

神戸大学工学部 学生員○横田 泰宏

神戸大学工学部 学生員 堂場 直樹

神戸大学工学部 李 在浩

神戸大学工学部 正会員 芥川 真一

1. はじめに

土被りの浅い NATM トンネルの変形挙動における側圧係数の影響を把握することを目的とした数値解析を行った。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¹⁾を用い、軟化特性と側圧係数が変形挙動に及ぼす影響を調べた。

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 マトリックス(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(γ)レベルに基づいて低下させ、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 γ の関係は、式(1)のように近似できることが提案¹⁾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、 α 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越えた時点から下がり始めると定義し、その時の γ を γ_c とした。これは地山の強度定数についても同じ方法を用いる。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 、 ϕ 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 、 ϕ_r に至るものとする。(図1)

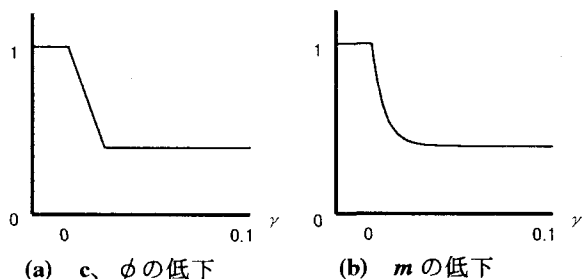


図1 c 、 ϕ 、 m の低下

3. 円形モデル数値実験の概要と結果

軟化傾向を決めるインデックスには、軟化速度と軟化の割合があるが、解析パターンを最小限にするため、異方性パラメーターと地山強度を同じように低下させた。(図2)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。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パターンを軟化パラメーターとして用い、また側圧係数0.43、0.6、0.8、1.0、1.2の5パターン用い

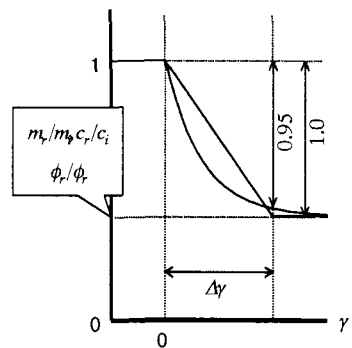


図2 c 、 ϕ 、 m の低下経路

て解析を行った。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、その応力を 2% ずつ、50step に分けて開放した。図 4 に、解析結果の一例として、側圧係数 0.43 における天端沈下曲線の一部を挙げる。これより、他の計測工においてもほぼ同様なことが言えるが、軟化速度が等しければ、非線形な挙動を生じるタイミングも等しく、軟化の割合が等しければ、非線形な挙動を生じてからの応力開放にしたがって沈下量が増加する割合が等しいことが分かる。この傾向は、側圧係数を変えても同様なことが言える。次に、図 5 に側圧係数 5 パターンにおける天端沈下曲線の一部を挙げる。ここでは、側圧係数が小さい程、非線形な挙動が生じるタイミングは早くなり、最終的な沈下量は大きくなることが分かる。また、トンネルセンターから側方に 6m 地点における地中側方変位曲線(図 6)では、トンネル側方周辺において、全く逆方向の変位を生じることが分かる。図 6 の段階では、軟化の影響は生じておらず、側圧係数による挙動の違いを最も大きく受ける計測工であることが分かった。

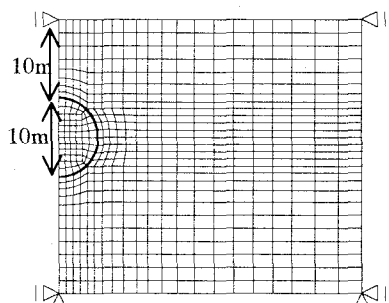
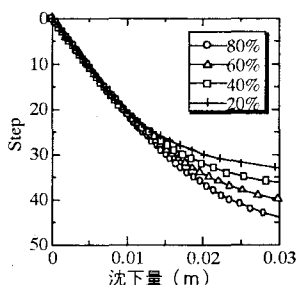
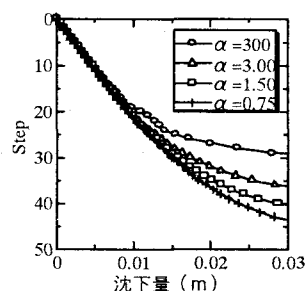


図 3 解析に用いたメッシュ

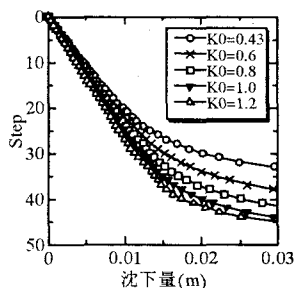


(a) $\alpha=3.00$

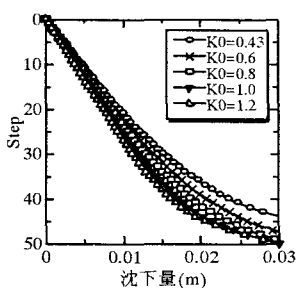


(b) 残留率 40%

図 4 天端沈下曲線 側圧係数 0.43



(a) $\alpha=3.00$ 残留値 20%



(b) $\alpha=3.00$ 残留値 80%

図 5 天端沈下曲線 側圧係数変化

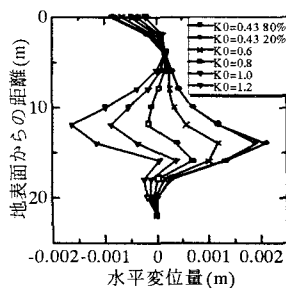


図 6 6m 地中水平変位曲線

$\alpha=3.00$ 側圧係数変化

まとめ

今回の研究により、軟化と側係数による地山の変形挙動に及ぼす影響を知ることができた。また、軟化の影響や側圧係数の影響を大きく受ける計測工や、あまり受けないポイントなどを整理することができた。よって、各計測工における実際の変位データと解析結果を照合することによって、およその地山の状態を推定できる可能性が指摘される。実際の現場データとの比較、またはその検討方法など今後の課題として挙げることができる。

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.