岩石の打げき長孔穿孔に関する研究*

—長尺ロッドによる岩石の破碎機構について—

正 会 員 高 岡 三 郎**
速 水 博 秀**

Studies on the Percussive Deep Hole Drilling of Rocks

— On the drilling mechanism of rock with the long rod —

Saburō TAKAOKA and Hirohide HAYAMIZU

In the percussive deep hole drilling test, the authors have studied on the drilling mechanism to increase the drilling efficiency and drilling speed with the long rod using Inada Granite as a sample.

The results obtained are as follows:

- (1) By measuring the stress distribution of drill rods, the chipping mechanism of rocks was observed clearly.
- (2) The chipping resistance of rock termed chipping strength is constant, while the rock is chipping.
- (3) The chipping strength was increased instantaneously at the initiation of the chipping process of rock, as well as in the case of the mechanical properties of steel.
- (4) The chipping strength changed proportionally to the impact velocity of the hammer, but has no relation with the hammer weight and the rod length.
- (5) As the hammer weight increased, duration of chipping was prolonged.
- (6) The chipping amount of rock were not influenced of the hammer weight, the impact velocity and the rod length, but has relation only to the impact energy of the hammer.
- (7) On the deep hole drilling the elements which reduced the drilling efficiency do not due to increase of the rod length, but to the decreased output of the drilling machine caused by the friction between the rod and cuttings, the other hand it depend on the reduction of transverse rigidity of the rod.

1. 緒 言

打げき式さく岩機による長孔穿孔において、その穿孔能率の向上と穿孔可能限度の増大を計るためにはさく岩機そのものの長孔穿孔性能および穿孔孔中の破碎岩粉の処理法等についての研究はもちろん必要であるが、ロッドの長大化に応じてさく岩機ピストンとロッドの相互作用および岩石の破碎状況がどのようになるかを究明することは先進ボーリングに代つて打げき式さく岩による長孔穿孔の根本的有利性を確める上にまた長孔、半長孔穿孔による採掘法の改善を計るためにも重要な課題である。しかるにこの点に関しては従来2球の衝突理論より類推した衝突効率が考えられているのみであるが、この衝突理論では実験の結果を説明するのに不十分であることが確められている。

また落錐試験による岩石の打げきさく孔に関する研究²⁾については東大下村教授も詳細な結果を報告されている。ところでロッドが長大化した場合実際穿孔においてはロッド重量の影響はもちろん存在するが、これ等に関する基礎的研究はあまり行われていない。そこでこのような場合については弾性波理論の適応性が増大するものとして、岩石の打げき破碎状況の時間的経過を長尺ロッドを介してこれに発生するヒズミ変化より究明することが出来ると考えた。

そこで筆者等は研究の第1段階として実際の穿孔作業に近い条件で長尺ロッドの穿孔機構を研究する方法としてロッド長さに応じて試験岩石を任意の位置に固定し使用ロッドもジョイントによるエネルギー損失等を考慮して全部継目無1本ロッドで先端に W. C. ビットをネジ結合して、これに現用さく岩機と同程度の打げき力を与える振り式模型打げき試験機によつて実験を行つた。すなわち単一並列打げきによつて岩石面に接触せしめたビ

* 昭和30年12月24日受理、昭和30年10月京都における地下資源関係学協会合同秋季大会にて講演

** 工業技術院資源技術試験所第6部

ットで岩石を破碎する際、岩石の示す抗力およびピストンとロッドの相互作用がロッドの長さによどのように関係するかを特にロッドが長い場合について弾性力学的な解析およびロッド内に発生するヒズミの測定によって求めその際岩石破碎量がいかなる量により決定されるかを検討して穿孔速度とロッドの長さとの関係等を究明した結果、長尺ロッドによる穿孔機構の一端を明らかにすることが出来た。

2. 弾性力学的解析

さく岩用ロッド内部のヒズミ状況はピストンとロッドの相互作用および岩石破碎の状況と密接な関係があるからロッド内部のヒズミ状況の測定によりピストンとロッドの相互作用および岩石の破碎状況を知ることが出来る。従来 1~2m のロッドのヒズミについてはストレンゲージを使用し搬送波回路あるいは C-R 増巾回路による測定が行われたが、あまりに弾性波速度が大きいため、その破碎現象を波状的に観測し、これを解析することが不充分であつた。

またその理論的な関係は筆者等がさく岩機ピストンとロッドの衝突機構について、ヒズミの状況を示す2つの函数 $\partial u_1/\partial x$, $\partial u_2/\partial x$ の形をきめるには境界条件をきめる必要があることを述べた。すなわちシャンク端の境界条件は簡単に与えられるから岩石端の境界条件 $F(t)$ をきめればピストンとロッドの相互作用および岩石破碎の状況とロッド長さの関係が具体的に与えられるわけである。しかるに岩石端の境界条件についてはこれをきめるための理論的な研究はまだなく、それが本研究の一つの目的でもあつたが、幸い今回の実験によりロッドが比較的長く第1入射波の有する全エネルギーが衝突前ピストンの有していた運動エネルギーとほとんど等しいと考えられる場合については、ピットが岩石を破碎して岩石に貫入しつつある時期に岩石が示す抗力、すなわち抗碎力*は大体一定であることが明らかになった。すなわちその大きさ F は近似的に

$$F = kv \dots \dots \dots (1)$$

ただし v : ピストンの打げき速度
となり、打げき速度 v のみに関係し、かつピットの貫入停止後はピットが岩石から分離するまで岩石端は固定端とほとんど同様の境界条件を有することがわかつた。

よつてこれにともないロッド両端の境界条件は理論的に次のように与えられることになる。

* 打げき穿孔において、岩石の破碎に抗する機械的性質で、鋼の降伏点に類似しており、これを岩石の抗碎力と名づけてみた。

** 以下各式の記号は参考文献 1) において用いた記号と同一の量を示す

*** $F=0$ ならば第1反射波後半も引張ヒズミ波となり、ピストンとロッドは再び接触することなくピストンは反発されない。このことは参考文献 1) に示した。

すなわちシャンク端において

$0 < t < \frac{2l}{a}$ の間はロッドはピストンにより打げきされるから**

$$\frac{W}{g} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right)_{x=l} = -EA \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=l} \dots \dots \dots (2)$$

で与えられる。ただし上記は $F < EA \frac{v}{a}$ なる場合であつて、 $F > EA \frac{v}{a}$ ならばピストンとロッドの接触時間は少し伸び (2) 式が成立する時間は幾分長くなるが、実験の結果 $F < EA \frac{v}{a}$ であるから (2) 式は $0 < t < l/2a$ の間のみ成立することになる。

$\frac{2l}{a} < t < \frac{2l}{a} + t_2$ の間は $F < EA \frac{v}{a}$ なる結果第1反射波前半が引張ヒズミ波となり、 $t = 2l/a$ にピストンとロッドは分離しロッドシャンク端は自由端になるので

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=l} = 0 \dots \dots \dots (3)$$

で与えられる。しかるに岩石の抗碎力 F が時間に対して不変なることおよび岩石の破碎停止後岩石端が固定端になることから第1反射波後半は圧縮ヒズミ波となるのでピストンとロッドは再び接触する。すなわち t_2 は第3図に示すようにシャンク端が自由端として存在する時間を示す。

$\frac{2l}{a} + t_2 < t < \frac{2l}{a} + t_3$ の間はピストンとロッドが接触しているので再び (2) 式と同じ境界条件になり $\frac{2l}{a} + t_2 \sim \frac{2l}{a} + t_3$ なる時間中にピストンに作用する力積によりピストンは反発される。*** 次に

$\frac{2l}{a} + t_3 < t$ においてはロッドシャンク端はピストンを反発分離した結果、なんの拘束もなくなるから自由端となり (3) 式と同じ境界条件になる。

一方岩石端は $t < \frac{l}{a}$ において $(\partial u/\partial x)_{x=0} = (\partial u/\partial t)_{x=0} = (u)_{x=0} = 0$ であり

$\frac{l}{a} < t < \frac{l}{a} + t_1$ の間は第1入射波により岩石を破碎するから

$$-kv = EA \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=0} \dots \dots \dots (4)$$

で与えられる。すなわち t_1 は第3図に示すように岩石の破碎継続時間を示す。

$\frac{l}{a} + t_1 < t < \frac{3l}{a}$ の間はピットは破碎貫入を停止し岩石面に静止するから

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_{x=0} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

で与えられる。さらに $t > \frac{3l}{a}$ についても各時刻に対する境界条件が与えられるが後に説明する理由により $t = \frac{3l}{a}$ 以後のロッドと岩石の相互作用はほとんどなくなるから近似的に

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=0} = 0 \dots \dots \dots (6)$$

で与えることが出来る。

以上の境界条件を満足する解を求めれば

第1入射ヒズミ波 $\left(\frac{l-x}{a} < t < \frac{3l-x}{a}\right)$

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = -\frac{v}{a} \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{l-x}{a}\right)\right\} \quad (7)$$

第1反射ヒズミ波 $\left(\frac{l+x}{a} < t < \frac{l+x}{a} + t_1\right)$

$$\frac{\partial u_2}{\partial x} = \frac{v}{a} \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{l+x}{a}\right)\right\} - \frac{kv}{EA} \quad (8)$$

ただし $t_1 = \frac{ma}{EA} \log_e \frac{2EA}{ka}$ (9)

第1反射ヒズミ波 $\left(\frac{l+x}{a} + t_1 < t < \frac{3l+x}{a}\right)$

$$\frac{\partial u_2}{\partial x} = -\frac{v}{a} \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{l+x}{a}\right)\right\} \quad (10)$$

第2入射ヒズミ波 $\left(\frac{3l-x}{a} < t < \frac{3l-x}{a} + t_1\right)$

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = -\left[\frac{v}{a} \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{3l-x}{a}\right)\right\} - \frac{kv}{EA}\right] \quad (11)$$

第2入射ヒズミ波 $\left(\frac{3l-x}{a} + t_1 < t < \frac{3l-x}{a} + t_2\right)$

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = \frac{v}{a} \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{3l-x}{a}\right)\right\} \quad (12)$$

ただし $t_2 = \frac{ma}{EA} \log_e \left\{\frac{ka}{EA} \left(1 + \log_e \frac{2EA}{ka}\right) - 1\right\}^{-1}$ (13)

第2入射ヒズミ波 $\left(\frac{3l-x}{a} + t_2 < t < \frac{3l-x}{a} + t_3\right)$

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = \frac{v}{a} \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{3l-x}{a}\right)\right\} \times \left\{2 \frac{EA}{ma}\left(t - \frac{3l-x}{a} - t_2\right) - 1\right\} \quad (14)$$

ただし $t_3 = \frac{ma}{EA} + t_2$ (15)

第2入射波 $\left(\frac{3l-x}{a} + t_3 < t < \frac{5l-x}{a}\right)$

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = \frac{v}{a} \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{3l-x}{a}\right)\right\} \quad (16)$$

で与えられる。さらに $t > \frac{3l+x}{a}$ における反射波および $t > \frac{5l-x}{a}$ における入射波も求められるが、ピストンを反発した直後すなわち $t = \frac{2l}{a} + t_3$ までにロッドが受け取った力積を計算すれば $t > \frac{2l}{a} + t_3$ においてはロッドは岩石と反対方向に運動量を有することがわかるので岩石端において第2入射波のわずかなエネルギーが岩石に供給されるが、近似的には岩石端は自由端と考えることが出来(6)式を与えたわけである。すなわち以後はロッドが自由運動を行うと考えられるので大体において入射ヒズミ波、反射ヒズミ波の波形は等しく符号が反対になるのみと考えられる。

第1図 長尺ロッドによる打撃穿孔実験装置

以上のヒズミ波に対応して次の関係が導かれる。

a) 岩石に吸収されるエネルギー H は

$$H = \int_{l/a}^{l/a+t_1} aEA \left[\left\{ \frac{v}{a} \exp\left(-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{l}{a}\right)\right) \right\}^2 - \left\{ \frac{v}{a} \exp\left(-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{l}{a}\right) - \frac{kv}{EA}\right) \right\}^2 \right] dt$$

より

$$H = \frac{1}{2} mv^2 \left\{ 4 \frac{ka}{EA} - 2 \left(\frac{ka}{EA} \right)^2 \left(1 + \log_e \frac{2EA}{ka} \right) \right\} \quad (17)$$

b) ピストンの岩石への貫入速度 V は

$$V = -2v \exp\left\{-\frac{EA}{ma}\left(t - \frac{l}{a}\right)\right\} + \frac{ka}{EA} v \quad \frac{l}{a} < t < \frac{l}{a} + t_1 \quad (18)$$

c) 貫入深度 D は

$$D = mv \left\{ k \left(\frac{a}{EA} \right)^2 \left(1 + \log_e \frac{2EA}{ka} \right) - 2 \frac{a}{EA} \right\} \quad (19)$$

d) ピストンの反発速度 v' は

$$v' = 2v \left\{ \frac{ka}{EA} \left(1 - \log_e \frac{ka}{2EA} \right) - 1 \right\} e^{-1} \quad (20)$$

e) ピストン反発後のロッド運動量 T' は

$$T' = mv \left[\frac{ka}{EA} \log_e \frac{2EA}{ka} \left(1 + 2e^{-1} \right) + \left(\frac{ka}{EA} - 1 \right) (1 - 2e^{-1}) - \exp\left\{-\frac{2EA}{ma^2} l\right\} \right] \quad (21)$$

で与えられる。

以上理論的に求められた結果を列挙したが、本理論においてはロッド内部粘性及び外部よりの摩擦抵抗、さらにロッド細部の形状、ジョイントの影響等を無視しているの、理論がどの程度穿孔時の岩石の破壊現象に近似しているかを確かめるために次の実験を行った。

3. 実験装置および方法

実験装置の写真を第1図に示す。本実験においては振

* 詳細については参考文献 1) を参照のこ

子の打げきに際してビットを岩石面に接触せしめた状態で岩石を破碎し、かつ実験条件を同一にするため岩石の破碎は平滑に研磨した岩石面に対して並列単打として、各打げきによる岩石破碎部が互いに影響しないように破碎箇所は充分に間隔を取り、各条件の岩石破碎量は10回の打げき破碎実験の平均値を取った。

またロッドヒズミの測定は岩石破碎実験の際にロッド中央部においてストレングージにより前報と同じ方法で同一の測定器によつて行つた。なおロッドヒズミの測定は打げき端および衝突端附近においても行つたが、ロッドの応力分布測定を目的としたものではないので、両端の現象の時間的経過をもつとも容易にかつ明確に測定出来る箇所として中央部を選定した。

次に実験に使用したロッド、ビットおよび試験岩石等の要因を示す。

3-1 ロッドおよびビット

岩石の打げき破碎実験に使用したロッドは $\frac{7}{8}$ 六角中空鋼の完成ロッドでその長さは1, 2, 4, 6, 8, 10mの6種としヒズミ測定は長さ3, 6, 10mの3種のものについてのみ行つた。使用したビットはゲージ38mm、一文字型双先角度 90° のW. C. ビットで刃先は磨耗を防ぐため巾0.2mmの面取を行つている。

3-2 試験岩石及び岩石固定台

試験岩石は茨城県西茨城郡稲田産出の黒雲母質花崗岩でその主な造岩鉱物は黒雲母、斜長石、石英で SiO_2 含有量78.8%、ショアー硬度90~95のもので、大きさは1尺×1尺×2尺とし表面は荒砥で充分平滑に研磨して仕上げ表面状況を一様にした。なお岩石固定台はロッド長さに応じてレール上を移動せしめ、適当の位置にクランプにより固定する。

4. 実験結果および考察

4-1 ヒズミ測定

前記の実験装置により岩石破碎の際、ロッド中央部に生ずるヒズミのブラウン管オシログラフによる記録例を示すと第2図のようであり、オシログラフと理論によるヒズミ状況を比較したのが第3図である。すなわち同図よりわかるように理論と実際現象との近似度はかなり良好であるが細かい点については幾分の差異があるのでこの差の程度を示す1例として第1入射波の最大波高値及び波高半減時間を比較すれば第1表のようになる。すなわち同表よりわかるように第1入射波の最大波高値は理

註 時点は1目 2/10,000 sec 写真下の数字は打撃体重×打撃速度

第2図 6mロッドの中央部におけるヒズミ状況

第1表 第1入射波波高値および半減時間

打げき体重 (kg)	打げき速度 (m/sec)	理 論 値		3mロッドにおける測定値		6mロッドにおける測定値		10mロッドにおける測定値	
		波 高 値 (kg/cm ²)	波高半減 時間 (t)	波 高 値 (kg/cm ²)	波高半減 時間 (t)	波 高 値 (kg/cm ²)	波高半減 時間 (t)	波 高 値 (kg/cm ²)	波高半減 時間 (t)
3.31	3.69	1,490	1.46×10^{-4}	970	1.2×10^{-4}	980	1.3×10^{-4}	1,050	1.2×10^{-4}
4.31	3.64	1,470	1.90×10^{-4}	1,130	1.7	1,090	1.8	1,050	1.8
5.08	3.62	1,460	2.24	1,170	2.0	1,090	1.9	1,170	2.0
3.31	5.22	2,100	1.46	1,470	1.2	1,360	1.2	1,480	1.0
4.31	5.15	2,080	1.90	1,630	1.6	1,630	1.8	1,700	1.6
5.08	5.12	2,060	2.24	1,700	1.8	1,740	1.8	1,740	1.7
3.31	6.38	2,580	1.46	1,930	1.2	1,850	1.2	1,740	1.1
4.31	6.30	2,540	1.90	2,090	1.3	1,930	1.7	2,010	2.0
5.08	6.26	2,530	2.24	2,010	2.0	1,830	2.0	2,160	1.8

ロッド 6m, 衝突体重量 3.31kg, 衝突速度 6.38m/sec

第3図 理論ヒズミと実測ヒズミの比較

論値よりも測定値の方が低く、その傾向は打げき体重量の小なる方が著しい。この理由は先にも述べたが打げき体が弾性変形すること、ロッド中に生じたヒズミ波の周波数の高い部分が波の進行とともに急速に減衰することによるものと考えられる。

次に理論半減時間とオシログラフよりの測定による半減時間は大体近似しているの、実際に生ずる波形は理論波形と相似するが波形より求められる弾性波速度は 5,100~5,500m/sec 程度であつて測定の誤差を考慮すれば大體理論的に与えられる速度 5,200m/sec 程度である。

4.2 岩石の抗碎力

ピットによつて岩石を打げき破碎する

際岩石の示す抗力、すなわち抗碎力 F は境界条件(4)式を考慮すれば(7)式に相当するオシログラフ上の第1入射波と(11)式に相当するオシログラフ上の第1反射波との差をとればよいがその数例を示すと第4図のようになる。すなわち抗碎力 F は多くの場合岩石の破碎進行中ほとんど変らず、鋼材の引張試験における降伏と類似の現象を示すが、鋼材の引張試験においても降伏開始時に上降伏点が存在することがあると同様に、岩石も破碎開始瞬間に抗碎力が上昇することもある。もちろんこの

註 グラフ左側の数字は打げき体重量×打げき速度 時間軸1目盛 1/10⁴ sec

第4図 抗碎力、破碎時間と打げき重量、打げき速度との関係

第5図 抗碎力と打げき体打げき速度との関係

図中抗碎力は打げき速度 v と一次的な関係があつて、打げき体重量 W にはあまり関係がない。すなわち岩石の破碎持続時間 t_1 は打げき体重量 W により変化するが、抗碎力は打げき体重量およびロッド長さには無関係と考えられるので第1近似として第(1)式に示した関係が得られる。このことより抗碎力はピットの岩石への貫入初速のみに比例すると云う関係が得られるがむしろこの方が本質的な関係と考えられる。

第2表 岩石破碎継続時間

打げき体重量 kg	打げき速度 m/sec	理論破碎時間 t_1	3mロッドにおける破碎時間 t_1	6mロッドにおける破碎時間 t_1	10mロッドにおける破碎時間 t_1
3.31	3.69	2.62×10^{-4}	2.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}	2.2×10^{-4}
3.31	5.22	2.62 "	2.0 "	2.0 "	2.4 "
3.31	6.38	2.62 "	2.0 "	2.0 "	2.2 "
4.31	3.64	3.42 "	2.4 "	2.5 "	2.2 "
4.31	5.15	3.42 "	2.4 "	3.0 "	2.5 "
4.31	6.36	3.42 "	3.0 "	2.5 "	3.0 "
5.08	3.62	4.03 "	3.0 "	3.0 "	3.5 "
5.08	5.12	4.03 "	3.0 "	3.5 "	3.0 "
5.08	6.26	4.03 "	3.2 "	3.2 "	3.5 "

なお k は単位打げき速度に対して岩石が示す抗砕力であるが、これは岩石の種類、ビットの形、破碎部の状況およびロッドの大きさ等による定数と考えられる。次に岩石の破碎継続時間を第2表に示すが実測時間が理論時間より短いのは第1入射波の実測の大きさが理論値よりも小さいことによると思われる。

4.3 岩石の破碎状況

岩石の破碎状況は理論的には (17)(18)(19) 式により示されるが (17) 式によれば岩石に吸収されるエネルギーは打げき体が有する運動エネルギーのみに比例している。同様に第6図に示すように岩石破碎量は岩石に吸収されたエネルギーのみに関係することが知られる。なお第7図において同一打げきエネルギーに対してロッド長さの増大と共に岩石破碎量が減少しているのは、ロッドの内部粘性およびロッド支持に使用したコロ軸受による摩擦抵抗がロッド長さの増大とともに大きくなり、弾性波エネルギーの一部が熱エネルギーに変換されるので理論的に求められる吸収エネルギーより小さくなるためと、ロッド長さの増大による横剛性の減少によるものではないかと考えられる。

またロッドが短い場合は本理論の適用範囲から外れるので岩石の破碎機構が幾分異なり第2入射波によつて

第3表 打げき体反発速度

打げき体重量 kg	打げき速度 m/sec	理論反発速度 m/sec	3mロッドに対する測定反発速度 m/sec	6mロッドに対する測定反発速度 m/sec	10mロッドに対する測定反発速度 m/sec
3.31	3.69	0.74	0.77	0.88	0.96
3.31	5.22	1.04	1.22	1.16	1.10
3.31	6.38	1.28	1.11	1.34	1.22
4.31	3.64	0.73	0.70	0.76	0.69
4.31	5.15	1.03	0.89	1.26	0.84
4.31	6.30	1.26	0.94	1.08	1.14
5.08	3.62	0.72	0.64	0.56	0.62
5.08	5.12	1.02	0.94	0.88	0.82
5.08	6.26	1.25	0.94	1.18	1.25

も続いて岩石が破碎されるためと考えられるので、この点に関してはさらに研究を行いたい。

なお、ビットの貫入速度及び貫入深さは理論的に第(18)(19)式で与えられるが今回は実測しなかつた。

4.4 打げき体反発速度

打げき体の反発速度は理論的に (20) 式で与えられる。すなわち反発速度は岩石の抗砕力に関係するがロッド長さ、打げき体重量には関係なく打げき体の打げき速度のみに関係がある。

これを岩石の破碎時に測定した打げき体反発速度と比較してみると第3表のようであるが実測値は幾分のバラツキはあるが全体として理論値とよく一致しており理論による推定が正しいことを示している。

5. 結 論

以上長尺ロッドを介して単打試験により岩石の打げき破碎に関する理論的および実験的研究を行つた結果判明した事項を要約すれば次のようになる。もちろん本研究結果は花崗岩についての場合で、岩石の相違による影響についてはさらに実験を進める必要があると同時にフィードクリアランスが、存在する場合についても検討を要するであろうが、実際の長孔穿孔においては穿孔能率が低下するのに対して本実験条件による単打試験ではロッドの長大化のみによる岩石破碎量に対しての影響はほとんど認められないものとする。なお岩石の破碎状況はロッドを介して推定されたものであつて、実際にはさらに複雑な現象を呈するであろう。

1) 長尺ロッドを使用することによつて、ビットによる岩石の破碎機構およびロッドとピストンの相互作用等をそのヒズミ状況より明瞭に観察することが出来た。

2) 以上に示した理論は $Al/W > 2$ すなわち打げき体重量の約2倍以上の重量のさく岩機用ロッドによる岩石の打げき破碎に対しては相当正確に適用される。

3) ロッドを介してビットにより岩石の打げき破碎を行う場合、ロッドに発生するヒズミ波を測定する方法によれば岩石の破碎が進行中、岩石の示す抗力はほぼ一定の値をとることが推定される。これは鋼材等の引張試験における降伏現象に類似するものと考えられるので抗碎

第6図 打げきエネルギーと岩石破碎量との関係

第7図 ロッド長さと岩石破碎量との関係

力とでも称されるものではなからうか。

4) 鋼材に上升伏点が存在するように岩石についてもその打げき破碎開始時に抗砕力の局所上昇を生ずることがある。

5) 抗砕力は打げき体の衝突速度に比例して変化するが、打げき体重量、ロッド長さ等にほとんど関係がなく打げき体重量の増加により破碎継続時間が長くなるだけである。

6) 上記のロッドヒズミの測定により求められる抗砕力は岩石のさく岩抵抗を示す一つの要素と考えられる。

7) 岩石破碎量は岩石に吸収されたエネルギーのみに関係する。

すなわち長尺ロッドによる岩石穿孔において穿孔能率を低下させるものはロッドの長さあるいは重量に直接原因するものではなく、穿孔孔内におけるロッドの回転抵抗によるさく岩機自体の出力の低下とロッドと縁粉或いは孔壁の摩擦による伝播エネルギーの減衰、ロッドジョイントにおけるエネルギー反射および横剛性の低下等であろう。そこでこれ等の諸点を改良することにより打げき長尺穿孔の能率の向上と可能穿孔長の増大が期待され、その活用によつて採掘能率の増進と簡易にして経済的な坑

内探鉱等に一層役立つものとする。

謝辞：本研究を実施するにあたっては、前所長黒川真武氏、前部長三輪忠利氏および現部長鈴木俊夫氏より理解ある御援助を頂いた。また試験用各種長尺ロッドについては三菱鋼材株式会社社長伊藤寛治氏及び同社研究課長内山道良氏に特別の御配慮を頂いた。なお当所の佐々木和郎氏より測定器をお借りした他、田代鉄人、三沢茂夫の両君は終始熱心に実験に協力された。これ等の御好意に対しここに深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 高岡三郎・速水博秀：さく岩機ピストンミロッドの衝突機構について、日本鉱業会誌，第72巻，第813号，昭和31年3月，9～12頁
- 2) 下村謙太郎：岩石の打撃さく孔に関する研究，日本鉱業会誌，第71巻，第803号，昭和30年5月，1～7頁
- 3) 清水浩・高田勝：さく岩機用錐の応力について，九州大学工学部集報，第26巻，第2号，昭和28年，127～134頁
- 4) B. F. Shepherd : The connecting link in percussion drilling. The problem-what-why-how?, Mining Congress J. Nov. 1954, pp. 28～31
- 5) Engel, L. u. M. H. Gloeckner : Dynamik des Abbauhammers, Glückauf, 45/46, 1951
- 6) O. Rüdiger, u. W. Kinna : Die mechanische Beanspruchung von bohrstangen beim schlagenden Gesteinsbohren, Glückauf, 49/50, 1953
- 7) H. Scheffler : Die Mechanik des rückstosses von Druckluft-schlagwerkzeugen, Glückauf, 15/16, 1954

めずらしい坑気調整法

めずらしい坑気調整法がカナダのオンタリオにある International Nickel Co. の Frood-stobie 鉱山で用いられている。

この方法は寒い冬に坑内で水を作らせて、その潜熱で坑気をあたため、夏はその水で坑内を冷却するという方法である。

図に示すように扇風機で深さ 300ft 直径 20ft の立坑に風を吹き下し 300ft と 500ft レベルの間にある大きな切羽に送り込んでやる。この切羽の天井には 4 点から水が出るようにパイプラインがしかれている。水量は変るが最大 200 ガロン/min までである。冬は入気がつめたいのでこの水が氷になり、この過程において潜熱を出し坑気をあたためる。去年の冬には 40,000 t の水が切羽の底底に出来た。岩壁から空気に吸収された熱量は 15 億 Btu にも達し、これは 100,000 ガロンの油を燃焼させたと同じである。

したがって坑外の気温が -25°F でも坑内の空気は $27\sim 30^{\circ}\text{F}$ で、これがもつと進歩すれば 32°F まではあげられる。

この装置で流される空気量は最大 750,000 cfm で 140,000 t の水が冬の間に作られる。夏の間は空気がこの水によつて冷却され $5\sim 10^{\circ}$ 気温が下る。(田中)

Mine Ventilation, Stobie Mine Uses Icing System to Warm and Cool Air; Mining Eng'g. July 1956 p. 685 より