

積雪寒冷地域における道路橋 RC 床版の劣化診断および補修技術

日大生産工（院）○小野晃良，日大生産工（非常勤） 阿部忠，（株）小野工業所 鈴木宗児
（株）小野工業所 佐々木茂隆，東北大学大学院 久田真，日大生産工 水口和彦

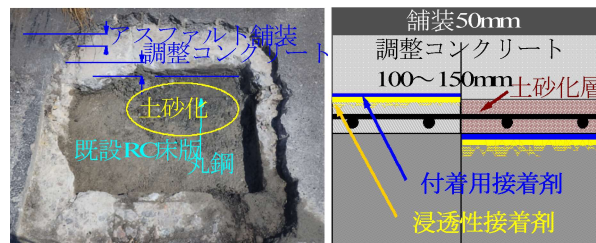
1. はじめに

本研究は，積雪地域に建設され，再劣化した RC 床版橋面コンクリートの劣化診断を行い，2 種類の接着剤を用いた「接着剤塗布型 RC 床版上面補修」について，施工計画および補修技術について検証し，積雪寒冷地域の劣化診断および補修・補強技術の一助としたい。

2. 橋梁概要および損傷状況

(1) 橋梁概要 対象橋梁は，1964 年に建設され，RC 床版は数回のコンクリートで部分補修が施されてきた。橋長は 60m（14@15m），幅員が 8.0m であり，この RC 床版の特徴は RC 床版上面に平均厚さ 100mm のコンクリート基層が設けられている。これは，取付道路の高低差を調整するために設けられたものである。この橋梁の維持補修として，劣化したコンクリートを除去し，2 種類の接着剤塗布型 RC 床版補修（既に補修や補強が施された床版であることから元の状態に戻すために補修とする）は，上り線 2 車線について片側交通規制を行い，橋長 60m に渡り，補修を実施する。補修は，幅員 8.0m @ 2 車線のうち，1 車線を片側車両規制で補修工事を実施した。補修は走行車線のアスファルト舗装を撤去し，径間ごとに劣化したコンクリート層の研りおよびコンクリート打込みを実施した。片側終了後，残り車線側を補修する。

(2) 既設 RC 床版の損傷状況 片側車線のアスファルト舗装を全面撤去した後の調整コンクリート層の損傷状況の一例を図-1に示す。調整コンクリートの一部は，RC 床版かぶりコンクリートが部分的に土砂化している（図-1(1)）。本橋梁床版上面には厚さ 100mm 程度の調整コンクリート層が設けられているが，塩害・凍害の複合劣化によるうきや脆弱層となっている。この RC 床版の補修断面は図-1(2)に示すように，調整コンクリート層を撤去すると健全な箇所と土砂化している箇所が確認された。補修案としては，うき発生箇所を研り，脆弱コンクリートを撤去した後，浸透性接着剤と付着用接着剤の 2 種類を塗布し，部分補修および調整コンクリートの打ち換えを行い，元の厚さに戻



(1) 損傷状況

(2) 補修断面

図-1 損傷状況および補強断面

すことから補修工事として取り扱われる。

3. 橋面の損傷状況

橋面の損傷状況および劣化箇所の研りと診断状況を写真-1に示す。写真-1(1)に示すように，数カ所で部分的にアスファルト舗装が打ち換え補修されている。アスファルト舗装を撤去した調整コンクリート面には部分補修の跡が見られる（写真-1(2)）。これらの補修箇所の調整コンクリートをブレーカー等で研り，撤去する（写真-1(3)）。この時点で片車線 60m の切削が行われ，うきや脆弱箇所研り作業が終了した後，テストハンマーによる打音診断でうきの箇所や脆弱箇所を診断（写真-1(4)）し，脆弱層を完全に除去する必要がある。うきを放置すると雨水が浸透し，劣化速度が加速するものと考えられ，全ての RC 床版の補修・補強においては脆弱層の撤去は必要な対策である。

4. 補修材料

(1) 補修材の要求性能 RC 床版の補修においては，調整コンクリートが 100mm 程度の厚さであり，一般的な上面増厚補強厚以上の補修厚である。一方，補修法においては，幅員 8.0m，2 車線を片側交通規制によって補修することから，コンクリート打ち込み時に車両走行による振動を考慮し，超速硬セメントを用いた超速硬コンクリートを用いる。また，施工時のひび割れ補修には浸透性接着剤，新旧コンクリートの付着力の向上には付着用接着材を用いる。

(2) コンクリート材料 補修用コンクリートには，超速硬セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm

Deterioration Diagnosis and Repair Construction Technology of Re-degraded RC slab in snow are

Kosuke ONO, Tadashi ABE, Souji SUZUKI, Shigetaka SASAKI, Makota HISADA and Kazuhiko MINAKUCHI



(1) 舗装面の損傷



(2) 調整コンクリートの損傷



(3) 研り作業



(4) うきの点検

写真-1 橋面の損傷状況および劣化箇所の研り作業と診断状況

表-1 超速速硬コンクリートの配合条件

スラン プ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤
			セメント	水	細骨材	粗骨材	
8±2.5	32.9	40.0	450(超)	148	710	1157	9.0

表-2 エポキシ系接着剤の特性値

項目		浸透性接着剤	備考
外観	主剤	無色液状	
	硬化剤	無色液状	
混合比		10 : 3	重量比
硬化物比重		1.2	JIS K 7112
粘度		100~200Mpa・s	JIS K 7233
圧縮強度		104.4N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数		3,172N/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
コンクリート付着強さ		2.6N/mm ²	JIS A 6909

～ 20mm の碎石を用いた。コンクリートの要求性能¹⁾(以下、文献 1 とする)は材齢 3 時間で圧縮強度 24N/mm² 以上発現し、材齢 24 時間で、コンクリートの圧縮強度 40N/mm² 以上発現する配合とし、表-1に示す。このコンクリートは材齢 3 時間後の圧縮強度 25.4N/mm²、材齢 24 時間で 47.50N/mm² であり、要求性能を満足している。なお、練り混ぜには専用の移動式プラントを用いた。

(3) 浸透性接着剤および付着用接着剤

既往の研究²⁾によるコンクリート舗装や SFRC 上面増厚補強においては、アスファルト舗装撤去時には大型の専用機械で衝撃を与えながら切削作業が行われている。また、再劣化した RC 床版の部分補修においては、写真-1(3)に示すようにブレーカー等を用い衝撃を与えながら研り作業が行われている。しかし、これらの切削や研り作業においては、微細なひび割れが懸念され、阿部ら³⁾は研り作業によって発生する微細なクラックや脆弱化したコンクリート表面を強固にするために浸透性接着剤を用いている。ここで、浸透性接着剤の材料特性値を表-2に示す。表-2より、付着強度は 2.6N/mm² 以上が確保されている。以上より、本 RC 床版上面には浸透性接着剤を全面に塗布するものとした。

表-3 付着用接着剤の特性値

項目	付着用接着剤	備考
外観	主剤	白色ペースト状
	硬化剤	青色液状
混合比	5 : 1	重量比
硬化物比重	1.42	JIS K 7112
粘度	500~1,000Mpa・s	JIS K 7233
圧縮強度	102.9N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数	3,976N/mm ²	JIS K 7181
曲げ強さ	41.6N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ	14.9N/mm ²	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	3.7N/mm ² 以上 ^{注1)}	JIS A 6909

注1) 3.7N/mm² 以下の場合には母材コンクリートで破壊

既設 RC 床版の SFRC 上面増厚補強法においては、活荷重走行により、十数年ほどではく離が発生し、短期間で再劣化した事例もある。これらを改善するために阿部らは、RC 床版上面に付着用接着剤である高耐久型エポキシ接着剤（以下、付着用接着剤とする）を塗布し、はく離の抑制効果が得られている^{2)~5)}。また、30mm 程度の薄層補修においても、はく離を抑制するために付着用接着剤が塗布されている。さらに、SFRC を上面増厚補強として、全面接着した場合は、はく離が抑制され、耐疲労性が大幅に向上する結果が報告されている³⁾。よって、本橋梁 RC 床版においてもコンクリート表面全面に付着用接着剤を塗布する。ここで、接着剤の材料特性値を表-3に示す。表-3よりコンクリートとの付着強度は 3.7N/mm² 以上確保され、母材コンクリートより付着力が高い。

以上より、使用するものとした接着剤を既設コンクリート床版上面の研掃した後、0.9kg/m²（平均 1.0mm 厚）で塗布し、硬化時間は常温で 120 分程であったことから塗布後直ちにコンクリート材を打ち込むものとした。

5. 再劣化したRC床版の施工技術

(1) 施工フロー 再劣化した RC 床版の補修法⁶⁾(以下、文献 6) とする)については文献 6) に示す施工手順および文献 1) に示す「東北地方における道路橋の維持・補修の手引き(案)[改訂版]」を考慮

し、本補修工事で実施する大規模補修についての施工フローを図-2に示す。施工フローは図-2に示すように、①舗装を撤去し、②調整コンクリート③調整コンクリートおおよび RC 床版の劣化診断を実施する。本調査結果では、調整コンクリートに「うき」などの損傷が広範囲に発生している。その後、うきが確認され、④マーキング箇所の研り作業を行う。ここで、⑤再度点検ハンマーによる叩きを行い「うき」と見られる箇所を再度、研り作業を実施する。また、⑥ RC 床版の一部の鉄筋が腐食していることから錆びの除去や補強鉄筋を配置する。次工程に進む前に⑦第三者の立ち会いのもとでうきの確認を行い、うきや脆弱層を完全に撤去し、調整コンクリートの補修層が 100mm 程度であることから⑧補強筋の組み立て作業を行う。ここから、接着剤塗布型 RC 床版補修工を実施する。まず、⑨浸透性接着剤を塗布し、20 分程経過した後、⑩付着用接着剤を塗布する。同時に超速硬コンクリートの練り混ぜ準備し、塗布終了と併せて⑪コンクリートを打設する。接着剤の硬化時間は 120 分であることから、120 分以内での打ち込みできる厚さ、練り混ぜ時間、表面仕上げを決める。コンクリート打ち込み後は橋面防水工・アスファルト舗装を施し、終了となる。以上の施工フローで施工を実施する。

(2) 実橋での施工技術 RC 床版上面の損傷状況は写真-4(1)、(2)に示すように、数回の補修・補強法が施された床版である。この RC 床版の上面コンクリートの劣化部を適切に診断し、脆弱コンクリートを完全に除去し、図-3に示す施工フローに基づいて補修・補強を施す。

1) 鉄筋の腐食に対する補修技術 コンクリート表面から鉄筋が露出し、発錆が見られることから錆を除去し、防錆処理を施し(写真-2(1))、補強鉄筋を配置する(写真-2(2))。この橋梁床版の鉄筋の配置は、設計に含まれていないものの、補修厚が 100mm 以上であることから補強鉄筋と用心鉄筋を兼ねて主筋方向に鉄筋を配置した。

2) 浸透性接着剤および付着用接着剤の塗布

RC 床版上面まで研り、脆弱コンクリートを除去した後、コンクリート表面および部分補修箇所には文献⁹⁾に基づいて浸透性接着剤を塗布する。本橋 RC 床版は、複合劣化の影響を受け、コンクリートが脆弱化のため橋面全体に塗布した。RC 床版の塗布量は 0.5kg/m^2 であるが塗布面の不陸を考慮し、塗布量増加させるものとした(写真-2(3))。劣化により浸透量が多いことが確認されたことから、浸透時間

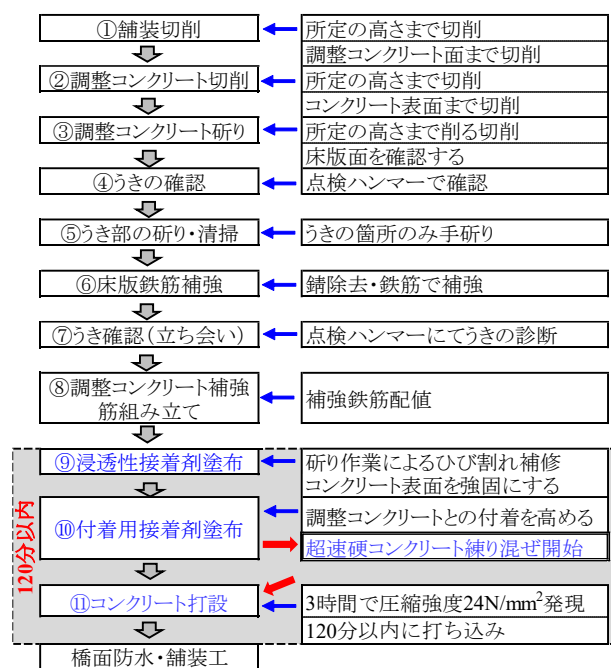


図-2 施工フロー

の 3 倍 (30 分) 程度養生を行った。次に、付着用接着剤を塗布量 0.9kg/m^2 を全面塗布する(写真-2(4))。硬化時間は 120 分である。

(3) 補修および調整コンクリートの打設 調整コンクリート厚は 100 程度であることから、補修用コンクリートには表-1で配合した超速硬コンクリートを用いる。

コンクリートの打ち込みは、付着用接着剤の塗布後、直ちに打ち込むために、付着用接着剤の塗布と併せて超速硬コンクリートの練り混ぜ開始し、塗布終了と同時に打ち込みできる時間を検討する。本橋梁においては 5.0m^3 程の打ち込み量であったことから 2 台の専用のモビルを用いた(写真-2(5))。超速硬コンクリートの打設はモビル車から遠い方から順とした(写真-2(6))、締め固めおよび表面仕上げを行った(写真-2(7))。本来の増厚補強は 60mm 厚程度であるが、調整コンクリートが厚かったことから 2 倍の打設および表面仕上げが要した。打ち込み終了後、材齢 3 時間の圧縮強度試験を行い、材齢 3 時間で圧縮強度 24.0N/mm^2 発現していることも確認した。

(4) 橋面防水工および舗装 橋面防水層として塗膜防水を施し、アスファルト舗装を施した(写真-2(8))。以上のように、劣化した RC 床版は、既設 RC 床版のコンクリート表面の強固、施工時や劣化によるひび割れ補修を浸透性接着剤、既設 RC 床版と補修コンクリートとの付着性を確保するために付着用接着剤を塗布し、一体化を図った。また、接着剤塗布からコンクリートの打ち込みまでの工



(1) 鉄筋の発錆箇所の補修



(2) 補強鉄筋配値



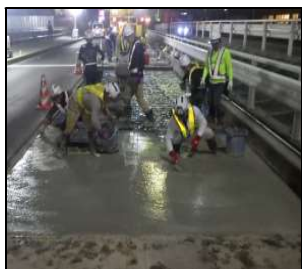
(3) 浸透性接着剤塗布



(4) 付着用接着剤塗布



(5) モービル車による
コンクリート練混ぜ



(6) コンクリート打ち込み



(7) 表面仕上げ



(8) 橋面防水工・アス
ファルト舗装

写真-2 再劣化したRC床版の補修法

種で施工範囲を半断面半車線の区間を 120 分以内で終了することができた。

6. まとめ

- (1) 本研究は 1 径間 15m の 4 径間で橋長 60m, 幅員 8.0m の橋梁を片側交通により対策を実施した。補修工を実施する前に打音法と赤外線サーモグラフィ法での診断結果においては、赤外線サーモグラフィ法を用いることで劣化診断に要する時間が大幅に短縮が図れた。ただし、赤外線サーモグラフィの特徴を勘案した工程計画であったことから、適切な評価が出来たと考えられる。
- (2) RC 床版上面の調整コンクリート層の撤去後、浸透性接着剤の塗布作業を実施し、通常の補修工において 0.5kg/m^2 を目標に塗布を確保しつつ、状況に応じ塗布量の増減を判断する必要もあると考える。
- (3) 既設 RC 床版と調整コンクリートの付着性を高めるために付着用接着剤を塗布した。1 径間、約 60m^2 に塗布し、RC 床版上面補修も含めて調整コンクリート層の補修を行った。超速硬コンクリートを採用していることから硬化時間と使用量から 2 台のモービル車で練り混ぜし、打設を行った。接着剤の硬化時間と打設量から本計画が限界であり、接着剤の硬化時間 120 分内を考慮した打設を計画に留意する必要がある。
- (4) 本工法は、東北地方で他事例ないものと判断される。劣化が著しい RC 床版や調整コンクリート層を有する RC 床版の補修さらには補強にお

いても 2 種類の接着剤を用いた超速硬コンクリートは、脆弱層を強固にし、はく離や砂利化の抑制が図られ、耐疲労性が向上すると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局 道路部・東北技術事務所：東北地方における道路橋の維持・補修の手引き（案）【改訂版】，2018.8
- 2) 阿部忠，他：輪荷重走行疲労実験における RC 床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol. 56A, pp. 1270-1281(2010.3)
- 3) 阿部忠，他：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
- 4) Tadashi Abe, et al. : Proposition of Thin-Layer Repairing Methods Using Low-Elasticity Polymer Portland Cement Materials and Glue and Study on the Fatigue Resistance of Reinforced Concrete Slab, International Journal of Polymer Science, Volume 2018, Article ID 6545097, pp.1-8,2018.10
- 5) NEXCO 東日本：維持作業で高耐久断面修復が可能な床版 EQM 工法，E18 上信越自動車道佐久事務所現場レポート，2017.
- 6) 伊藤清志，他：道路橋コンクリート床版上面の損傷部における補修工法に関する研究，第 56 回日本学術会議材料工学連合講演会 講演論文集，pp55-56, 2012.10