

空間分布タンクモデルによる降雨応答解析手法での展開

○外狩麻子 島村 誠(JR 東日本 防災研究所) 山口英俊(SWR(株))

1. はじめに

より精度の高い判断基準に基づく安全性の確保と公共交通機関としての鉄道の安定輸送を、適切なバランスで成立させることを目標として、降雨時の斜面・のり面安定性の評価方法や運転規制指標への新たな要素の組み込みを試みている。本研究では、降雨時安全性の評価方法への新しい要素として、土中水の挙動に着目している。降雨を起因とする土中水が地盤内部にてどのような挙動し、どのような分布を呈することで、時系列変化として斜面安定性が推移していくのかを把握することがターゲットとなる。

降雨に应答する土中水挙動を実現象としてデータ獲得するために、自然斜面及び鉄道盛土にて土中水計測を行っている¹⁾²⁾。このような観測の実施は、観測データそのものを最終目標である列車運行の安全性確保に直接使用するのが目的ではなく、実測データをベースとする数値解析によって時間と空間という系の展開を図り、降雨応答という現象を推定する手法を確立することが目的となる。このうち、鉄道盛土を対象とした新たな降雨応答モデル：SDTM (Spatially Distributed Tank Model, 空間分布タンクモデル) による土中水挙動予測解析手法を開発した³⁾。このSDTMのアルゴリズムを展開して、自然斜面での土中水挙動を推定する手法の開発を試みている。ここでは、SDTMの新たな展開について報告する。

2. 自然斜面を対象とした土中水挙動推定

対象とした自然斜面は、旧信越本線熊ノ平駅近接の自然斜面(群馬県松井田町)であり、1950年に50名にも及ぶ犠牲者を出した土砂崩壊を起こし、その後も小規模ながら複数回の崩壊履歴を有する斜面である。図1に当該斜面を含む周辺地形を示す。対象とする自然斜面を尾根線にて切り取った流域が図2であり、面積約29,800m²、谷の下端部と尾根の上端部の標高差は約172m、その水平距離は約230mの広がりがある。この自然斜面では2000年9月より気象・地下水・土中水観測(図2のstation1~4)を開始している。

観測データを基に空間的な土中水分分布の推定を行うために、有限要素法による飽和不飽和浸透流解析を既に実施している²⁾。この解析では、土質試験及びボーリング調査結果を基に各有限要素特性のパラメータを設定し、van-Genuchten提案式にて保水性プロパティを設定している。しかしながら、実測土中水データと解析データには降雨応答の傾向において相違が解消できず、解析による実現象の再現性(解析の追従性)には課題が認められた。この理由としては、地下水位に変動を及ぼさない降雨イベントに対する応答性の鈍さと、対象域全体の系が、大きな標高差をもった傾斜板となり、エネルギー均衡を基準とした支配方程式によって、重力による動水勾配が常時、土中水分を下流へ流下流出させるためと判断している²⁾。このような空間的広がりを持つ対象での降雨イベントに対する土中水の応答は、全体系としてのエネルギー均衡や連続性よりも、各観測点(各 station)が比較的独立した挙動を示し、解析を行う際には更なる離散化の強化が必要と考えられる。そこで、盛土での降雨応答解析において良好な再現性を示したSDTM³⁾による降雨応答解析を試みる。



図1 対象域の周辺地形

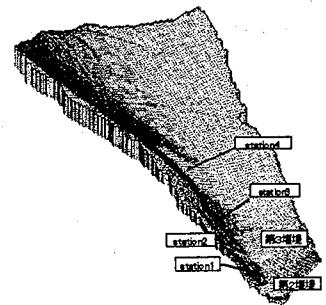


図2 対象域と観測点

3. SDTM土中水土中水応答解析

3.1 SDTMでのモデル化

自然斜面上に点在している各観測点(各 station)での土中水実測データをSDTMにて再現するために、まずは、stationでの3つの実測データ(30,60,100cm深での3点)を1つのセット(ローカルな系)として、SDTM解析でのモデル構築を試

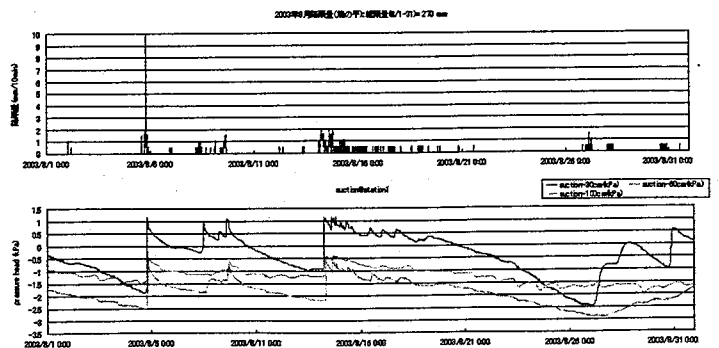


図3 観測データ例(上:降雨, 下:サクション)

みる。降雨と土中水の観測データの例を図3に示す。図3の土中水実測値を表現するモデルとして、図4のようなSDTMのモデル概念案を考案した。このモデルは各実測時系列データ(図3の各土中水時系列曲線)に相当する。降雨(あるいは土中上方からの浸透水)は一度貯水タンクに入り、貯水タンクからはメインタンクと外部へ流出して、観測値に対応するサクションをタンク貯留水分量とし、過剰分は外部へ流出する。ここでは、SDTMプロパティとなる流出曲線が3つあり、図5のようなシステム化を行う。

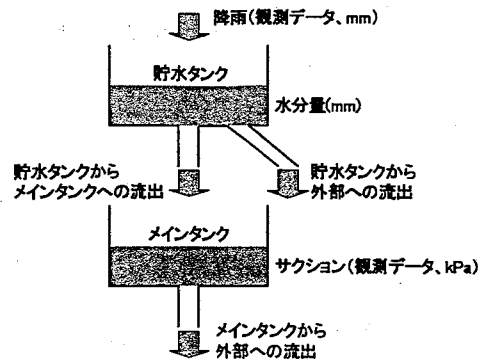


図4 モデルの概念

3.2 流出曲線の設定

流出曲線のうち「貯水タンクからメインタンク」と「貯水タンクから外部」は、ワイブル関数を用いることにした³⁾。また「メインタンクから外部」は、土中水分データによる長時間降雨がない場合には土中水減少が直線的な実測データを示しているため、ワイブル曲線から変曲点を設けて直線近似とした。観測データの減衰部分を参照して近似直線を設定した。ワイブル関数は;

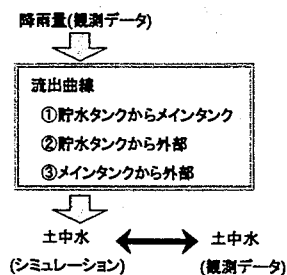


図5 システム化

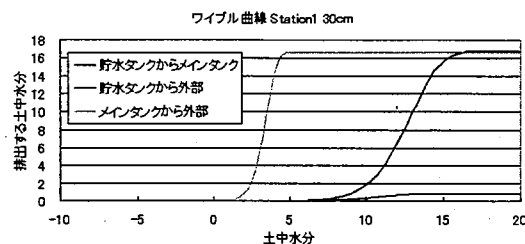


図6 最適化したワイブル曲線(st. 1-30cm)

$$y = a \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^m} \right\} \quad \dots(1)$$

ここで、 m : 任意のパラメータ、 a, b : 正の定数、 x_0 : タンクの貯留であり、一定量以下の土中水の場合は流出されずに貯留されるので、 $y=0$ when $x \leq x_0$, 式(1) when $x > x_0$ となる。ワイブル関数のパラメータの組合せは無限にあり、観測データを表現する最適解を見つけ出すのは容易ではない。そこで、パラメータの最適化の手続きとして、近似解を探索するアルゴリズムのひとつである遺伝的アルゴリズムを採用した。この最適化手続きには2003年5月の観測データを使用した。獲得したStation1-30cm深のワイブル曲線を図6に示す。

3.3 解析結果

ワイブル曲線の最適化を行い、獲得したパラメータ設定でのSDTMプロパティにて、パラメータ最適化で使った観測データ期間と異なる期間を対象として降雨応答解析を実施した。降雨観測データの時系列と共に、土中水観測データとSDTM解析結果を図7に示す。Station-30cm(図7中段)では非常に良好な解析の再現性が認められるが、深度の深いStation1-100cm(図7下段)では観測データに現れているようなサクションの急激な増加に対する解析値の追従性に改善の余地が残っている。総括としては、ほぼ良好な解析モデルの構築が行えていると考えられる。

4. 今後の課題

降雨イベントを直接の入力刺激としない、深度の深い(100cm深)点での解析追従性について改良を試みる。また、引き続き、ローカルな系をリンクした全体系でのSDTM解析手法の整備を行っていく。

4. 今後の課題

降雨イベントを直接の入力刺激としない、深度の深い(100cm深)点での解析追従性について改良を試みる。また、引き続き、ローカルな系をリンクした全体系でのSDTM解析手法の整備を行っていく。

[参考文献] 1)外狩・島村: 斜面安定性評価のための鉄道沿線における土中水分観測, 平成15年度砂防研究発表概要集, 2003, 2)外狩・島村・大野: 浸透流解析を応用した盛土内土中水の推定, 第39回地盤工学会年次講演会概要集, 2004, 3)外狩ら: 空間分布タンクモデルによる降雨応答解析手法, 平成17年度砂防研究発表概要集, 2004

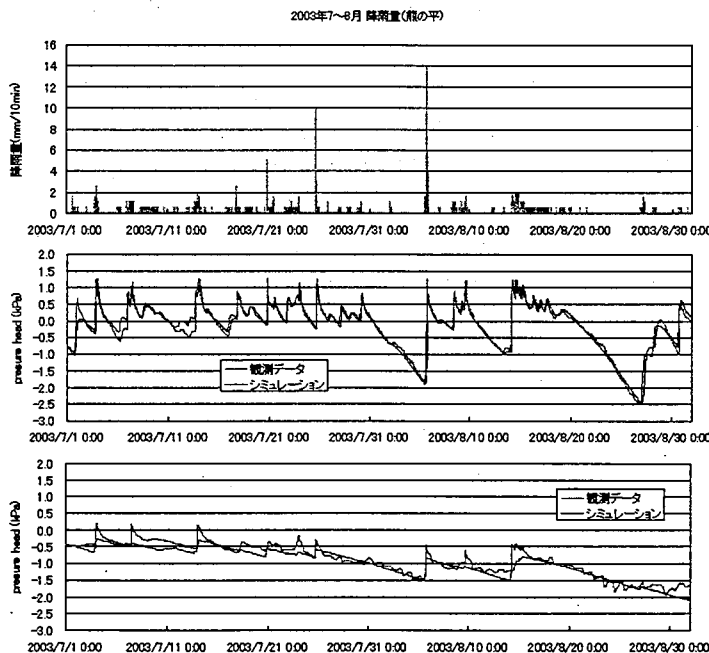


図7 観測データと解析結果

上: 観測雨量, 中: st. 1-30cm 深, 下: st. 1-100cm 深