

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

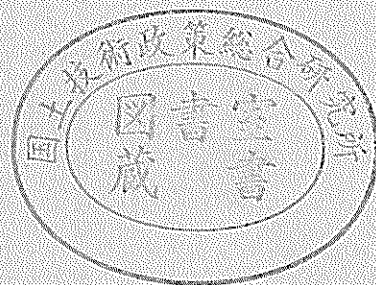
---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 30      NO. 3      SEPT. 1991

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第30巻 第3号 (Vol.30, No. 3) 1991年9月 (Sept.1991)

## 目次 (CONTENTS)

1. 沖積粘土地盤に対する定率ひずみ圧密試験の適用性  
.....水上 純一・小林 正樹・小泉 和広..... 3  
(Constant Rate of Strain Test of Undisturbed Alluvial Marine Clay  
..... Jun-ichi MIZUKAMI, Masaki KOBAYASHI and Kazuhiro KOIZUMI)
  
2. 港湾コンクリート構造物の補修方法としての電着工法の適用性  
.....阿部 正美・福手 勤・横田 優・佐々木晴敏.....25  
(Applicability of Electrodeposition as a Repairing Method  
for Deteriorated Marine Structures  
..... Masami ABE, Tsutomu FUKUTE, Masaru YOKOTA and Harutosi SASAKI)
  
3. 水中施工管理用小型計測機の開発  
.....石塚 浩次・根本 孝志.....65  
(Development of Small-size Measuring Instrument for Underwater execution control  
..... Koji ISHIZUKA and Takashi NEMOTO)

### 3. 水中施工管理用小型計測機の開発

石塚浩次\*・根本孝志\*\*

#### 要 旨

防波堤基礎マウンド等の水中の施工管理は、施工条件の厳しさの増大、また潜水士の減少、老令化のため従来の計測方法の改善が求められている。そのため、水中距離、水深を測定する小型計測機を開発し、室内実験及び実海域実験により測定性能、精度を明らかにした。本計測機の開発にあたっては、防波堤施工条件の現状調査及び防波堤基礎マウンド施工に係わる水中の計測作業の現状調査をもとに設計、製作した。計測機は、2本で構成され各々の設置点の水深及び2点間の距離、水深差を測定する。水中距離及び水深の測定は、高精度な超音波センサー、圧力センサーを用いており、各測定データは計測機本体での表示、記憶及び陸上コンピュータ等への出力が行える。また、各々の計測機は、全長=1.4~1.7m、水中重量=5kgと潜水士の可搬可能な小型なものである。

室内実験においては、主に距離及び水深の測定精度、また実海域実験においては実防波堤基礎マウンド上での測定性能、精度を明らかにしている。測定機の測定性能、精度は、この2つ実験より防波堤基礎マウンド等の現行の出来型管理基準に適合できることを明らかにした。また、実海域における計測機の操作性については、実験に携わった潜水士の意見を取りまとめ、基本的に本計測機の実工事での有効性を明らかにした。

キーワード：小型計測機、防波堤基礎マウンド、施工管理、潜水士

\* 機械技術部 主任研究官

\*\*機械技術部 計測施工研究室

## Development of Small-size Measuring Instrument for Underwater execution control

Koji ISHIZUKA\*  
Takashi NEMOTO\*\*

### Synopsis

Conventional way of underwater inspecting work of rubble mound for breakwaters is necessary to do improvement because of severe construction condition, and decrease and old aged divers is on the increase.

To cope with these problems, "small-size measuring instrument" which measures underwater distance and water depth is developed and measuring performances and accuracy has been tested through laboratory test and field test.

The instrument is designed and manufactured based on investigation of the condition of breakwater construction and the conventional method of underwater inspecting works.

This system consists of two instruments and can measure the distance between two points, water depth and the difference of water depth at two points.

The pressure sensor and ultrasonic sensor of high accuracy are introduced, and measured values are shown on the display of the instrument and are transmitted to a computer.

The length is 1.4–1.7 m long and weight is 5 kg underwater for the underwater portability.

The accuracy is tested through laboratory test, and performance is tested through field test.

The performance of the instrument is proved to be sufficient for the standard of conventional method of execution control of rubble mound of breakwaters through laboratory test and field test.

The maneuverability of this instrument is also investigated by the opinion of the divers who carried out the field test. The result is the instrument can be used at the practical works.

**Key Words :** Small-size Measuring, Rubble Mound for Breakwaters, Execution Control, Diver

---

\* Senior Research Engineer Machinery Division

\*\*Member of Working Craft Development Laboratory, Machinery Division

## 目 次

要 旨 .....	65
1. まえがき .....	69
2. 防波堤施工の現状調査 .....	69
2.1 調査内容 .....	69
2.2 調査結果の分析 .....	69
2.3 施工管理の改善課題 .....	73
3. 水中計測作業の現状調査 .....	74
3.1 調査の概要 .....	74
3.2 基礎マウンド水中計測作業の現状 .....	74
3.3 現状の水中計測方法の改善内容 .....	76
4. 小型計測機的设计 .....	76
4.1 計測機の基本設計条件 .....	76
4.2 水中距離計測技術 .....	77
4.3 水深計測技術 .....	77
5. 小型計測機的设计結果 .....	80
5.1 計測機の外觀形状, 寸法 .....	80
5.2 計測機の基本性能 .....	81
5.3 計測システム .....	81
6. 小型計測機の計測性能、精度試験 .....	81
6.1 各センサーの計測精度試験 .....	81
6.2 実海域性能実験 .....	81
7. 小型計測機の評価、検討 .....	86
8. あとがき .....	89
参考文献 .....	89

## 1. まえがき

我が国で最も大水深海域に築造されている釜石湾口防波堤においては、捨石均しの機械化施工、また高精度音響測深による施工管理の自動化、システム化が試みられつつある。しかし、これらの施工管理の自動化、システム化等の導入は、それほど一般的には行われてなく、通常水深の防波堤の施工管理においては専ら潜水士の人力作業によって行われている。防波堤基礎マウンド等の施工管理のための主要な計測作業として、天端面等の水深計測、また施工延長計測等のための水中距離計測作業がある。現在これらの計測は、水中スタッフおよびステールテープによって行われており、施工条件が厳しくなるにしたがって水深、波浪、潮流等の影響を受けやすく、測定精度また作業性の面からも問題になりつつある。特に、水中部、船上部、陸上部の連携作業となる水中スタッフによる均し天端面の測定は、水深-20m程度が安全、能率作業の限界といわれ、-20m以深においては測定が困難とされている。また、近年潜水士の減少、老令化傾向も著しく、水中作業の省力化も緊急な課題となっている。

このような水中の施工管理の作業の安全化、能率化および省力化を図るための一つの解決手段として、水深、距離計測等のための新たな計測機器の開発が要望されている。

天端面等の施工水深、また水中距離計測機器の小型軽量化を図るためには、最近高精度化と併せて低価格になりつつある各種センサーの利用がある。従来の水中スタッフによる水深計測に替わる新たな計測器の開発として、圧力センサーを用いた設置点の水深計測機および基準点と測定点との差圧を連通管方式により計測する標高差測定器<sup>1)</sup>が開発され実用化されつつある。しかし、これらの開発された計測器は、前者にあっては水面からの絶対水深を計測しているために計測精度が十分でなく、また後者にあっては連通管方式のため凹凸の激しい荒均し面の作業性が十分でないものと考えられている。一方、水中の距離計測技術については、超音波を用いたトランスポンダ方式の位置計測技術があるが、現行の施工管理基準を満足する高い精度の距離計測技術は開発されていない。

本報告は、防波堤基礎マウンド等の施工管理の改善を図るために開発した小型計測機の開発内容を取りまとめたものである。小型計測機は、超音波センサー、水圧センサーにより水中距離、水深を同時に計測し、計測したデータを表示、記憶、出力するものである。開発にあつ

ては、防波堤施工の現状および水中の計測作業の現状調査結果を基に設計、製作した。更に室内試験および実海域実験により測定性能、精度を明らかにした。計測機は2本で構成され、各々の計測機は全長1.4~1.7m、水中重量約5kgと潜水士の可搬可能なものである。室内試験においては、主に距離および水深の測定精度、また実海域実験においては、実防波堤基礎マウンド上での測定性能、精度を明らかにしている。

## 2. 防波堤施工の現状調査

### 2.1 調査内容

防波堤の築造が、大水深、沖合化といった施工条件の厳しさの増大、施工内容の変化、また潜水士の減少、老令化といった状況の中で、防波堤施工の現状を調査し、本計測機の開発に係わる自然条件、施工状況等を中心に分析を行った。調査は民間の施工会社にアンケート方式で行ったもので、調査項目、内容の主なものとは以下の通りである。なお、調査した防波堤工事は、直轄施工のものである。

- ・施工条件 …………… マウンド形状、原地盤水深、ケーソン要目
- ・環境条件 …………… 潮流、透明度、波高
- ・施工内容 …………… 均し面積、均し方式、投入方式、捨石重量
- ・施工管理技術の改善… 現場責任者の改善意見等

調査対象港は、北海道地区を除く全国15港（工事件数は、24件）である。図-1に調査対象港を示し、表-1には調査対象防波堤工事の一覧表を示す。

### 2.2 調査結果の分析

#### (1) 調査結果

施工条件、環境条件、施工内容に関する調査の集計結果を表-2に示す。調査結果は、施工段階が途中のもの、また環境条件等において把握が困難なものもあったが、ほぼ全体的に回答を得た。

#### (2) ケーソンと施工水深について

調査した各港のケーソン形式は、スリットケーソンや台形スリットケーソンも見られたが、大半が直立消波堤ケーソンであった。ケーソンの重量は、小規模なものとして230トン程度のももあるが、多くは2,000トン以上であり、釜石湾口防波堤においては16,000トンのものが施工されている。また、4,000トンを越えるものが7港と全体の約1/3を占めている。

防波堤基礎マウンドの原地盤水深は、釜石湾口の-63mを含めて-30mを越える海域が3港ある。一方マウン

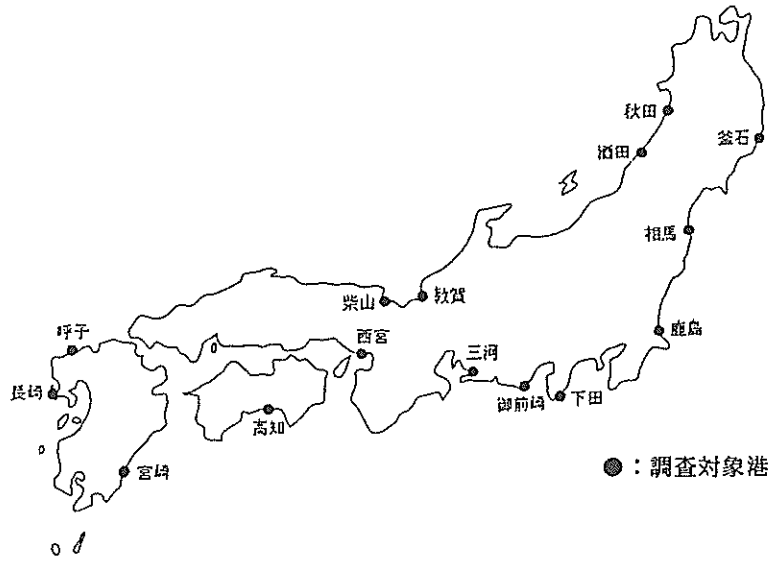


図-1 防波堤施工の現状調査対象港

表-1 調査対象防波堤工事一覧表

建設局	港名	地区名	対象防波堤	工事期間
一 建	敦賀	鞠山	防波堤	63年 9月～元年 3月
	秋田	外港	防波堤	63年 5月～63年 9月
	酒田	外港	防波堤	63年 4月～63年10月
本港 防波堤(南)			63年 4月～63年10月	
二 建	鹿島	外港	防波堤(南)	63年 4月～63年12月
	相馬	本港	防波堤(沖)	63年 8月～元年 2月
			防波堤(沖)	元年 8月～ 2年 1月
釜石	湾口	防波堤	元年10月～ 2年 1月	
三 建	尼崎西宮芦屋	今津	防波堤	元年 8月～ 2年 3月
	柴山	柴山	外防波堤	元年10月～ 2年 3月
	高知	三里	防波堤(南)	63年10月～元年 7月
四 建	長崎	湾口	防波堤(沖)	元年 7月～元年10月
	宮崎	外港	防波堤(南)	元年10月～ 2年 3月
			防波堤(南)	元年10月～ 2年 3月
呼子	加部島	防波堤	63年 6月～63年10月 元年 7月～元年10月	
五 建	下田		防波堤	63年 9月～元年 1月
			防波堤	元年 8月～ 2年 3月
	御前崎	女岩	防波堤(東)	63年 7月～元年 3月
防波堤(東) 防波堤(西)			63年 9月～元年 3月 63年 7月～元年 3月	
三河	神野	防波堤(北)	63年 1月～63年 5月 63年12月～元年 3月 63年 7月～63年12月	

表-2 防波堤施工の現状調査結果(1)

工事場所 工事期間	基礎マウンド形状		原地盤 水深 (m)	ケーソン タイプ	重量 (t)	縦×横 高さ(m)	環境条件			均し面積		均し方式		捨石重量	
	幅 (m)	仕上高 (m)					潮流 (m)	透明度 (m)	波高 1/3(m)	荒 (㎡)	本 (㎡)	荒 潜水夫	本 潜水夫	荒 (kg/個)	本 (kg/個)
宮崎(新別府) 1.10-2.3	35.4	9.8	14.2	—	4079	20 ×23.4 ×13	0.7	1	1.0	451	1590	潜水夫	潜水夫	500 -700	100 -300
宮崎(外港) 1.10-2.3	41.4	9.7	14.0	直立	4079	20 ×23.4 ×13	max2.0 ave 1.5	1	0.8	1794	1436	潜水夫	潜水夫	100 -300	100 -300
呼子(加部島) 63.6-63.10	27.5	9.7	25	直立	2930	13 ×10.5 ×14.3	max2.0 ave 1.0	1	0.8	1663	887	潜水夫	潜水夫	5-100	5-100
呼子(加部島) 1.7-1.10	27.5	10.0	20	スリット	1460	13 ×10.5 ×14.3	max4.0 ave 2.0	10	0.8	今回の施工対象外					
下田 63.9-1.1	85	—	20	直立	—	—	—	1	—	365	—	潜水夫	—	5-200	—
下田(外防) 1.8-2.3	75	11.5	20	直立	3156	20 ×19. ×14.5	max2.0 ave 1.5	10	0.5	1979	770	潜水夫	潜水夫	200 -500	200 -500
御前崎(女岩) 63.7-1.3	48.0	8.75	14.8	直立	2000	15×15 ×11	max3.0 ave 1.5	10	0.5	1588	1604	潜水夫	潜水夫	200 -500	200 -500
御前崎(東防) 63.9-1.3	36.5 24.5	—	15.4	—	—	—	max3.0 ave 2.0	1	0.8	1634	—	潜水夫	潜水夫	200 -500	—
御前崎(西防) 63.7-1.3	31.86	9.0	13.7	直立	4000	18×9.5 ×11.5	—	5	1.5	2760	807	潜水夫	潜水夫	200 -500	200 -500
三河(北防) 63.1-63.5	33.6	11.4	8.5	直立	230	18×9.5 ×6.5	—	1	1.0	1552	1448	潜水夫	潜水夫	300 -500	300 -500
三河(神野) 63.12-1.3	23.35	—	8.0	直立	230	4.5×9 ×6.5	max0.5 ave 0.2	1	0.8	1042	—	潜水夫	—	50 -300	—
三河 63.7-63.12	16.6	3.8	10.0	直立	230	9×5.9 ×6.5	max1.0 ave 1.0	1	1.0	2092	1448	潜水夫	潜水夫	50 -300	50 -300



表-2 防波堤施工の現状調査結果(2)

工事場所 工事期間	基礎マウンド形状		原地盤 水深 (m)	ケーソン タイプ		重量 (t)	縦×横 高さ(m)		環境条件			均し面積		均し方式		捨石重量 (kg/個)(kg/面)		
	幅 (m)	仕上高 (m)		スリット	直立		直立	直立	直立	直立	潮流 (m)	透明度 (m)	波高 1/2(m)	荒 (㎡)	本 (㎡)	荒 潜水夫	本 潜水夫	荒 (kg/個)
敦賀(鞠山) 63.9-1.3	29.1	12.5	24	スリット	2017	9.6×15 ×15.6	—	2	0.7	2700	1000	潜水夫	潜水夫	ガット船 底開バージ	20	20	200	200
秋田(土崎) 63.5-63.9	57.9	不明	19	不明	不明	不明	max3.0 ave 1.5	1	0.5	1924	—	潜水夫	—	ガット船	30	—	—	—
酒田(北港) 63.4-63.10	41.5	10.0	12.3	直立	2268	13×23 ×11.5	—	—	0.7	2211	1287	潜水夫	潜水夫	ガット船	200	10	—	—
酒田(本港) 63.4-63.10	70.3 72.3	14.5	16.8	直立	4771	22 ×21.5 ×16	—	—	0.7	10424	—	潜水夫	—	ガット船	200	—	—	—
鹿島(南防) 63.4-63.12	42.0	16.15	25	—	5000	15×25 ×20	max7.0	1	1.2	778	1251	潜水夫	潜水夫	ガット船	30	30	—	—
相馬(沖防) 63.8-1.2	32.55	9.35	13	直立	1800	15 ×14.5 ×12	max3.0 ave 0.6	0.5	0.8	1316	691	潜水夫	潜水夫	底開バージ	30	30	—	—
相馬 63.8-1.2	32.5	9.35	16	直立	1800	15 ×14.5 ×12	max2.5 ave 1.5	0.5	1.0	1450	700	潜水夫	潜水夫	底開バージ	30	30	—	—
釜石(湾口) 1.10-2.1	40	25	63	台形 スリット	16000	30 ×16 ×30	0.5	—	0.5	—	1800	—	—	二建式	—	—	—	—
西宮(今津) 1.8-2.3	79.7	9.4	14.5	直立	911	13.9 ×11.7 ×11.2	max1.0 ave 0.3	1	1.0	1137	875	潜水夫	潜水夫	トレミー管 台船 バックホー ガット船	10	10	—	—
柴山(柴山) 63.7-63.12	45	—	30	—	—	—	max3.0 ave 1.5	1	1.0	—	—	—	—	投入枠	—	—	—	—
高知(三里) 63.10-1.7	38.0	12.2	16 18	直立	4729	27.5 ×20.5 ×15.0	max1.5 ave 0.5	1	1.0	4417	3456	潜水夫	潜水夫	ガット船	200	200	—	—
長崎(湾口) 1.7-1.10	22.4	15.5	35	スリット	3961	20 ×13.4 ×22.2	max0.2 ave 0.1	—	1.0	1136	—	潜水夫	潜水夫	ガット船	5	—	—	—

ドの仕上げ高さは、釜石湾口を除けば-10m~-16mの範囲にあり、それ程大水深の施工は行われていない。図-2は、原地盤水深とケーソン重量との関係を示したものである。原地盤水深が深くなれば、ケーソン重量も増える傾向にあるが、同水深におけるケーソン重量の最小値と最大値との間に約3,000トンの幅があり、必ずしも密接な相関関係にあるものではない。

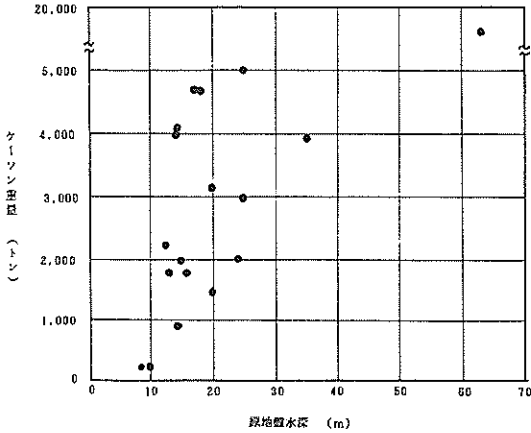


図-2 原地盤水深とケーソン重量

(3) 環境条件

調査表の潮流については工事区域の最大潮流を、透明度、波高については潜水作業の限界値を調査したものである。また、潜水作業の限界を示す透明度、波高については作業海域の状況を記入しているものもある。環境条件は、潜水作業の能率、安全面に影響するもので、潮流については10港において最大2ノット以上あり、かなり厳しい環境条件下で行われている。また、透明度、波高は、各港によって多少異なった値となっているが、これはアンケート記入者の経験、勘等による他にも、各港の立地条件等によっても異なるものと考えられる。表-3に施工条件が特に厳しい港を示す。施工条件の厳しい港は、呼子港を除き全て太平洋沿岸であるが、日本海沿岸においては海気象条件の厳しい冬期に工事が行われていないことによるものと考えられる。

(4) 捨石投入、均し等について

捨石の投入は、ほとんどの港においてガット船が用いられているが、3港において底開バージにより行われている。特異な例として、柴山港においては台船にH形鋼で投入枠(10m×30m)を設け、その枠内を目標に投入する方式が試みられ、大水深海域における投入精度の向上を図っている。この方式は、釜石湾口防波堤工事に用

表-3 施工条件の厳しい港

港名	潮流 (kt)	波高(H=1/2)	施工時期
鹿島港	max 7 m	1.2m	4月~12月
相馬港	max 3 m ave 0.6m	0.8m	8月~2月
相馬港	max 2.5m ave 1.5m	1.0m	8月~2月
呼子 (加部島)	max 4 m ave 2 m	0.8m	7月~10月
宮崎	max 4 m ave 1.5m	1.0m	10月~3月
高知	max 1.5m ave 0.5m	1.0m	10月~7月
御前崎	max 3.0m ave 2.0m	0.5m 0.8m	10月~7月

いられている第二港湾建設局の機械均し方式と共に、大水深海域での捨石投入方式の一つと考える。一方、捨石均しは、釜石湾口を除いて全て潜水士によって行われている。

2.3 施工管理の改善課題

実施工を担当する現場施工管理責任者が、防波堤基礎マウンドの施工および施工管理を行う上で、現状の問題意識また改善要望について示すと以下のものがある。

・潜水士の確保について

①絶対数の不足と高齢化のため、必要組数の確保が困難である。特に大水深での作業には、健康で熟練した潜水士が必要であり、更に作業時間の制約もあり、必要組数の確保が難しくなっている。

・大水深、沖合い化の対応について

- ①安全面からの制約もあり稼働率が低下する。
- ②位置測定においては視準距離が大きくなり、自動位置出し装置の採用を必要とする。
- ③水深の測定は、現在の水中スタッフ、レット等による測定方式では、波浪、潮流の影響を受けやすく作業休止が多くなり稼働率が低下する。そのため、新たな計測技術の開発が望まれる。

・施工管理基準等について

- ①均しの機械化施工を行う場合、施工に合わせた施工管理基準の見直しが必要である。
- ②マウンド等の水中の施工状況を施工管理者により、直接出来型確認する方法の確立が必要である。

本調査結果は、必ずしも現状の施工管理に対する改善内容のみではないものの、現場施工管理責任者の立場として、健康で熟練した潜水士と大水深潜水作業における新たな計測技術の開発を要望している。

### 3. 水中計測作業の現状調査

#### 3.1 調査の概要

防波堤基礎マウンドの施工及び施工管理においては各種の位置、水深、延長等の計測が行われており、その計測内容について調査、分析し、本計測機開発の仕様決定の参考とした。

計測作業の現状調査は、新潟東港、小名浜港および尼崎西宮芦屋港の3港の現地ヒヤリング調査および潜水士156名を対象にアンケート方式の調査を行った。現地ヒヤリング調査は、主に防波堤基礎マウンドの捨石投入から均しに至る作業内容と計測内容について調査を行っている。また、潜水士のアンケート調査は、開発する計測機に対する要望と併せて、現状の水中計測作業の問題点について調査した。

#### 3.2 基礎マウンド水中計測作業の現状

防波堤基礎マウンドの捨石投入から均しに至る計測作業の内容調査は、3港において行っているが、おおむね同様な作業手順、計測内容により行われている。表-4に防波堤基礎マウンドの造成に係わる計測内容および方法について示す。調査した3港で行われている基礎マウ

ンド施工に伴う位置、水深、延長の計測作業の内容は、おおよそ以下の通りである。

#### ①基礎捨石投入のための標識等の計測

基礎捨石の標識設置は、捨石の投入法線、延長、範囲を設定するもので、センター標識、法肩標識および投石用標識の3つがある。その設置方法は、いずれも既設ケーソン等の上に設置したトランシットにより潜水士船を所定の位置に誘導し、標識竹竿を水中に投入するものである。図-3にセンター標識・法肩標識の設置状況を示す。

#### ②基礎捨石均しのための造型杭等の計測

均し作業のための造型設置には、センター杭、造型杭、中間杭、貫板取り付けがあり、設置位置の計測と杭天端計測が行われる。設置位置の計測は、センター杭については標識設置と同様にトランシット誘導によって行われるが、造型杭についてはトランシット誘導または直角定規を用いて行われる。さらに、中間杭の設置については、センター杭と造型杭に間縄を取り付けて行われる。また、杭天端の測定は、水中スタッフ及び水糸が用いられている。図-4にセンター杭、造型杭、中間杭の配置状況を示し、図-5に杭天端の測定状況を示す。

#### ③均し天端面検収計測

均し天端面の検収にあたっては、予め貫板上に5mごとにマークが打たれる。このマーク打ち作業は、通常、潜水士が2人1組になってスチールテープを用いて行われる。均し天端面の水深検収は、このマークまたは監督員の支持箇所を水中スタッフにより計測される。水中スタッ

表-4 防波堤基礎マウンド施工に係わる計測内容、方法

施工内容	計測内容	計測方法	
		距離計測	水深計測
基礎石投入	センター標識 法肩標識 投石用標識 捨石投入管理	トランシット誘導 トランシット誘導+間縄 既存標識からの見通し レッド測深	————
基礎石均し	基準杭 センター杭 造型杭  中間杭 貫板 均し管理	トランシット誘導 基準杭の水糸+スチールテープ +直角定規 水糸 水糸 ————	———— 水中スタッフ  水糸 水糸 均し管理
検収	均し面	スチールテープ	水中スタッフ

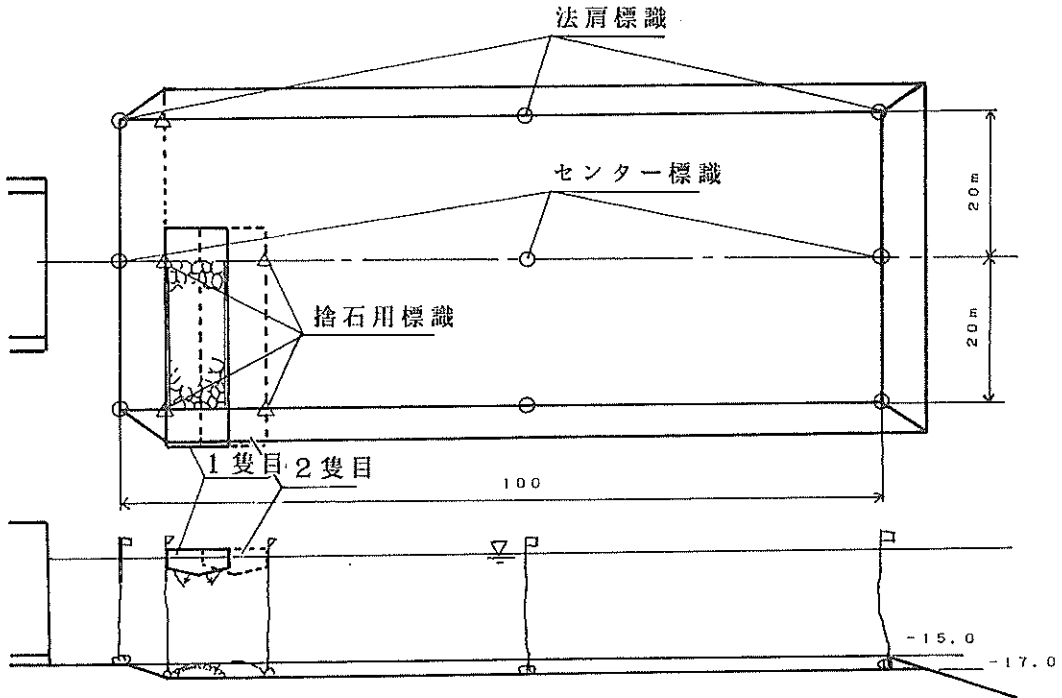


図-3 センター標識，法肩標識の設置状況

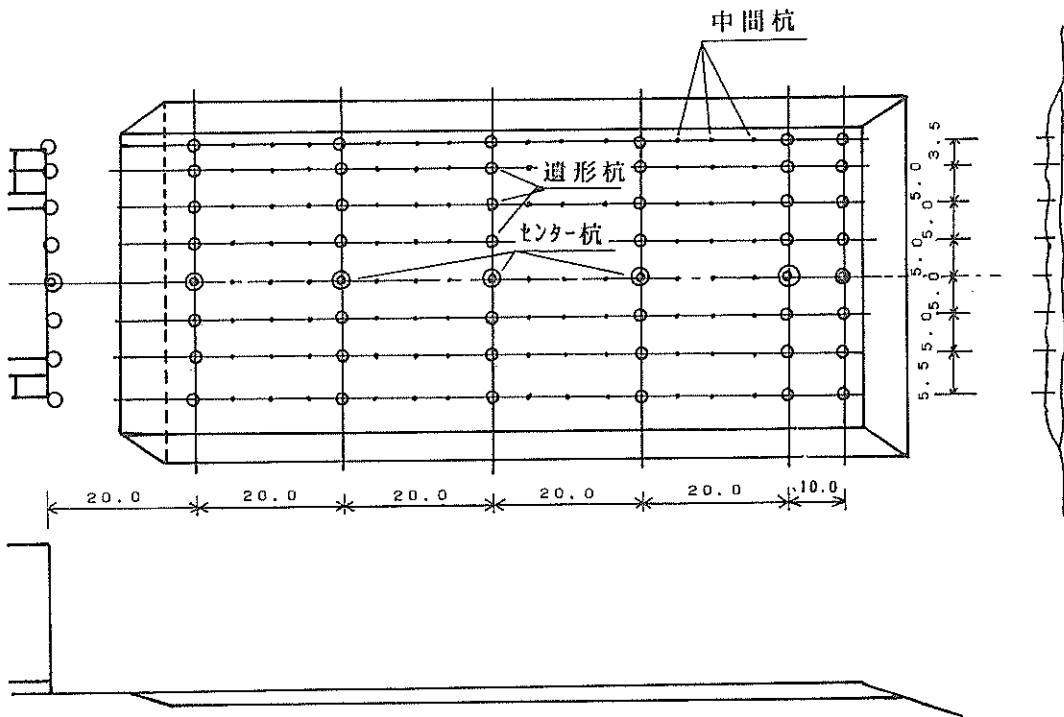


図-4 センター杭，遺形杭，中間杭の設置状況

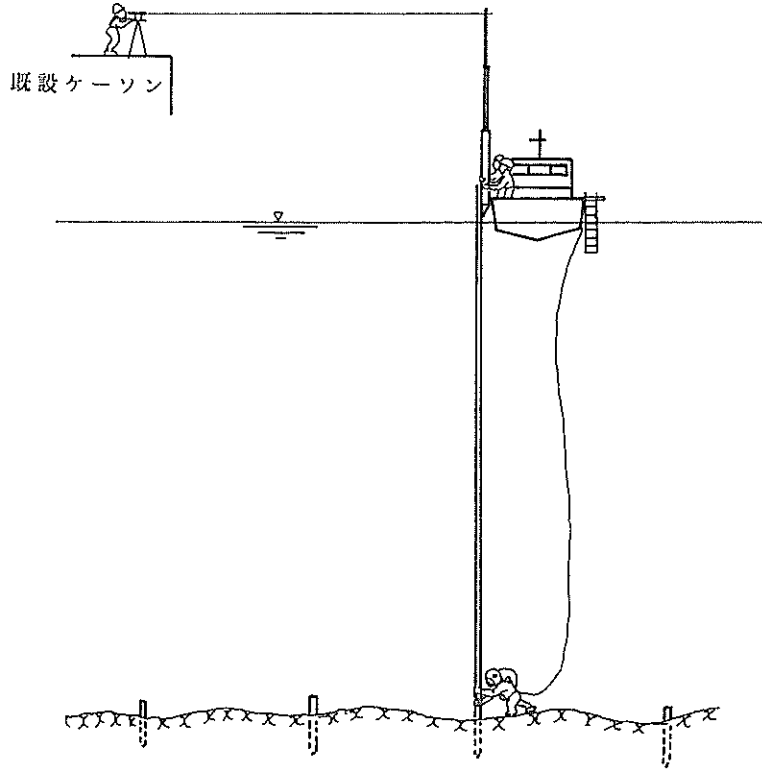


図-5 杭天端の測定状況

フは、アルミパイプ、F. R. P等軽量の材質が用いられ、5 m前後のものをつないで使用されている。

### 3.3 現状の水中計測方法の改善内容

潜水士のアンケート調査結果等による現状の計測機器、方法等による距離および水深計測上の問題は、潮流、透明度、捨石面の凹凸に起因するものであり、その具体的な内容は以下の通りである。

#### (1) 距離計測における問題点

スチールテープ等による距離計測の問題点は、以下の3つが主なものである。

- ① 捨石マウンド天端面の凹凸のためにスチールテープが水平または直線に張りにくい。
- ② 潮流、うねり等によってスチールテープが揺れ動いてしまう。
- ③ 濁りのためにスチールテープの直線性の確認や目盛りの読み取りにくい。

#### (2) 水深計測における問題点

水中スタッフによる水深計測の問題点は、以下の3つが主なものである。

- ① 水中スタッフが大長であるため、潮流や波浪等によって湾曲してしまう。
- ② 長大な水中スタッフの移動には大変な労力を必要とする。
- ③ 波浪等によって船体が動揺し、船上での水中スタッフの垂直保持が困難となる。

## 4. 小型計測機的设计

### 4.1 計測機の基本設計条件

#### (1) 計測機の作業対象範囲

防波堤基礎マウンド等の施工管理においては、設標等のための位置計測も行われているが、位置を計測するためには、1つの距離測定系と方位センサーもしくは2つの距離測定系を必要とする。そのため本計測機に位置計測機能を持たせると、システムは高度になり高価なものとなる。また、設標等の位置計測は、防波堤施工管理全体の計測作業の中でそれ程多くなく、従来のトランシット等により海上から測定することが作業の能率、安全面等から望ましいものとする。そのため、本開発の小型計測機は、距離と水深のみを計測できるものとし、以下

の施工管理の計測内容を主な対象とした。すなわち、計測機の基本性能として、遺形杭およびマウンドの各測点等の距離、水深を計測し、その測定精度は現行の施工管理基準を満足するものとした。

①捨石投入終了後、均し作業前の遺型杭設置のための計測

②遺型杭の検査のための計測

③均し終了後の出来型検査のための計測

## (2) 計測機の形状、寸法

計測機の形状、寸法の決定は、潜水士へのアンケート結果を参考とした。アンケート結果の代表的な形状、寸法は以下の通りである。

・長さ	1.5m以内
・重量(空中, 水中共)	10kg以下
・直径	10cm以内

## (3) 計測範囲、精度

小型計測機の性能、精度の目標値の設定は、現状の1工事あたりの作業範囲、現行の基準、またセンサーの精度等を基に以下のように設定した。

・水深計測精度	10mで±1cm
・距離計測精度	50mで±10cm
・距離計測範囲	100m

## (4) データ処理、表示

データ処理、表示内容は、小型計測機の水中での操作性を確保するため、以下のことがらを考慮した。

- ①設定スイッチ類等の操作性がよいこと
- ②表示が水中において見やすいこと
- ③計測結果が記録でき、陸上(または船上)へのデータ通信が可能なこと

## 4.2 水中距離計測技術

水中において距離を計測する方法としては、超音波が最も一般的に用いられる。超音波を用いた距離の計測は、一般的に2点間の音速と伝搬時間によって求められる。水中での音波の伝搬速度(c)は、水温、塩分濃度および水深により、下記のMackenziの実験<sup>2)</sup>式によって求めることができる。

$$c = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2}T^2 + 2.374 \times 10^{-4}T^3 + 1.304(S - 35) + 1.630 \times 10^{-2}D + 1.675 \times 10^{-7}D^2 - 1.025 \times 10^{-2}T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13}TD^3$$

上式において、水中音速を決定する水温(T)、塩分濃度(S)、水深(D)3つのパラメータの水中音速に対する変化率を求めるとおおよそ以下の値となる。

- ・水温1℃変化に対する水中音速の変化率 0.32%
- ・塩分濃度1‰変化に対する水中音速の変化率 0.08%
- ・水深10m変化に対する水中音速の変化率 0.01%

すなわち、上記3つのパラメータの中で水温の影響が、一般の海域において想定される変化に対して最も大きいものと考えることができる。水温のみを水中音速の補正值とした場合、距離測定誤差εは、概略次式となる。

$$\begin{aligned} \varepsilon &\approx r \times 0.0032 \times \Delta T \quad (\text{m}) \\ r &: 2 \text{点間の距離 (m)} \\ \Delta T &: \text{水温の推定精度} \end{aligned}$$

本計測機の計測精度の目標値(距離50mにおいて誤差±10cm)以内にする場合、水温センサーの精度は以下のようになる。

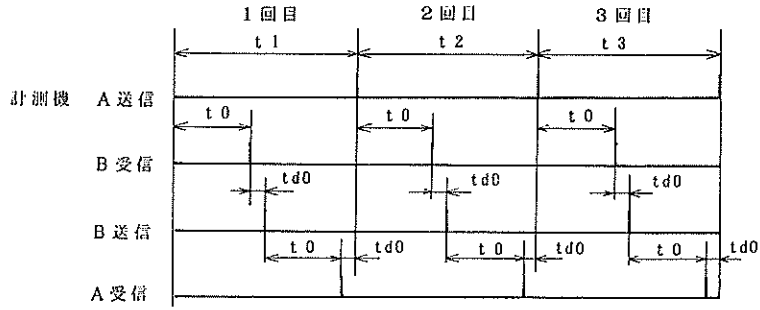
$$\Delta T \approx (\pm 0.1) / 50 / 0.0032 = \pm 0.625 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

したがって、水温を約±0.6℃以下の精度で測定し、水中音速を求める必要がある。しかし、本計測機においては、0.1℃以下の計測精度を有する水温センサーを用いて水温を測定し、水中音速を自動的に補正できるものとした。そのため、水中音速については、50mの距離で±1.6cm程度の誤差である。

一方、超音波の伝搬時間の測定は、2点間で超音波パルス信号を送受信するトランスポンダ方式により行っている。すなわち、図-6に示すようにトランスポンダ方式は、一方(A)から一定間隔でパルスが送信され、他の一方(B)においては受信後一定の時間を遅延して送信が繰り返されるものである。また、本計測機においては、水深の測定値に応じてこの遅延時間を変えて送信している。これを図-7に示す。図-6, 7に示す距離計測および水深データの送信方法は、超音波のパルス信号(パースト波)の送受信を3回繰り返して行うもので、信号ア라운드法と呼ばれるものである。

## 4.3 水深計測技術

捨石マウンド天端等の海底面から水面までの水深を計測する方法には、水面までの絶対水深を計測する方法と既知水深からの相対水深を計測する方法がある。絶対水深を計測する方法としては、従来のスタッフのような物理的手段を除けば圧力センサーによる方法がある。圧力センサーを水圧センサーとして用いる方法は、最近の高精度化によって高い精度の計測が期待できる。しかしながら、水圧センサーを用いて水深を計測する場合、波浪、潮位変動また大気圧変動等によって計測値が変化する。水圧センサーを用いた水深計測において、上記の要因に

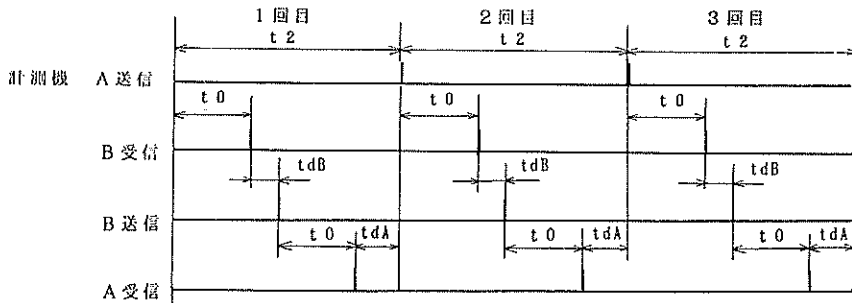


A, B間の距離Lの計測

$$L = C (t_1 - 2 \cdot t_{d0}) / 2$$

C : 水中音速

図-6 距離計測送受信パルスのタイミング



【送信水深値】

$$A \text{で知る} B \text{の水深値} : DB = K (t_2 - t_1 - t_{dA})$$

$$B \text{で知る} A \text{の水深値} : DA = K (t_2 - t_1 - t_{dB})$$

K : 定数

図-7 水深計測値送受信パルスのタイミング

よる計測値の変動に対して、一般的に次のような方法によって軽減することができる。まず、波浪の影響については、水深計測値を平滑化処理することによって取り除くことができる。ただし、平滑化時間は、防波堤の施工海域の波の周期等を考慮して適切な値を設定する必要がある。一方、微小振幅波理論による近似式によれば、表面波高と海底における水圧との関係は以下の式<sup>3)</sup>になる。

$$H_s = \frac{H_p}{w} \cdot \frac{\cosh(2\pi H/L)}{\cosh(2\pi R/L)} \cdot n$$

ここで、 $H_s$  : 海面における表面波高

$H_p$  : 海中測定点における水中圧力波高

$w$  : 海水の単位体積重量 (=1.03)

$H$  : 測定点の海面から海底までの深さ

$R$  : 海底からセンサーまでの高さ

(本計測機=0.165m)

$n$  : 波高補正係数 (=1.35)

$L$  : 波長

また、波長と周期の関係は、以下のようになる。

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi H}{L}$$

ここで、 $T$  : 周期

$g$  : 重力加速度

上式によって、水深10m、表面波高1mの時の各波長に対する水中圧力波高 $H_p$ 、周期 $T$ を計算すると、図-8に示すようになる。すなわち、水中圧力波高 $H_p$ は、計測点の水深による他にも波長によっても減少する。水深

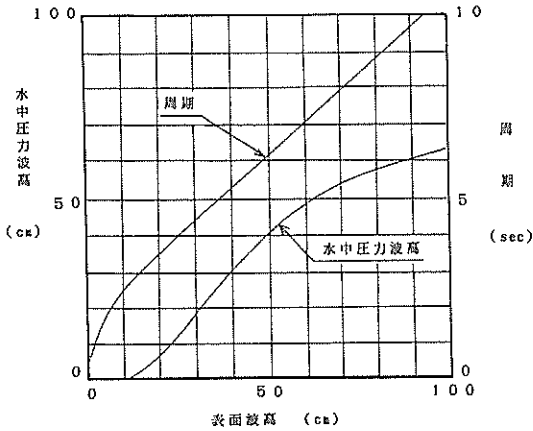


図-8 表面波高による水中圧力波高

10m, 表面波高1mにおいて波長10m, 周期2.5秒以下の  
場合, 1cm以下の水圧となり, ほとんど無視できる範囲  
となる。

つぎに, 潮位, 大気圧変動による影響については, 2  
点間の標高差を測定することによって少なくすることが  
できる。すなわち, 水深の既知な場所に基準となる水圧  
センサーを設置し, この基準センサーと計測用センサー  
との標高差を測定する。このような標高差の測定方法の  
最も一般的なものとして連通管による差圧センサーを用  
いた方式がある。連通管方式は, 圧力差を1つのセンサー  
で測定できるために, 計測精度の面からは望ましい方法

である。しかし, 連通管方式は, 凹凸の激しい荒均し面  
の作業性が悪くなることや計測範囲が狭くなる等の制約  
を受けやすい。連通管方式以外の方式として, 2点の絶  
対水深を測定し, 2点間の水深差を測定する方法がある。  
すなわち, 計測機2本によりおのおの設置点の絶対水深  
を測定し, その水深差を標高差とするものである。しか  
し, この方式においては, 高精度な水圧センサーの使用  
と併せて2点間の水深計測値をおおのの計測点にデー  
タ通信することが必要になる。本計測機の水深計測シ  
ステムにおいては, 水中の作業性の確保, また高精度な水  
圧センサーを用いていることもあり, 2点の絶対水深を  
測定しその水深差を表示できる方式とした。

そのため, 2本の計測機間の距離測定の超音波信号に  
図-7に示す方式により水深の計測値情報も含めて通信  
し, 2点間の水深差を表示できる方式とした。この方式  
によって2つの計測点がそれほど離れていないマウンド  
等の計測においては, 潮位および大気圧変動の影響をほ  
ぼ無くすることができるものとする。図-9に本計測機  
による2つの計測点の水深を2本の計測機で水深計測  
する方法を示す。また, 表-5には本計測機に用いた水圧  
センサーの仕様を示す。本計測機の水圧センサーは,  
絶対圧測定用のもので測深範囲は大気圧(10バール)を  
差し引いた25バール(水圧=25m)を有する。計測精度  
は, 直線性としてフルスケールの $\pm 0.1\%$ , 温度ドリフト  
は $\pm 0.015\%/^{\circ}\text{C}$ を有するものである。また, 絶対圧測定  
用の水圧センサーのため, 大気圧1013ミリバールを基準

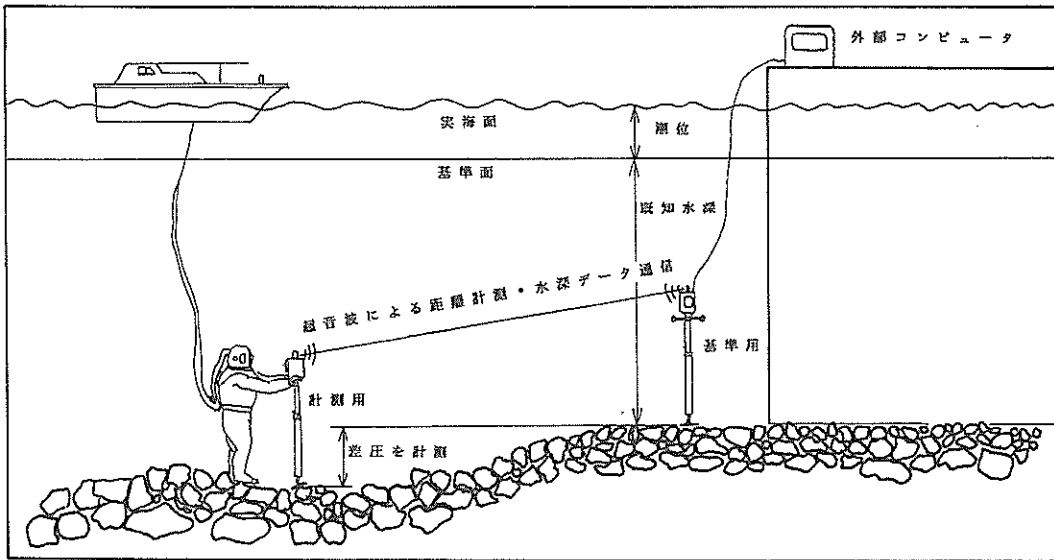


図-9 標高差計測システム図



表-5 水圧センサー仕様

項目	仕様内容
メーカー名	ドラック (株)
型名	PDCR930
圧力レンジ	0/35bar
保証耐圧力	フルスケールの4倍
印加電圧	10V@5mA
出力電圧	100mV
精度	±0.1%FS (35barまで)
使用温度範囲	-20~+80°C
温度ドリフト	±0.3%; -2~+80°C
温度特性 (ゼロシフト)	±0.015%/°C
温度特性 (感度)	±0.015%/°C

に表示値の設定を行っている。

### 5. 小型計測機の設計結果

#### 5.1 計測機の外觀形状, 寸法

図-10は、小型水中計測機の外觀形状、寸法を示したものである。全長1400mm~1720mm、底板部を除く本体部の空中重量は約10kgであり、材質はアルミニウムを用いている。形状は全体的にスタッフ状になっている。またその構成は、格納部、スタッフ部(1)、スタッフ部(2)底盤部(1)および底盤部(2)からなる。格納部は、超音波送受波器、水温センサー、表示部、RS-422Aの通信コネクターおよび演算処理部から構成され、超音波通信、各種演算処理および表示を行う。スタッフ部(1)は、システムに供給する電池(単I型×10本)を内蔵している。スタッフ部(2)は、水圧センサーを内蔵して

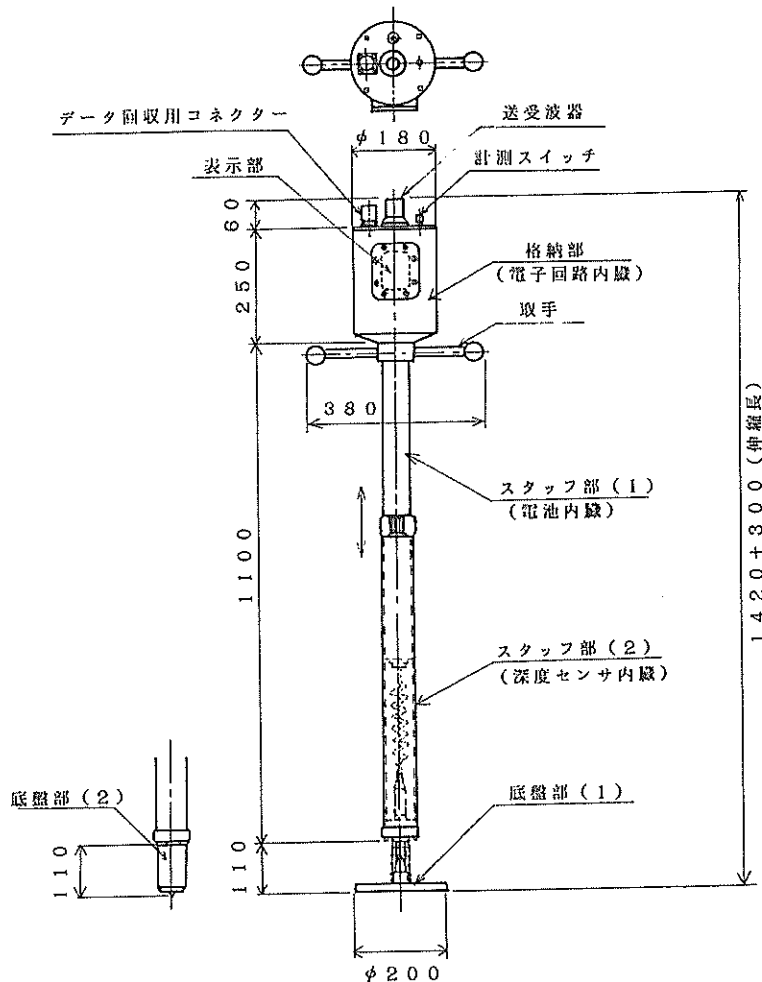


図-10 小型計測機外觀形状、寸法図

いる。更に、スタッフ部(1)とスタッフ部(2)は、320mmの伸縮幅を持っている。これは、計測機を使用する潜水士の身長や作業姿勢に合わせて長さを調節できるようにしたものである。底盤部は2種類あり、底盤部(1)は、マウンド面用で直径200mmの円盤、ユニバーサルジョイントおよびコイルバネにより構成され、マウンド面の凹凸に柔軟に対応するようになっている。底盤部(2)は、杭天端測定用のもので杭の上端部に載せ易い形状となっている。また、本計測機は水中において、格納部の浮力、底盤部のシンカーとしての重量、ユニバーサル機構等により垂直に自立することが大きな特徴である。この自立機構によって、特に距離計測時等の作業性、操作性の向上を図っている。

## 5.2 計測機の基本性能

表-6は、本計測機の製作仕様を示したものである。距離、水深の分解能は、それぞれ1cmとしている。計測値の表示は、直距離/水平距離および絶対水深/相対水深の切り替え方式を採用している。これらの表示の切り替え等は、格納部内の切り替えスイッチにより、以下の内容の設定および切替ができる。

- ・計測機モード : 基準用/計測用
- ・水深計測モード : 消水/海水
- ・表示距離 : 直距離/水平距離
- ・表示水深 : 絶対水深/相対水深
- ・水深データ平均時間 : 5sec/10sec/20sec
- ・データ収録傾き角 :  $\pm 1^\circ / \pm 10^\circ$  /制限無し

計測機モードは、2本の計測機が全く同一機能を有しているため、1本を既知水深に設置し、他の1本を計測点を移動しながら計測する時に切り替えをするものである。データ収録傾き角の切り替えは、計測機が設定角度以内においてのみ距離の計測通信を行い、水深データ等と共に計測データのメモリー内への取り込みを行うものである。この機能は、距離計測において海底への設置点である底盤部と距離計測の超音波発信部の位置が異なるため、計測機の傾斜による距離の計測精度の低下を防ぐために設けたものである。例えば計測機の傾き角 $\pm 1^\circ$ の場合、計測機の長さ150cmにおいて、設置点と超音波の発信部は約 $150 \times \sin(\pm 1^\circ) = \pm 2.6\text{cm}$ 異なる。ただし、水深のみを主に計測する場合のため、切り替え設定ができるようにしている。水深データの移動平均時間は、港内、内海、外海等海気象条件を考慮して設定値の切り替えを行えるものとした。最大の20secの平滑時間は、外海に面した釜石湾口の防波堤築造海域の波の最大周期(約10sec程度)の約2倍である。

## 5.3 計測システム

本計測機は、2本1組で使用するもので、2点の間の距離および設置点の水深を計測する。水深は、底盤から一定の高さに設けられた水圧センサー(計測機の長さを調整しても計測位置は変化しない)により計測される。

更に水深データは、距離計測用の超音波通信によって相互に送信され、各々の計測機において2点間の標高差、また2点間の直距離から水平距離への演算処理が行われる。本計測機の計測フローは、図-11に示す通りである。計測機の計測要領は、1本を既知水深点上にデータ収録傾き角の設定値以内に設置し、計測スイッチを1回のみ押す。他の1本は、潜水士によって計測点に移動し、計測スイッチを1回押すして計測状態とする。つぎに、計測機の傾斜表示によりデータ収録傾き角の設定値以内にすると自動的に2点間の距離が計測され、同時に水深情報も送信し各々の表示部に表示される。この一連の操作によって1回の計測が完了する。計測機のデータ表示部を図-12に示す。

計測された距離、水深データは、水深差や水平距離の演算処理後、日時、測点番号と共に基準点に設置した計測機のメモリーに記憶される。データの出力は、陸上等のパソコンとの接続によりリアルタイムの出力、または測定終了後陸上においてもパソコンに出力することができる。更に、パソコンに接続しなくても計測機単独で計測スイッチを押すことによって、メモリー内のデータを計測機の表示部に出力することができる。パソコンとの通信は、RS-422Aを採用しているため、一般のRS-232Cのデータ通信のための変換器が必要となるが、長いケーブルを用いたデータ通信が可能である。

## 6. 小型計測機の計測性能、精度試験

### 6.1 各センサーの計測精度試験

清水における水中距離計測試験、および水深センサー、水温センサー、傾斜センサーの単体精度試験結果を表-7に示す。清水中での距離計測精度は、最大測定距離15m以内において $\pm 4\text{cm}$ 以下であった。また、水圧センサーの単体精度は、最大測深の-25mにおいても $+2 \sim +3\text{cm}$ であり、ほぼフルスケールの $\pm 0.1\%$ 以内にある。傾斜センサー、水温センサーの単体精度は、いずれも本計測機的设计仕様を満たす範囲内であった。

### 6.2 実海域性能実験

#### (1) 実験場所、方法

実海域実験は、計測機の実海域における操作性および計測性能、精度を明らかにするため、実防波堤基礎マウンド上において潜水士の操作によって行った。図-13に

表-6 小型計測機の製作仕様

1	距離計測	
	・測距範囲	100m
	・精 度	5 cm
	・分 解 能	1 cm
	・使用周波数	40kHz/601Hz
	・音速補正	水 温：自動 塩分温度：真水/海水（切り換えスイッチにより選択）
2	水深計測	
	・測深範囲	-25mまで
	・精 度	3.5cm
	・分解能	1cm
3	表 示	
	・表示内容	(1) 2点間の直距離または水平距離 (2) 深度または深度差 (3) データ番号 (4) スタッフ傾斜
4	データ収録	
	・収録データ	(1) 2点間の直距離 (2) 基準点および計測点深度 (3) データ番号 (4) 年月日時刻
	・収録タイミング	計測スイッチを押した後、スタッフが垂直に立った時に収録する。
	・収録データ量	最大200点
	・収録データの出力	パソコンと接続し、TS-422A通信方式で回収する。
5	電 池	
	・型 名	単1型電池（普通型または充電式） 外形寸法 φ60×60
	・使用本数	10本（電子回路へは12~15Vを供給） 普通型電池（アルカリ・マンガン電池） 1.5V×10=15V 充電式電池（ニッケル・カドミウム電池） 1.2V×10=12V
	・寿 命	連続使用で約4時間

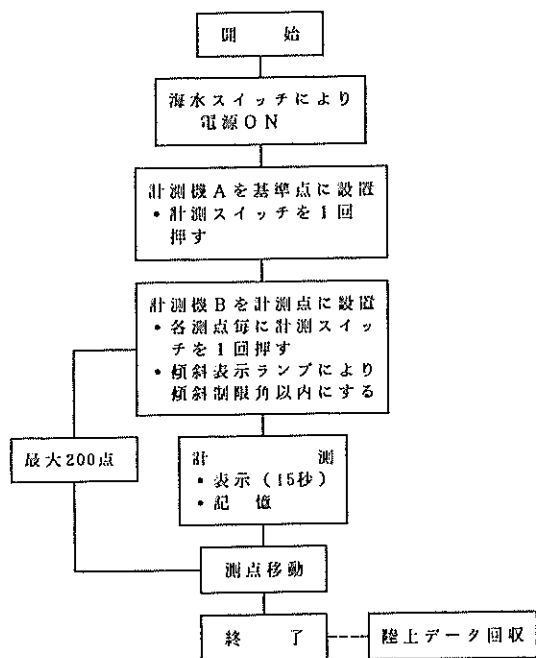


図-11 小型計測機の計測フロー図

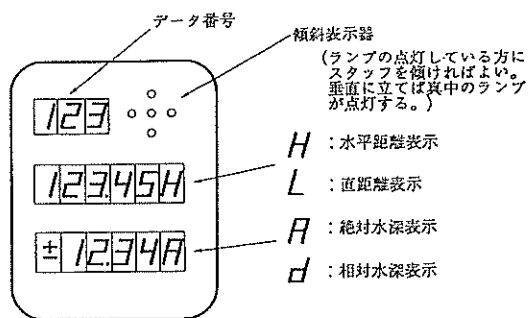


図-12 小型計測機のデータ表示部

実験場所の平面図を示し、図-14には測線および測点の設置場所を示す。横須賀港安浦地区防波堤(Ⅲ)は、竣工した防波堤で、原地盤水深約-16m、マウンド均し面の水深は-14mである。測線①は、ケーソンのフーチング上(幅2m)に設けている。また測線②、③、④は捨石荒均し面上に設けてある。測線①、②、④には、あらかじめ陸上で検出したステンレスワイヤーロープ(1m毎のマーク付き)を設け、測線③には2m間隔で杭を設けている。

計測機の操作性の実験は、計測機の自立状況、運搬の容易性、表示の視認性、操作性等の確認を潜水士によ

て確認する方法により行った。計測機の計測精度の実験は、ワイヤーロープのマーク上および杭の上部に設置して行っている。しかし、データ収録傾き角の設定は、 $\pm 1^\circ$ に立てることが困難であったこと等により、制限無しの状態で行った。また、水深の計測精度実験については、別途水槽および実海域において計測機単体をロープで吊り下げた状態で行った。

## (2) 実験結果および結果の検討

### 1) 水中の操作性

計測機の操作性等の評価検討は、実海域実験に携わった潜水士の意見を基に行った。ヒヤリング内容および結果を表-8に示す。形状、寸法、重量に対しては、長さ1m程度にとの強い要望もあったが、その他は多少の変更を要する程度であり、全体的には現状のままで十分使用できるものとの意見であった。水中の可搬性、操作性については、おおむね良好なものであったが、計測機を $\pm 1^\circ$ の傾斜以内を立てることは困難であるとの意見であった。計測機を垂直に設置することは、潮流が少ない海域においては自立する機構によって簡単に行えるが、潮流が大きくなると潜水士自身によって傾きを修正する必要がある。しかし、傾斜が $\pm 10^\circ$ 以内であれば問題はなく、また操作に慣れることによって $\pm 5^\circ$ でも可能との意見であった。計測スイッチの操作またデータ表示等については、スイッチ位置の変更要望があったが、表示については十分なものであるとの意見であった。

### 2) 距離計測性能、精度

表-9に測線①、②、③、④における水中距離の計測結果を示す。なお、測線①、②の各点は、陸上で検測されたワイヤーのマーク位置に計測機を設置しているが、測線③、④の各測点は検測していない状態であった。

計測機の距離の計測範囲は設計上からは最大100mであったが、測線①の70mの測点の計測は不能であった。計測範囲を決める超音波の伝搬損失は、海水の濁り、潜水士から放出する空気の状態等によって左右されるが、本計測機の実海域での計測範囲は約50m程度と思われる。

図-15は、ケーソンのフーチング上に設けられた測線①のワイヤー検測距離と計測機の測定結果を表したもので、図中の実線は最小2乗法で引いた直線である。計測データのバラツキは比較的少ないが、ワイヤーロープの距離に対して各測点において大きい値の計測値となっている。この要因としては計測システムによるもの他にも、本実験においては計測機の傾斜制限を設けていなかったため、基準点および各測点に設置した計測機の傾き等の影響もあるものと考えられる。また、計測システムによる要因の場合は、固定的な誤差として取り扱えるため

表-7 距離および各センサーの単体精度試験結果

試験項目	基準値	試験結果	摘要
超音波距離精度試験	5.00m	A 4.97m B 4.98	①試験は、清水プール内で実施 ②基準値は、テープにより測定 A：計測機A B：“ B
	10.00	A 10.04 B 10.03	
	15.00	A 15.02 B 15.04	
水深センサ精度試験	0.0kg/cm <sup>2</sup>	A - 0.01m B + 0.02	基準値は精度0.05%の圧力校正器により測定
	0.5	A 5.00 B 5.01	
	1.0	A 10.01 B 10.01	
	1.5	A 15.01 B 15.00	
	2.0	A 20.02 B 20.01	
	2.5	A 25.03 B 25.02	
水温センサ精度試験	5.53°C	A 5.72°C B 5.55	基準値は精度0.1°の水温計により測定
	5.44		
	10.30	A 10.47 B 10.71	
	10.55		
	20.47	A 20.41 B 20.64	
	20.73		
傾斜センサ精度試験	-20.0度	A -20.1度 B -20.1	基準値は精度0.1度の傾斜計により測定
	0.0	A - 0.1 B 0.0	
	20.0	A 20.1 B 20.1	

に修正が行える。すなわち、図中に示した最小2乗法で引いた直線等を基準にして計測値の修正がハード的にもソフト的にも行える。この直線を基準にすると誤差は、今回の実験範囲50mにおいてほぼ±10cm以内となる。

### 3) 水深計測性能、精度

図-16に水槽において行った水深精度試験結果を示す。水槽試験の最大水深は2.2m程度であるが、スケールによる水深計測値との誤差は最大±1.3cm以内であった。2m程度の計測深範囲において、誤差が1cmを越える原因の一つに、水深の読み取り分解能が1cmであることがあ

る。表-10は、実海域における波浪の平滑状況を示したものである。本実験の最大計測水深は約2m、海域の波浪は±20cm(目視)程度であった。表-10に示した計測値は、データの平滑時間(移動平均時間)を1, 10, 20秒に設定し、それぞれ平滑時間で計測機を水中に固定後の1秒毎の計測値を示している。計測値の平滑化状況、すなわち水深計測値の変動状況は、平滑時間1秒ではデータのサンプリング時間に相当するためバラツキがあるが、10, 20秒では平滑時間に応じて一定な値になる。

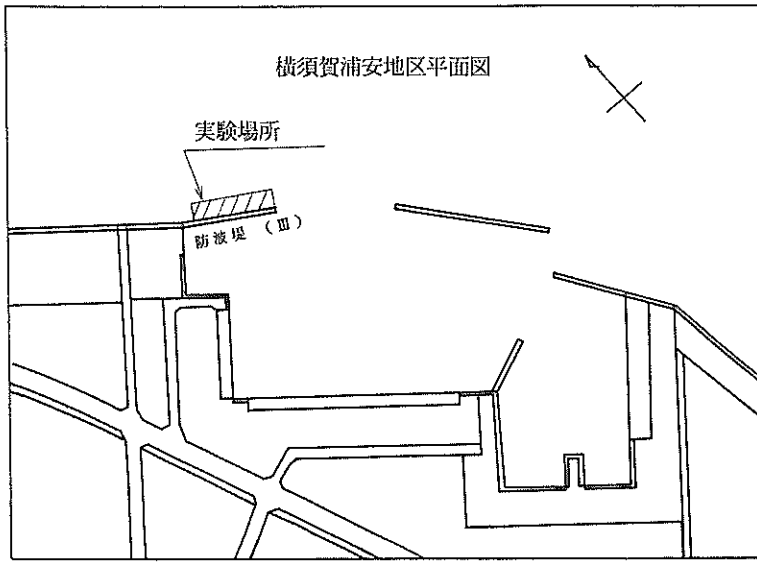


図-13 実海域実験場所平面図

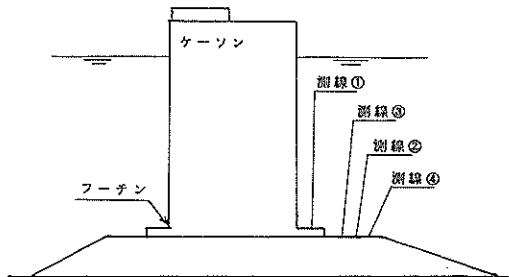
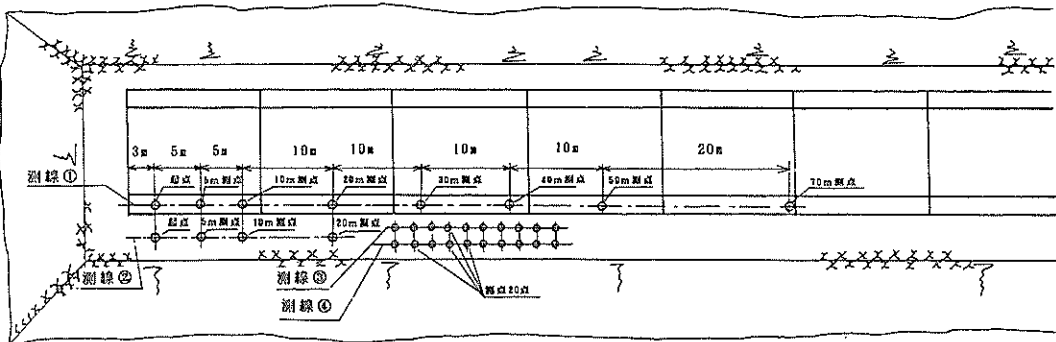


図-14 実海域実験の設置測線

表-8 小型計測機の水中操作性とヤリング結果

①形状について	ちょうど手頃な形状である。底盤部の近くにもう1つ取手が欲しい。
②寸法について	もう少し短い方がよい。1mくらいでよい。
③空中重量について	少し重すぎる。底盤部を取り外した程度の重量がよい。
④水中重量について	軽すぎる。5~6kgくらいがよい。重さを調節できるようにしてほしい。
⑤陸上・船上での取扱いについて	特に問題はないが、超音波送受信器部を保護して欲しい。
⑥水中で垂直に立てることについて	潮流がない場合は楽に立てられる。±1°以内に立てるのはほとんど無理である。±10°以内であれば問題なく、±5°でも慣れれば可能である。
⑦測点から測点に移動することについて	特に問題はない。
⑧計測スイッチの取付位置について	取手の近くにある方がよい。現在の位置では、計測毎に片手を離さなければならない。
⑨計測スイッチの操作について	特に問題はない。
⑩長さ調節機構について	伸縮の幅がもっと合った方がよい。1m~1.6m程度欲しい。
⑪表示窓の位置について	特に問題はない。
⑫表示数字の大きさについて	特に問題はない。
⑬表示数字の明るさについて	もっと明るい方が読み取りやすい。

## 7. 小型計測機の評価, 検討

水中において2点間の距離, 水深および水深差を同時に計測する本計測機は, 距離, 水深の各計測性能, 精度および計測機の水中操作性を含めて, ほぼ初期の目標性能を達成することができたものとする。各センサーの精度試験, 水槽試験, 実海域実験の結果を基に本計測機を評価すれば, 以下の性能, 精度を有するものとする。

- ・ 距離計測範囲: 最大 50m
- ・ 計測精度: ±10cm以内
- ・ 水深計測範囲: 最大 25m
- ・ 計測精度: ±3cm以内

上記の中で水深の計測性能, 精度の評価は, 主にセン

サーの単体試験から行ったものである。一方, 表-10の試験結果から2点間の相対水深の計測時には, 波浪, 大気圧および潮位変動の影響は, 水深データの平滑化処理, 水深差表示システムによってその影響は少ないものとする。

今後本計測機を実工事において活用する上での課題として, 外観形状, 寸法, また計測性能, 精度等について改善が望ましいものとして以下のものがある。

- ①計測機の長さ調整範囲の最小長さを1m程度にする。
- ②計測機の垂直設置のための改善を図る。
- ③水深の測定精度の向上を図る。
- ④測距範囲を拡大する。

まず, ①の計測機の最小の長さを現在の1.4mから1

水中施工管理用小型計測機の開発

表-9 水中距離実験結果

測線 No.	測点間距離		計測値		摘 要
	測点	検測距離	A	B	
①	起点	0 m	m	m	測点：ワイヤー 距離検測：有り  A：計測機A B：計測機B
	5m	5.02	5.11	5.13	
	10	10.03	10.17	10.19	
	20	20.04	20.24	20.26	
	30	30.04	30.43	30.45	
	40	40.05	40.30	40.33	
	50	50.11	50.46	50.47	
	70	—	不能	不能	
②	起点	0.00m	m	m	測点：ワイヤー 距離検測：有り
	5m	5.02	5.31	5.32	
	10	10.02	10.33	10.36	
	20	20.03	20.40	20.41	
③	起点		m	m	測点：杭 距離検測：なし
	2m		2.05	2.07	
	4		4.93	4.94	
	6		6.34	6.38	
	8		8.31	8.34	
	10	—	10.53	10.61	
	12		12.87	12.93	
	14		14.53	14.55	
	16		16.17	16.20	
	18		18.28	18.32	
20		20.49	20.55		
④	起点		m	m	測点：ワイヤー 距離検測：有り
	2m		2.12	2.14	
	4		4.14	4.17	
	6		6.05	6.07	
	8		8.05	8.06	
	10	—	10.24	10.27	
	12		12.03	12.05	
	14		14.03	14.06	
	16		16.15	16.17	
	18		18.21	18.23	
20		20.21	20.23		



表-10 波浪に対する水深データの平滑化状況

経過時間	データ平滑化時間			備考
	1秒	10秒	20秒	
0秒	-2.42m	-2.24m	-2.79m	計測位置に固定後1秒毎に読み取り
1	-2.44	-2.21	-2.77	
2	-2.47	-2.20	-2.74	
3	-2.45	-2.18	-2.72	
4	-2.43	-2.16	-2.70	
5	-2.33	-2.14	-2.67	
6	-2.41	-2.13	-2.65	
7	-2.49	-2.13	-2.62	
8	-2.47	-2.13	-2.60	
9	-2.43	-2.13	-2.57	
10	-2.48	-2.13	-2.55	
11	-2.48	-2.13	-2.53	
12	-2.41		-2.50	
13	-2.44		-2.48	
14	-2.41		-2.48	
15	-2.43		-2.48	

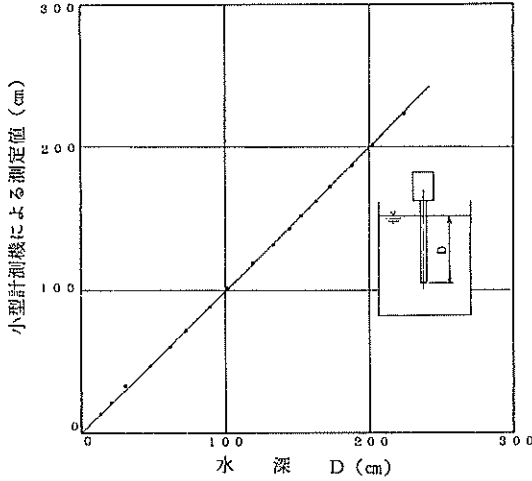


図-15 水中距離計測精度実験結果

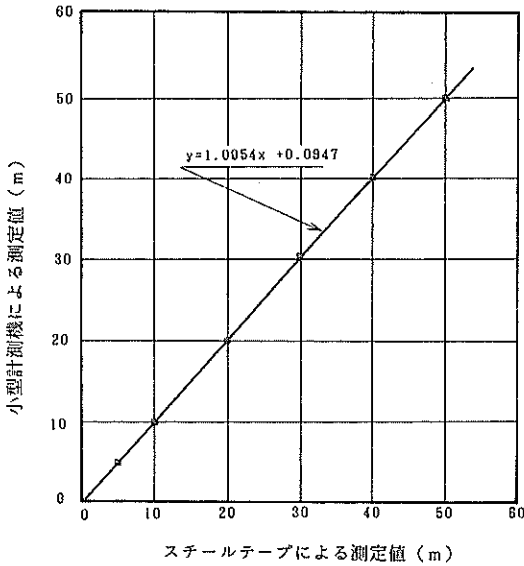


図-16 水深計測精度試験結果

m程度にする必要性は、潮流の激しい海域、また遺形杭の上端水深の計測時に必要になるものである。本計測機の長さを短くすることは、スタッフ(1)に内蔵されている電池の数を減らすことによって基本的に行えるが、現在4時間の計測時間が短くなる。現状の計測時間のままで長さを短くするには、水圧センサー、ユニバーサルジョイント構造等を検討することによって10~15cm短くできるが、更に1m程度にするにはスタッフ(1)のパイプ径を大きくし電池を2列に配置する等の構造変更が

必要となる。しかしながら、この要望については、現在の長さのままでも最小長さが1.4mであるため、それ程作業に支障をきたさないものと考えられる。つぎに②の計測機を±1°以内の垂直な状態に設置する方法については、本計測機は潮流がない場合は垂直に自立するものの、潮流のある海域では傾斜センサー表示によっても容易に操作でき難い状況であった。この改善方策については、傾斜表示をより見やすい表示方法、位置に変更する等の改善課題はあるが、基本的には操作の慣れを期待する以外にないものと考えられる。実験に携わった潜水士の意見によれば、±10°であれば問題なく、操作の慣れによって±5°でも設置可能とのことであり、その時の誤差は±10cm程度である。

一方、③の水深計測精度の向上については、現行防波堤基礎マウンドの均し施工管理基準±5cmの計測に用いられているスタッフの計測精度に対して多少不足している。望ましくは、±1cm程度の精度が必要なものと考えられる。水圧センサーを用いた計測精度の向上方策は、0点の安定性と直線性の向上方策の2つがある。現在、半導体を用いた圧力センサーは、直線性0.01%を有しているが、本計測機のセンサーの価格に対して数倍以上高価なものである。また、直線性の向上方策については、セン

サー自身の性能向上を待つ以外にも、プログラム処理の中で圧力校正曲線をきめ細かく設定する等、比較的簡単に対応できるものである。例えば、本水压センサーの直線性は、各圧力検定値における最大の誤差は±0.06%以内の精度である。この方策によって、約2倍程度の精度向上が期待できる。④の距離計測範囲の拡大は、最大測定距離50mであり設計上の100mの半分であった。工事区域の広いセンター杭、遺形杭の施工管理においては不足するが、超音波の出力を上げる等の改善によって対応できる。

## 8. あとがき

防波堤基礎マウンド等の水中の施工管理における水中距離、水深を同時に計測する小型水中計測機の開発を行った。今回開発した小型水中計測機は、施工管理計測作業の安全、能率向上に多大に寄与するものとして、潜水士を始め現場関係者からは強く要望されていたものである。すなわち、港湾工事の沖合化、大水深化、また潜水士の老令化、減少等の傾向が進む中で、水中スタッフ、スチールテープ等を用いた計測は、作業の安全、能率面を大きく低下させる要因の一つとなっており、早急な開発が待たれていたものである。開発した計測機は、現行の施工管理基準をほぼ満足し、水中の操作性についても実際に取り扱う潜水士の満足を得るものであった。本計測機を実工事に導入する上では、基本的な性能および使用上の詳細な部分等の改善を図る課題も多少残されているが、

実工事において積極的に活用されることを期待するものである。実工事の中で評価することは、技術の完成度を高める上でも、また実工事における有用性を評価する上でも是非とも必要なものと考えられる。

一方で、新しい計測機器を実工事の中で使用する場合、計測データの信頼性の問題、従来の機器に対して高価な機器の保有体制の問題、また現行の基準の改訂等の検討課題がある。今後、開発した計測機の活用とこれらの課題の協議について、各関係者をお願いするものである。

最後に実海域実験の実施に際して、第二港湾建設局京浜港工事事務所の御協力をいただいた。また、(財)日本潜水協会には、本計測機の開発に際して適切な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す次第である。

(1991年6月30日受付)

## 参考文献

- 1) 鎌田芳明：水中水準測量装置について、第7回(社)海洋調査協会技術発表会、1990年10月、pp. 21~23
- 2) Kenneth V. MACKENZIE：Nine-term equation for sound speed in the oceans, Journal of Acoustical Society of America, 70 (3), Sept. 1981, pp. 807~812
- 3) 菅原一晃・成田明・亀山豊他・他：港湾構内およびアシカ島における気象・海象観測 その3、港湾試料No. 624, 1988年3月、pp. 29-30