不均質な物性分布をもつ弾性地山中のトンネル掘削における ロックボルトの作用効果に関する検討

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、地山は均質と仮定される。しかし、均質な地山とみなされる場合でも、実際にはその物性は複雑に変動している。このため、地山の均質性を仮定した解析結果や計測結果を評価する場合、この地山物性の変動が均質性を仮定した場合に対してどのような影響を及ぼしているかを把握することは重要と考えられる。著者は不均質な弾性地山におけるトンネル掘削時の影響について報告している[(1),(2),(3)]。本報ではロックボルトの作用効果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

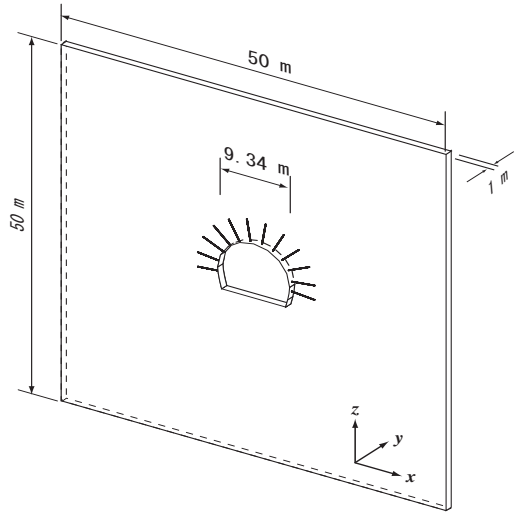
2.1　解析モデル　トンネル形状と寸法は**図－1**に示されるようにインバートなしの馬蹄形トンネル（代表径：D=9.34m）とし、解析領域を 50m × 50m × 1m とした。基本要素寸法と形状は、一辺が 0.2 mの立方体とした。

2.2　地山物性の設定　地山物性は基本物性を一軸圧縮強度 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[(1),(2),(3)]。地山は弾性体とし、弾性係数，ポアソン比は、一軸圧縮強度との相関式[(4)]を用いて設定した。

2.3　ロックボルトのモデル化について

ロックボルトはφ 25mm, 長さ 3m を円周方向 1.5m 間隔で 12 本、奥行き方向間隔 1m とした。解析モデルは FLAC3D のケーブル要素[(5)]とし、グラウトの剛性は多田らの実験[(6)]を参考に 9,748MPa/m/m と設定した。

2.4　初期地圧と応力解放率について　初期地圧は 5MPa の等方状態を仮定し、領域内の要素に一様となるように要素応力，境界応力を設定した。掘削時の応力解放率は 60% と仮定した。



図－1　トンネル形状と解析領域

2.5　解析ケースについて　解析ケースは不均質要素寸法（ℓ）を 0.2, 0.4, 1.0,2.0,4.0m の立方体および基準物性の均質地山の 6 ケースとした。

3. 解析結果と考察

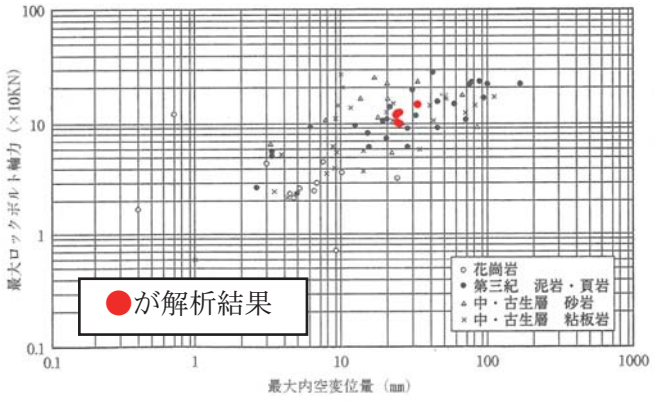
3.1 周辺地山の変形に及ぼす影響

各ケースのロックボルトの最大軸力と内空変位の関係を計測実績とともに**図－3**にプロットした。また、均質地山と要素寸法 4m の場合について、ロックボルトの有無による変位差分のコンター（ロックボルトを含む要素の *xz* 断面）を**図－4，5** に示す。図より、ロックボルトを考慮した場合の変位や軸力は計測実績と同等の結果を得たが、ロックボルトを考慮したことによる変位拘束効果は小さく、かつ、不均質性の影響も小さいことが分かる。

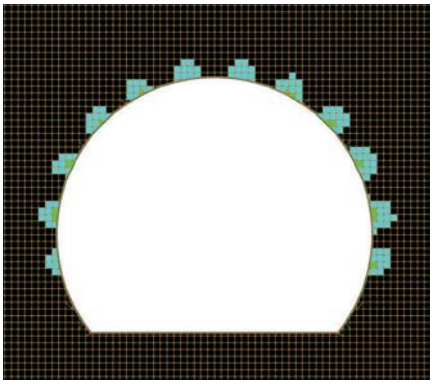
3.2 周辺地山の応力状態に及ぼす影響について

ロックボルトの有無による応力差分から得られる最大圧縮応力（≒トンネル半径方向応力）について、均質地山の場合とこれと最も分布形に差が生じた要素寸法 4m の場合について、**図－4，5**

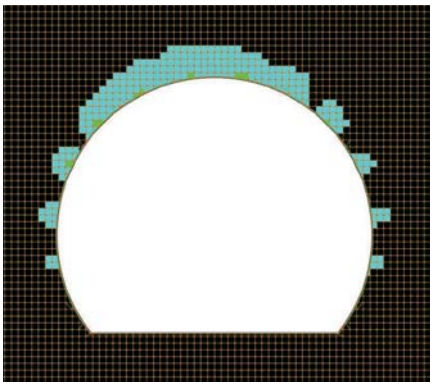
キーワード：トンネル，安定解析，不均質性，不均一性，ロックボルトの作用効果
連絡先：〒 135-8530　東京都江東区越中島 3-4-17　TEL:03-3820-5550　FAX:03-3820-5959



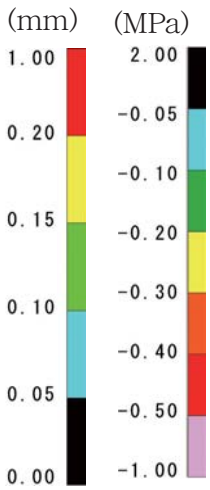
図－3　最大内空変位量と
ロックボルトの最大軸力の関係(7)

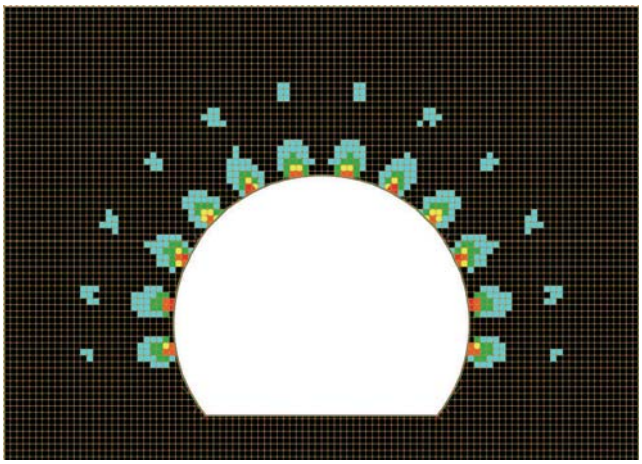


図－4　ロックボルトの有無に
よる変位差（均質地山）

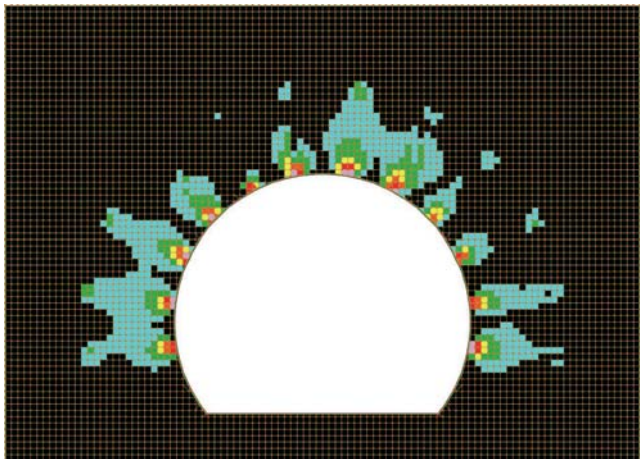


図－5　ロックボルトの有無による変位差分
（要素寸法 ℓ = 4m）





図－6　ロックボルトの有無による
応力差分の最大圧縮応力（均質地山）



図－7　ロックボルトの有無による
応力差分の最大圧縮応力（要素寸法 ℓ = 4m）

と同様の断面の要素によるコンター図を**図－6, 7** に示す。図に示されるように、均質地山の場合に比べロックボルトがあることにより圧縮応力が若干残る領域は広がるがその差は小さいことが分かる。また、要素寸法が小さい場合には均質地山の場合とそれほど相違が見られなかった。

4.　おわりに　不均質性な弾性地山におけるロックボルトの作用効果について解析を行った。その結果、要素寸法が大きな場合の方が小さい場合よりも均質地山の解析結果と相違が見られた。ただし、その影響は小さいことが分かった。

参考文献　(1) 熊坂博夫：土木学会第 59 回年講, 3-100,pp.199-200, 2004. (2) 熊坂博夫：土木学会第 60 回年講 ,3-239, pp.477-478,2005. (3) 熊坂博夫:土木学会第 61 回年講, 3-059, pp.117-118, 2006. (4) アイダン・オメール, 他:土木学会論文集, No.448/III-19, pp.73-82,1992. (5) ITASCA ： FLAC3D version 3.0 Structual Elements. (6) 多田浩幸, 他：第 36 回地盤工学研究発表会, G-14, 620, pp.1221-1222, 2001. (7) 日本道路公団：設計要領第三集トンネル ,p.102, 1997.