

斜面内の降雨浸透に関する遠心模型実験

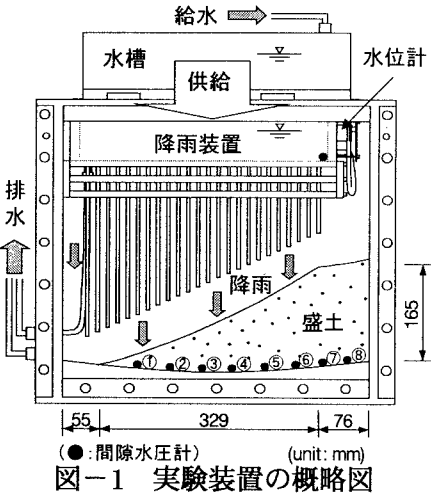
愛知工業大学大学院 (学) ○荻田 誠実
愛知工業大学工学部 (正) 奥村 哲夫・木村 勝行・成田 国朝

1. はじめに

降雨時の盛土斜面の安定性を検討する際に、降雨によって斜面内に生起する湿潤前線や飽和域の形状を把握することは極めて重要となる。この種の問題を通常の模型実験によって調べようとする場合、実物と模型との相似性が問題となるが、遠心場においては、毛管上昇高や自重応力の相似性を満たすことができるので、縮尺模型実験が可能となる。本研究では、遠心载荷装置を用いた降雨浸透実験を行い、斜面内の浸透挙動に及ぼす r/k 値 (r : 降雨強度, k : 飽和透水係数) と有効間隙率 ($\theta_s - \theta_i$) の影響を検討する。

2. 実験概要

実験装置の概略を図-1 示す。実験は所定の締固め密度で作成した盛土 (高さ 16.5cm, 勾配 1:2) の底面に 30G の遠心加速度を与えた後、降雨装置に給水を開始し、斜面上に雨を降らせる。盛土内の飽和域の成長過程は盛土底部に設置した間隙水圧計 (8 個) の値から決定する方法で行った。降雨強度は降雨装置底面に設置したテフロンホースの内径を変えることにより調節する。実験条件を表-1 に示す。実験は統一分類でシルト質砂とシルトまじり砂に分類される 2 種類の試料 A, B を用いて、 $r/k < 1.0$ の条件で合計 5 ケースの実験を行った。



3. 実験結果と考察

図-2 に CASE1 の盛土底部の間隙水圧と降雨装置内の貯水圧の時間的变化を示す。図より、間隙水圧は降雨開始後斜面先から順次増大し、やがて一定値に落ち着くことが分かる。他のケースも同様な傾向が見られた。この間隙水圧の増大し始めた時間は、各間隙水圧計の位置で飽和域が形成され始めた時間であり、斜面表面から降下してくる湿潤前線が間隙水圧計に達した時間となる。これらの時間と湿潤前線の降下距離 Y_t (水圧計と斜面表面までの鉛直距離) との関係を図-3 に示す。図より、降雨開始時間は $t'=578$ s と推定され、また湿潤前線降下速度はこの直線勾配より $v=0.69$ mm/s となることが分かる。他のケースも同様な方法で降雨開始時間 t' を求め、以下の実験結果の整理にはこの時間 t' を修正原点とした経過時間を用いる。

図-4 に各実験の湿潤前線降下速度 v と有効間隙率 ($\theta_s - \theta_i$) の関係を示す。 r/k 値一定 ($r/k=0.21$) で有効間隙率が異なる CASE1, 2, 3 を比較すると、有効間隙率が大きくなるにつれて湿潤前線降下速度が遅くなっているのが分かる。これは降雨の浸入によって斜面表面から盛土内の体積含水率がある一定の値に上昇していき、その湿潤域の最前線が湿潤前線として降下するため、一定の

表-1 実験条件

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
試料	試料A				試料B
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.62				2.64
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.73				1.70
含水比 w (%)	7.1	9.6	11.6	7.1	8.2
飽和透水係数 k (cm/s)	1.1×10^{-3}				1.6×10^{-3}
降雨強度 r (mm/h)	8.37			15.8	8.37
r/k	0.21	0.21	0.21	0.40	0.14
初期体積含水率 θ_i	0.123	0.166	0.200	0.123	0.139
飽和体積含水率 θ_s	0.341				0.357
有効間隙率 $\theta_s - \theta_i$	0.218	0.175	0.141	0.218	

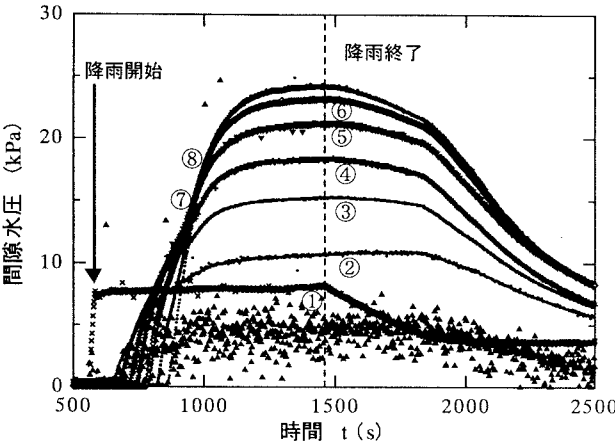


図-2 間隙水圧の時間的变化 (CASE1)

降雨強度の下では有効間隙率が小さいほど、つまり初期体積含水率が大きいほど湿潤域の形成に必要な水分の供給が少なくすむため、その差が湿潤前線降下速度の差に現れたと考えられる。次に r/k 値が異なり同一の有効間隙率 ($\theta_s - \theta_i = 0.218$) の CASE1, 4, 5 を比較すると、同一の降雨強度の CASE1, 5 では r/k 値の小さい、つまり飽和透水係数の大きな CASE5 が、また同一の飽和透水係数で降雨強度が異なる CASE1, 4 では r/k 値の大きい、つまり降雨強度の大きな CASE4 の方が湿潤前線降下速度は速くなる。さらに、飽和透水係数と降雨強度が共に異なる CASE4, 5 の場合は r/k 値の大きい CASE4 の方が湿潤前線降下速度は速い。以上より湿潤前線降下速度は有効間隙率が小さいほど、また降雨強度 r と飽和透水係数 k が大きいほど速く、 r/k 値によって一義的に決まらないと言える。

図-5 は盛土底部に設置した間隙水圧計の計測値から浸潤面高さを推定し、飽和域形状の時間的变化を示したものである (CASE1)。図より、飽和域は雨水の浸入より徐々に高さを増しながら斜面内部に進行し、やがて定常状態に至るのが分かる。これは $r/k < 1.0$ の条件で行ったガラス球と潤滑油を用いた 1G 場での降雨浸透実験の結果¹⁾と一致している。また図には示していないが、飽和域の

最高点 $T(x_t, y_t)$ は x_t, y_t 共に時間の経過に伴って比例的に増大することが分かっている²⁾。他のケースも同様な成長傾向であった。

図-6 は飽和域の最高点 $T(x_t, y_t)$ の盛土内部への水平方向および鉛直方向への進行速度をそれぞれ v_x, v_y とし、有効間隙率との関係で示したものである。どちらも湿潤前線降下速度と同様に有効間隙率が小さいほど、また降雨強度 r と飽和透水係数 k が大きいほど進行速度は速くなっており、降雨強度と飽和透水係数に影響されるという傾向が見られる。また、CASE1, 5 の v_x, v_y を比較すると、 v_y は v_x に比べ両者の値にほとんど差が見られない。これは飽和透水係数が大きい CASE5 の方が下方へと速く浸透するので、飽和域は、高さが低い形で盛土内部へと形成されていくためだと考えられる。

4. まとめ

湿潤前線降下速度および飽和域の最高点 T の進行速度は有効間隙率 ($\theta_s - \theta_i$) が小さいほど、また降雨強度 r と飽和透水係数 k が大きいほど速く、 r/k 値によって一義的に定まらないことが分かった。今後は斜面勾配を変化させた実験を行い、飽和域の成長と斜面の安定性との関係の検討していきたいと考えている。

参考文献 1) 木村勝行・大根義男:降雨による斜面内浸透流の模型実験, 第 23 回土質工学研究発表会発表講演集, pp.1835-1836, 1988. 2) 定岡・奥村・木村・成田:降雨による斜面内浸透流の浸透性状, 平成 11 年度土木学会中部支部研究発表会, pp255-256, 2000

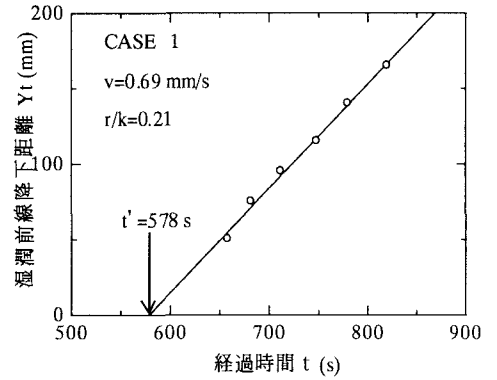


図-3 湿潤前線の堤体底面到達時

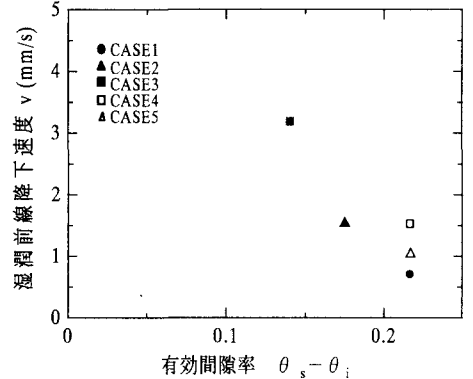


図-4 降下速度と有効間隙率の関係

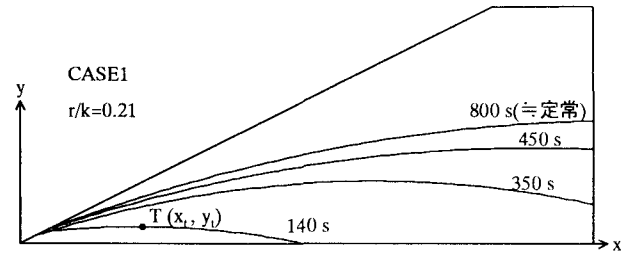


図-5 飽和域の成長 (CASE1)

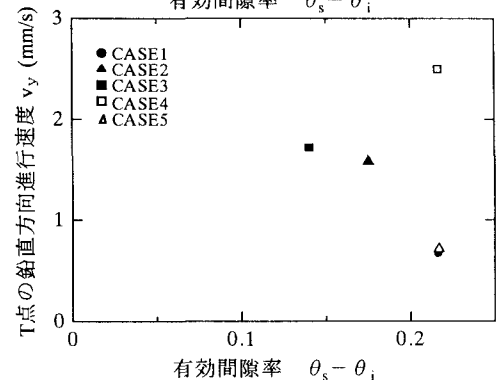
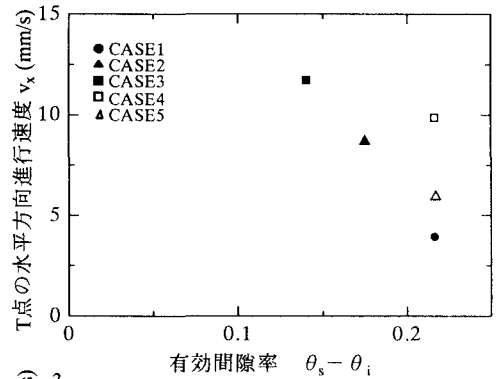


図-6 T 点の進行速度と有効間隙率の関係