

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 学生員 ○大野 善考
 株式会社大林組 清水 俊友
 関西大学 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。さらに種々のトンネル工法の中から、補助工法のプレライニング工法をモデル化し、プレライニング工法適用による変形抑制効果について検討を行った。

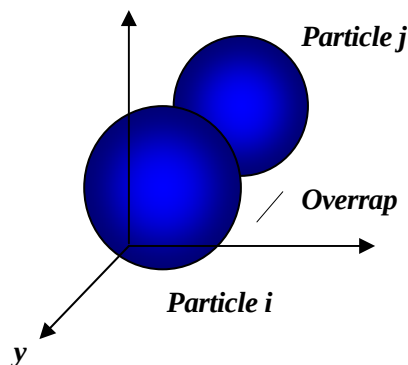


図-1 粒子の接触状況

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。

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

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。トンネルの底辺から天端までの高さを 10.0m と仮定し、土被りはトンネル径 D に対して 1.0D、掘進長 0.5D とした。

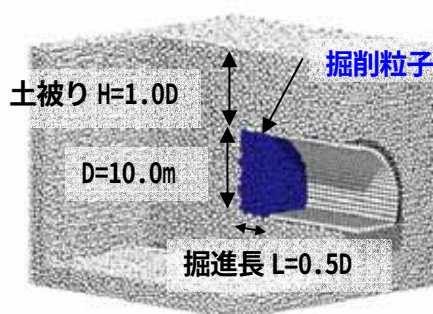


図-2 解析モデル断面

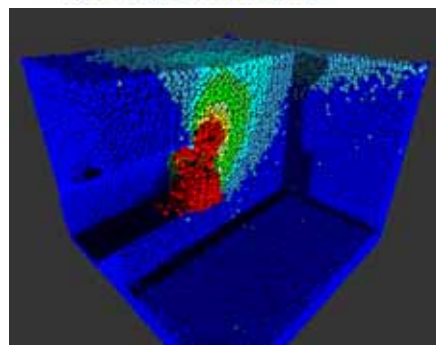
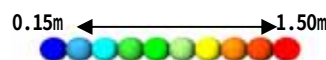


図-3 地山内変位分布(無補強時)

4. 解析結果

(1)無補強全断面掘削

図-3は無補強全断面掘削を行った際に生じる変位の分布状況をコンター図として示したものである。掘削

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環境工学研究室 TEL06-6368-0837

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すことはなく、天端からの崩落量が増加し、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) プレライニング工法

プレライニング工法をモデル化する際に、トンネル外周形状に形成されるコンクリートのアーチシェルは連続体として扱う必要がある。図-4 にモデル概要を示す。掘削粒子（青色）の周りにアーチ状に配列したライニング要素粒子（紫色）を掘削ステップ以降、変位拘束させることにより、連続したコンクリート壁を表現するものとした。図-5 は図-4 の解析モデルにおいて、プレライニング工法適用時の地山内変位分布を示すコンター図である。図より、時間経過とともに切羽中央付近から変形し始め、滑り面を伴いながら切羽前方地山へと拡大していく様子が伺える。無補強掘削時に見られた大変形挙動も大きく抑制され、崩落現象も完全に抑止できていることが確認できる。

図-6 は無補強掘削での崩壊時、及びプレライニング工法適用時における初期状態から最終ステップ経過時までの粒子変位の軌跡を描くことで作成したベクトル分布である。尚、図は横断面、縦断面方向のそれぞれについて二次元の可視化データを示すものである。崩壊時は掘削に伴い切羽上方、及び前方地山がトンネル近傍へと向かって吸い込まれるような挙動が現れているに対し、プレライニング適用時では切羽部周辺でのみ、僅かに水平方向への押出し変位のみ作用していることが伺える。

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。変位拘束によってプレライニング工法をモデル化し、無補強掘削との比較からプレライニング施工による地山内変位抑制効果を確認した。

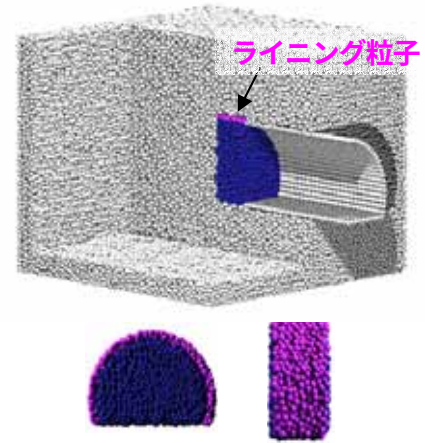


図-4 解析モデル（プレライニング工法）

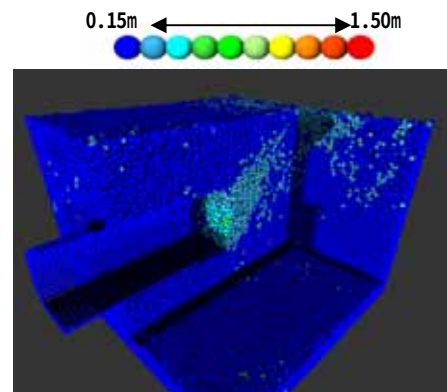
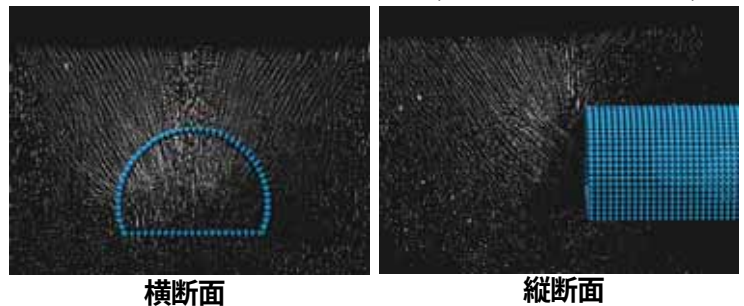
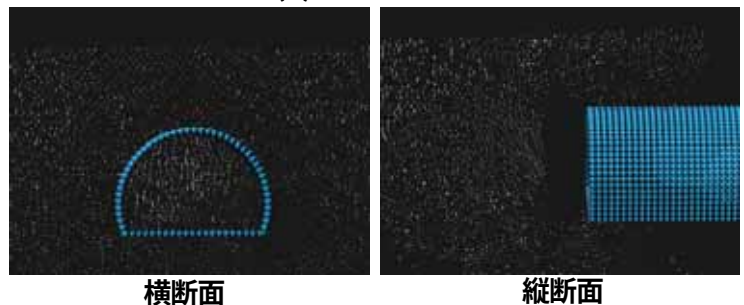


図-5 地山内変位分布(プレライニング工法)



(a) 無補強掘削



(b) プレライニング工法

図-6 ベクトル分布

参考文献

- 1) Cundall, P.A : A computer model for simulation progressive, Large scale movement in blocky rock system, Symp. ISRM Nancy France Proc, Vol, pp129_136, 1991