

瞬間断面法を用いた不飽和透水係数の推定の一事例

中電技術コンサルタント(株) ○清田亮二 荒木義則 岩田直樹
 高知大学教育研究部 笹原克夫
 (株)荒谷建設コンサルタント 丸岡雄一郎
 復建調査設計(株) 中瀬有祐
 (株)エイト日本技術開発 梅本佳伸
 (株)建設技術研究所 梶山敦司
 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 松下一樹

1. はじめに

降雨による斜面表層の崩壊発生予測のための浸透流解析には、降雨に応じた土壌の不飽和特性の把握が重要となる。降雨イベントに対する土壌の吸水・排水の過程は、一般に体積含水率 θ や土壌水分吸引水頭 ϕ の挙動により推測することができるが、本研究では、一元的な土壌の吸水・排水の過程を見るため、実斜面で計測された複数の降雨イベントに対する体積含水率 θ と土壌水分吸引水頭 ϕ の時系列データをもとに、瞬間断面法を用いて不飽和透水係数を直接算定することを試みた。その事例として、瞬間断面法による不飽和透水係数と降雨イベントの関係や土壌水分特性曲線との関係について検討した結果を報告する。

2. 現地計測

本検討で用いた現地計測データは、広島県廿日市市の広島風化花崗岩起源のまさ土からなる自然斜面で、平成22年5月28日～同12月3日に観測したものである。体積含水率 θ は、地表面からの深度3, 15, 25, 50, 60, 80, 110, 130, 140cmに設置したTDR、土壌水分吸引水頭 ϕ は、地表面からの深度15, 25, 60, 80, 130cmに設置したテンシオメータによりそれぞれ30分間隔で計測したものである。なお、雨量については近傍の林外雨量計による観測結果を用いた。

3. 瞬間断面法による不飽和透水係数の推定方法

体積含水率 θ と土壌水分吸引水頭 ϕ ならびに雨量の時系列データが得られている場合、瞬間断面法により不飽和透水係数を直接算定することができる。瞬間断面法は、地表面からの位置 z における鉛直下向きのフラックス q を体積含水率 θ の鉛直分布の時系列を用いて式(1)により算定し、位置 z における動水勾配を用いて不飽和透水係数 K を式(2)により算定するものである¹⁾²⁾。なお、当手法は側方流、地表面蒸発、根系による吸水を無視した1次元モデルを仮定したものである。

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_z^{z_0} \theta dz = r - q \quad \dots \dots (1)$$

$$K = q / \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} + 1 \right) \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 z ：鉛直上向きを正とする距離、 t ：時間、 r ：雨量、 θ ：体積含水率、 q ：鉛直下向きのフラックス、 ϕ ：土壌水分吸引水頭、 K ：不飽和透水係数を示す。

本検討においては、体積含水率 θ と土壌水分吸引水頭 ϕ の現地計測位置の関係から、図-1に示す深度(20, 42.5, 70, 105cm)について計算を行った。

なお、式(1)の左辺における体積含水率の鉛直分布については計算点以浅の積分値を、式(2)の分母(動水勾配)については、計算点を挟む上下の現地計測点の土壌水分吸引水頭差(圧力水頭差)および高さの差から求めた³⁾。

4. 不飽和透水係数の推移

現地計測期間中から抽出した2つの降雨イベント(6/25降雨, 7/13降雨)に対して算定した不飽和透水係数等の時系列を図-2に示す。これより、各深度の透水係数の挙動は概ね降雨波形と相関していることが確認できる。また、初期条件が比較的乾燥状態である6/25降雨においては、表層の透水係数は、降雨が少ない前半では深層に比べて低い状態で推移しているが、後半の降雨ピーク時付近から大きくなっている。一方、初期条件が比較的湿潤状態である7/13降雨においては、表層の透水係数は、前半の降雨ピーク時付近から大きくなっている。

これらのことから、ある程度の降雨強度または降雨継続により、土中の浸潤線が上昇し表層付近まで飽和に近い状態となり、不飽和透水係数が大きくなっていることが示唆される。

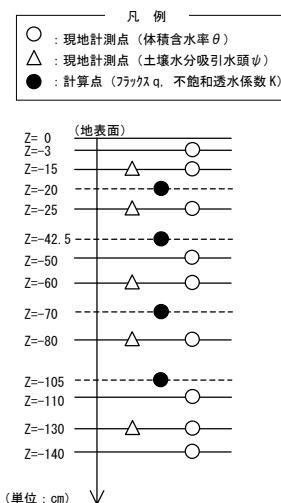


図-1 現地計測点および計算点

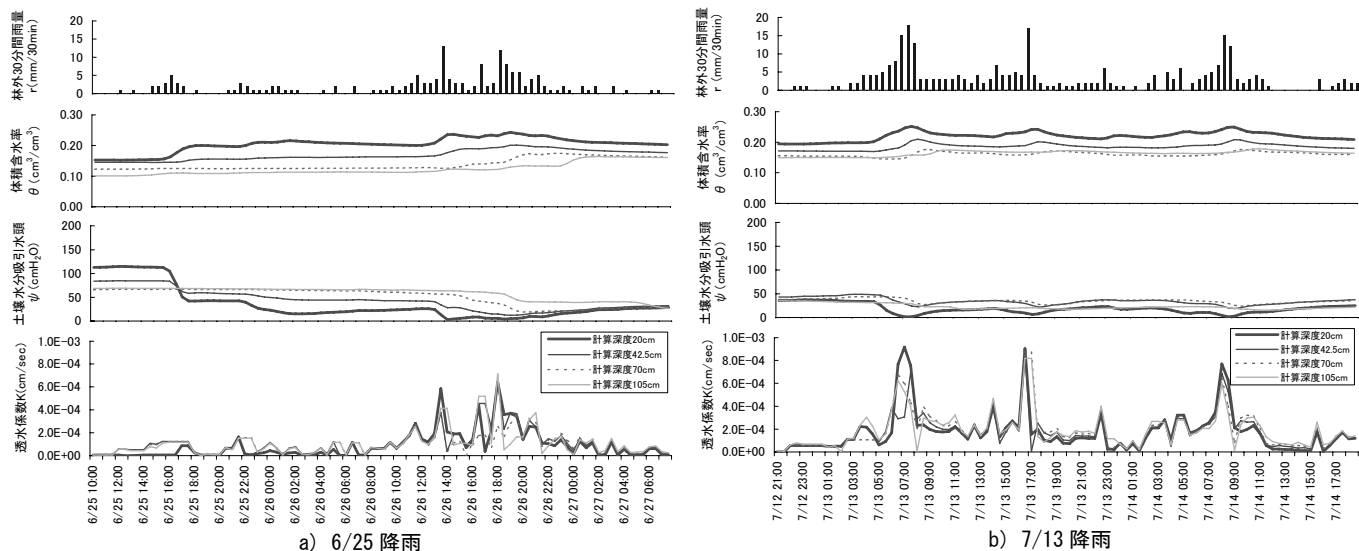


図-2 瞬間断面法による不飽和透水係数等の時系列

5. 不飽和透水係数と土壤水分特性の関係

瞬間断面法により算定した全降雨イベントの θ - ψ 関係および θ - K の関係を計算深度別に整理した結果を図-3に示す。これより、 θ - ψ 関係と θ - K 関係は対峙する一般的な傾向を示しており、土壤の大局的な不飽和特性をある程度再現できていると考えられる。ただし、 θ - K 関係は、深層になる程バラツキが大きくなっている。式(1)で体積含水率 θ の鉛直分布を積分するが、蒸発散、土壤の不均一性、側方流出、マクロポアや根系の影響などの不確定要素や、計測誤差などの影響の累積によるものと考えられる。なお、 θ - K 関係に吸水、排水の傾向に明確な差異は見られないが、現地計測における θ - ψ 関係に吸水・排水の経路の違いが明確に現れていないことに起因しているものと考えられる。

また、降雨条件の違いによる土壤水分特性と不飽和透水係数の関係を確認するため、図-2で示した2つの降雨イベントの計算深度20cmにおける θ - ψ 関係、 θ - K 関係を抽出した結果を図-4に示す。これより、同様の土壤水分特性を示す範囲($\theta=0.20\sim0.25$)で透水係数の分布に相違が見られることから、降雨中の土壤の吸水速度や初期体積含水率または初期土壤水分吸引水頭との何らかの相関があるものと推察される。

6. おわりに

本検討の結果、現地計測結果を用いて地盤の不飽和特性がある程度推定可能であることが確認できた。今後は、同斜面において人工降雨実験も含めたデータを蓄積し、解析精度向上および降雨条件、初期条件との関連性等の検証を行っていきたいと考える。

謝辞：本研究の実施にあたり、現地計測に関する便宜を図って頂き、また、貴重な資料及びご助言を頂いた国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所担当者各位に深く御礼申し上げます。

参考文献：1) Watson K.K. : An Instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials, Water Resources Research, Vol.2, No.4, pp.709-715, 1966.
2) 梁ら：降雨鉛直浸透に関する土壤水分特性パラメータの特定手法に関する考察, 砂防学会誌, Vol.59, No.3, pp.3-12, 2006.
3) 地盤工学会：不飽和地盤の挙動と評価, pp.65-66, 2004.

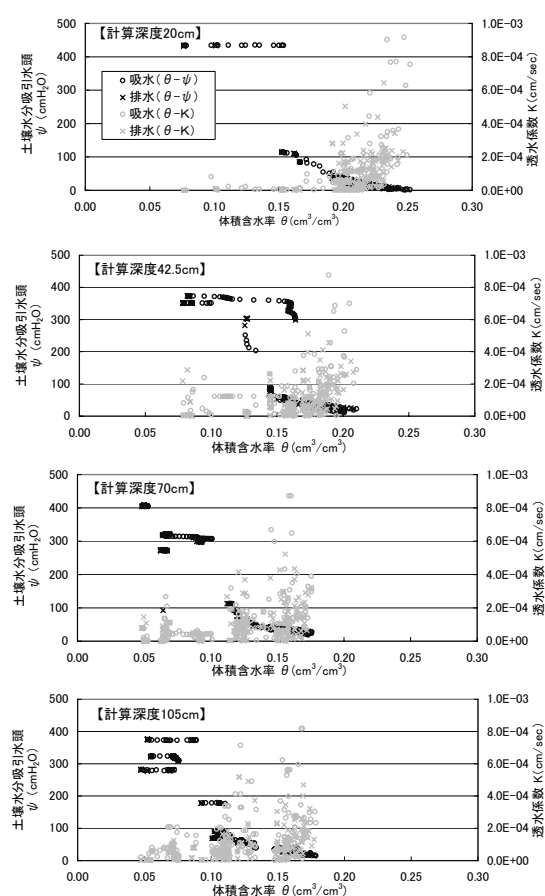


図-3 θ - ψ , θ - K 関係 (全降雨イベント)

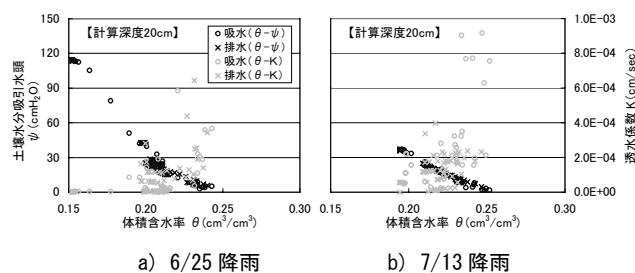


図-4 θ - ψ , θ - K 関係 (6/25, 7/13 降雨時)