近接施工などによる既設トンネル覆工コンクリートの影響評価に関する考察

中国地方整備局　広島国道事務所　　非会員　　溝田　亨
中国地方整備局　広島国道事務所　　非会員　　島田　知和
中電技術コンサルタント株式会社　　正会員　　石田　滋樹
中電技術コンサルタント株式会社　　正会員　○定成　司

１．はじめに

既設トンネル供用後に新しい近接トンネルが計画された場合には既設トンネルの覆工コンクリート(以下，覆工)に対する影響を検討する必要がある．また，水圧や土圧，その他外力の作用が想定される場合も覆工の耐力評価が必要である．評価のうち断面力や応力の算出方法は，FEM などの離散化モデル解析や骨組解析など，各々確立した手法であるが，モデル化や評価方法には様々な考え方があるのが実態である．本論文では，NATM における支保工 [1)]および覆工の耐力評価方法の課題や留意点を整理する．また，近接施工やその他の理由により，事前構造補強がない既設覆工に新たな荷重が作用する場合を想定した，限界状態設計法を用いた覆工耐力の試行解析結果と考察を報告する．

２．支保工の耐力評価手法の現状と課題

NATM の覆工は特殊な場合を除き，無筋コンクリート(以下，無筋)による化粧巻きが基本であり，支保工と地山が掘削に伴う外力を支えている．しかし，NATM 支保工の耐力の算定は，緩み土圧を部材で支える在来工法的な考え方とは異なるため，骨組解析ではなく FEM 解析類に頼ることになる．ただし，文献 2)によると，地盤解析は FEM 解析，覆工解析は骨組解析が基本とされている．これは，地盤と覆工が一体で変形する FEM 解析では実態を反映しにくいことが理由と考えられる．的確な覆工応力を算出するためには，ジョイント要素による防水シート境界面のモデル化や，骨組解析とのハイブリッド解析などの手法が必要となろう．一方，FEM 解析による支保工耐力評価は煩雑となるため，骨組計算だけで評価している場合も見受けられる．たとえば，近接施工により既設トンネルの覆工耐力が不足する場合や，想定作用荷重が大きすぎて覆工だけで負担することが現実的でない場合などである．

このような場合には，支保工と覆工の部材剛性比率による分担など，様々な考え方があると思われるが，一部には単純に部材厚さを合計した断面計算の事例が認められる．これは，アイソレーションシートを無視して支保工と覆工を一体化する考え方であり，誤評価となるので注意が必要である．

３．覆工応力評価方法

覆工応力の評価方法には相対評価と絶対評価があり，絶対評価には許容応力度法と限界状態設計法がある．

(1) 相対評価（増加応力による評価法）

既設トンネル覆工の健全度判定区分に応じて，コンクリートの設計基準強度の比率として，引張応力で 0.02～0.06，圧縮応力で 0.1～0.3 までの増加応力を許容する方法 [3)]である．この方法は，絶対応力に着目しないため，既設覆工の初期応力値によっては，許容応力度を超えることも考えられるため，覆工の応力履歴の適切な把握が必要である．また，この手法はあくまで目安とされており，絶対応力や健全度判定，増加応力発生位置，路線の特性などを踏まえた総合的評価が求められる．

(2) 絶対評価（絶対応力による評価法）

1) 許容応力度法

覆工の絶対応力が許容値を超える場合に鉄筋で補強する考え方であり，覆工耐力評価では最も多く用いられている．覆工の引張応力度を許容応力度以下とする必要があるため，近接施工の影響を受ける場合には，複鉄筋コンクリート(以下，RC)構造の採用が多い．

2) 限界状態設計法

限界状態設計法では設計要素の寄与度が明確となるため，より合理的な設計のために適用検討がすすめられている．文献 4)では，覆工およびインバートの設計に解析的手法を適用する場合には限界状態設計法(終局限界状態)によって安全性，復旧性を評価するとある．

キーワード　トンネル，近接施工，覆工コンクリート，限界状態設計法
連絡先　　〒734-8510　広島市南区出汐 2 丁目 3-30　中電技術コンサルタント株式会社　TEL　082-255-5501

４．限界状態設計法による覆工断面耐力評価例

既設トンネルの覆工に新設トンネルが近接したことを想定して，許容応力度法と限界状態設計法のそれぞれで評価したケーススタディーを紹介する．

(1) 検討条件

軟岩 I の地山で 2 車線道路トンネルが純間隔 1m で近接するとし，既設覆工は坑口部構造(トンネル内面側に D22@200 のひび割れ防止鉄筋，コンクリート設計基準強度は σ_{ck}=21N/mm^2)とする．

(2) 断面力の算出

FEM 解析による覆工増加応力の算出には前述の課題があるため，以下の方法で骨組解析と組み合わせた．

断面力の算出は以下の手順①～⑤で実施した．

① 既設トンネル覆工の自重のみを載荷した骨組解析によって骨組節点の初期断面力を算出．

② 近接施工後の既設トンネル覆工の骨組節点位置の変形量を FEM 解析により算出．(**図-1**，引張力は無視)

③ 変形量に地盤バネ定数を乗じて算出した作用力の部材直角方向成分を節点力とした骨組解析により増加断面力を算出する．軸方向作用力はアイソレーションシートにより吸収されるものと考える．

④ ①と③を合計し，各接点の断面力を抽出する．

⑤ M-N 曲線によって覆工断面耐力を評価する．

(3) 覆工耐力評価

許容応力度法では，コンクリートの引張応力が許容値を超え，複鉄筋 RC 構造が必要となったが，限界状態設計法では，**図-2** に示すとおり，部材発生断面力は M-N 曲線の内側(すなわち γi･Sd/Rd ≦1.0)となり安全となった．ここで，γi：構造物係数(=1.1)，Sd：設計断面力，Rd：設計断面耐力

ただし，限界状態設計法はコンクリートに圧縮破壊が生じなければ耐力を失わないという考え方のため，引張ひび割れが生じたとしても問題ないが，はく落防止の観点からは注意が必要となる．これに対しては覆工のひび割れ防止鉄筋で対応可能となる．(**図-3**)

５．まとめ

設計者の適切な判断が求められるトンネル覆工の安定性評価における留意点を述べた．また，事前構造補強がない既設覆工に新たな荷重が作用する場合を想定して，限界状態設計法による耐力評価の試行解析を実施した．本論文がトンネル覆工安定評価検討における参考となれば幸いである．

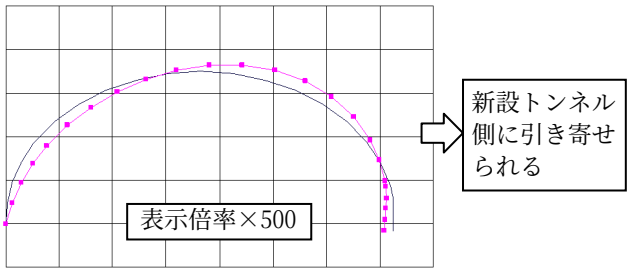

図-1 既設トンネル覆工の相対変位

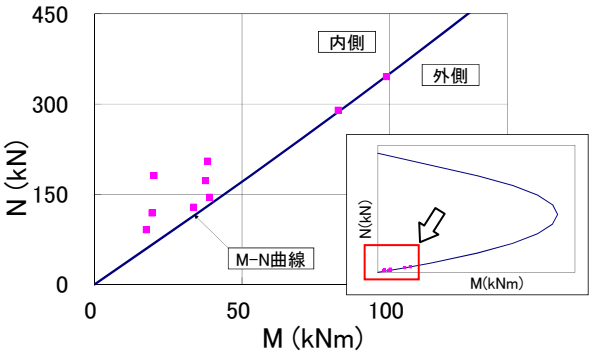

図-2 部材耐力照査結果

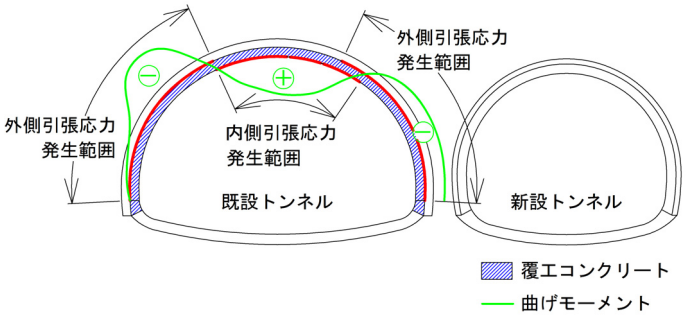

図-3 覆工の応力発生箇所と鉄筋の配置

参考文献

1) 土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説,p.2,2006.

2) 日本道路公団試験研究所：試験研究所技術資料第 359 号,トンネル数値解析マニュアル(都市部トンネル留意事項編),平成 14 年 3 月.

3) 東日本高速道路株式会社他：設計要領第三集トンネル本体工保全編(近接施工),p.24,平成 24 年 7 月.

4) 鉄道建設･運輸施設整備支援機構：山岳トンネル設計施工標準･同解説,平成 20 年 4 月.