

# タンクモデル法を用いた流出解析によるタンクモデルパラメータの同定

早稲田大学 学生会員 ○竹内 佳成 早稲田大学 学生会員 岡崎啓一郎  
 東京地下鉄株式会社 正会員 小西 真治 早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

## 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されている。著者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<sup>1)</sup>。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地盤内に貯留する水分量であると仮定してきたが、貯留高の結果の適用性は不明である。そこで、タンクモデル法で得られる水分量結果の実斜面への適用性を検証するため、実斜面に土壌水分計を設置し、地盤内の水分量を測定してきた。一方でタンクモデル法を用いて斜面内の水分移動を予測する際には、多数のパラメータ設定が必要である。そこで本論文では、対象斜面が所属する流域に着目した流量解析を行い、解析流量と流域で観測された実測流量を比較することで、計測対象である早稲田大学本庄高等学院敷地内の斜面に適したタンクモデルパラメータの同定を行った。

## 2. 対象斜面の選定及び現地調査

### (a) 計測対象斜面の選定

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、上記の地形条件をふまえ、計測対象斜面に埼玉県土砂災害特別警戒区域に存在する斜面を選定した。図-1 に早稲田大学本庄高等学院敷地内の全体図 1) および対象斜面拡大図 2) を示す。

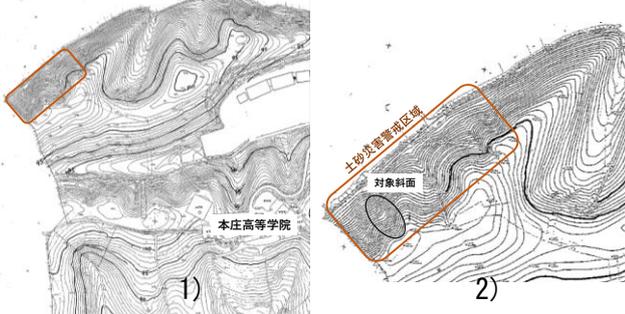


図-1 本庄高等学院敷地内全体図および斜面拡大図

### (b) 現地調査

選定した斜面において、①SH型貫入試験、②ダブルスコップによる掘削面の観察及び試料のサンプリングを実施した。現地調査から、選定斜面では表層深さにあたる崩積土と段丘堆積物の堺が深さ 50~70 cm であることがわかった。図-2 に現地調査結果から推定した対象斜面の断面図を示す。

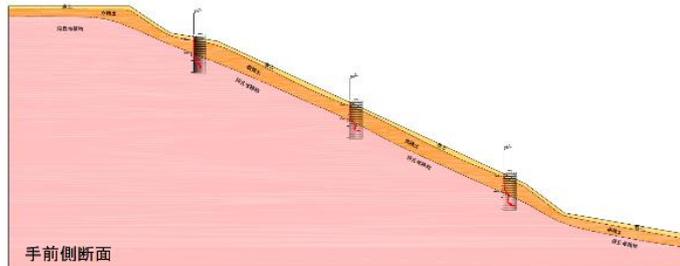


図-2 斜面断面図

## 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<sup>2)</sup>は、1972年に国立防災科学技術センターの菅原正巳氏により提案されたモデルである。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。

### (b) タンクモデルの概要

本研究では、図-3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。

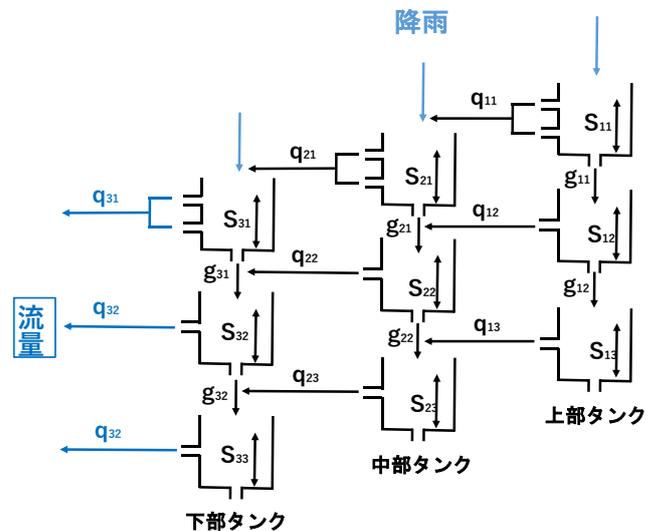


図-3 3連直列タンクモデル

### (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、気象庁の土壤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段目の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>このことから、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-4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。したがって、貯留高を用いて表層の体積含水率は式(1)のように表すことができる。

キーワード タンクモデル, 体積含水率, パラメータ, 斜面安定

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

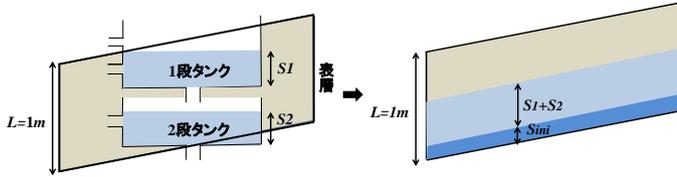


図-4 斜面とタンクモデルの対応関係

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

ここに、 $S_1$ :1段タンクの貯留高、 $S_2$ :2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

4. タンクモデルパラメータ同定

(a) 流域特性および降雨イベントの選定

対象斜面が所属する流域に着目したタンクモデルによる流出解析を行い、実測値と解析値を比較することでタンクモデルのパラメータを決定した。流出解析の実施に当たり、流域、雨量・流量の観測地点の決定を行う。本研究では、対象とする流域を対象斜面が存在する利根川上流域(6291 km<sup>2</sup>)とし、利根川の流量は古戸観測所の値を、雨量は利根川上流域に存在する各雨量計で観測された計測値の平均値を用いた。利根川上流域の流域図(赤枠)と古戸観測所、対象斜面の位置関係を図-5に示す。



図-5 流域図及び流量観測所、対象斜面の位置関係

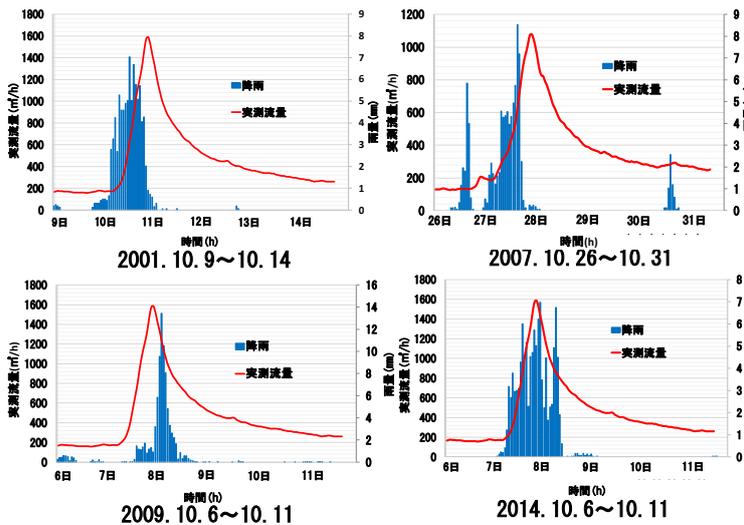


図-6 各降雨イベントのハイドログラフ

選定した各降雨イベントのハイドログラフを図-6に示す。計測期間2016年12月14日~2017年11月8日で観測した地盤内の水分量の変化の原因となる降雨イベントの降雨強度はさほど大きくなく、時間雨量10mm前後であり、この水分計計測期間内に観測された降雨強度と類似したものを降雨イベン

トとして選定した。

(b) 解析流量と実測流量の比較

各降雨イベントで観測された降雨をタンクモデルに入力し、タンクモデル法で得られた解析流量と実測流量を比較した結果を図-7に示す。流量の上昇・減少部の流量変化を解析値では捉えられていない箇所があり、タンクからの流出の有無を、貯留高が側面に設けた流出孔の高さに達しているかどうかで決定する現状のタンクモデルでは、滑らかな流量変化の挙動を捉えることは困難であると考えられる。一方でピーク時付近の流量の一致率が良く、降雨強度が高い時間帯の実測値をおおよそ捉えていることから、この時使用したパラメータを対象斜面に適したタンクモデルパラメータとする。なお、同定したパラメータを表-1に示す。

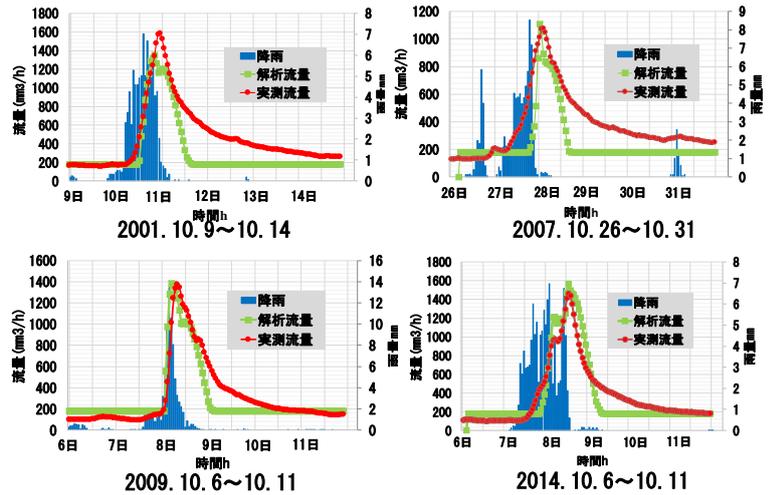


図-7 解析流量と実測流量の比較

表-1 タンクモデルパラメータ

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

5. おわりに

対象斜面が存在する流域に着目した流出解析を行い、流量の実測値と解析値を比較することで、対象斜面に適したタンクモデルパラメータの同定を行うことができた。今後、同定したパラメータを用いて、土壌水分計で得られる水分量の実測値と比較することで、タンクモデルで得られる水分量結果の実斜面への適用の検証を行っていく予定である。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) 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