

盛土斜面内の降雨浸透流に関する研究

Seepage Flow Behavior in Embankment due to Rainfall

荻田 誠実[†], 奥村哲夫^{††}, 木村勝行^{††}, 成田国朝^{††}

Seiji OGITA, Tetsuo OKUMURA, Katsuyuki KIMURA, Kunitomo NARITA

ABSTRACT: This paper concerns behavior of seepage flow through embankment and its influence on slope stability during rainfall. Centrifuge tests were performed for several model fills in order to reproduce behavior of rain water percolation and that of seepage flow in embankment. FEM saturated-unsaturated seepage flow analysis was also conducted for model fills to examine applicability of analytical procedure for such seepage behavior. It is concluded that seepage behavior and slope stability in embankment during rainfall is largely influenced by embankment slope, the coefficient of saturated permeability, an initial condition of saturation and the strength of rainfall.

1. はじめに

毎年、梅雨期の長雨や台風などの集中豪雨時に降雨浸透に起因する盛土構造物の斜面崩壊が数多く発生しており、人的にも経済的にも多大な被害をもたらされることが多い。しかし、これら降雨浸透による盛土内部の浸潤線の上昇と間隙水圧の増加が、盛土斜面の安定性に及ぼす影響については未だ不明な点が多い。

盛土への降雨浸透現象に影響する要因としては、土の種類、締固め度など土質材料に関連する要因、降雨強度、降雨パターンのような降雨に関わる要因および斜面形状などが考えられる。また、盛土の初期状態に違いがあれば同じ降雨が作用しても、浸透挙動に差異が生じ、安定性に及ぼす影響も異なってくる。

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様々な条件での FEM 浸透流解析により、盛土における降雨浸透現象を解明し、それらが盛土の安定性に及ぼす影響を明らかにした。

具体的には以下の項目に絞って研究を進めた。

- (1) 遠心模型装置を用いた降雨浸透実験による浸透挙動に及ぼす各種因子の影響評価
- (2) 降雨浸透実験をモデルとした浸透流解析による盛土への降雨浸透現象の解明
- (3) 降雨浸透による間隙水圧の上昇が盛土の安定性に及ぼす影響の検討

2. 実験概要

実験装置の概略を図-1に示す。実験は、内寸法 W460×D200×H460 のアルミニウム製コンテナ(前面アクリル板)内に所定の締固め密度で締固めて作製した斜面盛土に、土槽底面に対して 30G の遠心加速度を与えた後、上部水槽から降雨装置への水の供給を開始して斜面上に雨を降らせる。盛土内部への降雨浸透に伴う飽和域の成長過程は、盛土底部に埋設してある間隙水圧計の値から決定する方法で行った。なお、実験には統一分類でシルト質砂、粘土質砂およびシルト混じり砂に分類される 3 種類の試料 A,B,C を用いた。それぞれの試料の物理的性質は表-1 に示した通りである。

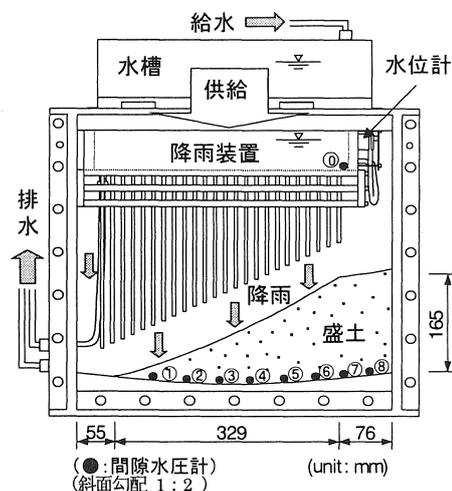


図-1 実験装置概略

[†] 愛知工業大学大学院建設システム工学専攻

^{††} 愛知工業大学 土木工学科 (豊田市)

表-1 試料の物理的性質

	試料 A	試料 B	試料 C
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.621	2.638	2.636
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.818	1.902	1.842
最適含水比 w_{opt} (%)	13.5	12.0	13.0
最大粒径 D_{max} (mm)	2.0	2.0	2.0

図-2 は $r/k < 1.0$ (r : 降雨強度, k : 飽和透水係数) での降雨浸透による飽和域と湿潤域を概略的に示したものである。斜面内の降雨浸透流は, 降雨開始と共に斜面表面から湿潤前線が降下していき, 斜面表面に近い斜面先から順次基盤面に到達し, これにより飽和域が形成される。この湿潤前線の降下速度を v , 飽和域の最高点 $T(x_t, y_t)$ の水平方向進行速度を v_x , 鉛直方向進行速度を v_y とし, 表-2 に示す $r/k < 1.0$ 未満の条件での実験を行い, 降雨強度, 透水係数, 斜面形状等が降雨浸透挙動に与える影響について検討した。

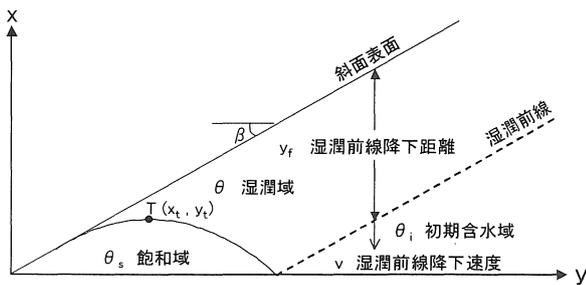


図-2 降雨浸透による飽和域と湿潤域 ($r/k < 1.0$)

表-2 実験条件

実験No.	1	2	3	4
試料	試料A			試料B
締固め密度 ρ_d (g/cm ³)	1.727			1.712
飽和透水係数 k (cm/s)	1.1×10^{-3}			3.35×10^{-4}
初期飽和度 S_{r0} (%)	35			40
有効間隙率 $\theta_s - \theta_i$	0.218			0.218
降雨強度 r (mm/h)	8.4	16.8	25.2	8.4
斜面勾配	1:2			
実験No.	5	6	7	
試料	試料C	試料C	試料C	
締固め密度 ρ_d (g/cm ³)	1.695			
飽和透水係数 k (cm/s)	1.65×10^{-3}			
初期飽和度 S_{r0} (%)	40			
有効間隙率 $\theta_s - \theta_i$	0.218			
降雨強度 r (mm/h)	8.4			
斜面勾配	1:2	1:1.5	1:1	

3. 実験結果と考察

3.1 降雨強度の影響²⁾

降雨強度の影響を調べるため降雨強度 r のみを変化させ, 表-2 に示す実験 No.1, 2, 3 の実験を行った。

図-3 に No.2 ($r=16.8$ mm/h) の盛土底部の間隙水圧と降雨装置内の貯水圧の経時変化を示す。図より, 降雨開始後より盛土内の間隙水圧は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に達した時間となる。これらの時間と湿潤前線降下距離 y_f (水圧計と斜面表面までの鉛直距離) との関係を図-4 に示す。図より, 湿潤前線は斜面表面から一定の速度で降下しており, 降雨開始時間は $t'=510$ s と推定され, また湿潤前線降下速度 v はこの直線勾配より $v=1.51$ mm/s となることが分かる。他の実験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。

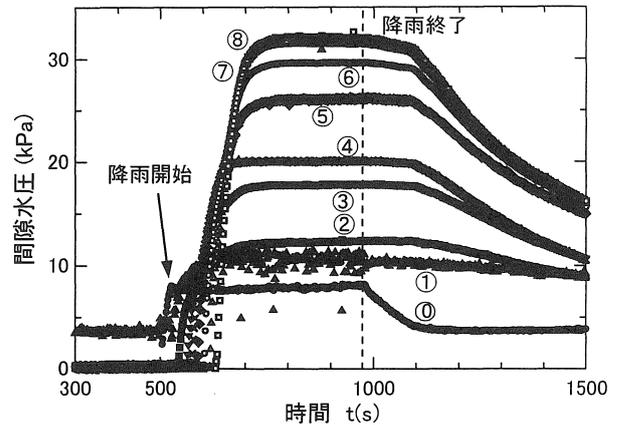


図-3 間隙水圧の経時変化 (No.2)

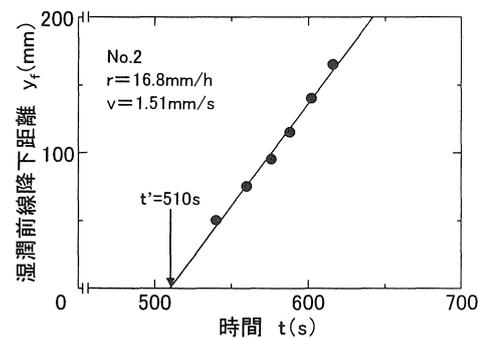


図-4 湿潤前線の堤体底面到達時間 (No.2)

図-5 に湿潤前線降下速度 v と降雨強度 r の関係を示す。図より, 降雨強度が大きい降雨ほど v が速いのが分かる。これは, $r/k < 1.0$ の降雨では, 盛土内の不飽和透水係数 k_{us} は $k_{us}=r$ となるため, r が大きい降雨ほど k_{us} が大きくなるため, 盛土内での降雨の浸透速度が速くなり, また湿潤域を形成するのに必要な水分量がいち早く盛土内部へ供給されるためだと考えられる。

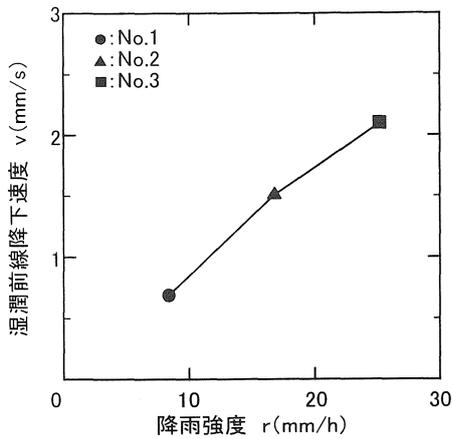


図-5 湿潤前線降下速度と降雨強度の関係

図-6 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、飽和域形状の経時変化を示したものである (No.1)。図より、飽和域は降雨の浸入により徐々に高さを増しながら盛土内部へと進行し、やがて定常状態に至るのが分かる。また、飽和域の最高点 $T(x_t, y_t)$ は x_t, y_t 共に図-7 に示すように、時間の経過に伴って比例的に増大していき x_t, y_t の進行速度は直線勾配より $v_x = 0.65\text{mm/s}, v_y = 0.11\text{mm/s}$ となるのが分かる。

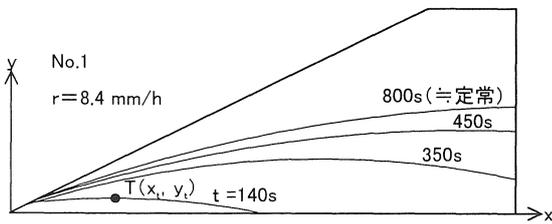


図-6 飽和域の成長 (No.1)

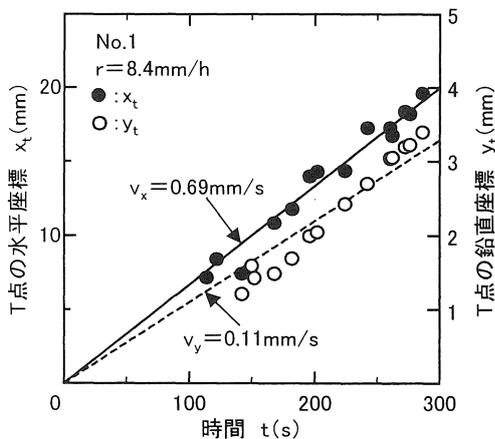


図-7 飽和域最高点 $T(x_t, y_t)$ の経時変化

図-8 に T 点の進行速度 (v_x, v_y) と降雨強度 r の関係を示す。図-8 に示すように、 v_x, v_y は共に r が大きいほど速い。これは図-5 に示すように r が大きい降雨が盛土

内に浸透した方が湿潤前線の降下が速く、そのことにより飽和域も早い段階から形成されるため、湿潤前線降下速度と同様な傾向になったと考えられる。

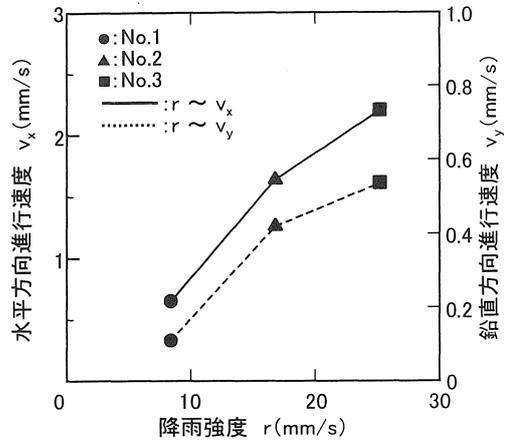


図-8 T 点の進行速度と降雨強度の関係

3・2 盛土の飽和透水係数の影響

盛土の飽和透水係数の影響を調べるため、降雨強度一定 ($r=8.4\text{mm/h}$) で異なる試料を用い盛土の飽和透水係数 k を変化させた実験を行った (No.1, 4, 5)。図-9 は湿潤前線降下速度 v および T 点の進行速度 (v_x, v_y) と k の関係を示したものである。図より、 v および (v_x, v_y) は k が大きいほど速いのが分かる。先に述べたが、 $r/k < 1.0$ であれば $k_{us} = r$ となるが、 k_{us} は体積含水率の関数であるため、 k が小さい盛土では k_{us} を大きくするため、降雨が盛土表層の飽和度をまず高めようとするのに対し、 k が大きい盛土では飽和度の増加は少なく、降雨が下方へと速く流れ、いち早く底部の飽和度が高くなっていると考えられる。

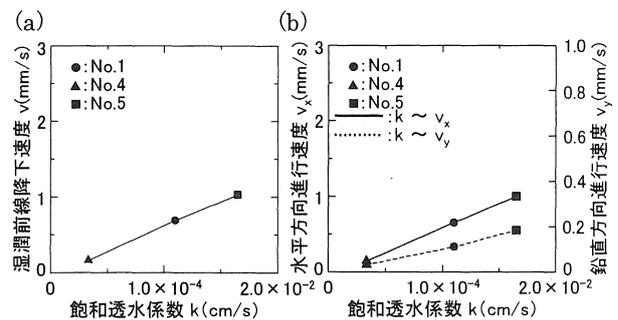


図-9 飽和透水係数の影響

図-10 は斜面先から 200mm における浸潤面高さを H として、その経時変化を示したものである。図より $t=400\text{s}$ までは k が大きいほど浸潤面高さは高いが、 $t=450\text{s}$ 以降では浸潤面高さは No.1 が No.5 を逆転しているのが分かる。これは、盛土内に形成される飽和域は盛土への降雨の流入

量と流出量の差で決定されるため、 k が大きい盛土では斜面先からの流出量が多く、盛土内に溜まる水分量が減少するからである。

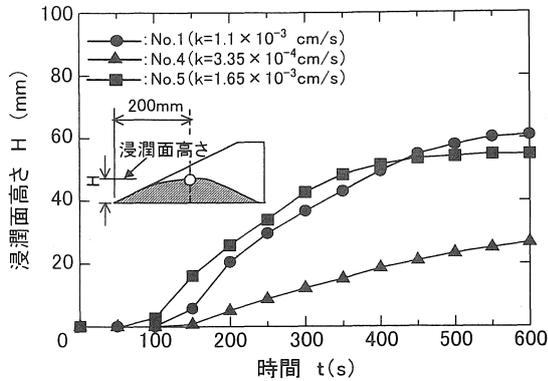


図-10 浸潤面高さの経時変化

3.3 斜面勾配の影響

図-11 に示した天端幅と盛土高さが等しい 3 つの異なる勾配の盛土に対して実験を行った。図-12 に湿潤前線降下速度 v および T 点の進行速度 (v_x, v_y) と斜面勾配の関係を示す。図より、 v には斜面勾配の違いによる変化はほとんど見られないが、(v_x, v_y) は緩勾配の盛土ほど速いのが分かる。これは、 v は降雨強度や飽和透水係数に影響されるのに対し、(v_x, v_y) が飽和域の成長の度合いに影響されるため、斜面勾配が緩やかであれば斜面表面から基盤面までの鉛直距離が短く、湿潤前線が基盤面に早く到達するので飽和域が比較的早い段階から形成されるからである。

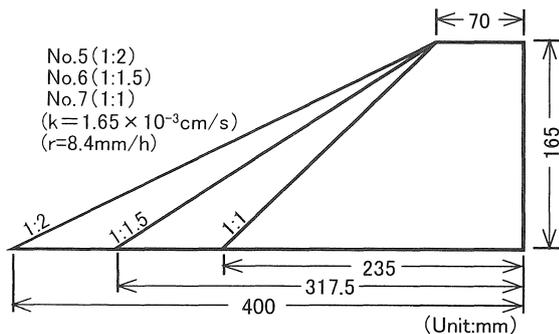


図-11 実験に用いた斜面勾配

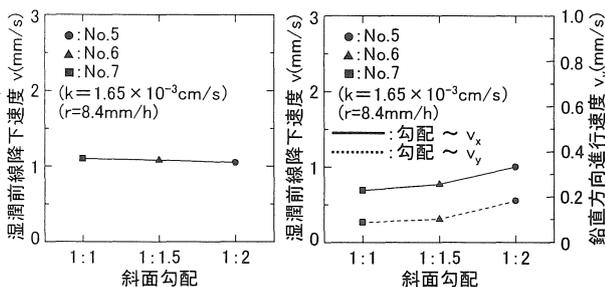


図-12 斜面勾配の影響

図-13 は盛土の面積を A 、飽和域の面積を A_{sat} とし、 A に A_{sat} が占める割合 (A_{sat}/A) の経時変化を示したものである。図より、斜面勾配が緩やかな盛土ほど飽和域の成長は早く、また A_{sat} が A に占める割合も大きくなるのが分かる。これは、急勾配の盛土ほど、斜面表面からの降雨の流出量が多いため、盛土内に溜まる水分量が減少するからである。

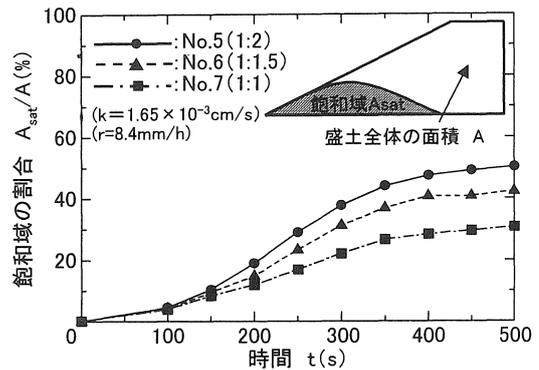


図-13 飽和域の経時変化

4. 飽和・不飽和浸透流解析³⁾

4.1 解析手法

飽和～不飽和領域の浸透流を支配する基礎方程式は、浸透流のみを考え、圧力水頭変化による水の圧縮を無視し、不飽和領域においては、圧力水頭変化による間隙率の変化が生じないものと仮定すると連続の式と Darcy の式より次式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial \psi}{\partial y} + k_y \right) + q - c \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$$

ここに、 c は比水分容量であり $c = \partial \theta / \partial \psi$ で定義され、 k_x, k_y は x, y 方向の透水係数、 q は土の単位体積中に生じる湧出量あるいは排水量、 ψ は圧力水頭、 θ は体積含水率、 t は時間である。基礎方程式の有限要素法による定式化には、Galerkin 法による重み付き残作法を採用し、時間項には中央差分法を適用して、計算時間刻みごとに解（圧力水頭）が許容収束条件を満たすまで反復計算した。

解析モデルは図-14 に示すように、降雨浸透実験に用いた模型斜面を実寸法に換算したものであり、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 ($\Delta y = 0.15\text{m}$)、水平方向を 40 分割 ($\Delta x = 0.3\text{m}$) 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。また境界条件は、斜面表面および天端部分は降雨流入面（圧力水頭既知）とし、堤体底面および堤体側面は不透水面（法線流速ゼロ）とした。なお、計算時間刻み $\Delta t = 3600\text{sec}$ 、圧力水頭値の許容収縮誤差 $\Delta E = 0.001\text{m}$ とした。

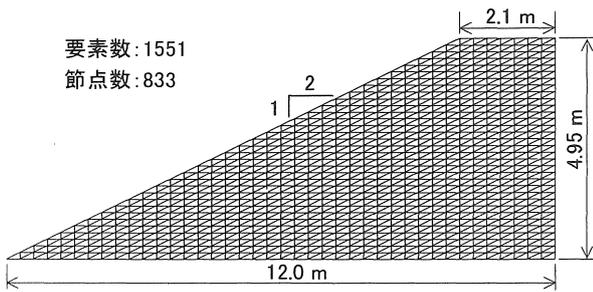


図-14 解析モデル

4・2 解析結果と考察

4・2・1 降雨浸透実験と浸透流解析

図-15 に実験 No.1 の実験結果と浸透流解析によって得られた浸潤面形状がほぼ一致したと思われる最終結果を示す。図に示すように、降雨時間 $t=40h$ までの実験値と計算値の両浸潤面は比較的良く一致している。ここで通常の 1 降雨の継続時間は 40 時間程度まで考えれば十分であるので、これにより遠心模型実験に対する FEM 浸透流解析の信頼性・妥当性が確認できる。以後この降雨浸透実験をモデルとして解析を行った。なお、浸透流解析に用いた不飽和浸透特性は、不飽和透水試験により得られた不飽和浸透特性を基に初期値を仮定し、実験値と計算値の浸潤面がほぼ一致するまで計算を繰り返し決定した。その不飽和浸透特性を図-16 に、他の計算条件を表-3 に示す。

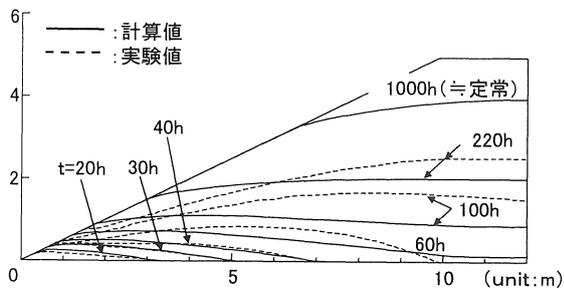


図-15 実験結果と計算結果の比較

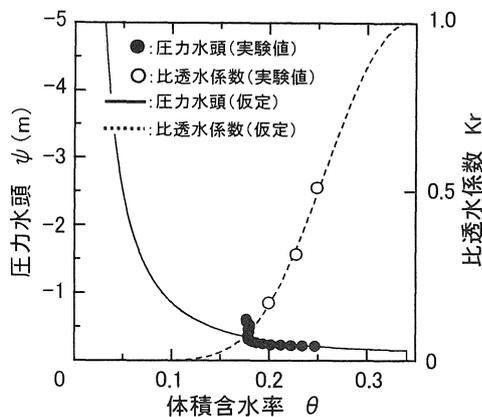


図-16 不飽和浸透特性 (仮定)

表-3 計算条件

飽和透水係数 k (cm/s)	1.1×10^{-3}
降雨強度 r (mm/h)	8.4
最小容水量 θ_r	0.001
限界毛管水頭 ψ_{cr}	-0.15

4・2・2 降雨の浸透挙動

図-17 に降雨浸透実験と同条件での解析を行い、解析結果における盛土内の飽和度 S_r (%) の分布を経時的に示した。図中 () 内の数値は圧力水頭 ψ (m) を表し、圧力水頭値 0 を浸潤面と考え、浸潤面より下 ($\psi > 0$) を飽和域、浸潤面より上 ($\psi < 0$) を不飽和域とする。図より、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湿潤前線が順次基盤面に到達し飽和域を形成する。なお、天端下方でも降雨の浸透に伴う飽和度の増加を見ることができるが、表面から基盤面までの鉛直距離が長いので、飽和度の低い部分が天端下方に分布している。

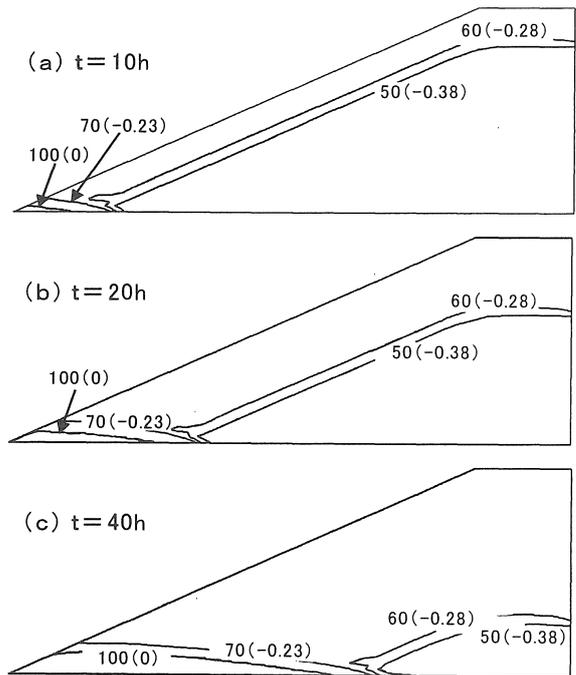


図-17 飽和度分布の経時変化 ($r=8.4\text{mm/h}$)

4・4・3 降雨強度の影響

図-18 は $r=8.4\text{mm/h}$ を基準値 r_0 とし $r=4r_0$ の解析結果の降雨時間 $t=10h$ 時点での飽和度分布を示したものである。図より、降雨強度が大きい降雨で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き、また同一降雨時間における飽和域も降雨の流入量が多いため大きく成長しているのが確認できる。

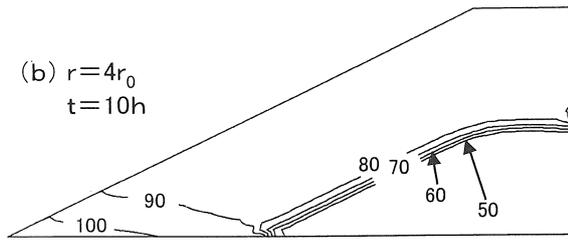


図-18 降雨強度の影響 ($r_0=8.4\text{mm/h}$)

図-19 に累積降雨量 $R=500\text{mm}$ 時点での浸潤面の最高点 y_h および基盤面との交点座標 x_L と降雨強度の関係を示す。図に示すように、 y_h には降雨強度の違いによる大きな差はないが、 x_L は降雨強度の大きな降雨が長時間継続するより、降雨強度の小さな降雨が長時間継続した方が盛土内部へと進行しており、形成される飽和域も大きい。これは、降雨強度の大きな降雨では、盛土内へ浸入する降雨が図-17 に示すように、盛土全体の飽和度を高めながら浸入するため、同一降雨量では降雨強度の小さい降雨に比べ飽和域の形成をする水分量が減少するためだと考えられる。

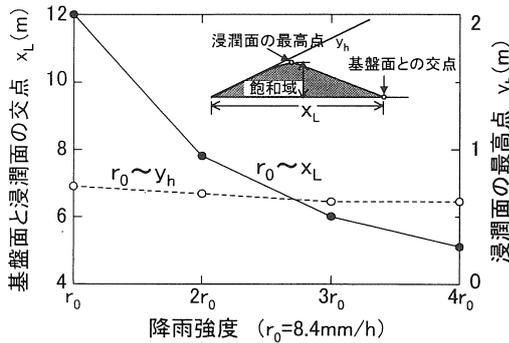


図-19 累積降雨量 500mm の浸潤面 ($r_0=8.4\text{mm/h}$)

4.4.4 降雨パターンの影響

図-20 に示す降雨継続時間がいずれも 60 時間であり、累積降雨量 500mm となる 4 つの降雨パターン P1~P4 に対して解析結果を比較し、降雨パターンの浸透挙動への影響を検討する。P1 は 0~60 時間まで降雨強度 $r=8.4\text{mm/h}$ の一定降雨であり、P2~P4 については $r=8.4\text{mm/h}$ の 2 倍および 0.5 倍の降雨を組み合わせ、図に示すように降雨が集中して降る時間帯を設け前方集中型 (P2)、後方集中型 (P3)、中央集中型 (P4) のパターンに分けた。

図-21 に飽和域の最高点 T の水平座標 x_t と降雨パターンの関係を、図-22 に飽和域の最高点 T の鉛直座標 y_t と降雨パターンの関係を示す。 x_t は図-22 に示す降雨パターン P2, P4 での経時変化より降雨強度が減少した後に著しく大きくなるのが分かる。これは、降雨強度が大きい降雨によって盛土の不飽和透水係数が大きくなるためだと考えられる。 y_t は図-22 に示すように降雨強度が大きくなる

時間帯から値の上昇が顕著になる。これは、盛土内に浸入する降雨量が増えるためだと考えられる。また降雨パターン P3 は降雨強度が大きい時間帯が後半にあるため x_t , y_t は共に降雨初期段階では他のパターンに比べ値の上昇は小さいが $t=60\text{h}$ の時点ではどの降雨パターンでも降雨量は全て同じになるため x_t には大きな差が見られるものの、 y_t にはほとんど差がないのが分かる。以上のことにより、 x_t は盛土の透水係数の影響を y_t については盛土内に浸入する降雨量の影響を大きく受けていると考えられる。

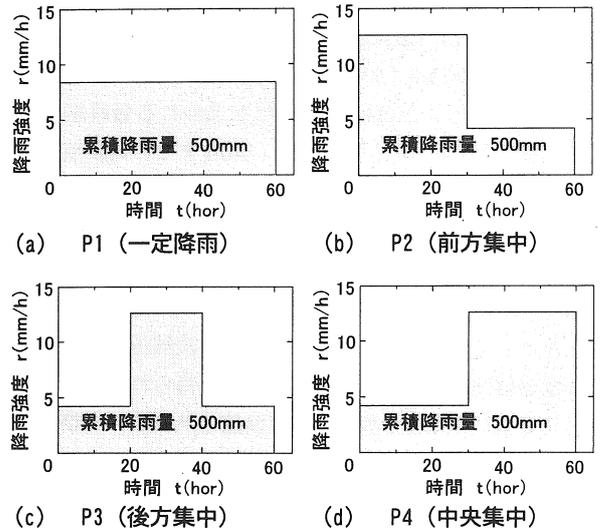


図-20 解析に用いた降雨パターン

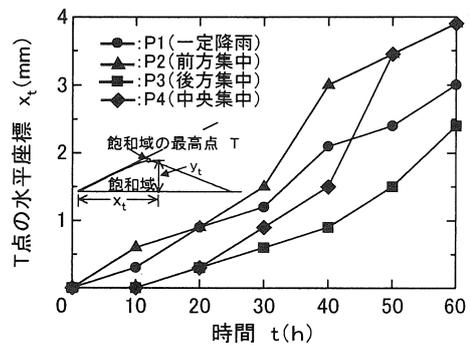


図-21 降雨パターンと T 点の水平座標 x_t の関係

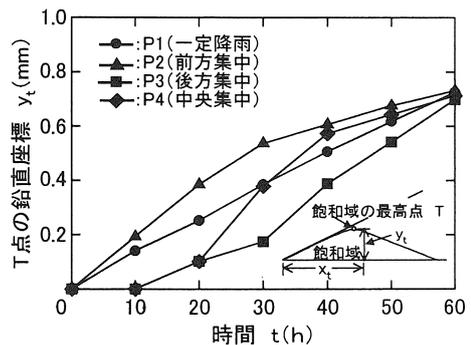


図-22 降雨パターンと T 点の鉛直座標 y_t の関係

4・4・4 透水係数の影響

図-23 および図-24 は実験盛土の飽和透水係数を基準値 k_0 ($k_0=1.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) とし, $k=0.5 \sim 10k_0$ と変化させた解析結果の降雨時間 $t=40\text{h}$ 時点での飽和域の最高点 T 点の座標および A-A'断面における飽和度分布を示したものである。ここで, 比較断面 A-A'は $k=k_0$ での浸潤面と基盤面の交点 x_L を通る縦断面を, 不飽和浸透特性については先に示した図-16 の値を用いる。図-23 に示すように, 飽和域の水平方向の伸びは, 透水係数に大きく影響を受けており, 飽和域は透水係数が大きいほど盛土内部へ拡大している。また, 盛土の飽和度分布は図-24 に示すように, 透水係数が小さい盛土では表層部の飽和度上昇が著しいのに対して, 透水係数が大きい盛土では表層部の飽和度の上昇は小さく, 降雨が下方へと速く浸透しているため, 盛土底部の飽和度上昇が大きい。

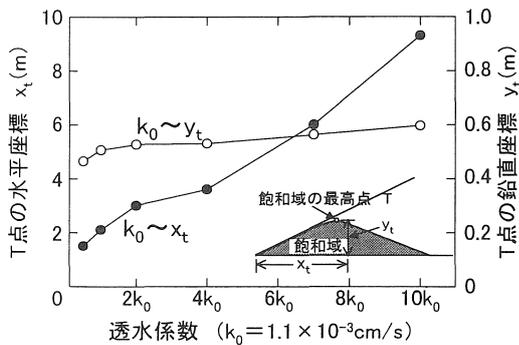


図-23 浸潤面形状 ($t=40\text{h}$, $r=8.4\text{mm/h}$)

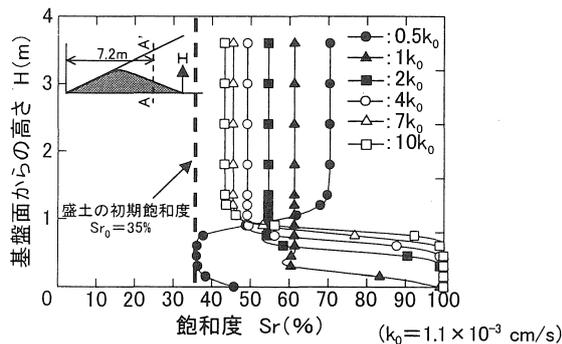


図-24 A-A' 断面における飽和度分布

4.4.5 初期飽和度の影響

降雨強度, 盛土の透水係数, 斜面形状等が降雨浸透挙動に及ぼす影響は上述したとおりである。しかし, 同一条件の盛土に同じ降雨が作用しても, 盛土の初期状態が異なれば降雨の浸透挙動も異なってくる。そこで, 盛土の初期飽和度 Sr_0 を $Sr_0=40, 60, 80\%$ と変化させた解析を行い, $t=10\text{h}$ における浸潤面形状の比較を図-25 に示す。初期飽和度の高い盛土では不飽和透水係数が大きいいため, 降雨が

下方へと速く浸透し, 図に示すように初期飽和度の高い盛土ほど同一時間における浸潤面形状は大きくなっている。

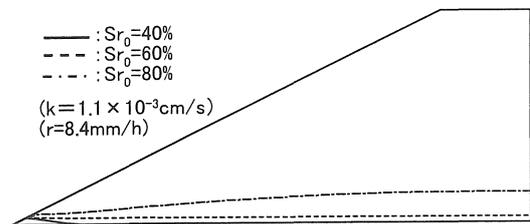


図-25 初期状態の違いによる浸潤面

5 降雨浸透が盛土の安定性に及ぼす影響⁴⁾

5・1 解析手法

盛土の安定性評価には有効応力法による斜面安定解析を行い, 解析方法には簡易 Bishop 法を採用した。安定性を検討する盛土の形状は図-26 に示す通りである。降雨浸透による安全率の変化を調べるすべり面は降雨開始前に最小安全率 F_{s0} ($=3.07$) をとった円弧を用いた。また盛土材料の摩擦角 ϕ および粘着力 c は, 実験試料 A に対して試験より求めた $\phi'=34^\circ$, $c'=1.5\text{kN/m}^2$ を用いた。

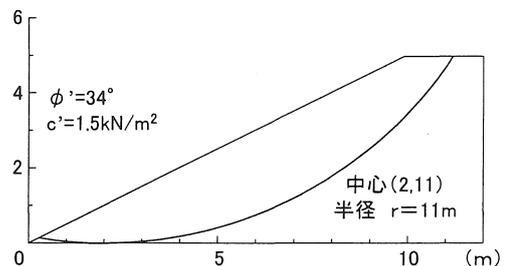


図-26 安定解析対象と仮想すべり面

5・2 解析結果と考察

降雨強度 $r=8.4\text{mm/h}$ を r_0 とし, $r=r_0 \sim 4r_0$ の範囲 ($r=8.4 \sim 33.6\text{mm/h}$) で解析を行い, 時間 t での安全率を F_{st} とし, 降雨が 60 時間継続する時の F_{st}/F_{s0} と経過時間との関係を図-27(a)に, 降雨量 R での安全率を F_{sR} とし, 降雨量が 500mm までの F_{sR}/F_{s0} と降雨量との関係を図-27(b)に示す。(a)図において, どの降雨強度でも $t=5\text{h}$ までの安全率の低下はほとんどない。また, r が大きくなるほど安全率の低下は大きい, $r=3r_0$ と $4r_0$ にはほとんど差は現れなかった。次に(b)図では, いずれの降雨強度でも降雨量 100mm 時点まで安全率の低下は小さく, 同一降雨量での安全率の低下は r が小さいほど大きい。これは, 同一降雨量では図-19 に示すように降雨強度が小さいほど, 飽和域の成長が大きいためだと考えられる。また図(a), (b)より降雨初期段階に浸透する降雨は, 盛土の飽和度を上昇させるために用いられていると考えられる。

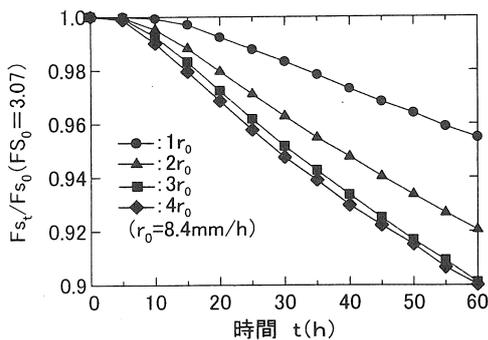


図-27 (a) 安全率の経時変化

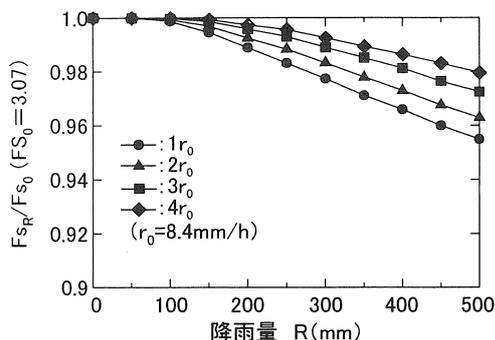


図-27 (b) 降雨量と安全率の関係

細粒土で構築される盛土は、保水性が高く、無降雨時の乾燥した状態であっても比較的飽和度は高い。また浸透流解析の結果より、盛土の初期飽和度 S_{r0} が高いほど降雨の浸透は速いことが明らかとなった。そこで、 S_{r0} の異なる盛土における降雨浸透による安全率の低下を調べ、その結果を図-28 に示す。図より、 S_{r0} が高い盛土では早い段階で飽和域が盛土内部へ進行するため、 $S_{r0}=80\%$ の盛土では $t=5h$ の時点で安全率の低下が生じており、安全率の低下も大きいことが分かる。

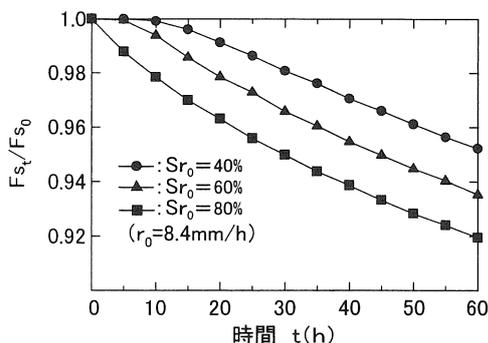


図-28 各初期飽和度における安全率の経時変化

次に図-26 の解析対象モデルと天端幅が等しく斜面勾配が異なる盛土に対して斜面安定解析を行った。各斜面勾配における降雨時間 60 時間までの最小安全率 F_{smin} と経過時間の関係を図-29 に示す。降雨浸透実験の結果より、緩勾配の盛土ほど飽和域の成長が速いことは明らかとなっており、図-29 に示す通り、安全率の低下も緩勾配の盛

土ほど大きい。しかし、緩勾配の盛土では一般に平時の安定性は高いため、降雨浸透による安定性への影響は少なく、急勾配な盛土ほど安定性は低い。

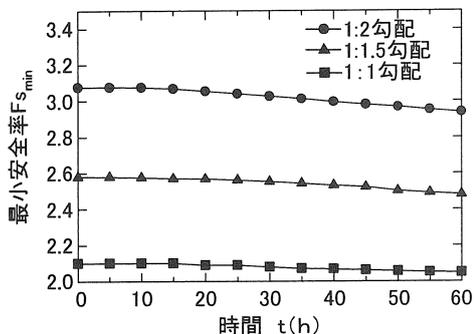


図-29 安定性への斜面勾配の影響

6. 結論

遠心装置を用いた降雨浸透実験と、それをモデル化した浸透流解析で得られた結果は以下のように結論される。

1. 降雨の浸透挙動には降雨強度、透水係数、斜面勾配、初期飽和度等が影響しており、また飽和域の形成は降雨の流入量と流出量の差で決まる。降雨の流入量は、降雨強度と盛土の浸透能の関数に支配される。
2. 多くの破壊例によると、盛土のり面が崩壊に至るまでの累積降雨量は 180~500mm 程度であり、最大時間雨量は 20~30mm/h が最も多く、本研究においても降雨量約 150mm、降雨強度 30mm/h までの降雨で安全率の低下が著しく現れ、実際の現象とほぼ一致する。
3. 初期飽和度の高い盛土では、不飽和透水係数が大きく降雨の下方への浸透が速いため、飽和域の形成も容易であり、降雨初期段階での安全率の低下も大きい。
4. 緩勾配の盛土では、降雨浸透による飽和域は形成されやすいが、平時の安定性が高いため、安定性への降雨浸透の影響は小さい。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金の援助を受けた研究であることを付記し、謝意を表する

<参考文献>

(1) 木村勝行：フィルダム取り付け地山部における浸透流に関する水理学的研究，中央大学学位論文，1990。(2) 荻田ら：斜面内の降雨浸透に関する遠心模型実験，平成 12 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.293-294,2001。(3) 斜面内の降雨浸透性状について，平成 13 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp301-302，2002。(4) 定岡直樹：降雨時の盛土斜面の安定性に関する研究，愛知工業大学修士論文，2000。

(受理 平成14年 3月19日)