

橋台背面の盛土部に適用する排水パイプの施工範囲に関する検討

西日本旅客鉄道 正会員 ○西田 幹嗣 正会員 入川 充夫 正会員 藤井 昌隆
 京都大学大学院 フェロー 杉山 友康

1. はじめに

降雨により安定性が低下すると予想される盛土に対しては、盛土内部の浸透水の排水が効果的な対策とされている。この方法のひとつとして排水パイプの施工がある。これまでに排水パイプの浸透流解析モデルの構築ならびに、このモデルを使用した解析による切盛境界、橋台背面の盛土部等における施工仕様の提案が行われている¹⁾。このうち、橋台やボックスカルバート背面近傍の盛土(以下、橋台背面の盛土部という)に打設する排水パイプの施工範囲については、線路勾配にしたがって流下する表面水を考慮した解析結果に基づくものであり、その施工範囲の妥当性について確認する必要がある。本稿は、鉄道の橋台背面の盛土部で過去に発生した変状事例を分析して排水パイプの施工範囲の妥当性を確認した。さらに、この結果に基づいて排水パイプを打設した場合の排水効果を解析的に検討したので報告する。

2. 橋台背面の盛土部で発生した変状事例

橋台背面の盛土部では、その背面に集中的に表面水が浸透することで他の箇所よりも盛土内水位が上昇し安定性が低下することが考えられる(図1)。そこで、過去に橋台背面の盛土部で発生した「のり面崩壊」や「のり面侵食」等の変状事例 125 事例に基づき降雨時に安定性が低下する恐れがある範囲を分析した。

変状の発生位置を図2に示すように線路勾配と橋台との位置関係でA(上流側)、B(下流側)に分類した。その結果、橋台背面の盛土部「A(上流側)」で63%、橋台背面の盛土部「B(下流側)」で37%の割合で変状が発生していた。ここで、橋台背面から変状の発生位置までの線路延長と発生頻度を線路勾配で分類した結果を図3に示す。同図から線路勾配にかかわらず橋台背面から20m以内の範囲に変状が発生しており、線路勾配が大きくなるほど変状履歴が増加する傾向にある。図3の変状箇所を橋台背面からの線路延長で整理して、その発生回数と累積比率を図4に示す。同図から橋台背面の盛土部における変状事例の約90%は橋台背面から20m以内で発生している傾向にあることがわかった。

3. 橋台背面の盛土部の排水パイプの標準的な施工範囲

2章で示した過去の変状事例から排水パイプの施工範囲を決定するとすれば、図5(a)のように橋台から20mが妥当といえる。一方、上述した浸透流解析の結果¹⁾に基づき決定される範囲は橋台から50mとなっている。(図5(b))。以上から、実際の施工範囲については両者の検討結果から図5(c)のように、解析において表面水流入範囲とされる原因となる軌道面から流下する水を排水させる目的で、のり肩に排水パイプを打設(現地でのり肩に打設した排水パイプの排水効果が高いことが確認されている)し、のり面およびのり尻での排水パイプの打設は橋台背面から20mの範囲とした。なお、この範囲における排水パイプの長さやピッチについては過去の研究¹⁾に基づいてノモグラムで決定される。

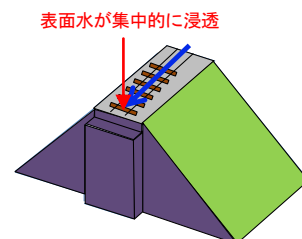


図1 橋台背面の盛土部

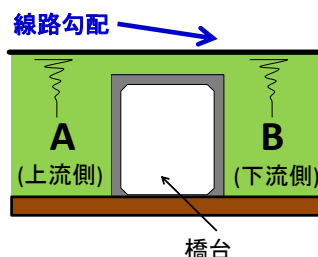


図2 線路勾配との位置関係

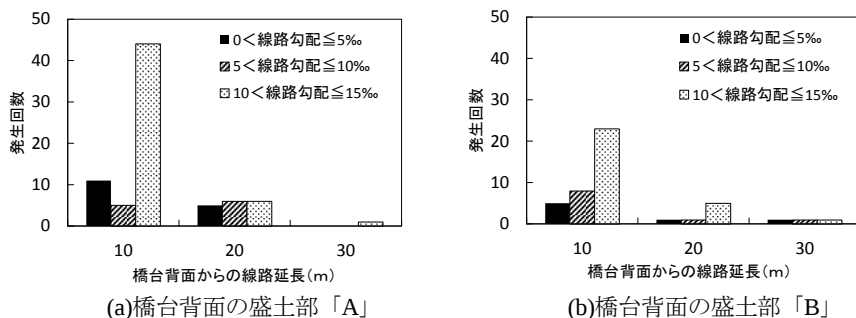


図3 橋台背面から変状箇所までの線路延長と変状の発生回数

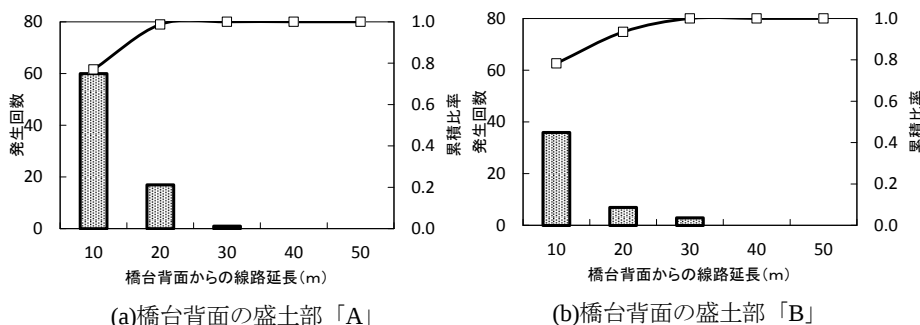


図4 橋台背面から変状箇所までの線路延長に対する変状の発生回数と累積比率

キーワード 排水パイプ, 橋台背面, 施工範囲, 浸透流解析

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 中央ビル2F 西日本旅客鉄道(株)構造技術室 TEL 06-6305-6957

4. 排水パイプを打設した盛土の排水効果の検証

4.1 解析モデル

提案する施工延長に基づいて、排水パイプを打設した場合の盛土の排水効果を確認することを目的に3次元飽和・不飽和浸透流解析(Soil Plus2015)と安定解析を実施した。盛土高さは、過去の被災事例の平均値である7.5mとし、のり面の勾配や盛土幅については複線盛土の一般的な形状を考慮して決定した。盛土の延長は橋台背面の反対側の境界条件の影響を受けないように、解析ソフトの節点数の制約を考慮しながら長く設定した。ここで、橋台背面近傍は表面水が集中することを模擬して盛土の透水係数から求めた浸透可能限界量を降雨として与えた。なお、表面水が集中する範囲は、橋台背面の盛土のり肩に施工した排水パイプからの排水跡の調査結果により、排水跡は橋台背面から概ね10m以内であることに基いて設定した(図6)。このような盛土に排水パイプを打設しない1ケースと、長さ4mの排水パイプを1mピッチ、長さ6mの排水パイプを2mピッチの千鳥配置で打設する2ケースに表面水の集中がなく排水パイプを打設しない場合の1ケースを加えた表1に示す4ケースについて解析を実施した。なお、のり肩の排水パイプの効果は浸透流解析で表現できないためモデル化しておらず、パイプを模擬した低透水層には盛土の透水係数の1/2を仮定した¹⁾。また、不飽和領域の透水特性はBrooks&Corey法とし、飽和・不飽和水分特性値は、過去の鉄道盛土の被災箇所から採取した試料の特性値を基に設定²⁾された表2に示す値を用いた。また、不飽和透水係数はIrmay型とし、パラメータ n については西垣の方法³⁾により $n=0.69-1.31 \cdot \log k$ から求めた。安定解析は修正フェレニウス法を用いて安全率を算定した。この際、土の力学特性は表3に示す設計標準⁴⁾の土質2の設計用値とした。

4.2 解析結果

図7はケース1～3の降雨降り止み時における安全率 F_s をケース4の同時刻の安全率 F_{s0} で正規化した安全率 F_s/F_{s0} を整理したものである。同図から、橋台背面の盛土部に排水パイプを打設しない条件では最大約30%の割合で橋台等の構造的な影響を受けない平坦地の盛土と比較して安定性が低下することがわかった。橋台背面の盛土部に長さ4mの排水パイプを1mピッチまたは長さ6mの排水パイプを2mピッチで打設した条件では排水パイプの排水効果によって橋台背面から10mの地点で約20%、橋台背面から20mの地点で件では約13%の割合で平坦地の盛土と比較して安定性が向上することがわかった。また、排水パイプの打設によって橋台背面の盛土部の安定性は排水パイプがない条件と比較して最大約1.7倍の割合で安定性が向上することがわかった。

5. まとめ

本稿では、鉄道の橋台背面の盛土部で発生した変状事例を分析して実施工で適用する排水パイプの施工範囲を提案するとともに、この施工範囲に基づいて排水パイプを打設した場合の盛土の安定性の向上効果を明らかにした。今後は、現地計測により排水パイプの効果について検討する予定である。

【参考文献】

1) 渡邊諭, 太田直之, 西田幹嗣, 浅野嘉文: 盛土に適用する排水パイプの施工仕様決定ノモグラム, 鉄道総研報告, Vol19, No. 1, 2015, 2) 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, Vol119, No. 5, 1997, 3) 西垣誠, 楠見和紀: 不飽和土の浸透特性の評価に関する考察, 土質工学会, 不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム発表論文集, pp179-186, 1986, 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物, 2007

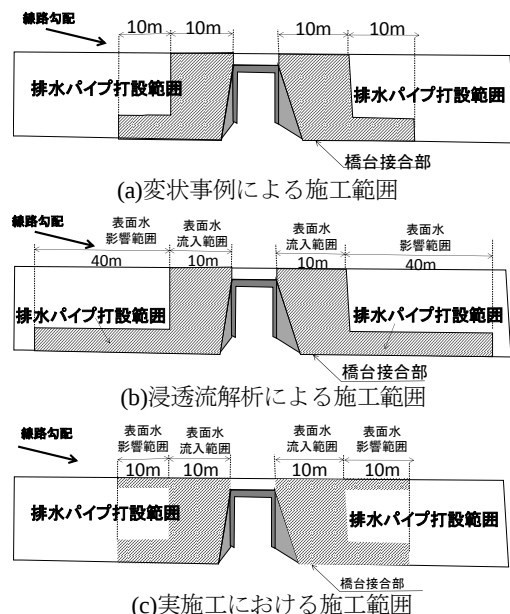


図5 橋台背面の盛土部における施工範囲

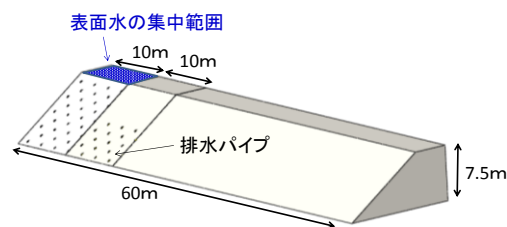


図6 解析モデルの一例(長さ6m、c.t.c.2m)

表1 解析ケース

解析ケース	パイプ長 L(m)	打設ピッチ c.t.c(m)	湛水条件	降雨条件
1	無し		有り	10mm×55時間
2	4	1		
3	6	2		
4	無し			

表2 飽和・不飽和水分特性

体積含水率		限界吸引圧力水頭 (1/cm)	λ	飽和透水係数 (cm/s)
飽和(%)	最小(%)			
32	19.5	-5.5	0.35	5×10^{-3}

表3 安定解析に用いる強度定数

土質区分	単位体積重量 (kN/m ³)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角(°)
土質2	19	0	35

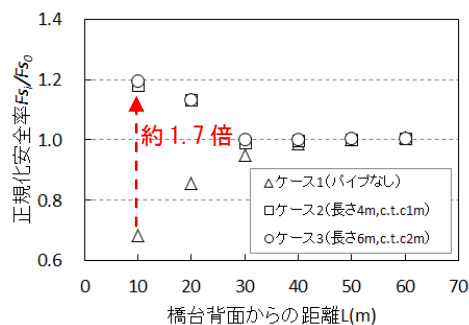


図7 橋台背面からの距離と排水効果