

取替RCプレキャスト床版に施した接着剤塗布型コンクリート舗装の耐疲労性評価

鹿島道路(株) ○伊藤清志 日大生産工(非常勤) 阿部 忠
鹿島道路(株) 児玉孝喜 (株)オーシャン 深川克彦

1. はじめに

高度経済成長期に建設され、50 年以上経過した道路橋 RC 床版は、老朽化対策として取替 RC 床版工法が提案され¹⁾採用されている。一方、RC 床版の舗装においては従来のアスファルト舗装に比べて耐久性の向上が図られるコンクリート舗装が着目されている。そこで本研究では、間詰部を有する取替 RC 床版に接着剤を塗布したコンクリート基層構造を設けた舗装技術を提案^{2), 3)}し、輪荷重走行疲労実験を行い、コンクリート舗装の効果および取替 RC 床版の耐疲労性の検証を行う。

2. コンクリート舗装材および材料特性値

(1)PFRC材の配合および発現強度 コンクリート舗装材(以下、PFRC とする)の要求性能は、交通規制を 1.5 日から 2 日間程度とする工事を想定し、材齢 24 時間(1 日)で道路橋示方書(以下、道示とする)⁴⁾に規定するコンクリートの圧縮強度が 24N/mm^2 以上を確保できる配合条件とする。PFRC 材の配合条件は表-1に示す。セメントは特殊セメントとし、早強セメントに超早強性低収縮型混和材を配合する。また、有機繊維を 1.27Vol.%で混入し、水セメント比を 38%とした。この PFRC の凝結始発時間は 33 分、終結時間が 40 分程度であり、施工性の良い材料である。

次に、PFRC 舗装材の力学特性値を評価するためにコンクリート舗装材の圧強度、引張強度、せん断強度試験を行った。PFRC の発現強度は材齢 24 時間で圧縮強度の平均は 37.8N/mm^2 、材齢 28 日の圧縮強度の平均は 64.2N/mm^2 となり、

要求性能とした道示に規定する 24N/mm^2 を満足している。

一方、PFRC の割裂試験による引張強度は材齢 24 時間で 4.12N/mm^2 、材齢 28 日は 6.28N/mm^2 である。また、一面せん断試験によるせん断強度は材齢 24 時間で 8.40N/mm^2 、材齢 28 日が 12.18N/mm^2 である。

(2)付着用接着剤の特性 既設 RC 床版に施す SFRC 上面増厚補強法では、輪荷重走行によるはく離の発生が懸念される。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では、はく離を抑制し、耐疲労性の向上を図るためにエポキシ樹脂接着剤(以下、付着用接着剤とする)を塗布する。付着用接着剤の材料特性値は表-2に示す。付着強度は 3.7N/mm^2 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切削、研掃した後に平均 1.0mm 厚で塗布し、可使時間は常温で 120 分程である。

3. RC・取替床版の使用材料・寸法および舗装法

3.1 使用材料

(1)RC床版供試体 RC 床版供試体のコンクリートには、普通セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ～ 20mm の砕石を使用し、設計基準強度は道示に規定する 24N/mm^2 を目標とした配合条件とする。次に、供試体の鉄筋には SD 345, D13 を用いる。供試体名称は RC とする。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-3に示す。コンクリートの圧縮強度は材齢 28 日で 30.3N/mm^2 、鉄筋の降伏強度は 355N/mm^2 である。

表-1 コンクリート舗装材の配合条件

セメントの種類	スランブ (cm)	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		
特殊セメント	8.0±2.5	38	55	434	165	919	789	3.64	2	0.003

Fatigue resistance evaluation of concrete pavement with adhesive applied to replacement RC precast slab
by

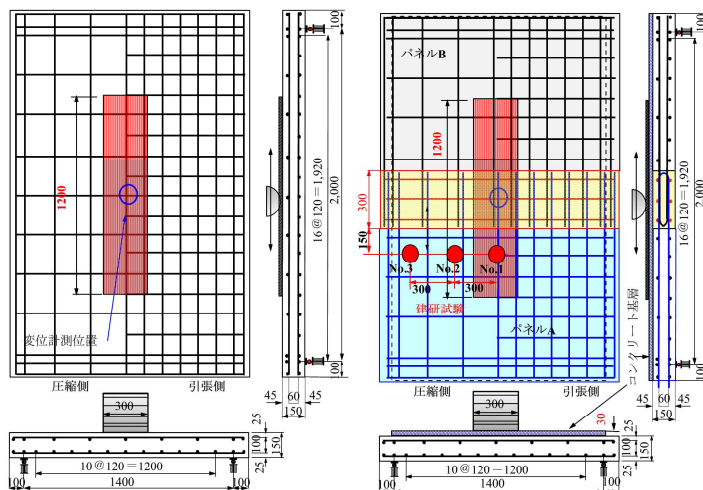
Kiyoshi ITO, Tadashi ABE, Takayoshi KODAMA and Katsuhiko FUKAGAWA

表-2 付着用接着剤の特性値

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

表-3 材料特性値

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋(SD345, D13)		
		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC	30	355	498	200
取替 RC床版				



(1) RC床版

(2) 取替RC床版

図-1 供試体寸法および鉄筋配置

(2) 取替RC床版供試体 取替 RC 床版供試体のプレキャスト RC 床版部に用いる材料は RC 床版供試体のコンクリートおよび鉄筋と同様とする。取替 RC 床版の要求性能は RC 床版と同様とし、材料特性値を表-3に併記する。コンクリート舗装した RC 床版供試体名称を取替 RC-舗装とする。

3.2 供試体寸法

RC 床版供試体は道示の基準に準拠した 3/5 モデルとし、RC 床版供試体の寸法は図-1 (1) に示すように、床版支間方向 1,600mm、軸方向 2,200mm、床版厚 150mm とする。なお、床版支間は 1,400mm、軸方向の支間を 2,000mm とする。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 間隔で配置する。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置する。

次に、取替 RC 床版供試体は図-1 (2) に示すように、床版支間方向および軸方向は、RC 床版同様である。本供試体はコンクリート舗装における効果を検証するために、取替 RC 床版には鉄筋を配置し、プレキャスト RC 床版と間詰部の付着面は目あらし処理を施した。よって、間詰部の寸法は、軸方向支間中央に継手長 280mm を考慮し、幅 300mm を設けた。継手部の構造は、主筋の内側に配力筋が配置され、継手部は円形状にした鉄筋を配置する。

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

RC 床版および取替 RC 床版供試体の輪荷重走

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 1200mm 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。たわみの計測は、輪荷重走行 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとに軸方向の中央に車輪を停止し、計測する。

取替 RC 床版のコンクリート基層を設けた構造のたわみおよびひずみの低減効果を検証することから、荷重 100kN で 20,000 回走行し、走行ごとにたわみを計測する。ここで、取替 RC 床版を輪荷重走行疲労実験装置から降ろし、上面に接着剤塗布型コンクリート舗装を施す。本実験供試体は基層として検証することから舗装厚は 30mm とし、養生後に供試体を実験装置に設置し、輪荷重走行疲労実験を行う。荷重は 100kN から 140kN まで 2,000 回走行ごとに荷重 20kN を増加し、その後は 10kN 増加して破壊するまで走行する。

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} を式(1)より算出して耐疲労性を評価する。なお、式(1)における基準荷重 P は、本供試体は 3/5 モデルであることから設計活荷重 100kN の 3/5 倍とした 60kN 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

表-4 実験・等価走行回数および等価走行回数比

供試体	舗装材の圧縮強度	実験走行回数および等価走行回数						合計等価走行回数	等価走行回数比
		荷重	未舗装	コンクリート舗装					
			100kN	100kN	120kN	140kN	160kN		
RC		実験走行回数		40000	14000			54,000	—
		等価走行回数		2,593,806	9196173			11,789,979	
取替RC-基層	63.1N/mm ²	実験走行回数	20,000	40,000	40,000	40,000	13,000	133,000	46.20
		等価走行回数	1,296,903	2,593,806	26,274,781	186,107,271	329,719,344	544,695,202	

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⁵⁾。

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

ここに、 P_i ：载荷荷重 (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) ⁷⁾

5. 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 N_{eq} および RC 床版供試体の等価走行回数比を表-4に示す。

(1) RC床版供試体 B 活荷重に準拠して 3/5 モデルとした床版供試体 RC の等価走行回数 N_{eq} は 11.789×10^6 回である。この等価走行回数を基準に取替 RC 床版の耐疲労性を検証する。

(2) コンクリート基層を設けた取替RC床版供試体

取替 RC 床版の等価走行回数は 544.695×10^6 回であり、RC 床版供試体 RC の 46.2 倍となり、RC 床版供試体に比して等価走行回数は大幅に向上した。

5.2 荷重とたわみの関係

(1) RC床版供試体 床版供試体 RC に荷重 100kN を載荷し、1 走行後の床版中央のたわみは 1.18mm となり、その後の走行および荷重増加によりたわみも増加している。阿部ら⁶⁾は補修・補強が必要な時期としてたわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点を実験しているが、本実験で RC 床版のたわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点の等価走行回数は 2.594×10^6 回である。その後、等価走行回数 11.789×10^6 回におけるたわみは 9.59mm である。破壊は輪荷重走行中に床版中央付近で押抜きせん断破壊となった。たわみと等価走行回数の関係を図-2に示す。

(2) コンクリート基礎を設けた取替RC床版供試体

取替床版に荷重 100kN 載荷し、1 走行した後のたわみは 1.09mm であり、20,000 回走行後 (等

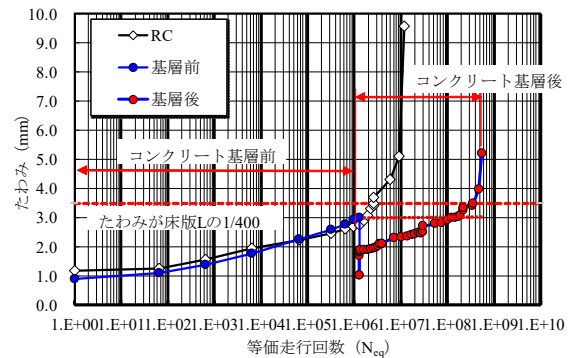


図-2 たわみと等価走行回数の関係

価走行回数 1.296×10^6 回) はたわみは 2.99mm、荷重除荷時の残留たわみは 1.03mm であり、コンクリート舗装後はこの残留たわみを初期値とする。ここで、30mm 厚のコンクリート舗装を施し、1 走行した後のたわみは 0.65mm、累積が 1.695mm であり、舗装後のたわみは大幅に抑制されている。荷重 100kN で 2,000 回走行、等価走行回数 1.296×10^6 回の累積たわみが 2.99mm に達した時点の等価走行回数は 123.219×10^6 回であり、この時点で等価走行回数は 95.01 倍となり、累積たわみが床版支間 L の 1/400、すなわち 3.5mm に達した時点の等価走行回数は 362.000×10^6 回である。等価走行回数 544.695×10^6 回の最大たわみは 7.98mm である。破壊は輪荷重が走行中に床版中央から 500mm 付近で押抜きせん断破壊となった。

5.3 建研式引張試験による界面の付着性能

(1) 建研式引張試験法 コンクリート舗装や上面増厚補強法では、既設 RC 床版とコンクリート舗装あるいは上面増厚との打ち継ぎ界面にはく離が懸念されることから、新旧コンクリートの付着強度の検証が必要となる。よって、輪荷重走行疲労実験終了後に、コンクリート舗装および基層と打ち継ぎ界面の付着性能を建研式引張試験⁷⁾により確認する。建研式引張試験の概略を図-3に示す。試験方法は、コンクリート舗装および基層上面から直径 100mm で既設

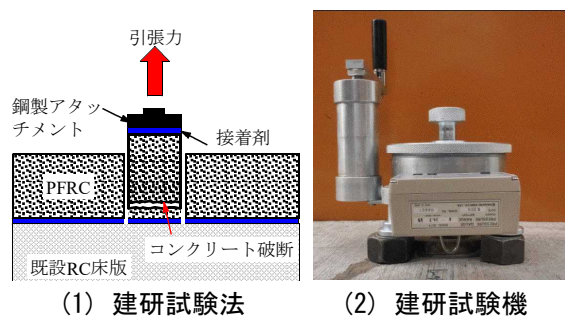


図-3 建研式引張試験方法

表-5 建研式引張試験方法による付着強度

供試体名称	採取位置	直径 D(mm)	断面積 A(mm ²)	最大荷重 P(N)	引張強度 $f_t = P/A$ (N/mm ²)
取替RC- 基層	No.1	99.00	7698	0.0 (界面はく離)	0.00
	No.2	99.00	7698	14,400	1.87
	No.3	99.00	7698	22,700	2.95

RC 床版の位置までコア削孔（図-3(1)）し、次にコアの上面に鋼製治具を接着剤で圧着し、養生を行う。接着剤の硬化後に油圧式簡易引張試験機を用いて載荷速度 1.0N/cm²/sec で引張試験を行う（図-3 (2)）。

(2) 引張付着強度 建研式引張試験による引張付着強度 f_t ($= P/A$, P : 接着荷重 (N), A : 接着面積 (mm²)) を表-5に示す。なお、計測位置は走行直下を No.1, 300mm の位置を No.2, 600mm の位置を No.3 とした 3 ヶ所とする。

取替 RC 床版の上面に 2 種類の接着剤を全面に塗布してから 30mm 厚のコンクリート基層を設けた供試体の輪荷重走行疲労実験後の建研式引張試験では、コア削孔中にはく離したことから引張付着強度は 0.0N/mm² である。また、橋軸直角方向に 300mm, 600mm 離れた計測点 No.2, No.3 の引張付着強度はそれぞれ 1.87N/mm², 2.95N/mm² である。

以上より、押抜きせん断破壊後の試験体の建研式引張試験法による引張付着強度は、輪荷重直下のみが 0.0N/mm² であるが走行面以外は付着引張強を十分確保されている。よって、老朽化した床版および新設床版において、打ち継ぎ界面の全面に付着用接着材を塗布することで新旧コンクリートの付着が確保されると判断できる。

6. まとめ

(1) 特殊セメントを用いたコンクリート舗装材である PFRC 材は、材齢 24 時間で道示に規定する設計基準強度 24N/mm² 以上の強度が発

現され、RC 床版および取替 RC 床版のコンクリート舗装工事においては連続交通規制 2 日の施工が可能となる材料である。また、有機繊維を配合したことにより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が高いことから割れにくい材料と言える。

- (2) コンクリート舗装においては取替 RC 床版上面に付着用接着を全面に塗布し、30mm のコンクリート基層を設けたことから、RC 床版供試体の等価走行回数に比してコンクリート基層を設けた取替 RC 床版供試体は 46.20 倍となり、耐疲労性が向上する結果が得られた。
- (3) 舗装前のたわみの増加傾向に対してコンクリート基層を設けた後のたわみの増加が大幅に抑制されている。
- (4) コンクリート舗装および基層を設けた RC 床版は輪荷重走行による界面の引張付着強度について建研式引張試験を行った結果、輪荷重直下は付着が見られないものの 300mm 離れた付近では引張付着強度が上面増厚補強法における付着強度 1.0N/mm², 以上となり、一体化が図れている。

参考文献

- 1) 高橋明彦, 阿部忠, 小野晃良, 大西弘志, 久田真: 間詰部を設けた取替 RC 床版の耐疲労性の評価に関する実験研究, 構造工学論文集, Vol. 65A, pp.655-664, 2019.3
- 2) 阿部忠, 児玉孝喜, 伊藤清志: 橋梁の舗装構造及び舗装方法 (特許第 6572419 号), 2019.8
- 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) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I, II, 2002
- 5) 松井繁之: 道路橋床版設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007.10
- 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) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS19, 2012.7