

論文

走行荷重が作用する取替RC床版の最大耐荷力および破壊メカニズムに関する実験研究

小野晃良*, 阿部忠**, 木村延久***, 高橋明彦****

*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)

***株式会社 小野工業所 技術部 (〒 960-2261 福島県福島市町庭坂字堀ノ内 3-1)

****博(工), 株式会社 小野工業所 技術部 (〒 960-2261 福島県福島市町庭坂字堀ノ内 3-1)

RC 床版の破壊荷重の推定には押抜きせん断耐荷力式が用いられている。そこで本研究では、2 種類の間詰部を設けた取替 RC 床版供試体を用いて輪荷重走行荷重実験を行い、実験最大耐荷力を検証し、理論押抜きせん断耐荷力との整合性を評価した。その結果、軸直角方向に間詰部を設けた供試体最大耐荷力の平均は 255.83kN、軸直角方向および軸方向に間詰部を設けた供試体は 265.88kN である。破壊は輪荷重走行中にプレキャスト版で押抜きせん断破壊となったことから間詰部は弱点とならない結果が得られた。

キーワード: 取替 RC 床版, 走行荷重実験, 最大耐荷力, 破壊メカニズム

1. はじめに

積雪地域である東北地方の道路橋 RC 床版は融雪剤や凍結防止剤の散布による塩害と凍害の複合劣化により、コンクリート上面が土砂化し、建設後 30 数年で撤去した事例もある。また、道路橋 RC 床版の設計基準は、1994 年の道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）¹⁾では自動車荷重が 198kN から 245kN へと増大され、床版の設計荷重においても B 活荷重へと改定された。よって、老朽化が著しい RC 床版や現行示方書に規定する床版厚と差異が生じ、耐荷力性能が劣る床版に替わる道示の基準を満足する取替床版の開発が急務となり、各研究機関や各企業では PC 構造や RC 構造とした取替床版の開発が進められている。取替床版およびその施工法について各研究機関や各企業では、それぞれのプレキャスト化した取替床版が提案され、実用化されている^{2), 3), 4)}が、これらは取替 PC 床版が主であり、高速道路などで採用されている。

一方、交通量の少ない老朽化した RC 床版を対象とした取替 RC 床版が提案され、実用化されている⁵⁾。これらの取替床版については輪荷重走行疲労実験を行い、耐疲労性の評価がなされているものの、耐荷力性能、すなわち押抜きせん断耐荷力の検証に関する実験研究は行われていないのが現状である。

そこで本研究では、取替 RC 床版の最大耐荷力を検証するために、プレキャスト版を設置した後の継

手部、すなわち間詰部が必要となる。本供試体には軸直角方向および軸直角方向と軸方向の 2 種類の間詰部を設け、走行荷重実験を行い、破壊モードおよび押抜きせん断耐荷力を検証する。

2. 取替RC床版構造

取替 RC 床版は、地方公共団体が管理する道路橋を対象とした床版であり、従来の取替 PC 床版工法と同様にプレキャスト版を工場で作成し、現地で橋軸方向に並べ、間詰部にコンクリートを打込み一体化するものである。プレキャスト版側面には目荒しが設けられるものの、打ち継ぎコンクリートとの界面の付着力が懸念される。そのために取替 RC 床版の継手部の付着力の確保が重要となる。ここで、取替 RC 床版に用いる継手部の鉄筋端部の突起形状および間詰部構造を図-1 に示す。

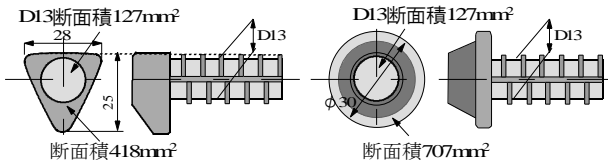
主鉄筋の突起形状は、図-1(1).1)に示すように、D13 に対して底辺幅が 28mm、高さ 25mm の三角形とし、付着面積は 277mm² であり、異形鉄筋と併せて付着力確保するものである。また、配力筋の突起形状は図-1(1).2)に示すように、D13 に対してφ 30mm の円形とし、付着面積は 580mm² である。次に、鉄筋の配置方法は図-1(2)に示すように、主筋の三角形底面側をかぶり側とし、頂点側を内側に配置する。主鉄筋の内側に円形の突起を設けた配力筋を配置することで突起部のかぶりが確保できる配置

表-1 コンクリートの配合条件

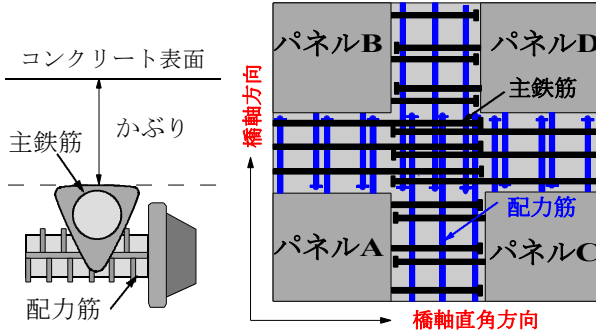
取替RC床版	スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)
				C	W	S	G		
床版部	10±2.5	35.0	43.2	443	155	732	968	3.1	0.004
間詰部	8±2.5	32.9	40.0	450	148	710	1157	9.0	0.004

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	56.4	D13	366	539	200
間詰部	48.3				



1) 主鉄筋の突起部 2) 配力筋の突起部
(1) 端部の突起形状および寸法



(2) 主鉄筋のかぶり (3) 間詰部の鉄筋配置構造
図-1 鉄筋端部の突起形状および間詰部構造

となる。軸方向、軸直角方向および交差部の間詰部の鉄筋配置構造は図-1(3)に示す配置となる。なお、本実験供試体の間詰部の寸法は、軸方向間詰部の側面に直接負荷させるために実験用の輪荷重幅 300mm と同一寸法である幅 300mm とし、軸直角方向および軸方向の継手長を 280mm とする。

継手長に関する引抜試験では、継手長を 210mm と 140mm とし、降伏荷重から破壊荷重へ移行するまで引抜試験を行った。その結果、突起形状を三角形とし、付着長 210mm および 140mm の付着力はそれぞれ 16.9N/mm², 16.8N/mm² となった。また、突起形状を円形とした場合はそれぞれ 17.7N/mm², 17.6N/mm² の付着力が得られている。よって、両突起構造は継手長 140mm 以上で付着力が道示に規定する安全率を考慮した付着強度 2.0N/mm² を十分確保される結果が得られた。なお、突起部の断面積は使用鉄筋径によって異なる。

以上のように、軸方向および軸直角方向の鉄筋端部に突起を設けた継手構造は、付着力が確保できる構造であると考えられる。

3. 供試体の使用材料・寸法

3.1 使用材料

取替 RC 床版供試体 A, B に用いる材料としてプレキャスト RC 床版部には、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。取替 RC 床版の要求性能は、コンクリートの圧縮強度を 40N/mm² を目標とする。これは、阿部ら⁹⁾の研究

による圧縮強度を高めることで耐疲労性が大幅に向上する結果が得られていることから、圧縮強度 40N/mm² を目標とする配合条件とする。鉄筋には SD345, D13 を用いる。ここで、プレキャスト RC 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。

間詰部のコンクリートには、現場での施工時間を短縮するために、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/mm² 以上、材齢 14 日で 40N/mm² 以上確保できる配合とする。よって、コンクリートに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 に併記する。また、鉄筋はプレキャスト RC 床版部と同様に SD345, D13 を用いる。ここで、コンクリート圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-2 に併記する。表-2 より、プレキャスト部コンクリートの材齢 28 日のコンクリートの圧縮強度は 56.4N/mm² と要求性能である 40N/mm² 以上は確保されている。次に、間詰部のコンクリートの発現強度は、材齢 3 時間で 34.9N/mm², 材齢 14 日で 48.3N/mm² である。よって、打設 3 時間後の強度が 24N/mm² 以上であり、3 時間後には橋面防水工およびアスファルト舗装が可能となる。

3.2 供試体寸法および鉄筋配置

プレキャスト版部である供試体 RC-A, B および取替 RC 床版 A, B は、1994 年改定の道示に準拠し、その 3/5 モデルとする。本供試体は、実験装置の車輪幅が 300mm であり、道示に規定する輪荷重幅 500mm に対して 3/5 モデルであることから、実験供試体も 3/5 モデルとした。なお、取替 RC 床版供試体の間詰部の寸法 300mm は、取替 RC 床版 B の軸方向の間詰部に直接輪荷重を負荷させるために車輪幅 300mm と合わせて 300mm とし、軸直角方向の間詰部も同一寸法とした。ここで、取替 RC 床版 A, B 供試体の寸法を図-2 に示す。また、取替 RC 床版供試体の間詰部の配筋状況を図-3 に示す。

(1) 取替RC床版A

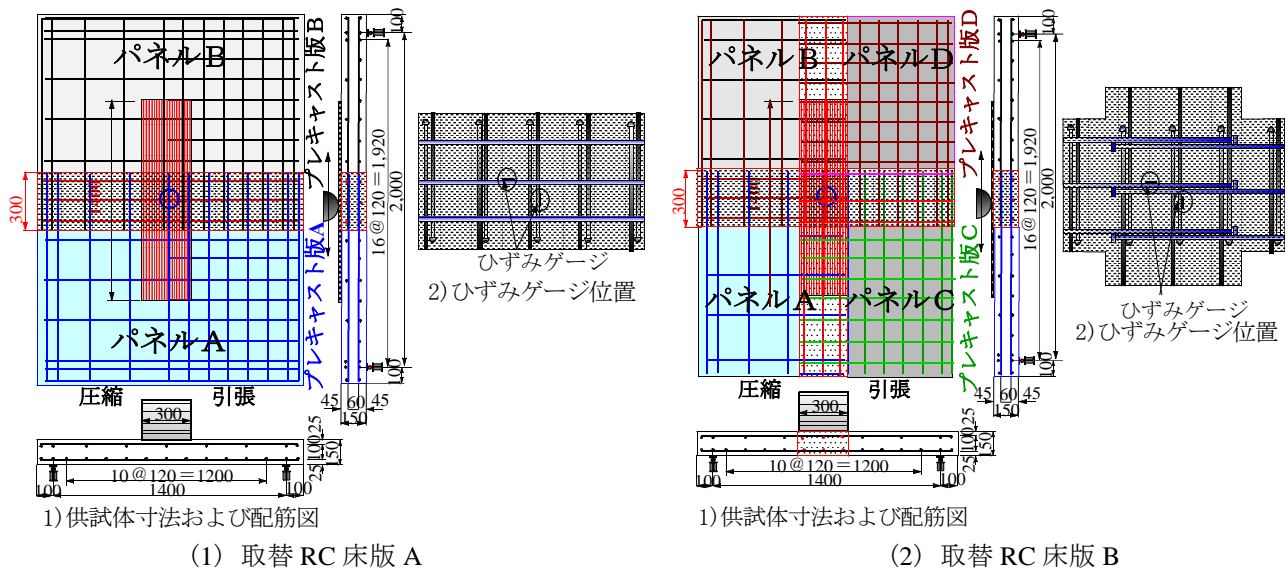


図-2 供試体寸法および鉄筋配置状況

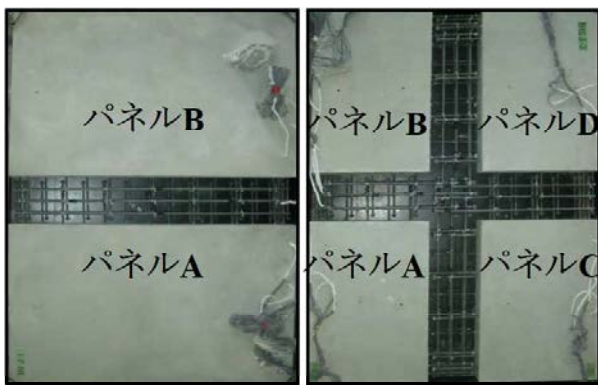


図-3 取替 RC 床版の間詰部の配筋状況

取替 RC 床版 A 供試体の寸法は図-2(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。プレキャスト床版部は軸方向の寸法 850mm であり、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。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

間詰部の寸法は、軸方向支間中央（支点から 1,000mm）に継手長 280mm を考慮し、幅 300mm を設けた。間詰部の構造および鉄筋の配置状況は図-3(1)に示すように間詰部の主鉄筋は D13 を上下に 3 本配置した。継手部の構造は主筋の内側に配力筋が配置され、端部は図-1(1)に示す円形の突起を設けた鉄筋を配置する。突起部は主筋のかぶり内となる。

(2) 取替RC床版B

取替 RC 床版 B 供試体の寸法は図-2(2)に示すように、全長、床版厚、支間は取替 RC 床版寸法と同様である。間詰部は軸方向の支点から 1,000mm（支間中央）および軸直角方向の中央にそれぞれ幅

300mm を設けた。これは、輪荷重幅 300mm と同じ幅とした。間詰部の構造およびの配筋は図-3(2)に示すように、主鉄筋は D13 を上下に 3 本配置した。継手部の鉄筋は主筋方向のかぶりを確保するために図-1(1)に示す三角形の突起を設けている。突起部は主筋の上縁と同位置となることからかぶりは確保されている。一方、配力筋は主筋の内側に配置され、図-1(2)に示す円形の突起を設けた鉄筋を配置した。

3.3 取替RC床版の施工手順

取替 RC 床版 A の供試体のプレキャスト版の施工手順は、実橋での施工を考慮し、工場で製作する。プレキャスト版のコンクリートは表-2 に示す配合条件で練混ぜし、コンクリート打設後、表面仕上げする。その後、8 時間蒸気養生を行い、脱型した。

次に、工場で製作したプレキャスト床版 A, B を軸方向に並べ、間詰部に打込みのための型枠を設置し、鉄筋を配置する（図-3(1)）。コンクリートの練混ぜは、実施工を考慮して移動式プラントを用いた。超速硬セメントを用いたコンクリートの凝結終結時間が 30 分程度であるので、練混ぜ後、直ちに間詰部に打込み、表面仕上げする必要がある。表面仕上げ後は常温で 12 時間養生し、脱型した。

次に、取替 RC 床版 B 供試体の製作方法も同様に図-3(2)に示すパネル A, B, C, D を工場で製作する。その後パネルを設置し、型枠の設置を行い、軸直角方向および軸方向の鉄筋を配置する（図-3(2)）。間詰部に超速硬セメントを用いたコンクリートを打込み、表面仕上げを施し、常温で 12 時間養生した。なお、本供試体の間詰部のコンクリートには超速硬セメントを用いたが、施工期間に合わせてコストの縮減が図られる早強セメントの検討も必要となる。

4. 実験方法および最大耐荷力

4.1 耐荷力実験の概要

取替 RC 床版供試体の輪荷重走行荷重実験による最大耐荷力の評価には、輪荷重走行試験機を用いる。実験装置の荷重装置には車輪（幅 300mm，直径 450mm）を取り付け、最大荷重 500kN まで荷重が可能である。試験体を台車に設置し、その台車をモータとクランクアームにより水平方向に走行させるものである。本実験装置は最大 2,000mm までの走行が可能である。

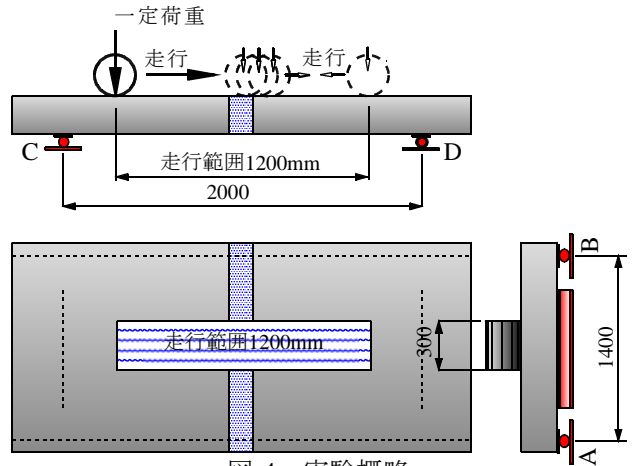


図-4 実験概略

4.2 走行荷重試験方法

(1) RC床版および取替RC床版供試体

輪荷重走行荷重実験は、図-4 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、元の床版中央まで走行し、これを 1 走行とする。荷重 200kN までは 1 走行毎に荷重を 10kN，荷重 200kN 以上は 5.0kN 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方法である。なお、輪荷重走行荷重実験は疲労実験と異なる実験である。本実験では、床版中央に車輪を停止し、床版中央のたわみおよびひずみを計測する。

(2) 最大耐荷力の評価

走行荷重実験において、荷重載荷し、1,200mm の走行した最大荷重を実験供試体の最大耐荷力とする。走行中に破壊した場合の荷重を破壊荷重とする。

表-3 最大耐荷力

供試体名称	最大耐荷力 (kN)	平均耐荷力 (kN)	耐荷力比
取替RC床版A-1	250.78	255.83	1.04
取替RC床版A-2	260.88		
取替RC床版B-1	265.86		
取替RC床版B-2	265.90		

5. 結果および考察

5.1 実験最大耐荷力

走行荷重実験による最大耐荷力を表-3 に示す。

軸直角方向に間詰部を設けた取替 RC 床版 A-1 供試体の最大耐荷力は 250.78kN であり、取替 RC 床版 A-2 供試体は 260.88kN，最大耐荷力の平均は 255.83kN である。

次に、2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版 B-1 供試体の最大耐荷力は 265.86kN，取替 RC 床版 B-2 供試体は 265.90kN，最大耐荷力の平均は 265.88kN である。間詰部を 2 方向に設けた供試体の耐荷力が 1.04 倍向上している。これは軸方向および軸直角方向の間詰部に配置された鉄筋量が多いためと考えられる。既往の研究⁹⁾による B 活荷重で設計（コンクリートの圧縮強度 35N/mm²，鉄筋 SD295，D13）し、RC 床版の走行荷重実験による押抜きせん断耐荷力は 172kN である。よって、本継手構造を有する取替 RC 床版は大幅に耐荷力が向上する結果となった。

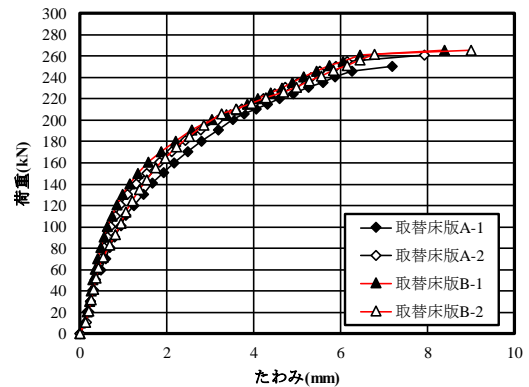


図-5 荷重とたわみの関係

5.2 荷重とたわみの関係

床版中央の荷重とたわみの関係を図-5 に示す。たわみの計測位置は図-2 に示す床版下面の中央である。

間詰部を軸直角方向に設けた取替 RC 床版 A 供試体および 2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版 B 供試体ともに同様の増加傾向を示している。最大耐荷力時のたわみは取替 RC 床版 A-1 が 7.19mm，A-2 が 7.92mm である。また、取替 RC 床版 B-1，B-2 それぞれで 8.40mm，8.89mm であり、2 方向に間詰部を設けた供試体のたわみの増加が抑制されている。2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版 B 供試体は、軸方向の間詰部には主筋方向がダブルで配置され、本取替 RC 床版の特徴でもある鉄筋端部の三角形の突起により付着力も高く、全体的に剛性が高まることから、たわみの増加が抑制されている。

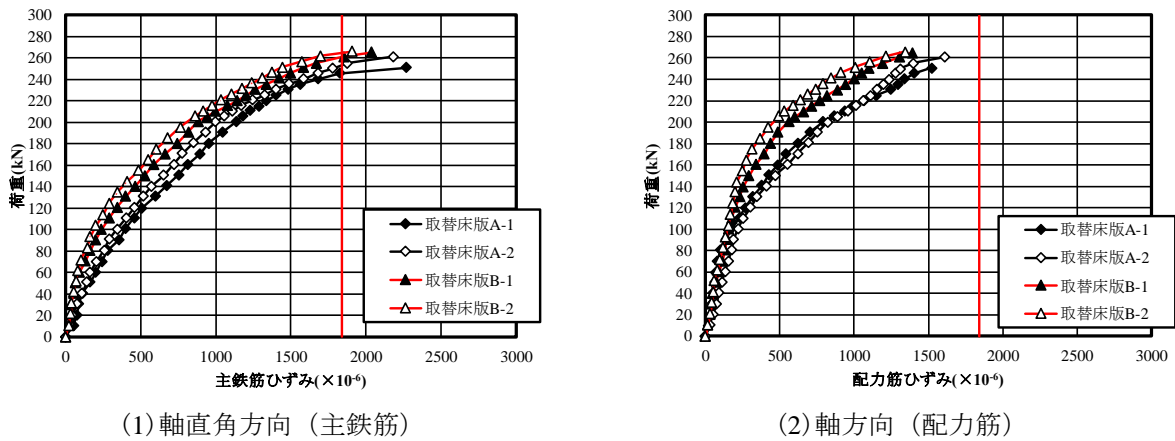


図-6 荷重とひずみの関係

5.3 荷重とひずみの関係

荷重とひずみの関係を図-6 に示す。計測位置は図-2(2)に示す位置である。

軸直角方向(主鉄筋)の荷重とひずみの関係は図-6(1)に示すように、軸方向に間詰部を設けた供試体取替 RC 床版 A のひずみの増加傾向はほぼ線形的に増加している。鉄筋の降伏ひずみは表-2 に示す鉄筋の降伏強度が 366N/mm^2 であることから 1830×10^{-6} である。取替 RC 床版 A-1 および A-2 の鉄筋ひずみが降伏に至った荷重はそれぞれ 245.7kN 、 252.5kN であり、降伏後は急激にひずみが増加し、破壊に至っている。

次に、軸直角方向および軸方向に間詰部を設けた供試体取替 RC 床版 B のひずみは、取替 RC 床版 A と比較してひずみの増加は抑制されている。これは、交差部の鉄筋量が取替 RC 床版 A と比較して多く配置していることにより、剛性が向上したものと考える。降伏ひずみに達した荷重は取替 RC 床版 B-1 および B-2 でそれぞれ 260.02kN 、 264.4kN である。降伏後はひずみが増加し、破壊に至っている。

軸方向(配力筋)の荷重とひずみの関係を図-5(2)に示す。取替 RC 床版 A-1 および A-2 はひずみが 400×10^{-6} 付近まで線形的に増加する。その後はひずみの増加がやや大きくなるものの破壊まではほぼ線形的に増加するが、降伏ひずみに達していない。

次に、取替 RC 床版 B-1 および B-2 においてもひずみが 400×10^{-6} 付近まで線形的に増加し、その後の荷重増加でひずみの増加もやや大きくなるものの線形的に増加している。取替 RC 床版 A の増加傾向に対して、ひずみの増加は大幅に抑制されている。これは、この継手長でも突起と併用すれば重ね継手同様に荷重伝達ができていると考えられる。

5.4 破壊時のひび割れ状況

走行荷重実験における破壊時のひび割れ状況を図

-7 に示す。

(1) 取替RC床版A

取替 RC 床版 A-1 および A-2 のひび割れ状況をそれぞれ図-7(1)、(2)に示す。

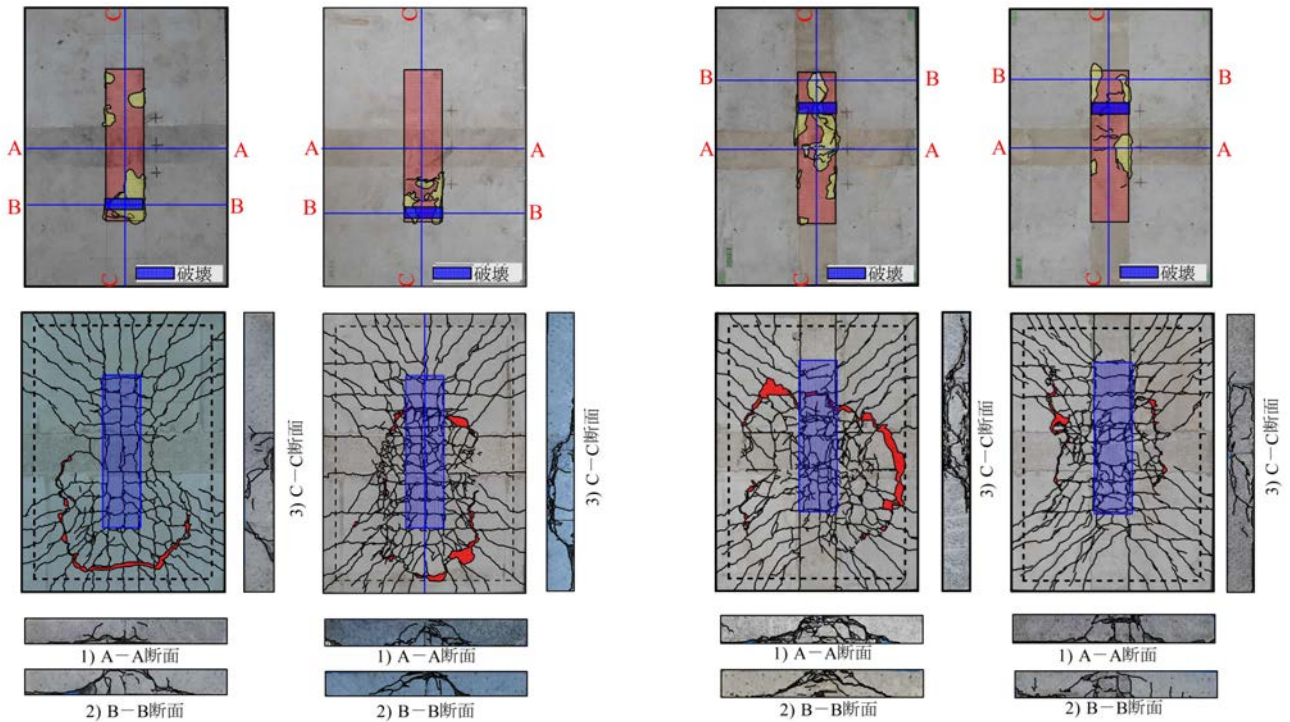
取替 RC 床版 A-1 の上面のひび割れ状況は下面は間詰部を除いた RC 床版部に 2 方向のひび割れが発生している。破壊は床版中央から 500mm 付近で押抜きせん断破壊となっている。破壊付近は荷重載荷位置から 45 度底面にダウエルの影響によるはく離が見られる。次に、切断面 A-A は図-7(1).1)、(2).1)に示すように輪荷重走行位置のみにひび割れが発生している。この位置はプレキャスト床版部の鉄筋量に対して、多く配置されていることから、ひび割れの発生が抑制されている。破壊位置の切断面 B-B は図-7(1).2)、(2).2)に示すように荷重載荷位置から 45 度で押抜きせん断破壊となる斜めひび割れが発生している。

軸方向の切断面 C-C(図-7(1).3)、(2).3))においても輪荷重走行位置から 45 度に斜めひび割れが発生し、押抜きせん断破壊となるひび割れ形状を呈している。

(2) 取替RC床版B

取替 RC 床版 B-1 および B-2 のひび割れ状況を図-7(3)、(4)に示す。

取替 RC 床版 B-1 の上面のひび割れ状況は輪荷重走行により床版下面には 2 方向のひび割れが発生している。破壊は床版中央から 300mm 付近で押抜きせん断破壊となっている。破壊付近は荷重載荷位置から 45 度底面にダウエルの影響によるはく離が見られる。次に、切断面 A-A は図-7(3).1)、(4).1)に示すように走行位置から斜めひび割れが発生している。切断面 B-B (図-7(3).2)、(4).2))も同様に押抜きせん断破壊形状を示している。また、切断面 C-C 断面 (図-7(3).3)、(4).3))においては圧縮鉄筋付近に水平ひび割れが発生している。



(1) 取替 RC 床版 A-1 (2) 取替 RC 床版 A-2 (3) 取替 RC 床版 B-1 (4) 取替 RC 床版 B-2
 図-7 ひび割れ損傷

6. まとめ

2 種類の間詰部を有する取替 RC 床版の最大耐荷力を評価するために走行荷重実験を行った。その結果以下の知見が得られた。

- (1) 軸直角方向に間詰部を設けた取替 RC 床版 A の最大耐荷力の平均は 255.83kN である。また、軸方向と軸直角方向の 2 方向に間詰部を設けた供試体取替 RC 床版 B の最大耐荷力の平均は 265.88kN であり、間詰部直上に輪荷重を走行させたにもかかわらず耐荷力が 1.04 倍向上する結果が得られた。
- (2) 荷重とたわみの関係においては、軸直角方向に間詰部を設けた取替 RC 床版 A および軸方向と軸直角方向の 2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版 B ともにたわみの増加傾向は同様である。2 方向に間詰部を設けた供試体は間詰部に鉄筋量が多く配置されることから剛性が向上し、たわみの増加が抑制されている。
- (3) 荷重とひずみの関係においても破壊荷重の 95% 以上の荷重で主鉄筋ひずみが降伏に至っている。また、配力筋のひずみは降伏に至っていない。本実験のひずみの計測位置は間詰部の鉄筋位置であり、鉄筋量が 2 倍となることからひずみの増加が抑制されている。
- (4) 破壊状況では取替 RC 床版 A は荷重折り返し付近で押抜きせん断破壊となった。また、取替 RC

床版 B においては中央から 300mm 付近で押抜きせん断破壊となり、間詰部から離れたプレキャスト版である。よって、本実験の範囲内では間詰部は弱点とならない結果が得られた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, 1994
- 2) 中村定明, 三浦尚：RC ループ継手の力学挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No.774/V-65, pp.17-26, 2004.11
- 3) 水野浩, 松井繁之, 大西弘志, 杉山俊幸, 街道浩：床版取替用プレキャスト合成床版の合理化継手の疲労耐久性評価, 構造工学論文集 Vol.58A, pp.1112-1121, 2012.3
- 4) 大柳修一, 大林敦裕：既設床版の半断面床版取替工法の開発(輪荷重疲労載荷試験), ピーエス三菱技報, 第 13 号, 2015
- 5) 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
- 6) 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荷力および耐疲労性の評価, 土木学会論文集 A1, pp.39-54, 2011.1

(2020 年 7 月 17 受付)