

シールドトンネルにおける変状対策工の効果に関する研究

森本 智¹・砂金伸治²・石村利明³・日下 敦⁴・坂本 昇⁵

¹正会員 国立研究開発法人 土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
E-mail: s-morimoto@pwri.go.jp

²正会員 国立研究開発法人 土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
E-mail: n-isago@pwri.go.jp

³正会員 国立研究開発法人 土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
E-mail: ishimura@pwri.go.jp

⁴正会員 国立研究開発法人 土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
E-mail: kusaka@pwri.go.jp

⁵正会員 国立研究開発法人 土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
E-mail: n-sakamoto44@pwri.go.jp

構造物の高齢化等により社会資本ストックに対する適切な維持管理が求められている背景のもと，道路トンネル定期点検要領が発出された．定期点検要領の主たる内容は，基本的には山岳工法によって施工されたトンネルが対象とされているが，今後においては，山岳工法以外の工法，たとえばシールド工法により構築されたトンネルにおいても，その特徴を踏まえた点検の実施，適切な診断，措置，記録といったメンテナンスサイクルを確立していくことが求められている．

本報告では，シールド工法により建設されたトンネルを対象に，完成から5年程度経過した時点に実施した目視点検において把握した変状実態，および措置の選定手順の考え方の概要，また，措置後の効果の持続性の把握を目的とした目視点検の結果等について報告する．

Key Words : shield tunnel, inspection, condition of deformation, effect of countermeasures

1. はじめに

構造物の高齢化等により社会資本ストックに対する適切な維持管理が求められている背景のもと，道路トンネル定期点検要領¹⁾が発出された．定期点検要領の主たる内容は，基本的には山岳工法によって施工されたトンネルが対象とされているが，今後においては，山岳工法以外の工法，たとえばシールド工法により構築されたトンネルにおいても，その特徴を踏まえた点検の実施，適切な診断，措置，記録といったメンテナンスサイクルを確立していくことが求められている．

シールドトンネルはセグメント，それらを連結する継手，セグメント間に配置する止水材等から構成される．それらの材料はコンクリート，鋼材，ゴム等多岐にわたり，その材料特性等は施工年代毎に力学的な特性や施工性，経済性等の観点から新たな技術を取り入れ，その時点で最適な仕様となるように見直しが行われてきてい

る．また，二次覆工はコスト削減の観点等からある年代を境に省略される傾向²⁾にある．シールドトンネルに発生する変状事例は構成する部材や材料，二次覆工の有無等，複雑な構造となっている影響を受けると考えられるが，メンテナンスサイクルの確立にあたっては，これらの特徴を踏まえた点検，診断等の実施が必要である．

一方で，シールドトンネルにおけるこれらの特徴を踏まえた点検による変状実態の把握や発生原因の推定，さらに，措置における対策工の選定やその後の効果の持続性等に関する事例は少なく，不明な点が多いことが実態として挙げられる．

本報告では，シールド工法により建設されたトンネルを対象に，完成から5年程度経過した時点に実施した目視点検において把握した変状実態，および措置の選定手順の考え方の概要，また，措置後の効果の持続性の把握を目的とした目視点検の結果，およびその後坑内で実施した現地計測結果等について報告する．

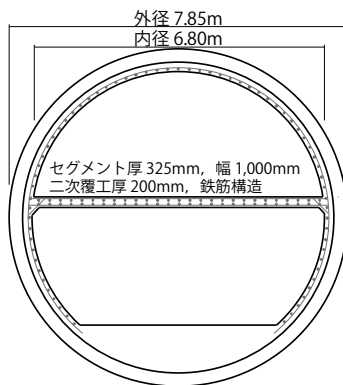


図-1 標準断面図

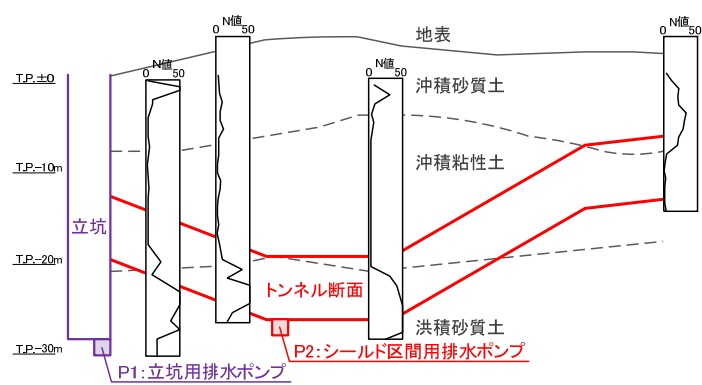


図-2 地質縦断面図

2. 対象トンネル

対象としたトンネルは、シールド工法により建設された国土交通省近畿地方整備局大阪国道事務所が管理する共同溝である。延長は650m、外径は7.85m、セグメントの厚さは325mm、幅は1,000mmである。最大土被りは約25mである。止水材料は高分子水膨潤性のシール材を使用している。本共同溝は、1997年に完成し、セグメントの防食やトンネル内空への漏水の低減等を期待して完成当初から二次覆工が設置されている。また、占用物件を分割・収用するために中壁が設置されている。図-1に標準断面図を示す。掘削断面周辺の地質は、沖積粘性土または洪積砂質土が主体である。ボーリング調査等によると、沖積粘性土は粘土またはシルト等から構成され、含水比は高く、N値は0から5と大部分で極めて軟弱な層であった。洪積砂質土は直径50mm程度の礫や細砂等から構成され、N値は35以上とよく締まっている。自然地下水位はG.L.から下方2mから5m程度であった。図-2に地質縦断面図を示す。

本共同溝において、完成から5年程度経過した時点に実施した目視点検（以下、「5年目点検」という。）において、ひび割れ等の変状が確認された。これらの変状に対して、その内容や規模に応じた措置が実施された。また、措置後10年程度経過した時点に実施した目視観察（以下、「経過観察点検」という。）において対策工の効果の持続性等を把握した。

3. 5年目点検の結果と措置の概要

(1) 5年目点検の結果

本共同溝において、完成から5年程度経過した時点に全延長の二次覆工を対象とした目視点検（5年目点検）において、ひび割れおよび漏水をともなうひび割れ等の

変状が確認された。図-3に5年目点検で確認した変状のうち、5スパン（45m）について記した変状展開図（黒字で記載）を示す。対象区間においては、ひび割れ幅が0.3mm以上の変状は確認できなかった。ひび割れ幅が0.3mm未満の変状は、上半部に多く、各スパンのS.L.付近から天端方向へ伸びる横断方向のひび割れや、天端部や肩部付近における縦断方向に伸びるひび割れが多い。これらの規模や形態から乾燥収縮や温度変化等による材質劣化に係るひび割れであると考えられる。また、一部のひび割れにおいて、滴水、浸出（にじみ）程度の漏水をとまなうものが確認された。

(2) 措置の概要

本共同溝における代表的な変状は、ひび割れ、および漏水をともなうひび割れであった。とくに、漏水をともなうひび割れは、長期的にはコンクリートおよび鋼材等の構造部材の劣化等による構造物の性能低下を生じるおそれがあるため、適切に対応することが必要となる。本共同溝においては、措置を実施する際の基本的な考え方として、二次覆工を対象とした変状による劣化の進行抑制、および漏水等による占用物件等への支障抑制を目的とすることとした。図-4に措置の手順の例を示す。対策は漏水の有無、およびひび割れ幅の規模に応じて内容を決定した。漏水をともなうひび割れは対策として「セメント系材料による充填+注入」とした。また、漏水を伴わないひび割れについても、漏水箇所の止水による水みちの変化により、新たな漏水発生のおそれがあることから、ひび割れ幅が0.4mm以上のものを対象に対策として「樹脂系材料による充填+注入」とした。これらの対策は変状箇所を深さ約40mmまではつり、その後充填し表面処理を施すこととした。一方、漏水を伴わないひび割れのうち、幅が0.4mm未満のものについては「監視」を実施することとした。図-5に漏水をともなうひび割れの対策の例を示す。

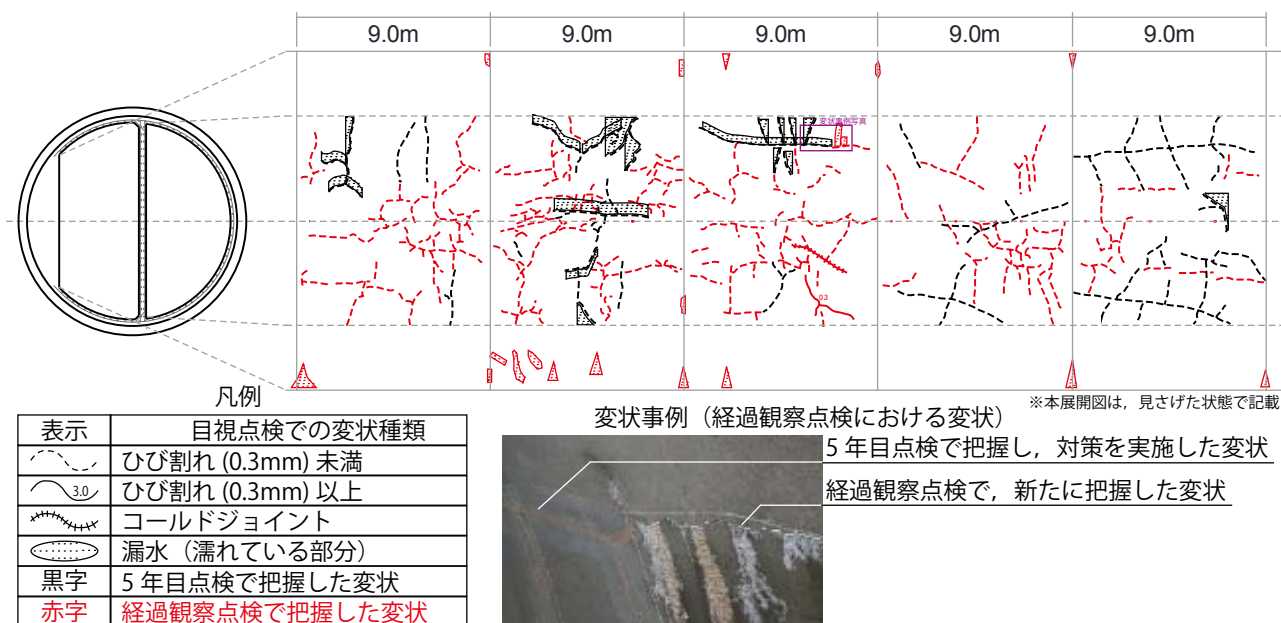


図-3 変状展開図

4. 経過観察点検の結果

3.(2)にて示した対策から10年程度経過した時点で、対策の効果の持続性の把握を目的とした経過観察点検を実施した。経過観察点検は幅0.1mm以上のひび割れを対象に記録した。なお、経過観察点検ではひび割れ幅が5年目点検より小さいものを対象とした近接目視による点検を実施したことから、5年目点検で記録されなかったひび割れが含まれている可能性があることに注意が必要である。

図-3に変状展開図 (赤字で記載) を示す。まず、対策を実施した箇所は、ひび割れや漏水等の新たな変状は確認されず、健全な状態を保っていることを確認した。対象区間における新たな変状として、対策を実施した箇所以外にひび割れと漏水をとまなうひび割れを確認した。新たなひび割れは最大で幅0.3mmであったが、ほとんどは0.3mm未満の規模であった。その形態は、5年目点検で確認されたひび割れが進展したものや、新たに横断方向、または縦断方向に伸びる規則性が乏しいと考えられる微細なひび割れであった。その規模や形態から乾燥収縮や温度変化等による材質劣化に関係するひび割れであると考えられる。一方、新たな漏水をとまなうひび割れは上半の一部箇所、および下半の目地部やひび割れ箇所を対象に確認した。これらは、いずれも5年目点検で確認した漏水に対策を実施した付近、またはそのスパンにおいて発生している。対策を実施した箇所は止水性能が向上したものの、その付近の目地部やひび割れ箇所等の相対

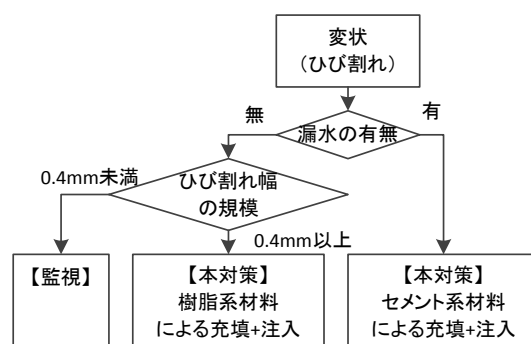


図-4 措置の手順の例

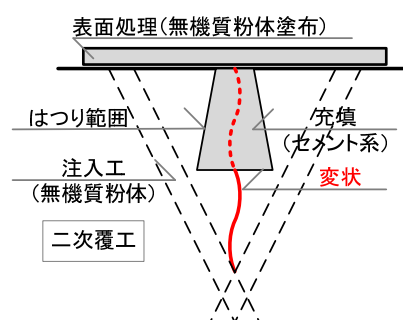


図-5 対策の例 (漏水をとまなうひび割れの場合)

的な弱部に水が回ったと考えられる。図-5で実施した対策は、二次覆工を対象に行われたものであり、一次覆工 (セグメント本体等) の漏水を抑制するものではないと考えられる。セグメント本体等の耐久性を向上させるための対策の手法や、トンネル構造全体の監視の手法等について、今後検討する必要がある。

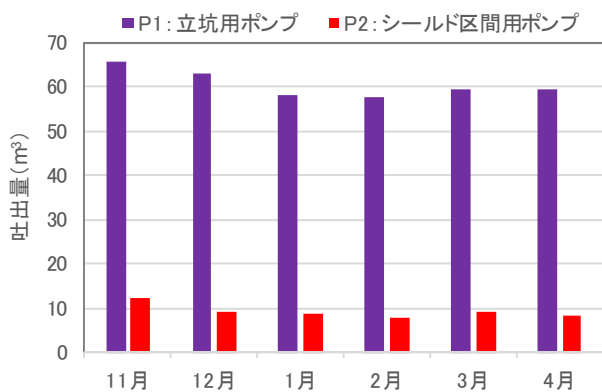


図-6 月ごとの排水ポンプの吐出量

5. 漏水量の調査

トンネル構造全体の監視を行う際の着目すべき指標として、坑内の漏水量をとりあげ、それを推定する調査を実施した。調査は、図-2に示す対象トンネルにおいて立坑部、およびシールドトンネル区間の最深部に設置された2箇所の排水ポンプの稼働実績から、各排水ポンプの月毎の稼働時間を記録し、単位時間あたりの吐出能力を掛けあわせることで算出した吐出量から推定することとした。ここで、算出された吐出量は稼働時間の誤差、ポンプ稼働時の吐出量のバラツキを含み、漏水量の推定値は漏水箇所からポンプ部までの経路およびポンプ部における蒸発による消失等を含むことに注意が必要である。図-6に月ごとの排水ポンプの吐出量を示す。月ごとの吐出量は、立坑用ポンプが60m³程度、シールド区間用ポンプが10m³程度と、シールド区間に比べ、立坑において多いことがわかる。また、それらの量は各月において大きな変動はなく、おおむね同程度で推移している。このことから、本対象トンネルにおける漏水量は、シールド区間に比べ、立坑で多く発生しており、その月ごとの量はあまり変動することなく、おおむね一定で推移していると推定することができる。なお、本調査は継続して実施し、一時的な降雨や季節的な地下水の変動が漏水量に与える影響等についても、検討する必要がある。

6. まとめ

本報告では、シールド工法により建設されたトンネルを対象に、完成から5年程度経過した時点に実施した目視点検において把握した変状実態、および措置の選定手順の考え方の概要、また、措置後の効果の持続性の把握を目的とした目視点検の結果、およびその後に坑内で実施した現地計測結果等について整理・分析した。得られ

た結論は以下のとおりである。

- 1) シールド工法により構築されたトンネルのうち、二次覆工を施工したトンネルにおいて、5年目点検の結果から、シールドトンネルに発生する変状として、ひび割れや漏水をとまなうひび割れが確認された。
- 2) 漏水をとまなうひび割れ、および漏水を伴わないひび割れであっても適切な対策を実施することで、その後、10年程度経過した時点においても健全な状態を保っていることが確認された。
- 3) 一方、本共同溝においては、二次覆工に対する止水注入を実施しており、一次覆工（セグメント本体等）の対策は実施していないことから、ある箇所を対策したとしても、相対的な弱部に水が回り新たな漏水が発生することが確認された。
- 4) トンネル構造全体の監視を行う際の着目すべき指標として、坑内の漏水量をとりあげ、それを推定する調査を実施した結果、本対象トンネルにおける漏水量は、シールド区間に比べ、立坑で多く発生しており、その月ごとの量はあまり変動することなく、おおむね一定で推移していると推定することが確認された。

本報文では、対象とした調査区間が限られていること、また、二次覆工を対象としており、一次覆工（セグメント本体等）の観察・調査は実施できていない。適切な維持管理を行うためには、セグメント本体等の耐久性を向上させるための対策の手法や、トンネル構造全体の監視の手法を確立する必要がある。そのためには、二次覆工やセグメント本体のひび割れやその進展性の把握、継手部の変形（変位や回転角）や劣化状況の把握、さらには定期的な漏水の量や水質等について、その変化を把握すること等が重要となると考えられる。

今後は、より多くの点検結果の蓄積、長期にわたる観察を実施するとともに、変状の発生原因の推定や適切な対策の選定方法等、効率的な維持管理手法の確立に資する検討を行っていきたいと考えている。

謝辞：本調査結果は大阪国道事務所の全面的な協力により得られたものである。関係各位に深甚なる謝意を表す。

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) 森本智，日下敦，石村利明，砂金伸治：シールドトンネルにおける変状発生メカニズムに関する研究，トンネル工学報告集，2015.11

(2016.8.5 受付)

Effect of countermeasures against defects in shield tunnels

Satsohi MORIMOTO, Nobuharu ISAGO, Toshiaki ISHIMURA, Atsushi KUSAKA

Many shield tunnels have been constructed, especially in urban area, and should be maintained properly as well as mountain tunnels to confirm the structural stability and secure the users' safety. However, the inspection method for shield tunnels for vehicle use has not been established due to lack of comprehensive knowledge of critical defects on shield tunnels. In this study, effect of countermeasures against defects in an actual shield tunnel was examined. As a result, it was clarified that a countermeasure which was adopted to the tunnel against water leakage ten years ago is still healthy.