

## 水分特性曲線の形状に影響を及ぼすパラメータに関する考察

(株)荒谷建設コンサルタント ○片山弘憲 小林公明 丸岡雄一郎  
 高知大学教育研究部 笹原克夫  
 中電技術コンサルタント(株) 田川 良  
 復建調査設計(株) 中瀬有祐  
 (株)エイト日本技術開発 守屋敏明  
 (株)建設技術研究所 山部 哲  
 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 藤原 寛

## 1. まえがき

降雨に伴う斜面の表層崩壊発生予知のためには、飽和・不飽和浸透流解析により地盤への雨水浸透過程を把握する必要がある。精度の高い崩壊発生予知には再現性の高い解析パラメータが不可欠であるが、小林ら<sup>1)</sup>は現地計測データに基づいた土壌水分特性曲線の有利性を示し、片山ら<sup>2)</sup>は現地計測データから得られた吸水曲線の比水分容量が吸水速度・初期体積含水率・初期土壌水分吸引水頭の影響を受けて変化することを分析している。本研究では上記の研究結果を踏まえて、再現性の高い浸透流解析パラメータを得るために、まさ土斜面における現地計測データから得られた土壌水分特性曲線について、比水分容量を目的変数、吸水速度・初期体積含水率・初期土壌水分吸引水頭の3因子を説明変数として重回帰分析を実施し、各因子が土壌水分特性曲線の形状に及ぼす影響を検討したものである。

## 2. 現地計測データと分析手法

本研究で現地計測を行っているのは、広島県廿日市市に位置する溪流沿いの山腹斜面であり、1999年6月29日の広島豪雨災害時には周辺地域で土石流が多発している。地質的には広島花崗岩類起源の風化土である“まさ土”が被覆しており、近傍のトレンチ調査では、地表面から40cmまででA層、120cmまででB層、それ以深でC層を確認している。対象斜面では、テンシオメータとTDR式土壌水分センサーを4対埋設して10分間隔の計測を行っているが、分析には最もばらつきが少ない地表面から30cmの深度のデータを用いた。また分析対象期間は2008年4月から9月までの6か月間とし、この中で体積含水率が増加し、かつ土壌水分吸引水頭が減少する明瞭な吸水区間のデータを抽出した。抽出データを図-1に示すが、抽出時間は1,490分、対象降雨は12イベントである。

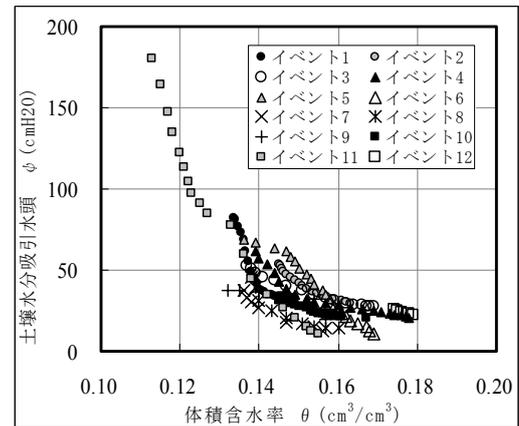


図-1 分析に用いた現地計測データ

データ分析は、吸水速度・初期体積含水率・初期土壌水分吸引水頭が土壌水分特性曲線の形状に及ぼす影響を検討する目的で、比水分容量を目的変数、上記3因子を説明変数として、累積近似を用いた重回帰分析を実施した。ここで目的変数とした比水分容量は、現地計測データから得られた土壌水分特性曲線における10分毎の吸水曲線の勾配の逆数 $(-\Delta\theta/\Delta\phi)$ で表される。また説明変数のうち、吸水速度は体積含水率の時間変化量 $(\Delta\theta/\Delta t, t=10\text{min})$ 、初期体積含水率ならびに初期土壌水分吸引水頭は10分毎の比水分容量を求める際の各初期値と定義する(以下、初期 $\theta$ 、初期 $\phi$ と示す)。

## 3. データ分析結果

図-2に吸水速度・初期 $\theta$ ・初期 $\phi$ の3因子の組み合わせによる決定係数の変化を整理する。全体的な傾向をみると、1因子の場合では初期 $\theta$ が最も相関性が高く、吸水速度が最も低い。また説明変数が多くなるに従い相関性が高くなり、3因子を用いた場合が最も決定係数が大きい。初期 $\theta$ 単独の場合と吸水速度と初期 $\phi$ の2因子の場合では、前者のほうが決定係数が大きくなり傾向が逆移する。個別にみると、初期

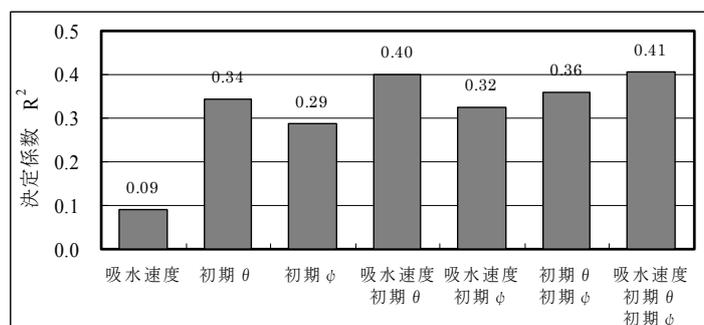


図-2 説明変数の組み合わせによる決定係数の変化

$\theta$  単独の場合と、初期  $\theta$  と初期  $\phi$  の 2 因子の場合の決定係数はいずれも 0.35 程度、吸水速度と初期  $\theta$  の 2 因子と、それに初期  $\phi$  を加えた 3 因子の場合の決定係数はいずれも 0.40 程度と大差がなく、初期  $\phi$  は因子を組み合わせた場合の相関性の向上にはあまり寄与していないといえる。また、単独で最も相関性の高い初期  $\theta$  に対して吸水速度を組み合わせた場合の決定係数は 0.40、初期  $\phi$  を組み合わせた場合は 0.36 となり、吸水速度は、初期  $\phi$  に較べて相関性の向上に寄与している。そこで、吸水速度・初期  $\theta$  ・初期  $\phi$  の 3 因子を説明変数として重回帰分析を行った場合の t 値、P 値を表-1 に示す。3 因子のうち最も影響度が大きいのは初期  $\theta$  であり、次いで吸水速度、最も影響度が小さいのは初期  $\phi$  となった。これは前述と一致する結果であり、特に吸水速度については、それ単独での相関性は低いものの、他の因子と組み合わせることによって相関性を向上させることがわかる。

#### 4. 重回帰式による計算値と計測値の比較

比水分容量を目的変数、吸水速度・初期  $\theta$  ・初期  $\phi$  の 3 因子を説明変数とした重回帰式（累乗近似式）は、式(1)のように求められる。

$$-\Delta\theta/\Delta\psi = 5054.428 \cdot (\Delta\theta/\Delta t)^{0.382} \cdot \theta_0^{5.944} \cdot \psi_0^{-0.277} \dots\dots\dots (1)$$

図-3 は、説明変数である 3 因子の計測値（吸水速度・初期  $\theta$  ・初期  $\phi$ ）を式(1)に代入して得られる比水分容量の計算値と計測値から求めた比水分容量について、説明変数の各因子を X 軸、目的変数の比水分容量を Y 軸とした座標上にプロットしたものである。同図を見ると、計算値に較べて計測値のほうがデータの分散が大きいものの、比較的良好な再現性が確認できる。すなわち、吸水速度・初期  $\theta$  ・初期  $\phi$  の影響を考慮することにより、現地計測データから再現性の高い土壌水分特性曲線を特定できることを示している。

#### 5. おわりに

本検討において、比水分容量を目的変数、吸水速度・初期体積含水率・初期土壌水分吸引水頭の 3 因子を説明変数として重回帰分析を実施した結果、3 因子の回帰式への影響度合いを把握することができた。また、それらの因子を組み合わせることで回帰式の相関性を向上させることができ、再現性の高い土壌水分特性曲線を得られることが明確となった。今後も、表層崩壊発生予知の精度向上を目的として、現地計測データに基づいた再現性の高い解析パラメータを得るための研究を進めてゆきたい。

謝辞：本研究の実施にあたり、貴重な資料の提供ならびに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の各位に深く御礼申し上げます。

参考文献：1)小林ら：現地計測データに基づいた水分特性把握の有利性について、斜面・のり面の維持管理と防災マネジメントに関するシンポジウム発表論文集,pp47-50,2011 2)片山ら：吸水速度と初期体積含水率がまさ土斜面への降雨浸透に及ぼす影響,平成 23 年度砂防学会研究発表会,pp98-99,2011

表-1 3 因子による重回帰分析結果(t 値, P 値)

説明変数	t 値	P 値
吸水速度	3.392	8.98E-04
初期 $\theta$	4.452	1.70E-05
初期 $\phi$	-1.174	2.42E-01

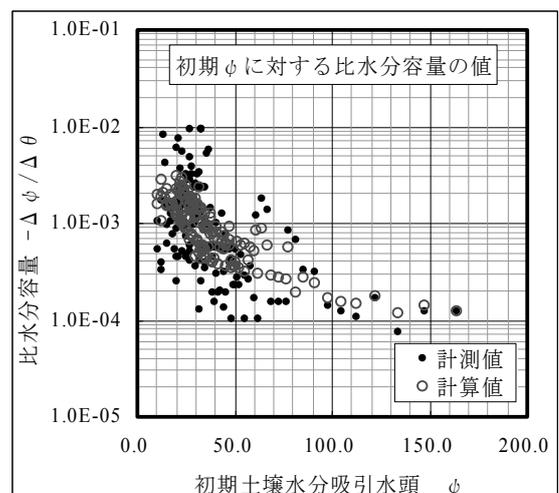
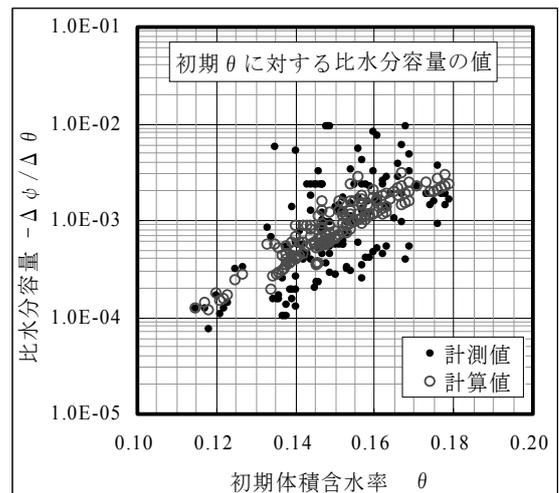
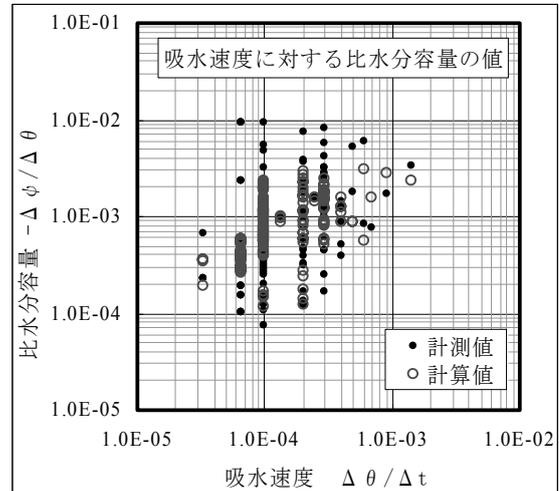


図-3 各説明変数と比水分容量の相関 (計測値と計算値の比較)