

土被りの浅い NATM トンネルの非線形挙動評価と側圧係数の関係について

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<sup>1)</sup>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  $m$  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( )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 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。

$$m = m_e - (m_e - m_r)[1 - \text{Exp}\{-100 (\frac{\gamma}{c} - c)\}] \tag{1}$$

ここで、 $m_e$  は  $m$  の初期値、 $m_r$  は残留値、 $\gamma$  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  $\gamma$  を  $c$  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越えた時点からその  $c$ 、 $\phi$  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)

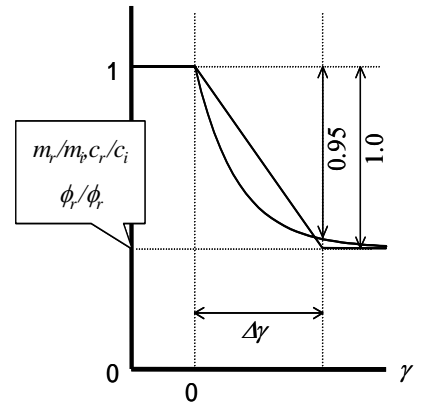


図1  $c$ 、 $\phi$ 、 $m$  の低下経路

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1)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を軟化速度とした。軟化速度として  $\Delta\gamma = 0.0001$  ( $\Delta\gamma = 300$ )、 $0.01$  ( $\Delta\gamma = 3.00$ )、 $0.02$  ( $\Delta\gamma = 1.50$ )、 $0.04$  ( $\Delta\gamma = 0.75$ )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パターン用いて解析を行った。

3. 円形モデル数値実験の概要と結果

解析は、図2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。解析結果の一例として、側圧係数0.43における天端沈下について述べる。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

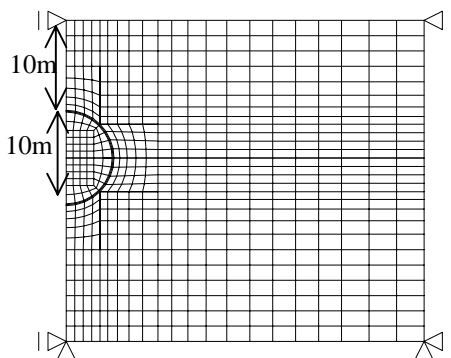
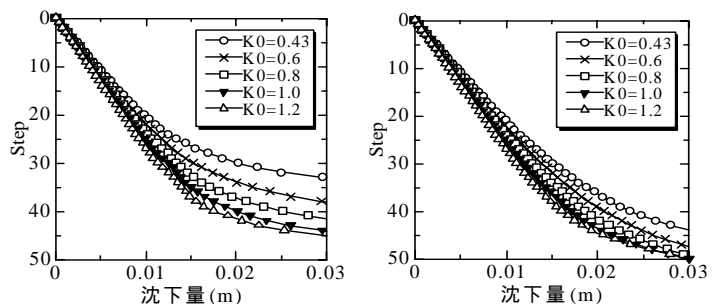


図2 解析に用いたメッシュ



(a)  $\Delta\gamma = 3.00$  残留値 20% (b)  $\Delta\gamma = 3.00$  残留値 80%

図3 天端沈下曲線 側圧係数変化

キ - ワ - ド 土被りの浅い NATM トンネル, ひずみ軟化解析, 軟化, 側圧係数

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台 1-1 神戸大学工学部建設学科 TEL(078)803 6015 FAX(078)803 6069

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った。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、5通りの側圧係数を用いた比較解析の結果を述べる。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った。(図3)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4)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4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る。また、各計測工における軟化の影響と側圧比の影響を、非線形な挙動が生じるタイミング(荷重変位関係が直線から逸脱し始めるポイント)の違いによって、表-1に示した。

4. まとめ

今回の研究により、軟化特性と側圧係数が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事ができる。

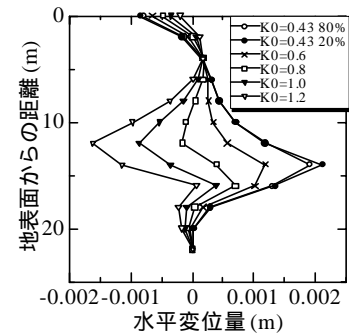


図4 6m地中水平変位曲線  
=3.00 側圧係数変化

	側圧係数	$\alpha=300$	$\alpha=3.00$	$\alpha=1.50$	$\alpha=0.75$	特徴
天端沈下	0.43	Step20	Step26	Step28	Step30	1. $\alpha$ の値が等しければ、非線形な挙動が生じるタイミングは軟化の残留値によらず等しい。 2. $K_0$ が小さい程非線形な挙動を生じるタイミングは早く、沈下量は大きい。 3. 地表面沈下と挙動が似ている。
	0.6	Step26	Step31	Step32	Step32	
	0.8	Step29	Step34	Step35	Step36	
	1.0	Step31	Step36	Step38	Step39	
	1.2	Step34	Step37	Step39	Step39	
脚部沈下・水平変位	0.43	Step18	Step20	Step23	Step23	1. 沈下に関しては、 $K_0$ が小さい程非線形な挙動を生じるタイミングは早く、沈下量は大きい。 2. 水平変位に関しては、残留値が大きい場合に、非線形な挙動が生じるタイミングは早い但最终沈下量は小さくなるパターンもある。 3. 水平変位は弾性挙動の範囲内での、 $K_0$ による挙動の差が大きい。
	0.6	Step23	Step24	Step26	Step27	
	0.8	Step26	Step28	Step29	Step31	
	1.0	Step28	Step31	Step32	Step32	
	1.2	Step30	Step32	Step33	Step33	
内空変位	0.43	Step19	Step24	Step24	Step25	非線形な挙動が生じるタイミングは、 $K_0$ が小さい程早く生じる。
	0.6	Step24	Step31	Step31	Step32	
	0.8	Step29	Step33	Step33	Step34	
	1.0	Step31	Step35	Step34	Step36	
	1.2	Step36	Step37	Step35	Step37	
地中水平変位	1. Step10 や Step20 といった早い段階ではほぼ弾性挙動を示す。 2. 6m地中水平変位では、早い段階で $K_0$ による挙動の差が大きく生じる。 3. 0m地中沈下では、早い段階においては軟化の影響が少ないということに加えて $K_0$ による影響も少ない。					

表-1 各計測工における側圧比の影響および非線形な挙動が生じるタイミングの違い

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.