時間依存性変位による増分応力を考慮した覆工への作用断面力の推定方法

清水建設株式会社 正会員 〇長谷 陵平・松尾 勝司・大久保 征一郎・浅海 綾一・淡路 動太 国土交通省 北海道開発局 旭川開発建設部 士別道路事務所 島田 武・小川 修・高橋 民雄

1. はじめに

一般国道40号音威子府村音中トンネル(仮称)は、中 川郡音威子府村から中川郡中川町に至る総延長約19km の音威子府バイパス事業の内、ほぼ中央に位置する延 長4,686m(起点側坑口:SP6816,終点側坑口:SP11502) の道路トンネルである.トンネルの地質は、起点側(音 威子府村側)から蝦夷層群の泥岩、貫入岩の蛇紋岩、空 知層群の玄武岩類及び蝦夷層群の砂岩・泥岩が分布す る(図-1).音中トンネルの蛇紋岩区間では、トンネル 史上稀に見る強大な地圧下で、大規模な盤ぶくれとア ーチ部支保工に破壊が生じ、真円形の重厚な支保構造 による掘削が必要となった.トンネル掘削を終えた後 にも、徐々に時間経過に応じてトンネル変位が微増す る時間依存性挙動が認められた.



図-1 音中トンネルの地質縦断図

2. 目的

音中トンネルの蛇紋岩区間の覆工には,時間依存性 変位・応力の増分に対して力学的機能を保持した構造 を設計する必要があるが,そのような条件下における 覆工の設計方法は,設計条件が地質や現場条件に大き く依存するため,いまだ確立していない.そこで本稿 では,トンネル掘削時の時間依存性変位の実測値を用 いて,覆工打設後の発生変位量を推定し,覆工に発生 する断面力を数値解析により求める手法の一例につい て報告する.

3. 蛇紋岩区間における覆工設計の考え方

蛇紋岩区間における支保部材の設計は、時間依存性 挙動に応じた増分変位・応力に対して耐力を保持した3 重支保構造を採用することで、トンネルの安定性を確 保している.このため,覆工は時間依存性挙動を含め た作用土圧に対する耐力は考慮せず,不確実性に対す る安全性の担保とすることを基本的な考え方とした. ただし,覆工は支保工の構築後に連続して施工される ため,時間依存性挙動に応じた変位・応力の影響を受 けることは避けられない.このように,音中トンネル の蛇紋岩区間の覆工には,時間依存性変位・応力の増 分に対して力学的機能を保持した構造を設計する必要 がある.

4. 覆工発生断面力の推定方法

時間依存性による増分変位に対して覆工に発生する 断面力を検討するために、時間依存性変位を推定した. トンネル掘削後の内空変位の時間依存性挙動を求め, 増分変位Δdの算定式の導出を行った.

次に時間依存性変位の再現解析を実施した.トンネ ル掘削後の時間依存した増分変位 Δd を再現するFEM 解析モデル(モデルI)を作成し,FEM解析により増分変 位 Δd と打設後増分応力解放率 α の関係式を導出した.

最後に覆工発生断面力の予測解析を行うために,上 述のモデルに覆工要素を追加し,覆工打設後の時間依 存性挙動の解析モデル(モデルⅡ)を作成した.これによ り,掘削から覆工打設までの時間(覆工打設間隔/t)と増 分応力解放率αの関係式から任意の断面における覆工 発生断面力を導出した.

5. 時間依存性変位の推定

蛇紋岩区間における変位計測は掘削後,最大約5年 間実施された.計測した変位は計測断面毎に掘削後経 過日数を5期間に分割し,それぞれの期間毎に変位速 度を導出した.導出された変位速度には,既掘削区間 のすべての計測断面における導出結果が含まれる.変 位速度を掘削後経過日数毎に整理したものを図-2に 示す.これら変位速度を包絡する近似曲線の算定式は, 安全側となるように考慮し,覆工打設後の増分変位Δd が想定し得る最大値となる様に導出した.得られた時

キーワード:トンネル, 覆工, 蛇紋岩, 時間依存性変位 連絡先:〒105-8007 東京都中央区京橋2丁目16番1号 TEL 03-3561-1111 間依存性の変位速度曲線 v(t)は以下の式となる.

v(t) [mm/年] = -6.39EXP(-0.00088×t)

t: 掘削後経過時間[日]

この近似曲線から覆工が未施工の状態においても, 掘削後約5年経過までに時間依存性の変位速度は -1mm/年を下回っており,経過観察・計測で供用可能な レベルとなると考えられる.なお,近似曲線は支保工 の計測変位から導出し,覆工が打設されないまま時間 が経過したときの増分変位を表しており,実際の覆工 打設後の変位速度は近似曲線により推定されるものよ りも減速することになる.

各測点における覆工打設後の増分変位量∆dLは,各 測点における覆工打設時から覆工打設後の任意の時点 までの時間間隔について近似曲線を積分することで推 定した.推定した各測点における増分変位量∆dLを図 -3に示す.蛇紋岩区間における覆工打設の工程を考慮 すると,最短で掘削後約470日での打設が想定されて いる.従って,蛇紋岩区間で想定される最大の覆工打 設後増分変位量∠dLは-11.7mmと推定された.



図-2 変位速度の発生状況



図-3 各測点ごとの打設後増分変位量 6. **覆工発生断面力の推定**

FEM 解析モデルにおける初期地圧条件は,SP8400 の土被り 275m を考慮し,側圧係数 1.0 として設定し た.解析コードは Midas 社の GTS NX(ver.3)を用いた. 岩盤・吹付コンクリートは平面要素,鋼製支保工・覆 工は梁要素でモデル化した.岩盤の構成則は完全弾塑 性モデル,支保工・覆工の構成側は線形弾性モデルと し,順解析・再現解析を実施した. 増分変位量 Δd_L を再現する打設後増分応力解放率 α は、モデル I を用いた順解析により導出した. FEM 解 析ステップは、支保設置後は通常1ステップで最終変 位まで掘削応力を開放するが、変位収束前に覆工を打 設することを想定して2ステップに分けることで時間 依存性の作用土圧を再現した.増分変位量 Δd_L と打設 後増分応力解放率 α の関係性を図-4に示す.

算出された増分応力解放率αを用いてモデルⅡによ る再現解析を実施した.モデルⅡでは,支保工・覆工 の合成部材に発生する応力挙動の再現解析を行うこと で,覆工に発生する断面力(曲げモーメントM,軸力 N)を推定できる.複数の再現解析を実施することで, 推定された断面力と応力解放率αの関係性を図-5に 示す.蛇紋岩区間の断面の内,掘削後約470日での打 設が想定されている断面(SP 8641)において最大の断 面力(M=-10 kN, N= 5,680 kN)が推定された.



図-4 増分変位量と増分応力解放率の関係





7. おわりに

覆工打設後に発生する時間依存性変位の発生量を3 重支保工施工時の計測データから求め、それを用いて 支保工・覆工の合成部材に発生する応力挙動を再現解 析することで、時間依存性挙動として発生する覆工の 断面力を推定した.時間依存性による増分変位・応力 に対して覆工に発生する断面力を推定することができ れば、覆工構造については、従来のRC構造の設計方法 により設計することができる.本報告が時間依存性挙 動を示すトンネルの合理的な設計方法確立の一助にな れば幸いである.