

走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の 実用化検討に関する研究

走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化研究プロジェクト リーダー 大西有三

1. 背景

このたび発生した「山梨県の中央自動車道・笹子トンネル崩落事故」は、トンネル内部の天井板（コンクリート製）を支える吊りボルト部の経年劣化が主原因といわれている。定められた頻度により定期点検を実施してきたにもかかわらず、多くの人命を失った今回の崩壊事故は、高度成長期から現在に至る社会資本の維持管理方針全般に関わる大きな問題といえる。

このような背景を踏まえ、トンネルの維持管理では、その構造物の特性から、周辺が岩盤で、それ自身（材料）が複雑であるため、損傷原因の特定や、劣化過程の推定に不確実性が伴う。したがって、橋梁のように理論式で示される明確な劣化機構をトンネル構造物に当てはめるのは困難であり、ある程度経験的な（点検や調査に基づく）判断により補修等の意思決定がなされるのが一般的である。また調査・点検時の道路規制に伴う社会的損失やその予算確保など多くの課題を抱えているのが現状である。

2. 研究目的

本研究では、こうした課題に対応するため、走行型計測技術を活用した道路トンネル健全性評価手法及び評価基準について検討し、今後の道路トンネルの維持管理をより効率よく正確かつ安全に実施していくことを目的としている。これまでいくつかの道路トンネルで走行型計測を実施し、得られた計測データを基に従来の点検結果との比較や考察を実施してきた。その結果、トンネル覆工の変形モードやひび割れ形状などから、発生原因の推定や、新規に発生したひび割れが検出できることを実証した。本研究では、走行型計測技術の特徴や利点またその実用化について評価を実施し、道路トンネルにおいて必要となる走行型計測による維持管理方針（走行型計測の各種機器の基本スペック、計測データの解析手法、計測結果の評価基準、健全性評価を実施するうえでの着目点、トンネルマネジメントのあり方等）について検討を行ったものである。

3. 研究体制

本研究では、近畿地方整備局が運営する「新都市社会技術融合創造研究会」（委員長：京都大学 総長特別補佐 京都大学名誉教授 大西有三）のもと、「走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化研究プロジェクト」（リーダー：大西有三）をフレームワーク（大学を中心とした産・学・官協同によるプロジェクト）で、大学が中心となり産・学・官の連携により研究を進めた。

4. 走行型計測の概要

走行型計測は、対象トンネルの変状現象を的確に、かつ客観的に把握することを目的とし、交通規制が不要な計測技術である。計測項目は、次の2項目である。

①走行型画像計測（MIS：Mobile Imaging Technology System）

覆工コンクリート表面のひび割れ、漏水、材質不良（豆板）箇所を客観的に把握するため、ビデオカメラにより壁面画像を撮影・計測する。画像計測に欠かせない光源は、LED照明とし、0.2mm程度のひび割れを検出する機能を備えている。

②走行型レーザ計測（MMS：Mobile Mapping System）

覆工コンクリート表面の凹凸や変形モードを把握するため、3次元レーザ計測により覆工内面の形状を3次元の点座標としてデータ取得を行う。

③画像・レーザ両用（MIMM：MIS&MMS）

上記のシステム（MIS+MMS）を同一車両に搭載したMIMMを図-1に示す。



図-1 MIMM2号機写真

5. 実トンネルの計測結果と評価

これまで約3箇年にわたり、国道の道路トンネル（6トンネル）において、MIMM 走行型計測とその結果による着目箇所を対象として近接目視及び打音検査を行い、MIMM の検証を行った。主要な損傷箇所についてその結果を以下に報告する。

(1) 覆工表面のはく落箇所

図-2のようにMIMM画像及び覆工展開図より、はく落跡の可能性が高いことを懸念し、現地目視調査及び打音検査を実施した結果、部分的な欠落と、その周辺が浮いていることが判明した。

(2) 水平方向ひび割れ箇所

図-3のようにMIMM展開図より、水平方向に1.0mm程度のひび割れが見られ、その周辺のひび割れと閉合する可能性があることから、現地目視調査及び打音検査を実施した結果、ひび割れ周辺に段差が発生しており、浮いていることが判明した。

(3) 覆工内面への変形箇所

図-4のように大きなひび割れが確認されたため、走行型画像計測と現地との整合性確認を行った。その結果、①トンネルの斜め方向に変形が見られ、段差が伴うひび割れとの関連性が高いことから、図中に示す変形モードが明らかとなった。②段差については、コンタ図をさらに細分解析することでその状況を把握できることから、評価方法の一つとして考慮できる。③別途実施している現地点検結果と比較してひび割れ幅0.2mmの計測が可能である。

MIMMを活用すればトンネル全体の変状の前・後（時間差を付けた計測）を把握できることから、今後の変状進行予測にも活用が可能といえる。

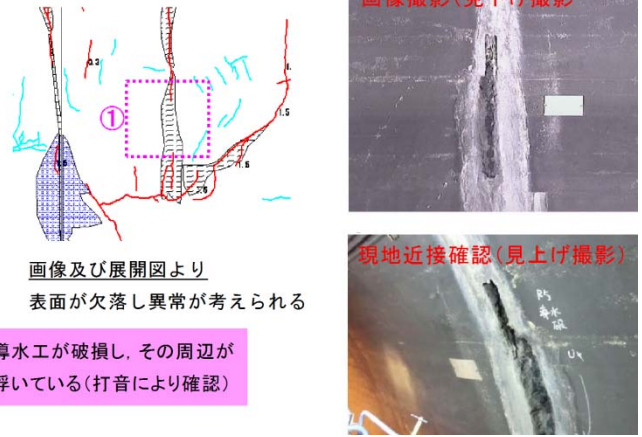


図-2 はく落箇所

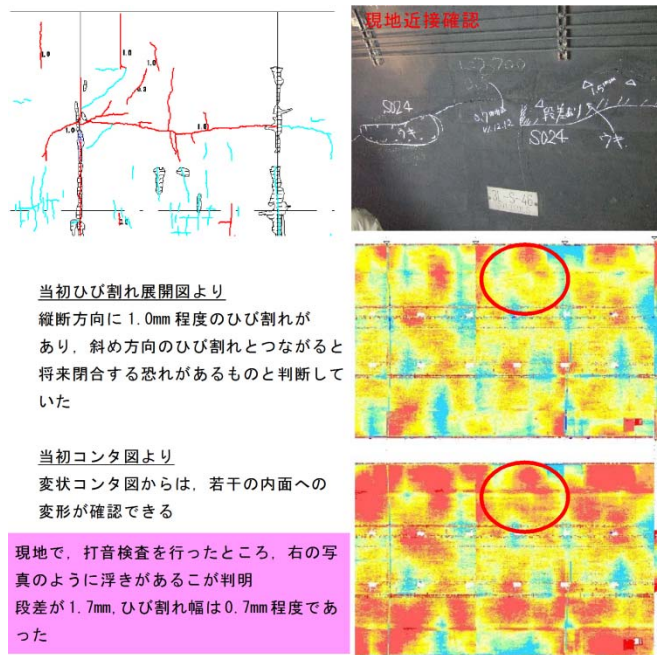


図-3 縦断方向のひび割れ箇所

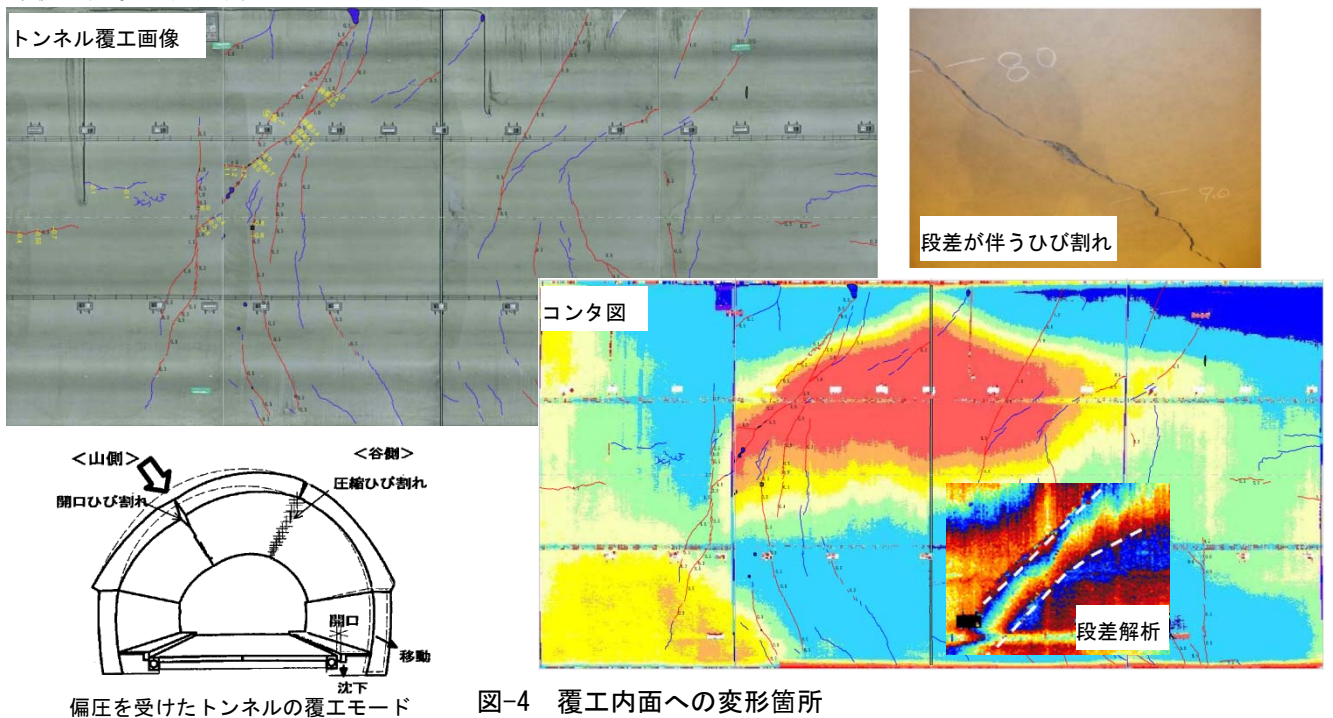


図-4 覆工内面への変形箇所

6. トンネル走行型計測における評価方法の検討

これまでの MIMM による計測結果を踏まえ、画像及びレーザデータから得られる損傷の種別や特徴、基本方針等を以下に整理する。

(1) 画像データ及び展開図面から得られる評価

- ①はく落、漏水、遊離石灰、豆板、目地部劣化・変色箇所は、浮きの可能性が高い
- ②ひび割れ閉合、交差、密集（亀甲状）箇所は、同様浮きの可能性が高い
- ③縦断方向のひび割れで延長が長い、または段差がある場合、浮きの可能性が高い
- ④補修箇所（変色、欠け）は、補修工自体が破損している可能性が高い
- ⑤上記の損傷が画像や CAD 上で把握できた場合、近接目視や打音検査による確認が必要である

(2) レーザデータから得られる評価

外力による影響が予想されるレーザデータ（コンタ図）のパターンを表-1 のように分類する。こうしたパターンを活用したり、計測データを時間軸で整理することにより、変状原因や進行性の評価を行う。

表-1 変形原因別レーザデータの分類

		①緩み土圧 1	②緩み土圧 2	③側圧	④偏圧
コンタ図のイメージ	スパン軸合わせ				
	平滑化軸合わせ				
外力のイメージ					

7. トンネル走行型計測における評価基準の検討

今後、本格的にトンネル走行型計測（MIMM）によって適正な健全性評価を行うためには、それぞれの評価目的に応じた基本性能や基準を定める必要がある。これまでの研究成果から得られた結果をもとに走行型計測の基本性能及び評価基準の一例を以下に示す。

- ①走行型画像計測は照明灯とカメラから構成され、覆工面を自ら照明しながら撮影できる機能を有する
- ②レーザ計測は車両の位置・姿勢を計測する位置・形状計測サブシステムより構成される
- ③照明灯は可視光とカラー画像が取得できるものとする
- ④カラー写真は覆工面において 2 mm/1pixel 以上の高精細画像が取得できるものとする
- ⑤覆工面の画像上の寸法で実長との精度で 1%以下とする
- ⑥レーザスキャナは Class1 または Class2 であり、1 周 5000 点以上計測できること
- ⑦走行速度は 40 km/h 以上で計測し、ひび割れ検出精度は 0.3mm 以上を取得できること

8. まとめ

これまでに道路トンネルの維持管理を実施する上で、道路管理者からのニーズをまとめた結果、①交通規制の最小化、②変状の把握と危険要因の除去、③対策工要否の判断、点検者によるバラツキの解消、④より有効な維持管理予算の確保及び執行等であった。こうしたニーズに適応しうる手法として、走行型計測の実用化は必要不可欠と考える。先日の崩落事故で維持管理の重要性が高まる中、交通規制が伴わず、早期に健全性を評価することは、最重要課題といえる。本研究プロジェクトは、産学官が協同で研究を進め、独自の技術力を向上させながら、現在に至っている。今後、上記課題を解決し、さらなる実用性を高め、トンネル維持管理の充実化に寄与できることが、社会全般に向けた本研究プロジェクトの総意である。