

論文 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

小野晃良*1・阿部 忠*2・高橋明彦*3, 武田秀人*4

要旨：本研究は地方自治体が管理する RC 床版の再劣化に対する補強技術として 2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版を提案し、耐疲労性を評価および実橋での施工技術について検証した。2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版は間詰部が弱点とならず、耐疲労性が向上し、実用性が評価された。また、寿命推定には RC 床版の S-N 曲線との整合性が得られ、寿命推定も可能であると考えられる。実橋での取替 RC 床版の施工技術は床版撤去および設置においても施工性が良く、主げたの修繕を除いて片側車線を 1 日で施工することが可能となり、地方自治体が管理する橋梁の取替床版としては有効性が高いと考えられる。

キーワード：取替 RC 床版, 耐荷力性能, 耐疲労性, 施工技術

1. はじめに

地方自治体が管理する鋼道路橋 RC 床版は、補修・補強が施されながら数十年が経過し、一部の RC 床版に再劣化が生じ、その対策として取替床版が提案されている¹⁾。

取替床版においては床版厚を最小厚さとすることから一般的には PC 構造とした取替床版が多く提案され、高速道路等で採用されている^{2), 3)}。しかし、地方自治体が管理する橋梁床版は、交通量が少く、2 等橋で設計された橋梁が多い。PC 構造は RC 構造と比較して耐久性が向上するが、コスト面においては RC 構造の場合は比較的安価となることから RC 構造とした取替床版必要となる。取替床版には、施工現場でプレキャスト床版を並列に配置した後、間詰部にコンクリートを打ち込み一体化する方法²⁾とプレキャスト床版同士を直接連結³⁾する方法がある。また、施工法においては、全面通行止めをして橋軸方向に並列する方法と片側交通規制をして、片側にプレキャスト床版を並列し、施工終了した後、反対車線を施工する方法がある。後者の場合は、2 方向に継手構造が必要がある。また、4 主げた構造の場合は、主げた間中央付近が継手部となることから、間詰部が弱点となる可能性がある。よって、2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版の耐疲労性および施工技術についても評価する必要がある。

そこで本研究では、2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版を用いて走行実験による最大耐荷力および輪荷重走行疲労実験による耐疲労性を評価し、実用性を評価する。また、再劣化した RC 床版の取替工事として、2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版の施工フローおよび施工法を示し、設計法および施工技術の一助とする。

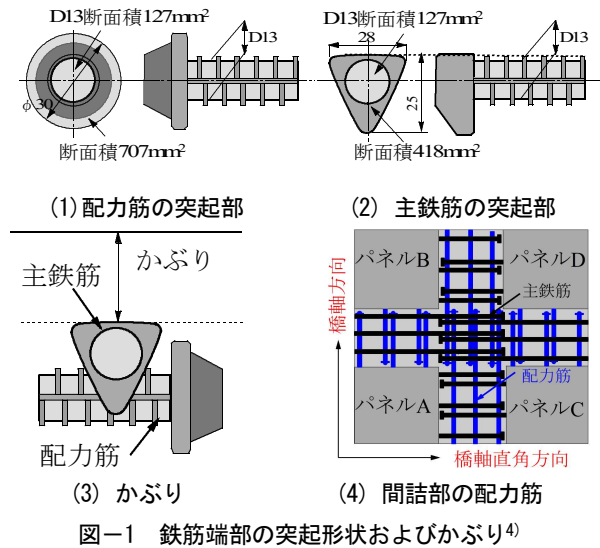


図-1 鉄筋端部の突起形状およびかぶり⁴⁾

2. 2方向間詰部を設けた取替RC床版の継手構造

取替 RC 床版の施工法は、予め工場で製作したプレキャスト床版を橋軸方向に並列し、間詰部にコンクリートを打ち込み一体化する施工法である。間詰部を橋軸直角方向に設ける場合は、軸方向筋である配力筋が継手構造となる。本取替 RC 床版の供試体には、図-1(1)に示すように D13 の鉄筋を用いた場合は $\phi 30\text{mm}$ の円形の突起形状とすることで、付着面積は 580mm^2 となる。2 方向に間詰部を設ける場合は、片側車線の施工が終了した後、反対車線側を同様に並列に設置する。この場合、軸方向に間詰部が生じる。この軸方向の間詰部の鉄筋継手は主鉄筋方向に継手構造が必要となる。主鉄筋の端部の突起は図-1(2)に示すように、底辺幅が 28mm、高さ 25mm の逆三

*1 TAKUMINO ホールディングス株式会社 (正会員)

*2 日本大学名誉教授 博士(工学) (正会員)

*3 株式会社小野工業所 博士(工学) (正会員)

*4 上山市役所建設課

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

W：水，C：セメント，S：砂，G：粗骨材

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	62.4				

角形とし、付着面積は277mm²であり、鉄筋と併せて付着力を確保する継手構造である。また、図-1(3)に示すように逆三角形の突起を設けることで異形鉄筋同様にかぶりの確保が可能となる。なお、配力筋は主鉄筋の内側に配置することからかぶりの確保は可能となる。2方向に間詰部を設けた場合の交差部の配置形状は図-1(4)となる。本実験供試体の間詰部の寸法は、軸方向間詰部の上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とした。

以上のように、主鉄筋および配力筋の端部に突起を設けた継手構造は、付着性が高い構造である。

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に最大骨材寸法20mmの碎石、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、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。

次に、間詰部のコンクリートの要求性能は材齢3時間で道路橋示方書・同解説⁵⁾(以下、道示とする)に規定するコンクリートの設計基準強度24N/mm²以上発現し、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の碎石、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、プレキャスト床版の実験時のコンクリートの圧縮強度は56.4N/mm²である。

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、実験時は62.4N/mm²である。よって、打設3時間後の強度が24N/mm²以上であり、並列後の施工

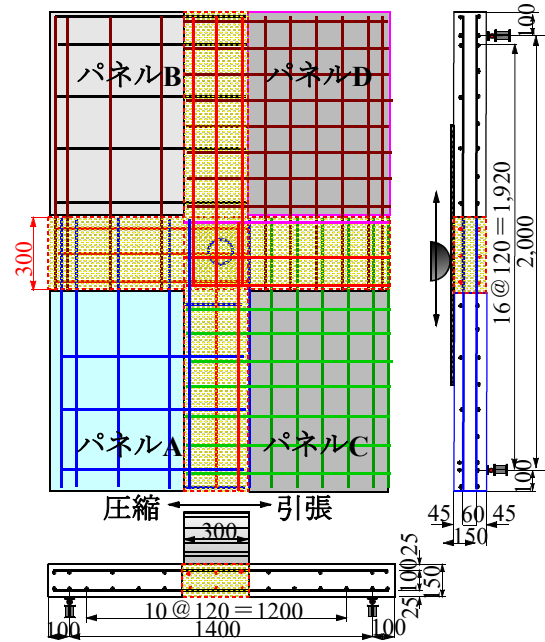


図-2 2方向に間詰部を設けた供試体寸法

の省力化が図られる材料である。

3.2 供試体寸法および鉄筋配置

取替RC床版供試体は、1994年改定の道示⁵⁾に準拠し、その3/5モデルとする。なお、取替RC床版供試体の間詰部の寸法は鉄筋の付着長280mmを考慮して300mmとする。ここで、2方向間詰部を設けた供試体寸法を図-2に示す。本論文では、輪荷重走行による取替RC床版の最大耐荷力、すなわち破壊荷重付近の押抜きせん断耐荷力を評価するために走行荷重実験を行う。押抜きせん断耐荷力の評価は、軸直角方向と軸直角方向および軸方向の2方向に間詰部を設けた供試体を2体製作した。また、耐疲労性を評価するために輪荷重走行疲労実験を行う。試験体は2体製作した。ここで、走行荷重実験に用いる供試体記号をR.RC-Rとし、輪荷重走行疲労実験に用いる供試体記号をR.RC-Fとする。

取替RC床版供試体の寸法は図-2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。引張側の主鉄筋および配力筋は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。継手部の主鉄筋および配力筋ともにD13を圧縮側および引張側ともに3本並列配置した。なお、主鉄筋の突起は図-1(2)、配力筋の突起は図-1(1)に示す形状であり、交差部は図-1(4)示す配置とした。

4. 走行荷重実験方法および耐荷力の評価

4.1 実験装置の概要

取替RC床版供試体の走行荷重実験による最大耐荷力の



写真-1 実験状況

評価および輪荷重走行疲労実験には、輪荷重走行疲労試験機を用いる。ここで、実験装置を写真-1に示す。

4.2 輪荷重走行荷重試験方法

(1) 走行荷重実験方法⁶⁾

走行荷重実験は、図-2に示すように、輪荷重幅が300mmで、軸方向に1,200mmの範囲を1走行し、1走行ごとに荷重を10kN増加させる段階荷重載荷とする。荷重200kN以降は1走行ごとに5kN増加し、破壊するまで荷重増加と走行を行う方法である。

(2) 最大耐力および押抜きせん断耐力の評価

走行荷重実験において、荷重を載荷し、1,200mmを走行した最大荷重を実験供試体の最大耐力とし、これを押抜きせん断耐力とする。なお、走行中に破壊した場合の荷重を破壊荷重とする。

4.3 走行荷重実験における最大耐力および破壊モード

走行荷重実験による最大耐力を表-3に示す。取替RC床版供試体 R.RC-R1 の最大耐力は265.85kN、供試体 R.RC-R2 もほぼ同様に265.09kNであり、その平均は265.88kNである。この最大耐力を用いて耐疲労性の評価を行う。破壊モードは、供試体 R.RC-R1 はパネル B、D 側で床版中央から300mm付近、供試体 R.RC-R2 はパネル B、D の中央付近で押抜きせん断破壊となった。

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の範囲を連続走行させる実験である(図-2、写真-1)。床版上面には幅300mm、厚さ4.5mmの鋼板を設置する。また、輪荷重走行疲労実験における初期荷重は100kNから140kNまでは40,000万回走行ごとに荷重を20kNずつ増加する段階荷重載荷とする。荷重140kN以降は40,000回走行ごとに10kN増加し、破壊するまで連続走行させた。

5.2 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載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

表-3 最大耐力および破壊モード

供試体名称	最大耐力 (kN)	平均耐力 (kN)	破壊モード
R.RC-R1	265.86	265.88	押抜きせん断破壊
R.RC-R2	265.90		

表-4 実験走行回数および等価走行回数

供試体	実験走行回数Nおよび等価走行回数 N_{eq}				合計等価走行回数
	荷重	100kN	120kN	140kN	
R.RC-F1	N	40000	40000	40000	5350
	N_{eq}	2,593,806	26,274,781	186,107,271	59,784,702
R.RC-F2	N	40000	40000	40000	5750
	N_{eq}	2,593,805	26,274,781	186,103,275	64,248,064

と式(1)として与えられる。式(1)は、載荷荷重 P_i を基準荷重 P で除した値の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 m 乗に実験走行回数を乗じることにより破壊までの等価走行回数が算定される。

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

ここに、 N_{eq} : 等価走行回数 (回)、 P_i : 載荷荷重 (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)⁷⁾

5.3 輪荷重走行実験における等価走行回数

輪荷重走行疲労実験における式(1)より算定した等価走行回数 N_{eq} を表-4に示す。

床版中央で2方向に間詰部を設けた供試体 R.RC-F1 の等価走行回数は 274.760×10^6 回、供試体 R.RC-F2 は 279.219×10^6 回である。等価走行回数の平均は 276.990×10^6 回である。供試体 R.RC-F1 の破壊位置はパネル A、C 側、供試体 R.RC-F2 はパネル D、B 側でともにそれぞれのプレキャスト床版の中央で押抜きせん断破壊となった。ここで、高橋ら⁴⁾の研究における同一寸法および鉄筋配置した圧縮強度 30.3 N/mm^2 のコンクリートで製作した供試体の等価走行回数は 11.789×10^6 回であり、供試体 R.RC-F の等価走行回数の平均の23.4倍である。これは、表-2に示すように圧縮強度が 56.4 N/mm^2 、間詰部は鉄筋量も多いことから弱点とならず耐疲労性が向上する結果となった。

6. 輪荷重走行疲労実験におけるRC床版のS-N曲線

6.1 松井らが提案するS-N曲線式⁷⁾

RC床版のS-N曲線式として松井らは輪荷重走行疲労実験を行い、S-N曲線式(2)を提案している。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (2)$$

ここに、 P : 基準荷重、 P_{sx} : はり幅Bの押抜きせん断耐力 (kN)、 N : 繰り返し回数 (回)

表-5 S値と等価走行回数

供試体	P (kN)	P _{max} (kN)	S=P/P _{max}	N _{eq} (回)
R.RC-F-B1	72	265.86	0.271	274,706,560
R.RC-F-B2	72	265.90	0.271	279,219,925

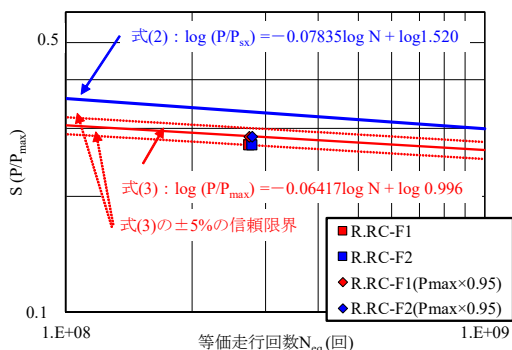


図-3 RC床版のS-N曲線式との整合性

6.2 阿部らが提案するRC床版のS-N曲線

阿部ら^{8), 9)}は1994年改訂道示に準拠して設計したRC床版の1/2, 3/5縮尺モデルとした供試体を用いて輪荷重走行疲労実験を実施し、松井らが提案するRC床版のS-N曲線式の傾きの逆数の絶対値 $m=12.7$ を適用した等価走行回数と走行荷重が及ぼす押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max}$ の関係からS-N曲線式(3)を提案している。

$$\log(P/P_{s,max}) = -0.06417 \log N + \log 0.996 \quad (3)$$

ここに、P：基準荷重、 $P_{s,max}$ ：押抜きせん断耐荷力（本論文では P_{max} を用いる）(kN)、N：繰り返し回数(回)

6.3 押抜きせん断耐荷力の算定およびS-N曲線式

本実験供試体の基準荷重Pを走行荷重実験による供試体R.RC-R1, -R2の実験耐荷力265.86kNおよび265.90kNで除した縦軸S(=P/P_{max})は0.271となる(表-5)。そこで、実験耐荷力から得られたS値と等価走行回数N_{eq}の関係、すなわちS-N曲線式との関係を図-3に示す。間詰部を2方向に設けた供試体R.RC-Fの供試体はS-N曲線式の下方にプロットされているものの信頼限界±5%の範囲にプロットされ、ほぼ整合性が得られていると考えられる。なお、阿部らが提案するS-N曲線式には走行荷重実験より得られたRC床版の最大荷重の95%程度の押抜きせん断耐荷力 $P_{s,max}$ より評価されていることから、本実験で得られた最大荷重 P_{max} の95%の荷重で評価するとほぼ式(3)と近似する結果が得られた。

以上より、走行荷重実験による最大荷重 P_{max} と等価走行回数 N_{eq} より、RC床版のS-N曲線式の±5%の信頼限界以内で評価されている。また、実験最大耐力の95%とすることで、ほぼ阿部ら^{8), 9)}が提案するS-N曲線式上に

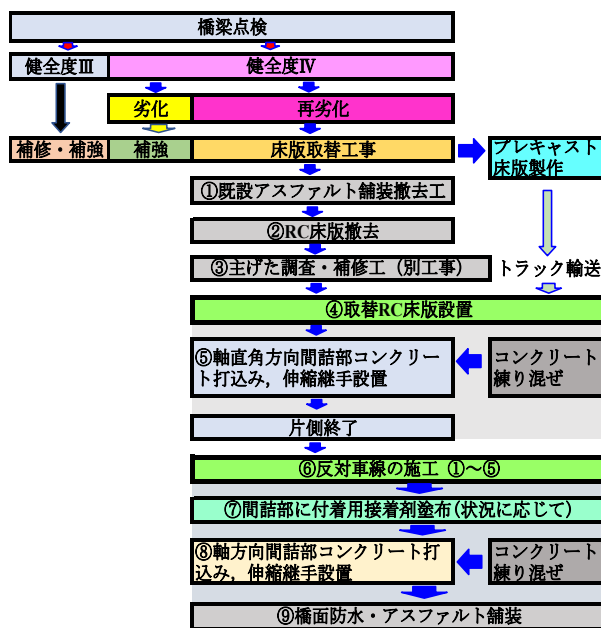


図-4 施工フロー

プロットされ、整合性が得られた。よって、RC床版のS-N曲線式を用いて寿命推定が可能になると考えられる。

7. 実橋RC床版の取替施工および施工計画

7.1 床版取替工事における施工フロー

床版取替工事の施工フローを図-4に示す。これは、実橋における施工事例に基づいたものである。

まず、橋梁点検を実施し、RC床版の損傷状況および健全度を判定する¹⁰⁾。健全度Ⅲの場合は、補修・補強を施す必要がある。また、健全度Ⅳと判定されRC床版の場合は、一般的には、耐荷力性能の向上を図るためにRC床版上面あるいは下面からの増厚補強法が必要となる。次に、健全度Ⅳにおいて既に上面あるいは下面からの補強して、再劣化した場合はコンクリート内部の損傷も著しくなる可能性が高いことから、取替床版の検討が必要となる。

一方、橋梁点検において床版取替が必要なRC床版においては計画が決定された後、図-4に示すように、取替床版の施工において片側車線が通行止めの車両規制で工事を進めるかの決定が必要となる。決定され後、取替床版を設計し、近隣のコンクリート床版製作工場で、プレキャスト版を製作する。図-4は、片側車両規制を必要とする場合の施工フローである。施工手順は、①アスファルト舗装を撤去し、続いて②RC床版を撤去する。ここで、主げた等、緊急性が高い場合は③鋼げたも調査し、補修を施す。④取替床版を主げた上に設置し、併せて伸縮継手も設置し、⑤軸直角方向間詰部に早強コンクリートを打設し、表面仕上げし、交通解放する。次に、



(1) 赤山橋（支間16.1m、有効幅員7.0m、斜角83度）



(2) 橋面の損傷状況



(3) 鋼板接着補強

写真-2 赤山橋の概要



(1) 水平ひび割れの発生



(2) コア採取

写真-3 コア採取による診断

反対車線も①～⑤手順で工事実施する。軸方向の間詰部が主げた間中央の場合は曲げモーメントが最大となることから必要に応じて⑦間詰部側面に付着用接着を塗布し、⑧コンクリートを打ち込み、一体化を図る。最後に⑨橋面防水工・アスファルト舗装を施し、交通解放する。

7.2 橋梁概要、点検結果および施工技術

(1) 橋梁概要および点検結果

山形県上山市が管理する赤山橋の道路橋 RC 床版は、老朽化に加え、塩害や凍害の影響を受け、材料の経年劣化による損傷が多い。また、老朽化により補強された RC 床版においても再劣化が生じ、床版取替などの対策が検討された。赤山橋は 1974 年に山形県により建設され、2006 年に上山市に移管された橋梁である。ここで、赤山橋の現状を写真-2(1)に示す。国道交通省の橋梁点検要領¹⁰⁾にも基づいて点検を行った。その結果、橋面においては伸縮継手付近に土砂化が見られる(写真-2(2))。また、床版下面の主げたフランジと鋼板に発錆が見られる程度である(写真-2(3))。目視点検では、健全度Ⅲと判定されていた。RC 床版においては下面に 4mm 厚の鋼板接着補強が施されていたことから、ひび割れ状況の点検は困難であった。そこで、RC 床版からコアを採取した結果を写真-3に示す。コア採取による内部診断を行った結果、コア採取中に水平ひび割れが層状に発生している(写真-3(1))。よって、床版支間内からφ100mm、高さ200mmの円柱コアの採取は困難で



(1) 取替RC床版型枠



(2) 取替RC床版

写真-4 プレキャスト床版製作



(1) RC床版撤去



(2) 床版の損傷状況

写真-5 床版撤去および内部損傷と主げた補修

あった(写真-3(2))。そこで、比較的健全な主げた上の床版からコンクリートコアを3本採取した。圧縮試験による圧縮強度の平均は18.0N/mm²であった。よって、この RC 床版は内部コンクリートの強度不足や内部に水平ひび割れの発生が著しいことから、再劣化した RC 床版の長寿命化を図るためにも床版取替での補強対策が検討された。

(2) 実橋取替RC床版の概略

2方向に間詰部を設けた取替 RC 床版は、間詰部を機械式定着構造としたが、本実験の範囲内では弱点とならず、曲げ剛性が向上し、耐荷力性能および耐疲労性が向上する結果が得られたことから、実橋で採用された。取替 RC 床版の設計は交通量が少ないことから A 活荷重で設計し、施工においては地域住民の交通を確保するために片側車線規制により床版取替工事を実施した。

(3) プレキャスト版の製作

プレキャスト版の製作においては鋼製型枠 3 タイプを製作し、橋軸方向は幅 2.0m、橋軸直角方向は有効幅員 7.0m の 1/2、すなわち 3.5m とした。本橋梁は 4 主げたであることから主げた間中央で橋軸方向に間詰部を設ける構造とした。また、本橋梁の特徴として斜角 83 度の橋梁である。RC 床版は A 活荷重で設計し、鉄筋には D16、コンクリートの要求性能を 40N/mm² 以上(表-1)となる配合とした。ここで、取替 RC 床版型枠およびプレキャスト化した取替 RC 床版を写真-4に示す。取替 RC 床版は片側 9 パネル、合計 18 パネル製作した。

(4) 老朽化した鋼板接着補強したRC床版の撤去

鋼板接着補強した RC 床版の撤去状況および損傷状況、主げたの点検・補修状況を写真-5に示す。鋼板接着した RC 床版の撤去は、一般的に使用されているセンターホールジャッキを用いて撤去した(写真-5(1))。



(1) 床版設置



(2) コンクリート練り混ぜ



(3) 間詰部コンクリート
打ち込み・表面仕上



(4) 付着用接着材の塗布
(軸方向)

写真-6 取替RC床版の施工手順

片側 15m の撤去時間は約 6 時間である。撤去後の RC 床版は写真-5(2)に示すように、損傷が著しく健全な形状での撤去は困難であった。よって、緊急対応による床版 RC 取替工法を採用したことは適切な判断であったと言える。RC 床版を撤去した後、鋼げたの補修および取替 RC 床版の設置に伴い、仮設げたを設置し、施工時の安全性を確保した。これは工事終了後撤去した。

(5) 取替RC床版の施工

取替 RC 床版の施工状況を写真-6に示す。施工手順は図-4に示す施工フローに基づいて実施した。施工フロー④から説明する。トラック輸送されたプレキャスト床版をクレーン作業により主げた端部から順次設置する(写真-6(1))。施工時間 6 時間である。その後、ジベルの取り付けや伸縮継手を設置し、橋軸直角方向の間詰部コンクリートには超速硬セメント用いて、要求性能を 3 時間で $30\text{N}/\text{mm}^2$ 以上となる配合条件(表-1)とした。練り混ぜにはジェットモビルを用い(写真-6(2))た。練り混ぜ後、軸直角方向の間詰部に打設して表面仕上げし(写真-6(3))、交通解放する。同様に、施工フロー⑥に示すように反対車線側の RC 床版を撤去し、施工フロー⑦に示すようにプレキャスト版を設置する。設置後、軸方向の間詰部の側面コンクリートに付着用の高耐久型エポキシ樹脂接着剤を塗布し(写真-6(4))、早強コンクリートを打設する。なお、接着剤の付着強度は $3.7\text{N}/\text{mm}^2$ が得られている。最後に伸縮継手の新設し、橋面防水工、アスファルト舗装も併せて 5 時間程度で終了した。

8. まとめ

(1) 2 方向に継手構造を設けた取替 RC 床版は、コンクリートの圧縮強度が高いことから、プレキャスト床版お

よび 280mm の継手長とした間詰部には、主鉄筋および配力筋の端部に突起を設けたことから、付着性も高くなり、間詰部が弱点とならず耐荷力性能および耐疲労性が向上することから、2 方向に間詰部を設けた構造は実用できである結果が得られた。

(2) 取替 RC 床版の寿命予測には、阿部らが提案する S-N 曲線の信頼限界 $\pm 5\%$ 以内にプロットされ、整合性が得られる結果となった。よって、寿命推定には RC 床版の S-N 曲線式の適用が可能であると考えられる。

(3) 鋼板接着補強した RC 床版が再劣化により床版取替対策において、本提案する 2 方向に間詰部を設けた取替 RC 床版は、片側交通規制のもとで、斜角 83 度にもかかわらず施工フローに基づいて施工することで、短時間での施工が可能となり、早期に交通解放が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 岩手県宮古地方振興局土木部：法師渡大橋ほか橋梁補修詳細設計業務委託報告書，2008。
- 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。
- 3) 新名勉，林大輔，小林顕，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
- 4) 高橋明彦，阿部忠，小野晃良，大西弘志：間詰部を設けた取替 RC 床版の耐疲労性の検証に関する実験研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.141，No.2，PP. 475-480，2019.7
- 5) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説 I，1994。
- 6) 阿部忠，木田哲量，水口和彦，川井豊：輪荷重走行疲労実験における車輪寸法が RC 床版の耐疲労性に及ぼす影響および評価法，構造工学論文集，Vol.57A，pp.1305-1315，2011。
- 7) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007
- 8) 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
- 9) 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荷力および 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。
- 10) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領，2014