

塑性圧を受ける鉄道山岳トンネル内に断続的に発生する変状と対策

— 函館線 神居トンネル —

北海道旅客鉄道株式会社 正会員 ○小川直仁, 中西駿, 大場貴史

1. はじめに

函館線神居トンネルは、407k530m 付近（函館起点）において蛇紋岩の塑性圧によりインバートと側壁脚部の接続部が破壊され、路盤隆起（120mm/年以上）、および内空変位（-50mm/年以上）といった進行性が大きい変状が見られた。そのため、対策工（インバート接合部改築、グラウンドアンカー・ロックボルト）を平成8年度に実施した。その後の計測において対策箇所の変状については、進行性が緩慢となり、対策工の効果を確認している。一方、対策を実施した407k530m 付近以外にも、路盤隆起および内空変位の計測監視を実施したところ、線路方向に対して断続的（407k500m 付近、408k250m 付近、409k185m 付近）に発生する変状の進行性を確認した。

本報告では、塑性圧を受ける神居トンネル内に断続的に発生する変状のうち、路盤隆起、および内空変位の大きい2か所（407k500m 付近、409k185m 付近）についての変状と実施した対策を報告する。

2. 神居トンネルの概要

神居トンネルは、延長 4,523m、複線交流電化断面の鉄道山岳トンネルである。トンネル概要図を図-1に示す。

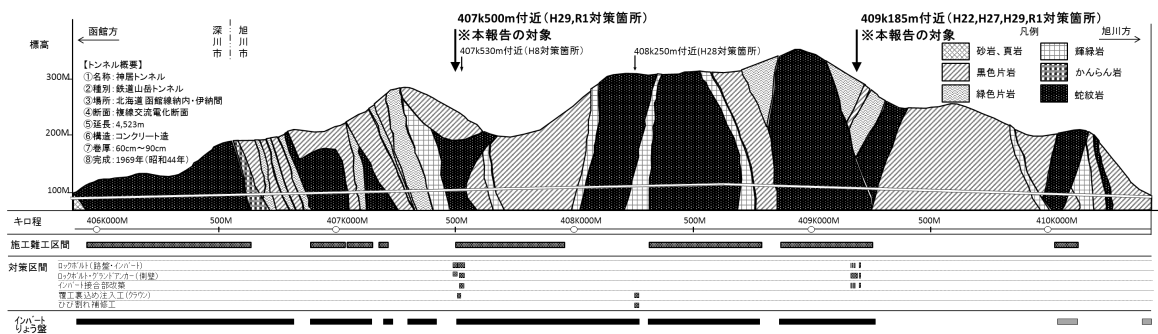


図-1 トンネル概要図(神居トンネル工事誌¹⁾を筆者により加筆)

3. 変状及び推定原因

変状及び推定原因については、下記のとおりである。なお、変状に関する各速度は、平成9年3月から現在までの約23年間にわたる長期計測に基づいている。計測方法については、路盤隆起をレベル測量、内空変位を内空変位計によって行った。計測頻度については、計測結果を勘案し、月3回から年2回の範囲で実施した。各速度の算出については、回帰分析により、計測期間にわたる値を算出した。

(1) 407k500m 付近 (407k495m～407k513m)

当該区間は、サイドドレーンにおいてレベル測量による計測を実施したところ、最大隆起速度が407k498m（上り）の箇所では3.9mm/年が確認された。一方、407k498m（下り）が0.8mm/年であるように、上り線側の隆起速度が大きい傾向を示している。

図-1に示すように神居トンネル工事誌¹⁾では当該区間の周辺地山が塑性圧を生じやすい蛇紋岩が主体であると示されている。トンネル坑内でボーリング調査を実施したところ、実際の断面周りの地質分布は、黒色片岩、蛇紋岩が混在していることが分かった。

推定原因については、上記地質の塑性圧の影響が考えられ、上り線側の路盤にその影響が大きく現れたものと考えられる。また、407k425m～407k505m においてはインバートがない構造であることも、路盤の隆起速度が大きい要因と考えられる。

(2) 409k185m 付近 (409k172m～409k206m)

当該区間は、サイドドレーンにおいてレベル測量による計測を実施したところ、最大隆起速度が409k205m（上り）の箇所では13.4mm/年が確認され、最大内空変位速度が407k189m で縮小方向に1.4mm/年が確認された。

推定原因については、トンネル建設時、側壁の押し出しを阻止するために幅2mで設置したストラット（インバート）と、側壁脚部の接合部がほぼ垂直でずれている状況が確認されており、軸力の伝達ができない構造となっていたことから、塑性圧のトンネル下方からの作用によってインバートが押し上げられたものと考えられる。なお、神居トンネル工事誌によるとストラット施工後に中間のインバートが施工されている。

4. 対策

対策については、平成8年度の施工実績及び変状トンネル対策工設計マニュアル²⁾等に基づき下記の通り行うこととした。なお、検討した対策は、平成22年度から工事を開始し、令和元年10月29日に完了した。

キーワード 塑性圧、長期計測、路盤隆起、内空変位、対策、鉄道山岳トンネル

連絡先 〒070-0030 旭川市宮下通6丁目1番2号 旭川構造物検査センター TEL0166-25-7089

(1) 407k500m 付近 (407k495m~407k513m)

当該区間の対策については、路盤隆起に対して、路盤部において下向きに長さ 8.9m の R32 自穿孔ロックボルト (n=96 本) を打設することとした。また、内空断面縮小の抑制と側壁脚部が内空側に押されサイドドレーンが押し出される変形を抑制することを考慮し、水平方向にねじり棒鋼 TD24、長さ 4m のロックボルト (n=62 本) を打設することとした (図-2 参照)。さらに、背面空洞箇所については、発泡ウレタンによる覆工裏込め注入工 (L=20m) を行うこととした。路盤部下向きのロックボルトの長さについては、マニュアルにおける標準設計が L=3~4m となっているが、近年のトンネル補強工で L=8~9m 程度の事例が増加していることや 407k530m 付近で下向きに L=9m のロックボルトを平成 8 年度に施工した実績を考慮し、長さ 8.9m とすることとした。

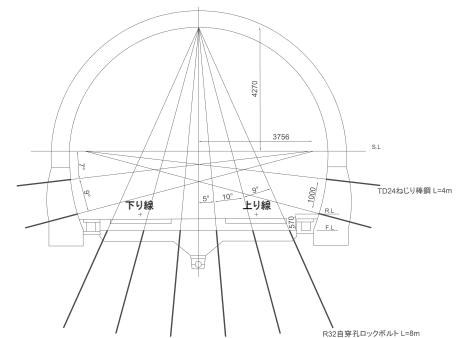


図-2 407k500m 断面図

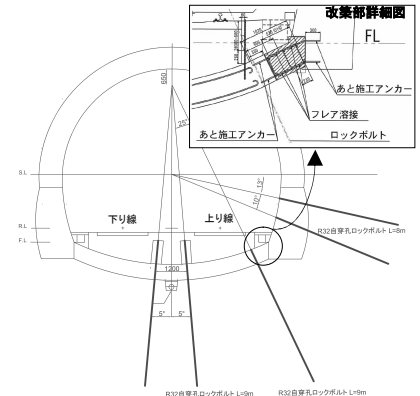


図-3 409k172m 断面図

(2) 409k185m 付近 (409k172m~409k206m)

当該区間の対策についてはストラット (インバート) と側壁脚部の接合が不十分で、軸力の伝達ができない構造であったことから、この箇所の改築 (n=4 箇所) により一体化し、路盤に対して下向きの長さ 9m の R32 自穿孔ロックボルト (n=36 本) を打設することとした (図-3 参照)。また、当該区間の変状の進行性が大きく、変状したストラットの改築時に内空変位が急激に生じる懸念があるため、近年の施工事例や 407k530m 付近での施工実績を考慮し、水平方向に長さ 8m の R32 自穿孔ロックボルト (n=33 本) を打設することとした。

5. 効果検証

対策前後の効果については、下記のとおりである。なお、図-4、図-5 に示す路盤隆起、内空変位の正負については、路盤隆起の上向きを正、下向きを負とし、内空変位の拡大方向を正、縮小方向を負としている。

(1) 407k500m 付近 (407k495m~407k513m)

1) 路盤隆起

当該区間の対策前における隆起速度の最大値が 3.9mm/年であったところ、対策後の最大値は 1.8mm/年 (R2.1 現在) となった。また、図-4 のとおり、対策後は全体的に隆起速度が抑えられていることが確認された。

2) 内空変位

当該区間の対策前における内空変位速度の最大値が縮小方向に 1.1mm/年であったところ、対策後は縮小方向に 0.7mm/年 (R2.1 現在) となった。また、図-5 の通り、対策後は全体的に変位速度が縮小方向に 1.0mm/年未満となっていることが確認された。

(2) 409k185m 付近 (409k172m~409k206m)

1) 路盤隆起

当該区間の対策前における隆起速度の最大値が 13.4mm/年であったところ、対策後の最大値は 0.8mm/年 (R2.1 現在) となった。また、図-4 のとおり対策後は全体的に隆起速度が抑えられていることが確認された。

2) 内空変位

当該区間の対策前における内空変位速度の最大値が縮小方向に 1.4mm/年であったところ、対策後は縮小方向に 0.9mm/年 (R2.1 現在) となった。また、図-5 のとおり、対策後は全体的に変位速度が縮小方向に 1.0mm/年未満となっていることが確認された。

なお、対策後の各速度については、計測時点 (R2.1 現在) で工事完了後の経過が 3 か月間程度の箇所もあり、統計的な信頼がおける計測データ数に至っていないため、今後も引き続き計測を継続することとした。

6. おわりに

神居トンネルの変状に対する対策は、一定の効果を確認することができた。しかし、進行速度は低下したもののいまだに緩慢もしくは小さな進行を続けている。塑性圧によるトンネルの変状については、既往研究³⁾において「大きな外力が長期にわたり生じるため、一時の対策では終息しないことが多い」と指摘されている。今後も、神居トンネルにおいては長期にわたる計測監視が引き続き重要な維持管理項目と考え、計測監視を継続する考えである。

本報告は、(公財) 鉄道総合技術研究所のご指導を賜った。ここに深甚なる感謝の意を表する。

【参考文献】1) 日本国有鉄道札幌工務局：神居トンネル工事誌、1971 年 3 月 2) (財) 鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル、pp55~58, pp. 76~79, 1998 年 2 月 3) 土木学会トンネル工学委員会技術小委員会トンネル維持管理事例に関する検討部会：トンネルの維持管理の実態と課題、トンネルライブラリー第 30 号、土木学会、pp. 286~287, 2019 年 1 月

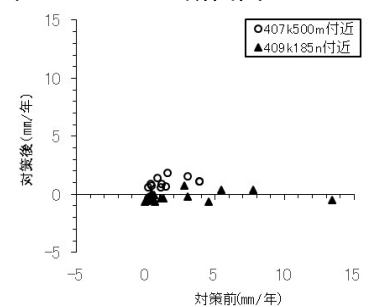


図-4 路盤隆起に関する
対策前後比較

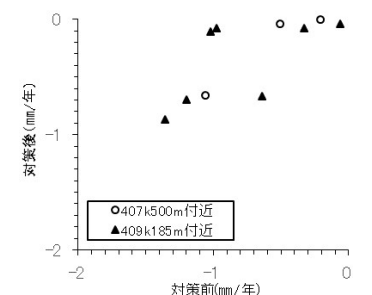


図-5 内空変位に関する
対策前後比較