# 切羽自立時間の解明に向けた地山の時間依存性挙動を考慮した基礎的解析

山口大学大学院	学生会員	○伊達	篤司
山口大学大学院	正会員	林	久資
山口大学大学院	フェロー会員	進士	正人

## 1. はじめに

山岳工法でトンネルを施工する際,掘削から支保 工の施工が完了するまでの間に切羽の自立性が保て ないと,切羽崩壊が発生する.そのため,トンネルを 安全かつ経済的に建設するためには,切羽の自立性 を確保することが最重要である.これに対し,補助工 法を併用してトンネルを掘削することで切羽の安定 性を向上させた施工事例が多く見られるが,補助工 法の適用時期や規模等は,過去の施工事例や技術者 自身の経験にゆだねられている.

これまで、地山の時間依存性挙動について計測し た既往研究は数多く見られる.著者のひとり<sup>1</sup>は,膨 張性地山のトンネル掘削時の変形挙動を把握するた めに地中変位計を埋設し、内空変位および天端沈下 を測定した. 図-1に, 地中変位計計測結果を示す. 図 -1(a)は,壁面からの深度8m地点を不動点とした時の 地山の変位を経過日数との関係で表したものである. さらに、トンネル掘削による応力解放によって生じ る瞬間的な変位を弾性変位とし、弾性変位の終了か ら次の切羽の進行までの間に,時間の経過に伴って 累積する変位を時間依存性変位として計測変位を分 別した.弾性変位を図-1(b),時間依存性変位を図-1(c)に示す.この図より,弾性変位は切羽距離14m(ト ンネル直径の約1.5倍) で概ね収束しているのに対し て、時間依存性変位は概ね線形に変位が発生してい ることを明らかにした.

本研究では、数値解析によって地山の時間依存性 挙動を再現し、切羽安定性評価を行うことを最終目 的とした.その基礎的解析として、切羽の進行に伴う 天端壁面と地中の沈下量に着目した粘弾性解析を実 施した.

#### 2. 解析概要

解析コードは三次元有限差分法数値解析コード FLAC3Dを用いた.時間の経過に伴う地山の変位挙動

キーワード トンネル,切羽,時間依存性,3次元解析 連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1山口大学大学院創成科学研究科 進士研究室 TEL0836-85-9332



図-1 地中変位計計測結果1)

を表現するために、力学モデルは図-2に示す最も簡 易な粘弾性モデルである3要素Voigtモデルを採用し た.また、解析物性値は、膨張性地山の時間依存性挙 動の既往研究を参考に、表-1に示す値を用いた.

本解析では、掘削によって生じる地山の時間依存 生挙動を再現するために、図-3に示すような地山モ デルおよび掘削領域を作成した.土被りは55mを想定 し、図-3の地山モデルに35m相当の上載荷重を与える ことで再現し、初期応力解析を行った.ここで、地山 の膨張性を示す判定指標<sup>2)</sup>より、地山強度比を算出す ると、 $G_n = 0.42$  であり、強い膨張性を呈する地山条 件に相当する.ただし、ここでは一軸圧縮強さ $q_u$ を 弾性係数 $E_s$ の1/100であると想定した算出結果である.

解析手順としては,掘削領域に対して1mずつの逐 次掘削を行い,掘削ごとに弾性解析を行い,掘削直 後の地山挙動を解析した.その後,8時間の粘弾性 解析を行うことで掘削後の時間依存性解析を行っ た.この手順をトンネル坑口から奥行き20m地点に 達するまで繰り返した.着目点は,トンネル坑口か ら奥行き10m地点の図-3に赤枠で示す3点とした.

## 3. 解析結果

### 3-1. トンネル天端における全変位

奥行き10m地点から20m地点に到達するまでに発 生する全変位(トンネル掘削に伴う弾性変位に粘弾 性挙動を加えた変位)を図-4に示す.この図より,掘 削が行われる8時間ごとに応力解放による弾性変位 が発生し,次の掘削が行われる8時間までの間に微小 な変位の増加・減少する時間依存性挙動が発生して いることがわかる.この概略的傾向は,各着目点にお ける沈下量は天端に近いほど大きくなっていること から,解析によって得られる変位傾向は,図-1(a)に 示す計測結果と概ね一致する.

# 3-2. トンネル掘削によって生じる弾性変位

次に,掘削による応力解放によって生じる弾性変 位に着目し,切羽の進行との関係について図-5に示 す.この図より,掘削直後の弾性変位は切羽の進行と ともに一定値に収束していくことがわかる.さらに, 各着目点における沈下量は天端に近いほど大きくな っており,全変位と同様に,解析結果と計測結果(図 -1(b))の変位傾向は概ね一致している.

### 3-3. 時間依存性変位

弾性変位発生後から次の切羽の進行までに発生す



表-1 解析物性值



る時間依存性変位に着目し,経過時間との関係を図-6に示す.この図より,時間依存性変位は弾性変位量 よりも微小で,すべての着目点において時間の経過 とともに全般的に増加傾向であることが分かる.し かし,増減を繰り返す挙動がみられ,図-1(c)の計測 結果で得られた線形的挙動とは異なる傾向を示す. 次に変位量に着目すると,時間依存性変位の計測結 果(図-1(c))と,解析結果の沈下量(図-6)を比較 すると,計測結果では壁面において3日で約4mmの変 位が生じている一方で,解析結果は約1mmの沈下と 極めて小さい変位であることがわかる.これらより, トンネル壁面付近のような,半径応力が極めて小さ い場合,3要素Voigtモデルによる解析では微小な変位 増減を繰り返す挙動が生じる解析結果となることが わかった.

しかしながら、本研究の最終目的は地山の安定性 検討であり、安定性検討が必要となる地山条件では、 トンネル掘削によって大変形が生じることが予想さ れる.このような地山条件を粘弾性解析によって模 擬した場合、時間依存性変位は本解析結果のような 微小な増減を繰り返す挙動ではなく、図-1(c)のよう な線形的挙動が得られると考えられる.このことか ら、力学モデルの再検討および各種物性パラメータ の見直しを検討すべきであることがわかった.

## 4. まとめ

今回の解析では、地山の時間依存性挙動の再現を するために、切羽の進行に伴う沈下量に着目した粘 弾性解析を行った.解析結果より、全変位および弾性 変位における変位傾向は、計測結果と概ね一致した. 一方で、時間依存性変位は計測結果と異なる変位傾 向が得られた.これはトンネル周辺地山の半径応力 が小さいためと考えられる.

今後,より高い精度で時間依存性変位を予測する ためには、力学モデルの再検討および各種物性パラ メータの見直しを行いたい.また、切羽の自立時間を 考慮した安定性評価を行うために以下の課題につい て取り組んでいきたい.

- (1) 時間の経過に伴い岩盤強度の低下する力学モデ ルを採用し、切羽の塑性領域の拡大を再現する.
- (2) 切羽面の最大せん断ひずみに着目し、櫻井ら<sup>3</sup>の 提案する限界せん断ひずみと比較することで切 羽の自立時間の評価を行う.



#### 参考文献

- 満弘之,三上元弘,進士正人:計測結果に基づく 膨張性地山挙動の把握,第22回岩盤力学に関する シンポジウム講演論文集,pp.41-45,1990.
- (2) 土木学会トンネル工学委員会:トンネル標準示方 書, pp.45, 2016.
- (3) 櫻井春輔,川嶋幾夫,大谷達彦,松村真一郎:トンネルの安定性評価のための限界せん断ひずみ, 土木学会論文集,pp.185-188, 1994