フィードクリヤランスが

岩石破碎におよぼす影響について*

正 会 員 高 岡 三 郎**

正 会 員 速 水 博 秀***

正 会 員 三 沢 茂 夫***

The Effects of Clearance between a Bit and Rock on Percussive Fracturing

Saburo TAKAOKA, Hirohide HAYAMIZU and Shigeo MISAWA

We have studied the effects of clearance between a bit and rock on percussive fracturing of rock.

Since strain wave in a rod has periodicity, the form of strain wave does not change, when the clearance is increased by the amount corresponding to the time of the period. In this case, damping of the strain wave in the rod is neglected.

Therefore, it is considered that by carrying out the experiment on the clearance corresponding to the time within first one period, the effect of any further clearance can be estimated.

Over the range of the clearance corresponding to the first one period, single-blow tests were carried out with pendulum-type impact rig. The weight of hammer and striking velocity were changed. As a rock specimen, granite was used.

The results obtained are as follows;

- (1) Depth of crater into rock is approximately constant irrespective to the clearance.
- (2) For the clearance at zero, depth of penetration is produced only by the first incident wave, but for the clearance greater than certain value, depth of penetration is produced by 1st, 2nd, and 3rd incident waves and so on. Moreover, total depth of penetration by one blow of the hammer is approximately constant, being independent of the clearance.
- (3) Depth of crater has linear relationship with depth of penetration.

From the results mentioned above, it is considered that depth of crater is not affected by the clearance, since the depth of penetration is independent of the clearance.

1. 緒 言

フィードクリヤランスとは、一般にさく岩機のフロントヘッドとロッドカラおよびビット刃先端と岩石面との間隙を総称したものと考えるが、すでにさく岩機のフロントヘッドとロッドカラとのフィードクリヤランスが、さく岩機の性能におよぼす影響については、詳細な研究結果^{1)~3)}が発表されている。しかし、さく岩機にフィードクリヤランスを与えた際、さく岩機側に生ずるクリヤランスの大きさと、ビット側に生ずる大きさは不定である。したがってあるフィードクリヤランスを与えても、その大部分がビット側に生ずるとすれば、さく岩機の出力の変化は小さいものとなり、むしろビット側のフィードクリヤランスが岩石の破碎におよぼす影響の方が大きくなると考えられる。しかも、ビットと岩石面との

フィードクリヤランスが岩石の穿孔速度におよぼす影響については、いまだに明らかにされていないところが多いが、今回ビット先端と岩石面とのフィードクリヤランスが岩石破碎にどのような影響をおよぼすかについて検討を行なったので、その結果について報告する。

2. フィードクリヤランスに関する
理論的考察

本実験を行なうにあたってまず岩石面とビット刃先端とのフィードクリヤランスについての理論的考察を行なつてみたい。

いま、あるフィードクリヤランス u と、これをビット先端が通過するに要する時間 t との間には、ロッド中における歪波の減衰を無視すれば、次のような関係がある。

$$u = 2v \frac{ma}{EA} \left[\exp \left\{ -\frac{EA}{ma} \left(t - \frac{2n+1}{a} l \right) \right\} - (n+1) \right]^n \quad (1)$$

* 昭和37年12月27日受理 昭和35年度日本鉱業会秋季学術講演会にて発表

** 工博 資源技術試験所第6部第3課長

*** 資源技術試験所第6部第3課

$$\frac{2n+1}{a}l < t < \frac{2n+3}{a}l \quad n=1, 2, 3, \dots$$

ただし

u : フィードクリヤランス (cm)

v : 打撃速度 (cm/sec)

$$m : \frac{W}{g}$$

W : 打撃体重量 (g)

g : 重力の加速度 980 (cm/sec²)

a : ロッド中の弾性波速度 5.2×10^5 (cm/sec)

E : ロッドのヤング率 2.1×10^6 (kg/cm²)

A : ロッドの断面積 4 (cm²)

l : ロッドの長さ 4×10^2 (cm)

さて、(1) 式よりフィードクリヤランスと通過時間の関係を算出して図示すれば第1図のとおりである。同図からも明かなようにフィードクリヤランスをビット先端が通過するに要する時間は一定のフィードクリヤランスごとに段階的に増加するので $2v \frac{ma}{EA}$ をフィードクリヤランス周期と名付ける。

一方、ロッド中における歪波も周期性を持つており、

第1図

ビットがフィードクリヤランスを通過するに要する時間

第2図 フィードクリヤランスによる入射力最大値の変化状況

その周期は $\frac{2l}{a}$ であるから、フィードクリヤランス周期をビットが通過するに要する時間と全く等しい。よつて、任意のフィードクリヤランスにこの一定のフィードクリヤランスを付加したフィードクリヤランスの入射波の状況は減衰を無視すると全く同様になる。

つぎに任意のフィードクリヤランスが与えられたとき、ビットと岩石の接触開始時の入射力について考察してみる。これは次式より与えられるので、これを(1)式の関係を用いてフィードクリヤランスと接触開始時の入射力の関係を図示したのが第2図である。

$$F = \frac{\partial u}{\partial x} \times AE = -\frac{v}{a} \exp \left\{ -\frac{EA}{ma} \left(t - \frac{2n+1}{a}l \right) \right\} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{2n+1}{a}l < t < \frac{2n+3}{a}l \quad n : 0, 1, 2, 3, \dots$$

ただし

F : 入射力 (kg)

t : フィードクリヤランスを通過するに要する時間 (sec)

いま、打撃速度が364cm/secの場合に例をとつてみるに、フィードクリヤランスが5mmある場合と、フィードクリヤランスが1mmの場合は接触開始時における入射力は全く同一であり、したがつて接触開始後における入射力の状況も全く同一である。

以上の理由によりフィードクリヤランスが $0 \sim 2v \frac{ma}{EA}$ 以内にある場合にそれが岩石破碎におよぼす影響について究明しておけば、すべてのフィードクリヤランスが岩石破碎におよぼす影響を解明したと同様となる。

そこで実験の際のフィードクリヤランスはつぎのようにして決定した。すなわちフィードクリヤランス0、およびフィードクリヤランス周期の $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ の4点とした*。これに対応して接触開始時の入射力はフィードクリヤランス0の時を1とすれば、他の3点の場合は順次 $\frac{3}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{4}$ になつている。

3. 実験装置および実験方法

3.1 実験装置

実験装置のブロックダイアグラムは第3図に示すとおりで、さく岩機ピストンによる打撃のかわりに振子を利用して、コロ軸上に水平に置かれたロッドのシャンク端を打撃し、他端にねじで結合したビットにより固定台に取付けた岩石面に対して単一打撃破碎実験を行なうものである。本実験においてはビットと岩石間にフィードクリヤランスがある状態で打撃するのであるから、隙間ゲージを用いてあらかじめ計算した間隙を与え、振子によ

* 実験条件は第1表に示すように、これの近似値とした。

第3図 実験装置

第1表 振り重量と打撃速度

打撃体重量 kg	打 撃 速 度 cm/sec		
3.31	369	522	638
4.31	364	515	630
5.08	362	512	626

り単打破砕を行ない、その際ロッド中央部に発生する歪波をワイヤストレングージにより、ピックアップし、単掃引型ブラウン管オシロスコープによつて写真撮影すると同時に、破碎部の形状を測定してこれらの結果からフィードクリアランスの影響を究明した。

なお、本実験装置に用いた打撃振子の要目は第1表のとおりであるが、同一重量の振子でも振上げ角度を変えることによつて、打撃速度を3段階に変化させた。

3.2 岩石試料

岩石試料は茨城県稲田産出の黒雲母質花崗岩で、ショア硬度は90~95、その試験岩面は平滑に研摩して表面状況を一定にした。

第2表 実験条件

打撃体重量 kg	3.31			4.31			5.08		
打撃速度 cm/sec	369	522	635	364	515	630	362	512	626
フィードクリアランス mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.35	0.50	0.65	0.50	0.85	0.60	0.80	1.00	1.00
	0.75	1.10	1.30	1.00	1.70	1.20	1.60	2.00	2.00
	1.20	1.60	2.00	1.50	2.80	2.50	1.70	2.45	3.00

註 打撃体重量 4.31kg、打撃速度 515cm/sec の場合はフィードクリアランスは0から 0.2mm ごとに 2.80mm までとした。

3.3 ビットおよびロッド

実験に使用したビットはゲージ 38mm、一文字形、刃先角度 90° の高炭素クロム鋼製ビットであり、またロッドは 22mm 六角中空鋼の完成ロッドで長さ 4m のものを使用した。

3.4 実験条件

2項において述べたように、フィードクリアランスに関する理論的考察を行なった結果から第2表に示すようなフィードクリアランスを与えて実験を行なった。

4. 実験結果

4.1 フィードクリアランスと破碎深度

以上のフィードクリアランスを与えて実験を行なった結果のうち、フィードクリアランスと破碎深度の関係を図示すれば、第4図のようであり、図から明らかなように実験値には多少の不揃いはあるが、各打撃体重量につ

第4図 フィードクリアランスと破碎深度

いて、打撃速度が速くなるほど、破碎深度が大きくなるが、フィードクリアランスの影響はほとんど認められなかった。なお、破碎量は破碎深度の自乗に比例するので、これもフィードクリアランスの大きさに影響をうけないと考えることができる。

4.2 ロッドに生じた歪の記録例

第5図はオシロスコープにより撮影した歪の写真で、第6図はその時間軸を拡大して図示したものである。第6図によつてロッドのビット先端に第1入射波が到達してから、ビット先端がフィードクリアランスを通過し、岩石面に接触するまでの時間、および接触開始時における入射力を求めてみる。

4.2.1 ビット先端がフィードクリアランスを通過するに要する時間：まず、ビット先端がフィードクリアランスを通過するに要する時間を求めてみると、フィードクリアランス0の時はビット先端が岩石面に接触しているものであるから第1入射波がビット先端に到達したと同時に破碎を始める。したがって接触開始までの時間は0秒となり、フィードクリアランスが、0.2、0.4、0.6、

打撃体重量 4.31kg、打撃速度 515cm/sec、フィードクリアランス 1.4mm

第5図 ヒズミの記録写真

打撃体重量 4.31kg, 打撃速度 515cm/sec

第6図 ヒズミの記録例

……と順次増加するにしたがつて、第1入射波がビット先端に到達してからフィードクリヤランスを通過し岩石面に接触するまでの時間は増加する。例により説明すると、フィードクリヤランスが1.4mmの時は、図において第1反射波の状況が急激に変化する点P₁でビット先端が岩石面に接触して岩石を破碎し始める。よつて接触するまでに要する時間は上記の点に対応する時間から $\frac{l}{a}$ を減じたものとなる。フィードクリヤランスが2.0mmの場合には、第1入射波と第1反射波とはほぼ同一の波形を示し第1入射波の範囲で岩石に接触するが、この時の入射力が非常に小さいので、岩石は破碎されず、かつ急激な歪の変化点も生じない。しかし、第2入射波の到達と同時に破碎が始まるので第2反射波が立ち上りと同時に

第7図 フィードクリヤランスと通過時間
(理論値と実験値の比較)

に急激に変化している。さらにフィードクリヤランスを2.6mmにとつた場合についてみると、歪の急激な変化点が第1反射波に発生せず、第2反射波のP₃点に生じている。これは理論計算から期待される結果と異なるが、この相異は理論計算値より実際の変位が小さく、したがつてフィードクリヤランス周期も理論値より小さいためである。なお、この場合、ビットがフィードクリヤランスを通過するに要する時間はP₃点に相当する時間から $\frac{2l}{a}$ を引いたものであるが、第2入射波と第1入射波が異なるだけで、これよりフィードクリヤランス周期だけ小さい場合と全く同様な経過をたどる。以上の方法にしたがつてビットがフィードクリヤランスを通過し岩石面に接触し始めた時間を求め、(1)式によつて得られた理論値とを比較すれば第7図のようになる。図から明らかなように理論値と実験値とはその傾向がよく一致している。実験値は理論値に較べて通過時間が遅く、フィードクリヤランス周期は小さくなっているが、これはロッドと打撃体の衝突に際して打撃体にも多少歪が生ずることと、ロッド中に発生した歪波中に含まれる周波数の高い部分が歪波の進行とともに急速に減衰することによつて変位が小さくなるものと考えられる。なお、図から明らかなように実験値は理論値の80%程度となっている。

4・2・2 フィードクリヤランスと入射力最大値：つぎに接触開始時における入射力を実験的に求めてみる。ストレンゲージに発生するヒズミと電圧変化の関係は次式で示される。

$$\varepsilon = \frac{\Delta V_g (R_g + R)^2}{V \alpha R_g R} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし

ε : ヒズミ

V : 電源電圧 (volt)

V_g : ストレンゲージに発生する電圧 (volt)

R : 固定抵抗 (Ω)

R_g : ストレンゲージの抵抗 (Ω)

α : ゲージファクタ

また打撃力と電圧変化の関係は次式で示される。

$$P = AE = \frac{\Delta V_g (R_g + R)^2}{V \alpha R_g R} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし

P : 打撃力 (kg)

A : ロッドの断面積 (cm^2)

E : ロッドのヤング率 (kg/cm^2)

さらにストレンゲージに発生する電圧と輝点移動量 h mmの較正を

$$h = \frac{\text{較正矩形波の振幅(mm)}}{\text{較正電圧 (volt)}} \Delta V_g (\text{volt}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

第8図 フィードクリアランスと入射力最大値
(理論値と実験値との比較)

としたから(5)式を(4)式に代入し算出すれば、

$$P=146.5h \dots\dots\dots (6)$$

なる関係が得られる。よつて接触開始時の入射力を求めるには次のようにすればよい。すなわち、第1入射波のヒズミ波形を第1反射波のところへ移動して書き、第1反射波の急激に変化する点より垂線を立てその垂線と第1入射波との交点のヒズミ波の波高値 h mm を(6)式に代入すればそれが求める入射力となる。

以上の方法で入射波の最大値を求め、理論値とともにフィードクリアランスとの関係を図示すれば第8図のとおりであるが、これも第7図の場合と同様、実験値は理論値よりも小さく、フィードクリアランス周期も小さくなっている。この理由も第7図において説明したものと全く同様に考えることができる。

4.3 フィードクリアランスと貫入深度

次に、ビットが岩石に貫入した深度を求め、フィードクリアランスと貫入深度との関係を検討する。第9図はビット先端がフィードクリアランスを通過して岩石面に接触するまでの変位と、ビット先端が岩石面に接触してか

打撃体重量 4.31kg, 打撃速度 515cm/sec, フィードクリアランス 0.4mm

第9図 ヒズミ波によるビット変位の求め方

ら岩石に貫入した変位との関係を示す。ビットが岩石に貫入した場合の変位を理論的に求めるには、入射波と反射波の差をとり時間で積分し、これにロッド中の弾性波速度 a を乗ずればよいが、これを第9図から求めるには次のようにすればよい。図はフィードクリアランスが0.4mmのものと2.6mmのものであるが、最初に0.4mmの場合について求めてみる。図のように入射波を反射波のところへ移動してビットが岩石面に接触し始めた点、すなわちヒズミ波形が急激に変化したところに垂線を立て垂線より左方の入射波と反射波とが囲む面積をプランメータで計測する。この部分はビットがフィードクリアランスを移動した変位を示し、この変位量は実験条件から既知である。また垂線より右方の入射波と反射波との囲む面積が、岩石にビットが貫入した変位を示すものである。よつて上記測定面積の比と実験条件により定まっているフィードクリアランスの大きさから貫入深度が求められる。ここで注意しなければならないことは第1入射波の段階で完全にビットが岩石に貫入し終っているのではなく、第2入射波で初めて貫入を終了する場合もあることである(例、第9図、上側の図の場合)。次にフィードクリアランスが2.6mmの場合は、第1入射波でビットが岩石面に接触せず、第2入射波で初めてビットが岩石面に接触し岩石に貫入し始めるのであるが、この図からだけではビットの貫入が終了したと判断することはできない。これはヒズミ波測定において第3入射波および第3反射波が記録されなかったためで、この記録が行なわれれば2.6mmの場合についても図から貫入深度が求められる。しかしフィードクリアランス2.6mmの場合は0.6mmの場合とほぼ等しいことが2章で述べたように理論的に明らかであるから、フィードクリアランスが0.6mm

第10図 ビット先端の変位とフィードクリアランス面積

第11図 フィードクリヤランスと貫入深度

の場合の結果をそのまま用いても差支えないと考えられる。

第10図はビット先端の変位、すなわちシックネスゲージで設定したフィードクリヤランスと、第9図で求めたビットがフィードクリヤランスを移動する時にロッド中に生じたヒズミ波形が形成する面積とを関連づけたものである。これによりビットの貫入深度を求めるには、第9図で求めたビットの岩石への貫入変位に相当する面積に対するビット先端の変位を求めればこれが貫入深度である。以上のようにして貫入深度が求まったのでフィードクリヤランスとの関係を図示すれば、第11図のようにな

第12図 貫入深度と破碎深度

第13図 破碎断面

る。打撃体重量が 3.31kg および 5.08kg のものについては最終値のみを記入したが、4.31kg の場合についてはとくに説明の都合上、個々の入射波による値と最終値とを記入した。すなわち、右下降の曲線は第1入射波によるビットの貫入を示し、右上昇の曲線が第2入射波によるビットの貫入を表わし、この2曲線の合成が1打撃当りの貫入深度となる。この図からフィードクリヤランスと貫入深度はほとんど関係のないことが明らかである。

4.4 貫入深度と破碎深度

終りに貫入深度と破碎深度の関係について検討してみる。第12図に示す貫入深度と破碎深度との間には、実験値の不揃いはあるが、ほぼ一次的な関係のみで比例的関係がないのは、第13図に示すように圧砕部を生ずるので破碎深度が、つねに一定値だけ大きくなるためである。

5. 総 括

以上の研究結果から、第5図に示したように岩石の破碎深度がフィードクリヤランスに影響を受けないということは、4.3で説明したように貫入深度がフィードクリヤランスの影響を受けないということに由来するものと考えられる。なお、極端に大きなフィードクリヤランスをとつた場合はロッド中に生ずるヒズミ波の減衰が無視できなくなるのでフィードクリヤランスの影響が岩石の破碎に現われるが、実際の岩石穿孔に際してはこのように極端に大きなフィードクリヤランスをとることはないから、岩石面とビット先端とのフィードクリヤランスは岩石破碎に影響を及ぼさない。したがってロッドカラとさく岩機のプロントヘッドとの間にフィードクリヤランスが存在する場合には、さく岩機の出力が変化するので、これが岩石の破碎に影響をおよぼすものと考えられる。

なお、本研究の実施にあつては、資源技術試験所第6部長鈴木俊夫博士の理解ある御教示を頂いた。ここに厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 鈴木富治：さく岩機のフィードクリヤランスについて、日本鉱業会誌，54巻642号，昭和13年10月，9～33頁
- 2) 鈴木富治：さく岩機のフィードクリヤランスについて、日本鉱業会誌，54巻643号，昭和13年11月，21～40頁
- 3) 鈴木富治：さく岩機のフィードクリヤランスについて、日本鉱業会誌，54巻644号，昭和13年12月，39～56頁
- 4) 高岡三郎他：岩石の打撃長孔穿孔に関する研究，日本鉱業会誌 72巻819号，31年9月，13～19頁
- 5) 高岡三郎他：打撃穿孔における岩石の破碎について，探鉱と保安，No. 8，昭和30年9月，13～26頁