

降雨遮水が盛土の耐震性能に及ぼす影響評価を目的とした模型振動台実験

(公財) 鉄道総合技術研究所 正) ○中島 卓哉 正) 松丸 貴樹
西日本旅客鉄道(株) 正) 渥美 知宏 正) 濱田 吉貞

1. はじめに

現在、既設鉄道盛土の耐震診断では、安定・変形計算で用いる内部摩擦角や粘着力を一般には盛土材料を採取した上で、飽和状態での三軸圧縮試験を行うことにより評価し、設計に活用している。そのため、盛土の耐震性能を安全側に評価できるものの、すべり面の発生位置を不飽和状態である場合と比べて深く想定することになり、耐震補強における地山補強材の打設長が長くなることや、打設間隔が密になる可能性がある。一方、新幹線盛土や輸送密度の高い在来線盛土には、降雨に対する盛土への浸透や侵食防止のために、各種のり面工が施工されることが多い。この内、のり面を被覆するものは盛土内を不飽和状態に保つことに寄与し、盛土全体の耐震性能向上に資することが期待されるが、これらの効果については十分には解明されていない¹⁾。本研究では、のり面から浸透する降雨を遮水した場合の盛土の地震時挙動を把握することを目的として、のり面に遮水シートを有する盛土模型を構築し、降雨散水を行いながら振動台実験を実施した。

2. 模型実験の概要

構築した盛土模型の概要を図1に示す。本盛土模型は、のり面に遮水シートを有し、頭部を支圧版で固定した地山補強材を設置した実験模型（以下、「本実験」と記す）である。地山補強材は、上下奥行方向に計4本（2列×2段）配置している。補強材径はφ20mm、補強材長は550mmとし、ナイロン材質の補強材の周囲には地盤材料との摩擦を確保するため砂を接着させた。盛土模型は盛土高さ600mm（1/10スケール）、のり面勾配1:1.2とし、稲城砂（ $F_c=9.7\%$ 、 $w=13\%$ ）を用いて締固め密度比80%（ $\rho_d=1.335\text{g/cm}^3$ ）で作成した。支持地盤は透水性の良い粒度調整碎石を十分に締め固めて構築した。のり面から浸透する降雨の遮水効果が盛土の耐震性能に及ぼす効果を純粋に評価するため、のり面には重量のない遮水シートを採用した。模型実験では、振動台上空から与える降雨散水により盛土内の飽和度分布を変化させ、複数のステップでの加振を行った（表1）。計測器は、図1に示すように盛土内に加速度計、土壌水分計、間隙水圧計、マンメータ、盛土天端に鉛直変位計、盛土前面（ガラス面側）に標点（50mm間隔）を設置した。なお、遮水シートは有さず本実験と同様の地山補強材を設置した盛土模型に対して、同実験ステップで加振実験²⁾（以下、「過年度の実験」と記す）を実施しているため、以降比較対象として併せて示す。

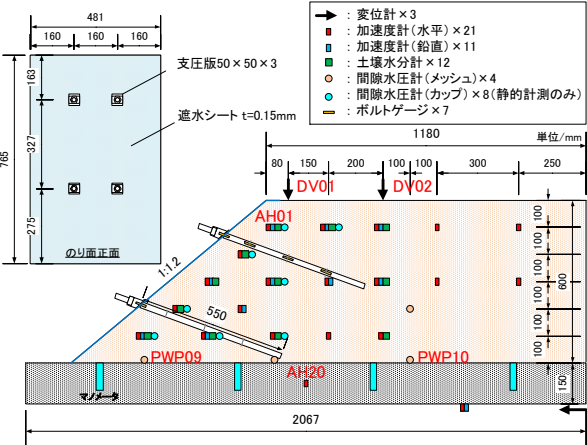


図1 盛土模型概要図

表1 実験ステップ一覧

	降雨強度 (mm/h)	累積雨量 (mm)	加振条件
Step1	降雨なし		正弦波5Hz10波
Step2	40	105	(100～600gal)
Step3	60	210	漸増加振

3. 降雨散水による飽和度分布への影響

図2に本実験（遮水シート有り）および過年度の実験（遮水シート無し）において累積雨量が210mmとなったStep3の加振直前における盛土内の飽和度分布を示す。本実験における盛土内の平均飽和度は69%程度、過年度の実験では77%程度となっており、遮水シートによりのり面から浸透する降雨を遮水したことで、本年度の実験では0.1m程度となっており、遮水シートにより水位の高さも抑えられている。なお、累積雨量が105mmとなったStep2の加振直前の段階でも同様の傾向が確認された。

キーワード 耐震, 降雨, 盛土, 地山補強材, 不飽和土 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 構造物技術研究部 基礎・土構造 TEL 042-573-7261

4. 盛土の耐震性能に及ぼす降雨遮水効果

3 節に示した盛土内の飽和度の低下が盛土の耐震性能に及ぼす影響を把握するため、Step3 における地表面の残留鉛直変位 (図 3), 各実験ステップにおける盛土のり肩の最大応答加速度 (図 4), 過年度の実験において盛土の変形が増加した Step3 500gal 加振時における過剰間隙水圧・盛土のり肩の応答加速度の時刻歴波形 (図 5) を比較した。図 3 より、地表面の残留鉛直変位については同加振ステップでは過年度の実験に対して本実験の方が小さくなった。また、図 4 より、盛土のり肩の応答加速度においても降雨散水を与えた後の Step2 や Step3 の加振ステップでは過年度の実験と比較して本実験においてより低く、盛土の動的応答が抑えられていることがわかる。図 5 より過年度の実験において盛土の変形が増加した Step3 500gal の加振では、盛土下部において過剰間隙水圧の増加がみられたが、本実験においてはこの加振ステップではみられなかった。過年度の実験では、降雨散水により盛土内の飽和度が高まり水位が形成されたことにより、盛土深部において加振中の過剰間隙水圧の上昇が生じ、有効応力が低下したことが考えられる。また、本実験では、盛土のり肩の応答加速度は支持地盤の応答加速度よりも僅かに大きいに対し、過年度の実験では、支持地盤の応答加速度に対し盛土のり肩の応答加速度が振幅で 2 倍以上大きくなっている。これは、降雨散水に伴う盛土内の飽和度の上昇に伴い盛土材料の剛性が低下したことに起因するものと考えられる。さらに、加振後半では、上記有効応力の低下に伴い、応答加速度に減衰や支持地盤の加速度波形との位相差がみられた。なお、本実験でも最終加振ステップである Step3 700gal の加振では同様に過剰間隙水圧は上昇したが、過年度の実験ほどの上昇はみられなかった。

5. まとめ

本実験から、のり面から浸透する降雨を遮水シートにより遮水した実験ケースでは、のり面工を有さない実験ケースと比べると、同じ降雨履歴を与えた各段階での盛土内の飽和度が低く、より不飽和状態を維持できることがわかった。また、降雨を与えた後の加振実験においては、上記のり面工を有さない盛土と比較して、同加振ステップにおける盛土天端の残留鉛直変位、盛土のり肩の応答加速度、過剰間隙水圧が小さくなった。以上のことから、のり面工によって盛土部の飽和度が低く維持されることで盛土材料が大きな強度・変形特性を発揮することにより、耐震性能の向上効果を発揮することが確認された。これにより、不飽和状態を既設盛土の耐震補強設計で考慮する場合において、のり面に遮水性を有するのり面工を用いる場合には、遮水効果を定量的に評価することで、補強材の打設長や補強材ピッチ等の仕様を低廉化できる可能性が示唆された。

参考文献 1) 中島ら：盛土の耐震性に及ぼすのり面工の影響評価を目的とした模型振動台実験，第 15 回日本地震工学シンポジウム，GO01-02-04，2018。 2) 小湊ら：降雨浸透により含水状態を変化させた盛土の模型振動台実験，第 52 回地盤工学研究発表会，No.0532，pp.1061-1062，2017。

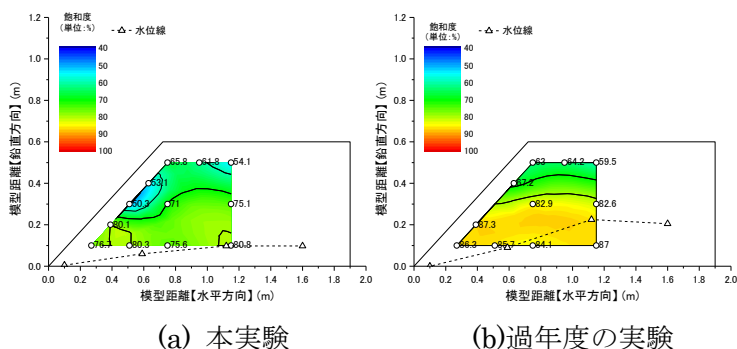


図 2 Step3 加振前 (積算雨量 210mm 程度) の飽和度分布

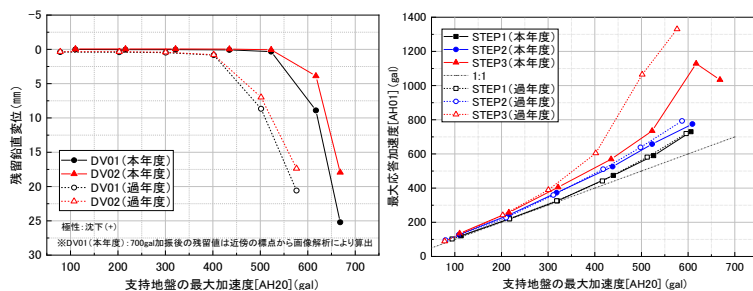


図 3 残留鉛直変位 (Step3)

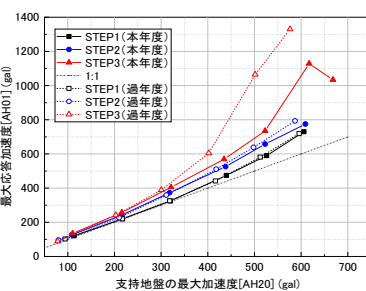
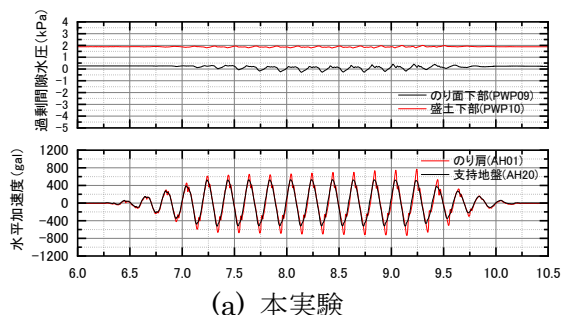
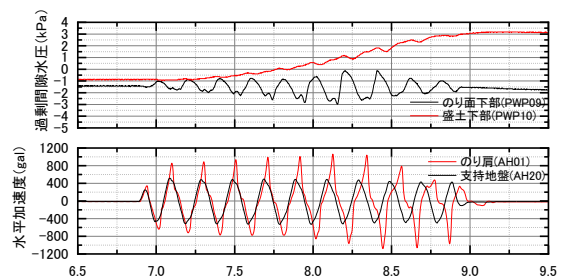


図 4 のり肩の応答加速度



(a) 本実験



(b) 過年度の実験

図 5 Step3 500gal 加振時の時刻歴変化