

論文

PFRCを用いたRC床版のコンクリート舗装における耐疲労性および損傷状況の検証

小林稔*, 阿部忠**, 児玉孝喜***, 伊藤清志*, 小林哲夫****

* 日本大学大学院, 生産工学研究科土木工学専攻博士後期課程 (〒275-8575千葉県習志野市泉町1-2-1)

** 博(工), 日本大学教授, 生産工学部土木工学科 (〒275-8575千葉県習志野市泉町1-2-1)

*** 博(工), 鹿島道路(株), 経営企画部 (〒112-8566 東京都文京区後楽1-7-27)

**** 住友大阪セメント(株), セメント・コンクリート研究所 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島7-1-55)

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評価した.

キーワード: RC床版, コンクリート舗装, 繊維補強コンクリート, 接着剤

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設されているが, 十数年で劣化し, 打替えが行われている. また, 積雪寒冷地域の道路橋RC床版においては融雪剤の散布による融解により, 床版上面は常時湿潤状態となり, 凍結・融解の繰り返しによって舗装部にはひび割れやポットホールなどの損傷が生じている. また, RC床版上面はスクレーピングや土砂化するなどの損傷を受けている. これらのことから, 舗装の耐久性の向上, さらには劣化したRC床版の補強も兼ねたコンクリート舗装が提案され, 実橋RC床版上面に採用されている. コンクリート舗装は以上のような利点もあるが, 路面の騒音問題や, 舗装界面での離層などが懸念されている. また, コンクリート舗装材においては, 高速道路などの交通量の多い道路橋には9時間規制での施工を可能とすることから, 超速硬セメントに鋼繊維を混入したSFRC材を用いた舗装が舗設されていた. SFRC材の発現強度は材齢3時間で道路橋示方書・同解説¹⁾(道示)に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm^2 以上が確保される材料であるが, 凝結開始時間17分程度と短いことから, 練り混ぜから表面仕上げまでの時間が短時間であることから熟練した技能者が必要となる. しかし, 地方公共団体が管理する道路橋床版に用いるコンクリート舗装材においては, 24時間(1日)から最大5日間程度の交通規制のなかでの施工がなされている.

そこで本研究では, 施工時間を36時間程度に用いる材料を提案することから材齢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 以上を確保する舗装材

と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コンクリート(PFRC)を提案する. また, RC床版供試体を用いて本提案するPFRC材を用いて接着剤塗布型コンクリート舗装を施し, 輪荷重走行疲労実験を行い, 耐疲労性を評価するとともに, 建研試験によるコンクリート舗装界面の付着強度を検証した.

2. コンクリート舗装材および材料特性値

2.1 コンクリート舗装材料

(1) SFRC材の配合条件および発現強度

高速道路や一般国道, 交通量の多い地方道では, 9時間の交通規制の中で施工が行われ, この材料には, 超速硬系コンクリートが用いられることが多い. ここで, 筆者らの既往の研究で用いた超速硬セメントを用いた繊維補強コンクリート(SFRC)舗装材の配合を表-1に示す²⁾. 表-1より, 超速硬セメントに $\phi 0.6\text{mm}$, 長さ 30mm の鋼繊維を $1.27\text{Vol}\%$ (3.64kg/m^3)で混入し, 水セメント比は 39.5% である.

次に, 超速硬セメントを用いたSFRC材の凝結開始時間, 発現強度および割裂試験による引張強度, 一面せん断試験によるせん断強度を表-2に示す. なお, 材料試験においては写真-1に示すそれぞれの試験機を用いて評価した.

表-2より超速硬セメントを用いたSFRCの凝結始発時間は17分, 終結時間が25分程度であり, 打ち込みから表面仕上げに要する時間が数分程度であることから, 熟練した技能者の確保も必要となる. 材料特性値である圧縮強度は材齢3時間で 26.9N/mm^2 である. よって, 規制9時間

表-1 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	粗骨材	細骨材	繊維		
超速硬セメント	39.5	51.2	430	170	851	858	3.64	2	0.003
特殊セメント	38	55	434	165	919	789	3.64	2	0.003

表-2 SFRCおよびPFRCの強度発現

試験項目		SFRC	PFRC
凝結時間	始発	17min.	33min.
	終結	25min.	40min.
圧縮強度	2時間	25.1N/mm ²	
	3時間	45.2N/mm ²	
	4時間	52.3N/mm ²	
	1日	—	37.8N/mm ²
	3日	—	52.7N/mm ²
	7日	—	59.2N/mm ²
	28日	62.3N/mm ²	64.2N/mm ²
引張強度	28日	6.95N/mm ²	6.28N/mm ²
せん断強度	28日	13.21N/mm ²	12.18N/mm ²



(1) 圧縮試験 (2) 割裂試験 (3) 一面せん断試験
写真-1 各種試験状況^{3), 4)}

内施工に適した材料と言える。また、材齢28日の圧縮強度は62.3N/mm²である。

(2) 本提案するPFRC材の配合および発現強度

本提案するPFRC材の要求性能は、15日から2日間程度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以上確保できる配合条件とした。ここで、特殊セメントを用いたPFRC材の配合条件を表-1に併記した。また、本提案するPFRC舗装材の凝結時間および圧縮強度、引張強度、せん断強度を表-2に併記した。なお、提案するPFRC舗装材の圧縮強度は写真-1(1)に示す圧縮試験を行い、圧縮強度と材齢の関係として図-1に示す。また、引張強度は写真-1(2)に示す割裂試験を行い、引張強度と材齢の関係を図-2に示す。さらに、せん断強度は写真-1(3)に示す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に示す。なお、図-2には岡村による普通コンクリートの引張強度⁵⁾、図-3には阿部らによるせん断強度⁴⁾も併記した。表-2には平均値として併記した。

表-1に示す配合条件は、早強セメントに超早強性低収縮型混和材と配合した特殊セメントに有機繊維を1.27Vol.%

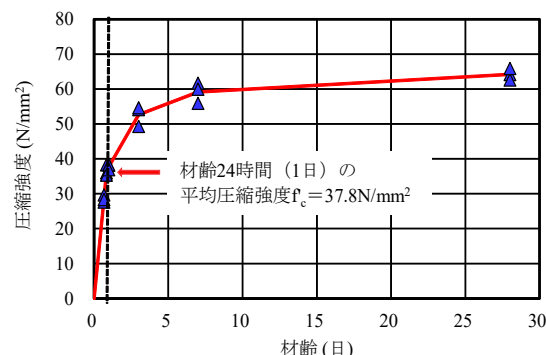


図-1 圧縮強度と材齢の関係

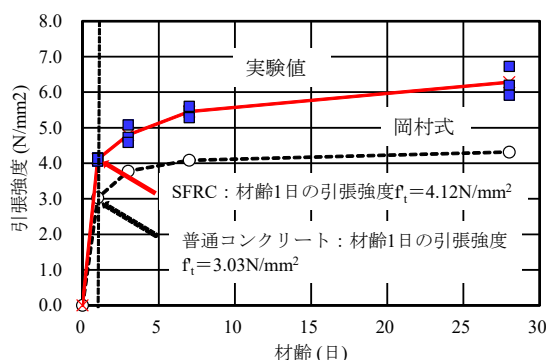


図-2 引張強度と材齢の関係⁵⁾

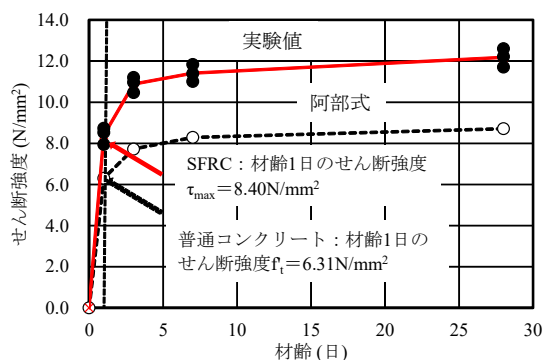


図-3 せん断強度と材齢の関係⁶⁾

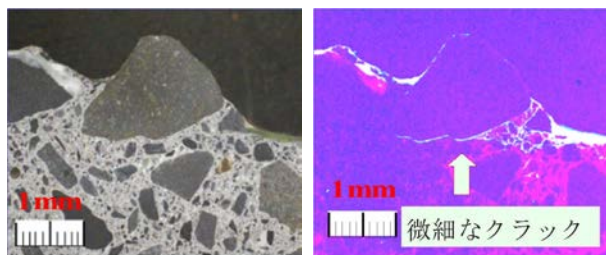
で混入し、水セメント比は38%にして、36時間以内に交通開放が可能な材料とした。この材料をPFRCとする。

表-2より、PFRCの凝結始発時間は33分、終結時間が40分程度であり、表面仕上げに要する時間が超速硬セメントを用いたコンクリート舗装材に比べて15分程度遅いことから、施工性が良い材料であると言える。材齢24時間の圧縮強度は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。

一方、PFRCの割裂試験による引張強度および一面せん断試験によるせん断強度は材齢28日で6.28N/mm²である。

表一3 2種類の接着剤の特性値

項目	浸透性接着剤	付着用接着剤
外観	主剤	無色液状
	硬化剤	無色液状
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



(1) 自然光 (2) ブラックライト

写真-2 浸透性接着剤の浸透状況^{2), 3)}

また、一面せん断試験による引張強度は12.18N/mm²である。SFRC材の引張強度およびせん断強度との比はそれぞれ0.90, 0.92であり、10%程度下回っている。しかし、繊維を混入することで引張強度、せん断強度が向上することから、舗装材および基層材として用いた場合においても割れにくい材料であると言える。

2.2 2種類の接着剤の特性

(1) コンクリート表面補修用浸透性接着剤

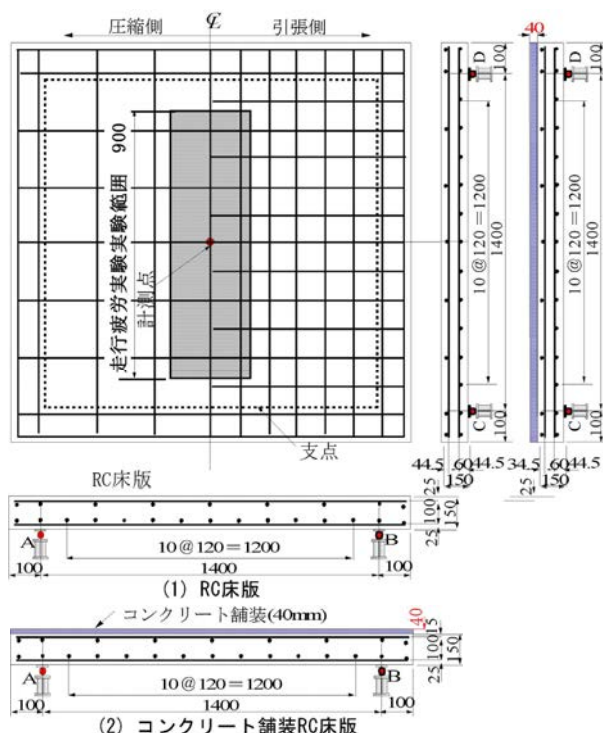
従来のコンクリート舗装およびSFRC上面増厚補強においては床版上面に直接舗装や増厚補強が行われていた。この施工においては、旧アスファルト舗装を大型の専用機械で衝撃を与えながらの撤去作業や切削作業が行われている。しかし、この施工法は、切削面に微細なクラックの発生やRC床版上面コンクリートの脆弱化による早期のはく離が懸念される。そこで、既設RC床版上面の微細なクラックや脆弱化したコンクリート表面を強固にするために浸透性接着剤^{6), 7)}を塗布する。ここで、浸透性接着剤の特性値を表一3に示す。表一3より、圧縮強度も104.4N/mm²と高く、付着強度は2.6N/mm²以上確保されている。また、浸透性接着剤の浸透状況を写真-2に示す。これによるとブレーカ等の削り作業において微細なひび割れが発生するとともに浸透性接着剤は0.05mm程度のひび割れに浸透することが確認される。よって、損傷を受けた既設RC床版コンクリート表面を強固にすることから、コンクリート舗装を舗装した場合においてもより界面での損傷が抑制されるものと考えられる。

(2) 付着用エポキシ系接着剤

既設RC床版のSFRC上面増厚補強法においては、輪荷

表一4 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)	使用鉄筋 (SD295A D13)		
		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



図一4 供試体寸法および鉄筋配置

重走行によるはく離が発生し、再補修や、はく離界面に接着剤を注入するなどの補修が施されていた。これらのことから本提案したPFRCを用いたコンクリート舗装においてははく離を抑制し、耐疲労性の向上を図るためにエポキシ系の接着剤（以下、付着用接着剤とする）を塗布した^{7), 8)}。この付着用接着剤は既設RC床版コンクリートとフレッシュなコンクリートを打ち繋ぐ際に用いる接着剤として開発された。ここで、接着剤の材料特性値を表一3に示す。表一3より、コンクリートとの付着強度は3.7N/mm²以上確保され、引張試験においては母材コンクリートで破壊している。本接着剤は既設コンクリート床版上面を研掃した後、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塗布後直ちにコンクリート舗装材を打ち込む必要がある。

3. RC床版および舗装用床版の使用材料および寸法、舗装法

3.1 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。RC床版の材料特性値を表一4に示す。

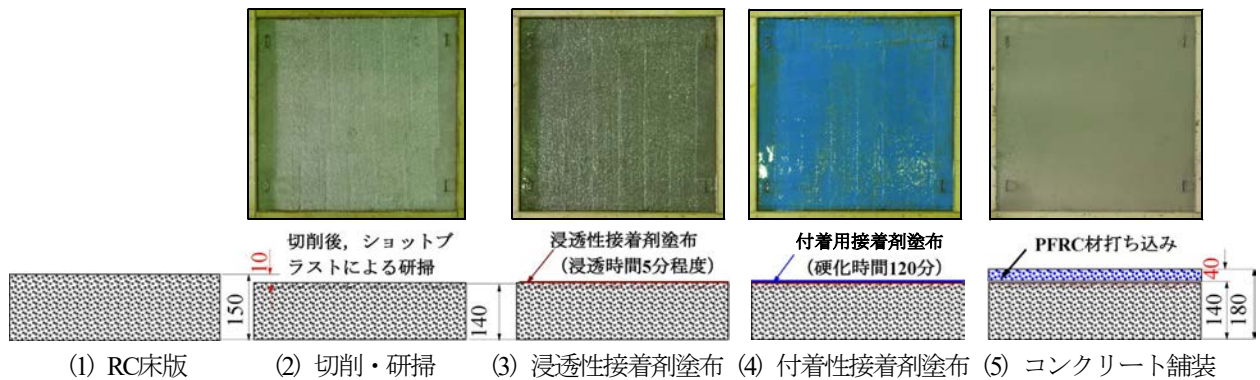


図-5 コンクリート舗装の施工手順

(1) RC床版供試体

供試体の床版厚は1994年改訂以降の道示に準拠し、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。この供試体名称をRC床版とする。

(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。

3.2 コンクリート舗装の施工手順

PFRCで直接舗装する施工法およびPFRCと2種類の接着剤を塗布するコンクリート舗装の施工手順を図-5に示す。

PFRCのみで舗装する供試体RC-PFの施工手順は、RC床版(図-5(1))の上面を10mm切削・研掃(150kg/m²)(図-5(2))する。その後、PFRCを打ち込み、表面仕上げする。一方本提案するPFRCと2種類の接着剤塗布するPFRC舗装する供試体RC-PF.Aは、専用の機械で切削するが、この場合は切削面に微細なクラックが発生する。そこで、この補修も兼ねて浸透性接着剤(表-3)を塗布し(図-5(3))、コンクリート表面を強固にする。浸透性接着剤塗布後5分から10分後に、既設RC床版コンクリートとPFRC材との付着性を高めるために付着用接着剤(表-3)を塗布する(図-5(4))。接着剤の塗布範囲は全面とする⁹⁾。この接着剤は120分程度で硬化することから、直ちに専用のモバイル車で練り混ぜし、舗装材を打ち込み、表面仕上げし、養生する(図-5(5))。

4. 輪荷重走行疲労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

輪荷重走行疲労実験は、RC床版、コンクリート舗装床版ともに幅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

表-5 等価走行回数および等価走行回数比

供試体名称	等価走行回数 合計(回)	等価走行回 数比 RC-PF/RC	等価走行回 数比 RC-PF/RC-PF.A
RC-1	12,339,978	—	—
RC-PF	232,553,017	18.8	—
RC-PF.A	602,066,948	48.8	2.6

ける初期荷重は、RC床版供試体およびコンクリート舗装供試体ともに100kNから走行を開始し、20,000回走行ごとに荷重を増加する段階荷重載荷とする。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。

4.2 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、等価走行回数 N_{eq} を算出して耐疲労性を評価する。等価走行回数の算定式は式(1)として与えられる。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提案する12.7を適用する¹⁰⁾。

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

ただし、 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

5.1 等価走行回数

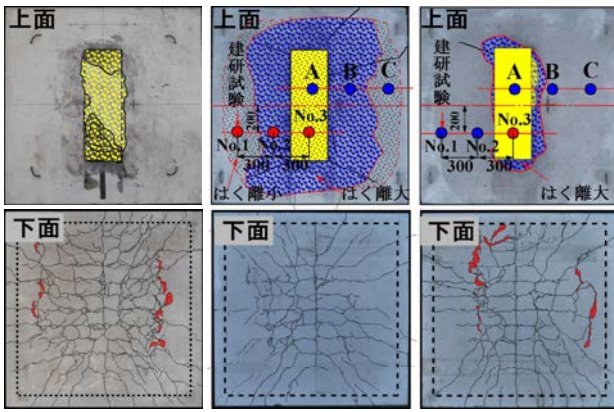
輪荷重走行疲労実験における等価走行回数および等価走行回数比を表-5に示す。

(1) RC床版

RC床版の輪荷重走行疲労実験における等価走行回数は12,339×10³回である。この等価走行回数を基準に、コンクリート舗装した供試体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-PF)

直接コンクリート舗装した供試体RC-PFの等価走行回数は231,599×10³回である。RC床版供試体と比較すると



(1) RC床版 (2) RC-PF (3) RC-PFA
 図-6 コンクリート舗装および床版下面の損傷状況

18.8倍の等価走行回数を得られた。

(3) 2種類の接着剤を用いた供試体 (RC-PF.A)

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の等価走行回数は 602.066×10^6 回である。RC床版供試体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-PF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PFRC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。

5.2 舗装面の損傷状況

コンクリート舗装面および下面の損傷状況を図-6に示す。なお、図-6には建研試験およびはく離状況の検証位置を併記した。

(1) RC床版

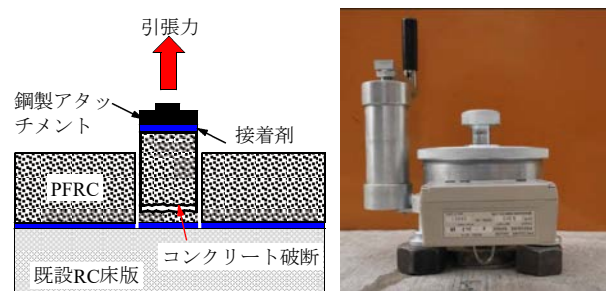
RC床版の上面損傷は図-6(1)より、輪荷重の走行により走行面が摩耗による凹凸が著しい。下面は輪荷重走行範囲から45度底面はダウエルの影響によるはく離が見られる。破壊は輪荷重走行中に床版中央で押抜きせん断破壊となった。

(2) 供試体 (RC-PF)

供試体RC-PFは図-6(2)より、上面は輪荷重走行によるひび割れが発生している。走行面の圧縮強度が高いことから凹凸は見られない。打音法によるはく離の範囲を検証すると、舗装界面で殆どの範囲がはく離している。図-6には建研試験箇所を示しているが、 $\phi 100$ mmの削孔中にはく離が確認された。下面は2方向ひび割れが発生するもののRC床版下面に比してダウエルの影響によるはく離の範囲が狭い。破壊は界面のはく離と押抜きせん断破壊と複合している。

(3) 供試体 (RC-PF.A)

2種類の接着剤を塗布した供試体RC-PF.Aの上面は図-6(3)より、摩耗による凹凸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-PFと比較してはく離の範囲が狭い。これは、2種類の接着剤の効果であると考えられ



(1) 建研試験法 (2) 建研試験機
 図-7 建研式引張試験方法

表-6 建研式引張試験方法による付着強度

供試体名称	試験位置	直径 D(mm)	断面積 A(mm ²)	最大荷重	引張強度
				P(N)	ft (N/mm ²)
RC-PF	No.1	99.0	7,698	0.0 (界面はくり)	0.00
	No.2	99.0	7,698	0.0 (界面はくり)	0.00
	No.3	99.0	7,698	0.0 (界面はくり)	0.00
RC-PF.A	No.1	99.0	7,698	18.2	2.36
	No.2	99.0	7,698	15.3	1.99
	No.3	99.0	7,698	0.0 (界面はくり)	0.00

る。下面は2方向ひび割れとダウエルの影響を受ける範囲ではく離が見られる。破壊は押抜きせん断破壊である。

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た。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。

5.3 建研式引張試験による界面の付着性能

(1) 建研式引張試験による付着強度¹⁾

疲労実験終了後にコンクリート舗装を施した供試体界面の付着性能を確認するために、建研式引張試験を行い、引張付着強度を計測する。ここで、建研式引張試験の概略および試験位置を図-7に示す。試験方法はコンクリート舗装上面に電動ドリルを設置し、直径100mmで既設RC床版の位置まで切り込みを入れる。次に、コアの上面に接着剤を塗布し、鋼製治具を圧着し、養生を行う。接着剤が硬化した後、油圧式接着力試験機を用いて載荷速度1.0N/cm²/secで引張付着強度試験を実施する(図-7)。引張付着試験方法における強度の算定は式(2)として与えられている。

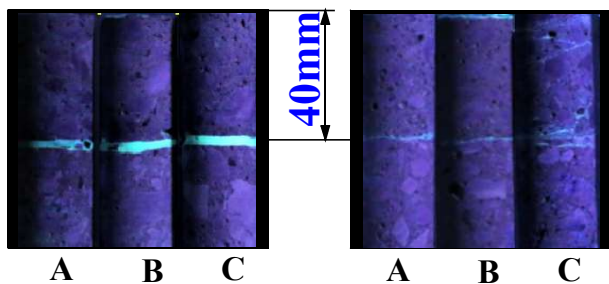
$$f_t = P/A \quad (2)$$

ただし、 f_t : 引張付着強度 (N/mm²)、 P : 接着荷重 (N)、 A : 接着面積 (mm²)

(2) 付着強度およびはく離状況

建研式引張試験により得られた界面の引張付着強度を表-6に示す。また、界面のはく離状況は、柱状サンプル採取法¹²⁾によるはく離状況を写真-3に示す。

直接コンクリート舗装を施した供試体RC-PFは、No.1, 2, 3においてコア削孔中に界面ではく離したことから、引張強度は0.0N/mm²である。一方、2種類の接着剤を塗布した供試体RC-PF.Aの付着強度は輪荷重直下のNo.1はコア削孔



(1) 供試体RC-PF

(2) 供試体RC-PF-A

写真-3 柱状サンプル採取による界面のはく離状況

中にはく離したことから引張強度は 0.0N/mm^2 である。No.2, 3の引張強度それぞれ 1.99N/mm^2 , 2.36N/mm^2 となり、上面増厚補強法における付着強度 1.0N/mm^2 を上回っている。また、界面のはく離状況は写真-3(1)に示す柱状サンプルより、供試体RC-PFはコンクリート舗装界面で全てがはく離している。これは、図-6に示す打音法によるはく離位置と一致する。一方、接着剤塗布した供試体RC-PF-Aは、コア採取したA点の(中央)ひび割れ幅は 0.8mm 程度で、中央ははく離している、B点、C点のひび割れはそれぞれ 0.6mm , 0.4mm 程度の水平ひび割れが確認されるものの、はく離は見られない。

以上より、供試体RC-PFは、接着剤を塗布しないことから、界面ではく離していることから付着強度は 0.0N/mm^2 であるが、接着剤塗布した供試体は、走行面の付着強度は 0.0N/mm^2 であるが、他の領域は付着強度が確認された。

6. まとめ

- (1) 本提案する特殊セメントを用いたPFRC材は、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 以上の圧縮強度が得られ、要求性能である15日施工に適した材料である。また、有機繊維を $1.27\text{Vol}\%$ で混入したことで割裂試験による引張強度、一面せん断試験によるせん断強度も高く、過酷な荷重条件に強いられるコンクリート舗装としては鋼繊維と同様な荷重分担するものと考えられる。
- (2) RC床版に本提案したPFRCを切削後直接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倍の等価走行回数を得られた。したがって、本提案するPFRC材で舗装することで耐疲労性は評価できる。また、2種類の接着剤塗布することでさらに耐疲労性が向上する結果となる。なお、新設時RC床版の舗装においては切削が不要となることから浸透性接着剤の省略も可能である。
- (3) 直接コンクリート舗装した供試体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、走行面のみはく離が見られるがそれ以外の領域ではく離は見られない。両供試体ともに破壊は押抜きせん断破壊となった。

- (4) 建研引張試験による引張強度は、直接PFRC舗装した供試体は、界面ではく離したことから引張強度も確認されない。一方、2種類の接着剤を塗布した供試体は走行面の中央から 30cm の位置の引張強度の 1.99N/mm^2 を確保され、一体化していた。また、柱状サンプル採取によるはく離状況においても直接PFRC舗装した場合は、全て下面ではく離し、接着剤塗布した供試体は、走行面のみがはく離し、それ以外では微細な水平ひび割れが発生しているもの、付着性が見られ、一体性が確保されている。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) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II，2002
- 2) 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
- 3) 土木学会：2013年制定コンクリート標準示方書〔基準編〕JIS規格集，2013.11
- 4) 阿部忠，木田哲量，徐銘謙，澤野利章：道路橋RC床版の押抜きせん断耐荷力評価式に関する研究，構造工学論文集，Vol.53A，pp.199-207，2007.
- 5) 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
- 6) 大野晃，伊藤清志，山下雄史，阿部忠：超速硬繊維補強セメントモルタルを用いた道路橋RC床版の部分補修技術に関する研究，コンクリート構造物の補修・補強アップグレード論文・報告集，第13巻，pp.357-264，2013.11
- 7) 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
- 8) 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剤を配合した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
- 9) 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
- 10) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007.10
- 11) 国土交通省大臣官房官庁：公共建築工事標準仕様書（建築工事編）平成 28 年版，2016
- 12) 阿部忠，大窪克己，高野真希子：コンクリート構造物材の柱状サンプル採取方法，特許第6308541号
(2018年7月20日受付)