

# 可変形状フレームを応用した 「トンネル全断面点検・診断システム」の開発 — (第一報) 点検手法と基本構成 —

Development of variable guide frame vehicle for inspection of tunnel lining concrete  
- (first report) Inspection plan and basic constitution -

○ 中村 聡 (東急建設)                      正 井上文宏 (湘南工大)  
正 山下 淳 (東京大学)                    正 柳原好孝 (東急建設)  
正 上野隆雄 (東急建設)                   高橋悠輔 (東急建設)

Satoru NAKAMURA, Tokyu Construction Co.,Ltd., nakamura.satoru@tokyu-cnst.co.jp  
Fumihiro INOUE, Shonan Institute of Technology, inoue@mech.shonan-it.ac.jp  
Atsushi YAMASHITA, the University of Tokyo, yamashita@robot.t.u-tokyo.ac.jp  
Yoshitaka YANAGIHARA, Takao UENO, Yusuke TAKAHASHI, Tokyu Construction Co.,Ltd.,

The current, is progressing aging was built bridges and tunnels more than 40 years ago. but Maintenance engineer is also missing. Inspection of the tunnel requires traffic regulation. Maintenance engineer carried out as close as possible to the inspection point by mobile elevating work platform. But, take the time to visual inspection and hammering test for inspection area is wide. And, there are variations in the inspection of visual and hammering by human. We proposed a "variable guide frame vehicle for inspection of tunnel lining concrete" for new maintenance technology of infrastructure. We report that inspection plan and basic constitution of the system in this paper.

**Key Words:** Variable guide frame, Inspection of tunnel lining concrete, Hammering, Light section method

## 1. はじめに

現在、高度成長期に大量に建設された橋梁やトンネルなどの道路構造物の高齢化が進み、2013年3月時点で全国に約1万本ある道路トンネルの20%が建設から50年以上が経過している。さらに、20年後には50%になると試算されている[1]。

一方で、道路法施行規則の一部が改正され、2014年7月1日からトンネル、橋等は近接目視により5年に1回の頻度で点検が必要になった。また、インフラの維持管理を行う自治体職員の技術者不足などの課題もあり、革新的な点検技術の開発が望まれている。

本稿では、これらの課題を解決するための新たなインフラ維持管理技術として「トンネル全断面点検・診断システム」を提案し、設定した要素技術の研究開発内容について述べる。

## 2. トンネル点検の現状

トンネルは完成後の改築が困難であるため、定期的な点検によって劣化の進行を把握し、将来予測に基づく補修・更新などの維持管理が行われている。一般に、道路トンネルの定期点検は自動車の通行を規制し、高所作業車で点検員・補助点検員が点検箇所にてできるだけ近接して行っている(図1)。

しかし、点検範囲が広いため近接目視、打音検査に時間を要し、長時間の通行規制が必要になる。また、人による目視や打音の判定、検査結果には個人差が生じ、定量的な判断が難しい。加えて、点検箇所・状態が定期的に記録されていないため、劣化の進行が正確に把握できない等の課題がある。

一方、点検データを基にしたトンネルの評価を行うためには専門的な知識が必要であり、点検データだけではトンネル管理者が最適な補修方法やその時期を判断するのは難しい。さらに、今後益々増加していく維持管理が必要な膨大な量の道路トンネルを対象としてLCC(ライフサイクルコスト)を考慮し経済インパクトを最小限にする維持管理システムの構築が求められている。このため、点検によって得られた各種データを基に劣化の程度や、適切な補修方法を専門家が遠隔地の現場に赴くことなく提示できるシステムが必要である。

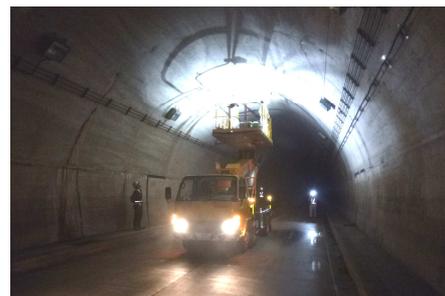


Fig. 1 Tunnel Inspection

## 3. トンネル全断面点検・診断システムの概要

提案する「トンネル全断面点検・診断システム」(図2)は、自動車等の通行を規制する事無く、照明などの坑内設備を回避して点検するために可変形状トラスを応用したガイドフレームを採用している。ガイドフレームの周囲を点検装置が移動しながら遠隔で覆工コンクリートの画像撮影と打音検査を行い、浮き、ひび割れ等の点検データを迅速かつ高精度に取得する。また、取得した点検データをトンネル展開図や点検表として出力可能なシステムの構築を目指している。

さらに、補修等の対策工の検討に対応するため、打音検査やひび割れ調査に加え、必要に応じて実施する覆工コンクリートの圧縮強度、中性化深さ等の推定を遠隔で計測する技術と、物性データを基に最適な補修工法を提案するシステム開発を検討している。

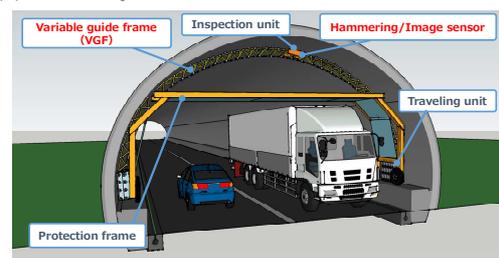


Fig. 2 Variable Guide Frame Vehicle for Inspection of Tunnel

本システムによる点検は、①組み立て、②ガイドフレームセット、③一次点検、④二次点検、⑤判定、⑥解体、の順に行う事を想定している。図3に想定される点検フローを示す。

まず、点検フローでは、坑外でシステムを組み立てた後、坑内に走行移動する。レーザーで前方のトンネル形状を計測し、ガイドフレームを変形させて点検可能な大きさに拡大する。

本システムにおける一次点検では、ガイドフレームの周囲を移動する打音検査用センサにより覆工コンクリートの浮き、はく離を大まかに検査する。加えて、3次元画像を併用したひび割れ検査と、点検表に使用するカラー画像を取得する。

一次点検で検出された異常箇所は、より詳細な二次点検を行う。二次点検では打音検査時の動画と打音データ等からひび割れの深さや進展方向を推定する。また、補修が必要と判断された場合はコンクリート物性情報を計測し、緊急性の高い箇所は応急処置としてたたき落しを行う。

本システムで取得した画像や打音検査の点検データから変状を特定し、帳票を作成する。また、点検データを基にした補修工法の選定や、維持管理にかかるLCCの算定を行う。

このトンネル全断面点検方法を実現するため、以下に示す6項目の要素技術を設定し、研究開発を実施する。

### 3.1 画像によるひび割れ自動認識技術の開発

画像によるひび割れ計測技術の多くは交通規制が不要であるが、コンクリートの汚れを含むノイズ除去の後処理作業で多くの労力が必要である。また、ひび割れ幅の分解能が低い。

ひび割れ計測の省力化に対応するため、光切断法等を用いた3次元形状計測(図4)によって、ひび割れと汚れを高精度に自動識別し、点検データをトンネル展開図として迅速に出力するための技術開発を行う。また、打音検査と3次元形状計測結果を組み合せ、段差、漏水の有無、などの詳細な点検データを取得する点検技術について検討する。

### 3.2 打音によるコンクリート変状の自動識別技術の研究開発

覆工コンクリートを叩いて取得した打音データから、覆工コンクリートの浮き、ひび割れ等の変状位置を検出する手法を開発する。さらに、将来的にははく落の危険性を検出するため、画像と打音データを融合させ、ひび割れ深さや進展方向を推定する研究開発を行う。また、自動車が走行する環境での検査考慮し、騒音に頑健性を持つ自動識別技術を構築する。

### 3.3 可変形状フレームの研究開発

確実な画像取得や打音検査を行うためには、十分な反力が得られる本体構造が不可欠である。また、点検システムの汎用性を高めるには、多様なトンネル形状に対応し、照明や消火栓等の坑内設備を回避しながら点検可能なフレーム構造が必要である。

本システムでは自動車等の通行を規制する事無く、確実な点検作業を行うため、可変形状トラスを応用したトンネル全断面を点検可能なガイドフレーム構造(図5)について研究開発を行う。また、トンネル形状や照明等の坑内設備の計測を行い、ガイドフレームの変形に必要なアクチュエータの変化

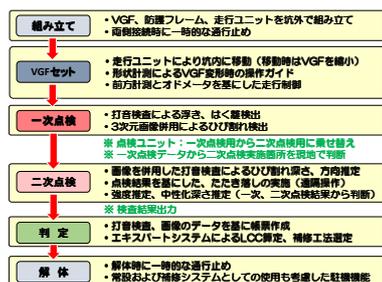


Fig. 3 Inspection Flow

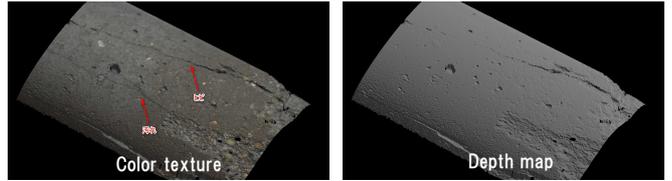


Fig. 4 3D Shape by Light Section Method



Fig. 5 Variable Guide Frame Image

量を求めるシミュレータを開発し、操作インターフェイスを構築する。また、点検装置がガイドフレームの周囲を走行し、点検を行うための移動用レールをガイドフレームに配置する。

### 3.4 点検システムと可変形状フレームを統合した点検データ出力システムの開発

画像によるひび割れ自動認識技術と、打音によるコンクリート変状の自動識別技術を点検装置としてユニット化する。この点検ユニットがガイドフレームの周囲を走行し、取得したデータを基に点検表やトンネル展開図を作成するシステムを開発する。さらに、連続的に一次点検を行うためにガイドフレームをトンネル延長方向に沿って移動させるための走行ユニットや、点検時にコンクリート片等が落下し通行車両や歩行者に衝突する直接的な被害を防止するための防護フレームについても開発を行う。

### 3.5 コンクリート物性検査システムの研究開発

一次点検または二次点検の結果から補修が必要と判断された場合には、補修工法を検討する際に必要となるコンクリート物性情報を取得する必要がある。本システムでは遠隔で操作するドリルにより覆工コンクリートを削孔し、コンクリート圧縮強度や中性化深さ等を現位置で推定する検査システムの開発を行う。

### 3.6 適用可能な補修工法を提示するエキスパートシステムの研究開発

取得した点検データと共に環境条件、施工条件、経過年数などのトンネル基本データを入力することで、補修工法や材料のデータベース等を基に、専門家が現場に赴かなくとも最適な補修工法や時期を提案するエキスパートシステムのプロトタイプを開発する。

## 4. おわりに

今後、更なる増加が予想されるトンネル点検に向け、「トンネル全断面点検・診断システム」を提案した。自動車の通行を妨げることなくトンネル全断面の検査が可能で、汎用性の高い点検システム構築を目指し、研究開発を進める。

本研究開発は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託研究「SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)インフラ維持管理・更新・マネジメント技術/維持管理ロボット・災害対応ロボットの開発」で実施中のものである。

## 文献

[1] 浅野祐一, 木村 駿, "2025年の巨大市場", 日経 BP 社, pp.18-19, 2014.