

## 取替 RC 床版間詰部の開閉幅およびたわみ振幅が耐疲労性に及ぼす影響に関する実験研究

日大大学院 小野晃良 日大名誉教授 阿部忠 日大生産工 水口和彦 (株)橋梁保全研究所 重松伸也

### 1. はじめに

本研究は、取替 RC 床版におけるプレキャスト床版と間詰部の接合面のはく離に伴うひび割れを抑制するために接合面に付着用接着剤を用いた施工法を提案する。プレキャスト床版の接合面には 5mm ほどの凹凸面を設けて直接コンクリートを打ち込んだ供試体（接着剤なし）と凹凸面に付着用接着剤を用いてコンクリートを打ち込んだ供試体（接着剤あり）を製作し、輪荷重走行疲労実験を行い、耐疲労性および接合面の開閉幅の検証を行い、付着用接着剤の効果を検証し、各種取替床版の接合面のはく離抑制対策の一助としたい。

### 2. 取替RC床版の継手構造<sup>1)</sup>

本実験に用いる取替 RC 床版の継手構造を図-1に示す。一般的に取替 RC 床版の継手は、橋軸方向の配力筋が継手となる。そこで、橋軸方向の配力筋の継手構造は図-1(1)に示すように、付着力を高めるために円形の突起を設けた。鉄筋配置は図-1(2)に示すように橋軸直角方向が主鉄筋となり、配力筋は橋軸方向で主筋の内側に配置されることから円形の突起はかぶりに影響を与えない構造である。また、継手長は図-1(3)に示すように 280mm の重ね継ぎ手とし、間詰部幅は 300mm である。

### 3. 供試体寸法および使用材料

#### 3.1 供試体寸法および鉄筋配置

取替 RC 床版供試体は、2012 年以降の道路橋示方書・同解説<sup>2)</sup>（以下、道示とする）に準拠し、その 3/5 モデルとする。ここで、供試体寸法を図-2に示す。

本実験に用いる取替 RC 床版の供試体寸法は図-2に示すように、床版支間方向 1,600mm、橋軸方向 2,200mm、床版厚 150mm とする。なお、床版支間は 1,400mm である。引張側の主鉄筋および配力筋には D13 を 120mm 間隔で配置し、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

接合面には 5mm 程度の凹凸、すなわち目荒し

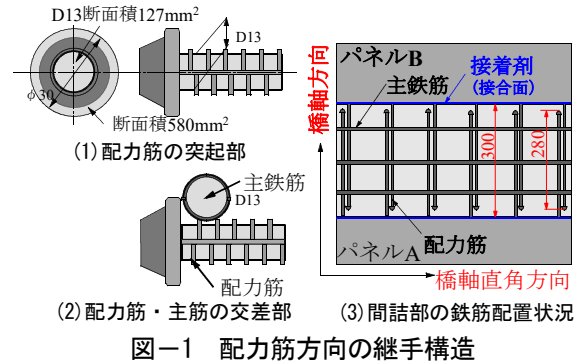


図-1 配力筋方向の継手構造

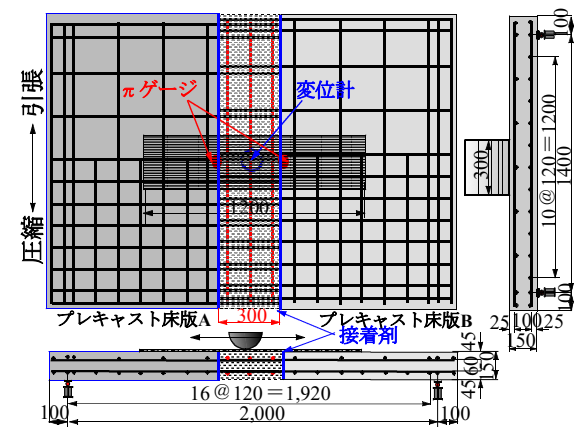


図-2 2方向に間詰部を設けた供試体寸法

を設け、直接超速硬コンクリートを打ち込んだ供試体およびプレキャスト床版側面の凹凸面に接着剤を塗布し、超速硬コンクリートを打ち込んだ供試体を各 2 体製作した。また、輪荷重走行疲労実験における接着剤なし、ありの供試体名称をそれぞれ取替 RC-F-N、取替 RC-F-A とする。

#### 3.2 使用材料

##### (1) プレキャスト床版

プレキャスト床版部のコンクリートには、普通ポルトランドセメントに最大骨材寸法 20mm の砕石、最大骨材寸法 5mm の砕砂を使用し、配合条件を表-1に示す。プレキャスト床版コンクリートの要求性能は、圧縮強度  $40\text{N/mm}^2$  を目標とした。鉄筋には SD345、D13 を用いる。ここで、プレキャスト床版のコンクリート圧縮強度および鉄筋の

Experimental studies on the influence of opening-closing width and deflection amplitude of replacement RC deck slab on fatigue durability

Kousuke ONO, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI and Shinya SHIGEMATSU

表-1 配合条件

取替RC床版	スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位体積量 (kg/m <sup>3</sup> )				減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)
				C	W	S	G		
床版部	10±2.5	34.0	46.0	471	160	763	901	5.2	0.004
間詰部	8±2.5	34.0	40.0	450	148	710	1157	9.0	0.004

W: 水, C: セメント, S: 砕砂, G: 砕石

表-2 材料特性値

取替RC床版	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 (SD345)			
		使用鉄筋	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
床版部	60.3	D13	366	539	200
間詰部	61.7				

材料特性値を表-2に示す。

(2) 間詰部コンクリート

間詰部コンクリートの要求性能は材齢 3 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<sup>2</sup> 以上発現し、材齢 14 日で 40N/mm<sup>2</sup> 以上発現する配合とする。よって、コンクリートは超速硬セメントに最大骨材寸法 20mm の砕石、最大骨材寸法 5mm の砕砂を使用し、配合条件を表-1に併記した。また、間詰部の鉄筋には、プレキャスト床版部と同様に SD345、D13 を配置する。ここで、材齢 28 日の間詰部コンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-2に併記する。なお、間詰部コンクリートの発現強度は材齢 3 時間で 34.9N/mm<sup>2</sup> である。

(3) 付着用接着剤

付着用接着剤はコンクリート表面に打ち継ぎコンクリートとの付着性を向上させるために開発された接着剤である。そこで、取替 RC 床版のプレキャスト床版側面に付着用接着剤を塗布して接合面の付着性能を高める工法を提案する。コンクリートとの付着強さは 3.7N/mm<sup>2</sup> 以上である。

ートとの付着強さは 3.7N/mm<sup>2</sup> 以上である。

4. 取替RC床版の施工手順

4.1 プレキャスト床版の製作

プレキャスト床版の製作手順を写真-1に示す。型枠はプレキャスト床版 A と B の 2 タイプを製作し、それぞれの型枠に主筋および円形の突起を設けた配力筋を配置する (写真-1(1))。次に、普通コンクリートを練混ぜし、打ち込みする (写真-1(2))。最後に表面仕上げし (写真-1(3))、養生して完成となる (写真-1(4))。

4.2 取替RC床版の設置手順 (接着剤なし)

取替 RC 床版の施工手順を写真-2に示す。接着剤なしの供試体は、プレキャスト床版 A と B を設置する (写真-2(1))。設置後、実橋での設置と同様に間詰部コンクリートには超速硬コンクリートを練混ぜする。練混ぜは実橋での設置を考慮して移動式プラントを用いた (写真-2(2))。練混ぜ後直ちに間詰部に打ち込み (写真-2(3))、表面仕上げして完成となる (写真-2(4))。

4.3 接着剤を用いた取替RC床版の設置手順

施工手順は写真-2(1)に示すように、プレキャスト床版を設置し、主鉄筋の組立て後、プレキャスト床版側面に接着剤を塗布する (写真-2(2))。これ以降は接着剤なしの供試体と同様である。

5. 輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の評価

5.1 輪荷重走行疲労実験方法

輪荷重走行疲労実験は、取替 RC 床版供試体上面に幅 300mm の輪荷重を軸方向に 1,200mm の範囲を繰り返し走行させる実験である (写真-3)。

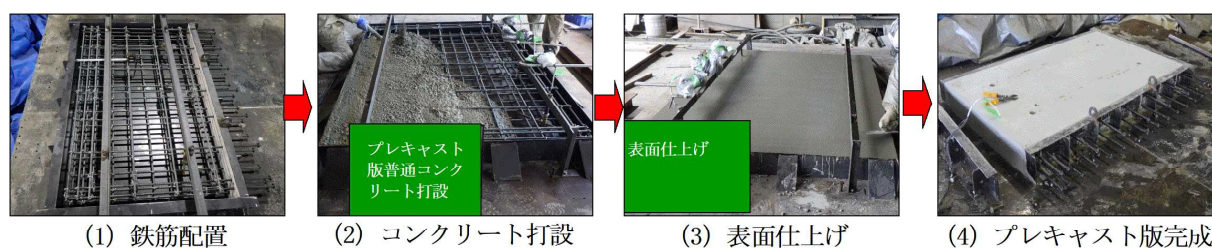


写真-1 プレキャスト床版の施工手順

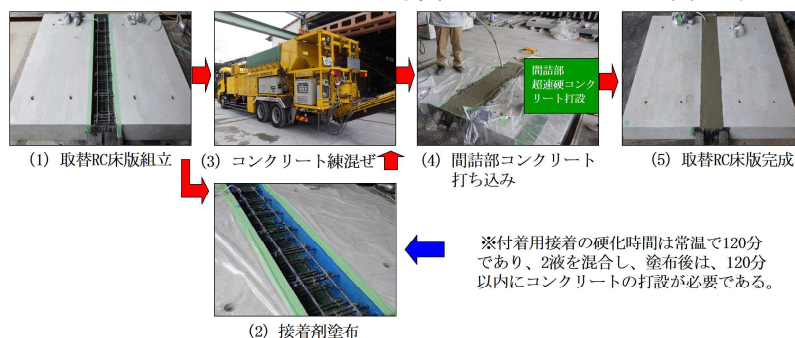


写真-2 取替RC床版の設置手順

※付着用接着の硬化時間は常温で120分であり、2液を混合し、塗布後は、120分以内にコンクリートの打設が必要である。



写真-3 輪荷重走行疲労実験

表-3 実験走行回数および等価走行回数

供試体		合計走行回数	等価走行回数比
取替RC-F-N	実験走行回数	80,301	—
	等価走行回数	338,616,413	
取替RC-F-A	実験走行回数	83,001	1.20
	等価走行回数	407,096,584	

輪荷重走行疲労実験における初期荷重は 100kN とし、20,000 回走行ごとに荷重 20kN 増加させる。また、荷重 140kN 以降は 20,000 回走行ごとに荷重 10kN ずつ増加させ、破壊に至るまで荷重増加と走行を繰り返す。計測は実験走行回数 1、10、100、1,000 回、5,000 回、以降は 5,000 回走行ごとに計測する。

### 5.2 輪荷重走行疲労実験における等価走行回数

本実験における段階荷重载荷による輪荷重走行疲労実験では、耐疲労性の評価はマイナー則に従うと仮定すると式(1)として与えられる。式(1)における基準荷重 P は 72kN とする。また、S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 m には松井らが提案する 12.7 を適用する<sup>3)</sup>。

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

ここに、 $N_{eq}$ ：等価走行回数（回）、 $P_i$ ：载荷荷重（kN）、 $P$ ：基準荷重（kN）、 $n_i$ ：実験走行回数（回）、 $m$ ：S-N 曲線の傾きの逆数（=12.7）

## 6. 輪荷重走行疲労実験による結果および考察

### 6.1 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験における等価走行回数および等価走行回数比を表-3に示す。

間詰部にコンクリートを直接打ち込んだ供試体取替 RC-F-N の等価走行回数は 338.616×10<sup>6</sup> 回である。次に、プレキャスト RC 床版の橋軸方向側面に接着剤を用いた取替 RC-F-A の等価走行回数は 407.096×10<sup>6</sup> 回であり、等価走行回数比（=取替 RC-F-A/取替 RC-F-N）は 1.21 倍であり、接着剤を塗布することで、プレキャスト床版と間詰部コンクリートが一体化されたことで、耐疲労性が向上したものと考えられる。

### 6.2 開閉幅と等価走行回数の関係

輪荷重走行疲労実験におけるプレキャスト RC 床版と間詰部界面の開閉幅と等価走行回数の関係を図-3に示す。また、左側 π ゲージの(L)、右側を(R)とする。

#### (1) 取替RC-F-N

供試体取替 RC-F-N(L)が荷重 100kN で 1 走行（等価走行回数 66 回）の後の開閉幅は 0.17mm で

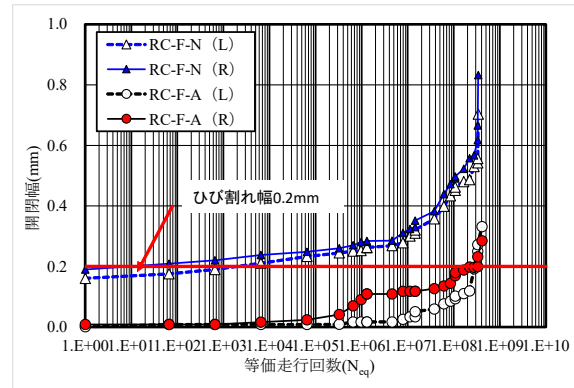


図-3 開閉幅と等価走行回数の関係

ある。橋梁定期点検要領<sup>4)</sup>に示すひび割れ幅 0.2mm に達した等価走行回数は 0.227×10<sup>6</sup> 回であり、かなり早い段階で 0.2mm に達している。等価走行回数 338.616×10<sup>6</sup> 回では 0.70mm である。次に、取替 RC-F-N(R)は等価走行回数 66 回の後の開閉幅は 0.20mm となり、橋梁定期点検要領<sup>4)</sup>に示すひび割れ幅 0.2mm に達し、その後の荷重増加と走行を繰り返すことで開閉幅の増加し、その増加傾向は取替 RC-F-N(L)と同様の挙動を示している。最終的には等価走行回数  $N_{eq}=338.616 \times 10^6$  回での開閉幅は 0.83mm である。よって、輪荷重走行疲労実験においては比較的早い段階でひび割れ幅が大きくなることから、ひび割れを抑制する対策を講じる必要がある。

#### (2) 取替RC-F-A

プレキャスト RC 床版接合面に接着剤を塗布した取替 RC-F-A(L)は、荷重 100kN で 1 走行 ( $N_{eq}=66$  回) の後の開閉幅は 0.008mm である。ひび割れ幅 0.2mm に達した等価走行回数は 284.000×10<sup>6</sup> 回であり、破壊等価走行回数の約 70%である。等価走行回数 407.096×10<sup>6</sup> 回では開閉幅が 0.33mm である。次に、取替 RC-F-A(R)も同様の挙動を示している。ひび割れ幅 0.2mm に達した等価走行回数は 330.982×10<sup>6</sup> 回である。破壊等価走行回数の 80%である。等価走行回数 407.096×10<sup>6</sup> 回での開閉幅は 0.33mm である。

以上より、プレキャスト RC 床版側面付着用接着剤を塗布することで、終局時付近まで一体性を保持し、ひび割れを抑制する結果となった。

### 6.3 たわみと等価走行回数の関係

取替 RC 床版の橋軸方向および橋軸直角方向中央たわみと等価走行回数の関係を図-4に示す。

#### (1) 取替RC-F-N

取替 RC-F-N の初期たわみは 0.76mm である。また、開閉幅 0.2mm に達した等価走行回数 66 回のたわみは 0.985mm である。その後の荷重増加と走行を繰り返すことでたわみも増加している。たわ

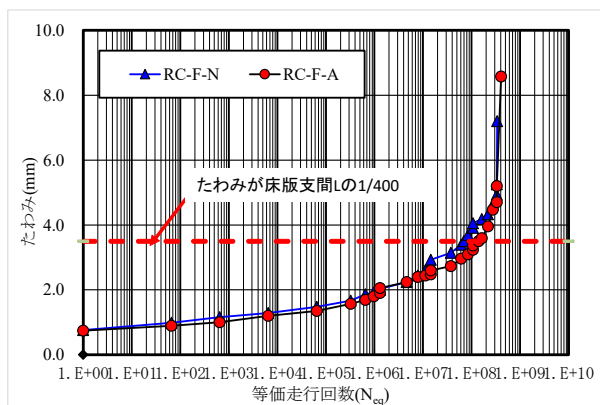


図-4 たわみと等価走行回数との関係

みが床版支間  $L$  の  $1/400^5$ )に達した時点の等価走行回数は  $69.100 \times 10^6$  回である。その後荷重増加と走行を繰り返すことで、たわみが増加し、等価走行回数  $338.616 \times 10^6$  回で  $7.20\text{mm}$  に達して輪荷重が走行中に左支点から  $950\text{mm}$  の位置で押抜きせん断破壊となった。

#### (2) 取替RC-F-A

プレキャスト RC 床版橋軸方向側面に  $5\text{mm}$  の凹凸と付着用接着剤を用いた供試体取替 RC-F-A の初期たわみは  $0.74\text{mm}$  である。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  $140.600 \times 10^6$  回である。開閉幅  $0.2\text{mm}$  に達した等価走行回数  $284.000 \times 10^6$  回のたわみは  $4.50\text{mm}$  である。輪荷重が走行中に供試体取替 RC-F-N と同様に、左支点から  $950\text{mm}$  の位置で押抜きせん断破壊となった。

以上より、たわみと等価走行回数の関係においても付着用接着剤を用いることでプレキャスト床版と間詰部界面のはく離が抑制され、たわみの増加も抑制され、耐疲労性が向上する結果となった。

### 6.4 破壊状況

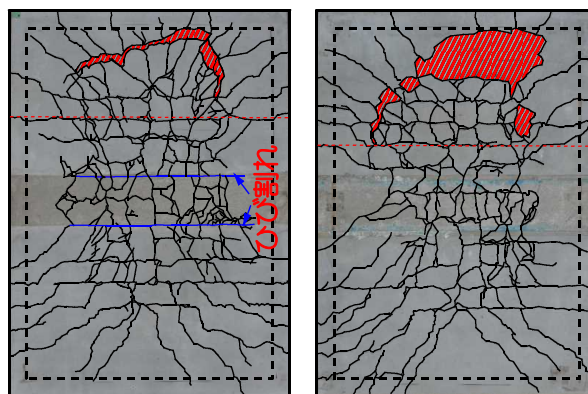
輪荷重走行実験における破壊状況を写真-4に示す。

#### (1) 取替RC-F-N

接着剤なしの供試体取替 RC-F-N の下面の損傷状況は写真-4(1)に示すように、2方向ひび割れが発生し、破壊位置はプレキャスト床版 A 側であり、ダウエル効果の影響によりはく離が見られる。プレキャスト床版と間詰部の界面にはく離に伴うひび割れが発生している。

#### (2) 取替RC-F-A

接着剤ありの供試体取替 RC-F-A の下面の損傷状況は写真-4(2)に示すように、2方向のひび割れが発生している。破壊位置のプレキャスト床版 A 側で押抜きせん断破壊となっている。プレキャスト床版と間詰部の界面にはく離に伴うひび割れ



(1) 取替RC-F-N

(2) 取替RC-F-A

写真-4 破壊状況

は接着剤の効果により見られない。

### 7. まとめ

- (1) 輪荷重走行疲労実験における等価走行回数は、プレキャスト床版側面の  $5\text{mm}$  の凹凸を設けて、直接コンクリートを打ち込んだ供試体に対して、 $5\text{mm}$  の凹凸と付着用接着剤を用いたコンクリートを打ち込んだ供試体は  $1.2$  倍と等価走行回数を得られた。
- (2) 輪荷重走行疲労実験における開閉幅においても接着剤なしの供試体は早期に橋梁定期点検要領に示すひび割れ幅  $0.2\text{mm}$  に達するものの接着剤ありの供試体は破壊等価走行回数の  $80\%$  で開閉幅  $0.2\text{mm}$  に達した。また、たわみと等価走行回数の関係においても接着剤を用いることでたわみの増加も抑制される結果となった。
- (3) 接着剤なしの供試体は界面にはく離に伴うひび割れがみられ、接着剤ありの供試体ははく離はみられない。破壊状況は両供試体ともに押抜きせん断破壊となった。

### 参考文献

- 1) 小野晃良ほか：2方向に間詰部を設けた取替 RC 床版の耐荷力・耐疲労性の検証および実橋における施工技術、コンクリート工学年次論文集、Vol.42、No.2、pp.1309-1314、2020。
- 2) 一般社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I、1994。
- 3) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理、森北出版、2007。
- 4) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領、2014。
- 5) 阿部忠ほか：道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐荷力および耐疲労性の評価、土木学会論文集 A1、pp.39-54、2011。