

トンネル掘削面の定量評価に関する考察

中日本高速道路㈱富山高速道路事務所
清水建設㈱北陸支店土木部
清水建設㈱北陸支店土木部

非会員 後藤 圭輝
正会員○小笠原 健
正会員 谷村 浩輔

1. はじめに

切羽周辺地山性状とトンネル変形挙動特性，トンネル出来形を可視化し，トンネルや切羽の安定性，力学パラメータや施工パラメータ，次施工の判断に資する Data Base system を構築，施工データで学習する山岳トンネル ICT 掘削管理を試行している．この中で，トンネル施工パラメータの一掘進長 L と掘削面の崩落規模 I_c について，一掘進長の穿孔エネルギー E_d からトンネル安定性を数値化，掘削面 Digital 出来形測定の点群データから掘削面の状態を閾値で可視化，確認する方法の有効性が示されたので報告する．

2. 現地調査概要

東海北陸自動車道真木トンネル上り線の STA. 127+40～STA. 127+63 に f1 断層の出現が推定され，地山強度比 $cf=1.5$ の地山区分 DII，地山等級 DI を想定していた．この区間の施工にあたり，推定 f1 断層の手前約 30m 位置の STA. 127+91 から STA. 127+21 の 70m 間に山岳トンネル ICT 掘削管理システムを適用し，トンネル施工パラメータの一掘進長 L とトンネル安定性，掘削面の崩落規模 I_c の数値によるトンネル掘削管理を試行した(図-1)．

3. 施工パラメータの数値化

一掘進長 1.0m の地山等級 DI 地山を穿孔するのに要する穿孔エネルギー E_d (N/mm^2) は，3B コンピュータジャンボ削岩機からの機械データを数センチメートル間隔で計測し，異常値除去後，古河ロックドリル FRD 方式で単位体積の岩盤穿孔に要する穿孔体積比エネルギーとして装薬孔 1 孔単位に計算し，全孔数で平均して算定する．

外周孔穿孔エネルギー E_{da} (N/mm^2) は，上半アーチ部 120° 範囲の外周装薬孔を対象にして，穿孔に要した穿孔エネルギー E_{di} を左側孔から時計回りに 1 孔単位に計算し，左 30° 度，天端 90° 度，右 30° 度の各範囲で平均値を求め算定する(図-2)．

掘削面の崩落規模 I_c は，1 日 1 回の掘削面 Digital 出来形測量で得た点群データを閾値で色調表示し，左 30° 度，天端 60° 度，右 30° 度の 3 箇所について，掘削面の崩落深さ I_{ci} とその分布面積を読み取り，掛け合わせて合算し，その箇所の面積で除して平均崩落深さ I_c を算定，これを閾値で数値化し，代表させる(図-3，表-1)．

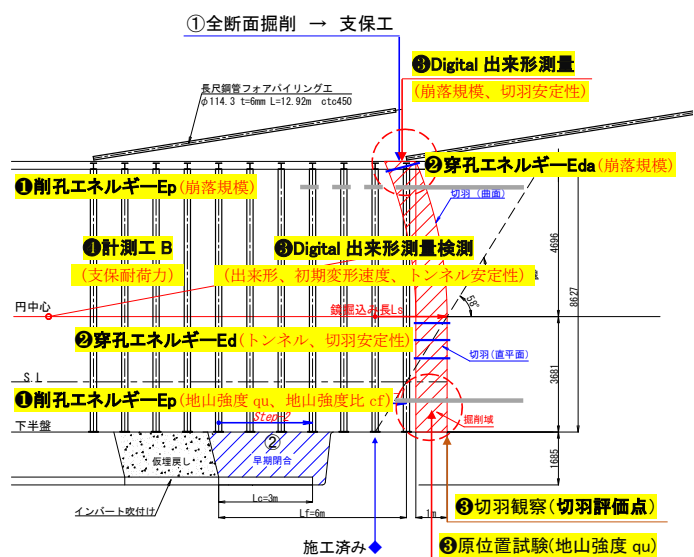
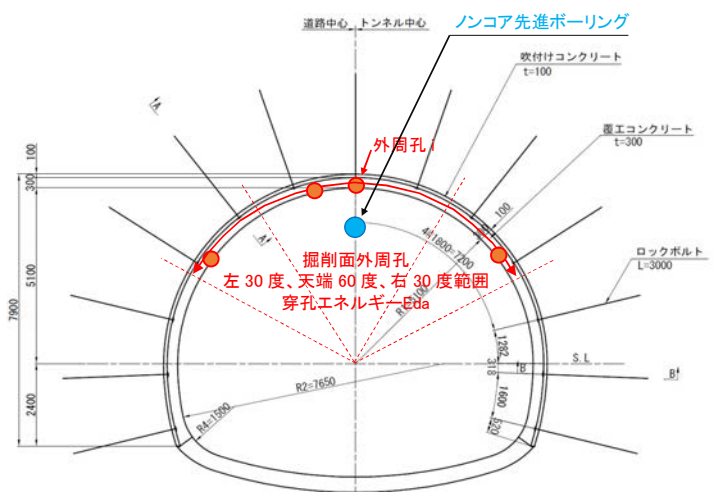


図-1 山岳トンネル ICT 掘削管理概要

図-2 穿孔エネルギー E_p 算定位置 (D I b)

キーワード：，穿孔エネルギー，外周孔穿孔エネルギー，削孔エネルギー，Digital 出来形測量，崩落規模

連絡先: 石川県金沢市玉川町5-15. TEL. 076-220-5555 Fax. 076-233-2908, E-mail: k.ogasawara@shimz.co.jp

4. 一掘進長トンネルの安定性

調査区間 70m の地山等級は D I b と判定され、削孔エネルギー E_p は $80 \sim 235 \text{ N/mm}^2$ で変化する。切羽毎の穿孔エネルギー E_d は $80 \sim 120 \text{ N/mm}^2$ であり、一掘進長 1.0m の D I 地山の穿孔エネルギー E_d は 100 N/mm^2 で代表される(図-4)。穿孔エネルギー E_d が 80 N/mm^2 以上の地山では、一掘進長 1.0m トンネルの安定は確保できている。切羽数 $n=410$ では、一掘進長 $L=1.0\text{m}$ の D I b の最小は $E_d=54 \text{ N/mm}^2$ 、 $L=1.2\text{m}$ の C II b は $E_d=86 \text{ N/mm}^2$ となり、穿孔エネルギー E_d が 86 N/mm^2 以上の地山では、一掘進長 1.2m トンネルの安定は確保できている(図-6)。

5. 掘削面の崩落規模

上半アーチ部 120° 範囲の設計 Pay Line からの掘削面崩落規模 I_c と穿孔エネルギー E_d 、切羽前方地山の削孔エネルギー E_p の対応から、以下のことがいえる。

- ・左 30 度範囲は、崩落規模は最も大きく、穿孔エネルギー E_d は小さく、軟質である(図-5)。

- ・地山等級 D I の爆破掘削は、概ね、Pay Line +30cm 未満の範囲で行われ

ており、外周孔穿孔エネルギー E_d は 50 N/mm^2 以上である(図-7)。

- ・掘削面の崩落規模 I_c と外周孔穿孔エネルギー E_d 、削孔エネルギー E_p の相関は、みられる(図-7, 図-8)。

- ・削孔エネルギー E_p が 80 N/mm^2 以上、穿孔エネルギー E_d が 95 N/mm^2 以上では、Pay Line +50cm 以上の掘削面の崩落はない(図-8)。

6. まとめ

上半アーチ部 120° 範囲の設計 Pay Line からの掘削面の崩落規模 I_c が外周孔穿孔エネルギー E_d 、切羽前方地山の削孔エネルギー E_p の関係で数値化でき、掘削の以前に、掘削面の状態が予測できる。一掘進長トンネルの安定性は、穿孔エネルギー E_d で確認できることが示された。

今後は、地山強度比 c_f が 2 を下回る塑性地山、一掘進長延伸トンネルに適用し、この方法の有効性を確認、精査し、データ蓄積を進める予定である。

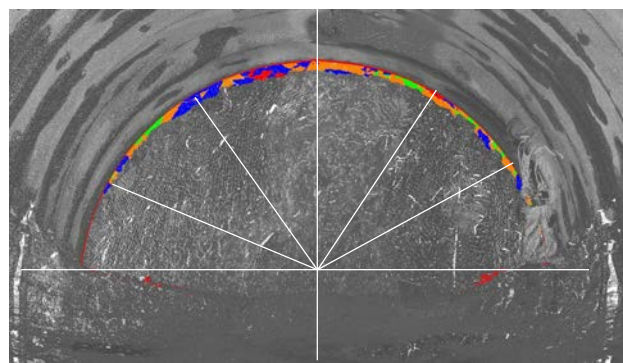


図-3 掘削面崩落深さ 3 箇所数値化範囲(STA. 127+80)

表-1 掘削面色調表示(過大な余掘りと崩落深さ)

閾 値	色	対応
Pay Line の内空側	赤	当たり取り
Pay Line+10cm 未満	青	計画どおり(堆積岩)
Pay Line+20cm 未満	オレンジ	計画通り(多亀裂状)
Pay Line+30cm 未満	緑	過大な余掘り範囲
Pay Line+50cm 未満	黄	掘削補助工検討
Pay Line+50cm 以上	桃	過大な剥落
切羽後方	グレー	

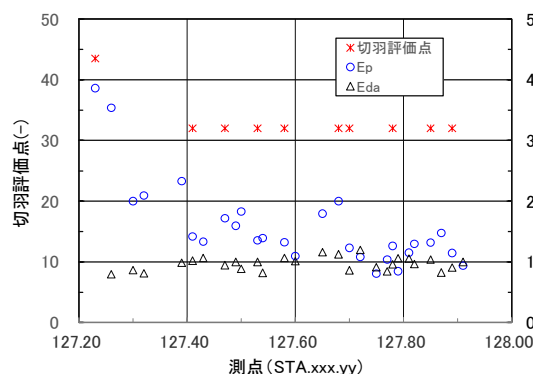


図-4 切羽評価点と穿孔エネルギー E_d

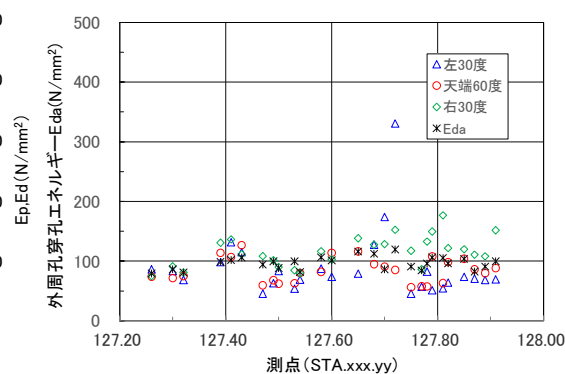


図-5 外周孔穿孔エネルギー E_d (D I b)

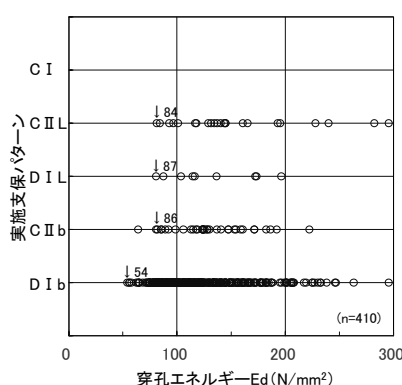


図-6 E_d と実施支保パターン

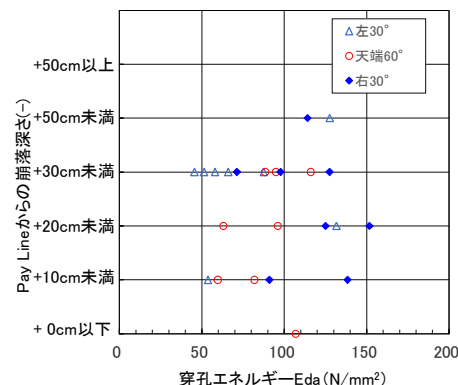


図-7 E_d と崩落深さ

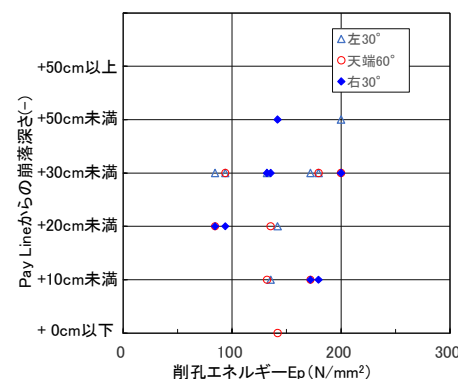


図-8 削孔エネルギー E_p と崩落深さ