ビットの掘進率に関する研究*

藤 井 清 光**

(昭和30年10月1日受理)

Study on the Rate of Penetration of Rotary Bit

By

Kiyomitsu FUJII

Abstract: Factors affecting the rate of penetration of a blade bit are measured by the use of a bit testing instrument.

I. 緒 言

井戸を掘る技術として、ロータリーの方法が行われるようになってから、地下深い所にある石油や天然ガスなどの開発が非常に容易になった。特に石油が現在の産業の非常に大きな部分を占めるようになった原因の1つはロータリー掘鑿によつて石油が経済的に開発されるようになったことである。しかしロータリー掘鑿を技術的に見ると、種々の困難な問題が多数あるので、経済的に地下資源を開発するという役割を、ロータリー掘鑿が今後も続け得るかどうか、疑問が発生する。特にわが国では自然の条件に難しい点が多いので、ロータリー掘鑿の将来に関しては、全く楽観が許されない。この困難を打開する方法は、ビットと泥水の改善よりほかに方法はない。井戸を掘るのはビットと泥水(循環流体)とであつて、その他の装置は補助的なものに過ぎないといつても決していゝ過ぎではあるまい。このことは従来はとかく忘れ勝ちに扱われてきたことである(泥水のことは、こゝでは論じない)。ビットに関しては浅い井戸を掘る場合には、余り問題にする必要はなかつた。しかし最近になつて井戸が深くなるに従い、ビットの重要性が痛感されるようになってきた。

このように、ビットは掘鑿の生命といふ得るほど、重要なものであるにもかゝらず、ビットの掘鑿作用の理論に関しては、今まではほとんど知られていなかった。それで井戸を掘る場合には、経験に頼るよりほかに方法

がなかつた。浅い井戸では一般に地層は軟らかいので、このような原始的な態度でも、なんらさしつかえなかつた。しかし井戸が深くなれば、このような方法は技術的のみならず、経済的に許されない。今後はビットの掘鑿作用の理論に基づいて井戸を掘ることが、わが国のように経済的に苦しい立場にある所では、絶対に必要なことである。

以上のような理由によつて、著者はビットの掘鑿作用の理論に関して研究を行つた。ロータリービットにはブレード型とローラーカッター型とがあり、浅い井戸を除いては、ローラーカッタービット(ロックビット)が主として使用される。ローラーカッタービットの作用は複雑であるので、ビットの研究に関しては、まず簡単なブレードビットから始めることが順序であると考えられる。本文には、ブレードビットを使用して、ビットの掘進率に影響を与える項目について行つた基礎的な研究に関して記す。

II. 実験装置および寸法

実験に使用した装置は第1図に示すビット試験機である*。Aの部分に岩石を固定する。これは圧縮空気により上昇し、Bのビットに対し約1,000 kgの荷重を与えることができる。荷重の値はCの目盛板から知ることができる。Dはトルク計であつて、これはEの部分にAのトルクを受ける装置があり、これから圧力が伝わる。ビットの回転数は1分間に30、60および120に変化させることができる。

使用したビットは第2図に示されている。Cは市販の

* 文部省科学研究費による研究、昭和30年5月石油技術協会総会における個人講演

** 東京大学助教授

* 塚本精機株式会社製の製作

第 1 図

第 2 図

たがねを加工したものである。シヨアー硬度は約 60 である。これは種々の双の厚さで実験に使用された。第 2 図 B は軟鋼でシヨアー硬度は約 25 である。これは実験の最初に使用したが、磨耗が甚だしく実験が困難であるので、A のように炭化タングステンのチップを植えたものが、主として使用された*。

実験方法は、まず第 1 図のように A に岩石を固定し、C により必要な荷重をビットに対し与え、必要な速さで回転する。水または空気を管により外側からビットに吹き

* ビット B.C およびチップは帝国石油会社技術研究所の製作

第 3 図

第 4 図

第 5 図

つけ、掘くずがたまらないようにする。1回の実験に掘る深さは、石の種類により異なり、5~20 mm である。掘った長さはFにある目盛により知ることができる。実験中に必要に応じてトルク計の読みをとる。実験に使用した石は凝灰岩・砂岩・頁岩・安山岩・花崗岩などである。このうち、大部分の石は地表から石材として採取されたものであり、一部は井戸からコアとして採られたものである。

III. 荷 重

回転数が一定の場合の荷重と掘進率の関係は、第3図に示されている。これは一般的傾向を示しているのであつて、線Aのように荷重が小さい時は掘進率が小さいが荷重が大きくなると掘進率は急に増加する。逆に荷重がある限度以下になると、掘進率はほとんど0になる。B線はAより硬い岩石の場合の関係を示している。もし同じ石を使用している場合には、Aの実験のビットより刃の厚さが厚いビットを使用すれば、曲線はBのようになる。ここで注意しなければならないのは、使用したビットは第2図に示されているように、石に対し90°の角度で接触していることである。90°の時に第3図のような曲線になるのであつて、角度が90°より大きくなれば曲線の形は変わってくる。しかし本文では、角度が90°のビットの実験結果に限定している。

2種類の凝灰岩を使用して、荷重と掘進率の関係を求めたものが第4図である。この実験では掘くずを除くためには水が使用された。ビットは第2図のCであり、回転数は30 r.p.m. である。ビットの刃の厚さは t-1 凝灰岩に対しては 2 mm および 8 mm, t-2 凝灰岩に対しては 3 mm および 4 mm である。ビットの直径はいずれも約 17.5 mm である。第4図によれば同じ荷重を与えても、石に接触する面積が異なれば、掘進率は異なる。次に、この実験結果をビットに対する圧力と掘進率の関係として表わせれば、第5図のようになる。これによれば同じ石に対しては、ビットが石に接触する面積が異なつても、ビットに対する圧力が同じであれば、掘進率は同じになる。すなわちビットに対する圧力が掘進率を支配する。

IV. 岩石の性質

岩石の種々の物理的性質のうち、特にブレードビットの場合には、岩石の圧縮強度が直接に掘進率に影響を与えと考えられる。第4図または第5図の実験に用いた凝灰岩の圧縮強度は t-1 は 206 kg/cm² であり、t-2 は 199 kg/cm² である。第5図で明らかなように、ビットに加える圧力が石の圧縮強度以下の場合には、掘進率は非

常に小さいが、圧力が石の圧縮強度を越えると、掘進率は急に増加する。このようにブレードビットの掘進率は、岩石の圧縮強度に最も大きく影響されると考えられる。

V. 回 転 数

ビットの回転数と掘進率との関係は簡単なようで複雑である。一般的にいえば掘進率は回転数に直線的に比例する。しかし測定値はかなり広く散らばり、上の関係を得るためには、多くの実験結果の平均値をとらなければならない。回転数の影響は岩石の圧縮強度にも関係があるようで、ある種類の石は、加える圧力が圧縮強度以下の時に上の関係が成立し、ある種類の石では、圧縮強度以上の圧力において上の関係が成立する。ビットの回転に際して、特殊の振動が発生する場合、あるいは掘くずが直ちにとり去られないような状態にある場合には、直線関係は成立しない。

VI. 磨 耗

ビットに対して荷重を大きくして掘進率を大きくする

第 6 図

第 7 図

場合と、小さい荷重で小さな掘進率で掘る場合とで、どちらがビットの磨耗が大きいかということは、現場では重要な問題である。凝灰岩を第2図Cのビットで掘った実験結果は第6図である。ビットが石に接触する部分は 13.3×2.7 mm あり、回転数は60 r.p.m. である。第5図によれば磨耗量 (mm^3) はビットの加重に反比例し、掘進時間に比例している。これは大きな荷重で井戸を掘る方が有利であることを示す。磨耗の程度は、回転速度の関係から、中心が一番小さく、外側に行くに従って大きくなる。特に一番外側の角はすぐ磨耗する。したがってビットの形は次第に中心が尖ってくる。

以上は炭化タングステンを使用しない場合である。炭化タングステンを使用すれば、軟らかい凝灰岩に対しては、数時間程度の実験では測定できないほど磨耗量は小さい。炭化タングステンをチップとしたものが最も強く、粉末をビットの表面に熔着したものは、チップに比べればかなり弱い。しかしチップは実際のビットに使用した場合には、脆いのでかけることが多いと考えられる。

VII. 循環流体の種類

以上の実験では掘くずを除くために水を使用した。空気を使用した場合を水と比較したものが第7図である。使用した石は圧縮強度約 300 kg/cm^2 の凝灰岩であり、ビットは第2図Bで、石に接触する面積は約 2.6 cm^2 である。第7図によれば空気の方がかなり掘進率が高い。頁岩の場合にも似たような結果が出た。水を使用した時には、掘くずのなかに $1 \sim 2 \text{ mm}$ の大きさのかけらがかなり混るのに対し、空気を使用した時には、掘くずがすべて 100 メツシュ 以下になる点が著しい違いである。以上の結果から、使用する流体の種類により、石の粒子の結合状態が異なることが掘進率の差の原因と考えられる。したがって空気の方が掘進率が高いということは、すべての石にあてはまるのではなく、特定の石の種類のみに限定されるものと考えられる。

VIII. 他の研究との比較

ビットの掘進率に関して、本文の実験結果を外国の研究と比較すると以下ようになる。たゞし外国の研究はすべてロックビットに関して行われたものである。掘進率に対する荷重または回転の影響に関する文献^{1) 2)} と比較すると、本文の実験結果は非常に似た傾向になつている。ブレードビットの実験結果が、ローラーカッタービットの結果と似ていることは、注目すべきことである。特に Hughes 会社の研究¹⁾ では、次のような式を出している。

$$\text{掘進率} = (\text{回転数}) \times (\text{ビット 1 in 当り荷重})^K$$

Kは岩石の種類によつて $1 \sim 2.3$ の範囲にある。この関係式は研究所の実験装置によつて得たものである。実際の掘進においては、必ずしもこの通りにならず、回転数を2倍にしても、掘進率は50%しか増加しないことがある。この原因は泥水の循環量が足りないためである。したがって上の関係が成立するためには、掘くずが井戸の底にたまらないように、十分な泥水を送る必要がある。以上から、荷重または回転を増加することとともに、泥水の循環量を増加させなければ無意味であることが明らかとなる。

ロックビットの磨耗に関しても、本文の実験と同じような結果が出ている²⁾。すなわち1つのビットが掘り得る長さは、荷重の増加によつて著しく長くなる。このことはビットに対する荷重が、この点においても重要な意味を示すことを明らかにしている。

IX. 結 論

ブレードビットを使用して掘進率に関して実験を行い種々の結果を得た。この研究は現在でも継続されているものであつて、まだ最終的結論を得ていないが、現在までに実験されて得た結果は、大体次のようなものである。

- (1) 回転数が一定の場合に、ビットに対する荷重が増加すると、掘進率は非常に大きくなる。逆に荷重がある限度以下になると、掘進率はほとんど0になる。
- (2) 回転数が一定の場合には、ビットに対する圧力が掘進率を支配する。
- (3) 岩石の圧縮強度が掘進率に大きな影響を与える。
- (4) 掘進率は大体回転数に直線的に比例する。
- (5) 一定回転数で一定の長さを掘る場合のビットの磨耗量は、大体時間に比例する。したがってビットに対する荷重が小さいと、磨耗は大きい。
- (2) 掘くずを除くために使用する流体の種類に関しては、ある種類の岩石に対しては、水より空気の方が掘進率は大きい。

本文の研究に使用した試験用ビットは、帝国石油株式会社技術研究所から提供されたものを含んでいる。実験は東大採油研究室の佐藤光夫助手の努力によるものが多い。こゝに感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) R. A. Bobo, R. S. Hoch and G. S. Ormsby: *Keys to Successful Competitive Drilling, World Oil*, March, 1955.
- 2) W. M. Booth: *Weight on Bit and Rotary Speed, Petroleum Engineer*, April, 1955.