

一般報文

道路トンネルにおける変状の傾向及び点検支援技術の適用方策

落合良隆・佐々木政和・七澤利明

1. はじめに

道路トンネルは、平成26年度より近接目視を基本とする5年に1回の定期点検が義務づけられ、点検データの蓄積が進んできている。一方、人による点検を支援する各種の点検支援技術に関しては、平成24年に始まった「建設ロボット技術に関する懇談会」以降、導入に向けた様々な取組みが官民で進められているが、具体的な適用方策が確立されていないなどの理由から、導入が十分に進んでいない状況にある。

そこで本稿では、国管理の道路トンネル定期点検結果に基づく変状の傾向分析結果を示すとともに、点検支援技術の適用を促進するための方策に関する検討について紹介する。

2. 道路トンネル定期点検結果の分析

2.1 平成26～30年度道路トンネル（国管理）定期点検結果の分析

2.1.1 対象トンネル

平成26～30年度に1巡目点検を実施した国管理の道路トンネル1,553施設²⁾のうち、山岳工法に分類される矢板工法、山岳トンネル工法で施工された計1,421施設を対象として分析した。

完成年別のトンネル施設数を図-1に示す。矢板工法は1923～1996年にかけて建設され、1960年代から1970年代前半が最も多い。また、山岳トンネル工法は1982年から現在まで建設され、2010年前後の建設数が最も多い。

2.1.2 トンネル毎の健全性割合

トンネル施設の健全性の診断結果は「道路トンネル定期点検要領¹⁾」に基づき4段階（「Ⅰ：健全」、「Ⅱ：予防保全段階」、「Ⅲ：早期措置段階」、「Ⅳ：緊急措置段階」）に区分される。1,421施設のトンネル毎及び変状区分毎の健全性の割合を図-2に示す。トンネル毎の健全性はⅠが3.3%、Ⅱが62.9%、Ⅲが33.6%、Ⅳが0.2%であった。こ

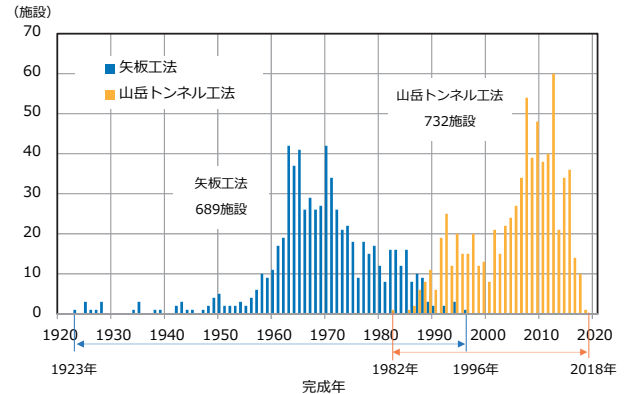


図-1 完成年別トンネル施設数（国管理）

れは、国、高速道路会社、地方公共団体管理の全トンネル10,645施設²⁾と同様の傾向であった。また、変状区分毎にみると、材質劣化による変状でⅢ以上となる割合が29.6%あり、外力による変状や漏水に比べて大きい。

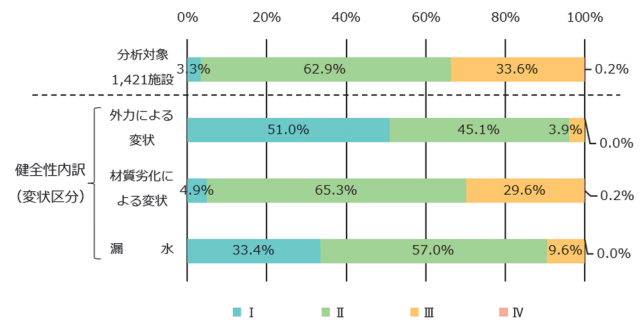


図-2 トンネル毎及び変状区分毎の健全性割合

健全性Ⅲ、Ⅳのトンネル503施設の変状区分の割合を図-3に示す。材質劣化と漏水の両方が要因となる場合を加えると、材質劣化関連が77.5%と多数を占めた。

材質劣化がⅢ、Ⅳと判定された変状5,460箇所

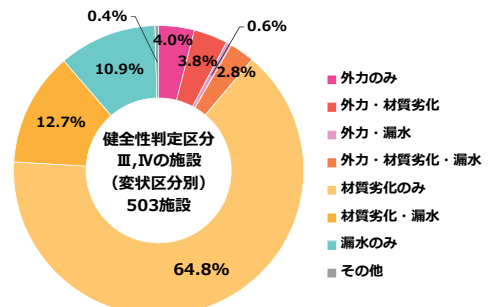


図-3 健全性Ⅲ、Ⅳのトンネルの変状区分の割合

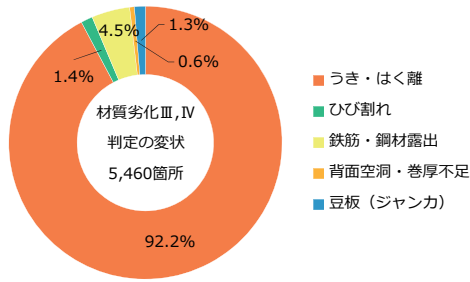


図-4 材質劣化でⅢ、Ⅳ判定の変状箇所の変状種類

の変状種類の割合を図-4に示す。利用者被害に繋がるはく落の要因となるうき・はく離が92.2%と大半を占めており、うき・はく離への対応が点検の合理化を進める上で大きな課題となる。

2.1.3 完成からの経過年数別の健全性の割合

完成からの経過年数別のトンネル毎の健全性の割合を図-5に示す。矢板工法(上)では経過年数61年以上を除いて健全性Ⅲ以上の割合が4～6割程度で傾向の違いはみられなかった。一方、山岳トンネル工法(下)では、経過年数21～25年が最も健全性Ⅲの割合が多く、また経過年数15年以下で経過年数が小さいほど健全性Ⅲの割合が低下するとともに健全性Ⅰの割合が増加する傾向がみられる。これらは、2005年の「公共工事の品質確保の促進等に関する法律」施行等により覆工の高品質化が進んだことがこうした傾向の要因として考えられる。

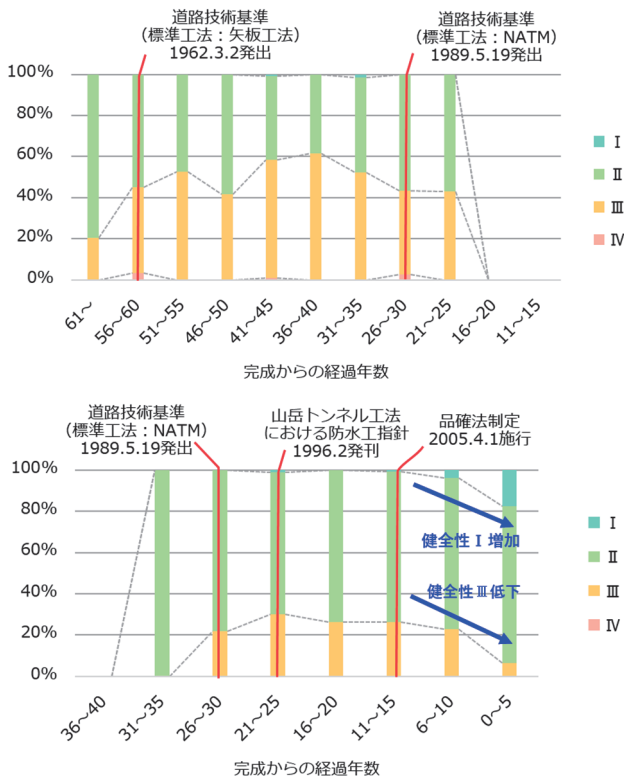
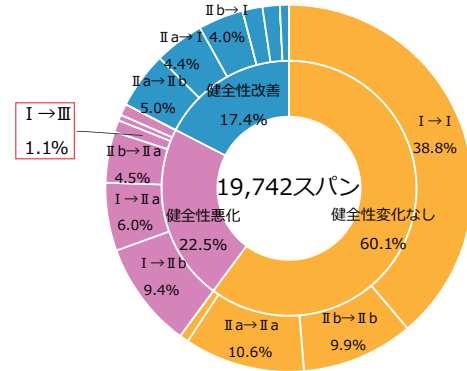


図-5 完成からの経過年数別のトンネル毎の健全性割合(上: 矢板工法、下: 山岳トンネル工法)



能なものと困難なものがある。例えば、外力性の変状であれば突発性の崩壊を除き画像や変位計測により状態を確認できるが、附属物等の落下は形態が様々で、落下直前まで兆候を捉えることが困難なものが多い。

(2)人による状態把握行為の代替の限界

車上からの画像計測・非破壊検知技術によるデータ取得では、死角が残る、うき・はく離箇所を検出しても同時にたたき落としができないなど、人による点検（状態把握）時の行為を全て代替することができない。一方で、走行車両によるデータ取得方法を用いない場合、作業効率が大きく低下し技術導入のメリットが生じにくい。

(3)取得データの高度利用

点検支援技術により取得される各種のデジタルデータにより、本来人による状態把握よりも高度な状態評価や診断を行える可能性があるが、実態としては(2)に示す代替の検証が主となっている。

(4)個別技術の開発のみでは解決できない課題

点検支援技術の多くについて、トンネルの様々な変状を捉えるための開発が進められているが、トンネル内はGNSSが通じないため位置情報に有意な誤差が残る、非破壊検知技術では位置が特定できないなど、個別技術の開発・改良のみでは実用化に課題が残る。

また、変状の進展等を評価するためには取得時点の異なるデータを重ね合わせる必要があるが、データ形式等が定められておらず、異なる企業の技術を用いた場合に評価できるか不明である。

3.2 課題への対応～適用方策の提案

点検を大幅に省力化・高度化するためには、単に人が行う状態把握の代替を目的とするのではなく、診断行為における点検支援技術データの使い方を明確化・目的化する必要がある。このため、トンネルにおいて懸念される具体的な変状事象に対して、診断に際して必要な情報と判定の仕組みを整理したうえで、点検支援技術データをどう当てはめるか明らかにする必要がある。この際、点検支援技術単体でできることには限界があるため、点検支援技術同士の組合せ、人による状態把握との組合せ、更には構造物側の対応（ハード対策）も考慮したパッケージとして示すことにより、初めて点検実務に導入できる実用的な方策となる。以降では、「健全性の診断と関連づけた点検支援

技術の適用方法」と「技術導入のための環境整備」の2つに分けて適用方策を示す。

3.2.1 健全性の診断と関連づけた点検支援技術の適用方策

トンネルの維持管理において通行止めや利用者被害が懸念される変状事象として「外力性（進展性）の変状」、「うき・はく離、はく落」及び「附属物等の落下」があげられる。短期的には現状の技術レベルや点検体系を考慮した適用方策、中長期的には定量的な診断支援への利用が期待されるAIによる情報の高度化など今後の研究開発を踏まえた適用方策を明らかにする必要がある。このうち短期的な適用方策に関する提案を(1)～(3)に示す。なお、最近では定期点検の実施に伴い補修が進んでおり、「補修材の落下」が今後増える可能性があるが、補修材の材料に応じて(2)又は(3)により対応することが可能と考える。

(1)外力性（進展性）の変状

外力性の変状に関しては、ひび割れ等の損傷原因が外力によるかどうかの判定、外力により変状が生じている場合の構造安全性の評価の2つが診断に際して求められる。これら判定・評価においてはひび割れ等の損傷形態や進展性の把握が必要となるため、画像計測技術と三次元点群計測技術を組み合わせて適用することにより、従来よりも高度な診断が可能になると考えられる。

(2)うき・はく離、はく落

はく落は突発的に生じ事前の兆候把握が困難な事象であること、目地など現状の点検支援技術では把握困難な部位があることや、状態把握に合わせたたたき落とし作業の合理性を踏まえると、当面は人による作業を残す必要がある。このため、画像計測技術と非破壊検知技術をスクリーニングに活用し、過去のデータや知見を重ね合わせて近接目視・打音検査箇所を限定する省力化方策が妥当と考えられる。また、構造物側にはく落防止対策を講じて突発的な落下を防止できれば更なる合理化が期待できるため、はく落防止技術の開発・適用を合わせて進める。うき・はく離、はく落に対する点検支援技術の適用方法案を図-7に示す。

(3)附属物等の落下

トンネル内の附属物等には様々な種類があり、構造や取付方法が多岐にわたる。落下の原因となる部位や原因も様々で、うき・はく離と同様に事

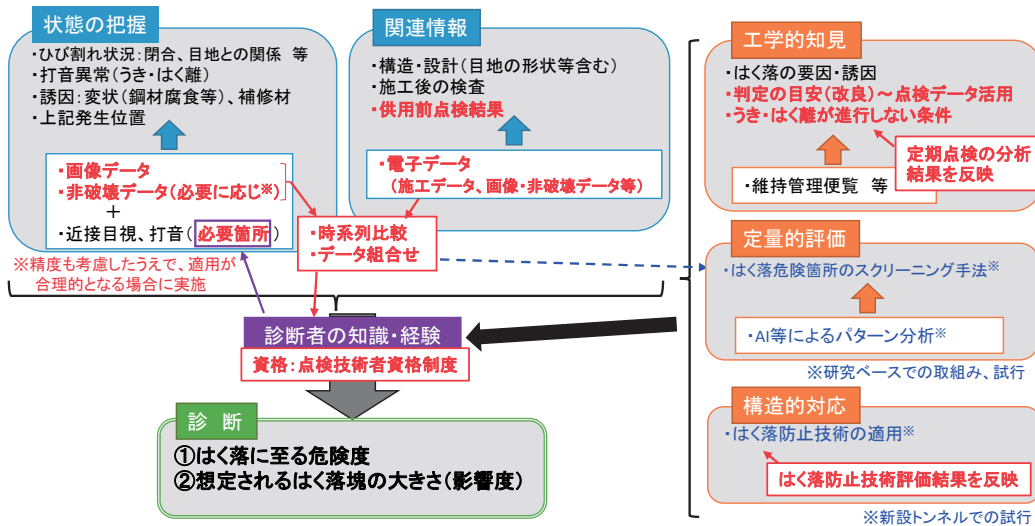


図-7 点検支援技術の適用方法案(うき・はく離、はく落:短期)

前の兆候把握が困難なものも多いため、現状では点検支援技術のみによる状態把握は困難であり人による作業が必要となる。一方で、バックアップ部材の設置や取替センサなど構造側・製品側の対応により、将来省力化を進めていくことは

表-2 点検支援技術の適用を促進するために必要な事項

事 項	内 容
(1) データベースの整備	AI 開発の基礎データ提供など点検支援技術の開発促進のため、統一的な入力システム、データベースの整備とオープンデータ化の推進。
(2) 共通仕様の整備	画像のデータ形式、形状(点群)データの座標等、異なる企業の技術を適用してもデータに基づく管理が可能となる共通仕様の整備。この際、BIM/CIMデータとの重ね合わせも考慮。
(3) AI 活用のための情報整備	AI の開発・将来の実用化のために有効となる教師データの整備・蓄積等。
(4) 設計・施工データ、供用前の点検データの活用	調査・設計・施工時データ(BIM/CIMデータ)、供用前の点検データの取得と診断への活用。外力性の変状判定、スクリーニング等に有効。
(5) 定期点検以外での点検支援技術の適用等	重点監視や日常点検など定期点検以外のトンネル点検における点検支援技術の適用方法の検討・実施。この際、点検支援技術等の適用を考慮した点検体系の再編も合わせて検討。
(6) 構造的対応	点検支援技術側の改良のみでは限界がある落下等突発的な事象等に対する構造的対応の検討・導入。3.2.1に示した落下防止技術のほか、位置情報補正のためのマーカー設置等。
(7) 資格制度	「高度な知識と技能を有する者」こそが、点検支援技術の適用性判断や結果の解釈を適切に行えるという考えに基づく、点検技術者資格制度の検討・導入。

可能であり、点検支援技術と合わせてこうした技術の開発を促進していくことが有効である。

3.2.2 点検支援技術導入のための環境整備

3.1に示した課題に対応し点検支援技術の適用を促進するために必要となる事項を表-2に示す。特に、(4)は変状の進行性や

影響の定量的評価に不可欠であり、(7)は個々の施設の条件に応じた点検支援技術の有効性判断に不可欠なことから、重要な事項と考える。

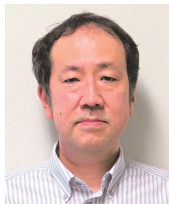
4. おわりに

本稿では、定期点検結果の分析から変状の傾向とその要因について明らかにした。また、導入が十分に進んでいない点検支援技術の適用方策を提案した。今後は変状の進展分析や点検支援技術の適用性評価等、点検の省力化・精度向上に資する検討をさらに進めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・技術課：道路トンネル定期点検要領、2019
- 2) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報(平成26年度～平成30年度)
- 3) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ案、2020

落合良隆



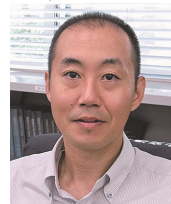
国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部構造・基礎研究室 主任研究官
OCHIAI Yoshitaka

佐々木政和



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部構造・基礎研究室 交流研究員
SASAKI Masakazu

七澤利明



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部 構造・基礎研究室長、博士(工学)
Dr.NANAZAWA Toshiaki