

# 覆工背面空洞充填状況の調査方法の開発と実際

## Inspection Method of Filling Status in Rear Cavity behind Lining of Small Cross Section Tunnels

高橋 直樹 NAOKI TAKAHASHI

山地 宏志 HIROSHI YAMACHI

戸村 豪治 GOJI TOMURA

小断面トンネルを対象とした覆工背面充填工法において、小径の検査孔を削孔して目視で充填状況を確認できる覆工背面空洞の調査方法を開発した。本手法は、小口径削孔システムで削孔した直径 24.5mm の検査孔壁を棒形スキャナで撮影し、その画像から充填状況を調査するものである。

検査孔削孔から撮影までの一連の作業時間は、検査孔一箇所あたり 15 分程度であった。また、得られたスキャン画像は鮮明であり、充填状況を十分な精度で調査可能であることを検証した。

**キーワード：**小断面トンネル、補修、小口径削孔検査

The authors have developed an inspection method of filling status in the rear cavity behind lining for rehabilitation of small cross section tunnels, which can be examined by viewing through small drilled hole for inspection. In this method, an expand image of inside surface of inspection hole drilled with a diameter of 24.5mm is taken by stick scanner and filling status is able to be evaluated by this image. Required time of operational procedure form drilling of inspection hole to image scanning takes almost 15 minutes for one hole. It is demonstrated that precise investigation of filling status with clear scan images can be acquired.

**Key Words:** Small cross section tunnel, Rehabilitation, Small drilled hole inspection

### 1. はじめに

わが国の社会生活および産業活動を支える基盤インフラの一つである工業用水や農業用水をはじめとする水路トンネルは、明治期から戦後の高度成長期にかけて集中的に整備されてきた。その多くが老朽化しつつあり、持続可能な社会生活を担保するためには、これらの水路トンネルを適切に維持管理してゆくことが必要不可欠である。

トンネルの最も一般的な補修方法として、覆工背面空洞の充填方法がある。覆工と背面地山との間の空洞を充填することによってトンネル覆工に作用する外力を均等化させて補強する方法である。当社もモールグラウト工法<sup>1)</sup>をこの手法の一つとして開発実用化している。

空洞充填においては、工事前および工事後の充填状況を把握することが重要であり、既存の調査方法では不十分な面がある。そこで、筆者らは、小径の検査孔を削孔して検査孔内壁を撮影し、目視で充填状況を確認できる簡易型充填調査方法（モールスパイグラスシステム）を

開発した。

本文は、システムおよび調査方法の概要、ならびに現場へ適用した結果から本手法の有効性について述べるものである。

### 2. モールスパイグラスシステムの概要

#### (1) 調査方法の現状

覆工背面充填工法における充填状況の調査方法として、農業用水トンネルでは直径 50mm のボーリング孔を 500m おきに削孔し、採取したコアによる調査を基本としているが、①直径 50mm という比較的大きな削孔径であるため覆工に損傷を与えることが懸念される、②検査孔の間隔が 500m おきであるためその間の充填状況が不明であり、詳細な充填状況を把握できない、などの問題がある。一方、レーダー探査を用いた非破壊検査による方法もあるが、充填材の含水率が高いため、水が存在した場合に充填材と水溜り部の区別が困難な場合があり、充填状況の調査に本手法を用いることは精度の上で疑問

が残る。また、調査費用が高額となるという問題点もある。このようなことから、簡易で安価、しかも確実に充填状況を把握できる調査手法が求められている。

(2) 開発したシステムの概要

今回、モールグラウト工法の簡易型充填調査方法として採用したのは、小口径削孔システムで削孔した直径24.5mmの検査孔内壁を棒形スキャナで撮影し、その画像から充填状況を調査するものである。検査孔の直径が24.5mmと小径であるため、覆工や充填材に与える損傷が抑制でき、コアの採取が困難な低強度の充填材でも充填状況の確認が可能である。また、検査後の検査孔の補修が容易であることも特徴として挙げられる。

検査孔の削孔には、図-1に示す小型コアドリルならびにウォーターリサイクルユニットで構成されるシステムを採用した。本削孔システムは小型のため運搬が容易であり、小断面トンネル内においても削孔作業を効率良く行うことが可能である。また、削孔水循環装置を採用したことにより、坑内において削孔水を調達する必要がなく、さらに坑内への濁水の排出が抑制されるという利点を有している。

一方、検査孔内壁の撮影には、図-2に示すスティックタイプの棒形スキャナ<sup>2)</sup>を採用した。本スキャナは、コンクリート構造物のひび割れや中性化などの劣化状況を目視により確認するために開発されたものである。本スキャナで画像を読み取る原理は、紙面などを読み取る一般のハンディスキャナと同じ原理を用いており、スキャナ(センサ)の移動距離をローラーを介したエンコーダで計測しながらイメージセンサでスキャニングする。

表-1はスキャナの仕様を示したものである。イメージセンサ部の長さは約300mmであり、実際に画像をスキャンするセンサ長は210mmである。たとえば、深さ300mmの検査孔内壁を全長に渡って撮影する場合、210mmと90mmの2回に分けて撮影することになる。撮影した画像データはSDカードに保存される他、スキャナ本体をパソコンと連動させることにより、リアルタイムでスキャン画像をパソコンのモニタ上にて確認することが可能である。このため、撮影した箇所においてすぐに充填状況を把握することができる。

(3) 調査方法

図-3は、調査のフローを示したものである。本フローに示す一連の作業は、一人で実施可能である。まず、小口径削孔機定着用のアンカーを打設する。次に、小口径削孔システムを設置し、検査孔の削孔を行う。前述したように、採用した棒形スキャナのイメージセンサ部の長

さが約300mmのため、削孔長は最大で300mmとなる。棒形スキャナによる検査孔壁面画像は、イメージセンサ部を検査孔に挿入し、スキャナ本体を手動で二周回転させることにより欠落なく撮影することができる。



図-1 小型削孔システム

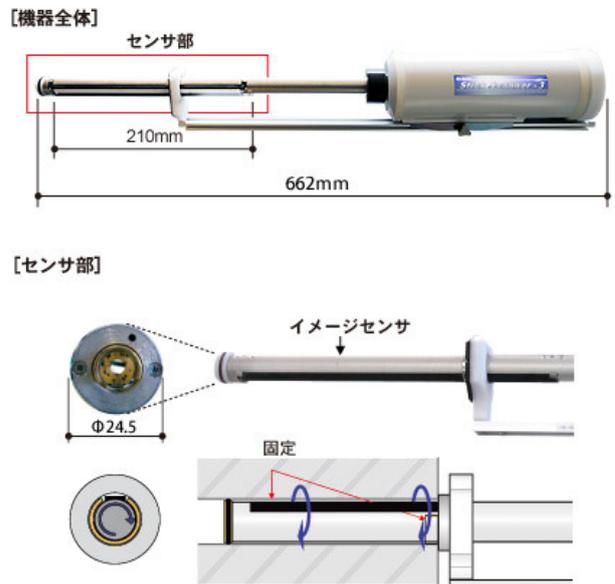


図-2 棒形スキャナ (計測リサーチ WEB サイトより)

表-1 スキャナの仕様

項目	仕様
読取削孔穴サイズ	直径24.5mm
読取有効サイズ	210mm (主走査方向: 穴奥行き方向) 160mm (副査方向: 回転方向)
出力解像度	600dpi/300dpi 24bitフルカラー
外径寸法	幅81mm×高さ94mm×長さ662mm
データ保存方法	パソコン/SDカード
電源	単三型充電電池4本

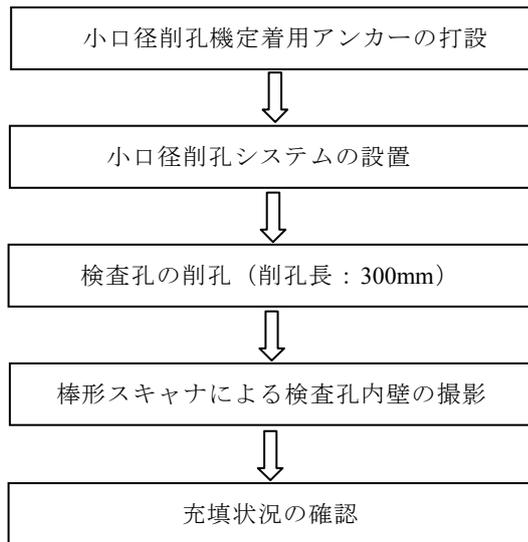


図-3 調査フロー

### 3. 現場での適用

本システムを適用した現場は、大正11年竣工の発電用水路トンネルにおける覆工背面充填工事である。対象となるトンネルは、内空断面積約 $6\text{m}^2$ 程度の小断面トンネルであり、当該工事においては通水停止期間が7日間という限られた期間において、覆工背面空洞への充填から充填状況の確認までの一連の作業を効率的に行うことが求められた。調査は充填区間約200mに対して10m間隔で実施した。

写真-1～写真-4は、実際の調査状況を示したものである。この場合、検査孔一箇所における調査完了までの所要時間は、おおよそ15分程度であった。検査孔削孔作業においては、ウォーターリサイクルユニットの採用により作業時の濁水の漏出は一切なく、坑内環境に悪影響を与えないことを確認した。

例として、二つの検査孔で撮影した検査孔内壁の二周分の展開画像を写真-5および写真-6に示す。写真中の数値はトンネル内壁からの距離を示している。

写真-5について、削孔深度は約190mmであり、画像はトンネル内壁面0mm～約190mmの間を示したものである。画像より、充填材が覆工背面の空洞に充填されていることが分かる。一方、写真-6は覆工背面に岩片や礫が点在している箇所での画像を示したものである。ここでの削孔深度は約300mmであり、画像はトンネル内壁から約90mm～300mmの間を示したものである。画像より、岩片や礫が点在しているものの、それらの間隙に至るまで充填材が充填されていることが鮮明に分かる。なお、仮に空洞部が残されていた場合、その箇所はスキャン画



写真-1 小口径削孔機定着用アンカーの打設状況



写真-2 小口径削孔システムの設置状況



写真-3 検査孔削孔状況



写真-4 棒形スキャナによる検査孔内壁の撮影状況

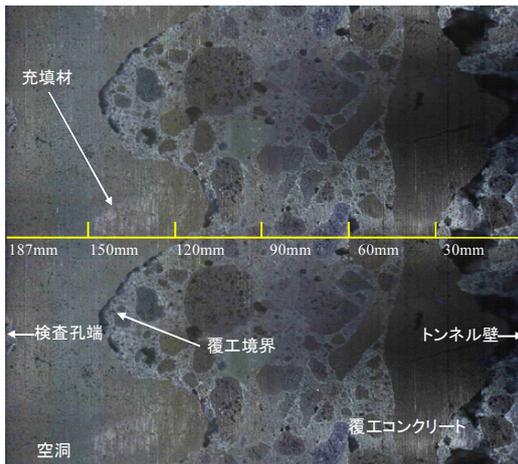


写真-5 スキャン画像 (その1)

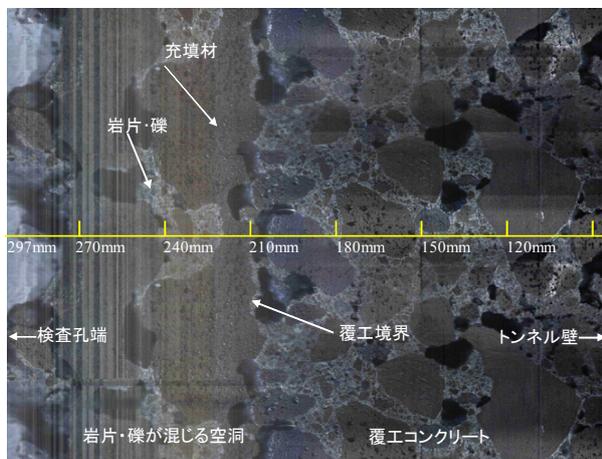


写真-6 スキャン画像 (その2)

像中では暗部として表示されることになるため、空洞箇所  
の判別も可能である。

これらのことから、小型の棒形スキャナによる画像から、  
充填状況を詳細に調査可能であることが確認された。

#### 4. おわりに

小断面トンネルの覆工背面充填工における充填状況の簡易な調査方法として、小径の検査孔を削孔して目視によって充填状況を確認できる簡易型充填調査方法を開発し、トンネル補修工事の現場に適用して有効性を検証した。

今後は、調査方法のさらなる効率化に向けて検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) 山地宏志, 高橋直樹, 櫻井春輔: 小断面トンネルリニューアルシステム工法, 電力土木, No.350, pp.106-110, 2010.
- 2) スティックスキャナ「SS-3」:  
[http://www.krcnet.co.jp/tech/tech\\_SS01.html](http://www.krcnet.co.jp/tech/tech_SS01.html), 計測リサーチ