

## 第 部門

## 土被りの浅い NATM トンネルの効率的な変形挙動評価に関する基礎的研究

|         |     |    |    |
|---------|-----|----|----|
| 神戸大学工学部 | 正会員 | 芥川 | 真一 |
| 神戸大学工学部 | 学生員 | 村上 | 浩次 |
| 神戸大学工学部 | 学生員 | 堂場 | 直樹 |
| 神戸大学大学院 |     | 李  | 在浩 |

## 1.はじめに

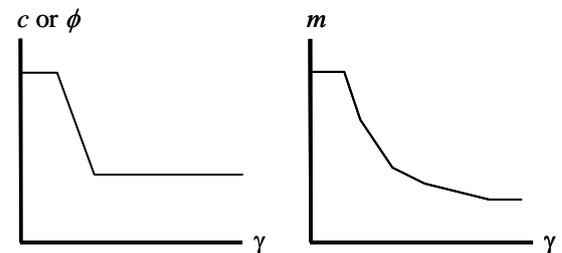
現在、トンネル施工中の地山の状態を推定する方法としては、逆解析を用いて現場計測データから地山定数を推定し、それを用いて順解析するという方法がある。しかし、この方法では種々の理由で効率よく現状を評価できないことがある。そこで今回、土被りの浅い NATM トンネルの変形挙動を異なる視点から構築する方法によって迅速に評価することを考える。具体的には、様々な地山特性を想定した数値解析を行い、その結果をデータベースとし、それと現場計測データを照合することで、地山の状態を迅速に推定する方法を提案する。今回用いた解析手法は、異方性パラメーター $m$ を低下させるモデルと、地山強度定数を低下させるモデルを組み合わせたひずみ軟化解析<sup>1)</sup>である。物性値、トンネル形状、土被りについては一定とし、様々な軟化特性を想定した円形トンネルモデルの掘削解析を行なった。

## 2.ひずみ軟化解析の概要

本研究で用いたひずみ軟化解析の異方性パラメーターは、 $D$ マトリクス（応力・ひずみ関係）におけるせん断剛性を、最大せん断ひずみ（ $\gamma$ ）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。 $m$ とせん断ひずみ $\gamma$ の関係は、式(1)のように近似できることが提案<sup>1)</sup>されており、本研究でもこれを用いた。

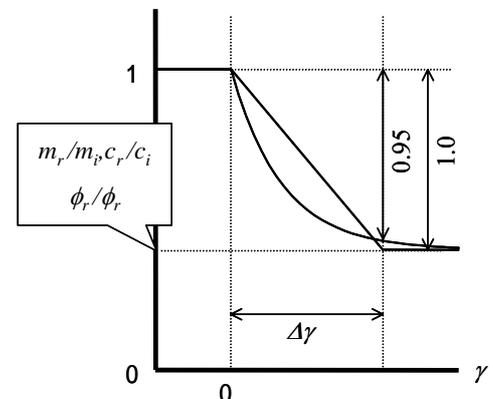
$$m = m_e - (m_e - m_r) [1 - \text{Exp}\{-100\alpha(\gamma - \gamma_c)\}] \quad (1)$$

ここで、 $m_e$ は $m$ の初期値、 $m_r$ は残留値、 $\alpha$ は変化の度合いを決めるインデックスである。また、 $m$ は応力状態が破壊基準を超えた時点から下がり始めると定義し、そのときの $\gamma$ を $\gamma_c$ とした。これは、次の地山の強度定数についても同じ方法を用いる。(図1)地山強度の低下については、応力状態が破壊基準を超えた時点からその $c$ 、 $\phi$ 自体が下がり始め、せん断ひずみの増加に伴って残留値 $c_r$ 、 $\phi_r$ に至るものとする。(図1)

(a)  $c$ 、 $\phi$ の低下 (b)  $m$ の低下図1  $c$ 、 $\phi$ 、 $m$ の低下

## 3.円形モデル数値実験の概要及び結果

解析に用いた物性値は、ヤング率 150MPa、ポアソン比 0.3、単位体積重量 20.0kN/m<sup>3</sup>、初期粘着力 20kPa、初期内部摩擦角 35°である。ここで、ひずみ軟化解析においては、軟化傾向を決めるインデックスとして、軟化速度と軟化の割合がある。今回は、解析パターン数を最小限にとどめるために、異方性パラメーターと地山の強度を同じ割合で低下させた(図2)。そして、軟化後の残留率を軟化の割合とし、残留値に至るひずみ増分 $\Delta\gamma$ を軟化速度とした。そこで、軟化速度として $\Delta\gamma = 0.0001$ ( $\alpha=300$ )、 $0.01$ ( $\alpha=3.00$ )、 $0.02$ ( $\alpha=1.50$ )、 $0.04$ ( $\alpha=0.75$ )の4パターン、軟化の割合として残留率 20%、40%、60%、80%の4パターン、計 16 パターンの解析を行なった。解析は、図3に示すメッシュモデルを用い、上半掘削のみを行い、掘削部の応力を2%ずつ、50Stepに分けて解放した。図4に解析結果の一例として天端沈下曲線の一部を挙げる。

図2  $c$ 、 $\phi$ 、 $m$ の低下経路

この図より、軟化速度が等しければ、非線形な挙動が生じるタイミングは等しくなり、軟化の割合が等しければ、非線形な挙動は同じ割合で広がっていくことがわかる。この傾向は他の計測ポイントについても同様に見られた。このことより、軟化速度は非線形な挙動が生じるタイミングに影響し、軟化の割合は非線形な挙動の広がり方に影響することがわかった。また、せん断帯は脚部から地表面に向かって伸びていくことから（図5）せん断帯の脚部からの高さに注目し、その高さにより崩壊接近度を定めた。脚部から地表面までは15mであるため、1.5mごとにレベル分けすると、0mから1.5mのものが崩壊接近度0、1.5mから3mのものが崩壊接近度1となり、地表面到達後のものは崩壊接近度10となる（表1）。天端沈下との崩壊接近度の関係をグラフにすると（図6）、解析ステップと沈下量の関係とひずみ分布には相関関係があることがわかった。また、他の計測ポイントについても同様の相関が見られた。

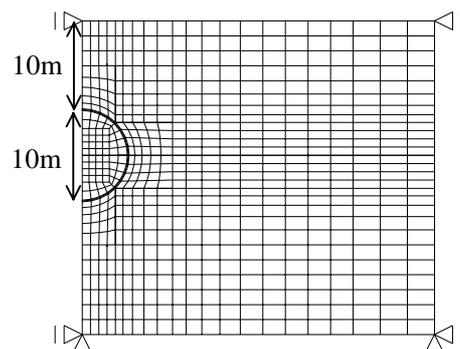
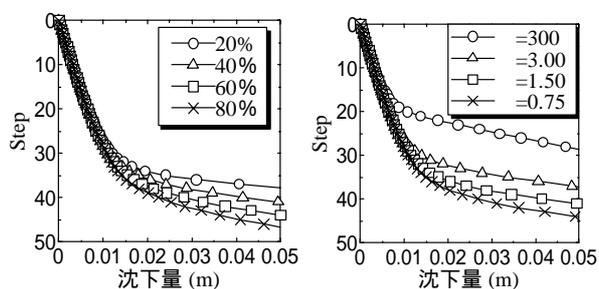


図3 解析に用いたメッシュ



(a) = 1.50 (b) 残留率 40%

図4 天端沈下曲線

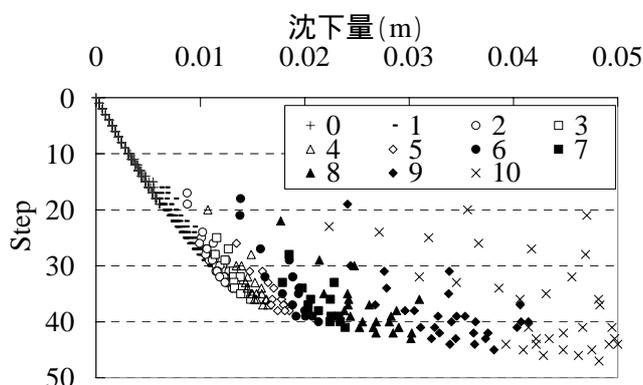


図6 崩壊接近度と天端沈下の相関

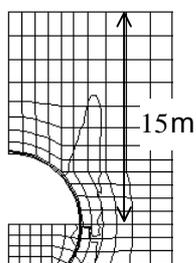


図5 ひずみ分布

|        |        |         |         |         |       |       |
|--------|--------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 高さ (m) | 0~1.5  | 1.5~3   | 3~4.5   | 4.5~6   | 6~7.5 | 7.5~9 |
| 崩壊接近度  | 0      | 1       | 2       | 3       | 4     | 5     |
| 高さ (m) | 9~10.5 | 10.5~12 | 12~13.5 | 13.5~15 | 到達後   |       |
| 崩壊接近度  | 6      | 7       | 8       | 9       | 10    |       |

表1 崩壊接近度

4.まとめ

今回の研究により、軟化特性が地山の变形挙動に及ぼす影響を知ることができた。また、今回作成したデータベースと変位データを照合し、非線形な挙動の現れるタイミングと広がり方を認識することによって、軟化特性を判定できることが分かった。さらに、掘削状況と変位量の関係から、おおよそのひずみ分布を迅速に推定することができる可能性も認められた。今後の課題として、土被り、トンネル形状や地山の初期強度などを変化させてデータベースを拡充することが考えられる。また、データの分類方法や表示方法についてもさらに改良することが必要である。

参考文献

1) 芥川真一、松本憲典、長井寛之：土被りが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・報告集、第10巻、pp.113-118、2000.11.