

論文

打ち継ぎ目を有するRCプレキャスト床版間詰部の開閉幅に関する実験研究

重松伸也*, 阿部忠**, 水口和彦***, 小野晃良*, 大西弘志****, 久田真*****

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

**博(工), 日本大学 名誉教授 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

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

****博(工), 岩手大学教授, 理工学部システム創成工学科社会基盤・環境コース
(〒 020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

*****博(工), 東北大学大学院教授, 工学研究科土木工学専攻 (〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

本研究は、取替 RC 床版のプレキャスト版と間詰部の接合面が輪荷重の走行によって、はく離、ひび割れが発生する損傷を抑制するために、接合面に付着用接着剤を塗布する施工を提案する。走行荷重実験を行った結果、取替 RC 床版の破壊モードはプレキャスト床版側で輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。よって、耐荷力性能については接着剤なし、ありとも同等な耐荷力であった。一方、接合面の開閉幅 0.2mm に達した到達荷重は、接着剤なしが 110kN に対して、接着剤ありは 225kN となり、到達荷重が上昇した。以上より、取替 RC 床版の接合面に付着用接着剤を塗布することで、はく離が抑制できる結果となった。

キーワード：取替 RC 床版，走行荷重実験，付着用接着剤，開閉幅

1. はじめに

取替床版には PC 構造あるいは RC 構造のプレキャスト床版を製作し、架設現場において橋軸方向に並列に設置している。プレキャスト版の接合方法にはプレキャスト床版を直接繋いで一体化する方法¹⁾やプレキャスト床版間に規定以上の継手長を確保した間詰部を設けて、コンクリートを打ち込み一体化する方法が提案されている²⁾。いずれの取替床版においてもプレキャスト床版には接合面が生じ、輪荷重の走行により接合面のはく離が懸念される。

そこで本研究では、取替 RC 床版の接合面のはく離の抑制対策として打ち継ぎコンクリートとの付着性を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤（以下、接着剤とする）をプレキャスト床版側面に塗布し、接着剤が取替 RC 床版の耐荷力および間詰部界面のはく離に伴うひび割れ幅を検証する。実験では、直接引張試験による接合面の接着強度および一面せん断試験を実施し、接合面のそれぞれの強度を検証する。次に、プレキャスト床版側面に接着剤を塗布しない場合（以下、接着剤なし）と接着剤を塗布した場合（以下、接着剤あり）、それぞれに超速硬コンクリートを打ち継ぎした取替 RC 床版を用いて、それぞれ 1 走行ごとに荷重を増加する走行荷重実験を行い、プレキャスト床版と間詰部の接合面の開閉幅と荷重の関係から取替 RC 床版の接合面における接着剤の効果を検証する。

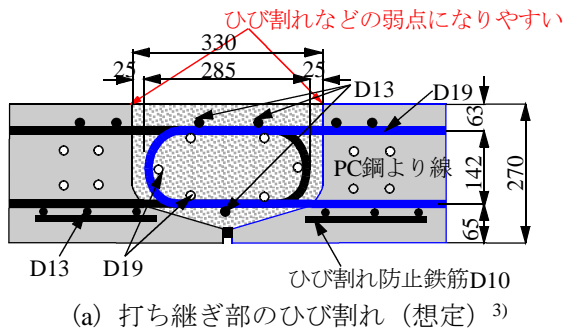
2. 各種間詰部の損傷事例

取替床版間詰部および接合面の損傷状況の一例を図-1 に示す。図-1(a) は、土木学会鋼構造シリーズ「道路橋床版の維持管理マニュアル 2020」³⁾より、取替床版のプレキャスト床版と間詰部コンクリートの接合面は、ひび割れが弱点となることが懸念される、と述べられている。また、図-1(b) は、実橋の PCT 桁橋の主げた間の間詰部のひび割れおよび漏水・遊離石灰の発生状況である。なお、床版には横締め PC ケーブルが配置されている。また、図-1(c) は歩道部のプレキャスト床版の打ち継ぎ部のひび割れ状況である。

以上のように、プレキャスト床版および PCT 橋の間詰部界面が疲労の進行に伴い、ひび割れが発生している。よって、プレキャスト版の接合面およびコンクリートの打ち継ぎ界面のひび割れを抑制する対策が重要な課題であると考えられる。

3. 取替RC床版の継手構造²⁾

本実験に用いる取替 RC 床版の継手構造を図-2 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-2(a) 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。本取替 RC 床版供試体の配力筋には D13 の鉄筋を用いることから端部に $\phi 30\text{mm}$ の円形の突起（断面積 707mm^2 ）を設ける。なお、橋軸直



(b) PCT 桁間詰部 (c) 床版間の接合部
図-1 間詰部および接合面の損傷事例

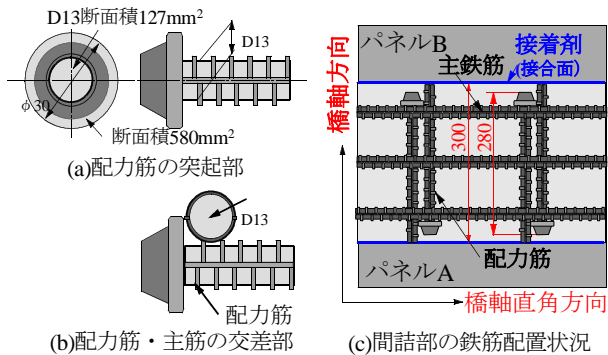


図-2 配力筋方向の継手構造

角方向の主筋の突起形状は三角形とし、底辺側がかぶりとなる。鉄筋配置においては図-2(b)に示すように橋軸直角方向が主筋となり、配力筋は橋軸方向で主筋の内側に配置されることから突起はかぶりに影響を与えない構造である。また、鉄筋継手長は図-2(c)に示すように280mmとし、間詰部幅は300mmである。

4. 供試体寸法および使用材料

4.1 供試体寸法および鉄筋配置

取替 RC 床版供試体は、2012 年改定の道路橋示方書・同解説⁴⁾ (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-3 に示す。

供試体の寸法は床版支間方向 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。

最大耐荷力および接合面の開閉幅の検証は、取替 RC 床版のプレキャスト床版側面に 5mm 程度の凹凸、すなわち目荒しを設け、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に接着剤を塗布

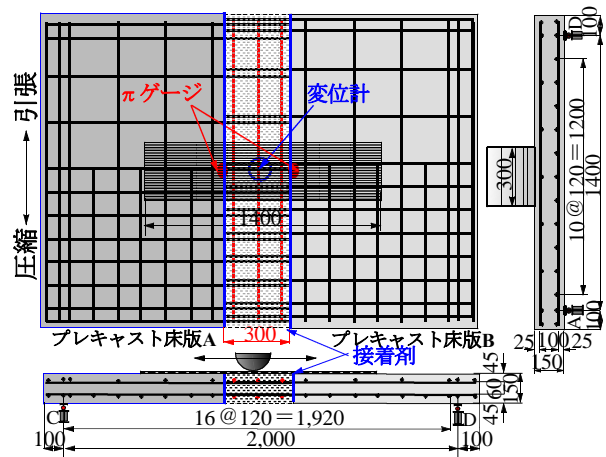


図-3 1 方向に間詰部を設けた供試体寸法

表-1 コンクリートの配合

取替RC 床版	スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単体体積量 (kg/m ³)				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 ²)	鉄筋 (SD345)			
		使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
床版部	60.3	D13	366	539	200
間詰部	61.7				

し、超速硬コンクリートを打ち込んだ供試体を各 1 体製作した。接着剤なしの供試体名称を取替 RC-N、接着剤ありの供試体名称を取替 RC-A とした。

4.2 使用材料

(1) プレキャスト床版

取替 RC 床版供試体のプレキャスト床版部のコンクリート材料には、普通ポルトランドセメント、最大骨材寸法 20mm の砕石、5mm の砕砂を使用し、配合条件を表-1 に示す。取替 RC 床版コンクリートの要求性能は、材齢 28 日での圧縮強度 40N/mm² 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材料特性値を表-2 に示す。

(2) 間詰部コンクリート

間詰部のコンクリートの要求性能は材齢 3 時間でコンクリートの設計基準強度 24N/mm² 以上発現する配合とした。配合条件を表-1 に示す。材齢 3 時間の発現強度は 29.4N/mm²、材齢 28 日で 60.3N/mm² である。材料特性値を表-2 に示す。間詰部コンクリートの発現強度は材齢 3 時間で 34.9N/mm² であり、打設 3 時間後の強度が 24N/mm² 以上を確保できることから並列後の施工の省力化が図られる材料である。

表-3 接着剤の性能

項目	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(主剤:硬化剤)	5:1	異物混入なし
硬化物比重	1.42N/mm ²	重量比
圧縮強さ	102N/mm ²	JIS K 7112
圧縮弾性係数	3976N/mm ²	JIS K 7181
曲げ強さ	41N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ	15N/mm ² 以上	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	3.7N/mm ² ※	JIS A 6909

※3.7N/mm²以下の場合母材コンクリートで破壊

(3) 接着剤の性能

既往の研究⁵⁾において取替床版のプレキャスト床版と間詰部との接合面では、車両の繰り返し走行によって接合面ははく離している。そこで本研究では、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こととした⁶⁾。ここで、接着剤の性能試験の結果を表-3に示す。表-3より、コンクリートとの付着強さは3.7N/mm²以上であり、引張試験では母材コンクリートで破壊している。

5. 引張強度およびせん断強度に関する実験

5.1 直接引張試験および一面せん断試験用供試体

直接引張試験は床版コンクリートをφ100mm、高さ100mm、接合面に5mmの凹凸を設けた円柱をφ100mm×200mmの鋼製型枠に設置した。接着剤なしの供試体は残りの100mmに超硬コンクリートを打ち込む。なお、一面せん断試験用供試体も同様に製作した。

次に、接着剤ありの供試体も5mmの凹凸を設けたφ100mm×100mm円柱を鋼製型枠に挿入し、接合面に表-3に示す付着用接着剤を塗布し、超硬コンクリートを打ち込んだ。

5.2 引張試験および強度

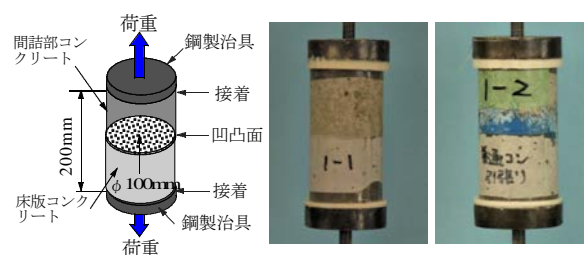
引張試験は、図-4に示すように直接引張試験を行い、破壊面付近の引張強度を評価する。

実験方法は、円柱試験体に引張試験用治具を接着し、これをインストロン型万能試験機に設置した。試験速度はJIS A 6909の規定に基づき2mm/minとした。なお、引張強度 t_f は式(1)より算出した。

$$t_f = P/As \quad (1)$$

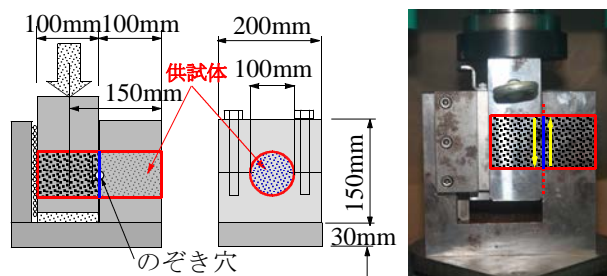
ここで、 t_f : 引張強度 (N/mm²)、 P : 破壊荷重 (N)、 As : 破壊面積 (mm²)

引張試験による引張強度と圧縮強度の関係を図-6に示す。直接コンクリートを打ち継いだ接着剤なしの引張強度の平均は2.8N/mm²である。破壊状況は、凹凸面内で引張破壊した。また、接着剤を塗布した供試体の引張強度の平均は3.3N/mm²であり、接着剤を塗



(a) 試験概要 (b) 接着剤なし (c) 接着剤あり

図-4 プレキャスト床版の目荒しと引張試験



(a) 装置の寸法

(b) 試験装置

図-5 一面せん断試験

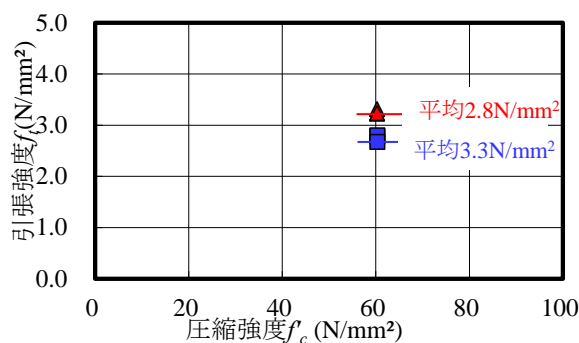


図-6 引張強度と圧縮強度の関係

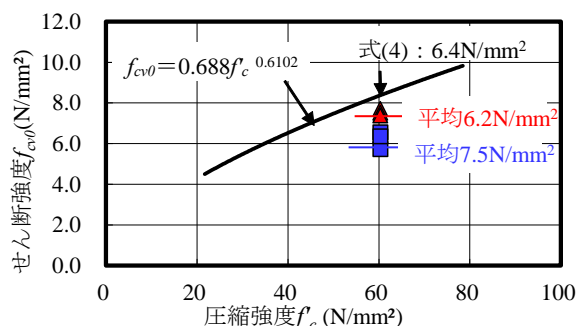


図-7 せん断強度と圧縮強度の関係

布することで1.18倍の引張強度が得られた。

5.3 一面せん断試験によるせん断強度

一面せん断試験は、図-5に示す一面せん断試験装置を用いて一面せん断試験を行い、打継ぎ界面のせん断強度 f_{cv0} を評価した。荷重載荷は、コンクリートの圧縮載荷法JIS A 1108の規定に基づき、加圧速度を毎秒0.6N/mm²で行った。一面せん断試験によるせん断強



(a) 取替RC床版設置 (b) コンクリート練混ぜ (c) コンクリート打設 (d) 接着剤塗布 (e) 取替RC床版完成

図-8 取替 RC 床版の製作手順

表-5 最大耐荷力および破壊モード

供試体名称	最大耐荷力 (kN)	耐荷力比	破壊モード
取替RC-N	260.4	—	プレキャスト床版Bで押抜きせん断破壊
取替RC-A	260.6	1.00	プレキャスト床版Aで押抜きせん断破壊

度 f_{c0} は式(2)より算出した。

$$f_{c0} = P/As \quad (2)$$

ここで、 f_{c0} ：せん断強度 (N/mm²)、 P ：破壊荷重 (N)、 As ：一面せん断面積 (mm²)

阿部ら⁷⁾によるせん断強度の算定式は式(3)として与えられている。

$$f_{c0} = 0.688f_c^{0.6102} \quad (3)$$

直接コンクリートを打ち継いだ供試体のせん断強度の平均は 6.22N/mm²、接着剤ありのせん断強度の平均は 7.53N/mm² であり、接着剤を塗布することで 1.21 倍のせん断強度が得られた。破壊は 5mm の凹凸内でせん断破壊した。圧縮強度 60.3N/mm² を式(3)に適用すると式(3)を下回っている。

以上より、接着剤を塗布することで引張強度、一面せん断強度が向上し、輪荷重走行による接合面での縦ずれによるひび割れが抑制されるものと考えられる。

6. 供試体の製作方法

6.1 接着剤なしの取替RC床版

接着剤なしの供試体取替 RC-N は図-8 に示すようにプレキャスト床版 A および B を設置し(図-8(a))、超速硬コンクリートを移動式プラントで練混ぜし(図-8(b))、間詰部幅 300mm に、超速硬コンクリートを打ち込む(図-8(c))。表面仕上げして養生して完成とした(図-8(e))。

6.2 接着剤ありの取替RC床版

接着剤ありの供試体取替 RC-A も同様にプレキャスト床版 A および B を設置し(図-8(a))、接着剤を側面に塗布した(図-8(d))。接着剤の硬化時間は 120 分程度であることから、接着剤の塗布と同時に超速硬コンクリートを練混ぜし(図-8(b))、打設した。最後に表面仕上げし、養生して完成とした(図-8(e))。

7. 走行荷重実験

走行荷重実験は、図-3 に示すように、幅 300mm の輪荷重を床版中央に停止し、荷重を載荷し、支点 C および D 間を走行し、元の床版中央までの 1 走行 2,400mm を走行させた。荷重載荷条件は、荷重 250kN

までは 1 走行ごとに荷重を 10kN ずつ増加させた。荷重 250kN 以降は 5.0kN ずつ増加させ、破壊に至るまで走行ごとに荷重を増加する段階荷重載荷とした。

8. 結果および考察

8.1 最大耐荷力および破壊モード

走行荷重実験による最大耐荷力および破壊モードの結果を表-5に示す。

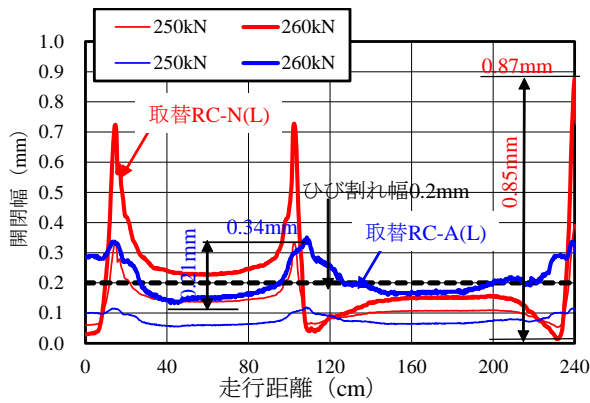
取替 RC-N の最大耐荷力は 260.4kN である。破壊はプレキャスト床版 B を走行中押抜きせん断破壊となった。これに対し、取替 RC-A の最大耐荷力は 260.6kN であり、破壊はプレキャスト床版 A を走行中に押抜きせん断破壊となった。なお、破壊はプレキャスト床版であることから耐荷力においては、差異は見られない。

8.2 開閉幅と走行距離の関係

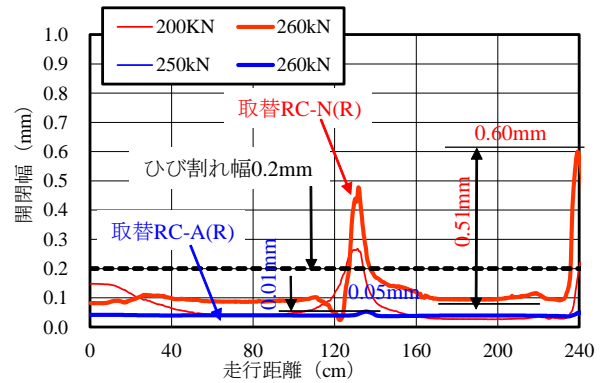
走行荷重実験による開閉幅と走行距離の関係を図-9に示す。

(1) 取替RC-N

取替 RC-N の π ゲージ(L)の開閉幅と走行距離の関係は図-9(a)に示すように輪荷重が左側接合面(走行距離 150mm)を通過するときに接合面が開口し、輪荷重が通過後は閉口し、支点 C 側(走行距離 600mm)を折り返して再度左側接合面(走行距離 1,050mm)を通過する際に開口・閉口を繰り返した。その後、右支点 D 側(走行距離 1,800mm)を折り返して元の床版中央(走行距離 2,400mm)に停止させた。この時点で開閉幅が最大となった。荷重 260kN で走行した場合は開閉幅が 0.04mm から 0.72mm に上昇し、輪荷重が通過すると 0.23mm に減少、さらに折り返して元の位置に戻った時の開閉幅は 0.87mm である。また、右接合面の π ゲージ(R)の開閉幅においても図-9(b)に示すように右側接合面を通過するときに開閉量が急激に増加したが π ゲージ(L)に比べて開閉幅が小さい。これは



(a) 計測点(L)



(b) 計測点(R)

図-9 開閉幅と走行距離の関係

輪荷重が先に左側接合面を通過し、輪荷重通過後、再度左側接合面を通過するためと推測される。

(2) 取替RC-A

取替 RC-A の荷重 260kN で走行中の π ゲージ(L) の開閉幅と走行距離の関係は図-9(a)に示すように初期値が 0.33mm, 1 走行後の元の位置に戻ったときの開閉幅は 0.4mm である。また, π ゲージ(R) の開閉幅は図-9(b)に示すように輪荷重が通過するときにやや開きがみられるものの最大で 0.049mm である。よって, 接着剤なしの場合は開閉幅が最大値, 最小値に大きな差異が生じている。よって, 輪荷重の繰り返し作用することで早い段階でひび割れが生じるものと推察される。また, 接着有りの供試体は接着剤の効果により開閉が見られない。

8.3 荷重と開閉幅の関係

荷重と開閉幅の関係を図-10に示す。図-10には橋梁定期点検要領⁸⁾に示す RC 床版のひび割れ幅 0.2mm を併記した。また, π ゲージ(L)および(R)の計測結果を供試体名称の後に(L), (R)として図-10に示した。

(1) 取替RC-N

供試体取替 RC-N の接合面(L)の開閉幅は, 走行荷重 20kN で 0.05mm であり, その後の荷重増加で開閉幅の増加が著しく, ひび割れ幅 0.2mm に達した時点の荷重は 110kN である。その後, 荷重 230kN まで線形的に増加し, 開閉幅は 0.29mm である。240kN 以降から開閉幅が急激に増加し, 最大荷重時 260.4kN で 0.8mm である。また, 接合面(R)においても荷重 100kN まではほぼ同様の増加傾向を示している。ひび割れ幅 0.2mm に達した時点の荷重は 110kN であり, 荷重 240kN 以降は開閉幅の増加が著しく, 最大耐力 260.6kN で 0.6mm である。

(2) 取替RC-A

供試体取替 RC-A の接合面(L)は, 走行荷重 20kN で開閉幅は 0.01mm, 荷重 250kN で開閉幅は 0.09mm と,

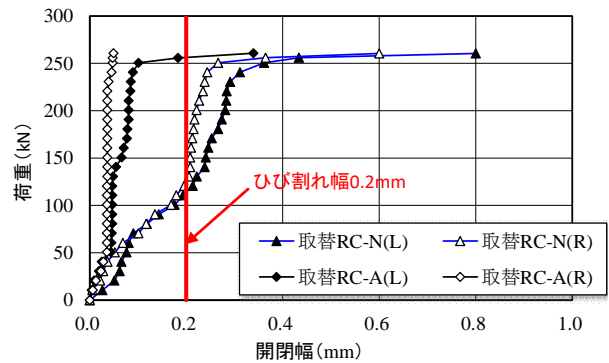


図-10 荷重と開閉幅の関係

荷重の増加による開閉幅の進展はほとんど見られない。ひび割れ幅 0.2mm に達した荷重は 255kN を超えた付近であり, 最大荷重 260.6kN で開閉幅が 0.339mm である。また, 接合面(R)の開閉幅は, 荷重 250kN で走行まではほとんど開閉幅の増加は見られず 0.05mm である。最大荷重 260.6kN での開閉幅は 0.048mm であり, ひび割れ幅 0.2mm に達していない。

よって, 接着剤を塗布することで接合面の開閉幅が減少し, 終局時まで一体性が確保されている。

8.4 破壊状況

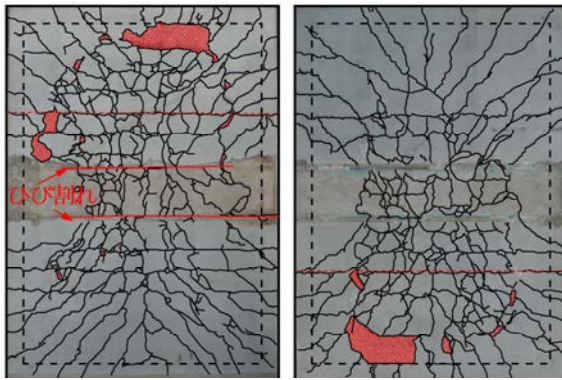
破壊時の下面のひび割れ状況を図-11に示す。

(1) 取替RC-N

接着剤なしの供試体取替 RC-N の下面は図-11(a)に示すように, 走行位置から 45 度範囲には 2 方向ひび割れが発生し, 破壊位置の輪荷重設置面から 45 度底面はダウエル効果の影響によりひび割れがみられる。破壊位置は床版中央から支点 D 側の 300mm 付近で押抜きせん断破壊となっている。間詰部界面にはひび割れが発生している。

(2) 取替RC-A

接着剤ありの供試体取替 RC-A の図-11(b)に示すように下面には 2 方向のひび割れが発生している。破壊位置の輪荷重設置面から 45 度底面はダウエル効



(a) 取替 RC-N (b) 取替 RC-A

図-11 下面のひび割れ状況



(a) 接着剤塗布 (b) コンクリート打設

図-12 間詰部の接着剤塗布状況

果の影響によりはく離している。破壊位置は中央から支点 C 側の 300mm 付近で押抜きせん断破壊となっている。間詰部界面は、接着剤の効果により、図-10 ではひび割れが発生しているものの荷重除荷時ではひび割れは目視では確認されない。よって、接着剤の効果により間詰部のひび割れが抑制された。よって、実施工においては接着剤の塗布を提案する。

9. 実橋での施工事例

実橋における軸方向間詰部への接着剤塗布事例を図-12 に示す。

鋼板接着補強した RC 床版の再劣化により取替 RC 床版が緊急対応で施工された。この工事は片側施工で工事されたことにより、幅員中央で橋軸方向に間詰部が設けられた。そこで、橋軸方向間詰部の接合面に表-3 に示す付着用接着剤を塗布し（図-12(a)）、超速硬コンクリートを間詰部に打ち込みしている（図-12(b)）。施工性もよく、はく離に伴うひび割れ発生が抑制できると考えられる。

10. まとめ

(1) 走行荷重実験による最大耐力は、接着剤なし、

および接着剤ありの供試体で、それぞれ 260.4kN、260.6kN であり、耐力には差異が見られない。破壊は、プレキャスト床版側で押抜きせん断破壊となったことから、両供試体ともに間詰部は弱点にならず健全であった。

- (2) プレキャスト床版と間詰部の開閉幅を動的に計測した結果では、接着剤なしの供試体は開閉幅の変動が 0.04mm から 0.80mm と大きく、輪荷重走行により早期にひび割れる結果が得られた。これに対して接着剤ありの供試体は開閉するものの、橋梁定期点検要領に示すひび割れ補修を必要とするひび割れ幅 0.2mm 以下であることから接着剤の合成効果によって開閉幅が大幅に抑制された。
- (3) 荷重と開閉幅の関係では、接着剤なしの供試体はひび割れ幅 0.2mm に達した荷重は 110kN であり、接着剤ありの場合は 250kN である。よって、接着剤を塗布することで接合面の開閉幅が抑制された。今後は、輪荷重走行疲労実験を行い、プレキャスト床版側面に接着剤を塗布した取替 RC 床版の耐疲労性および開閉幅について検証したい。

参考文献

- 1) 新名勉, 林大輔, 小林頭, 輿石正己, 国井優嗣: プレストレスジョイントで接合したプレキャスト PC 床版の耐疲労性評価, 第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp17-22, 2018.11
- 2) 小野晃良, 阿部忠, 高橋明彦, 武田秀人: 2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版の耐力・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, 2020.7
- 3) 土木学会: 鋼構造シリーズ 35「道路橋床版の維持管理マニュアル 2020」, pp.25-26, 2020.10
- 4) 日本道路橋会: 道路橋示方書・同解説 I, 2012
- 5) 阿部忠, 伊藤清志, 児玉孝喜, 小堺規行, 深川克彦: 接着剤塗布型橋面コンクリート舗装法における耐疲労性の評価に関する実験研究, 構造工学論文集, Vol.66A, pp.650-661, 2020.3.
- 6) 伊藤清志, 阿部忠, 菅野幹男, 児玉孝喜: 道路橋 RC 床版の部分打換補強法における耐疲労性の評価, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.1091-1100, 2013.3.
- 7) 阿部忠, 川井豊: 輪荷重走行疲労実験における RC 床版の押抜きせん断耐力および S-N 曲線式との整合性の評価, コンクリート工学論文集, 第 30 巻, pp1-10, 2019.
- 8) 国土交通省道路局: 橋梁定期点検要領, 2014, 2019.

(2022 年 7 月 8 日受付)

(2022 年 9 月 9 日受理)