

## トランスポンダの深海係留の運用上の経験

門馬 大和\*1 堀田 宏\*1

深海域で、高精度の音響航法を行うためのトランスポンダの係留を行った。これらの係留は海面にブイを出さない水没ブイ方式で行った。この方式は従来の表面ブイ方式の係留と異なり、海面付近で風波等の影響を受けにくい利点があり、その反面、係留系が海面から隔離されているので、系の構成要素の選定や遠隔切離装置の信頼性、設置および回収方法などが問題となる。

本報告では1977年から1979年まで行った合計15点の係留について、設計上の考え方、設置、回収方法、係留系の落下、浮上速度および着底時のオーバーシュートの実測を行った結果をまとめた。

### Operational Experiences in Subsurface Moorings for the Transponder

Hiroyasu Momma\*2, Hiroshi Hotta\*2

Subsurface moorings for the transponder are fundamental techniques for precise acoustic deep ocean navigation. These subsurface moorings have no surface buoy, and are advantageous since there is very little effect from surface wind, waves, and currents.

On the other hand, since the mooring system is far from the sea surface, care must be taken in the design of the system, reliability of the release mechanism, and procedure for launch and recovery operations.

This type of mooring was introduced in Japan a few years ago, but there has been a great deal of experience in the Buoy Project Team at the Woods Hole Oceanographic Institution for over ten years.

Operational experience with 15 moorings, from 1977 to 1979, are described in this report. Special emphasis was placed on the design, launch and recovery operation modified for the available deck equipment, and measurements of motion parameters of the mooring system during descent and ascent.

---

\*1 海洋利用技術部

\*2 Marine exploitation technology department

## 1. 序 論

本報告は1977年から1979年にかけて浅海域および深海域の合計15点で行ったトランスポンダの係留結果を述べたものである。

係留はすべて海面にブイを出さない水没ブイ方式であった。その主な目的は水深約6,000 mの海底に複数個のトランスポンダを設置し、船と曳航体との位置を求めながら深海底を光学的および音響的に調査することである。

このようなトランスポンダの係留は、海底地震計や流速計などの深海係留と共通の技術的な課題をもっている。すなわち、係留系の設置、回収方法、強度、材質、機器の信頼性の向上等に関する問題である。

わが国では深海係留の実績が少く、これらの技術的課題は個々の研究機関で小規模にとり組まれているのが現状である。一方、米国では、ウッズホール海洋研究所(WHOI)にブイプロジェクトチームがあり、組織的な研究が行われ、過去10年以上にわたる技術の蓄積がある。その成果は報告<sup>1)</sup>されているので、これを読めば一通りの知識を身につけることができる。

WHOIの資料をもとに、1977年に第1回の深海係留を水深6,100 mの海域で行ったが、回収に失敗した。その直接の原因は、資料上の知識に技術が伴わなかったことに問題があり、技術の裏付けが必要であることを痛感した。従来ない技術を導入する場合には、デッドコピーすることは確かに一つの有力な方法である。しかし、係留に関して、船の装備や材料の選択などの制約があり、目的によっては変更の余地があると思われる。

そこで、1978年以後、次の方針に従って係留問題をテーマとしてとり上げた。

(1) 係留系の設計は、実験を行いながら改良する

(2) 設置および回収方法は、船の実状に合わせ

た方法で行う

(3) データの少い落下および浮上時の挙動を実験によって把握する

(4) 船上作業を乗組員にまかせず、みずからの手で行う

以上の観点に立って、これまでの係留結果を年次的に述べ、次に係留系の落下および浮上時の挙動について述べ、最後に得られた知見を要約した。

これらの海洋実験は、多くの方々のご協力のもとに行った。とりわけ、中西俊之研究副主幹、大塚 清および土屋利雄の両研究員のご尽力がなくてはできなかった。また、底曳によるトランスポンダの回収には東海大学佐藤孫七教授に回収方法と回収作業のご懇切なるご指導をいただいた。ここに合わせて深く感謝の意を表する。

トランスポンダの係留および結果の解析については、当センタの研究補助員であった八木利弘君ならびに実習生の原田 仁、柴田 桂の両君のご協力に負うところ、きわめて大であったことを記し、感謝する。

## 2. 係留実験の概要

表1は1977～79年までに行った15点の係留の結果をまとめて示す。この表では水深1,000 m以上での係留は8点で、他の7点は予備実験的なものである。

これらは設置に先立って、次のような試験と構成要素の選択を行った。

(1) トランスポンダは設置前に船上で作動テストを行い、次に係留深度で同様の作動テストを行った。

(2) ガラス球ブイは係留深度で耐圧試験を行った。

(3) すべての構成要素の耐圧性能は600 kg/cm<sup>2</sup>以上である。

(4) 浮力材にはガラス球ブイを使用した<sup>4)</sup>。

### 3. 1977年の係留

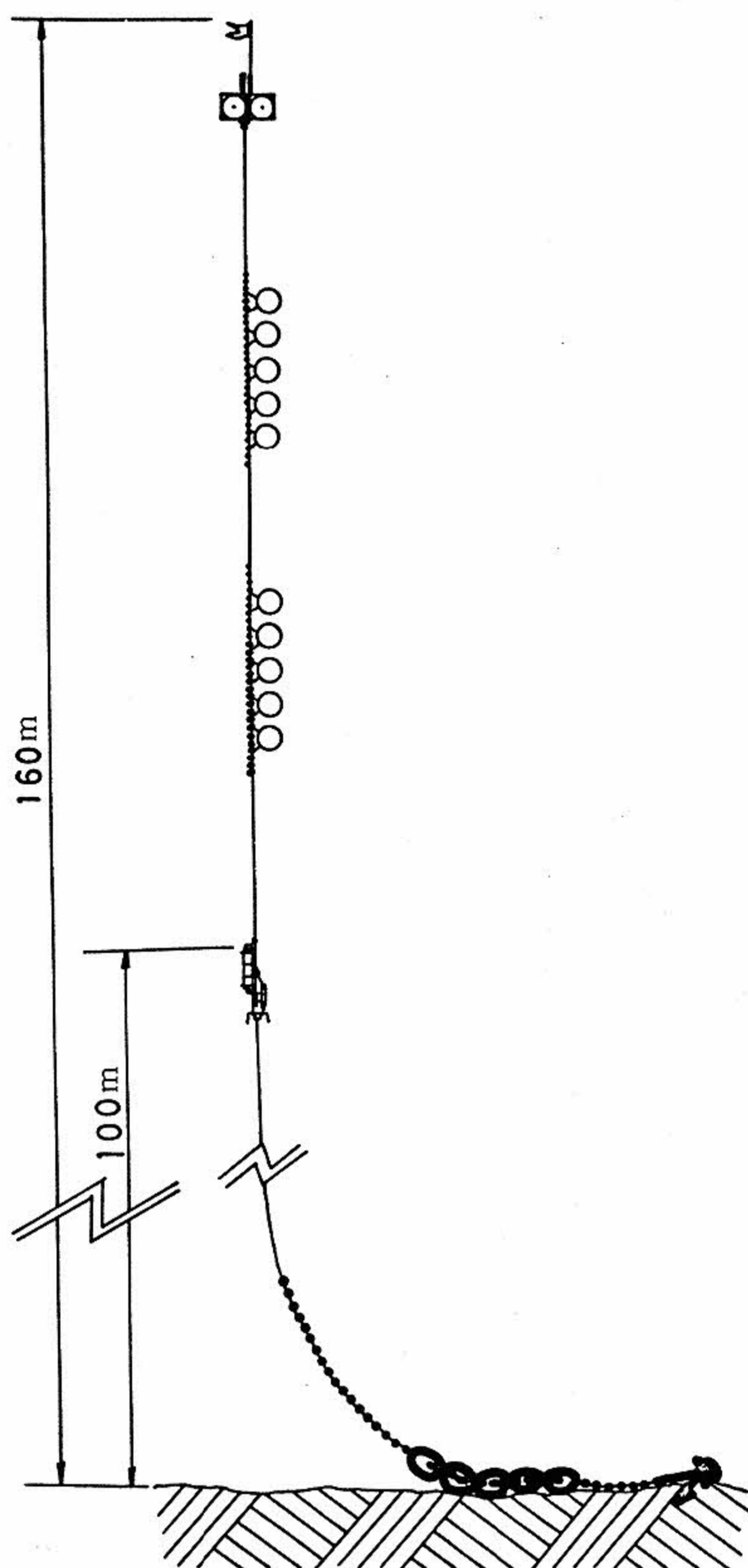
表1中の係留No.1に相当し、1977年6月、B海域（北西太平洋の29°58.5' N, 146°49.1' Eの地点）で音響マーカースとして設置されたものである。

係留系の構成要素および設置手順等の詳細は、既に報告<sup>2,3)</sup>してある。図1には係留系の略図を示す。

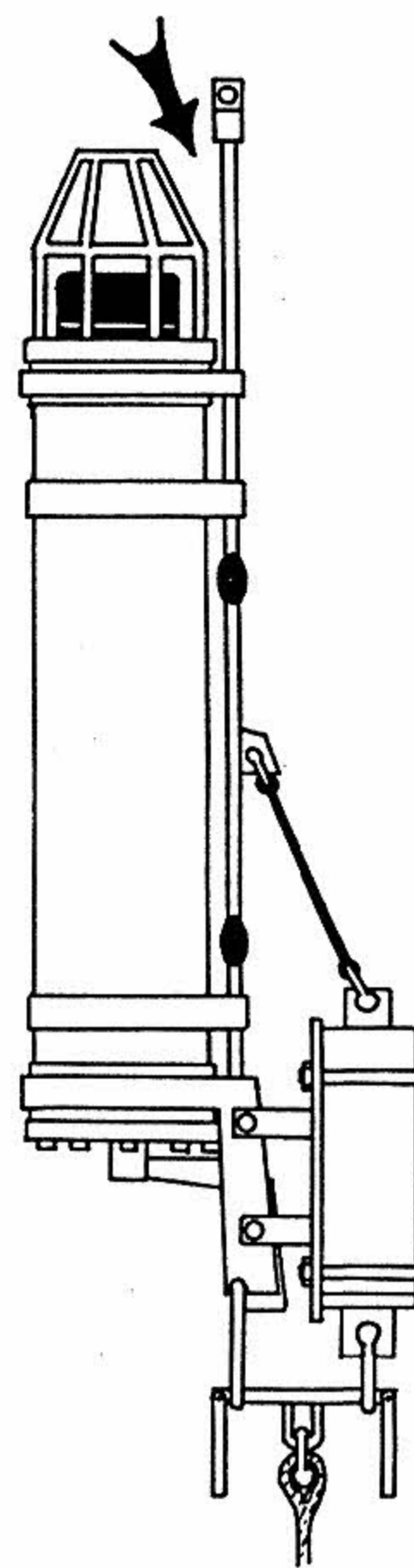
す。

トランスポンダはAMF製 Model 322, 火薬式切離装置付を使用した。バックアップとしてタイマ式切離装置を並列に接続した。

この係留系は回収することができなかった。その原因には、次の点が考えられる。



(1) 全体図  
General construction



(2) トランスポンダとタイマ式切離装置の接続を示す部分拡大図  
Partial magnification showing parallel connection of timed release with AMF transponder.

図1 1977年の係留系  
Mooring system in 1977.

表1 1977～1979年までのトランスポンダ係留結果  
Results of transponder moorings from 1977 to 1979

\* ; 糸の水中重量にはシンカの重量も含まれる,  
Weights of sinker are included in weights of system in water.  
\*\* ; 正味浮力は糸の水中重量からアンカまたはシンカの重量を引いたもの,  
Weights of system in water minus weights of sinker represent net buoyancy.

係留番号 mooring number	設置年月 date of deployment	期 間 duration (日, day)	水 深 depth (m)	結 果 results	糸の全長 total lengths(m)	糸の水中* 重 量 weights in water(kg)	正味浮力** net buoyancy(kg)	備 考 remarks
1	'77年 6 月 Jun. '77	-	6,130	未回収 not recovered	160	140	73	ロープの絡み? rope tangled?
2	'78年 8 月 Aug. '78	7	43	回 収 recovered	8	5	29	
3	"	7	45	"	8	25	30	
4	"	2	40	"	8	52	30	位置修正のため回収 recovered for position change
5	"	4	52	"	8	19	30	
6	'78年10月 Oct. '78	2	1,360	"	80	42	28	位置修正のため回収 recovered for position change
7	"	23	1,362	"	80	74	28	
8	"	127	1,398	底曳による回 収 recovered by bottom trawl	80	35	28	切離装置不作動 release failure
9	"	17	1,577	回 収 recovered	80	44	28	回収時竹筴折れる banboorod was broken in recovery
10	'79年 8 月 Aug. '79	3	91	"	7	42	23	
11	"	3	61	"	7	30	23	
12	"	3	79	"	7	37	23	
13	'79年11月 Nov. '79	3	1,395	"	324	53	27	
14	"	3	1,335	"	130	54	27	設置の際竹筴折れる banboorod was broken in deployment
15	"	3	1,301	"	130	63	27	

- (1) ガラス球ブイの圧壊による浮力不足
- (2) 切離装置の不作動
- (3) シンカロープの絡み

### 3.1 ガラス球ブイの圧壊による浮力不足

ガラス球ブイとシンカとを除いたトランスポンダやチェーン等の合計重量は、約80kgで、1個あたり12kgの浮力をもつガラス球が最低8個あれば浮上可能である。

係留系には合計13個のガラス球が使用されていたので、約76kgの余剰浮力をもっている。トランスポンダの落下中、 hidroホンにはガラス球の圧壊音はキャッチされなかった。また、ガラス球ブイの浮力が十分ならば、トランスポンダの海底からの高さは約100mとなるが、落下中のトランスポンダと船との斜距離変化と投入地点の水深(6.130m)から求めたトランスポンダの深度は約6.000mとなった。

以上の点からガラス球の圧壊による浮力不足の可能性は少ないと考えられる。

### 3.2 切離装置の不作動

トランスポンダは音響指令式切離装置を持ち、切離装置のレバーが外れると、毎秒2回のピンガ音が1分間発信される。切離指令後、船上で、このピンガ音が受信された。したがって、2連の切離装置のうち、少なくとも、一方は確実に作動したはずである。

### 3.3 シンカロープの絡み

ロープは係留系の落下中やシンカの着底時のオーバーシュートによって絡む可能性がある。

このときの設置方法<sup>2)</sup>は変則的なブイ先方式であった。すなわち、始めに先端ブイを投入し、次にシンカを投下し、シンカロープを出し切ったのち、トランスポンダを投入した。したがって、ブイ、トランスポンダおよびシンカが一直線になるまでの間にロープが絡んだ恐れがある。また、斜距離の時間変化から求めた落下速度は約2mとなったが、この速度のオーバーシュートは無視できない大きさであることが予想される。

1年後の1978年7月、同海域でトランスポンダに質問信号を送ったところ応答が得られたが、2年半後の1979年11月には応答が得られなかった。

今後、何らかの方法で回収し、その原因を明

らかにしたい。

## 4. 1978年の係留

1978年以降の係留にはORE製Model 620 DRトランスポンダを使用した。これは音響指令式の切離装置をもっているが、火薬の代わりに電磁ソレノイドを用いているので、信頼性が向上した。

1977年の係留の音響切離装置のバックアップとして、タイマ式を並列に接続した。しかし、タイマ式切離装置は低温高圧下の使用実績が乏しく、火薬の性能にバラツキがあるため、信頼性が不十分であった。また、これをトランスポンダと並列にとりつけると突出部ができるほか、落下姿勢が不安定になる恐れがあり、ロープが絡む原因となる。

以上の理由で、バックアップとしてのタイマ式切離装置の採用は今後の課題とした。

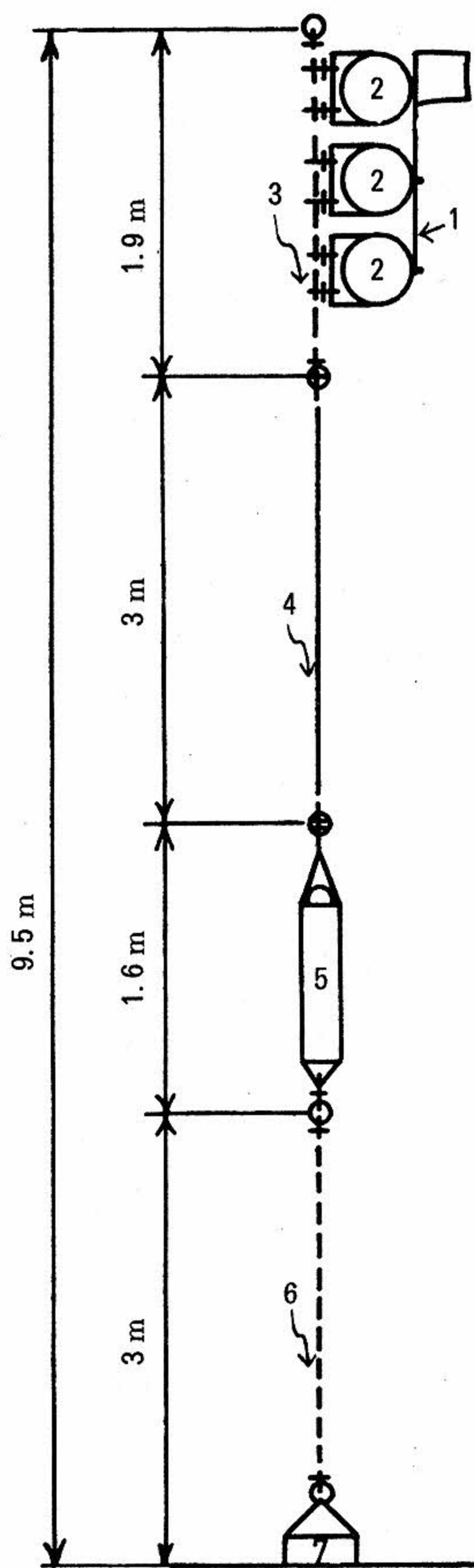
### 4.1 初島沖の係留

表1の係留No.2~5に対応し、静岡県熱海市初島沖合で行った。図2にはその構成を示す。

1977年の経験から、係留系の構成をできる限りシンプルにした。系の落下速度を測定するため、シンカの重量を種々変化させた。また、設置後、ダイバが潜水して着底時のオーバーシュートを測定したので、係留深度をダイバの潜水の容易な深度に選んだ。設置方法は表1の係留No.2~4ではオーバーシュート測定装置をとりつけたため、アンカ先方式とし、No.5はブイ先方式とした。この結果、両設置方式の得失を比較することができた。

ブイ先方式の方が設置が容易で、設置中に系に加えられる荷重が小さい点で有利だと思われる。アンカ先方式はアンカ投入点と係留点に近い(水深が浅い場合はほとんど一致する)ので、係留点の位置精度が要求される場合には有利である。しかし、位置の測定をレーダー、ロランA/C、NNS S等で測定する場合には、それぞれに固有の位置誤差が含まれることを忘れてはならない。

多くの場合、目的地点に到達した時点と係留系を展開した時点とは異なるので、あらかじめ係留系を水平または鉛直方向に展開しておき、目的地点に向って航走する方法がとられる。アンカ先の場合は、系を鉛直に吊ったまま航走す



1. 旗竿 約1m
  2. 16" ガラス球ブイ浮力 21kg×3
  3. 呼び6 JISロングリンクチェーン, 水中重量 1.1kg
  4. 12mmφ, 三つ打ポリプロピレンロープ
  5. ORE 620DR トランスポンダ, 水中重量 33kg
  6. 呼び6 JISロングリンクチェーン, 水中重量 1.8kg
  7. 鉄ブロック, 水中重量 34~82kg
- その他, 呼び8 ステンレス鋼リング×3  
 呼び6 鉄リング×7  
 呼び8 雑用シャックル×7  
 呼び6 ステンレス鋼板シャックル×6  
 呼び6 ステンレス鋼ロングシャックル×6

図2 1978年初島沖の係留系

Mooring system in 1978 off Hatsushima Island.

るので、船のピッチングによって衝激的な荷重が加わることがあり、海況が悪化すると共に、条件はきびしくなる。ブイ先方式ではトランスポンダやシンカを舷外に移動させる程度の揚荷装置があれば良いので、今回のように100t程度の小型船などでは有利である。しかし、ブイ先方式の場合、係留索や機器類が曳航中に回転や捻れによって破損する恐れがあるので注意を要する。

以上の理由から、今後はブイ先方式を採用することが賢明であると判断した。

#### 4.2 相模灘の係留

表1中の係留No.6~9に相当し、相模灘の34°54.3'~58'N, および139°17.7'~22.3'Eで囲まれる海域で行った。

実験には1,000t級のオーシャンタグボートを備船した。図3は、その構成を示す。

初島沖の場合と異なる点はトランスポンダの海底からの高さを約50mとし、赤旗以外にラジオビーコンを取付けたことである。トランスポンダの高さは、海底付近での音波到達距離を考慮して決めたものである。

##### 4.2.1 海上マーカ

夜間や悪天候下では係留系を浮上させても、発見が難しく、海面で流失した例も少ない。そのため、通常、ラジオビーコンやフラッシャが使われているが、夜間の回収は行わないものとして、ラジオビーコンのみを用いた。これらのビーコンはアンテナの故障のためか、正しい方位を検出できなかったが、浮上した時刻を正確に知るのに役立った。

赤旗とラジオビーコンは竹竿にとりつけた。竹竿は軽くて折れにくい利点がある。例えば、表1の係留No.8では、水深約1,400mの海域に4箇月間放置されていたが、竹竿には何の変化も見られなかった。一方、FRP製の竿は傷がつくと折れやすく、設置や回収時の事故が多い。

##### 4.2.2 シンカ

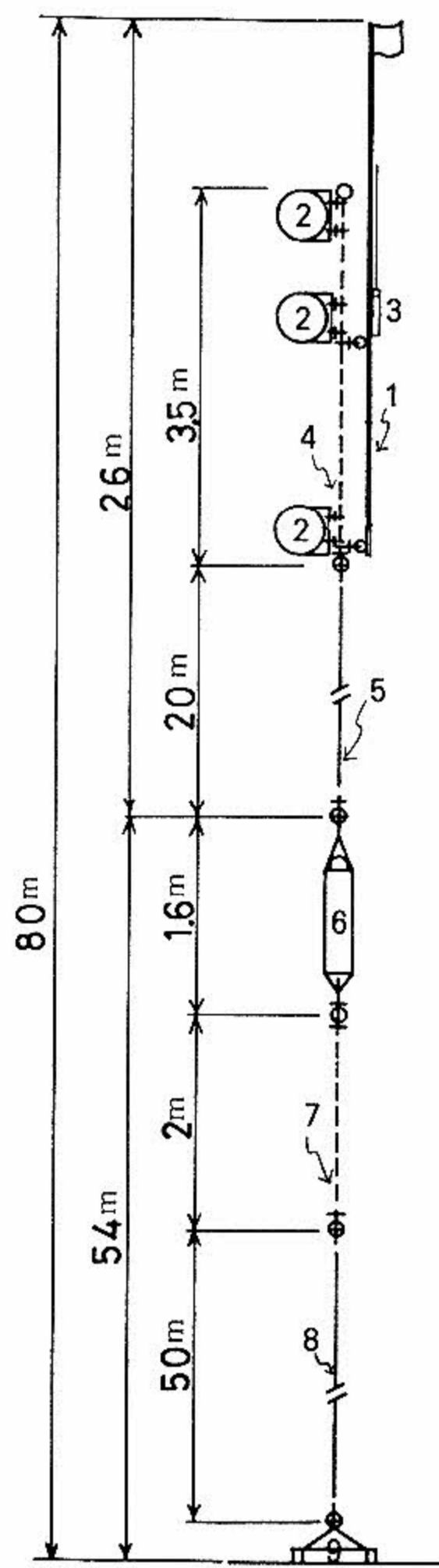
1977年の経験から係留系の落下速度が2m/sを超えない範囲でシンカの重量を変化させ、オーバーシュートによってロープが絡まないように、トランスポンダとシンカロープの間に2mのチェーンを接続した。

シンカには中古レールを1m単位に切ったも

のを用いた。レールはポリエチレンロープで2～4本固縛したが、甲板上でロープがすれて切れたり、落下中にロープが緩んでレールがズレる恐れがあり、注意を要する。

#### 4.2.3 切離装置

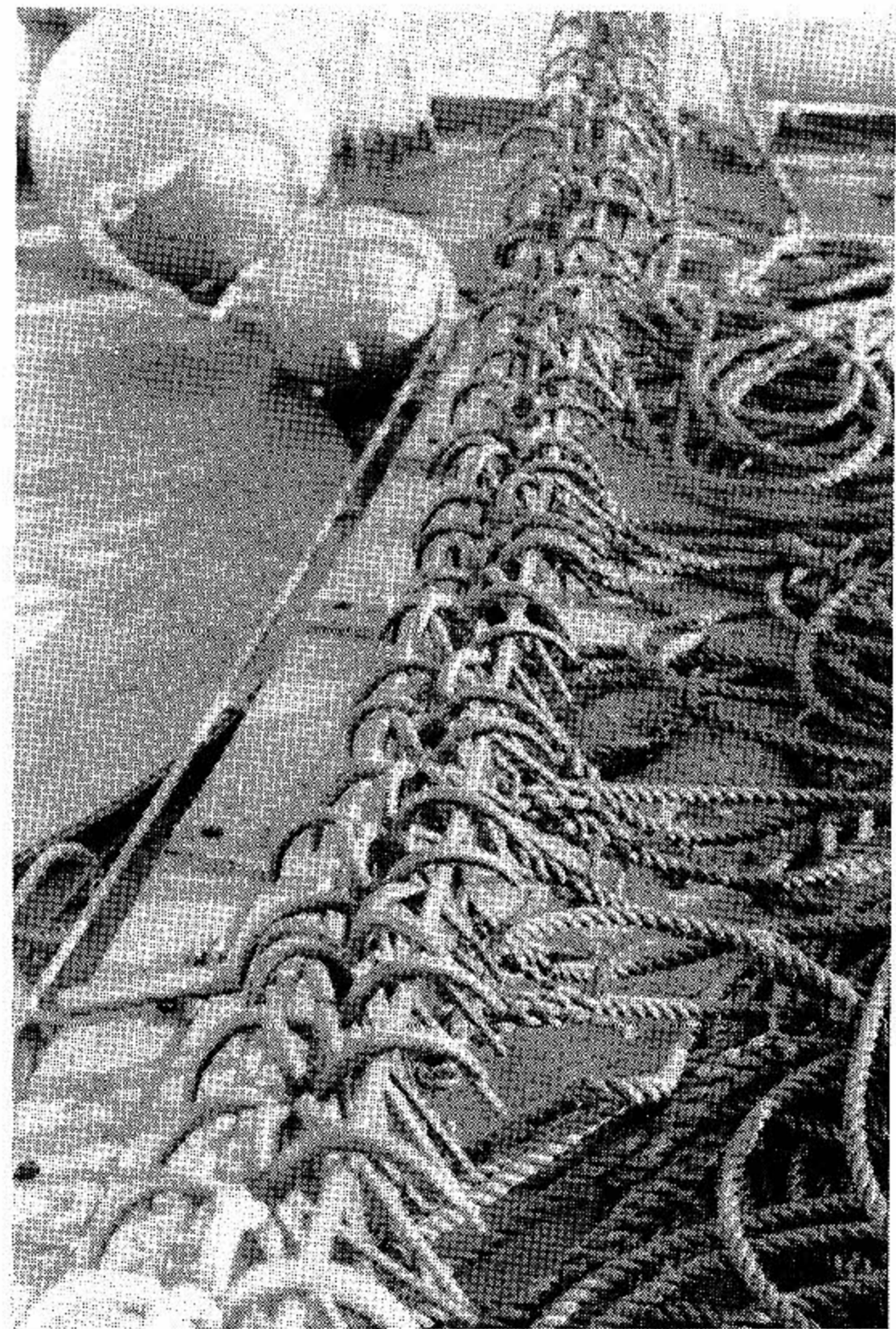
表1の係留No.8は船上から信号を送っても切離装置が作動しなかった。このため、4箇月後



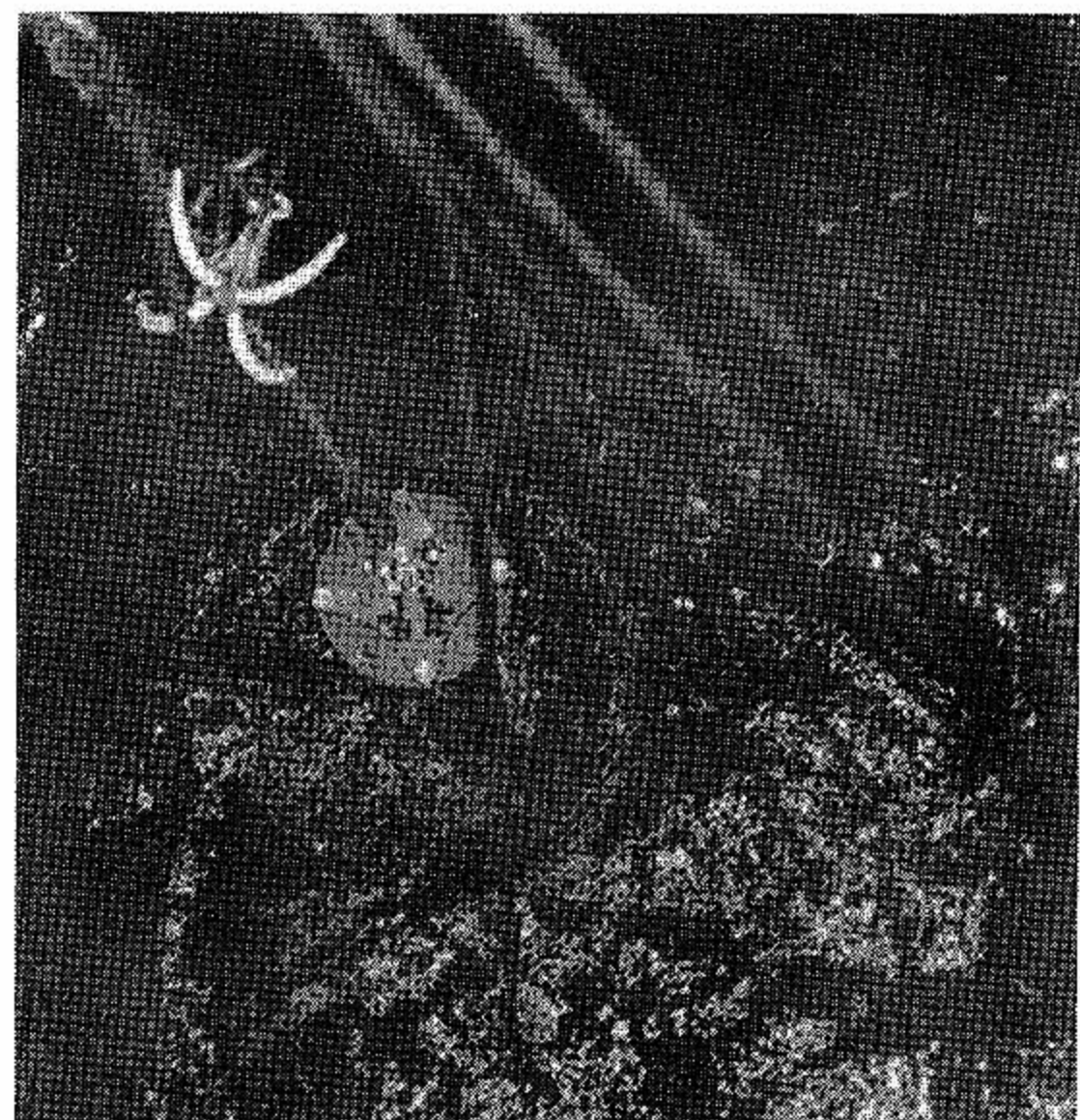
1. 16 $\phi$  ガラス球フイ 浮力 21 kg $\times$ 3
  2. 旗 竿 約 6 m
  3. OAR ST-206-100 ラジオビーコン, 27 MHz  
水中重量 0.6 kg
  4. 呼び 6 JIS ロングリンクチェーン, 水中重量 2.1 kg
  5. 12mm  $\phi$  三ッ打ポリプロピレンロープ
  6. ORE 620 DR トランスポンダ, 水中重量 33 kg
  7. 呼び 6 JIS ロングリンクチェーン, 水中重量 1.2 kg
  8. 12 $\phi$  三ッ打ポリエチレンロープ
  9. レール, 水中重量 63~102 kg
- その他 呼び 8 ステンレス鋼リング $\times$ 3  
 呼び 6 鉄リング $\times$ 10  
 呼び 8 雑用シャックル $\times$ 9  
 呼び 6 ステンレス鋼板シャックル $\times$ 6  
 呼び 6 ステンレス鋼ロングシャックル $\times$ 6

図3 1978年相模灘の係留系

Mooring system in 1978 in Sagami-Nada



(1) 回収用スバル  
Hooks for recovery

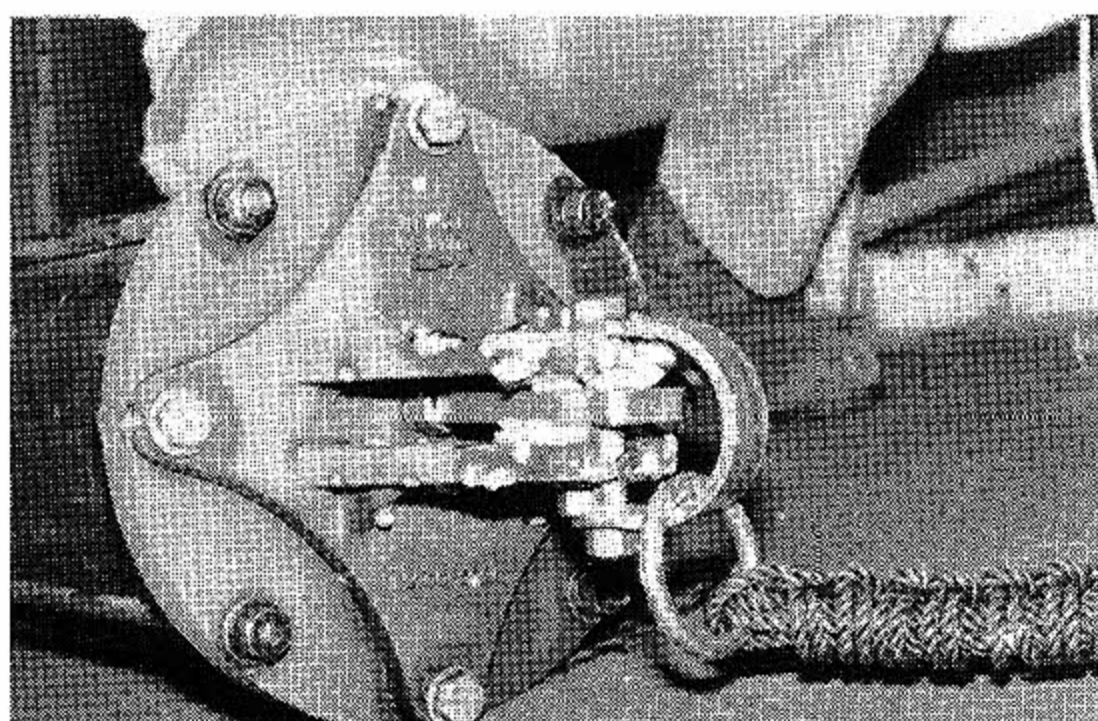


(2) 海面まで引上げたトランスポンダ  
Recovered and surfaced  
transponder

写真1 係留No.8のトランスポンダ回収作業  
Recovery of transponder in mooring  
number 8 by bottom trawl.

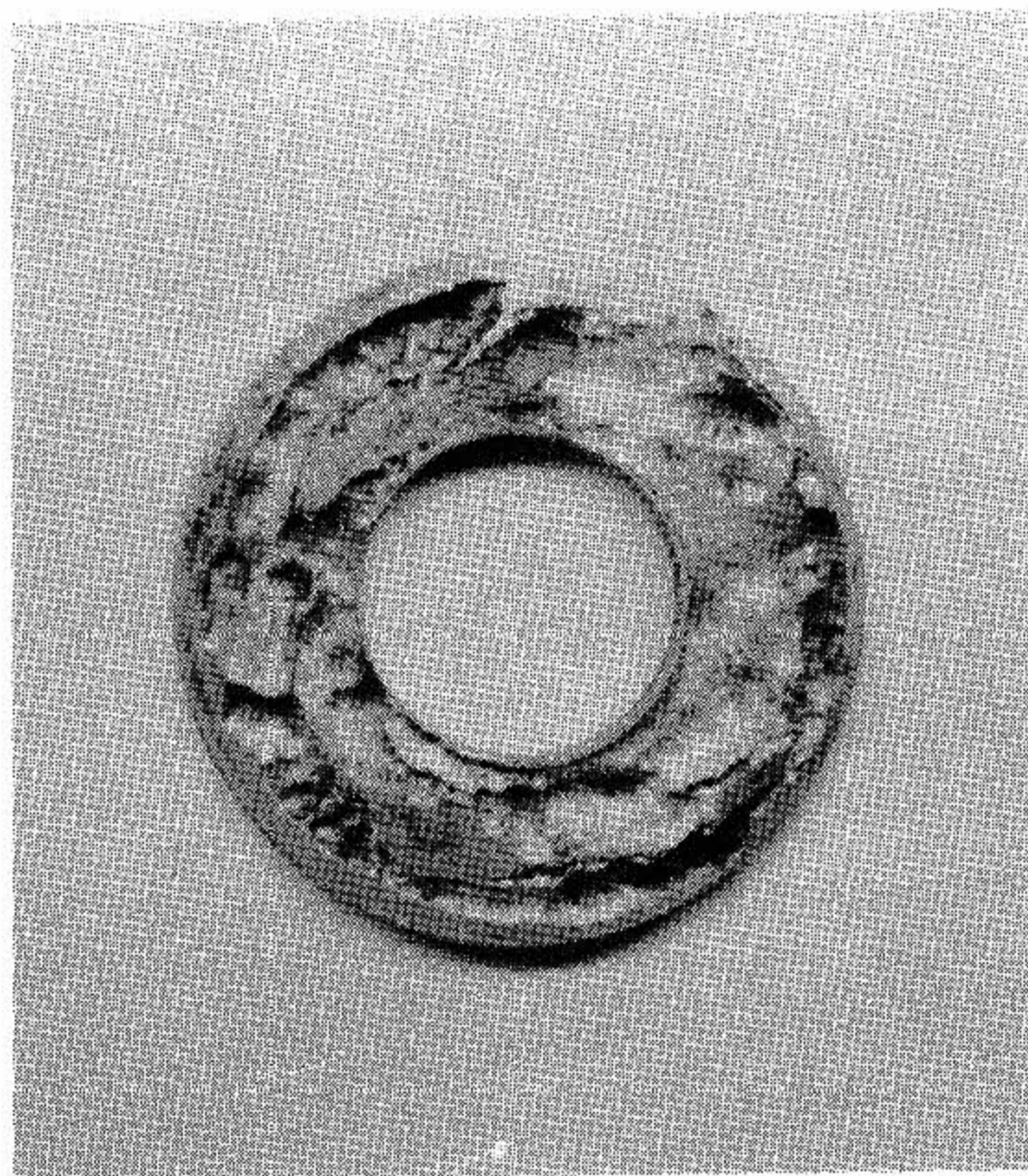
の1979年2月末、全長 600 m のロープに約40個のスバルをとりつけ、これを8mmのワイヤロープで引いて底曳を行ったところ、幸運にも回収することができた。写真1は回収作業を示す。

その結果、切離装置に機構上の欠陥のあることが明らかになり、改造を行った。このような深度(約 1,400 m)で機器が回収された例はきわめて少なく、トラブルの原因がわかった点でも貴重な経験であった。



**写真2** 4箇月間の係留後、電食によって腐食したトランスポンダの切離装置

Electric corrosion on release mechanism of ORE transponder after 4 months of mooring.



**写真3** クレバス腐食の発生したステンレス製平座金

Clevice corrosion on stainless steel washer

#### 4. 2. 4 腐食

これまでは短期間の係留だったので、腐食については余り神経を使わなかった。

表1中の係留No.8を回収したところ、トランスポンダ(材質はアルミニウム合金)の腐食が相当進んでいた。特に写真2に示すように、切離装置付近に多量のアルミニウム水酸化物が浸出していた(ただし、切離しが行われなかったのは電食が原因ではない)。また、写真3に示すように、フランジを固定するボルト、ナット(材質 ステンレス鋼)と共に、使われていた平座金(材質 ステンレス鋼)に顕著な腐食がみられた。

これらはアルミニウム合金製のフランジと直接接触しないように、プラスチック(ポリエチレンらしい)製のスペーサを介してとりつけられていた。プラスチックと金属(特にステンレス鋼)の間で起こりやすい、このような電食はクレバス腐食<sup>4)</sup>(clevis corrosion)と呼ばれるものである。

このほか、チェーン、シャックルは垂鉛めっ



**写真4** 相模灘における設置作業(1978年)

Operation of transponder deployment in Sagami-Nada in 1978.

き(ドブづけ)したものをういていたので、表面にわずかな赤錆が見られる程度だった。

このように、短期を目的とした係留でも、予定通りに回収されず、長期の係留となる場合もあることを念頭におくべきである。したがって、鉄アルミニウム合金やステンレス鋼の防食には常に必要である。

#### 4. 2. 5 設置, 回収方法

設置方法では、船尾に大きなスターンローラがあって、設置作業の邪魔になったので、あらかじめ写真4に示すように、ブイ、トランスポンダ等を舷外に固縛しておいた。海中に投入する際は、最後のシンカを除いて衝撃を与えないように、ロープを手で支えながらゆっくりと繰り出した。この方法はスターンローラがない場合でも可能であるが、ブイ等を一旦、舷外に出して固縛しておく、という手間がかかるので、能率的ではない。

回収は、浮上確認後ブイに近づき、鉤付ロープを投げて舷側に引寄せ、これを人力で舷内に引上げた。このため、マーカ用の竹竿が舷側に当たって折れ曲ったり、トランスポンダが舷側と擦れたりした。このように、回収作業は性急になりがちであるが、ロープはローラを介して、重量物はクレーンを利用して慎重に揚収すべきである。特にロープと舷側との擦れは危険であり、あと一步のところ、機器を失う事故も少くない。

### 5. 1979年の係留

1979年8月末、初島沖で予備実験のため、係留を3点で行った。その後、11月初旬から12月初旬にかけて1977年と同様、B海域30°N, 147°Eを中心とする水深約6,000mの海域)に3点の係留を行う予定だったが、現地で悪天候が続き、日程に余裕がなくなったので、実験海域を1978年と同様、相模灘に変更した。

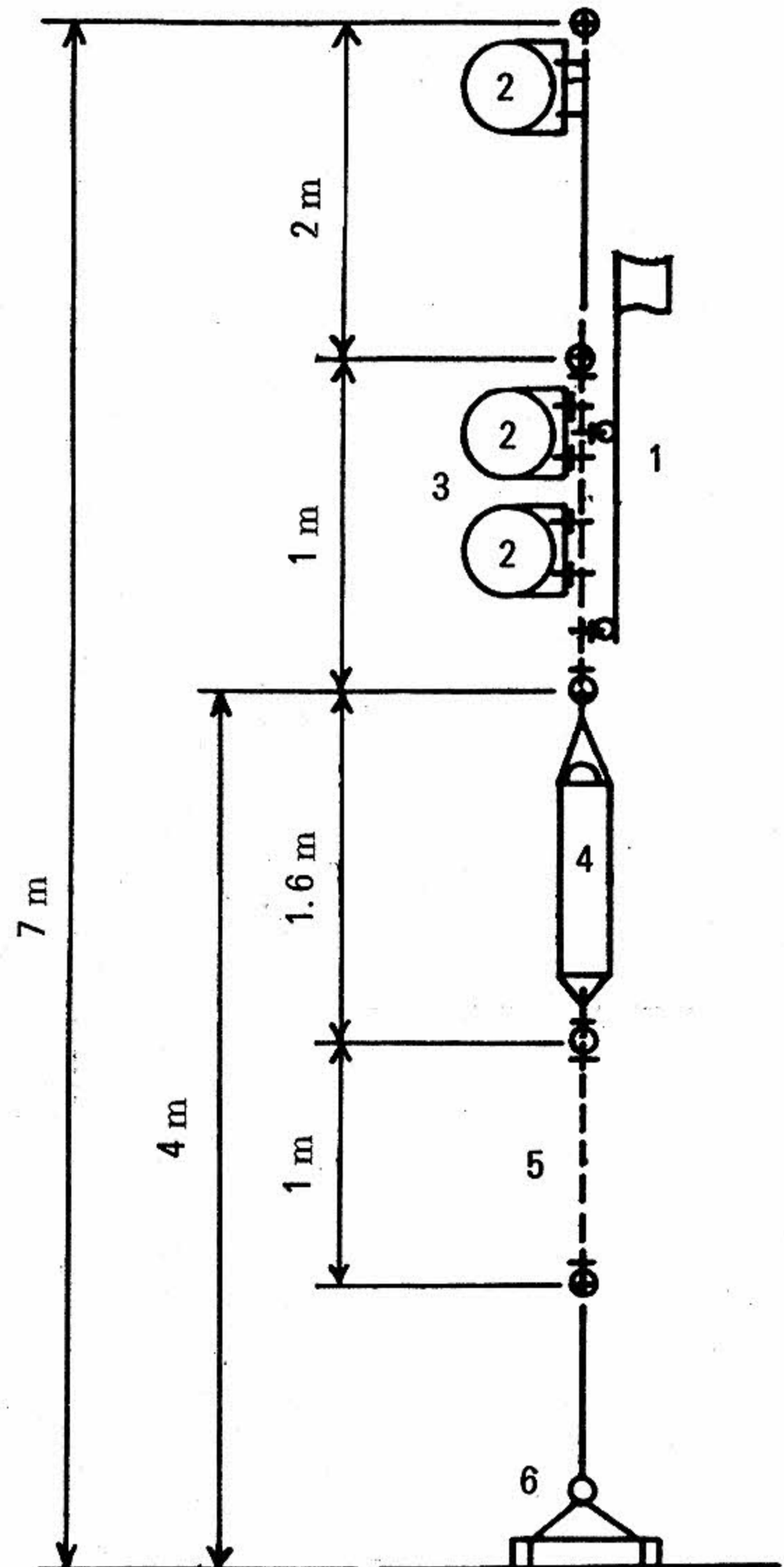
#### 5. 1 初島沖の係留

表1の係留No. 10~12に相当し、図4にはその構成を示す。

基本的には係留No. 2~5と同様であり、1978年は初島東方海域の海底地形を調査したので、今回は同島南東海域の調査を行った。

図5にはこれらの結果をまとめた初島沖の海

底地形図の一部を示す。図中の太い実線は前回の調査で得られた等深線で、細い実線は今回のものである。



1. 旗 竿 約2m
2. 16" ガラス球ブイ, 浮力21kg×3
3. 呼び6 JISロングリンクチェーン, 水中重量0.6kg
4. ORE 620 DRトランスポンダ, 水中重量0.6kg
5. 呼び6 JISロングリンクチェーン+12mmφポリエチレン三つ打ロープ, 水中重量0.6kg
6. レール, 水中重量53~65kg

その他;

- |                    |    |
|--------------------|----|
| 呼び8 ステンレス鋼リング      | ×3 |
| 呼び6 鉄リング           | ×8 |
| 呼び8 雑用シャックル        | ×8 |
| 呼び6 ステンレス鋼板シャックル   | ×6 |
| 呼び6 ステンレス鋼ロングシャックル | ×6 |

図4 初島沖の係留系(1979年)

Mooring system in 1979 off Hatsushima Island

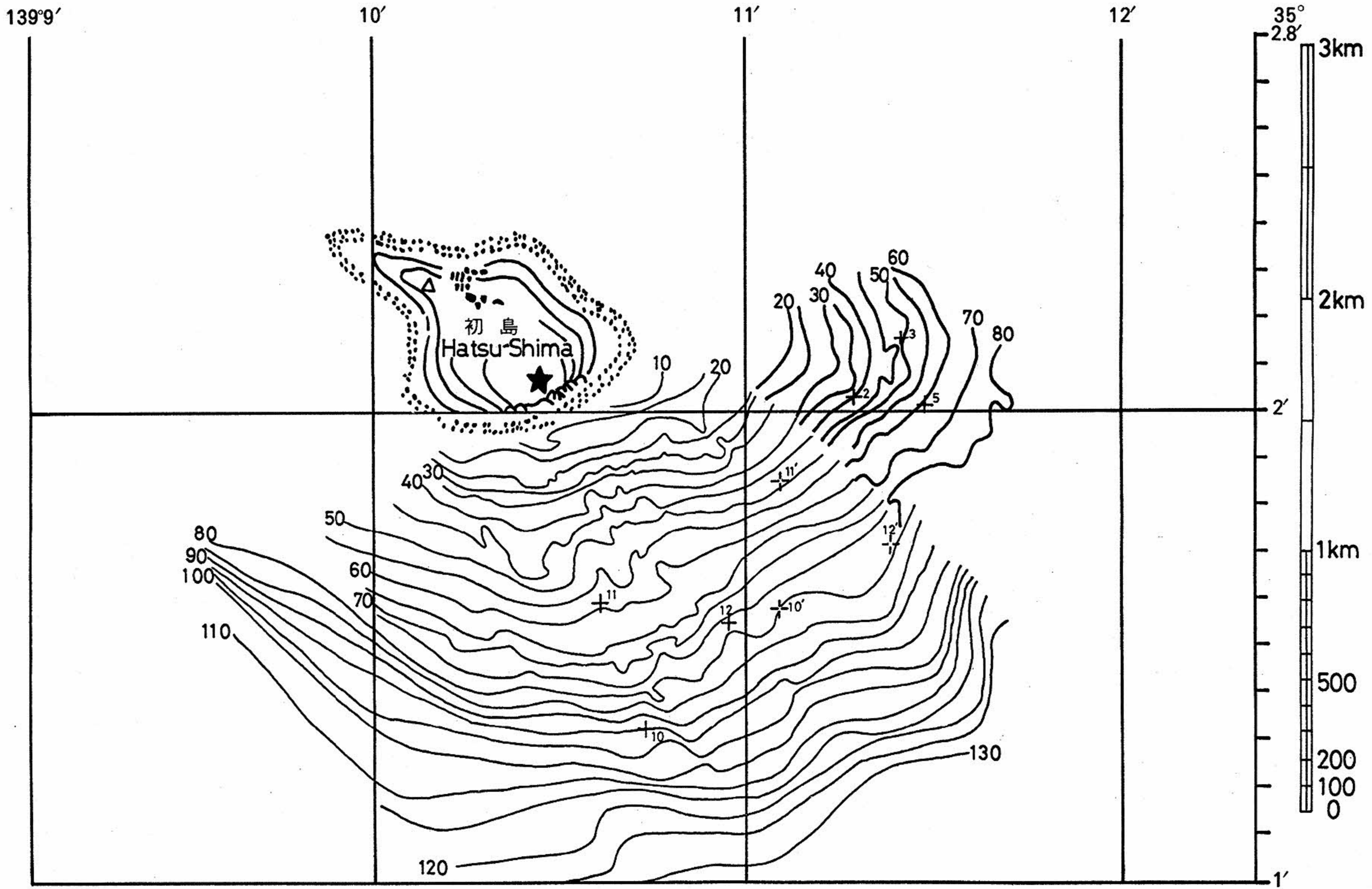


図5 初島沖海底地形図(部分)およびトランスポンダの係留点  
 Portion of bottom topography off Hatsu-Shima Island and mooring points of transponders.

トランスポンダネットでカバーしうる海域は限られているので、ある海域を広範囲に調査するには、このネットを少しずつずらしていく必要がある。このとき、それ以前に設置したトランスポンダがあれば容易であるが、新たなネットをつくる場合は最初のトランスポンダの位置はきわめて重要である。

図5のNo. 10', 11' および 12' は予定ネット, No. 10, 11 および 12 は実際のネットを示す。その相対位置は約 600 m のずれがある。結果として、今回のネットは前回のネットからやや離れ過ぎていた。

位置の決定には、あらかじめ海図上で予定地点を決め、この点の水深と初島燈台までの方位を調べておき、測深機で水深の変化を調べながら、予定の方位に船を移動させて行った。このような変則的な位置決めを行ったのは、初島燈台以外に良い目標がなかったことによる。

実験後に初島の航空写真を入手したので、今後は島内にいくつかの目標を定めて位置決めを行うつもりである。

設置の際は、左舷にデリックブームを振り出しておき、2重滑車付テークルでブイおよびトランスポンダを吊上げた。回収作業も同様に行った。

この設置作業では、能率化をはかるため、作業分担を明確にし、あらかじめ作ったプログラムに従って作業を行うようにした。

### 5.2 B海域の係留計画

この係留は計画だけに終わったが、参考のため、その考え方を述べる。

図6には係留系の構成を示す。

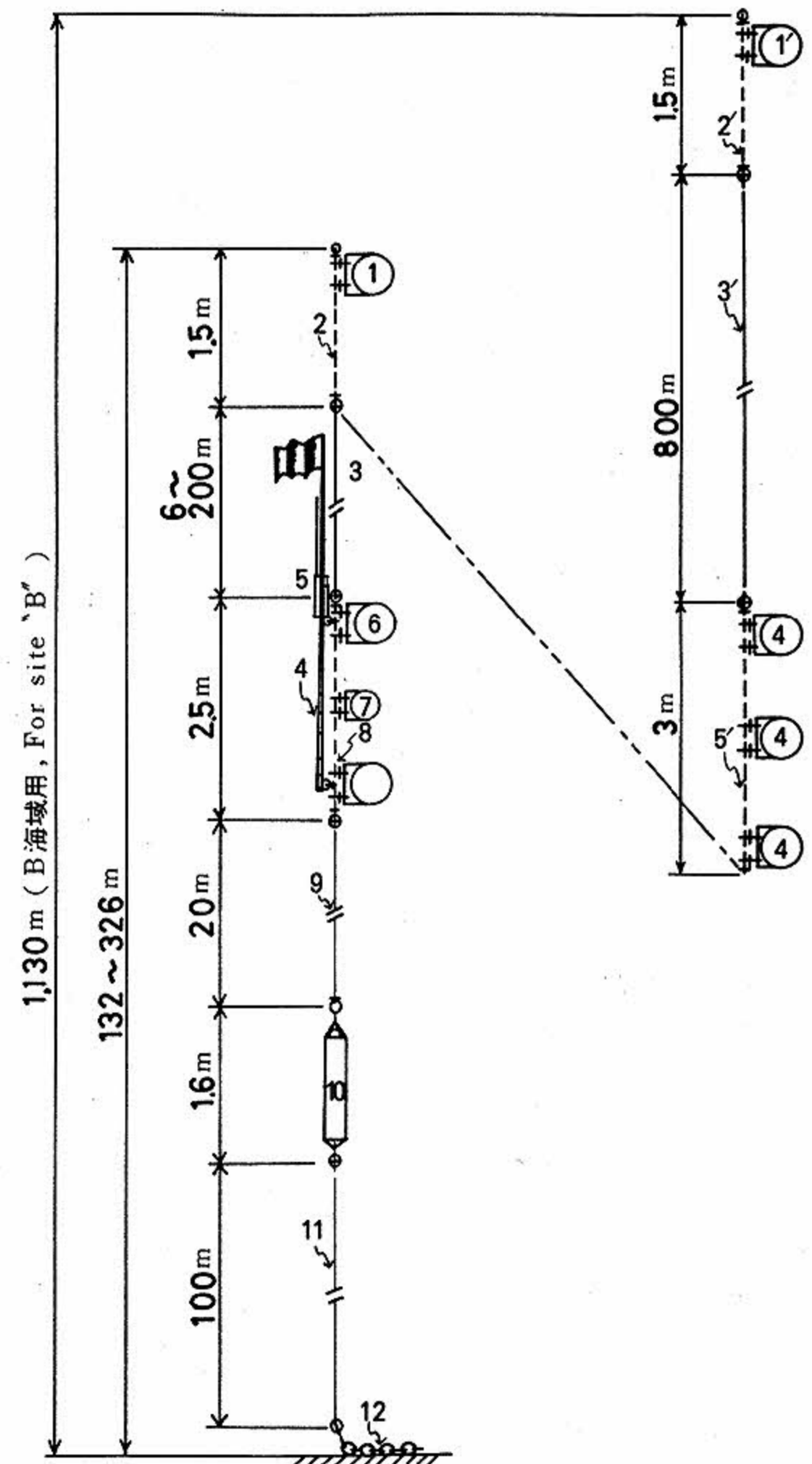
#### 5.2.1 回収のためのバックアップ

第一に考慮した点は回収のためのバックアップである。

ガラス球を3群にわけ、それぞれの群に単独にトランスポンダを浮上させうる浮力をもたせ、ガラス球ブイの圧壊に備えた。

各群の間隔を十分にとることによって係留系の全長、すなわち海底からの高さを約 1,100 m に増加させた。

これは、底層流の大きさによっては係留系が動揺し、トランスポンダの位置精度を低下させる恐れがあるが、切離装置が作動しない場合に



- 1, 1' 16" ガラス球ブイ, 浮力 21 kg × 1
- 2, 2' 呼び 8 JIS ショートリンクチェーン, 水中重量 1.8 kg
- 3, 3' 12mm φ ポリエチレンエイトロープ
- 4 旗竿約 6 m
- 4' 16" ガラス球ブイ, 浮力 21 kg × 3
- 5 OAR ST-206-100 ラジオビーコン 27 MHz, 水中重量 0.6 kg
- 5' OAR SF-500-1-100-P フラッシュ 2s 1 閃光, 水中重量 0.6 kg
- 6 16" ガラス球ブイ, 浮力 21 kg × 2
- 7 10" ガラス球ブイ, 浮力 5.6 kg × 1
- 8 呼び 8 JIS ショートリンクチェーン, 水中重量 3.1 kg
- 9 12mm φ ポリエチレンエイトロープ
- 10 ORE 620 DR トランスポンダ, 水中重量 38 kg
- 11 10mm φ ポリエチレンエイトロープ
- 12 スクラップチェーン, 水中重量 80~90 kg (150~250 kg)

- その他; 呼び 8 ステンレス鋼リング × 5 (× 7)
- 呼び 8 鉄リング × 2
- 呼び 6 鉄リング × 8 (× 14)
- 呼び 10 JIS SD シャックル × 11 (× 15)
- 呼び 6 ステンレス鋼板 シャックル × 8 (× 14)
- 呼び 8 ステンレス鋼 ロング シャックル × 4 (× 7)
- 呼び 6 ステンレス鋼 ロング シャックル × 4 (× 7)

( ) 内の数字は B 海域用に計画したもの

図 6 B 海域および相模灘の係留系 (ただし、B 海域は計画のみ) (1979 年)

Mooring system in 1979 for Site "B" and Sagami-Nada (plan only for Site "B")

は、底曳による回収が容易である。底曳によって回収された表1の係留No.8は、全長が水深の1/20しかなかったが、この場合は水深の約1/6になるので比率上は有利である。

### 5.2.2 係留系の強度

従来の係留系では各要素の強度は必ずしも一定ではなかった。系全体の強度は、最も強度の小さい要素によって決まるので、各要素間の強度差が大きいほど、無駄の多い設計といえる。したがって、これらができるだけ一樣になるように設計すべきである。そこで問題になるのは設計強度（最低限必要な強度）をどのように決めるかである。

係留系に働く荷重は、主に静荷重であり、このほか、設置および回収時の動荷重が加わる。この動荷重を確定することは困難なので、通常は安全係数を与えて、これに含めている。

ブイ先方式の設置を考えると、設置の際の最大の静荷重（以下単に荷重と呼ぶ）は、系が一定速度で落下するときトランスポンダとブイとの間にある要素（ロープ、シャックル、リング）に加わる。この荷重の大きさは、ブイの合計浮力に等しい。これまでの係留No.1~12のうちでは、No.1の場合が最も大きく、約112kgであった。

シンカが着底したのち、すなわち係留中は最大荷重の場所は落下中と同様であるが、その大きさはブイの合計浮力からトランスポンダの水中重量を引いた値になるので、落下中よりも小さい。これまでの係留の中で、その最大値はやはりNo.1の場合で、約80kgであった。

浮上中の最大荷重の場所は同様で、その大きさはトランスポンダの水中重量に等しく、32~38kgの範囲であった。

このほか、設置および回収時、船上でトランスポンダを吊上げる際に、その空中重量に等しい荷重、すなわち63~81kgが加わる。

通常、上記の荷重の最大値に安全係数をかけた値を設計値とすればよい。しかし係留No.8のように底曳によってシンカごと回収される場合もありうるので、始めにアンカまたはシンカを海底から引離すための荷重（把駐力）が加えられ、次にシンカを含めた係留系全体を吊上げるための荷重が加えられる。これまでの係留のう

ち、これらが最大になるのはNo.1の場合で、把駐力が約1.5tで、係留系全体の吊上荷重が約250kgであった。

将来、底曳によって回収することを考えた場合、12mm三ツ打ロープ（材質ポリプロピレン、引張強さ 1.97 t）と6mmロングリンクチェーン（使用荷重200kg、試験荷重400kg）が強度的に難点があるかもしれない。

以上の理由によって、当面は底曳による回収もありうるものとし、系の強度はシンカの把駐力を基準にして設計すべきであると考えた。

シンカには、係留No.1はストックレスアンカとスクラップチェーンを用いたので、把駐力が大きかったが、その後、鉄ブロック、レール、またはスクラップチェーンを用いている。

今回のシンカには水中重量がそれぞれ約150, 200, 250kgのスクラップチェーンを用いる予定であった。底質を泥、把駐係数を仮に3（チェーンは底質が砂の場合 約1）とすると、最大の把駐力は750kgとなり、系の各要素は、これ以上の強度を持たなければならない。

係留索には、主に12mmのポリプロピレンロープを用いたが、今回は大量に使用するため、安価な12mmのポリエチレンエイトロープを用いることにした。

ポリエチレンエイトロープの引張強度は1.6tであり、ポリプロピレンロープに比べると強度が20%減少するが、上記の最大把駐力を十分越えている。そこで、このロープの引張強度を系の強度設計上の基準にした。したがって、安全係数は約2となった。

船舶などで使用される繊維ロープやワイヤロープの安全係数は5~10の範囲で経験的に決められるが、これは動荷重が未知のために大きくとられている。本係留の場合には、底曳による回収を除外し、設置および回収時の静荷重（高々100kg）のみで設計強度を見ると、安全係数が10以上あることがわかる。

ロープの径に関しては強度以外に船上での取扱いの面からも12mm程度は必要である。つまり、細いロープは手で支えにくく、摩耗によって急激に強度が減少する。

ロープの材質については、水中で強度が減少するナイロンやクレモナ（ポリビニルアルコール

ル系)ロープは除外した。さらに、エイトロープはキンクしないので、すべてこれを用いることにした。

### 5. 2. 3 海上マーカ

上記以外に考慮した点は、海上マーカとして、従来の赤旗とラジオビーコンのほか、フラッシュをとりつけ、夜間の回収にも備えた。

### 5. 3 相模灘の係留

表1中の係留No.13~15に対応し、図6にはその構成を示す。係留水深がガラス球ブイの耐圧深度(6,900m)に比べて小さいので、圧壊に対するバックアップは考えなかった。したがって、ガラス球ブイを8個から4個に減らした以外は、B海域用に計画したものと同一である。

トランスポンダの海底からの高さは計画通り100mとした。これは1978年の同海域での係留(No.6~9)に比べて2倍になり、底層流の影響を受けやすくなるが、海底付近での音波伝播距離が増加するので、あえて変更しなかった。係留No.14は海上マーカの竹竿が折れ曲った状況で回収された。これは、設置の際に竹竿にブイ取付用のチェーンがからんだまま投入したので、無理な力が加わったためだと思われる。

今回の実験では、油圧起倒式Aフレームを製作し、後部甲板上に据付けた。このAフレームは別に製作した特殊シーブと共に曳航体の発進揚収および曳航に用いるものであるが、係留作業にも大いに役立った。実験には前年の相模灘実験と同一の1,000DWt級のタグボートを使用し、スターンローラの代わりに、船尾中心線にボルト止の小型三方ローラをとりつけた。ブイやトランスポンダ吊上用のテークルは特殊シーブの下端にとりつけ、設置および回収作業は、すべて船尾で行った。

1978年までは設置方法から生ずる係留上の事故を防止することに主眼を置いたため、それに要する時間や予定地点への正確な設置には、余り注意を払わなかった。この結果、係留地点の変更などを行ったため、三基のトランスポンダを設置し、それらのキャリブレーション(各トランスポンダのX, Y, Z座標の決定)を行うまでに約2日間掛った。

このキャリブレーションが終了しないと実験の次の段階に進むことができないので、設置時

間の短縮が課題であった。そこで、前述のように、設置作業の分担を明確にし、一定のプログラムに従って行動できるようにした。また、予定地点にできるだけ正確にトランスポンダを設置するようにした。

始めに、設置の作業部署はブリッジ、観測室および後部の三つにわけた。これらの役割は次の通りである。

(1) ブリッジは操船と位置出し(コンパス、レーダー、ロランなど)を行う。

最初のトランスポンダを設置するまでは観測室のナビゲータ(後述)が乗組員と共に、船位測定を行い、操船は乗組員が行う。

(2) 観測室はナビゲータが斜距離(船とトランスポンダの直線距離)の変化を測定しながらブリッジにコース、スピードを指示する。

トランスポンダ航法装置の操作と測深には、それぞれ1名配置した。

(3) 後部では作業全体の進行と指示(1名)、記録(1名)および設置作業(乗組員1~2名を含めて5~6名)が行われた。

このほか、手空きの者はカメラや8ミリ映写機の撮影を行った。

これらの各部署では表2の(1)および(2)に示したプログラムに従って行動した。

3基のトランスポンダを設置(最後のシンカを投下)するのに要した時間は約3時間であった。図11に設置作業の様子を示した。

写真5は設置作業の状況を示す。

さきで述べたように、最初のトランスポンダの係留点の精度は、船の持つ航法装置の精度によって決まる。今回使用した船の航法装置には、レーダー、ロランA/CおよびNNSSがあったが、設置のための船位測定にはレーダーを使用した。

図7には係留予定点と実際の係留点を示す。

両者には約900mのずれがあることがわかる。このように、最初のトランスポンダの係留点の決定方法は今後の課題である。

最初のトランスポンダが設置されると、第2、第3のトランスポンダはこれを基準にして設置することができる。

第2、第3トランスポンダを予定地点に係留するため、観測室では、表3に示すプログラム

表2 (1) トランスポンダ設置要領  
Operational procedure for transpouder deployment

トランスポンダ設置要領		実験名( ) 年 月 日		
ブリッジ	後部	観測室		
		ナビゲータ	トランスポンダ航法測定	測深機
#1 予定地点に向け航走開始 予定地点まで___mの合図 予定地点の___m前でエンジン中立 予定地点到着の合図 船位測定	#1 設置準備  ブイ投入開始 トランスポンダ開始 シンカロープ繰出し  シンカ投下	(ブリッジへ)	作動準備	作動準備
		(ブリッジから観測室に移動)	斜距離記録開始  シンカ投下時刻測定 (着底確認のための斜距離測定) 着底確認	測深開始  投下地点の水深測定
#2 予定地点に向け航走開始  エンジン中立 船位測定	ブイ投入開始 トランスポンダ投入 シンカロープ繰出し  シンカ投下 #3 設置準備	#1との斜距離測定開始 予定地点まで___mの合図  予定地点の___m前でエンジン中立指令 予定地点到着の合図	#1～2までの予定斜距離の計算  斜距離記録開始  シンカ投下時刻測定 (着底確認のための斜距離測定) 着底確認	測深開始  投下地点の水深測定
		#1との斜距離測定開始 予定地点まで___mの合図  予定地点の___m前でエンジン中立指令 予定地点到着の合図	#1～3, 2～3 までの予定斜距離の計算  斜距離記録開始  シンカ投下時刻測定 (着底確認のための斜距離測定) 着底確認	測深開始  投下地点の水深測定
#3 予定地点に向け航走  エンジン中立 船位測定	ブイ投入開始 トランスポンダ投入 シンカロープ繰出し  シンカ投下	#1との斜距離測定開始 予定地点まで___mの合図  予定地点の___m前でエンジン中立指令 予定地点到着の合図	斜距離記録開始  シンカ投下時刻測定 (着底確認のための斜距離測定) 着底確認	測深開始  投下地点の水深測定
キャリブレーションのための航走開始			船位プロット開始	

(2) 後部における設置作業手順

Procedure for launching operation on after deck.

トランスポンダ設置要領

1. 係留要素を甲板上に展開
  2. シンカ用スクラップチェーンを船尾に移動
  3. 先端ブイ(第2群)吊上, 降下
  4. 12mmロープ(200m, または6m)繰出し
  5. ロープ末端をストッパで固定
  6. 第1群ブイ吊上, 旗竿取付, 降下
  7. 12mmロープ(200m)繰出し
  8. ロープ末端をストッパで固定
  9. トランスポンダ吊上, 降下
  10. シンカロープ(100m)繰出し
  11. 目標地点まで航走後シンカ投下
- 以下, 上記手順を繰返す。

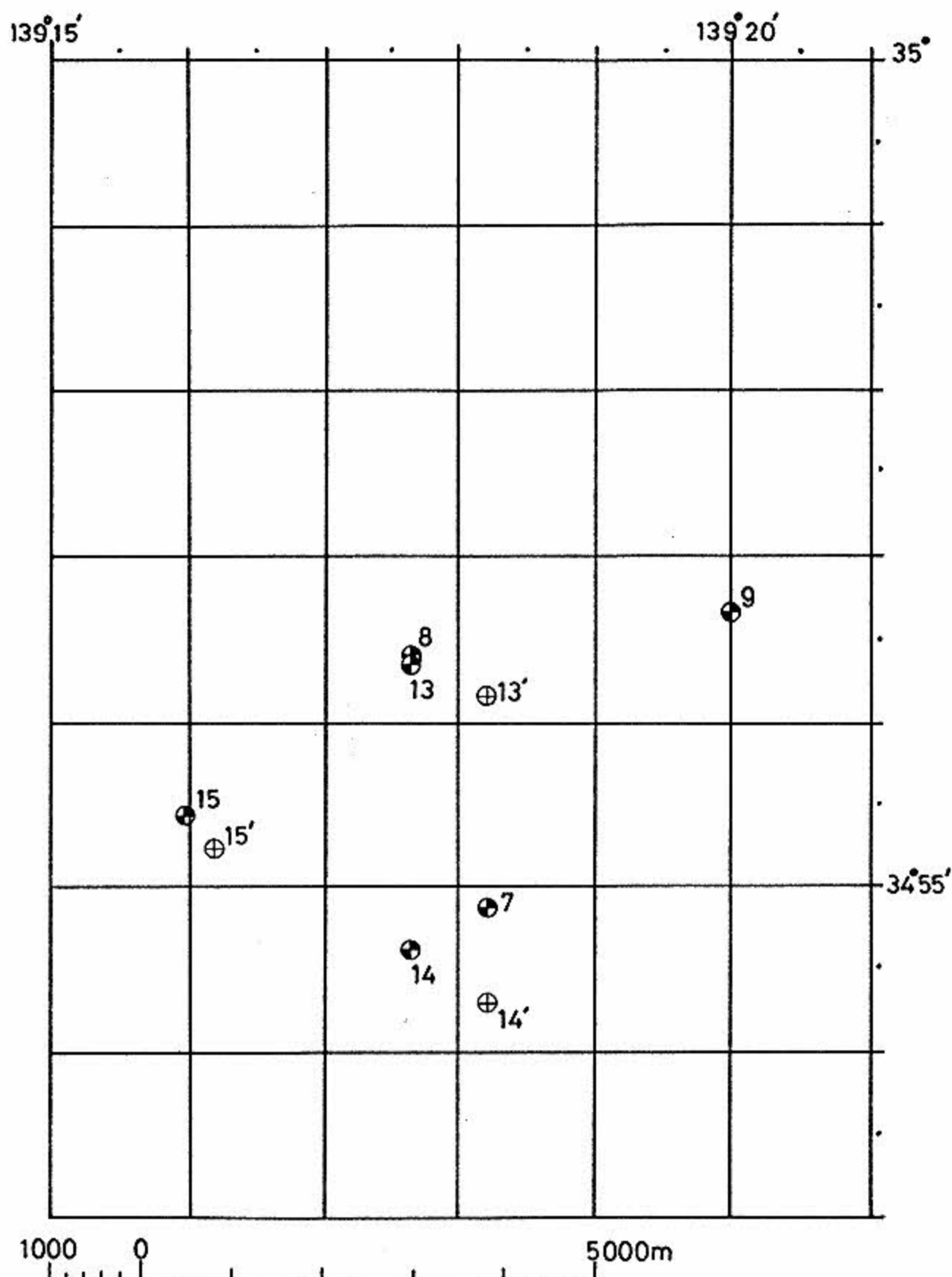
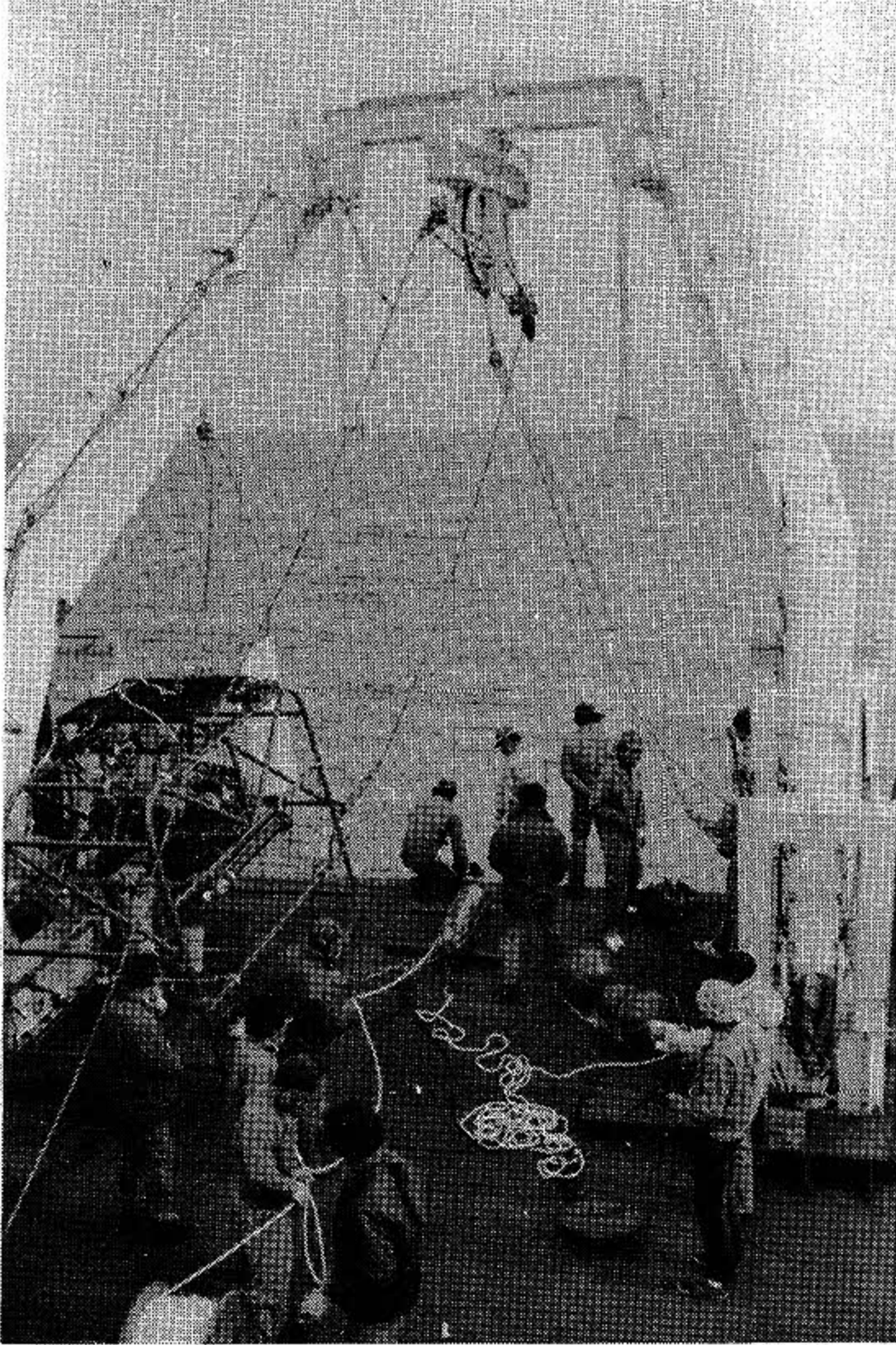


図7 相模灘の係留点  
Mooring points in Sagami-Nada

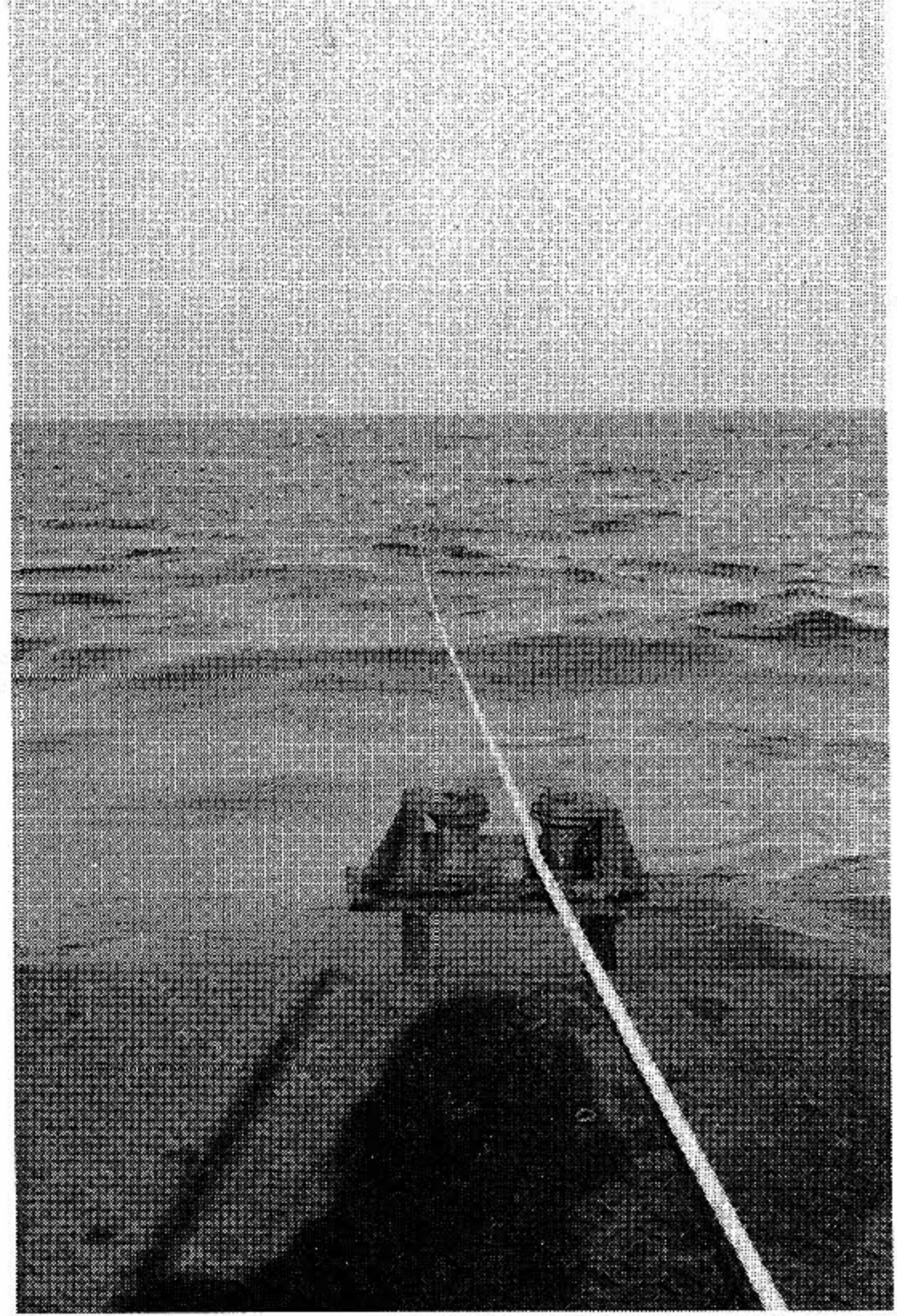
に従って船を誘導した。これは, 第2, 第3トランスポンダまでの予定斜距離を計算すると共に, 利用できるデータから, できる限り正確なトランスポンダの相対位置を求めるためである。

その結果, 図7に示したように, 第1(係留No.13), 第2(係留No.14)トランスポンダを結ぶ基線(ベースライン)が正しく西北を向き, 全体として, ほぼ正三角形をしている。

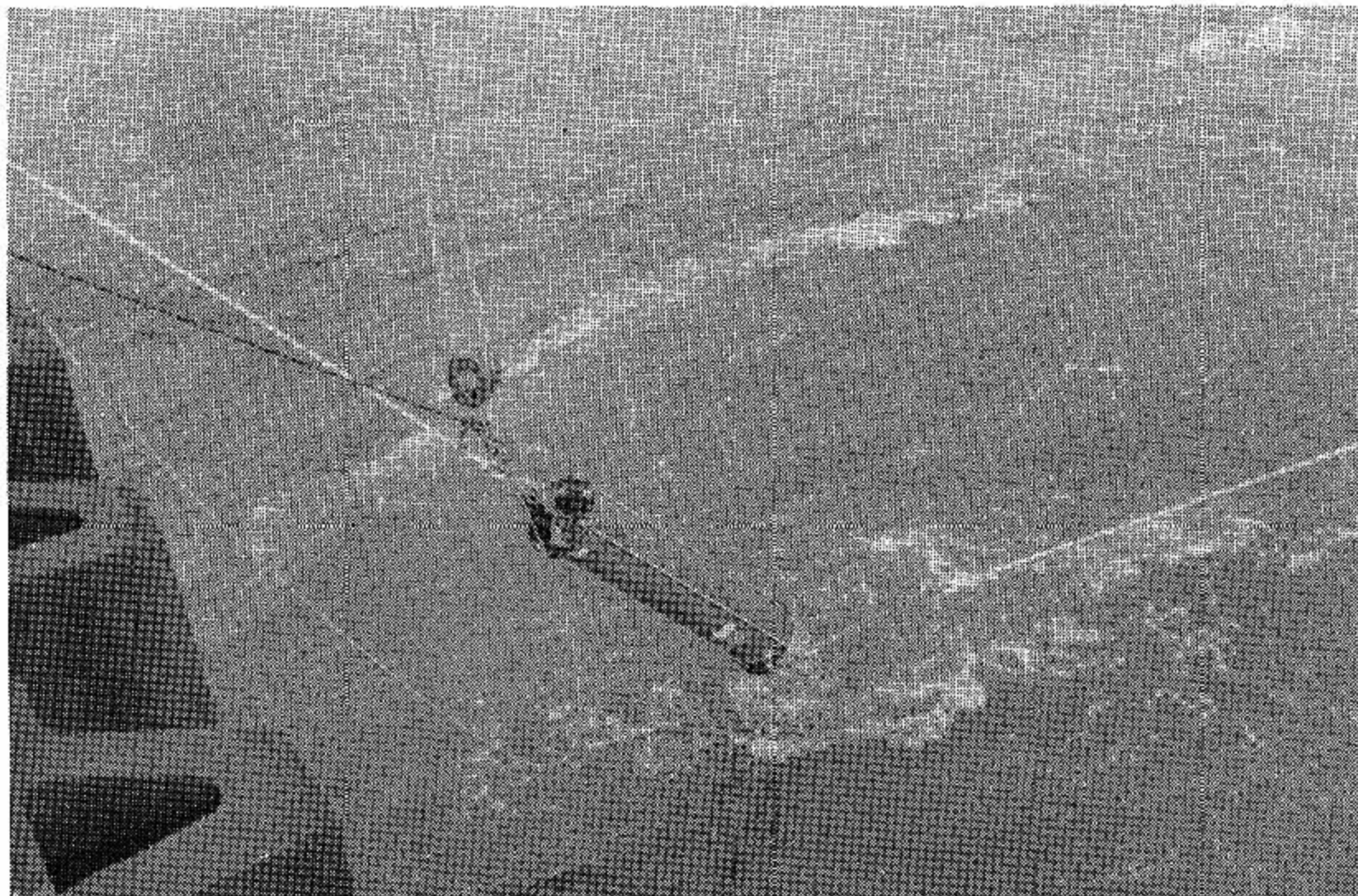
なお, 回収の際のトランスポンダの浮上地点はすべて本船から視認可能な路囲であった。回収は船尾のテークルと三方ローラを用いて行った。



(1) 設置準備中の後部デッキ  
Stand-by for the deployment  
on afterdeck.



(2) 三方ローラから繰出中のロープ  
Rope pay out through three-rollers.



(3) トランスポンダの投入  
Launching of transponder

**写真5** 相模灘における設置作業(1979年)  
Operation of transponder deployment in 1979 in Sagami-Nada

表3 予定斜距離および相対位置の計算プログラム  
 Program to calculate intended slant range and relative positions of transponders

<u>XNAV オペレータ記録紙 (2)</u>	西暦 年 No. _____ 昭和 年 月 日 記録
平均音速 (v) _____ m, フィッシュ深度 (Df) _____ m 測深機 XDCR 深度 (Dx) _____ m, 予定ベースライン長 (d) _____ m	
1. #1 トランスポンダ Ch. _____, U/C _____, f _____ kHz	
1) シンカ投下時刻	_____ 時 _____ 分 _____ 秒
2) シンカ投下時の測深値 (D <sub>1</sub> )	_____ m
3) #1 XPNDR 深度 (Z <sub>1</sub> = D <sub>1</sub> + Dx - 4)	_____ m
4) #2 まで 300 m 地点の予定スラントレンジ (SR <sub>12</sub> <sup>-300</sup> : LED 表示)	_____ m
$SR_{12} = 1524 SR_{12}^{-300} / v = 1,524 \sqrt{(d - 300)^2 + (Z_1 - Df)^2} / v$	_____ m
5) #2 までの予定スラントレンジ (SR' <sub>12</sub> : LTD 表示)	_____ m
$SR'_{12} = 1524 SR_{12} / v = 1,524 \sqrt{d^2 + (Z_1 - Df)^2} / v$	_____ m
2. #2 トランスポンダ Ch. _____, U/C _____, f _____ kHz	
1) シンカ投下時刻	_____ 時 _____ 分 _____ 秒
2) シンカ投下時の測深値 (D <sub>2</sub> )	_____ m
3) #2 XPNDR 深度 (Z <sub>2</sub> = D <sub>2</sub> + Dx - 4)	_____ m
4) ベースライン長 (d <sub>12</sub> )	_____ m
$d_{12} = \sqrt{SR_{12}^m - (Z_1 - Df)^2}$	_____ m
シンカ投下時の #1 からの S.K. : SR <sub>12</sub> <sup>m</sup> = _____ m	_____ m
5) #3 XPNDR までの予定スラントレンジ (SR' <sub>13</sub> , SR' <sub>23</sub> : LED 表示)	_____ m
$SR'_{13} = 1524 SR_{13} / v = 1,524 \sqrt{d_{12}^2 + (Z_1 - Df)^2} / v$	_____ m
$SR'_{23} = 1524 SR_{23} / v = 1,524 \sqrt{d_{12}^2 + (Z_2 - Df)^2} / v$	_____ m
6) ベースライン交差による修正ベースライン (d <sub>12</sub> <sup>c</sup> = Y <sub>2</sub> )	_____ m
7) 修正後の #3 XPNDR までの予定スラントレンジ	_____ m
$SR'_{13} = 1,524 \sqrt{d_{12}^c + (Z_1 - Df)^2} / v$	_____ m
$SR'_{23} = 1,524 \sqrt{d_{12}^c + (Z_2 - Df)^2} / v$	_____ m
3. #2 トランスポンダ Ch. _____, U/C _____, f _____ kHz	
1) シンカ投下時刻	_____ 時 _____ 分 _____ 秒
2) シンカ投下時の測深値 (D <sub>3</sub> )	_____ m
3) #3 XPNDR 深度 (Z <sub>3</sub> = D <sub>3</sub> + Dx - 4)	_____ m
4) 各ベースライン長 (d <sub>12</sub> , d <sub>23</sub> )	_____ m
$d_{13} = \sqrt{SR_{13}^m + (Z_1 - Df)^2}$	_____ m
$d_{23} = \sqrt{SR_{23}^m + (Z_2 - Df)^2}$	_____ m
シンカ投下時の #1, 2 からの S.R. :	_____ m
SR <sub>13</sub> <sup>m</sup> = _____ m, SR <sub>23</sub> <sup>m</sup> = _____ m	_____ m

## 6. 係留系の落下、浮上時の挙動

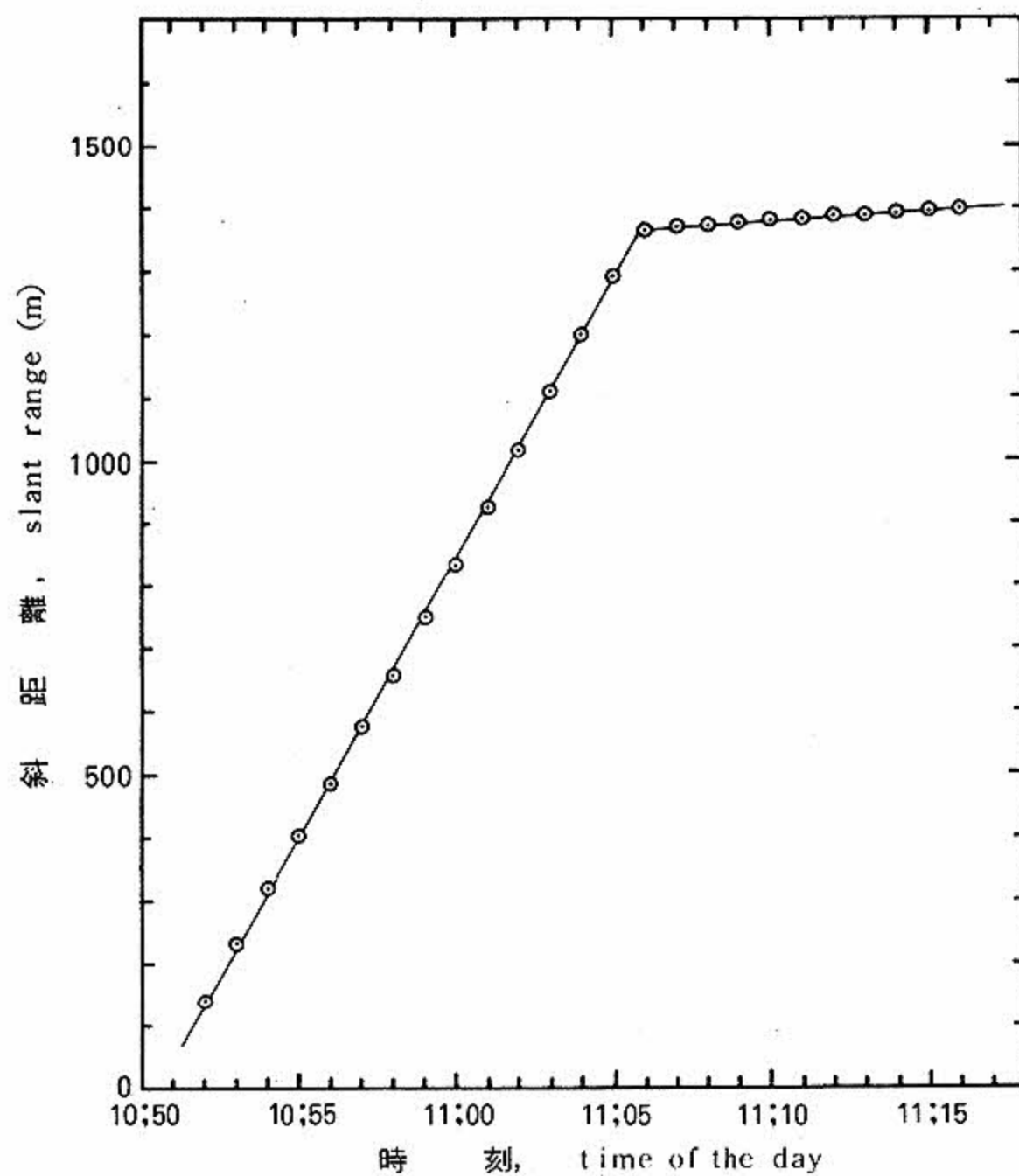
係留系が万一回収できなかった場合には、系がどのような速度で落下し、何時着底し、着底時のオーバーシュートがどのくらいか、また、切離装置が作動したか、作動した場合に系が浮上しているか、浮上速度はどのくらいか、海面まで浮上したかなどがわかれば、その原因の推定が容易である。

この場合には、係留系がトランスポンダをもっていれば、落下中および浮上中の斜距離の変化から落下速度、浮上速度、船のドリフト速度、着底の時刻、海面に達した時刻などを知ることができる。さらに切離装置が作動すれば、固有の音響信号が発信されるので、系とシンカが切離されたことが確認できる。

着底時のオーバーシュートの測定は、簡単な装置を試作して用いた。

### 6.1 落下速度の測定

係留系の落下開始後の斜距離の時間変化は図8



23 Oct. 1978  
 係留 mooring No 7  
 相模灘 Sagami Nada  
 深度 depth 1362m  
 落下速度 descend velocity 1.47 m/s  
 偏流速度 drift velocity 0.16 m/s  
 音速 sound velocity 1489 m/s

図8 トランスポンダ落下中の斜距離変化の実測例

Measured slant range change during descend of transponder

のようになる。

この図において、始めの直線部分は、船のドリフト分と系の落下分が合成された見掛けの変化を表わしている。直線の傾きが急に小さくなるのは、シンカが着底したことを示す。したがって第2の直線部分は船のドリフトによる変化分を表わし、これを三次元的に表わすと図9のようになる。

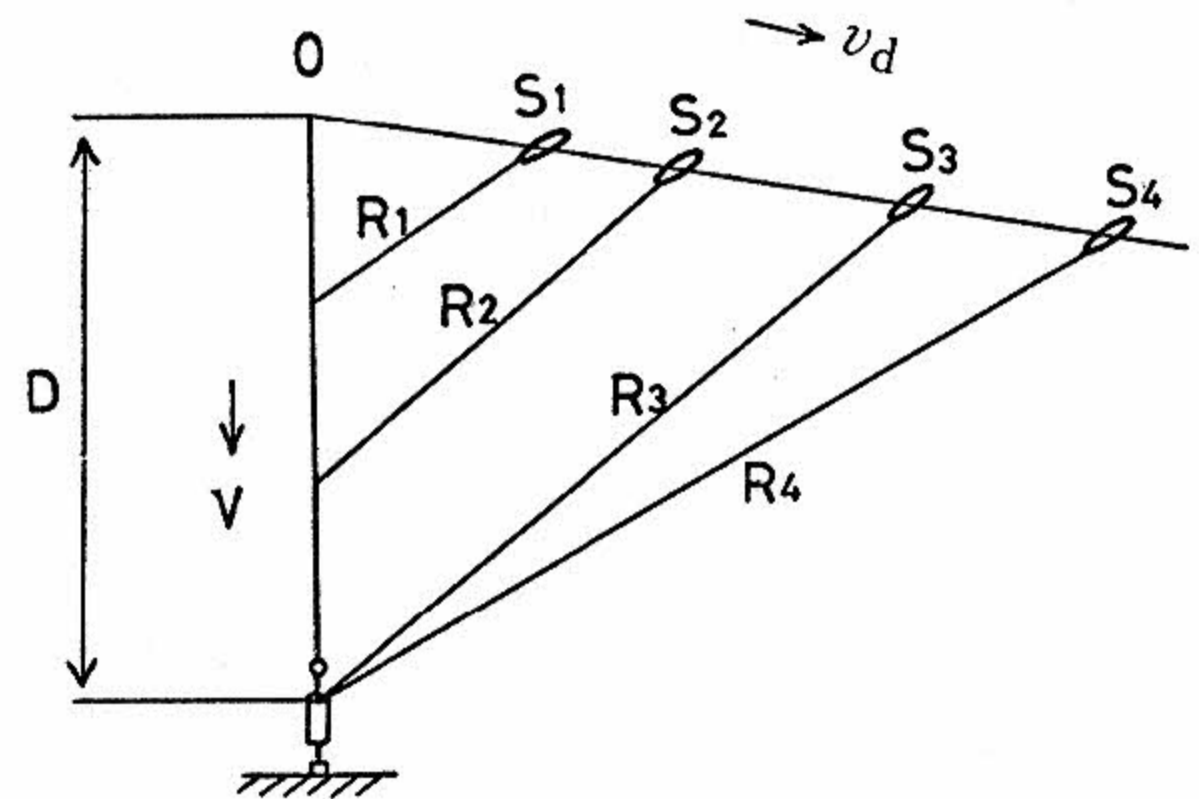


図9 落下時の船とトランスポンダの関係

Relative positions of ship and transponder during descend.

この図では、 $S_1$  および  $S_2$  は落下中の任意の時刻  $t_1$  および  $t_2$  における船位、 $S_3$  および  $S_4$  は着底後の任意の時刻  $t_3$  および  $t_4$  における船位を示す。これらの時刻は対応する斜距離を  $R_1, \dots, R_4$  で表わし、トランスポンダの係留深度を  $D$  とする。

着底後の時刻  $t_3$  および  $t_4$  の間の船のドリフト距離  $d_{34}$  は、

$$d_{34} = \sqrt{R_4^2 - D^2} - \sqrt{R_3^2 - D^2} \dots \dots \dots (1)$$

で与えられる。したがってドリフト速度  $v_d$  は、

$$v_d = \frac{d_{34}}{t_4 - t_3} = \frac{\sqrt{R_4^2 - D^2} - \sqrt{R_3^2 - D^2}}{t_4 - t_3} \dots \dots \dots (2)$$

から求められる。次に落下中の見掛けの速度  $V$  は、

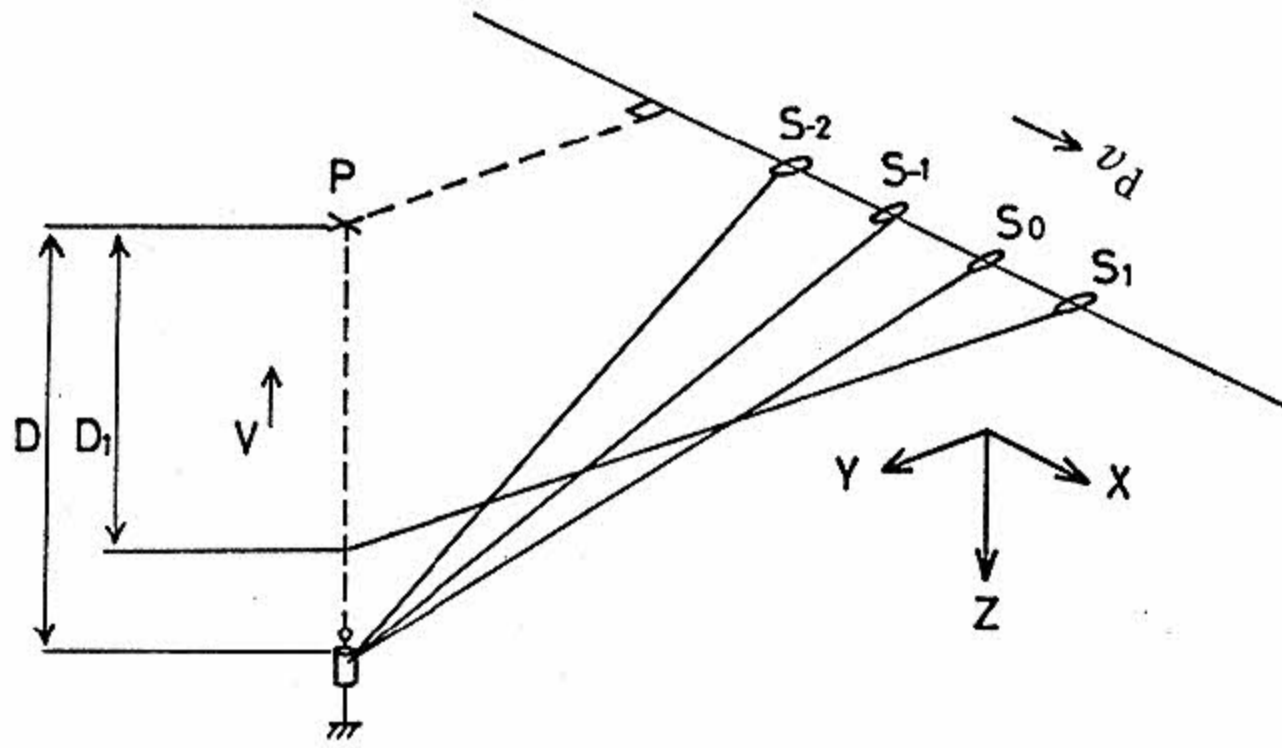
$$V = \frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (3)$$

で与えられるので、落下速度  $v$  は3式からドリフト速度  $v_d$  をベクトル的に差引き、次のように求められる。

$$v = \sqrt{V^2 - v_d^2} = \sqrt{\left(\frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1}\right)^2 - v_d^2} \dots (4)$$

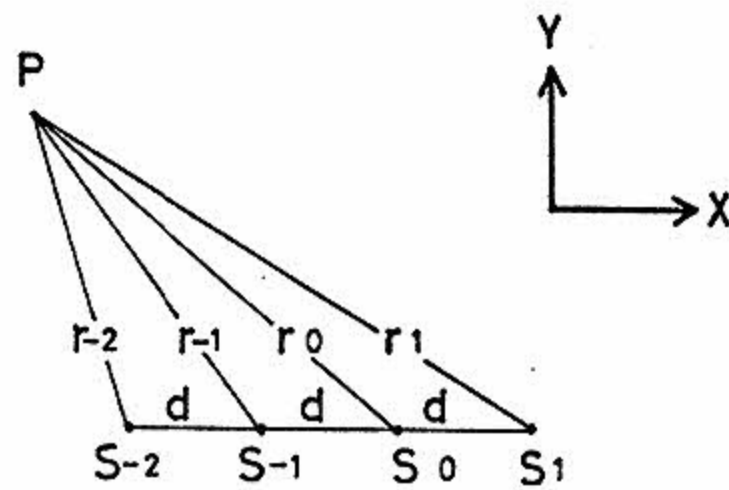
### 6.2 浮上速度の測定

浮上開始前後の船とトランスポンダの関係を三次元的に表わすと、図10中の(1)のようになり、これを海面に投影して二次元的に表わすと、図中の(2)のようになる。



(1) 三次元的表示

Three dimensional expression



(2) 二次元的表示

Two dimensional expression

図10 浮上前後の船とトランスポンダの関係  
Relative positions of ship and transponder before and after release.

図中の(1)では  $S_{-2}$  および  $S_{-1}$  は浮上開始前の時刻  $t_{-2}$  および  $t_{-1}$  における船位、 $S_0$  は浮上開始時刻  $t_0$  における船位、また  $S_1$  は浮上開始後の時刻  $t_1$  における船位を表わす。ここで、各時刻に次のような条件を与える。

$$t_{i+1} - t_i = T \quad (i = -2, -1, 0) \dots (5)$$

浮上速度  $v$  およびドリフト速度  $v_d$  を一定とし、時間間隔  $T$  のドリフト距離を  $d$  とする。また、各時刻  $t_i$  ( $i = -2, \dots, 1$ ) に対応する斜距離を  $R_i$  ( $i = -2, \dots, 1$ ) とし、水平距離 (トランスポンダの海面への投影点  $P$  と船の距

離) を  $r_i$  ( $i = -2, \dots, 1$ ) とし、トランスポンダの深度を  $D$  とすると、各  $r_i$  は次のように表わされる。

$$r_i = \sqrt{R_i^2 - D^2} \quad (i = -2, \dots, 1) \dots (6)$$

次に、図10中の(2)では  $\triangle PS_{-2}S_{-1}$  および  $\triangle PS_{-1}S_0$  を考えると、これらの底辺が等しいので、

$$r_{-2}^2 + r_0^2 = 2(r_{-1}^2 + d^2) \dots (7)$$

が導かれ、これによってドリフト距離を求めると、

$$d = \sqrt{\frac{r_{-2}^2 + r_0^2}{2} - r_{-1}^2} \dots (8)$$

となる。したがって、ドリフト速度は、

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{d}{T} = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{r_{-2}^2 + r_0^2}{2} - r_{-1}^2} \\ &= \frac{1}{T} \sqrt{\frac{R_{-2}^2 + R_0^2}{2} - R_{-1}^2} \dots (9) \end{aligned}$$

から求められる。また、 $\triangle PS_{-1}S_0$  および  $\triangle PS_0S_1$  においても同様な関係、

$$r_{-1}^2 + r_1^2 = 2(r_0^2 + d^2) \dots (10)$$

が導かれるので、これを  $r_1$  について解くと、

$$r_1 = \sqrt{2(r_0^2 + d^2) - r_{-1}^2} \dots (11)$$

となる。一方、浮上開始後の時刻  $t_1$  におけるトランスポンダの深度  $D_1$  は、

$$D_1 = \sqrt{R_1^2 - r_1^2} \dots (12)$$

で与えられる。したがって浮上速度は時間間隔  $T$  における深度変化から、

$$\begin{aligned} v &= \frac{D - D_1}{T} = \frac{1}{T} (D - \sqrt{R_1^2 - r_1^2}) \\ &= \frac{1}{T} (D - \sqrt{R_1^2 - R_{-2}^2 + 3R_{-1}^2 - 3R_0^2 + D^2}) \dots (13) \end{aligned}$$

で与えられる。またドリフト速度  $v_d$  が既知の場合には、次のように表わすこともできる。

$$v = \frac{1}{T} (D - \sqrt{R_1^2 - 2R_0^2 + R_{-1}^2 - 2v_d T^2 + D^2}) \dots (14)$$

### 6.3 オーバーシュートの測定

係留系のシンカが着底した際のオーバーシュートを測定するため、写真6の(1)に示すような装置を製作した。

これをトランスポンダの下部に吊下げて落させ、シンカが着底すると、オーバーシュートによって鉄棒が沈み、再び持ち上げられる。この鉄棒にゴム板などをつけておくと、その移動量はオーバーシュートの量と等しくなる。着底後、ダイバが潜降して、これを測定した(写真6の(2)参照)。したがって、係留深度をダイバ(スキューバ潜水)の繰返し潜水が容易な深度とした。また水没ブイ方式のため、細引(2.5mm×70mm)を巻いたリール付ブイを投入し、ダイバがロープを伝って潜航できるようにし、測定後はロープをとり外した。測定を行った係留は表1中の係留No.2～4に相当する。

このうち、No.4はリール付ブイが沈没したた

め測定できなかった。なお、その係留点を変更するため、翌日回収した。その結果、測定データは2点しかとれなかったので参考のため、水深約8mの水槽で行った予備実験の結果を示す。

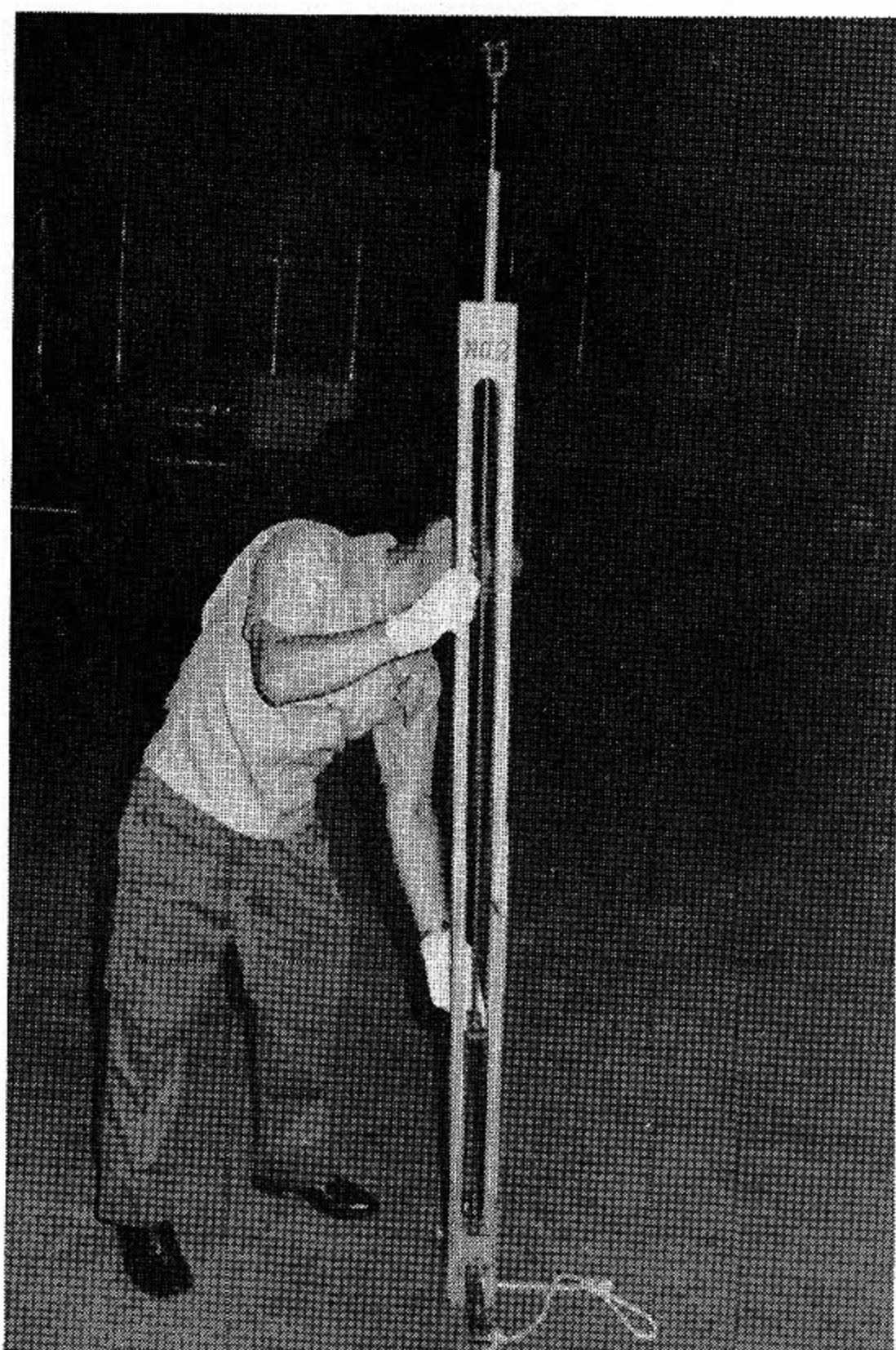
### 6.4 実験結果

落下速度、オーバーシュートおよび浮上速度は相互に関連しているので、ここでまとめて示した結果を表4に示す。

図9には係留系の水中重量と落下速度の関係を示す。この図には水中重量とオーバーシュートの関係も示した。

この図によると、係留No.1には、1.5m程度のオーバーシュートがあったことが予想される。この値はトランスポンダの全長(約1.6m)にほぼ等しいので、図1中の(2)に示した隙間にロープが入り込むと、たとえ切離装置が作動しても、シンカを切離すことは困難である。

オーバーシュートによるロープの絡みを防止



(1) オーバーシュート測定装置  
Overshoot measuring device.



(2) オーバーシュート測定中のダイバ  
Measurement of overshoot by scuba diver.

### 写真6 シンカ着底時のオーバーシュートの測定

Measurement of overshoot which is accompanied with sinker hit the bottom.

表4 落下速度, 浮上速度およびオーバーシュート  
Descend velocity, ascend velocity and overshoot

	水中重量 weight in water (kg)	正味浮力 net buoyancy (kg)	落下速度 descend velocity (m/s)	浮上速度 ascend velocity (m/s)	オーバーシュート overshoot (cm)	備 考 remarks
1	140	73	1.89	—	—	
2	5	29	—		2	* マーカブイ沈没のための測定困難 no data because surface buoy was sunk.
3	25	30	1.23		35	
4	52	30	1.69		— *	
5	19	30	0.9		—	
6	42	28	1.30	1.68	—	
7	74	28	1.48	1.50	—	
8	35	28	1.19	—	—	
9	44	28	1.40	1.57	—	
10	42	23	—	(1.4) **	—	** 切離～浮上までの時間から計算 calculated by the time lapse between release and surface.
11	30	23	—	(1.5) **	—	
12	37	23	—	(0.9) **	—	
13	53	27	1.52	(1.4) **	—	
14	54	27	1.69	1.27	—	
15	63	27	1.76	1.14	—	
水 槽 実 験 , tank test	48	( 3)	—	—	65***	トランスポンダの代わりに重錘を使用 iron block was used instead of transponder.
	18	(27)	—	—	0***	*** 30 cm プラスチックブイ(-40kg/4個) 30cm plastic buoy(-48kg/4 pcs.)
	42	( 3)	—	—	7113***	スケールオーバ scale over
	36	(15)	—	—	40***	
	20	(25)	—	—	10.5****	**** 16" ガラス球ブイ (-63kg/3個) 16" glass float (-63kg/3 pcs.)
	30	(25)	—	—	14.5****	
	40	(25)	—	—	44****	
	60	(25)	—	—	58****	
80	(25)	—	—	70****		

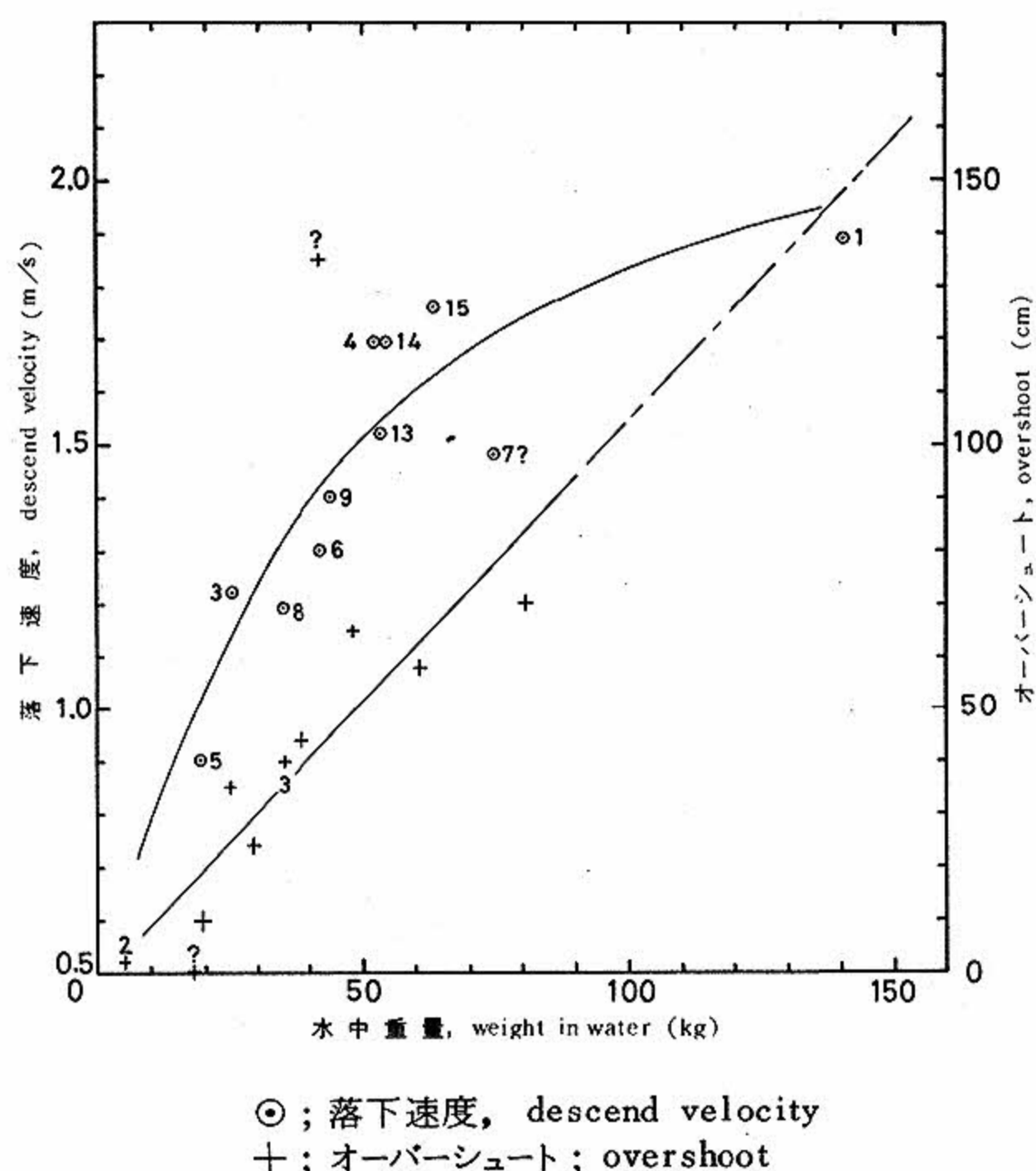


図11 水中重量対落下速度および水中重量対オーバーシュート

Weight in water vs. descend velocity and weight in water vs. overshoot

するには、1978年以降に行っているように、シンカロープがトランスポンダと共に、沈むように、チェーンや重錘をとりつけければ良い。係留No.1が回収できなかったのは、2m/sに近い速度で落下したことに一つの原因があったことは否定できない。これらのことから系の落下速度が1.5m/sを超えないように、全水中重量を決定するのが妥当だと思われる。図9からこの値が約50kgであることがわかる。

オーバーシュートについて、実海域のデータが少ないので、今後、ダイバを必要としない計測を考える積りである。

浮上速度は、同様にデータが少く、バラツキが多い上、正味浮力が23~28kgの範囲でのデータしか得られなかったので、図示しなかった。今までに得られた最も信頼できる結果(係留No.6,7および9)によれば正味浮力が28kgの場合、浮上速度は1.5~1.7m/sの範囲であった。

落下速度は1.5m/s以下が望ましいとすれば、浮上速度もこれを超えるべきではないといえる。したがって落下速度と浮上速度とが一致するのが望ましいのではないかとと思われる。表4およ

び図9から全水中重量が正味浮力の約2倍のとき、この条件(両速度が1.5m/s)が成立することがわかる。

## 7. まとめ

これまでに行った係留は、すべてトランスポンダのための係留であったが、一般に流速計などの深海係留においても、トランスポンダはきわめて有用だと思われる。

以上に述べた方法によって、少なくとも、設置および回収方法に帰因する係留系の事故は、防止できるという自信が得られた。

今後、必要な点は切離装置のバックアップである。このため、目下、トランスポンダ内部のスペースを利用し、タイマ回路を組み込み、現在の切離機構を作動させる方法を検討している。一方、スクリップス海洋研究所の海洋物理研究所で開発され、現在、ソナテック(SONATEC)で製作されているトランスポンダには、音響指令の切離装置とタイマ駆動の切離装置が併用されている。これには2種類あって、一つは同じ耐圧ケースに両者が組み込まれており、他の一つはタイマ回路と電池が本体と同じ径の短い耐圧ケースに収納され、本体にボルト止めされている。後者の場合には、本体に浸水しても回収が可能である。

本報告では海面にブイを出す表面ブイ式の係留と、ブイを出さない水没ブイ式の係留の得失については論じなかったが、トランスポンダの係留に関しては、海面にブイを出すことによって、トランスポンダの位置精度が低下し、係留系の強度設計が複雑になる上、コストも増大する。さらに、表面ブイの流失事故はきわめて多く、筆者らも苦い経験<sup>3)</sup>をもっている。以上の理由で表面ブイ式の係留は考慮外とした。

係留系の落下速度およびオーバーシュートの測定を行った結果、落下速度は1.5m/s以下が望ましいという、目安が得られた。このことから、浮上速度もこれ以下となることが望ましいと思われる。これまでの結果では系の全水中重量が約50kgのときに上記の速度が得られ、正味浮力が約28kgのときに同じ浮上速度となる。

## 文 献

- 1) Heinmiller, R.H. 1976, "Mooring operation techniques of the Buoy project at the Woods Hole Oceanographic Institution", Technical Report WHOI-76-69,
- 2) 堀田 宏ほか, 1978, "深海用試験システムの6,000 m海洋実験", JAMSTECR (2) 57 ~ 73
- 3) 海洋科学技術センター, "固体廃棄物の海洋処分のモニタリング技術に関する対策研究" 昭和51年度成果報告書 分冊2, p.205 ~ 230 ; JAMSTECTR (2) 164
- 4) Laque, F.L., "Marine corrosion-Causes and prevention" (1975), p.164 ~ 176, John Wiley & Sons, New York