

長尺さく孔データと岩盤強度の関係に関する検討

西松建設(株) (正)○山下雅之, (正)石山宏二, (正)木村 哲
 東京大学 (正)福井勝則, (正)大久保誠介

1. はじめに

山岳トンネル掘削時における切羽前方探査には、掘削施工サイクルへの影響を最小限に抑え、かつ、事前調査以上の精度が要求されている。その有力な手法として、ドリルジャンボ等に搭載された油圧さく岩機の長尺さく孔データから切羽前方の岩盤性状を評価する手法（さく孔探査）が広く認知されている。しかしながら、評価対象の岩盤性状については、原位置で得られる情報の多くが切羽観察に基づく定性的な性状であるため、岩盤強度等の定量的な性状とさく孔データを系統的に比較検討した事例は少ない。

本研究では、さく孔探査適用区間の岩盤強度が連続的に取得された事例や岩盤（岩石）強度が既知の供試体に対するさく孔試験結果をまとめ、さく孔データと岩盤強度の関係について検討した。

2. さく孔探査の概要

さく孔探査システムの概要を図-1 に示す。探査では、ドリルジャンボ等のさく孔機械および表-1 に示すようなさく孔部材を使用して切羽前方に向けた長尺さく孔を実施し、その時のさく孔データ（打撃圧、回転圧、スラスト、ダンピング圧およびさく孔深さ等）が計測される。坑内で計測されたさく孔データは、現場事務所において専用プログラムを使用して評価に必要な可視化情報に変換される。

3. 岩盤特性の評価指標（掘削体積比エネルギー）

掘削体積比エネルギーは、単位体積の岩盤を掘削するために要するエネルギーで定義される。長尺さく孔における掘削に要するエネルギーとしては、打撃による入力エネルギーあるいは岩盤に吸収されたエネルギー¹⁾の2つが考えられるが、今回は打撃による入力エネルギーを用いることとすると、掘削体積比エネルギーは次式で表すことができる。

$$E_d = (E_i \times T_{rod} \times bpm) / (P_R \times A_H) \quad (1)$$

ここで、 E_d は掘削体積比エネルギー、 E_i はピストンの打撃によってロッド中に発生した弾性波エネルギー、 bpm は打撃数、 T_{rod} は弾性波エネルギーのロッド中における伝達係数（さく孔深さの影響）、 P_R はさく孔速度、 A_H は孔断面積である。

上式の中で、 T_{rod} は複数のロッドを複数連結する長尺さく孔では無視できない係数である。この係数については、表-1 に示すようなさく孔ロッドを連結して使用した場合のさく孔深さに対する弾性波エネルギーの減衰量の見積もりおよびその影響除去手法が報告されており^{2),3)}、本報告もその手法に従った。

4. 掘削体積比エネルギーと岩盤強度の関係

掘削体積比エネルギーと岩盤強度の比較に使用した各データのさく孔条件を表-2 に、比較結果を図-2 にそれぞれキーワード さく孔探査、掘削体積比エネルギー、岩盤強度

連絡先 〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL.046-275-0055 FAX.046-275-6796

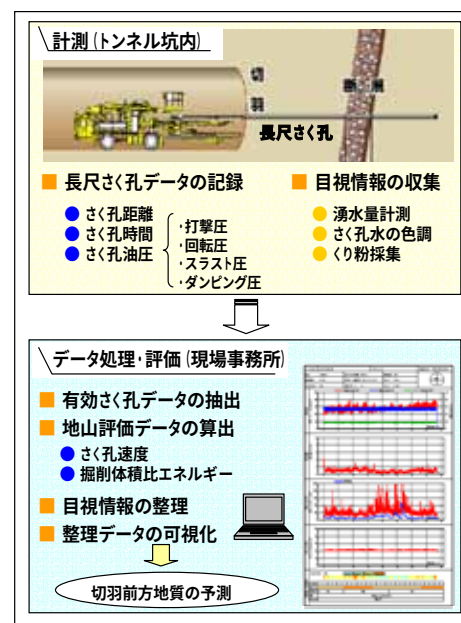


図-1 さく孔探査システム

表-1 標準さく孔部材の仕様

さく孔部材	長さ (mm)	径 (mm)	重量 (kg)	ネジ形状	形状
ビット	—	64	2.0	R32	ボタンビット
先頭ロッド	3050	45	25.0	R32-R32	スリープー体型
中継ロッド	3050	32	17.1	R32-R32	スリープー体型

表-2 使用したさく孔データのさく孔条件

Case	対 象	さく岩機のさく孔条件				さく孔部材の仕様		岩 種	備 考
		機 種	スラスト(kN)	打撃圧 (MPa)	打撃数 (bpm)	ビット	さく孔ロッド		
1	地 山	a	10.0	17.5	3,500	φ64ボタン	φ32 (Rねじ), M-F (L=3.0m)	花崗岩	同一トンネルによる連続調査
2			10.0	17.5	3,500		泥岩・砂岩		
3			10.0	19.5	2,750		花崗岩		
4	岩石 供試体	c	10.0	18.5	2,980	φ64ボタン	φ32 (Rねじ), M-F (L=3.0m)	花崗岩 (福田)	同一供試体によるさく孔実験
5			10.0	19.0	2,770			花崗岩 (福田)	
6		a	12.0	20.0	3,860	φ45クロス	花崗岩 (三城目)	同一削岩機によるさく孔実験	
7				20.0	3,860		安山岩 (戸野)		
8				20.0	3,860		凝灰岩 (大谷)		
9				12.0	2,670		花崗岩 (中国産)		
10				20.0	3,860		花崗岩 (中国産)		
10		a	13.5	20.0	3,860	φ102ボタン	φ76 (Rねじ), M-F (L=3.6m)	花崗岩 (中国産)	同一削岩機によるさく孔実験

れ示す。ここで、Case1~3 は約 50 m の長尺さく孔データを、Case4~10 は約 1.0 m の短尺さく孔データである。岩盤強度については、TBM 掘削データから福井ほか⁴⁾の式を用いて求める手法 (Case1,2) やロックシュミットハンマーによる原位置試験 (Case3)、室内試験 (Case4~10) によってそれぞれ求めた。

図-2 に示すように、Case1~3 のスラスト圧やさく孔部材を同一とした場合の長尺さく孔データにおいて、Ed は岩盤強度の 0.5 乗に概ね比例し、その分布は比例定数 C=25 を中心とする範囲 (C=20~35) に集中している。また、上述のケースと同一条件下で得

られた Case4,5 の供試体さく孔データは、長尺さく孔データの分布域の下限に近い C=20 付近に分布している。これについては、長尺と短尺の違いによるビットと岩盤の境界条件 (例えば、フラッシングによる破碎岩片の排出条件等) の違いが比例定数の差に現れた可能性がある。Case6~8 や Case10 の供試体さく孔データは、さく孔条件が前述の長尺さく孔データと異なるために直接比較することはできないが、各々の条件における Ed はそれぞれ岩盤強度の 0.5 乗に比例しているように見受けられる。なお、Case9 は Case6~8 と同様の条件であるにもかかわらず、比例定数がより小さい領域に分布している。これについては、対象とした供試体の強度が約 10 MPa と比較的小さく、他のケースとは異なるさく孔特性を示している可能性が考えられる。データ数が少ないものの、このような傾向は Case2 における岩盤強度 15 MPa 以下の領域にも認められた。

5. まとめと今後の課題

掘削に要するエネルギーは岩盤への入力エネルギーと等しいと置いて計算したところ、岩盤強度が 15~200 MPa 程度の範囲において掘削体積比エネルギー Ed が岩盤強度の 0.5 乗に概ね比例する傾向が認められた。掘削に要するエネルギーとして、入力エネルギーから反射エネルギーを引いた値である '岩盤に吸収されたエネルギー' を用いた場合には、(1)式の右辺に係数 (岩盤に吸収されたエネルギー/入力エネルギー) が乗じる必要がある。この場合、岩盤が軟弱になるほどこの係数は低下するため、上記と異なる関係 (乗数) が得られる可能性がある。今後の課題としては、様々なさく孔条件下におけるさく孔データの系統的な収集・評価に基づく比例定数 C の見積もり等が挙げられる。また、今回対象とした岩種と異なるさく孔特性を示す可能性のある、より延性的な岩盤条件 (例えば凝灰岩等) についても同様の検討を進めていく必要がある。

【参考文献】

- 1) Hustrulid W.A. and Fairhurst C.: Int. J. Rock Mech., vol.8, pp.311-333, 1971
- 2) 福井勝則, 大久保誠介, 山下雅之: 資源と素材, vol.120, pp146-151, 2004
- 3) 山下雅之, 福井勝則, 大久保誠介: 資源と素材, vol.120, pp508-514, 2004
- 4) 福井勝則, 大久保誠介, 本間直樹: 資源と素材, vol.112, pp.303-308, 1996

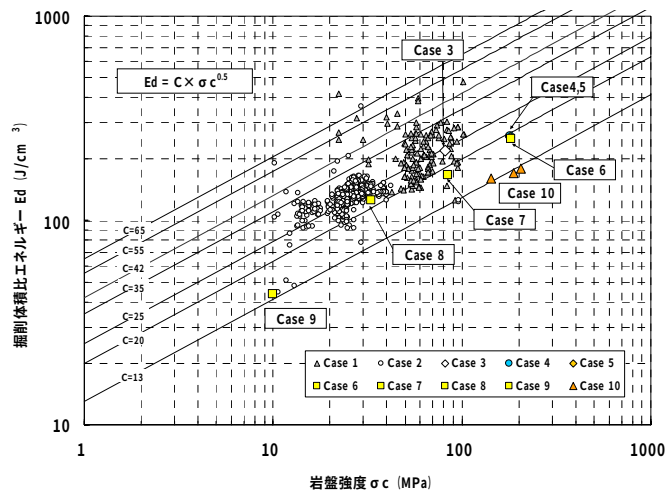


図-2 掘削体積比エネルギー (Ed) と岩盤強度の関係