

1. 降雨による表層崩壊の発生時間予測のための鉛直一次元浸透実験

Vertical infiltration experiment for time prediction of rainfall-induced shallow landslides

○谷田佑太 (島根大), 汪発武 (島根大), 高橋伊織 (元島根大), 森樹 (島根大)

1. はじめに

近年頻発している集中豪雨は、極めて強い短時間的雨量変化を有する。斜面表層部の浸潤履歴によっては、数秒で雨水浸透が発生し、表層崩壊を誘発する。よって数秒単位での浸透変化を評価する必要があるが、従来の斜面災害の雨量指標のみでは十分な評価はできないものと推察される。より正確な発生時間予測を行うには、降雨と雨水浸透の挙動を組み合わせた新たな指標を作る必要がある。

本研究における目的は2つある。1つ目は、異なる斜面・土質状況を想定し、降雨の斜面への浸透と地下水位の上昇挙動を明らかにする。2つ目は、実験結果に基づき降雨浸透・地下水位上昇過程をモデル化する。それをもとに、土中の水分状態の経時変化を解析し、表層崩壊の発生時間を予測する。

2. 研究手法

本研究では、表層崩壊発生時の斜面内部の降雨浸透を再現しようと試みた。しかし、斜面勾配の影響を考慮すると、非常に複雑な条件となるので、今回の研究では斜面勾配の影響は考慮していない。斜面内部の雨水浸透挙動のみが観察できるように、試料を鉛直方向のみに詰めた実験装置を用いて実験を行った。

また、使用する試料の土質特性によっても浸透挙動が異なると考え、土粒子密度試験、土の粒度分析、透水試験などの土質試験も併せて行った。これらの土質試験で得られた結果と降雨実験の解析結果を組み合わせ考察を行った。

3. 実験装置

本研究は、透明アクリル素材の円柱状水槽を用いた。水槽は外径 0.5m、内径 0.48m、高さ 0.7m、底面から 0.5m の高さまで試料を入れた。側面には、底から 0.05m、0.2m、0.35m の 3つの高さに直径 0.04m の穴を 4 方向に開けた。水槽は縦 3 列 (9 孔) に排水バルブを取り付け、残りの 1 列 (3 孔) の最下部の穴には間隙水圧計を、上 2 つの穴には土壌水分計をそれぞれ取り付けた。水道の蛇口には、水圧計を取り付け、常に一定の水圧で給水できるようにした。また、降雨ノズルは棒に固定し、棒の長さを変えることによってノズルの高さを変え、降雨強度を調節した。

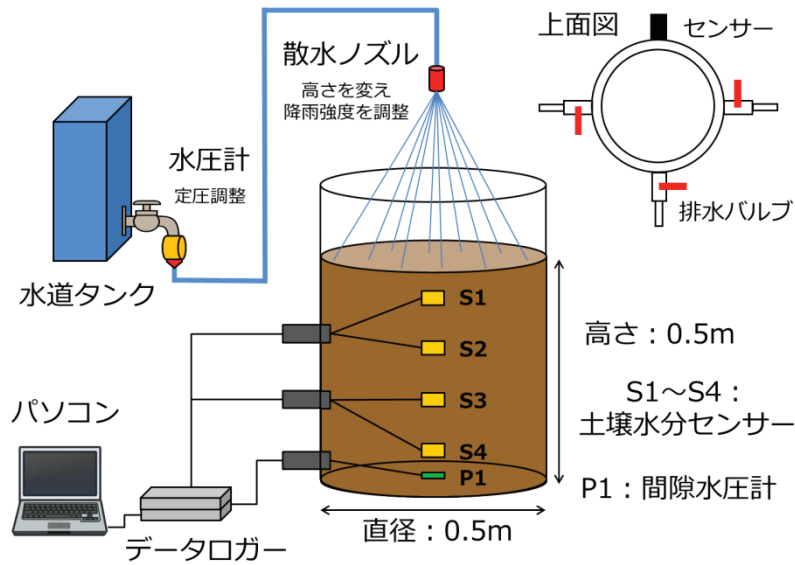


図1 実験装置概略図

4. 実験結果

珪砂4号では、浸透にバラつきがあることが確認された。水分計の変化を見てみると、まず、上部の水分計が変化し、次に下部の水分計の値が変化している。次に下部の水分計が変化し、上部の水分計へと続いている。最初の2つの変化は浸潤前線が水槽の底面へ向かう時に見られ、後の2つの変化は水位が上昇するときに見られた。このことから珪砂4号の場合、浸潤前線の降下とともに試料は一気に飽和するのではなく、浸潤前線の降下時と水位の上昇時の2段階にわたって徐々に飽和していくことが分かった。

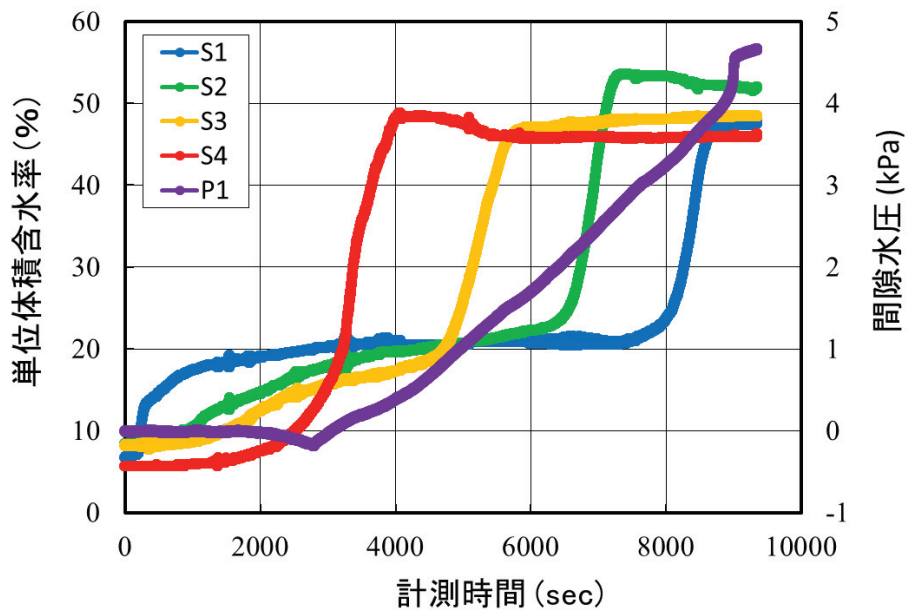


図2 体積含水率及び間隙水圧の経時変化
(珪砂4号, 降雨強度 88mm/h, 初期乾燥)

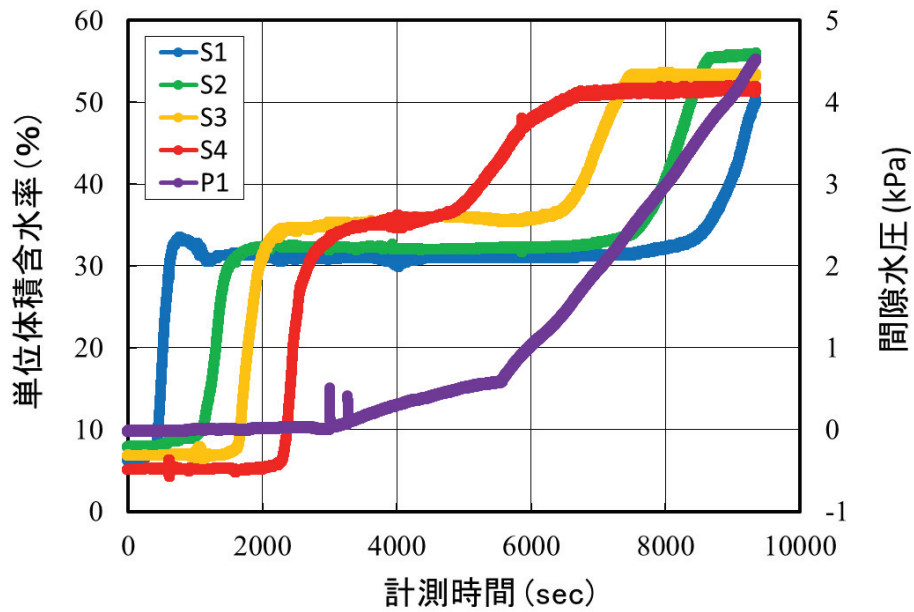


図3 体積含水率及び間隙水圧の経時変化
(珪砂6号, 降雨強度 88mm/h, 初期乾燥)

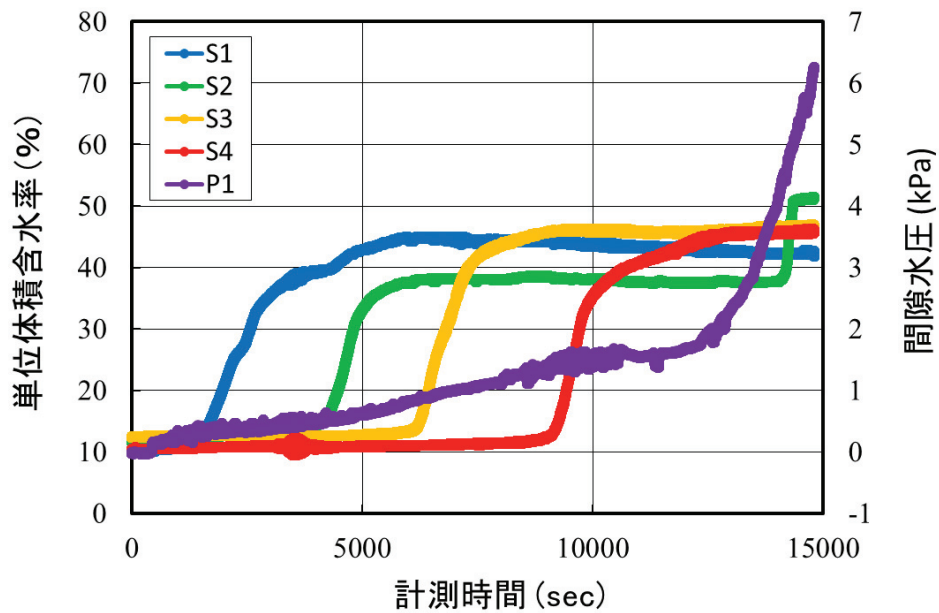


図4 体積含水率及び間隙水圧の経時変化
(真砂土, 降雨強度 88mm/h, 初期乾燥)

5. 解析

実験結果をもとに3種類の解析を行った。

I) 飽和度(S_r)と深さ(h)の関係を求めるために、10分ごとの飽和度と深さの関係を示すグラフを作成した。

II) 各土壌水分センサーにおいて、ある飽和度から5%増大するのにかかった時間(Δt)と飽和度(S_r)との関係を示すグラフを作成した。

III) IIの解析結果より、異なる試料、深度ごとに飽和度にピークが存在することが分かった。この時の飽和度を S_{rer} とする。降雨開始から S_{rer} までにかかった時間(Δt_{op})と水位が試料全体の90%に達するまでの時間(Δt_{pt})の比 $PFI(h)$ を算出した。

6. 解析結果と考察

珪砂4号の浸透・飽和の様子として乾燥状態・湿潤状態ともに上部の浸透が進み飽和度50%前後で停滞する。その間に下部への浸透・飽和が進み、水位が徐々に上がっていく。そして試料全体が飽和する。このような段階を経ることが分かった。

また、IIより S_{rer} は深くなるほど低い飽和度を示し、 Δt の値も小さくなる傾向がある。IIIの結果からは乾燥状態、湿潤状態ともに同じような曲線形になった。深さ0.9mで $PFI(h)=0.5$ 付近、0.19mで $PFI(h)=0.5\sim 1$ 、0.31mで $PFI(h)=1\sim 2$ 、0.43mで $PFI(h)=3\sim 3.5$ であり、珪砂4号は深さが深くなるにしたがって $PFI(h)$ が大きくなる傾向が見られた。降雨強度、初期状態による差はほとんど見られなかった。

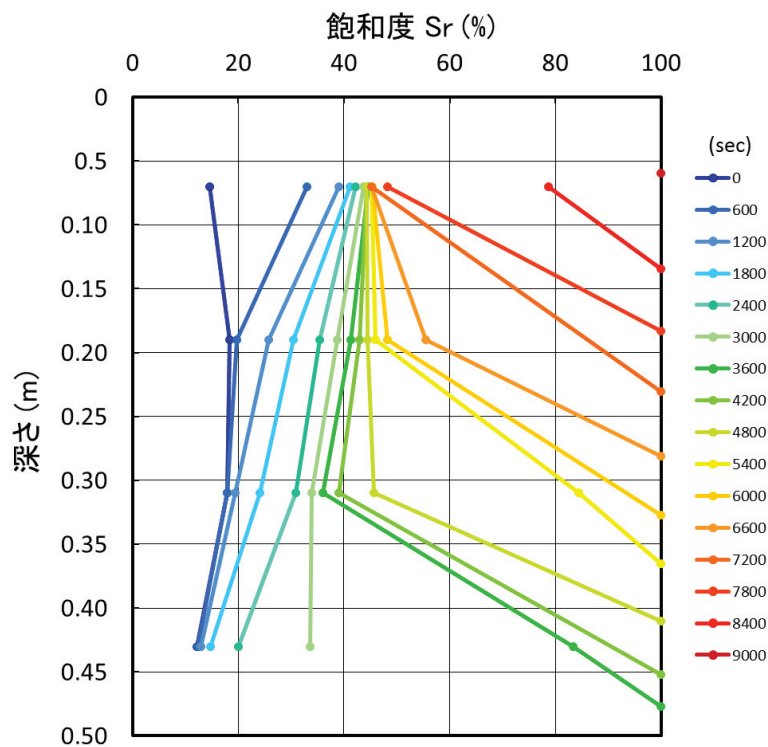


図5 深さ(h)と飽和度(S_r)の関係
(珪砂4号, 降雨強度88mm/h, 初期乾燥)

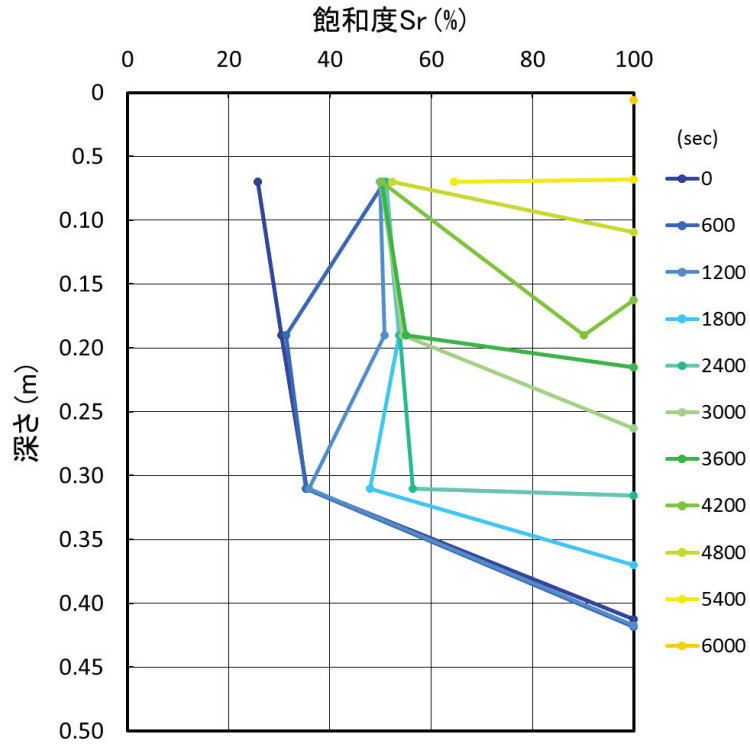


図6 深さ(h)と飽和度(S_r)の関係
(珪砂4号, 降雨強度 88mm/h, 初期湿潤)

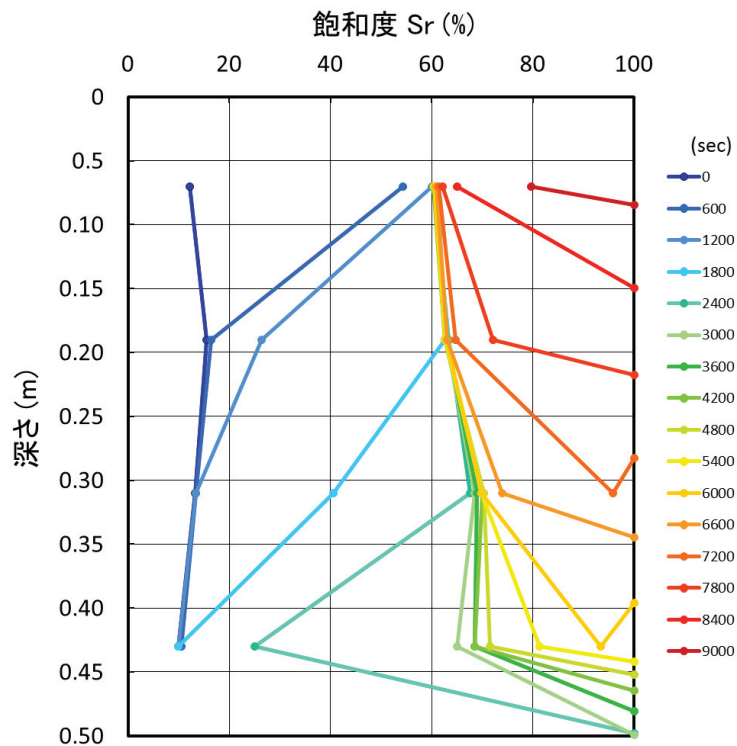


図7 深さ(h)と飽和度(S_r)の関係
(珪砂6号, 降雨強度 88mm/h, 初期乾燥)

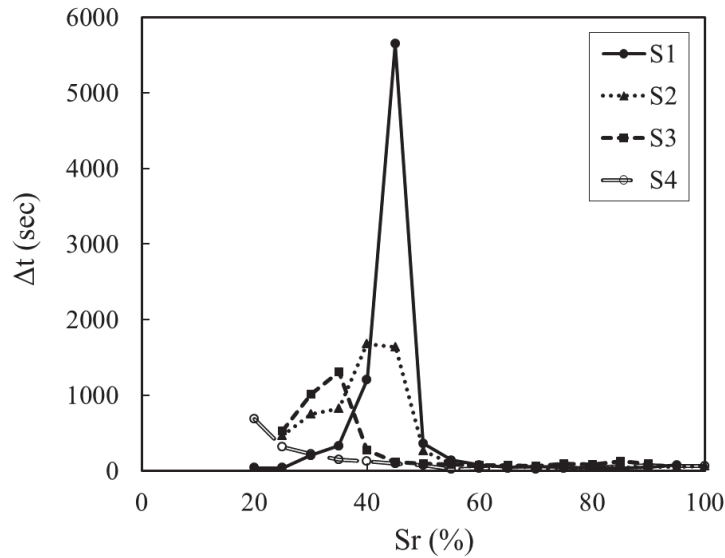


図8 時間(Δt)と飽和度(S_r)の関係
(珪砂4号, 降雨強度 88mm/h, 初期乾燥)

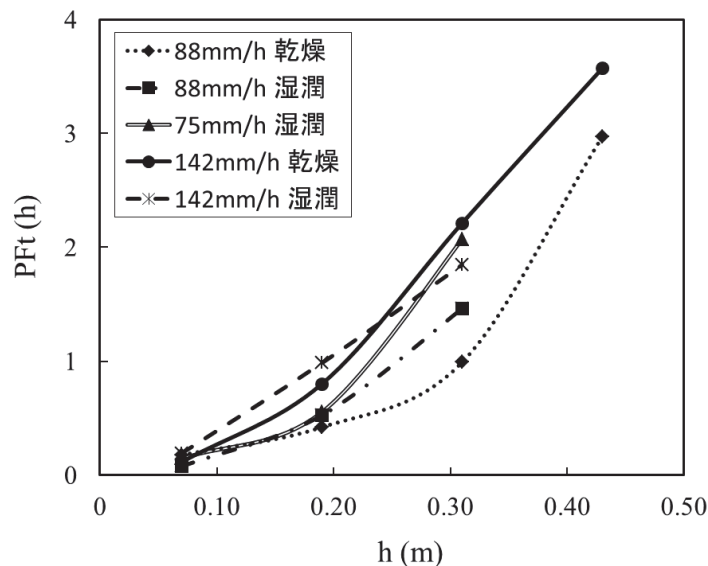


図9 珪砂4号の $PFt(h)$ 関数

7. 結論

本研究では集中豪雨による表層崩壊に着目し、その現象を再現した降雨実験を行った。この実験により降雨の斜面への浸透と地下水の上昇挙動のモデルを作成することができ、異なる試料間や深度間での違い、特徴について考察することができた。そして、Peak 時間関数 $PFt(h)$ を提案し、それをを用いることで、表層崩壊発生時間の予測が期待できる。

引用文献

- 1) ティハ, 土田孝, 佐々木康, 2007 ; 自然斜面における雨水浸透・流出の原位置観測. こうえいフォーラム Vol.16, 55-65.
- 2) 高橋伊織, 2015MS ; 降雨による表層崩壊の発生時間予測のための実験的研究. 島根大学総合理工学部地球資源環境学科学位論文.