

浮遊式海洋構造物の実海域実験

V. データ計測および解析処理

矢後清和* 齊藤昌勝*

At-Sea Experiment of a Floating Offshore Structure

V. Measuring System and Data Analysis

By

Kiyokazu YAGO and Masakatsu SAITO

Abstract

The measuring system and data analysis are important parts for at-sea experiment. The main purpose of the field test is to validate and improve the elemental technology which have been developed so far to evaluate the safety and the reliability of huge floating offshore structure.

Therefore, there is a variety not only of research themes but also of measurement techniques in the field test. About 60 measured items of the field test can be categorized as 1.environmental conditions, 2.wave induced motions, 3.slow drift, 4.strength of structure, 5.mooring line tension, and 6.maintenance of structure and corrosion .

This paper describes how the measuring and analysis systems have been developed in the POSEIDON project.

目次

1. はじめに.....	55	3.3.5 支持浮体間の外力の相互干渉 に関する計測.....	73
2. 計測システムの検討経過.....	55	3.3.6 防蝕など維持管理に関する計 測.....	74
2.1 計測面からの研究テーマの検討.....	55	3.4 計測環境.....	75
2.2 計測システムの具体化.....	55	3.4.1 計測室と配線.....	75
2.2.1 計測機器の調査.....	55	3.4.2 計測用電力.....	75
2.2.2 データ収録方法の検討.....	55	3.4.3 ケーブルシステム.....	75
2.3 通信システムの検討.....	65	4. データの収録.....	76
3. 計測項目と計測方法.....	65	4.1 自動データ収録システム.....	76
3.1 研究テーマと計測項目.....	65	4.2 補助収録システム.....	79
3.2 実海域実験における計測の問題点.....	65	4.3 観測員による日常観測データ.....	79
3.3 計測の実際.....	67	5. 解析システム.....	79
3.3.1 自然環境条件の計測.....	67	5.1 データ変換と保存.....	79
3.3.2 浮体の運動の計測.....	69	5.2 一次解析.....	79
3.3.3 係留ライン張力の計測.....	70	6. おわりに.....	81
3.3.4 構造歪の計測.....	72		

* 海洋開発工学部

参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・81

「付録」計測器の予備試験・・・・・・・・84

1. はじめに

実海域実験においてデータ計測を如何にして行うかは、実験の成否に関わる最も重要な部分である。本報告では1986年から1990年までの約4年間にわたり実施された浮体式海洋構造物「POSEIDON号」（以下P号と称す）の実験において用いられたデータ計測システムおよび解析処理について述べる。

当所ではこれまでに海洋構造物に関する多くの水槽実験を行っているが、P号の実海域実験のような長期の大がかりなプロジェクト実験ははじめての経験である。実海域実験では水槽実験で培った計測手法をそのまま適用できない場面も多い。また、自然環境条件の中で行う総合実験であるため計測項目も多く、かつ長期データを必要とする。

以上の点を考慮し、実海域実験に用いる計測システムおよび解析システムは全て当所で自主開発した。これらのシステムの開発経過、実海域実験中のトラブルやメンテナンスの実態などについて報告する。

2. 計測システムの検討経過

2.1 計測面からの研究テーマの検討

実海域実験の規模が概ね明らかになった段階で、実験構造物の設計、建造と並行して計測について具体的検討を開始した。

P号は海洋空間利用に用いる超大型浮体式構造物の部分構造物という想定がされているが、その規模および様式が石油掘削リグをはじめとする一般の半潜式海洋構造物に近い事から、その建造技術も含めた実験という意味も含める事とし、本プロジェクトに関係する研究者から自由な発想に基づく実験テーマを募った。最終的に16のテーマが集まった。

これらのテーマを計測の面から見ると、応答性、長期安定性、サンプリング速度、計測時間の連続性、計測位置、計測項目数などについて個々に要求が異なる。

例をあげれば浮体の運動1つをとっても波浪周期に同調した短周期運動と弛緩係留系により生ずる長周期運動では周波数範囲が大幅に異なるし、構造物壁面の

水圧や構造物近傍での浮体との相対水位などは衝撃的な現象となる事が考えられるためかなり高速でのサンプリング速度が必要となる。

そこで、個々のテーマをある程度整理し、全体としての研究テーマに分類して検討を進めた。分類した研究テーマは次の5分野である。

- ①自然環境条件
- ②浮体の運動
- ③係留
- ④構造強度
- ⑤支持浮体間の外力の相互干渉
- ⑥防蝕など維持管理技術

2.2 計測システムの具体化

2.2.1 計測機器の調査

テーマの大筋が決まり計測対象を絞り込んだ段階で具体的な計測器の調査選定に着手した。まず市販されている計測器、収録装置、電源装置等の周辺機器について調査し資料を収集する事とした。表-1. 1～表-1. 4は調査した機器類である。表中の項目、数値などは実験開始以前の調査結果である。実際に使用した計器については3. 1に述べることにする。なお、表中の価格は概算値である。表からもわかるとおり調査は機器の基本性能だけでなく、環境、大きさ・重量、電源、取付治具、ケーブル長、アンプの入出力特性など実際に実験構造物に搭載する上で必要な項目についても行っている。

2.2.2 データ収録方法の検討

センサーについては計測の要件を満たすものを市販品の中から大部分見つける事ができたが、データ収録装置については若干の検討を必要とした。問題となった点は記録時間の連続性、同時計測項目数と項目の組み合わせ、サンプリング速度等である。

実海域での波、風などの自然現象は不規則性を有する。そのため計測データは統計的な処理を必要とし、どの計測項目もある程度の長さの記録時間が必要となる。

同時計測項目についても、浮遊式海洋構造物に関係する現象そのものが主に波、風に起因して発生するた

表-1. 1 計測器の調査(1)

項目	検出器					アンプ				
	メーカー	型式	数	◎	価格	メーカー	型式	数	◎	価格
1 風向・風速	海上電機 小笠原計器	TJ61B	1 1	60.0	60.0	海上電機	W-200	1	80.0	80.0
2 " 風速	光達電気 ボルテックス 石川産業	KES00P-E VA320-22 NW-20	1 1 1	83.0 56.0 8.0	83.0 56.0 8.0	本体に含 石川産業	VT-15() GRV-101	0 1 1	0 5.0 11.0	0.0 5.0 11.0
3 保留力	共和 昭和機器 システム	LC100TEM RCV-100T	6 6 4	40.0 39.0	240.0 234.0	日電三栄 日電三栄	6M82 6M82	6 6	20.0 20.0	120.0 120.0
4 相対水位	計測技研 電子工業	UMT2-10, S-10 VM302	2 2	100.0	200.0	計測技研		2	40.0	80.0
5 歪	共和	BS-1SCS	24	4.4	105.6	日電三栄	6M82	12	20.0	240.0
6 加速度1 " 2 積分器	日本航空電子 "	JA5-II-9 MA-101	3 2	37.0 15.0	111.0 30.0	日航電 " N F 回路	(電顕) (#) SNP-11211	1 1 1	17.5 17.5	17.5 17.5 200.0
7 方位	北辰 東邦電探	CMZ-200	1 1	73.0	73.0	本体に含		0	0	0.0
8 傾斜 " 傾斜 " 傾斜	桑野電気 宇津木計器 スベリー 日本航空電子	CMS-90	1 1 2 1	98.0 3.4	98.0 6.8	本体に含 日航電		0 1	0	0.0
9 長周期運動	電子工業		3	80.0	240.0	電子工業		1	50.0	50.0
10 流向・流速	東邦電探 エンデコ	CM-2 174SSM	1 1	98.8 295.0	98.8 295.0	本体に含 読取機		0	0	0.0
11 気温	石川産業	R000	1	0.9	0.9	石川産業	15RP-3J	1	9.7	9.7
12 湿度	石川産業	MTH-01	1	20.0	20.0	本体に含		0	0	0.0
13 日射	石川産業	S-110	1	24.0	24.0	"		0	0	0.0
14 衝撃圧	共和	BE-2KR110	3	13.5	40.5	日電三栄	6M82	3	20.0	60.0
15 入射波	データウェル	6000x-ブライト	1							
16 パソリンク			1							
17 テレメータ										
18 2次元波法										
20 水温										

実海域実験用計測器の調査表

(単位：万円)

記録器				治具類				コード類			その他	運送費	取付工事	当初保守	以降 年間保守
型式	数	●	価格	品名	数	●	価格	数	接続	価格					
				(保安器)	1台	20.0	20.0	25	0	6.5					
石川産業 IEH-81	1	24.4	24.4					20	0	1.4					
				シーブ ジャッキ	6台 6台	120.0		900 "	6 "	47.4 "					
				取付台	2台			50	2	16.0			自 自		
				取付治具	1式		45.2	900	24	53.64	28.8				
				人工水平台 容器	1台 2ヶ	5.0	280.0 10.0						自 自 自		
								本体含							
								本体含		0.0			自 自 自 自	120.0	120.0
				ボックス ナイトハイ	1式 1式							20.0	45.0		
				ブイシステム	1式			本体含					自		
													自		
				百葉箱	1台	15.0	15.0	各10	0	3.0			自		
													自		
				治具	3	0	0	165	3	10.4					

表-1.3 計測器の調査(3)

増幅器性能表 その1

No	計測項目	接続する検出器			アンプ			電 源			アンプの大きさ		
		メーカー	型 式	個数	メーカー	型 式	台数	電圧 (V)	電力VA	総電力VA	幅mm	高さmm	奥行mm
1	風向・風速	海上電機	TJ61-B	1	海上電機	VA-200	1	AC100 ±10%	30	30	430	158	360
2	風向・風速	光造電気工業	KE-500P	1	光造電気工業	KE-500P(C)	1	AC100 ±10%	35	35	340	330	370
	風向・風速 風 速	J-TEC ASS.	VA-320	1	電源だけ	KE-500P(C)	1	AC100 ±10%	25	25	480	149	380
		石川産業	WZ0-L	1	石川産業		1	AC100 ±10%	18	18	39.5	139	230
※1	保留力 歪 衝撃圧	共和電業	LUK100B	6	日本電気三業	GN-82	6	AC100 ±10%	8	48	49.5	143	289
			BS-1SCS	12			12						
			BE-2KR110	3			3						
"	保留力 歪 衝撃圧	(同)	上)	6	共和電業	DPW-612B	6	"	7	42	49	142	264
				12			12						
				3			3						
"	保留力 歪 衝撃圧	(同)	上)	6	昭和測器	MODEL-5362	6	"	10	60	50	143	253
				12			12						
				3			3						
4	相対水位	計測技研 電子工業	UH2-10 VM-302	2 2	計測技研 電子工業	UH-201	2	AC100	50	100	430	210	350
6	加速度1 " 加速度2	日本航空電子	JA-511-9	3	日本航空電子	電源のみ	1	AC100	30	30	C200	(100)	(150)
			1	N F回路		1	AC100 ±10%						
			2	日本航空電子		1	AC100						
7	方 位	東邦電探 北辰	方位検出器 OHZ-200	1 1	東邦電探	型番なし	1	AC100	20	20	110	180	180
8	傾 斜 " " スベリー (0°+40°)	宇津木計器 桑野電機 日本航空電子	CSM-2DD	1	宇津木計器	CB-2S	1	AC90~130	100	100	390	260	150
			CMS-90	1			1						
"	"	"	日本航空電子	1	日本航空電子	JH6402 増幅器	1	AC100V DC24V	DC 12	DC 12	230	200	282
9	長周期運動	電子工業											
10	流向・流速	東邦電探	CM-2	1	東邦電探	型式なし	1	AC100V	20	20	110	180	180
11	気 温	石川産業	R000	1	石川産業	専用変換器	1	AC100 ±10%			39.5	139	230
12	程 度	石川産業	MTH-01	1	石川産業	"	1	"	5	5	140	40	230
13	日 射	"	S-110	1									
15	入射波	データウェル	S3000x2p544	1									
16	パソコン				NEC								
17	テレメータ												
18	2次元波線												
19	水 温												

アンプの重さ (kg)			入 力			出 力 (負荷インピーダンス)						
単体	台数	計	数	コネクタ型式	位置	インピーダンス	数	コネクタ型式	位置	インピーダンス	記録器	出力・電圧 (V)
10.0	1	10.0	1	NJV-207-F3	背面	—	5	終止端子台	背面	100Ω以下		0~1
#	1	#	#	#	#	#	7	#	#	#		#
20.0	1	20.0	8	終止端子台	#	—	2	終止端子台	#	500Ω以下	記録器付属	#
12.0	1	12.0	8	#	#	—	2	#	#	#		#
			1	MTL規格	#	—	3	#	#	#		0~5V
1.0	1	1.0	1	#	#	—	1	#	#	1KΩ以下		#
1.2	6	7.2	1	NDI規格	背面	60~1000	1	BNC	#	500Ω	高低同時出力	±10V
#	12	14.4	1	#	#	#	#	#	#	#		#
#	3	3.6	1	#	#	#	#	#	#	#		#
1.6	6	9.6	#	#	#	#	#	#	#	10Ω	5KΩ以上	
#	12	19.2	#	#	#	#	#	#	#	#	or	
#	3	4.8	#	#	#	#	#	#	#	#	30Ω以下	
1.5	6	9.0		#	#	#	#	14-3A-C	#	500Ω	高低	
#	12	18.0		#	#	#	#	(BNC可)	#	#	同時出力	
#	3	4.5		#	#	#	#	#	#	#		
8.5	2	37.6	1	(付属)	背面	—	2	BNC	背面		10KΩ以上	±10V (10mA)
特注			1	XLR子	側面	—	1	BNC	側面		2KΩ以上	2V/G
特注			3	(付属)	前面	1KΩ以下	3	BNC 不平衡	背面	100Ω以下		±1V
			1	(付属)	側面	—	1	BNC	側面		2KΩ以上	2V/G
3.0	1	13.0	1	(付属)	側面	—	1		側面		高インピーダンス	0~1V
9.0	1	9.0	1	(付属)	下面	—	2	終止端子台	背面	500Ω		
3.3	1	3.3	1	付属	前面	—	1	付属	前面	1KΩ以上		
										30Ω以下		
3.0	1	3.0	1	(付属)	側面	—	1		側面		高インピーダンス	0~1V
1.0	1	1.0	1	終止端子台	背面	—	1	終止端子台	背面	500Ω以下		0-1V (打点式)
1.0	1	1.0	1	#	#	—	1	#	#	#		0-10mV (打点式)
							1	#	#	100KΩ以上		0-10mV (打点式)

表-1. 4 計測器の調査(4)

増幅器性能表 その2

No	計測項目	出力項目	テレメーター	外部制御			内部メモリ	使用環境条件			※2 価格 (万円)			
				項目	方式	内容の容量		湿度	温度	振動	単価	台数	合 価	
1	風向・風速	瞬時の3軸の風速	0~1V出力	×	—	—	×	—	0~40°	結露しない事		80	1	80
			○	×	—	—	×	—	0~40°	”		110	1	110
2	風向・風速 (子機) 風向・風速 風速	瞬時または平均	○	×	—	—	×	—	0~40°	”		97	1	97
			○	×	—	—	×	—	0~40°	”		50	1	50
			○AATT1/5	×	—	—	×	—	0~40°	”		5	1	5
			○	×	—	—	×	—	0~40°	”	5G	11	1	11
※2	保留力 歪 衝撃圧	動 歪	○ (価格内)	○	←In-scal	接点入力	△	停電時0点 記憶 30日	-10~50°	85%	3G	19.5	6	117
			○ (”)	○	”	”	△	”	”	”	”	”	12	234
			○ (”)	○	”	”	△	”	”	”	”	”	3	58.5
”	保留力 歪 衝撃圧	”	△ (10万内)	○	”	”	△	2.4時間	”	”	2G	21.0	6	126
			△ (”)	○	”	”	△	”	”	”	”	”	12	252
			△ (”)	○	”	”	△	”	”	”	”	”	3	63.0
”	保留力 歪 衝撃圧	”	△ (検討)	○	”	”	×	—	”	90%	3G	23.0	6	138.0
			△ (検討)	○	”	”	×	—	”	”	”	”	12	276.0
			△ (検討)	○	”	”	×	—	”	”	”	”	3	69.0
4	相対水位	表面波高	○ ()	×			×	—	0~40°	高湿度		40.0	2	80.0
6	加速度1 ” 加速度2	加速度 変位 加速度	○ ()	×	—	—	×	—	常温			17.5	1	17.5
			○	×	—	—	×	—	常温			142	1	142.0
			○ ()	×	—	—	×	—	常温			15.0	1	15.0
7	方位	0~360°方位	○	×	—	—	×	—	常温					73.0 (一式)
8	傾 斜 ” ” (φ°+α°)	1/4角, 1/4角 Roll, Pitch	○	○	別仕様		×	—	0~45°	25~90%		63	1	63
				△	CAGZE UNCAGE	接点入力	×	—	0~50°					
9	長周期運動	水平面内 前後、左右動	○										1	355
10	流向・流速	流向・流速	○	×	—	—	×	—	常温				1	98.8
11	気 量	気量	○	×	—	—	×	—	0~40°	結露しない	5G	10.7	1	10.7
12	湿 度	相対湿度	○	×	—	—	×	—	0~40°	”	”	20.0	”	”
13	日 射	日射量 (瞬時値)	○ (要変換器)	×	—	—	×	—				24.0	1	24.0
15	入射波	波高												
16	パソコン													
17	テレメータ													
18	2次元放換													
19	水 量													

注) ※1 価格は定価で表示。 ※2 動歪アンプを使うもの。(計測項目3, 5, 14)

記録器	その他の仕様	備考
	風向・風速は瞬時と平均の切替 風向・風速は瞬時と平均の同時出力	3軸の風速は後処理が必要であり、精度もよくない。
ウェイト方式	瞬時と10分間平均を切替(テレメータ出力は同時) パルス出力あり 100Hz/m/s 充電三ばい式	打点式0-10mVの出力はない。一式120万 打点式0-10mVの出力も出る。一式85万
	平衡調整範囲 抵抗分: ±10,000Ω 容量分: ±2,000pF フィルター (1, 10, 30, 100Hz)	直線性±0.2%以下
	平衡調整範囲 抵抗分: ±5,000Ω 容量分: ±2,000pF フィルター (10, 30, 100, 1000Hz)	直線性±0.1%以下
	平衡調整範囲 抵抗分: ±5,000Ω 容量分: ±2,000pF フィルター (10, 30, 100, 300Hz)	直線性±0.1%以下
	超音波式 容量式	(検出器と一式 350万円) 海技センター
	(加速度計1, 2及び電圧一式で 190.5万円) 加速度→変位をだすみの積分器 加速度計2もこの電圧。但しコネクターを合わせる 必要あり	
	アンプは汎用・流送用アンプを改造 (消費電力 大)	(検出器と一式98万円) 海技センター
		(検出と一体 98万円) 海技センターから借用 海洋既存のもの
		(価格は一式)
		(価格は検出器と一式)
		(価格は検出器と一式)
	検出器から直接打点式記録器へつなぐ	()
		海技センターから借用
		海技センターから借用
		海技センターから借用
		海技センターから借用

め、計測項目の多くは相互に関連性が強く、約30～50項目の同時記録が望ましいという結論に達した。

また、サンプリング速度に関しては衝撃圧など高速な過渡応答まで考えると10Hz以上のサンプリング速度が必要である。

実験開始当時、当部の水槽試験ではデータ収録装置として主にアナログデータレコーダが用いられており、解析処理は16ビットパソコンとA/D変換装置により行うのが一般的であった。この方法は、当部に限らず当時一般的のものであった。

アナログデータレコーダは低いものでも200Hz程度の周波数まで記録できるという利点があるが、連続計測時間は比較的限られており、調査したもののなかでは最長26時間強であった。この装置のチャンネル数は14チャンネルである。この収録装置を用いた場合、30分づつの記録で約52回の計測が可能であり、1日4回の記録を行うとすると13日間の記録容量となる。しかし、14チャンネルという数は同時記録性の点で実験目的を満足させるものでない。また、解析において再生用に同型器をもう1台必要とし、費用の面でも解析作業の煩雑さという面でも不利な点が多い。

第2の方法として当時急速に普及しつつあった16ビットパソコンを用いることが検討された。CPU速度は現在のものより劣るがA/D変換ボード、制御用入出力ボード、ハードディスク装置、ストリーマ装置などの周辺装置が整い、量産され始めた状況にあった。システム全体の価格もアナログデータレコーダより安価となることがわかった。これらの機器を用いて計測システムを試作しどの程度計測要求を満足できるか検討した。

データ回収については最終的にはカセットストリーマ装置を用いたが、検討当初はハードディスク本体を交換する方法を考えた。現在では光磁気ディスクなど小型で大容量の記憶装置があるが、通船による回収において観測員が携帯できる大きさであることを条件にすると、当時の普及品の中では40MB（メガバイト）が最大容量であった。

A/D変換ボードについては、当時16チャンネルの製品が市販されていた。これを3台用いる事により48チャンネルとなり、要求される同時計測項目数を

ほぼ満足できた。

以上の機器の容量、チャンネル数の制限の中で収録システムを試作する事とした。また、サンプリング速度と計測時間長についてもこの制限の中で決定した。

計測時間の長さについては基本的に2つの考え方ができる。1つはある時間間隔毎に一定時間計測を行う定時計測の考え方であり、もう1つは特定の海象時に数日間の連続計測を行うという考え方である。

定時計測は、個々の海象における現象を短期的に定常とし、それらの統計的性質から現象を明らかにしようとする考え方である。気象観測などではこの方法が用いられており、自然環境条件の観測結果について気象庁、港湾建設局などの観測値との比較ができるというメリットがある。

連続計測は、台風の通過や季節風による波浪の発達過程といった時間スケールの大きい現象を解明する場合に有効な方法である。また、観測期間中の最大値、最小値を計測する場合には定時計測は適当でなく連続計測が必要となる。

連続計測を長期に行うことは容量の制約から不可能であり、基本的には定時計測を容量とサンプリング速度を勘案して一定時間間隔で行い、状況に応じて連続計測を行えるシステムを採用することにした。

定時計測時間は気象庁の観測時間が3時間毎、毎正時前20分間であることから、この時間を含む、毎正時25分前より2048秒（34分08秒）間とした。

定時計測の間隔は記憶容量、データ回収間隔、サンプリング周期などを考慮して決定した。データの回収を通船により行う事を考えると、冬期の荒れた海象では通船の機会は2週間に一度程度となる。本システムでは、3時間毎の計測を行った場合12日程度の計測期間しかとれないため、6時間毎の定時計測を採用した。

試作されたシステムの動作テストの結果は良好で、あった。実海域実験で得られた主要データはこのシステムで収録されたものである。一方、上記のシステムでは充分捉えきれない最大値の計測や衝撃の高速現象などの計測に対してはこの計測システムの他にヒストグラムレコーダやデータレコーダを用いた補助計測システムを用いた。詳細については4章で述べる。

2.3 通信システムの検討

今回の実験の計測システムでは実現出来なかったが、今後の計測システムを考えたときデータ通信の利用は重要なものである。もし、一定時間計測した後、無線通信等によりデータを陸上で回収できれば収録装置の容量の問題と計測時間の問題はかなり改善される。

本調査では、無線通信、光ファイバー通信、電力線通信について検討した。

無線通信の手段としては簡易テレメータと船舶電話の使用を検討した。簡易テレメータは50GHz帯の比較的安価な製品がある。この製品は、距離的にも満足出来る性能を有し、高周波を使用しているため通信速度（ボーレート）を高くとれるという利点がある。反面、電波の指向性が強く動揺する船舶等での使用についての信頼性に疑問が残った。さらに、この方式は降雨、濃霧時の電波の減衰が大きく受信状況が悪化するという短所を持っている。一方、船舶電話はこうした通信上のトラブルは少なく安定した通信が可能であるが、逆に通信速度が前者に比べかなり低いという短所を持っている。

光ファイバー通信と電力線通信は有線通信であり無線通信よりも安定した通信ができる。最近の電力ケーブルには光ファイバーを内蔵したものがあるが、P号の電力ケーブルは光ファイバーを内蔵していない。専用の光ファイバーケーブルを敷設するにはかなりの費用を要するため、電力線に通信用の搬送波を重畳させる電力線通信の可能性を検討した。電力線通信は変圧器間に限られるため、P号上の変電設備と白山島（陸上基地より約1kmの直線距離）の変電設備間での通信に用い、白山島から陸上基地までは電話線等を使って中継する必要がある。そのため、システムとしては若干複雑になる。また、商用電力線を使用するため、法規的な面で不明な点もあった。

これらの方式は予算等の制約や様々な意見のため実現に至らなかった。しかし、共同研究を行った海洋科学技術センターの実験チームは簡易テレメータを使用したシステムを完成させた。このシステムは動揺、降雨といった通信障害に対し、通信状況の良好な時にデータ転送を行い、送信データは逐次比較を行う事で通

信の信頼性を高めている。また、通信速度は画像をリアルタイムで送る事が出来るだけの性能を有している。

こうした通信手段および大容量の記憶装置の出現はデータ収録上の制約を大幅に軽減し、今後、実海域実験他各方面で積極的に使用されてゆくものと予想される。

3. 計測項目と計測方法

3.1 研究テーマと計測項目

各研究項目毎の計測目的を考慮すると対象となる計測項目は①主要計測項目②主要計測項目と関連の高い計測項目③参考として必要な計測項目に分類が出来る。①②は必須の計測項目であり解析には欠かせないものである。③はある特定の期間計測すれば特性がつかめるといった、常時計測する必要のないものである。表-2はテーマを分類し主要な計測項目を掲げたものである。表には各項目の計測位置、数、計測範囲、精度、メーカー等を参考として示しておく。図-1にはP号上の計測位置の概要を分類毎に示す。

実際の計測では計測期間を夏期と冬期を中心にした期間に分け、季節毎の重要度を考慮し同時計測項目を変更している。

変更作業は、計測項目の変更だけでなく、計測器のキャリブレーション、センサーの変更、メンテナンス等も行うため、約1~2週間程度の期間を必要とした。このため海象が穏やかな時期を選び、通常3~5月と7~9月の時期に行った。

なお、表-2に掲げた計測器は実験当初に一度に設置したのではなく、研究計画に従って順次揃えていったものである。

3.2 実海域実験における計測の問題点

実海域実験での計測は水槽試験の計測と比較し性質の異なる点が多々ある。次に主なものを述べる。

(1) 長期安定性・耐久性

実海域実験では計測器に長期安定性および耐久性が求められる。水槽試験ではせいぜい数分から数時間で1ケースの計測が終了するが、実海域実験では数カ月間にわたる計測が必要である。

この間、常に風雨や日射、潮風にさらされているため

表-2 主な計測項目

計測項目	計測方式	計測位置	数	計測範囲	精度	メーカー等	
自然環境条件	風速	3軸超音波式	水面上19.5m	1	0~60m/s	4%FS	海上電機
	風向	1軸超音波式	水面上10.0m	1	0~60m/s	2%FS	ホルテック
	風向	ホーン式	上部構造壁	1	0~540°	±4°	ST研究所
	風向	超音波式	180m沖合	2	100mmAq	0.5%FS	海上電機
	波高	超音波式	水深10m	3	20m	1%	ENDECO
	波向	フロラ式	水深計室屋上	1	0~5ノット	1.6%FS	ウエイラー
	気流	白金抵抗線式	水深計室屋上	1	-20~80°	±0.3°C	電子工業
	湿度	白金抵抗線式	水深計室屋上	1	0~100%	±3%	電子工業
	温度	白金抵抗線式	水深計室屋上	2	-20~80°	±0.4°C	石川産業
	日射	熱電対式	水深計室屋上	1	1.4kw/m²	1.5%FS	石川産業
浮体の動揺	Surge	サーボ加速度計	甲板上中央	1	±2G	0.01%FS	日航電
	Sway	〃	〃	1	〃	0.01%FS	〃
	Heave	〃	〃	1	-3~1G	0.15%FS	〃
	Roll	ハートカルフジャイロ	〃	1	±10°	2%FS	〃
	Pitch	〃	〃	1	±20°	2%FS	〃
	Yaw	方位ジャイロ	〃	1	0~360°	±0.2°	横河北辰
長周期運動	超音波式	海底、脚底面	1	0~100m	±0.2m	電子工業	
係留	係留力	歪式(ホイール)	甲板上	3	70 tons	0.2%FS	昭和測器
	〃	〃(簡易)	留鎖空中部	5	40 tons		
	〃	〃(水中)	水中	2	100 tons		
相互干渉	相対水位	超音波式	船首	2	0~10m	0.5%FS	計測技研 日航電業
	船首加速度	サーボ式	船尾	1	-3~1G	0.15%FS	
	船尾加速度	歪式	船首甲板	1	-3~1G	1.0%FS	
	衝撃水圧	歪式	船尾甲板	3	5kg/cm²	1.0%FS	
構造	構造歪	歪計	構造各部	24	2000μs	2%FS	東研
	構造温度	白金抵抗線式	〃	2	-20~80°	±0.4°C	

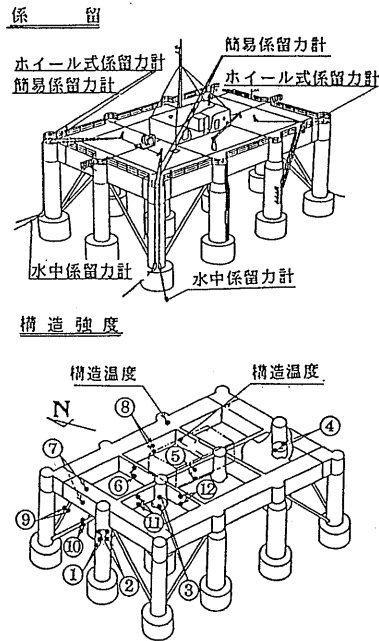
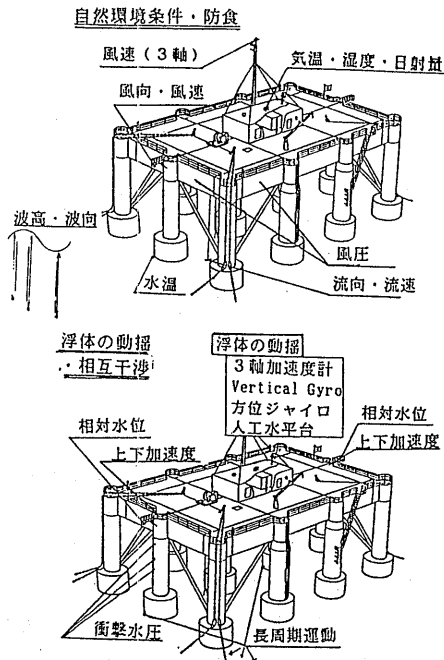


図-1 計測器の配置

耐水性、耐蝕性、耐環境性などの面で計測器は過酷な条件を強いられる。

そうした条件のなかで安定した信号を出力し、故障のないことが最も重要な条件となる。

したがって場合によっては精度よりも耐久性、耐環境性を優先した計器の選定が必要であり、充分な保護対策を行う必要がある。

(2) 計測基準点

実海域実験では計測の基準点を定め難い。試験水槽の多くは計測架台を有しており、動揺の計測などにおける基準点を設けるのは難しくないが、実海域では容易でない。

特に、長周期運動計測装置、2次元波浪計といった海底に設置した計測器の設置位置は一般にダイバーにより実測される。本実験においてもこの方法を用いたが、水深が深く作業効率が悪いため信頼性のある測定値を得るまで、かなりの回数の潜水作業を重ねる必要があった。これらの測定値は解析処理において基準となるパラメータであり、測定精度に直接関係する重要なものである。

3.3 計測の実際

ここではP号の実海域実験で使用した計測器について計測分野別に主要な項目についての実例を紹介をする。このなかで実験中のトラブルの実態や計測上の反省点についてもあわせて報告する。

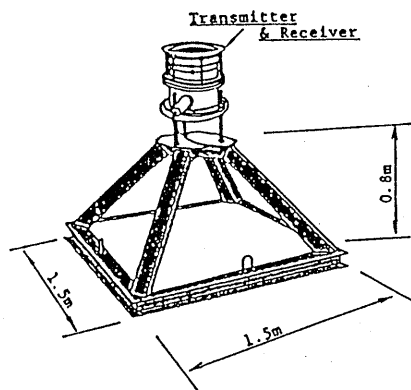


図-2 超音波式波浪計

また、いくつかの計測器については自主開発したものや予備試験を実施したものもある。自主開発した計器については本章の中でその経過について触れ、予備試験の結果については別途付録に示す事にする。

3.3.1 自然環境条件の計測

(1) 波浪

波浪の計測は実験開始時にはウェーブライダと呼ばれるブイ式波浪計を用いた。その後、1987年7月から波浪の方向スペクトルを計測する目的で3台の超音波式波浪計を用いた波浪計測システムを用いた。図-2に示すように波浪計は埋沈と流れ等による移動を防ぐため重量のある鋼製の設置台に取り付け、海底から約1.3mの高さに設置している。設置台には防蝕のため犠牲電極を取り付けている。冬期の波向は季節風の影響で西北西を中心としたほぼ一定範囲になるため、3台の波浪計は西北西方向に垂直なラインに直線アレイとなるよう設置した。図-3は設置後に測定した波浪計の相対位置を表している。P号からの距離は沖側へ約180mである。その後の計測結果から、この配置ではスペクトルの高周波成分で誤差が大きくなることがわかった。誤差は約0.12Hzまでは10%以下であるが、それ以上の周波数では増大し0.3Hzでは

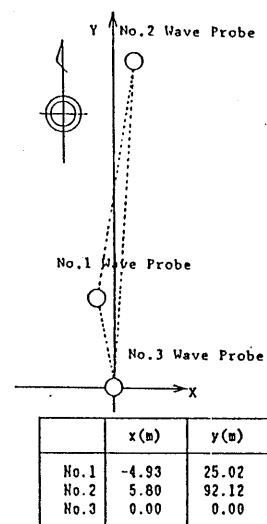


図-3 2次元波浪計の設置

30～50%となる事がわかった。検討の結果、波浪計をもう一台増やし4点アレイにする事により改善がはかれる事がわかったが、費用がかかるため実現しなかった。

この波浪計3台の内1台の回路の故障が一回あった。また、ケーブルの損傷事故が一回あった。この間、方向スペクトルの計測は出来なかったが、他の2台により波高、波周期の計測は支障なく行われた。

(2) 風

風の計測には図-4に示す2種類の計測器を用いた。実験開始時には矢羽式の風向風速計(商品名を用いボルテックス型と呼ぶ)を用いた。この風速計はダクト内の流速を超音波の振動数の変化として捉え計測する方式を用いている。その後、上下風速ベクトルを計測する目的で、ボルテックス型を三軸風速計に替え計測を行っている。三軸風速計は3方向に向けたセンサー間の風速を超音波で計測するもので、演算回路を用い直交座標系の風速に変換している。

風向風速計は海面上19.5mの測風塔頂部に設置した。また、超音波式三軸風速計が導入された時点で、ボルテックス型を海面上10mの位置に設置し風速の高度影響を調べている。ボルテックス型は上部構造物の影響を避けるため風上になる西北西側甲板から2m突き出た位置に設置した。

三軸風速計の取り付けにあたっては落雷による障害を心配し、避雷器(落雷時の高電圧から回路を守る装置)を設置したが、実験中に落雷による事故は発生し

なかった。また、三軸風速計の超音波センサーへの着雪とセンサー部へ海鳥がとまる事により超音波の送受信に支障がでる事故があった。これは、センサー部へヒーターと鳥よけの針を取り付ける事で改善された。

風速データの収録は主に定時計測であるが、一時期データレコーダを用い24時間の連続計測を行った。データレコーダは観測員が季節風の発達しそうな時をねらい、テレメータによりスタートパルスを送り始動させた。

(3) 流れ

流向・流速の計測の開始は比較的遅く1988年の5月～10月の間と1989年4月から1990年6月までの2期間行った。流向・流速は図-5のようにプロベラ式流向・流速計を甲板からロープで吊り下げて計測した。この流向流速計は流向流速の他、水温を計測できる。また、水中での比重を観測地点の海水の比重に合わせる事ができるため波粒子の回転運動の影響を受けにくい利点を持っている。

通常の観測では水面下10mの深度で2分毎の平均流速を計測している。また、一時的に流れの深度変化や流速のスペクトルを調べるため2秒のサンプリング周期で深度を5m毎に変化させた計測を行った。

データは内蔵のメモリーに収録され、データ回収は流速計にラップトップ型コンピュータを接続して行う。

計測上のトラブルとしては、初年度の計測において吊り下げロープの張力が不足、1ノットを超える強流時にロープがカラムに巻き込まれるという事故が発生

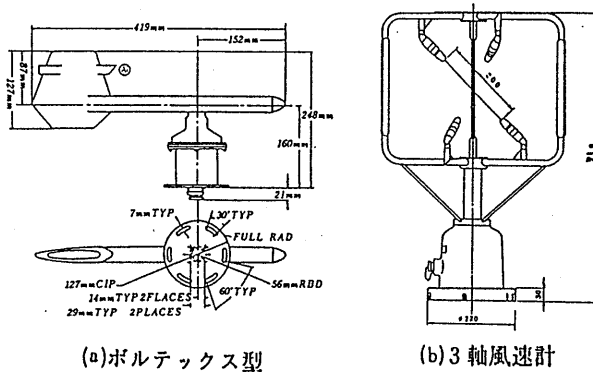


図-4 風向・風速計

した。これに対し吊り下げウェイトを約40 kgに増やすとともに18 mmのナイロンロープを抵抗の小さい直径5 mmのステンレスワイヤーに交換する事により解決した。

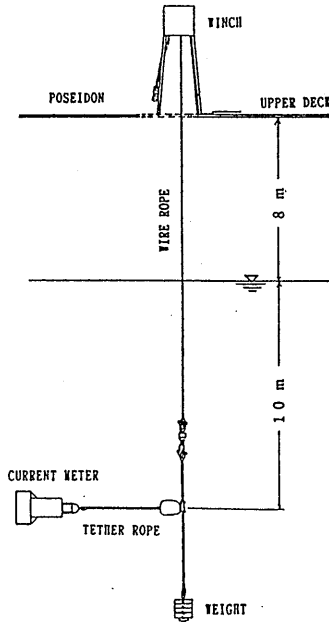


図-5 流向・流速計の設置

(4) 気温・湿度

計測室の屋上に百葉箱を設置し気温、湿度、日射の計測を行った。百葉箱は金属性で、2台の通風用ファンにより強制換気を行った。実験開始当初の計測には自記記録式温湿度計（バイメタル・毛髪式）を用いた。動揺の影響が心配されたが故障は無かった。しかし、記録紙のセットミスによる計測不良が何回かあった。

その後、白金温度計とセラミックセンサーを用いた温湿度計を打点式記録器、デジタルレコーダに接続し計測する方式に変更した。この方式では湿度センサーの交換を一度行ったが、計測器自体に重大な故障等は発生しなかった。

3.3.2 浮体の運動の計測

(1) 波浪による動揺

浮体の動揺は3軸加速度計、パーティカルジャイロ、

方位ジャイロを用い、P号甲板中央付近に設置された計測室内において計測した。パーティカルジャイロの代わりに傾斜計の使用も検討したが加速度の影響が大きく使用できないことがわかった（付録参照）。

使用したパーティカルジャイロは航空機等で使われるタイプのもので、精度は高いが軸受けの耐久時間が1000時間程度と短い。この短所を補うため、駆動時間を計測開始10分前より計測終了までに限定した。駆動時間は海上自動収録システムにより計測に連動させて制御した。しかし、このような対策をとっても駆動時間は約1年で1000時間を超え、年に1回のメンテナンスが必要であった。メンテナンスは動揺の小さい夏期に行い、この間の計測には予備のパーティカルジャイロや傾斜計を使用した。

方位ジャイロには船舶用方位ジャイロを用いた。パーティカルジャイロのように耐久性が短いという短所が無いため常時駆動を行った。

この方位ジャイロは他の船舶から移設したもので搭載時点で約8年程度使用している。計測開始前に点検調整を行った以外に計測期間中のメンテナンスは行わず連続使用した。計測状況は、計測期間中小さなトラブルが1回発生した程度で概ね良好であったが、計測終了1カ月前の1991年5月になり指示値が不安定となった。

3軸加速度計はサーボ式加速度計をアルミ製のブロックに固定して構成した。

このうちSURGE、SWAYの計測では長周期運動の周波数範囲まで計測しようとする、その加速度成分は小さくなるため高い精度の計測が必要となる。また、加速度計を船体に固定して使用する場合、傾斜による影響が大きくなる（付録参照）ため、この面でも加速度の計測には高い精度が要求される。このため、SURGE、SWAY加速度の計測には航空機の慣性航法装置に用いられている高精度、高分解能の加速度計を使用した。HEAVEの計測に用いた加速度計は、長周期運動や傾斜の影響が比較的小さいため、SURGE、SWAYに用いたものより1ランク低い精度のものを使用した。また、HEAVE加速度計は常に1Gの重力加速度を受けるため出力をオペアンプを用い0点補正している。加速度計は基本的に計測室の床付近に固定して計測し、解析時

に傾斜影響を取り除いている。また、一時期、パーティカルジャイロにより制御する人工水平台上に加速度計を設置して計測を行ったが、人工水平台の追従性や微小なドリフトが精度に影響する事がわかり固定方式に戻している。

(2) 長周期運動および定常変位・傾斜

長周期運動は数十秒から数十分という周期で変化する浮体の運動であり、こうした周期成分を加速度計により計測することは困難である。そこで、長周期運動の計測には動揺の計測とは別の方式を用いることにした。具体的方法としては、海底に3点の基準点を設け、これらの点から浮体側基準点までの距離を計測することにより浮体の変位を求める方式を採用した。距離の計測方法として、トートワイヤ方式、超音波方式を検討対象にした。トートワイヤ方式は機構が大がかりになる事、波浪によるワイヤのたわみが問題になる事がわかったため、最終的には超音波を用いることとし、計測装置を計測器メーカーの協力を得ながら開発した。

図-6にその概要を示す。浮体側2点が送信側、海底3点が受信側である。

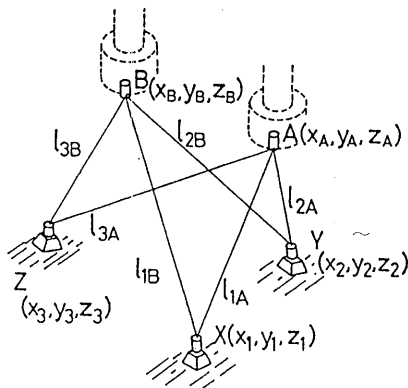


図-6 長周期運動の計測

浮体の変位は浮体側1点でも計測できるが、2点とした場合、他の送信器または受信器の1台が故障しても、加速度計、ジャイロなどから得られる動揺の計測値や水深などの既知量と正常な送受信器間の距離とから浮体の変位を解析できるという利点がある。

この装置は設置当初から有義波高3m程度までは良好に作動したが、それ以上の海象ではデータにパルス

状のノイズが多数混入する状態が長く続いた。対策として送信器の出力を上げたり、超音波の周波数を変えるなどした結果、ノイズの混入率は減少し現象をほぼ捉えられるまでに改善された。しかし、解析においてパルス状ノイズの除去方法が問題になった。

また、本装置は送受信部の水温を測定し、水温による音速変化を補正する回路を持っているが、実際には深度方向の水温分布によると見られる誤差が解析値にあらわれた。このため、2台の送信器の取り付け距離、ジャイロから求めた傾斜角などの既知量をもとにして補正を行った。

3.3.3 係留ライン張力の計測

係留力の計測は、今回の実海域実験の中でも難しい計測の1つであり、何種類かの計測器を用いている。図-7に係留システムと計測の概要を示す。

係留力の計測は実験開始当初図-8に示すホイール

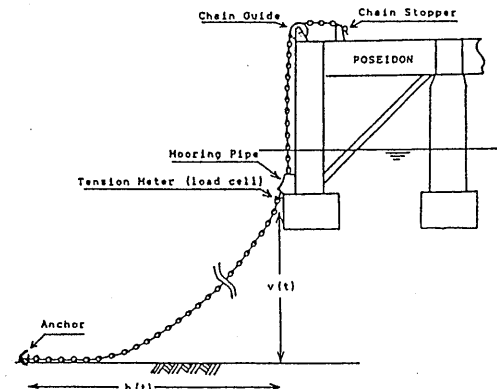


図-7 係留システムと計測の概要

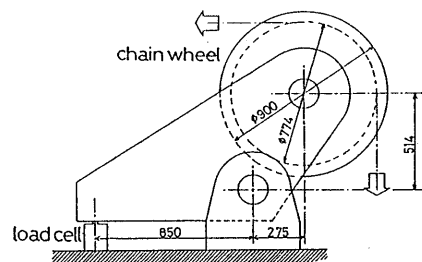


図-8 ホイール式係留力計

式係留力計を用いたが、回転軸やチェーンガイドの摩擦の影響が大きく、また、浮体の動揺によるホイール自体の慣性力の影響もあり、信頼性のあるデータが得られていないことがわかった。

そこで、これらの影響を受けない水中部に取り付けられる係留力計を開発し、1987年度と1988年度の2度にわたり計測を行った。写真-1にその外観を示す。この係留力計は両年度とも3カ月程度で浸水によるとみられる故障を起こし計測不能となった。防水の方法は年度により多少の差はあるが、基本的には樹脂を多層コーティングするものである。また、ケーブル取付部の固縛とコーティングについても重要であると考え、同様の方法で防水処理をしている。これらの処理は国内の大手専門メーカーに依頼して実施した。トラブルの直接原因を確認することは出来なかったが、実海域での防水の難しさがわかった。

最終的には市販の防水式シャックル型係留力計(写真-2、表-3参照)2台をチェーン水中部に直接取り付けた。その結果、概ね良好な計測を行うことが出来た。しかし、この係留力計も1台にケーブルの絶縁不良によると思われる若干のドリフトが見られた。

係留力計の取り付け、取り替えには大がかりな海上工事が必要である。毎年、穏やかな海象の続く時期を選んで工事を行った。工事期間は7月下旬から約1カ月間となるのが通例で、工事の実施機会が年1回程度に限られる事が修理、交換といった対策をより難しいものとした。

その他の係留力計として計測の初期に簡易係留力計(写真-3参照)を用いた。これは係留鎖に特殊な歪計を機械的に取り付け計測するものである。この係留力計は事前に予備試験を行っている。その結果は付録に示す。実海域実験ではこれにゴムコーティングして簡易防水をし水中に2カ所、空中のチェーンガイド付近3箇所に取り付けた。水中部の1台はチェーンの繰り出し作業中にケーブルが切断し、もう1台は約1カ月間後に浸水によるとみられる障害が発生した。空中部の3台は比較的長期間の使用に耐えたが、ホイール式と同様、チェーンガイドの摩擦が予想したより大きい事や空中部のチェーンの振動の影響などにより計測値の信頼性が低い事が判明した。

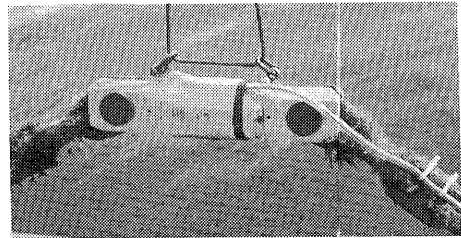


写真-1 当所設計の係留力計

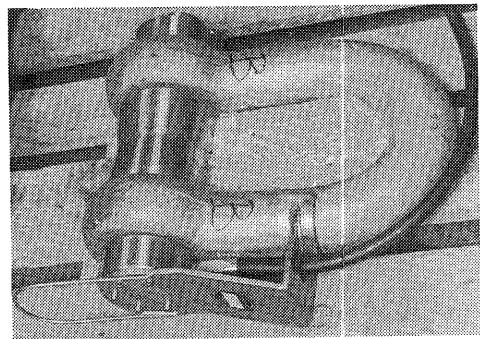


写真-2 シャックル型係留力計

表-3 シャックル型係留力計の主要目

形 式	防水型シャックルピン方式ロードセル
定格荷重	75トン
破断荷重	450トン
非直線性	±1%FS
ブリッジ抵抗	700Ωブリッジ
使用温度範囲	0~60℃
主要寸法(L×B×t)	440×390×165mm
重量	60kg

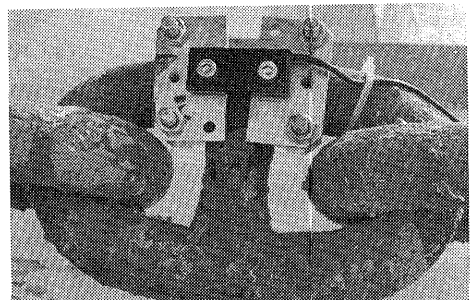


写真-3 簡易係留力計

3.3.4 構造応答の計測

(1) 主要部材の応力の計測

構造応答に関しては図-9で示した12箇所で主要部材の応力を計測した。この種の計測には一般に歪ゲージを用いるが、耐久性等を考慮して図-9に示す表面設置型歪計（以下歪計と呼ぶ）を使用した。歪計は応力集中部をさけて設置した。また、歪計は各計測点に2台ずつ取り付け、出力の和または差を取り出す事によって曲げ応力、軸応力、せん断応力のモードを計測している。計測モードは表-4に示すように各計測点の計測目的に応じ重要なものを選んでいる。

構造応答に関しては疲労寿命等の面から長期連続計測が必要であり、計測器の耐久性、長期安定性が求められる。表面設置型歪計は間接貼り付け式とよばれる

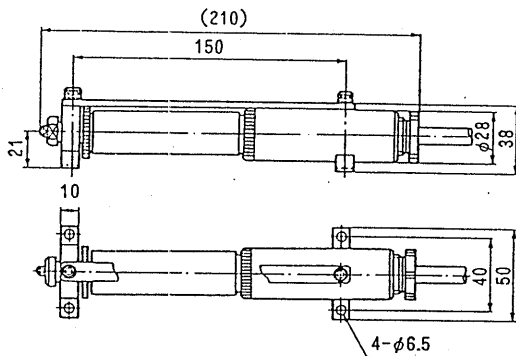


図-9 表面設置型歪計

表-4 歪計測点と計測モード

Element	No	Mode
Column	① ② ④	Bending
	③	Axial
Brace	⑨ ⑩	Axial
Box-girder	⑦	Bending
	⑧	Shearing
I-girder	⑤ ⑥	Bending
	⑪ ⑫	

もので、土木・建築の分野で広く使用されている。構造はダイヤフラム等に歪ゲージを貼り付けたもので、取り付けはビスまたは溶接などにより機械的に行う。この歪計は受感部自体が密閉されており対環境性に優れた利点を持っているため採用した。歪計の設置箇所はデッキ下面やカラム内部など故障時に交換不可能な場所が多いため、外側をさらに保護することにした。歪計は横荷重に対して弱い構造をもっており、万一波浪があたった場合には破損することが考えられる。そこで、計測に支障のない程度の薄いスチール製カバーで覆い内部に硬化性樹脂（住友スリーエム社製「ジェラ」）を封入した。また、歪計が風等によるケーブルの振動に感応するのを防ぐため専用の治具を設け固縛した。これら一連の取付作業は建造物の建造時に造船所で行った。理由は海上での取り付けが困難な箇所が多い事他に、歪計を機械的に取り付けるため出力が安定するまでに約一か月以上のなじみ期間が必要であるためである。この結果、実験期間中歪計自体の故障は発生せず良好であった。

また、計測に先立ち予備試験を実施し間接取り付け型歪計の問題点の把握を行っている。詳細については付録に示す。

(2) 局部応力の計測

部材接合部における応力集中の計測について検討した。当初、水中のブレース接合部を計測対象に考えた。しかし、この部分は疲労強度を考えた時、構造強度上重要な部分であり、研磨、重塗装が施されている。このため、歪ゲージを貼ることにより腐食などを発生させる危険があるという理由で計測を断念した。その後、溶接型歪ゲージを用いブレースと上部構造との接合部の計測を行った。歪ゲージはブレースの溶接部より5cmおよび1mの位置に各2枚ずつ貼り付けた。溶接型歪ゲージは、直径約2mmのパイプ内に歪ゲージを封入したもので、構造物には取り付け用の薄板を点溶接し取り付ける。1~3cmの比較的小さい計測部分にも取り付けられ対環境性にも優れている。この計測は最終年度の冬期に約半年間行ったが、計測器に関するトラブルは発生しなかった。

(3) 建造物の日射による変形

今回の実験において日射による温度変化による構造

物の歪が予想外に大きい事がわかった。このため、構造強度に関する研究テーマとして取り組む事にした。計測は夏期を中心にした特定期間を選び図-10に示す計測点において、歪と気温、部材温度および直射日射量、水面反射日射量などを計測した。表-5に温度分布に関する計測項目と用いた計測器を示す。歪の計測は通常の歪ゲージを用い温度補償のためのダミーゲージを実験構造物外板と同種の鉄板に張り付け計測点付近に置いている。日射変化は周期が長い為、計測には打点式記録器を用いたが、各計測箇所計測項目が多いため計測部をいくつかのグループに分け時期をずらして計測している。計測は比較的短期間に実施し、ほぼ予定通りのデータを得る事ができた。

表-5 温度分布の計測

計測項目	数量	使用機器
水平面全天日射量	1台	エプリー型全天日射計
外気温度	1台	白金抵抗測温体 (Pt100)
相対湿度	1台	静電容量式薄膜センサー
気 温	3台	白金抵抗測温体 (Pt100)
部材温度	5台	白金抵抗測温体 (Pt100)
海水温度	1台	白金抵抗測温体 (Pt100)

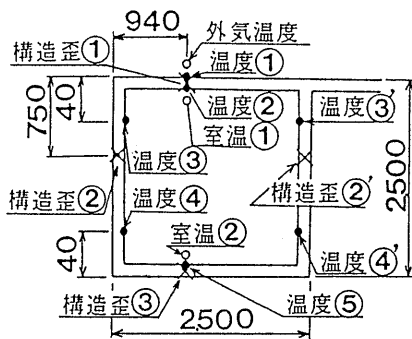
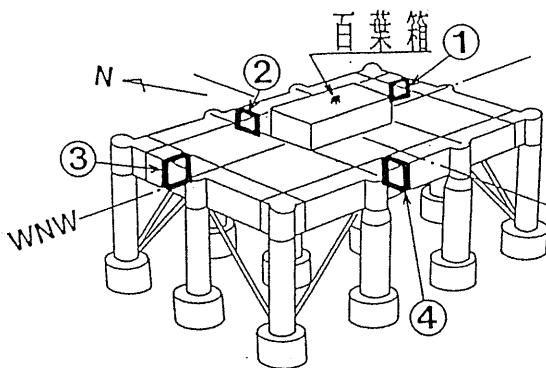


図-10 構造物の温度分布等の計測位置

3.3.5 支持浮体間の外力の相互干渉に関する計測

(1) 相対水位

P号のような浮体式海洋構造物は多数の支持浮体を有するため、浮体群による流体力、波力などに対する相互干渉の影響が無視できなくなる。この種の現象を捉える方法としては相対水位の計測と衝撃水圧の計測が考えられる。また、相対水位の計測は水面と上部構造物のエアーギャップの問題に関して重要な意味を持っている。

相対水位は空中発射型超音波式波浪計を用い船首、船尾の中央ラインのカラム壁面から1mの位置で計測した。なお、P号では季節風に対して風上となる西北西側を船首としている。超音波式波浪計はメーカーのデータによれば、超音波の乱反射の影響を受けるため、壁面近くでの計測には適さないという事であった。しかし、分解能・耐久性などを考えたとき代替できる適切な計測器がないため、実船試験により壁面影響を調査した。その結果、取り付け場所の位置、形状によっては壁面影響が大きくない事がわかった。特に、P号のカラムのような円筒形の壁面では影響が小さいと判断することができた。

実験期間中のトラブルとして降雨時に特有のパルス状ノイズが発生することがあった。この時、たまたまP号が大きく傾斜していることが多かったために傾斜による受信不良の疑いが持たれた。また、補正用気温

検出部の故障も原因として考えられた。メーカー技術者がこれらの点を調査したが異常はなく、明確な原因は不明であった。その後の調査で、長期間の内に発信部コネクタの防湿材が劣化し、雨滴、海水飛沫がケーブル内に浸透したため高圧信号のシールドが絶縁不良を起こしていることがわかった。コネクタとケーブルを修理する事で改善された。また、この水位計は当初水面から8mの高さに取り付けしたが、まれにオーバースケールを起こすことがあり、改善のため発信器の位置を1m下げた。

(2) 衝撃水圧

相対水位の計測と並行して衝撃水圧の計測を行った。計測器には土木分野で用いられる歪式圧力計を用いた。この圧力計は図-1に示すように船首側中央カラム壁面に垂直に3台取り付けられた。取り付け高さは水面上1m、3m、6mである。この計測は波が壁面をたたき衝撃圧力の大きさを調査するという目的の他に各圧力計の高さに到達する相対水位の頻度を計るという目的がある。

実際の計測では6mの高さに達する水位はほとんど計測されなかった。また、0.5秒のサンプリング周期では衝撃的な圧力変化を充分記録できないため、その後アナログデータレコーダを用いた計測システムにより計測を行った。

水圧計は計測当初は良好であったが計測期間後半になり出力波形に歪が現れ、水位の頻度は計測できるが、水圧のデータには信頼性がないことがわかった。

(3) 風 圧

風の影響は長周期運動、係留力、浮体の復原性など海洋構造物の安全性にとって重要な問題を持っている。しかし、残念ながら本実海域実験ではこれらの問題に総合的に対応できる意味での計測は行われなかった。唯一、上部構造物に働く風圧に関する計測を行った。風圧として図-11に示すように上部構造物の壁面における長手方向、横方向の各2点における圧力差を計測した。計測は小孔をつけたプレート状の治具を壁面にとりつけビニールパイプにより計測室内の差圧計に導いて行った。この差圧計は長期ドリフトが大きい短所を持つため、計測時間直前の計測室内の圧力を基準点として計測し計測データを補正する方法をとった。

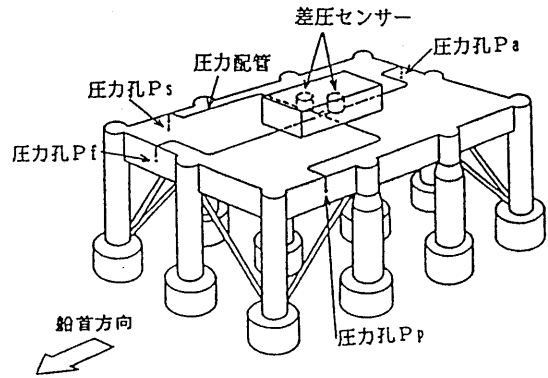


図-11 風圧の計測

また、ビニールパイプを使用することによる応答特性への影響は理論的には問題ないことを確認したが、実際の計測ではパイプの捻れを原因とする計測不良が数回発生した。

3.3.6 防蝕など維持管理に関する計測

維持管理について、塗料の経年変化や生物付着に関連して日射量、気温・湿度、水温、塗膜付近の温度の計測を実施した。

これらの計測項目は自然環境、構造応答に関連する計測項目と重複しており多くは常時計測されている。これらの現象は比較的長い周期で変化するため打点式記録器等に記録した。

日射、気温・湿度は計測室上部の百葉箱上で、塗膜温度は甲板上と計測室側壁で白金温度計を用いて行った。水温は当初計測室内から水中に下りる水温計測用パイプに白金温度計や自記式水銀温度計を取り付けたが動揺による摩耗が原因で破損した。その後、長周期運動計測装置や流速計に内蔵されている水温計を用いて計測を行った。

維持管理に直接関連する構造物外板の板厚の変化や生物付着量の計測、塗装検査、腐食・変形などの外観検査は毎年夏期にP号を浮上させて行った。

3.4 計測環境

3.4.1 計測室と配線

計測器は各種センサー、アンプ、コンピュータなど海上の環境に弱い電子機器がほとんどである。このためP号の計測室は高い密閉性を持った設計をしている。内部には常時運転の空調器を取り付けた。機器は専用の棚を設け収納した。棚は検出器用、収録器用に分け、それぞれが向かい合うように配置し、配線をやすくしている。

P号各部に分散した各種計測センサーのケーブルは、前後、左右のBOXガード内から計測室に通じた4本の専用パイプを通して配線している。甲板上にはBOXガード内にケーブルを取り込むためのケーブルグランドを多数配置した。また、これとは別に測風塔や甲板上に設置された計器の各種ケーブルを計測室内に導くため専用孔を測風塔下部に設置した。

3.4.2 計測用電力

計測用電力は海底ケーブルにより陸上から商用電力を導いた。しかし、実験地域は冬期の強風の影響で比較的停電が多い地域であるため、計測室に隣接する機械室内にディーゼル発電機を設置した。この発電機は停電を感知すると約15秒後に自動的に起動する。正常に起動した事はテレメータ装置により陸上基地でモニターできる。発電機の起動までの間は無停電電源装置により電力を供給する。無停電装置は停電時にはバッテリー駆動に切り替わり、瞬時の中断もなく約45分間電力を供給し続ける。これらの機器を用いることにより電力の供給は常時保証されている。しかし、無停電電源装置の回路が一度故障し、計測用電源が数時間毎に寸断を繰り返す事故があった。装置の復旧に約1カ月を要し、この間計測用電源は海底ケーブルと発電機による電力のみを使用することになった。また、無停電電源装置に関して、打点式記録器の紙送り速度に誤差が生じるといったトラブルがあった。使用した打点式記録器は電源周波数に同期して動く同期モータを使用しており、無停電電源装置の出力周波数が商用電源ほどの精度を持っていないために生じた誤差であることがわかった。使用モータを水晶発信器同期型に交換

することで改善した。

陸上基地内の計測用電源設備として、パソコンとテレメータ用に小型無停電電源装置を設置した。この装置は約30分程度の停電に対処できる。観測期間中、数時間におよぶ停電が2~3回あったが、通常の数分程度の停電には充分対処できた。

3.4.3 ケーブルシステム

電力、波浪計、長周期運動計測装置は海底ケーブルを用いている。P号は浮体式であるためケーブルの引き込みには動揺などに対する保護が必要である。

図-12は波浪計に用いたシステムであり、水中ブイを用い海底との接地部における摩耗の影響を軽減させている。電力線についても全く同じ方式が用いられている。

波浪計のケーブルは水中ブイの取付部で摩耗によるケーブル損傷事故が1回起きた。ケーブルと水中ブイの治具との間にわずかな可動部があったため摩耗により破断した事がわかった。治具の形状を改良するとともに、ケーブルの固縛を強固にし改善した。

長周期運動計測装置は受信機が海底の広い範囲に配置されている上、係留ラインがあるため水中ブイを用

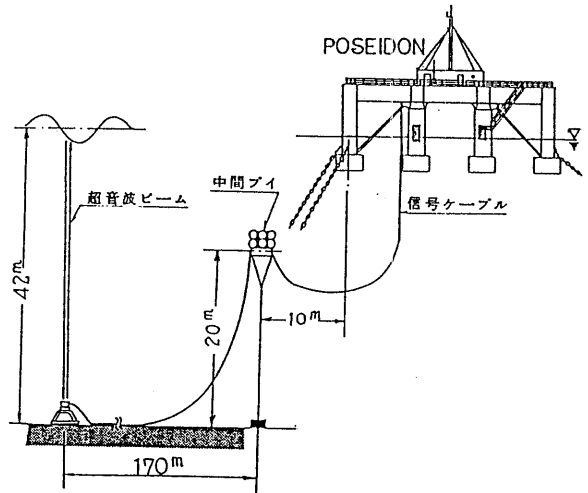


図-12 ケーブルシステム

いる事が困難であった。そこで、素線径8mm程度のチェーンを巻き付け海底接地部付近を保護したが、3本の内1本は約2年で海底との接触点付近で摩擦により破断した。

波浪計のケーブルは海底ケーブル専用のもので、周囲を鋼線で保護した一重外装ケーブルである。長周期運動計測装置も一部に一重外装ケーブルを用いたが、破断したケーブルは非外装ケーブルであった。

電力ケーブルには大きな事故はなかったが、水圧による水中ブイの一部の破損が定期検査時に発見され2度交換されている。

4. データの収録

4.1 自動データ収録システム

データ収録の基本的考え方について2. で述べた。この考え方を基本にして16bitパソコンを用いた自動収録システムを開発した。システムの概要を図-13に示す。このシステムは海上、陸上自動収録システムに大別できる。

主要データの収録は海上自動収録システムによって行った。このシステムはパソコン、A/D変換器およびハードディスク(40MB)から構成され通常6時間毎に指定するデータを自動収録する。このモードを

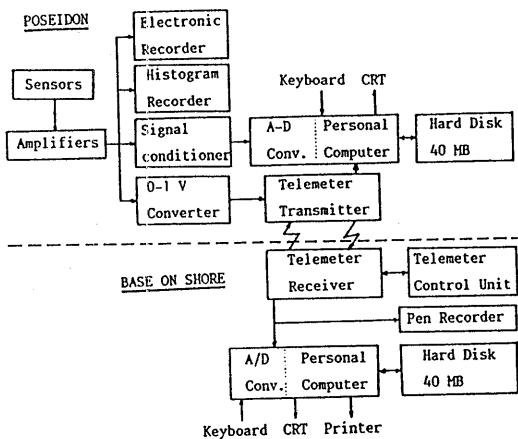


図-13 自動データ収録システムの概要

定時計測モードと呼び周期0.5秒で4096個×48チャンネルのデータをサンプリングしハードディスクに書き込む。また、台風の襲来時や季節風が強まり波浪が異常に発達しそうな時に観測員の判断で収録のスタート、ストップを任意に行える臨時計測モードがある。スタート、ストップ指令は陸上基地からテレメータ装置を用いて海上のパソコンに送っている。臨時計測は通常24~50時間程度連続して行われるのが普通であり、ハードディスクの容量の負担も大きくなる。このため臨時計測時のサンプリング周期を1秒とした。海上自動収録システムの流れ図を図-14に示す。

陸上自動収録システムは当初、海上自動収録システムのトラブルに備えてテレメータから送られてくる主要23データをバックアップする目的で開発された。このシステムは波浪、風向風速のデータを直ちに統計解析し海象の変化として出力する機能を有しており、観測業務にとってなくてはならないシステムであった。また、計測器の異常を発見するモニターとしても使用した。機器構成は海上自動収録システムと同様であるが、収録チャンネル数が16チャンネルと少ないため計測時間間隔を3時間にしている。図-15に陸上自動収録システムの解析出力例を示す。

海上自動収録システムのデータ回収は観測員がP号

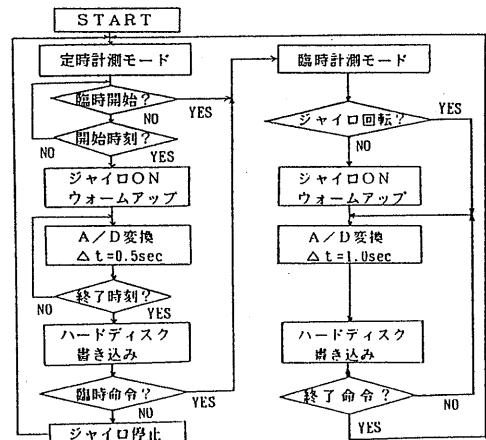


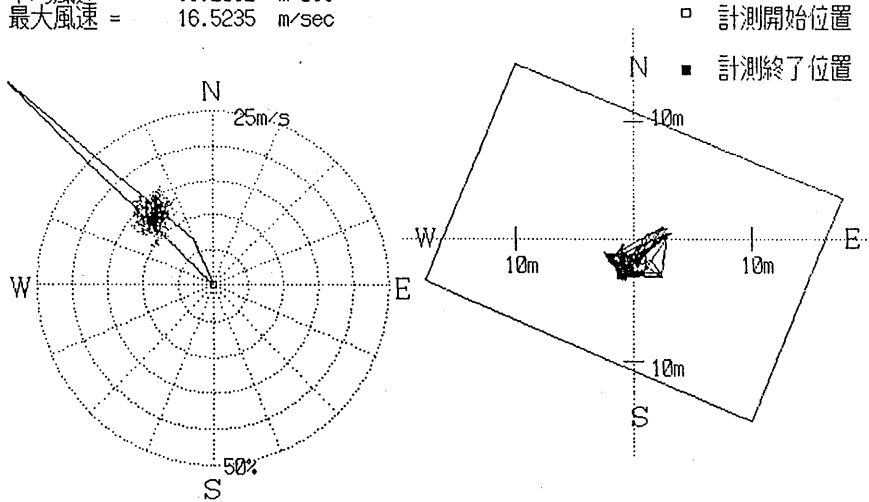
図-14 海上自動収録システムの流れ図

N NNE NE ENE E ESE SE SSE S SSW SW WSW W WNW NW NNW
 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.86 0.14

風向・風速の分布 89/12/10 17:42:00

B点の軌跡

平均風速 = 13.2062 m/sec
 最大風速 = 16.5235 m/sec



波浪の解析結果 89/12/10 17:42:00

	Hmean (m)	H1/3 (m)	Hmax (m)	Tmean (sec)	TH1/3 (sec)
ウェーブライダー	1.66217	2.66694	3.87434	5.96405	7.46123
2次元波浪計-1	1.62037	2.63030	4.07963	6.70226	7.99557
2次元波浪計-2	1.42760	2.21263	3.48961	6.54891	8.01834
2次元波浪計-3	1.67317	2.71096	4.97504	6.53341	8.01897

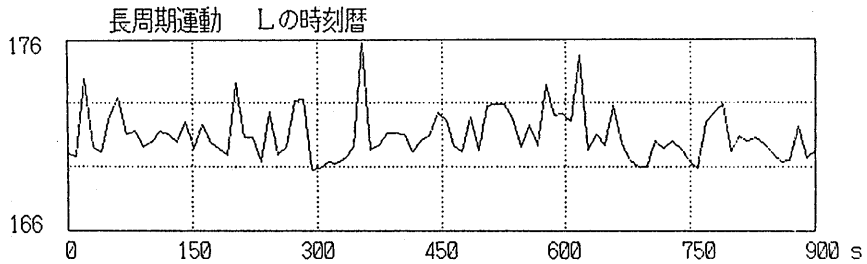


図-15 陸上解析システムの出力行

90年5月24日 木曜日				観測員氏名		原		No. 1295											
気象	時	陸上基地気象				風			波										
		天気	乾球	湿球	気圧	平均風向	平均風速	最大風速	平均波高	有義波高	最大波高	周期Tzc							
海象	0					NW	6.97	8.94	1.10	1.77	2.83	7.13							
	3					WNW	5.05	6.83	1.07	1.67	2.97	6.92							
	6					WNW	5.68	7.32	0.87	1.34	2.35	6.93							
	9	☉	11.3	10.2	1015	WNW	4.74	7.03	0.92	1.14	1.64	6.16							
	12	☉	13.4	12.6	1010	WNW	5.47	7.56	0.68	1.06	1.67	6.18							
	15	☉	13.0	11.5	1009	WSW	4.35	5.51	0.61	0.98	1.48	6.20							
	18	☉	12.2	11.3	1011	WNW	4.97	7.43	0.52	0.82	1.37	6.10							
	21					WNW	3.71	5.39	1.57	0.88	1.61	6.15							
	データ収録関係	海上H/D	0	6	12	18	陸上解析	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
				✓															
H/D		残量	15時				12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		D量	29.3 BM																
臨時計測		開始時刻		:	継続中(0)			終了時刻		:									
収録機器		乗船時点検				データ回収													
FC & H/D システム						○ H/D 吸い上げ													
ヒストグラムレコーダ																			
デジタルレコーダ																			
流向流速計																			
打点記録器	○	用紙交換				○	2巻回収												
水中長大管関係																			
無人異常現象収録装置					○ H/D 吸い上げ														
モニターペンレコーダ	○	用紙交換				○													
その他																			
参考	潮	満潮 4:11		干潮 7:52		○快晴 (雲量2以下) ●霧雨 ⊗雪 ⊙晴 (雲量3-7) ⊕雨 ⊗にわか雪 ⊖曇 (雲量8以上) ⊕雨強し ⊗あられ ⊗煙霧 ⊕にわか雨 ⊕ひょう ⊙霧 ⊕みぞれ ⊕雷雨													
		潮 12:32		潮 01:37															

図-16 観測日誌

に通船で渡り、ハードディスクからカセット磁気テープにデータをコピーして持ち帰る方法がとられた。この方法では40MBのデータを約8分で回収でき、冬期のように海が荒れやすく回収時間が長くとれない状況下では非常に有効であった。実験期間中のトラブルとしては磁気テープのデータが復元できなくなる事故が1回起きた。磁気テープを繰り返し使用したことによる磁気テープの傷みが原因であった。それ以後の回収には2組の磁気テープを用いることで改善された。データ回収の間隔は通船を出せることが前提になるため、冬期では15日程度に1回、夏期では20～25日に1回程度であった。しかし、冬期に波高の高い日が長く続き数日間ハードディスクをオーバーフローさせる事故が一度あった。

4.2 補助収録システム

4.1の収録システムの定時計測データは不連続データであり、日射や気温、湿度といった長い周期を持つ現象や構造の疲労被害といった問題など連続した統計データが必要な場合には適していない。この点を補う目的で、特定の計測項目について打点式記録器、データロガー、ヒストグラムレコーダーを用いた。また、衝撃水圧など高速の過渡現象を捉える目的で無人異常現象計測装置と呼ぶアナログデータ計測システムを用いた。無人異常現象計測装置は、パソコンとアナログデータレコーダーから構成され、アナログデータは磁気テープを前半と後半の2つの領域に分け、そのいずれかに記録する。パソコンは常時海象を監視しながら、磁気テープ上の2領域の内、有義波高の高い方のデータが常に残るようにデータレコーダーを制御している。その結果、データを回収するまでの最大有義波高時におけるアナログデータが得られる。この計測は主に11月～3月の冬期に行い、通船の度にデータの回収を行った。

以上の収録システムはP号上に搭載されたものであるが、陸上基地に設置された補助システムとしてテレメータとペンレコーダーがあげられる。このペンレコーダーはテレメータから送られてくる波高、風向、風速のデータと重点的にモニターすべき1項目のデータを常時計測している。この記録は通船の出航を決定する

際、海象判断をする上で役立った。また、この記録はP号上での作業時に陸上基地の観測員が記録の変化を監視し、海が荒れそうな場合にP号に警告を送るという作業の安全を確保する目的でも使用された。

4.3 観測員による日常観測データ

観測員の日常観測として陸上の天気、気温・湿度、気圧の計測を行った。この観測結果は、陸上の解析システムによる海象データやテレメータから送られてくる海上システムの監視モニター結果とともに図-16に示すような観測記録に記載され保存されている。

5. 解析システム

5.1 データ変換と保存

データ解析は当所の大型計算機を用いて行った。現地で回収されたデータ用カセット磁気テープは三鷹の船舶技術研究所に運び、データを一度大型計算機用磁気テープに書き換えてから大型計算機で解析を行っている。データの書き換えは海上自動収録システムと全く同じ機器構成を持ったシステムを用いて行っており、オープン磁気テープ装置を接続している点だけが海上のシステムと異なっている。これは、万一海上自動収録システムが故障した場合に備えた予備システムも兼ねている。

収録データは大型計算機用のファイルとして各月毎にまとめられ磁気テープに保存されている。

5.2 一次解析

データの解析は各研究目的に沿った形で収録データを直接用いて行う事もできるが、回収されるデータは膨大であり解析の効率を上げるため基本的な解析の段階までは一括して行う事とした。この解析処理を一次解析と呼んでいる。これに対し、一次解析の結果を用いて各研究テーマ毎に行う個別の解析を二次解析と呼んでいる。一次解析は一回の定時計測を単位としており、臨時計測の場合も定時計測時間に相当する部分を取り出して解析している。一次解析までの処理の流れを図-17に示す。また、主要計測項目毎の一次解析内容を表-6に示す。

一次解析結果は磁気テープに収められており、読み

(4) 流れの解析

流れのデータは、海上自動収録システムで収録されたものでなく独立して計測を行ったものである。そのため、データはフロッピーディスクに保存され、解析もパソコンにより行っている。主な解析内容は 流向・流速の統計解析 スペクトル解析 進行ベクトル解析 である。解析結果は一時間毎の値としてフロッピーディスクに保存している。

(5) スペクトル解析

スペクトル解析にはB T法を用いた。求めたスペクトルは128の配列として出力している。また、スペクトルから、①分散、②スペクトルモーメント (m_1 、 m_2 、 m_4)、③平均周期 (T_{01} 、 T_{02} 、 T_{24})、④バンド幅パラメータを求めている。

(6) 統計解析

統計解析では次の11種類の分布を求めている。

- ①瞬時値分布
- ②極大値分布
- ③極小値分布
- ④正の極大値分布
- ⑤負の極小値分布
- ⑥正勾配両極値分布
- ⑦負勾配両極値分布
- ⑧極小値間周期分布
- ⑨極大値間周期分布
- ⑩ゼロアップクロス周期分布
- ⑪ゼロダウンクロス周期分布

それぞれの分布は64の配列として求めている。

また、それぞれの平均値、rms、1/3最大値、1/10最大値、最大値、最小値などを求めている。

(7) 頻度解析

頻度解析では極大値分布とWiffa-分布を求めている。極大値分布は衝撃水圧に、Wiffa-分布は構造応答、係留力など構造強度に関係する項目に適用した。

解析結果は64の分布配列として出力している。また、それぞれの分布に関し、①振幅の平均値、②振幅の標準偏差、③振幅の最大値を求めている。

6. おわりに

本論文では計測システムの準備から解析に至るまで

の経過を具体的に記述した。ここで述べた計測システムも、その後の計測機器やEWSなどの計算機の進歩によりすでに旧式のものとなった。現在ではさらに良いシステムを構築出来るものと考えられる。しかし、実海域実験のように限られた分野での計測システムとしては一般的な考え方に立っている部分が多くあり、今後のこの種の実験の参考になれば幸いである。また、今回の実験ではデータ計測の自動化をはかったが、観測員による目視観測、計測状況や計測機器の監視、観測結果の検討と計測へのフィードバック、さらには予備機器の常時確保、故障への対応といった日常的な対策が長期間の計測に良い結果をもたらしたことを強調したい。こうした人間の判断に関わる部分は、実海域実験において機器の自動化以上に重要な要素であるというのが実験を終えての感想である。

なお、計測について海洋科学技術センターからは波力発電装置「海明」の実海域実験で培った実験技術や実験海域の海象データに関する多くのご教示や計測機器の提供をいただいた。また、計測器の選定、予備試験、開発、メンテナンス等においては、国内外の計測機器メーカー各社にさまざまなご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 星野他：実海域実験の計測解析システム、船研講演集、1986.11
- 2) 矢後他：実海域実験用計測器の予備試験、船研講演集、1986.11
- 3) 大川他：実海域実験構造物に関連する実機試験、船研講演集、1986.11
- 4) 安藤他：浮体式海洋構造物による海域実験、日本造船学会誌 第695号、1987.5
- 5) 大松他：長期観測および波浪の解析実例、船研講演集、1987.11
- 6) 大松：POSEIDON号の実海域実験を終えて、日本造船学会誌 第739号、1991.1
- 7) 齊藤、横須賀：荒天錨に関する研究—錨泊中の実船における錨鎖張力の測定について、日本航海学会論文集 第74号、1986.3

```

PPPP 000 SSSS EEEEE III DDDD 000 N N SSSS HHH HH HH HHH HHH HH HH
P P P O O S SSS EEEEE I D D O O NN N S S H H H H H H H H H H
PPPP 0 0 S SSS EEEEE I D D O O NN N SSS H H H H H H H H H H
P 0 0 S SSS EEEEE III DDDD 000 N NN S S H H H H H H H H H H
P 000 SSSS EEEEE III DDDD 000 N NN SSSS H H H H H H H H H H

```

*** TABLE OF STATISTICAL AND/OR SPECTRAL VALUES *** NO.OF DATA=4096 SAMPLING TIME=0.50SEC ***

CH.	ITEM	UNIT	MR	FREQUENCY ANALYSIS						AUTO SPECTRUM ANALYSIS								
				NDA	MEAN	MEAN AMP.	H-MAX.	STATISTICAL ANALYSIS	MAX.FREQ.LEVEL(L-U)	TIMES	P	BY B-T METHOD	NUMBER OF LAG =256	T-01	T-02	T-M		
			S	NDA	MEAN	STND.DEV.	H-MAX.	H-1/10	H-1/3	T-Z.	T-P.	SPEC.AREA	BAND WID.	T-01	T-02	T-M		
1	WIND X	M/S			MEAN=-19.6		MAX.=-12.6		MIN.=-27.4			0.411E+01	0.945E+00	17.40	8.82	2.89		
2	WIND Y	M/S			MEAN= 4.3		MAX.= 12.3		MIN.= -4.6			0.503E+01	0.947E+00	19.48	8.98	2.87		
3	WIND Z	M/S			MEAN= 1.7		MAX.= 5.8		MIN.= -1.9			0.905E+00	0.869E+00	8.74	5.45	2.69		
4	WIND XY	M/S			MEAN DIRECTION=WNW(283) MEAN WIND SPEED= 20.2 MAXIMUM WIND SPEED= 27.7								0.431E+01	0.944E+00	17.42	8.80	2.91	
5	WIND DIR	16DIR			MEAN DIRECTION= W (281) MEAN WIND SPEED= 14.9 MAXIMUM WIND SPEED= 44.8													
6	WIND SPD	M/S										0.399E+01	0.901E+00	10.92	6.52	2.83		
7	WINDPRE1	MMH20	S	575	-0.1035E+02	0.7283E+01	0.4457E+02	0.2640E+02	0.2047E+02	3.74	1.601	0.530E+02	0.915E+00	12.81	6.68	2.69		
8	WINDPRE2	MMH20	S	380	0.2273E+02	0.5888E+01	0.3548E+02	0.2240E+02	0.1739E+02	5.75	1.841	0.347E+02	0.923E+00	12.96	8.02	3.09		
9	W2D 1	M	S	270	0.1051E+02	0.1348E+01	0.8251E+01	0.6473E+01	0.5210E+01	7.66	4.911	0.181E+01	0.747E+00	8.06	7.43	4.94		
	HAKOU		W	162	0.3100E+01	0.3496E+01	0.8191E+01	0.6216E+01	0.4997E+01									
	SHUKI		W		0.7318E+01	0.7762E+01	0.1317E+02	0.1168E+02	0.1025E+02									
	YUUGI		W				0.1002E+02	0.9337E+01	0.9103E+01									
10	W2D 2	M	S	276	0.1064E+02	0.1342E+01	0.8255E+01	0.6296E+01	0.5205E+01	7.38	4.931	0.180E+01	0.749E+00	8.24	7.61	5.04		
	HAKOU		W	166	0.3039E+01	0.3491E+01	0.7269E+01	0.6138E+01	0.5081E+01									
	SHUKI		W		0.7196E+01	0.7730E+01	0.1327E+02	0.1175E+02	0.1033E+02									
	YUUGI		W				0.9090E+01	0.9426E+01	0.9796E+01									
11	W2D 3	M	S	277	0.1036E+02	0.1342E+01	0.8597E+01	0.6466E+01	0.5206E+01	7.46	4.761	0.180E+01	0.758E+00	8.15	7.50	4.89		
	HAKOU		W	172	0.2920E+01	0.3390E+01	0.9526E+01	0.6324E+01	0.4878E+01									
	SHUKI		W		0.6886E+01	0.7372E+01	0.1204E+02	0.1109E+02	0.9762E+01									
	YUUGI		W				0.8164E+01	0.9303E+01	0.9359E+01									
12	WAVE DIR	DEGREE	D	PF	.DIR=305.0	M.DIR=304.5	P.DIR=313.5	**GAMMA= 0.700	**M.S.A= 39.3									
13	REL.WL.F	M	S	245	0.1299E+02	0.1050E+01	0.1151E+02	0.4500E+01	0.3560E+01	8.83	2.431	0.110E+01	0.875E+00	9.16	7.04	3.41		
14	W.L.F	M	S	260	0.1299E+02	0.1612E+01	0.1104E+02	0.7523E+01	0.6067E+01	8.09	4.341	0.260E+01	0.860E+00	9.60	8.29	4.23		
	HAKOU		W	148	0.3557E+01	0.4121E+01	0.1116E+02	0.7535E+01	0.5991E+01									
	SHUKI		W		0.8039E+01	0.8666E+01	0.1885E+02	0.1308E+02	0.1138E+02									
	YUUGI		W				0.1009E+02	0.1017E+02	0.9999E+01									
15	REL.WL.A	M	S	415	0.1279E+02	0.6402E+00	0.3918E+01	0.2991E+01	0.2405E+01	4.98	2.891	0.410E+00	0.715E+00	6.05	5.39	3.77		
16	W.L.A	M	S	322	0.1279E+02	0.1049E+01	0.6903E+01	0.5044E+01	0.3993E+01	6.46	3.411	0.110E+01	0.768E+00	7.73	6.97	4.47		
	HAKOU		W	191	0.2246E+01	0.2553E+01	0.5847E+01	0.4665E+01	0.3668E+01									
	SHUKI		W		0.6234E+01	0.6820E+01	0.1211E+02	0.1108E+02	0.9443E+01									
	YUUGI		W				0.9717E+01	0.9070E+01	0.8834E+01									
17	PRES.1M	KG/CM**2M	S	226	0.8221E-01	0.8221E-01	0.1978E+00	0.2000E-01	0.4000E-01	59	0.261							
18	PRES.3M	KG/CM**2M	S	23	0.4435E-01	0.4435E-01	0.4957E-01	0.2000E-01	0.4000E-01	18	0.781							
19	SURGE A.	M/S**2	S	235	-0.1945E-02	0.2900E+00	0.1758E+01	0.1394E+01	0.1132E+01	8.79	4.801	0.841E-01	0.753E+00	9.07	8.57	5.65		
20	SWAY A.	M/S**2	S	318	-0.2171E-02	0.1560E+00	0.9970E+00	0.7552E+00	0.5873E+00	6.65	3.531	0.243E-01	0.807E+00	7.69	6.84	4.04		
21	HEAVECA.	M/S**2	S	223	0.1544E-02	0.4090E+00	0.2462E+01	0.1946E+01	0.1611E+01	9.15	6.541	0.167E+00	0.629E+00	9.57	9.29	7.22		
22	HEAVEFA.	M/S**2	S	229	0.2962E-05	0.4497E+00	0.2674E+01	0.2080E+01	0.1738E+01	8.94	6.311	0.202E+00	0.653E+00	9.26	8.88	6.72		
23	HEAVEAA.	M/S**2	S	241	0.4195E-06	0.3507E+00	0.2227E+01	0.1684E+01	0.1369E+01	8.50	6.911	0.123E+00	0.599E+00	8.82	8.50	6.80		
24	SURGE D.	M	S	197	-0.2910E-09	0.7249E+00	0.4481E+01	0.3388E+01	0.2785E+01	10.34	9.841	0.526E+00	0.310E+00	10.39	10.27	9.78		
25	SWAY D.	M	S	211	0.2273E-06	0.3436E+00	0.2189E+01	0.1681E+01	0.1303E+01	9.70	8.741	0.118E+00	0.463E+00	10.31	10.04	8.90		
26	HEAVECD.	M	S	198	0.3004E-07	0.1068E+01	0.6013E+01	0.5015E+01	0.4228E+01	10.30	9.801	0.114E+01	0.220E+00	10.44	10.36	10.10		

図-18 一次解析結果の出力例

CH.	ITEM	UNIT	MR	NDA	MEAN	MEAN AMP.	FREQUENCY ANALYSIS				AUTO SPECTRUM ANALYSIS							
							S	NDA	MEAN	STND. DEV.	H-MAX.		MAX FREQ. LEVEL (L-U)		BY B-T METHOD			
											STATISTICAL ANALYSIS		ANALYSIS		NUMBER OF LAG = 256			
						H-1/10	H-1/3	T-2.	T-P.	SPEC. AREA	BAND WID.	T-01	T-02	T-M				
27	SURGE	AF	M/S**2															
28	SWAY	AF	M/S**2															
29	SURGE	DF	M															
30	SWAY	DF	M															
31	ROLL	G	DEGREE	S	177	0.7907E+01	0.9127E+00	0.5176E+01	0.4216E+01	0.3301E+01	11.49	5.251	0.833E+00	0.791E+00	13.33	10.90	6.68	
32	PITCH	G	DEGREE	S	215	-0.1898E+02	0.1645E+01	0.1152E+02	0.8575E+01	0.6497E+01	9.47	7.781	0.271E+01	0.513E+00	10.09	9.71	8.34	
33	YAW		DEGREE	S	81	-0.2923E+03	0.7971E+00	0.3275E+01	0.2732E+01	0.2129E+01	24.52	7.611	0.643E+00	0.950E+00	47.70	25.26	7.88	
34	STRAIN	1	MIC. ST.	S	360	0.2140E+03	0.4187E+02	0.2934E+03	0.2079E+03	0.1627E+03	5.75	4.331	0.175E+04	0.665E+00	6.22	5.77	4.31	
35	STRAIN	2	MIC. ST.	S	473	0.1971E+03	0.2556E+02	0.1957E+03	0.1242E+03	0.9629E+02	4.38	3.561	0.653E+03	0.556E+00	4.80	4.51	3.75	
36	STRAIN	4	MIC. ST.	S	378	0.2141E+03	0.3485E+02	0.2350E+03	0.1716E+03	0.1358E+03	5.46	4.331	0.121E+04	0.626E+00	5.86	5.51	4.29	
37	STRAIN	5	MIC. ST.	S	353	0.5285E+03	0.1443E+02	0.9181E+02	0.6828E+02	0.5546E+02	5.81	4.681	0.208E+03	0.556E+00	6.08	5.79	4.81	
38	STRAIN	6	MIC. ST.	S	455	0.4697E+03	0.7265E+01	0.4587E+02	0.3330E+02	0.2658E+02	4.57	3.451	0.528E+02	0.635E+00	5.32	4.75	3.67	
39	STRAIN	7	MIC. ST.	S	447	0.5472E+03	0.1704E+02	0.1198E+03	0.8217E+02	0.6504E+02	4.59	3.871	0.290E+03	0.526E+00	4.95	4.70	4.00	
40	STRAIN	8	MIC. ST.	S	421	0.9551E+02	0.9893E+01	0.6820E+02	0.4750E+02	0.3771E+02	4.94	2.991	0.979E+02	0.602E+00	5.73	5.41	4.32	
41	STRAIN	9	MIC. ST.	S	363	0.2295E+03	0.3758E+02	0.2447E+03	0.1825E+03	0.1459E+03	5.64	4.401	0.141E+04	0.652E+00	6.21	5.78	4.39	
42	STRAIN	10	MIC. ST.	S	446	0.1825E+03	0.2078E+02	0.1512E+03	0.1011E+03	0.8011E+02	4.65	3.521	0.432E+03	0.568E+00	4.87	4.61	3.79	
43	STRAIN	11	MIC. ST.	S	367	0.5083E+03	0.2695E+02	0.1724E+03	0.1310E+03	0.1032E+03	5.59	4.251	0.727E+03	0.630E+00	5.94	5.56	4.32	
44	STRAIN	12	MIC. ST.	S	459	0.4777E+03	0.1416E+02	0.9914E+02	0.6920E+02	0.5429E+02	4.47	3.741	0.201E+03	0.517E+00	4.72	4.51	3.86	
45	L. ST.	1	MIC. ST.	S	357	0.3337E+03	0.2612E+02	0.1608E+03	0.1201E+03	0.9784E+02	5.76	3.861	0.682E+03	0.695E+00	6.69	6.03	4.33	
46	L. ST.	2	MIC. ST.	S	352	0.2298E+03	0.4098E+02	0.2516E+03	0.1930E+03	0.1583E+03	5.84	4.311	0.168E+04	0.945E+00	6.41	5.95	4.55	
47	L. ST.	3	MIC. ST.	S	260	0.3447E+03	0.3349E+02	0.1627E+03	0.1285E+03	0.1084E+03	7.87	4.071	0.112E+04	0.817E+00	10.95	7.94	4.58	
48	M.F.	2	TON	S	316	-0.8605E+01	0.1060E+01	0.1009E+02	0.4915E+01	0.3073E+01	6.73	2.781	0.112E+01	0.866E+00	10.40	7.70	3.86	
49	M.F.	G2A	TON	S	258	0.3306E+02	0.8581E+00	0.9779E+01	0.4996E+01	0.2732E+01	8.18	3.381	0.737E+00	0.866E+00	10.43	8.49	4.25	
50	M.F.	G2B	TON	S	304	0.3234E+02	0.8892E+00	0.1007E+02	0.4564E+01	0.2546E+01	7.03	3.131	0.791E+00	0.864E+00	10.25	8.04	4.05	
51	M.F.	G4	TON	S	462	0.3651E+02	0.4079E+00	0.3254E+01	0.1780E+01	0.1303E+01	4.65	1.941	0.167E+00	0.849E+00	8.76	6.09	3.21	
52	M.F.	SUW	TON	S	202	0.1360E+02	0.1150E+01	0.1156E+02	0.7040E+01	0.4878E+01	10.20	4.111	0.132E+01	0.827E+00	10.73	9.64	5.42	
53	M.F.	6UW	TON	S	163	0.1228E+02	0.9799E+00	0.8117E+01	0.6030E+01	0.4114E+01	12.59	4.191	0.960E+00	0.835E+00	13.82	11.08	6.09	
34	STRAIN	1	MIC. ST.	R	849	0.2140E+03	0.8648E+02	0.2935E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	70	0.081						
35	STRAIN	2	MIC. ST.	R	1018	0.1971E+03	0.5834E+02	0.2054E+03	0.4800E+02	0.5200E+02	64	0.061						
36	STRAIN	4	MIC. ST.	R	853	0.2141E+03	0.7731E+02	0.2593E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	48	0.061						
37	STRAIN	5	MIC. ST.	R	741	0.5285E+03	0.3582E+02	0.9800E+02	0.3200E+02	0.3600E+02	71	0.101						
38	STRAIN	6	MIC. ST.	R	887	0.4697E+03	0.1896E+02	0.4800E+02	0.8000E+01	0.1200E+02	172	0.191						
39	STRAIN	7	MIC. ST.	R	911	0.5472E+03	0.4215E+02	0.1180E+03	0.3600E+02	0.4000E+02	80	0.091						
40	STRAIN	8	MIC. ST.	R	826	0.9551E+02	0.2514E+02	0.7070E+02	0.4000E+01	0.8000E+01	130	0.161						
41	STRAIN	9	MIC. ST.	R	827	0.2295E+03	0.8182E+02	0.2469E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	54	0.071						
42	STRAIN	10	MIC. ST.	R	977	0.1825E+03	0.4868E+02	0.1540E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	72	0.071						
43	STRAIN	11	MIC. ST.	R	839	0.5083E+03	0.5991E+02	0.1795E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	60	0.071						
44	STRAIN	12	MIC. ST.	R	926	0.4777E+03	0.3575E+02	0.9792E+02	0.2800E+02	0.3200E+02	94	0.101						
45	L. ST.	1	MIC. ST.	R	882	0.3337E+03	0.5337E+02	0.1590E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	84	0.111						
46	L. ST.	2	MIC. ST.	R	844	0.2298E+03	0.8498E+02	0.2516E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	62	0.071						
47	L. ST.	3	MIC. ST.	R	812	0.3447E+03	0.5605E+02	0.1692E+03	0.4000E+01	0.8000E+01	86	0.111						
48	M.F.	2	TON	R	670	-0.8605E+01	0.2010E+01	0.9377E+01	0.5000E+00	0.1000E+01	196	0.291						
49	M.F.	G2A	TON	R	314	0.3306E+02	0.2049E+01	0.9285E+01	0.5000E+00	0.1000E+01	159	0.511						
50	M.F.	G2B	TON	R	503	0.3234E+02	0.1781E+01	0.9476E+01	0.5000E+00	0.1000E+01	246	0.491						
51	M.F.	G4	TON	R	526	0.3651E+02	0.1287E+01	0.3481E+01	0.5000E+00	0.1000E+01	324	0.621						
52	M.F.	SUW	TON	R	307	0.1360E+02	0.3215E+01	0.1108E+02	0.5000E+00	0.1000E+01	48	0.161						
53	M.F.	6UW	TON	R	317	0.1228E+02	0.2525E+01	0.8093E+01	0.5000E+00	0.1000E+01	75	0.241						

付 録

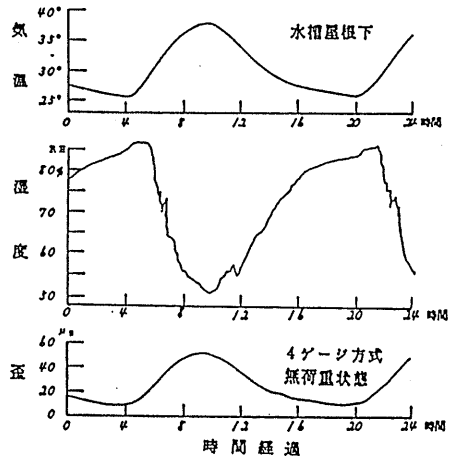
【計測器の予備試験】

計測器の選定に際し、いくつかの項目について予備試験を実施した。以下に代表的な試験の結果を記す。

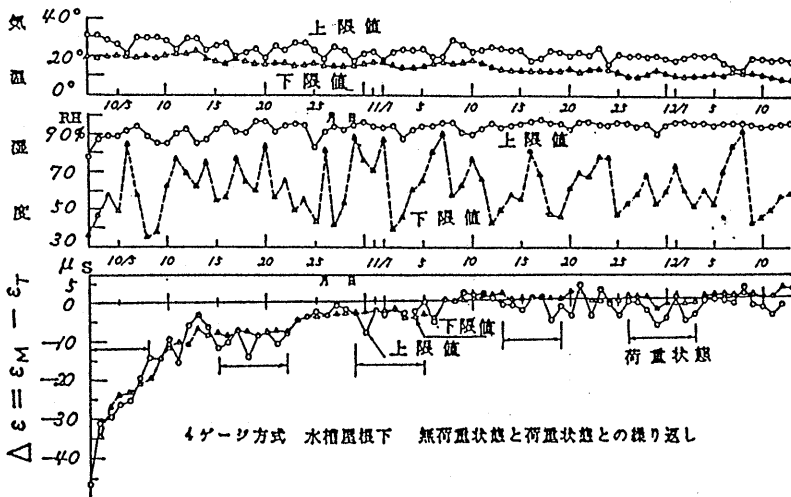
①構造歪変換器

海洋構造物の構造強度に関して、近年、疲労寿命の問題が重要視されており構造歪については長期連続計測を必要とする。このため構造歪変換器として耐久性、長期安定性に優れたものが必要であった。歪変換器は基本的に直接貼り付け式と間接貼り付け式に大別できる。直接貼り付け式とはいわゆる歪ゲージを指し、間接貼り付け式とはダイヤフラム等に歪ゲージを貼り付けたものを機械的に取り付ける形式のものを指す。間接貼り付け式では埋め込み型、表面設置型歪計と呼ばれる変換器が土木分野で広く使われ市販されている。一般には歪ゲージの貼り付けが困難な場所や環境の悪い場所に使用されるもので完全密閉構造のものが多く、耐環境性に優れている。反面、計測部材から浮いた状態で取り付けるため、取付による長期安定性等への影響がないか予備試験で確認した。試験環境として屋外、屋内とP号設置条件と同様に高温多湿となる水槽屋根

下を選び、無荷重時、荷重時についての安定性を調べた。付図-1は気温・湿度に対する歪の変化である。この例では歪変換器の膨張率と計測部材の膨張率の差により温度影響が現れている。この影響は計測部材と同じ膨張率を持つ変換器を選定する事により軽減できることがわかった。付図-2は取付時からの時系列変化を表している。温湿度には関係なく取付時より約2



付図-1 歪計の温湿度に対する変化



付図-2 歪計の長期ドリフト