

関西大学大学院理工学研究科 学生員 ○清水 貴大
関西大学大学院理工学研究科 非生員 錦 崇仁
関西大学環境都市工学部 正会員 寺田 道直
関西大学学長 フェロー 楠見 晴重

1. 緒言

トンネルの施工は、地山という不確定要素の多い対象を取り扱うことから、設計に関する明確な基準の設定が難しく、依然として経験的に設計が行われている状況にある。地表面沈下量や内空変位量といった、トンネル掘削に伴う地山への影響を事前に予測・評価することは、経済的且つ、合理的なトンネル設計を行う上で重要である。そのため、地山の力学挙動を適切に再現し得る解析手法の構築が必要とされている。

本研究では、南阪奈道路大黒トンネルを対象とし、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を実施した。そして、解析から得られる地表面沈下量とその実測値とを比較し、トンネル掘削解析における個別要素法の適用性を評価することを本研究の目的としている。

2. 個別要素法

個別要素法は、P.A.Cundall¹⁾によって考案された解析手法であり、主に岩盤や地盤といった不連続体を対象としている。数値シミュレーション対象を微小な粒子の集合体として巨視的に捉えることにより、その動力学的挙動を解析する方法である。個々の粒子間に仮想のばねを配し、その作用力から加速度、速度、変位を算出して粒子の挙動を追跡する。本解析手法では、ばね定数を相対変位増分量に乗ずることによって、粒子間の作用力を算出する。

3. 解析対象とした南阪奈道路大黒トンネル²⁾

南阪奈道路大黒トンネルは、国土交通省近畿地方整備局によって設計・施工一括発注方式で発注された工事である。当工事は、南阪奈道路のうち、石川右岸の丘陵地に位置する区間長665mの工事である。

この区間は当初、丘陵部を掘割形式で計画されていたが、道路線形上に位置する弥生時代の住居跡（駒ヶ谷遺跡）を保存するため、トンネル形式に変更され、上半先進工法によって掘削された。構造は、Ⅱ期線も含めた双設トンネル（メガネトンネル）構造である。トンネルの最大土被りは18m、Ⅰ・Ⅱ期線トンネルの離隔は1.5mであり、全線大阪層群の都市NATMとで計画させた。

設計・施工にあたっては、低土被りであること、地質が全線大阪層群であること、地上部の遺跡保存、工期が実施設計を含め約1年と非常に短いことなど、条件が厳しいものとなったが、Ⅰ期線は沈下の条件を満たしながら工期内に完了した。

当工事周辺の地質構成は、砂層・砂礫層・粘土層の互層からなる。また、湧水がないことも確認されている。

4. パラメータの決定

DEMでは、シミュレーション対象の物性値は粒子間のパラメータに支配される。しかしながら、DEMにおけるパラメータ決定手法は確立されていないのが現状である。そこで本研究では、各種シミュレーションの逆解析を実施することにより、パラメータを決定した。一軸圧縮試験シミュレーションでは、吹きつけコンクリート（アーチ部）と鉄筋コンクリート（インバート部）のそれぞれの設計基準強度³⁾を再現し得る値である21.05MPa、28.07MPaを、二軸圧縮試験シミュレーションでは、現場の表層土・砂質土・粘性土の物性²⁾を再現し得る値である、粘着力： c (kPa)=20.21, 19.49, 271.14と内部摩擦角： ϕ (°)=28.48, 46.38, 0.79を解析値として得ることができた。以上の解析値取得時のパラメータをトンネルモデルに反映させることとする。

5. モデルの作成と解析概要

解析モデルは、重力落下法により粒子を降下したのち、パッキングを行うことで作成した。図-1に、最大土被り断面として作成した解析モデルを示す。モデル寸法は、高さ 275mm、幅 380mm、トンネル径 (D) 62mm、土被り 90mm である。構成粒子は最小粒径 0.6mm、最大粒径 1.4mm のランダム粒径粒子で、粒子数は 28,236 個である。また、支保工は連続体を表現し得る引張力 (ボンディング理論) を隣接する支保工粒子間に導入することで再現した。図の赤色粒子は支保工である。

解析に関して、本研究では粒子を除去することで掘削完了と見なす。まず上半先進工法を模した工法により一期線 (左) のトンネルを掘削したのち、二期線 (右) のトンネルを掘削し、実測値および現場で実施された FEM 解析値との比較を行う。

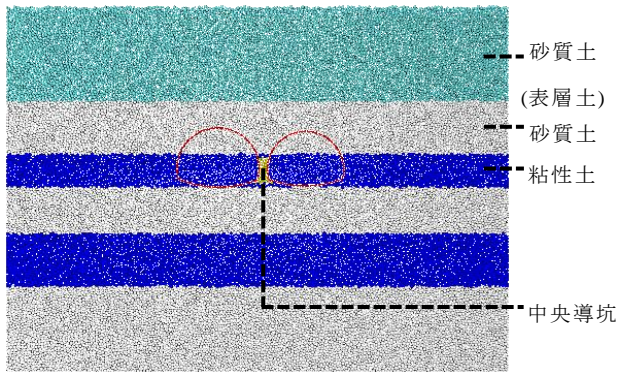


図-1 解析モデル (最大土被り断面)

6. 解析結果

図-1に示すモデルを用い、前節で述べた掘削方法によって、大黒トンネルを対象とした双設トンネル掘削シミュレーション解析を実施した。得られた結果を図-2、図-3に示す。

図-2より、II期線掘削による地山の変位は、トンネルセンターラインから軸対象に生じるのではなく、I期線掘削により緩んだ領域で大きな変位が生じている。この結果は既往の研究⁴⁾とも一致する。

図-3はI・II期線掘削によるそれぞれの地表面の沈下形状を表している。また、図上の緑色のプロットはI期線掘削による地表面沈下量の実測値を示している。この図より、I期線施工によって、I期線直上の地表面沈下量が卓越するという沈下形状は概ね一致しているが、地表面沈下量に関しては実測値と解析値が整合しない結果となった。

7. 今後の課題

本研究では大黒トンネルを対象とした掘削シミュレーション解析を行ったが、定量的な評価に課題が残る結果となった。今後の課題として、①トンネル施工過程の再現に関する基礎的研究の向上②鋼製支保工のモデル化③ウィングリップの考慮などが考えられる。

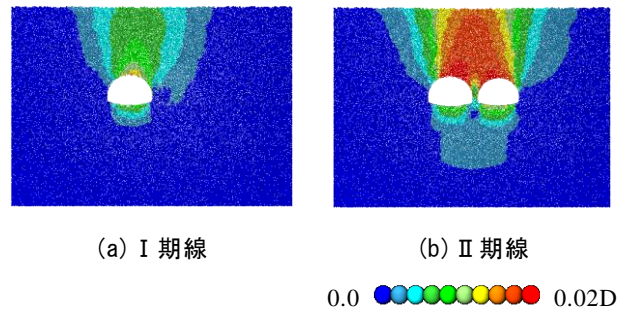


図-2 変位分布図 (変位収束後)

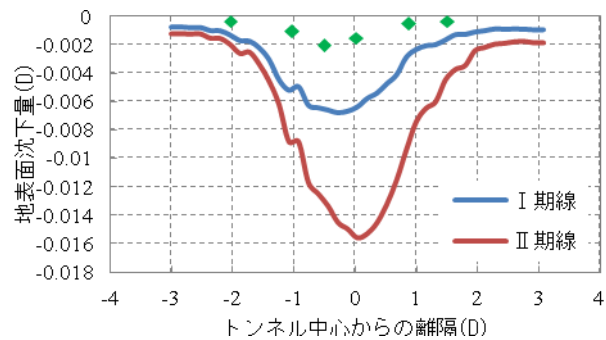


図-3 地表面沈下形状

参考文献

- 1) Cundall, P.A.: A Computer model for simulation progressive, Large scale movement in blocky rocksystem, *Symp. ISRM Nancy France Proc.*, Vol.2, pp.129-136, 1971.
- 2) 国土交通省近畿地方整備局 大阪国道事務所:南阪奈道路 大黒トンネル工事 技術誌, pp.1-1,2-3,5-1
- 3) 土木学会:2006年制定 トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説, pp.75, pp.105, 2006.
- 4) 藤井健次:個別要素法による浅層トンネル掘削時の地盤挙動に関するシミュレーション解析, 平成16年度関西大学修士学位論文, pp.55,90-91, 2004.