

潜水調査船用ロックドリルの開発(続報)

和田 一育*¹ 高川 真一*¹

「しんかい2000」による潜航回数も500回を越え、今までにオブザーバーとして数多くの研究者が乗船、潜航している。しかし、潜航回数が増すにつれ、潜水調査船用の調査観測機器の充実を求める声が高くなっている。調査観測装置のうち採水・採泥装置など今までに実用化されたものも多いが、研究者からのニーズが高いのにも関わらず、まだ開発が進んでいないものも多い。深海開発技術部では潜水調査船用ロックドリルに焦点をあてて、研究・開発を鋭意進めてきた。

本報告では、ロックドリルのメカニズムと、平成2年(1990年)10月の「しんかい2000」の第524潜航における実海域実験について報告する。

今回のロックドリルは、第1報の報告におけるロックドリルの改良型である。また今回の実験では、「しんかい2000」の油圧を動力源として用いた最初の調査観測機器にあたる。

キーワード：潜水調査船、ロックドリル、油圧駆動

Development of a Rock Drill System for a Submersible

Kazuyasu WADA*²

Shinichi TAKAGAWA*²

Total number of dives of "Shinkai 2000" since its first dive in 1980 is now over 500. Many researchers from various scientific fields have reached the deep floor by Shinkai 2000. As the number of Shinkai 2000's users increase, the development of new research equipment operated on the submersible is getting more and more in demand. Although Core samplers and Water samplers are commonly used, many other equipments are still to be developed.

Deep Sea Technology Department is developing a Rock-Drill System for a submersible. The use of hydraulic power instead of electric power in the new system remarkably improved the drilling performance.

This paper describes the mechanism of the newly developed Rock Drill and reports the result of the sea trial.

Key words : Submersible, Rock Drill, Oil Hydraulic Driver

* 1 深海開発技術部

* 2 Deep Sea Technology Department

1 はじめに

潜水調査船「しんかい2000」の潜航回数が通算500回を越えた。今までに幅広い分野の研究者が「しんかい2000」に乗船し、数多くの実績を残している。また今年度からは、潜水調査船「しんかい6500」の調査潜航も開始された。このような状況の中、潜水調査船用調査観測機器（潜水調査船に装備されている機器を除く）の充実を望む声が高くなっている。

海洋科学技術センターにおいても、採水・採泥装置など実用化された機器もあるが、研究者のニーズが高いにも関わらずまだ開発されていない機器も多い。深海開発技術部では調査観測機器の1つであるロックドリルに注目し、鋭意開発を進めてきた。

当初はアメリカ(WHOI)やフランス(IFREMER)と同様に電気駆動式によるロックドリルの開発を進めてきたが、電気駆動式はモータの絶縁等大型になりやすい。しかしマニピュレータで操作することを考慮すると小型化・軽量化が絶対に必要である。また「しんかい6500」や現在建造中の10,000m級無人探査機には調査観測機器用油圧系を設けていることも含めると、電気駆動式より油圧駆動式の方がメリットが多い。したがって今回のロックドリルでは油圧駆動式を採用している。

平成2年(1990年)11月、第524潜航で油圧駆動式ロックドリルの実海域実験を実施、水深1200mの溶岩台地で直径20mm、長さ89mmの試料の掘削に初めて成功した。本報告では、この油圧駆動式ロックドリルの構造と実海域実験の結果について述べる。

2 ロックドリルの概要

昭和63年度に製作・実験を行った潜水調査船用ロックドリルを基本として、設計・改良を行っている。

2.1 電動式ロックドリルとの相違点

昭和63年(1988年)10月に実験を行った電動駆動式(直流電動機直結型)ロックドリルにおける問題点を解明して、次の点について設計を修正、新たに製作を行っている。

(1)前回の電動駆動式から油圧駆動式に駆動系を変更

これによって駆動系の小型化・軽量化が可能となる。また「しんかい6500」には、調査観測機器用油圧系が設けられている点も考慮すると、将来的には油圧を動力源とする駆動系が望ましい。しかし、「しんかい2000」には、調査観測機器用油圧系は設置されていないので、船上運転用ホース継手を利用し、電磁弁を介して油圧のON/OFFを行い油圧源とした。

(2)案内溝切り込み用ドリルと試料掘削用ドリルを1つのドリルに統一

前回は2つドリル、案内溝切り込み用と試料掘削用の2つを用意し順次付け代える方法を採用したが、今回は1つのドリルで両方の機能を有するドリルを開発した。これにより、2つのドリルにかかる着脱の時間が節約できる。

(3)ドリル本体(掘削部)とドリル駆動部との接合部の変更に

前回は接合部のバネの強さが適切ではなかったので、今回は接合部バネを数種類用意し、適切な強さになるよう調整を行った。

2.2 ロックドリルの構造

ロックドリルの基本仕様を表1に、基本構造図を図1に示す。

ロックドリルはおおまかに電磁弁ユニット、ドリル駆動部、ドリル掘削部の3つの部分から構成される。

また2.1でも述べたように、ロックドリルの動力源として「しんかい2000」の油圧系からエネルギーを得ている。ロックドリルの油圧回路を図2に示す。

写真1はロックドリル掘削部、写真2はロックドリル駆動部、写真3は「しんかい2000」に装着した様子である。

右奥に電磁弁ユニットがサンプルバスケットに固縛されている。

(1)ロックドリル本体(掘削部)

詳細構造図を図3に示す。

なおドリル掘削部は掘削中の摩耗等が考えられるため、一部を除いてSUS304を使用している。

前回のロックドリルでは、案内溝を切るための案内溝切羽と、試料採取用の試料採取羽の2つのドリル掘削部を使用していた。まず案内溝切羽で案内溝を切り込む。案内溝にはセンターピンがあ

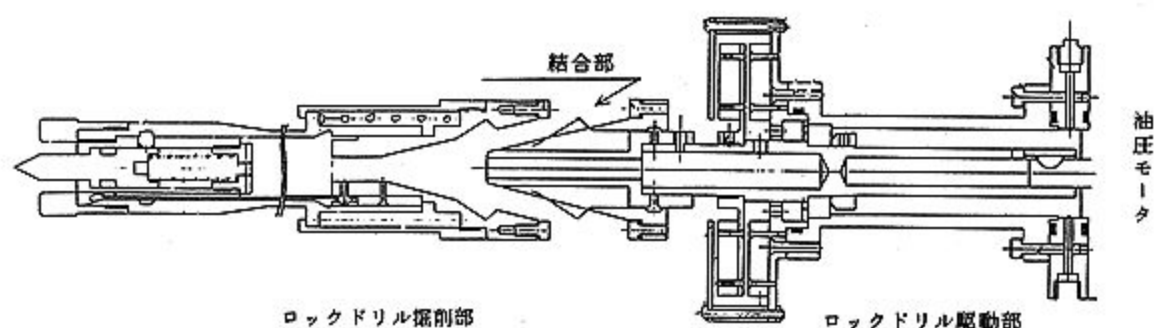


図1 ロックドリル基本構造図

Photo.1 Structure of Rock Drill

形 式	油圧モータ直結型ロックドリル (油圧駆動式ロックドリル)
使用潜水調査船	しんかい2000
エネルギー源	しんかい2000油圧系 140kg/cm ² 電磁切換弁 によるON/OFF
油圧モータ	外装式歯車モータ
掘削刃形式	ダイヤモンドカッター
刃先径	φ36×22mm
試料長	最大約 150mm
採取機構	内蔵撿じ切り爪

表1 基本仕様

Table.1 Principal Specification

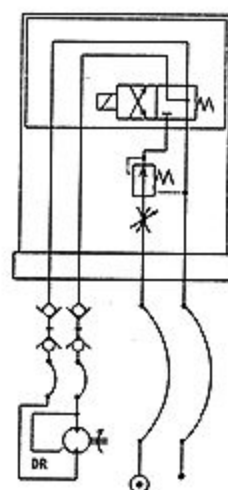


図2 ロックドリル油圧回路

Fig.2 Oil Hydraulic Circuit of Rock Drill

り刃振れを抑える働きをする。溝が10mm程切り込めたら試料採取刃に取り替え掘進していく。前回の反省点の一つとして、この2つのドリルを付け替えることに時間を多く費やしてしまった。

今回のドリルではこの点に改良を加えている。図4①で示すように最初の状態ではセンターピンは固定されており、刃振れを抑え案内溝を切り込むようになっている。約10mm程掘り進むとセンターピンが押されて、ロックがはずれて試料とともに後方へ押されていくようになる。この状態で、試料採取用のドリルとして機能するのである。これで案内溝切り込みと試料掘削の2つの働きをする。

なお所定量(約150mm)を掘りこんだ後には柱状試料を岩盤から切り離し分離するため、先端部には試料を捻じ切るための爪を設けている。この捻じ切り爪は、掘削中ドリルが押されている間は窪みに隠されているが、引き抜くときに引っ張り出されて試料を圧迫し捻じ切る。またこの爪は試料が落下しないようストッパーの役割も合わせ持つ。この方式は前回のロックドリルと全く同様のものであり、既に実績がある。

掘削刃は前回と同様のダイヤモンドカッターを使用している。

(2) ロックドリル駆動部(油圧モータ部)

詳細構造図を図5に示す。

(1)のドリル本体に比べ、多くの部材で強度を必要としないためAl6061を用いている。

駆動部はおおまかに2つに分けられる。前半(左半分)は刃先冷却・清掃用の遠心ポンプである。ポンプペーンで飛ばされた海水は軸心(空洞である)を通して刃先から放出される。前回、加工・組立の精度が悪くポンプペーンの破損という事態

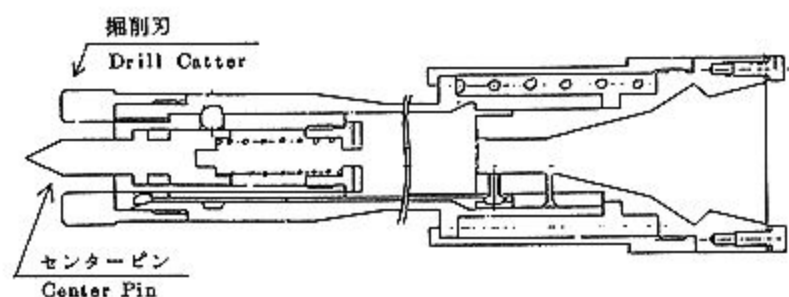
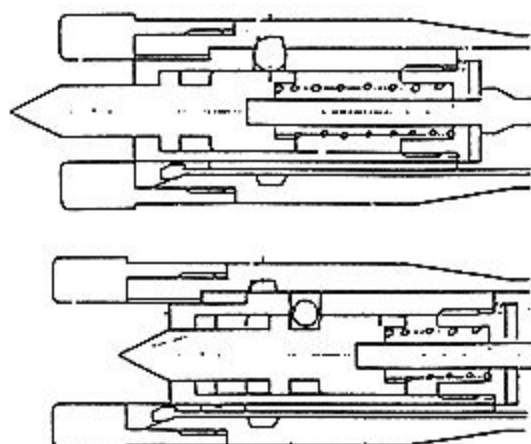


図3 ドリル掘削部
Fig. Drill Unit

① 掘削前



② ロック解除後

図4 センターピン オートロックオフ機構
Fig.4 Center Pin Auto Lock Off System

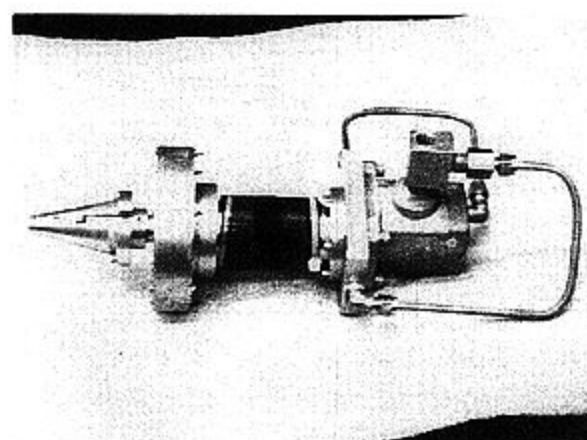


写真2 ロックドリル駆動部
Photo.2 Power Unit

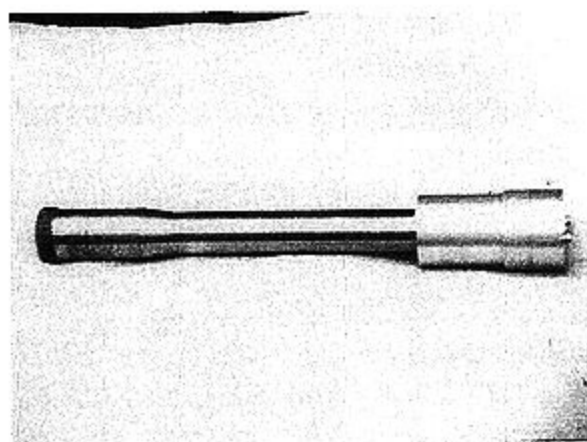


写真1 ロックドリル掘削部
Photo.1 Drill Unit

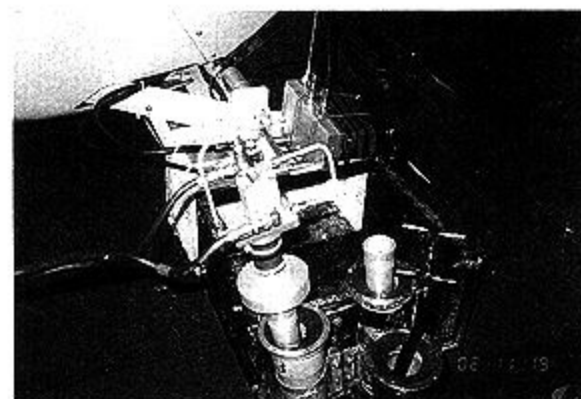


写真3 ロックドリル全景
(「しんかい2000」装着時)
Photo.3 Rock Drill ("Shinkai 2000" equip)

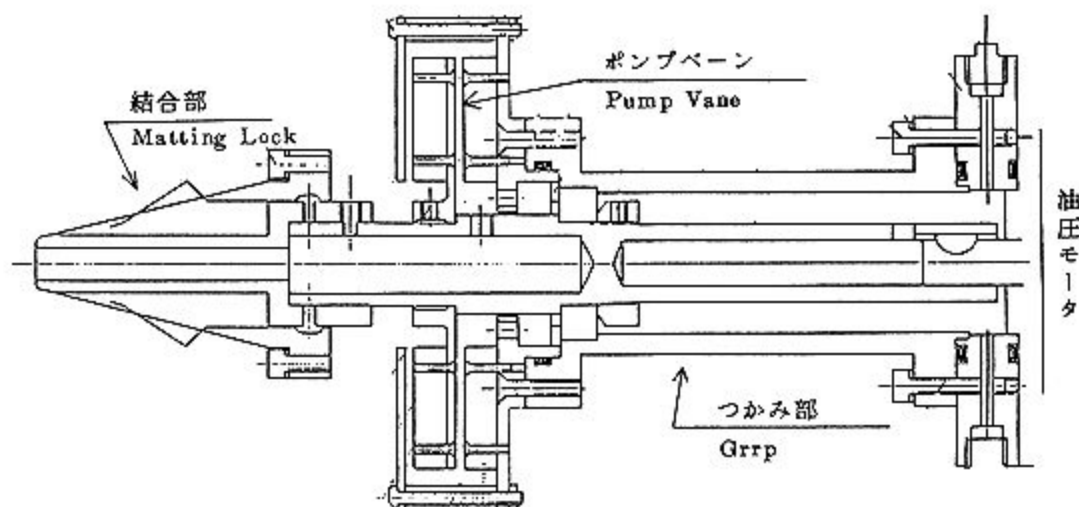


図5 ドリル駆動部
Fig. Power Unit

を招いた。そのため、今回の設計ではベーンの破損を防ぐためポンプベーンそのものを薄い円盤上に配置、円盤そのものを回転させポンプベーンの安定化を図っている（トイレ等の換気扇でこの遠心ポンプタイプが多く使われている）。この遠心ポンプ方式は前回の機器においても実績があり、十分な能力を発揮できることが確認されている。

後半（右半分）は油圧モータである。この油圧モータには市販品のものを活用している。そのなかでもなるべく軽量で小型なタイプを選定している。（下記参照）なお電磁弁ユニットで圧力70kg/cm²、流量1.5ℓ/minとなるよう調整しているので、定格750rpm（無負荷時）で駆動するようになっている。油圧モータ周辺にあるパイプはドレン管である。ポンプベーンと油圧モータの間の円筒部は、マニピュレータでこのロックドリルを掴むための部分である。内部はドレンからの作動油を介して油を滴たしており均圧構造となっている。

・油圧モータ仕様

メーカー：豊興工業㈱
製品型番：HGM-OA 1-F2
駆動方式：外接式歯車モータ
最高回転速度：3000rpm (2cc/rev)
定格トルク：19kgf-cm
許容背圧：0.3kg/cm²（ドレン）
重量：0.9kg

(3)電磁弁ユニット

電磁弁ユニットでは、

(a) 油圧回路のON/OFF

(b) サンプルバスケット緊急投棄時の油圧回路閉鎖の2つの働きを持っている。（写真4参照）。

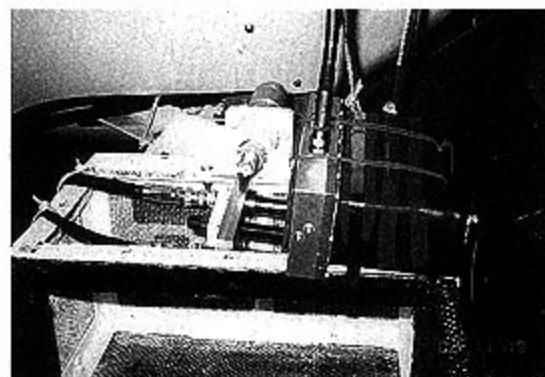


写真4 電磁弁ユニット
Photo.4 Electromagnetic Valve

電磁弁ユニットは以下のものから構成されている。

①電磁切換弁

電気信号によりソレノイドを作動させ、油圧回路中の圧油の流れを切り換えるためのスイッチである。さまざまな方式があるが、潜水調査船とのマッチング、安全性などを考慮して、交流100V作

動式、スプリングオフセット方式としている。交流100Vは潜水調査船から容易に調達することができる。また、電源断の時はフェイルセーフの観点から回路が自動的にOFFとなっていることが必要であるので、スプリングオフセット方式とした。

メーカー：豊興工業㈱

製品型番：HD3-42SG-BG-025A

定格流量：5ℓ/min

最大使用圧力：210kgf/cm²

許容背圧：5kgf/cm²

作動電圧：AC100V

②複合機能弁

ハイテグマニホールド、ハイテグマバルブに取付可能な流量・減圧複合ユニットで、非常に小型なのが特徴である。潜水調査船の油圧系を直接利用すると圧力140kgf/cm²、油流量4ℓ/minが制限なく駆動系に流れてしまう。そのような圧力・流量を調整するため複合機能弁を用いた。

この複合機能弁では油圧モータの仕様を考慮して、油圧70kgf/cm²、流量1.5ℓ/minとなるように設定している。

メーカー：豊興工業㈱

製品型番：HFG3H-P40-D5-025A

最大流量：40ℓ/min

圧力調整範囲：35～140kgf/cm²

③サブプレート

電磁切換弁、複合機能弁と各油圧ポートをつなぐためのマニホールドである。

④ユニットカバー

ユニットカバー内を作動油で満たし、海水から電磁切換弁、複合機能弁を保護する。軽量化のため均圧構造としている。

⑤逆止弁付きセルフシール継手

これら調査観測機器は、潜水調査船に万が一の事があった場合切り離して、潜水船自身の重量を軽くする必要がある。したがってこれら電磁弁ユニットも投棄することになる。そのような観点から電磁弁ユニットと潜水調査船との間にセルフシール継手を設けている。尚、投棄したさい油の流出を避けるため継手には逆止弁を設置している。

今回、この電磁弁ユニットはロックドリル駆動用として製作したが、他の調査観測機器の油圧源ユニットとして使用することも可能である。現在、

「しんかい2000」には、調査観測機器専用の油圧系が装備されていないが、このような電磁弁ユニットを取り付けることによって代用することが可能である。

以上のように、ロックドリルは掘削部および駆動部ポンプペーンを除いてほとんどが市販品で構成されている。とかく潜水調査船用調査観測機器は特別にオーダーメイドされ、非常に高価なものになってしまう点を考えると割合と安価で済んでいる。

2.3 陸上試験

実海域実験に先だって、陸上においてテスト試験を実施し機器の作動確認を行っている。テストの結果は良好で、ドリル本体のセンターピンオートロックオフ機構も順調に作動した。テストでは非常に堅い岩石を試掘、1mm/minで掘削できることを確認している。しかし、この数値をそのまま使用すると試料長100mmを掘削するのに、最大で100分近く必要になってしまう計算になる。今回の実海域実験では、もう少し脆い岩石を掘削する予定であるので時間的問題は生じないと判断した。本来は回転速度を早め掘削時間の短縮を図らなければならないが、「しんかい2000」では油圧による調査観測機器の作動を考えていないため非常に容量が小さい。しかし、これ以上流量および圧力を増やすと、ロックドリルを支えるためのマニピュレータに油圧が回らなくなり十分に作動しなくなってしまう。したがって今回は、マニピュレータとロックドリルが共に作動する範囲で設定を行っている。

3 実海域実験

1990年11月、相模湾熱川沖水深1200mの溶岩台地において第524潜航として実海域実験を実施した。装備にあたっては、船外ペイロード電源を電磁弁ユニットにつなぎ電源ON・OFFをもってロックドリルの作動スイッチとした。また採泥器を収納する筒を複数取り付けドリル掘削部を2本収納した。ドリル駆動部はそのうちの1つのドリル掘削部に始めから結合させ潜航した。電磁弁ユニットは、ペイロードラックに固縛した。(写真3)

実験は、9時40分に潜航を開始し10時46分に海底に到着、掘削できそうな地点を探索した。作業にあたっては「しんかい2000」を海底にしっかり

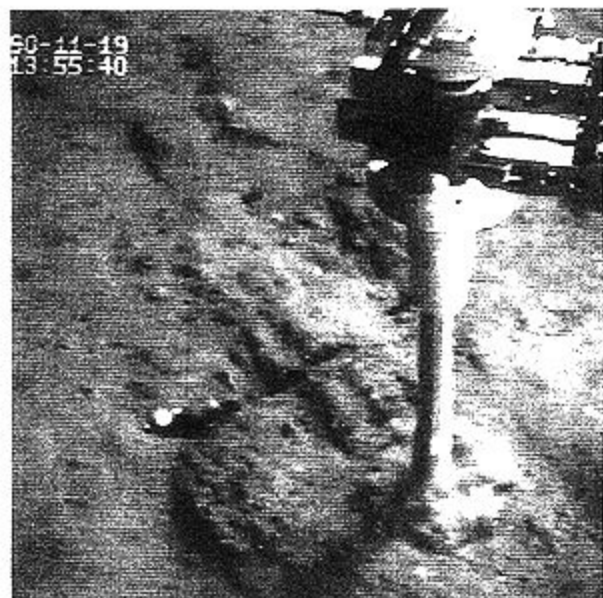


写真5 掘削開始
Photo.5 Starting of excavation

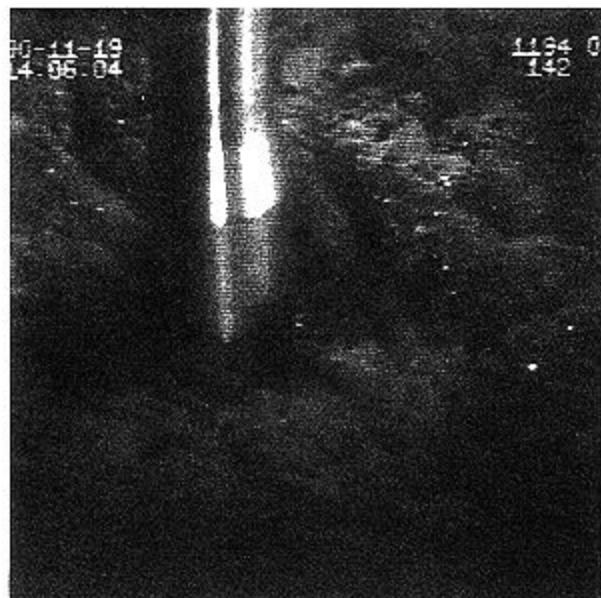


写真7 約10分後
Photo.7 After about 10 minutes

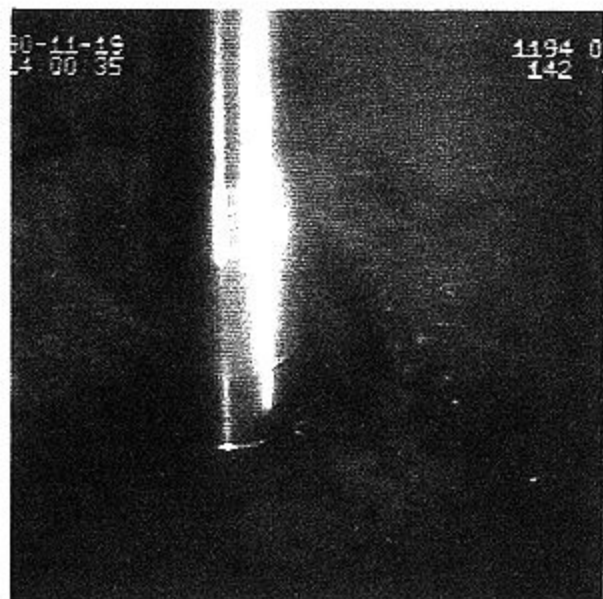


写真6 掘削開始から5分後
Photo.6 After about 5 minutes

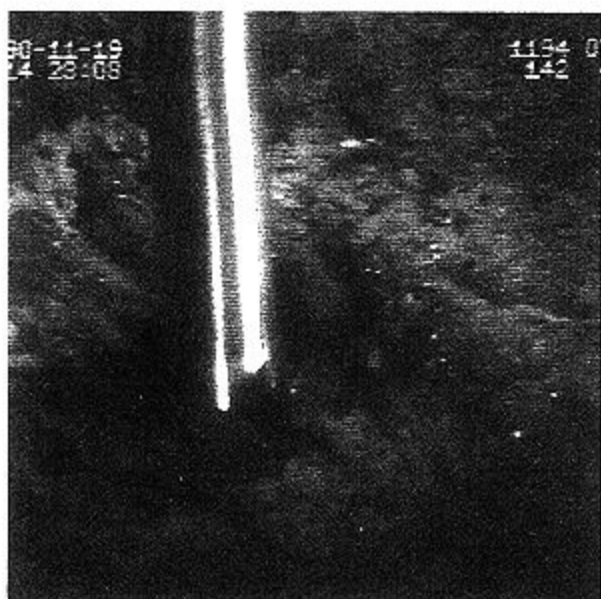


写真8 約30分後
Photo.8 After about 30 minutes

着底させる必要がある。掘削時は補助タンクに海水を注入し負浮量を十分得るようにしている。途中何度か着底し掘削を試みるが、ロックドリルの回転の反作用により潜水調査船が移動してしまい、思うように実験が進行しなかった。原因は、露岩があちこちに顔を出しているような海底のため、潜水調査船が溶岩台地に十分固定できないからである。

潜水調査船が着底できそうな場所をなおも探し、13時55分に掘削作業を開始することができた。(写真5)しかし、この場所においてもロックドリルの反作用で非常にゆっくりではあるが移動を始めてしまい、ロックドリルを垂直に維持することは非常に困難であった。今回の作業では、主推進プロペラを暫時動かし反作用を打ち消すようにした。

掘削中は淡青い煙が舞い上がるのが確認された。前回のロックドリルの実海域実験でも淡青い煙を確認しており、無事に掘削作業が進んでいることが把握できる。しかし、「しんかい2000」を安定させるため潮流に対して潜水調査船の頭を向けていたので、逆に掘削中の煙により視界が悪くなってしまった。

約30分掘り続け(写真6、写真7、写真8)、約100mm程掘削できたので、ロックドリルを引き上げ試料を回収することにした。この際、ドリル駆

動部と掘削部が分離してしまい、回収は直接掘削部をマニピュレータで掴み引き抜いた。

その後、写真撮影等をおこない14時43分離底、15時57分浮上した。

(写真9：ロックドリル掘削でできた孔)

今回、掘削できた試料(写真10)は、長さ約89mm、直径は20mmの柱状サンプルである。途中何ヶ所か折れたものの掘削状態は良好であった。なお折損したのは、途中幾度かロックドリルが大きく傾いておりこれに起因するものと思われる。

4 ま と め

今回の実海域実験の結果から次のことが分かった。

- ①直径20mm、長さ89mmの柱状サンプルの採取にはじめて成功した。
- ②センターピンオートロックオフ機構は1本のロックドリルで案内溝切り込み、試料掘削の両方が可能となる画期的な機構である。
- ③今回初めて、潜水調査船の油圧を動力源として使用したが、駆動装置が小型化できる点に大きなメリットがある。「しんかい2000」は油圧が非常に少なく十分なトルク・回転数を発生できなかったが、「しんかい6500」では調査機器用に十



写真9 掘削穴
Photo.9 Drilled Hole

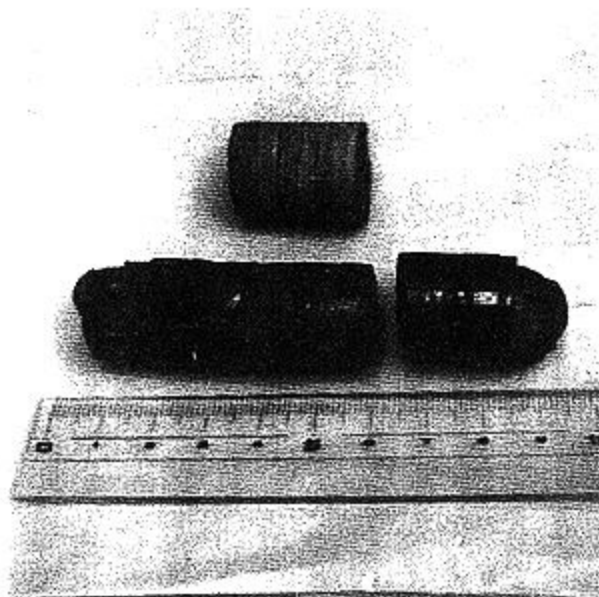


写真10 試料(下)
Photo.10 Drilling Sample (underside)

分な油量を確保しており、「しんかい6500」で用いる方がより有効に掘削できると思われる。

また今後の課題としては、

- ①ロックドリルを使用するような海底では露岩が多く、潜水調査船の着底姿勢が不安定になりやすい。このため掘削時に生じる反作用によって潜水調査船が動いてしまう。

対策としては、駆動部本体に脚を取り付ける等により、掘削時の反力が伝わらない方法を考案する必要がある。

- ②今回、掘削中視界が非常に良くなかった。原因は潜水調査船を潮流に対して立てたため、ロックドリルが掘削中に出す掘削煙（屑）が視界を妨げたためである。

対策としては、現在ドリル先端からドリル刃冷却用として海水を吐き出しているが、その構造を吸引方式に変更し視界の邪魔にならない場所に吐き出すことが考えられる。しかし、掘削煙を吸引することは内部に屑をため込む恐れがあり、トラブルの要因となりかねない。十分に検討する必要がある。

- ③マニピュレータでロックドリルを引き抜く際、ドリル掘削部がはずれてしまった。これは、マニピュレータではロックドリルを垂直に引き抜くことは非常に難しく、関節を支点として円を描いてしまうからである。今回は約100mm程度であったため大きな問題にならずに終わったが、いっばいの150mmを掘削した場合抜けなくなる心配がある。

対策としてマニピュレータの機能向上などが考えられるが、何らかの検討が必要である。

5 謝 辞

本装置の「しんかい2000」への取り付け、および「しんかい2000」の微妙な操作など、「しんかい2000」運航チームには多大なる御協力をいただき、ここに深く感謝の意を表します。

（原稿受理：1991年5月31日）