

時間経過を考慮した切羽安定性評価のための解析的検討

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

山岳工法でトンネルを施工する際、掘削から支保工の建込みが完了するまでの間に切羽の自立性が保てない場合、切羽崩壊が発生する。そのため、トンネルを安全に建設するためには、十分な切羽の自立時間を確保することが不可欠であり、地山ごとの切羽自立時間を推定するための指標の提案を最終目標として研究を進めている。

本発表では、膨張性地山を想定した時の時間依存性変位を考慮するために粘弾性解析を実施し、トンネル掘削時の時間依存性変位計測結果¹⁾²⁾に基づいて地山物性値を同定した。そして、粘弾性解析で得られた結果から切羽面の最大せん断ひずみの経時変化と櫻井ら³⁾が提案する限界せん断ひずみを比較することでトンネル掘削後の時間経過を考慮した切羽安定性評価を行った。

2. 粘弾性モデルによる解析手法

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。粘弾性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-1に示すような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。図-2に本研究で使用した三次元解析モデルを示す。

本研究では、佐野ら¹⁾による、高精度の光波変位計を用いた短時間の切羽押し出し量の計測結果と、満ら²⁾による、地中変位計を用いた1時間ごとの天端沈下量の計測結果両者を概ね一致する解析物性値の同定を行った。ここで、これらの計測は異なる2車線道路トンネル建設現場で得られたデータである。それぞれの計測結果と解析結果の比較図を図-3, 4に、得られた物性値一覧を表-1に示す。この結果から、簡易な粘弾性モデルでも地山の時間依存性挙動が表現できていることが分かった。次に、表-1の物性値を設定し、以下の手順で解析を行った。まず図-2右側に示す掘削部分を一括掘削し、弾性解析で安定状態とした。その後、掘削後の時間経過を考慮し、2日間の粘弾性解析を行った。

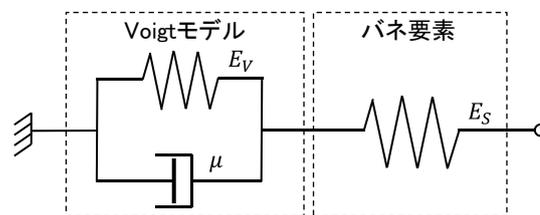


図-1 3要素Voigtモデル

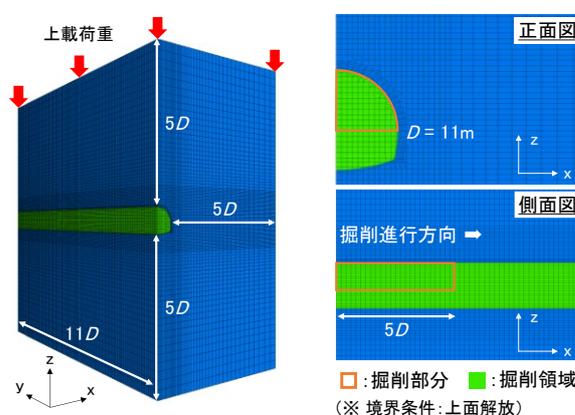


図-2 三次元解析モデル

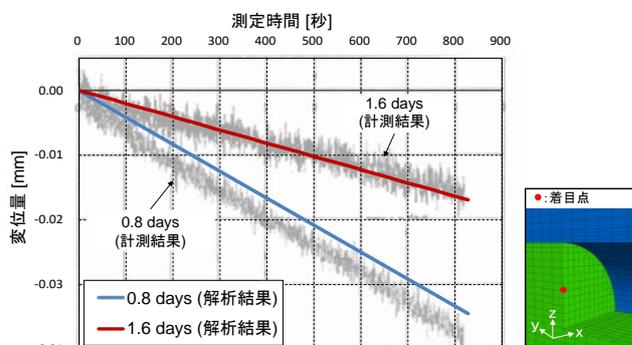


図-3 切羽押し出し量の計測結果と解析結果

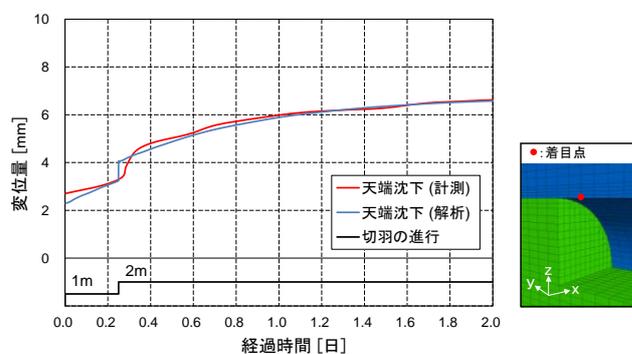


図-4 天端沈下量の計測結果と解析結果

キーワード 山岳トンネル, 切羽安定性, 時間依存性, 三次元解析

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 TEL 0836-85-9332

3. 時間依存性変位を考慮した切羽安定性評価

2. で同定した物性値による時間依存性変位を考慮した解析結果に対し、限界せん断ひずみを指標とした切羽安定性評価を行った。限界せん断ひずみは地山の安定性を表す値として櫻井ら³⁴⁾によって定義されたものである。櫻井らは限界せん断ひずみを式(1), 限界ひずみを式(2), (3)によって求めることができることを示した。限界ひずみは、ばらつきがあるため上限値と下限値が設けられている。

$$\gamma_c = \varepsilon_c(1 + \nu) \quad (1)$$

$$\text{上限値} : \log \varepsilon_c = -0.25 \log E - 0.85 \quad (2)$$

$$\text{下限値} : \log \varepsilon_c = -0.25 \log E - 1.59 \quad (3)$$

ここで、 γ_c は限界せん断ひずみ[%], ε_c は限界ひずみ[%], ν はポアソン比, E は弾性係数[MPa]である。ここでは、最大せん断ひずみが限界せん断ひずみの下限値を上回ることによって切羽が徐々に不安定な状態となり、上限値に近づくにつれて、切羽の自立性が低下し、さらにせん断ひずみが増大した場合、最悪の場合は切羽崩壊が発生すると仮定した。

図-5(a)に佐野ら、図-5(b)に満らの計測結果に基づいた解析結果の最大せん断ひずみ分布図と掘削後から2日間までの経時変化を示す。両解析結果とも切羽の底部中央付近で最大せん断ひずみの値が最も大きいことが確認できた。さらに最大せん断ひずみの経時変化に着目すると、図-5(a)より、掘削直後から限界せん断ひずみの下限値0.44%を上回り、時間の経過とともに上限値2.40%に接近することがわかった。また、図-5(b)より、掘削から0.8日経過後に下限値0.33%を上回り、切羽が不安定な状態になり始めることが予想できた。

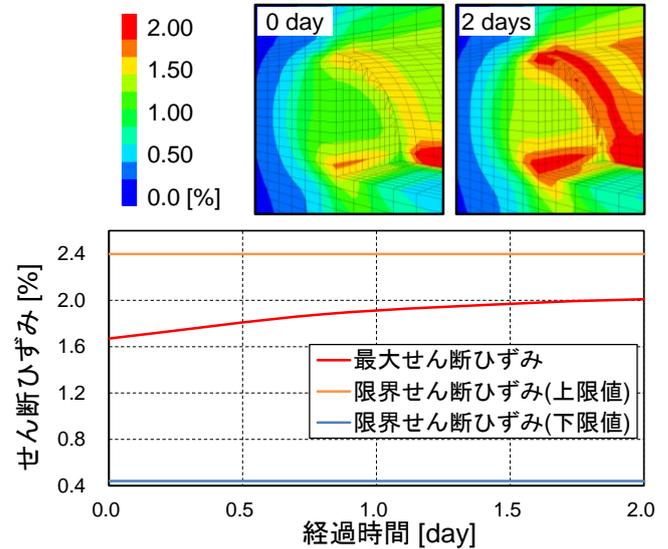
4. まとめと今後の課題

本研究では、2つの時間依存性を計測した現場計測結果に基づいて同定した解析物性値を用いて粘弾性解析を行い、切羽面に生じる最大せん断ひずみ分布図とその経時変化を確認した。そして、限界せん断ひずみと比較することで時間の経過を考慮した切羽安定性評価を試みた。その結果、切羽の底部中央付近で最大せん断ひずみの値が最も大きく、時間の経過に伴い、より不安定な状態に移ることがわかった。これにより、切羽安定対策のための補助工法の適用を検討するなど、設計・施工の一助になると考えられる。

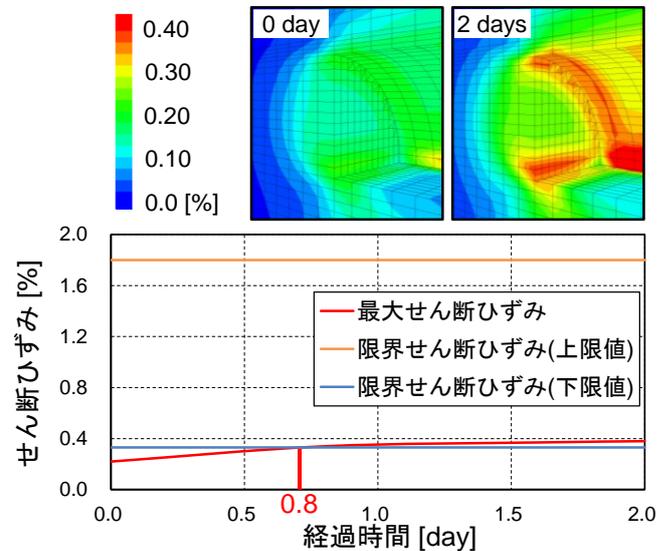
今後は切羽崩壊が発生した施工現場の計測結果等を用いて、切羽安定性評価の妥当性について検討する。

表-1 解析物性値

	名称	単位	佐野ら	満ら
参考文献より既知	土被り H	m	120	55
	単位体積重量 γ	kN/m ³	23.2	17.7
	ポアソン比 ν	-	0.34	0.30
	弾性係数 E_s	MPa	390	1080
解析物性値の同定	遅延弾性係数 E_V	MPa	1560	1350
	粘性係数 μ	MPa · h	14352	8100



(a) 佐野らの計測結果に基づく解析結果



(b) 満らの計測結果に基づく解析結果

図-5 最大せん断ひずみ分布図および経時変化

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) 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. (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. (4) 櫻井春輔, 足立紀尚 : 都市トンネルにおける NATM, pp.35, 1988.