

大型土のうによる応急復旧を行った盛土の列車荷重載荷に対する安定検討

鉄道総合技術研究所

正会員 ○松丸 貴樹 富田 佳孝 高木 翔太

正会員 尾崎 匠 佐藤 武斗 笠原 康平

1. はじめに

近年頻発する豪雨の影響を受け、鉄道分野でも盛土の崩壊が多発している。降雨で盛土の被災が発生し線区での崩壊箇所が限られている場合は、迅速に応急復旧を行って列車の運行再開に努める¹⁾。その際、大型土のうを用いた復旧が多く実施されるが、列車荷重に対して安定を満足し沈下が生じないよう多くの土のうが用いられることが多く、応急復旧に時間を要することもある。また、本復旧時には土のうを撤去する必要があるため手間となることから、適切な数量の土のうを使った復旧を行うことが重要となるものの、土のうの復旧構造を設計的に検討した事例は少ない。本研究では、道路分野で適用されている大型土のうを用いた復旧工法に関する安定計算手法²⁾を鉄道盛土の応急復旧時の列車荷重が載荷される条件下で適用することを目指し、模型盛土に対する降雨散水・載荷試験の実験挙動の再現性を検証するとともに、実際の盛土での適用を想定した復旧構造の試算を実施した。

2. 検証対象とした降雨散水・載荷試験の概要

検証対象とした実験は、杉山ら³⁾が実施した大型土のうでの応急復旧を想定した模型盛土への降雨散水・載荷試験である。盛土模型の図面および計測器配置図を図1に示す。盛土の高さは実物相当の1/6程度を想定し71cmであり、土のうは1辺17cmの正方形形状とし、土のうの配置は深度に関わらず一列の配置となっている。降雨散水は、散水開始前に盛土背面から浸透水を供給し、水位を上昇させた後、降雨を与えて盛土内の飽和度を上昇させた。これは、盛土が降雨で崩壊した後に、大型土のうで応急復旧を行った状態で再度降雨が生じたことを模擬している。降雨については時間雨量30mm/hを連続的に与え、積算雨量317mmとなるまで降雨散水を行った。この降雨量は、別途実施した模型盛土の降雨散水・載荷試験⁴⁾の際の盛土崩壊時の水位や飽和度分布が同等となることを目標として設定した。

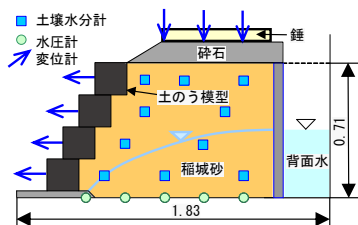


図1 実験盛土の概略図³⁾

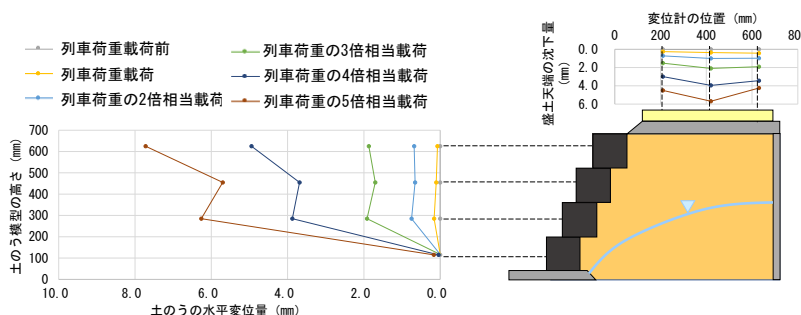


図2 盛土天端の鉛直変位および土のうの水平変位³⁾

降雨散水の終了後に、列車荷重相当の荷重の載荷を実施したが、盛土に目立った変位等は見られなかったため、段階的に載荷荷重を増加し、列車荷重の5倍相当までの荷重を載荷し、盛土に生じる変位を計測した。図2に列車荷重載荷時の盛土天端の沈下量と土のうの水平変位量を示す。列車荷重の2倍相当の載荷を行った場合においても、土のうの変位量及び盛土天端の沈下量は1mmに満たないことがわかった。また、列車荷重の3倍相当の載荷を行うことで土のうの変位と沈下は進行したが、最終的には5倍相当の載荷でも盛土の崩壊は見られなかった。

3. 降雨散水・載荷試験を対象とした安定計算

上記の実験に対して、道路分野で大型土のうによる復旧時に用いられる検討手法²⁾に従って、滑動および転倒に対する安定計算を実施した。滑動に対しては安全率を、転倒に対しては偏心量を算定し、各段の土のうが安定を満足するか検討を行った。なお、偏心量については土のうの単体幅の1/3以内を満足することが文献²⁾では要求されている。計算では上載荷重を増加させることで安全率や偏心量の変化を確認することとした。安定計算では模型実験で用いられた稲城砂と同一密度で実施した三軸圧縮試験の結果をもとに内部摩擦角 $\phi=30$ 度として算定を行った。

キーワード 盛土, 土のう, 応急復旧

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

安定計算により得られた滑動に対する安全率、および転倒に対する偏心量について、載荷荷重ごとの土のう位置での算定結果を図3に示す。この結果から、転倒に対しては列車荷重の5倍まで載荷した場合でも大きな偏心量とはならないが、滑動に対しては列車荷重の3倍相当を上回ると下側の土のうから安全率1を下回ってることがわかる。図2に示

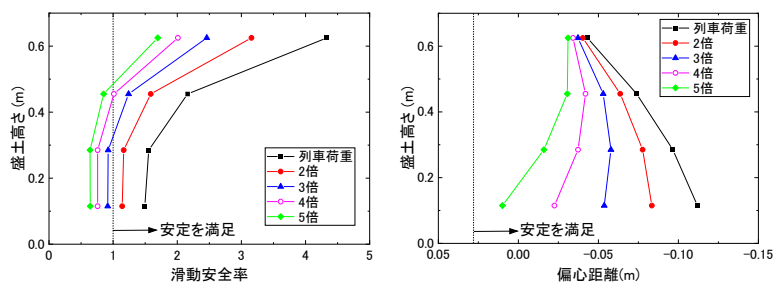


図3 模型盛土への降雨散水・載荷試験の安定解析結果

した実験で得られた土のう位置の水平変位は下から2段目で大きく生じているのに対して、計算で得られた安全率は最下段から小さくなっており、このことは最下段の土のうから水平変位が生じることを示唆している。実験では土のうの下に良質な砕石を敷設しており、砕石と土のう間で摩擦が発揮されたことで最下段の土のうの変位が抑制されていたと考えられる。このようなモードの違いはあるものの、載荷荷重の増加に応じた土のうの水平変位を、安定計算では滑動に対する安全率の低下という形で表現できているものと考えられる。

4. 大型土のうを用いた盛土の応急復旧構造の試算

降雨での応急復旧が必要となった際に復旧構造を簡易に設定できることを目的として、列車荷重載荷時の応急復旧盛土が安定を満足する大型土のう配置に関する検討を試みた。検討対象とする盛土は高さ3mおよび6mとし、3の再現解析と同様に滑動および転倒に対する安定を満足する土のうの配置形状を検討することとした。基本ケースとして、背面盛土材料の内部摩擦角 $\phi=30$ 度とし、地下水は背面盛土高さの1/3の位置としている。水位については水圧として作用させることとした。また、比較として $\phi=35$ 度とした検討ならびに水位がない場合の検討も行った。安定検討では滑動に対する許容安全率を1.1とし、転倒に対しては土のう幅の1/3の範囲を許容偏心量とした。

滑動および転倒に対する安定を満足する応急復旧構造を図4に示す。 $\phi=30$ 度、地下水位を有する基本ケースに着目すると、いずれの盛土高さにおいても土圧・水圧に起因した滑動に対する安全率を確保する必要があるため、最下段の土のうの数を高さ3mで3列、高さ6mでは4列とする必要がある。一方、地下水位がない場合は水位以下の水圧が土のうに作用しなくなるため、高さ3mの復旧盛土では形状は変わらないものの、高さ6mの場合は1列分土のうを削減できることがわかる。また、内部摩擦角 $\phi=30$ 度とした場合は、土のうに作用する土圧が全体として低減されるため、特に高さ6mの盛土では上から2～4段目の土のうの数を1列に削減できる結果となった。

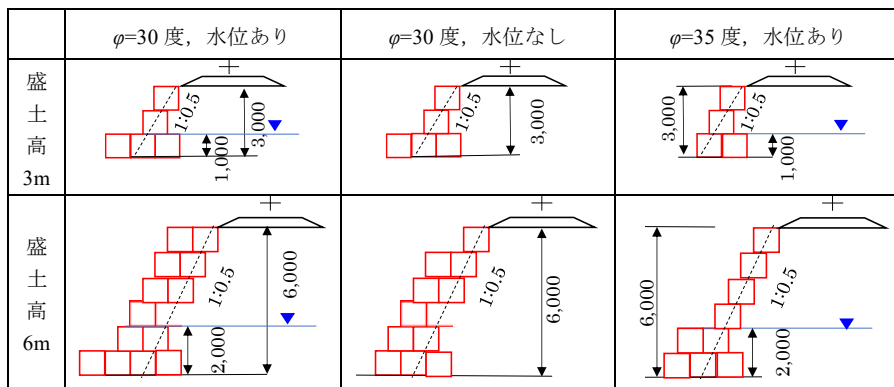


図4 大型土のうを用いた盛土の復旧構造

5. まとめ

本研究では、降雨で被災を受けた鉄道盛土において、大型土のうを用いた応急復旧構造の検討に対する設計手法の妥当性検証と実際の復旧構造の試設計を試みた。安定計算によって降雨散水・載荷試験の挙動を表現できると、また盛土の高さや条件（強度・水位）に応じた復旧構造を算定可能であることを確認した。なお、本研究は国土交通省の鉄道技術開発補助金を受けて実施した。

参考文献 1) 滝沢雅史, 安藤元, 吉田明寛, 伊藤力, 篠田和典, 柏木将幸: 2017年7月奥羽本線(秋田新幹線)盛土流出被害と復旧, SED, No.51, pp.86-95, 2018.2) 土木研究センター: 「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル, 2017. 3) 杉山健太, 阿部慶太, 松丸貴樹, 佐藤武斗, 笠原康平, 富田佳孝, 高木翔太: 応急復旧した鉄道盛土の列車荷重支持性能と土圧の把握を目的とした降雨載荷実験, 第57回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.20_8_1_05-20_8_1_06, 2022. 4) 阿部慶太, 杉山健太, 松丸貴樹, 佐藤武斗, 笠原康平, 富田佳孝, 高木翔太: 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) 締固め度を変えた模型盛土の降雨・載荷実験, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会概要集, III-01, 2022.