

## PC グラウトの補修に用いる削孔技術の検討

日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室

同上

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

同上

正会員 ○野 島 昭 二

正会員 紫 桃 孝一郎

正会員 奥 村 一 彦

正会員 菅 野 昇 孝

### 1 はじめに

既設 PC 構造物の PC グラウトの充填度を評価する方法として、X 線透過法や打音振動法を用いた非破壊検査手法があるが、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を特定できないなど、あらゆる部材に対して PC グラウトの充填度を評価できないうえに、PC 鋼材の健全度も評価できない。そこで、既設部材を削孔し、目視により直接 PC グラウトの充填度を評価する試みを行った。削孔は、既往の研究<sup>1)</sup>により既設コンクリート部材や鋼材に損傷を与えないウォータージェット工法(以下、「WJ 工法」という)を選定した。WJ 工法は、コンクリート構造物の補修補強に用いられているが、削孔に適用を検討された事例は少ない。本文は、WJ 工法によるコンクリート構造物の削孔について、供試体および PC 桁を用いた実験により適用性を確認したものである。その結果、WJ 工法に使用する水圧、水量およびノズル形状を適切に選定、操作することにより、PC グラウトの充填度および PC 鋼材の健全度の評価に利用できる削孔が可能であることを明らかにした。

### 2 実験概要

#### 2.1 削孔の工種

本検討に用いた WJ 工法を表 1 に示す。回転ノズル 2 穴式 (TypeA, B) は、削孔ヘッド先端に水の噴射角度が異なる 2 個のノズルが設置されている。一方は、ほぼ削孔方向で主に掘進の能力を期待するもので、いま一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。ノズル径により、水圧および水量が異なる。アブレイシブ (TypeC) のノズルは 1 個で、噴射水に研磨剤(けい砂)を混入することにより低水圧での削孔を期待したもので、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仕込まれている。また、削孔に有効と判断した回転ノズル 2 穴式 (中水圧大水量) については、ノズルの違い

(TypeD, E および F) による比較を行うこととした。

#### 2.2 基本性能の確認実験

基本性能の確認実験は、WJ 工法による削孔の精度、能力および構造物に対する影響等を確認する目的で行うものである。試験体は図 1, 2 に示すように貫通用の RC-1 試験体と、PC 鋼棒を配置した RC-2 試験体の 2 種類とした。また、WJ 工法の施工能力等は粗骨材の種類別に影響を受けることがあり、川砂利、砕石の 2 種類の粗骨材を使用して試験体をそれぞれ

表 1 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 (l/min)	その他
TypeA <sub>1</sub>	回転ノズル 2 穴式 (中水圧大水量)	φ23	① φ1.50	88	93	回転数 50rpm
TypeA <sub>2</sub>			② φ1.70	69	82	
TypeA <sub>3</sub>			① φ1.70	69	92	
TypeB <sub>1</sub>	回転ノズル 2 穴式 (高水圧少水量)	φ35	① φ0.80	245	25	回転数 280rpm
TypeB <sub>2</sub>			② φ0.40	150	33	回転数 100rpm
TypeB <sub>3</sub>			① φ0.85	175	36	
TypeB <sub>4</sub>			② φ0.85	200	39	
TypeB <sub>5</sub>			① φ0.85	150	28	
TypeC <sub>1</sub>	アブレイシブ (低水圧中水量)	φ48	φ2.00	29	50	研磨材量 1.5kg/min
TypeC <sub>2</sub>		φ35				
TypeD	回転ノズル 2 穴式 (中水圧大水量)	φ42	① φ1.60 ② φ1.80	60	84	回転数 30rpm
TypeE	回転ノズル 1 穴式 (中水圧大水量)	φ32	φ2.00	60	58	回転数 30rpm
TypeF	回転ノズル 1 穴式 (中水圧大水量)	φ42	φ2.40	60	90	回転数 30rpm

作製した。ここで、試験体に使用したコンクリートの呼び強度は  $40\text{N/mm}^2$  である。

実験は、RC-1 試験体を用いて試験体長さ  $1\text{m}$  を貫通する削孔を行い、貫通に要した時間および出来形等を確認した。目標削孔径は、削孔前に各ノズルに適する径をあらかじめ定めた。つづいて、RC-2 試験体を用いて PC 鋼棒の中心を目標とする削孔を行い、ノズル先端が PC 鋼棒に接触した時点で削孔を終了する作業を実施した。これは、WJ のノズルと PC 鋼棒の接触が、鋼材に与える影響を確認するためである。また、PC グラウトの有無の違いによる鋼製シースの状態も確認することとした。

## 2.4 撤去桁を用いた実験

撤去桁を用いた実験とは、過去に道路橋として用いられていた PCT 桁に対して削孔を実施するもので、実構造物での WJ 工法による削孔の適用性を見極める実験である。撤去桁の概要図を図 3 に示す。撤去桁の主方向には PC 鋼線  $12 \phi 7$  が 5 ケーブル配置されており、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により、圧縮強度が概ね  $50\text{N/mm}^2$  の密実なコンクリートであることが判明しており、塩害による変状を部分的に有する。削孔位置は、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を目的にすることから、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の位置<sup>2)</sup>とした。この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している場合には支間中央に向かって概ね  $2\text{m}$  の間隔で削孔を行い、PC グラウトの充填不足区間の特定を行うこととした。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、内視鏡を用いた。また、WJ 工法による削孔のみでは鋼製シースが障害となり PC グラウトおよび PC 鋼材の確認ができない場合があると想定し、鋼製シースの除去方法についても検討した。

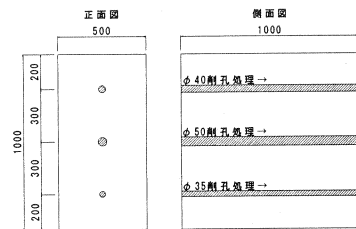


図 1 RC-1 試験体

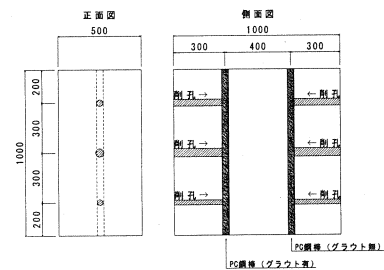


図 2 RC-2 試験体

## 3 実験結果と考察

### 3.1 基本性能確認実験

#### (1) RC-1 試験体を用いた実験結果

RC-1 試験体による実験結果を表 2 に示す。各試験体とも直進性はほぼ確保できていると判断でき、施工機械の違いによる差もないが、いずれも上方に偏心する傾向が見られた。削孔径は、いずれも目標削孔径を大きく逸脱するものはなかった。

削孔穴の形状を図 4~6 に示す。TypeA<sub>1</sub> は水压では粗骨材を粉砕す

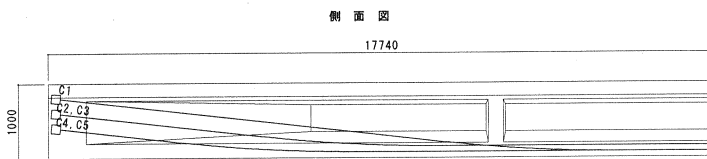


図 3 撤去桁の概要図

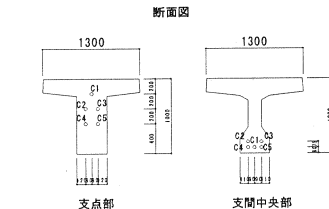


表 2 基本性能確認実験の結果 (RC-1 試験体)

試験体の粗骨材の種別	川砂利			砕石									
	Type A1	Type B1	Type C1	Type A1	Type B1	Type B2	Type B3	Type B4	Type C1	Type D	Type E	Type F	
施工機械	Type A1	Type B1	Type C1	Type A1	Type B1	Type B2	Type B3	Type B4	Type C1	Type D	Type E	Type F	
目標削孔径 (mm)	$\phi 40$	$\phi 35$	$\phi 50$	$\phi 40$	$\phi 35$	$\phi 50$	$\phi 50$	$\phi 50$	$\phi 50$	$\phi 50$	$\phi 50$	$\phi 50$	
実験結果	削孔長 (mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	587*1	1000	
	削孔径*2 (mm)	入口	40/40	35/40	50/50	40/40	50/50	59/56	55/55	60/59	35/40	64/60	55/40
		出口	40/41	40/40	50/50	38/50	50/50	54/56	69/68	64/69	31/40	60/50	—
	直進性 (mm)	上下	上 10	$\pm 0$	上 10	$\pm 0$	上 10	—	—	—	$\pm 0$	$\pm 0$	—
		左右	右 5	左 10	左 5	左 10	$\pm 0$	—	—	—	左 10	左 10	$\pm 0$
削孔時間 (min)	54	17	99	24	13	34	30	31	57	22	29	32	

\*1: ロット長不足のため貫通せず, \*2: (上下方向/水平方向) の削孔穴の径を示す

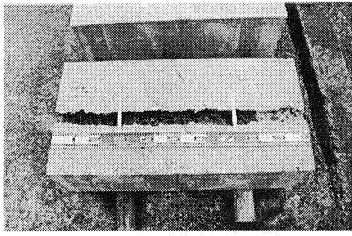


図4 TypeAの削孔穴の形状

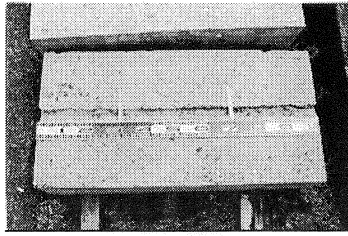


図5 TypeBの削孔穴の形状

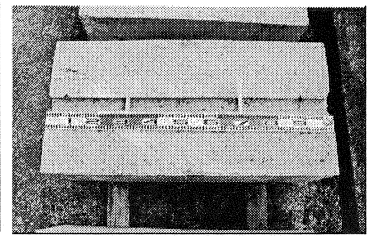


図6 TypeCの削孔穴の形状

るエネルギーを有していないため、粗骨材の大きさに影響を受けて孔壁に凹凸が目立つ結果となった(図4)。TypeB<sub>1</sub>は、高水圧仕様で粗骨材も粉砕しながら削孔が可能のため、孔壁の仕上がりは比較的平滑であったが(図5)、貫通直前に図7に示すように試験体の破壊現象が見られた。これは、形成された削孔穴とロットの隙間に骨材の削孔粉がかみ合うことにより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。そこで、TypeB<sub>2</sub>~B<sub>4</sub>のように水圧を下げた削孔を実施したところ、このような試験体の破壊現象は見られなかった。TypeC<sub>1</sub>は、ノズル先端にビットが仕込まれているため、均一な孔壁の仕上がりとなった(図6)。

水圧または水量と単位長さ当りの削孔時間の関係を図8, 9に示す。これより、削孔能力は試験体の使用粗骨材の影響を受けていると判断でき、総じて川砂利より碎石のほうが削孔速度は速い。これは、川砂利は噴射水による破砕が困難なのに対し、碎石は粉砕が容易であるためといえる。また、TypeCは、低水圧のエネルギーをカバーするため研磨剤および切削ビットを併用したWJ工法であるが、他の工法に比べて削孔能力に優位性は見られない。さらに、水圧ならびに水量に対する相関は見受けられず、TypeB<sub>1</sub>での試験体の破壊例を考慮すると、できるだけ低水圧で適切なノズルを選定することが効率的な削孔に有効であると思慮される。本実験の範囲内では、水圧60~150MPa程度で流量が50~100l/分前後が適切であると判断できる。

(2) RC-2 試験体を用いた実験結果

RC-2 試験体は、鋼材への接触を再現する実験であるが、いずれの工法の場合にも、WJのノズル先端と鋼材の接触を操作技術者(オペレータ)が感知し、直ちに削孔を停止することができた。また、いずれの工法でもPC鋼材を大きく損傷させるものはなかったが、水圧によるシーすの変形や破損が見られ、グラウトも一部破損させるものがあった。TypeC<sub>1</sub>のWJ工法では、図10に示すようにビットおよび研磨材の痕跡がPC鋼棒に確認された。そこで、機械的な性質を確認するため、PC鋼棒の引張試験を行ったところ、引張強さの低下は見られず、破断位置も損傷部以外であった。したがって、WJの噴射水や研磨材はPC鋼材の静的な耐力には大きな影響を与えることがないといえる。

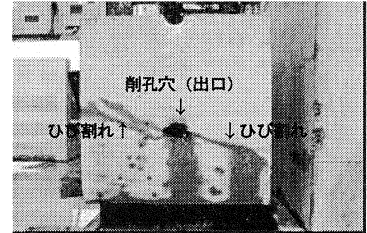


図7 削孔中に生じたひび割れ

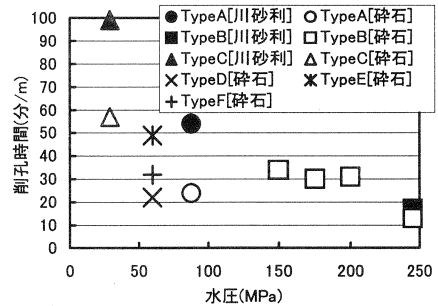


図8 水圧と単位長さ当りの削孔時間

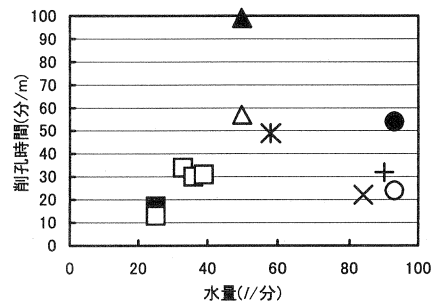


図9 水量と単位長さ当りの削孔時間

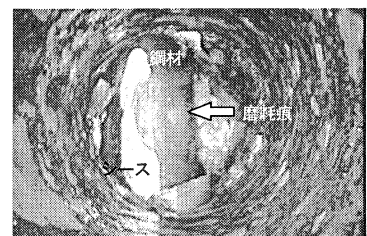


図10 PC鋼棒の損傷状況

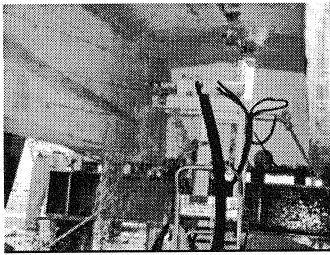


図 11 WJ 工法による削孔の状況

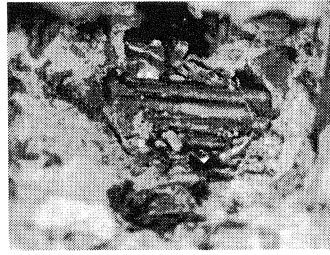


図 13 グラウトと鋼材の確認状況

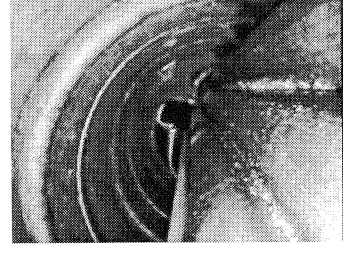


図 14 内視鏡による観察状況

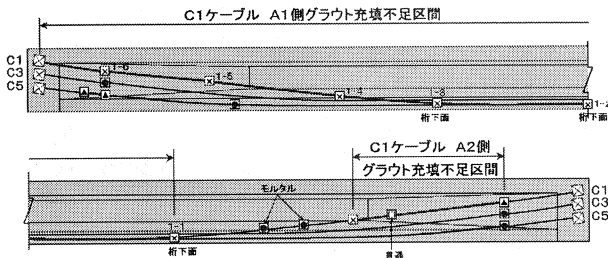


図 12 グラウトの充填度の確認結果 (口の位置は削孔位置を示す)

《グラウト充填度の凡例》  
 ● : 完全に充填されている  
 ▲ : 充填度が半分程度以上で PC 鋼材の露出はない  
 △ : 充填度が半分程度以上で PC 鋼材が露出している  
 □ : 充填度が半分程度未満で PC 鋼材が露出している  
 × : 充填が大幅に不足する  
 — : 削孔穴間で通気がある区間  
 《削孔に用いた WJ 工法の仕様》  
 削孔ヘッド : 回転ノズル 2 穴式, φ40mm  
 ノズル径 : 1.6mm+1.8mm, 1.8mm×2  
 水圧 : 60MPa, 水量 : 85~90l/min

### 3.2 撤去桁を用いた実験

削孔状況を図 11 に示し、削孔箇所と PC グラウトの充填度の確認結果を図 12 に示す。C1 ケーブルについてはほぼ全長にわたり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図 13 に示す。削孔穴は当初、φ50mm の削孔径を 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結果、図 13 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。シースおよび PC 鋼材は図 14 に示すように、点錆程度は確認できるものの、比較的健全な状態であった。確実なグラウトの再注入により、PC 構造物の耐久性の回復が期待できる状態であると判断できる。

### 4 まとめ

WJ 工法を用いて PC グラウトの充填度および PC 鋼材の健全度が判定可能な削孔方法について、基礎的な実験から実橋レベルでの適用性まで検討を実施した。その結果、以下のことが判明した。

- ① WJ 工法による削孔により PC グラウトの充填度および PC 鋼材の健全度の判定が可能である。
- ② WJ の適切な水圧は 60~150MPa である。水圧が 200MPa を超える高水圧を使用した場合、構造物の破壊が生じる懸念があるので適用できない。
- ③ 削孔の能力はコンクリートの使用骨材の種別の影響が大きく、川砂利は碎石よりも削孔能力が極端に落ちる場合がある。一方、水圧、水量の設定が削孔能力に及ぼす影響は小さい。よって、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。
- ④ PC グラウトの充填度の確認と削孔穴内での作業を考慮すると目標削孔径は φ50mm 程度が適当であり、並列して 2 本の削孔穴を設けるのが望ましい。
- ⑤ 削孔穴を利用した PC グラウトの確実な再注入工法を確立することにより、PC 構造物の耐久性の確保が期待できる。

### 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, Vol.38, No.8, pp.40~54, 2000.8
- 2) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性委員会: ノンブリーディンググラウトへの移行について, プレストレストコンクリート, Vol.40, No.3, pp.71~77, 1998.5