塑性圧変形を受けるトンネルの対策と効果に関する一考察

JR 西日本　正会員　○塩谷　敦
正会員　鈴木　秀門
正会員　米山　義広
正会員　小林　俊彦

1. はじめに

今回対象としたトンネルは塑性圧による変状が発生しており，約 1.7mm/年の速度で内空断面の縮小が進行している．

変状監視のため，内空変位，クラックの 3 次元変位，軸力分布を継続的に測定しており，対象区間（206k726m～206k750m）では対策工として裏込め注入工及びロックボルト工を施工している．本稿では対象トンネルにおける一連の検討事項並びに対策工の施工効果について整理，考察する．

2. 対象トンネル及び変状の概要

対象トンネルは経年 52 年の単線トンネルであり，山岳工法により施工され，インバートを有している．対象区間の設計巻厚は 45cm で，付近の土被りは約 60m である．地山の地質は新第三紀層の泥岩及び砂質頁岩であり，工事誌やボーリング調査の結果から，膨潤性を有していることがわかっている．

対象区間では，クラウン部の圧ざや側壁部のひび割れ，内空断面の縮小といった典型的な塑性圧の作用による変状が発生している．**図-1** は対象区間中央付近（206k737m）における S.L.付近の内空変位及び，側壁に発生しているクラックの開口幅の拡大推移を示している．内空の縮小は約 1.7mm/年の速度で進行しており，クラック幅についても年々開口幅が拡大している．

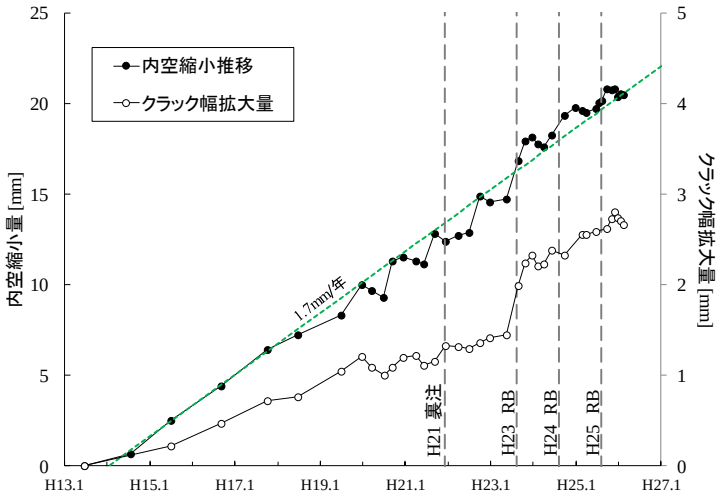

図-1　内空変位とクラック幅推移

3. 対策工概要

内空断面の縮小を抑制するため，対象区間では複数年度に亘り裏込め注入工とロックボルト工による対策工を実施している．各年度の対策工概要を以下に示し，**図-2** にロックボルト工の施工位置図（見下げ図）を示す．また，終点方ブロック中央（206k743m）における断面図を**図-3** に示す．

平成 21 年度　裏込め注入工（上半部：L=24m，V=13m^3）

平成 23 年度　ロックボルト工：4.5m　（**図-2** の○）

平成 24 年度　ロックボルト工：4.5m　（**図-2** の□）
軸力計設置：6.0m　（**図-2** の■）
内空変位測定箇所(206k743m) 設置

平成 25 年度　ロックボルト工：左 9.0m，右 6.0m（**図-2** の△）
軸力計設置：左 9.0m，右 6.0m　（**図-2** の▲）
内空変位測定箇所(206k732m) 設置

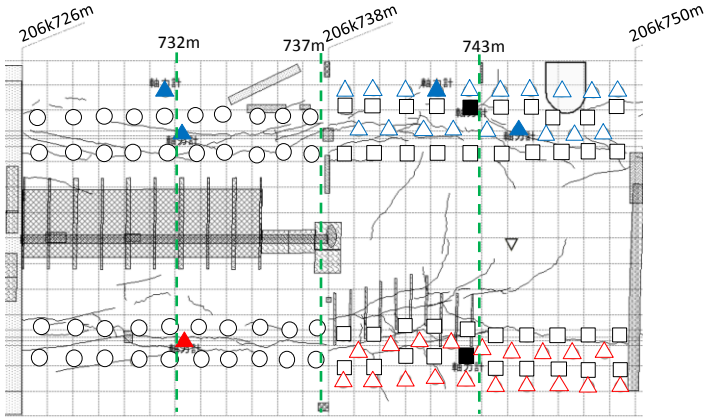

図-2　ロックボルト施工位置図

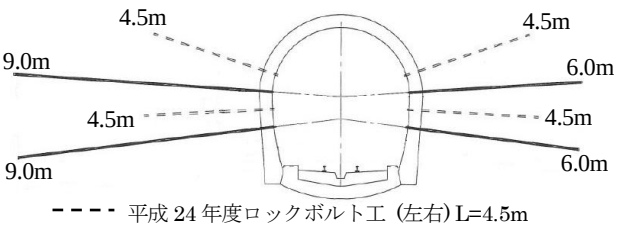

図-3　断面図（206k743m）

平成 25 年度ロックボルト工は，前年度設置の軸力計の測定結果等を用いて実施した数値解析[1)]の結果により，ロックボルト長を左右 4.5mから左 9.0m，右 6.0mに変更している．

キーワード　トンネル，塑性圧，内空変位，ロックボルト，軸力計
連絡先　〒920-0036 石川県金沢市元菊町 68-2 西日本旅客鉄道株式会社(株) 金沢土木技術センター TEL 076-223-3206

4. 施工による影響

図-1 に各年度における対策工の完了時期を示しているが，平成 23 年度施工中に内空の縮小が例年より 1mm 程度大きく進行している．また，クラックの開口幅も約 1mm 拡大しており，ロックボルト工の施工により変状が急進したものと推定される．施工記録から測定位置付近のロックボルトにおいて，設計量(6L)の約 8 倍にあたる 49L の定着モルタルが充填されている．

平成 25 年度のロックボルト施工においても同様の事象が発生している．**図-4** に 206k743m における内空変位推移及び付近のロックボルトの施工時期を示す．

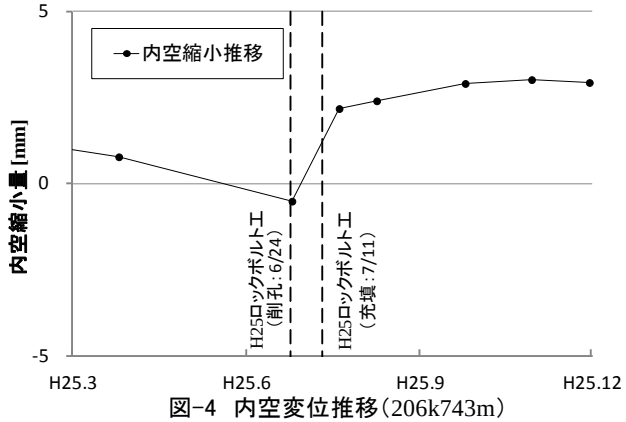

図-4 内空変位推移(206k743m)

ロックボルトの削孔前では内空変位の縮小は認められないが，定着モルタル充填後には内空変位が大きく縮小しており，この箇所においても設計量(35L)の約 4 倍にあたる 134L のモルタルが充填されている．

図-5 に 206k743m 左側の軸力分布(定着モルタル充填前後)を示す．定着モルタルの充填前後で最大 20kN 程度の軸力が増加しており，ロックボルトの施工によって覆工に強い力が作用したものと考えられる．

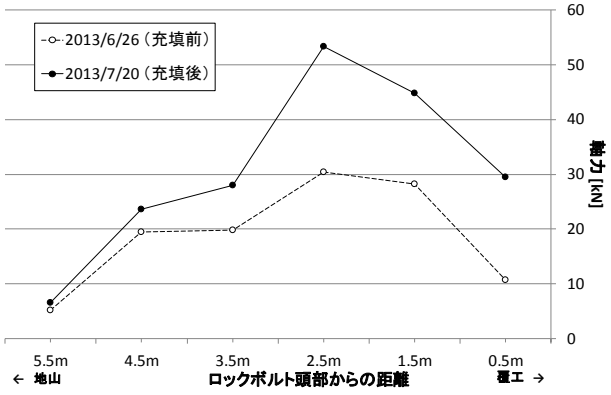

図-5 軸力分布の変化(206k743m 左側)

図-4 より，施工に伴う内空断面の縮小を控除すれば縮小速度(年換算)は約 0.3mm/年となり，平成 25 年度ロックボルト工による抑制効果が表れていると考えられる．

5. 原因の考察

ロックボルト施工に伴う内空の縮小は定着モルタル充填の影響が考えられるが，充填圧力は3MPa以内に管理しているため，充填圧による覆工の押し出しとは考え難い．そこで施工上の問題点や施工環境等を整理した結果，周辺の地質が膨潤性を有する劣悪な泥岩であることに加え，ロックボルトの削孔に多量の水を使用していること，ロックボルト削孔後すぐにモルタル充填を実施していないこと等が，想定される要因として挙げられた．

これらのことから，削孔時に供給した水による地山の劣化と，定着モルタル充填によって側壁背面空洞が充填されたことにより，周辺地山の膨潤圧力が覆工に作用したことで，内空変位の縮小が急進したものと推察される．

6. 平成 26 年度施工計画

平成 26 年度ロックボルト工は 206k726m～738m の範囲に施工する．施工区間に先行して設置した軸力計の測定結果を**図-6** に示す．

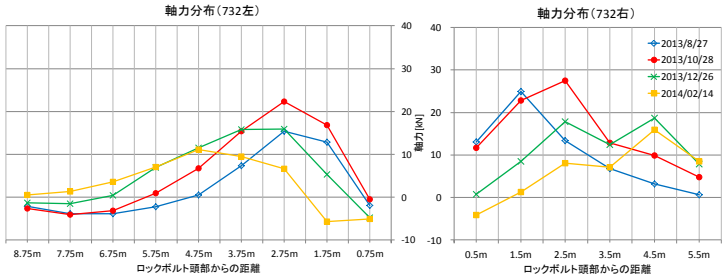

図-6 軸力分布(206k732m 左右)

図-6 より，左側の軸力分布では先端付近の軸力がほぼ 0 であるのに対して，右側では先端付近で軸力が増加している．このことから，右側に施工するロックボルト工は 6.0m では不足していると考えられるため，平成 26 年度に施工するロックボルト工は左右 9.0m に計画を変更した．

7. まとめ

施工中の内空変位の進行は，地山の膨潤による覆工の押し出しが主たる原因であると考えられることから，膨潤性を有する地山の場合は削孔を無水掘削で行うなど，施工による影響を最小限に留める．

対象トンネルでは軸力分布や内空変位の測定結果から，その都度施工計画の見直しを行ってきた．その結果，平成 25 年度ロックボルト工では内空縮小に対する抑制効果を確認することができた．

平成 26 年度は軸力分布を考慮しロックボルト長を延長する．また，測定を継続することで施工効果を確認していく．

参考文献 嶋本，原田，松長，小林，朝倉：塑性圧を受けるトンネルの変状に対する各種対策工の効果に関する研究，土木学会第 68 回年次学術講演会 論文集 Ⅲ-265，pp.529-530，2013.9