

地下水位と飽和度の関係に着目した傾斜模型地盤に対する透水実験

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○高柳 剛 正会員 布川 修
フェロー 杉山 友康 正会員 太田 直之

1. 目的

斜面の不安定化と雨量との密接な関係に基づき、鉄道では安全の確保を目的に雨量を指標とした運転規制が広く用いられている。今後、さらに適正な運転規制の基準を設定するためには、降雨時の地下水位の時間的変動を広域的な斜面を対象に把握する必要がある。そこで、地下水位を近似的に評価する手法として、斜面の表層地盤を要素単位に分割し、要素間で地下水が飽和浸透流によって交換されるモデルを検討している(図1)。

この手法では、地盤要素へ流入した水量を飽和度に換算した上で、飽和度から地下水位を決定する必要がある。しかし、地下水位と飽和度の関係は地盤条件に影響を受ける可能性があるため、傾斜模型地盤に対する透水実験を実施し、傾斜角度と地盤材料の違いが地下水位と飽和度の関係に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

実験は、斜面表層を模擬した一定厚さの地盤を構築し、地表面に対して散水する、または地盤の上流側の側面から注水して下流側の側面から排水することで地盤中の地下水位を上下させ、地下水位と地盤の飽和度を測定するものである。体積含水率の測定には土壌水分計(ADR方式)を用い、地下水位の観測にはピエゾメータと観測井戸を用いた。地盤材料には稲城砂(土粒子密度 $\rho_s = 2.68(\text{g/cm}^3)$, 平均粒径 $D_{50} = 0.246(\text{mm})$, 10%粒径 $D_{10} = 0.0463(\text{mm})$)と川砂($\rho_s = 2.80(\text{g/cm}^3$, $D_{50} = 0.378(\text{mm})$, $D_{10} = 0.2154(\text{mm})$)の二種類を用いて、延長 $L = 165(\text{cm})$, 厚さ $D = 50(\text{cm})$, 幅 $W = 100(\text{cm})$ の地盤を材料別に構築した(図2)。地盤は、構築高さ $10(\text{cm})$ を一層として各層ごとに一定のエネルギーで締固め、所定の透水係数(稲城砂: $k = 5.0 \times 10^{-3}(\text{cm/s})$, 川砂: $k = 4.0 \times 10^{-2}(\text{cm/s})$)の地盤が得られるように構築し、同時に土壌水分計を埋設した。地盤の上流側および下流側の側面には、緩衝帯としての礫層を構築した。構築完了後は土槽ごとに地盤を傾斜させて固定し、所定の位置に多孔のパイプを貫入して観測井戸を設置した。ピエゾメータの設置位置は土槽底面に沿って、下流側から M1: $35(\text{cm})$, M2: $65(\text{cm})$, M3: $97(\text{cm})$, M4: $127(\text{cm})$, M5: $159(\text{cm})$, M6: $188(\text{cm})$ の合計6点である。観測井戸はM2およびM4の直上に設置した(B1, B2)。また土壌水分計はB1とB2と同じ位置に3点ずつ、地盤高さの0.2倍, 0.5倍, 0.8倍の高さに設置した(合計6点)。地盤に対する給水方法には、①散水(降水強度 $40(\text{mm/h})$)と上流側面からの注水を組み合わせる方法と②注水のみの方の2パターンを採用した。地盤への給水手順としては、まず予備的な散水を加えて自然含水状態にした後に、同一地盤に対して①および②の給水を実施した。本実験の実験条件と地盤の物性値を表1に整理する。

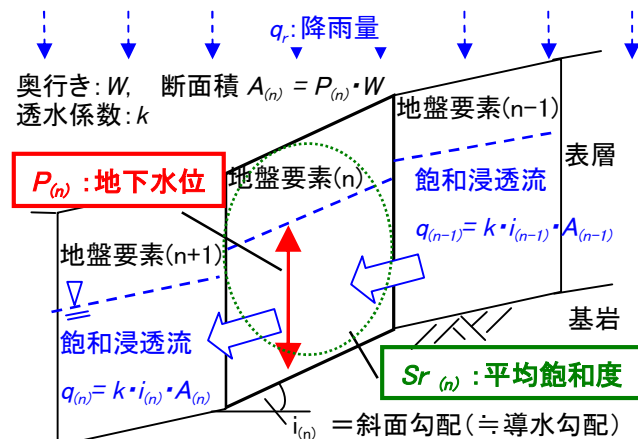


図1 地下水位評価モデルの概念図

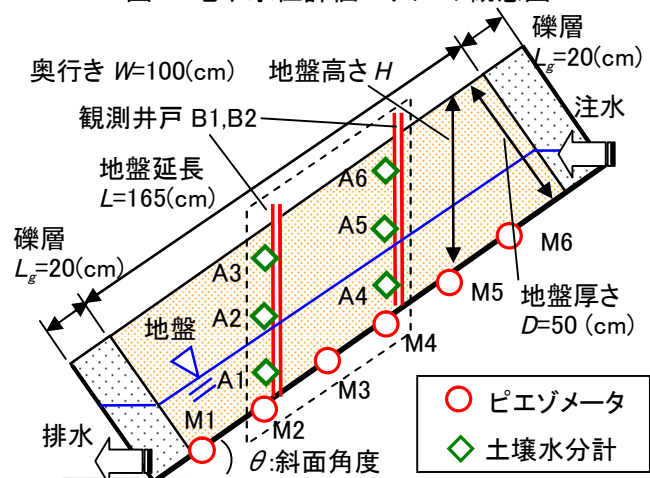


図2 模型地盤の概要図

キーワード 地下水 飽和度 浸透流 透水実験 模型実験

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 地盤防災 Tel: (042) 573-7263

3. 実験結果

地盤物性値については、地盤は実験による給排水によって締め固められるため、実験後の値を基準とする(表1)。なお、Case3 については透水実験途中で地盤が崩壊したため、実験前の地盤物性値を用いる。ここでは下流側の観測井戸(B1)から得られる地下水位と、その周辺

に埋設した土壤水分計(A1,A2,A3)から得られる平均飽和度の関係について整理した結果を図3(地下水位の上昇過程)と図4(地下水の下降過程)に示す。なお、地下水位については地盤高さで正規化している。飽和度の増加に伴って地下水位も上昇するが、地下水位が地表面まで完全に上昇する前の段階で、先に飽和度の増加は85~90(%)で限界に達してしまい、これ以降は地下水位のみが増加する関係にある。

Case1, 2, 3 は、地盤材料は同一で傾斜角度が異なる条件である。これらを比較すると Case2 は全体的に高い飽和度を示しているが、飽和度の限界値も同様に高くなっており、また傾斜角度に依存する特定の傾向は見られないため、この違いは地盤の不均一性に伴う実験誤差として捉えた方が妥当である。すなわち、傾斜角度は地下水位と飽和度の関係に大きく影響しないと考えられる。

Case2 と Case4 は、傾斜角度は同一で地盤材料が異なる条件であり、これらを比較すると Case4 (川砂地盤)の方がかなり低い飽和度の段階で地下水位が上昇し始めることが分かる。これより、地盤材料の違いは地下水位と飽和度の関係に大きく影響すると言える。なお、地盤材料の違いの影響は透水性(透水係数)と保水性(サクション)の違いに起因すると考えられる。

また、地盤への給水経路に注目すると、注水のパターン(②:周辺地盤からの地下水の浸透を模擬)では地盤全体の飽和度が高まる前に、低い飽和度の段階で地下水位が上昇し始める傾向にあることが分かる。このことから、降雨により地盤全体の飽和度が高まる前に、主に周辺地盤から地下水が浸透する場合には、低い飽和度で地下水位が上昇し始めると考えられる。つまり、地形条件による水の集中し易さの違いは、地下水位と飽和度の関係に影響する可能性が示唆される。

4. まとめ

本実験結果から、地盤条件が地下水位と飽和度の関係に与える影響について以下のことが考えられる。①地盤の傾斜角度は大きく影響しない、②地盤材料の違い(地盤の透水性と保水性の違い)は影響する、③地下水の集まり易さ(谷、沢地形など)の違いは影響する可能性がある。今後、同様の実験または解析を実施し、これらの傾向を考慮した地下水位と飽和度の関係を定めるモデルについて検討する予定である。

表1 実験条件および地盤物性値

実験条件 (給水方法)	傾斜角 $\theta(^{\circ})$	材料	透水係数 $k(\text{cm/s})$	間隙率 $n(\%)$	給水方法
Case1 (①,②)	20	稲城砂	2.17E-03	0.463	①散水+注水 ②注水
Case2 (①,②)	30	稲城砂	3.30E-03	0.462	①散水+注水 ②注水
Case3(①)	40	稲城砂	4.85E-03	0.479	①散水+注水
Case4 (①,②)	30	川砂	3.79E-02	0.507	①散水+注水 ②注水

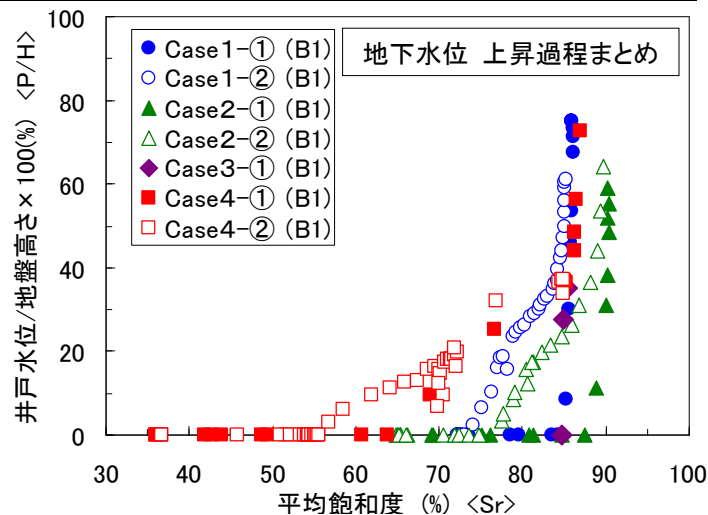


図3 地下水位—平均飽和度関係(上昇過程)

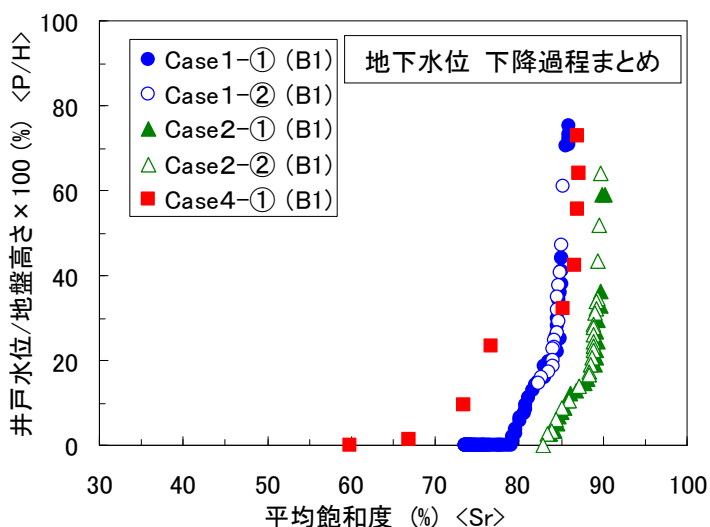


図4 地下水位—平均飽和度関係(下降過程)