ひずみ軟化モデルによる小土被りトンネル模型実験の挙動解析

正会員	○中岡	健一
正会員	畑	浩二
正会員	高橋	真一
正会員	芥川	真一
	正会員 正会員 正会員 正会員	正会員 〇中岡 正会員 畑 正会員 高橋 正会員 芥川

1. はじめに

近年は未固結地山にトンネルを掘削する場合でも NATM が適用されるケースが増えている.未固結地山に NATM を適用すると、トンネル側部からひずみの大きな帯状の領域が上方に進展する場合があることが報告さ れている¹⁾. この領域はせん断帯と呼ばれており、土被りが小さく、これが地表に到達するような場合は、ト ンネル直上部の陥没や崩壊につながる危険性がある.そのため、未固結地山に掘削するトンネルの安定性を評 価するには、せん断帯を評価できるモデルが必要である.著者らは、この問題に対して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、トンネル掘削問題への適用性を論じた²⁾. 今回は、そのモデルを用 いて、二次元ではあるが小土被りトンネルの遠心模型実験をシミュレーションした.この実験はトンネルの崩 壊まで至っており、崩壊現象を評価できるか確かめることを本報告の目的とした.

2. ひずみ軟化モデル

(1) せん断剛性の低減

ひずみ軟化解析で用いるすべり線に沿った応力o'-ひずみɛ' 関係 D'を式 (1) に示す.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り,せん断ひずみの増大 に応じて低減する.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.

(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 $\Delta\gamma$ に応じて低減することとした.各要素の γ_c は応力状態によって異なる. γ_c と c および ϕ の関係は任意の折れ線で設定する.

3. 遠心模型実験

図-2 に模型地盤における空洞の配置を示す³⁾. 今回の解析の 対象は,空洞の破壊によって生じた亀裂が地表まで達した右側 のトンネル No.2 とした. 実験は,あらかじめトンネル空洞に

相当する掘削部を設けた模型地盤を作製 した後,遠心力を増加させる方法とした. 模型地盤の奥行きは20cmで,前面に配置 したアクリル板を通して地盤変位を計測 した.地盤材料はカオリン系市販粘土にセ メント配合 140kg/m³相当で普通ポルトラ ンドセメントを混合したソイルセメント とした.

	$\lambda + 2G$	0	0	0	0	0]	
	0	$\lambda+2G$	0	0	0	0	
ה'-	0	0	$\lambda+2G$	0	0	0	(1)
$D = \langle$	0	0	0	mG	0	0	(1)
	0	0	0	0	G	0	
	0	0	0	0	0	G ight]	
<i>m</i> = 1	$-(1-m_r)$	$(1 - e^{-a})$					(2)
a = 10	$00\alpha(\gamma-\lambda_c)$.)					(3)
	νF						

$$\gamma = \frac{1}{(1+\nu)(1-2\nu)} \tag{4}$$

$$G = \frac{E}{2(1-\nu)} \tag{5}$$

mr:mの残留値

γ: 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



キーワード 小土被りトンネル,地表面沈下,ひずみ軟化,遠心模型実験 連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組 TEL 042-495-1015

-380

4. ひずみ軟化解析

(1) 物性の設定

ー要素モデルによる一軸圧縮試験の解析を行ない,その結果を模型地盤材料の一軸圧縮試験による応力-ひずみ関係にフィッティングさせることによって物性を設定する.図-3に一軸圧縮試験および解析結果を示す. 設定した物性値を表-1に示す.引張強度は圧縮強度の10分の1とし,引張破壊した要素の粘着力を0とした. (2)解析モデル

モデル化領域は図-2の右端,幅 20cmの部分の半モデルとした.荷 重は自重のみで,模型実験と同じように,徐々に重力を大きくしてい く解析とした.

(3) 解析結果

図-4 に天端沈下量および空洞直上の地表面沈下量を示す.実験では 遠心加速度 50G において天端が崩落したことに対し,解析では 48G で天端沈下量が急激に増加している.図-5 および図-6 に,最終段階で ある 80G における遠心実験による破壊状況と,解析による最大せん断 ひずみの分布を示す.図-6 には模型実験の亀裂の位置も合わせて示し た.特に大きな開口幅の亀裂①はせん断ひずみの大きな領域に一致し ている.また,実験,解析とも破壊あるいはせん断ひずみの大きい領 域は空洞天端の上部と地表の間で,解析は実験に近い傾向を示してい ると言える.ここで,遠心加速度 80G は空洞径 8m, 土被り 16m に相 当する.

5. まとめ

本報告では、遠心模型実験に対してひずみ軟化モデルによる解析を 適用した.その結果、天端については破壊が生じる重力加速度は整合 し、また、破壊が生じると急激に変位が増加する傾向も一致している. このことから、本解析はせん断帯が起因する空洞崩落を評価できてい ると考える.今後は実現場への適用を進める予定である.







図-3 一軸圧縮試験の解析結果

恚_1	鼦杆	田母	加壮	估
4X-1	円午 171	ロゼ	9 I T.	旧曰

項目	値
ヤング率	40 MPa
ポアソン比	0.25
密度	1.74 g/cm^3
	0.12MPa
粘着力	(ひずみととも
	に低下)
内部摩擦角	5°(一定)



参考文献

- 1) W.H.Hansmire and E.J.Cording: Soil tunnel test section Case history summary, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 1985
- 2)中岡健一,畑浩二,芥川真一,小土被りトンネルの掘削に伴う地山挙動の評価手法に関する研究,トンネル工学研究報告集第17巻, pp.121-126, 2007
- 3) 高橋真一,他,未固結地山のトンネル掘削を模擬した遠心模型試験,第38回地盤工学研究発表会,2001