

切羽の自立時間の解明に向けた時間依存性挙動の解析的検討

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

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。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、切羽が崩壊する。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の経験にゆだねられているのが現状である。そこで筆者らは、トンネル施工時の切羽安定性の良否を地山条件から予測し、適切な補助工法を選定する方法を検討している。

これまで、切羽の変位量を直接計測した既往研究は数多くあるが、例えば、佐野ら¹⁾は、高精度の光波変位計を用いて短時間の切羽の変位押出し量を測定した(図-1)。この図より、計測タイミングが遅い方が、変位増加傾向が緩やかになる。すなわち、切羽の変位は、時間依存性挙動を有していることが現場計測結果から明らかになっている。

そこで、筆者らは切羽の自立性を予測・判定するためには、時間依存性挙動を考慮した数値解析を実施することが重要であり、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、切羽の変位量の経時変化に着目した粘弾性解析を行った。

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。力学モデルは、時間の経過に伴う変位挙動を表現するために図-2に示すような最もシンプル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に着目した既往研究²⁾を参考に表-1に示す値

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 2-1-1 号 山口大学大学院創成科学研究科 進士研究室

TEL0836-85-9332

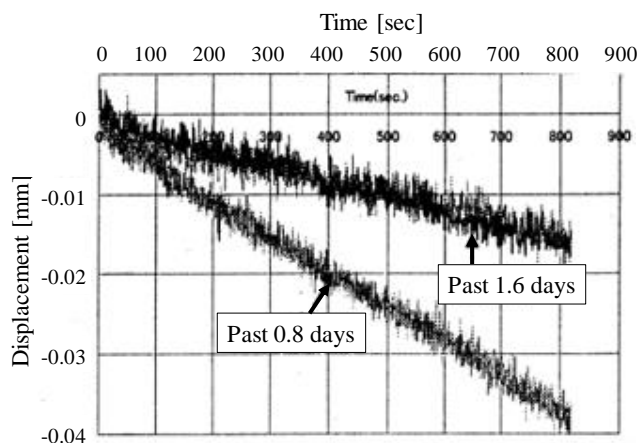


図-1 切羽変位測定結果¹⁾

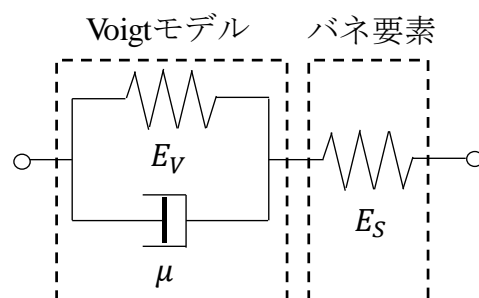


図-2 3要素Voigtモデル

表-1 解析物性値

| 密度 | ポアソン比 | 弾性係数 | | 粘性係数 |
|-----------------------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|
| ρ [kg/m ³] | ν | E_S [MPa] | E_V [MPa] | μ [MPa·h] |
| 2446 | 0.34 | 56 | 1.62×10^3 | 1.12×10^7 |

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性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100mを想定し、図-3の地山モデルに80m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。掘削手順として、掘削領域に対してトンネル坑口から奥行き10m地点までを一括掘削し、弾性解析において安定状態とした。その後、48時間の粘弾性解析を行うことで、掘削後の時間経過を考慮した解析を行った。着目点は、図-3に赤枠に示す切羽中央部とし、切羽の変位

量の経時変化の確認を行った。

3. 解析結果

図-4にトンネル坑口から10m地点における切羽の押し出し変位量の経時変化を示す。ここでは、変位傾向を見やすくするために半断面切羽を示す。図-4より、掘削時の初期地圧解放による瞬間的な弾性変位が発生し、その後12時間、24時間、48時間と時間が経つにつれて、切羽の変位量が増大し、トンネル内空側の下方に流出するような挙動をしていることがわかる。

また、図-5に、切羽中央部における変位量と時間の関係を示す。図-5より、切羽の変位量は粘弾性解析開始後10時間～20時間および、30～40時間の結果の方が、変位増加傾向が緩やかになっており、変位速度が時間経過とともに減少していることが確認できた。

以上より、解析結果と図-1に示す実現場における計測結果の変位挙動が概ね一致していることから、本研究で用いた3次元解析プログラムは、地山の時間依存性挙動を再現できたとと言える。

4. まとめ

今回の解析では、粘弾性解析により切羽の変位量の経時変化を再現した。このような時間の経過を考慮した解析を行うことで、切羽崩壊の事前予測や適切な補助工法の選定が可能となり、施工現場の安全性の確保および経済性の向上が期待できる。

今後、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³⁾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

- (1) A.Sano, M.Shinji,-and Y.Okabe : Studies on the evaluation of loosening mechanism of tunnel face by using field measurements, Field Measurements in Geomechanics, pp.423-426, 1999
- (2) 東幸宏, 高橋俊長, 福田毅, 山田浩幸, 蔣宇静 : 強度低下の時間依存性を考慮したトンネル変状の予測, 第39回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.27-31, 2010
- (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

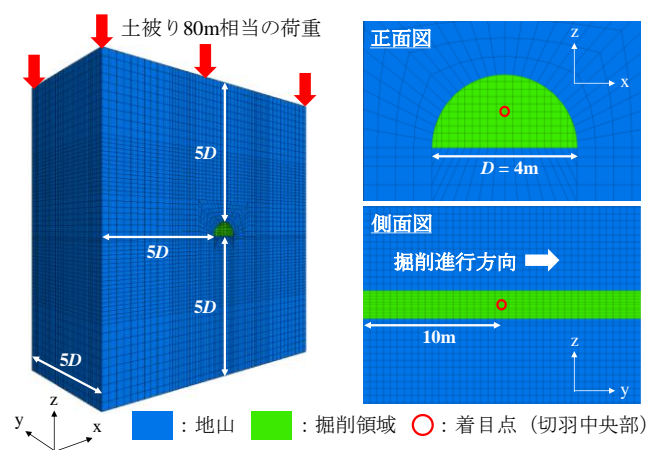


図-3 地山モデルおよび掘削領域

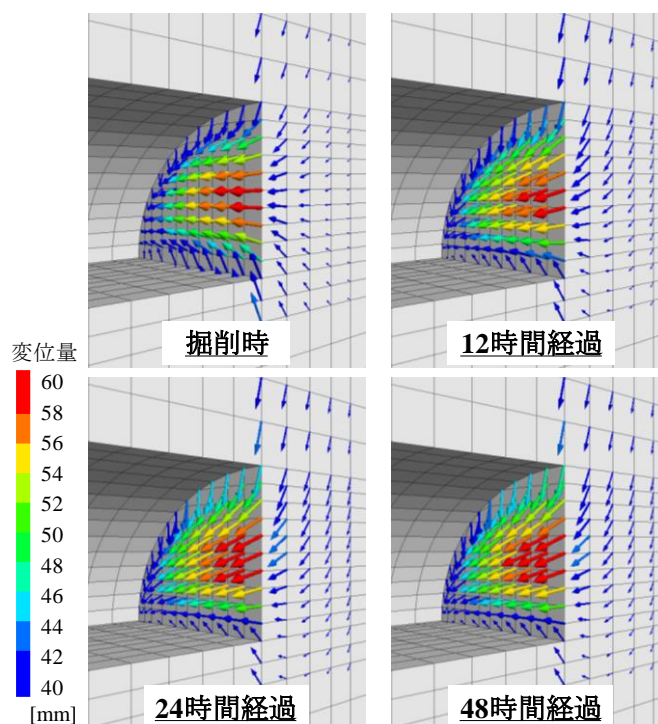


図-4 切羽の変位量の経時変化

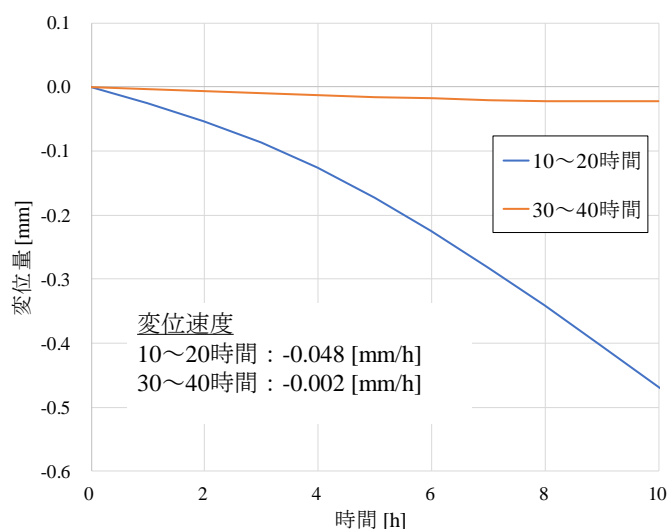


図-5 切羽中央部の変位量と時間の関係