
29,000	29.000	10.000	5.070	1.326
30,000	29.000	10.000	5.070	1.383
31,000	29.000	10.000	5.070	1.441
32,000	14.875	12.000	6.996	1.439
33,000	14.875	12.000	6.996	1.475
34,000	30.125	12.000	6.996	1.496
35,000	30.125	12.000	6.996	1.501

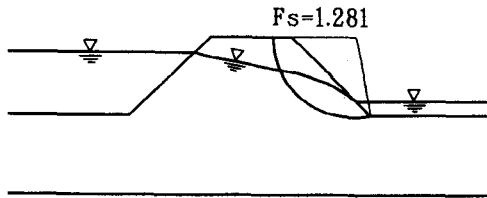


図-6 解析結果(非定常問題)