

報 文

550.642 : 550.7 (524)

北海道幌満地区における UMP 深層試錐のテストボーリングについて

丹 治 耕 吉*

Test Drilling in the Japanese Upper Mantle Project at the Horoman District, Hokkaido

Kokichi TANJI

Abstract

The main purpose of the deep drilling planned in the Japanese Upper Mantle Project was to obtain some informations of the basement rocks under the Paleozoic geosyncline. Though the deep drilling was given up after all because of the financial obstruction, the test drilling, as a study of efficiency of the new type diamond bit for super hard rock, was carried out in the Horoman peridotites, Hokkaido, in Sept., 1968.

The test of core drilling was tried to 200m in depth with over size diamond bit (o.d. 86 mm, i.d. 43.6 mm) by means of the wire line core barrel of NX size, and further, the reaming test was carried out to 100m in depth with 116 mm reaming bit in the hole which was drilled with the above-mentioned bit.

In consequence of the comparison of bit figures, the followings have been considered, 1) the drilling speed of 12 steps bit was the fastest with the average speed of 47 mm/min. 2) the 3 steps bit life was the longest at the measure of 50m long.

As the result of the reaming test, it was presumed that the reaming speed was 60 ~ 80 mm/min. and the reaming life was 50 ~ 60m per one reaming bit.

1. はじめに

日本の Upper Mantle Projectにおける深層試錐のおもな目的は、日本古生界地向斜下の基盤岩に関する情報を得ることである。学術目的のための深層試錐は、結局、日本では行われなかったが、屈折法による地震探査が、日本列島の古生界地向斜の基礎累層群の詳細な構造や深さを明らかにするため、掘さく上最も有望な3地域に対して短かい測線で行われた(第1表)。

このうち、10,000mという深度が予想されるB帯での掘さくは、現在の試錐技術では困難であるので、B帯は一応除外され、A帯とC帯について検討した結果、地向斜基盤岩の深さはC帯の大歩危の方がやや浅いと推定されるが、地質学的な意義をもつということでは両帯ともほぼ同じである。しかし、A帯の東北日本では地球物理学的資料が多く、熱流量も低い区域であり、また水沢市

には緯度観測所および国土地理院地磁気観測所があった、掘さく後の試錐孔を利用して長期観測を継続する場合に好都合であるという意見もあって、結局、A帯の水沢付近が第1候補に選ばれ、深層試錐に対する技術的検討を進めることになった。

技術的に検討する場合に、試錐深度、最終孔径およびコア径が基本的大前提となるが、これらが明確に決まらないうと、機械設備を初めとして試錐計画を立てることができない。深度は4,000mということではほぼまとまっているが、孔径・コア径は孔内検層、コアの地質学的、物理・化学的研究、さらに試錐終了後の孔内利用(例えば地震計の設置など)などの態様によって左右される問題である。これらの試験・測定に関しては今後の技術開発に対する見通しが確立されていないので、孔径とコア径については懸案事項となっている。孔径・コア径は一応未定であるが超硬質岩を4,000m掘さくする場合、現在の試錐・さく井の掘さく技術の面からいかなる問題点があるか

* 技術部

第 1 表 地質調査所深層試錐先行調査 (地震探査) 一覧表

地域	年度	探査法	測線	目的	結果	担当者
C 帯 大歩危	昭40	地震	35km	三波川変成岩下位の基盤岩の探査	大歩危背斜構造軸部の地下 1.5~2.0 kmのところに 6.0 km/sec 層の隆起部がある	市川金徳 ほか
B 帯 大島	昭41	地震	63km (海上)	伊豆—マリアナ弧の地下地域の探査	4.7 km/sec 層 (四万十層群と推定) の下に 6.4 km/sec 層がある. この深度 15 km	市川金徳 ほか
A 帯 水沢	昭42	地震	56km	シルル—デボン系の変成相と推定される母体層群下位の基盤岩の探査	北上古生層の基盤岩と推定される 6.1~6.25 km/sec 層が水沢市付近で地下 2~3 km のところに分布する.	市川金徳 ほか

を検討するために、深層試錐技術検討会が開かれた。

P波速度 6 km/sec 層という超硬質岩を掘さくする場合、まず考えられるのはダイヤモンドボーリングであり、ダイヤモンドボーリングの掘進能率を左右するものはダイヤモンドビットであろう。基本となるダイヤモンドビットの形状が掘進能率にどんな影響を与えるかをテストするため、北海道幌満地区のかんらん岩体の中でテストボーリングが行われた。

2. 深層試錐に関する試錐技術の検討

A帯の水沢地区における地震探査の解析構造図 (第1図) によると、試錐予定地点では 5.9 km/sec層が地表近くまで現われており、さらに 6.25 km 層も地表下約 2 km のところまで浅く盛り上がっている。この 6.25 km 層がなんであるかを調査するのが深層試錐のおもな目的の一つでもある。このことから 4,000m試錐はほとんど 5~6 km 層を掘さくすることになり、これらの地層は試錐能率の点からかなり堅い部類に入ると推定される。これらの地層を 4,000m も掘さくする場合の問題点を検討するため、昭和43年 5月に試錐技術の専門家に参集を願い、当所において深層試錐技術検討会が開かれた。その時のおもな討議内容を次にまとめてみる。

2.1 最終孔径およびコア径

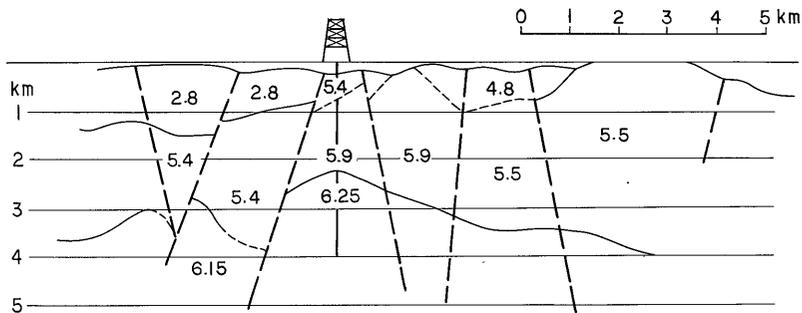
深層試錐は多目的の研究であるため、採取されたコア

は地質研究ばかりでなく、物性・化学成分などの各種の研究に役立つものでなければならない。これらの研究に必要な試料を得るためには、コア径は何 cm 以上なければならないか。またコアは全深度にわたって必要なものか、あるいは spot core でよいものか。さらに完成した試錐孔は各種の検層・観測にも利用されるものであろうが、検層器・観測器の検出部の大きさ (とくに外径) は、現在の技術からみて最少限どのくらいまで小型化することができるか。

このようにコア径や最終孔径、さらにコア採取率は掘さく計画を立てる上に最も重要な基本的課題であって、それによって掘さくツールやケーシングプログラムも決定され、それに引続いて試錐機・ポンプ・やぐらなどの地上主要機械類を検討することになるのである。現在使用されている試錐機にはスピンドル型とテーブル型の 2 型式があり両型式の相違点は次のようであり、型式によってコア径や孔径に差がある。

スピンドル型 現存のツールを使用するとなると N X サイズ (孔径 74.8 mm, コア径 43.6 mm) であるが、これにオーバーサイズビットを使用すると孔径を 80 mm ぐらまで大きくすることは可能である。しかし 6" とか 8½" という最終孔径を期待することは不可能に近い。

テーブル型 現有ツールを使用すると最終孔径は 8½" (216 mm) となるが、掘管の許容範囲から 7½" (193



第 1 図 水沢地区の解析構造断面図

北海道幌満地区におけるUMP 深層試錐のテストボーリングについて (丹治耕吉)

テーブル型とスピンドル型のおもな相違点:

区 分	主要用途	機械設備	掘さく方向	孔径と深度	コアリング	給圧機構	回転数 r.p.m
テーブル型	石油・ガスの探査・採取	一般に大型	垂直 (途中から孔曲げ可能)	大孔径 200 mm 大深度 5,000 m	コア径 90 mm スポットコアリング	孔底ビット直上のドリルカラー	50~200
スピンドル型	金属・非金属鉱床の探査	一般に中小型	360°	小孔径 80 mm 中深度 2,500 m	コア径 45 mm オールコアリング	地上試錐機のスピンドル	100~1,000

mm)までは小さくすることができる。この場合 spot core であるとコア径は $3\frac{1}{2}$ " (89 mm) になるが、オールコアリングが要求されるとワイヤーライン工法を使用しなければならないので、コア径は 2" (51 mm) となる。それよりも一段細い掘管を使用すれば最終孔径を $6\frac{1}{2}$ " (165 mm) にまで小さくすることはできるが、ビット径を小さくすれば、それだけビットライフが短くなり、掘進効率に影響するばかりでなく、掘管や事故回復用具の大半は新規に求めなければならない。

2.2 掘さく技術

スピンドル型 南ア共和国では金鉱床探査のために深いボーリングが多数行われているが、最も深いのは Bothaville の近くで行われた 4,300m のボーリングである (1960年3月~1962年3月, 第2図参照)。珪岩などの硬い岩石を NX サイズで掘りはじめ、深度 250m から BX サイズ (孔径 59.2 mm) に変えて、そのまま孔底にまで達している。

日本でも四国の結晶片岩地帯で金属鉱物探査促進事業団による地質構造調査のために 2,500m、さらにその孔を利用して 2,700m までボーリングした例がある。その時は孔径 100 mm からはじめて最終孔径 56 mm で、途中大きな事故もなく掘進を終了している (第2図参照)。この実績からみても試錐機・やぐら類を補強すれば小孔径でも 4,000m 程度までは掘進可能とみている。

コア採取は小孔径用ワイヤーラインが発達してきているので、そうむずかしい問題ではないであろう。前記の四国の 2,500m 試錐ではロッド昇降とワイヤーライン操作に費やした時間は全作業時間の 33% にしか過ぎなかった。問題はビットライフとコア詰りであろう。南アの珪岩ではビットライフは 6~15m 程度であり、良くても 30m ということなので、このために行われるロッド昇降は大変なものであり、その時間的比率は 1,800m で 50%、3,000m で 80% にも及んでいる。

最近わが国でもリトラクタブル ドリル システム (Retractable drill system) の技術がようやく開発の端緒につきはじめてきている。この方法はロッドを昇降させ

ずに刃先のビットだけを取換える方法であって、このシステムが深層試錐にも適応できるようになれば、深層試錐の技術的問題の大半が解決されたものとみてもよいであろう。

テーブル型 油井用機械の深度記録では米国で 7,400 m (1969年)、西独で 6,000m (1961年)、わが国でも約 4,800 m (昭和41年) の実績がある。しかし火成岩などの硬岩に対しては掘さく経験もあまり豊富ではない。火成岩などの例では、米国で火山岩を 4,200m、ソ連では堆積岩 2,000m、下の花崗岩を 1,800m、わが国では岩手県の地熱発電用孔井で火山岩を 1,400m (ただし最深部約 200m は堆積岩) 掘ったのがレコードである。火成岩や変成岩の掘さくに対してはダイヤモンドビットやボタンビットなどを特別注文しなければならないし、回転と給圧などの掘進技術については多くの研究を重ねなければならないであろう。

2.3 泥水と孔曲り

ボーリングには泥水問題がつきものである。しかし火成岩や硬質岩であれば孔壁崩壊の心配もあまりないので、スライム排除と潤滑性 (地温の高い場合には耐熱性) に重点を置いた泥水を研究すればよいであろう。硬岩のスライムは刃先を傷つける性質があるので、ビット部から早急に洗い去るように流速を考慮しなければならない。

ボーリング孔は孔曲りするものであると一般に考えられている。しかしそれは孔曲りの程度と調査精度の問題であって、掘進作業に支障をきたすような孔曲りであれば、途中でその孔を放棄しなければならない事態も起りうる。また実際には割れ目・断層・変質帯に遭遇すると、そこで急角度に孔曲りを起す傾向にあるので、それに対応した掘進技術を向上させるとともに、あらゆる事態を想定して孔曲り矯正の技術が確立されるよう要望されている。

2.4 掘さく機械設備

テーブル型 T-130型 1台 (公団)、T-110型 (帝石) はいずれも 5,000m 級の優秀機で、UMP の目的を果す

能力は充分にある。このほかにも4,000m級、3,000m級の機械が多数あって、いずれも間断なく稼働している。それ故各社とも年間計画に従って作業を進めているので、かなり前から実行計画に対する交渉が必要であろう。

スピンドル型 今までの経験から3,000m程度であるならば、現有設備の若干の改良で間に合うであろう。しかし、4,000mとなると巻上機と試錐機とを分離する必要がある。すなわち試錐機本体が過大に大型となり運搬に不便となるばかりでなく、分離した方が製作上経済的である。いずれも新規に試作しなければならないので、それ相当の製作期間が必要である。

2.5 工事期間

4,000mの場合はもちろんのこと、3,000mの場合でもオールコアリングということになると工事期間は2年度にまたがることは必須である。

テーブル型 前記のように各社の年次計画があるので、予算内示の時点と会社の計画決定の時期との調整が問題である。第三紀層の場合には5,000mを仕上げるのに約160日位の期間を要している（その後石油開発公団では、新潟県升湯基礎試錐で深度5,015mを113日で達成し……昭和43年7月10日～同10月30日、同じく下五十嵐基礎試錐では深度5,006.7mを94日間で掘り上げている…昭和43年2月7日～同5月9日）。

スピンドル型 四国の2,500mでは掘さく期間に190日要していることから（昭和40年5月25日～同11月30日）、4,000mを無事故で掘った場合、約9～10カ月を要するであろう。

2.6 その他

1) 地質および地質構造が全然不明なので事故対策を立てにくい。このため工事を途中で中止せざるをえない場合も考えられる。

2) 掘さく技術の中では特に孔曲り防止が一番問題となろう。

3) 孔内温度も湧水の化学成分もまったく予想がつかないので不測の事故を招く危険性がある（地質専門家の話では東北のA帯では地熱流の少ないところでもあるので、4,000mでも150℃以内であろうと推定している）。

4) 要するにテーブル型でもスピンドル型の場合でも4,000mをオールコアリングするのであれば、数億から10数億円の費用が必要であろう。

3. 北海道幌満におけるテストボーリング

3.1 テストボーリングの目的

地質条件、深度、孔径（コア径も含む）および掘さく経験からみて深層試錐を計画する場合、掘さく機器およ

び掘さく技術上のような問題点があるかという、きわめて多岐分野にわたって考えられる。装置および材質関係の研究は多額の費用や時間を要することでもあり、深層試錐の実行段階というタイミングもあるので早急に解決される問題でもなく、またメーカーが中心となって検討すべき事項でもある。

そこで地質調査所としては差し当り検討しておく必要のある技術的問題として超硬岩に対するダイヤモンドビットの研究を取り上げることにした。幌満におけるテストボーリングの目的は、UMPにおいて計画中の深層試錐を能率的に、より効果的な成果を上げるための予備研究の一環として行うので、超硬岩に対する掘さく特性、ダイヤモンドビットの適応性などを試験することを目的としている。

3.2 ビットの性能テスト

ダイヤモンドビットの掘進能率に影響を及ぼす要因として一般に考えられているのは、大別してビットの形態と掘さく技術である。

A：ビット形態

- 1) ビットの形状（ステップ数、切削断面積、逆テーパ、ラウンドの形など）
- 2) ダイヤモンド（種類、粒の大きさと数、配列、突出量など）
- 3) マトリックスの性質
- 4) ウォーターウェイ（寸法、本数）
- 5) ビットの寸法（特にクリアランス）

B：掘さく技術

- 1) 回転 { コア詰り } も含む
- 2) 給圧 { 孔曲り } }
- 3) 循環水（種類、送水量、ポンプ圧）

C：その他

- 1) 地熱温度
- 2) 地質構造（亀裂・破砕帯）
- 3) 湧水・逸泥

これらを色々に組合わせてビットの性能を総合的に検討していくのが本来の姿であろうが、予算・期間などの関係から一応下記のようにテスト項目をしぼって検討することにした。

1 硬岩の深層試錐の場合には当然ワイヤーライン工法の採用が考えられるので、できるだけ現状を想定して、孔の大きいワイヤーライン用コアリングビットと掘孔ビットの性能テストを行うこと。

2 コアリングビットについては、かんらん岩の掘進に適切と思われるものを3種類準備させ、それらについて比較検討すること（テストでは3段、7段、12段のもの

のを使用した)。

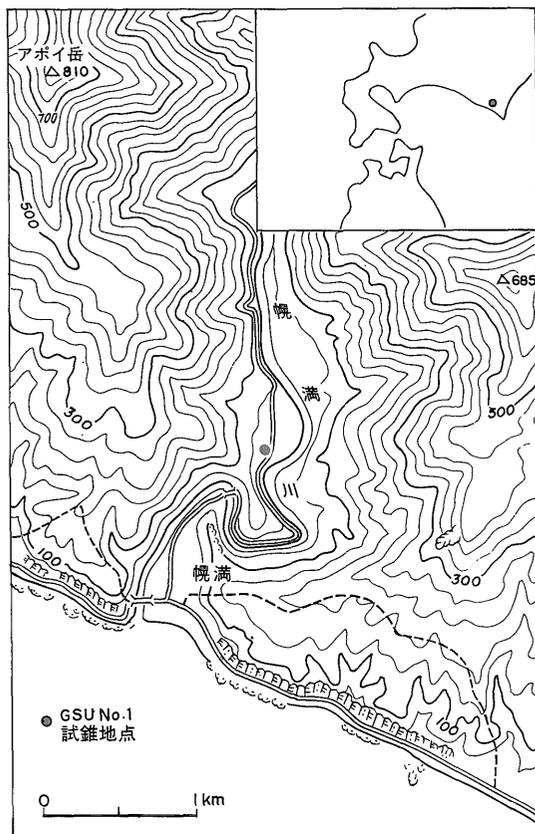
3 回転と給圧は掘進能率とビットライフに影響を及ぼすことは当然であるが、今回のテストではビットの形状について検討することを主目的としたので、回転も給圧も常識的に考えられる範囲内で一定に保つように心掛けた(テストでは一定掘進長を20m以内とし、回転を260 r.p.m., 給圧を1,600 kg/cm², 送水量を100 l/minを基準とした)。

4 ダイヤモンドの磨耗状態を研究するために、ビットの製作時とリセット時の2回にわたって実体顕微鏡で撮影すること。

5 当所試錐課で試作した岩石掘さく抵抗記録装置を使用し、掘進状態を記録すること。

3.3 地質概要と位置選定

北海道幌満地方は北海道の中央脊梁山脈を構成する日高変成帯の最南部に位置する。幌満かんらん岩体は日高変成岩を貫く深成岩類の一部である。岩体は種々な超塩基性岩相からなっているが、この地点にはかんらん石を主とするダンかんらん岩相が分布しており、かつきわめ



第3図 試錐位置図

て新鮮な岩石からなりたっているということで、テストボーリングの位置が様似町幌満地区の幌満川流域に選定された。

3.4 工場施設の概要

工事名：地質調査所試錐 GSU-1号

工事会社：利根工事㈱

(現場長 小林勇太郎)

位置：北海道様似郡様似町幌満

工事期間：昭和43年8月17日～同10月15日

主要機械・器具

試錐機：利根TBM-2型

公称能力：NXWLで450m

総重量：1,800kg (最大分解重量350kg)

寸法：高さ1.62×巾1.10×長さ1.96m

巻上げ能力：シングルで最大4t

原動機：15kW モーター

ポンプ：利根NES-100型

型式：複動2連高圧式

容量：最大100 l/min

圧力：最高50 kg/cm²

原動機：3.7kW モーター

やぐら：鉄製4脚、高さ12m (3本切)

ボーリングロッド：NXWL ロッド (O.D 70 mm, I.D 60 mm, 重量 8.1 kg/m)

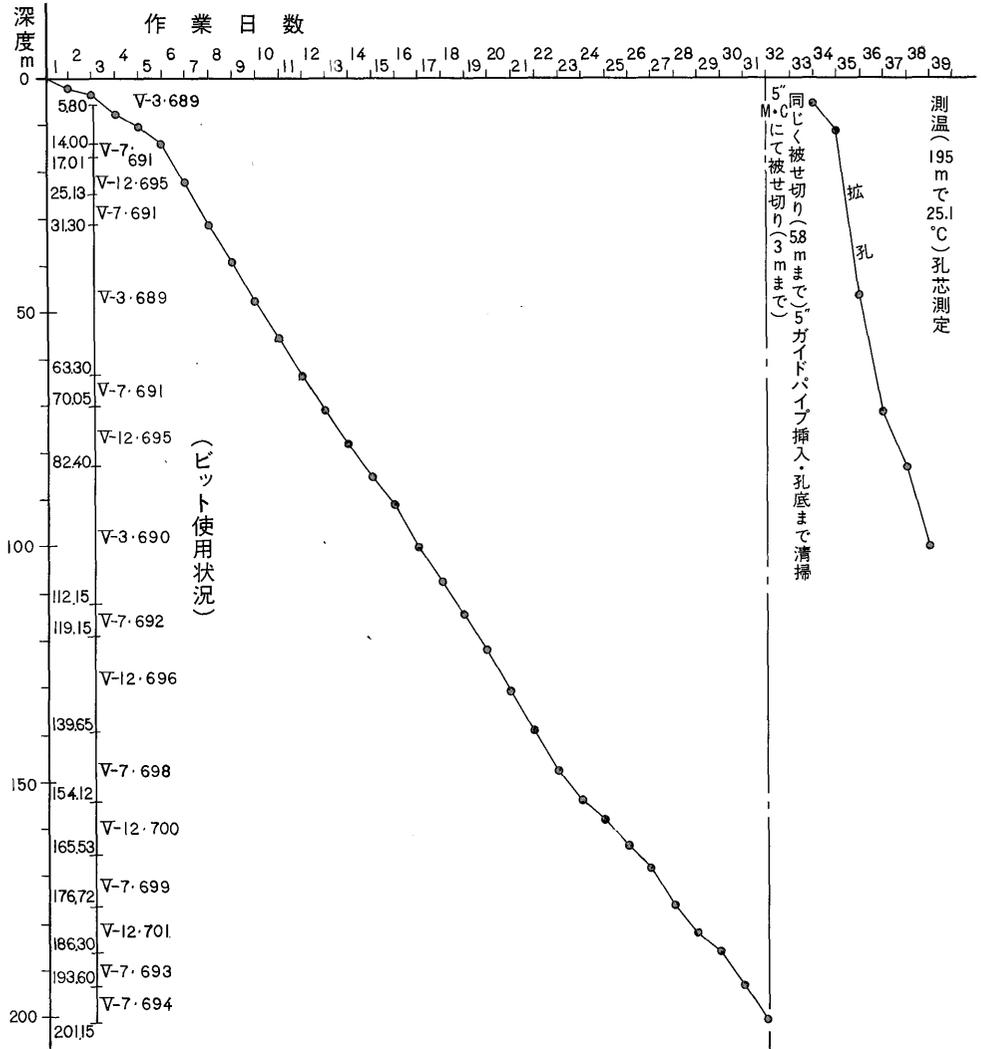
3.5 掘進作業概要 (第4図)

1) 昭和43年8月29日に掘進開始。平型ビット150mm径で掘り始めたが、砂利および硬質の玉石層であるため逸泥が多く、ビット抵抗も激しく、刃先の損耗も非常に多いので、深度2.4mから101mm径のメタルクラウンに切換えた。深度5.8mにて着盤したので、直ちに97mmケーシングパイプを挿入し、管尻のセメンテーションを行った。

2) 深度5.8mから201.15mまでは86NXWL-Vの特殊ビット(外径86mm, 内径46.63mm)を使用してテストボーリングを実施した。

深度5.8mから14mまでは一部蛇紋岩化したかんらん岩で、深度14~17mの間は変質作用を受けない硬質かんらん岩であった。深度17mから孔底の201.15mまでは崩壊性の蛇紋岩化したかんらん岩であり(一部粘土化した軟質の蛇紋岩を含むかんらん岩)、ベントナイト泥水を使用して掘進を行った。しかし深度63.3m付近から泥水のゲル化が激しくなりクロム泥水に切換えた。

逸泥：使用泥水は粘速35~37 sec (500/500 cc), 比重1.04~1.06のものを使用し、100 l/minの送水量であったが、深度14mまでは40%の逸泥があり、それ以深では



第4図 掘進作業図

10%程度の逸泥であった。

3) 拡孔作業

深度5.8mまで挿入してある97mmケーシングを抜管するため、125mmのガイドパイプにメタルクラウンを取付け、ケーシングを包み込むように、いわゆる“被せ切り”にて掘進し、深度5.8mに達したところで97mmを抜管し、ガイドパイプをセットした。

深度5.8~7.6mの間では崩壊のためダイヤモンドビットを損傷するおそれがあったので、メタルクラウン(116mm径)で拡孔を行った。深度7.6mから100.5mまでは86×116mmのパイロット式拡孔錐を使用してテストを行った。

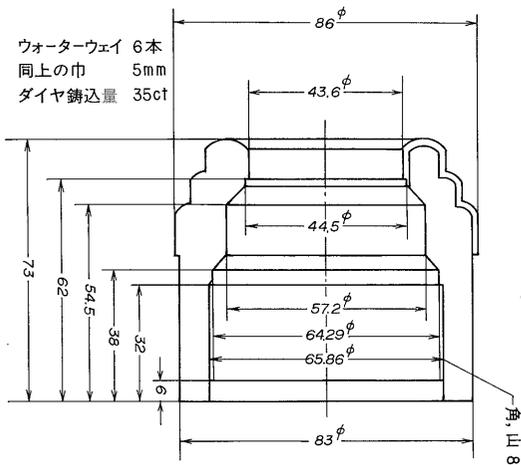
3.6 テストボーリングの結果

3.6.1 ダイヤモンドビット (第5図-a, b, c, 第6図イ, ロ, ハ)

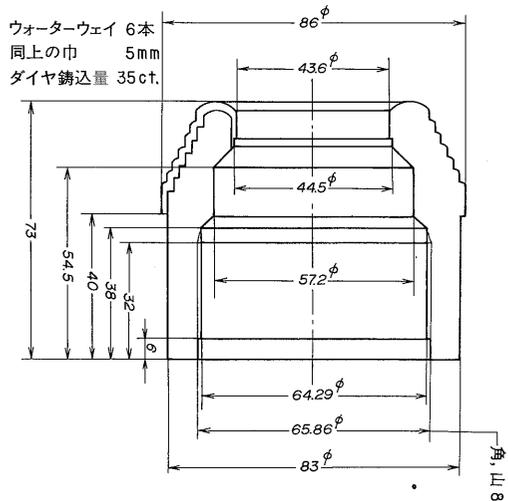
図でみられるようにワイヤーラインコアビットは86mm径のもので、ステップは3段(2個), 7段(6個), 12段(4個)の計12個を使用し、それぞれについて掘進速度、ビットライフ、ダイヤモンドの消耗についてテストし、採取されたコアから各種の物理試験も行い、上記について比較検討を行うことにした。

1) ビットの形状

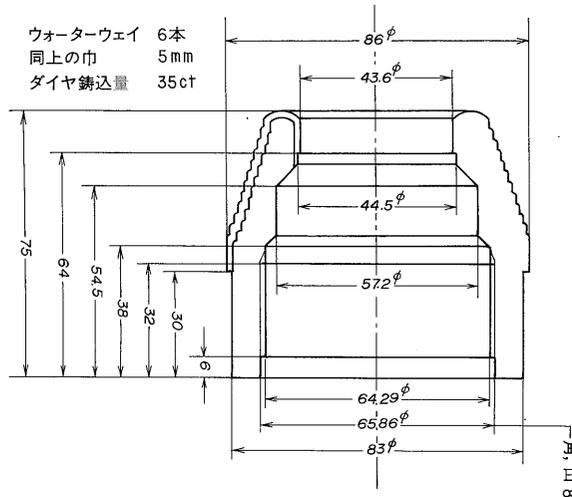
コアビットの切削断面面積は43cm²(内径43.6mm)であるが、四国GSM-5号の2,500m試錐で使用したビッ



第5-a 図 3ステップダイヤモンドビット (86 mm)



第5-b 図 7ステップダイヤモンドビット (86 mm)



第5-c 図 12ステップダイヤモンドビット (86 mm)

トの切削断面積が 36 cm^2 (内径 53 mm) となっているのに比較してかなり大きくなっている。これは $4,000 \text{ m}$ の深層試錐を想定した場合、ポートルングロッド強度の問題からアップセットドリルロッドを使用しなければならないので、このことからインナーチューブが細くなり、これに対応してビット内径が小さくなったのである。

ダイヤモンドは $1/21 \sim 1/23$ 粒度のものを使用し、各ビットごとの鑄込み量、植付け数量、カラット当たりの結晶は、つぎの通りである。

G S M-5 号の場合の 86 mm ビット (この場合は $100 \sim 120 \text{ kg/ct}$) と比較すると給圧が低いようであるが、これも $4,000 \text{ m}$ を想定したためと、実際に掘進してみると非常に破碎された箇所が多かったために給圧がかけられな

かったのが原因である。

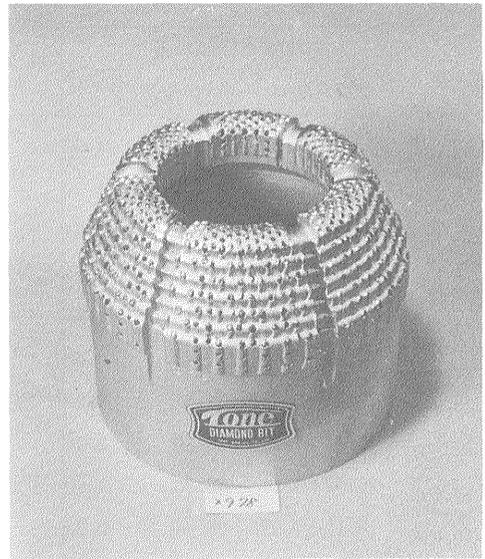
ウォーターウェイは $5 \times 22 \text{ mm}$ (巾 \times 深さ) のものを 6 本配置させた。深度 200 m までの経験では $8 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ の水圧であったが、これから以深で 200 m ごとに 2 kg/cm^2 の上昇を考えれば、 $4,000 \text{ m}$ の深度では 50 kg/cm^2 以内のポンプ圧で納まることになる (ただし泥水の性質にもよる)。マトリックスは今回の地質では破碎帯の多いところであったため T_1 (ロックウェル C スケールで $30 \sim 40$) を使用したが、均質な硬質岩であれば、もう少し柔らかい T_3 (C スケール $10 \sim 20$) の方がよいであろう。

2) ビット試験の結果

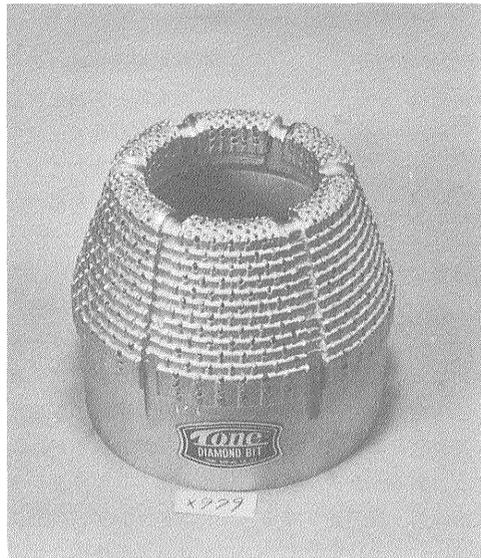
第 3 表から各ステップごとにビット性能の平均値をとってみると、第 4 表のようになる。



a 3ステップ



b 7ステップ



c 12ステップ

第6図 ダイヤモンドビット

第2表 ダイヤモンド植付表

ビット 型式	鑄込量 (cts)	粒 度	植 付 け 数 量 (個)				カラット当給圧 kg/ct			1個当給圧 掘さく面 積 (mm)	
			トップ	ステップ	サイド	計	1,100kg の場合	1,200kg の場合	1,300kg の場合		
V-3	35	1/22	324	330	108	762	}31.4	}34.3	}37.1	}1.57	424
V-7	35	1/21	306	324	132	762					636
V-12	35	1/23	288	396	102	786					672

第3表 ダイヤモンドの消耗および掘進率表

ビット 番号	ダイヤモンド回収状況			消耗量 ct	補充量 ct	補充量 ct/m	掘進長 m	掘進時間 分	掘進率 cm/分
	使用可能 ct	計 ct	スクラップ ct						
新 V-3,689	27.30+4.42	31.72	1.69	1.59	3.28	0.081	40.20	1,395	2.88
〃 V-3,690	29.24+3.45	32.69	1.79	1.52	3.31	0.111	29.75	1,516	1.96
〃 V-7,691	29.47+3.55	33.02	0.64	1.34	1.98	0.124	15.93	580	2.75
〃 V-7,692	24.92+7.53	32.45	1.54	1.01	2.55	0.364	7.00	330	2.12
リ セ ッ ト V-7,698	25.44+7.01	32.45	1.06	1.49	2.55	0.176	14.47	576	2.51
〃 V-7,699	25.87+6.32	32.19	0.66	2.15	2.81	0.251	11.19	546	2.05
ス ペ シ ャ ル V-7,693	30.46+3.55	34.01	0.52	0.47	0.99	0.136	7.30	307	2.38
〃 V-7,694	25.11+4.29	29.40	2.76	2.84	5.60	0.742	7.55	312	2.42
新 V-12,695	28.76+4.54	33.30	1.66	0.04	1.70	0.083	20.47	804	2.55
〃 V-12,696	18.11+7.93	26.04	3.32	5.64	8.96	0.437	20.50	847	2.42
リ セ ッ ト V-12,700	24.43+7.43	31.86	1.70	1.44	3.14	0.275	11.41	636	1.80
〃 V-12,701	26.40+6.49	32.89	0.71	1.40	2.11	0.220	9.58	436	2.20

第4表 ビット形態ごとの平均値表

ビット形態	掘進速度 (cm/min)	ダイヤモンド消費量 (ct/m)	ビットライフ (推定)
3ステップ	2.4	0.094	50m前後
7 "	2.4	0.26	35~40m
12 "	2.27	0.257	45m前後

これらの結果による技術的検討は後記にまとめてある。

3.6.2 リーマの形態と成績

リーマは孔径維持とビット外径の早期磨耗防止および振動防止のために用いられる。今回使用したリーマの外径は 86.5 mm のもので、詳細な設計図は第7図のごとくであり、その外観は第8図のようである。リーマのダイヤモンド鑄込み量および消耗状況は第5表の通りである。

3.6.3 拡孔錐の形態と成績

コア径が物理試験などからあまり大きく限定されない場合は、現存のコア採取器(ワイヤーライン、コアパーレルも含む)を利用し、あとから拡孔した方が能率的であり、経済的でもある。このことから今回のテストでも拡孔錐の性能テストを行った。

拡孔錐は 86 mm 径から 116 mm 径に拡孔する場合をテストしたもので、その寸法は第9図のごとくであり、その外観は第10図の通りである。

拡孔錐のテスト成績は第6表のようであり、この表か

らみて掘進速度は 6~8 cm/minが適当であり、ビットライフも 50~60mと推定される。またテストの結果、拡孔錐および拡孔リーマのダイヤモンド鑄込み量および消耗状況は第7表のごとくであった。とくに拡孔錐の肩部の磨耗が目立ったので、今後の使用に対してこの部の補強が必要である。

3.7 岩石掘さく状態記録装置

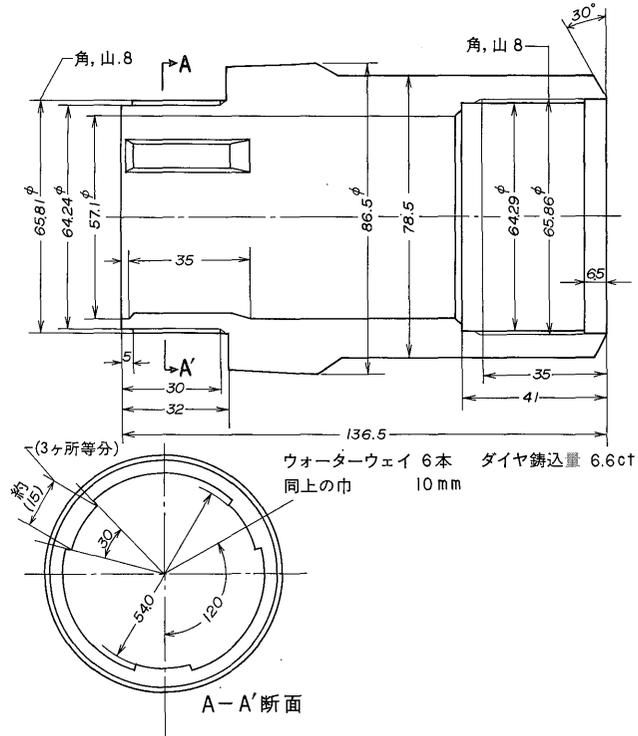
3.7.1 装置の概要

戦後発達してきた油圧式高速試錐機は、鉱山などの探鉱ボーリングに広く利用されてきている。この試錐機の回転は原動機から変速機を経て錐進主軸であるスピンドルに伝達されるが、給進はスピンドルの両側に配置された hidroリックシリンダーに圧油を導入することにより、シリンダー内部に挿入されているピストンとピストンロッドを作動させて達成される。

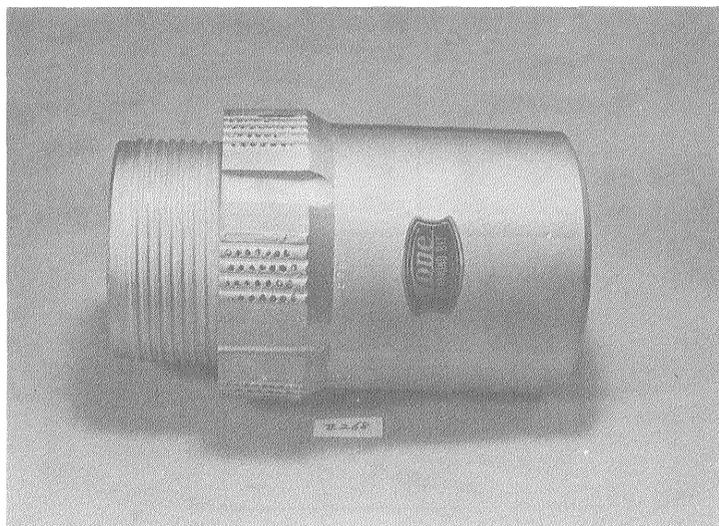
油圧掘進を行う場合(第11図参照)、1)ピストン下部の油圧を開放して(すなわち0にして)掘進する場合(浅尺試錐)、2)コントロールバルブによって上下の油圧を調節しながら掘進する場合、3)上部の油圧を0として下部の油圧のみでバランス掘進を行う場合(深層試錐)の3通りがある。今回のテストでは深度は浅いが、掘さくツールに重いものを使っているの、2)の場合を採用している。

いずれの場合にしても刃先の掘削抵抗(この中には地質変化も含まれている)はボーリングロッドを伝わって

北海道幌満地区におけるUMP深層試錐のテストボーリングについて (丹治耕吉)



第7図 86 mm 用リーマ



第8図 ビット用リーミングシェル

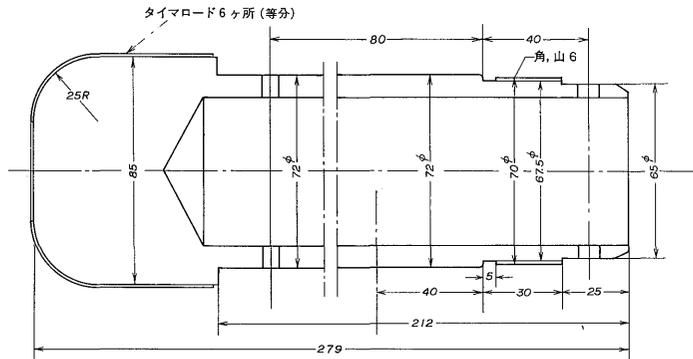
双針油圧計に変化を与える。またポンプの水圧計も地質の変化によって(たとえば泥質と砂質)その違いをはっきりと指針してくれる。このようにゲージの指針は地質の判読に重要な意味をもっているのであるが、ドリラーは常々ゲージのみを観察し続けることもできないし、ゲージの細かい動きは見落とし勝ちであり、また個人差によって観察の読み違いも生じやすい。これらの弊害をなく

し、誰でも均等に判読できるようにゲージの動きを自動記録させたのが岩石掘削抵抗記録装置である。

この記録装置はバッテリー、変速モーター、ブルトン管および記録紙の4つの部分からなり、その配置要領は第12図に示す通りである。バッテリーは12Vのもので変速モーターの電源になっている。変速モーターは記録紙の巻取りに使用され、巻取速度は4 cm/min から0まで

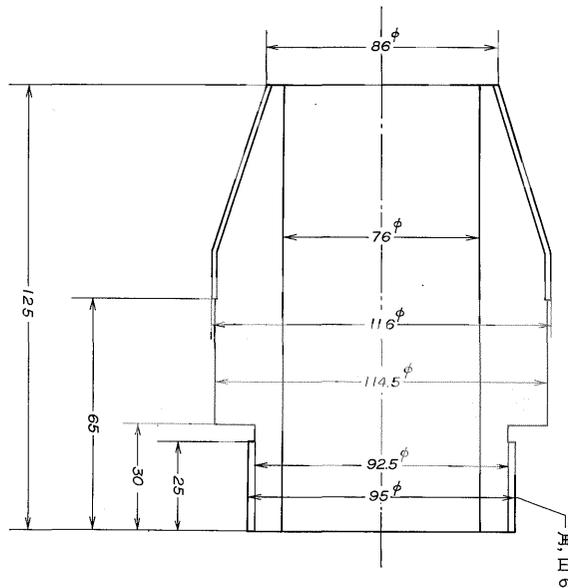
第5表 リーマの使用状況

リーマ番号	鋳込量 (ct)	粒 度	回 収		消 耗 量 (ct)	補 充 量 (ct)	補 充 量 (ct/m)	掘 進 長 (m)
			使用可能 (ct)	スクラップ (ct)				
新品 G 531	7	1/25	3.51	2.80	0.69	3.49	0.037	94.47
〃 G 532	7	1/25	3.92	2.39	0.69	3.08	0.030	100.88



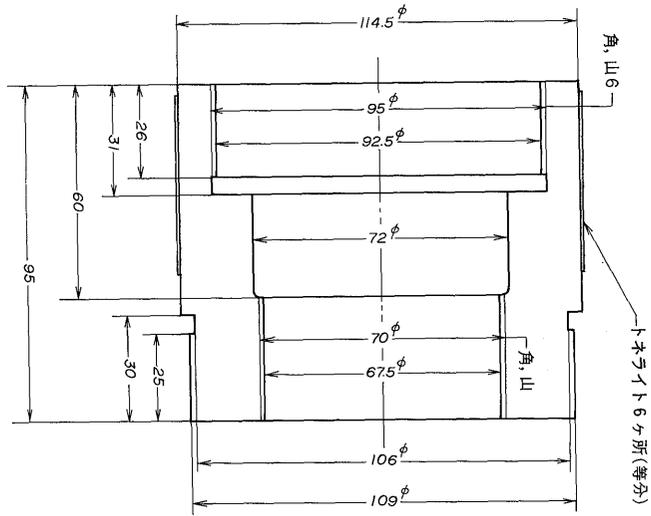
a パイロット

第9図 86×116mmパイロット式拡孔錐

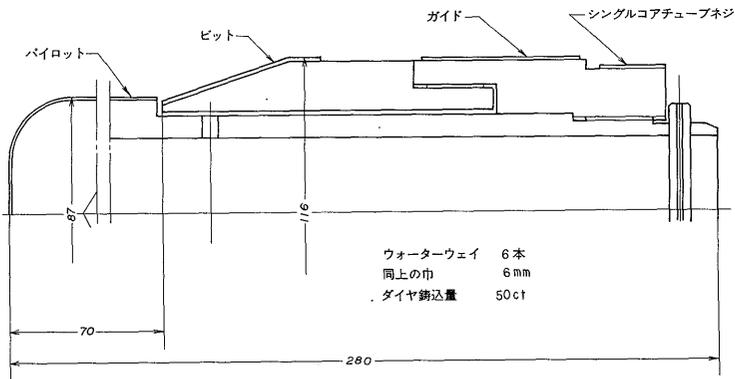


b テーパービット

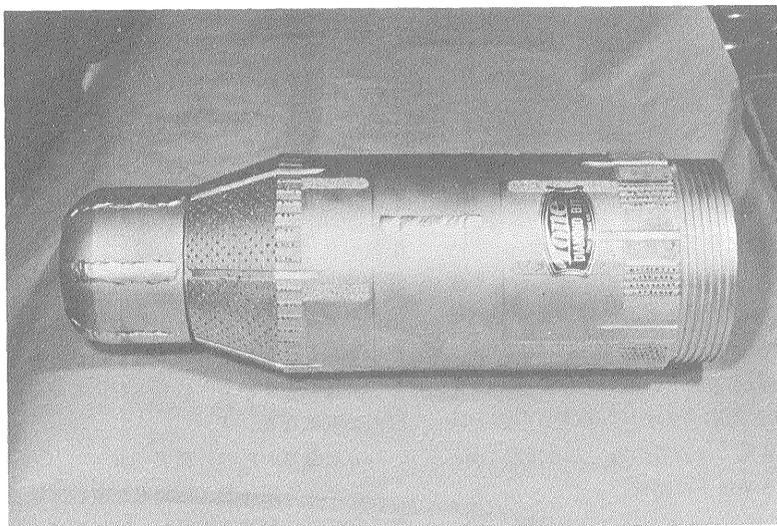
北海道幌満地区におけるUMP深層試錐のテストボーリングについて (丹治耕吉)



c ガイド



d 組立図



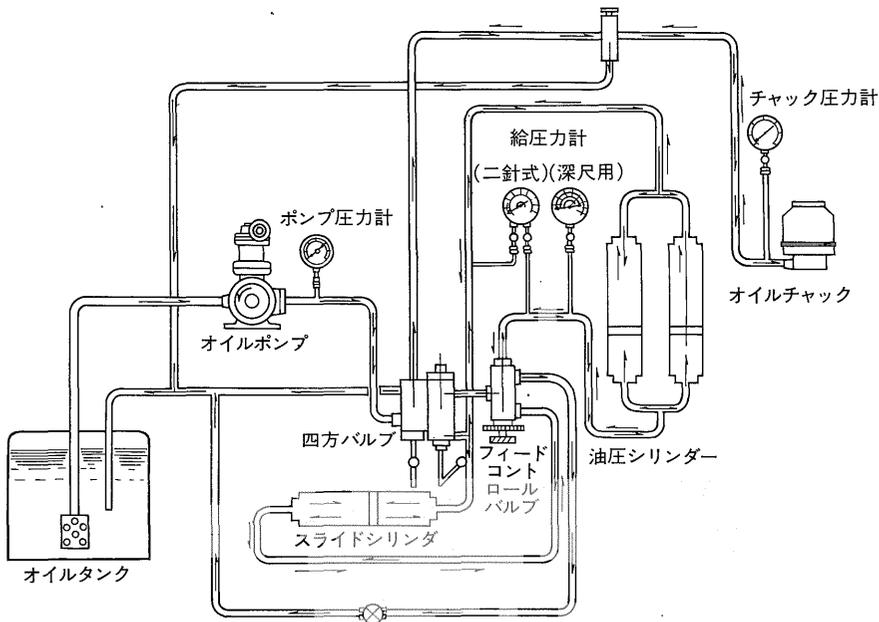
第10図 86×116 mm 拡孔錐

第6表 拡孔錐の成績表

ビット番号	拡孔長 (m)	時間 (min)	平均スピード (cm/min)	給圧 (kg/cm ²)	回転数 (rpm)	送水量 (l/min)	ポンプ圧 (kg/cm ²)	掘さく深度 (m)
697	37.10	563	6.6	1,800	200	100	8~10	8~46
790	53.80	1,164	4.6	1,800	200	100	46~12	46~100

第7表 拡孔錐ダイヤ磨耗状況

種類	番号	鑄込量 (ct)	粒度	回 収			消耗量 (ct)	補充量 (ct)	補充量 (ct/m)	掘進長 (m)
				使用可能 (ct)	計 (ct)	スクラップ (ct)				
拡孔錐	697	40	1/23	30.74+7.64	38.38	0.26	1.36	1.62	0.044	37.10
	790	60	1/20	47.11+5.65	52.76	2.84	4.40	7.24	0.135	53.80
拡孔リーマ	G530	9	1/25	5.50	5.50	2.51	0.99	3.50	0.094	37.10
	G568	9	1/25	0	0	3.53	5.47	9.00	0.167	53.80



第11図 油圧系統図

ツマミ1個で適当な速度に調節できるようになっている。ブルトン管は 20 kg/cm² まで測定できるものを3個使用し、双針油圧計と水圧計にそれぞれ連結されている(第13図)。記録紙の巻取りには上記のように掘進の進行とは別に一定速度で巻取の方法と、掘進速度と連動させながら、すなわち深度と対応させながら巻取の方法とがあるが、今回試作した装置では前者の考え方を採用した。

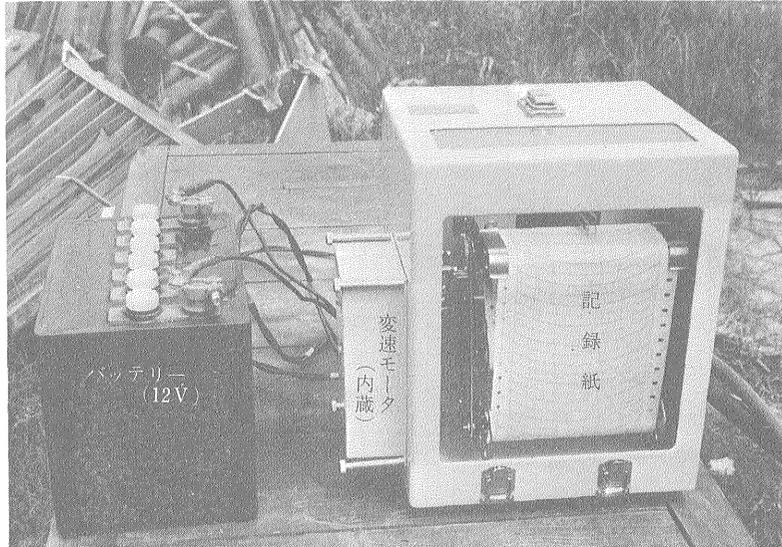
3.7.1 幌満におけるテストの結果

今回のテストボーリングでも本装置の性能試験も兼ねて掘さく状態を記録するために、装置を試錐座の近くに

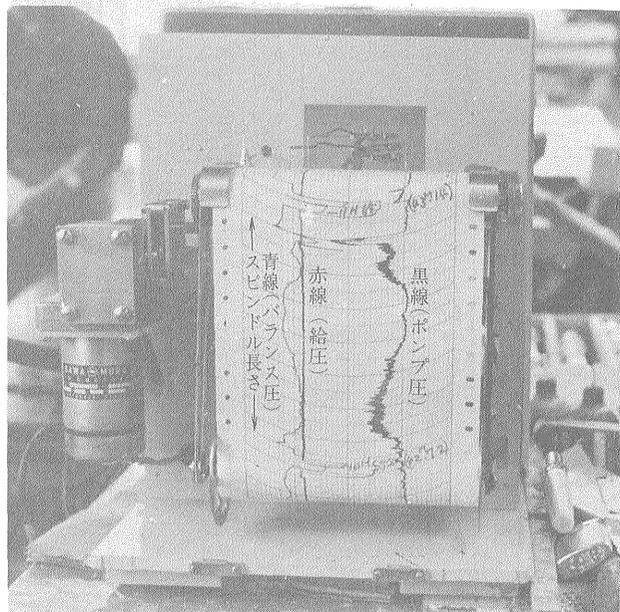
配置した。装置の巻取り速度は 2 cm/min を用いたので、深度 200m の掘進に対して記録紙の全長は約30mにも及ぶ結果となった。原紙をそのまま掲載することは紙面の都合もあり、また解読に不便ということもあって、縮尺して解読しやすいようにしたが、その1例を示すと第14図のようになる。

1. 記録紙からの各種データ

記録紙から読み取れるおもな項目は試錐地質柱状図の参考資料(地質構造も含む)、試錐技術(とくにビットの性能)および現場作業管理などである。



第12図 岩石掘さく抵抗記録装置



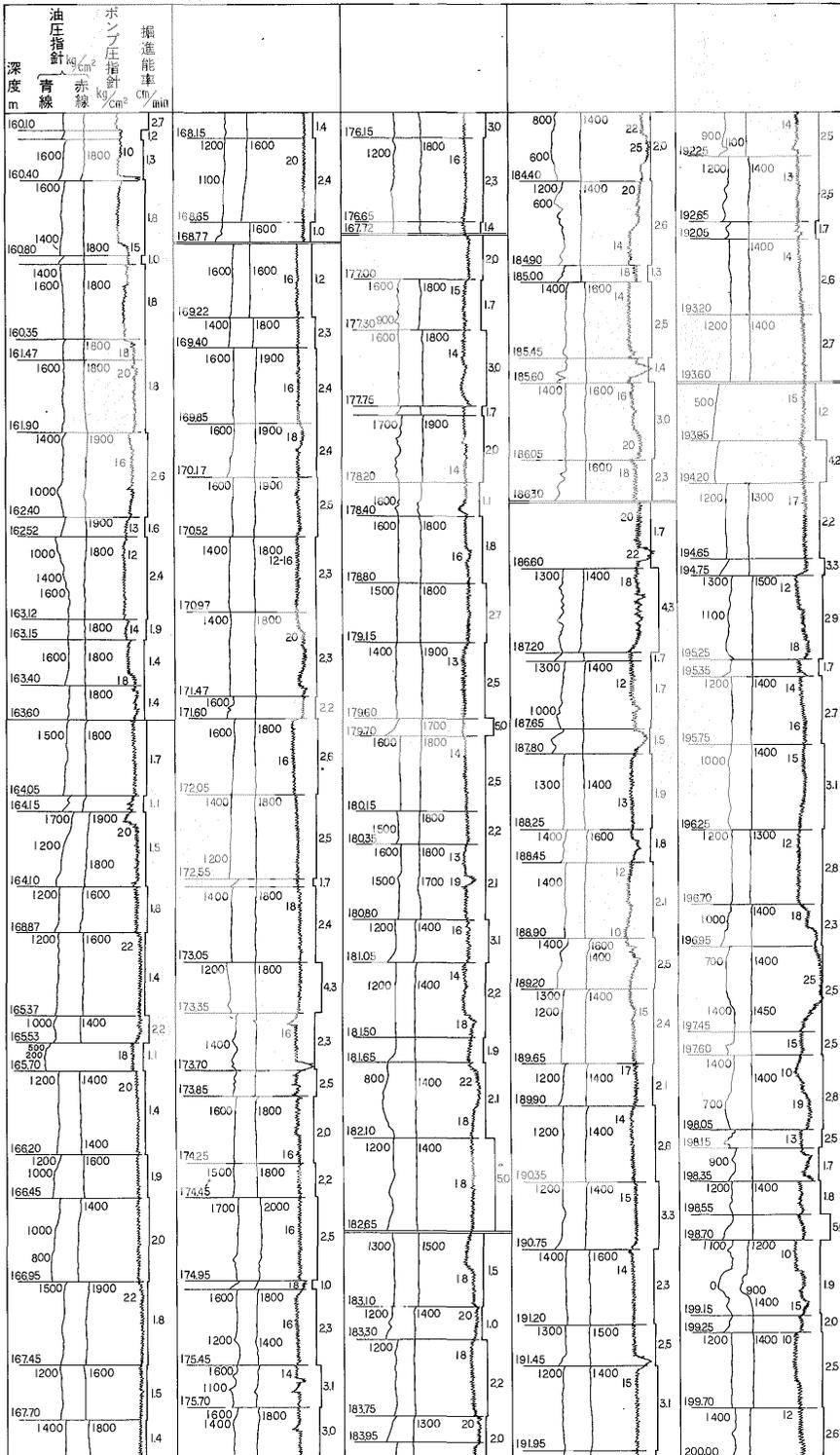
第13図 記録された掘さく状況

試錐地質柱状図の参考資料：

試錐の目的が地質調査とか鉱床探査のような場合には、オールコアリングが建前であるので、もしもコア採取率が100%であると記録紙から地質を判読することはあまり意味がなくなる。しかし採取率が悪いような地質とか、スポットコアリングあるいはノンコアリングの場合には、この記録紙による地質判読がかなり役に立って

くる。すなわち前記のように掘進は油圧シリンダー内のピストンの上と下に圧油が送られ、掘さくツールの重さとバランスさせながら給進していくので、順調に掘進が続けられている間は、ゲージの2針は一定の間隔を保って記録されていく。しかし地質が硬くなったり、あるいはポンプ圧が急に上昇してくると、掘進速度も急に低下してくるので、青針(ピストン下部の油圧を示す balan

地質調査所月報 (第 25 卷 第 12 号)



第14図 掘さく抵抗記録図

ス油圧)は下降の一途をたどり、2針の間隔は段々と広がっていく。このようにゲージの変化によって地質変化をある程度判読することができるのであるが、今回のテストボーリングでは、コア採取率が94%という高率であり、採取されたコアを観察してみると、岩種的にはあまり変化がなかったことから地質判読には効果が少なかったようである。

地質構造の中には亀裂帯、破碎帯、断層帯などがあるが、これらの場所を掘進する場合にはコア詰り、ポンプ圧の急上昇などの現象が現われるので、その位置・巾を確認することは容易であるが、第15図の掘進成績図をみても解るように、全深度にわたって亀裂・破碎帯のところであったために、特定構造をチェックするにはあまり役に立たなかったようである。

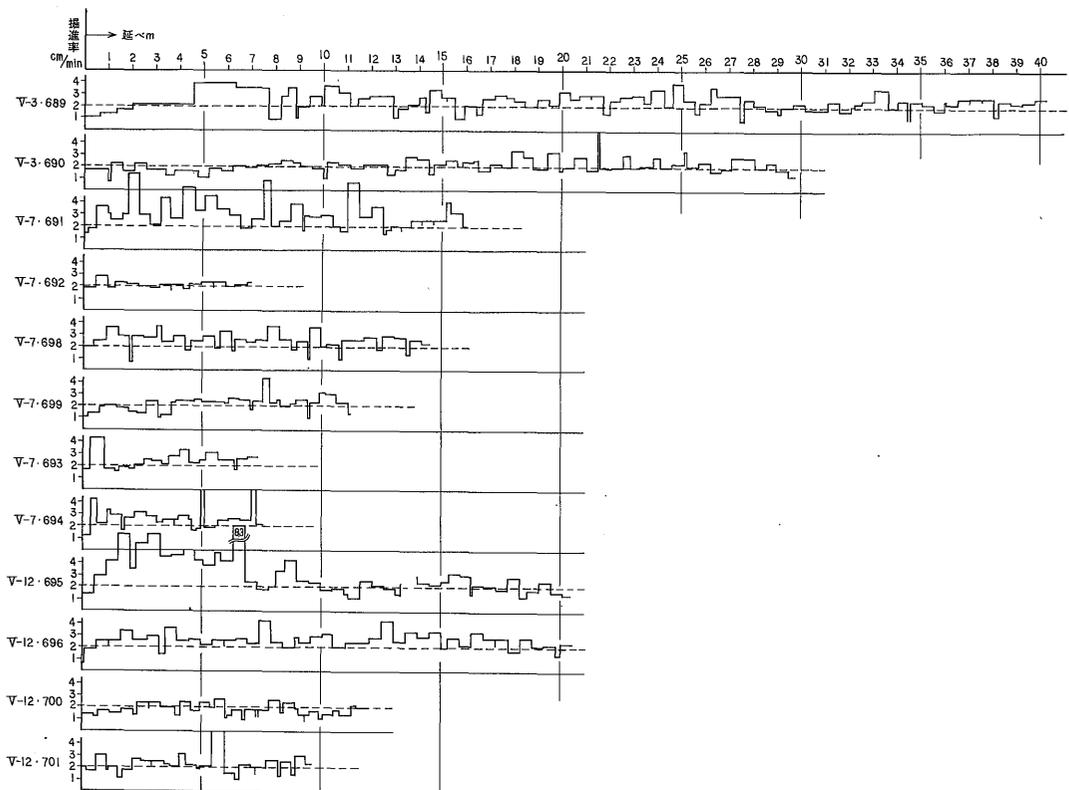
ビットの性能についての検討資料：

ビットの性能を検討するには掘進能率とダイヤモンドの磨耗状態との相関関係を調べればよい。記録紙には one chuck ごとの切換えが明瞭に現われるので chuck ごとの掘進速度を調べることができる。第14図には深度に対応した one chuck ごとの掘進能率を併記しておいた

し、第15図には各ビットについてインナーチューブ引上げごとの掘進能率をまとめてみた。第14図の場合では、もしも掘進が一定条件下に行われたとしたならば、掘進能率は地質の硬軟を現わすことになるので、地質の判読にも役立つという意味から併記した。第15図の場合にはビット性能の中で最も重要なビットライフを、すなわちダイヤモンドの消費量を検討するため、各ビットごとにまとめたものである。

ビットライフの基準については各鉱山ごとにまちまちであり、ある鉱山では最初 15 cm/min の速度からはじめて 4 cm/min 程度に能率が落ちた時点でリセットに出すところもあり、またある鉱山では 6 cm/min 程度からスタートして、1 cm/min に落ちた時点でビットライフがきたと判定するところもある。今回の結果ではそのような大きな低下はみられなかったし、いずれのビットもまだ使用可能の状態であったが(第16図参照)、ダイヤモンドの磨耗状態などから判断して第4表のごとく、3段では50m前後、7段では35~40m、12段では45m前後と推定している。

各ビットともほぼ一定の条件(給圧と回転)で掘進を



第16図 各ビットごとのビットライフ検討図

行ったが、掘進速度については各ビットともあまり大きな変化はみられなかった(第14図の中で、所々に飛びぬけているのが見られるが、これは地質に関係した結果であろう)。わずかにいえることは段数の多いほど掘進速度は早いようであるが、その反面、段数の多いほどダイヤモンドの磨耗が多く、すなわちビットライフは短いようである。

現場作業管理：

本研究の主題にはあまり関係のないことであるが、現場における掘進作業、付帯作業および雑作業などの作業管理が把握できるとともに、孔内事故が発生しそうな状態に対して警鐘を与えることもできるし、もし事故が発生した場合でもその原因を究明することによって、回復対策が立てやすくなる。

3.8 孔芯測定・温度測定

86 mm NX ワイヤラインにて深度 201.15 m まで掘

進完了した時点で孔芯測定を行う計画であったが、測定器故障のため 116 mm 拡孔終了後に測定を行った。

測定器は村田式坑井傾斜儀を用いた。測定結果は第17図のごとくで、水平偏距は深度200mのところまで 48.8 cm となった。

温度測定は溜点温度計を使用し、深度 195mのところまで 25.1°C を検温した。この時の外気温度は 10°C であった。

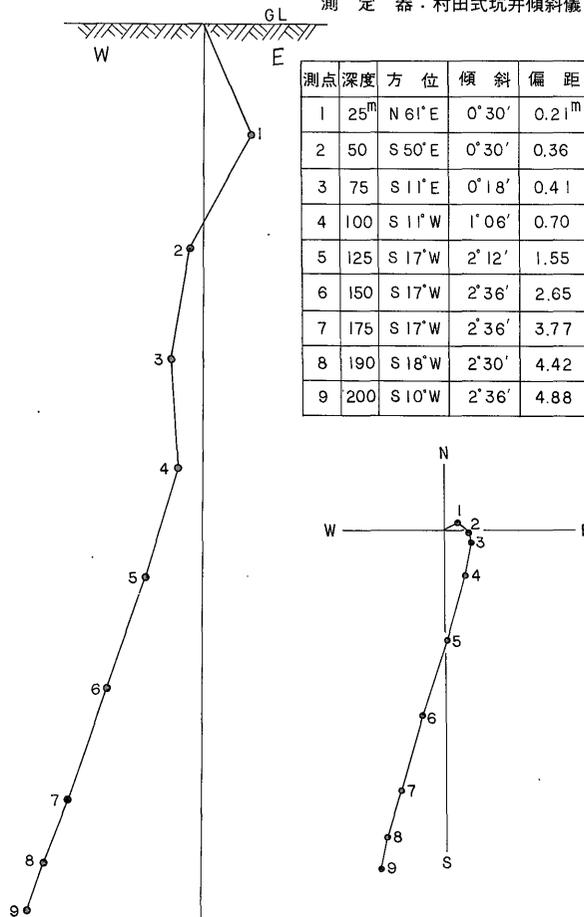
4. ま と め

4.1 ダイヤモンドビット

4.1.1 断 面 積

4,000m級のボーリングを設定した場合、ロッドの強度とかスライム排出などの孔内条件からビットゲージのクリアランスを大きく取る必要があり、今回のテストのように肉厚のビットを設計した。このため掘さく断面積は大きくなり、通常給圧では掘進が困難になるのではない

測定年月日：昭和43年10月9日
測定器：村田式坑井傾斜儀



第17図 日高GSU-1号孔孔芯測定図

かと懸念されたが、実際に掘ってみると、非常に硬い部分は3mぐらいいしか続かず、ほとんどが掘さく容易な中硬岩であったために、給圧は1,600kg程度で充分であった。したがって給圧・回転の操作によってビットライフ・掘進速度に多少の変化は生ずるが、ビット効率は全般的に確保できたものと思われる。

4.1.2 形状

今回のテストボーリングでは3段、7段、12段の3種類、計12個のビットを製作し、それらの性能比較試験を行ったのであるが、第2表、第3表および第16図をみても解るように、段数の違いによる差異は明瞭には現われなかった。このことは試験ビットの個数が多過ぎたこと(あるいはビット個数に対して深度が浅過ぎたこと)、および全深度にわたって亀裂・破砕帯が多かったことにおもな原因があったようである。

強いて各段ごとの比較を行うと、ビットならし終了後(時間にして2~3分後、深度にして4~5cm掘進後)、100分間における掘進速度を測定し、その値から最小二乗法を用いて算出した結果、3段ビットでは掘進速度が4.1 cm/min (給圧1,300kg)、7段では3.3 cm/min (1,200kg)、12段では4.7 cm/min が適当であると推定された。地質がもっと硬質であれば、低給圧で、しかも掘進速度の速い12段が最も能率的であると思われる。

また掘進速度が1 cm/min に低下するまでのビットライフは、3段ビットで50m前後、7段では35~40m、12段では45m前後と推定される。要するに3段と12段とを比較すると、植込みダイヤモンド粒の大きさにも関連して、ビットライフは段数の少ない方がよく、掘進速度は段数の多いほどよいということがいえる。今回のテストビットの中で、7段ビットにきわめて成績不良のものが見られたが(No. 694)、これはとくに破砕帯の多いところを掘ったか、あるいはボルトの配列やその他の設計の誤りではないかと思われる。

結果論となるが、深度200m程度でビット試験を行う場合には4~6個が最も良い結果をうるものと思われる。

4.1.3 ウォーターウェイ

今回設計したウォーターウェイ(巾5mm×深さ2mm×6本)は一応満足行くものようであった。深度200mまでは8~10 kg/cm² のポンプ圧であり、それ以深では200mごとに2 kg/cm² の割で上昇するものと考えれば、4,000mの深度では50 kg/cm² 以内のポンプ圧ですむことになる。

4.1.4 マトリックス

予定よりも軟らかい破砕の多い地質であったため、T₁タイプ(ロックウェル、Cスケール30~40)のマトリッ

クスが適合したが、均質な硬岩層に対してはT₃タイプ(Cスケール10~20)程度がよいように思われる。

4.2 拡孔錐

拡孔錐については当初の計画通り第10図に示すようなテーパー形が効果的であった。実際の拡孔速度は6~8 cm/min で、拡孔ライフは50~60mであった(給圧1,800 kg前後、ポンプ圧8~10kg、回転200 r.p.m.)。使用後のダイヤモンドの観察では、肩部のダイヤモンドの消耗が他の部分と比較して多いようであったので、今後はこの部の補強が必要であろう。

86 mm 径を116 mm 径まで拡孔するのであれば116 mm 拡孔錐1回の使用で充分であり、また最終孔径が116 mm であるならば、86 mm 径で先行し、その孔を拡孔していった方が能率的であろう。

4.3 超硬岩の掘さく特性について

破砕帯と均質岩とはビットにかかる負荷が異なるので今回のビット試験から超硬岩に対する掘さく特性を決定づけることは困難であった。したがって今回試作したビットが超硬均質岩に適合するか否かは、今後も研究を継続する必要がある。

4.4 コア採取率と物性試験

全深度にわたってオールコアリングを実施した結果、破砕帯にもかかわらずコア採取率は93.6%に達し、地質研究には充分な資料と思われる。

前記のように全深度にわたって亀裂・破砕帯が発達していたため、物性試験に適する試料はほとんど見当たらず、ようやく15個(平均14m当たり1個の割)を摘出した。おのおのについて弾性波速度(p波)、圧縮強度、引張強度、ショアー硬度および密度の試験・測定を行った。これらの結果については別の報告書(掘進率と岩石物性について)にまとめる予定である。

参考文献

- 地質調査所編(1968): 国際地球内部開発研究(U MP), 深層試錐計画。
 GARRETT, W. S. (1965): Core Drilling in South Africa. Drilling for Scientific Purposes. *G. S. of Canada*, p. 179-203.
 市川金徳(1968): 四国大歩危周辺地震探査について(深層試錐の位置選定の先行調査)。調査所月報, vol. 19, no. 6, p. 21-31。
 ———(1969): 水沢周辺地震探査について(U MP 深層試錐の先行調査)。調査所月報, vol. 20, no. 4, p. 23-35。
 Japanese National Committee for Upper Mantle

北海道幌満地区におけるUMP深層試錐のテストボーリングについて (丹治耕吉)

- Project (1973): *The Crust and Upper Mantle of the Japanese Area, Part I; Geology and Geochemistry*. G. S. of Japan.
- 河内英幸・丹治耕吉 (1966) : 岩石掘さく抵抗記録装置. 地質ニュース, no. 139, p. 16-20.
- ・伊藤吉助・丹治耕吉・加藤 完 (1972): 最近におけるボーリング技術の研究課題 (地球内部開発研究に対するボーリング技術). 地質ニュース, no. 220, p. 120-131.
- ・柳原親孝 (1966) : 構造試錐の概要. 地質ニュース, no. 144, p. 34-38.
- 村山一貫 (1968) : 深掘試錐の変遷と将来性. 日本鉱業会誌, vol. 84, no. 965, p. 6~10.
- 日本鉱業会・日本鉱業協会共同試錐委員会 (1968): 試錐作業における改善対策 (金属鉱山). 日本鉱業会誌, vol. 84, no. 965, p. 42-52.
- The Mining Guidebook (1963): South Africans Punch 2²/₃-Mile DD Hole. *Engineering & Mining Journal*, vol. 164, no. 6, p. 103.