

穿孔データによる岩盤物性値評価のための確率的回帰モデルの構築

鹿島建設(株) 正会員 ○石井雅子 熊谷丈瑠 横田泰宏 伊達健介 升元一彦 宮嶋保幸
岡山大学大学院 珠玖隆行

1. はじめに

山岳トンネル工事において、穿孔データや穿孔位置座標を記録できるコンピュータジャンボの普及が進み、地山の硬軟を表す破壊エネルギー係数分布を容易に取得できるようになった。筆者らは、トンネル掘削シミュレーション解析を高精度化すべく、破壊エネルギー係数を解析メッシュに割り付け、不均質な地山状況をモデル化する手法の開発に取り組んでいる¹⁾。解析を実施する上で、破壊エネルギー係数（以下、 E_v と表示）を変形係数、圧縮強度、P波速度（以下、 V_p と表示）などの物理的な岩盤特性へ適切に変換する必要がある。これまでに筆者らは、 E_v から岩盤特性へ一意的に変換する決定論的モデルの線形関係を構築してきたが、 E_v から V_p を確率的に評価することができる確率的回帰モデルを構築したので報告する。

2. 削孔検層と速度検層によるデータセットの取得

切羽前方探査技術である削孔検層と速度検層を同一の孔で実施することで深度ごとに E_v と V_p の両方を取得することができる（図-1）。両値とも岩盤の硬軟を反映していることから、同深度における両者には相関関係があると言える。現在、これらのデータベースの構築を進めており²⁾、これまでに6現場、計3,500のデータセットが取得され、堆積岩から火成岩、変成岩までのさまざまな地質データが得られている（表-1）。 E_v と V_p のデータの一部を図-2に示す。 E_v は約0.1m間隔にデータが取得されており、例えば $L=30\text{m}$ の削孔検層に対して300個の E_v と V_p のデータセットが存在する。今回、これら全てのデータセットを確率的回帰モデル構築に使用した。

3. E_v - V_p 確率的回帰モデル

従来、 E_v から V_p の変換には単純な線形関係の決定論的モデルを用いていたが、岩盤特性のばらつきを考慮できる次式により定義される2変量ガウス分布³⁾に基づく確率的回帰モデルを利用した。

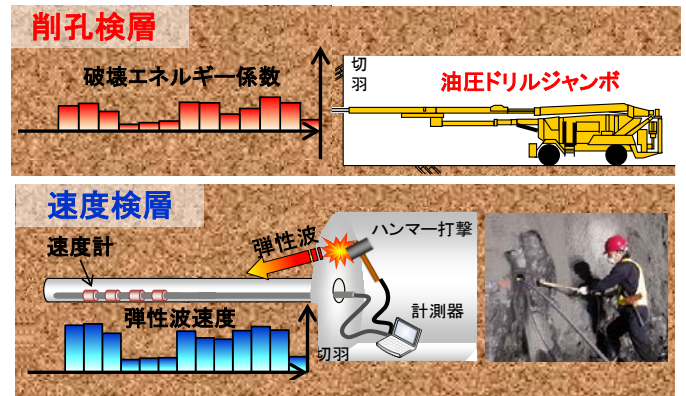


図-1 切羽前方探査技術

表-1 データ取得先現場と地質

No.	地質	データ数
1	粘板岩	300
2	凝灰角礫岩	230
3	頁岩優勢砂岩混在岩	1,200
4	粘板岩優勢混在岩、蛇紋岩	1,180
5	凝灰角礫岩	420
6	花崗閃緑岩	170

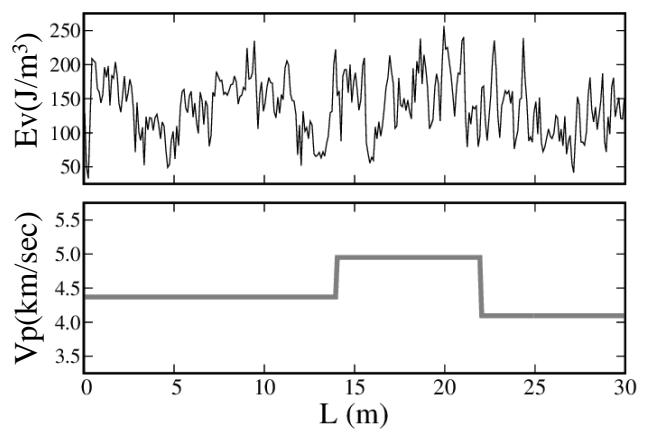


図-2 E_v と V_p のデータの一部

キーワード 山岳トンネル, コンピュータジャンボ, 破壊エネルギー係数, P波速度, 確率的回帰モデル
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-485-1111

$$\mathcal{N}(\mathbf{x}|\mathbf{C}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^M |\mathbf{C}|}} \exp\left(-\frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{x}\right)$$

(\mathbf{x} : 標準正規分布に従うパラメータベクトル, \mathbf{C} : 共分散行列 (相関行列), M : パラメータ数)

ここで, E_v のデータは図-2 に示すように大きく変動するため, データの傾向を合理的に推定できる **Glasso** と呼ばれるアルゴリズムを用いて, ノイズ ε を取り除き, E_v のトレンドを推定した (図-3). これにより得られた E_v を用いて確率的回帰モデルを作成するが, E_v と V_p のデータは正規分布に従わないため, **Johnson システム**⁴⁾ を使用して, E_v と V_p のデータを標準正規分布化した.

構築した E_v と V_p の確率的回帰モデルを図-4 に示す. 図中の赤い実線は平均値, 破線は 95% 信頼区間を示しており, より信頼性の高い非線形関係を合理的に捉えることができた. また, これまでの線形変換モデルでは E_v が 500J/m^3 を超えると V_p を過大評価する可能性があることがわかった.

4. E_v から解析物性値へのアプローチ

E_v から変換した V_p を用いて解析物性値を取得するため, 既往の研究, 文献から収集した約 10,000 のデータから, 各種物性値相互の関係を示す岩盤データベースを整備した (図-5). これにより, 各岩盤物性間の確率的回帰モデルを構築できる. 今後, 2つの確率的回帰モデルに基づいて, E_v から全ての岩盤物性値に変換できるモデルを構築していく.

5. まとめ

本研究では, E_v から V_p を推定するための確率的回帰モデルを構築し, E_v から岩盤特性に変換するための新しい方法を提案した. その結果, より信頼性の高い非線形関係を合理的に捉えることができた. 今後は, 掘削とともに得られる坑内計測結果を活用したデータ同化による岩盤物性値の更新にも取り組み, 精緻な掘削シミュレーションを通じてより合理的なトンネル設計施工を実現できるよう開発を進めていく所存である.

参考文献

- 1) 小泉悠, 升元一彦, 宮嶋保幸, 福島大介, 宮石雅子, 黒川紗季: 穿孔エネルギーを用いた解析モデルの高精度化とトンネル掘削シミュレーション, トンネル工学報告集, 第30巻, I-12, 2020.
- 2) 白鷺ら: 削孔検層と速度検層によるトンネル切羽前方の弾性波速度分布の予測, 第71回年次学術講演会, VI-394, 2016.
- 3) Ching, J., Lin, G.H., Phoon, K.K., and Chen, J.R.: Correlations among some parameters of coarse-grained soils the multivariate probability distribution model. *Canadian Geotechnical Journal*, 54(9), 1203-1220, 2017.
- 4) Johnson, N. L.: Systems of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika* 36: 149-176, 1949.

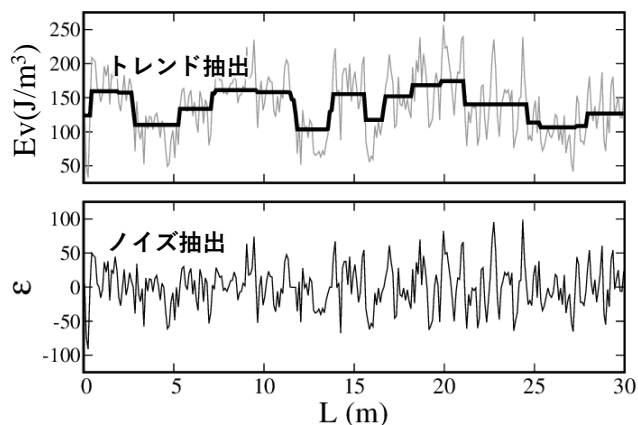


図-3 E_v トレンド分析

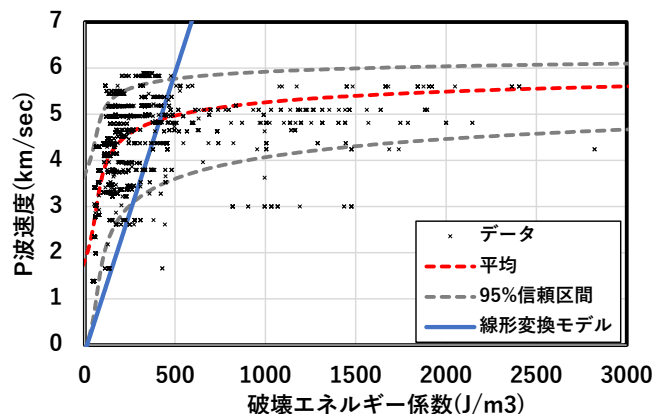


図-4 E_v と V_p の相関関係

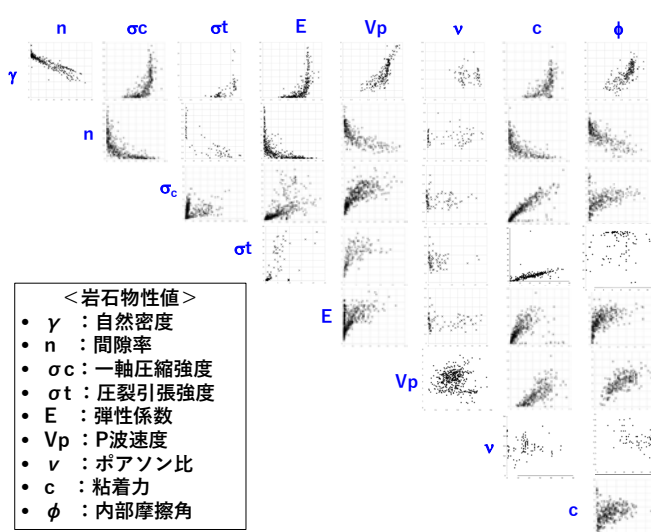


図-5 物性値相互の関係を示す岩盤データベース