

土壌水分計を用いた斜面内浸透流解析へのタンクモデル法適用性の検討

土壌水分計 タンクモデル 現地モニタリング

早稲田大学 学生会員 ○岡崎 啓一郎
 早稲田大学 学生会員 竹内 佳成
 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一
 東京地下鉄株式会社 正会員 小西 真治
 株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング 大森 将樹

1. はじめに

近年、集中豪雨による土砂崩れが各地で報告されており、被害を最小限とするための備えが必要となり、関連する研究が急がれている。著者らはこれまで、タンクモデル法と剛塑性有限要素法を組み合わせた斜面の安定性の評価を行ってきたり、その中で、タンクモデル法で得られる貯留高の結果をそのまま斜面内に貯留する水の量であると仮定して考えてきたが、貯留高の結果の適用性は不明である。そこで、目的をタンクモデル解析で得られる水分量結果の実斜面への適用性の検証とし、実斜面において土壌水分計を設置し、地盤内の体積含水率を測定することで、自然地盤内の水分挙動の実測値とタンクモデル法で得られる解析値の比較・検証を行った。図-1 に解析値と実測値の比較・検証の流れを示す。

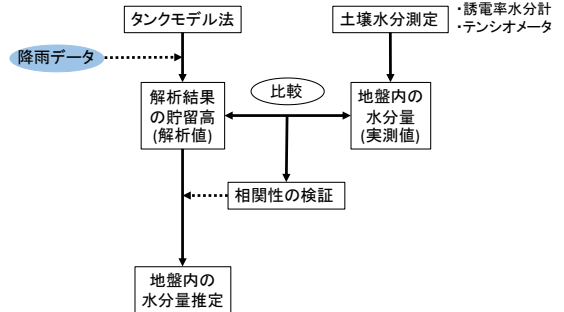


図-1 解析値と実測値の比較・検証の流れ

2. 現地モニタリング地点の調査および土壌水分計の設置

(a) 計測対象斜面選定

今回は早稲田大学本庄高等学院敷地内の斜面において現地モニタリングを実施した。大雨による斜面崩壊が発生しやすい箇所として、斜面の傾斜が急な箇所(傾斜角 30 度以上)、傾斜が突然急になる箇所(遷急点)を持つ斜面、また、集水しやすい地形条件として、谷型の斜面、上方に広い緩傾斜地がある斜面が挙げられる。このことから、計測対象斜面候補に地形条件をふまえ、埼玉県土砂災害特別警戒区域に存在する 2 か所の斜面(以下、斜面 a および斜面 b とする)を選定した。図-2(a),(b) に、計測対象斜面位置および斜面 a,b の位置関係を示す。

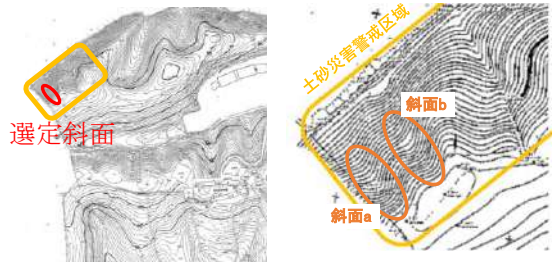


図-2(a) 斜面位置

図-2(b) 位置関係

(b) 現地調査

選定した斜面部において SH 型貫入試験およびダブルスコップを用いた斜面表層の掘削を実施した。以上の試験結果から、斜面 a では表層と基盤の境である崩積土と段丘堆積物の境が深さ 50cm 付近であることに対し、斜面 b ではそれが深さ 70cm 付近であった。土壌水分計の計測では表層を対象としているので、表層が深く計測に余裕がある斜面 b が好ましい。また、斜面の勾配も急であるので、斜面 b を対象とした。加えて各種土質試験を行った結果、対象斜面の表層部分である表土は砂主体、崩積土はシルト主体であり透水性が低いという結果となった。

(c) 土壌水分計の設置

土壌内の水分量は土壌水分計で測定した。表-1 に土壌水分計の性能を示す。斜面内の位置による水分量の違いを考慮するため、斜面の上部、中部および下部の 3 点に土壌水分計を設置した。電圧から換算式である(1)式を用いて体積含水率 θ を算定した²⁾。

表-1 土壌水分計の性能

測定深さ (cm)	測定範囲 (m ³ .m ⁻³)	精度 (m ³ .m ⁻³)	全長 (mm)
10,20,30,40	0~1.0	±0.04, 0°C~40°C	750

$$\sqrt{\epsilon} = 1.125 - 5.53V + 67.17V^2 - 234.42V^3 + 413.56V^4 - 356.68V^5 + 121.53V^6$$

$$\sqrt{\epsilon} = a_0 + a_1\theta \quad (1)$$

ここに有機土の場合、 $a_0=1.3$, $a_1=7.7$

3. 体積含水率の算定

3.1 現地モニタリングによる実測値計測

(a) 計測結果

データロガーから土壌水分計で計測されたデータ収集を行った。データロガーの番号と水分量計測地点の対応図を図-3 に示す。計測期間は 2016 年 12 月 14 日の 11 時 00 分から 2017 年 1 月 14 日の 10 時 30 分であり、期間中の体積含水率の深さ毎の平均値をグラフとして図-4 に示す。なお期間中の降雨量として、対象斜面に最も近いアメダスである藤岡観測所のデータを用い、図-4 に併せて示した。

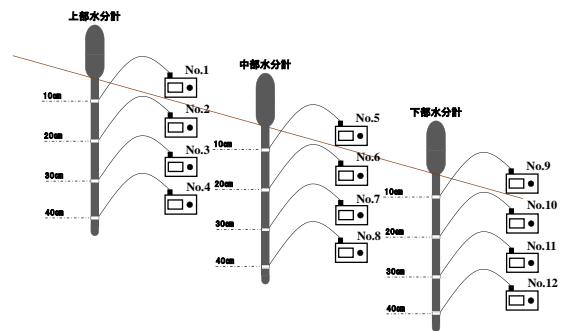


図-3 データロガーと計測地点の対応図

キーワード：土壌水分計 タンクモデル 現地モニタリング

連絡先：〒169-8555 東京新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院赤木研究室 Tel.03-5286-3405

(b)結果の考察

図-4より大きな降雨があった12月23日および1月8日,9日には体積含水率が上昇し,適当な計測ができていていると考えられる.また,深さに着目すると,最も深い40cmの計測では体積含水率が0.15付近で推移しているが,それより浅い深さ10cmや20cmの計測ではそれが0.35付近で推移しており,深さによる値の差異が顕著である.そして,深さ10cm計測より20cm計測の方が常に体積含水率が高いことも読み取れる.これは,地表面に近い深さ10cmにおける水分の蒸発の影響であると考えられる.さらに,降雨イベント発生時に,深さ30cmの計測値が最も反応していることも読み取れる.これは,砂主体の表土の層と透水性の悪いシルト主体の崩積土の層の境界が深さ30cm付近にあり,シルト層の表面に浸透水が貯まりやすいことが理由として推測される.

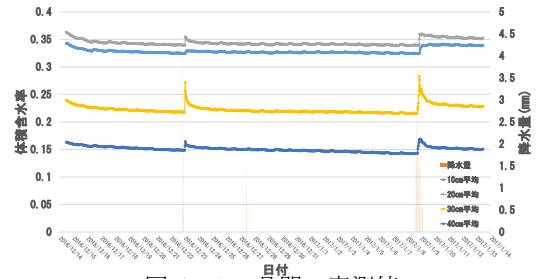


図-4 1ヶ月間の実測値

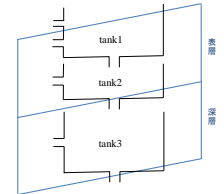


図-5 タンクモデルと斜面の対応関係

表-2 タンクモデルのパラメータ

	一段目	二段目	三段目
流出孔高 (mm)	L ₁ =15 L ₂ =60	L ₃ =15	L ₄ =15
流出係数 (1/hr)	α ₁ =0.1 α ₂ =0.15	α ₃ =0.05	α ₄ =0.01
浸透係数 (1/hr)	β ₁ =0.12	β ₂ =0.05	β ₃ =0.01

3.2 タンクモデル法による解析

(a)解析条件

期間中において記録された体積含水率の変動が最大であった1月8日から1月9日において3段直列タンクモデルを用いて流出解析を行った.図-5に示すようにタンクモデルの一段目および二段目を斜面の表層と,三段目は深層(70cm以深)と対応させ,解析を行った.また,タンクモデルの流出解析を行うにあたり,タンクモデルのパラメータ設定が必要となる.今回はパラメータ同定に用いる過去の災害データが存在しないため,表-2に示す気象庁による全国一律のパラメータを用いた³⁾.

(b)解析結果

流出解析を行った結果,全てのタンクにおいて流出は発生せず,斜面の位置による貯留高の差異は見られなかった.図-6に tank1, tank2, tank1+tank2 の貯留高の経時変化を示す. tank1 と tank2 の合計の貯留高が表層に貯留しているとし,表層全体の体積含水率θを(2)式を用いて算出した.

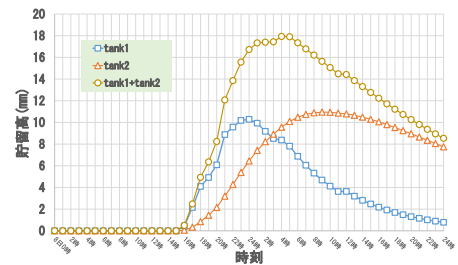


図-6 貯留高の経時変化

$$\theta = (S1+S2)/L + \theta_{\text{initial}} = (S1+S2+S_{\text{initial}})/L \quad (2)$$

ここに, S1: tank1 の貯留高, S2: tank2 の貯留高, L: 層厚, S_{initial}: 初期貯留高

3.3 体積含水率の実測値と解析値の比較検討

(2)式を用いて算出した1月8日0時~9日24時の表層全体の体積含水率の解析値および土壌水分計のデータロガーで記録された実測値の経時変化を図-7に示す.図-7から実測値と解析値のグラフの上昇および下降に関する概形は同じである.詳細にみると,実測値の体積含水率は8日17時から上昇して21時に最も高くなっており,降雨のピークを捉えていると確認できる.一方で解析値も8日16時から上昇しているものの,そのピークは9日4時頃となっている.この付近の時刻において実測値は下降しており,両者の傾向に差異が見られた.また今回は冬季で降雨量が少なかったこともあり,体積含水率の変動値は最大で0.025ほどであった.今後は降雨強度が大きい降雨イベントを対象とし,その場合に実測値と解析値の差異の大小を測り,タンクモデル適用の妥当性を検証していきたく考えている.

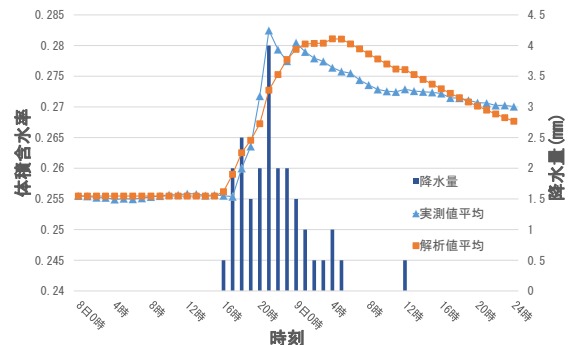


図-7 体積含水率の実測値と解析値の比較

図-7から実測値と解析値のグラフの上昇および下降に関する概形は同じである.詳細にみると,実測値の体積含水率は8日17時から上昇して21時に最も高くなっており,降雨のピークを捉えていると確認できる.一方で解析値も8日16時から上昇しているものの,そのピークは9日4時頃となっている.この付近の時刻において実測値は下降しており,両者の傾向に差異が見られた.また今回は冬季で降雨量が少なかったこともあり,体積含水率の変動値は最大で0.025ほどであった.今後は降雨強度が大きい降雨イベントを対象とし,その場合に実測値と解析値の差異の大小を測り,タンクモデル適用の妥当性を検証していきたく考えている.

4. おわりに

対象斜面の体積含水率について,現地モニタリングに基づく土壌水分計の実測値とタンクモデル法による解析値を比較し,ほぼ対応する結果が得られた.なお,実測値の換算式(1)式は厳密には全ての地盤に様に適用できるものではないので土壌水分計のキャリブレーションを行い,適当な換算式を求める必要があり,今後の課題としている.また,解析値に用いるタンクモデルのパラメータ設定の再考も検討し,より信頼性のある比較をする予定である.本研究の実施にあたり,早稲田大学本庄総合事務センター事務部長新井智様には現場の使用許可を快くいただいたことをここに記し,感謝の意を表す.

参考文献

- 1)竹内佳成,安藤悠,小西真治,赤木寛一: 盛土斜面を対象としたタンクモデル法を用いた降雨時の斜面安定解析,第51回地盤工学研究発表会,pp.1985-1986,2016
- 2)Delta-T Devices Ltd: User Manual for the Profile Probe type PR2,pp.17~19,2008.
- 3)気象庁「土壌雨量指数」,<<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html>>