

降雨浸透時の土壌水分特性の相違が土の降雨浸透速度に及ぼす影響

中電技術コンサルタント(株) ○岩田直樹, 荒木義則, 清田亮二
 高知大学農学部 笹原克夫
 (株)荒谷建設コンサルタント 片山弘憲
 (株)エイト日本技術開発コンサルタント 丹下英雄
 (株)設技術研究所 柳崎剛
 復建調査設計(株) 中瀬有祐
 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、現地状況や降雨に応じた解析パラメータの設定が不可欠である。このため筆者らは、解析パラメータのひとつである土壌水分特性曲線について、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 のデータもとに曲線の推定を行ってきた。この結果、 θ - ϕ 曲線は降雨イベント毎に異なるヒステリシスを描くことや、吸水過程及び排水過程のヒステリシスは必ずしも同一の主曲線とならないことを指摘した¹⁾。

そこで本研究では、計測データをもとに設定した異なる土壌水分特性曲線を用いて不飽和浸透流解析を実施し、土壌水分特性曲線の違いが降雨浸透速度にどのように影響するかについて検討した結果を報告する。

2. 現地計測

本検討で用いた観測データは、広島風化花崗岩起源のまさ土が表層約 1.0m に分布する広島県廿日市市で観測されたものである。体積含水率 θ は地表面から 15cm, 35cm に設置された TDR により計測され、土壌水分吸引水頭 ϕ は地表面から 30cm, 50cm, 100cm に設置されたテンシオメータにより計測されている。土壌水分特性曲線の算定にあたっては、設置深度がほぼ等しい 35cm の θ と 30cm の ϕ を用いた。

図-1 は 2008 年及び 2009 年の 4 月から 9 月まで計測された体積含水率 θ と土壌水分吸引水頭 ϕ との関係を示す。 θ - ϕ 関係は、 $\phi=200\text{cmH}_2\text{O}$ 程度でほぼ 1 本の曲線となり、 $\phi=200\text{cmH}_2\text{O}$ 程度以下で広がりを持って分布している。この計測データのうち、体積含水率 θ の増加に伴って土壌水分吸引水頭 ϕ が減少している吸水区間を抽出した結果を図-2 に示す。なお、テンシオメータの計測精度から土壌水分吸引水頭が $10\text{cmH}_2\text{O}$ 以下のデータは棄却を行った。

3. 土壌水分特性曲線の設定

図-2 に示す抽出した吸水曲線群をもとに、曲線群の上限を包絡するような曲線（以降、上限曲線と呼ぶ）と、曲線群の下限を包絡し、 $\phi=200\text{cmH}_2\text{O}$ 付近で上限曲線とほぼ

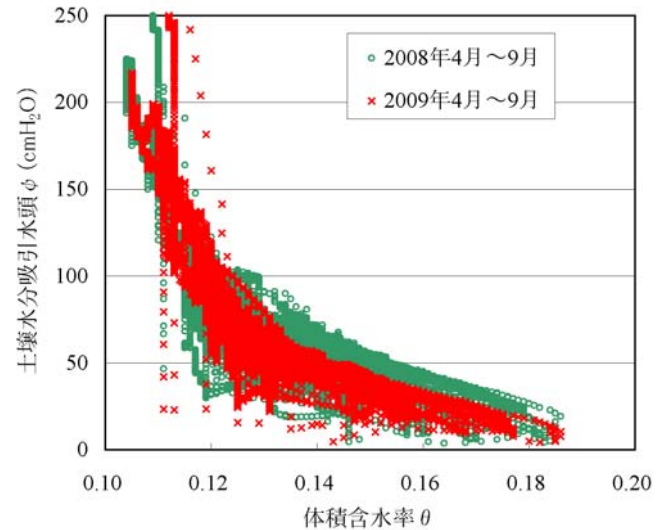


図-1 観測データの θ - ϕ 関係

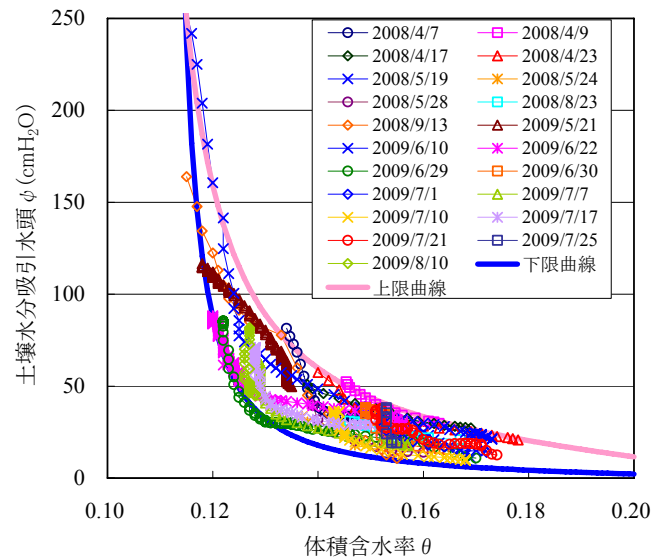


図-2 対象とした吸水曲線群と設定した土壌水分特性曲線

表-1 土壌水分特性曲線のパラメータ

	下限	上限
θ_r	0.110	0.105
θ_s	0.220	0.220
α	0.35	0.06
n	1.70	1.90

一致するような曲線（以降，下限曲線と呼ぶ）を van Genuchten 式²⁾により設定した．各土壌水分特性曲線のパラメータを表-1 に示す．

4. 浸透流解析

図-3 に示す 40° に傾斜したモデルにより浸透流解析を行った．土壌水分特性曲線は，計測結果より設定した深度 30cm のパラメータをもとに深度に依存する関数³⁾により，土層厚 1.5m を鉛直方向に 15 分割した土層毎に異なるパラメータを設定した．また，飽和透水係数は $2.89 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ とし，比透水係数は van Genuchten 式より設定した．初期土壌水分吸引水頭 ϕ_0 は，乾燥した状態を想定した $\phi_0=400\text{cm}$ と，雨季のやや乾燥した状態を想定した $\phi_0=100\text{cm}$ の 2 ケースを設定し，100mm/hr の降雨を断続的に与えた場合について比較を行った．

図-4 は深度 30cm，50cm，100cm における体積含水率 θ の経時変化を示す．この結果，体積含水率の立ち上がり時刻は上限曲線のほうが早く，深度が深いほど上限曲線と下限曲線の差が大きくなる結果となる．これらの原因としては，上限曲線のほうが降雨浸透に伴う ϕ の低下が小さく，下限曲線よりも ϕ が大きく設定されることと，比透水係数を van Genuchten 式より設定したことにより，傾きの緩やかな上限曲線の透水係数が下限式よりも大きくなることが考えられる．初期土壌水分吸引水頭 ϕ_0 の違いについてみると， $\phi_0=100\text{cmH}_2\text{O}$ の場合には，飽和度が高く，透水係数が大きいため $\phi_0=400\text{cmH}_2\text{O}$ に比べて立ち上がり時刻は早くなる．しかしながら，上限曲線と下限曲線の ϕ の差が $\phi_0=400\text{cmH}_2\text{O}$ に比べて小さいため，上限曲線と下限曲線の立ち上がり時刻の差は小さくなる．以上のことから，曲線の立ち上がり時刻すなわち降雨浸透速度は，土壌水分特性曲線の形状だけでなく，初期条件に大きく依存することがわかった．

4. おわりに

本検討の結果，降雨浸透速度が土壌水分特性曲線や初期条件に大きく依存することから，土壌水分特性曲線や初期条件を現地状況に応じていかに設定するかが重要な課題であることが分かった．今後は，浸透流解析による実測データとの比較等により土壌水分特性曲線の設定方法を検討していくとともに，降雨浸透速度の違いが斜面の変形・滑りにどの程度の影響を及ぼすかについても検討を進めたいと考えている．

謝辞：本研究の実施にあたり，貴重な資料およびご助言をいただ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の各位に深く御礼申し上げます．

参考文献 1)片山ら：土壌水分特性曲線の湿潤時と乾燥時のヒステリシス，平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.390-391. 2)Van Genuchten, M.Th.:A closed equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. of America Jour.,vol.44, No.5,pp.892-898,1980. 3)岩田ら：原位置計測データに基づく土壌水分特性曲線の算定方法に関する一考察，平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.222-223.

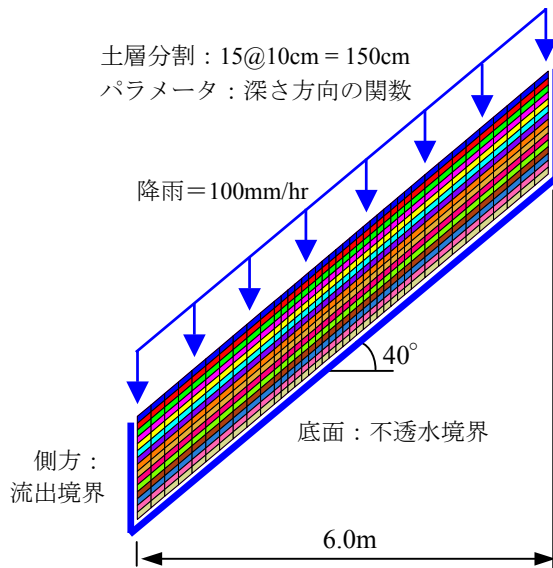
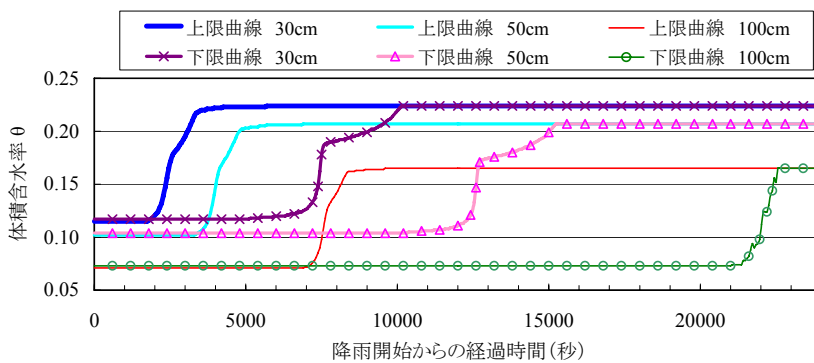
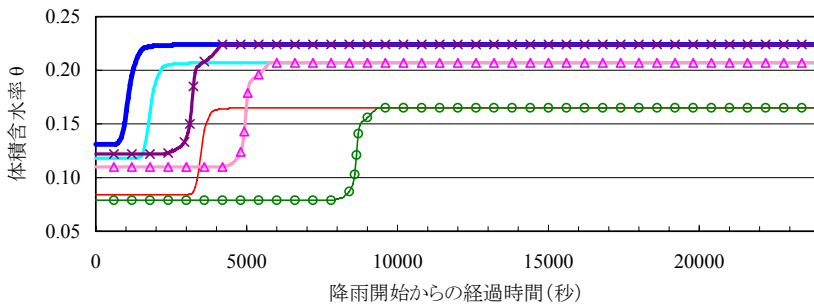


図-3 浸透流解析モデル



(a) 初期土壌水分吸引水頭 $\phi_0=400\text{cm}$



(b) 初期土壌水分吸引水頭 $\phi_0=100\text{cm}$

図-4 体積含水率 θ の経時変化の比較