

岩槻深層地殻活動観測井の作井と坑井地質

高橋 博*・福田 理**・鈴木宏芳*・田中耕平***

国立防災科学技術センター

Construction and Geology of the Iwatsuki Deep Borehole Observatory

By

Hiroshi Takahashi, Osamu Fukuda, Hiroyoshi Suzuki and Kohei Tanaka

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Tokyo has repeatedly suffered damages from earthquakes, which were generated just beneath Tokyo and its surrounding areas. Therefore, it is very important to observe crustal activities in this region for earthquake prediction studies. However, this region is located in the Kanto plain, where the base rocks are covered with soft and thick strata of the Quaternary and Tertiary periods. Moreover, because of developed industries and transportations, background noises in this region are extremely high. Owing to such natural and artificial conditions, high-sensitivity observations of crustal activities are very difficult at the surface of the Kanto plain.

Considering such situations, the National Research Center for Disaster Prevention has planned and carried out to construct deep borehole observatories which reach the Pre-Tertiary basement. The first Iwatsuki deep borehole observatory, 3510-m in depth, was constructed at Iwatsuki City which is located at the center of the Kanto plain and about 30 km north from the center of Tokyo in June 1971, and observations of crustal activities have been carried out there since May, 1973.

Since it was the first experience to complete such a deep borehole observatory, many technical difficulties were involved. In this paper, the authors describe technical details of the Iwatsuki deep borehole observatory from the planning to the completion, and also describe the development of other borehole observatories since the Matsushiro observation well of 1966.

Futhermore, many geological and geophysical conditions of the central part of the Kanto plain were clarified through the borehole drilling at Iwatsuki.

The geological sequence of the borehole is outlined as follows:

Formation	Depth(m)	Lithology	Correlated formation	Geological time
A	0~20	silt and mud	Yurakucho Formation	Holocene

*第2研究部, **工業技術院地質調査所(専門委員), ***第3研究部地表変動防災研究室

B	20~447	gravel, silt, sand and mud	Narita Group	Pleistocene
C	447~1039	sand, silt and gravel	Kazusa Group	PlioPleistocene
D	1039~2291	siltstone, sandstone, conglomerate and tuff	Yagii and Tsuchishio Formation	Mio-Pliocene
E	2291~2610	siltstone and tuff	Fukuda Formation	Miocene
F ₁	2610~2754	siltstone and tuff	Arakawa Formation	Miocene
F ₂	2754~2864	conglomerate (quartz porphyry)	Kosono Formation	Miocene
G	2864~3346	quartz porphyry and tuff		Pre-Neogene
H	3346~3510	metamorphic rocks and mylonite	Outer Zone	Pre-Tertiary

The Median Tectonic Line, which divides Southwest Japan into the Inner and Outer Zones, passes through between the Iwatsuki deep borehole observatory and the Kasukabe GS-1 well about 3 km north from the Iwatsuki site.

Many geological and geophysical data were obtained by the geophysical loggings and core sample tests. These data are listed and illustrated in this report.

I. 作井と構造

岩槻井の作井に当り、深層井の地点選定、作井およびその開発に当たっての問題点を述べつつ、その作井内容および構造について述べる。

1. 地点選定

作井地点を選定するには、その平面配置、基盤深度、地質条件、作業上の条件等の必要条件を明らかにする必要があった。

1.1 首都圏の地質構造と基盤深度分布

関東平野下の地質構造はまだ十分には解明されていない。ここでとりあげる東京周辺、すなわち首都圏の地下の基盤構造には、西南日本地質区の要素が強く認められる。すなわち、この地域の地質は、北西方から東北向に走向を転じて、関東平野を横断する“中央構造線”を境として、花崗岩の分布が特徴的な北部と、三波川結晶片岩帯ならびに秩父古生層と、それに続く地層が帯状に分布する南部に分けられる。これらの岩石を基盤として、この上に新しい地層が不整合で、先上総新第三系、上総層群、成田層群、有楽町層の順に重なる。全体の構造は盆状を呈し、中心部付近が最も深く、周辺部に行くに従い、成田層群、上総層群、先上総新第三系の順に地表に露出してくる。基盤の深度は、全体としては盆地状構造をなしているが、実際には凹凸が著しい。しかも、天然ガス鉱床の発達している千葉県下の一部を除いて、基盤に達した試錐は多くなく、その最深部は多摩丘陵南部下とされ、深度は 6 km かそれ以上であろうといわれているだけで、東京西部から南部にかけては、基盤の状況は全く不明の状態にあった（福田・他、1974）。本計画に取りかかった頃、入手し得た基盤深度分布（石井、1962）を図 1 に示す。

1.2 配置計画

東京をとりまく深層観測井（以下深層井と略す）3 井の配置計画をまず立てた上で、その第 1 井の作井地点を選定した。

1.2.1 方 針

東京は高密度市街地が広く発達しているため、4 km 級の観測井を作井するに必要な用地を確保することが困難である。そこで高密度市街地の外周、都心（日本橋）から半径 25 乃至 30 km の所に観測地点を選ぶこととした。上述のごとく基盤深度分布が東京の西方から南方にかけては不明であり、多摩丘陵附近の低重力域がもっとも深いといわれていることから、東京を北面からかこむこととした。

1.2.2 作井深度と地質

イ. 作井深度限界

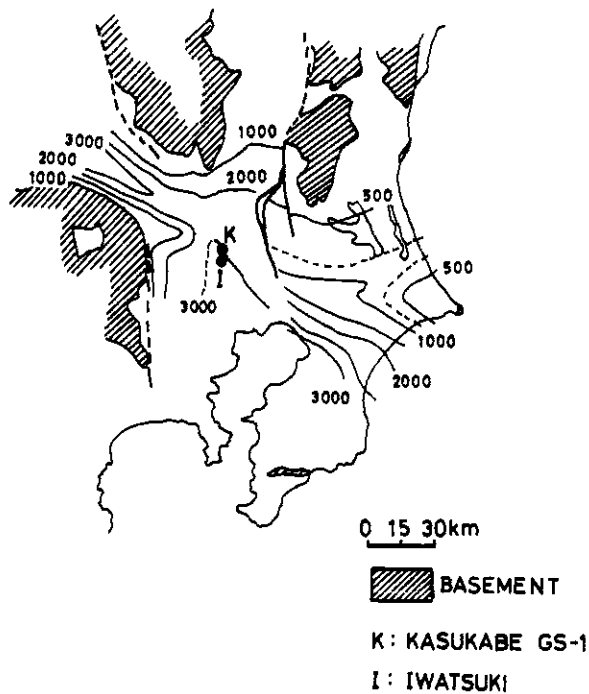


図1 基盤深度分布 (石井, 1962 を一部修正)

Fig. 1 Depth distribution of the Pre-Tertiary basement (modified from Ishii, 1962)

観測項目としては第1は微小地震, 第2は地殻活動と定められた。深度が深いことから, これらに必要な電子観測装置は非常な高温下におかれる。米軍規格 125°C まで使える部品を選んでも, 高温下では温度が 10° 上ると部品の寿命は 1/10 になるとされているから, 観測装置内の温度を 100°C まで, 観測装置内の発熱を考慮して地層温度は 90°C までと定めた。関東平野の地下増温率は, 天然ガス井等の実績から 100 m 当たり 2°C とされているので, 地層温度を 90°C とすると, 東京の年間平均気温が 15°C であるから, 作井深度限界は 3,750 m となる。地層温度 100°C とした場合でも 4,250 m である。

また, 関東平野における掘削最深深度は, 地質調査所の春日部 GS-1 井の 3,103 m (基盤深度 3,072 m) であり (福田, 1962), 掘削装置と経験等からも, 作井深度は 4,000 m 以下が望まれた (計画当時)。これらも考慮し, 作井深度を 3,500 m までと決めた。この条件は, 都心から 25~35 km の条件を, 東京の北方と東方については充たしうると判断された (図1)。ただし, 基盤の中に完全に入って地殻活動の観測をするためには, 基盤深度限界は 3,200 m 程度とする必要がある。

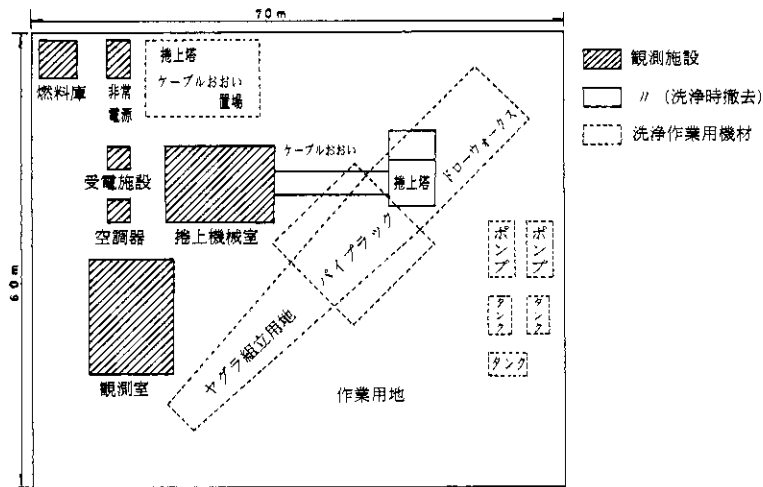


図 2 b 保守作業時の掘削機配置図

Fig. 2b Arrangement of drilling machines at the time of maintenance work

る形状（図 2 b）である必要がある。

口，搬入搬出路

掘削装置や調泥剤、ケーシングなどの器材の搬入搬出、および作井時に使用する大型クレーンの進入退出等のため、大型トラックやトレーラーの通行が可能な道路や進入路が確保できる土地でなければならない。その際、道路巾だけでなく、交差点などの角切り、橋（重量制限・高さ・巾等）等も考慮されなければならない。石油・天然ガスの作井の場合は、作井時のみこれらの条件を満たせばよいが、観測井においては、その後の地上施設の建設、観測装置工事のみならず、前記の保守、救援作業のために、恒久的にこれらの条件は満たされていなければならない。

八、土地利用制限

上記諸条件を充たし、その他作業上の種々の制約をのがれても、都市計画法その他による土地使用上の制限に抵触してはならない。

例えば、道路の計画がすでに定められている所などは申すにおよばず、緑地や公園、河川敷、各種保全地域ではまず建設不能と思わなければならない。10 m 以上の建物は建設できない地区や、航空法により上空使用制限のある所も実施不能である。

以上の他、土地利用が国、地方自治体、住民等の間で定まっていな所や、自然保護団体と争うこととなる土地等もさげなければ、所定の期限内に観測施設を作ることにはできない。上記のほかにも種々の制約のある場合があり、それらをくまなく調査しなければ作井不能あ

るいは作井後に再建設を求められるような重大な事態をひきおこす（作井だけでなく、地上施設を含めて）。

1.3.2 環境条件

イ. 作業環境

作業中に使用する数千馬力のエンジンや、掘進中のブレーキ音など、防音工事を施してもなお騒音が周囲に及び、それも 24 時間操業を必要とするので、作業場所の周囲約 200 m 以内には住宅のないことを要する。ただし、一、二戸程度なら作業中一時移転してもらうことも可能である。これも土地選定上大きな問題点である。

地下水、温泉、天然ガスをごく近くで採取していると、作井中汚染その他の影響を先方に与えたり、観測にも好ましくない事を生じたりする。

なお、作井工事後、かなり後になっても、作井により、井戸水に汚染や水質・水量に変化が生じたという苦情を持ちこむ者がある。従って、周辺の井戸の水質や水量について、作井前に十分に調査・測定を行っておく必要がある。また、そのような事件の発生に対して、市町村や保健所等とも事前によく連絡を取っておく必要がある。観測井の作井に際しては、決してそのようなものは用いないし、用いる必要のないことを、十分に住民に理解させておく必要がある。基本的には、地震予知に対し、市町村は勿論、住民が理解を示さない所はさけるべきである。

ロ. 観測環境

ごく近くに大きな振動を発する工場などのある所はさけなければならない。それを除けば、最大の振動源は新幹線で、高速重量貨物列車、通常鉄道線路もこれに準ずる（嶋・他、1970）。これらの線からは 4 km 以上さけることにしている（例、下総井）。道路交通はそれほど問題にはならない（例、岩槻井、山本・他、1975）。

ただし、府中井のように周囲を鉄道と道路網で幾重にもとりまかれていると昼夜でノイズレベルに 2 倍程度の差が歴然と現われる（山水、1980）。

1.3.3 岩槻井の地点選定

都心から北面 25～30 km の所として、その第 1 井は岩槻付近で作井用地の入手に努めた。それは、(1)基盤までの地質状況が、近くに地質調査所の春日部 GS-1 井（福田、1962、福田・他、1964）があるために推定できること、(2)春日部 GS-1 は関東山地からのびていると推定される断層面に掘りこんだと考えられ、基盤が著しく破碎されていた。重力分布の検討などから、地層状態の安定していると思われるその南側で作井するのが良いと判断された。基盤深度はやや深くなるが 3,200 m 程度と推定された。(3)他の深層 2 井が完成する前でも、関東地方で有力な観測点である地震研究所の筑波山・堂平の 2 観測点と観測網が組め、関東平野の地震観測精度の向上に役立つこと、などの理由からであった。

実際には、元荒川に接した未利用国有地を入手することができ、作井中は河川敷の一部を、

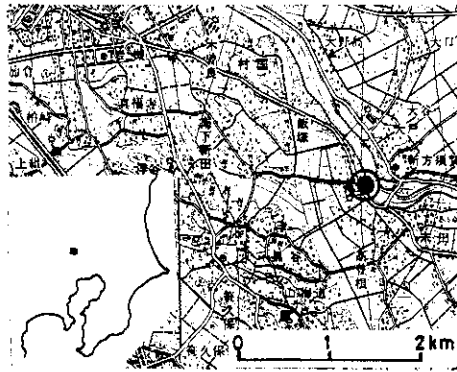


図3 観測井位置図

Fig. 3 Location of the Iwatsuki deep observation well

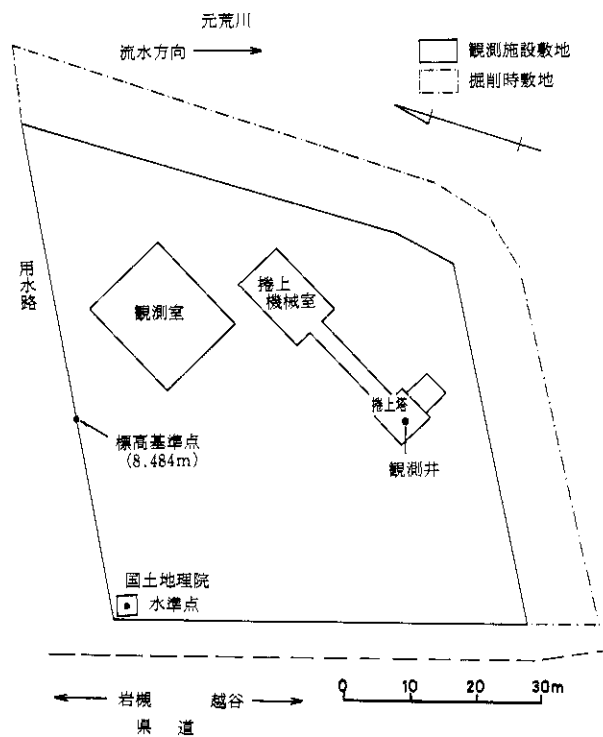


図4 観測施設敷地

Fig. 4 Observatory site

一時使用の許可を受けて必要用地を確保した。作井後入手した土地は約 4,000 m²で、その形状は河川流出に悪影響を与えないようにしたため、変形した四辺形であるが、捲上塔を取除き、坑底にチュービングを下す保守作業も無事実施できている。

1.4 岩槻井の位置

上記のようにして定まった岩槻地殻活動観測施設の所在地は、埼玉県岩槻市末田字巻の上 2,878-1 である(図 3, 4)。観測井口の経緯度は、北緯 35°55'33", 東経 139°44'17"で坑口面の標高は 8.88 m である。なお日本橋からは方位 352.5°, 水平路離 27.3 km の地点に当る。

2. 開発計画

2.1 方針

具体的な作井計画をたてるに先だち、高感度地殻活動観測井としての必要な工事条件を見出すこと、観測上、製作技術上密接な関係をもつ観測装置、信号ケーブル、および観測装置の設置機器及び工法との技術上のすりあわせを細部に至るまで行ない、それぞれは十分な機能をもっている、相互の接合部で致命的欠陥があらわれたり、或は総体としては機能を十分発揮できないなどということの起らないようにするとともに、石油・天然ガス井の作井技術と大深度調査技術を上記目的を果すため最大限活用をはかりつつ、必要な手法等の開発に努める方針のもとに計画を立てていった。

また、深層地殻活動観測システムの中で観測井については、再度作井することは非常に困難であることからその寿命は 20 年以上を目途とし、また高感度検出器の機能をそこなうことのないよう問題点を摘出し、そのような疑念の生じないような手法(含む測定)を事前に考えの及ぶ限り検討し、綿密に計画を立てること(後で手直しが出来ないの)に努めた(高橋, 1973, 1974, 高橋・他, 1980)。

2.2 問題点

2.2.1 解決すべき事項

高感度観測に耐えうる深層井開発上の問題点と主な開発事項をあげると以下のようである。

イ. 基盤の掘削

わが国の石油や天然ガス井は主に新第三系の推積層に掘削されるため、あまり経験のない先新第三系の堅硬な岩盤の掘削技術(ビットの選択, 泥水管理等を含む)の検討が必要である。

ロ. 坑心傾斜

観測装置内で、傾斜計等の測定器の垂直性を制御できる限界が 3.0°までと規定されていることから、観測井底で坑心傾斜の限界は 3.0°, 実際は余裕をとって 2.0°までにおさめる必要がある。理論上は坑底部だけが上記限度内に入れば良いのであるが、傾斜が生じると、傾斜

角がさらに強まるのが通常である。加えて、観測装置が10m余あり、ケーシング内径との間隙が狭いので、ケーシングの屈曲は1/550以下の必要がある。このように、全坑長に渡って直線性を維持しなければならないので、坑心傾斜は全長に渡って 2.0° 以内となるように掘進する必要がある。このような厳しい仕様は深層掘削にこれまでにはなく、深度100m程度の浅層観測井でも時に掘り直しをしなければならない事もある。しかし、深層井では掘り直す事は実際は困難であり、始めから成功するような工法を取らない限り、再掘削しても成功はおぼつかない。

ハ. 仕上りケーシング口径

まず最後の仕上りケーシング口径をきめる必要がある。測定器製作の立場からは口径は大きい方がよいように思われるが、観測装置の製作技術上の適正限界、わが国所有掘削装置の現況の両面から実際的な大きさを定めるため議論を重ね、最終的にケーシングは7インチ(内径159.8mm)、観測装置の最大外径は140mmと定めた。

ニ. 配管計画

地層状態の推定および作井に当って、考慮すべき事項を事前に十分調査検討して、ケーシングの配管計画をたてなければならない。当り前のことであるが、地層状態の不良、坑心傾斜増大、坑内事故などにより、掘削途中で掘進方向を曲げたり、或は分岐したりすること、或はケーシング段数をふやし、坑径をせばめるようなことは観測装置の大きさが定まっていることから行なうわけにはいかない。ここに地表から基盤に至るまでの地層状態をよくわかっていること、それに応じた手法と用具の準備を、事前に十分しておくことの必要性がある。

また観測装置を安全に坑底に設置し、必要な場合地表に回収するため観測井は全坑長ケーシングと定めた。このため地表のノイズがケーシングを伝わって坑底に達する恐れがあるが技術上止むを得ないと判断された。しかし、実績はその恐れより、全坑長セメンシングによりノイズを観測井外(地層中)に放散する効果の方が大きいようである。

ホ. 非磁性ケーシング

深層井では観測装置を一定方向に設置することが困難のため、磁針を用いた方位計が組まれた。そのため、観測装置設置箇所のケーシングは、非帯磁性のものを必要とする。その限度はガウスメーターの検出限界の0.5ガウス以下と定めた。加えて傾斜計の感度が高いため、設置条件が厳しく、その内面と観測装置固定器が点接触できるように高精度に仕上げなければならない。例えば、その内面の偏心率は0.5mm以下である。

ヘ. 膨張セメント

傾斜計の開発目標に感度を 2×10^{-2} 秒角と定めたので、少くとも坑底部付近はセメンチングにより坑壁とケーシングを十分強固に固着させる必要がある。そのためには、石油、天然ガス井における、地下水の混入を遮断する程度のセメンチングで十分とする訳にはいかない。

そのため、高温高压で膨張するセメントの開発を必要とする。

ト. セメンチング

通常の石油・天然ガス井では、坑底部などの必要な箇所のみセメンチングする。セメンチングしない箇所があると地震時ケーシングが振動し、地震観測の妨げになるので、全ケーシングの全長にわたってセメンチングをすることとした。全坑長セメンチングにしたもうひとつの理由に、地盤沈下に対するケーシングの保護があった。都心周辺域は、急激な都市開発による地下水の大量汲上げによる地盤沈下が、都心部以上の速さで進展している。一方、ケーシングは引張りにはかなりの強度をもつが、圧縮に対してはそれ程強くない。そこで全ケーシングを口元までセメンチングをすることにより地盤沈下に対し、坑井を強化することにした。

新第三系海成堆積層中の地層水は、一般に種々の化学成分を含有し、成分によってはその濃度が海水よりも濃くなっている。ケーシングを地層水による腐蝕から守るためにも、全坑長セメンチングは必要と考えられた。

チ. 掘削泥除去

セメンチングに当り、考慮すべきことに、坑壁の泥の除去があった。掘削中裸坑部を崩壊から保護している泥壁をセメンチング前に除去しなければ、膨張セメントを用いても、ケーシングと地層とをセメンチングにより完全に固着させることはできないからである。

リ. 管壁浚渫

セメンチングはケーシングによりセメントスラリーを圧送する方法で行なうこととした。セメンチング後は残留セメントの除去作業を行なうが、なおケーシング内壁にはセメントが薄く残留している可能性があるので、それを除去する工法を考える必要がある。

ヌ. ブリッジプラグ

観測井最底部には観測装置を設置するための着底面を必要とする。この着底面は非磁性ケーシング内壁に対して精度よく直角であること、観測装置底部と点接触するよう平滑であること、観測装置着底の瞬間には約8 tの荷重をうけるが、その程度の重量ではびくともしないことなどの条件を充たす必要がある。また、作井工事の最終段階で設ける必要があり、深さ3,500 mの非磁性ケーシングの最下底の定められた位置に精度よく設置・固定できなければならない。種々検討の末、技術的にみて実施可能な方法はブリッジプラグ以外にないと判断された。

ル. 井内充填物

観測井内を何で充たすかが問題となった。それは細くて絶縁性能の高いケーブルを作ること、観測装置耐圧容器のシーリングに関連することであり、特に信号線の絶縁性能をいさきかも落さず耐圧容器に貫通させる方策が容易でなかったからである。3.5 kmもの観測井内の水を完全に除去し、乾燥空気で充たすことは、実施不能であり、絶縁油で充たすことも、

検討を重ねたが坑内水の完全除去とケーシング内壁の十分な清掃が困難なことから実施不能とみられた。坑内を工業用水程度の清水で充たすことは容易であり、耐圧容器、信号ケーブルに高温高圧水対策を必要とする反面、信号ケーブルに浮力が加わり、観測井の保全上も好ましいと考えられた。ただし、地表のノイズが水を媒体にして坑底に達する恐れはある。このことは、作井後現実の課題となった（山本・他、1975）。

ヨ. 防 蝕

観測井を長期にわたって使用するためには、防蝕対策を必要とする。電気防蝕は観測に対する影響と効果の疑がわしいことなどから行なわないこととした。ケーシング外壁は全坑長セメンチングをするので、地層水による腐蝕は防止できると考え、ケーシング内に限って検討した。後述するように、硫化水素を含有する湧水により、激しい腐蝕に悩まされた岩井井における防錆対策の実績が非常に役立った。

3. 実施計画

前項で述べた問題点及びその他の必要事項についてそれぞれ検討や調整・試験を進めつつ、次のような実施計画を立てた。

3.1 予想地質

作井地点の北方3 kmで地質調査所が行なった春日部層序試験GS-1井（昭和37年度）の結果（福田、1962）を専ら参照して、地質状態を次のように推定した。

深 度	地層名
0 ～ 30m	有 楽 町 層
30 ～ 430m	成 田 層 群
430 ～ 1040m	上 総 層 群
1040 ～ 1650m	都 幾 川 層
1650 ～ 2510m	福 田 層
2510 ～ 3200m	荒 川 層
3200 ～	先第三紀層

なお、基盤深度は未公表重力探査資料も参考にして推定した。

3.2 作井工事計画

3.2.1 掘削計画

T-100型ドロウウォークスを使用し、掘削予定深度を3,500m、坑心傾斜3.0°以内、水平偏距半径183m以内とし、上記予想地質により、次のような掘削計画をたてた（ケーシング計画参照）。

深 度	掘削坑径
0 ～ 20m	609.6mm (24インチ)

20 ～ 300m	431.8mm (17インチ)
300 ～ 2600m	311.2mm (12¼インチ)
2600 ～ 3500m	219.1mm (8⅝インチ)

3.2.2 配管計画

ケーシングの配管計画を次のように定めた。

管 種	内 径	使用長	規 格
20インチ(508.0mm)	490mm	20m	STK-41
13⅝インチ(339.7mm)	320.3mm	300m	STO-J
9⅝インチ(244.5mm)	224.5mm	600m	STO-N, STO-J
7インチ(177.8mm)	159.4mm	3490m	STO-P, STO-N
7インチ非磁性管(180.0mm)	154.8mm	10m	SUS27

3.2.3 現場工事日数

現地作業日数は、土地造成と掘削機械据付工事 50 日、掘削作井工事日数 120 日、撤去及び坑口保護工事 20 日、総計 190 日を予定した（図 5 参照）。

3.2.4 その他

コア採取状況、検層その他については各項に記す。

4. 実施体制

すでに述べたように、地殻活動深層観測井の作井に当っては多くの未知、未経験の問題があり、新しく開発すべきものが少なくない。そこで次のような体制をとり、筆者らおよび企業の全能力を傾注してこれらの課題を解決しつつ作業を進めて行けるようにした。

掘削作業は関東平野において長年天然ガスの開発に従事しており、設備・技術・実績を有している帝国石油（株）の請負工事とした。現場は本社直属の鉱場とし、鉱場長には関東平野における地質調査所の層序試錐の鉱場長または作業課長の経験者をあてた。これは、関東平野の地下構造は極めて複雑であるにもかかわらず、その基盤に達する試錐の行なわれた例が極めて少なく、本観測井の作井工事を支障なく行なうには、基盤までの地層状態を知っていると共に、掘進しつつ地層状態を確かめ、より深部の状態を推定し適切な工法をとりつつ進める必要があるためである。また、作井時においては二度と測定できない地層物性についての諸測定を行なうので、観測や測定にも理解力のあるものでなければならない。当時行なわれていた上記の経験者がこれらの条件を充たす者であった（福田・他、1964）。岩槻井の鉱場長は、藤岡 GS-1 井〔昭和 38 年度（福田、1964）〕の現場代理人であり、作業課長とツールプッシャーおよび作業員の一部も同工事または春日部 GS-1 井工事の経験者を当てた。

本社は工事に必要な一切の手配を直接見ると共に、計測および作井上の技術開発に責任を

もって当り、技術研究所は地質(本社探鉱部と共に)、泥水、セメンチングの調査、技術開発に当った。その他千葉鋁業所と同鉄工場が現場工事に必要な諸作業、工事の実施を行った。筆者らは、本社および鋁場長と常時連絡を取り、点検、助言、指示、観測装置や信号ケーブル製造者はじめ関係諸機関との連絡調整等に当った。

5. 準備作業

掘削に先立ち、次のような現場作業が行なわれた。

5.1 土地造成

用地は河川敷ではないが、増水期には元荒川の河川水で充たされる所であるので、川の流路が円滑となるよう河川管理者の設計に基づき、その区割りおよび外壁工事を行った(図4)。その際、埋立土も同者の指導により、川底の砂を採取して盛土にあてた。なお、工事後1年程の間に約10cm沈下したが、その後は安定している。

5.2 掘削機械据付工事

土地造成が終るとともに、掘削機械の搬入据付工事に着手した。掘削機械のヤグラ部とポンプなど、特に荷重の大きい箇所や重量車両の通路などは、埋立土を砂で置き換えた。

5.3 公害防止対策

5.3.1 廃泥処理

掘削作業中泥水などが用地外に流出しないようにする。廃泥水と廃碎石(ザク)は泥溜(総容量930m³4個)にため、サンフロックN50Pと硫酸アルミニウムによる薬品処理法を帝国石油技術研究所で試験し、埼玉県の承認を得て、無公害の上水は河川に放流した。その他は地元の了解を得た所ですてた。

5.3.2 騒音対策

現場は昼夜重車両の交通の激しい道路に面し、3方は田と河川に囲まれ、広く開けた所で住宅からやや離れている。騒音対策としてはエンジンとヤグラを板囲いし、防音装置を二重に取付けて騒音の低減につとめた。

6. 作井工事

6.1 掘削機械

春日部GS-1井においてはT-110型掘削機を用いたが、当時の同機に比べポンプ等の強化されたT-100型掘削機を用いることにした。なお、掘削技術も当時より進歩した。その主要装備と性能を下に記す(写真1~4)。

6.2 掘削



写真1 掘削ヤグラ

Photo. 1 Drilling derrick

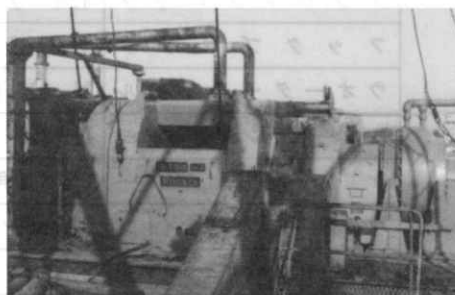


写真2 ドローワークス

Photo. 2 Draw works



写真3 マッドポンプ

Photo. 3 Mud pump

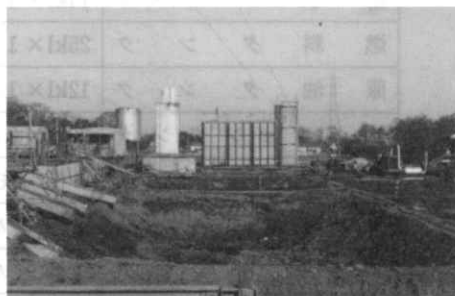


写真4 泥溜

Photo. 4 Mud pool

品 名	型 式
槽	43m×3V
ド ロ ウ オ ー ウ ス	T-100 (NO. 2) ダイハツ 600HP×2台
泥 水 ポ ン プ	H-850 // 600HP×2台
	G-700 // 840HP×1台
	OH-300 GM 210HP×1台
ロ ー タ リ ー マ シ ン	A-205 (27 1/2パワースリッ付)
ク ラ ウ ン プ ロ ッ ク	42インチ×6 W×300TON
フ ッ ク プ ロ ッ ク	ナショナル545G350 45インチ×5 W×350TON
ウ オ ー タ ー ス イ ペ ル	N-815 (K-26)
ウ エ ー ト イ ン ジ ケ ー タ ー	D-250
ケ リ ー	5¼×4角×12m
ウ オ ー ク ラ イ ン	32mm シール型 6×S(19)IWRC
ブローアウトプレベンター	ハイドリル 12-3000
	カメロン (ダブルタイプ) 10-5000
ド リ ル パ イ プ	5インチ SGDP×3500m (E 級3000m, G 級500m)
	3½インチ SGDP×1800m
	2¾インチ SGDP×1700m
ド リ ル カ ラ ー	8インチ DC×15pes 6 1/4インチ DC×25pes
貯 泥 タ ン ク	20kl×4 基
給 水 タ ン ク	14kl×1 基 10kl×1 基
燃 料 タ ン ク	25kl×1 基
原 油 タ ン ク	12kl×1 基
サ ク シ ョ ン タ ン ク	20kl×2 基
ド ッ グ ハ ウ ス	4 棟 鉄製 (2.70m×4.50m)
ツ ー ル ハ ウ ス	2 棟 // (2 m×4 m)
パ ラ イ ト ハ ウ ス	1 棟 // (3.60m×5.40m)
カ ッ テ ン グ ハ ウ ス	1 棟 // (2.40m×4.55m)
コ ア ー ハ ウ ス	1 棟 // (1 m×2.20m)

6.2.1 掘削工事の概略

掘削工事は以下のように進められた。図5にドリリングチャートを示す。

イ. 深度20mまで

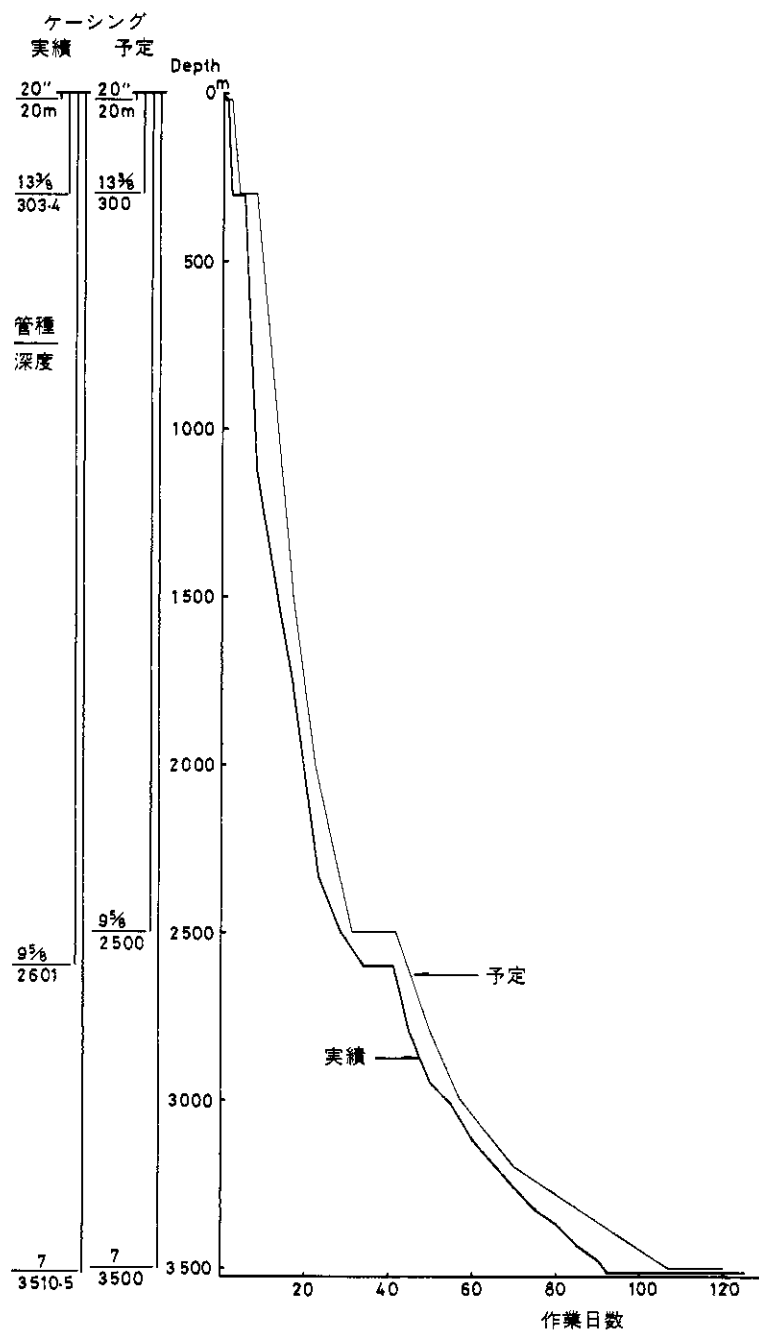


図5 ドリリングチャート

Fig. 5 Drilling chart

掘削は昭和46年2月25日24インチで開坑し、同日中に深さ20mに20インチケーシングを挿入して、ポルトランドセメントでセメンチングした。

ロ. 深度303.4mまで

次に12¼インチビットで、深さ305mまで掘進し、検層(ノルマル、キャリパー)を行ない、17½インチビットで深さ305mまで拡張し、13⅞インチコンダクターパイプを303.40mまで挿入し、ポルトランドセメントで全長にわたりセメンチングした。2日間の硬化待ち後、ケーシング内の残留セメントを除去し、管内圧力テスト(6.7.2参照)とセメントボンド検層でセメンチング結果の確認をした。

ハ. 2601.0mまで

303.4m以降は12¼インチビットで深さ2605.17mまで掘進し、コア掘りは7⅞インチのコア掘りビットで行った(深度450m, 950m, 1309m, 1552m, 1805m, 2050m, 2336m)。掘進中1234~1250mの間で少量(500l/h)逸泥した。泥水は深度970mよりクロム泥水に切替えた。坑内状態は比較的良好であったが、コアビットの切れとコアキャッチャーの不調から、コア採取はほとんどの場合同一深度で2回行った。地質は別記のように、表層から春日部GS-1井を極めてよく一致していたが、深度2,000m位から一致なくなり、基盤深度を含め、以深の地層状態の推定が困難となった。検層(インダクション、ソニック、デップ、フォーメーションデンシティ)を行った後、9⅞インチケーシングを2601.0mまで挿入した。セメンチングはステージカラーを944.5mに設け、全坑長2回にわけてポルトランドセメントを用いて行った。3日後残留セメントを除去し、管内圧力テストとセメントボンド検層で結果を確認した。

ニ. 深度3510.5mまで

以下は8⅞インチビットで掘進し、深度3466m附近からは地層が著しく硬質となったので、インサートビットやダイヤモンドビットを用いた。コア掘り(7⅞インチコア掘りビット使用、深度2626m, 2764m, 2942.5m, 3162.3m, 3322.2m, 3505.0m)も下部の2回は8⅞インチダイヤモンドビットを用いた。最終回のコア掘り結果から掘り止めとし、検尺を行った(深さ3510.5m)。地質は調査しつつ掘進したが、深度2864mで予想していなかった石英斑岩が現われ、予想していた変成岩は、深度3346mから現れた。これら岩石は先新第三系の基盤岩であり、観測装置を設置するのに十分な条件を持っている。検層は前回と同種目につき行い、その結果から、岩盤状態の最も良い最深部に非磁性ケーシングを設定することにした。地層の堅硬な3200m以深については、ケーシングの挿入を円滑にするため、7½インチ×10インチのホールオープナーで拡張した。非磁性ケーシングのテストをやグラ下で行った後、7インチケーシングに接続し、深さ3510.5mまで挿入し、開発した膨張性G級セメントでセメンチングした(写真5)。なお、ステージカラーは1997.4mに設けた。下部のセメンチングは圧送中圧力が高まり、全長にわたっては行なえなかった。検討の



写真5 ケーシングセット作業

Photo. 5 A view of casing setting work

結果、ケーシングと坑壁の間に残留している先行液等はゲル化することなどから、新たな処置を取らないことにした。ケーシング内残留セメントを除去し、セメントボンド検層でセメンチング結果を調査した。なお、7インチケーシング内壁に附着したセメントは、ケーシングスクレーパーで取り除き、井底部は5⅝インチフラットミーリングで平滑に仕上げた(図6)。ケーシング内の坑底深度は3510.30 mである。

最終工程として、マグネチックフィッシングツールを降下して、井底の沈澱鉄類(ケーシ

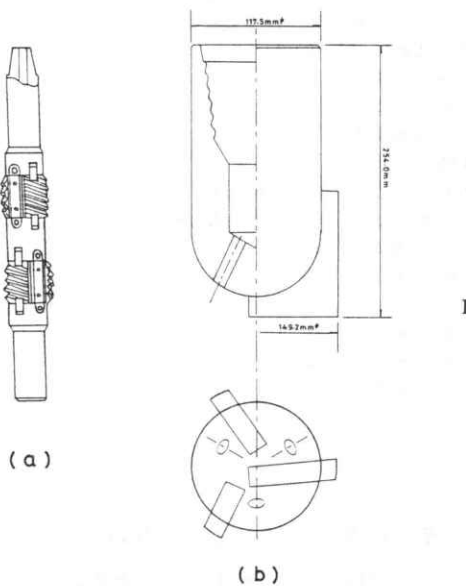


図6 ケーシングスクレーパー(a)とフラットミーリングビット(b)

Fig. 6 Casing scraper(a) and flat mealing bit(b)

ングのバリ等)を除去し、観測装置と同径でほぼ同長のゲージで通り試験を行った。その後坑内を河川水で十分洗浄の後、防錆剤としてレスコール液を120 kg(0.2%溶液)混入した。坑口はコンクリート製マンホールで保護し、作井工事を終了した。総所要日数は125日であった。

なお、坑心傾斜等については別に述べる。

6.3 コアー, カッティングの採取

6.3.1 コアー採取

コアーの採取回数は 12 回, その予定深度は表 1 の通りである. コアー採取長は, 深さ 2,600 m までは 200 cm 以上, それ以深は 300 cm 以上とし, 一回の採取で規定量に達しない場合は再度実施し, 2 回の合計が規定量になお達しなくともそれで打切ることとした. 実施結果は表 1 の通りである. 深さ 1,300 m までは軟岩用のビットを用い, それ以深は硬岩用のビットを使用した. さらに, 基盤岩中はダイヤモンドコアービットを使用した.

表 1 コアー採取記録
Table 1 Coring data

月 日	No.	ビット種類	コアー掘り深度			掘進 時間	掘進 米数	採取 米数	採取率	地 質
			予 定	実 績						
3. 2	1	7%SCB	m 450	m 450.00~454.00	m 454.00	4.00	0.40	2.10	52.5	砂質泥岩
4	2	//	950	950.00~955.50	955.50	5.50	0.50	4.80	87	細土岩, 微粒砂岩
7	3	//	1,300	1,309.00~1,310.70	1,310.70	1.70	2.00	1.00	59	凝灰質砂岩(炭質物質介在)
8	4	//		1,310.70~1,312.70	1,312.70	2.00	1.20	2.00	100	//
11	5	7%HCB	1,550	1,552.00~1,554.00	1,554.00	2.50	3.20	2.30	92	泥岩に細粒砂
13	6	//	1,800	1,805.00~1,810.00	1,810.00	5.00	2.30	2.00	40	泥質砂岩
16	7	//	2,050	2,050.00~2,050.50	2,050.50	0.50	2.20	0	0	//
16	8	//		2,050.50~2,052.70	2,052.70	2.20	3.20	0.30	13.6	//
20	9	//	2,350	2,336.00~2,339.00	2,339.00	3.00	5.30	2.20	73	泥 岩
4. 8	10	//	2,600	2,626.00~2,629.50	2,629.50	3.50	3.00	0.20	5.7	//
8	11	//		2,629.50~2,632.50	2,632.50	3.00	2.30	0	0	//
10	12	//	2,850	2,764.00~2,767.00	2,767.00	3.00	3.00	1.70	56.7	凝 灰 岩
16	13	//		2,942.50~2,945.50	2,945.50	3.00	6.00	1.40	46.6	流紋岩質角礫岩
16	14	//		2,945.50~2,948.00	2,948.00	2.50	5.00	1.40	56	//
29	15	//	3,100	3,162.30~3,166.30	3,166.30	4.00	5.00	2.00	50	//
29	16	//		3,166.30~3,169.30	3,169.30	3.00	4.30	1.50	50	//
5. 10	17	//	3,300	3,307.50~3,319.70	3,319.70	2.20	5.30	0.30	13	//
11	18	8%ダイヤ		3,322.20~3,327.20	3,327.20	1.00	1.30	1.00	100	//
28	19	//	3,500	3,505.00~3,510.50	3,510.50	5.50	6.00	5.50	100	//

6.3.2 カッティング採取

カッティングは深さ 1,000 m までは 20 m ごと, それ以深では 10 m ごとに採取した. また, 岩質が変わった場合も採取した. コアーとカッティングの試験項目と結果は坑井地質の部で述べる.

6.4 検 層

検層は地質とその物性を調査するためのものと, セメンチングのためのもの, 坑心傾斜連続測定と地層温度測定がある.

6.4.1 検層項目

イ. 地質・物性調査

地質及びその物性調査を目的とする検層の、種目及び実施深度は次のとおりである。

測定深度	測定種目
0 ～ 300m	SP, 比抵抗 (ノルマル)
300 ～ 掘止め	インダクション, ソニック, 地層傾斜
2100 ～ 掘止め	地層密度

なお、ウェルシューテング法による P 波・S 波速度構造の測定は、観測井深度が著しく深い
ため、測定方法が当時はまだ開発されていなかったもので、後年になって実施した (太田・
他, 1977)。これらの検層結果は坑井地質の部で述べる。

ロ. セメンチング関係

セメンチングのためのもののひとつは、セメントスラリー必要量を算出するための坑径検
層で、上記地層検層の際、同時に記録を得ている。もうひとつはセメンチングの結果を調査
するためのもので、セメントボンド検層と呼ばれている。これらは各セメンチングの度ごと
に行われた (20 インチケーシングを除く)。

ハ. 坑心傾斜測定

坑心傾斜の連続測定は、作井完了後の観測井 (7 インチケーシング) の全長につき、傾斜
の分布を知るだけでなく、観測装置の通り具合を事前に調べるためにも行った。

ニ. 地層温度測定

地層温度の測定は作井作業完了後 2 ヶ月以上たってから井内の温度分布を調査し、地球物
理学的研究に役立てるとともに、坑底温度を測定して、観測装置を使用温度に調整するた
めの重要な測定である。測定結果の詳細は坑井地質の部で述べるが、坑内作業完了 76 日後の坑
内温度は 85.4°C であった。

6.5 観測装置設置深度

地質柱状図及び検層図 (坑井地質の項参照) からわかるように、基盤の岩石も凝灰岩質の
層をはさんだり (石英斑岩) 域は片理状構造が発達し、破碎帯が存在している。観測装置を
設置する箇所は、これらの弱化した構造のない、一枚岩的な一体として変動する所であって
欲しい。また、そのような箇所は坑径も掘削ビットの径に近く、かつ、坑径変化がないので、
セメンチングも期待通りに仕上げる。下部の検層結果を見る (図 7) と、多少増掘しておいた
最下部が、このような条件を充たしている。観測装置設置深度、すなわち非磁性ケーシ
ング設置深度を 3,500 m 以深とした。当センターにおいては観測装置設置深度は地層状態を
見て、最も適切と思われる所に定めるため、通常は掘削予定深度および地層掘削深度とは一
致していない。

6.6 ケーシング

6.6.1 ケーシングの強度

ケーシングデザインは圧潰、内圧、引張り強度等を考慮して定めた (表 2)。

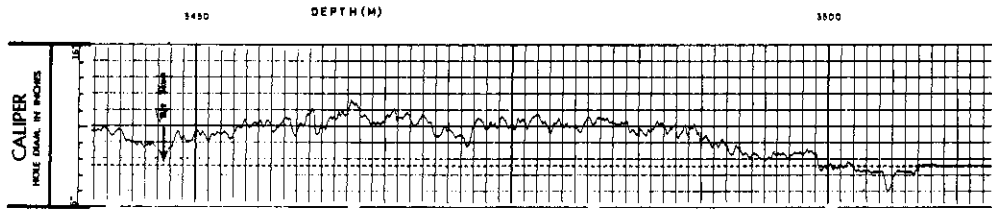


図 7 坑底部の坑径検層図

Fig. 7 Caliper logging chart at the well bottom

イ. 圧 潰

圧潰に対しては、管内の泥水または清水が完全に空になることはほとんど考えられないので、掘進中の逸泥により、その挿入深度の 1/2～1/3 まで泥水面が下った場合、最低の安全率を 0.45 とし、それ以上であれば圧潰に対して安全であるとして、13% インチ、9% インチ、7 インチのケーシングの安全率をそれぞれ 2.1, 0.6, 0.7 ととった。

ロ. 内 圧

内圧に対しては、本観測井ではガス及び石油の高圧層を考慮する必要がないので、安全率は通常の基準である 1.1 前後にとった。

表 2 ケーシングデザイン

Table 2 Casing design

ケーシング サイズ (インチ)	挿入管 (深 度)	種 別		圧潰・圧力	内 圧	ジョイントの 引張り強さ	圧潰安全率	内圧安全率	引張安全率
		重 量	グレード						
20	0～20m	111kg/m	H (S)	35kg/cm ²	105kg/cm ²	263 ㍑			(浮力を含む)
13%	0～303.40	80.8 ㍑ (54LBS/f)	J (S)	80 ㍑	190 ㍑	233	2.1	5.0	10.3
9%	0～1,998.20	65.0 ㍑ (43.5 ㍑)	N (S)	280 ㍑	440 ㍑	275			1.9
9%	1,998.20～2,599.33	59.5 ㍑ (40. ㍑)	J (S)	190 ㍑	275 ㍑	205	0.6	0.8	
7	0～1,196.22	38.7 ㍑ (26. ㍑)	P (S)	480 ㍑	700 ㍑	256			2.2
7	(S.C.C.F.C含む) 1,196.22～3,500.28	38.7 ㍑ (26. ㍑)	N (S)	365 ㍑	505 ㍑	182	0.7	1.0	
7	3,500.28～3,510.50	50 ㍑	SUS-27	390 ㍑	360 ㍑	109	0.8	0.7	

ハ. 引張り

引張りに対しては、安全率は基準である 1.75 以上何れもある。

ニ. 接続部構造

ケーシング接続部の構造を、7 インチケーシングの場合につき、図 8 に例示する。

6.6.2 非磁性ケーシング

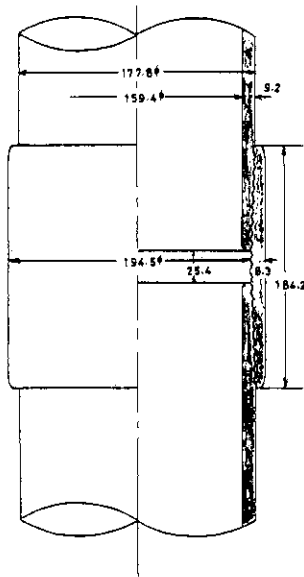


図8 ケーシング接続部（7インチケーシング）

Fig. 8 Casing collar (7-inch casing)

イ. 製 作

観測装置設置箇所には非磁性ケーシングを使用する。その開発に必要な条件は次のようである。

- (1) 導磁率は0.5 Gauss以下であること。
- (2) 内面の偏心率は0.5 mm以下であること。
- (3) 長さは10 m以上であること。
- (4) 最小圧潰、内圧、引張り強度はそれぞれ350 kg/cm²、340 kg/cm²、100 トンであること。

材質については入手しやすい国産品を選ぶこととし、ステンレス鋼 SUS-27 を選んだ。その化学組成は下記のとおりである。

最初パイプ材から加工することを考えたが、入手時すでに多少の磁性を及ぼしていることがわかったので、棒材から加工することにした。棒材の試験加工後の測定で、導磁率が上記以下であることを確認した後、製作に着手した。加工上非磁性ケーシングは3分割で製作した。

化 学 成 分 (%) 分析：愛知製鋼							
C(×100)	Si(×100)	Mn(×100)	P(×100)	S(×100)	Cu(×100)	Ni(×100)	Cr(×100)
MAX 8	MAX100	MAX200	MAX40	MAX30	9	800~1,100	1800~2000
8	43	157	32	7	9	836	1,870

ロ. 試験結果

完成品について、監督職員と観測装置製作に当たった業者と立合で次のような検査をした。

i. 導磁率

横河電気製 MM-11 型ガウスメータで測定した結果はすべて 0.2 ガウス以下であった。測定箇所は図 9 に示す。

ii. 偏心率

一本に組立てたものを施盤上に水平に置き、回転させつつ 3 ヶ所で測定した(図 10)。測定結果は図に示したように、規定よりはるかに微小であった。現地へは工場で一本に組立てた

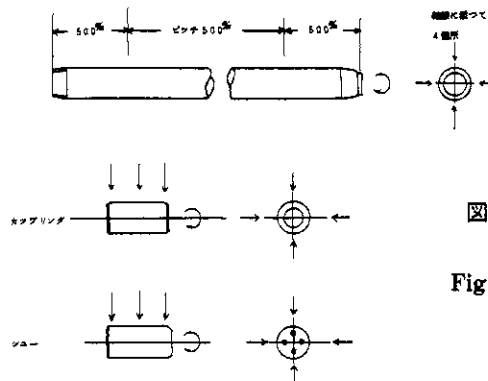


図 9 非磁性ケーシングの導磁率測定方法

Fig. 9 Method of magnetic permeability measurement of the non-magnetic casing

A = 0.0016 B = 0.026 C = 0.022%

偏 心 検 査 位 置

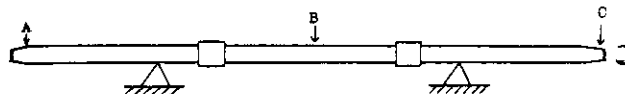


図 10 非磁性ケーシングの偏心測定結果

Fig. 10 Results of eccentricity measurement of the non-magnetic casing

ものを、鉄製ケースに入れて運送した。

iii. 強度試験

テストピースで行った引張り強度は 59 kg/cm²であり、完成品で行った水圧テストは、200 kg/cm²、20 分間で異常がなかった。

iv. 長さ

セメンチングシューをつけた状態で、総長 10.213 m であった (6.13.2 構造参照)。

v. 挿入前試験

井底への挿入前に、掘削ヤグラ内に垂直に立てた状態で帯磁性試験を行った(図 11)。まずトランシットを非磁性ケーシング上方に固定し、同ケーシング内に方位計を置き、トランシットのヘアと方位計の基準線を合せた。そのあと同ケーシングを除き、同じ位置に方位計を置き、その変化を測定した。掘削ヤグラ内は周囲が鉄構造物のため、位置により方位は異なるが、同じ位置の場合は非磁性ケーシングのあるなしにかかわらず、方位の変化はなかった。また、ケーシングを回転させても方位には変化がなかった。

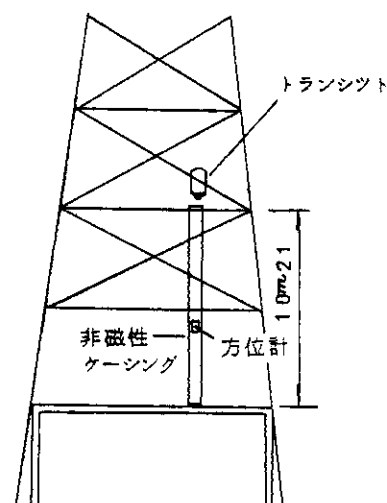


図 11 非磁性ケーシングの現地試験方法

Fig. 11 Method of well site test of the non-magnetic casing

6.7 セメンチング

6.7.1 実施方針

セメンチングは観測井作井の成否をわける極めて重要な作業のひとつである。セメンチングに際し、泥水とセメントスラリーとの置換をよくすること、坑壁を保護していた掘削泥をセメンチング直前に解こうし除去すること、ケーシングと坑壁が完全に密着し、一体化することなどを必要とする。そこで泥水とセメントスラリーの比重差を 0.5 以上とし、深坑の部分では重先行液を使用することとした。セメントスラリーの圧送はケーシング内から行ない、ケーシング外の送入はプラグフロー方式により、坑壁のすみずみまでセメントスラリーが入るようにした。

6.7.2 セメンチング結果

イ. 13% インチケーシングセメンチング

坑径検層は 16 インチ以上は測定不能のため、セメントスラリー必要量の計算は坑径を 18 ½ インチとして行った。

い. 実施概要

掘削 17 1/2インチビット, 深度 305 m

泥水量 比重 1.20×粘度 100 秒

挿入ケーシング フロートカラー 294.50m

フロートシュウ 303.40m

セントラライザー 13個

失行水 (清水) 2 kl

セメントスラリー 宇部ポゾランセメント B 種 32702 kg

塩化カルシウム 1 %

スラリー比重 1.85

スラリー量 (計算量25kl) 26.100 kl

後押量 24.150kl

管外上昇速度 90ft/min (プラグフロー)

ii. 実施結果

セメントスラリーの送入は順調に行なわれ, 最終圧力は55kscであった。

2日後管内圧力試験を深さ296mで20kscで30分, 深さ303.9mで10kscで20分行い, 何れも異常がなかった。セメントボンド検層の結果も良好であった。

ロ. 9 1/2インチケーシングセメンチング

2ステージフルホールセメンチングで行なった。

i. 実施概要

掘削 12 1/4インチビット 深さ2605.17m (検層による)

坑底温度 58.9°C

泥水 比重1.85×粘速58秒

ケーシング ステージカラー 944.51m

フロートシュウ 2601.00m

裸坑径 最大 15インチ

最小 12 1/4インチ

セメントスラリー必要量 83.102kl

第1回目 53.737kl

第2回目 29.365kl

a. 第1回セメンチング

ステージカラー以深について行う。

重先行液 比重1.55

液量10kl

セメントスラリー 宇部ポゾランセメントB種 67020kg

サンフローR 0.42%

スラリー比重 1.82

スラリー量 54.031kl

後押量 102.7kl

管外上昇速度 12¼インチ裸坑部 102.3ft/min (プラグフロー)

13インチケーシング内 76.95ft/min (//)

作業は順調に進み(図12 a), 最終圧力は133kscであった。圧送完了確認後直ちにステージカラーのポートをあけ、泥水の循環を行った。

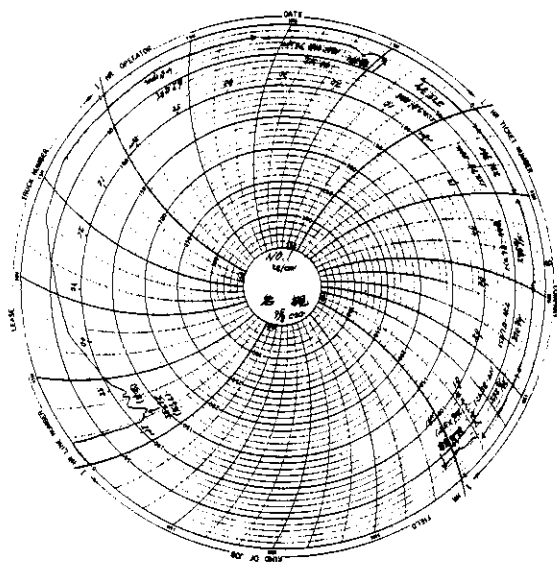


図 12 a 9 5/8インチケーシングのセメンチングチャート
(1)

Fig. 12a Cementing chart of the 9 5/8-inch casing (1)

b. 第2回セメンチング

ステージカラーから地表までのセメンチングである。

重先行液 比重1.55

液量 9 kl

セメントスラリー 宇部ポゾランセメントB種 36000 kg

スラリー比重 1.82

スラリー量 29.426 kl

後押量 37.6kl
 管外上昇速度 12¼インチ裸坑部 106.17ft/min (プログフロー)
 13インチケーシング内 79.83ft/min ()
 セメンチングは順調に進み (図12b), 最終圧力は110kscであった。

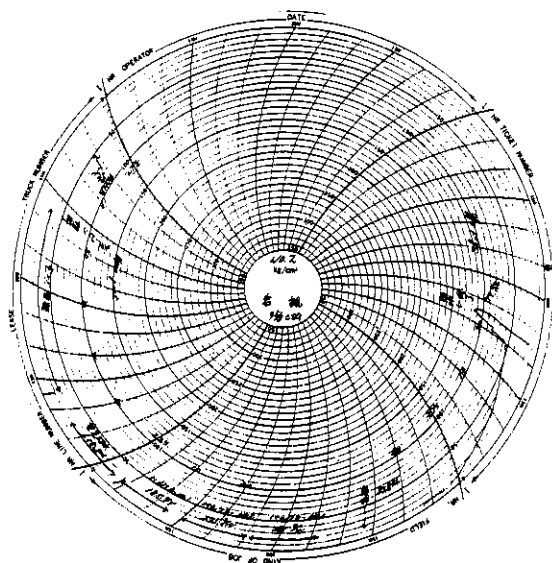


図12b 9⅝インチケーシングのセメンチングチャート
 (2)

Fig. 12b Cementing chart of the 9⅝-inch casing (2)

ii. 実施結果

2日間硬化待ちをし、ステージカラーをさらい、セメンチング4日後管内圧力試験を70kscで20分行ったが異常はなかった。セメントボンド検層の結果、深さ80～135mの間はセメントのないことがわかった (図13)。

iii. 重先行液

先行液はセメントスラリーのチャネリングを防止し、また坑壁 (地層) 及びケーシングパイプとセメントの固着をよくするために用いる。そのため次のような機能を有することが期待される。

- (1) 泥水のゲルストレングスの早期破壊機能がすぐれていること。
- (2) 固形物の分散能力が優れていること。
- (3) セメントスラリーに影響を与えないこと。

これらの条件を良く充たすバンダー (ジナフチルメタンスルホン酸ソーダとピロリン酸ソーダの混合物) を添加剤として用い、これに加重して重先行液を作った。この重先行液は

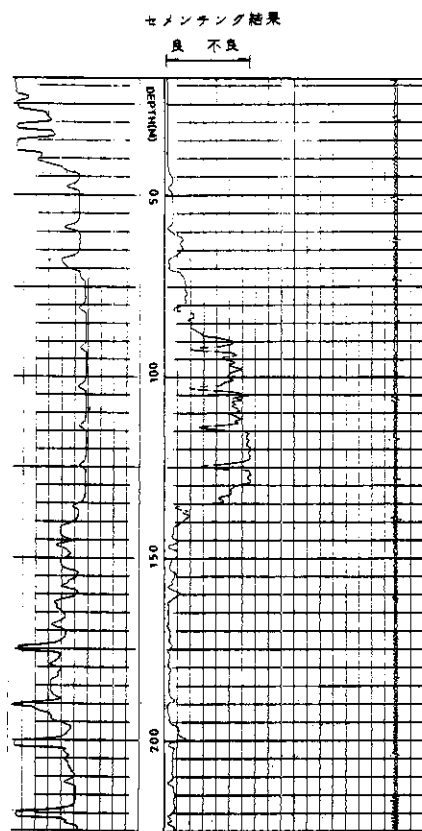


図 13 9 5/8 インチケーシングのセメントボンド検層結果

Fig. 13 Cement bond logging chart of the 9 5/8-inch casing

プラグフローセメンチングに有効であったと考える。

組成： 清水：バンダー：フライアッシュ=100：5：200

性質： 比重 1.55, 流動特性 n' 0.9896, k' 0.0019, pH 11.0

iv. セメントスラリーの特性

セメンチングに先立ち、帝国石油技術研究所でセメントスラリーの特性につき、試験を行った。結果は下記の通りである。

セメントスラリー： 宇部ポゾランセメント B 種,
スラリー比重 1.82

① シックニングタイム

条 件		サンフロー R の 添 加 量 %	シックニングタイム
温 度	圧 力		
40°C	396KSC	0	+ 6 ^H 50
48	548	0.4	+ 6 ^H 00
55	548	//	4 ^H 47

② 流動特性

サンフローRの添加量	N' 値	K' 値
0 %	0.315	0.08
0.4	0.344	0.09

③ 圧縮強度

サンフローR の添加量	養生条件 (深度)	圧縮強度 kg/cm ²					
		1 日	2 日	3 日	4 日	5 日	7 日
0 %	地 表	8	40	75	97	125	175
0	1,000m	25	87	144	164	—	244
0.4	//	10	60	100	128	—	206
0.4	2,600m	87	206	334	—	—	363

ハ. 7インチケーシングセメンチング

i. 実施計画

観測装置と直接接する7インチケーシングのセメンチングは最も重要なセメンチングであるので、

- (1) 完全なフルホールセメンチングとすること。
- (2) ケーシングと坑壁を完全に一体化するようセメンチングするため、坑壁の泥の除去を完全に行い、セメントは膨張性のものを用いること。
- (3) セメントの圧縮強度は地層のそれに可能な範囲において近づけること。

などの条件を充たすこととした。計画当初からその討議を重ね、調査、試験も行ない、次のような方法をとることとした。

- (1) 2ステージ、フルホールセメンチングとする。
- (2) セメントスラリーの送入はプラグフロー方式とし、管外上昇速度は90ft/min以下とする。
- (3) セメントは国産（日本セメント製）油井用G級セメントを用いる。
- (4) 第1回目のセメンチングには国産の膨張セメント（日本セメント製、ジブカル）を、3%混合したものを用いる。
- (5) 泥水とセメントスラリーの比重差はこれまでの実績も考慮し0.5以上とする。
- (6) 先行液は第1回目セメンチングには比重1.55の重先行液を用い、第2回目（9%インチ

ケーシング内)においては清水を用いる。

(7) シックニングタイムは余裕をみて、第1回目は5～6時間、第2回目は4～5時間程度とする。

ii. 実施概要

掘止深度 3510.50m
 坑底温度 77.8°C
 泥水 比重1.34×粘速59秒
 ケーシング ステージカラー頂部 1997.41m
 第1フロートカラー頂部 3489.87m
 フロート・シュー底部 3510.50m
 裸坑径(検層による) 最大 11インチ
 最小 9インチ
 平均 10 $\frac{1}{8}$ インチ
 セメントスラリー 必要量 60.120kl
 第1回目 32.052kl
 第2回目 28.068kl

a. 第1回セメンチング

重先行液 比重 1.55
 液量 9 kl
 セメントスラリー 油井用G級セメント 48000kg
 ジブカル 1140kg
 サンフローR 295kg
 消泡剤 5 kg
 スラリー比重 1.90
 スラリー量 37.857kl
 後押量 69.737kl
 管外上昇速度 90ft/min (プラグフロー)

セメントスラリー量は、裸坑部は坑径検層結果から計算した量の20%増、9 $\frac{1}{8}$ インチケーシング内部は計算量の5%増に作り、送入した。セメンチング中、圧力上昇が起り、後押量53.595klでポンプ圧力が175kscにまで上昇し(図14a)、後押を断念せざるをえなくなった。ステージカラーのポートを開き、泥水循環を行なった。

b. 第2回セメンチング

先行液 清水 26kl
 セメントスラリー 油井用G級セメント 42700kg

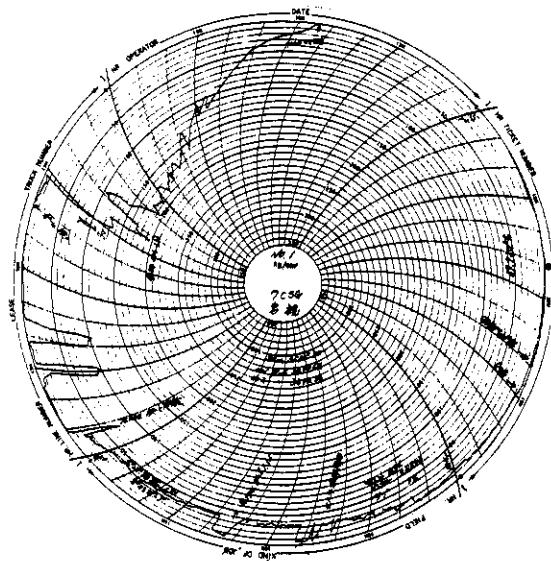


図 14 a 7 インチケーシングのセメンティングチャート
(1)

Fig. 14a Cementing chart of the 7-inch casing (1)

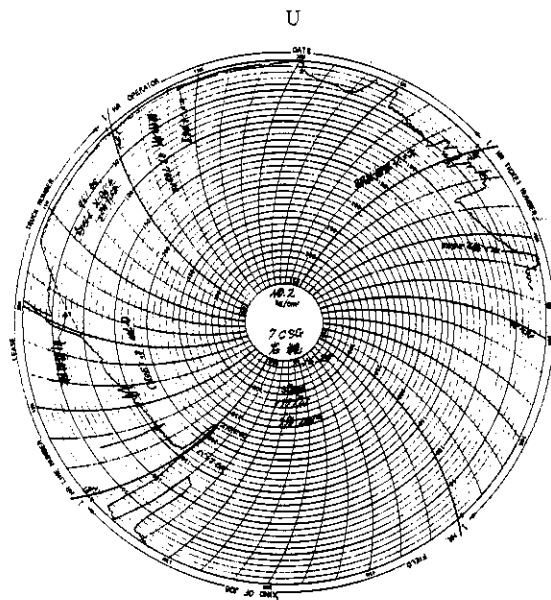


図 14 b 7 インチケーシングのセメンティングチャート
(2)

Fig. 14b Cementing chart of the 7-inch casing (2)

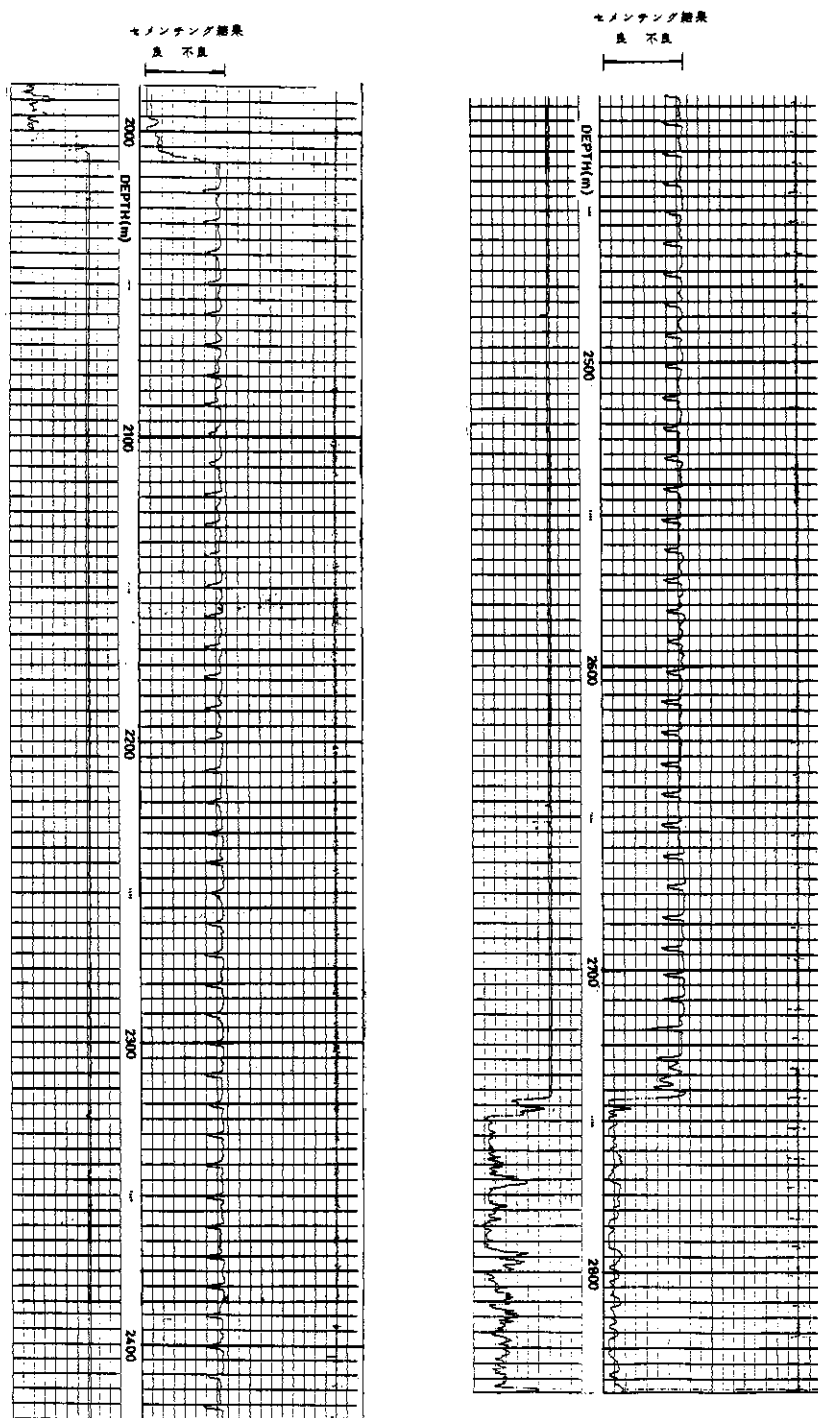


図 15 7インチケーシングのセメントバンド検査記録

Fig. 15 Cement bond logging chart of the 7-inch casing

サンフロー R	200kg
消泡剤	5 kg
スラリー比重	1.90
スラリー量	32.277kl

作業は順調にすすみ、最終圧力は210kscであった(図14b)。

iii. 実施結果

第1回セメンチングは作業の途中からポンプ圧力が上昇し、後押量 53.595 kl に達した所で、ポンプ圧力がついに 175 ksc に上昇し、能力及び安全上これ以上圧送することが出来なくなった。セメントボンド検層によるとケーシング外のセメントの頭部は 2,743 m で第2回セメンチングの底部 2,005 m との間 738 m がセメントのまったくない区間となった(図 15)。なお、第2回セメンチングのセメント頭部は 30 m であった。7 インチケーシング内に残留したセメント 15.740 kl は深さ 2,681 m まであり、そのさらいと清掃(ケーシングスクレーパとフラットミーリングによる)作業を行なったが、膨張性セメントは針状結晶を形成するため、通常のセメントと比べて掘削しにくく、作業に約半月を要した。

第1回セメンチング中ポンプ圧力の上昇した原因は、次のようなことと判断された。掘削の項で述べたように基盤に破碎帯があり、さらにその上の不整合面に礫層もあることから、崩壊した坑壁(ザク)あるいは除去しきれなかったカッテングが比重の大きいセメントスラリーに急激にもちあげられて集積し、坑壁とケーシングの間でプラグ状となったためである。

対策について種々の面から検討した結果、下記のようなことから特に新たな処置はとらないこととした。

- (1) 重先行液は深さ 2743~2402 m の間にあると推定される。この重先行液の下部約 100 m は、送入中にセメントスラリーと接触して、セメント中の Ca とシリカ(フライアッシュ)との反応により硬化する。その上部は時と共に強度のゲル状となる。
- (2) 検層結果から深さ 2743~2601 m の間には流動する液体(水やガス)はない。
- (3) この間に残留している重先行液の pH は 11.0、泥水の pH は 10.5 であり、共にアルカリ性のため、ケーシングパイプに亀裂や腐蝕の生ずる恐れはない。

iv. 膨張性セメント及びセメントスラリーの特性

深度が深く、高温高圧下であるため、セメンチングには油井用セメントを使用する必要がある。従来は輸入していたが、当時国産化が試みられており、若干の試用実績もあることから、国産油井用セメント G 級を用いる方向で検討した。また、膨張性セメントも市販されはじめた国産品を用いることにした。しかし、これら2種のセメントを混用した例がないので、製造業者である日本セメント技術研究所と帝国石油技術研究所の両者が協同して使用するセメントスラリーの開発に当たった。

a. 油井用 G 級セメントの性質

使用した油井用セメントG級の性質は次のようである。

比重 3.18

粉末度 平均 $3.113\text{cm}^2/\text{g}$

化学組成 (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss	Insol.	Total
22.6	3.5	5.9	63.9	1.0	1.5	0.27 Na ₂ O換算0.55	0.42	0.6	0.6	99.7

b. 膨張性深層井用セメントの特性

上記油井用セメントG級に膨張セメント（商品名ジブカル）を種々の比率で配合した場合のセメントスラリーとセメントの性質を試験し、使用に適した配合を調べた。以下に実際に使用した配合比のものを中心にその性質を示す。

シッキングタイム

ジブカル 配合比	サンフローR	水 比	測 定 条 件	シッキングタイム
3 %	0.6%	0.45	70°C×719ksc	6 h10m
0	0.4	//	//	4 h55m

流動特性 (100°F20分後)

ジブカル 配合比	サンフローR	水 比	h'	k'
3 %	0.6%	0.45	0.003	0.018
0	0.4	//	0.425	0.045

圧縮強度

配 合	測 定 条 件	圧縮強度kg/cm ²
ジブカル 3%	温 度 圧 力	3 日 8 日
サンフローR 0.6%	50°C 211kg/cm ²	222 332
水 比0.45%	57 //	460 624

配 合	測 定 条 件	圧縮強度kg/cm ²
サンフローR 0.4%	温 度 圧 力	3 日 14 日 20 日
水 比0.45%	気温 大気圧 50°C 211kg/cm ²	63 406 175 488

c. 膨張性深層井用セメントの膨張特性

通常はセメントの固結時の収縮量を補償する程度に膨張性セメントを配合するのであるが、ケーシングパイプと坑壁を強固に固着させることを考えているので、多少膨張する程度

の配合比を求めた。

1) 線膨張率 (試験者: 帝国石油技術研究所)

試験方法: 試験用セメントと水を 100 対 45 で調整したセメントスラリーを、断面 1 インチ、長さ 7 インチ (有効標点距離) の型枠で成形し、清水中に室温で 24 時間養生後、型枠をはずし、供試体とした。この時点の測長を基長とし、測定後、大気後、大気圧、80°C の清水中で養生した。下記測定時は室温まで冷却し、測定には ASTM 規格を準用し、丸東製セメントコンパレーターを使用した。

試験結果: 下記の通りである。

ジブカル 配 合 比	膨 張 率	
	7 日後	30 日後
0 %	0.07%	0.08%
3 %	3.19	3.20

2) 体積膨張率 (試験者: 日本セメント技術研究所桜井敏生)

試験方法: 試験用セメントと水を 100 対 50 で調整したセメントスラリーを、弾力性のあるゴム袋に密封して水中に吊し、これを化学天秤の一方のアームに取付け、時間による浮力変化を測定した。温度は 50°C/h の割合で上げ、80°C に達した後一定に保った。

測定結果: 24 時間内の浮力の経過を図 16 に示す。浮力変化から算出した 24 時間後の体積膨張率は次のようである。

ジブカル配合比	体積膨張率
0 %	1.5%
3	3.4

膨張性セメントでも、1 年以上たつとやや収縮する場合もあり、また基盤岩は破碎されやすいことから、掘削中に多少坑壁がゆるんでいることもあったと考え、上記の試験結果から、ジブカル配合比は 3% とすることにした。

d. セットセメントの特性

初めて使用した膨張性深層井用セメントの、セットセメントの性質を、7 インチケーシング内に残留したセメントにより調査した結果は次のようである。

1) 化学組成

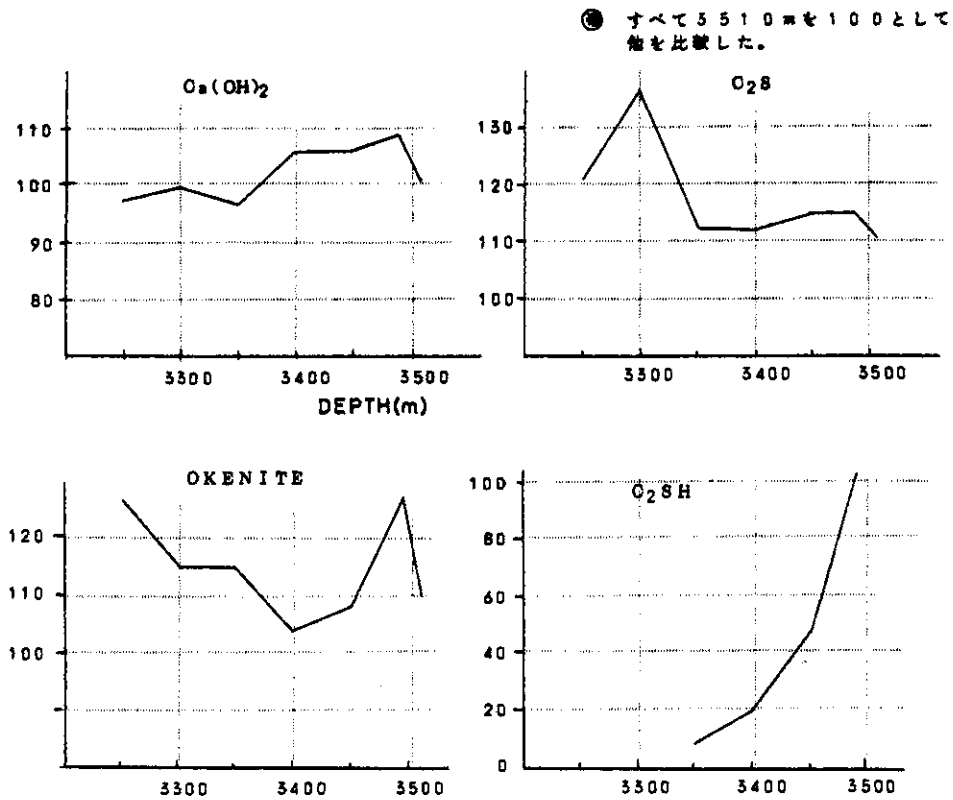


図 16 セメントの X 線分析結果

Fig. 16 X-ray diffraction analyses data for cements

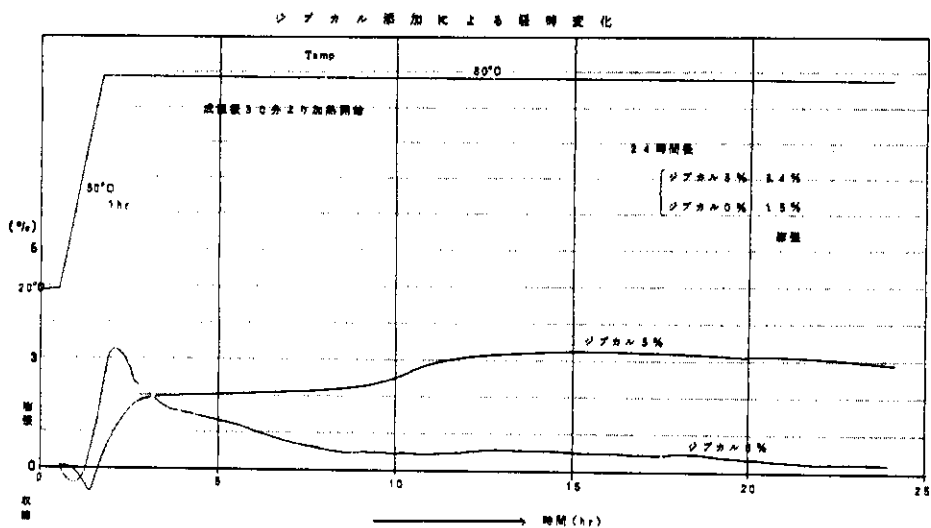


図 17 膨張セメントの体積変化

Fig. 17 Volume change of expansion cement

化学分析をした結果は下記のとおりである。

試料 深 度	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss	Insol	Total	H.M. C ₂ S	A.I. C ₂ S	S.M. C ₃ A	I.M. C ₄ AF	L.S.D CaSO ₄	水和率
3,250 m	18.0	3.0	4.9	50.8	0.8	1.7	19.5	1.0	99.7	1.92	6.0	2.3	0.6	0.87	69.6
3,300	18.0	3.0	4.8	51.5	0.8	1.7	19.2	0.6	99.6	1.95	6.0	2.3	0.6	0.88	68.6
3,350	14.8	4.0	4.8	41.9	1.3	1.4	16.5	14.6	99.3	1.73	3.7	1.7	0.8	0.82	58.9
3,400	17.9	3.1	4.7	51.0	0.8	1.6	19.4	1.0	99.5	1.94	5.8	2.3	0.7	0.88	69.2
3,450	17.7	3.5	4.7	51.6	0.7	1.7	18.6	0.8	99.3	1.95	5.1	2.2	0.7	0.89	66.4
3,490	18.1	3.4	4.7	52.1	0.8	1.6	17.7	1.2	99.6	1.95	5.3	2.2	0.7	0.88	63.2
3,510	17.7	3.3	4.7	50.5	0.8	1.6	17.3	3.3	99.2	1.92	5.4	2.2	0.7	0.87	61.8
アサノジブカル	2.1	6.3	0.6	60.5	0.6	28.4	0.9		99.4						

深度 3,350 m 試料以外はほぼそろった値を示している。分析値中の Ig. loss と Insol.を除いて、SO₃の量を求めると下記の通りとなり、油井用セメント G 級に比べ、各試料とも SO₃の増加量はかなりよくそろっている。これはともに袋入りのセメントとジブカルを、セメンチングの際、手作業で混合したにもかかわらず、両者が均一によく混和されていることを示している。

試料深度 m	3,250	3,300	3,350	3,400	3,450	3,490	3,510	セメント G 級
SO ₃ 含有量 %	2.15	2.13	2.05	2.02	2.13	1.98	2.04	1.53

2) X 線回析

一般的に Ca(OH)₂、未水和の C₂S、セメント水和物 Okenite、C₂SH が見られる。それらの相対含有比を図 17 に示す。Ca(OH)₂が多いと未反応の C₂S₂の少ないことは従来から知られている通りであり、セメンチング上、有害な反応の起った兆候は認められない。SiO₂のピークの見られる試料があり（深度 3,250 m、3,300 m、3,350 m、3,510 m）、特に深度 3,350 m のものには、約 7 % も混入していた。混入物は石英、長石、粘土鉱物で、ケーシング壁に附着していた掘削泥であった。

3) 示差熱分析

示差熱分析を行った結果は図 18 に示す通りで、何れも相互に良く似た変化を示しており、特に異常な鉱物の存在を示すピークは認められない。なお、500°C 附近の吸熱ピークは、Ca(OH)₂の脱水によるものであり、700°C 附近の吸熱ピークは、セメント水和物によるものである。

4) 水和の程度

分析時点で、セメントの水和は 60~70 % 位進んでいた（ただし、水和率 = Ig. loss × 100 / 28、化学分析値を参照）。この値は X 線分析による未水和鉱物量とも良く一致している。

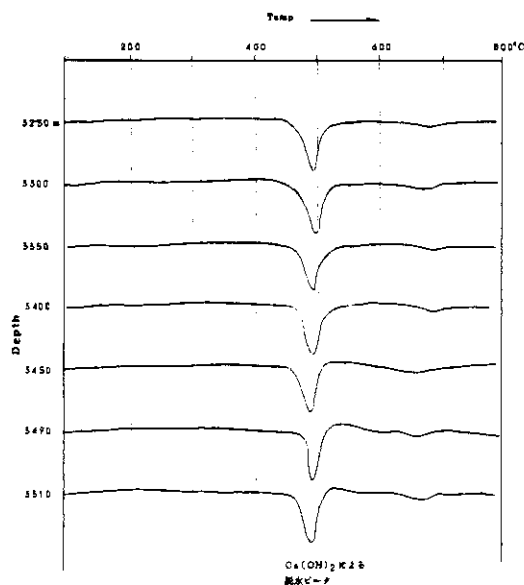


図 18 セメントの示差熱分析結果

Fig. 18 DTA analyses curves for cements.

ニ. セメントスラリーの調整

i. ポゾランセメント

ポゾランセメントは宇部興産 KK で調合したセメントをバルクカーで現場に搬入し、サンフロー R などを配合した水をホッパーで混合しつつセメンチング車で圧送した。その際比重を常に測定しつつ、水の混合比を調整した。

ii. 膨張性深層井用セメント

油井用セメント G 級とジブカルとの混合は、ジブカルの吸湿性が高いことなど、出荷場所で混合することに困難があることなどから、何れも袋詰めで現場に搬入した。混合は配合比を袋単位で計算し、人力でホッパーにそれぞれ投入しながら、水と混合してセメンチング車で圧送する方法をとった。その実施結果は前記のごとくで、ほぼ均質に混合された。

6.8 坑心傾斜

6.8.1 工 法

検出器の鉛直補正の可能な範囲から、坑心傾斜は 3.0° 以内、極力 2.0° 以内におさえる必要がある。また、観測装置耐圧容器の長さが 10 m 余あるのに対し、そのケーシング内における余裕が 2 cm 弱しかないため、坑心の屈曲は $1/550$ 以内、すなわち 10 分以内の必要がある。このような厳しい条件の掘削はこれまでに行われたことはない。

坑心傾斜を自由制御しつつ掘削する方法がないので、(1)掘削速度を通常より落とし、ビット

表 3 坑心傾斜

Table.3 Inclination of the observation well

No.	測深ノ		傾斜角	Cosin Sine	垂直深度		傾斜方位	Cosin Sine	南北の偏距東西の偏距								坑 底	
	米	サ			米	サ			北	南	東	西	北	南	東	西	方 位	偏距
	米	度 分			米	度 分			米	米	米	米	米	米	米	米	度 分	米
1	350.00	350.00	15	0.99999 0.00436	349.99		1.53 N. 10. E	0.98481 0.17365	1.51		.27		1.51		.27			
2	450.00	100.00	//	//	100.00		.44 // .55. W	.57358 .81915	.25			.36	1.76			.09		
3	950.00	500.00	30	.99996 .00873	499.99		4.37 S. 85. //	.08716 .99619		.38		4.35	1.38			4.54		
4	1,467.00	517.00	//	//	516.98		4.51 // .30. //	.86603 .50000	3.91		2.26		2.53		2.70			
5	1,800.00	333.00	40	.99993 .01164	332.98		3.88 // .80. //	.17365 .98481		.67		3.82		3.20		10.52	S 73°05'W	11.00
6	1,980.00	180.00	30	.99996 .00873	179.99		1.57 N. 60. //	.50000 .86603	.79			1.36		2.41		11.88		
7	2,160.00	180.00	1.00	.99985 .01745	179.97		3.14 S. 75. //	.25882 .96593		.81		3.03		3.22		14.91		
8	2,339.00	179.00	1.20	.99973 .02327	178.95		4.17 // .30. //	.86603 .50000	3.61		2.09		6.83		17.00			
9	2,363.00	24.00	1.40	.99958 .02906	23.99		.70 // .20. //	.93969 .34202		.66		.24		7.49		17.24		
10	2,418.00	55.00	1.20	.99973 .02327	54.99		1.28 // .10. //	.98481 .17365	1.26		.22		8.75		17.46	S 63°23'W	19.53	
11	2,468.00	50.00	1.30	.99966 .02618	49.98		1.31 S	1.00000 .00000	1.31		0		10.06		17.46			
12	2,530.00	62.00	2.00	.99939 .03490	61.96		2.16 S. 20. W	.93969 .34202	2.03		.74		12.09		18.20			
13	2,600.00	70.00	2.30	.99905 .04362	69.93	2,599.70	3.05 // .40. //	.76604 .64279	2.34		1.96		14.43		20.16	S 54°24'W	24.79	
14	2,626.00	26.00	2.20	.99917 .04071	25.98		1.06 // .50. //	.64279 .76604		.68		.81		15.11		20.97		
15	2,727.00	101.00	1.20	.99973 .02327	100.97		2.35 // .40. //	.76604 .64279	1.80		1.51		16.91		22.48	S 53°03'W	28.13	
16	2,762.00	35.00	//	//	34.99		.81 // . // . //	//		.62		.52		17.53		23.00		
17	2,817.00	55.00	1.05	.99982 .01891	34.99		1.04 // . // . //	//		.80		.67		18.33		23.67		
18	2,910.00	93.00	1.50	.99949 .03199	92.95		2.98 // .20. //	.93969 .34202	2.80		1.02		21.13		24.69			
19	2,940.00	30.00	1.30	0.99966 0.02618	29.99		.79 S. 20. W	0.93969 0.34202		.74		.27		21.87		24.96		
20	2,975.00	35.00	1.20	.99973 .02327	34.99	2,974.56	.81 // .10. //	.98481 .17365	.80		.14		22.67		25.10	S 47°55'W	33.82	
21	3,012.00	37.00	1.20	.99973 .02327	36.99	3,011.55	.86 S	1.00000 0.00000	.86		0		23.53		25.10			
22	3,105.00	93.00	1.00	.99985 .01745	92.99		1.62 S. 20. E	.93969 .34202	1.52	.55			25.05		24.55			
23	3,157.00	52.00	50	.99989 .01454	51.99		.76 // 5. W	.99619 .08716	.75		.07		25.80		24.62			
24	3,212.00	55.00	1.00	.99985 .01795	54.99		.96 E	1.00000 0.00000		0	.96		25.80		23.66			
25	3,245.00	33.00	//	//	33.00		.58 N	1.00000 0.00000	.58			0	25.22		23.66	S 42°52'W	34.44	
26	3,282.00	37.00	50	.99989 .01454	36.99		.54 N. 75. W	.25882 .96593	.14			.52	25.08		24.18			
27	3,312.00	30.00	1.00	.99985 .01745	30.00		.52 S. 80. //	.17365 .98481		.09		.51	25.17		24.69			
28	3,345.00	33.00	1.20	.99973 .02327	32.99		.77 // .70. //	.34202 .93969	.26		.72		25.43		25.41			
29	3,360.00	15.00	1.10	.99979 .02036	15.00		.31 // .80. //	.17365 .98481		.05		.30	25.48		25.71			
30	3,373.00	13.00	1.05	.99982 .01891	13.00		.25 // .75. //	.25882 .96593	.06		.24		25.54		25.95	S 45°27'W	36.41	
31	3,417.00	44.00	50	.99989 .01454	43.99		.64 // .80. //	.17365 .98481	.11		.63		25.65		26.58			
32	3,451.00	34.00	//	//	34.00		.49 // .70. //	.34202 .93969	.17		.46		25.82		27.04			
33	3,471.00	20.00	1.20	.99973 .02327	19.99		.47 // .80. //	.17365 .98481	.08		.46		25.90		27.50			
34	3,490.00	19.00	1.05	.99982 .01891	19.00		.36 // .70. //	.34202 .93969	.12		.34		26.02		27.84			
35	3,500.00	10.00	//	//	10.00		.19 // . // . //	//		.06		.18	26.08		28.02			
36	3,510.00	10.00	//	//	10.00	3,509.48	.19 // . // . //	//		.06		.18	26.14		28.20	S 47°10'W	38.45	

に加わる荷重を低くする。(2)ドリルカラーを多く用い、スタビライザーを多くつけ、屈曲しにくくする、などにより傾斜のおこりにくように努めた。これは坑井の傾斜は一度発生すると大きくなる傾向があり、また微細な傾斜角を修正することは著しく困難であるからである。なお、石油・天然ガス井ではこのような微小角を通常問題とせず、傾斜掘削のような大きな傾斜角を測定しているので、使用開始前に測定器の3°以下における精度を検定し、また測定時におけるロッド内空隙等による誤差も検討し、測定値の信頼性を確かめてある。

6.8.2 測定法と測定結果

測定はイーストマン坑心傾測儀を用い、7インチケーシングセメンチング後、全長にわたり坑心傾斜の連続測定(検層)も実施した。後者の方法は測定精度はややおちると考えられるが、ケーシングの屈曲状況を調べることに役立つ。測定結果は表3に示す。

6.8.3 施工結果

掘進中深さ2,000 mで傾斜が1°を越え、深さ2,600 mでは2°30'に達したので、坑曲りの矯正を行い、荷重を減じて減角に努め、最後の掘止め深度では、1°05'に納めることができた。傾斜方向は西から南西方に次第に移り、単純な傾きかたであり、井口からの偏距も38.45 mと小さな値で納った。

6.9 泥水管理

6.9.1 調泥経過

深さ710 mまではベントナイトの補給のみで調泥し、それ以後は4%のクロム泥水を用いた。深さ1,100 m附近から主として礫層となったのでクロム量を減らし、泥水の粘速を80 sec以上に高めてザクを上げることに努めた。深さ1,250 m附近で逸泥が少量発生したので、濃泥を放置し、逸泥をとめた。深さ1,260 m附近からは重油を4%混入したエマルジョンマッドを用いた。深さ2,605 m以後は泥水の老化現象防止と春日部GS-1の基盤で遭遇した著しい崩壊現象の防止に主眼をおいて調泥に努め、そのための脱水減少剤としてアステックスも用いた。その結果常時泥水は安定しており、割水による増泥もみられず、1日1回の調泥で安定した掘削ができた。

6.9.2 泥水の性質

泥水の降管1循環時の粘速は、平均63秒以上で揚管前との差は14秒、最悪の場合でも100秒以上、差14秒であった。EMD (equivalent mud density)の循環時の平均は0.026 g/cc、最悪の場合でも0.0893 g/ccで、降管と同時にポンプを全速回転として掘進に入れる状態であった。流動性(n数)は0.7以上であれば良いとされているが、0.79~0.82(平均0.81)と極めて良い流動状態にあった。主な調泥剤の使用量は次の通りである。

ベントナイト	106.500トン
テルナイト	2.600
CMC	0.650

ネオクロームナイト	67.070
カセイソーダ	4.100
重曹	0.600
バライト	313.000
重油	56.500
マッドオイル	2.500

6.10 洗 浄

6.10.1 作 井 時

クインチケーシング内の残留セメントを除去したあと、ケーシング表面になおすく附着残留しているセメントをケーシングスクレーパーで除去した。その際、ケーシング内面、特に高精度に仕上げてある非磁性ケーシング内面に損傷を与えぬよう注意深く行なった。そのザクを泥水で排出後、元荒川の河川水でケーシング内を洗浄した。セメントボンド検層の除検層器にケーシングの細かな破片（バリ）とともに砂鉄が附着していたので、マグネチックフィッシングツールで鉄分の除去を行なった。これらの清掃作業の結果、耐圧容器と外形の合ったケージは、何らの抵抗や異常もなく坑底に達し、また附着物もなく回収され、洗浄が十分に行われたと判断された。

6.10.2 観測装置設置前

作井最終時に十分洗浄したが、温度検層時に坑底に沈澱物の排除を行なった。沈澱物の主体はセメントの細片、鉄粉、砂鉄であった。セメントの細片はケーシング内壁に附着していたもので、ケーシングをいためないためにケーシングスクレーパーを軽くかけたためなお残在していたものおよび9 m ごとにあるケーシングの継目に25.4 mm の隙間があるため、その隙間に充填されていたもの、ならびにフロートカラーやステージカラーなどの内径のことなる所に附着残留していたものである。鉄粉はケーシングのバリのようなものであり、砂鉄は元荒川河川水を小槽にためては使っていたが、河床の砂がポンプの吸引力で吸込まれて坑内に入ったものである。対策としてケーシングを通して水を坑底におくり、チュービング排水する逆循環による洗浄で重い沈澱物を排出することを試みた。また、新たな砂鉄の入ることを除くため、水は汙過度20ミクロンのフィルターを通したものをを用いた。その結果これらの沈澱物はほとんど完全に井外に排出できた。なお、沈澱物により埋没した深さは19 m（深さ3491.21 m まで）であることが通り試験と排水した水質から確かめられた。また、通り試験では、外径147 mm のビットが深度3491.21 m で若干の負荷を感じたが、その後大した抵抗もなく坑底まで通過しており、固結した沈澱物ではなかったと考えられる。

6.10.3 長期沈澱物

観測井完成後は、坑底に主として調泥剤が沈積するようになり、それは主としてケーシングの継目等に詰っていたものである。調泥剤は主にベントナイトで、非常に細かく軽いため、

深さ 3,500 m もの深層井では、その沈殿に数年ないし 10 年を要するので、保守工事の際、沈殿物採取器で一部取除くと共に、観測装置設置 5 年後に「大洗浄」と称して、捲上塔を取りはずし、逆循環で除去することとなった（深層各井とも）。

6.11 防 錆

6.11.1 検討経過

ケーシングの防錆は、観測井を良好に長期にわたって維持管理して行く上で極めて重要な事である。ケーシング外壁の保護は、全坑長セメンチングで保護されており、電気防蝕は、効果が不確かなのと、観測に与える悪影響から、行わない事にした。

ケーシング内壁の保護については、信号ケーブルの絶縁のため、電気的絶縁油（液）の充填による防蝕も考えられたが、高純度絶縁油で坑内を充たすためには、ケーシング内の清水との完全な置換が必要であるが、その実施は極めて困難なために、取り止めた。次に考えられる方法は、坑内を乾燥空気（気体）で充たすことであるが、坑内水を完全に汲み出すこと自体容易ではなく、これを乾燥させることは実施不能のため、これも取り止めた。なお、坑内を清水で充たすことは、ケーシングを外圧から保つためと、垂直に吊った状態で使用する信号ケーブルに浮力を与えて、信号ケーブルにかかる引張荷重を軽減する上で利点がある。

6.11.2 岩井井における防錆実験

結局実施可能な方法としては、有効で長期にわたって劣化しない防錆剤を添加した清水で坑内を充たすことである。岩槻井に先立って作井された岩井（南北）地殻活動観測井の防錆実績が役立った。すなわち、岩井井の下半は裸孔になっており、ここより H_2S を含んだ地下水が坑内に浸入してくる。そのためケーシングがおかされ、真黒な極微粒の強磁性をもった Fe—S 化合物が形成され、坑内水は墨汁のような色となり、ワイヤーなどにも泥状に厚く沈着した。その対策として、防錆効果があるとともに信号ケーブルの被覆物、引上げ用ナイロンロープ、耐圧容器とその O リングなどに有害な作用を与えない物質の調査を行なった。石油や天然ガスは高塩度水をとまなっているもので、それらの坑井で使用実績のあるレスコール液を岩井井で試用した結果、上記黒色化合物の発生を完全におさえることができ、坑内水に充たされない所がむしろ発錆する状態となった。

6.11.3 実施結果

この実績をもとに坑内洗条後レスコールを 0.2% 添加して坑内作業を終了した。昭和 47 年 7 月、作井 1 年後の井内調査を行った際、レスコールの効果について調査した。今日までの使用実績は優良で、目的を十分に達成している。

イ. 水質分析

水質分析を坑内より排出された水（No. 1,2）と洗浄完了時（レスコール添加前, No. 3）について行なった。坑内から排出された水には浮遊物（SS）と鉄（Total Fe）の多いことが目立つ。浮遊物（SS）も酸処理して分析した結果ほとんど鉄であった。これらはともにケー

シング内面に附着していた錆がレスコールの作用で遊離したものと考えられる。

分析結果

試料No. 成分	No. 1	No. 2	No. 3
pH	6.25	6.75	7.0
Cl ⁻	46.8ppm	41.7ppm	29.8ppm
Ca ²⁺	12.7 //	14.3 //	17.1 //
Mg ²⁺	1.3 //	1.6 //	4.0 //
COD	16.6 //	— //	0.7 //
T.Fe	26.0 //	28.0 //	0.9 //
SS	37.4 //	30.3 //	6.6 //

(注) COD……化学的酸素要求量, T.Fe……
総鉄量, SS……浮遊物質。

ロ. 腐蝕試験

鉄製テストピースを試料に1ヵ月浸したのち秤量して得た結果を下に示す。一般に腐蝕率の少いと考えられる水道水と比べても、レスコールの入っている No. 2, No. 3 は低い値を示しており、レスコールの効果は明らかである。

- 試料 No. 1 0.1%レスコールを混入する前の清水
 No. 2 坑内洗浄が行なわれた時の坑内より排出された水
 No. 3 0.1%レスコールを混入した清水
 No. 4 水道水 (参考)

試験結果^(註)

試料No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
腐蝕量	1.4 mdd	0.76 mdd	0.82 mdd	1.39 mdd

(注) 1日に100cm²の表面から失われた鉄量 (単位 mdd)

分散分析法によるレスコール無 (I) の場合と、有 (II) の場合の試験片の腐蝕率の差の検定結果は下のようになる。

	I	II	Σ
X_{ij}	1.40 1.39	0.76 0.82	
Σ	2.79	1.58	4.37
N_i	2	2	4
Z_i	1.395	0.79	1.0925

$$JR = \Sigma \Sigma x_{ij}^2 - T_{..}^2 / N$$

$$J = \Sigma T_{.j}^2 / N_i - T_{..}^2 / N$$

$$R(J) = JR - J$$

ただし, JR : 全変動量, J : 級間変動量

$R(J)$: 級内変動量

$$T_{.j} = \Sigma_i x_{ij}, T_{..} = \Sigma \Sigma x_{ij}, N = \Sigma N_i$$

要 因	SS	DF	MS=SS/DF
J	0.366025	2 - 1	0.366025
$R(J)$	0.001850	4 - 2	0.000925
JR	0.367875	4 - 1	

$$F_0 = 0.366025 / 0.000925 = 395.7027$$

$$\therefore F_0 > F_2' (0.01) = 98.49$$

よって, 両者の差は1%の危険率で有意である。

6.12 ブリッジプラグの設置

6.12.1 観測井底面

観測井の坑底には, 観測装置耐圧容器を着底させるための底面を必要とする。観測装置には高感度傾斜計が含まれる関係上, 耐圧容器固定器の固定脚は, 非磁性ケーシング内壁と点接触するように設計されている。耐圧容器最下端部も坑底面と点接触するようにする必要から, 坑底面は, その表面が平滑であると共に, 非磁性ケーシング内面に対して直角面を形成する必要がある。この底面部には, さらに耐圧容器と信号ケーブルの荷重を十分保つこと, 坑内沈澱物(少量)を貯える空間を, 坑底部の下位に設けることなどの要求事項がある。また設置に際しては, 地表から所定の深度に精度よく降下できることや, 設置に失敗しないような安全確実な方法であることなどのきびしい要求がある。

6.12.2 施工法の検討

これらの問題点につき検討を重ね, 実施可能な方法としてブリッジプラグを選んだ。ブリッ

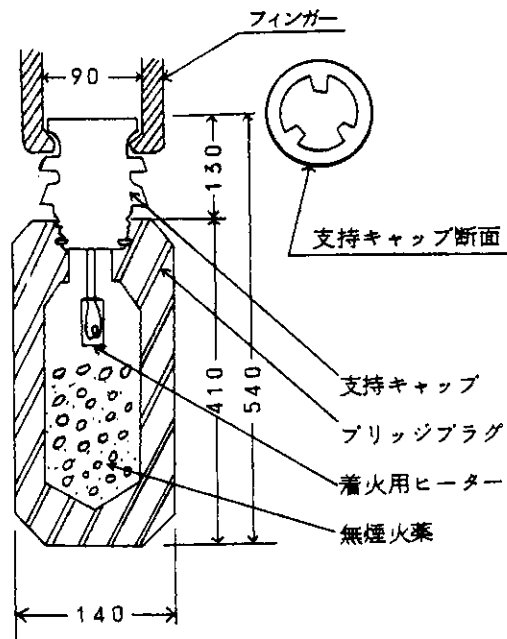


図19 ブリッジプラグ

Fig. 19 Bridge plug

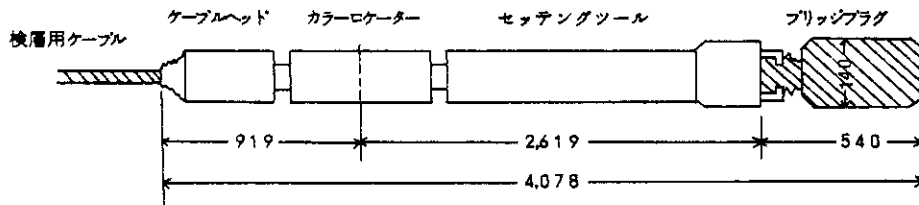


図20 ブリッジプラグのセット装置

Fig. 20 Setting tool for the bridge plug

ジプラグとは、アルミ製の円筒容器を、内蔵した火薬の爆発力で膨張させることによりケーシングに密着させて、ケーシングに栓をするものである。構造は図19に示すようなもので、それを検層車のケーブルに取り付けたセッティングツール（図20）によって坑内に降下させる。ブリッジプラグをケーシングに固定した後、検層ケーブルを所定の張力で引くことにより、セッティングツールのフィンガーがブリッジプラグからはずれるようになっている。こ

のプラグはケーシング内を降下中に強い振動を受けると落下する危険があり、あるいは引っかかったり、坑底部の軟かい沈澱物で浮くようなことがあっても、重量が軽いため操作員が感知しにくい欠点があり、また、万一異常がわかって、地表までブリッジプラグを落さずに無事回収することは難しい。このようにやりなおしのきかない工法である。しかし、他によい方法もなく、実施実績もあるのでこの方法によった。実施に先立ち、使用したと同じ非磁性ケーシング内でブリッジプラグを爆発させ、その固定状況(強度)、ケーシング内面との直角度、非磁性ケーシングに支える変形と損傷の有無等を点検した。また、ブリッジプラグは通常坑井の途中に設置しているが、この場合のように硬い坑底で爆発させた場合、その時の反動で設定深度より上方にとび上る恐れがある。そこで帝国石油 KK 所有の改修井を利用して、ブリッジプラグを設置した坑底の上に密着してもう 1 箇ブリッジプラグを設置して、その反動試験を行い、上記の恐れのないことを確認した。なお、実施の際に導火線が坑内に残留すると、観測装置に悪影響を与え、取り除くことも困難なので、導火線が残らないようにされている。

6.12.3 施 工

作業実施前日に、坑底までの綿密な坑内調査が行われ、通り試験に異常のないこと、坑底深度の確認(深度 3,510.30 m)、沈澱物のないことの確認などが行われた。実施日には、まず 140 mm ϕ ×6,400 mm のゲージを坑底まで再度降下し、異常のない事を確認し、図 20 に示した編成で、検層用ケーブルにより降下し、CCL(ケーシングカラーロケーター)と張力計により坑底 3,510.30 m を確認し、ブリッジプラグの設置を行った。設置深度は、非磁性ケーシングの継目と耐圧容器固定器の固定脚が上下各 20 cm 以上離れる位置でなければならない。その位置は、プラグ下端深度が(1)3,510.30~3,510.10 m、(2)3,509.70~3,509.30 m、(3)3,508.90~3,508.60 m の 3 箇所である。非磁性ケーシングの有効長をできるだけ長くとるため、設置深度は 3,510.30 m とした。設置後その頭部、すなわち坑底面の深度を調査した結果、深度 3,509.76 m で坑底より 54 cm 上であり、計画通り、狂いなく設置されたことが確認された。

6.13 観測井の構造

6.13.1 口元等工事

作井終了後、地上設備を建設するまで、ケーシング口元はマンホールで保護した。地上設備建設後は、床面から+300 mm の高さで切断し、鉄ふたを取付けて密閉した。

6.13.2 構 造

観測井の仕上りの構造は図 21 および写真 6 の通りである。深度は、敷地内の標高基準点の標高 8.484 m(図 4)を 0 m とした値である。なお、観測井の口元に取付けた水準測量用ベンチマークの標高や、観測装置の設置上重要な、観測井下部の構造も同図に示している。これらの深度は、ケーシングをつないで降下して行く際に、ケーシングの長さを 1 本 1 本実測

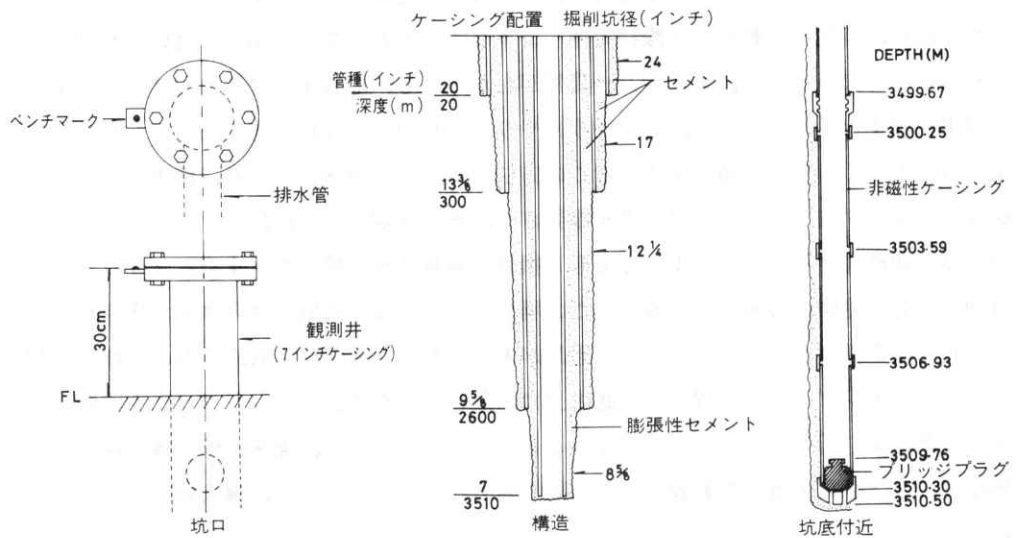


図 21 観測井構造図

Fig. 21 Structure of the Iwatsuki deep observation well

II

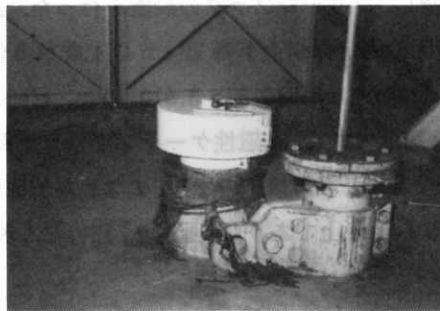


写真 6 観測井坑口

Photo. 6 Head of the observation well

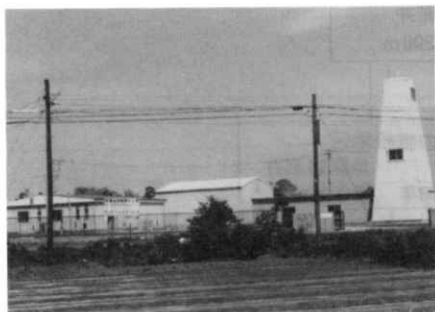


写真7 岩槻地殻活動観測施設

Photo.7 Iwatsuki Deep Borehole Observatory

して求めている。なお、岩槻観測施設の完成後の様子を写真7に示す。

7. 岩槻井開発の成果と問題点

7.1 地殻活動観測井の開発経過

岩槻井の開発は、浅層井の開発の技術成果なしには考えられないとともに、浅層井の作井および設置技術の進歩・発展に大きな貢献をした。しかし、深層井としてはなお幾つかの問題があり、それらは2・3本目の下総・府中井で改善や技術の開発が行われた。現在までに作井された観測井の技術系統図を図22に示す。

7.1.1 各観測井の技術成果と問題点

イ. 松代地震観測井

微小地震や地殻傾斜等の高感度地殻活動観測井の開発は、松代群発地震に際して、皆神山麓に作井した松代地震観測井〔深度200 m, 以下松代井と略す, 高橋(博)・他, 1967, 高橋(末)・他, 1967〕に始まる。松代井においては、微小地震計、傾斜計(震研試作)、温度計、歪計(地質調査所要請)、地電流用電極(垂直方向)などの検出器と、方位計などの観測補器を納めた耐圧容器を降下し、セメントによって坑底に固定した。その際、松代群発地震に関する諸観測や、観測や調査に必要な資料および観測装置の設置など、作井上必要な資料を得るため、各種の検層を行った。観測装置の設置に際しては、検層結果、コア観察、ならびに湧逸水などを検討し、湧水を止めるなどの事前処理を十分行なった上で設置工法を定めて行なった。またセメントは8時間位は流動性がよく、そのあと固結し、しかも電位電極のあることから電気伝導度でもできるだけよいようなセメントスラリーの開発を行なった。なお、膨脹性のセメントにつき調査したが、当時は建築用発泡セメントがあった程度で、観測井に使える市販品はなかった。このように、今日の高感度地殻活動観測井の基本的な諸問題の大半が松代井でその開発に着手された。

ロ. 気象研究所地震観測井

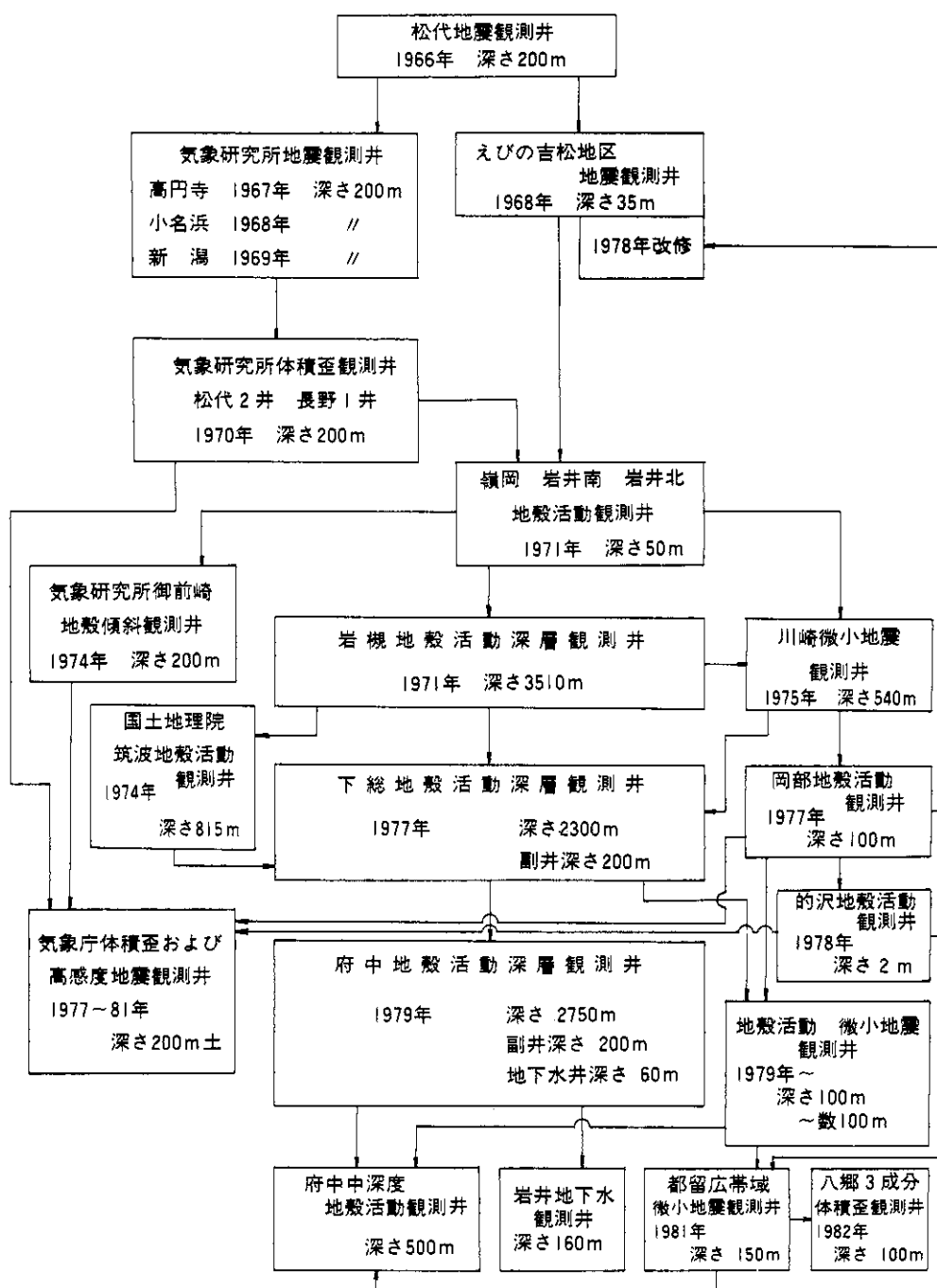


図22 地殻活動観測井の技術系統図

Fig. 22 Technical system diagram of crustal movement observation wells

気象研究所の地震観測井は松代井の仕様を基礎に作井された。主な相異点は地震計をワイヤーで引上げられるようにした点である。この作井目的は地中に地震計を入れることにより、S/N 比がどれほど改善できるかを知ることにより、東京の台地の洪積層（高円寺）、新第三紀層（小名浜）、厚い砂地盤（新潟）で深度別の S/N 比の測定を行なった（広野・他、1968、1969、末広・他、1970）。

ハ. えびの・吉松地区地震観測井

えびの・吉松地区地震観測井はえびの地震に際して設けられたもので、設置場所は霧島火口列の延長上の地熱のもっとも高い所に位置しているため深さを浅くした。技術上は傾斜計の開発を試みた点にあり、作井方法は松代井と本質的にはかわらない（高橋・他、1971）。なお、地中観測装置が激しい雷雨のあった日のあと作動しなくなったので、観測井内の引きあげ用ワイヤーと信号ケーブルをセメンチング直上で切断し、セメントと観測装置上部を切削し、現在の傾斜計用観測井に改修した。観測井改修の最初の試みが行われた点でえびの井は技術開発上重要な意義がある。

ニ. 気象研究所体積歪観測井

気象研究所の体積歪観測井（松代 2 井、長野 1 井）は体積歪計用観測井の実用化に重要な意義を持つ。また、米国カイザー社製の膨張セメント（収縮補償セメント）を用い、珪砂を混じたセメントモルタルによるセメンチングを行なったことに作井技術開発上極めて重要な意義がある。このセメントモルタルの調整は米国技術者から教わった。珪砂はセメントモルタル中で沈澱しにくい性能をもつ必要があり、米国技術者が選んだものは長野県佐久地方に産する海瀬珪砂と称し、精密鑄造用珪砂として開発されたものである。この珪砂はチャートが熱変成作用をうけてサッカロイダル化したもので、わが国で産する珪砂としてはもっとも円球度のよいものである（片山・他、1955）。

膨張セメントはこの頃になるとわが国でも生産されはじめた。カイザー社製収縮セメントの性質もわかっていることから、この時以後筆者（高橋）が推進力となって国産の膨張セメントを用いて、作井時の水圧、温度下で期待される膨張率をもち、シッキングタイム、流動性その他必要な作業上の性質をそなえたセメントスラリー或はモルタルを日本セメント K.K. 技術研究所或は帝石テルナイトの協力をえてそれぞれの作井条件にあった配合を開発してゆくこととなった。

なお、末広（気象庁、1975）は御前崎に国産の体積歪計を設置するに当たり、調整したセメントモルタルを深さ 200 m の観測井底にベラーを用いて降下した場合、坑内水を期待通り置換できるか否か、体積歪計を坑底のセメントモルタル中に降下した場合、期待通りのセメンチングを行うことができるか否かを知るため、透明なプラスチックパイプを用いて地上試験を行った。使用される泥水の比重に対して、セメントモルタルの比重は 2 倍あるので、泥水との置換はベラーが坑底で開口すればまちがいなくおこるし、体積歪計が坑底のセメ

ントモルタルをおしあげることに本来問題はないのでこの実験は期待通りであり、それが目で確かめられたところに意義があった。なお、セメントモルタル中の珪砂はこの全過程で分離沈積することがなかった。この確認は重要なことである。ただし、セメントモルタルが坑底の泥水を置換していく場合、またベラーを引き抜く場合、どの程度泥水と混合し、セメントモルタルの組成すなわち物性に变化を与えるか、或は原組成のものとうすまったものとがむらをなすのかなど問題は今日まで調べられたことがない。セメントモルタルの物性を重視する場合においてはこの問題は基本的な課題である。また、実際の場合泥壁にかかわる問題がある。すなわち、掘削中は泥で坑壁が保護されているが、この泥をセメントモルタル圧入前に除去しておかないと、観測装置と坑壁とセメントモルタルが一体化しない。この解泥がうまくいったか否かは解こう剤の種類、濃度、使用法と坑壁の地質、形状、泥水の組成、その他の坑内状態によって変わるので、もっとも重要でありながらその実験的研究は行なわれていない。

解泥が完全に行われると坑壁に凹凸があらわれる。凹所にセメントスラリーを完全に充填させることは石油・天然ガス井のセメンチングで重要な課題である。現在よいとされ行われているのは、岩槻井でも行われたプラグフロー（乱流）がおこるような速度での注入であるが、セメントボンド検層の結果では満足すべき結果をつねにえられている訳でなく、岡部井などの結果をみても凹凸の多い所の結果はよくない。

体積歪計の場合、セメンチングの良否は観測結果に本質的な影響を与えるので、セメントモルタルをベラーでおろしてから観測装置を降下させる方法については今後も検討すべき重要課題である。なお、体積歪計設置部分とその前後のみセメントモルタルで充填しても、上部の地層からセメンチングされていないケーシング背面を通して地下水が侵入し、大きなドリフトを生じさせ、1～2年経過してもなお安定しないと思われる結果（例、勝浦井）があらわれた。1980年以降は当所の地殻活動観測井と同じように、気象庁体積歪計もケーシングの全坑長をセメンチングすることとなった。また、観測結果の異常が観測井底近辺の地下水層の変動の変化によるものか否かを明らかにする必要から（例、館山井）、最近の体積歪計には温度計が内包されることとなった。なお、同種の懸念から傾斜計には当初から温度計が2組（温度計の信頼性を得るため）、重複して内包されている。

ホ. 嶺岡および岩井北・南地殻活動観測井

これらは房総半島南部の異常隆起に際して建設された観測井であり、以後に多数建設される本格的な微小地震観測井及び地殻活動観測井のパイロット井である。すなわち、微小地震観測井（嶺岡井）としては房総半島における最高感度の観測を行なうための、また地殻活動観測井（岩井南・北井）としては、岩槻井用の高感度傾斜計の開発を行うとともに、その設置に必要な条件を探求した観測井で、そのため、地点選定から作井方法、構造、設置と引上げ方法に至る高感度地殻活動観測井としての技術大系（ハードウェアとソフトウェア）

が、この3井で作り上げられ、岩槻井の開発にも役立った。たとえば、地点選定の条件、観測装置を設置するケーシング（設置ケース）と設置工法、その方位を真北に設置するための構造と工法（高橋・他、1971）、観測装置の設置および回収方法と作井を含めたそれらの詳細な作業工程（プログラム）、ケーシングの防錆法などの開発である。これらの開発が、高感度地殻活動観測井の実用化をもたらした（詳細は高橋、1982 参照）。なお、体積歪井でのべた収縮補償セメントについては、国産のもの（電化セメント製タスコン）を用い、セメントモルタル固結後の強度も地層のそれにほぼ近いものを得た。しかし、この3井においては、全坑長セメントはまだ実施できなかった。

ヘ． 岩槻地殻活動深層観測井

岩槻井の開発に当っては、嶺岡井および岩井南・北井の高感度地殻活動観測井の開発成果を基礎に、石油天然ガス井の作井技術と経験を活用し、上にのべたように、深層井として必要な諸事項を開発した。その結果、地表や浅層井では得られないような安定した高感度観測を行うことができるに至った（高橋・他、1981、高橋、1982）。また、浅層井に与えた技術上の影響も大きい。すなわち、石油・天然ガス井は作井技術において格段に優れているほか、生産井であるため、単なる調査ボーリングに比べて、永年の使用に耐えうるように仕上げる必要がある点でも観測井の作井に参考になることが多い。観測井の開発上は全坑長セメンチングを行ったほか、セメントスラリー始め、不明確なものはすべて事前に良く調べてから施工に移し、泥水管理を始め、検層その他で調査し、結果を確かめつつ技術的に系統だっていることが、以後浅層井の施工体系を整備し、作井を技術体系として整えて行く上で大変役立った。この技術上の整備なくしては、毎年10井程度の浅層井を数人で分担して目的にかなったものを整備して行くことはできなかったし、傾斜計用観測井より、より複雑なあるいはより精度を要する高帯域微小地震観測井（都留井）や、3成分体積歪計（八郷井）のような高度な観測井の開発は勿論、地下水観測井（府中井、岩井井）のように、一見簡単に思えても、選定した深さの地下水層の地下水のみを採水する、信頼おける観測井の開発も期待通りには行えなかったであろう。また、期待通り作井させたか否かの認証、解析も行えなかったであろう。なお、国土地理院地殻活動観測井は、岩槻井の仕様に多少の改善を加えて、筆者ら（高橋・福田）が終始協力して作井したものである。

ト． 川崎等微小地震および地殻活動観測井

岩槻井以後のものであるが、川崎の異常隆起に際して作られた川崎微小地震観測井で、全坑長セメンチングが浅層井として始めて行えた。そのほか、坑心傾斜の信頼性のある測定方法（誤差も明らかな）の開発、循環水のCl⁻濃度測定による天然ガス層の予測、各種検層の実施、観測装置設置用小型油圧モーター式ウインチの開発および張力測定法の開発等々に、岩槻井の成果の実用化が試みられた。なお、気象研究所の御前崎の地殻傾斜観測井は技術的には岩井南・北井の技術をもとに作られたものである。しかし、作井技術上は坑心傾斜測定器

の整備・検定，掘進中の垂直性確保やケーシング外周の地下水層を完全にとめることなどの必要性を強く認識させられた点で有意であった。

浅層井としての技術大系が整ったのは東海大地震対策のために作られた岡部地殻活動観測井においてである（佐藤・他，1980）。関東東海地方に建設中の微小地震観測井，地殻活動観測井は岡部井の作井方式によっている。なお，この頃作井上セメントの入手に注意すべきことがわかった。すなわち生コンクリートの使用が発達している今日，袋詰めセメントには風化過程に入っているものが多い。故に所定通りの物性をうるセメンチングを行なうためには，生産工場または生産工場からバルク輸送された最初の分包所から入手する必要がある。

的沢地殻活動観測井は，気泡型傾斜計を設置したもので，構造は基本的に他とことなる。この際，セメンチング用珪砂を再調査した結果，円球度，含有不純鉱物の量，種類から精密鑄造用の東洋サンドがもっともよいことがわかった。この時以後，当センター観測井及び気象庁体積歪計のセメンチングにはこの珪砂を用いている。またモルタル組成についても再検討された。また設置用ケーシングはセラミックパイプとされているが，焼成温度の低いものは孔隙率も大きく，長年月使用している間に割れの入ることは勿論，水分（湿度）が観測中井内に入る。このようなことはこのましくないので，通気性のない高温焼成セラミックパイプを検討した。その結果，半導体製造用のアルミ質耐火物製円筒（日本化学陶業製）が寸法を含めて必要な性質を完全に充たすことが明らかとなった。これに底を作るなどしてケーシングに仕上げた（大阪窯業耐火煉瓦 KK）。

内部に充填する珪砂はロングレール用碎石と同様に角張ったものであれば強固に観測装置をしめつけ，少々の地震動でもゆるまないと考え，そのように破碎する原石と破碎方法を試験し，粒度をそろえたものを調整した（大阪窯業耐火煉瓦 KK 技術研究所）。観測自体は深さが2 m たらずのため，地温，降水等の影響を大きくうけ，浅層観測井における傾斜観測には及ばないが，珪砂とセラミックケーシングについて検討した結果は以後の作井に役立ち，或は将来役立つこととなる。

なお，地下水井（府中井，岩井井など）や高帯域微小地震観測井（都留井）及び3成分体積歪観測井（八郷井），ならびに府中中深度地殻活動観測井（予定）は，岩槻井の開発を契機に，その後の諸井開発の技術を基礎に，あるいは開発しつつある新しいものである。また，地震研究所のフロート式地殻傾斜観測井は，当所および気象庁とは技術上は全く独立に開発されたものである。

7.2 深層井の改善

7.2.1 岩槻井の問題点

岩槻井の開発は，大深度の高感度地殻活動観測の道を開いたものであり，浅層井の作井技術の確立に基本的な影響を与えたが，以下に述べるような改善すべき問題点があった。

イ. セメンチング

観測井の7インチケーシングを用いてセメントスラリーを圧送したため、管内に残留したセメントの除去に非常に手数を要した。また、その完全な除去ができなかった。

ロ. 坑底沈澱物

セメント以外に砂鉄、鉄粉、調泥剤等が坑底にかなり沈澱する。

ハ. 非磁性ケーシングの屈曲

ケーシング降下前仕様以上の高精度に作られたケーシングであるが、観測装置を坑底に設置し耐圧容器固定器を操作してみると、固定脚が計算値通り出ないことがわかった。

ニ. 地表ノイズ対策

観測装置設置後、地表のノイズが坑内水を伝播して坑底に達し、上下動地震計にノイズとして現われた。防振ケージを開発して一応その除去に成功した（山本・他、1975）が、より効果的な方法の開発を必要と考えた。

7.2.2 解決方法

上記の問題に対し、下総井で問題解決をはかる方針で検討を進めた。

- (1) セメンチングに対しては、深さ2,000 m級であれば、チュービングによりセメントスラリーを圧送することが可能であり、その実施方法を検討した。
- (2) 坑底沈澱物のうち、砂鉄は河川水を用いたためで、水質もよくないので、以後は工業用水程度の清水を用いることとした。その他の沈澱物対策としては、ピン洗い形のワイヤブラシ（ケーシングクリーナー）を試作し、国土地理院の観測井で試用して（1979年）良結果を得、以後これを用いている。それでも沈澱物を取りきらないため、沈澱物採取装置を開発して、その採取と除去を行なうとともに、深層井でも川崎井での試用結果をもとに、沈澱管を坑底部に設けることを考えた。しかし、観測装置設置5年後、すなわち作井6年後に、再度坑底の洗浄（大洗浄）を必要とすることがわかった。「大洗浄」の実施後は、沈澱物はほとんど発生しないこともわかった。
- (3) 非磁性管の屈曲は、屈曲しているのではなく、ケーシング内のセメントの除去にビットを使用したため、表面に凹凸が生じたものと筆者らは考える。観測装置に可撓部を設けることにより、少なくとも傾斜計部耐圧容器の固定については解決した。基本的にはセメンチング方法の改善により、これらは解決される。
- (4) ノイズ対策

防振ケージのみによらず、観測井の一部をふさぐことで一層の効果が上るはずであり、その検討を行った。

以上の問題点に対し、下総観測井の作井工事において改善策が具体化された。

参 考 文 献

- 1) 福田理(1962)：春日部層序試錐(予報)——坑井地質を中心として——，地質ニュース，No. 100，

1-16.

- 2) 福田理 (1964): 藤岡層序試錐 (予報), 地質ニュース, No 114, 1-10.
- 3) 福田理・小林才智・民部田喜代四 (1964): 関東平野における層序試錐, 石油技術協会誌, 29, 112-129.
- 4) 福田理・高橋博・大八木規夫・鈴木宏芳 (1974): 坑井地質に見る関東平野の基盤, 地質ニュース, No 234, 8-17.
- 5) 萩原尊礼 (1972 a): 東京の被害地震, 地質工学, 8, 6-11.
- 6) 萩原尊礼 (1972 b): 明治27年東京地震, 安政2年江戸地震, 元禄16年関東地震分布, 地震予知連絡会会報, 7, 27-31.
- 7) 萩原尊礼 (1973): 地震予知の研究はどこまで進められているか, 測地学審議会の建議2次研究計画の実施状況と今後の問題点, 学術月報, 26, 2-32.
- 8) 広野卓蔵・末広重二・古田美佐夫・小出馨 (1968): 地中地震計によるバックグラウンドノイズの研究 (第1報), 気象研究所研究報告, 19, 323-339.
- 9) 広野卓蔵・末広重二・古田美佐夫・小出馨 (1969): 地中地震計によるバックグラウンドノイズの研究II——地震対ノイズ比の改善——, 気象研究所研究報告, 20, 189-206.
- 10) 石井基裕 (1962): 関東平野の基盤, 石油技術協会誌, 27, 615-640.
- 11) 片山信夫・高野幸雄・佐藤良昭 (1955): 長野県海潮珪砂鉱床, 鉱山地質, 5, No 15, 64.
- 12) 気象庁 (1975): 地震活動, 傾斜変動に関する研究, 昭和48年度特別研究促進調整費, 東京地方における地殻活動に関する特別研究報告書, 13-41.
- 13) 太田裕・後藤典俊・塩野計司・高橋博・山水史生・栗原重利 (1977): やや深い構造のS波速度——岩槻3500 m地震観測井での測定とその意義——, 地震, 30, 415-434.
- 14) 佐藤春夫・高橋博・山本英二・福尾信平・上原正義・寺沢康夫 (1980): 孔井用傾斜計による地殻傾斜観測方式の開発, 地震, 33, 343-368.
- 15) 嶋悦三・柳沢馬住・工藤一嘉 (1970): 列車によって起された波動の減衰, 地震, 23, 332-334.
- 16) 末広重二・古田美佐夫・佐藤馨・広野卓蔵 (1970): 地中地震計によるバックグラウンドノイズの研究III——地震対ノイズの改善, 気象研究所研究報告, 21, 473-487.
- 17) 高橋博 (1973): 深層観測井による地震予知観測, 土と基礎, 21, No 6, 27-31.
- 18) 高橋博 (1974): 深い地震観測井の作井について——岩槻地殻活動観測施設——, 土木施工, 15, No 5, 27-30.
- 19) 高橋博 (1982): 深層観測によって明らかにされた関東地方の微小地震活動の特性について, 国立防災科学技術センター研究報告, No 28, 1-104.
- 20) 高橋博・高橋末雄 (1975): 東京の地震予知の研究, ——深層観測井による——, 防災科学技術, No 29, 2-7.
- 21) 高橋博・高橋末雄・鈴木宏芳 (1967): 試錐による松代群発地震地域の地下構造調査, 防災科学技術総合研究速報, No 5, 71-82.
- 22) 高橋博・高橋末雄・鈴木宏芳・木下舜 (1971): えびの吉松地区地震観測井, 防災科学技術総合研究報告, No 26, 191-201.
- 23) 高橋博・高橋末雄・鈴木宏芳・木下舜・大八木規夫 (1971): 房総半島南部における異常地殻活動の調査, 第8回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 137-140.
- 24) 高橋博・他 (1980): 地殻活動深層観測施設の開発, 第17回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 519-522.
- 25) 高橋博・笠原敬司・伊藤健治・鈴木宏芳・大竹改和・高橋末雄 (1981): 深層観測井による関東地方の微小地震観測, 地震学会予稿集, No 1, 168.
- 26) 高橋末雄・高橋博・鈴木宏芳 (1967): 試錐内観測装置, 防災科学技術総合研究速報, No 5, 71-82.
- 27) 山水史生 (1980): 府中観測井 (2, 750 m) における地動ノイズ, 地震学会講演予稿集, No 2, 103.

- 28) 山本英二・浜田和郎・笠原敏司 (1975) : 岩槻深井戸観測所でのバックグラウンドノイズおよび水を媒体とするノイズの除去, 地震, 28, 171-180.

II. 坑井地質

1. 地質および対比

坑井地質調査, 各種検層資料の検討および岩槻井の北約3 km に掘削された, 地質調査所春日部GS-1層序試錐井(以下, 春日部GS-1井と略称する)の調査結果(福田, 1962, 福田・石和田, 1964, 福田・小林・民部田, 1964)との比較により, 岩槻井の層序および対比は以下のようなになると考えられる。なお, 岩槻井および周辺の深井戸の位置を図23に示す。

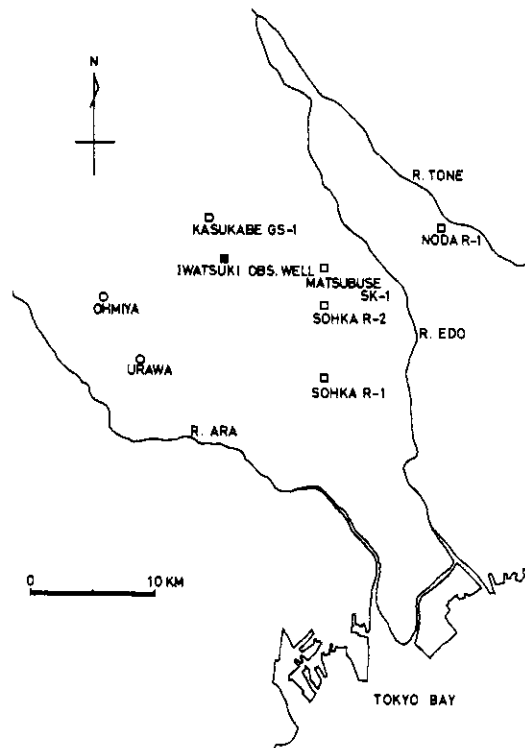


図 23 岩槻井および周辺の深井戸の位置図

Fig. 23 Locations of the Iwatsuki Deep Observation Well and other deep wells

1.1 層序区分および対比

岩槻井は下記のように, 上位から, A 層から H 層までの 8 層に区分, 対比される。

層 名		深 度	対比される地層
A		^m 0 ~ ^m 20	有楽町層
B		20 ~ 447	成田層群
C	C ₁	447 ~ 704	上総層群
	C ₂	704 ~ 1039	
D	D ₁	1039 ~ 1785	楊 井 層
	D ₂	1785 ~ 2291	土 塩 層
E		2291 ~ 2610	福 田 層
F	F ₁	2610 ~ 2754	荒 川 層
	F ₂	2754 ~ 2864	小 園 層
G		2864 ~ 3346	基盤岩類
H		3346 ~ 3510.50	

1.2 地質の概要

1.2.1 地質の記載

地質柱状図を図 24 に示し、各層の概要を以下に記載する。

イ. A 層 (深度 0~20 m)

本層は厚さ約 5 m の表土の部分を除いて、いわゆる沖積層で、灰色~暗灰色シルト質粘土から成り、ところにより淡黄褐色シルトないしは淡緑灰色シルトを夾む。下位の B 層とは不整合をもって接する。本層は有楽町層に対比される。

ロ. B 層 (深度 20~447 m)

上部(深度 20~340 m)は礫、砂およびシルトの互層から成り、特に礫の存在が顕著である。礫径は 2~20 mm 前後のものが多く、円率度はよい。下部(深度 340~447 m)は中~粗粒砂とシルトの互層相を呈し、軟石を多量に介在する。深度 410 m 付近には石英質の砂に富む部分があり、深度 420 m 付近からは木片が見出されている。本層は貝類および有孔虫類の化石に富み、下位の C 層とは不整合で接する。本層は成田層群に対比される。

ハ. C 層 (深度 447~1039 m)

本層は上位から、C₁、C₂部層に分けられ、下位の D 層とは不整合で接する。全般的に貝化石に富み、C₂部層は有孔虫類を多産する。本層は上総層群に対比される。

i. C₁部層 (深度 447~704 m)

本部層は礫および粗粒砂を主とし、砂質シルトおよび細粒砂を夾存する。深度 500 m, 520~540 m, 560~590 m, 670~690 m 付近では礫を多量に含む。本部層は全般にわたって貝化石に富む。

ii. C₂部層 (深度 704~1039 m)

本部層は灰色砂質シルトを主とし、細~粗粒砂を夾在する。C₁部層に比べて、礫が極端に少なくなり、堆積物が細粒となる。貝化石の産出も少なくなり、C₁部層に比べて、深い堆積相を示す。

二. D 層 (深度 1039~2291 m)

本層は上位より D₁, D₂部層に二分され、下位の E 層とは不整合関係にある。本層は楊井層と土塩層に対比される。

i. D₁部層 (深度 1039~1785 m)

本部層は礫、砂、および火山灰の互層から成り、ところにより灰~灰白色のシルトおよび炭質物を夾存する。特に礫が目立ち、堆積相は浅海相となるが、この部層を特長づけるもう1つの要素は白色ないし青緑色を帯びる火山灰である。深度 1310~1312 m にわたって厚い青緑色ないしは緑灰色の火山灰がみられた。またコア掘りをした部分からは亜炭が採取された。

ii. D₂部層 (深度 1785~2291 m)

本部層の深度 1785~1910 m は砂と火山灰まじりのシルトの互層から成り、礫は少い。また全般にわたって少量の貝化石を産する。深度 1910~2190 m は主として礫まじりの砂および砂まじりの火山灰の互層から成り、部分的に緑灰色~暗灰色のシルトを夾在する。本部層上部の深度 1785~1910 m に比し火山灰の比率が増している。深度 2190~2291 m は白~白灰色細粒火山灰、細~中粒砂と暗灰色で凝灰質のシルトの互層から成り、堆積物は細粒となっている。

ホ. E 層 (深度 2291~2610 m)

本層は主として、暗灰色~帯褐灰色の均質な凝灰質のシルトから成り、少量の青灰色細粒凝灰質の砂、白灰色の火山灰を夾在する。下位の F 層との関係は一般には不整合関係にあるが、本井では断層で接する。本層は福田層に対比される。

ヘ. F 層 (深度 2610~2864 m)

本層は上位より、F₁部層および F₂部層に二分され、下位の G 層とは不整合で接する。

i. F₁部層 (深度 2610~2754 m)

本部層は主として淡褐色~暗灰色の火山灰まじりのシルトから成り、灰~白灰色の火山灰を夾在する。本層は荒川層に対比される。

ii. F₂部層 (深度 2754~2864 m)

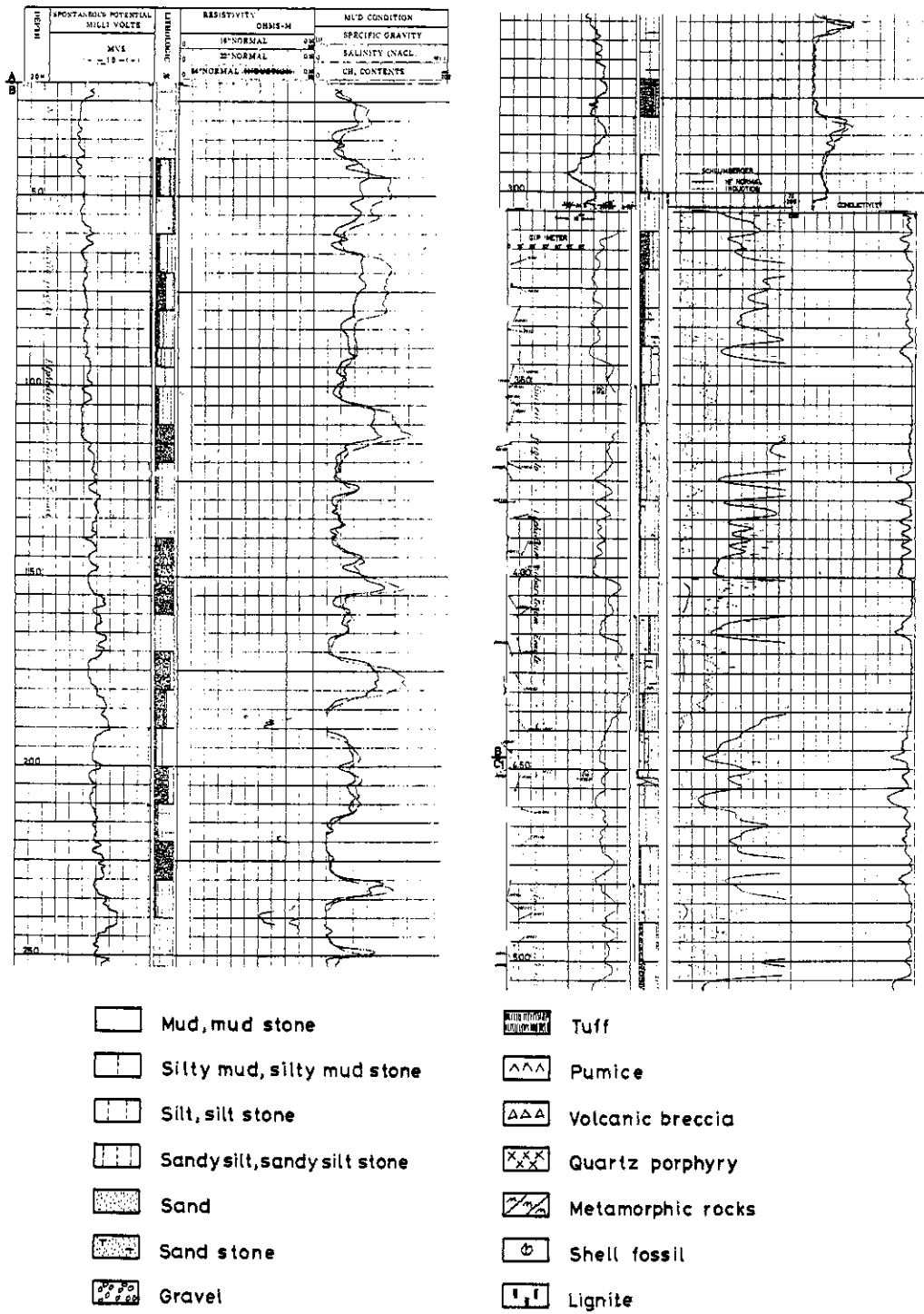


図 24 地質柱状図および電気検層図

Fig. 24 Geological section and result of electrical logging

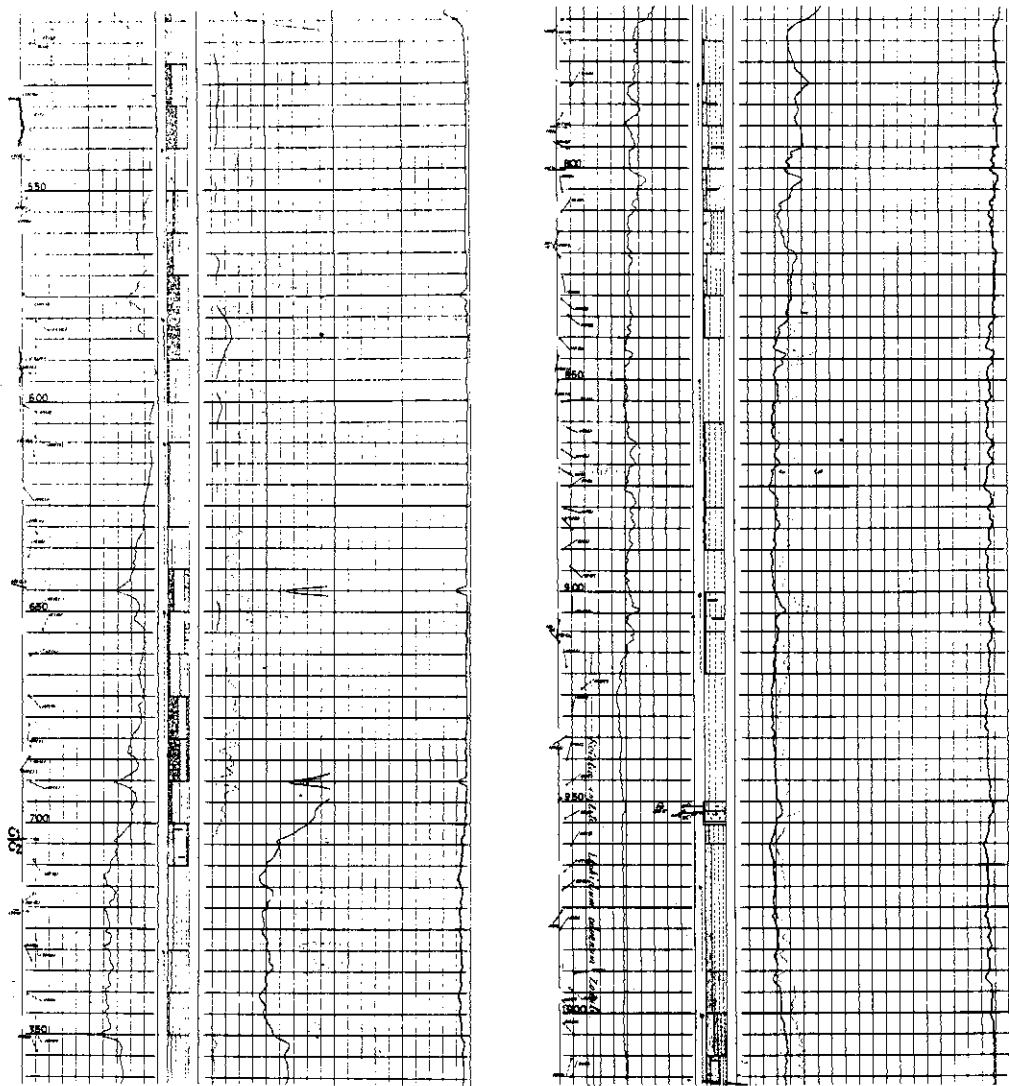


図 24 (つづき)

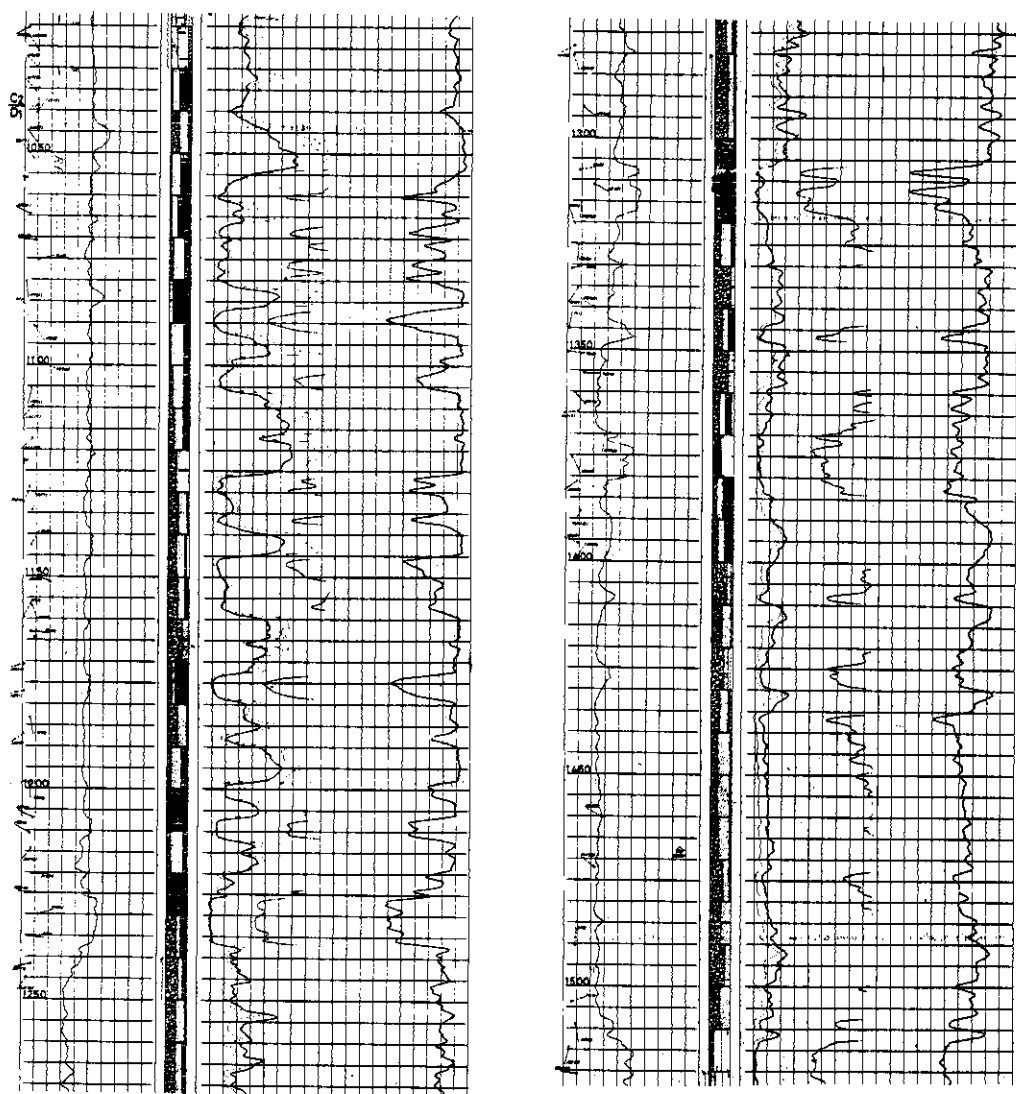


図 24 (つづき)

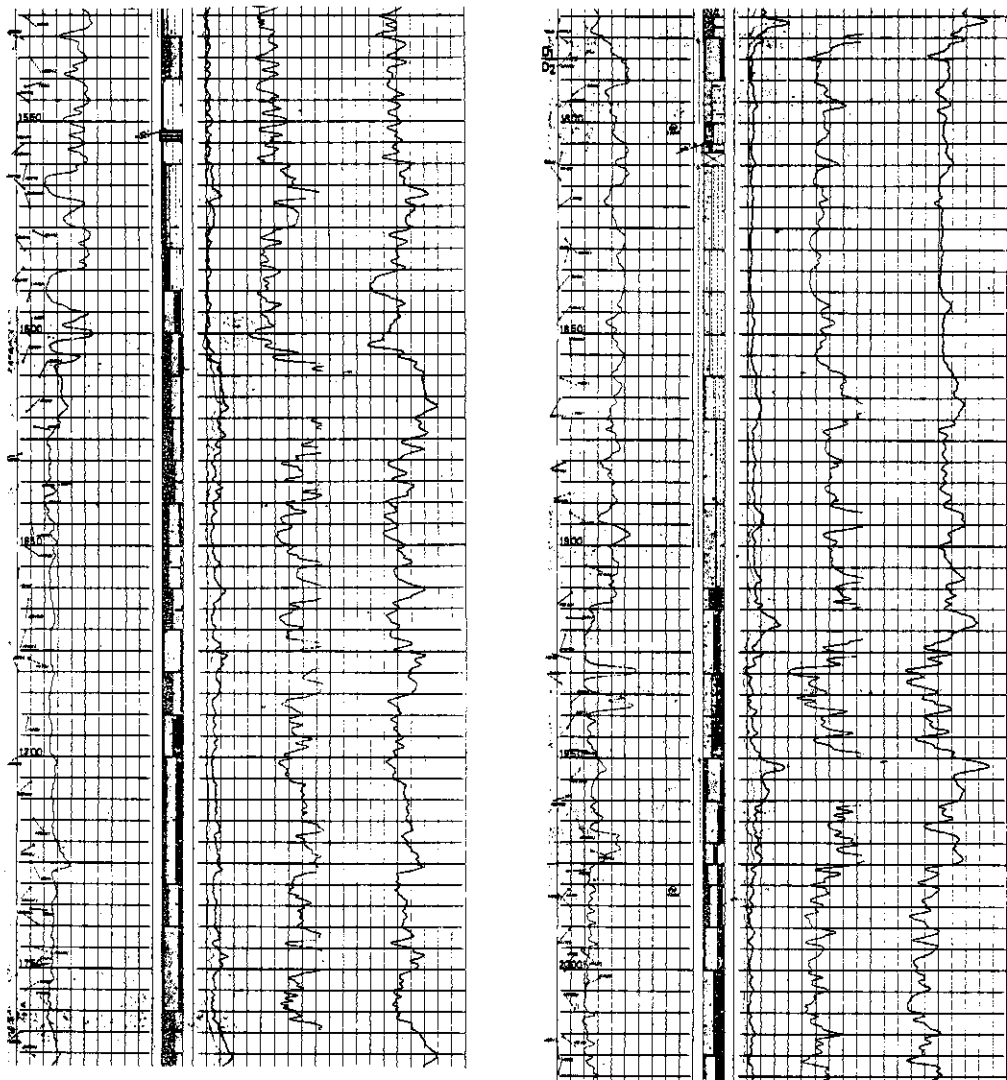


図 24 (つづき)

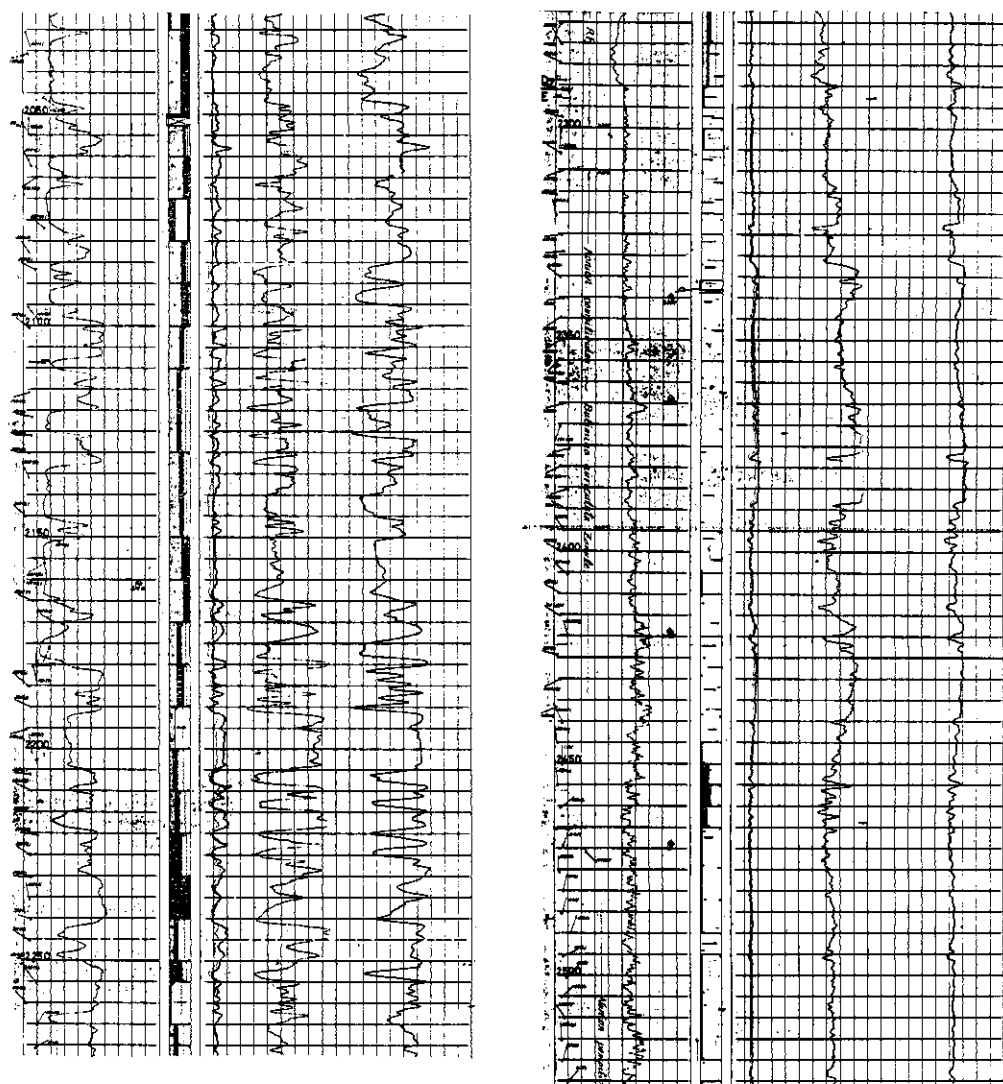


図 24 (つづき)

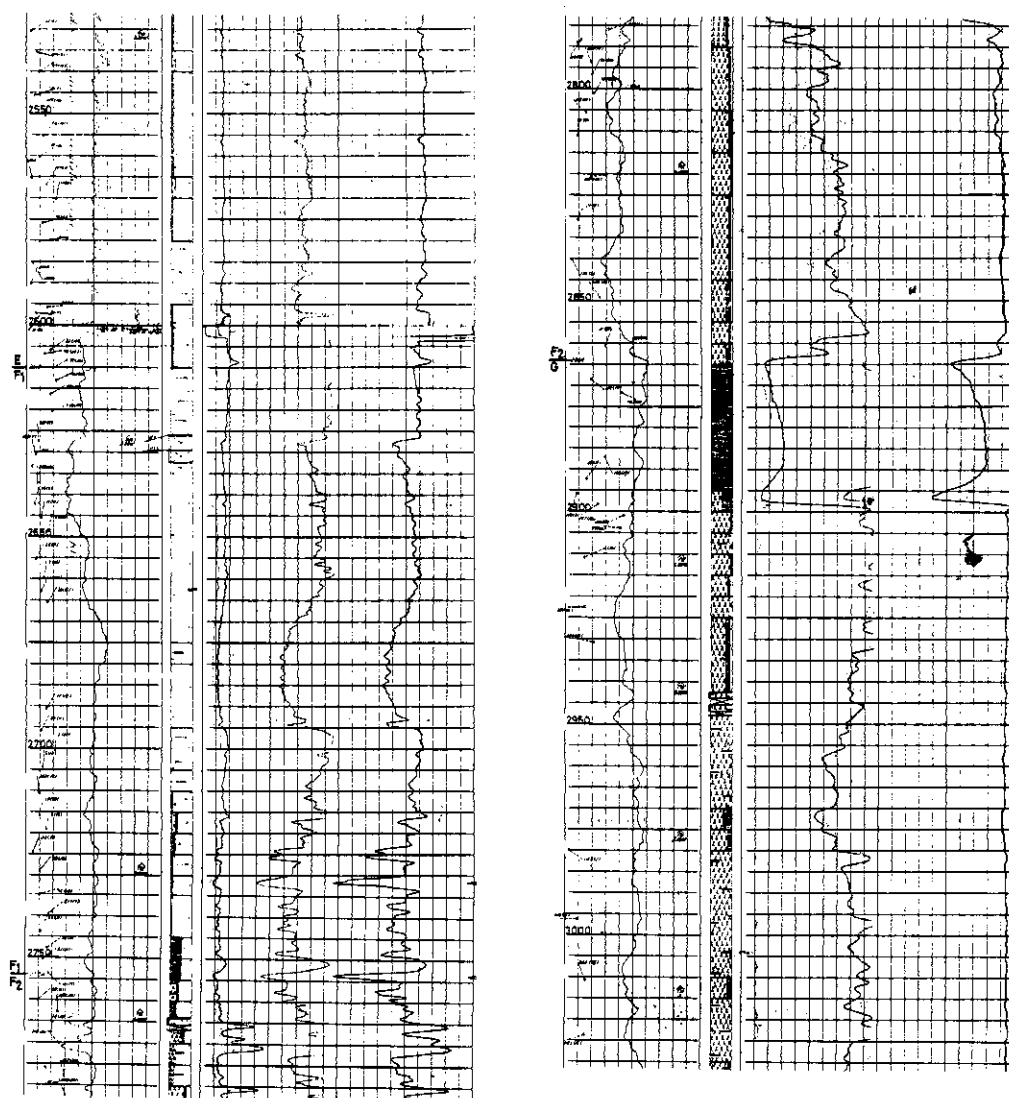


図 24 (つづき)

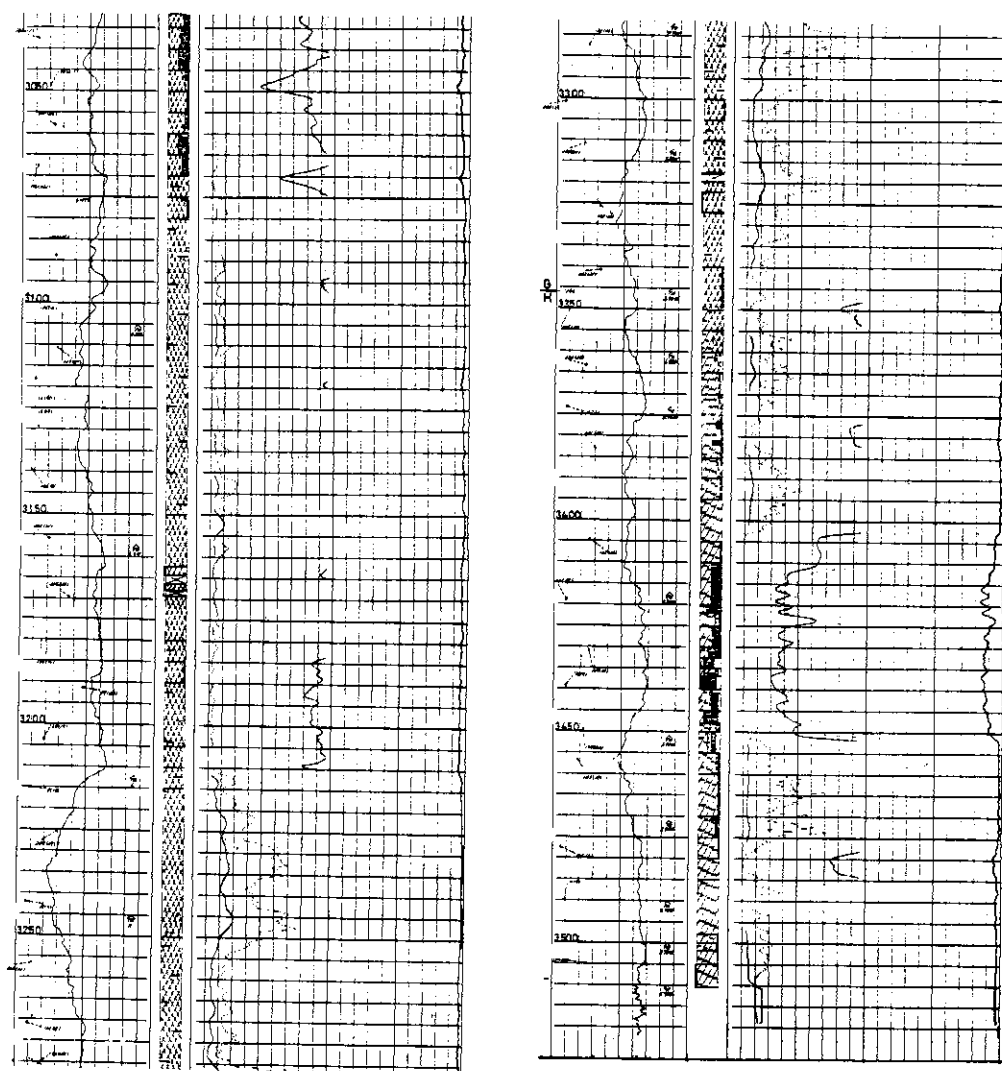


図 24 (つづき)

本部層は石英斑岩の角礫を主とする礫層で、小園層に対比される。本部層は地層傾斜検層の結果、N方向にゆるく傾斜していることが判明した。全般にわたって2次堆積物なので、下位のG層の石英斑岩とは顕著な差を示す。

ト. G層 (深度 2864~3346 m)

本層最上部 (深度 2864~2898 m) は灰白色~淡緑白色の細粒凝灰岩から成るが、これは本井の新第三系の基盤をなすもので、先新第三系と考えられる。深度 2898 m 以深は石英斑岩が発達する。

チ. H層 (深度 3346~3510 m)

本層は基盤岩類で、結晶片岩、角閃岩を主とする変成岩類よりなる。深度 3505~3510 m では圧砕作用を受けミロナイト化している部分もある。

2. 物理検層

岩槻井で行われた物理検層のうち、電気検層、音波検層、密度検層、地層傾斜検層、温度検層について、その結果を簡単に説明する。電気検層と地層傾斜検層は地質柱状図と共に図 24 に、また、その他の検層は図 25 に図示する。測定はシュランベルジャー社と帝国石油株式会社によって行われた。なお、測定された検層データは、鈴木・他 (1981) により、数値化されて報告されている。

2.1 電気検層

比抵抗値は、B層、C₁部層、D₁部層の上部の各礫層部において変動が激しいが、一般にこの部分は高比抵抗を示す。C₂部層、E層、F₁部層の部分では低比抵抗を示す。F₂部層と基盤岩層においては、比抵抗値は高くなる。

自然電位曲線 (SP) は、比抵抗曲線と深度 300 m 付近までは逆の動きを示し、深度 300~1200 m までは平行し、またそれ以深では逆の傾向が見られる。深度 300 m までの逆の動き方をする理由は、電気検層を行った時間が早いため、坑内水の電解質の状態がそれ以深の場合と異なるためと考えられる。また、深度 1200 m 付近まで平行するのは、この深度付近まで天水が浸入しているためであろう。

2.2 音波検層

本観測井で検出された音波速度は 1.5~5.6 km/sec の値を示す (図 25)。その垂直分布は大きく3つに区分され、2 km/sec (B, C層)、3 km/sec (D, E, F層)、5 km/sec (G, H層) の部分に分けられるが、B層やD層の上部では、ばらつきが大きい。これは岩相の変化に起因していると思われる。しかし C₁、D₂、E層は安定している。また、F₂部層の深度 2780 m 以深が 4.3 km/sec の速度を示すのは、この部分がほとんど G 層の礫から構成されているためである。これに対し、基盤 (G, H層) では 5 km/sec の速度を示す。すなわち、G 層の最上

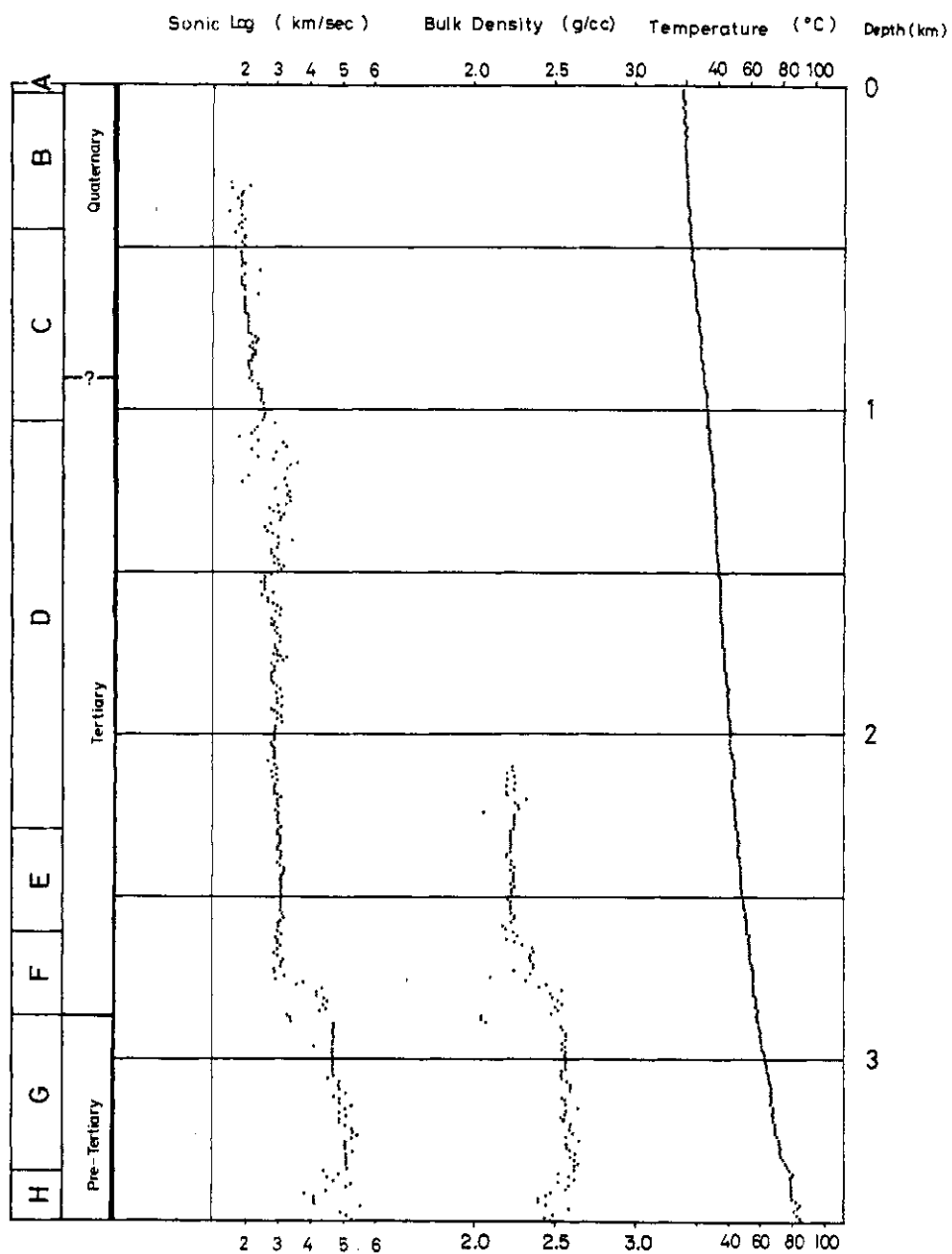


図 25 音波・密度および温度検層図

Fig. 25 Results of sonic, density and temperature loggings

部(深度2864~2900 m)の間の凝灰岩層(3.4 km/sec)に続く上半部(深度2900~3080 m)は多少凝灰岩を挟むため、4.7 km/sec程度であるが、それ以深は5.0 km/secの速度を示し、岩質の良好な所では最高5.5 km/secの値を示す。H層は破碎されているため、平均するとG層よりやや低いが、破碎の少ない所では5 km/sec以上の値を示し、最高は10 m平均で5.6 km/sec、坑底部では5.3 km/secの値を示している。

2.3 密度検層

本検層は深度2100 m以深についてのみ行なった(図25)。その結果をみると、地層が古い程、密度のふえる傾向がみられる。しかしながら、地層の境界と密度の変化する場所とは完全には一致していない。D₂部層とE層の密度は、2.22~2.25 g/ccの値を示すのに対し、F₁部層では2.36 g/ccと増加している。F₂部層は2.52 g/ccで、G層は最上部の凝灰岩層(2.05 g/cc)を除けば、上半部が2.57 g/cc、下半部が2.60 g/ccの密度をもつ。H層は破碎帯の影響が大きく現れ、安定した値を示さないが10 m平均の最大値は2.60 g/ccで、坑底部においては、2.51 g/ccの値を示している。

2.4 地層傾斜検層

本検層は深度305 mから3508 mまでの約3200 m間を測定し、約1900点の高密度地層傾斜計算を行った。全体として、ポイントが少ない理由は、深度約1000 m以浅は未固結堆積物であり、また深度2898 m以深は火成岩および変成岩であることによる。計算結果の図による表示を柱状図(図24)に示す。B層基底からC、D₁、D₂部層上部にわたっては記録が悪い部分が多いが、構造傾斜角は10°以下で、場所によっては5°以下の緩傾斜である。このため傾斜方位はランダムになるが、強いて見れば南ないしは南西方向が認められる。ただしC層とD層の境界付近で北傾斜となる部分がある。D₂部層下部は良好な記録がとれ、計算の結果、構造傾斜角は5°で構造傾斜方位は北西方向となっている。E層では傾斜方位が深度と共に西から北をへて東へと変化し、それにともない構造傾斜角も5°から2°をへて再び5°へと変化している。E層とF層の境では傾斜方位が北東から北北東で、構造傾斜角が6°から31°に変わるレッド・パターン*があり、断層によるドラッグと考えられる。F₁部層は構造傾斜角は約10°で、傾斜方位は北東を示す。F₂部層は礫岩層のため、精度が悪いが、傾斜角が20°~30°で方位は北を示す。G層上部の凝灰岩からも良い記録はとれなかった。深度2898 m以深のG層下部とH層は堆積物でないので層理面の傾斜はとれないはずで、見掛けの傾斜計算可能点もランクの低い合計176点に過ぎず、高密度ではないが、これらは節理の可能性がかかるのであえて解析した。G層下部では傾斜方位が北で、傾斜角が10°~60°とばらつく。H層では一応(1)方位が東で傾斜角が20°~40°(2)方位が南西で傾斜角が10°~20°(3)方位が北西で傾斜角が10°~30°の3方向が認められた。

*地層傾斜検層において傾斜角が連続的に変化するもの。

2.5 温度検層

温度検層は、坑内水の温度が地温と平衡になるのを待って、坑内作業完了後 76 日たった時期に実施した。測定は坑内の温度分布を乱さないように、坑口から坑底へ向って測定器を降下しながら行った。用いた測定器は白金抵抗線温度計で、降下速度は 6.5 m/分である。

測定結果（図 25）によると、基盤岩と基盤岩上部の堆積層とで地温上昇率が大きく異っていることがわかる。すなわち、各層における 100 m あたりの地温上昇率を見ると（地表付近の地温を、理科年表による東京の年平均気温と同じ 15.0°C とする）、A 層は 1.61°C、C 層は 1.76°C、D 層は 1.15°C、E 層は 2.04°C、F 層は 2.17°C、G 層は 3.94°C、H 層は 4.51°C となる。また A～F 層の平均は 1.54°C、G～H 層の平均は 4.09°C となる。坑底温度は 85.4°C であり、地表から坑底までの平均温度上昇率は、100 m あたり 2.01°C となる。このように基盤と上部の地層とで地温勾配が大きく異なるのは、地殻熱流量が深さによらず一定と仮定すると、基盤岩と上部層とで熱伝導率があまり変わらないこと（後述）と矛盾した結果である。この原因ははっきりしない。なお、観測井完成後の深層観測装置による連続温度測定では、1976 年の観測開始以来 85.9°C で一定であり、温度検層による坑底温度とほとんど同じ値を示している。

3. コアー試験

得られたボーリングコアとカッティングを利用して、種々の試験をおこなった。試験項目と試験をおこなった機関は表 4 の通りである。

3.1 スケッチおよび写真

得られたコアーのうち一部について、スケッチを図 26 に、写真を写真 8 に示す。

表 4 試験項目

Table 4 List of tests

区分	試験分析項目	試験機関	採取量	対象岩相	試験項目	試料の処理
コア	一般コア試験	帝国石油㈱	20cm	泥岩を除く	孔隙率、水飽和率、比重（水飽和率 100% の場合と乾燥の場合）	(1) 採取後、直ちにビニール袋に封じ、所定の金属缶に入れる。 (2) 缶は密封して採取深度、岩質、記号を附する。 (3) 試験用として採取した以外の残存コアは、風乾コアとしてよいから、汚損ないように坑井元に保存する。
	岩石鉱物分析	住鉱コンサルタント㈱	15cm	岩石によらず採取する	X 線回折による鉱物相若、化学分析	
	磁性	宇部興産㈱	15cm		帯磁率、自然残留磁気、伏角測定	
	弾性波	//	20cm		三軸方向、P 波、S 波、乾、湿	
	熱伝導率	住鉱コンサルタント㈱	5cm			
	圧縮率	帝国石油㈱	60cm		三軸圧縮を行えるよう変型し、地質調査所の測定担当者に引きわたすこと	
	地質標本		35cm			
カッティング	土質試験	帝国石油㈱	シンワオルサンプリング	表層土	一般土質試験	採取後直ちに密封
	磁性	宇部興産㈱	200g	岩石によらず採取する	2,000m 以深 100m 間隔	(1) カッティングが水洗後粒状となる場合のみ採取する。 (2) ビニール袋に封じ、採取深度、記号を附する。
	岩石鉱物分析	住鉱コンサルタント㈱	100g	採取する	0～3,500m 間 50m //	
	密度及有孔虫	帝国石油㈱	300g		0～3,500m 間 20m //	

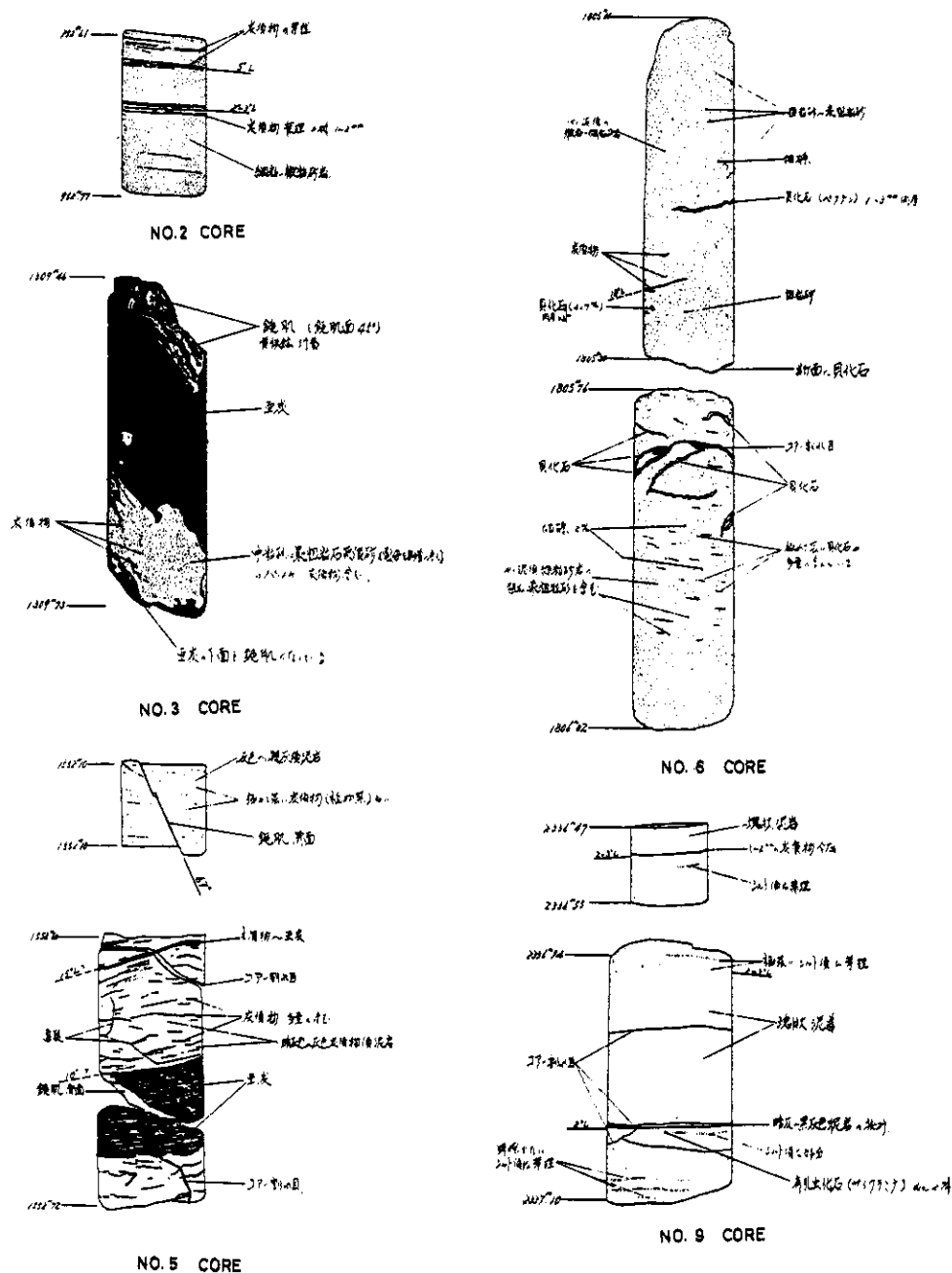
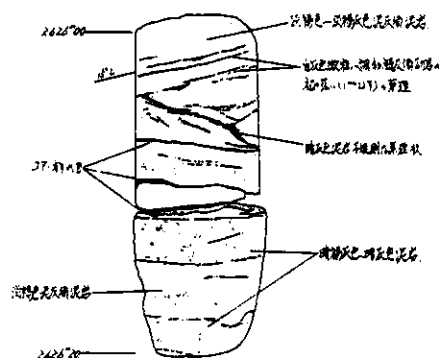
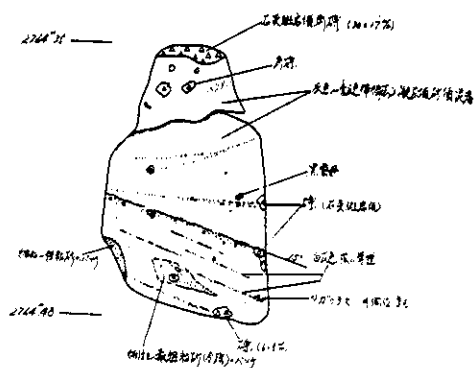


図 26 コアのスケッチ

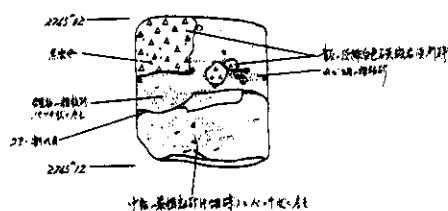
Fig. 26 Sketchs of core samples



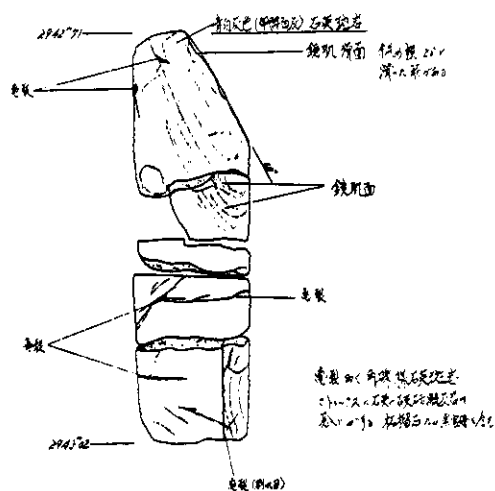
NO. 10 CORE



NO. 12 CORE

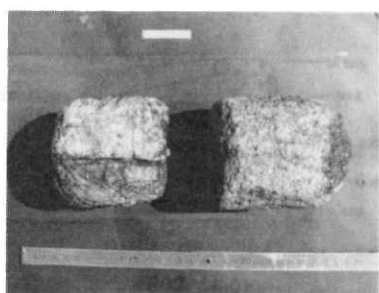


NO. 12 CORE

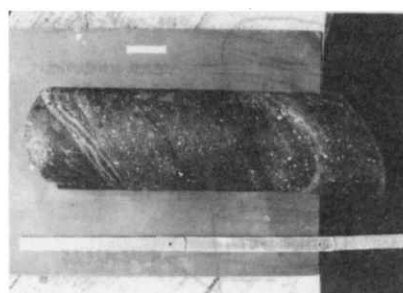


NO. 13 CORE

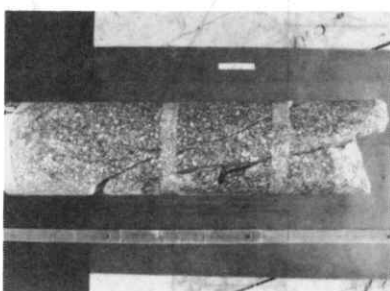
図 26 (つづき)



No.13 (2943.54~2943.74 m)



No.19 (3506.56~3506.91 m)



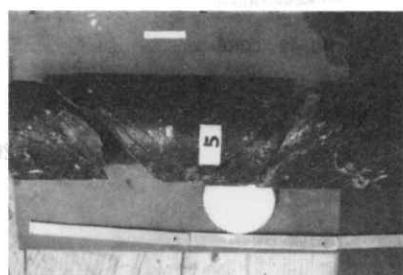
No.18 (3323.15~3323.53 m)



No.19 (3508.61~3508.90 m)



No.19 (3505.00~3505.12 m)



No.19 (3509.81~3510.20 m)

写真8 コア写真

Photo. 8 Photographs of cores

3.2 岩石薄片鑑定

3.2.1 岩石の記載

代表的なコアから薄片を作成し、偏光顕微鏡による観察を実施した。試料の深度と岩石名を表5に示す。また、主なコアの観察結果を以下に記載する。

表5 試験コア一覧表

Table 5 List of tested core samples

試料番号	深 度 (m)	地層区分	岩 石 名
1	450.59~450.69	C ₁	凝灰質シルト
2	950.51~950.67	C ₂	凝灰質砂
3	1311.21~1311.37	D ₁	シルト
4	1552.34~1552.47	D ₁	シルト
5	1806.44~1806.59	D ₂	凝灰質砂
6	2336.31~2336.47	E	凝灰質シルト
7	2764.09~2764.13	F ₂	石英斑岩礫
8	2764.48~2764.56	F ₂	炭質物含有砂質シルト
9	2943.02~2943.10	G	黒雲母・石英斑岩
10	3166.98~3167.11	G	黒雲母・石英斑岩
11	3324.18~3324.33	G	石英斑岩
12	3506.03~3506.06	H	緑レン石角閃岩
13	3508.53~3508.61	H	ミロナイト
14	3508.94	H	ミロナイト
15	3510.05~3510.11	H	斜長石角閃岩

イ. 深度 450.59~450.69 m 凝灰質シルト

C₁部層上部に属する試料で、色は灰褐色である。凝固度はそれほど高くなく、孔隙も存在する。

鏡下では、分級が悪く、粒子径が0.3 mm程度の砂粒まで散見されるが、主体はシルトから成る。鉱物片としては、石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、角閃石、輝石、磁鉄鉱、赤鉄鉱、グロコナイトを含有する。石英は殆んどが破片状を呈し、結晶内部には流体包有物が認められる。斜長石はアルバイト双晶の存在によって識別した。カリ長石はパーサイト及びマイクロクリン構造を有し、黒雲母は多くが緑色の多色性を示し、かなりの部分が緑泥石化していると考えられる。岩石片としては安山岩片やガラス片が認められる。数種の微化石が多数存在している。

ロ. 深度 950.51~950.67 m 凝灰質砂

C₂部層下部に属する試料で、肉眼的には黄灰色を呈する細粒の砂である。

鏡下では分級のよい細砂から成り、粒子径は0.1 mm前後で、円磨度は低い。粒子間にはハリ質の物質により膠結されている。鉱物片としては石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、角閃石、輝石から成る。また、火山岩片、微化石、グロコナイトも認められる。

ハ. 深度 1311.21~1311.37 m シルト

D₁部層中部に属する試料で、肉眼的には灰色~灰黒色のちみつなシルトである。

鏡下では黄鉄鉱の大晶を含むほか、ほとんど微細な粘土鉱物によりなるが、続成作用により微細な白雲母を多数生じている。また波動消光をする干渉色の低い鉱物(プレーナイト?)の細脈が多数認められ、空隙には20 μ 程度の自形結晶が存在する。また、空隙をうめた緑泥石が散見される。

ニ. 深度 1806.44~1806.59 m 凝灰質砂

D₂部層上部に属する試料で、灰色で孔隙のある砂で、火山灰により膠結されているが、砂岩と呼べる比重はない。

鏡下では0.4 mm程度の中断砂から成り、分級度はかなり良く、やや円磨されたものも認められるが、全体としては破片状のものが多く、鉱物片としては石英、斜長石、カリ長石、輝石が認められ、岩石片としては火山岩片、深成岩片、石灰岩片等から成っている。続成作用の影響が認められ、二次生成と思われる線泥石、微細な白雲母(?)が生じている。鉱物片、岩石片の周辺で特に脱ハリ化が進んでいる。有孔虫や貝と思われる化石が含有されている。

ホ. 深度 2336.31~2336.47 m 凝灰質シルト

E層上部に属する試料で、肉眼的には灰黒色のちみつなシルトで、ほぼ水平な縞状構造が観察される。鏡下ではシルトと極細粒砂の中間的な大きさの砂粒からなり、その間を脱ハリ化した火山灰のガラスが埋めている。黒色炭質物や鉱物片の配列により、鏡下でも縞状構造が認められる。鉱物片としては、長石類、石英が目立つ。

ヘ. 深度 2764.09~2764.13 m 石英斑岩礫

F₂部層上部に属する試料で、肉眼的には石英の大晶を有する斑状構造の半深成岩の礫と、火山灰により膠結されたシルトの基地よりなる。

鏡下では斑状構造を有する石英斑岩の礫と、石英斑岩よりもたらされたと考えられる石英・長石類の鉱物片が脱ハリ化した火山灰質のマトリックス中に存在する。鉱物片の分級は極端に悪く、円磨度も低い。岩酸塩脈が網状に貫いている部分も存在し、全体に破碎を受けた形跡を有する。

石英斑岩は石英、斜長石、黒雲母の斑晶から成るが、黒雲母の多くは反応して、不透明鉱物の斑点状の集合体に変化しているのが見受けられる。ガーネットの斑晶がまれに存在する。石基はほとんどが石英と斜長石よりなるが、前述した不透明鉱物が散見される。

ト. 深度 2764.48~2764.56 m 含炭質物砂質シルト

F₂部層上部に属する試料で、肉眼的には灰黒色のちみつなシルトで、ほぼ水平な縞状構造物が認められる。

鏡下では微細な粘土質の基地中に石英斑石から導かれたと思われる鉱物片と岩石片が存在する。岩石片の最大粒径は1 mm強であるが、鉱物片は200 μ 前後で、分級度はややよく、し

かし円磨度は低い。鉱物片としては石英、長石類がほとんどで、まれに雲母を認める。そのほかに、炭質物が多数夾在している。続成作用により2次的に生成したと考えられる微細な雲母が基地中に無数に認められる。

チ. 深度 2943.02~2943.10 m 黒雲母石英斑岩

G層上部に属する岩石で、肉眼的に灰黒色の石基中に白色鉱物の斑状構造を呈する岩石である。

鏡下では、斑状構造で、斑晶として石英、斜長石、黒雲母からなり、石基は石英と長石のモザイク構造からなっている。石基はその粒径により2種類に分けられる。斑晶の黒雲母は反応して、周辺が緑泥石と不透明鉱物の集合体に変化している。粒径の粗い石基の部分では、中心の黒雲母が残っているものが少なく、すべて緑泥石と不透明鉱物に変っているものが多い。細かい石基の部分では、これとは別に再結晶したと思われる黒雲母の集合体が認められ、斑晶は破碎されているものが多い。石基そのものには、顕著な破碎の影響は認められないが、2種類の石基の存在が、破碎の影響を示していると考えられる。すなわち、粗い石基の部分の間を、細かい石基が埋めている構造を呈し、粗い石基の部分が結晶化した後、破碎されてできた空隙を、細かい石基が埋めているように見える。粗い石基は石英と斜長石と緑泥石のモザイク構造よりなるが、細かい石基は粒径が小さすぎて鉱物の識別が困難である。中には干渉色のやや高い微細な鉱物が存在する。また炭酸塩脈も存在することや細粒の黒雲母の存在から、細かい石基の生成後にも、破碎と熱水作用をこうむっていると考えられる。

リ. 深度 3506.03~3506.06 m 緑レン石角閃岩

H層に属する試料で、肉眼的には灰黒色、ちみつ質で、堅硬な岩石であるが、白色鉱物脈が網状に貫いている。

鏡下では完晶質で、多少の片状構造が認められる。構成鉱物は角閃石、緑レン石、斜長石から成る。角閃石の多色性は中心部が周辺部に比して濃い緑色を呈する。干渉色はあまり高くない。緑レン石は粒状で、干渉色から判断すると鉄分の少いクリノゾイサイトと思われる。斜長石は角閃石や緑レン石に比し粒径が小さく、モザイク状に集合している。全般的に圧碎された特徴が顕著で、カタクラサイト化している。角閃石、緑レン石も破片状になっているものがある。また、炭酸塩脈が縦横に貫いている。

ヌ. 深度 3508.53~3508.61 m ミロナイト

H層に属する試料で、肉眼的に灰黒色を呈し、黒色斑点と白色斑点とがある。

鏡下では破碎構造が顕著で、細かい双晶ラメラを示す長石と、波動消光を示す石英の残晶が認められる。黒雲母やザクロ石の残晶も存在する。これらの残晶により、このミロナイトは、花崗岩質の岩石から導かれたと考えられる。石英と長石から成る細粒には、葉片状の小晶をなして黒雲母が全体的に分布し、軽度の熱水変質作用をこうむっている。一部の空隙には緑泥石も生じている。

ル、深度 3510.05~3510.11 m 斜長石角閃岩

H 層に属する試料で、肉眼的には灰黒色を呈する結晶質の岩石である。

鏡下では完晶質で、片状を呈する。結晶のほとんどが角閃石で、間を斜長石が充填している。この岩石には破碎の影響はほとんど認められない。角閃石は淡褐色で弱い多色性を示す。繊維状の緑泥石の集合体が散見される。全岩に炭酸塩鉱物が、脈状ないしは不規則な形で分布する。

3.3 X 線回折分析

カッティング 74 試料、コア 15 試料の鉱物組成分析を、X 線回折法により行った。コア試料は顕微鏡観察試料と同一深度のものである。

3.3.1 測定方法

試料を自然乾燥し、微分砕した後、粘土分以外の鉱物については、アルミ板サンプルホルダーにより行い、粘土鉱物については水ひし、 2μ 以下の部分を取り、ガラス板に塗布して分析した。550°C、1 時間の加熱処理とエチレングリコールによる処理を合せて行った。

使用機器は理学電機製 Geigerflex 型で、測定条件は、銅の対陰極で 30 KV, 10 mA, スリット系は $1^\circ-1^\circ-0.3\text{ mm}$ である。

3.3.2 測定結果

鉱物成分判定の結果を、表 6、表 7 に示す。ほぼ全域にわたって石英、緑泥石、雲母系粘土鉱物の産出が見られる。長石は E, F 層と G 層上部の凝灰質の部分で産出が極端に少くなり、この部分では、輝沸石、クリストパライトおよび方解石の産出が顕著となっている。

表 6 コアの X 線分析結果

Table 6 Results of X-ray diffraction analyses for core samples

		Mont	Ill	Chl	Kaol	Mixedl	Heul	Mord	Qtz	Feld	Crist	Cal	OTHERS
C-1	450 m	+	+		+				+++	+++			
C-2	950	+	+	+			+		+++	+++			
C-3	1311	+	+	+	+				+++				
C-4	1552	+	+	+					+++	++			
C-5	1806	+	(+)	+			+		+++	++		+	
C-6	2336	+	+	+			+		+++	++	+		
C-7	2764 ⁰⁹		+	(+)	(+)				+++	+++		++	
C-8	2764 ⁰⁹	+	+	+					+++	+++			
C-9	2943	+		(+)					+++	+++			
C-10	3166	+	+	+	+				+++	+++			
C-11	3324	+	++	+					+++	+++			
C-12	3506	++		+						++		++	Amphibole
C-13	3508	+	+	+	+				+++	+++		++	
C-14	3508 ⁰⁴	(+)	(+)	+					+++			++	
C-15	3510			+	+				++	++		+	Amphibole

表7 カッティングのX線分析結果

Table 7 Results of X-ray diffraction analyses for cuttings

DEPTH m	Mont	Ill	Chl	Kao	MixedL	Heul	Mord	Qtz	Feld	Crist	Cal	OTHERS
50		+	+	+				+++	+++			
114	+	+	+					+++	++			
150	(+)	+	+	(+)	(+)			+++	++			Amphibole, Mixed LはEGで20.00A
200		+	+					+++	+++			//
250	+	+	+	+				+++	+++			//
350			+	+				+++	+++			// (少量)
400	+	+	+	+				+++	+++			Amphibole
450	+	+	+	+				+++	+++			
500		+	+	+	(+)			+++	+++			
540		+	+	+				+++	+++			
550	+	+	+	+				+++	+++			
600		+	+	+				+++	+++		+	Amphibole
650	+	+	+	+				+++	+++			
700	+	+	+	+				+++	+++			Amphibole
750	+	+	+	+	+			+++	+++			
800	+	+	+	+		+	(+)	+++	+++			Heulandite + Mordenite
850		+	+	+				+++	+++			
950	+	+	+	+		+	(+)	+++	+++			Heulandite + Mordenite
1000	+	+	+	+	+	+	(+)	+++	+			Laumontite
1050		+	+	+	(11.8Å)			+++	+++			
1100	+	+	+	+	(25.9)			+++	+++			
1150		+	+	+				+++	+++			
1200		+	+	+	(26.6)			+++	+++			
1250	+	+	+	+				+++	+++			
1300		+	+	+	(26.8)			+++	+++			
1350	+	+	+	+				+++	+		+	
1400		+	+	+				+++	+++			
1450	+	+	+	+				+++	+++			
1500	+	+	+	+				+++	+++			
1550	+	(+)	+	+				+++	+++			
1600		+	+	+	(26.6)			+++	+++			
1650		+	+	+	(22.2)			+++	+++		+	
1700		+	+	+				+++	+		++	
1750	+	+	+	+				+++	+		+	
1800		+	+	+		(+)		+++	+++		+	沸石の量少いため判定困難
1850	+	+	+	+	+	(+)		+++	+++			
1900	+	+	+	+				+++	+++			gypsum
1950		+	+	+	+	(+)		+++	+++		++	
2000		+	+	+	+			+++	+++			
2050		+	+	+	+			+++	+			Mixed L, E, G で 25.7 Å になる
2100		+	+	+	+	+	+	+++	+++			
2150	+	+	+	+				+++	+++			
2190		+	+	+	+	+	+	+++	+		+	
2250	+	+	+	+		+		+++	+			
2300		+	+	+	(+)	+		+++	(+)	++		
2350	+	+	+	+		+		+++	(+)	++		Laumontite
2400		+	+	+	+	+		+++	(+)	++	+	Laumontite
2450	+	+	+	+		+		+++	+	++	+	
2500		+	+	+		+		+++	+	++	+	
2550					(23.9)	+		+++	+	+		
2600		(+)	(+)	+		+		+++	+	+	+	Cristobalite 漸減
2650	+	+	+	+		+		+++	+	+	+	
2700	+	+	+	(+)		+		+++	+	(+)	+	
2750	+	+	+	+		+		+++	+	++		
2800	+	+	+	+	(+)			+++	+++			Laumontite
2850		+	+	+		++	++	+++	+++			Heulandite + Mordenite
2900	+	+	+	+		+	(+)	+++	+++			
2950	+	+	+	+				+++	+++		+	Laumontite
3000	+	+	+	+				+++	+++			
3050	+	+	+	+				+++	+++			
3100	+	+	+	+				+++	+++			
3150	+	+	+	+				+++	+++			
3200		+	+	+				+++	+++			
3250	+	+	+	(+)				+++	+++			
3300	+	+	+	+				+++	+++			
3350	+	+	+	+				+++	+++			
3360	+	+	+	+				+++	+++			
3375	+	+	+	+				+++	+++		+	
3400	+	+	+	+				+++	+++		+	
3440	+	+	+	+				+++	+++		+	
3450	+	+	+	+	(25.7)			+++	+++			
3475	+	+	+	+	(31.5)			++	+++		++	Amphibole
3500	+	+	+	+				+++	+++		++	Laumontite

凡 例

Mont	モンモリロナイト	Heul	輝沸石 (Heulandite)	(+)	あるのが判る程の極少量
Chl	クロライト	Mord	モルデン沸石 (Mordenite)	+	少い
Ill	イライト (雲母粘土鉱物)	Qtz	石英	++	普通
Kao	カオリン	Feld	長石	+++	多い
MixedL	混合層粘土鉱物	Crist	クリストバル石方解石		
		Cal	方解石		

3.4 化学分析

15個のコア試料の湿式全岩分析を行った。分析は一般的な分析法によった。炭酸塩鉱物を多く含むものがあり、CO₂の分析も行った。FeOの分析不能のものは、Fe₂O₃として分析表示した。結果を表8に示す。

表8 コアの化学分析結果

Table 8 Chemical compositions of core samples.

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	57.43	59.06	53.57	61.32	63.43	64.17	59.27	64.35
TiO ₂	0.89	0.55	0.93	0.79	0.51	0.56	0.31	0.64
Al ₂ O ₃	15.69	11.91	16.79	15.33	10.14	12.14	14.45	14.01
Fe ₂ O ₃	3.68	4.47	4.04	4.21*	3.44	4.11*	1.34*	4.30*
FeO	1.91	1.94	1.85		1.93			
MnO	0.07	0.05	0.02	0.04	0.03	0.04	0.35	0.03
MgO	1.53	2.10	1.77	1.70	1.77	1.41	1.57	1.98
CaO	2.13	1.93	0.50	0.49	1.68	1.53	9.54	0.91
Na ₂ O	2.23	2.10	2.01	3.24	2.41	2.14	2.37	2.15
K ₂ O	2.18	2.06	2.23	2.39	1.98	2.18	1.41	2.80
H ₂ O ⁺	4.93	4.31	10.36	4.97	4.18	6.02	2.84	4.10
H ₂ O ⁻	7.13	9.55	6.05	5.27	8.06	6.00	0.80	4.54
P ₂ O ₅	0.16	0.02	0.03	0.11	0.02	0.02	0.02	0.14
CO ₂	0.06	0.15	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Total	100.02	100.20	100.15	99.86	99.58	100.32	99.56	99.95

Sample No.	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	67.14	66.61	68.32	45.87	58.82	56.29	42.16
TiO ₂	0.34	0.32	0.31	1.24	0.94	0.88	1.94
Al ₂ O ₃	17.43	17.31	17.23	15.82	13.82	18.81	14.39
Fe ₂ O ₃	0.03			4.30	2.02		2.52
FeO	1.60	1.80*	1.74*	5.51	5.31	2.34*	9.66
MnO	0.07	0.05	0.06	0.17	0.20	0.13	0.24
MgO	0.91	1.23	1.22	5.74	4.84	4.54	10.45
CaO	4.00	3.23	3.31	13.41	4.46	5.15	7.20
Na ₂ O	4.32	4.13	4.26	2.05	2.57	2.68	1.33
K ₂ O	1.34	1.59	1.39	0.87	1.53	1.28	0.84
H ₂ O ⁺	1.51	2.05	1.41	3.78	4.85	5.13	7.35
H ₂ O ⁻	0.91	1.08	0.42	0.87	0.52	0.64	1.42
P ₂ O ₅	0.08	0.14	0.06	0.10	0.10	0.11	0.22
CO ₂	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	2.28	n. d.
Total	99.68	99.54	99.73	99.73	99.98	100.26	99.72

* : Fe₂O₄として表示

n. d. : 検出不能

3.5 熱伝導率測定

地殻熱流量の測定のための資料として、観測井から採取されたコア試料について熱伝導率の測定を行った。今回の測定に際しては試料の性状に応じて熱針法とシュレーダー法を用いた。

3.5.1 測定試料

熱伝導率の測定に供された試料を表9に岩質と共に示した。試料の1から8までは熱針法

表9 熱伝導率測定資料

Table 9 Samples for thermal conductivity measurement

試料 番号	深 度 (m)	岩石名	岩 質
1	451.69～451.76	凝灰質シルト	淡灰緑色を呈し、火山砕屑物を多く含み軟質で多くの不定方向の亀裂を生じている。 炭質物を介在する。
2	951.59～951.66	凝 灰 質 砂	灰緑色を呈し、細粒軟弱である。
3	1312.39～1312.44	シ ル ト	暗灰緑を呈し、細粒軟弱である。
4	1552.28～1552.34	シ ル ト	灰色を呈し緻密でやや堅硬である。 ほぼ水平に多くの亀裂を生じている。 非常に水を含みやすい。
5	1806.09～1806.14	凝 灰 質 砂	暗灰緑色を呈し、中粒～細粒の岩石で2mm前後の頁岩礫を少量含む。やや軟弱である。
6	2336.89～2336.94	凝灰質シルト	暗灰色で細粒ち密、やや堅硬で剝理面をもつ。
7	2765.12～2765.18	凝灰質シルト	灰色を呈し、ち密、やや堅硬な岩石で稜理面に沿って亀裂を生じている。
8	2942.60～2942.67	石 英 斑 岩	堅硬であるが不定方向に多数の割目を有し、炭酸塩鉱物が充填している。
9	3162.98～3163.05	石 英 斑 岩	淡緑色、堅硬である。ほぼ平行に多数の亀裂を有し、軽打により亀裂に沿って剝脱する。
10	3324.12～3324.18	石 英 斑 岩	灰色堅硬で、ほぼ直交する多数の亀裂を有し、石英、方解石が充填している。
11	3509.76～3509.81	斜長石角閃岩	やや粗粒。片理が発達し板状に剝脱しやすい。

で、8から11まではシュレーダー法で測定した。

3.5.2 測定方法

イ. 熱針法

熱針法は海底堆積物など、軟弱な試料に広く用いられている方法である。

半無限の物体中に円筒の熱源があるときの時間と温度上昇との関係は次式のように近似さ

れる。

$$T = \frac{Q}{4\pi K} \cdot \ln \frac{4\alpha t}{B a^2} \dots\dots\dots(1)$$

ここに K : 熱伝導率, T : 温度, Q : 熱源となる針の単位長さから単位時間に発生する熱量, α : 熱拡散率, a : 針の半径, t : 熱が発生しはじめてから十分時間が経った後の時間, $B = 1.7811$.

今, 時間 t_1 のときの温度を T_1 , 時間 t_2 のときの温度を T_2 とすると, (1) 式から

$$T_1 = \frac{Q}{4\pi K} \cdot \ln \frac{4\alpha t_1}{B a^2} \dots\dots\dots(2)$$

$$T_2 = \frac{Q}{4\pi K} \cdot \ln \frac{4\alpha t_2}{B a^2} \dots\dots\dots(3)$$

(2), (3) 式から

$$T_2 - T_1 = \frac{Q}{4\pi K} \cdot \ln \frac{t_2}{t_1}$$

従って熱伝導率は

$$K = \frac{Q}{4\pi(T_2 - T_1)} \cdot \ln \frac{t_2}{t_1} \dots\dots\dots(4)$$

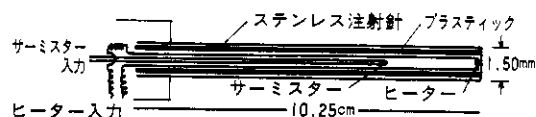
測定装置は図 27 に示すように, 外径 1.5 mm, 長さ 10.25 cm のステンレス製の注射針の中に, 2 ワットのヒータと微小なサーミスターを入れたものである。測定はこの針を試料に直径 1.5 mm の孔をあけて差込み, ツエナーダイオードで充分安定化された直流電圧 (5 V) を加える。一方サーミスターで温度変化を抵抗変化にし, 更に電位差変化に変え記録計に結ぶ。

ロ. シュレーダー法

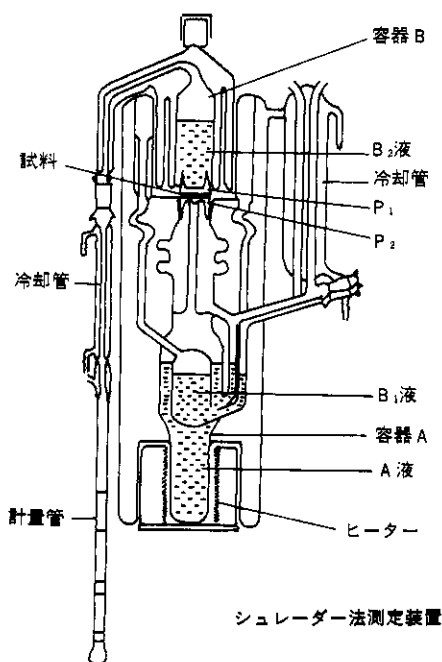
J. Schröder による考案で, 図 27 に示すように試料を A 液の入った容器 A と B₂ 液の入った容器 B の間に固定する。容器 A の最上部及び容器 B の最下部には熱伝導率の非常に大きな金属板 P₁, P₂ を取り付け。

A, B₂ 液は測定希望温度により, 数種類選べるが, その沸点が $T_A > T_{B_2}$ になるように選定する。図 27 中の B₁ 液は, 試料が P₁, P₂ に接していない部分からの熱量の逸散を妨げるためのもので B₂ と同一の沸点をもつ液体である。ヒーターによって A 液が熱せられ, 沸点 T_A に達すると A 液は蒸発し, P₁ に T_A なる温度の熱が伝わる。P₁ は熱伝導率が非常に大きいため, この熱はすぐ試料に伝わる。試料を伝わった熱は P₂ を経て沸点 T_{B_2} の B₂ 液に伝わる。 $T_A > T_{B_2}$ のため, B₂ 液はここで沸騰し, P₂ の温度を T_{B_2} に保つ。つまり試料には $T_A - T_B$ の温度が与えられる。従って試料を伝わった熱量は B₂ 液が蒸発した量で換算される。

試料の熱伝導率を K , 熱量を Q , 試料と金属板 P₁ (P₂) と接触する面積を S , 試料の厚さを d , B₂ 液が 1 cm³ 沸騰する時間を t とすると次式の関係が成立する。



熱針の構造



シュレーダー法測定装置

図 27 熱伝導測定装置

Fig. 27 Apparatus for thermal conductivity measurement

$$K = \frac{dQ}{S t (T_A - T_B)} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式は理想状態、即ち P_1 , P_2 と試料との間に熱の移動を防げるような抵抗がないときの関係である。試料の厚さを $d=0$ とおいたときの t を t_0 とすると、この t_0 が接触部分の抵抗を示すことになるから、(5)式は次のように書き換えられる。

$$K = \frac{dQ}{S (t - t_0) (T_A - T_{B2})} \dots\dots\dots (6)$$

実際の測定に当っては、あらかじめ正確に熱伝導率の測定された試料（溶融石英）を用いて $Q/T_A - T_{B2}$ を求めておく。従って t を測定するだけで熱伝導率 K が算出される。

3.5.3 測定結果

イ. 熱針法

膨潤性粘土鉱物を含むためシュレーダー法用の整形を出来ない堆積岩類及び両方の比較のための共通試料として石英斑岩 (No8) 1 試料を熱針法により測定した。また、熱伝導率の異方性の検討のため試料番号 1 および 2 は垂直および水平の二方向につき測定した。さらに、自然乾燥状態にあるときと、24 時間の強制湿潤状態の場合の二通り測定した。その結果を表 10 に示す。一般に自然乾燥状態より 24 時間強制湿潤状態の方が値が大きくなるが、試料番号 6, 7 の凝灰質のシルトでは逆の結果となっている。

ロ. シュレーダー法

ここでは原則として厚さの異なる同一深度の整形試料を 3 個用いた。試料と機器の接触抵抗 t_0 は $d-s$ t 曲線から求めた。定数 $Q/(T_A - T_B)$ は熱伝導率 $2.85 \times 10^{-3} \text{ cal/cm sec}^\circ\text{C}$ の

表 10 熱針法による熱伝導率測定値

Table 10 Thermal conductivity by means of needle probe method

試料番号	熱伝導率 $10^{-4} \text{ Cal/cm} \cdot \text{Sec}^\circ\text{C}$	
	自然乾燥状態	24 時間強制湿潤状態
1-1 (垂直方向)	2.4	3.1
1-2 (水平方向)	3.7	—
2-1 (垂直方向)	3.5	3.9
2-2 (水平方向)	3.8	4.0
3	3.0	3.4
4	3.4	3.9
5	2.7	3.0
6	4.4	2.1
7	3.2	2.7
8	2.5	2.8

表11 t-測定値表

Table 11 Data of t-measurement

試料	8-1	8-2	8-3	9-1	9-2	10-1	10-2	10-3	11-1	11-2	11-3
t (秒)	84.20	103.20	117.42	135.58	161.62	115.62	118.10	166.50	122.35	120.85	151.95
	81.70	104.50	118.78	140.02	159.24	115.12	118.85	169.81	121.76	121.25	153.31
	81.64	104.40	117.02	135.50	158.82	116.07	120.25	168.63	121.56	122.75	150.28
	82.90	102.18	115.80	137.12	161.06	115.62	121.05	170.82	121.26	124.24	156.80
	83.95	104.02	116.02	142.90	160.38	116.10	118.72	167.32	123.14	120.85	151.00
	85.62	102.42	114.52	145.75	162.67	114.62	119.75	171.33	122.35	119.35	152.85
	84.51	102.65	115.20	146.00	160.26	117.72	119.58	171.22	123.62	124.72	156.42
	85.80	101.78	115.72	147.26	161.22	116.88	119.38	173.12	119.51	124.53	152.65
	84.62	103.18	115.60	147.50	163.37	116.57	116.93	175.03	119.73	125.33	154.65
	85.41	102.36	115.18	146.28	161.25	117.49	119.08	174.52	124.61	121.46	155.14
平均	84.035	103.069	115.758	142.390	160.989	116.181	119.169	170.830	121.989	122.533	153.505

値をもつ合成石英を測定し、 $Q/(T_A - T_B) = 2.20 \text{ cal/}^\circ\text{Ccm}^3$ を得た。 t の測定値を表11に、 $d - st$ の関係図を図28に、又熱伝導率 K の算出結果を表12に示す。石英斑岩では $3.0 \times 10^{-3} \text{ cal/cm sec}^\circ\text{C}$ で、上部堆積層とほとんど同じである。斜長石角閃岩では、 $2.4 \times 10^{-3} \text{ cal/cm sec}^\circ\text{C}$ でやや低い値を示す。

表12 シュレーダー法による熱伝導率測定値

Table 12 Thermal conductivity by means of Schröder's method

試料番号	d cm	S cm ²	t sec*	t ₀ sec	K 10 ⁻³ cal/cm sec. °C**
8-1	0.640	7.211	84.035	15.8	3.0
8-2	0.825	7.191	103.069		
8-3	1.005	7.191	115.758		
9-1	0.503	3.815	142.390	44.0	2.9
9-2	0.588	3.815	160.989		
10-1	0.645	4.885	116.181	14.0	3.0
10-2	0.720	4.885	119.169		
10-3	1.103	4.885	170.830		
11-1	0.583	4.024	121.989	3.2	2.4
11-1	0.858	6.861	122.533		
11-2	1.035	6.861	153.505		

* : 10回の測定値の平均を示す。

** : $Q/(T_A - T_B) = 2.20 \text{ Cal/}^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^3$ を使用

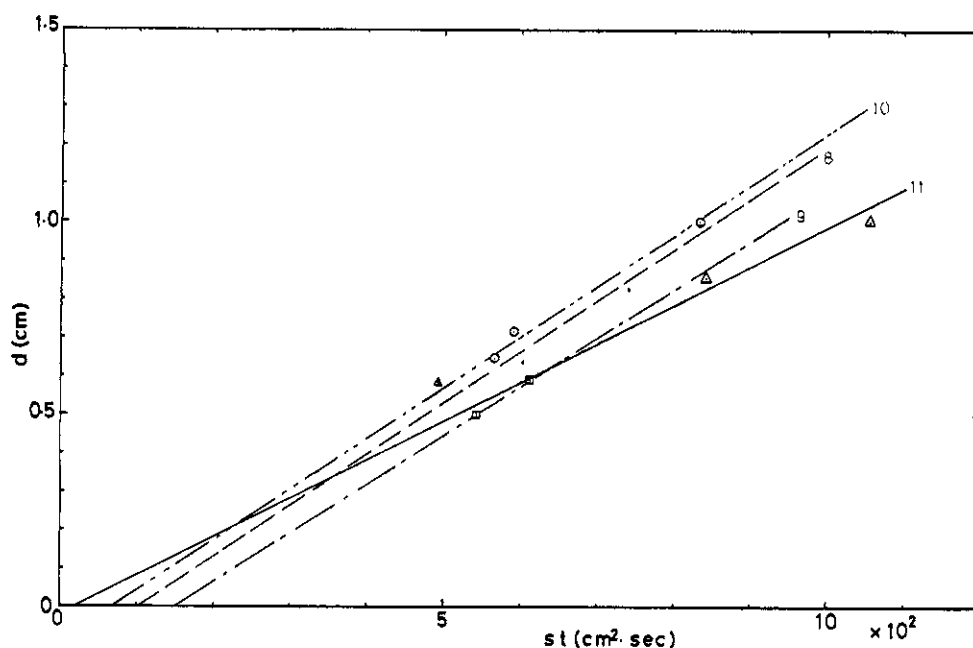


図28 $d-st$ 関係図

Fig. 28 Relation between d and st .

3.6 コア一般分析

一般的なコアテストとして、見掛け比重、粒子密度、浸透率、孔げき率、飽和率、含水量、間げき水中の Cl^- 濃度、一軸圧縮試験を行った。

3.6.1 測定方法

見掛け比重と粒子密度に関しては、ピクノメーター法でテトラリン液を使用し、浸透率、孔げき率はコア・ラボトリー社 (USA) のパーミアメーターによった。飽和率、含水量は、トルエン抽出により測定し、間げき水中の Cl^- 濃度測定は硝酸銀滴定により行い、次式に示す希釈率を乗じて算出した。トルエン抽出による含水量から求めた希釈率は、含粘土鉱物岩石では一般に行われている $105^\circ\text{C}\sim 110^\circ\text{C}$ 減量による含水量から求めた希釈率より正確である。

$$\text{希釈率} = 1 + \frac{\text{加水量(cc)} \times \text{見掛け比重}}{\text{試料の重量(g)} \times \text{容積含水比(\%)} \times 1/100}$$

一軸圧縮試験は森試験器製作所製の引張り圧縮測定器を用いて行った。

3.6.2 測定結果

各々の測定結果を表13および表14に示す。どの値も深度と相関を示すが、試料番号11以

表13 一般コア試験結果

Table 13 Results of core tests

No	深 度 (m)	地 質	比 重 (見掛け)	粒子密度	浸透率 (空気) (md)	孔げき率 (%)	飽和率 水(%)	含 水 量 g/100g コア	間げき水の Cl^- (mg/l)
1	450.00~.10	シルト	1.87	2.58	2.08	43.1	94.2	21.69	610
2	451.55~.69	シルト	1.82	2.60	7.3	46.5	93.0	23.74	530
3	951.66~.77	微 粒 砂	2.03	2.68	180.	36.3	89.0	15.96	1,340
4	952.40~.61	微 粒 砂	2.03	2.71	78.1	37.9	90.8	16.97	1,230
5	1309.14~.26	中~粗粒凝灰質砂	2.01	2.72	233.	36.7	81.1	14.79	8,820
6	1321.24~.35	細 粒 火 山 灰	2.04	2.64	191.	33.2	83.5	13.61	9,520
7	1552.00~.10	灰色凝灰質シルト	2.11	2.71	236.	32.5	87.9	13.50	11,200
8	1806.14~.25	泥 質 細 粒 砂	2.12	2.71	40.4	31.2	82.4	12.11	14,380
9	1806.59~.80	泥 質 細 粒 砂	2.13	2.65	132.	29.1	87.3	11.94	13,980
10	2237.92~8.03	暗灰~淡褐色火山灰	2.21	2.64	9.8	23.0	76.6	7.98	4,890
11	2943.42~54	石 英 斑 岩	2.46	2.61	5.2	8.3	79.9	2.70	4,240
12	2946.35~.50	石 英 斑 岩	2.48	2.59	5.9	6.3	89.9	2.29	4,620
13	3166.30~.51	石 英 斑 岩	2.48	2.55	2.8	3.6	68.7	1.09	5,620
14	3166.51~.66	石 英 斑 岩	2.40	2.55	1.7	9.6	61.0	2.44	5,890
15	3323.53~.82	石 英 斑 岩	2.48	2.61	1.96	3.6	72.6	1.07	3,140
16	3324.45~.64	石 英 斑 岩	2.52	2.59	0.96	4.1	83.8	1.38	2,950
17	3509.38~.58	角 閃 岩	2.67	2.71	0.85	1.9	67.8	0.49	2,610
18	3509.38~.58	角 閃 岩	2.67	2.74	0.84	3.2	74.8	0.09	2,840

表14 一軸圧縮試験測定値

Table 14 Data of uniaxial compressive strength measurement

No.	深 度 (m)	地 質	断 面 積 A (cm ²)	長さ L (cm)	体積 V (cm ³)	荷 重 (kg)	荷重/原断面積 (kg/cm ²)
1	450.00～.10	シ ル ト	16.0	4.0	64.0	210	13.0
2	951.66～.77	微 粒 砂	//	//	//	760	47.0
3	1321.24～.35	火 山 灰	//	//	//	870	54.0
4	1552.00～.10	灰色凝灰質シルト	//	//	//	1,050	65.0
5	1806.14～.25	泥 質 細 粒 砂	//	//	//	1,340	83.0
6	2337.92～8.03	暗灰～淡褐灰色火山灰	//	//	//	2,570	160.0
7	2946.35～.50	石 英 斑 岩	//	//	//	5,400	337.0
8	3166.51～.66	石 英 斑 岩	//	//	//	5,750	359.0
9	3324.45～.64	石 英 斑 岩	//	//	//	6,490	529.0
10	3509.38～.58	角 閃 岩	//	//	//	6,210	388.0

下の基盤岩類に入ると、当然のことながら異なった傾向を示す。孔げき率や含水量は極端に減少する。また、間げき水の Cl⁻濃度や空気の浸透率は試料番号 10 の火山灰ですでに大きく減少し始めている。それに比べて、粒子密度は多少の変化はあるが一定しているし、見掛け比重や水の飽和率は全体としてみれば深度と共に増加ないしは減少の傾向があり、大きな不連続は認められない。

3.7 カutting密度測定

3.7.1 測定方法

ほぼ 20 m おきに採取した 167 試料の Cutting の密度測定を行った。測定法はピクノメーター法で、テトラリンを使用した。

3.7.2 測定結果

測定結果を表 15 と図 29 に示した。全般に 2.60～2.70 の値を示すが、C₁部層から C₂部層上部にかけて 2.70 近辺のやや重い部分があり、E 層では 2.50～2.60 の軽い値が得られた。坑底部では 2.78～2.81 の重い値を示す。

3.8 有孔虫分析

3.8.1 分析試料の処理

調査に用いられた試料は Cutting で、地質調査用に 10 m 毎に採取された中から、20 m 毎に取り出したもので、深度 2800 m までの計 139 個である。試料は半乾燥状態のものを 100 グラム用いた。電気検層により、深度 2300 m 付近以下は泥岩が固い事が判明したので、硫酸ナトリウム処理を行った。Cutting 処理は、ミキサーにより粉碎し、32, 120, 200 メッシュの標準ふるい三段で水洗し、120 メッシュのふるいに残ったもののみを用いた。32, 200 メッシュのものは、それぞれ袋に入れて保存した。120 メッシュの試料は、有孔虫化石の全数をスライドに拾い、同定を行った。

表15 カッティングの密度

Table 15 List of cutting density

深度 (m)	密度
3,210	2.67
3,230	2.67
3,250	2.66
3,270	2.66
3,290	2.68
3,310	2.67
3,330	2.67
3,350	2.67
3,370	2.68
3,390	2.68
3,410	2.72
3,430	2.69
3,450	2.68
3,470	2.78
3,490	2.81
3,500	2.78

深度 (m)	密度
2,710	2.63
2,730	2.62
2,750	2.52
2,770	2.65
2,790	2.65
2,810	2.66
2,830	2.65
2,850	2.66
2,870	2.34
2,890	2.27
2,910	2.66
2,930	2.66
2,950	2.66
2,970	2.69
2,990	2.67
3,010	2.67
3,030	2.66
3,050	2.66
3,070	2.67
3,090	2.67
3,110	2.67
3,130	2.65
3,150	2.67
3,170	2.65
3,190	2.64

深度 (m)	密度
2,210	2.59
2,230	2.52
2,250	2.61
2,270	2.55
2,290	2.62
2,310	2.52
2,330	2.52
2,350	2.52
2,370	2.49
2,390	2.49
2,410	2.51
2,430	2.49
2,450	2.55
2,470	2.54
2,490	2.53
2,510	2.53
2,530	2.52
2,550	2.54
2,570	2.54
2,590	2.54
2,610	2.53
2,630	2.53
2,650	2.59
2,670	2.62
2,690	2.64

深度 (m)	密度
1,670	2.66
1,690	2.66
1,710	2.67
1,730	2.68
1,750	2.66
1,770	2.67
1,790	2.65
1,830	2.62
1,850	2.64
1,870	2.67
1,890	2.67
1,910	2.68
1,930	2.64
1,950	2.67
1,970	2.66
1,990	2.64
2,010	2.66
2,030	2.67
2,050	2.55
2,070	2.64
2,090	2.63
2,110	2.63
2,150	2.62
2,170	2.63
2,190	2.64

深度 (m)	密度
1,150	2.65
1,170	2.62
1,190	2.65
1,210	2.62
1,230	2.52
1,250	2.66
1,270	2.64
1,290	2.63
1,309	2.65
1,330	2.65
1,350	2.66
1,370	2.67
1,390	2.64
1,410	2.64
1,430	2.66
1,450	2.63
1,470	2.67
1,490	2.65
1,510	2.67
1,530	2.67
1,550	2.65
1,570	2.64
1,610	2.66
1,630	2.65
1,650	2.67

深度 (m)	密度
650	2.70
670	2.68
690	2.66
710	2.69
730	2.68
750	2.67
770	2.71
790	2.69
810	2.72
830	2.67
850	2.61
870	2.62
890	2.58
910	2.62
930	2.65
950	2.65
970	2.66
990	2.66
1,010	2.65
1,030	2.65
1,050	2.66
1,070	2.60
1,090	2.56
1,110	2.70
1,130	2.64

深度 (m)	密度
32	2.70
50	2.67
70	2.65
90	2.77
114	2.69
130	2.63
150	2.63
190	2.65
210	2.64
230	2.64
280	2.70
330	2.66
350	2.67
370	2.63
390	2.64
410	2.61
470	2.68
490	2.60
510	2.66
530	2.68
550	2.70
570	2.63
590	2.68
610	2.66
630	2.64

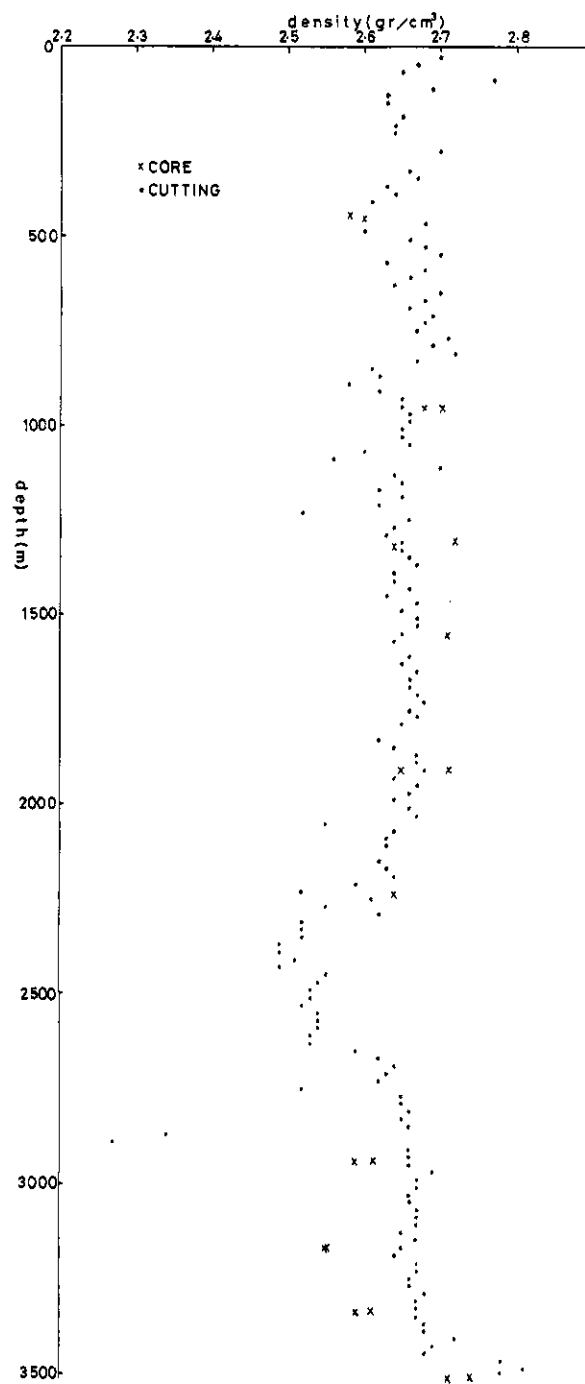


図 29 コアおよびカッティング密度
Fig. 29 Densities of cores and cuttings

3.8.2 分析結果と解析

各深度の試料中の有孔虫化石については, species chart (表16) に示した。それに基づき以下のような分帯を行った。

- (1) 深度 0～40 m N. F. (Non Foraminifera の略, 以下同様)
- (2) 深度 50～440 m *Buccella frigida*～*Elphidium subarcticum* Zonule
- (3) 深度 450～1020 m *Rotalia inflata*～*Elphidium advenum* Zonule
- (4) 深度 1030～2280 m R. F. (Rare Foraminifera の略以下同様)
- (5) 深度 2290～2600 m *Nonion pompilioides*～*Bulimina anliculata* Zonule
- (6) 深度 2610～2800 m R. F.

上記分帯を細記すれば, 次のようになる。

- (2) *Buccella frigida*～*Elphidium subarcticum* Zonule

Buccella frigida, *Elphidium subarcticum* を特徴種とし, *Pseudononion japonicum*, *Rotalia japonica* が比較的普通に産する。その他では, *Rotalia papillosa*, *Nonion manpukujiense*, *Elphidium kusiroense* 等, 冷水浅海種の群集である。浮遊性種は, *Globorotalia crassaformis*, *Globigerina quinqueloba* 等をわずかに産する。

- (3) *Rotalia inflata*～*Elphidium advenum* Zonule

題記の2種を特徴種とし, *Pseudononion japonicum*, *Hanzawaia nipponica* をかなり多く含み, 深度により多産することもある。さらに *Rotalia takanabensis*, *Robulus* spp., *Elphidium* spp., *Rotalia papillosa*, *Rotalia japonica* 等浅海種で占められている。浮遊性種は, *Globorotalia crassaformis*, *Globorotalia* cfr. *acostaensis*, *Globigerina paraboloides* 等を若干産する。

- (4) R. F.

Rotalia spp., *Lagenonodosaria scalaris*, *Elphidium advenum*, *Cibicides* spp.等を少数産する。浮遊性種は *Orbulina universa*を少数含むほか, *Globigerinoides* sp., *Globorotalia* sp.等をわずかに産する。

- (5) *Nonion pompilioides*～*Bulimina auriculata* Zonule

本帯は化石有孔虫に富んでおり, 題記の2種は連続的に, かなり多く産するほか, *Haplophragmoides ewaciatum*, *Pullenia bulloides*, *Bulinina nipponica*, *Trifarina kokozuraensis*, *Martinottiella communis*, *Bathysiphon* 等が普通に産する。さらに, 下半部に *Rotalia tochiensis* を多産し, *Cassidulina pacifica*, *Pyrgo* spp., *Lagena* spp.等の石灰質種も比較的多い。浮遊性種もかなり多く, *Globorotalia scitula* が連続的に認められるが, 保存状態が比較的悪く, 時代決定は困難である。

- (6) R. F.

群集の構成は上位の分帯と余り大きな差違は認められないが, 全体に化石が少なくなって

[illegible]

3.8.2 分析結果と解析

各深度の試料中の有孔虫化石については、species chart (表 16) に示した、それに基づき以下のような分帯を行った。

- (1) 深度 0～40 m N. F. (Non Foraminifera の略, 以下同様)
- (2) 深度 50～440 m *Buccella frigida*～*Elphidium subarcticum* Zonule
- (3) 深度 450～1020 m *Rotalia inflata*～*Elphidium advenum* Zonule
- (4) 深度 1030～2280 m R. F. (Rare Foraminifera の略以下同様)
- (5) 深度 2290～2600 m *Nonion pompilioides*～*Bulimina aniculata* Zonule
- (6) 深度 2610～2800 m R. F.

上記分帯を細記すれば、次のようになる。

(2) *Buccella frigida*～*Elphidium subarcticum* Zonule

Buccella frigida, *Elphidium subarcticum* を特徴種とし, *Pseudononion japonicum*, *Rotalia japonica* が比較的普通に産する。その他では, *Rotalia papillosa*, *Nonion manpukujiense*, *Elphidium kusiroense* 等, 冷水浅海種の群集である。浮遊性種は, *Globorotalia crassaformis*, *Globigerina quinqueloba* 等をわずかに産する。

(3) *Rotalia inflata*～*Elphidium advenum* Zonule

題記の2種を特徴種とし, *Pseudononion japonicum*, *Hanzawaia nipponica* をかなり多く含み, 深度により多産することもある。さらに *Rotalia takanabensis*, *Robulus* spp., *Elphidium* spp., *Rotalia papillosa*, *Rotalia japonica* 等浅海種で占められている。浮遊性種は, *Globorotalia crassaformis*, *Globorotalia* cfr. *acostaensis*, *Globigerina paraboloides* 等を若干産する。

(4) R. F.

Rotalia spp., *Lagenonodosaria scalaris*, *Elphidium advenum*, *Cibicides* spp.等を少数産する。浮遊性種は *Orbulina universa* を少数含むほか, *Globigerinoides* sp., *Globorotalia* sp.等をわずかに産する。

(5) *Nonion pompilioides*～*Bulimina auriculata* Zonule

本帯は化石有孔虫に富んでおり, 題記の2種は連続的に, かなり多く産するほか, *Haplophragmoides ewaciatum*, *Pullenia bulloides*, *Bulinina nipponica*, *Trifarina kokozuraensis*, *Martinottiella communis*, *Bathysiphon* 等が普通に産する。さらに, 下半部に *Rotalia tochiensis* を多産し, *Cassidulina pacifica*, *Pyrgo* spp., *Lagena* spp.等の石灰質種も比較的多い。浮遊性種もかなり多く, *Globorotalia scitula* が連続的に認められるが, 保存状態が比較的悪く, 時代決定は困難である。

(6) R. F.

群集の構成は上位の分帯と余り大きな差違は認められないが, 全体に化石が少なくなって

いること、下半部の凝灰岩を挟在するところで、*Spirosigmoilinella compressa*, *Martinottiella communis* を若干産出することが特徴的である。

3.9 弾性波速度測定

3.9.1 測定方法

弾性波速度測定は、湿潤状態および強制乾燥状態の二態について、各3方向を測定することを目的としたが、強制乾燥時に葉理からひび割れが生じて測定不能となり、湿潤状態での測定のみとしたものもある。コアの切断および成形は、コアの上下軸に垂直な面で切断し、立方体として上下のマークを記入した。辺長は標準5 cmとしたが、強制湿潤時崩壊したもので、それ以下に切断し直したものもある。相対応する面は平行に成形した。なお、強制乾燥試料は、原試料を乾燥器によって105°C~110°Cで約30時間乾燥した後に重量を測定し、次に24時間の乾燥の後に重量測定を行い、測定された重量が一定になったものを用いた。強制湿潤試料は、原試料を水の中に2週間放置して含水させたものである。測定器は開発電子測器研究所製SLS-1002-Dである。S波測定では、何度測定してもキックの悪いものもあった。

3.9.2 測定結果

測定結果を表17と図30 a, bに示す。図中の点線は、音波検層の平均値と後述するS波速度測定結果を示したものである。2, 3の値を除いて、ほとんどのコア測定値は、原位置における測定値よりも小さくなっている。

3.10 磁性測定

3.10.1 測定方法

イ. 帯磁率

コアを上下軸(Z軸)に垂直な面で切断し、辺長5 cmの立方体(試料によってはそれ以下のものもある)に成形する。成形後の残分を蒸発皿に採取し、自然乾燥する。この乾燥試料を、あらかじめよく洗浄しておいたゴムチューブで包み、粗砕(10 mm以下)し、さらに磁性乳鉢で5 mm以下にしたものをvibrating sample millで42メッシュ全通となるように粉碎した。この粉碎機の乳鉢は、鉄分の混入をさけるため、高アルミナ粉碎用容器を使用した。なお、カッティング試料16個も同様に粉碎して測定した。粉碎試料を30 cc採取し、帯磁率測定試料とした。帯磁率測定は次式による。

$$\text{帯磁率} = \text{比帯磁率} \times \text{真の密度}$$

次に比帯磁率測定はパイソン型比帯磁率測定器を使用した。

$$\text{比帯磁率} = \text{みかけの帯磁率} / \text{みかけの密度}$$

ロ. 残留磁気強度測定

残留磁気強度測定は次の方法で行った。まず前項で成形した試料を無定位磁力計の載物台に置く。次に載物台を回転し、45°ごとにランプスケールの読みを求める。この数値をFourier級数に転換し、一次の正弦曲線として、その半振巾の位置を計算により求める。次に三面に

表17 弾性波速度測定結果

Table. 17 Results of velocity measurement.

試料 No	採取深度 d · m	岩石名	乾 湿 状 態	上			下			縦			横			備 考
				P 波 長 さ (mm)	時 間 (μ s)	速 度 (m/s)	P 波 長 さ (mm)	時 間 (μ s)	速 度 (m/s)	P 波 長 さ (mm)	時 間 (μ s)	速 度 (m/s)	P 波 長 さ (mm)	時 間 (μ s)	速 度 (m/s)	
1	451.30 ~451.48	シルト	湿	P						46.14	24.60	1,880	47.38	25.83	1,830	S波測定 時崩壊
			湿	S												
			乾	P												
			乾	S												
2	951.38 ~951.59	微粒砂	湿	P	54.16	22.97	2,360	54.40	21.43	25.40	55.65	21.35	2,610			
			湿	S	//	53.91	1,000	//	43.12	1,260	//	46.32	1,200			
			乾	P	//	37.80	1,430	//	26.78	2,030	//	27.05	2,060			
			乾	S	//	65.59	830	//	52.34	1,040	//	52.75	1,050			
3	1312.07 ~1312.24	火山灰	湿	P	38.40	19.23	2,000	55.56	26.98	2,060	51.89	24.29	2,140			乾燥 時崩壊
			湿	S	//	41.81	920	//	63.61	870	//	59.91	870			
			乾	P												
			乾	S												
4	1552.96 ~1553.19	シルト	湿	P	28.48	14.88	1,910	52.16	32.38	1,610	49.08	30.93	1,590			S波測定 時崩壊
			湿	S	//	39.43	720	//	83.30	630	//	88.50	550			
			乾	P	//	42.20	670	//	35.60	1,470	//	45.90	1,070			
			乾	S												
5	1805.55 ~1805.76	細粒砂	湿	P	44.43	19.65	2,260	54.49	22.89	2,380	56.30	23.87	2,360			
			湿	S	//	54.39	820	//	61.45	890	//	67.85	830			
			乾	P	//	53.18	840	//	46.68	1,170	//	46.75	1,200			
			乾	S	//	112.00	400	//	82.95	660	//	82.89	680			
6	2336.68 ~2336.89	凝灰質シルト	湿	P	43.84	14.70	2,980	39.37	11.30	3,480	44.05	12.67	3,480			
			湿	S	//	27.30	1,610	//	22.97	1,710	//	26.25	1,680			
			乾	P	//	18.25	2,400	//	11.76	3,350	//	13.05	3,380			
			乾	S	//	29.23	1,500	//	25.00	1,570	//	24.95	1,770			
7	2765.18 ~2765.37	凝灰質シルト	湿	P				59.60	21.95	2,720	55.95	21.12	2,650			湿 S波測定 時崩壊
			湿	S												
			乾	P												
			乾	S												
8	2946.66 ~2946.85	石英斑岩	湿	P	77.16	23.04	3,350	58.99	17.84	3,310	47.45	12.44	3,810			
			湿	S	//	46.27	1,670	//	45.11	1,310	//	37.02	1,280			
			乾	P	//	30.07	2,570	//	21.94	2,690	//	16.32	2,910			
			乾	S	//	55.22	1,400	//	38.50	1,530	//	37.70	1,260			
9	3163.96 ~3164.14	石英斑岩	湿	P	79.71	19.80	4,030	55.36	13.57	4,080	46.05	10.95	4,210			
			湿	S	//	37.08	2,150	//	23.54	2,350	//	19.72	2,340			
			乾	P	//	24.07	3,310	//	16.78	3,300	//	13.35	3,450			
			乾	S	//	41.80	1,910	//	28.60	1,940	//	23.52	1,960			
10	3323.92 ~3324.12	石英斑岩	湿	P	65.91	13.35	4,940	48.13	11.16	4,310	60.00	13.72	4,370			
			湿	S	//	32.71	2,010	//	29.90	1,610	//	33.79	1,780			
			乾	P	//	16.42	4,010	//	12.30	3,910	//	16.95	3,540			
			乾	S	//	33.25	1,980	//	31.01	1,550	//	38.56	1,560			
11	3509.58 ~3509.76	角閃岩	湿	P	66.83	14.78	4,520	48.75	10.18	4,790						上下、縦断 の 成 形 可 能
			湿	S	//	33.88	1,970	//	30.55	1,600						
			乾	P	//	17.30	3,860	//	11.95	4,080						
			乾	S	//	46.42	1,440	//	32.43	1,500						

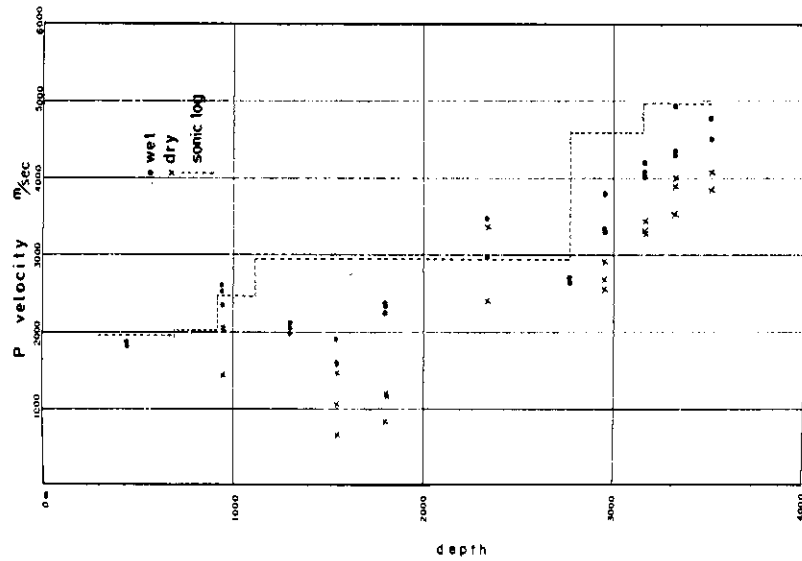


図 30 a コアの P 波速度測定結果

Fig. 30a P wave velocities of core samples

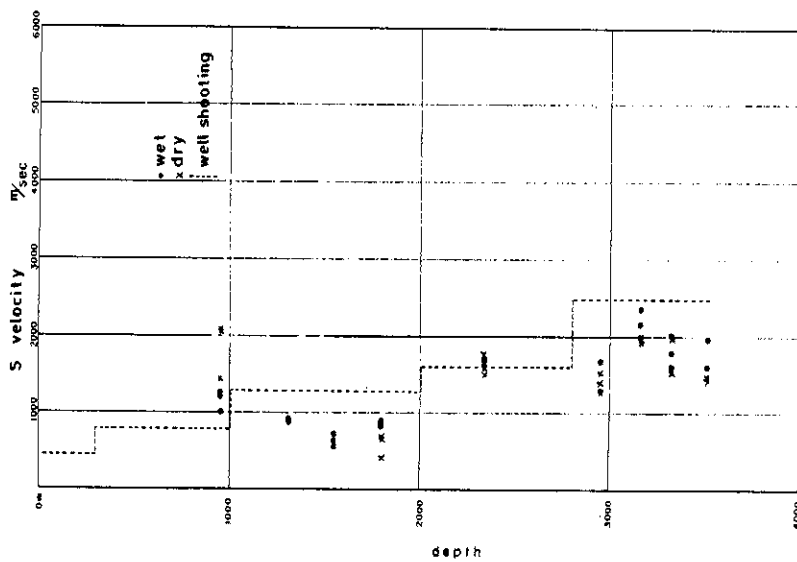


図 30 b コアの S 波速度測定結果

Fig. 30b S wave velocities of core samples

おける計算された半振巾および最大振巾位置をステレオ投影し、伏角を求めると共に、残留磁気強度を次式により計算した。

$$J_r = \frac{\gamma^3 \epsilon \cdot \theta_{\max}}{V}$$

J_r : 残留磁気強度 θ_{\max} : 最大振巾の平均
 V : 試料体積 γ : 試料の中心から磁石の中心への距離
 ϵ : 機器恒数

機器の検定結果を表18のとおりである。

3.10.2 測定結果

測定結果を表19a, 表19bと図31a, 図31bに示す。深度3000mから3200mのほぼ石英斑岩にあたる部分では、カッティングの比帯磁率が高くなっている。しかし、深度3163.19mのコアでは比帯磁率はカッティングほどは高くない。この原因ははっきりしないが、岩石が硬いために、ビットやスタビライザーが摩耗して、鉄分がカッティング中に混入したことも考えられる。カッティングではこのような鉄分の混入や泥水による組成の変化がきけられないので、コアによる測定ほどの精度は得られない。

3.11 S波速度測定

地下深部までのS波速度構造を測定することは、地震観測データを正しく解析するなどの地球物理学的な目的のみならず、地盤振動の解析などの地震工学上からも、非常に重要な意義を持っている。しかし、深い深度でのS波速度の測定は、地下深部まで到達するような強力なS波を発生させる手段が開発されていなかったため、岩槻井作井当時は実施することができなかった。

その後、Shima and Ohta (1968) により開発された、いわゆるS大砲を改良したS波発生装置を用いて、本井において、ウエル・シューティング法によるS波速度測定が1976年に実施された。

表18 磁性測定時の機器検定結果

Table 18 Tested data of remnant magnetization measurement apparatus

残留磁気測定時の検定

測定日	i_0 (μA)	θ_0 (cm)	目盛常数 (Oe/cm)	感度 (cm/Oe)
6月23日	10.0	19.4	0.232×10^{-5}	0.431×10^5
〃	〃	26.2	0.172×10^{-5}	0.581×10^5
〃	〃	45.0	0.100×10^{-5}	1.000×10^5
〃	〃	51.0	0.088×10^{-5}	1.136×10^5

表 19 a 磁性測定結果 (コア)

Table 19a Results of magnetic measurement (core)

試料 No	採取深度 m	密度 g/cm ³	比帯磁率 χ C.G.Semu	帯磁率 K.C.G.Semu	感応磁気 の強さ Ji.emu/cm ³	自然残留磁気		和 Ji+Jr emu/cm ³	比 Jr/Ji
						強さ Jr.emu/cm ³	伏角 θ		
1	450.87 ~451.00	1.44	$\times 10^{-4}$ 26.9	$\times 10^{-4}$ 38.7	$\times 10^{-4}$ 19.4	0.09 $\times 10^{-4}$	-33°	19.5 $\times 10^{-4}$	0.005
2	950.34 ~950.51	1.79	31.5	56.4	28.2	6.88	+6°	35.1	0.24
3	1309.01 ~1309.14	1.82	6.0	10.9	5.5	0.70	-26°	6.2	0.13
4	1552.81 ~1552.96	2.06	1.8	3.7	1.9	0.02	-76°	1.9	0.01
5	1805.30 ~1805.43	1.95	7.3	14.2	7.1	0.75	+27°	7.9	0.11
6	2337.38 ~2337.50	2.18	1.6	3.5	1.8	0.06	+58°	1.9	0.03
7	2765.37 ~2765.56		1.5						
8	2943.74 ~2943.85	2.43	4.7	11.4	5.7	3.05	+55°	8.8	0.54
9	3163.19 ~3163.30	2.43	3.0	7.3	3.7	3.58	+55°	7.3	0.97
10	3324.64 ~3324.79	2.58	1.7	4.4	2.2	0.06	+43°	2.3	0.03
11	3507.65 ~3507.77		2.5						

試料 番号	深度(m)	比帯磁率 χ C.G.Semu $\times 10^{-4}$
1	2000	2.9
2	2100	1.8
3	2190	5.5
4	2300	2.5
5	2400	2.8
6	2500	1.9
7	2600	1.8
8	2700	1.8
9	2800	1.9
10	2900	1.7
11	3000	7.8
12	3100	6.9
13	3200	8.0
14	3300	2.5
15	3400	2.5
16	3500	2.1

表19 b 磁気測定結果
(カッティング)

Table 19b Results of
magnetic measurement
(cutting)

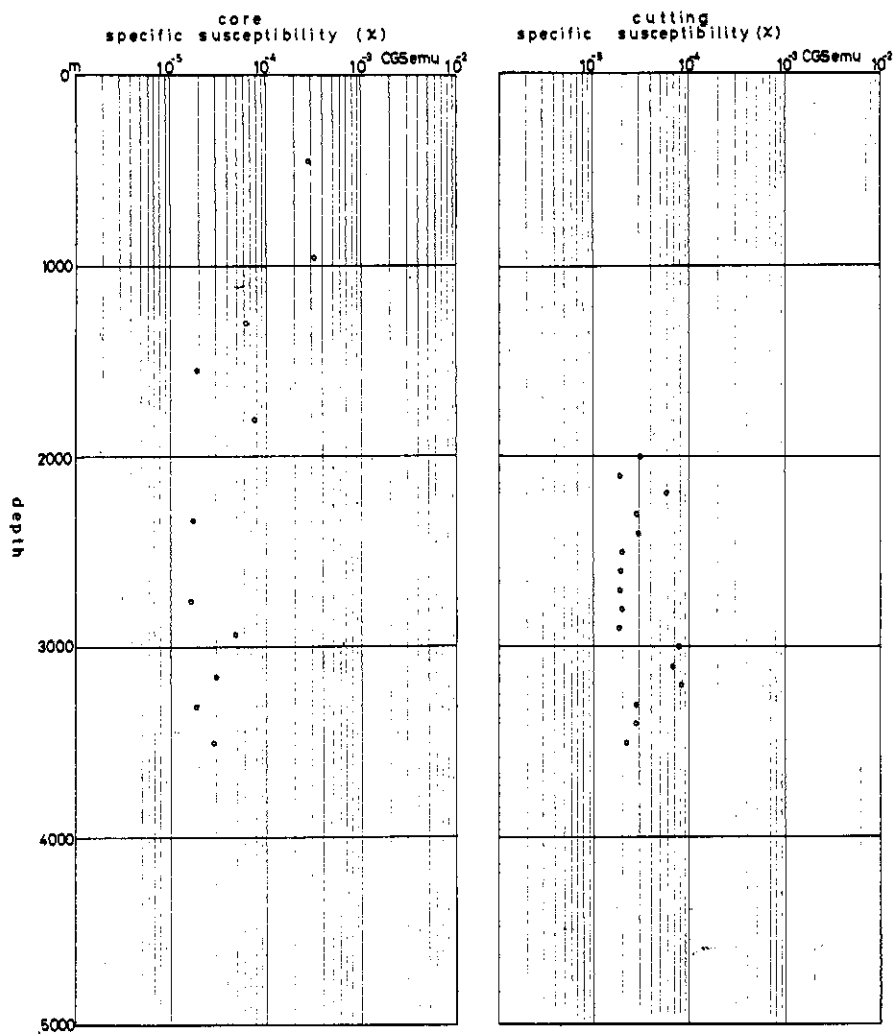


図 31 a 磁性測定結果(1)

Fig. 31a Results of magnetic measurement (1)

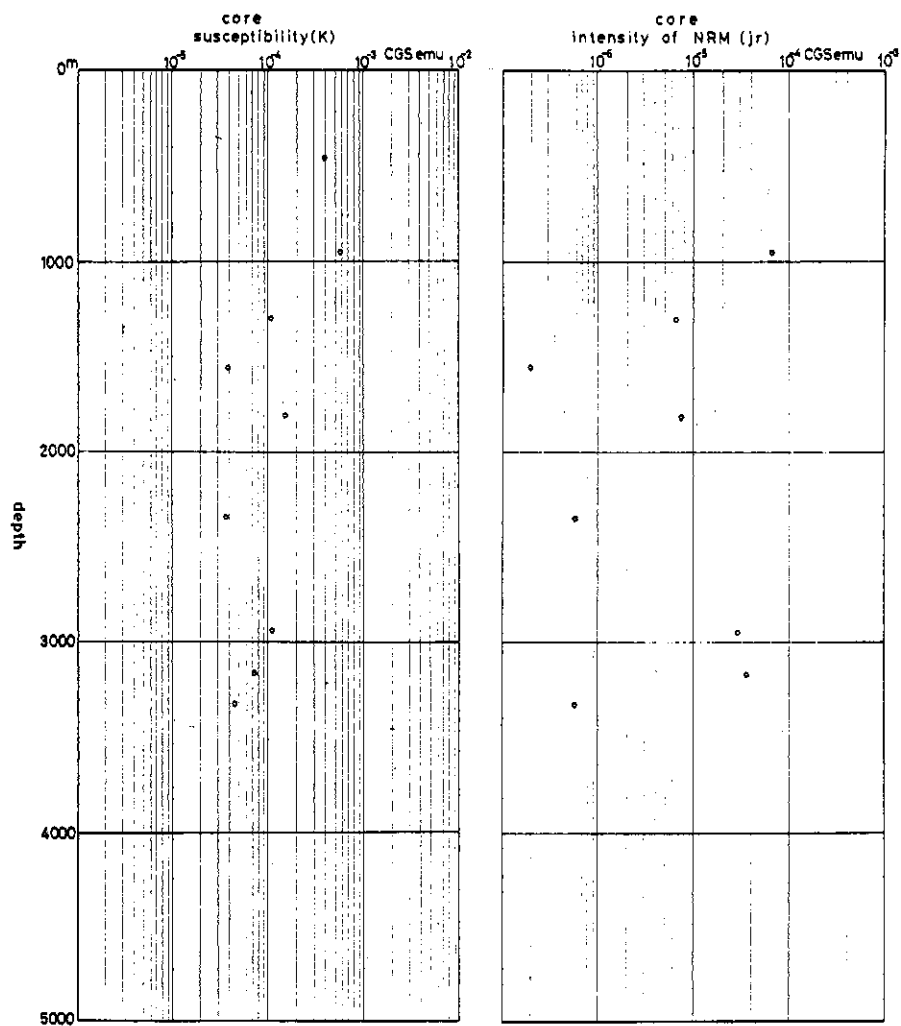


図 31 b 磁性測定結果(2)

Fig. 31b Results of magnetic measurement (2)

測定方法および結果については、大田・他(1977)に詳細に報告されているので、ここではその結果のみを示す。

層名	層厚(km)	深度(km)	S波速度(km/sec)
第1層	0.32	0.0～0.32	0.44
第2層	0.67	0.32～0.99	0.76
第3層	0.98	0.99～1.97	1.30
第4層	0.83	1.97～2.80	1.60
第5層		2.80～3.50	2.50

4. 考 察

4.1 各種測定結果の比較および検討

岩槻井で得られた種々の測定結果を比較検討する。

4.1.1 電気検層とコア-Cl⁻濃度

Cl⁻濃度の測定値は、坑口から952 mまでと、1309 mから1806 mまでと、それ以深の部分の3つに大きく分けることができる(図32)。一番上の952 mまでの部分は、天水の影響が顕著な部分で、Cl⁻濃度は低く、電気検層においても比抵抗曲線と自然電位曲線は平行する部分である。この部分は大部分が上総層群に相当するが、上総層は大部分海成層であるから、もともとCl⁻濃度は高いと考えられる。しかし、図33に示されるように、野田-上野-保土が谷-根岸の線以西では、低塩分(Cl⁻濃度<1 g/l)であることが明らかになっており(河井, 1961)、この地域に入る岩槻井も、天水の影響のため低塩分である。また、河井(1961)が「竜ヶ崎から西方に向うにつれて、一般に天水の浸透はより深处に及び……」と述べていることとも一致し、約1200 mにわたって天水の影響が顕著である。深度1309 mから1806 m(楊井層に相当)までのCl⁻濃度は8.8～14.4 g/lである。この部分に天水の影響があるものか、地層本来の堆積環境を示しているものかは化石が稀なため良くわからない。深度1806 m以深は、主に火山灰ないしは基盤岩類のため、Cl⁻濃度は低くなる。しかし、基盤岩中においてもCl⁻濃度は比較的高い値を示すことは、上位層の間隙水がクラックなどを通じて基盤岩中に浸透したことが考えられる。電気検層結果は、深度1040 mから2270 m付近までは、比抵抗値、自然電位とも変動が大きく、岩相の変化が大きいが推定されるが、深度2270 mから2750 mまでは、比抵抗値、自然電位とも変動が小さく、かなり均質な岩相が続く。深度2750 m以深は礫層や基盤岩であり、比抵抗は高い値を示す。

4.1.2 音波検層とコアの弾性波速度測定

コアの弾性波速度のうちで、音波検層結果と比較できるのは、湿潤状態におけるP波速度である。図30 aによれば、音波検層結果とコア試験結果は大体一致した傾向を示す。音

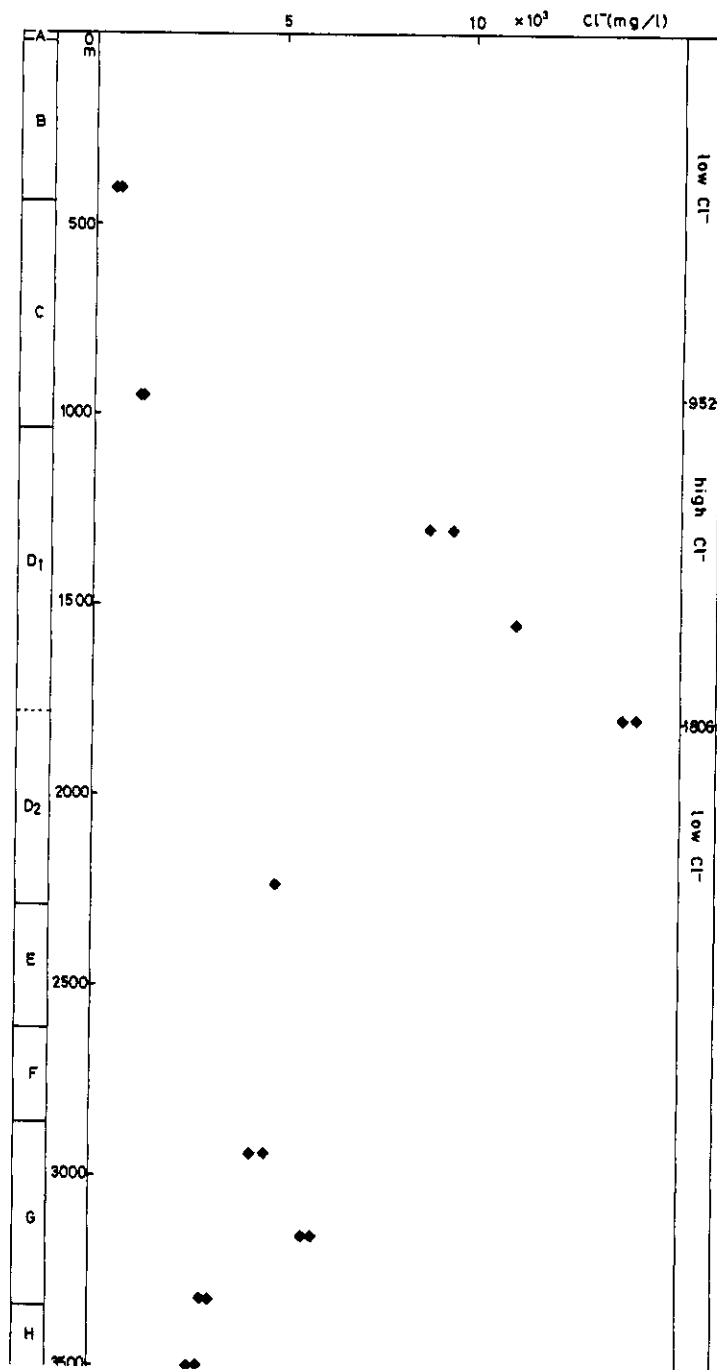


図 32 コア間隙水中の Cl^- 濃度

Fig. 32 Cl^- concentrations of pore water in core samples

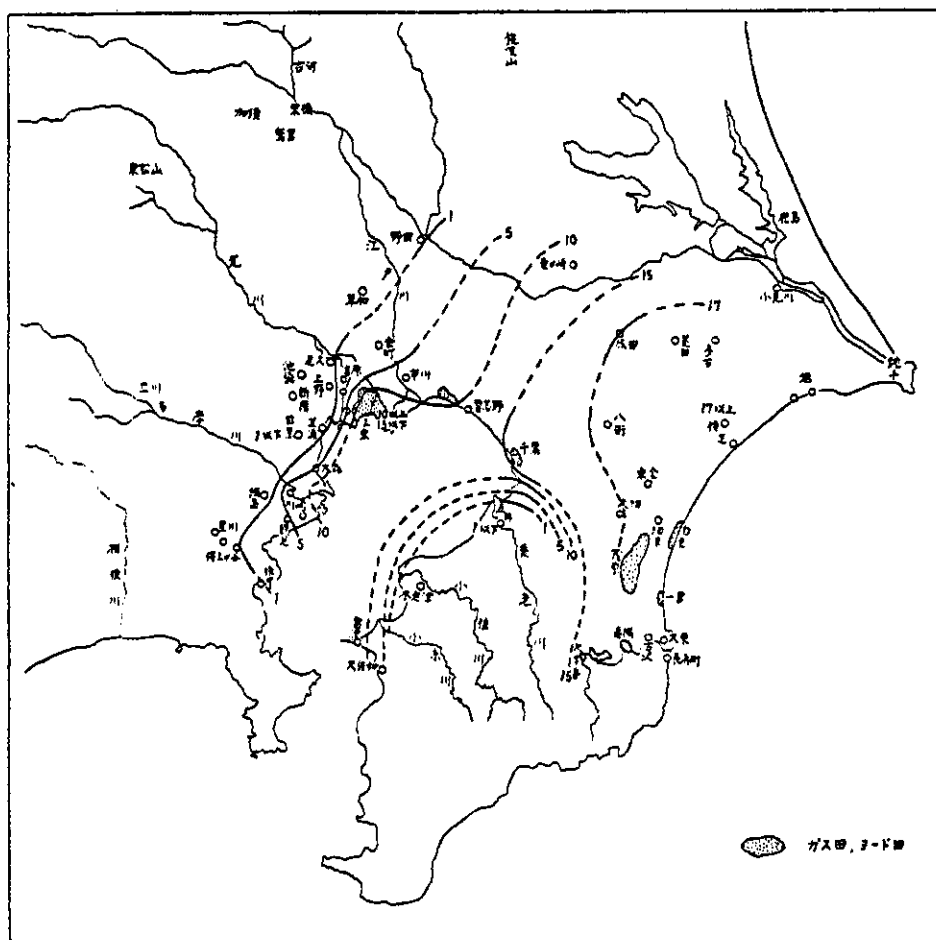


図 33 深度(海水準下) 600 m における地層水の Cl^- 等深度線図 (単位 g/l) (河井, 1961 による)

Fig. 33 Contour map showing Cl^- concentration in interstitial water at depth of 600m from sea level (g/l) (after Kawai, 1961)

波検層の平均速度の方がコアの湿潤速度よりも速い例が多い。これは基盤よりも上位の層では、コアは泥質部を選んで採取しており、一般に泥質部は砂質部よりも P 波速度が小さいため、本井のように砂質部の多い地層では音波検層の方が大きく出るものと考えられる。また、深度 2946 m のコアは音波検層結果と大きく相違するが、これはコアの観察でも見られるように、コア中にはクラックが多いためと考えられる。

測定方位のちがいによる弾性波速度のちがいを見ると、基盤より上の堆積層では、上下方向よりも水平方向の方が速いものが多い。これは堆積岩の場合、水平方向に速度の大きな粒子が並ぶことが多く、そのために水平方向に速度が大きくなるものと考えられる。

音波検層と密度検層を比較すると、一般に両者は良い対応を示し、密度と音波検層との間に深い相関があることがわかる。しかし、音波検層では 3 km/sec から 5 km/sec に移る深度は明瞭に判別できるが、密度検層ではかなり不明瞭である。

4.1.3 密度関係の諸測定

カッティングの密度分布と密度検層の値は全く対応していない。これはカッティングの密度は粒子密度であるが、密度検層の値は地層全体の見かけ密度で、孔隙率などの要素が含まれるためである。密度検層の値は、一般コア試験の見かけ比重の傾とほぼ対応している(図 34)。

また、カッティングの粒子密度は、 $2.65 \sim 2.70 \text{ g/cm}^3$ で安定しているが、深度 500 m \sim 800 m 付近にやや重い部分がある。この部分は上総層群相当層の上部に当り、X 線分析で砂粒が認められる。また深度 2200 m \sim 2650 m にわたって、極端に軽い部分が存在するが、これは福

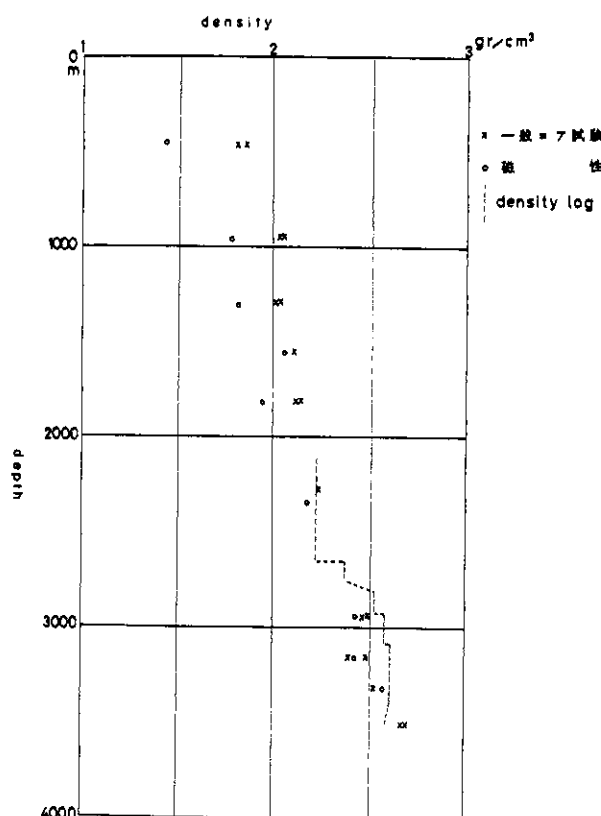


図 34 コア密度と密度検層結果の比較

Fig. 34 Comparison of core density and density logging data

田層相当層の凝灰岩で、灰白色の酸性火山灰からなっている。

4.1.4 温度検層と熱伝導率

温度検層と熱伝導率に関しては、Tsukahara (1976) の詳細な報告がある。それによれば、岩槻井における地殻熱流量の平均値は $0.56 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ であり、Ueda and Horai (1964) による、関東地方の平野部の地殻熱流量の値の領域に入る。

4.1.5 検鏡結果と地質柱状図

検鏡結果と柱状図によると、上総層群に相当する C 層は、火山灰を含むシルトないしは砂からなり、上総層群の岩相としては、関東平野の中心部の一般的な岩相を示している(河井, 1961)。楊井層プラス土塩層ないしは都幾川層に相当する D 層では、コアはシルトまたは砂であるが、柱状図ではかなり礫が含まれていることがわかる。これは関東地方の北部において、藤岡から草加に延びる線より北側では、この時期に礫が堆積していること(河井・福田, 1973)と一致する。この線より南側では都幾川層の名で代表されるシルトが堆積しており、前記の線に沿って、ほぼ東西方向に盛り上った部分が存在したことが考えられる。この隆起傾向は、関東平野の基盤と考えられる高変成度の変成岩が吉見丘陵に存在すること、ならびにプーゲー異常からも現在で確認することができる。福田層に相当する E 層は灰白色の火山灰よりなる地層で、粒子密度の測定値も極端に低い値を示すことから、E 層の範囲を限定することができる。検鏡したコアの部分は凝灰質のシルトで、縞状構造が認められた。次の F 層は F₁部層と F₂部層に分けられるが、検鏡したのは F₂部層のみである。この層は石英斑岩の角礫を主とする礫層で、地表の小園層にほぼ対比される。この石英斑岩礫は、この地域の地下で基盤の上部を構成している石英斑岩より導かれたもので、F₂部層中でも上部のものほど細かく破碎されている傾向がある。G 層は上部に凝灰岩層を約 30 m 挟みそれ以深は破碎された石英斑岩よりなる。H 層は極度に破碎された結晶片岩と角閃岩で、その岩相から外帯に属する岩石と同定できる。この結果、岩槻井の基盤は、上部に石英斑岩、坑底部に外帯の岩石が存在する。しかも全体に強い破碎作用をこうむっている。これらの現象の解釈としては、第一に岩槻井は大きな断層またはその近傍に掘削されたと考えられる。この地域で考えられる大きな断層としては、関東山地の北縁を通る中央構造線が考えられるが、それを東に延長すると、ほぼ岩槻井付近を通る。また岩槻井より北約 3 km の春日部 GS-1 井では、基盤の岩石は内帯的なものである(福田・他, 1974)。これらのことを考え合せば、岩槻井が中央構造線近くに掘られたと考えることに無理はないであろう。また、石英斑岩の存在については、一般に三波川帯の中には酸性岩は少ないが、まったくない訳ではない。たとえば、関東山地では金勝山石英閃緑岩体をあげることができる(小勝・他, 1970)。しかし、その形成過程については、下からの貫入とする考え方(小勝・他, 1970)と、押し被せ構造によるクリップとする考え方(小坂, 1979)があるが、岩槻井の石英斑岩についても、この2通りの考え方が可能である。

4.1.6 X線回折分析

X線回折の結果は、一般に検鏡結果とよく一致するが、特にX線回折で顕著なのは、凝灰質の部分に沸石の形成が見られ、沸石相の存在が考えられることである。特に深度2190 m～2750 mの福田層に相当するE層と、荒川層に相当するF₁郡層とG層上部では、長石が極端に減少し、輝沸石、クリストバライトが特徴的に産出し、密度が軽いこととあいまって、低度の変成作用をこうむっていることが明瞭である。粘土鉱物に関しては、泥水を用いて掘削しているので、解釈には十分な注意が必要である。なお、上部に含まれる角閃石は砂粒であるが、深度3475 mの角閃石は角閃岩中のものである。上部の角閃石砂粒の産出は、カッティング密度の大きなところと一致している。

4.1.7 化学分析

化学組成分析のうち、Fe₂O₃とFeOの値が分けて求められているものを、ACF図表に落したのが図35である。この図で、aはシルト質ないしグレイワッケの領域を示し、表8に示す試料No1, 2, 3, 5, 13はこれに属する。またbは塩基性火成岩の領域を示し、No12, 13, 15がこれに属する。検鏡結果からも、No1, 2, 3, 5はシルトないしは砂よりなり、No12, 15は角閃岩で、良い一致を示す。No13はa, b両域のオーバーラップした所に落るが、ミロナイトのため、細かい判定は困難である。また、No9は酸性火成岩のため、前二者の領域をはずれたところにプロットされる。

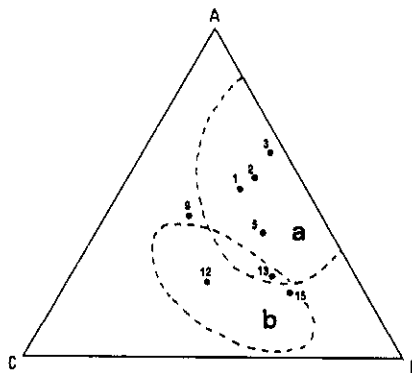


図 35 ACF ダイアグラム
Fig. 35 ACF diagram

4.1.8 一軸圧縮強度測定

一軸圧縮強度は深度と共に増加する傾向があるが、地層の年代別に多少の不連続が見られ、圧密の進行の差が表現されているようである。一般コア試験の孔隙率と比較して見ると（図36）、きれいな逆の相関が見られる。

4.1.9 有孔虫分析

岩槻井は関東平野の中央部に位置するため、有孔虫によって西方の関東山地周辺地域に露出する層序と対比するのは、堆積環境の側方変化を考慮しなければならず、相当困難である。

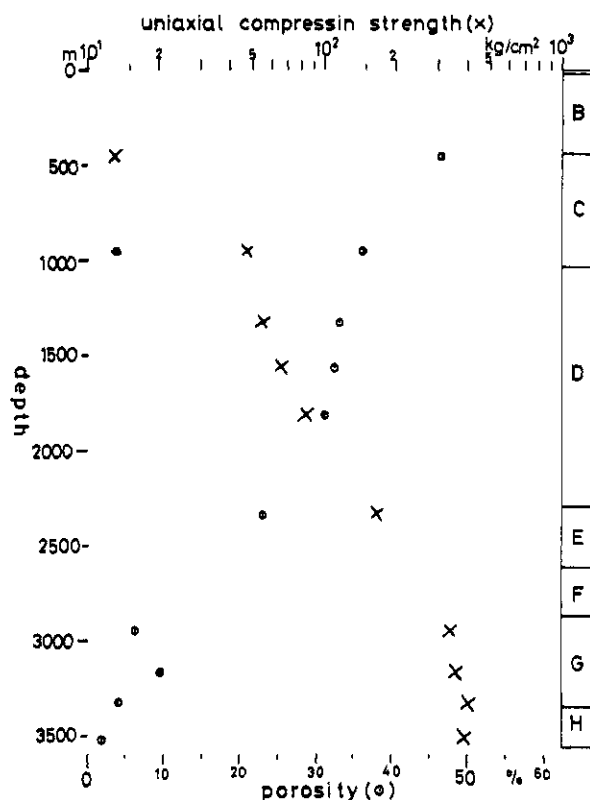


図 36 一軸圧縮強度と孔隙率の関係

Fig. 36 Relation between uniaxial compression strength and porosity

表20 有孔虫分析結果

Table 20 Results of foraminifera analysis

No	深 度	有 孔 虫 群 集
1.	0~40m	N.F.
2.	50~440m (成田層)	<i>Buccella frigida</i> ~ <i>Elphidium subarcticum</i> Zonule
3.	450~1,020m (上総層)	<i>Rotalia inflata</i> ~ <i>Elphidium advenum</i> Zonule
4.	1,030~2,280m (橘井層)	R.F.
5.	2,290~2,600m (樺田層)	<i>Nonion pompilioides</i> ~ <i>Bulimina auriculata</i> Zonule
6.	2,610~2,800m (荒川・小園層)	R.F.

また、岩槻井の北方約 3 km の春日部 GS-1 井では、中新世以下の地層中には有孔虫を産しておらず(福田, 1962), 対比に大きな障害となっている。しかし、春日部 GS-1 井との地質対比を考慮して、有孔虫の対比を行ったところ、成田層群, 上総層群, 楊井層群および土塩層, 福田層に対比されるものの間に、化石群集の明瞭な変化が認められた。表 20 に、対比された地層名と化石群集を示す。

4.1.10 磁性測定

磁性測定では、自然残留磁気の伏角の測定により、地層の対比が可能となる、しかし、関東平野の中央部の深井戸では、そのような測定がなされていないので、ここでは、船橋地盤沈下観測井の千葉市の深井戸の結果(楡井・他, 1975)を、比較にあげておく(図 37)。岩槻

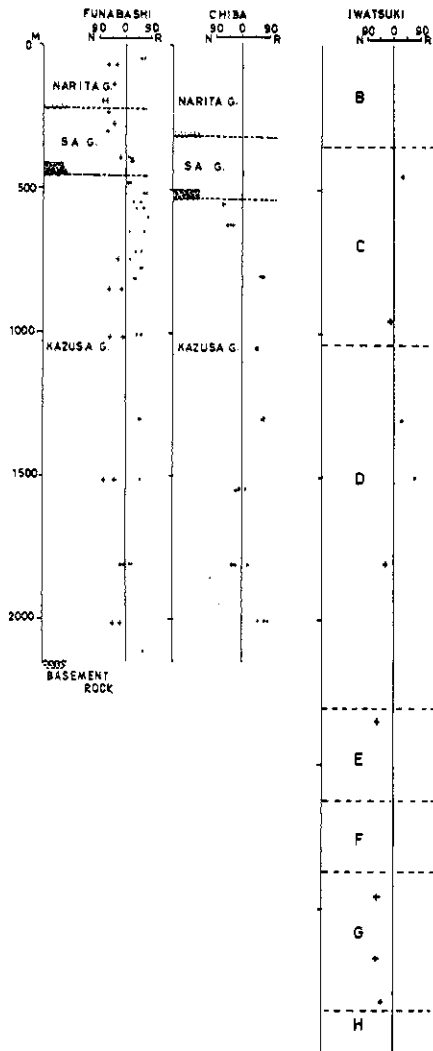


図 37 磁性測定結果の比較

Fig. 37 Comparison of magnetic measurement

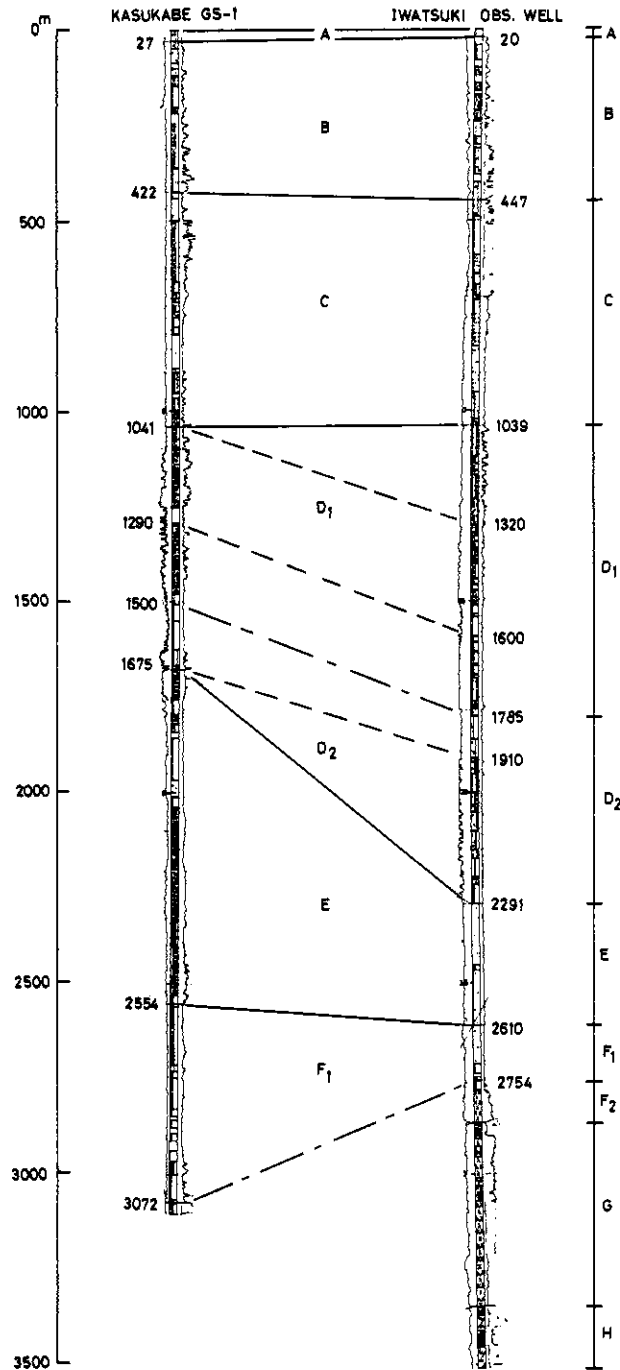


図 38 春日部 GS-1 井との対比

Fig. 38 Correlation between the Kasukabe GS-1 well and the Iwatsuki well

井の測定数が少ないのと、それぞれの井戸で地層の層厚が極端に違うので、対比は困難であるが、この種の測定も数多く実施されれば、地層対比に役立つであろう。

4.2 他の深層井との比較

4.2.1 電気検層

電気検層の結果を、春日部 GS-1 井の結果（福田，1962）と比べて見ると図 38 のようになる。岩槻井の A, B, C 層は、それぞれ春日部 GS-1 井の A, B, C 層にほぼ水平に連続している。春日部 GS-1 井の深度 1041 m (C 層と D 層の境) は、岩槻井の深度 1320 m (D 層の中) に、春日部 GS-1 井の深度 1500 m (D₁部層と D₂部層の境) は、岩槻井の深度 1785 m に、春日部 GS-1 井の 1675 m (D 層と E 層の境) は、岩槻井の深度 2291 m に一致し、この結果、岩槻井の D 層の基底は、春日部 GS-1 井のそれより約 600 m 深くなる。また、岩槻井の D₁部層の上部層に対応する地層は、春日部 GS-1 井では欠落していると考えられる。この推定は、有孔虫分析の結果（図 39）からも裏付けられる。E 層, F₁部層に関しては、D 層とは逆に、春日部 GS-1 井の方が岩槻井よりも層厚が厚くなっている。

4.2.2 音波検層

岩槻井の音波検層の結果を、春日部 GS-1 井の音波検層の結果（畠山，1964，図 40）と比較すると、電気検層の比較で得られた結果とよく一致する。すなわち、A, B, C 層では岩槻井の方がやや深く現れるが、ほぼ水平につながり、D₁, D₂部層では、岩槻井の方が 270~290 m 位深くなっている。このように、C 層と D 層の間にある不整合を境にして、その傾向が変わっている。

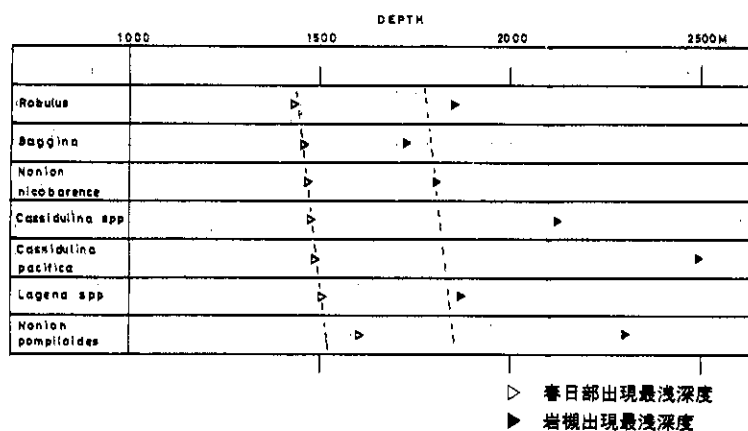


図 39 有孔虫分析の比較

Fig. 39 Comparison of foraminifera analysis

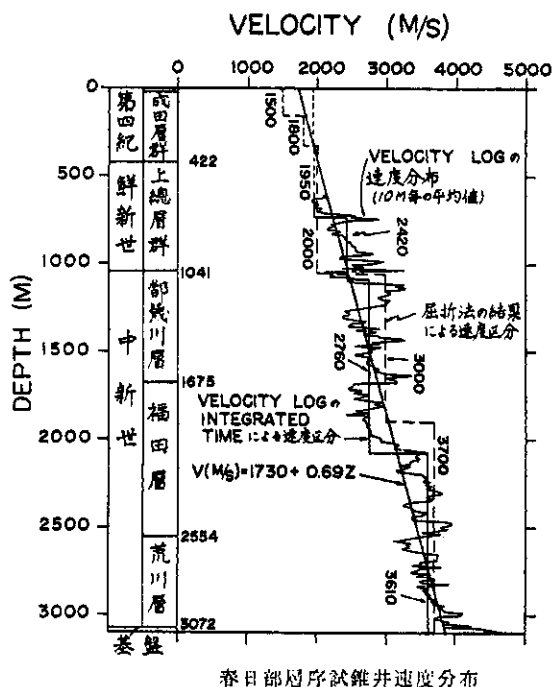


図 40 春日部 GS-1 井の速度分布 (畠山, 1964 による)

Fig. 40 Velocity distribution of the Kasukabe GS-1 well (after Hatakeyama, 1964)

4.2.3 地層傾斜検層

地層傾斜検層の結果を、電気検層、音波検層の結果と比較してみる。この場合、岩槻井と春日部 GS-1 井の空間的な位置が問題となるが、春日部 GS-1 井は岩槻井のほぼ北に位置し、その距離は約 3 km である。このため、電気、音波検層と結果からは、上部では水平で、中・下部では南側に傾いた地層構造が予想される。実際に地層傾斜検層では、B 層基底から D₂ 層上部にあたっては緩傾斜で角度は 10 度以下、時に 5 度以下が多く、南西方向への傾斜が卓越する。この結果は、電気・音波検層の結果と良い一致を示す。

地下浅部の情報を与え、堆積岩の厚さと負の相関を持つといわれる短波長のブーゲー異常 (Hagiwara, 1967) を見ると、この地帯のブーゲー異常のコンターはほぼ南西に向って低下する傾向があり、電気、音波および地層傾斜検層で得られた D 層上部までの傾向と一致している。

4.2.4 弾性波速度構造

音波検層の結果を、関東平野で行われた地震探査の結果と比較する。谷田部一飯能屈折波

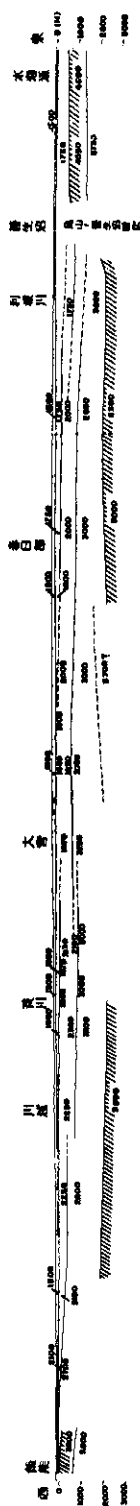


図 41 谷田部-飯能速度構造図 (石井, 1962 による).
Fig. 41 Velocity profile between Yatabe and Hanno (after Ishii, 1962).

探査測線は春日部 GS-1 井付近を北北東—南南西に通っており、その速度構造は、春日部 GS-1 井付近で次のようになっている (石井, 1964, 図 41)。

深度 (m)	速度 (m/sec)
0 ~ 150	1500
150 ~ 350	1800
350 ~ 1050	2000
1050 ~ 1900	3000
1900 ~ 2500	3700 (西側にのみ分布, 不明瞭)
2500 ~	5000 (東側にのみ分布)

このうち、2000 m/sec と 3000 m/sec の境界は、春日部 GS-1 井と岩槻井の C 層と D 層の境に良く一致している。3700 m/sec 層は、春日部 GS-1 井の西側にのみ分布し、3000 m/sec 層との境は、春日部 GS-1 井では、D 層と E 層の境 (深度 1675 m) に対応すると考えられている (福田・他, 1964) が、岩槻井の音波検層では、相当する速度層は存在しない。屈折波探査の 5000 m/sec の速度層は、春日部 GS-1 井の東側にのみ分布しており、春日部 GS-1 井にあてはめれば、G 層 (深度 3062 m 以下) に対応するはずであるが、両者の深度の差は大きく、解釈に困難を生じている。岩槻井では G 層以下 (深度 2900 m 以下) に相当すると考えられるが、音波検層で急激に速度の速くなる F₂ 部層中の礫岩の発達する 2770 m 以下とみた方が良いかも知れない。以上のような結果から、岩槻井の速度構造は、飯能—谷田部測線の春日部 GS-1 井の東側の速度構造に類似していると考えられる。なお、畠山 (1964) は、春日部 GS-1 井の西側を通る測線で調査した結果、5 km/sec 層の深度を 3.2 km と推定している。これは岩槻井の H 層の深度にほぼ等しく、これを関東平野の本質的な基盤の構成メンバーと考えると、G 層は中央構造線付近の弱線から噴出したものと見こともできる。なお、ブーケー異常分布が、岩槻井付近でほぼ東西向の局地的峰を形成しているが、これは断層運動による構造的な要因だけでなく、G 層の分布状態に関係していることも考えられる。

Yamamizu and Goto (1978) は、岩槻井の S 波速度構造と地質構造との関連を論じている。また、嶋・他 (1976) は、首都圏

地域の速度構造を研究する上で、岩槻井の速度構造を基本的なデータとして引用している。

5. ま と め

岩槻井の掘削により、以下に示すような結果が得られた。

(1) 岩槻井の層序は、A 層から H 層までの 8 層に区分される。各々の地層は上位層から順次、有楽町層 (A 層, 深度 0~20 m), 成田層群 (B 層, 深度 20~447 m), 上総層群 (C 層, 深度 447~1039 m), 楊井層および土塩層 (D 層, 深度 1039~2291 m), 福田層 (E 層, 深度 2291~2610 m), 荒川層 (F₁ 部層, 深度 2610~2754 m), 小園層 (F₂ 部層, 深度 2754~2864 m), 基盤岩類 (G, H 層, 深度 2864~3510 m) に対比される。G 層は黒雲母石英斑岩, H 層はミロナイトと角閃岩よりなる。

(2) 下部基盤岩 (H 層) は、外帯に属するものと同定でき、本井は関東平野下に潜在する“中央構造線”の南側近傍に掘削されたものと考えられる。

(3) 有孔虫分析により本井は 6 帯に区分され、成田層群 (B 層), 上総層群 (C 層), 楊井層および土塩層 (D 層), 福田層 (E 層) に対比されるものの間に、有孔虫群集の明瞭な変化が認められた。

(4) 音波検層によれば、本井の P 波速度構造は、大よそ 3 層に区分され、各地層との間には、2 km/sec 層 (B, C 層), 3 km/sec 層 (D, E, F 層), 4.7~5 km/sec 層 (G, H 層) のような対比ができる。また、屈折波探査による関東平野中央部の速度構造ともほぼ一致する。

(5) 密度検層は 2100 m 以深で行われ、2.22 g/cm³ (D₂ 部層, E 層), 2.36 g/cm³ (F₁ 部層), 2.52~2.60 g/cm³ (F₂ 部層, G, H 層) が得られた。

(6) 地層斜検層によれば、B 層基底から C 層, D₁, D₂ 部層上部は水平に近く、傾斜方位はランダムであるが、強いて見れば S ないし SW 傾斜が認められる D₂ 部層下部は 5° の NW 傾斜である。E 層は傾斜方向が深さと共に W → N → E と変り、傾斜角は 2°~5° である。F₁ 部層は NW 傾斜で傾斜角は約 10°, F₂ 部層は N 傾斜で、20°~30° の傾斜角を示す。

(7) 温度検層によれば、坑底温度は 85.4°C で、平均地温上昇率は 2.01°C/100 m である。

(8) 一軸圧縮強度は深度と共に増加し、年代による不連続が認められる。孔隙率とは逆の相関を示す。

(9) 他に X 線回折による鉱物組成分析、全岩化学分析、磁性測定、カッティング密度測定が行われた。

参 考 文 献

- (1) 福田理 (1962) : 春日部層序試錐 (予報) —坑井地質を中心として—, 地質ニュース, No100, 1-16.
- (2) 福田理 (1963) : 春日部層序試錐の坑井地質層序, 地質調査所月報, 14, No4, 379-380.
- (3) 福田理・石和田靖章 (1964) : 関東地方の地質と天然ガス鉱床の探鉱と開発への序章, 石油技術協会誌, 29, 1-21.
- (4) 福田理・小林才智・民部田喜代四 (1964) : 関東平野における層序試錐, 石油技術協会誌, 28, 112-129.
- (5) Hagiwara, Y. (1967) : Analysis of gravity values in Japan, Bull. Earthq. Res. Inst., 45, 1091-1228.
- (6) 畠山勉 (1964) : 関東平野における物理探鉱の総合的研究, 物理探鉱, 17, No2, 2-23.
- (7) 石井基裕 (1962) : 関東平野の基盤, 石油技術協会誌, 27, No6, 615-640.
- (8) 石和田靖章 (1959) : 千葉県横芝 R1 号井の試錐結果について, 地質調査所月報, 10, No6, 55-66.
- (9) 河井興三 (1961) : 南関東ガス田地帯についての鉱床地質学的研究, 石油技術協会誌, 26, No5, 212-266.
- (10) 河井興三・福田理 (1973) : 日本地方鉱床誌, 関東, 朝倉書店.
- (11) 小勝幸夫・他 (1970) : 埼玉県寄居町付近の中生代後期の地層・岩石を中心とした地質学的研究, 地質雑, 76, No9, 421-431.
- (12) 小坂和夫 (1979) : 関東山地北東縁部付近の白亜紀以降の断層運動史, 地質雑, 85, No4, 157-176.
- (13) 楢井久・樋口茂生・原雄・古野邦雄 (1975) : 東京湾東岸地下における上総層群中の不整合現象について, 地質雑, 81, No9, 559-565.
- (14) 太田裕・他 (1977) : やや深い構造の S 波速度—岩槻 3500 m 地震観測井での測定とその意義—, 地震, 30, 415-433.
- (15) Shima, E. and Y. Ohta (1968) : Experimental study on generation and propagation of S waves, I. Designing SH-wave generator and 1st field tests, Bull. Earthq. Res. Inst., 45, 19-31.
- (16) 嶋悦三・柳沢馬住・工藤一嘉・瀬屋和大・山崎謙介 (1976) : 東京の基盤構造, その 2, 地震研究所彙報, 51, 45-61.
- (17) 鈴木宏芳・他 (1981) : 関東・東海地域における孔井検層資料集, 防災科学技術研究資料, 65.
- (18) Tsukahara, H. (1976) : Terrestrial heat flow at the Iwatsuki Deep Well Observatory and crustal temperature profiles beneath the Kanto district, Japan, Research Notes of the National Res. Center for Disaster Prevention No21.
- (19) Uyeda, S. and K. Horai (1964) : Terrestrial heat flow in Japan, Jaur. Geophys. Res., 69, 2121-2141.
- (20) Yamamizu, F. and N. Goto (1978) : Direct measurement of seismic wave velocities in deep soil deposits, 第 5 回日本地震工学シンポジウム論文集, 329-336.

(1982 年 9 月 28 日 原稿受理)