

非線形バルブを用いた降雨応答モデルの構築

東日本旅客鉄道(株) ○外狩麻子 島村 誠
シンクロ(株) 上石陽一 山口英俊

1. はじめに

より精度の高い安全性の確保と列車の安定輸送の適切なバランスでの成立を目標として、降雨時の斜面・のり面安定性の評価方法と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、土中水分に着目している。鉄道盛土での降雨に対する土中水分挙動を測定し、この実測データに基づくのり面安定性評価手法の構築を検討している。ここでは、実盛土での観測結果及び、これらデータから新たに構築した降雨応答モデルによる土中水分挙動予測解析の結果について報告する。



図1 観測サイトの状況
(2003.5撮影)

2. 観測概要

観測対象は、首都圏域の営業線沿線の盛土である。観測サイトの状況を図1に示す。当該盛土は、平地盤上に構築された盛土高約5mの純盛土である。標準的なのり面工は施工されておらず、ほぼ等間隔に排水パイプが打設され、また、建設当初に問題となった沈下対策のために木杭が打設されている。

観測項目は、土中水分(TDRセンサー使用)及び降雨量で、観測機器設置の概念図を図2に示す。のり面上の測定点において、TDRセンサーを3つの深さ(40, 70, 100cm深)に埋設して、土中水分(体積含水率)を測定している。この測定点をのり面上方と下方の2箇所に設けて(図3参照)、盛土半断面で6点の測定を行っている。

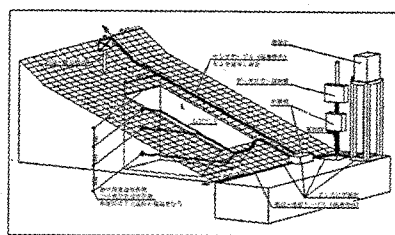


図2 現地設置の概念図

3. 新しい土中水分応答モデルの構築

実測された土中水分データは、その測定点での土性(保水性・透水性等)や、降雨浸入の境界面との平面的な位置関係を素因として、降雨という誘因に対して応答している。この降雨に対する土中水分応答を表現するモデルを構築することは、現在までの経験降雨だけでなく、未経験の降雨に対する土中水分応答を推定することを可能にする。土中水分応答の推定を適切な精度で行うことができれば、土中水分応答を利用して降雨時安定性を時系列で推定することが可能となる。そこで、本研究では、タンクモデルの概念を根底として、新たに空間分布タンクモデル(Spatially Distributed Tank Model, 以下略して、SDTM)を構築した。

SDTMは、タンクを縦方向と横方向に多段数並べ、対象領域を面的(2次元)に表現することができる(図4)。また、タンクの横穴流出係数、横穴高さ及び下穴流出係数をそれぞれに設定することで、対象領域の面的な土性の分布を表現する。従来のタンクモデルと比べたSDTMの主な特徴は、①分布型であること、②非線形バルブを有するタンクであること、及び③モデリングの対象を、不飽和領域にまで拡大していること、である。以下に、各特徴の概略を述べる。

3.1 タンクの空間分布配置モデリング

図4のように横・縦方向にタンクを多段数並べることによって、2次元空間での位置関係をモデル化に取り入れることができるため、今

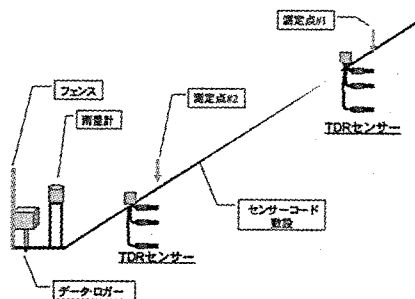


図3 盛土断面での設置位置

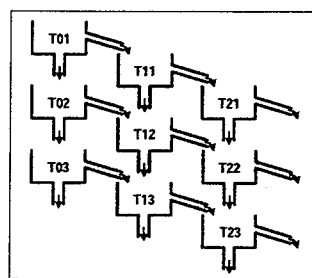


図4 SDTMの概念

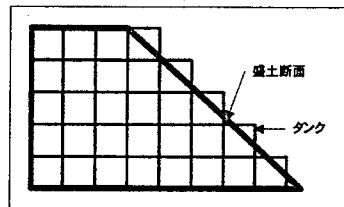


図5 盛土断面へのSDTMの適用概念

回の対象となる鉄道盛土の半断面及びその測定点含めて、図 5 のように SDTM でモデル化することができる。但し、有限要素法等の解法とは異なり、盛土断面の「長さ」という次元を、タンクの大きさ(長さ)で、1 対 1 に対応させてモデル化する必要はない。この点が SDTM のメリットの 1 つであり、対象領域となる盛土断面の規模やおおよその形状をもって、SDTM モデリングを行うことができる。

3. 2 非線形バルブの考案による不飽和領域への拡張

従来のタンクモデルでの定数の流出係数に対して、SDTM では流出係数を非線形関数で表現した非線形バルブを横穴及び下穴の双方に採用している。土中水は、土の間隙内でどのような状態で存在するかによって、その挙動が異なる。これを、吸着水・毛管水・重力水の各相での流出特性を流出関数として表現し、各相の境界を変曲点で対応させている。すなわち、図 6 に示すように、2~3 つの変曲点を持たせて、土中の水分量のステータスの変化を移動量算定に適用し、土中水の状態変化を考慮に入れた不飽和領域の取扱を可能にしている。

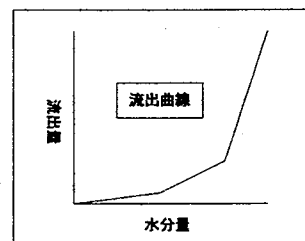


図 6 SDTM の非線形バルブに適用させた関数の概念図

4. SDTMによる土中水分応答解析

対象となる盛土断面を図 7 に示すような SDTM 群による仮想空間へのモデリングを行った。ここでは、表面タンク・表土タンク・土砂タンクの 3 つのタイプを考案し、図 7 に示すような 5 つのグループとした。それぞれの流出曲線は、2003 年 9 月の実測データ(6 測点分)に対する解析結果による近似を行うことで調整し設定した。SDTM によるモデリング調整期間中の最終結果の一例を図 8 に示す。

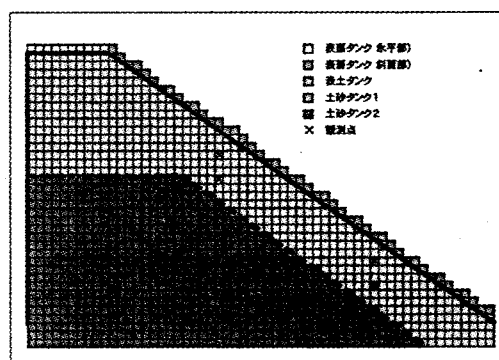


図 7 SDTM による盛土断面モデル

図 3 の測定点#1(のり面上方)の位置での 40cm 深での観測値と応答解析結果の比較を示す。浸潤前線の到達による土中水分の急激な変化のタイミング及びその数値については、比較的良好に再現することが出来ているが、9 月 21 日の降雨開始前の土中水分の減少量に、観測値との開きが生じている。これは、無降雨期間の蒸発散による土中水分の損失に関しては、今回の SDTM では設定していないことから生じていると判断される。

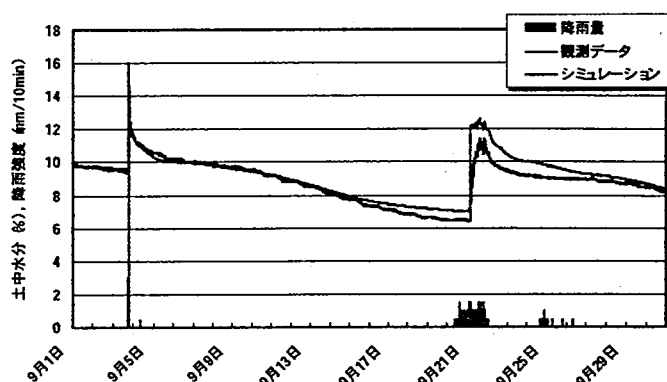


図 8 調整期間中の観測データと解析結果
(2003 年 9 月、のり面上方 40cm 深)

この期間(9 月期)での実測データに基づいて諸設定した SDTM を使用して、異なる期間(8 月期)の降雨応答に関して、土中水分応答の追従性を確認した結果の一部を図 9 に示す。いずれの水分計の数値も、比較的良い追従性を示す傾向が認められるが、降雨のパターンによっては、解析結果の精度にバラツキが生じている。

5. 今後の課題

新たに構築した SDTM は降雨応答解析のモデルとして、本研究目的の要求を十分に満たす可能性が高い。今後は、降雨に対する土中水分応答の予測精度を向上するため、流出曲線の最適化、タンクの種類・数の最適な設定及び、のり面地表面を流下する雨水の挙動の取扱について、検討を進めていく予定である。

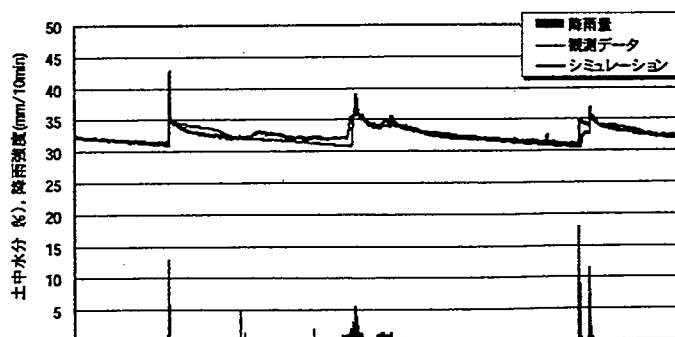


図 9 観測データと解析結果の比較
(2003 年 8 月、のり面上方 100cm 深)