

既設トンネル覆工の変状対策事例

(株) 建設技術研究所 九州支社 正会員 ○望月 健治

(株) 建設技術研究所 九州支社 正会員 吉田 直紹

(株) 建設技術研究所 九州支社 正会員 古賀 郁子

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離・剥落事故等が相次いで発生している。竣工から時間が経過した既設構造物の有効活用のためには、補修・補強技術は今後の重要な課題である。本論文は、昭和36年に竣工された既設トンネル覆工に発生した変状に対して変状調査を行い、その調査結果に基づき、耐力向上が図られる新しい覆工補強工の設計についてとりまとめたものである。

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

ここで紹介するAトンネルは、昭和36年竣工の延長415mの山岳トンネルである。本トンネルは、昭和63年頃に坑口付近の覆工コンクリートに変状が認められたため、その対策としてモルタル吹付けを行っている。さらに、路面補修の一環として、アスファルトオーバーレイを施しており、その結果、吹付けモルタル区間において内空断面不足（建築限界不足）という現象が生じている。そこで、この変状原因を明らかにした上で、対策工としては建築限界が確保できる覆工補強を行うこととした。

Aトンネルは、上下線併設トンネルの上り線に該当し、Aトンネルの竣工後に、下り線が施工されている。Aトンネルは、竣工から25年経過した後、変状に対してモルタル吹付けが行われ、さらにその12年後に覆工背面の空洞に対してモルタル注入が実施された経緯がある。

2-2. 調査方針

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→地表地質調査
 - ④ 覆工の状態→圧縮強度試験
 - ⑤ 施工記録との対比→既存資料の収集・整理
- また、変状調査と併せて内空断面測量をレーザー測定器で行い、建築限界の確認を行った。

2-3. 調査結果

変状調査および内空断面測量の結果、以下の事項が明らかになった。

- 1) モルタル吹付け区間は、覆工の巻厚不足(1/2以下)が認められた。
- 2) 背面空洞・空隙はモルタルによってほぼ充填されていた。

- 3) 吹付けのひび割れは、トンネルのアーチ部及び側壁部に散在し、ひび割れ幅はほぼ3mm以下で、漏水を伴っているクラックも認められた。

- 4) 覆工強度は全体に十分な強度を有する。

3. 変状原因と健全度の評価

Aトンネルの変状原因は、まず、Aトンネル竣工後に下り線が施工されたことによって、周辺地山の応力状態に変化が生じた結果、クラックが発生したものと推察された。加えて、以下の誘因により変状が進展したものと想定される。

- ① 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、クラックの進展につながった。
- ② 覆工背面の空隙に伴う地山のゆるみが、変状を増長させた。
- 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。

これより、Aトンネルの覆工コンクリートは、現状のままでは構造的に問題を抱えており、覆工に替わる恒久的な補強対策工を必要としていると判断された。また、補強対策工の設計にあたっては、建築限界の確保も考慮するものとした。

4. 補修対策工の選定

4-1. 対策工の基本的考え方

建築限界が不足する断面は、モルタル吹付け区間に限定されるが、このモルタル吹付け（厚さ200mm）を切削撤去しても、建築限界は確保されない状況であった。建築限界確保のためにトンネル覆工本体を更に切削することは、元来巻厚不足区間であることから、切削により設計巻厚の1/2以下になる恐れがあり、トンネル覆工そのものの改築を前提とした大規模な改修工事とならざるを得ない。加えて、モルタル吹付け区間の周辺地山は、風化が顕著な岩層を示しており、改築工事にあたっては、

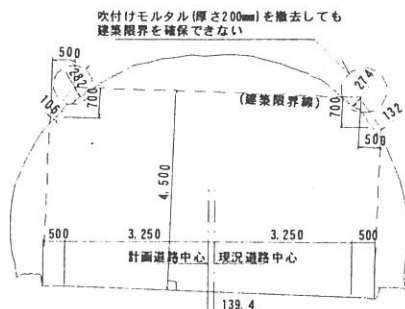


図1. 内空断面と建築限界（現況断面）

表 1. 繊維補強モルタル工法の特徴（鋼板接着工法との比較）

工法名	鋼板接着工	繊維補強モルタル工法
特 徴	・覆工そのものに問題はなく、ひび割れ、剥落等の表面的な変状・劣化に対する対策工として用いる。 ・覆工コンクリートをRC化した場合と同等の効果も期待できる。 ・せん断耐力が向上する ・剥落防止対策として落下防止対策効果も期待できる	・ひび割れや劣化により覆工そのものが不安定であり、対策工本体に覆工と同等の耐久性・強度を確保させる必要がある場合に用いる。 ・補強繊維はマット状に形成され、連続性を有している。 ・既設コンクリートの不陸に追従できる。 ・5cmの厚さ（モルタル強度 60N/mm²）で、覆工厚 35cm 相当の既設覆工コンクリートの強度を発揮することが出来る。 ・繊維を混入することにより、強度特性、靱性能ともに向上する

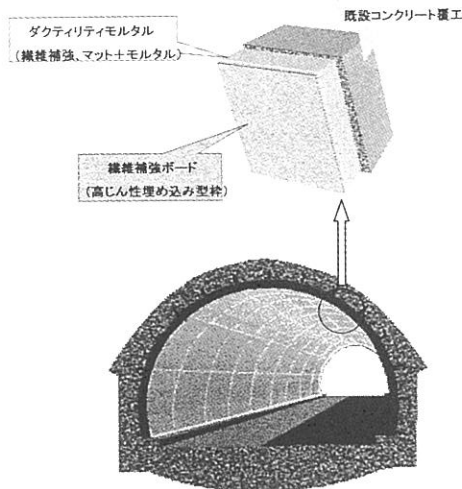


図 2. 繊維補強モルタル工法概略図

トンネル周辺地山の安定も懸念される。

このようなことから、建築限界確保対策としては、トンネル覆工本体は改築しないことを前提として路面の盤下げ工を採用した。但し、既設の吹付けモルタルは、将来剥落する可能性があること、また、盤下げ範囲を極力少なくするために切削撤去する。吹付けモルタルは過去に変状（ひび割れ）があったことに対して施工されているため、吹付けモルタルに変わる恒久的な補強対策工を施工するものとした。

4-2. 対策工の選定

恒久的な対策工としては、覆工に替わる補強工法の採用が必要である。採用にあたっては、吹付け区間内の覆工は、過去の変状履歴によれば覆工コンクリートに引張及び圧縮が混在して発生している可能性が高い。従って、引張・圧縮のいずれにも抵抗できる工法として繊維補強モルタル工法を採用した。本補強工法は、PVA 繊維で補強したボードと覆工面で、繊維補強材を挟み込む形で固定し、覆工とボードの間にモルタルを充填して、じん性に優れたセメント系繊維補強材を形成し、覆工を補強するものである（図 2 参照）。

4-3. 対策工の強度特性

覆工の実際の状況を再現できるように、トンネル覆工及び周辺地山の状況をモデル化し、トンネルに外力

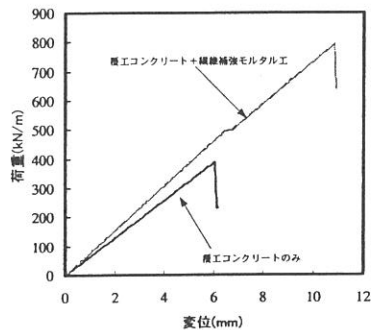


図 3. 繊維補強モルタル工設置による荷重変位関係

を作用させた場合の繊維補強モルタル工法の特徴について検証した。解析条件は下記のとおりである。

覆工コンクリート設計基準強度：18N/mm²

弾性係数：2.2×105N/mm²

単位体積重量：23kN/m³

覆工巻厚：35 cm（設計巻厚 70cm）

地山物性値：地山区分 D I

図 3 に解析結果を示す。繊維補強モルタル工（厚さ t=50mm、モルタル強度 60N/mm²）によって補強した場合は、覆工厚 350mm の場合に対して、約 2 倍の荷重に抵抗することがわかる。即ち、繊維補強モルタルを施工することにより、覆工コンクリートのみの降伏点の約 2 倍の強度を発揮していることになり、t=50mm（モルタル強度 60N/mm²）で覆工厚さ 350mm 相当の強度を有することを意味するものである。

5. おわりに

盤下げ工と繊維補強モルタル工（既設吹付けモルタルは撤去）の施工により、建築限界の確保と覆工補強を同時に達成できた。また、覆工コンクリートに圧縮・引張が同時に発生しているような変状が生じている場合は、今回の補強工法はより有効な工法の一つであると考えられる。

【参考文献】

- 1) 松岡茂ら：「ひび割れを考慮したトンネル覆工解析に関する研究」、土木学会論文集 No. 554/Ⅲ-37, pp147-155, 1996. 12