

## 通行止めを回避した新たなトンネル変状対策技術の適用について

東日本高速道路株式会社 関東支社 正会員 ○鈴木 雄吾 松本 大輔  
(株)熊谷組 土木事業本部 正会員 岩永 茂治

### 1. はじめに

供用中の道路トンネルにおいて路面隆起などの変状が発生した場合、長期間における通行止めを始めとした通行規制を行わなければ抜本的な補修は難しい。本稿にて報告する長野自動車道の一本松トンネルは、麻績IC～更埴ICに位置する延長約3,200mのトンネルである。平成5年の開通から3年を経過した平成8年頃に路面隆起や覆工クラックなどの変状が発見された。変状は現時点では比較的緩慢であり補修の緊急性は低いもののその変状自体は継続的に増加する傾向にあり、将来的には抜本対策が必要となること。また、変状の発生が現状においても広範囲(上下線で9箇所延べ延長で約1,500mの区間)に及ぶことから、急激な変状発生時への対応及び変状が大きい箇所のための補修手法として通行止めを極力最小化できる工法を確立すべく、最も変状が発生している約40mの区間において変状対策工事を実施した。

### 2. 対策方針

#### 1) 変状の状況

全体的な変状は小さく内空変位は2009年から2013年の5ケ年における累積変位は7mm程度であるが、その変位速度は0～4mmと幅がある。また、路面隆起は2007年を境に隆起速度が遅くなり概ね4mm/年以下で増加している。これら路面隆起速度とともに内空変位の速度も低下していることが確認されており、これら変状速度の低下は地下水位の低下と関係があるものと推定される。これら変状箇所を図1に示す。当該トンネルの上下線合せて6,214mの内、1,515mと全長の24%に変状が確認されている。

#### 2) 地山の状況

地質分布は、起点側の南側(松本側)から第三紀中新世の小川層(01～03)、その上に裾花層(S1～S2)、および冠着層(Ka)を貫いている。一本松トンネルの盤ぶくれに関しては、図1に示すように変状区間1～5に区分し、それぞれの進行状況を把握してきた。その結果、各変状区間と分布する地層とは下記のような関係にある。(変状区間1：砂岩、泥岩の互層(小川層)、変状区間2～5：凝灰岩(裾花層および冠着層))

#### 3) 岩質

変状の最も大きい下り線変状区間1に分布する小川層は礫分の多さや粘土分含有量で、泥岩、砂岩、礫岩と分類しているが、岩石のマトリクス(基質)は全て同一の凝灰岩から構成され、基本的には同一の岩質である。

この岩質であるが、掘削時には判定指標未満であったものが掘削による応力解放や水の浸透により、現在では一軸圧縮強度や変形係数といった強度に関係する指標のみが閾値を超え、さらに吸水後はより一層強度低下しており、この性質が変状の原因であったものと想定される。

### 3. 施工法の検討

#### 1) 将来予測

地中変位の計測結果からトンネル完成後に生じた全変位を予測解析を実施した。解析モデルは均質地山の一部(路

キーワード トンネル、インバート、改築、曲線函体推進

連絡先 〒110-0014 東京都台東区北上野 1-10-14 東日本高速道路(株)関東支社管理事業部 TEL03-5828-8464

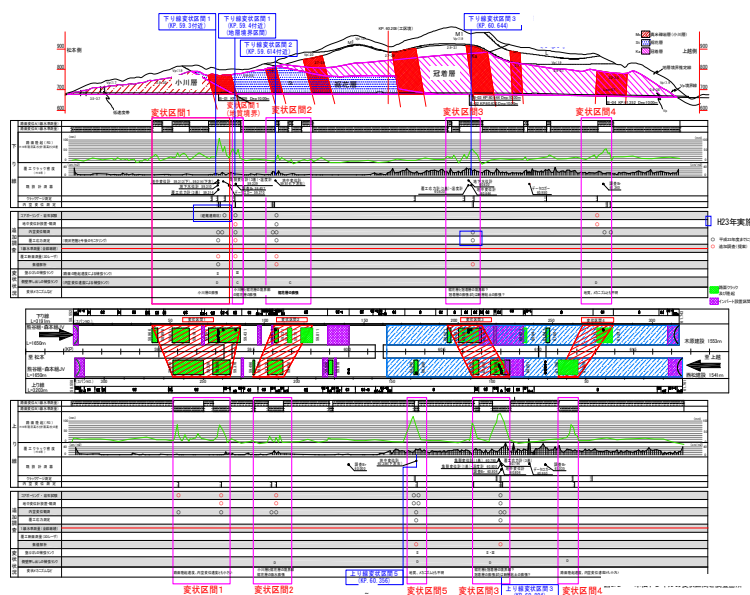


図1 地質縦断及び変状区間図

|                                           | (a)掘削直後                                                                                                                                                                                        | (b)現在         | (c)吸水後        |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| 変形係数E<br>(MPa)<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )  | 1000<br>(10000)                                                                                                                                                                                | 70<br>(700)   | 31.5<br>(315) |
| 粘着力c<br>(MPa)<br>(kgf/cm <sup>2</sup> )   | 1.0<br>(10.0)                                                                                                                                                                                  | 0.4<br>(4.3)  | 0.1<br>(1.4)  |
| 内部摩擦角φ<br>(度)                             | 40.0                                                                                                                                                                                           | 9.2           | 4.0           |
| 圧縮強度qu<br>(MPa)<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 4.3<br>(42.9)                                                                                                                                                                                  | 1.0<br>(10.0) | 0.3<br>(3.0)  |
| 備考                                        | 掘削直後の値は、地山等標C<br>までの一般的物性値による解析<br>で、内空変位が概ね計測値と<br>一致したことによる。<br><br>トンネル坑壁からの深度10m以<br>内のトンネルに近い箇所の岩<br>石の平均的な強度(上記物性<br>値で、路面隆起量が概ね再現<br>できた)<br><br>(b)の状況から、一度乾燥さ<br>せて、更に吸水した後の岩<br>石の強度 |               |               |

図2 岩質試験結果(掘削直後と現状)

面下)の強度を低下させ、外力なしに塑性領域を拡大させる解析として実施した。無対策の場合、最終的に 300mm を超える変位が発生するものと想定されるとともに、緩み領域が拡大することにより脚部沈下による地山の緩み土圧の増大が懸念される結果となった。

2) 施工範囲

このトンネルにおける岩石の性質は前述の通り“長期的に地下水位の変動や水道の変化に伴い岩石の強度低下に伴う変状が発生する可能性が高いこと”また、“急激に変状を呈する可能性があること”などが推定されることから、変状の状況を鑑み適宜補修を行う手法を確立する必要がある。そこで、施工範囲は変状が大きい箇所とし試験施工として実施するものとした。

3) 対策工の検討

対策工としてはインバート構築若しくはその他対策工が考えうるが、車線規制により片車線ごとに開削する施工の場合、当該トンネルの総幅員が 8.5m であることから、必要幅員(小区間改築時の特例値 4.25m+仮設の防護柵の設置幅 0.5m 以上)を確保できないことから、走行車線と追越車線との 2 分割施工では施工できない。このため、3 分割による施工若しくはインバート構築以外による対策工を適用する必要があるため検討をおこなった。

①マイクロパイル工法

解析の結果、当該土質条件ではグラウト材と地山間ですべりが発生するため、その必要長は 30m となること。また、施工に伴う緩み領域が拡大するため長期的な抑止効果に疑義が残るため、その適用性は低いことが確認された。

②仮栈橋方式(開削+覆工板方式)

中央部に覆工板を設置し、下部を掘削してインバートを設置する方法。

③曲線函体推進方式(まがる一ふ工法)

鋼製の外殻を有する機械掘削機により中央部を掘削し、外殻内にコンクリートを打設するとともに外殻外においてもモルタル注入をすることで地山と一体化させインバートを設置する方法。

表 1 に②と③との比較を示す。曲線函体推進工法では通行止めを必要としないこと。費用も同等程度が見込まれることから、曲線函体推進工法を適用することとした。

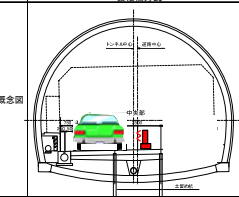
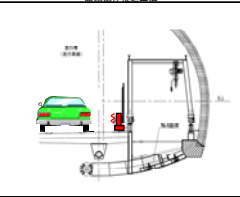
4) 曲線函体推進工法

本工法は、軟岩掘削の実績豊富な汎用掘削機械(ツインヘッダー)を活用しており様々な地質に対応できる。先端部をスイングさせ拡張掘削させることなどにより、掘削機械は函体内部から引抜き回収可能であり、到達側の導坑や特殊な装置等を必要としない。函体設置後、函体の内外をコンクリートで一体化することができる工法である。今回の適用に当たり推進時に支障となる中央排水管を迂回するためインバートの曲率を R=17 から R=10 に変更するとともに曲線函体を設置するために必要な断面である 680mm に併せ、接続するインバート上面の曲率を変化させ、足付け部に摺りつけることとした。函体の鉄板厚さは施工時の交通荷重に対応するため 16mm とした。また、施工時の側方変位を抑えるとともに構築中における片持ち構造時における曲げ耐力を持たせるためインバートストラットを設置することとした。なお、施工時における供用線への影響を避けるため、地山の掘削に伴う開放時間を短くすべく、函体当たりの一連の作業毎に掘削、インバートコンクリートの打設、埋め戻しを行うこととした。

4. 施工結果

施工は平成 25 年の夏季繁忙期明けの 8 月末より着手し、降雪前の 1 1 月末までの 3 ヶ月間にて予定通りに完了をすることができた。また、全行程において作業の危険性を示す程の内空変位、天端・脚部沈下、路面沈下、応力超過などの変状は発生しなかった。しかし、地質の状況により排土の不具合が初期において確認されたことから、送泥システムを見直すことで作業サイクルの改善を図ることができた。但し、インバート自体には問題はなかったが、函体の連続性については不十分な結果となったことから、今後これらを見直すこととしている。最後に、本工事の遂行にあたりご指導を頂きました首都大学東京 西村教授を始め関係各位の皆様には厚くお礼申し上げます。

表 1 工法比較表

|       | 仮栈橋方式                                                                                                                                                             | 曲線函体推進工法                                                                                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 概念図   |                                                                                |                                                        |
| 施工概要  | ①土留め杭(仮栈橋用基礎用)の設置<br>②追越(走行)車線掘削。インバート構築<br>③掘削装置(走行止)<br>④走行(追越)車線掘削。インバート構築<br>⑤中心線部(残土)人力掘削。インバート構築<br>⑥残土撤去及び舗装(通行止)                                          | ①追越(走行)車線部・中心線下掘削。インバート構築<br>②掘削装置(走行止)<br>③走行(追越)車線掘削。インバート構築<br>④⑤⑥                                                                      |
| 特徴    | △通行止めが必要<br>◎掘削機・インバートの設置が可能<br>◎汎用の機械で施工できる<br>△掘削機から埋め戻しまで時間を要する。このため、土留め壁及び高強度なインバートストラットが必要となる<br>△施工延長を変更する場合、時間を要する<br>◎同様の施工方法による施工実績は多数ある(下水道工事等地下構造物の構築) | ◎通行止めが原則不要<br>◎連続体のインバートの設置が可能<br>◎汎用機械の活用、掘削機の転用により低コスト化<br>◎一連の施工を狭小範囲で順次実施でき、トンネルに与える影響を小さくできる<br>◎施工延長をフレキシブルに変更できる<br>△同一機械による施工実績がない |
| 日数    | 100%                                                                                                                                                              | 92%                                                                                                                                        |
| 通行止日数 | 14日                                                                                                                                                               | 0日(0%)                                                                                                                                     |
| 原状不変  | 残土撤去及び掘削土中心線部構築                                                                                                                                                   | 原則不変                                                                                                                                       |