

## 論文

## コンクリート打継部の疲労強度に及ぼす凍結融解負荷の影響について

角間恒\*, 岡田慎哉\*, 西弘明\*, 表真也\*\*, 西城能利雄\*\*

\*博(工), (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

\*\*修(工), (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

寒冷地において凍害を受けた RC 床版の補修方法として断面修復工法が一般的であるが、補修コンクリートの剥離に起因した凍害劣化（再劣化）が報告されるなど、コンクリート打継部の長期の付着性能は明確ではない。本論文では、補修後の RC 床版の耐荷性・耐久性を検討するための基礎的データを得ることを目的に、コンクリート梁を使用して凍結融解負荷後の曲げ疲労載荷試験を実施し、打継部の付着性能に及ぼす凍結融解負荷と疲労荷重の影響を検討した。その結果、凍結融解 60 サイクルの軽微な負荷においては、適切な打継面処理を行うことで打継部が母材コンクリートと同等の耐凍害性を確保できる一方で、耐疲労性は 1/10～1/100 まで低下することを確認した。

キーワード：コンクリート打継，凍結融解，疲労

## 1. はじめに

寒冷地における道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）では、床版コンクリートに浸入した水の凍結融解作用により床版上面コンクリートの損傷が進行し、都市部の重交通路線と比較して交通量が少ないにも関わらず床版の抜け落ちに至る事例が報告されている（写真-1）。近年、こうした寒冷地特有の損傷・破壊形態は広く知られるようになり、上面コンクリートが凍害を受けた RC 床版の疲労耐久性評価や補修技術に関する研究が各機関で行われている<sup>1)~3)</sup>。

一方で、著者らが実施した北海道内における近年の現地調査では、上面の部分補修が行われている RC 床版において、補修箇所で凍害による再劣化が生じる事例を確認している。写真-2 はその一例であり、補修コンクリートの剥離および下側の既設コンクリートの脆弱化が生じており、打継部の損傷が水の浸入口となり既設コンクリートの凍害を誘発・促進したものと考えられる。本事例は、補修工事の実施からわずか5年足らずで発生したものであり、今後は類似した再劣化事例が増加することも予想される。

凍害劣化部の部分補修においては、旧コンクリートの脆弱部を確実に除去すること、マイクロクラックの発生を防ぐこと、骨材を露出させ機械的な噛み合わせを確保することが重要とされ<sup>4)</sup>、従来のコンクリートブレード等の打撃系のはつり工法に代わり、近年ではウォータージェット（以下、WJ）工法等の既設コンクリートに与



写真-1 北海道における RC 床版の陥没事例



写真-2 部分補修部の再劣化事例

える影響が小さいとされる工法が採用されることが多い。しかしながら、いずれの工法においても、寒冷地において凍結融解と疲労の組み合わせ作用を受ける場合の長期の付着性能については必ずしも明確ではなく、部分補修した RC 床版の耐荷性・耐久性については十分な

表-1 使用材料

材料	記号	種類	物性など
セメント	C	早強ポルトランドセメント	密度 3.14g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 4,170cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S1	富川産陸砂	表乾密度 2.67g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.50%, 実積率 67.3%
	S2	幌延産陸砂	表乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.06%, 実積率 67.6%
粗骨材	G	札幌市西区平和産砕石 2005	表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 2.12%, 実積率 59.9%
混和剤	Ad	AE 減水剤	標準形 I 種

表-2 コンクリートの配合

W/C	S/a	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )						スランブ	空気量
		W	C	S1	S2	G	Ad		
(%)	(%)							(cm)	(%)
61.0	45.1	153	251	347	517	1044	2.51	9.5 9.5	5.6 4.6

※スランブ、空気量は上段が既設コンクリート、下段が打継コンクリートの値

検討がなされていないのが現状である。

そこで本研究では、部分補修した RC 床版の耐荷性・耐久性評価技術の検討に向けた基礎的データを得ることを目的として、打継部を有するコンクリート梁供試体を使用して凍結融解負荷後の曲げ疲労載荷試験を実施し、コンクリート打継部の付着性能に及ぼす凍結融解負荷と疲労荷重の影響を確認した。

表-3 試験ケース

供試体種別	打継面の処理方法	凍結融解サイクル
基準	なし	0
打継	遅延剤+高圧水洗浄	および 60

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料および供試体

供試体の使用材料およびコンクリートの配合を表-1 および表-2 に示す。コンクリートには、早強ポルトランドセメント、最大寸法 20mm の粗骨材、最大寸法 2.5mm の細骨材を使用した。

試験には 100×100×400mm の角柱供試体を使用し、供試体中央部に鉛直打継面を設けた。表-3 に、試験ケースを示す。打継面の処理は、遅延剤を塗布して高圧水洗浄により洗い出し処理する方法とした。この方法は、コンクリートの母材強度と同程度の付着性能が確保されることが既往の研究<sup>9)</sup>により示されており、本研究では、補修後の一体性が十分に確保できる処理方法と位置付けている。写真-3 には、洗い出し後の打継面の状態を示しており、骨材が十分に露出するものであった。また、比較のために打継部を設けない供試体についても試験を実施した。以下では、洗い出しによる打継面処理したものを打継供試体、打継部を設けないものを基準供試体と呼ぶ。

打継面の処理および打継コンクリートの打設は、既設コンクリートの打設から 24 時間後に行い、その後は 3 日間の散水養生を経て、材齢 28 日まで水中養生した。既設コンクリートと打継コンクリートは同配合であり、基準供試体は打継コンクリートにより製作した。



写真-3 洗い出し後の打継面の状態

### 2.2 凍結融解負荷

凍結融解は気中凍結水中融解により実施した。最低温度を-18℃、最高温度を 5℃、凍結融解サイクルを 60 サイクルとした。その間、凍結融解負荷を与えない供試体は水中で保管した。なお、本試験における凍結融解 60 サイクルは、札幌市近郊におけるおよそ 1 年 (1 シーズン) での凍結融解回数に相当する比較的軽微な負荷である。

試験開始時におけるコンクリートの材料特性は表-4 のとおりであり、凍結融解 60 サイクルによる強度低下はわずかであった。また、10 サイクル毎に超音波速度の測定を行ったが、測定値に明確な変化は確認されなかった。

## 2.3 荷重方法

三等分点曲げ荷重により静的荷重試験および疲労荷重試験を実施した。写真-4には試験状況を示す。

静的荷重試験には精密万能試験機を使用し、JIS A 1106（コンクリートの曲げ強度試験方法）に準じて曲げ強度を計測した。

疲労荷重試験には油圧式疲労試験機を使用した。荷重は荷重制御により行い、疲労荷重は静的荷重試験より得られた曲げ強度に対し、最大応力比を40～80%、最小応力を最大応力の10%とし、周波数5Hzの正弦波形により制御した。本試験では、破断までの荷重回数を計測するとともに破断面の観察を行い、破断位置を既設コンクリートの母材破壊、打継コンクリートの母材破壊、打継面破壊の3つに分類した。

## 3. 実験結果

### 3.1 静的荷重

静的荷重試験により得られた曲げ強度を表-5に、破断位置を表-6にまとめる。ここで、表中の破断位置は、既設コンクリート、打継コンクリート、打継面のそれぞれで破断した供試体数を各試験ケースの供試体総数に対する百分率で表した。

打継供試体の曲げ強度を見ると、0および60サイクルともに基準供試体の80%まで曲げ強度が低下した。打継供試体の破断位置は、0サイクルでは既設コンクリートの破断が80%、打継部の破断が20%となっており、打継面の処理精度の影響などにより一部の供試体では打継部が弱部となったと推察されるが、打継部がコンクリート強度と概ね同程度の付着強度を有すると考えられる結果であった。また、両供試体ともに凍結融解60サイクルによる強度低下は数%程度であり、打継供試体において打継部で破断する割合に大きな変化はないことから、本試験の範囲では、静的な付着強度に及ぼす凍結融解負荷の影響はわずかであると言える。

### 3.2 疲労荷重

疲労荷重試験により得られた曲げ応力と荷重回数との関係（以下、S-N曲線）を図-1に示す。基準供試体と打継供試体を比較すると、0および60サイクルともに、基準供試体で疲労強度が大きい。S-N曲線の傾きに明確な差は見られない。特徴的な結果として、表-6に示すように、打継供試体においては、静的荷重から疲労荷重になることで破断位置が既設コンクリートから打継部に移行した。このことより、静的荷重下で母材コンクリートの強度と同等の付着強度がある場合であっても、疲労荷重下では内在する微視的欠陥に損傷が集中することで打継部が弱部となりやすいものと考えられる。

凍結融解負荷の影響を見ると、打継の有無に関わらず60サイクルによる耐疲労性の低下が見られ、同一荷重に

表-4 コンクリートの材料特性

種別	凍結融解 サイクル	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
既設 Co	0	30.0	23.1
	60	28.8	19.6
打継 Co	0	34.1	22.7
	60	33.0	21.6



写真-4 曲げ荷重試験の状況（疲労荷重）

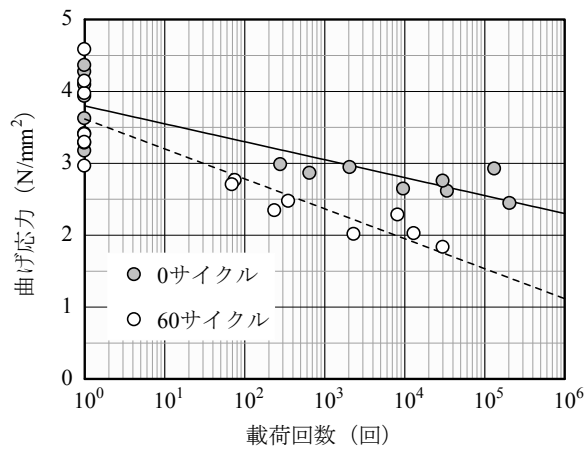
表-5 静的荷重試験の結果

供試体種別	凍結融解 サイクル	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )
基準	0	3.97
	60	3.75
打継	0	3.16
	60	3.05

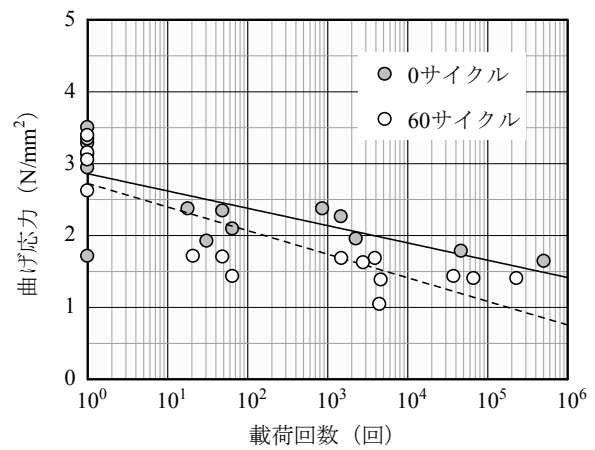
表-6 破断位置の割合

供試体 種別	凍結融解 サイクル	破断位置 (%)		
		既設 Co	打継部	打継 Co
基準	0	100 (100)	—	—
	60	100 (100)	—	—
打継	0	80 (20▼)	20 (80▲)	0 (0—)
	60	50 (30▼)	25 (60▲)	25 (10▼)

※ ( )外は静的荷重試験、( )内は疲労荷重試験の結果であり、▲は疲労による増加、▼は減少、—は変化なしを表す。



(a) 基準供試体



(b) 打継供試体

図-1 S-N 曲線

対する载荷回数は、本試験の範囲で 1/10~1/100 程度まで低下した。このことより、およそ 1 年程度という軽微な凍結融解負荷であっても、疲労荷重と組み合わせることでコンクリート強度ならびに付着強度が大きく低下する可能性があること示唆される。ただし、両供試体で凍結融解負荷による载荷回数の低下率に大きな差はなく、適切な打継面処理方法を選定することで、コンクリート打継部では母材コンクリートと同等の耐凍害性・耐疲労性が確保されるものと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、コンクリート打継部の付着性能に及ぼす凍結融解負荷と疲労荷重の影響を検討するため、打継部を有するコンクリート梁供試体を使用して凍結融解負荷後の曲げ載荷試験を実施した。その結果、適切な打継面処理方法を選定した場合、60 サイクルという軽微な凍結融解負荷においてはコンクリートの母材強度と比較して付着強度の低下はわずかであり、コンクリート打継部が母材コンクリートと同等の耐凍害性を確保できることを確認した。ただし、凍結融解負荷との組み合わせにより耐疲労性が大きく低下する結果となったことから、補修対策時には適切な防水あるいは排水計画により、打継部に長期間の滞水が生じないよう配慮する必要があると言える。

本論文は、部分補修した RC 床版の耐荷性・耐久性評価に向けた基礎的検討を行ったものであり、今後は、凍結融解サイクル数が増加した場合や、実橋梁における部分補修を想定した応力条件下での付着性能の検討を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 三田村浩, 佐藤京, 本田幸一, 松井繁之: 道路橋 RC 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.
- 2) 後藤昭彦, 宮永憲一, 松本政徳, 渡邊晋也: 道路橋 RC 床版の断面修復における打継ぎ界面付着強度と改善方法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.793-798, 2013.
- 3) 阿部忠, 伊藤清志, 大野晃, 山下雄史: RC 床版の上面補修に用いる補修材の提案および補修サイクルにおける耐疲労性の評価, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.1122-1133, 2014.
- 4) 北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会: 北海道における鋼道路橋の設計および施工指針 (第 2 編 維持管理編), 2012.
- 5) 金子林爾, 山田一久: 繰返し载荷下におけるコンクリート打継ぎ部の曲げ強度に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.517-522, 2000.