

第Ⅲ部門 タンクモデルを用いた間隙圧推定に関する研究

京都大学工学部地球工学科 学生会員 前川 竜兵
 京都大学大学院工学研究科 正会員 北岡 貴文
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康

1. はじめに

近年、日本において気候変動の影響の一つと捉えられる局所的な短期集中豪雨の発生が増加しており、それに起因する斜面崩壊発生の増加が予想され、斜面崩壊の予測はますます重要性を帯びてきている。近年求められる斜面崩壊予測手法には、持続的な社会・経済活動のために、発令のみならず警報の解除の観点の検討をすることも重要課題である。斜面崩壊予測手法のうち気象庁によって開発された土壌雨量指数(Soil Water Index：以下SWIと称す)は、天気予報などを通じて土砂災害の危険性を周知する手法として広く利用されている。しかし、SWIは地盤内の仮想的な水分量を表すため、斜面の崩壊現象に直接的に影響する間隙圧の値を把握する必要がある。

SWIは、3段のタンクモデルを用いて数値化され、各タンクに残っている貯留量の合計として算出される。この3段タンクモデルのパラメータは花崗岩を多く含む地質でのパラメータである¹⁾。気象庁はこれらの3段タンクおよび花崗岩を多く含む地質でのパラメータを全国一律の条件でSWIの計算に用いており、本研究でもこの気象庁モデルを踏襲している。矢部ら²⁾は、SWIを用いて間隙圧の値を推定する手法について検討した。その手法は、SWIを計測した間隙圧のピーク値と一致するように、(間隙圧推定値)= $a \times (SWI) + b$ という1次式でフィッティングし、そのフィッティング式から斜面崩壊時の間隙圧の値を推定するというものである。その結果、ピーク値およびピーク時刻に良い一致を示した。本研究では、この手法を援用し改良を加えることでピーク値のみでなく、排水時の間隙圧の値を推定する手法について検討している。警報解除の観点から、特に排水時の間隙圧の値を推定することを目的として、本手法の妥当性について検討した。

2. 原位置計測

本研究では、まさ土(風化花崗岩残積土)で構成される

タイ・プーケットおよびタイ・チェンマイにおいて原位置計測を行っている。日本において、まさ土で崩壊事例が多く報告されていることから上記のサイトで計測を行っており、風化花崗岩では表層崩壊が多い。そこで本研究では、タイ・プーケットの斜面中腹部の、GL-1.0m(2012年の計測データを使用)における間隙圧の値を一例として推定した。

3. 間隙圧推定手法の検討

3段タンクモデルの各タンクの貯留量は時刻 t に関する指数関数であり、SWIは3つの指数関数の和で表される。ここでSWIおよび各タンクの貯留量の時間推移を示したものを図-1に示す。第1、第2タンクは貯留量が0になるのが早く、第3タンクの貯留量は0になるのが遅いことがわかる。すなわち、排水が進み、第3タンクにのみ降雨が溜まっているとき、SWIは単純な指数関数で表される。次に、平衡状態・非平衡状態での間隙圧の挙動について議論する。図-2に示すように、平衡状態では動水勾配が1.0付近の一定値をとり、間隙圧は直線的に緩やかに減少する。一方、非平衡状態では動水勾配は1.0より大きな値をとり、間隙圧は急激に増加・減少する。この平衡状態における間隙圧の勾配の分布を図-3に示す。間隙圧の勾配は一定のオーダーに集中していることが見て取れ、間隙圧はほぼ一定の勾配で直線的に減少するとみなすことができると考えられる。

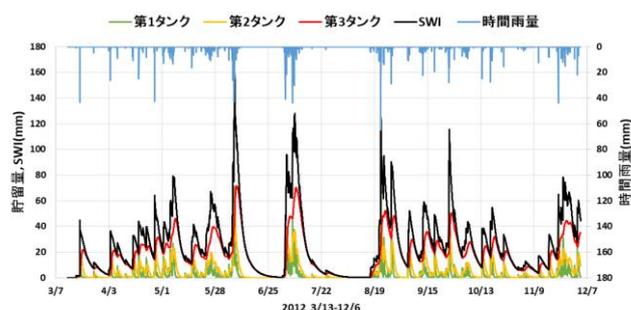


図-1 SWIと各タンクの貯留量の時間推移

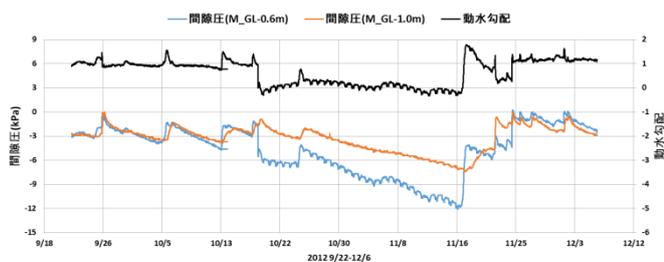


図-2 動水勾配と間隙圧の関係

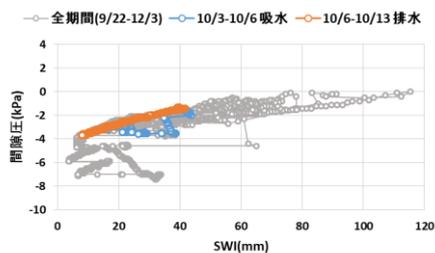


図-4 排水過程での SWI-間隙圧相関図

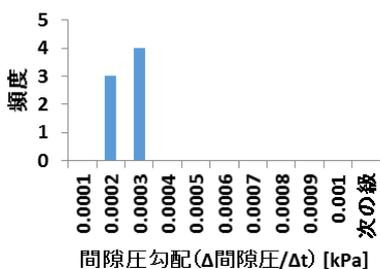


図-3 間隙圧変動速度分布



図-5 Combined Fitting

以上をまとめると、排水が進んだ平衡状態において、SWI は時刻 t に関する指数関数で表され、間隙圧は時刻 t に関して直線的に減少するため、SWI と間隙圧には時刻 t を介して対数の関係性があることがわかる。本研究では、この関係性に基づき(間隙圧推定値) $=a \times \ln(\text{SWI}) + b$ という対数式を用いてフィッティングを行う。一方で排水開始直後の非平衡状態では、SWI と間隙圧に関係性がないため 1 次式でフィッティングを行う。フィッティングは既往の研究に基づきピーク値に着目している。ここで図-4 に示すように、排水過程では SWI-間隙圧相関図の上側の包絡線上を推移していることがわかる。すなわち、排水過程の間隙圧を推定するため、この上側の包絡線上のピーク値のみを用いてフィッティングを行う。以上の点を踏まえて、得られた対数・直線の 2 種類の近似式の連続点よりも SWI が小さい範囲では対数近似を、大きい範囲では直線近似を採用する近似線(Combined Fitting と称す)により推定を行う。図-5 に Combined Fitting を示す。図-6 は、既往の研究と本研究の推定手法による推定結果の比較を示す。対数式を用いることにより、ピーク値のみでなく排水時の間隙圧を推定できることを確認した。また、9 月 26 日および 11 月後半の降雨の排水過程では、推定値と計測値にややずれが見られることがわかる。これらの期間では、蒸発の影響が大きく作用していると考えられる。



図-6 推定結果の比較

4. まとめ

上述したような、SWI を用いた手法を用いて、排水時の間隙圧を推定する手法を提案し、その有効性を検討した。本手法は、既往の推定手法よりも、間隙圧の推定精度向上を確認できた。今後の課題は、本手法を用いて、各種降雨指標との比較検討を行っていく。

参考文献

- 岡田憲治, 牧原康隆, 神保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 斉藤: 土壌雨量指数, 天気, Vol.48, No.5, pp.349-356, 2001.
- 矢部満, 寺田悠祐, 野並賢, 飛田健二, 上野将司, 曾根好徳: 観測データとタンクモデルを利用した表層崩壊発生時の間隙水圧推定法について, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.73, No.2, pp.141-156, 2017.