

施工後 20 年以上経過した GFRP 補強工法の補強効果と劣化状況

日本道路公団 東京管理局
ショーボンド建設(株)補修工学研究所 正会員
ショーボンド建設(株)東京支店

藤田 真実
〇三村 典正
島田 貴靖

1. 目的

昭和 56 年～57 年にかけて、中央自動車道 仙川高架橋において、供用後直ぐに床版の耐力向上目的でガラスロービングクロスをエポキシ樹脂で含浸・積層した FRP（以後、GFRP と略す）補強工法が施工された。仙川高架橋（図 1）は型鋼からなる鋼単純合成桁の特殊橋梁であり、また、床版厚は 19cm と薄く、剛性の低い構造である。現在、GFRP 補強工法施工後 20 年以上を経過し、交通量の増加及び車輛の大型化に伴い（日平均交通量:90000 台/日、大型車混入率 17%）、床版にクラック等の損傷が新たに発生しており、炭素繊維等による再補強が急務な状況であった。本報告では、GFRP 補強工法の補強効果と劣化状況を推定し、再補強にあたり既設 GFRP の処置方法について検討した。

2. GFRP 補強工法の概要

GFRP 補強工法は、図 2 に示すようにガラスロービングクロス（幅 200mm）をエポキシ樹脂で含浸・積層することで GFRP 層を形成し、床版を補強する工法である。床版下面にはハンチ部を除く全面に施工されており、ガラス繊維の貼り付け方向は橋軸方向のみである。施工当時の GFRP 及び含浸用エポキシ樹脂の物性代表値を表 1 に示す。

3. 調査概要

調査概要を表 2 に示す。調査は、（1）GFRP 補強効果の調査、（2）GFRP 劣化状況の調査について実施した。

4. 調査結果

（1）GFRP 補強効果の調査

GFRP 補強効果は、図 1 に示す未施工箇所と GFRP 施工箇所のひび割れ延長（幅 0.3mm 以上）を比較することで確認した。施工箇所のひび割れは GFRP を撤去し確認した。その結果、未施工箇所のひび割れ延長が約 92.9m であるのに対し、施工箇所は約 11.8～16.2m であった。以上より、施工箇所は未施工箇所と比較しひび割れ延長が少なく、床版との一体化により補強効果を発揮していたと推察できる。

（2）GFRP 劣化状況の調査

GFRP 劣化状況は、現場調査及び現場より採取した供試体で室内試験を実施し検討した。

①GFRP の変状（外観調査）

GFRP には、保護塗装はなく、含浸用エ

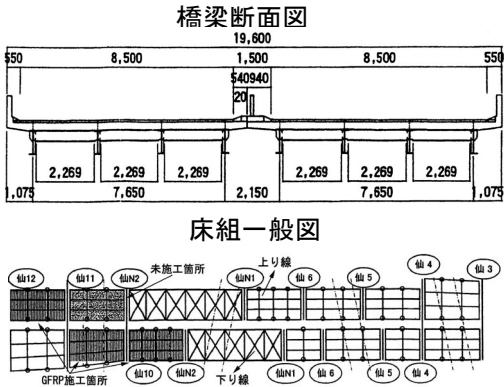
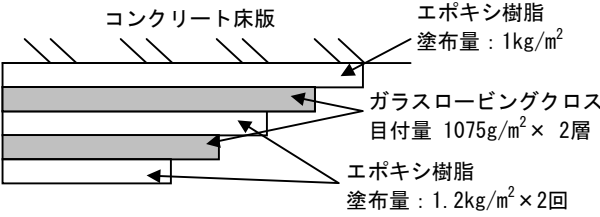


図 1 仙川高架橋



注）上記の仕様は、当時の資料のものである。
現場より採取した供試体は約5mmの厚さがあり、燃焼試験からエポキシ樹脂は約5kg/m²使用されていた。

図 2 GFRP 補強工法の概要

表 1 GFRP 及び含浸用エポキシ樹脂の物性代表値

GFRP			含浸用エポキシ樹脂			
引張強さ [N/mm ²]	引張弾性率 [N/mm ²]	曲げ強さ [N/mm ²]	引張強さ [N/mm ²]	引張弾性率 [N/mm ²]	曲げ強さ [N/mm ²]	引張せん断 接着強さ [N/mm ²]
370	17000	360	36	170	56	14

キーワード 仙川高架橋, GFRP 補強工法, 補強効果, 劣化状況, 再補強

連絡先 〒305-0014 茨城県つくば市桜 1-17 ショーボンド建設（株）補修工学研究所 TEL 029-857-8101

ポキシ樹脂が剥き出しとなっており、GFRP 表面全体は茶褐色に変色していた。また、部分的に白色箇所が存在した。写真1に状況を示す。白色箇所は主に隣り合う GFRP の継ぎ目に存在した。白色箇所では表面のエポキシ樹脂は消失し、ガラス繊維が毛髪のように剥き出しとなり、遊離石灰が発生していた。GFRP を撤去して確認したところ、床版にはひび割れが存在した。そのひび割れからは漏水が発生し、GFRP 背面が湿っていた。このことから白色箇所では、劣化したエポキシ樹脂がひび割れからの水によって徐々に洗い流されガラス繊維が剥き出し状態になったと考えられる。

②GFRP とコンクリートとの付着性

現場での建研式引張試験により付着性を確認した。付着強さは平均 4.4N/mm^2 ($3.3\sim 5.3\text{N/mm}^2$, $n=5$) の値を示し、破壊形態は GFRP 表面茶褐色部分のエポキシ樹脂凝集破壊であった。

③含浸用エポキシ樹脂の劣化

エポキシ樹脂の劣化状況を確認するため赤外線分光分析 (KBr 法) を行った。試料は表面の茶褐色部分と内部の薄黄色部分の2種類とした。両方ともエポキシ樹脂の特性赤外吸収帯が存在した。しかし、表面の茶褐色部分は内部の薄黄色部分と異なる吸収帯が発生しており、明らかに異なる物質に変質していた。

④GFRP の物性

GFRP の引張と曲げの物性試験を行い、施工当時の GFRP の物性 (表1) と比較した。試験結果を表3に示す。施工当時と比較し、引張強さは約 30%, 引張弾性率は約 70%, 曲げ強さは約 40%程度に低下していた。

⑤GFRP に対する再接着性

再補強にあたり GFRP の処置方法を検討するため、GFRP に対する再接着性を確認した。再接着性は鋼板と GFRP との付着強さ試験及び引張せん断接着強さ試験により検討した。供試体の表面仕上げは、シンナー拭きとサンダーケレン処理による茶褐色部除去の2種類とした。試験結果を表4に示す。付着強さ及びせん断接着強さとも、表面の茶褐色部を除去することで再接着性が向上し、GFRP 層間での剥離が生じないことを確認した。

以上より、施工当時と比較し GFRP の物性は低下しており、補強効果は低下していると推察される。また、GFRP 表面の茶褐色部分のエポキシ樹脂は、内部の薄黄色部分のエポキシ樹脂と比較し、紫外線等により物性低下を伴う変質が生じている。

5. まとめ

施工後 20 年間における GFRP の補強効果は認められた。再補強にあたり GFRP は、表面茶褐色部分の除去により再接着性は向上すると思われる。しかし、以下の3つの理由から撤去することが適切であると判断した。

- ①GFRP 施工箇所に発生しているひび割れ等の変状確認及び補修ができない。
- ②GFRP の物性は引張 30%, 引張弾性 70%, 曲げ 40%程度に低下し、施工当初に比べ補強効果が低下している。
- ③再補強のために GFRP の劣化部を現場で確実に除去することは困難である。

表2 調査概要

調査項目	調査方法
GFRP補強効果 (床版のひび割れ延長)	外観調査
GFRPの変状	外観調査
GFRPとコンクリートとの付着性	建研式引張試験
含浸用エポキシ樹脂の劣化	赤外線分光分析
GFRPの物性	曲げ強さ試験 引張強さ試験
GFRPに対する再接着性	層間付着強さ試験 引張せん断接着強さ試験



写真1 GFRP 白色箇所の状況

表3 GFRP 強度試験結果

引張強さ試験	引張強さ	106N/mm^2
	引張弾性率	11878N/mm^2
曲げ強さ試験	曲げ強さ	151N/mm^2

表4 GFRP に対する再接着性試験結果

表面処理		シンナー拭き	サンダーケレン
表面状況		茶褐色	茶褐色部削除
層間付着強さ試験	付着強さ	3.7N/mm^2	5.3N/mm^2
	破壊性状	茶褐色部界面100%	鋼板側界面100%
引張せん断接着強さ試験	接着強さ	7.4N/mm^2	14.6N/mm^2
	破壊性状	茶褐色部界面100%	鋼板側界面100%