

変状した鉄道河川護岸の施工性を考慮した補強および健全度評価に関する検討

株式会社シーエス・インスペクター 正会員 ○窪田勇輝
南海電気鉄道株式会社 非会員 鈴木裕也

1. はじめに 鉄道に近接して建設された河川護岸は歴史が古く、石積み壁やもたれ壁など古い形式の構造物が数多く残っている。このような構造物は標準断面図に基づき建設されているのが一般的であり、十分な強度を有していないため、これまで様々な被害事例が報告されている¹⁾。特に石積み壁は壁面の一体性が低く、一部の積み石の抜け出しが全体的な崩壊に繋がる可能性もあり、従来の補強手法としては沿え打ち工や格子砕工といった壁面をコンクリートで一体化させる工法など比較的大掛かりな工事が伴うものであった。ここでは、はらみ出しが発生している鉄道河川護岸（石積み壁）を対象に、低コストかつ構造物の断面形状を大きく変化させない補強手法の適用と健全度評価に関する検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 変状した石積み壁の概要 石積み壁の変状事例を図-1に示す。左側の写真は石積み壁の天端から中間部までの積み石が崩壊した事例で、右側の写真は石積み壁の中間部がはらみ出している事例である。両石積み壁は近傍に存在し、いずれも立地条件等は似通っており、軌道を挟んで石積み壁と反対側には自然斜面が存在する。左側の写真の状況から、変状に至ったメカニズムは次の通りと推測される。①集中豪雨により、自然斜面から大量の雨水が軌道付近に押し寄せる。②線路側溝の容量が少ないため、軌道付近に雨水が滞水し、一部は盛土内への浸透流、他は表層流となって河川へ落下する。③石積み壁の背面土が飽和状態となったことと表層流の力により、積み石が不安定となり崩壊する。右側の石積み壁については、今回は崩壊は免れたものの、今後の集中豪雨などで崩壊に至る可能性が高いため、こちらの石積み壁（はらみ出しあり）を対象として、補強に関する検討を行った。



(a) 積み石の崩壊 (b) 積み石のはらみ出し

図-1 石積み壁の変状事例

3. 補強の検討 図-2にはらみ出しが発生している石積み壁周辺の地形図を示す。この図面より、補強手法検討のポイントとして、変状が生じている延長が $L=103.0\text{m}$ と長距離にわたること、石積み壁下端部が官民の用地境界となっており、空間上の制約を伴うことが挙げられる。そこで、従来工法のような壁面前面への断面の大きな増加を伴わない崩壊防止ネットと地山補強材による鉄道石積み壁の耐震補強工法²⁾の適用を試みた。ここで、本工法のマニュアルは石積み壁の耐震補強工の設計を行う場合に適用されるものであるのに対し、今回の検討では集中豪雨に伴う水压増加によるはらみ出しに対する補強を対象としている。しかしながら、いずれも一部の積み石の抜け出しに端を発する全体系の崩壊を防止するという考え方は共通していること、また本マニュアルでは地震力を事業者により自由に設定できることから、補強仕様が過大にはならないと考えた。表-1に設計条件を示す。今回の設計においては、L1



図-2 変状発生箇所周辺の地形図

表-1 補強設計の条件

想定地震		L1地震動 ($k_h=0.2$)
背面土	土質区分	砂質
	ϕ	30°
	γ_t	18 kN/m^3
解析手法		静的解析
土圧算定法		試行楔法

キーワード 石積み壁、鉄道護岸、はらみ出し、崩壊防止ネット、衝撃振動試験

連絡先 〒542-0075 大阪府大阪市中央区難波千日前 15-17-4F シーエス・インスペクター TEL 06-6644-7210

地震を想定して水平震度 $k_h=0.2$ 、背面地盤のボーリングデータがないため、安全側に土質区分を土質3として、静的解析法により設計応答値を算定した。静的解析法により算出された補強仕様を表-2に、補強設計図および補強完了後の現場状況写真を図-3、図-4に示す。また、本補強工法を採用するに至った工法比較検討表を表-3に示す。工事費、工期いずれも従来工法より改善されているのが分かる。また、表中に記載の工期は純粋に工事に要する期間であるが、実際には従来工法であれば用地取得が必要となることや河積阻害率に関して河川管理者との協議が複雑になることなど、工事着手に至るまでの労力を大幅にカットできることは大きなメリットと言える。

4. 健全度評価の検討 崩壊防止ネットと地山補強材による補強効果を検証するため、衝撃振動試験³⁾を補強前後で実施した。衝撃振動試験は、橋梁下部工の健全度評価を目的として開発されたが、近年では土留め構造物の健全度評価にも応用されている⁴⁾。図-5に、衝撃振動試験により得られた指標（スペクトル面積およびスペクトルスコア）の比較グラフを示す。ここで、スペクトル面積とは試験の結果得られる応答速度の振幅値の大きさであり、スペクトルスコアとは低振動数域における卓越程度であり、いずれも揺れやすさを表す指標である。（両指標とも大きいほど、揺れやすい＝不安定な状態と言える。）結果を見ると、補強前のスペクトル面積 $A_b=52.23$ に対して、補強後のスペクトル面積 $A_a=15.70$ 、また補強前のスペクトルスコア $S_b=0.587$ に対して、補強後のスペクトルスコア $S_a=0.361$ と、両指標とも補強後の方が値が低くなっており、補強による背面地盤の安定化と一体性のない壁面の拘束効果が確認された。この指標は、橋脚の健全度指標として確立されている固有振動数とは異なり、絶対評価はできないものの、この値を初期値として管理することで、相対比較により今後の維持管理に活用できるものと考えられる。

5. まとめ (1)はらみ出しが発生している石積み壁に対して、崩壊防止ネットと地山補強材による耐震補強工法の設計を適用し、水平震度 $k_h=0.2$ 相当の補強を行った。(2)従来工法との比較検討を行った結果、今回対象とした現場においては工事費で約4割、工期で約3割程度の削減効果が見られた。(3)崩壊防止ネットと地山補強材による石積み壁の補強効果を検証するため、衝撃振動試験を実施したところ、揺れやすさ指標に改善の傾向が見られ、今後の維持管理のための指標として活用できるものと思われる。

参考文献 1)公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道土留め擁壁の検査・修繕の手引き，2013 2)公益財団法人鉄道総合技術研究所：崩壊防止ネットと地山補強材による鉄道石積み壁の耐震補強工法設計マニュアル（暫定版），2016 3)公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）基礎構造物・抗土圧構造物，2007 4)窪田勇輝 他：衝撃振動試験による変状が生じた既設土留め壁の健全度評価，地盤工学研究発表会，2013

表-2 補強仕様（壁高：大）

地山補強材	段数	2段
	水平ピッチ	1.8m
	鉛直ピッチ	1.9m以内
	材径	65mm
	材長	2600mm
芯材	材径	19mm
	目合サイズ	大目合い
崩壊防止ネット	目合サイズ	70mm×50mm
	素線径	3mm
アンカープレート	サイズ（最大）	315mm×315mm
	厚さ	9mm

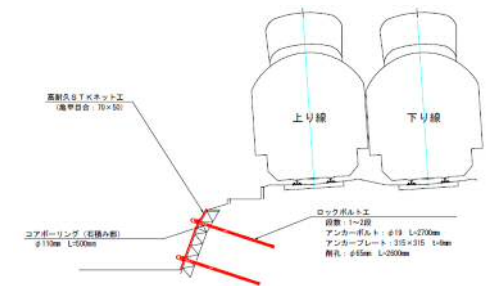


図-3 補強設計図（壁高：大）



図-4 補強完了後の現場状況

表-3 工法比較検討表

比較項目	従来工法	今回工法
概略図	沿え打ち工 	崩壊防止ネット
工事費	30,110（千円）	18,855（千円）
工期	3.0ヶ月	2.0ヶ月

※別途積算を実施

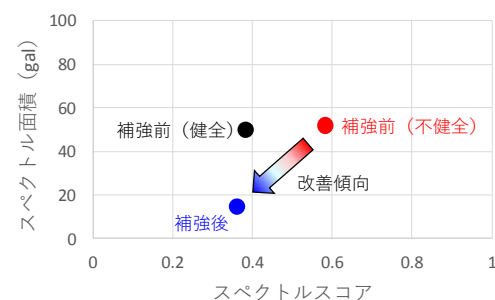


図-5 揺れやすさ指標