

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

(1) 締固め度を変えた盛土模型を用いた降雨・載荷実験

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

1. 研究の目的

強雨時に、広域的に鉄道盛土に被害が生じる事例が多発している。これに対し、激甚化する気象災害に対する安全性とレジリエンス（回復性）向上を目的に、強雨発生後に迅速に沿線の盛土の状態を確認し、早期運行再開を判断する手法が求められる。そこで、盛土の崩壊規模と安定性および列車荷重の支持性能の関係を解明することを目的に、締固め度を変えた盛土模型を用いた降雨・載荷実験を実施した。

2. 締固め度 80%の盛土に対する降雨・載荷実験

大正～昭和初期の古い時代に構築された盛土を想定し、締固め度が 80%の盛土（材料：稲城砂）に対して降雨・載荷実験を実施した。実験は 1/6 スケールの盛土模型を用い、高さ 0.67m、幅 1.0m、奥行き 1.83m（実物大で高さ 4.0m、幅 6.0m、奥行き 11.0m）とし、

盛土天端には 0.1m の碎石層を設けた。構築した盛土模型の図面と計測器の配置図を図 1 に示す。盛土材料の物性値を表 1、締固め曲線（A-c 法）を図 2 に示す。

降雨散水は、降雨強度 30mm/h、総降雨量 175mm で実施した。荷重載荷は、列車荷重に相当する 0.079tonf（実物大で 17.0tonf）の重りを盛土天端に設置し行った。これは、標準列車荷重の EA 荷重を想定したものである。荷重載荷時の沈下量の計測は、図 1 に示す 3 箇所（D1、D2、D3）で行った。その際、D2、D3 に関しては盛土背面の壁の影響を受けている可能性があるため、D1 での計測値を用いて沈下量の評価を行った。なお、荷重載荷は列車運行再開までのダウンタイム（半日程度）を考慮し、降雨散水後 1 時間半程度時間を空けて載荷した。この程度時間が経過した後は、図 3 に示すように、盛土天端付近に設置した土壤水分計位置（図 1 中の VW9、VW10）での飽和度は一定値まで低下した状態になることを確認した。

図 4 に崩壊後の盛土模型の正面写真を示す。降雨散水の結果、総降雨量 175mm の際にのり肩まで崩壊に至った。盛土天端での沈下量の計測は、図 5 に示す降雨前、崩壊小（のり尻が崩壊）、崩壊中（のり面中腹まで崩壊）、崩壊大（のり肩まで崩壊）毎に載荷を行い、荷重載荷時 15 分前後の沈下量の差分として求めた。

キーワード 盛土、降雨・載荷実験、列車荷重支持性能、締固め度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町二丁目 8 番 35 号 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部

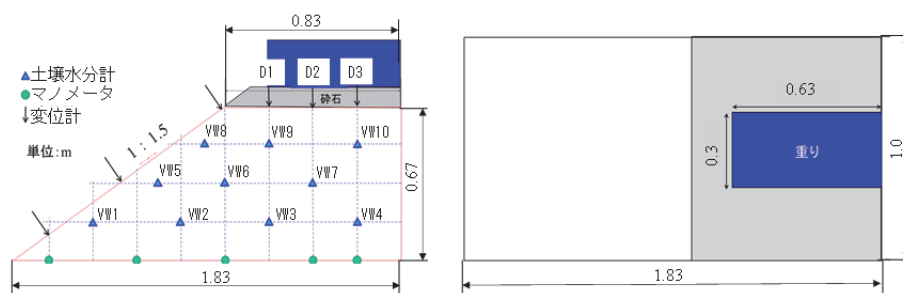


図 1 1/6 スケール盛土模型の図面と計測器配置図（左図：断面図、右図：平面図）

表 1 盛土材料（締固め度 80%）の物性値

項目	値
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.72
自然含水比 (%)	19.4
最大乾燥密度 (g/cm^3)	1.72
最適含水比 (%)	16.2
透水係数 (m/s)	2.98×10^{-4}
粘着力 (kN/m^2)	0.0
内部摩擦角 (度)	32.6

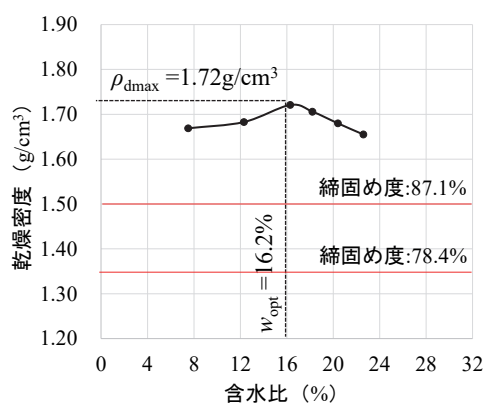


図 2 盛土材料の締固め曲線

図6に崩壊規模毎の沈下量を示す。図に示すように崩壊大時でも沈下量は小さく、崩壊面が道床まで到達しない状態であれば、列車荷重相当の荷重が作用した際の盛土天端の沈下量は、実物大スケールで1.0mm程度と十分に小さいことを確認した。

3. 締固め度が異なる盛土に対する降雨・載荷実験との比較

締固め度 78.4% (乾燥密度 1.35g/cm^3 , 透水係数 $2.98 \times 10^{-4}\text{m/s}$, 含水比 13.3%), 87.2% (乾燥密度 1.50g/cm^3 , 透水係数 $2.98 \times 10^{-5}\text{m/s}$, 含水比 14.5%) の盛土 (材料: 稲城砂) に対する降雨・載荷実験¹⁾ で計測した列車荷重相当載荷時の盛土天端での沈下量を図6での結果と併せて図7に示す。これらの実験では、2.で示した1/6スケールの盛土と同じ諸元の模型を用い、図5に示す崩壊規模に応じて、列車運行再開までのダウンタイムを考慮せずに降雨散水後直ぐに盛土天端に載荷を行った。なお、盛土天端での沈下量はD1での値である。

締固め度 78.4% の場合では、崩壊小時に沈下量はすでに 6.0mm 程度であるが、締固め度 87.2% の場合では、崩壊大の場合においても沈下量は微小であった。これらの結果から、降雨により崩壊した盛土において、盛土の締固め度の大きさは列車荷重作用時の盛土天端の沈下量に影響を与えることが考えられる。締固め度 90% 程度を有する現行の鉄道設計標準²⁾での性能ランクIII相当の性能を有する盛土の場合、道床まで崩壊面が達しない条件であれば、法肩付近まで崩壊した場合であっても列車荷重支持性能を有すると考えられる。一方、一部の古い時代に構築された盛土のような締固め度 80% 程度の盛土では、道床まで崩壊面が達しない場合でも特に降雨直後の盛土天端の飽和度が高い状態では、十分な列車荷重支持性能を有さない可能性があることが考えられる。なお、締固め度 90% 程度の盛土に対する実験としては、実物大スケールの盛土模型 (高さ 4.0m, 幅 6.0m, 奥行き 11.0m) を用いた降雨・載荷実験も既往の研究³⁾で実施しており、その際でも 1/6 スケールでの実験同様、列車荷重相当で載荷した際の盛土天端での沈下量は微小であることを確認している。

4. まとめ

締固め度を変えた盛土模型を用いた降雨・載荷実験を実施した。降雨で崩壊した盛土では、盛土の締固め度の大きさと盛土天端付近の飽和度が、列車荷重作用時の盛土天端の沈下量に影響を与えると考えられる。

なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

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, 2021. 2) 国土交通省監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準 土構造物, 2007. 3) 阿部ら: 実物大模型を用いた降雨により崩壊した鉄道盛土の耐荷性能の検証, 第56回地盤工学研究発表会, 2021.

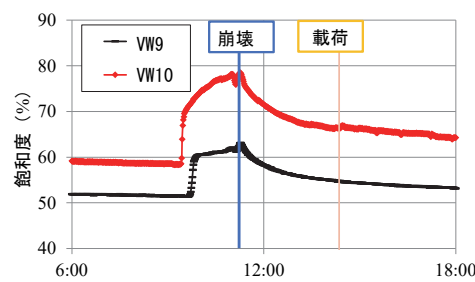


図3 盛土天端付近での飽和度時刻歴

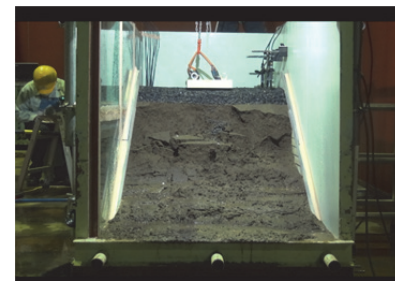


図4 崩壊後の盛土模型の正面写真

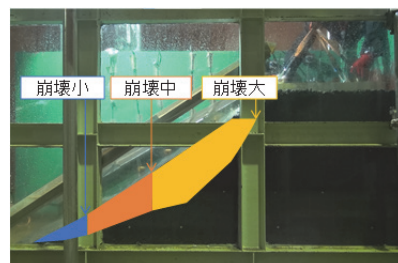


図5 載荷時における盛土の崩壊規模

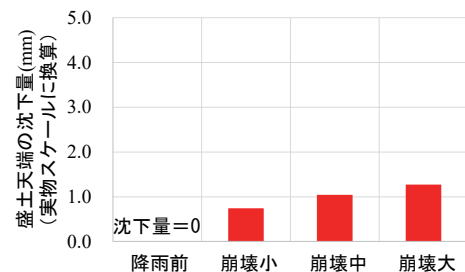


図6 崩壊規模と盛土天端の沈下量の関係

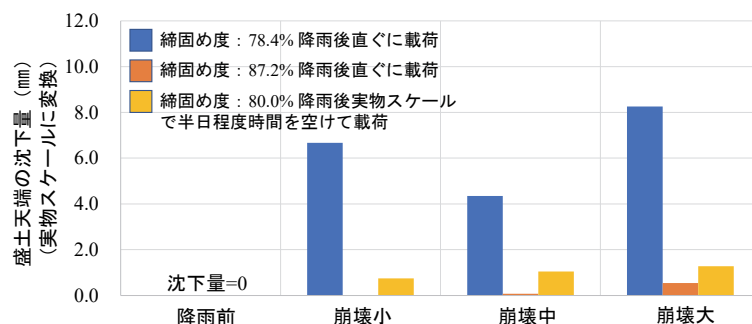


図7 締固め度が異なる盛土における崩壊規模と盛土天端の沈下量の関係