

トンネル切羽評価点と切羽前方穿孔データとの相関性について

長崎大学工学部 学生会員 ○力武大朗 長崎大学大学院 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

1. 研究背景と目的

山岳トンネルの施工においては、地山の急変や突発的な湧水等の不測の事態によって、やむなく掘削作業の休止を強いられる場合も少なくない。不測の事態を回避するために、事前に切羽前方の地山状況を正確に把握することが有効である。そのため、穿孔探査法は最も有効な探査法の一つとして、実施されることが増加している。通常、穿孔探査法を用いた切羽評価は、穿孔エネルギーと掘削時に得られる目視情報から、最終的には経験者が総合的に地山の良否を判定している。しかし、穿孔探査法から得られるデータを用いた定量的な地山評価が十分に行われていないのが現状である。そこで、本研究では、現場で取得された穿孔データと切羽観察時に行われた切羽評価点との関連性を検証することにより、穿孔データが支保パターンを決定する指標となりえるかの検討を行う。

2. 研究概要

2.1 研究対象トンネル

研究対象は掘削がすでに終わっている新紀見トンネルであり、トンネルの施工延長は約 2,106m となっている (図-1)。坑内湧水が所々で見られ、突発的な大量湧水区間もある。分析に用いるのは、施工時に得られた穿孔データと切羽観察などの施工記録である。穿孔探査からは穿孔エネルギーのデータが得られ、切羽面の前後 0.5m の範囲、1.0m 間の平均を取ったものを用いる。これらを用いて、穿孔エネルギーと切羽観察の評価点等との相関を調べ、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。

切羽評価点は表-1 に示すように、掘削地点の地山の状態を 7 項目の 1~6 段階で点数をつけ合計したものをを用いた。なお、7 項目の内訳は、切羽の状態、素掘面の状態、圧縮強度、風化変質、割れ目間隔、割目状態、走行傾斜、湧水量、劣化となっており、評価点は点数が低いほど良い状態の切羽を表す。

2.2 穿孔データ

穿孔探査は、トンネル発破孔やロックボルト孔の穿孔に用いられるドリルジャンボを使用して行った。穿孔データは穿孔中の油圧データを記録できる測定器をドリルジャンボに接続し、取得した。これらは、穿孔速度、回転圧、フィード圧、打撃圧、打撃数であり、各データから穿孔エネルギーを下式により算出している。なお、穿孔エネルギーは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。

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

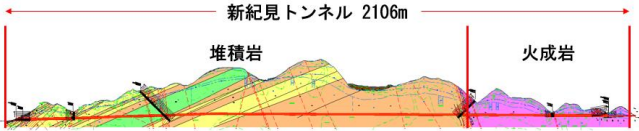


図-1 新紀見トンネル地質縦断図

表-1 切羽評価項目

| 観察項目              |                                     | 評価区分                    |                       |                           |                      |                        |                         |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| A.圧縮強度<br>(N/mm2) | 一軸圧縮強度<br>ポイントロード<br>ハンマー打撃による強度の目安 | 100以上                   | 100~50                | 50~25                     | 25~10                | 10~3                   | 3以下                     |
|                   |                                     | 4以上                     | 4~2                   | 2~1                       | 1~0.4                | 0.4以下                  |                         |
|                   |                                     | 岩片を地面に置きハンマーで強打しても割れにくい | 岩片を地面に置きハンマーで強打すれば割れる | 岩片を手で持ってハンマーでたたいて割ることができる | 岩片どうしを叩き合わせて割ることができる | 両手で岩片を部分的にでも割ることができる   | 力をこめれば小さな岩片を指先で潰すことができる |
| 評価区分              |                                     | 1                       | 2                     | 3                         | 4                    | 5                      | 6                       |
| B.風化変質            | 風化の目安                               | 概ね新鮮                    | 割れ目沿いの風化変質            | 岩芯まで風化変質                  | 土砂状風化、未固結土砂          |                        |                         |
|                   | 熱水変質など                              | 変質は見られない                | 変質により割れ目に粘土を挟む        | 変質により岩芯まで強度低下             | 著しい変質により全体が土砂状、粘土化   |                        |                         |
|                   | 評価区分                                | 1                       | 2                     | 3                         | 4                    |                        |                         |
| C.割れ目間隔<br>RQD    | 割れ目の間隔                              | d≦1m                    | 1m>d≦30cm             | 30cm>d≦20cm               | 20cm>d≦5cm           | 5cm>d                  |                         |
|                   |                                     | 80以上                    | 80~50                 | 60~30                     | 40~10                | 20以下                   |                         |
|                   | 評価区分                                | 1                       | 2                     | 3                         | 4                    | 5                      |                         |
| D.割目状態            | 割目の開口度                              | 割目は密着している               | 割目の一部が開口している(幅<1mm)   | 割目の多くが開口している(幅1~5mm)      | 割目が開口している(幅5~5mm)    | 割目が開口している(幅5mm以上の幅がある) |                         |
|                   | 割目の挟み物                              | なし                      | なし                    | なし                        | 薄い粘土を挟む(5mm以下)       | 厚い粘土を挟む(5mm以上)         |                         |
|                   | 割目の粗度鏡肌                             | 粗い                      | 割目が平滑                 | 一部に鏡肌                     | よく磨かれた鏡肌             |                        |                         |
| 評価区分              |                                     | 1                       | 2                     | 3                         | 4                    | 5                      |                         |
| E.走向傾斜            | 走向がトンネル軸と直角                         | 差し目<br>傾斜15~30度         | 差し目<br>傾斜30~45度       | 差し目流れ目<br>傾斜45~60度        | 流れ目<br>傾斜60~75度      | 流れ目<br>傾斜75~90度        |                         |
|                   | 評価区分                                | 1                       | 2                     | 3                         | 4                    | 5                      |                         |
|                   | 走向がトンネル軸と平行                         |                         |                       | 傾斜20~45度                  | 傾斜45~60度             | 傾斜60~90度               |                         |
| 評価区分              |                                     |                         |                       | 1                         | 2                    | 3                      |                         |
| F.湧水量             | 状態                                  | なし<br>(100ml/分以下)       | 滴水程度<br>(100~200ml/分) | 集中湧水<br>(200~500ml/分)     | 全面湧水<br>(500ml/分以上)  |                        |                         |
|                   | 評価区分                                | 1                       | 2                     | 3                         | 4                    |                        |                         |
| G.劣化              | 水による劣化                              | なし                      | 緩みを生ず                 | 軟弱化                       | 流出                   |                        |                         |
|                   | 評価区分                                | 1                       | 2                     | 3                         | 4                    |                        |                         |

### 3. 考察

切羽評価点及び全評価項目と穿孔エネルギーとの相関を調べた。図-2 では切羽評価点と穿孔エネルギーの相関を表す。理論上では切羽評価点が高いと穿孔エネルギーは小さくなるため、2 つは負の相関関係になる。対象現場での切羽評価点と穿孔エネルギーとの相関係数は-0.334 で、負の相関であったが低い値である。次に切羽評価点及び全評価項目と穿孔データとの相関を調べた。表-2 より穿孔エネルギーよりも高い相関を有する項目が複数出現した。例えば、打撃圧と割れ目間隔の相関係数は-0.396 であり、穿孔エネルギーと割れ目間隔の相関係数よりも高いことが分かる。つまり穿孔エネルギー以外の穿孔データを利用することで推定できる可能性があると考えられる。

次に、対象現場を和泉層群(砂岩・礫岩・砂岩泥岩)の堆積岩、領家花崗岩の火成岩に分類し、考察を行った。表-3 は、堆積岩の各穿孔データと各切羽評価項目の相関係数をまとめている。この区間では、打撃圧における圧縮強度と割れ目間隔の相関係数が比較的に高い。つまり、打撃圧のデータから圧縮強度と割れ目間隔を予測できる可能性は高いと考えられる。次に、表-4 は、火成岩の相関係数をまとめている。この区間では、穿孔速度における圧縮強度と風化変質の相関係数が比較的に高い。つまり、穿孔速度のデータから圧縮強度と風化変質を予測できる可能性はあると考えられる。以上のよう、岩質ごとに相関係数が大きく異なり、相関の高い穿孔データ項目に違いがみられた。要因として、堆積岩が層状、火成岩が一枚岩のように形成されていることが考えられる。

### 4. おわりに

本研究では、掘削前に取得した切羽前方の穿孔エネルギーから切羽評価の各項目の点数を推測して、その結果から切羽評価点を予測できる可能性を確かめた。相関グラフを用いて、考察を行ったが、相関係数の値が低く、相関性があると考えられる項目でもデータ数が少ないため、検証が不十分だったといえる。今後は、他現場でのデータ収集と分析を行う。

### 参考文献

- 1) 石津 綜大ら：切羽評価点と切羽前方穿孔データの関連性に関する研究，令和2年度土木学会第75回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-225，2020

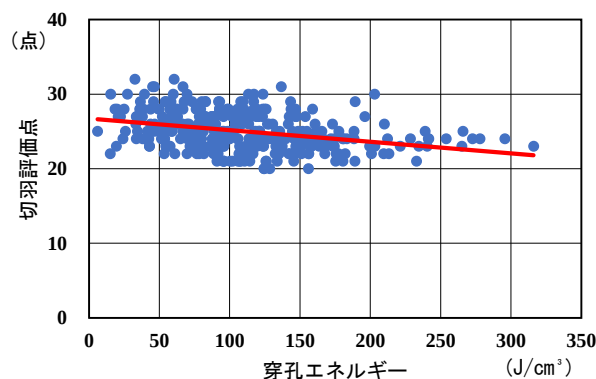


図-2 切羽評価点と穿孔エネルギーの相関

表-2 全評価項目と穿孔エネルギーの相関係数

| 全体         | 穿孔速度   | 打撃圧    | 回転圧    | フィード圧  | 穿孔エネルギー |
|------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| A.圧縮強度     | 0.225  | -0.405 | 0.256  | -0.022 | -0.394  |
| B.風化変質     | 0.200  | -0.087 | 0.080  | -0.005 | -0.128  |
| C.割れ目間隔    | 0.059  | -0.396 | 0.242  | -0.093 | -0.244  |
| D.割れ目状態    | 0.205  | 0.076  | -0.023 | -0.060 | -0.170  |
| E.走向傾斜(直角) | -0.086 | -0.449 | 0.234  | -0.175 | 0.003   |
| E.走向傾斜(平行) | -0.007 | -0.409 | 0.280  | -0.035 | -0.168  |
| F.湧水量      | 0.178  | 0.022  | -0.018 | -0.006 | -0.039  |
| G.劣化       | 0.223  | -0.142 | 0.036  | -0.050 | -0.255  |
| 合計         | 0.221  | -0.440 | 0.268  | -0.092 | -0.334  |

表-3 堆積岩の相関係数

| 堆積岩        | 穿孔速度   | 打撃圧    | 回転圧   | フィード圧  | 穿孔エネルギー |
|------------|--------|--------|-------|--------|---------|
| A.圧縮強度     | 0.191  | -0.401 | 0.261 | -0.048 | -0.388  |
| B.風化変質     | 0.247  | -0.104 | 0.083 | 0.012  | -0.256  |
| C.割れ目間隔    | 0.086  | -0.432 | 0.242 | -0.103 | -0.280  |
| D.割れ目状態    | 0.090  | -0.231 | 0.157 | -0.210 | -0.155  |
| E.走向傾斜(直角) | -0.105 | -0.412 | 0.189 | -0.228 | 0.007   |
| E.走向傾斜(平行) | -0.006 | -0.378 | 0.266 | -0.041 | -0.176  |
| F.湧水量      | 0.217  | -0.111 | 0.071 | 0.088  | -0.217  |
| G.劣化       | 0.198  | -0.206 | 0.045 | -0.072 | -0.286  |
| 合計         | 0.184  | -0.450 | 0.259 | -0.103 | -0.358  |

表-4 火成岩の相関係数

| 火成岩        | 穿孔速度  | 打撃圧    | 回転圧    | フィード圧  | 穿孔エネルギー |
|------------|-------|--------|--------|--------|---------|
| A.圧縮強度     | 0.496 | 0.229  | 0.137  | -0.132 | -0.445  |
| B.風化変質     | 0.611 | -0.033 | -0.048 | 0.178  | -0.463  |
| C.割れ目間隔    | 0.009 | 0.136  | 0.075  | -0.131 | -0.104  |
| D.割れ目状態    | 0.174 | 0.001  | 0.072  | 0.139  | -0.247  |
| E.走向傾斜(直角) | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000   |
| E.走向傾斜(平行) | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000   |
| F.湧水量      | 0.247 | 0.140  | -0.088 | -0.059 | -0.194  |
| G.劣化       | 0.011 | 0.198  | -0.091 | -0.178 | -0.117  |
| 合計         | 0.497 | 0.188  | 0.045  | -0.041 | -0.479  |