硬質岩用ビットの研究 (第2報)

中山 好 弘*

(昭和42年 2 月20日受理)

A study on the Hard-Formation Bit (Continued)

By

Yoshihiro NAKAYAMA

Abstract: The trial combination rock bit to be used for the hard formations has had two problems in forcus, as presented on the memoir No. 1.

That is, Skidding of the cutter and breakness of the middle of the bottom were reasons why it is impossible to practice effective drilling for the hard rocks.

As results of the study, at last we found a way to drill the hard rocks effectively.

The new trial bit (No. 5-B) consists of the diamond crown shoes, and characteristic one cutter to crush the core in the hole, that is called D.M.C type rock bit. (PAT. 478520, pend 41-074989)

Present steps of the improvement have been directed to producing the $8\frac{1}{2}$ " D.M.C to use for the practical field wells.

1. 序 言

硬質地層ないし、硬質岩を穿孔するさいに、重荷重の
みをあてにしない方法は、とくに、硬質層深堀井の場
合に適合する。ダイヤモンドの高度な耐摩耗性と、切削
性を効果的に導入することを目的としたロックビット、
すなわち、ここに述べる硬質岩用試作ビットは、すでに、
第4作試作までの経過は報告済みであるが、本文第1報
で指摘した通り、2つの重要な問題点が未解決で残され
ていた。それは、カッターの“ひきずり性” (skidding)
による自転力の不足、および、岩芯中央部の破碎性の不
足であり、これらは、試作ビットの長時間連続掘さく性
能上の欠陥となっていた。

その後、これら問題点について研究を進め、第5作-A
を経て、第5作-B の開発に至り、残余の問題点を解
決することができ、最終的にテストビットの完成に至っ
た次第である。かくして試作ビットは一応成功したが、
このままで大型化して、実際のさく井に使用し、確実に
成功する確証はない。それは、本ビットがたとえ原理的

にかなっていても、一般ビットと同じように、設計上の
不備などから不結果をまねくことも考えられるからであ
る。しかし、そのような実用化にともなう項目について
は、研究段階とは別に検討し、むしろ実際に使用して後、
発生した欠陥を補正した方が、より能率的であるとの見
地から、ここに $8\frac{1}{2}$ " 大型ビットの試作にふみ切った次
第である (2月中完成予定)。

ここにのべる D.M.C** 試作ビット (第5作-B) は、
外殻機素に第4作および第5作-A に連続使用したダイ
ヤモンドクラウンをそのまま転用し、内殻機素として、
全く新型の1個のカッターを組み合せたものである (特
許第 478520号、および出願中 41-074989) (第1, 2図)。

なお、第5作-A No-biting cutter tri-cone (第4図)
の実験結果より、興味ある結果を得たが、紙面の都合上
省略し、 131ϕ D.M.C についてのみ研究経過を報告す
る。

2. 予 備 実 験

当技術研究所では、かねて平行状歯列をもったワンコ

* 石油資源開発 (株) 技術研究所

** Diamond-Mono Cutter type

第 1 図

第 2 図

第 3 図 (大理石)

第 4 図 (試作ビット No. 5-A)

第 5 図 (供試材一能代コアー)

ンの実験を進めてきたが、その具体化は、試作第4作目から模型によるワンコンの挙動研究として、これと平行して進めてきた。模型カッターは、現在完成したカッターと全く同型で、その特徴は、トリコンビットのカッター（以下、本文では一般トリコンビットを T.C, トリコン組み合せの試作ビットを T.C 型と略記する）よりも扁平な、腕型をしており、非常に大きい取付角 (journal angle) で加工されたカッターピンに取付けられ、自由回転する。模型カッターの大きさは、131φ D.M.C の約 2/3 の縮尺の鋼製で、ベアリングは既製ラジアルボールベアリングを嵌入した。テストは、小型ビット試験機により、主として凝灰岩を使用してカッターの挙動を調査した (第5図)。

ビット軸とカッターは、ある回転比によってそれぞれ公転、自転することは周知であるが、平行状圧痕が、ビット軸回転との差動によって刻々と圧接方向を変えるこ

とを予期し、初期に平らな岩石面に穿孔を試みたが、あまり効果はなかった。はじめのうちは確実に差動するが、穿孔が進行するにつれて、次の回転による歯先が前の圧痕に滑り込んで差動をおこさなくなった。この状態を分析するに、T.C ビットでは常時みられる状態で、カッターの“ひきづり”とは無関係の運動であるが、このような定着性の運動は好ましいものではない。實際上、差動しないカッターは、掘進しないわけではないが、きわめて非効率なものである。ところが、数十回の繰返しテストでこの疑問が解けた。よってその結論により、実際と同じように、差高をつけた自由岩芯部に作用させたところ、テストは成功し、その上、著しい破碎効果をもとめることができた。以上のことは、この特殊カッタ

ーは、単独では掘進しないが、複合体としてのみその効果を示めすことを意味する。131φ D.M.C は、以上のような経過の後試作に移ったものである。

3. 131φ D.M.C の構造

本試作ビットの構造を第6図に示す。ダイヤモンドクラウン1の2以下の部分は、3個の独立した脚に構成されており、排出される掘屑は、循環液とともに開脚部より3の通路を経て、アニューラ部へ導かれる。脚の端面には、固着されたサーフェース型ダイヤモンドピース(コンゴボルツ $1/6 \sim 1/8$ ct を 13 ct, 総計 39 ct) 4およびプロテクトスクレパー5が、それぞれ3個1組で一体をなしている。カッターボデー6ーの端部には journal angle $64^\circ \sim 65^\circ$ に形成されたカッターピン7、および、平行状歯列をもつ腕型カッター8、また、これと相対の位置にノズルボア9と、ノズルへ導かれる流線状マッドウェー10が加工されており、トップサブ11は、カッターボデー6とともにダイヤモンドクラウン1を介して一体に締付け固定され、必要に応じて胴付付近を熔接する。

第 6 図

12 はカッターボデーとクラウン内接面で、カッターの位置を定める案内である。その他細部については第1報記載の通りである。

4. 掘さく実験および試験結果

4.1 掘さく試験は、前回にならって同じ石英安山岩ブロック (1 m³) に穿孔した。比較のためビット荷重は T.C と同じ 1 in 当たり 1,470 lb とし、7,600 lb を付加した。回転数 140 r.p.m. (T.C は 90 r.p.m.)、ダイヤモンドは転用品であるため、外周部に損傷が多く (ダイヤモンド外周の損傷原因は追究され、8 $\frac{1}{2}$ " D.M.C では改善された)、掘進成績は実際よりも辛いと思われる。岩石残余スペースの関係で多数穿孔できなかったが、結果は第7図に示すように、従来の試作ビットの成績をさらに向上した結果になった。すなわち、掘進初期の掘進率が良好であるばかりでなく、時間の経過とともに、掘進率の低下もみられず、直線的にのびていることに注目してほしいと思う。さらに、テスト後のカッターの摩耗は、識別できぬ位に僅かであった。ただし、中心位置の2枚の歯の内側がやや摩耗したので、8 $\frac{1}{2}$ " D.M.C ではこの部分に超硬硬装することにした。第8図は、本テストのさいの掘屑、坑底のパタンを第3図に示す。

第 7 図 試作ビット掘さく試験比較図

第8図 (石英安山岩掘屑)

第10図 (石英安山岩パターンよりモデリング)

D.M.C の良好な理由としてつぎのことが挙げられる。

4.2 まず、第1報記載のような、坑底の隆起状岩芯にたいする裂砕効果である。この裂砕は、歯先の摩耗に関係なくおこなわれると推定される。また、この岩芯構造では、岩芯そのものが過大荷重の逃げ道となって、歯先に過大荷重が残留しない効果をもっている (瞬間過大荷重はプロテクターがうける)。

4.3 普通の T.C で、カッターのうける摩耗作用は、掘さく底面を詳細に検討するとよくわかる。カッターの歯のピッチは、その歯列が転動する岩石上の軌跡円にたいして整数分割しないようにあらかじめ設計されており、圧痕が生長して、“山ひだ” (rock teeth) が形成される過程で、カッターのきざみと“山ひだ”のピッチと不整合となり、このため、硬岩掘さくでは歯先が“山ひだ”の斜面にあたるときに、斜面に沿って滑り込むことがしばしばおこる (第9図)。この一見不利な運動は、軟岩の場合やまた、硬岩でも、重荷重の附加によって滑らずに貫入できるが、多くの場合、この滑動がビット荷重の垂直成分の損失となり、また、衝撃性のそう失、さらに、強烈な abrasive wear 誘発など非効率な面が多い。第10図は、実際に“山ひだ”斜面上に歯の滑動痕跡が発生した例である。

これに反し D.M.C では、歯列の差動により圧痕が岩

第11図 (石英安山岩パターンよりモデリング)

面に定着せず、したがって“山ひだ”に生長することがなく、荷重はつねに坑底に直角に作用するため、不利な摩耗作用から救われているものと考えられる (第11図)。

5. 131φ D.M.C の掘さくトルクについて

本テストで示めされた掘さくトルクは、同様の条件下で 25.8 kg-m を記録し、第4作 (T.C 型) の 29.7 kg-m より少ない。参考までに $4\frac{3}{4}$ " T.C の同様の掘さくトルクを第1表に示めた。

第1表

		3 H新ビット	3 S新ビット
120 r.p.m	6000 lb	13.2 kg-m	25.3 kg-m
	8000 lb	17.2 "	34.2 "

(技研テスト No. 26 より)

以上のように、D.M.C の掘さくトルクは、大体 3 S と同じ、あるいはそれ以下と考えてよい。

6. 解決された問題点に関する考察

6.1 Skidding の一般的説明

ここでのべる試作ビットの“ひきずり” (skidding) とは、第1報で「不完全性ひきずり」とよんだように、一般 T.C. のいわゆる“ひきずり現象”と違い、カッターが“間歇的ひきずり”を生じながら回転することで、ひきずりによりカッターが回転しないで、坑底に座り込ん

第9図

第 12 図

でしう状態ではない。ゆえに、このひきずりは T.C の場合のように、直接致命的な事故とはいえないが、試作ビットの掘さく性に重要な影響をあたえるものである。したがってここでは、試作ビットの内殻機素に T.C を使用した T.C 型と、D.M.C とを比較して、ひきずり性について、いかに改善されたかを説明する。

一般に、ビットの回転によって生ずるカッターの運動は、カッター自体の“回転”と位置の回転、すなわち、力学上でいう一種の並進運動に相当する“ころがり”の 2 つに分けて考えることができる。これらの運動要素の相互の関係は、T.C 型の場合は第 12 図に示すように、坑底のある掘さく円 P に対応するカッターの歯列円 Q のきざみにより、ビット回転にたいするカッターの回転がきまり、相互の回転比 (N_c/N_b) は (R_b/R_c) によってあらわすことができる。実際には 4.3 のように変動があり、一定ではないが、大体にある範囲内の拘束がある。すなわち、T.C 型においては (N_c/N_b) にほぼ一定の状態のときは、カッターは正常な回転をしていることになるが、この拘束性が破れたときは、すなわち“ひきずり”を発生しているものと定義できる。

6.2 ベアリング系軸受抵抗

ベアリング系は正常な潤滑状態ではあまり回転抵抗とされないが、ボールの破損や、フリクションメタルの焼付状態のとき、非常に大きな回転抵抗となる。これはベアリングの荷重分布の不適正および、ベアリング耐久性が関係するから、ベアリング機構の相違や、仕事量の相違によって、長い時間に差が生じてくることになる。D.M.C は T.C 型に比べ、はるかにスラスト成分が多く、このスラスト荷重は、トップフリクションでうけ止め得るし、また、ボールのうける荷重が、取付角が大きいため分散され、ラジアル成分は、ただカッターの横方向の分力荷重をうけ止めるにすぎず、機構的に優れてい

ると考えられる。そのうえ、ビット軸回転が一定であれば、ベアリングの回転量は D.M.C の方が非常に少ない。測定例によると、ビットが 10 万回転したとき、T.C 型のカッターベアリングは約 14 万 8000 回転し、D.M.C では 10 万 5000 回転にすぎない。このことから、事故の発生および、軸摩擦によるカッターの回転抵抗は、D.M.C の方がはるかに少ないと考えられる。

6.3 カッター形式による回転抵抗

ひきずり性におよぼす第 2 の原因は、歯列の形式にある。T.C 型カッターの転動は、第 13 図に示すように、 $a \rightarrow b$ の繰返しになるので、1 個の歯が垂直に立つとき、強い回転抵抗をうける。これは歯列の曲率 (R) と、歯の“あらさ”からきまると考えられ、スベアポイントで最大の回転障害となる。T.C 型試作型試作ビットは、基本的に、第 1 歯列に相当する岩芯外周部で歯先と岩面の接触を失う機会が多いため、第 1 歯列による強制駆動力が失われ、スベアポイントに沿ってひきずる傾向がある (第 14 図)。

これにたいし D.M.C では、第 15 図に示すよう

第 13 図

第 14 図 (試作ビット No.2 の例)

第 15 図

に、歯先は坑底にいつもほぼ直角に上下するので、ス
アポイントに相当する回転障害から全く開放されたこと
になる。

6.4 慣性モーメントによる回転抵抗

T.C 型では第 12 図のように、破碎しやすい外周部 **1** が排除されたあと、最大接触円は $Q' \rightarrow Q$ となり、カッターは図の (R_c/R_b) によって回転する。図のような接触では、回転力は接触部の $\sum Fr_c$ となるが、実際上歯列は飛んでおり、また中心付近の歯は、回転障害となるばかりで、ほとんど回転力は期待できぬから、カッターの最大接触歯列半径 $R_{c\max} = r_0$ とすれば、回転力は Fr_0 であらわすことができる。 F は岩面にたいする歯先の喰込み力で、切線方向の抵抗とみてよい。第 12 図のようなとき、 Fr_0 はかなり少ない値とみられるので、ビット回転数の約 1.48 倍のカッター回転速度 (N') により、慣性モーメントの大きいカッターの浮動部 **2** を回転せしめる慣性モーメントが、かなりの回転抵抗量となると考えられる。

回転モーメントは、慣性モーメント (I) と、加速度の積であらわせるから、 Fr_0 より **6.2, 6.3** の回転抵抗を差引いた正味回転力と回転抵抗モーメントは、次式のようにならわすことができる。

$$Fr_0 - (T_r + T_s) = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (1)$$

 T_r : 軸受抵抗 (モーメント)

T_s : 齒型による抵抗 (")

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{2\pi N'}{60} = \omega \quad (2)$$

N' は t の函数により

$$dN' = \frac{2\pi I}{60} [Fr_0 - (Tr + T_s)] dt \quad (3)$$

カッターのひきずり性は、カッターが何かの原因で瞬間的に停止したと仮定し、停止したカッターがその最大回転 N' に到達するための角加速度の大きさにより、回転抵抗モーメントがきまると考えるとわかり易い。角加速度が大であれば、抵抗は大きくなるがその抵抗がなお回転力より小であれば、カッターはひきずりとはならない。簡単に、カッターが $0 \rightarrow N'$ r.p.m. に到達する時間 (t) により、カッターのひきずりがきまると考えられる。

よって (3) 式から

$$\int_0^{N'} dN' = \frac{60}{2\pi I} \int_0^{t^*} [Fr_0 - (T_r + T_s)] dt \quad (4)$$

t^* は $0 \rightarrow N'$ 至る時間をあらわす。

以上のようなわけで、本試作ビットの改善に当って、慣性抵抗を主としたいくつかの回転抵抗要素を解消する必要が生じたわけである。D.M.C の特徴は、カッター

第 16 図

が回転しなくても十分に坑底のころがり得ることである。2 で述べたように、同じ圧痕にすべり込む運動が一番安定した運動といえるから、そのときカッターは、ビット回転によってただ傾きを変えているにすぎず、回転慣性抵抗は生じなくなり、これらは解決されたことになる。なお D.M.C の回転力には T.C と同じような R_c が作用半径となるかどうかは疑問で、実際には、ころがり半径 $R_{c'}$ が作用しているように思えるが、この点については未だ究明されてない (第 16 図)。

以上のことにより、D.M.C ビットでは回転抵抗はベアリング系のみとなり、したがって、ベアリング系の重大な故障の場合以外は、ひきずりを生じ難いことになる（以上は、2 次的なひきずり要素、たとえば、掘進中の掘屑のカラマリ等については除いた）。

6.5 D.M.C の中心部破砕性について

問題点の第2は、坑底中心部の破砕性であるが、この欠陥はひきずり作用と密接に関係がある。ひきずり易いカッターを使用すると、ひきずりによる強烈な摩耗の付加によって、中心部の破砕性が著しく阻害される。岩芯部外周の破砕が効果的であるほど（たとえば差高を大きくするほど）中心部の回転障害が増大し、結局、ビットは進まず坑底が帽状化する（第17図）。

D.M.C の中心破砕作用を模式化すると、第 18 図のごとく考えられる。(イ) **1** の部分の僅かな圧接力によって破砕排除されたあと、荷重の中心は **2** のように中心へ移動する。圧接部に多数のクラックが発生する。(ロ) カッターの自転により歯列が差動して、クラックをうけた部分が掘開される。さらに、荷重は中心へ集中する。

第 17 図 (石英安山岩)

第 18 図 No. 5-A 石英安山岩

このとき中心部は突出状となっているので、容易に破碎され、(ハ) 坑底はもとの状態にもどる。実際にはこれらの過程が瞬間的に、あるいは交錯して行なわれると思わ

れるが、原理は同じと考えられるので、カッターの取付位置、傾き、球体の大きさ等によって残影部 6, 6' をいかに配分するかが、D.M.C の基礎的設計項目となる。これら適正な設計によって、坑底中心部の破碎性はさらに高まることになる。

7. D.M.C の適合地質について

D.M.C の適合地質は、正確に解明されていないので、はっきりしないが、それは、ダイヤモンド固有の地質との適性があり、また一方、内部カッターについては、それが“心配されるような”挙動を招きやすい地質には疑問である。つまり、差動をおこさぬ場合で、これは1回の貫入量の比較的大きい、軟弱性、粘稠性の地質（泥水の Gel strength の影響も含めて）が挙げられるが、このようなときには、掘進中、ビットを少し浮かせてカッターの差動を促進させ、圧痕を更新させることも考えられ、また、設計上では、カッター取付角を少し小さくすると、対策には種々の方法がある。

“はりつき” 易い地層には問題があるが、これも研究の余地がある。超硬質層にたいしては、ダイヤモンドをインプリグネート化するとともに、カッターは、インサートチップが適している。D.M.C をインサートチップにする場合は、T.C のボタンビットに比べ、はるかに少ない個数で済み、経済的に実施できる。

8. 結 言

8 $\frac{1}{2}$ " D.M.C は、数日後に完成の予定であり、ビット試験機により性能テストの上、現場に回送される段取りである。また、131φ インプリグネート型 D.M.C も完成し、近く実用的テストを実施する。本試作研究報告は、一応この報告で完了とする。

謝辞 本試作ビットの実施にあたって、塚本精機KK、石油鑿井機KK、ならびに日本クリステンダイヤモンド工業KK 各技術陳の御協力にたいし、深甚の謝意を表するとともに、斯界の諸先輩から多くの御忠言、御指導をたまわったことに深く感謝する次第である。

参 考 文 献

中山好弘：硬質岩用ビットの研究（第1報）、石技誌、30巻、7号（昭40.12）