

有限要素法に基づく斜面浅部の地下水位上昇量の簡易予測モデル

群馬大学

学生会員

○渡邊

暁乃, 堀

匡佑

正会員

若井

明彦, 蔡

飛

山梨大学

正会員

後藤

聡

防災科学技術研究所

非会員

木村

誇

1. はじめに

著者ら（若井他(2017)）は，飽和・不飽和浸透流解析に基づき，斜面崩壊を誘発する地下水位の上昇速度を，降雨履歴に基づいて簡易に予測する手法の構築を試みた。本稿では同手法の適用範囲を拡張するための検討経過を報告する。

2. 有限要素解析結果とその単純化

実際の斜面は複雑な三次元形状を有するが，問題の単純化のために，半無限長斜面（一定勾配および一定層厚）の仮定を用いた検討を行う。一般化された予測手法を提案するためには，様々な条件を変更し結果の分析をすることが必要である。斜面勾配，降雨開始前の地下水位の深さ $h[m]$ ，不飽和域（水位以浅）の平均飽和度 $S_{r0}[\%]$ の異なる各ケースについて，降雨強度を変えた一連の飽和・不飽和浸透流解析を行った（FEM プログラム：VGFLOW (Cai & Ugai, 2004)）。土のパラメータ（VG モデル）を表 1 に，水分特性曲線を図 1 にそれぞれ示す。中砂の典型的な物性を仮定した。まず，初期の圧力水頭を与えた後，平衡するまで降雨強度 0mm/h（ダミー降雨）を与え，その後，一定の降雨強度を連続入力した時刻歴解析を行った。一連の解析結果の一例の地下水位の時刻歴を図 2 に示す。降雨開始後も不飽和層内の飽和度がある一定の値に達するまでは地下水位がほとんど上昇せず，上昇が始まってからはほぼ一定の上昇速度を維持する，という傾向は興味深い。こうした傾向は全ケースに共通している。本検討ではこの 2 つの時間帯に分割したモデル化を考える。

既報における考察を引用すると，一定の降雨強度 $I[m/h]$ の降雨を想定する場合，雨水のすべてが地中にそのまま浸透していると仮定すれば，土の間隙率を n とすると，水位上昇までの経過時間 $t_1[h]$ は，次式のように表される。

$$t_1 = \frac{h}{I} \left(\theta_{cp} - n \frac{S_{r0}}{100} \right)$$

(1)

θ_{cp} は，不飽和層中に浸透した降雨水がとどまれる（水位上昇に寄与しない）上限の体積含水率である。ただし，予測精度の向上に努めた結果，式(1)において， I は予め $(\log_{10} I)$ で除した値， S_{r0} は予め $(\log_{10} S_{r0})^2$ で除した値を用いることとした。

t_1 を求めた後の計算手順はすべて既報で提案した手法に従うこととした。すなわち，水位上昇の開始後，雨水の

表 1. 中砂の浸透特性パラメータ.

材料	飽和透水係数 $K_s [m/s]$	残留体積含水率 $\theta_r [-]$	飽和体積含水率 $\theta_s [-]$	比貯留係数 $S_d [1/m]$	VGモデルのパラメータ	
					$\alpha [1/m]$	n
中砂	1.00E-04	0.00	0.300	2.00E-04	5.22	5.68

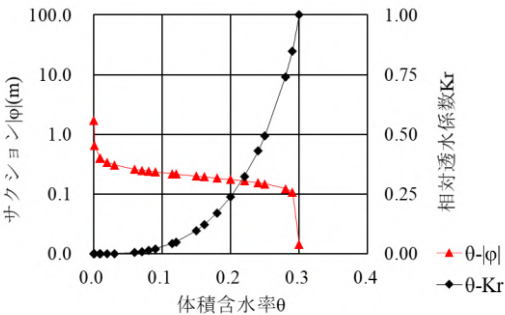


図 1. 中砂の水分特性曲線.

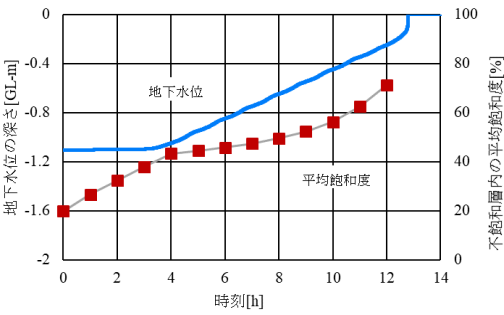


図 2. 地下水位並びに平均飽和度の時刻歴.

キーワード 斜面，地下水位，浸透流，有限要素法，半無限斜面，表層崩壊

連絡先 〒376-8515 群馬大学 理工学府環境創生理工学教育プログラム 地盤工学研究室 TEL 0277-30-1622

すべてが土中に浸透していると仮定して、土中間隙を水が充填して飽和帯が上方へ拡大する速度として上昇速度(ただし、 α_v を乗じて補正)が得られ、水位上昇の開始後、水位が地表に達するまでの経過時間 t_2 が求められる。

一連の解析によって得られた t_1 及び t_2 から逆算し、種々の条件下に対応可能な二つのパラメータ (θ_{cp} および α_v)の値を条件毎に決めておくことで、簡易な現象予測が可能となる。計算結果より、 θ_{cp} は傾斜に依存するパラメータであることが確認された(表2)。 α_v は条件によらず一定(=2.1)とした。図3に条件を変更した全ケース(96ケース)におけるFEM解と、提案手法による t_1 、 t_2 の予測値の比較を示す。各散布図において、対角線への近さの度合いを表す指標として、平均平方二乗誤差(RMSE)を図中に記載した。いずれの図においても相関性は良好である。

3. 提案手法の有効性

前述の検討に基づいて、実降雨における予測結果を算出し、FEM解と比較する。図4にH27年関東東北豪雨の際に観測された降雨を用いて算出した、FEM解と提案手法による解の比較を示す。斜面の初期条件は一連の解析で用いた条件から無作為に選定した。実降雨を用いた際にも、妥当性のある解を得られていることが確認できる。

続いて、広域的な領域において簡易予測計算を行った結果を図5に示す。対象地域は福岡県朝倉市から大分県日田市までの25×25kmの範囲とし、入力する降雨は平成29年九州北部豪雨の際にXRAIN(高性能気象レーダー)にて同地域で観測されたものである。地形から得られた傾斜角度以外の初期条件は対象範囲全域において統一し、簡易的に設定した。図5のように得られた地下水位の上昇量を斜面安定解析と組み合わせ、リアルタイムの危険性評価を行っていくことが期待される。

4. まとめ

本研究では、FEMに基づき豪雨時の地下水位上昇量について簡易的な予測手法を提案し、FEM解と比較することで一定の妥当性が確認された。今後は実務に応用可能にするために、斜面水平方向の浸透現象を考慮し、さらに精度の高い結果を得る必要がある。

謝辞

本研究成果の一部は、平成29年度 科学研究費補助金 基盤研究(B)「噴火史の視点から火山砕屑物の生成・移動過程を評価した斜面災害リスクマップの開発(代表:後藤 聡)」によるものです。また、解析に用いた降雨データは気象庁(日光特別地域気象観測所)により観測されたものであり、XRAINデータは国土交通省より提供され、データ統合・解析システムDIASの枠組みの下で収集・配信されたものです。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

若井明彦, 蔡 飛, 亀山ひろみ, 堀 匡佑, 後藤 聡, 木村 誇 (2017) : 有限要素解を援用した自然斜面内の地下水位上昇量の簡易予測モデルの提案, 第52回地盤工学研究発表会講演集, pp.1801-1802.

Cai, F. and Ugai, K. (2004) : Numerical Analysis of Rainfall Effects on Slope Stability, International Journal of Geomechanics, ASCE, Vol.4, No.2, pp.69-78.

表2. 中砂の浸透特性パラメータ.

斜面の傾斜角度	0°	15°	30°	45°
中砂の θ_{cp}	0.054	0.056	0.058	0.060

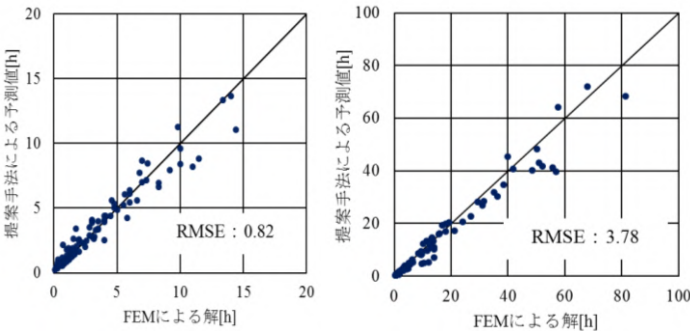


図3. FEM解と提案予測解の整合性(左図: t_1 , 右図: t_2).

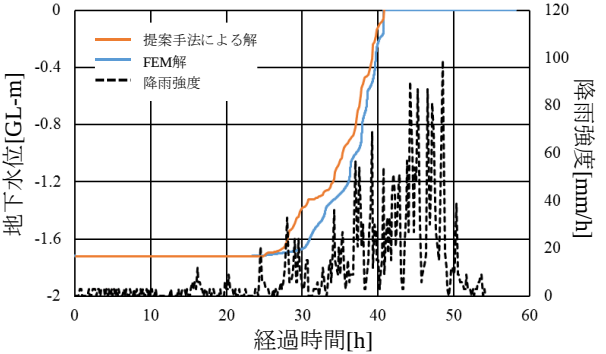


図4. 実降雨を用いたFEM解と提案予測解の比較.

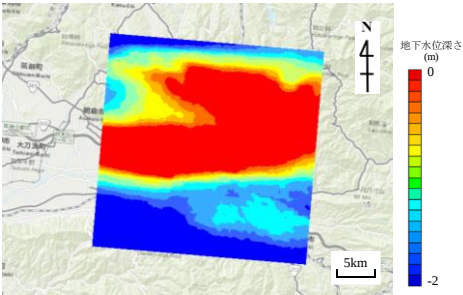


図5. 広域的範囲における地下水位上昇量の予測.