

コンクリート打継ぎ界面の構造的評価 (コンクリートの長寿命化に向けた予防保全)

(独) 寒地土木研究所 寒地構造チーム ○宮川智史
(独) 寒地土木研究所 寒地構造チーム 三田村浩
(独) 寒地土木研究所 寒地構造チーム 西 弘明

橋梁等の長寿命化に向けた予防保全が閣議決定されており、今後はコンクリート構造物等の損傷が深刻化する前の修繕工事の増大が想定される。これにより、損傷した部位の既設コンクリートの取壊しと打継ぎ（復旧）が増大することになるが、その打継ぎ界面の健全性が問題となっている。特に積雪寒冷地における影響をどのように受けるのかは検証されていない。そこで本研究は、凍結融解時においてコンクリート取壊し方法が打継ぎ面の付着性能に与える影響を評価し、併わせて、打継ぎ界面の損傷を制御する取壊し方法についての実験を実施し、その妥当性について検討した。

キーワード：コンクリート、打継ぎ界面、凍結融解、予防保全

1. はじめに

北海道における橋梁の架設年次は高度経済成長時代の 1960～70 年代前半までの建設が多く、まもなく既設橋の耐用年数と言われる 50 年を迎えようとしている。これらの膨大な既設橋梁は、近年、コンクリートの劣化が著しく、補修や補強が余儀なくされており、今後コンクリート構造物の部分補修が増大することが想定される。

コンクリート構造物の部分補修において、その取壊し工法は、ブレイカーなどの打撃力によるものが一般的である。しかしその工法は、残存箇所にも損傷を与え、打ち継ぎ界面の健全性に影響を与えることが過去の事例から分かっている。特に積雪寒冷地における影響をどのように受けるのかは検証されていない。

また近年、コンクリートの部分補修時において、打撃工法と併用して、補修したコンクリートの残存箇所にも与える影響が小さいウォータージェット工法（以下、「WJ 工法」）を用いる事例が増加してきている。

そこで本研究では、凍結融解時においてコンクリートの取壊し工法が、打継ぎ面の付着性能に与える影響を評価し、その取壊し工法の妥当性について検討した。またこれに加えて、WJ 工法と既存の取壊し工法とを併用して、残存箇所への影響を回避し、なるべく WJ 工法の破砕量や施工時間の低減を目指した破砕方法を検討するための破砕実験を行い、その結果と実用性について報告するものである。

なお、コンクリートの部分的な取壊し方法は、一般に使用されている写真 1～3 について比較し、

評価した。また実験については、既設橋梁の修繕工事として、近年増加している支承交換および伸縮装置交換時の RC 構造物の取壊しを想定して実施した。



写真 1 WJ 工法とそのはつり面



写真 2 電動ピック工法とそのはつり面



写真 3 コンクリートブレイカー工法とそのはつり面

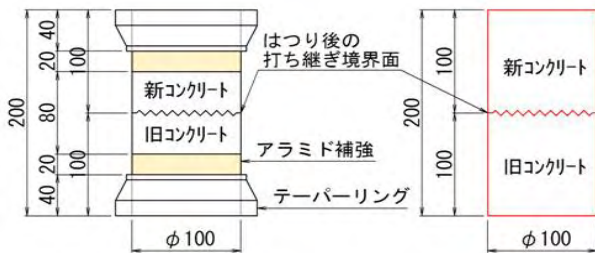
2. 工法別打ち継ぎ面の付着性能について 2.1 供試体作製および実験概要について

打継ぎ界面の付着性能の確認のための試験として、一軸引張試験と凍結融解試験を実施した。

実験供試体は、写真1～3に示す各工法によるはつり後にコンクリートを打継ぎし、補修構造物を模擬した。次に所定の養生後にコア抜きをして、図1に示すような一軸引張試験の供試体を製作した。同時に打継ぎの無い無垢な基準供試体も製作し、合計4種類の供試体とした。一軸引張試験方法は、供試体の上下にテーパリングを取付け、アムスラー試験機により一軸引張強度を計測した。

また凍結融解試験は、図1に示すようなコアを採取し、水を浸漬させて塗料を入れ、供試体内への浸透やクラックの状態を判明しやすくしている。凍結融解試験には、最大300サイクルまでを目標とし、30サイクル毎に「供試体観察」「供試体重量測定」「一次共鳴振動数測定」「超音波伝播時間測定」を実施した。

なお、コンクリートの品質、計測の概要は表1、表2のとおりである。凍結融解試験方法は、JIS A 1148、一次共鳴振動数測定方法は、JIS A1127に準じて試験を行った。一次共鳴振動数(Hz)および質量(g)から弾性係数(%)を算出し、所定のサイクル毎の縦振動の一次共鳴振動数から相対動弾性係数(%)を求めた。



一軸引張試験供試体 凍結融解試験供試体

図1 試験供試体概要図

表1 コンクリートの品質

	品質	備考
設計基準強度	24N/mm ²	AE剤無し
一軸圧縮強度	35.3N/mm ²	旧コンクリート
	30.1N/mm ²	新コンクリート

表2 計測の概要

	一軸引張試験	凍結融解試験
供試体本数(4種類)	各3本	各2本
凍結融解	事前に15サイクル	30サイクル毎に計測
計測項目	一軸引張強度	相対動弾性係数 質量減少率 超音波速度減少率

2. 2 実験結果について

a) 一軸引張試験結果

写真4に示すように、電動ピック工法(以下、「EP工法」とコンクリートブレーカー工法(以下、「CB工法」)は、全て打継ぎ界面で破断し、WJ工法の引張試験では、基準供試体と同じ打継ぎ界面以外の部位で破断することが確認さ

れた。

一軸引張強度は図2に示すように、基準供試体と比べて、EP工法では51%、CB工法では29%と引張強度が大きく低下した。一方、WJ工法は基準供試体とほぼ同等の引張強度があることが確認された。

写真5では、EP・CB工法の破断した打継ぎ界面が、基準供試体やWJ工法と比較して、骨材の割れが多く、水の浸透面積が大きいことが確認された。



基準供試体 WJ工法 EP工法 CB工法

写真4 破断した試験後の供試体

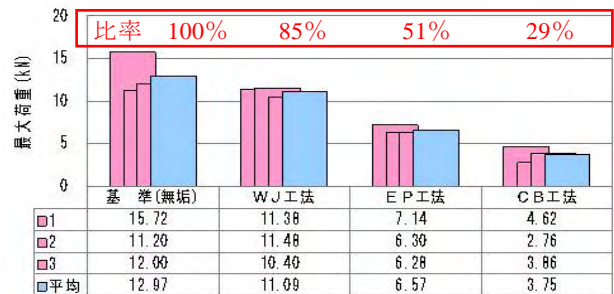


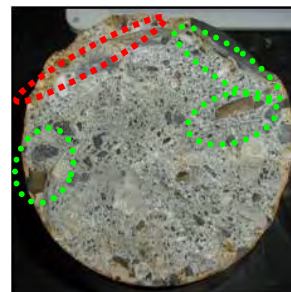
図2 一軸引張試験の最大荷重



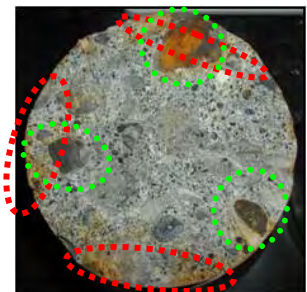
基準供試体



WJ工法



EP工法



CB工法

凡例 ○(赤点線) 水の浸透が深い ○(緑点線) 骨材の割れ

写真5 破断したコンクリート面の状況

b) 凍結融解試験結果

凍結融解試験結果では、写真6に示すようにEP工法の供試体は、60サイクルの段階で打継ぎ

界面で破断し、CB工法の供試体は、150サイクルと180サイクルでそれぞれ破断した。試験の都合上、この時点で試験終了とし、終了後のEP・CB工法の供試体の打継ぎ境界面には、粗骨材の割れが多く存在していた(写真7)。

一方、図3に示す相対動弾性係数の結果より、EP工法の供試体は、約15サイクル程度で相対動弾性係数の規格値の60%を下回り、CB工法では約60~70サイクル程度で相対動弾性係数がそれぞれ規格値を下回り、基準供試体およびWJ工法は180サイクル終了後もほとんど相対動弾性係数に変化がないことを確認した。

図4に示す質量減少率の結果から、破断したEP・CB工法の供試体は、凍結融解のサイクルの増加とともに大きな質量減少を示し、破断しなかった基準供試体およびWJ工法の供試体は、質量減少率がほとんど変化しないことが確認できた。

超音波減少率では、破断したEP工法(1体)、CB工法(2体)の供試体が、凍結融解のサイクルの増加とともに超音波速度が減少していき、基準供試体およびWJ工法の供試体は、超音波速度の減少率がほとんど変化しないことを確認した。

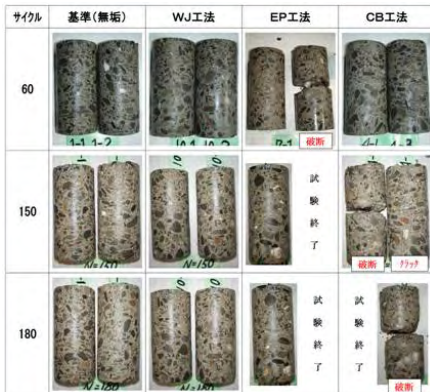


写真6 破断したサイクル毎の供試体

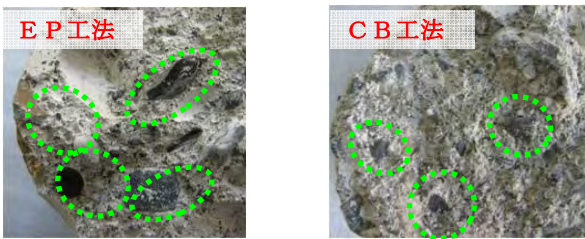


写真7 凍結融解180サイクル後の状況

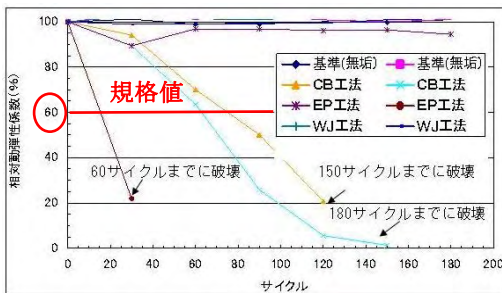


図3 相対動弾性係数の推移

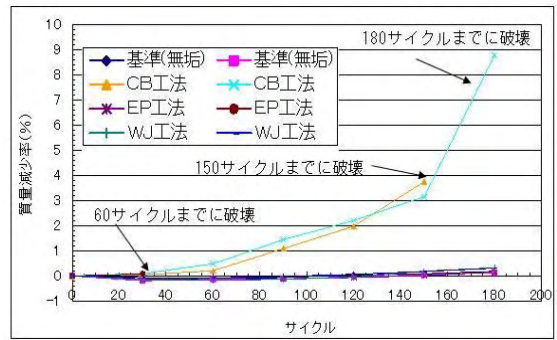


図4 質量減少率の推移

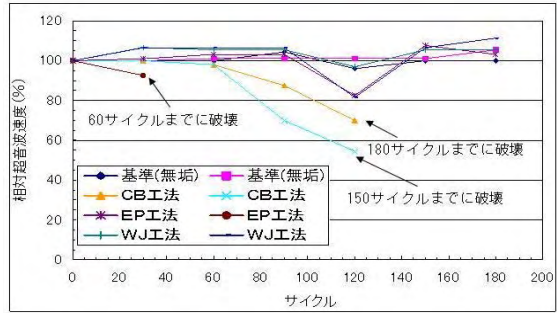


図5 超音波減少率の推移

3. WJ工法と併用した制御破砕工法の選定

現在実施しているコンクリートの部分補修には、図6に示すように打撃力のみで破砕する方法とWJと打撃力の併用により破砕する工法がある。

打撃力による工法は、経済的に安価であるが、残存箇所にも悪影響を与えることが確認されている。一方、WJと打撃力の併用による工法は、耐久・耐荷性に与える影響は小さいが経済的な課題が考えられる。そのため、打撃力による工法に替わる手法として、表3に示す内的破砕工法に着目した。

内的破砕工法は、取壊し領域に瞬時に破砕とクラックを発生させることで、その後のWJ工法の施工量および施工時間を大幅に短縮することが可能である。今回は、放電用カートリッジを挿入する間隔や深さで破砕を制御する「放電衝撃破砕工法」(以下、「放電破砕」と)、静的破砕剤の挿入する間隔、薬剤量と角度で破砕を制御する「静的破砕剤の破砕工法」(以下、「静破砕剤」)の2工法についての実験を行い、その適用性について検証した。

なお、衝撃破砕剤の工法は水蒸気圧の調整による制御破砕は困難であるため除外し、セリ矢工法は次回の試験施工予定とした。

【打撃力による工法】	【WJ併用打撃力による工法】
・経済性→ 安価	・経済性→ 高価
・耐久・耐荷性→ 残存箇所に悪影響	・耐久・耐荷性→ 影響が小さい
・周辺環境→ 長時間の騒音・振動	・周辺環境→ 長時間の騒音
	・その他→ 濁水の処理

総合的に優れた制御破砕方法の整備が必要
目的: WJ併用工法より安価、同等の耐久性・耐荷性、施工時間の短縮

図6 破砕工法における問題点と実験の目的

工法	放電衝撃破砕	衝撃破砕剤	静的破砕剤	セリ矢
破砕原理	放電時の衝撃力による破砕	薬剤による水蒸気圧で破砕	水和反応による膨張圧での破砕	セリ矢で穴を押し広げて破砕
破砕の制御方法	間隔・深さ・角度で調整	水蒸気圧の調整は困難	配置する密度と角度で調整	矢の長さ深さで調整
穿孔寸法 (mm)	φ10	φ32	φ40	φ38
適用環境条件	雨天は施工不可	-15℃~+75℃	-5℃~+30℃	無し
破砕時間	瞬時	瞬時	最短0.5時間	数分
評価	○	△	○	○

表3 内的破砕工法一覧表

3.1 放電衝撃破砕工法（放電破砕工法）の実験

(a) 実験概要

本工法は、写真8,9に示す装置を用いて、放電によりカートリッジ内の液剤を反応させて発生する衝撃力により、硬岩やコンクリートを破砕する工法である。従来の打撃工法と比べ、瞬時に破砕することから騒音・振動の軽減が期待できる。また、設置が簡易であり、狭い空間でも破砕が可能である。



写真8 直流高圧電源装置



写真9 カートリッジ

(b) 実験方法

実験には、残存コンクリートへの影響を考慮して図6に示すような開放溝を事前に施工し、放電破砕の後に WJ 工法にて残存部分を除去する手順とした。

なお今回の実験は支承および伸縮装置の交換を想定したコンクリート供試体を用いて実施した。写真10に実験の様子を示す。

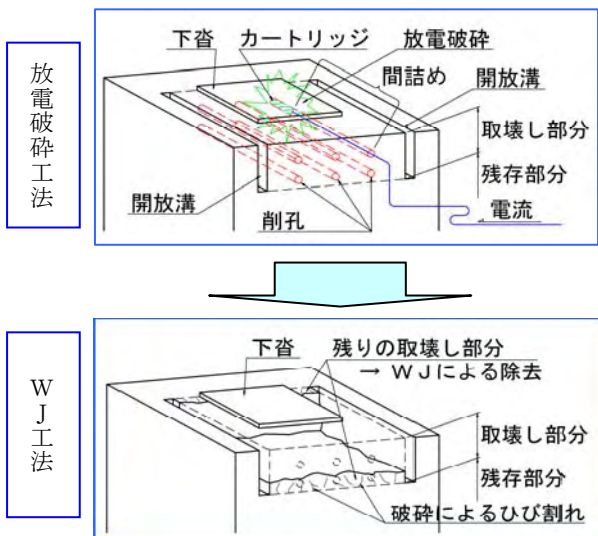


図6 支承交換概念図

(c) 実験結果

実験結果より、放電破砕工法について以下のことが確認できた。

- ① 開放溝内の既設鉄筋等により衝撃が残存部分に伝わり、制御した破砕が出来ずに広範囲に破砕に至った（写真11）。
- ② 破砕できる範囲は予測が難しく、破砕状況を確認しながら複数回の破砕が必要であった。
- ③ 放電破砕の衝撃により既設鉄筋が変形し、既設鉄筋と装着するカートリッジの調整が必要である（写真11）。
- ④ 伸縮装置交換での床版上面の破砕は、橋軸直角方向に開放面が無い状態で広範囲に広がり、部分的に床版下面コンクリートの抜落ちが生じた（写真12）。



写真10 支承交換破砕前



写真11 支承破砕状況



写真12 伸縮装置破砕状況

3.2 静的破砕剤の実験

(a) 静的破砕剤の概要

本工法は、石灰系無機化合物と水の水和反応による結晶の成長に伴う膨張圧でコンクリートを破砕する工法で、従来の打撃工法と比べ、騒音・振動が軽減でき、施工時間は30分程度である。

(b) 実験方法

静破砕剤には、写真13に示す、水平挿入用のスティック型を用いた。橋梁の支承交換を想定して、コンクリート供試体の沓座前面から削孔用ドリルを用いて水平に削孔した孔に、静破砕剤を入れ、開放面側を破砕した。



写真13 静破碎剤および設置状況

(c) 実験結果

実験の結果より、静破碎剤の破碎について以下のことが確認できた。

- ① 施工は簡易であるが、膨張圧により静破碎剤が挿入孔より飛び出す鉄砲現象に注意する必要がある。
- ② 予備試験として、表面のみのコーン破壊を実施する浅い範囲に静破碎剤を充填したが、周辺を押し広げる破碎となり、破碎形状を想定するのは難しい(写真14)。
- ③ 本試験では、破碎範囲が想定に反して、橋台背面を貫通させる大きな破碎となって終了した。十分な破碎力はあるが、計画的な制御破碎の実施は困難であった(写真15)。



写真14 予備破碎状況 写真15 本試験状況

4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

(1) 工法別打ち継ぎ面の付着性能について

① 一軸引張試験について

- ・ 一軸引張強度は、EP・CB工法の供試体では基準供試体と比較して、 $1/2 \sim 1/3$ 以下まで低下したが、WJ工法の供試体では、基準供試体と近いことが確認できた。またWJ工法の供試体は、打ち継ぎ界面以外の部位で破断し、強い界面を形成していることが分かった。
- ・ 試験終了後の破断面を比較した結果、EP・CB工法の打撃系はつり方法では、その打撃力が要因で「マイクロクラックの発生」と「骨材の損傷」が旧コンクリートに残存することが確認された。一方、WJ工法の破断では、EP・CB工法と比較して、骨材の割れは多少あるもののマイクロクラックの発生はなく、基準供試体と比較しても変わらない破断面であることが確認された。

② 凍結融解試験について

- ・ 打撃系はつり工法では、凍結融解の進行によって付着性能は低下し、60～180サイクル程度で破断した。さらに相対動弾性係数は、15

～70サイクルで規格値を下回ることが確認され、打撃系の工法では積雪寒冷地における耐久性は確保することが困難であることが確認された。

- ・ WJ工法の打継ぎ界面の水の浸透は、基準供試体の部位と同等であり、凍結融解が進行しても付着性能が大きく低下する傾向は無く、積雪寒冷地における耐久性にも優れていることが確認できた。

(2) WJ工法と併用した制御破碎工法の選定について

① 放電破碎工法について

- ・ 放電破碎は、瞬時に破碎する工法であるが、衝撃が残存部分に伝わることや広範囲に破碎することから、制御破碎は難しく、特に薄い床版等の部材への適用は困難である。
- ・ 放電破碎は、部材全体を取壊す破碎工法としては有効的だが、開放溝があっても残存部に影響を与えるため、制御破碎工法としては不適である。

② 静破碎剤について

- ・ 静破碎剤については、破碎力抑制のために破碎剤の間隔や薬量の使用方法を十分に検討するなどの多くの課題を残した。これら課題をクリアするには多くの実証実験が必要となるため、静破碎剤は、すぐに制御破碎工法として使用することは難しいと考える。

5. 考察

打ち継ぎ面の付着性能に関する試験より、積雪寒冷地におけるコンクリート補修時の打ち継ぎ界面位置の取壊し工法は、本文で示す付着界面に影響のない優れた施工法を採用する事が重要である。

また制御破碎工法の実験より、放電破碎工法および静破碎剤は、破碎の予測や破碎力の抑制が難しく、制御破碎工法としては非常に難しい工法である。これらの工法は、制御破碎が不要な構造物全体の解体工事に用いるには適した工法である。

今後は、打ち継ぎ面の付着性能として、新旧コンクリートの界面部分の健全性が、構造物の安定性にどのように寄与しているかを評価すること、また補修後の耐荷性・耐久性を評価していきたいと考えている。さらに制御破碎工法の選定については、本実験で実施していないセリ矢等の他の破碎工法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 五十嵐義行,加藤静夫,今野久志,渡辺一悟: 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、平成16年度全国大会第59回年次学術講演会、pp.245-246、2004.9
- 2) 三田村浩,西弘明,吉田英二,野田直史: 積雪寒冷地におけるウォータージェット工法の有効性とその適用について、2009年度第23回ウォータージェット技術年次報告会