

# 人工ダイヤモンドビット

加藤 完(環境地質部) 正藤 和男(株式会社利根ボーリング)  
Kan KATOH Kazuo MASAFUJI

## 1. はじめに

近時石油危機以来 エネルギー資源に対する人々の関心の高まりと共に 石油・天然ガス等の地下エネルギー資源の乏しい我が国では 地熱開発の急速かつ大規模な進展が期待されている。 地中より地熱エネルギーを採り出し 我々にとって有用な形でエネルギーとして開発するために必要な最初の仕事は 他の地下エネルギー資源 石油・天然ガス 同様 いうまでもなく地球に穴をあけることであり ボーリングに課せられた使命と責任は重大である。 その文字通りの先端はドリルビットであり 宇宙開発におけるロケットに比すべきものである。 両者は進行方向においてそれぞれ下と上180度その位置において先端と後尾という風に 全く相反する性格を持ちながら その荷なう重要性は「……ット」と呼ばれる名称の共通性と共に象徴的である。

さて話はやや「穴まがり」したきらいがあるので本筋に戻そう。 地質探査・採鉱・作井以外にも ダムやトンネルの止水のためのグラウトや構造物の基礎杭など地球に穴をあけることが必要なあらゆる分野で ドリルビットはその過酷な条件に挑戦しなければならない。 従来のドリルビットの種類と適性については 20年ほど前の地質ニュース No. 68号に述べられているが 20年の歳月はここに新しいタイプのドリルビットの登場を可能にしつつある。

## 2. 人工ダイヤモンドの進歩

1955年 アメリカのG. E社が人工ダイヤモンドの合成に成功してから スウェーデンを皮切りに南ア連邦・ソ連・イギリス・オランダそして日本も加わって 人工ダイヤモンドの生産は急速にのび 今日では中国でも生産されている。 G. E. の研究所で初めて合成された人工ダイヤモンドは極めて微細なもので 大きくても直径0.1~0.2mm程度のものでしかなかった。 その後 実験的には直径3mmサイズの結晶といった大きなものも造られたが 宝石用としては勿論 工業用としても価値のないものであった。 最近の某社技師らの話によると 宝石用にもなるような大きな透明の人工ダイヤモンドの合成は 技術的には可能だが経済的な理由で生産しないとのことであった。 某社としてはもっぱら工業用人工ダイヤモンドの供給を目的としニーズに応じてきたが1970年に人工ダイヤモンド砥粒 MBS 製品\*のシリーズの一つを発表し 全特性領域にわたってそれを完成させた。 そしてさらに高品位の人工ダイヤモンドの開発を進め 今日では平均直径0.8mm程度までの各種サイズ・特性の人工ダイヤモンド砥粒を生産し 使用目的に合わせて選択使用することが可能になった。

これらの人工ダイヤモンドは ドリルビットとしては二つの方向を目指している。 一つはインプリグネイトビット (Impregnated Diamond Bit) に使用されるもので

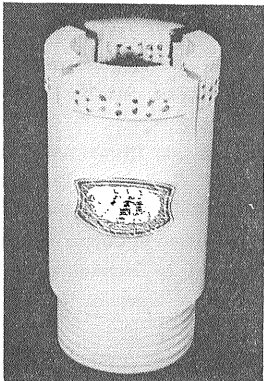


写真1 インプリグネイトビット

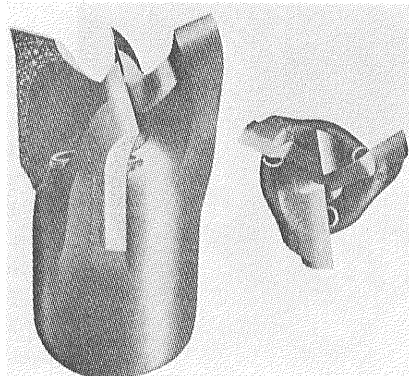


写真2 ドラッグビット (中村小四郎)

\* MBS とは Metal Bond Sawing 用人工ダイヤモンドからきており この製品シリーズの中には現在 MBS, MBS-70, MSD および MBS-750の各タイプがあり この順に開発された。

第1表 ストラタパックスビットとローラーコーンビットの比較(北海とヨーロッパ)

ビットタイプ	ストラタパックスビット	ローラーコーンビット (IACD211)	ストラタパックスビット	ローラーコーンビット (IACD233)
ビットサイズ	12 $\frac{1}{4}$ "	12 $\frac{1}{4}$ "	8 $\frac{3}{4}$ "	8 $\frac{3}{4}$ "
掘進長	6000ft	75.4ft	1030ft	170ft
掘進時間	30.5hr	11.0hr	53.0hr	16.5hr
平均掘進率	19.8ft/hr	6.9ft/hr	19.4ft/hr	10.3ft/hr
現場	北	海	ヨ	ロ ッ パ
岩質	Shale, Claystone		Salt, Anhydrite	

全断面掘削(Madigan and Caldwell 1980)

より大きな より強靱な単結晶人工ダイヤモンドを目的とする(写真1)。 もう一つは 微細な人工ダイヤモンドを焼結し 多結晶ダイヤモンド焼結体(Polycrystalline Diamond Compact 略して PDC)を得る方向を目的としている。 この方向で最初に発表されたのがコンパックス(COMPAX)で ドラックビット用の切刃として 1972年に研究が始められた(写真2)。 その結果 軟岩質から中硬岩質地層の掘削において 従来のビットに比較して良い結果が得られた。 しかし現場からのより靱性および強度の高い PDCの要請から 特に岩石掘削用ドリルビットの切刃素材としての研究開発が進められ 1976年にストラタパックス(STRATAPAX)と名付けて発表された。 これは軟岩質から中硬岩質地層の掘削に大変適したもので 当初 北海や中東の石油井掘削において大いにその偉力を発揮した(第1表)。

また 極く最近ドリルビット用人工ダイヤモンド切刃素材として 三番目のタイプになる多結晶人工ダイヤモンドが発表された。 そして1981年11月末から日本でも入手可能になった。 これはジオセット(GEOSSET)ドリルダイヤモンドと呼ばれ 軟岩から中硬岩ないし一部硬岩まで 巾広い掘削性能をもつものと期待される。

某社によれば サーフェイスセットビット(Surface Set Diamond Bit)に使用される天然ダイヤモンドビットに代わるよう設計されたものである(写真3)。 しかし岩石切削における挙動は むしろインプリグネイトビットに以ていて サーフェイスセットビットとインプリグネイトビットの中間の性質をもち うまくデザインすれば両者の長所を兼備した人工ダイヤモンドビットの決定版となる可能性がある。

以上ドリルビットに焦点を合わせて 主として某社の足取りから人工ダイヤモンドの進歩の跡をたどってみた。 日本においても今日では アメリカに優るとも劣らない単結晶あるいは多結晶人工ダイヤモンドが 合成あるいは焼結されるようになった。 1982年4月7日 某社は直径約6mmの透明単結晶人工ダイヤモンドを合成したことを新聞誌上で発表した。 これと同種の大粒の人工ダイヤモンド結晶の実物を見せられた時は 一種の感動をおぼえた。 それらは殆ど無色に近いものから淡い黄色のものまで 大きさは直径3mmから6mm位まで数個づつ 天然ダイヤモンドと比較できるような一つのケースに並べられていた(写真4)。

### 3. インプリグネイトビット

人工ダイヤモンドビットの代表として まず インプリグネイトビットがあげられるが その前にサーフェイスセットビットにふれてみよう(第1図)。 サーフェイスビットはビットヘッドのマトリックス表面に比較的大きなダイヤモンド結晶を植付けたビットである。

大きなダイヤモンドということで 人工ダイヤモンドで置き換えるのには無理であるが 某社ではビット設計を工夫してこれに挑戦し 一部現場で天然ダイヤモンドビットと比較してそんな色のない結果を示している。

しかし本命はインプリグネイトビットである。 このビットは小さなダイヤモンド結晶がマトリックス中に均

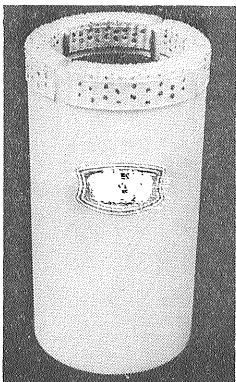


写真3 サーフェイスセット  
ビット

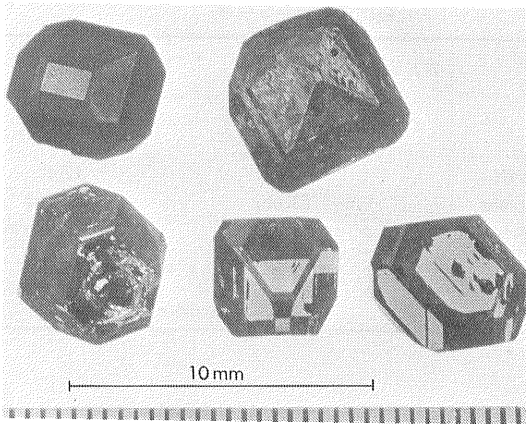
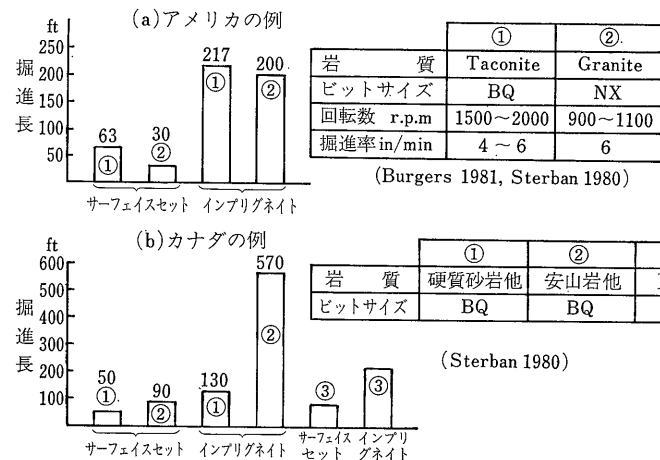


写真4 人工ダイヤモンド

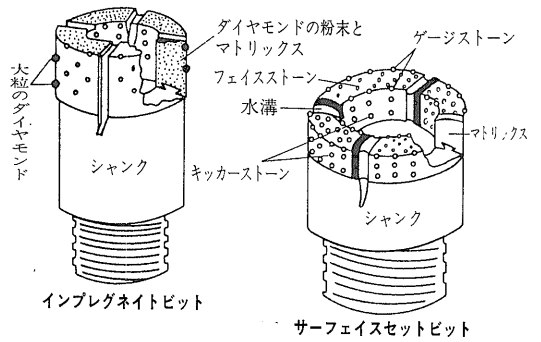
一分散したビットヘッドを掘削面にもっている(第1図)。小さなダイヤモンドということで1972年以降日本ではインプリグネイトビット用ダイヤモンドにはもっぱら人工ダイヤモンドが天然ダイヤモンドに代って使われている。

現在日本ではインプリグネイトビットが全ダイヤモンドビットおよびリーマに占める割合は15%であり世界ではこれが33%以上で増加の傾向にある。サーフェイスセットビットとの対比をみれば1972年から逐次インプリグネイトビットへの指向が強まり1978年に至っては完全にサーフェイスセットビットを抜いた。この傾向は今後益々進むとみられており日本でも同様なことが予想される。

インプリグネイトビットはサーフェイスセットビットでは損傷しやすく過酷な作業をしいられる硬岩ないし極硬岩に対しあるいは破碎地層等に対しより広範囲に使用されるようになった。



第2図 インプリグネイトビットとサーフェイスセットビットの比較



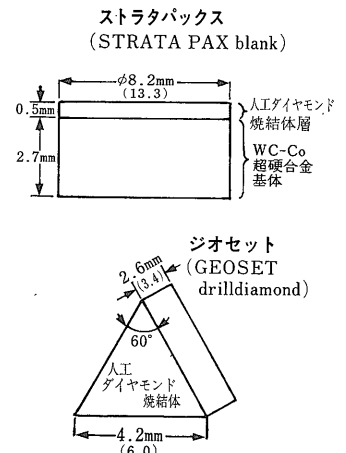
第1図 インプリグネイトビットとサーフェイスセットビット

第2図にはアメリカおよびカナダにおける両者の使用例を示したがいずれもインプリグネイトビット(人工ダイヤモンド)の優位性は明らかである。日本においてはこのように直接比較できるデータはないが一般的に掘進率は低いがビットライフが長いといわれている。

#### 4. ストラタパックスビット

某社のストラタパックス (STRATAPAX) に代表される多結晶ダイヤモンド焼結体は人工ダイヤモンドを合成する場合と同様に超高压・高温技術から生れたものでタングステンカーバイド・コバルト超硬合金の基体の上に同時に成長させた多結晶人工ダイヤモンド層をもつドリル素材である。従ってストラタパックスはダイヤモンドの耐摩耗性と超硬合金の耐衝撃性を併せもつドリル素材といえよう。

その耐摩耗性は某社の資料によれば次の通りである。圧縮強度平均1,600kg/cm<sup>2</sup>の円柱形の花崗岩を旋盤に取り付け180m/minの周速で回転させその柱面に



第3図 ストラタパックスとジオセット

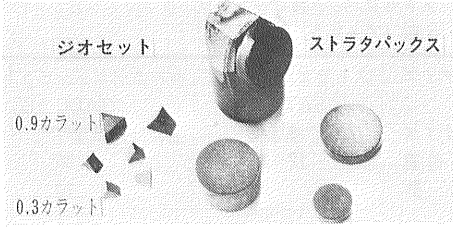


写真5 ストラタボックスとジオセット

-15度の逆レーキ角度にセットしたストラタボックスを送り量 0.275mm/rev 切込量 0.5mm 水溶性油冷却 1.5l/min で 1分間切削した時 タングステンカーバイト・コバルト超硬合金と比較して 100 倍以上の耐摩耗性を示した。押し込み硬さは超硬合金の 1,800~2,200kg/cm<sup>2</sup> に対して 5,000~6,300kg/cm<sup>2</sup> の値を示した。

ストラタボックス素材は 第3図および写真5に示したように この多結晶ダイヤモンド・超硬合金複合焼結体をそのままあるいは更に厚い超硬合金の台金に結合した形で供給される。この時の結合は L-Sポンドと呼ばれるもので Cu-Mn-Co系のろう合金によりろう接される。このろう材は 1,000°C以上の融点をもつのでストラタボックスの熱的安定限界 700°Cを越えないよう人工ダイヤモンド面を冷却しながら行わなければならない。

ストラタボックスビットは写真5のような形で供給された素材を 種々の設計のビットとシヤングの切削面にろう接または圧入して造られる。ストラタボックスビットはこれまで主として石油井や地熱井等の全断面掘削のために設計されてきた。これらの分野で得られた知見は 地質探査・採鉱あるいは土木分野の掘削等でも役

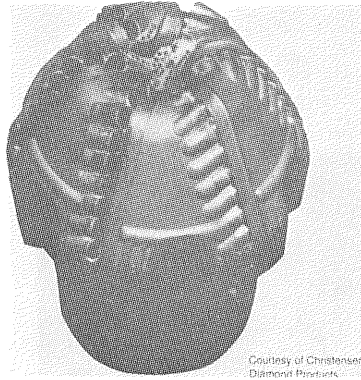


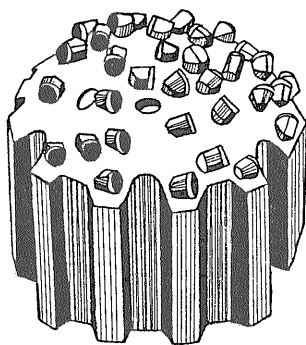
写真6  
ローラーコーンビットに代って西ドイツと南ア連邦で使われた 6 1/4" ストラタボックスビット (Atkins 1982)

立つものと思われる。ただ ストラタボックスビットは掘削すべき地層に適合した設計のビットを その設計を生かせる掘削機械およびポンプシステムによって動かすとき 本来の性能を発揮するもので その中の一つでも不適正であれば良い結果を得られない。日本では従来からの作業慣行等もあって このビットにとって必ずしも好ましい環境とはいえないので このビットの設計には特別な配慮が必要である。

ストラタボックスビットはメタルビットが圧壊 (Crushing) によって掘削し サーフェイスセットダイヤモンドビットが研削 (Grinding or Abrading) によって掘削するのに対して 剪断 (Shearing) によって掘削する。

当初 ストラタボックスビットは ローラービットが使用されている軟岩質ないし中硬岩質地層の掘削に対し目ざましい成功を納めた (写真6)。さらに新しいビットデザインによってその適用範囲を拡げつつある (第4図) (写真7~9)

ストラタボックスは全断面掘削形ビットだけでなく コアビットにも用いられる (写真10)。第1~3表および



第4図 ストラタボックスビット (全断面掘削形)

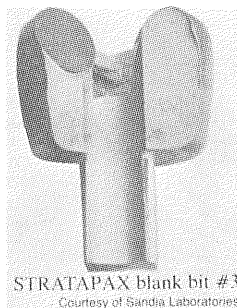


写真7 アメリカコロラド炭坑で 500rpm エアフラッシュ 低スラストで使われた 1 3/8" ストラタボックスビット (Atkins 1982)

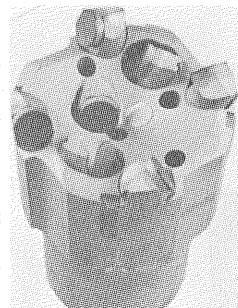


写真8 メタンドレイニングで使用されたストラタボックスビット (Atkins 1982)

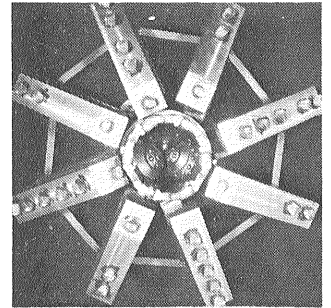


写真9 試作中 450mm BW 用ストラタボックスハイブリットビット

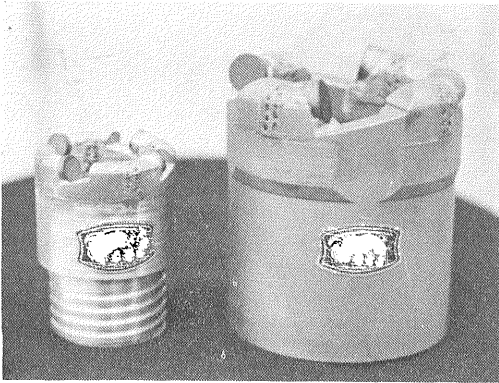


写真10 ストラタパックスコアビット

第2表 ストラタパックスビットとローラーコーンビットの比較 (アメリカ)

ビットタイプ	ストラタパックスビット (SAT-111)	ローラーコーンビット (IADC 517)
ビットサイズ	8 1/2"	8 1/2"
ビット荷重	12~25klb	35
回転数	95rpm	70
掘進長	1152ft.	476
掘進時間	167hr.	68
平均掘進率	6.9ft/hr.	7.0
コスト	94\$/ft	114
コストダウン	18%	—

岩質 Austin Chalk 全断面掘削 (Burgers 1981)

第3表 ストラタパックスビットとウイングビットと比較 (イギリス)

ビットタイプ	3-ウイング ストラタパックスビット	2-ウイング 超硬ビット*	3-ウイング ストラタパックスビット	2-ウイング 超硬ビット*
ビットサイズ	43mm	43mm	43mm	43mm
平均ライフ	2540m	215m	584m	11m
平均掘進率	5.3m/min	3.6m/min	1.2m/min	0.95m/min
岩質	軟質砂岩 (平均圧縮強度420kg/cm <sup>2</sup> )		硬質砂岩 (平均圧縮強度1400kg/cm <sup>2</sup> )	

\* 再研磨までのライフ 発破孔削孔 回転数400rpm スラスト荷重1.0~1.8t 水量10gal/min (Atkins 1981)

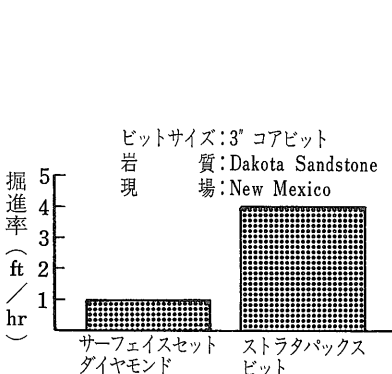
び第5~7図に これらビットの性能と従来のビットの性能の比較を示した. 第4表では日本の例として 上越新幹線中山トンネル止水工事に活躍したストラタパックスビットの試験結果を示した. これらの結果からストラタパックスビットの従来のビットに対する優位は明らかである.

### 5. ジオセットビット

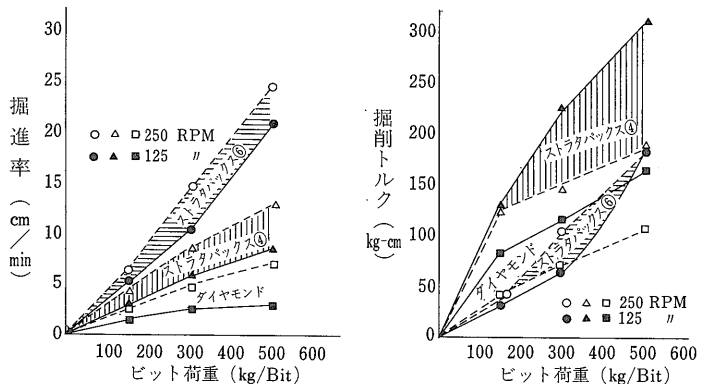
ジオセット (GEOSSET) は某社の最も新しい多結晶人工ダイヤモンド焼結体で ストラタパックスが人工ダイ

ヤモンド結晶体中にかなりの金属成分(主としてCo) を含むのに対してジオセット中にはこれらが含まれていない. そのため ストラタパックスが 700°C という比較的低い熱的制限をもつものに対して 1,200°C までの熱的安定性をもつので ストラタパックスのような特別な配慮を必要としない. このため 普通のダイヤモンドビットに使われている溶浸焼結法等 従来からのビット製造技術がそのまま使える利点をもっている.

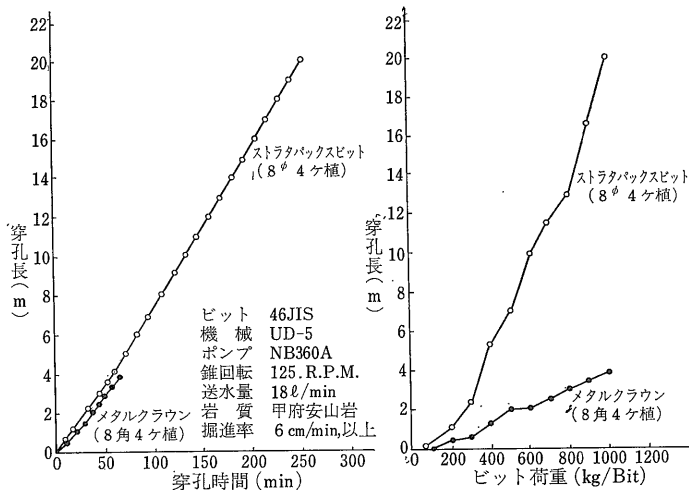
ジオセットの形状は第3図および写真5に示したように 三角形の多結晶人工ダイヤモンドで それぞれの大



第5図 ストラタパックスコアビットとサーフェイスセットビットの比較 (アメリカ)



第6図 ストラタパックスコアビットとサーフェイスセットビットの比較 (日本) ビットサイズ: Ø66mm コアビット 岩質: 安山岩 (圧縮強度1400kg/cm<sup>2</sup>)



第7図 ストラタパックスコアビットとメタルビットの比較

きさは0.3および0.9カラットである。その内部構造は結晶間が強く、ダイヤモンド同志が結合した焼結体でマトリックスや基体はもっていない。

ジオセットはドリルビットとして造られるようになってから未だ日が浅いので余り実績はないが、少なくとも天然ダイヤモンドを使用したサーフェイスセットビットを駆逐する可能性は高い。岩石切削機構が普通のサーフェイスセットダイヤモンドビットが行うような研削

(Grinding or Abrading) だけでなく、剪断 (Shearing) も加わることにより、高い掘進率を達成するものと思われる。

某社の資料によれば、ジオセットコアビットで Barre 花崗岩をコアボーリングした結果、従来のビットに比べて3倍の掘進率が得られ、また石灰岩や砂岩においても高い掘進率と良いコアが得られたということである。第5表に某社の試験結果を、第8図に国内某社のそれを示した (写真11・12)。

ジオセットビットは試用されるようになってから日も浅く、真の評価は今後にまたなければならぬが、ビットメカおよびユーザにとっては、極めて興味あるものであることは間違いないと思われる。

## 6. おわりに

最近の人工ダイヤモンドビットの進歩について、内外の使用実績をまじえて紹介した。ジオセットビットはもとより、ストラタパックスビットも国内における実績は少ない。地熱開発に関連して、ストラタパックスビットの基礎的研究が工業技術院公害資源研究所において、ようやく開始したところである。従って、今後どのような発展の過程をたどるか、ストラタパックスビッ

第4表 上越新幹線中山トンネル止水工事におけるストラタパックスコアビットの試験成績

試験日	1981.2.6-8	1981.2.3	1981.3.3-5	1981.3.6	1981.3.31-4.18	
ビット No.	TEST102	TEST103	TEST110	TEST111	TEST112	
ビットサイズ	オーバーサイズ 78NXWL-T	オーバーサイズ 78NXWL-T	スタンダード NXWL-T	スタンダード NXWL-T	スタンダード NXWL-T	
ストラタパックス	No2541 4ヶ	No2541 4ヶ	No2541 6ヶ	No2541 6ヶ	No2541 6ヶ	
ケーシング強化	ダイヤモンド	ダイヤモンド	超硬合金	超硬合金	—	
成績	掘進長 (m)	64.7	104.0	47.3	13.05	52.3
	掘進時間 (min)	490	1980	663	389	910
	掘進速度 (cm/min)	13.17	5.25	7.13	3.35	5.75
穿孔条件	穿孔機	TBM-70	TEL-3	TBM-70	TBM-70	TBM-5 TBM-70
	錐回転 (r/m)	250	250	160 240	190 318	300 250
	荷重 (kg/bit)	300-800	500-1000	800-1000	500-1000	500-1000
	ポンプ	NAS-3C	NAS-3C	NES-100	NAS-4C	NES-100
	送水量 (ℓ/min)	50-60	50-60	50	60	50
送水圧 (kg/m <sup>2</sup> )	2-10	2-8	2-10	2-10	2-10	
岩質	火山砂礫 火山灰 凝灰角礫安山岩 安山岩	火山砂礫 凝灰岩 安山岩	角礫凝灰岩 火山灰	安山岩	安山岩 溶岩 粘土	
状況評価	シャンク外径摩耗 ストラタ摩耗欠損 平均3%	シャンク外径摩耗 ストラタ摩耗欠損 平均5%	超硬合金ブレイキ ストラタ欠損少ない 1%以下	超硬合金ブレイキ ストラタ欠損少ない 1%以下	ストラタ先端欠損 摩耗平均3% ブレイキ作用	

第5表 各種ビットの試験結果

ビットタイプ	平均寿命	平均掘進率
ジオセットビット	388ft	11.9in/min.
サーフェイスセットビット	196	7.1
インブリグネイトビット	303	8.5

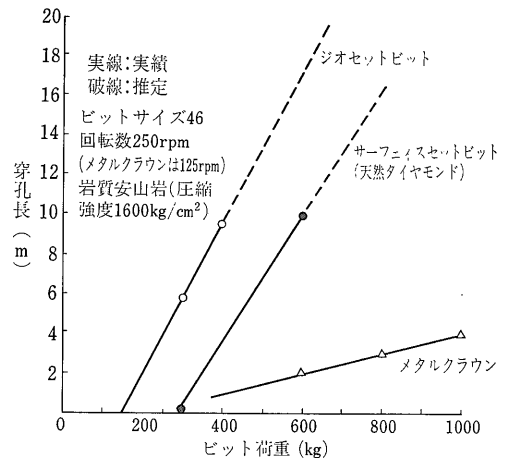
岩質 Nuggett Sandstone (Burgers 1981)

トやジオセットビットに対する 日本における真の評価は明日にゆだねられている。

本稿をまとめるにあたり General Electric Co. 株式会社住友電気工業 および株式会社利根ボーリングの資料に負うところが大きかった。また 同社吉野邦宏合金部長には種々の御援助と御助言を頂いた 三社および同氏に深謝いたします。

引用文献

- 地質調査所試錐課：ボーリング用ビットのいろいろ 地質ニュース No.68 4-9 1960.
- 地質調査所試錐課：新編図解ボーリング便覧 113 ラティス社 1974.
- 株式会社利根ボーリング：昭和56年度（第28回）探査現場担当者会議 1981.
- 中村小四郎：試錐〔Ⅳ〕 259 試錐研究会 1974.
- B. C. Atkins：Australlian Drilling Association Symposium Newcastle N. S. W Jan 18-20 1982.
- J. A. Madigan R. H. Caldwell：55 th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of A. I. M. E Dallas Texas Sep 21-24 1980.
- R. R. Burgers：Drilling Symposium and Equipment Exposition Indianapolis Oct 9-11 1981.
- W. A. Sterba：Canadian Diamond Drilling Association 37th Annual Meeting and Convention May 1980



第8図 ジョセットビットと従来のビットの比較

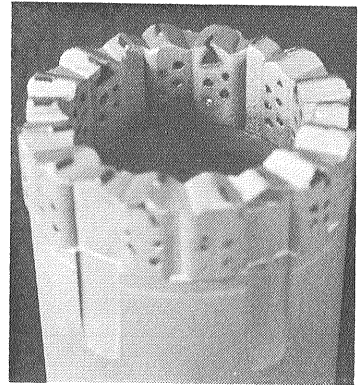


写真11 Ø46mm ジョセットコアビット

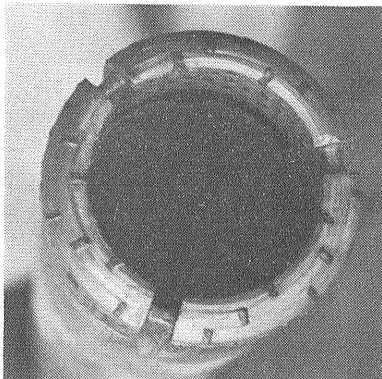


写真12 砂岩（圧縮強度 1400kg/cm<sup>2</sup>）と破碎地層を数m掘削後のジオセットビット (Ø46mm)