

石積み橋脚の診断と炭素繊維シートを用いた補強対策

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○ 井上 英一*
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 志子田 勝*
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 小野垣信也*
 和 興 工 事 (株) 正会員 後藤 正信**

1. はじめに

既設構造物は、老朽化による機能低下から、効果的で経済的な延命化対策が必要とされている。投資計画や補修・補強工法の決定には、構造物の定量的な診断と環境に適した対策が不可欠である。

当該橋りょうは河川を横断する鉄道橋であり、昭和6年に建設された。谷間に設置された円形断面の橋脚は、最大高さ14.5m、内部が雑コンクリートの練石積み構造である（写真-1）。目地モルタルの劣化から、目地切れによる空隙が発生していた（写真-2）。緊急性はないものの、大地震の発生を想定した橋脚の補強を実施することとした。

本報告では、橋脚の診断・評価および炭素繊維シートを用いた橋脚補強対策の実施状況について述べる。

2. 健全度評価の手法¹⁾

① 標準値による健全度評価

橋脚の健全度判定をおこなうため、重錘打撃による橋脚の応答波形をフーリエ解析し、固有振動数を求めた（以下、衝撃振動試験という）。図-1に示す位置に振動速度計を設置し、橋脚ごとに計測をおこなった。

通常、衝撃振動試験では、実測した固有振動数と基礎形式別の標準値との比較により健全度判定がおこなわれている。当該橋脚の健全度指標（実測固有振動数／基礎形式別標準値）は0.65～0.84の範囲であり、対策が必要となった。

② 固有値解析による健全度評価

今回のように円形断面で比較的細長い形状の橋脚の場合、健全であっても固有振動数が標準値を下回ることが多い。これは、標準値の算出過程において橋脚形状が考慮されていないためである。したがって、固有値解析による判定結果を考慮して健全度判定を実施した。

躯体剛性および地盤ばねにおける固有値解析の結果、地盤ばねのシミュレート倍率では1.0倍を上回り、現時点での問題はないと判断した。

しかし、躯体剛性においては、緊急性はないが補強が必要であった。

なお、躯体剛性のシミュレート倍率（ α ）は、標準的な設計剛性との比により算出される（式-1）。

$$\text{躯体剛性のシミュレート倍率}(\alpha) = \frac{\text{躯体剛性の解析値}}{\text{躯体剛性の設計値}} \cdots 1$$

衝撃振動試験によって得られた振動数、躯体剛性におけるシミュレート倍率と判定結果を表-1に示す。いずれの橋脚もシミュレート倍率が1.0倍を下回っていたため、5基の橋脚全てを補強することとした。



写真-1 補強前の石積み橋脚



写真-2 目地材の劣化状況

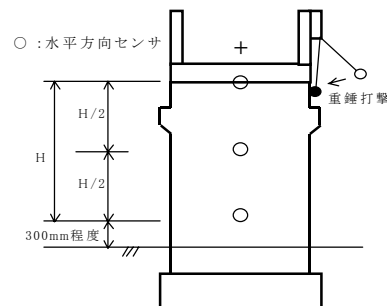


図-1 打撃方法および振動速度計の取り付け位置

表-1 固有値解析結果

橋脚番号	振動数(Hz)	躯体剛性	
		シミュレート倍率	判定ランク
3P	5.0	0.80	C
4P	6.0	0.80	C
5P	7.1	0.80	C
6P	6.3	0.70	B
7P	9.9	0.55	B

Key Words：橋脚診断，衝撃振動試験，固有値解析，河積阻害率，橋脚補強，炭素繊維シート

連絡先：*〒983-0853 宮城県仙台市宮城野区東六番丁3 1-2 Tel.022-266-2397 Fax.022-227-6605

**〒984-0031 宮城県仙台市若林区六丁目字柳堀1-1 Tel.022-288-0489 Fax.022-288-0420

3. 補強工法の検討

橋脚補強の工法は、通常の耐震補強とは異なり、目地切れや目地材の劣化防止および水平方向の補強を目的とした。谷間部で進入路が確保できない施工環境のため、大型の建設機械を必要としない工法を策定した。

河川構造令における鉄道橋の河積阻害率の限度は、最大で8%以内と規定されている。なお、阻害率の算出に用いられる川幅とは、流向に対して直角方向の距離である。

当該橋りょうは、河川を斜角30度で横断していることから、補強前の河積阻害率は19.0%であった。河川管理者と協議の結果、阻害率を増加させない工法で補強するという制限を受けた。

比較検討の結果を表-2に示す。河積阻害率が主導となり、補強前の阻害率を確保できる炭素繊維シート接着工法を採用した。

橋脚の自重と載荷状態から、破壊モードとしては曲げモーメントよりもせん断力の影響を受けやすいと考えられる。本工法では、橋脚の水平方向を補強し、曲げ変形の拘束によるせん断力の増加が発生しないよう配慮した。

4. 橋脚補強対策の実施²⁾

施工箇所への連絡通路は、斜面部分に昇降階段を設置し、橋脚間には栈橋およびワイヤーブリッジを仮設した。足場工は、安全性や炭素繊維シート貼付け作業時の施工性を考慮し、橋脚に沿った円形足場とした。

炭素繊維シート接着工法の施工順序を図-1に示す。下地処理では、環境保護の観点からバキュームブラストを使用した。なお、石積み表面の不陸は平均で50mm程度であり、極端な突出部分をはつり落とすと共にモルタル左官工により平滑に仕上げる必要があった。次工程のプライマー塗布は、モルタルの含水率が10%以下になった時点で可能となる。また、モルタル表面のクラックやピンホールは炭素繊維シート接着時に浮きやふくれの発生原因となることから、パテ処理によって除去した。炭素繊維シートは、引張強度3,400N/mm²以上の一方方向クロスタイプを使用し、付着強度から求められる水平方向の継手長を20cmとした。シート表面は、H.W.Lを境界として上方は紫外線対策のアクリルウレタン樹脂系塗装、下方は流下物対策のポリマーセメントモルタルにより保護した(写真-3)。補強部分の詳細を図-2に示す。橋脚内部の残留水分除去のため、4m²に1箇所程度の水抜き孔を設置した。また、橋脚上面には雨水の浸入防止を目的として、変性アクリル樹脂系の塗布防水を施工した。橋脚補強後の衝撃振動試験の結果、固有振動数の上昇は0~0.1Hzの範囲であり、曲げ変形の拘束によるせん断力の増加が発生しない補強工法であることが確認された。

5. まとめ

鉄道線路においては、渓谷や山間部など、資材運搬・施工が困難な箇所が多い。炭素繊維シートを用いた橋脚補強は、簡易な仮設物で施工が可能であり、大型の機材が不要なため環境に適している。本対策は、耐震補強としての設計をおこなっていないが、平成15年に発生した三陸南地震においても有効性が確認されている。

<参考文献> 1) 西村昭彦, 棚村史郎: 既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究, 道総研報告, vol.3 No.8 1989 年
2) 鉄道総合技術研究所: 炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針, 1996 年 7 月

表-2 工法の比較検討

No.	工 法 名	施工性	耐久性	経済性	河積阻害率	判定
1	コンクリート巻立て工法	◎	◎	○	20.3	×
2	ポリマーセメント巻立て工法	○	△	◎	19.2	○
3	弾性保護材設置工法	△	○	×	19.3	△
4	帯鋼板巻き工法	△	△	△	19.4	△
5	炭素繊維シート接着工法	○	◎	○	19.0	◎
6	コンクリート打替え工法	×	◎	×	19.0	×

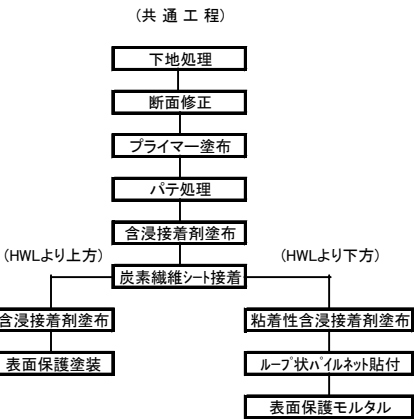


図-1 橋脚補強の施工順

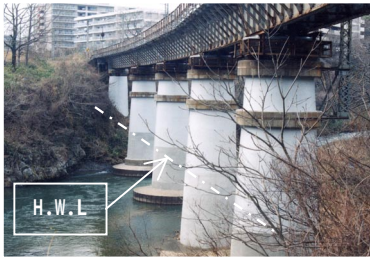


写真-3 補強後の橋脚

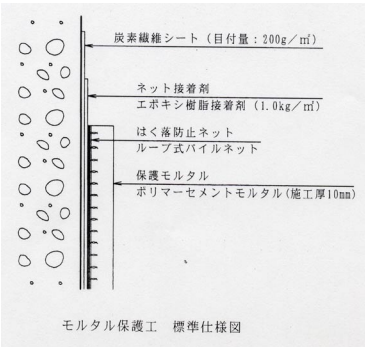


図-2 橋脚補強部断面図