

報告 NATM トンネル覆工コンクリートの施工目地近傍の変状の抑制対策と効果

宮田 和実*1・目崎 浩二*2・河内 正道*3・細田 暁*4

要旨：NATM トンネルの2次覆工コンクリートの施工目地近傍に生じるうき、はく離、はく落などの変状について、点検データの分析結果の一例により、施工目地の近傍に変状が生じやすいことを示し、その原因について推察した。施工目地近傍の不具合を抑制するために、ビニールシートを既設ブロックと新設ブロックの界面に挿入して付着を除去する対策と、つま板鋼板を延長して既設ブロックの端面を平滑化する対策を提案した。実構造物の施工でこれらの対策の効果を検証し、目視評価法による覆工コンクリートの出来栄への調査結果と合わせて、施工目地近傍の不具合が抑制できたことを示した。

キーワード：覆工コンクリート、施工目地、変状、付着

1. はじめに

山岳地帯の多い我が国においては、トンネルの建設に NATM 工法が多用される。NATM 工法における2次覆工コンクリートは、供用中に第三者被害を及ぼす懸念を生じる部材でもある。適切な品質が建設時に確保され、供用中の第三者被害を防止し、また供用中の劣化もなるべく抑制することが求められる。これまでも、NATM 工法の2次覆工コンクリートの品質確保、品質向上については多くの努力が重ねられてきた。

本研究では、供用されている NATM トンネルの点検データを分析した一例を示し、施工目地の近傍に変状が生じやすいことを示す。また、施工中に施工目地の近傍に生じる不具合の原因について、実構造物での計測結果等も活用して考察する。さらに、施工目地近傍に施工中に生じる不具合を抑制するための対策を考察したので、その詳細について説明し、実構造物での効果について検証データとともに示す。

2. トンネル覆工コンクリートの施工目地近傍の劣化

2.1 点検データの分析結果の一例

国土交通省の管理する道路トンネルの点検結果を分析した一例について説明する。2007年に完成した延長500m程度のトンネルについて、2009年に行われた点検結果を用いて分析した結果である。図-1に示すように、点検調査書に記載されている変状の展開図に対して、60分割の位置情報を与えた。展開図の左右縁が施工目地となる。展開図の上下端は側壁部に該当し、この展開図の場合は覆工コンクリートの側壁がタイルで覆われていたため、点検時にコンクリートが見えない状況にあったものである。トンネルの全ブロックの変状に位置情報を与え、

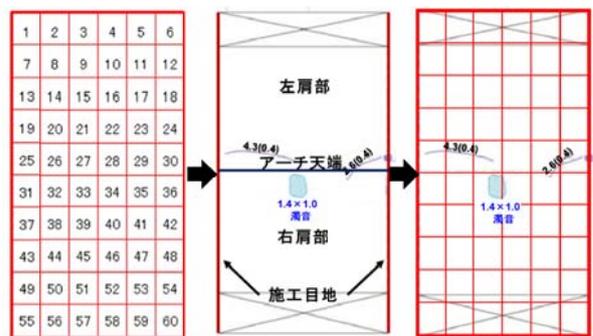


図-1 トンネル点検データの変状への位置情報の付与

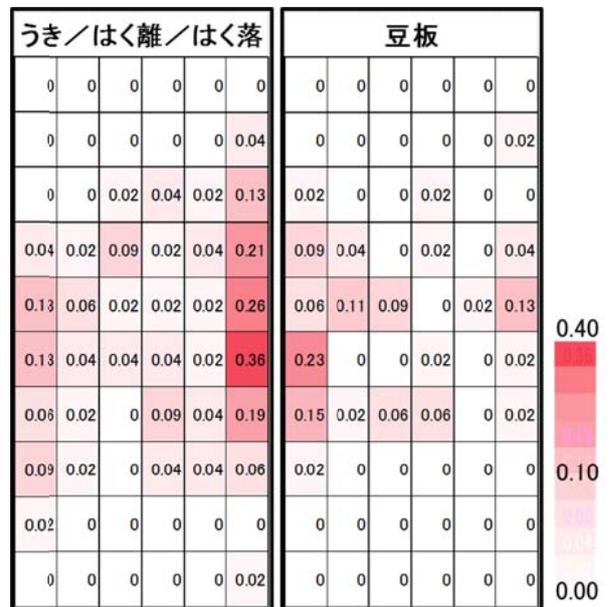


図-2 2007年完成のあるトンネルにおける1ブロックあたりの変状の発生頻度

60分割の各位置における1ブロックあたりの変状の個数

*1 西松建設株式会社 北日本支社 小鎚トンネル出張所 (正会員)

*2 西松建設株式会社 北日本支社 小鎚トンネル出張所

*3 西松建設株式会社 北日本支社 小鎚トンネル出張所 監理技術者

*4 横浜国立大学 大学院都市イノベーション研究院准教授 博(工)(正会員)

を可視化したものが図-2である。図-2においては、赤色が濃いほど変状の発生頻度が高いことを示し、数字が1の場合、1ブロックにつき1つ変状が生じていることを示している。このトンネルは、入手した52のトンネル点検データの中では、比較的変状が多い部類に属していた。このトンネルでは、うき・はく離・はく落（同一事象で進行程度の異なるものと扱って分析）は施工目地近傍に多いことが分かる。しかも、アーチの天端付近に多く発生しており、コンクリートが落下した場合は第三者被害につながる懸念がある。

さらに、図-2によると、このトンネルでは、うき・はく離・はく落の多い目地と逆側の施工目地に豆板が多い傾向が認められる。この点について、2.2で施工目地近傍の不具合の発生原因の推察を行う際に考察を行う。

2.2 想定される変状の発生原因

図-3に、筆者らの推察する施工目地付近での不具合の発生メカニズムを示す。後打ちコンクリートの打込み後、コンクリートの温度や収縮による体積変化により、後打ちコンクリートと先打ちコンクリートは離れる方向に変形する。図-4は、4.3で対策の効果を検証したトンネルの二つのブロックをまたぐ形で設置した標点間250mmのコンタクトゲージで計測した目地の開きである。二つの目地ともに同様の挙動を示しており、打込み後20日程度で2~3mm程度の開きを示した。このときに、既設コンクリートと後打ちの新設コンクリートの間に付着が存在する場合、コンクリート内部の弱点部に沿ってひび割れが発生し、うきにつながる可能性がある。

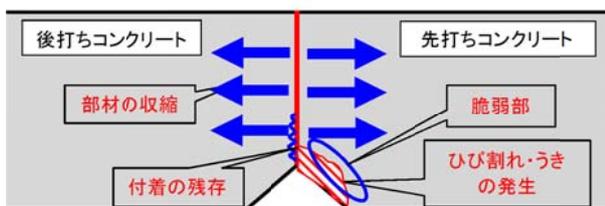


図-3 施工目地部に不具合が発生する機構の推察

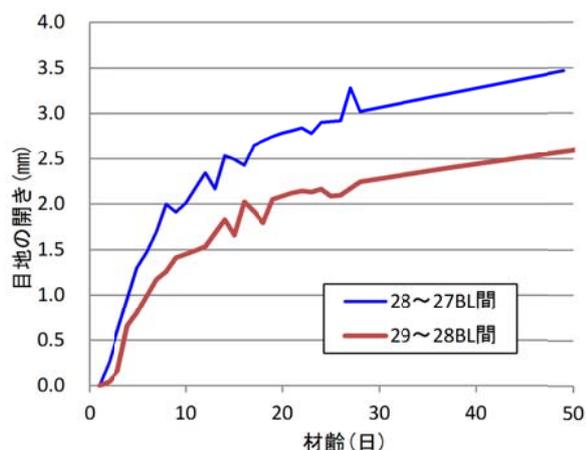


図-4 実構造物で計測した打込み後の目地の開き

図-3の概念図においては、既設コンクリートの側に不具合が生じる状況を描いている。強度がより発現しているはずの先打ちの既設ブロック側に不具合が生じる目地部が、現場においては少なくない。その理由として、筆者らは先打ち部のつま部に、コンクリートの品質が低い部分が生じる場合があることによる可能性を考えている。

写真-1に示すように、現場での呼び強度24N/mm²の覆工コンクリートを打込む際に、つま部に設置した水抜き用穴あき鋼板つま板（パンチングメタル）から排出されたブリーディングの混入したモルタルを3本採取し、材令28日まで現場養生したものについて圧縮強度試験を行った。結果を以下に示す。

1 本目：最初に排出されたブリーディング・泡を多く含んだ試料の強度は11.7N/mm²

2 本目：排出された中間部で採取し、モルタル分が多い試料の強度は22.4N/mm²

3 本目：排出された最後の部分の強度は23.8N/mm²

この現場では、脆弱部の原因となるブリーディングは適切に排除していたが、つま部には局所的に品質の低い部分ができる可能性はあり、これが図-3に示すような既設側の不具合につながる可能性を考えている。



写真-1 つま部から排出されたモルタルの採取状況

2.1で示した変状の例では、図-2に示したように、うき・はく離・はく落の多い目地と逆側の施工目地に豆板が多い傾向が認められた。この理由として、筆者らは、打込み時の天端のコンクリート吹上げ口に近い側の目地に豆板が多く発生し、吹上げ口から離れた端部つま側の目地において、図-3に示した機構によりうき・はく離・はく落が多く生じたのではないかと推察している。

3. 施工目地近傍の変状の抑制対策

3.1 施工の基本事項の遵守

2章で記したように、トンネル覆工コンクリートの施工目地部には変状が発生しやすい。この変状を防ぐためには、打込みの難しい覆工コンクリートにおいて均質で

密実なコンクリートを打込む努力をする必要がある。筆者らが施工を行った NATM トンネルは、東北地方整備局の南三陸国道事務所のトンネルであり、品質確保の試行工事の対象であり、二次覆工コンクリートについては施工状況把握チェックシートや、目視評価法も活用した品質確保^{1), 2), 3)}に取り組んでいる。その上で、さらに施工目地近傍に発生する不具合の抑制対策を別途講じており、その詳細を 3.2 および 3.3 で述べる。

3.2 ビニールシートの挿入による方法

新設の覆工コンクリートは硬化時の温度変化や乾燥による収縮などにより、膨張や収縮の体積変化を示す。この際、既設の覆工コンクリートに後打ちのコンクリートの体積変化が拘束され、施工目地部でコンクリート間に付着がある場合、コンクリートが自由に収縮することができず、弱点部に拘束ひび割れが発生することが考えられる。

このひび割れを防止するために、目地部にビニールシートを設置し、既設のコンクリートとの縁を完全に切り、拘束を無くす対策を施した。この対策の概念図を図-5 に、現場での施工状況を写真-2 および写真-3 に示す。

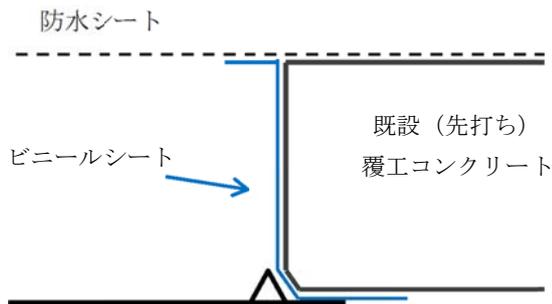


図-5 ビニールシートによる対策の概念図



写真-2 ビニールシートによる対策の現場施工状況 (打込み状況)

使用したビニールシートは厚さ 0.2mm の薄手のフィルムシートであり、安価で、特殊な化学組成等も必要としないので入手も容易である。セントル脱型後、既設の覆工コンクリートのつま部に貼り付ける。このとき、新設のコンクリートが既設のコンクリートに直接接触すること

の無い様、つま部を完全に覆うように取り付ける必要がある。筆者らの現場においては、防水シート側の固定には粘着テープを使用し、既設覆工コンクリートには、プラスチックフラットバーをコンクリート釘で固定し、密着させた。ビニールシートの端部は目地に沿わせてセントルの外部へ出し、新設のコンクリートに巻き込まれないように配慮した。



写真-3 ビニールシートによる対策の現場施工状況 (打込み完了後)

3.3 つま板鋼板の延長による方法

通常、セントルのつま部型枠については、木矢板にて施工を行うのが一般的である。しかし木矢板は、転用を重ねるごとに表面に毛羽立ちが発生したり、施工する作業員の技量によって、木矢板の間隙がばらついたり、木矢板ごとに段差が出来たりすることがある。このような場合、つま部の端面には凹凸が発生しており、新設のコンクリートとの間に付着力が生じやすくなると考えられる。

このような端面の凹凸を低減するために、つま部のダミージョイント(三角形目地鋼板)に合わせて、 $w=200\text{mm}$ の鋼板を設置した。写真-4 および 5 に設置状況を示す。つま部の型枠の一部を鋼板とすることで、覆工コンクリートのつま部仕上がり面が平滑となり、新設の覆工コンクリートを拘束しにくくなるのが期待できる。



写真-4 鋼板設置状況 (セントル外部より)



写真-5 鋼板設置状況（セントル内部より）

4. 対策の効果について

3章で述べた各種対策について現場で得られた効果、結果について以下に述べる。

4.1 覆工コンクリートの目視評価の結果

現場での施工に際し、3.1で述べたように施工の基本事項の遵守に配慮し、覆工コンクリートの目視評価¹⁾を行った。目視評価の結果を図-6に示す。評価項目は「はく離」、「気泡」、「水走り・砂すじ」、「色むら・打重ね線」、「施工目地不良」、「観測窓段差」の6項目であり、各項目の満点は4点のため、計24点満点である。評価点の合計点の推移を見ると、施工当初から20点以上は達成できていたが、施工が進むに従い、点数の上昇した傾向が確認できる。作業員の習練度の向上と、各種の反省を次施工に反映させるPDCAサイクルが機能したためである。評価点は24点満点に対し、平均しても22.5点と高い水準を保っており、覆工コンクリートの良好な品質が確保できたと評価できる。また、施工目地部のひび割れやうきの発生については、セントルが押し当たることによる偏圧も原因の一つと考えられるが、本現場ではそのような偏圧が作用しないよう、入念な配慮を行って施工した。なお、図-6には、4.2で説明する目地部での不具合が発生したブロックに○印を付けている。

4.2 ビニールシートの挿入による効果

この対策を施した現場においては、基本的に呼び強度24N/mm²でW/Cが51%、セメントは高炉B種のコンクリートを用いた。目地部の変状の有無を確認するために目視調査を行った。調査は計97BLで行い、内訳は、ビニールシートの対策工を行った箇所が44BL、未対策箇所が53BLであった。目視調査の結果、未対策区間の53BL

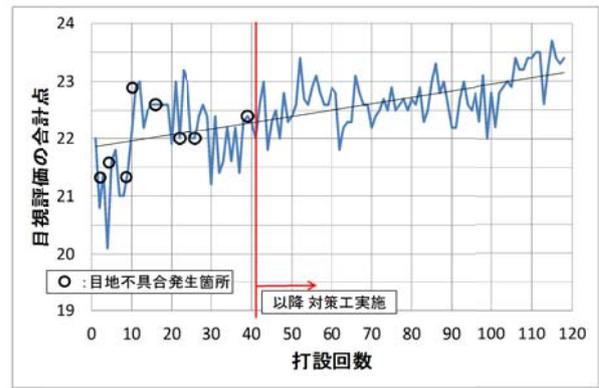


図-6 目視評価の結果（24点満点）

中11BLで目地部にうきやひび割れが確認されたのに対し、対策区間では44BL中で変状は確認されなかった。ビニールシートの挿入による縁切りが効果的であったといえる。

図-6のグラフには、変状が確認されたスパンに○印を記載しており、ビニールシートによる対策工の開始時期も示した。ビニールシートによる対策工の実施以降は、目地部に変状は発生していない。なお、対策工実施以前の53BLすべてで品質管理のための目視評価を行ったわけではないので、図-6中の○印は11個より少なくなっている。

対策区間と未対策区間の目地部の状況を以下に示す。施工完了時、覆工より突出しているビニールシートは切断撤去する。未対策区間においては打継ぎ箇所拘束が働き、写真-6に示すように直線でない不規則な目地の開きとなっている箇所が多いが、対策箇所ではビニールシートの箇所で完全に縁が切れており、目地が直線に通り、美観にも優れる結果となった（写真-7）。また、目地に発生した不具合の例を写真-8に示す。この不具合についてはうきが確認された。



写真-6 施工目地近景（未対策箇所）

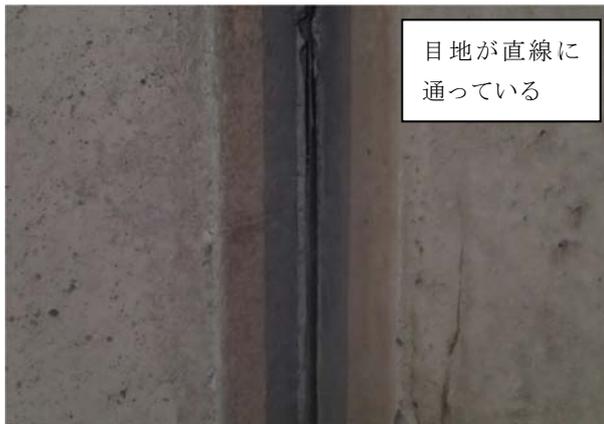


写真-7 施工目地近景 (対策箇所)

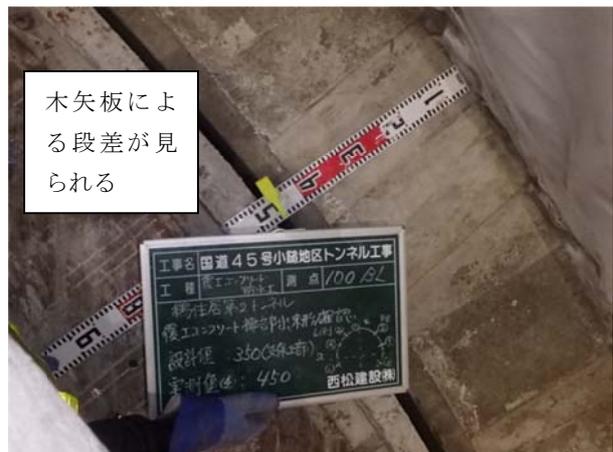


写真-9 つま部の仕上がり (未対策箇所)



写真-8 目地に発生した不具合例 (うき: 未対策箇所)

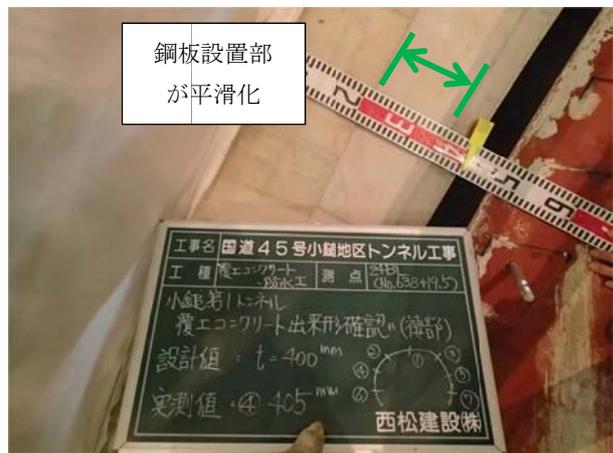


写真-10 つま部の仕上がり (対策箇所)

4.3 鋼板の延長による効果

鋼板の延長による対策は、4.2 で説明したトンネルとは別のトンネルの施工に際し、全施工区間で実施した。このトンネルでは、W/Cが45.6%(セメントは高炉B種)の中流動コンクリートを使用した。

対策工を行った場合、行わなかった場合のそれぞれのつま部の仕上がり状況を写真-9 および 10 に示す。このうち、未対策箇所として示しているブロックは、4.2 のビニールシートの挿入による対策を行ったトンネルである。未対策箇所をつま部の仕上がりは木矢板による段差が三角目地部の頂点まであり、新設のコンクリートとの付着を生じやすい状態であると思われる。一方で、鋼板の延長による対策箇所は、鋼板部の仕上がり平滑化されており、新設コンクリートとの付着力は小さくなっていると考えられる。また、対策に使用している材料が鋼板であるので、コンクリート打込み、脱型後に適切にケレンを行うことで、転用を重ねても仕上がり端部の平滑さを保つことが出来た。

対策工を採用したトンネルの目地箇所数は 29 箇所であり、目視調査の結果、目地部の不具合は確認されなかった。

4.4 対策工の効果のまとめと今後の展望

2章で述べたとおり、施工時に目地部に発生する不具合の原因は、既設の覆工コンクリートと新設の覆工コンクリートの間に発生する付着により品質の比較的低い部分にひび割れが発生することと考えている。筆者らの施工現場では、この影響を低減するために、既設、新設の間の縁を完全に切る対策や、接する面を平滑面とし、付着を少なくする対策を講じた。今回実施した対策工は、現場での目視調査の結果より、目地部の不具合発生抑制に効果があったと判断できる。目地部の不具合の根絶には、目地部近傍においても品質の低いコンクリートとならないための施工上の配慮を適切に行った上で、付着の低減対策を徹底して行う必要があると考えられる。

5. まとめ

NATM トンネルの2次覆工コンクリートの施工目地近傍に生じる変状について、点検データの分析結果の一例により、施工目地の近傍に変状が生じやすいことを示し、その原因について推察した。施工目地近傍の不具合を抑

制するために、ビニールシートを既設ブロックと新設ブロックの界面に挿入して付着を除去する対策と、つま板鋼板を延長して既設ブロックの端面を平滑化する対策を提案した。本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 施工時に目地部に発生する不具合の原因は、既設の覆工コンクリートと新設の覆工コンクリートの間に発生する付着により品質の比較的低い部分にひび割れが発生することであると推察した。
- (2) ビニールシートを既設ブロックと新設ブロックの界面に挿入して付着を除去する対策により、施工目地部の不具合を防止することができた。ただし、その前提として、施工現場においては、施工状況把握チェックシートと目視評価法を活用した品質確保の取り組みが行われていた。
- (3) つま板鋼板を延長して既設ブロックの端面を平滑化する対策を、中流動コンクリートを用いた現場に適用し、施工目地部の不具合を防止することができた。この現場においても、同様の品質確保の取り組みが行われていた。

謝辞

今回本論文の執筆にあたり、現場で得られた貴重なデータを提供していただいた、釜石山田地区事業促進 PPP チームの加藤ひろし氏に謝意を表します。また、覆工コンクリートの品質向上について提言いただき、試行工事にて対応いただいた南三陸国道事務所の佐藤和徳事務所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 伊藤忠彦・細田 暁・林 和彦・西尾 隆・八巻大介：覆工コンクリート品質向上の取り組みと表層品質の評価，トンネル工学報告集，24 巻，I -4，pp.1-9，2014.12
- 2) 細田 暁：復興道路における新設コンクリート革命，コンクリートテクノ，34 巻，4 号，pp.70-76，2015.4
- 3) 細田 暁：復興道路での品質確保と人材育成，コンクリート工学，53 巻，1 号，pp.66-70，2015.1