

## 穿孔エネルギーに基づくトンネル切羽前方地質性状評価

長崎大学工学部 学生会員 ○石津綜大 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣宇静  
(株)鴻池組 正会員 阪口治 長崎大学大学院 学生会員 劉建康

### 1. はじめに

山岳トンネルの施工においては切羽の急変や突発的な湧水等の不測の事態によってやむなく切羽作業の休止を強いられる場合が少なくない。不測の事態を防止し、作業の安全性の確保、工程遅延の防止、支保選定などを効率的に行うために切羽前方の地山状況を正確に把握する必

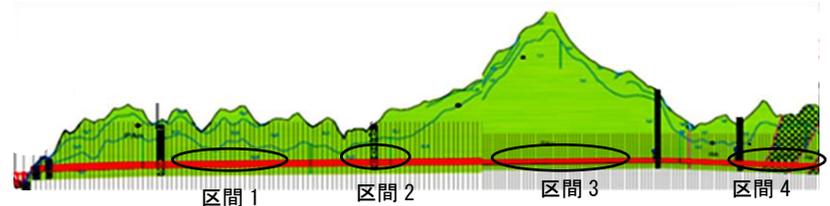


図-1 トンネル全長断面図

要がある。近年、地山状況を直接的に探査する方法として、穿孔探査法を最も有効な探査法の一つとして用いられるようになってきた。通常、地山評価は施工実績と切羽の観察から経験者が総合的に地山の良否を判定している。穿孔探査法は切羽の前方を掘削前に穿孔探査し、地山状況を予測する方法である。しかし、新たな方法であるため得られるデータからの定量的な地山評価があまり行われていないのが現状である。本研究では実施工で得られた、穿孔探査時のデータを分析し、切羽前方地山の予測結果と実施支保の関連性を検討する。

### 2. 研究概要

表-1 区間分割表

#### 2.1 対象現場

対象現場はトンネル掘削がすでに終わっている新幹線トンネルであり、トンネルの全長は約4kmとなっている。対象地山の地層は長崎火山岩類であり、岩種は概ね輝石安山岩類である。坑内湧水が所々で見られ、突発的な大量湧水区間も見られる。弾性波速度は、2.5～3.5km/sec程度であり、あまり良い地質性状ではない。

区間	起点からの距離	地質	土被り	湧水
1	58k424.4m～58k724.3m	良い	普通	少量
2	59k178.4m～59k611.0m	悪い	普通	多い
3	59k847.3m～60k652.1m	良い	大きい	少量
4	61k192.3m～61k714.1m	普通	普通	多い

#### 2.2 評価方法

使用するデータは、施工時に得られた前方探査データや切羽観察記録などの施工実績を用いる。前方探査からは穿孔エネルギーのデータが得られ、穿孔長1m毎に平均化した値を用いる。穿孔エネルギーと土被りや切羽観察記録の評価点等を比較し相関を調べ、穿孔エネルギーがどの要素と関係が深いのかを評価する。

トンネル全長約4kmについて地質性状が比較的良く変状が小さい箇所、地質性状が悪く変状が大きい箇所、土被りが大きく地質性状が良く変状が小さい箇所、湧水が多いが変状が小さい箇所の4つの区間に分けて調べることにした(図-1と表-1を参照)。

地山の荷重は地山の単位体積重量と土被りの積に比例して大きくなる。土被りが小さいところでは地質性状が比較的悪く、地山区分の変化が著しいことが多いため、測量誤差や物理探査の解析誤差が地山区分の判定に大きな影響を与える。一般的に土被りが大きいほど穿孔エネルギーは大きくなる。これは、風化が地表面から進むため土被りが小さい箇所の方がもろくなりやすいことや荷重によって押し固められ密度が高くなることが考えられる。

切羽評価点は掘削地点の地山の状態と挙動を10項目の1～5段階で点数をつけ合計したものを用いた。10項目の内訳は湧水量や圧縮強度、クラック、切羽の状態などであり、評価点は点数が低いほど良い状態の切羽である。

### 2. 3 穿孔エネルギー

単位体積あたりの岩盤を穿孔するのに要したエネルギー量を示し、より硬質な岩盤ほどより多くの穿孔エネルギーが必要となる。以下にその定義式を示す。

$$\text{穿孔エネルギー} E_d \left( \frac{J}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{打撃エネルギー} E_p(J) \times \text{打撃数} C_p(\text{bpm}) \times \text{損失係数} K}{\text{穿孔速度} V_d(\text{cm}/\text{min}) \times \text{孔断面積} S(\text{cm}^2)}$$

### 3. 考察

#### 3. 1 土被りと穿孔エネルギー

土被りと穿孔エネルギーの比較を行った。ここでは区間 1～4 のなかでも相関が顕著であった区間 3 を例にとって記述する。図-2 より、穿孔エネルギーと土被りの関係は若干正の相関があるものの、はっきりした相関は見られない。これはその他の区間でも同じようになり穿孔エネルギーと土被りには相関がないように思われた。しかし、図-3 のようにトンネルの延長に対応した土被りの大きさと穿孔エネルギーのグラフを重ね合わせるとグラフの概形が似ているように見える。土被りの増加に比べて穿孔エネルギーが低くなっている地点では、実際の施工で天端の変状が見られ、地質性状が良くない箇所となっていた。このような結果は他の区間でも地質性状が悪くなっている箇所においても見られた。これらのことから、グラフの概形と比較することによって部分的に地質性状が悪くなっている箇所も判断できるのではないかと考えられる。

#### 3. 2 切羽評価点と穿孔エネルギー

切羽評価点と穿孔エネルギーとの比較を行った。切羽評価点と穿孔エネルギーの相関図(図-4 参照)から、地質性状が良いと判断された評価点が小さい箇所では、穿孔エネルギーが大きく、地質性状が悪いと判断された評価点大きい箇所では穿孔エネルギーが小さくなっている。また、土被りと同じようにデータの量は違うものの穿孔エネルギーと切羽評価点のグラフの概形が似ており高い相関を有する。

### 4. おわりに

本研究では、穿孔エネルギーと土被りと切羽評価点との比較によって相関関係を明らかにした。比較するグラフの基準を距離に変えることによって地質性状の変化と穿孔エネルギーの関係を表すことができた。今後は、岩種の違う箇所において相関を調べ岩種ごとの穿孔エネルギーの違いや支保パターンと穿孔エネルギーとの関係などを調べていく。

#### 参考文献

- 1) 阪口治, 山本浩志, 山田浩幸, 蔣宇静: 軟弱地山トンネルにおける切羽前方探査の実施と効果に関する一考察, 第 28 回トンネル工学研究発表会講演集, 2018.
- 2) 金本岳人ほか: 穿孔データに基づく地山評価手法へのニューラルネットワーク適用に関する考察, 土木学会第 60 回年次学術講演会要旨集, 3-231, pp.461-462, 2005.
- 3) 山田浩幸ほか: 変位の大きい脆弱地山における補助工法の設計と施工に関する一考察, 鴻池組技術研究報告, 2008.

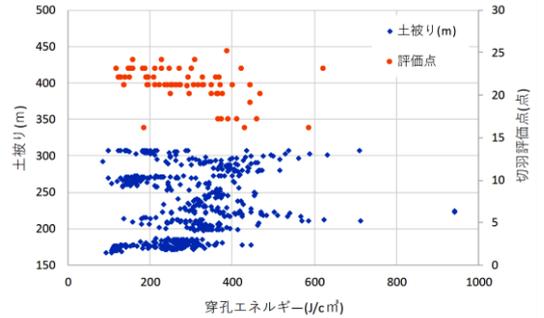


図-2 穿孔エネルギーとの相関 (区間 3)

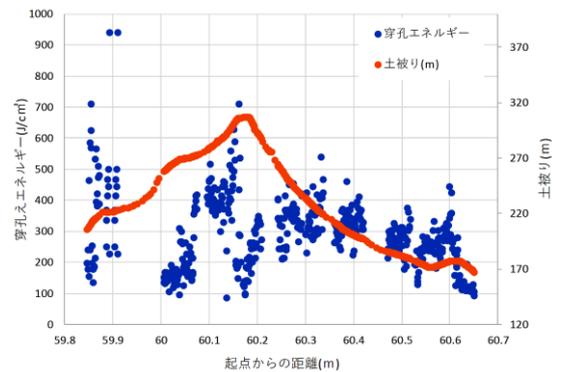


図-3 穿孔エネルギーと土被り (区間 3)

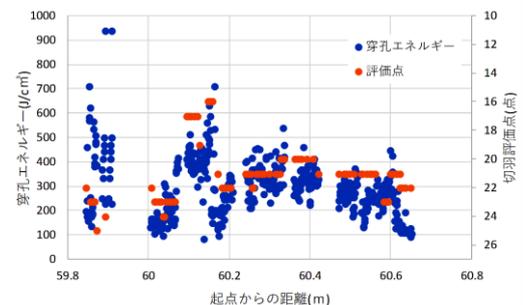


図-4 穿孔エネルギーと切羽評価点 (区間 3)