

ダイヤモンド・コアリング・システム (DCS)

和田 一育^{*1}

海底下に秘められた地殻構造の解明や、古代地球環境の変遷等を研究するために組織されたのが、ODP (国際深海掘削計画) である。ODP では、掘削船「ジョイデスレゾリューション号」を世界各地の海に派遣し、海洋底から多くのコアを回収・分析を行っている。

1992年1月～3月第142航海において、DCS (ダイヤモンド・コアリング・システム) の海上実験が実施された。このDCSは、破碎帯のような劣悪な地層でも、安定してコアを回収できるよう、陸上鉱山用の掘削方法を応用した新しい掘削システムである。ビットを高速で回転させ、かつビットに掛かる荷重を一定に保ち掘削するものである。実験海域は、東太平洋海膨のリッジ頂上で実施された。筆者は、この航海に参加する機会を得たので、DCSの技術的詳細と実験結果について報告する。

キーワード：ダイヤモンド・コアリング・システム, スリムホール, 動揺吸収装置, ODP, ジョイデスレゾリューション, 掘削船, 深海掘削

Diamond Coring System for Conducting Deepwater Drilling

Kazuyasu WADA^{*2}

The Ocean Drilling Program (ODP) is an international partnership of scientists and governments who are researching the earth's structure and global environmental changes under the seafloor. I joined in a sea trial of the Diamond Coring System (DCS) on Leg 142 from January to March, 1992. DCS is a new drilling system adapted by the mining industry on land for effective coring of fractured and highly unstable crystalline rock formations. High speeds with low bit load drilling of DCS results in high recovery rates.

This paper describes the DCS and results of the sea trial.

Key words : Diamond Coring System (DCS), Slim hole, Heave compensator, ODP, JOIDES Resolution, Drilling ship, Deepwater drilling

* 1 深海開発技術部

* 2 Deep Sea Technology Department

平成4年6月、横浜港大黒埠頭にODPの深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」が寄港した。海洋科学技術センターでも、「ジョイデス・レゾリューション号」の見学会が催されたので、ご記憶にある方も多いと思う。筆者は平成4年1月～3月に、この「ジョイデス・レゾリューション号」に乗船、新しい掘削システムの実証実験に立ち会うことができたので、以下にその掘削システムの技術内容と実験結果について報告する。

1 ODP（深海掘削計画）とは

地球の構造や成り立ち及びその歴史を解明するためには、地球の3/4を占めている海底の状況を明らかにする必要がある。特に深海底は、海底生成以来数億年に亘って堆積物が順序良く積もっており、その堆積物内の微化石や化学成分を分析することによって、気候変動や海洋環境の変遷を把握することが出来る。このような情報を深海底から入手するためには、深海底の堆積物を連続的に採取し、分析することが必要である。

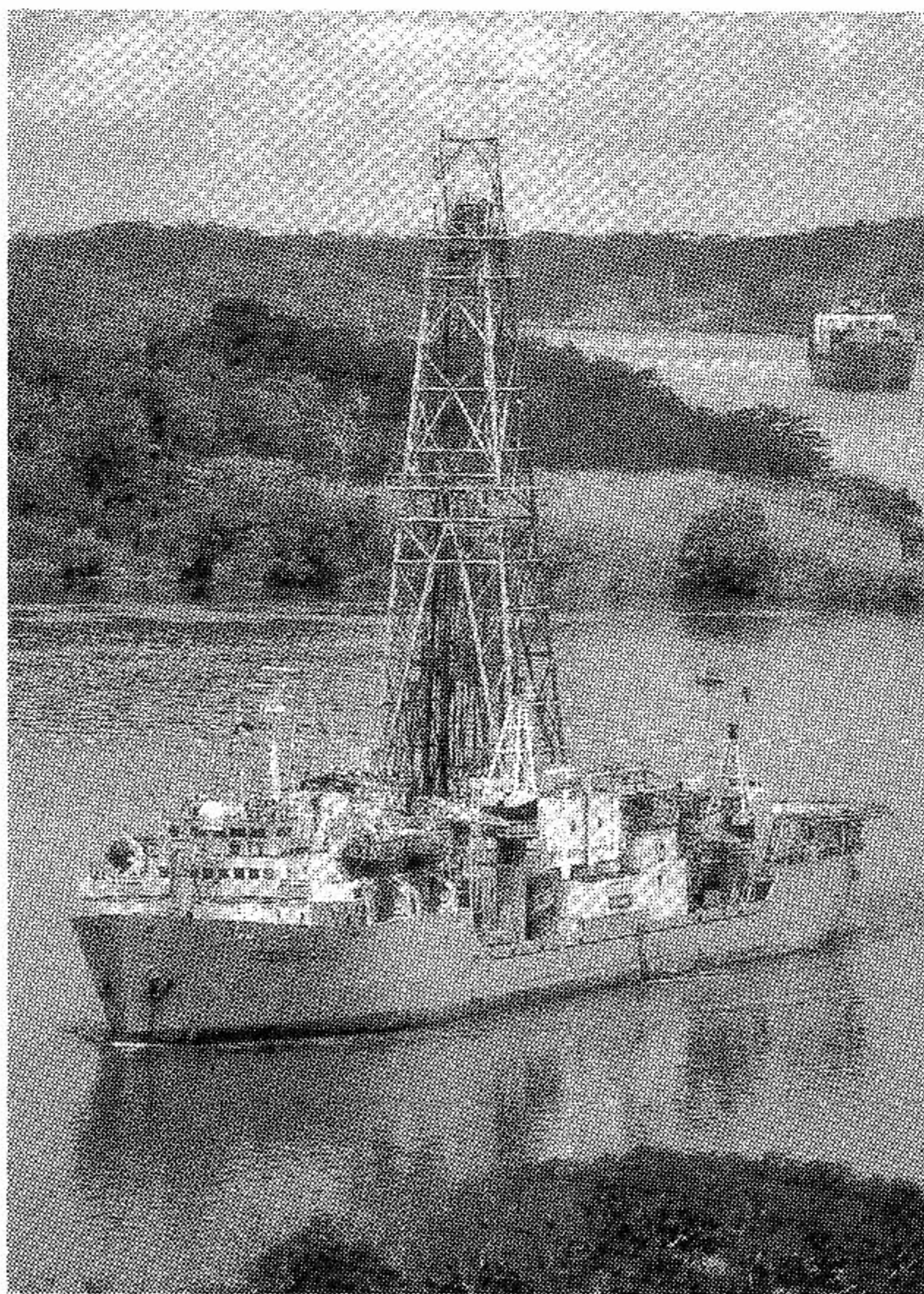


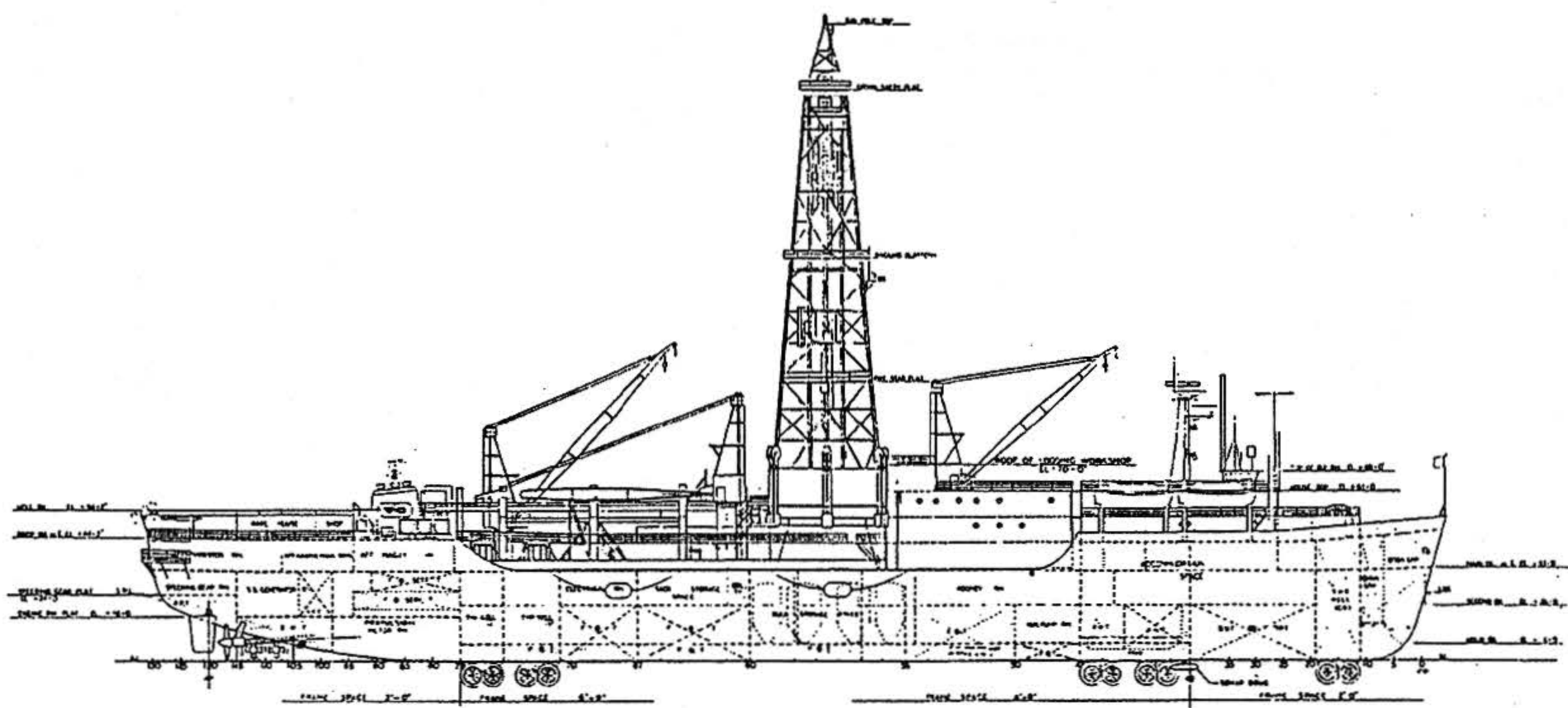
写真1 「ジョイデス・レゾリューション号」
Photo 1 “JOIDES Resolution”

国際深海掘削計画（ODP：Ocean Drilling Program）は、このような科学研究を推進するために設立された国際協力事業であり、ODPの前身にあたるものに、深海掘削計画（DSDP）がある。このDSDPとは、1968年に始まった「グロマー・チャレンジャー号」による深海海底掘削のことで、この掘削船による業績は目ざましく、世界の7つの海において624地点計325,548mの孔をあけ、約100,000mに及ぶ試料を回収し、深海底の様子を明らかにしてきた。1985年、「グロマー・チャレンジャー号」が老朽化したため、新たに石油掘削船を改造、学術研究用にあてることになり、愛称を“ジョイデス・レゾリューション”（以下「JR号」という）として誕生した。同時に各国の参加も募り、新たにODPとして計画がスタートすることとなった（写真1）。

ODPの組織は、学術計画を審議するJOIDES（Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling）と、計画実施機関であるテキサスA&M大学（TAMU）からなっている。JOIDESは、ODPに出資する各国代表より構成され、計画の大綱から航海計画、掘削地点の決定等を行っている。組織は、理事会及び12の常設パネルからなり、それぞれの担当課題を検討している。日本からも委員を派遣しており、年に2回～4回の会議が開かれている。テキサスA&M大学では、JOIDESで決定された航海計画をもとに各航海での乗船者の選定、掘削の実施、掘削試料の保管、研究報告書作成等を実施している。なお、坑内計測に関しては、コロンビア大学のラumont・ドハーティ研究所が計測・解析を受け持っている。

2 深海掘削船「ジョイデス・レゾリューション号」

この深海掘削船は、海洋石油掘削船SEDCO/BP471を改造したものである。全長は143.3m、幅21.3m、喫水7.5m、排水量約18,000t。主推進機は、海洋調査船「かいよう」と同様の電気推進で2軸を有している。また12基のスラスタを持ち、掘削中はダイナミック・ポジショニング・システム（DPS）により船位保持が可能である。この深海掘削船の最大の特徴といえるのが船体中央にそびえるデリック（櫓）である。高さは海面



QUTBOARD PROFILE

図1 一般配置図

Fig. 1 General arrangement

から62mあり500tの重量を支えることができる。また、ドリルパイプ等を海底に降ろすために直径7mの穴（ムーンプール）が船体中央に開口している（図1）。

このムーンプールの前方は、研究棟となっており7層で、1,100m²の床面積を有している。この研究棟には、X線分析装置を始めとして、岩石学・堆積学などに必要な研究設備が完備されている。また、コンピューターネットワークを構築しており、さまざまな分析データを管理・統合している。この研究棟の前方に接するかたちで全乗組員の居住区がある。基本的に4人部屋と2人部屋で構成されており、シャワールーム・トイレは2室で共同で使うようになっている。居住区の上部はブリッジ、DPSコントロールルーム、医務室、図書室からなっている。この他に、居住区内に航海中の運動不足を解消するためのジムやコミュニケーションを図るための団楽室・映写室などがある。

ムーンプールの後方は、掘削流体（ビット＜掘削管先端の掘削刃＞の温度を下げたり、坑内を安定させる目的に使われる泥状の液体）を調合するための設備や、ドリルパイプを格納するためのスペースとなっている。掘削船後部は、機関室・工作室及び地球物理観測室が配置されている。この地球物理観測室は掘削地点や港への移動時に、海底地形、地層データ、水深、地磁気等を計測する

ための研究室である。

深海掘削船「JR号」の運航は、海洋石油掘削会社であるSEDCO FOREXが行っている。船員及び掘削作業員はその子会社であるUDIから士官クラスが派遣されており、それ以外の乗組員は、SOS（Suplly oilfield Services Philippinesinc）と呼ばれる船員派遣会社から派遣されている。また、ケータリングサービス（食事・洗濯・清掃等のサービス）要員は、ポルトガルのCATMERという会社から派遣されている。したがって運航体制は、海洋科学技術センターとほぼ同様の形態をとっているといえる。

乗組員の勤務は1日12時間2交代制であり、昼夜関係なく仕事は進められている。したがって乗船してきた研究者のグループも、これに合わせて2交代制を敷いている。それに伴って、食事時間は5～7時、11時～13時、17時～19時、23時～25時、4回/日となっている。船内規則に関して海洋科学技術センターとの大きな違いは、火災訓練及び退船訓練が1週間に1度、必ず実施されることにある。

3 第142航海の研究課題

深海掘削技術は、海底石油油田の掘削とともに発達した。学術調査のための深海掘削としては、1961年のモホール計画が最初であり、ここ30年

の歴史でしかない。その理由は、掘削船の高精度定点保持の問題や大水深、高温・高圧の地層の掘削の難しさなど、高度で幅広い技術の集約が不可欠なためである。したがって、より深い地層を掘削し、そのコアを回収するには、新しい掘削技術の開発や技術レベルの向上が必要である。「JR号」も例外ではなく、ODPにおいて多くの研究開発費と人員が配されている。また、通常実施される調査航海とは別に、新たに開発された装置の海上実験を主目的とする技術航海を実施している。今回、筆者が乗船した第142航海も通算して3回目にあたる技術航海である。今回の航海では、“ダイヤモンド・コアリング・システム”（以下DCS）と呼ばれる新しい掘削システムの実証実験が実施された。この掘削システムを用いれば、破碎帯のような非常に脆い地層においても、コアを乱さずに回収できる可能性が高いとされており、その代表的な地点の一つであるメキシコ沖の東太平洋海膨が掘削地点に選ばれた。1992年1月19日にチリ、バルパライソ港を出航、3月20日にハワイ、ホノルル港に寄港する日程が組まれ、多くの掘削関連の技術者が乗船し、この新しい掘削システムの実証実験に携わった。この航海での目的は、DCSという新しい掘削システムで、海底下100m以上、コアの回収率50%を目指すものである。

3.1 ダイヤモンド・コアリング・システム (DCS)

このDCSは、もともと陸上鉱山探鉱用として用いられている掘削方法を応用しており、工業用ダイヤモンドを埋め込んだビットに掛かる荷重を小さく抑え、通常の掘削に比べてビットを高速で回転させ掘削するシステムである。陸上での結果では、破碎された地層でも連続コアの回収率が高いことが確かめられている。しかし、陸上と比べ海上においては、掘削船が波浪や風などによって上下に動揺することが大きな障害となる。それは、ビットと繋がるドリルパイプを船上で支えているため、船体の動揺によってビット荷重を制御することが困難なためである。ODPではこの問題を解決するために、能動制御式2次動揺吸収装置（油圧駆動）を開発し、受動制御式1次動揺吸収装置（空気バネ駆動）と合わせて、二重の動揺吸

収装置でビット荷重の変動を抑えることとした。この動揺吸収装置の他に円滑に掘削を行うためのサブシステムを有しており、これらを合わせて、DCS（ダイヤモンド・コアリング・システム）と呼ばれ、以下の6つのサブシステムにより構成されている。

- (1) Diamond Coring System Platform
- (2) BHA (Bottom Hole Assembly)/Back-off Hardwear
- (3) Mini-Hard Rock Guide Base
- (4) Coring/Sampling Hardwear with DCS
- (5) Mini Riser Components
- (6) Drilling/Coring Bit

この6つのサブシステムは、第124航海で初めて基礎実験が行われた。最初の実験以降、ハード、ソフト両面の改良を続け、掘削水深4,500m、荷重変動約 $\pm 225\text{kg}$ の能力を持つDCSとなっている。

3.1.1 Diamond Coring System Platform

DCSの心臓部ともいえる部分である（図2、写真2）。このプラットフォームは、1次動揺吸収装置の下部、リグフロアーから15m上方に取り付けられている。このプラットフォーム上に2次動揺吸収装置が設置され、2次動揺吸収装置の下部にドリルパイプを回転させるトップドライブ及び海底下まで伸びるドリルパイプがつながり、船体の動揺によるドリルパイプの上下動を抑える仕組みとなっている。なお、2次動揺吸収装置で能動制御されるのは、内側の3-1/2インチのドリルパイプ（掘削するためのドリルパイプ）であり、外側の5-1/2インチのドリルパイプは、掘削船と海底とを連結し、内側のドリルパイプの降下・揚収を容易にするための導管としての役割を持つ。

このプラットフォームは概略以下の装置で構成される（図3）。

- (1) Secondary Heave Compensator
（2次動揺吸収装置）
 - (2) Electric Top Drive
 - (3) Hydraulic Power System
 - (4) Hydraulic Wireline Winch
- (3)の油圧ユニットは、(1)の動揺吸収装置と(4)のウィンチの動力源である。

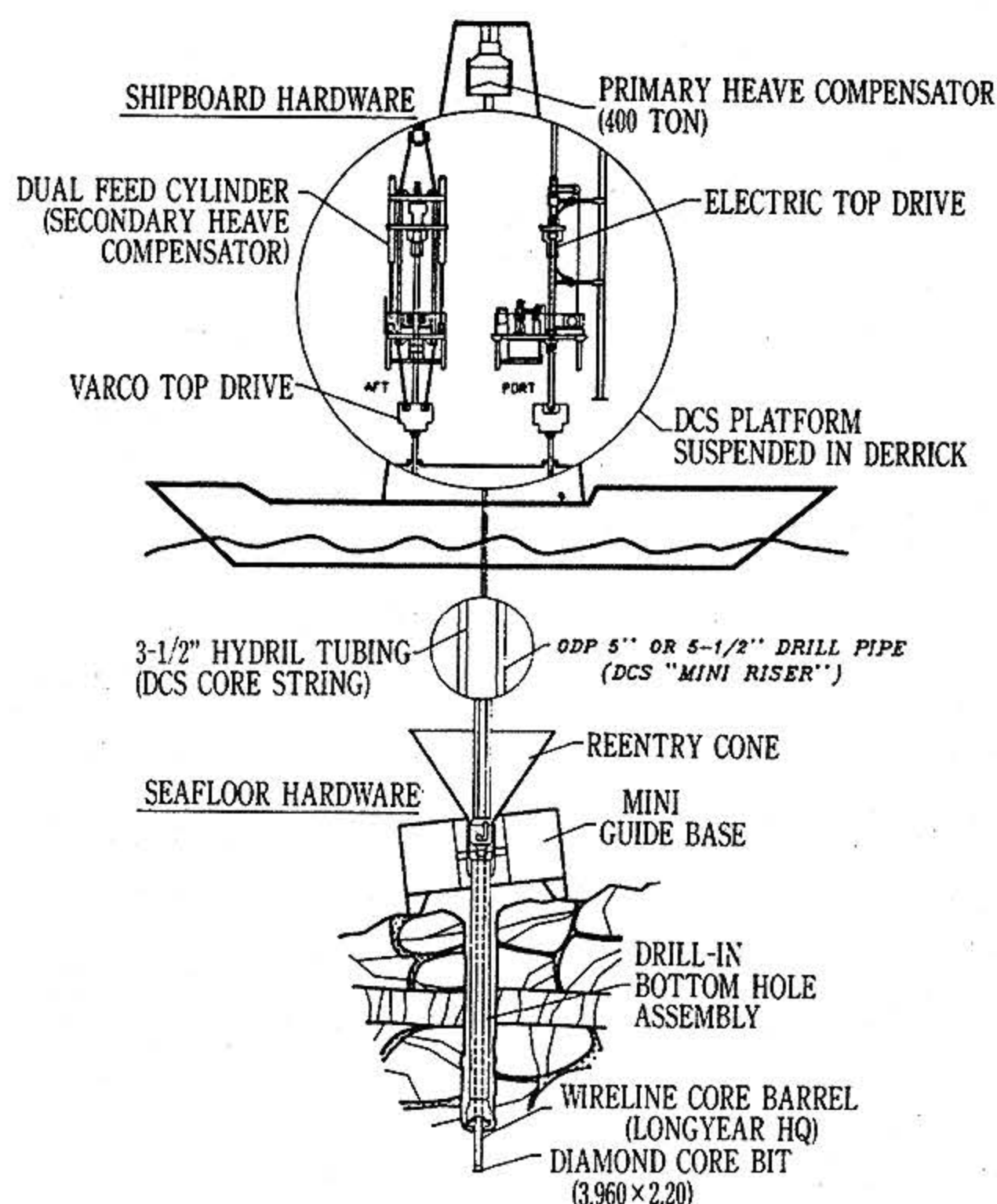


図2 ダイヤモンド・コアリング・システム (DCS) 概要図

Fig. 2 Diamond coring system (DCS) configuration



写真2 DCS 全景

Photo 2 DCS configuration

表1 DCS 要目

Table 1 DCS particular

Secondary Heave Compensator
Type: WESTECH Gear Corporation

Total working stroke.....	± 12 in.
Total travel.....	16 ft.
Piston rods.....	5 1/4 in. OD
Maxing operating pressure.....	3000 psi
Maximum tripping pressure.....	3500 psi
Load cell.....	Metrox compression type
Dynamic test cylinder rods.....	3 in. OD
Test cylinder rod extension.....	48 in.
Power pack.....	200 HP, 1800 12 RPM, 60 HZ, 460 VOLT
Accumulator bank.....	40 gal.
Oil reservoir.....	150 gal.

Electric Top Drive/Swivel
Type: PARTECH

Power rating.....	800 HP
Drilling coring torque.....	8300 ft. lbs
Maximum make and break torque.....	11,000 ft lbs
Air break.....	12,000 ft lbs
Maximum drilling speed.....	540 RPM
Dead load rating of swivel.....	650 Tons
API bearing rating.....	425 Tons
Max operating pressure.....	5000 psi
Minimum fluid passage dia.....	4.125 in.

Wire Line Winch

Drum size.....	11 in. dia. X 49.91 in. length X 33.0 flange OD
Drum capacity.....	18,000 ft of 3/8 in. (7X19 cable)
Continuous line pull.....	bare drum, 10,090 lbs at 5.5 rad
Continuous line pull.....	full drum, 3,580 lbs at 15.5 rad
Intermittent line pull.....	bare drum, 11,772 lbs
Intermittent line pull.....	partial drum, 8,587 lbs at 15,000 ft
Intermittent line pull.....	full drum, 4,177 lbs at 18,000 ft
Line speed.....	600 ft/min at bare drum
Motor RPM.....	208 RPM at bare drum
Motor RPM.....	74 RPM at full drum

Tubing String

Tubing OD.....	3.500 in.	• Connection OD.....	3.868
Wall thickness.....	0.254 in.	Yield strength.....	130 KSI
Tubing ID.....	2.992 in.	Weight /ft.....	9.30 lb/ft.
Pin bore.....	2.942 in.	Connections: Hydril series	
		type 501	

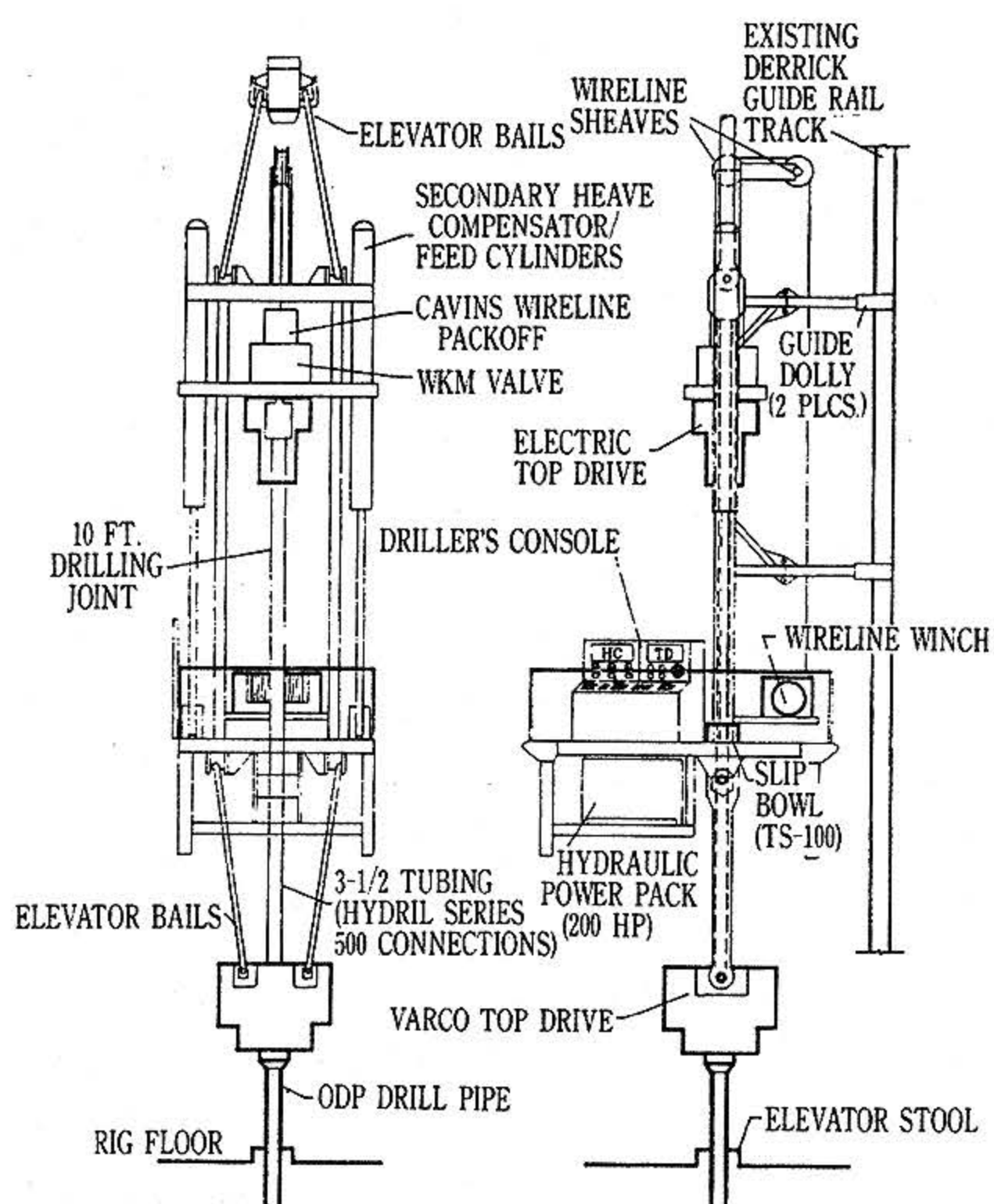


図3 DCSプラットフォーム部概要図

Fig. 3 DCS platform configuration

(1) Secondary Heave Compensator

(2次動揺吸収装置)

2次動揺吸収装置は、能動制御及び緊急用として受動制御の2つの制御システムを有している。能動制御は、掘削中にビットに掛かる荷重を積極的にコントロールするモードであり、プラットフォームに備えられている各種センサーのデータを基に油圧シリンダを上下に駆動させ、荷重計の数値を基準内(±225kg)に収めるフィードフォワード制御を用いている。動力源は、機器の小型化の面から油圧を用いている。センサーは、2次動揺吸収装置上のロードセル(荷重計)とシリンダー長計、ムーンプールに設けた加速度計、1次動揺吸収装置上の加速度計からなる。1次及び2次動揺吸収装置によって、船体上下動の影響を10%前後に抑えることが可能である。受動制御は、スタンバイ時及び能動制御が何らかの不測の事態で作動しなくなった場合のバックアップモードであり、シリンダー上部の蓄圧タンク内の空気をバネとして使用する。

第142航海では、安全装置が新たに設けられた。通常DCSで掘削を実施している場合、外側のドリルパイプには常時22tの張力がかけられている。これはドリルパイプの下端での座屈を防ぐためである。もし何らかの原因でドリルパイプが破断した場合、プラットフォーム上では、瞬間的に5Gの加速度でドリルパイプの突き上げが生ずると予想されており、人員に危険が及ぶ可能性がある。これを防ぐためのもので、加速度を2Gまで減少させることが可能である。この安全装置は、実物大のデリックによる陸上実験が繰り返され、有効に作動することが確認されている。

(2) Electric Top Drive

これは、内側の3-1/2インチのドリルパイプを回転させ掘り進むための駆動装置である。最初の構想では、油圧による駆動を考えていたが、第124航海での実験により第132航海では電気駆動方式に改められている。本装置は、800馬力のDCモータを有し、毎分540回転、最大トルク6,000kgf-cmの能力を持ち、トルク変化があっても回転数が変動しないようフィードバック制御を取り入れている。この装置により、DCSの特徴の1つである高回転による安定した掘削を可能として

いる。

(3) Hydraulic Power System

これは、2次動揺吸収装置及び後述のウィンチのための動力ユニットである。この装置を上部甲板ではなくプラットフォーム上に設けた理由は、プラットフォームが上部甲板から15m以上上方にあり、油圧ホースによる圧力損失が大きくなってしまいうためである。

(4) Hydraulic Wireline Winch

これは、海底下の掘削場所からコアサンプルを回収するためのウィンチである。コアサンプラー内に回収用のコアバーレルをセットしておき、このコアバーレルをウィンチで回収することによって、ビットを揚収することなくコアが回収される。最大180m/分の速さで揚収・降下する能力を持つ。

3.1.2 BHA (Bottom Hole Assembly)

ドリルパイプの下に取り付けられるビットを除いた機器の総称である(図4)。その用途や目的によってさまざまな種類があるが、今回のDCSの実験で試されたBHAは、その部分がケーシング(坑内の崩壊を防ぐためのパイプ)となるDrill in BHAと呼ばれるものである。HRBの下端、BHAの上端にはネジが切っており、規定量掘り進むとこのネジがかみ合い自動的にBHAがHRBに固定され、同時にドリルパイプと切り離される仕組みになっている(切り離し作業をBack-offと呼ぶ)。

3.1.3 Mini-Hard Rock Guide Base (HRB)

HRBは、海底が岩場のような不安定な地形でも、確実に掘削を行えるようにするために海底に設置するベース(土台)である(図5、写真3)。工作用のドリルで穴を開ける場合、必ずポンチで窪みをつけ、ドリルの刃が踊らないようにしている。HRBの考えもこれと同じもので、窪みをつける代わりに重い土台を海底に設置し、ドリルパイプを固定させ掘削する。寸法は幅約4m、高さ4mの六角柱をしており、重量は約55tにもなる。上部には、漏斗状のリエントリーコーンがあり、ドリルパイプの先端を容易に掘削孔へ挿入できるようになっている。また、傾斜しているような場所でも使用可能なよう、リエントリーコーンは常に上を向くようになっており、最大25度の傾斜ま

で対応できる。なお HRB の傾斜を知るために、機械式と電気式（音響伝達式）の傾斜計が設けられている。この HRB は、港での積み込みを容易にするため、数個のブロックに分割され、かつ船上で容易に組立ができるように工夫されている。海底に設置する場合は、ドリルパイプの先端に特殊ツールを取付け、このツールに HRB を引っかけて海底に降下させる。

3.1.4 Coring/Sampling Hardware with DCS

この機器の役割は、コア（試料）を採取し船上に回収するためのものである。通常 ODP で行われている掘削では、ドリルパイプの先端部にコアサンプラーを取り付け、内側のコアバーレルを揚降させることによってコアを回収している。

ODP では、特にこの機器について精力的に開

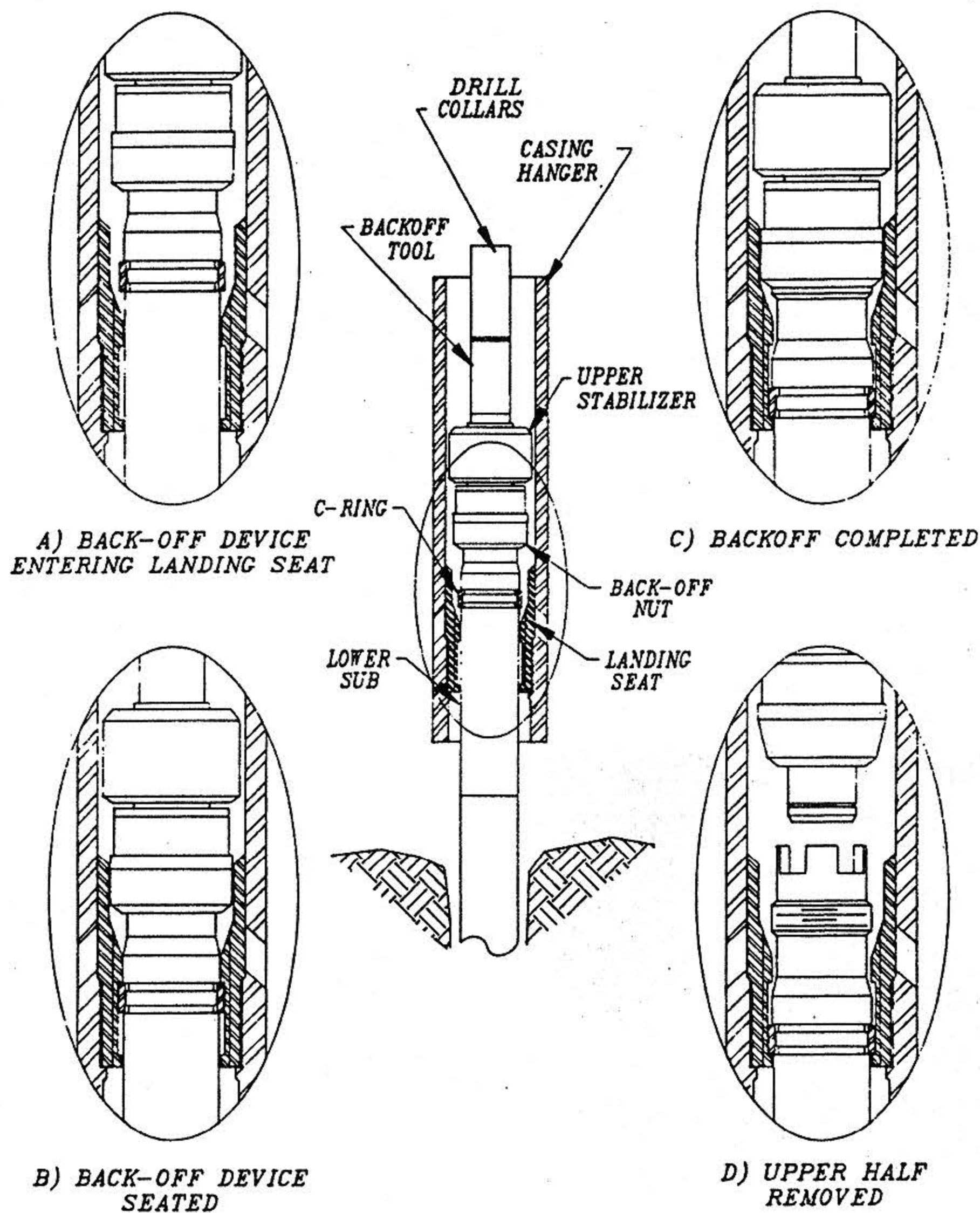


図4 BHA の back-off メカニズム

Fig. 4 Deployment scheme for mechanical back-off device

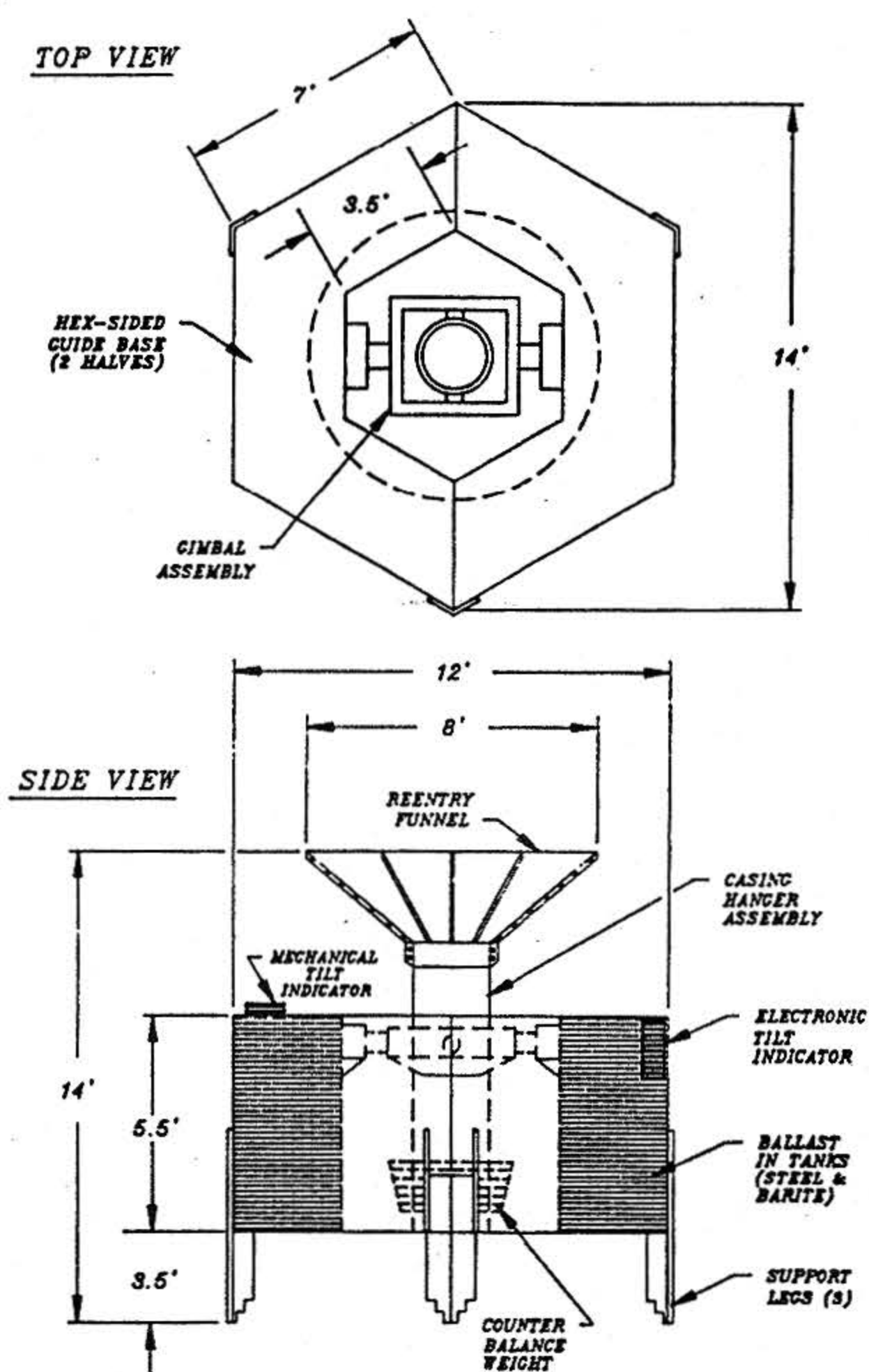


図5 Mini hard rock guide base (HRB)
Fig. 5 Mini hard rock guide base (HRB)

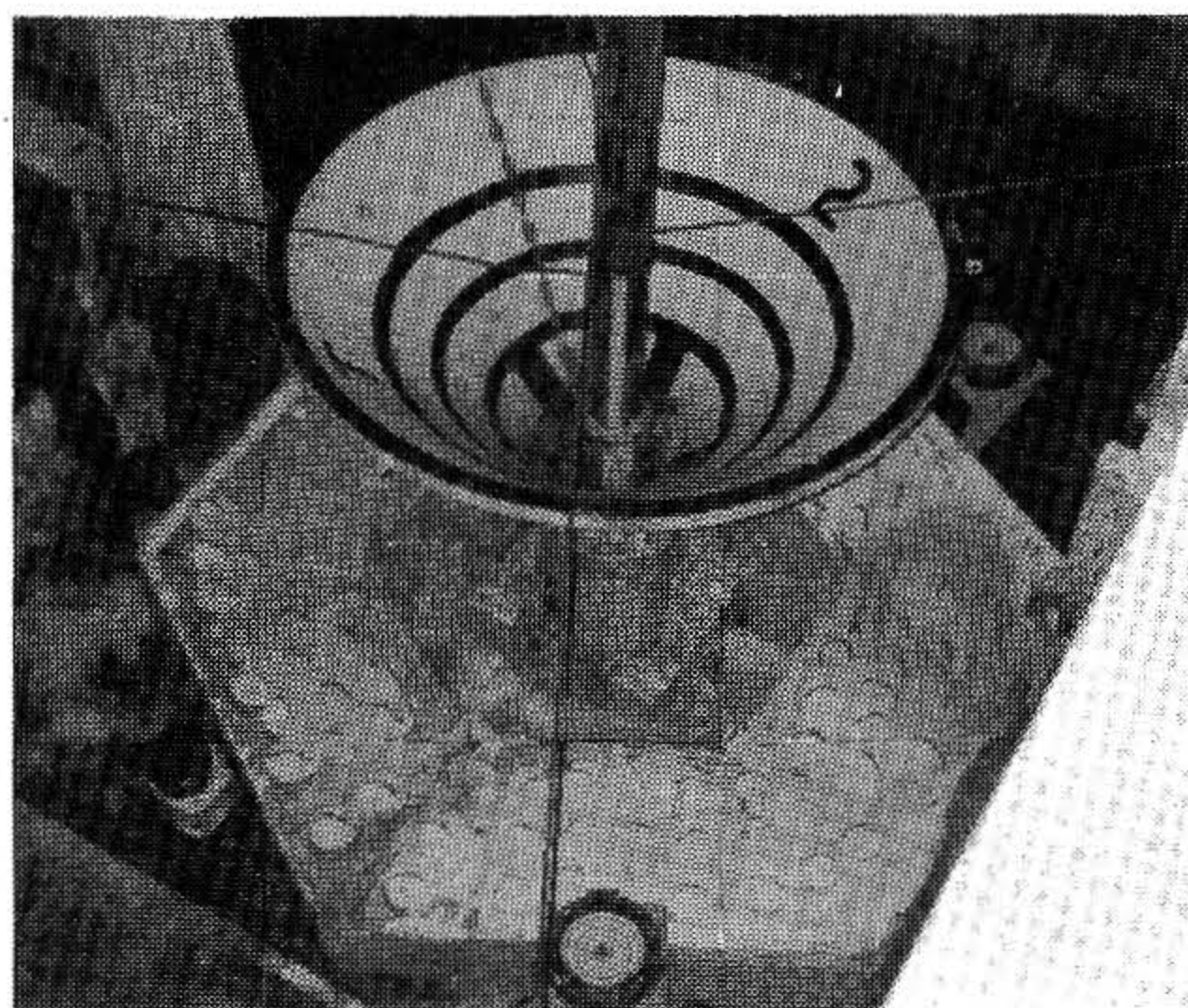


写真3 Mini hard rock guide base (HRB)
Photo 3 Mini hard rock guide base (HRB)

発を進めている。それは、掘削してもコアを回収できなければ、成果を上げられないためである。現在までに5-1/2インチ用としてAPC（軟らかい堆積物回収用ピストン式）、RCB（岩石回収用回転式）といった機器が実用化されている。今回のDCSでも、APC、RCBと同様のものを開発しており、地層が柔らかい泥質でも固い岩質でもコアの回収が可能になっている。このコアサンプラーを用いて直径5.6cm、長さ1.5mもしくは3mのコアを採取できる。

3.1.5 Mini Riser Components

DCSのビット交換の際、再度リエントリーを実施しなくても済むように考えだされたもので、外側の5-1/2インチのドリルパイプをさす。ドリルパイプ上端では、ドリルパイプを吊り下げることによる引張応力と、掘削船の水平方向の移動による剪断応力が生じる。同様に下端では、ドリルパイプの自重による圧縮応力と掘削船の移動による剪断応力が生じる。これらの応力に対処するため、上部及び下部には応力集中が起きにくいような特殊仕様のドリルパイプを用いている。

海底石油油田の掘削に用いられているライザーパイプのように、防噴装置の設置や掘削流体の圧力調整及び回収などは行っていないが、将来構想として本格的なライザーパイプとしての仕様の検討を進めている。

3.1.6 Drilling/Coring Bit

掘削に使用されるビット（掘削刃）であり、地質の状況及びその目的によってさまざまな種類がある。コアを採取するためのビットはコアビットと呼ばれ、中央に大きな開口部がある。この開口部からコアが取り込まれ、コアバレルによって船上に回収される。これ以外のビットはドリリングビットと呼ばれ開口部は存在せず、孔を掘り進め広げる目的で使用される。

ビットの刃の部分の形状によってローラーコンビットとダイヤモンドビットに大別することができる（写真4.5.6）。ローラーコンビットは、先端に幾つかのローラーを取付け、ローラーの回転作用で岩盤を掘り崩していくものである。ダイヤモンドビットはローラーが無いタイプであり、先端の刃の部分にダイヤモンドを埋め込み焼結させたものである。

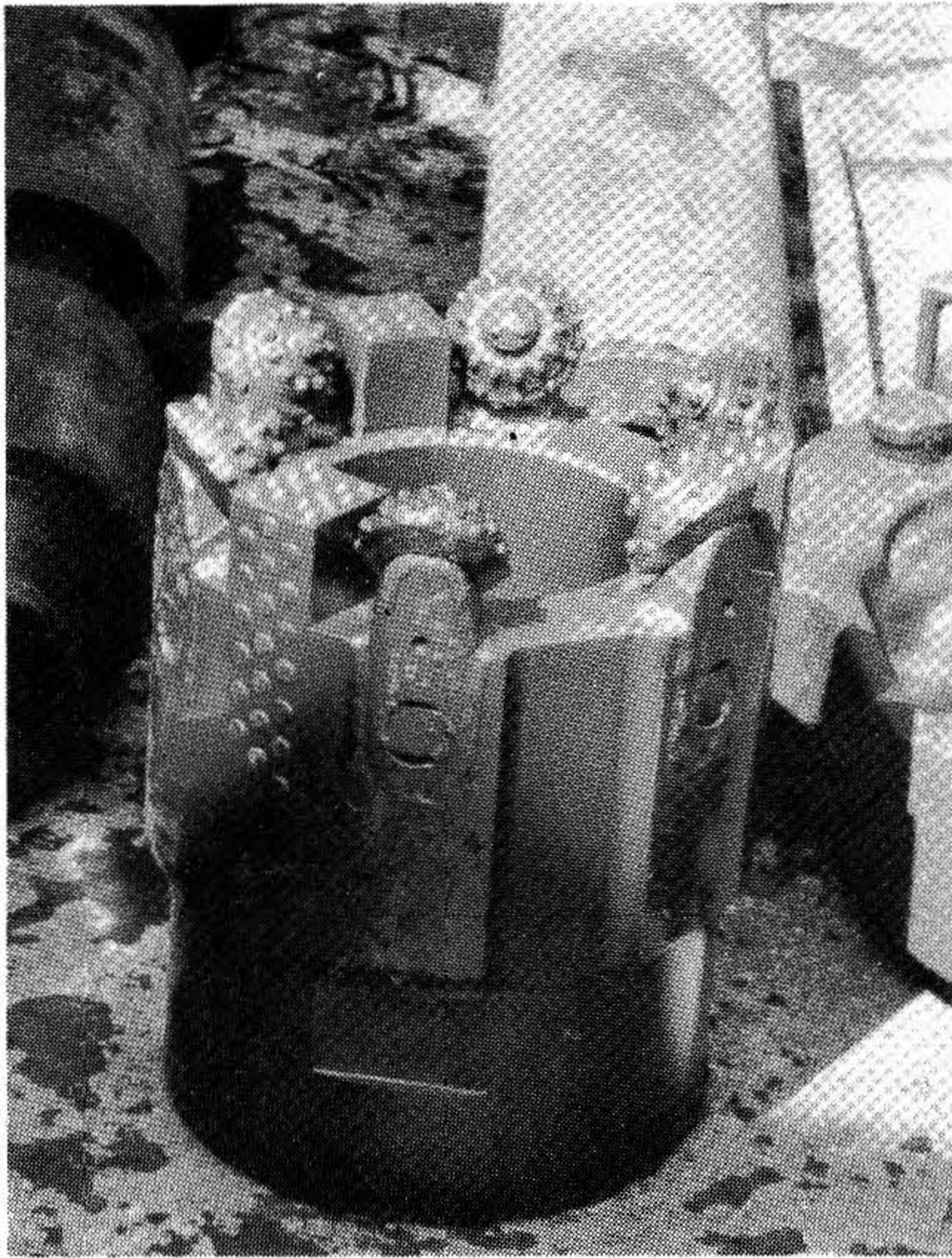


写真4 6-ローラーコーン コアビット
Photo 4 6-cone coring bit

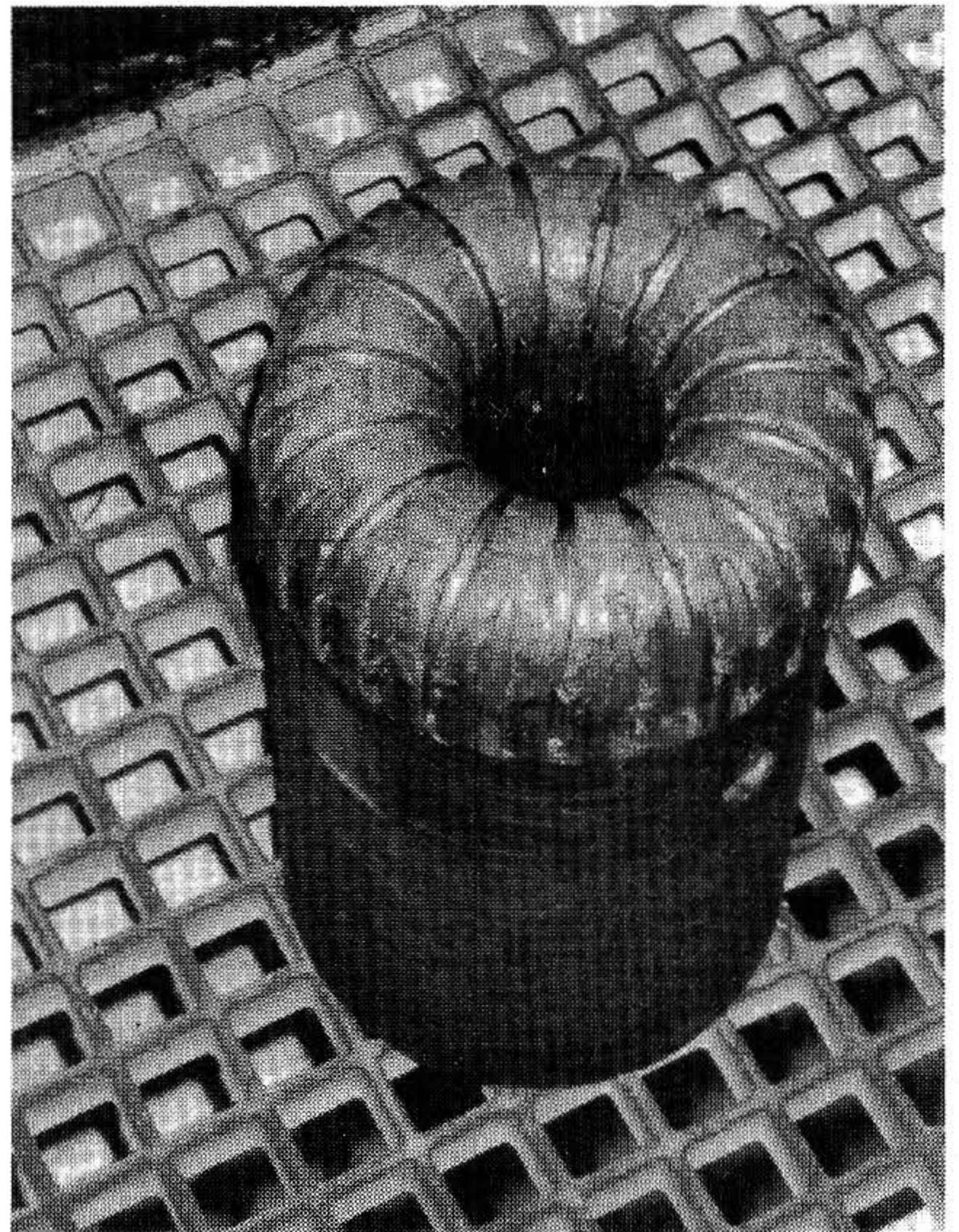


写真6 ダイヤモンド・コアビット
Photo 6 Diamond coring bit



写真5 3-ローラーコーン ドリリングビット
Photo 5 3-cone drilling bit

3.2 実験方法

第142航海は、メキシコ沖の太平洋上、東太平洋海膨の頂上部が選ばれた。その理由は、この地域がプレートテクトニクス理論によるプレート発生の場所であり、非常に不安定な破碎帯が存在する場所であるからである。また、地球物理学的見地から、この場所からコアを回収することは、非常に有意義であることも考慮された。北緯 $9^{\circ}30'$ 、西経 $104^{\circ}15'$ の掘削予定地点 SITE864A には1月30日に到着、掘削を開始した(図6)。本航海には、科学者チーム(Dr.Batisa: ハワイ大学, 他)14名, ODP 開発技術研究者(Mr.Storms 他)5名, 掘削関連メーカー(Mr.Edwards: Christensen 他)4名, 筆者も合わせて29名が研究者として乗船した。DCSの実証実験は以下のように実施された。

① HRBを海底に設置する

掘削地点に到着するまでに HRB の組立を終了させる。ドリルパイプの先端に HRB を取付け、海底付近まで降ろした後 VIT (テレビカメラ) をドリルパイプに沿って降ろし、

LEG 142 EAST PACIFIC RISE I
LEG MAP

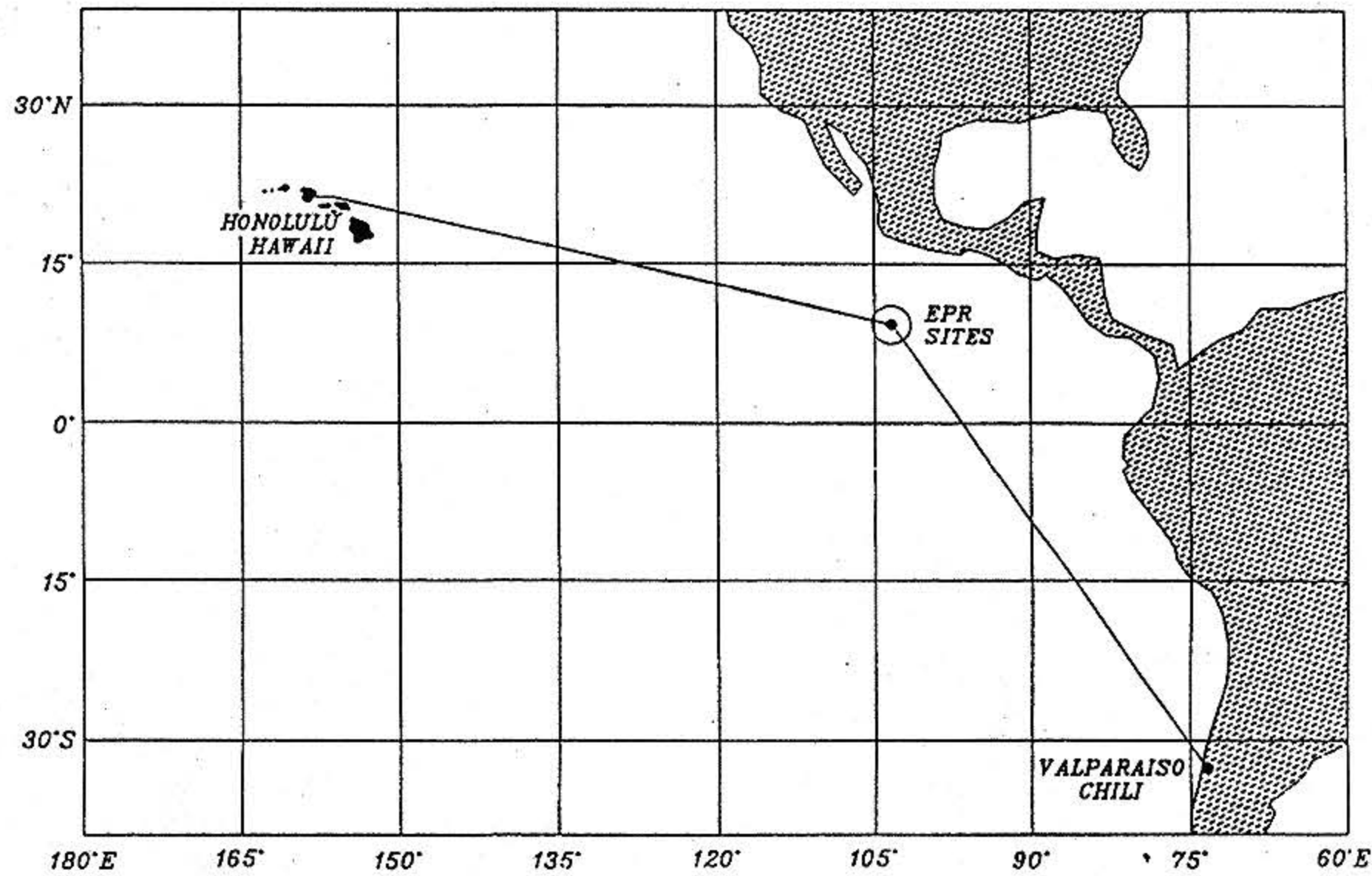


図6 実験海域

Fig. 6 Location of the drilling sites

掘削地点の確認を行った上で海底に着座させる。

- ② 約5~6mほど掘削しBHAをHRBに固定する(Back-off)。

ドリルパイプ先端にBHAとビットを取付け5~6mほど掘り進む。このBHAはHRBに固定された後、孔壁の崩壊を防止するためのケーシングとして使用される。

- ③ DCSの準備

通常の研究航海用の掘削システムから、本航海で実験を行うDCSに切り換える。狭い船上での作業のため、作動チェックなども含めて48時間2昼夜を要する。すべてのチェックが終了後、リエントリー(HRBと5-1/2インチのドリルパイプを結合させる作業)を行う。「JR号」で使用される音響航法装置にはLBLとSBLがあるが、本実験ではSBLを使用した。リエントリーの際は、この音響航法装置のデータと水中カメラによる画像によってマニュアルで行われる。

- ④ DCSによる掘削

DCSによる掘削を行う。コアの回収の際は、前述の通りワイヤーを掘削深度まで降ろしコアバーレルを回収する。DCSの操作は、

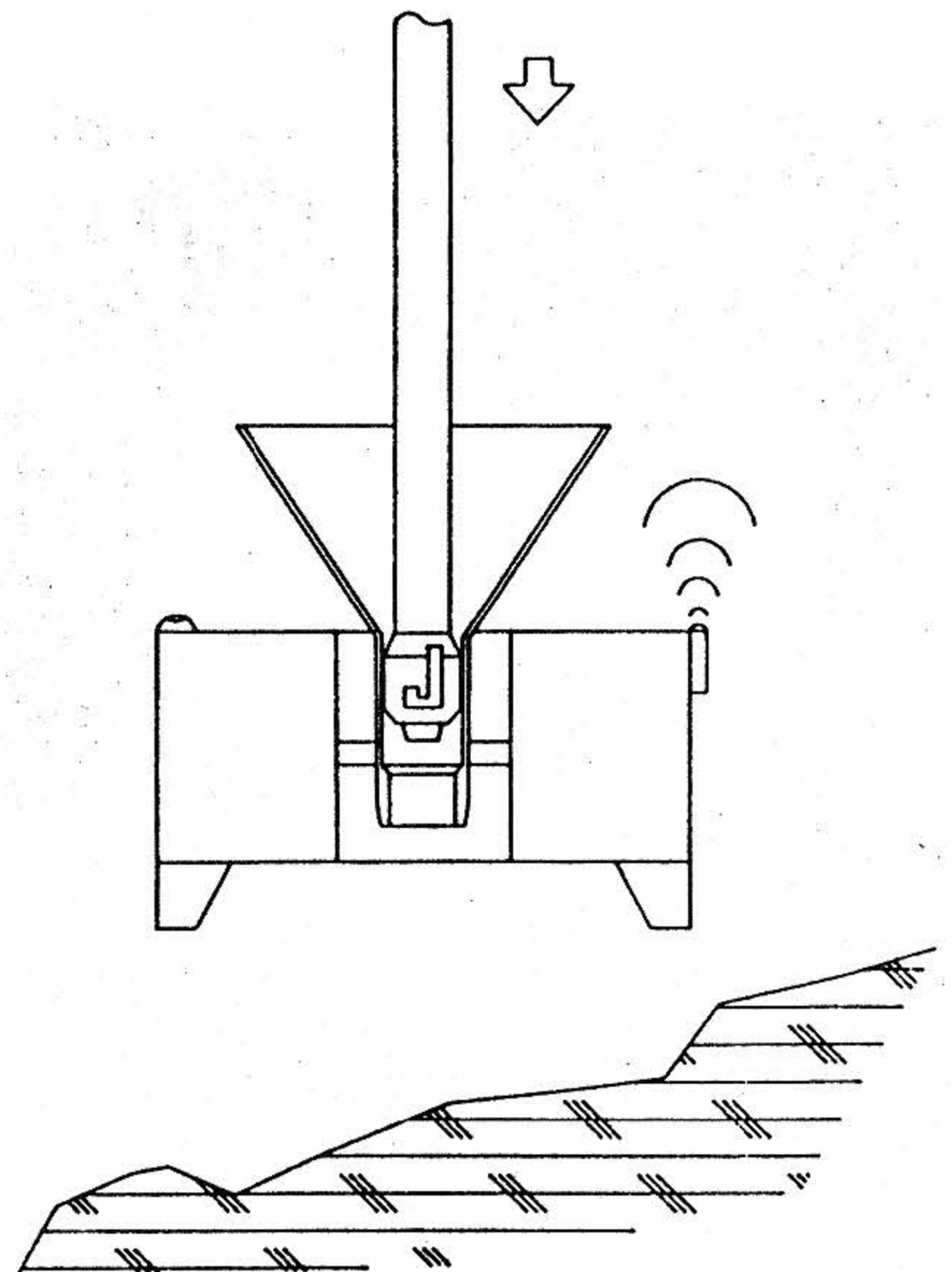


図7 HRBを海底に設置する

Fig. 7 Lower HRB to seafloor and verify acceptable orientation

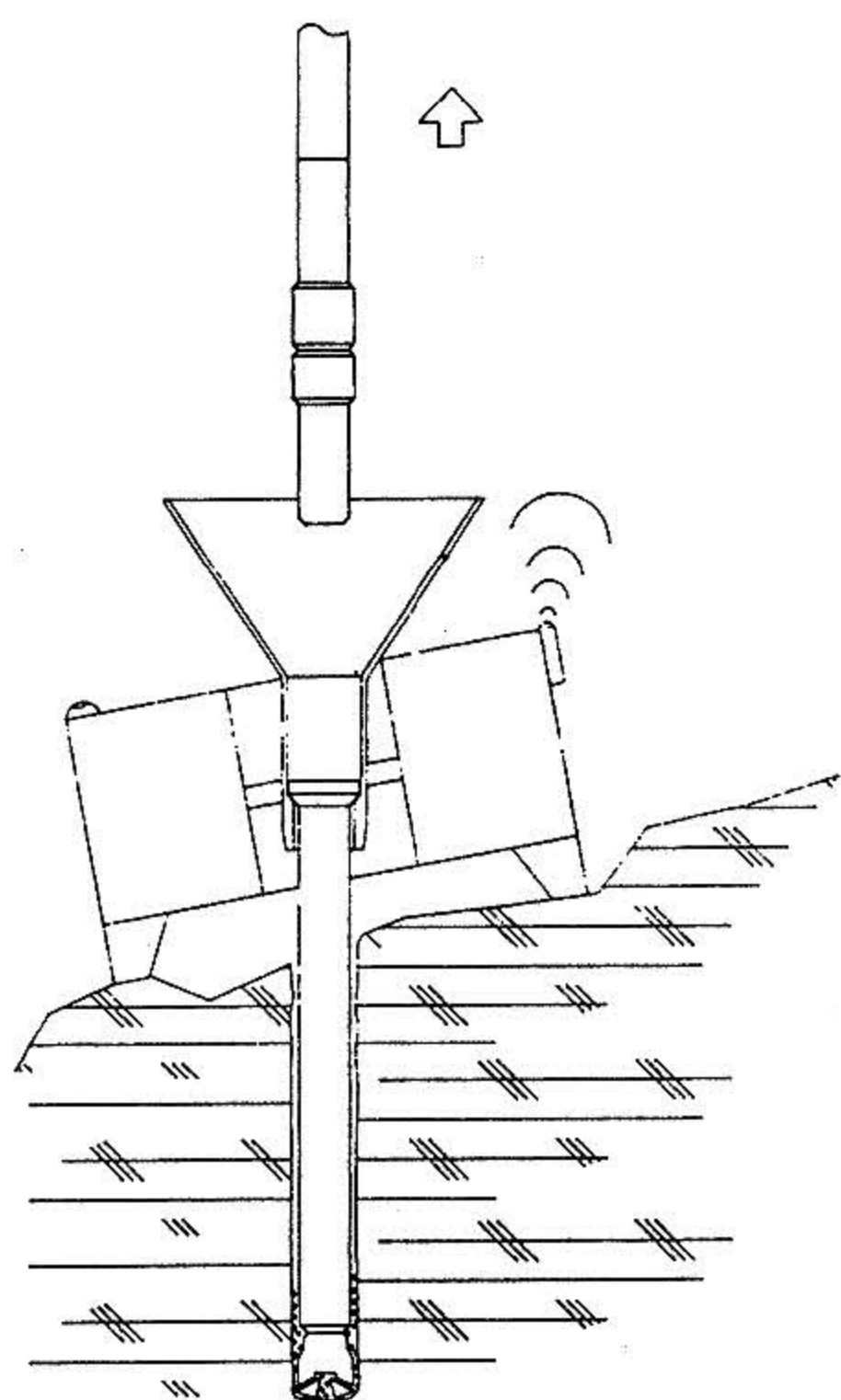


図8 BHIをHRBに固定する (Back-off)
Fig. 8 Fix BHA to HRB (Back-off)

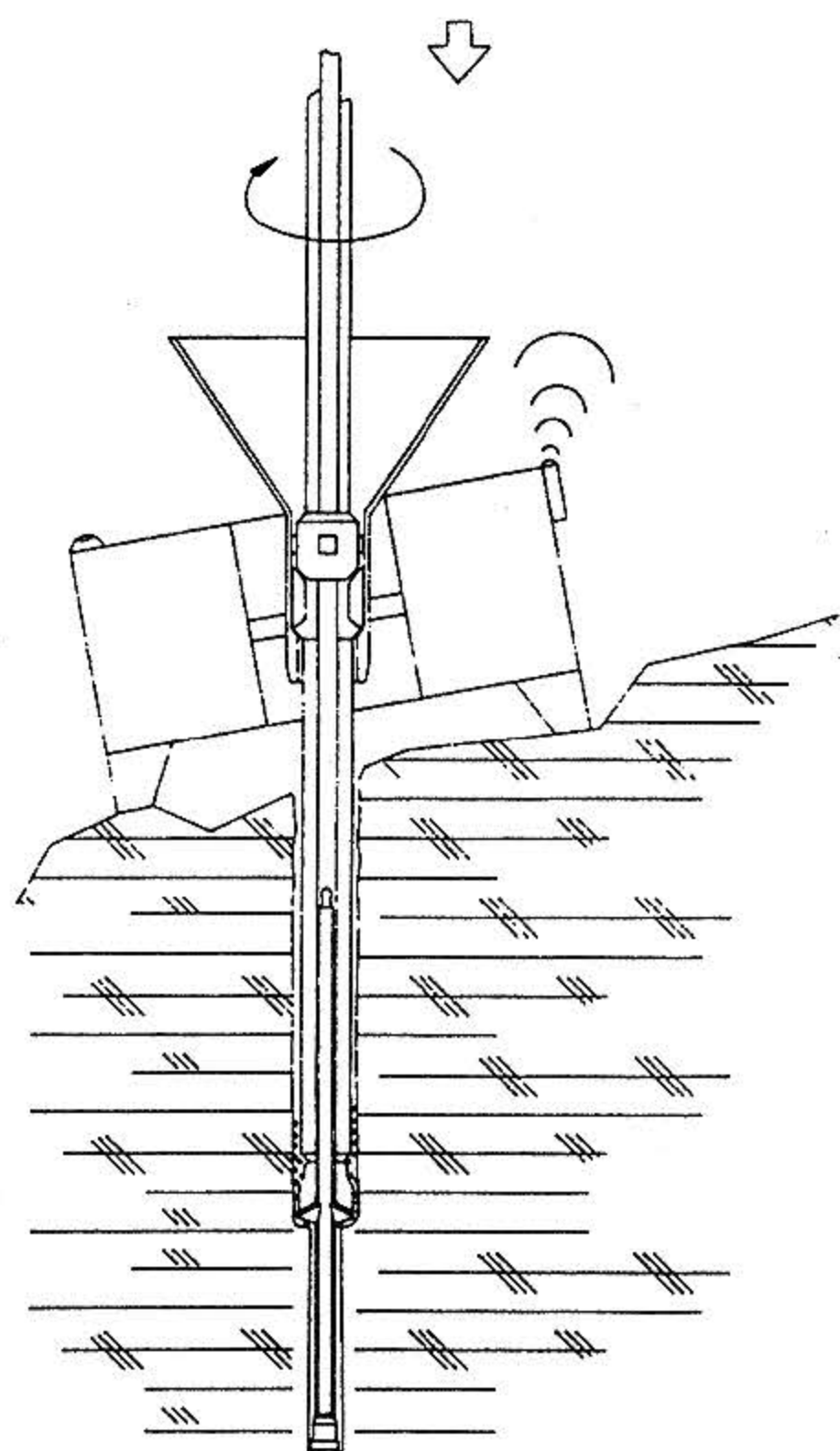


図9 DCSによる掘削
Fig. 9 Core with DCS string to depth objective

1次動揺吸収装置によって上下動している DCSプラットフォーム上で行われる。

⑤ 坑内計測・その他

DCS による掘削が順調に行われた場合、坑内計測装置を坑底付近まで降ろし、さまざまな計測（キャリパー検層、温度計測など）を行う。

⑥ DCS 収納（片付け）

移動予定日まで掘削を行い、その後DCSの片付けを行う。なお、HRBは回収せず海底に破棄してくる。すべての片付けが終了後、次の研究航海のための準備を行う。

4 第 142 航海の実験結果

大きな期待をこめて実施された DCS の実証実験であるが、最初の HRB の設置までは順調に進んだものの、次の段階からトラブルが続いてしまった。今回の航海で目標としていたのは海底下掘削 100m、コア回収率 50% であったが、結果は海底下掘削 13.6m、コア回収率 0% に終わってしまった。この原因は、主に以下の 3 点が考えられる。

① 2次動揺吸収装置の制御システムの故障

今回の実験で目標を達することができなかった最大の原因は、DCS の 2 次動揺吸収装置の制御装置の故障により、ビット荷重の制御が出来なかったことである。前述したとおり、DCS はビットを高回転で駆動させ、かつ荷重を一定に保つことによって掘削するシステムである。2 次動揺吸収装置の故障により、ビットが孔底を叩く状態となってしまう、ビットの破損、孔壁の崩壊を招いてしまった。掘削期間中、ODP 技術者の懸命の復旧作業が続けられたが、最後まで修復されなかった。

解決策としては、制御システムの改善を行う必要があると考えられる。特に、今回は実験段階ということもあり、ハードウェアとして 1 系統の制御システムしか有していなかったため、手の施しようがなかった。このような重要な部分に関しては、バックアップシステムか同等の予備品を備えておく必要がある。また、故障の原因となる振動・湿気及び電気ノイズなどへの十分な対処を実施する必要がある。前回の第 132 航海での制御システムに

関する問題は、電氣的ノイズによるセンサーの異常のみであったため、見過ごされてしまった部分である。

② ビットの破損

元来ビットは破損しやすく、数 10m ないし数 100m 掘削を行う毎に交換する必要がある。しかし、今回は予想以上に上部地層が硬く、数m程度でビットが磨耗破損してしまった。特にコアビットの損傷が激しく、しかもそのコアを回収できなかった。

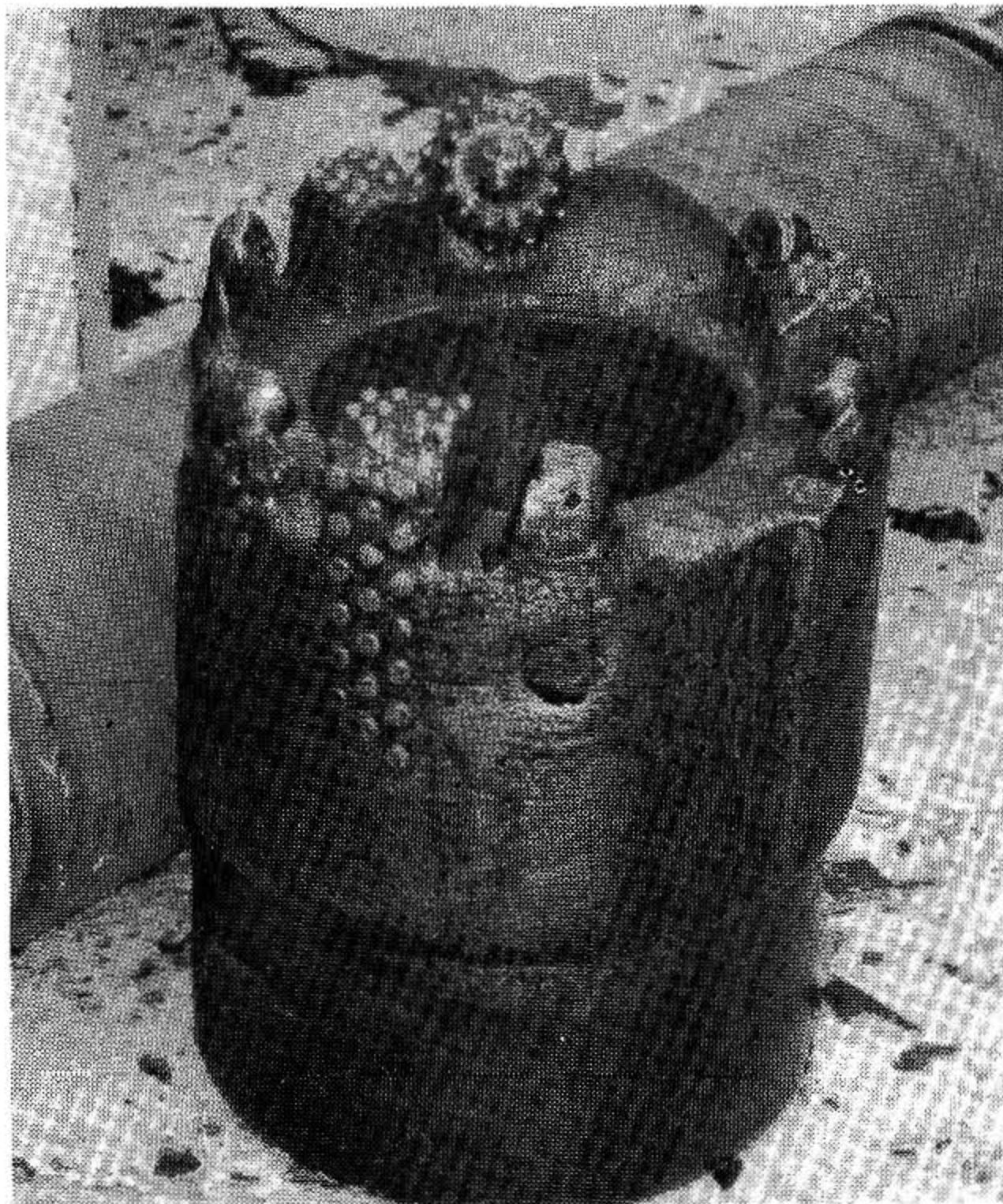


写真7 磨耗した6ローラーコーン
コアビット

Photo 7 Broken 6-cone coring bit

原因は、2次動揺吸収装置の故障や後述する天候の悪化もその一因ではあるが、ビットの選定にもミスがあったと考えられる。通常ある程度は、地層の状況に対応できるよう十数種類のビットを用意するが、本実験では地層状態が劣悪であり、用意してあったビットの能力範囲を超えてしまったと考えられる。海嶺の頂上部（玄武岩）を掘削することは初めての経験であり、次の実験航海に貴重な経験が得られたことが、ビットに関する唯一の成果といえる。

解決策として、この実験の結果を踏まえ、この地層（玄武岩）に適応したビットを開発していく必要があると考える。

③ 海象の悪化

3点目の原因として、予想以上に海象条件が悪かったことがあげられる。前回の第132航海に比べうねりが高く、結果的に「JR号」の上下動（HEAVE）が大きくなってしまった。計画では、1次動揺吸収装置で70～80%の動揺を吸収し、2次動揺吸収装置で10～15%を吸収する予定であったが、仮に制御システムの故障が無くても、今回の海象条件では難しかったのではないと思われる。また、波浪の方向とうねりの方向とが90度違ったことも結果的に船体の動揺を大きくしてしまった（図10）。

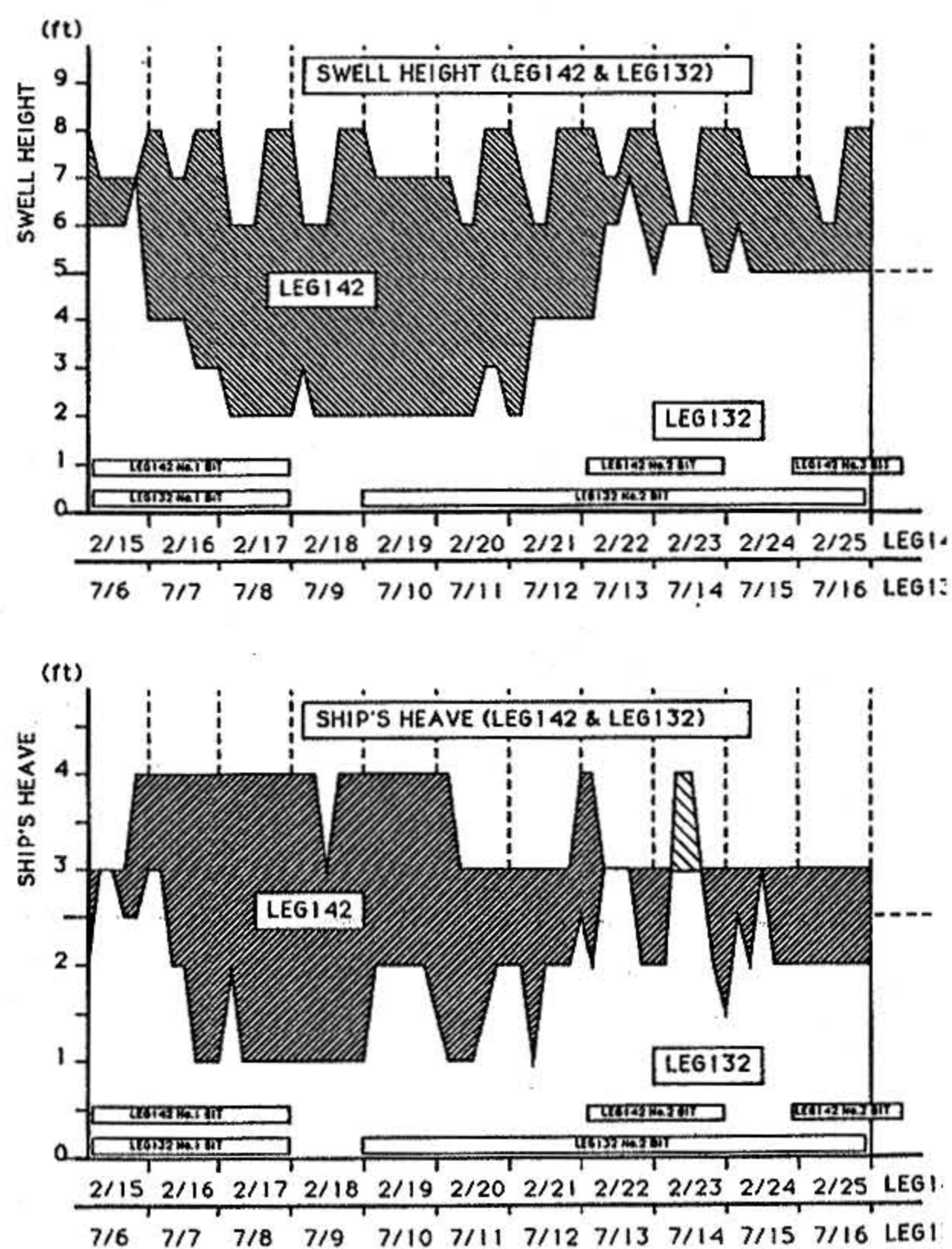


図10 海象状況

Fig.10 Swell height & heave of ship

解決策としては、動揺吸収装置の能力向上を図る以外にない。現状の「JR号」の施設をそのまま利用する必要があるため、1次動揺吸収装置の大幅な改造を行うことはできない。したがって、2次動揺吸収装置の能力

上を図るしかないが、プラットフォームの寸法が制限されているため、単に油圧装置を大きくするといった対策は難しく、油圧に限定しない新しい駆動システムを考案する必要がある。併せて、フェジーのような新しい制御アルゴリズムを導入し、ハードとソフトウェアの両面からの改良が必要といえる。

5 まとめ

このように、DCSは多くの問題点を抱えているが、破碎帯のような不安定な地層を掘削する方法としては最良のシステムであり、今後、より一層の改良が必要だと考えられる。ODPでは今回の問題点を究明し、1993年の1月～3月に再度実験を実施する予定である。このDCSは、現在、研究が進められている日本の深海掘削船システムの開発関連技術の1つである。特に、動揺吸収装置に関しては同様の能動制御を考えており、これら問題点を参考にして研究を進めていく必要があると思われる。

6 謝 辞

「ジョイデス・レゾリューション号」の乗船に際し、ご配慮ご尽力いただきました東大海洋研究所の小林教授、石油公団の松岡 洋氏を始め、関係の皆様に厚くお礼申し上げます。

また「ジョイデス・レゾリューション号」に乗船中、多くのご助力をいただきました。Michael A.Storm氏、Daniel H.Redelhuger氏、G.Leon Holloway氏、黒木一志氏を始めとするODP関係者に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高橋憲二, 吉武正湛: 深海掘削計画とJOIDES RESOLUTION. JAMSTEC, 1 (3), (1989)
- 2) 和田一育: 国際深海掘削計画に参加して. JAMSTEC, 4 (3) (通巻15号), (1992)
- 3) 財津正隆: “JOIDES RESOLUTION” 乗船体験報告. (1990)
- 4) ODP: SHIPBOARD SCIENTIST'S HANDBOOK, ODP TECHNICAL NOTE No.3 (1990)
- 5) 平成元年度深海海底地層探査技術に関する調査報告書, 海洋科学技術センター (1990)
- 6) 海底深部地層サンプリングシステムの研究に関する調査解析報告書, 日本深海技術協会 (1991)
- 7) 平成3年度海底深部地層サンプリングシステム調査解析報告書(1992)
- 8) Storms, M.A., S.P.Howard, D.H.Redelhuber and G.Leonholloway: THE SCIENTIFIC & DEVELOPMENT OF A HIGH SPEED MINING-TYPE DIAMOND CORING SYSTEM FOR CONDUCTING DEEPWATER SCIENTIFIC INVESTIGATIONS.
- 9) ODP: LEG142 ENGINEERING PROSPECTUS. ODP ENGINEERING PROSPECTUS No.3 EAST PACIFIC RISE (1991)
- 10) Davenport, B.: Handbook of Drilling Practices. Gulf Publishing Company Book Division (1984)

(原稿受理: 1992年11月9日)