

道路橋コンクリート床版上面の部分補修のための 専用補修材の開発

住友大阪セメント(株) ○大野 晃、安藤 重裕
鹿島道路(株) 伊藤 清志 日大生産工 阿部 忠

1. まえがき

近年、道路橋RC床版の損傷事例が多く報告されている。その補修・補強対策においては新材料および新工法が提案されている。例えば、RC床版の補修方法は、アスファルト舗装打換え時や、舗装にポットホールが見られた時点で舗装打換えと併せて補修工が施されていく。これらの補修工は、損傷コンクリートを除去した後、超速硬無収縮モルタルなどで補修していたが、結果として数年で増厚界面のはく離や補修コンクリートのひび割れ発生により数年で再補修されている。

道路橋におけるRC床版の上面損傷に対する断面修復材には、一般的に超速硬無収縮モルタルを現場で配合して用いることが多く、その他の材料としてはメチルメタクリレート(MMA)樹脂やエポキシ樹脂による補修剤などが適用¹⁾されている。しかし、従来から用いられている超速硬無収縮モルタルは道路橋RC床版の部分補修を目的としたものではないことから、床版補修材として求められる要求性能を満足する専用の部分補修材として超速硬繊維補強ポリマーセメントモルタルを開発した。新たに開発した補修材料は、超速硬セメントと細骨材を主成分とし、再乳化型粉末樹脂などをプレミックスし、高強度ビニロン繊維を練混ぜ時に添加することにより、高い初期強度発現性とひび割れ抵抗性を有するものである。また、既設床版コンクリートとの界面に高耐久型エポキシ系接着剤を塗布することにより、母材コンクリートとの高い付着強度(一体化)を得ることができる。さらに、硬化後に上部に施工される防水工の防水プライマーとの付着についても硬化不良などの問題が発生しないものとした。本研究では、開発した補修材料の特性について明らかにした。

2. 材料への要求性能

道路橋RC床版の上面損傷は、アスファルト舗

装にひび割れの発生、あるいはポットホールの発生がみられた時点で、RC床版上面コンクリートはスケーリングの発生と同時に骨材化が進行している。ここで、積雪寒冷地域のRC床版の損傷メカニズムおよび劣化状態を写真-1に示す。積雪寒冷地域のRC床版は、冬季間のほとんどが湿潤状態となり、凍害と大型車両の走行とが複合され、早期に耐荷力性能が低下し架け替えに至っている。凍害を受けたRC床版は、アスファルト舗装にひび割れやポットホールが発生する(写真-1(1)、(4))。アスファルト舗装を撤去するとRC床版上面はスケーリングや骨材化が見られる(写真-1(2))。また、RC床版が湿潤状態で数ヶ月間保持された場合は、車両の繰り返し走行により、コンクリート表面はセメント成分が溶出する。貫通ひび割れに雨水が浸透した場合においても擦り磨き減少によりセメント成分が溶出、すなわちノロが発生し、床版下面には遊離石灰が沈着する(写真-1(5))。また、アスファルト舗装との界面にノロが溶出し、ポットホールの原因となる(写真-1(4))。これらのRC床版の損傷状況を早期に発見した場合は直ちに損傷部分の補修を施し、RC床版の延命化を図る必要がある(写真-1(3))。一方、床版上面のスケーリングを放置した場合は、車両の走行により、さらにセメント成分が溶出して、RC床版は骨材化となる(写真-1(6))。こ



(1) 舗装の損傷 (2) スケーリング (3) 補修状況
(4) ポットホール (5) 遊離石灰 (6) 骨材化
写真-1 RC床版の損傷状況

Development of repairing material for top surface of reinforced concrete decks of highway bridge

Akira OHNO, Shigehiro ANDO, Kiyoshi ITO and Tadashi ABE

の時点では補修・補強が困難となることからPC床版に取替補強が必要となる。

以上のように、RC床版の上面劣化は橋梁点検時には発見しにくいことから、アスファルト舗装に損傷が見られた時点で対策の検討が必要となる。また、舗装打換えや橋面防水工時に発見される場合が多く、この時点でSFRC上面増厚補強の対策や床版取替の対策が必要となることから、早期発見により上面補修を施すことでRC床版の延命化が図られるものと考えられる。

3. コンクリート補修材への要求性能

補修材料は攪拌能力の高いパン型モルタルミキサー（写真-2(1)）や、ハンドミキサー（写真-2(2)）などを用いて現場で製造および打込みが可能なものとする。よって、可使用時間は30分以上で、かつ圧縮強度が材齢2時間で10N/mm²以上、材齢6時間で20N/mm²以上になるものをタイプⅠ、材齢4時間で24N/mm²以上に達するものをタイプⅡとした(表-1)。何れも早期強度発現性を有し、ひび割れ抵抗性の高い材料であり、かつ防水工に用いる防水プライマーの硬化反応に悪影響を与えないものとした。

4. 開発した材料の特徴

4.1 配合

開発した超速硬繊維補強ポリマーセメントモルタル（以下UFPCM）の構成材料は、超速硬セメント、細骨材を主成分とし、再乳化型粉末樹脂、粉末減水剤等をプレミックスしたものである。また、繊維には高強度ビニロン繊維（繊維長12mm）を5.0kg/m³使用した（写真-3）。ここで、UFPCMの配合を表-2に示す。

UFPCMの練混ぜは、プレミックス粉体、繊維、水を同時に練り混ぜるのではなく、プレミックス粉体と水を最初に練り混ぜ、その練りあがったものに、繊維を添加して更に練り混ぜることにより、繊維の分散性を向上させた。練混ぜの手順を図-1に示す。

4.2 流動性

フレッシュ時のモルタルの流動性は、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に準拠したスランプコーン（上端内径 50mm、下端内径 100mm、高さ 150mm）によるスランプで評価した。施工性確保のため、スランプは 40mm 以上になるような配合とした。

4.3 ひび割れ抵抗性

ひび割れ抵抗性は、NEXCO試験法JHS432「断面修復吹付けモルタルの試験方法」²⁾に準拠し、鋼製の三角形型枠（L75×75×6×1000mm）の底面にD13鉄筋を溶接した型枠にモルタルを打ち込み、材齢28日におけるひび割れの発生の有無によって評価した。試験環境は室温23±2℃、相対湿度60±10%とした。なお、UFPCMでは、ひび割れの発生は認められなかった。



(1) パン型モルタルミキサー (2) 籠型ハンドミキサー
写真-2 製造装置



写真-3 高強度ビニロン繊維概観

表-1 開発品と従来品の目標強度

項目	圧縮強度/材齢	備考
開発品 タイプⅠ	20N/mm ² 以上/ 6時間	養生上げ性改善
開発品 タイプⅡ	24N/mm ² 以上/ 4時間	強度発現改善
従来品	24N/mm ² 以上/ 3時間	グラウト状

表-2 UFPCM配合表

項目	配合(kg/m ³)		
	プレミックスバグ	ビニロン短繊維	水
開発品 タイプⅠ	1850	5	296
開発品 タイプⅡ	1850	5	278
従来品	1850	0	338

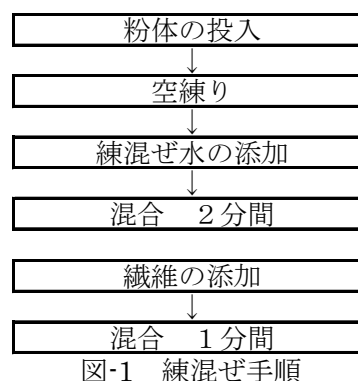


図-1 練混ぜ手順

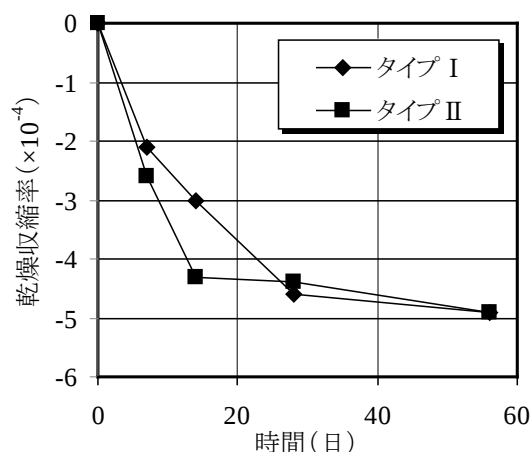


図-2 UFPCMの乾燥収縮

4.4 乾燥収縮量

モルタルの乾燥収縮量の測定はJIS A 1129(モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法)に準拠して行った。23±2℃の恒温室内において開発品を40×40×160mmに成形し、24時間後に脱型し、相対湿度60±10%に静置して所定材齢毎に測定を行った。試験結果を図2に示す。材齢56日においても -4.9×10^{-4} と小さく、乾燥下において高いひび割れ抵抗性を示すものと推測された。

4.5 硬化体の物性

表-3に開発品の物性値を示す。可使時間30分以上を確保しながら、材齢2時間で19.1N/mm²の圧縮強度を示しており、早期交通開放に適応できると考えられる。

4.6 コンクリートとの付着強度

JIS A 5371に規定するコンクリート平板を母材として、付着強度の測定を行った。まず、下地処理として付着性に悪影響を及ぼす、レイタンス除去を十分に行い、その後に水洗を行った。次に下地との付着性を十分に得るためにフレッシュコンクリート打継専用的高耐久型エポキシ系接着剤を1.4kg/m²塗布し、開発したモルタルを厚さ10mmで打ち込んだ。付着強度は材齢28日においてNEXCO試験法JHS432「断面修復吹付けモルタルの試験方法」²⁾に準拠して測定したところ、付着強度は4.0N/mm²、破断位置はモルタル内部となり、十分な付着特性が得られた。結果を表4に示す。

5. 防水プライマーとの付着性

道路橋床版のコンクリート部分の補修において、一般に補修後の表面には防水工が施工される。防水工では、まず施工する表面に防水プライマーを塗布するが、この際、補修材がプライマーの硬化反応を阻害したり、プライマーとの付着が良好でないと、十分な防水性能を得ることができない。特に従来の防水工よりも長期耐久性を求めた高機能防水(NEXCO仕様:グレードII)^{3) 4)}の採用が増えていることから、一般的に適用されている防水工のプライマーと共に、高機能防水材用のプライマーについて、硬化反応に悪影響を及ぼさない事と、付着性能を確認した。試験状況を写真-3に示す。使用したプライマーを表5に示す。付着強度は建研式付着試験に準拠して、プライマー塗布後3時間、48時間、10日で測定を行った。UFPCMおよび市販品の試験結果を表-6に示す。UFPCMについてはプライマーの種類により若干の違いはあるが、いずれも付着強度は確保された。一方、市販品のポリマーセメントモルタルでは、アクリル系の防水プライマーを塗布した場合、防水プライマーが硬化せず、付着強度も測定不能であった。

6. UFPCM材を用いたRC床版の施工要領

UFPCM材を用いたRC床版の補修方法を以下に示す。ここで、補修手順を写真-4に示す。

表3 モルタルの物性

試験項目		タイプ I	タイプ II
凝結時間	始発	42min.	35min.
	終結	56min.	45min.
圧縮強度	2時間	9.2N/mm ²	19.1N/mm ²
	4時間	19.2N/mm ²	27.0N/mm ²
	28日	39.9N/mm ²	49.9N/mm ²
静弾性係数	28日	22.6kN/mm ²	23.8kN/mm ²

表4 UFPCMのコンクリートとの付着強度(タイプII)

試験体	付着強度	破断位置
1	3.8N/mm ²	補修材
2	3.9N/mm ²	補修材
3	4.2N/mm ²	補修材
平均	4.0N/mm ²	



写真-3 補修材と防水プライマーとの付着性確認試験

表5 プライマーの種類

No.	プライマー種別	主要成分
A	一般汎用プライマー	ゴム瀝青物系
B	速乾性プライマー	溶剤型エラストマー系
C	高機能防水用プライマー(A社製品)	未公表
D	高機能防水用プライマー(B社製品)	変性ポリドアミン系
E	浸透系床板防水用プライマー	変性アクリル系

表6 防水プライマーとの付着強度

No.	UFPCM			ポリマーセメントモルタル
	材齢3時間	材齢48時間	材齢10日	材齢10日
A	1.08N/mm ²	2.28N/mm ²	2.31N/mm ²	—
B	1.21N/mm ²	2.29N/mm ²	2.34N/mm ²	—
C	1.99N/mm ²	2.83N/mm ²	5.86N/mm ²	—
D	2.08N/mm ²	2.16N/mm ²	2.64N/mm ²	—
E	1.84N/mm ²	2.58N/mm ²	3.10N/mm ²	硬化せず試験不能

表7 低粘度エポキシ樹脂接着剤

項目	測定値(平均)
引張強度	58.2N/mm ²
曲げ強度	92.8N/mm ²
圧縮強度	104.4N/mm ²
圧縮弾性率	3172N/mm ²

表8 高耐久エポキシ樹脂接着剤

項目		性状と物性	備考
外観	主剤	白色ペースト状	異物混入無し
	硬化剤	青色液状	異物混入無し
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

6.1 下地処理

RC床版のアスファルト舗装を撤去し(写真-4(1))、コンクリート床版表面を切削機で所定厚さに切削し(写真-4(2))、床版上面が損傷した箇所はブレーカーやウォータージェット等で脆弱したコンクリートを完全に除去する(写真-4(3)、(4))。特に付着性に悪影響を及ぼす浮石、脆弱部を特定するためテストハンマーによる叩き検査を実施してから、研掃は150kg/m²の投射密度を標準として、ショットブラストによる研掃を行う(写真-4(5))。

6.2 接着剤塗布工

本開発したUFPCMとRC床版の付着性を高めることから、本補修工法では低粘度エポキシ樹脂接着剤を塗布後、可使時間内に高耐久型エポキシ樹脂接着剤を重ねて塗布する。塗布厚さは低粘度エポキシ樹脂接着剤が0.4mm、高耐久型エポキシ樹脂接着剤を0.6mmとし、合計で1mmとなるように管理する。ここで用いる低粘度エポキシ接着剤と、高耐久型エポキシ樹脂接着剤の特性を表6ならびに表-7に示す。また、高耐久型エポキシ樹脂接着剤の施工状況を写真-4(6)、(7)に示す。

6.3 モルタルの練混ぜと打込み

図-1に示す練混ぜ方法に従いUFPCMを練り混ぜて打込みを行なう(写真-4(8))。本モルタルはセルフレベリング性を有しないため、打込み箇所を移動しながら打ち込み、敷均しはタッピングによる脱泡し、左官ごてにて平滑に仕上げる(写真-4(9))。

6.4 養生

施工後はシート掛けなどを行い、直接風が当たることによる表面部の乾燥が起きないように養生する(写真-4(10))。

7 まとめ

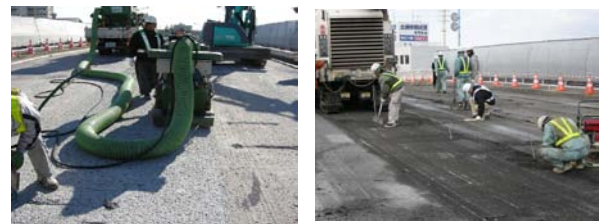
開発したUFPCMは高い初期強度発現性とひび割れ抵抗性を有し、また高機能防水材料を含めた各種防水プライマーとの付着にも問題は生じない。ひび割れ抵抗性に関しては、高強度ビニロン繊維の添加が寄与していると考えられる。防水プライマーとの付着に関しては、市販ポリマーセメントモルタルではアクリル系プライマーの硬化不良が生じることから、使用した再乳化型粉末樹脂の種類および添加量の違いが関係していると推定される。また、高耐久型エポキシ系接着剤を併用することにより、既設床版コンクリートとの良好な付着が得られた。以上の結果から、UFPCMとエポキシ樹脂接着剤の併用は床版の補修材料として有効であると考えられる。今後さらに耐久性に関する詳細な検討を加えていく。



(1) アスファルト舗装撤去 (2) 既設床板切削



(3) 脆弱部除去(WJによる) (4) 脆弱部除去(人力)



(5) 研掃工 (6) 接着剤塗布工
(低粘度エポキシ樹脂系)



(7) 接着剤塗布工
(高耐久型エポキシ樹脂系) (8) 補修材製造工



(9) 補修材打込み (10) 養生工

写真-4 施工手順

「参考文献」

- 1) 土木学会：道路橋床版の要求性能と維持管理技術(2008)。
- 2) NEXCO 中央研究所：試験方法第4編構造関係試験方法(2006)。
- 3) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)：設計要領 第二集 橋梁建設編、平成24年7月、1-2設計一般、4) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)：構造物施工管理要領、平成24年7月、3-15床版防水。