

主催：日本ウォータージェット学会

協賛：日本ウォータージェット施工協会
：(社)日本洗淨技能開発協会

2004年度 ウォータージェット技術年次報告会

開催期日 2004年11月29日

開催場所 千葉工業大学



WJTSJ 日本ウォータージェット学会

ウォータージェット工法を利用したコンクリート構造物のはく落対策と削孔技術

日本道路公団 試験研究所⁽¹⁾ 室井 智文

日本道路公団 試験研究所⁽¹⁾ 野島 昭二

(社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所⁽²⁾ 設楽 和久*

(社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所⁽²⁾ 谷倉 泉

Studies of concrete surface treatment and drilling method by Water-Jet application

Key Words : water jet, concrete structure, repair, surface treatment, inspection, drilling

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の老朽化等に伴い、トンネルや高架橋などのコンクリート構造物に変状が発生し、社会問題となる場合がある。これらの変状の多くは塩害や中性化等に起因するものであるが、その対策においては第三者影響度を低減するため、はく落につながるコンクリート構造物の変状を発見することと変状箇所の除去が重要な課題となっている。しかしながら、コンクリート構造物に対する従来の点検では、近接目視および点検ハンマによる打音点検が主流であり、この方法は、効率が悪いうえに多くの経験を必要とし、客観的で定量的な評価が難しい。そこで、コンクリート片のはく落につながる浮きやはがれ部の点検と除去を同時に行うことを目的として、セレクトィビティ性能を有するウォータージェット工法に着目し^{1), 2), 3)}、その適用性を実験により確認することとした。

一方、プレストレストコンクリート (PC) 構造物では、内ケーブルの健全性を判定するため、PCグラウトの充填度を評価する手法が求められている。PCグラウトの充填度を評価する方法として、各種非破壊検査方法が提案されているが、①検査可能な部材厚さの制限やPCグラウトの充填が不足する箇所の特定が容易でないこと、②PC鋼材の腐食状態や健全度の判定が困難、などの課題がある。これらの課題をクリアするためにはPC部材内のシースへ接近し、その内部を直接観察できれば良いことから、シースにアプローチして点検する技術を開発する目的で、ウォータージェットの削孔能力に着目し、削孔の可能性を探ることとした。

本論文では、ウォータージェット工法を利用したコンクリート構造物の変状部の点検技術、ならびにPCグラウトの充填度評価のための削孔技術に関する実験・研究成果について述べる。

2. 点検・除去技術に関する研究

2.1 概要

ここでは、従来の打音点検に替わる方法として、ウォータージェットの特長を利用し、浮きやはがれが生じている箇所の点検および除去を同時に可能とする適切なウォータージェットの処理条件について実験・研究を行った。実験では、ウォータージェット工法がはく落防止対策の事前処理で対象とする高架橋等のコンクリート表面の浮き、はく離、脆弱部を対象とした変状部の検出方法として成立つかどうかを確認する目的で、変状部を再現した模擬試験体に対して、各種のノズルや制御条件を変えてウォータージェット照射を行い、変状部検出に対する処理効果を確認した。なお、はく落につながる変状部の検出・除去後には、断面修復や繊維シート貼付け等によるはく落防止対策が実施されるが⁴⁾、この詳細は省略する。

(1) Tomofumi Muroi and Syoji Nojima (Expressway Research Institute of Japan Highway Public Corporation, Machida 194-8508, Japan)

(2) Izumi Tanikura and Kazuhisa Shidara (Japan Construction Method and Machinery Research Institute, Japan Construction Mechanization Association, Fuji 417-0801, Japan)

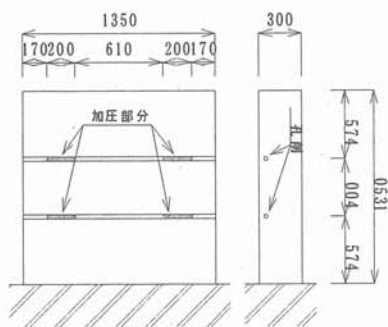
2.2 試験体とウォータージェット制御条件

実験に用いたコンクリート試験体は図1に示すように、鉄筋の腐食膨張に伴うコンクリート構造物の変状部を再現するため、呼び強度 24N/mm²、粗骨材の最大寸法 25mm のレディーミクストコンクリートを用いて次のように作製した。

試験体の側面の鉄筋を想定する位置に、コンクリートコアカッター (φ34mm) を用いて削孔を行い、孔壁内に油圧で内圧を載荷することにより、コンクリート表面に鉄筋の腐食膨張による浮きやはがれを再現した。ここで、かぶりは、かぶりによって発生する変状の大きさが異なると想定して、10mm、30mm および 50mm とした。変状部は試験体 1 体につき 4 箇所とし、目視および打音点検でひび割れ、浮き範囲を特定し、初期値として記録した。変状を発生させた試験体の状況を写真1に示す。変状面は主に無筋構造としているため、場所によっては、変状発生直後にコンクリート片がはく落する箇所もあった。

点検・除去に用いられるウォータージェット装置は、将来的には安全性や効率性の面から機械方式となることが望まれるが、今回は比較的エネルギー密度の低い表面処理程度のエネルギーであることから、機動性に富むハンドガンを用いて実験を行うこととした。ハンドガンタイプのウォータージェットノズルには、1穴回転ノズル、2穴回転ノズル、直射ノズル、多穴回転揺動ノズル、扇形ノズルなどがあり、表1に示すような特徴がある。今回の実験では、ノズルが回転することにより、ある程度の範囲の点検照射が効率的に可能なものとして、ウォータージェットの軌跡が円錐状となる1穴・2穴回転ノズルと集中照射が可能な1穴直射ノズルを用いて実験を行うこととした。

ウォータージェットの水压、水量などの設定条件は、新旧コンクリートの一体化処理 (表面処理) に必要なエネルギー密度を標準として、事前に試験体と同等の健全なコンクリート表面でウォータージェットの照射を行い、処理程度を確認した。変状部の処理方法は、コンクリート表面に対して垂直にウォータージェット照射することを基本とし、除去状況によっては斜め照射等で強制的な除去も実施した。



(単位: mm)

図1 試験体の概要

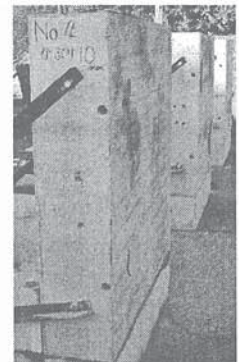
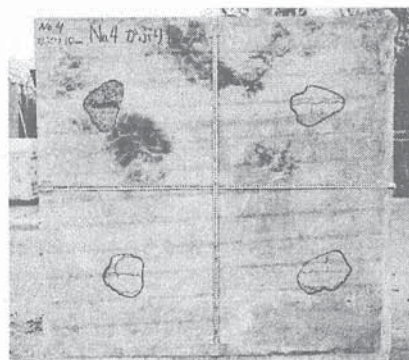


写真1 模擬変状の状態 (かぶり 10mm)

表1 ハンドガン形式のウォータージェットノズル

ノズルの種類	特徴
1穴回転ノズル	脆弱部の除去、はつり (鉄筋はつり出しまでなど) 作業に用いられる。除去対象部位が絞られていたり、部位の幅が狭い場合に適している。ハンドガンでは100MPa×20%/分程度までで使用。それ以上では反力の保持を身体以外からとる工夫をする必要がある。照射は基本的に面に直角に行う。高圧水の他に回転のための動力 (エア、電動) が必要。
2穴回転ノズル	脆弱部の除去、目荒らし作業に用いられる。はつり作業には圧力を100MPa以上、20%/分程度に上げる必要があるため手持ちでは難しい。水压、水量、スタンドオフが同一条件では、回転1穴より威力がやや落ちるが、1穴よりも研削幅が面状に広がるため、目荒らし作業や平面上の脆弱部除去作業に適している。照射は基本的に面に直角に行う。回転のための動力 (エア、電動) が必要。
直射ノズル	脆弱部の除去、はつり (鉄筋はつり出しまでなど) 作業に用いられる。集中的に照射することが可能。
多穴回転揺動ノズル	ノズル径が小さいため、スタンドオフの増加に伴う圧力の距離減衰が大きい。水压、水量、スタンドオフが同一条件では、2穴よりさらに威力は落ちるが、より高圧 (150MPa×5%/分程度以上) で目荒らし作業に用いる場合が多い。研削面は回転2穴の場合より平滑な面となり、特に1mm程度の目荒らしに適している。建築物のタイル下地の目荒らし作業に盛んに用いられている。照射は基本的に面に直角に行う。揺動のための動力が必要。 (参考) 揺動タイプの1穴ノズルもあり、はつり作業に用いられている場合もある。
扇形ノズル	洗浄、煤煙除去や脆弱部除去作業に用いられている。条件は、15~50MPa×20%/分程度。一定幅の研削 (除去) 作業や、照射角度を付けた固着物等の除去などに適している。扇形に広がるため、スタンドオフを一定にして使用しないと、効果にバラツキが生ずる。その反面、回転動力が不要で、設備が簡素であり扱いやすい特徴がある。

2.3 実験結果および考察

ウォータージェット照射状況を写真2に、照射後の変状部の除去状況を写真3に示す。また、変状部の除去結果の一覧を表2に、1穴回転ノズルにおけるエネルギー密度と除去率の関係を図2に示す。ここで、変状部の除去率は、目視および打音点検で確認した変状部の面積に対して、ウォータージェットによって除去できた面積の比である。

表面処理に必要なエネルギー密度でウォータージェットを照射した場合、変状部のかぶりにかかわらず、変状部の除去率は20~40%程度であった。ここで、ウォータージェットの照射で除去されなかった変状部分は、点検ハンマにより浮きと判断できるものの、容易に叩き落せる状態ではなかった。さらに、健全部の損傷を許容することを前提に、1穴回転ノズルを用いてエネルギー密度を2倍として、ウォータージェットを照射した場合、変状部のかぶりが10mmであれば、変状部を100%除去することが可能であった。しかし、変状部のかぶりが30、50mmと深くなってくると、エネルギー密度を2倍にしても、端部の薄い部分が削り取られるのみで、変状部をすべて除去することは不可能であった。これはかぶりが深い場合に、浮きやはがれが生じていない残りの部分がコンクリート基部と強固につながっていたり、鉄筋にコンクリート片が絡んでいたためであり、表面的な処理のみでは完全にはく離させることは困難であった。そこで投射エネルギーが少ない場合には、変状部を顕在化させた後の施工を想定し、1穴直射ノズルを用いて変状部を集中的に照射したところ、変状部のかぶり深さ50mmであっても100%除去することが可能であることがわかった。

かぶり 10mm

かぶり 30mm

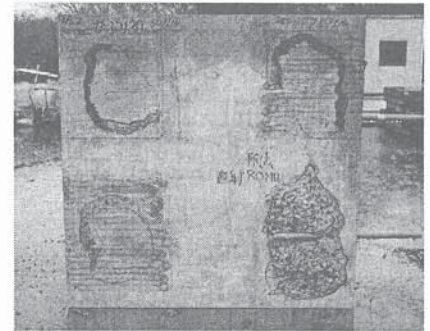


写真2 ウォータージェット照射状況
(1穴回転ノズル, 50MPa, 19.2ℓ/分)

写真3 ウォータージェット照射後の試験体の状況

表2 各仕様における変状部の除去率

ウォータージェット工法の仕様			かぶり (mm)	エネルギー密度に対する除去率 エネルギー密度等の区分		
ノズル	水圧	水量		標準	2倍	連続 集中照射
1穴回転 ノズル	50MPa	19.2ℓ/min	10	39%	—	—
			30	25%		
			50	28%		
	100MPa	9.6ℓ/min 27.2ℓ/min	10	37%	100%	—
			30	16%	42%	
			50	29%	36%	
2穴回転 ノズル	100MPa	9.6ℓ/min 27ℓ/min	10	—	37~47%	—
			30		—	
			50		—	
1穴直射 ノズル	80MPa	24.3ℓ/min	30	—	—	100%
	80MPa	24.3ℓ/min	50			100%
	100MPa	30ℓ/min	50			100%

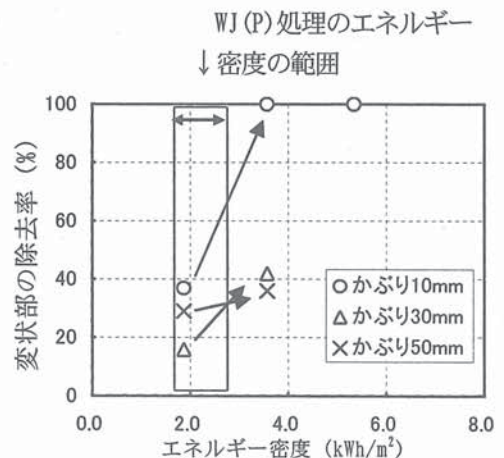


図2 エネルギー密度と除去率の関係
(1穴回転ノズル)

2.4 まとめ

ウォータージェット工法を用いたコンクリート構造物の浮き・はく離部の点検・除去に関する実験で得られた成果をまとめると、次のとおりである。

- ① 鉄筋の腐食膨張により発生した変状は、表面処理程度のエネルギー照射を行うウォータージェット工法の適用により、はく落の可能性が高い変状（かぶりが浅く、10mm程度）は除去できる。
- ② 同様に、はく落の可能性が低い変状（かぶりが深く、30～50mm）については、変状部分をすべて除去することは困難であるが、変状部分を顕在化させることは可能である。
- ③ 変状部を除去できない場合でも、顕在化させた後で集中的にウォータージェットを照射すれば、変状部を100%除去することが可能となった。
- ④ 均一で確実な変状部の除去処理のため、フラットな作業環境や均一な断面に対してはロボット（機械把持）の開発が効率的かつ経済的と考えられる。
- ⑤ 本検討の結果、図3のような手順により、第三者被害を生じる危険箇所（浮き、はく離部）の点検・除去を合理的に実施することが可能と考えられる。

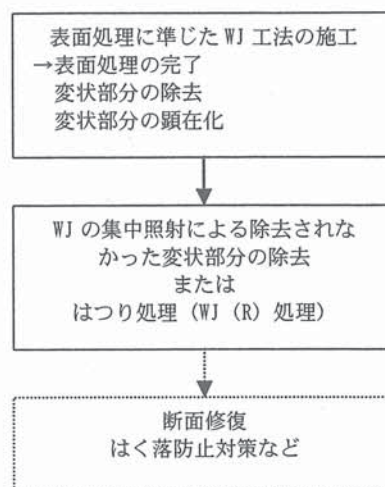


図3 WJ工法を用いた点検のフロー

3. 削孔技術に関する研究

3.1 概要

従来の一般的な削孔方法は、コンクリート用コアカッター等が用いられていたが、設計と若干異なる実構造物の配筋状態、非破壊検査による鉄筋位置の検出限界、ヒューマンエラーなどが原因で鋼材（鉄筋、PC鋼材）を損傷する場合がある。このようなトラブルを防止するために、電気的な短絡を利用して鋼材に接触すると削孔機械が停止する装置を付加した削孔方法もあるが、PC鋼材がシースに接触している場合には鋼材を損傷するなどの課題もある。そこで、本研究開発では削孔方法として、コンクリート部材や鋼材に極力損傷を与えない工法であるウォータージェット工法の特長を利用し、シースに近接した削孔を可能とすることで点検する技術を開発する目的で、ウォータージェットによる削孔の可能性を探ることとした。なお、シースに到達後、点検とグラウトの再注入・充填を行って、PCグラウト部の補修を行うものであるが、この詳細は省略する。

3.2 削孔機械

実験に用いたウォータージェット工法を表3に示し、代表的なノズルの形状を図4と図5に示す。Type A, B（回転ノズル2穴式）は、削孔ヘッド先端に水の噴射角度が異なる2個のノズルを取り付けている。一方のノズル穴は、ほぼ削孔方向に取り付けられ、主に掘進の能力を期待するもので、他方は掘進方向に対して角度をつけており、孔壁を目標の削孔径に仕上げる性能を期待しているものである。Type C（アプレシブ）は、噴射水に研磨材（けい砂）を混入することにより、低水圧でも削孔を可能としたもので、この他に孔壁の形成を補助する目的で削孔ヘッド先端に切削用ビットが取り付けられている。また、Type D, EおよびFは基本的な施工機械の仕様は同様とし、ノズルの種類と直径を変化させ水圧を一定の条件で比較しようとしたものである。水圧と水量は、試験対象のコンクリート強度と粗骨材の最大寸法等を考慮して設定した。回転ノズル2穴式による削孔状況を写真4に示す。

表3 削孔に用いたWJ施工機械の種類と仕様

記号	種類	削孔ヘッド (mm)	ノズル径 (mm)	水圧 (MPa)	水量 (リットル/分)	備考
Type A1	回転ノズル2穴式 (中水圧大水量)	$\phi 23$	① $\phi 1.50$	88	93	回転数 50rpm
Type A2			② $\phi 1.70$	69	82	
Type A3			① $\phi 1.70$ ② $\phi 1.70$	69	92	
Type B1	回転ノズル2穴式 (高水圧少水量)	$\phi 35$	① $\phi 0.80$ ② $\phi 0.40$	245	25	回転数 280rpm
Type B2		$\phi 37$	① $\phi 1.00$ ② $\phi 0.85$	150	33	回転数 100rpm
Type B3				175	36	
Type B4				200	39	
Type B5			① $\phi 0.85$ ② $\phi 0.85$	150	28	
Type C1	アブレシブ (低水圧中水量)	$\phi 48$	$\phi 2.00$	29	50	研磨材量 1.0kg/min
Type C2		$\phi 35$				
Type D	回転ノズル2穴式 (中水圧大水量)	$\phi 42$	① $\phi 1.60$ ② $\phi 1.80$	60	84	回転数 30rpm
Type E	回転ノズル1穴式 (中水圧大水量)	$\phi 32$	$\phi 2.00$	60	58	回転数 30rpm
Type F	回転ノズル1穴式 (中水圧大水量)	$\phi 42$	$\phi 2.40$	60	90	回転数 30rpm

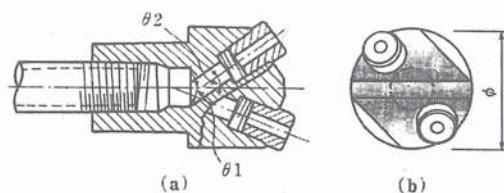


図4 ノズル Type A (回転ノズル2穴式)

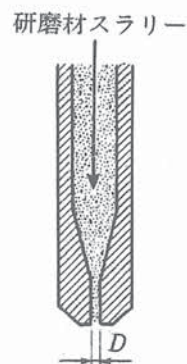


図5 ノズル Type C (アブレシブ)

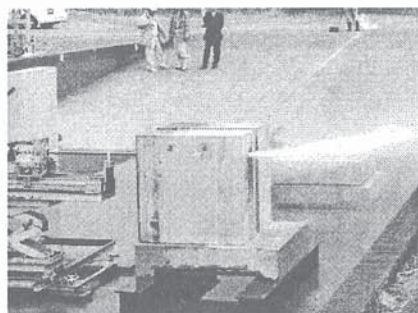


写真4 回転ノズル2穴式による削孔状況

3.3 実験ケースと試験体

削孔に関する実験は、ウォータージェットによる新たな適用性を確認する観点から、表4に示すように、グラウトの充填度を変化させて鋼製シースに与える影響を確認する実橋模擬実験、撤去した実橋（PC橋）を対象として削孔の適用性を確認する実験へと段階的に実施した。

表4 削孔に関する実験概要

実験項目	概要	目的
実橋模擬実験	PC鋼材の配置を考慮した試験体の削孔	PC鋼材間の削孔状況、鋼製シースやグラウトの変形状態の確認
撤去桁を用いた実験	撤去桁に対する削孔	実構造物でのWJ工法による削孔の適用性の検証

3.3.1 実橋模擬実験

実橋模擬実験は、実際の鋼材配置やP Cグラウトの充填状況を再現した試験体を用い、ウォータージェット工法による削孔の適用性を確認するために実施した。実験に用いた試験体は、図6～図8に示す3種類で、使用したコンクリートは、P C構造物の標準的な仕様として、呼び強度40N/mm²、粗骨材の最大寸法は20mmとした。P C鋼材の種類・配置は、実構造物の縦締め、横締めなどを考慮し、シースの最小あきは40mmとした。鋼材の種類・配置については、P C-1試験体はシースのみを配置しているが、P C-2、P C-3試験体は、P Cグラウトの充填度の違いによる鋼製シースやP C鋼材への影響を確認するため、充填度を100%、50%、0%と変化させ、さらに鋼製シース内での鋼材の位置やケーブルの分散状態も考慮することとした。削孔条件は、この前に実施した予備実験で施工能力が比較的優れていた回転ノズル2穴式の高水圧小水量（Type B5）および中水圧大水量（Type D）の2種類とした。なお、予備実験では、高水圧小水量（Type B1、水圧245MPa、水量25リットル/分）は、高水圧仕様で粗骨材を粉碎しながら削孔が可能なため、孔壁の仕上がりは比較的平滑であったが、貫通直前に試験体（粗骨材＝碎石）の破壊現象が見られた。これは、形成された削孔穴とロッドの隙間に骨材の削孔ずりがかみ合うことによって一時的に排水不良となり、削孔穴先端において水圧の上昇が起き、内部から試験体を破壊したものと考えられる。

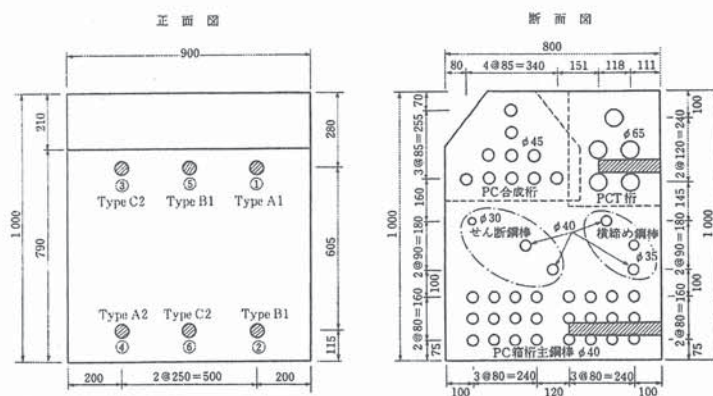


図6 実橋模擬試験体（鋼製シースのみ）
P C-1試験体

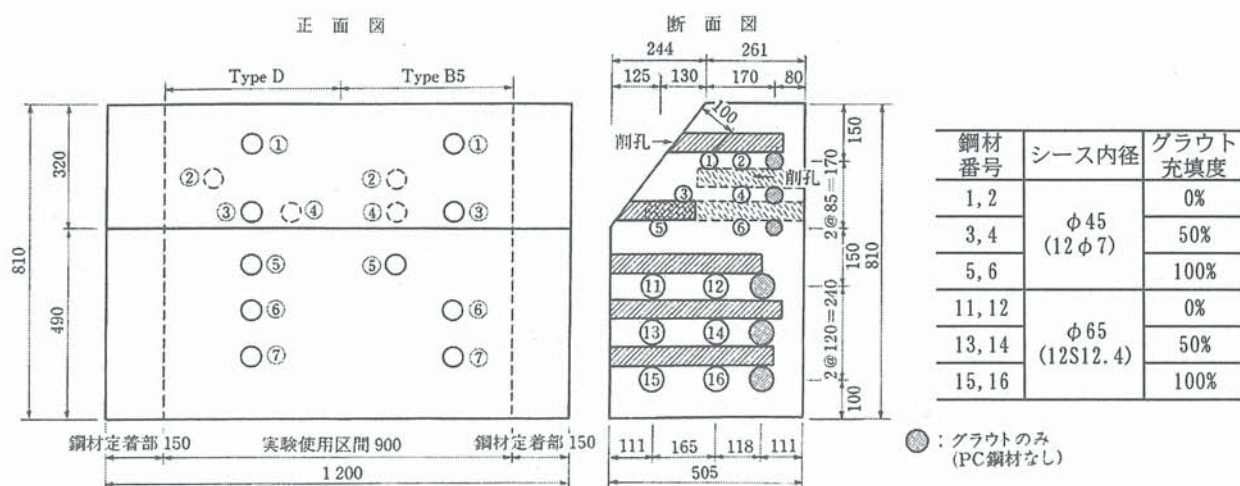


図7 実橋模擬試験体（P C鋼線：12φ7、P C鋼より線：12S12.4）：P C-2

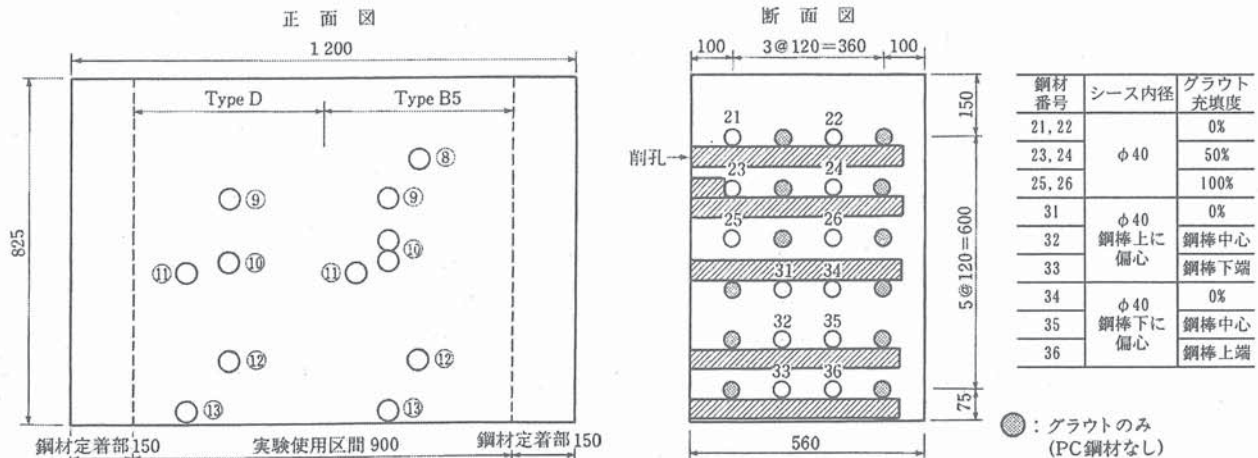


図8 実橋模擬試験体 (PC鋼棒 : φ32) : PC-3

3.3.2 撤去桁を用いた実験

撤去桁を用いた実験は、ウォータージェット工法による削孔の適用性を実構造物で見極める実験である。撤去桁の主方向ケーブルにはPC鋼線 (12φ7) が用いられており、シースは鋼製のスパイラルシースが使用されている。撤去桁は、既往の調査でウェブの圧縮強度が概ね 50N/mm² の密実なコンクリートであることが判明しており、部分的に塩害によるひび割れやはく離が生じている。

撤去桁の概要図を図9に示す。削孔の目的は、主方向PC鋼材のPCグラウトおよびPC鋼材の健全度の点検とPCグラウトの再注入であるため、削孔位置はブリーディングなどの影響でグラウト不良が生じやすい桁端部付近⁵⁾とした。桁端部付近の削孔でPCグラウトの充填が確認されたPC鋼材についてはその時点で点検を完了し、PCグラウトの充填が不足する場合には、支間中央に向かって概ね 2m 間隔で削孔を行い、PCグラウトの充填不足区間の特定を行うこととした。削孔方向は、一般部はウェブ面に対してほぼ垂直となる水平方向 (図10 (b)) を基本としたが、支間中央付近ではPC鋼材が幅横するため、下フランジ下面を上向き (図10 (a)) として削孔を行った。なお、削孔には中水圧大量量のウォータージェット工法を用いた。

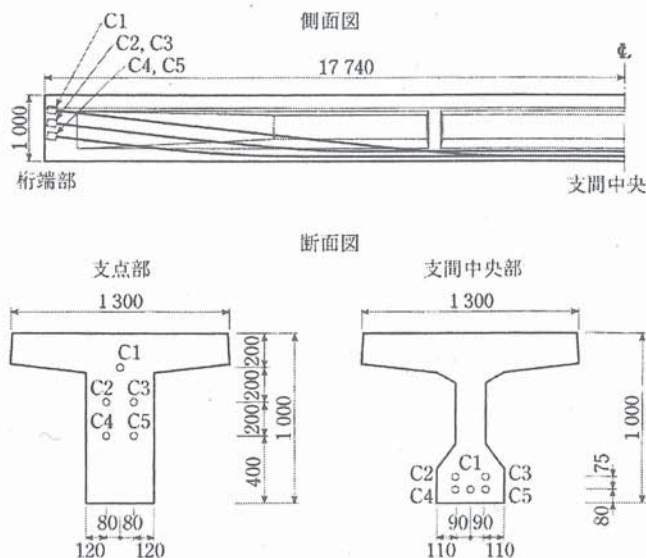


図9 撤去桁の概要図

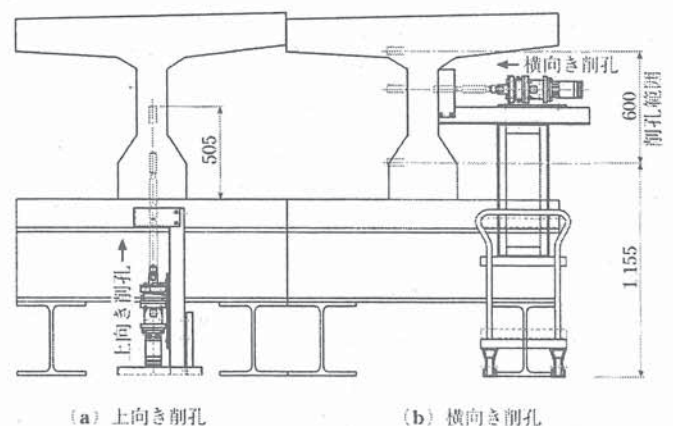


図10 削孔時のWJ施工機械の作業姿勢

点検の方法は、目視を主体とし、目視による判定が困難な場合には内視鏡を用いることで調査が可能である。また、削孔後の鋼製シース内のPCグラウトの充填状況やPC鋼材の健全度の確認方法については、各種実験研究を継続している。

3.4 実験結果と考察

3.4.1 実橋模擬実験

PC-1、PC-2およびPC-3試験体の実験により、以下の事項が明らかとなった。ここで、実験結果の評価では、エネルギー密度を用いて削孔速度等との関係を分析することが適切と考えられた。しかし、削孔の場合は、削孔時の水や削孔ずりの排出量を見ながらノズルを押し込んだり引いたりして施工を行うため、移動量を定量的にとらえにくいため、水圧、水量、水動力と、削孔速度やシースへの変形・損傷程度等を比較してその関係を分析することとした。

①シースのみ配置した試験体（PC-1）の結果

- ・いずれの施工システムでも、グラウトが未充填であればシースが変形することが確認された。よって、シースの変形によりグラウト状態を判別できる。
- ・シース内への流水はノズルがシースの位置に到達する以前に発生した。すなわち、ウォータージェットがシースへ水圧の影響を及ぼす接近距離は高水圧小水量（水圧150MPa、水量28リットル/分、Type B5）で12cm手前、その他の中水圧大水量（水圧60～88MPa、水量82～93リットル/分）で5cm程度手前の位置であった。

②PC鋼材を配置しグラウト充填の程度を変化させた試験体（PC-2、PC-3）の結果

- ・シースの変形や損傷は水圧の高いType B5に多い傾向にあるが、中水圧大水量のType Dでも損傷が発生した。
- ・PCグラウトが充填されているシースはウォータージェットを照射しても損傷しにくい。
- ・シースの中心を目標にして削孔を行うと、PCグラウトが充填されていてもグラウトが粉碎し、PC鋼材が露出するケースがある。
- ・削孔速度は、高水圧小水量のType B5、中水圧大水量のType Dとも顕著な差は見られず、水圧、水量、水動力と削孔速度の相関はあまりなかった。
- ・削孔径が50mm以下で目視観察する場合、手前のシースについてはある程度の損傷状態が確認できたが、その奥に配置されているシースについてはこれが不可能であるため、他の何らかの調査手法の適用が必要であった。
- ・内視鏡を使用したところ、シースの変形状態やPCグラウトおよびPC鋼材の状態が、シース位置にかかわらず容易に確認できた。

以上より、シースの変形や損傷は、水圧や水量の影響よりもノズルを通過させる位置による影響が大きいと言える。また、削孔径が50mm以下であれば、シースの配置が削孔能力に大きく影響を与えないことも判明した。さらに、噴射水による削孔は、ノズル先端より5～12cm先で行われており、これを考慮した削孔深さの管理が必要であることもわかった。PCグラウトおよびPC鋼材の点検に必要な削孔径は、小さいほど構造物に与えるダメージは小さいが、採用する点検手法と合わせて、さらに検討する余地がある。

3.4.2 撤去桁を用いた実験

削孔状況を写真5に示し、削孔箇所とPCグラウトの充填度の確認結果を図11に示す。C1ケーブルについてはほぼ全長にわたってグラウトの充填が不足する箇所が確認され、C5ケーブルについては部分的な充填不足が存在していた。

削孔穴からのグラウトの確認例を写真6に示す。削孔穴は当初、φ50mmを1箇所予定していたが、シースを除去するためには作業空間が狭すぎたため、並列に2箇所の削孔を行ったところ、写真6のように容易にPCグラウトとPC鋼材の状態が観察できた。シース内の状況を確認するため、PCグラウトの充填度が低いC1ケーブルについて内視鏡による観察を行ったところ、比較的健全な状態であった。

このように、ウォータージェットによる削孔を利用してシース内にグラウトを再注入することにより、内部のPC鋼材が水や空気と遮断されて腐食の発生や鋼材の破断を抑制するため、耐久性の向上を期待することができる。

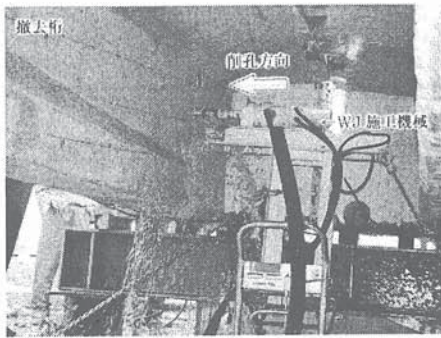


写真5 撤去桁の削孔状況

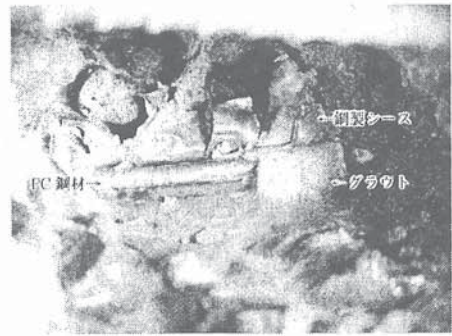


写真6 PCグラウトとPC鋼材の確認

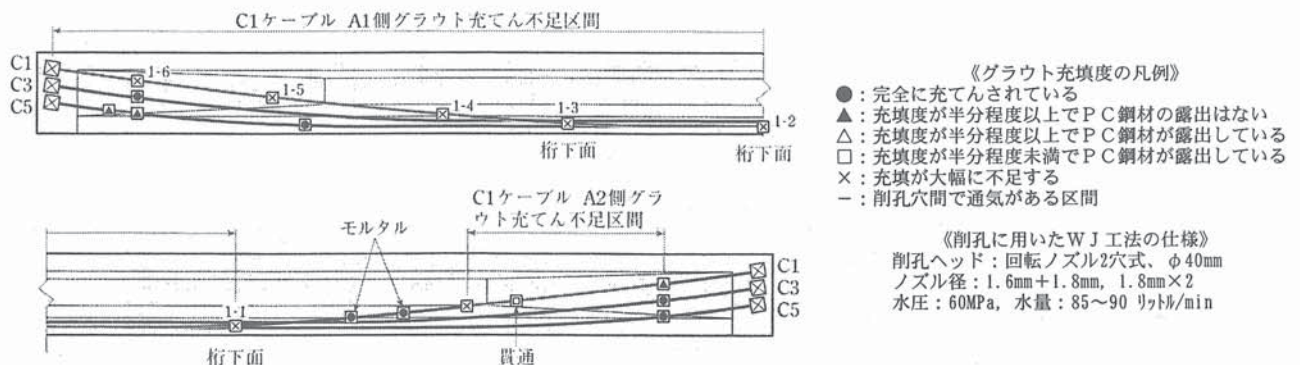


図11 削孔後のグラウト充填度の確認結果 (□の位置は削孔位置を示す)

3.5 まとめ

PC鋼材を配置した模擬試験体および撤去桁を用いたウォータージェット工法による削孔実験で得られた成果をまとめると、次のとおりである。

- ① コンクリート部材および鋼材を損傷させることなく削孔することが可能である。削孔径は最小で 30mm 程度まで可能であった。
- ② 削孔後は内視鏡等によるシース内の観察により、PCグラウトの充填度およびPC鋼材の健全性の調査が可能である。
- ③ 今回採用した実験装置において、ウォータージェットの適切な水圧は 60~150MPa であった。なお、予備実験において、水圧が 200MPa を超える高水圧を使用した場合、端部でコンクリートに圧壊が生じる恐れがあることがわかった。
- ④ 水圧および水量の設定が削孔速度に及ぼす影響は小さい。したがって、構造物に与える影響を考慮すると、適切な水圧範囲の中でも低い水圧の設定が望ましい。
- ⑤ PCグラウトの充填度の目視確認および削孔内での作業を考慮すると、目標削孔径はφ50mm 程度が適切と考えられる。また並列して2箇所削孔を行うとより正確な調査が可能となる。

4. おわりに

本研究において、はく落につながる恐れのある浮きやはく離等の変状部の点検および除去には、ウォータージェット工法の適用が有効であることが明らかとなった。JHでは、コンクリート片はく落防止対策マニュアルに従って、除去された変状部の断面修復およびはく落防止シートの貼付けなどを行って対策を実施することとなっている。今後は、効率や経済性を踏まえ施工方法の検討やデータの蓄積が必要と考えている。

また、PCグラウトやPC鋼材を点検するための削孔については、概ねPC部材内のシース内部の点検が可能な技術

レベルであることが確認できた。さらに実橋への適用実験等により、この手法をグラウト点検のための有効なアプローチ手法として汎用化することが可能と考えられる。なお、この削孔技術は橋脚等の耐震補強工事において、中間拘束筋配置等の削孔にも応用できるものである。

以上のように、コンクリート構造物の変状部の点検技術、ならびにPCグラウトの充填性評価のための削孔技術としてウォータージェット工法を適用することは、更なる耐久性向上に向けて有効な手段であることが確認できた。今後はコスト縮減に向けた施工の合理化、都市内における騒音の低減、処理水の回収と水処理技術の効率化などを図り、ウォータージェット工法の更なる性能向上を図っていきたいと考えている。

謝辞： 本研究は、「ウォータージェットによるコンクリート構造物の点検・補修検討会（座長 関東学院大学工学部土木工学科 出雲淳一教授）」を設置し、その検討内容を反映しながら進めたものであり、座長はじめ検討会メンバーより貴重なご指導、ご助言をいただいた。また、実験にあたっては、日本ウォータージェット施工協会、（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会に協力していただいた。ここで関係者の皆様には誌面を借り、深謝の意を表すものである。

〔参考文献〕

- 1) 紫桃孝一郎・上東 泰・野島昭二・吉田 敦：ウォータージェット技術を利用した新旧コンクリート構造物の一体化処理，コンクリート工学，Vol38，No.8，pp.40～54（2000. 8）
- 2) ウォータージェット施工マニュアル，日本道路公団 技術部構造技術課，平成12年6月
- 3) 谷倉 泉・設楽和久・上東 泰・野島昭二：ウォータージェット工法を用いたコンクリート構造物のはつり処理性能試験，日本ウォータージェット学会，第16回研究発表講演会 論文集，pp.53～62（2002. 1）
- 4) コンクリート片はく落防止対策マニュアル，日本道路公団 技術部構造技術課，平成12年11月
- 5) 野島昭二・菅野昇孝・上東 泰・紫桃孝一郎：PCグラウトの補修技術の開発，コンクリート工学，Vol41，No.11，pp.31～43（2003. 11）