

第III部門

降雨に対する斜面安定性評価のための浸透流解析手法の研究

京都大学工学部

学生員 ○橘 翔子

京都大学大学院工学研究科

正会員 大西 有三

京都大学大学院工学研究科

正会員 西山 哲

水文技術コンサルタント(株)

正会員 高橋 健二

1. はじめに

斜面崩壊を未然に防ぐためには、斜面内の地下水挙動を把握することが必要不可欠である。現在、浸透流解析には固定水頭が多く用いられている。しかし、傾斜を持つ斜面においては背面からの流入量を無視することは不合理である。降雨時の斜面の水収支には、降雨浸透量、側方流入量等の要素がある。異なる地点に異なる降雨強度で降った雨はタイムラグを伴って側方境界に到着する。したがって側方浸透流は降雨に応答し、その変動は非線形性を持つ。こういった降雨に応答する側方境界をうまく表せるモデルとしてタンクモデルがある。タンクモデルは河川流量、洪水量予測のために開発された概念的なモデルで、流域内の非線形的な貯留・流出量をうまく表現することが可能である。本研究では、浸透流解析の側方境界条件にタンクモデルを用いた変動境界を設定することによって、従来の静的な解析法を動的なものへと発展させた。

2. 変動境界浸透流解析

2.1 飽和・不飽和浸透流解析

斜面における地下水の流れを再現するだけでなく、将来の降雨時における危険を予測するためには、地下水挙動を正確に予測することが求められる。現在、地下水挙動の把握には飽和・不飽和浸透流解析が多用されている。飽和・不飽和浸透流解析では、全水頭を圧力水頭と位置水頭の和とし、飽和領域では圧力水頭を正、不飽和領域では負、自由地下水面は圧力水頭が0の点を連ねた面として扱う。この手法を用いることにより、解析領域内の自由地下水面の変動を容易に知ることができる。

2.2 タンクモデル法

現在、浸透流解析の側方境界には固定水頭が用いられているが、本研究では斜面の水収支はタンクモデルによってうまく表されることに注目しタンクモデルによる変動水位を境界条件に設定する。タンクモデルは図1に示すような概念モデルで算出水位が実測値にあうようにパラメータをあわせることで実際の水位変動を再現できる。

2.3 変動境界浸透流解析

① 簡易モデルでの固定水頭とタンクモデル設置時の水位の比較

図2 のような上から10m がすべり土塊であるモデルを考える。不飽和特性は簡易モデルを使用した。側方境界に固定水頭とタンクモデルを設置して降雨時の水位変動を解析し、比較した。図3 に示すようにタンクモデルの方が水位が早く上がり、長引く。また、タンクモデルは固定水頭よりも全体を通して水位が高く位置している。

② 図4 に示すのは山形県水沢地区の地すべり地帯の断面である。当地区は日本でも有数の豪雪地帯であり、

Shoko TACHIBANA, Yuzo OHNISHI, Satoshi NISHIYAMA and Kenji TAKAHASHI

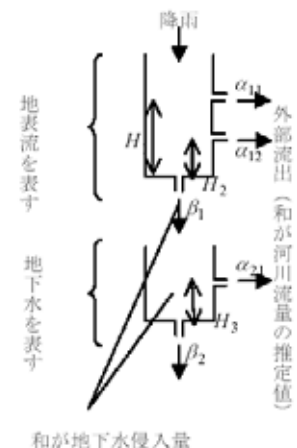


図1 タンクモデル

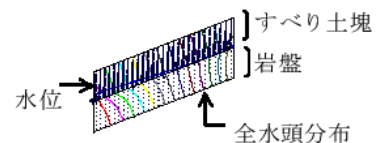


図2 解析モデル

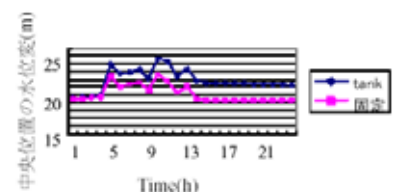


図3 解析結果

融雪時（3～4月）には地すべりが発生する危険が大きいとされる。赤色の点線で示すのは過去に地すべりが起こった面である。図4に示すような範囲で断面二次元浸透流解析を行った。側方境界条件に実測値とタンクモデルより算出した水頭、それらの平均値である固定水頭を設定する。図5に解析結果を示す。タンクモデルの方が降雨にตอบสนองして水位が早く上がり、長引くという特徴は簡易モデルと同じである。現場でのシミュレーションでは、タンクモデルにより得られる水位が実測値にかなり近づくという考察が得られる。したがって、変動境界浸透流解析によって得られた水位を用いて次式により安全率 F_s を求める。

$$F_s = \frac{c' + \sigma' \tan \phi'}{\tau} = \frac{c' + \{\gamma_t H_1 + \gamma_t (H - H_1)\} \cos^2 \beta \tan \phi'}{\{\gamma_t H_1 + \gamma_{sat} (H - H_1)\} \cos \beta \sin \beta}$$

ここで c' は有効応力に関する土の粘着力(tf/m^2)、 ϕ' は有効応力に関する土の内部摩擦角(度)、 γ_t 、 γ_{sat} 、 γ' はそれぞれ土の湿潤単位体積重量、飽和単位体積重量、水中単位体積重量(tf/m^3)である。

3. 研究の成果

- 1) 従来は河川流量、洪水予測のために開発されたタンクモデルを側方境界に設定することによって、従来の静的な浸透流解析法を動的なものへと発展させることが可能となる。
- 2) タンクモデルを斜面における浸透流解析の側方に設定することによって実測値に近い水位が算出されたことから、この手法の実用性は高いと判断される。

4. 本手法の応用例

融雪モデルへの応用

- 1) 豪雪地帯では3、4月に雪解けが始まり、融雪の影響は降雨に較べて長期的、広域的に作用する。また、解析開始時期以前に浸透した融雪量はタイムラグを伴って解析領域の側方境界に達すると考えられるため、変動境界条件の設定が特に必要と考えられる

2) 道路規制解除への応用

現在の豪雨時道路規制解除は累積降雨により定められているため、実際にはまだ危険な状態でも規制を解除しているケースがある。このような規制は水位を基準

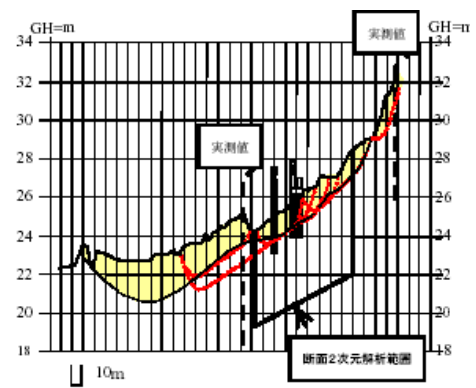


図4 現場での解析断面位置とタンク設置地点

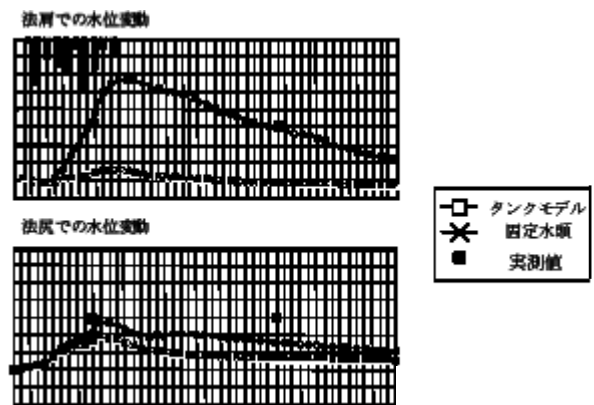


図5 解析結果

としたものに変更し、さらに斜面における水位変動には本手法を応用すべきである。

5. 今後の課題

- 1) 本手法の3次元への応用
地下水挙動のより正確な把握には3次元浸透流解析への本手法の適用が必要であると考えられる。
- 2) 融雪時の浸透能の取り扱い方法
融雪を考える時は解析期間以前に地盤にしみ込んだ量等を含めた浸透能の扱い方が重要である。
- 3) 道路規制解除指標への実用化に際する体系化手法
タンクモデルは実測値がないと使えないため、有限要素法の適用範囲の決定法等が今後の検討課題である。

6. 参考文献

- 1) 高橋健二，水循環系を考慮した地下水数値解析法の研究，京都大学工学研究科都市環境工学専攻博士論文，2004