

実鉄道盛土における含水状態の長期計測と浸透流解析

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松丸 貴樹 小湊 祐輝 佐藤 武斗 中島 進
西日本旅客鉄道 正会員 藤原 雅仁 濱田 吉貞

1. はじめに

盛土は降雨浸透の影響を受けることにより内部の含水状態が変化する。含水状態の増加により、降雨時の安定性の低下や堤体自体の地震時の液状化発生のリスクが高まる一方で、内部が不飽和状態を維持できれば盛土は長期に渡って安定を保つことが期待される。これまで実盛土を対象とし地下水位の計測は多く行われているが、盛土内部の間隙水圧(サクション)や飽和度の変化の計測事例は少なく、盛土内部の含水状態の変化は未解明な部分が多い。また、解析による再現性も十分には確認されていない。そこで本論文では、既設の実鉄道盛土において含水状態の計測を長期に渡って実施するとともに、2次元の飽和不飽和浸透流解析によってその挙動の再現解析を行った。

2. 実鉄道盛土での飽和度の長期計測

対象とする鉄道盛土の断面図を図-1に示す。盛土は水平地盤上に立地し、高さは5m、のり面の勾配は1:1.5である。盛土の材料は上層部がシルト質砂、下層部が砂質粘土であり、支持地盤は粘性土と砂質土の互層となっている。この盛土に、図-1に示すように盛土のり肩付近とのり面中腹の位置でボーリングを行い、土壌水分計の埋設を行った。また、のり尻付近には地下水観測井を設け、地下水位の計測も行っている。これらの調査や計測機器の設置については文献1)を参照されたい。計測結果については、後述する解析結果と併せて示すこととする。

3. 飽和不飽和浸透流解析の条件

解析には、Uzuoka and Borja²⁾が展開した三相系多孔質体理論に基づく浸透-変形連成解析手法を用いた。ただし、ここでは土骨格の変位は全節点で固定とし、変形は考慮せず間隙水圧・空気圧を未知数とする解析を行った。

解析に用いた有限要素モデルを図-2に示す。解析モデルは、盛土と支持地盤の左半分のみをモデル化している。水分特性曲線には、杉井・宇野³⁾のロジスティック関数モデルを用いた。盛土材料については保水性試験を実施しており、水分特性曲線は脱水過程・吸水過程で多少

の履歴は示したが、本解析では簡単のため一定の曲線を辿る形でモデル化した。試験で得られた飽和度とサクションの関係と、設定した水分特性曲線を図-3に示す。支持地盤については保水性試験を行っていないため、鉄道路構造物の設計標準⁴⁾に示される砂質土および粘性土の代表的な水分特性曲線を用いることとした。

各層の飽和透水係数は、盛土材料については室内透水試験(変水位法)を実施しており、この値を用いた。それ以外の支持地盤については、透水試験は実施していないため、上述の鉄道路構造物の設計標準の砂質土・粘性土の代表透水係数を用いることとした。各層の透水係数は図-2中に示す通りである。

降雨履歴については、盛土の建設地点近傍での観測記録である AMeDAS データ

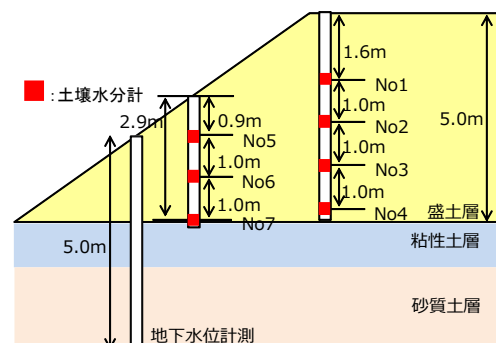


図-1 対象とした盛土と計測の状況¹⁾

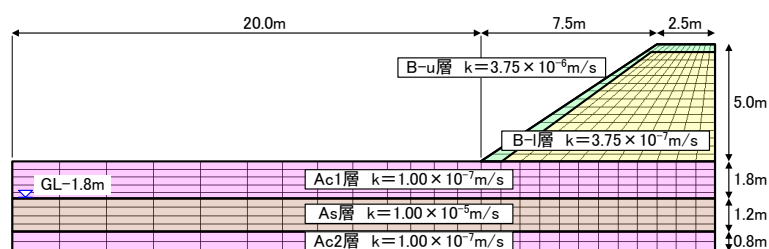


図-2 解析に用いた有限要素モデル

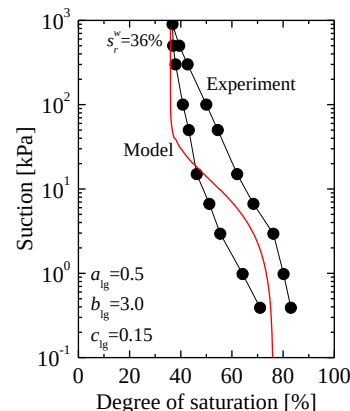


図-3 盛土材料の水分特性曲線

キーワード 盛土, 飽和度, 浸透流解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

を用いた。計測期間中の降雨履歴を与える前に、年平均降水量（1230mm/年）を3年間与え、盛土内の飽和度分布が平衡状態となることを確認している。なお、室内試験で得られた盛土の飽和透水係数をそのまま用いると、表層の間隙水圧が0となって表面水となり降雨が流入できない状況となったことから、既往の研究事例⁵⁾を参考に盛土の表層の飽和透水係数を10倍した値を用いることとした。

本論文では、解析上の水理境界条件の設定に着目して、以下の3ケースの検討を行った。

- ・Case1: 解析モデルの左端に地下水位 GL-1.8mを与え、モデル下端・右端は非排水境界とする。支持地盤には降雨履歴を与えない。
- ・Case2: 解析モデル全域で地下水位が GL-1.8mとなるようにモデル下端の間隙水圧を既知境界とし、モデル左右端を非排水境界とする。支持地盤には降雨履歴を与えない。
- ・Case3: Case2と同様であるが、支持地盤にも降雨履歴を与える。

4. 計測・解析結果および考察

2015年3月から2017年2月までの2年間の期間で得られた、降雨強度、飽和度（No.1, 3, 6）および地下水位の観測および解析結果を図-4に示す。なお、計測で地下水位のデータ取得ができたのは2016年5月までであった。地下水位は、2015年の7月15日から20日にかけて

の降雨（最大の時間雨量12.0mm, 24時間連続雨量130.5mm）を除くと、ほとんどの期間でGL-1.8m付近に位置している。このため、3で示した各ケースの境界条件の設定の際に地下水位を-1.8mの位置に設定した。図中にはCase1の観測井位置での水位変化も示しているが、2015・16年いずれの夏季においても降雨強度の高まりによって水位が上昇し、数ヶ月間その上昇が維持されている。この挙動は計測結果とは整合しておらず、本解析ではCase2・3での水理境界条件の設定の方が実挙動に適合している。

盛土内の飽和度計測については、降雨浸透に伴って表層のNo.1で長期的な増加・減少の挙動を示すものの、いずれの土壤水分計の設置箇所でも長期的には小さな飽和度の変動となっており、60～90%の範囲に収まっていることがわかる。結果は割愛するが他の土壤水分計位置でも同様の結果が得られた。各ケースの解析結果に着目すると、Case1では他のケースと比較して降雨の影響を受けて飽和度が敏感に増減している。一方、Case2・3では降雨と連動した短期間での飽和度の変動は見られず、長期の変動に限られている。No.1の位置ではCase2が、No.3・6ではCase3の解析が計測で得られた挙動の再現性が良好であった。両ケースの解析から、盛土の飽和度の変化は支持地盤での降雨浸透の影響も受けており、特に降雨強度の小さな10～5月頃の挙動が変わることを確認した。

5. まとめ

本研究では、実鉄道盛土において含水状態の変化の長期に渡る計測を行うとともに、飽和－不飽和浸透流解析による再現解析を行った。本計測では長期に渡って盛土内部が不飽和状態を維持していることを確認できた。また、浸透流解析によって飽和度の長期的な挙動を概ね再現することができたが、その再現性には解析での水理境界条件の設定が大きく影響することがわかった。

参考文献 1) 小湊祐輝, 中島進, 佐藤武斗, 山田孝弘, 藤原雅仁: 不飽和強度特性を使用した盛土耐震補強設計の技術課題整理, 第51回地盤工学研究発表会発表概要集, pp.685-686, 2016. 2) Uzuoka, R. and Borja, R.I.: Dynamics of unsaturated poro-elastic solids at finite strain, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol.36, pp.1535-1573, 2012. 3) 杉井俊夫, 宇野尚雄: 新しい水分特性曲線モデル化について, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集, pp.130-131, 1995. 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造物), 丸善, 2007. 5) 西村聡, 所哲也, Rivas, F.M.: 降雨浸透・蒸発散を考慮した細粒土盛土の水理状態の解釈, 第51回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.1035-1036, 2016.

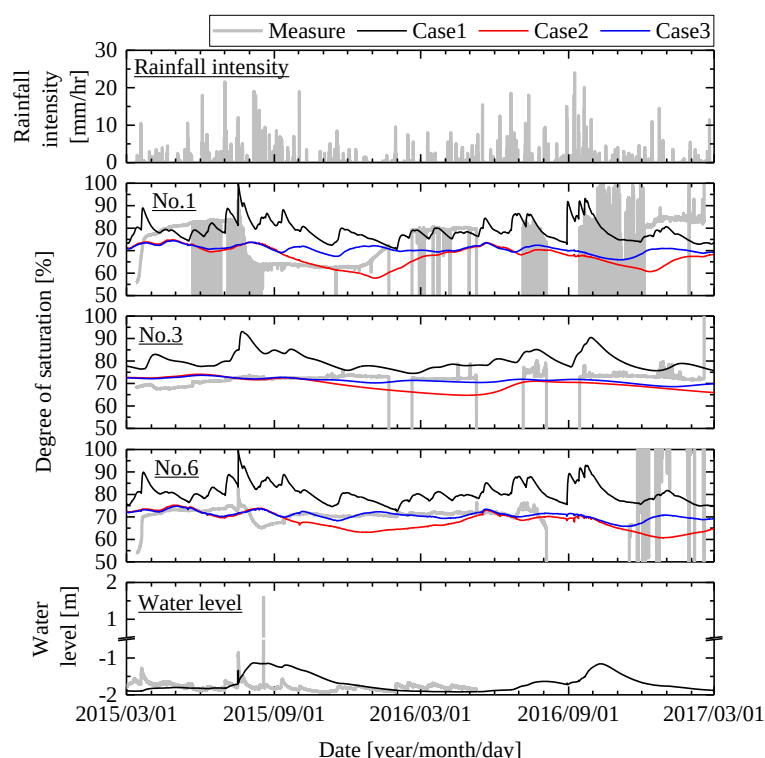


図-4 計測および解析で得られた降雨強度・飽和度・水位変化