

汚染底質調査のために開発した採泥器

青木市太郎(技術部) 木下泰正(海洋地質部)

はじめに

汚染底質公害という「田子の浦のパルプヘドロ」「水俣の水銀ヘドロ」というように新聞誌上を賑わしたものであった。このような産業活動にともなう産業廃棄物による底質汚染のほか都市からの生活排水による汚染が沿岸生態環境に対して重大な損害を与えてきた。その端的な例として瀬戸内海や東京湾の慢性的な赤潮発生による養殖漁業に対する被害が上げられる。

このような水質および底質汚染に対応するためにその環境調査や模型実験によるシュミレーションが数多く行われてきた。水質汚染に対しては水質基準が設定されその分析法も確立している。しかし底質についてはその基準はおろかその調査および試料分析法も確立していないのが現状である。そのため底質汚染の実態はほとんど明らかにされていない。そこで現在底質汚染が進行しつつあるとみられる瀬戸内海東部海域において系統的な汚染底質の調査技術の確立を目的として調査研究が国立機関公害防止等試験研究として昭和49～51年度に海洋地質部において行った。この研究において開発した採泥器について紹介する。

1 採泥法

海洋地質調査で一般的に用いられる採泥法には

- 1) ドレッジ(引っかけ取り)
- 2) グラブ(つかみ取り)
- 3) 柱状採泥

の3通りの方法がある。概念的にはドレッジが線状に底質試料を採取し柱状採泥が垂直下方の試料を採取するものとする。グラブ式採泥器は点状に試料採取を行うものといえる。

1-1) ドレッジ (dredge)

ドレッジは海底表層付近の底質試料を海底面に沿って線状に採取する。ドレッジは一端が試料採取のために口を開きその開口側にけん引用のチェーンまたはワイヤーが取り付けられた円筒または角筒からなっている。使用目的に応じて側板を網目にしたり閉端部にチェーンバッグをつけたり種類形状寸法は多種多様である。使用法も簡単な上に簡単な巻き上げ設

備があれば小型船からでも使用でき粘土から岩石にいたるすべての底質採取に利用できるため10年ほど前のわが国の海洋地質調査はドレッジ万能であった。しかし汚染底質調査や堆積学的研究のために採取試料の乱れが著しく採取地点の位置が正確にはわからないという欠点がある。現在では海洋地質調査のための岩盤試料採取に用いられているだけである。

1-2) グラブ式採泥器 (grab sampler)

グラブ式採泥器とは海底面上の1定点を中心としてその周囲の底質を掴み取るものである。この種のサンプラーの特徴として採取点の位置を比較的高い精度で求められること定量的に試料が採取できる。調査所では堆積物一般の調査にはスミス・マッキンタイヤーグラブが深海マンガンノジュール調査にはオケヤングラブ式採泥器が用いられている。汚染底質調査には採泥地点の海底状況を把握するためにスミスマッキンタイヤーグラブに海底カメラを取り付けて用いている(実用新案申請中)。汚染底質調査で問題となる液相状堆積物(ヘドロ)を乱さないで採取するために不攪乱採泥器を開発(実用新案申請中)した。

1-3) 柱状採泥器 (corer)

堆積物の柱状試料には堆積物の堆積史やその中に含まれる生物遺骸群集の組成変化生態環境の変遷を示す記録が残されているため地質学や古生物学などの研究に欠かせないものである。汚染底質の調査研究には本来の海湾の自然状態における底質中の重金属や有機物の基準値を求める必要がある。そのためには不攪乱柱状試料が必要である。

柱状採泥器とは細長い採泥管パイプを堆積層中に貫入し堆積物をパイプ中に採取するものである。機能としてはパイプを堆積層中に貫入させること堆積物をパイプ中に採取すること採取した底質を落下させないことの3つの機能の組合せである。調査所で用いている重力式柱状採泥器は調査所で試作したものである。貫入機能は自由落下と採泥器の重力による貫入抵抗の削減のためにピストンを用いさらにコアラーの先端に工具鋼によるカッターを取付けてある。

採取底質試料を防失しないための コアリテーナとして 多段式の防失装置を開発した。汚染底質の研究においては 採取された底質の柱状試料の乱れが 大きな問題となるので ピストンは現在使用していない。

2 調査所で開発・改良した採泥器

2-1 海底カメラ付スミス・マッキンタイヤーグラブ

(写真1 第1図)

本採泥器は海底に着底した時に 2本の突出した着底板15が突き上げられ パネ11を固定していたフック17がはずれることによって パネ11が作動し パネの圧縮力を採泥函4に働かせ 底質中に押しこむ。採泥器を巻上げ 離底する時に 採泥函4の柄19についたワイヤーが引っぱられることによって函が閉じられる。操作が簡単で 確実に 砂や小砂利も採取することができるので 地質調査所の通常の採泥器として利用している。

大陸棚および深海(水深4000mまで)の採泥時には 50kgの重錘29を桿26に釣合がとれるように2個とりつけて用いてきた。その他 安定板28を取付けて 着底時の採泥器の姿勢が安定するよう改造した。

汚染底質調査を含めて 堆積学的な研究を行う場合 採泥した試料が 海底にどのような状態にあったかの産状を知ることは 極めて重要である。

従来は 海底底質を採取する前に まず海上の調査船から海底カメラをワイヤーロープに吊るして海中を降下させ 海底を撮影し 次に 採泥器を海中に降下させ 撮影した場所付近の底質を採取することが行われてきたが この観測作業中 調査船は定点に停止するものでなく 海底の写真撮影後 採泥器を降下させて底質試料を採取する間に 海流や風によって 1時間に数百m以上動かされることは常にある。したがって 海底カメラ

による撮影場所の底質が採取されることは まれであり このようにして得られた海底写真に基づいて底質の産状を決定することはできない。また 調査船上で 海底写真撮影作業と採泥作業とを別々に行うため 作業時間が長時間におよび 一日にわずかな調査作業しかできなかった。そこで 採泥器に海底カメラを取りつけたものを考案した。

本装置(実用新案申請中)では 撮影場所の底質採取が可能となり かつ 写真撮影と採泥が同時に行われるため 調査作業の能率が向上した。使用法は次の通りである。

海上の調査船から装置本体1を ワイヤー27によって吊るして海中に降下させる。海中に降下された装置本体1は 海底に達すると まずパイロット重錘(コンパス付き)25が海底に着地して フラッシュ22 カメラ21のスイッチが入り 海底の写真が撮影される 次に 採泥器着地板15が着地して採泥される。この装置によって採泥直前の海底写真を撮影することができる。

駿河湾 st194(水深770m)の海底写真と(写真2) そ

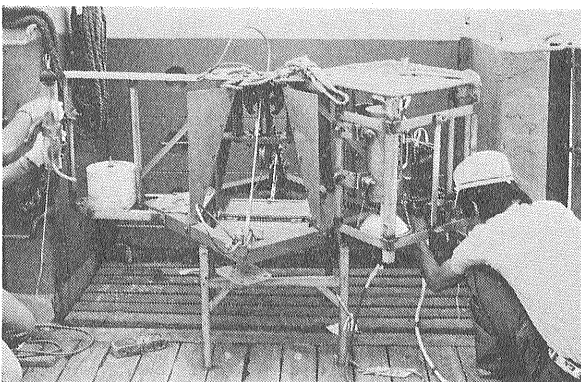
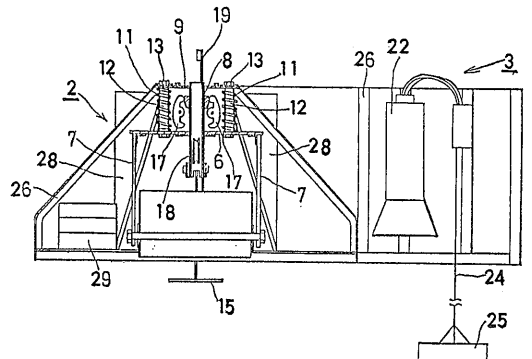
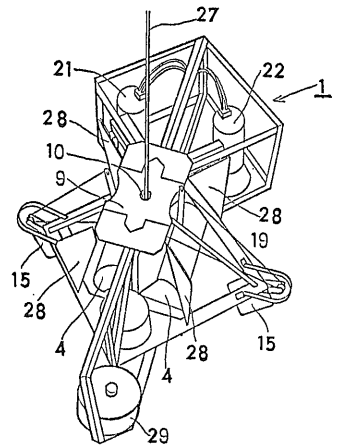


写真1 海底カメラ付 スミス・マッキンタイヤー グラブ



第1図 海底カメラ付 スミス・マッキンタイヤーグラブ

の地点の採泥試料（写真3）である。海底では礫の分布は少なく泥のパイプが多数見られるが採泥した試料では表面の泥が流されて礫が表面に顔を出している。この様な場合これまでの調査では表面の泥の分布が無視されてきた。

この採泥器の操作要領について説明する。この採泥器本体は50kg以下+海底カメラとフラッシュの重量40kg+釣合用の重錘35kg=125kgである。釣合用の重錘を多少軽くするのは海底カメラとフラッシュの水中浮力を考慮するためである。したがってこの採泥器を用いるウインチとしては500kg以上の巻き上げ力をもつウインチでワイヤーの径は6~8mmのものを用いる。

- ① ワイヤロープによってこのグラブサンプラーを吊り上げてから舷側で安全ピンをはずす。この確認は必ず声を出して行いウインチ係りは確認復唱する。
- ② ワイヤの繰り出し速度は0.6~0.8m/secとするが船が波上り波下りする場合にワイヤーがたるむ場合がある。ワイヤーがたるみ突然張力がかかると途中で採泥函が閉じる事がある。この採泥の成功はワイヤーを絶対にたるませないことである。
- ③ ワイヤの繰り出し長が海底より10m上に達したら繰り出し速度をおそくしワイヤーが垂直になるように操船する。

④ ワイヤが垂直になったら0.6m/sec以下でワイヤーを繰り出していき、着底が確認されたら直ちに巻き上げを開始する。ワイヤーを繰り出しすぎると枠26にワイヤーがからまり巻き上げ時に事故の原因となる。

⑤ ワイヤ巻き上げは1m/sec以下で行う事が望しい。あまり速くすると上蓋の隙間から海水が流入し採泥試料の表層部を流し出してしまうことがある。採泥器が離底するまで低速で巻き上げるのは全ての採泥方法において共通である。

⑥ 採取試料は不攪乱状態にあるから中央のしきり板を入れた後に表面観察を行う。次にサンプリングは肉厚の薄い(2mm以下)直径6cm以上の塩化ビニール管を貫入して行う。調査所では肉厚1mmの角パイプ(5×6cm長さ20cm)を用いている。この試料を堆積構造観察のための軟X線写真撮影用の試料としている。この不攪乱採泥試料を分析するまで上下混合することなく低温保存する。

⑦ 採泥函中の残りの試料は5mmの網目のフルイもしくは洗い箱で水洗して粗粒物(貝殻・礫など)の観察を行う。

2-2 不攪乱浮泥採泥器 (写真4 第2図)

スミス・マッキンタイヤーグラブでは採泥できない。含水率80%以上の浮泥(ヘドロ)および底層水を一連の不攪乱試料として採取するための不攪乱浮泥採泥器を開発

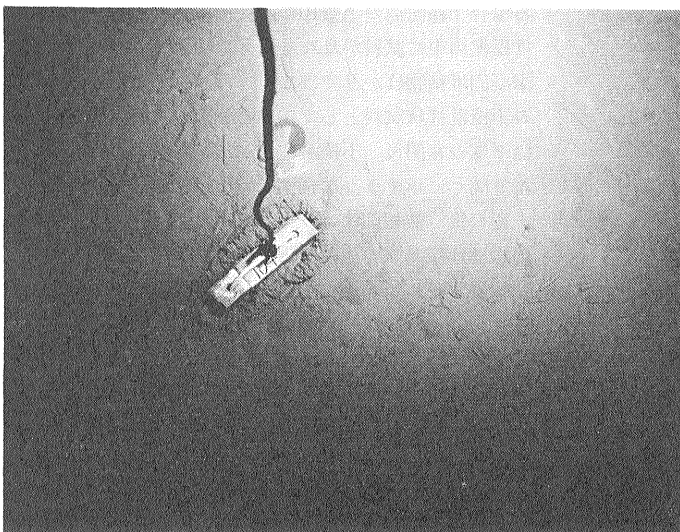
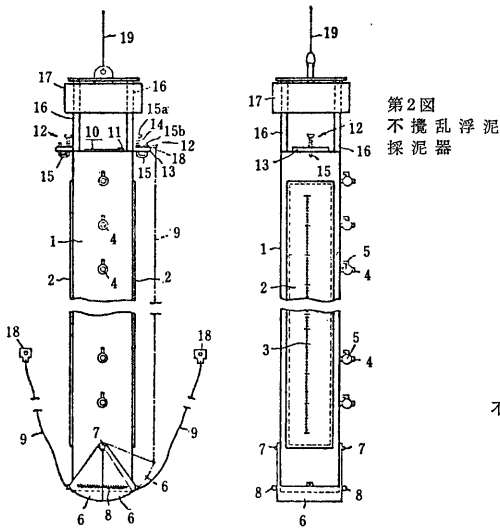


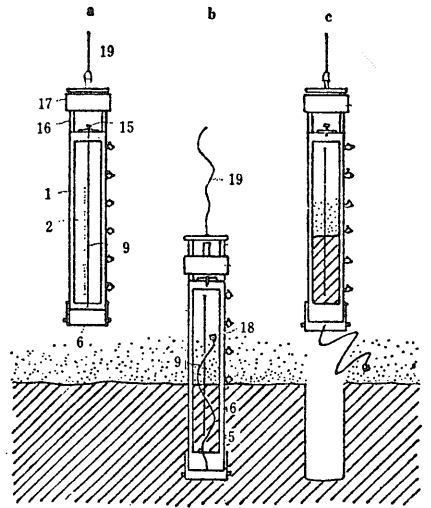
写真2 駿河湾 st 194 の海底 礫と泥管が見られる (水深 770m)



写真3 駿河湾 st 194 (水深 770m) の採泥試料



第3図
不攪乱浮泥採泥器
の使い方



した（出願番号 50-088781）。この浮泥採泥器の両側面には スケールの入った透明アクリル樹脂板を使用し浮泥の堆積状態の観察を可能にした。

この採泥器によって試料採取を行う場合には ワイヤロープ19を上方に引張って その端部係環18を係止金

具15の係止部に係止させることによって 底蓋6を開放状態に保ち 第3図に示すように 試料採取地点においてワイヤロープ19によって 海底へ吊り下げる。この場合 重錘17に吊り下げ ロープ19が連結しているため 重錘17は案内棒16の上端に位置している。採泥器が海底に到達すると 第3図bに示すように 採泥器の自重によって採泥筒1の下端が未凝固堆積物中に貫入して 下降を停止する。そうすると重錘が案内棒に沿って下降し 係止金具の頭部15aをスプリング14の力に抗して押下げるため 係止していたワイヤロープの端部係環が外れて 底蓋がスプリング8により閉鎖位置に移動させられ 採泥筒の下端が密閉して 不攪乱柱状試料が採取される。この採泥に際して 採泥筒を下降させる場合 採泥筒の上蓋10の開放によって 海水は通りぬけ採泥筒中に試料が乱れることなく入る。したがって未凝固堆積物ばかりではなく 浮泥および底層水も一連の不攪乱柱状試料として採取される。底蓋による採泥筒下端の密閉後 不攪乱柱状試料を採取した採泥器は 第3図cに示すような状態で船上に引上げられる。船上観察後 液相部はコック5を開けてサンプリングし 固相部は採泥筒の測板に設けた試料取出し口からサンプリングする。

2-3 重力式柱状採泥器（第4図）

汚染底質中の重金属や有機物含有量の基準値決定のための分析試料採取や 音波探査器記録の反射層の同定には 出来るだけ長い不攪乱柱状試料が必要である。これまで 長い柱状試料を採取するためには ピストン式柱状採泥器を用いてきたが この方法では ピストン効

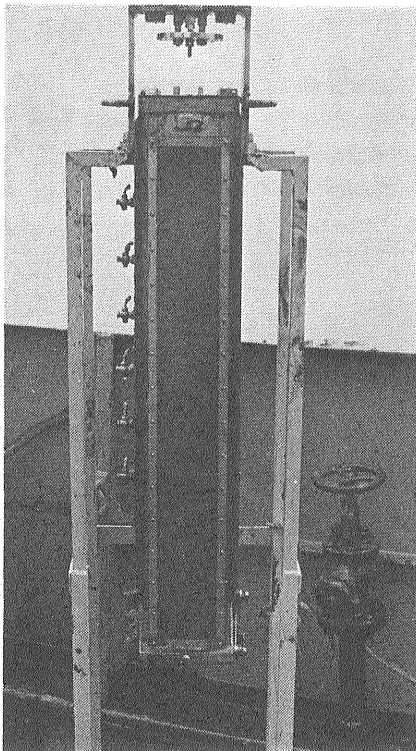


写真4 不攪乱浮泥採泥器

第1表 重力式柱状採泥器仕様

名称	長さ mm	内径 mm	外径 mm	材質
採泥管	L : 6,000	67	Da : 83	アルミニウム引抜管
インナーチューブ	6,000	Db 59	65	アクリル樹脂管
刃先	100	Dd 59	Dc 91	工具鋼

刃先の角度は A 30°

重錘は鉛板 1 枚 30 kg 10枚使用

重錘部の釣下げ金具 E は、本器を使用する上で便利である

果のために 試料の上部が散逸したり 下部層や周辺底質が強制的に吸い込まれる事が多く 不攪乱試料の採取は難しかった。

これまでの重力式柱状採泥の採泥経験から 柱状採泥管に入る試料の長さ(採泥長)は 実際に採泥管が底質中に貫入した長さ(貫入長)より短いのが普通である。

その理由の1つとして 採泥時の堆積物圧縮が考えられたこともある。しかし 現世泥質堆積物の間隙は海水で充填されており また透水性が低いため 非圧縮性であって 体積変化することは少ない。したがって 採泥管が貫入する短時間に堆積物中の間隙水が流失して 塑性圧縮が起こるのではなく 側方流動によって 堆積物が採泥管に入らないので 採泥管の貫入長よりも試料長

が短いものと考えられる。しかし 柱状採泥器による採泥の際 採泥管が海底に貫入することによって 堆積物が多少とも変形することは避けがたい。汚染底質調査研究のために重力式柱状採泥器によって得た底質試料は軟X線写真で堆積構造を観察した結果 不攪乱試料として 取扱ってもよい。

底質試料の変形や攪乱を少なくするためには 採泥器の以下の点を改良することが望しい。

- 1) 採泥管の肉厚を薄くすること
- 2) 採泥管先端部の刃先の角度を鋭くすること
- 3) 採泥管の落下速度を大きくすること

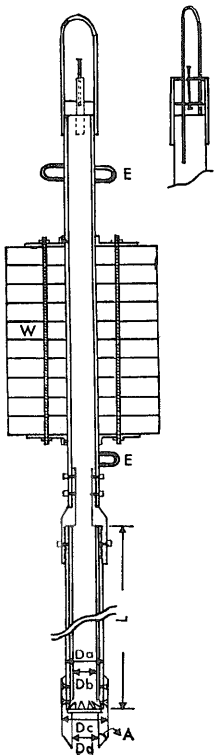
が必要である。

調査所で用いている 青木が試作した重力式柱状採泥器の仕様は第4図 第1表の通りである。柱状採泥器の望ましい仕様としては 内側クリアランス 1.5%以下

$$\left(\text{内側クリアランス} \frac{Dd - Db}{Db} \times 100 = \frac{59 - 59}{59} \times 100 = 0\% \right)$$

$$\left(\text{外側クリアランスが} 3\% \text{以下} \left(\text{外側クリアランス} \frac{DC - Da}{Da} = \frac{91 - 83}{83} \times 100 = 9.6\% \right) \right)$$

刃先の角度は 10度以下となっ



第4図 重力式柱状採泥器

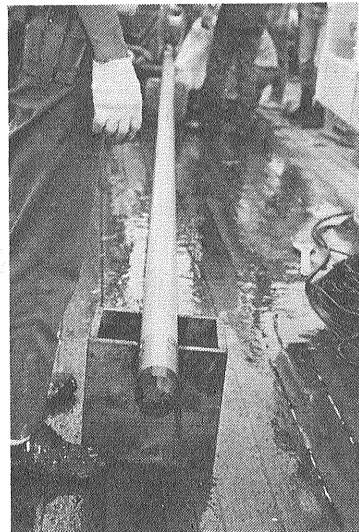
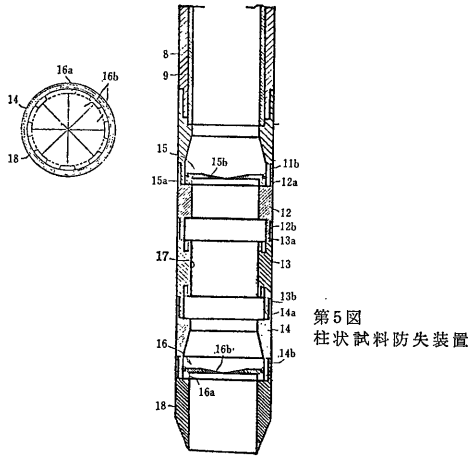


写真5 試料防失装置を付けた柱状採泥器

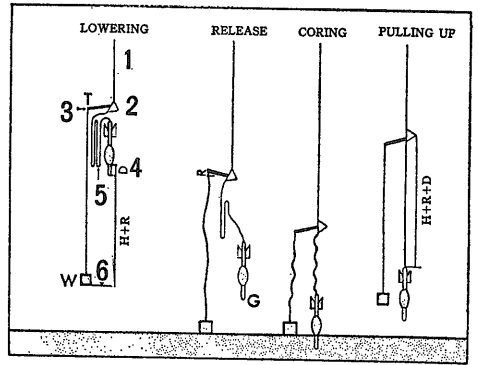


第5図
柱状試料防失装置

ている。

採泥長が貫入長よりも短い第2の理由は 海底から採泥管を引抜く時に 一旦入った試料が抜け出る事が考えられる。とくに 砂質堆積物の場合には海面近くで採取試料が抜け出る事が観察される。この現象は 採泥試料の欠落のみならず 採泥管内での試料の二次移動攪乱を起こすことになる。この欠落防止のために 重力式柱状採泥器の先端部に 試料防失装置(写真5)を取付けることにした。

本装置(出願番号50~173712) (写真6 7 第5図)は 数個の試料防失弁15 16をもったカップリング11 12 13 14と 内面に毛先を上方向に向けてアザラシの革を貼着した数個のカップリングとからなる。従来から用いられているこの種の試料防失装置は 1個の試料防失弁16を組込んだものである。泥質堆積物の場合の防失効果は 比較的良好であるが やや粗粒な砂質堆積物の場



第6図 柱状採泥器の自由落下の機構

1. 吊り下げケーブル
2. 開放器
3. 開放器のウデ
4. 採泥器
5. 自由落下距離に等しい長さのワイヤー
6. 開放器の錘

合には 砂粒が分割弁の間などに挟まって試料防失弁の完全な閉鎖を妨げることになり この不完全な閉鎖によって 試料は流出することになる。

本装置には 多数の試料防失弁を用いているため そのいずれかが完全に閉鎖して試料の流出を防止することになり しかも多段の各防失弁の互いにずれた位置において分割弁の閉鎖が不完全であったとしても 試料がそれらの閉鎖不完全な部分をたどって流出することは少なく 試料の流出は効果的に防止される。また カップリング内面に毛先を上方向に向けて貼着したアザラシの革は 試料の上方への移動に対して何らの抵抗にもならず逆に試料の下方への移動に対しては 大きな抵抗となるこの抵抗が直接試料の保持に有効に作用するばかりでなく 閉鎖不完全な試料防失弁からの試料の流出を抑制することになる。本装置を用いることによって これまで採取不可能であった層厚2mの中粒砂層を 不攪乱試

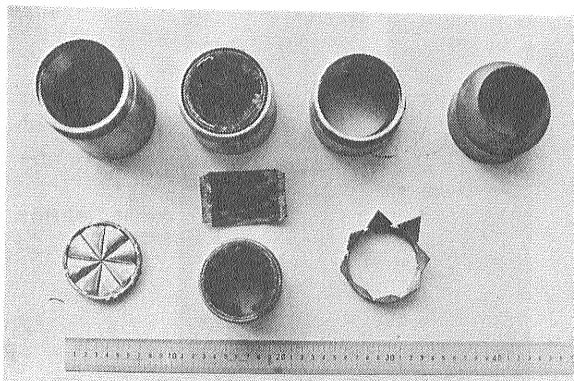


写真6 試料防失装置の各部品

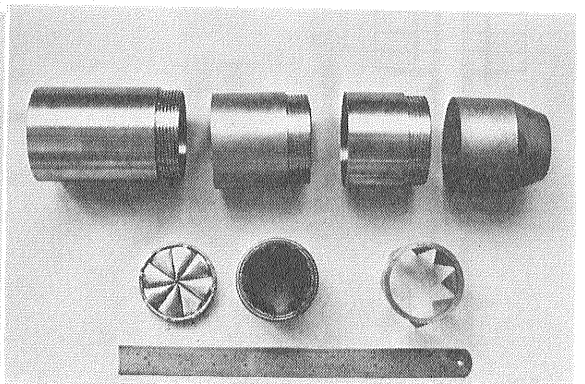
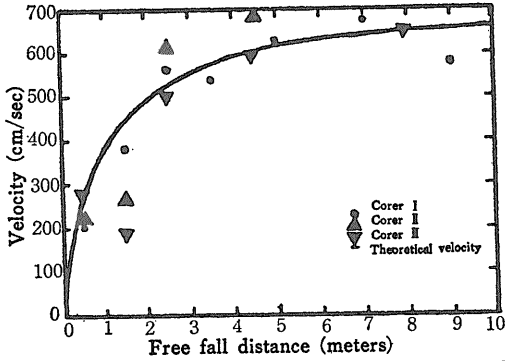


写真7 試料防失装置の組み立て

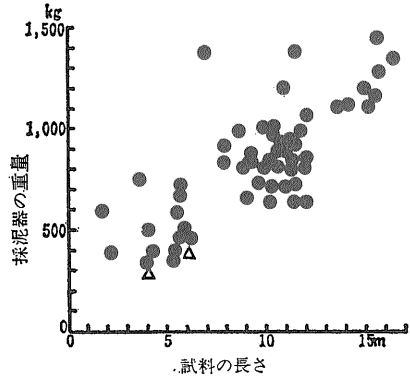


- I Ballaul corer $D=35\text{cm}$ $\rho_c=10\text{g/cm}^3$
 $K=62V^3\text{dyne}$ $A=201\text{cm}^2$ $m=25.4\text{kg}$
- II Alpine corer $D=90\text{cm}$ ρ "
 $K=100V^3\text{dyne}$ $A=201\text{cm}^2$ $m=53.9\text{kg}$
- III US Navocean Hydroplastic $D=245\text{cm}$ $\rho_c=6\text{g/cm}^3$
 $K=105V^3\text{dyne}$ $A=707\text{cm}^2$ $m=49.8\text{kg}$

第7図 落下速度と自由落下との関係 (初速度 $V_0=0$) (BURNS, 1966)

料として採取することができた。この柱状採泥器の使用法について説明する。

重力式柱状採泥器の底質中への貫入力は落下速度による運動エネルギーとその時の採泥器が有する位置のエネルギーによって決定される。したがって落下速度を大きくすると貫入力を大きくすることができるが使用したウインチの巻下し速度は最大 2m/sec でこの速度から得られる運動エネルギーは小さい。そこで位置のエネルギーを増すために採泥器の重量を大きくするとよいが採泥管引抜き時の抵抗力を考慮するとウインチの巻上能力および作業の安全性から採泥器の



第8図 Kullenberg piston corer の重量と試料の長さの関係 (△:青木式採泥器)

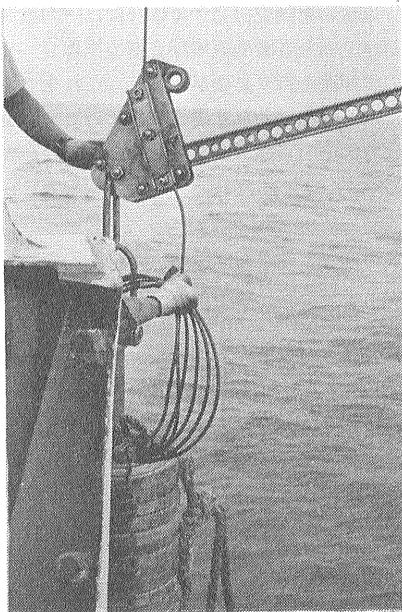


写真8 切離装置(天秤)

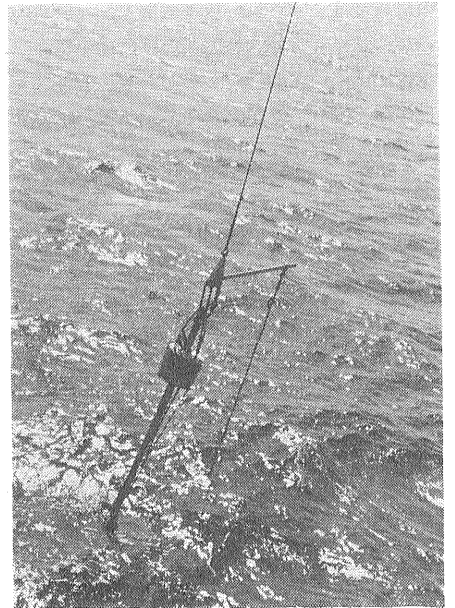


写真9 海底へ降下中の重力式柱状採泥器

全重量を 500kg 以上にすることはできなかった。重量を増さずに安全に採泥作業を行うために これまでの柱状採泥と同様な自由落下方式を用いた (第 6 図)。

吊り下げ状態では 切離装置 T の重錘 W の先端は 採泥器 G の先端から自由落下距離 H と切離装置 R の跳ね上げ距離 R を加えた長さ (H+R) だけ下にある。重錘 W が海底に達すると その重量 W 分だけ軽くなるので 切離装置 T の釣合いが失われ 切離装置の腕が R だけ跳ね上げる。その時 採泥器は切離され自由落下を始める。採泥器は 理想的には H+D だけ落下して停止する。

採泥器の自由落下距離と落下速度との関係については BURNS (1966) が 初速度を零とした場合の関係について明らかにしている。それによると 水中における採泥器の自由落下運動は 水の粘性抵抗によって 等速運動に達する (第 7 図)。採泥器は 3m の自由落下距離で 落下速度は 5m/sec を越え それ以上 落下距離を大きくしても 採泥器の姿勢が不安定になるだけで意味はない。とくに 採泥管が斜めに底質中に貫入した場合は いくら試料が長く採取されても 堆積物の層厚・構造とは関係のないものである。汚染底質調査では 自由落下距離を 3m としている。

位置のエネルギーを大きくする要素としての高さは 自由落下距離で決定されるが もう 1 つの要素である採泥器重量と堆積物の採泥長との関係については KULLENBERG (1955) が求めている (第 8 図)。それによると 6m の底質柱状試料を得るためには 採泥器の重量は最低 400 kg 必要である。本調査研究に用いた採泥器の総重量は 400 kg 以下である。底質の状態にもよるが 試作した柱状採泥器の採泥効率はよい。この柱状採泥に用いた船は 「わかしお」(360 トン) である。白嶺丸(1800 トン) のような大型船で 強力なウインチを装備する船では 10m 以上の柱状採泥も容易であろう。

そうすると 重力式柱状採泥器を 簡易試錘機として 代用することもできる。

船上での操作は 次の手順で行う。

柱状採泥器は長い (8m) ので 甲板上で横にして組み立てる。これをチェーン・ブロックで水平に持ち上げ 船外に出し 垂直に吊り下げる。それに切離装置 (天秤) (写真 8) を取りつけ 重錘 W を吊り下げる。

- 1 重錘 W により 天秤が水平に張ったことを確めて 安全ピンを外す (写真 9)。
- 2 巻下し速度は 1m/sec 程度で行う。急激な巻下

し速度の変化を行うと そのショックで 切離装置から採泥器はずれることがある。

- 3 ワイヤロープ巻下し時から できるかぎり ワイヤロープが鉛直に立つように操船する。
- 4 切離装置の重り W が 海底より約 10m 上に達したら 巻下し速度をおそくして ワイヤロープが垂直になるよう操船する。
- 5 着底が確認できたら 巻下しを直ちに停止し 巻上げを開始する。着底後 時間が経過すると 船が漂流し ワイヤロープ傾角が増大したり または土圧や粘着力によって採泥管がぬけなくなる場合がある。
- 6 船上への回収は 天秤を外し 本体を横だきにして取り込む。
- 7 試料の船上処理は グラブ採泥試料に準じる。

おわりに

大阪湾のように 比較的堆積速度が速いと考えられている海域でも その堆積速度は年間 3mm を越えるところは少ない。また 場所によっては 無堆積 さらには 浸食海域もあることが 調査の結果 明らかとなっている。したがって ドレッジのように 海底下数 10 cm 内の底質を混合して採取した試料では 時としては江戸時代の底質試料を分析したことにもなる。汚染底質にかぎらず 堆積物を調査研究する場合には 調査海域の堆積物の層厚分布を音響的地層探査器で把握し その分布に対応して採泥を行う必要がある。これまでの汚染底質調査には 堆積学的な基礎知識が欠いたものが多く 一向に底質汚染の実態が明らかにならないのが現状である。

汚染底質調査研究のための採泥には 底質をできるだけ海底にあるがままの状態 で採泥することが必要である。もし そのような採泥が難しければ 海底での底質の産状を 何等かの方法で観察することを 可能にしなければならない。このような目的から 当所では 採泥器や採泥直前の海底写真撮影装置などの開発に努めている。これらの開発した機器は いずれも 「わかしお」において 調査に利用したものである。したがって ウインチさえ装備している船ならば タグボート 漁船を問わず使用できるものである。