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^{1),2)}。 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



- ・ 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	φ16@260 (上側)		
	φ16@130 (下側)		
配力筋	ф13@230		

表-2 コンクリートの圧縮強度と弾性係数

		圧縮強度	弹性係数
		(N/mm^2)	(kN/mm^2)
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

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



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







(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。

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

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、 P_{sxN} は無補修供試体のPsx、 P_{sxR} 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。

 $P_{sx} = 2 \cdot \tau_{smax} \times X_m \times B + 2 \cdot \sigma_{tmax} \times c_m \times B \qquad (2)$ ここに、 τ_{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





立軸までの距離、 σ_{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 200~300 µ 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。

- 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。
- 2)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