

大型海底試錐機MD500Hの開発と実験結果

丸山修司（海洋地質部）・大鹿春郎（鉱研試錐工業㈱）・井上英二・湯浅真人（海洋地質部）

1. 製作の経緯

海底地質調査においてまず実施されるのは各種物理探査であり とくに音波探査は海底の地質構造を具体的に把握するうえで欠くことのできぬ調査方法である。しかしこれによって得た地質構造を地質学的に意味づけるには 海底の地層から岩石を採取して検討せねばならない。地質試料なしには いかにか詳細な音波探査記録でも その正当な地質学的解釈を行うことは困難である。海底から岩石を簡便に採取する方法としてドレッジがあるが この方法では採取地点がややあいまいになること採取した岩石が現地性のものか他からもたらされた礫であるかの判断がむずかしいこと等の難点がある。岩石採取には海底掘削船が最もよいのであるが 費用その他の点で手軽にこれを利用することはむずかしい。そこで 船に搭載して簡便かつ迅速に岩石を採取できる海底試錐機が必要となる。

地質調査所は 昭和50年に水深300mで1m掘削できる小型の海底試錐機MD300PTを開発し 日本周辺海域の海底地質調査研究に使用し成果をあげてきた（木

下泰正他 1975;井上英二・木下泰正 1976 1977;KINOSHITA et al. 1977). しかし この機器が使用できる海底の露岩地帯は分布が限られているので さらに広範囲にわたって海底岩石を採取するには 掘進長が大きい試錐機が必要となってくる。したがって 地質調査所は少なくとも厚さ数m程度の表層堆積物を貫通して その下の岩盤から岩石を採取できる大型の海底試錐機の製作を計画していた。

一方 金属鉱業事業団所有の白嶺丸は その建造当初から 後日搭載機器として大型海底試錐機の装備が予定されており そのために 大型ダビットクレーン 台座ウインチ設置場所 1点アンカリング装置等がとくに設備されていた。したがって同事業団は本機器の建造を数年来計画してきたが これに地質調査所は主たる機器の使用者として参画し MD300PTの成功をふまえて技術的側面と使用条件の点から事業団にアドバイスした。メカニズムについては MD300PT その他の海底試錐機の製作に経験がふかい鉱研試錐工業（株）の技術陣に負うところが大きい。本機器建造の検討会は上記メンバーに本船の運航会社である海洋技術開発（株）・深海鉱物資源開発協会が加って 完成までに10数回開かれ技術に関して熱心な討議が行われた。

昭和52年9月 同事業団は同社に大型海底試錐機の製作を発注し 53年3月に本機器は完成 MD500Hと名づけられ 三菱重工業下関造船所で入渠中の白嶺丸に搭載された。本機器の作動試験は造船所から船橋港へ回航する途中 和歌山県勝浦沖と駿河湾で3月26日より29日まで4日間 同事業団・調査所立会のもとに実施され仕様書どおりの性能であることが認められた。この実験については長くなるので詳細を省き その要約を第1表に示すにとどめる。

地質調査所は 工業技術院の特別研究「日本周辺大陸棚海底地質総合研究」の一環として 53年6～7月に山陰沖の隠岐諸島周辺で海底地質調査航海（GH78-3航海）を実施したが この期間中 MD500Hを水深81～490mの海底で使用し 4地点から岩石コアの採取に成功した。これは 厚さ数mの表層堆積物の下から 数

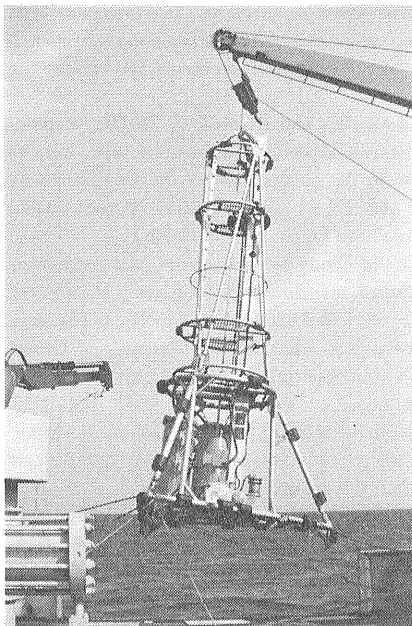


写真 1 海底沈座型試錐機 MD 500 H

第1表

MD 500 H の 作 動 試 験 状 況 (53年3月下旬 勝浦沖と駿河湾で実施)

No	テスト項目	テ ス ト 位 置				月 日	時 間	結 果	海 況
		海 域	緯 度	経 度	水深				
1	耐 圧 試 験	和歌山県 勝浦沖	33°35.1'N ~ 33°34.4'N	136°01.0'E ~ 136°02.7'E	350 ~ 980m	3月26日	14:30~18:30	最大水深550mまで吊降した結果 耐圧合格	晴 風速0~6m/sec 風向SSW 波高0.5m
2	水中作動試験	駿河湾田子の浦沖	35°03.8'~ 04.0'N	138°43.4'~ 43.6'E	940 ~ 1055m	27日	17:50~20:10	最大水深550mまで6段階にわけて作動試験 すべて良好	晴 風速6m/sec 風向SSW 波高0.5m
3	海底掘削試験	駿河湾の内浦湾 A	35°03.0'N	138°50.9'E	100m	28日	11:15~13:02	掘進長250cm コア長28cm (礫まじり砂及び半固結粘土)	雨 風速0m 波高・うねり0m
4	"	" B	35°04.6'N	138°49.7'E	99 ~ 104m	"	15:07~16:38	掘進長280cm コア長20cm (礫)	曇 風速1m/sec 風向NE 波高・うねり0
5	"	駿河湾中の瀬 C	34°36.7'N	138°26.8'E	93m	29日	11:14~13:00	掘進長75cm コア長46cm (粘土層) コアパレル折れる	晴 風速3m/sec 風向SW うねり1.5m
6	"	" D	34°38.6'N	138°28.9'E	80m	"	15:23~17:03	掘進長87cm コア長5cm (粘土)	晴 風速4m/sec 風向E うねり1m

m長の岩石コアを採取したものであり 所期の目的を十分に達成したものである。このような成功例は カナダを除いて 世界ではあまりない。しかも電源が本体についたバッテリーであること 船上から音波で掘削指令・中止指令をだすことができ また 掘削進行状況を船上でソニックシステムにより知ることができるなどユニークな点が多い。

以下に紹介するのは 本機器の概要・性能・メカニズムおよび隠岐諸島周辺における海底掘削状況の報告である。

2. 機 器 の 性 能 と 特 徴

本機器は最大稼動水深 500 m 掘削長および採取岩石コア長最大 6 m の性能をもつ。すなわち 大陸斜面上

部において 厚さ数mまでの堆積層下に伏在する地層から 径44 mm の岩石コアを採取することができる。本機器の特徴をあげると 以下のとおりである。

- i) 機器の動力源は 本体に組込んだバッテリーである。この方式は MD 300 PT ですすでに採用され 成功している。この方式の利点は 船上から試錐機を揚降する際の作業が迅速かつ簡便に行えることである。船上からケーブルで海底の試錐機に動力を送る方式では ケーブルが揚降用ワイヤロープにからんだりしてトラブルを生ずる。
- ii) 掘削はタイマー方式とソナー遠隔操作方式とを併用している。タイマー方式とは 船上で 試錐機本体に内蔵しているタイマーにより 掘削開始時間 掘削時間 引抜き時間をセットすれば 掘削は全自動で行える。こ

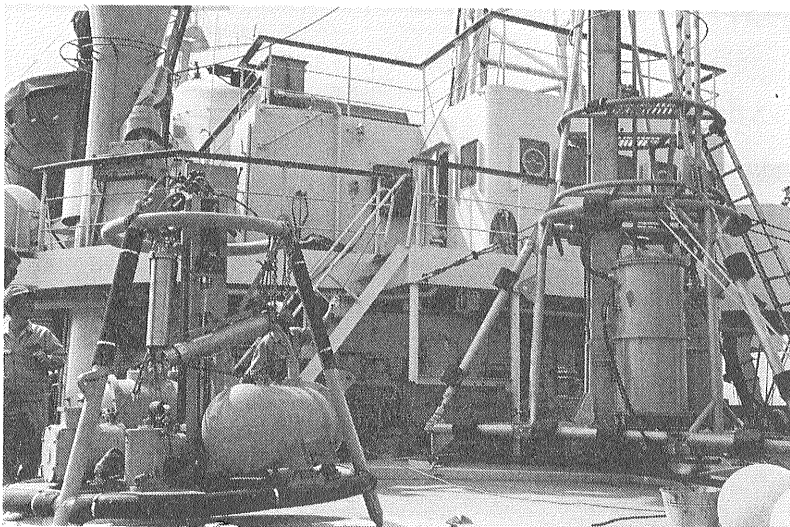
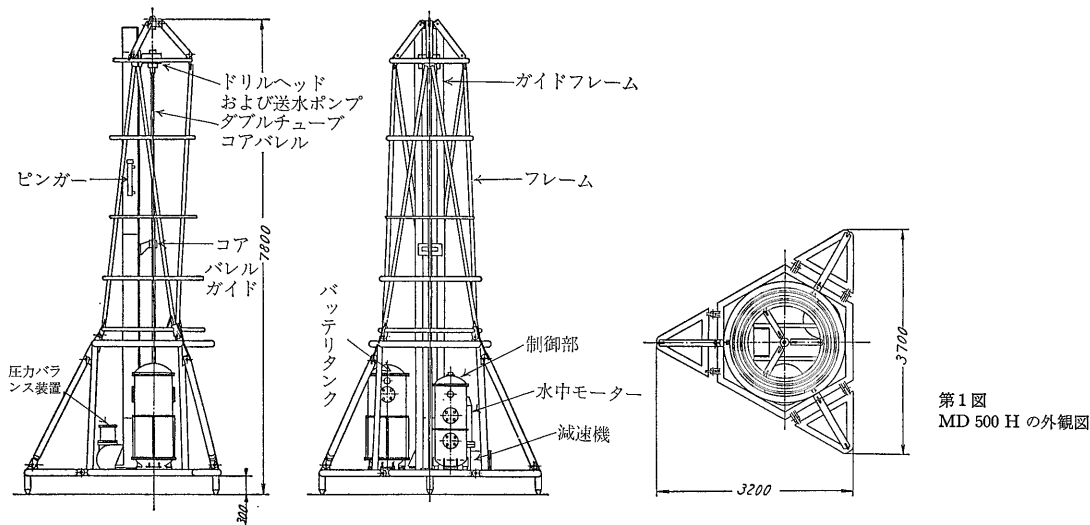


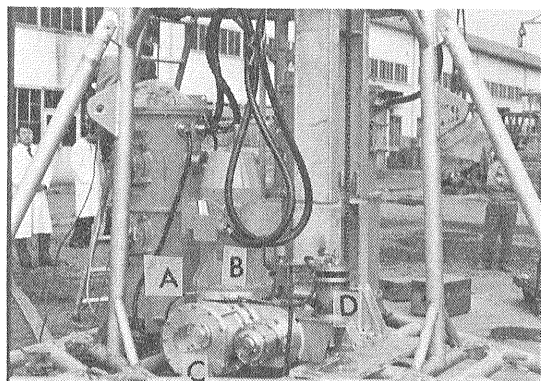
写真 2
白嶺丸甲板上の大小海底試錐機
左は MD 300 PT
右は MD 500 H



これはMD 300 PT と同方式である。しかし 降下作業がながびいたり 掘削中に海況が急変したりした場合のために 船上からソナーにより掘削開始・中止指令をだして制御できるようにした点が新しい。

- iii) 同じくソナー方式による 掘削中の試錐機の作動状況の検出。検出要素は試錐機傾斜の正常 異常漏水 異常停止 掘削時間 引抜開始 掘削完了等である。
- iv) 薄肉の専用ダブルコアバレルの使用。
- v) フレーム等の構成材料には耐食アルミ合金を使用し 機器の軽減をはかる。
- vi) 海底の試錐機の位置検出装置を装備している。
- vii) ドリルヘッドをパイロヘッドと交換することによってパイロコアリングができる。

上記の特徴を有する MD 500H の主な仕様は 第2表



に示される。本機器の重量は空中で約3.3トン 水中で2.2トン 高さ7.8m 底辺の幅3.2~3.7mである。

3. 構造と作動

第1図に示すように 本機器の構成は

- 1) フレーム

第2表 MD 500 H の仕様

型式	全自動沈座型海中試錐機 MD-500H	
方法	バッテリーによる直流水中電動機駆動の全機械方式 1サイクル自動掘進およびソナー選隔操作方式の併用	
性能	稼動水深	最大 500m
	掘進ストローク	6.3m
	ロータリーサンプルコア	44 m/m×6m
	パイロサンプルコア	52 m/m×4m
	スピンドル回転数	約 377rpm
	給進力	最大 500kg
	引抜力	最大 1000kg
	パイロヘッド振動数	約 1500 cpm
	試錐ポンプ	海水使用最大流量 28 l/min 最大圧力 3.3 kg/cm ²
	操作制御	制御用ソナーシステムを含む全自動作動
レベル検出装置	レベル検出自動制御	
原動機	3kW 48V 直流水中モーター 1時間定格	
電源	密閉式蓄電池 48V	
寸法	高さ 約 7.8m	長さ 約 3.2m 幅 約 3.7m
重量	空中 約 3300kg	
	海中 約 2200kg	

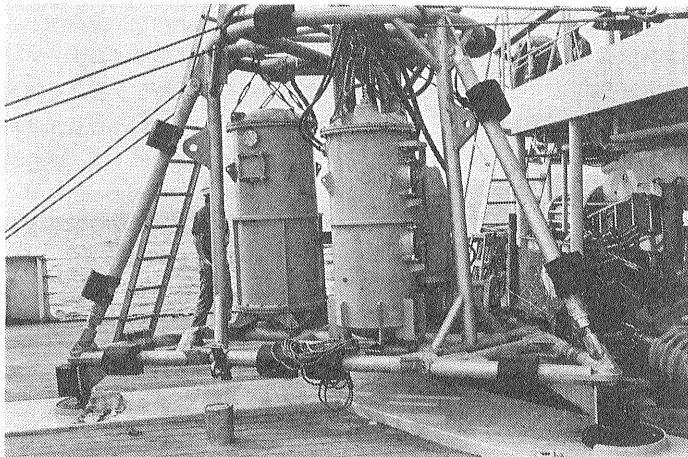


写真 4 左はバッテリータンク 上部の窓をあけ 内部のコネクターに充電器からのケーブルを接続させて充電する 右は制御部タンク 右側下部の窓をあけてタイマーをセットする

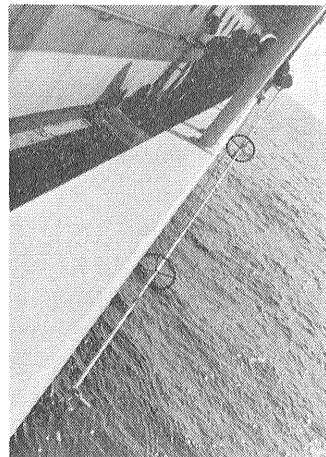


写真 6 位置検出用受信器 棒の先端部分がレシーバ 試験機本体にとりつけたピンガの音波を受信する 受信時はレシーバは水中にある

- 2) 水中モータおよび伝動装置 (写真3)
- 3) ドリルヘッド及び水ポンプ
- 4) バッテリー部 (写真4)
- 5) 制御部 (写真4)
- 6) 圧力バランス装置
- 7) 位置検出用発振器 (ピンガー)
- 8) コアバレルおよびビット

- 2) ソナー用トランスジューサ
- 3) 位置検出表示用ブラウン管とソナー用レシーバ (写真6)
- 4) 専用ウインチ等の揚降装置 (写真8)
- 5) バッテリー充電器
- 6) 潤滑油注入用真空装置

からなる。 また船上に設置する機器は

- 1) ソナー遠隔制御盤 (写真5)

などである。

伝動系統は 直流水中モータ (3 kW 48V) から減速機を介して ドリルヘッドに回転 (380 r.p.m.) と給圧

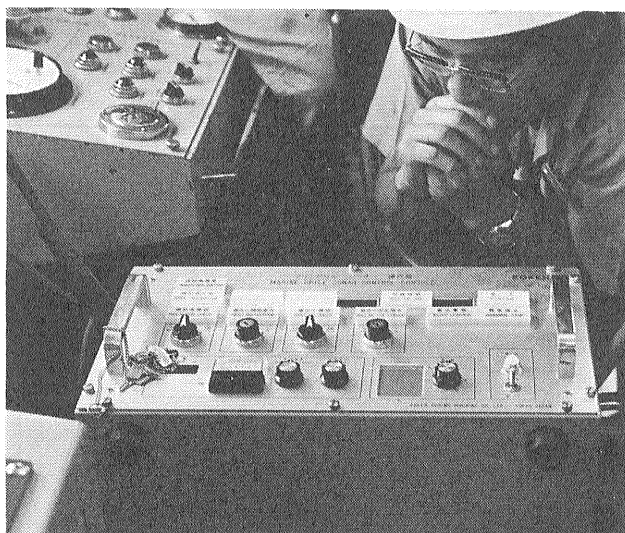


写真 5 ソナー制御盤 上列左から2番目のキスイッチが掘削開始指令用 同列右端のキスイッチが掘削中止指令用 表示ランプ中 異常発生用のランプは赤に点灯する

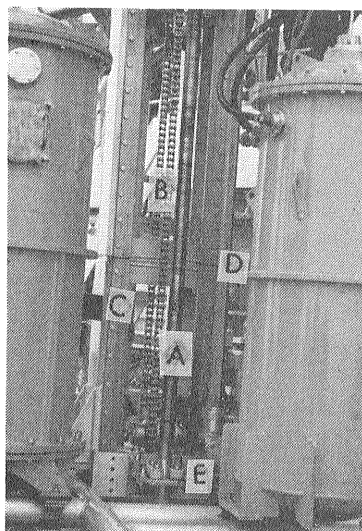


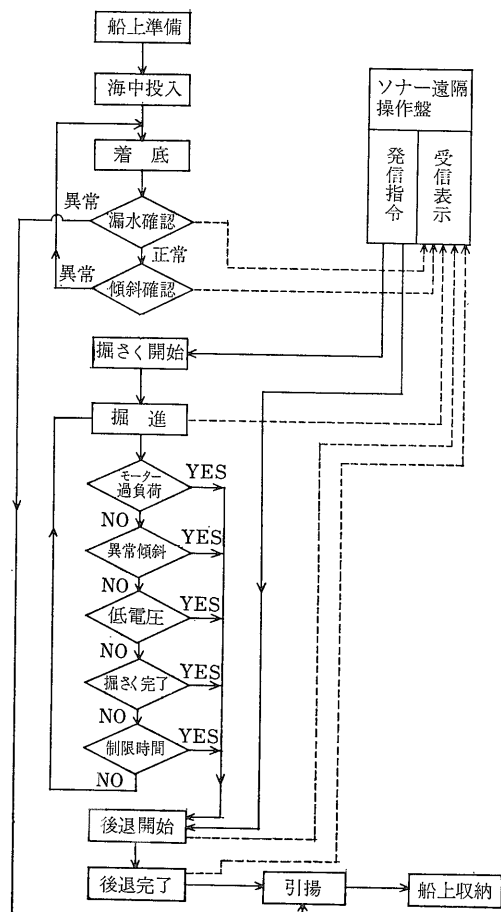
写真 7 掘削部分 A: ダブルチューブコアバレル B: 給進伝導チェーン C: ドリルヘッドが沿って上下するガイドフレーム D: モータの回転をドリルヘッドに伝える伝導軸 E: バレルのフレを防止するガイドローラ 左のタンクはバッテリータンク 右は制御部タンク

力(最大500kg)を与える。水中モータおよび減速ギアケースのシールはそれぞれ単独の圧力バランス装置により内部潤滑油と外部海水圧力とをバランスさせる。バッテリーには海底での転倒及びタンク内の安全充電を考慮して安全密閉型の西ドイツ製ドライフィット・バッテリーを使用している。バッテリーの充電に際してはバッテリー・タンクをあけることなくタンクの充電窓を開いて充電器のケーブルのコネクターを接続するだけでよい。充電時間は最大8時間である。

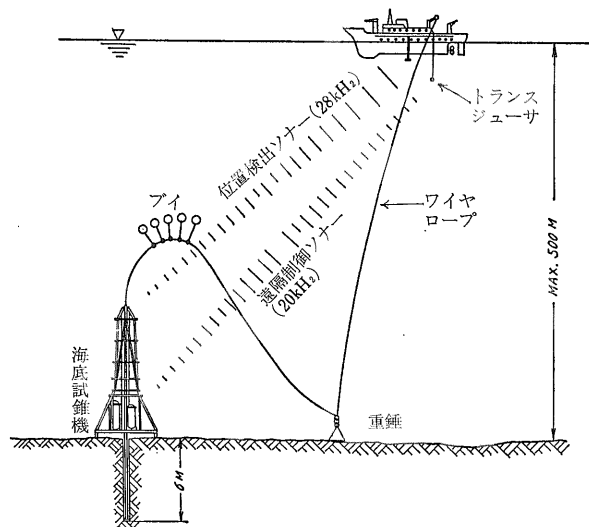
本機器は軟弱層を貫通して硬い岩石を採取することを目的としているため軟弱な表層・砂・粘土・半固結岩・堅硬な岩石に至るまで多種多様な地層を1度に掘削できるような構造のビットやコアパレルを使用せねばならない。とくに表層の粘土や砂礫層を掘削する場合ジャーミングやコアづまりをおこす。軟弱層から硬岩まで完全に掘削できる万能のサンプラーは技術的にきわめて困難であるが本機器には一般広範囲地層用ダブルコアパレル MDD 型と軟弱地層専用 RCD 型を開発使

用している。両型とも切削能率向上のため薄肉型としコアリフターの改善を行った。RCD型はインナーチューブ先行型とし水によるコアの流失やヤケ細りを防止している。今回使用したコアパレルは全長6.3m(2本つなぎ)のRCD型である。ビットは硬岩が予想される地点では孔径56mm コア径44mmのダイヤモンドビット 軟石の場合は同サイズのメタルチップビットを使用した。

作動はタイマー方式と遠隔制御方式(28kHz超音波使用)の併用でありそのフローシートを第2図に示す。本機器が海底に着底したとき船上のソナー制御盤(写真5)により漏水や傾斜異常がないことを確認すれば制御盤から掘削指令を発信する。この信号を海底の試験機がうけてモーターが始動すると制御盤の始動開始ランプが点灯しすぐに掘削開始のランプがつく。あとは異常が発生しないかぎり1ストロークの自動運転が行われる。運転時間(掘削時間)は船上でセルフタイマーによりセットする。掘削が終了するとコアパレルは自動的に引抜かれる。引抜き時間は約3分である。引抜きが完了したとき制御盤に完了のランプが点灯する。もし掘削途中で異常が発生した場合は掘削時間の終了を待たずに自動的に引抜き作動に入る。また掘削を中止したい場合は制御盤を通じて中止指令を発信すると海底の機器はただちに引抜き作動にうつる。異常とはモーター過負荷 異常傾斜(船上で機器の掘削可能な最大傾斜角を設定しておく。この傾斜角以上に海底の機器が傾いて着底するか掘削途中で傾斜が変わると掘削作動は停止する) 低電圧 タンク内



第2図 MD 500 H のソナー制御方式のフローシート



第3図 海底掘削作業方式

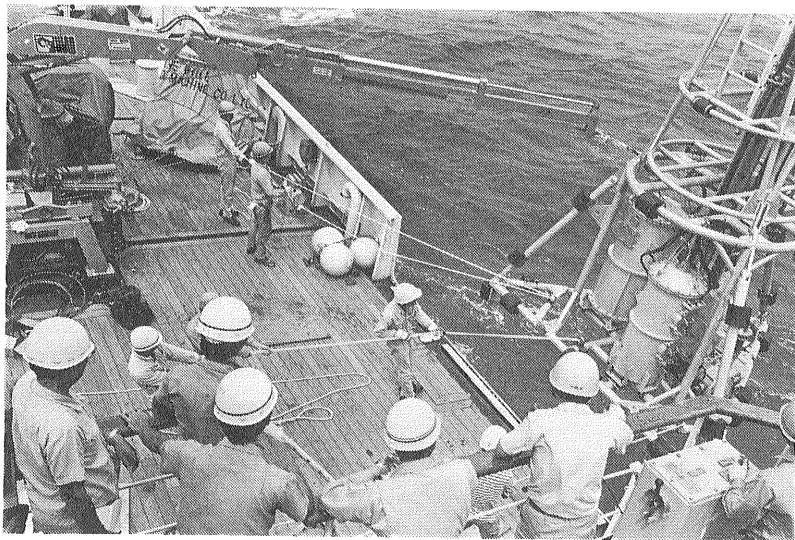


写真 8
MD 500Hを白嶺丸後部甲板左舷から降下させる作業 左端のヒアホコ・クレーンは揚降作業の補助として効果的に使用される 右下隅が試錐機ウインチ用の操作盤

の漏水等である。本機器の使用は通常 船をアンカーせずに行うため 操船上 海底の試錐機の位置を知る必要がある。そのために 試錐機のフレームに 20 kHzのピンガーを取りつけ その発信を舷側海面下に吊り上げた直角2方向のトランスジューサで受信し(写真6) 船橋に設置したブラウン管に試錐機を表示する。また ソナー制御盤には船と試錐機との直線距離の変化がデジタルで時々刻々と表示される仕組みになっている。

錐機に伝わらない。実際の作業では ワイヤロープを水深の3倍でいどくりだした。

また 中間ブイの浮力は その両側で吊りあげるワイヤロープの水中重量にほぼ均衡したものである。ブイの浮力が過度に大きいと 試錐機の沈座を不安定にする。今回の作業では 最高風速13m/秒 波高1.5m 流速

4. 作業方法

MD 500 H は水深数 100 m の海底で掘削を行うため 船をアンカーして作業をすることは困難である。また 浅い海域でも 潮流の影響が少ない海域では 作業時間節約のために できることならアンカーなしに作業を実施したい。したがって われわれが実施した作業方法は MD 300 PT で考案した方法をそのまま踏襲した。この方法はこれまで20数回行われたが 一度も失敗していない。すなわち 海底の試錐機と船との間のワイヤロープに中間ブイ(浮力 105 kg)をつけてワイヤロープを宙ずりにし さらにブイと船との間に重錘(100 kg)をつけて着底させた(第3図)。重錘と船間のワイヤロープは十分にたるませ かつ海面に対して鉛直になるように たえず船を前後左右にこまかく操船した。このようにすると 風波・潮流による船の移動によって ワイヤロープが試錐機本体を引き倒すという事態を避けることができる。船が移動してワイヤロープを引張るとまず海底の重錘がもち上げられるか引きずられる。これはただちに船上の展張計で検出される。そのときすぐにワイヤロープをくり出せば ワイヤロープの緊張は試



写真 9 6 m 長のコアパネルを取りはずす作業

第3表

MD 500 H の使用実績一覧

No.	場 所				月日		時 間				使用状件			操作状況			掘削状況			天 候
	海 域	緯度N	経度E	水深	開始	終了	掘削	全所要	型	ビット	給圧	錐・ブ イ距	最大 線長	貫入 長	コア 長	採取物				
H1	隠岐周辺	35°32.5'	132°53.0'	85	6/26	1024	1247	43	143	500H	ダイア モンド	250	30,50	209	600	37	細粒砂 木材	曇	SW 13m/sec 0.7~0.8m 波	
H2	"	35°42.7'	132°47.6'	121	6/26	1603	1730	42.5	87	"	メタル	"	40,40	270	600	170	凝灰岩	曇	WSW 10m/sec 1m 波	
H3	"	35°54.1'	132°56.5'	119	6/28	0829	1020	42	111	"	"	"	40,40	350	620	120	凝灰質 砂岩	曇	SSE 6m/sec 1.5~2m 波	
H4-1	"	35°45.6'	132°59.6'	81	6/28	1315	1421	18	66	"	"	"	30,30		240	—	—	曇	NNW 7m/sec 1m 波	
H4-2	"	35°45.3'	132°59.7'	81	6/28	1611	1729	16	78	"	ダイア モンド	"	30,30	370	340	—	円礫	曇	N 3m/sec 0.5m 波	
H5	"	36°25.7'	133°19.4'	242	6/29	1056	1335	45	159	"	メタル	"	50,50	590	600	291	黒色火山 岩質砂岩	曇	E 5m/sec 1m 波	
H6	"	36°18.4'	133°25.1'	116	6/29	1743	1915	45	92	"	"	"	40,40	360	580	—	円礫	曇	W 9m/sec 0.8m 波	
M5	隠岐海嶺	36°47.6'	134°32.4'	347	6/30	1004	1148	20	104	300 PT	ダイア モンド	"	50,50	610	100	9	溶結凝 灰岩	曇	SSE 10m/sec 1m 波	
H7	"	36°49.0'	134°34.9'	332	6/30	1349	1622	43	153	503H	ダイア モンド	"	50,50	650	600	—	—	曇	WNW 7m/sec 1m 波	
H8	北隠岐堆	38°03.1'	134°07.7'	375	7/ 1	0931	1133	6	122	"	"	"	50,50	680	46	—	礫5cm	曇	SSW 3m/sec 0.5m 波	
H9	"	37°44.2'	133°45.0'	490	7/ 1	1529	1708	数10分	99	"	"	"	50,50	810	239	—	砂クズ	曇	WNW 7m/sec 1m 波	
H10	西津軽沖	40°28.8'	139°40.8'	148	7/ 2	1645	1828	44	103	"	メタル	"	40,40	350	401	70	頁 岩	曇	SSW 3m/sec 0.5m 波	

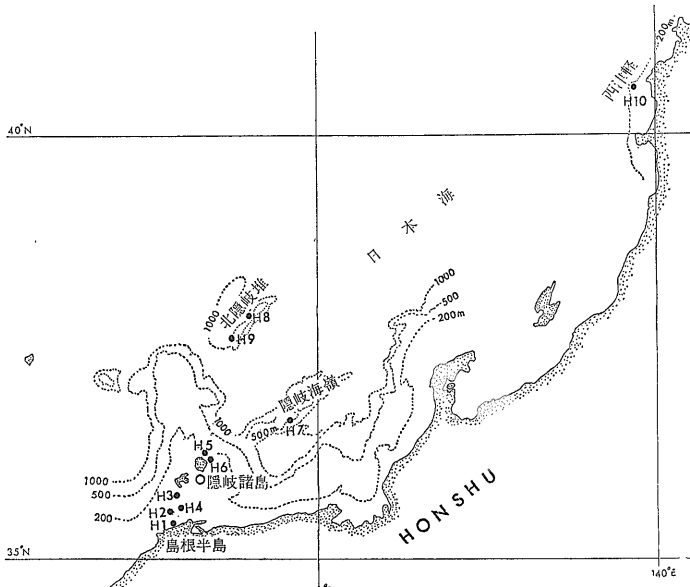
(注) (53年6月下旬—7月上旬 隠岐諸島周辺及び西津軽沖で実施。 表中 M5 だけ MD 300 PT を使用)

約 1.5 ノットの海況でも この方法により海底掘削を行
い 成功した。

5. 掘 削 結 果

MD 500 H は 3 月下旬 耐圧・性能テストを四日間
紀伊半島勝浦沖と駿河湾で実施し ほぼ仕様通りの結果
を得た。しかし 半固結粘土層の貫通に関しては十分
でなく これはその後 メタルチップビットの使用 送
水量のアップ (15 l/分 → 28 l/分) および掘進速度を若
干おとすこと等で解決した。

本年 6 月から 7 月にかけて 地質調査所は隠岐諸島周
辺海域の海底地質調査に従事したが その航海後半の 10
日間 隠岐周辺大陸棚・大陸斜面上部および隠岐海嶺・
北隠岐堆 さらに西津軽沖で本機器及び MD 300 PT を
使用し岩石コアを採取した。掘削地点ならびに掘削作
業結果を それぞれ第 4 図および第 3 表に示す。これ
らの諸地点は 昨年および今回の音波探査結果と同地点
における底質サンプリング結果を考慮して 選定された
ものである。すなわち これらの地点は海底地質図作
成上岩石サンプリングが必要な地点であり 岩盤がうす



第4図
海底掘削位置図

く表層堆積物に覆われているとみなされる場所である。これらの場所の水深は 81~490 m であった。

上記場所の試錐作業を通じて 掘削時間は45分 引抜き時間は3分 給圧力は 250 kg にそれぞれ設定した。

これらの作業を通じて 全ストローク掘進したのは H1 H2 H3 H5 H7 の5地点であり これにほぼ近いのが H6 である。 そのうち H2 H3 H5 でそれぞれ 170 cm 120cm および 291 cm の凝灰岩・凝灰質砂岩のコアを採取した(写真10)。 H7 は表層堆積物が 6m 以上で コアバレルが岩盤に達しなかったと推定される。 H1 は海底で木材を削孔し 木材がコアづまりをおこしたまま全ストローク掘進した珍しいケースである。 H6 は砂礫層を掘進し バレル内の円礫がジャーミングをおこした例である。

H10 では 70 cm の新第三紀頁岩コアを採取したが掘進長が 401 cm にとどまったのは 表層の礫層の貫通に掘削時間を浪費したためと 制御盤の情報からうかがうことができる。

H4₁₋₂ H8 および H9 の場合は いずれも表層が礫層ないし砂礫層であり 礫がバレル中でジャーミングをおこし モータが過負荷状態になって掘進が停止したと推定される。

以上を通じて MD 500 H の岩石コア採取の成功率は 40% (10地点中 4 地点) で 最初の作業としては一応の成果と思われる。 コア採取長の合計は 651 cm であった。

試錐作業 1 回の所要時間(試錐機を降下し揚収するまで)は フルストローク作動の場合 1 時間27分から 2 時間39分 通常 1 時間半ないし 2 時間でいである。したがって バッテリー充電時間を考慮しても 1 日数回の試錐作業が可能である。

6. 結 論

以上の結果からみて MD 500 H は実用に十分堪え得る試錐機であると判断される。 今後 本機器の特徴を生かして 今回よりさらに効果的に使用するには 試錐地点の選定を入念に行い その場所の事前調査を十分に行う必要があろう。 今回の作業を通じて コアが採取できなかった原因の多くは 掘削地点の表層堆積物が砂礫層であったことにある。 できれば 砂礫層を避けるのが賢明である。 それには 今回行った 3.5 kHz サブボトムプロファイラによる岩盤伏在深度の測定のほかに サイドスキャンソナーによる海底表面の詳細な調査が望ましい。 さらに 試錐地点における水中カメラ・テレ

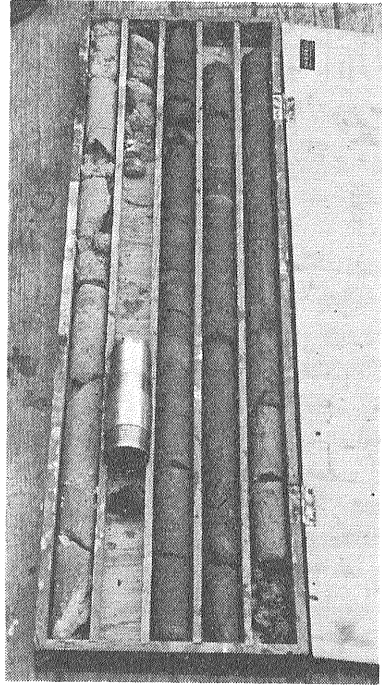


写真10 H5 (水深 242 m) で採取した長さ 291 cm の岩石コア (右側 3 列) 黒色粗粒凝灰質砂岩 (中新統?) 左の 1 列は H3 (水深 119 m) で採取された長さ 120 cm の灰白色凝灰岩

ビによる海底観察や 表層のコアリングもまた 掘削時間・給圧力・給進力の設定およびピットの選択に大いに役立つ。

ともあれ 本機器開発の結果 海底岩石サンプリング可能範囲がこれまでより著しく増大した。 今後 地質調査所は調査航海において 本機器と従来の MD300PT を併用しながら海底岩石採取を実施し 海底地質図の精度を高めていくであろう。

謝 辞： 本機器の企画・製作を通じて努力された金属鉱業事業関係各位 技術的検討に参加された深海底鉱物資源開発協会・日本海事興業関係各位 海上での作業を通じて協力された白嶺丸船長奥村英明氏以下乗組員一同 以上の諸氏に深甚の謝意を表します。

なお 船上における機器の整備・運転に鉱研試錐工業磯石坂了・紫尾和文・鈴木宏治・日本油脂磯村上英幸 試錐位置の選定に地質調査所玉木賢策・村上文敏・小野寺公児 以上諸氏の手をわずらわしたことを付記します。

追 記： MD 500 H は本掘削作業終了後 7 月下旬から鉄道建設公社に貸与され 津軽海峡の青函トンネル掘削予定線付近で海底試錐に使用され 40 数地点で岩石コアを採取したと聞き及んでいる。