

河川堤防のすべり安全率の変化

岐阜大学工学部 正 会 員 宇野 尚雄
岐阜大学大学院 学生会員 ○田中 進

1. まえがき

近年、「越水なき破堤」による災害がさかんに報じられている。本文は、「越水なき破堤」を浸透水による堤体の安定性低下によるものに限定し、透水力の影響を評価検討するため、比較的簡単な梯形の単断面堤防に対する飽和・不飽和浸透解析とすべり面解析を同時に行なう。なお、浸透解析には数値解法の一法であるCrank-Nicolsonの陰解法、また、すべり面解析には、実用的に十分な精度があるといわれているBishop法を用いることにする。

2. 研究概要

斜面安定に占める透水力は、斜面を滑動させる向きとほぼ同じであるため非常に重要である。透水場にある土の安定を考える際には、土に働く重力と水圧合力を合成した力が重要であり、その考え方として、①全重量・間げき水圧法と②水中重量・透水力法の二通りが可能である¹⁾。図-1は、浸透水流のある斜面を分割して計算するBishop法に透水力を考慮し導入される記号も含めて示している。このとき、水中重量・透水力法によれば、透水力 ΣQ_L を考慮した安全率 F_s は、

$$F_s = \frac{r \sum \{c' + (p - u_w) \tan \phi'\} \Delta x / m \alpha}{\Sigma \Delta W \cdot x + \Sigma Q_L} \quad (1a)$$

$$m \alpha = \cos \alpha (1 + \tan \alpha \cdot \tan \phi' / F_s) \quad (1b)$$

で与えられる。ここに、 $p = \Delta W / \Delta x$ 、 $\Delta W = \gamma_{sub} \cdot z_1 + \gamma_t \cdot z_2$ ($\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$: 水中単位重量、 γ_t : 湿潤単位重量)、 $Q_L = i \gamma_w \Delta V \cdot L$ (i : スライス部ADFE(体積 ΔV)の平均動水こう配、 γ_w : 水の単位体積重量)、 $u_w = \gamma_w \Delta h_p = \gamma_w (h_p - z_1)$ (u_w : すべり面ADの中点における過剰間げき水圧)。さらに、全重量・間げき水圧法により、式(1a)を書き換えると、

$$F_s = \frac{\sum \{c' + (p - u_w) \tan \phi'\} \Delta x / m \alpha}{\Sigma \Delta W \cdot \sin \alpha} \quad (2)$$

となる。ここに、 $p = \Delta W / \Delta x$ 、 $\Delta W = \gamma_{sat} \cdot z_1 + \gamma_t \cdot z_2$ (γ_{sat} : 飽和単位重量)、 $u_w = \gamma_w \cdot h_p$ (u_w : すべり面ADの中点における間げき水圧)、 $m \alpha$ は式(1b)と同様。式(1a)と対比すると $Q_L = 0$ とおくことになる。

本研究は、河川堤防の施工履歴の観点から推定される堤防土質断面構成の単断面モデル(不透水性基礎上)1TYPEを対象に、洪水ハイドログラフを昭和35年建設省が淀川堤防(大塚地区)で実施した浸透破壊実験と同じもので、約5日間の洪水継続時間をもつものを与えた際の飽和・不飽和浸透解析を行ない、続いて発生している間げき水圧計算値を考慮したすべり面解析を行なった。その際、浸透による堤防土質の強度定数は一定として変化させない条件とした。解析に使用するデータ・条件として、図-2に堤防土質断面構成(法面こう配: 1割5分、天端幅: 2m、堤高: 4m)を示した。なお、堤防の初期状態として、全水頭一定(堤防底部を基準面とする)の条件を与える。また、土質構成については各層の組み合わせにより多くの場合が考えられるが、本研究では、堤防の主構成が砂質であり一部にシルトが混入している場合を想定して、表-1のように定める(番号は図-2を参照)。

3. 解析結果と考察

最小安全率と裏法尻の浸出点高さの時間的変化の様子を図-3に示す。この図によると浸出点高さが急に上昇すると、安全率は急激に小さくなる様子が見られる。さらに、安全率が最小となった後再び上昇しているが、これは、このころより外水位が低下し、それに伴い堤体内における水圧が低下していくために生じると思われる。また、4時間経過時における堤防断面の圧力水頭(単位cm)の模様、

および、すべり面解析による等安全率線を図-4(a)に、72時間経過時のものを図-4(b)に示した。これら2つの図を比較すると、透水力の影響により最小安全率は、1.74 から 1.12 に約4割減少している。浸透水の影響がこの程度に留まっているのは、浸透による強度定数を変化させない条件としたことに付随すると思われる。より実際の場合に近い解析結果を得るためには、水の浸透に伴う土性変化を導入することが重要な課題であると考えている。

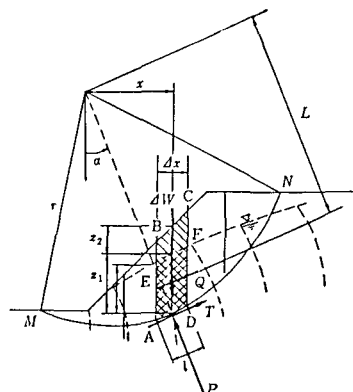


図-1 浸透水のある斜面

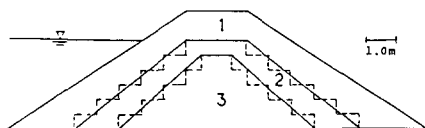


図-2 土質断面構成

表-1 透水・すべり面解析データ

番号	土質		透水係数(cm/s)	体積含水率	
1・3	砂	$hp \geq 0$	1.90×10^{-2}	0.4	
		$hp < 0$	$1.90 / \{hp^2 + 100\}$	$0.4 / \{1 + 2.5 \times 10^{-3} hp^2\}$	
2	シルト	$hp \geq 0$	1.90×10^{-2}	0.4	
		$hp < 0$	$0.19 / \{hp^2 + 100\}$	$0.4 / \{1 + 2.5 \times 10^{-3} hp^2\}$	
		粘着力(tf/m ²)	内部摩擦角(度)	γ_t (tf/m ³)	γ_{sat} (tf/m ³)
1・2		0.5	30	1.80	1.94
3		0.0	30	1.80	1.94

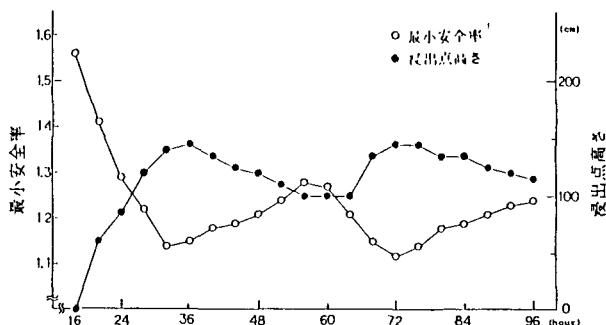


図-3 最小安全率, 浸出点高さの時間的变化

