供用中の山岳トンネルの盤ぶくれに対する構造補強の効果に関する数値解析

（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　○嶋本 敬介，野城 一栄
東日本旅客鉄道（株）　正会員　久保原 猛

1．はじめに

山岳トンネルにおいて，地質等の条件によっては完成後に作用地圧が増加し，側壁の押出しや盤ぶくれを生ずることがある．NATM のトンネルでは特に，地圧による変状が，側壁押出しよりも盤ぶくれとして現れることが多い傾向にある[1]．この盤ぶくれ現象は，基本的には緩慢に進行するものの，何かしらの対策をしない限り，自然と収まることは稀である．そこで，列車を供用しながら，短い間合いでも施工ができ，かつ効果的な対策工が求められている．本研究では考えられる各種補強工の効果について数値解析により検討したので報告する．

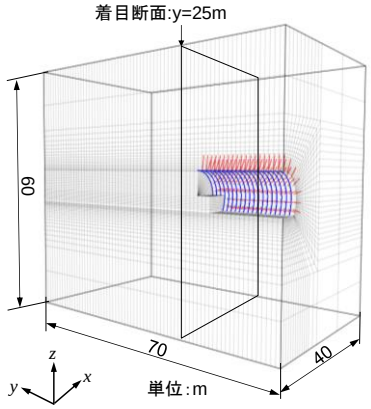

図-1　解析モデル図

2．解析条件

解析モデル図を図-1 に示す．土被りは 200m として，地山に土被り荷重を初期応力として与えた上で，上面境界の鉛直変位を固定することで表現した．側圧係数は 1 としている．トンネル形状は新幹線標準断面としている．NATM の掘削から三次元逐次掘削解析によりモデル化し，引き続いて完成後の盤ぶくれを表現する解析を実施した．完成後の変状発生は掘削時の地山の緩みの影響を考慮した地山の強度低下で表現した[2]．完成後の解析については実トンネルの変状再現解析結果を基に強度低下と経過年数を予め関連付けており，完成後 10 年経過時までの解析を実施している．

表-1　地山の物性値

物性		単位	物性値
土被り	h	m	200
一軸圧縮強さ	q_u	MPa	2.0
地山強度比	C_f	-	0.5
単位体積重量	γ	kN/m^3	20
弾性係数	E	MPa	206
ポアソン比	ν	-	0.36
粘着力	c	kPa	580
内部摩擦角	φ	°	31
ダイレイタンシー角	λ	°	10
側圧係数	K_0	-	1.0

地山の物性値は文献 2)と同じく表-1 の通りとした．地山およびコンクリートは Mohr-Coulomb の破壊規準に従う弾完全塑性体としてモデル化し，コンクリートは引張破壊による軟化についても表現した．

解析ケースを図-2 に示す．Case4 のインバート部の構造補強に関する詳細寸法図を図-3 に示す．差し筋アンカーは Cable 要素で表現し，アンカーの根入れ長は全て 285mm としている．アンカーの削孔径 22mm，鉄筋径 19mm，降伏荷重 164kN としてモデル化した．縦断方向には，250mm ピッチでモデル化している．平面ひずみ状態の二次元的な状況を想定し，軸方向鉄筋はモデル化していない．Case5 のロックボルトは，削孔径 65mm，鉄筋径 25mm，長さ 6m とし，Cable 要素で表現した．ロックボルトは頭部とインバート上面で相対変位が生じないようにすることで座金を表現している．

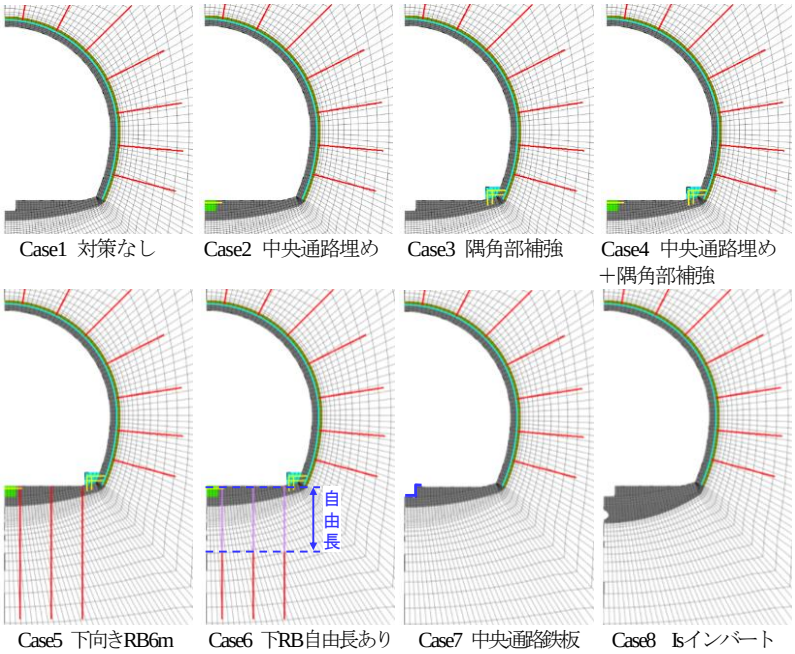

図-2　解析ケース

キーワード　山岳トンネル，インバート
連絡先　〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 TEL:042-573-7266

Case7 の中央通路鉄板のケースは，鉄板は Shell 要素で表現している．鉄板は，E=210GPa，ν=0.3，t=3mm とした．Case8 では，インバートの曲率を大きくした新幹線の I s インバート[3]のケースを実施した．

3．解析結果

図-4 に CL（センターライン）位置におけるインバート変位量（盤ぶくれ）の経時変化を，地山のせん断強さの経時変化とともに示す．地山のせん断強さ c は地山の緩みに応じて低下させているため，場所によって c は異なるが，最も強度低下の大きい要素の c を示している．これより，いずれの対策工も盤ぶくれ抑制効果が見られたが，中央通路部の補強よりも隅角部補強の方が，効果が大きい結果となった．また，各種の対策を組合せることでかなり盤ぶくれを低減できることがわかる．ロックボルトについても大きな効果が得られたが，今回の解析では地山の強度低下とともにロックボルトと地山の付着強度についても低下させているため，経年とともに盤ぶくれ抑制効果は若干低下した．インバートの曲率を大きくする対策については，列車を供用しながらの短い間合いでの施工は困難であるものの，抜本的で最も効果が大きい結果となった．

図-5 に 10 年経過時の最大主ひずみ（引張ひずみ）コンター図を変形倍率 20 倍で表示して示す．これより，中央通路埋めの対策を実施したケースでは，中央通路部のひび割れは防がれているものの，アンカーの根入れ端部でひび割れが発生していることがわかる．

図-6 に 10 年経過時の地山のせん断ひずみコンター図を示す．構造補強により，トンネルの剛性が向上し，盤ぶくれが小さくなるとともに，地山のせん断ひずみも小さく抑えられていることがわかる．

4．おわりに

供用後の山岳トンネルの盤ぶくれ対策は狭隘な空間における限られた時間内での施工となり，その中で実施できる対策工は限られる．本解析手法等を用いて，効果を予測した上で対策工を選定することが重要と考える．

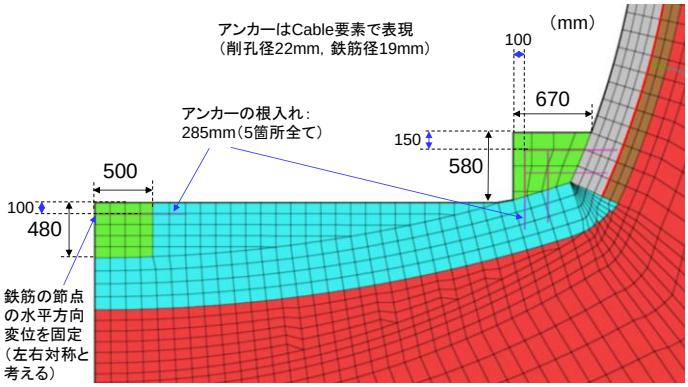

図-3 構造補強詳細寸法図

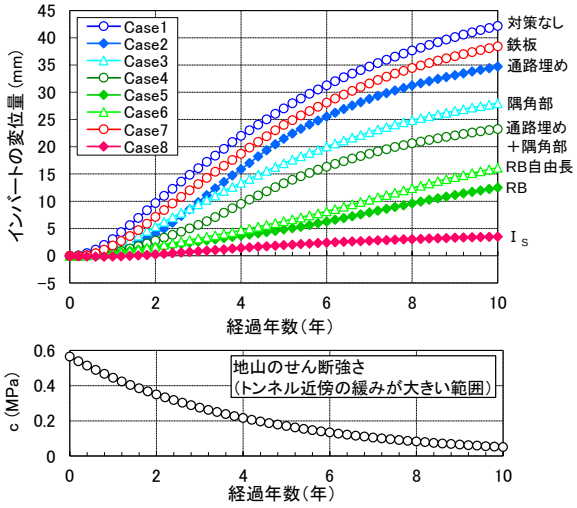

図-4 インバート変位量の経時変化

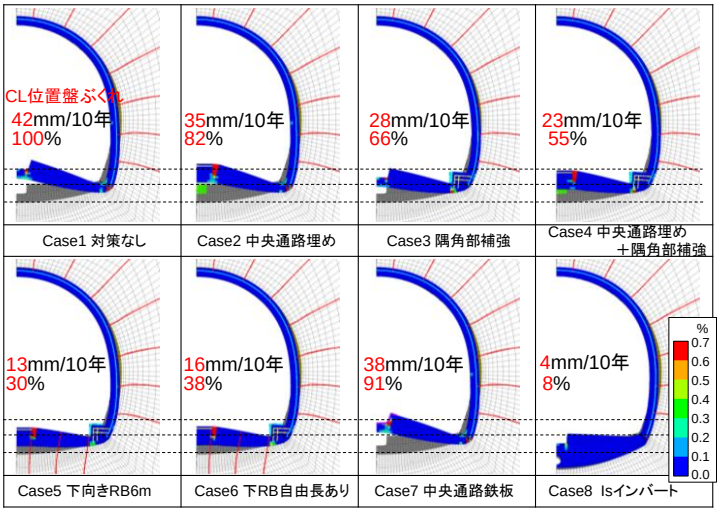

図-5 10 年経過時の最大主ひずみコンター図（変形 20 倍表示）

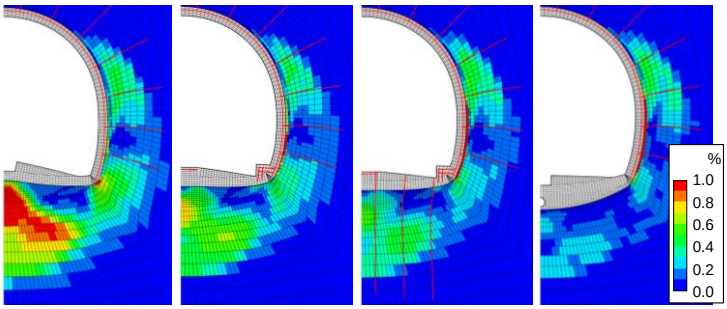

図-6 10 年経過時の地山のせん断ひずみコンター図

参考文献

1) 小林，井浦，上野，渡辺，嶋本，伊藤：山岳トンネルの盤ぶくれとその対策工に関する基礎的研究，土木学会論文集 F1，Vol.72，No.3，2016.
2) 嶋本，野城，小島，塚田，朝倉：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.
3) 斉藤，渡辺，十倉，萩原，畠山，松長：膨張性地山における盤ぶくれに対応したインバート設計に関する検討，第 70 回土木学会年次学術講演会，III-117，2015.