

斜面内の降雨浸透性状について

愛知工業大学大学院 (学) ○荻田 誠実

愛知工業大学工学部 (正) 木村 勝行・奥村 哲夫・成田 国朝

1. はじめに

毎年、梅雨期の長雨や台風の集中的な豪雨など、降雨を起因とした斜面崩壊がしばしば発生する。このような降雨による土質斜面の崩壊は、降雨の浸透による盛土部の質量の増加や、せん断抵抗の低下によって引き起こされると考えられる。そこで本研究では、遠心模型実験装置を用いた降雨浸透実験を行い、それをモデルとした飽和・不飽和浸透流解析により盛土内部への降雨の浸透挙動を調べ、降雨強度と飽和域の成長過程の関係について検討を行った。

2. 降雨浸透実験と浸透流解析

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。降雨強度は $r=8.4\text{mm/h}$ であり、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压計(8個)の値から決定する方法で行った。実験に用いた試料の物性値は $\rho_s=2.62\text{g/cm}^3$, $w=7.1\%$, $\rho_d=1.73\text{g/cm}^3$ (締固めD値95%), $k=1.1\times 10^{-3}\text{cm/s}$ である。なお、実験値の実物へ換算は、時間を 30^2 倍、浸潤面高さを30倍した。

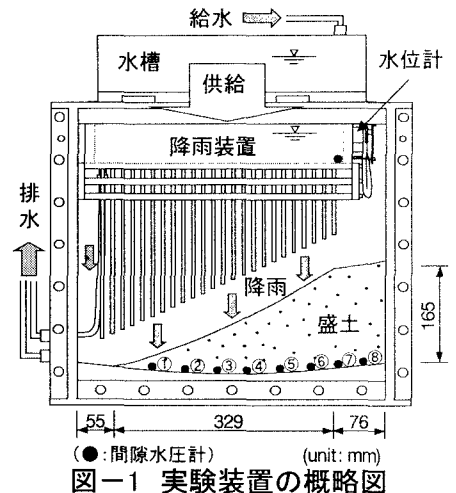


図-1 実験装置の概略図

解析モデルは遠心実験に用いた模型斜面を実寸法に換算したもので、斜面勾配1:2、盛土高4.95m、底面長12m、天端幅2.1mであり、鉛直方向を33分割、水平方向を40分割し、三角形要素で構成した。これにより解析領域は節点数833、要素数1551となる。また、堤体材料の不飽和浸透特性は得られていないため、図-2に示す関係を仮定した。

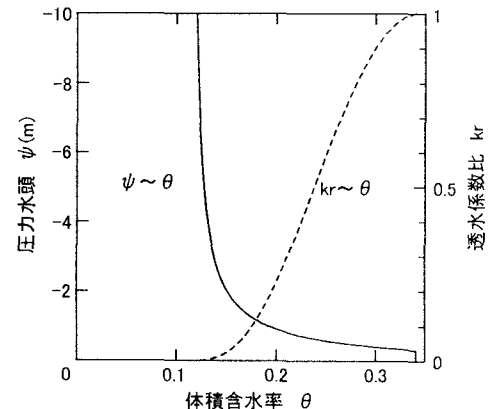


図-2 解析に用いた不飽和浸透特性

図-3に降雨浸透実験と浸透流解析によって得られた浸潤面形状の比較を示す。図より降雨継続時間 $t=40\text{h}$ までの浸潤面形状はよく一致しており、通常の1降雨の継続時間は40時間程度考えれば十分であることから、遠心模型実験に対するFEM浸透流解析の信頼性・妥当性がほぼ確認できる。したがって、以後この降雨浸透実験をモデルとした浸透流解析を行い、降雨浸透への降雨特性の影響について検討を行う。

3. 解析結果及び考察

図-4に降雨強度 $r=8.4\text{mm/h}$ の場合の盛土内の圧力水頭 ψ の経時変化を示す。なお、図中の()内の値は飽和度 S_r を表し、圧力水頭0を浸潤面(自由水面)と考え、浸潤面より下(圧力水頭正)を飽和域、浸潤面より上(圧力水頭負)は不飽和域とする。降雨の浸透挙動を見ると、まず盛土内に浸透した降雨が盛土表層部の飽和度を高め、以後下方へと浸透し、斜面表面に近い斜面先から順次湿潤前線が基盤面に到達し飽和域が形成される。なお、天端下方でも降雨の浸透に伴う飽和度の上昇を見ることができ、表面からの鉛直距離が長い

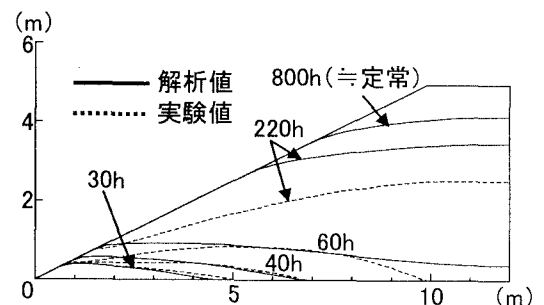


図-3 実験と解析における浸潤面形状の比較

飽和度の低い部分が天端下方に分布していると考えられる。この飽和域は時間の経過とともに徐々に高さを増しながら、盛土内部へと進行していくことが分かる。

次に、降雨強度の違いが浸透挙動に与える影響を調べるため、実験に用いた降雨強度 $r=8.4\text{mm/h}$ に対して 3 倍の範囲で計 5 種類の降雨強度について解析を行った

(表-1)。なお、透水係数 $k=1.1\times 10^{-3}\text{cm/s}$ であり、盛土の浸透性が降雨強度を上回っているため、降雨は全て盛土内に浸透する。図-5 に示す斜面肩を通る A-A' 断面、浸潤面の最高点の鉛直座標を y_H 、基盤面との交点を x_L とし、それらに対して解析結果を比較した。

図-6 は、累積降雨量 500mm での A-A' 断面における飽和度分布を示したものである。図より降雨強度が大きいほど基盤面付近の飽和度は低く、斜面表面付近での飽和度が高くなっている。また、いずれの結果も基盤面から $y_H=1.5\text{m}$ 付近までは急激な変化を示しているが、その後はほぼ一定値に落ち着いている。図-7 は、累計降雨量 500mm での浸潤面形状 (x_L , y_H) と r/r_0 の関係を示したものである。図より、同一降雨量の場合、いずれの場合も浸潤面の最高点 y_H は 1.0m 程度で r/r_0 の違いによる変化はほとんど見られないが、浸潤面は r/r_0 が小さいほど盛土内部へ進行しているのが分かる。以上のことにより、降雨強度が大きい場合は、降雨の浸透により斜面表面から高飽和度の湿潤領域が拡大していくのに対し、降雨強度の小さい場合は低飽和度の湿潤領域が拡大しており、降雨は盛土内をその降雨強度に応じて一定の湿潤領域を形成しながら浸透していくと考えられる。また、その湿潤領域形成における水分量の差が同一降雨量での浸潤面形状の違いに現れたと考えられる。

5. まとめ

降雨の浸透挙動として、降雨の浸透水がまず盛土表層部の飽和度を高め、それから下方へと浸透していき、斜面表面からの垂直距離の短い斜面先から順次湿潤前線が基盤面に到達し飽和域が形成される。また、同一降雨量では降雨強度が大きいほど斜面表面付近の湿潤領域の飽和度は高く、基盤面付近での飽和度は低くなるという降雨強度の違いが浸透挙動に与える影響を知ることができた。

<参考文献> 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

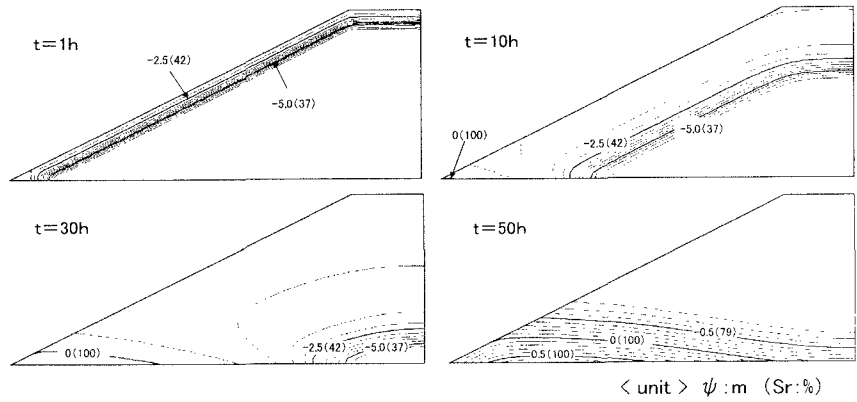


図-4 圧力水頭の経時変化

表-1 解析に用いた降雨強度の条件

降雨強度 r (mm/h)	降雨強度の比 r/r_0 ($r_0=8.4\text{mm/h}$)	r/k ($k=1.1\times 10^{-3}\text{cm/s}$)	降雨時間 t (hour)
8.4	$1.0r_0$	0.210	60
12.6	$1.5r_0$	0.315	40
16.8	$2.0r_0$	0.420	30
21.0	$2.5r_0$	0.535	24
25.2	$3.0r_0$	0.630	20

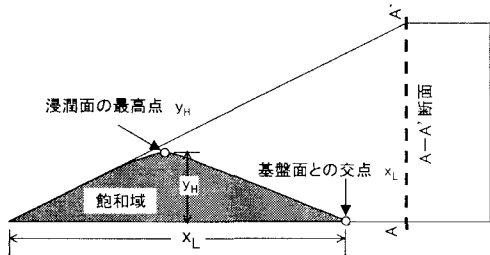


図 5 解析における比較断面

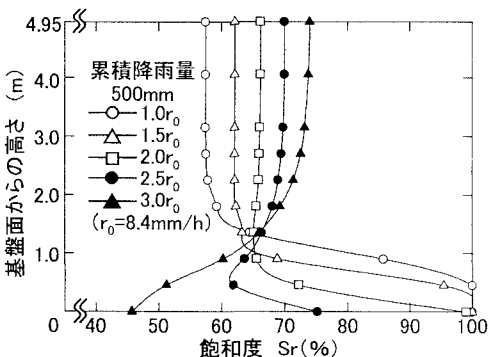


図-6 累積降雨量 500mm での飽和度分布

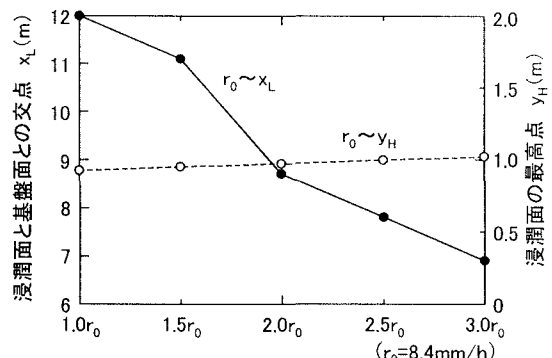


図-7 累積降雨量 500mm での飽和域形状の比較