

トンネル全断面点検・診断システムの社会実装に向けた取り組み

東急建設(株) 技術研究所 メカトログループ 中村 聡, 上野隆雄, 上村暢一
井上大輔, 高橋悠輔, 浅田祐樹
技術研究所 土木材料グループ 正会員 前原 聡
土木技術統括部 IAM 推進グループ 正会員 ○伊藤正憲

1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路インフラの高齢化が進み、2033年には全国の約1万本ある道路トンネルの約半数が50年以上経過すると言われている。また、2014年には道路法施行規則の一部が改正され、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。一方、これらのインフラの維持管理を担当する自治体の技術者不足や、点検費用の不足などの課題もあり、これらを解決するため革新的な点検技術の開発が望まれている。

そこで、本報では、これらの課題に対応するため最先端のロボット技術を活用し、一般車両の通行を極力妨げないことを基本として、トンネル覆工コンクリートの点検用に開発したシステムの概要とこれを社会実装するために実施した実証実験の内容を報告するものである。

2. 各点検ユニット

点検システム全体の概要を図-1に、構成するユニットの概要を表-1に示す。

2.1 ひび割れ検出ユニット

ひび割れ等を検出する装置は、光切断法により取得した三次元形状計測データである距離画像と可視画像を組み合わせ、幅0.5mm以上のひび割れを自動検出、出力、記録できるものである。

2.2 打音検査ユニット

覆工コンクリートの浮きなどを検査する装置は、劣駆動型打音装置であり、点検員がハンマを使う動作を模倣した機構で連続的にハンマを動かして表面を叩き、打撃音を高性能のマイクで集音し、打撃による音を記録、AIを使って浮き部と健全部を判定、出力できるものである。

これらのユニット以外にも、当点検システムには、道路トンネル内の速度標識などの付属設備を避けるフレキシブルガイドフレームや、坑内を走行する防護フレーム、点検データを所定の帳票に出力するエキスパートシステムで構成されている。

3. 社会実装に向けた取り組み

表-2に当該点検システムの社会実装を目的として実施した実証実験の概要を示す。各フェーズにおいては、課題抽出や性能評価とともに、一般車両の通行への影響に配慮した地元警察などとの許可申請協議など、研究開発段階から実構造物を対象とした点検に向け段階的に取り組みを実施した。

3.1 Step1 初めて道路トンネルに点検システムを適用

このトンネルは、幅員9.5m、延長688mの県発注の道路トンネル工事の中で実施したものであり、竣工前検査の一部としてシステムを導入したケースである。ここでは、現地におけるシステム全体の組立解体作業を始め、各段階における作業性や安全性を確認した。実際の点検作業では、走行速度は最高10m/分であり、R=300mでも

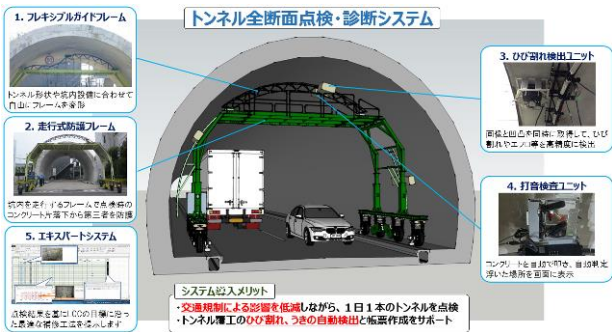


図-1 点検システム全体の概要(基本形)

表-1 各点検ユニットの概要

ひび割れ検出ユニット		打音検査ユニット	
1画素当たりの分解能	0.1mm	ハンマ駆動範囲	旋回幅 200mm
撮影幅	500mm	離隔対応範囲	±75mm
最大スキャン速度	300mm/sec	点検速度	0.3sec/点
距離情報取得	エンコーダ	サイズ	500×600×200mm

表-2 実証実験の概要

No.	実証概要
<Step1> C県内供用前 道路トンネル	・供用前、工事車両が通行 ・竣工前の「道路トンネル点検基礎データ」を取得
<Step2> S市管理 林道トンネル	・昼間のみ一般車両、歩行者が通行 ・点検は夜間実施、昼間は残置 ・システム残置で道路使用許可を取得
<Step3> M市管理 道路トンネル	・片側交互通行で、一般車両通行 ・定期点検として実施 ・点検時を含め、道路使用許可を取得
<Step4> N県内竣工前 鉄道トンネル	・大断面鉄道トンネル ・車両搭載型として導入 ・竣工前、引渡検査として実施

問題なく適用できることが確認できた。点検データに関しては、ひび割れは検出されず、一方、打音検査では、全 22,540 点の中で 12 点のみ濁音（浮き）と判定されたが、通常の点検員によって健全であることが確認できたため、AI を使った判定方法に改善が必要なが確認できた。

3.2 Step2 供用トンネルで点検システムを残置

このトンネルは、市が管理する林道であり、初めて所轄の警察署と道路使用願について協議したケースとなる。ただし、点検システムの稼働は、通行止めになる夜間に実施したため、協議は、昼間にトンネル内に点検システムを残置することであった。市役所および警察署の担当者に対しては、早朝の規制解除の前に三次元レーザーによる断面計測を実施、車両などとの離隔を確認するなどの計画を説明した。その結果、本開発の目的とその必要性について理解が得られ、トンネル内にシステムを残置する許可を得ることができた。このように当点検システムが一般車両に対する安全確保と円滑化に及ぼす影響がないことが確認できた。

3.3 Step3 片側交互通行による点検システムの適用

このトンネルは、延長 130m の市道であり、通行車両は 10～15 台/h 程度と交通量は少なかったが、片側交互通行で一般車両の通行を許容した条件で、5 年毎の定期点検にシステムを適用したケースである。点検システムとしては、天端部と両側壁部に計 3 台のひび割れ点検ユニット+打音検査ユニットを搭載し、全延長に導入した。また、合わせて点検員による点検も実施し、ひび割れと浮きなどの検出精度を確認した。その結果、0.5mm 以上のひび割れの検出率は 93%、0.3mm 程度のひび割れも一部検出することができ、さらに、発生場所に関しては、点検員による記録(展開図への書出し)の間違いを確認できるなど、ロボット技術を導入した当点検システムの方が優れた点もあることが確認できた。

3.4 Step4 高所作業車による初めての点検システムの適用

このトンネルは、竣工前の大断面鉄道トンネルであり、点検システムを高所作業車に搭載してシステムを適用した初めてのケースである。点検は、覆工コンクリートの継目部を中心に左右 1m の範囲を 4 分割して 47 箇所(継目)で実施したものである。ここでは、ガイドレールを作業台に取り付けた状態で車両自体を移動することができるトンネル点検台車に搭載したが、点検に要した時間は、平均で延長 3m の天端で約 6 分、延長 7m の側壁で約 12 分であり、効率良く点検を実施することができた。

4. おわりに

本開発は、平成 26 年度から平成 30 年度の 5 年間で実施したものである。ここで紹介した社会実装に向けた 4 回の実証実験では、センサや動作部など、試行錯誤を繰り返して改良、確立してきたものである。今後、実点検工事への適用に向けた取り組みを関係者ととも推進していきたいと考えている。

本開発は、国立研究開発法人新エネルギー・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」として実施したものである。



写真-1 Step1 システム組立



写真-2 Step1 点検実施状況

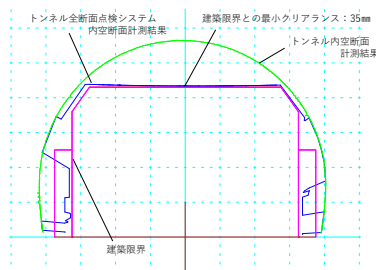


図-2 Step2 三次元計測結果



写真-3 Step2 システム残置



写真-4 Step3 点検実施状況

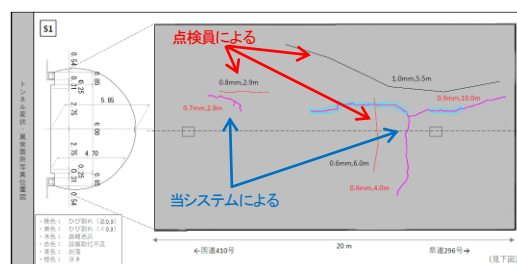


図-3 Step3 点検員と当システムによる記録の差異(例)

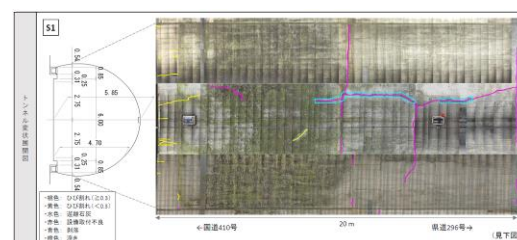


図-4 Step3 当システムによるトンネル点検調書(例)

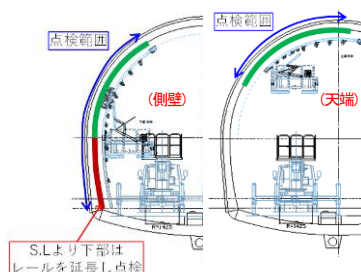


図-5 Step4 での点検範囲



写真-5 Step4 点検実施状況