

第Ⅲ部門

個別要素法による浅層トンネル掘削時の二次元変形挙動解析

関西大学工学部 学生員 ○稲田 悠

関西大学大学院 学生員 大野 善考

関西大学環境都市工学部 フェロー 楠見 晴重

1. はじめに

近年、経済成長や産業の発展により都市部における人口の集中や、それに伴う都市の過密化が懸念されている。そこで現在地下空間は貴重な空間資源とされており、その代表例に地下鉄や上下水道、共同溝等の都市トンネルが挙げられる。日本の都市や都市近郊には地山が沖積層や洪積層からなる未固結土砂地山が広く分布しており、都市トンネルの施工に当たっては施工が地表面や周辺構造物に与える影響を正確に把握する必要がある、これまで様々な解析手法を用いて地盤内挙動を把握する試みがなされている。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、二軸圧縮試験を行い砂質土地山のモデルを作り、それを用いてトンネル掘削時の変形挙動を定性的に把握し、その後都市トンネルの安定解析へと発展させることを目的とする。

2. 個別要素法

個別要素法は構造体を粒子の集合体としてモデル化し、それぞれの粒子間に垂直ばね、せん断ばねを設ける。各粒子はフックの法則に従い粒子同士の重なり合いによって作用力を受け、運動方程式が成立する。

図-1は粒子接触状況を微視的に示したものである。

3. 二軸圧縮シミュレーション

トンネルの解析対象が砂質土地山であり、その物性値を実現するため、縦：横=2：1となる粒子数5141個のモデルを用意した。試験モデルに対して一定の水平拘束圧をかけ、軸方向に圧縮していく試験であり、粒子群が上下壁に及ぼす力を数値化し、その値をもとにモールの応力円を描き内部摩擦角、粘着力を検討する。図-2はここで用いた供試体モデル図を表す。

4. 2次元トンネル掘削解析

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。粒子群はすべてランダム径粒子である。

本解析では切羽の位置における粒子の除去によって掘削を表現し、掘削に伴う周辺地山の影響を二次元的に可視化する。図-3は土被り $H=1.0D$ 、無支保全断面掘削解析モデルの初期状態での断面図を示したものである。無支保全断面掘削工法をもとに、土被りの違い、上半先進掘削工法との変形挙動を比較する。

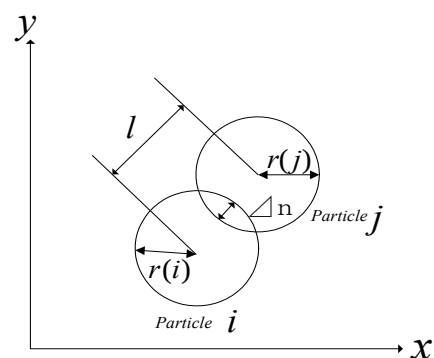


図-1 粒子接触状況

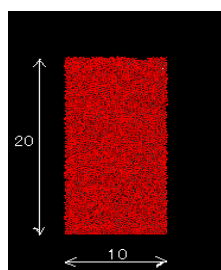


図-2 二軸圧縮試験モデル

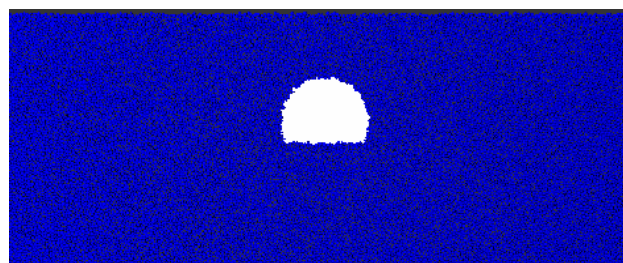


図-3 トンネル切羽と周辺地山モデル

5. 二軸圧縮試験解析結果

二軸圧縮試験による異なる二つの水平拘束力12.5KPa,16KPaと、その圧縮応力をモールの応力円で示した結果対象となる地盤内部の締めり状態、粒子の形や粒度の均一さ等にもよるが基本的な砂質土地山の地盤特性と概ね

Yu Inada, Yosataka Ohno, Harushige Kusumi

同様の $\phi = 32.8^\circ$ 、 $c = 1.6\text{KPa}$ となり砂質土地山モデルを表現できた。

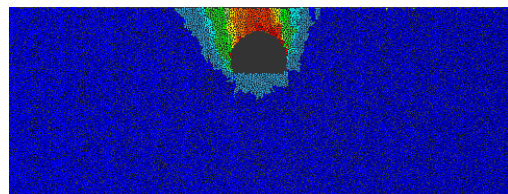
6. 解析結果および考察

図 - 4は各土被りにおける全断面掘削変位収束時の地山内変位分布を示したものである。

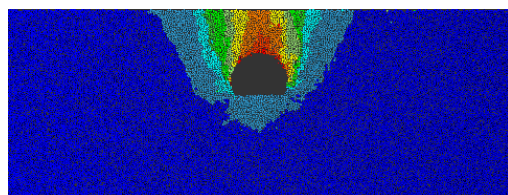
土被り0.5Dの場合、トンネル直上の地盤が大きく変位し、その影響がそのまま地表面に達している。結果としてトンネル上部の大きな変位はトンネル上部の土塊がトンネル内空へ滑り落ちる形で発生したと考えられる。

土被り1.0Dの場合、トンネル内空に接する天端付近で大きな変位が生じているが、その影響は地表面にまで達していない。また0.5Dの場合と比べると変位分布がトンネル両側の地盤全体に広がり、地上への影響範囲は大きくなっているが直上部の変位の大きさは小さくなっていることがわかる。土被り2.0Dの場合、同様の挙動がさらに顕著に確認できるが天端部の変位が非常に大きくなった。変位は地盤全体に広く分布し、地盤が一体となって沈下していることが分かる。

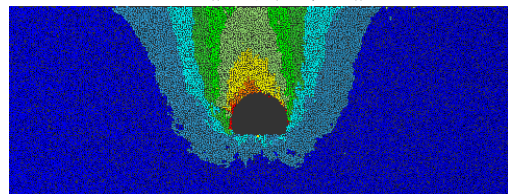
図 - 5、6、は上半先進掘削工法適用時における土被り $H = 1.0D$ の変位収束時の地山内変位分布と、応力分布を示したものである。図 - 5に示すようにこの場合でも、掘削によって天端付近に緩みが発生し、変位が認められた。上半部掘削終了後一度収束した変位は再び下半部の掘削に伴い増加する現象が見られる。応力分布により、上半部掘削終了と同時にトンネル上方周辺に応力増加領域がみられ、これらのアーチ効果により下半部掘削による変位挙動の抑制効果があったものと推測される。



0.5D 《全断面掘削》

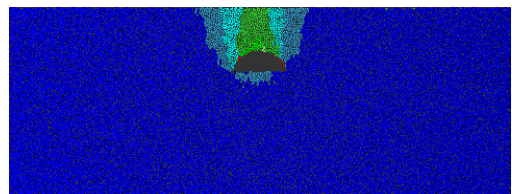


1.0D 《全断面掘削》

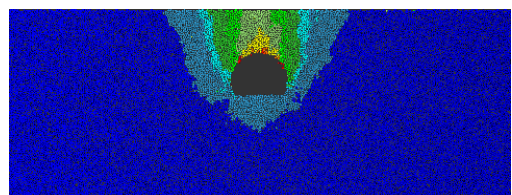


2.0D 《全断面掘削》

図-4 変位分布（無支保全断面掘削）

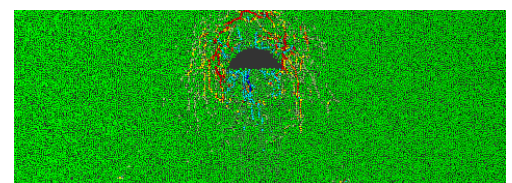


1.0D 《上半先進掘削上半部掘削後変位収束時》

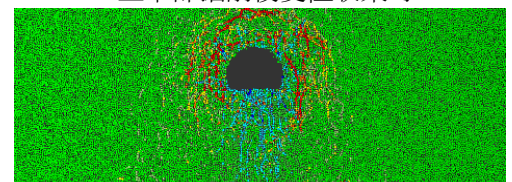


1.0D 《上半先進掘削下半部掘削後変位収束時》

図-5 変位分布（上半先進掘削1.0D）



上半部掘削後変位収束時



下半部掘削後変位収束時

図-6 応力分布（上半先進掘削1.0D）

表-1 変位量、及び応力増減表

$1.8D \times 10^{-3}$		$1.8D \times 10^{-2}$
Low Stress		High Stress

8. まとめ

個別要素法を用いた解析によって二軸圧縮シミュレーションを行い、砂質土地山をモデル化し、トンネル掘削による地山内挙動を表現することができた。各土被りにおける変位分布、応力分布の違いを確認するとともに、上半先進掘削工法適用時の抑制効果について有意性があることが確認できた。