油圧さく岩機の掘削体積比エネルギーを用いた坑道周辺岩盤の特性評価に関する研究

西松建設　　正会員○山下 雅之，平野　享，石山宏二
ドリルマシン　　塚田 純一
東京大学　　正会員　福井 勝則，大久保 誠介

１．はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では長期にわたる建設・操業が想定されており，処分坑道の力学的安定性をクリープなどの時間依存性挙動を考慮して評価する必要がある。評価には原位置での岩盤強度を把握する必要があるが，それを効率的かつ詳細に調査する手段が課題となっている。想定される坑道掘削方法として発破掘削やTBM掘削等が挙げられるが，これらの掘削における必要装備である油圧さく岩機を岩盤強度等の岩盤特性評価に用いることは上述の課題解決の有力な手段の一つである。

油圧さく岩機のさく孔データを用いた岩盤特性の評価については，一般に掘削体積比エネルギーと呼ばれる指標が用いられ，最近ではトンネル切羽前方約 30～50m 区間の探査を目的とした事例が多い。それに対して処分坑道近傍の岩盤評価を対象とした場合，ロッド 1 本分（約 3m）程度の短尺さく孔データを詳細に評価する必要がある。詳細評価のためには掘削体積比エネルギーをより正確に求めることが重要であるが，複雑な作動機構を有するさく岩機ではピストン打撃によって発生した応力波（打撃波）の反射・干渉の影響や，岩盤への伝達過程の解明をはじめとした種々の課題が残されている。

本研究では，上述の課題を克服するための基礎データ収集を目的に，岩盤強度が既知の花崗岩ブロックに対するさく孔実験を実施した。

２．岩盤評価指標（掘削体積比エネルギー：*Specific Energy*）

掘削に要したエネルギーを掘削体積で除した値である掘削体積比エネルギー（以降，*SE* ）は，主に掘削機械の能率を評価する指標[1]として提案されたものであるが，これは掘削岩盤の強度特性によっても変化する[2]ので岩盤評価指標として用いることができる。ここで，さく岩機の *SE* は次式で表される。

$$SE = (Ei \times bpm) / (P_R \times A_H) \quad ---(1)$$

SE：掘削体積比エネルギー（J/cm³），*Ei*：油圧削岩機のピストン打撃によってロッド中に発生した打撃（弾性波）エネルギー（J）
bpm：打撃数（blow/min），P_R：さく孔速度（cm/min），A_H：孔断面積（cm²）

坑道近傍の岩盤評価を詳細かつ連続的に行うためには，できるだけ多数の短尺さく孔データを収集する必要があり，ロックボルト孔などの施工データも評価に利用することが想定される。その場合，人的要因等によりさく孔時の推力にある程度のばらつきが生じる可能性があるが，上式においてさく孔時の推力の影響は考慮されていない。**図１**に示すように，ある推力（所要最低推力）以上の範囲においてさく孔速度 P_R は一定となるが，それ以下の範囲ではビットの着岩が不十分で岩盤へのエネルギー伝達係数が減少し，推力低下に伴いさく孔速度も直線的に減少するとされている。(1)式より *SE* はさく孔速度の逆数に比例するので，推力と *SE* の関係は**図１**の実線のようになる。したがって，*SE* による評価を行う場合には，所要最低推力以上の条件でさく孔を行い，推力の影響を極力取り除く必要がある。

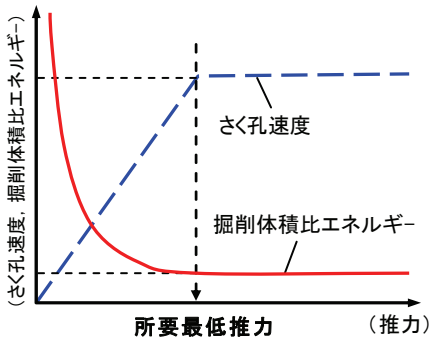

図１ さく孔における推力の影響

３．試験概要

さく孔実験状況およびさく孔条件を**写真１**，**表１**にそれぞれ示す。削岩機はアトラスコプコ社の汎用機を使用し，

キーワード　さく孔，掘削体積比エネルギー，岩盤特性，高レベル放射性廃棄物，地層処分
連絡先　　〒105-8401　東京都港区虎ノ門 1-20-10　TEL. 03-3502-0273　FAX. 03-3502-0228

約 4m³ の花崗岩ブロック（ﾛｯｸｼｭﾐｯﾄﾊﾝﾏｰ換算強度：約 178MPa）に対して，φ45，φ64，φ89，φ102，φ124 の各ビットによるさく孔時の推力，打撃，回転，ダンピングの各油圧および深度データを 1kHz で収集した。

4．試験結果と考察

さく孔試験で得られた *SE* と推力の関係を**図 2** に示す。図には試験に使用したビットのうち，打撃圧 15MPa および 18MPa のさく孔を実施したφ45，φ64，φ102 ビットのさく孔データを示す。

(1) 所要最低推力

図 2 に示すように，ビット径や打撃圧に関わらず推力が 10kN 以上の範囲で *SE* が一定となっており，その範囲では打撃圧による *SE* の差もあまり認められない。一方，10kN 以下の範囲では打撃圧 18MPa の方が推力低下に対する *SE* の増加傾向が顕著となっている。このことから，今回使用した汎用機においては推力 10kN が**図 1** に示した所要最低推力に相当し，それ以上の推力を確保していれば *SE* による岩盤評価に推力や打撃圧が与える影響を極力抑えることが可能と考えられる。

(2) 無次元化 *SE*

所要最低推力以上の範囲における各ビット径の *SE* を比較すると，**図 2** のように同一強度・岩種にも関わらずビット径が大きいほど *SE* が低下する傾向が認められた。これは孔径増大に伴う破砕岩片の粗粒化やその排出促進，着岩状態の改善等により掘削効率が改善したものと考えられる。掘削径の違いが *SE* に与える影響については，福井らにより *SE* を強度で除した無次元化 *SE* による評価手法が提案されている[3]。この無次元化 *SE* は掘削効率を表す指標でもあり，その値が小さいほど掘削効率が良いと評価できる。今回の実験結果をビット径と無次元化 *SE* の関係で表すと，**図 3** に示すように無次元化 *SE* がビット径の−0.48 乗に比例する。福井らは，無次元化 *SE* が刃物間隔などの掘削代表寸法の−0.4 乗に比例するとしたが，今回実施したφ45～φ124 ボタンビットによるさく孔ではビット径と無次元化 *SE* との間にもほぼ同様の関係が認められた。

(1)式に示した *SE* の算出式には掘削量としてビット径が考慮されているが，それによる掘削効率の変化（寸法効果）は考慮されていない。したがって，ビット径が異なる条件において *SE* を比較する際にはその影響を考慮する必要がある。

5．まとめ

今回の検討により，岩盤特性の評価を目的としたさく孔時の設定推力やビット径の違いが *SE* に与える影響に関する基礎データを得ることができた。今後は，無次元化 *SE* 等の指標を用いて同一さく孔条件における岩盤特性と掘削効率の関係についてのデータを蓄積し，さく岩機の *SE* から岩盤強度を精度よく推定する手法について検討を進めていく。

写真 1 実験状況

表 1 さく孔条件

型　式	COP1838
重　量	1.67kN
打撃圧	15MPa，18MPa
回転数	190rpm
推　力	5.2～16.2kN（約2.5～8.0MPa）
ビット	ボタンビット（φ45,φ64,φ89,φ102）
ロッド	＜φ45,φ64,φ89ビット用＞ ・R32−R38−H35，L=3.7 ＜φ102,φ124ビット用＞ ・T38−T38スピードロッド（φ38），L=3.05

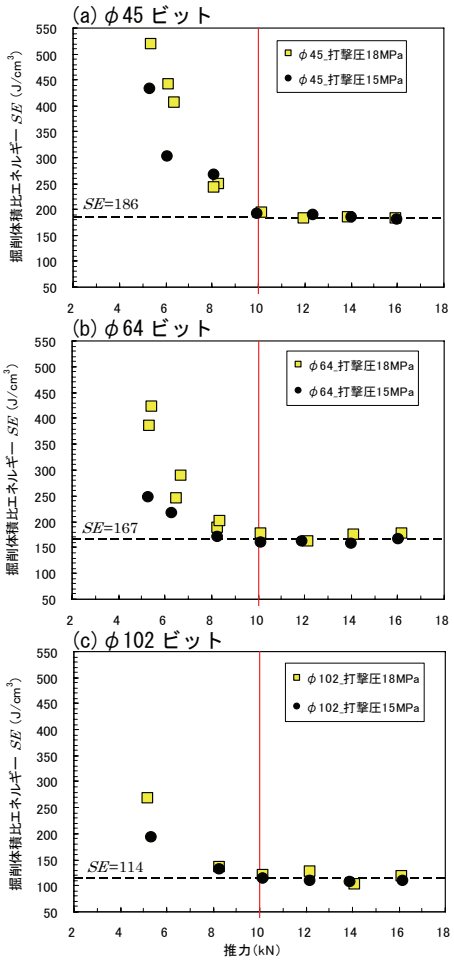

図 2 推力と *SE* の関係（花崗岩）

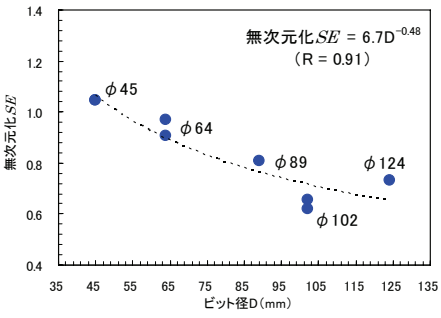

図 3 ビット径と無次元化 *SE* の関係（花崗岩）

【参考文献】
1) Teale，R.:Int.J.Rock Mech.Min.Sci.，Vol.9，pp57-73，1965.
2) 西松裕一：日本鉱業会秋季大会分科会資料[L]，pp1-4，1972.
3) 福井勝則・大久保誠介：資源と素材，Vol.120，pp555-559，2004.