

個別要素法による浅層トンネル掘削時の3次元変形挙動解析

関西大学大学院 学生員 ○清水 俊友

関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

1. 研究の背景と目的

近年、都市部における過密化、環境問題等を解消する有効な手段として地下空間の有効利用が重要視されており、浅層トンネルの施工は増加している。しかし、これら沖積層、及び洪積層からなる砂質土地山を対象とした都市 NATM 工法採用時の地山内挙動は複雑であり、明確に把握されていない。そこで我々は不連続体解析に有用性の高い個別要素法を用いて砂質土地山をモデル化し、浅層トンネル掘削時の変形挙動をシミュレーションした。

2. 個別要素法

個別要素法は P.A Cundall¹⁾ によって提案されたシミュレーション手法であり、解析対象を円形要素からなる粒子の集合体でモデル化する。図-1は2つの粒子の接触状況の模式図を示したものである。個々の粒子間には垂直、及びせん断方向のばねを設置し、粒子同士の重なり合いによって反発力が発生する。この反発力を式(1)に示す運動方程式に作用力として代入し、時間領域で差分化し、前進的に解くことにより、粒子の加速度、速度、変位を求めることができる。

$$m\ddot{u} + C\dot{u} + F = 0 \quad \text{式(1)}$$

ここで、 m ：粒子の質量 F ：粒子に作用する力
 C ：減衰定数 u ：粒子の変位ベクトル

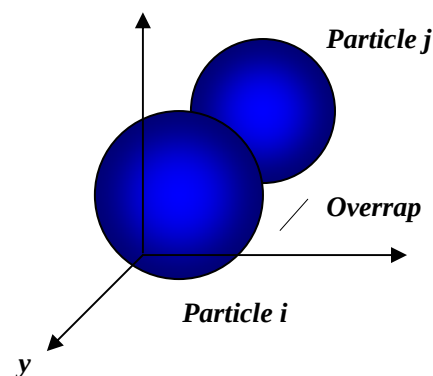


図-1 微視的な粒子の接触概要

3. 解析概要

3.1 解析モデルの作成

解析対象としてトンネル切羽、及びその周辺地山を想定したモデルを作成した。重力場における粒子の自然落下によってパッキングを行い、初期モデルを作成する。図-2はパッキングによって作成した初期モデルの概要である。この初期モデルを切り取ることで $H=0.5D, 1.0D$ の掘削解析用モデルを作成した。粒子の粒径はランダムであり、トンネル径を 10m と仮定すると 0.29~0.38m の範囲で均等に分布する。

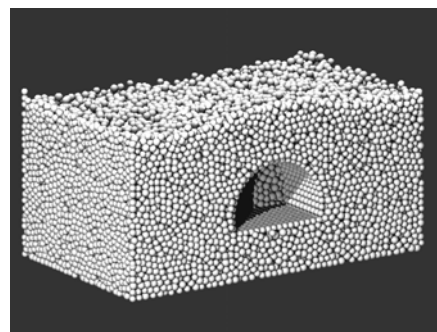


図-2 初期モデル概要

3.2 解析の流れ

本解析では、切羽を保持している壁要素の除去と、その後の切羽前方粒子の消去によって掘削を表現し、掘削に伴う周辺地山の挙動を三次元的に可視化する。図-3は土被り $H=0.5D$ の掘削解析モデルの初期状態について断面図を示したものである。切羽前方の青色の部分は掘削ステップに消去される粒子であり、色ごとに3段階の掘削ができる。今回は上記の2種類の土被りについて掘削に伴う変形挙動を比較すると同時に、地表面沈下の状況から掘削による地表面影響範囲を推定する。尚、本解析は支保工ならびに補助工法の適用によって安定化された場合ではなく、崩壊に伴う変形挙動をシミュレーションすることを目的とする。

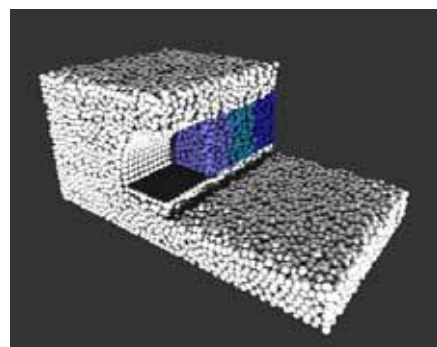


図3 掘削解析モデル (H=0.5D)

キーワード 個別要素法、浅層トンネル、シミュレーション

連絡先 〒564-8680 吹田市山手町3丁目3番35号 関西大学工学部地盤システム工学研究室 TEL06-6368-0837

4. 解析結果

4.1 地山内変形挙動

図-4 は各土被りにおける掘削進行時の地山内変位分布を可視化したものである。カラーバーに示すように、大きな変位が生じている箇所ほど粒子の色が赤く示される。土被り $H=0.5D$ の場合、一段目の掘削によって天端付近に緩みが発生し、さらに掘削を進めることによってその直上の地山が崩落している。 $H=1.0D$ においても同様の崩壊現象が認められる。このような崩落が生じた場合、地山内に色の異なる境界が認められ、この面に沿って滑りが生じているものと考えられる。滑り面はその色の分布から赤色で示される領域と、その外側で滑っている緑と水色の領域の3層に分けることができる。ここで実際に大きな滑りを生じているのは赤と緑の境界部分であるが、この滑り面はトンネルの崩落とともに粒子が引きずり込まれることによって形成されるため、陥没領域の一部と考えられる。これに対し、緑と水色の領域はトンネルの掘削と同時に形成され、その後、時間の経過とともに拡大する様子が認められることから、トンネル部分の開放に伴って側壁部から発達する滑り面であると考えられる。解析を行った二つのパターンに限って見ると、陥没領域の広がり、地山内に発生する滑り面の規模ともに $H=1.0D$ の方が大きい。トンネルの安定性は土被りの大きさとともに増加するとされているが、崩壊時の周辺地山における影響範囲は $H=1.0D$ の方が大きくなり、崩壊時の危険性は逆に高いと考えられる。

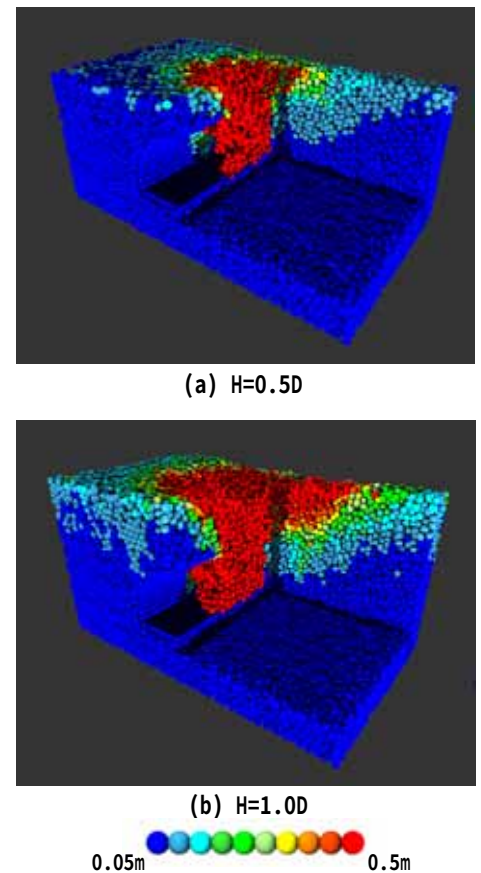


図-4 地山内変位分布

4.2 地表面沈下形状

図-5 は各土被りにおける地表面沈下形状を示したものである。 $H=0.5D$ ではトンネル直上が大きく陥没し、周辺の地山もそれに引きずり込まれるように沈下している。 $H=1.0D$ では陥没領域がより広範囲に現れており、その周辺も $0.05m$ 程度の沈下を生じている。従来の研究²⁾から、土被りの増加に伴い地山全体が一体となって沈下し、この際形成されるグランドアーチによってトンネルの安定性が向上すると考えられている。従って陥没領域の沈下を抑制することができれば、地山全体の安定性は飛躍的に向上するものと考えられる。

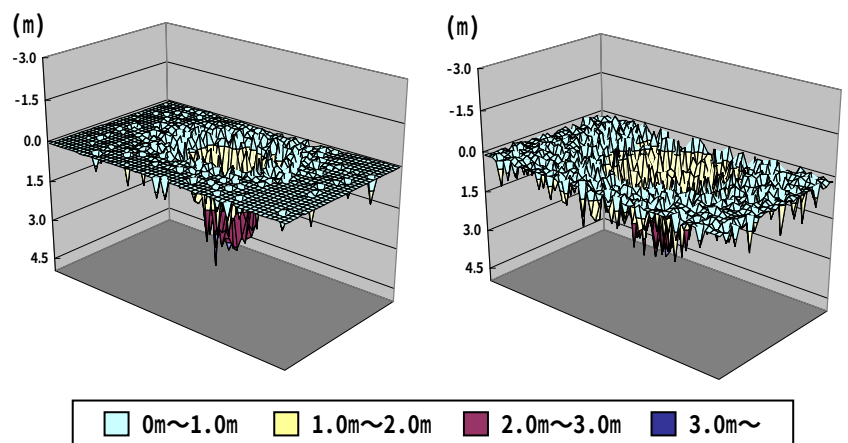


図5 地表面沈下形状

5. まとめ

掘削に伴う変形の影響範囲、及び変形挙動は土被りによって異なり、それらを個別要素法を用いた解析によって三次元的に可視化することができた。最後に本研究は関西大学大学院工学研究科高度化推進研究費の補助を受けた。（参考文献）

- 1) Cundall, P.A: A computer model for simulation progressive, Large scale movement in blocky rocksystem, Symp.ISRM Nancy France Proc, Vol, pp129_136, 1991
- 2) 藤井健次：個別要素法による浅層トンネル掘削時の地山挙動に関するシミュレーション解析
平成17年度関西大学修士学位論文, 2005.3