

第Ⅲ部門 個別要素法による浅層トンネルの3次元掘削挙動解析

関西大学大学院工学研究科 学生員 ○大野 善考

関西大学大学院工学研究科 学生員 清水 俊友

関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

1. はじめに

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.そこで本研究では,不連続体解析に有用性の高い個別要素法を用いて浅層大断面トンネルモデルを作成し,掘削に伴う地山の変形挙動についてシミュレーションを行った.さらに粒子を結束することで作成したボルト要素を導入し,ロックボルト挿入による切羽周辺の安定化メカニズムについて検討を行った.

2. 個別要素法

個別要素法は P.A Cundall 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.

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

ここで m : 粒子の質量 C : 減衰定数 F : 粒子間作用力

3. 解析概要

解析モデルは,重力場における自然落下によって粒子を解析領域に充填し,初期地山モデルを作成した.トンネル構造体,及びロックボルトを地山内に配置し,初期自重解析の後,切羽前方の粒子を消去することでトンネル掘削時の地山挙動をシミュレーションする.図-2に解析モデルの断面を示す.ボルトは,直線状に配列した要素粒子同士を引張力によって結合しモデル化した.トンネルの底辺から天端までの高さを 10.0m と仮定し,ボルト長はすべて 7.0m とした.

4. 解析結果

(1)無補強全断面掘削解析

図-3は無補強全断面掘削を行った際に生じる変異の分布状況をコンター図として示したものである.掘削と同時に天端から粒子の崩落が発生し,時間の経過とともにトンネル内空部へ流入する様子が認められる.天端からの急激な変位拡大に伴い切羽前方の地山内に滑り面が形成されているが,これによって切羽がトンネル内空側に滑り出ることなく,天端からの崩落量が増加し,

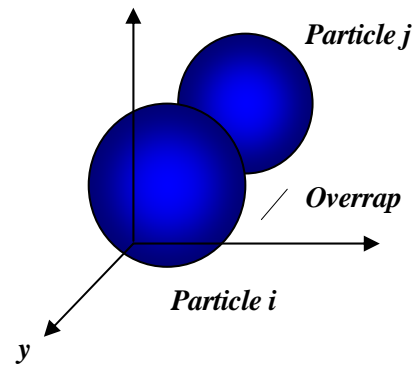
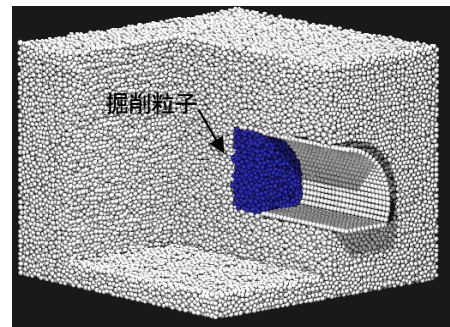
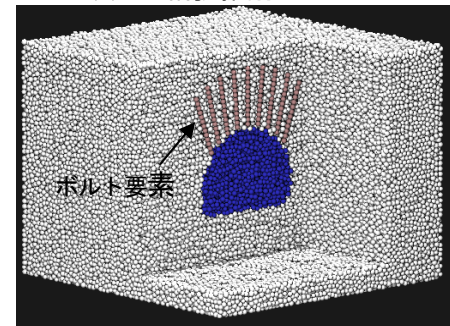


図-1 粒子の接触状況



(a) 無補強掘削モデル



(b) ボルト挿入モデル(鉛直9本)

図-2 解析モデル断面

その周辺の地山に緩みが拡大していく様子が認められる。

(2)ロックボルト設置解析

図-4 は打設パターンごとのボルトの設置状況を横断面、及び縦断面について示したものである。ボルトの打設本数、位置、角度、間隔を変化させ、無補強時の地山挙動と比較することで変形抑制効果の検討を行った。図-5 は、トンネル壁面に対しロックボルト要素を設置した場合の地山内変位分布を表している。トンネル開放面では粒子の崩落が生じているものの、地山内に拡大する緩み領域は縮小しており、いずれの場合も無補強時と比較するとロックボルト要素による変位抑制効果が現れている。地山内の変位分布に注目すると、ロックボルト要素に沿って変位が周辺に伝達していく様子が確認できる。無補強時に掘削部近傍の粒子が大規模な崩落を生じたのに対し、ロックボルトによって上方の地山が一体化され、変位が地山全体に伝達されると同時に局所的な変位が抑制されたものと考えられる。

図-6 は掘削部中心断面におけるトンネル壁面近傍粒子の鉛直変位量を平均化し、トンネル内空面の分布として示したものである。なお、トンネル内空の変形形状を明確にするため、図中の鉛直変位量は4倍に誇張した値を表示している。トンネル壁面近傍領域の変位抑制効果はロックボルトを密に設置することによって向上していることがわかる。天端方向のみ3本設置したパターンでは、卓越する天端からの変形を抑制することで形状を保持しているものの、ボルトが設置されていない側壁方向からの孕み出しが9本設置の場合よりも顕著に現れている。また、3本のロックボルトを間隔を開けて設置した場合、天端からの崩落量が増加しトンネル形状が大きく損なわれている。以上の結果を無補強掘削時と比較すると、ロックボルト要素を設置した箇所での変形抑制効果を確認することができる。

5. まとめ

大総数の粒子を用いて浅層トンネルモデルを作成し、掘削に伴う大変形挙動についてシミュレーションを行った。ボルト要素の導入によって天端上方の地山が一体化され、壁面近傍で生じる大規模な崩壊現象が抑制された。ボルト要素を設置する位置、及び間隔によって補強効果に違いが見られ、ボルト要素単独では補強効果が発揮されないことを確認した。

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

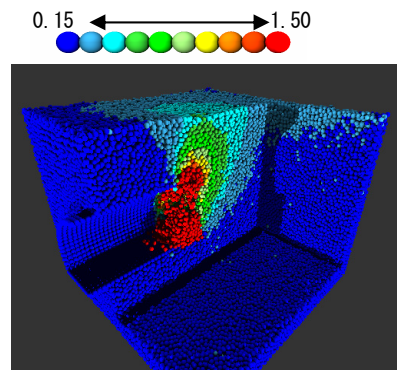


図-3 地山内変位分布(無補強時)

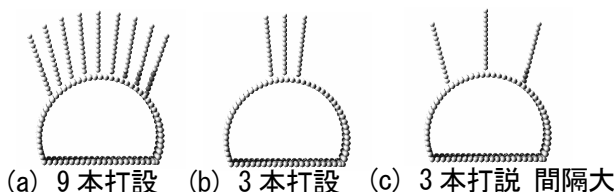
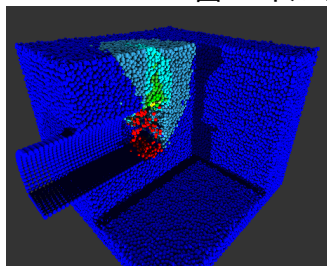
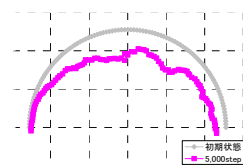


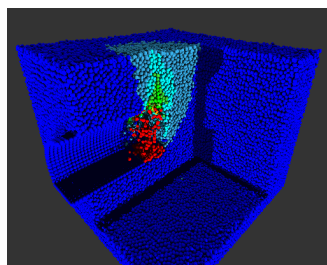
図-4 ボルト設置パターン



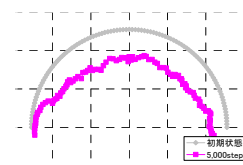
(a) 9本打設



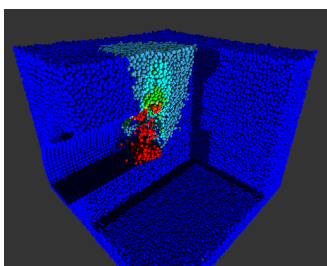
(a) 9本打設



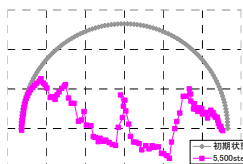
(b) 3本打設



(b) 3本打設



(c) 3本打設 間隔大
図-5 変位分布(ボルト打設)



(c) 3本打設 間隔大

図-6 内空変位