

個別要素法による浅層双設トンネルの掘削シミュレーション解析

関西大学大学院 学生員 ○清水 俊友
 鹿島建設（株） 正会員 藤井 健次
 関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

1 研究の背景と目的

21 世紀の都市開発を行う上で地下空間の有効利用は必要不可欠な要素であると考えられる。これを受け、都市部における浅層トンネルの施工は増加する傾向にあるが、主に砂質土地山を対象とするこれらトンネルの設計手法は確立されていないのが現状である。本研究では、解析手法として不連続体解析に有用性が高いとされる個別要素法を用い、都市 NATM 工法による浅層トンネルの掘削シミュレーション解析を行ってきた^{1) 2)}。そこで今回は、双設トンネルモデルについて解析を行い、二つの近接トンネルを掘削した場合の地山挙動、及び両方のトンネルが相互に及ぼす影響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、媒質を円形要素からなる粒子の集合体としてモデル化する。各粒子間には図 1 に示すような要素ばねを設け、粒子同士の重なりに応じてフックの法則に基づく反発力が発生する。この反発力から各粒子には式(1)に示す運動方程式が成り立ち、これを時間領域で差分化し前進的に解くことにより、粒子の挙動、ひいてはモデル全体の力学的挙動を追跡することができる。

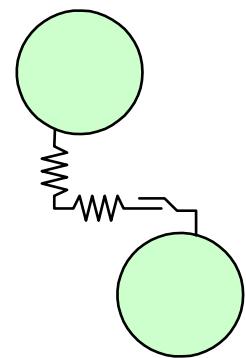


図 1 粒子間の要素ばねモデル

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

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

3 解析手法

ランダム粒形粒子を用いてパッキングを行い、離隔距離 0.5D、1.0D、二通りの初期モデルを作成する。土被りに応じてパッキングしたモデルを切り取り、図 2 に示すような双設トンネルモデルを作成した。二つのトンネル内部には赤色と緑色に設定した粒子を配置し、プログラム上でこれらの色の粒子のみ任意のステップで消去するよう設定することでトンネル掘削を表現した。左右のトンネル粒子の色を分けることで、それぞれ任意のステップで掘削を始めることができる。そこで、右側のトンネルを先進トンネルとし、先進トンネル掘削によって生じた地山の変動が収束した後、左側の後進トンネルを掘削するものとする。

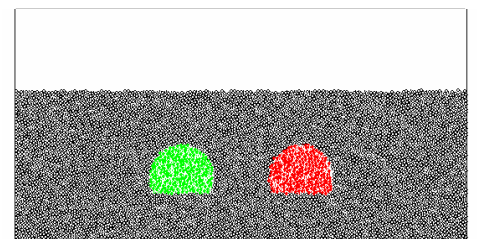


図 2 双設トンネルモデル

4 解析結果

4.1 変位挙動

図 3 は土被り 1.0D、離隔距離 1.0D において、先進トンネル、及び後進トンネルを掘削した際の変位分布を示したものである。先進トンネル掘削後に一度収束した変位が、後進トンネルの掘削によって再び増加する様子が認められる。また、後進トンネル掘削後に生じる変位はお互いに引き寄せられるように増加しており、二つのトンネルの相互影響が顕著に現れている。

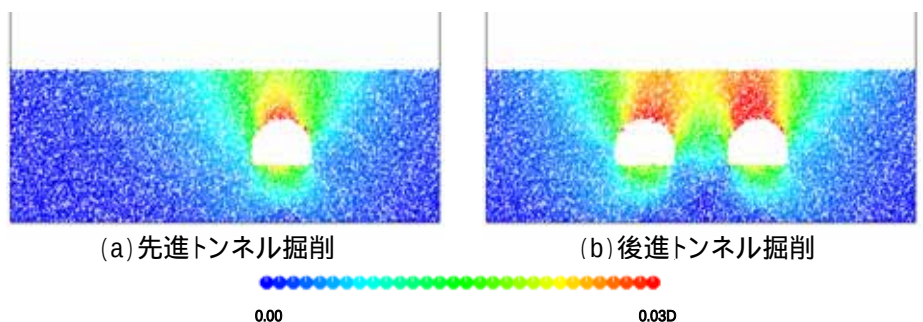


図 3 変位挙動 (H=1.0D, S=1.0D)

キーワード 個別要素法、浅層トンネル、双設トンネル、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 06-6368-0837

4.2 地表面沈下量

図4は土被り0.5Dにおける地表面沈下量のデータを離隔距離0.5D、及び1.0Dについて示したものである。離隔距離1.0Dの場合、最大沈下はそれぞれのトンネル直上において生じている。これに対し、離隔距離0.5Dでは最大沈下は両方のトンネルの中間点において生じており、二つのトンネルが合わさり一つの大きなトンネルを掘削したような挙動を示している。これらの挙動は浅い土被りにおいて特に顕著に認められた。また、いずれのパターンにおいても、先進トンネル上方の沈下量の方が後進トンネル上方の沈下量よりも大きいことから、乱れた条件の地盤にトンネルを新たに掘削するよりも、一度安定したトンネルが再び乱された場合の方が沈下に与える影響は大きいと考えられる。

4.3 応力分布

図5は土被り1.0D、及び2.0Dにおける収束時の応力分布を離隔距離1.0D、0.5Dについて示したものである。先進トンネルの掘削によって地山内の応力が開放され、その後、時間の経過とともに応力が再分配される。これにより先進トンネルの周囲にはグランドアーチが形成され、内部応力の変動は収束するが、後進トンネルの掘削に伴い再び乱され、新たな応力状態が形成される。この際、土被りとトンネル離隔距離によって異なった応力状態の形成が認められる。すなわち、土被り1.0Dにおいて離隔距離1.0Dの場合、個々のトンネルの周囲にアーチの形成が認められるが、離隔距離0.5Dの場合、両方のトンネルのアーチがトンネル上部で閉合するような挙動を示し、地山全体に大規模なアーチを形成している。また土被り2.0Dにおいては離隔距離1.0Dの場合も同様の挙動が認められることから、土被りが大きい程、大規模アーチは形成され易いと考えられる。ここで地表面沈下量の結果を照らし合わせると、離隔距離が小さい場合でも土被りが増加することによって沈下が大幅に減少していることから、双設トンネルは大規模アーチの形成によって安定性が増加するものと考えられる。

5 まとめ

個別要素法を用いた数値解析によって双設トンネルの掘削シミュレーションを行い、土被りと離隔距離によって変化する地山挙動を視覚的に捉えることができた。特に収束時の地山内応力状態に顕著な違いが認められ、大規模アーチ形成時に地山の安定性が大きく増加することが確認された。大規模アーチの形成条件は、土被りが小さい場合は離隔距離に依存し、土被りが増加するに従い、その依存度は減少するものと考えられる。

（参考文献）1）清水俊友、藤井健次、楠見晴重：個別要素法による浅層トンネルの掘削シミュレーション解析
平成17年度土木学会関西支部年次学術講演会,2005.5

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

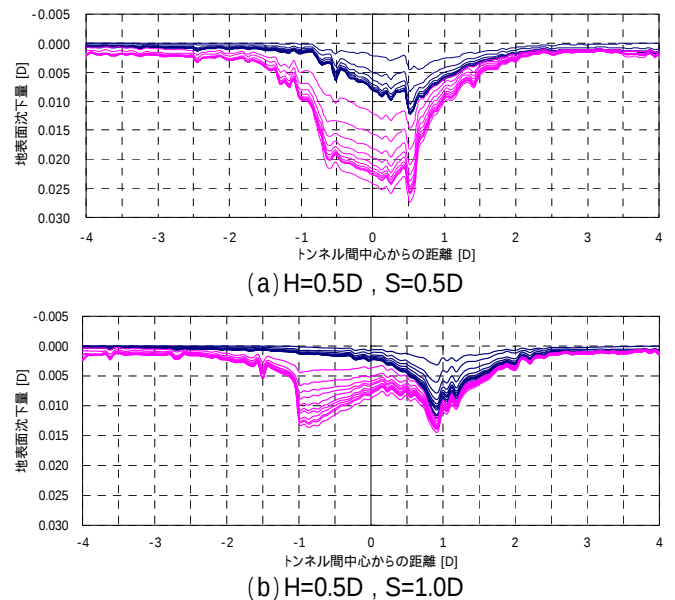


図4 地表面沈下量

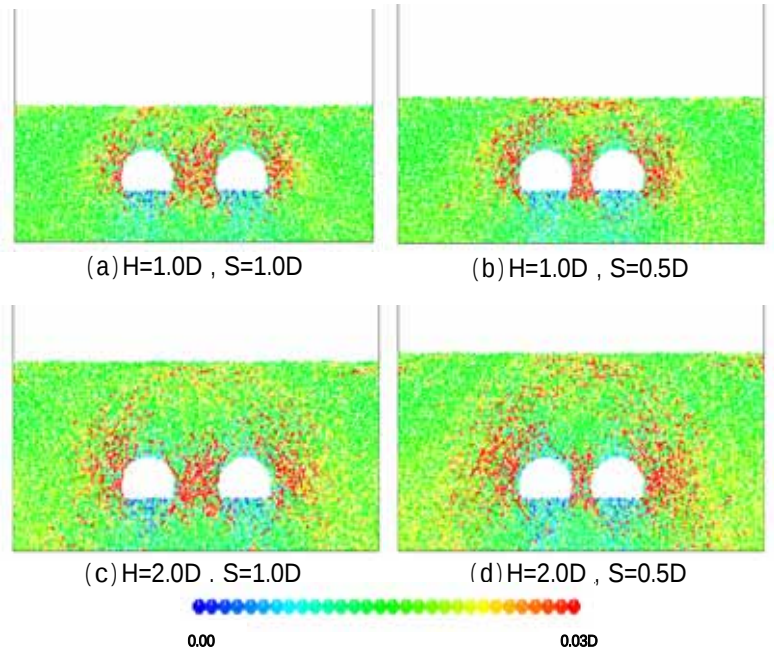


図5 応力分布