

青函トンネル北海道側先進導坑の変状と補修

鉄道・運輸機構 正会員 柿沼 元 岡田 竜夫
 鉄道総研 ○正会員 野城 一栄 嶋本 敬介

1. はじめに

青函トンネル吉岡先進導坑 2k070m 付近において、2013 年から変状がみられ、2017 年にかけて各種調査、設計、補修工事を行った。既報¹⁾に引き続き、補修とその効果について報告する。

2. 変状の概要

変状の状況を図-1 に示すが、主な変状は、内空断面の縮小と路盤の隆起、吹付けコンクリートの剥落である。水準測量および内空変位計測を行った結果、路盤隆起速度は 2.5mm/月、内空変位速度は 1.7mm/月とかなり大きいことがわかった(図-2、図-3)。変状箇所は新第三紀の泥岩・凝灰岩で、小さい地山強度比と、スレーキングしやすい地質²⁾に加え、中央排水路に多量の湧水が流れる環境にあること等に起因し、変状箇所周囲の地山の強度が徐々に低下したことによる塑性圧が原因で変状が生じたものと推定した。

3. ストラットによる対策

路盤隆起が 53mm、内空変位量の縮小が 25mm に達した時点で、緊急対策として、JR 北海道によりストラット工による対策が実施された。図-4 にストラット工の概要を示す。図-3 に内空変位計測・軸力計測の結果をあわせて示す。ストラット工の施工中に変位速度の一時的な増加が見られたものの、ストラット施工後は内空変位速度は 1/10 程度となり、大きな対策効果が認められたが、一方で、目視観察により、鋼製支保工の変形・ざ屈が確認された(図-5)。

変状箇所では、アーチ肩部付近で鋼製支保工がざ屈しており、上半部分で支保工の耐荷力が低下していると考えられた。一方で、ストラットにより下半部分の構造を強化し、トンネルを部分的とはいえ剛にしたことにより、今後もトンネルにおいて、軸力・ひずみが増加していく恐れが懸念された。以上のことから、これまでに実施したストラットによるトンネル構造体の強化に加え、ロックボルトを施工して、ロックボルトの持つ地山の補強効果や内圧効果に期待して、地山自体の変形の抑制をはかることとした。

4. ロックボルトによる対策

過去の事例を参考にして、ロックボルトは、D25×12 本としてトンネル全周に等間隔で配置した(図-6)。また、ロックボルト長については、ボーリング調査の結果、緩み範囲が 3.5m 程度、安全側に判断して最大 5m 程度であったことから、ひとまず地山への定着長を 5m とした。施工は、2017 年春～秋にかけて実施した²⁾。



図-1 変状の状況

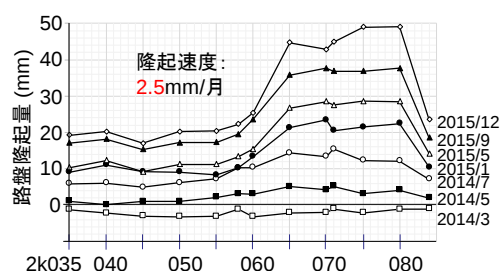


図-2 水準測量の結果

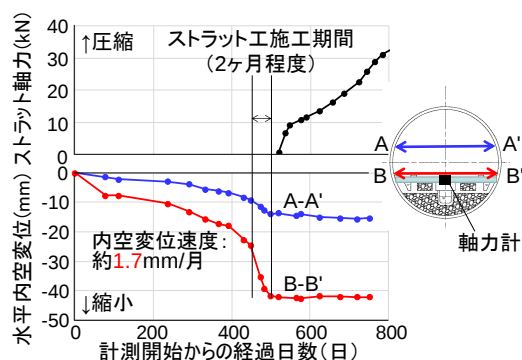


図-3 内空変位計測・軸力計測の結果

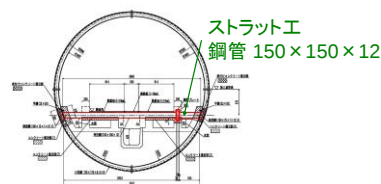


図-4 ストラット工



図-5 鋼製支保工の変形・ざ屈

キーワード 青函トンネル, 先進導坑, 変状, ストラット, ロックボルト, 数値解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 トンネル研究室 TEL:042-573-7266

5. 数値解析による対策工の評価

対策工の効果を評価するため、数値解析による検討を行った。解析手法には「地山劣化モデル」³⁾を用いた。本手法は、地山の強度を低下させることによりトンネル周囲の地山の破壊、路盤隆起を表現するものである。図-7に解析モデルを示す。上面以外をローラー支持、上面には上載荷重相当になるよう残りの荷重を作用させた。変状箇所は建設時に縫い返しを行っているため、掘削による応力解放は100%として設定した。

表-1に地山の解析入力値を示す。ボーリングコアの一軸試験の結果を参考に、地山の一軸圧縮強度を、地山強度比が0.5となる2.15MPaと設定し、解析に採用する地山物性値は、軟岩における一軸圧縮強度と各種の物性値の相関関係⁴⁾を参考にして設定した。地山の強度低下については、指数関数で表現し、実測と合うように、経過時間に応じて強度を低下させた。

- 解析は以下の①～④の手順で実施した。
- ①自重を作用させ初期応力解析を実施する。
 - ②トンネル掘削解析を実施し、掘削による変位が収束した後、吹付けコンクリート、鋼製支保工を設置する。
 - ③地山の強度を低下させる。具体的には、地山要素の破壊接近度に応じて粘着力、内部摩擦角を低下させる。
 - ④強度低下の途中でストラット・ロックボルトの要素を追加する。

図-8に内空変位の経時変化について、実測と解析とを比較する。解析は、経過日数に応じて内空変位が発生し、また、対策工（ロックボルトとストラット）の施工により内空変位が抑制されていることを適切に評価できていることがわかる。

図-9に、地山が十分劣化した時点の地山の破壊領域を示す。図より、破壊領域は3.5～4m程度であり、ボーリング調査の結果と同程度で、今回のロックボルトの定着長5mは適切と判断できる。

図-10に、地山が十分劣化した時点の、対策工施工後の内空変位増分（内空の縮小量）と、支保工のひずみの増分を併せて示す。ストラットに加えてロックボルトを施工することにより、内空変位やひずみの増分を更に抑制できることが確認できる。以上のことから、今回の対策工の仕様は適切であることを確認した。

現在は、一連の対策工の効果について経過観察を行っているところである。

参考文献

- 1) 山崎ほか：青函トンネル先進導坑における膨張性地山の評価，土木学会第71回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-457，2016.9
- 2) 岡田ほか：青函トンネル北海道側先進導坑の補修工事，地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol.23，pp.149～156，2018.1
- 3) 嶋本ほか：建設時の影響を考慮した山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究，土木学会論文集F1，Vol. 69，No. 2，pp. 105-120，2013.
- 4) アイダマンほか：スクリーニング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について，土木学会論文集，No.448/Ⅲ-19，pp.73-82，1992.

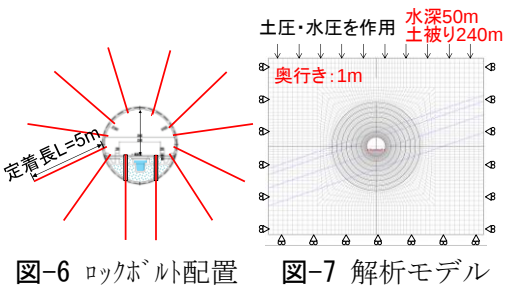


図-6 ロックボルト配置 図-7 解析モデル

表-1 地山の解析入力値

項目	入力値
単位体積重量	20 kN/m ³
一軸圧縮強度	2.15 MPa
変形係数	50 MPa
初期粘着力	0.62 MPa
初期内部摩擦角	30 deg
ポアソン比	0.3

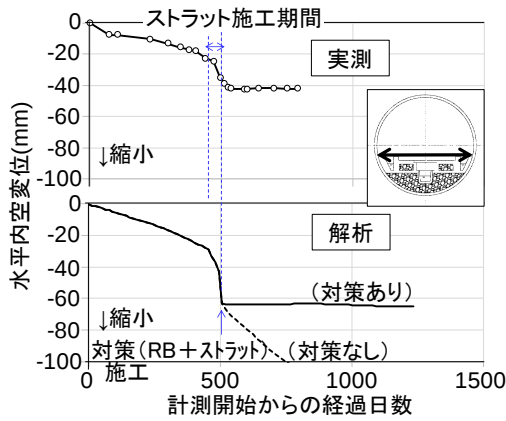


図-8 内空変位の経時変化

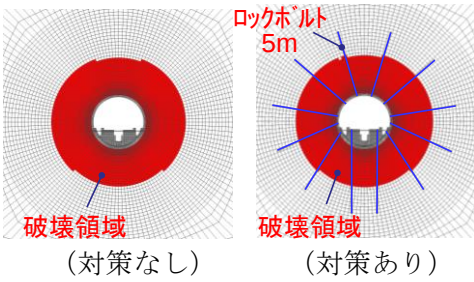


図-9 地山の破壊領域

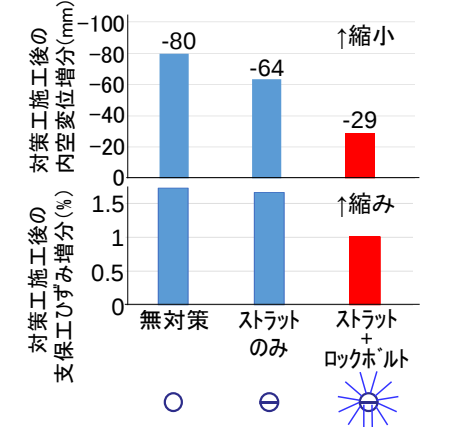


図-10 対策工施工後の内空変位増分と支保工のひずみの増分