

## 狭小部を想定したグラウト再注入工法の開発

オリエンタル白石(株) 正会員 工修○西須 稔  
 オリエンタル白石(株) 正会員 工博 渡瀬 博  
 中日本高速技術マーケティング(株) 正会員 野島昭二  
 中日本高速技術マーケティング(株) 正会員 工博 熊谷紳一郎

キーワード：グラウト再注入，小径削孔，空洞量調査，切り換え注入

### 1. はじめに

旧来の PC グラウトに関しては材料，施工方法，品質管理や検査方法に関する技術の限界もあり，結果として写真-1に示すような充填不足となっている場合があった。既存の社会資本ストックを有効に活用していくことが重要であり PC 橋について適切な維持管理を行い，将来負の遺産とならないよう努力することは，現在 PC 構造物に携わる技術者の責務であると考えられる。PC グラウト充填不足があった場合でも PC 鋼材が健全であれば，グラウト再注入することにより PC 構造物の耐荷力と耐久性を確保することは可能である。



写真-1 グラウト未充填

グラウト再注入工法は，新設のグラウト注入と比較して高度な技術が求められる一方で，既存の技術を転用している事例も多く，再注入に特化した技術開発が求められた。このような背景から構造物への負担軽減，シース内の空洞量推定方法の高精度化，グラウト充填性の向上を目的として新たな PC グラウト再注入工法（PC-Rev 工法）を開発した。

### 2. 本工法の概要

本工法は，「小径削孔」「シース内の空洞量推定」「切り換え注入」の技術要素で成立している。グラウト再注入の一般的な施工フローと，適用工程を図-1に示す。

以下に，本工法におけるそれぞれの技術要素について述べる。

#### 3. 調査および注入用削孔

##### 3.1 既存技術の課題点

調査および注入用削孔としては，制御付き振動ドリルやウォータージェット（以下，WJ という）等を使用した既存技術が挙げられる<sup>2)</sup>。それらの課題点を表-1に示す。

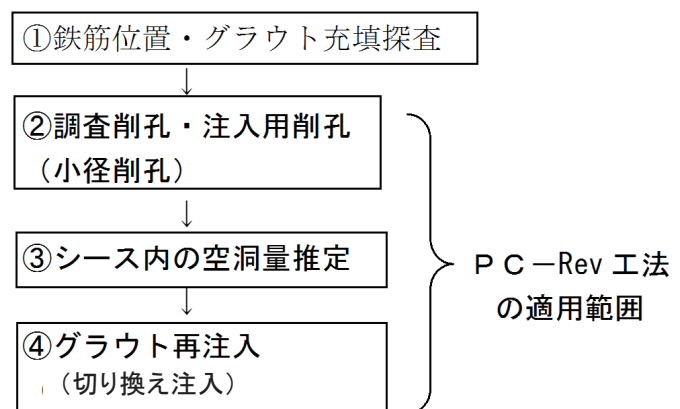


図-1 本工法の適用工程

表-1 既存技術の課題点など

作業内容	既存技術	課題点
グラウト充填の微破壊調査	制御付き振動ドリルや、はつり工具および内視鏡を用いた微破壊調査	水分やシース腐食の影響などドリルコントローラの感度調整が難しい。
	超音波振動ドリルや内視鏡 (直径 6~25mm) を用いた微破壊調査	削孔方向で感度が異なり熟練度を要する場合がある。
注入用削孔	削孔径 50~80mm のセンサ付きコアドリルを用いた削孔	削孔径が比較的大きく構造物への影響が大きい場合がある
	削孔径 50mm のWJによる削孔	上向き削孔には不向きで大型機材を使用する。
シース開削	タガネ、はつり用ドライバーを用いた開削	小径、深穴に対応が困難となる場合がある。
注入口	ツバ付き塩ビ管を使用	気密性確保の接着工程に時間を要し、構造物内に異物が残る可能性が高い。
	ゴム式キャップ	削孔上部にエア溜まりが生じる可能性がある

### 3. 2 本工法による削孔技術

本工法では、表-1の既存技術の課題点を踏まえ、削孔部周辺や構造体への損傷や負荷を軽減することができる回転式ドリルを用いて削孔を行った。回転式ドリルを写真-2に、削孔状況を写真-3に示す。



写真-2 回転式ドリル



写真-3 削孔状況  
(削孔径 15.5mm)

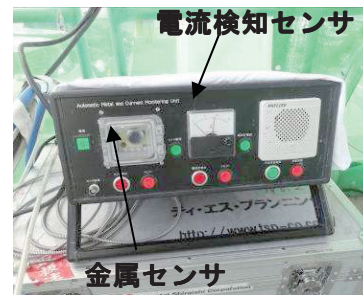


写真-4 電流検知および  
金属感知センサ

従来方法ではφ50~80mmの孔<sup>3)</sup>で作業を行っていたが、構造体への損傷を小さくするため、削孔径をφ15.5mmとして施工できる工法とした。さらに、電流および金属を検知する2つのセンサを使用し、シース接触時に自動停止するシステムを開発した(写真-4)。電流検知センサは、ドリルがシースと接触すると電流が急激に増加し、過電流を検出する。あらかじめ検出したい電流値に設定しておくことにより設定を超過すると自動停止する。一方、金属センサは、シース等に接触した時に切削された鉄粉を水循環装置により吸引し、これを感知する。この2つのセンサにより、回転式ドリルを自動停止させる。また、自動停止させると同時にブザーと赤ランプの点灯にて、使用者に告知する。このような特長により構造体への損傷を極力低減した削孔が行える。

### 4. シース内の空洞量推定

#### 4. 1 既存技術の適用範囲および課題点

シース内の空洞量推定としては、多点削孔、検測尺<sup>3)</sup>、空圧法の3つの既存技術が挙げられる。その原理、適用範囲、課題点を表-2に示す。いずれの手法も、注入管理の指標として必要な精度の確

保が困難なため、実際の注入管理では排気口からの排出確認のみである。

表-2 既存技術の適用範囲, 課題点

既存技術	原理	適用範囲
		課題点
多点削孔	ドリルやWJによる多点削孔により, 旧グラウト境界付近を検索することで注入口の選定や空洞量を推定する手法	ドリル削孔やWJが適用可能な範囲
		グラウト境界の探査において1ケーブルに対し多数の削孔が必要である。
検測尺	開口部よりワイヤーを挿入し, 挿入長さから空洞量を推定する手法	ロッド挿入が可能な開口部があり, シース内に, ある程度の空間が存在すること。
		シース内空隙部が狭いとワイヤーを奥まで挿入できないことも考えられる。鋼棒周囲に螺旋に挿入される可能性もある。
空圧法	開口部より低圧・定量の空気を送気して, 圧力変化の挙動を測定する。室内試験より算出した検量線と比較して空洞量を推定する手法	構造物条件が試験体と類似している必要があり, ひび割れ, 漏気が少ない条件が望ましい。
		シース内の狭小部や漏気の影響など, 実験条件と異なる場合は現場条件に左右される。

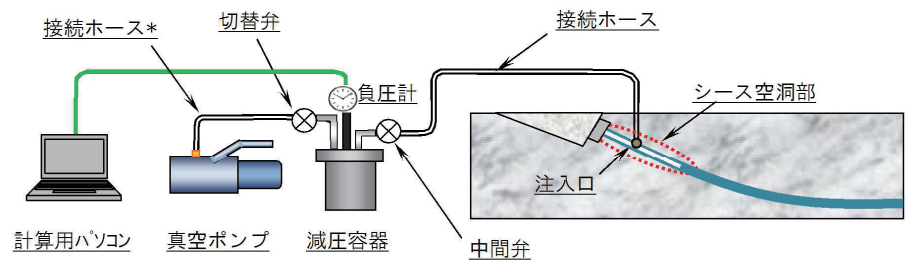
#### 4.2 空洞量推定方法

##### (1) 理想気体の状態方程式による推定

図-2に示すように, 真空近くに減圧した減圧容器をシース管と連結する。減圧容器に設置した中間弁を開放し, 減圧容器の圧力変化を計測する。

この圧力の状態に理想気体の状態方程式を適用して, シース内の空洞量を推定する。

理想気体の状態方程式より



\*真空ポンプの接続ホースについては, 真空ポンプ専用のホースを用いる。

図-2 空洞量推定での機材接続経路図

$$PV/RT = n \dots \text{式(1)}$$

ここで, P: 圧力, V: 体積, R: 気体定数, T: 絶対温度の気温, n: 気体の物質質量  
中間弁での開放前後で分子量は不変であり温度を一定と仮定すると, 式(1)は以下となる。

$$P1 \cdot V1 + P2 \cdot V2 = P3(V1 + V2) \dots \text{式(2)}$$

(減圧容器)      (シース空洞)      (開放後の状態)

ここで, V1 (減圧容器の体積), P2 (大気圧) は既知 (測定済み) であるから, P1 (中間弁開放前の容器圧), P3 (開放後の容器圧) を計測することで V2 (シース内の空洞量) を推定することができる。

シース内の気密が確保されている場合, 減圧容器内の圧力変化の一例を, 図-3に示す。

計測時間 T1 までは, 減圧容器内の圧力は一定 (約 -90kPa 以上) に保たれている。T1 において中間弁

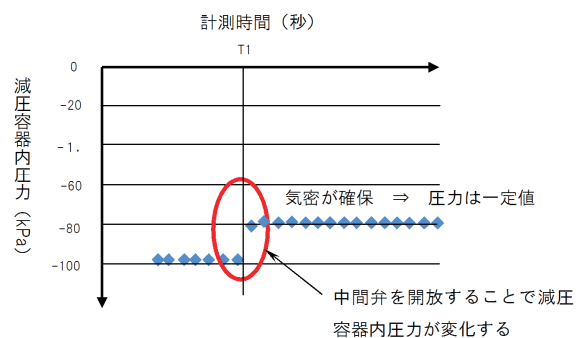


図-3 減圧容器内の圧力変化の一例 (シース内の気密が確保されている場合)

を切り換えると、シース内空洞部と減圧容器が接続されるため圧力は変化する（図-3では約-90kPaから約-80kPaに変化する）。シース内の気密が確保されている場合は、変化後の圧力も一定に保たれる。中間弁切り換え前後の圧力を式(2)に代入することで、シース内空洞量を推定できる。

## 5. 切り換え式グラウト注入

### 5.1 既存技術の課題点

グラウト再注入では、新設時に使用するグラウト機材（スクイーズ式ポンプやグラウト流量計等）を使用した既存技術が考えられる。それらの課題点を表-5に示す。

表-5 既存技術の課題点など

作業内容	既存技術	課題点
注入方法	真空ポンプを併用し、シース内を真空後にポンプ加圧へ切り換える。	ポンプからの材料供給が遅いとポンプ側からエアを巻き込む可能性がある
注入ポンプ選定	スクイーズ式ポンプ	脈動による閉塞の可能性がある

### 5.2 注入方法

本工法では真空ポンプでシース内部を減圧し、その負圧による吸引でグラウトを注入する。負圧吸引による注入後、バイパス（切換弁）を閉じて、脈動の少ないスネークポンプによる加圧注入を実施する（図-7）。これにより、図-8に示すようなグラウト材のエア噛みや閉塞のリスクが低減されると考えられる。そして、注入後の加圧により充填性はさらに向上する。

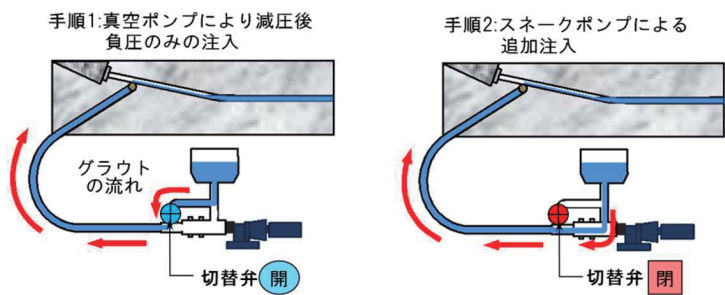


図-7 切り換え式グラウト注入

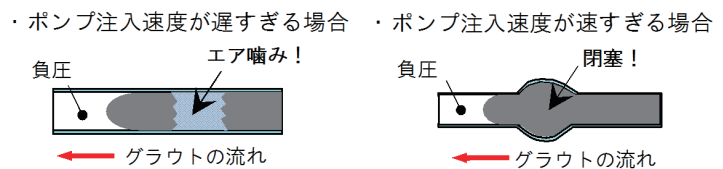


図-8 エア噛みおよび閉塞の概要

## 6. まとめ

本工法の特徴を以下に示す。

- (1)小径削孔（φ15.5mm）により構造物への損傷を小さくした。また、負荷電流および金属シース片を検知するセンサを使用しシース接触時に自動停止する削孔システムを提案した。
- (2)シース内の空洞量を定量的に把握できるため、精度の良い注入量管理が可能と考えられる。
- (3)注入方法の切り換えにより、注入時のリスクが低減されると考えられ、グラウト充填性の向上が期待できる。

グラウト未充填部は複雑な形状となっており、さまざまな形状の削孔、空洞推定および注入の課題に対し、今後も更なる検討を進めていく必要がある。

## 参考文献

- 1) 井隼俊也, 崎谷和也, 渡瀬博, 藤原規雄:プレストレストコンクリート, Vol.55, No.6, pp.74-81, 2013.11
- 2) 日本道路公団 試験研究所(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会:PC橋の耐久性能の向上技術に関する研究 共同研究報告書, 2003.3
- 3) 鉄道総合技術研究所:PCグラウトの再注入等補修マニュアル(案), 2002.8