

地山の不均質性がトンネル掘削時の変位挙動に与える影響

山口大学大学院理工学研究科 学生会員 ○岡崎 泰幸
 清水建設 技術研究所 正 会 員 熊坂 博夫
 山口大学大学院理工学研究科 正 会 員 進 士 正 人

1. はじめに

地盤にトンネルなどの地中構造物を建設する場合、数値解析を用いてトンネル周辺地山の応力状態と変形挙動を事前に予測し、施工時の安定性を評価することが行われる。その場合、地層構造は表現するとしても、地層そのものの物性は均質と仮定して解析を行うことが一般的である。しかし、実際の地山は不均質であり、その不均質性が解析結果にどのように影響するかを考慮することが重要である。

本研究では不均質性を有する地山を再現し、その中にトンネル掘削を行った際のトンネル壁面の変形挙動、特に壁面変位に地山の不均質性が及ぼす影響を検討する。

2. 数値解析モデルと初期地圧の設定について

本研究に用いる解析モデルの寸法と境界条件を図-1 に示す。初期地圧は 5MPa の等方状態を仮定するため、領域内の応力が一様となるようにポアソン比を 0.5 とし、解析モデル上面より初期応力相当の载荷を与え、自重解析を行った(図-1)。そして、掘削解析では地表の影響は受けないと仮定し、モデル上面も変位拘束(鉛直固定、水平自由)とした。

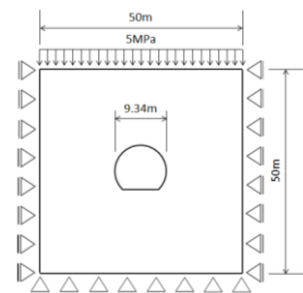


図-1 解析モデルの寸法と境界条件

3. 地山物性の不均質性の設定について

地山物性は既往の研究¹⁾を参考に、基本物性を一軸圧縮強度(σ_c)10MPaとし、その最大値を20MPa、最小値を5MPaと設定した。また、一軸圧縮強度(σ_c)は5~10MPa および 10~20MPa の間を等間隔に8分割した物性データを用いた。この一軸圧縮強度(σ_c)の分布は乱数を用いて、解析モデルの要素の体積率が三角形分布となるように設定した。ここに、体積率は前述の地山の物性値をもつ不均質要素が解析モデル領域内に含まれる体積の割合である。

解析では地山を弾性体とし、その弾性係数 E, ポアソン比 ν は、次式(1), (2)で示される軟岩における一軸圧縮強度(σ_c)との相関式を用いて設定した²⁾。

$$E = 80\sigma_c^{1.4} \quad (1) \quad \nu = 0.25(1 + e^{-0.2\sigma_c}) \quad (2)$$

解析ケースは不均質寸法 l を 0.2, 0.4, 1.0, 2.0, 4.0m とする 5 ケースとした。各ケースにおいて、全て異なる物性分布パターンとし、不均質寸法 $l=0.2m$ のケースで 10 モデル、それ以外のケースで 20 モデルを作成した。不均質寸法(l)が 0.2, 1.0, 4.0m の各ケースの一軸圧縮強度(σ_c)の頻度分布の例を図-2 に示す。また、トンネル近傍の不均質地山の物性分布状態の例を図-3 に示す。図-2, 3 より、不均質寸法(l)が大きくなるに伴い、モデル内の不均質要素数が少なくなるため、体積率の頻度のばらつきが大きくなる事が分かる。

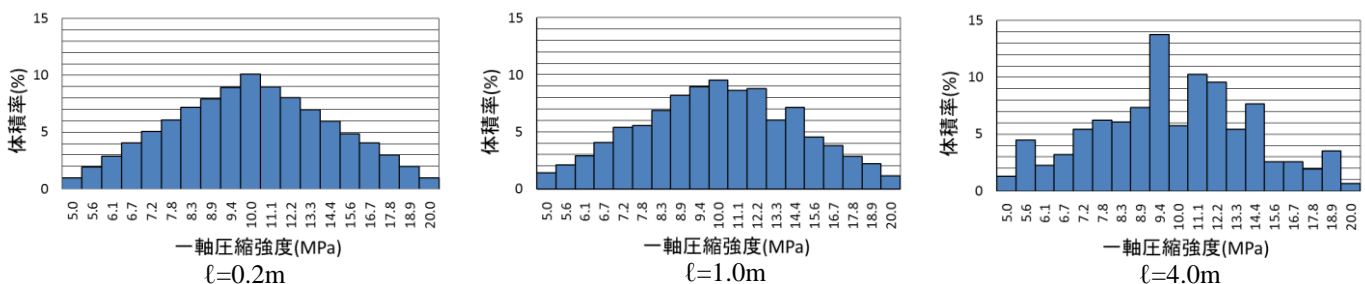


図-2 地山の一軸圧縮強度(σ_c)の頻度分布

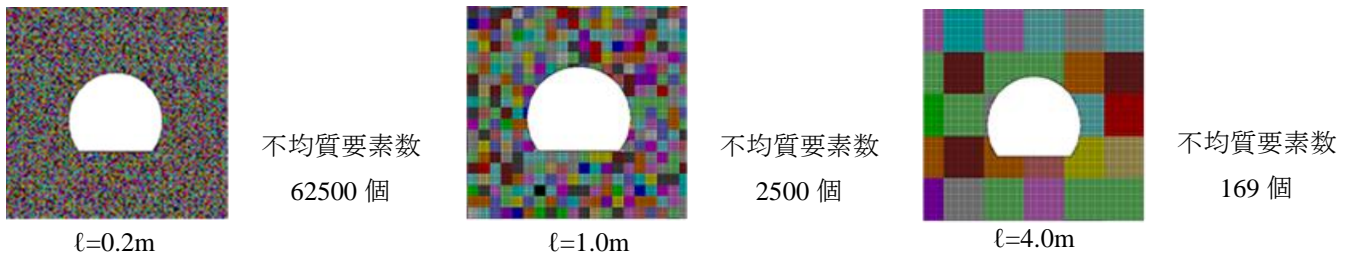


図-3 トンネル近傍の不均質地山の物性分布状態

4. モデル全体の弾性係数(解析弾性係数)と壁面平均変位について

作成した各解析モデルは全体に占める弾性係数の体積率がそれぞれ異なるため、モデル全体の平均的な弾性係数が一定の値とならない。そこで、トンネルを無掘削のモデルに対して等ひずみ圧縮試験解析を行い、モデル全体の応力-ひずみ関係を求め、弾性係数を算出した。本研究では、この解析から得られる弾性係数を“解析弾性係数”と呼ぶ。不均質寸法と解析弾性係数の関係を図-4に示す。また、トンネル掘削後の壁面の法線方向の全節点の平均変位量を“壁面平均変位”と呼ぶ。解析弾性係数と壁面平均変位の関係を図-5に示す。

5. 解析結果と考察

図-5において、解析弾性係数が増加すると壁面平均変位は地山の不均質性によりばらつきを伴いながらも減少する結果となることがわかる。そして、このばらつきは不均質寸法(l)が大きくなるとそのばらつき範囲も大きくなる結果となった。図-5そのままでは、各モデルの解析弾性係数が異なるため、各不均質寸法(l)が同じ場合や異なる場合の“壁面平均変位”の比較が難しい。そこで、各モデルにおける壁面平均変位を三角形分布のピーク強度である一軸圧縮強度10MPa($E=2009.5\text{MPa}$)の壁面平均変位を用いて正規化した。これを“変位変化率”と呼び、次式(3)のように示す。

$$\text{変位変化率} = 1 + \frac{\text{各モデルの壁面平均変位} - \text{解析弾性係数を用いた均質の均質モデルの壁面平均変位}}{\text{ピーク強度の弾性係数}(E = 2009.5\text{MPa})\text{を用いた均質モデルの壁面平均変位}} \quad (3)$$

不均質寸法/代表径と変位変化率の関係を図-6に示す。なお、水平軸は不均質寸法(l)をトンネル直径で割って無次元化している。図-6から地山の不均質寸法(l)が大きくなるにつれて、壁面平均変位が影響を受けることが分かった。言いかえると、地山の不均質寸法(l)が推定できれば、変位のばらつき幅もある程度推定できる可能性があることが分かる。 $l=4.0\text{m}$ の場合には変位変化率が約±20%の変動となることが分かった。

6. 今後の課題

数値解析で地山の不均質性を再現することにより、トンネル掘削時の壁面変位から地山の不均質性がトンネル近傍の変形挙動にどの程度影響を与えるかを把握した。今後、地山の不均質性が壁面変位等に与える様々な影響について検討していきたい。

参考文献

- 1) 熊坂博夫：地山の不均質性の分布スケールがトンネル周辺の応力状態に及ぼす影響について，土木学会第60回年次学術講演会概要集，3-239，pp.477-478，2005。
- 2) アイダン・オメール，赤木和之，伊藤孝，川本眺万：スキューズィング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について，土木学会論文集，No.448/III-19，pp.73-82，1992。

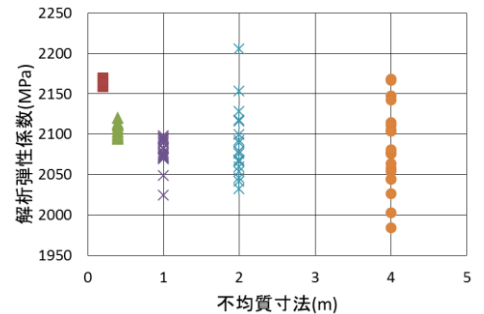


図-4 不均質寸法(l)と解析弾性係数の関係

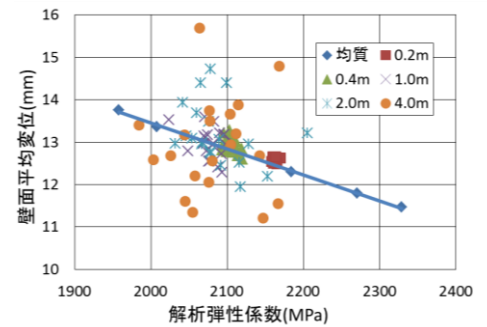


図-5 解析弾性係数と壁面平均変位の関係

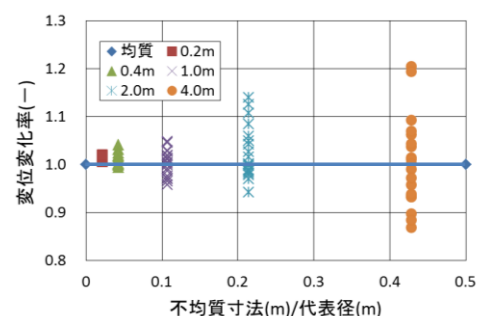


図-6 不均質寸法/代表径と変位変化率の関係