

個別要素法 (DEM) を用いたトンネル切羽安定性検討

鹿島建設(株) 正会員 ○宇津野衛 清水浩之 大野進太郎
(株)地層科学研究所 関野真登

1. はじめに

山岳工法でトンネル掘削を行う場合、切羽の安定性を確保することが重要である。さらに、切羽前方に高压湧水帯が存在する場合、水圧によるき裂進展を考慮して切羽の安定性を評価する必要がある。一般にトンネルの安定性を解析的に検討する際には、FEM に代表される連続体解析手法を用いられることが多い。しかし、前述のような問題を対象とした場合、連続体解析手法では陽にき裂を表現することが難しいため、不連続体解析を用いた評価手法を開発する必要がある。本論文では、連続体解析手法との比較を通して、個別要素法 (DEM:Distinct Element Method) のトンネル切羽安定性評価への適用性を検討した。なお、DEM の解析コードは PFC ver5.0 (米国 itasca 社製) を、連続体解析コードは FLAC ver8.0 (米国 itasca 社製、有限差分法) を使用した。

2. 解析概要

DEM のトンネル切羽安定性評価への適用性を検討するため、図-1 に示すトンネル縦断方向の二次元解析モデルを用いた。モデルは直径 0.5-1.0 m の範囲で均等分布に発生させた円形粒子を、ランダムに配置して作成した。モデルの粒子数はおよそ 18,000 個である。初期応力状態は等方等圧で、土被り厚 100 m に相当する 2.1 MPa としている。境界条件は3辺をローラー境界、1辺を初期応力と同等の 2.1 MPa の圧力一定境界とした。トンネルの径は 10 m とし、1 ステップあたりの掘削量を 0.5 m として範囲内にある粒子を消去することで掘削を行った。各掘削ステップでは、掘削後に粒子の運動が十分に静止するのを確認し、次の掘削ステップに移行することとした。本検討では、試解析として表-1 に示す地山物性値を想定した。ただし、DEM では、別途、二軸圧縮シミュレーション等の解析を実施し、材料パラメータと同等の結果が得られる DEM パラメータ (表-2) を設定した。なお、粒子間接触モデルは岩盤のモデルとして提案されている Linear parallel bond モデルを用いた。

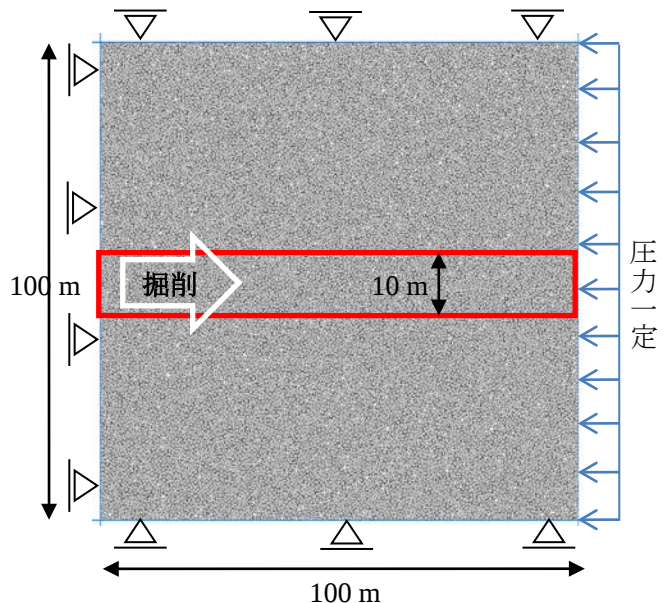


図-1 DEMによるトンネル掘削の解析モデル

表-1 地山物性値

物性	単位	値
密度	t/m ³	2.1
ヤング率	MPa	200
ポアソン比	-	0.3
粘着力	kPa	300
内部摩擦角	deg	40

表-2 DEM 解析パラメータ

パラメータ	単位	値
線形バネ		
法線方向バネ係数	MN/m	100
縦横バネ係数比	-	0.45
減衰係数	-	0.1
粒子間摩擦係数	-	0.6
バラネ		
法線方向バネ係数	MPa/m	267
縦横バネ係数比	-	0.45
粒子間結合引張強度	kPa	350
粒子間結合粘着力	kPa	700
粒子間結合摩擦角	deg	40

3. 解析結果

図-2 に DEM による解析結果の水平変位分布図を、図-3 に FLAC による連続体解析での結果を示す。図中の各掘削段階での距離は圧力一定としているモデル右側境界からの距離を示している。各掘削段階において、DEM と連続体解析の変位の差異は 2.5 cm 以下と小さく、ほぼ一致する結果となった。ただし、DEM の

キーワード 個別要素法 (DEM), トンネル, 切羽安定性評価

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-6229-6684

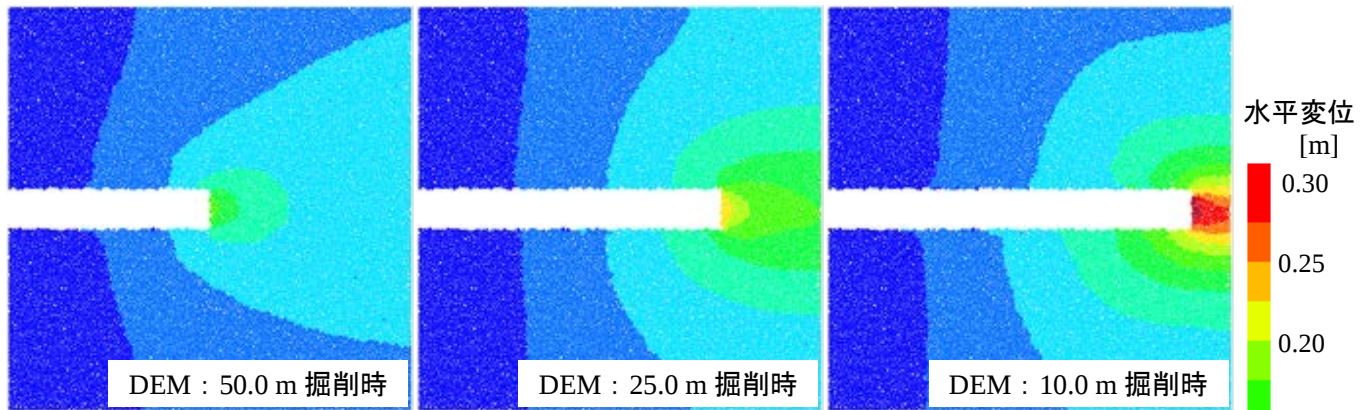


図-2 DEMによるトンネル掘削解析結果(変位分布)

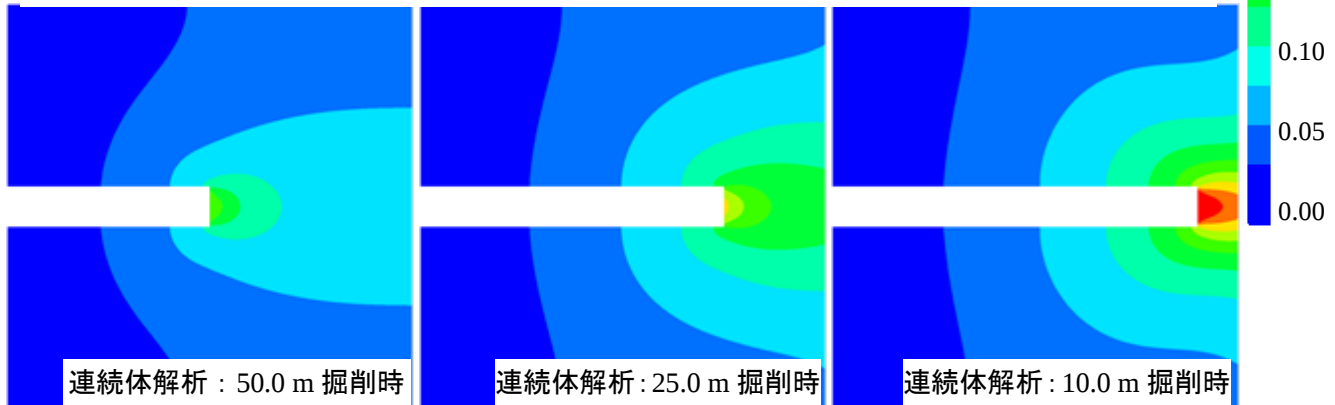


図-3 連続体解析によるトンネル掘削解析結果(変位分布)

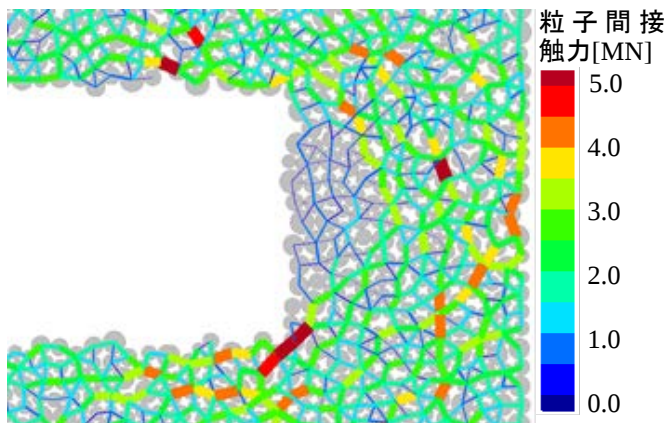


図-4 DEM解析による粒子間力分布(圧縮正)

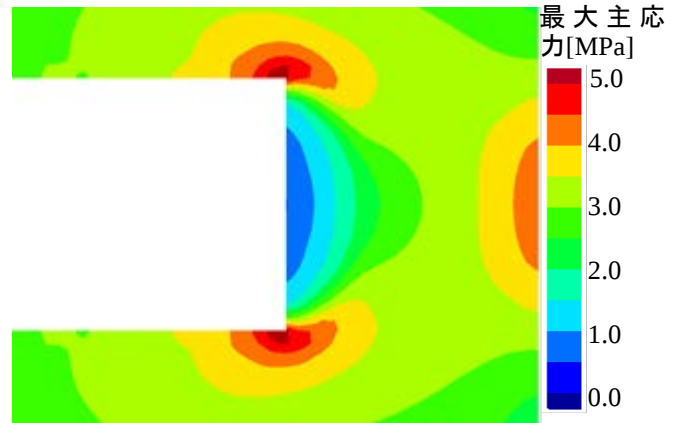


図-5 連続体解析による最大主応力分布(圧縮正)

変位分布は連続体解析と異なり、トンネルの上下で非対称の結果となった。DEMでは粒子の集合体を結合することで連続体をモデル化しており、粒子配置による不均質性が影響したことが原因である。図-4にDEMの粒子間接触力分布を示す。図中の線の太さ及び色は粒子間接触力の大きさを示している。図-5には連続体解析の最大主応力分布を示す。図-5に見られる切羽前方で圧縮応力が小さくなっている現象や、切羽の上下で応力が集中している現象が、図-4に示すDEMの粒子間接触力においても確認できた。

4. おわりに

DEMのトンネル切羽安定性評価への適用性を検討するため、トンネル縦断方向の二次元解析モデルを対象に連続体解析との比較を行った。DEMは連続体解析とほぼ同様の変位分布となることや、連続体解析における切羽周辺の応力変化と同様の現象を表現可能であることを確認した。今後は粒子径を小さくして精度を向上させた解析や三次元モデルでの検討、さらに水圧によるき裂進展を考慮した解析²⁾を行い、DEMのトンネル切羽安定性評価への適用性を検討していく予定である。

参考文献

- 1) Potyondy, D. et al : A bonded-particle model for rock, Int. J. Rock Mech. & Mining Sci., Vol.41, pp.1329-1364, 2004
- 2) H. Shimizu et al : A study of the effect of brittleness on hydraulic fracture complexity using a flow-coupled discrete element method, JPSE, Vol.160, pp.372-383, 2018