

トンネル周辺岩盤の硬軟分布を考慮した掘削解析手法

鹿島建設(株) 正会員 ○福島大介 北村義宜 村上和哉 相緒春菜

1. はじめに

山岳トンネルの掘削工事ではコンピュータジャンボの岩盤削孔により収集される穿孔データから、地山の硬軟を表す破壊エネルギー係数を取得し、地球統計学によって三次元の連続データを推定することで、切羽周辺の地山性状を定量的に評価する取り組みが進められている¹⁾。この破壊エネルギー係数分布をFEM解析モデルに反映することで、岩盤の硬軟分布の不均質性を考慮した解析検討が実施できるため、トンネル周辺岩盤の硬軟分布に起因した局所的な変状を再現でき、合理的な支保構造の選定に活用できる。本稿では、岩盤の硬軟分布の不均質性を考慮した不均質岩盤モデルの構築方法を紹介するとともに、トンネル周辺岩盤の地山物性値を一律と仮定する均質岩盤モデルと解析結果を比較することで、不均質岩盤モデルの有効性を検討したのでその結果を報告する。

2. 破壊エネルギー係数の分布を考慮した不均質岩盤モデルの作成方法

図-1に不均質岩盤モデルの作成方法を示す。

ステップ1ではコンピュータジャンボから取得した破壊エネルギー係数と穿孔位置の座標を抽出し、任意の検討断面に解析メッシュを設定する。

ステップ2では解析メッシュの各節点における破壊エネルギー係数を地球統計学により算出し、ソリッド要素ごとの節点における破壊エネルギー係数の平均値(E_{avg})を当該要素の破壊エネルギー係数として代表させる。

ステップ3ではあらかじめ設定した破壊エネルギー係数と地山物性値の対応表を参照して各ソリッド要素に地山物性値を割り当てる。

3. 地山物性値の設定方法

本稿では、比較的均質な岩盤が出現した9断面を対象として破壊エネルギー係数の平均値を算出した。また、均質岩盤モデルを用いたFEM逆解析により坑内計測変位と一致する変形係数を求め、両者を図-2に整理した。同図より破壊エネルギー係数と変形係数は正の相関があることから、本検討ではこの結果を用いて破壊エネルギー係数を地山等級に対応する5種類に分類することを試みた。なお、変形係数以外の地山物性値はトンネル数値解析マニュアル²⁾の一般物性値を参照した。各地山等級の地山物性値を表-1に示す。

キーワード：トンネル、不均質岩盤、コンピュータジャンボ、破壊エネルギー係数、FEM数値解析

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 TEL03-6229-6717

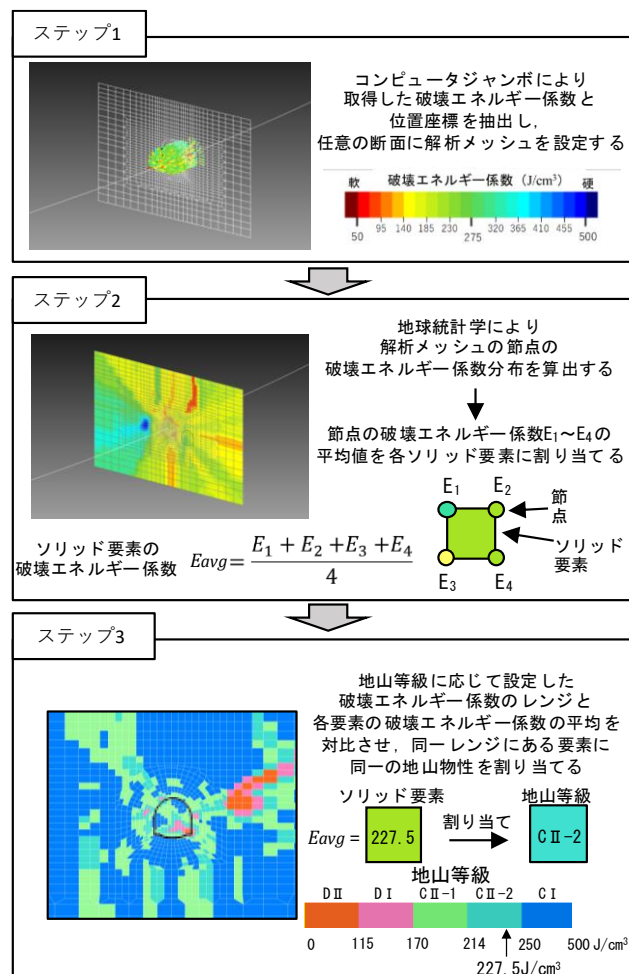


図-1 不均質岩盤モデルの作成方法

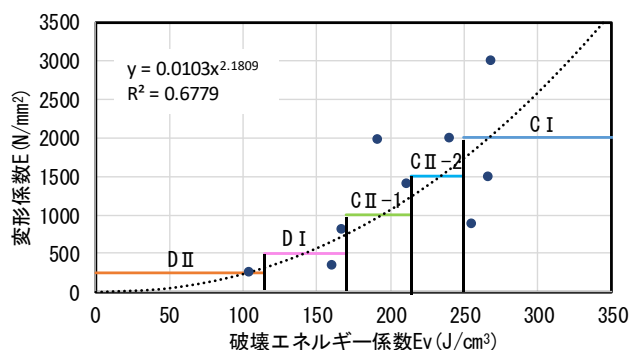


図-2 変形係数と破壊エネルギー係数の関係

4. 均質岩盤モデルと不均質岩盤モデルを用いた場合の掘削解析結果の比較

4.1 検討対象断面

図-3は地山に硬軟の差が見られる切羽写真であり、当該位置の破壊エネルギー係数分布から不均質岩盤モデルを作成した。同図より切羽写真にて確認できる硬質な砂岩、脆弱な粘板岩の分布が解析モデルにおける地山等級の分布と概ね整合していることが分かる。

4.2 解析条件

不均質岩盤モデルの地山物性値を表-1に示す。均質岩盤モデルにおける地山の变形係数は坑内変位の逆解析により推定し、それ以外の地山物性値は検討断面の地山等級に応じた一般物性値を用いた。表-2に均質岩盤モデルの地山物性値を示す。

4.3 解析結果

不均質岩盤モデルおよび均質岩盤モデルを用いて掘削解析を実施した際の変形図、支保部材の断面力図、破壊接近度を図-4に示す。不均質岩盤モデルでは地山の硬軟分布に合わせて、局所的な変位や断面力の増大、ゆるみの拡大を再現することができるが、均質岩盤モデルでは左右対称の変形やゆるみ、断面力しか表現できない。

5. まとめ

本稿では破壊エネルギー係数から不均質岩盤モデルを作成し地山物性値を設定する方法を提案した。不均質岩盤モデルでは、従来の均質岩盤モデルでは表現できない局所的な変位や支保応力を再現できるので、変形特性の異なる岩盤が複雑に混在した箇所におけるトンネルの安定性を適切に評価できる。今後はさらに異なるサイトでのデータの取得・分析を通じて精度向上に向けた検討を進める所存である。

表-1 不均質岩盤モデルの地山物性値

地山等級	破壊エネルギー係数 Ev (J/cm ³)	変形係数 E (N/mm ²)	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 φ (deg)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)
D II	0~115	250	0.2	30	0.35	21
D I	115~170	500	0.4	35	0.35	22
C II-1	170~214	1000	1	40	0.3	23
C II-2	214~250	1500	1.5	42.5	0.3	23.5
C I	250~500	2000	2	45	0.3	24

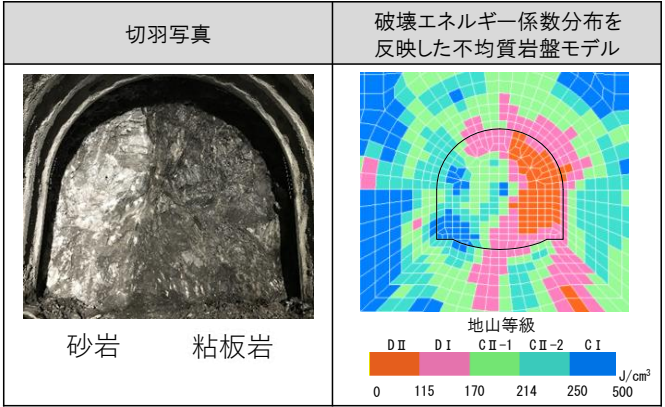


図-3 検討断面と解析モデル

表-2 均質岩盤モデルの地山物性値

等級	変形係数 E (N/mm ²)	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 φ (deg)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)
D I	1060	0.4	35	0.35	22

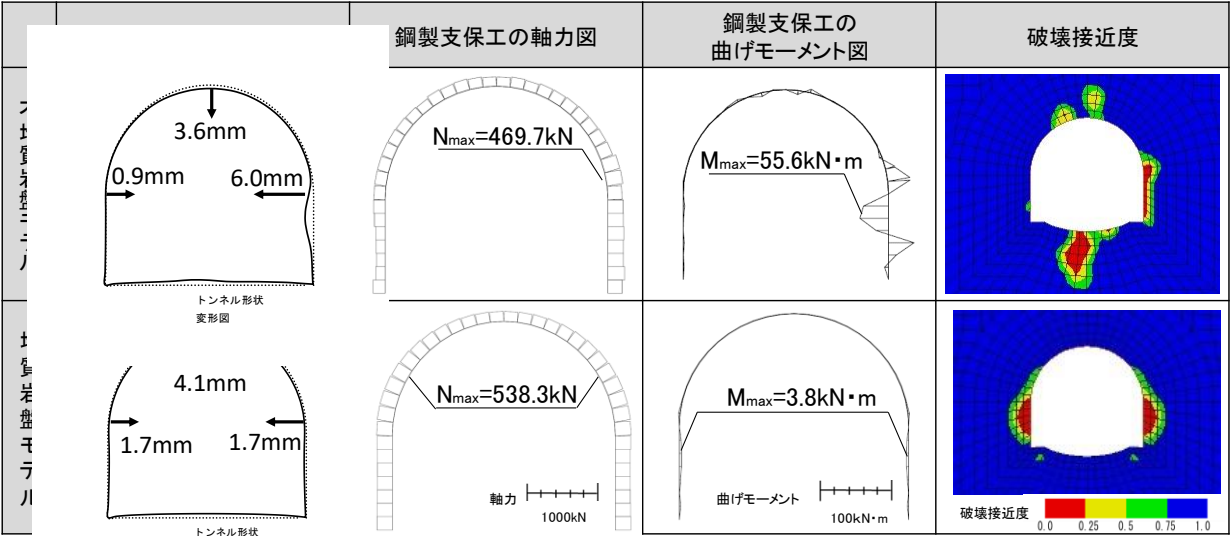


図-4 均質岩盤モデルと不均質岩盤モデルの比較

参考文献

1) 白鷺ら：切羽崩落事故ゼロのためのIoTによるリアルタイム切羽崩落予測システム，土木学会第73回年次学術講演会，IV-16，2018。
2) 高速道路総合技術研究所：トンネル数値解析マニュアル，p. 3-23，2017。