

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

長崎大学大学院工学研究科 学生会員 ○石津綜大 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支保の設計は、事前の調査によって仮設計を行い、掘削時の切羽の状態を考慮して修正を行う方法が一般的である。切羽評価は、穿孔データと掘削時に得られる目視情報を考慮して、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。この切羽評価をより効率的、定量的に行うためにボーリングによって取得可能な穿孔データを利用できないかと考えた。穿孔データは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把握することができる。そこで、本研究では、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で、穿孔データによって切羽を定量的に評価できるか検討を行う。

2. 研究概要

2.1 研究方法

研究対象は掘削がすでに終わっている長崎新幹線トンネルであり、トンネルの施工延長は約4km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見られる。使用するのは、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、鉄道運輸機構の規定に基づき、掘削地点の地山の状態と挙動を10項目の1~4段階で点数をつけ合計したものを用いた。なお、10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、破碎部の切羽に占める割合、割れ目の頻度、割れ目の状態、割れ目の形態、湧水量、水による劣化となっており、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

穿孔データは穿孔中の油圧データを取得できる穿孔探査器をドリルジャンボに接続し、取得した。これによって、穿孔速度、回転圧、フィード圧、打撃圧、打撃数などの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。ここでは、取得された各種データを総じて穿孔データとしている。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 新長崎トンネル地質縦断面図

表-1 切羽評価項目

掘削地点の地山の状態と挙動					
A	切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	3. 鏡面の押し出しを生じる	4. 鏡面は自立せず 崩落あるいは流出
B	素掘面の状態	1. 自立	2. 時間がたつと緩み肌落ちする	3. 自立困難、掘削後早期に支保する	4. 掘削に先行して山を受けておく必要がある
C	圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 100\text{MPa}$ ハンマー打撃で跳ね返る	2. $100 > \sigma_c \geq 20\text{MPa}$ ハンマー打撃で砕ける	3. $20 > \sigma_c \geq 5\text{MPa}$ ハンマーの軽い打撃で砕ける	4. $5\text{MPa} > \sigma_c$ ハンマー刃先がくい込む
D	風化変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って変色、強度やや低下	3. 全体に変色、強度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、礫状 当初より未固結
E	破碎部の切羽に占める割合	1. 5% > 破碎	2. 20% > 破碎 $\geq 5\%$	3. 50% > 破碎 $\geq 20\%$	4. 切羽面の大部分が 破碎されている状態
F	割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1$	2. $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	3. $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	4. $5\text{cm} > d$ 破碎 当初より未固結
G	割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土を挟む 当初より未固結
H	割れ目の形態	1. ランダム方形	2. 柱状	3. 層状・片状・板状	4. 土砂状・細片状 当初より未固結
I	湧水目視での量	1. なし、滲水程度	2. 滴水程度	3. 集中湧水 (10 ℓ/min)	4. 全面湧水 (ℓ/min)
J	水による劣化	1. なし	2. 緩みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊・流出

キーワード：穿孔エネルギー、切羽観察、山岳トンネル

連絡先：〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会環境デザイン工学コース TEL：095-819-2626

表-2 切羽評価点における穿孔エネルギー値別の割合(%)

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	計	データ数(個)
0-100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	60.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	5
100-200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	20.0	20.0	9.2	7.6	27.0	7.6	3.2	2.2	0.5	1.1	1.1	100	185
200-300	0.9	0.0	0.0	1.9	5.6	21.5	21.5	10.3	7.5	13.1	13.1	0.9	1.9	0.9	0.9	0.0	100	107
300-400	0.0	6.7	0.0	0.0	8.3	26.7	13.3	8.3	6.7	18.3	3.3	5.0	3.3	0.0	0.0	0.0	100	60
400-500	4.3	8.7	0.0	4.3	4.3	17.4	13.0	17.4	13.0	4.3	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	23
500-600	0.0	0.0	0.0	16.7	8.3	8.3	0.0	25.0	8.3	16.7	0.0	8.3	0.0	8.3	0.0	0.0	100	12
600-700	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	27.3	0.0	0.0	27.3	9.1	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	100	11
700-800	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	25.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	4
800-900	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
900-1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	1
全穿孔エネルギー	0.74	1.47	0.00	1.23	3.43	20.3	18.1	10.3	7.8	20.8	8.6	3.2	2.0	0.74	0.74	0.49	100	408

3. 考察

穿孔エネルギーの値別の切羽評価点分布を表-2に示す。理論上では切羽評価点が高いと穿孔エネルギーは低くなるため、2つは負の相関関係になる。よって分布は穿孔エネルギーが大きくなるほど切羽評価点の低い方に推移していく。表-2より100~500 J/cm³ぐらいまではそのような傾向がわずかにみられた。傾向がみられなかったものとの違いはデータの量の違いが大きいと考えられる。検証データ量の多い100~400 J/cm³について細かく見る必要がある。また、分布もはっきりとしておらず、これによって切羽を評価することは難しいことが分かった。

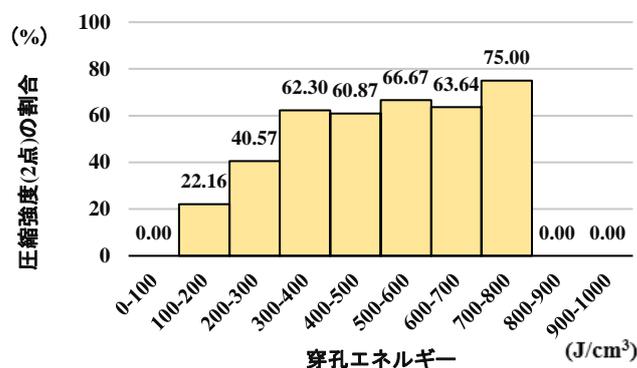
そのため、合計点だけではなく各項目について比較を行った。ここでは、穿孔エネルギーと圧縮強度の比較を例に考察する。圧縮強度は2点、3点のみの分布であった。図-2では、圧縮強度における穿孔エネルギー値別の各点数の割合を求めた。300 J/cm³付近で点数の比重が変わっていることがわかる。分布が比較的顕著な要因としては圧縮強度も穿孔エネルギーも硬さを表す指標であることが考えられる。一方で他の項目では目視によって点数化している項目(風化・変質や割れ目の状態など)は分布が顕著ではなかった。このように、直接的な利用は難しいが各項目で点数を算出し合計点を集約することで推測できる可能性を示した。さらに細かく各項目を組み合わせることで補うことが可能な項目もあるとみられる。

4. 結論

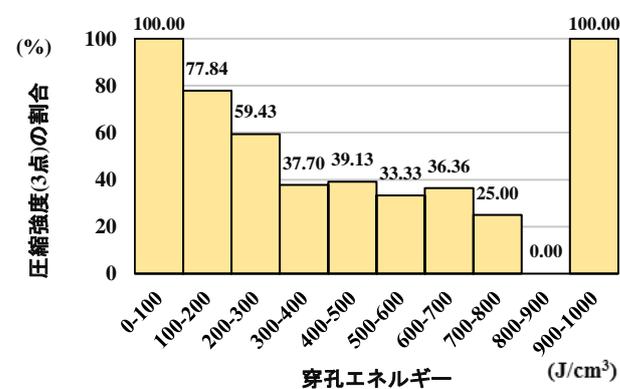
本研究では、掘削前に切羽前方の穿孔エネルギーから切羽評価の各項目の点数を推測して、その結果から切羽評価点を予測できる可能性を示した。また、目視項目についてはAIや画像による解析などによって補うことも考えられる。今後は、異なる岩種でデータとケースを増やし、検討を重ねる必要がある。

参考文献

- 1) 室達郎, 渡邊公浩: 岩盤に対する回転打撃穿孔能力に及ぼすビット磨耗の影響, 土木学会論文集, 第397号, VI-9, pp.115-116, 1988.
- 2) 若林宏彰: 全断面追尾式穿孔誘導システム「ドリル NAVI」の開発, 鴻池組技術研究報告, pp.1-6, 2015.



(a) 圧縮強度 2 点



(b) 圧縮強度 3 点

図-2 圧縮強度における穿孔エネルギー値別の各点数の割合