トンネル全断面点検・診断システムの開発（その.2　ひび割れ自動検出）

東急建設　技術研究所　メカトログループ　井上大輔，上野隆雄，中村　聡
高橋悠輔，柳原好孝
土木研究グループ　正会員　○伊藤正憲，前原　聡

1. はじめに

我が国は，本格的な維持管理の時代に突入しており，2014 年度から国土交通省が橋梁やトンネルの点検を義務化するなど，具体的な方策が講じられてきている。特に，道路トンネルは約 1 万本が点検すべき対象となっているが，その約 7 割に当たる約 6,600 本の道路トンネルは，予算の確保が厳しく，技術者自体の不足と技術力の不足が懸念されている都道府県や市町村等が管理するものであり，これらの維持管理業務をなるべく効率的に進めていく必要がある。

そこで，筆者らは，近年目覚しい進歩を遂げているロボット技術を活用し，一般道路トンネルの点検業務を効率化するため，交通規制をなるべくせず，これまで点検が難しかったアーチ天端部を含めたトンネル覆工コンクリートの全面を対象とした点検・診断システムの開発を進めている [1)]。

本報は，この中で調査において重要な要素技術である覆工コンクリートのひび割れ自動検出装置の開発状況について概説する。

2. システム概要

システムの概要を図-1 に示す。本システムは，防護機能を有する走行ユニットにトラスとアクチュエータで構成されたフレキシブルガイドフレームを上載し，トンネル形状，特に，速度標識などを避けて変形して覆工コンクリートのほぼ全面を点検することを可能にしたものである。このフレーム上を移動するボックスの一つがひび割れを検出するユニットである。

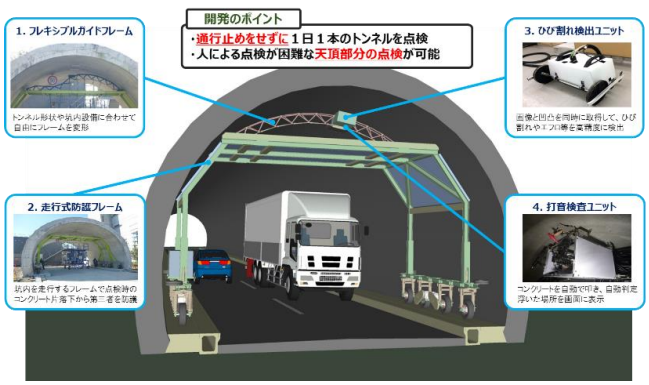

図-1 トンネル全断面点検･診断システムの概要

3. 画像によるひび割れの検出の現状

覆工コンクリートの近接目視による点検は，高所作業車等を用いて点検員が打音しながら，近傍から覆工コンクリート表面を観察しひび割れや浮きなどを記録することによって行われる。この近接目視点検を支援する技術として画像によるひび割れ検出がある。これはデジタルカメラやビデオカメラで表面を撮影し，画像処理ソフトウェアによりひび割れ検出を行うものである。

図-2 にデジタルカメラで撮影したトンネル覆工の調査画像の例を示す。この画像上に示された各色の線は，ひび割れ幅に応じて，パソコン上でほぼ人の目による判断により型枠などの線とひび割れを判別したものであり，これには多くの労力と多大なコストが掛かっている。

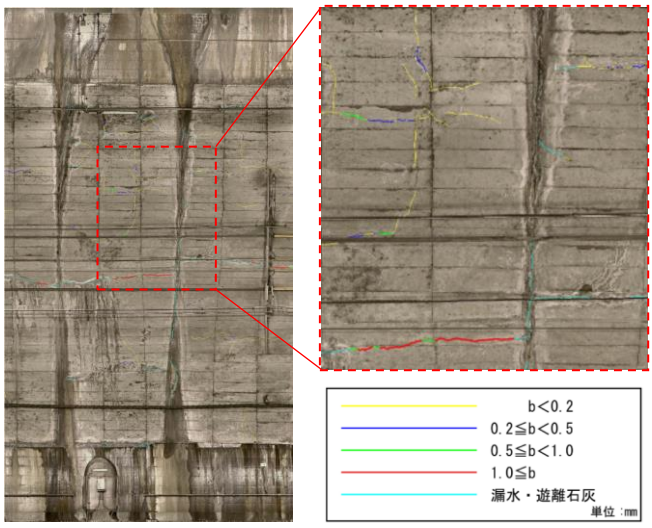

図-2 デジタルビデオカメラで撮影した処理画像の例

キーワード:維持管理、道路トンネル、ロボット技術、目視点検、
連絡先:〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1 東急建設(株)技術研究所土木研究グループ Tel:042-763-9507

4. 光切断法によるひび割れの検出

筆者らは，ひび割れは凹状すなわち奥行きを伴うことから，三次元形状に注目すれば汚れ等との識別が可能になると考えた。そこで，様々な手法の中から分解能や処理速度が高いこと，三次元形状と共に可視画像が同時に得られることを考慮し，光切断法を採用することとした。これは，図-3 に示す通りライン光とエリアカメラとを角度をつけた状態で対象物に沿ってスキャンさせると対象物の凹凸に応じてライン光の線が変形することを利用して三次元形状を取得する方法で，ライン光に白色 LED 照明を採用し，三次元情報と座標が合致したカラーの画像（可視画像）も同時に得られる構造とした。図-4 に同じ対象物をスキャンして得られた可視画像と距離画像の例を示すが，さらに，図-5 に示す通り画像処理ソフトウェアを開発し，光切断法によって得られた距離画像を読み込み，ひび割れを検出，可視画像に重ねて表示することができるようにした。

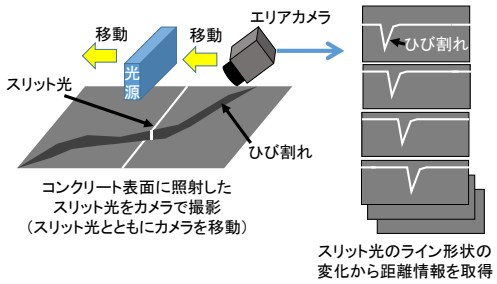

図-3 光切断法の概要

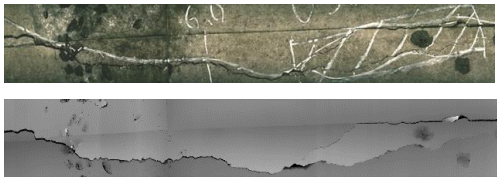

図-4 可視画像（上）と距離画像（下）の例

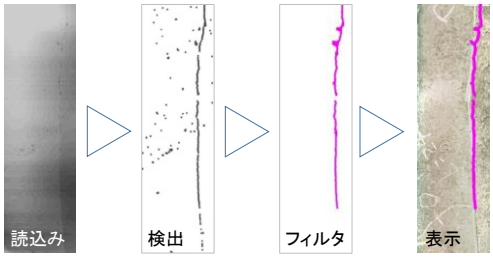

図-5 距離画像によるひび割れ検出フロー

5. コンクリート試験体による識別性能検証実験

本装置によるひび割れの自動検出性能を検証するため，予めひび割れを発生させたコンクリート試験体を用いてひび割れ検出試験を行った。実際のひび割れ近傍に汚れとして油性ペン（黒，茶，緑）とチョーク（白）で模擬のひび割れを描き（図-6 左），これを幅 200mm×長さ 390mm にかけて光切断法により距離画像を取得（図-6 中），さらに画像処理により距離画像からひび割れを検出した（図-6 右）。10 枚のコンクリート試験体についてそれぞれ検出率（検出したひび割れの長さを実際のひび割れの長さで除した値）と誤検出率（ひび割れではない画素をひび割れとして自動検出した画素数をカウントし，実際のひび割れの画素数で除した値）を算出した。

図-7 に計測結果を示す。比較のため同じコンクリート試験体の可視画像と市販ソフトウェアを用いたひび割れ検出結果を併記した。提案方法によるひび割れの検出率は 73%以上，誤検出率は 8%以下であり，いずれも従来方法（可視画像のみによる検出）に比べて優れていることが確認された。なお，誤検出の主な要因はひび割れ付近の表面気泡であり，油性ペンやチョークの誤検出は 0%であった。

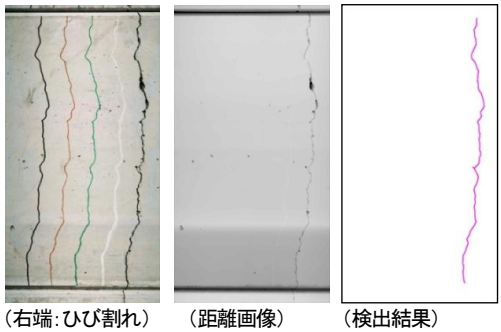

図-6 試験体のひび割れ検出実験

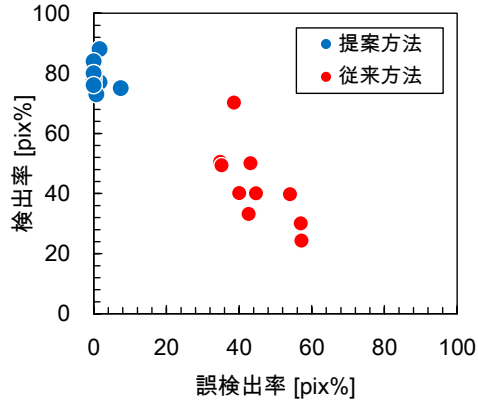

図-7 ひび割れ検出率

4. おわりに

我が国にストックされた膨大な量の構造物は，今後，より少ない人数で効率的に維持管理していかなくてはならない。そのためにはロボット技術などを積極的に活用し，人力に頼らずに必要な情報を効率的に取得，整理していく必要がある。今後も本技術を含めて，打音検査装置の実用化など開発を推進する予定である。

参考文献 1)：トンネル全断面点検・診断システムの開発，第 71 回土木学会年次学術講演概要集 Vol.71，Ⅵ-559，2016.9
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」として実施しているものである。