

第 部門

個別要素法によるアーストンネルの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

応用地質（株）

正会員

杉野 友通

関西大学工学部

正会員

楠見 晴重

京都大学大学院

正会員

松岡 俊文

1. はじめに

トンネルをはじめとして、地中を掘削する際には、初期応力が開放され地盤中に局所的な沈下が発生し、これが周辺の地山に破壊や変形を与える原因となる。さらにそのような地山の変状が間接的に、沈下部に作用する土圧の特性に影響を与える。特に砂質土地盤中に生じる局部沈下を再現し、その沈下部に作用する土圧を解明するため、従来から降下床実験が多く行われてきた^{1) 2)}。そこで本研究では個別要素法により降下床実験のシミュレーションを行うことを試み、降下床土圧やモデル地盤の変形挙動の観点から、実験結果と解析結果とを比較し、その妥当性について検討した。

2. 実験概要と解析手法

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。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。

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

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。

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

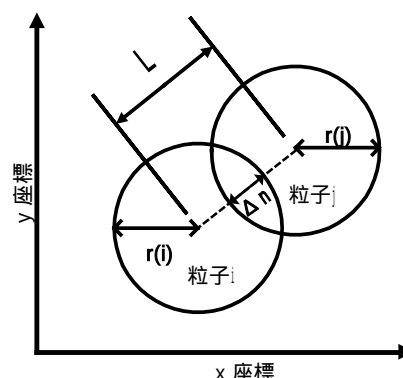


図-1 微視的な粒子間の関係

2.2 実験概要

実験結果の比較には足立らの研究報告¹⁾を用いた。この実験概要を以下に示す。図-2は実験装置の概要図である。幅60cmの底板の中央に降下床を設け、降下床を降下させる。降下床の幅*B*は10cmである。長さ5cm、直径1.6mmおよび3.0mmのアルミ棒（ $\gamma = 2.18 \text{ gf/cm}^3$ ）を左右の仕切り壁間に所定の土かぶり*H*まで積み上げる。その後、降下床を δ_L 降下させる。降下量 δ_L は5cmとする。本研究では*H*=30cm、*H*=10cmの2ケースを用い、比較検討を行った。

2.3 解析概要

解析モデルではより自然な地盤モデルを再現するためにランダム径粒子モデルを用いた。最小粒径1.4mmから最大粒径3.3mmまでの粒子を乱数プログラムを用いて配列し、粒子群に鉛直方向の重力と水平方向に正弦波を用いた加速度を与えることにより、振動落下させることで粒子のパッキングを行った。また、定常状態を作るために水平方

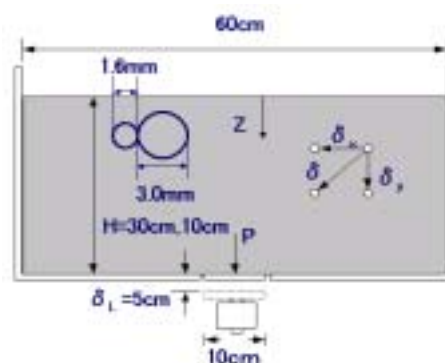


図-2 実験装置

キーワード 個別要素法，トンネル，シミュレーション，降下床

連絡先

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 関西大学工学部土木工学科 TEL06-6368-0837

向の加速度に減衰関数を与え、定常状態となった粒子群を切り取ることでモデルを作成する。降下床モデルは実験と同じスケールとし、図-2の実験装置と同条件で解析を行った。

3. 実験結果と解析結果の比較

3.1 降下床土圧

図-3は実験における降下量 δ_L と降下床土圧 P との関係を示している。初期の土かぶり圧が降下床の降下とともに急激に減少し、ある極小値に至りその後やや増加する傾向にある。解析では初期の土かぶり圧は同等の値を示したものの、粒子が微小な範囲で振動しているため、土圧の安定した値を算出することができなかった。しかし、降下床降下によるアーチ作用が降下床土圧の減少によって再現することができ、そのアーチ効果も土被りが大きいほど顕著になるという実験結果を適切に再現されている。

3.2 粒子間の変位

図-5に実験より得られた粒子の挙動分類を示す²⁾。降下床を降下させると同一の移動をする1次領域（Zone-I）と一次領域に追従して移動する2次領域（Zone-II）および2次領域の外側にあって移動しない3次領域（Zone-III）が現れることを示している。これらの3つの領域に分かれることは、降下床の上部にグランドアーチが形成されていることを示している。次に、図-6は解析による粒子の変位量を可視化した図である。解析結果においても実験結果と同様に3つの領域に分かれ、グランドアーチが形成されていることが確認できる。

4. まとめ

個別要素法で降下床実験のシミュレーション解析を行った結果、 $H=10\text{cm}$ 、 $H=30\text{cm}$ の両方の場合に関して、初期の土圧の値は一致を示した。その後の推移に関しても、降下床の降下に伴うアーチ効果が土圧の減少によって表現されており、そのアーチ効果も土被りが大きいほど顕著になる結果を得ることができた。しかし、粒子が微小な範囲で振動しているため土圧の安定した値を得ることができなかった。また、粒子の変位による領域分けに関して、解析結果は実験結果と良い相関を示し、解析上でも視覚的にグランドアーチを確認することができた。

参考文献

- 1) 足立紀尚・湯浅泰則・小嶋啓介：アルミ棒積層体を用いた降下床実験とその解析に関する研究、第23回土質工学研究発表会講演集、pp.1891-1894、1988
- 2) 足立紀尚・木村亮・岸田潔・小坂馨・坂山安男：次元降下床実験によるトンネル交差部の力学挙動、土木学会論文誌 No.638/ -49,285-299,1999.12

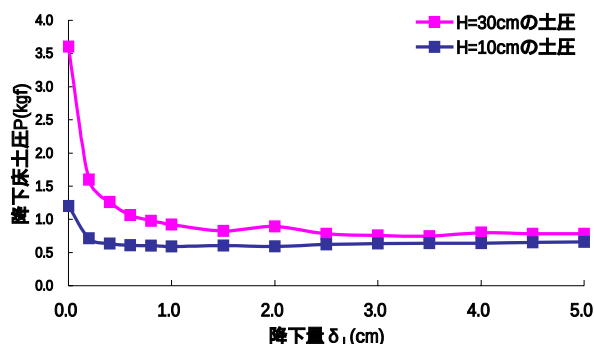


図-3 実験による降下床土圧

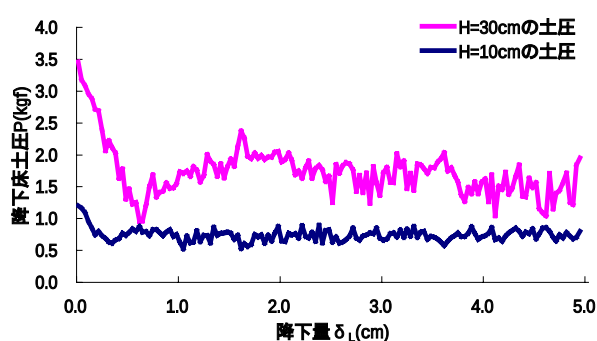


図-4 解析による降下床土圧

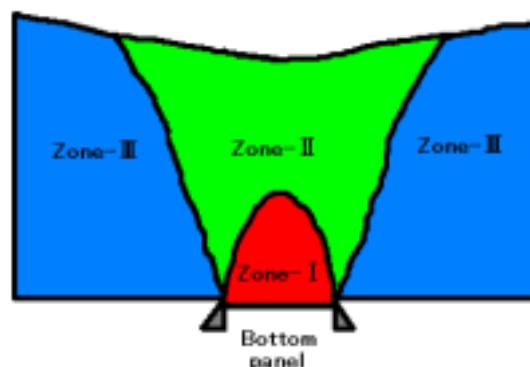


図-5 実験による地盤の領域

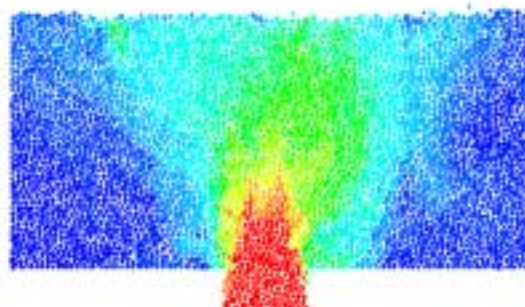


図-6 解析による領域分け