

## 大規模崩壊した谷渡り盛土の応急・復旧対策の耐雨性に関する解析的検討

西日本旅客鉄道 正会員 ○森田 拓弥 石澤 剛士  
正会員 西田 幹嗣  
京都大学大学院 フェロー会員 杉山 友康

## 1. はじめに

平成 30 年 7 月豪雨により岩徳線において高さ約 7m の鉄道盛土(以下、盛土という)が延長 68m にわたって円弧すべり状に崩壊して盛土約 2800 m<sup>3</sup>が流出した(図 1)。これまで筆者らは、被災した盛土の崩壊メカニズムや応急対策、復旧対策の施工仕様について報告してきた<sup>1)</sup>。本稿では、応急対策後と復旧対策後の盛土の耐雨性を解析的に検証したので、その結果について述べる。

2. 盛土の立地条件と崩壊メカニズム<sup>1)</sup>

崩壊した盛土の立地条件を明らかにするため、空中写真判読を行った結果、当該箇所は地形改変によって谷を埋め立てた盛土区間であった。また、災害が発生した降雨は連続雨量で生起確率 150 年の未曾有の豪雨であり、盛土の崩壊形状は円弧すべりであること、崩土は泥濘化している等の特徴があった(図 2)。このことから、盛土の崩壊は丘陵斜面からの地下水と落込み勾配点に向かって路盤上を流下してきた水が当該盛土に供給されて、盛土内の地下水位を上昇させたことが原因と推定できる。

## 3. 応急・復旧対策の計画と施工

## (1) 応急対策

当該盛土の応急対策は、岩徳線全線開通日を決定するのに最も影響を及ぼすため早急に完遂する必要があった。そこで、現地の状況から崩土を全て撤去して盛土を再構築するよりも、崩土を安定処理して再利用することが早期全線開通するのに最も優位であると考えた。安定処理材には当該箇所の周辺に水田があったため、中性固化材を採用した。また盛土を再構築する際には、腹付盛土となるため段切り(段切りの 1 段の高さは 1m 程度)を行い、締固める際の一層の仕

上がり厚さが 30cm 程度になるように施工した。盛土再構築後、盛土のり面には侵食防止として張芝を施工するとともに、盛土が所定の強度を有していることを確認するためにキャスポル試験を実施した。その結果、 $K_{30}$  値=95.7MN/m<sup>3</sup>が得られたことから盛土として十分な性能を有していることを確認した<sup>2)</sup>。また、当該盛土の崩壊原因が盛土内部の地下水位上昇であると推定されることから、応急対策では盛土内の水位上昇を抑える対策として段切りした箇所に暗渠排水工(φ100mm の高密度ポリエチレン管)を線路平行方向と線路直角方向に 3 段敷設した。暗渠排水工は、線路直角方向に向かって 5.1m の間隔で線路平行方向の暗渠排水工と接続させて排水できる仕様とした(図 3)。

## (2) 復旧対策

復旧対策は、応急対策時点で盛土のり尻が常に湿潤状態であり、暗渠排水工からの通水を認めたことから更なる排水対策が必要であると考えた。そこで、盛土のり尻にふとん籠を 2 段設置するとともに、盛土のり面へ排水パイプ(L=3.6m, φ=60.5mm)を 1.5m 間隔で打設する排水対策を追加で実施した(図 4)。さらに、盛土表面の排水対策として縦下水を設置するとともに盛土小段と盛土のり尻に排水溝を設置した。その結果、盛土のり尻の湿潤状態は解消された。



図 1 被災状況の写真

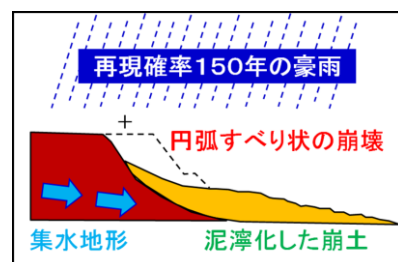


図 2 崩壊メカニズム

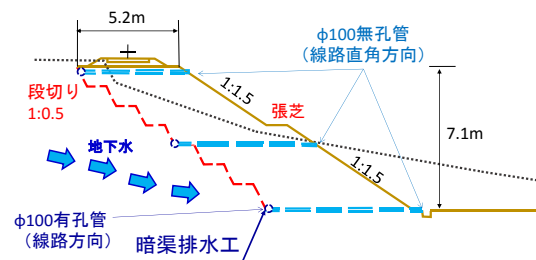


図 3 応急対策の断面図

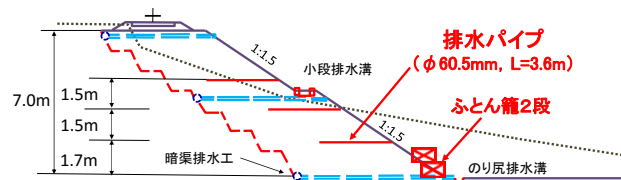


図 4 復旧対策の断面図

キーワード 盛土, 崩壊, 中性固化材, 暗渠排水工, 排水パイプ, ふとん籠, 斜面安定解析

連絡先 〒754-0002 山口県山口市小郡下郷 1357 西日本旅客鉄道(株) 広島支社 山口土木技術センター TEL083-973-6312

#### 4. 盛土の耐雨性に関する検証

##### (1) 被災前と復旧後の盛土の貫入強度と透水性

盛土の締固め程度を把握するために簡易貫入試験を実施した。簡易貫入試験は、今回の豪雨で崩壊しなかった盛土と復旧した盛土の2側線で行った。なお、今回の豪雨で崩壊しなかった盛土の調査結果は、崩壊した盛土の被災前の結果に相当するとした。その結果、豪雨で崩壊しなかった盛土(以下、被災前の盛土という)の  $N_d$  値は 1~5(平均  $N_d$  値=3.5)と弱く、一方復旧した盛土の  $N_d$  値は 2~33(平均  $N_d$  値=11.5)とバラツ

キがあるものの、安定処理材の効果によって被災前の盛土よりも貫入強度は大きくなった。また、盛土の透水性を把握するために、盛土中腹で現場透水試験<sup>3)</sup>を実施したところ、被災前の盛土で  $k=7.41 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、復旧した盛土で  $k=7.43 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  であった。

##### (2) 限界雨量に基づく評価

被災前の盛土と復旧した盛土で行った簡易貫入試験と現場透水試験の結果を用いて、杉山ら<sup>4)</sup>が提案した盛土の耐降雨性評価手法(以下、限界雨量による評価という)によって計算した限界雨量曲線を図5に示す。被災前と復旧後の限界雨量を比較すると、復旧後の盛土は耐雨性が向上しているが、今回観測された豪雨は限界雨量を越えているため、同様の豪雨が作用すると盛土が崩壊する可能性がある。そこで、限界雨量による評価では、応急・復旧対策で施工した排水パイプやふとん籠等の排水対策の効果を加味することができないため、斜面安定解析により盛土の耐雨性について検証した。

##### (3) 応急・復旧対策後の盛土の耐雨性に関する検証

応急・復旧対策後に盛土内の地下水位高さが上昇した場合の盛土の安定性を確認することを目的に安定解析を実施した。安定解析に用いた内部摩擦角 $\phi$ は、被災前と復旧対策後の盛土の貫入強度から内部摩擦角 $\phi$ を大崎式<sup>5)</sup>から推定した。なお、 $N$  値は  $N_d=1.5N^{(5)}$  の関係式から求めた。粘着力  $c$  は、盛土内に地下水位がない状態(以下、被災前の状態という)で盛土崩壊時の推定すべり線に対して  $F_s=1.2$  となるように逆算して推定した。なお、推定すべり線は崩壊時の状況から左側マクラギ端と盛土のり尻を切るような円弧すべり線とし、計算法は修正フェレニウス法によった。その結果、災害前の状態において  $F_s=1.2$  となる粘着力は  $c=4.6 \text{kN/m}^2$  となり、設計標準<sup>6)</sup>で示されている粘着力  $c$  と同程度であった。表1に①被災前の状態、②応急対策後、③復旧対策後の盛土の安定解析に用いたパラメータを示す。

崩壊時の盛土内の地下水位高さを推定するために、被災前の状態の盛土の推定すべり線に対して  $F_s=1.0$  を下回る盛土内の地下水位高さを逆算して算出した。その結果、図6に示すように盛土内の地下水位高さが  $h=2.6 \text{m}$  を超えた時点で安全率  $F_s=1.0$  を下回ることから、盛土が崩壊した際の地下水位高さは  $h=2.6 \text{m}$  と推定される。次に、応急対策後と復旧対策後の盛土の安定性を確認するために、盛土のり肩直下の地下水位高さ( $h=0 \text{m} \sim 7 \text{m}$ )に対する安定解析により検証した。なお、応急対策後の盛土の安定解析では、応急対策時点で盛土のり尻が湿潤であったことから、暗渠排水工の効果を検討せずに検討した。また、復旧対策後の盛土の安定解析では、盛土のり尻の湿潤状態が解消されたことから、排水パイプとふとん籠の施工による効果として、排水パイプとふとん籠が施工された領域では地下水は排除され地下水位は形成されないことを前提として行った。その結果、復旧対策後の盛土では盛土のり肩直下の地下水位高さが  $h=7.0 \text{m}$  まで上昇しても安全率が  $F_s=1.0$  を下回らなかったことから、復旧対策後の盛土では、今回のような豪雨が作用しても安定性は確保できると推定される。

#### 7. おわりに

本稿では岩徳線の早期運転再開を目的に施工した盛土の耐雨性を斜面安定解析により検証して、今回と同様の豪雨が作用しても安定性を確保できることを明らかにした。今後、本稿が災害の応急・復旧対策の一助となれば幸いである。

【参考文献】1)森田拓弥他:平成30年7月豪雨で被災した岩徳線鉄道盛土の応急・復旧対策,第74回年次学術講演概要集 CD-ROM,IV-874,2019.9, 2)鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物設計標準・同解説土構造,pp.91,2015, 3)鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)土構造物,pp.101,2007.1, 4)杉山友康:降雨時の鉄道斜面災害防止のための危険度評価手法に関する研究,鉄道総研報告,特別第19号,1997.5, 5)地盤工学会:地盤工学ハンドブック,pp.305~pp.322,1999.3, 6) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物設計標準・同解説土構造,pp.57,2015.11

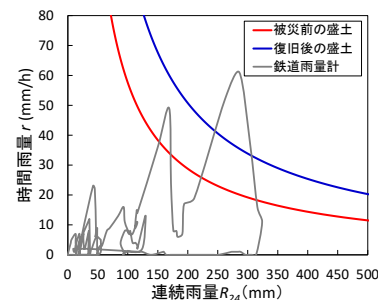


図5 雨量履歴と限界雨量曲線

表-1 安定解析に用いたパラメータ

|          | 湿潤単位<br>体積重量<br>( $\text{KN/m}^3$ ) | 飽和単位<br>体積重量<br>( $\text{KN/m}^3$ ) | 粘着力<br>( $\text{KN/m}^2$ ) | 内部摩擦角<br>(度) |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------|
| 災害前の状態   | 18                                  | 19                                  | 4.6                        | 23           |
| 応急・復旧対策後 |                                     |                                     |                            | 30           |

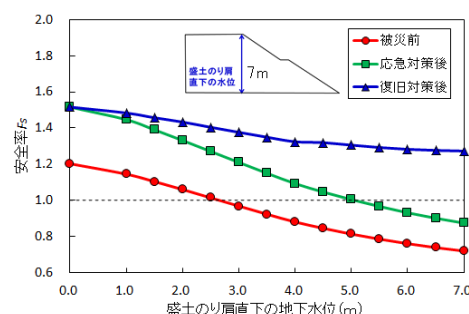


図6 盛土内地下水位と安全率の関係