

2タイプの接着剤を塗布したRC床版の上面補修法の耐疲労性の評価および施工技術

○日大生産工 (学部) 福島 詩穂 日大生産工 阿部 忠
日大生産工 (院) 伊藤 清志 住友大阪セメント(株) 小堺 則行

1. はじめに

道路橋 RC 床版は、アスファルト舗装に異常が見られた場合、床版上面コンクリートが土砂化に至っていることがある。土砂化した RC 床版の上面の補修法は、土砂化した部分をブレーカ等で削り、その上に超速硬性無収縮モルタルや超速硬コンクリートなどのセメント系材料で部分的に補修されている。しかし、これらの材料は輪荷重が走行した場合に補修したセメント系材料に割れやひび割れの発生や補修界面ではく離が生じるなど、再補修した事例も多い。そこで本研究は、輪荷重の作用による割れを抑制するセメント系補修材およびビリ材を混入したコンクリートを提案する。また、ブレーカ等による削り作業により発生する微細なクラックや床版上面コンクリートのクラック等に浸透させ、床版コンクリート上面を強固にする接着剤および補修界面のはく離を抑制するための接着剤 2 種類を塗布する RC 床版上面補修法を提案し、耐疲労性を評価する。

2. 補修材および接着剤に求められる性能

2.1 補修材の配合条件

(1) 補修材の要求性能および配合条件

従来の RC 床版の上面補修では、早期の交通開放を図るために補修材には、超速硬セメントを用いた超速硬性無収縮モルタル (以下、URC-M とする) が使用されている。しかし、RC 床版の補修は 20mm ~ 30mm 程度の薄層であることから URC-M を用いた補修材は弾性係数が高いことから割れが発生し、早期に再補修が行われた事例も多い。よって、早期に発生する割れに対して高い抵抗性を示す補修材および補強法の提案が必要となる。そこで、阿部ら¹⁾は輪荷重走行による割れを抑制するために RC 床版と同等の弾性係数となる配合条件としたセメントモルタ

表-1 補修材の配合条件

項目	単位量(kg/m ³)				水結合比 (%)
	プレミックス粉体		繊維	水	
	結合剤	その他			
URC-M	938	912	—	338	36
HFC-M	750	1125	Premix	300	40
HFC-C	558	1759	Premix	223	40

ル補修材を提案し、輪荷重走行疲労実験を実施し、耐疲労性が評価され、8 時間の交通規制で使用する補修材として採用されている。しかし、これらの補修材は速硬セメントを用いることから材料が高価であり、さらに凝結時間が短いことから熟練の技能が必要となる。そこで、RC 床版の補修工において交通規制を 36 時間に想定したセメント系モルタルおよびコンクリート補修材を新たに提案する。よって、本提案する補修材の要求性能は、材齢 24 時間で道路橋示方書・同解説 (以下、道示とする)²⁾に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm² 以上を確保できる条件とする。補修材の割れの抑制を図るために、セメントには早強セメントを用いた専用のプレミックス材に有機系繊維の中で引張強度が高く、高靱性が期待できる高強度ビニロン繊維 (繊維長 12mm) を配合する。また、材料特性としては弾性係数を既設 RC 床版と同等となるセメント系材料を提案し、本論文での名称を超速硬繊維補強セメントモルタル (以下、HFC-M とする) および HFC-M にビリ材 (2.5mm ~ 9mm 前後の砂利) を混入したコンクリート (以下、HFC-C とする) とする。なお、HFC-M および HFC-C のコンシステンシーは、床版補修の際の左官作業において鉄筋裏まで確実に回り込み、充填可能な範囲としてミニスランプで 5 ± 2cm とする。ここで、従来からも用いられている補修材 URC-M、および本提案する HFC-M、HFC-C 材の配合条件を表-1に示す。

Evaluation of fatigue resistance and construction technique
of RC slab coated with two types of adhesive

Shiho FUKUSHIMA, Tadashi ABE, Kiyoshi ITO and Noriyuki KOSAKAI

表-2 補修材の特性値

試験項目	URC-M	HFC-M	HFC-C	
凝結時間	始発	17min.	138min.	156min.
	終結	25min.	168min.	173min.
圧縮強度	2時間	25.1N/mm ²	始発前	始発前
	3時間	45.2N/mm ²	—	—
	4時間	52.3N/mm ²	—	—
	1日	—	27.4N/mm ²	27.5N/mm ²
	7日	—	48.4N/mm ²	51.3N/mm ²
	28日	62.3N/mm ²	59.9N/mm ²	56.7N/mm ²
静弾性係数	28日	43.7kN/mm ²	26.0kN/mm ²	27.6kN/mm ²

(2) 補修材の性能

補修材の性能を表-2に示す。

1) 補修材 URC-M 従来から用いられている超速硬セメントを用いた補修材である。補修材 URC-M の凝結開始時間は 17 分で凝結の終結時間は 25 分となり、可使時間が 30 分以下であることから施工においては、やや熟練の技術が必要となる。また、初期強度発現性は、材齢 3 時間後の圧縮強度が 45.2N/mm² であり、道示に規定する圧縮強度 24N/mm² を満足している。次に、静弾性係数は、材齢 28 日で 43.7N/mm² であることから、既設 RC 床版コンクリートの弾性係数に比して倍以上となり、硬い材料であることから薄層補修に用いた場合に割れなどが発生しやすい材料である。

2) 補修材 HFC-M 本提案する 36 時間施工に用いるセメントモルタル補修材 HFC-M の性能は、凝結開始時間は 138 分であり、凝結終結時間が 168 分であり、可使時間 30 分を大幅に超えており、施工性に優れた材料であると判断できる。材齢 24 時間の圧縮強度は 27.4N/mm² である。よって、材齢 24 時間後には道示に規定する圧縮強度 24N/mm² を満足している。材齢 28 日における圧縮強度は 59.9N/mm²、静弾性係数は 26.0kN/mm² であり、従来の速硬セメントを用いた補修材の 59 % である。

3) 補修材 HFC-C 本提案するセメントモルタル補修材 HFC-M にビリ材を混入したコンクリート補修材 HFC-C は、HFC-M 同様に交通規制 36 時間に用いる補修材である。よって、凝結開始時間が 156 分、凝結終結時間が 173 分であり、HFC-M に比べて可使時間が長くなっている。材齢 24 時間の圧縮強度は 27.5N/mm² であり、道示に規定する圧縮強度 24N/mm² を満足している。材齢 28 日における圧縮強度は 56.7N/mm²、静弾性係数は 27.6kN/mm² である。

表-3 接着剤の材料試験結果

項目	浸透性接着剤	付着用接着剤	
外観	主剤	無色液状	白色ペースト状
	硬化剤	無色液状	青色液状
混合比	10 : 3	5 : 1	
硬化物比重	1.2	1.42	
圧縮強度	104.4N/mm ²	102.9N/mm ²	
圧縮弾性係数	3,172N/mm ²	3,976N/mm ²	
曲げ強さ	92.8N/mm ²	41.6N/mm ²	
引張せん断強さ	58.2N/mm ²	14.9N/mm ²	
コンクリート付着強さ	2.6N/mm ²	3.7N/mm ² 以上 または母材破壊	

よって、本提案する両補修材は、弾性係数が RC 床版と同等となることから、割れが抑制される材料である。また、要求性能でもある交通規制 36 時間での施工が可能であり、凝結時間も遅いことから、施工性に優れた補修材と言える。

2.2 浸透性接着剤および付着用接着剤

RC 床版の上面損傷法は、先ず土砂化や脆弱したコンクリートをブレーカ等で衝撃を与えながら削り作業を行うのが一般的である。また、損傷を受けた RC 床版表面には微細なクラックが発生している。そこで、阿部ら³⁾は微細なクラックやひび割れ等の補修法として、浸透性接着剤を塗布し、微細なひび割れや脆弱部に浸透させ、コンクリート表面を強固にする浸透性接着剤を提案し、実施工にも採用されている。よって、本研究においても RC 床版供試体に輪荷重疲労試験を行い、上面損傷を与えた後、ブレーカで削り、浸透性接着剤を塗布する。ここで、浸透性接着剤の性能試験の結果を表-3に示す。

次に、損傷を受けた RC 床版上面に施された補修材は輪荷重の走行により付着界面は早期にはく離が生じている。そこで、上面補修においても補修材と RC 床版コンクリートとの付着力を高め、耐疲労性の向上を図るために増厚界面に高耐久型エポキシ樹脂接着剤（以下、付着用接着剤とする）を用いる¹⁾。ここで、浸透性接着剤および付着用接着剤の材料特性値を表-3に併記する。コンクリートの付着試験においては母材コンクリートで破壊することが確認されている。

3. RC床版の使用材料および供試体寸法

3.1 供試体材料

RC 床版供試体のコンクリートには、普通ポル

表-4 材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD295A, D13)		
		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC床版	35	377	511	200

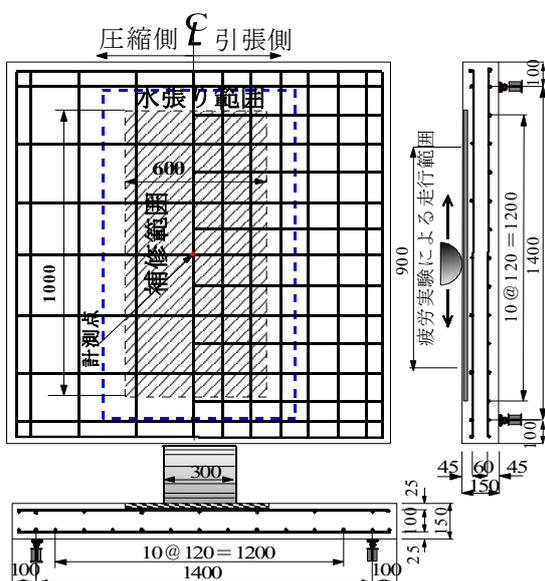


図-1 供試体寸法および鉄筋配置

トランドセメントと 5mm 以下の砕砂, 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。また, 鉄筋には SD295A, D13 を使用した。コンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-4に示す。

3.2 供試体寸法および鉄筋配置

(1) RC床版供試体 RC 床版供試体および補修供試体の寸法は道示に準拠し, その 3/5 モデルとする。ここで, RC 床版供試体の寸法を図-1に示す。RC 床版供試体の寸法は全長 1,600mm, 支間 1,400mm, 床版厚 150mm, 鉄筋は複鉄筋配置とし, 引張側の軸直角方向および軸方向に D13 を 120mm 間隔で配置した。また, 圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。ここで, RC 床版供試体の名称を RC とする。

(2) 補修床版供試体 補修供試体の寸法は, RC 床版と同様であり, 軸直角方向 600mm, 軸方向 1,000mm, 深さ 18mm の範囲を補修する。ここで, 補修範囲を図-1に示す。ここで, 補修した床版の名称を, それぞれ RC.HFC-M, RC.HFC-C とする。

4. 実験方法および等価走行回数

4.1 輪荷重走行疲労実験方法

(1) RC床版 輪荷重走行疲労実験は, RC 床

版供試体および補修 RC 床版ともに幅 300mm の輪荷重を軸方向に 1,000mm の範囲を繰返し走行させる実験である。また, 輪荷重走行疲労実験における初期荷重は 100kN から走行を開始し, 2 万回走行ごとに荷重を 20kN ずつ増加する段階荷重载荷とする。各実験において輪荷重走行 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとにたわみを計測する。

(2) 補強用RC床版 補強用 RC 床版は, 輪荷重走行疲労実験を行い, 床版中央のたわみが支間 L の 1/400, すなわち 3.5mm になるまで走行させ, ひび割れ損傷を与えた後, 撤去し, 上面補修を施すものとする。なお, 損傷は全供試体の等価走行回数を同一とする。

(3) 補強後の輪荷重走行疲労実験 実橋 RC 床版は雨水の浸透により損傷が著しくなることから本実験においても補修範囲に水張りをして実験を行うものとする。よって, 水張り範囲は幅 600mm 以上, 長さ 1,200mm の範囲に枠を設け, 12 時間水張りを行う。実験開始から表面を常時, 湿潤状態にして実験を進めた。補修後の疲労試験は, たわみが床版支間 L の 1/400, あるいは走行面の損傷により, 走行不能と判断された場合に, 実験を終了する。本実験は 2 次補修までを行い, 耐疲労性を評価する。

4.2 上面補修方法

本提案する補修材 HFC-M および HFC-C を用いて, 輪荷重疲労試験によるひび割れ損傷を与えた補修範囲をブレーカで切削し, 付着性を高めるために補修面を研掃する。その後, ブレーカによる微細なひび割れや輪荷重走行面のひび割れ補修として, 浸透性接着剤を塗布する。次に, セメント系モルタルおよびコンクリートとの付着性を高めるために付着用接着剤を平均 1.0mm 厚で塗布し, 直ちにそれぞれの補修材を打ち込み, 表面仕上げし, 養生を行う。

4.3 走行疲労実験における等価走行回数

本実験における輪荷重走行疲労実験は, 20,000 回ごとに荷重を増加する段階荷重载荷としたことから等価走行回数を算出して耐疲労性を評価する。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, 式(1)における基準荷重 P は設計活荷重の 3/5 に安全率 1.2 を考慮した 72kN 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

表-5 等価走行回数

供試体	RC床版	1次補修（湿潤状態）		2次補修（湿潤状態）		補修合計		2次補修までの合計	
		等価走行回数	補修効果	等価走行回数	補修効果	等価走行回数	補修効果	等価走行回数	補修効果
RC	12,336,901	—	—	—	—	—	—	12,336,901	—
RC.HFC-M	7,208,729	2,846,702	—	2,368,793	—	5,215,495	—	12,424,224	1.01
RC.HFC-C	7,208,729	3,404,370	1.20	3,255,226	1.37	6,659,596	1.28	13,868,325	1.12

提案する 12.7 を適用する¹⁾。

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

ここで、 P_i ：載荷荷重 (kN)， P ：基準荷重 (= 72kN)， n_i ：実験走行回数 (回)， m ：S-N 曲線の傾きの逆数 (= 12.7)

5. 実験結果および考察

本実験における等価走行回数を表-5に示す。

5.1 等価走行回数

(1) RC床版 RC 床版上面を乾燥状態輪荷重走行疲労実験を行った供試体の等価走行回数は 12.336×10^6 回である。

(2) 補修RC床版 補修用 RC 床版は床版支間 L の $1/400$ に達した時点の等価走行回数は 7.208×10^6 回であり、この回数を統一させた。よって、等価走行回数は 7.208×10^6 回で補修を実施する。

1) 補修材 HFC-M を用いた供試体 補修材 HFC-M 材を用いた床版 RC.HFC-M の補修 1 回目の等価走行回数は 2.846×10^6 回、補修 2 回目は 2.368×10^6 回であり、合計等価走行回数は 12.424×10^6 回である。乾燥状態で実験を行った供試体 RC とほぼ同等である。なお、1 次、2 次補修ともに走行面の凹凸が著しくなり、実験を中断した。

2) 補修材 HFC-C を用いた供試体 補修材 HFC-C 材を用いた床版 RC.HFC-C の補修 1 回目の等価走行回数は 3.404×10^6 回であり、ビリ材を配合することで、モルタル材を用いた床版 RC.HFC-M の 1.2 倍である。次に、補修 2 回目は 3.255×10^6 回であり、床版 RC.HFC-M の 1.37 倍、合計等価走行回数は 13.868×10^6 回である。乾燥状態で実験を行った供試体 RC の 1.12 倍である。なお、1 次補修後、乾燥状態で輪荷重走行疲労試験を行った場合、破壊まで走行し、乾燥状態で疲労実験を行った RC 床版の 6.2 倍の補強

効果が得られている。なお、1 次、2 次補修ともに走行面の凹凸が著しくなり、実験を中断した。

以上より、本提案する交通規制 36 時間対応の早強性セメントにビニロン繊維を配合したプレミック材を用いて、モルタルおよびビリ材を配合したコンクリート材に 2 種類の接着剤を塗布することで耐疲労性が向上する材料および補強法であると考えられる。

6. まとめ

(1) 本提案する補修材 HFC-M および HFC-C は、材齢 36 時間 (1.5 日) で道示に規定されているコンクリートの設計基準縮強 24.0N/mm^2 を満足することから、1.5 日での補修工が可能となる。

(2) RC 床版の上面損傷に、2 タイプの補修材および 2 種類の接着剤を塗布した結果、モルタル補修材 HFC-M を用いた RC.HFC-M に対してビリ材を配合した HFC-C 材で補修した床版 RC.HFC-C の等価走行回数は 1.28 倍の等価走行回数を得られた。したがって、耐疲労性の評価においては粒子サイズ、5mm ~ 9mm 程の小粒なビリ材を混入することで耐疲労性が向上する結果が得られた。

参考文献

- 1) 阿部忠・伊藤清志・大野晃・山下雄史：RC 床版上面損傷に用いる補修材の提案およびサイクル補修における耐疲労性の評価、構造工学論文集，Vol. 60A，pp.1122-1133，2014.3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III (2002)
- 3) 伊藤清志，阿部忠：2 タイプの接着剤を塗布した RC 床版の上面補修法の耐疲労性の評価および施工技術，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.2131-2136，2017.7
- 4) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版 (2007)