

トンネル支保パターン決定指標と切羽前方穿孔データとの相関分析

長崎大学工学部 学生会員 ○波多江駿介 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 石津綜大
 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、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とられ、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。しかし、穿孔探査法は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十分に行われていないのが現状である。本研究では、長崎新幹線ルートにおけるトンネルを対象に、掘削時に得られた穿孔データの分析により、予測精度の向上と合理的支保の選定への適用について検討を行う。

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。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探査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、穿孔エネルギーおよび切羽観察の評価点等と支保パターンとの相関を調べ、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。なお、支保パターンは表-1 に示すように 4 つのタイプに分類した。分類前は、直線区間と曲線区間などの違いにより支保パターンを細かく分類しているが、基本的な支保パターンは大差がないため、分類は補助工法の有無、ロックボルトの本数、支保の間隔に基づいて行った。

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。それらは、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。

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

3. 考察

3.1 穿孔エネルギーと切羽評価点との相関

切羽評価点は掘削地点の地山状況と挙動を 10 項目の 1~4 段階で点数をつけ、合計したものと穿孔エネル

表-1 支保パターンの分類

カテゴリー	支保パターン	ボルトの本数	支保工の間隔
Type a	II-A(B)	10	1.5m
	II-A-B (B)		
Type b	II-B(B)	10	1.2m
	I-2-A(B)		
Type c (補助工無し)	I-2-B(B)	6	1.2m
	I-2-B(B)C		
Type d (補助工あり)	I-2-B(B)D	6	1.2m
	I-2-B(B)E		

ギーの相関を検証する。本研究で、切羽評価点の「割れ目の状態」に着目して考察する。図-1より割れ目の状態は2点、3点、4点の3段階の評価がされているが、4点のデータが少ないため、今回は2点と3点に重点を置く。図-2より、穿孔エネルギーが100~200J/cm³の時に2点が多く、図-3より、200~300J/cm³の時に3点が多いことが分かる。穿孔エネルギーが100~200J/cm³の時は、2点が152個、3点が31個であり、割れ目の状態が2点になる確率が3点になる確率より5倍程高い。200~300J/cm³の時も同様に考えると、2点になる確率は3点になる確率より1.75倍程高い。このように、穿孔エネルギーから評価点をある程度推測することが可能であると考えられる。

3.2 支保パターンと切羽評価点との関係

支保パターンごとの切羽評価点の平均値を表-2に示す。A~Jは表-3に示す観察項目である。表-2の合計より、支保aと支保bの合計点に大きな違いは見られない。しかしF(割れ目の頻度)、J(水による劣化)に関して点数差が見られる。このことから、これらの項目は支保パターン決定に大きく寄与していたと考えられる。

表-2 支保パターンごとの各切羽評価点の平均

支保	個数	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	合計
a	175	1.9	1.9	2.5	2.5	2.4	2.5	2.4	1.9	2.0	2.9	23.0
b	220	2.0	2.0	2.7	2.5	2.4	2.9	2.2	2.1	1.7	3.0	23.5
c	8	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	1.0	1.0	3.0	21.0
d	5	2.0	2.0	3.0	3.0	2.8	3.0	2.0	1.0	1.0	3.0	22.8

4. おわりに

本研究では、掘削前に切羽前方の穿孔エネルギーから評価点を推定して、その点数から支保パターンを選定できる可能性を確かめた。今後は、異なる岩種でデータとケースを増やしていき、信頼性の高い推定法をさらに検討していく。

参考文献

- 1) 若林宏彰ほか：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，2015。

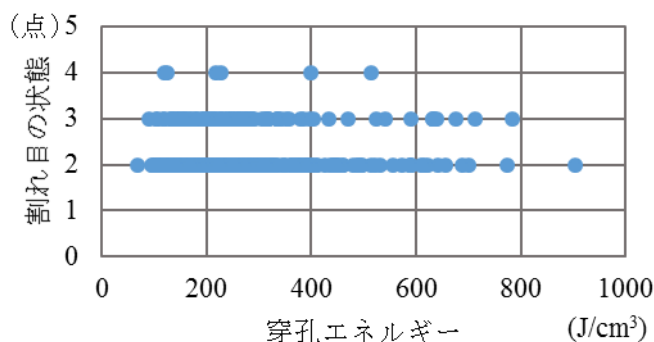


図-1 割れ目状態と穿孔エネルギー

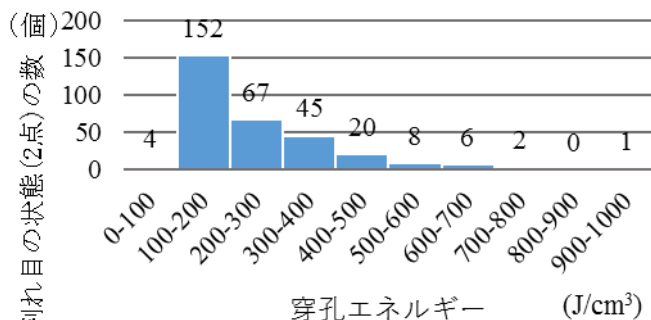


図-2 穿孔エネルギーヒストグラム(2点)

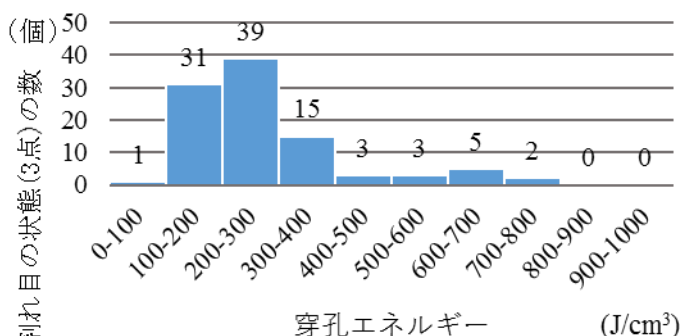


図-3 穿孔エネルギーヒストグラム(3点)

表-3 切羽評価点

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	破砕部の切羽に占める割合	1. 5% > 破砕	2. 20% > 破砕 $\geq$ 5%	3. 50% > 破砕 $\geq$ 20%	4. 切羽面の大部分が破砕されている状態
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. $5\text{cm} > d$ 破砕 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