

## コンピュータジャンボの穿孔データを活用した3次元掘削解析の有用性について

鹿島建設(株) 正会員 ○熊谷丈瑠 石井雅子 宮嶋保幸

## 1. はじめに

山岳トンネル掘削時に断層などの地質不良部に遭遇した場合、支保構造を決定するため、地山の工学的モデルを設定し、数値解析が実施される。しかしながら、地山物性値の詳細な分布を評価することは難しく、不均質性を考慮することができないため、過剰に重厚な支保構造となることや、支保耐力不足による変状などのトラブルが発生している。

一方、近年コンピュータジャンボが普及し、その穿孔データからトンネル周辺の地山情報を詳細に把握することが可能となり、筆者らは、コンピュータジャンボから取得される穿孔エネルギーを活用した不均質地山モデルによる FEM 解析手法の開発を進めている。本稿では、相関式を用いて穿孔エネルギーから地山物性値に変換する手法を提示するとともに、穿孔エネルギーを利用して推定した不均質地山モデルによる FEM 解析を実施した事例について報告する。

## 2. 穿孔エネルギーの地山物性値への変換式の構築

穿孔エネルギーから FEM 解析に利用する物性値を得るため、穿孔エネルギーから弾性波速度を介して地山物性値を推定した。穿孔エネルギーから弾性波速度への変換は、前方探査のために実施した長さ約 30m の削孔を利用して速度検層を実施して相関式を取得した<sup>1)</sup>(図-1)。さらに、弾性波速度から様々な物性値への変換は、既往の研究、文献の岩石コアを用いた約 10,000 の試験結果から相関式を構築した。例として、図-2 に弾性波速度と弾性係数の関係を示す。以上の相関式により、穿孔エネルギーから各種の地山物性値に変換することが可能となった。

## 3. 不均質地山モデルの作成方法

以下に不均質地山モデルの作成方法を示す(図-3)。

- ① コンピュータジャンボから取得した穿孔エネルギーからオーディナリークリギングにより地山の3次元分布を推定し、解析モデルの節点に割り当てる。
- ② ソリッド要素を構成する節点の穿孔エネルギーの平均値を要素の穿孔エネルギーとする。
- ③ 各要素の穿孔エネルギーを地山物性値に変換する。

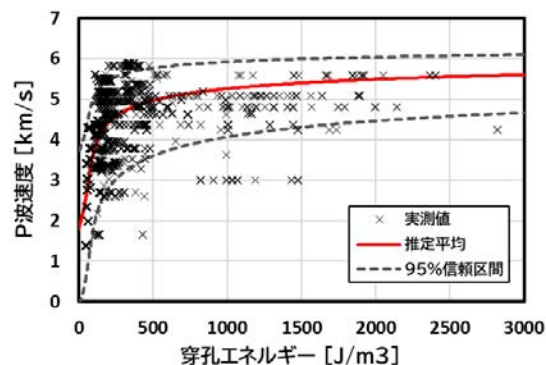
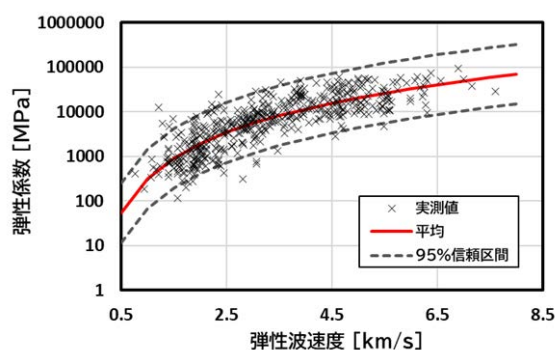
図-1 穿孔エネルギーと弾性波速度の関係<sup>1)</sup>

図-2 弾性波速度と弾性係数の関係

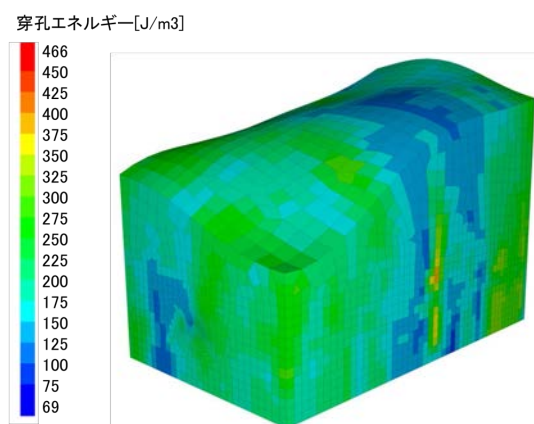
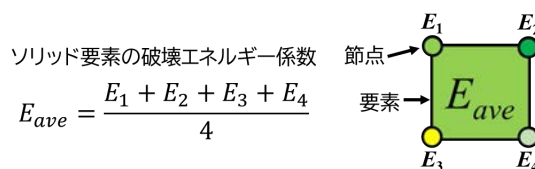


図-3 不均質地山モデルの作成方法

キーワード：山岳トンネル、穿孔エネルギー、掘削解析、支保パターン選定

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) TEL 070-2820-3186

#### 4. 不均質地山モデルによる3次元掘削解析の有用性

これまで、地山の不均質性を考慮した掘削解析は数多く実施されているが、図-4に示すようなソリッド要素ごとに地山物性値を割り当てた詳細な地山モデルを使った3次元解析を実施した例は少ない。本研究では、詳細な不均質地山モデルの有用性を検証するべく、均質地山モデルの予測結果との比較を行った。均質地山モデルでは解析領域内の穿孔エネルギーの平均値 ( $E_v=167 \text{ [J/m}^3\text{]}$ ) をソリッド要素に一様に割り当てた。本解析で使用した穿孔エネルギーから地山物性値への変換式を表-1に示す。図-5に不均質地山モデルおよび均質地山モデルの解析結果として、掘削に伴う切羽離れに対する天端沈下量と内空変位量を示した。天端沈下量については両モデルとも予測値は計測値とほぼ整合していることが分かる。一方で、内空変位量については不均質地山モデルが精度良く計測値を再現できているのに対し、均質地山モデルでは再現できていない。このことから、本稿で示した穿孔エネルギーから変換した物性値の妥当性および、穿孔エネルギー分布を活用した不均質地山モデルの有用性が確認された。

変形係数 [MPa]

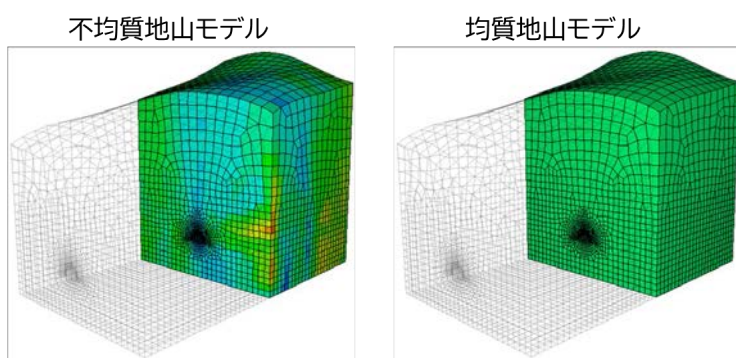
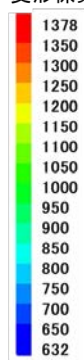


図-4 解析モデルの比較

表-1 地山物性値

地山物性値	推定式
密度 $\times 10 \text{ [kg/m}^3\text{]}$	$1.31 \times E_v^{0.06}$
変形係数 [MPa]	$91.48 \times E_v^{0.46}$
ポアソン比 [-]	$0.31 \times E_v^{0.01}$
粘着力 [MPa]	$0.10 \times E_v^{0.38}$
内部摩擦角 [°]	$6.39 \times E_v^{0.08}$
引張強度 [MPa]	$0.06 \times E_v^{0.37}$

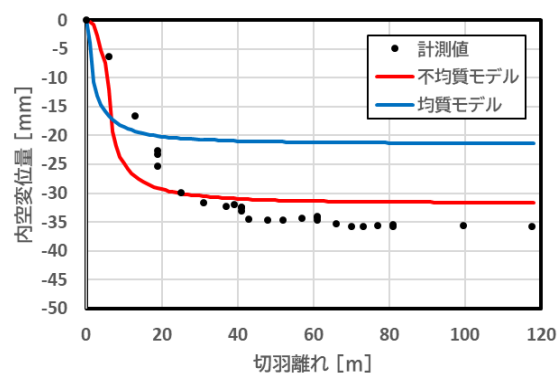
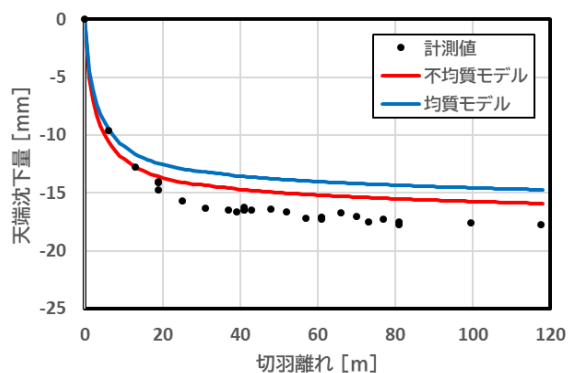


図-5 解析結果 (左: 天端沈下量, 右: 内空変位量)

#### 5. おわりに

本稿では、穿孔エネルギーから地山分布を推定し、地山物性値に変換して構築した不均質地山モデルを用いた掘削解析を実施した。計測結果と比較した結果、適切に物性値を変換することができるとともに、不均質地山モデルの有用性が示唆された。今後は異なるサイトでのデータ取得・検証を行い、物性値変換の精度向上を図り、穿孔エネルギーを用いた掘削解析の実用化に向けて検討を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 石井雅子, 熊谷丈瑠, 横田泰宏, 伊達健介, 升元一彦, 宮嶋保幸, 珠玖隆行: 穿孔データを活用した弾性波速度の確率的回帰モデルの構築: 土木学会第77回年次学術講演会, 2022 (投稿中)。
- 2) 福島大介, 北村義宜, 村上和哉, 相緒春奈: トンネル周辺岩盤の硬軟分布を考慮した掘削解析手法, 土木学会台76回年次学術講演会, VI-460, 2021。