

腐食した鋼桁端部に対する CFRP 板接着工法の耐久性と施工試験

日本エンジニアリング(株) 正会員 ○政門哲夫

名古屋大学 正会員 北根安雄 首都大学東京 正会員 中村一史

首都高速道路(株) 正会員 佐藤歩 一般財団法人首都高速道路技術センター 正会員 増井隆・上條崇

(株)ダイクレ 正会員 鈴木啓之 (株)ITW PP&F JAPAN 中川健太

1. はじめに

鋼橋の桁端部は、伸縮装置や中央分離帯目地部からの漏水による腐食損傷が多数確認されている。鋼桁の腐食が進行し断面欠損が生じている場合（図-1）、補修による断面性能の回復が必要となる。現状は、鋼板を高力ボルトにて添接する当板工法（図-2）が一般的であるが、施工上の課題も多い。本報告は、炭素繊維強化プラスチック板（以下、CFRP 板）を使用した補修方法について、耐久性試験と施工試験をまとめたものである。



図-1 桁端部付近の腐食

図-2 桁端部付近の腐食事例

2. CFRP 板接着補修工法の概要と従来工法との比較

本工法は、CFRP 板を工場にて事前に製作し、補修工事時に現場に持ち込み、CFRP 板に接着剤をハンドガン等で塗り、対象箇所に付着・固定させる工法であり、最短で 60 分の施工時間（準備・片付け含まない）で可能である。また、腐食部の凹凸は、一般的には事前に不陸修正が必要であるが、本工法は接着剤塗布により不陸を埋めることが可能である。

表-1 鋼当板との比較

着目点	内容	鋼当板ボルト接合	CFRP板接着接合	備考
運搬性	製品重量	13kg	1.5kg	軽い
機動力	施工設備	孔明け・締付機	ハンドガン	軽い
				ハンドガン(電動有)
工程	施工日数	2日間～	60分～	短時間
	塗装施工	3層(ミスト・下・上)	1層(上)	短時間
	日当り施工量	2箇所	5箇所～	多く施工可
安全性	施工時	孔明け(断面欠損)	問題なし	照査不要
コスト	製作費(比)	1.0	6.0	高価
	施工費(比)	27.5	12.5	安価
防食性	腐食性	腐食の再発	腐食しない	メンテ不要

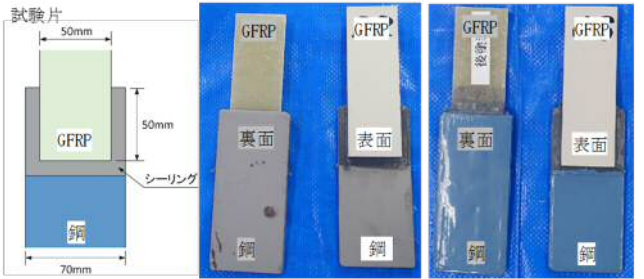
3. 接着接合の耐久性試験¹⁾

既設鋼橋の腐食補修に対して CFRP 板の接着接合を適用するにあたっては、腐食環境下における接着部の耐久性を明らかにすることが必要である。本検討では、GFRP 板または鋼板を接着接合した供試体（図-3）に対して、複合サイクル試験（JIS K 5600-7-9 サイクル D（図-4）：1 サイクル 6 時間を計 600 サイクル「5 ヶ月間」）実施後に引張せん断実験（JIS K 6850）にて評価した（図-5）。供試体は、表-2 に示す FRP 板どうし、FRP 板と鋼板、および鋼板どうしを接着接合した供試体に対して、鋼板に防食塗装を行った供試体と防食塗装を行っていない供試体の 2 種類を作製した。図-8 に示す通り、腐食しない FRP-FRP

供試体（タイプ FRP）は、600 サイクル後も接着強度の低下は見られない。塗装を施した FRP-鋼供試体（タイプ C）及び鋼-鋼（タイプ G）は、600 サイクル時において腐食の進行はなく、防食が十分に機能しており、接着強度の低下は見られない。一方、防食塗装を施していない FRP-鋼供試体（タイプ A）、鋼-鋼（タイプ G'）では、300 サイクル時にはシーリング下および接着面の一部にも腐食が進行し、600 サイクル時は、接着強度が最大で 35%低下した。原因は鋼材の腐食が接着部に侵入し、接着面積が減少しているためである（図-9）。以上より、防食性能が保持され、接着面への腐食の進行を防ぐことができれば、接着強度が低下しないことが明らかになった。

既往の研究²⁾で示されているサイクル D 試験の促進倍率を参考にする、600 サイクル時の試験片は東京の一般的な環境において 16 年以上暴露した状況に相当するものと考えられる。すなわち、十分な防食性能を有した条件の接着補修は、16 年以上一定の性能を保持できる可能性がある。

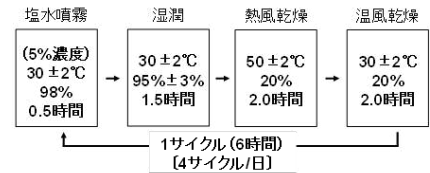
また、横浜市内にて 2 年間の屋外暴露を実施し、同様に評価した（図-6）。2 年暴露した供試体は、複合サイクル試験の結果同様に、防食が十分に機能していれば、接着強度の低下も見られないことがわかった（図-10）。



(a)試験片図

(b)FRP-鋼(塗装無し)供試体 (c)FRP-鋼(塗装有り)供試体

図-3 試験供試体図



試験条件	移行時間
塩水噴霧から湿潤	10分以内
湿潤から熱風乾燥(50±2℃)	15分以内
熱風乾燥(50±2℃)から温風乾燥(30±2℃)	30分以内
温風乾燥(30±2℃)から塩水噴霧	瞬時

図-4 複合サイクル試験条件

キーワード CFRP 板、接着接合、耐久性、現場施工試験、複合サイクル試験、屋外暴露試験、引張せん断試験

連絡先 〒231-0023 横浜市中区山下町 209 番地 日本エンジニアリング(株) TEL045-640-0156

表-2 耐久性試験に関する試験種別一覧

タイプ	試験接着組合せ	接着厚	複合サイクル	屋外暴露
FRP	GFRP-GFRP	1.0 mm	○	—
C	GFRP-鋼 (塗装有)		○	○
A	GFRP-鋼 (塗装無)		○	○
G	鋼板-鋼板 (塗装有)		○	○
G'	鋼板-鋼板 (塗装無)		○	○



図-5 引張せん断試験

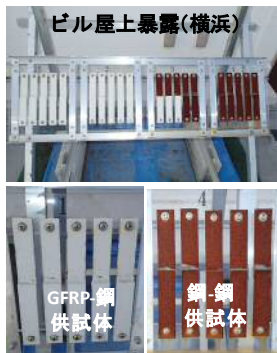


図-6 屋外暴露試験と試験片図

サイクル数	FRP	タイプA	タイプC	タイプG	タイプG'
0					
300					
600					

図-7 複合サイクル試験前後の状況

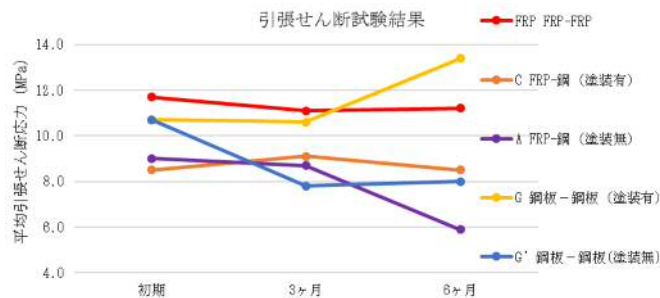


図-8 複合サイクル試験前後の平均引張せん断応力

種別	塗装無し	塗装有り
FRP-鋼		
鋼-鋼		

図-9 引張せん断試験後の状況

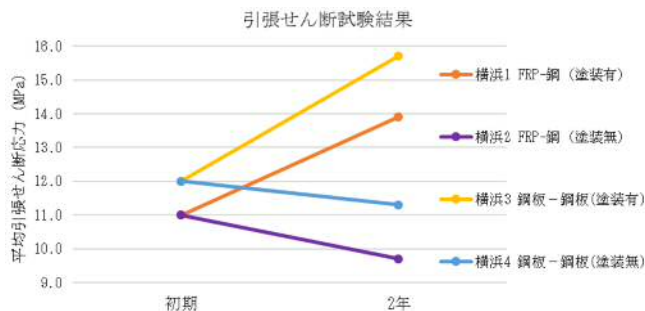


図-10 屋外暴露試験前後の平均引張せん断応力

5. 施工試験

既設鋼橋桁端部の腐食損傷が発生している箇所では試験施工を行った(図-11)。対象箇所はタイプA支所で腐食も進んでいたため支取替えを実施することとなっているが、現場の制約条件により、応急対策として本工法を行った。本工法が別途行っている試験の結果から補強効果があることを確認したため、試験施工の扱いで実施した。試験施工は、2018年3月の昼間(外気温12℃)に行い、想定通り、短時間(20分/箇所×6箇所)で施工を終えることができた。狭隘であったが、接着剤塗布作業を広い場所で行い、対象箇所へは、CFRP板を片手で設置でき施工性に優れていた。素地調整は、ブラスト面形成動力工具を用いて1種ケレン相当で行ったが、狭隘なため、施工者によっては品質に相違があると想定される。今後の課題として、軽微な錆の巻き込みにおける補修効果の検証が必要と考えられる。また、今回は、補強板3枚を全て90°に接合製作した3片板とし、製作用の型を1つで行い製作コストを低減することで進めたが、鋼桁に角度やたわみ、溶接ビードなどの影響で、接着厚が大きくなることが確認できた。今後は、接着厚の上限値の検討や溶接ビード等に干渉しない形状が必要であることがわかった。



図-11 現場状況(狭隘)



図-12 ケレン完了

図-13 接着補修前

図-14 接着補修固定

6. おわりに

ここまでの検討において、腐食した桁端部に対してCFRP板接着工法は、施工性もよく、補修・補強効果があり、長期耐久性も期待できる。今後は、本工法の施工時の管理方法(接着厚さ、接着剤の充填状況)や規格値等の確立、施工工法毎における接着剤充填率とこれに対する補修・補強効果、接着厚さと強度の関係(接着厚さ上限値)など、これらについて検討を進めていく。また、紫外線劣化に対しても長期屋外暴露試験にて確認する必要がある。また、鋼板接着工法はコスト面で有効なため、合わせて検討する。なお、本工法における、解析と実験による補強効果については、別途論文を参照されたい。

参考文献

- 1) 北根安雄, 上山祐太, 政門哲夫, 中村一史: FRP-鋼接着接合部の腐食耐久性に関する実験的研究, 土木学会構造工学論文集, Vol. 63A, pp. 1013-1022, 2017. 3
- 2) 藤原博, 田原芳雄: 鋼橋塗装の長期防食性能の評価に関する研究, 土木学会論文集, No. 570/I-40, pp. 129-140, 1997. 7