

論文 PFRC舗装材を用いた接着剤塗布型コンクリート舗装におけるRC床版の耐疲労性の評価

阿部 忠*1・児玉 孝喜*2・小林 哲夫*3・深川 克彦*4

要旨：本研究では、劣化した RC 床版の補強も兼ねたコンクリート舗装における新材料および舗装法を提案する。コンクリート舗装材は超早強性と低収縮性を付与した特殊セメントと有機繊維を配合した PFRC 材であり、要求性能は材齢 24 時間で圧縮強度 24N/mm^2 を確保できる材料とした。次に、RC 床版上面に本提案した PFRC 舗装し、輪荷重走行疲労実験を実施し耐疲労性を評価した。その結果、RC 床版上面に直接 PFRC を舗装した供試体および接着剤を用いて舗装した供試体は未舗装 RC 床版供試体に対してそれぞれ 18.8 倍、48.8 倍の等価走行回数を有する RC 床版の補強も兼ねたコンクリート舗装であることを確認した。

キーワード：RC 床版、コンクリート舗装、接着剤、耐疲労性、繊維

1. はじめに

道路橋 RC 床版上面にはアスファルト舗装が舗装されているが、約 20 年程度で劣化による打替え舗装が行われている。また、RC 床版上面は雨水の滞水と輪荷重の走行により、土砂化となる損傷が生じている。さらに、舗装のわだち掘れなどによる路面の凹凸は RC 床版の寿命低下の要因になっている。一方、鋼床版においてもデッキプレート上面にアスファルト舗装が施されているが、近年、輪荷重走行によりデッキプレートの溶接部にき裂が発生するなどの疲労損傷が生じている。損傷を受けた鋼床版の補強も兼ねたコンクリート舗装および基層材には、鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC とする）が用いられている。また、コスト削減を図るために普通ポルトランドセメントや早強ポルトランドセメントに早強成分と収縮低減成分を有する混和材（以下、超早強性低収縮型混和材とする）および鋼繊維を配合したコンクリート舗装材も開発され、鋼床版のコンクリート舗装材として採用されている²⁾。この SFRC 舗装材の要求性能は材齢 1.5 日（36 時間）で圧縮強度 30N/mm^2 以上としている。しかし、疲労損傷を受けた鋼床版には、補強も兼ねたコンクリート舗装が採用されているものの、道路橋床版の中では、上面損傷や耐荷力性能の低下が著しい RC 床版に対するコンクリート舗装に関する実験研究はあまり行われていないのが現状である。

そこで本研究では、鋼床版のコンクリート舗装の実績を参考して、早強セメントに超早強性低収縮型混和材および有機繊維を配合した特殊セメントを用いて、材齢 24 時間で道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）³⁾に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 以上と



(1) 5mm程度のひび割れ (2) 補修箇所の再劣化

写真-1 橋面アスファルト舗装の損傷事例



(1) RC床版上面の土砂化 (2) 土砂化によるスケーリング

写真-2 RC床版の上面損傷事例

なる舗装材を提案した。本提案するコンクリート材で舗装した RC 床版供試体を用いて輪荷重走行疲労実験を行い、耐疲労性ならびにコンクリート系床版の補強も兼ねたコンクリート基層および舗装の実用性を評価した。

2. アスファルト舗装およびRC床版の損傷状況

アスファルト舗装の損傷状況の一例を写真-1に示す。また、RC 床版の上面損傷の一例を写真-2に示す。

道路橋 RC 床版のアスファルト舗装はひび割れやポットホールが発生などの損傷を受けている。写真-1(1)は、舗装面に幅 5mm 程度のひび割れが発生している。写真-1(2)は RC 床版上面の鉄筋が露出した損傷箇所を部分補修した後の損傷（再劣化）状況である。次に、写真-2(1)は写真-1(1)の舗装を撤去した後の床版上面の損傷

*1 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工学) (正会員)

*2 鹿島道路(株) 技術営業部 博士(工学) (正会員)

*3 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 (正会員)

*4 (株)ケミカル工事 特殊機工部

表-1 コンクリート舗装材の要求性能

セメント	スランプ (cm)	圧縮強度 (N/mm ²)	
		3時間	1日
超速硬セメント	8.0 ± 2.5	24 以上	—
特殊セメント	10.0 ± 2.5	—	24 以上

表-2 使用材料

材料	仕様等
セメント	早強セメント (超早強性低収縮型) 密度=3.13
水	水道水
繊維	ポリプロピレン繊維 φ0.7×30mm 密度=0.91
細骨材	鬼怒川右岸産川砂 密度=2.58 FM=2.53
粗骨材	栃木県佐野市産石灰岩砕石 密度=2.71 FM=6.28 Gmax=13mm
減水剤	高性能減水剤 (ナフタレンスルホン酸系)

表-3 コンクリート舗装材の配合条件

セメントの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)	
			セメント	水	細骨材	粗骨材			繊維
特殊セメント	38	55	434	165	919	789	3.64	2	0.003

状況であり、かぶりコンクリートが土砂化している。また、写真-2(2)においても地覆側のアスファルト舗装が完全にはく離し、原形を留めていない。この床版は積雪寒冷地域の国道の床版であり、冬期には融雪剤散布による塩害と凍結・融解の繰り返し、大型車輛のチェーン走行により、上面損傷が著しく、供用開始後 33 年で撤去された床版である。

以上のように、アスファルト舗装や RC 床版の損傷は、橋梁部材の中でも最も著しいことから、本研究では RC 床版の上面損傷に対する補強も兼ねたコンクリート舗装材および舗装法を提案する。

3. コンクリート舗装材

3.1 コンクリート舗装材料の要求性能および配合条件

(1) 超速硬セメントを用いた繊維補強コンクリート

高速道路や一般国道、交通量の多い道路橋では、9 時間内の施工が行われることから超速硬系コンクリートが使用される場合が多い。この材料の要求性能は、材齢 3 時間で道示に規定する設計基準強度 24N/mm² 以上としている (表-1)。

(2) 本提案するコンクリート舗装・基層材

9 時間内施工におけるコンクリート舗装では養生時間の制約から施工量が限られることから一般道では 36 時間程度での施工が多い。ここで、提案するコンクリート舗装材・基層の要求性能は、36 時間 (1.5 日) の連続施工を想定して材齢 24 時間 (1 日) で圧縮強度を 24N/mm² 以上 (表-1) とし、本提案工法は、その性能を確保できる配合条件 (表-2, 3) で、36 時間以内に交通開放が可能な材料および舗装法とする。そこで、超早強性と低収縮性を付与した特殊セメントを用いたコンクリート材 (以下、PFRC 材とする) を提案する。

3.2 本提案するコンクリート舗装材の材料特性

(1) PFRC材の圧縮強度

本提案する PFRC 材の圧縮強度と材齢の関係を図-1 に示す。特殊セメントを用いた PFRC 材の圧縮強度は、

材齢 24 時間で 37.8N/mm² となり、要求性能である 24N/mm² を満足している。材齢 28 日では 64.2N/mm² である。また、本提案した PFRC 材の可使時間は 60 分以上であり、施工性に優れた材料であると言える。

(2) PFRC材の引張強度

PFRC 材の割裂試験による引張強度と材齢の関係を図-2に示す。繊維無し普通コンクリートの引張強度の推定には、割裂試験から得られた岡村式(1)より算出する⁴⁾。ここで、岡村が提案するによる引張強度 f_t は式(1)として与えられている。

$$f_t = 0.269f_c^{2/3} \quad (1)$$

ここに、 f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

岡村式(1)より得た繊維無し普通コンクリートの引張強度 f_t を図-2に併記した。本提案する PFRC の割裂試験による材齢 24 時間の引張強度は 3.41N/mm²、材齢 28 日の引張強度は 6.28N/mm² である。一方、岡村式(1)に、図-1に示す材齢 24 時間の圧縮強度 37.8N/mm²、材齢 28 日の圧縮強度 64.2N/mm² を適用すると繊維無しコンクリートの引張強度はそれぞれ 3.03N/mm²、5.65N/mm² であり、PFRC 材の引張強度と比較すると繊維を配合することで引張強度が平均して 1.20 倍上回る結果となった。

(3) PFRC材の一面せん断強度

コンクリート舗装は、輪荷重が直接作用する舗装と基層として用いる場合の 2 案が提案される。いずれにおいても輪荷重が作用した場合、荷重は輪荷重接地面から 45 度で分布し、RC 床版へと伝達される。この場合、斜めひび割れが発生する。すなわち斜めひび割れに抵抗するためにはせん断強度を高める必要がある。ここで提案する PFRC 材のモード II 型の一面せん断試験を行い、せん断強度と材齢の関係として図-3に示した。また、著者ら⁵⁾は繊維無し普通コンクリートのせん断強度の推定式を式(2)として提案している。よって、式(2)より得られたせん断強度 f_{cv0} を図-3に併記した。

$$f_{cv0} = 0.688f_c^{0.610} \leq f_c = 80\text{N/mm}^2 \quad (2)$$

ここに、 f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

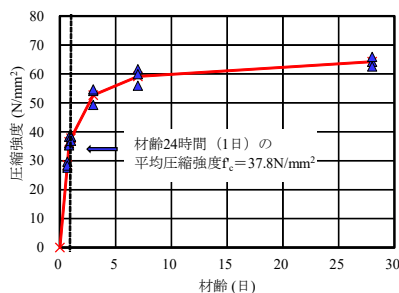


図-1 圧縮強度と材齢の関係

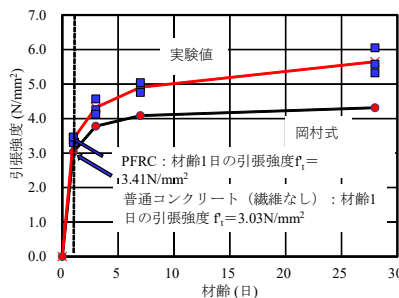


図-2 引張強度と材齢の関係

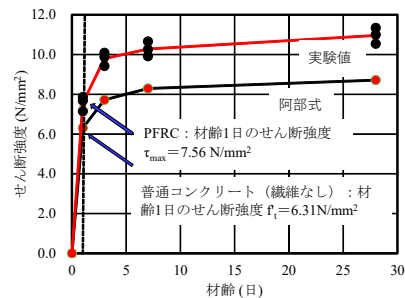


図-3 せん断強度と材齢の関係

図-3より、本提案する PFRC 材のせん断強度は材齢 24 時間で 7.56N/mm^2 、材齢 28 日では 10.96N/mm^2 である。一方、PFRC 材の圧縮強度を式(2)に適用した場合の繊維無しの普通コンクリートのせん断強度 f_{cv0} は、材齢 24 時間で 6.13N/mm^2 、材齢 28 日で 8.71N/mm^2 である。よって、繊維を配合することで平均 1.24 倍のせん断強度が得られた。

以上より、ここで提案する PFRC 材の要求性能である材齢 24 時間の圧縮強度が 24N/mm^2 以上であり、36 時間 (1.5 日) 内の施工が可能である材料である。また、繊維の配合により繊維無しの普通コンクリートの引張強度が 1.20 倍、せん断強度は 1.24 倍となり、コンクリート舗装材としての強度が満足できる材料と言える。

3.3 2種類の接着剤、およびその特性値

本提案するコンクリート舗装法においては、切削時に発生する微細ひび割れの補修およびコンクリート表面を強固にする浸透性接着剤、コンクリート舗装界面のはく離を抑制する付着用の高耐久型エポキシ系樹脂接着剤 (以下、付着用接着剤とする) の 2 種類の接着剤を用いる。ここで、浸透性接着剤および付着用接着剤の特性値を表-4に示す。

浸透性接着剤は削り作業時発生する 0.05mm 以上の微細なクラックに浸透させて、コンクリート表面を強固にする接着剤であり、付着強度は 2.6N/mm^2 以上確保されている。次に、付着用接着剤はコンクリート舗装材と既設 RC コンクリートとの付着性を高めるために塗布される接着剤でありコンクリートとの付着強度は 3.7N/mm^2 以上であり、母材コンクリートで破壊している。

一方、既設 RC 床版の SFRC 上面増厚補強法においては、輪荷重走行による補強界面ではく離が発生し、はく離界面にエポキシ系の接着剤を注入するなどの補修が施され事例もある。ここで提案する PFRC を用いたコンクリート舗装には、界面ではく離を抑制するために付着用接着剤を塗布する。SFRC 上面増厚補強における付着用接着の効果について阿部ら⁶⁾は、RC 床版上面に部分的に付着用接着剤を塗布した場合と全面に塗布した場合の補強効果および耐疲労性の検証を行っている。その結

表-4 エポキシ系接着剤の特性値

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		$3,172\text{N/mm}^2$	$3,976\text{N/mm}^2$
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

表-5 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

供試体	コンクリート圧縮強度 (N/mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)
RC床版	35	384	526	200

果、部分的に付着用接着剤を塗布した供試体は輪荷重の作用により接着剤を塗布しない範囲で全面はく離する結果を得ている。ここで、提案するコンクリート舗装においては RC 床版と舗装の界面全面に付着用接着剤を塗布するものとする。付着用接着剤は既設コンクリート床版上面をショットブラストによる研掃後、平均 1.0mm 厚で塗布するが、硬化時間は常温で 120 分程であることから付着用接着剤塗布後、5 分程度後にコンクリート舗装材を打ち込む必要がある。

4. RC床版および舗装用床版の使用材料および寸法

4.1 使用材料

RC 床版に使用するコンクリートには、普通ポルトランドセメントと細骨材として砕砂、粗骨材として最大寸法 20mm の砕石を使用した。また、鉄筋は SD295A の D13 を用いた。供試体材料の力学特性値を表-5に示す。鉄筋の力学特性値はミルシートによる値である。実験時の RC 床版の圧縮強度は 35.0N/mm^2 、コンクリート舗装材 PFRC の圧縮強度は 65.9N/mm^2 である。

4.2 供試体寸法および鉄筋の配置

(1) RC床版供試体

供試体の床版厚は、大型車両の 1 日 1 方向の計画交通量から算出して、その 3/5 モデルとする。供試体寸法お

よび鉄筋の配置を図-4に示す。

供試体の寸法は、全長は 1,600mm、支間 1,400mm、床版厚 150mm の等方性版である。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。その有効高さは、それぞれ 125mm、115mm である。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。この RC 床版供試体の名称を RC-1 とする。

(2) コンクリート舗装用供試体

コンクリート舗装用の供試体の寸法は、図-4に示す RC 床版と同様である。RC 床版の厚さは 150mm であり、これを 10mm 切削し、その上に 40mm 厚でコンクリート舗装を施すものとする。コンクリート舗装厚を図-4(2)に示す。

4.3 PFRC舗装による供試体の施工手順

本実験供試体は、コンクリート舗装において既設 RC 床版上面に直接コンクリート舗装した供試体 RC-CH1 と、舗装界面に接着剤を塗布してからコンクリート舗装した供試体 RC-CH2 の 2 タイプを製作した。ここで、供試体の施工手順を写真-3に示す。

RC 床版上面に直接コンクリート舗装する供試体 RC-CH1 の施工手順は、写真-3(1)に示すように RC 床版上面を専用の機械で 10mm 切削し、付着性を高めるためにショットブラストによる研掃を行う。次に、モービル車で本提案する特殊セメントを用いた PFRC を練り混ぜし(写真-3(4))、その後、PFRC 材を 40mm 厚で舗装を施し、養生を行う。

次に、2 種類の接着剤を塗布するコンクリート舗装する供試体 RC-CH2 の施工手順は、RC 床版の上面を切削・研掃後(写真-3(1))、切削により発生する微細なクラックの補修およびコンクリート表面を強固にする浸透性接着剤(表-4)を塗布する(写真-3(2))。続いて、既設 RC 床版との付着性を高めるために付着用接着剤(表-4)を塗布する(写真-3(3))。この付着用接着剤は 120 分程度で硬化することから、付着用接着剤の塗布と同時に専用のモービル車で PFRC を練り混ぜする(写真-3(4))。その後、PFRC 材を打ち込み、表面仕上げして養生する(写真-3(5))。

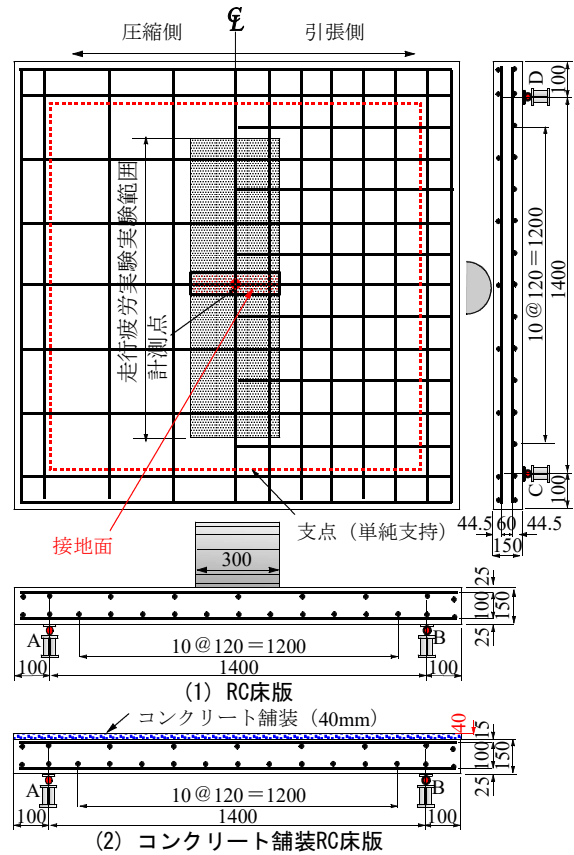
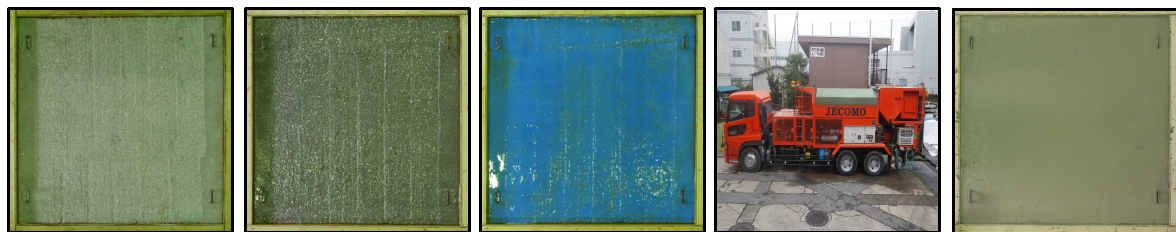


図-4 RC床版供試体寸法および鉄筋配置

5. 輪荷重走行疲労実験方法および等価走行回数

5.1 輪荷重走行疲労実験方法

輪荷重走行疲労実験は、RC 床版供試体、コンクリート舗装した RC 床版ともに幅 300mm の輪荷重を軸方向に 900mm の範囲を繰り返し走行させる実験である。輪荷重走行疲労実験における RC 床版供試体 RC-1 は 100kN で供試体が破壊するまで走行した。また、コンクリート舗装した供試体 RC-CH1、RC-CH2 は、初期荷重 100kN で 20,000 回走行し、20,000 回走行ごとに荷重を 20kN 増加し、破壊するまで荷重増加と走行する。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。



(1) 切削・研掃 (2) 浸透性接着剤の塗布 (3) 付着用接着剤の塗布 (4) 専用ミキサーで PFRC 混練り (5) SFRC 舗装打ち込み、仕上げ

写真-3 コンクリート舗装供試体の施工手順

表－6 実験走行回数および等価走行回数

供試体名称	走行回数	荷重				等価走行回数 合計 (回)	等価走行回数比
		100 kN	120 kN	140 kN	160 kN		
RC-1	実験走行回数	190,300				12,339,978	—
	等価走行回数	12,339,978					
RC-CH1	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	4,931	232,553,017	18.8
	等価走行回数	1,296,905	13,137,392	93,053,636	125,065,084		
RC-CH2	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	19,500	602,066,948	48.8
	等価走行回数	1,296,905	13,137,392	93,053,636	494,579,015		

5.2 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 N_{eq} 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(3)で与えられる。なお、式(3)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⁷⁾。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times n_i \quad (3)$$

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)

6. 実験結果および考察

6.1 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験における走行回数および等価走行回数を表－6に示す。

(1) RC床版 (RC-1)

供試体 RC-1 の輪荷重走行疲労実験における等価走行回数は 12.339×10^6 回である。この等価走行回数を基準に、RC 床版に直接コンクリート舗装した供試体 RC-CH1 および 2 種類の接着剤を塗布し、コンクリート舗装した供試体 RC-CH2 の舗装効果および耐疲労性を評価する。

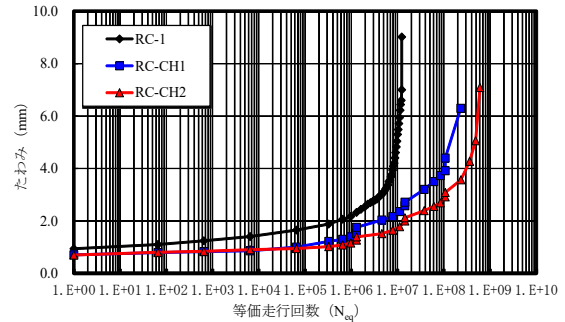
(2) 直接舗装した供試体 (RC-CH1)

RC 床版上面を切削・研掃後、直接本提案するコンクリート舗装材を用いた供試体 RC-CH1 の等価走行回数は 232.553×10^6 回である。供試体 RC-1 と比較すると 18.8 倍の等価走行回数を得られた。

(3) 2種類の接着剤を塗布した供試体 (RC-CH2)

RC 床版上面を切削・研掃後、2 種類の接着剤を塗布した後、コンクリート舗装した供試体 RC-CH2 の等価走行回数は 602.066×10^6 回である。供試体 RC-1 の等価走行回数に比して 48.8 倍の等価走行回数を得られている。また、RC 床版に直接コンクリート舗装した供試体 RC-CH1 に対して 2.6 倍の等価走行回数を得られている。

以上より、本提案する特殊セメントを用いた繊維補強



図－5 たわみと等価走行回数

コンクリートすなわち PFRC 材で舗装することで耐疲労性が大幅に向上する結果が得られた。

6.2 たわみと等価走行回数

たわみと等価走行回数の関係を図－5に示す。

(1) RC床版 (RC-1)

供試体 RC-1 のたわみと等価走行回数の関係は図－5に示すように荷重 100kN で 1 走行した後の初期たわみは 1.02mm である。その後、走行回数の増加に伴い、たわみも線形的に増加している。等価走行回数 12.339×10^6 回の時点のたわみは 8.3mm である。

(2) 直接舗装した供試体 (RC-CH1)

RC 床版上面に直接コンクリート舗装した供試体 RC-CH1 の荷重 100kN で 1 走行した後の初期たわみは 0.71mm であり、供試体 RC-1 の約 70% である。たわみが 3.5mm を超えた付近からたわみの増加が大きくなるものの、たわみが 4.0mm 付近までは線形的に増加している。破壊時のたわみは等価走行回数 232.553×10^6 回で 6.3mm である。コンクリート舗装 40mm 行ったことで剛性が高まり、たわみの増加が抑制されている。

(3) 2種類の接着剤を塗布した供試体 (RC-CH2)

RC 床版上面を切削・研掃後、2 種類の接着剤を塗布した後にコンクリート舗装した供試体 RC-CH2 の荷重 100kN で 1 走行した後の初期たわみは 0.70mm であり、直接コンクリート舗装した供試体 RC-CH1 と同等である。たわみが 3.5mm を超えた付近の等価走行回数は 234.303×10^6 回であり、この付近からたわみの増加が著しくなっている。破壊時のたわみは等価走行回数 602.066×10^6 回で、7.1mm である。

以上のように、RC 床版上面にコンクリート舗装する

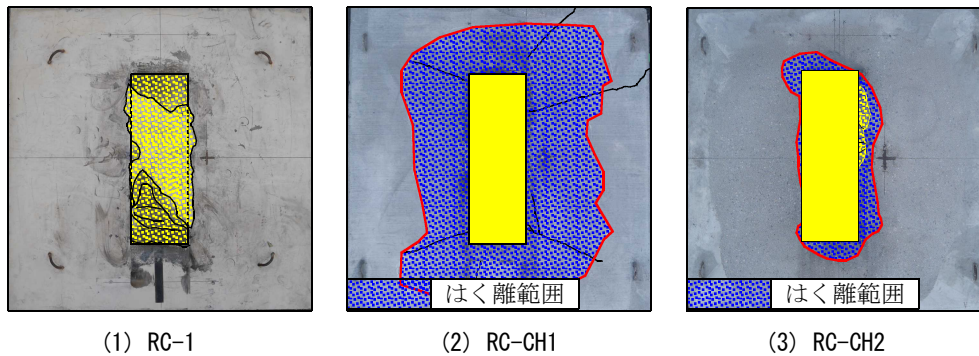


図-6 床版上面の損傷状況

ことでたわみの増加が抑制され、等価走行回数が大幅に増加する結果となった。

6.3 舗装面の損傷状況

コンクリート舗装面の損傷状況を図-6に示す。

(1) RC床版 (RC-1)

供試体 RC-1 の上面損傷は、輪荷重の走行により走行面が摩耗による凹凸が著しい。破壊は輪荷重走行中に床版中央で押抜きせん断破壊となった。

(2) 直接舗装した供試体 (RC-CH1)

供試体 RC-CH1 の上面は、輪荷重走行によるひび割れが発生しているものの圧縮強度が高いことから走行面の損傷は見られない。舗装界面のはく離状況を打音法で検証した結果、広範囲にわたってはく離が及んでいる。したがって、早期に2層化されたものと考えられる。破壊は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。

(3) 2種類の接着剤を塗布した供試体 (RC-CH2)

2種類の接着剤を塗布した供試体 RC-CH2 の上面は、摩耗による損傷や打音法によるはく離は走行面に見られるものの供試体 RC-CH1 と比較して狭い範囲である。これは、2種類の接着剤の効果であると考えられる。破壊は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。

以上より、RC床版に直接コンクリート舗装した場合は、疲労が進むにつれ舗装界面ではく離が進行し、2層化になると考えられる。一方、既設RC床版上面に接着剤を塗布した場合は一体性が確保され耐疲労性が更に向上する結果となった。

7. まとめ

- (1) 本提案する特殊セメントを用いた繊維補強コンクリートは要求性能である材齢 24 時間で道示に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 以上となる材料である。
- (2) RC床版に直接本提案した繊維補強コンクリートで舗装することで未舗装供試体の 18.8 倍、2種類の接

着剤を塗布し、繊維補強コンクリートで舗装した供試体は 48.8 倍の等価走行回数が得られ、両舗装法ともに高い耐疲労性を有することが確認できる。

- (3) たわみと等価走行回数の関係においては、コンクリート舗装することで剛性が高まり、たわみの増加が抑制されている。とくに、2種類の接着剤を塗布したコンクリート舗装は一体化し、さらにたわみの増加が抑制されている。
- (4) 破壊時の供試体の上面損傷は、RC床版は摩耗による凹凸が著しい。また、直接コンクリート舗装した供試体は広範囲にわたってはく離が見られた。一方、2種類の接着剤を塗布したコンクリート舗装は、はく離が見られなく終局時まで一体化していた。よって、重交通や交通量の多い床版の舗装においては接着剤の塗布が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領，2014.6
- 2) 阿部忠，川井豊，山下雄史，一瀬八洋：普通セメントに低収縮型早強性混和材を配合した SFRC 舗装による鋼床版の応力低減効果，土木学会論文集 E1，Vol.71，No.2，pp.47-62，2015.7
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，2002
- 4) 岡村甫：コンクリート構造の限界状態設計法，コンクリートセミナー 4，pp.17-18，共立出版，1979
- 5) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，川井豊：道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力および耐疲労性の評価，土木学会論文集 A1，pp.39-54，2011.1
- 6) 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，pp.1084-1091，2013.3
- 7) 松井繁之：道路橋床版設計・施工の維持管理，森北出版，2007