

歩道橋におけるCFRP板を用いた補修工事について

中日本建設コンサルタント(株) 正会員 ○加藤幸男 森一裕

愛知県東三河建設事務所 渡邊 英

1. 概 要

今回、補修した橋梁は、昭和45年に竣工した単純開断面鋼箱桁橋である。架橋位置は、愛知県豊橋駅の直近北側であり、JR東海道本線、JR飯田線、名鉄名古屋本線を跨いでいる(写真-1)。平成24年度橋梁定期点検において、支間中央部の継手部における腐食の進行が、顕著であることが報告された。そこで、安全性の観点から一時的な対策として、緊急補修工事を行うこととした。工法については、鉄道管理者との協議により、列車運行に影響するベント仮受けを用いた施工方法ではなく、桁内のみで施工が可能なCFRP板を鋼板に接着する補修工法を採用した。本工法は、採用事例もそれほど多くなく、補修工事内容の他に、現地静的載荷試験も実施したため、併せて報告する。

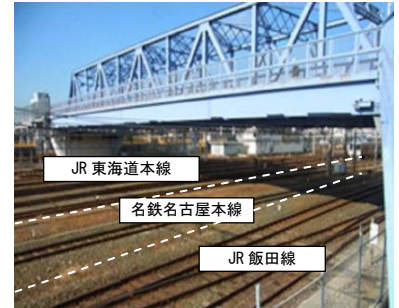
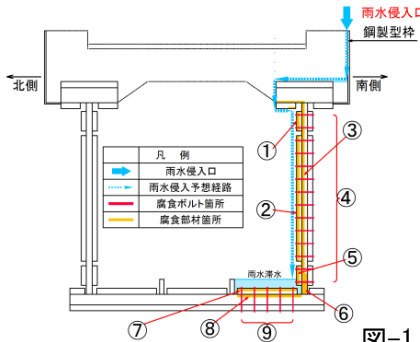


写真-1 跨線歩道橋

2. 腐食原因および状況

本橋の腐食原因としては、床板の桁外に設置されている鋼製型枠と床板との隙間から雨水が侵入し、桁内へ流れ込み最終的には、下フランジに滞水したことが考えられる(図-1)。腐食状況としては、桁内面が全体的に腐食しているが、特に支間中央の継手部の腐食が激しかった(写真-2)。その部分においては、南側の腹板および下フランジの南側1パネル部分が腐食していた。腹板と下フランジの接合面の一部では、板厚の約9割の減肉率であった。南側下フランジ添接板および高力ボルトのナットにおいても約4割程度減肉していた。



①腹板添接板	④腹板添接部ナット	⑦下フランジ添接板
健全部板厚(mm) 10	健全部径(mm) 34.5	健全部板厚(mm) 13
減肉量(mm) 4.6	減肉量(mm) 11.8	減肉量(mm) 5.0
減肉率(%) 46	減肉率(%) 34	減肉率(%) 38
②腹板添接板	⑤腹板添接板	⑧下フランジ母材
健全部板厚(mm) 9	健全部板厚(mm) 10	健全部板厚(mm) 16
減肉量(mm) 3.5	減肉量(mm) 4.6	減肉量(mm) 2.0
減肉率(%) 39	減肉率(%) 46	減肉率(%) 13
③腹板母材	⑥腹板母材	⑨下フランジ添接部ナット
健全部板厚(mm) 9	健全部板厚(mm) 9	健全部径(mm) 34.5
減肉量(mm) 3.9	減肉量(mm) 8.0	減肉量(mm) 11.0
減肉率(%) 44	減肉率(%) 89	減肉率(%) 32



写真-2 添接部腐食状況

3. 補修設計

腹板と下フランジ接合面の局所的な腐食部は炭素繊維シートを接着し、下フランジ継手部および腹板のモーメントプレート部はCFRP板接着により補修した(写真-3)。補修対象とした腐食箇所は、主に高力ボルトの摩擦接合継手部であったため、既往の文献¹⁾における鋼部材の欠損した断面分のCFRP断面量を接着し、同等以上まで回復させる設計事例を、そのまま適用することができなかった。そこで、設計方針として、腐食したボルト軸力の低減量をCFRP断面量で補う設計とした。具体的には式-1に示すとおりである。ここで、ボルト軸力の低減量は、文献²⁾において示されているナットの腐食減厚に伴う締付け軸力の変化図から推定した。

$$E_{CFRP} \times \varepsilon \times A_{CFRP} = \sum_{N=1}^N \frac{\mu N_1 - \mu N_2}{\gamma} \quad \dots (式-1)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

E_{CFRP} : CFRP板の弾性係数
 A_{CFRP} : CFRP板の面積
 N : 継手部片側ボルト本数
 γ : すべり安全率 (=1.7)
 μ : すべり係数 (=0.4)
 N_1 : 健全なボルト軸力
 N_2 : 腐食したボルト軸力
 ε_1 : 下フランジ鋼材が降伏するひずみ
 ε_2 : 下フランジ鋼材の死荷重時ひずみ



写真-3 CFRP板による補修

キーワード CFRP板 継手部腐食

連絡先 〒460-0003 名古屋市中区錦1-8-6 ストックビル名古屋 中日本建設コンサルタント(株) Tel : 052-232-6033

補修内容を表-1、図-2、図-3 に示す。まず、下フランジと腹板接合面は、部分的に極度に減厚していたため、高強度型炭素繊維シート($t=0.333\text{mm}$)を4層接着した。次に下フランジおよび腹板モーメントプレート部継手部の連結板段差に対する調整を行った。段差調整には、接着剤との剥離防止効果も期待して低弾性(高強度)CFRP板を使用した。最後に式-1により算出した必要補強量のCFRP板を接着した。このCFRP板には、高い補強効率を有する高弾性タイプを用いた。それぞれの材料諸元は表-1 のとおりである。CFRP板は、高力ボルト M22 の隙間を通す必要があるため、幅 30mm に加工している。

なお、設計定着長は、文献³⁾で紹介されている 200mm 以上を確保している。

4. 現地ひずみ計測結果

補修効果を確認するため、現地において図-3 に示す鋼板用とCFRP 用の単軸ひずみゲージを設置して、静的載荷試験を行った。補修前試験は、損傷状況やひずみゲージの精度などを考慮し支間中央に 2t の荷重(鋼製サンドル)を段階的に載荷した。補修後試験は、2t 載荷、5t 載荷(5t 載荷の場合で設計荷重の 35%程度)の2ケース行った(図-4~図-7)。ひずみゲージの貼り付け位置は、図-3 のとおりである。補修前の試験では、損傷の激しい側の下フランジのゲージ④が卓越している(補修前の下フランジゲージ②は故障)。

補修後においては、2t 載荷、5t 載荷とも下フランジのすべてのひずみが、ほぼ同様の値を示しており、継手部を介して下フランジの応力が、ほぼ均等に伝達されていることが確認できた。CFRP 板に関しても、不完全な合成部と思われる端部以外においては、5t 載荷においては、 15μ 程度のひずみが確認され応力が十分伝達されていると考えられる。なお、除荷後のひずみが0に戻らない現象は、計測を日中に行ったため、部材の温度分布の相違による温度応力の影響と考えられる。

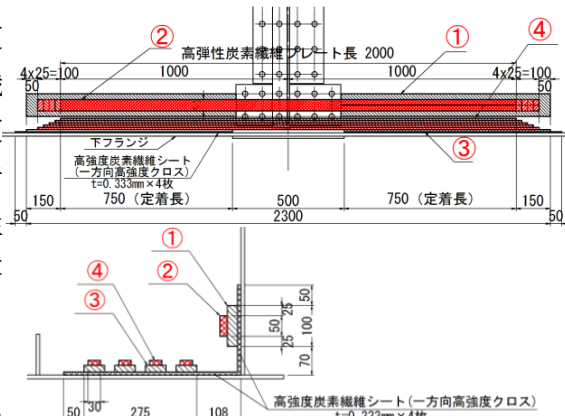


図-2 補修図

表-1 補修材料		材料	厚さ	層数	弾性係数	引張強度
腹板	高き調整CFRP板	① 低弾性炭素繊維プレート	2mm	5枚	167kN/mm ²	2.4kN/mm ²
	補強用CFRP板	② 高弾性炭素繊維プレート	2mm	5枚	450kN/mm ²	1.5kN/mm ²
下フランジ	高き調整CFRP板	③ 低弾性炭素繊維プレート	2mm	2枚	167kN/mm ²	2.4kN/mm ²
	補強用CFRP板	④ 高弾性炭素繊維プレート	2mm	5枚	450kN/mm ²	1.5kN/mm ²

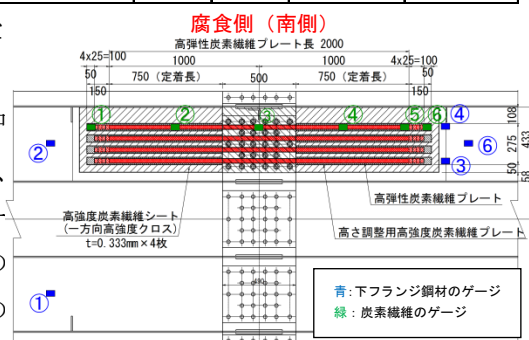


図-3 ひずみゲージ設置位置

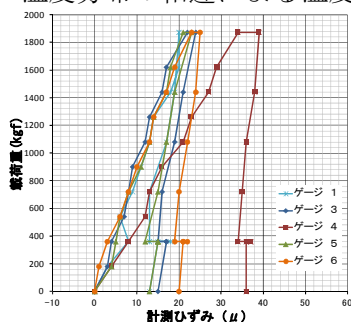


図-4 補修前(2ton 載荷時)
下フランジ本体のひずみ

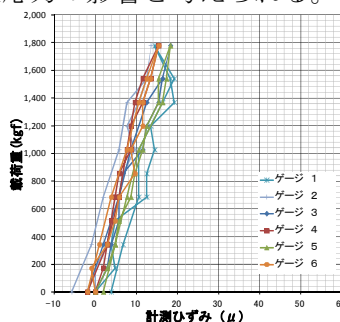


図-5 補修後(2ton 載荷時)
下フランジ本体のひずみ

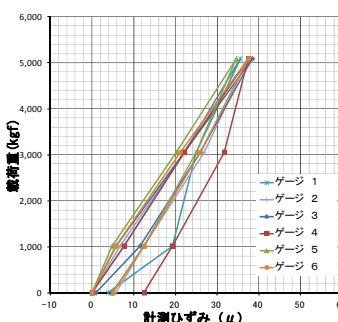


図-6 補修後(5ton 載荷時)
下フランジ本体のひずみ

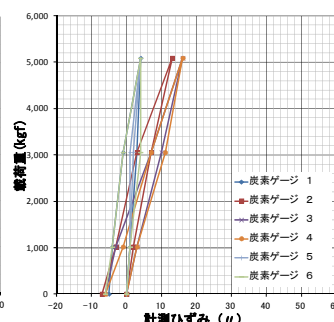


図-7 補修後(5ton 載荷時)
CFRP のひずみ

5. まとめ

今回、単純開段面鋼箱桁歩道橋の腐食が著しい継手部について、ボルトの腐食に伴う軸力低減による摩擦力の減少分を補う設計で、CFRP 板を用いた補修工事を実施した。その結果、工事後の静的載荷試験では、CFRP 板を介して応力が均等に伝達されていることが確認できた。しかし、鋼板とCFRP板との接着剤の耐久性は確認が出来ておらず、今後、定期的に補修部の点検を行い、補修箇所の経年変化を確認していく方針である。

参考文献

- 1) 土木学会：複合構造レポート 09「FRP 部材の接合および鋼とFRPの接着接合に関する先端技術」2013年11月
- 2) 名取 暢, 西川和廣, 村越 潤, 大野 崇：土木学会論文集, NO. 668「鋼橋の腐食事例調査とその分析」2001年1月
- 3) 東日本・中日本・東日本高速道路(株) 編：設計施工要領第二集, 2012