

日特建設株式会社 正会員 向 亨
建設省土木研究所 非会員 萬徳 昌昭

1. はじめに

地すべりの安定性評価の指標とされる安全率は、極限平衡法に基づく安定解析によって、地すべりの土塊性状と間隙水圧あるいは観測地下水位から算定されている。この方法では、各地すべりの安定性を個別に評価することは可能であるが、例えば流域単位での一連の地すべり滑動の予測、あるいは流域保全の観点からの地すべり対策の状況などを正確に表現できるものではなかった。一方、治水対策においては、降雨指標（確率降雨）を用いた評価が行われ、その有用性が広く認識されてる。このことから、地すべり対策においてもこうした評価手法の導入が望まれている。この問題の解決に向け、本研究では、地すべりの安定性を確率降雨を指標として評価する手法について検討した。具体的には、観測降雨と観測地下水位との関係を非線形写像として捉え、これをタンクモデルによって近似する応答モデルを構築し、このモデルを用いて確率降雨に対する地下水位を予測した。さらに、この予測地下水位を用いた安定解析を通して、確率降雨に基づく地すべりの安定性を評価した。

2. タンクモデルの適用

地すべり地塊は、頭部域で引張り応力、末端部で圧縮応力を受けているため、その透水性は極めて不均質な分布形態を呈している。また、この透水性分布を正確に把握するのは、現実問題として困難である。このため、有限要素法（浸透流解析）を適用する場合においても、観測データを用いた逆解析を通して、当初設定した透水性分布の妥当性を検証することに終っている。そこで、本研究では、透水性の不均質分布を非線形写像として捉え、これをタンクモデルで近似した。タンクモデルを適用することの利点は、各タンクの流出孔の数と位置およびその流出係数などの特性パラメータを調整することで、様々な入出力関係を近似できる点である。本研究で用いた上下2段のタンクモデルを図-1示す。上段タンクは、地下水位の変動に影響を及ぼす有効降雨量を観測降雨から抽出するための非線形フィルターとして機能する。下段タンクは地下水位観測孔を模し、観測地下水位はタンク内の水位として表現される。なお、各タンクでの地下水の流入・流出関係については、式(1)および式(2)に従った。

$$h(t + \Delta t) = r(t + \Delta t) + \left\{ h(t) - \sum_{i=1}^n q_i(t) \cdot \Delta t - \sum_{j=1}^m \beta_j h(t) \cdot \Delta t \right\} \quad (1)$$

$$q_i(t) = \begin{cases} 0, & h(t) < Y_i \\ \alpha_i \cdot \{h(t) - Y_i\}, & h(t) > Y_i \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $h(t)$: 時刻 t のタンクの水深、 $r(t)$: 時刻 t の観測降雨、 $q_i(t)$: 時刻 t における i 番目の側面流出孔からの流出高さ、 Y_i : i 番目の側面流出孔の高さ、 α_i : i 番目の側面流出孔の流出係数、 β_j : j 番目の底面流出孔の流出係数、 Δt : 単位時間（1日）である。

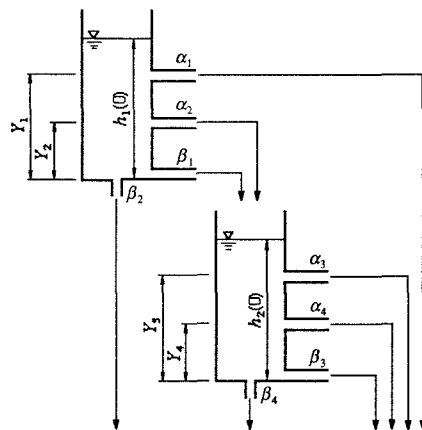


図-1 解析用タンクモデル

3. R-Tabu 探索法の導入

タンクモデルのパラメータ同定は、Powell 共役方向法、PDF 法、および Newton 法など、一般の最適設計問題で用いられる手法を適用することで、精度の向上が図られてきた。しかし、これらの最適化手法は、いずれ

キーワード：地すべり、安定解析、確率降雨、地下水位、応答モデル

〒300-26 つくば市東光台 5-5 筑波研究ビル内 TEL 0298-47-8670 FAX 0298-47-8664

〒300-26 つくば市旭 1

TEL 0298-64-2211 FAX 0298-64-0903

も探索初期値の影響を受け易く、その設定如何によっては、解が発散したり、局所的な準最適解に収束し、大域的な最適解を求めることが出来ない場合がある。そこで、本研究では、近年、このような問題を回避し、大域的な最適解への収束の可能性を高めた手法として注目されている「ランダム探索法と組み合わせたTabu探索法」(Tabu Search Method with Random Moves：以下R-Tabu探索法とする)を適用した。R-Tabu探索法は、組み合わせ問題の最適化アルゴリズムとして考案されたTabu探索法を、一般の制約付き最適化問題に適用できるよう拡張された手法である。

4. 降雨-地下水位応答モデルの構築

本研究の趣旨の一つは、観測データに基づいて、図-1に示した14のタンクモデル特性パラメータをR-Tabu探索法を用いて同定し、精度の高い降雨-地下水位応答モデルを構築することである。実際の解析に当たっては、群馬県Y地すべりで観測された日降雨量と、主測線近傍の地下水位データを使用した。Y地すべりは、長さ500m、幅450m、すべり面深度40mの大規模な地すべりで、三波川帯の緑色片岩地帯に位置する。Y地すべりで実際に観測された夏季4ヶ月間の降雨と地下水位からタンクモデルの特性パラメータを同定して応答モデルを構築し、このモデルを用いて再度同期間の地下水位を予測することで、構築した応答モデルの予測精度を評価した。予測結果を図-2に示す。水位上昇のピークの表れ方に若干の時間的なずれが認められるが、今回使用したデータの最高水位に相当する6月中旬～7月下旬の高水位域については、地下水位の非線形な変動を精度良くシミュレートしているものと判断できる。なお、パラメータ同定における誤差評価基準については、式(3)に示す二乗誤差の総和を採用した。

$$f_{err} = \sum_{i=1}^n (h_{obs}(t) - h_{est}(t))^2 \quad (3)$$

ここで、 f_{err} ：誤差評価基準、 $h_{obs}(t)$ ：時刻 t の観測地下水位、 $h_{est}(t)$ ：時刻 t の予測地下水位である。

5. 確率降雨に基づく安定性の評価

確率降雨については、Y地すべり地近傍河川の洪水流量算定に用いられている1/100確率降雨を準用した。上記の応答モデルを用いて確率降雨に対応する地下水位を予測し(図-3)、さらに、その最高水位を用いて安定解析を実施した結果、整備後の安全率 $F_s=1.21$ に対して、確率降雨に基づく安全率は、 $F_s=1.16$ に低減した。この結果は、計画段階で採用された地下水位よりも、確率降雨から予測された最高水位が高いことを示しているものに他ならないが、短期集中的な降雨に対する安定性の再検討が必要であることを示唆するものである。

6. まとめ

本研究では、降雨と地下水位の応答モデルを構築し、事例解析を通して同モデルの有用性を確認した。また、この知見に基づいて、任意の降雨パターンを指標とする地すべりの安定性評価手法を提案し、短期集中的な降雨に対する安定性の再検討が必要であることを示唆した。本研究の成果は、任意の降雨パターンに対応する地すべりの安定性を早急に把握しなければならない場合などへの応用も可能である。

【参考文献】 N. Hu, 1992 : Tabu Search Method with Random Moves for Globally Optimal Design, Int. J. Numerical Methods in Engineering, Vol.35, No.5, pp.1055-1070.

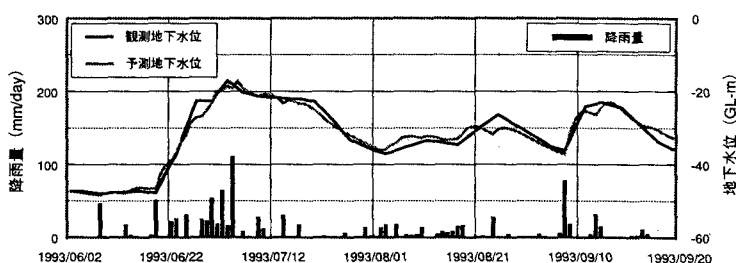


図-2 観測降雨に対する地下水位予測

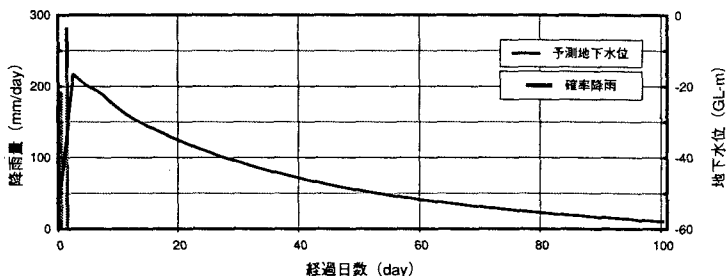


図-3 確率降雨に対する地下水位変予測