

道路トンネルにおけるメンテナンスの取組み

砂金伸治・真下英人・石村利明

1. はじめに

道路トンネルは一般に地形に制約をもった箇所にあることが多い。そのため通行が困難となった場合に適当な迂回路がなく、交通に与える影響は非常に大きいと考えられる。我が国のトンネルは道路整備の進展とトンネル技術の進歩とともに1960年以降急激な伸びで建設されてきた。特に、図-1に示すように1950～1960年代からトンネルの箇所数や供用延長が漸増している。トンネルの箇所数の比率で見ると、1980年以前に建設され、供用後30年以上経過したトンネルが約50%に及んでいるとされる。そのため今後はこれまで以上に維持管理にきめ細かい配慮が必要になってくる。

供用中のトンネルでは覆工コンクリートにひび割れ等の変状が見られる場合や、対策を必要とする場合がある。そのため主として山岳工法によって建設された道路トンネルの本体工に関する維持管理を対象として、要領¹⁾やそれを補完する便覧²⁾があり、維持管理に必要な点検、調査、対策等について方法や考え方が示されてきている。

また、トンネルには交通の安全を確保するため、延長、交通量等を考慮して換気施設、照明施設、非常用施設等の付属施設が設けられている。これらの施設を良好な状態に保つために、関係機関が維持管理に必要な基本的事項、点検、保守および

整備の方法や考え方を示している。

本稿では、これまでの道路トンネルに関する点検制度を概括するとともに、トンネルのメンテナンスサイクルを通じたスパイラルアップのポイント、また、メンテナンスサイクルを支える技術の現況と課題について述べる。

2. トンネルの点検制度の概要

2.1 定期点検の対象となるトンネル

現在の道路トンネルにおける定期点検では、山岳工法で建設された道路トンネルを対象として要領¹⁾が規定されている。ここでいう山岳工法とは、基準³⁾において定義されている標準の山岳トンネル工法に加え、矢板工法等によって建設された2車線規模のトンネルを意味する。定期点検の目的は、トンネル本体工の変状を把握して、利用者被害の可能性のある覆工や坑門に対して応急措置を講じ、必要に応じて応急対策等を施すものである。

2.2 定期点検の頻度

定期点検の頻度は、トンネルの最新の状態を把握するとともに、次回の定期点検までに必要な対策等の判断を行うために必要な情報を得るために設定される。そのため、これまでの実績や知見^{1)~2)}等により、2～5年に1回の頻度で実施することを原則としている。特に初回の定期点検はトンネル建設後から一定の期間の間実施するのが望ましい。これは初期の段階に発生したトンネルの変状を正確に把握した記録が、以後の維持管理に有効な基礎資料と考えられるためである。なお、付属施設の機能に係わる点検は別に定められた要領類等に基づき実施されている。

2.3 定期点検の方法

定期点検は、要領¹⁾では初回定期点検と二回目以降の定期点検に区分されている。このうち、初回定期点検は、トンネル本体工を対象とした近接目視による変状と、打音検査によるうき・はく離の有無および範囲の確認を行うものである。また、二回目以降の定期点検は初回定期点検で詳細に把握されている変状を遠望目視点検で照合し、変状

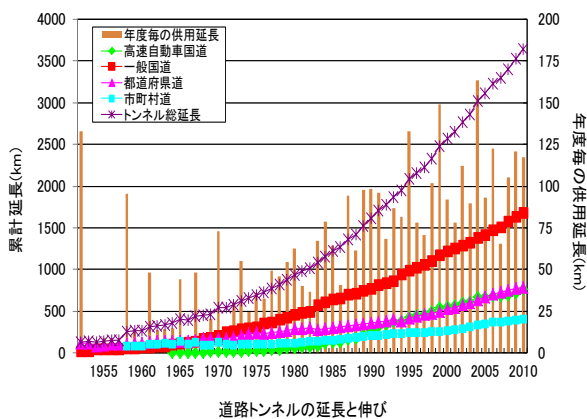


図-1 道路トンネルの箇所数と供用延長の推移

の進行や新たに発生した変状、前回の点検以降で対策を講じた箇所に対して近接目視と打音検査を行うものである。なお、定期点検の点検箇所および変状の種類は要領等で述べられている。

点検における打音検査では、うきやはく離等を懸念される箇所に対してハンマーで打診し、覆工表面のうき・はく離の有無および範囲等を把握する。加えて、利用者被害の可能性のあるコンクリートのうき等を撤去するなどの応急措置を講じることである。

また、点検の結果、変状の状況をより詳細に把握し、推定される変状原因を確認することを目的に必要に応じて調査を実施する²⁾。ただし、点検により変状原因が既に明らかになっている場合等においては、調査を省略することができる場合も実務上あると考えられる。

2.4 判定区分

点検結果の判定にあたっては、トンネルは地中構造物であり、自然または人工的に作用する複雑な現象を正確に予測することは非常に難しく、豊富な知識と経験を有する。そのため、覆工や坑門といった点検箇所毎に、また、ひび割れやうき、はく離といった変状の種類毎に、変状の状態、進行状態を考慮した判定区分が決められており、それに則って点検結果の判定が行われる¹⁾。

また点検で得られた変状に関する情報、資料を補い、現況の変状状況を把握し、変状原因の推定、通行者・車両の安全確保、構造物の安全性、維持管理作業に及ぼす影響、対策工の要否および緊急性といった多岐に渡る観点の情報を得るために、上述したように調査が行われる。調査の判定区分は、これらの判定の要素を4つに分類するとともに、それらに併せる形で対策の緊急度を併記し、予め定めている判定区分により行うことが記載されている²⁾。これらを検討するための観点としては、外力による変状、材質劣化による変状、そして漏水などによる変状が挙げられる。

2.5 対策

点検結果や調査結果を受けた対策では、トンネルの機能や耐久性等を回復させるための最適な対策方法を経済性も踏まえて検討する必要がある。対策工の適用は、適用する対策の効果と持続性、即応性、点検後に行われる調査の容易性などから本対策と応急対策に分類されている⁴⁾。また、対

策の一環として、監視がある。監視では重点箇所や対策を実施した箇所に対し、変状の挙動を追跡的に把握するために行われるものとされている。

3. メンテナンスサイクルを通じたスパイラルアップのポイント

メンテナンスサイクルでは点検、診断、措置、記録が位置づけられているが、このサイクルを一層有効にするためには以下の点に関して検討が行われるべきであると考えられる。

点検に関しては結果のばらつきを極力少なくするための方策が求められる。これまでの道路トンネルにおいて示されてきた考え方等^{1)~2)}によれば、本体工においては、点検による判定または調査による判定が行われてきた。それぞれの判定は、初めは変状ごとに行われ、それを外力、材質劣化、漏水の観点から判定される。そのトンネルの健全性をなるべく正確に把握できるためには、点検や調査といった段階に応じ、原因推定の精度が重要になってくると考えられる。そのためには実務に従事する技術者のスキルアップを継続的に図る必要がある。

また、前回までの点検記録等の参照が容易となることが重要である。そのうえで、上述の点検、判定の実施が行われ、さらなるデータの蓄積が図られていくことが望まれる。また、メンテナンスサイクルを支えるうえでは、現場の維持管理の実情を踏まえた形での技術開発が求められていくと考えられる。

4. メンテナンスサイクルを支える技術の現況と課題

トンネルの維持管理では従来から定期点検の実施、変状の発生原因の推定、補修・補強等の対策の実施といったサイクルに沿って行われてきている。近年、点検においては自動化・省力化・システム化等を目的に技術開発が進められている面もあり、例えば光学機器により覆工コンクリートのひび割れやうき・はく離等を抽出する技術が開発・実用化されている。今後効率的な維持管理を行っていくためには、点検の実務に合致した技術の開発と同時に、トンネルの条件や管理者に要求される水準に見合った点検手法の確立が必要であるとともに、新たな知見を踏まえた現場の状況

に見合った対策手法の確立が図られるべきである。

土木研究所(以下、土研)においては変状対策工の開発やトンネルの健全性を定量的に示すことを目指した研究を実施している。以下にそれらの例を示す。

4.1 変状対策工の開発に関する取組み

供用中のトンネルでは変状が発生している場合の原因は、過大な土圧の作用とコンクリート覆工の材質に大別することができると考えられている。土研では要領¹⁾や便覧²⁾に加え、これまでに変状対策工に関する考え方⁴⁾を示し、現場で活用を図ってきている。その中で過大な土圧による変状に対しては、各種の補強対策が実施されている。しかし内空断面に余裕が無い場合には、現状では圧縮力に対しても十分な補強効果が期待できる補強対策がないため、覆工コンクリートの打替えなどの大規模な工事に対応せざるを得ない場合があった。また、材質劣化等の変状に対しては、はく落防止対策として各種の当て板工による補修対策が施されているが、用いる材料が不透明であり一度対策工を実施するとその後の変状観察がしばらくの場合が出るなど維持管理上の課題があった。

土研では民間会社との共同研究を行い、①内空断面に余裕が無い場合でも圧縮力に対して十分な耐荷力が確保できる補強技術(部分薄肉化PCL版を用いたトンネル補強工法)の開発、②覆工コンクリートのはく落防止を目的として補修後も変状の進展の確認が可能な新しい補修技術(NAV工法)の開発を行っている⁵⁾。

①では建築限界を侵す可能性の高いトンネル肩部のみを薄肉化したPCL(Precast Concrete Lining)版を開発している。開発にあたっては写真-1に示すように損傷した覆工の内面に補強工を施した場合の複合構造の破壊形態および耐荷力を調べる目的で、実大規模の覆工載荷実験を実施して耐力が向上することを確認している。

また②では、コンクリート片のはく落を防止する目的で透明性を有するアクリル樹脂によってナイロンクロスをコンクリート表面に接着する工法を開発している。これは下地コンクリート表面の可視性に優れていることに加え、工期短縮や幅広い環境条件下でも施工が可能となっている。本開発にあたっては写真-2に示すような大型試験体の押抜き載荷試験を行い、耐荷力を把握する一方で、

耐荷力の評価式を定め、供用トンネルに適用する際の適用範囲を示している。可視性に関しては図-2に示すように実際の試験や、実物大の試験トンネルに施工し、一定の期間で可視性の低下が認められなかったことを確認しているとともに、耐火性能では燃焼試験方法^{6)~7)}による規格を満足する工法も新たに開発している。

上述したように対策工法の開発では材料の特性のみならず、現地への適用性や実験等を通じた検証を踏まえた開発を行う必要があると考えられる。これ以外にも調査技術や非破壊検査技術の適用性の検討を行い、供用年数の長い道路トンネルの増加に伴う各変状等の発生原因の絞り込みや原因に応じた対策を実施し、道路トンネルの合理的な維持管理に寄与していく必要がある。

4.2 トンネル健全度の定量的な評価の試み

点検の実務にあたっては、トンネルの健全度を把握する必要があるが、点検によって得られる情報は多岐にわたり、その評価が困難な場合がある。そのため、点検や調査時に行われるひび割れ等の



写真-1 実大規模の覆工載荷実験



写真-2 大型の押抜き載荷試験時の状況



(a) 施工前 (b) 施工直後 (c) 施工5日後

図-2 NAV工法によるひび割れの可視性

観察や打音検査等によって得られる種々の情報から、表-1に示すように材質劣化によって引き起こされることが多いうき・はく落に対して定量的に健全度を評価できると考えられる評価指標の抽出を行った。また、これらの評価指標をもとに変状の状態を判定し、重みづけ等を行った結果を併せて用いることにより健全度を定量的に算定する手法の確立に向けた考察を行っている⁸⁾。

その結果、うき・はく離に関する変状の程度がある一定のしきい値で対策を必要とするかが判定できる結果が得られた。なお、現場の条件が多岐にわたるため、必ずしも確定的な数値で健全度を全て評価できるとは限らない。これらの評価指標やしきい値の精査を継続して行い、維持管理の実務の参考となりうる評価指標の検討や、各種の変状に対してどのような評価が可能となるかどうかの検討が今後必要になっていくものと考えられる。

5. おわりに

維持管理を効率的に実施するためには、点検、診断、措置および記録の各段階において、経験や知見の蓄積を図るとともに、必要とされる技術開発を行う必要がある。一方で、トンネルの維持管理においては、構造面、利用面、環境面、情報面そして知識面といったいろいろな側面からの課題解決が望まれている⁹⁾。メンテナンスサイクルを支える技術を確立していくためには、ひとつひとつのデータや知見を体系化し、それを活用していく姿勢が望まれていくものと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領(案)、平成14年4月
- 2) (社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧、平成5年

表-1 抽出した評価指標

評価指標		説明	基準点Xi
大区分	小区分		
(A)打音の音質		濁音(薄さを感じる)	1.0
		濁音(鈍い音)	0.5
		清音	0.0
(B)ハンマー打撃による落下の状態		軽打で落ちる	1.0
		強打で落ちる	0.5
		強打しても落ちない	0.0
(C)覆工の外観の状態	(a)ひび割れの状態	ひび割れ・分離面が鋭角	鋭角のひび割れ 1.0 不明 0.5
		ひび割れ・分離面が開口	開口している(1mm程度以上) 1.0 開口していない(1mm程度未満) 0.0
		ひび割れ等が閉合	ひび割れ等で完全に閉合 1.0 ひび割れ等で閉合が不完全 0.5 ひび割れ等で閉合していない 0.0
		派生するひび割れがある	主ひび割れから派生するひび割れがある変状を重要視する 1.0 主ひび割れから派生するひび割れがある変状を重要視しない 0.0
		ひび割れに段差がある	せん断による段差がある 1.0 せん断による段差がない 0.0
		ひび割れ沿いにはく離	ひび割れ沿いにはく離が見られる変状を優先する 1.0 ひび割れ沿いにはく離が見られる変状を優先しない 0.0
	(b)材質劣化の状態	骨材・異物等が露出	骨材が露出する変状を重要視する 1.0 骨材が露出する変状を重要視しない 0.0
		漏水の凍結	漏水が凍結膨張する環境を重要視する 1.0 漏水が凍結膨張する環境を重要視しない 0.0
		表層劣化・はく離	表層のはく離、補修材のうきを重要視する 1.0 表層のはく離、補修材のうきを重要視しない 0.0

- 3) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説、平成15年
- 4) 真下英人、石村利明：道路トンネル変状対策工マニュアル(案)、土木研究所資料第3877号、2003年2月
- 5) ベース設計資料、NO.160、土木編、建設工業調査会、2014年3月20日発行
- 6) トンネル安全対策工法研究会、FRPによるトンネル覆工剥落対策マニュアル、pp.159~164、2003年3月
- 7) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：トンネル補修材の延焼性試験方法、NEXCO試験方法、第7編トンネル関係試験方法、平成25年7月
- 8) 砂金伸治、角湯克典、真下英人：うき・はく落による変状の健全度評価に関する考察、トンネル工学報告集、第21巻、pp.195~201、2011
- 9) JTA保守管理小委員会：トンネルの維持管理における課題とさまざまな取り組み(1)、トンネルと地下、第45巻3号、pp.71~76、2014年3月

砂金伸治



(独)土木研究所つくば中央研究所
道路技術研究グループトンネル
チーム 上席研究員、博(工)
Dr. Nobuharu ISAGO

真下英人



(独)土木研究所つくば中央研究所
道路技術研究グループ長、博(工)
Dr. Hideto MASHIMO

石村利明



(独)土木研究所つくば中央研究所
道路技術研究グループトンネル
チーム 総括主任研究員
Toshiaki ISHIMURA