低土被りトンネル掘削に伴う地表面沈下の予測手法に関する研究

(株)大林組 正会員 〇中岡 健一

(株)大林組 正会員 畑 浩二

神戸大学 正会員 芥川 真一

1. はじめに

近年,都市部の低土被りトンネルにおいても、シールドのように変位を許さない工法ではなく,NATM が採 用されるケースが増加している.未固結地山に低土被りトンネルを掘削すると、トンネル肩部から地表に向か ってせん断ひずみが集中する帯状の領域(せん断帯)が発生する例が報告されている¹⁾.それが地表に達する と、その部分で地表面沈下が急勾配になり、天端上部の地盤が全体的に下降・沈下する共下がりが生じると考 えられる.都市部においては、地表面沈下が厳しく規制され、対策工の合理的な仕様設計には、せん断帯の発 生を評価できる手法が必要である.芥川らは、その問題に対して、せん断ひずみの増加に応じてせん断剛性と 強度を低下させるひずみ軟化モデルを提案しており、実験との整合性などについて報告している²⁾.本研究で は切羽の影響の評価、切羽対策工の設計を行えるように、このひずみ軟化モデルの三次元化を行った.ここで は、そのモデルの概要および試解析について報告する.

2. ひずみ軟化モデル

(1) せん断剛性の低減

櫻井らは「地山におけるすべり挙動はせん断ひずみ量に応じたせん断剛性の低下で表される」としている³⁾.本研究では,櫻井が仮定した二次元問題におけるすべり線に沿った応力σ'-ひずみɛ'関係 D'を,式(1)に示す三次元問題に拡張した.式中のmはすべり線に沿ったせん断弾性係数を低減させるパラメータである.ここで,すべり線とは,応力円とモール・クーロンの破壊包絡線の距離が最小となる線のこととした.二次元問題におけるすべり線は,三次元問題では最大主応力を中心にした円錐面となる.ここでは,円錐面上に等間隔で8本のすべり線を仮定し,それぞれのすべり線iに沿った D'iを式(1)から求めて逆行列の状態で平均し,さらにその逆行列を計算することにより,D'とした.

	$\lambda + 2G$	0	0	0	0	0]	
	0	$\lambda+2G$	0	0	0	0	
רית_	0	0	$\lambda+2G$	0	0	0	(1)
<i>D</i> = {	0	0	0	mG	0	0	(1)
	0	0	0	0	G	0	
	l 0	0	0	0	0	G ight]	
m = a = 1	1 - (1 - m) $100\alpha(\gamma - m)$	$(1 - e^{-\alpha})(1 - e^{-\alpha})$	") (2 (3)	2)			
$\gamma = \frac{1}{(1)}$	$\frac{vE}{(1-v)(1-v)}$	2v)	(4)				
G=-	$\frac{E}{2(1-\nu)}$	(5)					
mr:	m の残留	ſ値					

y: すべり線に沿ったせん断ひずみ

γc:降伏が始まるせん断ひずみ

(2) 強度の低減

図-1 に示すように、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ はともに、降伏が始まる γ_c からのせん断ひずみ増分 $\Delta\gamma$ に線形の関係を持って低減することとした.また、解析の過程で $\Delta\gamma$ が小さくなっても c、 ϕ およびせん断剛性は回復しないこととした. 各要素の γ_c は応力状態によって異なる.

(3) 解析手法

荷重増分法による有限要素法を用いた.各ステップで,得られた応力円が破 壊包絡線を超えた場合は,応力円が破壊包絡線に納まるように応力を修正し, 残差力が所定の値以下になるまで,同じ荷重ステップ内で繰り返し計算した.

キーワード 低土被りトンネル,地表面沈下,ひずみ軟化,都市 NATM 連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 TEL 042-495-0910



図-1 c および φ と γ の 関係

3-157

3. 試解析の条件

ひずみ軟化モデルの妥当性を検討するために,直径:高さ=1:2の一軸圧縮試 験およびトンネル掘削の解析をおこなった.一軸圧縮試験の荷重は強制変位と して与えた.また,掘削解析は,高さ9m,幅11mの幌型空洞を対象とし,土 被りは18mとした.解析に用いた物性を表-1に示す.

4. 解析結果

(1) 一軸圧縮試験

図-2,図-3に応力-ひずみ関係および最終ステップ(ε=0.065%)における最大せ <u>a,m</u>, <u>1.0,0.1</u> ん断ひずみの分布を示す.図-2から,応力は最大値に達した後,低下しており,ひずみ軟化が現れている.応 力の最大値はモール・クーロンの破壊基準による一軸圧縮強度 0.42MPa と一致している.ここで,応力はモデ ル端面の反力を断面積で除した値とした.また,図-3から,モデルを斜めに横切るようにせん断帯が生じてい ることが分かる.図-2に見られる軟化過程の急激な応力低下は,以下の挙動が同じ荷重ステップで繰り返され たためである.①せん断帯の強度が低下してモデル上下部の弾性領域のひずみが解放される.②せん断帯が圧

縮されてひずみが進む.③せん断帯の強度がさらに低下して再び 弾性領域のひずみが解放される.

(2) 掘削解析

図-4 に空洞掘削による地盤の最大せん断ひずみの分布を示す. 空洞の肩部から地表へとせん断ひずみが大きい領域が伸びており,せん断帯を表現していることが分かる.

5. まとめ

芥川らによって提案されたひずみ軟化モデルを三次元に拡張 し,試解析を行った.一軸圧縮試験の圧縮強度,応力-ひずみ関係, そして,空洞掘削解析も含めたせん断帯の発生形状などから,本 解析はひずみ軟化に伴う地盤の変形挙動,地表面沈下の予測に適 用可能と考える. 今後,実現場への適用,切羽の影響評価への適 用を行う予定である.

参考文献

- W.H.Hansmire and E.J.Cording: Soil tunnel test section, Case history summary, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 1985.
- 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 ネル工学論文・報告集,第10巻, pp.113-118,2000
- 13) 櫻井春輔,川嶋幾雄,皿海章雄, 芥川真一:地盤の非線形挙動の 解析,土木学会論文集, No505/III-31, pp.139-140, 1994



よび変形モード (変 形は100倍に強調)

表-1 地	盤物性
-------	-----

項目	数值
ヤング率	1000 MPa
ポアソン比	0.4
粘着力 c	0.12 MPa
残留值 c _r	0.03 MPa
内部摩擦角 ♦	30°
残留值 ∮r	15°
α , m _r	1.0, 0.1





図-4 最大せん断ひずみの分布