# 戦-65 積雪寒冷地における既設RC床版の損傷対策技術に関する研究

研究予算:運営費交付金 研究期間:平22~平25

担当チーム:寒地構造チーム、寒地技術推進室

研究担当者:西 弘明、今野久志、三田村浩、表 真也

横山博之、中村直久、高玉波夫、葛西隆廣

# 【要旨】

近年、道路橋の鉄筋コンクリート床版においては、橋梁の老朽化や、交通量の増加及び過積載車両の増加に伴い、床版の陥没が数多く報告されている。積雪寒冷地においては、このような陥没は凍害によるコンクリートの脆弱化を誘因としていることが多い。そのため、床版陥没部の補修においては、補修したコンクリートと既設床版の一体化の観点から、陥没部周辺の脆弱したコンクリートを確実に除去することが重要である。本研究では、原位置における鉄筋コンクリート床版の調査結果を基に、既設床版と補修コンクリートの一体化に着目し、ウォータージェットおよび電動ピックによる脆弱したコンクリートを除去方法、施工面の処理方法等を含めた、積雪寒冷地における床版陥没部の補修方法を提案した。また、本補修方法について疲労耐久性などを検証するための載荷実験を行い、その有効性を確認した。

キーワード:鉄筋コンクリート床版、陥没、部分補修、凍害、輪荷重走行試験

## 1. はじめに

近年、道路橋床版においては、橋梁の老朽化や、交通量の増加及び過積載車両の増加に伴い、写真-1に示すような床版の陥没が数多く報告されている。積雪寒冷地においては、このような床版陥没部周辺のコンクリートが凍結融解作用によって脆弱化しているケースが多い<sup>1),2)</sup>。したがって、床版陥没部の補修に当たっては、補修するコンクリートと既設床版との一体性を確保することが重要であり、陥没部周辺の脆弱したコンクリートを確実に除去する必要がある。

本研究では、原位置における床版の調査結果を基に積雪寒冷地における床版陥没部の補修方法を提案するとともに、既設床版と補修したコンクリートの一体化に着目し、ウォータージェット(以下、「WJ」という。)および電動ピック(以下、「ピック」という。)により脆弱したコンクリートを除去し、補修した鉄筋コンクリート床版供試体について、輪荷重走行試験を行い、脆弱部の処理方法の違いが床版の疲労耐久性に与える影響について検討した。

## 2. 積雪寒冷地における床版陥没部の補修方法

鉄筋コンクリート床版を対象とした現地調査の結果、ほとんどの床版で、凍害により床版上面が 1cm 程度以上 脆弱していることが確認された。また、陥没した箇所では、陥没した孔の表面も凍害により脆弱している。これらの劣化損傷の実態を踏まえ、床版積雪寒冷地における

床版陥没部の補修方法を提案した。以下に補修の手順を 示す

① 鉄筋コンクリート床版の損傷状況の調査(図-1(a))



写真-1 陥没が生じた RC 床版

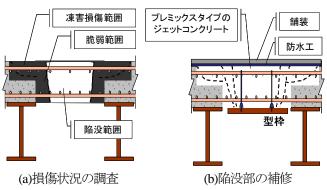


図-1 床版陥没部の補修手順

- ・ 陥没部分の目視確認及び打音検査により、 陥没部分 の他、 陥没周辺の脆弱範囲を調査する。
- ② 床版の陥没部の補修 (図-1(b))
  - ・脆弱したコンクリートの除去を行う。このとき、陥 没部周辺の床版表層の凍害劣化したコンクリートを 除去するとともに、くさび型に、陥没箇所の形状を 処理する。

表-1 供試体の形状寸法と配筋

床版寸法	2,650mm×3,300mm		
床版厚	160mm		
主筋	ф16@260 (上側)		
	φ16@130(下側)		
配力筋	φ13@230		

表-2 コンクリートの圧縮強度と弾性係数

		圧縮強度 (N/mm²)	弹性係数 (kN/mm²)
無補修供試体		43.2	25.4
部分補修供試体	既設部	36.8	22.0
	補修部	60.0	43.4



(a)ピックによる処理



(b)WJ による処理





(c)床版の補修状況





(d)補修前の床版下面状況

(e)補修後の床版下面状況

写真-2 床版陥没部の補修状況

# 戦-65 積雪寒冷地における既設鉄筋コンクリート床版の 損傷対策技術に関する研究

- ・表面を処理した補修箇所に、型枠を設置し、超早硬 コンクリートにより断面補修を行う。
- ・打設したコンクリート周辺に、防水工及び舗装を施工する。

# 3. 床版陥没部を補修した鉄筋コンクリート床版の輪荷 重走行試験

# 3.1 実験概要

上述の補修方法においては、既設床版と補修するコンクリートの一体化が重要である。脆弱したコンクリートを除去する際、はつりに伴う微細なひび割れ(マイクロクラック)が既設床版に残存すると、当初から界面部分で良好な付着が確保されないばかりか、凍害による劣化を助長する。既往の研究により、一般的なはつり方法であるピック等の打撃系の方法に比べ、WJによるはつりは、既設コンクリートと補修コンクリートの付着強度が優れることが示されている 3,4。そこで、脆弱部の除去方法が、床版陥没部を補修した鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性に与える影響について検討するために、陥没を模擬した孔を設けた実物大の鉄筋コンクリート床版供試体に上述の補修方法を適用し、脆弱部分を WJとピックを用いて処理した場合について輪荷重走行試験を実施した。

## 3.2 実験試験体

供試体の形状寸法および配筋を表-1に、コンクリートの圧縮強度等表-2を示す。供試体は陥没の事例が多い昭和40年ごろの床版を想定して製作した。床版厚さ160mmで鉄筋には丸鋼を用いた。実験は、陥没を設けない無垢な供試体(以下、「無補修供試体」という。)と、模擬的な陥没に対して補修を行った供試体(以下、「部分補修供試体」という。)について実施した。部分補修供試体は、1体の床版に対して、陥没を模擬した直径300mm程度の2つの孔を設け、それぞれWJおよびピックにより孔の表面を処理した。その後、ジェットコンクリートにより補修を行った。写真-2に部分補修の状況を示す。ここで、WJによる処理は、脆弱化したコンクリートを除去して補修したケースを、ピックによる処理は、脆弱化したコンクリートを残すことを想定したものである。

# 3.3 実験方法

実験は輪荷重走行試験機を用いて実施した。走行荷重は階段状漸増載荷とし、重走行回数10万回ごとに、120kN、130kN、150kNの荷重を載荷した。写真-3 に輪荷重走行試験機、図-2 に載荷プログラムを示す。輪荷重は床版の支間中央部に連続して並べた鋼製の載荷ブロックの上を供試体中央部から橋軸方向に±1000mmの範囲で移動載荷させる。輪荷重走行部の詳細は載荷ブロック上に載荷部の鉄輪がスムーズに走行しやすいよう厚さ12mmの鉄板をのせ、衝撃・騒音防止、床版上面の摩耗防止の為に



写真-3 輪荷重走行試験機

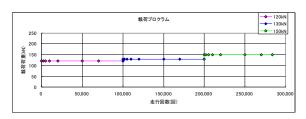


図-2 載荷プログラム

ブロックと鉄板の間、および床版上に t=6mm のベニヤ板を挿入した。試験体の支持方式は、走行方向に2辺単純支持、走行直角方向に2辺弾性支持としている。また床版たわみの経時変化を調べるため、輪荷重による静的載荷および無載荷時のたわみを計測した。

### 3.4 実験結果

# (1) ひび割れおよび破壊状況

部分補修供試体の実験終了時の床版下面のクラック図を図-3に、床版下面の状況を写真-4、5に示す。部分補修供試体の破壊状況は陥没を補修した部分の再損傷ではなく、無補修試験体と同様に図中にハッチで示した領域が下方へ落ち込む走行部分全体のコンクリートの押し抜きせん断破壊で終了した。WJおよびピックによる補修箇所の周囲にはびわれが生じているものの、表-2に示すように既設のコンクリートに比べて補修した部分のコンクリートの強度が大きいためか、補修したコンクリート自体には目立った損傷は確認されなかった。本試験においては、脆弱部の処理方法の異なる界面状況に対してコンクリート埋戻しを行った2つの補修箇所で、目視による調査結果であるが損傷状況には明確な差は確認されなかった。

一方で、実橋梁の多くでは、凍害劣化したコンクリートを除去せずに補修を行った場合に、早期に再び損傷が生じるケースが報告されている。そのため、補修箇所の位置等の条件を変えた試験により、今後も表面の処理方法に関して検討を重ねる必要があると考えられる。

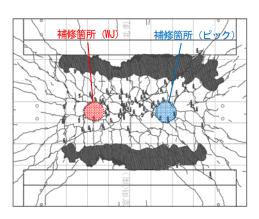


図-3 床版下面のクラック図 (実験終了時)



写真-4 実験終了後の床版下面の状況

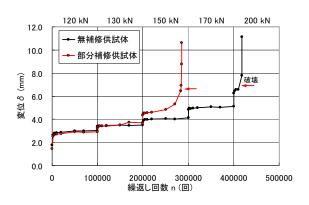


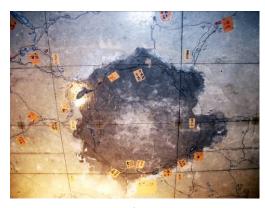
図-4 無補修供試体との繰返し回数と変位の関係の 比較(活荷重たわみ)

#### (2) 荷重と鉛直変位の関係

図-4に、無補修供試体と部分補修供試体の繰返し回数と鉛直変位の関係を示す。無補修供試体では、荷重 200kNの1万回走行時に鉛直変位が急増し、せん断破壊により終局状態に至った。これに対して部分補修供試体では、荷重150kNに入ってから、鉛直変位が緩やかに増加し始め、83756回走行時に鉛直が急増し押し抜きせん断破壊により終局状態に至った。ただし、繰返し回数は輪荷重130kN(走行回数20万回)の途中まで、補修の有無による鉛直変位の差はほとんどないが、150kNの荷重段階か



(a)WJ



(b)ピック

写真-5 補修実施箇所の状況(実験終了時)

ら2つの供試体の変位に差が生じ始めた。

無補修供試体と部分補修供試体の既設部分のコンクリートの圧縮強度は、表-2に示すようにそれぞれ、43.2、36.8N/mm²である。このため、無補強供試体のほうがコンクリートの圧縮強度が大きく、破壊に至るまでの繰り返し回数が多いことが考えられることから、圧縮強度の差を補正するために、式(1)を用いて部分補修供試体のPsxを無補強供試体のPsxに換算した場合の150kN換算等価繰り返し回数は、無補修供試体で1,008,608回、部分補修供試体で257,359回である。

$$N_{R}' = \sum \left(\frac{P_{\text{sxN}}}{P_{\text{sxR}}}\right)^{m} N_{R} \tag{1}$$

ここに、 $N_R$  は無補修供試体のPsx に換算した場合の部分補修供試体の等価繰り返し回数、 $N_R$  は等価繰り返し回数、Psx は無補修供試体のPsx、Psx は部分補修供試体のPsx、m は定数で 12.76 である。なお、Psx は床版の押し抜きせん断耐力で、式(2)で与えられる。

 $P_{sx} = 2 \cdot \tau_{smax} \times X_m \times B + 2 \cdot \sigma_{rmax} \times c_m \times B$  (2) ここに、 $\tau_{smax}$  はコンクリートの最大せん断応力度、 $X_m$  は 引張側コンクリートを無視した場合の圧縮側上縁から中

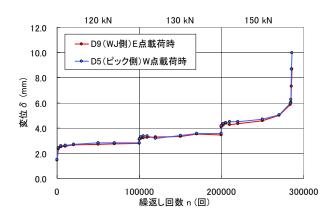


図-5 補修箇所の繰返し回数と変位の関係の比較(活 荷重たわみ)

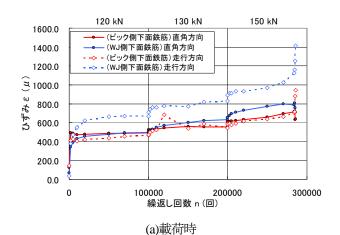
立軸までの距離、 $\sigma_{\max}$ はコンクリートの最大引張応力度、 $c_m$ は主鉄筋のかぶり厚さ、Bは梁状化したときの梁幅である。

これより、無補修供試体に比べて部分補修供試体の疲労寿命は 1/4 程度であることがわかる。この原因については、本実験の範囲では明確にすることができなかったが、既設コンクリートと補修したコンクリートの強度や剛性の違いや既設コンクリートと補修したコンクリートの界面(新旧コンクリートの界面)の特性等に着目し、さらなる検討を行う必要があると考えられる。

次に、WJ およびピックによる補修箇所付近の鉛直変位を比較する。図-5 に、WJ およびピックによるそれぞれの補修箇所の直上に荷重を載荷したときの、荷重載荷位置付近の鉛直変位と繰り返し回数の関係を示す。ここで、WJ 側は供試体中央から 500mm の位置への荷重載荷時の供試体中央から 400mm の位置の鉛直変位であり、ピック側は供試体中央から 500mm 位置への荷重載荷時の、供試体中央から 400mm の位置の鉛直変位としている。図から、2 つの補修箇所で、繰返し回数と変位の関係に、大きな差は確認されなかった。このことから、新旧コンクリートの界面の付着性能に大きな差異はなく、良好な状態になっていたものと推察される。

# (3) 鉄筋ひずみ

図-6 には、補修箇所の下面側鉄筋のひずみとして、WJ 側とピック側それぞれの補修箇所の直上に荷重を載荷したときの、補修したコンクリート内の鉄筋のひずみを示した。ここで、荷重の載荷位置は図-5 と同様である。図には、所定の荷重を載荷した状態の載荷時と、その荷重を除荷した除荷時の計測値を示した。図から、載荷時においては、走行直角方向については、2つの補修材で、大きさ差はないものの、走行方法についてはピック側に比べてWJ側が大きいことがわかる。また、除荷時のひずみについては、走行方向と走行直交方向でともに、ピ



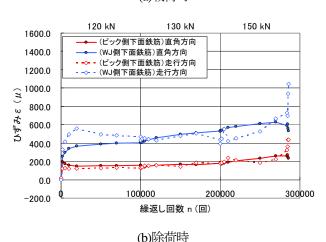


図-6 補修箇所の繰返し回数と鉄筋ひずみ関係

ック側に比べて、WJ 側で鉄筋のひずみが  $200\sim300\,\mu$ 程度大きい傾向が見られた。

# 4. まとめ

本研究では、凍害を誘因の一つとして陥没した鉄筋コンクリート床版の補修方法について検討を行った。以下に本研究で得られた成果を示す。

- 1) 鉄筋コンクリート床版の現地調査結果に基づき、凍害による床版の劣化損傷の形態を踏まえた、積雪寒冷地における床版陥没部の補修方法を提案した。本方法は、凍害により脆弱化している、陥没した孔の表面および床版上面のコンクリートを取り除くことが特徴である。
- 提案した補修方法を適用した鉄筋コンクリート床版 の疲労耐久性について検討するために、模擬的な陥

# 戦-65 積雪寒冷地における既設鉄筋コンクリート床版の 損傷対策技術に関する研究

没を補修した供試体の輪荷重走行試験を実施した。 試験に当たっては、既設床版と補修したコンクリートの一体性に着目し、脆弱部の除去は一般的なはつり工法である電動ピックと、一体性に優れるはつりが可能とされるウォータージェットの2種類とした。 輪荷重走行試験の結果、部分補修した供試体の破壊状況は陥没を補修した部分の再損傷ではなく、陥没していない試験体と同様に走行部分全体のコンクリートの押し抜きせん断破壊となった。

- 3) しかし、実橋梁の多くでは、凍害劣化したコンクリートを除去せずに補修を行った場合、すなわち本実験におけるピックによるはつりを行った場合には、早期に再び損傷が生じるケースが報告されている。今後は、水張りを行った場合や、本試験で行った走行載荷位置直下から、補修箇所をずらした位置に設けた場合など、条件を変えた試験を行う。
- 4) 部分補修した供試体の疲労寿命は、無垢な供試体の 1/4 程度であった。この理由については、本実験の範 囲では明確にすることができなかったが、既設コンクリートと補修したコンクリートの強度や剛性の違い、既設コンクリートと補修したコンクリートの界面 (新旧コンクリートの界面) の特性等に着目し、さらなる検討を行う。

## 参考文献

- 1) 三田村浩、佐藤京、西弘明、渡辺忠朋:積雪寒冷地における 既設鉄筋コンクリート床版の延命手法について、構造工学論 文集、Vol.56A、pp.1239-1248、2010.
- 2) 三田村浩、佐藤 京、本田幸一、松井繁之: 道路橋鉄筋コン クリート床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響、構造工学 論文集、Vol.55A、pp.1420-1431、2009
- 3) 宮川智史、表真也、三田村浩、西弘明:積雪寒冷地における コンクリート打継ぎ界面の付着性能評価、土木学会北海道支 部論文報告集、Vol.67、2011.
- 4) 五十嵐義行、加藤静雄、今野久志、渡邊一悟:ウォータージェットによるコンクリートはつりによる効果検証実験、土木学会年次学術講演会、Vol.59、2004.9