

## トンネルおよび周辺地山の3次元数値モデル作成システムの開発

東北大学大学院	学生員	阿部 功介
東北大学大学院	正 員	京谷 孝史
東北大学大学院	正 員	寺田賢二郎
東北大学大学院	学生員	牛田 貴士

## 1. はじめに

本研究では、周辺地山の地層平面図と限られた断面図や、ボーリング柱状図から地質構造と地中構造物の3次元有限要素モデル作成システムの開発をする。こうした3次元数値モデルの作成技術はトンネルの合理的な維持管理や設計時の詳細な数値解析に役立つ。応用例として、作成したモデルに均質化法<sup>1)</sup>を用いて解析を行い、実測値と比較する。

## 2. 3次元有限要素モデルの作成

本章は、周辺地山の地層平面図と限られた断面図、あるいはボーリング柱状図から Kriging 法<sup>2)</sup>を用いたトンネルおよび周辺地山の3次元有限要素モデル作成の手法を述べる。

## 2.1 地層データの抽出

地層平面図と断面図から、物性の近い地層を分類統合する。そして、各地層の座標・厚さ等の数値を拾い、入力データとする。

## 2.2 Kriging 法

抽出した地層データと、限られた数のボーリングデータを用いて、Kriging 法によってデータを内挿する。

Kriging 法は未測定点の値を推定するために周囲の測定値に加重をする内挿法の一つである。データの加重平均としては次のような一般式で表現される。

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N w_i Z(s_i) \quad (1)$$

ここに、 $Z(s_i)$  は  $i$  番目のサンプル点  $s_i$  での測定値、 $w_i$  は  $i$  番目のサンプル点  $s_i$  での測定値に対する未知のウェイト、 $s_0$  は推定値、 $N$  は測定値の数である。

## 2.3 ボクセル化

Kriging 法によって内挿された地層境界は図-1に示すような格子状の各交点のポイントデータとして与えられる。まず、何も属性を持たないボクセルを作り、それを一つ一つ積み上げて地山の外形を作成する。図-1のデータから各地層の属性をそれぞれのボクセルに振り分ける。ボクセルの各点(図-2参照)上にある地層境界面とボクセルの重心の座標とを比べて各々のボクセルに属性を与えていく。この手法は前項の Kriging 法の出力データの間隔を変えて、ボクセル一つ一つの大きさを変えることで様々なスケールに対応できる。さらに、この手法はボクセルを立方体と仮定し、それを FEM における六面体要素と等価に扱うことが出来るという事と同じである。



図-1 格子状となっている地層の座標

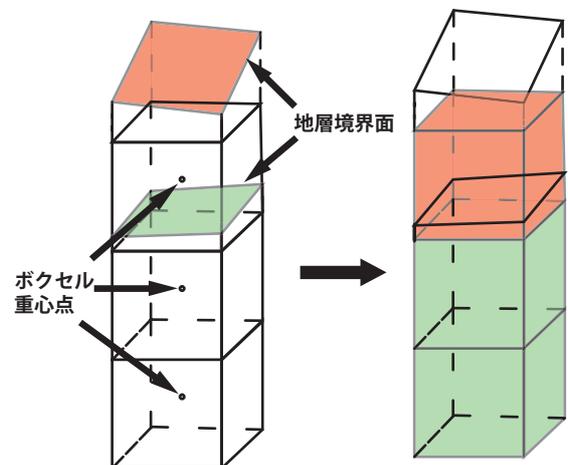


図-2 ボクセルの属性定義

## 2.4 トンネル周辺のモデル化

ボクセル化したトンネル周辺地山に図-3の様に、トンネル部の詳細な3次元モデルを組み込む。そのために、図形処理ソフトを用いてトンネルの外形をデータとして取り込み、それをもとにモデル化する。この時、周辺地山のモデルとトンネル部のモデルが接する部分において、節点と同じ箇所に生成されるようにモデルを作る。

## 2.5 均質化法を用いた解析

開発システムの応用例として、均質化法を用いた解析を行う。均質化法では、トンネル部をユニットセルとして均質体に近似して扱う。全体の流れとしては、まず、均質化したトンネル部を入れた地層全体図-3を解析し、トンネル部のマクロひずみを求める。そうして求めたマクロひずみを均質化する前のトンネル部のモデルに返すことによってミクロひずみを得る。

キーワード：トンネル，ボクセル有限要素法，内挿，3次元数値モデル

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06, TEL: 022-795-7131, FAX: 022-795-7127, URL: <http://www.nde.civil.tohoku.ac.jp/>

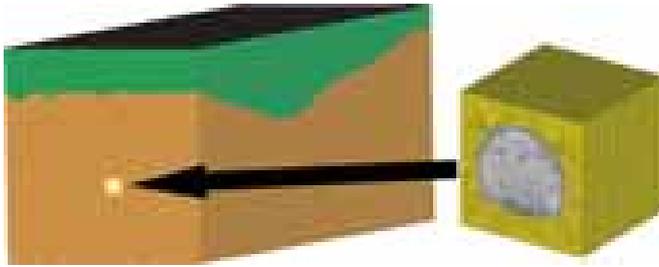


図-3 トンネル部の均質化

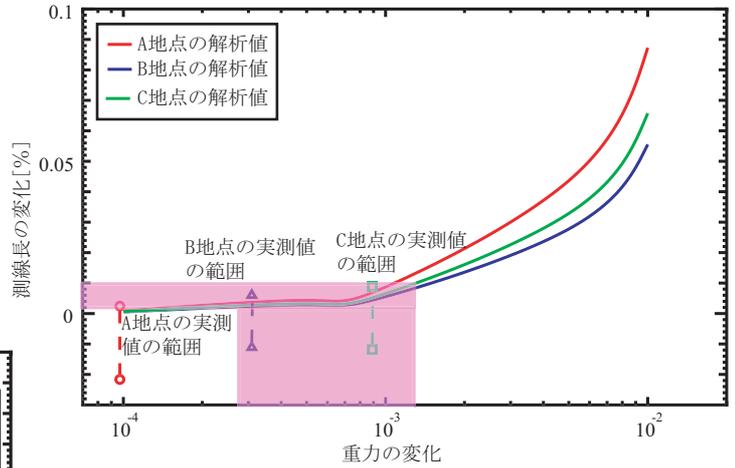


図-5 解析値と実測値の比較 (4-1 測線)

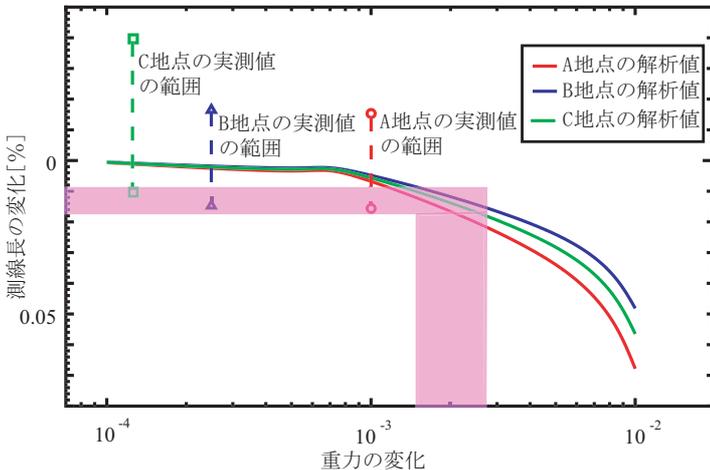


図-4 解析値と実測値の比較 (1-2 測線)

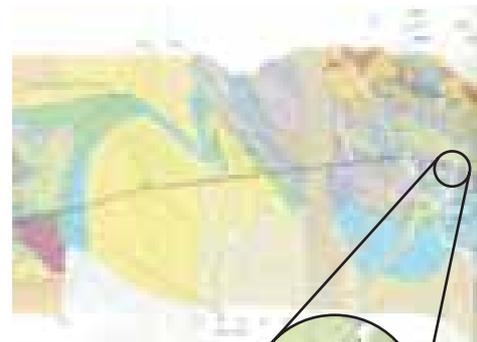


図-6 測定地点 A, B, C

### 3. トンネルへの適用

実際のトンネルの変位の測定は、応力がかかってある程度変形した状態を初期位置としているのでその初期位置に合わせるように、トンネルにかかる荷重変化を想定し、重力を実際の 1 ~ 1/10000 の範囲で変化させた。トンネルのライニングの Young 率は 30GPa, Poisson 比は 0.3 を用いて解析を行った。

#### 3.1 結果

図 - 4, 図 - 5 は異なる 3 箇所 A, B, C 図 - 6 での解析の結果と実測値の比較である (グラフの 1-2 は図 - 7 の 1 と 2 の側線間)。実測値は時間の経過とともに変化しているため、その最大値と最小値を取り、実測値の幅として載せた。

#### 3.2 比較・考察

図 - 4, 図 - 5 から解析値は 1-2 測線は A, B, C の 3 箇所の測定地点どこでも重力が 0 ~ 1/500 の範囲で実測値と同じ幅の測線長の変化を取っている。このことから、1-2 測線についての変形の原因はトンネル上部からの荷重に依存しているのではないかと考えられる。しかし、4-1 測線については傾向は似ているものの多少ばらつきがある。これは、重力によるトンネル上部の荷重だけの説明ではなく、その他の理由、たとえばトンネルに作用する地質からの偏圧が考えられる。また、測線長の変化の符号が解析値と異なっている部分は 0 点を取っている位置が異なっているか、重力による荷重以外の原因でそのようなになっていると考えられる。

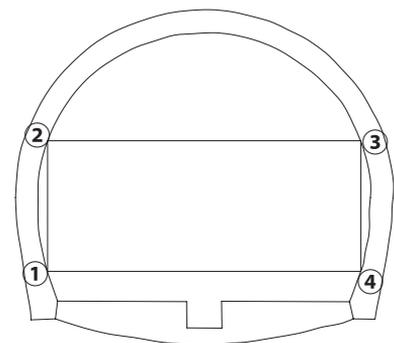


図-7 トンネル測定位置

### 4. おわりに

本研究では、トンネルおよび周辺地山の地質構造と地中構造物の 3 次元有限要素モデル作成手法を開発し、合理的な維持管理や設計時の詳細な数値解析を可能にした。更に、均質化法などその他の方法をを用いて解析することによって、トンネルの経年劣化による変形の逆解析も行えるような技術を開発した。

#### 参考文献

- 1) 寺田賢二郎, 菊池昇: 均質化法入門, 丸善, 2003.
- 2) Jill McCoy, Kevin Johnston: ArcGIS Spatial Analyst ユーザーズ・ガイド, ESRI, 2001.