

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.585 June 1987

施工検査システム化に関する検討（その2）
——クロスアレイ式音響測深システムによる
大水深捨石マウンド検測海洋実験——

木 原 純 孝
白 井 一 洋

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1, ま え が き	3
2, 実験装置の概要	3
2.1 クロスアレイ式音響測深システム	3
2.2 動揺補正装置	5
3, 予備実験	6
3.1 音響測深システムの性能確認実験	6
3.2 音響測深システムの実用化実験	10
4, 海洋実験	22
4.1 実験場所及び日程	22
4.2 実験の実施内容	22
4.3 実験用測量船の概要	22
4.4 実験概要	22
5, 実験結果と考察	36
5.1 予備実験	36
5.2 海洋実験	37
6, ま と め	39
6.1 予備実験	39
6.2 海洋実験	39
7, あ と が き	43
参 考 文 献	43

**Study on Systematization of Inspection Technics for
Offshore Underwater Constructions (Part-2)**
— Sea Experiment with the ultrasonic underwater Imaging System —

Sumitaka KIHARA*
Kazuhiro SHIRAI**

Synopsis

This report describes the sea experiment for the development of the ultrasonic technics of sounding seafloor stone mound.

From the result of this experiment, we found out that the ultrasonic underwater imaging system with sector scanning cross-array transducer and shaking corrected device is suitable for sounding seafloor stone mound in offshore underwater constructions.

* Senior Research Engineer, Machinery Division.
** Member of Working Craft Development Laboratory, Machinery Division.

施工検査システム化に関する検討（その2）

—クロスアレイ式音響測深システムによる 大水深捨石マウンド検測海洋実験—

木原純孝*
白井一洋**

要 旨

本報告は、大水深海域における港湾工事、特に防波堤等港湾構造物の基礎としての捨石マウンド造成中の施工管理に要請される音響測深機を用いた施工面検測システム開発のための海洋実験についてとりまとめたものである。

本実験では、高精度超音波測深機として開発した、クロスアレイ送受波方式の音響測深システムを用い、船体動揺による測量誤差を防ぐための動揺補正装置を付加し、ドックによる予備実験及び水深が30 m以深の大水深施工実海域において海洋実験を行った。

この実験の結果、ドックによる予備実験では、船体動揺の影響がなく高精度に測量でき、海洋実験でも施工面反射損失や動揺と測量精度等実用化のためのデータを得ることができ、本システムが大水深施工検査用測量システムとして有効であることがわかった。

1. ま え が き

前回までに開発された、大水深捨石マウンド等施工面検測技術の成果をふまえて試作されたクロスアレイ送受波方式の超音波水中監視装置^{1,2,3,4,5)}、動揺補正装置を付加して海洋での現地実験に耐えるように改造し、高精度測量システムの実用化のためのデータを把握するための実験が、予備実験^{6,7)}として、京浜港ケーソンヤードドック、海洋実験として釜石港湾口防波堤の捨石マウンド造成海域で第二港湾建設局と共同で行われた。本報告はこれらの実験の概要をとりまとめたものである。

今回の実験は、前回までの水深が-10 m以浅の海域での実験と異なり、水深が-30 m以深の現に港湾工事が行われている大水深捨石海域であり、高精度測量システム実用化の設計データを取得することが目的の海洋現地実験である。

今回の実験の特徴として、クロスファンビームを送受波するクロスアレイ式の送受波器を有し、コンピュータによるデータ処理で、海底状況をテレビ画面に断層像や三次元立体画像として表示しうる超音波水中監視装置に船体動揺によるローリングをジャイロで、上下動を加速度計の2回積分による電気信号で連動しうる動揺補正装

置を付加したことである。

予備実験では、当所の海底探査実験水槽（直径5 m、高さ10.5 m）における音響測深システムの性能確認実験や第二港湾建設局京浜港工事事務所のケーソンドック（幅25.5 m、長さ109 m、深さ8.5 m）における実用化実験の結果、所期の性能を有することが確認され、動揺補正装置を付加することによって水深が-30 m以深の大水深高精度測量の目的が達成できることが確認できた。

また、釜石港湾口防波堤造成海域の水深が-30 m以深で海底が捨石マウンドにおいて、水中監視システムを測量船に搭載して行った海洋実験の結果、本システムが実用化可能であることが実証された。

2. 実験装置の概要

京浜港ケーソンドックにおける予備実験及び釜石港湾口防波堤捨石マウンド造成海域での海洋実験に使用した実験装置について以下に述べる。

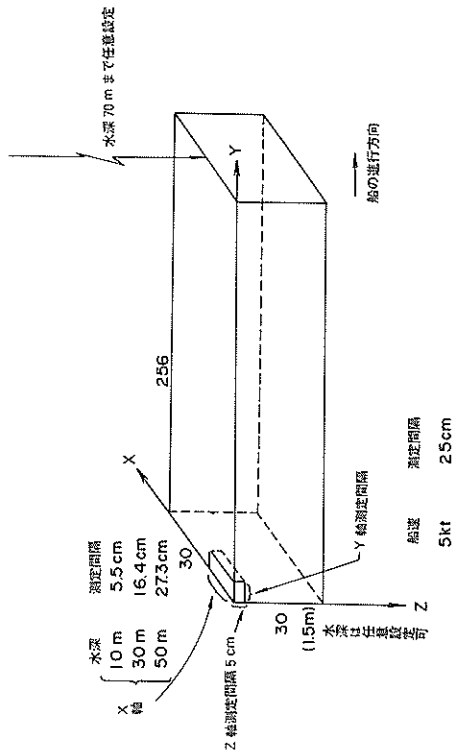
2.1 クロスアレイ式音響測深システム

この装置は、大水深施工検査・海底探査技術開発の一環として昭和58年度に開発されたものであって、大水深濁水中でも透視可能で、高精度、広範囲に海底状況を

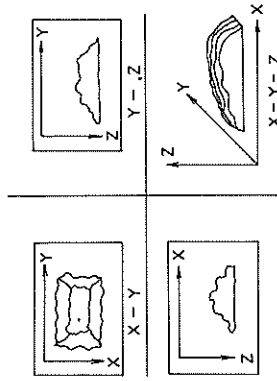
* 機材部 主任研究官（水中検測担当）

** 機材部 特殊作業船開発室

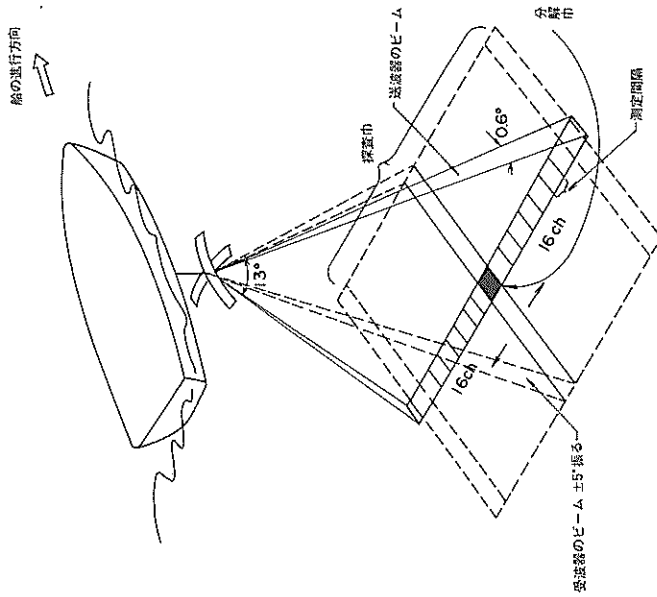
● 本装置の原理



画像表示

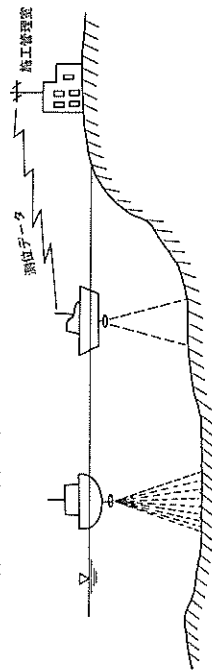


水深	10m	30m	50m
分解巾	10cm	30cm	50cm
探査巾	1.8m	5.3m	8.8m



● 実船例

(a) 測量船に搭載する場合



(b) 海底に設置する場合

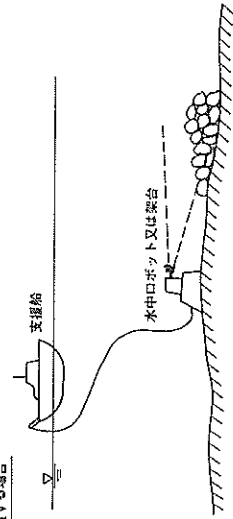


図-1 音響測深システムの測定原理

探査しうる機能を有している。送受波方式に凹面配置クロスアレイ方式を用い、超音波に 500 kHz トーンバースト波のファンビームを送受波することによって高精度化し受波用ファンビームを受信系の遅延回路で走査する、いわゆる電子セクター走査型超音波水中監視実験装置である。図-1 に本システムの測定原理を示す。測量船による水中施工監視、検測には送受波用クロスアレイの送波アレイを船の進行方向に向けて取り付け、水平角 0.6° 、垂直角 13° のファンビームを放射する。一方、船に直角方向に取り付けられた受波アレイは、送波ファンビームと直交した受波ファンビームを受波する。この受波ファンビームは $\pm 5^\circ$ の振れ幅で電子的に振るようになっていて、分解幅及び探査幅は深度によって変わり、水深 10 m で分解幅約 10 cm、探査幅約 1.8 m となる。

図-2 は本システムの構成を示す。

(1) 構成

- a) 超音波発音信号変換装置
- b) 送波器アレイ
- c) 受波器アレイ
- d) 超音波受音信号変換装置
- e) 同上用遅延素子
- f) データ処理装置
- g) 画像処理表示装置

(2) 水中監視実験装置の主要性能

本システムの主要性能をまとめて示すと表-1 のようになる。

2.2 動揺補正装置

高精度測量船に搭載する装置の性能を確認するために、昭和 58 年度に動揺補正技術、高精度測深（クロスアレイ式送受波器）技術を個々に実施した機能をトータルシステムとして確認することを目的とする装置である。

表-1 クロスアレイ式音響測深システム

1	周波数	500kHz	
2	分解能	距離	5 cm
		角度	0.4°
3	測距範囲	50m	
4	探査幅	± 5	
5	送波器素子数	19ch	
6	受波器素子数	19ch	
7	発振回数	10回/s	
8	ロール補正	$\pm 5^\circ$	
9	ピッチング補正	$\pm 5^\circ$	
10	ヒービング補正	± 50 cm	
11	画像表示	14色カラー表示 (X-Z 面リアルタイム) (Y-Z, X-Y 面) (X-Y-Z 立体図)	
12	映像範囲	* (X) (Y) ** (Z) $2 Z_0 \tan 5^\circ \times 25sv \times 1.5m$	
13	記録	フロッピーディスク	
14	消費電力	400w	

* Z_0 : 水深 (m)

** V : 船速 (m/s)

(1) 動作原理と装置の概要

2.1 に述べたクロスアレイ式音響測深システムは、船の進行方向に対し、 $\pm 5^\circ$ の幅を 30 分画で探査しうる機能を有しているが、これに対してローリング $\pm 5^\circ$ を電子的に補正するために超音波水中監視装置の受信信号変換装置内のホールド回路 (32 ch) の切換え信号に対し、

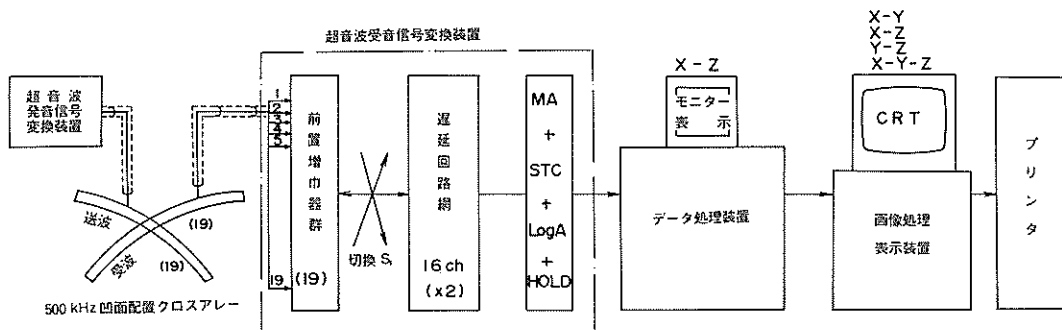


図-2 音響測深システムの構成

ローリング角に比例した遅延を付加してローリング成分を補正する為に内部信号線を引き出すとともに補正された信号を入力する。最大補正角は、ローリング角 $\pm 5^\circ$ 以内、補正精度は、 $\pm 0.5^\circ$ である。

上下動に対しては、深度設定用デジタルスイッチに遅延を付加して上下動成分を補正するため、内部信号線及びデジタルスイッチを引き出すとともに、補正された信号を入力する。最大補正変位は、 ± 50 cm 以内、補正精度は ± 5 cm である。

また、アナログ記録用として、受信信号変換装置内から 3 ch の信号を引き出すようになっている。

(2) 装置の構成、性能

本装置は、動揺補正インターフェイスユニットと記録用インターフェイスユニット (3 ch) に分け、個々のきょう (筐) 体に収納されて構成されている。

a) 動揺補正インターフェイスユニット

ローリング成分補正のための切換え信号線と上下動成分を補正するための深度設定信号を入力し、それぞれ加減算カウンタでローリング及び信号処理装置へ送出する。

入力信号 (ローリング情報) $\pm 5^\circ$ に対し、アナログ信号が $2.5 \text{ V} \pm 2.5 \text{ V}$ で、応答性は $0.1^\circ/0.1 \text{ s}$ である。また上下動情報では、 ± 50 cm に対し、アナログ信号が $2.5 \text{ V} \pm 2.5 \text{ V}$ で、応答性は $1 \text{ cm}/0.1 \text{ s}$ である。

精度は、ローリングで $0.5^\circ/0.1 \text{ s}$ 、上下動で $5 \text{ cm}/0.1 \text{ s}$ である。

b) 記録用インターフェイスユニット

記録範囲は、設定深度から 1.5 m、チャンネル数は 3 ch、応答性は 0.1 s である。

図 - 3 に、本動揺補正装置を水中監視装置に付加したときのブロック図を示す。

3. 予備実験

港湾技術研究所、海底探査実験場で行われた音響測深システムの性能確認実験と、第二港湾建設局、京浜港ケーソンドック内で測量船を使用して行われた予備実験の状況について以下に述べる。

3.1 音響測深システムの性能確認実験

音響測深システムの性能を確認するための室内実験を海底探査実験水槽 (直径 5 m、高さ 10.5 m) で行った。

(1) 送受波アレイの指向性

音響測深システムの水平分解能に関する送受波アレイのビーム幅を測定した。アレイは図 - 4 に示すように 19 個の振動素子から構成されている。実験の結果を図 - 5 及び図 - 6 に示す。この図から送波アレイのビーム幅は水深 9 m で約 11 cm、受波アレイで約 12 cm であった。

(2) 各種対象物の反射特性実験

水中映像の画質に影響を及ぼす各種対象物の超音波反射特性について検討した。

対象物として、ボール (直径 98 mm の電球)、鉄パイプ ($50 \text{ mm}\phi$)、コンクリートブロック ($380 \times 390 \times 600 \text{ mm}$) を用い、超音波鉛直入射時の反射損失を求めた。実験は、直径 5 m、高さ 10.5 m の大型水槽の底に上記対象物を設置し、送信電圧 $E_s = 155 \text{ V}_{p-p}$ で送波した場合の受波電圧 E_R を求め、下記式で反射損失 RL (dB) を算出した。

$$RL = N_p - k_{skm} - 2 \text{ TL} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 N_p : 伝搬損失 $20 \log (E_R/E_s)$ (dB)

k_{skm} : 送受波アレイの感度積 (dB)

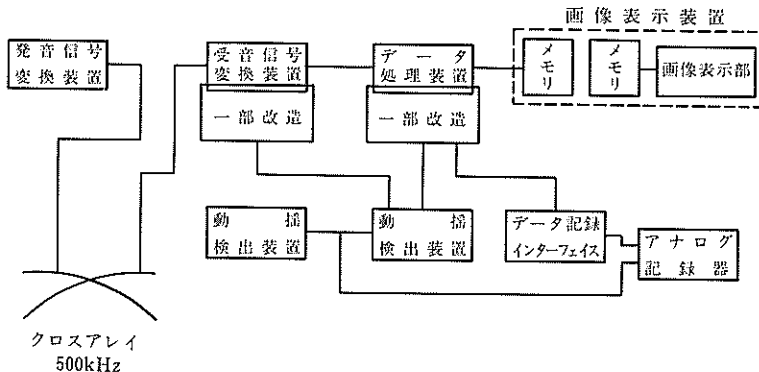


図 - 3 音響測深システムのブロック図

異子中心 距 (mm)	0	16.7	33.3	50.0	66.7	83.3	100	116.7	133.3	150.0	166.7	183.3	200.0	216.7	233.3	250.0	266.7	283.3	300.0	
異子間の 公差 (D 10 m)	±12	0.89	0.68	0.5	0.35	0.22	0.24	0.055	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

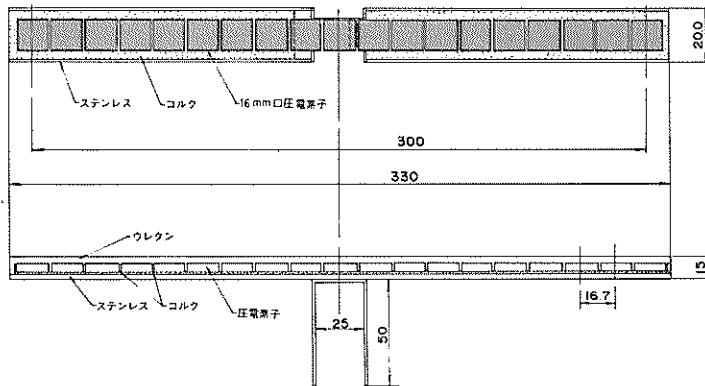


図-4 送受波アレイの組立

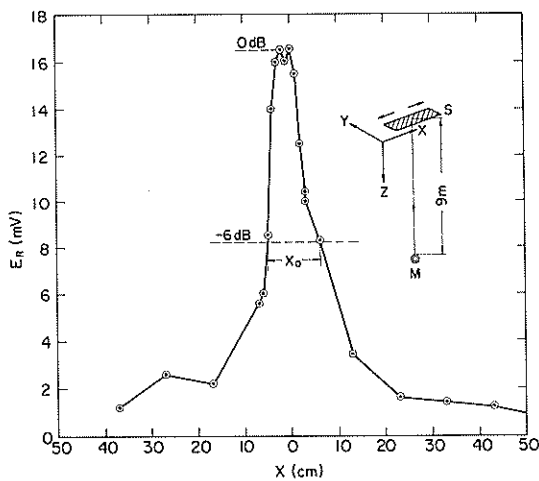


図-5 送受波アレイのビーム幅測定結果 (X軸方向)

表-2 各種対象物の反射損失

対象物	寸法 (mm)	水深 (m)	TL (dB)	SL (dB)	RL (dB)
ボール	φ98	9.30	56.6	25.4	20.8
鉄パイプ	φ50×2000	9.65	46.4	25.7	10.3
コンクリートブロック	380×390×600	9.70	38.7	25.8	2.5

TL: 拡散損失 (dB)

ただし、吸収、散乱等の減衰損失は無視算出した結果を、表-2に示す。

表-2から反射損失は、ボール、パイプ、ブロックの順に大きいことがわかった。

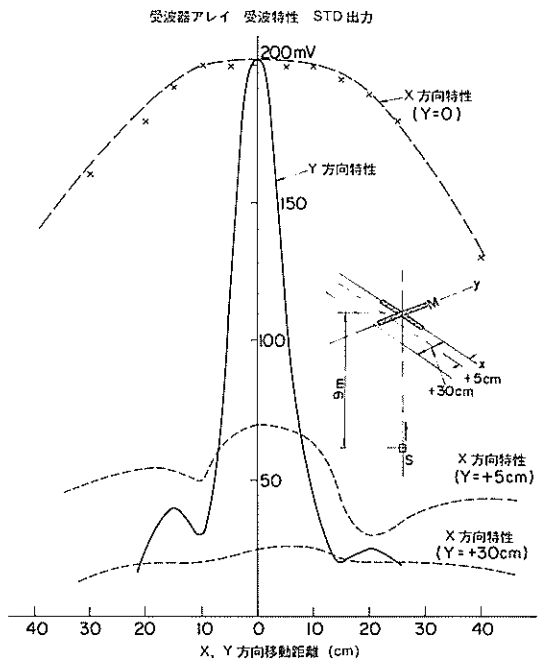


図-6 受波器アレイのビーム幅測定結果

(3) 各対象物の水中映像特性実験

各種対象物における反射特性が水中映像特性に及ぼす影響について検討するため、図-7~9に示すように、水槽底にボール、鉄パイプ、コンクリートブロックを設置し、送信電圧 $E_s = 155 V_{P-P}$ で送波した場合の対象物からの受信電圧 $E_R (V_{P-P})$ をSTC出力とLOG出力から求めてみた。

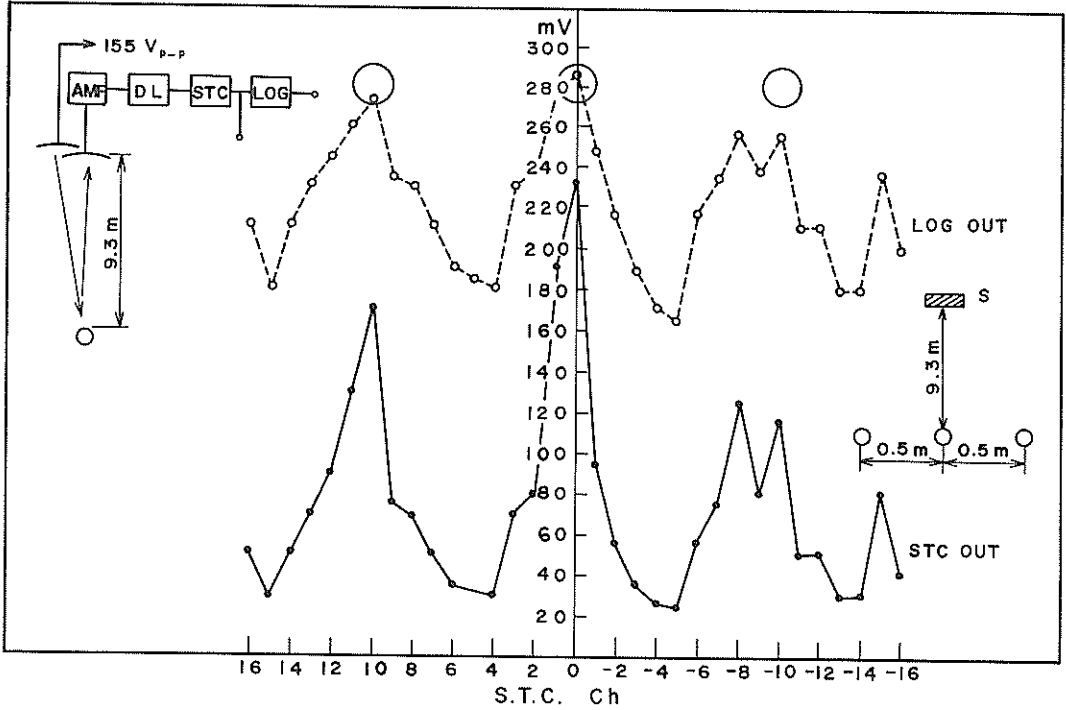


図-7 ボールのSTC出力とLOG出力

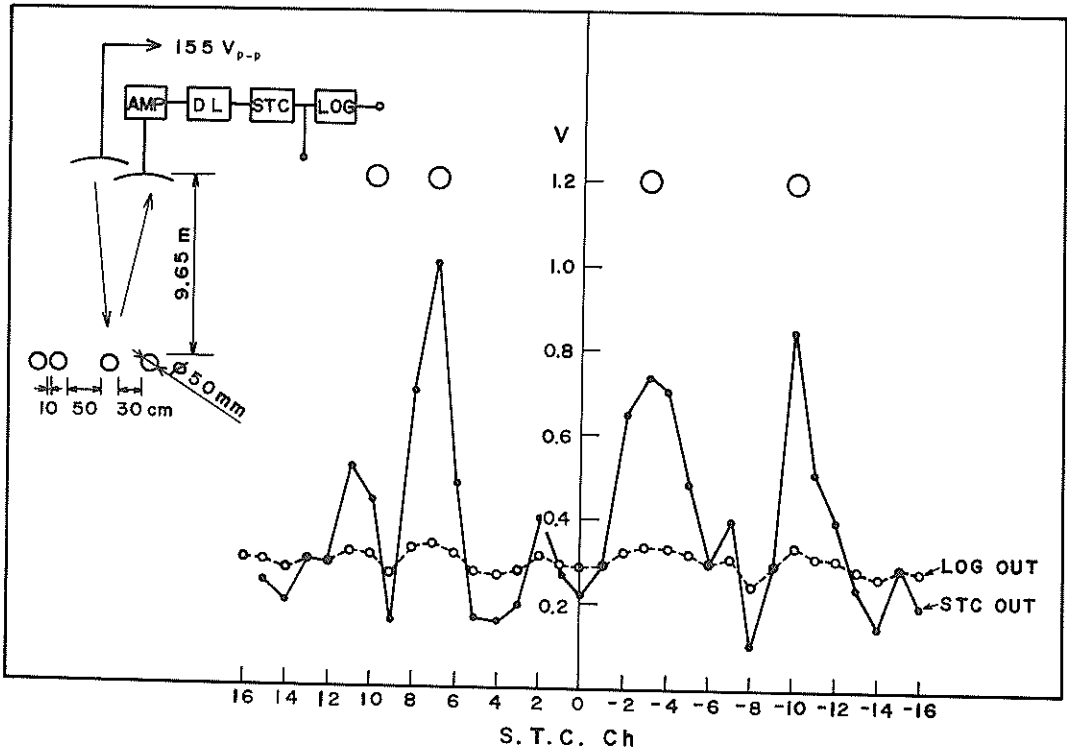


図-8 パイプのSTC出力とLOG出力

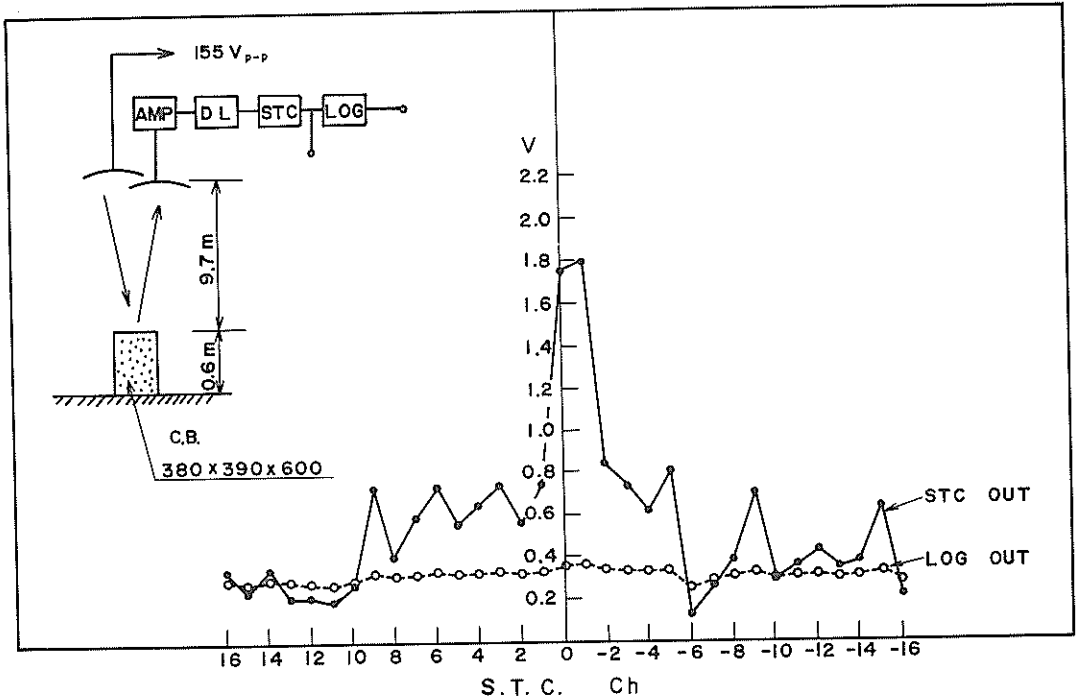


図-9 コンクリートブロックのSTC出力とLOG出力

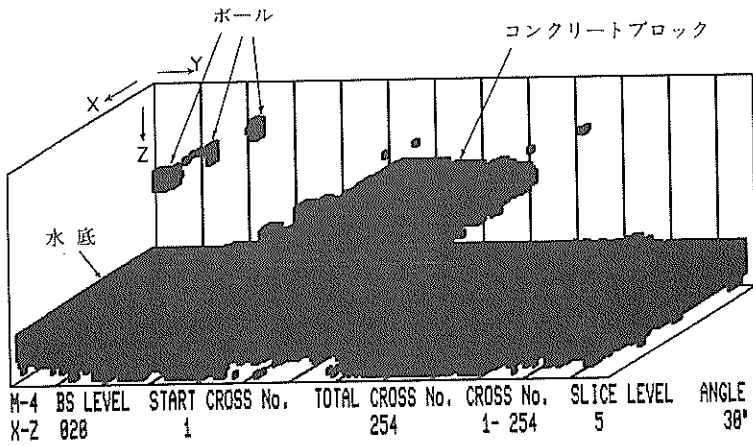


図-10 ボールとコンクリートブロックの立体図

その結果を図-7~9に示す。この図によれば、ボールのSTC出力電圧 $E_{R(STC)}$ は、最大でも230 mVと他の対象物に比べて小さく、そのためLOG出力での対象物のあるときのLOG出力 E_{RO} と、対象物のないときのLOG出力 E_{RN} のレベル差は1.6倍と比較的大きく、図-10でわかるように3個のボールを分離して映像化されている。鉄パイプでは、STC出力電圧 $E_{R(STC)}$ は、1000 mV_{P-P}でLOG出力での E_{RO} と E_{RN} の比は1.3倍であり、図-11でわかるように、10 cm間隔で置かれた

A及びBパイプの他のパイプ、C、Dはよく分離して映像化されている。また、コンクリートブロックのSTC出力電圧 $E_{R(STC)}$ は1800 mV_{P-P}で非常に大きくLOG出力での E_{RO} と E_{RN} 比は1.1倍で非常に小さい。したがって図-10でわかるように、ブロックの有無にかかわらずほぼ一様に映像化され、物体のないところに虚像が出て解像度の悪い画像となっている。今後、指向性、出力処理を含めた総合的な検討が必要であることがわかった。

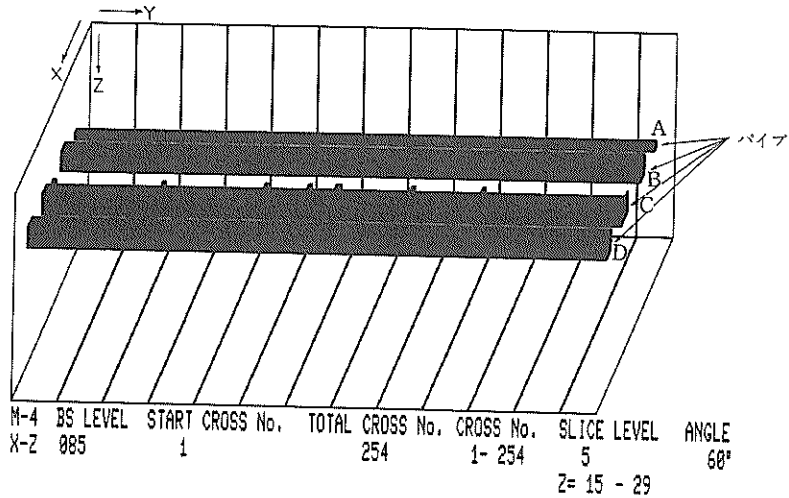


図-11 パイプの立体図

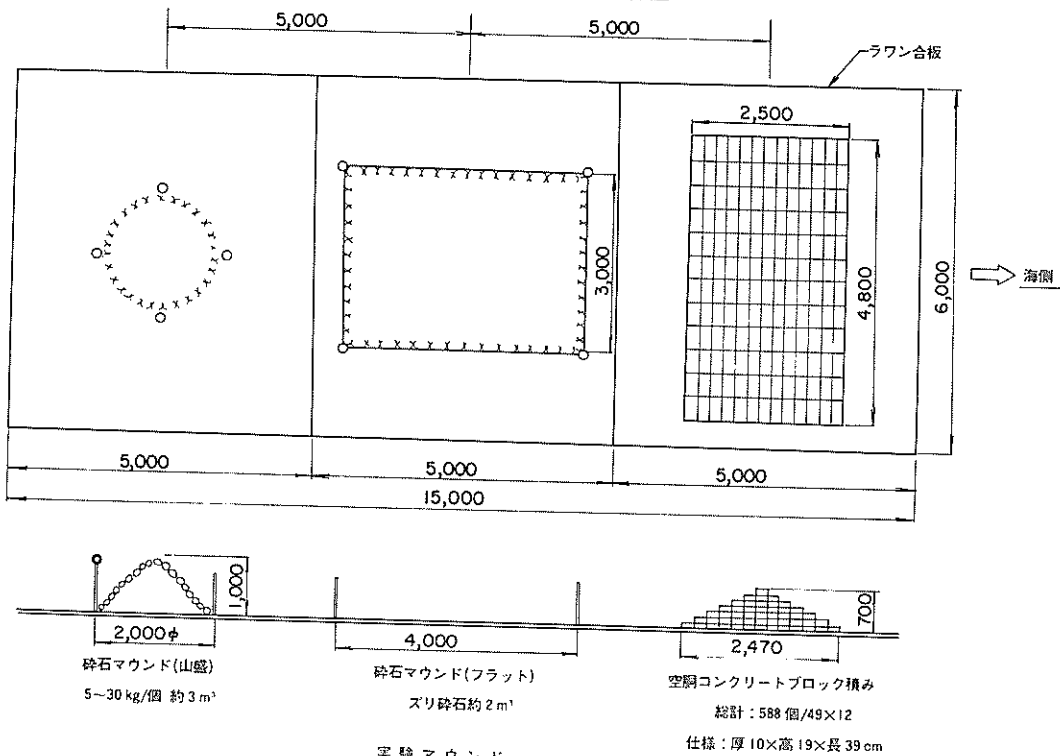


図-12 音響測深システム実用化実験マウンド

3.2 音響測深システムの実用化実験

大水深海域における海洋土工事においては、高い精度で捨石マウンド等海底施工面の検測や監視を行う必要がある。そのためには、超音波システムの送受波アレイが測量船の波浪による船体動揺によって影響を受けないように動揺補正を行う必要がある。また大水深海域にて

欠測なく計測を行うには海底施工面の反射特性等を実験的に検討する必要がある。

そこで実用化実験をケーソンドック内で行い、その実用性を確認した。

(1) 実験概要

図-12に示すように水中対象物試料として砕石マウ

ンドⅠ（碎石フラット、ずり碎石約2m³）、碎石マウンドⅡ（碎石山盛5~30kg / 個約3m³）空洞コンクリートブロック積み（厚10×高19×長39cmのブロック588個（49×12個）の7段積み）を第二港湾建設局京浜港工事事務所内ケーソンドックの底に敷いたベニヤ板の上に設置した。また設置位置確認のためにボール電球（98mmφ）を標識用として設置した。実験船として測量船を使用し、測量機材を搭載した。

実験に使用した機材は下記のとおりである。

- | | |
|-----------------|----|
| a) 水中監視実験装置 | 一式 |
| b) 動揺補正インターフェース | 一式 |
| c) 記録用インターフェース | 一式 |
| d) 記録器 | 一式 |
| e) 波形撮影用オシロスコープ | 一式 |
| f) 動揺補正用ジャイロ | 一式 |

実験に使用した測量船は京浜港所属の監督測量船「みさき」で、その主要目は下記のとおりである。

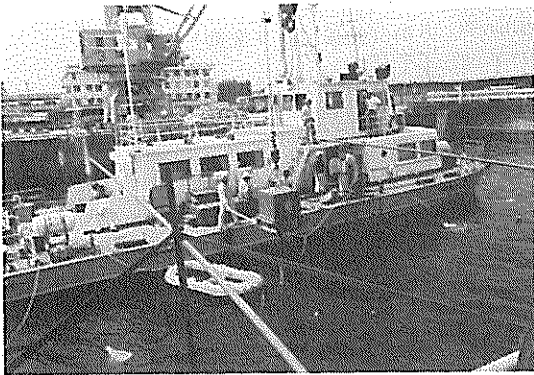


写真-1 測量船の外観

長さ	19.02 m
幅	7.6 m
深さ	2.16 m
吃水	1.09 m
総屯数	86.32 Gt
最大速力	12.5 Kt
測量時速力	4~6 Kt
航行区域	沿海（限定）

写真-1にその外観を示す。

実験は、図-13に示すような実験装置のクロスアレイ及びジャイロを陸上にあるクレーンで吊り下げるか、または測量船のげん側に取り付けて、供試マウンド上から計測するようにした。写真-2にその状況を示す。計測したデータは、記録器に書きし、陸上において処理し、生データ（M₁）、及び処理データ（M₄）から立体図、Y-Z断面像を求めて目標物を推定した。

(2) 動揺補正確認実験

平坦なドック底面に鉄パイプ（5φ×2001cm）を高さ約70cmのところにおき、クレーンにより図-14のようにクロスアレイ送受波器及びジャイロ動揺補正装置を吊下げ、静止状態及びブスイングさせて動揺補正の効果を測定した。その結果を図-15~17に示す。

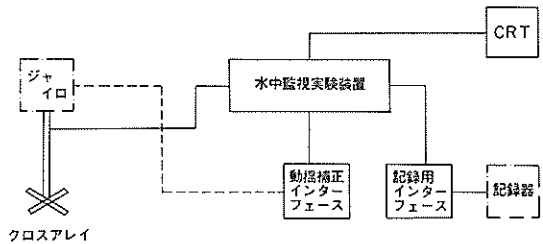


図-13 実験装置ブロック図



写真-2 クロスアレイ及び動揺補正装置取り付け

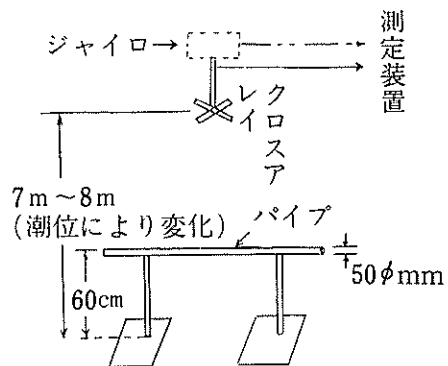


図-14 パイプによるパーチェック要領図

図-15の(a)は、パイプの立体図で、動揺補正をしていない場合の画面である。パイプの映像が動揺によって変動しているようすがわかる。ローリング角 $\pm 1^\circ$ の動揺のときの記録である。

図-15の(b)は、(a)と同じ動揺の条件で、動揺補正をほどこした立体画像で、パイプの映像が補正されて、ほぼ一本の直線に記録されていることがわかる。

図-16は、パイプのX-Y断面図である。(a)は動揺補正がない場合の画像で、約60 cmの幅で、ばらついて記録されていることがわかる。(b)は、動揺補正をかけた場合で、約20 cm以下の幅におさえられて、動揺補正の効果が出ていることがわかる。

図-17は、パイプのY-Z断面図である。(a)は、動揺補正のない場合で、パイプの映像が船体ピッチングによって断続して記録されていることがわかる。(b)は、動揺補正をかけた場合で、ピッチングによる映像の断続がなくなり、一本の直線で記録されていることがわかる。

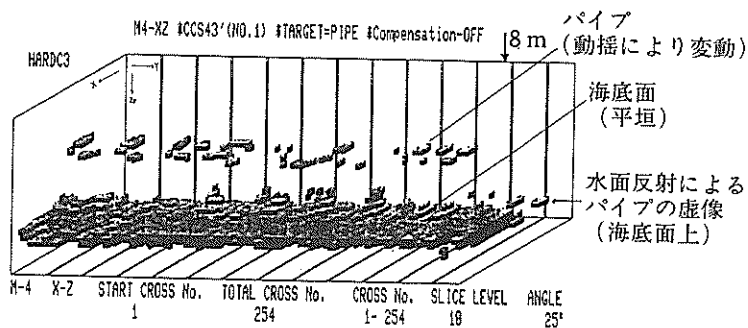
パイプと海底の距離は60 cmで実際と一致している。

補正の有無については、周期の大なるものについて顕著な効果が認められたが、周期の早いものについては、ピッチングの影響やセンサの位置の移動があり、今後の検討が必要であろう。測深システムについては5 cm程度の水中物体の判別が可能であることがわかった。

(3) 上下動補正確認実験

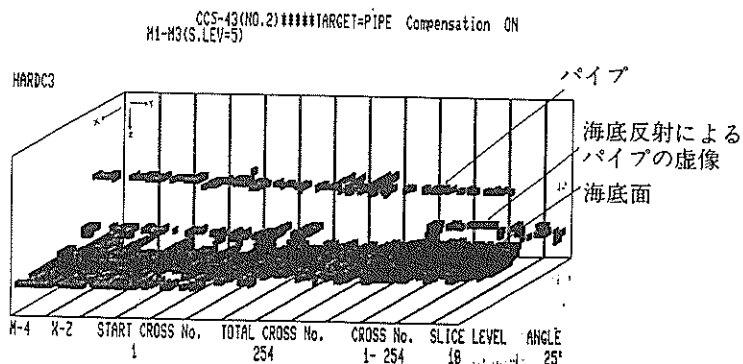
底質がベニヤ板のとき、センサをクレーンにて上下に動揺させ、補正の効果について計測した。その結果を、図-18~20に示す。図-18は、ローリング、上下動、測深データのアナログ記録で、上が補正のない場合、下が補正がある場合である。動揺の周期は約4秒、ローリング約 $\pm 3^\circ$ 、上下動約 ± 12 cmのとき、補正しないときの測深データは最大約25 cmの変動があったのが、補正をかけると、最大約5 cm程度の変動に納まっており、補正の効果が出ていることがわかる。

図-19は、ベニヤ板海底の立体図記録であって、上



(a) 動揺補正なし

$\pm 1^\circ$ の動揺



(b) 動揺補正あり

図-15 パイプの立体図

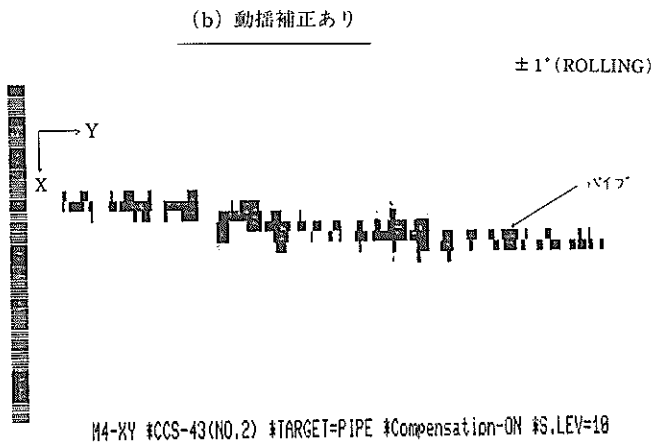
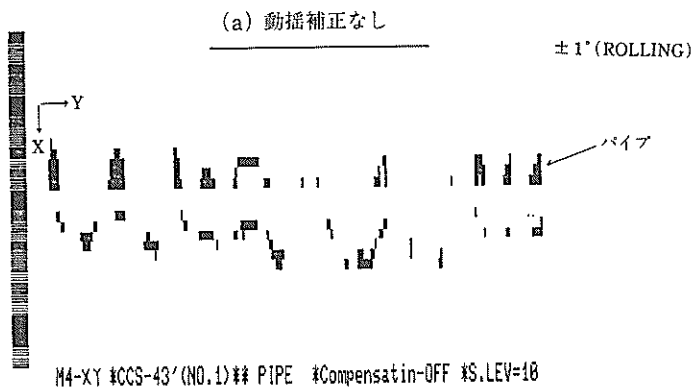
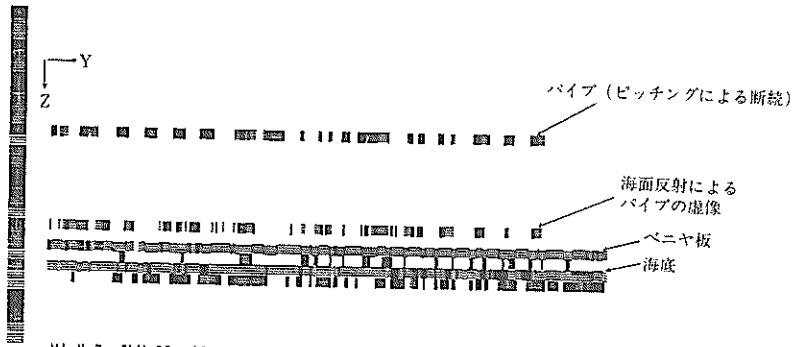


図-16 パイプのX-Y断面図

(a) 動揺補正なし



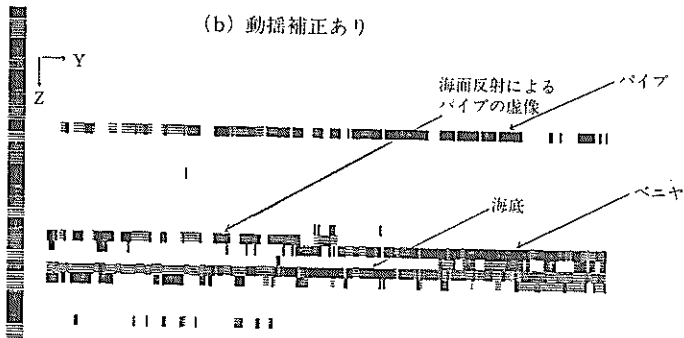
M1 Y-Z SLV=20 CCS-43'(NO.1) Non-comp T'GET=PIPE

Ready
HARD3

④ YZ断面

目標物：鉄パイプ動揺補正なし
±1'の動揺
アナログデーターなし

(b) 動揺補正あり



M1 Y-Z SLV=20 CCS-43 Compensated T'GET=PIPE

Ready
HARD3

④ No.1とPair YZ断面動揺補正ON

±1'動揺
アナログデーターなし

図-17 パイプのY-Z断面図

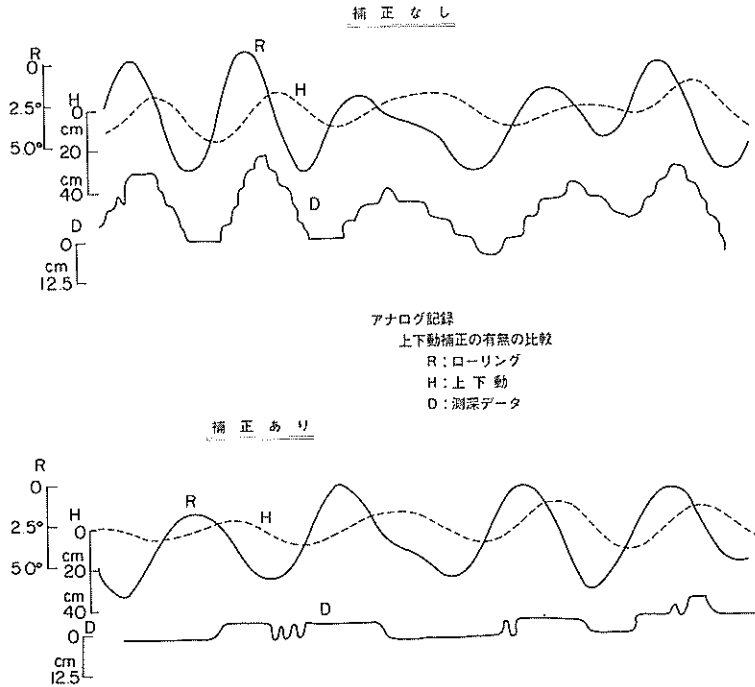


図-18 上下動補正の有無の比較 (アナログ記録)

が動揺補正がない場合で、海底が波うった記録となっている。下の図は、動揺補正をかけた場合で、海底がほぼ平坦に記録され、補正の効果があることがわかる。

図-20は、ベニヤ板海底のY-Z断面図の記録であって、上の図が動揺補正のない場合、下が動揺補正をかけた場合の記録である。上の図では、海底記録の凹凸が25 cm程度あり、下の図では、ほとんど凹凸がみとめられない記録となっており、明らかに補正の効果があらわれていることがわかる。

以上の結果から、3秒以上の周期については、動揺補正の効果が認められた。

(4) ブロック山積みの性能確認実験

図-12のようにドックの底にブロックを山積みした対象物を計測し、動揺の有無を測定した。このときの動揺周期が1秒と短く、ローリング角も約1°程度と少なく、ピッチング方向の揺れもあるため補正の効果は確認できなかった。図-21は、実験の結果得られた立体図の記録である。上の立体図が動揺補正のない場合、下が動揺補正がある場合を示す。図の左側の段差のあるところが補正をかけた画面のほうが、実際と合っているようにみえる。

図-22は、ブロック山積みのY-Z断面図の記録を

示す。上の図が動揺補正がない場合、下の図が補正がある場合である。明らかに、左側の階段状のところを補正をかけた記録のほうが実物と一致している。

なお、センサを吊りしているクレーンの移動の速さが不均一なため、ブロック山積みの大きさは定量的な値は求められなかったが、高さ方向については正確な計測データが得られ、かつブロックの段数も把握できた。

(5) 砕石フラット面の計測実験

図-12のように砕石(ざり砕石約2 m³)をフラットにおき、動揺の有無について測定した。図-23に砕石フラットの立体図の記録を示す。最大5°(周期約4秒)程度の動揺についても充分効果が認められた。また最大の凹凸量は最大25 cmと実測結果と一致している。

(6) 砕石山盛面の計測実験

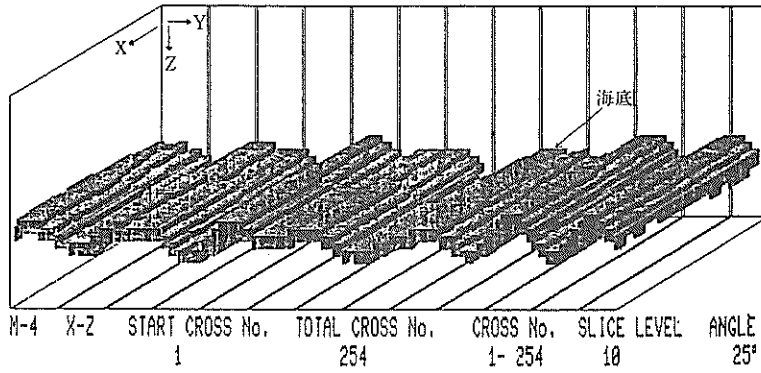
図-12のように砕石(5~30 kg/個約3 m³)を山盛りし、計測実験を行った。今回の実験では山盛の中心を通らずに中心から約1 m離れた位置を計測している。また山盛の傾斜も最大60°の傾斜で、センサの軸のわずかな傾斜も影響を受けるため正確な定量的解析が困難であった。画像の一例を図-24に示す。図の(a)は、砕石山盛の立体図の記録であって、山の上の部分、海底部分のみが記録され、山の中腹部分は超音波の反射特性によって

HARDC3

動揺補正なし

-1.4° ~ 1.6° 0.25Hz(4s) D=-8~16cm

MBD-62'(NO.50) * Compensation-OFF



動揺補正あり

HARDC3

MBH-62H(NO.51) * Heave&Roll Comp.-ON

-0.8° ~ 1.6° 0.25Hz(4s) D=-8~14cm

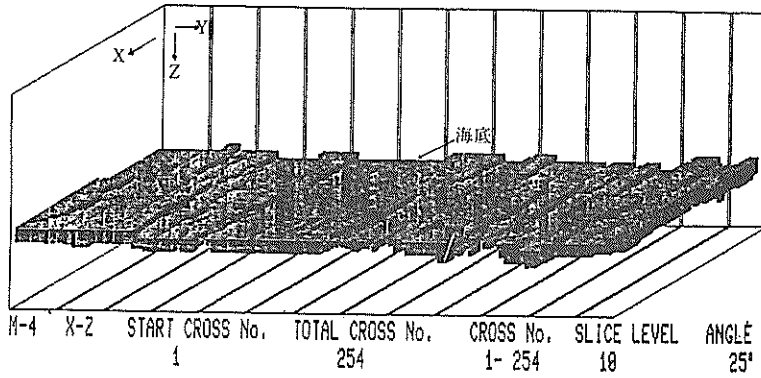


図-19 海底(ベニヤ板)の立体図

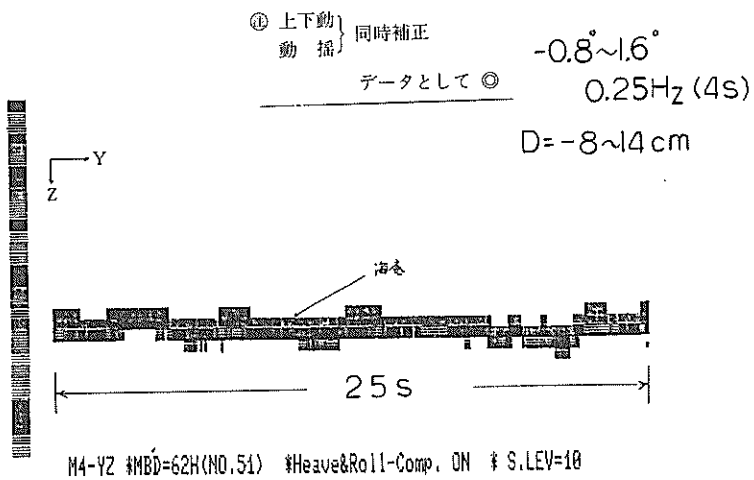
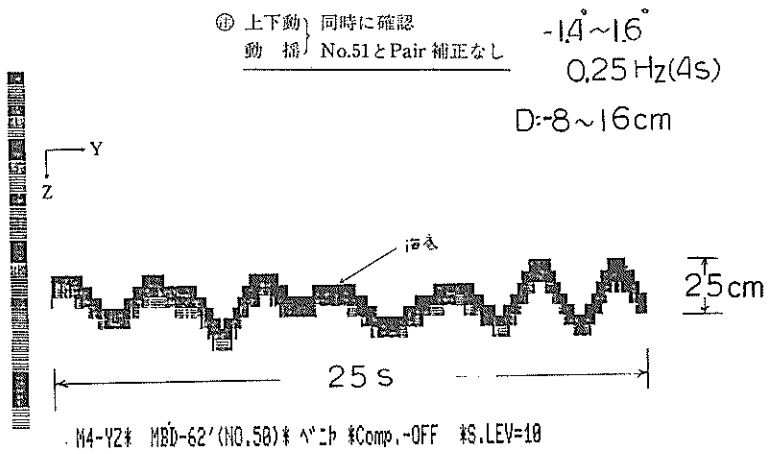
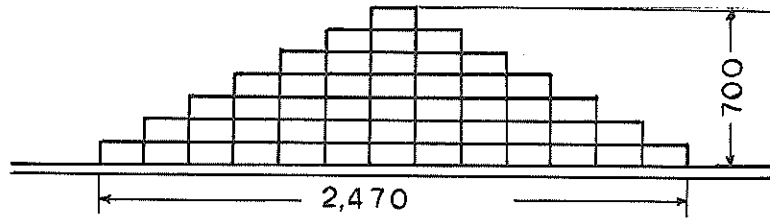
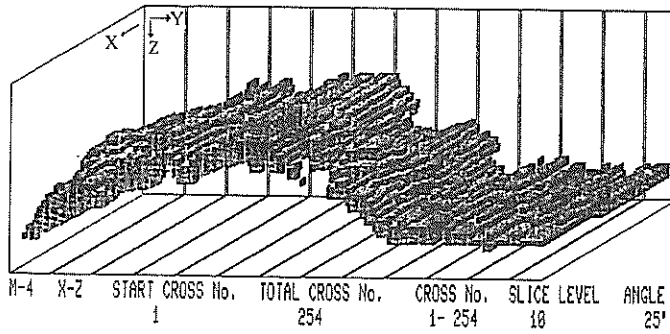


図-20 海底(ベニヤ板)のY-Z断面図

空洞コンクリートブロック積み (588個)
(10×19×39cm)



HARDC3: CBI-20'(NO.66) *Comp.OFF #B.H. 動揺補正なし
+0.8°~1.6° 1Hz(1S)



HARDC3: CBI-20(NO.65) *Comp.-ON #B.H. 動揺補正あり
+0.6°~1.6° 1Hz(1S)

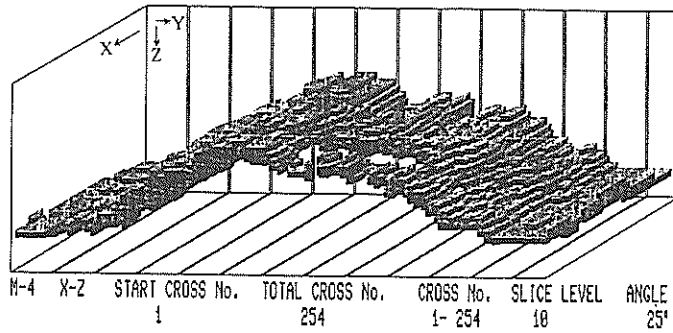


図-21 ブロック山積みの立体図

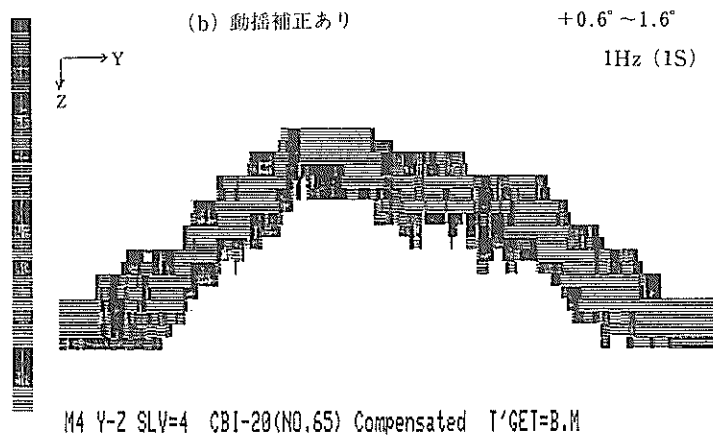
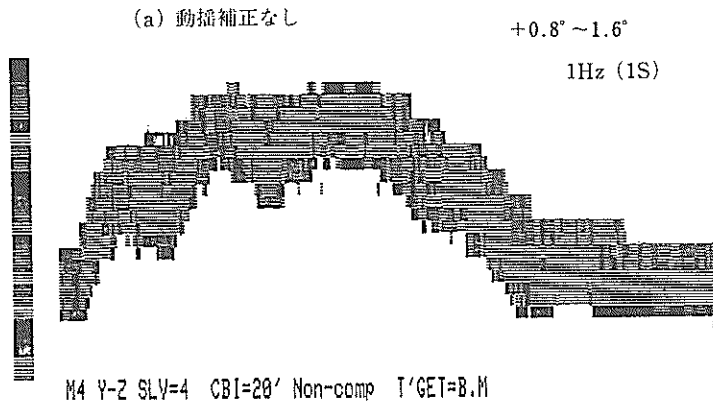
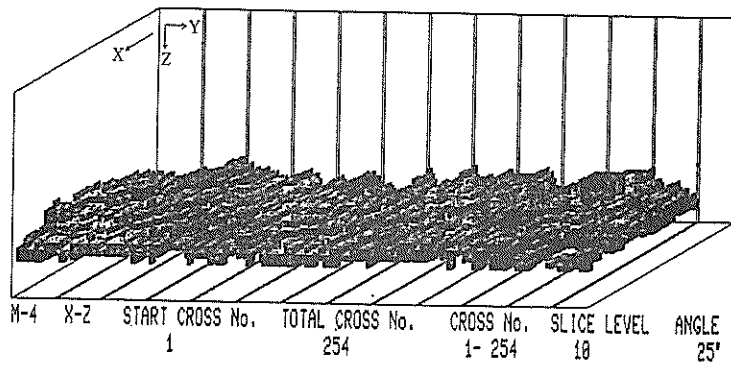
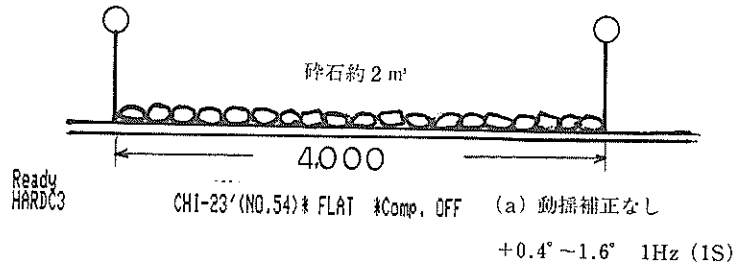


図-22 ブロック山積みのY-Z断面図



CHI-23(NO.55) (b) 動揺補正あり
-0.4°~3.2° 0.25Hz (4S)

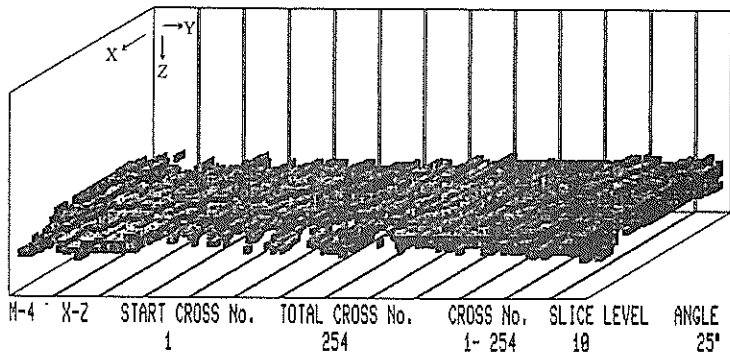
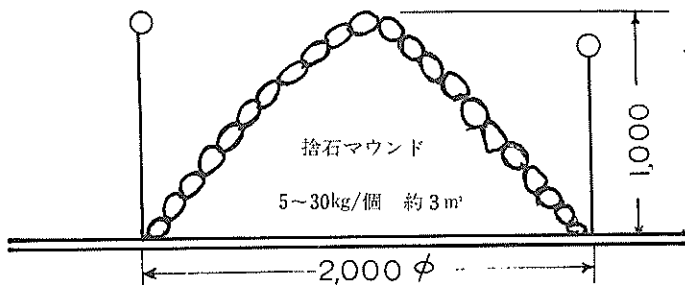
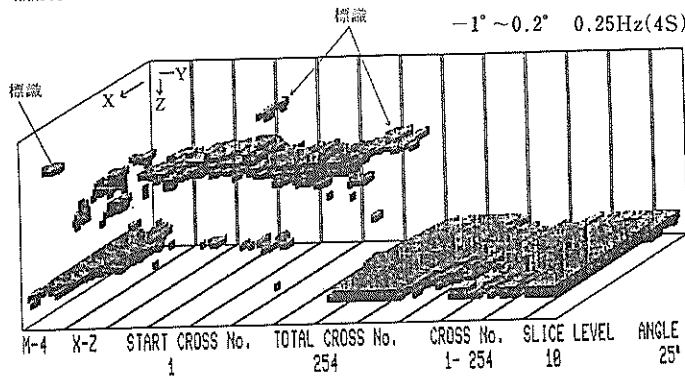


図-23 碎石フラットの立体図



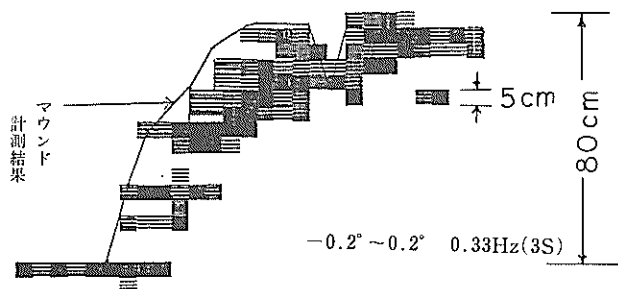
HARDC3: CVI-27(NO.60) *Comp.-ON 標Mount. 動揺補正あり
-1°~0.2° 0.25Hz(4S)



(a) 砕石山盛の立体図

動揺補正あり

M-1 X-Z S.LEV=16 MYS-34(NO.34) TARGET=MOUNT, COMP.



(b) 砕石山盛のX-Z断面図

図-24 砕石山盛の測定記録

完全な記録はとれていない。この図は動揺補正したもので、動揺は約 1° 、周期4秒のときの記録である。図の(b)は、砕石山盛のX-Z断面図の記録である。動揺補正をしており、動揺が約 0.4° 、周期3秒のときの記録である。山の中心をはずれて計測しているため、山の高さが80 cmと、実物よりも20 cm低く記録されている。この図から、スケール計測と超音波計測値とはほぼ一致していることがわかる。

(7) ロングレンジの計測

30 m 以深の大水深海域での計測を想定し、図-25に示すように、センサをドック内で横方向に向け、30 m 距離のある対岸に砕石でつくった壁を設け、超音波計測を行った。送信電圧 E_s が 148 V_{P-P} のとき、受信電圧が 50 mV_{P-P} が得られ、伝搬損失が約 -70 dB であって、受信レベルは、水深が 30 m の大水深施工面の探査には充分可能なレベルであることがわかった。

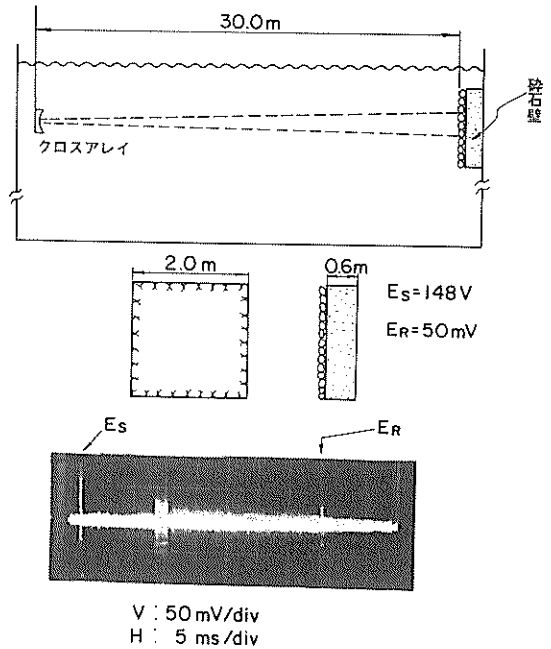


図-25 ロングレンジの計測

4. 海洋実験

この海洋実験は、大水深海域における高精度測量システムの実用化を計るべく、釜石湾口防波堤築造海域において、高精度超音波測深システムと動揺補正システムをドッキングしたトータルシステムの開発を目的としたもので、第二港湾建設局と港湾技術研究所が共同で行ったものである。

4.1 実験場所及び日程

本実験は、釜石湾口防波堤築造海域において、昭和59年9月25日から27日の間に行われた。実験の日程は次のとおりである。図-26に実験海域を示す。

9月25日	実験打ち合わせ及び実験機材を測量船「みずなぎ」に搭載し、結線及び総合作動試験を行った。
9月26日	水深9m付近の捨石マウンドの計測 水深3m付近のパー(パイプ)の計測 水深10m付近の根固めブロックの計測
9月27日	水深10m付近ののり面の計測 水深25m付近の沈下板の計測 水深40m付近の捨石マウンドの計測(静止) 水深40m付近の捨石マウンドの計測(航行)

4.2 実験の実施内容

実験の実施内容は、表-3に示すとおりである。

4.3 実験用測量船の概要

船体長さ	16.4 m
------	--------

幅	4.2 m
深さ	2.1 m
平均喫水	0.82 m
総屯数	40 屯
材質	FRP
主機馬力	360×2 PS
速力	16.5 Kt
航行区域	沿海(限定)

写真-3にその外観を示す。

4.4 実験概要

(1) 実験装置及び実験要領

実験用機材、装置等は、京浜港ケーソンドックにおける予備実験と同じものを使用した。計測方法及びデータ処理方法は、現地海域において、図-13のブロック図で計測し、データをフロッピーディスクに集録するとともにアナログデータを記録器に書かし、陸上において処理を行い、生データ (M_1) 及び処理データ (M_4) から立体図、Y-Z断面図を求めて目標物を推定した。

(2) 予備実験

水深約9m~10mの防波堤において捨石マウンドを計測したが、測定結果から判定すると根固めブロックの上を計測している。このときのローリングは、 $-3.2^\circ \sim 0^\circ$ で周期は2.8秒~3.5秒あり、ローリング補正

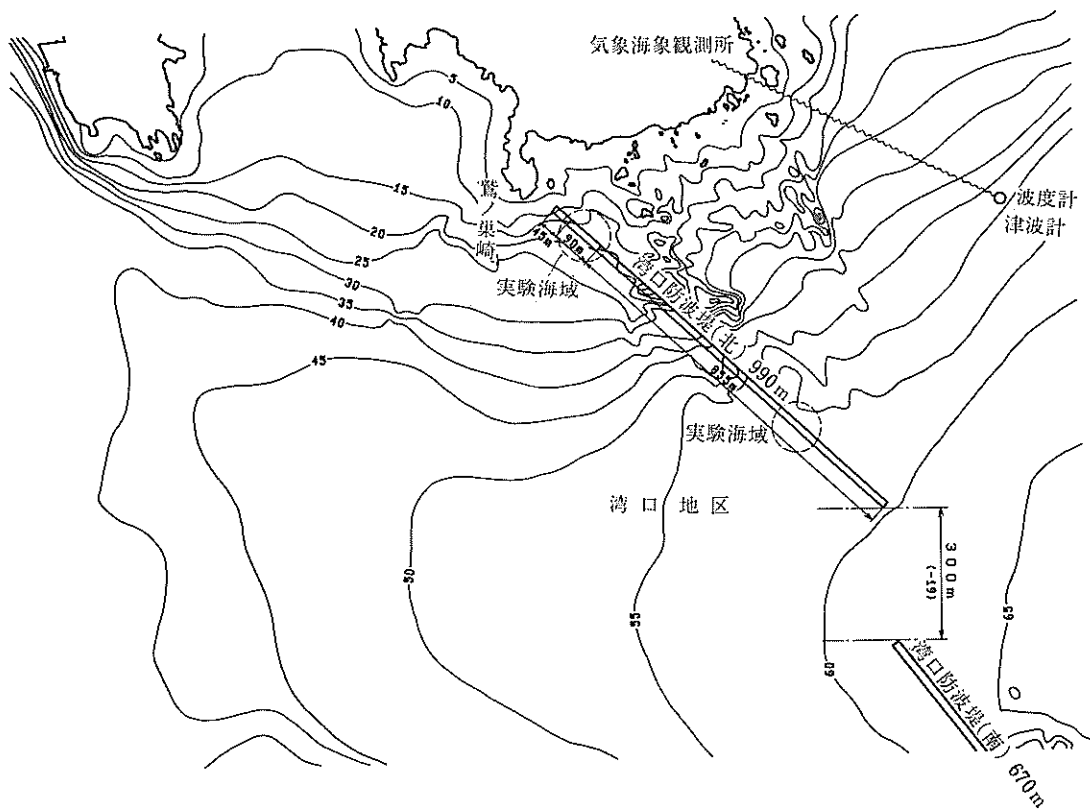


図-26-(a) 実験海域(全体図)

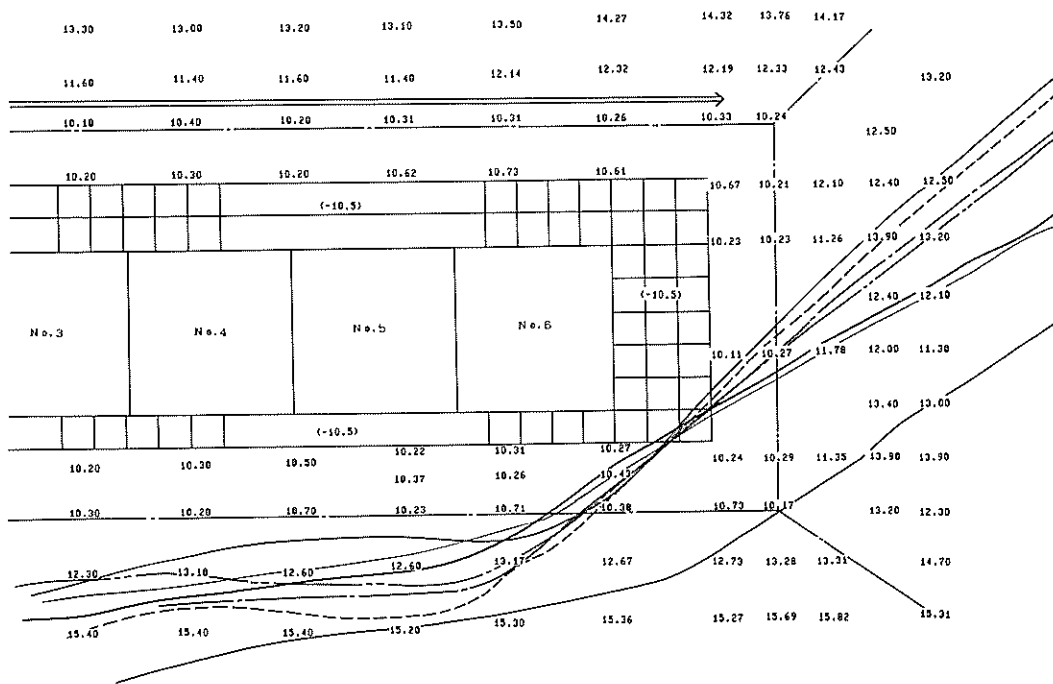


図-26-(b) 実験海域(防波堤ブロック, 捨石のり面)

表-3 海洋実験の実施内容

実験場所	実験内容 (実験マウンド)	船の状況		動揺補正		水深
		停船	走船	有	無	
北防波堤	予備実験 (実験マウンド)	○		○	○	-9m
	バーチェック	○		○	○	-3m
	根固めブロック		○	○	○	-10m
	のり面		○	○	○	-10m
湾口防波堤開口部	沈下板		○	○	○	-26m
	捨石マウンド	○		○	○	-38m
		○	600r.p.m	○	○	-40m
		○	700r.p.m	○	○	-40m
		○	800r.p.m	○	○	-40m

註) r.p.m: 船の推進器の回転数



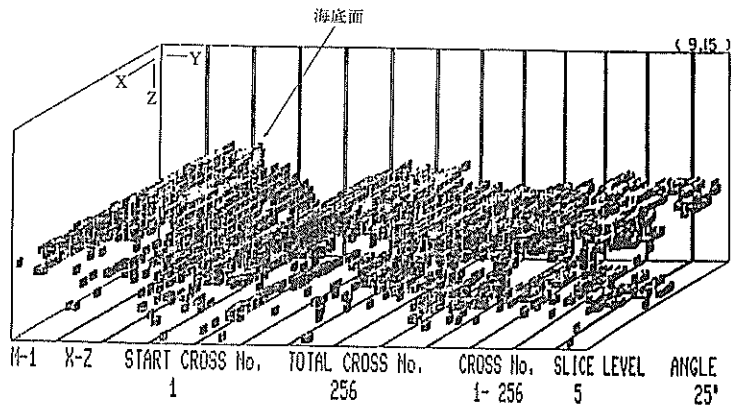
写真-3 海洋実験用測量船

の効果は顕著に出ている。

上下動に関しては、 $-20\text{ cm} \sim \pm 30\text{ cm}$ で、周期は8~10秒であったが測深データも同様の上下動を記録しており、補正の効果は確認できなかった。

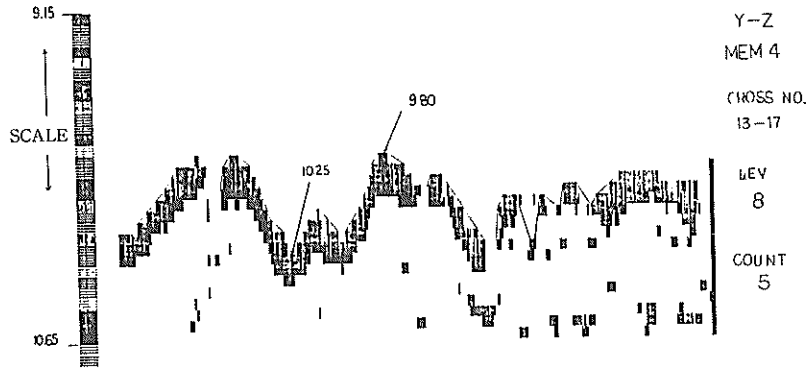
図-27に立体図の記録を示す。海底面の石の凹凸のようすがよくとらえられている。図-28はそのY-Z断面図を示す。水深9.8mから10.25mまでの範囲の海底面の凹凸が5cmの分解能で記録されていることがわかる。図-29は、このY-Z断面図をわかりやすくグラフで示したものであって、縦軸が水深Z軸1.5m

HARD3: 1984.9/26 NO.2 (Y N) TARGET---S.HOUND
(KAWAISHI.)



上下動の影響が強く出ている

図-27 防波堤捨石マウンド (-10 m) の立体図



HARD3: / HQ, 2 (YN) びりい / びりい

図-28 防波堤捨石マウンド (-10 m) の Y-Z 断面図

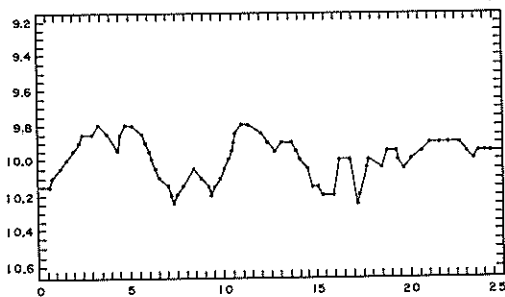


図-29 Y-Z断面図のグラフ化

の範囲で、9.15 m から 10.65 m の距離を 1 目盛 5 cm で 30 等分した。横軸は船の進行方向 Y 軸であって、フロッピーディスクの記録時間 25 秒間を 1 目盛 0.5 秒で 50 等分したもので、船速が 5 Kt (2.5 m/s) であるから 1 目盛は 1.25 m の距離となる。この図から 1 m 以下の穴が精度よく計測されていることがわかる。

(3) バーチェック

図-30 のように水深約 3~4 m の根固めブロック上に 50 mmφ の鉄パイプを海底から 60 cm の高さにおき計測を行った。このときのローリング角は約 2°, 周期が 3 秒程度で、上下動はほとんど 0 であった。

図-31 に立体図の記録を示す。上の図が動揺補正のない場合、下の図が補正をかけた場合である。明らかに補正の効果があることがわかる。

図-32 に、バー (鉄パイプ) の Y-Z 断面図を示す。上の図が動揺補正のない場合、下の図が補正のある場合である。補正をかけていないほうが、記録水深の変動と欠測部分が多いことがわかる。

図-33 は、バーの X-Y 断面図を示す。上が補正し

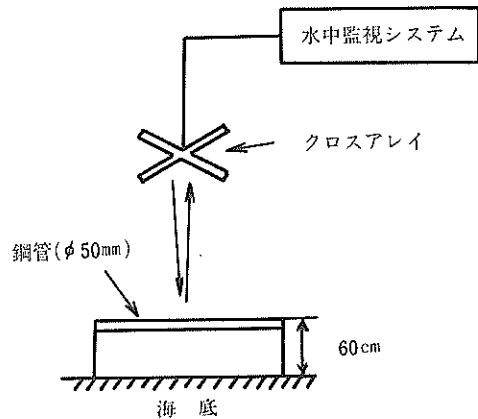


図-30 バーチェック要領図

ない場合で、X 軸方向の鉄パイプの映像の変動幅が最大で 55 cm、下が補正をかけた場合で、同じく変動幅が最大 28 cm で変動幅が補正をかけたほうが約 2 分の 1 ほど小さくなっている。補正のある場合の変動は、船を固定していないための潮流による船の流れによるもので、補正のない場合に比し明瞭に補正の効果が認められた。

上下動に関して図-32 の Y-Z 断面図からみても、ほとんど差異は認められなかった。

また、X-Y 断面図は、前回の実験に比しバーの幅が広く出ているのは水深が浅いため、近接音場域の影響が出ているものと考えられる。

(4) 根固めブロックの計測

実海域での施工面の測量精度の確認のために、湾口防波堤北側の現在ケーソンが設置されている水深が約 -10 m の根固めブロック上を航行 (船の推進器回転数 700

HARDC3: NO.4 (ASH-1) 0°-119°

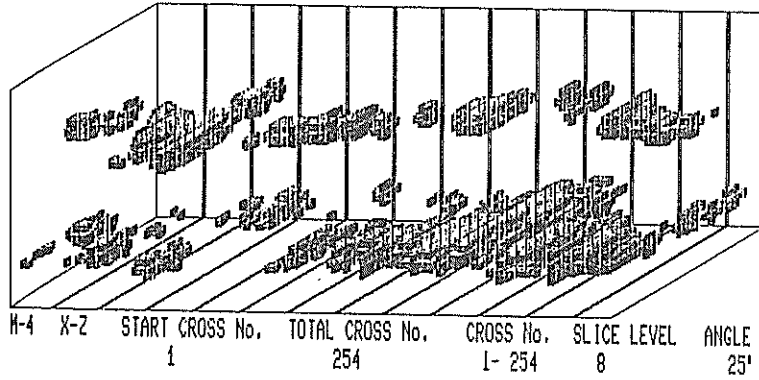


図-31-(a) バーチェックの立体図 (補正なし)

HARDC3: NO.3 (ASA-1) 0°-119°

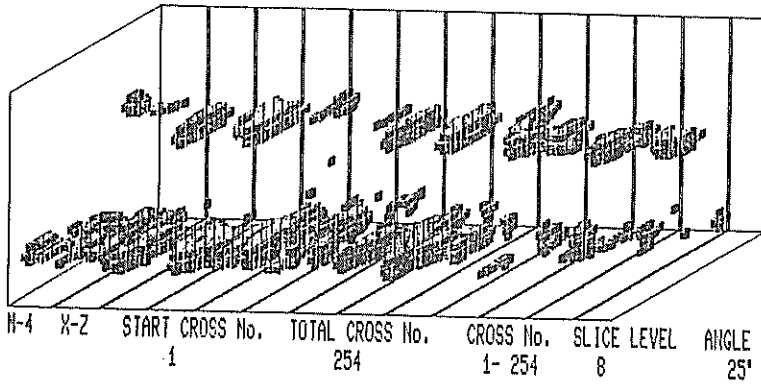
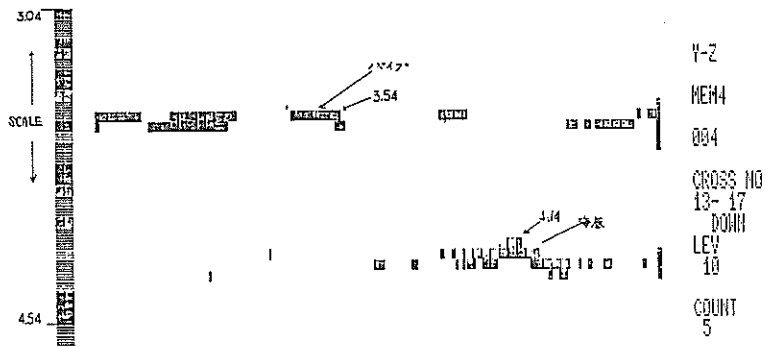
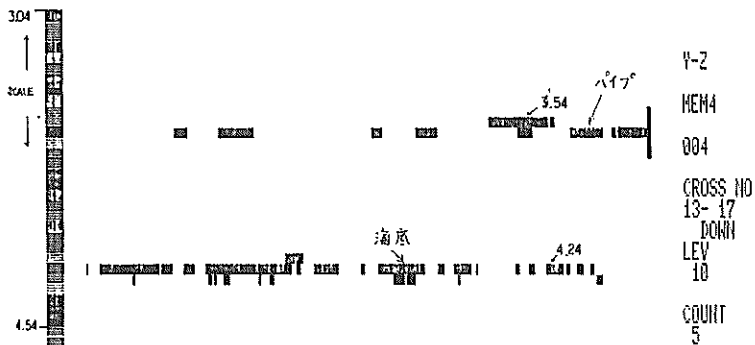


図-31-(b) バーチェックの立体図 (補正あり)



HARDC3: ' NO.4 (ASH-1) BAR CHECK
Y-Z断面

図-32-(a) パーチェックのY-Z断面図(補正なし)



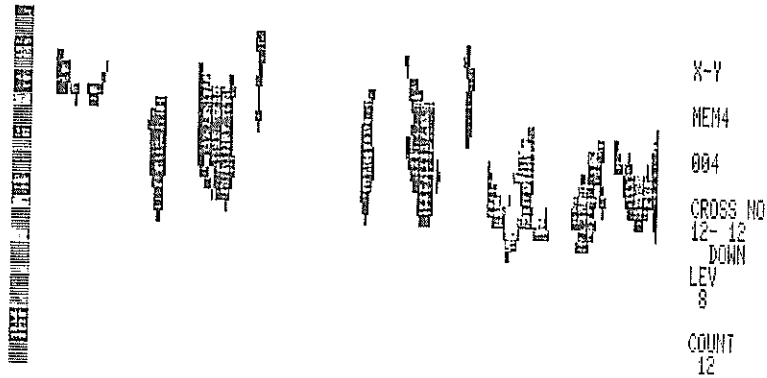
HARDC3: ' NO.3 (ASA-1) BARCHECK

図-32-(b) パーチェックのY-Z断面図(補正あり)



HARD03: / NO.4 (ASN-1) BAR CHECK
X-Y断面

図-33-(a) バーチェックのX-Y断面図(動揺補正をかけない場合)



HARD03: / NO.3 (ASA-1) BAR CHECK
X-Y断面

図-33-(b) バーチェックのX-Y断面図(動揺補正をかけた場合)

r.p.m, 速力約 5 Kt) して計測を行った。ローリングは、最大±2.5°, 周期 3 秒程度で、上下動は±25 cm (最大 40 cm), 周期 8~9 秒の状態であった。

図-34 に、根固めブロックを計測したときの立体図の一例を示す。上の図が動揺補正をしていない場合の映像で、下の図が補正をかけた場合の映像である。明らかに補正の効果があらわれている。

図-35 は、Y-Z 断面図であって、上の図が補正のない場合、下の図が補正をかけた場合である。図中の数値は水深 (m) を示す。上の図は、ローリング 3.5~1.2°, 周期 3.5 秒, 上下動 -25~20 cm, 周期 8 秒のとき、下の図は、ローリング -2.5~1.8°, 周期 3 秒, 上下動 -15~18 cm, 周期 8.5 秒のときのデータで

ある。なお測量機との測定結果とはよく一致している。

(5) のり面の計測

湾口防波堤北側の図-26 に示すように、No.6 ケーソンの先端をかすめるようにして、水深が約 -10 m 程度の捨石のり面を航行 (700 r.p.m) して計測を行った。ローリングは -3°~2°, 周期約 3 秒, 上下動は -42 cm~36 cm, 周期 6 秒~12 秒程度であった。

図-36 は、のり面計測の立体図を示す。のり面の傾斜がよくとらえられている。

図-37 は、のり面計測の Y-Z 断面図であって参考のために測量機の測深記録も添付してある。測量機の記録に比し、クロスアレイでとった記録のほうが分解能 5 cm を有しているため、のり面の凹凸及び傾斜の勾配等

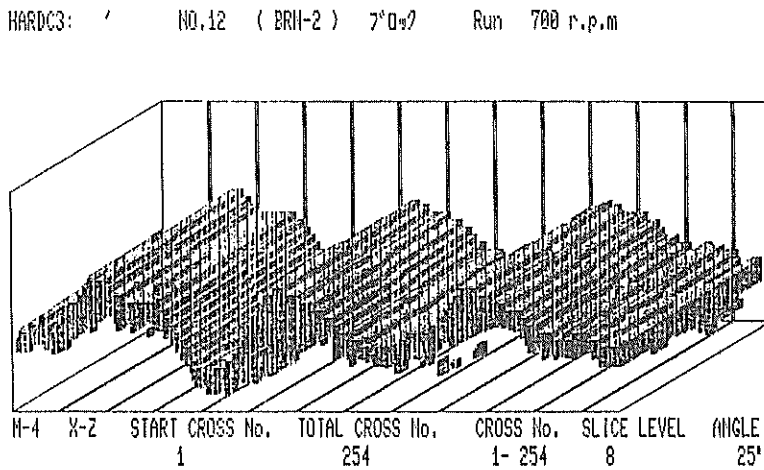


図-34-(a) 根固めブロックの立体図 (補正なし)

NO.13 (BRA-3) 7°09' 700 r.p.m Run

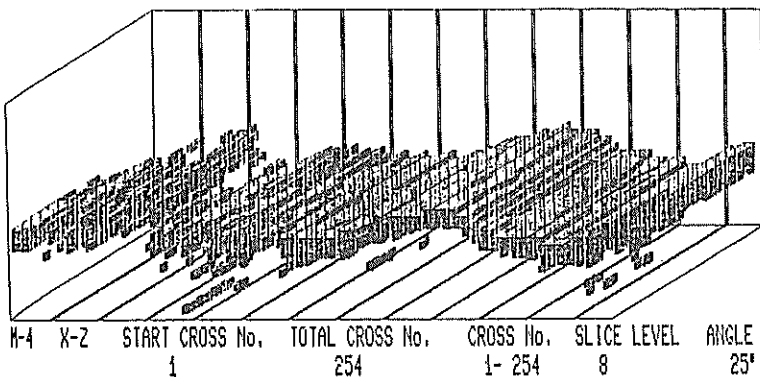


図-34-(b) 根固めブロックの立体図 (補正あり)

で、分解能の差異が顕著に認められ、高精度に測深しているものと考えられる。

(6) 沈下板の計測

海底施工面付近にある小さな目標物の補捉の可能性を確かめるために、海底捨石マウンド上に、水深-26 m に設置してある沈下板（直径0.875 m）上を目標として航行し、8回計測を行ったが、目標物上を通過するこ

と及び動揺による探査位置のずれ等によって補捉することが困難であり、動揺補正をかけた3回だけ補捉することができた。上下動が10~15 cmもあり、しかも直上通過ができず、送受波器から約8°方向を通過したため、水深26.3 m付近に目標を探知することができた。動揺補正をかけない場合は一回も補捉できないことから、補正の効果も確認することができた。

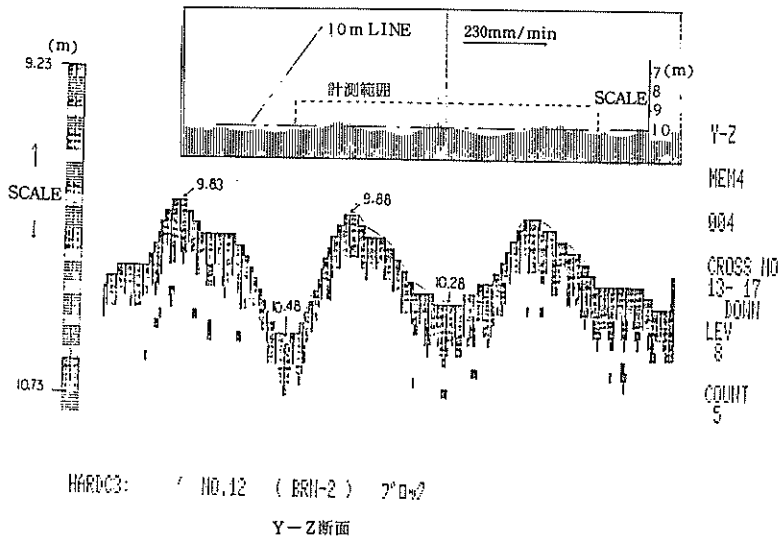


図-35-(a) 根固めブロックのY-Z断面図（補正なし）

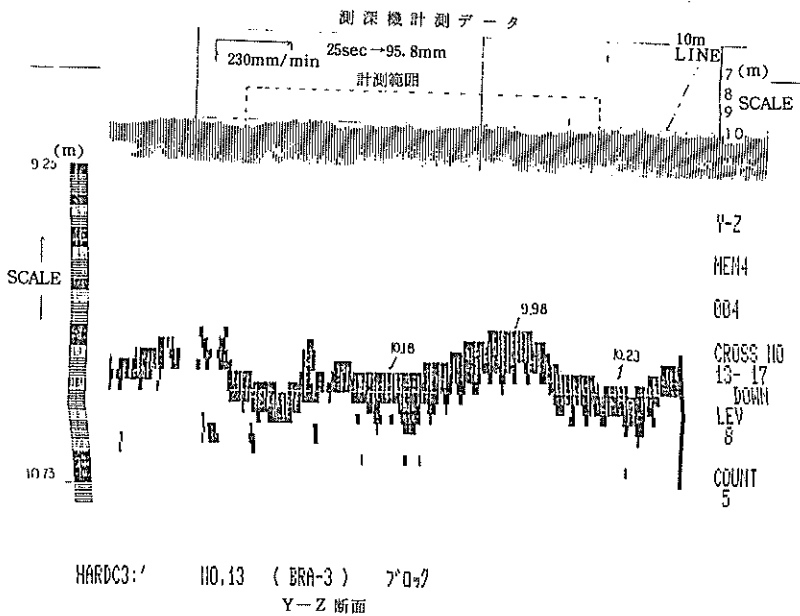


図-35-(b) 根固めブロックのY-Z断面図（補正あり）

図-38に、沈下板計測の立体図を示す。左下に立方体で出ている映像が沈下板の記録である。

図-39は、Y-Z断面の記録である。水深値を25.20 mに設置し、水深26.34 mの位置に沈下板があることがわかる。図の上部に参考のため、測深機(200 kHz)の測深記録を示す。

(7) 捨石マウンドの計測

水深が-30 m以深の大水深海域の捨石マウンドの探査の可否を検討するために、水深約38 mの湾口防波堤(北)用捨石投入海域において、船を停止し、浮遊状態で測定を行った。送信電圧 E_s は148 V_{P-P}、受信電圧 E_R は50 mVであり、伝搬損失 N_P は、-69.4 dBであっ

HARDC3: 1984.9/26 NO.19 (CRN-2) -----

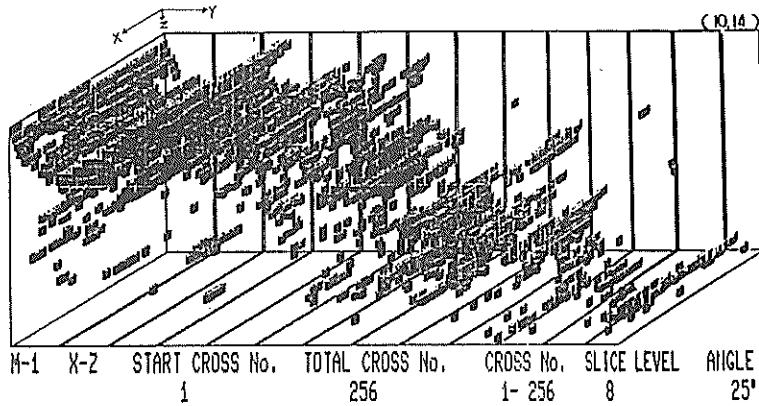


図-36 のり面計測の立体図

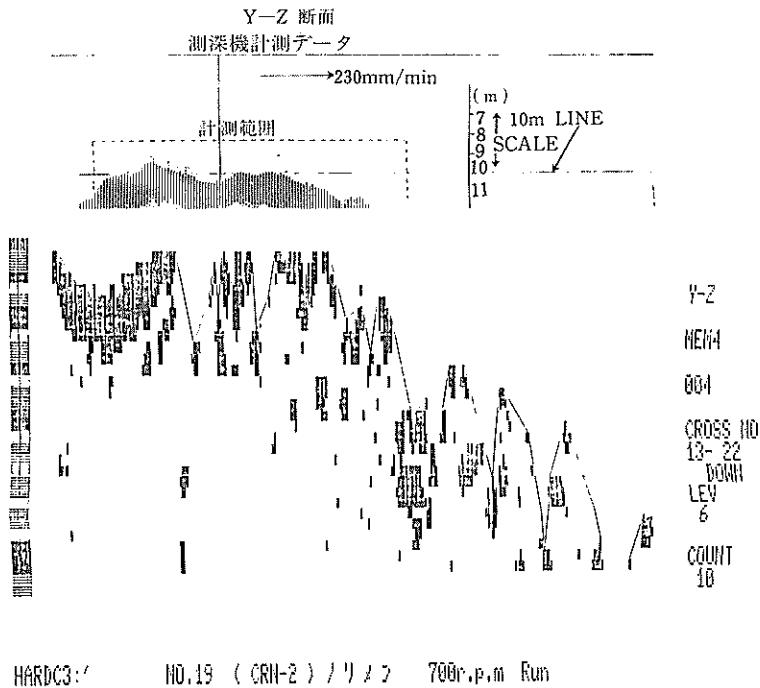


図-37 のり面計測のY-Z断面図

た。

図-40に、捨石マウンド計測時の立体図を示す。よく捨石の凹凸状況が表示されていることがわかる。図-41は、Y-Z断面図を示す。図中の数字は水深を示す。水深が37.84 mから1.5 mの範囲の捨石マウンド断面図が表示されている。この断面図をみれば、5 cmの分解能で表示されているので、捨石マウンドの約20 cm~30 cmの凹凸が適確に記録されているのがわかる。

(8) 航行状態での探査実験

次に、測量船を大水深海域にて航行させた場合の捨石マウンド探査の可否を検討するために、水深約40 m付近の湾口防波堤（北）用捨石投入海域で、船の速度を、

3種類（600 r.p.m, 700 r.p.m, 800 r.p.m）に変えて、それぞれ、計測を測量機（従来型 200 kHz）と併行して行った。

図-42~44に、600 r.p.m, 700 r.p.m, 800 r.p.mそれぞれの立体図の記録を、図-45~47に、各速度のY-Z断面図を示す。Y-Z断面図には、測量機で同時に得られた水深記録図を添付した。

測深システムの測定レンジが1.5 mのため、捨石面の凹凸が大きく、測定レンジをオーバーすることが多く、今後このように凹凸の大きな場所を測定するにはレンジを拡大する必要がある。

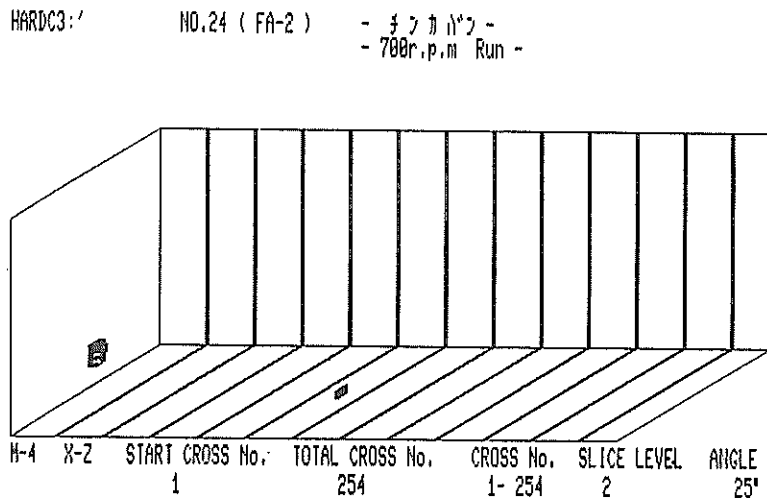


図-38 沈下板計測の立体図

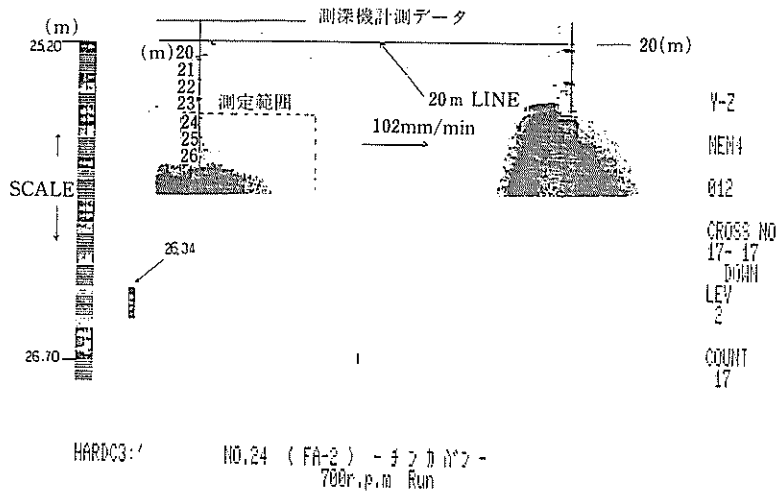


図-39 沈下板計測のY-Z断面図と測量機の記録

HARDC3: 9/27 NO.33 (DSH-2) S.MOUND
 DEPTH = 40.0 m

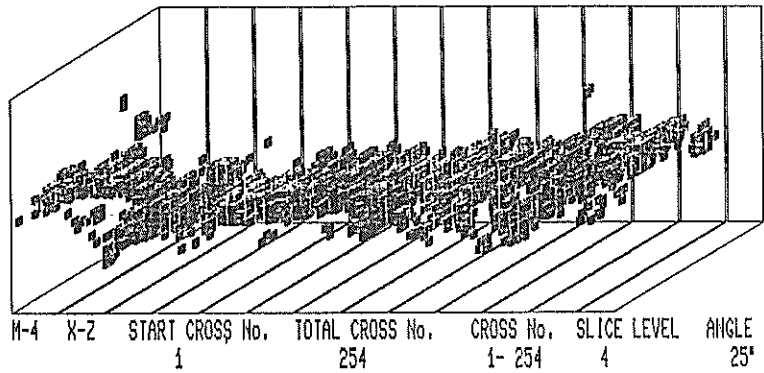
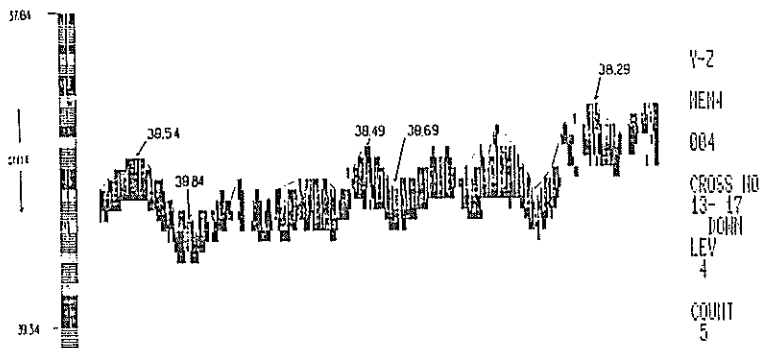


図-40 捨石マウンド (-40 m) 計測時の立体図



HARDC3: NO.33 (DSH-2) スライダ

図-41 捨石マウンド (-40 m) 計測時のY-Z断面図

HARDC3: NO.41 (5N3) DEPTH=40.0m - スライダ - 600r.p.m

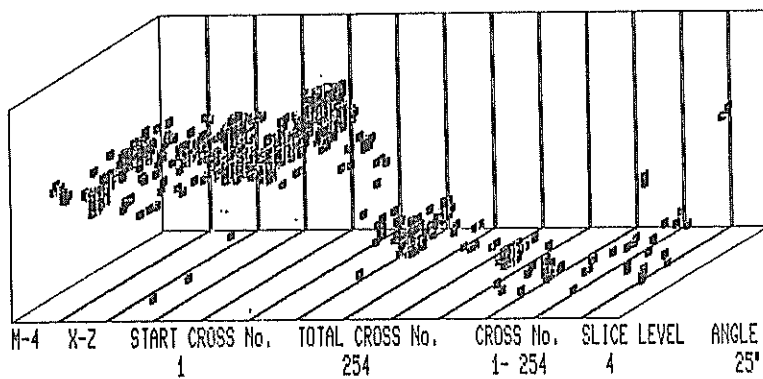


図-42 走航時 (600 r.p.m) の捨石 (-40 m) の立体図

HARDC3: ' NO.48 (6A3) DEPTH=40.0m - スライシ - 700 r.p.m

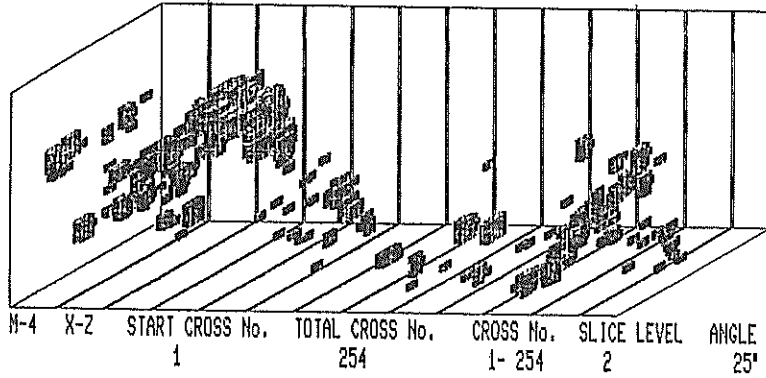


図-43 走航時 (700 r.p.m) の捨石 (-40 m) の立体図

HARDC3: ' NO.56 (7A1) DEPTH=40.0m - スライシ - 800r.p.m

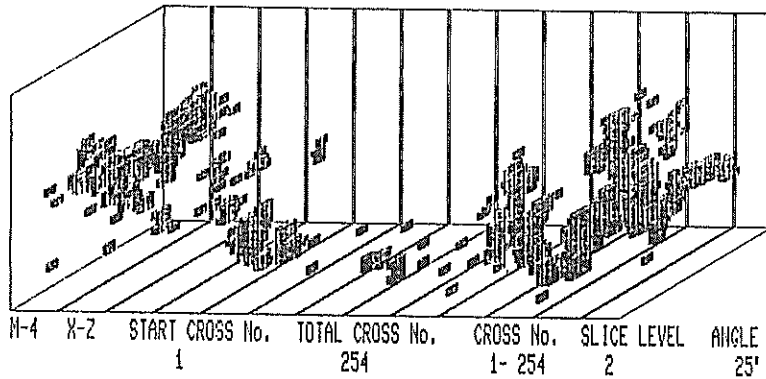
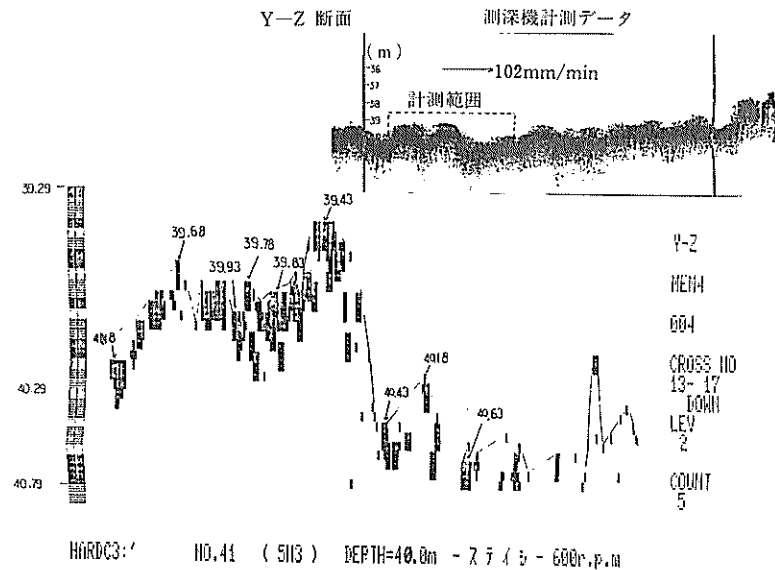


図-44 走航時 (800 r.p.m) の捨石 (-40 m) の立体図



HARDC3: ' NO.41 (5H3) DEPTH=40.0m - スライシ - 600r.p.m

図-45 走航時 (600 r.p.m) の捨石 (-40 m) の Y-Z 断面図と測量機の記録

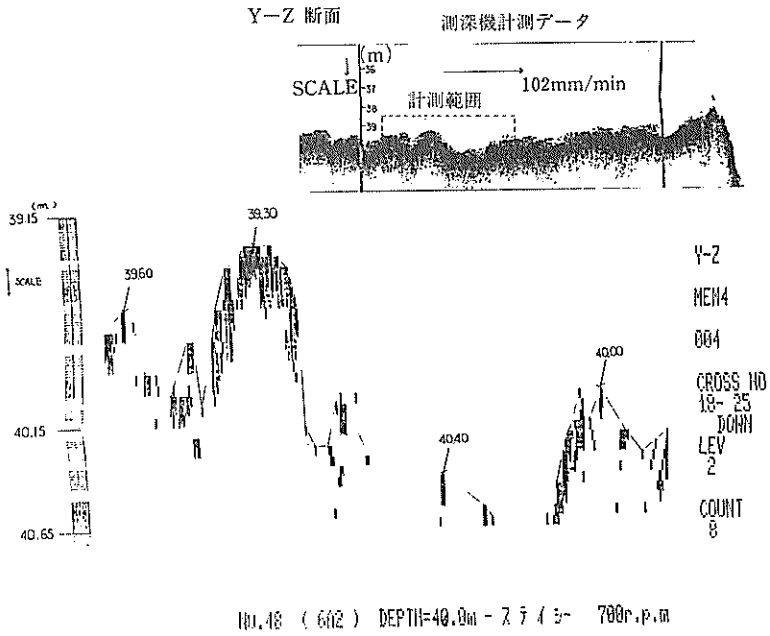


図-46 走航時 (700 r.p.m) の捨石 (-40 m) の Y-Z 断面図と測量機の記録

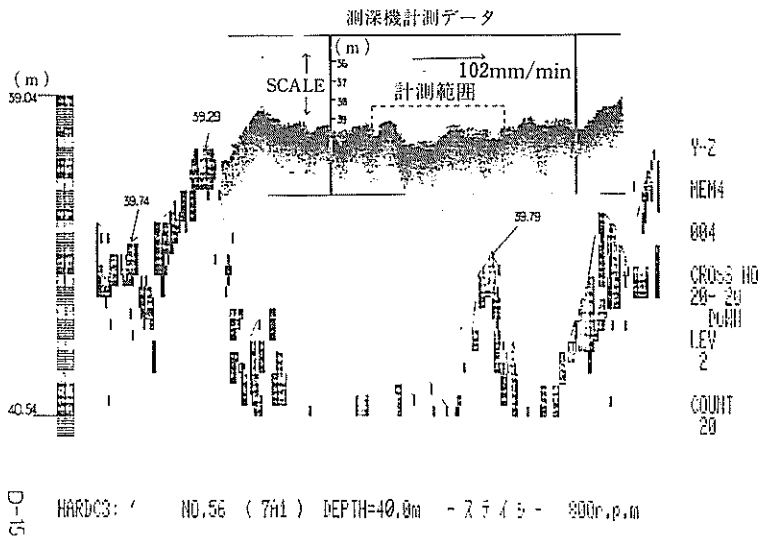


図-47 走航時 (800 r.p.m) の捨石 (-40 m) の Y-Z 断面図と測量機の記録

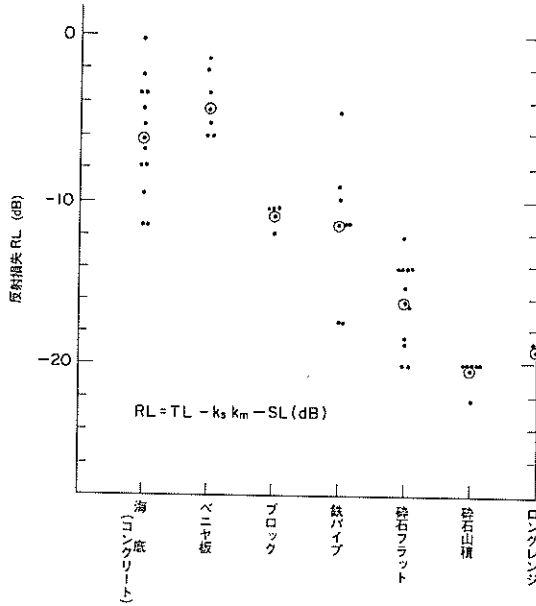


図-48 各種対象物の反射損失

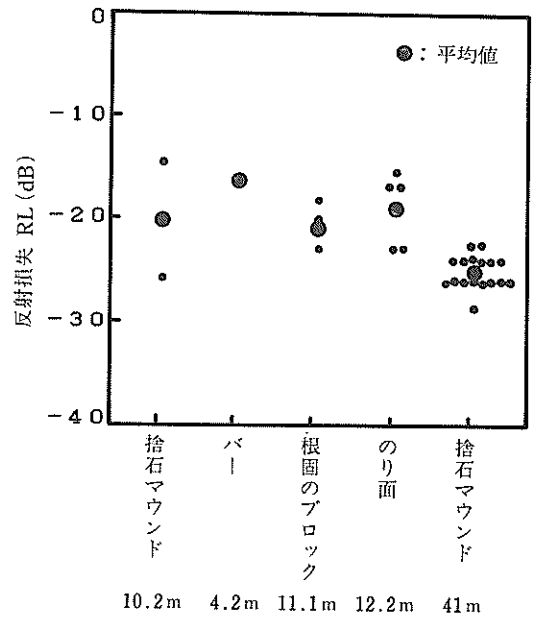


図-49 各種対象物の反射損失

5. 実験結果と考察

以上のクロスレイ式音響測深システムによる予備実験及び海洋実験の結果をとりまとめ考察する。

5.1 予備実験

(1) 音響測深システムの性能確認実験

送受波アレイのビーム幅は、送波アレイが水深9mで約11cm(半減半角で 0.35°)、受波アレイで約12cm(半減半角で 0.38°)で所期の性能があることがわかった。また各種対象物の反射損失は、ボール(20.8 dB) > 鉄パイプ(10.3 dB) > コンクリートブロック(2.5 dB)の順であった。その結果、水中映像特性に及ぼす影響を検討してみると、ボールのSTC出力電圧、 $E_{R(STC)}$ は他に比して小さく、解像度のよい画像が得られた。一方コンクリートブロックの $E_{R(STC)}$ は他に比して大きく、その結果、LOGアンプの非線形性によりLOG出力 $E_{R(LOg)}$ は各画素とも同一レベルとなり、解像度の悪い画像となることがわかり今後の検討が必要であろう。

(2) 音響測深システムの実用化実験

本システムの分解能は、水平、鉛直とも5cmであることが確認された。

目標物の反射レベルは、図-48に示すように砕石で約20dBの反射損失があり、超音波の投射角によって

受信困難な場合も生じるためデータの処理を行う必要があろう。

動揺補正(ローリング)では、3秒以上の大きな動揺については補正の効果があったが、1秒以下の動揺は、ビッチング等の影響もあり確認できなかった。上下動補正(ヒービング)は、3秒以上の大きな上下動で効果が認められたが、補正は約0.3秒の時間遅れがあり、周期の早いものについては今後検討する必要がある。

目標物の計測では、鉄パイプ($\phi 50$ mm)は、初期の精度が得られたが、パイプの長さ方向に超音波が入射した場合、欠測を生じることがあり、データ処理で補足する必要がある。

海底面計測では、5cmの精度が確認された。

ブロック山積みでは、高さ方向の精度は確認されたが、水平方向はビッチングやセンサ移動速度の不均一によって確認できなかった。

砕石フラットは、動揺補正の効果は確認でき、凹凸量も実測結果と一致した。

砕石山盛は、立体図で山盛の状況は判断できるが、山盛の傾斜が大なため反射レベルの変動が大きくなっている。

以上のことから、音響測深システムは、所期の性能を有することが確認され、動揺補正、上下動補正を付加することによって実用化できることがわかった。

5.2 海洋実験

クロスレイ式音響測深システムを用いて、釜石港の湾口防波堤造成海域で行われた高精度測量システム開発のために行われた海洋実験の結果、下記のことがわかった。

(1) 各対象物の反射特性

本実験で得られた受信波形写真から受信レベルを検討し、(1)式を用いて反射損失を求めたのが、図-49である。また、本音響測深システムの送受波器の大きさ2aが300mm、波長入が3mmのため、理論的近接音場域 X^B を下記式で計算すると

$$X = \frac{(2a)^2}{\lambda} \frac{\lambda}{16} \dots\dots\dots(2)$$

30m以内となるが、送受波器は10mに焦点を結ぶように凹面配置となっているため、実際は10m以内が近接音場域と考えられる。したがって、10m以内の対象物を測定する場合、距離によって誤差を生ずることとなる。今回の測定結果でバーの計測が余りにも近い(約4m)ため、バーの記録が太くでているのはこれらの要因によるものと考えられる。

捨石マウンド、のり面については、その石の形状により反射波が受信できない場合が生じ、感度を高くしても欠測を生ずるのは超音波のビームを細くする以上やむを得ないことと考えられる。

実験結果から捨石マウンド等の反射損失は最大30dB程度と考えられ、それ以上大きいものは処理段階で対処すべきであろう。

(2) 音響測深システムの指向幅と探査範囲及び測量機との比較検討

音響測深システムの送受波器の指向半減半角 0.33° 、測定間隔0.1秒、測量機の指向半減半角 3° 、測定間隔0.25秒である。この場合の水深10m、30mの探査幅の概念図を図-50に示す。また、船速5Kt(2.5m/sec)の場合の音響測深システムと測量機の探査幅と未測深幅を計算したものを表-4に示す。未測深幅Xの値が○の場合は、前のビームと後のビームが重なり合った幅を示す。水深10mのときは、指向幅が $0.33^\circ \times 2$ のクロスレイ式音響測深システムで計測すると、未測深の場所を生じることとなるので計測間隔を更に早くするか船速を遅くする必要がある。これを平面図で示したものが図-

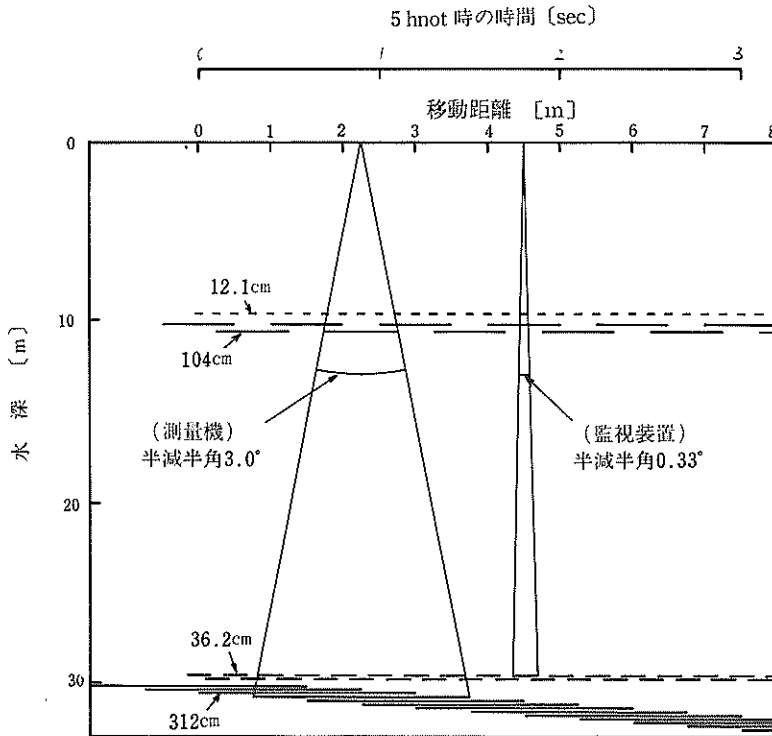


図-50 測量機と音響測深システムの探査幅の概念図

51である。この図からわかるように指向幅が広い場合は探査幅も広くなり、この探査幅の中に反射のよい捨石等の反射物が一つでもあれば見掛け上計測できるように

みえる。指向幅が狭い場合は、対象物が探査幅に比して大きいと欠測の回数が増加することとなる。

図-52にビーム幅の大小による捨石等対象物からの反

表-4 各システムの探査幅と未測深幅

測 量 機	周波数 f (kHz)	指向半減角 $\gamma/2$ (°)	測定間隔 T (sec)	探 査 幅 l (m)		未 測 深 幅 x (m)		備 考
				水深10m	水深30m	水深10m	水深30m	
測 量 機	200	3.0	0.25	1.05	3.14	-0.425	-2.515	円板型送受波器
水中監視システム	500	0.33	0.1	0.12	0.35	0.13	-0.10	クロスアレイ送受波器

※ 船速 v : 5ノット = 2.5m/sec

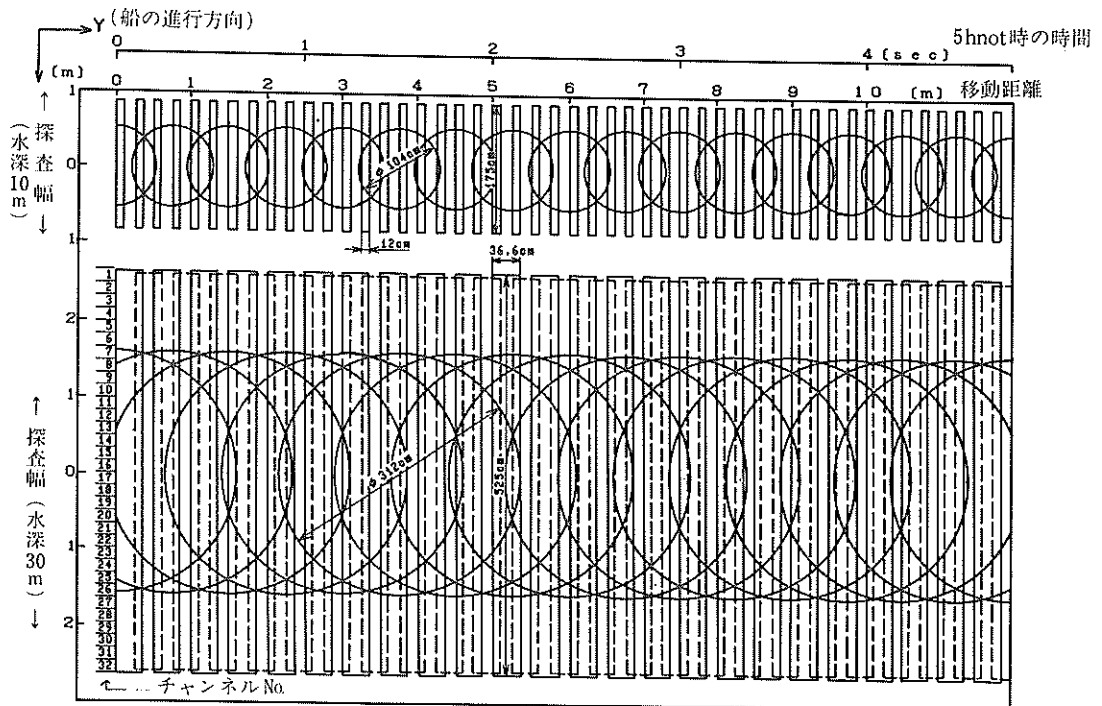
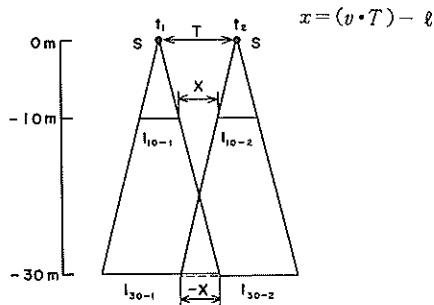


図-51 測量機と音響測深システムの探査幅 (平面図)

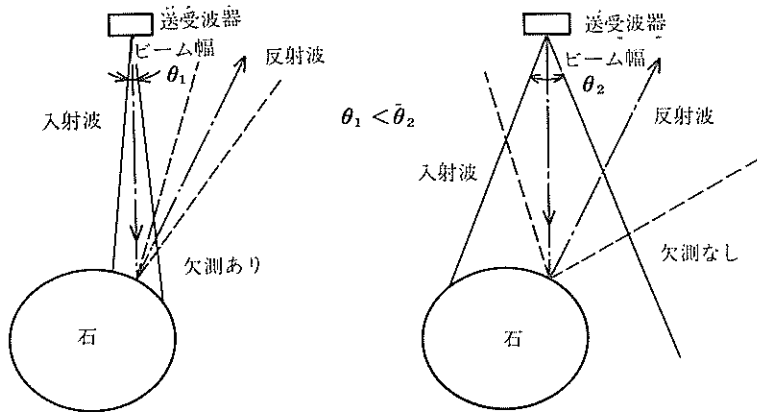


図-52 ビーム幅の大きさと反射波のビームパターン

射特性の概念図を示す。

欠測を防止するために、受信感度を高くすることも考えられるが、感度を高くすることは指向幅(探査幅)を実質的に広くすることによって、高精度測定の目的に合致しないことになる。

凹凸のある海底の凸部に重点を置いて測定する場合は、指向幅が広くても差し支えないが、凹部や傾斜面(のり面)の場合は、ビーム幅を狭くしないと精度よく測定できない。

音響測深システムと測量機を、ほぼ同じ場所で計測した場合の例を図-53にその一例を示す。凹部の傾斜や、2mφ程度の凹部が測量機では計測できないことがわかる。またのり面等傾斜面で測量機による測定では、実形よりも浅く計測され、必要石の量が相当少なく見積まれる結果となる。

また、狭ビームの計測では欠測が生ずることがあるが、欠測部分は音波が反射してこないということで受信部でデータ処理することが必要であると考えられる。その処理の効果の一例を図-54に示す。上段は処理前の海底捨石Y-Z断面図で、下段が量子平均化処理したY-Z断面図である。処理すれば欠測部分も埋まり、ノイズも消えて鮮明な画像になっていることがわかる。

6. まとめ

クロスアレイ式音響測深システムを用いた大水深捨石マウンド測量システム開発実用化のための予備実験及び海洋実験の結果をまとめると次のようになる。

6.1 予備実験

(1) 音響測深システムの性能確認実験

クロスアレイ式音響測深システムは、実験の結果、送

受波器アレイのビーム幅、分解能は所期の性能を有することがわかった。また、各種対象物の反射特性と映像特性の関連性が把握でき、受信部を改造することによって、実用化が可能であることがわかった。

(2) 音響測深システムの実用化実験

実験の結果、音響測深システムは所期の性能を有することが確認され、動揺補正、上下動補正を付加することによって実用化が可能で、水平10cm、鉛直5cmの分解能が得られることが確認された。実用化に際して送受波器を鉛直方向に保持して装備すること、変動周期の早い動揺、上下動がセンサ部に加わらないようくふうすることによって初期の目的が達成できることが確認された。

6.2 海洋実験

海洋実験で得られた成果をまとめると次のとおりである。

- (1) 海底対象物の形状により反射波が返ってこない場合(受信不能)がある。処理部において相関、補間、平均化手法をデータ処理に採用する必要がある。
- (2) 受信レベル変動が大きいため、処理部でレベル比をとり補償する。
- (3) 海底捨石の反射損失は約30dBとみればよい。30dB以上の場合は上記(1)、(2)項のデータ処理を施す必要がある。
- (4) 目標物に凹凸があると受信波形が乱れる^{9,10)}ので目標物を明確にする手法をとり入れる必要がある。
- (5) 周波数は海水の吸収損失等伝搬損失⁹⁾や、送受波器の寸法、分解能等を考慮して500kHz付近が適当である。
- (6) 超音波ビームの指向性を目標物の大きさ、距離

(深度), 要求分解幅に応じて選択できるようにすることが欠測をなくし, 高い精度で検出できる必要条件である。

以上, 実験の結果, 最小限採用すべき事項を列挙したが, 捨石は超音波の波長に比して大きな物体であり, その凹凸を測定する目的のため多くの困難な問題があるが,

今回行われた実験の結果を取り入れることによって十分実用化できるものと考えられる。

なお, このシステムの実用例として次のようなことが考えられる。

図-55は, クロスアレイ式音響測深システムを実際に現地大水深捨石マウンド海域において, 捨石面等施工

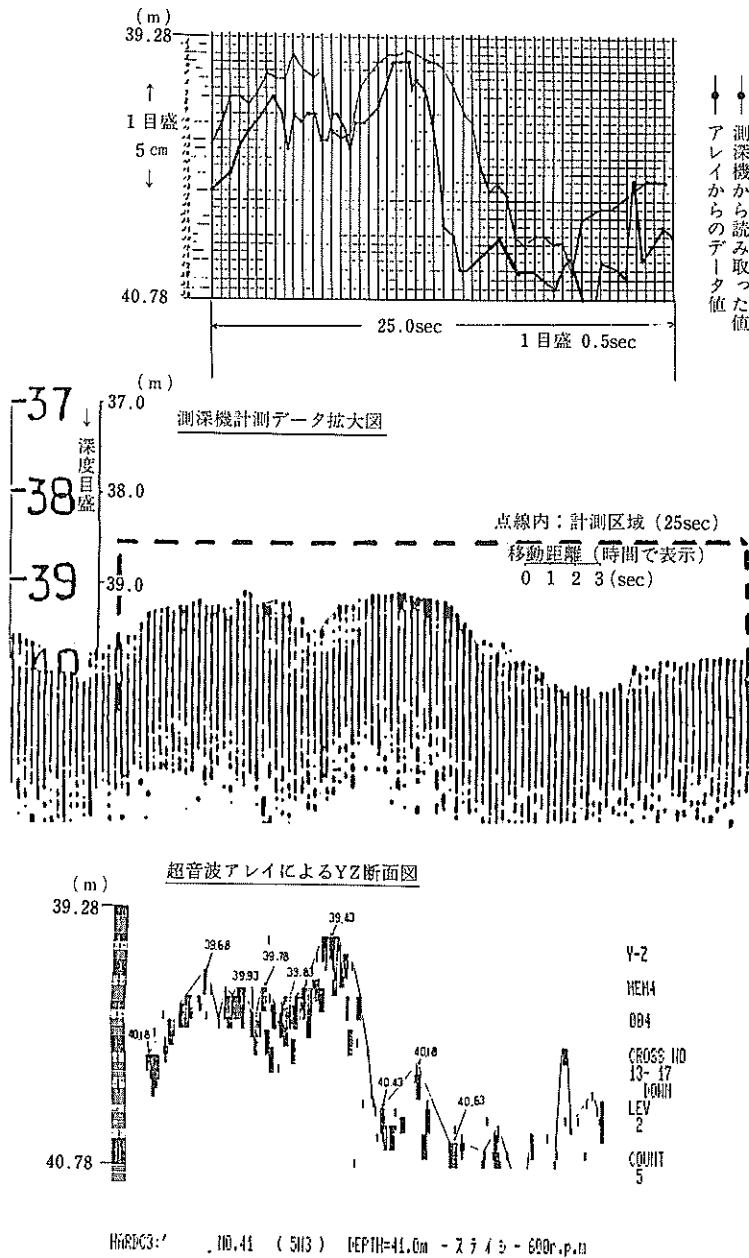


図-53 音響測深システムと測量機の記録の比較

面を精密に検出する場合の概念図を示す。捨石面の概査ならば、図-1に示すように、一個のクロスアレイで受波ビームを走査することによって三次元検出を行えば充分であるが、精密な検出を行う場合には、超音波斜入射の誤差をなるべく少なくするために、クロスアレイを複

数個、図-55のように並べてマルチ測深とする方式も考えられる。また、もっと精密な測量（例えば仕上面の検出）には、図-55の左側に示すように、架台等にクロスアレイを取り付け、クロスアレイを移動させることによって精密な検出ができる方式も考えられるであろう。

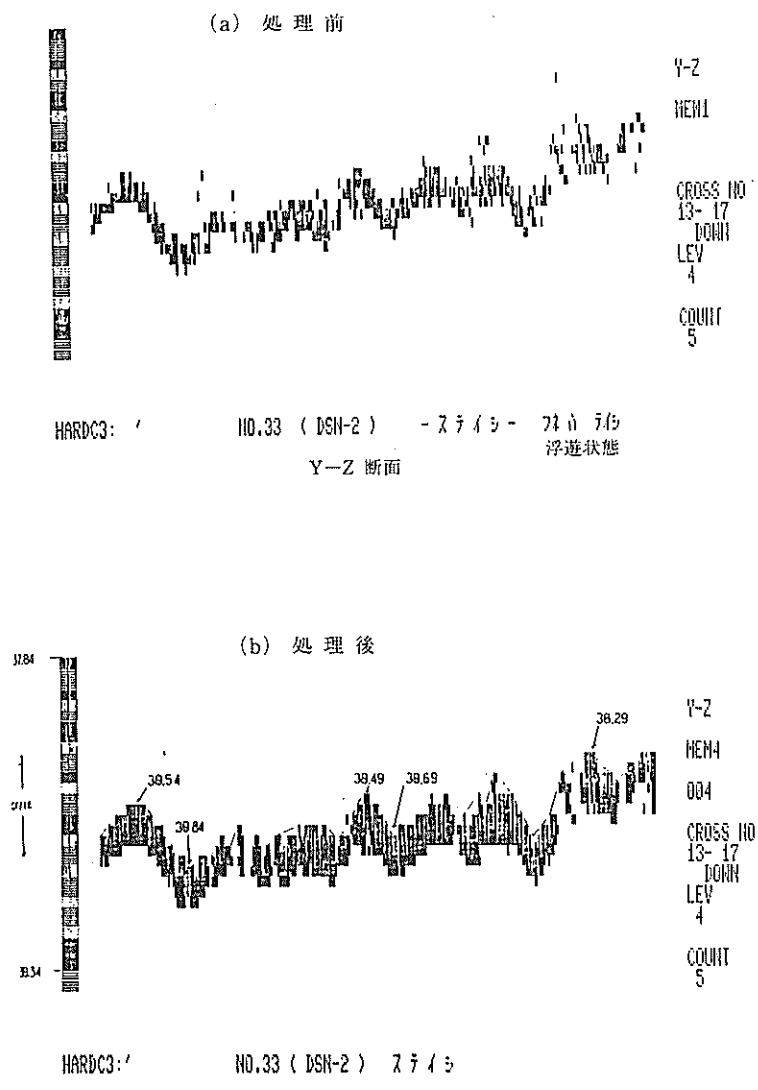
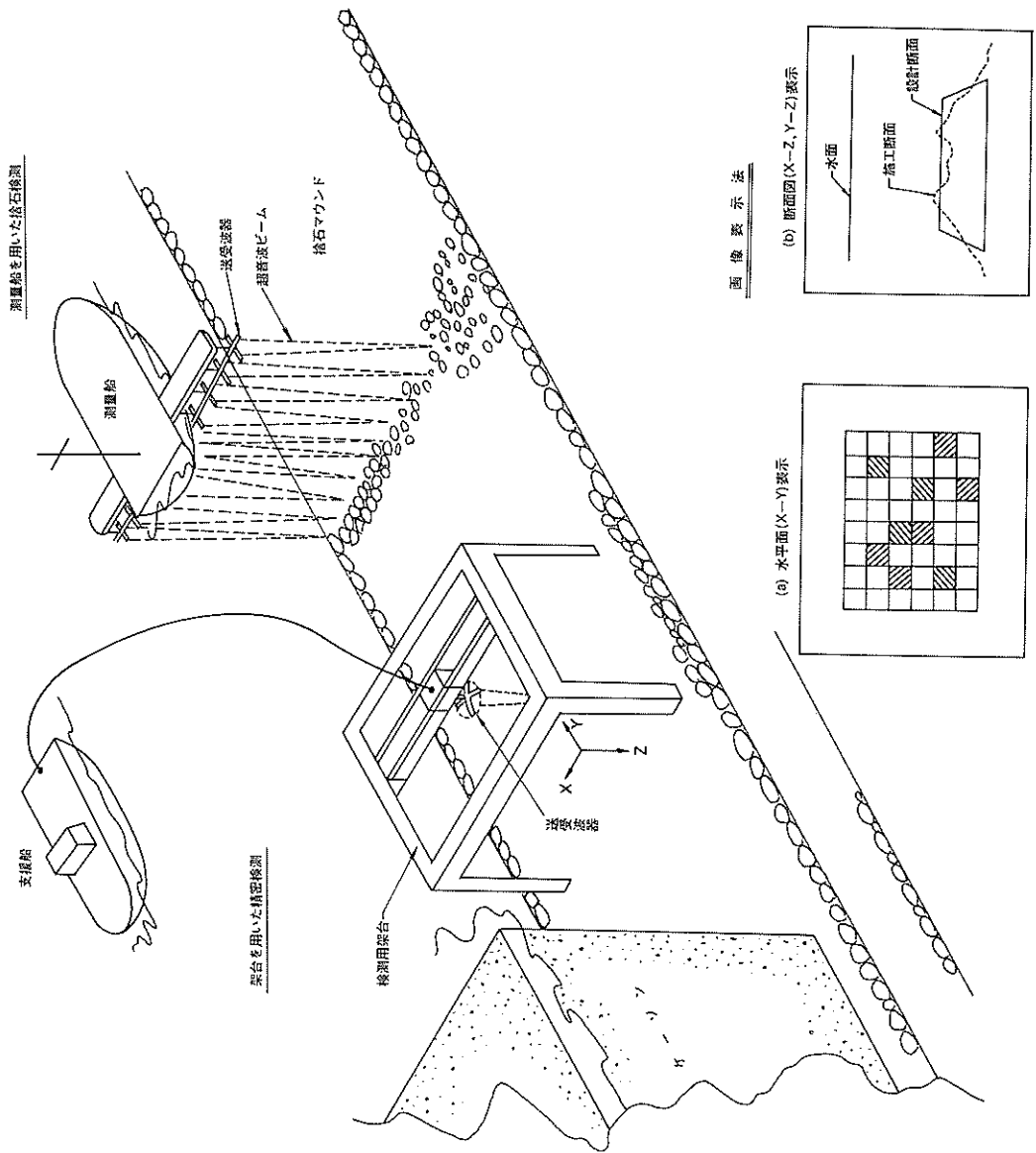


図-54 データ処理の効果の一例

実 施 例



凹凸をカラーで色分け

図-55 施工面精密検測の概念図

7. あとがき

以上、当所で開発したクロスアレイ式音響測深システムに動揺補正装置を付加し、測量船に搭載したトータルシステムとしての高精度測量システムのドック及び大水深（-30 m 以深）海域における海洋実験の結果、本システムが実用化可能であることが実証された。

超音波を用いた測量システムは、線の測量から面の測量へ、また、-10 m 程度の浅海から-60 m 以深の大水深測量へ、海底土質も砂、泥から石の測量など人工的な海底の測量に移ってきた。このため従来の測量よりも高精度で情報の多い三次元立体の測量が要請されてきている。今回の実験はこれら大水深港湾工事施工に必要とする測量の近代化に資するものであって、世界で初めての測量システムといっても過言ではない。

しかしながら、今回の実験では、初めて大水深海域で行われたため、海底捨石面の反射特性、超音波の海中伝搬特性、波浪による動揺の問題など、まだ不明な点があるので測量システム実用の段階にでもこれらの問題を解決することが今後の課題であろう。

なお、本研究は、第二港湾建設局の高精度測量船開発の一環として行われたものである。現地実験に当たり終始御協力いただいた第二港湾建設局機械課、京浜港工事事務所、宮古港工事事務所、釜石工場、横浜機械整備事務所の関係各位に感謝の意を表する次第である。

(1987年3月31日受付)

参考文献

- 1) 木原純孝・白井一洋：大水深施工検査・海底探査技術の開発（その2）——超音波水中監視装置の開発——，港湾技研資料 No.518, 1985年, p.32.
- 2) 木原純孝：超音波水中施工監視装置の開発，日本音響学会講演論文集, 1985年3月, pp.719~720.
- 3) 木原純孝：超音波水中施工監視装置について，海洋音響研究会報, Vol.12, No.2, 1985年4月, pp.14~16.
- 4) 木原純孝：水中監視システム，作業船, No.159, 1985年5月, pp.30~37.
- 5) Sumitaka KIHARA : Ultrasonic Underwater Imaging System for Offshore Underwater Construction, 12th International Congress on Acoustic, July 1986, HI-4.
- 6) 木原純孝：セクター走査型クロスアレイを用いた水中監視システムについて，電子通信学会技術研究報告, 1985年8月, pp.11~16.
- 7) 木原純孝：セクター走査形クロスアレイを用いた水中施工監視の実用化実験，日本音響学会講演論文集, 1985年9~10月, pp.851~852.
- 8) 実吉純一ほか：超音波技術便覧，日刊工業新聞社，昭和53年新訂版。
- 9) 木原純孝・白井一洋：大水深施工検査・海洋探査技術の開発（第1報）——捨石マウンド等施工面検測技術の開発研究——，港湾技術研究報告, Vol.23, No.1, 1984年3月, pp.153~191.
- 10) 木原純孝：海底捨石マウンドにおける超音波検測実験，日本音響学会講演論文集, 1984年3月, pp.723~724.

港 湾 技 研 資 料 No. 585

1 9 8 7 · 6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 奥村印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute,
Nagase, Yokosuka, Japan.