

論文 道路橋 RC 床版の急速施工型上面補強法の開発と施工例

小森 篤也^{*1}・小林 朗^{*2}・阿部 忠^{*3}

要旨：道路橋 RC 床版の張出し部上面補強法に用いる、超速硬セメントモルタルとエポキシ樹脂接着剤、補強材に炭素繊維ストランドシートを用いる新たな補強法を開発した。そこで、この補強法の炭素繊維ストランドシートとコンクリートの剥離破壊エネルギーや付着強度などの力学的特性を評価し、補強床版の定点疲労試験から耐疲労性を評価した。さらに、実橋の RC 床版に上面張出し部を補強し作業性などを評価した。結果、従来行われてきた連続繊維シートを使用する補強法に比して約 4 倍の施工速度で施工が可能となり、交通規制時間の短縮に有効な補強法となることが確認された。

キーワード：RC 床版上面補強、エポキシ樹脂接着剤、ストランドシート、超速硬モルタル

1. はじめに

近年、道路交通量の増大や入出路の増設などに伴い、道路橋 RC 床版（以下、床版という）の縁端拡幅工事や中央分離帯連結工事などが計画・実施されている。しかし、これらの工事を行う場合、当初設計時に想定されていない車両走行位置の変更等が発生することがあり、負の曲げモーメントが主桁直上に発生することがある。そこで負の曲げモーメントへの対策として、炭素繊維などに代表される連続繊維シート（以下、CFS という）を床版上面の橋軸直角方向に接着する補強法¹⁾や、床版下面の張出部分にブラケットなどを設置し、たわみを抑制するなどの対策がとられてきた。しかし、床版上面から補強を施すには道路交通規制が必須となり、従来の施工方法であるエポキシ樹脂や速硬化型樹脂であるメチルメタアクリレート樹脂（MMA 樹脂）などと CFS、または工場で予めすだれ状の FRP に成型され、施工時間の短縮が可能となる連続繊維ストランドシート（以下、CFSS という）を使用しても、工程数が 5 層以上となる。施工の各工程に使用されるエポキシ樹脂では少なくとも半日程度、急速硬化型の MMA 樹脂を用いても、90 分程度の硬化養生時間が必要となるため、一日で施工できる範囲はおのずと小規模となっていた。これらのことから、さらなる交通規制時間の短縮が可能な急速施工型床版上面補強法が望まれている。

また、日本に約 70 万橋ある 2m 以上の橋梁は、高度経済成長期に多く建設され、すでに建設後 50 年を経過した橋梁も多い。そして、建設後 50 年を経過する橋梁が 20 年後には、約 27 万橋となり全体の約 67% となることも報告されている²⁾。そこで、その維持管理が重要な課題となっている。とくに、道路橋部材のなかで損傷が著しい部材は RC 床版であると報告されており、また、積雪

寒冷地環境におかれる床版は、凍結防止剤などによる塩害による鉄筋の発錆や、塩化物イオンを多く含む水が床版上面に滞水し、凍結融解作用と車両走行による疲労によりスケーリングや土砂化の損傷なども報告されている。そのため、これらの損傷の補修と同時に床版上面補強も施すことができる新たな補強法に対するニーズも高い。

筆者らは、床版上面補強に不陸修正や保護層として用いる「結合材」として、ビニロン繊維混合超速硬型ポリマーセメントモルタル（以下、JCM という）、既設床版との打継部の接着性向上や補強材の接着に速硬化型エポキシ樹脂接着剤（以下、エポキシ樹脂 1 という）を用い、そして、負の曲げモーメントに抵抗する「補強材」としては CFSS を用いる、新たな急速施工型床版上面補強法（以下、本補強法という）を開発した。

そして、中村ら³⁾は、コンクリートと CFSS との付着特性の評価を、前記エポキシ樹脂 1 と JCM、既に施工現場で実績のあるエポキシ樹脂パテ材（以下エポキシ樹脂 2 という）を用いて行い、設計に必要な剥離破壊エネルギー・定着長・付着強度を評価し、さらにコンクリート梁に本補強法を施し、耐荷力性能の向上を評価した。次に小森ら⁴⁾は、床版上面および下面の損傷により供用後 33 年で撤去された実橋 RC 床版を用い、本補強法を適応し、施工中に養生時間を設けない連続的な施工が可能となり、床版上面がスケーリングなどで損傷を受けた床版であっても床版上面の損傷の補修と同時に、床版上面補強が可能であることを確認した。そして、定点疲労試験からたわみの抑制や耐疲労性が向上することを評価してきた。

今回、中国地方の実橋 RC 床版の上面補強工事にて、本補強法の良好な施工性と、急速施工性を確認したので、併せて道路橋 RC 床版上面補強の一助とする。

*1 新日鉄住金マテリアルズ（株）コンポジットカンパニー開発本部 マネジャー 博（工）（正会員）

*2 新日鉄住金マテリアルズ（株）コンポジットカンパニー開発本部長 工修（正会員）

*3 日本大学生産工学部土木工学科教授 博（工）（正会員）

2. 使用材料および補強性能の評価

2.1 使用材料

本補強法に用いる材料は、「結合材」として JCM およびエポキシ樹脂 1, 「補強材」として CFSS の 3 種類である。ここで, JCM の材料特性値を表-1 に, エポキシ樹脂 1 の材料特性値を表-2 に, CFSS の材料特性値を表-3 に示す。JCM は, 43 分の始発時間を有し施工現場での十分なハンドリングタイムを有している。さらに注水後 3 時間で 21.3N/mm^2 の圧縮強度を発現する。エポキシ樹脂 1 は, 2 液混合型であり, 可使時間は 84 分と施工現場でのハンドリングタイムを十分に有し JCM の硬化時発熱も利用し 3 時間程度で実用強度に達する。

また, 付着強さは, 高速道路調査会により発刊された上面増厚工法設計施工マニュアル⁵⁾に規定される 1.0N/mm^2 以上の付着強さを 3 時間で発揮させる。

そして, CFSS は, すだれ状の FRP に加工された連続繊維シートであり, 現場での補強繊維への含浸作業が必要ないため, 施工速度が速く, 結合材の硬化により施工後速やかに補強材の引張性能が発揮され, 含浸不良による浮きなど, 施工不良の発生を低減可能な補強材である。これらのことから, JCM, エポキシ樹脂 1, CFSS 共に急速施工に適する材料である。

2.2 補強性能の評価

(1) 付着特性の評価

中村ら³⁾は, 既往の研究において本補強法の断面を再現し, CFSS の積層数を 1, 3, 5 層と変化させた場合のコンクリートとの付着特性についてエポキシ樹脂 1 を用いた場合および本補強法の施工断面を再現し, 土木学会が規定する試験法, JSCE-E-543-2007「連続繊維シートとコンクリートの付着試験方法」を用い評価してきた。ここで, 供試体を図-1 に, 施工断面を図-2(1), (2)に示す。

界面剥離破壊エネルギー G_f および付着強度 τ_u , 最大付着応力 τ_y , 有効付着長は l_e は, JSCE-E543-2007 準じ式(1), (2), (3), (4)を用いて算出した。

$$G_f = \frac{P_{\max}^2}{8b^2E_f t} \quad (1)$$

$$\tau_u = \frac{P_{\max}}{2bl} \quad (2)$$

$$\tau_y = \frac{\Delta \varepsilon_F \cdot E_F \cdot A_F}{S_g \cdot b} \quad (3)$$

$$l_e = \frac{P_{\max}}{2\tau_y \cdot b} \quad (4)$$

ここで, G_f : 界面剥離破壊エネルギー (N/mm), τ_u : 付着強度 (N/mm^2), $P_{\max}$: 最大荷重 (N), b : シートの幅

表-1 JCM の材料特性値

試験項目	試験値	試験方法
始発時間 (分)	43	JIS A 1147
終結時間 (分)	47	JIS A 1147
初期圧縮強度 (N/mm^2) (3時間)	21.3	JIS A 1108
圧縮強度 (N/mm^2) (28日)	56.2	JIS A 1108
初期付着強さ (N/mm^2) (3時間)	1.4	JIS A 6909 (接着剤併用)
付着強さ (N/mm^2) (28日)	2.3	JIS A 6909 (接着剤併用)
スランプ性能 (mm)	55	JIS A 1171 ミニスランプ

表-2 エポキシ樹脂 1 の材料特性値

試験項目	試験結果	試験方法
硬化物比重	1.4	JIS K 7112に準ずる
可使時間 分/23℃	84	温度上昇法 (250g)
圧縮強さ N/mm^2	68	JIS K 7208に準ずる
圧縮弾性係数 N/mm^2	2,594	JIS K 7208に準ずる
曲げ強さ N/mm^2	40	JIS K 7203に準ずる
引張剪断強さ N/mm^2	16	JIS K 6850に準ずる
付着強さ N/mm^2	2.3	JIS A 6909に準ずる

表-3 CFSS の材料特性値

種類	繊維の種類	引張強度 (N/mm^2)	引張弾性率 (N/mm^2)	備考
高強度型CFSS HTタイプ	炭素繊維	3,860	2.48×10^5	付着試験に使用 実橋施工に使用
中弾性型CFSS MMタイプ		2,900	3.94×10^5	疲労試験に使用
高弾性型CFSS HMタイプ		2,550	6.49×10^5	実橋施工に使用

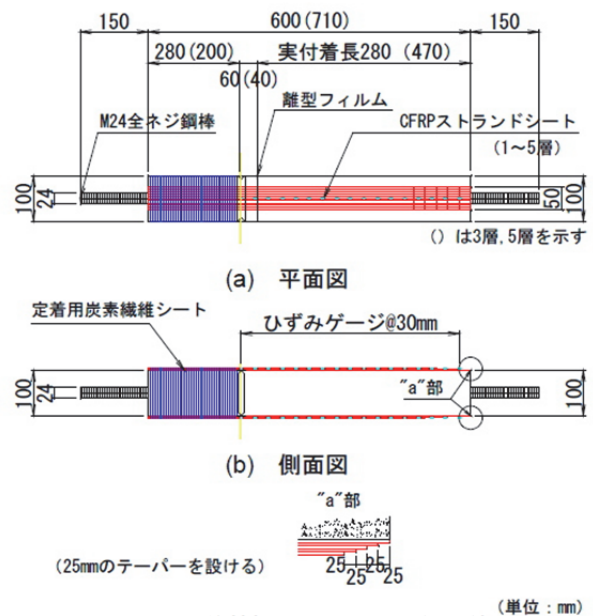
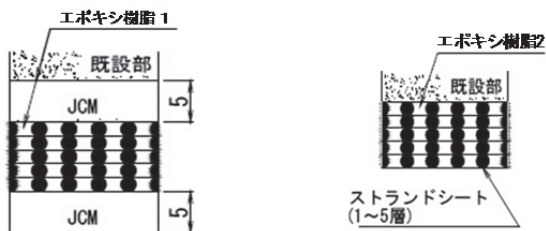


図-1 付着特性評価に用いる供試体

(mm), E_f : CFSS の引張弾性係数 (N/mm^2), t : CFSS の厚み (mm), l : は試験部分における有効付着長 (mm), τ_y : 最大付着応力 (N/mm^2), $\Delta \varepsilon_F$: 最大荷重時のひずみ増加区間での隣り合うゲージひずみ値の差, A_F : 繊維シートの断面積 (mm^2), S_g : ひずみゲージの貼り付け間隔 (mm), l_e : 有効付着長 (mm) である。

エポキシ樹脂 2 または, エポキシ樹脂 1 と JCM を用い



(1) エポキシ樹脂 1 を用いる供試体 (2) エポキシ樹脂 2 を用いる供試体

図-2 施工断面の詳細

表-4 付着試験結果の一覧

種類	シート積層数	最大荷重 P_{max} (kN)	界面剥離破壊エネルギー G_f (N/mm)	付着強度 τ_u (N/mm ²)	有効付着長 l_e (mm)	最大付着応力度 τ_y (N/mm ²)
エポキシ樹脂1 +JCM +CFSS	1	48.2	1.44	1.72	127	3.80
	3	72.8	1.09	1.46	267	2.73
	5	107.1	1.42	2.14	232	4.62
エポキシ樹脂2 +CFSS	1	42.1	1.09	1.50	188	2.24
	3	54.4	0.6	1.09	285	1.91
	5	70.6	0.61	1.41	264	2.67

て表-3に示すHTタイプのCFSSを1層から5層まで積層し付着試験を行った結果を表-4に示す。剥離破壊に至るまでの最大荷重は積層数の増加に伴い増加した。また、接着剤とJCMを用いてCFSSを接着した際の剥離破壊エネルギーは、連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針⁶⁾の基準である0.5N/mmに対し、積層数を変化させても1層の場合1.44N/mmとなり3層の場合1.09N/mm、5層の場合1.42N/mmとなりそれぞれ2.88倍、2.18倍、2.84倍の剥離破壊エネルギーを有し、本補強法はコンクリートと良好な付着状態であることが確認された。また、従来から使用されているエポキシ樹脂2を用いた付着試験でも同様に基準である0.5N/mm以上の剥離破壊エネルギーを有しており、共に安全側であり十分な付着性能を有している。

そして、本補強法の設計に必要な有効付着長も表-4に示すようにそれぞれの供試体で127mmから285mmの間となりCFSSが5層までであれば300mmとすることで安全側に評価される。

(2) 補強床版の耐疲労性の評価

筆者ら⁴⁾は、塩害・凍害の複合劣化を受けた岩手県の国道106号線に建設された単純上路式トラス橋から切り出されたRC床版を用い、本補強法で補強した床版にて定点疲労実験を行った。この床版は、昭和50年に建設され平成21年に撤去されており、供用年数は33年である。実験時の床版コンクリートの圧縮強度の平均は31.1N/mm²であり、鉄筋はD19が使用されていた。しかし、塩害・凍害の複合劣化により上面側の鉄筋は約20%

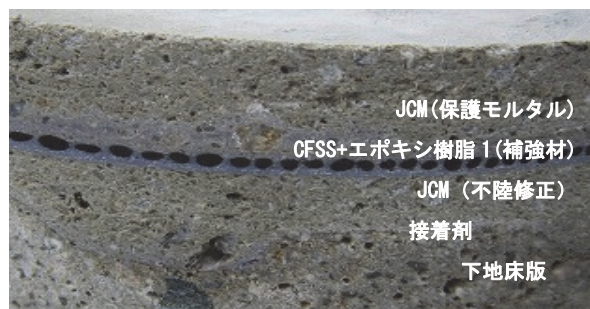


図-3 本補強法の施工断面

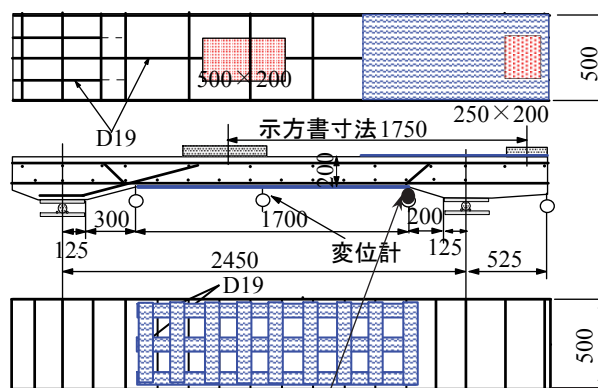


図-6に示す、変位計測位置

図-4 補強の範囲

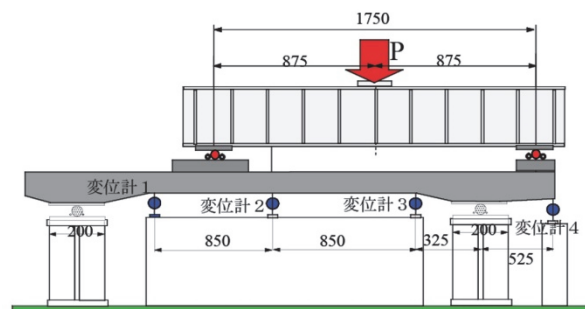


図-5 供試体の設置と載荷位置

腐食減肉しており、補強に用いるCFSSは鉄筋減肉分を補うものとし、表-3に示す繊維目付量600g/m²のMMタイプのCFSSを橋軸直角方向上面側に1層接着した。そして、床版の正曲げ破壊を防止するため、床版下面にはエポキシ樹脂2を用いてMMタイプのCFSSを格子状に接着した。ここで、施工断面を図-3に示す。図-4に供試体寸法および補強材の設置範囲を、図-5に載荷梁や供試体の設置状況を示し変位計3の上面側が負曲げの発生位置となる。

また、床版支間2,450mm、厚み190mm、張出部長さは525mmである。定点疲労試験には断面補修のみを施した床版と、本補強法により補強された床版をそれぞれ2体ずつ作製した。ここで、補修床版供試体の名称をRC.O-1、RC.O-2補強床版供試体の名称をRC.O-C1、RC.O-C2とする。補修・補強後の床版厚みは200mmとし、試験機の関係により、幅は500mmの梁構造とした。補強は、JCM、

CFSS, エポキシ樹脂 1 を含め約 13mm の厚みで施工した。また、疲労試験時に床版の正曲げ破壊を防ぐため床版下面にも、エポキシ樹脂 2 を用い表-3 に示す MM タイプの CFSS を格子状に接着した。供試体 RC.O-1,2 の載荷条件は、全荷重 150kN(=75kN+75kN)を初期値とし、200 万回ごとに 50kN 増加させた。200 kN 以降は 20 kN 増加させた。また供試体 RC.O-C1,2 は初期荷重 150kN とし、200 万回ごとに 50kN 増加させた。ここで、段階荷重載荷としたため等価繰返し回数を式(5)により算出した。

$$Neq = \sum_{i=1}^n (P_i/p)^m \times n_i \quad (5)$$

ここで、 Neq : 等価繰返し回数 (回), P_i : 載荷荷重 (kN), P : 基準荷重 (=75kN), n_i : 実験疲労回数 (回), m : S-N 曲線の傾きの逆数⁷⁾とする。

また、図-4, 5 に示す 4 点でダイヤルゲージによるたわみの測定を行い、補修のみを施した床版と補強を行った床版の破壊までの等価繰返し数および各等価繰返し回数におけるたわみを比較し耐疲労性を評価した。

ここで、破壊までの等価繰返し回数を表-5 に示す。上面補修のみ行った供試体 RC.O-1,2 の平均等価繰返し回数は 107.99×10^6 回であったのに対し、張出部上面を CFSS 補強および正曲げ部下面に CFSS を格子状に接着補強した供試体 RC.O-C1,C2 の平均回数は 445.97×10^6 回であった。補修のみを施した供試体の平均回数と補強供試体の平均回数を比較すると、補強した供試体に 4.1 倍の補強効果が得られた。

張出側ハンチ部分のたわみに着目すると、図-6 に示すように、補修床版供試体の初期たわみは供試体 RC.O-1,2 で、それぞれ 0.7mm, 0.6mm であったのに対し、補強床版供試体の初期たわみは、供試体 RC.O-C1,2 で、それぞれ 0.49mm, 0.50mm であり補強床版の初期たわみがやや下回っていた。補修床版供試体 RC.O-1 は、等価繰返し回数 12.0×10^6 回付近からたわみが減少しはじめ、 42.1×10^6 回付近から負のたわみ(浮き上がり方向)となった。破壊時のたわみは、それぞれ 2.6mm, -3.2mm であった。補強床版供試体 RC.O-C1 は、等価繰返し回数 2.0×10^6 回付近からたわみが減少しはじめ、等価繰返し回数 296.3×10^6 回付近から負のたわみとなり、破壊時のたわみは -1.52mm であった。供試体 RC.O-C2 は 47.1×10^6 回付近から負のたわみとなり、破壊時のたわみは -0.75mm であった。補修床版に比べて床版上・下面に CFSS で補強した供試体では、張り出し部支点上および支間中央の曲げ剛性低下が低減され、負のたわみの増加が抑制されていた。また、図-7 に示す破壊状況は、図-7(1)に示す補修を施した床版は負曲げ破壊を呈し、図

表-5 等価繰返し回数結果

供試体	等価繰返し回数	平均等価繰返し回数	等価繰返し回数比
RC.O-1	81,330,803	107,995,266	1
RC.O-2	134,659,728		
RC.O-C1	595,566,383	445,976,550	4.1
RC.O-C2	296,386,718		

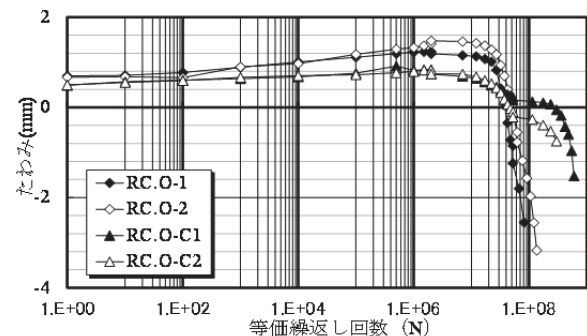
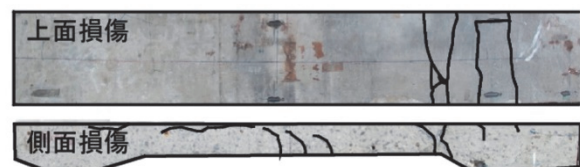
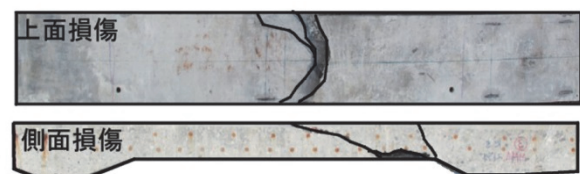


図-6 たわみと等価繰返し回数の関係



(1) 補修供試体の破壊状況



(2) 補強供試体の破壊状況

図-7 各供試体の破壊状況

図-7(2)に示す、補強を施した床版は 500mm 幅に切断したためハンチ部から床版支間中央の上面側に向けせん断破壊を呈したが、本研究に用いた梁状供試体と実際の床版は異なるため、終局は曲げ破壊に移行するものと考えられる。

3. 本補強法の施工現場への適応

3.1 対象橋梁の概要と性能照査

本橋梁の RC 床版は、昭和 39 年の道路橋示方書により建造されており、現在の道路橋示方書とは床版厚み・床版主鉄筋の許容応力度、配力筋の配置などが大きく異なる。現行の道路橋示方書に準じて床版の応力度を照査したところ、支点上の床版主鉄筋の応力度は、B 活荷重時も当初設計時の昭和 39 年道路橋示方書の主鉄筋許容応力度 ($1,800 \text{ kgf/cm}^2$) 以下の 130.9 N/mm^2 であったが、現行道路橋示方書の主許容応力度 (120 N/mm^2) を超過したため、上面補強を施すこととなった。支点上の主筋方向

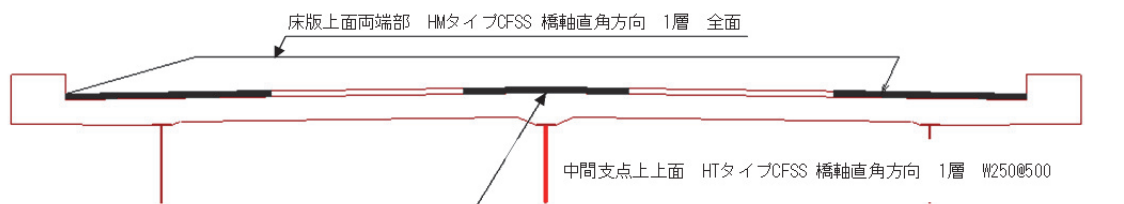


図-8 補強材の配置

のみの鉄筋応力度が超過したため、支点上橋軸直角方向のみに補強を行った。ここで、補強材の配置を図-8に示す。補強材であるCFSSは、表-3に示す、中間桁上にはHTタイプを端部張出し部にはHMタイプをそれぞれ使用した。また、対象橋梁は図-9に示す片側1車線の3径間鋼トラス橋（以下、本橋梁という）である。本橋梁は、2013年の調査では13,100台～16,100台/日の交通量が報告されているが⁷⁾、近隣に迂回路がないため、全面通行止めでの補強工事が困難な橋梁であった。



図-9 施工場所の全景

3.2 床版上面補強の施工

(1) 本補強法の施工手順

RC床版への本補強法の施工手順を図-10に示す。

(2) 舗装切削および研掃・損傷部の処理

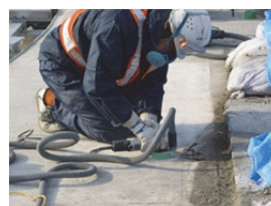
車両走行面全面がアスファルト舗装に覆われていたため、舗装切削機を用い補強部位を含む床版上面のアスファルト舗装を切削撤去した。次にショットブラストにてアスファルト舗装や床版防水など床版上面の付着物を撤去し、さらに切削後床版凹部のアスファルト防水など付着物をディスクサンダーで除去した。その後、エアブローにて清掃を行なった。また、本床版は、部分的に床版上面損傷が生じていたので、部分的な損傷部分をチッパーで圧縮鉄筋裏まで除去し、結果、深さが過大となる、当該箇所に対しては、予めJCMで埋め戻しを行った。

(3) 接着剤の塗布

補強部位の周囲を養生し、補強部位にJCM用の接着剤としてエポキシ樹脂1を塗布した。本接着剤を電動攪拌機を用い均一に混合し、ローラー刷毛で 0.7kg/m^2 （約0.5mm厚）となるように塗布した。その後、必ず接着剤の硬化前に次工程である不陸修正工を行った。

(4) 不陸修正工の施工

接着剤の塗布後、路面切削の際に生じた凹凸面を平滑にし、CFSSを浮きなく接着させるため、JCMを用いて不陸修正工を行った。JCMは電動攪拌機を用い、注水後2分間混合して均一に攪拌された事を確認後、ビニロン繊維をJCMに投入し、さらに1分間混合しビニロン繊維が均一に分散したことを確認した。練りあがったJCMを左官ゴテで平滑に敷きならし、不陸修正は平均5mm厚とした。平滑な表面とした後JCMの硬化を待た



(1)下地処理



(2)エポキシ樹脂1塗布



(3)JCMによる不陸修正



(4)エポキシ樹脂1塗布とCFSS接着



(5)保護モルタルの施工



(6)封かん養生（完成）

図-10 施工工程

ず連続で次工程のエポキシ樹脂1の塗布とCFSSの接着工程に取り掛かった。

(5) 接着剤塗布とCFSSの接着

不陸修正の施されたJCM上に、再度CFSS用の接着剤としてエポキシ樹脂1を混合しCFSS1層あたり 3.0kg/m^2 となるように左官ゴテで塗布した。次に、連続工程でCFSSを接着し脱泡ローラーや左官ゴテを用いて不陸修

正に用いた JCM・接着剤の層に埋め込むように接着した。なお、2層以上の施工が必要な場合、CFSS を 1 層接着後、再度エポキシ樹脂 1 を塗布し CFSS を接着させる。その後、接着剤の硬化前に次工程である保護モルタルの施工にかかった。

(6) 保護モルタルの施工と封かん養生

保護モルタルは、補強後のアスファルト舗装改修などの際に補強材である CFSS を保護し、また、床版防水材との付着を確実にするためにエポキシ樹脂 1 により埋設された CFSS の上に塗布する。不陸修正時と同じく、JCM を混練し左官ゴテで 5mm 厚となるように平滑に塗布した。塗布後は、水和水の揮発や通風によるひび割れ防止やエポキシ樹脂 1 と JCM の硬化に必要な温度の低下を防ぐため、ポリエチレンシートを用い施工面全面を封かん養生する。3 時間以上の封かん養生後、養生を開放し次工程の床版防水と舗装復旧にかかった。

(7) 床版防水と舗装復旧

本補強法の表面は JCM によるセメント材料で仕上げとなるため、補強部・非補強部の区別なく一般的に使用される床版防水材の使用が可能となる。床版防水の施工後、舗装や路面表示を復旧し補強工事が完了する。

(8) 施工の速度

今回の道路橋 RC 床版上面補強は、片側交互通行の交通規制で行われたが、従来型の補強法であり、最も施工速度が速い MMA 樹脂と CFSS を用いた補強法と比して 1 日あたり約 4 倍の 40m² 程度の施工量を実施することが確認された。これは、施工中に接着剤の養生による待機時間が全く必要なく、連続的に補強工事が実施可能で、JCM の硬化速度も速いため、施工速度の向上に大きく寄与しているものと考えられる。今回の施工時期は、氷点下になるような環境条件ではないため、寒中養生なども必要なく順調に施工が進んだが、冬季の施工における養生方法などについては今後の課題としたい。また、今回の既設床版の損傷部は、モルタルで一度に復旧するには厚みが大きく、予め補修を行ったが、今後は、補修部の厚みに関係なく補修と同時に本補強法の適応が可能になるよう研究を進めたい。

4. まとめ

今回、道路橋 RC 床版の上面張出し部に対し、付着性能や耐疲労性の評価結果から、新たな補強法を実橋に適応し、以下の知見が得られた。

- (1) 提案する本補強法は、付着試験の結果から許容応力度法で補強設計を行うにあたり、設計の基準値とされる 0.5N/mm² 以上の付着強度を有し安全側に設計

可能である。また、界面剥離破壊エネルギーを用いた設計においては、高い界面剥離破壊エネルギーを有しており CFSS の高い引張強度を有効に活用可能で有効付着長も CFSS5 層までの場合 300mm とすれば安全側に設計可能である。

- (2) 供用後 33 年が経過し撤去された実橋 RC 床版を用い、本補強法により補強を行った結果、補修のみを施した床版に比して補強を施した床版は、等価繰返し回数で約 4.1 倍となり耐疲労性の向上が確認された。そして、負曲げ破壊は発生せず負曲げ部のたわみも大きく低減されたことから本補強法の効果が確認された。
- (3) 従来から行われてきた、CFS や CFSS と各種の樹脂で床版上面を補強する補強法に比して、施工速度が速く、1 日あたり約 4 倍の施工量を実施することが可能となった。これらのことは、さらに交通規制時間の厳しい大都市圏の道路橋 RC 床版にも適応可能であると考えられ、今後は更なる研究開発により冬季の施工環境下でも短時間施工が実現可能となるよう研究開発を進めたい。

参考文献

- 1) 菅野春雄，菊地重徳，古賀秀幸，松本修一：RC 床版上面に使用する炭素繊維補強，土木学会第 51 回年次学術講演会，pp.1098-1099，1996
- 2) たとえば，国土交通省：国土交通白書 2014，2014
- 3) 中村智，山口浩平，小森篤也，日野伸一：各種接着剤により積層補強された CFRP ストランドシートとコンクリートとの付着特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.2，pp.1345-1350，2002
- 4) 小森篤也，阿部忠，水口和彦，岩崎正二ら：張出部を有する実橋 RC 床版の CFSS 上面接着補強法に関する研究，材料学会，コンクリートの補修，補強アップグレードシンポジウム論文報告集，pp.397-404，2013.11
- 5) (財) 高速道路調査会：上面増厚施工設計施工マニュアル，2007
- 6) 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，土木学会コンクリートライブラリー 101，2000.7
- 7) 道路橋床版の要求性能と維持管理技術，土木学会，pp.99-100，2008
- 8) 国土交通省中国地方整備局松江国道事務所：松江自動車道（中国横断自動車道尾道松江線）全線開通後の交通量（速報値），2013