

大林組技術研究所 正員 齊藤二郎

大林組技術研究所 正員 芳賀孝成

大林組技術研究所 正員 ○松尾龍之

1. まえがき

近年本四連絡橋などの大規模な構造物の築造が計画されるにともない、これらの基礎施工に大口径掘削機の有利性が認識され、硬質地盤、特に岩盤の回転掘削に関する研究を進めてゆく必要性が増大してきた。従来から岩石の掘削性を定量的に評価することは困難で、これまでは岩石の圧縮強度、引張強度、かたさ、じん性、摩耗に対する抵抗性などを種々の実験より求めて類推してきた。またある機械である岩石を掘削した場合に、与えられた推力、回転速度のもとではどのような掘削性能が示されるか、それらがどのような関係にあるかという基本的な掘削特性についてもまだ十分に解明されていないのが現状である。

本実験では硬質地盤の掘削能率を正しく求める方法を得るためのものであり、基礎的な実験によって掘削能率やエネルギーを比較するものである。ビットは300mmφのチップ付ブレードビットを用いて3種類の強度のモルタルからなる模型地盤を掘削して、そのエネルギーを求め、これと筆者らが提案した衝撃試験①で求めたエネルギーとの相関性などを調べた。

2. 回転掘削の考え方

一般に単位量の岩石を破碎するのに必要なエネルギーはある限界値を越えるとほとんど一定になるといわれている。②この値を比エネルギーと定義すると、掘進速度 v は

$$v = e (P_o / AE) \quad (\text{cm} / \text{min}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。ただし P_o = 岩石に伝わった出力(joules/min), A = 掘削断面積(cm^2), e = 出力が岩石に伝わる効率である。

また回転掘削の運動はビットの切削刃による圧入と、回転による横方向の運動の2つの別個の作用の組合せと考えることができる。すなわち掘削するのに要する仕事は推力 F (Kg)とトルク T (Kg-m)によってなされる。いま回転速度 N (rev/min), 掘削面積 A (cm^2), 掘進速度 v (cm / min)とすれば,

1分間になされる全仕事量 P_o は

$$P_o = (Fv + 2\pi NT) / 10.2 \quad (\text{joules} / \text{min}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

である。他方1分間に掘削されるモルタルの体積は(Av) cm^3 であるので、比エネルギーは次式となる。

$$E = \{ F/A + (2\pi/A)(NT/v) \} / 10.2 \quad (\text{joules} / \text{cm}^3) \quad \dots\dots\dots (3)$$

3. 実験方法

3.1 実験装置

実験装置は所要動力10~15PSのボーリングマシンを改造して、推力、消費電流掘削深さが検出、記録できるようにしたもので、回転数は18155, 280RPM最大推力3000Kg, 最大トルクは400Kg-mである。掘削ずりは清水を正循環方式で循環させて排出したポンプの吐出圧力は25~

70 Kg/cm²，吐出量は2.6～6.3 m³/h.rである。

3.2 ビット

ビットは上述したようにチップを取り付けた直径300φmmの2翼ブレードビットで，その形状を図-1に示している。チップの材質は超硬合金G-2を使用した。

3.3 被削試料

試料はA：高強度のもの（一軸圧縮強度400Kg/cm²を目標に製作したもの），B：中程度のもの（200Kg/cm²），C：低強度のもの（100Kg/cm²）を直径450φmm，高さ450mmの鋼管内に打設したものでこれを横型地盤とした。各試料の工学的性質を表-1に示す。

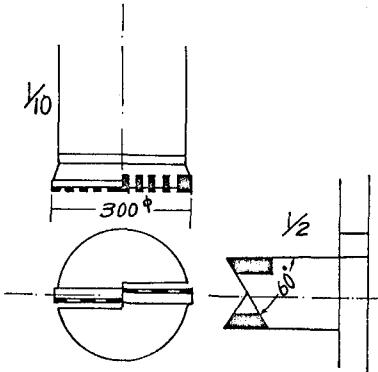


図-1 使用した300φmm ビット

試料	一軸圧縮強度	引張強度	比重	ショア硬度	ヤング係数	弾性波速度
A	347 Kg/cm ²	27 Kg/cm ²	2.13	9.5	3.30×10 ⁴ Kg/cm ²	3.59 Kg/sec
B	232 "	17 "	2.03	15.7	2.20×10 ⁴ "	3.15 "
C	115 "	10 "	1.97	18.0	0.96×10 ⁴ "	2.55 "

表-1 試料の工学的性質

3.4 実験方法

3種類の試料に対して，回転数は一定(18RPM)にし，推力を500，1000，1500，2000，2500 Kgの5段階に変化させ，各々の推力で10cm掘削して，掘削時間，所要電流，掘削ずりの粒径を測定した。

4. 実験結果

4.1 掘削トルク

ビット推力と掘削トルクの関係は図-2に示しているが，推力がある程度大きくなるとほぼ比例してトルクは増加している。これは推力が増加すると貫入量が大きくなり，切削抵抗が増大するためである。また一軸圧縮強度が低いほど同一推力でも貫入量が大きくなるので，トルクは大きくなる。

4.2 掘進速度

ビット推力が掘進速度に及ぼす影響は図-3に示している。グラフより明らかなように掘進速度は急激に大きくなっている。これは推力が小さい場合，ビット歯先が試料にあまり貫入しないために，なされた仕事は試料とビット歯先間の摩擦に費やされたためであろう。よって回転掘削の場合の最適掘削条件を決定する場合には，ビット荷重を最も重要視しなければならないものの一つである。

4.3 比エネルギー

ビット推力と比エネルギーの関係は図-4に示しているが，推力が増加するにしたがって比エネルギーは急激に減少し，ある定常値に近づく。

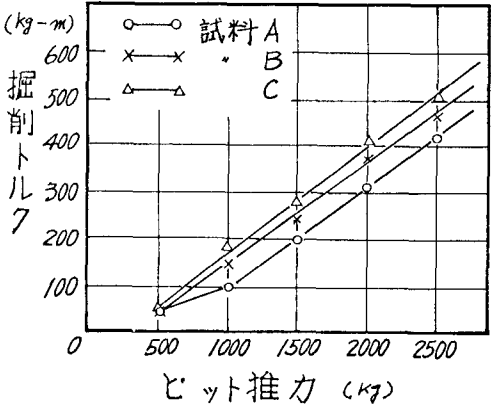


図-2 ビット推力とトルクの関係

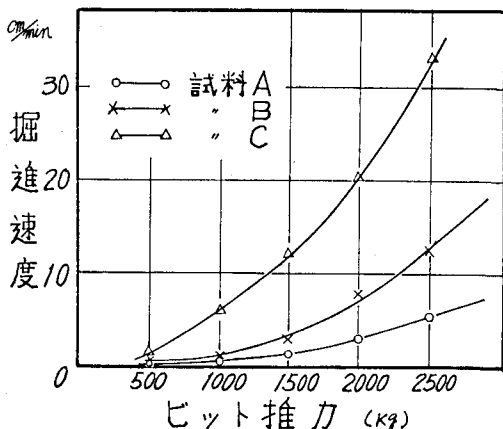


図-3 ビット推力と掘進速度の関係

比エネルギーの定常値は試料の種類、ビットの種類等、種々の条件で異なってくるが、本実験での定常値は次のようにして求めた。

(3)式より比エネルギーを推力によるもの $E_t = F/A$ と、回転によるもの $E_r = (2\pi/A)(NT/A)$ に分けて考えることができる。実験結果より $E_t \gg E_r$ になったのでほぼ $E = E_t$ と考えることができる。図-5より推力がある程度大きくなると1回転当りの掘削深さ v/N とトルク T の関係はほぼ比例するから NT/A は一定となり、 E_r が求まる。この値がほぼ300 ϕ ビットの比エネルギーの定常値と考えられる。

一方岩石を破碎するのに必要な比エネルギーの値は BOND の粉碎理論^③より求められる。

$$E = \sqrt{D_0 E_0} / \sqrt{D_g} \quad \text{joules/cm}^3 \quad \dots (4)$$

E_0 = 無限大から D_0 ミクロンの大きさまで岩石を破碎するのに必要な比エネルギー (joules/cm³)

D_g = 破碎後の粒子の大きさ (ミクロン)

(4)式は掘削ずりの排出状態や掘削機械の出力、あるいはビットの種類などを考えなければ、掘削ずりの粒径が大きいほど比エネルギーの値は小さくなり掘削効率がよくなることが期待できる。

図-6 は比エネルギーと掘削ずり 50% 粒径との関係を示したものであるが、(4)式で示される関係が認められる。

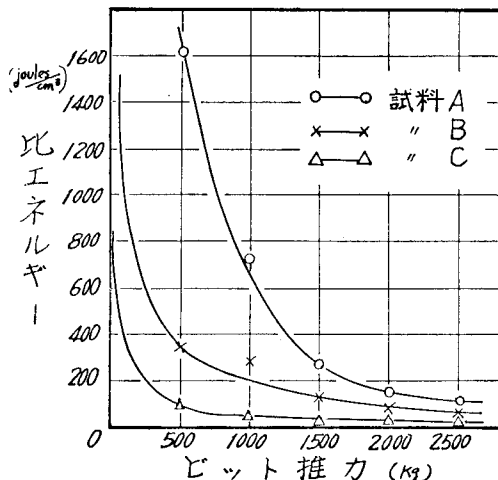


図-4 推力と比エネルギーの関係

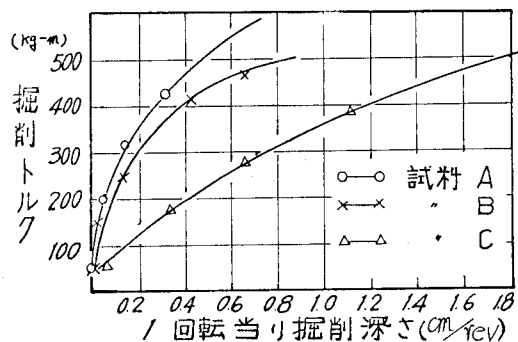


図-5 v/N と掘削トルクの関係

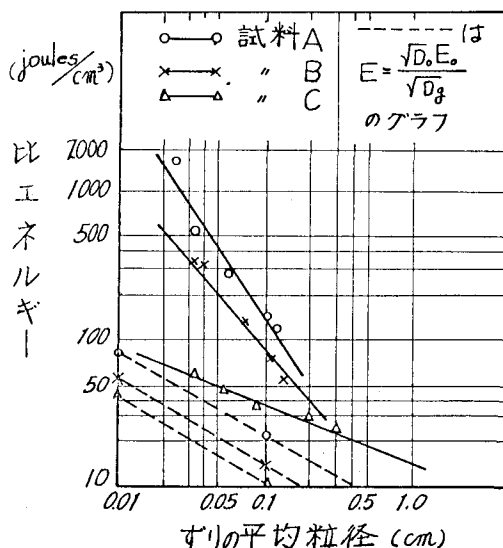


図-6 ずりの平均粒径と比エネルギーの関係

5. 検 討

式(5)で得られる岩石を破碎するのに要する比エネルギーで掘削される場合に最も効率のよい掘削をしていると考えられるが、実際の掘削では歯先と供試体表面間やビット側面と孔壁間の摩擦あるいは機械効率など種々の要因で比エネルギーはこの値よりも大きくなる。両者の比を掘削効率と考えると図-7にビット推力と掘削効率の関係を示した。ビット形状の不良、掘削ずりの再破碎、掘削条件の不適などで効率はかなり悪いことがわかる。

このビットで掘削した場合の比エネルギーの定常値は上述したように E_r より推定すると表-2のようになり、各試料の一軸圧縮強度の値(圧縮強度の単位 $\text{Kg/cm}^2 = \text{Kg-cm/cm}^2 = 1/102 \text{ joules/cm}^2$ となり比エネルギーの単位と同一である)、衝撃試験で求めた値とかなり等しく、ある程度推定すると、被削岩石の比エネルギーを衝撃試験、あるいは現地の模型試験により得れば、式(4)により掘進速度を求めることができ、削孔径や機械出力の異なる場合の掘進速度を推定することも可能である。

図-8にリバースサーキュレーションドリルの三翼ビットで掘削した場合の掘削実績を示している。現場の地盤の比エネルギーは本実験の模型地盤と比較してかなり小さいので、通常の掘削機械でも効率よく掘削できる地盤であることが示されている。

	試 料 A	試 料 B	試 料 C
比エネルギー joules/cm^2	4 3.6	2 0.0	1 0.9
衝撃試験 "	2 2.9	1 4.4	9 3
一軸圧縮強度 "	3 4.0	2 2.8	1 1.2

表-2 300φmmビットの比エネルギーの定常値と一軸圧縮強度、衝撃試験の値

6. あとがき

以上、300φmmのブレードビットについて実験を行なったが、ビットが一種類であること、試料がモルタルであること、また推力も限られ回転数も一定としているので、本実験結果から実際の掘削能率を評価することはまだ困難である。今後、種々の掘削条件やビットでさらに実験を進めてゆきたい。

参考文献

- ① 斉藤、芳賀：“衝撃試験による岩石の破碎常数とその適用性について” 第7回土質工学会 1972
- ② R.TEALE：“The CONCEPT OF SPECIFIC ENERGY IN ROCK DRILLING” 1965
- ③ F.C.BOND：“CRUSHING AND GRINDING CALCULATIONS” 1964

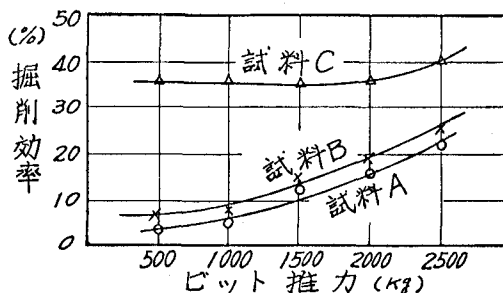


図-7 推力と掘削効率の関係

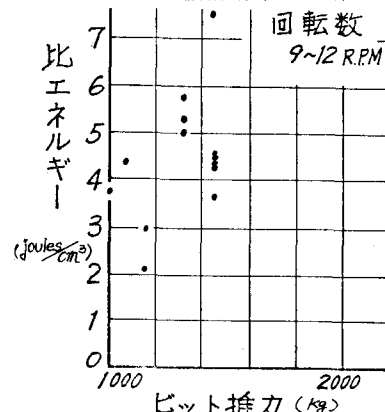


図-8 リバースによる現場実績