

## 斜面内における体積含水率のタンクモデル法による解析値と 土壌水分計による実測値の比較検討について

タンクモデル 土壌水分計 浸透

早稲田大学 学生会員 ○岡崎 啓一朗 早稲田大学 学生会員 竹内 佳成  
早稲田大学 学生会員 西山 征克 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一  
東京地下鉄株式会社 国際会員 小西 真治

### 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<sup>1)</sup>を行ってきた。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きたが、貯留高の結果をそのまま適用できるかは疑問が残る。そこで、降雨強度や期間が異なる複数の降雨イベントを対象として、実斜面で土壌水分計を設置して地盤内の体積含水率を計測し、解析値のタンクモデル貯留高から求めた体積含水率との比較を行い、地盤内水分量の予測におけるタンクモデル法適用の妥当性を検証した。

### 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-1(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。

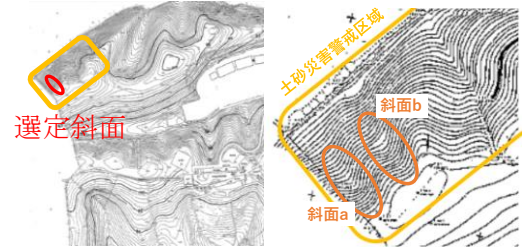


図-1(a) 斜面位置

図-1(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。

### 3. 3連直列タンクモデル

#### (a) タンクモデル法による流出解析

タンクモデルは菅原<sup>2)</sup>が提案したモデルを用いた。直列に並べられた各タンクには、側面に流出孔、底面に浸透孔が設けられており、流出孔・浸透孔の係数や流出孔の高さ、数を適切に決定すれば地下水を含めた河川流量を再現できる可能性が高い。しかし、流域特性によってタンクモデルの構造や同定するパラメータの数が異なるため、対象地域ごとにモデルの同定を行う必要がある。また、1つの降雨イベントで決定したモデルでは、流域特性を正しく表現できているとは言えず、タンクモデルパラメータの同定には複数の降雨流量データから決定することが必要である。本研究では、利根川上流域を対象流域と設定し、4つの降雨イベントを対象にタンクモデル法による流出解析を実施した。

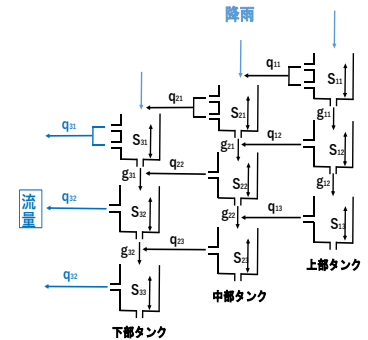


図-2 直列3段タンクモデル

#### (b) タンクモデルの概要

本研究では、図-2に示すとおり、直列3段タンクモデルを斜面の上部、中部、下部に対応させ、雨水の鉛直・側方浸透による斜面高低に応じた斜面内の含水状態の違いを考慮できるようにした。斜面上部の直列三段タンクモデル(上部タンク)が基点となり、中部タンク、下部タンクと順に連結している。上部タンクの流出は、中部タンクに浸透水として加算され流入する。中部タンクからの流出も同様に下部タンクへ流入する。

#### (c) タンクモデルを用いた体積含水率の推定

3段直列タンクモデルは、気象庁の土壌雨量指数の計算に使用されている。また、タンクモデル法における1,2段目タンクに貯留する水位の合計は、土石流の発生タイミングとよい相関性が見られることが報告されている。<sup>3)</sup>これより、タンクモデル法で得られる貯留高は表層の水分量を表現しているものと考えられるため、図-3に示すようにタンクモデルと斜面を重ね合わせたモデルを作成した。ここでは、貯留高を用いて表層の体積含水率は式(1)のように表せる。

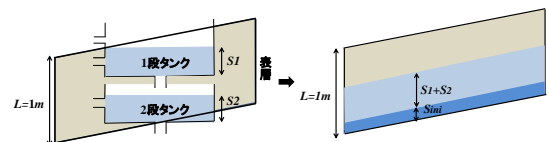


図-3 斜面とタンクモデルの対応関係

$$\theta = \frac{S_1 + S_2}{L} + \theta_{ini} = \frac{S_1 + S_2 + S_{ini}}{L} \quad (1)$$

ここに、 $S_1, S_2$ :各段タンクの貯留高、 $\theta_{ini}$ :初期体積含水率(実験結果)、 $S_{ini}$ :初期体積含水率に対応する貯留高、 $L$ :表層

#### (d) タンクモデルのパラメータ同定

今回、土壌水分計を用いて計測した地盤内の水分量の変化の原因となる本庄における降雨イベントのほとんどが、降雨強度の小さいものであった。よって、比較的降雨強度の小さい場合において流出解析によるパラメータの同定を試みた。今回対象とした群馬県内における降雨イベントは i) 2001年10月, ii) 2007年10月, iii) 2009年10月, iv) 2014年10月の4つの降雨イベントである。表-1に同定したパラメータ、図-4に各降雨イベントの実測値と解析値の比較のグラフを示す。

#### 4. 土壌水分計測定結果とタンクモデル法解析値による比較

2017年1月から10月末にかけて収集した土壌水分計の実測データから降雨イベントの期間を抽出し、土壌内の水分量の深さごとの実測値と解析値を比較した結果として4つの事例を以下の図-5に示す。なお、タンクモデル解析を行う上で必要となる初期含水率  $\theta_{ini}$  は降雨イベント前の無降雨期間より推定した。

i) 土壌水分計の実測値のピーク値付近において、実測値と解析値の間には、体積含水率5%程の差がある。一方で立ち下りの部分においてはほぼ一致する結果となった。今回の降雨イベント期間において解析値は、ピーク値を捉えることができていない。これは、解析値が実測値に比べて短時間での降雨の影響に反応できないことによると考えられる。

ii) 降雨開始部分における実測値の急激な反応を捉えることができていないが、ピーク時間に若干のずれがあるものの、ピーク値を捉えることは出来ており立ち下りの部分も動きを捉えている。特に、深さ30cm, 40cm部分で実測値の挙動をよく捉えることが出来ている。

iii) 今回の降雨イベントでは、地盤内の体積含水率のピークが二回あるが、特に一回目のピーク時において、解析値は実測値の挙動を捉えることができていない。ここから、短時間での降雨による水分計の敏感な反応に対応することができていないと考えられる。

iv) 解析対象とした降雨イベントの中で最も降雨強度の大きい降雨イベントである。ピーク後の実測値と解析値の値は合致しているが、ピーク時においてその乖離が大きくなっている。これは、今回タンクモデルのパラメータを同定する際になるべく降雨強度の小さい降雨イベントに対してパラメータを同定したが、それでも解析対象とした降雨イベントより大きい降雨強度であったため、ある程度の降雨量が無ければ排水されないモデルになっていたことが原因として考えられる。そのため、タンク内からの排水は流出孔からではなく、浸透孔から下段への浸透のみであったことから、タンク内に水が溜まりやすく、解析値が実測値よりも大きく出てしまっていると考えられる。

#### 5. おわりに

降雨イベントによって解析値と実測値がよく合う場合と差が生じてしまう場合があったが、傾向として、深さ30cm及び40cmの部分の実測値と解析値の挙動が一致することが多いことがわかる。これは、深さ20cmのような場合、地表面に近くなるほど降雨の浸透による影響及び蒸発散による地盤内の水分量の変化が急であることから、タンクモデルではその細かな挙動に反応することが出来ないことによるものと考えられる。また、解析値が実測値の挙動を捉えている場合、特にピークからの立ち下りの部分においてよく挙動を捉えていることがわかる。一方で、解析値は実測値ほど降雨に対して敏感に反応することが出来ず、特に1時間ほどの短い時間に強い雨が降った際、実測値では土壌水分計が地盤内の体積含水率の変化に鋭敏に反応し、グラフ上で地盤内の体積含水率急激な変化が見られるが、タンクモデルはその挙動をほとんど捉えることができていない。今後の課題としては、タンクモデル解析を行う上で、1つの対象河川に対して1つのパラメータを決定せず、降雨強度などの場合に応じて、複数のパラメータを設定し使い分けをする必要があるのではないかと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 安藤悠, 竹内佳成, 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) 菅原正巳: 流出解析法, 共立出版, 1972
- 3) 道上正規・小島英司: 集中豪雨によるがけ崩れの発生予測に関する研究, 鳥取大学工学部研究報告, 第12巻, 第1号, pp.167-178, 1981

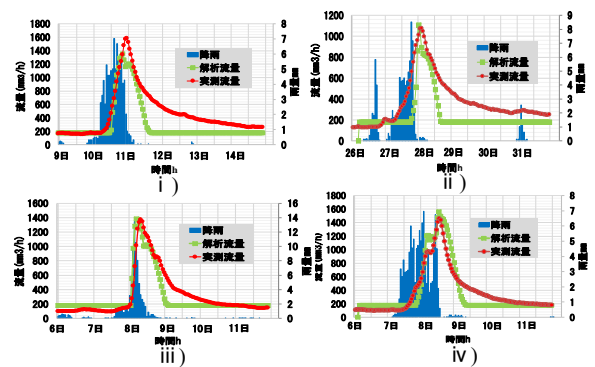


図-4 パラメータ同定のための流出解析結果

表-1 同定したパラメータ

	一段目	二段目	三段目
流出孔の高さ (mm)	h1=23 h2=40	h3=15	h4=20
流出係数 (1/hr)	a1=0.01 a2=0.05	a3=0.009	a4=0.009
浸透係数 (1/hr)	b1=0.16	b2=0.1	b3=0.01

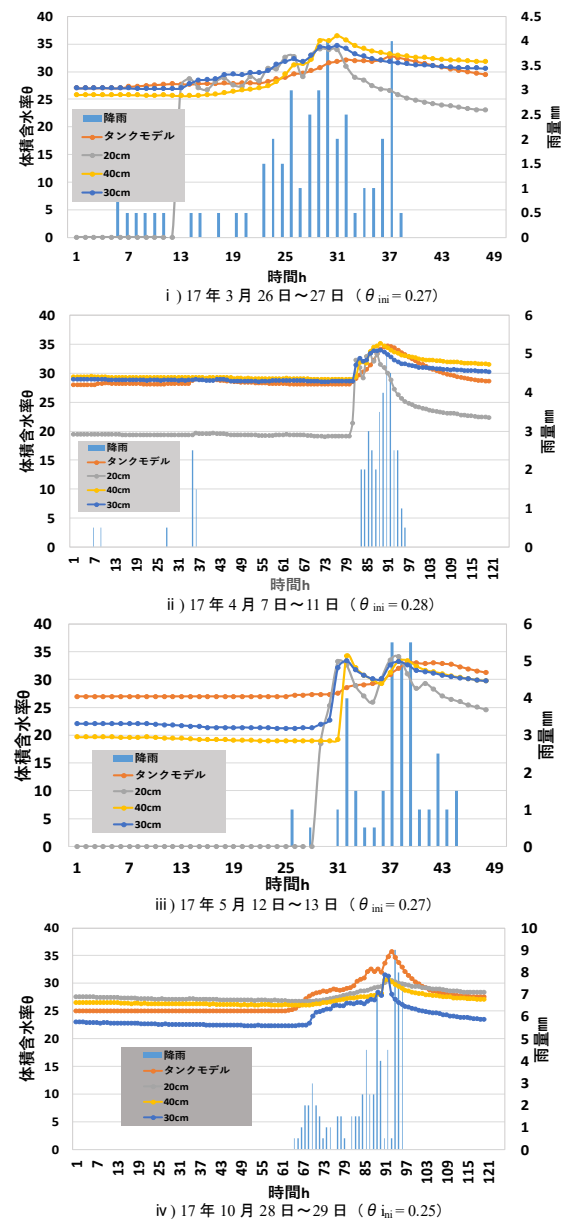


図-5 体積含水率の解析値と実測値の比較結果