

ICT 技術を活用した地下鉄トンネル 全般検査とその結果

GENERAL INSPECTION OF SUBWAY TUNNEL USING ICT TECHNOLOGY

榎谷 祐輝^{1*}・三浦 孝智²・今泉 直也³・豊田 貞光⁴

Yuki ENOKIDANI^{1*}, Takanori MIURA²,
Naoya IMAIZUMI³, Sadamitsu TOYODA⁴

Tokyo Metro Co., Ltd. operates 9 lines, 195.1km of total length (including total tunnel length, 166.8km) , in Tokyo. 7.07 million passengers use our lines every day in last year. It is the traffic artery in the capital city of Japan. However, it is worried about keeping conventional maintenance method depending on human resource, because it is expected that lack of maintenance engineers due to depopulation will occur in future. To keep tunnels sound and keep stable operation in the future, efficiency of tunnel inspection and repair planning is important team. For this reason, we introduced ICT into tunnel maintenance work and made a system to streamline inspection by human and to make quickly repair plans due to inspection results. The report describes development of the system.

Key Words : *Inspection, Repair plan, Strategy of ICT, network, Efficiency*

1. はじめに

東京地下鉄株式会社（以下、東京メトロと呼ぶ）は、9 路線、総営業延長 195.1 k m（うち、トンネル延長 166.8 k m）の施設を保有し、1 日 707 万人のお客様にご利用いただき、日本の首都東京の都市機能を支える重要な社会資本となっている。

しかし、今後人口減少による技術者の不足が予想され、今まで通りの人間に頼った維持管理を続けられるかどうか懸念されている。トンネルを健全な状態に保ち、安定した営業を将来に渡り継続していくためには、トンネルの検査や補修計画の立案の効率化が大きな課題となっている。このようなことから、トンネルの維持管理の ICT 化を進め、人間が行う検査が効率化出来、検査結果データから迅速に適切な補修計画が立案出来るシステムを構築したのでその一部を紹介する。

2. 地下鉄の全般検査

地下鉄では、日々の維持管理に使用出来る時間は準備・片づけを含み、夜間の送電停止中の 3 時間程度であることから、効率的かつ質の高い維持管理手法が必要である。東京メトロでは、鉄道構造物維持管理標準¹⁾に準拠し全般検査を進めている。2 年毎の通常全般検査（以下、通全と呼ぶ）は、目視を基本に必要なに応じて打音調査を用いて、徒歩で 1 路線を約 3 カ月かけて行っている。20 年毎の特別全般検査（以下、特全と呼ぶ）は、平成 24 年度より高所作業車を用いた近接目視と打音調査で 1 路線を約 1 年かけて行っている。日常的な作業としては、これら全般検査から個々の変状に対して健全度判定し、必要と判断された場所は補修等の措置を取っている。適切な措置を継続することで構造物の長寿命化が図られていると考えられる。しかし、このような日常的な作業以外に、トンネルのある区間がまとまって悪くなった場合、抜本的な大規模補修・補強をしようといった長期保全対策が必要となる。長期保全対策では、変状の適切な措置に加えて、発生させる

キーワード：検査、補修計画、ICT戦略、ネットワーク、効率化

¹非会員 東京地下鉄株式会社 工務部土木課 Infrastructure Maintenance Department,Railway Headquarters,Tokyo Metro Co.,Ltd.,
(E-mail:y.enokidani@tokyometro.jp)

²非会員 東京地下鉄株式会社 工務部土木課 Infrastructure Maintenance Department,Railway Headquarters,Tokyo Metro Co.,Ltd.,

³非会員 東京地下鉄株式会社 工務部土木課 Infrastructure Maintenance Department,Railway Headquarters,Tokyo Metro Co.,Ltd.,

⁴非会員 (学)産業能率大学総合研究所



図-1 アプリケーション画面



図-2 タブレット端末を用いた検査状況

原因（力学的要因，化学的要因）を調査し，対策の立案を行う。この長期的な対策を行う箇所については，過去から積み重ねてきた検査者の現場状況報告や各種計測等に基づき，変状の著しい区間等を抽出し，その原因因を調査し対策を講じてきた。しかし，現在の課題は，

- ① 特全で得られた大量の検査データを基に，限られた時間で効率的に精度の高い通全等のその後の検査を行うこと。
- ② 検査データを活用し，長期保全となるより説明力の高い維持管理を行うこと

である。

3. トンネル検査の ICT 化

(1) 人間による検査 の重要性

維持管理の効率化では，検査の機械化が考えられる。検査の基準となる国土交通省通達「鉄道構造物等維持管理標準」¹⁾では，「通常全般検査における調査方法は目視を基本とする」とされ，「機械的な手法を用いる場合は，その精度が目視・打音と同等かそれ以上の精度を有することが確認される場合」とされている。東京メトロにおいても，赤外線を用いたトンネルのコンクリートの浮き・はく離箇所の検知^{2) 3) 4)}および，トンネル表面の画像撮影による，ひび割れや漏水の把握⁵⁾等について検討を行っている。しかし，人間による検査との置き換えには，まだ，しばらく時間がかかり，当面は補助的な利用となるのが現状である。この機械化については引き続き検討を行っていくが，地下鉄トンネルの検査は，当面は人間が主体になると考えられる。

(2) 効率的な検査のためのシステム開発

a) 開発の背景

人間による検査の効率化を目的として，タブレット端末の導入，アプリケーションおよびシステムの開発を行った。

トンネル等の検査を行うためのシステム（以下，既存システムと呼ぶ）は世の中に複数存在するが，

- ① 既存システムと東京メトロの検査の記録方法が異なること
 - ② 東京メトロの過去の検査情報を既存システムに統合するためには時間を要すること
 - ③ セキュリティ上，社外の人間が扱うタブレット端末から社内サーバーへ直接アクセスが出来ないこと
- 等の理由により，検査のためのアプリケーションおよびシステムを独自に開発した。なお，検査に従事する人がシステムをスムーズに使用できるよう，実際に現場でトンネル検査作業を行っている社員の意見も細かく取り入れて開発を行った。

b) 検査効率化のポイント

今まで検査現場では事前準備として，過去の検査結果データ（紙ファイル）から次に検査する区間の変状の位置，状態，健全度，写真等を抽出・整理しこれらを記載した紙の資料（以下，検査票という）を数日かけて作成していた。検査当日は，この検査票を検査箇所を持参し，それを基に変状を確認し，手書きで記録を残していた。さらに，検査終了後，事務所で手書きの検査票をデータベースに転記・確認するといった，多くの作業工程を経て検査作業が完了していた。また，東京メトロのトンネルには様々な変状が多数存在し（多くが軽微なもの），かつ限られた時間で検査を行わなければならないことから，次の6つをポイントとしてシステムを開発した。

- ① 事前準備の簡素化
- ② 現場での記録の簡素化
- ③ 現場携行物の削減
- ④ 現場での変状確認漏れによる検査のやり直しリスクの排除
- ⑤ 事務所での転記によるミスの削減
- ⑥ 検査情報の確認・共有の迅速化

(3) ICT 化した検査システムの概要と効果⁶⁾

開発したアプリケーションの検査画面を図-1 に，タブレ

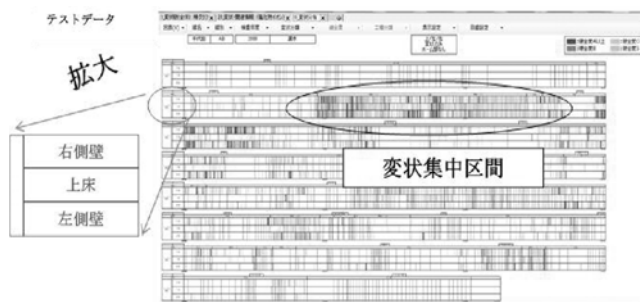


図-5 変状分布図

クラウドサーバー内の検査情報は検査関係者全員が常時閲覧することが可能なため、検査情報を迅速に確認・共有できる。これらにより検査作業が大幅に効率化された。

現在この検査システムを特全でも使用しているが、実際に現場で作業している検査員にヒアリングを行ったところ、事務所内作業が ICT を導入する前と比べて 1/5 程度まで軽減された。

また、現在は多くの検査員が iPhone 等のタッチパネルの操作に慣れており、現場での拒否反応もなくスムーズに業務を行っている。

4. 検査結果データの有効利用

(1) 開発の背景

将来に渡りトンネルを健全な状態に保つためには、2章で述べたように個々の変状に対する検査結果から補修を行う日常的な作業以外に、説明性の高い長期保全対策が必要となる。このような場合、どこを優先して補修すべきかベテラン社員の暗黙知により判断する場合もあり、補修計画の説明性を向上させることも課題であった。このようなことから、検査結果データを可視化し長期保全対策となる補修計画に利用するシステムも開発した。

(2) 検査結果データの可視化

a) 可視化の概要

蓄積されたデータを分かりやすく共有するために可視化ツール（以下、ビューアーと呼ぶ）を開発した。様々な形でデータの共有が可能であるが、その一部をここで紹介する。ビューアーは PC の 1 画面又は A3 用紙に全ての情報を表示することで、全体を俯瞰して観察出来ることとし、詳細を確認する場合の為に拡大表示機能を搭載した。いくつかのツールを作成したが、ここでは、良く利用する 2 つの例を紹介する。

b) 変状分布図

各変状の部位別、健全度別の分布状況を可視化した変状分布図（図-5）の開発により、ベテラン社員が暗黙的に認識している変状の分布状況について、誰もが感覚的に



図-6 修繕金額分布図

理解できるようにした。これを基に、「何故、その部分に変状集中しているのか?」「どのような調査や対策が必要なのか」等の問題を現業機関と本社、若手社員とベテラン社員でディスカッションし、事業計画へ反映するためのツールとして利用できる。

c) 修繕金額分布図

修繕金額分布図を図-6 に示す。これは、修繕金額の分布状況を確認するもので、各路線の駅間でコンクリート補修、トンネル漏水補修、駅部漏水補修の費用を可視化したもので、上位3を着色している。

毎年、同じ区間が表示される場合、補修方法の見直し等に活用できると期待している。

5. まとめ

東京メトロは多種多様な構造物を保有し、膨大な変状をこまめに管理する必要がある。一方、人口減少および、少子化高齢化により維持管理の効率化が求められ、機械化・自動化の研究を行いながらも、当面は人間による検査とそれらに基づくデータ管理および補修計画の立案が必要である。その状況で、人によるトンネルの管理に焦点をあてた維持管理の仕組みを構築した。

特に、タブレット端末、Beacon、クラウドサーバー等を利用した効率的な検査により、夜間の限られた時間内に質の高い検査を行うことが可能となった。また、検査の事務所作業の工程短縮により、社員がより迅速に検査結果を共有することが可能となった。

デジタル化された検査結果をビューアーによるマッピングにより、効果的な補修計画を立案できるシステムを開発した。また、検査、調査等の結果を可視化することにより、優先的に補修を行うべき範囲や、変状が発生している理由を明確にでき、説明性の高い効果的な補修計画の立案が可能となった。さらに、ベテラン社員が暗黙知に認識している情報（変状分布や変状発生傾向等）の可視化により、新たな知見の創出への効果も期待できる。

ICT の導入により、維持管理の大量データを取り扱うことが出来るようになった。これを活用して分かりやす

く意味ある形にして共有することと、新たな知見を創出していくことが重要と考えている。今後も、維持管理における社員の暗黙知を継承・蓄積しながらも、可能な限り形式知化し、更なる安心・安全を追求していく所存である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準（トンネル），丸善，2009.
- 2) 川上幸一，小西真治，久保昌史，中山聡子：現場での赤外線熱計測による地下鉄覆工コンクリートの浮き検出の可能性，地下空間シンポジウム論文，土木学会地下空間委員会，Vol. 20，A3-1，pp. 73-84，2015.
- 3) 川上幸一,小西真治,村上哲哉,久保昌史,中山聡子：赤外線熱計測による地下鉄シールドトンネル内中子型セグメント表層コンクリートの浮き検出，，第25回土木学会トンネル工学研究発表会，論2-02, 2015.
- 4) 川上幸一，小西真治，村上哲哉，日下義政：赤外線サーモグラフィカメラによる地下鉄トンネルの浮き・はく離検出に関する有効性の検討，地下空間シンポジウム論文，土木学会地下空間委員会，Vol. 21，B2-5，pp. 9-16，2016.
- 5) 小西真治,川上幸一,三浦孝智,篠崎真澄,篠原秀明,村田利文,石川雄章：画像データによるはく落要注意箇所の抽出方法の研究，第25回土木学会トンネル工学研究発表会，報Ⅲ-2，2015.
- 6) 川上幸一：東京メトロの土木構造物検査におけるICT活用，日本鉄道施設協会誌，Vol. 41，2015-2，pp40-43，2015.