The Japanese Geotechnical Society

論　文

既設トンネルの変状調査の現状と今後の維持管理のあり方

The Present Situation on Investigation of Changes and the Ideal Method for Future Maintenance Management of Existing Tunnels

吉田直紹（よしだ　なおつぐ）
㈱建設技術研究所　九州支社

遠座　昭（おんざ　あきら）
㈱建設技術研究所　地質センター

望月健治（もちづき　けんじ）
㈱建設技術研究所　九州支社

川合功一（かわい　こういち）
㈱建設技術研究所　地質センター

1. はじめに

近年，山岳トンネル内の覆工コンクリート塊の剥落事故等が相次いで発生しており，既設トンネルの維持管理のあり方が議論されている。交通に供するトンネル内で事故が発生した場合，道路利用者に与える影響がきわめて大きいため，日々の点検による変状の早期発見が非常に重要となる。

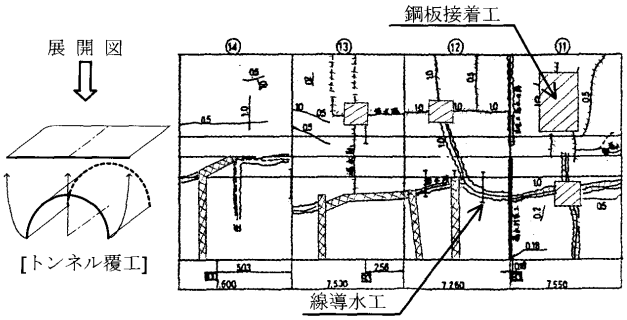
山岳トンネルは，地盤中に構築される線状構造物のため，通常は過去の施工実績に基づく分析により得られた支保構造を用いて設計が行われている。一方，維持管理では設計者が寄与したトンネルの性能を理解してその保持にあたる必要があるものの，設計の持つ不確定要因から，どの部分を補完するのかが明確でないために適切な維持管理を行うことが難しいのが現状である。

このような状況を踏まえ，本論文では，矢板工法により施工された既設トンネルの変状調査および補修対策工の現状について紹介するとともに，今後の山岳トンネルにおける維持管理のあり方について提言する。

2. 矢板工法による既設トンネルの変状調査事例

2.1 既設トンネルの概要

変状調査を実施したトンネルは，中古生層からなる地山に建設された4本の道路トンネルである。これらのトンネルは，すべて昭和40年代に矢板工法により施工されたもので，供用から既に約30年が経過している。各々のトンネルでは，これまでの維持管理における定期点検の中で，図—1に示すような覆工の目視観察が実施されており，覆工のひび割れ，漏水，遊離石灰の流出状況等は大まかに確認されている。また，目視観察結果を受け，部分的に鋼板接着，裏込め注入，止水工等の対策工が適宜実施されている。しかし，これらの対策工は，健全度評価に基づいて行われているわけではなく，変状の原因は明確にされていない。



図—1　現状の覆工状況（展開図）

このような状況を踏まえ，現状のトンネルの健全度を適切に評価することを目的として種々の変状調査を行い，これらの調査結果に基づき対策工の検討を行った。

2.2 調査方針

各トンネルにおける調査方針は，おおむね類似しているため，ここでは代表的な事例としてAトンネルについて述べる。Aトンネルの対策工の必要性が議論されたのは，平成11年度に実施した打音検査の際に，覆工の小規模の剥落が生じたことによる。剥落箇所を調査した結果，覆工巻き厚は100 mm以下（設計巻き厚500 mm区間）であり，覆工背面には相当深い空隙が分布することが確認された。空隙は，局所的であったが，縦横断方向に連続していたことから，面的な調査が必要であると判断した。

これより，変状箇所の抽出と原因の把握を目的として，トンネル全体の覆工の変状状況および覆工背面の空隙分布を確認するために，以下のような調査を実施した。

① 覆工巻き厚，空隙の面的な確認→地下レーダー探査
② 覆工，空隙の直接確認→コア抜き調査
③ ひび割れの分布と性状→地表地質踏査
④ 覆工の状態→圧縮強度試験，中性化試験
⑤ 施工記録との対比→既存資料の収集・整理

坑内作業は，覆工を対象とするために，高所作業車を必要とする。加えて，本トンネルは交通量が多いため，道路交通への影響を考慮し，2車線のうち片側を規制し，作業時間は夜間とした。

2.3 調査結果

図—2に，地下レーダー探査の結果を示す。地下レーダー探査は，トンネルの縦断方向に連続して実施することで，巻き厚，空隙の変化を詳細にとらえることができる。これに直接手法である坑内からのコア抜き調査を補完することで，より的確な判断が可能となる。

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

以下に，各トンネルの調査結果を示す。

1） 覆工コンクリートのひび割れは，トンネルのアーチ天端付近に多数存在し，ひび割れ幅はほとんどが3 mm以下である。

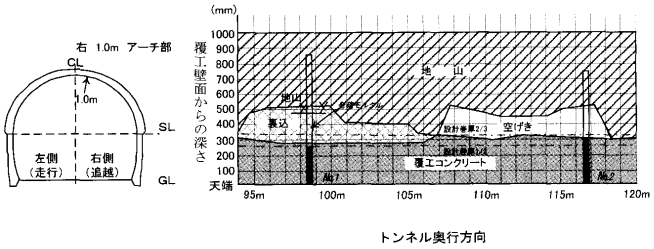
2） 覆工背面の空隙は，アーチ部付近の縦断方向に連続して分布しており，最大で約80 cm程度であった。また，空隙は地山が良好な箇所で深くなることが多いようである。

3） 漏水は，滴水，にじみ程度の軽微なものであったが，現況で認められる漏水箇所以外にも遊離石灰が付着するひび割れが多数認められた。

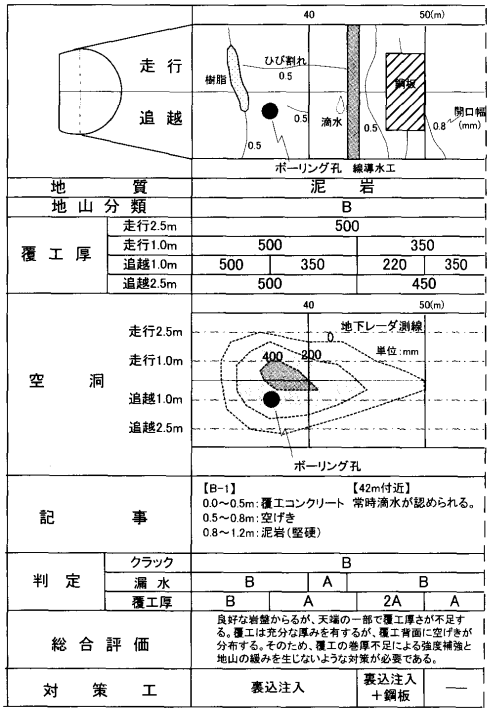
4） 覆工コンクリートの強度は，17～34 N/mm^{2}とばらつくものの，全体に十分な強度を有する。

5） コンクリートの中性化は，覆工面，地山面で1～3 cm程度であった。

調査結果は，新たに確認した結果と既存資料（設計巻き厚，インバートの有無等）が一度に確認できるよう，展開図をベースとしてとりまとめた（**図―3**参照）。



図―2　地下レーダー探査結果例



図―3　調査結果のとりまとめ例

2.4　変状原因と健全度の評価

覆工の調査結果からトンネルの変状の原因を推察し，健全度を判定することは，維持管理をシステマティックに実施する上でも非常に重要である。トンネルにおける変状原因の把握は，主に覆工表面の変状から覆工背面の地山状況，あるいは支保工の変状状態を推察する作業にほかならない。しかし，覆工の調査結果から変状の原因を推察する過程において，特に以下のような課題が生じた。

1） ひび割れは，概して空洞が分布するトンネルアーチ部付近に多数存在するものの，空洞の無い場合のそれと明瞭な相関性は確認できない。

2） 遊離石灰の付着は，漏水が長期間生じていたことを示す指標となり得るが，止水や裏込め対策等によって水道が変化したと思われる箇所が多数見受けられ，漏水の影響を評価するのが難しい。

3） 経時変化に伴う変状の進展状況を示す記録がないため，現状の補修対策の効果を評価しづらい。

上記の点を考慮した上で，Aトンネルの変状原因を以下のように考えた。

① 覆工背面の空隙に伴う地山の緩みが，覆工の劣化を増長させた。

② 覆工の巻き厚不足により，応力の均等な配分がなされず，その結果，潜在的クラックの進展につながった。

③ ひび割れから発生する漏水が，ひび割れの進展の増長と覆工の劣化を促進させた。

すなわち，現地調査結果によれば，ひび割れが発生している箇所と地山の硬軟とは，必ずしも一致していないこと，および現地踏査からトンネルの変形を伴うような顕著なひび割れは認められないことから，覆工に発生しているひび割れは過大な土圧が作用したことにより生じたものではなく，むしろ覆工の老朽化によるものが主な原因と考えられた。特に，覆工の巻き厚が不足している区間は，覆工施工時のコンクリートの硬化に伴う温度応力，および背面地山の凹凸によるコンクリート硬化時の地山との拘束性の違い等により，潜在的なクラックが生じたものと推察される。それが，覆工背面の空隙および漏水等の影響により，経年変化に伴いひび割れが進展し，その結果，覆工が劣化したものと考えられた。

健全度の判定は，対策の緊急性の優先度に従い3A, 2A, A, Bの4段階で区分した。

ここで，「通行車両に危険となり早急な対策を必要とする」判定区分である2Aが，どの程度の変状に相当するかは，対策工を選定する上で重要となる。ここでは，ひび割れ幅が大きく，ひび割れの頻度が多い箇所，あるいは巻き厚が設計巻き厚の1/2以下である箇所，通行に支障を及ぼすような漏水が認められる箇所については，

表―1　判定区分の内容

判定区分	判定の内容
3A	変状が大きく、通行者・通行車両に対して危険があるため、直ちになんらかの対策を必要とするもの。
2A	変状があり、それらが進行して、早晩、通行者・通行車両に対して危険を与えるため、早急に対策を必要とするもの。
A	変状があり、将来、通行者・通行車両に対して危険を与えるため、重点的に監視をし、計画的に対策を必要とするもの。
B	変状がないか、あっても軽微な変状で、現状では通行者・通行車両に対して影響はないが、監視を必要とするもの。

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

通行車両を危険にする変状と判断し，2A の判定区分とした。

3.　補修対策工の選定

3.1　対策工の基本的考え方

対策工の種類としては，大きくは変状等が生じたトンネルの各部位に対して正常な機能が維持できるような補修を目的に行う場合と変状が進行し，トンネル構造物に悪影響を及ぼす場合に用いられる対策工の二つに大別される。対策工としては，変状の状況の違いにより覆工背面に空隙がある場合に実施される裏込め注入工や覆工の強度増加を目的とした鋼板接着工，炭素繊維シート接着工，漏水対策としての止水工法などがある。

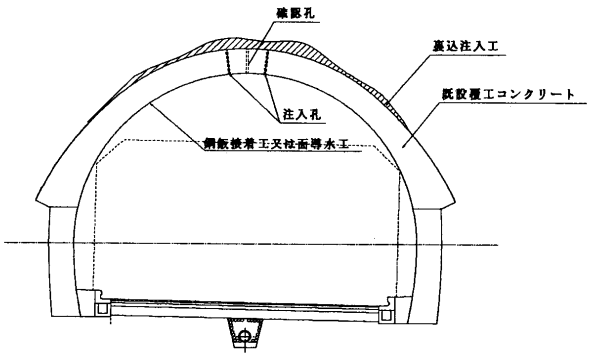
3.2　対策工の選定

トンネルの変状原因および健全度の判定結果から，対策工としては覆工背面の空隙による緩み土塊の崩落防止，ひび割れ頻度の多さと巻き厚不足に伴うトンネル本体の長期安定性の確保，漏水による覆工の劣化防止に着目して検討を行った。これより，対策工としては現況トンネルの内空余裕を勘案して，以下のように区分した。なお，覆工の耐荷力の向上は，覆工背面の空隙にも関係するため，裏込め注入工の実施を前提とした。

①　覆工補強工：裏込め注入工，鋼版接着工

②　漏水防止工：止水工，面導水工

このように，トンネルの補強対策工は，一般に解析的な根拠をもって採用されることは少なく，実績や経験に基づいて選定することが多い。これに対し，例えば橋梁等の補強対策は，曲げ耐力向上や靭性向上を目的として数値解析から補強規模を決定する。このことは，トンネル設計の持つ不確定要因から，供用中のトンネルの何を保守・点検することによりトンネルの機能が確保できるのかが，維持管理で明確化されていないためであると考えられる。

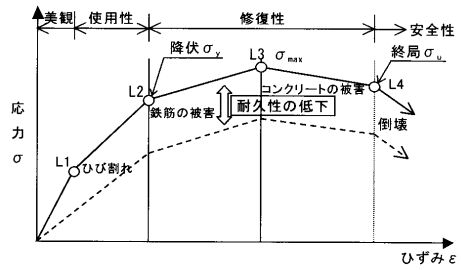


図―4　対策工概略図

4.　維持管理のあり方

調査事例に示したように，現状の維持管理の不確かさに関しては，設計の持つ不確定要因と大きく関係しているものと考えられる。特に山岳トンネルの場合は，各々の支保部材の支保効果を定量的に評価する手法，あるいは知見が得られておらず，このことがトンネルにおける構造設計を難しくしている。これらの問題を解決する方法の一つとして性能を基盤としたトンネル構造の設計思想を導入することが考えられる。

その一例として，前述したようにトンネルの維持管理が覆工コンクリートの経年的変状に集約されるとすれば，覆工等の構造体の状態変化を応力～ひずみ関係でとらえる方法が考えられ，これをイメージ的に示すならば図―5 のようになる。ここで，トンネルに求められる要求性能を，例えば，美観，使用性，修復性，安全性として定義した上で，美観は 0～L1 レベル，使用性は L1～L2 レベル，修復性は L2～L4 レベル，安全性は L4 レベルに対応していると考える。このようにトンネル構造物の性能と状態の変化を定義づけて，適切な設計を行えば，維持管理の役割も明確となろう。最近は，数値解析技術の進歩が著しく，支保部材に作用する荷重状態をある程度推定することも可能であり，このような解析手法を効果的に用いることも一つの方法と考えられる。



図―5　トンネル構造物の性能いの概念図

5.　おわりに

トンネルは，基本的に他の構造物と違い，地盤との相互作用にかかわる構造物のため，限られた地盤調査では，設計に十分に反映させることが難しい。そのため，トンネル設計は不確定な要素が大きく，また，供用期間中の補強・補修が難しい分，安全性を高めに設定した「初期投資重視型（可能な限り維持管理に頼らない）」にならざるを得ない。しかし，これからのコスト縮減を考慮した場合，より合理的な維持管理を心がけることが必要と考える。そのためには，維持管理において「補修」，「劣化」等のデータの蓄積を積極的に行うとともに，これらのデータを設計にフィードバックするシステムを確立することが重要であろう。

参　考　文　献

1)　日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，1993.
2)　地盤工学九州支部編：「性能」に着目した地盤構造物の維持管理技術報告書，第 4 章トンネル，1999.
3)　今田　徹：トンネル技術の課題と動向，土と基礎，1997.
4)　蒋　宇静：地下構造物の性能設計に関する考察，地下空間シンポジウム論文・報告集，2000.

（原稿受理　2002.3.15）

NII-Electronic Library Service