

さく孔データを用いた岩盤強度推定の試み

西松建設(株) 海外事業部	正会員	○ 亀山 克裕 , 有吉 岩生
西松建設(株) 技術研究所	正会員	山下 雅之 , 石山 宏二
東京大学 工学系研究科	正会員	福井 勝則 , 大久保 誠介

1. はじめに

近年, 山岳トンネルにおいて油圧さく岩機を用いた, さく孔探査を実施する事例が増えている. この探査により得られる情報は, 主に前方地質状況の把握, または支保パターンを決定するための基礎資料として活用されている. また, 高土被りを有するトンネルを掘削する場合, 前方地質状況に加え, 地山の押し出し等について地山強度比等を用い評価することが重要となる. しかし, 従来, 地山強度比の算出に用いられる岩盤強度は, 事前の地質調査等から得られている岩盤強度を採用する場合が多い.

本研究は, さく孔探査を行った区間において, 岩盤強度を算出するための種々の試験を実施し, さく孔データと岩盤強度の関係について検討を行うことで, 原位置において実施されるさく孔探査結果から, 岩盤強度の推定を試みた.

2. 対象トンネルおよび探査概要

台湾高雄縣桃源郷～三民郷において, 延長 14km に渡るトンネルの構築が行われている曾文水庫越域引水路トンネルを対象とした. 本トンネルは東引水トンネル 10km と西引水トンネル 4km, またそのトンネルを結ぶための水管橋より構成される. 図 - 1 に現場位置図を示す. 本研究は, 東引水トンネル東坑口から西に向かって NATM による掘削が行われている工区のうち, TD428 ~ 531m 区間にて 1 回探査延長を約 30m とし計 4 回のさく孔探査を NATM 切羽面よりさし角 5° , さく孔方向はトンネル線形と同一にて実施した. なお, 当該地質は中新世代の頁岩を主体とし, 土被りは 120m 程度であった.

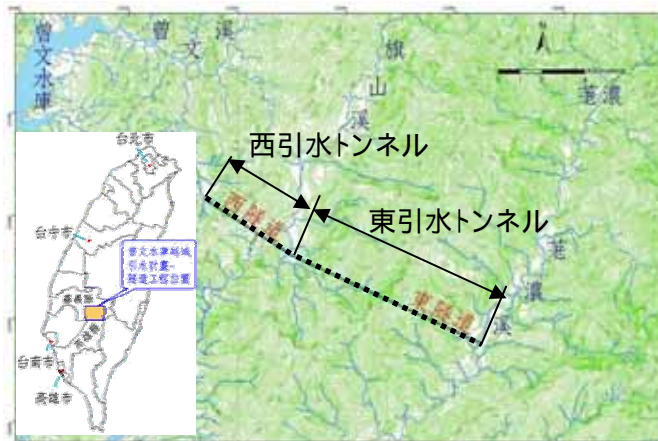


図 - 1 トンネル位置図

3. さく孔データから得られる掘削体積比エネルギー

掘削体積比エネルギーを算出するにあたり, さく岩機の打撃力を入力エネルギーとし, 山下らの式¹⁾を用いた. さく孔探査により得られた掘削体積比エネルギーと切羽観察により得られた RMR 評価点の距離程による変化を図 - 2 に示す. 本探査は, 事前の地質調査において老濃断層と呼ばれる区域性逆断層区間において実施したものである. 今回得られた結果は, 既存の探査実績²⁾から判断すると, 掘削体積比エネルギーが $200\text{J}/\text{cm}^3$ を下回る TD460m 付近から, 弱層部(老濃断層)として評価することができる. また, 掘削体積比エネルギーの低下とともに, RMR 評価点も低い値を示す傾向より, さく孔データを用いた地山状況の把握は可能であると言える.

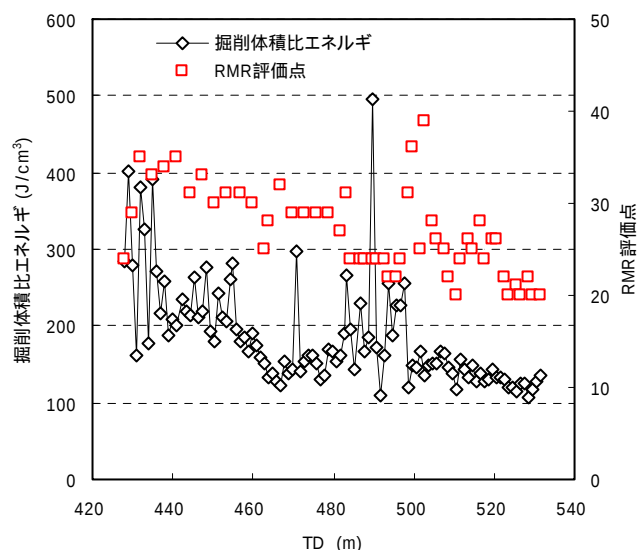


図 - 2 TD と掘削体積比エネルギー・RMR の関係

キーワード さく孔探査, 掘削体積比エネルギー, 岩盤強度, 地山強度比

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 TEL.03-3502-7694 FAX.03-3580-2745

4. 掘削体積比エネルギーと岩盤強度の関係

岩盤強度を算出するにあたり，Schmidt Hammer(以下 SH)反発値から得られる岩盤強度と，一軸圧縮強度・地山弾性波速度・超音波伝播速度から得られる準岩盤強度，この2つの方法を用いて掘削体積比エネルギーとの関係について検討した．岩盤強度試験を実施した地点のデータと掘削体積比エネルギーの結果を表-1に示す．

この結果から，準岩盤強度の値はSHから得られる岩盤強度の値より高いものとなった．これは，SHが岩盤壁面上での値であり，発破掘削による損傷・緩みの影響を強く受けた結果と考えている．

次に，既往の研究において掘削体積比エネルギーは岩盤強度の0.5乗に概ね比例することが報告³⁾されており，本稿においても同様に式(1)を用い岩盤強度を推定する．

$$Ed = C \times \sigma_c'^{0.5} \quad (1)$$

ここで， Ed ：掘削体積比エネルギー(J/cm^3)， C ：比例定数， σ_c' ：岩盤強度(N/mm^2)とする．上述の通り，ここでは掘削に伴う影響を比較的受けていないと考えられる準岩盤強度と掘削体積比エネルギーの関係を図-3に示す．定数 C を決定するために最小二乗法を用いた結果 $C=28.6$ の値を得た．ただし，岩盤強度が $22.0 \sim 79.8 N/mm^2$ の中硬岩が対象であり，相関係数は $r=0.71$ 程度であった．次に準岩盤強度より得られる定数 C を用いて岩盤強度，さらに地山強度比を算出し，当該探査区間で測定したひずみ量との関係を図-4に示す．ひずみ量は，1断面あたり3測線の内空変位を測定しているが，水平方向の最終変位量を測線距離で除したものを百分率で表した．その結果，計測断面数は少ないものの，地山強度比の低下とともに変位量は大きくなる結果が得られた．

5. まとめ

今回，トンネル現場のある一定区間を対象とし，さく孔探査と岩盤強度試験を実施した結果，準岩盤強度を用いた場合，概ね $Ed = 28.6 \times \sigma_c'^{0.5}$ 程度で表せる傾向が認められた．今後より多くのデータを蓄積することで，高精度の地山強度比を算出し，掘削管理手法の指標として用いることができると考える．

参考文献

- 1) 山下，石山，木村，明石，岡田，福井：穿孔探査法のTBM掘削への適用，第11回岩の力学に関する国内シンポジウム講演論文集，2002
- 2) 山下，石山，柚村，塚田：湧水量の多い脆弱地山における穿孔探査の適用，第31回岩盤力学に関するシンポジウム，pp191-195，2001
- 3) 山下，石山，木村，福井，大久保：長尺さく孔データと岩盤強度の関係に関する検討，第62回年次学術講演会，-333，2007

表-1 岩盤強度試験結果と掘削体積比エネルギー

TD (m)	Schmidt Hammer σ_c' (N/mm^2)	一軸圧縮強度 σ_c (N/mm^2)	地山弾性波速度 V_p (km/sec)	超音波伝播速度 v_p (km/sec)	準岩盤強度 $\sigma_c' = \sigma_c (V_p/v_p)$ (N/mm^2)	掘削体積比 Ed (J/cm^3)
427.970	40.0	68.4	3.546	4.537	41.8	285.3
431.011	42.5	67.2	3.489	4.441	41.5	161.7
441.148	34.0	78.6	3.540	3.851	66.4	202.0
454.970	39.0	93.8	3.610	3.913	79.8	280.9
460.975	20.5	54.7	-	4.294	-	173.5
463.975	22.0	67.3	3.467	4.312	43.5	133.4
468.975	15.5	-	-	-	-	138.0
477.975	16.0	-	-	-	-	136.4
483.470	33.0	86.7	3.487	4.487	52.4	265.3
492.477	31.0	-	-	-	-	160.7
499.477	30.0	-	-	-	-	149.9
501.470	29.5	56.2	3.823	4.542	39.8	167.0
520.499	19.5	16.2	-	3.486	-	133.8
523.499	19.0	38.8	-	3.738	-	121.2
526.499	21.0	45.2	3.856	5.245	24.4	126.2
531.499	14.5	25.3	3.200	3.435	22.0	135.7

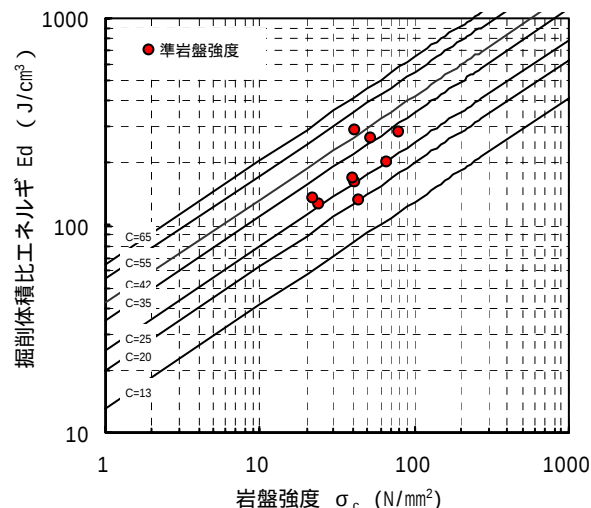


図-3 岩盤強度と掘削体積比エネルギーの関係

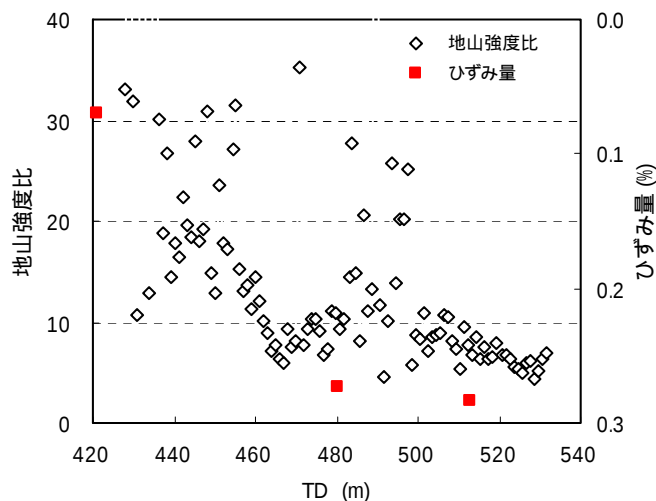


図-4 地山強度比とひずみ量