

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

鉄道総合技術研究所 正会員 嶋本 敬介
 京 都 大 学 学生会員 ○原田 隼
 パシフィックコンサルタンツ 正会員 松長 剛
 J R 西 日 本 正会員 小林 俊彦
 京 都 大 学 正会員 朝倉 俊弘

1. はじめに

研究対象としたトンネルでは、塑性圧の作用でトンネル覆工が内空側に押し出され、1.2mm/年程度の断面縮小が続いている。これまでに裏込注入やロックボルト等の対策工を実施してきたが、顕著な効果は得られていない。

そこで、軸力の計測が可能な6mのロックボルトを打設し、地山性状や対策効果の確認を行った。また、数値解析を適用し、断面縮小やボルト軸力の計測結果を再現することで、地山の強度劣化領域(塑性領域)を推定した。さらに推定された塑性領域分布に対して効果的な対策工を検討する目的で、各種対策工の比較解析を行い、今後の対応について考察した。

2. 対象トンネルおよび変状の概要

研究の対象としたトンネルは、1961年に竣工した鉄道単線トンネル(L=2.5km)であり、変状区間の土被りは約60mである。対象地山は新第三紀の泥岩および砂質頁岩であり、吸水膨張によって泥濘化する劣悪な地質性状であった。

変状区間では、覆工片の剥落、天端部の圧ざ、側壁部のひび割れや押し出し等が発生した。その変状状況から、原因は塑性圧の作用によると推定された。図-1に変状区間における内空変位(S.L.部)の縮小量を示すが、断面縮小は約1.2mm/年で推移し、裏込注入、ロックボルト(図-2左側)を段階的に施工したが、明瞭な変位抑制効果は得られなかった。

3. 地山劣化モデルによる変状状況の再現解析

解析には、地山の強度(せん断強度と内部摩擦角)を低下させる地山劣化モデル^{1)~3)}を適用し、変状状況の再現を試みた。解析では地形・地質、トンネルを3次元モデルで忠実に模擬し、「トンネル掘削→地山の劣化→対策工の実施→劣化を進行」の流れでステップ解析を行った。内空変位、ボルト軸力等の同定解析の結果、強度劣化領域は、図-3のように左側6m、右側3m程度と推定された⁴⁾。

【主な解析条件】

- ・地盤物性…変形係数91MPa、強度 $C_0=0.34\text{MPa}/\phi_0=20^\circ$ より低下
- ・トンネル…単線断面、覆工厚400mm、強度18N/mm²、背面空洞考慮
- ・対策工(実施済)…裏込注入、ロックボルト(図-2左側RB1参照)

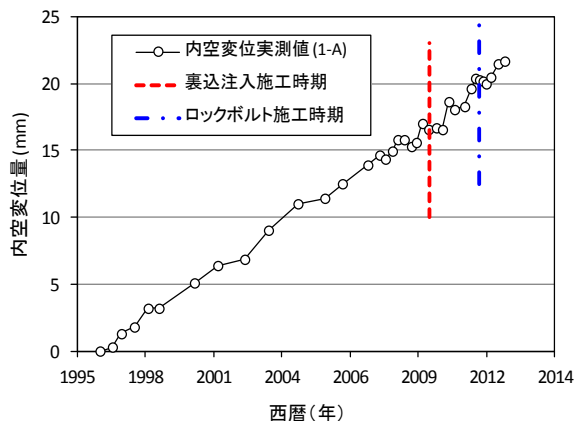


図-1 内空変位(S.L.部)の縮小量

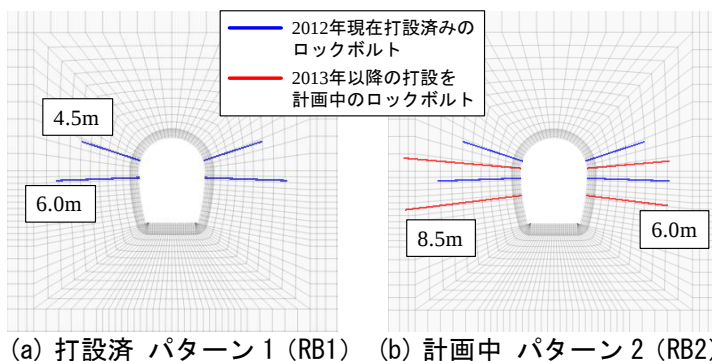


図-2 ロックボルトの概要(解析モデル図)

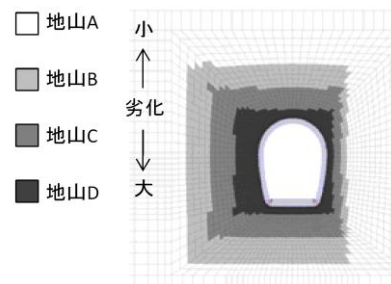


図-3 強度劣化領域の推定結果

キーワード トンネル覆工 ロックボルト 軟岩

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部 TEL:042-573-7266

4. 対策工の比較解析

現在の塑性領域の推定結果を考慮し、今後の変状進行および追加対策工の効果について予測解析を行った。ここでは、現在の対策工の効果確認の観点から無対策・裏注のみ・裏注+RB1の3ケース、追加対策工として塑性領域に対応した裏注+RB2(図-2 右側参照)、裏注+RB1+内巻セントル、裏注+部分改築の合計6ケースを比較した。

【対策工のモデル化】

- ・裏込注入・・・背面空洞の部分に、モルタルを想定した物性値の要素（弾性材料）を配置し、地盤反力を復元
- ・ロックボルト・・・図-2に示す打設済、計画中の2パターンの施工範囲をケーブル要素でモデル化
- ・内巻セントル・・・トンネル内壁に梁要素で鋼製支保工、さらに鋼製支保工を抱き込む形でコンクリート（強度覆工相当、厚さ200mm）を面要素でモデル化
- ・部分改築・・・押し出しを受けた下半部を奥行1mずつ取り壊し→部分覆工打設の手順で繰り返し、覆工打設時にそれまでの発生変位をリセット

対策工の比較解析の結果として、経過年数と内空変位量の関係を図-4、対策前後の内空変位速度の抑制効果を図-5に示す。図のように、現状の対策工だけでは内空変位速度は1.2mm/年→1.0mm/年程度しか軽減しないが、塑性領域をカバーできるRB2を追加することで0.1mm/年以下に抑制できることが確認された。これは、規模の大きな内巻セントルや部分改築等の対策工に相当する変位抑制効果である。また、部分改築では、一旦建築限界余裕が確保されるが、その後の変位速度はRB2ほどの効果が得られない結果となった。このように、ロックボルトによる対策計画では、周辺地山の性状を正確に把握し、適切な範囲まで打設する必要があることが再確認された。

5. まとめ

各種変状対策工について、計測結果の評価、変状状況の再現解析を通じ、その補強効果を数値解析により評価した。その結果、対策効果を発揮させるには、トンネル周辺地山の状態を適切に評価しなければならないことが再確認された。また、そのためには、日常の点検や計器を設置した計測等により、変状状況をモニタリングすることが重要と言える。

さらに、地山劣化モデルによる数値解析手法は、実際の変状状況との対比を十分に行うことで、対策工の計画などの面で実用性が高いことが確認できた。

表-1 支保応力の解析値と計測値の比較

ケース	対策工
ケース1	対策なし
ケース2	裏込注入のみ
ケース3	裏込注入+RB1
ケース4	裏込注入+RB2
ケース5	裏込注入+RB1+内巻セントル
ケース6	裏込注入+部分改築

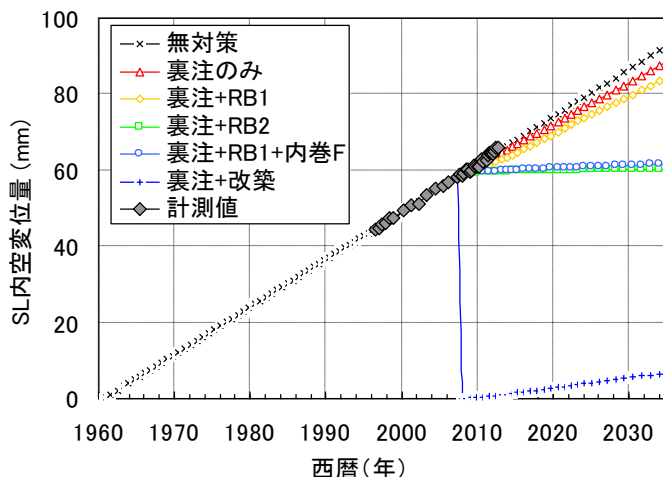


図-4 支保応力の解析値と計測値の比較

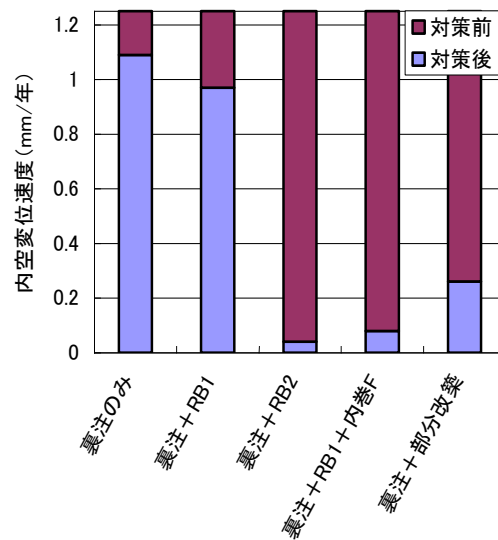


図-5 支保応力の解析値と計測値の比較

- 1) 原田,嶋本,松長,小林,朝倉: 塑性圧を受けるトンネルに対するロックボルト補強の効果に関する研究, 第48回地盤工学研究発表会(投稿中)。
- 2) 松長,熊坂,小島,朝倉: 地山強度の経時劣化を考慮したトンネル変状の予測と対策に関する研究, 土木学会論文集 No.799/III-72, pp.75-88, 2005.9.
- 3) 野城,嶋本,小島,高橋,松長,朝倉: 地山劣化モデルによるトンネル変状の再現解析とその長期予測への適用, 土木学会論文集C Vol.65 No.1, pp.107-119, 2009.2.
- 4) 松長,野城,朝倉: 地山劣化モデルによるトンネル変状の進展予測に関する研究, 土木学会論文集 C Vol.65 No.2, pp.467-479, 2009.9.