

## 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（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：寒地構造チーム

研究担当者：西弘明、今野久志、三田村浩、表真也

### 【要旨】

積雪寒冷地における道路橋鉄筋コンクリート（以下、RC）床版の陥没は、凍害によるコンクリートの脆弱化が発生要因となっていることが多い。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、陥没部周辺の脆弱化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、RC 床版の現地調査結果を基に、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化したコンクリートの除去方法や走行位置と補修位置との関係が床版の疲労耐久性に及ぼす影響を確認することを目的とし、陥没部補修床版の輪荷重走行試験を実施した。

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、道路橋の RC 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等に伴う床版の陥没が数多く報告されている。陥没部において、積雪寒冷地では、写真-1 に示すように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、陥没部の補修に当たっては、陥没部周辺の脆弱化したコンクリートを確実に除去し、補修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る。また、車両の走行位置と陥没部の補修位置との関係が床版の疲労耐久性に及ぼす影響の評価も必要となってくる。

以上から、本研究では、補修コンクリートと既設床版との一体化に着目し、ウォータージェット（以下、WJ）および電動ピック（以下、ピック）により脆弱化したコンクリートを除去した後に陥没部を補修した陥没部補修 RC 床版を製作し、輪荷重走行試験により脆弱部の処理方法の違いや補修位置が床版の疲労耐久性に与える影響について検討した。



写真-1 脆弱化後の RC 床版の陥没

表-1 実験供試体一覧

供試体	補修概要	検討内容
C1	無補修	—
C2	走行部の部分補修	界面処理の影響
C3	走行部以外の部分補修	補修箇所の影響

### 2. 供試体の使用材料および寸法

#### 2. 1 供試体の概要

本実験で用いた供試体は 1956 年改訂の道路橋示方書・同解説<sup>3)</sup>（以下、鋼道示）に準拠して製作した、実寸大の RC 床版である。表-1 に供試体の一覧を示す。

#### 2. 2 使用材料

供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントを使用した。鉄筋は丸鋼 SR235 とし、主鉄筋にはφ16mm

（上筋 260mm 間隔、下筋 130mm 間隔）、配力鉄筋にはφ13mm（上筋、下筋ともに 230mm 間隔）を用いた。陥没部の補修には超速硬コンクリート（ジェットコンクリート）を用いた。表-2 および表-3 に、床版コンクリートおよび補修コンクリートの特性値を示す。

#### 2. 3 陥没部の補修

陥没部の補修においては、既設床版と補修コンクリートの一体化が重要である。脆弱化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 による方法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<sup>4),5)</sup>。図-1 に補修箇所を、写真-2 に補修状況を示す。なお、陥没部はくさび型に処理した。

C2 供試体では、補修箇所を輪荷重走行位置の直下とし、脆弱部の除去に WJ とピックを用いた場合について、処理方法の影響を比較する（図-1(a)）。

また、C3 供試体では、ピックにより補修箇所を設けて走行位置と補修箇所の関係について検討する（図-1(b)）。補修箇所は既往の実験における RC 床版の切断面から斜めひび割れの発生を想定して、斜めひび割れの内側と外側を補修することとし、それぞれの破壊性状を確認する。具体的には、内側の補修に対しては新旧コンクリートの一体化を確認するために補修コンクリートにおける曲げひび割れの発生状況を、外側の補修に対しては下側鉄筋のダウエル作用による剥離の発生状況を確認する。

### 3. 実験方法

実験には、クランク式の輪荷重走行試験機（写真-3）を用い、床版中央から走行方向前後 1,000mm（全長 2,000mm）の範囲に輪荷重（載荷幅 500mm）を連続走行させた。試験体の端部は、支持桁上に丸鋼を介して回転のみを許容する 2 辺単純支持とし、走行方向の端部は床版の連続性を考慮し、H 鋼横梁による 2 辺弾性支持とした。

図-2 に、輪荷重走行試験の荷重プログラムを示す。荷重 120kN より開始して走行回数 10 万回毎に荷重を漸増させ、破壊に至るまで荷重を繰返すこととした。

図-3 に、たわみの計測位置を示す。計測は適時、輪荷重走行を停止し、床版中央位置で輪荷重の静的荷重による床版下面のたわみ、ひび割れ状況などを確認した。

### 4. 実験結果と考察

#### 4. 1 走行回数とたわみ

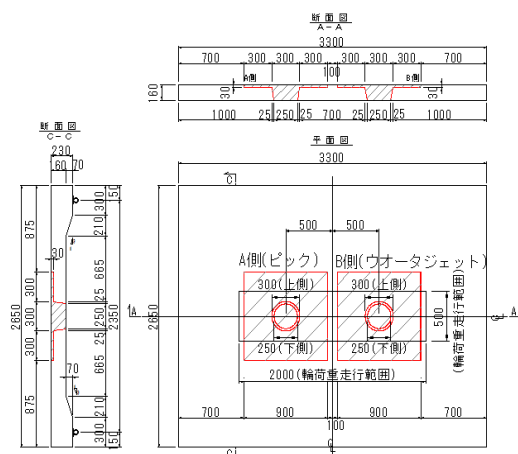
図-4 に、床版中央部において荷重した場合の走行回数とたわみ（D7）の関係を示す。図中の矢印で示す勾配の急激な立ち上がり点を破壊と定義した。C1 および C3 供試体では、170kN まで同一荷重におけるたわみの増加はほとんど見られなかったが、200kN では走行回数とともに

表-2 床版コンクリートの材料特性

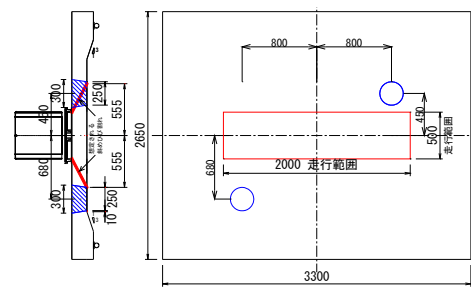
供試体	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
C1	47.8	27,645
C2	36.7	22,017
C3	49.6	28,534

表-3 補修コンクリートの材料特性

供試体	超速硬コンクリート	
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
C2	59.9	43,449
C3	64.5	40,667



(a) C2 供試体



(b) C3 供試体

図-1 供試体の寸法と補修箇所



(a) C2 供試体

(b) C3 供試体

写真-2 供試体下面の状況



写真-3 輪荷重走行試験機

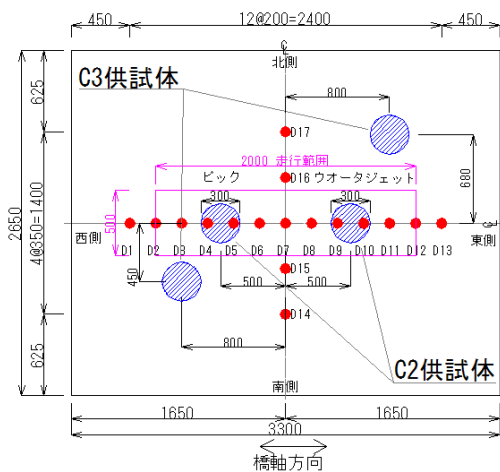


図-3 たわみの計測位置

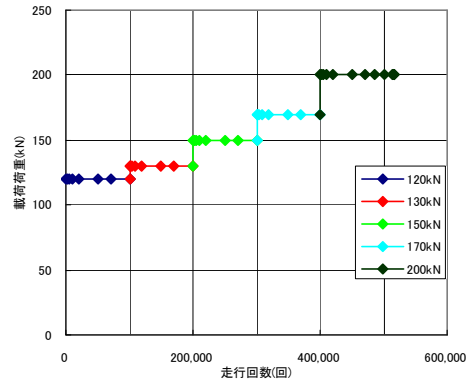


図-2 荷重プログラム

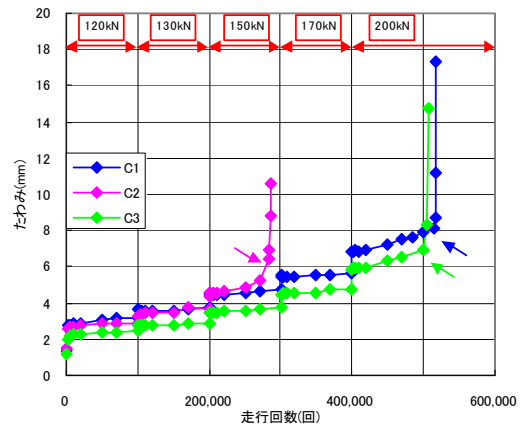


図-4 走行回数とたわみの関係

にたわみも増加し破壊に至った。C2 供試体では、130kN まで同一荷重におけるたわみの増加はほとんど見られなかったが、150kN では走行回数とともにたわみも増加し破壊に至った。

#### 4.2 等価走行回数の算出

##### (1) 等価走行回数

本実験においては、輪荷重走行試験における載荷荷重を漸増階段状載荷としたことから、走行回数がある一定荷重での等価走行回数に換算して疲労耐久性を評価する。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。なお、式(1)における基準荷重は、2002年改訂道示<sup>9)</sup>の活荷重 100kN に衝撃係数と安全率を考慮した 150kN とする。本研究は RC 床版の疲労寿命と実用性を検証することから、S-N 曲線の傾きの逆数  $m$  には、松井らが提案する 12.7 (1/0.07835) を適用する<sup>7)</sup>。

$$N_{eq} = \sum \left( \frac{P_i}{P} \right)^m N_i \quad (1)$$

ここに、 $N_{eq}$ : 等価走行回数 (回)、 $P_i$ : 実荷重 (kN)、 $P$ : 基準荷重 (=150kN)、 $N_i$ : 荷重  $P_i$  に対応する走行回数 (回) である。

##### (2) 圧縮強度による等価走行回数の補正

C2 供試体のコンクリート圧縮強度は C1 および C3 供試体より 10N/mm<sup>2</sup> 程度小さい。圧縮強度は S-N 曲線における疲労強度に影響することから、C2 供試体のコンクリート圧縮強度を C1 供試体の 47.85N/mm<sup>2</sup> に補正した等価走行回数 (式(2)) を用いて補修効果の評価を行う。

$$N'_{eq} = \sum \left( \frac{P_{sx,47.85}}{P_{sx,36.75}} \right)^m N_{eq} \quad (2)$$

ここに、 $N'_{eq}$ : コンクリート圧縮強度を 47.85N/mm<sup>2</sup> としたときの等価走行回数 (回)、 $P_{sx,47.85}$ : コンクリート圧縮強度を 47.85N/mm<sup>2</sup> としたときの  $P_{sx}$  (=375.4kN)、 $P_{sx,36.75}$ : コンクリート圧縮強度を 36.75N/mm<sup>2</sup> としたときの  $P_{sx}$  (=335.9kN)、 $P_{sx}$ : 梁状化した RC 床版の押し抜きせん断耐力 (kN) である。

### (3) 等価走行回数とたわみの関係

図-5 には、C2 のコンクリート圧縮強度を C1 の 47.8 N/mm<sup>2</sup> に補正した場合の等価走行回数とたわみ (D7) の関係を示す。図中の矢印は破壊点を意味する。破壊時のたわみは、C1、C2、C3 供試体の順にそれぞれ 8.1mm、6.4mm、6.9mm であり、C1 供試体で若干大きめのたわみで立ち上がり破壊に至った。また C1 および C3 ではそれぞれ 6.0mm および 7.0mm 程度から緩やかにたわみが増加して破壊するのに対し、C2 供試体ではたわみが 5.0mm 程度から急激に増加し破壊に至った。

表-4 には、各供試体の破壊時の実験走行回数と 150kN 等価走行回数を示す。C1 および C3 供試体はほぼ同程度の等価走行回数であったのに対し、C2 供試体では圧縮強度の差を考慮しても C1 および C3 供試体の 1/10 程度であった。これは、無補修の C1 供試体および上面補修コンクリートを設けなかった C3 供試体に対し、C2 供試体は、輪荷重走行位置直下の 900×900×30mm の範囲に上面補修を施した影響により走行回数が低下したものと推察される。

## 4. 3 界面処理方法の違いについて

### (1) C2 供試体

凍害劣化による脆弱部を残した状態を模擬したピックによる陥没部補修箇所と、脆弱部が完全に除去された状態を模擬した WJ による陥没部補修箇所について、所定の走行回数でそれぞれの補修箇所直上 (中心より走行方向に±500mm の位置) での輪荷重の静的載荷を実施した。そのときの等価走行回数とたわみ (D5、D9) の関係を図-6 に示す。たわみは 5.0mm 程度まで緩やかに増加し 6.0mm 程度で押し抜きせん断破壊に至った。また、2 つの補修箇所で等価走行回数とたわみの関係に大きな差は確認されなかった。実験を行った乾燥状態においては陥没補修箇所の界面処理方法による新旧コンクリート界面の付着性能に大きな差異はなく、一体性が確保されていたが、上面補修箇所の界面には明確なひび割れが発生しており、このことが床版の疲労耐久性の低下に影響したと考えられる。

### (2) C3 供試体

C3 供試体では、想定した斜めひび割れ線の内側とその外側の近傍 (中心より走行方向に±800mm の位置) で載荷し、たわみ (D3、D11) を計測した。そのときの等価走行回数とたわみの関係を図-7 に示す。走行部に近い斜めひび割れより内側を補修した場合には 100 万回以降、外側を補修した場合に比べてたわみが若干大きく、押し抜きせん断時には 0.36mm の差があった。しかしな

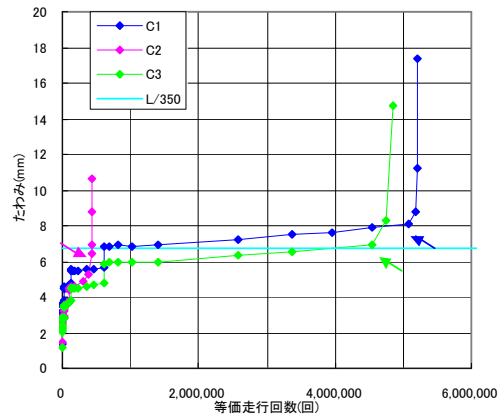


図-5 等価走行回数とたわみの関係

表-4 各供試体の破壊までの走行回数

供試体	実験走行回数	等価走行回数
C1	513,500	5,074,527
C2	283,756	437,313
C3	500,000	4,544,189

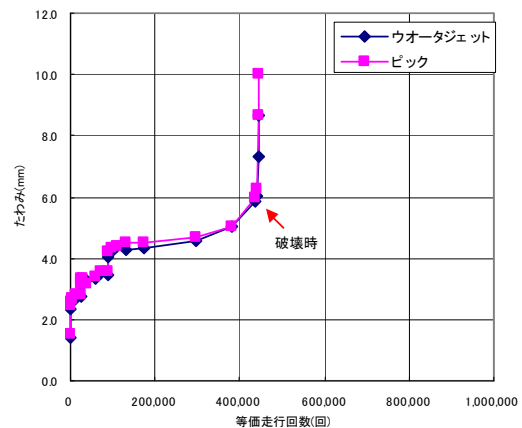


図-6 等価走行回数とたわみの関係  
(C2 供試体、補修箇所での載荷)

がら、2 つの補修箇所で等価走行回数とたわみの関係に大きな差は確認されていないことから、新旧コンクリートの付着性能に大きな差異はなく、良好な状態であったと考えられる。

## 4. 4 ひび割れおよび破壊状況

### (1) 床版下面のひび割れ状況

実験終了時における各供試体の床版下面におけるひび割れ状況を図-8 および写真-4 に示す。

C1 供試体では、輪荷重の繰返し作用により亀甲状のひび割れが発達し、図中のハッチ部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

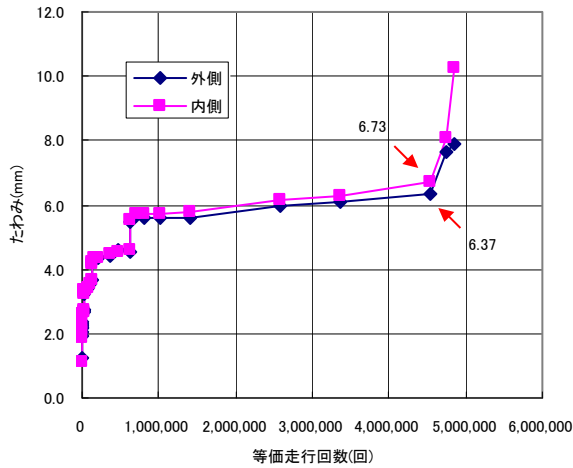
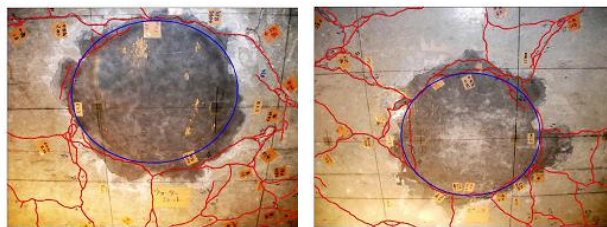
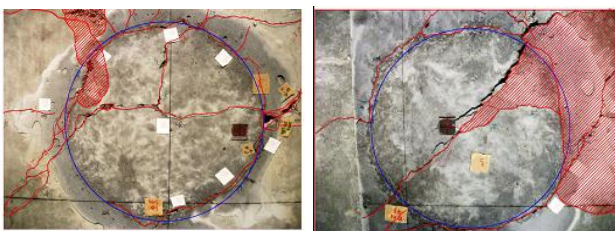


図-7 等価走行回数とたわみの関係  
 (C3 供試体、補修箇所近傍での载荷)



(a) C2 供試体、WJ側 (b) C2 供試体、ピック側



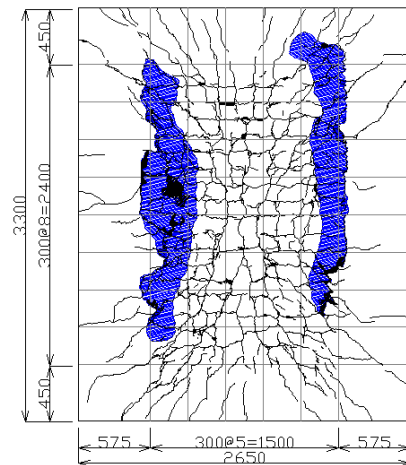
(c) C3 供試体、内側 (d) C3 供試体、外側

写真-4 補修箇所下面のひび割れ状況 (実験終了時)

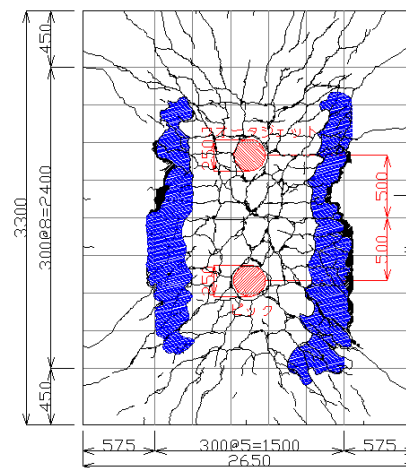
した。

C2 供試体では、C1 供試体と同様、コンクリートの押し抜きせん断破壊で終了した。また、床版下面では、走行方向よりも走行直角方向のひび割れのほうが密に発生している。写真-4 では、陥没部界面を WJ およびピックで処理した場合ともに打ち継ぎ界面に沿ったひび割れの発生が確認できるが、既設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ので、補修したコンクリート自体に目立った損傷は生じなかった。また、本実験においては、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、目視による調査では脆弱部の処理方法による損傷状況の明確な違いは確認されなかった。

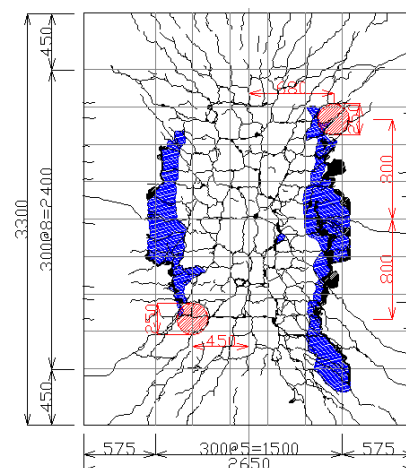
C3 供試体においても、最終的な破壊性状は C1 および



(a) C1 供試体



(b) C2 供試体



(c) C3 供試体

図-8 床版下面のひび割れ状況 (実験終了時)

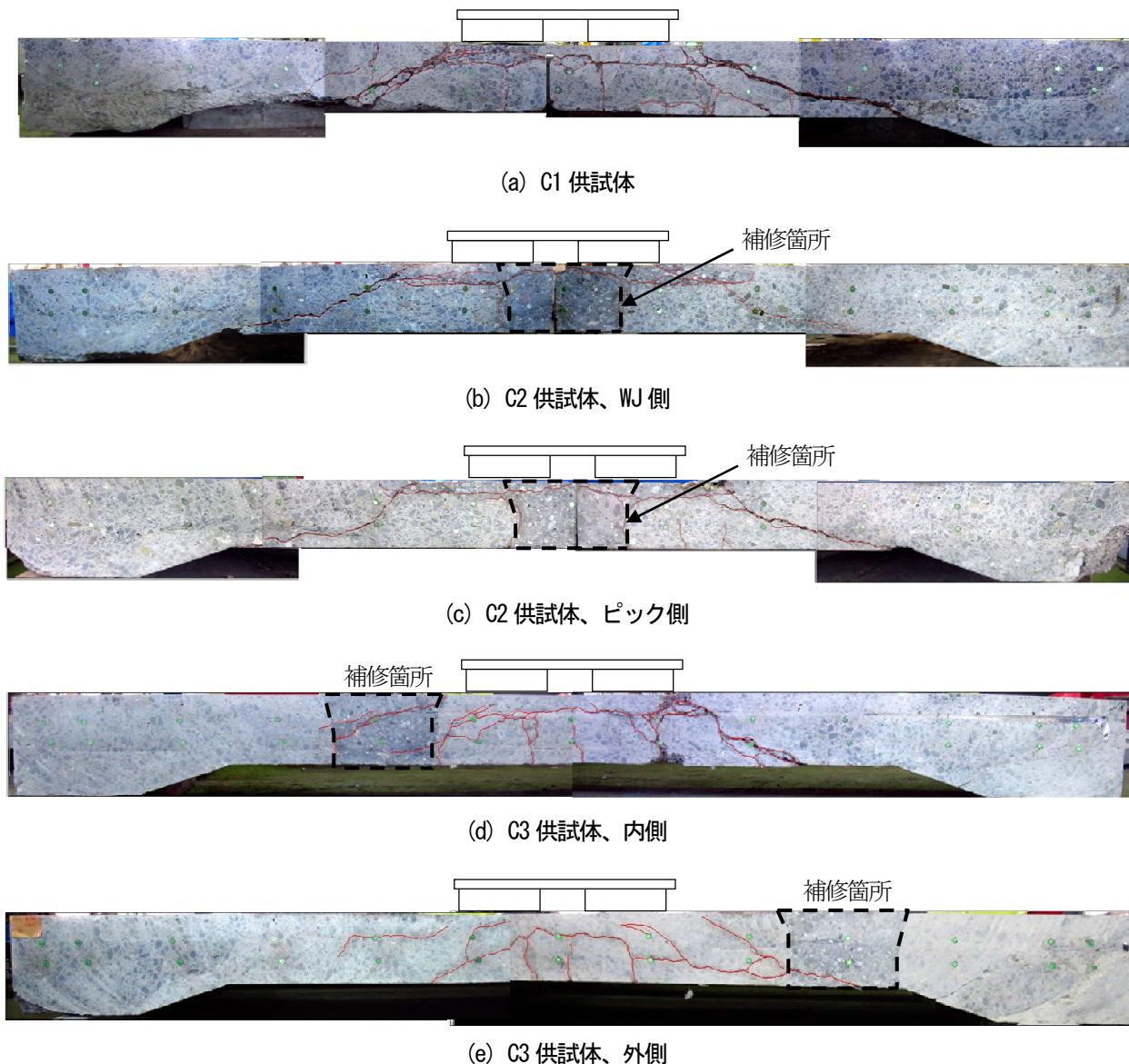


写真-5 切断面のひび割れ状況（走行直角方向）

C2 供試体と同様のものであった。また、C2 供試体と比較して全体的に密に亀甲状のひび割れが発生している。補修部分に着目すると、新旧コンクリート界面は斜めひび割れの内側を補修した場合、外側を補修した場合ともに打ち継ぎ界面に沿ってひび割れが発生し、補修コンクリートは C2 供試体と同程度の圧縮強度にもかかわらずひび割れが補修部に進展していた。なお、目視による調査では、内側補修と外側補修による明確な差は確認されなかった。

## (2) 床版切断面のひび割れ状況

写真-5 に、走行直角方向断面のひび割れ状況を示す。

C2 供試体では、床版下面で見られていたように、C1 および C3 供試体と比較してひび割れの密度が小さいこ

とがわかる。これは、コンクリートの圧縮強度が小さいために鉄筋との付着力が C1 および C3 供試体と比べて小さく、応力の伝達が悪いためひび割れが分散しなかったものと考えられる。また、輪荷重直下の補修箇所では、新旧コンクリート界面の剥離が見られるが、補修コンクリート内には曲げによるひび割れが発生していないことが確認できる。

C3 供試体では、斜めひび割れの外側を補修した場合、引張側鉄筋に沿って剥離が生じていることが確認できる。また、内側を補修した場合、斜めひび割れが補修箇所内に収まっている。また、C3 供試体は C1 供試体と同様に、引張鉄筋下面でダウエル作用による剥離が見られ、押し抜きせん断破壊時まで床版と補修コンクリートが一体化

していたものと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、RC 床版の陥没部の補修に関して、陥没部周辺の脆弱化したコンクリートの除去方法や走行位置と補修位置との関係が床版の疲労耐久性に及ぼす影響について検討するため、陥没部補修床版の輪荷重走行試験を実施した。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 脆弱化したコンクリートの除去方法に着目した C2 供試体では、WJ およびピックによる界面処理方法の違いに関して、目視による調査では損傷状況に明確な差は見られなかった。
- (2) C2 供試体では、上面補修箇所と既設床版との界面に明確なひび割れが発生しており、このことが床版の疲労耐久性の低下に影響したと考えられる。
- (3) 補修位置に着目した C3 供試体では、引張側鉄筋の下側でダウエル作用による剥離が見られ、押し抜きせん断破壊まで新旧コンクリートが一体化していたと考えられる。

## 6. 今後の検討事項

本研究で採用した補修方法で輪荷重が直接作用する箇

所を補修する場合の疲労耐久性について、床版と補修コンクリートの圧縮強度の関係や床版と補修部の一体化、補修範囲などに着目して検討を行う。

## 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) 日本道路協会: 鋼道路橋設計示方書・同解説, 1956.5
- 4) 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.
- 5) 五十嵐義行, 加藤静雄, 今野久志, 渡邊一悟: WJ 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
- 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2002.3
- 7) 松井繁之: 道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版株式会社, pp.47-61, 2007.

# STUDY ON REPAIRING METHOD OF EXISTING RC DECK SLABS IN COLD, SNOWY REGIONS

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2010-2013

**Research Team** : Structures Research Team and

Cold Region Technology Promotion Division

**Author** : NISHI Hiroaki

KONNO Hisashi

MITAMURA Hiroshi

OMOTE Shinya

**Abstract** : In RC deck slabs in cold snowy region, frost damage of upper concrete can become one of factors which induce the subsidence of RC deck slabs. For repairing sunken areas, it is important to completely remove deteriorated concrete in order to keep adhesion property between existing concrete and repair concrete. In this study, the influence of the removing method of deteriorated concrete, using water jets and electric pick guns, and the repaired location on fatigue durability and failure modes are investigated by wheel running test of partially repaired RC deck slabs.

**Key words** : RC deck slab, subsidence, partial repair, frost damage, wheel running test