

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

中電技術コンサルタント(株) ○岩田直樹, 荒木義則
 高知大学農学部 笹原克夫
 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所(現 九州地方整備局) 瀧口茂隆
 (株)エイトコンサルタント 小野秀史
 (株)荒谷建設コンサルタント 小林公明
 復建調査設計(株) 中井真司

1. はじめに

降雨時による斜面表層の崩壊発生予測のためには、現地状況や降雨に応じた地下水位を設定すること重要となる。地下水位は、一般的に飽和不飽和浸透流解析¹⁾により設定されるが、解析パラメータの土壌水分特性曲線をいかに設定するかが大きな課題である。

そこで本研究では、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と土壌水分吸引水頭の全データをもとに、降雨時の地下水位予測のための飽和不飽和浸透流解析に用いる土壌水分特性曲線の設定を行った結果を報告する。

2. 現地計測

現地斜面における観測は、広島風化花崗岩起源のまさ土である広島市佐伯区荒谷地区(図-1)において、雨量、体積含水率、土壌水分吸引水頭の計測が行われている。

現地斜面は、表層約1.8mが風化まさ土となっており、体積含水率は地表面から20cm, 50cm, 90cmに設置されたTDRにより計測され、土壌水分吸引水頭は地表面から20cm, 50cm, 100cm, 155cm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、同一深度における体積含水率、土壌水分吸引水頭が必要となるが、設置深度100cmの土壌水分吸引水頭を90cmのものとし、設置深度20cm, 50cm, 90cmの深度毎に土壌水分特性曲線の算定を行った。

図-2に2008年3月から2008年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。経路をみると、体積含水率は変化しないまま急激に土壌水分吸引水頭が減少する現象や、深度90cmのデータにおいては、土壌水分吸引水頭は一定のまま、体積含水率が増加する現象が見られるが、これらは計測機器の不具合等によるものと考えられる。これらの異常値を除くと、深度に応じて異なる3本の土壌水分特性曲線が存在するように見受けられる。

3. 土壌水分特性曲線のパラメータ設定

土壌水分特性曲線は、現位置で計測した同一深度の体積含水率 θ と土壌水分吸引水頭 ϕ の関係から以下に示す van Genuchten 式²⁾によりパラメータを設定する。

$$S_e = \left\{ 1 + (-\alpha \cdot \phi)^n \right\}^m \cdots \cdots (1), \quad S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \cdots \cdots (2)$$

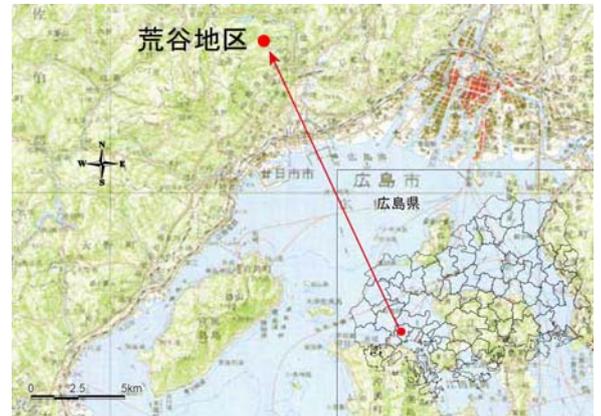


図-1 現地計測位置図

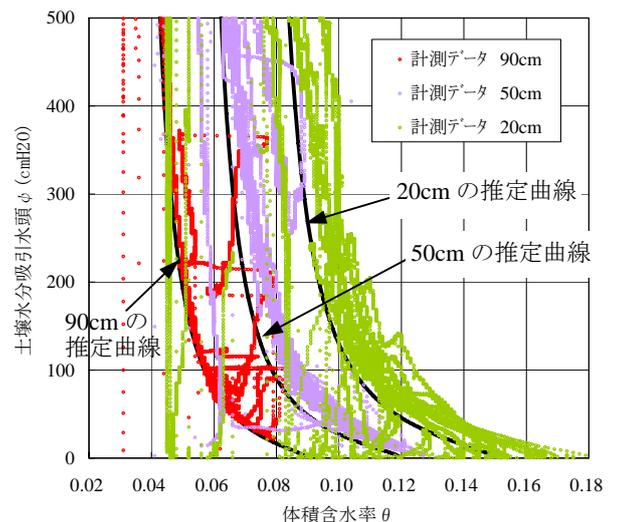


図-2 各深度の体積含水率 θ と水分吸引水頭 ϕ の計測データと推定された土壌水分特性曲線

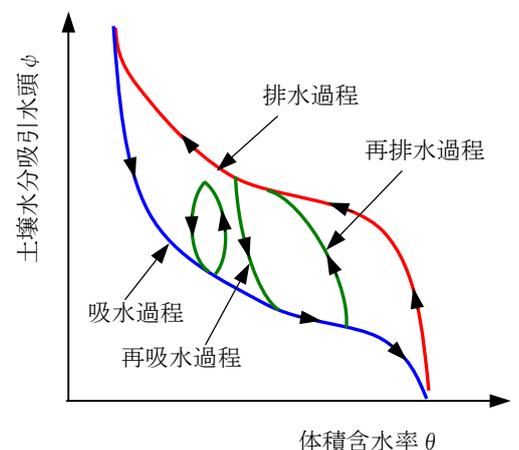


図-3 ヒステリシスのイメージ図

ここに、 S_e : 有効飽和度 (cm^3/cm^3), ϕ : 土壌水分吸引水頭 (cmH_2O), θ : 体積含水率 (cm^3/cm^3), θ_s : 飽和体積含水率 (cm^3/cm^3), θ_r : 残留体積含水率 (cm^3/cm^3), α , n , m : 土壌水分特性曲線の形状を表す係数, ただし, $m=1-1/n$.

土壌水分特性には, 一般的に図-3 に示すように, 土の吸水過程と排水過程は異なり, 過去の履歴状況に応じて吸水過程と排水過程の間を行き来すヒステリシスを描くことが知られている³⁾. また, 当計測の他地点のデータにおいてもヒステリシスを描くことが報告されている⁴⁾. 本検討では, 降雨浸透による水位上昇を算定することが目的であるため, ヒステリシス左端の吸水過程における土壌水分特性曲線の算定を行った.

土壌水分特性曲線の算定にあたっては, 吸水曲線が不変であると仮定し, 図-2 に示す全データのヒステリシス群の左端を通るような曲線を設定した. ここで設置した土壌水分特性曲線のパラメータを表-1 に示す. この設定した各パラメータを横軸に深度をとったグラフにプロットし, 最小二乗法による近似式を算定した結果を図-4~図-5 に示す.

飽和体積含水率 θ_s と残留体積含水率 θ_r は, 図-4 に示すように深度の一次関数として表され, 深度の増加に伴って減少する傾向となる. 飽和体積含水率 θ_s と残留体積含水率 θ_r は, 土の締まり具合に依存する定数であり, 深度が深くなるほど土の間隙が小さくなるため, 深度の増加に伴って定数は減少する傾向はイメージともよく一致する. ただし, 深度が 1m を超える場合, 残留体積含水率 θ_r が非常に小さくなることから, 深度 1m 以深では θ_s と θ_r を一定にするなどのモデル化が必要となる.

土壌水分特性曲線の係数 n は, 計測データ群の形状 (傾き) がいずれもほぼ同様であることから, ほぼ同一の数値とした.

土壌水分特性曲線の土壌水分吸引水頭方向 (グラフの上下方向) の位置を示す係数 α は, 深度の一次関数で表される. 図-2 において, データ群が深度の増加に伴って全体的に下側にシフトする傾向があることから, 係数 α は深度の増加に伴って増加する結果となった.

4. おわりに

本研究では, 計測データをもとに土壌水分特性曲線のパラメータの設定を行った結果, パラメータは深度に依存する関数となることが分かった. ただし, 土壌水分特性曲線の同定において, 最小二乗法等の手法によらず, 筆者がほぼ近似している

と判断したパラメータを設定したことから, 今後は最小二乗法等による同定手法の比較検討を行うとともに, 異常なデータの棄却方法についても検討を行う予定である. また, 併せて浸透流解析を実施し, 実測データとの比較により, 複数の降雨イベントに対するデータをもとにした土壌水分特性曲線の設定方法の妥当性や, 各パラメータを深さ方向に変えることの意義についても検討を進める必要があると考えている.

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)赤井ら:有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析,土木学会論文集,第 264 号,pp.87-96,1977 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)三野:土の保水 土の物理学(土壌物理研究会編),8 章,p224,森北出版,1979 4)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 (投稿中)

表-1 各深度の土壌水分特性曲線のパラメータ

深度	90cm	50cm	20cm
θ_r (cm^3/cm^3)	0.03	0.05	0.075
θ_s (cm^3/cm^3)	0.09	0.12	0.15
α ($(\text{cmH}_2\text{O})^{-1}$)	0.053	0.047	0.043
n	1.5	1.5	1.6

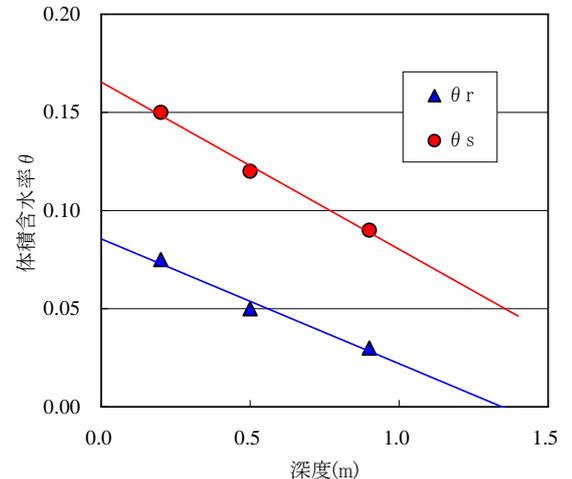


図-4 飽和体積含水率 θ_s と残留体積含水率 θ_r の深度の違いによる変化

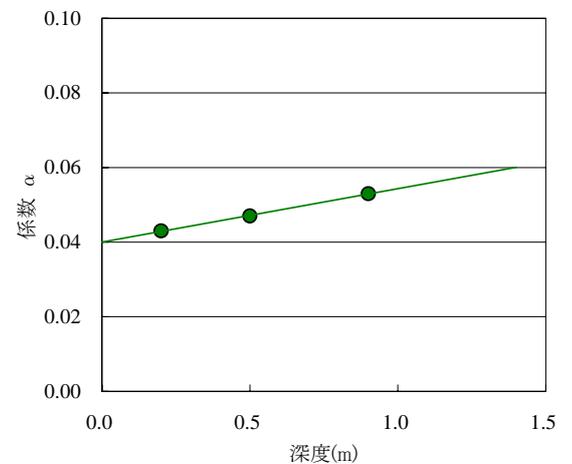


図-5 係数 α の深度の違いによる変化