

1-14

ダンパー質点系モデルとタンクモデルを用いた追久保地すべり変位再現

Reproduction of Oikubo landslide displacement by Lumped mass damper model with Tank model
 池田浩二 (㈱東北開発コンサルタント) *, 濱崎英作 (㈱アドバンテクノロジー), 丸井英明 (新潟大学),
 佐々木明彦 (信州大学), 石川晴和 (㈱アドバンテクノロジー)

Kouji IKEDA (Tohoku development consultant Co., Ltd.), Eisaku HAMASAKI (Advantech Co., Ltd.),
 Hideaki MARUI (Niigata Univ.), Akihiko SASAKI (Sinshu Univ.), Haruna ISHIKAWA (Advantech Co., Ltd.)
 キーワード: 地すべり, 変位速度, 安定解析, ダンパー質点系モデル, タンクモデル

Key words: Landslide, Displacement velocity, Slope stability analysis, Lumped mass damper model, Tank model

1. はじめに

濱崎ほか (2016) の研究により地すべりの移動速度を再現する方法としてダンパー(粘性抵抗)を適用したダンパー質点系モデル (Lumped mass damper model, 以下 LMDM法とする) は地すべりの3次クリープの初期段階までにおける予測モデル式としてある程度有効である可能性が示された。それは、フェレニウス法やRBSM法などの安定計算で用いられる滑動力 D , 抵抗力 R の成分において下方力 F を $D - R$ とするとき下記(1)式が得られる。

$$v = \frac{F}{A \cdot Cd} (1 - e^{-\frac{A \cdot Cd}{m} t}) \dots\dots\dots(1)$$

ここに v : 地すべり移動速度, Cd : 粘性抵抗係数, A : すべり面面積, m : 質量 t : 時間である。ここで $e^{-\frac{A \cdot Cd}{m} t}$ は極短時間で 0 に至るため結果的に,

$$v \approx \frac{F}{A \cdot Cd} \dots\dots\dots(2)$$

となり極めて簡便なモデル式となる。

濱崎ら (2016) は LMDM法による解析事例で地下水位の変動から時系列の地すべり変位を再現したが、さらに筆者らは2007年7月に発生した宮城県白石市で発生した追久保地すべり (白石市追久保地すべり調査チーム, 2007) を用い降雨からの直列3段タンクから地下水変動をモデル化し、さらにその水位を使った LMDM法から当時のすべり滑落に至るまでの地すべり変位を再現した。本報告はそれについてまとめたものである。

2. 追久保地すべり概要

2.1 地すべり発生状況

平成 19 年 7 月 15 日夕方 台風 4 号に伴う大雨により、宮城県白石市の市道小久保平線で大規模な地すべりが発生した。移動土塊は最大幅約 250m, 最大長さ約 300m の規模を有し、比高が最大 30m に達する滑落崖と側方崖は周辺斜面と完全に分離していた。

地すべり地の地質は第三紀中新世から鮮新世にかけての砂岩泥岩互層および凝灰岩が分布し、地質構造としては概ね北ないし北東傾斜 (約 20°) の流れ盤構造を有していた。地すべり発生の原因は様々あるが、その直接的な原因は大雨による地下水上昇と考えられている。

2.2 地すべり調査経緯

当初、地すべり滑落の 5 ヶ月前に斜面中腹を横断する市道と山側の上方斜面にある農道に段差を伴う亀裂が見られた。亀裂箇所が空中写真判読により抽出された地すべり地形と一致し、大規模地すべりの可能性が予見されたため、亀裂箇所へ地表面伸縮計を 4 基、雨量計を 1 基、緊急的に設置した (図-1)。当時は地すべり監視体制の構築が優先されたため、ボーリング調査や水位観測孔の設置は行っていない。このため、追久保地すべりに関しては、地すべり機構 (すべり面や地下水状況等) を明らかにするデータはなく、地すべり滑落に至る地表変動量と降雨量データが存在するのみであった。

そこで、タンクモデルを代用して当時の地下水状況をモデル化し、計算された地下水位変動から LMDM法により、地すべり変位の再現を試みた。解析に当たっては、計器の測定誤差や異常変動によるデータの揺らぎの少ない S-3 を解析対象とした。



図-1 観測位置図

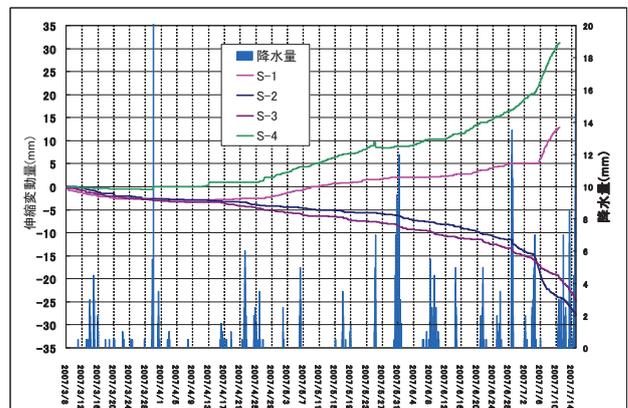


図-2 地盤伸縮変動図

3. 追久保地すべりのモデル化

3.1 タンクモデル

直列 3 段タンクモデルの各タンクの孔の高さ (h_{ij}) や係数 (d_{ij}) は図-2 に示すとおりである。なお、当タンクモデルは現地を観測された時間雨量 (mm) を用いて時間毎の地下水位をモデル化している。ただし、このモデルでは蒸発散は考慮していない。

地下水位の再現は 3 段目タンク水位で表現するものとし、ここでは有効空隙率を 0.02 として解析した。

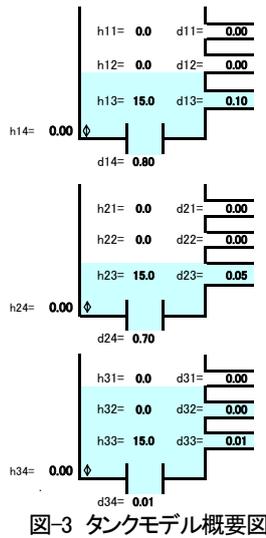


図-3 タンクモデル概要図

3.2 ダンパー質点系モデル (LMDM法)

当地区の LMDM法に基づく諸要素は図-4 および表-1 に示すとおりである。これよりすべり面に Cd が作用して地すべりの下方力 F がダンピングされつつ地すべり速度が支配されるようにモデル化した。

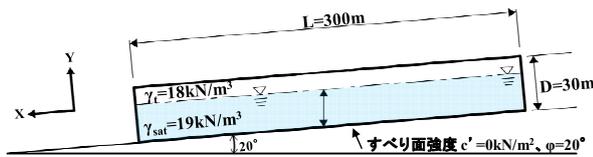


図-4 追久保地すべりの安定解析用模式図

表-1 LMDM 法の安定解析緒言

基準水位=	0.00	m
斜面勾配=	20	°
地すべり層厚=	30	m
長さ=	300	m
γ_t =	18	kN/m ³
γ_{sat} =	19	kN/m ³
c =	0	kN/m ²
ϕ =	20	°
Cd =	39.7	$\times 10^9$ kN \cdot sec/m

3.3 結果と考察

図-5 にタンクモデルにより計算された地下水位変動図 (図下段) と LMDM法による地すべり変位の解析結果図 (図上段および中段) を示す。解析結果より、タンクモデル水位により再現された計算変位量は、実測値の変位傾向と概ね一致することが明らかになった。

なお、図の変位量の比較 (図上段) から 6/29-6/30 における 73.5mm (13 時間) の強い雨の後から次第にモデル値と実測値は乖離する。これは濱崎他 (2016) が指摘するように自律的破壊モード領域に至ったと推定される。ここから 1 週間後に滑落する結果となったが、この乖離は滑落危険度領域の判定に使用可能と判断できる。

以上より、自律的破壊モード領域 (3 次クリープ) に至るまでの地すべり変位について、LMDM法により、再現可能であることが示された。

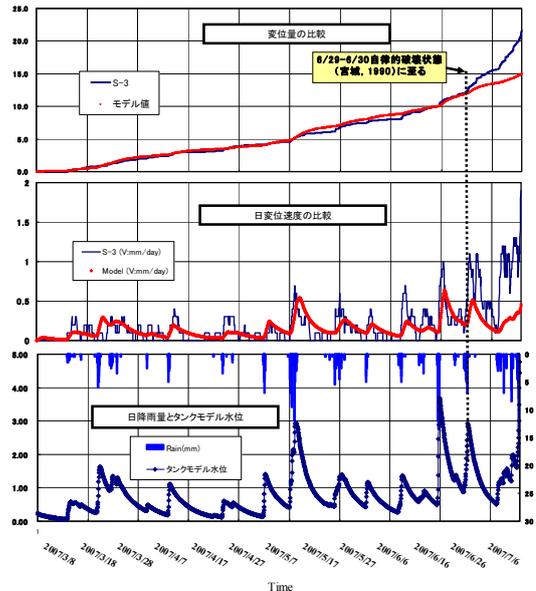


図-5 解析結果 (S-3 伸縮計変動とモデル対比およびタンクモデル)

4. まとめ

解析結果の考察で得られたことを以下にまとめる。

- (1) タンクモデル水位により計算された変位量は、実測値の変位傾向と概ね一致し、LMDM法により、自律的破壊モード領域に至るまで地すべり変位を再現できた。
- (2) モデル値と実測値の比較により、自律的破壊モード領域に至ると、モデル値は実測値と乖離しはじめることが確認された。

本報告は緊急性の高い地すべりにおいて、地表面伸縮計や雨量計といった限られた調査しかできない場合でも、タンクモデルと LMDM法を用いれば、地すべり変位をある程度予測することが可能であることを示唆している。さらに、実測値の変位傾向がモデル値と乖離してきた場合、地すべり滑落の危険領域に至っていることの重要な判断材料の一つとなり、緊急対応の指標となり得るものと期待される。

謝 辞

今回の報告に当たり株式会社テクノ長谷の早坂功氏には資料の提供とご助言をいただいた。また故加藤彰氏には生前、追久保地すべり調査の際丁寧なご指導を賜った。ここにご両名に厚く御礼申し上げる次第です。

引用文献

- 1) 濱崎英作, 丸井英明, 吉松弘行, 加藤猛士, 古谷元, 王純祥 (2016), 地すべり移動速度を予測するためのダンパー質点系モデル, 地すべり学会誌 投稿中
- 2) 宮城豊彦 (1990): 地形分類による地すべり地の危険度評価. 地すべり学会シンポジウム, 「地すべり危険箇所」の把握に関する諸問題」論文集, 1.5.
- 3) (社) 日本地すべり学会東北支部白石市追久保地すべり調査チーム (2007): 2007 年 7 月 15 日に宮城県白石市で発生した地すべり, 国内ニュース, 日本地すべり学会誌, 第 44 巻, 第 3 号, pp. 44.