論文 摩耗したさく岩機用ボタンビットによる静的貫入試験*

大久保 誠 介¹ 大 田 彰 則² 松 田 年 雄³
福 井 勝 則⁴ 秋 山 政 雄⁵

Penetration Test with Worn Button Bits for Rock Drilling

by Seisuke OKUBO¹, Akinori OTA², Toshio MATSUDA¹
Katsunori FUKUI¹ and Masao AKIYAMA¹

1. Geo-system Engineering, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113

2. Furukawa Co. Ltd., Yoshii-cho, Tano-gun, Gunma 370-23

Right now button bits are widely used in rock drilling. Considerable effort has been expended by manufactures to increase performance and durability of the button bits. However, most of them were conducted on try and error basis mainly because high level acceleration and vibration in rock drilling prevented accurate sensing and fundamental data collection concerning button bit performance.

In this study, static penetration testing was carried out to clarify the performance of worn bits. Preliminary test was conducted on Sanjome andesite as a sample rock, and then Niihari sandstone was tested with one new bit and three worn bits. The testing results can be summarized as follows;

1. Penetration rate decreases linearly with height loss of face chips. Slopes of penetration curve both in loading and unloading portions linearly increase with height loss of face chips. Specific energy, or energy required for unit excavated volume, also linearly increases with height loss of face chips.

2. Linear relations also exist against height loss and gauge loss of side chips. For example, penetration rate decreases linearly with height loss/gauge loss of side chips.

KEY WORDS : Rock, Wear, Rock Drill, Button Bit, Penetration Test

1. は じ め に

ボタンビットが本格的に利用されはじめたのは1960年代の後半からで、孔径130mmを越えるDTH(Down-The-Hole)式さく孔でまず成功を取めた(Sheppard, 1979)。1970年代に入ると、油圧ドリフターと組み合わせて比較的大孔径を必要とする露天掘鉱山で使用され、さらに施工期間の短縮が望まれる土木工事でも使用されるようになった。その後も、材質、ボタンチップの形状・配列などに改良が加えられ、次第に小孔径のさく孔でも従来のカービットやクロスビットと置き換わり現在に至っている(Pearse, 1984)。しかしながら、現在の主流といえるボタンビットに関する基礎研究は少なく、ビット材質や配列なども経験的な試行錯誤により決定されている。本研究では、重要であるにもかかわらず基礎研究の特に少ないビット摩耗がさく孔特性に及ぼす影響について検討した。

ボタンチップは摩耗しにくい超硬合金で製作されるが、摩耗してさく孔速度が次第に低下することは避けられない(Montgom-

ery, 1968)。通常さく孔速度が新品と比較して20~30%程度低下すると研磨ないし交換されることが多い。従来型のビットと比較して研磨は困難とされ(Doyle, 1978)、大孔径で特に高価な場合を除き、研磨されずに交換されることが多い。従来のカービットやクロスビットならば先端が平らになり(wear flat)切れ味が落ちることは直ちに納得できるが、ボタンチップの先端は最初から丸みをおびており、摩耗するとさく孔にどのように影響するかわかり難い。この点は重要であり、その解明はビットのデザインにも反映できると思われるが、実験的にも理論的にも検討が極めて困難なため、ほとんど不明のまま放置されてきたといえる。

本研究では、摩耗したビットを使用した静的貫入試験を実験室にて行い、今後の研究の糸口をつかむことにした。著者が既に報告した1打撃試験結果では(大久保ら, 1992)、衝撃貫入試験と静的貫入試験とで貫入抵抗曲線の傾きの相違は20%程度であり、この点から類推して、少なくとも定性的には静的貫入試験より得た知見は衝撃貫入の場合にも成り立つ可能性があると考ええる。衝撃貫入試験を将来行うことがやはり望ましいが、測定などが困難であり、事前に焦点を絞る必要があり、そのためにも静的試験をまず行うことが重要と考える。

2. 実験装置と実験方法

2・1 実験装置

図1に、実験装置の概略図を示す。容量200kNリーレ式万能試験機(東京衡機製)にロードセル、治具、ボタンビットの順に

* 1997年6月26日受付 8月13日受理 平成8年度資源・素材関係学協会合同秋季大会および平成9年度資源・素材学会春季大会にて一部発表

1. 正会員 工博 東京大学教授 工学系研究科地球システム工学専攻

2. 正会員 工修 古河機械金属(株)吉井工場

3. 正会員 工修 東京大学大学院(現 古河機械金属(株))

4. 正会員 工博 東京大学助教授 工学系研究科地球システム工学専攻

5. 正会員 東京大学助手 工学系研究科地球システム工学専攻

[著者連絡先] FAX 03-3818-7492 (東大・地球システム)

キーワード: 岩石, 摩耗, さく岩機, ボタンビット, 貫入試験

取り付ける。治具は両端に雄ねじが切られており、一端がロードセルに、他端がビットにねじ込まれる。ロードセル（共和電業製、LU-20TE）は定格 200 kN の歪ゲージ式である。変位計 1 と変位計 2 はともに歪ゲージ式（共和電業製、DT 型）で、変位計 1（2 個）は貫入抵抗曲線を求めるのに、また変位計 2 はさく孔長を求めるのに使用した。変位計 1 はボタンビットの下部に取り付けられており、岩石試料を回転させつつ载荷と除荷を繰り返したので、予期せぬ力が加わり動いてしまうことがあり、さく孔長は変位計 2 を用いて測定することにした。ロードセルと変位計の出力は、増幅された後 12 ビットの分解能で A/D 変換して計算機中に記録した。

静的貫入試験では、万能試験機に岩石試料を載せて次の手順を繰り返した。

①ビットをゆっくり降下し、岩石試料と接触させる。

②約 2 分であらかじめ決めた最大値まで载荷する。最大貫入抵抗（貫入力）は、安山岩では 100 kN、砂岩では 200 kN とした。貫入抵抗が最大値を取るときの変位計 2 の値を使用してさく孔長を計算する。

③約 1 分で除荷する。

④除荷後掘屑を採取する。

図1 静的貫入試験装置

⑤岩石試料を 20° 水平面内で回転する。今回使用したビットを使用している現場で調査したところ、さく岩機が 1 打撃する間のビットの回転角度は約 20° であったので、実験でも貫入試験 1 回ごとに岩石試料を 20° ずつ回転させることにした。

2・2 ボタンビット

実験は 2 期にわけて行った。第 1 期は三城目安山岩とビット 1~4 を用いて予備的な試験を行った（松田ら、1996）。第 1 期試験で岩石試料を三城目安山岩としたのは、入手が比較的簡単であることと、従来より多くの力学試験を行っており力学特性が既知であったからである。第 2 期は、茨城県新治郡のさく孔現場で採取した砂岩と、当該現場で使用されているビット 5~8 を用いて試験を行った（松田ら、1997）。

表 1 に岩石試料の諸元を示す。三城目安山岩 1 と 2 は同一時期に購入したブロックである。比重は、試験片重量と体積より計算した見掛け比重である。一軸圧縮試験片は、直径 2.5 cm で高さ 5 cm の円柱とした。一軸圧縮試験片にクロス式歪ゲージを貼り付け、その測定結果よりヤング率とポアソン比を求めた。ヤング率は強度の 50 % での接線の傾きで、ポアソン比は強度 0 より 50 % までの割線の傾きである。圧裂引張試験片は、直径 2.5 cm で高さ 1.25 cm の円柱とした。ショア硬度は C 型試験機を使用して求めた。表の右端は静的貫入試験に使用した岩石ブロックの寸法である。

表 2 にボタンビットの諸元を示す。第 1 期試験で使用したのは 1~4 番で、Sandvik 製の呼び径 76 mm のボタンビットである。このボタンビットには、11 個の超硬チップが埋め込まれており、内訳はフェイスチップ 4 個とサイドチップ 7 個である。ビット 1 は新品である。ビット 2 は現場でさく孔に使用されたものであるが、摩耗の程度は軽微であった。ビット 3 は現場で使用済みのものでありかなり摩耗が進んでいる。ビット 4 はグラインダーでチップを削ったものである。第 2 期試験で使用したビットは 5~8 番で、三菱マテリアル製の呼び径 64 mm のボタンビットである。このボタンビットには、12 個の超硬チップが埋め込まれており、

表 1 岩石試料の諸元

名称	採取場所	比重	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	一軸圧縮強度 (MPa)	圧裂引張強度 (MPa)	ショア硬度	寸法(cm)		
								たて	よこ	高さ
三城目安山岩 1	福島県西白河郡	2.2	12.7	0.17	83	7.0	54	20	45	20
三城目安山岩 2*	福島県西白河郡	2.2	10.8	0.19	69	6.2	45	20	45	20
新治砂岩	茨城県新治郡	2.7	69.8	0.27	279	9.4	84	27	27	27

* ビット 4 の試験で使用

表 2 ボタンビットの諸元

ビット番号	ビット径 (mm)	チップ数*	原位置さく孔長 (m)	フェイスチップ径 (mm)	サイドチップ径 (mm)	ΔH (mm)	ΔH' (mm)	ΔG (mm)	備考
1	76	11(4)	0	10.1	12.2	0	0	0	新品
2	76	11(4)	—	〃	〃	0.64	0.35	0.15	わずかに摩耗
3	76	11(4)	—	〃	〃	1.35	0.5	0.75	掘削により摩耗
4	76	11(4)	—	〃	〃	1.13	1.57	—	グラインダーで摩耗
5	64	12(4)	0	10.1	10.1	0	0	0	新品
6	64	12(4)	100	〃	〃	0.28	0.22	0.3	砂岩を掘削
7	64	12(4)	200	〃	〃	0.71	0.56	0.65	砂岩を掘削
8	64	12(4)	400	〃	〃	0.84	0.64	0.88	砂岩を掘削

* () 内はフェイスチップの数

図2 フェイスチップのハイトロス ΔH 、ゲージチップのハイトロス $\Delta H'$ 、ゲージロス ΔG の求め方

内訳はフェイスチップ4個とサイドチップ8個である。5番は新品である。6, 7, 8番は新治砂岩の切り出し現場にて、それぞれ100, 200, 400 m さく孔したビットである。

表2には、フェイスチップのハイトロス ΔH 、サイドチップのハイトロス $\Delta H'$ およびゲージロス ΔG の値を示した。これら3種のロス(摩耗量)の測定方法を図2に示す。図2で斜線を施した部分が摩耗した箇所である。具体的には、定盤の上にビットを立てて置き、ハイトゲージでチップ先端高さを測ってハイトロスを求めた。また、ノギスで対向するボタンチップの側面間を測ってゲージロスを求めた。ハイトロスは、ロッドよりビットを取り外さずに正確に測定するには特殊なゲージが必要と考えられるのに対して、ゲージロスはロッドより取り外すことなくノギスで測定可能といえる。

図3に、5~8番のビットの ΔH 、 $\Delta H'$ 、 ΔG と原位置でのさく孔長との関係を示す。3者ともさく孔長の増大に伴い200 m まではほぼ直線的に増大するが、さく孔長200~400 m の間の増加はそれまでに比べて小さい。また、 ΔH と ΔG は大体同じ値をとり、これらと比較して $\Delta H'$ がやや小さいことがわかる。ボタンビットの場合、ゲージロス ΔG がもっとも大きいことが多いが、対象岩石やさく孔条件により大小関係は変わりやすく(大久保ら, 1997)、図3に示された結果は常識的な摩耗の仕方の範囲に入ると考える。

3. 三城目安山岩の静的貫入試験結果

表3に示す一連の静的貫入を行った。三城目安山岩の場合、各ビットとも、岩石試料の平らな新しい面より試験を開始した。ビット1~3で実験を行った段階で、三城目安山岩1に亀裂が入り使

図4 さく孔長(三城目安山岩)

図3 さく孔長と、フェイスチップのハイトロス ΔH 、ゲージチップのハイトロス $\Delta H'$ 、ゲージロス ΔG の関係。ビット番号は5~8

表3 静的貫入試験のまとめ

試験	岩石試料	ビット	ΔL (mm)	K_{rock} (MN/m)	K_{rock}/γ (MN/m)	E_{sp} (MN/m ²)
A1	三城目安山岩	1	2.24	140	620	55
A2	"	2	1.72	170	600	63
A3	"	3	0.97	260	650	81
A4	"	4	2.26	140	540	54
S15	新治砂岩	5	0.76	480	890	290
S16	"	6	0.59	510	920	350
S17	"	7	0.37	600	970	480
S18	"	8	0.31	610	1040	600

* いずれも定常状態での平均値

ΔL : 1回転あたりのさく孔長

K_{rock} : 貫入抵抗曲線の傾き

K_{rock}/γ : 除荷時の傾き

E_{sp} : 掘削体積比エネルギー

図5 1回転あたりのさく孔長 ΔL (三城目安山岩)

用不能となったので、ビット4は三城目安山岩2を使用して実験を行った。

図4に試験開始時からの回転角度とさく孔長の関係を示す。回転角度は、試験開始時から岩石試料を回転させた角度の総計であり、1回目の試験は0°, 2回目の試験は20°である。さく孔長は、最大荷重100 kNを加えたときの変位計2の読みから計算したのもので、1回目の試験のときの値を原点(零点)とした。また、図5に1回転(360°)当たりのさく孔長を計算した結果を示す。図の回転角度360°での値は、回転角度0~360°でのさく孔長である。

さく孔長一回転角度曲線はおおまかにわけて3つの区間にわけることができる。

①さく孔長2 mm以下の区間: ビットにより異なるが半回転までの区間である。この区間における岩石表面は比較的平らであり、図6①に示すようにフェイスチップのみが岩石面と接触する。

②さく孔長2~7 mmの区間: 図6②に示すようにサイドチップが岩石面と接触するが、サイドチップは岩石中に完全に隠れる

図6 ボタンチップと岩石面との接触の状況

わけではない。図4で、回転角度が増すにつれていずれのビットに対対応する曲線も傾きが徐々に減少していく。

③さく孔長7mm以上の区間：ビットが約2回転すると、フェイスチップ、サイドチップとも岩石中に埋没し、図4の曲線の傾きはそれ以降あまり変化しなくなる。

図5をみると、1回転当たりのさく孔長は最初のうちは各ビットでさして差が少ないことがわかる。よって、今回の実験条件下では、フェイスチップの摩耗がさく孔長に及ぼす影響は小さいと考えられる。1回転当たりのさく孔長は回転角度が大きくなるにつれて次第に小さくなるが、それにつれて各ビット間で差が生じ始める。定常状態となったときの1回転当たりのさく孔長は、ビット1とビット4が大きく、ついでビット2、ビット3の順となった。これから考えると、サイドチップが岩石面に接触し始めるとビットの摩耗の程度によりさく孔長が変わってくるといえる。すなわち、サイドチップの摩耗がさく孔長に及ぼす影響が大きいといえる。

図7 初期の貫入抵抗曲線（三城目安山岩）

図8 貫入抵抗曲線の傾き K_{rock} 、除荷時の傾き K_{rock}/γ およびエネルギー E_2 、 E_3 の求め方

図9 貫入抵抗曲線の傾き K_{rock} （三城目安山岩）

図10 除荷時の傾き K_{rock}/γ （三城目安山岩）

図11 掘削体積比エネルギー E_{sp} （三城目安山岩）

いえる。

図7に初回（回転角度0°）の貫入抵抗曲線を示す。これらは荷重が最大となるとき点を重ねて描いたものである。除荷時の傾きの方が大きく、載荷時の傾きの3倍程度であった。また、除荷時の傾きの方がビットごとの相違が小さかった。以上の傾向は回転角度が大きくなっていてもいえる。載荷時にはチップ先端で岩石の塑性変形と破壊が生じるので傾きが小さくなるのに対して、除荷時は弾性歪の回復が生じるのみなので傾きが大きくなったと考えられる。

さく孔長（回転角度）が増したときの貫入抵抗曲線の傾きの変化を調べるため、図8のように載荷時の傾き K_{rock} と除荷時の傾き K_{rock}/γ を求め、結果を図9と図10に示す。ただし、 γ は載荷時と除荷時の傾きの比である。図9をみると、載荷時の傾きは生ずるチップングの規模により異なるので、実験ごとによりばらつくことがわかる。さく孔長が増すと次第に傾きが増すが、③の領域に入ると傾きはあまり変化しなくなる。図9で注目すべきは、グラインダーで摩耗させたビット4の貫入抵抗曲線の傾きが、比較的小さいことである。他方、実さく孔により摩耗したビット3の貫入抵抗曲線の傾きが際立って大きいことである。

図10の除荷時の貫入抵抗曲線の傾きはだいたい載荷時の3倍程度であった。この場合も載荷時と同様にさく孔長が増すと次第に増加するが、③の領域に達すると変化が小さくなる。なお、載荷時に比べ除荷時の傾きの方が実験ごとのばらつきがやや小さかった。

次にさく孔に要するエネルギーについて検討してみることにする。図8の E_2 と E_3 はそれぞれ岩石に吸収されるエネルギーと除荷時に開放されるエネルギーである。 E_2 と E_3 の和を E_1 とすると、これはビットより岩石に与えられるエネルギーである。図11には、 E_1 をさく孔された体積でわって求めた掘削体積比エネルギー（specific energy）を示す（Teale, 1965）。新品のビット1、わずかに摩耗したビット2、かなり摩耗したビット3の順に、掘削体積比エネルギーが増加することがわかる。また、この場合も人工的に摩耗させたビット4の掘削体積比エネルギーは小さく、ほぼビット1と同程度であることがわかる。

さく孔長、貫入抵抗曲線の傾き、掘削体積比エネルギーのいずれの観点からも、ビット4はさほど摩耗が進んでいないビットのごとく振る舞った。ビット4はグラインダーでチップ先端を削り落としたので、角張った部分がチップにあるため、摩耗の影響が小さいと考えることができる。しかし、前述のようにビット4のみ三城目安山岩を用いた。表1よりわかるように三城目安山岩1より三城目安山岩2の方が一軸圧縮強度、圧裂引張強度ともやや小さい。この事項も原因の1つと考えられる。

4. 砂岩の静的貫入試験結果

茨城県新治郡産砂岩をもちいて行った第2期静的貫入試験結果について述べる。三城目安山岩と同じ100 kNの貫入抵抗ではほとんどさく孔が進まなかったため、最大貫入抵抗を200 kNとした。従来の経験から推して、今回用意した岩石ブロックの寸法では、これ以上の貫入抵抗だと岩石ブロックが割れてしまう可能性が高いと考える。三城目を用いた試験では、ビットを変えごとに新しい岩石面から試験を開始したが、砂岩は同じ場所(孔)で順次4個のビットを用いて試験を行った。具体的には、まず新品ビット5を用いて定常状態(図6の③の状態)となるまでさく孔を行った。その後、ビット5を用いて試験を行い定常状態の結果を得た。続いて、ビット6を用いて同じ場所で試験を行った。ビットを5から6に取り替えると、最初の試験結果は不安定であったので切り捨て、数回転してから後の試験結果を定常状態のものとして採用した。同様の手順をビット7と8についても繰り返した。以下に示す試験結果はすべて定常状態に達した後の試験結果である。

図12 さく孔長(新治砂岩)

図12にさく孔長を示す。図よりわかるように、ビット5, 6, 7, 8の順に摩耗が進むにつれてさく孔長が減少する。

図13に、フェイスチップのハイトロス ΔH と、1回転当たりのさく孔長 ΔL 、載荷時の貫入抵抗曲線の傾き K_{rock} 、除荷時の貫入抵抗曲線の傾き K_{rock}/γ 、掘削体積比エネルギー E_{sp} との関係を示す。図の縦軸にとった4つの値は、いずれも図12に示した回転角度の範囲での平均値である。一番左の点が新品のビット5に対応し、順次、右に行くにつれてビット6、ビット7、ビット8にそれぞれ対応する。一番上の図より、 ΔH の増加に伴って ΔL は大幅に低下することがわかる。興味深いことに、両者の関係は図に示すように直線で近似できる。また、 ΔH が増加すると K_{rock} 、 K_{rock}/γ 、 E_{sp} はそれぞれ増加するが、いずれも図に示す直線にて近似できることがわかる。

図14と図15には、それぞれ横軸をサイドチップのハイトロス $\Delta H'$ 、ゲージロス ΔG として図13と同様の整理結果を示した。図3よりわかるように、 ΔH と ΔG との差異は小さいので、図13と図15はほとんど同じ傾向となる。 $\Delta H'$ は ΔH や ΔG と比較するとやや小さ目であったが、図15のように整理してみると、縦軸にとった4つの値との間に直線関係が認められた。

貫入試験が終了した後の孔底には、圧砕された岩粉に混じって、チップングによりできたと思われる岩石の小片が残る。そこで、1回の貫入試験が終了するごとに孔底よりピンセットで小片を取り出して個々の小片の重量を測定した。図16に、10 mg以上 x mg以下の掘屑(岩石の小片)の割合を示す。10 mg以上とした理由は、無理なくまた見落としなくピンセットで取り出せるからである。新品のビット5では100 mgまでの切屑が多いことがわかる。新品ビットの場合には、ボタンチップ先端が相対的に鋭く、一度の貫入でチップングが生ずるためである。摩耗したビットでは、貫入試験ごとに孔底の損傷が進展し、数回の貫入試験の後にやっと大き目の切屑が発生することがときとして観察された。その結果、新品ビットと比較して切屑は大き目となった。なお、い

図13 ΔL 、 K_{rock} 、 K_{rock}/γ 、 E_{sp} とフェイスチップのハイトロス ΔH の関係(新治砂岩)。 ΔL : 1回転当たりのさく孔長、 K_{rock} : 載荷時の貫入抵抗曲線の傾き、 K_{rock}/γ : 除荷時の貫入抵抗曲線の傾き、 E_{sp} : 掘削体積比エネルギー、 ΔH : フェイスチップのハイトロス

図14 ΔL 、 K_{rock} 、 K_{rock}/γ 、 E_{sp} とサイドチップのハイトロス $\Delta H'$ の関係(新治砂岩)

図15 ΔL 、 K_{rock} 、 K_{rock}/γ 、 E_{sp} とゲージロス ΔG の関係(新治砂岩)

図 16 10 mg 以上 x mg 以下の掘屑の割合 (新治砂岩)

図 17 ビット 8 のサイドチップのスケッチ。真横からみたところ

図 18 1 チップビットによる静的と動的試験における貫入抵抗曲線 (新治砂岩)

ずれのビットでも 10 mg 以上の切屑の体積は、全掘削体積の 24 % 程度であり、ビットごとの差異は小さかった。

5. 考察と結論

原位置でさく孔して摩耗したビットのサイドチップには、図 17 に示すように比較的広い平面状の摩耗帯 (wear flat) が観察される。この摩耗帯の形状は、角の丸まった四角形であり寸法はチップごとにかなり異なるが、ビット 7 では 5 mm、ビット 8 では幅 7 mm 程度まで成長していた。なお、ビット 6 の摩耗帯はほとんど観察できなかった。したがって、摩耗帯はビットの摩耗がある程度進んでから成長し始めるようである。さく孔中、図 6 ③に示すように、サイドチップは孔壁と強く接触しつつ押し込まれるので、摩耗帯が形成されたものと思われる。この摩耗帯の成長に伴い破碎効率 (切れ味) が低下することは容易に予測される。カービットやクロスビットと同様に、ボタンビットの場合も、ハイトロスないしゲージロスがビット摩耗の指標として使用されてきたが、サイドチップの平面の寸法を指標とする摩耗の評価方式もありえると考えられる。ただし、今回入手した摩耗ビットはごく少数であるので確たることはいえない。今後、より多くの摩耗したボタンビットを調査し、サイドチップにできる摩耗帯の形状、寸法などの基礎データを積み上げる所存である。

一方、フェイスチップの頭部にも摩耗帯が観察されることがあるが、サイドチップのそれに比べて小さくまた孔底と平行でない場合が多かった。これより考えて、フェイスチップの破碎効率の低下はサイドチップほどではないと推測される。この推測は、三城目安山岩を使用した試験で述べた、フェイスチップだけが岩石に貫入している図 6 の①の場合には、ビット 1 から 5 でさく孔長がさして変わらなかったという結果と調和する。なお、室内実験では切屑の排出は毎回高圧空気ジェットとはけで完全に行ったが、実際のさく孔では水孔からの水により切屑は除去 (フラッシング) される。よって、実際のさく孔では、フェイスチップのハイトロスが大きくなると、孔底との隙間が小さくなり過ぎて切屑の除去が困難となる可能性がある。この点については今後の検討を要する。

本研究では静的貫入試験を行ったが、さく岩機によるさく孔はロッドを伝播した弾性波による動的貫入である。そこで、静的と動的貫入について考察してみる。図 18 に、1 チップビットによる静的と動的貫入試験における砂岩の貫入抵抗曲線を示す。測定方法は久保ら (1992) と同じである。図を見ると貫入量 0.2 mm までは静的と動的貫入曲線はほぼ一致していることがわかる。それ以上貫入量が大きくなると、動的の場合の貫入抵抗がやや大きい。久保ら (1992) は、三城目安山岩を含む 12 種の

岩石の試験結果を報告しているが、その結果は今回の砂岩と定性的には一致している。今回の砂岩の結果も含め、貫入量 0.3 mm までの貫入抵抗曲線の傾き (割線) を比べると、動的が静的の約 1.2 倍であった。よって、さく岩機用ビットにおいてもこの程度の誤差を見込めば、静的試験結果より動的なさく孔時の貫入特性を推測できる可能性があると考えられる。

本研究では使用した岩石ブロックの寸法が小さく、三城目安山岩で 100 kN、砂岩で 200 kN の荷重しか加えられなかった。これ以上の荷重を加えたならば、岩石ブロックが破壊する可能性があったからである。実際のさく孔における荷重の最大値は、実験室実験の 2~5 倍程度と推測される。この点については、今後検討を加える必要がある。

本研究で得られた主要な結果を箇条書きにすると下記となる。

1. フェイスチップのハイトロスと、さく孔長、載荷時の貫入抵抗曲線の傾き、除荷時の貫入抵抗曲線の傾き、掘削体積比エネルギーの間には線形な関係が認められた。
2. 同様に、サイドチップのハイトロスないしゲージロスと、さく孔長、載荷時の貫入抵抗曲線の傾き、除荷時の貫入抵抗曲線の傾き、掘削体積比エネルギーの間にも線形な関係が認められた。
3. ハイトロスを原位置で測定することは困難と考えられるのに対し、ゲージロスはロッドよりビットをはずさないで測定可能であり、原位置におけるビット摩耗の指標として使い易いと考えられる。
4. 摩耗帯 (wear flat) は視認しやすいので、ビット摩耗の指標として今後検討すべきである。ただし、摩耗の初期段階ではほとんど認められず、ある時点より急速に大きくなるので、さく孔長などと線形な関係はないと考えられる。

引用文献

- Clark, G. B. (1982): Principles of Rock Drilling and Bit Wear, Colorado School of Mines Quarterly, Vol. 77, No. 1
- Doyle, G. (Aug., 1978): Mining Engineers, p. 1167-1168
- 松田年雄・大田彰則・福井勝則・大久保誠介 (1996): 平成 8 年度資源・素材関係学会合同秋季大会一般発表講演要旨集, p. 55
- 松田年雄・大田彰則・大久保誠介・福井勝則 (1997): 平成 9 年度資源・素材学会春季大会一般発表講演要旨集, p. 52
- Montgomery, R. S. (1968): Wear, 12, p. 309-329
- 大久保誠介・西松裕一・秋山政雄・辰巳 哲 (1992): 資源と素材, Vol. 108, p. 134-140
- 大久保誠介・大田彰則・秋山政雄・福井勝則・西松裕一 (1997): 資源と素材, Vol. 113, p. 325-332
- Pearse, G. (Feb., 1984): Mining Magazine, p. 143-153
- Sheppard, D. (Sep., 1979): Mining Magazine, p. 209-215
- Teale, A. (1965): Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2, p. 57-73