

神戸大学工学部 正会員 芥川 真一

神戸大学工学部 学生員 溝口 俊介

神戸大学工学部 学生員 ○村上 浩次

1. はじめに

土被りの浅いトンネル周辺に発生する最大せん断ひずみの分布を正確に解析で再現することを目標として、異方性パラメーター m を用いた FEM 解析の改良を行った。その効果を確認するため、アルミ棒積層体を用いた実験の結果のシミュレーションすることで、それらのパラメーターの変化が結果に及ぼす影響を報告する。

2. FEM 解析

本研究では“異方性パラメーター m を用いた非線形有限要素解析”を行った。これは D マトリックスにおけるせん断剛性を、ひずみレベルに基づいて低下させることで、材料の異方性をモデル化しようとするものである。この m は材料が等法弾性を示すとき一定であるが、材料が破壊に至るとひずみ γ の増加に伴って低下させることをモデル化の基本としている。この曲線は下のように近似できることが提案されており¹⁾、本解析でも m の値を求めるのにこの式を用いた。

$$m = m_c - (m_c - m_i) [1 - \exp\{-100 \alpha (\gamma - \gamma_i)\}]$$

今回の解析は以下の2点に基づいて行った。

- これまでは損傷が始まるときの最大せん断ひずみ γ_1 を定数としていたが、モールの応力円が破壊規準線を越えたときの γ を γ_c とすることにした。(図1)
- 材料が破壊に至った場合、まず材料の軟化²⁾を考慮し、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ をの要領で低下させるようにした。(図2)また、垂直応力、せん断応力が破壊規準線内に収まるように修正し、修正分は繰り返計算によって0になるように収束計算を行った。(図3)

3. 解析の概要と結果

ひずみ軟化解析がどの程度アルミ棒積層体実験や実際の土被りの浅いトンネルの変形挙動を再現できるかを見るため、 m を低下させなかった場合(パターン①)と、 c 、 ϕ を変化させなかった場合(パターン②)そして、両方の手順を踏んだ場合(パターン③)の3パターンについて解析を行い、結果から得られる地表面沈下形状や最大せん断ひずみ図を用いて比較を行った。解析は図4に示すようにメッシュモデルを用いた、重力場で直径 D と土被り H がともに15cmであり、トンネルを素掘りで掘削することにした。図5の m 低下させなかったときの最大せん断ひずみの分布図(a)では室内の実験³⁾では現れることの無い下向きのせん断帯が発生している。また c と ϕ を低下させなかった時は(b)のようにせん断帯が一本しか発生していない。一方、 m も c 、 ϕ も低下させた時は(c)のように室内での実験の挙動を再現できている。また図6に示す崩壊直前の地表面の沈下形状の比較からも、 m の低下と c 、 ϕ の低下の両方を行った場合が最も実験に近い結果を出していることがわかった。

4. まとめ

今回の解析で m の低下と c 、 ϕ の低下の両方を行ったとき実験結果や現場の状況を再現できることがわかった。しかし、今回は基礎的な円形のメッシュモデルを用いて、掘削のシミュレーション方法もトンネル部の応力を段階的に解放するといった作業だけであった。また、材料も1種類だけであった。今後は、上半から応力を解放するなどの解析ステージの細分化や、材料の種類を増やして覆工を考慮するなど、より実際の施工現場に近い状況を想定して解析を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Sakurai S., A.Hiraoka and K.Hori : Strain-Induced Damage of Rock, *International Conference on Mechanics of Jointed and Faulted Rock*, Vienna, pp.22-27, 1998.
- 2) Sterpi,D : An Analysis of Geotechnical Problems Involving Strain Asoftening Effects, *Int.J.Number.Anal.Meth.Geomech.*, 23, pp.1427-1454, 1999.
- 3) 芥川真一,松本憲典,長井寛之 : 土被りの浅いトンネルの非線形挙動解析に関する一考察, *トンネル工学研究論文集・報告書*, 第10巻, pp.113-118, 2000.

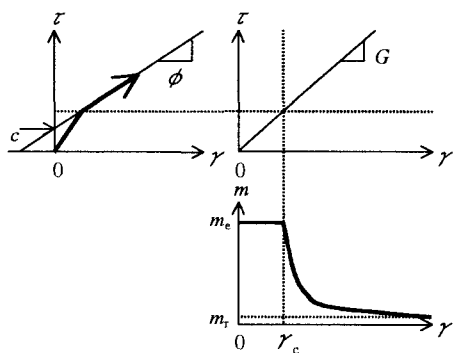


図1 応力経路による γ_c の決定

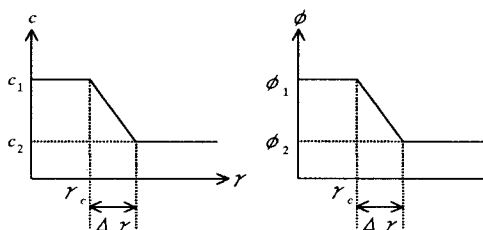


図2 c と ϕ の低下

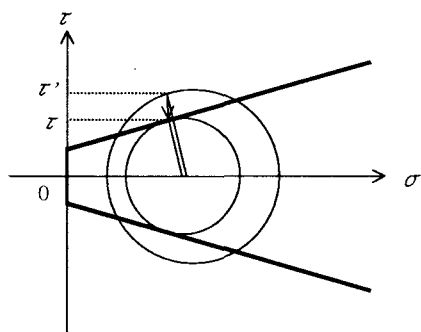
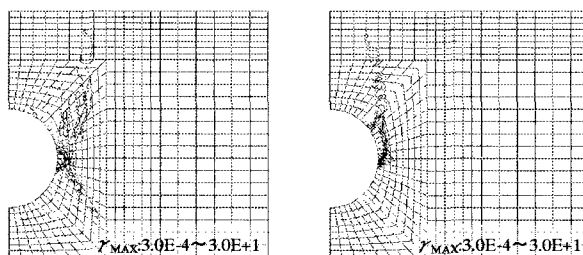
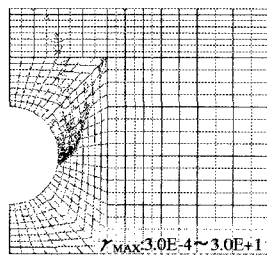


図3 応力修正の方法



(a) パターン①

(b) パターン②



(c) パターン 3

図5 最大せん断ひずみ図

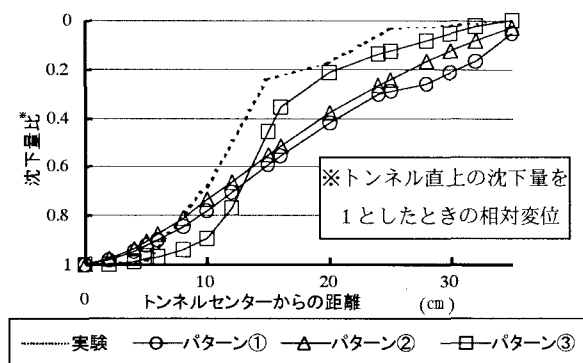


図8 地表面沈下形状

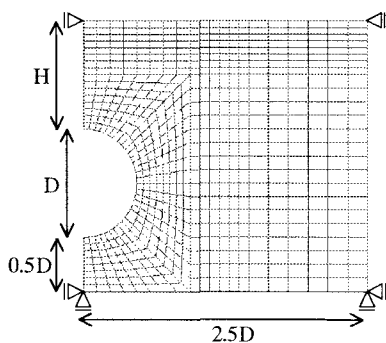


図4 解析に用いたメッシュ

表1 解析に用いたパラメーター

パターン	①	②	③
ヤング率 E [kPa]	529.7		
ポアソン比 ν	0.333		
m の残留値 m_r	0.0001		
α	—	1	1
粘着力 c の初期値～残留値 [kPa]	0.2548~0	0.2548	0.2548~0
内部摩擦角 ϕ の初期値～残留値 [°]	30.7~23.2	30.7	30.7~23.2
$\Delta \gamma$	0.0025	—	0.0025
地山の単位単位重量 [kN/m ³]	21.36		