

I - 351 炭素繊維接着による床版補強の検討（第3報）

首都高速道路公団 正会員 丸山 眞佐雄 (株)エントナルコンサルツ 正会員 渡辺 英夫
同 上 牧添 初 同 上 正会員 田中 樹由
同 上 斉藤 基泰

1. はじめに

旧設計基準（昭和46年4月以前）により設計・施工された鋼橋のRC床版は、床版厚と鉄筋量が不足しているため、近年の交通量の増加に対して耐荷力の向上が必要であり、縦桁増設工法や鋼板接着工法によって補強が行われている。しかしながら、昭和30年代に建設された橋梁には、上フランジが少なく内空が狭い箱桁橋（オープンボックス橋）があり、上記の工法では狭い箱桁内の補強工事は困難である。また、全面鋼板接着工法の場合には、床版下面が鋼板により全面覆われてしまうため、補強後の接着状況の確認ができないという問題点もある。そこで、箱桁内部に適用できかつ補強後の接着状況確認が容易な工法として、柔軟・軽量・高強度・高弾性率でしかも防錆不要な炭素繊維を格子状に接着する工法に着目して開発を進めてきた。平成5年には、一連の検討成果を踏まえて昭和35年に供用された実橋（図-1参照）について、補強工事を実施するとともに補強効果の確認を行った。

本報告は、本検討の最終報告として、工法概要、補強効果および適用性について報告するものである。

2. 補強工法の概要

2.1 補強方法：床版下面の床版支間方向および支間直角方向に、炭素繊維を2方向に織ったカーボンクロスまたは炭素繊維をシート状に一方方向に敷き並べたUDテープと呼ばれる材料をエポキシ樹脂で貼付け、引張鉄筋の応力度を低減（曲げ耐力の向上）させようとするものである。炭素繊維の種類・接着方法・補強量と曲げ補強効果の関係、引張鉄筋の応力度の算定方法および施工性等を調べるために、RCはり試験体とRCスラブ試験体による室内載荷実験を実施した^{1, 2)}。

2.2 適用対象とする床版のひびわれ損傷の程度：エポキシ樹脂が含浸して硬化した炭素繊維（CFRP）は、1層で0.5mm程度と極めて薄いためせん断耐力の向上はほとんど期待できないものと考えられるため、曲げ耐力の向上を目的とした。従って、本工法の適用対象は、1方向ひびわれ～2方向ひびわれ程度の範囲にある比較的軽微なひびわれ損傷状態の床版とする。

2.3 炭素繊維の材料特性：今回補強工事に使用した主な炭素繊維は、繊維を2方向に織ったカーボンクロスである。設計用値は、CFRPの引張試験（JIS K7073）結果を基に、表-1に示すような値を設定した。

2.4 補強設計法：炭素繊維接着により補強したRCはり試験体の引張鉄筋の応力度は、材料試験によるCFRPの弾性係数を用いてRC理論により推定できることを確認した²⁾。従って、補強量（カーボンクロスの層数）は、表-1の弾性係数を用いてRC理論により算定した引張鉄筋の応力度が $\sigma_s=1200\sim1400\text{kgf/cm}^2$ 程度になるような量として決定した。

表-1 CFRPの材料特性

カーボンクロスの 材料特性	①		②	設計に用い た値
	床版用試験結果 (CFRP)		メーカー 公称値 (繊維)	
	(特性値)	(平均値)		
引張強度 $\sigma_s(\text{kgf/cm}^2)$	7810	8550	12200	7810
弾性係数 $E_s(\text{kgf/cm}^2)$	925000		1090000	925000
繊維厚さ (mm)	0.435		0.35	0.435
備 考	繊維量 32g/m ²			

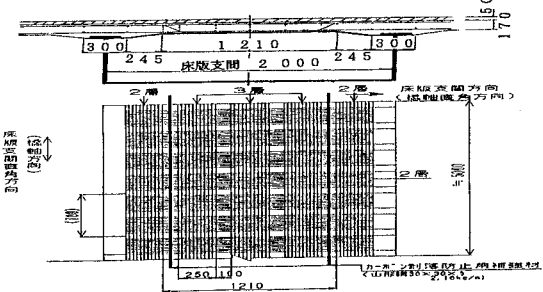


図-1 炭素繊維の接着方法

2.5 実橋床版への接着方法：床版下面への炭素繊維の接着は、作業性を考慮して図-2に示すように幅250mmのカーボクロスに100mmの隙間を設けて格子状に、エポキシ樹脂をカーボクロスに塗布含浸して行った。施工手順は、①下地処理→②プライマー塗布→③樹脂下塗→④クロス貼付け→⑤クロスへの樹脂含浸→⑥樹脂上塗り→接着層数に応じた④～⑥の繰返しによる。

3. 補強効果

3.1 目的：床版下面への炭素繊維の接着は高速道路の供用下で行うため、活荷重による振動やたわみの影響によるCFRPの剥離やエポキシ樹脂の接着強度の低下などの問題が懸念された。従って、この問題を確認するため、活荷重による補強工事前後の床版の挙動やエポキシ樹脂の強度を確認することにした。

3.2 確認方法：補強床版の格間中央付近を測定点として、路上に20tfトラックを載荷し、活荷重によるRC床版の鉄筋応力および下面のコンクリートひずみ（橋軸方向、橋軸直角方向）をひずみ計により、床版のたわみを変位計により、ひびわれ幅をπゲージにより、補強後のCFRPの応力（橋軸方向、橋軸直角方向）をひずみ計により測定した。また、計測は補強工事実施前、補強工事実施後約1カ月後および6カ月に行った。

3.2 載荷試験結果：静的載荷による主鉄筋（橋軸直角方向）の応力度を図-2に示す。

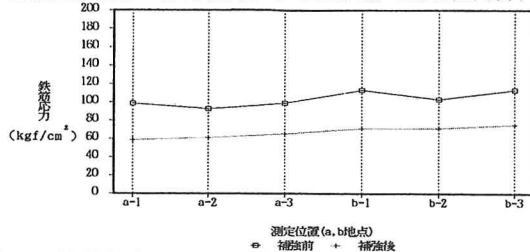


図-2 補強前後における床版支間中央位置の鉄筋応力度

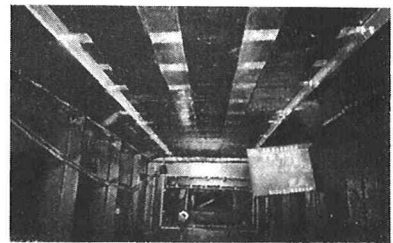


写真-1 補強後の箱桁内部の状況

橋軸直角方向の鉄筋応力度は、補強前92.4～113.4kgf/cm²であったが、炭素繊維接着後は58.8～75.6kgf/cm²となり約35%程度低減しており、補強効果が確認された。

3.3 炭素繊維と床版の接着状況：叩きと目視観察により補強後の接着状況を調査したが、炭素繊維接着箇所には浮き、剥がれ等は無く極めて良好な状態であった。また、建研式の簡易型接着力試験器により床版への炭素繊維の付着強度を測定したが（表-2参照）、十分所定の強度があることが確認できた。

表-2 付着試験結果

測定位置	養生期間	最大荷重 (kgf)	付着強度 (kgf/cm ²)	付着強度 (平均)	付着試験時の破壊状況
床版	1ヶ月	640	40.0	42.7	床版下面のコンクリート表面とエポキシ樹脂の界面で全面剥離
		600	37.5		同上
		810	50.6		面積比で約30%のコンクリート表層部がデイス側剥離した
	7ヶ月	740	46.3	41.9	床版下面のコンクリート表面とエポキシ樹脂の界面で全面剥離
		640	37.5		同上
		振動の影響を受けない部位		33.3	コンクリート表層部の全面がデイス側剥離した

4. まとめ

炭素繊維による実橋床版下面への補強工事の実施によって、炭素繊維接着の施工性および補強効果が確認できた。本工法はひびわれ損傷が比較的軽微な床版に対して、曲げ耐力の向上を計る有力な補強工法と考えられる。なお、今後とも追跡調査や試験工事によりデータを蓄積していきたい。

【参考文献】

- 1) 菊池・一樹・渡辺；炭素繊維接着による床版補強の検討、土木学会第46回年次学術講演会
- 2) 丸山・塩沢・渡辺・広瀬；炭素繊維接着による床版補強の検討（第2報）、土木学会第47回年次学術講演会
- 3) 田中・丸山・牧添；RC床版下面へのカーボン繊維接着による補強効果について、土木学会関東支部第 回技術研究発表会