

有限要素法に基づく自然斜面内の地下水位上昇量の簡易予測モデル (その 4)

群馬大学 正会員 ○堀 匡佑, 非会員 渡邊 暁乃

正会員 若井 明彦, 蔡 飛

J R 東日本コンサルタンツ (株) 正会員 深津 ひろみ

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

本稿では既報のケースを拡張し, 勾配のある地盤いわゆる斜面での浸透問題について検討する。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, 降雨強度と傾斜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。表-2 には, 一連の解析ケースのうちの 16 ケースを示している。FEM による解析結果の一例として, 表-2 中の Case 2 で得られた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。

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 , 水の単位体積重量を γ_w [kN/m³] とすると, 水位上昇までの経過時間 t_1 [h] は,

$$t_1 = \frac{1}{I} \left(\frac{p_{cp}}{\gamma_w} - n \frac{S_{r0}}{100} h \right) \quad (1)$$

p_{cp} [kN/m²] 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) 上限の量を (毛管圧力を考える時にならって) 単位断面積の鉛直土柱の底面に作用する圧力に換算した値として表したものである。本研究では, 新たな改良点として, 式(1)において, I は予め ($h^2 \times \log_{10} I$) で除した値, S_{r0} は予め ($\log_{10} S_{r0}^2$; ただし真数の S_{r0} は 100 で除しておく) で除した値, をそれぞれ修正後の I と S_{r0} の値として用いることとした。

表-1 土の材料パラメータの一覧表。

材料	飽和透水係数 K_s [cm/s]	残留体積含水率 θ_r [-]	飽和体積含水率 θ_s [-]	比貯留係数 S_s [1/m]	VGモデルのパラメータ	
					α [m]	n
中砂	1.0E-02	0	0.30	2.0E-04	5.22	5.68

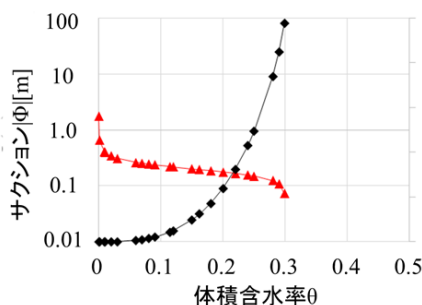


図-1 水分特性曲線

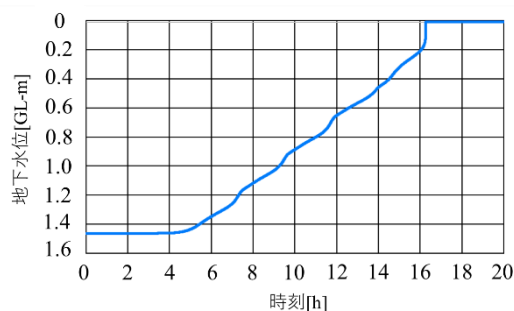


図-2 降雨開始以降の地下水位の変動の時刻歴の例 (Case 2)

(赤線: サクション, 黒線: 相対透水係数)。

キーワード 斜面, 地下水, 浸透, 有限要素法

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

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、雨水のすべてが土中に浸透していると仮定して、土中間隙が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、速度に α_v を乗じて補正）が得られ、これにより水位上昇の開始後、水位が地表に達するまでの経過時間 t_2 が求められる。

種々の条件下に対応可能な二つのパラメータ (p_{cp} および α_v) の値を土の種類と傾斜毎に決めておくことで簡易な現象予測が可能となる。表-2の一連のケースの結果に基づいてこれらの最適値を求めたところ、傾斜 0° については p_{cp} が 0.65 kN/m^2 、傾斜 15° については p_{cp} が 0.60 kN/m^2 、傾斜 30° については p_{cp} が 0.60 kN/m^2 、傾斜 45° については p_{cp} が 0.65 kN/m^2 となった。また α_v はいずれのケースでも2.1となった。これらの p_{cp} および α_v の値をパラメータとして提案手法に適用して予測された t_1 、 t_2 の値を、同じ条件の下でのFEM解析の結果として得られた t_1 、 t_2 の値とそれぞれ比較したものが、図-3と図-4である。本提案手法による予測値は、いずれもFEMの値とかなり近いが、より小さい値となっており、実務上は安全側の予測結果であることがわかる。

3. まとめ

既報のケースをさらに拡張した条件下でのFEMに基づくパラメトリック・スタディの結果を記述可能なモデルを提案した。今後は透水性の異なる材料、地層構造の異なる条件への拡張等、より一般化した条件下でのモデルの有効性を確認する予定である。

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。ここに記して深く謝意を表します。

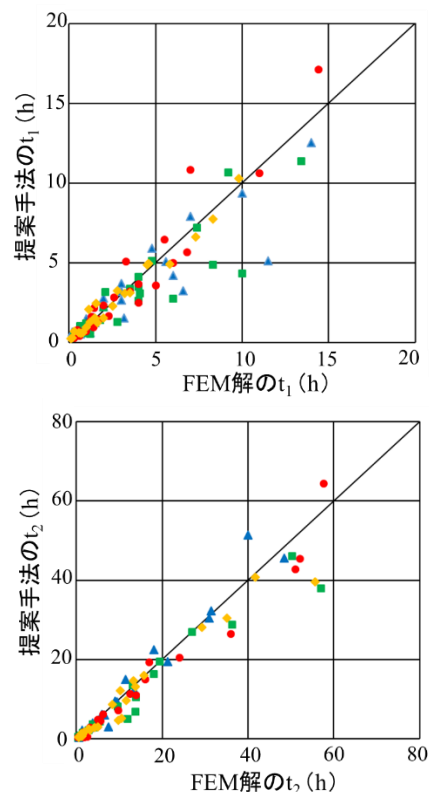
参考文献

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 FEM解析を行った計算ケース群の条件一覧

解析ケース		降雨強度 I [mm/h]	地表面からの 地下水位深さ h [GL-m]	不飽和層の初期の 平均飽和度 S_{r0} [%]	降雨開始から 地下水位が上昇し 始めるまでの時間 t_1 [h]	地下水位が上昇して から地表面に到達す るまでの経過時間 t_2 [h]
Case番号	傾斜					
Case1	30°	3.2	1.45	19.6	10.0	40.0
Case2		10	1.45	19.6	4.8	11.5
Case3		32	1.45	19.6	2.0	3.8
Case4		100	1.45	19.6	1.0	1.0
Case5		3.2	1.20	37.3	6.0	31.0
Case6		10	1.20	37.3	3.0	9.5
Case7		32	1.20	37.3	1.5	2.8
Case8		100	1.20	37.3	0.7	0.9
Case9	45°	3.2	1.61	22.5	9.2	50.3
Case10		10	1.61	27.8	4.8	13.1
Case11		32	1.61	22.6	2.1	3.8
Case12		100	1.61	28.0	1.0	0.9
Case13		3.2	1.27	39.5	8.3	36.4
Case14		10	1.27	39.5	4.1	9.7
Case15		32	1.27	39.6	1.8	2.9
Case16		100	1.27	39.8	0.8	0.7



上図：図-3 t_1 の予測値（提案手法とFEM解）の比較

下図：図-4 t_2 の予測値（提案手法とFEM解）の比較

（赤色： 0° ケース，黄色： 15° ケース，青色： 30° ケース，緑色： 45° ケース）。