

新旧コンクリート界面部の設計・施工技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～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

岡田 慎哉、表 真也

澤松 俊寿、角間 恒

横山 博之、高玉波夫

宮本 修司

【要旨】

近年、コンクリート構造物の劣化が顕在化しており、部分的な補修・補強工事が増加している。しかしながら、積雪寒冷地においては、補修後数年で打継部が再劣化する事例が報告されるなど、打継部の耐凍害性は明確でない。そこで本研究では、コンクリート打継部の付着性能に及ぼす凍結融解負荷の影響について検討した。また、積雪寒冷地に適用可能なコンクリート取壊し工法として、内的破碎工法とウォータージェット工法を併用する工法に着目し、施工試験に基づきコンクリート構造物の効率的な取壊し工法に関する検討を行った。

キーワード：コンクリート打継、凍結融解、制御破碎工法

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年代前半までのものが多く、間もなく既設橋の耐用年数と言われる50年を迎えるこれら橋梁の老朽化対策が課題となっている。一方で、公共事業予算は減少しており、膨大な数の橋梁の維持管理を部分的な補修・補強により対応している。

コンクリート構造物の部分補修において、補修・補強後の構造安定性を確保するためには、コンクリート打継部が十分な一体性を保持しなければならない。積雪寒冷地においては、コンクリート打継部が早い段階で損傷する場合、打継部が水の浸入口となり既設コンクリートの凍害を助長することから、特に留意が必要になる。しかしながら、補修後数年で打継部が再劣化する事例が報告されるなど、寒冷環境下での打継部の付着性能は必ずしも明確でない。また、今後の補修工事の増大に向けては、打継面の健全性確保と効率的な施工が可能なコンクリート取壊し技術の確立が不可欠である。

そこで本研究では、打継部を有するコンクリート供試体の各種試験を実施し、打継部の付着性能に及ぼす凍結融解作用の影響を検討した。また、積雪寒冷地に適用可能なコンクリートの取壊し工法として、橋梁の支承交換に伴う沓座コンクリートの取壊しをモデルケースに、セリ矢による内的破碎工法とウォ

ータージェット工法（以下、WJ工法）の併用工法によるコンクリートの取壊し試験を実施し、効率的な取壊し工法に関する検討を行った。

2. コンクリート打継部の耐凍害性に関する研究

2.1 概要

部分補修におけるコンクリートの取壊しは、コンクリートブレーカーや電動ピックなどの打撃力によるものが一般的である。しかしながら、既設コンクリートにマイクロクラックを与え、付着性能の低下を招くことが知られており、近年では、既設コンクリートに与える影響が小さいWJ工法を用いる事例が増加している。ただし、いずれの工法についても、設計耐用期間にわたり付着性能を保持するために必要となる耐凍害性や耐疲労性等の長期耐久性に関する検討がなされていない。

そこで本検討では、コンクリート打継部の付着強度に及ぼす凍結融解負荷や疲労荷重の影響を確認するため、凍結融解試験、一軸引張試験および曲げ載荷試験を実施した。

2.2 凍結融解試験および一軸引張試験

2.2.1 試験方法

(1) 使用材料および供試体

供試体に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。コンクリートには、普通ポルトランドセメン

表-1 コンクリートの配合

W/C	S/a	a	W	C	S	G	Ad
(%)			(kg/m ³)				
57.9	41.5	2.9	164	284	840	1052	2.84

表-2 試験ケース

種別	表面処理方法 (取壊し工法)	凍結融解 サイクル
基準	なし	・凍結融解試験 300 (最大)
WJ	ウォータージェット	
EP	電動ピック	・一軸引張試験 15、180
CB	コンクリートブレーカー	

ト、最大寸法 25mm の粗骨材、最大寸法 2.5mm の細骨材を使用した。

供試体はφ100×200mm のコア供試体とした。試験ケースを表-2 に示す。打継面の処理は、WJ、電動ピック、コンクリートブレーカーの 3 工法とした(写真-1)。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、順に、WJ 供試体、EP 供試体、CB 供試体、基準供試体と呼ぶ。

供試体は、水平打継面を有するコンクリート平板から採取する方法により製作した。なお、既設コンクリートと打継コンクリートは同配合である。

(2) 凍結融解試験

凍結融解試験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℃ とし、凍結融解サイクルは 300 サイクルを目標とした。

試験中は、30 サイクル毎にたわみ振動による一次共鳴振動数、質量および超音波速度の計測を行い、相対動弾性係数、質量減少率および相対超音波速度を算出した。

(3) 一軸引張試験

一軸引張試験は、供試体の上下にテーパーリングを取り付け、アムスラー試験機により一軸引張強度を計測した。試験は凍結融解 15 および 180 サイクルのときに実施した。

2. 2. 2 試験結果

(1) 凍結融解試験

凍結融解試験における供試体状況を図-1 に示す。図のように、EP 供試体では 60 サイクルで、CB 供試体では 150 および 180 サイクルで打継面が破断した。

図-2 に、相対動弾性係数の変化を示す。図より、EP 供試体では、15 サイクルで JIS A 1148 に規定され



(a) ウォータージェット



(b) 電動ピック



(c) コンクリートブレーカー

写真-1 コンクリートの取壊し工法

る凍結融解試験の打ち切り限度である相対動弾性係数 60%を下回り、CB 供試体では 60~70 サイクルで打ち切り限度を下回った。一方で、基準供試体および WJ 供試体では、180 サイクル時において相対動弾性係数にほとんど変化が見られなかった。

図-3 に、質量減少率の変化を示す。破断した EP および CB 供試体は、凍結融解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および WJ 供試体は、質量がほとんど変化していない。

図-4 に、相対超音波速度の変化を示す。相対超音波速度についても、相対動弾性係数および質量減少率と同様に、基準および WJ 供試体では 180 サイクルで顕著な変化が見られなかった。

図-5 には、相対動弾性係数および相対超音波速度の低下が確認できた CB 供試体に着目して、各サ

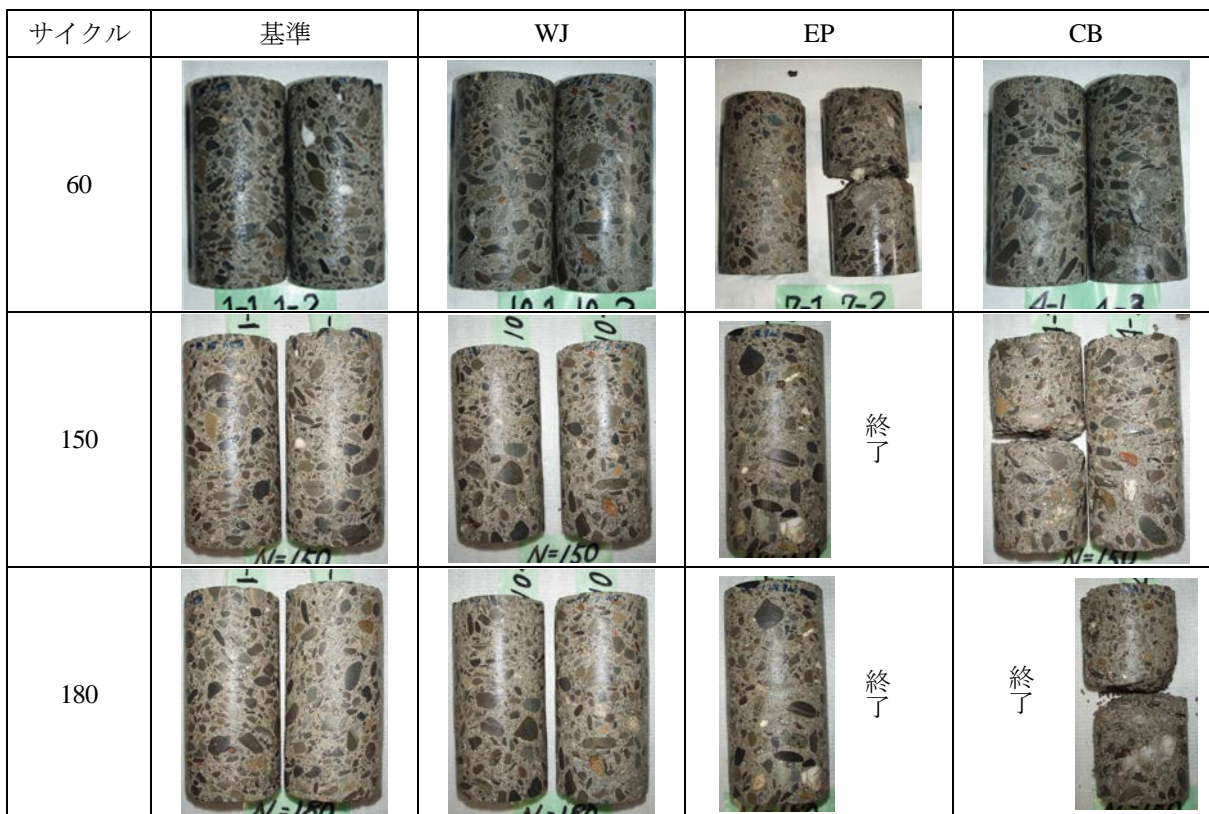


図-1 凍結融解試験の供試体状況

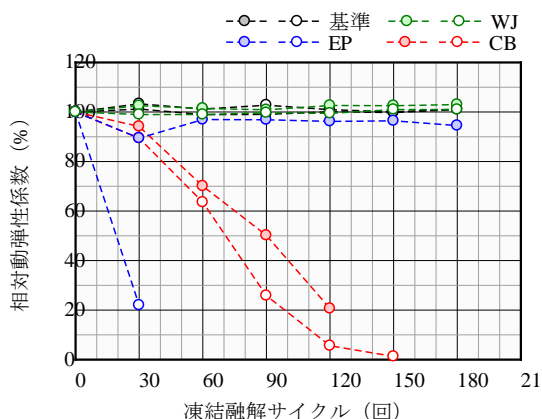


図-2 相対動弾性係数の変化

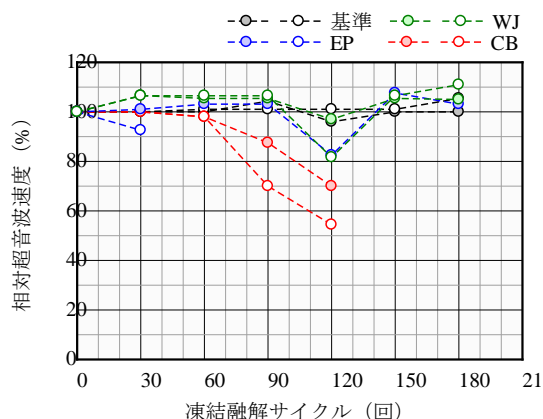


図-3 相対超音波速度の変化

サイクルで測定した動弾性係数と超音波速度の関係を示す。図中には、緒方らが提案したコンクリートの動弾性係数と超音波速度の関係²⁾も図示した。図より、打継部を有する場合であっても動弾性係数と超音波速度との間には一体コンクリートと同様にべき乗の関係が成り立つものと考えられる。ただし、両者を比較すると、同一の超音波速度においては、打継部を有する場合に動弾性係数が小さくなっている。このことは、打継後の構造物が健全状態と同等の剛性を有する場合であっても、打継部には内部欠陥が存在することで付着性能が低下している可能性があ

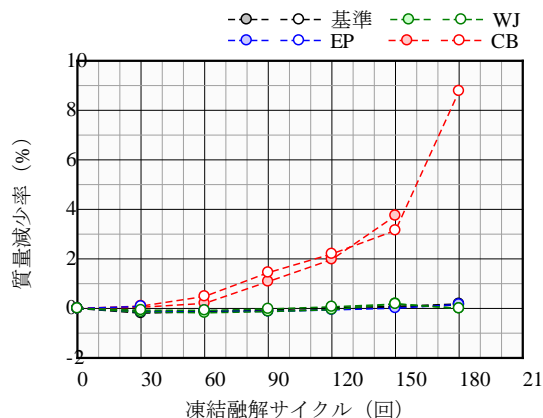


図-4 質量減少率の変化

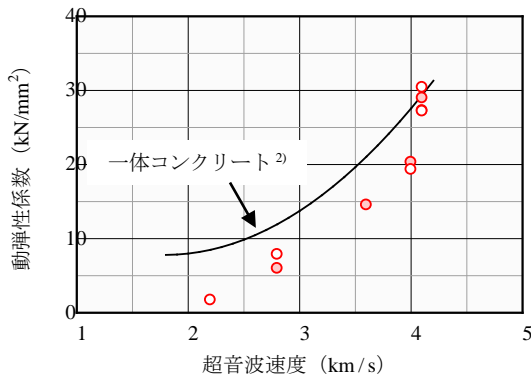


図-5 動弾性係数と超音波速度の関係 (CB 供試体)

ることを示唆している。

(2) 一軸引張試験

一軸引張試験の結果を図-6 にまとめる。凍結融解 15 サイクルにおける一軸引張強度は、基準供試体に対し、WJ 供試体で 85%、EP 供試体で 51%、CB 供試体で 29%まで引張強度が低下した。破断位置は、EP および CB 供試体の打継部に対し、WJ 供試体では母材コンクリートであった (写真-2)。また、凍結融解サイクル 180 サイクルにおいては、EP 供試体で基準供試体の 25%まで強度が低下するのに対し、WJ 供試体では大きな低下が見られていない。

写真-3 には、凍結融解 15 サイクルで実施した一軸引張試験における各供試体の破断面を示す。破断面の観察からは、EP および CB 供試体では骨材の割れが多く、水が深く浸透した様子が確認できた。このことより、打撃系の処理方法では、マトリックスに加え骨材にも損傷を与えることで付着性能が低下するほか、マイクロクラックが水の浸入経路となることで耐凍害性低下の要因になると考えられる。

2. 3 曲げ疲労試験

2. 3. 1 試験方法

(1) 使用材料および供試体

供試体に使用したコンクリートの配合を表-3 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-4 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³⁾により示されており、本試験では、2.2 節における WJ 工法と等価な処理方法と位置付けている。また、比較のた

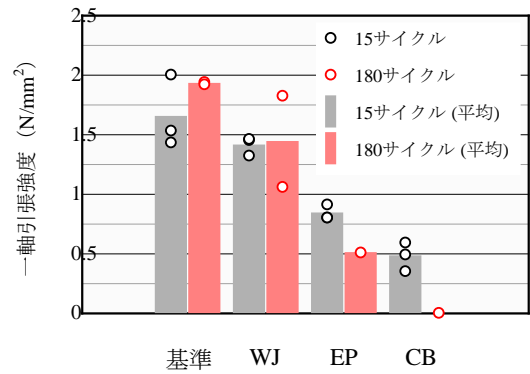


図-6 一軸引張試験結果

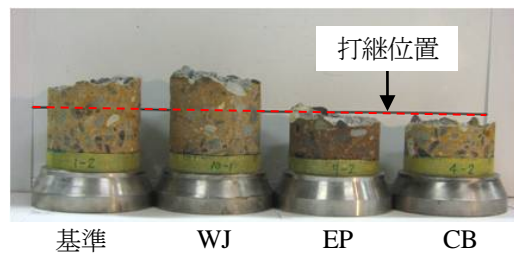


写真-2 破断位置

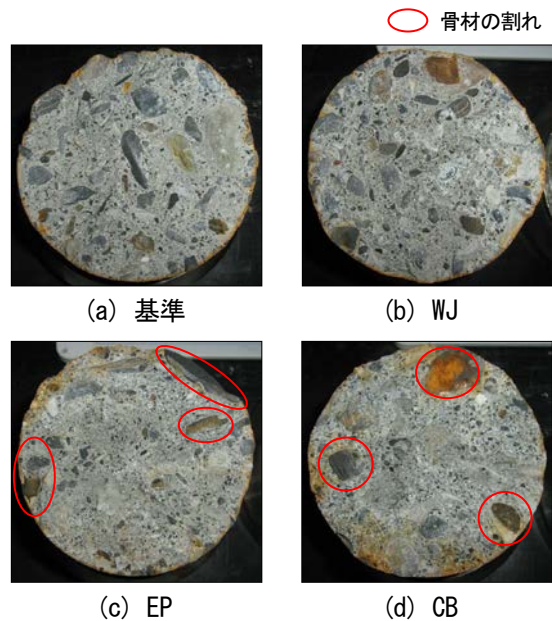


写真-3 破断面の状況

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、既設コンクリート打設の翌日に行い、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。

凍結融解は気中凍結水中融解により実施し、最低

表-3 コンクリートの配合

W/C	S/a	a	W	C	S	G	Ad
(%)			(kg/m ³)				
61.0	45.1	4.5	146	305	766	1086	3.29

表-4 試験ケース

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

表-5 コンクリートの材料特性

コンクリート種別	凍結融解サイクル	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
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

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。試験開始時におけるコンクリートの材料特性は表-5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、測定値の明確な低下は確認されなかった。

(2) 曲げ載荷試験

三等分点曲げ載荷により静的載荷試験および疲労載荷試験を実施した。

静的載荷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) に準じて実施した。

疲労載荷試験には油圧式疲労試験機を使用した。疲労荷重は、静的載荷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。

2. 3. 2 試験結果

(1) 静的載荷試験

曲げ載荷試験の結果を表-6にまとめる。ここで、表中の破断位置は、破断位置を既設コンクリート、打継コンクリート、コンクリート打継部に分類し、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。

基準供試体を基準にすると、0および60サイクルともに打継供試体で80%まで曲げ強度が低下した。ただし、打継供試体の破断位置を見ると、既設コンクリートが主な破断位置であり、静的荷重下では打

表-6 曲げ載荷試験の結果

種別	凍結融解サイクル	静的強度 (N/mm ²)	破断位置 (%) **		
			既設 Co	打継部	打継 Co
基準	0	3.97	0 (0)	0 (0)	100 (100)
	60	3.75	0 (0)	0 (0)	100 (100)
打継	0	3.16	80 (20)	20 (80)	0 (0)
	60	3.05	50 (30)	25 (60)	25 (10)

※ () 外は静的載荷試験, () 内は疲労載荷試験の結果

継部がコンクリート強度と概ね同程度の付着強度を有しているものと考えられる。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、凍結融解負荷の影響はわずかであった。

なお、以上の結果は、2.2節におけるWJ供試体の一軸引張試験結果と同様の傾向を示しており、遅延剤の塗布と高圧水による洗い出しにより、WJ工法と同等の打継面処理ができていたと考えられる。

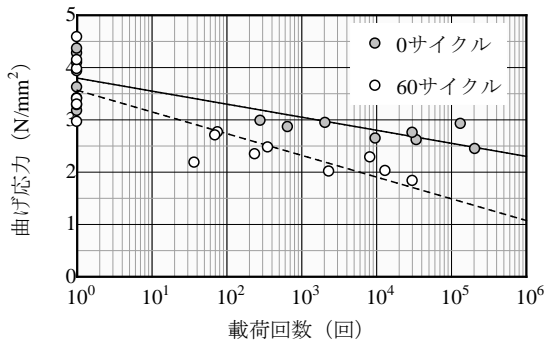
(2) 疲労載荷試験

疲労載荷試験により得られた曲げ応力と載荷回数の関係 (以下、S-N曲線) を図-7に示す。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が、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。

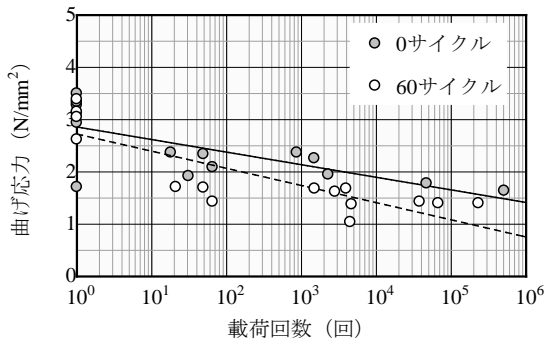
凍結融解負荷の影響を見ると、打継の有無に関わらず60サイクルによる疲労強度の低下が見られ、同一荷重に対する載荷回数は、本試験の範囲で1/10~1/100程度まで低下した。このことより、比較的軽微な凍結融解負荷であっても、疲労荷重と複合することでコンクリート強度ならびに付着強度が大きく低下する可能性があること示唆される。ただし、両供試体で凍結融解負荷による載荷回数の低下率に大きな差はなく、適切な打継面処理方法を選定することで、コンクリート打継部では母材コンクリートと同等の耐凍害性が確保されるものと考えられる。

2. 4 まとめ

以上より、コンクリート打継部が十分な付着性および母材コンクリートと同等の耐凍害性を確保するためには、適切な打継面処理を行うことが重要とな



(a) 基準供試体



(b) 打継供試体

図-7 S-N 曲線

る。しかしながら、凍結融解負荷により耐疲労性が大きく低下する可能性があることから、補修対策時には打継部に長期間の滞水が生じないような配慮が必要となる。

3. コンクリート構造物の制御破砕工法の検討

3.1 概要

2章の結果より、適切な打継面処理を行うことで、コンクリート打継部の付着性能や凍結融解抵抗性を確保できることを確認した。しかしながら、実際の施工においては、コストや施工性等を考慮して取壊し部位に応じた工法を選定する必要がある。すなわち、付着性能に影響を及ぼさない大容積部分では打撃系の工法による取壊しを、打継部近傍ではWJ工法等による取壊しを行うのが効率的であると考えられる。

そこで本検討では、既設橋梁の修繕工事として近年増加している支承交換時の沓座コンクリートの取壊しを取り上げ、打継面の健全性を確保しつつ、安価で施工性の高いコンクリート取壊し工法について検討した。具体的には、内的破砕工法とWJ工法を併用した方法に着目し、施工試験によりその実用性を確認した。ここで、内的破砕工法とは、鉋山の採掘等に用いられる破壊力が高く施工速度が高い工法

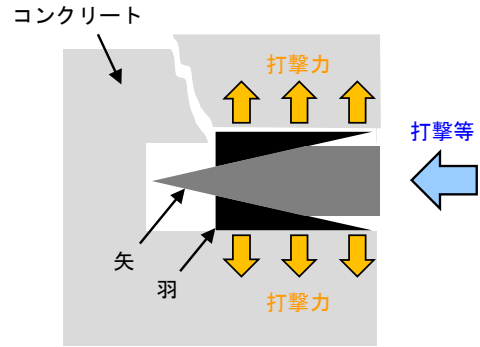


図-8 セリ矢の破砕原理



写真-4 セリ矢



写真-5 固定装置付WJハンドガン

であり、本検討ではセリ矢による工法を選定した。

3.2 試験方法

3.2.1 制御破砕工法

(1) セリ矢

セリ矢による工法では、図-8に示すように、打撃等により破砕矢に加わる力を、羽根を介して直角な方向に押し広げる力に変換・増幅し、コンクリートを破砕する。矢の貫入量による破砕量の制御と破砕方法の任意設定が可能である。小規模の部分破砕を行う場合のセリ矢には、ハンマー用、ブレイカー用、油圧式の3種類があり、本試験においては、写真-4に示す、半円錐型の羽根2つとくさび型の矢からなる、削孔径38mm、芯金長さ470mmのブレイカー用セリ矢(CB-20)を使用した。

(2) WJハンドガン

打継部近傍の取壊しにはWJハンドガンを使用した。WJ工法の仕様は、吐出流量26L/min、吐出圧力

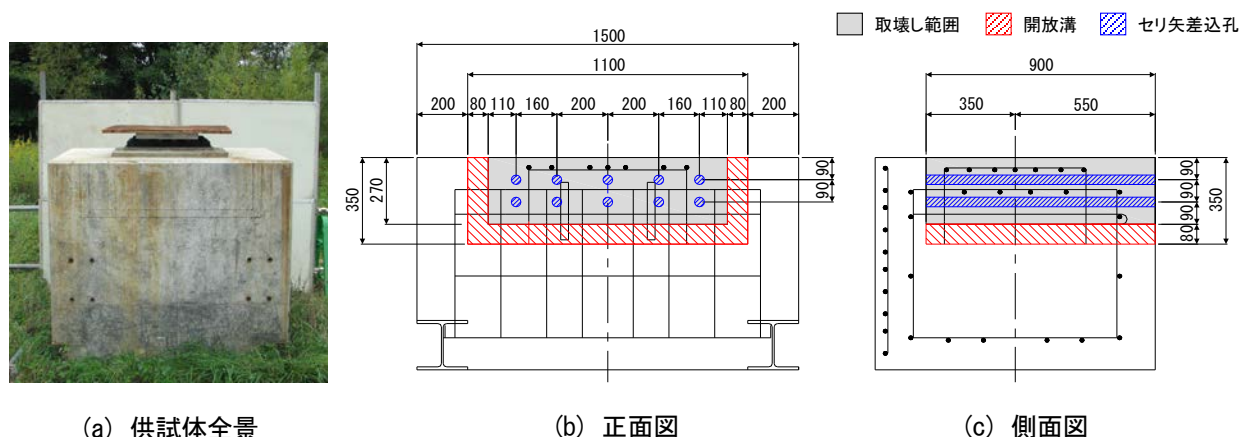


図-9 実験供試体

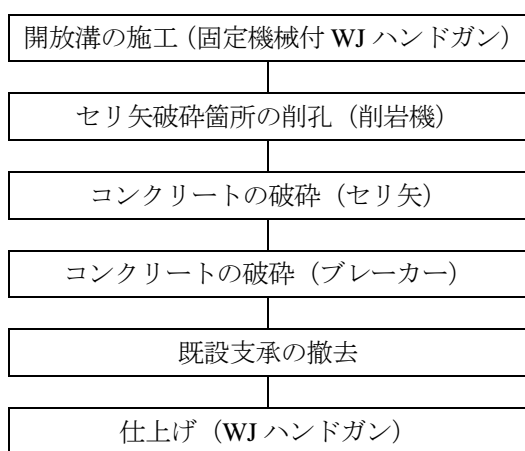


図-10 施工手順



写真-6 施工状況

220MPa、ノズルの直径 35mm であり、ノズルは 2 方向への噴射および先端の回転が可能なタイプを採用した。また、WJ の水圧の反力が大きく操作が困難であることから、ノズルの移動および角度調整が容易となるよう固定機械装置を用いた (写真-5)。

3. 2. 2 供試体

施工試験に使用した供試体を図-9 に示す。本供試体は支承交換を想定して製作しており、寸法は、幅 1.5m、奥行き 1.1m、高さ 1.34m とした。

支承の撤去は、下沓を下ろして支承本体を取外し、下沓のアンカーバーを沓座コンクリート内で切断して下沓も撤去する方法を想定している。その際に取壊し可能な範囲は支承の下面および前面であり、本試験では、幅 1.1m、奥行き 0.9m、高さ 0.35m を取壊し範囲とした。

3. 2. 3 施工手順

図-10 および写真-6 に施工手順を示す。既設コンクリートへの影響を考慮し、打継部近傍を先行して取壊した後、大容積部分を取壊す手順とした。

(1) WJ ハンドガンによる開放溝の施工

沓座コンクリートの取壊し範囲 (打継面の位置) をマーキングし、WJ ハンドガンで取壊す。これにより、大容積部の取壊しを容易にする開放溝を施工する。

(2) 削岩機によるセリ矢破砕箇所の削孔

削岩機を用いてセリ矢の差込穴を削孔する。削孔する深さは、取壊し範囲の奥行きとする。

(3) セリ矢・ブレーカーによるコンクリートの破砕

セリ矢とブレーカーを用いて大容積部を取壊す。

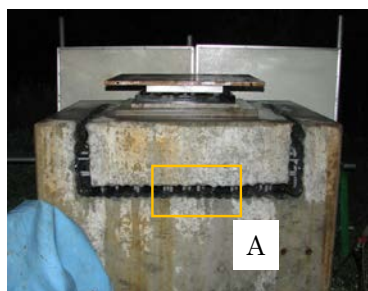


写真-7 開放溝の施工終了後の状況



写真-8 試験終了後の状況

始めにセリ矢を用い既設鉄筋を露出させる。その後、引き続きセリ矢で取壊しできるよう、既設鉄筋への損傷に留意してブレーカーによる取壊しを行う。所定範囲の取壊しが完了するまでこの作業を繰り返し、支承を撤去する。

(4) WJによる打継面の仕上げ

WJハンドガンを用いて残りの打継位置を取壊し、表面の仕上げを行う。

3. 3 試験結果

写真-7および写真-8に、施工後の供試体の状況を示す。施工後において、外観上の鉄筋損傷はなく、打継面を細密にはつりとることができていた。開放溝の施工について、本供試体は沓座補強鉄筋を有する鉄筋間隔が5cm程度の密な配筋であったが、先端の回転が可能なノズルおよび固定機械装置を用いることで過密配筋された鉄筋の裏側も容易に施工でき、施工精度の向上と作業者の負担軽減が可能であった。また、打継部を先行して取壊すことで、削岩機によるセリ矢破碎箇所への削孔は、開放溝から鉄筋位置を確認した上での施工となることから、既設鉄筋を痛める危険性を低減できるものと考えられる。

以上より、固定装置付WJハンドガンおよびセリ矢を併用した取壊し方法により既設コンクリートや既設鉄筋に損傷を与えない取壊しが可能であることを確認した。

3. 4 設計施工マニュアル(案)の作成

本検討の結果より、支承交換における沓座コンクリートの取壊しに関する設計施工(案)を取りまとめた。その目次を表-7に示す。

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の影響、および、積雪寒冷地に適用可能なコンクリート構造物の効率的な取壊し工法について検討を行った。結果をまとめると以下のとおりである。

表-7 支承交換における沓座コンクリートの取壊しに関する設計施工(案)

第1章	総則
1.1	適用
第2章	設計
2.1	沓座コンクリートの取壊し範囲と支圧補強鉄筋の配置
2.2	主桁仮受け工の設計
第3章	施工
3.1	施工手順
3.2	WJ工法による施工
3.3	削岩機による施工
3.4	セリ矢による施工

- 適切な打継面処理を行うことで、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。
- 橋梁の支承交換を想定したコンクリートの取壊し試験の結果、セリ矢を使用した内的破碎工法とWJ工法を併用する工法により、施工精度および作業性を確保する効率的な取壊しが可能である。

参考文献

- 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年度ウォータージェット技術年次報告会論文集、pp.55-60、2010.1
- 緒方英彦、服部九二雄、高田龍一、野中資博：超音波法によるコンクリート耐凍結融解特性の評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、No.1、2002.6
- 金子林爾、山田一久：繰返し載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、2000.6

STUDY ON DESIGN AND CONSTRUCTION METHODS FOR CONCRETE JOINTS

Budgeted: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2011-2013

Research Team: Structures Research Team

Cold Region Technology Promotion Division

Author: NISHI Hiroaki

KONNO Hisashi

OKADA Shinya

OMOTE Shinya

SAWAMATSU Toshikazu

KAKUMA Ko

YOKOYAMA Hiroyuki

TAKADAMA Namio

MIYAMOTO Syuji

Abstract: In recent years, the manifestation of deteriorations in concrete structures increases in partial repair or reinforcement works. However, the adhesion characteristics of concrete joints under cold environment are not evident and re-deteriorations in several years after repair works have often been discovered at joint parts. This study investigates the influence of freeze-thaw action and surface treatment methods for joint parts on the adhesion strength of concrete joints. Also, a rational demolition method for concrete structures in cold regions, consists of an internal crushing and a water jet chipping, is studied based on a field construction test.

Key words: concrete joint, freeze-thaw, rational demolition method