

トンネル画像診断フィールドの検証

非会員 佐藤 文彦^{*a)} 非会員 那須 洋寿^{*} 正会員 佐藤 幹^{*}
 正会員 早川 和也^{*} 非会員 堀口 稔侑樹^{*} 非会員 田中 郷美^{*}
 非会員 田永 友則^{*}

Tunnel Imaging Field Validation

Kazuya Hayakawa^{*a)}, Hirokazu Nasu^{*}, Motoki Sato^{*}, Fumihiko Sato^{*},
 Toshiyuki Horiguchi, ^{*}, Satomi Tanaka^{*}, Tomonori Tanaga^{*}

Infrastructure maintenance is becoming increasingly important in Japan. Currently, the amount of structures that need to be inspected is enormous, and the accompanying inspection workload has increased proportionally. Therefore, a field verification of an inspection system was conducted to automate crack extraction, a method to improve work efficiency.

キーワード：トンネル，画像診断，技術の定量化，効率化
 (Tunnel, image diagnosis, Technology Quantification, making efficient)

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期で急速に建設された隧道や橋梁等のコンクリート構造物が一斉に劣化や老朽化が進んでいる。その影響で第三者被害に及んでおり、インフラの維持管理がますます重要視されている。造った構造物は必ず維持管理する必要がある、その維持管理が必要な構造物は年々増加している。鉄道管理者は 2 年に 1 度の定期的な点検を行うことが告示されている⁽¹⁾。定期的な点検をおこなうことで、鉄道施設の状態を確認するとともに、劣化状況の措置の必要性の有無の判断を行うことができ、保全による維持管理を可能にしている。

現在、点検を行う必要がある構造物の量は膨大であり、それに伴う点検の作業量も比例して多くなってしまっている。これらの構造物を末永く有効的に利用するために、

構造物の維持管理が重要であり、いかに効率よく維持管理を行えるかが重要視されている。この背景にはこれまで建設技術を支えてきたベテラン技術者が定年を迎えていることや、少子高齢化による子どもの減少により、若年の技術者がなかなか集まらない等の大変厳しい状況にある。

その中で少ない人数で効率的で効果的な維持管理を行うために、各鉄道会社では種々な点検方法を採用している。点検にも色々な種類があるが、目視点検の方法は簡便であり直接的な方法であることから、維持管理でよく用いられる。目視点検は後の調査や補修・補強の方針を決める上でも重要な位置づけにある。しかしながらその問題点として、ひび割れや剥落等の判定や評価については、評価基準が鉄道総合技術研究所から評価方法が提示されているものの⁽²⁾ (表-1.1、表-1.2 参照)、点検に際し熟練技術や経験を要し、ほとんどの場合で点検者の経験に基づき判定や評価を行うため、客観的かつ定量的に判定、評価を行うことが困難である。

そこで近年、用いられているデジタルカメラの性能向上、画像解析ソフトの発展により目視点検を支援または代替となる点検方法として、デジタル画像を用いた点検を採用・検討する鉄道会社が増えている。デジタル画像を用いた点検では、コンピュータによるひび割れ等の損傷の抽出

a) Correspondence to: Fumihiko Sato

E-mail: satoh-fm@atk-eng.jp

* アサノ大成基礎エンジニアリング

〒110-0014 東京都台東区北上野 2-8-7

インフラ保全事業部

や計測が可能であり効率的である。また、点検技術者の技量に評価や判定が左右されないため、客観的かつ定量的な評価が可能となる。また、デジタルデータでの保管となり管理が容易になることから、過去事象との比較を行うことで経年的な劣化を容易に調べることが可能である。コンクリート構造物の劣化や損傷の定量化、補修や補強の検討のためには変状の進行度や抽出はかなり重要であり、今後ますます採用する鉄道会社が増えていくと考えられる。

そこで本論文では、トンネル画像診断の画像撮影、ひび割れ抽出の自動化を目的として鉄道トンネル、道路トンネルで行った調査フィールドの検証を行い、それぞれの撮影結果について述べる。

表-1.1 構造物の状態と標準的な健全度区分と変状程度等との関係

健全度	運転保安、旅客および公衆などの安全に対する影響	変状の程度	措置等
A	AA 脅かす	重大	緊急に措置
	A1 早晚脅かす 異常時外力の作用時に脅かす	進行中の変状等があり、性能低下も進行している	緊急に措置
	A2 将来脅かす	性能低下のおそれがある変状等がある	必要な時期に措置
B	進行すれば健全度Aになる	進行すれば健全度Aになる	必要に応じて監視等の措置
C	現状では影響なし	軽微	次回検査時に必要に応じて重点調査
S	影響なし	なし	なし

表-1.2 トンネルにおけるはく落に関する標準的な健全度区分と変状程度等との関係

健全度	変状の状態	措置等
a	近い将来、安全を脅かすはく落が生じるおそれがあるもの	措置が必要
β	当面、安全を脅かすはく落が生じるおそれはないが、将来、健全度aになるおそれがあるもの	次回通常点検検査時：注意して目視、必要に応じて打音調査 次回特別点検検査時：打音調査
γ	安全を脅かすはく落が生じるおそれがないもの	次回特別点検検査時：打音調査

2. 使用機材の概要

トンネル計測システム(TM-270)は、短時間作業を求められる鉄道トンネルを対象とした画像診断システムであり、可搬性に優れ短時間で組立・分解することが可能である。撮影する画像は最大 8 台のカメラを搭載し、解析ソフトを用いて変状の抽出を行うことが可能なシステムである。カメラの取付位置も 15° 毎変更が可能であるため、円形型、馬蹄型、ボックスカルバート等様々なトンネルに対応可能である。以下に機材の諸元^③(表-2.1)と機材外観(図-2.1)を示す。



写真-2.1 鉄道用ロガー

写真-2.1 鉄道用ロガー

それに対し道路用トンネルは車両にシステムを積み、走行し、軌道内に敷設されたレール上に装置を設置、レールにタイヤ型のロガーを設置させ測定距離を管理する。

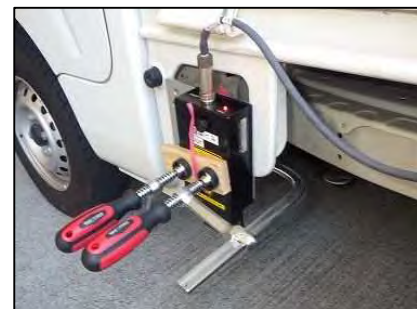


写真-2.2 道路用距離測定器取り付け状況

このように測定距離の部品、走行架台を変更することで対象を鉄道用トンネルから道路トンネル変えることが可能である。

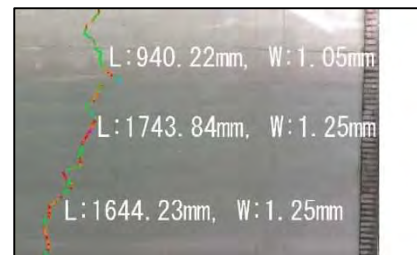


図-2.1 ひび割れ診断抜粋

表-2.1 トンネル計測システム(TM-270)機材諸元

鉄道トンネル検査システム	
撮像デバイス	高精細カラーラインカメラ
カメラ台数(300°)	7(トンネル形状に合わせて最大8台まで変更)
照明装置	LED照明
横断方向解像度	1mm/pix
進行方向解像度	1mm/pix
撮像速度	徒歩速度(～20 km/h) *追加オプション有
撮像方式	トリガー撮影(エンコーダ)*車速オプション有
消費電力	最大1.7kW(機器構成により変動)
撮影可能トンネル形状	最大約7.5mの高さまで



図-2.2 トンネル計測システム(TM-270)機材全景

3. 撮影結果と分析

(3・1) 撮影結果と分析(A トンネル)

A トンネルのトンネルでは、トンネル覆工表面が汚れておらず、ひび割れは問題なく抽出がおこなうことができたが、トンネルに傾斜(25°程度)があり、画像撮影を行った際に覆工部分が潰れてしまい、上手く撮影が行えなかった。画像が潰れてしまったことにより、自動抽出したひび割れは実際に目視、指触点検を行った際に現地計測した数値と乖離が認められた。原因として考えられるのはレールと水平に機材を設置してしまうと傾斜が大きいため機材が転倒してしまう恐れがあったため、トロ台車に単管パイプを組み角度を水平に戻した事が原因であると考えられる。水平にしたことで元々計算していたカメラの拡率や画角、覆工面までの距離が各カメラで変わってしまったことにより、画像を合成する際に補正が効きすぎてしまったことが原因であると考えられる。この仕様については機材そのものを改良しないと対応ができないため傾斜が大きいフィールドでは画像の連続撮影は困難であり、ひび割れ抽出の為の画像は手動で撮影を行って連続写真を作成が必要である。

(3・2) 撮影結果と分析(B トンネル)

B トンネルのトンネルでは、トンネル覆工表面がそこまで汚れておらず、ひび割れの抽出を行うことができた。

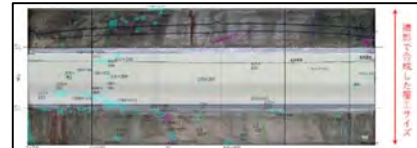


図-3.2 トンネル劣化図の比較(連続写真)

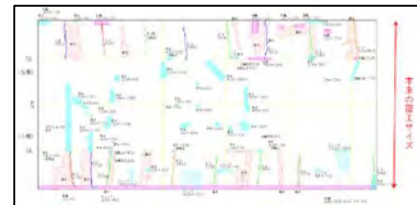


図-3.1 トンネル劣化図の比較(実計測)

画像撮影を行った際に、断面形状が500mm以上広がっている箇所、撮影された画像がひび割れ抽出できないレベルで解像度が落ちてしまっていた。原因としては、基本的にはカメラのピントは自動で調節されるようになっているが、断面形状が500mm以上変化してしまうと調整機能が効かないことが仕様であることが確認できた。

現場では断面形状が大きく変化する場所ごとにトンネルの断面形状を機械に登録、断面形状が変化する場所毎にカメラの設定を手動で変えることで対策を行った。

断面形状が大きく変化する箇所が多数ある場合は事前にトンネル形状が変化する場所毎に登録を行い、現場で形状が変化する箇所毎にカメラの設定を予め計算で決めておき、現場での作業を効率化することで対策を行える。

上記の理由から断面形状がほとんど変化しないトンネルに比べて現場人工が多くなってしまったことがわかった。

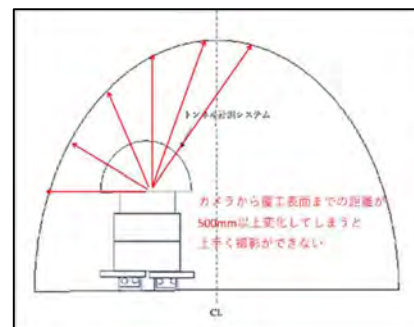


図-3.3 トンネルの断面形状図

(3.3) 撮影結果と分析(C トンネル)

前述した A トンネル・B トンネルは鉄道での撮影であったが、C トンネルでは道路トンネルでの撮影を行った。鉄道トンネルと道路トンネルとの最大の違いは当然のごとくレールの有無である。白線の中であればどこでも走行ができてしまう道路内でいかにトンネル覆工面との距離を一定に保つため、道路面にチョークで目印をつけ、チョークをガイドレールとして車両走行をして撮影を行った。撮影データに特に影響はなく、ひび割れの抽出を行うことができた。

画像撮影の結果としてはトンネル内部の撮影結果は概ね良い結果が出たが坑口の撮影が困難であった。車両走行において初速が安定しないことに想定以上の影響が出たことや、撮影の時間によってトンネル内部へ差し込む日差しの角度が変わり色調などにも影響したと考えられるが、ひび割れの抽出は問題なく機能した。

撮影に際して、解析については鉄道と道路でほとんど人工は変わらない。道路面ではチョークで目印をつける必要があるため、トンネルが長ければ長いほど作業開始までに時間がかかってしまい、鉄道での撮影より人工が多くなってしまったことがわかった。



図-3.4 トンネルの撮影状況を示す。

4. 撮影結果のまとめ

トンネル内の画像撮影の目的は、前述した通り撮影した画像から劣化事象を抽出し、技術者のレベルを問わず定量的に画像から劣化度の判定を行うことが主題となる。その観点からトンネル毎のまとめを述べる。

A トンネルのような傾斜が大きいフィールドでは画像が潰れてしまい解析の難易度は高い。機械本来の性能を発揮できないフィールドであると考えられるため、トンネルの長さにもよるが、現状では従来通りの点検方法の方が効率的であると考えられる。

B トンネルではトンネルの断面形状が大きく変わる箇所ごとに微調整が必要になる。断面がほとんど変わらないフ

ィールドに比べて事前の準備や現場での煩雑さが増してしまい、人工や手間が掛かってしまうものの、ひび割れの抽出については問題なく解析が行えるため、解析でかかる人工は通所の場合とほとんど変わらず作業が行える。本機材を使用するにあたってはかなり有用に点検が行えるフィールドであると考えられる。

C トンネルでは、トンネルの断面形状はほとんど変わらず、1本のトンネルでカメラや機械の調整を行わずに画像の撮影が行える。覆工表面とカメラの距離を一定に保つために車両の運転技術が必要であるものの、断面形状が変わらないおかげで画像の撮影自体はA トンネルやB トンネルに比べると負担は軽いと考えられる。

今後、様々なフィールドでトンネル検査システムを活用していく上で色々なフィールドに対応できるように、機械の改良や撮影方法を見直し、より効率的に点検を行い、現場の負担軽減を目指していく。

文 献

- (1) 施設及び車両の定期検査に関する告示：“Public Notice on Periodic Inspection of Facilities and Vehicles”, <https://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/sgml/2001/62aa2981/62aa2981.html> (平成 13 年 2 月 25 日)
- (2) 国土交通省鉄道局監修, (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編), 丸善, (2007)
- (3) 鉄道トンネル検査システム(TM-270): “RailroadTunnel Inspection System”, <https://www.kurabo.co.jp/el/infrastructure/tunnel/>