

不均質な弾塑性地山における トンネル周辺地山の応力状態に関する検討

清水建設 技術研究所 正会員 熊坂博夫

1. はじめに

トンネルの安定解析や計測結果の評価において均質と仮定された地層でも実際には物性は複雑に変動している。このため、解析や計測結果の評価において、この地山物性の変動による影響を把握することが重要と考えられる。著者はこれまで不均質な弾性地山におけるトンネル掘削時の挙動について報告している^{(1),(2),(3),(4)}。本報では弾塑性地山におけるトンネル周辺地山の応力状態について予備的検討を実施したので報告する。

2. 解析条件^{(1),(2),(3),(4)}

2.1 解析モデル トンネル形状と寸法を図-1に示す。トンネルは無支保の馬蹄形(代表径: $D = 9.34\text{m}$)とし、解析領域を $50\text{m} \times 50\text{m}$ とした。要素寸法と形状は、一辺が 0.2m の正方形とした。

2.2 地山物性と初期地圧の設定 地山は Mohr-Coulomb の降伏基準による完全弾塑性体とし、弾性係数、ポアソン比、せん断強度、内部摩擦角はそれぞれ一軸圧縮強度 σ_c との相関式⁽⁵⁾を用いて設定した。この強度分布は、基本の σ_c を 10MPa とし、最大値、最小値がそれぞれ、2, $1/2$ 倍となる三角形分布を仮定した。(図-2参照) なお、引張り強度はゼロとした。

初期地圧は基本強度 σ_c に対して地山強度比が 2, 1.5, 1 となる 5, 6.67, 10 MPa の等方状態とした。

2.4 解析ケースについて 不均質寸法 (l) を 0.2, 0.4, 1.0, 2.0, 4.0m と均質地山の 6 モデルと初期地圧の 3 つの条件を組み合わせる全部で 18 ケースとした。 $l = 4.0\text{m}$ の場合のトンネル周辺地山の物性分布を図-3に示す。

なお、解析コードは FLAC3D⁽⁶⁾ を使用した。

3. 解析結果と考察

3.1 周辺地山の最大圧縮応力分布 地山強度比が 1 の解析ケースにおける最大圧縮応力分布を図-4

4に示す。均質地山の場合、底盤部を除き、壁面より奥の弾塑性境界に大きな圧縮応力がリング状に連続して分布している。一方、不均質地山で l が大きい場合、このリング状の分布が大きく分断されるとともに均質な場合に比べてさらに大きな圧縮応力が発生している。また、 l が小さい場合、リングの分断は小さいが圧縮応力のリングが半径方向に分散している。これらより、不均質地山の応力状態は均質地山の場合に比べ応力変動が大きく、その変動は l の影響を受けることがわかる。

3.2 周辺地山の応力状態・降伏履歴について

トンネル掘削による応力解放は 5% ごとに行った。この応力解放の過程で、せん断、引張りによる降伏がトンネル壁面から地山の奥へ向い発生した。掘削後の降伏領域とその履歴を図-5に示す。均質地山の場合、底盤部を除き、せん断降伏(赤)が発生している。一方、不均質な場合、せん断降伏(赤)と引張り降伏(黄)が混在し、加えて、掘削終了時点でせん断降伏状態であるが掘削途中では引張り降伏した履歴をもつ要素・領域(青色)も生じている。 l が大きい場合、図-3より、これらの引張り降伏領域は異なる物性領域の境界近傍で生じていることがわかる。

4. おわりに 不均質な弾塑性地山におけるトンネル周辺地山の応力状態について検討した。その結果、引張り降伏が発生することがわかった。

参考文献 (1) 熊坂: 土木学会第 59 回年講, 3-100, pp. 199-200, 2004. (2) 熊坂: 土木学会第 60 回年講, 3-239, pp. 477-478, 2005. (3) 熊坂: 土木学会第 61 回年講, 3-059, pp. 117-118, 2006. (4) 熊坂: 土木学会第 62 回年講, 3-151, pp. 301-302, 2007. (5) アイダン・オメール, 他: 土木学会論文集, No. 448/III-19, pp. 73-82, 1992. (6) ITASCA: FLAC3D version 3.0 User's Guide.

キーワード: トンネル, 安定解析, 不均質性, 不均一性, 弾塑性地山

連絡先: 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL: 03-3820-5557 FAX: 03-3820-5959

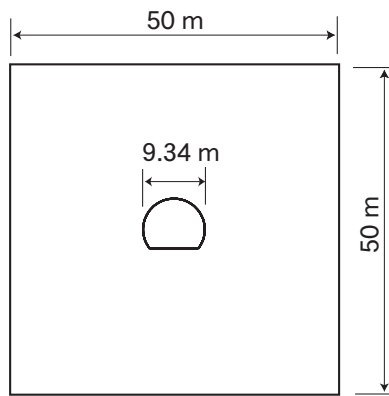
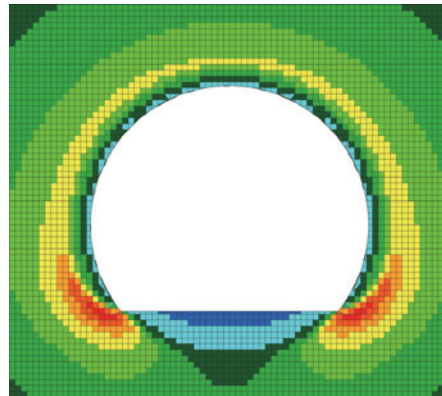
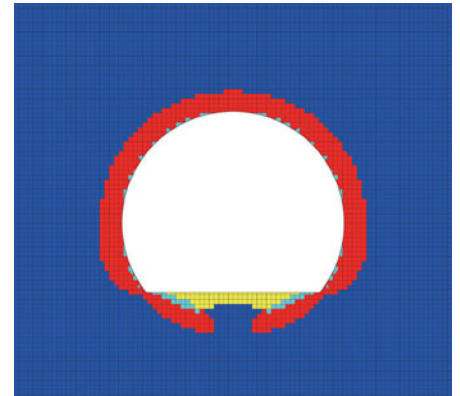


図-1 トンネル形状と解析領域



(a) 均質地山



(a) 均質地山

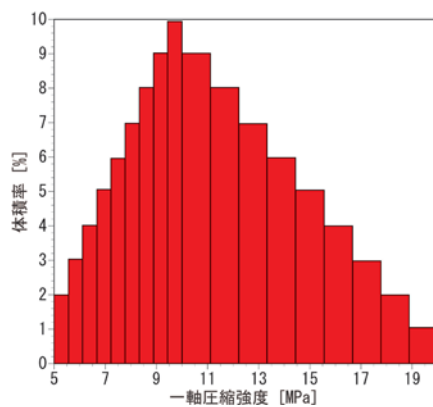


図-2 地山物性の分布

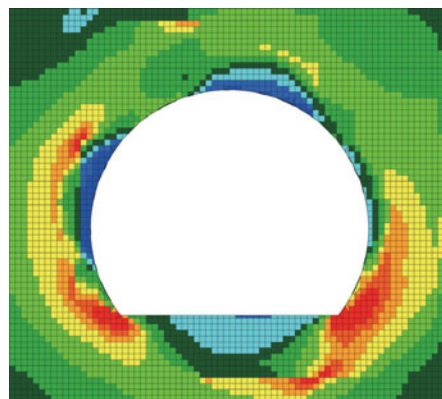
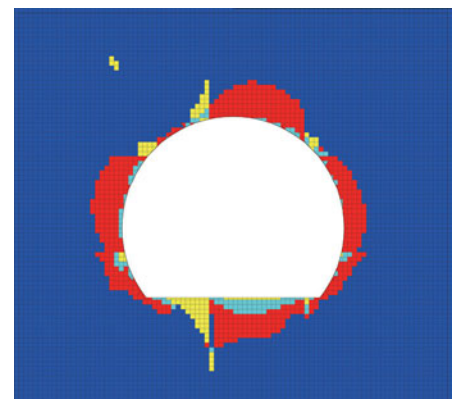
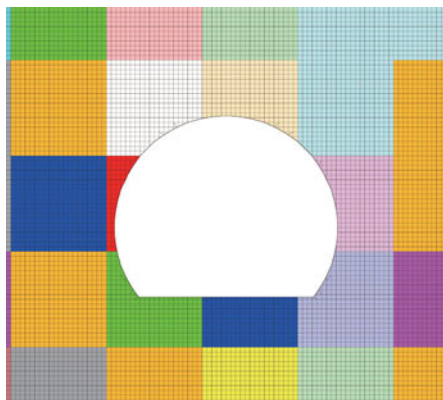
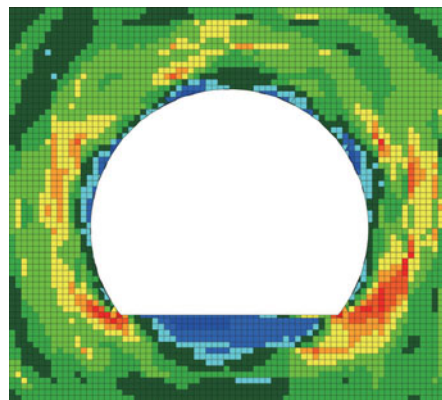
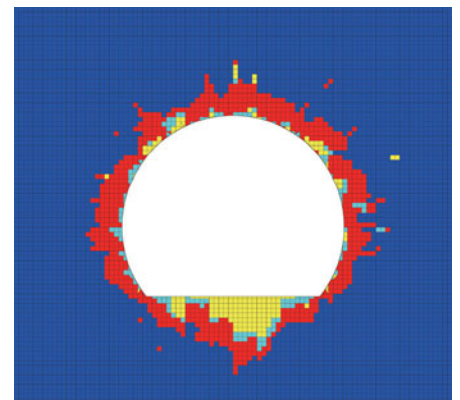
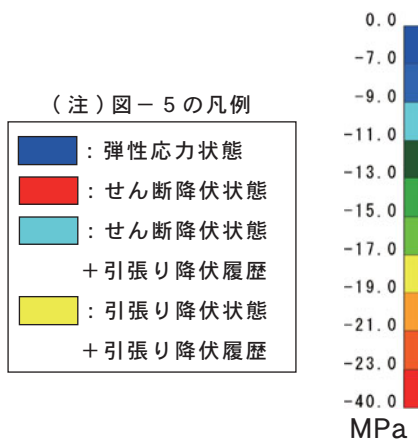
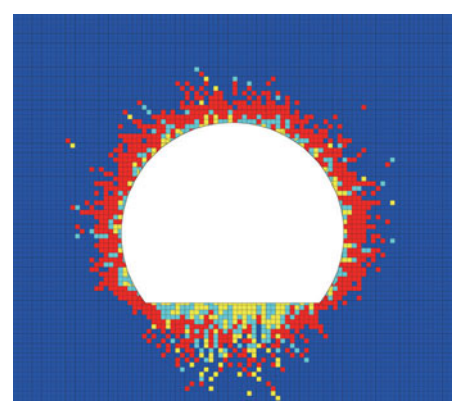
(b) $l = 4m$ (b) $l = 4m$ 図-3 $l = 4m$ の地山物性の分布(c) $l = 1m$ (c) $l = 1m$ (d) $l = 0.2m$ (d) $l = 0.2m$

図-4 最大圧縮応力分布

図-5 要素の応力状態・履歴