

III - 28

粒状要素法によるトンネル周辺地盤ゆるみ領域の解析

東北大学 学生員 ○鈴木淳志

東北大学 正 員 岸野佑次

1. まえがき

トンネルの掘削に当っては、周辺地盤のゆるみの程度が大きくなる前に支保工の施工を行う必要がある。ここでは、ゆるみの程度と支保工に要する仕事量の関係を定性的に調べるために、シミュレーション解析を行った。本文においては、地盤は粒状集合体とし、解析には粒状要素法¹⁾を用いた。

2. 粒状要素法モデルおよび解析方法

粒状要素法を用い、重力落下により堆積した粒状体（図-1）を初期状態とし、中央部の円に中心が含まれる粒子を空洞部分とみなして、後述の境界条件および空洞の取り扱い方法によって解析を行う。解析に用いた諸定数を表-1に示す。

1) 解析モデル 図-2(a)に示すように、粒子間の剛性はバネ定数 k_n , k_t によって表される。また、粒子間の接触力 P_n （法線方向） P_t （接線方向）はそれぞれ

$$p_n < 0 \rightarrow p_n = 0$$

$$p_t > c + p_n \tan \phi \rightarrow p_t = c + p_n \tan \phi$$

を満たすものとする。

2) 境界条件 図-1に示すように、本解析で対象とする地盤モデルは上下左右を剛な壁で囲まれ、壁にかかる拘束圧は全ステップにわたって、水平方向、鉛直方向ともに一定値 P となるように制御する。

3) 空洞の取扱方法 中央円領域の掘削をシミュレートするために、この領域に含まれる粒子については、隣接粒子との接触剛性を徐々に低下させることとし、最終的に0に近付けることにより空洞モデルとする。このとき、初期状態からの剛性の低下の割合を、剛性低下率と呼ぶこととする。

4) 内空ひずみと内空応力 空洞部での周囲の壁面の変位は、計算上では空洞部に含まれている粒子と接している粒子の半径方向の変位を求め、その平均を空洞の半径で割ったものを壁面の歪としている。この壁面の歪を内空歪と呼ぶ。同様に、空洞部に含まれている粒子とそれに接している粒子との間の接触力の半径方向成分より求めた応力を、内空応力と呼ぶ。

5) 復元エネルギー 壁面における応力レベルを初期状態に戻すのに要するエネルギーを求めるために、剛性を再び大きくする際に周辺地盤に与えられる仕事を算定した。図-2(b)に示したように、エネルギーの計算は壁面粒子に働く内空部粒子との間の接触力 f と変位ベクトルの内積を全壁面粒子にわたって合計することによって求められる。

$$\Delta E = \sum_c f \cdot \Delta u = \sum_c f_x \cdot \Delta u_x + \sum_c f_y \cdot \Delta u_y$$

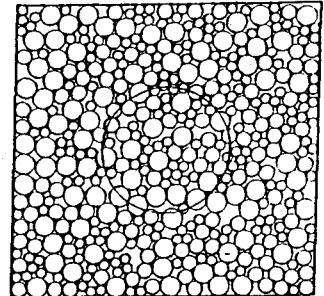
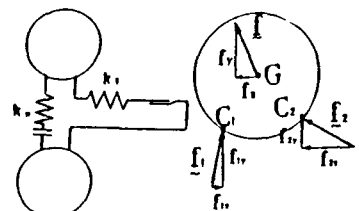


図-1 初期パッキング

表-1 解析に用いた諸定数

粒径 D			1.0, 1.5, 2.0, 2.5 cm
粒子数			424
粒子單位重量（水中重量）			1.5g/cm ³
バネ定数	粒子間	法線方向 k_t	1000kgf/cm
		接線方向 k_n	700kgf/cm
	粒子境界間	法線方向 k_l	2000kgf/cm
		接線方向 k_n'	1400kgf/cm
摩擦角	粒子間	ϕ	25°
	境界粒子間		25°
粘着力	c		2.0kgf/cm
等方向束圧	p		0.5kgf/cm
空洞部半径			12.5cm



(a) 粒子間相互作用 (b) 壁面粒子に作用する力

図-2 粒子のモデル化

3. シミュレーションの結果

図-3に解析を行った最終状態(剛性低下率92.5%)に至るまでの、内空応力-内空歪関係、およびいくつかの中間ステップから逆に空洞部粒子の剛性を元の値にまで戻したときの内空応力-内空歪関係を示す。同図より歪が0.1%、(剛性低下率55%)付近でグラフの傾きが変化していることがわかる。また、剛性低下率が大きい場合には、剛性を初期値まで戻しても元の応力や歪の状態が得られないことがわかる。このことは、掘削に伴って周辺地盤の力学的状態が不可逆なものとなっていることを示唆している。

図-4に剛性低下率50%および90%における粒子の変位ベクトル分布を示す。なお、同図において、ベクトルの大きさは表示の都合上異なる拡大率を用いた。同図より、とくに剛性低下率が90%の場合変位ベクトルの方向が中心方向からずれた、より不均一な分布となっていることが注目される。

また、図-5に剛性を低下させる過程において、いくつかのステップから剛性を徐々に元の値まで戻すさいに必要なとされる復元エネルギーと剛性低下率の関係を示す。中央部を掘削することによって生じる地盤内の残留歪の値は図-3より読み取ることができるが、この残留歪の程度が復元エネルギーの大きさを定めていると考えられる。

4. あとがき

本文においては、粒状体モデルにより掘削に伴うトンネル周辺地盤のゆるみの解析を行い、応力レベルを初期状態に戻すために要するエネルギー等について調べた。実際の地盤は粘弾性的性質のために、時間のファクターを考慮すれば、本文に示したような極端な結果とはならないと考えられるが、極限の状態を推定する上で有用であると考えられる。

参考文献 1) 岸野佑次:新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析、土木学会論文集、Vol.406/III-11,

pp.97-106 (1989).

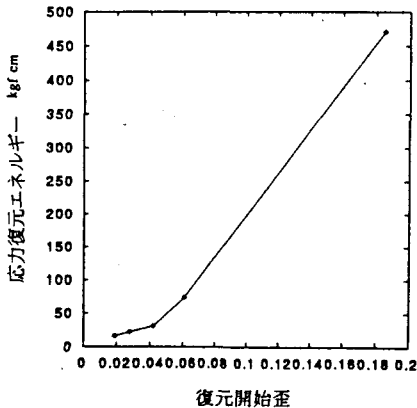


図-5 復元開始歪-復元エネルギー

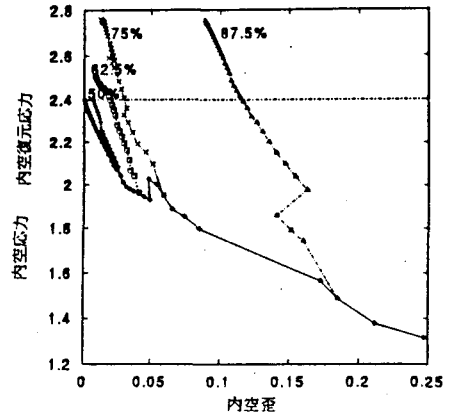
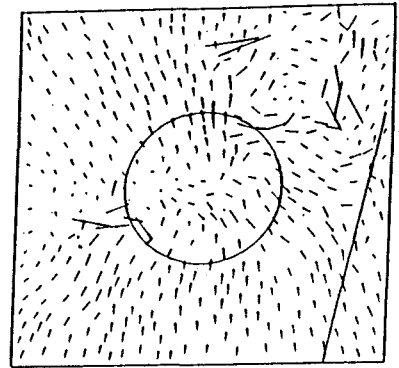
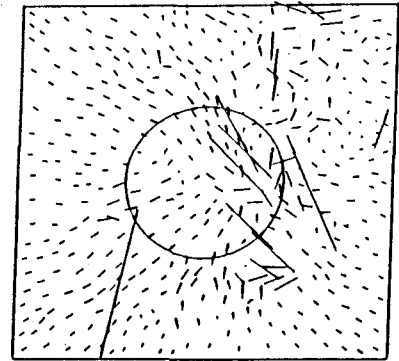


図-3 内空歪-内空応力と内空復元応力



(a) 剛性低下率50% (拡大率 x100)



(b) 剛性低下率90% (拡大率 x10)

図-4 変位ベクトル分布図