

橋梁長寿命化修繕計画における RC 床版の補強対策 － FRP を用いた道路橋 RC 床版補強の現状と長寿命化対策－

新日鉄マテリアルズ(株) 小林 朗 ○小森篤也
日大生産工 阿部 忠 日大生産工(PD) 高野真希子

1. はじめに

橋梁構造物の補修・補強の流れとして、橋脚等の耐震補強に炭素繊維シート・アラミド繊維シートで、繊維補強プラスチック（Fiber reinforcement plastic, 以下、FRP とする）材料は使用され、実施されて来た経緯がある。トンネル構造物の内面補修等にも FRP 材料が多く使用されて来た。土木構造物の補修補強には、鋼板接着補強工法・RC まき立て補強工法なども活用されているが FRP による補修補強対策は、重機など大型機械が基本的に必要なく、また施工が容易であることから、現在も積極的に活用されている。現在、橋梁構造物は建造後、長い年限を経過する物も多く見られ、その設計時の耐力以上の車両通行も現状多くあり、補修・補強による長寿命化は、社会資本整備の中でも急務となっている。本研究では、各種 FRP を用い、道路橋 RC 構造物の RC 床版の長寿命化対策に対応し得るべき材料と工法仕様の取りまとめを報告するものである。

2. RC床版補強の基本的な考え方

RC 床版の長寿命化対策には、床版下面からのアプローチによるもの、床版上面からのアプローチによる物の 2 種に基本的に分類され、施工現場の環境等により選択されているのが現状である。本研究では、主として床版下面からアプローチされる FRP を用いた床版補修補強工法について、報告するものである。

基本的な考え方は、車両通行などの荷重により、正曲げ領域にある床版の曲げを FRP の引張耐力より拘束し、FRP の引張剛性により床版引張鉄筋の引張応力分担を軽減させ、橋梁 RC 床版の活荷重曲げを抑制し、長寿命化を実現することを目的とした工法となるものです。本研究では各種材料による材質・性能の差異と、事後点検の可否、再補修の適合性・可能性についても、併せて報告するものである。ま



図1 下面鋼板接着による床版抜け落ちの例¹⁾

た、工法選定及び基本的な考え方として、床版下面の補修補強に関わらず、留意されるべきことは事後の耐久性は勿論のこと、その点検などの作業を容易にすることも、十分に考慮されるべきである。

床版下面からアプローチされる従来技術としては、鋼板を床版下面に貼り付け設置する鋼板接着工法や、ポリマーセメントモルタル等下面増厚する工法などが、使用されてきたが、結果的には、床版上面からの雨水等の浸入、その浸入水による RC 内部でのすり磨き等により、長期間の使用に際して十分な耐久性を有していなかったことも報告されている。ここで、下面鋼板接着による床版抜け落ちの例を図1に示す。すなわち床版上面から浸入した水は床版に影響を及ぼすとされている。

3. FRPとしての材料について

FRP 材料は各種繊維を、樹脂接着剤で固めることでその強度を発揮するものであり、既往の研究では、床版構造物の補修補強に、各種繊維シートの補強により、適切に選定された材料を使用すればその寿命増加効果が 20 倍以上などとの報告もある。またその際に必要な剛性も定義されてきている²⁾。但し、FRP は、各種の繊維を樹脂で固めることにより強度を発揮するものであり、使用する接着剤なども環境に応

Study on rehabilitation of RC slab in order to extend life cycle bridges -Current state and life cycle measurement of bridge reinforcement with FRP-

by

Akira KOBAYASHI, Atsuya KOMORI, Tadashi ABE and Makiko TAKANO

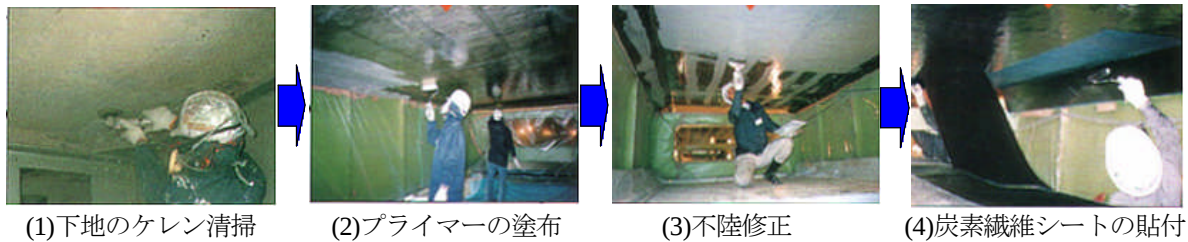


図2 床版下面に使用される炭素繊維補強の代表的な施工順序 (現場含浸型)



(1)下地のケレン清掃 (2)格子筋のアンカー設置 (3)モルタル吹き付けによる補修完了

図3 CFRP 格子筋を使用した床版下面での施工順序 (モルタル固定型)

表1 施工方法による FRP 繊維種類の一覧

種類	繊維種類	目付量等/枚
現場含浸型	CF/AF/GF	200g～600g/m ²
プレート型	CF	1000g/m ²
CFSS型	CF/AF	600～900g/m ²
格子筋型	CF/AF/GF	鉄筋D3-D16相当

※ CF=炭素繊維, AF=アラミド繊維, GF=ガラス繊維

表2 各種繊維材料の性能比較 (現場含浸型)

呼び名	種別	弾性率	剛性
CFRP	高強度型	2.45GPa	41kN/m
CFRP	高弾性型	6.40GPa	91kN/m
AFRP	アラミド1	1.18GPa	34kN/m
CFRP	Eガラス	0.73GPa	8kN/m

※繊維量 300g/m²相当にて比較

じ選択されなければならない。適切に選定された FRP 材料は、補強と補修に対し、引張強度と引張弾性率を兼ね備えることとなり、かつ、プラスチック製品であり、施工後錆の心配が無く、軽量で補修補強工事が容易となり施工の優位性もあるものである。

FRP を含む、補強材の仕様設計は、基本的に RC の設計法に準拠され、鉄筋の引張剛性の不足分を補うものとして設計される。その設計は、S39 年示方書の床版を、現行の B 活荷重対応の床版に補強することも現実に可能である。現在一般的に使用されている施工方法による FRP の補強工法種と繊維種について表1に示す。

表1では、施工方法による差異を呈したが、その際に使用する繊維材料の代表的な性能を表2に示す。必要な剛性 $EA = A \times \sigma$ (繊維断面積 × 引張弾性率)により求められる。素材の剛性では、高弾性型 CFRP > 高強度型 CFRP > AFRP > GFRP の順序となる。

表3 接着剤の種類による硬化・養生時間

種類	施工可能温度	硬化時間/層
エポキシ	5℃～30℃	8時間以上
MMA樹脂	-15℃～30℃	1.5時間程度
モルタル	5℃以上	3時間以上

FRP による床版補強は、設計された必要剛性になるまで、積層を繰り返し施工され、その結果は、既往の研究で多く発表されている。ほとんどは輪荷重試験による、評価試験であり結果としては、39 年示方書床版に必要な剛性は 82kN/m との報告もある²⁾。ただし、施工方法は多種存在し、現場の施工環境などにより適宜選定されるものである。ここで、施工方法や環境温度と性能による接着剤の使い分けを表3に示す。厳冬期等、施工場所などにより適切な施工用養生(加温など)および接着剤の選定が必要になる。

前記の様に、各種 FRP 補強材料は各種繊維と樹脂接着剤により構成されている。FRP を用いた補強材は、その繊維に施工現場で接着剤を含浸硬化させる現場含浸型の連続繊維シート、工場で含浸硬化させた板材を接着剤で床版下面に貼り付けるプレート型 FRP、さらにプレート緊張工法、すだれ状連続繊維 FRP シートを現場にて接着剤で貼り付け施工する CFSS 型シート、工場ワイヤーメッシュ様相に加工された FRP をモルタル等で貼り付ける格子筋型 FRP に大きく分類されて使用されている。前記の表により、FRP という区切りだけでは、大きくその性能に差が見られ、RC 床版補強には適切な施工環境と条件選定、設計の考え方も必要である。表2によると、同じ 300g/m²の繊維シートを用いても同じ剛性を発現

表4 既往の研究による床版厚/補強材剛性の一覧^{2), 3), 4), 5)}

供試体	床版厚 (mm)	炭素繊維シート		押拔せん断耐力		計算寿命		換算破壊回数 N_{equ} (10^3 回)	寿命増加率	
		貼付方法	引張剛性 S_f (kNm)	補強材比 ρ_t (l/mm)	母床版 P_{sxo} (kN)	補強後 P_{sxr} (kN)	母床版 N_{co} (10^3 回)	補強後 N_{cr} (10^3 回)	計算 N_{cr}/N_{co}	実験 N_{equ}/N_{co}
No.1	163	格子A	30	0.113	265	272	295	418	1.42	5.44
No.2	163	格子A	45	0.170	264	275	280	468	1.67	19.88*
No.3	150	格子A	80	0.379	211	231	16	51	3.19	7.25
No.4	150	格子A	68	0.327	208	226	14	40	2.86	13.57
No.5	180	格子B	70	0.254	276	300	512	1,477	2.88	26.98
No.6	180	格子B	60	0.217	276	296	491	1,244	2.53	27.43
S-GM	180	全面	38	0.13	291	302	1,013	1,586	1.57	7.99
S-HM1	180	全面	67	0.23	291	310	1,013	2,175	2.15	17.12
S-HM2	180	全面	93	0.319	291	316	1,013	2,816	2.78	26.61*
CF600	180	全面	82	0.279	294	317	1,133	2,888	2.55	22.58*

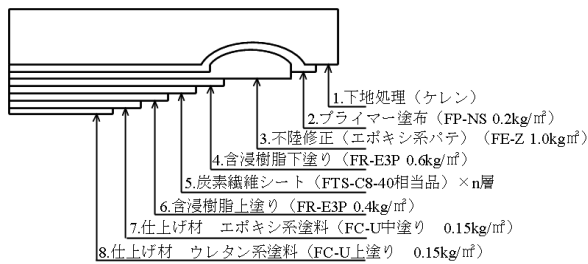


図4 標準的なCFS 下面補強図

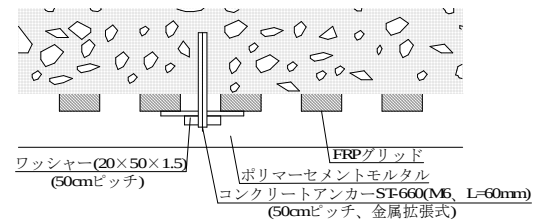


図5 格子筋型 FRP + ポリマーセメント
モルタルによる補強図

させるのにガラス/高弾性型炭素繊維の比では、11枚/1枚程の差があることとなる。また下面からの補修補強は交通規制の時間制約がなくなり、利用者には利便性が高い。

4. 具体的な施工断面等

FRPを使用した、床版補強方法の代表的な例として、炭素繊維シートを床版下面に現地で含浸接着硬化させる工法が多く施工されている。代表的な施工断面を図4に示す。当然のごとく、表面は耐候性塗料が塗布される。次に、格子筋型FRPを使用した施工断面を図5に示す。格子筋型FRP補強工法は、モルタルで仕上げるため塗装等は施されず、景観的には見た目に補修前と大きく変化がない。歴史的建造物の補修にも最適である。

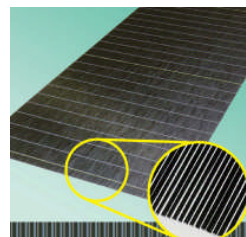
前記の図に示されたように、施工断面として各種繊維は構成されるが、繊維種類による施工方法は、変更点はない。

5. 各種FRP工法を使用した補修・補強完成出来型の差異について

表1に施工方法の差異を示したが、具体的な出来型差異について下記に示す。条件は、昭和39年の道路橋示方書に基づき設計したRC床版をB活荷重に対応させる場合とした。

(1) CFS下面補強

適切に選定されたCFSで、引張弾性率をもつ繊維



(1)CFSS



(2)格子筋型 FRP

図6 すだれ状に工場加工されたCFSSシート
および格子筋型FRPの施工例

シートを使用することにより格子貼りでの補修補強が可能である。また、全面貼りでの施工も可能である。適材適所の選択が可能である。

(2) プレート型

高弾性品プレートを使用することにより適切剛性となる床版補強は可能であるが、接着面積が50mm幅程度と少ないため、終局時には端部応力集中による剥離が懸念される。高強度型では多層貼り付けが必要となる。出来型は、格子貼りの出来型となる。

(3) CFSS型

1層当たりの引張弾性率が高く、格子貼りで施工が可能である。全面施工も可能である。工程は一番短く施工可能である。

(4) 格子筋型

施工方法がモルタル固定で、鉄筋入り下面増厚と

同じ施工方法となるため、施工面全面がモルタルで覆われることとなる。

6. 施工される下地床版について

施工下地のコンクリート床版は、永年供用され、少なからず損傷していることが想定される。下地の具体的損傷としては、ひび割れ及び遊離石灰の発生、鉄筋の露出、ジャンカ等の空隙部、表面のかぶり面からのコンクリート剥落、飛来塩分および上面から供給される塩分等による鉄筋の錆び爆裂等が考えられる。いずれの状況であれ、適切な補修が行われて初めて補強の効果が発揮できるものと考えられ、FRP補修補強工法では、補修材の付着に影響する塗装等も、撤去しなくてはならない。

将来においては、床版上面からの雨水などの再浸入が無くなれば、よりよき床版の環境の整備となることは言うまでもない。

また、下地コンクリートの圧縮強度等も適切に測定され確認されることは、接着剤の接着強度及び、せん断付着強度に依存する FRP 補修補強工法においては非常に重要な調査内容となる。下地コンクリートの圧縮強度が低い場合には、期待する引張材 (FRP) の定着 (付着) よりも先に下地コンクリートの破壊が発生し、期待された曲げ剛性向上が得られないこともある。

上記、圧縮強度・既存床版の実力評価の必要性は、他の下面増厚補修補強方法等でも同様である。

7. 長寿命化に理想的な事後点検について

補修・補強が実施された床版の点検は、特殊な機械装置などが必要ない、目視点検が第一に採用されることが想定され、また、その目視点検は、変状を発見するのに有効である。したがって、前記各種 FRP 補強工法において、格子貼り等の補修・補強工法で床版自体を完全に覆わず、ひび割れの進展、漏水の状況を確認できる工法仕様であることは点検の為には望ましい工法であるといえる。

8. まとめ

(1)道路橋 RC 床版を延命化させるために、各種 FRP を用いた補修補強工法では、第一条件として必要な補強量の算定のため、現況調査での現状耐力の把握が必要となる。調査結果を受けて、必要とされる繊維量の算定を行うが、その選定の際には、工程が短く、事後の点検が可能であり、かつ補修・補強効果が得られなければならない。

(2)昭和 39 年示方書に基づいて設計された RC 床版

を B 活荷重に対応させるためには、補強材の剛性はその都度計算が必要であるが、適切に実施された場合には、既往の研究によって効果実施検証もされているとともに、既に実橋でも実践されている。

(3)海沿い等の飛来塩分を受ける塩害地域の床版補強では、飛来塩分の浸入防止の為、床版下面の全面を覆い、飛来塩分から床版を守るという考え方もある。

(4)繊維材料の選択に関しては、なるべく剛性が高く、必要な積層数は少ないほど工程短縮となり、施工時間の短縮すなわち施工費用の縮減が可能である。

(5)補修・補強の結果、床版下面を補修材で全面を覆ってしまった場合には、ひび割れの進展、漏水および滞水状況の確認が困難となる可能性が高い。したがって、冒頭にて報告した、下面鋼板接着での押し抜き破壊の問題と同様に、床版下面から点検作業が不可能な補修・補強の工法は、なるべく避けるべきと考えられる。

(6)各種 FRP を用いて補修・補強を行う際にも、下地の大きなひび割れ、ジャンカ、かぶり不足、鉄筋の露出など通常の状態でない部位については適切に補修を施した後、補強の施工を行うべきと考えられ、接着能力に頼る、FRP 補修・補強工法には事前補修は必要である。

(7)樹脂接着剤を用いて施工される工法のため、施工環境での気温、養生時間等の条件設定で接着剤も適宜選択されなくてはならない。

(8)既に使用されてきた橋梁 RC 床版に、適切な設計による補強を施せば、既往の研究と実橋でも実践されている FRP による補修補強工法として、橋梁の長寿命化対策に対して有効であると考えられる。

参考文献

- 1)日経コンストラクション 5 月 p.45 (2010)
- 2)小林朗 ほか：炭素繊維シート格子接着工法により補強した RC 床版の疲労耐久性 コンクリート工学年次論文集 Vol.27 No2 (2005)
- 3)岡田昌澄 ほか：格子配置された炭素繊維床版補強効果、第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集 (土木学会), pp.175-180 (2003)
- 4)星島時太郎 ほか：損傷した道路橋床版の炭素繊維シートによる補強効果に関する実験的研究、橋梁と基礎, Vol32, No9, pp.23-28 (1998)
- 5)岸本真輝 ほか：目付量の大きい CFS で補強した床版の疲労耐久性の検討、土木学会平成 13 年度関西支部年次学術講演会講演概要, I-23 (2001)