

7. 深海用試験システムの6,000m 海洋実験^{1*}

海洋実験プロジェクトチーム 2^{*}

約6,000mの深海底へ計測器等の金属容器やコンクリート構造物のような物体を投下し、設置する場合に破壊せずに安全に着底するかどうかを予め確認するため、深海用試験用試験システムの開発を行ない、水深約6,200mの北西太平洋で種々の実験を行った。

深海用試験システムには、試験体が海面付近から海底まで加圧、冷却されながら降下する状況を実時間で観察できることが要求される。したがって、このシステムは主として深海用テレビカメラから構成され、このほか試験体観察の分解能と視野を補うための二つの異なった型のスティルカメラが装備されている。これらのカメラ観察視野を更に拡大するため、遠隔操作の首振り機構に取付けられている。

試験体はフレームのほぼ中央部に天秤を利用した着底時切離し装置と巻取り装置を介して取付けられる。

今回の実験ではコンクリートを詰めたドラム缶を試験体とし、8回の実験を行った。その間、テレビカメラに関してはVTRをとると共に、適時モニター画像を直接撮影する等、試験体や実験海域の海底の多くの写真を撮影した。また、実験中にはこの試験用フレームを吊るテレビ用同軸ケーブルに掛る張力や波高と周期の測定を行い、いくつかの知見を得た。

Marine Experiments of a Deep-Sea Testing System in Water 6,000 m Deep

Abstract

A series of marine experiments to test the efficiency of the deep-sea testing system was made in the Northwestern Pacific Basin about 6,000 m in depth. The deep-sea testing system had been developed for the purpose to confirm the integrity of containers of LLW in water conditions, but it might be useful for more generic purposes of tests of instruments for Oceanography and marine development fields.

The system is essentially composed of a frame equipped with a deep water television system to watch the condition of the test body throughout the course from surface to bottom. It is supplemented by two kinds of still cameras in order to take more detailed and widely viewed photographs of the test body. The test body is installed at the center of the frame through a lever release mechanism and drawing test body mechanism working on the sea bottom.

In this marine experiment many photographs and video tapes of the test body and sea bottom were successfully taken by the system. Some notes on the variation of tension added on the coaxial cable hanging the frame and on the sea conditions are described based on the data obtained by the experiment.

^{1*} 本研究は、科学技術庁原子力安全局から委託を受けた「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」の一環として実施したものである。

^{2*} 海洋実験プロジェクトチームのメンバーは以下の通りである

海洋利用技術部：	堀田 宏	中西俊之	門馬大和	土屋利雄	大塚 清	名執 薫
深海開発技術部：	橋本 惇	高橋賢一	大和田毅			
	坂倉勝海	高川真一				
潜水技術部：	中埜岩男	大久保明				
研修部：	北川和比古					

^{3*} 現在、原子力船開発事業団

1. ま え が き

深海底に設置する容器等の安全性を予め試験するため、高圧実験水槽が使われることが多い。水深1,000 mを越える深海の環境は単に高圧であるばかりではなく、1～4℃という低温でもあり、この温度の影響が重要な場合もある。したがって特別の実験水槽では温度も制御できるようになっている。

海面付近で投下して自由落下によって深海底に設置する場合には、容器は加圧および冷却によって歪みを受けたのち、自由落下の終速度で海底に衝突し、その際の健全性を確認するには高圧実験水槽では十分な実験ができないので、現場で衝突の影響を見ることができる深海用試験システムが必要となる。

2. 深海用試験システムの構成

海面付近で投下し、自由落下によって深海底に設置する容器の健全性を確認する深海用試験システムとしては、試験体の状態を実時間で常に観察できることが望ましい。したがって、試験システムの主たる構成要素は、深海用テレビカメラ装置である。

テレビカメラによる映像は、良く知られているように、走査線の数の影響等で分解能に制限があるので、試験体観察時の分解能と視野の不足を補うため、異なった種類のスティルカメラを更に装備することとした。

前年度までの海洋実験によると、カメラ類を装備した試験システムのフレームは風や海水の流れによる船の移動によって引きずられ、海底に衝突させたのち、試験体の観察が極めて困難であることがわかった。したがってテレビカメラ等は船上からの遠隔操作で姿勢を制御できるように、パンティルト装置を介してフレームに取付け、一方、試験体は巻取り装置を介してフレームに取付けることとした(図1)。

この試験システムのフレームはテレビカメラ用の二重鎧装同軸ケーブルで吊下げられ、その巻降し、巻上げは船に装備した専用の可搬型電気油圧駆動ウインチで行なう。巻降し速度は試験体の自由落下の終速度にできるだけ近いことが望ましい。この試験システムでは8 tの荷重を約3 m/secで巻降し、巻上げができる能力を持っている。

試験体は以上の装置で観察されながら降下し、やがて海底に接近する。海底への衝突はコアラ

等に使用されている天秤³⁾を利用した着底時切離し装置によって行われる。

試験体の切離される海底からの高さは、トリガ重錘を吊っているロープの長さによって決め、その高さは試験体が自由落下の終速度に達するのに必要な距離であればよい。

今回の海洋実験で使用した試験体が終速度に達する距離は約2 mであったが、十分にその距離を取るために海底から約5 mの切離し高さとした。

3. 深海用試験システムの海洋実験

科学技術庁の委託による試験体は、直径約60cm、長さ約90cmの200ℓドラム缶(JIS H級)にコンクリートを詰め、空中重量約450 kgのものであった。

実験海域は図2⁴⁾に示すように、北西太平洋海盆の北緯30°、東経147°の水深約6,200 mのところであった。

海底との衝突の影響が各試験体で一定であるためには実験地点をできるだけ同一に保つ必要があるので、図3に示すように海面にマーカブイを2基係留すると共に、その中間点付近にはトランスポンダー付きの音響切離し装置を海底に係留した。

3.1. 深海域における実験準備

試験装置を水深約6,200 mの海底に降すために約7,900 mの鎧装同軸ケーブルを用意した。ウインチドラムへの巻込みは使用状態に近い張力を掛けて行われなければならない。そこで実験に先立ち日本海溝の水深約8,500 mの海域でケーブルをドラム上に一層だけ残し、約7,500 m繰出して締巻きを行った。この時のケーブルのドラム側端に掛った張力は、図4に示すように、約5.5 tであった。

この締巻きに際して、二つの音響機器についても作動性能試験を行った。

その一つは実験時の水深の確認に曳航式の深海用精密測深機を製作したので、その性能を調べることであった。これについてはケーブル繰出し時の水深監視で8,500 m以上の測深能力があり、その後、曳航試験でも曳航体は安定であり、十分6,000 m以上の測深能力が保たれることが確認された。

他の試験は、深海係留用トランスポンダー付音響切離装置(AMF社製)が、実際に水深6,000 mで作動するかどうかを確認するため、ケーブル

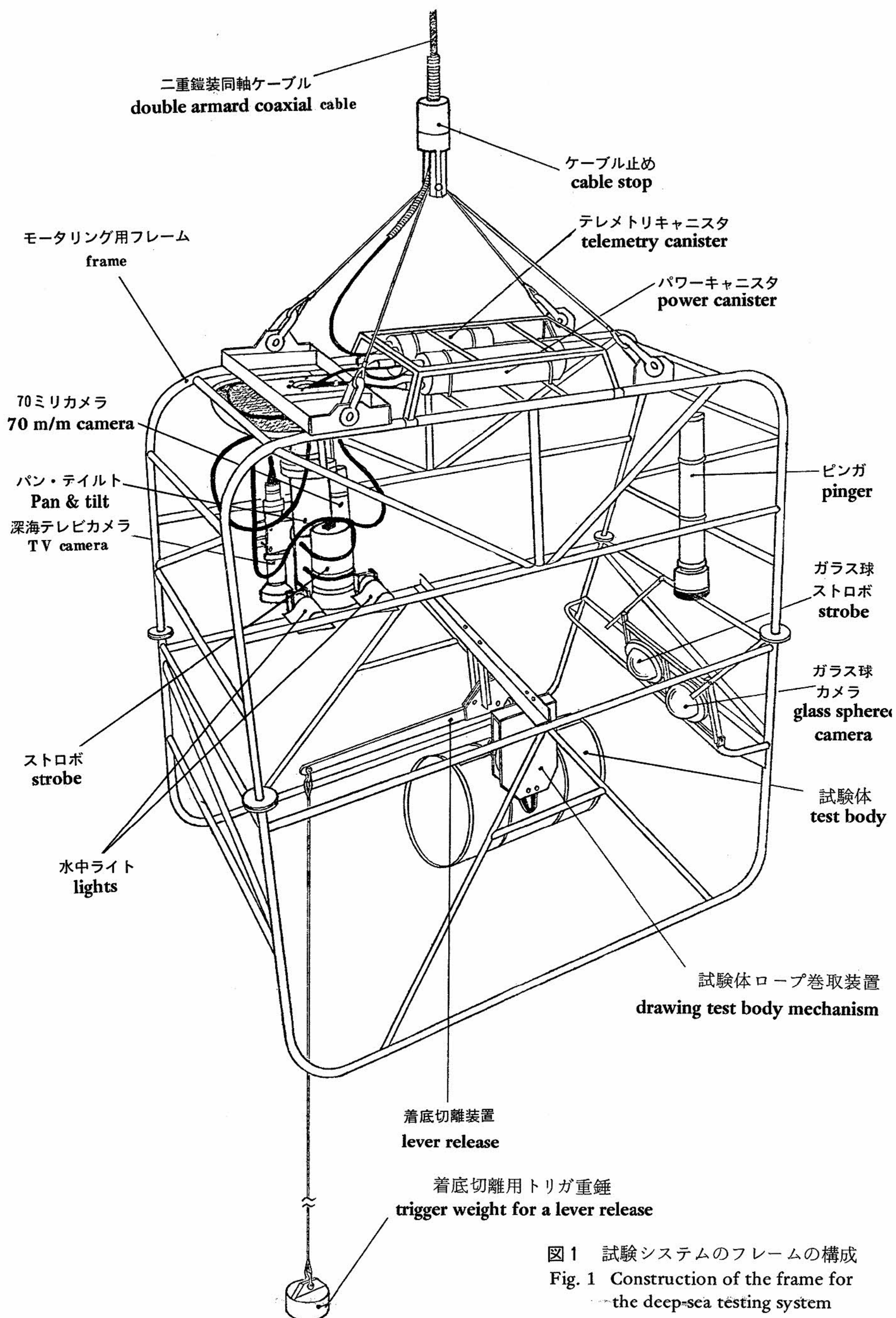


図1 試験システムのフレームの構成
Fig. 1 Construction of the frame for
the deep-sea testing system



図2 実験海域

Fig. 2 Experiment area in the bathymetric chart (J.H.O. No. 6901)

の繰出しに際して先端から1,500 mのところに取り付け、水深6,000 mまで降した。この試験では途中約1,000 mごとに質問信号を送り、それに対する応答信号を受け、音響信号の送受の確認も行い、最後に6,000 mで切離し信号を送り、切離装置が作動することを確認した。

3.2. 実験海域の測深及びブイの係留

以上の実験準備を終え、水深約6,200 mの実験海域に移動し、実験地点を決るため測深を行い、図5に示すような海底地形図を作った。ただし、水深は1,500 m/secの仮定音速度によって求めた。実際の音速度（実効音速度）は良く知られているように、水温、塩分、圧力によって変化するので補正が必要な場合もある。

図6は今回の実験で水深約2,200 mまでの水温をXBTによって測定して得られた13例を1枚の図にまとめたものである。これによって実験期

間中の水温変化の概要が知られるであろう。

海水中の実効速度を求める式は、多くの人々によって提案されている。その中で次に示すような比較的簡便な Kinsler⁵⁾ による次式

$$C = 1,449 + 4.6t - 0.055t^2 + 0.0003t^3 + (1.39 - 0.012t)(s - 35) + 0.017d \quad \cdots (1)$$

ただし、C：音速 (m/sec), t：水温 (°C), S：塩分濃度 (‰), d：水深 (m)

を用い、音速の補正を試みてみた。

図7には図6に基づいて計算した音速変化の断面を示す。塩分は今回は測定しなかったので参考資料⁶⁾によった。これによる平均音速は1,515 m/secとなり、水深は+1%の補正が必要であった。

図5に示す海底地形図により実験地点を決定し、その地点を表示するため、二つの表層係留ブイを設置し、またトランスポンダーの深層係留も行った。

図8、図9および表1、表2に各係留システムと構成要素を示す。

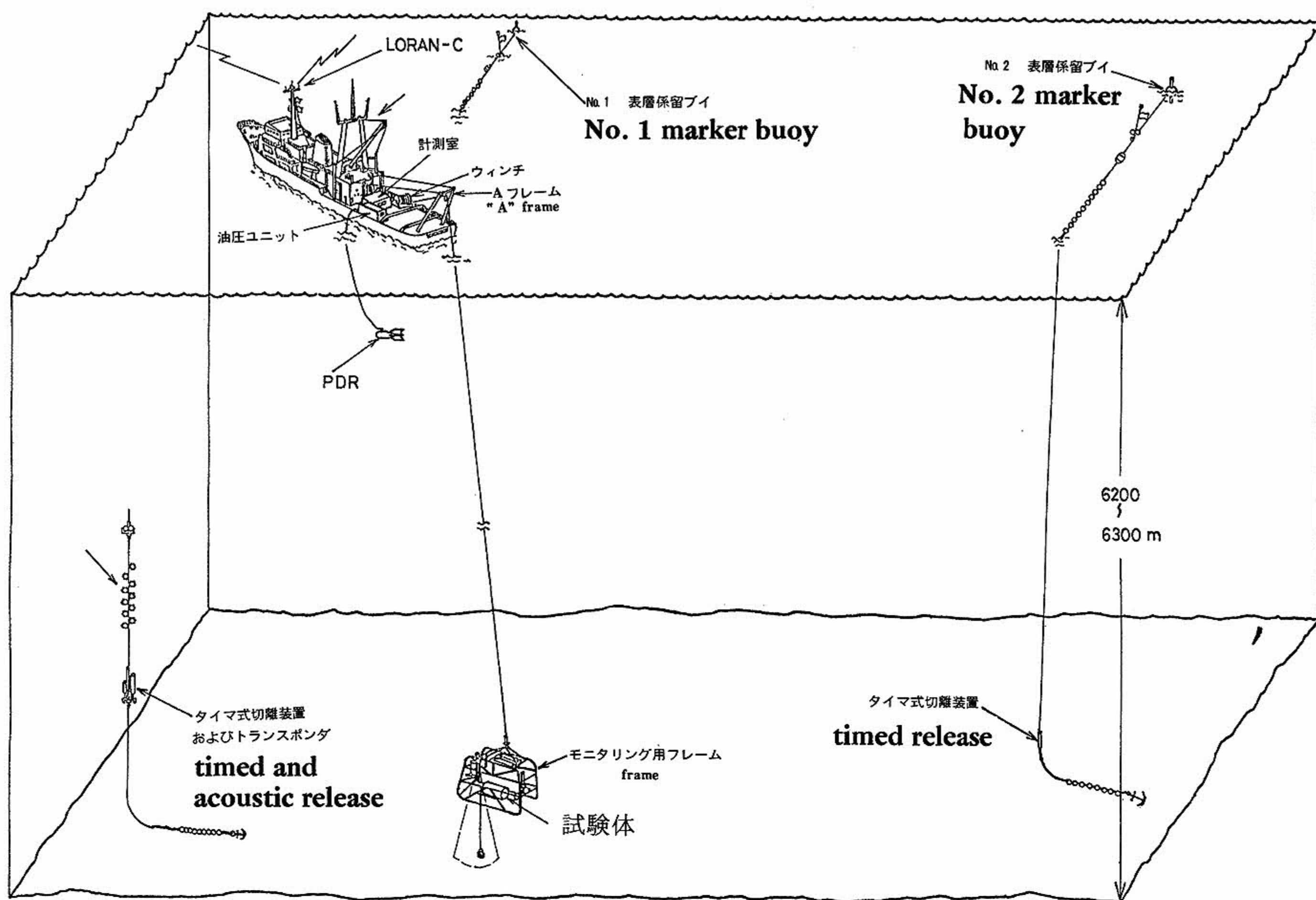


図3 深海用試験システムの海洋実験概念図

Fig. 3 Schematic illustration of the marine experiment of deep-sea testing system

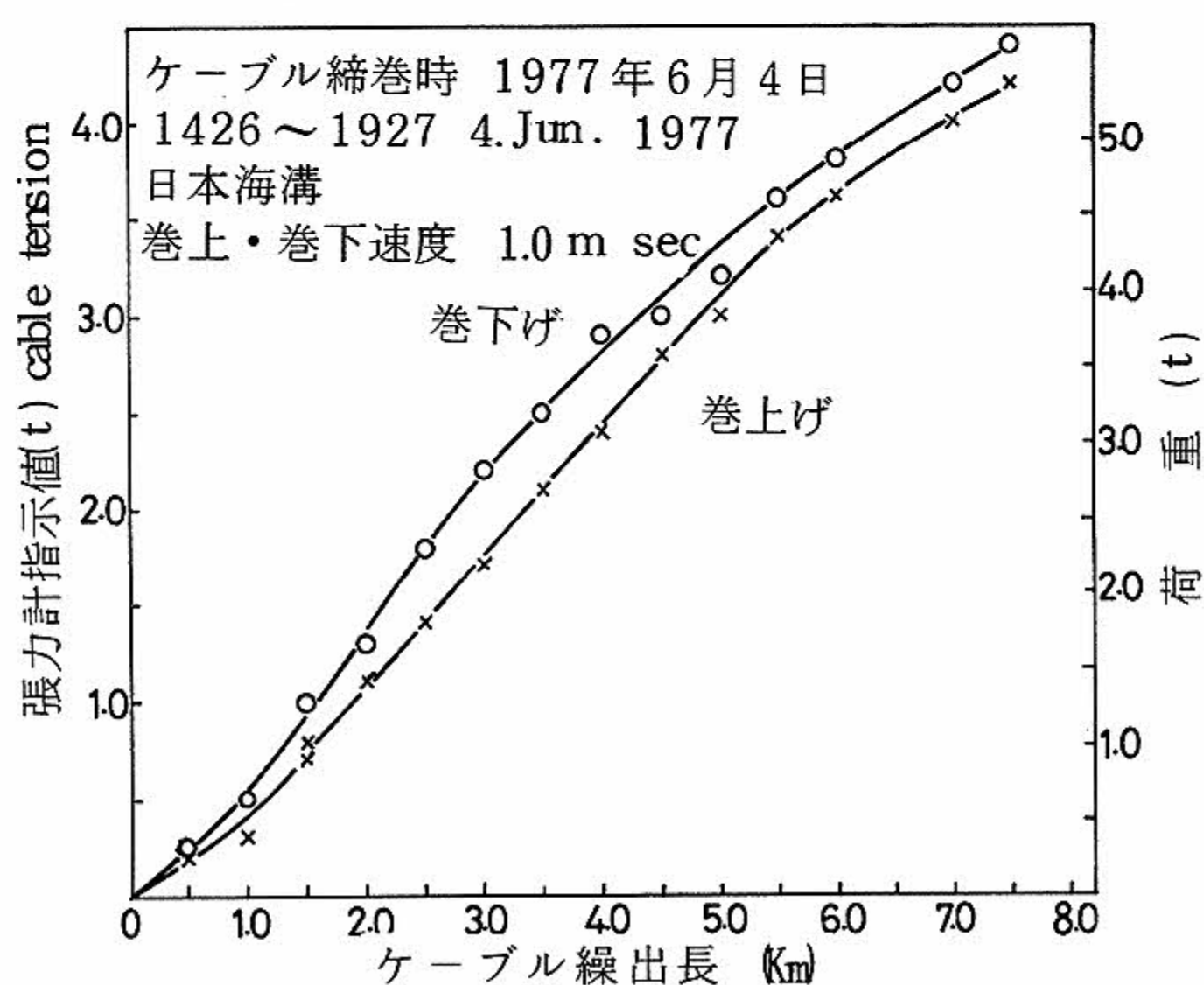


図4 ケーブル繰出し長に対する張力指示値と荷重の関係

Fig. 4 Relationship between paged out cable length and tension loaded on the cable

係留システムの投入の方法はいずれも“ブイ先/アンカー後”方式とした。

表層係留ブイの場合には約7,000 mのロープを

繰出す間、船は約5ノットで航走し、全作業は約50分で終了した。トランスポンダーの深層係留は図10に示すように、トランスポンダーとアンカー及びチェーンを舷側にロープで吊ったのち、先端ブイから投入した。次にアンカー及びチェーンを吊っているロープを切り、これらを海中に投入し、約90mのロープがすべて繰出される直前にトランスポンダーを吊ったロープを切り、海中に投入した。この間、船はドリフトの状態にあり、全作業時間は約15分であった。

トランスポンダー投入後、図11に示すように、その着底を確認するため約80分に7回、トランスポンダーまでの斜距離 (Slant Range) を測定した。図11で明らかなように、投入から約53分後に見掛けの落下速度が急激に変化しているので、この時点でアンカーが着底したと考えられる。その後の斜距離の変化は、船のドリフトによるもので、図11からその速さを求めると約0.8 m/sec (1.6ノット) となる。この値を使ってトランスポンダーの落下速度を求めると、約1.9 m/sec

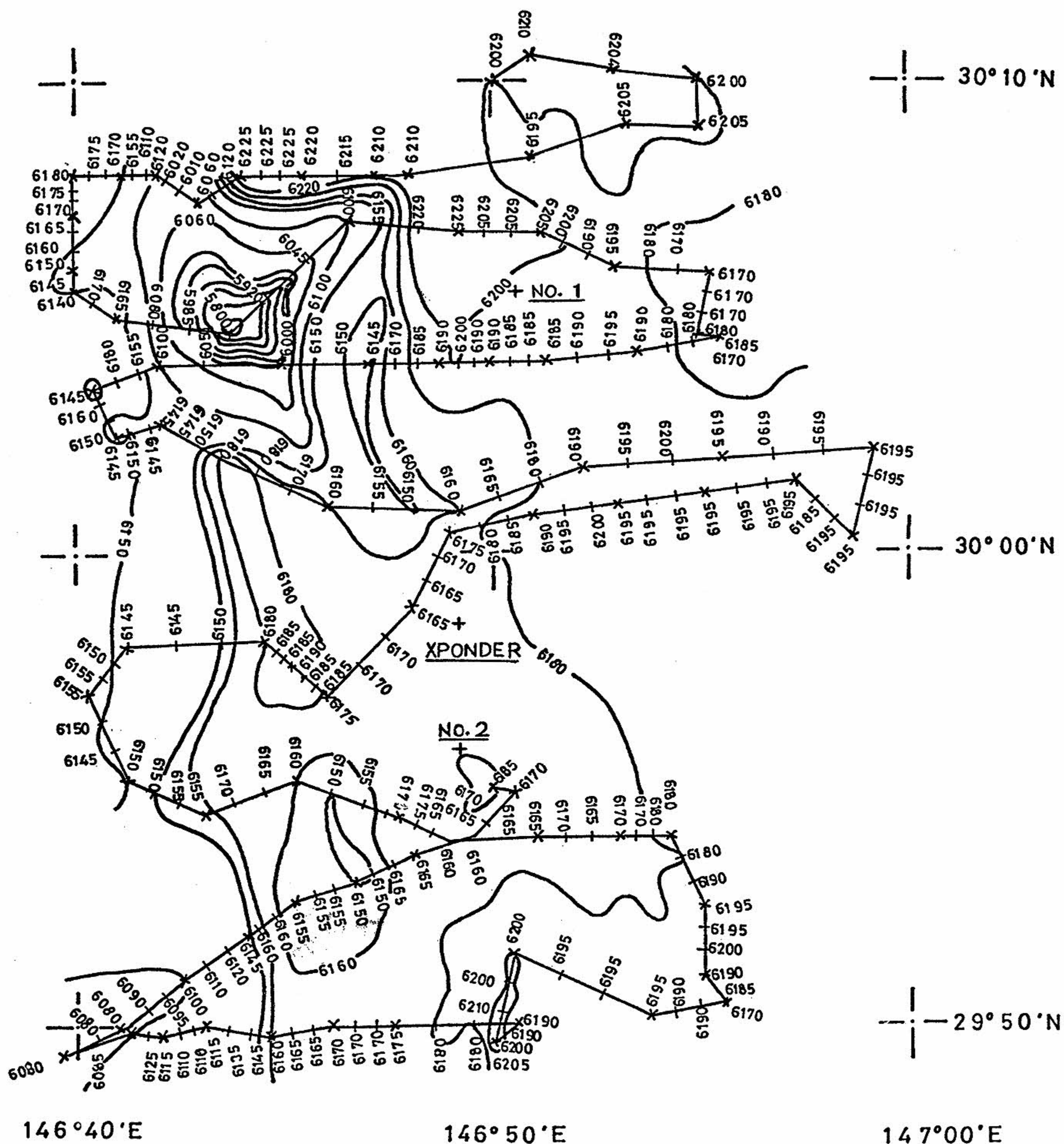


図5 実験海域の海底地形
Fig. 5 Topographic map of experiment area

となり、ウッズホール海洋研究所⁷⁾が通常、係留作業で用いている約1.0 m/secの落下速度に比べてかなり速かった。

3.3. 深海用試験システムの運用

前述のように、試験システムのフレームの巻降し速度は試験体の自由落下の終速度であることが

望ましいのでフレームは、重量に対して流体抵抗をできるだけ小さくするように作る必要がある。

このような観点で作られたフレームが実際にはどれだけの速さで安定に巻降することができるかということを実験した。姿勢の判定には小さな鉄球を封入したU字管を直交してフレームに固定し、その鉄球の動きをテレビカメラで見ることにした。

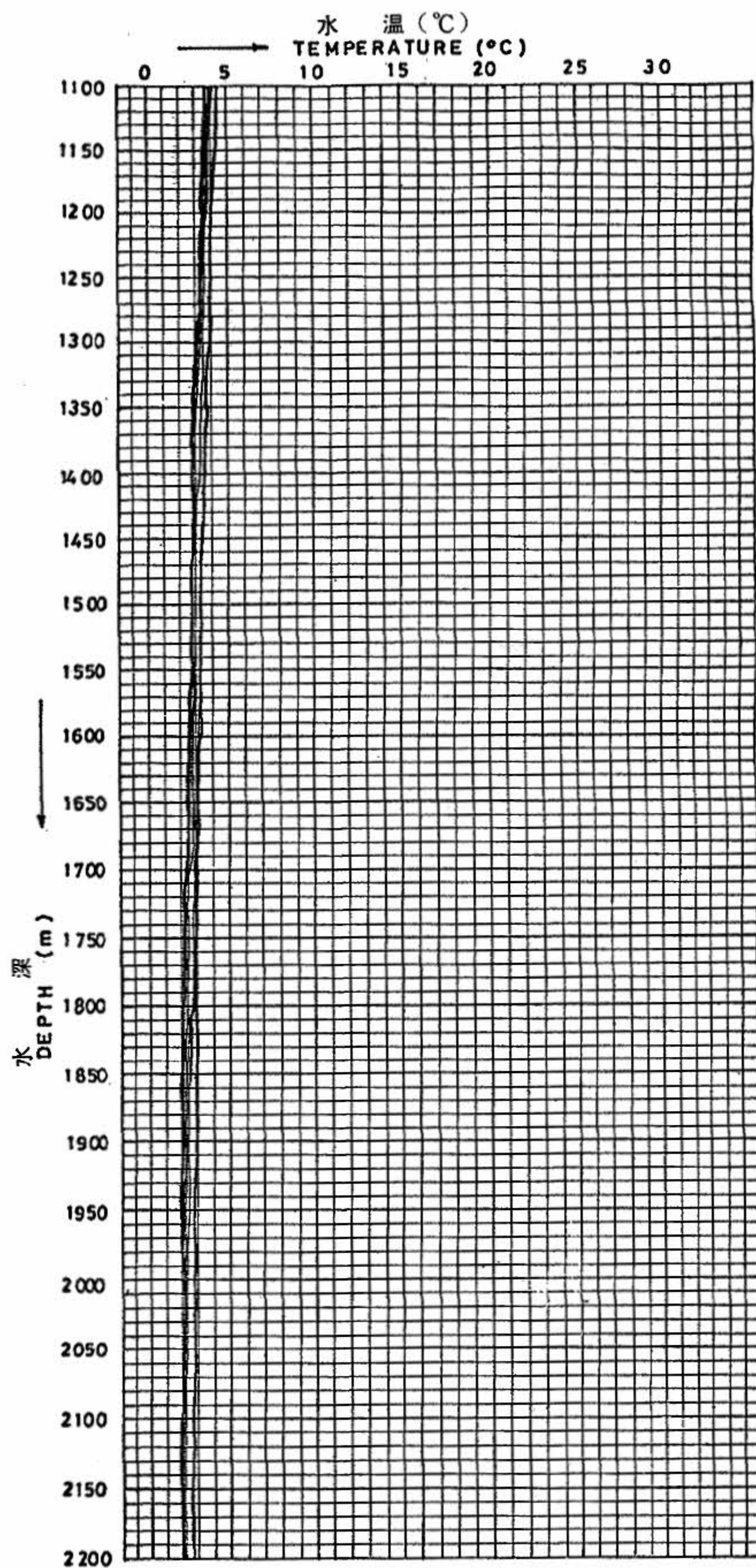
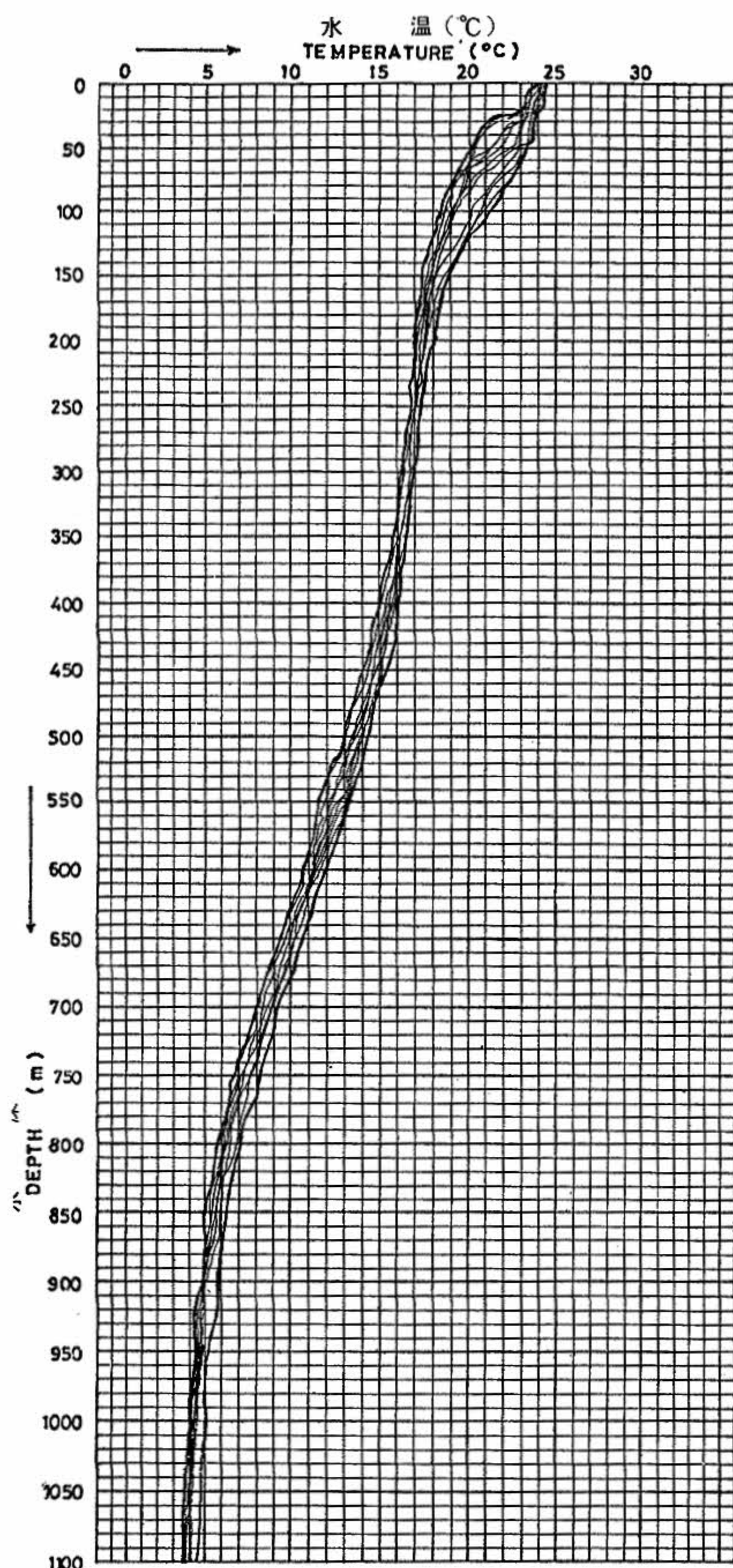


図6 実験海域の水温の深度分布

Fig. 6 Vertical section of water temperature in the experiment area

巻降し速度は1.2 m/secから0.2 m/sec ずつ増加させ、2.0 m/sec になってもフレームの姿勢は安定ではあるが、降下速度はケーブルの繰出し速度（巻降し速度）よりも遅いために“しゃくり”現象が起り、ケーブルに衝撃的な力が働くことがわかったので、実験中の巻降し速度は1.4 m/sec とすることにした。これは試験体の自由落下の終速度の約 $\frac{1}{2}$ である。

写真1はフレームの発進及び揚収の状況を示す。

3.3.1. 実験中のケーブルに掛った張力と波等との関係

試験システムを用いた実験中の海面及び船の作業甲板の動揺を積分式の波高計で記録した。

図12は測定した動揺の平均周期や平均振幅（又は波の周期や波高）を示す。この図で縦短線は船の動揺、横短線は波について示す。これによると船の動揺の振幅は波の有義波高あるいは平均波高に近いことがわかる。

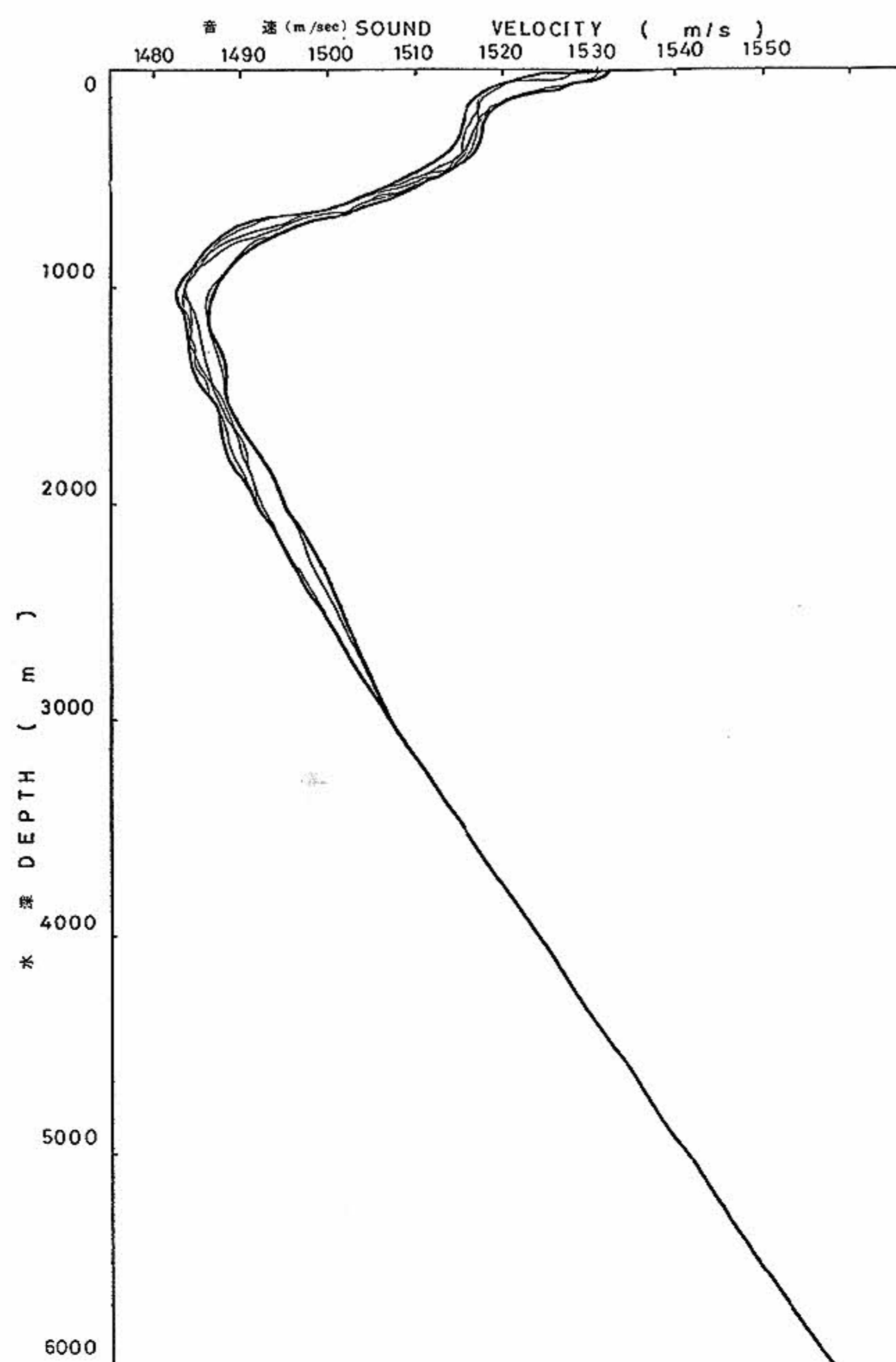


図7 計算によって得られた音速度の深度分布

Fig. 7 Vertical section of calculated sound velocity based on the data in Fig. 6

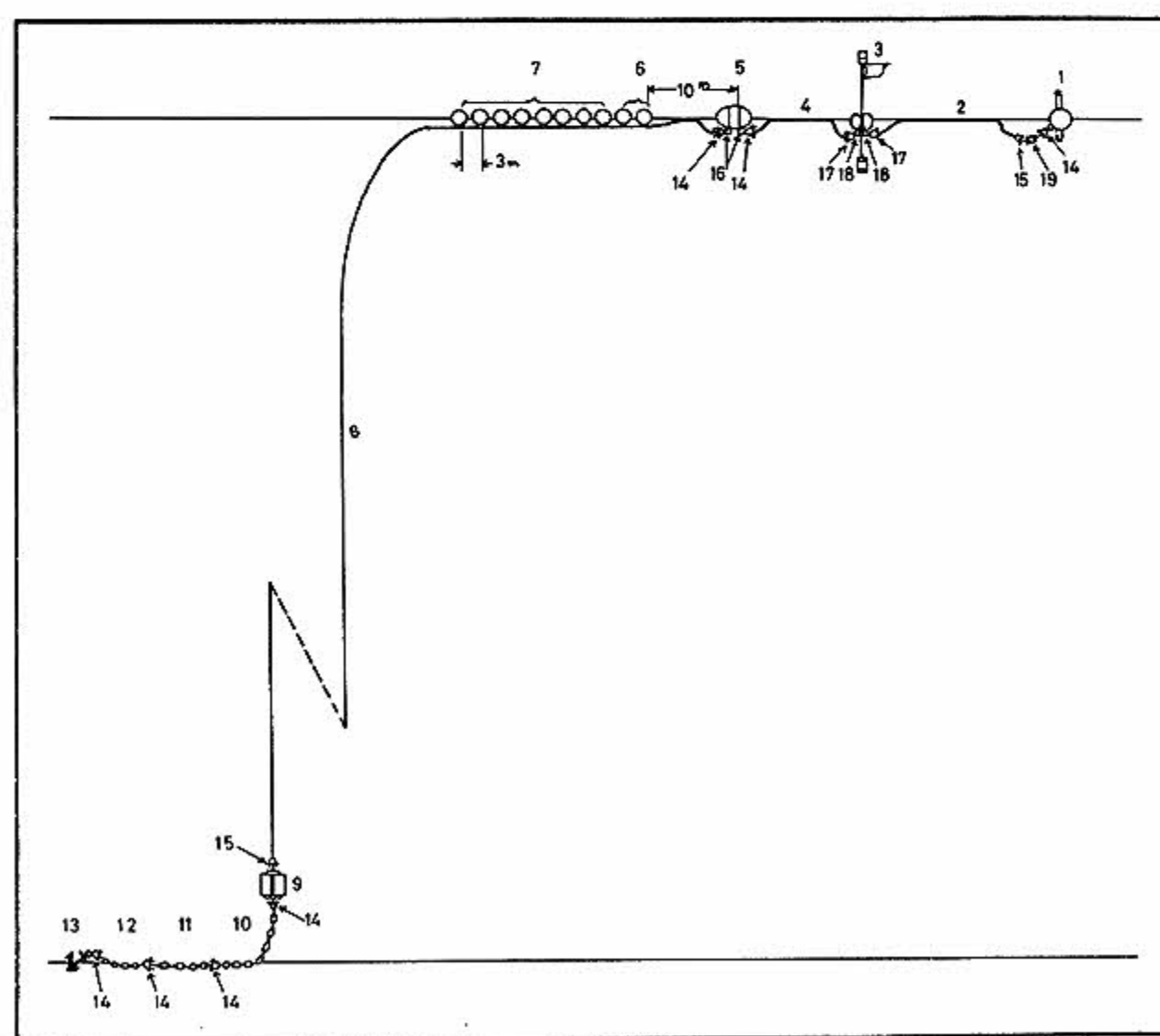


図8 表層係留ブイの構成

Fig. 8 Composition of surface mooring buoy as marker

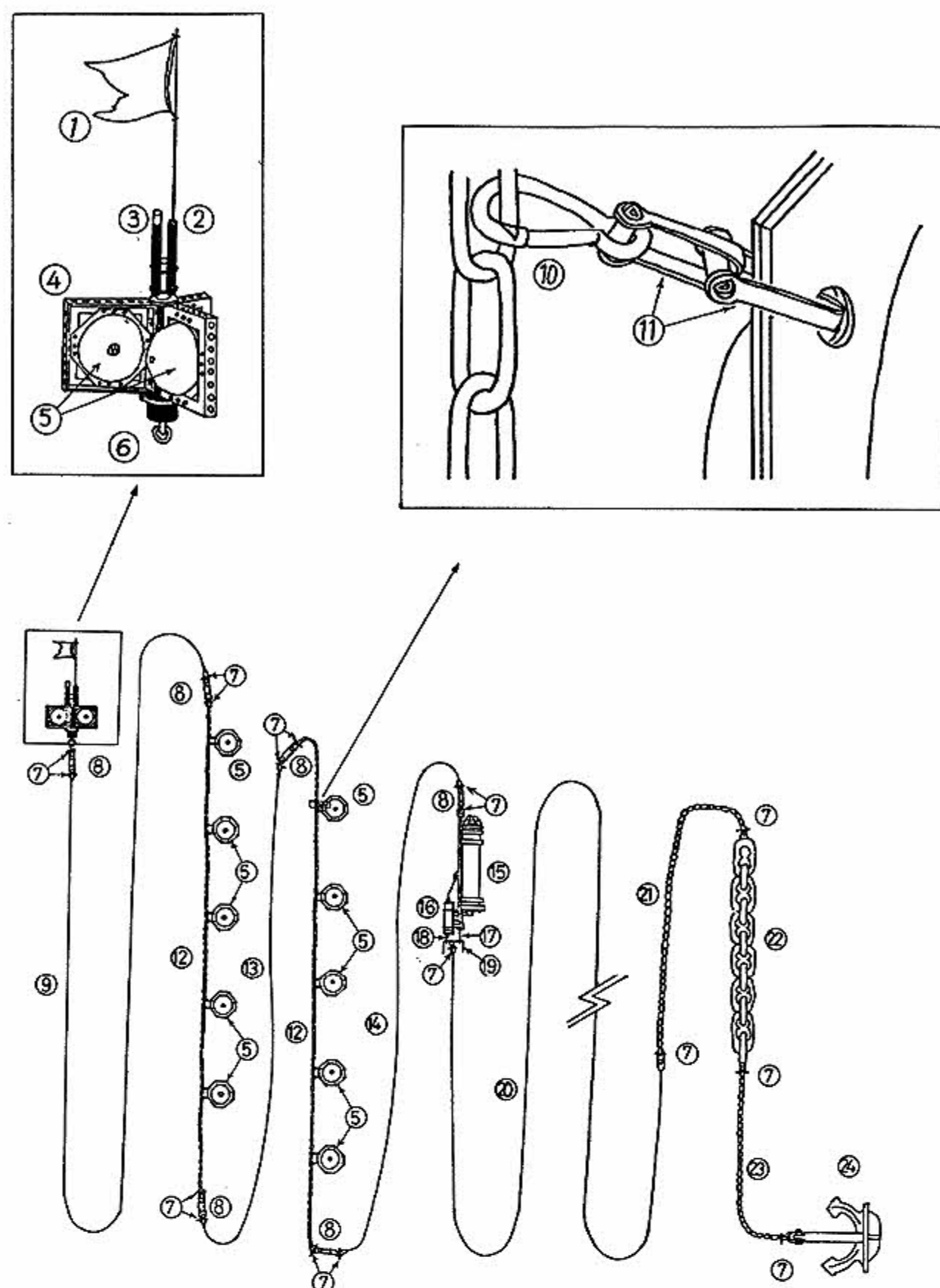


図9 深層係留ブイの構成

Fig. 9 Composition of deep submerged mooring buoy

番号 sign	名 称 name	仕 様 specification
1	夜 間 点 滅 ブ イ	ゼニライト13型 キセノン1秒閃寿命1.5ヶ月
2	バ イ レ ン ロ ー プ	12φ, 3つ打, 20m
3	リ フ レ ク タ 付 旗 竿	高さ2m, 多指向性レーダーリフレクタ (SB-I黄, SB-II赤) 赤色旗
4	バ イ レ ン ロ ー プ	12φ, 3つ打, 10m
5	卵 型 ブ イ	橙色, 600 ^L × 450φ, 浮力75kg
6	尺 玉 ブ イ (橙)	外径300mm, 浮力14kg, 6φ及び3φクレモナロープで固縛
7	尺 玉 ブ イ (黄)	" " " "
8	バ イ レ ン ロ ー プ	12φマルチエイトロープ, 7,000m (1,000mつなぎ) 浮力71kg/7,000m
9	タイマ式切離装置	開発工業, 2連 (SB-II), 1連 (SB-II)
10	チ ャ ー ン	12m/m 7m 21kg
11	シンカー用チェーン	50m/m 100kg
12	チ ャ ー ン	12m/m 3m 9kg
13	ア ン カ ー	ストックアンカー 60kg
14	鉄 シャ ッ ク ル	呼び 12
15	"	呼び 10
16	鉄 リ ン グ	内径 100mm
17	鉄 シャ ッ ク ル	呼び 8
18	鉄 リ ン グ	内径 40mm
19	ス ウ イ ブ ル	3t ベアリング

表1 表層係留ブイの構成要素

番号 sign	名 称 name	仕 様 specification	数量 number	空 中 重 量(kg) weight in air	水 中 重 量(kg) weight in water	備 考 remarks
I	マ ー カ ー ブ イ					
II	主 浮 カ ブ イ					
III	切離式トランスポンダー					
IV	ア ン カ ー					
1	赤 旗	国際信号旗のB旗 350×900mm	1	0	0	
2	ラ ジ オ ビ ー コ ン	OAR製, ST-206-100-HG, 耐圧10,000m	1	1.5	0.5	
3	フ ラ ッ シ ャ	OAR製, SF-500-1-100, 耐圧10,000m	1	1.5	0.5	
4	フ レ ー ム	耐食性アルミニウム	1	27	17	
5	ガ ラ ス 球 ブ イ	ガラス球外径360mm, 塩化ビニル製ハードハット付, 耐圧6,700m	13	192.4 / 13個	-156 / 13個	
6	バ ラ ン ス ウ ェ イ ト	鉛鋳物	1	5	4.6	
7	シ ャ ッ ク ル	5分径	16	7.2 / 16個	6.3 / 16個	
8	ス ウ ィ ブ ル	ダブルサルカン 荷重最大 2t	6	1.3	1.1	
9	ロ ー プ	12φ パイレックス三つ打ロープ 20m	1	—	—	
10	板 シ ャ ッ ク ル	SuS, 5φ	40	1.2 / 40個	1.1 / 40個	
11	フ ッ ク	SuS, 6φ	20	0.8 / 40個	0.7 / 40個	
12	チ ェ ー ン	6φ, 亜鉛めっきロングリンクチェーン, 12m	2	14.4 / 24m	12.6 / 24m	
13	ロ ー プ	12φ パイレックス三つ打ロープ, 10m	1	—	—	
14	〃	12φ パイレックス三つ打ロープ, 10m	1	—	—	
15	ト ラ ン ス ポ ン ダ ー	AMF製 Model 322, 18.8φ×1.608 電池寿命54週間, 応答回数10 ⁵ 回	1	63	31.7	耐圧6,000m
16	タ イ マ ー 式 切 離 装 置	開発工業製, 火薬式切離, 設定時間最大9.999時間, 80φ×330mm	1	7	5	耐圧10,000m
17	鉄 リ ン グ	15φ 内径65mm 鉄製, 荷重10t	1	0.5	0.4	
18	シ ャ ッ ク ル	10φ 鉄製	1	0.2	0.2	
19	切 離 金 具	20φ×460mm, 鉄製	1	1.2	1.0	
20	ロ ー プ	12φ パイレックス三つ打ロープ, 90m	1	—	—	
21	チ ェ ー ン	12φ ショートリンクチェーン, 7m, 鉄製	1	21	* 18	
22	シ ン カ ー チ ェ ー ン	50φ スタッドリンクチェーン 鉄製	1	100	* 87	
23	チ ェ ー ン	10φ ショートリンクチェーン 4m 鉄製	1	4	* 3.5	
24	ア ン カ ー	ストックアンカー, 鉄製	1	120	* 100	
				合 計	140.2kg	落下重量
				*を除いた合計	-73.3kg	浮上浮力

表2 深層係留ブイの構成要素

一方、試験システムのフレームの巻降し、あるいは巻上げの際にケーブルにかかる張力をロードセルを用いたメーター表示式の張力計によって測定した。読取りはケーブルの繰出し長500mごとに行った。

図13はケーブルの繰出し長に対する張力計指示値とそれから求めた荷重の値の例を示す。読取り時における張力変化の幅は縦線で示した。その幅はケーブルの繰出し長の増加と共に増加し、ケーブル長が1,000～2,000mの間で最大となり、張力

変化の幅は約1～1.5tである。ケーブルが更に繰出されると、この幅は次第に減少し、数100kgとなる。巻上げ時も同様の傾向が見られ、ケーブルの長さが2,000～3,000m位から短くなるにつれて張力変化の幅は増大している。

これらの張力の幅の間を単純にスムーズに結んで実験中にケーブルに掛る荷重のヒステリシスを示してみた。これによると、ケーブルに掛る荷重はケーブルの繰出しにともない、1,000mまでに一度減少し、その後増加して行くことがわかる。

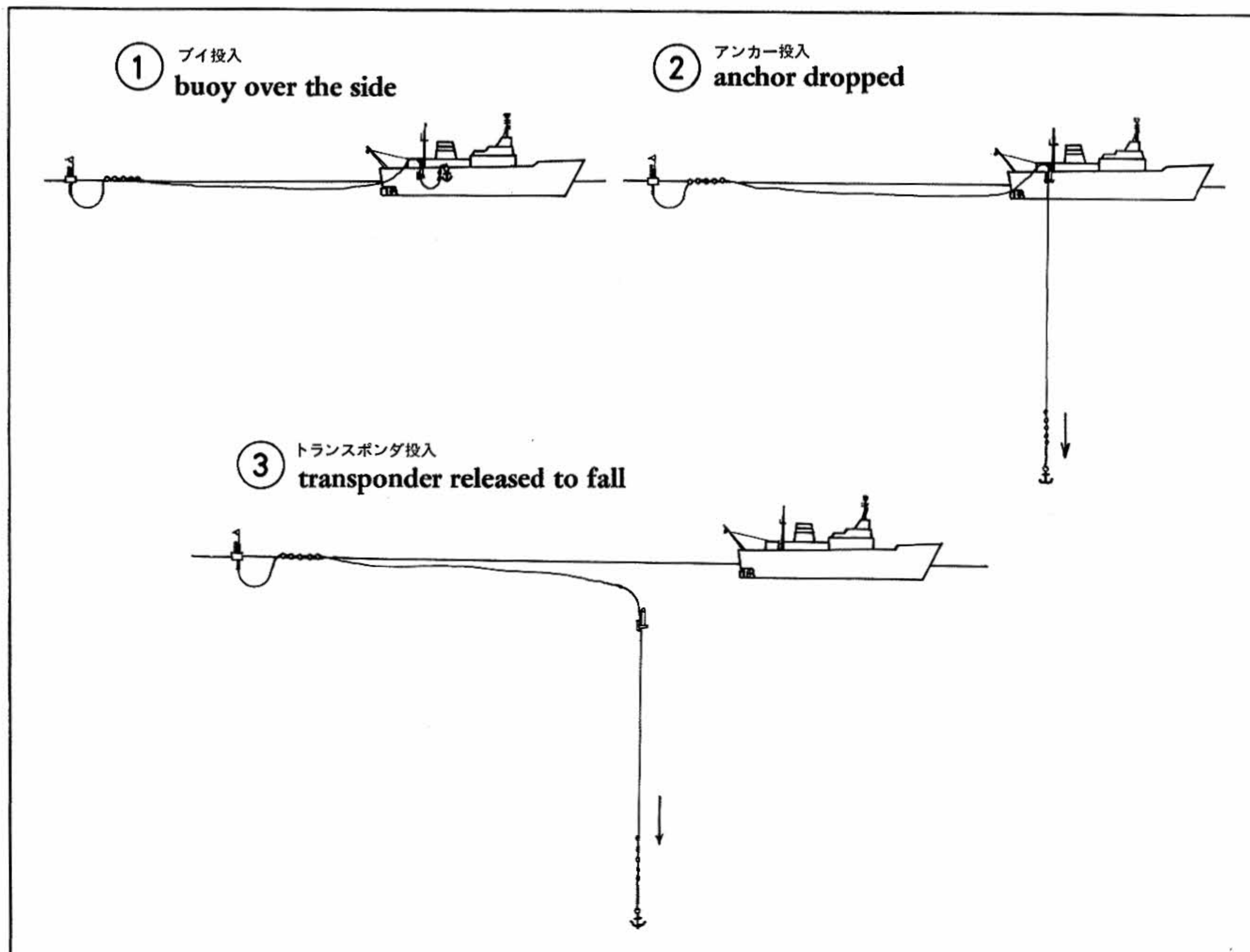


図10 深層係留ブイの投入手順

Fig. 10 Deployment procedure for submerged mooring buoy

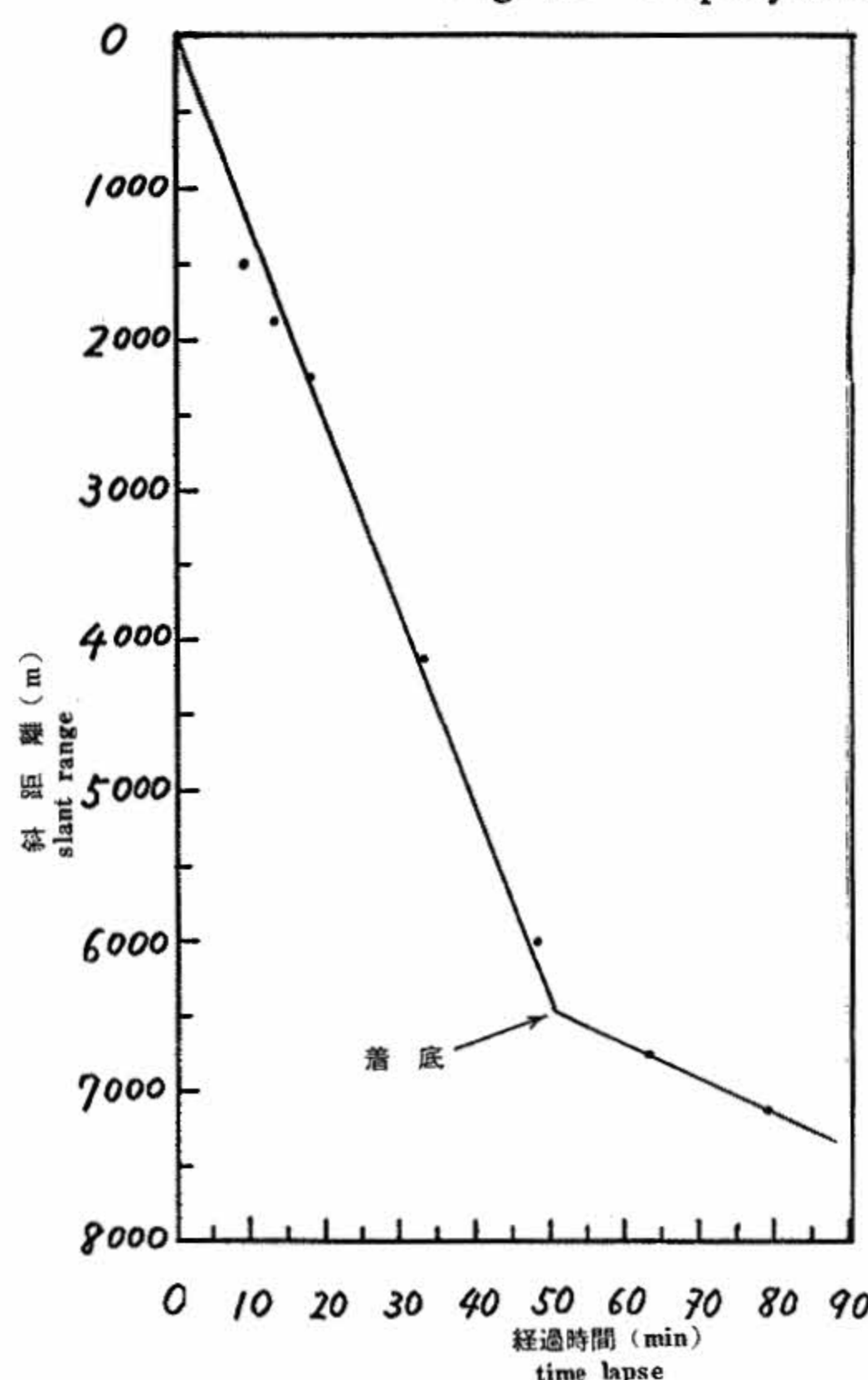


図11 深海係留ブイ投入後の斜距離変化

Fig. 11 Slant range variation during transponder falling

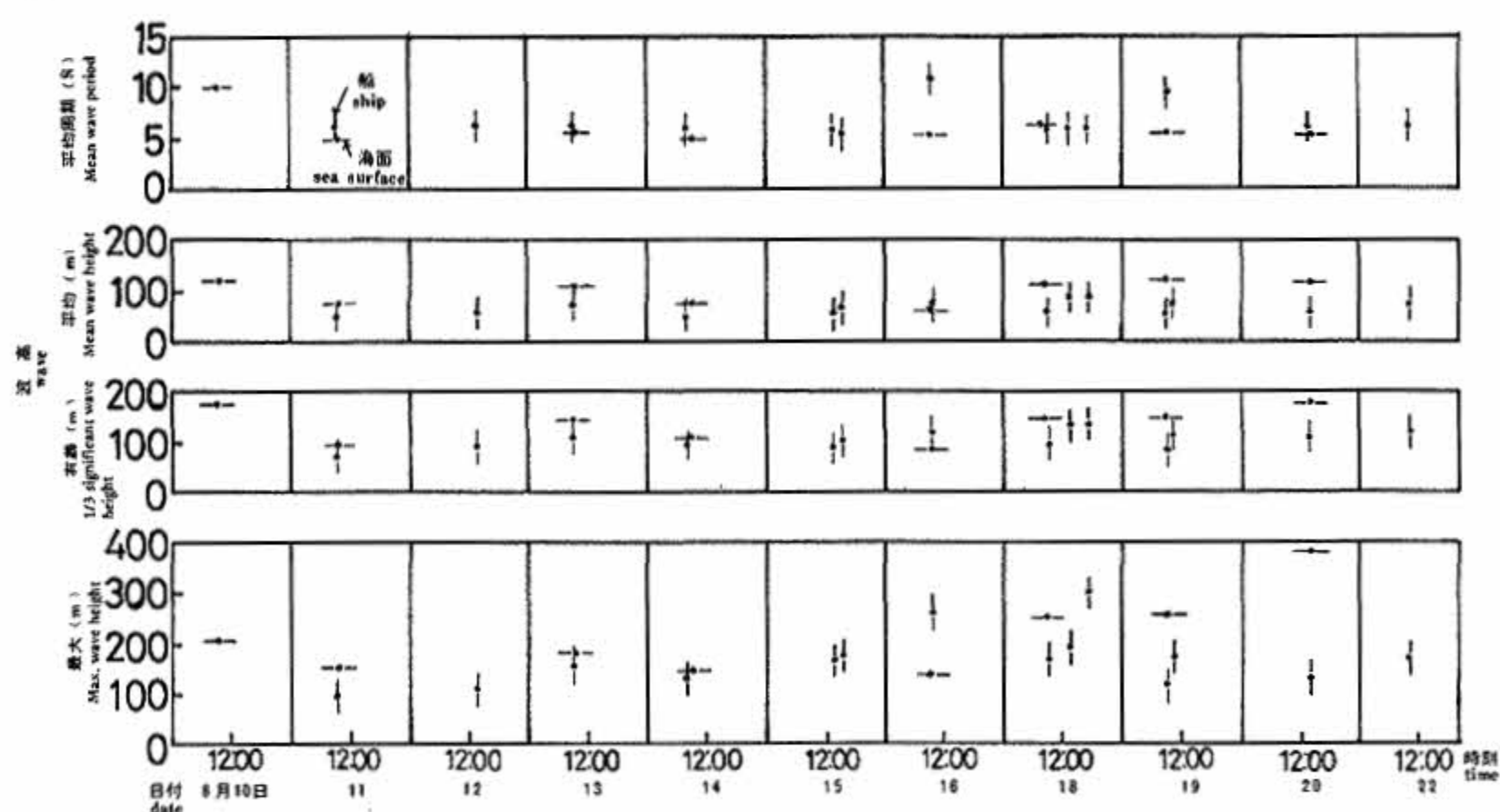


図12 実験期間中の海面及び実験船の平均周期, 平均波高, 有義波高, 最大波高
(197 年 6 月10日~20日, 10~20, Jun. 197)

Fig. 12 Sea condition and ship motion movement during experiment

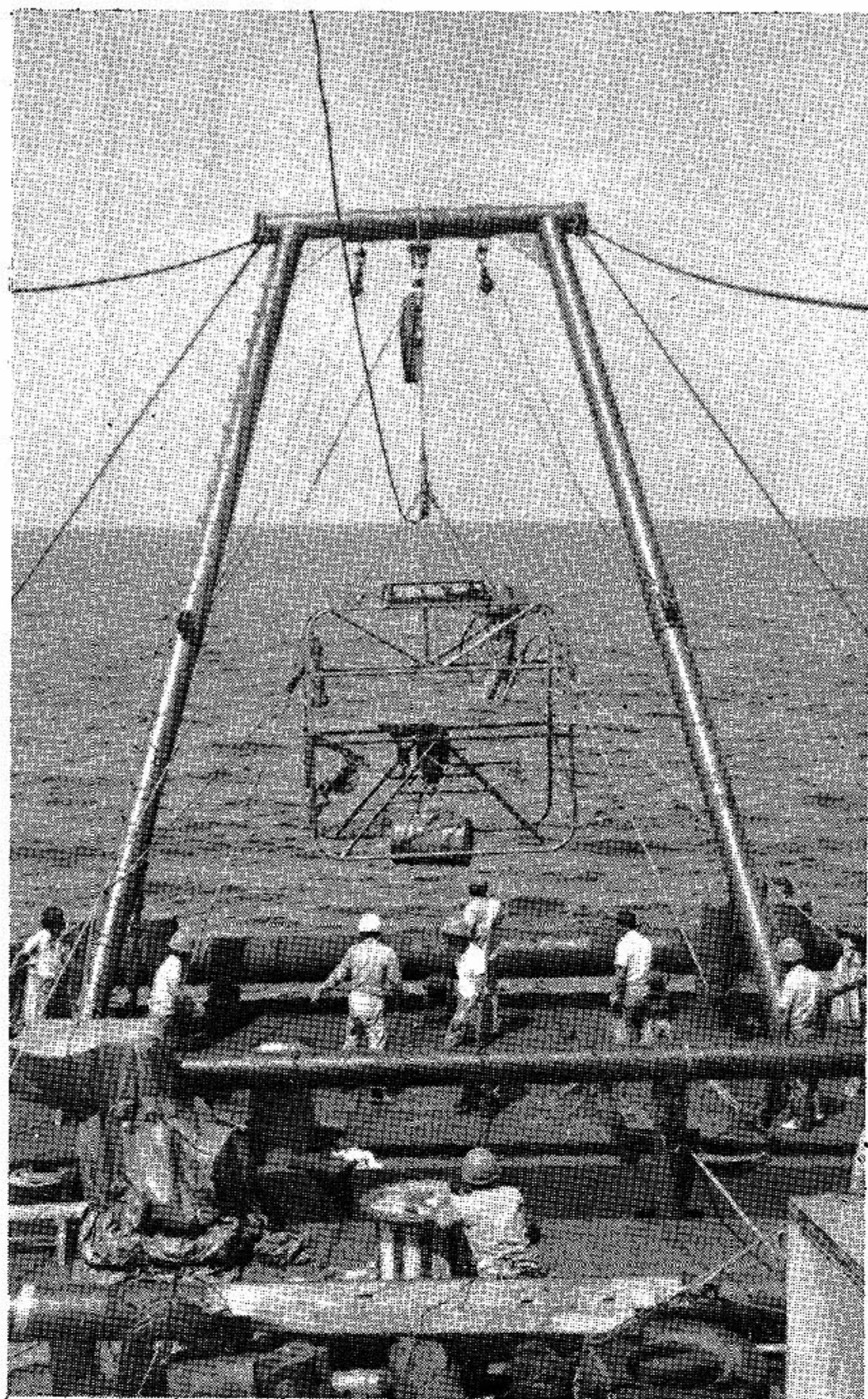


写真1 試験システムのフレーム発進、揚収作業
Plate 1 Launch (L) and recovery (R) operation of the frame

これはフレームの巻降しの初期の段階では下降運動に対する流体抵抗がフレームを逆に支える効果が大きく、ケーブルに対する荷重がむしろ減少すると考えられる。その力の大きさは巻降し及び巻上げ時のヒステリシスから約500 kgと推定される。ケーブルの繰出しと共にケーブル自身の重さが増加し、この値を越すと、その重さがフレームの下降に作用するようになる。つまりケーブルによる荷重が増加してその重さで、ケーブルが引出されるように働く。ケーブルに掛る荷重のヒステリシスはこのように解釈できよう。

このほかに、ケーブルの繰出し長とケーブルの傾斜及び船と風、波の方向との関係も興味深い。

図14で(1)はケーブル繰出し長が約1,500 mまでの状態であり、さらにケーブルを繰出し、約2,000 mを越えると、(2)の状態に移向し、フレームを巻上げて船上に揚収するまで、この状態が保たれる。

この二つの状態を考えると、まず(1)の状態では下降するフレームは流体抵抗力で下から支えられ、ケーブルの張力は弱いため船は風によって流される。この際、風圧面積が大きいように横向きとなっている。(2)の状態になるとケーブルの自重等でケーブルは垂直に吊下がり、更にケーブルの水平方向の抵抗力は大きくなり、シーアンカー効果が現われるため、船は風圧面積が小さい方向、すなわち船尾を風に向けて漂流することになると考えられる。

3.3.2. ピンガーによるフレームの 海底上の高度測定

試験体を取付けた試験システムのフレームはテレビカメラを通し、その試験体の状態を観察しながら深海底に向って降して行くが、その間のフレームの深さを推定するため、フレームに12 KHzのピンガー（米国，ORE社製 265 HP型）を取

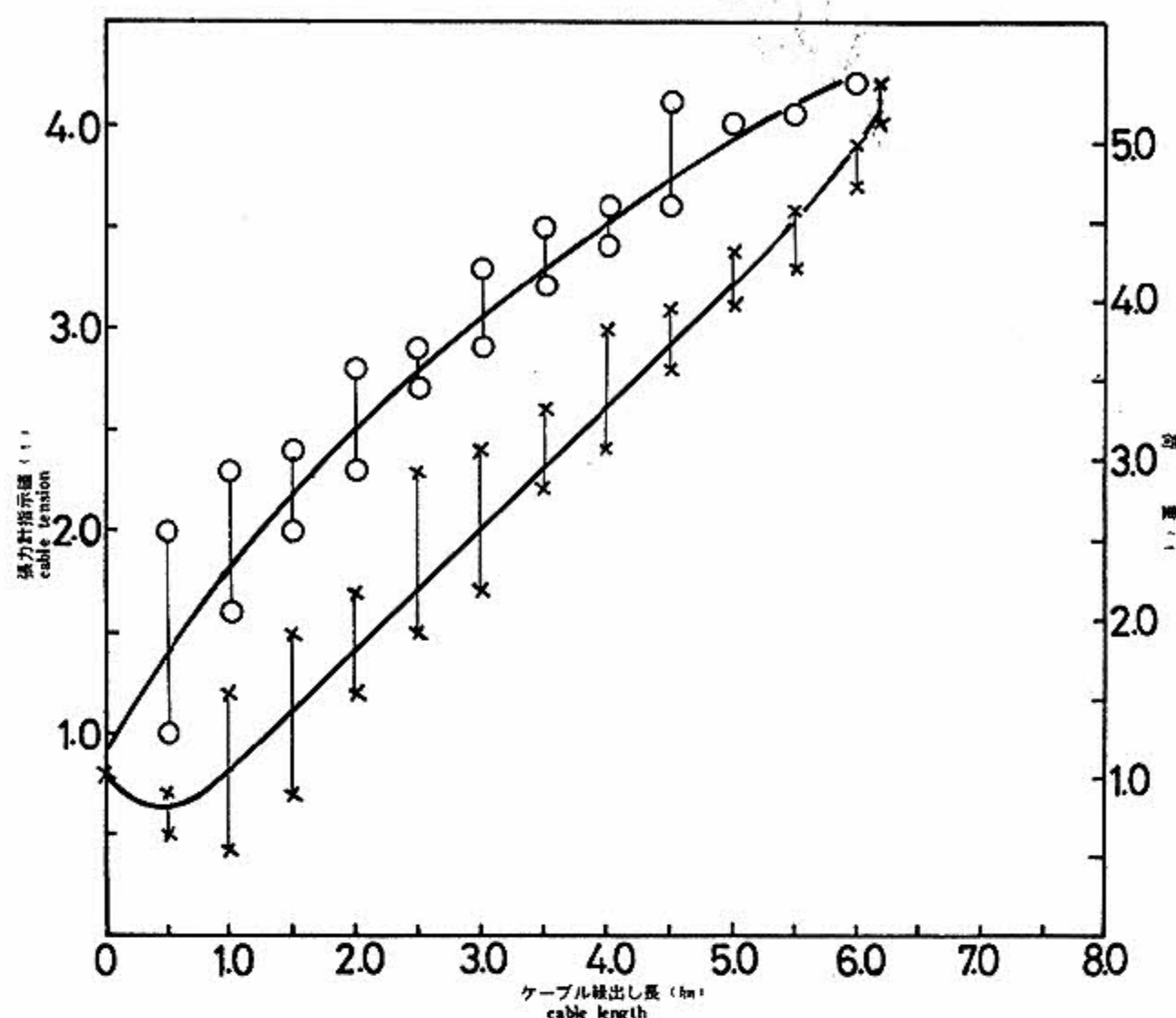


図13 試験システム実験中のケーブル繰出し長に対する張力計指示値と荷重の関係
Fig. 13 Typical relationship between payed out cable length and tension loaded on the cable during experiment

付けた。

フレームはケーブル繰出し長約6,000 mまでは約1.4 m/secで巻降し, 6,100 mまでは0.6 m/secとし, その後, 着底まで0.3 m/secで巻降した。このピンガーの主たる役割りはフレームが海底から100 m前後の高さに接近したのち, 着底までの高さを精度良く測定するために使われるものである。

図15はピンガーの測定の原理を示す。

図16はピンガーからの直接波と海底からの反射波の時間差を実際に精密測深機で測定し, 記録して海底からの高さを求めた記録例を示す。

海底からの反射波は, フレームが海底から約100 m程度に近付かないと記録されないことが多い。これは図17でわかるように, ピンガーが海底にあるときは反射波の音響レベルが受信可能なレベルに達するからである。

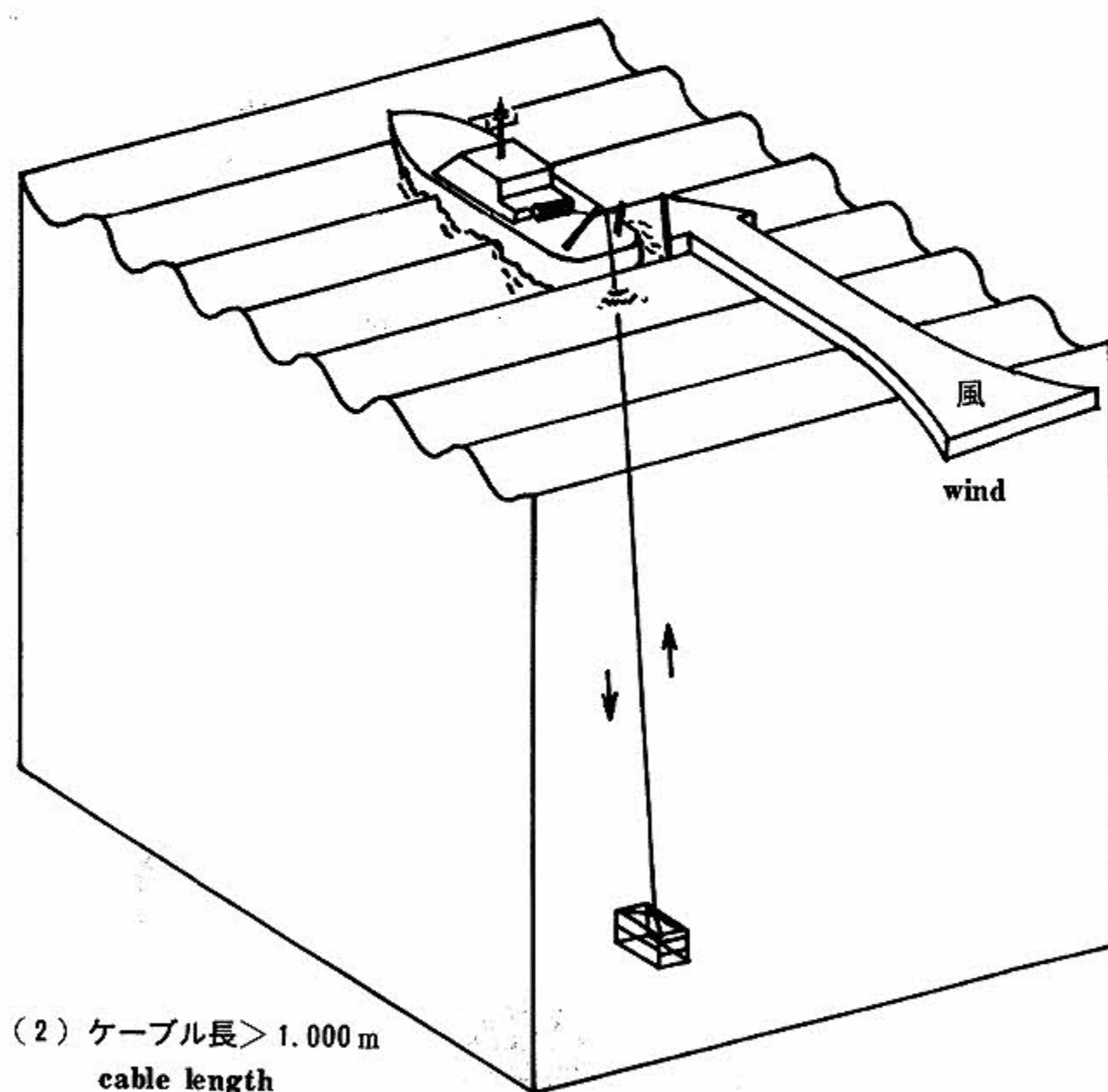
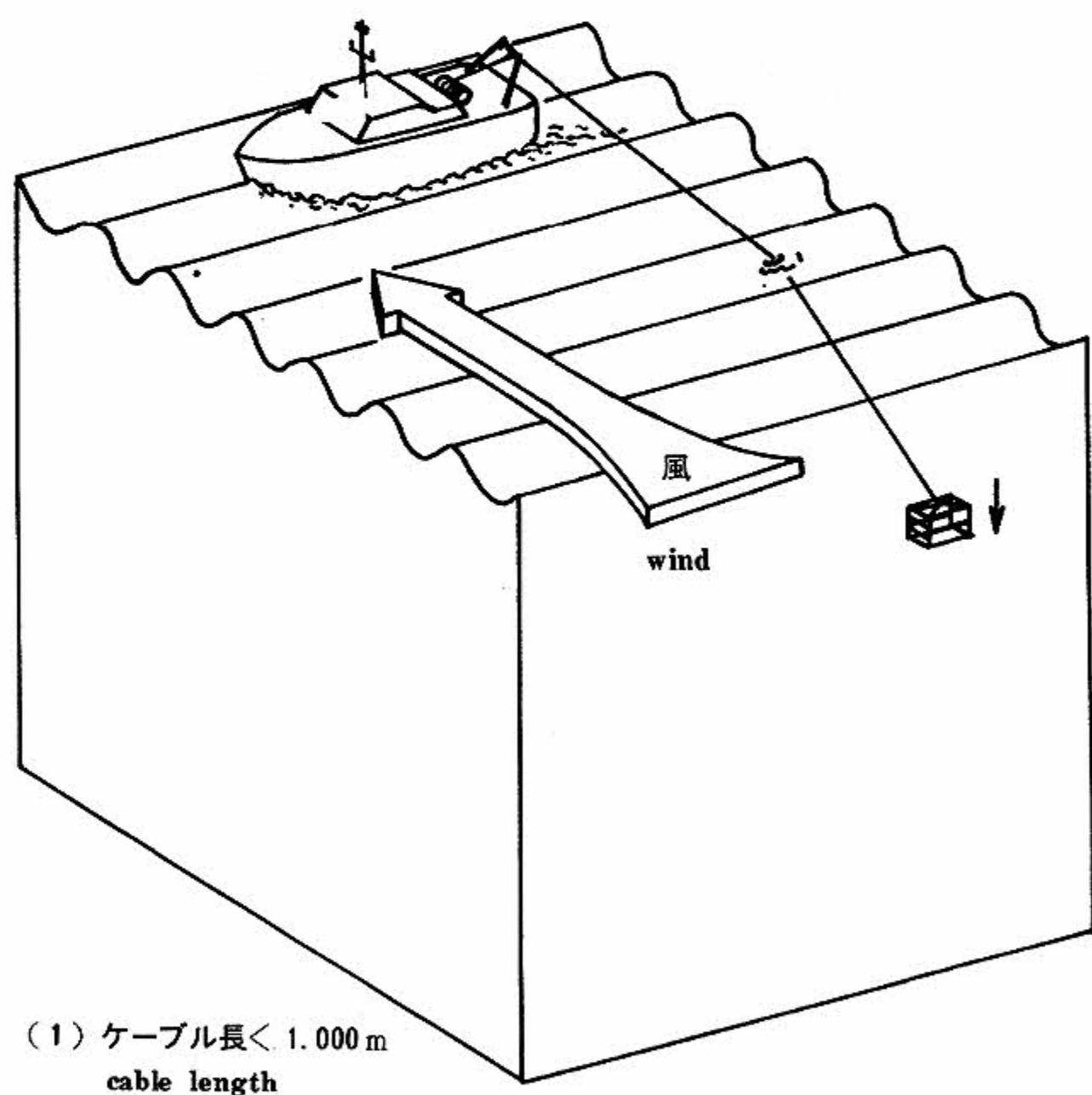


図14 実験中の船, ケーブル, 風, 波の関係
Fig. 14 Ship situation changed along with the payed out length of cable

フレームの巻降しの途中では図15に示すように, 直接波と反射波の記録線は何回か交錯するので, ケーブルウィンチの線長計でフレームの概略の高さを監視する必要がある。

測定の良否は受信信号の S/N , 記録器上の分解能, 計算に用いる音速値の選択等に左右される。

S/N はソーナー方程式⁸⁾によって検討を行うと, 直接波では, 次式で示される。

$$TL \leq SL - (NL + \Delta f - DI) - DT \quad (2)$$

ここで, TL ; 伝搬損失

SL ; 音源レベル

NL ; 単位帯域幅の雑音レベル

Δf ; 受信器の帯域幅

DI ; 受波器 (PDR) の指向性利得

DT ; 認識のしきい値

(2)式で右辺と等しいか又は小さな伝搬損失 (TL)

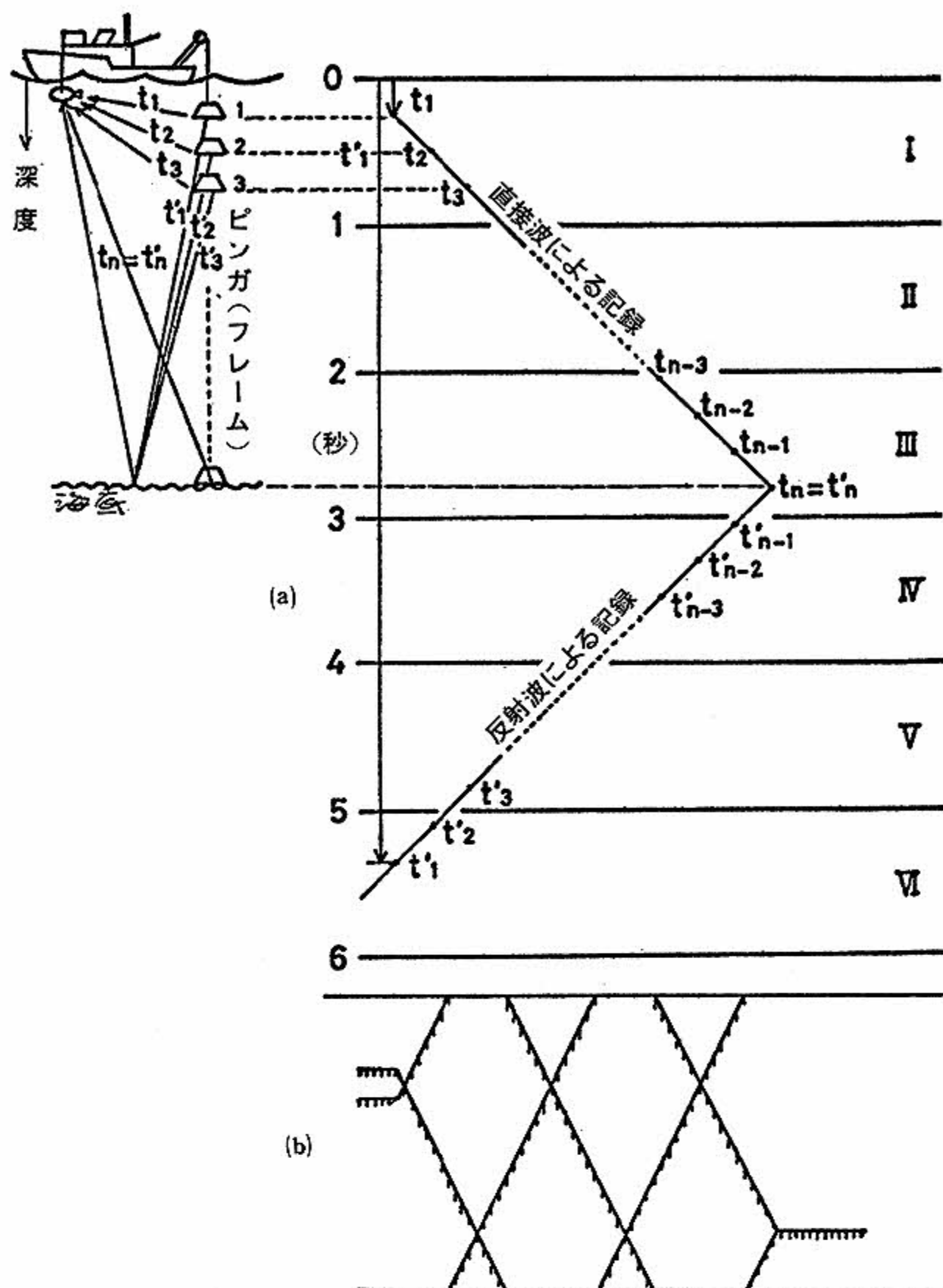


図15 ピンガによる海底からの高度測定原理
Fig. 15 Principle to measure the height of frame from the bottom by means of a pinger

の範囲で記録器による検出が可能となる。なおTLは球面拡散するものと仮定して次式で得られる。

$$TL = 20 \log R + \alpha R \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$= \left(\frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4,100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 \right) \frac{1}{0.914}$$

R ; 距離 (m)

α (; 減衰定数)

f ; 周波数 (KHz)

(2)式の右辺に次の値を代入すると、TL = 94 dbとなる。

- (1) SL = 78 db (実測値)
- (2) NL = -31 db (実測値)
- (3) $\Delta f = 30$ db (= $10 \log 1,178$ (Hz))
- (4) DI = 20 db (主極 / 副極を用いた)
- (5) DT = 5 db (記録器に対する経験値)

このTLの値が検出の限界値で、(3)式から得られる伝搬損失対距離特性は図17によれば約9,000 mとなる。

AMF社製トランスポンダーを用いて求めた実験値は $\alpha = 2.0$ db/kmであり、これを用いると、約8,000 mである。実験実施海域の水深6,200 mに対する損失は87db (又は89 db) で7~5 dbの

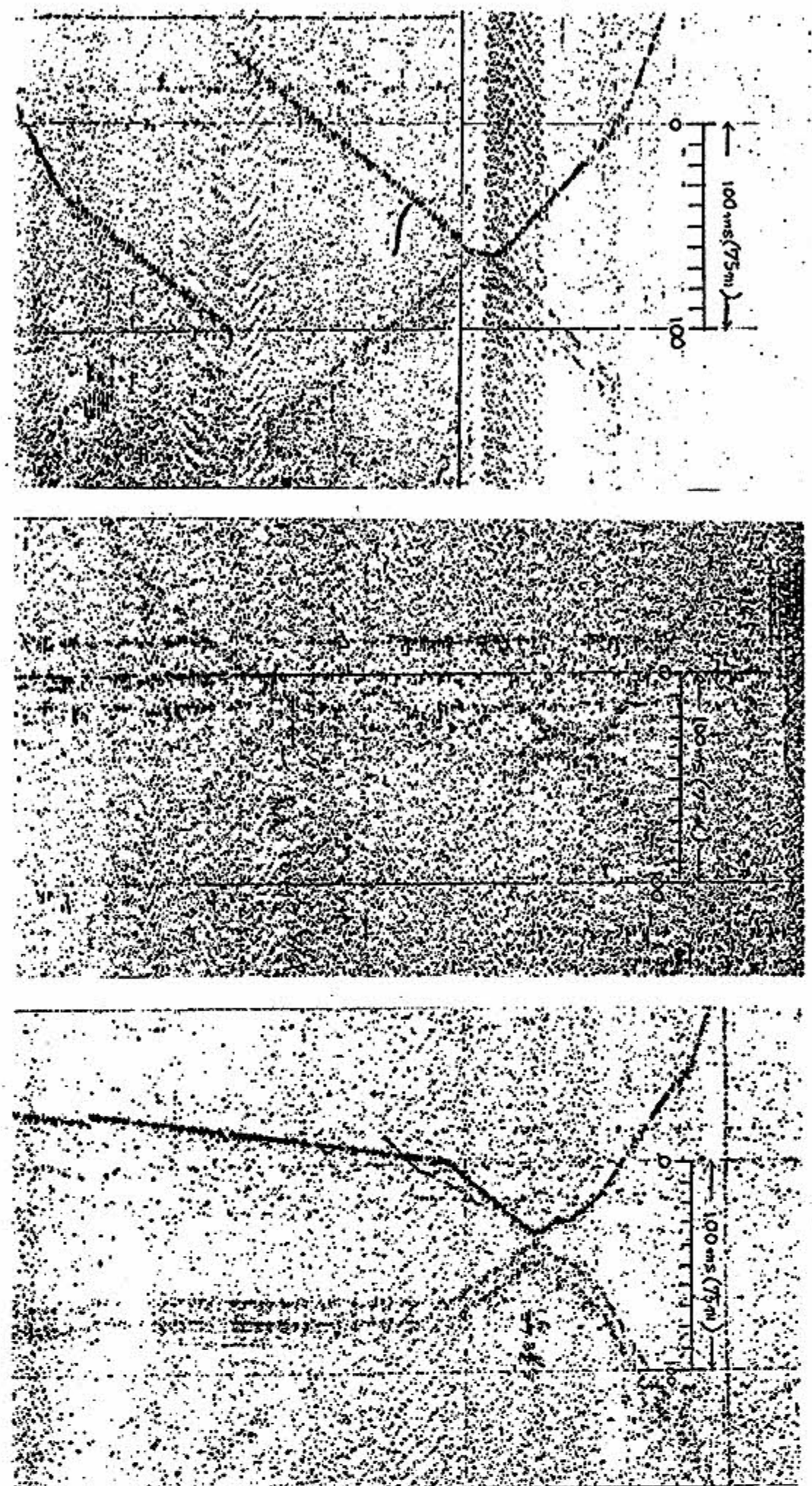


図16 ピンガによる海底からの高度測定例
Fig. 16 Example records measurement of the frame height from the bottom

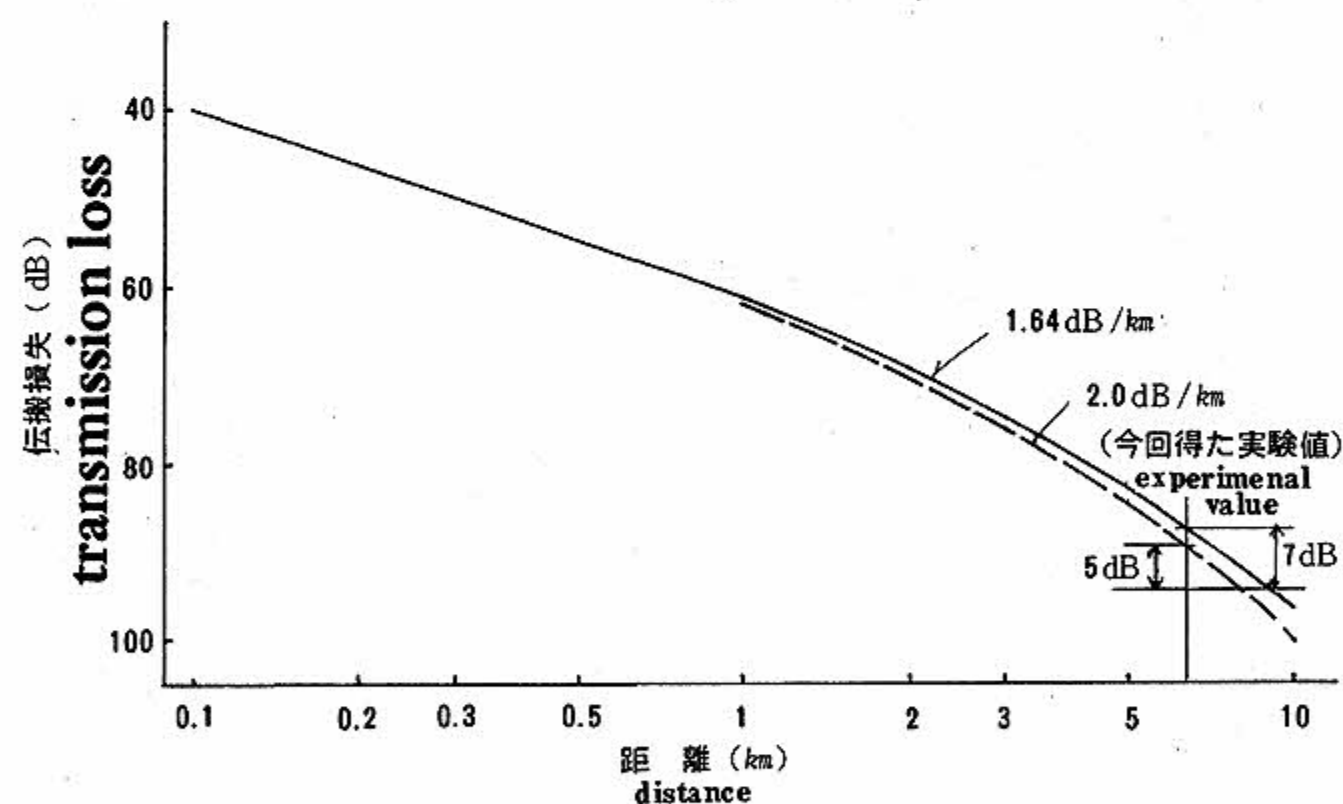


図17 12KHzにおける伝搬損失特性

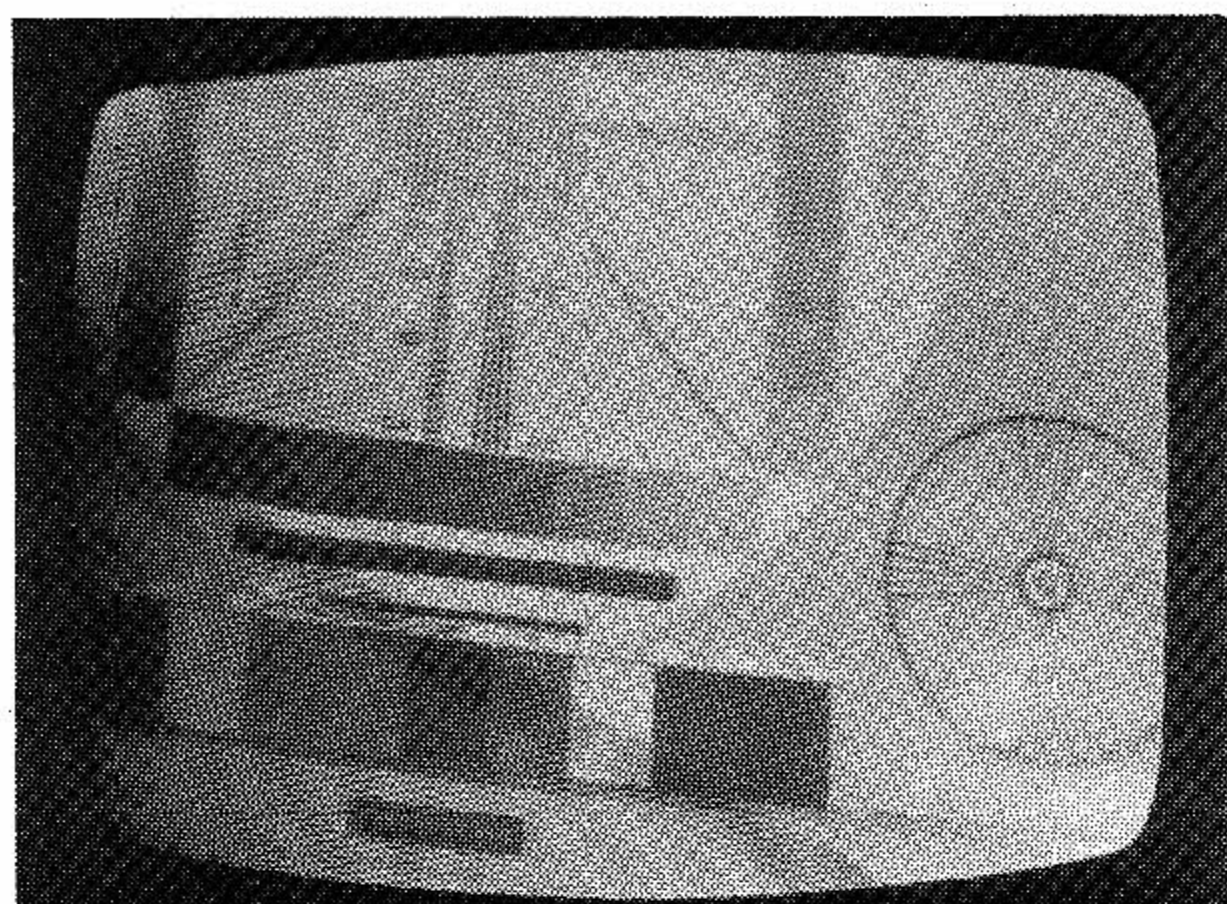
Fig. 17 Transmission characteristic at 12KHz

余裕がある。

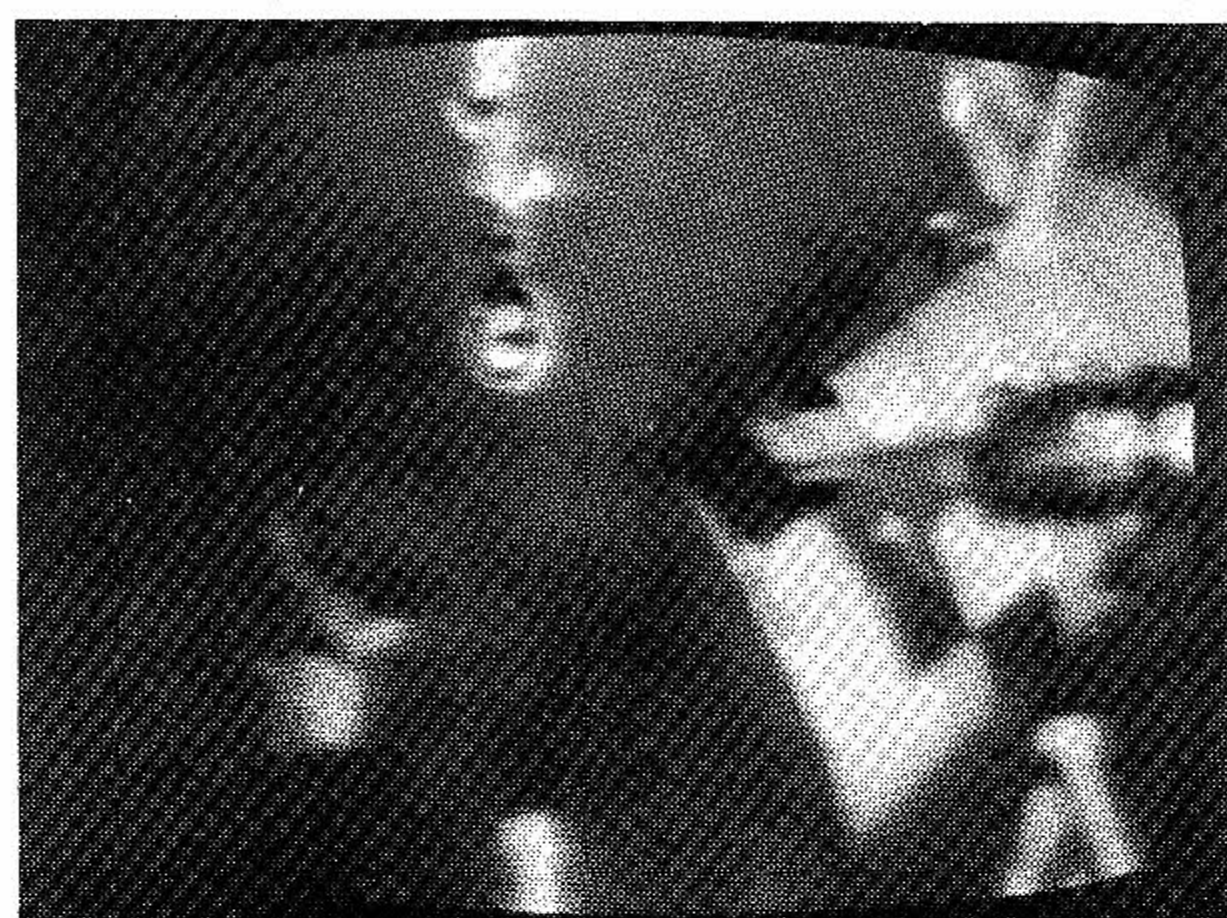
一方、海底反射波は(2)式の右辺に海底反射損失の項が加わり、次式のようなになる。

$$TL = SL - (NL + \Delta f - DI) - DT - BL \quad (4)$$

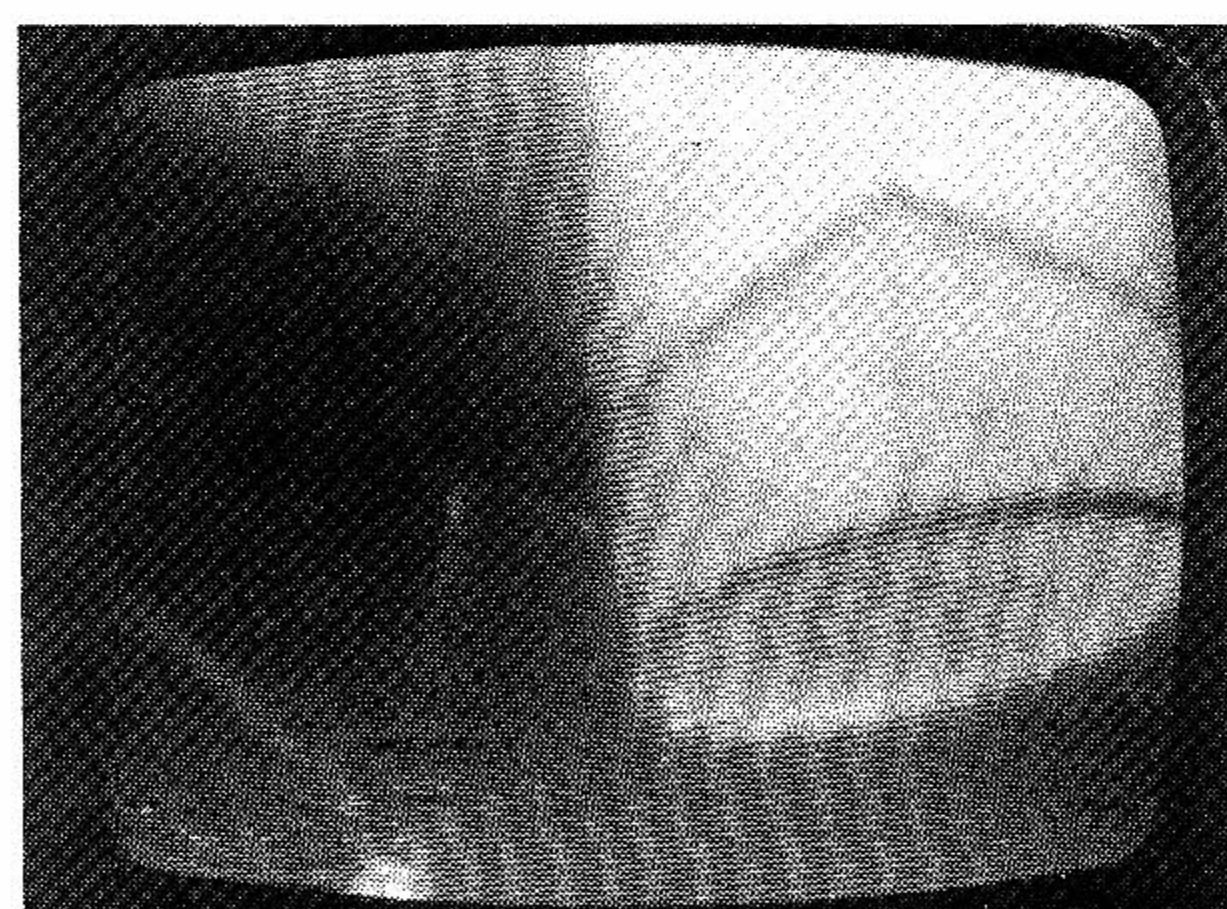
ここで、SL = 97 db (実測値：ピンガーの主極方向) とBL = 25db (推定値) とを代入してTLを



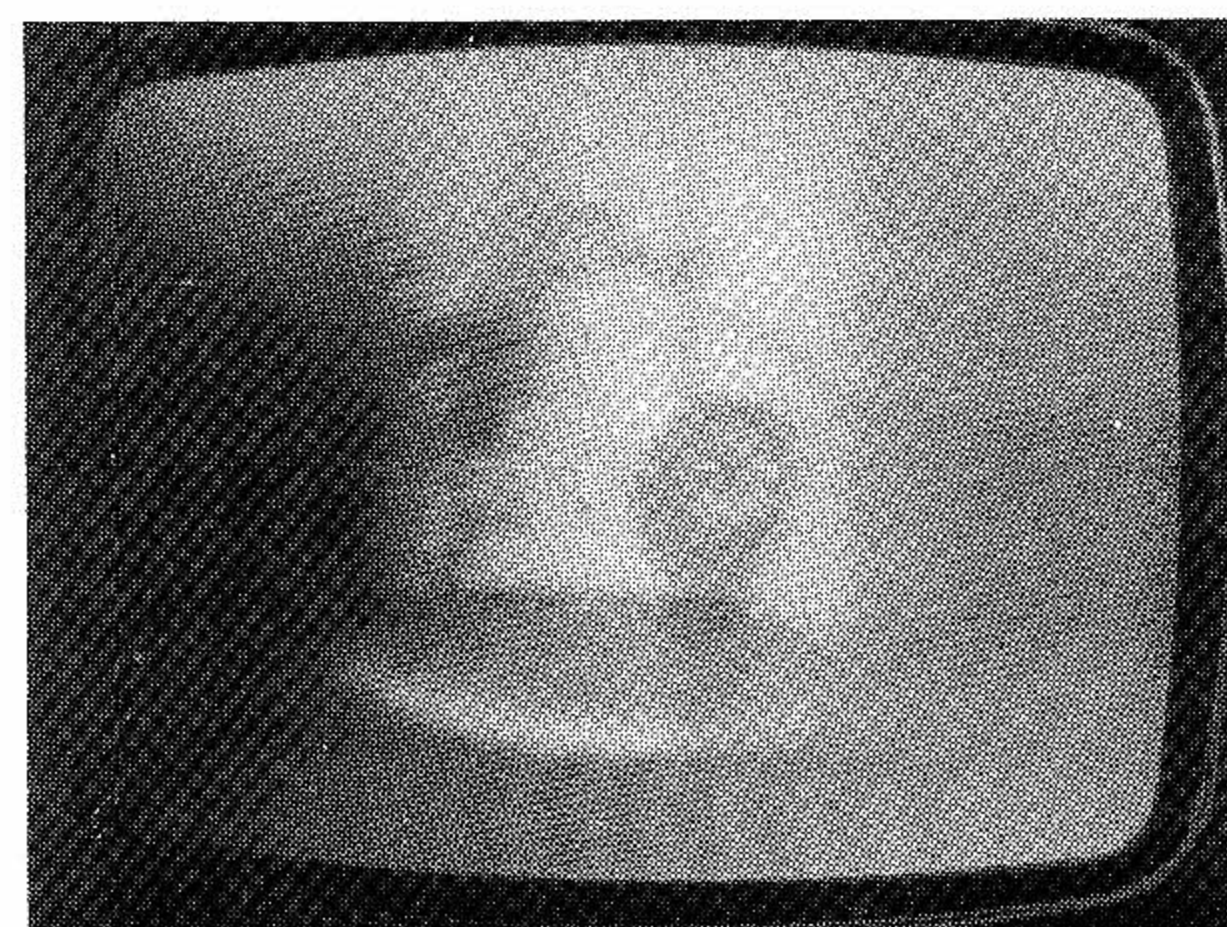
(1) ケーブル長 cable length, 300 m



(2) ケーブル長 cable length, 900 m
ロングラインアンプなし

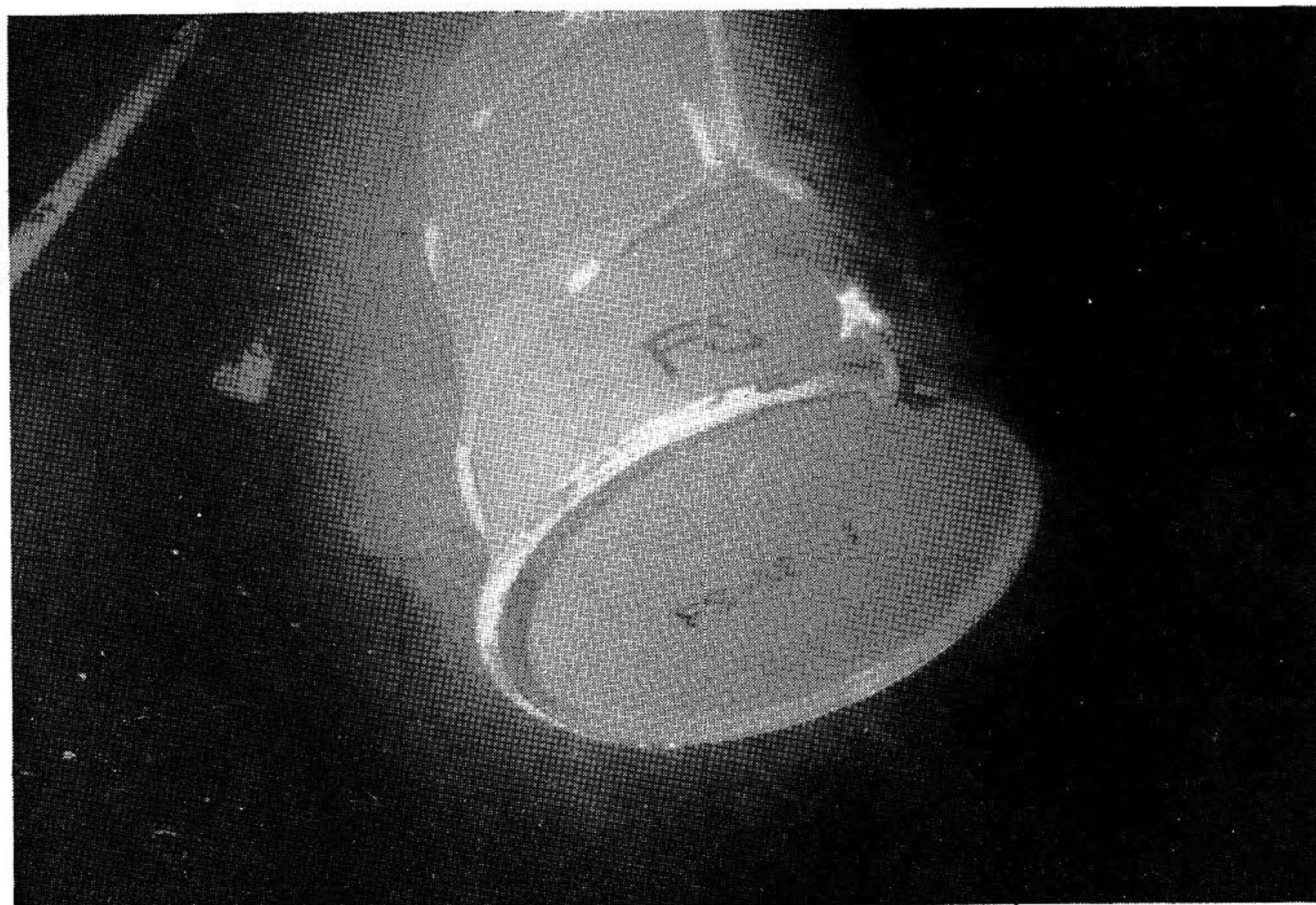


(3) ケーブル長 cable length, 1,800 m

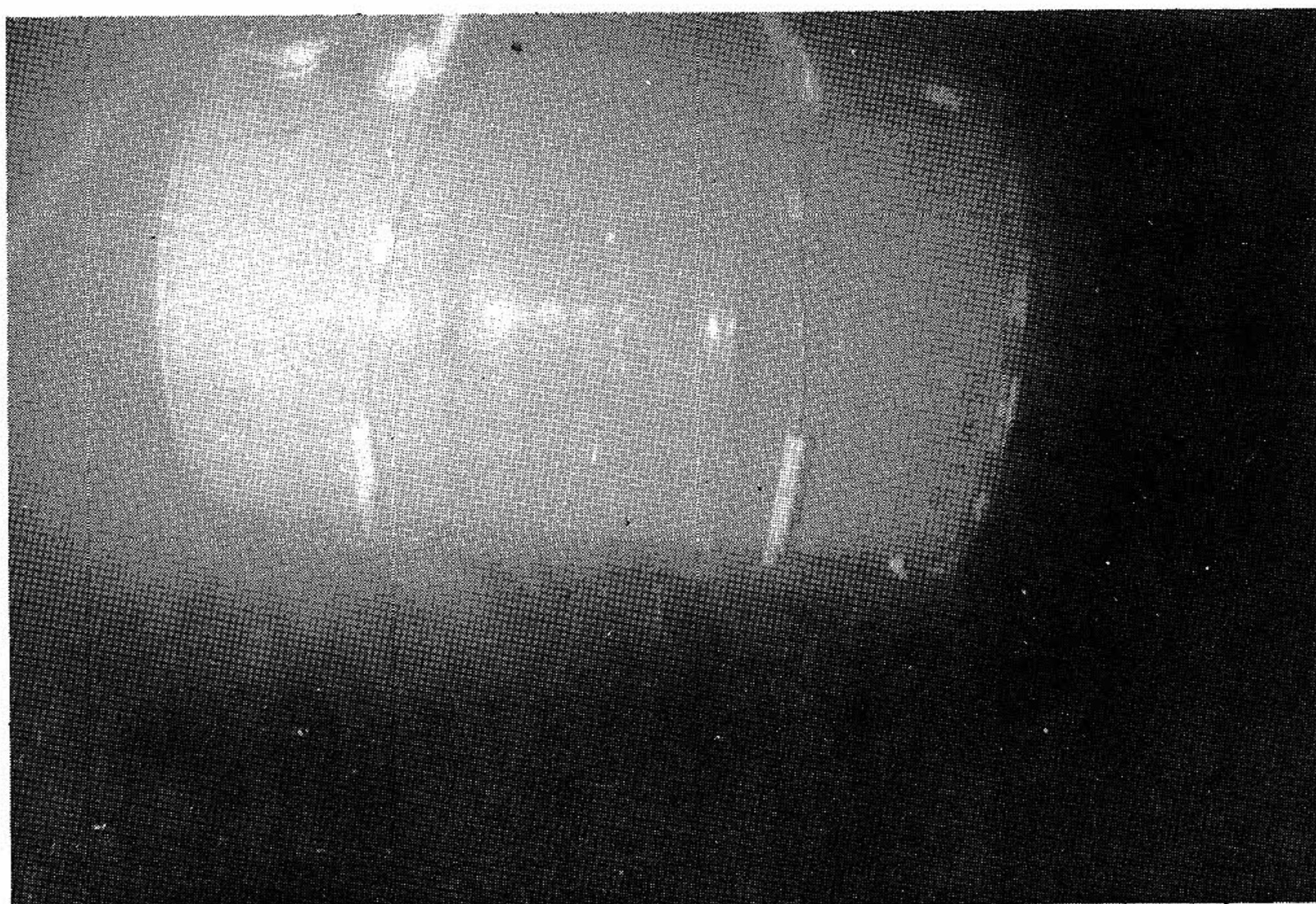


(4) ケーブル長 cable length, 7,900 m
U/Wおよび surface にロングラインアンプあり

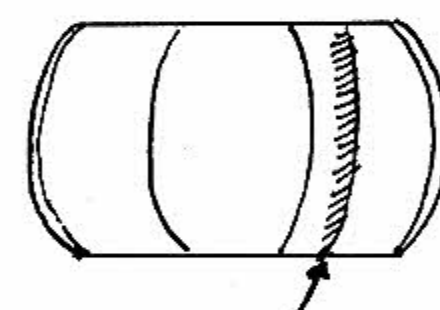
写真2 ケーブル長による画質の変化
Plate 2 Deterioration of quality of TV picture
by variation of the cable length



水深 400 m における
F S - M 1 試験体



水深 1000 m における
F S - M 1 試験体



段差が明らかである

(2) 水深 depth 1000 m

写真3 くびれが発生した試験体

Plate 3 Slight deformation of test body is recognized on pictures by still camera

求めると、 $TL = 88$ db となる。

この TL の値が検出の限界値で、距離換算すれば 6,000 ~ 6,800 m 程度となる。

すなわち直接波と反射波とでは受信レベルで 6 db (=94-88) の差があり、しかも反射波の受信レベルはほぼ受信可能な限界値であったため、海底付近での測定にとどまったが、一応測定の目的を

達することができた。

次に記録器上の分解能は、さきに述べたフレーム高度 5 m から切離装置を働かせ試験体の落下状況を観察する上で十分であった。

分解能の向上を計るにはパルス幅を狭くする必要があり、この測定では 0.3 msec を用いた。このパルスの受信波は記録器上では、2.5 msec に

記録された。すなわちこれが最小分解能であり、音速を $1,500 \text{ m/sec}$ とし、距離に換算すると 3.75 m である。

次に問題は、音速を $1,500 \text{ m/sec}$ として距離を求めることの良否である。既存の水温 ($=1.8^{\circ}\text{C}$)、塩分 ($=34.6\%$)、深度 ($=6,200 \text{ m}$) を前述の (1) 式 (L. K. Kinseler の式) に代入して音速を求めると、 $1,563.05 \text{ m/sec}$ となる。

この値と $1,500 \text{ m/sec}$ を用いた場合の 1 m sec 当りの差異は $0.063 \text{ m} [= (1,563 - 1,500) \times 10^{-3}]$ であり、この値はこのような方法で海底付近でフレーム高度を測定する場合には、分解能に比べ無視しうる値であることがわかる。

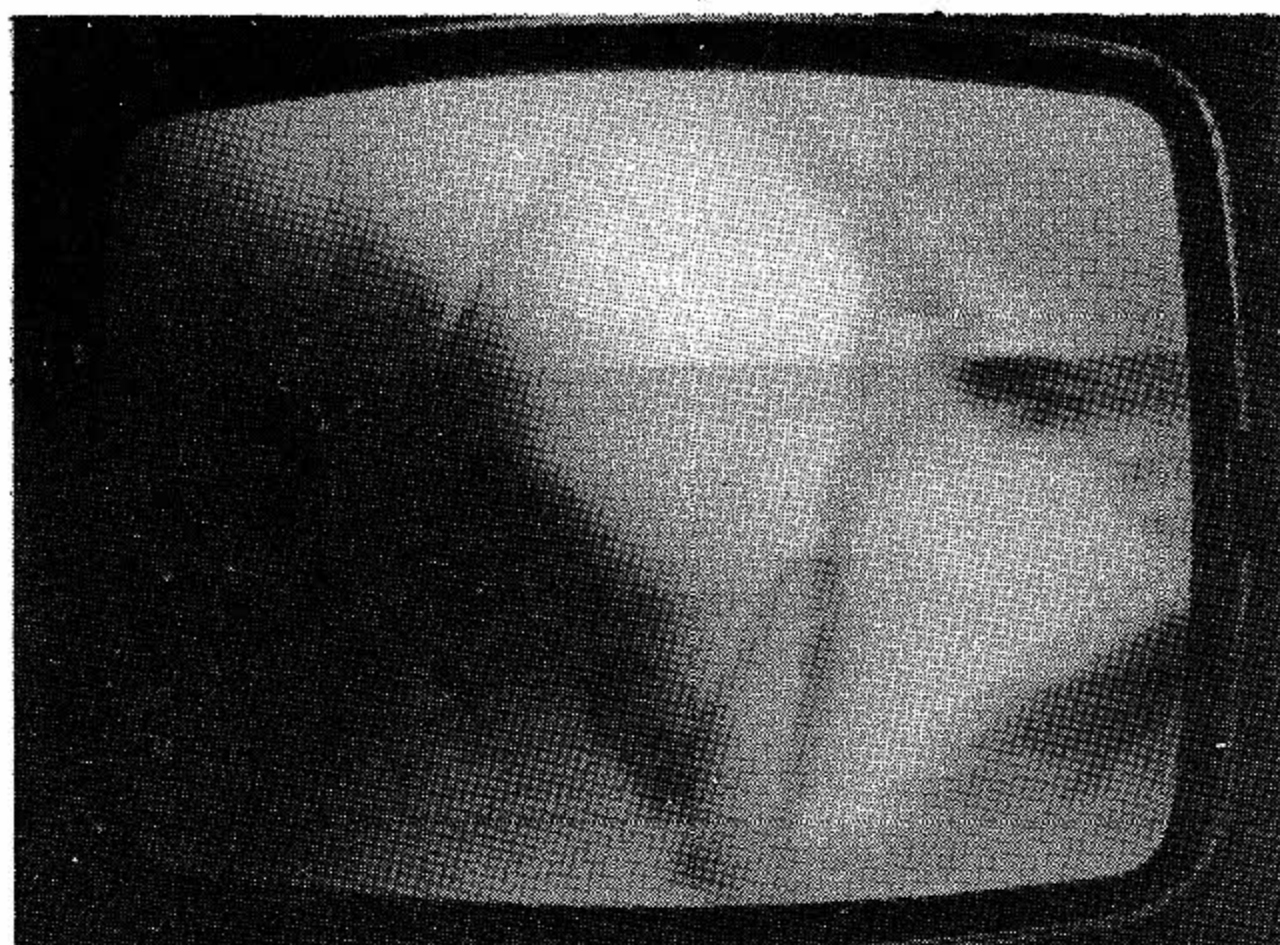
以上ピンガーをフレームに取付け海底からの高度測定を行った結果を述べた。この方法は、フレームを安全に海底に近接及び着底させるための手段として、有効であった。一連の測定からこの海域の音波の直角入射に対する海底反射損失 (12 KHz 付近) が約 25 db 程度であることがわかったことは、今後音響機器を使用する上で重要なデータとなるであろう。

実験地点の水深は音速の補正を施すと、前述のように約 $6,220 \text{ m}$ である。試験システムのフレームを吊っているケーブルの繰出し長と水深を比較すると、8 回の試験で 4 回は $6,324 \sim 6,336 \text{ m}$ で試験体が切離され、3 回は約 $6,200 \text{ m}$ であり、最も短かった場合では $6,100 \text{ m}$ であった。

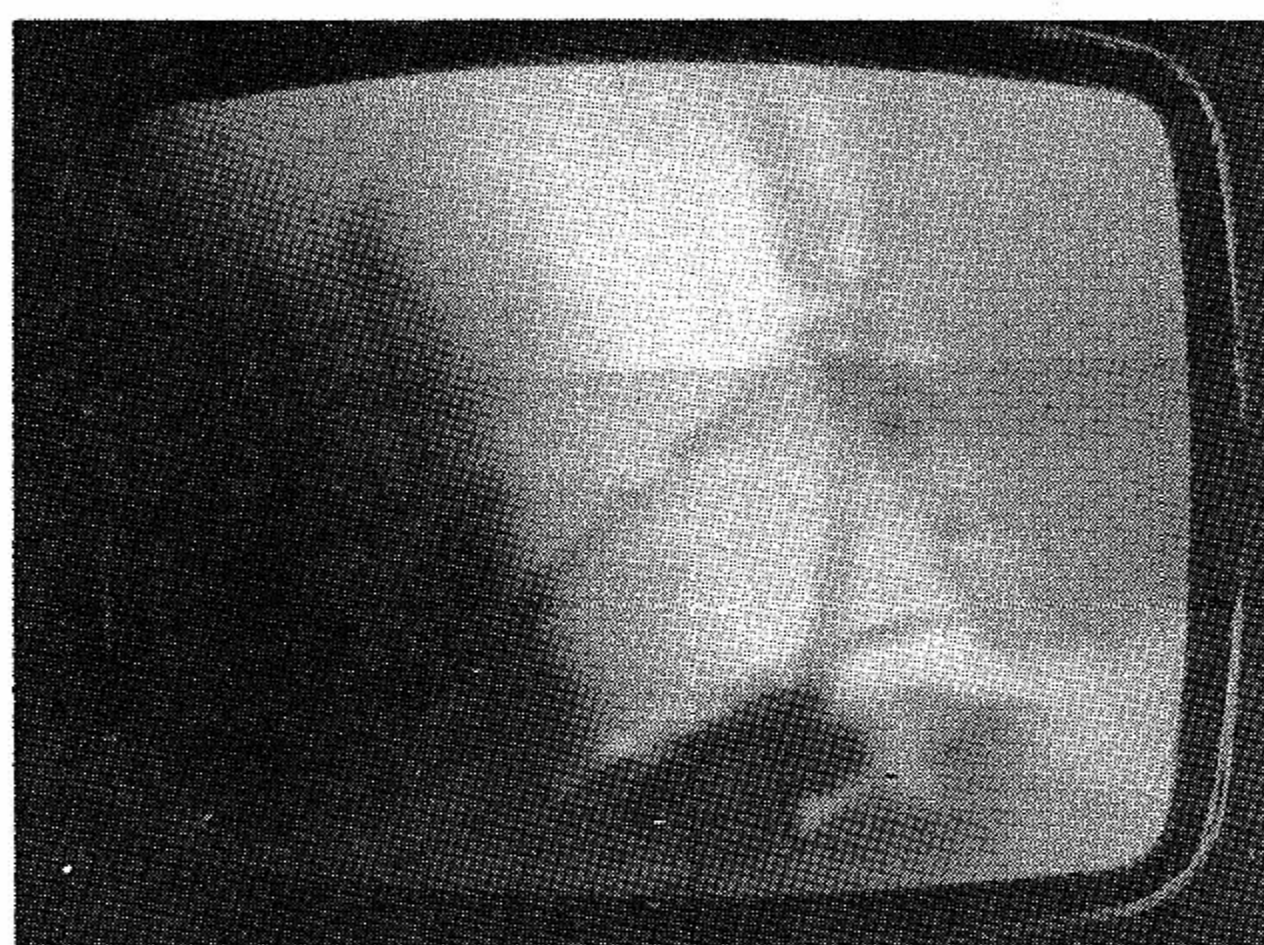
線長計の指示値ではケーブルストープが海面でゼロにして測定するので、着底時切離し装置のトリガ重錘までの距離をたす必要がある。その距離は約 9 m である。また、1 回の試験で往復する間に線長計の指示は最大 10 m 長くなる方向の誤差があった。これらのことを考えても、水深と実効ケーブル長との差は水深の約 2% ($100 \sim 140 \text{ m}$) と驚く程小さいことは注目に価しよう。このことは実験中のウインチ操作によるフレームの昇降の応答性が良かったことによっても支持されるが、ケーブルは極めて垂直に立っていたことを示唆するものである。

3.3.3. カメラによる試験体及び海底の観察

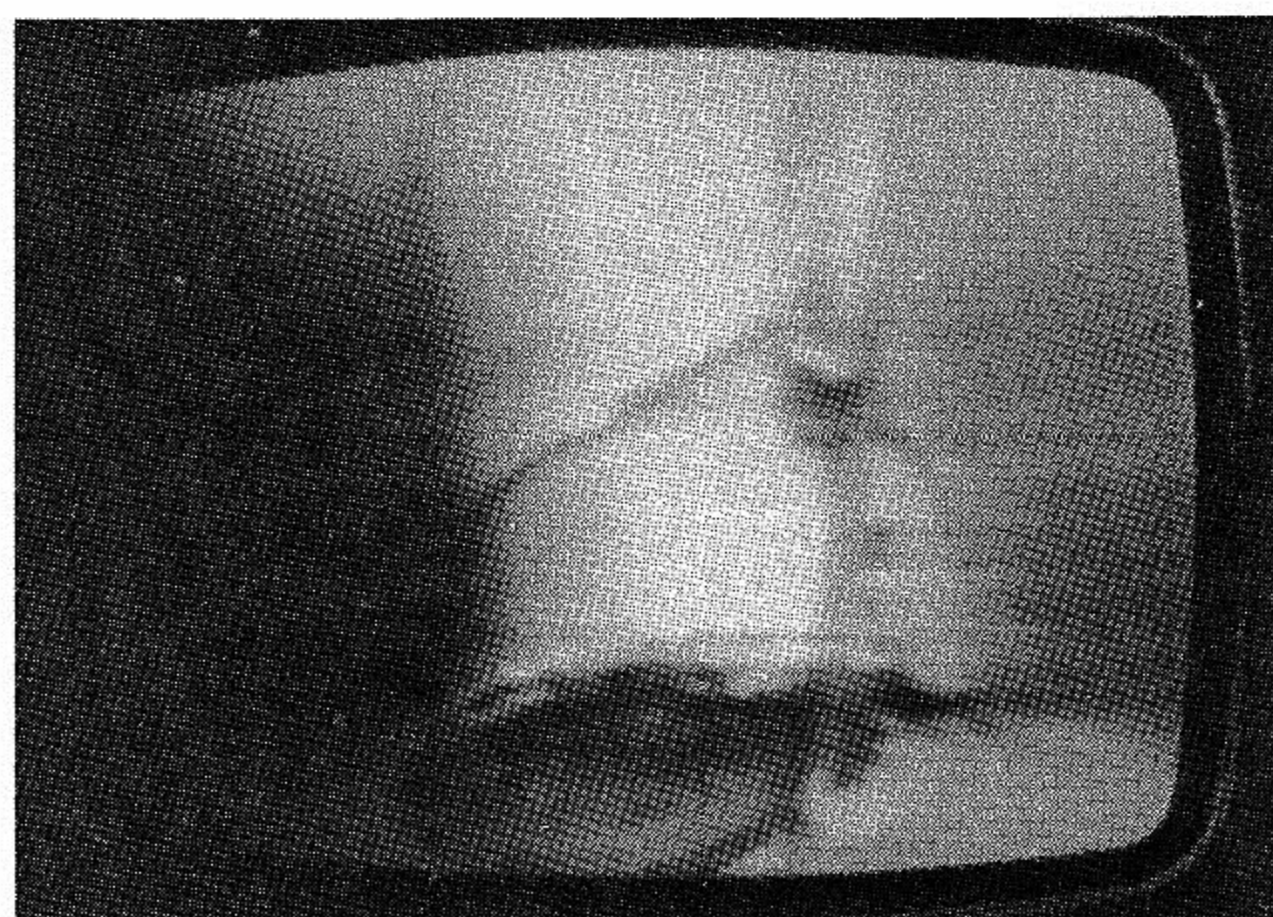
このシステムで使用されたテレビカメラの画質は、ケーブルの長さが増加するに従い、高周波成分が減衰するので、写真 2 に示すように劣化する。したがって、スティルカメラによって確認されたような細かくびれの発生 (写真 3 参照) は捕捉



(1) 蓋陥没前



(2) 陥没中、水深 50 m 、右下すみに気泡が見える



(3) 陥没後

写真 4 テレビカメラによる蓋の陥没状況

Plate 4 A series of pictures shows the collapse of test body which had some hollow inside.

できないが、例えば試験体の空隙部が圧壊するような重大な変化は確認できた（写真4参照）。

海底の観察でも同様に、テレビカメラを通しての詳しい観察は不十分であったが、重錘やフレームの着底は底質の巻上りによって十分確認することができた。

スティルカメラ⁹⁾によって撮影された実験海域の海底写真の例を写真5に示す。底質は火山灰を主とする明るい色の褐色粘土であり、薄くマンガンで被覆された小さい礫が認められる。



写真5 水深 6,200 m の海底（ガラス球カメラによる）

Plate 5 A photograph taken by the glass sphered camera shows that the bottom of 6,200 m is covered by the brown clay.

4. あとがき

6,000 m 級の深海用試験システムは、わが国では初めてのものと思われるが、今回の実験を通して構成機器の性能や耐久性を更に向上させる必要があることを痛感した。

従来、わが国では深海底付近で使用する機器の開発はほとんどなく、今回の実験でもガラス球カメラを除くと、主として米国で開発された機器やケーブルを使用した。今後、これらの実験の結果等を反映し、深海で使用する機器の開発努力が必要であろう。また実験のオペレーションに関しても、ケーブルの破断強度に対して実荷重は $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$

と大きく、波や船のドリフトによる張力の監視や緩衝機構の検討も今後必要である。

なお、今回の実験を実施するに当り、庄司大太郎博士（海上保安庁水路部）、秋山勉氏（気象庁海洋気象部）、東昭教授（東大宇宙航空研究所）、小林平八郎助教授（東海大学海洋学部）、佐藤孫七教授（東海大学海洋学部）、須藤英雄氏（東海区水産研究所）、中条純輔博士（地質調査所）、山門憲雄氏（公害資源研究所）等から数々の御助言を載いた。ここに感謝の意を表する次第である。また、実験船「日本丸」（市川海事興業）の船長ほか乗組員一同のご協力にも謝意を表する。

文 献

- 1) 放射性固体廃棄物の海洋処分のモニタリング技術に関する試験研究（昭和48年度成果報告書）、海洋科学技術センター（1974）
- 2) 固体廃棄物の海洋処分のモニタリング技術に関する試験研究（昭和50年度成果報告書）、海洋科学技術センター（1976）
- 3) 例えば、海底サンプリングハンドブック、ラティス、日本鉱業会編（1975）
- 4) 日本近海海底地形図（第6901号）、海上保安庁水路部（1972）
- 5) 昭和50年度深海機器委員会報告、海洋音響研究会、（1976）
- 6) 放射性固体廃棄物の海洋投棄のための海洋環境調査（海底地形及び放射能バックグラウンド調査報告書）、海上保安庁水路部（1975）
- 7) Heinmiller, R.H., 1976, "Mooring Operations Techniques of the Buoy Project at the Woods Hole Oceanographic Institution" AD/A-034 233, U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service.
- 8) 例えば、実吉純一ほか、超音波技術便覧、日刊工業新聞社（1971）
- 9) 服部陸男、橋本 惇、耐圧ガラス球を用いた深海カメラシステムの試作について、海洋科学技術センター試験研究報告、第1号、（1977）p. 26~31