

## 空気さく岩機の衝撃切削性能試験

その他（別言語等） のタイトル	Measurement of Drillability of Percussive Air Rock Drill
著者	水戸 唯則, 熊谷 義光, 香川 義郎, 佐藤 一彦
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	10
号	3
ページ	481-492
発行年	1981-11-30
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3733">http://hdl.handle.net/10258/3733</a>

# 空気さく岩機の衝撃切削性能試験

水戸唯則・熊谷義光  
香川義郎・佐藤一彦

## Measurement of Drillability of Percussive Air Rock Drill

Tadanori Mito, Yoshimitsu Kumagai, Yoshio Kagawa,  
and Kazuhiko Sato

### Abstract

A measurement of the energy transfer from the piston to the drill steel and the stress wave transmission at the interface between the bit and rock was performed to determine the drillability of percussion drilling machine. Concerning the piston-drill steel system, the energy of stress wave  $E_s$  projected onto the drill steel was measured and compared with the kinetic energy of the piston  $E_k$  possessing just before impact. The experimental result revealed that  $E_s$  amounted to  $0.96E_k$  regardless of impact velocity over the range from 1.43 to 5.99 m/sec. On the other hand, the energy  $E_u$  consumed to breaking rock was determined from the relationship between the force applied to the bit and the penetration resulting from this force, then it was compared  $E_s$ . The value of  $E_u$  increased from 0.29 to  $0.36E_s$  with increase of pressure of inlet compressed air from 2.5 to  $5.0\text{kg/cm}^2\text{G}$ .

The less value of the efficiency of energy transfer at the bit-rock interface is due to the fact that the first two incident waves can contribute to breaking rock, but the successive stress waves can not be transmitted to rock because of departure at the interface before the arrival of the third incident wave.

### I 緒 言

さく岩機は土木工事や鉱山において、発破孔や支保ボルト孔の設定等に広く利用されている。最近の傾向としては油圧の普及が特筆され、大口径、長孔削孔では油圧さく岩機がほぼ定着をみせている。しかし、他方空気さく岩機も作業空間の狭い坑道や可燃性ガスの危険のある炭鉱等では現在でも広く利用されており、機器の改良や機器操作の制御等による削孔能率の向上が要望されている。

本研究は空気さく岩機の性能試験の一環として、さく岩機作動時の供給空気圧力、押付力(圧着力)がさく岩能率にあたえる影響を実験的に解明するために行われたものである。

一般に空気さく岩機のさく岩効率は、供給された圧縮空気の動力に対する単位時間に岩盤削孔に消費されたエネルギーの比として定義される。さく岩機のエネルギー伝達は次の3つの過程に

分解することができる。すなわち、(1) 圧縮空気の動力によりピストンに運動させる。(2) ピストンの運動によりドリルスチールを打撃し、ドリルスチールに衝撃応力を付与する。(3) ドリルスチールの衝撃応力を岩盤に投射することにより、岩盤を衝撃破壊する。この3つの過程のエネルギー伝達効率のうち、(1)についてはさく岩機の機械効率および正味熱効率として求め、すでに測定結果を報告した。そこで本文では、(2)および(3)のエネルギー伝達効率に関して、それぞれの測定方法ならびに測定結果を報告し、あわせて供給空気の圧力とさく岩効率との関係について述べることにする。

## II ピストン-ピックスチール衝突系のエネルギー伝達

### 1 ピックスチールに生じる応力の理論解析

ピストンとピックスチールの衝突の際のエネルギー伝達を考察するために、最初に弾性波、1次元的伝播を仮定してピックスチールに生じる応力の理論解析を行なう<sup>(4)</sup>。

まず、解析するにあたり、ピストンとピックスチールの形状を実際のものとはあまりかけ離れない程度に単純化して考える。ここではピストンおよびピックスチールにあるゆるやかなテーパの部分は軸方向に沿った平均直径の中実丸棒として表わした。また、ドリルスチールの先端は実際には四角錐の形状を有しているが、先端を適当な長さに切断した形状を想定した。

ピストンとピックスチールは熱処理により実際にはやや材質を異にすると考えられるが、これも単純化して同じ材質として扱った。以上の仮定により、ピストンおよびピックスチールは表1および図1に示した変断面の中実丸棒として単純化した。ピックスチールの応力を解析する位置は、実験と比較する意味から衝撃面から124 mmのところとした。応力波の解析には特性曲線法を用いた。この方法では、衝撃端面で生成された応力波、およびそれが進行して不連続面

表-1 ピストンとピックスチールの形状

Diameter (cm)		Area (cm <sup>2</sup> )		Length (cm)	
D <sub>1</sub>	2.000	A <sub>1</sub>	3.142	l <sub>1</sub>	2.55
D <sub>2</sub>	2.600	A <sub>2</sub>	5.309	l <sub>2</sub>	8.00
D <sub>3</sub>	3.500	A <sub>3</sub>	9.621	l <sub>3</sub>	6.20
D <sub>4</sub>	4.050	A <sub>4</sub>	12.882	l <sub>4</sub>	1.40
D <sub>5</sub>	2.875	A <sub>5</sub>	6.492		
L <sub>1</sub> 11.30 (cm)			L <sub>2</sub> 46.30 (cm)		

に到達したときに生ずる反射波、透過波を図1に模式的に示したように、応力波が伝播する長手方向の距離と時間の座標面に綱羅し、注目する観測点に到達する応力波を順次重ね合わせることで、その点での応力の時間的変動を決定することができる。したがって、計算に必要なのは衝撃端に生成される初期応力（図1では  $\sigma_1$  および  $\sigma_2$  の記号で示した）および不連続面での反射係数  $\alpha$ 、透過係数  $\beta$  である。これらはそれぞれ次式で表わされる。

$$\sigma_1 = \frac{2A_2}{A_1 + A_2} \sigma_0, \quad \sigma_2 = \frac{2A_1}{A_1 + A_2} \sigma_0, \quad \sigma_0 = \frac{1}{2} E \frac{v}{c} \quad (1)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{A_j - A_i}{A_j + A_i}, \quad \beta_{ij} = \frac{2A_i}{A_j + A_i} \quad (2)$$

$A_1$  = ピストン衝撃端の断面積,  $A_2$  = ピックスチール衝撃端の断面積

$\alpha_{ij}$  = 断面積が  $A_i$  の部分へ入射する応力波の  $A_j$

側への反射係数

$\beta_{ij}$  = 断面積が  $A_i$  の部分から  $A_j$  の部分へ入射する応力波の  $A_j$  側への透過係数

$E$  = ピストンおよびピックアップのヤング率

$c$  = ピストンおよびピックアップの弾性波速度

$v$  = ピストンの衝撃速度

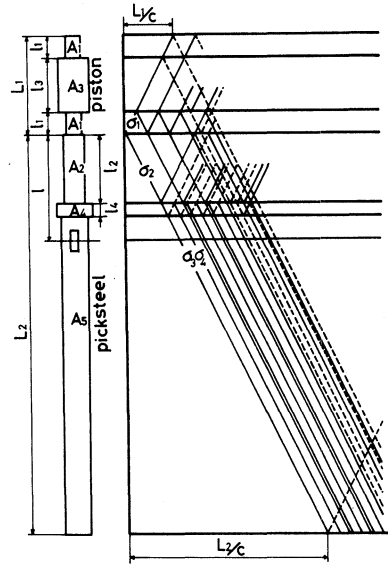


図-1 ピストンとピックアップにおける応力波の伝播状態

表-2 ピストンとピックアップの反射係数、透過係数

Reflection Coefficient		Transmission Coefficient	
$\alpha_{12}$	0.256	$\beta_{12}$	0.744
$\alpha_{21}$	-0.256	$\beta_{21}$	1.256
$\alpha_{13}$	0.508	$\beta_{13}$	0.292
$\alpha_{31}$	-0.508	$\beta_{31}$	1.508
$\alpha_{24}$	0.416	$\beta_{24}$	0.508
$\alpha_{42}$	-0.416	$\beta_{42}$	1.416
$\alpha_{45}$	-0.330	$\beta_{45}$	1.330
$\alpha_{54}$	0.330	$\beta_{54}$	0.674

表 1 に示した断面寸法を用いてすべての不連続面について計算した、反射係数および透過係数を表 2 に示す。

さて、図 1 ではピストンとピックスチールの応力波伝播状態を示しており、圧縮応力を実線、引張り応力を点線で表わしている。図中、 $\sigma_1$  および  $\sigma_2$  については (1) 式により容易に求めることができる。次に透過波に注目する。ピックスチールの衝撃面で発生する圧縮応力  $\sigma_2$  は弾性波速度  $c$  で端面方向へ進み、衝撃した時刻を  $t = 0$  とすれば  $t = l_2/c$  時間後に不連続面に到達し、そこで  $\alpha_{24}\sigma_2$  の応力が反射し、残り  $\beta_{24}\sigma_2$  が透過する。その後、次の不連続面で  $\alpha_{45}\beta_{24}\sigma_2$  の応力が引張り応力として反射し、残りの  $\sigma_3 = \beta_{45}\beta_{24}\sigma_2$  の応力が圧縮応力の形をとり透過する。透過波  $\sigma_4$  についても同様な手法により計算を進めることができ、これらを順次重ね合わせることで任意の時刻における応力を理論的に決定することができる。

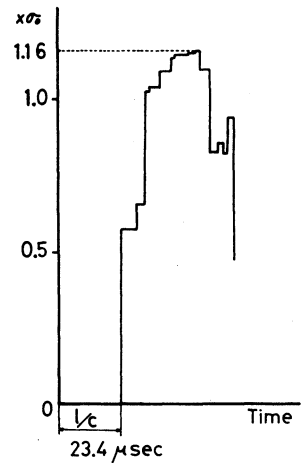


図-2 理論から得られるピックスチールに生じる応力の変化

図 2 には、ピックスチールの衝撃端より 124 mm のところの応力の時間に伴う変化状態を示したものであるが、この位置における最大応力値  $\sigma_{maxT}$  は  $\sigma_0$  の 1.16 倍である。また、ピストン衝撃速度  $v$  (m/sec) と  $\sigma_{maxT}$  (kg/cm<sup>2</sup>) の関係は  $\sigma_{maxT} = 247 v$  となった。ただし最大応力値以後の解析では計算が非常に煩雑になるため省略した。

## 2 ピストン落下試験によるエネルギー伝達

### 2. A 実験装置

ピストン衝撃速度とピックスチールに伝播した応力波の最大値ならびに応力波のエネルギーの関係を究明するためピストンを自由落下させ、ピックスチールに衝突させる実験を行なった。

実験装置の全体の構成を図 3 に示す。ピストンとピックスチールを完全に向心衝突させるために、ピストン落下通路にガイドパイプを用いた。ピストン衝撃速度は衝突面付近の 2 個のフォトトランジスタにより測定した。すなわち、ピストン衝撃速度はピストンが光をさそぎる時にフォトトランジスタから発生する電圧の時間差を読みとり、フォトトランジスタ間を通過するときの時間を求め、それとセンサー間の距

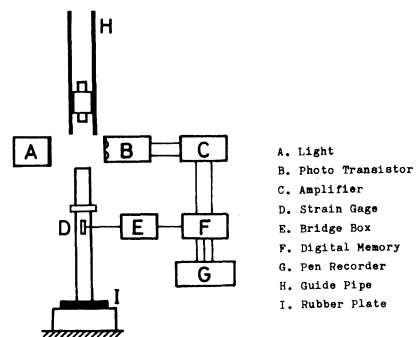


図-3 ピストン落錘試験の実験装置

離とで容易に求められた。また、ピックスチールに生じる応力波は衝突面から 124 mm の位置に貼ったひずみゲージで測定した。このひずみはブリッジボックスを経て電圧に変換されたデジタルメモリーに一時記憶され、ペンレコーダに再生される。なお、この位置で測定された応力は、ピストンとピックスチールの衝撃によって衝撃面から入射した応力波がピックスチール先端からの第 1 次反射波の影響をうけることなく記録される。

2. B 解析結果と検討

ピストン衝撃エネルギー  $E_k$  は次式で与えられる。

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} v^2 \tag{3}$$

ただし、 $W$  はピストン重量である。また、ピックスチールに生じる応力波のもつエネルギー  $E_s$  は次式で与えられる。

$$E_s = \frac{Ac}{E} \int_0^t \{\sigma(t)\}^2 dt \tag{4}$$

ただし、 $A$  : ピックスチールの横断面積、 $c$  : ピックスチールの弾性波速度

$E$  : ピックスチールのヤング率、 $\sigma$  : 応力、 $t$  : 波の継続時間

この波の全エネルギーは 2 つの部分からなり、半分が変形のひずみエネルギーで、残り半分が運動エネルギーである<sup>(2)</sup>。

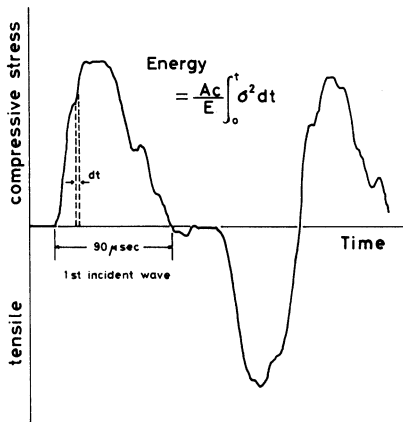


図-4 実験から得られたピックスチールに生じる応力波

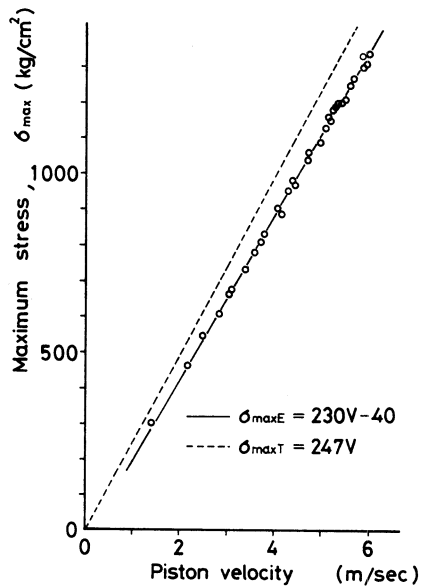


図-5 ピストン打撃速度とピックスチールに生じる最大応力の関係

実験で得られた波形を図4に示す。応力波のエネルギーは時間刻み  $dt$  を  $2\mu\text{sec}$  として、区分求積法にて圧縮から引張応力に転じるまでの  $90\mu\text{sec}$  間を積分して求めた。図5にはピストン衝撃速度 ( $m/sec$ ) と実測した最大応力値  $\sigma_{\text{maxE}}$  ( $kg/cm^2$ ) の関係を示す。前節で述べた予測値の  $\sigma_{\text{maxT}}$  も合わせて点線で示す。 $\sigma_{\text{maxE}}$  と  $v$  は理論的に一次関数の関係にあるが、これらのデータ最小二乗法を適用してその関係式を導くと

$$\sigma_{\text{maxE}} = 230v - 40$$

が得られる。これによりピックスチールに生じる応力の波高値を知るだけでピストン衝撃速度が求まることになる。実験値  $\sigma_{\text{maxE}}$  は理論値  $\sigma_{\text{maxT}}$  の平均 88.5% であった。この食い違いは反射係数、透過係数を決定する際、ピストンとピックスチールの形状を単純化したことに帰因するものと考えられる。図6はピストン衝撃速度  $v$  とピックスチールに伝った応力波のエネルギー  $E_s$  の関係を示す。これにも最小二乗法を用いて次式を得た。

$$E_s = 0.0288 v^{2.02} \quad (6)$$

この実験に用いたピストンの重量は  $0.609\text{ kg}$  などで(3)式よりピストン衝撃エネルギー  $E_k$  は  $E_k = 0.0311 v^2$  であり、 $E_s$  は  $E_k$  にきわめて近い値である。測定したピストン衝撃速度の範囲では  $E_s$  の  $E_k$  に対する比、つまり伝達率は 95.8% であった。この値は、ピストンのもつ運動エネルギーがほとんどピックスチールに伝達していることを示しており、他の報告事例<sup>(9)</sup>とも調和的である。

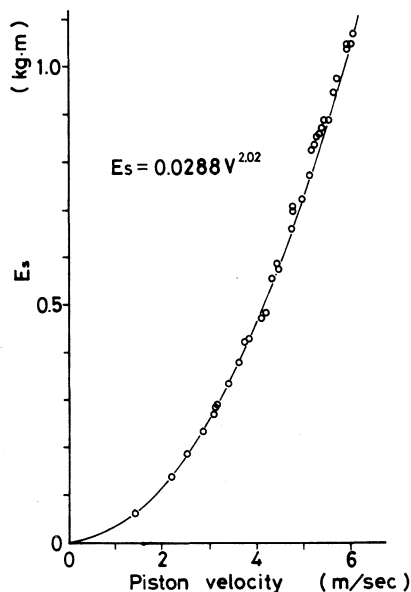


図-6 ピストン打撃速度とピックスチールに生じる応力波のエネルギーの関係

### III ピックスチール-岩盤衝突系のエネルギー伝達

#### 1 衝撃さく孔のエネルギー伝達<sup>(9)</sup>

一般的なさく岩機において、ピストンとドリルスチールの単一衝突でドリルスチール内に応力波が生じ、ドリルスチール先端の岩盤方向に向かう。この応力波を第1次入射波という。第1次入射波のもつエネルギーの一部分は岩盤に伝達され、また残りの部分は第1次反射波としてドリルスチール、ピストン方向に反射される。この第1次反射波はドリルスチールのシャンク部

で反射し、再び岩盤方向へ向かう第2次入射波となる。このように応力波はドリルスチール内を往復し、岩盤に接触しているドリルスチールの先端を通してエネルギーが伝達され岩盤を破壊するのである。

ドリルスチール断面で応力波の相互作用によって生じた瞬間の力と変位速度は、次式によって決定される。

$$F = (\sigma_i + \sigma_r) A + F_0 \tag{7}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{c}{E} (\sigma_i - \sigma_r) + V_0 \tag{8}$$

ただし、

$F$  : ドリルスチール先端と岩盤に働く力

$F_0$  : 応力波の到達前のドリルスチールと岩盤に働く力

$\sigma_i$  : 入射応力,  $\sigma_r$  : 反射応力,  $A$  : ドリルスチールの断面積

$c$  : ドリルスチールの弾性波速度,  $E$  : ドリルスチールのヤング率

$du/dt$  : 変位速度,  $V_0$  : 応力波到達前のドリルスチール先端の速度

以下、議論を進める上で次のような条件をつける。

- (i) ドリルスチール先端の挙動は剛体としてふるまい、ドリルスチールと岩盤の境界面での瞬間の力はドリルスチール先端に近い位置でのドリルスチール断面に働く。
- (ii)  $F_0, V_0$ の値は無視できるほど小さい。
- (iii) ドリルスチール先端と岩盤は第1次入射波が到達するとき密着している。

任意のドリルスチールと岩盤の組合わせにおいて、ドリルスチールと岩盤の接触境界面の状態はドリルスチールに加わる力 $F$ とドリルスチールの

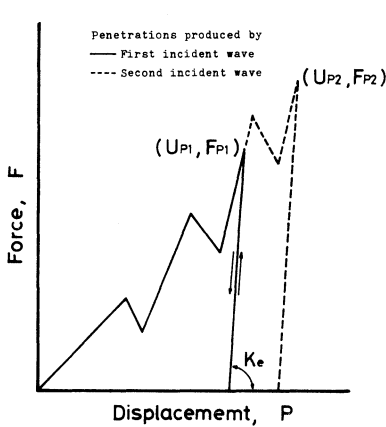


図-7 荷重-貫入量曲線

貫入量(変位) $P$ で適確に表わすことができる。概念的な荷重-貫入量曲線を図7に示す。第1次入射波によってドリルスチール先端の荷重が $0 \sim F_{P1}$ まで次第に増大し、除荷されると岩盤の弾性により最終貫入量は最大貫入量より小さくなる。再び第2次入射波によって荷重が加わると岩盤の弾性による傾き $k_e$ に沿って荷重と貫入量が増大し、図のような曲線になる。なお岩盤破碎に使われたエネルギー $E_u$ は $F-P$ 曲線に囲まれた面積で与えられている。この $E_u$ と前節で述べたピックスチールの応力波のエネルギー $E_s$ の比、 $E_u/E_s$ によりピックスチール-岩盤衝突系のエネルギー伝達効率が定義される。(7)式および



(8) 式に注目すると、ピックスチールに伝播する応力波の入射波  $\sigma_i$  と反射波  $\sigma_r$  を分解検出できれば、荷重-貫入量曲線を決定することができ、それゆえ  $E_u$  が求められる。また応力波のエネルギー  $E_s$  も第 1 次入射波を分離検出できれば (4) 式で計算することができる。それゆえ、応力波を検出する位置を適切に選定して  $\sigma_i$ 、 $\sigma_r$  が第 1 次および第 2 次以降について分離検出できればエネルギー伝達効率を測定することができるわけである。

## 2 実験装置

図 8 にさく岩機作動時の荷重-貫入量曲線, およびピックスチールに生ずる第 1 次応力波のエネルギーを測定するための実験装置の概略を示す。さく岩機は垂直に支持され, 作動中に横ずれすることなく, 上下移動できるものである。また上端のハンドルの部分に重錘を載せることにより, 任意の圧着力を加えることができる。上部から錘り台, さく岩機本体, ピックスチールおよびモルタルでこれらを垂直に配した。ピックスチールの全長は 606 mm でピストン衝撃端より 137 mm, 301 mm, 540 mm の位置に半導体ストレングージを 180°対向で一組ずつ接着し, 荷重計を構成した。説明の都合上, これらを上から順に *Gage1*, *Gage2*, *Gage3* と呼ぶことにする。ピストンとピックスチールの衝突で発生するひずみの記録方法は, ピストン落下試験と同様である。岩盤試料としては, 木枠で成型し十分に養生したセメントモルタルを代用した。この試料のモルタル下端からの反射波の影響を考慮して, この形状を 250 mm × 250 mm × 280 mm とした。また単軸圧縮強度は 582.9 kg/cm<sup>2</sup> である。なお, ピックスチールに生じる応力波の測定は圧着力約 20 kg, 供給圧力 2.5, 3.0, 3.5, 4.5, 5.0 kg/cm<sup>2</sup> G の条件で実験を行った。

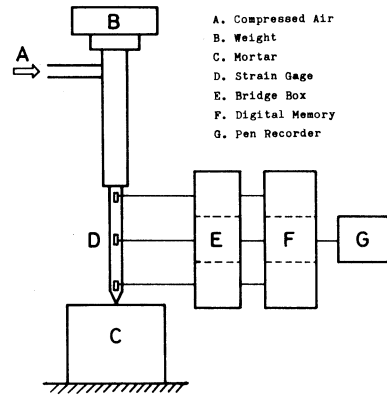


図-8 実験装置

3 解析結果と検討

### 3. A 入射波と反射波の解析

図 9 に *Gage 1*, *Gage 2*, *Gage 3* で測定された応力波形と入射波および反射波の立上り方を, それぞれ実線および 1 点鎖線の直線で示した。入射波と反射波が干渉し合うため, ピックスチール中間の *Gage 2* から測定される応力波だけでは, 完全に分離した  $\sigma_i$ ,  $\sigma_r$  の応力波が得られない。したがって, *Gage 1*, *Gage 3* から得られる応力波を参考に入射波と反射波を分離する。ピストンとピックスチールの衝突で生じる第 1 次入射波は図の a ~ b 間で示す 90  $\mu$ sec の圧縮波からなり, ピックスチール-岩盤の接触境界面方向へ伝播されるが, ピックスチール先端部分

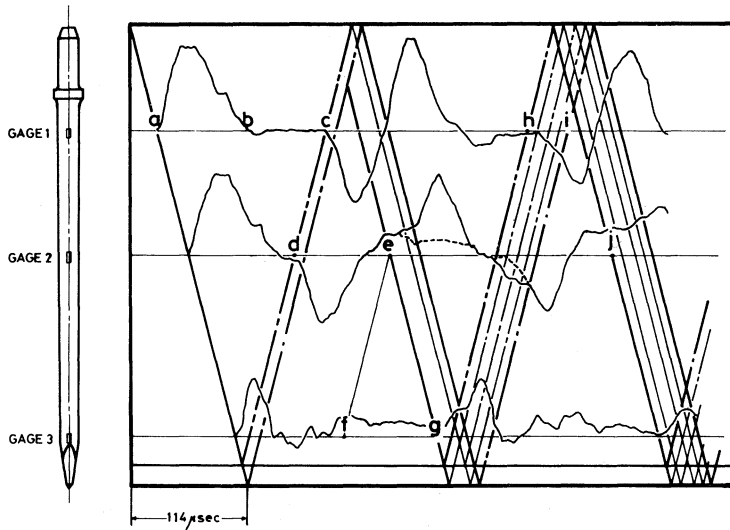


図-9 応力波の入射波と反射波の解析

が四角錐に整形され断面が変化するため、応力波の一部が四角錐の底部から連続的に反射される。また、ピックスチールと岩盤の接触境界面で反射し、最後にピックスチール先端で反射する。このように反射点は複数あるが、Gage 1で示される cで第1次反射波の顕著な立上がりが見られるので、これを逆算してピックスチールの先端より 28 mm のところを応力波の反射点とした。第1次反射波は Gage 2の第2次入射波の影響を受けない d~e間と、Gage 3の第1次入射波の影響を受けない f~g間を組合わせて得られた。この第1次反射波はピックスチールのシャンク部方向に向かい衝撃端で自由端の反射がなされ、第2次入射波としてピックスチール先端へ向かうのであるが、その際ピックスチールのカラー部での反射波が衝撃端からの入射波より早いということを考慮して、第2次入射波は eを基点に解析した。Gage 2の第2次入射波は点線で示す第1次反射波と合成されているので、実際の第2次入射波は点線の第1次反射波を減ずることで得られる。第2次反射波は、Gage 2において第2次入射波と合成されているので Gage 1で現われる h~i間の応力波を組合せて jまで解析した。j以降は応力波が複雑に干渉し合うので解析は jまで行なった。第3次入射波、反射波以降の応力波はピックスチールが岩盤から離れてピックスチールの先端が自由端としてふるまう波形になっていることから、ピックスチールと岩盤が接触しているのは第2次入射波が通過するまでと考えられる。したがって岩盤破碎に使われたエネルギーは第1次、第2次応力波を対象に解析した。また、応力波の伝播している間にある程度の減衰が生じるので、この点についても考慮して Gage 2の応力波を基準に解析を行なった。

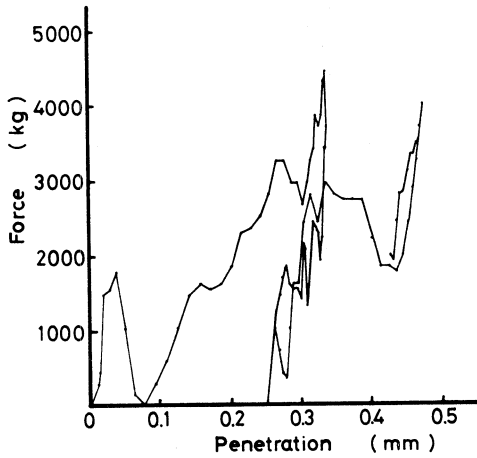


図-10 荷重-貫入量曲線  
(供給圧力 5 kg/cm<sup>2</sup>G)

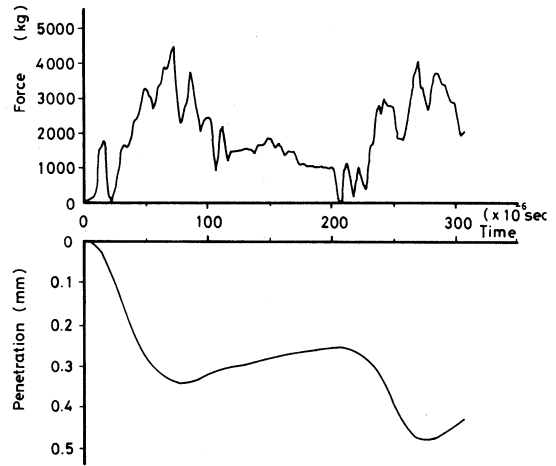


図-11 時間に伴う荷重と貫入量の変化

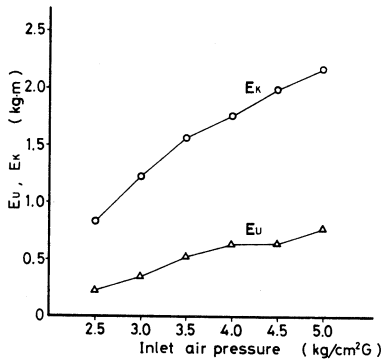


図-12 ピストン打撃エネルギー $E_k$   
モルタル破碎に使われたエネルギー $E_u$ の関係

3. B 岩盤破碎に使われたエネルギー

図 10 は供給圧力 5.0 kg/cm<sup>2</sup>G の F-P 曲線である。第 2 次応力波による F-P 曲線で荷重 0 まで解析できなかったため、第 1 次応力波による除荷曲線と同じ傾きをもつものとして岩盤破碎に使われたエネルギー  $E_u$  を算出した。図 11 に時間に伴う荷重と貫入量の変化を示すが、最大荷重が岩盤に加わるのは第 1 次応力波の通過するとき、また最大貫入するのは第 2 次応力波の通過時におこることがわかる。ピストン衝撃エネルギー  $E_k$  はほとんど 100% が第 1 次入射波としてピクスチール内を伝播す

ることから、(3) 式と (6) 式を使って算出した。図 12 に各供給圧力におけるピストン衝撃エネルギー  $E_k$  と岩盤破碎に使われたエネルギー  $E_u$  の関係を示す。

さく岩機の効率を求めるために、過去に測定した圧縮空気動力  $N_a$ 、インジケータ線図から決定した図示馬力  $N_i$ 、ピストンの運動エネルギーと単位時間当りの打撃数との積により定義される正味馬力  $N_k$  を含めて、表 3 にエネルギー伝達と供給空気圧力の関係を総括した。ただし、表中 (d)、(e) の動力は  $N_i$  と同様、それぞれに対応するエネルギー、すなわち  $E_s$  および  $E_u$  と単位時間あたりの打撃数との積である。表 3 (h) 項より、実験を行なった範囲では、ピクスチールの応力波のエネルギーの平均 33.4% が岩盤破壊に使われることがわかる。また (i) 項より、総合効率、すなわち圧縮空気動力のうち岩盤破壊に使われるのは平均 6.6% という結果となった。

表-3 各種性能値

power (kg-m/sec)			pressure of compressed air (kg/cm <sup>2</sup> G)					
			2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
(a)	power of supplied compressed air	$N_a$	1.21	1.51	1.82	2.13	2.44	2.76
(b)	rate of work done by compressed air	$N_i$		0.390		0.654		0.950
(c)	rate of kinetic energy of piston	$N_k$	0.186	0.290	0.395	0.457	0.532	0.592
(d)	rate of stress wave energy in picksteel	$N_s$	0.178	0.278	0.381	0.441	0.514	0.573
(e)	rate of work consumed for fracturing rock	$N_u$	0.053	0.084	0.132	0.161	0.170	0.208
(f)	efficiency (%)	$N_i/N_a$		38.7		30.7		34.4
(g)		$N_k/N_a$	15.3	19.2	21.7	21.5	21.8	21.5
(h)		$N_u/N_s$	29.8	30.1	34.7	36.6	32.9	36.3
(i)		$N_u/N_a$	4.4	5.6	7.3	7.6	6.9	7.5

#### IV 結 言

空気さく岩機の性能試験の一環として、衝撃切削性能の測定をおこなった。実験ではピストン-ピックスチール系および、ピックスチール-岩盤系でのエネルギー伝達効率を測定することに主眼をおいた。

ピストン-ピックスチール系のエネルギー伝達に関しては、ピストンを自由落下衝突させたときのピストン運動エネルギーとピックスチールに生じた応力波のエネルギーを比較検討し、あわせて応力波の理論解析の結果とも対比した。またピックスチール-岩盤系のエネルギー伝達に関しては、実際にさく岩機を作動させ、そのときのピックスチールの応力波のエネルギーと岩盤の荷重-貫入量曲線から定まる破碎エネルギーを比較した。その結果、

(1) ピストン-ピックスチール系のエネルギー伝達率は、ピストン運動速度が1.43-5.99 m/sec の範囲では平均 95.8%の値を示した。また、ピストンの衝撃によってピックスチールに生じる応力波の最大値は衝撃速度に比例し、応力波のエネルギーは衝撃速度の2乗に比例する結果となった。この実測値のうち応力波の最大値は、衝突系の幾何学的形状を単純化しておこなった理論解析による予測値 88.5%にとどまった。したがって、理論解析にあたってはモデル化を更に厳密におこなう必要がある。

(2) ピックスチール-岩盤系のエネルギー伝達率は、供給空気圧力が2.5-5.0 kg/cm<sup>2</sup>G の範囲では平均 33.4%の値を示した。岩盤の衝撃切削に有効に消費されるエネルギーは、岩盤

の荷重-貫入量曲線と対比すると、ピックスチールから岩盤に投射される第1次および第2次の応力波により与えられていることが明らかになった。したがって、ピストン1打撃の時間中に後続する3次以降の応力は、ピックスチール先端と岩盤の境界面で分離が起るため、ピックスチール内を往復するにとどまり、岩盤の衝撃切削に寄与しない。

(3) 供給された圧縮空気動力のうち、最終的に岩盤の衝撃切削に単位時間あたり消費されるエネルギーは、通常の圧縮空気圧力の範囲では、7.6%である。このような低効率の1つの原因は圧縮空気動力によるピストン往復運動であり、この段階での効率は30.7%である。ついでピックスチールによる岩盤衝撃切削では、効率は36.6%である。

以上のように、空気さく岩機の衝撃切削性能を調査するにあたり、素過程に分解してそれぞれのエネルギー伝達効率を測定することができた。今後の課題としては、

(1) 今回は岩盤の荷重-貫入曲線をピックスチールの複数の測点で検出した応力波から計算によって間接的に測定したが、荷重と貫入量を直接検出し、チェックする必要がある。

(2) 今回、岩盤はセメントモルタルで代用したが、天然の岩盤について実験を行ない、岩種による衝撃切削性能の変化を解明する必要がある。

(3) 空気さく岩機の効率を向上させるためのピストンおよびピックスチールの幾何学的形状および寸法を、応力波の理論解析をつうじて見出す必要がある。

終わりに、本研究に協力いただいた本学卒業生の中野恒二君、山田泰造君に深く感謝の意を表します。

(昭和56年5月20日受理)

#### 参考文献

- 1) 松本浩之, 三室 弘, 松森保雄, 中原一郎: 日本機械学会論文集 29 (197) 49 (1963)
- 2) S.Timoshenko and J.N.Goodier: The theory elasticity 442 (1951)
- 3) W.A.Hustrulid and C. Fairhurst: Int. J. Rock Mech. Min. Sci 8 331 (1971)