

地下水位算定モデルにおける水位発生限界飽和度の決定方法に関する検討

神戸大学大学院工学研究科 鳥居宣之

神戸大学大学院工学研究科 ○大西剛史

1. はじめに

表層崩壊発生場所の予測モデルにおける地下水位算定モデルとして、地下水位と飽和度の関係（以下、 $H/D-S_r$ 関係）を用いたモデル¹⁾が提案されている。この $H/D-S_r$ 関係では、地下水位が発生するときの土層内の平均飽和度である水位発生限界飽和度を決定する必要がある。これまで、現地観測²⁾や不攪乱試料を用いた実験¹⁾によって求められている。しかし、これらの方法は多大な労力と時間を要することから、筆者ら³⁾は、1次元飽和-不飽和浸透流解析によって求めることを提案し、一定降雨を入力した場合には、水位発生限界飽和度は降雨強度によって変化し、一方、土層高さや初期飽和度には依存しないという結果を得ている。そこで、本稿では、降雨強度の違いを考慮した場合の水位発生限界飽和度を決定するため、降雨波形を用いた多数回の1次元飽和-不飽和浸透流解析を行った。さらに、土質、土層高さ、初期飽和度が水位発生限界飽和度に与える影響についても検討を行った。

2. 解析方法

1次元飽和-不飽和浸透流解析を用い、土層モデルは要素高さ 1cm の 1 層構造とした。土層内の平均飽和度は、土層モデルの各節点が持つ飽和度を単純平均して求め、水位発生は、土層下端の節点が飽和度 100% になった時点とし、そのときの土層内の平均飽和度を水位発生限界飽和度とした。土層高さ (0.5m, 0.75m, 1.0m, 1.25m, 1.5m) と初期飽和度 (40%, 45%, 50%, 55%) の各組み合わせに対し、多数の降雨波形を入力し、水位発生限界飽和度を求めた。

水分特性曲線 (図-1) には van Genuchten 式を用い、そのパラメータおよび飽和透水係数を表-1 に示す。

初期飽和度分布は、土層内一定の飽和度を与え、無降雨状態で解析を行い、定常状態となったものを用いた。ただし、水位が発生して定常状態になった場合、その土層高さ・初期飽和度の組み合わせで、以後の解析は行っていない。

入力降雨は、未観測降雨の考慮と解析に必要な降雨パターン数を確保するため、ランダムカスケードモデル⁴⁾を用いて作成した。なお、カスケードジェネレータには、対数正規分布を用いた。12 時間無降雨を一連の降雨とし、1 降雨パターンの最大時間は、観測降雨の一連の降雨の継続時間を参考に、23 時間とした。作成降雨パターン数は 1,248 パターンである。1 つの土層高さ・初期飽和度の組み合わせに対し、同じ 1,248 パターンの降雨を入力した。

3. 解析結果と考察

図-2 に、土質 A を用いた場合の土層高さ 1.0m における各初期飽和度の水位発生限界飽和度の発生頻度分布を示す。初期飽和度が異なっても、水位発生限界飽和度の頻度分布は概ね同じ範囲にあり、平均値の差は約 3% であった。また、他の土層高さの場合についても、同様の結果が得られた。次に、土層高さごとの平均水位発生限界飽和度 (図-3) をみると、土層高さが高くなるにつれ、平均水位発生限界飽和度が小さくなっていることがわかる。

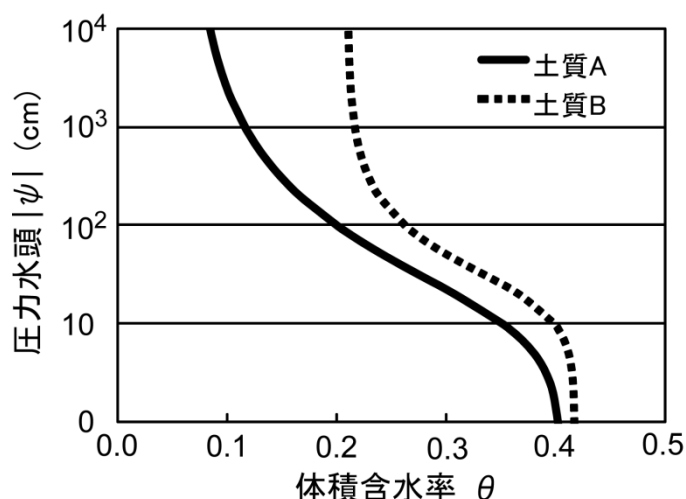


図-1 水分特性曲線

表-1 van Genuchten 式のパラメータおよび飽和透水係数

パラメータ	土質 A	土質 B
α (cm ⁻¹)	0.0187	0.0440
n	1.43	1.90
飽和透水係数 (cm/s)	1.58×10^{-2}	2.70×10^{-2}

平均水位発生限界飽和度から水位発生時の土層内の水分量を求め、それと水位発生までの平均雨量の差を初期水分量として求めた結果を図-4に示す。図-4より、初期水分量は、土層高さに概ね比例して増加しているものの、水位発生までの平均雨量の増加量は、初期水分量に比べて少なく、土層高さ間の差が小さくなっている。このことから、土層内の平均飽和度を計算すると、土層高さの高いものほど、平均水位発生限界飽和度が小さくなったものと考えられる。

次に、土質Bを用いて同様の解析を行った結果、同一土層高さで異なる初期飽和度に対する水位発生限界飽和度の発生頻度分布は、土質Aと同じように概ね同じ範囲に収まっていた。しかし、土層高さごとの水位発生限界飽和度は、土質Aに比べ、土層高さ間の差が大きくなった(図-3)。これは、土質Bが土質Aに比べ、透水性が高く、保水性の低い土であることから、土層高さ間で、水位発生に必要な雨量の差が少なかった(図-4参照)ことによるものである。よって、平均水位発生限界飽和度を計算すると、土質Aに比べ、土層高さが高くなるにつれて、平均水位発生限界飽和度がより小さくなったと考えられる。

4. まとめ

多数回の1次元飽和不飽和浸透流解析を行うことにより、水位発生限界飽和度の決定に関する検討を行った結果、水位発生限界飽和度は、初期飽和度に比べ、土層高さ水分特性による影響が大きく、土層高さが高くなるにつれ、水位発生限界飽和度が低下するという結果を得た。既往の研究^{1), 2)}では、一つの土層高さから求められた水位発生限界飽和度を、他の土層高さに対しても用いていたが、今回の結果は、土層高さによって水位発生限界飽和度が変化することを示すものとなった。今後は、水位発生限界飽和度を土層高さの関数とした $H/D-S_r$ 関係を用い、地下水位算定モデルの検証を行っていく予定である。

参考文献

1) 寺本和子, 鈴木立実, 成瀬隆弘, 松山裕幸, 平松晋也: 飽和度変化に伴う地下水深の消長を考慮した雨水流動モデルの現地流域への適用について, 新砂防, Vol.47, No.6, pp.15-23, 1995. 2) 布川修, 渡邊諭, 杉山友康, 太田直之, 森泰樹, 岡田勝也: 降雨時における斜面の飽和度と地下水位との関係に関する現地計測, 降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関するシンポジウム発表論文, pp.119-1222, 2006.11. 3) 大西剛史, 沖村孝, 鳥居宣之: 飽和-不飽和浸透流解析を用いた地下水位算定モデルにおける $H/D-S_r$ 関係の検討, 土木学会関西支部年次学術講演会, III-27, 2008. 4) 立川康人・日和佐真丈・寶馨: 時空間分布を考慮した計画降雨の生成に関する研究, 京都大学防災研究所年報, Vol.47 B, pp.183-202, 2004.

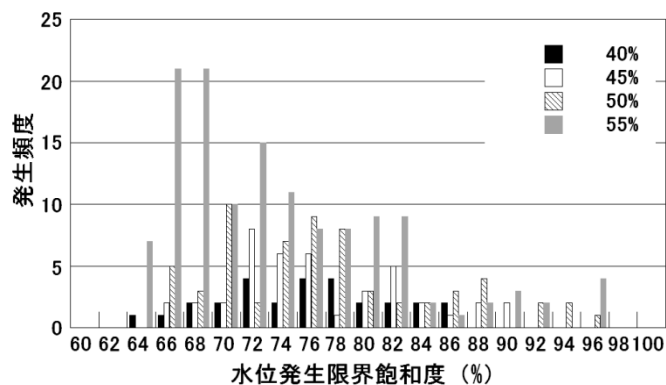


図-2 土層高さ 100cm における各初期飽和度の水位発生限界飽和度分布 (土質 A)

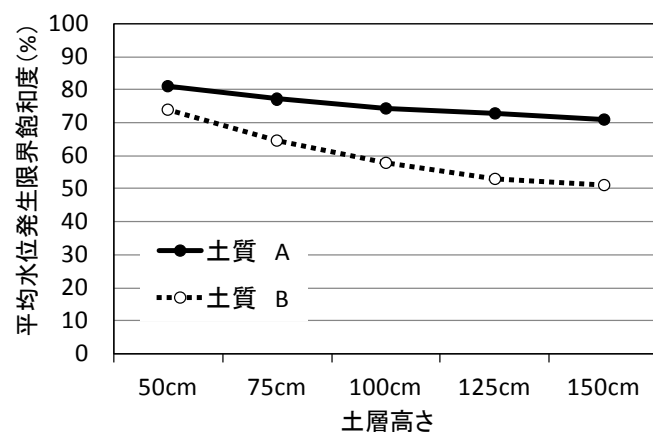


図-3 土層高さごとの平均水位発生限界飽和度

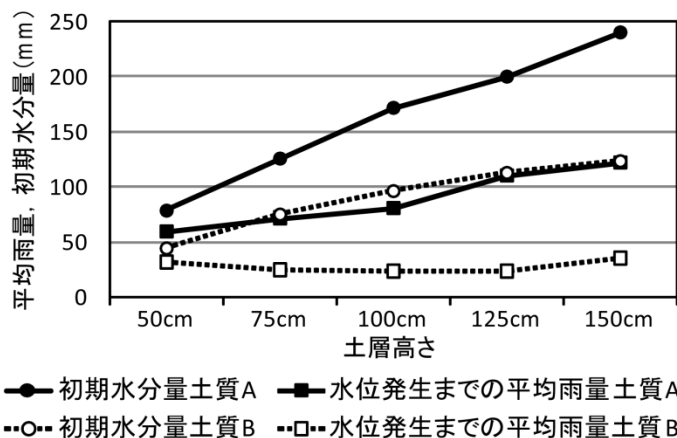


図-4 土層高さごとの初期水分量と水位発生までの平均雨量