

泥岩を対象とした掘削体積比エネルギーと割れ目頻度に関する一考察

(独) 日本原子力研究開発機構 正会員 山崎 雅直
東京大学 正会員 福井 勝則
大成建設(株) 札幌支店 正会員 南出 賢司, ○羽出山 吉裕

1. はじめに

日本原子力研究開発機構は、北海道幌延町において、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発として、堆積岩（珪藻質泥岩および珪質泥岩）を対象とした地下施設の建設を伴う研究プロジェクトを実施している。地下施設は、深度 500m 程度の立坑 3 本（アクセス立坑 2 本（内径 6.5m）と換気立坑 1 本（内径 4.5m））ならびに水平坑道（内空幅 4.0m）から構成される計画となっている¹⁾。平成 17 年 11 月に着手した地下施設の建設は、平成 21 年 3 月末で換気立坑 250.5m、東立坑 140.5m までの掘削・覆工を完了している。本論文では、換気立坑掘削時に取得される計測データを用いた地山評価手法の確立を目的として、換気立坑で採用した機械掘削方式での消費電力量と掘削土量から算出した掘削体積比エネルギーと岩盤壁面で観察された割れ目頻度（岩盤等級評価）との関係について考察する。本成果は、地山評価の 1 つの手法として反映できるものと考ええる。

2. 掘削体積比エネルギー

掘削体積比エネルギーとは、掘削に伴い消費したエネルギーを掘削体積で除したものであり、掘削機械の能率を評価する指標として用いられている²⁾。既往の研究では、同一条件で掘削した場合、岩盤が堅硬になると掘削体積比エネルギーが大きくなることが報告されている³⁾。換気立坑での機械掘削状況を図 1 に示す。稼動時に消費した電力量 W_1 (kWh) は自由断面掘削機のカッターヘッド用の電動機に電力計（横河メータ&インスツルメント製 YK 320）を設置して計測した。計測データは電力量計内の CF カードに 10 秒毎のデータを取得し、これを各サイクル毎に整理した。取得した掘削電力量には無負荷（掘削していない）時の電力量 W_2 (kWh) も含まれていることから、これを考慮して、掘削に消費された電力量 W を $W_1 - W_2$ とした。掘削体積は、自由断面掘削機にて掘削した掘削土の揚土量（バケット容量 1.5m³）を集計して算出した。これから、掘削体積比エネルギー E_s (MPa) は、各サイクルの自由断面掘削機による掘削体積 M (m³) と掘削電力量 W (kWh) から、 $E_s = 3.6W/M$ と表した。



図 1 機械掘削状況

表 1 掘削機諸元

切削用電動機	49KW×4P×400V
切削回転数	36rpm
カッターヘッド外径	φ830×600mm
掘削能力	5.6m ³ /h(at5MPa)
	3.5m ³ /h(at20MPa)
機体重量	約5t

3. 岩盤壁面観察と岩盤等級区分

幌延深地層研究計画地下施設工事での支保選定は岩盤等級区分⁴⁾に応じて決定されている。岩盤等級区分は掘削進捗毎に地質技術者が壁面観察にて行っている（表 2）。観察では、壁面の中心（中間高さ）にスキャンラインを設定し、これと交差する割れ目（トレース長 10cm 以上）の走向傾斜をすべて計測している。壁面観察結果から、母岩の硬さ・割れ目頻度・ヘアークラックの有無の 3 点で壁面を評価している。壁面観察の実施例として、岩盤等級区分図とスケッチを図 2 に示す。

表 2 岩盤等級評価結果例（深度-231m～深度-232m）

観察項目	評価区分		
	D	CL	CM
1. 母岩の硬さ (カッター刃の貫入深さ)	カッター刃2mm以上刺さる	カッター刃1mm以上刺さる	カッター刃で表面傷つく程度
2. 割れ目頻度 (コアでの割れ目頻度に置き換えた割れ目情報)	Ⓛ 1%未満 高密度 角礫状～岩片状	Ⓜ 38% 中密度 割れ目間隔が10cm未満 コアでは短柱状	ⓗ 62% 低密度 割れ目間隔が10cm以上 コアでは棒状・長柱状
3. ヘアークラックの有無 (切羽（壁面）からの採取岩石の観察)	ⓗr 有	ⓗr 無	
	当該区間の岩盤露出面の10%以上にヘアークラック	当該区間の岩盤露出面の10%未満にヘアークラック	

注) 割れ目頻度 M が 38% (30%以上) → H 優勢 (62%) であるが I ランク下の CL-M と評価

キーワード 立坑, 掘削体積比エネルギー, 岩盤評価, 自由断面機械掘削

連絡先 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2 (独) 日本原子力研究開発機構 TEL 01632-5-2022

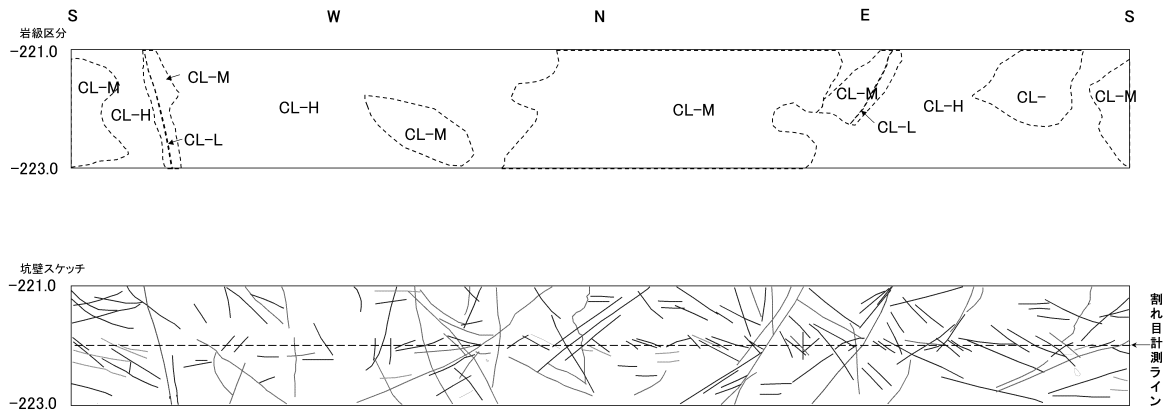


図2 壁面観察結果例(深度222~深度223m) 岩盤等級区分・壁面スケッチ

4. 掘削体積比エネルギーと岩盤等級判定について

深度180mから深度241m(珪藻質泥岩:声問層)の掘削時に得られた掘削体積比エネルギーと壁面観察で得たスキャンライン上で観察された割れ目本数の関係を図3に示す。同図より、割れ目本数と掘削体積比エネルギーには明確な相関関係を見出すことができない。このため、壁面観察で得られた岩盤等級区分図から、CL-Hの占有率(CL-Hが観察された面積/全観察面積)と掘削体積比エネルギーの関係を整理した。その結果を図4に示す。

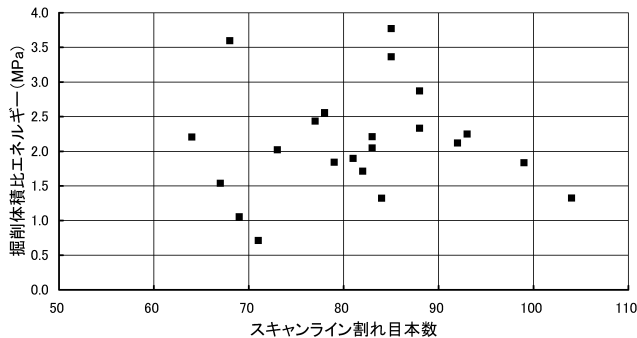


図3 割れ目本数と掘削体積比エネルギーの関係

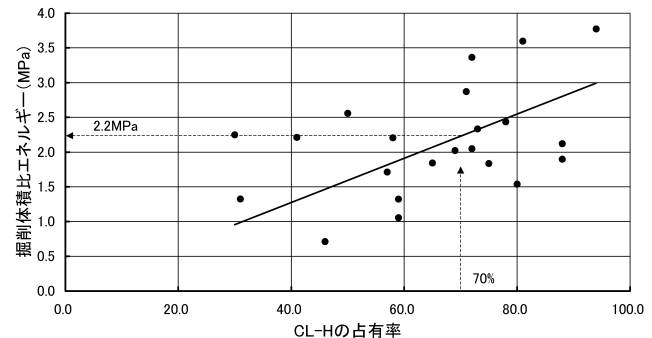


図4 CL-H占有率と掘削体積比エネルギーの関係

同図より、両者には相関関係を見出すことが出来る。地下施設の岩盤等級評価は、観察面積の70%(割れ目密集部が30%)を越えた場合をその壁面での岩盤等級として評価しており、それよりも低い岩盤等級が30%以上出現した場合には1ランク下げた評価としている。したがって、図4から岩盤等級区分CL-MとCL-Hの境界(CL-H占有率70%)は掘削体積比エネルギー約2.2MPaに相当しており、掘削体積比エネルギーを用いた岩盤等級区分の可能性を示した。

5. まとめ

軟岩用自由断面掘削機による立坑掘削時に取得した消費電力量データと地質観察時に得た泥岩中の割れ目頻度の相関、ならびに掘削体積比エネルギーと地下施設の岩盤等級区分の相関を整理し、後者には相関関係を見出すことができた。掘削体積比エネルギーは掘削と同時にデータを取得できることから、これを支保選定にリアルタイムに反映させることが可能となることに加え、壁面観察以前に岩盤等級評価が実施できるため、壁面観察結果と併用して地山を評価することでより適切な支保を設定できる可能性がある。掘削体積比エネルギーと岩盤強度の相関に関する研究⁵⁾も進めており、今後も支保選定(岩盤等級区分)の1手法として期待できる掘削体積比エネルギーに関するデータを蓄積し、精度向上に役立てていく予定である。

参考文献 1) 一安謙治, 尾留川剛, 小島亘, 北川義人: 深度500mの立坑を積み込み機一体型自由断面掘削機で掘る一幌延深地層研究計画地下施設一, トンネル技術協会, トンネルと地下, 平成19年10月号, pp.35-42, 2007.2

2) Teale, R.: The concept of specific energy in rock drilling, Int.J.Rock Mech.Min.Sci.,2, pp.57-73, 1965.3

3) 西松裕一: 掘削方法とその評価方法について, 日本鉱業会秋季大会分科会資料[L], pp.1-4, 1972.

4) 森岡宏之, 尾留川剛, 村川史朗, 菅原健太郎, 小林隆志: 幌延深地層研究計画における地下研究坑道の支保設計, 第35回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.69-74, 2006.

5) 山崎雅直, 羽出山吉裕, 山本卓也, 福井勝則: 軟岩用自由断面掘削機の掘削体積比エネルギーを利用した岩盤強度の推定, 第44回地盤工学研究発表会(投稿中)