

維持管理に配慮した CFRP による劣化床版の延命化工法

大日本コンサルタント フェロー ○横山 広 寒地土木研究所 正会員 角間 恒
 新日鉄住金マテリアルズ 正会員 小林 朗 金沢大学 フェロー 榎谷 浩

1. 目的

我が国では高齢化橋梁が急増し、それらの維持管理が社会的課題となることが避けられず、効果的対応の立案が喫緊の課題となっている。現状では平成 26 年に法制化された橋梁点検が進められ、損傷程度の把握とそれを受けての補修対策の実施が進められている。しかし、国内橋梁の多くを占める自治体管理橋梁では、限られた人員と予算という制約から対応が十分ではないという現実がある。それらの解消に向けては、補修・補強による要求性能の確保と次の対策までの延命化という二つの選択肢に対応できる新たな視点が必要であると考えている。そこで本研究では、炭素繊維を補強材料として延命化が期待できる工法を提供するため、輪荷重走行試験による実験的検討を実施したのでその結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体は実物大とし、昭和 39 年の道路橋示方書（以下、道示という。）に準じた仕様で製作した。使用した引張主鉄筋は D16@150mm、配力鉄筋は D13@300mm で床版厚さは 190mm とした。予備載荷時点でのコンクリートの圧縮強度は 40.4N/mm^2 である。供試体の仕様として S39 年道示を選定した理由は、耐荷性能の低さから疲労劣化が大きく進展している場合が多く、抜本的な対応として打替が望まれるものの、対応が先延ばしとなることも想定され、その際の延命化を考慮したためである。

採用した補強工法は床版下面の橋軸方向のみにコンクリートカッターで溝切りし、エポキシ樹脂を含浸した炭素繊維の束を挿入するもので、硬化後は棒材として作用荷重に抵抗する。溝切りに挿入することで、補強後の劣化進展が確認できることに加え、防水層の欠陥による漏水が発生した際にも、本工法によって滞水が助長されることはない。炭素繊維の束は一般的な 300g 目付量と同等で、シート定尺長は 50m となっていることから、その長さまで継手無しで施工することが可能であり、実橋での施工で継手問題が生じることは無い。補強の方向を橋軸方向としたのは、既往の研究で S39 道示床版は疲労劣化により梁化した後に、押し抜きせん断破壊することが知られており、橋軸方向に補強することで梁化を防止することができれば延命化に寄与すると考えたからである。

2.2 輪荷重走行試験

本研究では、実橋床版の劣化過程を再現した後に補強効果を確認するものとして、ゴムタイヤを装着した自走式試験機（写真-1）による予備載荷と補強後から破壊までのクランク式試験機（写真-2）による本載荷を実施した。載荷荷重は予備載荷と本載荷の当初で 160kN とし、補強後のたわみ増加を確認して 190kN まで増加させた。

3. 実験結果

3.1 輪荷重走行試験の結果

予備載荷と補強後の本載荷のたわみの経時変化を図-1 に示す。図に示している「載荷時」は一定走行回数毎に静的に載荷したたわみの計測値であり、「除荷時」は無負荷状態で、弾性成分を示す「載荷時-除荷時」



写真-1 自走式試験機



写真-2 クランク式試験機

キーワード 劣化床版, 炭素繊維, 補修・補強, 延命化, 輪荷重走行試験

連絡先 〒170-0003 東京都都島区駒込 3 丁目 2 3 番 1 号 大日本コンサルタント株式会社 TEL 03-5394-7604

に加え、弾性計算によるたわみの計算結果も示している。弾性計算では実測値と引張無視の状態のヤング係数比 $n=15$ 、終局に近いとされる状態の $n=30$ の3種類の状態を想定した。なお、計算による支持条件は、試験の状態に合わせている。図によれば、「載荷時-除荷時」のたわみが計算による $n=30$ を上回る状態まで載荷されており、終局に近いと推察される。図-2の本載荷では、載荷面の形状は異なるものの載荷荷重が160kNの予備載荷と同等の「載荷時-除荷時」たわみとなっており、橋軸方向の補強であるため、たわみの減少による補強効果が得られていないことが認められた。なお、荷重160kN、10万回載荷時点であわみ増加が停滞していることを確認した後に190kNまで増加させて走行を継続しており、43.62万回の走行回数で押抜きせん断破壊と想定される下面側の広範囲の段差が生じたため試験を終了した。ただし、破壊の直前に写真-3に示すように繊維の定着端部のコンクリート破壊が生じ、それが引き金となって床版内部に破壊が移行したことを確認しており、一般的な押抜きせん断破壊とその過程が異なる。

炭素繊維のひずみの経時変化を図-3に示すが、破壊前の中央ひずみが1700~1800 μ であるのに対し、中央から825mm離れた位置では400 μ 程度と約1/4のひずみ発生量となっている。これによれば、輪荷重直下の炭素繊維棒材が主として抵抗しており、輪荷重直下とその近傍（例えば載荷端から断面下側45°の範囲）のみ補強すれば延命効果が期待できるものと推察される。

3.2 疲労耐久性の評価

使用した輪荷重走行試験機で過去にS39年道示に準拠した供試体による試験結果より得られているS-N曲線を用いて、補強効果を把握するものとし160kNの同一荷重による等価走行回数を算出した。計算式は松井による床版が梁化した後のせん断耐力(P_{sx})によるもので、炭素繊維による補強層は考慮していない。計算結果として、対策後の160kNの等価走行回数が約220万回で、無補強の9.13倍の補強効果が得られており、十分な延命効果が期待できるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、劣化床版の延命化対策として床版下面に溝切りして樹脂含浸した炭素繊維の束を挿入する工法を提案し、その効果を輪荷重走行試験で確認した。得られた知見を列挙する。

- 1) 予備載荷で終局に近い疲労劣化状態であったが、橋軸方向の一方向のみの炭素繊維補強によって延命化が図られ、等価走行回数換算で9.13倍の補強効果が得られた。
- 2) 炭素繊維のひずみは輪荷重直下で大きく、支点近傍では1/4まで小さくなることから、補強範囲は荷重が作用する範囲のみでも補強効果が得られるものと推察される。

なお、本実験は金沢大学が取り組むSIPと土木学会中部支部の「積雪寒冷地におけるコンクリート構造物の劣化と健全度評価の適正化に関する調査委員会」の共同による成果であり、関係者に謝意を表します。

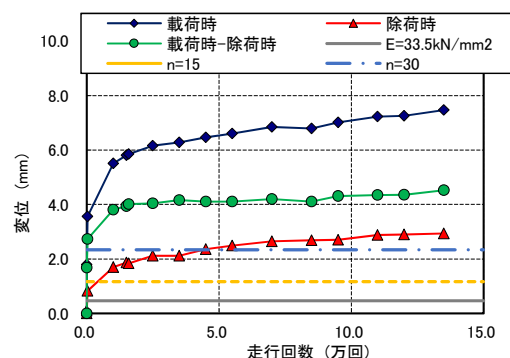


図-1 予備載荷でのたわみの経時変化

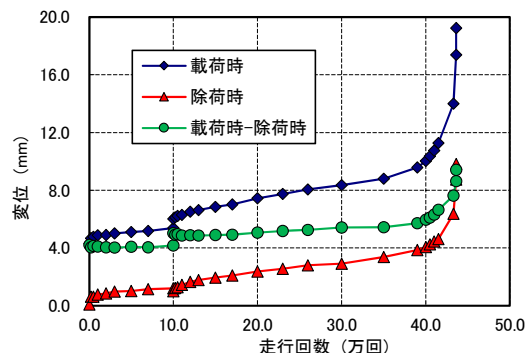


図-2 本載荷でのたわみの経時変化



写真-3 破壊状況（軸方向端部）

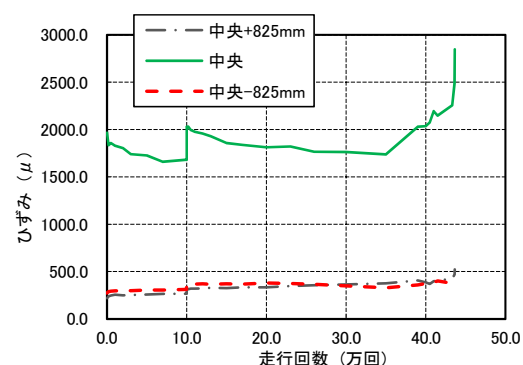


図-3 CFRP ひずみの経時変化