

個別要素法による都市トンネルの補強機構に関するシミュレーション解析

関西大学大学院 学生会員 藤井 健次 関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重
 京都大学大学院 正会員 松岡 俊文 京都大学大学院 正会員 芦田 譲

1. はじめに

近年、都市近郊の洪積層からなる地山などにおいて、シールド工法や開削工法よりも経済的にトンネルを施工する方法として、山岳工法であるNATMを採用する例が見受けられるようになった。都市NATMでは、切羽を安定させ、地表面沈下を抑制することが重要な課題であり、それらの課題を解決するためにプレライニング等の先受け工と呼ばれる補助工法が開発されている¹⁾。本研究ではトンネル横断方向に連続的なアーチシェルを構築するプレライニング工法を個別要素法を用いてモデル化し、補強機構に関して考察を行うことで、個別要素法のトンネル解析への適用性について評価を行った。

2. 解析概要

2.1 個別要素法

各粒子を仮想ばねによって結合すると、粒子間の距離が変化することによりフックの法則から復元力が生じる。その力を用い個々の粒子について運動方程式を解き、各粒子の加速度、速度、変位を計算する。このそれぞれ微小な粒子を集合体として巨視的に観察することにより、地盤などの動力学的挙動を解析する方法である^{2) 3)}。図-1 はモデルを微視的に見た時の粒子間に働く力を示したもので、それぞれの粒子*i*、*j*についての運動方程式については(1)式より求まる。ただし*C*：減衰係数とする。

$$m_i \cdot \ddot{u}_i + c \cdot \dot{u}_i + F = 0 \quad m_j \cdot \ddot{u}_j + c \cdot \dot{u}_j + F = 0 \quad (1)$$

作用力に関しては(2)式より求められ、土圧の算出は粒子間と同様の計算を粒子と壁との間でも行い、各作用力を足し合わせることで土圧と表現する。ただし*k*：ばね定数とする。また、計算時間の短縮化を図るために、作用反作用の法則を用いて粒子*i*において粒子*j*の作用力を算出した後は、粒子*j*の時に粒子*i*との計算は省くものとする。

$$F_{ij} = -F_{ji} = k \cdot \Delta n \quad (2)$$

2.2 解析モデル

本研究では不連続なせん断面が生じるランダム径粒子モデルを用いることで、より高い再現性を試みた。ランダム径の粒子群を自然落下させパッキングさせた後に、土被り $H=1D$ の位置にトンネル径 D の形状を持った半円のトンネルを作成した。支保工のモデル化に関しては粒子間に引張力を定義させたボンディング理論を適用させ連続体にするにより、プレライニングにおけるコンクリートシェルを模擬する。解析パラメータに関しては降下床シミュレーションによって得られた粒子総数と解析定数との相関性を用いている。解析は支保工の有無に関して2パターンの解析を行い、支保機構の解明を行った。トンネル掘削は地山に初期荷重を与えた後に、トンネル内空に設けた仮想壁を除去することにより応力開放を行った。

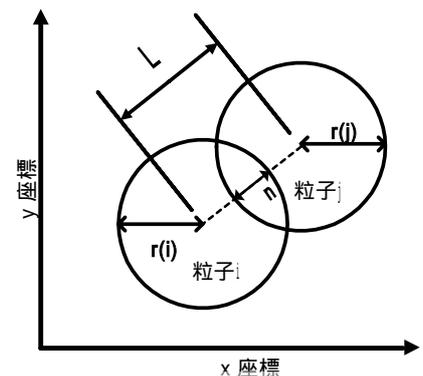


図.1 微視的な粒子間の関係

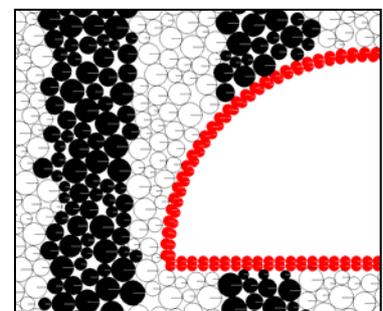


図.2 初期モデル

キーワード 個別要素法、都市トンネル、プレライニング、NATM

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL06-6368-0837

3. 解析結果

3.1 地表面沈下量

図.3 にトンネル掘削時における地表面沈下量について、支保工の有無による時経変化について示す。支保工がない場合は、トンネルから離れた広域に渡って地表面沈下が生じており、ステップと比例して地表面沈下が生じていることが分かる。また、トンネル中心軸からの離間距離が 4D において沈下量が飛躍的に減少しているのは、地山の境界条件によって生じた誤差であると考えられる。支保工を有する場合は、地表面沈下はトンネルの直上でのみ生じており、その沈下量も支保を有さない場合と比較しておよそ 1/3 の沈下量であることから、地表面沈下の抑制効果が現れていることが確認できる。

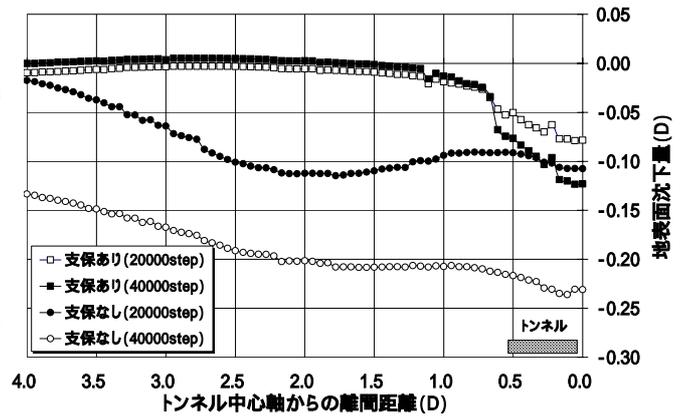


図.3 地表面沈下量

3.2 変位分布

図.4 に各粒子の変位を可視化した変位分布を示す。この結果は地表面沈下量とほぼ同様の傾向を示しており、支保工を有さない場合は、トンネルから離れた広範囲において粒子の大きく変位する領域が形成されており、支保工を有する場合はその支保効果により粒子が変位する領域が減少していることが確認できる。

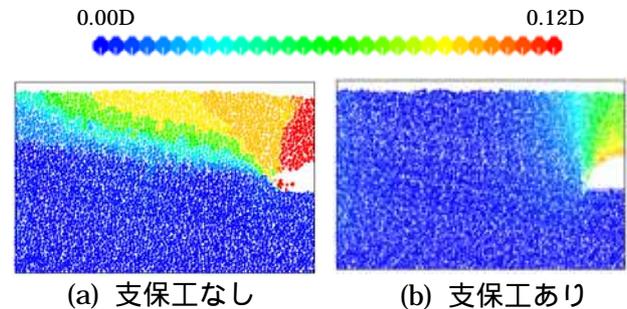


図.4 粒子の変位分布

3.3 応力分布

図.5 に粒子間の法線方向に作用する力を粒子の面積で除した応力分布を示す。この図はトンネル内空の仮想壁を取り除き、応力開放を行った直後の応力分布図である。支保工を有さない場合は広域において応力の低減する領域が見られる。このように、応力の低減する領域を緩み領域と仮定すると、支保工を有さない場合では、トンネルから離れた広い範囲において緩み領域が生じることが分かる。一方、支保工を有する場合は応力開放後の応力の低減領域はトンネルの上部と下部にのみ生じており、支保効果として緩み領域の縮小が生じていることが確認できる。

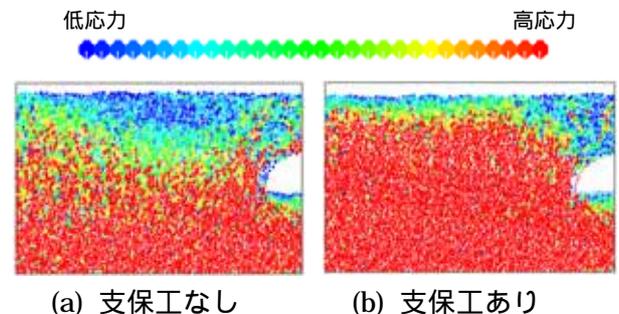


図.5 粒子の応力分布

4. まとめ

今回は、トンネル掘削時におけるプレライニング工法の支保効果を個別要素法を用いて検討を行った結果、次の知見を得た。プレライニングを適用することにより、地表面沈下量を低減することができ、その影響範囲も縮小することが確認できた。さらには、緩み領域の形成範囲も減少することが確認でき、プレライニングの主たる支保効果を個別要素法により再現できた。今後は個別要素法の3次元化を計り、トンネル縦断方向の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 米山秀樹、田口善文、笹尾春夫、指田健次：プレライニングの先受け・支保機構に関する模型実験、土木学会論文集、No.589/ -42、pp.109-120、1998。
- 2) 伯野元彦：破壊のシミュレーション-拡張個別要素法で破壊を追う、森北出版、1977。
- 3) 紛体工学会編：紛体シミュレーション入門、産業図書、1998。