

III-421

粒状要素法による空洞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 トンネルの掘削において問題となる周辺地盤のゆるみについては、解析的アプローチが困難であり、そのメカニズムが必ずしも明らかにはなっていないと思われる。ここでは、粒状要素法を用いて簡単なシミュレーション解析を行い、変形場の不均一性を表す量を中心に考察を行った。

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子パッキング(図-1)を初期状態とし、中央部の円に中心が含まれていない粒子を周辺地盤とみなして、後述の境界条件および空洞の取り扱いによって解析を行う。

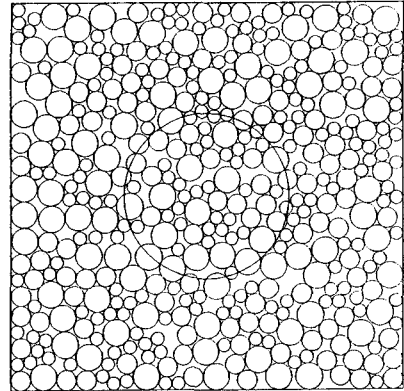


図-1 初期パッキング

1) 解析モデル 粒子間の接触剛性はバネ定数 k_n (法線方向), k_t (接線方向) および接線方向粘着力 c によって表される。ここで、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。解析に用いた諸定数を表-1に示す。

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では上下左右に剛な壁を設け、これにかかる拘束圧 p は全ステップにわたって、等方かつ一定であるとする。

3) 空洞の取扱方法 空洞部に含まれる粒子の接触剛性 k_n 、 k_t を徐々に比例的に低下させ、0に近づけることにより空洞の掘削をシミュレートする。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) 内空歪と内空応力 図-2に示すように、壁面における周辺地盤粒子 G の半径方向の変位 u_r を求め、その平均を空洞の半径で除して得られる歪を内空歪とよぶ。また、空洞部粒子と粒子 G との間の接触力 f ($i=1,2,\dots$) の半径方向成分を平均して求めた応力を内空応力とよぶ。

5) 変形の分散 ゆるみのメカニズムを調べるために、次に定義する変形の分散を用いる。図-3に示すように、領域の平均的な歪 ϵ より求められる粒子(中心の位置ベクトル $\mathbf{x}$) の平均的な変位ベクトル $\bar{\mathbf{u}}$ と実変位ベクトル $\mathbf{u}^*$ の差 $\Delta \mathbf{u}$ を残差変位ベクトルとよぶ。変形の分散は次式で与えられる。

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta \mathbf{u}_i \cdot \Delta \mathbf{u}_i)$$

ここに、和は各領域毎にとるものとし、 N はその領域に含まれる粒子の個数である。

3. 解析結果とその考察

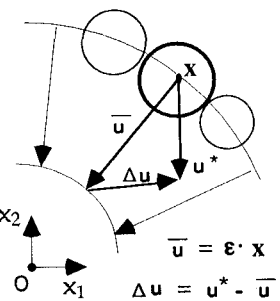
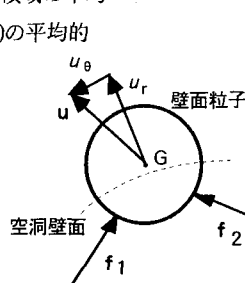
図-4に剛性低下率50

図-2 壁面粒子に作用する力

図-3 変形の分散

表-1 解析に用いた諸定数

粒径 D			1.0,1.5,2.0,2.5cm
粒子数			424
粒子単位重量 (水中重量)			1.5gf/cm ²
バネ 定数	粒子間	法線方向 k _n	1000kgf/cm
		接線方向 k _t	700kgf/cm
	粒子境 界間	法線方向 k _n	2000kgf/cm
		接線方向 k _t	1400kgf/cm
摩擦角	粒子間	φ	25°
	境界粒子間	φ'	〃
粘着力 C			2.0kgf/cm ²
1ステップ当りの剛性低下率			0.125%
空洞部分半径			12.5cm
拘束圧 p			2.0kgf/cm ²



% (a)および87.5% (b)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87.5%の場合(b)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。

図-5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、内空歪と、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、内空歪曲線を示す。同図より歪が約0.03% (剛性低下率55%)付近でグラフの傾きが急に変化していることがわかる。また、剛性低下率が大きくなると、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-6にはリング状に5個の領域に分割したときの、各歪レベルに対応する変形の分散の値を示した。このグラフより周辺地盤のゆるみには、主として空洞部に近い領域における不均一な変形が大きな影響を与えることがわかる。このような不均一性を伴う問題の解析には離散モデルが有効であり、従来の連続体的アプローチを補完するものであると考えることができよう。

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、新たに定義した変形の分散を用いることによって、不均一な変形がゆるみに与える影響等について調べた。今後、実際の地盤内の空洞と対比させて、種々の検討を進めたいと考えている。

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)。

