

堤体の安定に及ぼす降雨外力の評価

岐阜大学工学部 正会員 杉井俊夫 宇野尚雄
岐阜大学大学院 学生会員 ○亀井雄介

1. まえがき 本研究は降雨・洪水をうける堤防の安全率の変化から外力評価を試みるものであり、今回洪水外力を固定、モデル堤防を設定し解析により堤体の安定に及ぼす降雨外力について評価・考察を行った。

2. 解析方法とモデル堤防 堤防形状は、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で使用された断面（法面勾配：1割5分、天端幅：2m、堤高：4m）と同一とし、上記の淀川実験堤防と同じ単断面規模で考えたモデル（不透水性基礎上）で砂質土からなる均質断面とする。飽和・不飽和浸透流解析を行い、Crank-Nicolsonの陰解法を使って基礎式の差分式表示をし近似解を求める¹⁾。また斜面安定解析では全重量・間隙水圧法により、逐次近似法を用いて安全率Fsを求める。

透水条件については、長良川砂質土の透水試験結果で得られた近似式をもとにして、土質に対する不飽和の透水係数、及び体積含水率を関数で定義し表1のように定める。今回、24時間で水位350cm（堤高の約9割）に達しその後一定となる外水位に固定して解析を行った（図1）。また降雨は実績を基に4日間の累積降雨量で760mmとなる降雨を基準に、降雨強度が一定（7.92mm/hour）の【Bパターン】を1.0Bとした。さらに4日間累積降雨量を1.5倍（1140mm/4d）、2倍（1520mm/4d）、2.5倍（1900mm/4d）にした降雨を1.5B、2.0B、2.5Bとする（図2）。いずれも浸透能より小さい降雨である。また強度定数c（0.5tf/m²）、φ（30°）は一定とし、強度定数の低下を考えていない。

表1 透水係数および体積含水率

土質		透水係数(cm/s)	体積含水率
砂質土	$h_p \geq 0$	1.90×10^{-3}	0.4
	$h_p < 0$	$0.19 / (h_p^2 + 100)$	$0.4 / (1 + 2.5 \times 10^{-3} h_p^2)$

3. 結果と考察 外水位と降雨の浸透状況²⁾について、堤体の安定性に関して重要となる堤内の浸透水の移動を堤体の重心の移動から調べるため、図3に洪水のみの浸透の場合と降雨洪水1.5Bの浸透水の重心移動の軌跡を示している。外水位の浸透により、左下方に移動し、やがて右下方に移動後上昇する傾向にある。図3では時間的な変化が把握しにくいので、図4に浸透水の重心の鉛直方向の経時変化、図5に浸透水の重心の鉛直方向の上昇速度を時間的に整理した。正を上昇、負を下降としている。これによると浸透開始後、表法面側の浸透により重心位置が下降するが、降雨の浸透により徐々に上昇し始める。また外水位の堤体内中心部の浸透が進むと同時に、堤体内に浸透した降雨の流れにより重心はまた下降する。さらに堤体内裏法側に外水位の浸透が加わり飽和度の増加により重心が上昇する様子がわかる。降雨強度が強くなるほど裏法面での飽和度の上昇開始（図5の矢印の点： t_1 とする）が速いことがわかる。（1.5Bの $t_1 = 53.6$ 時間）

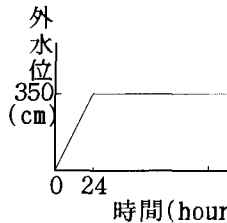


図1 ハイドログラフ

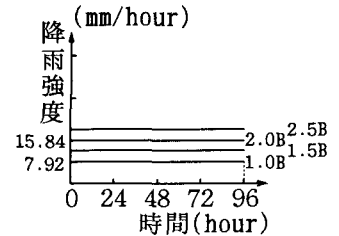


図2 Bパターン

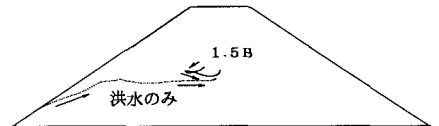


図3 (1.5B) 浸透水の重心の移動

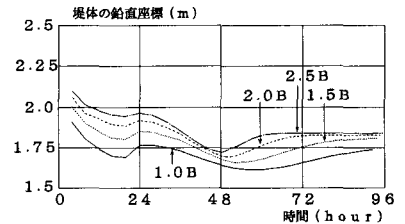


図4 浸透水の重心の鉛直方向の経時変化

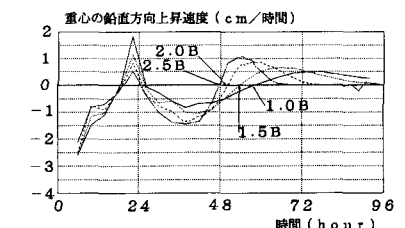


図5 浸透水の重心の鉛直方向上昇速度の経時変化

次に、図6に1.5Bの浸透開始より48, 52, 56, 60時間後の飽和度の分布（Sr = 90, 60, 20%ライン）を外水位がある場合（実線）とない場合（破線）を重ねて示した。これによると初期の段階（48, 52時間）と長時間後（56, 60時間）の浸透状況に違いが現れている。確かに、外水位がある場合の方が全体としての

飽和度は高くなっているが、法面すべりの原因となる裏法面での浸透状況は48時間、52時間では降雨による浸透が卓越しており、外水位の有無に影響されていない。しかし、56、60時間後では外水位がある場合にはその影響を受け、裏法面での飽和度の影響が著しくなる。浸透開始約54時間 (t_1) を境にこの違う傾向が現れている。すなわち、豪雨がある場合の安定性には初期の段階では降雨浸透による影響が強く、長時間後には外水位の影響が卓越することが推察される。

降雨の有無による安全率の低下について³⁾ 降雨洪水時と降雨なしの場合について、安全率 F_s の経時変化を図7に示す。この図より降雨なしの場合は安全率 F_s が約3日まで一定でその後下がり始めるのに対し、降雨を考慮した場合、4時間後から下がり始めるのがわかる。これは降雨なしの場合、外水位による表法面から裏法面への浸透に時間がかかるため安全率 F_s の低下への影響が遅れるのに対し、降雨ありの場合は、実際すべり破壊が生じる裏法面に降雨浸透による自重が増加し、初期の段階から安全率 F_s が低下するといえよう。

また、安全率 F_s が急激に低下する時間がみられる。そこで安全率の低下速度 ($1/\text{min}$) の経時変化を整理すると (図8)、安全率 F_s が急激に低下する時間 $t(\text{down})$ が顕著に現れていることがわかる。安全率 F_s がある時間を境に急激に低下する理由として、裏法側で降雨による堤内の飽和度上昇による透水性の増加が、外水位の堤内浸透を促進し結果的に自由水面を急激に上昇させ、安全率 F_s の急激な低下が起こると推察される。また各々のパターンにおいて、 $t(\text{down})$ は裏法面での外水位による浸透が卓越し始める時間 t_1 (図5の矢印の点) とほぼ同時刻となる。 $t(\text{down})$ は t_1 と同じ意味をもつが、 t_1 は外力 (降雨や外水位) の浸透性状に影響する値であり、 $t(\text{down})$ はさらに強度 c 、 ϕ の影響も含まれる値で、安全率の算定から c 、 ϕ の大きさに対して土塊の重量の増加の感度が異なり影響することが考えられる。

4. あとがき①豪雨がある場合の安定性には初期の段階では降雨浸透による影響が強く、長時間後には外水位の影響が卓越することが推察された。②安全率が急激に低下する時間 $t(\text{down})$ は裏法面での外水位による浸透が卓越し始める時刻 t_1 とほぼ同時刻となり、浸透水の重心の鉛直方向の移動が堤体の安定性の一つのパラメータになることがわかった。

【参考文献】 1) G.D. スミス・藤川洋一郎：偏微分方程式の解法，サイエンス社，pp. 1～56

2) 宇野尚雄・杉井俊夫・亀井雄介・小田雅克：降雨パターンからみた洪水時の堤体内の浸透について，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，1992

3) 杉井俊夫・亀井雄介・小田雅克：降雨・洪水をうける堤防の安定性変化，土木学会第47回年次学術講演会，pp1186～1187，1992

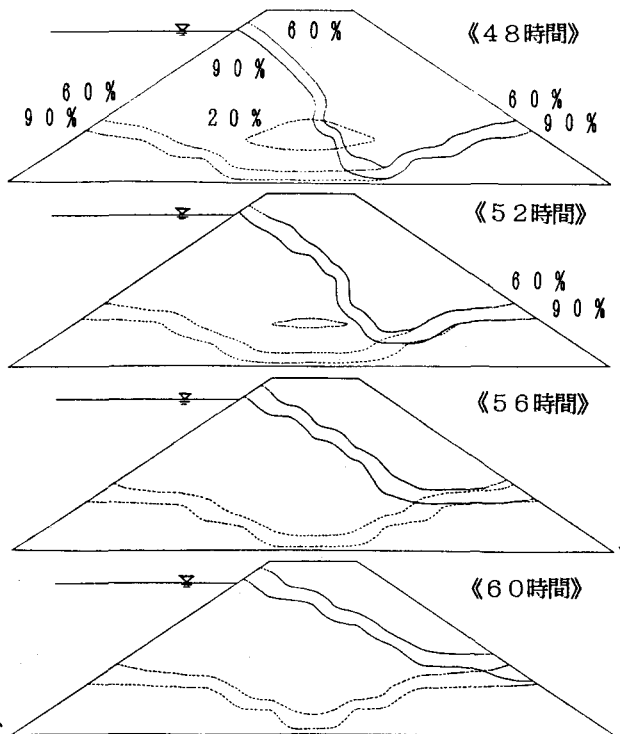


図6 (1.5B) 飽和度分布 (90%, 60%, 20%)

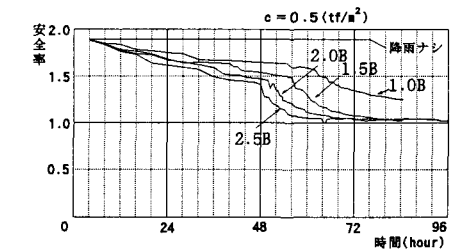


図7 安全率 F_s の経時変化

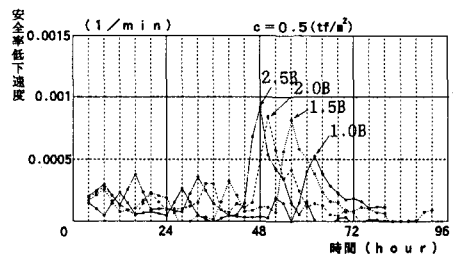


図8 安全率低下速度の経時変化