

接着剤塗布型RC床版上面増厚工法の開発と現場施工事例

日大生産工(院) ○伊藤清志 日大生産工 阿部 忠
鹿島道路㈱ 児玉孝喜 住友大阪セメント㈱ 小堺規行 ㈱ケミカル工事 深川克彦

1. はじめに

道路橋 RC 床版の維持補修工事において部分損傷は補修箇所の再損傷や損傷範囲の拡大などが課題とされ、確実な補修技術が求められている。本研究では、既設 RC 床版上面損傷部の取壊し面に残るマイクロクラックに浸透して付着界面の補強をはかる浸透性プライマー、および接着接合型上面増厚工法として既の実績のある打継用高耐久型エポキシ樹脂接着剤を併用し、床版補修専用材を既設床版と強固に一体化させる部分補修工法について、輪荷重走行疲労試験による耐久性を評価し、さらにその床版補修技術を RC 床版上面増厚補強工法に応用させた実現場における施工性について検証する。

2. 課題と要求性能

一般的な床版上面の部分補修では打撃を伴う人力によるハツリで脆弱部を除去し、超速硬性無収縮モルタルや超速硬コンクリートなどの速硬性を有するセメント系材料で補修されている。しかし、補修後に再損傷が繰り返される事例もあり、補修材とその付着状態についての改善が求められる。再損傷の発生要因としては薄層で施工される補修材が既設床版の弾性係数の違いから付着界面のはく離やひびわれの発生が考えられる。一方、疲労や凍害・塩害などにより劣化、脆弱化した損傷部位のハツリ作業により発生するマイクロクラックが、補修材と既設床版との付着切れや劣化の進展に影響していると考えられる。そこで、弾性係数を既設床版と同程度とした床版補修専用の補修材と、マイクロクラックの充填強化と共に補修材を既設床版に確実に接着接合させる補修技術が求められる。

3. 開発

3.1 専用補修材

RC 床版の部分補修に着目した専用の補修材として安藤ら¹⁾は超速硬性繊維補強ポリマーセ

メントモルタルを開発している。この新たな補修材の開発では弾性係数を既設 RC 床版と同程度となるように抑えることを重要な目標とした。これは薄層となる補修材が既設 RC 床版と同様な挙動となることではなく離や割れを防ぐと考えるためである。しかし、この開発品は材齢 24 時間における初期強度は 27.2N/mm^2 であり、日々交通規制で行う維持補修工事では限られた作業時間において確保できる 3 時間程度の養生時間では道路橋示方書・同解説²⁾（以下、道示とする）に規定されている圧縮強度 24N/mm^2 を満足することが出来ない。そこで、この配合に初期強度発現性について見直しを行い、新たな超速硬繊維補強セメントモルタル（Ultra Fiber Reinforced Cement Mortar（以下、補修材 UFRCM とする））を開発した。この補修材 UFRCM は超速硬セメントと細骨材と粉末減水剤などをプレミックスした粉体と繊維長 12mm の高強度ポリビニルアルコール繊維（以下、PVA 繊維）を添加する。一般的に補修材として用いられている超速硬無収縮モルタル（以下、補修材 URCM とする）と補修材 UFRCM の各配合を表－1 に、材料特性を表－2 に示す。

3.2 浸透性プライマー

高速自動車道などでは道路橋 RC 床版の補強工法として RC 床版上面に超速硬 SFRC を打継ぐ床版上面増厚工法³⁾が適用されてきたが、既設床版と増厚の付着界面に剥離が確認されたり、このはく離に起因した損傷により再補修となる事例もある。この改善工法として筆者らは、既設床版の上面に打継用の高耐久型エポキシ樹脂接着剤を塗布する“接着接合型 SFRC 上面増厚補強法”を新たな増厚補強工法として提案⁴⁾し、耐疲労性を評価^{5)、6)、7)、8)}している。この高耐久型エポキシ樹脂接着剤の性能を表－3 に示す。しかし、維持補修工事における部分補修では打撃を伴うブレードを用いて既設アスファルト舗装や既設床版の損傷箇所を削ることから健全

Development of a method of increasing the thickness of the upper surface of the RC slab with adhesive applied and case examples

Kiyoshi ITO, Tadashi ABE, Takayoshi KODAMA, Noriyuki KOSAKAI and Katsuhiko HUKAGAWA

な床版にマイクロクラックを発生させている。このマイクロクラックに着目し、切削機やブレードによる打撃が既設床版に発生させた 0.05mm 以下のマイクロクラックに自然浸透により充填される低粘度の接着剤として浸透性プライマーを開発し、高耐久型エポキシ樹脂接着剤を重ね塗りすることで既設床版との付着を高度化することを目的とした。この浸透性プライマーの物性値を表－4 に、浸透性プライマーの充填状況を写真－1 示す。写真－1 はハツリ面の緩みのない箇所へエポキシ用蛍光塗料を主剤の 2 % 程度添加した浸透性プライマーを刷毛で塗布し、硬化後に切断した断面である。写真－1(1)は昼光色の蛍光灯、写真－1(2)はブラックライトを照射して撮影したものである。比較すると骨材とモルタルとの境などにマイクロクラックが生じており、浸透性プライマーが充填されていることが確認できる。このようにハツリの衝撃が弾性係数の異なる骨材とモルタル境界付近にマイクロクラックを発生させている可能性があり、このマイクロクラックに充填、補強することで再損傷を防ぎ、耐久性向上を図ることができると考えられる。また、この浸透性プライマー塗布後に打継用の高耐久型エポキシ樹脂接着剤を重ね塗り後に補修材を打込む補修工法における付着強度を検証する。この実験条件では、基材とするコンクリート平板に電動チップャーを用いたようなチップングにより擬似的にマイクロクラックが発生した床版の状態を再現し、2 種類の接着剤適用の有無および補修材は URCM と UFRCM の 4 条件について建研式引張試験機により付着強度を確認する。試験結果を表－5 に示すとおり、補修材 URCM、補修材 UFRCM のいずれもが接着剤(浸透性プライマー+高耐久型エポキシ樹脂接着剤の併用)を用いることで、付着力が増していることが確認される。

3.3 輪荷重走行疲労実験による捕集効果の検証

(1) 供試体 RC 床版供試体および補修供試体の寸法は道示に準拠した 3/5 モデルとし、寸法は全長 1,600mm、支間 1,400mm、床版厚 150mm、鉄筋は複鉄筋配置で引張側の軸直角方向および軸方向に D13 を 120mm 間隔で配置する。その有効高さは、それぞれ 125mm、105mm である。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置する。詳細を図－1 に示す。

(2) 予備載荷と脆弱部のハツリ 補修すべき床版の状態(劣化過程が進展期に相当する)を再現するため、予備載荷として床版たわみが床版支間 L の 1/400 (活荷重たわみの場合 L/800) にな

表－1 材料特性値

試験項目		URCM	UFRCM
凝結時間(min)	始発	17	35
	終結	25	45
圧縮強度(N/mm ²)	2時間	25.1	19.1
	3時間	45.2	24.5
	4時間	52.3	27.0
	28日	62.3	49.9
静弾性係数(kN/mm ²)	28日	43.7	23.8

表－2 SFRC床版供試体の示方配合

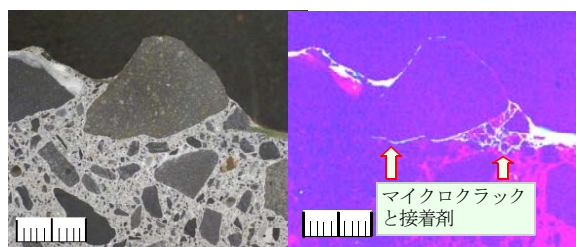
補修材	配合(KG/m ³)				水結合比(%)
	プレミックス粉体	骨材その他		繊維	
URCM	938	938	—	338	36
UFRCM	618	1232	5	278	45

表－3 高耐久型エポキシ樹脂接着剤の物性値

項目	性状と物性	備考
外観	主剤	白色ペースト状
	硬化剤	青色液状
混合比(主剤:硬化剤)	5:1	重量比
硬化物比重圧縮強さ	1.40±0.20	JIS K 7112
圧縮強さ	50N/mm ² 以上	JIS K 7181
圧縮弾性係数	1000N/mm ² 以上	JIS K 7181
曲げ強さ	35N/mm ² 以上	JIS K 7171
引張せん断強さ	10N/mm ² 以上	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	1.6N/mm ² 以上または母材破壊	JIS K 6909

表－4 浸透性プライマーの物性値

項目	測定値	備考
圧縮強さ	104.4N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数	3172N/mm ²	JIS K 7181
曲げ強さ	92.8N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ	58.2N/mm ²	JIS K 6850



(1) 蛍光灯照射 (2) ブラックライト照射
写真－1 浸透性プライマーの充填状況(1mm/目盛)

表－5 建研式引張試験機による付着強度

補修材	接着剤	付着強度 (N/mm ²)	破断位置
URCM	無し	0.99	界面
	有り	1.92	母材
UFRCM	無し	1.65	母材
	有り	2.33	母材

る 35,000 回の輪荷重走行疲労を与えてから、荷重輪が走行する(幅 300mm ×長さ 1,000mm)より大きい範囲(幅 600mm×1,000mm)を電動ピックにより深さ 18mm で一様にハツリ取り、補修面とした。このハツリ深さは、実際の施工深さ 30mm(上側鉄筋の上部までの補修を想定)を 3/5 モデルより 18mm とする。なお、ハツリ面は実現場を想定して塵埃のみの清掃とする。

(3) 補修工 補修は浸透性プライマー (0.5kg/m²) を塗布してから速やかに打継用高耐久型エポキシ樹脂接着剤 (0.9kg/m²) を重ね塗り後、補修材 UFRCM を打込み補修した床版供試体 RC.UF を作製した。なお、比較として未補修の RC 床版供試体を用意する。

(4) 輪荷重走行疲労実験 輪荷重走行疲労実験は、床版供試体の輪荷重走行面に幅 300mm、厚さ 3.2mm の鋼板を設置し、その上面を幅 300mm の荷重輪を軸方向に 1,000mm の範囲で繰返し走行させる実験である。輪荷重の初期荷重は 100kN から開始し、20,000 回走行ごとに荷重を 20kN ずつ増加する段階荷重載荷とする。また、輪荷重走行 1、10、100、1,000、5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとに、床版中央における全体たわみを計測する。

(5) 輪荷重走行疲労実験における等価走行回数 耐疲労性を等価走行回数より評価する。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。なお、基準荷重 P は道示に規定する活荷重の 3/5 に安全率 1.2 を考慮した 72kN ($= 100 \times 3/5 \times 1.2$) として等価走行回数を算出する。S-N 曲線の傾きの逆数 m の絶対値には、松井らが提案する 12.7 を適用する^{9)、10)}。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times N_i \quad (1)$$

ここで、 N_{eq} ：等価走行回数(回)、 P_i ：載荷荷重(kN)、 P ：基準荷重($= 60\text{kN}$)、 N_i ：実験走行回数(回)、 m ：S-N 曲線の傾きの逆数($= 12.7$)

4. 実験結果および考察

4.1 輪荷重走行実験による等価走行回数

RC 床版供試体の破壊時の等価走行回数 14.391×10^6 回を基準として補修効果を評価する。補修後の等価走行回数は 47.349×10^6 回、破壊時の累積等価走行回数は 55.215×10^6 回となり、RC 床版供試体の 3.84 倍の補強効果が得られた。RC 床版および補修 RC 床版の等価走行回数を表-6 に示す。

4.2 たわみと等価走行回数

RC 床版供試体および補修床版供試体のたわみと等価走行回数の関係を図-2 に示す。予備載荷後のたわみは 3.5mm、残留たわみは 1.29mm、UFRCM で補修後の破壊時の等価走行回数の累積は 55.215×10^6 回におけるたわみは 8.39mm である。

5. 床版上面増厚補強工法に適用した施工事例

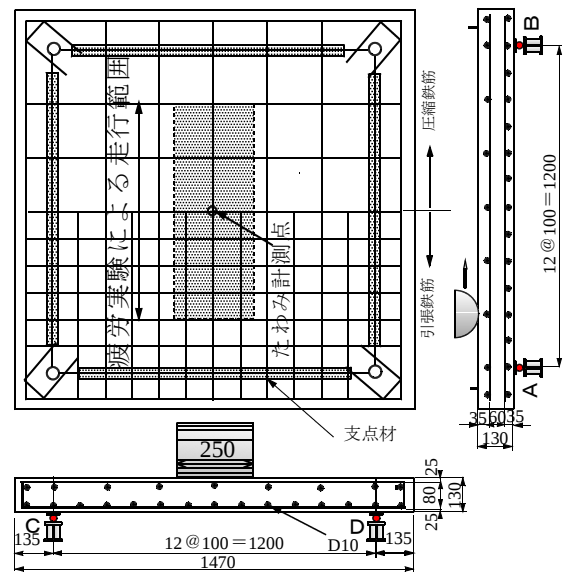


図-1 RC床版供試体寸法

表-6 等価走行回数

供試体	RC床版	補修後の等価走行回数	等価走行回数の合計	補修効果
RC	14,391,598	—	14,391,598	
RC.UF	7,865,598	47,349,889	55,215,487	3.84

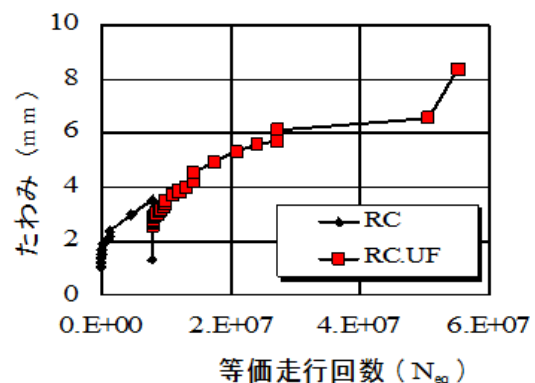


図-2 たわみと等価走行回数

本橋は一日の交通量が一方方向で 10,000 ～ 12,000 台、大型車はコンテナを積載した大型車などが一方方向 2,000 ～ 2,400 台となる昭和 40 年前半に架橋された港湾部の鋼橋で、床版厚さが 190mm と薄い。近年ではアスファルト舗装のひび割れやポットホールが発生し、床版の部分補修を含む維持補修が繰り返されていた。そこで、浸透性プライマーと打継ぎ用の高耐久型エポキシ樹脂接着剤を全面に塗布後に超速硬 SFRC を打込むという新たな接着剤塗布型床版上面増厚工法により床版耐力を向上させる補強工法が採用され、2 月～3 月の冬期に昼夜間連続 96 時間集中工事として実施した。施工断面を図-3 に示す。施工は既設アスファルト舗装の剥ぎ取り

後に既設床版を 10mm 厚で切削し、テストハンマーを用いた叩き検査により脆弱化した箇所を特定して断面修復を先行した。断面修復工は損傷範囲を電動ブレードによりハツリ、清掃後に浸透性プライマーを 0.9kg/m^2 以上、打継用高耐久型エポキシ樹脂接着剤を 0.5kg/m^2 の塗布量で周囲の立ち上がり部も含めて塗り重ねてから速やかに超速硬コンクリートを打込み、入念に締固める。養生工は防災シートにエアキャップを貼り付けた二重シートによる断熱・封緘養生とした。次に断面修復工の養生終了後に断面修復箇所を含める床版上面をショットブラストによる研掃(投射密度 150kg/m^2)を行い、浸透性プライマーを 0.9kg/m^2 で塗布後に打継用高耐久型エポキシ樹脂接着剤を 0.5kg/m^2 でムラなく塗り重ねる。この際、プライマーと打継用高耐久型エポキシ樹脂接着剤の塗布は、施工時の気温なども考慮して可使時間以内に超速硬 SFRC が打込み完了となるように打込み作業に先行して行う。超速硬 SFRC の敷均しと締固めは Co フニッシャーにより行い、養生工は寒中養生として防災シートにエアキャップを貼り付けた二重シートを用いた封緘養生とする。施工状況を写真-2 に示す。養生終了後の床版上面増厚補強の上面には防水工を行い、アスファルト舗装による表層工を実施する。

6. まとめ

道路橋 RC 床版上面の部分補修について耐久性向上を図る新たな技術としてマイクロクラックを補強する浸透性プライマーと床版補修に適した床版補修専用の補修材を開発し、輪荷重走行疲労実験により補修効果を確認した。また、この付着界面を強化する技術を用いた道路橋 RC 床版上面増厚補強工法を提案し、実現場における適用性を確認した。今後は供用後における経過観察を行うと共に、更に本工法について改良・改善を図り、道路橋 RC 床版の長寿命化対策としての補修技術向上の一助としたい。

「参考文献」

- 1) 安藤重弘、榊原弘幸、小林哲夫、山下雄史、伊藤清志、小森篤也、阿部忠：道路橋 RC 床版の補修材料の性状について、第 44 回日本大学生産工学部学術講演会、講演会資料 pp13-16、2011
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I、II、III、2002
- 3) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル、1995

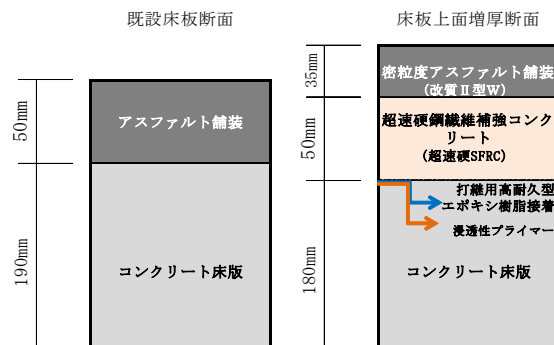


図-3 施工断面



写真-2 2種類の接着剤塗布状況

- 4) 児玉孝喜、西元央、鎌田修、福手勤：フレッシュコンクリートの接着接合における接着剤成分が耐久性に及ぼす影響に関する研究、セメントコンクリート論文集、No.63、pp546 - 553、2009
- 5) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル、土木学会鋼構造委員会、道路橋床版維持管理 小委員会、2012
- 6) 阿部忠、木田哲量、水口和彦、児玉孝喜：SFRC 上面増厚補強 RC 床版の輪荷重走行疲労実験による S-N 曲線式の提案、構造工学論文集、Vol.58A、pp1156-1165、2012
- 7) 伊藤清志、阿部忠、児玉孝喜、山下雄史、一瀬八洋：乾燥・湿潤状態で接着剤を塗布した SFRC 上面増厚補強法の耐疲労性の評価、構造工学論文集、Vol.58A、pp1178-1188、2012
- 8) 阿部忠、鈴木寛久、貴志豊、野本克己：RC 床版の SFRC 上面増厚補強法における接着剤が耐疲労性に及ぼす影響、構造工学論文集、Vol.59A、pp1084-1091、2013
- 9) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、桑北出版、2007
- 10) 川井豊、阿部忠、木田哲量、高野真希子：道路橋 RC 床版の S-N 曲線に関する一考察、土木学会第 7 回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp263-268、2012