

道路トンネルの維持管理における留意点

砂金伸治・石村利明・日下 敦

1. はじめに

道路トンネルの建設に関しては「道路トンネル技術基準」が通達されており、技術の変遷とともに解説書等の内容が改訂され、最新の知見を反映しつつ、その内容に則って建設が行われている。現在、我が国の道路トンネルは箇所数で1万、総延長で4千kmを超えており、また、供用後30年以上経過したトンネルが全体の約6割程度に及んでおり、既設トンネルの高齢化が進んでいる状況にある。

道路トンネルの維持管理に関しては、昭和53年7月に日本道路協会から発刊された「道路維持修繕要綱」の考え方にに基づき、平成5年11月に「道路トンネル維持管理便覧」が出版され、以降、実務的な一助として活用されてきた。平成24年、笹子トンネルの天井板崩落事故が発生し、平成26年に国土交通省令において道路の維持又は修繕に関する技術基準が定められ、トンネルにおいても、一定の知識及び技能を有する者によって定期点検を行うことが義務付けられ、定期点検要領^{1)~2)}（以下「要領類」という。）が発出された。

その後、要領類による点検を適切に実施できるように、特にトンネルの本体工の維持管理に関する内容について、これまでも実施されてきたトンネルの維持管理に関する研究開発や調査研究から得られた最新の技術的知見や手法等を反映した「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」³⁾（以下「便覧」という。）が日本道路協会より平成27年6月に改訂、出版された。本稿では便覧に則って道路トンネルの点検や診断等の維持管理を的確に実施するための留意点を報告する。

2. 便覧の特徴

便覧の構成はメンテナンスサイクルに沿った維持管理の流れにあわせて、各場面で必要となると考えられる技術情報をとりまとめている。以降、

特徴的な内容について紹介する。

2.1 概論

冒頭の第1編の共通では点検、診断、措置、記録といったメンテナンスサイクルに沿った維持管理を適切に実施する必要性が記述されている。道路トンネルの置かれている環境は多岐にわたっており便覧を利用する際は記載内容をそれぞれのトンネルの条件や特殊性も考慮し、画一的ではなく総合的に対応することの重要性を示している。

第2編の本体工では、本体工の維持管理に関する一般的な手順の例が要領類を補完する形で図解されている。点検にあたって変状の原因および特徴、発生したメカニズムの理解が必須であることから、外力の作用等の外因と使用材料の劣化等の内因に大別し、変状原因と変状の特徴が図-1に示すように整理されている。特に変状現象を評価し、対策を適用するうえで「外力」「材質劣化」「漏水」の3つに変状を区分して取り扱うことができることが示されている。

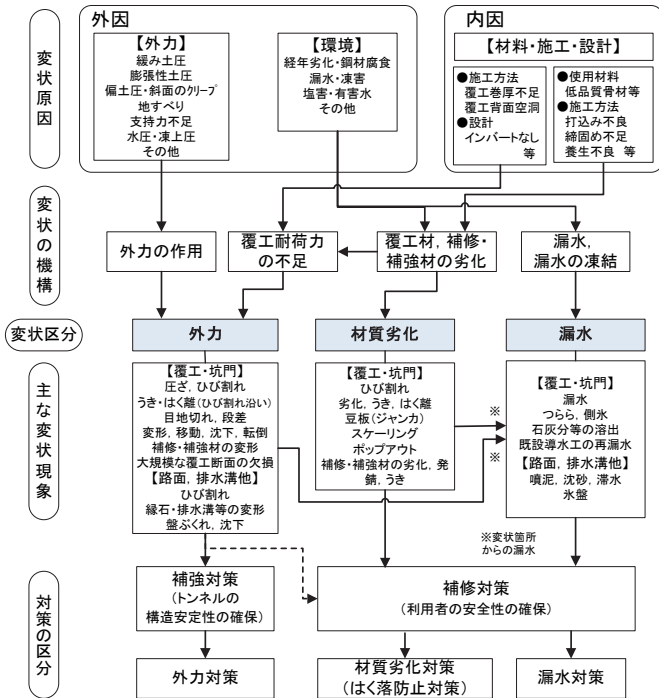
2.2 点検

点検は、トンネル本体工の変状やトンネル内附属物の取付状態の異常を発見し、その程度を把握、さらに合理的なトンネルの維持管理のための資料収集・蓄積を目的に実施するものであり、必要に応じて応急措置を実施する。点検の種類は、その実施内容や時期等により区分されており、便覧ではそれぞれの点検の目的や方法等を示すとともに、着目すべき変状現象の例を示すことにより、判定の方法や判定の区分等、各点検の留意点がわかりやすく記載されている。

対策区分は、利用者への影響の可能性と措置の必要性の観点から変状の状態を表すものであり、その判定では、構造物の機能に加え、措置の実施の緊急性および変状の程度など多面的に考慮する必要があることが記載されている。

2.3 診断

定期点検における健全性の診断は、変状単位に行う「変状等の健全性の診断」と構造物単位に



※本図は脚注による記載を省略しており、詳細は便覧を参照のこと

図-1 変状原因と変状区分および対策の区分との関係

行う「トンネル毎の健全性の診断」の2段階により行われる。便覧では実際の健全性の診断と対策区分の関係が模式的に示されている。

2.4 措置

措置は、対策と監視に、また、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等から本対策と応急対策に区分して取り扱われる。さらに対策は、主に覆工の材質劣化や漏水によって低下した機能の回復・維持を目的とした補修対策と、主に覆工の構造安定性の確保・維持を目的とした補強対策とに区分されている。

各対策工については、適用や選定、工法概要等を列挙し、現場での判断に資することを目指している。また、監視は、応急対策を実施した場合、もしくは健全性の診断の結果、当面は応急対策や本対策の適用を見送ると判断された箇所等に対し、変状の挙動を追跡的に把握するために行うものである。健全性の診断結果に基づいて、対策区分毎の変状に対する対応方法や、本対策適用後の確認についても解説が加えられているとともに、措置後の健全性の診断結果の変更についても考え方が示されている。実際の現場での対応として苦慮する人が多い健全性の診断に対する判定区分と対策区分の判定区分にもとづく措置の例が表-1に示

表-1 健全性の診断の判定区分にもとづく措置の例

| 健全性の診断の判定区分 | 対策区分の判定区分 | 措置 | |
|-------------|-----------|----------|-----------------|
| | | 対策 | 監視 |
| I | I | 実施しない | 実施しない |
| II | II b | 実施しない | 実施する |
| | II a | 計画的に実施する | 本対策を行わない場合に実施する |
| III | III | 早期に実施する | 本対策を行わない場合に実施する |
| IV | IV | 緊急に実施する | 本対策を行わない場合に実施する |

※本表は脚注による記載を省略しており詳細は便覧を参照のこと

すように記載されている。

2.5 記録

便覧では現場での参考とすることができるように主に要領類で定められた項目を記録するための記録様式をもとに、実際の作成手順の例や記入例を提示するとともに、要領類よりも詳細な分析が可能となる様式を示している。

3. 道路トンネルの維持管理における留意点

これまで維持管理にあたっては総合的な対応を図る必要があるといった、便覧の特徴的な内容について述べてきたが、実際の点検や診断、措置を実施するにあたって留意すべきポイントがある。本章では実務を支援する内容として、現地の状況も踏まえる必要があるという前提のもとで、一部ではあるが道路トンネルの維持管理における留意点について述べる。

3.1 点検に基づく対策区分の判定

トンネルの変状としては覆工に生じるひび割れが多く、ひび割れが確認された場合、その変状原因を明確にする必要がある。ひび割れの原因としては外力によるものと材質劣化によるものがあるが、これまでの分析によればその多くが材質劣化に起因するものであると考えられている。そのため、点検時にひび割れが存在するといった外見上のみから、その原因が外力に起因するものと判定することがないように十分に注意する必要がある。

実際に外力であると判断する場合は、既往の点検結果や、ひび割れの規則性、その他の原因について考慮したうえで判断する必要がある。その結果、外力が原因であると判断された場合は、変状種類のうち「圧ぎ、ひび割れ」(表-2中の①)によって対策区分の判定を行う。一方、変状原因が材質劣化であると判断された場合は、そのひび割

表-2 変状区分に対応する変状種類

| | 外力 | | 材質劣化 | 漏水 |
|---------------|-------|--------|------|----|
| | 通常の外力 | 突発性の崩壊 | | |
| ①圧ざ、ひび割れ | ○ | | | |
| ②うき、はく離 | ○ | | ○ | |
| ③変形、移動、沈下 | ○ | | | |
| ④巻厚不足・背面空洞 | | ○ | | |
| ⑤鋼材腐食（鉄筋腐食含む） | | | ○ | |
| ⑥有効巻厚の減少 | | | ○ | |
| ⑦漏水等による変状 | | | | ○ |

※本表は脚注による記載を省略しており詳細は便覧を参照のこと

れによって誘発される「うき、はく離」(表-2中の②)や「鋼材腐食」(表-2中の⑤)などに基づいて判定を行う。このことは、表-2を使用する考え方として、変状に対して外力、材質劣化、漏水といった変状区分を初めに確定させ、その区分に当てはまる変状種類の判定区分等にどのように合致するかを判断するものである。換言すれば、便覧では、初めに変状種類にある「ひび割れ」を見て、直ちにその変状区分が「外力」であると判定することは原則として想定していない。ただし、現地状況にもよるが、一例として写真-1に示すようなひび割れ幅が極端に大きく、かつ、トンネル構造に明らかに影響があると考えられる場合は、ひび割れの進行によらず、外力による変状として、ひび割れの発生位置を考慮したうえで判定する。

ひび割れを外力または材質劣化のいずれの変状区分に属するかを判定する際に調査技術者は、変状原因を把握し、外力、材質劣化、漏水の変状区分ごとに判定を行う必要がある。その際は便覧に記載のひび割れの変状状況例を参考にするとよい。

なお、外力による変状の判定に関しては原則として覆工コンクリートの施工単位であるスパン毎に判定を行うが、実際の現場ではひび割れが複数生じている場合が多い。それらに独立した変状番号を付することで覆工スパン単位で複数の外力の判定が計上されないように注意する必要がある。

3.2 調査の必要性

本体工の維持管理を行う際、すべてのトンネルにおいて詳細な調査を実施することは、維持管理上必ずしも効率的であるとは言いがたい。上述した変状の実態から、施工時の不具合や材質劣化等、変状の原因が明らかで、調査が不要なひび割れ、うきやはく離といった変状にとどまっている例も多く存在している。便覧ではこの実態を反映し、調査を省略して変状の程度に応じた適用できる対

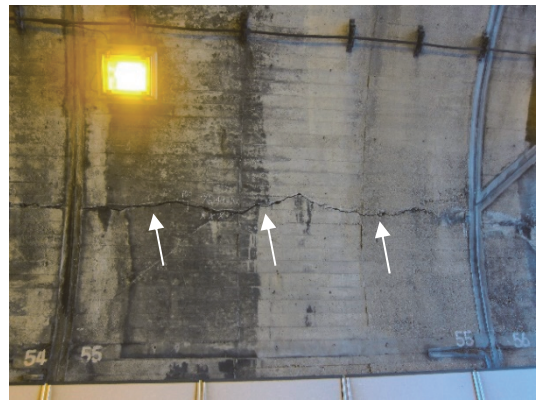


写真-1 ひび割れ幅が極端に大きい例(矢印部分)

策、あるいは調査の省略ができる変状に関して表で整理している。なお、措置後の健全性の診断結果の変更に関して、応急対策を適用した変状に関しては、本対策が適用されるまでは判定区分は変更しない。しかし、実務上では応急対策に代えて本対策を適用できる場合が多く、本対策の効果が確実に発揮されていることを確認すれば判定区分をIに変更することを基本としているため、対策工の選定時等、実際の対応にあたって留意するのがよい。

3.3 巻厚不足と有効巻厚の減少

要領類では変状種類の「有効巻厚の不足または減少」に対する変状区分を、材質劣化として考慮することが示されている。一方、便覧では表-2に示すように、これを「④巻厚不足・背面空洞」と「⑥有効巻厚の減少」として分けて取り扱っている。一般的に巻厚が減少していることを現象面から考える場合、外力に対する変状として捉えることと、材質劣化の変状として捉えることの両者があると考えられる。巻厚不足・背面空洞による変状を外力による変状区分として考えている理由は、突発性の崩壊の可能性が懸念されることによる。突発性の崩壊とは、見かけ上の変状が小さい状況で、覆工が突然に崩壊することを指す。過去の事例では矢板工法において施工されたトンネルのアーチ部の背面空洞が相応の深さ程度以上で存在し、有効な覆工厚が不足しており、背面の地山が岩塊となって崩落する可能性が高まっていた状態で実際に崩壊を生じたものがあつた。このような場合、外力による変状として、しかも通常の外力による変状とは別に取り扱うことが望ましいことから表-2に示すような変状種類で示している。

一方、有効巻厚の減少は、主に覆工の材質劣化の進行にともなって生じると考えられるものである。写真-2に示すように、覆工コンクリートの表

面に不規則なひび割れがみられている場合や、打音検査により異音が確認された場合、あるいは比較的規模が大きな豆板等がみられている場合等においては、材質劣化や凍害により有効巻厚が減少していることも想定し、そのような箇所を対象に判定を行うとよい。

3.4 本対策工としての金網・ネット工の適用

便覧では金網・ネット工は、はく落物の支持効果は期待できるものの、覆工の劣化の進行を予防する効果は期待できないことから、当て板工（パネル系，繊維シート系）と同等の対策効果を有しているものとしては扱っていない。しかし、5年に1回の頻度で近接目視により行われる定期点検によって、写真-3のようなネット工等の対策効果についても継続的に確認することが可能であると考えられることから、便覧に記載の留意点に配慮することを前提に当て板工（パネル系，繊維シート系）の代替として、金網・ネット工を本対策工として適用を認めている。その留意点としては、はく落物に対して十分な支持効果を得られる材料を適用することや中～長期的に対策効果が持続する材料を用いること、周辺の健全な覆工に材料を確実に固定する必要が有ること等を掲げている。また、凍害の進行により覆工の劣化が深部まで進行するような変状に対しては適用を避けることや、対策効果が持続せず、再補修を繰り返す可能性が高い場合には、金網・ネット工の適用の是非を判断する必要があることなどを示している。

4. おわりに

上述以外にも判定の目安に対する実際の変状の写真等に加えた変状状況の図解、外力対策工、はく落防止対策工、漏水対策工に関する各工法の概



写真-2 不規則なひび割れの例



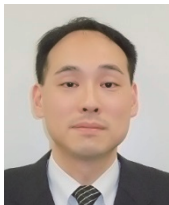
写真-3 ネット工(FRPメッシュ)の例

要や設計・施工上の留意点、点検結果の実際の変状の発生範囲の規模の計上方法についても記載している。本稿では紙面の制約があったため詳細は便覧を参照されたい。新たな便覧や本報文で示した考え方が今後実施される道路トンネルの定期点検を含め、効率的かつ円滑なトンネルの維持管理の参考になれば幸いである。

参考文献

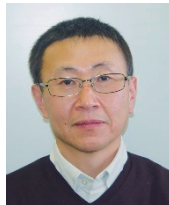
- 1) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領、平成26年6月
- 2) 国土交通省道路局国道・防災課：道路トンネル定期点検要領、平成26年6月
- 3) (公社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】、平成27年6月

砂金伸治



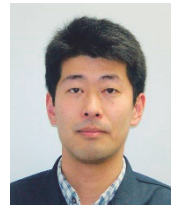
土木研究所道路技術研究グループ
プトンネルチーム 上席研究員、博士(工学)
Dr. Nobuharu ISAGO

石村利明



土木研究所道路技術研究グループ
プトンネルチーム 総括主任研究員
Toshiaki ISHIMURA

日下 敦



土木研究所道路技術研究グループ
プトンネルチーム 主任研究員
Atsushi KUSAKA