

被災鉄道盛土の安定性と列車荷重支持性能に関する検証

(2) 緩い盛土模型を用いた降雨・載荷実験の再現解析

鉄道総合技術研究所 正 ○佐藤武斗 杉山健太 阿部慶太 松丸貴樹
正 笠原康平 富田佳孝 高木翔太

1. はじめに 降雨等により鉄道盛土が被災した際には、早期の運行再開を目指して、列車の走行可能な状態を確保することが優先される。その一方で、列車の走行に必要な最低限の盛土の性能は十分に解明されておらず、応急的に断面修復を行い、徐行等の制限を設けて列車の運行再開が行われる。そのため、応急復旧の仕様は過大となることが想定され、運行再開に要する時間、運行再開後に本復旧構造への変更に要する時間やコストには合理化の余地があると考えられる。これまで、崩壊した状態の盛土の支持性能を把握することを目的に、模型実験を用いた降雨・載荷実験を実施した。本稿では、降雨・載荷実験を対象に再現解析を行い、実験結果の妥当性について検証する。

2. 降雨・載荷実験の概要 本実験では、散水により盛土の崩壊を促進し、その崩壊が一定の規模に至った際の支持性能を載荷試験により評価した。図-1に示すように、高さ0.67mの1/6スケール鉄道盛土模型を対象とし、30mm/hr程度の散水を断続的に行い、盛土がのり尻まで崩壊（小崩壊）、のり面中腹まで崩壊（中崩壊）した際に列車荷重相当の荷重を載荷した。実験結果より、密度が低い盛土では、中崩壊までは列車荷重に対して崩壊が進行せず、損傷した盛土が一定の支持性能を有することが確認された。

3. 解析条件 再現解析は、鉄道盛土の降雨時の安定性を照査する際に用いられる解析手法²⁾により実施した。

具体的には、降雨実験に基づく飽和-不飽和浸透流解析により、盛土内の水位や飽和度分布を算定した。さらに、任意の時刻における飽和度や水位を解析モデルに反映し、円弧すべり安定解析により模型地盤の崩壊形状を評価する。飽和-不飽和浸透流解析に使用した解析モデルを図-2に示す。解析モデルは実験供試体に基づき、高さ0.67mとし、下端および右端は非排水条件、上端および左端は降雨量を入力値とする流量既知境界とした。図中には実験結果と解析結果を比較する際の着目点を併記した。飽和-不飽和浸透流解析では、材料試験結果より、飽和透水係数を 2.34×10^{-5} m/sとした。不飽和浸透特性はVan Genuchtenモデル（VGモデル）³⁾により、図-3に示す水分特性曲線および飽和度-比透水係数関係を採用した。今回対象とした地盤材料は締固め密度比が78%と低く、別途実施した不飽和三軸試験結果より、降雨散水の範囲内の飽和度・サクシヨンの条件下であっても、粘着力は見られなかった。降雨時の盛土の安定性を検討する際には、飽和度に応じたせん断抵抗力の変化も考慮するが、本検討では、飽和-不飽和浸透流解析により算定した盛土内水位のみ考慮した。

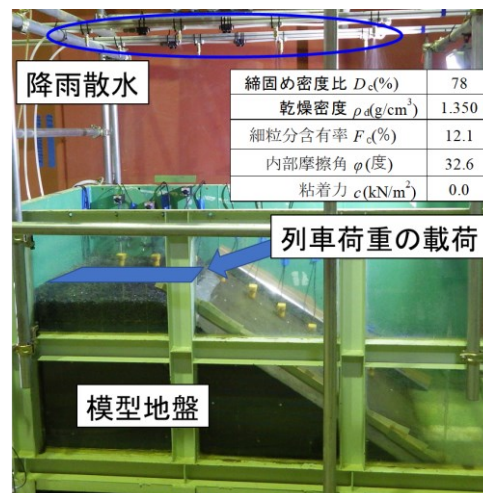


図-1 降雨載荷実験の概要

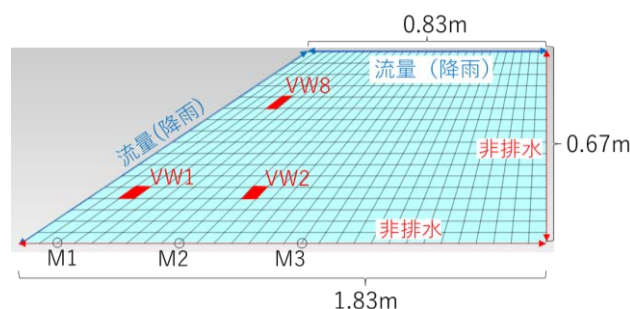


図-2 飽和-不飽和浸透流解析の解析モデル

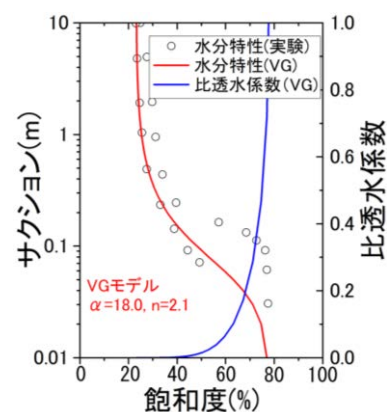


図-3 不飽和浸透特性

キーワード 飽和-不飽和浸透流解析, 安定解析, 降雨実験

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2丁目8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7261

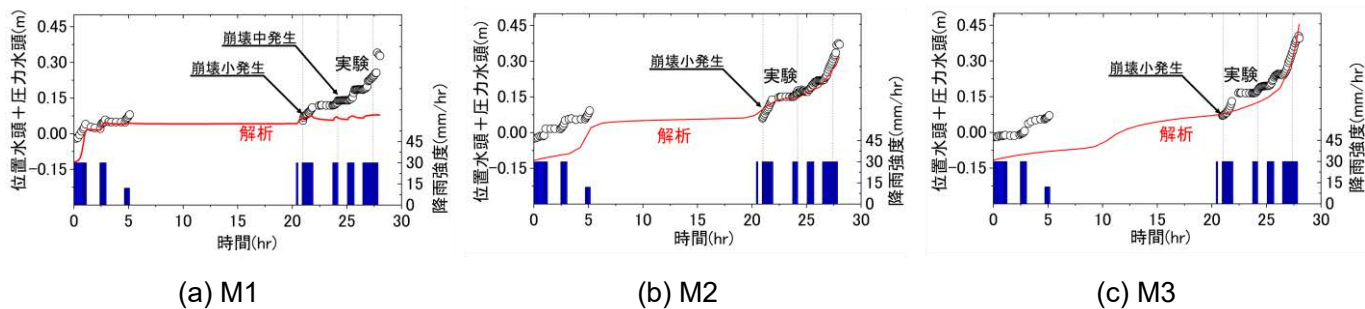


図-4 実験と解析による位置水頭と圧力水頭の合計値の時刻歴の比較

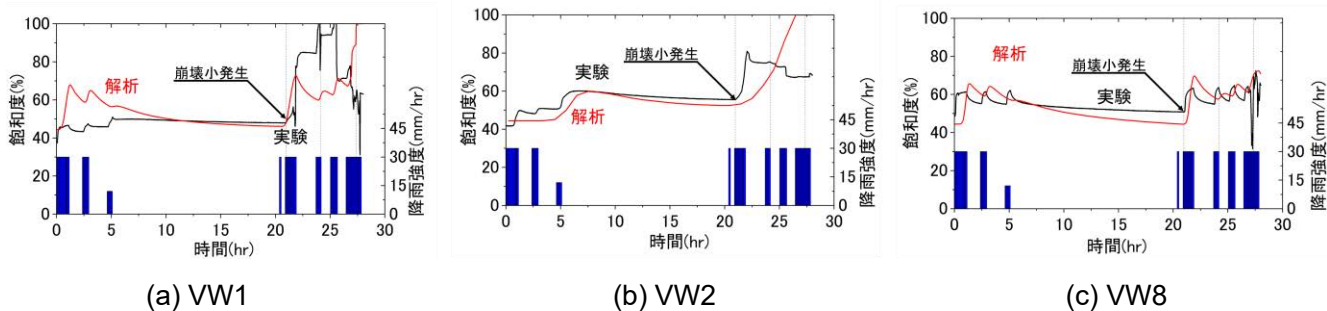


図-5 実験と解析による飽和度の時刻歴の比較

4. 解析結果

図-2 に示す着目点における実験と解析による位置水頭と圧力水頭の合計値の時刻歴の比較を図-4 に示す。のり尻に位置する M1 の計測点では、実験開始約 21 時間までは実験結果と解析結果が概ね整合するものの、当該時刻以降では乖離が生じている。実験では当該時刻にのり尻付近で崩壊小が発生し、計測箇所付近に土砂が堆積したため、実験で計測した圧力水頭が大きくなり、乖離が生じたと考えられる。M2 および M3 においては、マノメータでは負の圧力水頭を十分に計測できず、実験の初期段階に一定の違いが見られたが、崩壊小が発生する約 21 時間以降の解析結果は実験結果に概ね整合した。

実験と解析による飽和度の時刻歴の比較を図-5 に示す。のり尻に位置する VW1 の解析結果においては、実験結果よりも飽和度が大きく増加する箇所が見られたが、実験開始 5 時間～20 時間後までの放置期間やその後の降雨による飽和度が増加する時刻を概ね再現している。

VW2 および VW8 の解析結果は、実験結果と良い整合を示した。

実験と解析による盛土の崩壊断面の比較を図-6 に示す。崩壊小および崩壊中における盛土内水位を考慮した解析モデルにより、安定解析を実施した結果、載荷実験で確認された崩壊断面を概ね再現することができた。また、盛土の天端に列車荷重相当の載荷を行っても崩壊断面が変化しないことを確認した。

5. まとめ 本検討では、降雨載荷実験により確認した損傷した盛土が一定の支持性能を有する点について、解析的に評価した。盛土の飽和度変化は十分に再現できない点もあったが、盛土内に形成された水位は一定の精度で再現することができた。また、のり面中腹付近までの崩壊規模であれば、列車相当の荷重を載荷しても崩壊が進行しないことが実験および解析により示された。今後は、構築した解析モデルをもとに諸条件を変えた検討を行い、盛土材料の強度や浸透特性が崩壊した鉄道盛土の安定性や支持性能に及ぼす影響を把握する。

なお、本研究成果の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施したものである。

参考文献 1)杉山ら：崩壊した鉄道盛土の列車荷重支持性能の把握を目的とした降雨載荷実験，第 56 回地盤工学研究発表会，12-10-5-03，2021。
2)丸善：鉄道構造物等設計標準・同解説，2013。3) Van Genuchten, M. T.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci of AMJ*, 44 (5), 892-898, 1980.

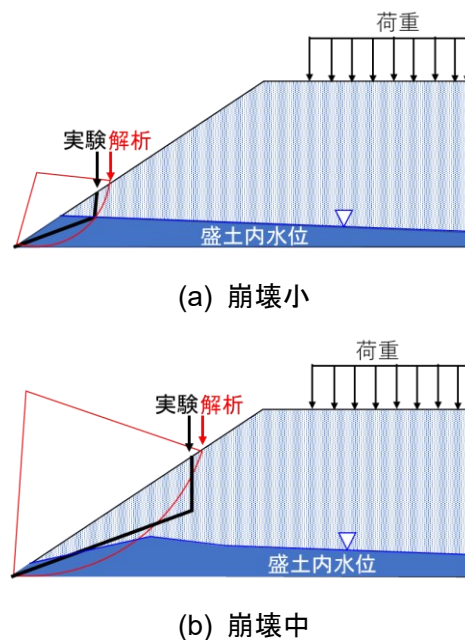


図-6 盛土の崩壊形状の比較