

第 1 3 2 研 究 部 会

実 船 塔 載 用 波 浪 計 に 関 す る 研 究

報 告 書

昭 和 4 8 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

は し が き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和47年度補助事業「船体の構造計算方法の精密化に関する開発」の一部として、日本造船研究協会が第132研究部会においてとりまとめたものである。

第132研究部会委員名簿（敬称略、順不動）

部 会 長	田 宮	真	（東京大学）
	泉	晃	（三菱重工業）
幹 事	井 上	篤 次 郎	（神戸商船大学）
	岩 柳	順 二	（船舶技術研究所）
	植 竹	信 次 郎	（日立造船）
	河 村	四 朗	（気象庁）
	雁 野	昌 明	（日立造船）
	坂 井	欣 一	（海上保安庁）
	高 石	敬 史	（船舶技術研究所）
	高 橋	幸 伯	（東京大学）
	竹 沢	誠 二	（横浜国立大学）
	田 口	賢 士	（大阪府立大学）
	前 田	久 明	（東京大学）
	榎 田	吉 郎	（日本海事協会）
	光 易	恒	（九州大学）
	山 内	保 文	（船舶技術研究所）
	渡 辺	四 郎	（川崎重工業）
	岡 田	高	（沖電気工業）
委 員	梶 田	悦 司	（石川島播磨重工業）
	立 木	正 昭	（佐世保重工業）
	西 岡	正 美	（日本造船工業会）
	根 角	幸 明	（日立造船）
	福 田	淳 一	（九州大学）
	藤 田	孝	（三菱重工業）
	藤 原	芳 夫	（名村造船所）
	望 月	光 宣	（三井造船）
	山 口	雄 三	（住友重機械工業）

目 次

1. 研究概要	1
1.1 当初研究計画	1
1.2 当初計画の変更	2
1.3 次年度以降に関する計画	3
2. 水圧式波浪計 (I)	5
2.1 試作機の計画	5
2.2 試作した水圧式波浪計	6
2.3 周辺の機器	8
2.4 今後の問題	10
3. 水圧式波浪計 (II)	14
3.1 波浪計の概要	14
3.2 性能試験	18
3.3 実船計測	23
4. 加速度波浪計	26
4.1 概要および改良点	26
4.2 試験結果	26
5. クローバー型波浪計測装置	33
5.1 クローバー型波浪計の改良	33
5.2 クローバー型波浪計の性能	33
5.3 測定データーの処理	34
5.4 測定結果	35
5.5 結語	36
6. レーザ波浪計	41
6.1 まえがき	41
6.2 レーザ波浪計の問題点	41
6.3 レーザ波浪計の改造	44
6.4 仕様	45
7. 反射型波浪計	47
7.1 反射型波浪計本体	47
7.2 鉛首支柱の概略設計	55
7.3 船体近傍の動的水位変動に関する理論計算	68
7.4 船体近傍の動的水位変動に関する模型実験	82
8. レーダーによる波向計測法	93
8.1 研究の目的	93
8.2 レーダーによる波向観測システムの持つべき機能	93
8.3 レーダー本体の検討	93
8.4 波向観測レーダーシステム案	99
8.5 波向測定法調査	103
9. 進徳丸による突船実験	135

9.1	実験の目的	1 3 5
9.2	実験の内容	1 3 5
9.3	参加機器	1 3 5
9.4	参加人員	1 3 6
9.5	実験実施日程	1 3 6
9.6	結果	1 3 6

1. 研究概要

1.1 当初研究計画

昭和47年4月21日第9回幹事会において、47年度事業計画は前年度最終委員会で承認された原案どおり実施することが確認され、各担当者において鋭意目的達成のための努力をつづけることになった。計画は大別して1)波浪計の改良と開発、2)比較実船試験、3)関連する調査研究からなっている。

先づ波浪計の改良については、テレメータ方式によるブイ型波浪計として水圧検知式のもの2種、加速度検知式のもの1種について、性能の改善とともに、洋上実船での計測、取り扱いに適するよう投下装置を含めて改良をほかることとした。

新方式波浪計の開発としては次の4項をとりあげた。

(1) フローバ型波浪計測装置

各種波浪計検定用の波浪計として性能の向上をほかり、洋上で取り扱いを容易にするための工夫を加える。

(2) 反射型波浪計

昭和48年度実施予定の総合実船試験に船載用波浪計として使用するため、全原理で使用実績のある青雲丸(航海訓練所)に装備のレーダシステムを用いたものを開発することとし、周波数をあげて装置の軽量小型化、分解能向上をほかる。

(3) レーザ波浪計

船載用波浪計として今後発展の可能性が大きいが、前年度研究の結果問題点がかなり明らかになったので、レーザビームの高出力化をほかり、基礎研究を継続し実用化のための資料をととのえる。

(4) レーダによる波向計測法の研究

陸上基地からミリ波レーダで波向を観測することが行われているので、これを船上で船用レーダを使用して実施し、波向、波長、波速について情報を得ようとするもので、既存の船用レーダでとりあえず調査研究を行い、あわせて陸上からの観測方法、資料について実地調査を行う。

以上による各種波浪計測装置につき、実船を使用して海上で波浪計測を行い、性能の確認と相互比較を行うため、実船試験を計画した。

最後に関連する調査研究の主なものは反射型波浪計に関する事項であって、

次の実験、計算、設計である。反射型波浪計についてはその設置位置と、支持方法について種々意見があつた。そこで一方で理論計算と模型実験により、船体近傍における船体による攪乱波の大きさをたしかめるとともに、他方支持構造については、使用予定船を想定し、いくつかの案について調査と基本設計とを行うこととした。

年度頭初においては、48年度総合実船試験についてなお不確定の部分が多く、使用予定船も未定であつたが、その実施時期は48年秋～冬と考えられ、おそらく一年前に実施船と具体的にきめて準備をすゝめるべき装置（たとえばレーダ波向計）があり、各担当者とも分担項目の研究計画実施とできるだけ促進する必要があつた。

1.2 当初計画の変更

本研究は船体構造計算法開発研究の一環として実施され、SR関係では124、131、132、133各部会がそれぞれ分担を定めて研究開発を行っている。48年度には理論計算ならびに模型実験から推定される事項を、総合実船試験によつてチェックし、その結果はさらに理論、実験にフィードバックされる予定となっている。総合実船試験の実施はSR124が、使用波浪計の製作はSR132が担当するが、この試験の具体的な目的を定め、その目的にそつて実施船や時期を定め、計測項目、計測方法および計測値の処理方法を決定するには、SR131、133の研究結果にもとづく意見が十分に尊重されなければならない。

このため47年1月以降関係者が集り、総合実船試験の目的、性格と、その実施具体案について数回意見の交換を行った。この会合において波浪計としてのどの型式を使用すべきかにつき種々の意見があり、当部会としては、船体より遠方の波をパイ型（投す）波浪計によつて計測すると共に、船体近傍の出会い波浪をなるべく船体による攪乱の小さい位置で計測することが、波浪情報としての特性と、波浪計の性能の現状から考えて適切である旨を力説した。しかし会合における意見の大勢は、1)船載型を船首に支持することが操船者側よりみて不便であり、2)船首波浪外力によつて破壊されるおそれが多く、3)船体攪乱が前方においても無視できない上、4)波浪計の種類が増すために研究勢力が分散され速度も低減する等の理由から、当部会の主張を危険視する方向に傾き、かつ今回の試験段階では船体構造側よりの計測値の処理や判断に際し、遠方（擬似）静止系における波浪情報の方がより重要かつ適切であるとの見解が示された結果、7月24日の会合の結論として反射型波浪計と総合実船試験に採用することは取り止めと決定された。同時にこれらでは計画に入つていなかったが、太平洋の波浪情報を少しでも多く収集し、これを造船技術発展に役立たせ

るため、SR 125にも当部会から波浪計を供給し、相互協力を行うことが決定された。

この結果、部会は8月3日急ぎよみ12回幹事会を開催し、必要な当初事業計画の変更を審議立案し、9月26日の第4回委員会で承認を得た。変更の要旨は次のとおりである。

- (1) プイ型波浪計の種類をとりあえず水圧検知式2種要にしぼる。改良研究の段階でも投棄をたてまえとして製作回数をややし、投下装置についても至急開発を急ぐ。
- (2) 反射型波浪計は48年度総合実船試験には使用しない。ただし他船に使用する用途があるので、本体の製作は予定通り行う。
- (3) レーダ波向計についてできるだけ早期に海上で資料を得るよう研究計画を促進する。

このような変更にともなつて前節に記した3)関連する調査研究の主要項目が不要となつたが、研究はこの時点ですでに完了していた。

上記のような経緯で計画変更のやむなきに至つたが、総合実船試験の実施予定船も定まり、これにともなつて試験実施時期もはっきりして来たので、クローバ型およびレーダ波向計以外の担当者においては、必要な準備を実施予定船関係者等と直接接し、具体的に急速にすゝめることができるようになつた。

また本年度比較実船試験は航海訓練所の協力のもとに、趙徳丸を使用して2月中旬に千葉一潮岬一博多の航海中に行われた。

1.3 次年度以降に関する計画

既述したように当部会が担当して製作する波浪計は47年7月24日の結論に従つて、SR 124とSR 125にそれぞれ供給せられる。両部会の実船実験航海の時期が近接しているうえ、SR 124は大型肥大低速船、SR 125が高速コンテナ船を供試船とすることを考慮し、2種のプイ型波浪計は1種づつを両部会で専用することとし、投下装置も1種のプイについてもつとも取扱い易く設計製作することにした。

レーダ波向計はSR 124において使用する予定でその準備をすゝめているが、当初本船備付けの船用レーダとは別個に、ミリ波レーダを用意する案は取止め、たゞ本船の航海計器としての本来業務にやささかの支障をも招来せずに観測が行うよう、又他船にもできるだけ転用できるように配慮している。SR 125においても可能なかぎりこの方法を利用して波浪情報を多く得るため、協力研究の態勢がとられている。

実船における観測データの大部分は、不規則乱雑な時系列をなして居り、その量も大きいので、計測値の解析処理の具体的方法を十分検討して船上実測を行わないと、あとで無駄な時間を消費したり、計測値の精度を落したりすることになる。このためSR124と協力して解析処理方案を調査し、なるべく統一的に処置しようと考えたが、実際には研究組織上の問題や処理計算機利用上の手続、予算等に色々問題があり、むしろ個々の項目ごとに最適と考えられる線に処置した方が現実的と判断されたので、すべてを一貫した処理方式にまとめることは見合わせることにした。なお波浪情報についてはその処理と当部会が行った上で、必要を部会に必要な形で提供する予定になっている。もちろん当部会自身は、えられた波浪情報をすべてを将来の波浪計測のために自ら利用することになる。

2 水圧式波浪計(I)

水圧式波浪計の作動および記録の方式に関する検討は、昨年度におおむね終了した。今年度は、投げ下り型水圧式波浪計を試作し、その性能と実際海面等で調べた。なお、記録部も解析方法との関連において、一新の追加機器を製作している。

2.1 試作機の計画

波浪計は、総合実船実験において使用される予定であるから、今年度試作機は、試験目的に即した性能と具備するとともに、軽量かつ取扱の容易なものになければならない。また、実船実験での使用環境よりして、記録部等の周辺機器も作動確實かつ軽量小型であることが望ましい。

2.1.1 必要な性能

実船実験において、観測する波の範囲は以下の程度と定められた

波高 20 m 以下、精度 $\pm 10\%$ 程度

波長 波周期で 4~17 秒であれば 2~20 秒の波長相当周期

上記の波を観測しうる波浪計として、感圧部を水中に吊り下げたいわゆる吊り下げ型の水圧式波浪計によることをし、寸法および外形等について以下のような条件を設定した。

- (1) 波浪計は実験要員一人の扱える大きさ重量を有し、必要あれば連続的に投下可能にいうランゲヤを用いる形状と有すること。
- (2) 観測開始後少くとも 15 分間は、データ送信しうる電源を持つこと。
- (3) 船のブリッジ等の高所よりの投下使用に向合うこと。
- (4) 感圧部の水中の深さはできるだけ短くする。感圧部を深くすることは、精度向上のためには必要な条件であるが、波浪計を軽量小型にするためには深さの制限もやむを得ない。図 2.1.1 (a)~(d) は波浪計モデルによる感圧部深さと観測精度の比較実験^{*}の一例である。図によれば、感圧部深さの影響は小さく感圧部位置による圧力補正と波スペクトラム上で行えば、波高の推定値は、実用上、許しうる精度を与えるであろう。周期についても同様である。

* 注：

- (1) 大阪大学水槽にて実施。不規則波を表面および水中にて計測した。
- (2) 図中 H は感圧部 (トゲエ機) の水深を示す。
- (3) 感圧部を吊るワイは直径 30 mm の円形である。

2.1.2 データの伝送と記録

感圧部の圧力信号は A/D 変換器により digital 信号にしたのを、無線テレメータにより実験船上の信受器に伝送する。船上における記録は、解析の便利さにおいて優れており、紙テープによる。別にメモリーとして、受信信号を O/A 変換したものと記録しよう装置を配する。上記のうち、受信機および穿孔器は 46 年製製作の機器を用いる。

無線テレメータによる記録の伝送距離は、前項の波浪計の作動時間中に生ずる波浪計と実船との距離より大きいものとする。波浪中における実船の船速の 1/4 以上程度とすれば、上記の距離はおよそ 8 km 程度となる。

2.1.3 補助的な機器

試作機の検定および海面での作動テスト時に必要とする補助機器としてつぎのものを予定する。

a. 波浪計の調整・検定用圧力付加装置および圧力表示器

b. 波浪計の探索用のセンサー

46 年製製作した大型ブイ用の圧力式波浪計の感圧自動調節装置も製作し、圧力式波浪計の改良に助ける。

2.2 試作した水圧式波浪計

前述の条件とみたす波浪計の要目決定の前に、送受信器の調節改良と新に本波浪計に用いる電波についての申請と許可の諸手續を終了した。こうは、前述条件のうち、センサーおよび A/D 変換器とこれと伝送する送信器に関する諸試験を実施するため、大阪府立大学所属の新しい水圧式波浪計について数回のテストのうち、最終的に次表に示す性能を波浪計と試作した。

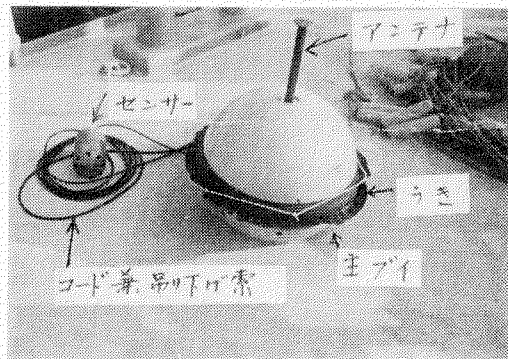
表 2.2.1 試作波浪計の仕様

1. 外形	直径 50 cm 以下の球状
2. 材質	主ブイは合成樹脂。感圧部は真鍮製保護筒に收容
3. 作動	着水と同時に、アンテナおよびセンサー部分を空中および水中に展張する。これとはほとんど同時に、発信を開始する。上記の動作はすべて自動的に行われる。 計測終了後は、予め設定された時間の経過後、主ブイおよびセンサーの全体が水中に没する。
4. 重量	20 kg 以下
5. 信号方式	デジタル方式
6. データ数	1 CH, 2 桁 (10 進)
7. 使用周波数	43.25 MHz
8. 送信可能範囲	約 15 km

9. 送信可能時間 20分
10. データサンプリング時間 0.5秒
11. 測定可能最大波高値 0~20m
12. 威圧素子取付最大長 50m
13. 最小分解能波高値 測定可能波高値の1/9
14. 測定波高値設定レベル 3段切換可能 (試作機は±5, ±10, ±15m)
15. 基地側データ方式 BCD 8BIT 紙穿孔テープ記憶方式
16. 検出素子 差圧検出方式 (ストレーンゲージ) 新興通信 PR10B
17. 総合精度 ±3% 以下
18. 耐衝撃 水面上20mより落下衝撃に耐える事

2.2.1 試作機について

昭和48年1月試作機2台が完成した。完成時重量は、ほぼ前項の通りであるが、重量は24kg (うち主ブイ16kg, 水中威圧部8kg) とやや重くなった。写真は使用后船上に揚収した状態の試作機を示す (本来は投げ型であるが、テストのため一部改造して回収型にしてある)。



投入前の波浪計はアンテナおよびセンサーはすべて主ブイの中に格納され、外観は完全に球形である。着水とともに瞬時にアンテナ、センサーおよびうきが伸張する膨脹する。

試作機の外観

1) 試作機の性能

本機の基本的な作動は、類似の大阪府立大学所属の水圧式波浪計によって確認できたとみられる。1月18日完成以後実施したテスト結果は以下に示すようにほぼ満足な状態にある。

(a) 昭和48年1月19日 神戸商船大学練習船「保江丸」よりテスト

試験海面 経淡海峡

気象海象 NW 0.6~1.0%, 目視波高最大 1.5m 程度

作初状況

(1) 耐衝撃: 水面上6mより投下

(2) アンテナ、センサーの伸張: 着水時とともにほぼ瞬時に完了

(3) データの送信: センサー調整不十分でデータ送信せず

図 2.2.1 は全時に投入した大阪府立大学の波浪計による記録の一部を示す。

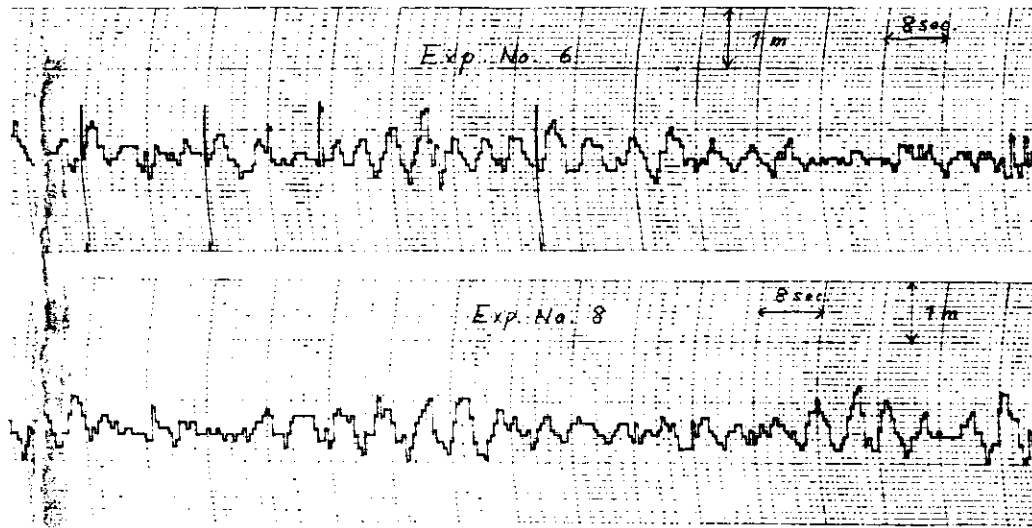


図 2.2.1 記録の一例

(6)昭和 48 年 2 月 3 日, 2 月 4 日のテスト

試験水面 琵琶湖・近江舞子沖

気象海象 快晴・風浪なし

作動状況 良好

図 2.2.2 に電界強度測定の結果を示す。図中 A は試作機であり、空中線電力 3.4 dB。B は大阪府立大学のものであり、空中線電力は 600 mW である。測定長における 20 kHz 帯域雑音 9 dB、信号対雑音比 3 dB とした当日の復調可能範囲を図に示す。凡そ 40 km は信号の受信は可能と思われる。風浪ある海面での到達性能については、実船実験を数回実行することによって、明らかにしよう。

2.3 周辺の機器

以下の機器を作成した。

2.3.1 コードコンバータ(仕様)

(1) パニチサイド (1) 入力 TTL ロジックレベル

8 BIT

奇数パリティチェック

(2) 出力 沖電気 TE-2000 にステータス順す

(2) リードサイド (1) 入力 沖電気 TE-2000 にステータス順す

(2) 出力 TTL ロジックレベル

8 BIT

奇数パリティチェック

2.3.2 テレタイプおよび附属回路(仕様)

- (1) テレタイプ 沖電気製 TE-2000
- (2) 附属回路
 - (a) 信号関係のマッティング回路一式
 - (b) 電源ラインのフィルター

以上は46年交製作の穿孔器とともにデータの記録部を構成する。それぞれ順調に作動した。なお、モーター用のD/A変換器は48年交に整備される。

2.3.3 ファインセニサー(仕様)

1. 使用周波数 27 MHz, 42 MHz 帯 (スポット受信)
2. 方位受信感度 100 mV/m
3. 方位探測角 360°
4. 方位探測方式 自動探測
5. 方位探測空中線 回転式ループ空中線
6. 方位角表示 ディヤル方式
7. 方位決定方式 消音決定
8. 受信機構成 ダブルスーパー ヘテロダイン方式
9. 使用電源 DC 12 V, AC 100 V 50/60 Hz
10. 重量 12 kg

2.3.4 圧力付加装置(仕様)

1. 圧力調整範囲 0 ~ 10 kg/cm²
2. 加圧方式 圧縮空気
3. 設定精度 0.1% full scale
4. 空気流量 1 l/min
5. 使用電源 AC 100 V 50/60 Hz
6. 構成 空気ポンプ、コンデンサー、圧力設定、圧力表示

以上は波浪計の探索およびセニサーの調節用であり、それぞれ順調に作動した。

2.3.5 波高計差圧調整装置(仕様)

1. 調整方式 サーボ制御による自動および手動制御
2. 制御方式
 - (1) 自動

波浪振幅自動検出による自動零圧面設定
 - (2) 手動

トリマーポテンシオメータによる手動設定
3. 差圧調整精度 波高にて ±2% 以下
4. 制御調整範囲

バランス点 ±5 m

利得調整 1 : 10

校正レベル 5 m

5. 電源 主ダイの中の電源を用う

上記は、46年交製作の大型吊り下げ式波浪計の自動（午動）深交調整機構であるが、投げ下り型の小型波浪計には使用できない。順調に作動した。

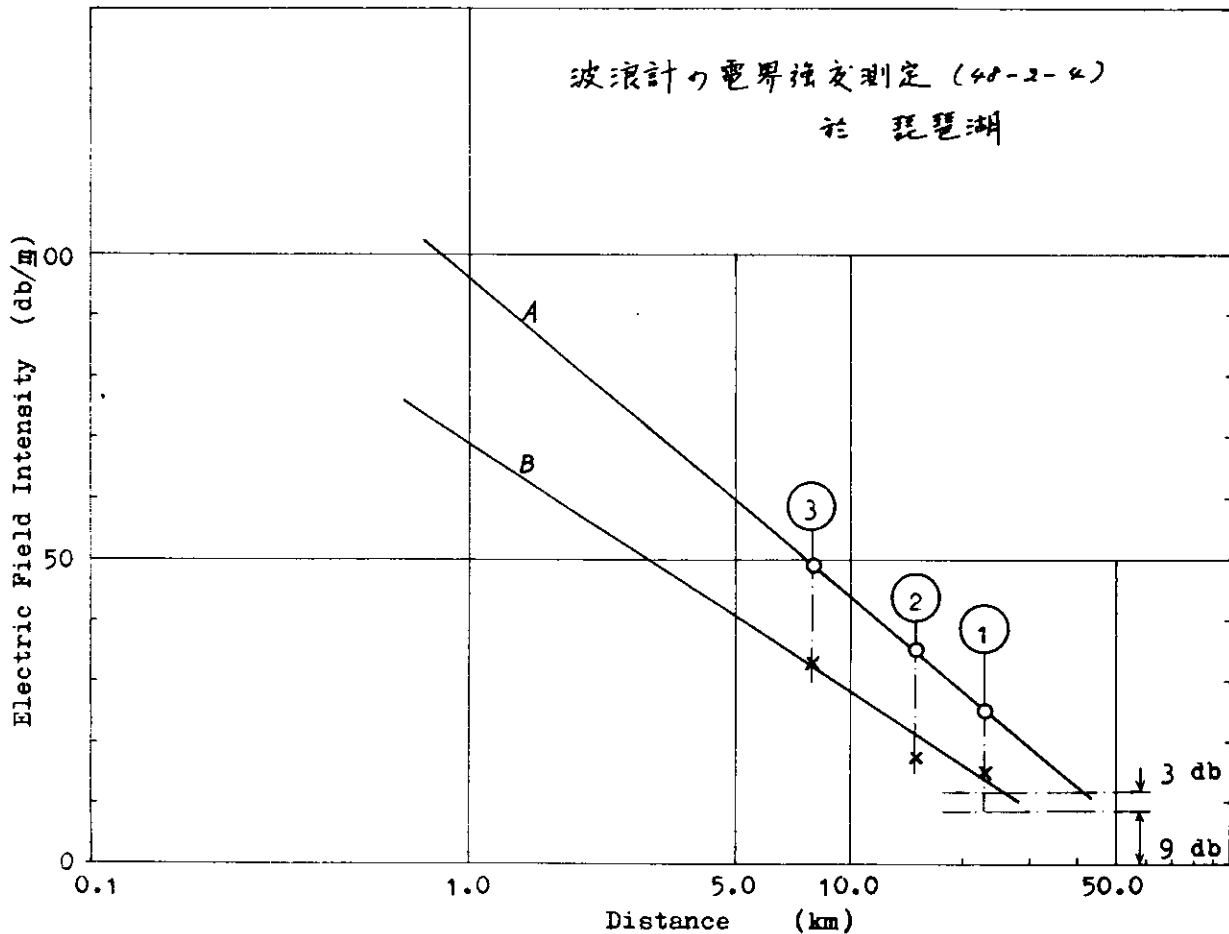


図 2.2.2 試作機の性能カーブ例

2.4 今後の問題

2.4.1 波浪計の改良

本報告をまとめている現段階では、試作波浪計に関するテストは一部を除いて、まだ実施してないものが多い。これ等は、2月中旬に予定されている実験によって更に明うがにされるであろう。現在担当者において指摘している改良点は次のようなものがある。

- (1) 信号の伝送距離の増大をはかること。
- (2) ダイ全体の重量を更に軽くすること
- (3) 量産しやすいよう部分設計を改良すること

2.4.2 受信および記録部の改良

波浪計の送信部の改良とともに、確実にデータを受信するため、受信機の

改良もまた同時に考えねばならない。記録部は小教の計測員でも過さなく操作
しうるようなるべく人件を要しないよう改良する必要がある。更に、波浪記
録状況のモニターも今後配置して、総合実船実験に備えねばならない。

2.4.3 その他

球形の波浪計と適当な格納しがつ、簡単な操作によって安全に波浪計を投下
しうるランチャーの構造様式については、波浪計の計画時より検討をうづめ
ているが、本報告では発表するまでに到っていない。これは、2月の実船実験
のうち具体化する事になるう。

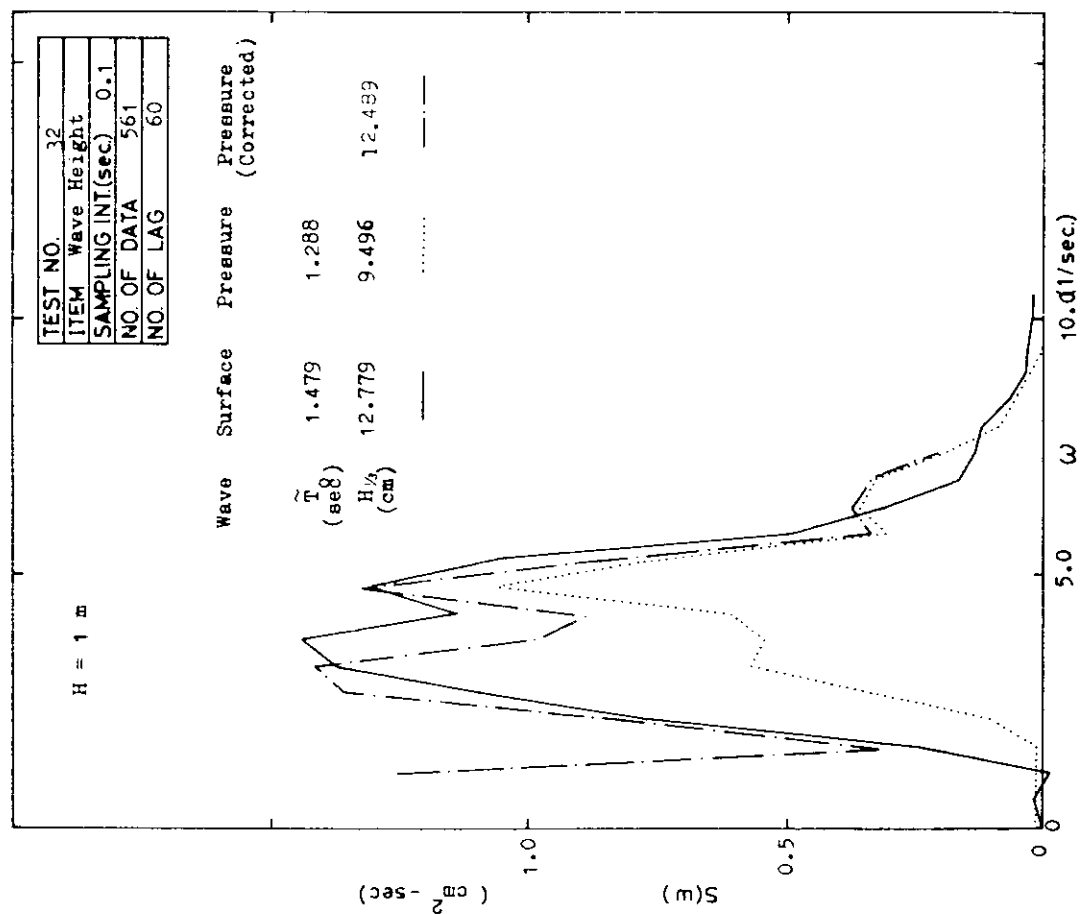


FIG. 2.1.1(a) ESTIMATED POWER SPECTRUM

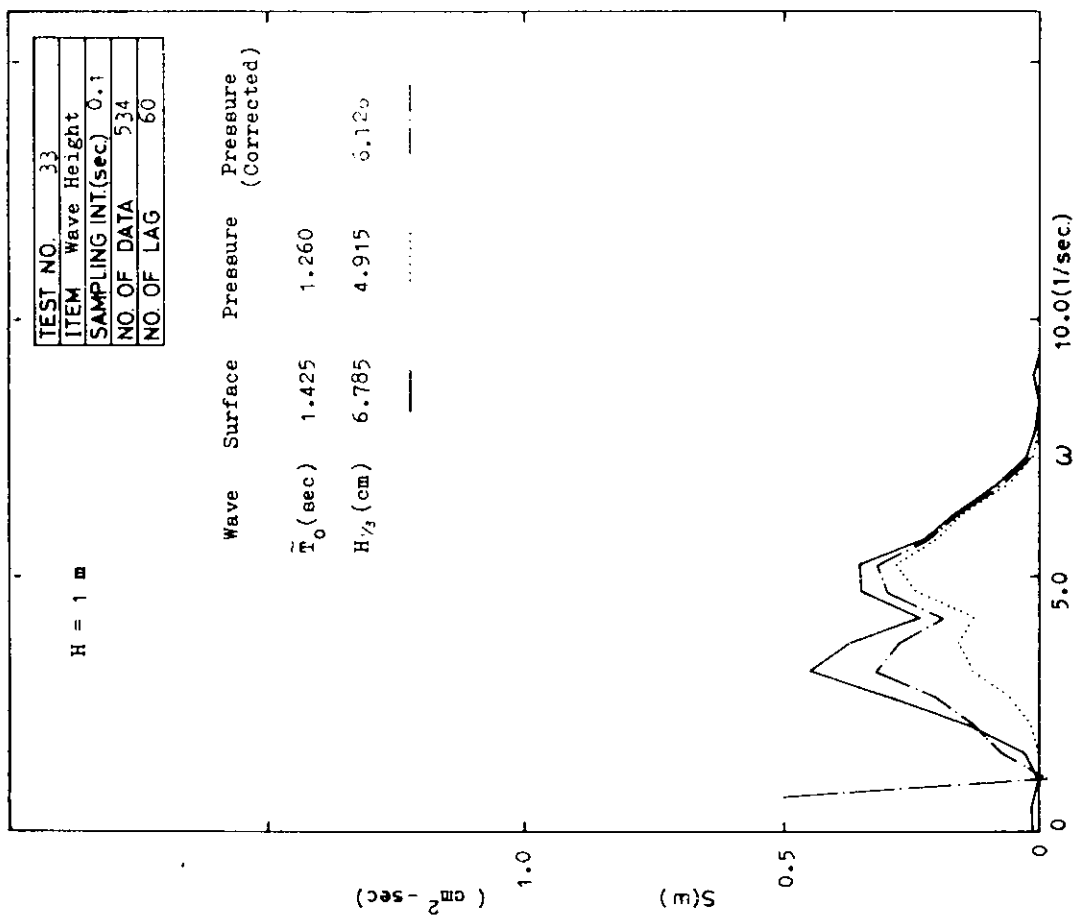


FIG. 2.1.1(b) ESTIMATED POWER SPECTRUM

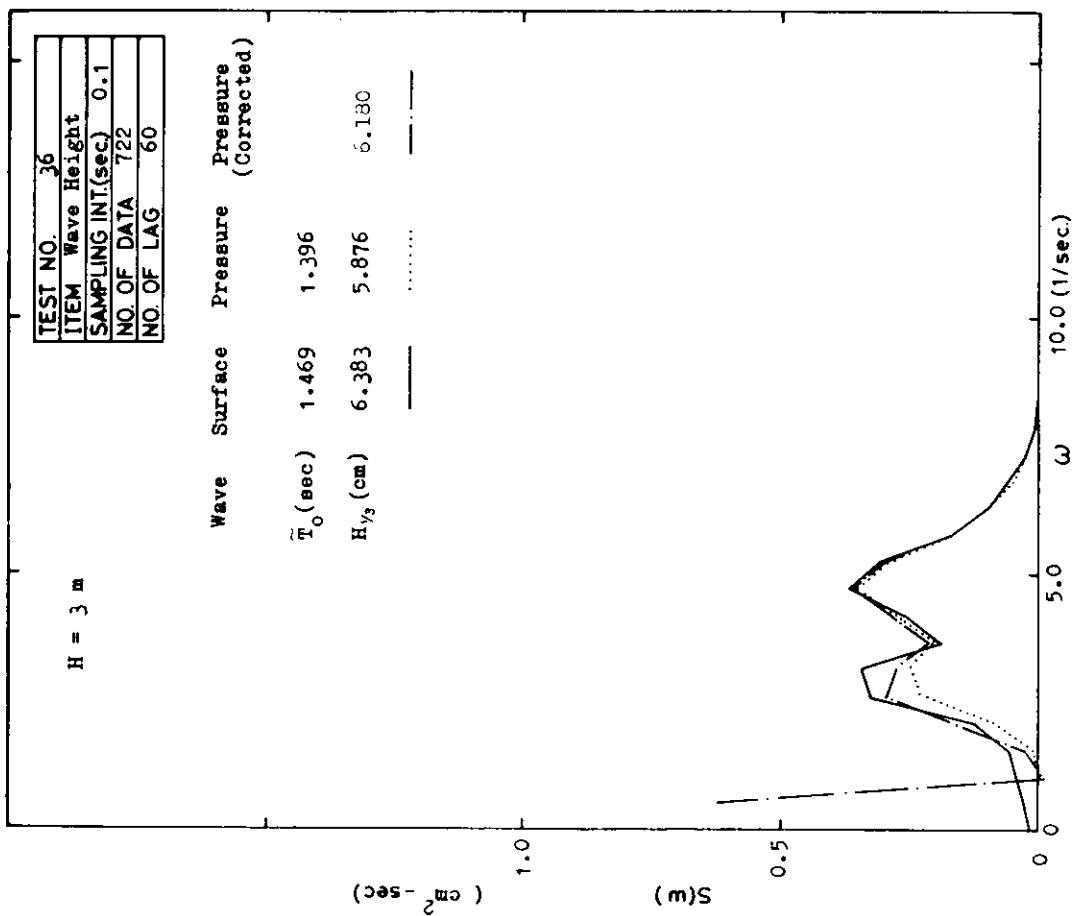


FIG. 2.1.1(d) ESTIMATED POWER SPECTRUM

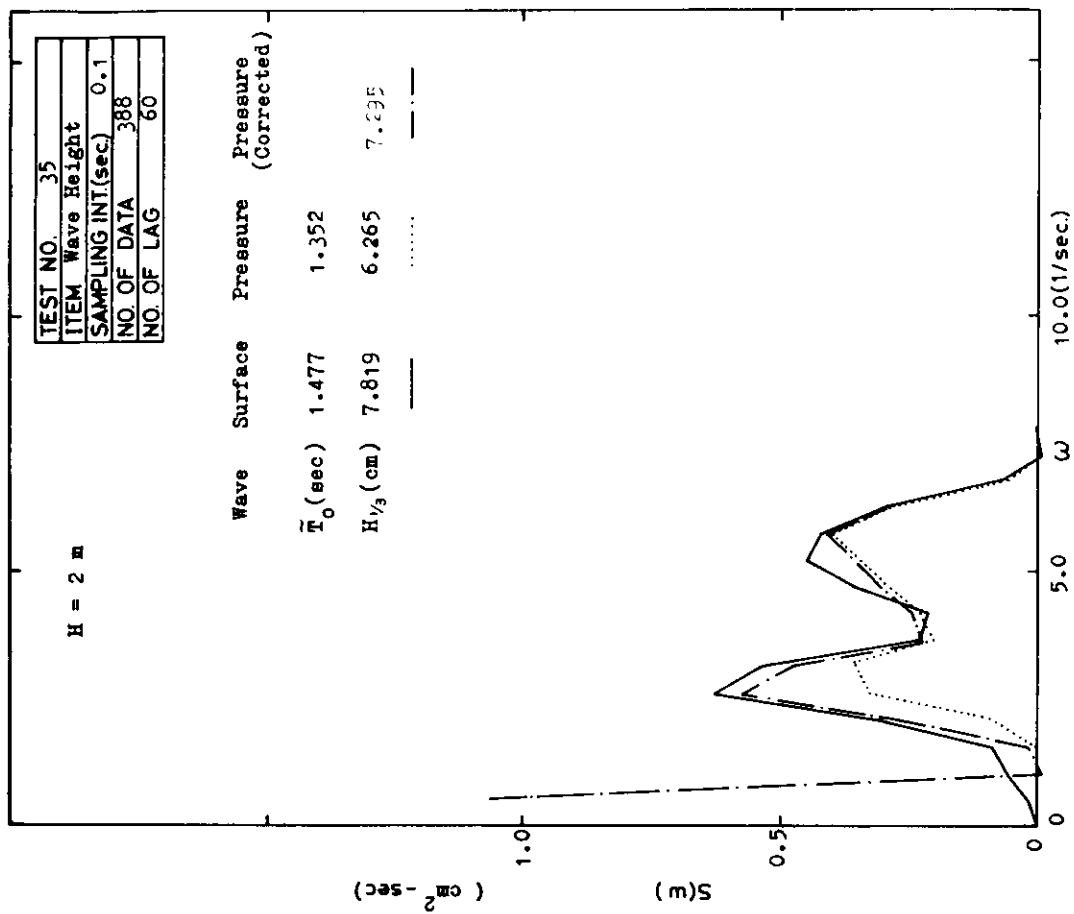


FIG. 2.1.1(c) ESTIMATED POWER SPECTRUM

3. 水圧式波浪計 (Ⅱ)

3.1 波浪計の概要

3.1.1 まえがき

本波浪計は、当部会の昭和46年度の報告書(研究資料No.164)に記載されている水圧検知式波浪計と原理的には同一のものである。また、本協会第125研究部会において昭和46年度から開発してきたものである。

外洋における波高の観測は目視に頼っているのが現状である。この限りにおいては、観測者によって波高値にばらつきが出ることは避けられない。また波高値の連続記録をとることは不可能である。そこで、目視と同程度かそれ以上の精度で、客観的にしかも簡便に波高値の連続記録をとることを目的として本波浪計は開発されたものである。

本波浪計は、船上より投下し、波浪計より送信される波高値を伝送する無線信号を船上の受信装置によりアナログ量として受信し、波高値を記録するものである。計測終了後は回収せず自沈させて廃棄する。

本波浪計は、水面に浮かせておく浮子と送信機部、空中線ならびにこの浮子より水中に吊下げておく水圧検出部よりなる。波長に対して適当な深度に水圧検出部をおくときは、水圧検出部は浮子が波面に従って上下することにより与えられる水圧を検出する。この検出水圧信号を無線を介して船上の受信装置に送信する。船上の受信装置は送られてきた無線信号を受信し、水圧変動を波高値に変換して、それをデータレコーダー等により記録する。

3.1.2 波浪計

波浪計本体の構成は図3-1にみられるように、浮子、空中線、回路收容筒(送信機部)、感部ケーブルそれと水圧検出部よりなる。

浮子：高さ33cm×直径24cm、浮力約12kg。発泡スチロール製。回路收容筒とは紙ヒモで結ばれている。海上に投下後2～3日でこの紙ヒモが溶けて自沈する。

送信機部：ブロックダイアグラムは図3-2に示す。本波浪計の特徴は水圧検出部によって検出された絶対圧から、電氣的にその変動分だけを取り出す方式を用いていることにある。つまり電氣的な差圧をとっている。したがって水圧検出部の深度、いいかえらば感部ケーブルの長さも水深に応じて任意に設定することが可能である。ただし深度を浅くした場合には、検出水圧におよぼす波のOrbital velocityの影響分を修正しなければならない。

感部ケーブル：直径約5mmの二芯
シールド線。水压
検出部の吊索も兼
ねている。投棄前
の状態では、感部
収容筒に約75mの
長さにくたって巻
きつけてある。

水压検出部：長さ20cm×直径6cm
重量約3Kg。

半導体式圧力変換
器を用いている。

投棄前の状態では
回路収容筒の下端
と水溶性ビニール
で結ばれている。

海上に投下後約30
秒で水溶性ビニー
ルのヒモが溶けて
自動的に降下する。

空中線： $\lambda/4$ ダイポールなら
びに $\lambda/8$ ダイポール
下端ローディング。

総重量：14.5 Kg。

また波浪計本体の目標とした仕様
は下記の通りである。

測定範囲 波高 1m～15m

波周期 3sec.～20sec.

測定精度 波高 1m～5m迄 誤差 0.5m未満

〃 5m～15m 〃 1.0m 〃

搬送周波数 40.65 MHz

発振方式 水晶制御

副搬送波 3.9KHz、波振幅±7.5mに対するFSは±7.5%

信号伝送方式 FM-FMアナログ伝送方式

電源 AM-2×9、UM-3×9

計測時間 1時間以上

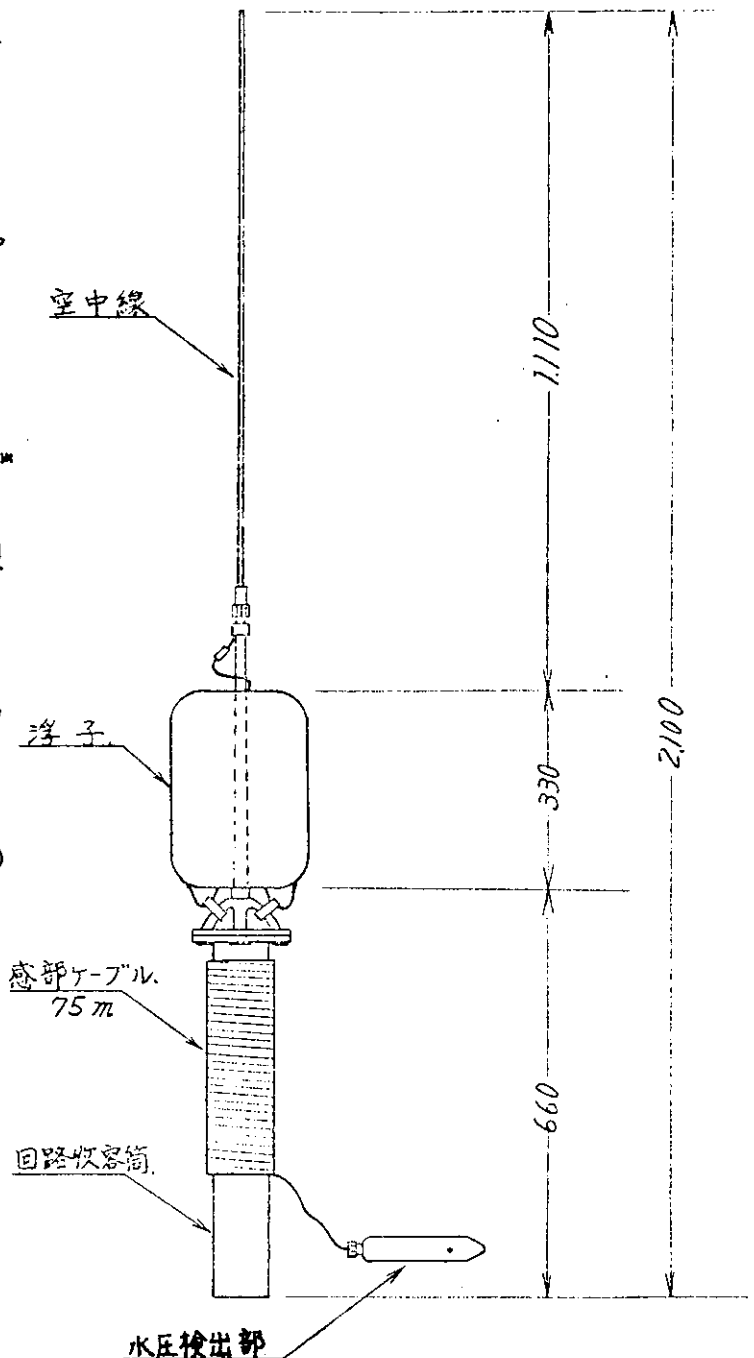


図3-1 波浪計外觀図

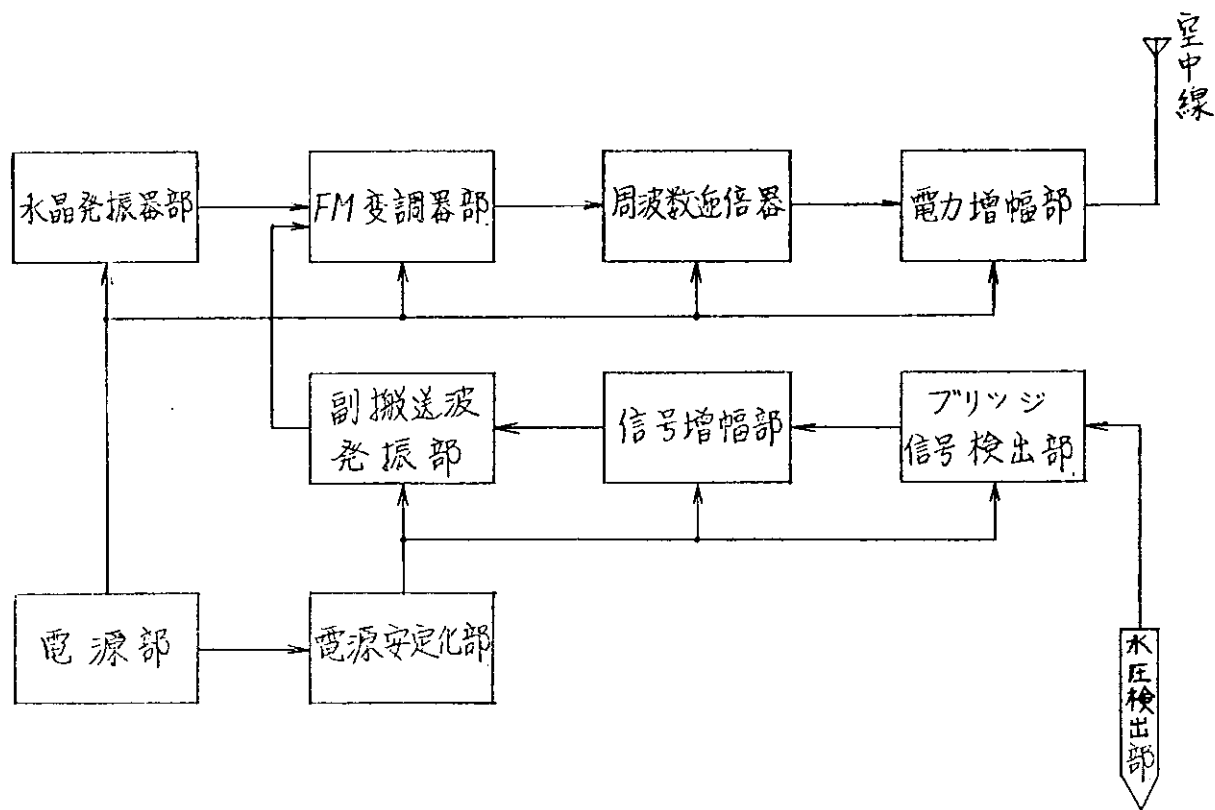


図 3-2 波浪計ブロックダイアグラム

信号到達距離	13 km 以上
送信出力	0.75 W
耐衝撃性	水面上 15 m 以下の落下衝撃に耐えること。
重量	15 kg 以下
動揺の固有周期	1.0 sec. 以下 (Heave に対して)
操作方法	電源スイッチ投入で完了するワンタッチ構造

3.1.3 受信装置

受信装置の構成は空中線と受信機よりなる。

空中線： $\lambda/2$ ダイポール無指向性垂直偏波ならびに4素子八木アンテナ

受信機の仕様は下記の通りである。

受信機：水晶制御スーパーヘテロダイン方式。ブロックダイアグラムを
図 3-3 に示す。

電 源：AC 100 V $\pm$ 10%、50/60 Hz

出 力：波高が 0~5 m / 0~10 m / 0~15 m に対応する三段切換の出カレ
レンジをもっており各レンジとも DC $\pm$ 1 V (共通)

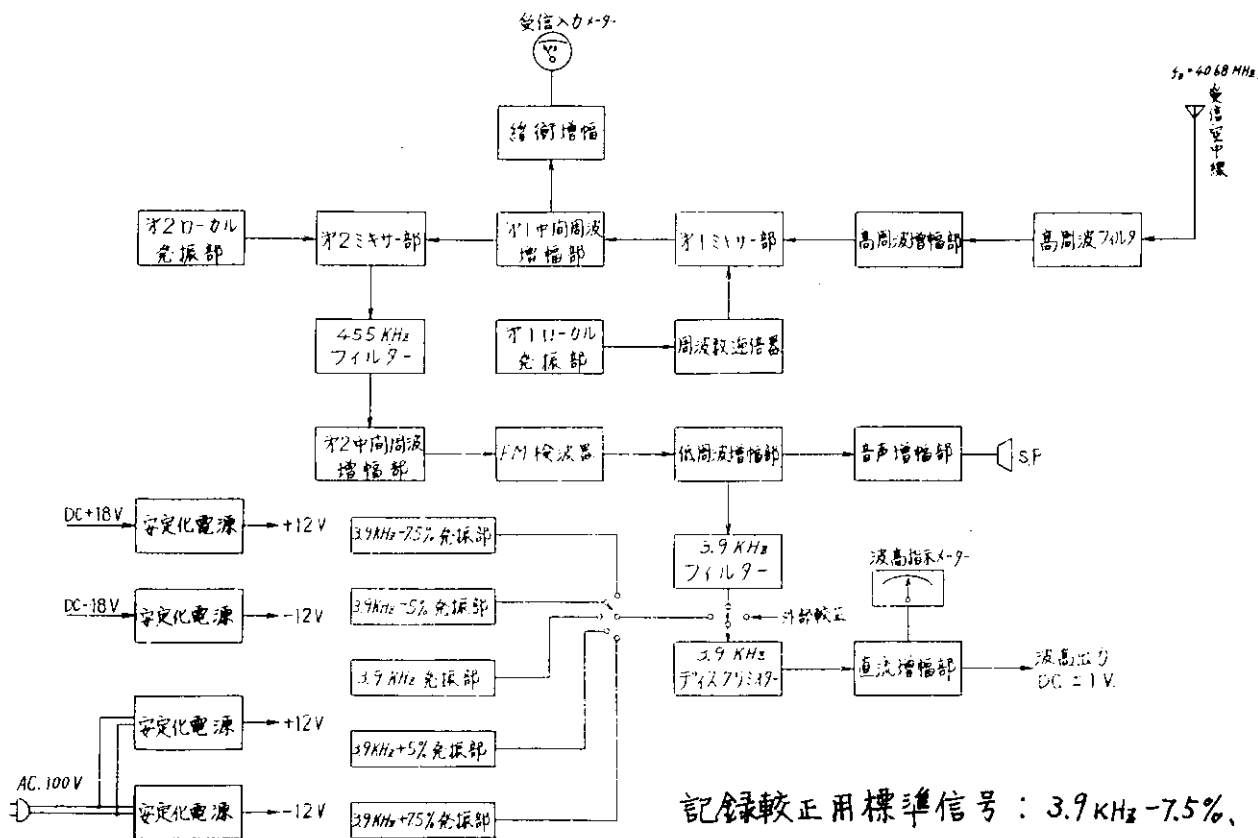


図.3-3 受信装置ブロックダイヤグラム

記録校正用標準信号：3.9 kHz -7.5%、
 (副搬送波標準信号) 3.9 kHz -2.5%、
 3.9 kHz、
 3.9 kHz +2.5%、
 3.9 kHz +7.5%
 の5周波数。

重量、寸法：重量は20 kg未満、標準
 ラック寸法とする。

その他：測定波高指示メータ付
 電界強度指示メータ付

装置の外観図は図3-4に示す。

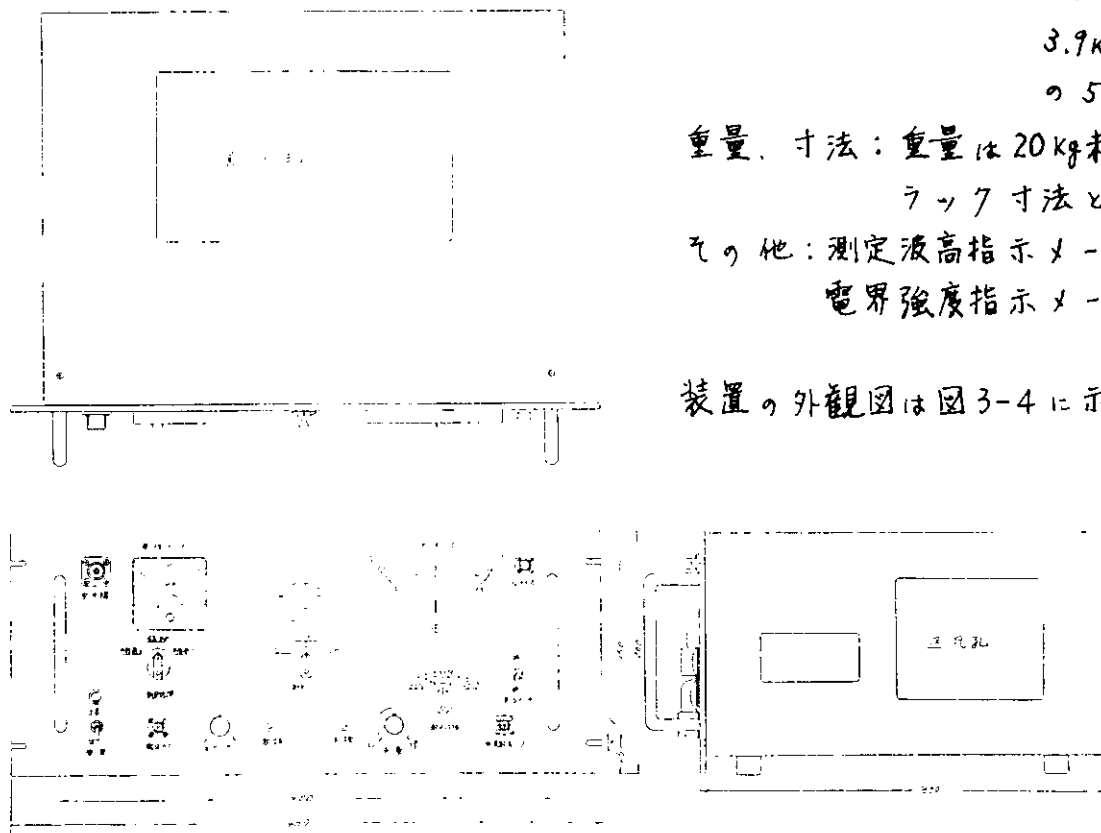


図.3-4 受信機外観図

3.1.4 ランチャー

従来の投棄式波浪計では実験者が舷側より波浪計を投棄する方式をとっていた。この方式では荒天時には危険でありまた操作も面倒である。そこで昭和48年度からの実船実験では、観測室内からの指令で波浪計を自動的に投棄する方式がとられることに決定した。ここに、波浪計を自動的に投棄する装置をランチャーと称する。昭和47年度にこのランチャーの試設計を行った。

ランチャーの概略図を図3-5に示す。動作は下記の要領で行われる。

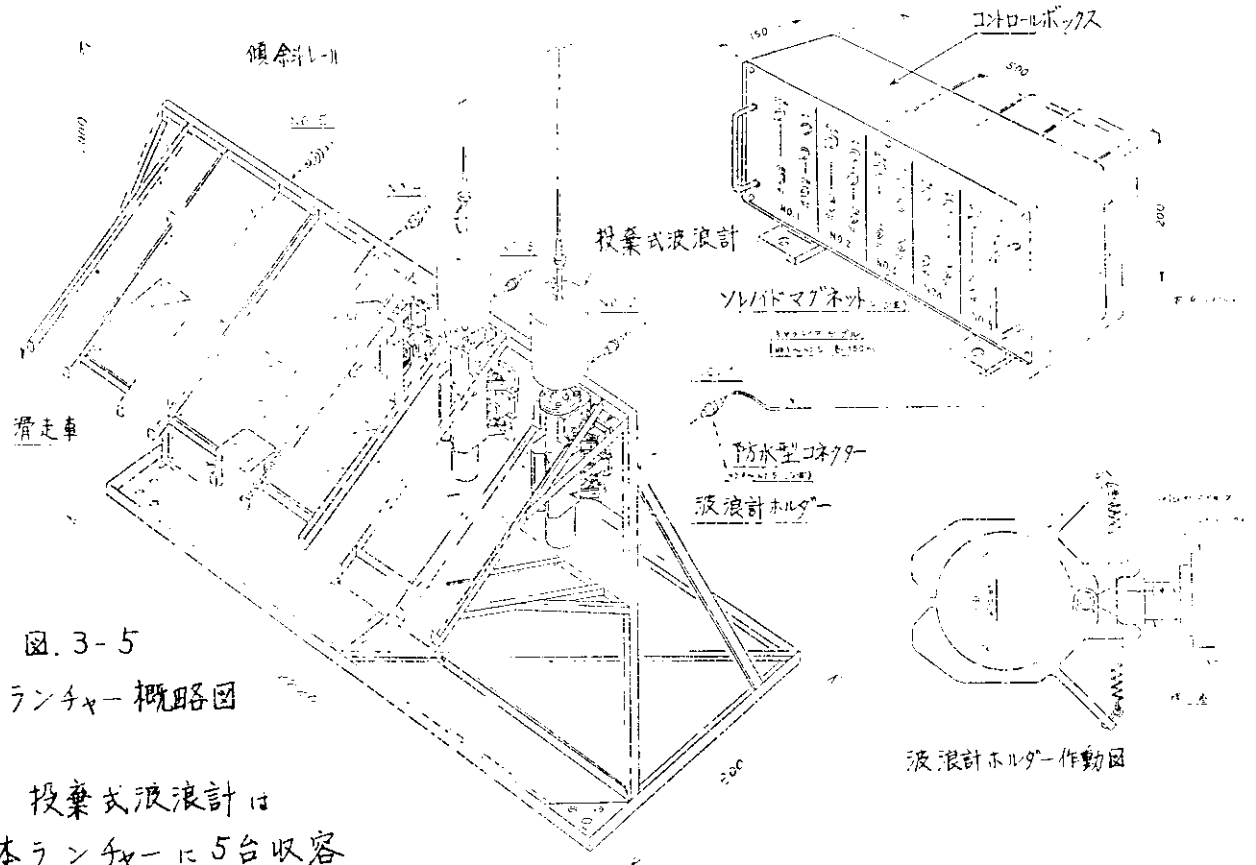


図. 3-5
ランチャー概略図

投棄式波浪計は

本ランチャーに5台収容

可能で、コントロールボックス

の操作で、任意の波浪計に対し電源投入、投棄をすることが出来る。

滑走車に投棄式波浪計をのせ、そのまま波浪計ホルダーで胴管を抱えこんで閉じると、プランジャーがホルダーストッパーにはまり、波浪計は保持される。波浪計の電源スイッチはホルダーに装置してからONにする。

任意の番号のPOWスイッチをONでその番号の波浪計の電源が入る。おなじく、MTスイッチONでソレノイドマグネットが動作し、ホルダーが開ロして波浪計は滑走車と共に傾斜レール滑りおり、滑走車のレールの先端でストップするショックで、滑走車を離れて投棄される。

3.2 性能試験

3.2.1 耐圧、水密試験

水圧検出部は水深75mに位置し高圧による破壊と漏水が心配され、また送信機部は回路收容筒に収められて水面下に位置しているため漏水の不安がある。そこで日光中禅寺湖において感部ケーブルを75mに伸ばして実験を行った結果耐圧、水密性が確保されていることが確認された。

3.2.2 衝撃試験

本波浪計は乾舷の高い大型船での使用が予定されていることを考慮して、少くとも15mの高さから水面に落下した際の衝撃に耐えなければならない。耐衝撃性を調査するために、木製床上30cmの高さからの波浪計本体の落下試験と、船舶技術研究所機装部落下衝撃試験施設において水面上15mよりの落下試験を行った。さらに2万トン級の貨物船とNY航路のコンテナ船による実船実験も行った。これらの結果、回路部の耐衝撃性は確認された。また感部ケーブルと回路收容筒あるいは水圧検出部との結合部、さらに自沈用の紙ヒモの強度に問題があることがわかり、これらを補強することによって一応波浪計の耐衝撃性が保証された。ただしNY航路コンテナ船においては投棄した波浪計5台中の1台は投下直後に信号が途絶えた例もあり、耐衝撃性についてはいま一步のつめが必要である。

3.2.3 波浪計本体動揺試験

本波浪計の初期に設定した仕様ではheavingの固有周期を1.0秒以下としたわけである。ところで図3-6よりわかるように本波浪計の固有周期は1.4秒前後のところにあるが、波周期が3.0秒以上の波にあっては波浪計と波との相対水位は殆んど零となっており、いいかえらば波面に対する波浪計の追従性が良好であって、本波浪計の固有周期で十分であると結論される。なお実海面における波浪計の波面に対する追従性を調べたものが図3-7である。この図は、

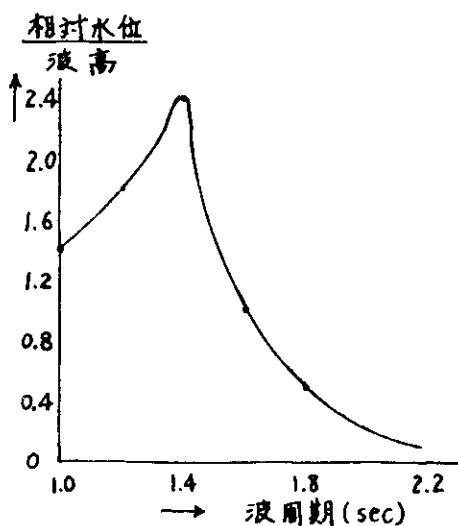


図.3-6 波浪計本体動揺試験

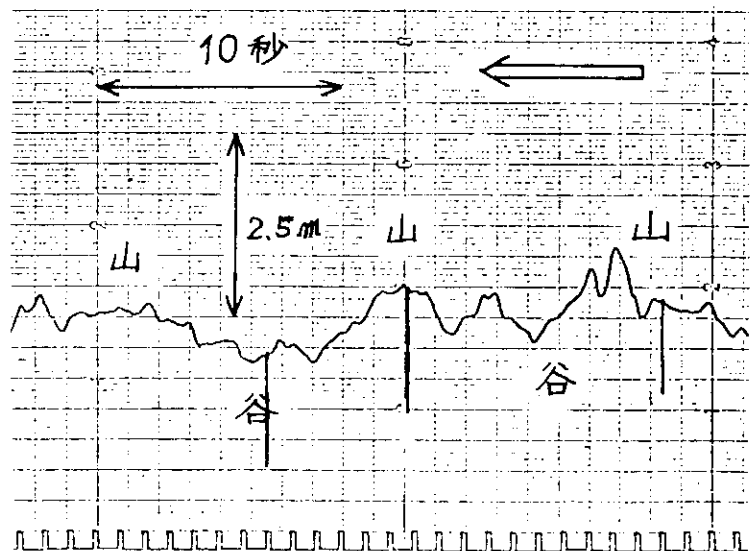


図.3-7 波浪計の追従性

波浪計が波の山にきたか谷にきたかを目視で観察し、その都度波浪計の記録に書き入れたものである。

3.2.4 感部応答特性試験

水圧検出部を各周期毎に一定振幅で周期的に水中で上下動をさせた時の波高値の周波数特性を調べた。この結果を図3-8に示す。

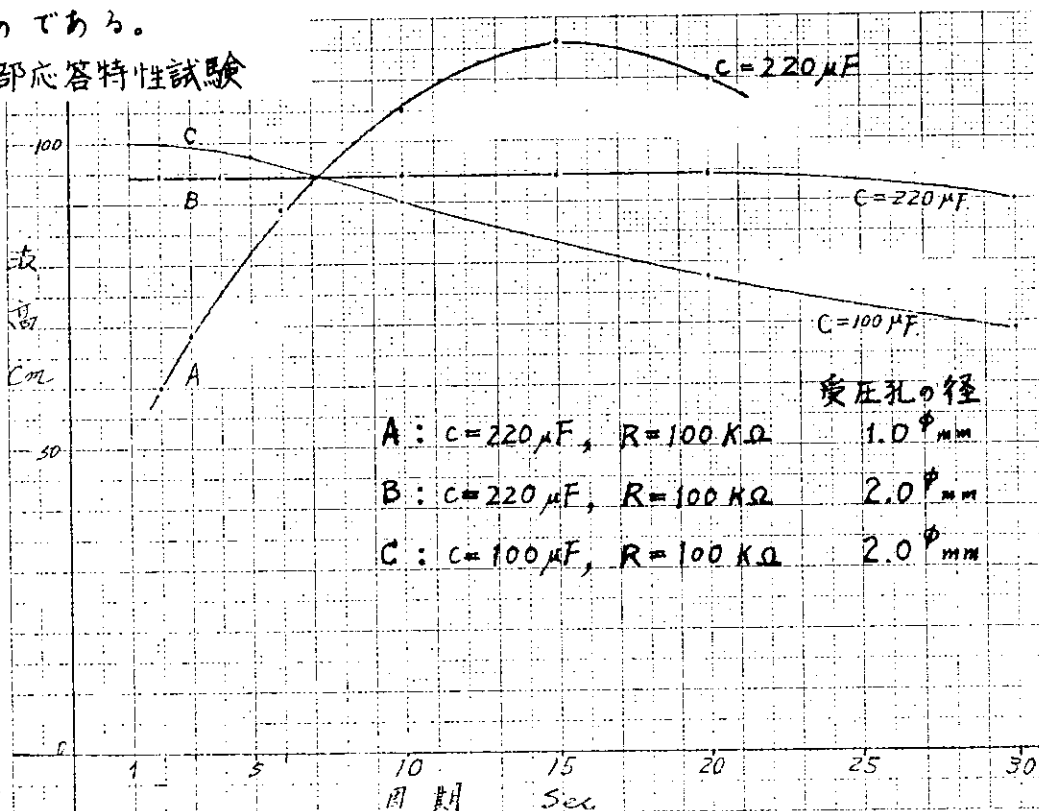


図3-8 感部応答特性試験

図中のA, B, C曲線は、電氣的差圧をとる部分の回路のコンデンサー容量と、水

圧検出部の受圧孔の径を変化させたものに対応している。これよりB型であれば3秒から20秒までの波周期に対して良好な周波数特性が得られることがわかる。

3.2.5 波浪計総合寿命試験

波浪計の電源投入後放置して、副搬送波周波数、送信出力、バイアス電圧、電源電圧、搬送周波数を5時間にわたって記録したものを図3-9に示す。この結果から、副搬送波周波数は5時間後に波高値に換算して約2.5mドリフトするが、電界強度が十分な距離にあっては少なくとも本波浪計は5時間はもつといえる。初めに設定した計測時間1時間以上という仕様は満足していることが確認された。

3.2.6 波浪計および受信機の放置ドリフト試験

波浪計による波高値の零ドリフトが大きいと観測後のデータ処理に不具合が生じる。3.2.5項の寿命試験に用いた従来型の波浪計にあっては電源投入後30分ほどの間のドリフトが特に顕著である。そこで回路の一部に温度補償をすることによって、図3-10に示すように約1時間内のドリフトを波高値換算で10cm以内に入れることができた。図中④⑤⑥は温度補償がされていないもの、④⑤は温度補償がされているもの、⑥は従来型である。④と⑤ではマルチバイブレ

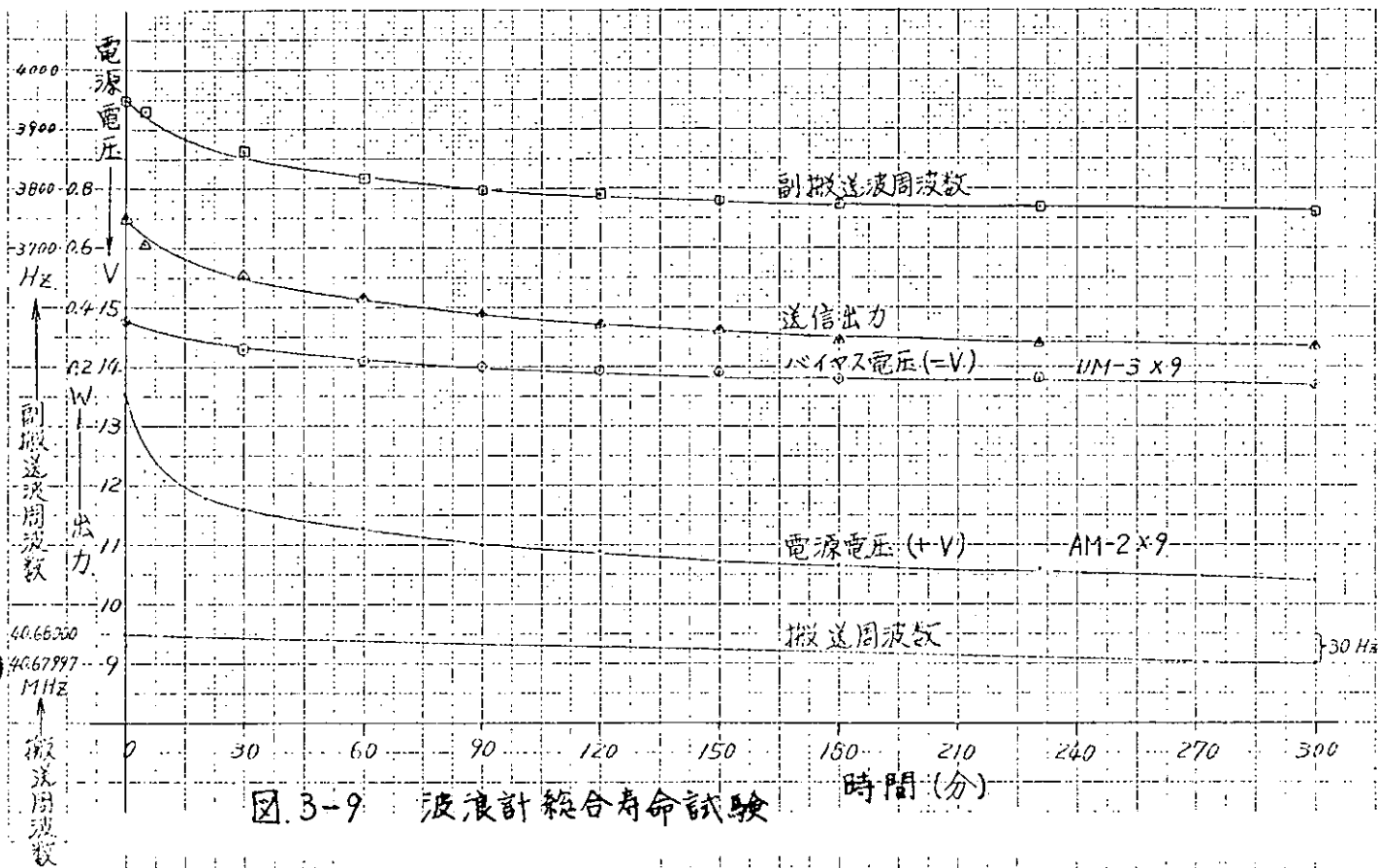


図 3-9 波浪計総合寿命試験

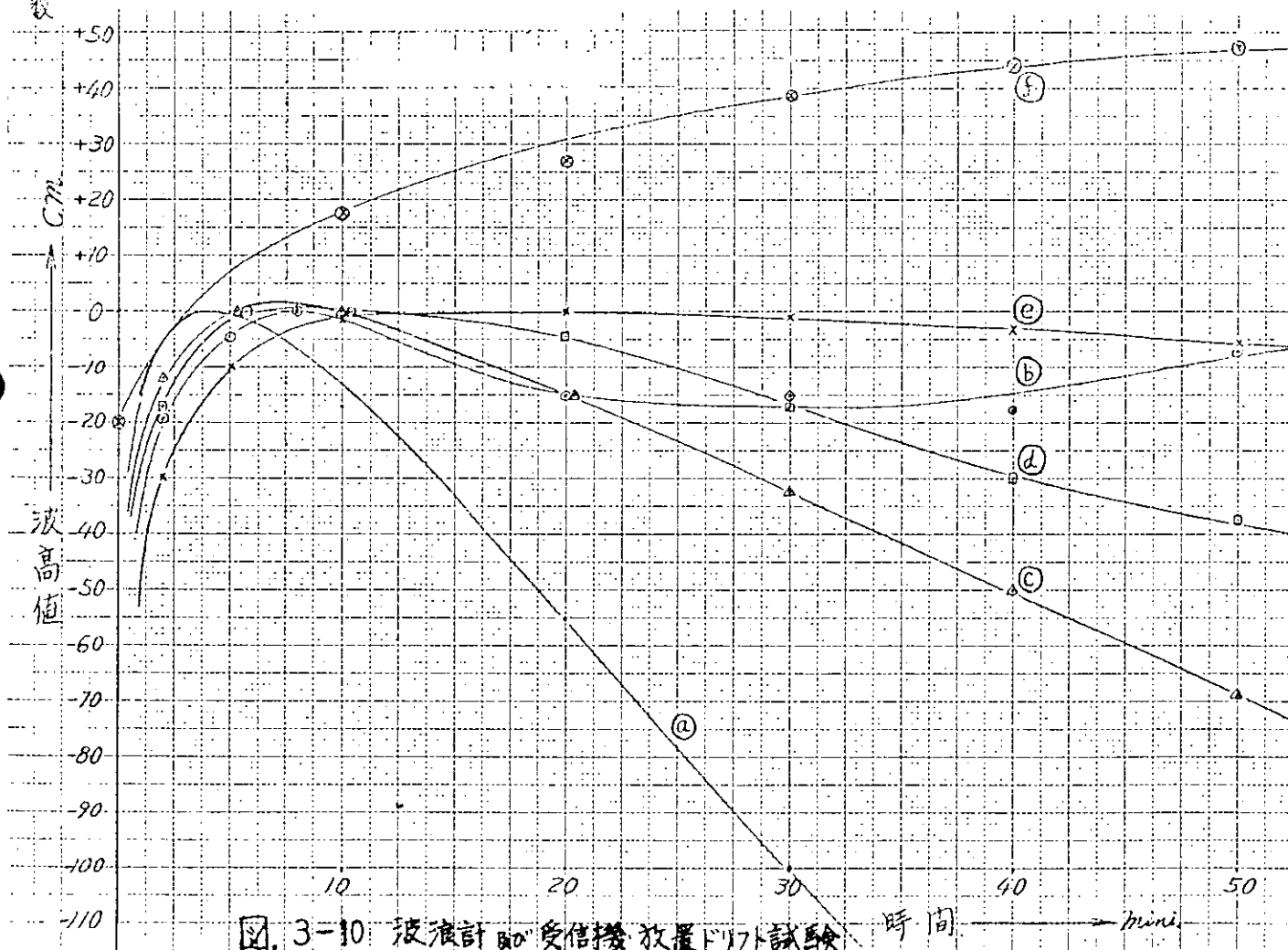


図 3-10 波浪計受信機放置ドリフト試験

ーターの温度補償方法が異なる。この結果②が電源投入してから10分以上経過した後の特性が最もよいことがわかる。ただし電源投入直後のドリフトはかなりあり、したがって使用法として波浪計は電源投入後10分経過してから投棄することが望ましい。また図中の⑦は受信機のドリフト特性であって電源投入後50分以降はドリフトが皆無である。したがって受信機は50分以上温めた後使用することが望ましい。

3.2.7 受信機復調部直線性

受信機復調部の直線性は、波高が $\pm 20\text{m}$ に至るまでは保証されていることが確認された。

3.2.8 電波到達試験

電波到達試験においては、副搬送波通達試験と搬送波の電界強度測定との2種類の試験を行った。副搬送波通達試験においては、波浪計の空中線は従来型と称する $\lambda/4$ ダイポールを使用し、受信側の空中線は $\lambda/2$ ダイポールを用いた。波浪計を実船より投入した後、本船が現場を離れて行き、その間の波高値の連続記録をとっておき、記録の具合から信号の通達距離を判定する方法をとった。この結果8km以上はなれると雑音の混入が激しくなり、スペクトル解析等のデータとしては使用不可能と判定された。また受信側空中線を4素子ハ木アンテナに変更しても、この間の事情に変化はなく、副搬送波の通達距離は8kmしかとれないことが判明した。

搬送波の電界強度測定においては、波浪計の空中線を4種類使用して阿字ヶ

浦海岸において比較試験を行った。受信側空中線は $\lambda/2$ ダイポールを用いた。結果は図3-11に示す。図中の④は計算値、⑥は $\lambda/8$ 下端ローディングコイル付 4ϕ ステンレスアンテナ、③は $\lambda/4$ ガラスウールアンテナ、①は $\lambda/8$

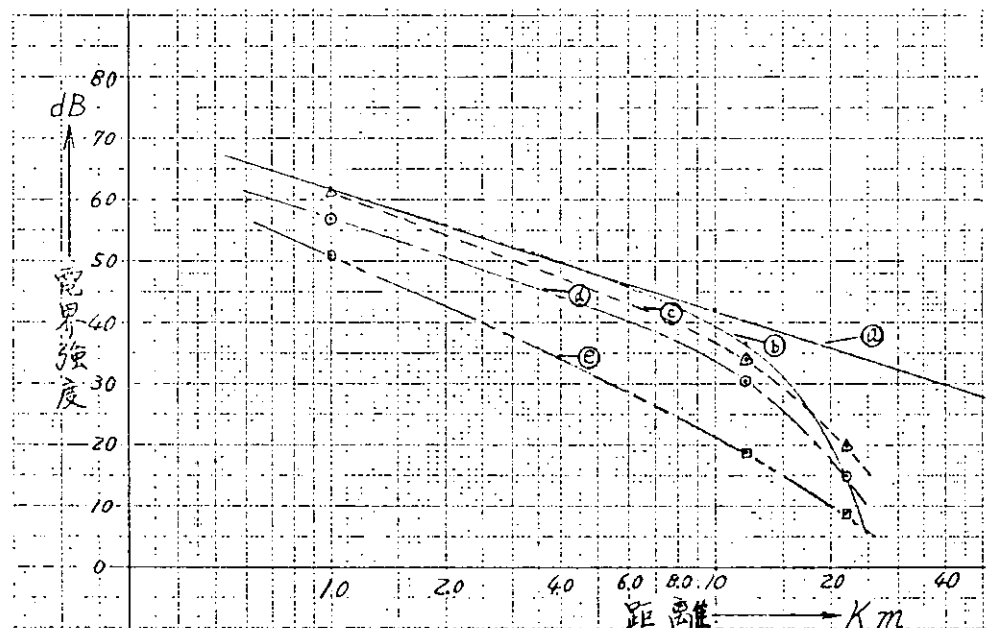


図3-11 電界強度測定

センターローディングコイル付ガラスウールアンテナ、③は従来型アンテナである。この結果、 $\lambda/8$ 下端ローディングコイル付 4ϕ ステンレスアンテナが最も秀

れていると結論される。

また、電界強度測定に使用した4種類の空中線を用いてダミーの副搬送波による電波到達試験を、東京湾口の久里浜、金谷間で行った。

この結果、距離17kmでは従来型以外は測定可能であり、距離26kmでは④と⑤が少し雑音が混入するが測定可能であった。空中線に海水をかけても変化はなかった。また波浪計を強制的にRollingさせた場合⑥と⑦ではごくわずかの雑音が増えるにすぎないが、⑧では雑音の混入が激しく測定不可能となった。

3.3 実船計測例

実船計測に用いた波浪計は全て、3.2.6項、3.2.7項における従来型と称するものを用いている。また受信側空中線は $\lambda/2$ ダイポールを使用した。

3.3.1 2万トン級貨物船

昭和47年8月11日 館山沖において行った実験結果を図3-12,13に示す。自動平衡型の記録器による結果である。

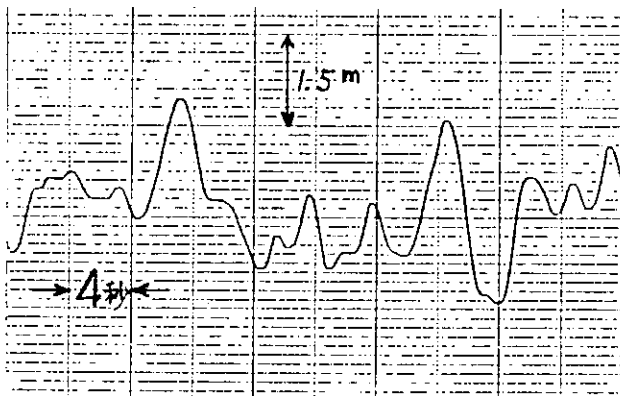


図3-12 投入直後

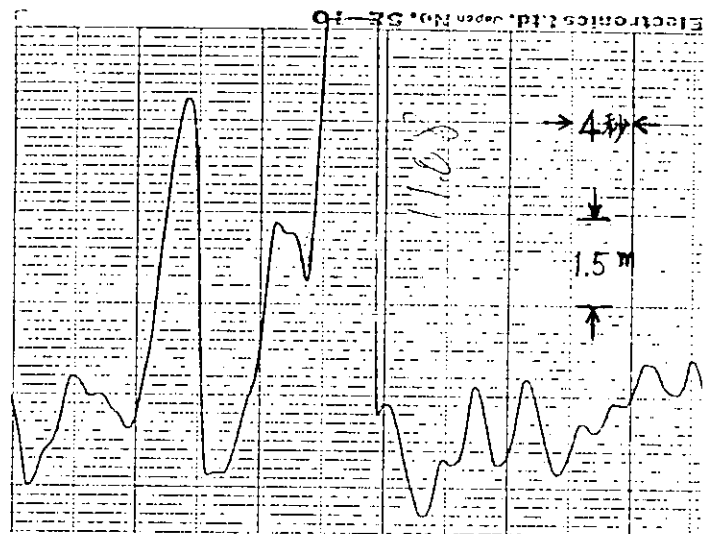


図3-13 雑音混入例

3.3.2 海上保安庁測量船 天洋

昭和47年11月14日～16日 館山沖において加速度式波浪計と共同で実験を行った。加速度式波浪計とは搬送波の周波数が同一であるため比較試験は行われていない。当日の外界条件は第4章表4.2.1に示されている。記録はレクタグラフによる。図3-14～20に通達距離が0.3kmから14kmにわたって離れてゆく際の雑音混

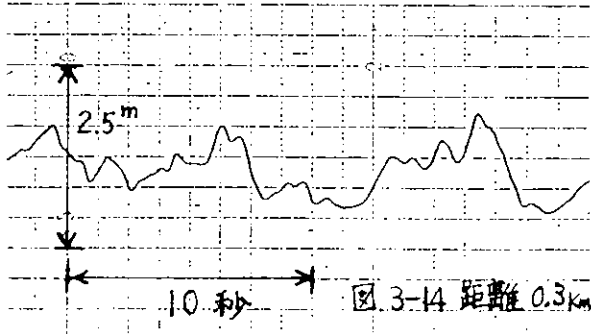


図3-14 距離0.3km

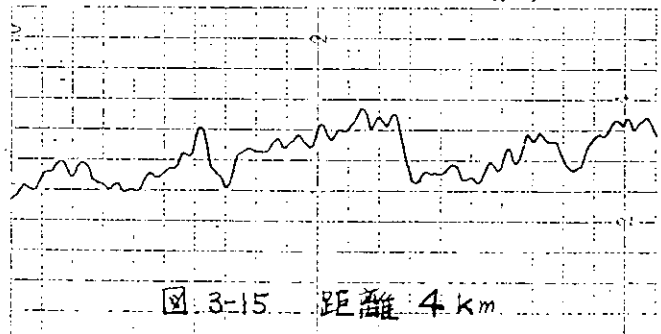


図3-15 距離4km

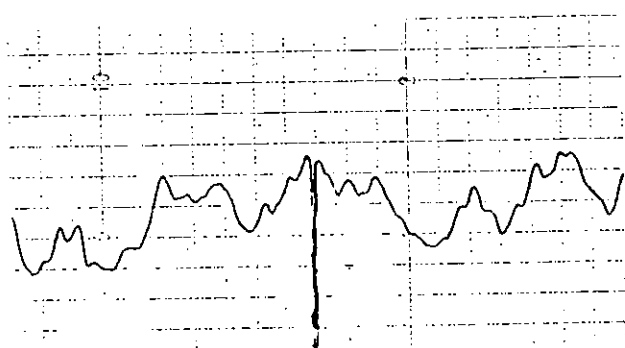


図. 3-16 距離 6 km

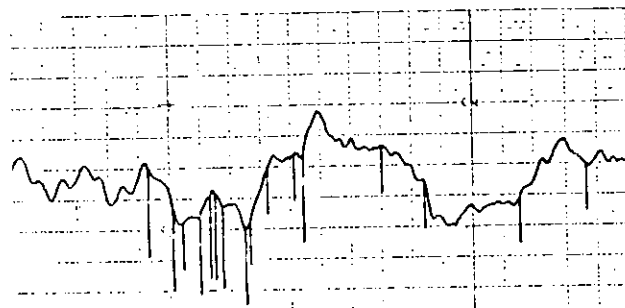


図. 3-17 距離 8 km

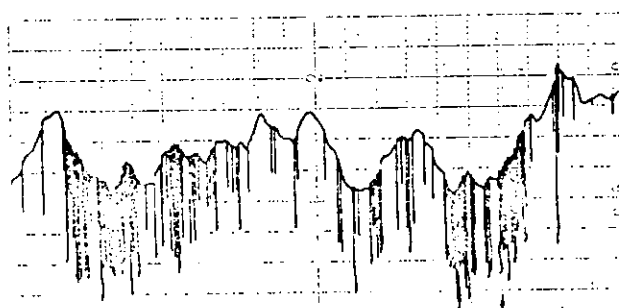


図. 3-18 距離 10 km

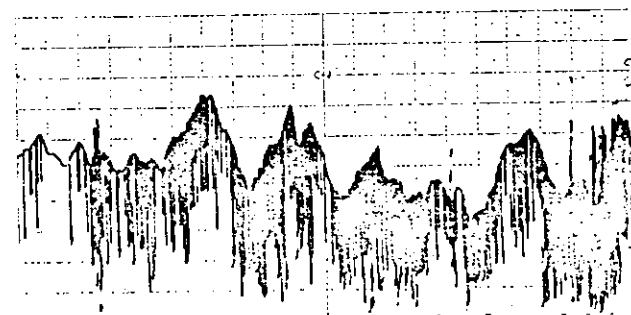


図. 3-19 距離 12 km

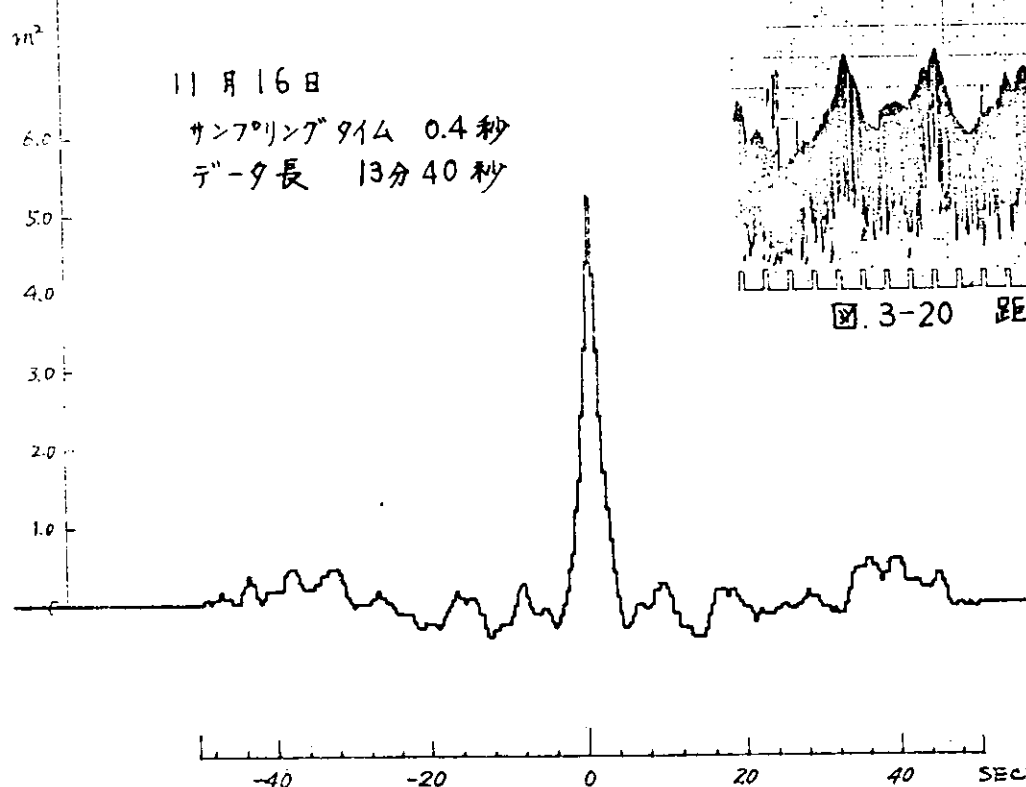


図. 3-20 距離 14 km

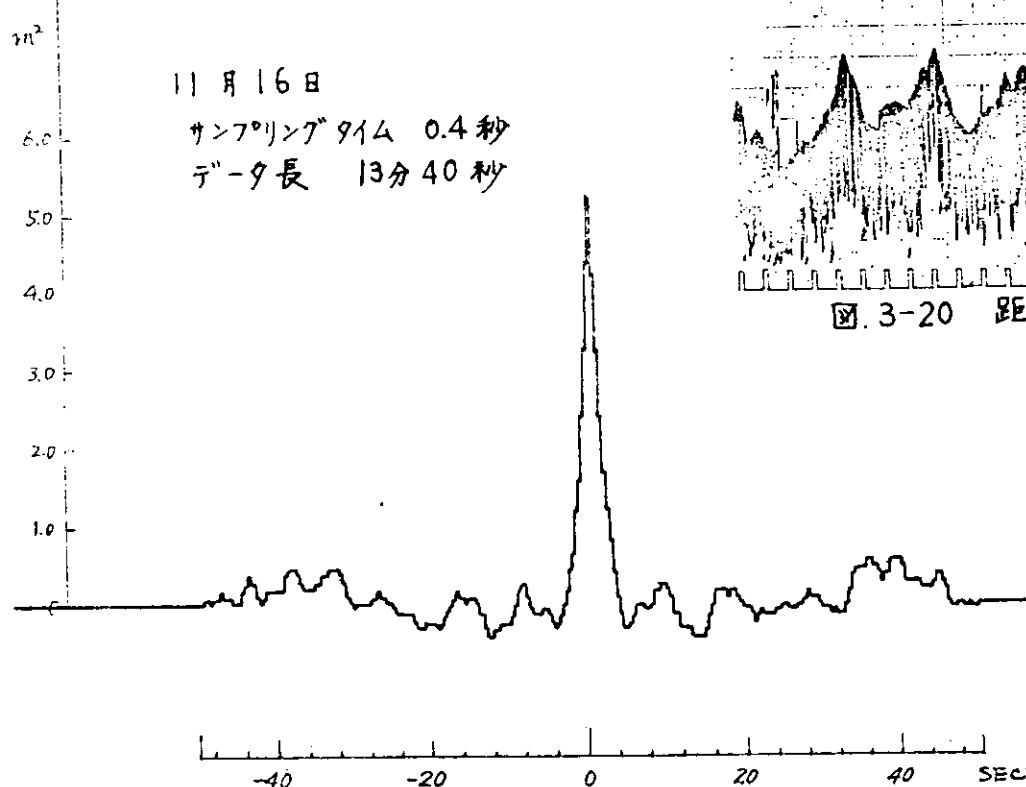


図. 3-21 自己相関

入の状況を実測例により示す。また図. 3-21, 22 に投入直後 14 分間の自己相関とエネルギースペクトルを示す。

3.3.3 SR125 ニューヨーク航路コンテナ船

昭和 47 年 11 月～12 月 大平洋上において 5 台の波浪計を投入し、うち 1 台は

投入と同時に信号が途絶えた。2台は雑音混入激しくまたドリフトも激しく解析不可能であった。残り2台は良好な記録がとれた。この場合も電波到達距離は約8km程度であった。また受信側の空中線に折損事故が発生した。

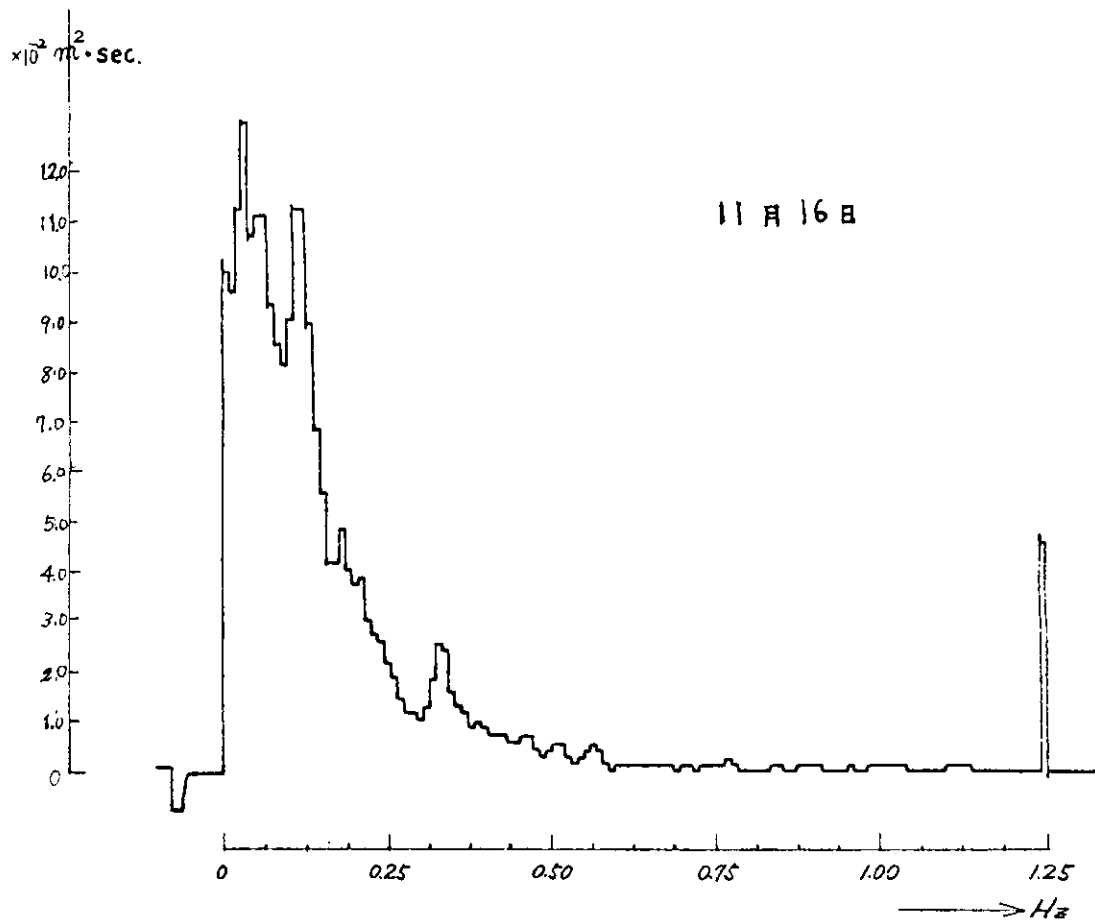


図. 3-22 エネルギースペクトル

4 加速度式波浪計

4.1 概要および改良点

加速度式波浪計の原理および仕様概要は、昨年度報告したものとほとんど同じで、洋上に投下したブイの上下加速度の変動を無線伝送し、本艇上で受信したのち、電気的に2回積分しブイの上下動変位として記録するものである。

計画仕様では、測定範囲は波高 $0.05 \sim 15 \text{ m}$ 、波周期 $3 \sim 20 \text{ sec}$ 、テレメータは 40.68 MHz の FM-FM 方式となっている。検出素子は、抵抗変位ずみゲージを応用した小型加速度計で、ジンバル吊りの重錘中に組込み、常に水平方向を保ち、鉛直方向の加速度成分のみを取り出すようにしたものである。

これまでの試験結果では、波高の変動曲線に長周期の変動（ドリフト）が重畳して、解析に困難を感ずることが多かった。これは、検出素子を格納した重錘の支持機構が不完全で、人工水平支持が完全ではなかったことと、二重積分回路にも若干の問題があったことの、両方に原因があるものと考えられる。そこで、本年度はそれぞれに対していくつかの改善策を講じた。

重錘支持については、ジンバル部のベアリングの改良と、重錘箱の中に入れた減衰用のシリコン油の粘度の調整を行なった。二重積分回路にも若干の改良を加えた。

ブイの形状については、本方式を最初に試みた水124研究部会の実船計測以来、いくつかの改良試作を行なったが、その概要を略示すると 図4.1.1のとおりである。

I型は円筒形のもので、最初に試みたものであるが、ブイ自体の上下動（heaving）が大きく、好ましくないものと思われる。

II型およびIII型は、重量が相当あることと高所から投下したときの衝撃が大きいためを除けば、ブイ自体の運動性能はいいようである。

IV型は加速度検出部を水中に垂下し、ブイ自体は浮力の救命ブイを利用した簡易型のものであり、V型はさらに軽量化を計ったものである。

4.2 試験結果

昭和47年11月14～16日、房総沖において海上保安庁の測量艇“天洋”に便乗して行なった試験結果の一例を以下に述べる。比較すべき他の計測装置による同時計測結果がないので、精度については何もいえないが、ほぼ満足すべき

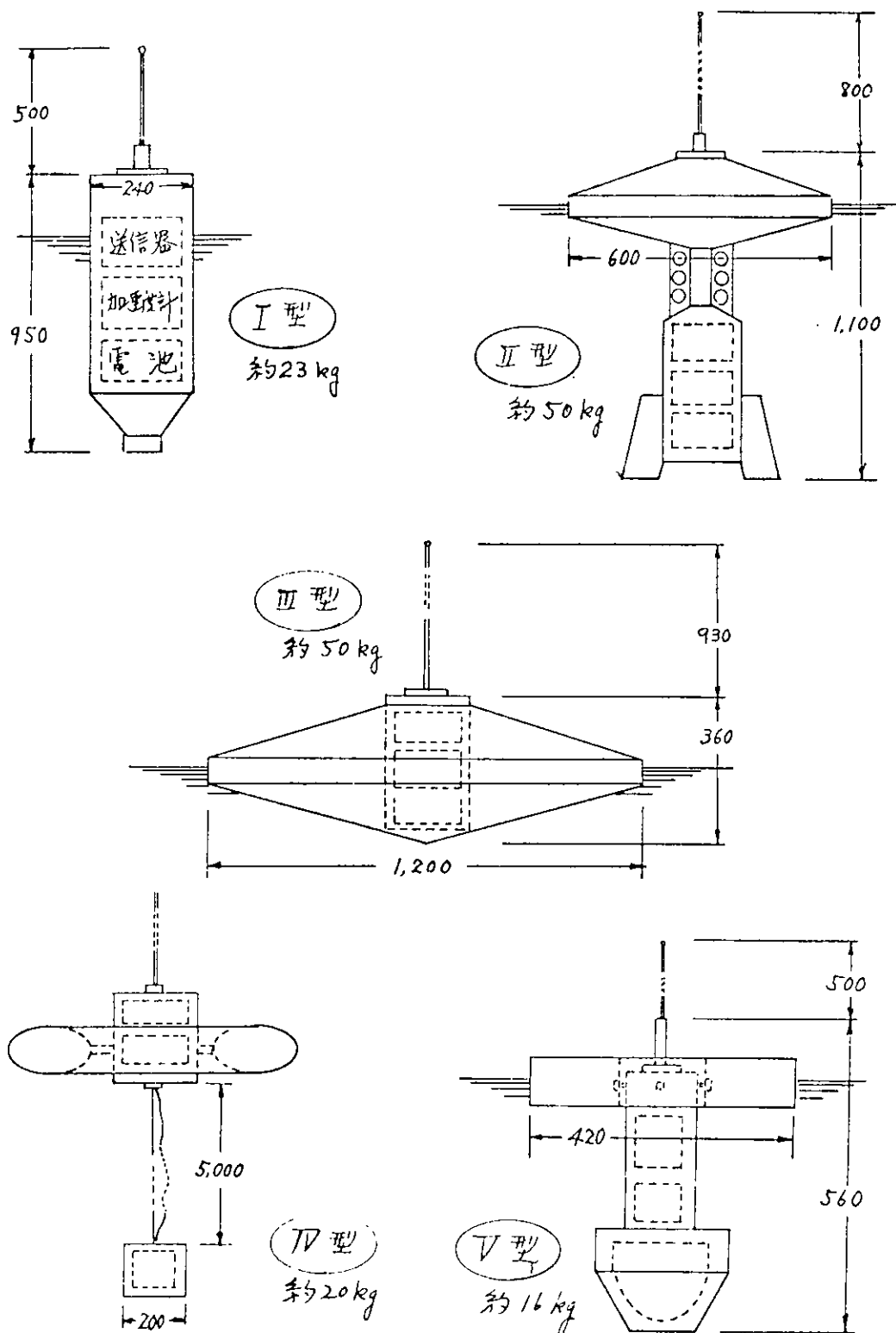


図 4.1.1 加速度式波浪計ガイ外観

結果が得られたものと思う

精度の較正については、昭和48年2月中旬、運輸省航海訓練所練習艦“連徳丸”に便乗して、定置式の波高観測塔おひづろにバリーフ型波浪計との同時計測を行なったが、その結果は目下解析整理中である。

今回はⅡ型、Ⅲ型およびⅣ型ブイについて計測を行なった。Ⅳ型ブイは、水中垂下部の重量、垂下長などが必ずしも適当ではなかったようで、計測結果は全り好ましいものではなかった。他の2種については良好な計測結果が得られた。前年使用したかった記録曲線の寒レベル(平均値)のドリフトはほとんどみられなかった。

Ⅱ型のうち1個は、比較的荒れた海面に投擲し、受信側の本艇と連力9ktで遠ざけていったが、40分間ほど正常な記録ができ、以後若干雑音が入るようになり、零長ドリフトが目立ってきたが2時間10分ほどは動作していた。

今回の計測に用いたブイの外観(図4.2.1) および図4.2.2に示す。



図4.2.1 Ⅱ型ブイ および Ⅲ型ブイ



図4.2.2 Ⅳ型ブイ

図4.2.3 はⅡ型ブイによる記録曲線の一例である。直接ペンレコーダで記録したものと、磁気テープ式のレコーダの再生出力も振かせたものとも並べて示してある。波高の再生記録(最上段)に高周波のノイズが重畳しているのは、データレコーダの不備によるものである。

図4.2.4 はペンレコーダ記録と手動解析したもので、波高および波周期の頻度分布を示したものである。(A),(B),(C) 各ケースの外海条件は概略表4.2.1のとおりであった。

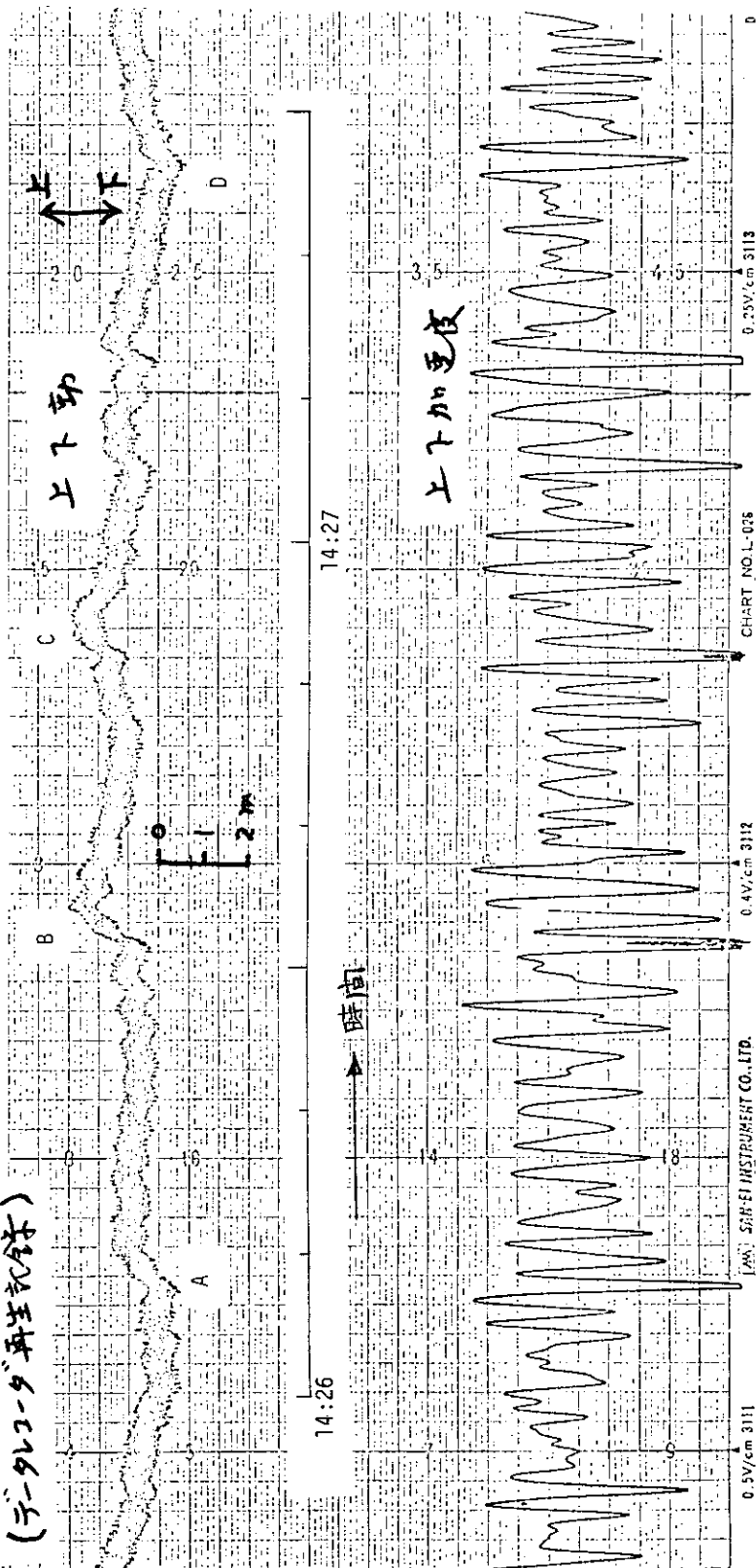
表4.2.1 計測時外海条件

ケース	日 時	目視波高(m)	風速(kt)
(A)	昭和47.11.14: 13:50	0.5~1.0	10
(B)	47.11.15: 14:20	2	23
(C)	47.11.16: 8:40	2	6

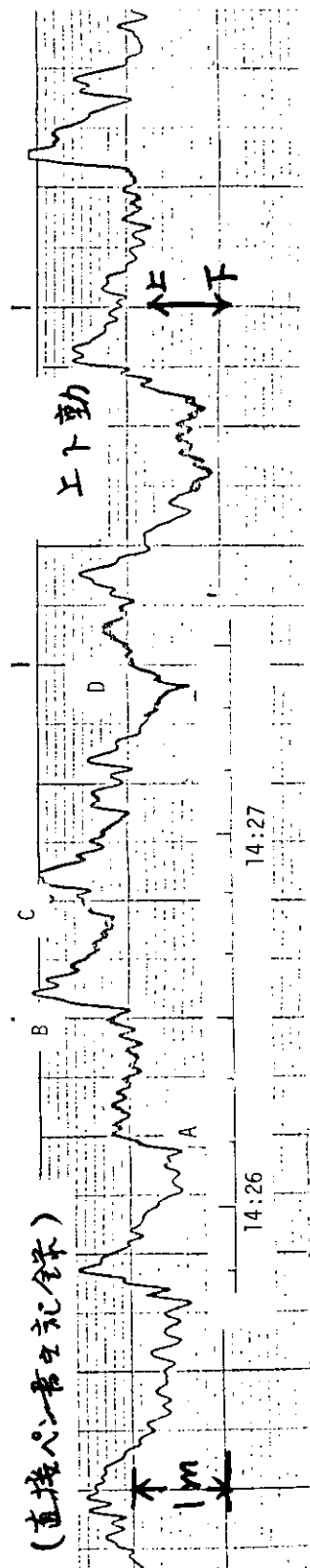
図にみられるとおり、(A)の場合には小波($H_{1/3}=0.6\text{ m}$, $T=3.3\text{ sec}$)の上には、比較的低周期の長い大波($H_{1/3}=1.8\text{ m}$, $T=17.1\text{ sec}$)が重畳している現象が認められる。実際にこの通りのうねりが存在していたのか、計器に周期的なドリフトを起す要因がいくらかあったかということば、現段階ではまだはっきりしない。(B)および(C)の場合にはこのような現象はまったくみられなかった。

図4.2.5 は、上記(A)の場合の磁気テープ記録を再生処理して、自己相関およびエネルギースペクトルをとったものである。このスペクトルからみれば、図4.2.4の(A)の同期のヒストグラムに $T < 2\text{ sec}$ の部分がないのは不合理であるが、これはペン書き記録の読み取り精度以下のところである。

(デジタルコーダ再生記録)

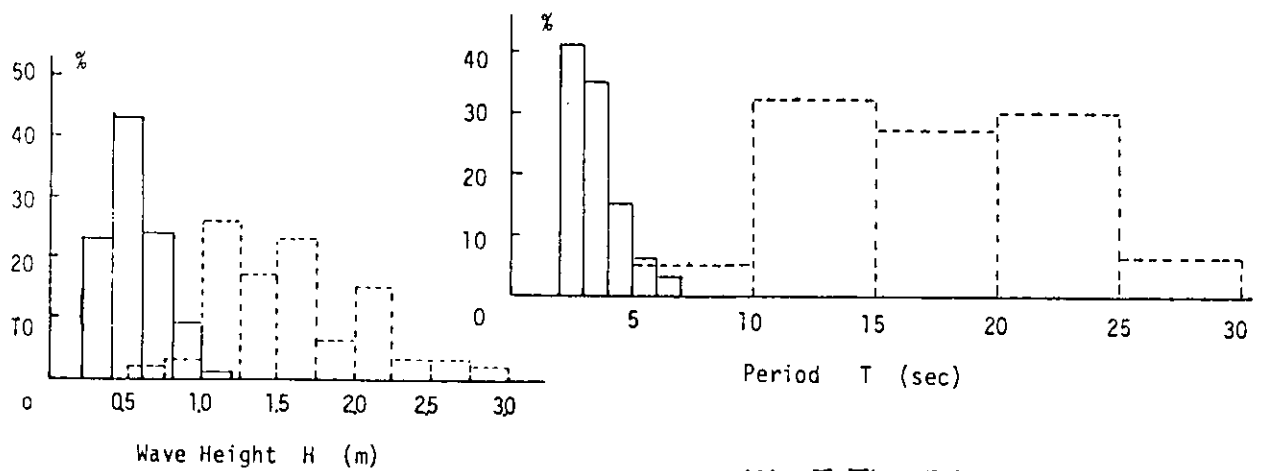


(直接ペン書き記録)



(A) Ⅱ型アイ
Nov. 14, 1972

図4.2.3 記録曲線例



(A) II型ブイ

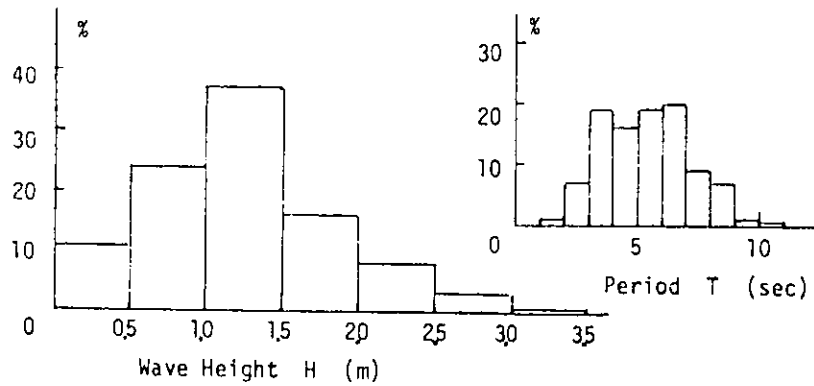
Nov. 14, 1972, 13:50

$N = 140$ (70)

$\bar{H} = 0.5$ (1.6) m

$H_{1/2} = 0.6$ (1.8) m

$\bar{T} = 3.3$ (17.1) sec



(B) II型ブイ (投錨)

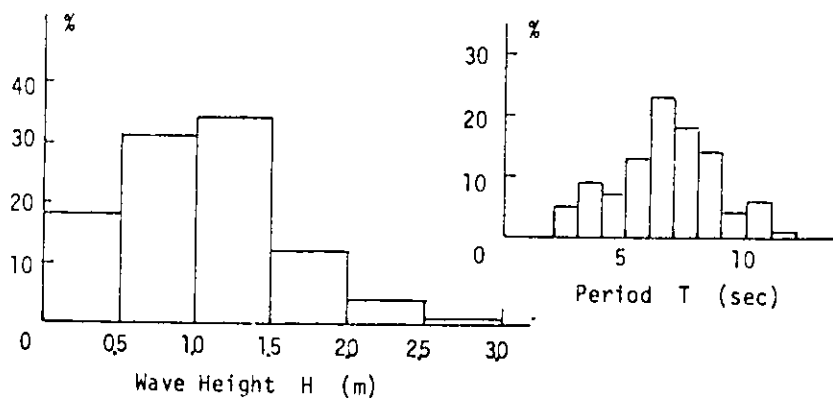
Nov. 15, 1972, 14:20

$N = 160$

$\bar{H} = 1.0$ m

$H_{1/2} = 1.6$ m

$\bar{T} = 5.4$ sec



(C) III型ブイ

Nov. 16, 1972, 08:40

$N = 150$

$\bar{H} = 1.1$ m

$H_{1/2} = 1.3$ m

$\bar{T} = 6.9$ sec

図4.2.4 波高および波周期

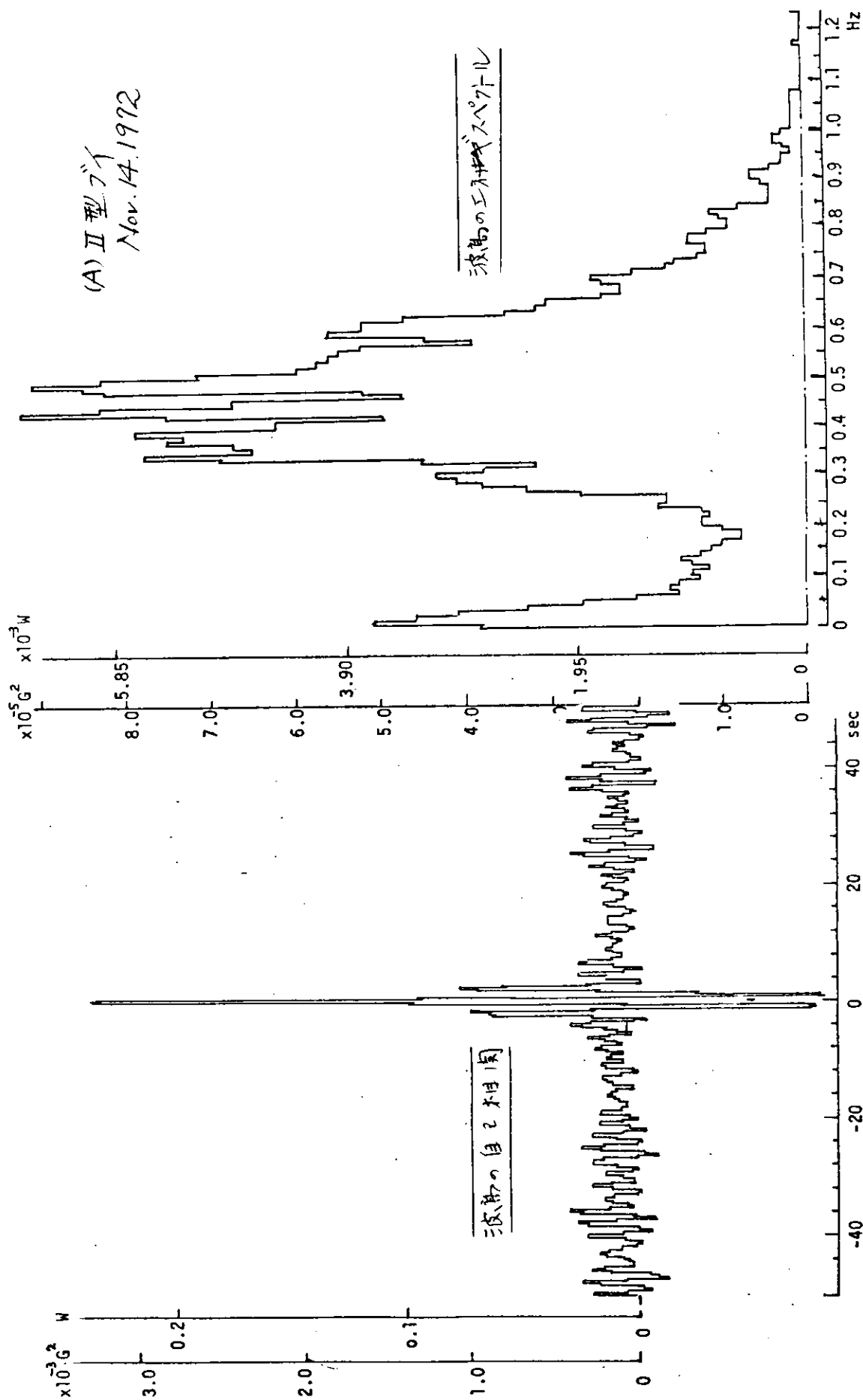


図 4.2.5 自己相関およびエネルギースペクトル

5. クローバー型波浪計測装置

波の方向特性まで含めて精密に計測することの可能な波浪計として、クローバー型波浪計測装置が、昭和46年度に開発され、博多沖においてこの波浪計ならびに他の波浪計を使用した最初の現地実験が昭和47年1月に実施された。昭和47年度には、昭和46年度に行なわれた各種のテストならびに現地実験の結果をもとにして、このクローバー型波浪計の改良、計測結果の詳細な解析、などが実施された。その結果、この装置を波の方向スペクトル測定用の実用的な波浪計として、一応完成することが出来た。

5.1. クローバー型波浪計の改良

昭和46年度に時々生じた計測時のトラブルを解消し装置の信頼度を向上するために実施した主要な改良点は次の通りである。(1) フロートの傾斜角検出用のポテンシオメータのシフトを強化して、軸と歯車との間のスリップを生じないようにした。(2) ジャイロ・ケースよりのケーブル取出用防水ゴネクターを交換して強度を増加し、接触不良の除去ならびに防水性の向上を行った。(3) 上下加速度の信号にまれに混入するノイズを除去するために、ジャイロならびに加速検出用の電気回路の再調整を実施した。以上の比較的小規模な改良に加え、方位検出用のコンパスの大巾な改良が実施された。古い方位を検出するために、マグネット、角速度検出用のランプ、ホトセル系および符号板ならびに電気回路等を含むマグネット・コンパスを使用しているが、昭和46年度に開発したものは、符号板の切れめの所にホトセルが来ると信号がとんで、時々方位がばらばらになるようなトラブルを生じた。このため、今年度には符号板のコードをこのような欠点を生じにくくするようなものに変更するとともに、ランプ・ホトセル系の改良ならびに全体の小型化などを含む大巾なコンパスの改良を行った。

以上のような、開発当初問題となっていた諸点の大巾な改良により、クローバー型波浪計測装置は、昭和47年度に全体的にはほぼ実用上さしつかえない程度に改良された。図5.1は、クローバー型波浪計の全体図を示したものである。

5.2. クローバー型波浪計の性能

完成された装置の主要性能をまとめて示すと表5.1のとおりである。

クローバー型波浪計の波に対する応答特性に関しては、前回の報告において、かなり詳しく報告されているので、今回はその概要のみを述べる。直径1mのフロートを中心間隔2mで正三角形状に配置した現在の装置の波に対する応

答がほぼ1に近くなるのは、周期2.5秒以上（周波数0.4Hz以下）の波に対してである。測定可能な波の上限に関しては現在の所あまりはつきりしないが、現在の所、周期1.5秒程度ではないかと考えている。ただし、周期だけでなく波形勾配にも依存するので、波形勾配が非常に小さなうねりなどの場合にはもう少し短周期の所で測定精度の低下が生じる可能性がある。このような応答ならびに測定精度の点で望ましい周波数範囲を規定するものはブイの広がり、すなわち大きさである。したがって、一つのブイですべての周波数範囲をカバーするのではなく、内海の小規模な風波の測定用、と外洋の大規模な波の測定用とでブイの大きさを変えることによって問題を解決することが出来るであろう。現在のブイの大きさは、どちらかといえば外洋の標準的な波の測定に適したものと云うことが出来る。

この装置にとって、もう一つの非常に重要な性能は、波の方向の分解能である。波の上下方向の変位 $\eta(t)$ あるいは加速度 $\ddot{\eta}(t)$ 、波面の傾斜 η_x, η_y 、波面の曲率 $\eta_{xx}, \eta_{yy}, \eta_{xy}$ の6ヶの量を基にして求め得るのは波の方向分布関数 $f(\theta)$ を

$$f(\theta) = \frac{1}{2} + \sum_{i=1}^N W_i [A_i \cos i\theta + B_i \sin i\theta]$$

とフーリエ分解した場合の係数の第4項まですなわち、 $A_i, B_i, i=1, 2, 3, 4$ である。フーリエ係数を第4項で打ち切るとは、真の $f(\theta)$ に一種のフィルターをかける効果を生じ、そのフィルターの中は、適当な重み関数 W_i まで考慮すると、約 $\pm 33^\circ$ となる。すなわち、このブイの方向分解能は約 33° である。この値は、もう少し簡便な方向スペクトル測定用の波浪計であるボッチ・ロールブイの分解能約 $\pm 65^\circ$ に比べると、決して非常に分解能がすぐれていることがわかる。しかしながら、ほとんど一方向より来ている波、あるいは隣接した二方向より来ている波などの計測結果を解釈するに際しては、このような分解能を頭に入れておくことが必要である。

5.3 測定データの処理

クローバー型波浪計で計測された7ヶの測定量は図5.6に示されたような流れで処理される。すなわち、アナログ型の磁気テープに記録されたデータはマルチフレクサーで順次切り換えられてA-D変換され数値化されて計算機に送り込まれる。計算機内で検定値その他をもとにして、数値の変換ならびに計算に便利なようなデータの編集が行われる。その際必要に応じて、方位の修正が行われる。編集されたデータは高速フーリエ変換でフーリエ分解され、その結果をもとにしてクロススペクトルの計算ならびに方向スペクトルの計算が一つの流れで実行される。一方、必要に応じて、加速度信号をフーリエ分解

して求めた各項を項別に2回積分した後再合成して 表面波形 $\eta(t)$ 、あるいは、フーリエ係数をもとにしてパワーの計算を実行して周波数スペクトルが計算される。結果はすべてライブラリプリンターで数表として、X-Yプロッターで図化してそれぞれ打ち出される。現在の所、以上の処理を通して行った場合が少なくないので、処理時間の正確な値が得られていないが、現在使用している電子計算機システムFACOM 270-20 (DATAC 500 データ集録装置を含む) を用いて、11分間の1つの波のデータを処理するのに上記の処理を全部行なうと準備時間を含めて4~6時間程度を要する。

5.4 測定結果

測定結果の一例は図5.3、図5.4および図5.5に示されている。図5.3は加速度信号を5.3で述べた方法で2回積分して求めた表面波形 $\eta(t)$ である。ただし、フーリエ合成する際に 0.1 Hz 以下 ($T > 10 \text{ sec}$) の波の成分はこの場合切り捨てられている。2回積分は、低周波側に非常に大きな重みをかけることになるので、低周波側に混入するわずかのノイズ、あるいは計算の過程で他の周波数成分よりしみ出して来る信号を非常に増大させて非現実的な結果を生じる場合がある。したがって、合理的な値を得るためには、低周波領域に混入する各種のノイズを出来るだけ減少するようにハードウェアあるいは計算法の改変を行なう一方、最終的には適当な周波数の所より低周波の成分を切り捨てる必要がある。現在考えている切り捨て周波数の判定規準はスペクトルのピークの周波数 f_n の半分とする $f_n/2$ である。一般に、風波のスペクトルのピークより低周波側ではエネルギー密度は急速に低下し、 $f_n/2$ 附近あるいはそれ以下ではほとんど無視出来る大きさとなる。したがって、 $f_n/2$ 以下の成分の切り捨ては全体のエネルギーあるいは波形に対してほとんど影響しない。ただし、現在までの所あまり経験はないが、適当に発達した風波の低周波側にエネルギーが重っているような時には切り捨て周波数の判断がむづかしいような場合が生じるかもしれない。このような場合には例えば水圧型のものに変換器の変更の必要があるかもしれない。

図5.4は図5.3の $\eta(t)$ に対応するパワースペクトルである。これより、今回の場合 $f = 0.1 \text{ Hz}$ 以下の周波数成分を切り捨てたことの妥当性が一定程度推察される。このスペクトルの形は、太平洋で計測されたものであるが、無次元化すると筆者等が以前博多湾で観測した代表的な湾内発生波のスペクトルに極めて近く、いわゆる Pierson - Moskowitz のスペクトルに比べると集中度が大きいことがわかった。そして、同様な多くの外洋の波のスペクトルを調べた結果、場合に依りて、実験水槽の風波のように非常にスペクトル密度の集中度の高いもの、湾内発生風波程度の集中度のもの、あるいは Pierson - Moskowitz スペ

クトルのように集中度の小さいものなど様々な周波数スペクトルの形が生じていることがわかった。

図5.5は同じ波のスペクトルの周波数成分別の方向分布関数 $n(\theta)$ を示したものである。まずこの波の主方向がN.E.であること、周波数の増大とともに集中度が低下していること、などがわかる。すなわち、成分波の低周波成分は比較的集中した方向より進んでいるが高周波成分は、風の主方向をほとんど色々な方向より集積していることになる。点線で示されている曲線は、上下加速度 $\ddot{z}$ および波面の勾配 $\frac{\partial \eta}{\partial x}$ のみを用いて求めた（いわゆるゴック・ロールバイに対応する）方向分布関数である。この場合には $n(\theta)$ のフーリエ係数が第2項までしか決定されないので、フィルター中は約 $\pm 65^\circ$ となり、分解能が低下する。その結果を反映して測定された $n(\theta)$ は大巾に平滑化されていることがわかる。

5.5 結語

以上のようにして、クローバー型波浪計の装置自体、改良する前にこの装置で計測されたデータの処理および解析のため、ソフトウェアの開発を昭和47年度で一応完成することが出来た。部分面には、今後もう少し洗練されたものに改良する点が残されているが一応実用的な波浪計として完成されたものと考えている。ただし、荒天時における波浪計の班工りの上げ下しの作業は、現在の手法では、限界があり、風速にして15 m/sec、波高に1.5~3 mが普通の300~400 トン級の観測船の場合には限界のようである。この問題を解決するための検討が急々と行なわれたけれども、根本的な解決は、ブイ昇降用の専用の装置を開発することに帰するであろう。

表 5.1 クローバー型波浪計の性能

- (1) 鉛直加速度 S_{tt} (加速度計)
- a) 測定範囲 : $\pm 2 \text{ g}$
 - b) 直線性 : 1 % 以内
 - c) 分解能 : 0.1 %
 - d) 固有振動数 : 47.5 Hz
 - e) 減衰係数 : 0.7
- (2) 傾斜角 (ピッチ・ロール) S_x, S_y ジャイロ + ポテンシオメーター
- a) 測定範囲 : $\pm 55^\circ$
 - b) 直線性 : 0.5 % 以内
 - c) 分解能 : 0.1°
 - d) 自立精度 : ピッチ $+0.15^\circ$ ロール -0.25°
 - e) 自立速度 : $20^\circ/\text{s}$
- (3) フロート傾斜角 $S_x(i), S_y(i)$ ($i=A, B, C$) ポテンシオメーター
- a) 測定範囲 : $\pm 30^\circ$
 - b) 直線性 : 0.2 %
 - c) ポテンシオ分解能 : 0.056 % (角度では 0.04°)
- (4) 方位角 θ マグネット・コンパス
(符合板、フォトセル等含む変換器)
- 32 方位 (分解能 : 11.25°)

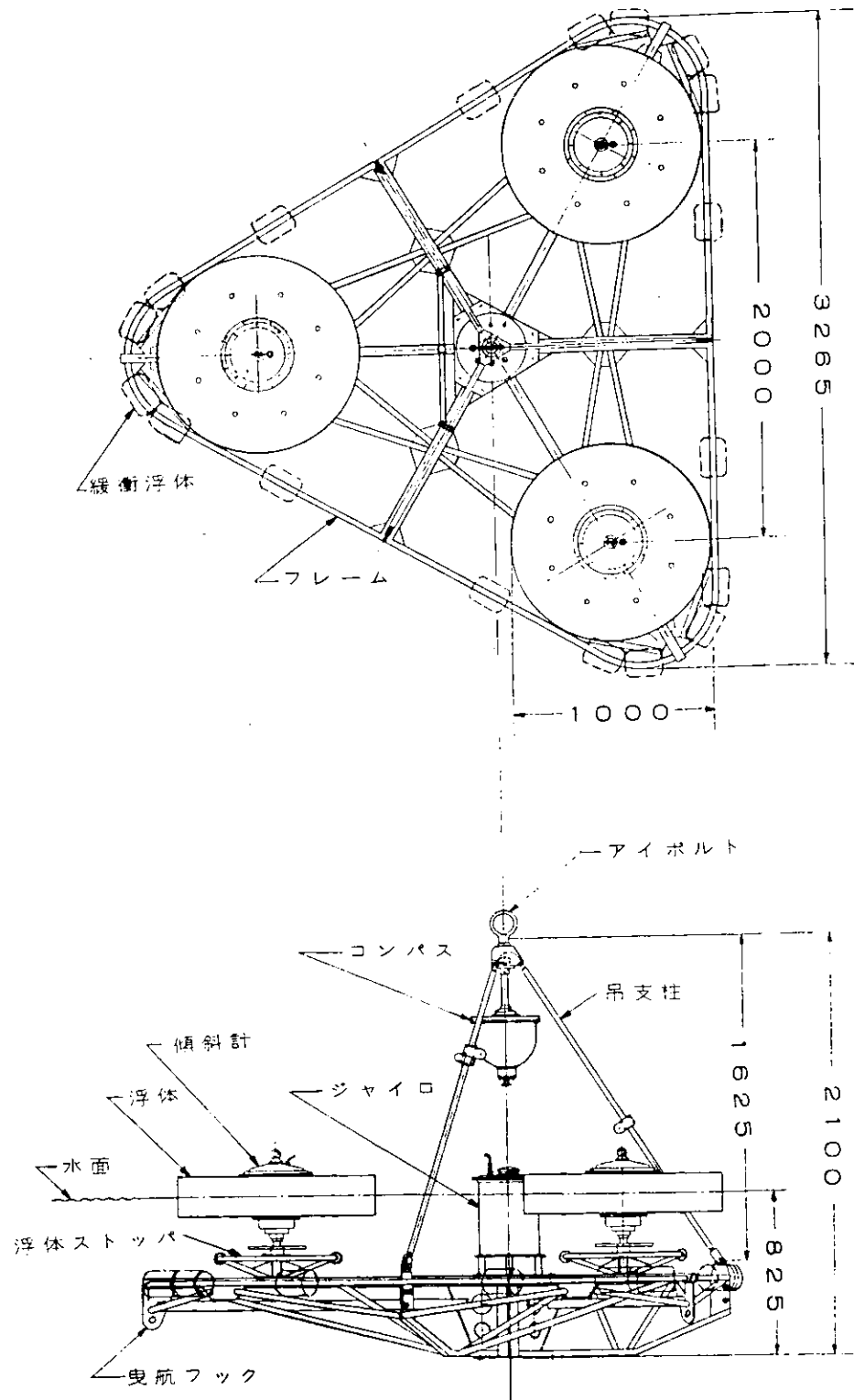


図5.1 クローバー型波浪計

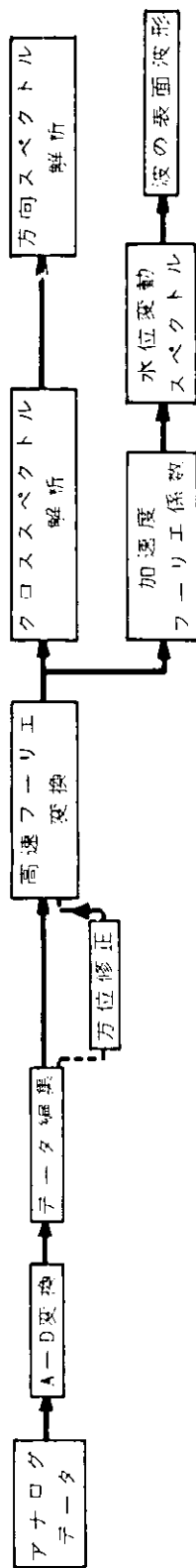


図 5.2 データ処理の流れ図

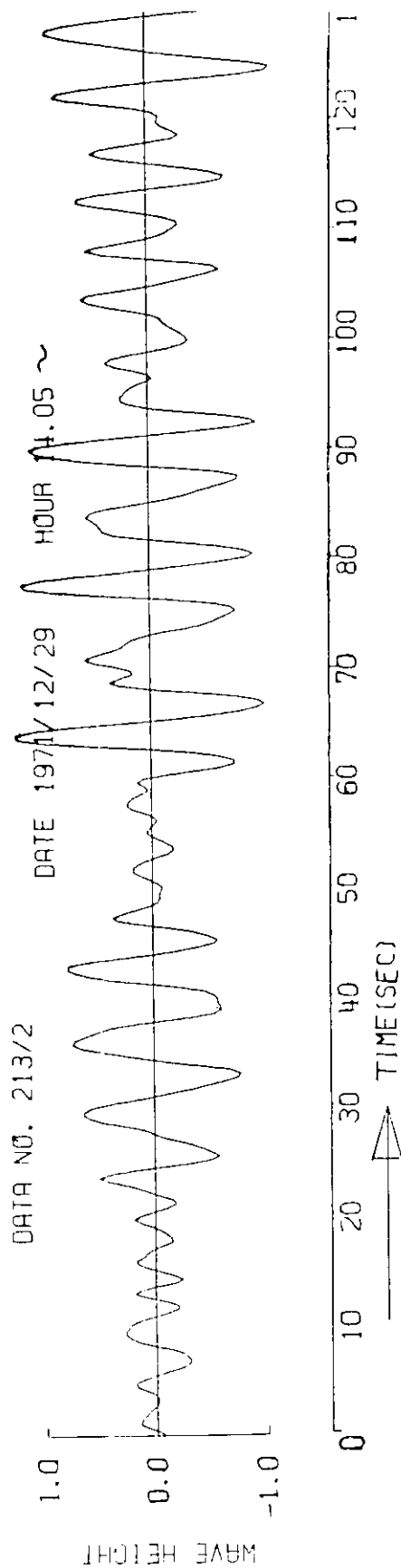


図 5.3 海洋波の波面の時間的変動 $\eta(t)$

POWER SPECTRUM
DATA NO. 213/2

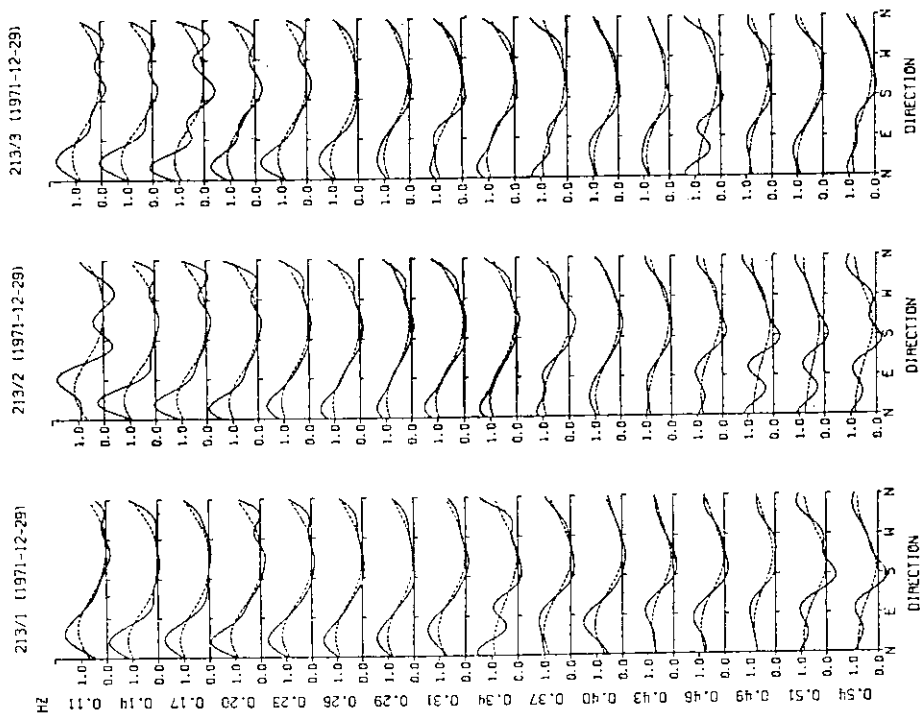
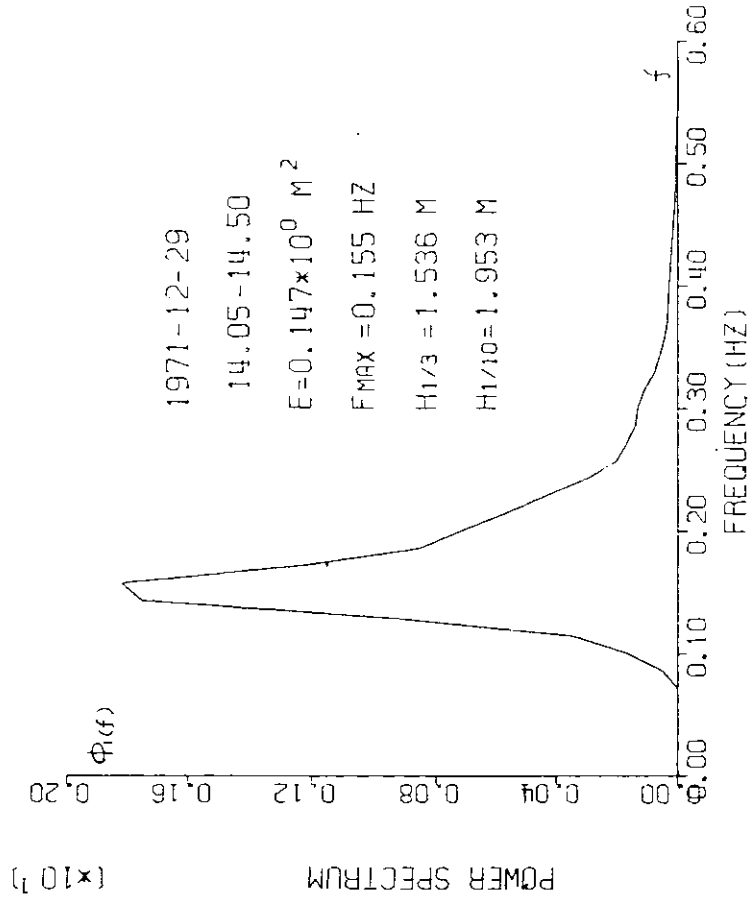


図 5.5 海洋波の方向分布図数 $f(16)$

図 5.4 海洋波の周波数スペクトル $P(f)$

6 レーザ波浪計

6.1 まえがき

レーザ波浪計の開発に関する研究は、レーザの持っている多くの特徴を利用して、波高測定センサーとしての実用計器を開発することを目的としている。このために、昭和46年度において、変調波位相差測距方式による、レーザ波浪計を試作し、その性能試験を行なった。その結果は、昨年度の報告書に述べたが、要約すれば次の通りになる。この波浪計で、もっとも問題となるのは、波浪の発生している水面よりのレーザ反射光の強度である。これについて実験した結果、静水面の反射率は、1%強であり、さらに、風をともなった波面よりの反射は、微弱なパルス光となった。この反射光の検出に対し、もっとも大きな雑音源となるものは、 1 kW/m^2 の強大な太陽光の反射であるが、前年度試作のものでは、十分なS/N比が取れず、使用は、たとえば夜間などに制限される。

さらに、装置の安定性が低く、厳しい海象、気象条件で使用できるには多くの改良すべき点があることがわかった。もっとも大きな故障としては、変調器のKDP結晶を使用した変調素子が、潮解性のために、レーザ光の透過率が非常に低下し、距離計としての性能を実験することが昨年度中にはできなかったことである。このような経過から、レーザ波浪計を、48年度以降に行なわれる実船実験において実船搭載用波浪計として採用することは取り止めた。しかし、なお将来の問題として、レーザ使用の波浪計の実用化は必要と考えられるので、47年度においても基礎研究を続けることとなった。

6.2 レーザ波浪計の問題点

昨年度および今年度の研究によって明らかになったレーザ波浪計の問題点の主なものは、次の通りである。

6.2.1 受光感度の不足

距離測定が完全に行なわれるためには、海面の反射光のレベルが、受光系の受光感度にくらべて十分でなければならない。波高指示の位相計入力は、 $50\text{ }\mu\text{V}$ 以上のレベルを必要とする。反射ミラーの反射光に対する受光出力は、位相計入力のところで $1\sim 5\text{ mV}$ である。この場合には、ミラーの移動に対し距離出力は明瞭に得られる。これを図6.2.1に示す。静水面による反射は、微弱であって測定困難であるが、反射率より推定して、 $15\sim 60\text{ }\mu\text{V}$ 程度であり、受感レベルぎりぎりであり、実際に距離指示は不安定で、測定不能

範囲があらわれる。
 これを図 6. 2. 2 に示す。
 さらに、送風機によって、
 6cm 程度の波を水面にお
 こすと、反射光量は激減す
 る。反射光を、写真撮影
 したものが、図 6. 2. 3 であ
 る。露出時間の減少とと
 もに、フィルム面上にあら
 われる光量は、小さいスポ
 ットに分離し、反射光の機
 構がほぼわかる。この光
 量は、光の突の面積より算
 出すれば、鏡面反射に比し
 さらに $1/100$ 程度であり、
 電氣的測定によれば $1/3000$
 ~ $1/1000$

であると
 推定され
 る。
 いずれに
 しても、
 受感レベ
 ルよりはる
 かに低く、測定
 不能とな
 ることは
 明らかで
 ある。

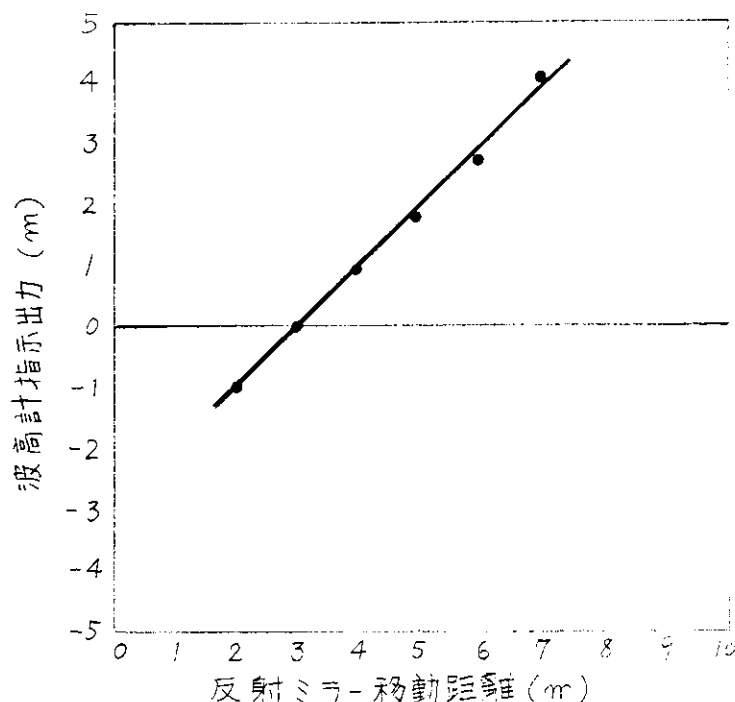


図 6.2.1 波浪計の強い反射光に対する考法

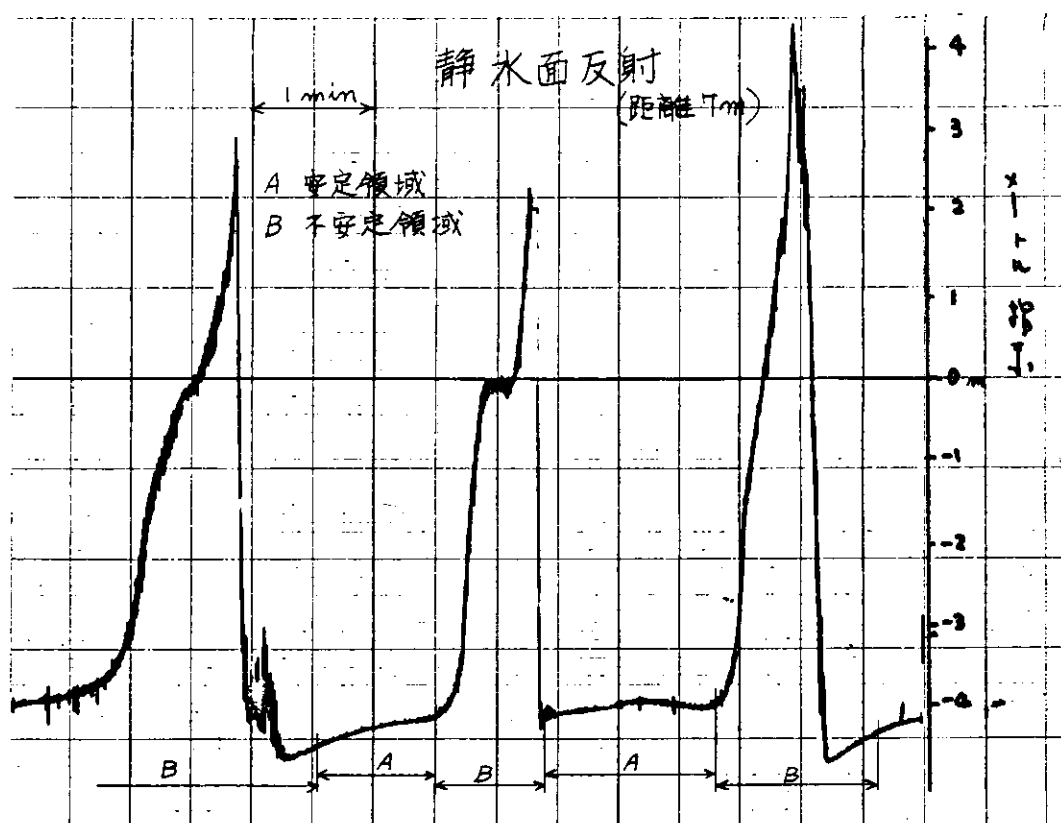


図 6.2.2 反射強度の小さいときの距離指示の不安定性

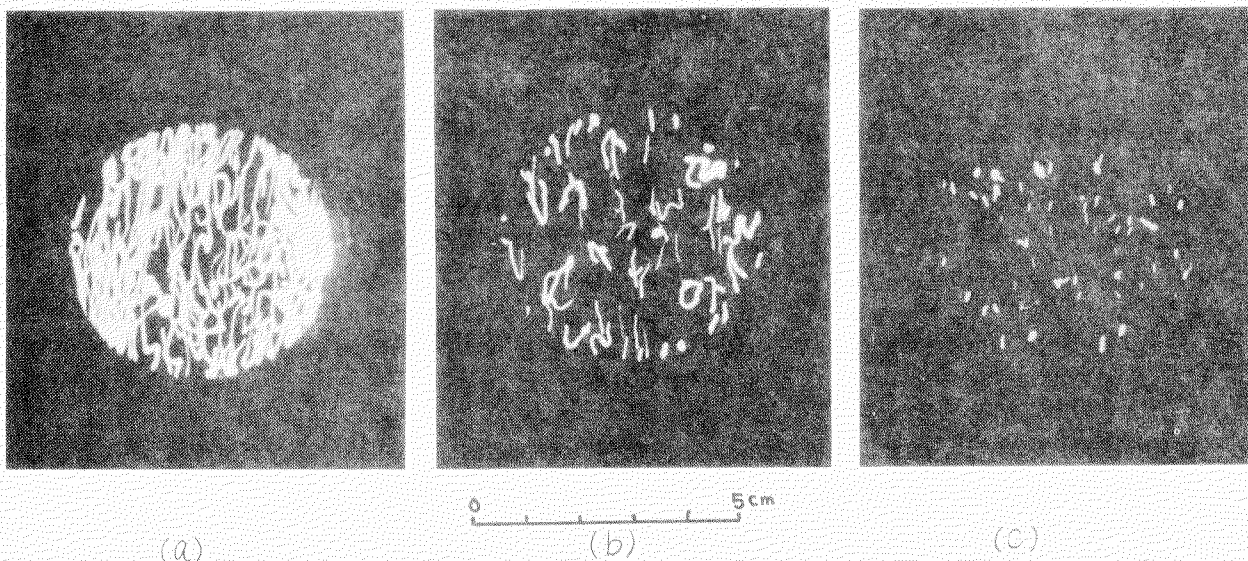


図 6.2.3 波面によるレーザ反射スポット 波: 波高 0.24 cm, 周期 0.19 sec, 波長 5.6 cm, 阻害 1/5
露出時間: (a) 1/15 sec, (b) 1/60 sec, (c) 1/250 sec
(f 5.6)

6.2.2 太陽光の影響

受光系のフォトマル出力における雑音源としては、太陽光より来る背景光ノイズがもっとも大きく、ショットノイズ、サーマルノイズ、暗電流ノイズは、2桁以上小さくて無視できる。太陽光の影響は、前報に述べたように、海面に入射するパワーの比として、垂直入射の場合

$$S/N \cong P/110 \Delta\lambda \cdot S \quad (6.1)$$

であらわされる。ただし P : 海面に入射するレーザパワー (mW)
 $\Delta\lambda$: フィルターの通過幅 ($\text{\AA}$)
 S : 受光系に入る反射面積 (m^2)

である。前年度の装置では、 $P = 1 \text{ mW}$, $\Delta\lambda = 120 \text{ \AA}$, $S = 1 \text{ m}^2$ として

$$S/N = 1/13,000$$

となり、測定は不可能である。

6.2.3 装置の不安定性

実験を行なうとき困ったことに、装置全体の不安定性がある。これは、ほとんどすべての部分について云えるが、主なものは、レーザ光源と変調器であった。

変調器は、温度補償を行って安定化してあるが、それでも長時間使用すると、レーザ光の偏光面が回転し、変調光の位相が 180° 逆転し、その中間で使用不能範囲が生じ、さらに安定化される必要がある。

6.3. レーザ波浪計の改造

レーザ波浪計について6.2で述べた問題点を明らかにした後、これらを解決するために、本年度においてレーザ波浪計の改造を行なった。その主な点を次に述べる。

6.3.1 受信感度の向上

受信感度が大幅に不足していることは、6.2.1に述べたが、これについて次の対策を取った。

(1) レーザ光源の出力増強

前装置のレーザ光源は、最大定格10 mWであるが、実際には6~8 mWの範囲で使用可能であった。これを、安定化された定格15 mW、最大18 mWのレーザ光源と交換して、出力の2~3倍アップをはかった。出力増強には、変調器の変調率の増加も有効であるが、予算不足で見送ることとした。

(2) 高感度フォトマルチプライヤの採用

前装置のフォトマル(浜松テレビク102)は、分光特性、感度の点で不适当であった。これを、He-Ne レーザで高感度の特性を持つRCA-8645と交換し、感度の2桁以上の改善となる。

(3) 低雑音高周波増幅器の使用

レーザ出力の増加と、フォトマルの感度増加によってもなお不足する受信感度は、30~40 dbの低雑音増幅器によって補うこととした。

6.3.2 S/N の向上

太陽光の影響を大幅に減少させなければ測定不可能であることは、6.2.2で述べたが、これに対する対策を次に述べる。

(1) レーザ出力の増加

これは、6.3.1にも述べたが、(6.1)式の P を大きくすることによるS/Nの向上である。

(2) フィルター通過幅の減少

(6.1)式の $\Delta\lambda$ の減少であり、120 Åを20 Åに減少させた。

(3) 反射面積の減少

(6.1)式の S の減少である。前装置では、レーザ送受信の光軸が、角度を持っている光学系である。これは、受光系を見る反射面の中で、反射面までの距離の変化によって、送信ビームが動きまわる余裕が必要であり、必然的に、太陽光の影響が受光レンズに入る面積が大きくなる。そこで、本年度の改造では、送受信光軸を一致させ、光学系に粗野絞りを付け、反射面積 S を大幅に減少させることにした。 S は20 mの距離で30 mm中の円となり、 $7 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ となる。

以上によって S/N は、(6.1)式より

$$S/N = \frac{2.5 \times 6 \times 10^4 / 7}{13000} = 1.6$$

となり、垂直入射の場合でも測定可能となる。

6.3.3 変調器

変調器については、変調度、ビーム集束性、ビーム特性、位相安定性について不備が残るが、今回は改造を見送ることとした。変調素子として、性能のよいものが開発されつつある現状で、2,3年先の見通しは明るい。

6.4 仕様

以上の構想によって改造した、レーザ波長計の仕様は、次のとおりである。

6.4.1 構成

ブロックダイアグラムを図6.3.1に示すように、同一光軸を持つ送信部、受信部およびエレクトロニクス部より成る。破線は、非改造部分である。

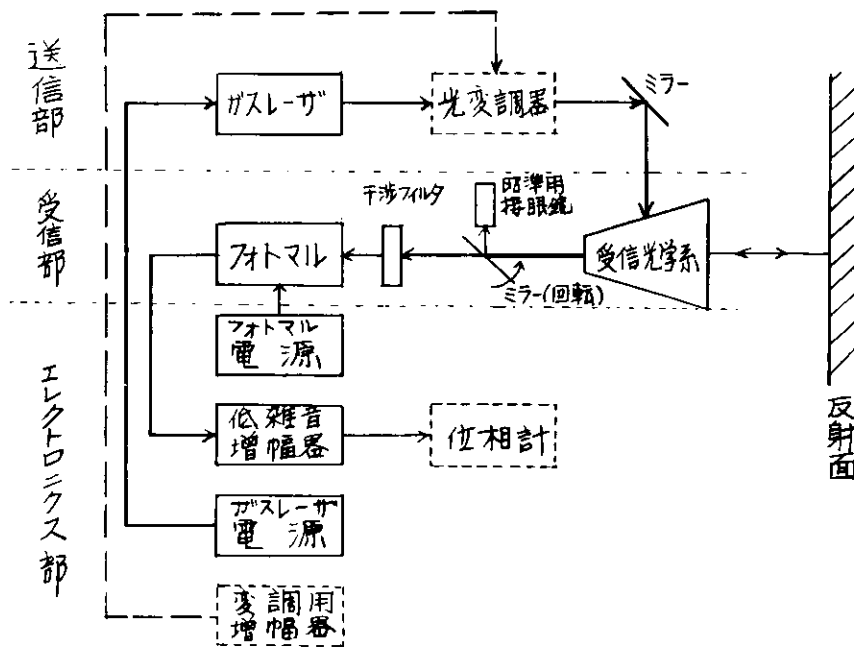


図 6.3.1 レーザ波長計改造のブロック図

6.4.2 各部仕様

(1) 送信部

(a) ガスレーザ

(i) 型名

NEC GLG 2016

(ii) 波長 He-Ne 6328 Å

(iii) 出力 15 mW 以上

(2) 受信部

(a) 受信光学系

(i) 受信視野 20 m 先で約 30 mm 中の視野絞り付き

- (ii) 有効口径 約 100 mm ϕ
- (iii) 照準用接眼鏡 ミラーにより受信切替使用
- (b) 干渉フィルター
 - (i) バンド幅 約 20 Å
 - (ii) 透過率 65% 以上
- (c) フォトマルケプライヤ
 - (i) 型名 RCA-8645
- (3) エレクトロニクス部
 - (a) ガスレーザ電源
 - (i) 型名 NEC GLS 2016
 - (b) フォトマル電源
 - (i) 型名 John-Flake Model 412B
 - (ii) 出力電圧 $0 \sim \pm 2100 \text{ V D.C.}$
 - (c) 低雑音増幅器
 - (i) 中心周波数 7.5 MHz
 - (ii) 帯域幅 $\pm 10 \text{ KHz}$ 以下 (3 db down)
 - (iii) 雑音指数 6 db 以下
 - (iv) 利得 約 40 db
 - (v) 入出カインピーダンス 50Ω
 - (vi) 最大出力電圧 0.5 V peak 以上
- (4) 機械構造
 - (a) ベンチ

送信部および受信部を同一光学ベンチ上に固定。送受の実装は任意に行なえること。
 - (b) エレクトロニクス部

標準架台装備。

7 反射型波浪計

7.1 反射型波浪計本体

7.1.1 まえがき

1. 研究概況において述べられているように、船舶搭載型波浪計として、船体近傍の波浪を、船との関連において観測するためには、現時点においては、青雲丸に搭載されている出合波浪計システムを用いるのが最善であろうとの議論が昨年度の委員会で行なわれた。その結果、本年度において、7.1に述べる反射型波浪計の製作とともに、これに関連する波浪計用船首支柱の設計、船側水位と波高の関連、および、船体近傍の動的水位変動についての模型実験の諸研究が行なわれることになった。本年度に入り、実船試験において使用する波浪計の機種決定についてさらに検討が続けられた結果、実船試験には、投棄ブイおよびレーダ波向計を採用することに決定した。しかしながら、同時に、反射型波浪計本体は、計画どおり製作、性能試験を行なった後、必要ときには、適当な工事を行なえば使用できる状態で保管することも決定された。7.1においては、その反射型波浪計本体について述べる。

7.1.2 反射型波浪計の原理

反射型波浪計は、波高測定のためのセンサとして、電磁波の水面による反射を利用するために名づけられたものである。これを、実船に装備した状態を

図7.1.1、波浪計システムを図7.1.2に示す。このシステムは、センサと水面との相対距離を計測するレーダ波高計、センサの変位を計測する上下加速度計、加速度より上下変位を求める二重積分回路、相対波高とセンサの上下変位より絶対波高を求める演算回路、有義波高を求める演算回路、相対波高、絶対波高、上下加速度等の出力を

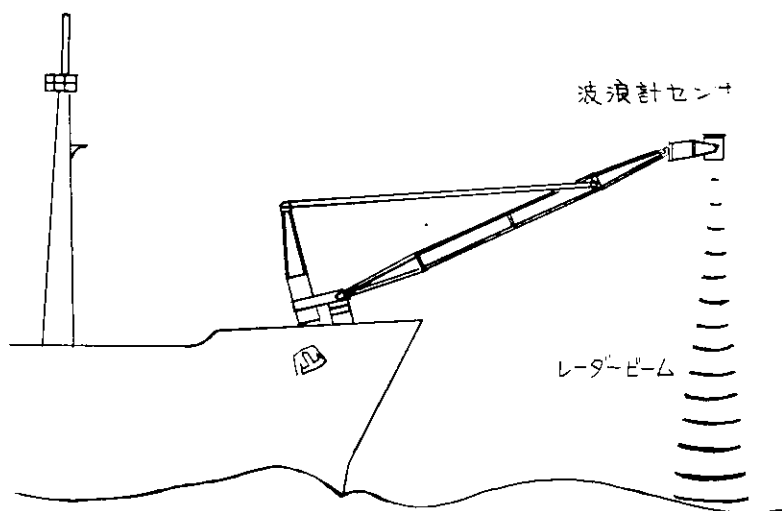


図 7.1.1 反射型波浪計の概略

記録する記録装置、センサを納めるドームを、電波の発射方向が正確に垂直下方になるように制御する人工水平面設定装置等よりできている。

レーダ波高計は、変調波位相差方式の電波距離計である。すなわち、送信ホーンより水面に発射される電波を適当な変調周波数 f MHz で振幅変調する。水面よりの反射波は、距離によって定まる変調波のある位相で受信ホーンに受信される。そこで、この位相を測定することにより、距離を求めることができる。位相測定が、 $0 \sim 180^\circ$ の範囲で、 $\Delta\theta^\circ$ の精度で測定できれば、測定可能な最大波高 H_{MAX} は、変調波の波長を λ_m とすれば、

$$H_{MAX} = \lambda_m / 2$$

であり、測定精度 ΔH は、

$$\Delta H = \lambda_m \Delta\theta / 360$$

となる。この反射型波浪計では、 $\lambda_m = 80$ m、すなわち、 $f = 3.75$ MHz に選んだ。測定精度は、位相差測定器の精度に依存する。±1°で測定できれば、 $0 \sim 40$ m の距離を、ほぼ 0.2 m の精度で測定できることになる。

レーダ波高計より出る電波ビームは光のビームのように細いビームにはならず、広がりを持った指向性をもつ。指向性はホーンの径と波長の比を大きく

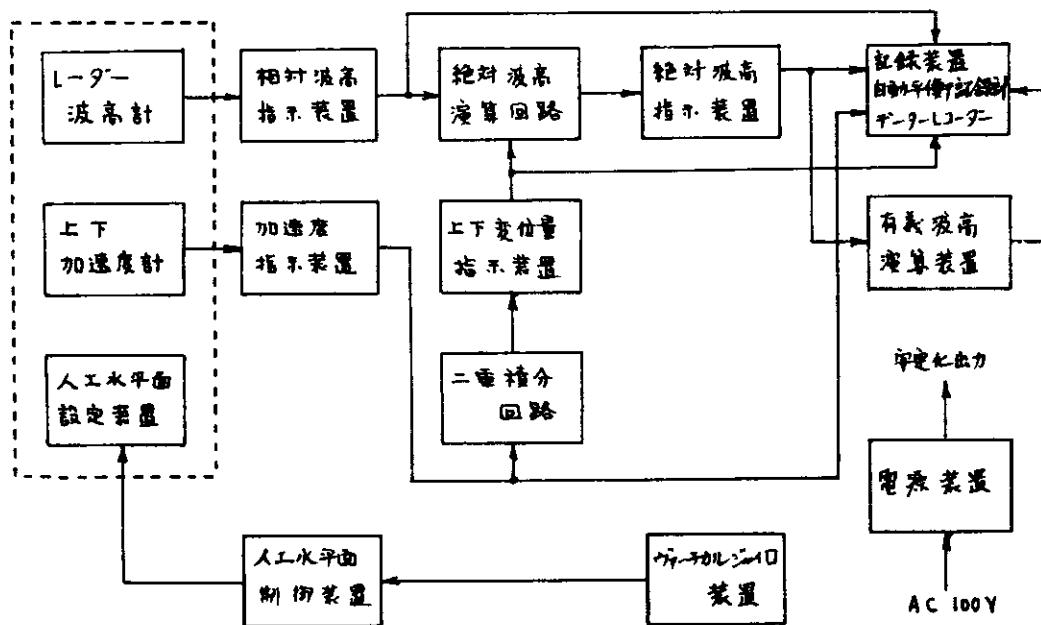


図 7.1.2 波浪計システムのブロックダイアグラム

することによって改善されるので、寸法に制限のあるときは、短波長の方がよりいいビームが得られる。波高の測定値を正確に定義するには、電波反射面の面積が小さい必要があるので、この波高計では、30 GHz のミリ波を採用した。

7.1.3 反射型波浪計の仕様

本波浪計は、青雲丸搭載の出合波浪計と原理的には同じであるが、いくつか改良点がある。まず、概略の仕様を述べ、次に青雲丸のものとの比較、主要部分の性能を説明する。

(1) 仕様

仕様を表 7.1.1 に示す

表 7.1.1 反射型波浪計仕様

1. 主要性能			
測定範囲	相対波高	20 ± 17 m	
	絶対波高	0 ± 17 m	
測定精度	相対波高	± 0.5 %	
	絶対波高	± 2 %	
波周期		1 ~ 20 sec	
人工水平面	設定角度	ローリング 0 ~ ± 40°、ピッチング 0 ~ ± 10°	
	精 度	± 0.5°	
記 録	出 力	0 ~ ± 5 V、20 mA	
	記録成分	絶対波高、相対波高、有義波高、上下変位、上下加速度	
	記録器	自動平衡記録計、テープレコーダ	
電 源		AC 100 V ± 10 V	
ドーム部重量		ドーム 30 Kg、駆動部 80 Kg 合計 110 Kg	
2. 各部性能			
レーザ波高計	測距方式	変調による位相差方式	
	測定範囲	3 ~ 37 m	
	精 度	± 0.5 %	
	電 源	送信周波数	30 GHz
		電源の形式	持続波振幅変調
		変調周波数	3.75 MHz
		変 調 度	10 %
	送信ビーム	ビーム半値幅 5.7°、20 m 距離で直径 2 m	
	記録用出力	0 ± 5 V、20 mA	

上下加速度計	検出方式	磁歪式	
	測定範囲	1 ± 1.5 g	
	精 度	± 0.01 g	
	ドリフト	0.2 % / 4 時間	
	応答周波数	200 Hz	
人工水平面・ 設定装置	制御方式	バーチカルジャイロ 傾斜角によるサーボ制御	
	設定角度	ローリング 0 ~ ± 40° ピッチング 0 ~ ± 10°	
	精 度	± 0.5 °	
	周波数レスポンス	± 40° で 0.09 Hz , ± 10° で 0.36 Hz	
バーチカル ジャイロ	検出範囲	ピッチ、ロールとも ± 70°	
	起立精度	± 0.2°	
	自立速度	2°/分 ~ 6°/分	
	検出器	ポテンシオメータ 分解能 ± 0.2°	
	出 力	0 ~ ± 10 V	
演算回路	二重積分回路	方 式	アナログ演算式
		振幅特性	周期 1 ~ 20 sec で 0.1 db 以内
		位相遅れ	周期 1 ~ 20 sec で 5° 以内
		ドリフト	1%、ドリフト補償付
		入力電圧	0 ± 10 V
	有義波高 演算回路	方 式	アナログ演算式
		波周期	1 ~ 20 sec
		ドリフト	± 0.5 %
		精 度	± 2 %
電源装置	入 力	AC 100 V ± 10 V、15 A、50 ~ 60 Hz	
	出 力	クワイストロン 用	DC 6.3 V 1 A
			DC 2500 V 40 mA
			DC -200 V 10 mA
			DC -600 V 5 mA
計測用		DC ± 15 V 3 A 精度 0.05 %	
その他	ドーム部をドームと駆動部に分割し、可搬型とする。 電気計測部は、二つのラックに分割し、自動平衡記録計、バーチカルジャイロをその一方に納める。データレコーダは独立させ、データレコーダ用の端子をパネル面にもうける。		

(2) 青雲丸の波浪計との比較

青雲丸の波浪計と本波浪計の仕様上の主な相違点を表 7.1.2 に示す。そのうち重要なものについて説明する。

表 7.1.2 青雲丸波浪計との相違点

	青雲丸	本波浪計
相対波高	10 ± 7 m	20 ± 17 m
出合波浪周期	1 ~ 30 sec	1 ~ 20 sec
有義波高	指示なし	指示あり
電波周波数	9.65 GHz (センチ波)	30 GHz (ミリ波)
ビーム幅	20 m の距離で 2 m 中	10 m の距離で 2.6 m 中
多重積分 ドリフト補償	時定数の小さいフィルタ で補償	時定数の大きい (600sec) の フィルタと時定数切替回路
ドーム部	人工水平台 2 台 全重量 160 Kg	人工水平台 1 台 全重量 110 Kg
ケーブル	中継箱なし	中継箱でケーブルを連結 可搬型として便利

(a) ドーム部

人工水平台の性能を向上させ、青雲丸のときレーダ波高計用と加速度検出部用の 2 台使用したのに対し、1 台だけにした。また、ドーム部を、ドームと駆動部とに分け、レーダ波高計電磁ホーンおよびマイクロ波立体回路、加速度検出部、付属電気回路を 1 つの小さな防水ケース (480 中 × 640) に収容して、人工水平台駆動機構部に連結し、青雲丸に用いた大きな形状のドーム (980 中 × 1050) は使用しないようにした。この構造を、図 7.1.3 に示す。

(b) 電気装置部

青雲丸のものと仕様がことなること、および、装置の小型軽量化のため、電気回路においてかなりの改造を実施した。

(i) ミリ波の採用

ビーム幅を狭くすることおよび小型軽量化のために、搬送周波数を約 3 倍の 30 GHz のミリ波に上げた。クライストロン発振出力は、青雲丸とほとんど同一 (150 mW) であるが、電磁ホーンの利得が、青雲丸に比し 12 db 高くなったため、受信レベルとしては 24 db (約 250 倍) 増加したことになる。

傾斜確認装置

上下加速度計

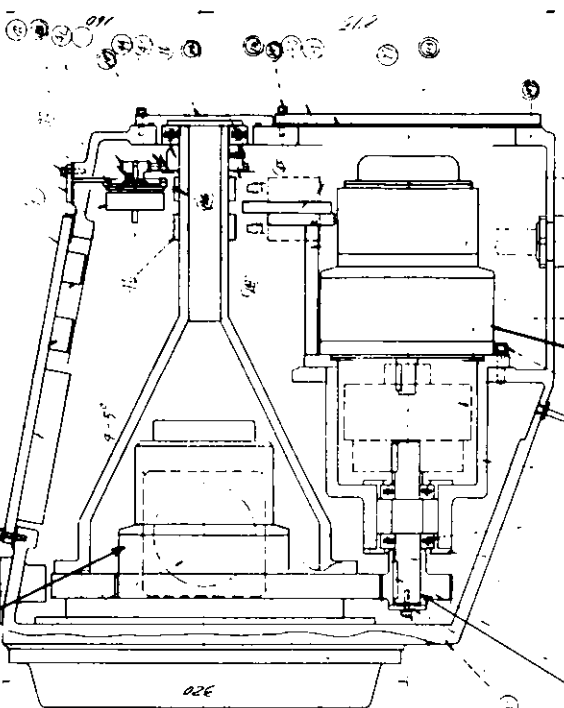
530

330

ピッチング駆動シャフト

ピッチング用駆動モーター

① 100°
② 100°
③ 100°
④ 100°
⑤ 100°
⑥ 100°
⑦ 100°
⑧ 100°
⑨ 100°
⑩ 100°
⑪ 100°
⑫ 100°
⑬ 100°
⑭ 100°
⑮ 100°
⑯ 100°
⑰ 100°
⑱ 100°
⑲ 100°
⑳ 100°
㉑ 100°
㉒ 100°
㉓ 100°
㉔ 100°
㉕ 100°
㉖ 100°
㉗ 100°
㉘ 100°
㉙ 100°
㉚ 100°
㉛ 100°
㉜ 100°
㉝ 100°
㉞ 100°
㉟ 100°
㊱ 100°
㊲ 100°
㊳ 100°
㊴ 100°
㊵ 100°
㊶ 100°
㊷ 100°
㊸ 100°
㊹ 100°
㊺ 100°
㊻ 100°
㊼ 100°
㊽ 100°
㊾ 100°
㊿ 100°



ローリング用駆動モーター

ローリング駆動シャフト

送受信用電磁ホーン

ドーム

図 7.1.3 反射型波浪計ドーム部の構造

(ii) 二重積分回路のドリフト補償

積分器入力に、直流または超低周波の変動があると、積分出力にドリフトとなって現われ、精度を低下させる。これを防止するため、積分コンデンサに並列に抵抗器を接続し、直流または超低周波数の電圧が積分コンデンサに積分されるのを放電させて、ドリフトを抑える回路にしているが、その時定数を必要とする周期に比して十分大きくしておかないと、振幅誤差と位相遅れを生ずる。

しかし、時定数が大きいと、何等かの原因で入力に大きなドリフトの原因になる信号が発生したときに、ドリフトが出力に現れるが、この回復に長い時間を要する。

この回復時間を短縮するために、積分がある一定レベル（計測振幅以上の値）に達すると、自動的に抵抗値を下げて時定数を小さくし、速かに積分出力を零にもどす動作をさせる回路を用いた。積分出力が、最初零に達すると抵抗値をさらに高い値に切換えて時定数を上げ、再び零に達したときさらに高い抵抗値に切換える。この操作を数回繰返した後、正常状態の時定数に短時間にもどすことができる。この操作を行なっている期間は、出力に異状データを表示する。青聖丸では、このような時定数切替は行わず、時定数をやや小さな値にし、ドリフトの補償を行なったため、出合波浪周期の長い方で、大きな振幅の低下および位相遅れが出た。今回の積分器特性は、周期 20 sec で、振幅低下 0.1 db 以内、位相遅れ 5° 以内である。

(iii) レーダ波高計 AGC 回路

レーダ波反射の受信レベルは、海面の波傾斜の状態により、80 db 程度の変動が予想される。このレベル変動に対し位相ひずみを起さない AGC 回路が必要である。

変調周波数増幅回路のみで 0 ~ 80 db の AGC 特性を持たせるのは困難であるので、マイクロ波受信回路に約 0 ~ 50 db の AGC 用減衰器を設け、さらに、3.75 MHz の増幅回路中に PLL (Phase Locked Loop) 回路を用いて、約 0 ~ 40 db の AGC 特性を持たせ、全体として 0 ~ 80 db の間で位相ひずみなく増幅することができる。

青聖丸では、変調周波数増幅回路 (7.5 MHz) のみで、約 0 ~ 60 db の AGC 特性を持たせているが、位相ひずみを精度内に保つのは調整が困難であった。

(iv) 有義波高演算回路

波高を自乗演算回路によって自乗した後、平均値を求めて有義波高を指示するとともに記録する。平均値の算出は、アナログ量をその電圧に比例する周波数に変換した後、ディジタルカウンタで積分し、D-A 変換する。平均時

間は5分とし、メモリ回路を2回路設けて平均値をホールドし、5分毎の有義波高を測定時間中連続指示する。

(V) 加速度検出部および積分器の安定化

この部の安定度は、本波浪計の精度保持上最も重要であるので、電源は、二重の安定化回路を使用し、電気部品は、温度湿度特性を特に注意した。

7.1.4 性能試験

この波浪計について、実船試験で起るような条件のもとで総合性能試験を行なうことは、そのような大きな動揺や変位を与える施設がないので、陸上では不可能である。実船に搭載して試験する以外に方法がないと思われる。そこで、今回行なった性能試験としては、各部の性能をそれぞれ試験すること、および、陸上で可能な範囲で総合性能試験を行なうことに限られた。

実施した性能試験項目は、次のとおりである。

(1) レーダ波高計

(a) 距離検定

(b) 波傾斜による受信レベルの変化

(2) 上下加速度計

(a) 重力加速度による検定

(b) 水平加速度の影響

(3) バーチカルジャイロ

(a) 旋回水槽による水平加速度試験

(4) 加速度計上下変位試験

(a) 可変周期の上下変位検定

(5) 人工水平面制御試験

(a) 傾斜台による水平度試験

(b) 変動傾斜角に対する制御精度試験

(6) 総合性能試験

レーダ波高計と上下加速度計および二重積分回路を組立て、大型上下動試験機によって総合性能試験を行なう。

(a) 絶対波高の検定

(b) 相対波高、絶対波高の周期の変化による振幅特性、位相ずれ

7.2 船首支柱の概略設計

7.2.1 前言

レーダー反射型波浪計を船体のどこに装備するのが最善かは、船体によるそのまわりの大洋波の攪乱をうける場所の性状をとる必要がある。しかしながら、現実には次の諸条件により、船体からの張り出し量は、有限で且つ絶対値的に大きな値をとることが出来なリ。

(1) 支柱を設置する周囲の船体構造、及び配置により張り出し量に制約がある。

(2) 設備費上効率のよい張り出し量は、波浪計の計測可能な範囲内で、少なければ少ない程よい。

以上を考慮し検討の結果、支柱張り出し量の概略値は、次の如くとなった。

(1) 船体側面に設置の場合 ----- 船側より約 0.1 B

操作上の便を考えた場合、船橋側部がよい。

(2) 船首部に設置の場合 ----- 前部垂線前より、約 5 ~ 6 % L_{pp}

後述の如く、7.3 船体近傍の波浪の攪乱影響の計算、並びに 7.4 模型による実験等で、計測結果に対する修正量は船体前部及び側面とを比較的大きいものと分るが、船首前部の方が若干状況がよいと判断される。

従って、支柱に付いては、船首前部のものについて検討することとした。

以下に検討の概要を述べることにする。

7.2.2 船首支柱の概要設計

(1) 取付台設計条件

取付台の設計は、波浪計の計測精度等より、下記条件に従った。

- (a) 波浪計重量 100 Kg (直径: 約 1 m)。
- (b) 波浪計支持点 L.W.L. 上 20 m, F.P. 前方 15 m。
- (c) 波浪計耐震性 $1G \pm 1.5G$ 。
- (d) ケーブル 15 ~ 16 本 (一まとめにして径 3 cm)。
- (e) 設置対象船 笠不丸

$$(L \times B \times D \times d = 247.0^m \times 40.7^m \times 23.0^m \times 16.0^m)$$

構造は耐震性を考慮して鋼構造とし、また波浪計の取付け、格納の便宜を計り、ターニラールを傾斜させた。なお、駆動源は、設置対象船が艀口操作のために装備している油圧装置を使用することとした。

船上取付位置は、上記条件より、図 7.2.1、図 7.2.2 に示す通り船首橋前方甲板上となる。

(2) アーム設計方針

アームの設計条件として要求される事項には、下記のものがある。

(a) 波浪計の計測精度上、振動を抑えること。

(b) 波浪等の外力に耐え得ること。

(c) アームを甲板に取付けることによる、船体への外力を極力小さくすること。

(d) 本船の運転に支障のないこと。(特に、見通し、係船等。)

(e) 船体への取付けが容易であること。

これらのことを考慮して、図7.2.3及び図7.2.4に示す通りの構造とした。アーム寸法は、波浪計支持点の条件より約15mとなり、相当重い自重(表7.2.1参照)となるので、耐震性をも考慮し、アームは起倒式とせず固定し、タワーを主で、ハンギング・アームでアームの中間点を吊る構造とした。

波浪計の未使用時は、アームを船内に引き込んで格納する方式とする為に、アームを旋回格納するターンテーブルを設け、図7.2.8に示す旋回リングを用いた。

アームの波浪計取付け位置は、甲板上10m近くあり、アーム収納位置での波浪計の着脱が非常に困難であるので、ターンテーブルを傾斜させ、アーム振り出し位置に於ては、L.W.L上20mの位置に波浪計がくると共に、収納位置では甲板上4mの位置に波浪計がくするようにした。

また、設計条件より、個々の部分に対して、設計上留意した点は次の通りである。

(a) アーム

強度上、耐震性上、大きな剛性を要求されるので、アームは4本のパイプで構成した。また、4本のパイプの相互固着位置は、座屈等を考慮して決定した。

ハンギング・アームでの支持点位置は、耐震性及び強度上より決定した。

(b) ハンギング・アーム

アームの耐震性上、ワイヤーを使用せずパイプ構造とし、また座屈等の強度上適当な間隔でリングを設けた。

組立てを容易にする為、及び節点部の応力を軽減する為にアーム及びタワーとの接続部はヒンジ構造とした。

(c) タワー

タワー基部に働くモーメントを軽減する為に、中心点に対しタワーをアームと反対側に取付けると共に、バランス・ウエイトを取付けた。

本船の操船時の見通しをよくする為に、高さは強度上許す範囲内で最小となるようにした。

(d) デッキ・スタンド

船体への取付けを容易にすると共に、デッキの応力集中を避け、且つ船体

の補強を最小にする為、デッキ・スタンド座部は、デッキ・ロングに架るような箱型とした。

アームの振動に関しては、振動数を船体固有振動数より大きくなるように設計し、電算機により詳細検討を行った。

計算は、アームを一樣断面とみなし、タワーと剛体と仮定し、基部に上下の強制振動を与え、撓み振動として取扱った。

その結果は、下記の通りであり、設計条件を充分満足するものと考えられる。

(a) 固有振動数は、1次モードで15 C.P.S.程度である。

(b) アーム先端の振中の、基部の振中に対する増加率を、パーセントで表わすと次の通りである。

(i) 周期11秒程度のピッチングに対して1%以下である。

(ii) 船体固有振動数(40~50 C.P.M.)程度に対して5%位である。

(3) 付属装置

ターnteーブルを傾斜させたことにより、アーム振り出し点での固定に留意する必要がある。本装置に於ては、ウォーム・ギヤ(図7.2.9参照)を使用し逆転を防止すると共に、操作油圧回路(図7.2.10参照)をロックすることにより固定することとした。なお一層の安全の為には、ラッシング・チェーンを設けるとより。

波浪計の着脱作業の為に、波浪計吊上げ台(図7.2.7参照)及び作業台(図7.2.6参照)を設けた。波浪計吊上げ台は、アーム格納位置でのアーム固定の為にも使用するものとした。また、此等の配置については図7.2.5に示した。

波浪計の固定は、波浪計に耳を付け、耳を門にて押え、門をピンにて固定するものとした。

ターnteーブルの旋回速度は、0.25 r.p.m.とし、モーターは15 P.S. のものを使用することとした。

なお、以上の方針で概略設計をした船首支柱の重量表を表7.2.1に、また細格表を表7.2.2に示した。

(4) 問題点

本検討は、船首支柱の製作費用算出の為の概略検討であり、詳細設計の前段階のものである。詳細設計に於ては、なお次の事項について検討を要するものと考えられる。

(a) 船首前方の波浪が、バウに沿って打上げる波に対し未検討であり、詳細設計に於ては、考慮すべき問題である。例えば、アームの波が当たると思われる部分を補強するとか、ラッシング・チェーンを設ける等である。

(b) 本案の如き波浪計吊上げ台及び作業台を不要とする作業方法が無いか再検討が必要と考えられる。

(c) 本案におけるアーム・ストッパーは図2.11に示す通りであるが、詳細設計に於ては強度上の再検討が必要と考えられる。また、アームを機械的に固定する機構のストッパーを検討する必要があると思われる。

表 7.2.1 重 量 表

部 品 名	部 材 名	材 質	寸 法	重 量 (Kg)	重量小計 (Kg)
ARM	Pipe	STPG 42	150 ^φ ×38.6 ^M	1,067	
	Plate(B ^{KT})	SS 41	6~12 mm t	636	
	" (Piece)	"	25 mm t	11	1,714
HANGING	Pipe	STPG 42	150 ^φ ×12.0 ^M	332	
ARM	Plate(piece)	SS 41	50 mm t	22	
	Plate(B ^{KT})	"		10	364
POST	Plate	SS 41	10~16 mm t	4,500	
ARM, HANGING	"	"	35 mm t	173	
ARM, 旋回	I.A.	"		50	
ベアリング取付台	F.B.	"		100	
を除く 旋回部分	Plate(piece)	"	25 mm t	11	4,834
	Ballanced Weight				
D ^K STAND	Plate	SS 41		1,100	
ベアリング台を除く 固定部分	"	"	35 mm t	150	1,250
Total	(Ballanced Weightを除く)				8,162
作 業 台	(図-8 参照)				827
波浪計吊上げ台	(図-9 参照)				2,654
OIL MOTOR (台を含む)				(予想)	500
TOPPING UNIT				(予想)	350
GEAR				(予想)	320
旋回リング				(予想)	600
CONTROL STAND				(予想)	242

表 7. 2. 2 価 格 表

1.	波浪計支持台本体	一式 470 万円
	(含 ARM, HANGING ARM, POST, TURN TABLE, BALLANCE WEIGHT, SLEWING RING, REDUCTION GEAR, OIL MOTOR, DECK STAND 及び DECK F 補強)	
2.	作業台、吊上台、TOPPING UNIT, CONTROL STAND 及び HYDRO. PIPE	77 万円
3.	取付費 (含岸壁費 2 日分 32.5 万円)	45 万円
4.	取外費 (含岸壁費 1 日分 17.3)	25 万円
5.	スクラップ代	△ 27 万円
6.	一般管理費	50 万円
		合 計 640 万円

注：

1. 波浪計本体の取付、取外し並びにテスト費用は別途。
2. 波浪計の配線工事一切不含。
3. 岸壁工事とし入渠せず。

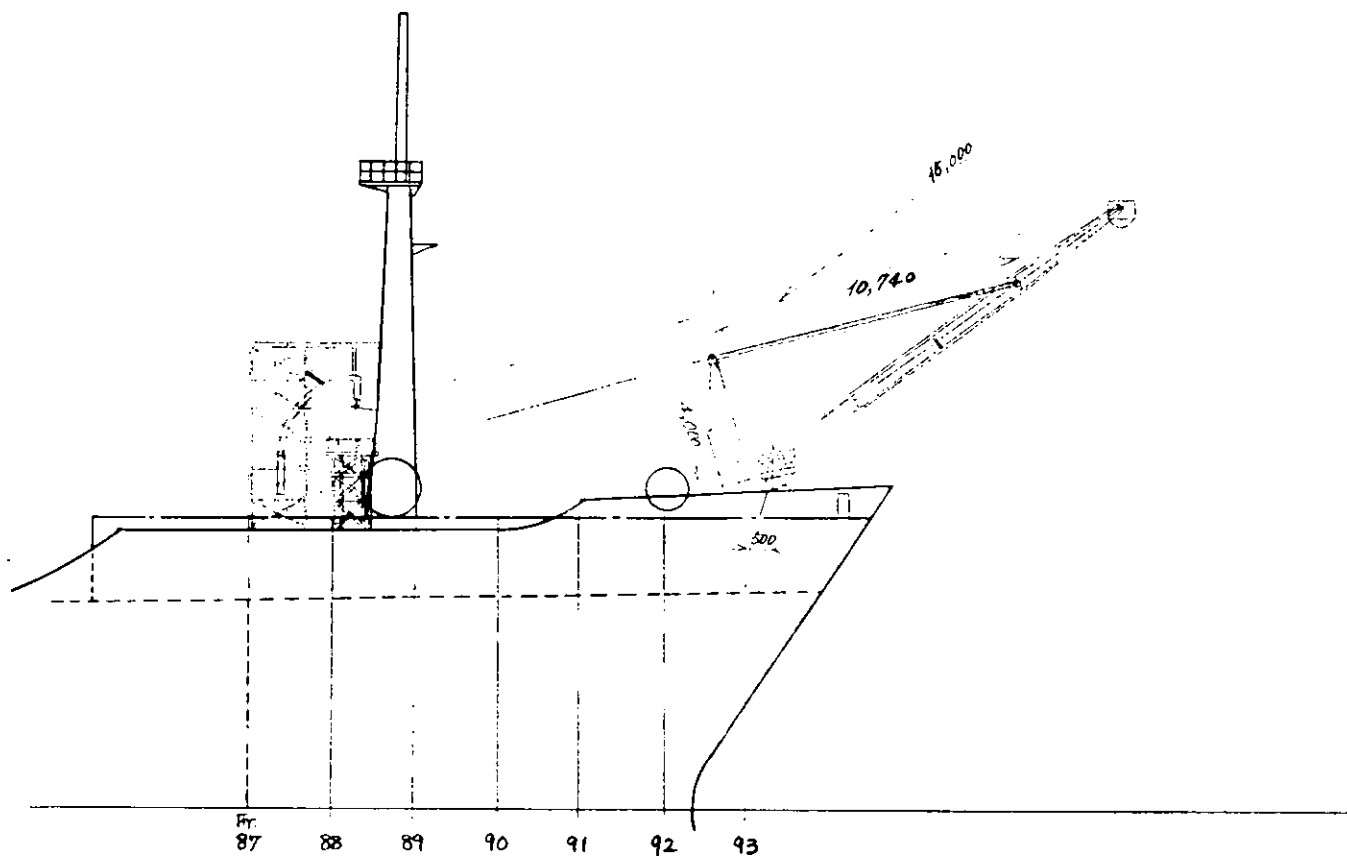


图 7.2.1 波浪计支持台配置图 (侧面图)

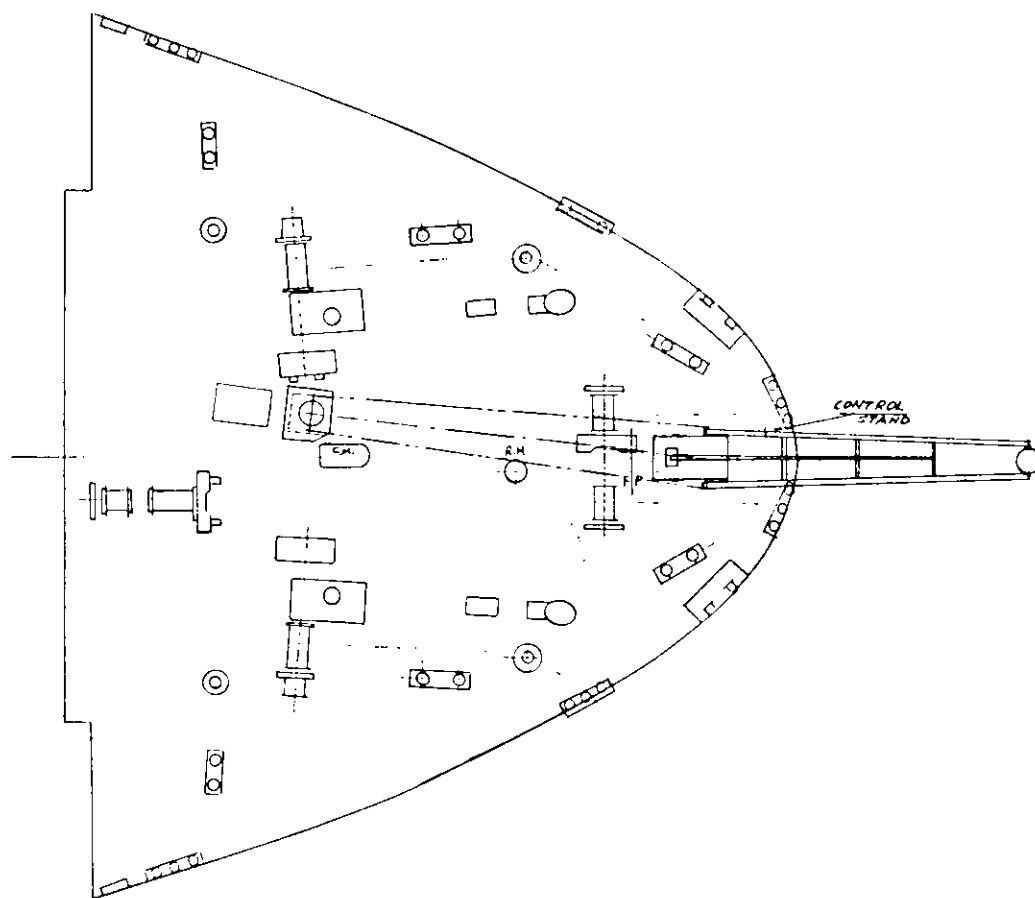


图 7.2.2 波浪计支持台配置图 (平面图)

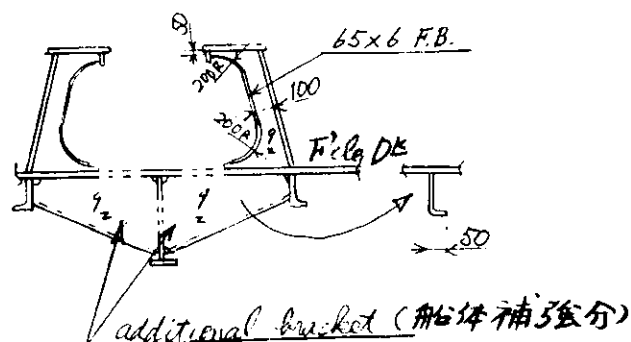
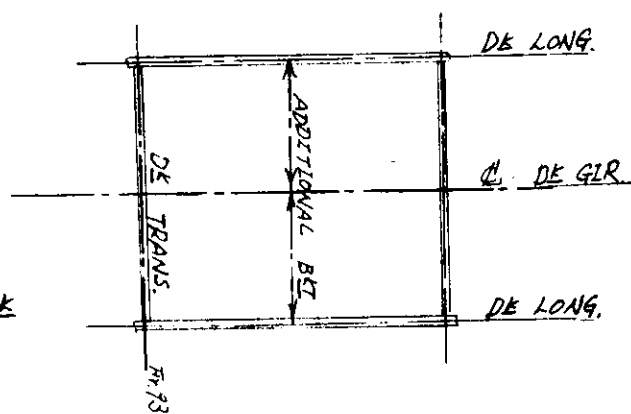
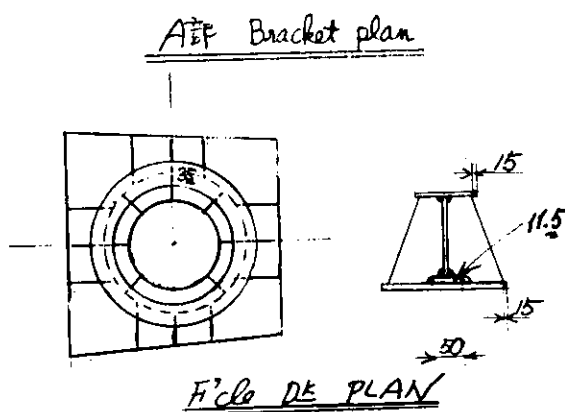
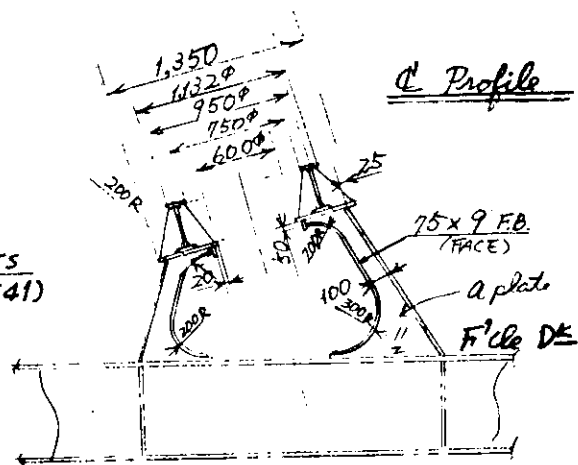
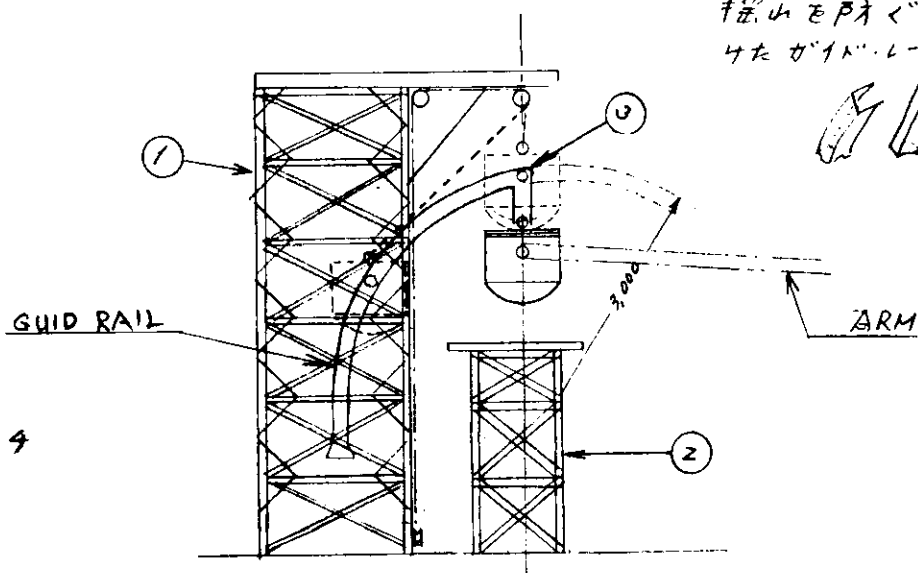
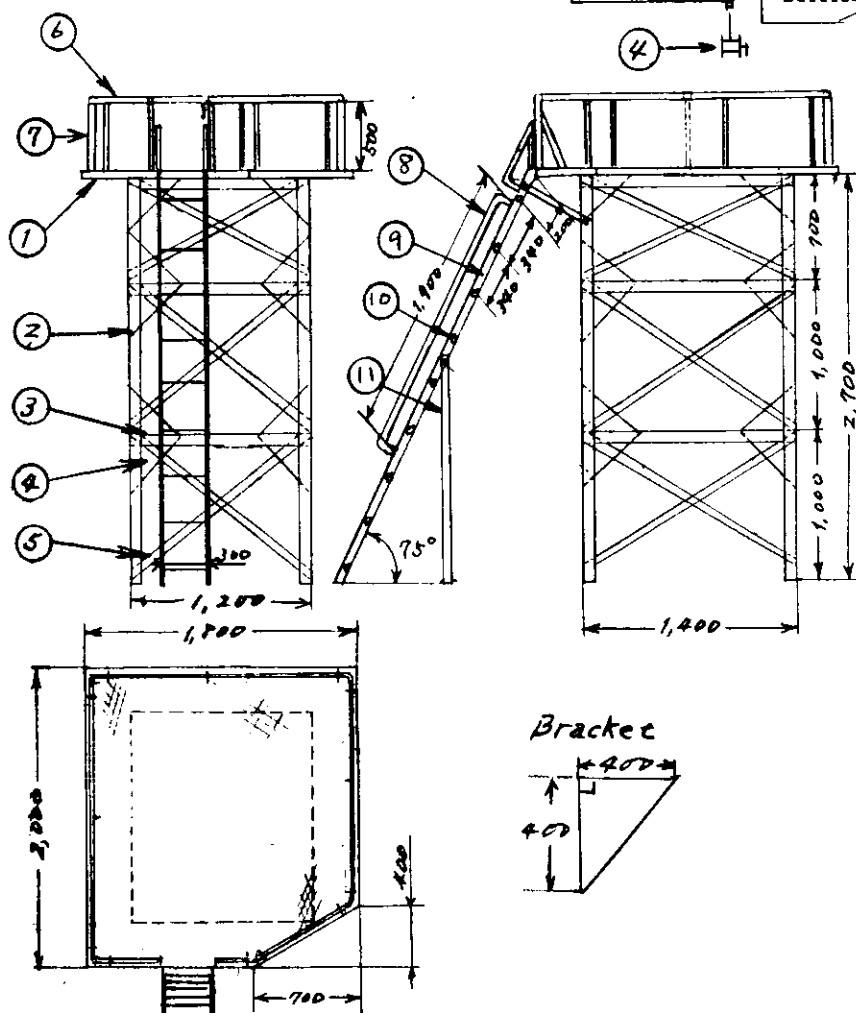


図 7.2.4 デッキ・スタンド構造図

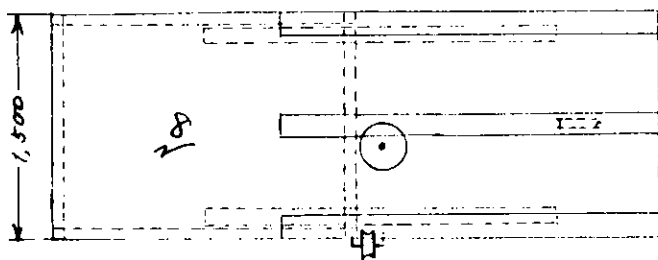
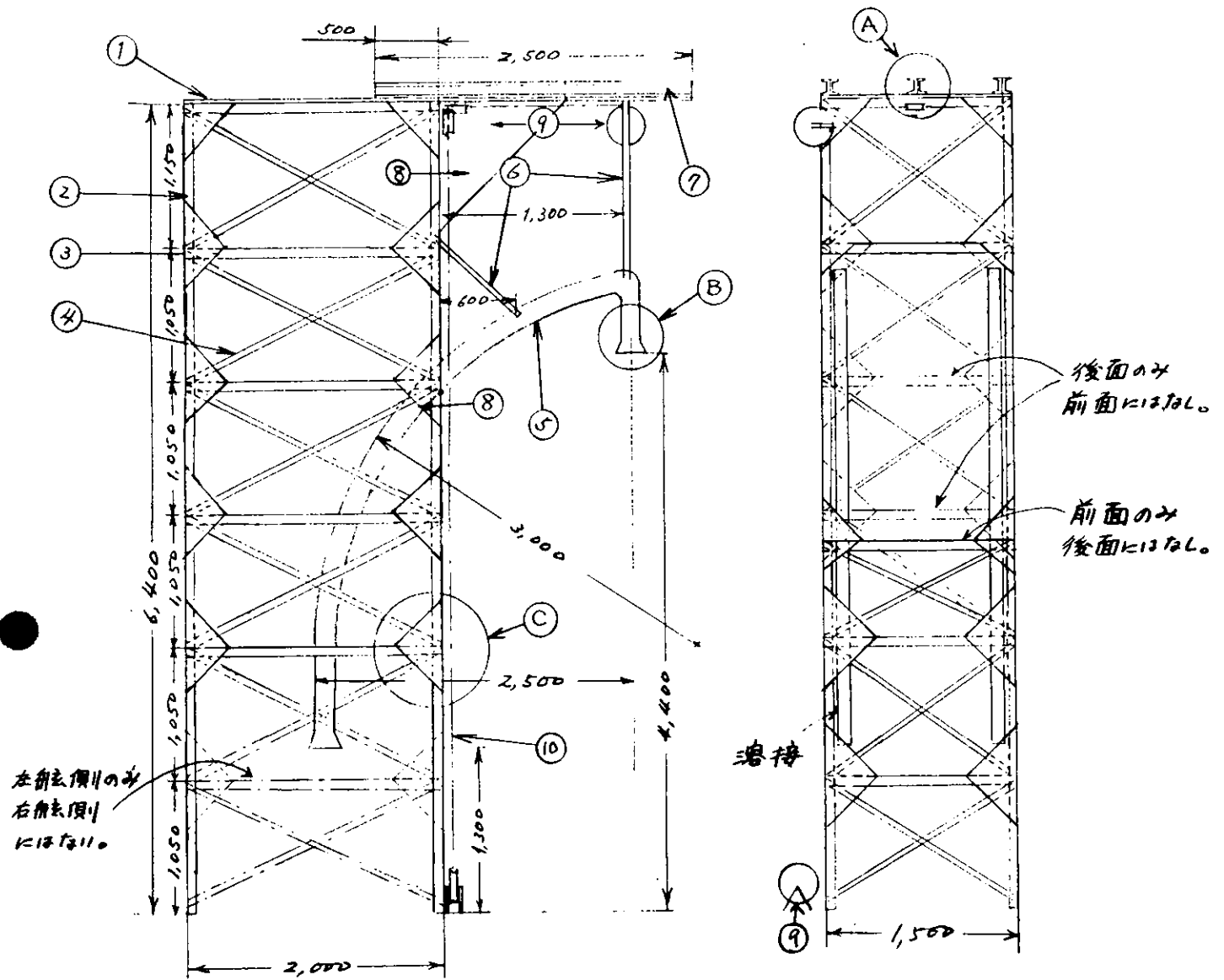


Technical drawing of a mechanical assembly. It shows a circular component with a central hole, mounted on a rectangular housing. A small circular feature is visible on the left side of the housing. A dimension line with arrows indicates a measurement across the circular component. A small circle with a cross inside is located below the housing, with an arrow pointing towards the assembly.

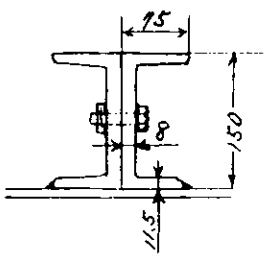


TOTAL				829 kg
11	SUPPORTER	SS41	50 ϕ x 8t	14
10	STEP	STEEL	19 ϕ BAR	8
9	FRAME	SS41	8t	39
8	HAND RAIL	SGP	22A	8
7	STANCHION	SS41	65 x 16 F.B	70
6	HAND RAIL	SGP	28A	12
5	STRENGTH MEMBER	SS41	50 ϕ x 8t	111
4	BRACKET	SS41	8t	201
3	FRAME	SS41	65 x 65 x 8	120
2	FRAME	SS41	75 x 75 x 9	108
1	TOP PLATE	SS41	5t CHECKERED PLATE	136
No.	NAME	材質	寸法	重量(kg)

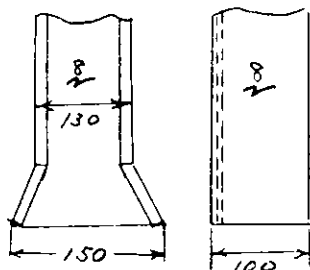
圖 7.2.6 作業台



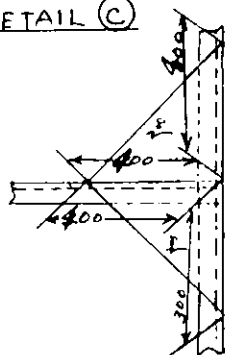
DETAIL (A)



DETAIL (B)

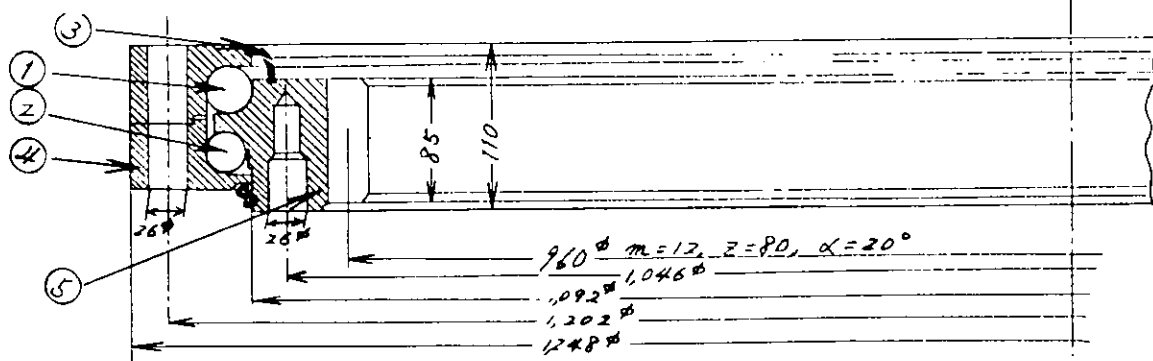


DETAIL (C)



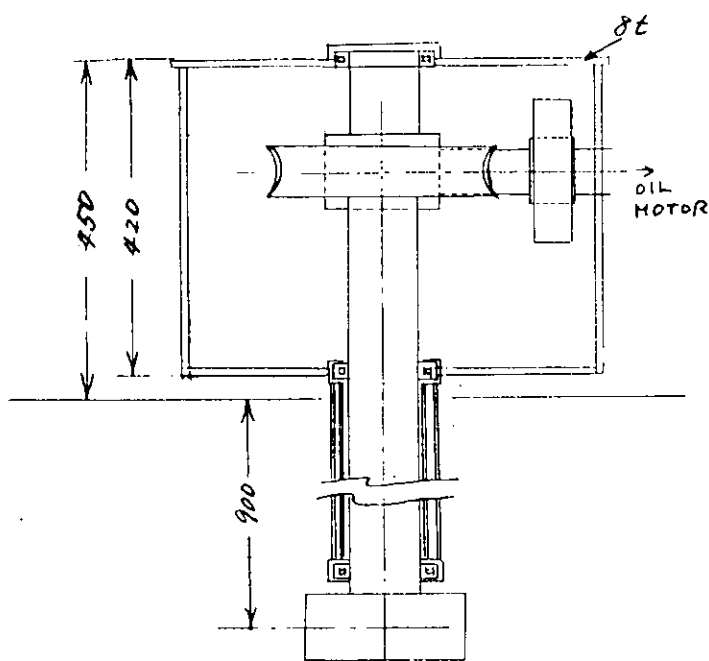
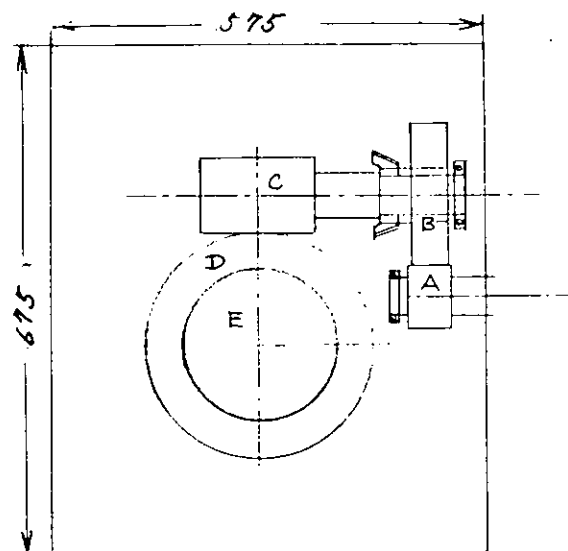
TOTAL				2,654
10	WIRE	8 [#] (6x20)FSWR	6	
9	E-7	STEEL 230 [#]	40	
8	BRACKET	SS41 8t	402	
7	RAIL	SS41 150x75x8 [#] /11.5	395	波形鋼
6	SUPPORTER	SS41 50 [#] x8t	8	
5	GUID RAIL	SS41 8t	630	
4	STRENGTH MEMBER	SS41 50 [#] x8t	252	
3	FRAME	SS41 65x65x8	280	
2	FRAME	SS41 70x70x8	213	
1	TOP PLATE	SS41 8t	428	
No.	NAME	材質	規格	重量(kg)

図 7.2.7 波浪計吊上げ台



1. 鋼球 SUJ2 1-3/8", 2 鋼球 SUJ2 1"
 3 防水シート ネオプレンゴム, 4 外輪 S48C 5. 内輪 S48C

図 7.2.8. 旋回リニア



GEAR TABLE						
MARK	NAME	歯数	モジュール	P.C.D.	外径 ID	材質
A	PINION	4	21	84	55	S45C
B	WHEEL	4	47	188	50	S35C
C	WORM	8	1	100	150	S45C
D	WORM WHEEL	8	38	304	65	PBC-2A
E	PINION	12	17	204	90	SCM4
F	WHEEL	12	80	960	85	S48C

圧力角 20° 減速比 約 1/400

重量 BOX 115kg
 GEAR 205kg
 TOTAL 320kg (予想)

図 7.2.9 減速歯車

7.3 船体近傍の動的水位変動に関する理論計算

7.3.1. 船側水位と波高の関連

船側に取付けた相対水位計で、船体と波面との相対水位を測り、それから、船体動揺の変位を差し引いて波高を推定する場合、船が動揺することにより発生する波、および、船が波のオービタルモーションを乱すことにより発生する波のため誤差が入ってくる。

この誤差がどの程度のものか検討するため、田才¹⁾の方法により、船側表面および、表面から少し離れた位置で、動的水位上昇を2次元的に計算し、波高計測誤差を求めた。

計算は笠木山丸²⁾のS.S.1/2で行なったが、この位置を選んだのは、船側で計測する場合、計器取付、調整などの点からブリッジ付近が最も適当と考えたからである。

なお、模型実験との比較のためmidshipにつきても、1部計算を行なった、

(1) 計算方法

図7.3.1-1の座標系を用い、動揺を次のように表わす。

$$\left. \begin{aligned} \text{上下揺れ: } Z_G &= Z_{G0} \cos(\omega_e t + \varepsilon_{ZG}) \\ \text{縦揺れ: } \theta &= \theta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta) \\ \text{左右揺れ: } Y_G &= Y_{G0} \cos(\omega_e t + \varepsilon_{YG}) \\ \text{船首揺れ: } \psi &= \psi_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon_\psi) \\ \text{横揺れ: } \varphi &= \varphi_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon_\varphi) \end{aligned} \right\} (7.3.1-2)$$

この船体動揺による、船側での動的水位上昇は、Weather Sideで次のように表わせる。³⁾

上下揺れに対し

$$\zeta_H = Z_{G0} \cdot \overline{\zeta}_H \cos(\omega_e t + \varepsilon_H + \varepsilon_{ZG})$$

縦揺れに対し

$$\zeta_p = -(\chi - \chi_G) \cdot \theta_0 \cdot \overline{\zeta}_H \cos(\omega_e t + \varepsilon_H + \varepsilon_\theta)$$

左右揺れに対し

$$\zeta_s = Y_{G0} \cdot \overline{\zeta}_s \cos(\omega_e t + \varepsilon_s + \varepsilon_{YG})$$

船首揺れに対し

$$\zeta_r = (\chi - \chi_G) \cdot \psi_0 \cdot \overline{\zeta}_s \cos(\omega_e t + \varepsilon_s + \varepsilon_\psi)$$

(7.3.1-2)

横揺れに対し

$$\zeta_R = \frac{b}{2} \cdot \varphi_0 \cdot \bar{\zeta}_R \cos(\omega_e t + \varepsilon_R + \varepsilon_\varphi) \\ + 0.6 \cdot \varphi_0 \cdot \bar{\zeta}_S \cos(\omega_e t + \varepsilon_S + \varepsilon_\varphi)$$

一方、入射波

$$h = h_0 \cos(kx \cdot \cos \chi - ky \cdot \sin \chi - \omega_e t) \quad (7.3.1-3)$$

のオービタルモーションを乱すことによる動的水位上昇は、Weather Side で次のように表わせる。³⁾

オービタルモーションの上下方向成分に対し

$$\zeta_{zw} = -h_0 \cdot \exp(-k\sigma d) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e}\right)^2 \cdot \bar{\zeta}_H \\ \times \cos(\omega_e t - kx \cdot \cos \chi + \varepsilon_H)$$

オービタルモーションの左右方向成分に対し

$$\zeta_{yw} = -h_0 \cdot \exp(-\frac{1}{2}kd) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_e}\right)^2 \cdot \bar{\zeta}_S \\ \times \sin \chi \cdot \cos(\omega_e t - kx \cdot \cos \chi + \frac{\pi}{2} + \varepsilon_S)$$

(7.3.1-4)

したがって、船体と波面との相対水位から船体動揺の変位を差し引いたものは

Weather Side で

$$\zeta = \zeta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon_S) \\ = h + \zeta_H + \zeta_P + \zeta_S + \zeta_Y + \zeta_R + \zeta_{zw} + \zeta_{yw}$$

Lee Side で

$$\zeta = \zeta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon_S) \\ = h + \zeta_H + \zeta_P - \zeta_S - \zeta_Y - \zeta_R + \zeta_{zw} - \zeta_{yw}$$

(7.3.1-5)

となる。船側の波高計で計測されるのはこのうちであるから、波高計測誤差は $(\zeta_0 - h_0)/h_0$ である。

(2) 計算結果と考察

対象とした船は、笠木山丸²⁾で、長さ247m、幅40.6m、吃水16m、横揺れ固有周期11.04秒であり、S.S. 1 1/2の半幅深さ比 $H_0 = 1.1$ 、断面積係数 $\sigma = 0.78$ である。

図7.3.1-2～図7.3.1-7は船速0と約10kt ($Fr = 0.1$) のときの船体表面での波振幅 ζ_0 と入射波の波振幅 h_0 との比で、 $\zeta_0/h_0 = 1$ ならば正確に計測さ

れ、 $\zeta_0/h_0 > 1$ ならば、大き目に、 $\zeta_0/h_0 < 1$ ならば小さ目に計測されることになる。

これらの図から、波長が船長の2倍以上もあるような長い波ではかなり正確に計測出来るが、船長より短いような波の場合には、誤差が大きくなり、場合によっては50%以上の誤差となることがわかる。

また全体的にみて、波長の短い場合、Weather Sideで計測すれば高めの、Lee Sideでは低めの値が得られることが分る。すべての波長にわたって全体として良いのは head Sea と follow Sea の場合である。

波高計を船体から離れた場合の効果について検討したのが図7.3.1-8～図7.3.1-11である。Weather Sideの場合船体から離すことによって誤差が少くなる傾向が見えるが、その程度はきわめて小さく、実質的には、波高計を船体から離すことの効果は少いであろう。

以上のように船側に波高計を取付けた場合、船体動揺や波浪衝撃に関係の深い、船長と同程度あるいは船長より短い波の計測に大きな誤差が入りやすいという根本的な欠点がある。左右舷の波高計測値の平均をとるとりうようなことをしても、なおかなりの計測誤差はさけられないであろう。理論計算の値を用いて計測波高を修正するといったことも考えられるが、そのためには、理論計算と模型実験との比較など、さらに詳細な検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) Fukuzō Tasai : "Wave Height at the side of Two-Dimensional Body Oscillating on the Surface of a fluid", reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Vol. IX, No. 35, 1961
- 2) 日本造船研究協会 : "大型鉾石運搬船の船首部波浪荷重および鉾石圧に関する実船試験", オ124 研究部会, 資料 No. 156, 昭和47年3月
- 3) 雁野晶明 : "斜航中を航行する船への海水打込みに関する一計算", 関西造船協会誌, オ145号, 昭和47年9月

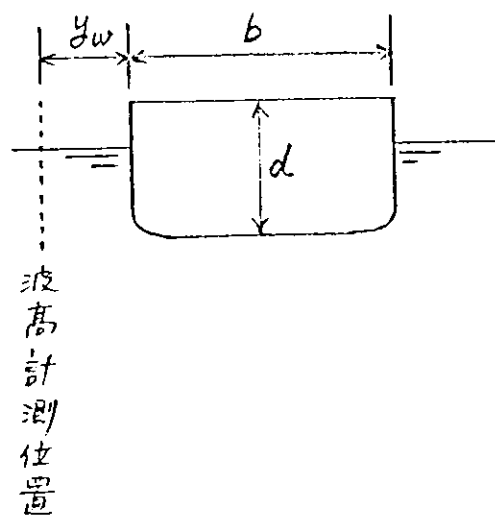
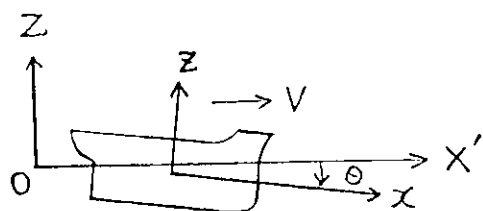
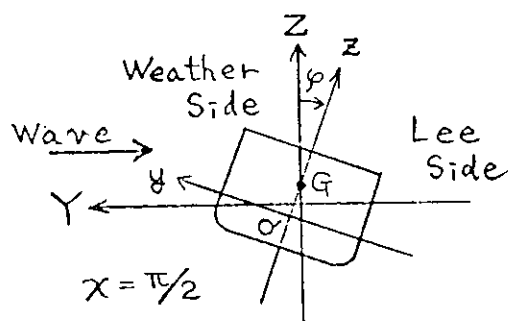
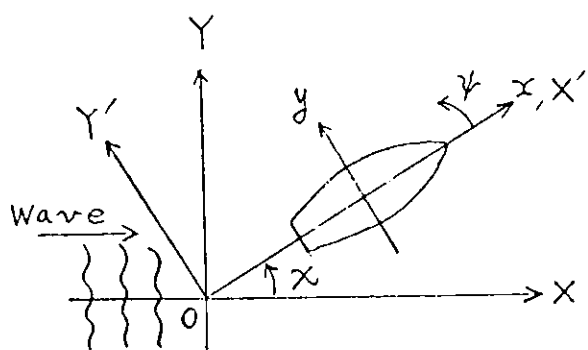


圖 7.3.1-1 座標系

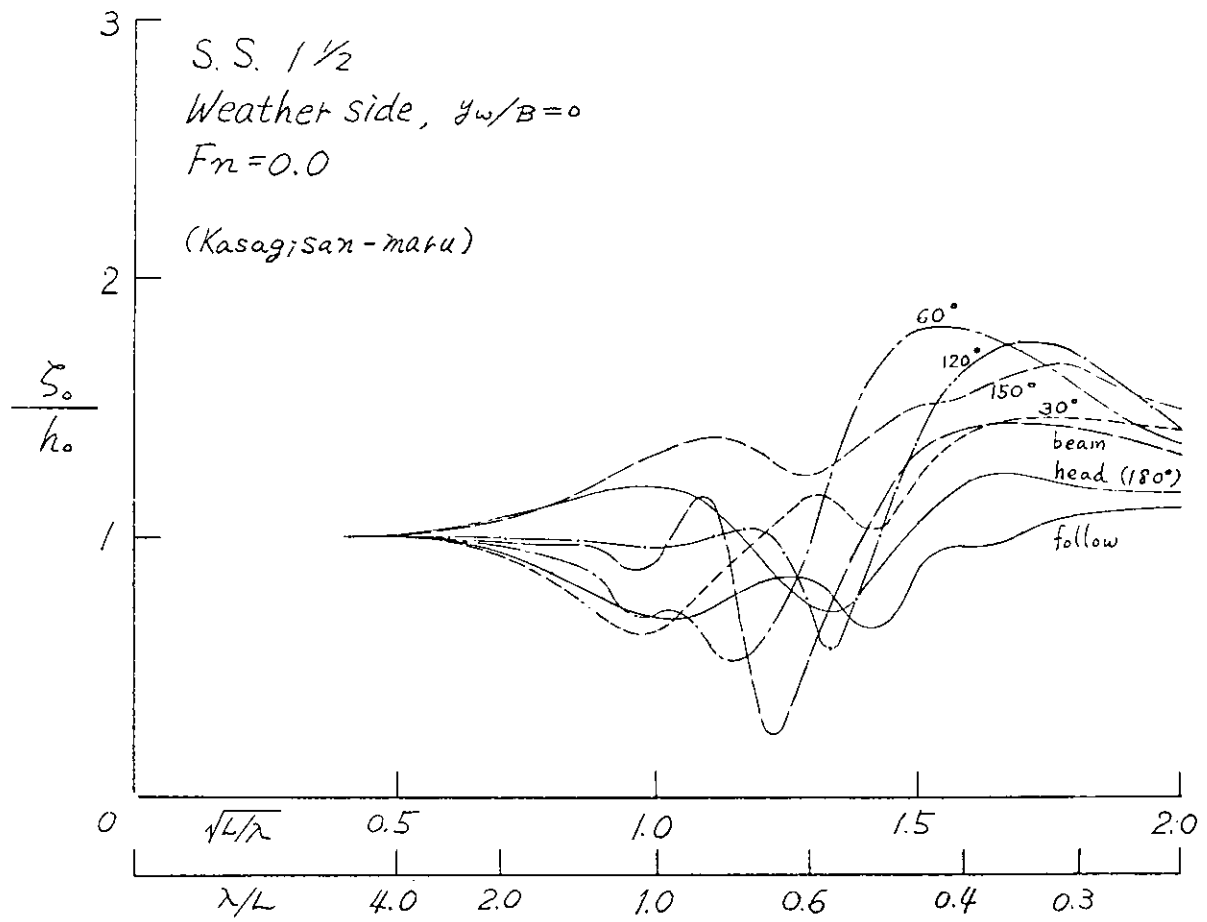


図7.3.1-2 船側の波振幅

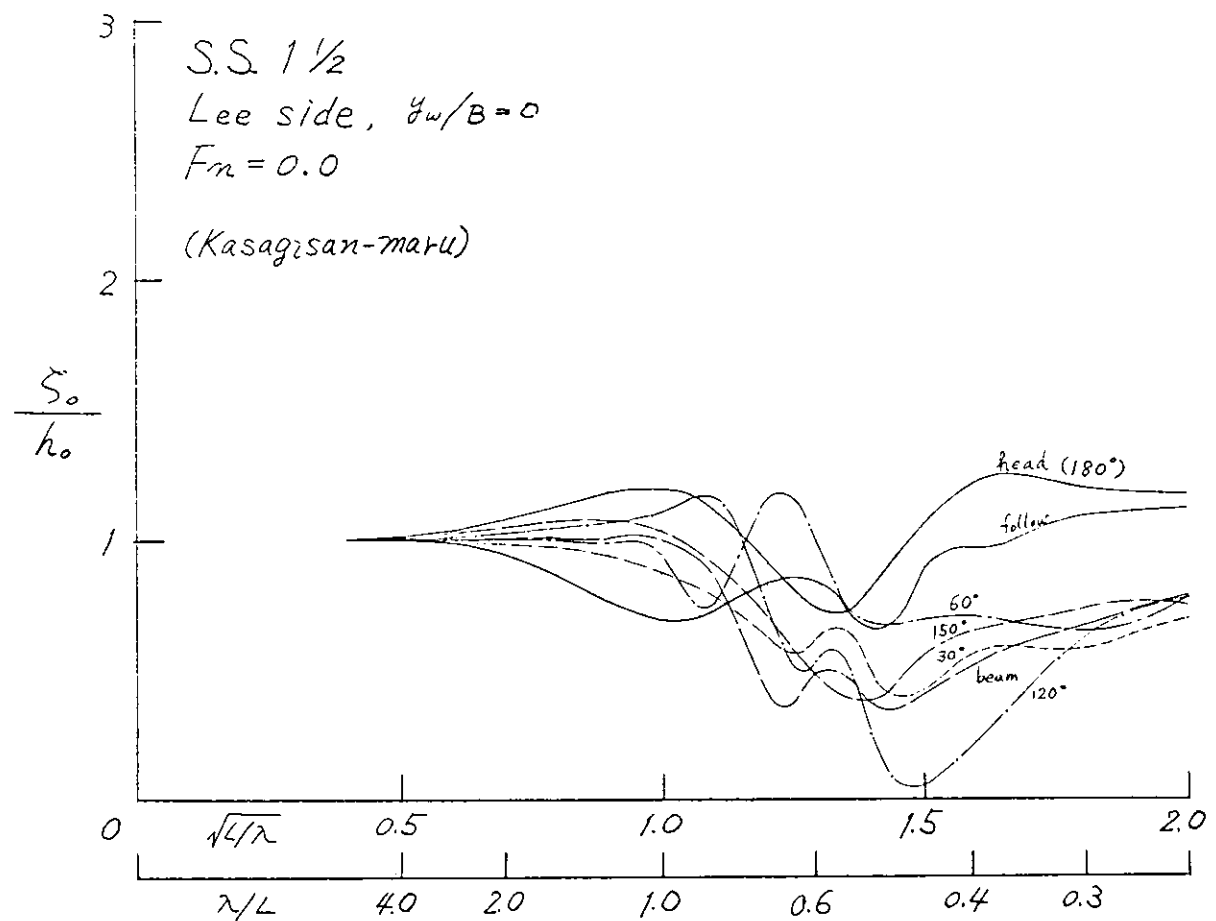


図7.3.1-3 船側の波振幅

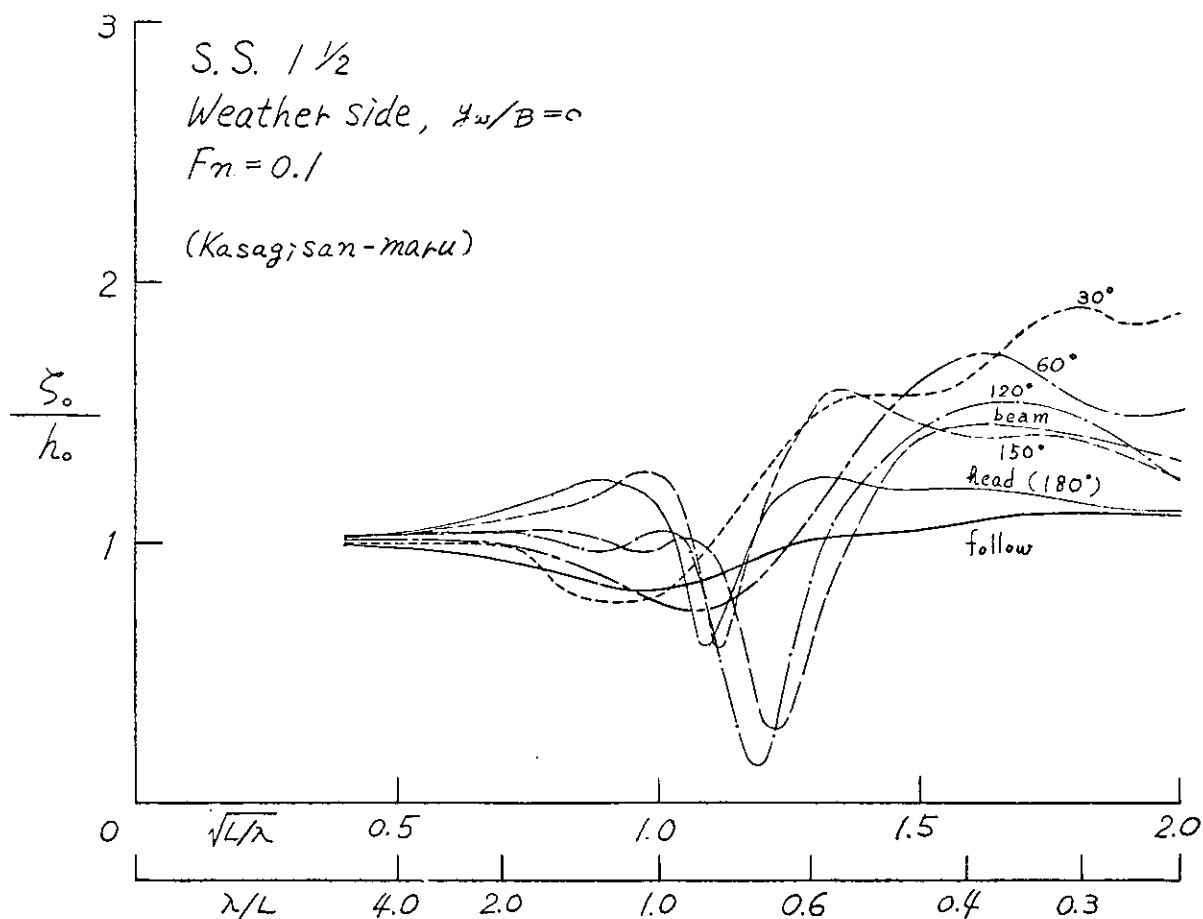


図7.3.1-4 船側の波振幅

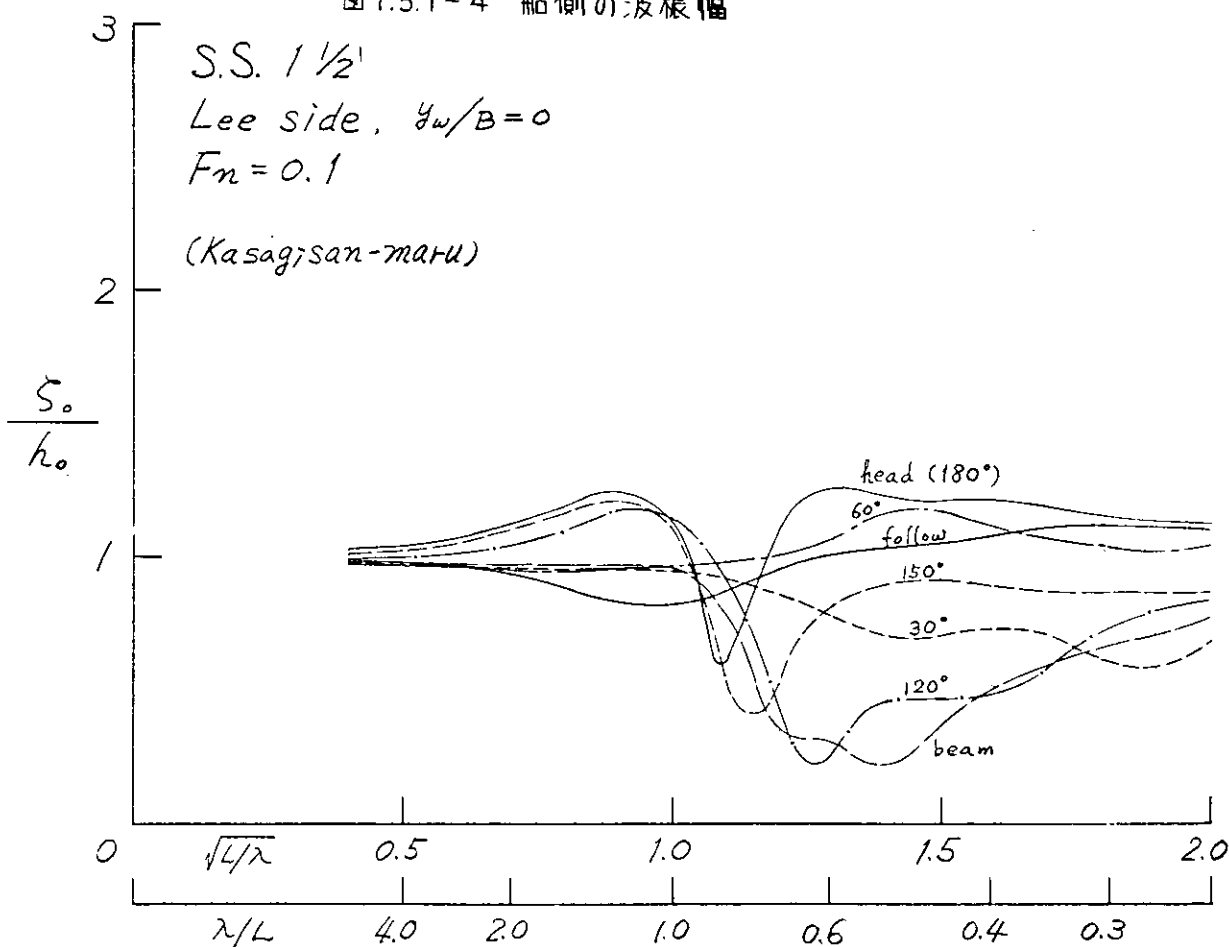


図7.3.1-5 船側の波振幅

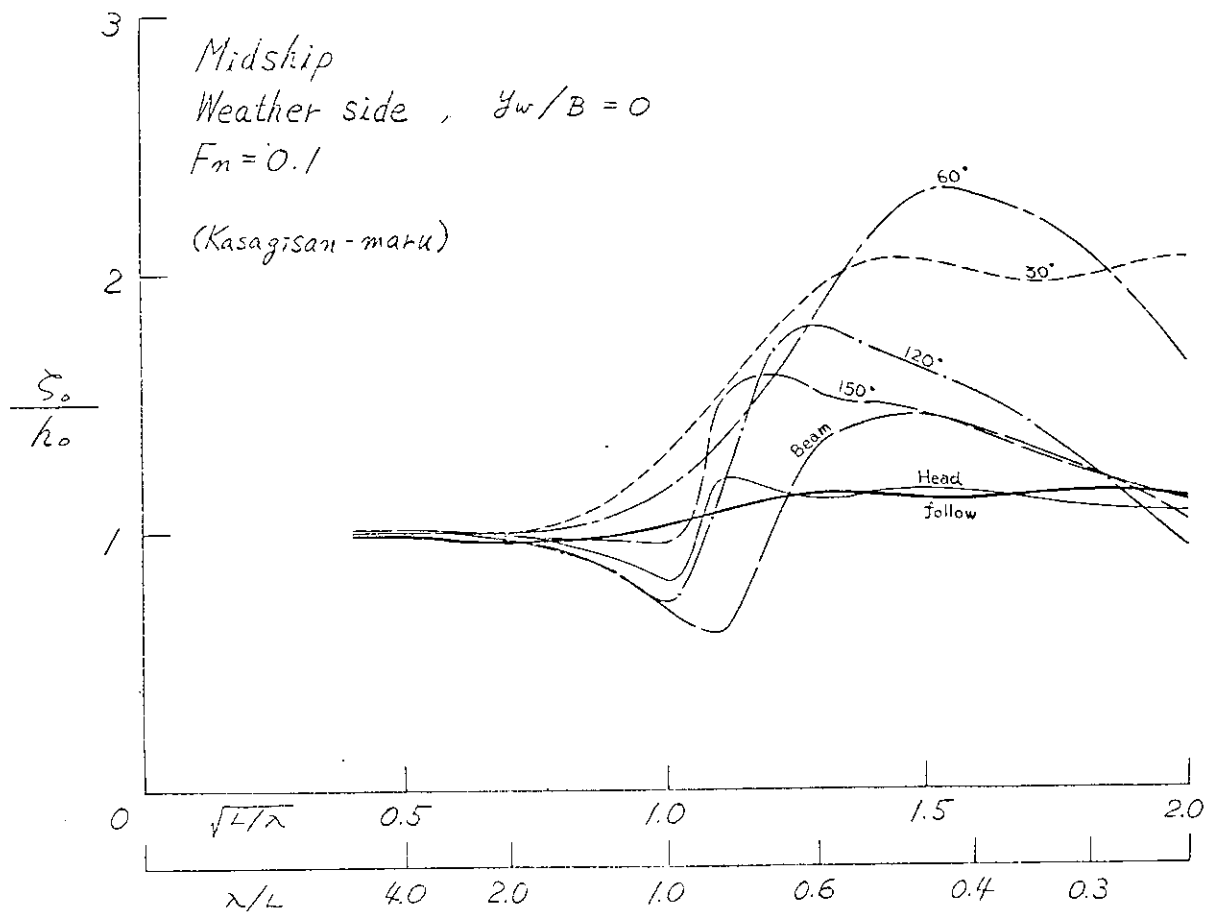


図7.3.1-6 船側の波振幅

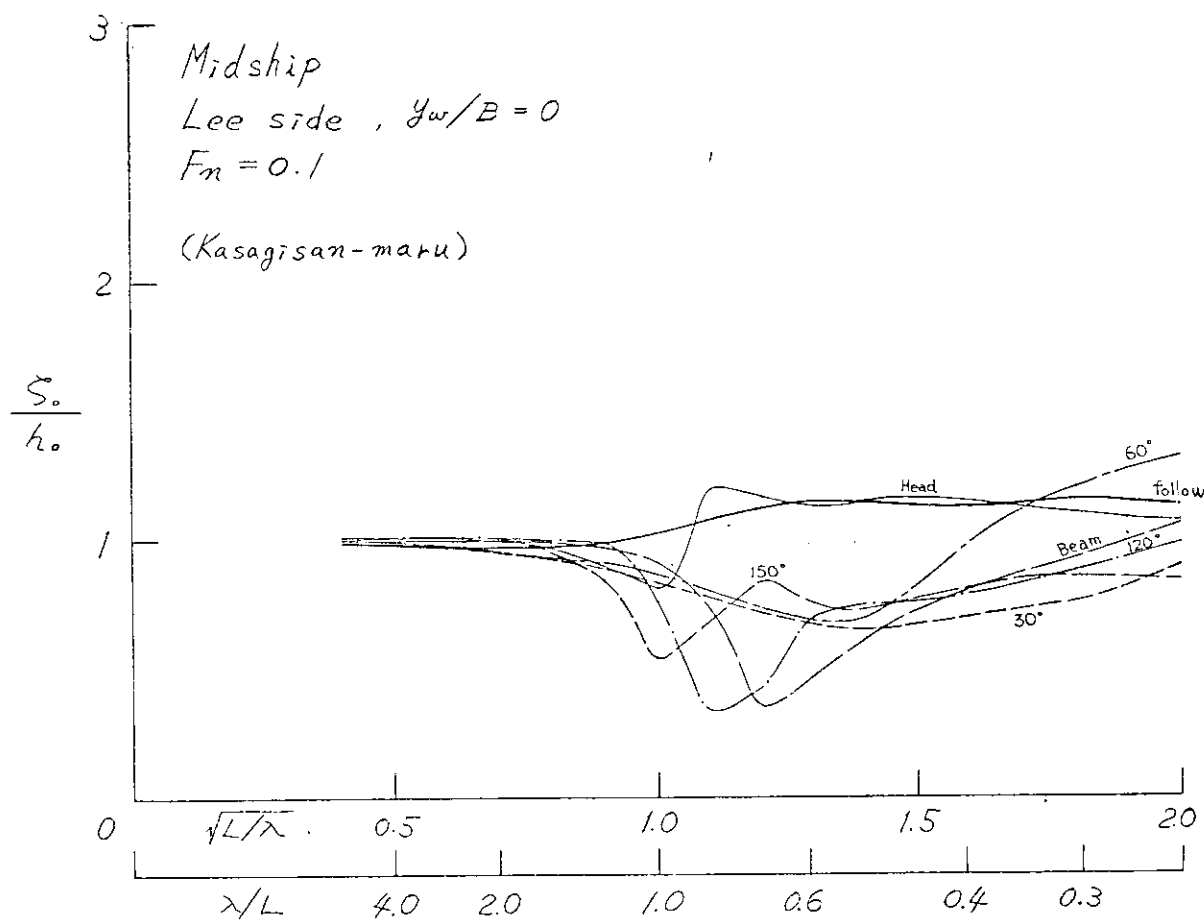


図7.3.1-7 船側の波振幅

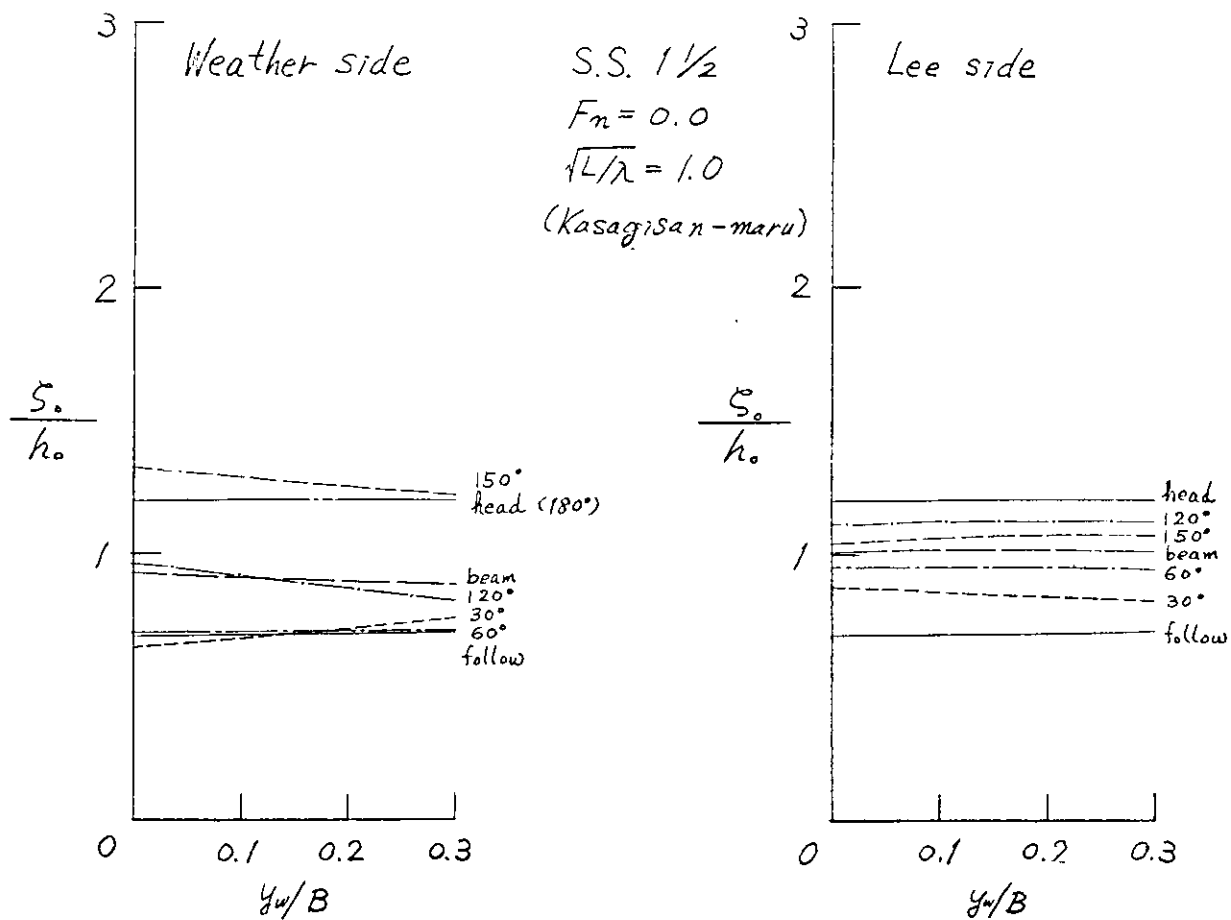


図7.3.1-8 船側の波振幅

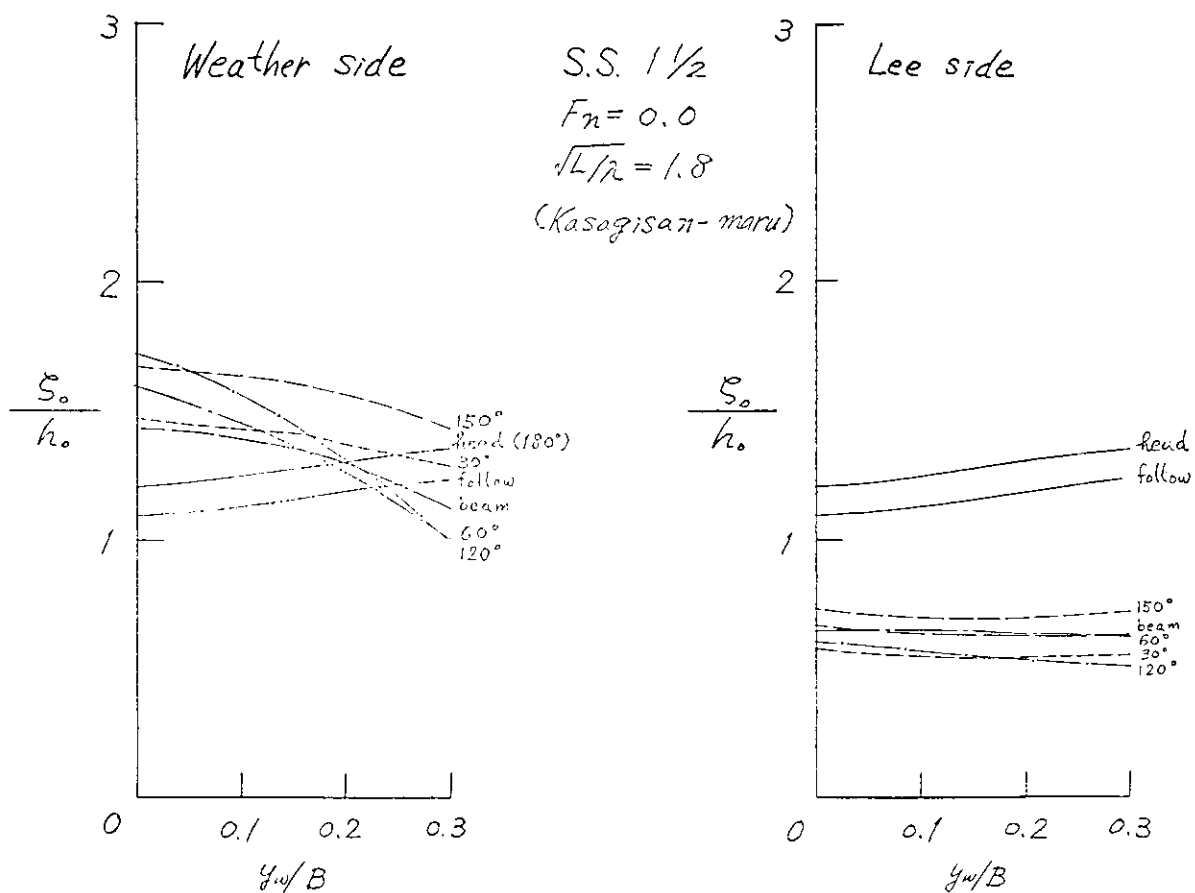


図7.3.1-9 船側の波振幅

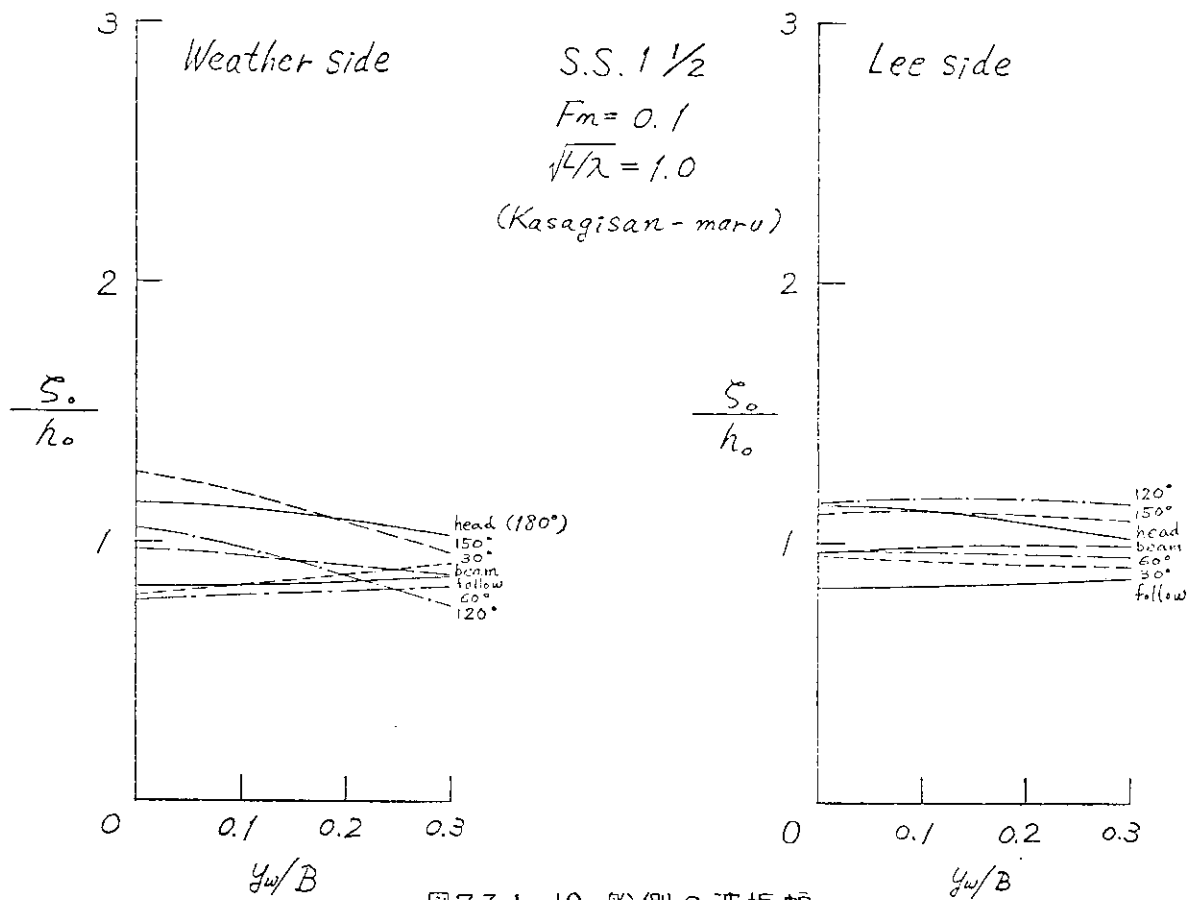


図 7.3.1-10 船側の波振幅

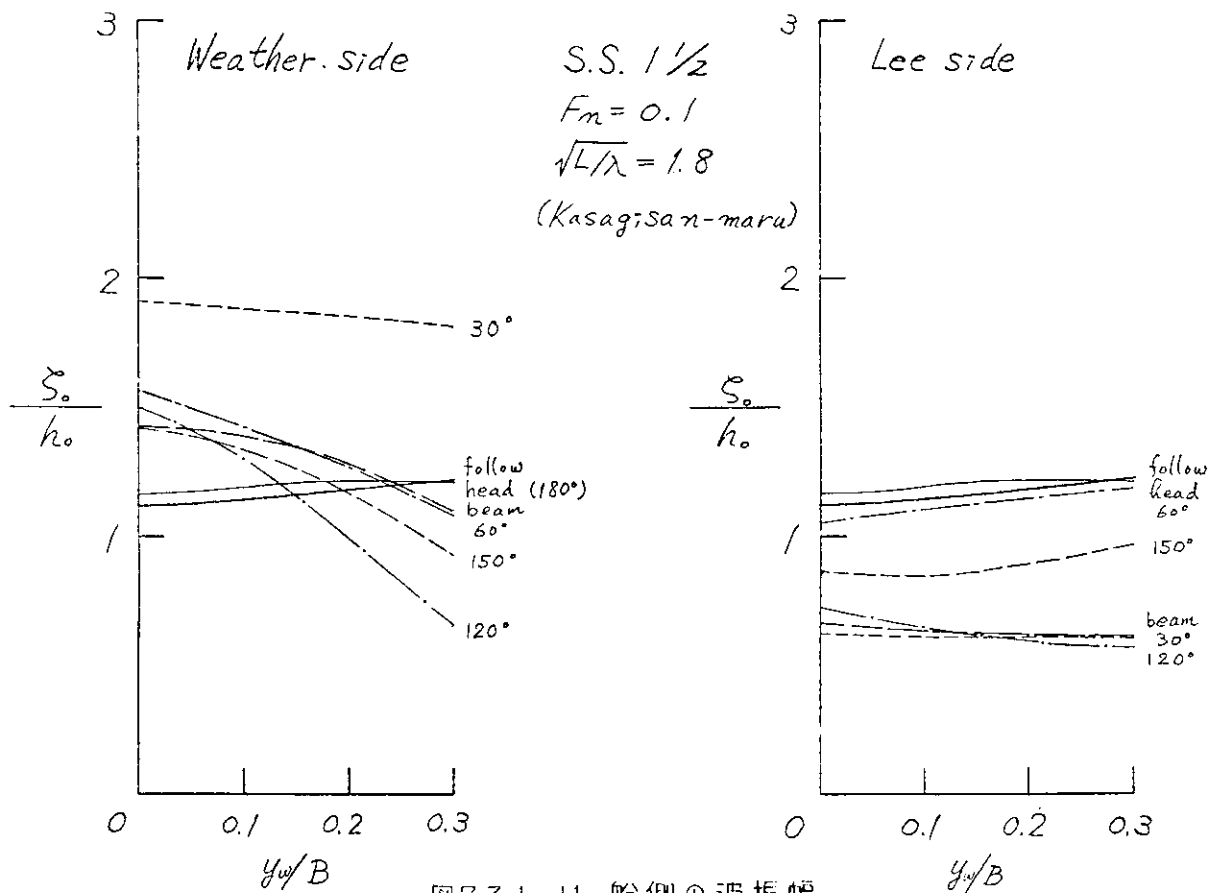


図 7.3.1-11 船側の波振幅

7.3.2 船首前方における波高について

反射型波浪計の取付位置としては、船体中央部付近の舷側と船首とが考えられる。いずれの位置にしても、船体近傍ということであれば、船体の存在による波高への影響は考えがれることができない。しかし、船体からはるかに離れた位置で波高の計測ができるならば、その影響は極めて小さくなることが容易に予想される。そこで船首前方にあっては、どれほどの距離を離して反射型波浪計を設置するならば実用的波高を測定できるかを、理論計算によって検討を加えることにする。

船首前方の波は、入射波と船により入射波の散乱波、さらに船体が運動することによって生ずる発散波、これらを重ね合わせたものと考える。ところで船首前方の波は三次元影響をうけるところであって、Ordinary Strip Method だけから求めることはできない。そこで便宜的に次のように考えることにする。船首部分を三次元軸対称柱体でおきかえることにする。発散波については、O.S.M. によって求めた船首部分の上下方向の運動と同じ運動をする、球タイプ70のFloating のついた柱体の発散波をもつておきかえる。散乱波については、吃水無限大のパイル状の柱体の散乱波をもつておきかえることにする。計算にあたっては、笠木山丸を対象船型として、それに対応する軸対称柱体を図7.3.2.1に示す。

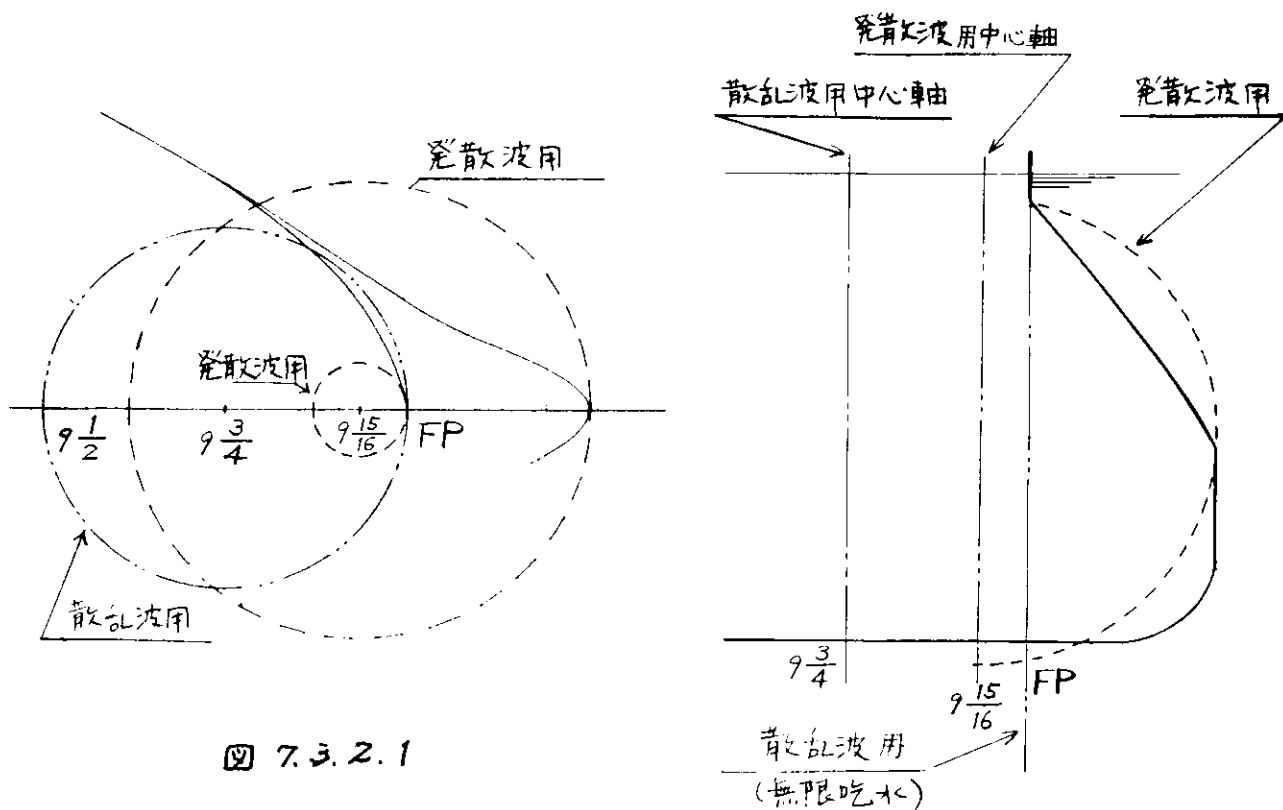


図 7.3.2.1

発散波に対する柱体の中心軸は SS 9 15/16 に、散乱波に対するそれは SS 9 3/4 においた。

出会角は主に船首前方の散乱波に影響をおよぼすもので、向波の場合の影響が最も大きい。波浪計を船首に設置することの適否を検討するための資料を得ることを目的としているので、出会角は最も厳しい条件である向波だけを選んだ。船速の影響は、発散波の出会周波数にだけあうられるものと仮定した。いま、座標系を図 7.3.2.2 のようにとり

η_w = 入射波の振幅	$\bar{z}$ = 船首部の上下揺の振幅
ϕ_w = 波の速度ポテンシャル	ϕ_m = 運動による速度ポテンシャル
ω = 入射波の円周波数	ε = heave と pitch の連成を考慮した運動と波との位相差
$K = \omega^2/g$ 波数	$\alpha = \arg(-i\phi_w)$
ω_e = 出会周波数	$\beta = \arg(-i\phi_m)$
$K_e = \omega_e^2/g$	
R = 重心より計測点までの距離	

とおくと

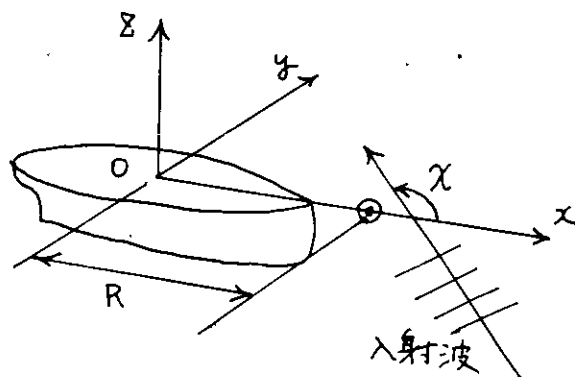


図 7.3.2.2

(入射波 + 散乱波) による波の振幅 η_w は

$$\eta_w / \eta_w = \eta_w \cdot |\phi_w(k)|_{z=0} e^{i\alpha - iK_e R} e^{i\omega_e t} \quad (7.3.2.1)$$

運動による発散波の振幅 η_m は

$$\eta_m / \eta_w = \bar{z} / \eta_w \cdot K_e \cdot |\phi_m(k_e)|_{z=0} e^{i\beta + i\varepsilon} e^{i\omega_e t} \quad (7.3.2.2)$$

以上により、船首前方における波の振幅 η は

$$\begin{aligned}
 \eta/\eta_w &= (\eta_w + \eta_m)/\eta_w \\
 &= \left\{ |\phi_w|_{z=0} e^{i\alpha - ikeR} + \frac{\bar{Z}}{\eta_w} \cdot K_e \cdot |\phi_m|_{z=0} \cdot e^{i\beta + i\varepsilon} \right\} e^{i\omega_e t} \\
 &= \frac{|\eta|}{\eta_w} e^{i\delta} \cdot e^{i\omega_e t} \quad (7.3.2.2')
 \end{aligned}$$

と与え。

船首部の上下揺の振幅 $\bar{Z}$ ならびに波との位相差 ε は、heave と pitch の連成運動を考慮した O.S.M. により求めた。出会角 $\chi = 180^\circ$ の向波中で、船速 $F_n = 0$ と 0.1 の場合の $\bar{Z}/\eta_w$ ならびに ε を、 $\sqrt{L/\lambda}$ ベースに表 7.3.2.1 に示す。

表. 7.3.2.1

$F_n = 0.0 \quad \chi = 180^\circ$			$F_n = 0.1 \quad \chi = 180^\circ$		
$\sqrt{L/\lambda}$	$\bar{Z}/\eta_w$	$\varepsilon (\text{deg.})$	$\sqrt{L/\lambda}$	$\bar{Z}/\eta_w$	$\varepsilon (\text{deg.})$
0.4	1.054	25.7	0.4	1.043	22.8
0.6	1.315	45.4	0.6	1.293	39.0
0.8	1.621	58.1	0.8	1.653	47.2
1.0	1.507	64.6	1.0	1.726	38.5
1.2	0.758	68.2	1.2	0.667	-13.5
1.4	0.177	136.7	1.4	0.061	106.8
1.6	0.098	74.3	1.6	0.049	-45.0
1.8	0.013	-13.7	1.8	0.008	50.0
2.0	0.025	123.7	2.0	0.012	134.7

また、単位振幅の上下揺をした場合の球タイプの Footing の付いた軸対称柱体の発散波の速度ポテンシャルは、中心軸上に特異点を数個置いて、別所の変分原理によって求めた。(造船学会論文集 130 号 佐尾, 黄, 前田 参照)

単位振幅の入射波が無限吃水の軸対称柱体にあたる場合の波の振幅は、次の式を用いて計算した。

いま、座標系を図 7.3.2.3

に示すようにとる。

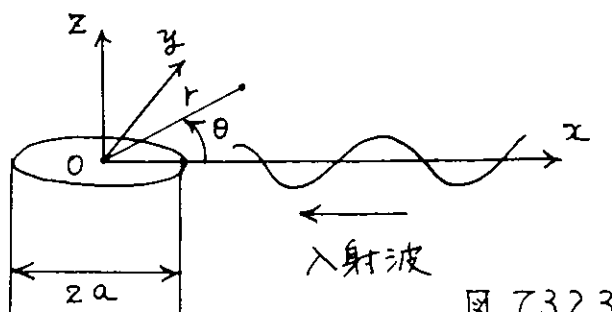


図. 7.3.2.3

単位の振幅をもつ入射波の速度ポテンシャル中。を

$$\phi_0(k) = \frac{ig}{\omega} \cdot e^{Kz + iKx} \quad (7.3.2.3)$$

としたとき、入射波と散乱波を重ね合わせた波の振幅は、

$$\phi_w(k) \Big|_{z=0} = \left[\phi_{wc} + i \phi_{ws} \right]_{z=0} \quad (7.3.2.4)$$

となる。 ϕ_{wc} , ϕ_{ws} は次の通りである。

$$\phi_{wc} = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos n\theta \left[\cos \frac{n\pi}{2} \cdot J_n(Kr) - \frac{P_n}{P_n^2 + Q_n^2} \{ S_n \cdot J_n(Kr) + T_n \cdot Y_n(Kr) \} \right] \quad (7.3.2.5)$$

$$\phi_{ws} = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n \cos n\theta \left[\sin \frac{n\pi}{2} \cdot J_n(Kr) - \frac{P_n}{P_n^2 + Q_n^2} \{ T_n \cdot J_n(Kr) - S_n \cdot Y_n(Kr) \} \right] \quad (7.3.2.6)$$

ただし、

$$\varepsilon_0 = 1, \quad \varepsilon_n = 2 \quad (n \geq 1) \quad (7.3.2.7)$$

$$\begin{cases} P_n = \frac{n}{Ka} \cdot J_n(Ka) - J_{n+1}(Ka) \\ Q_n = \frac{n}{Ka} \cdot Y_n(Ka) - Y_{n+1}(Ka) \end{cases} \quad (7.3.2.8)$$

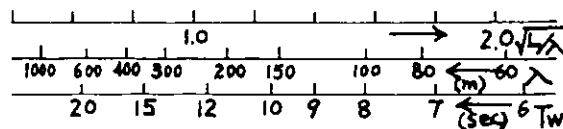
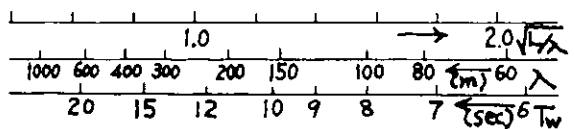
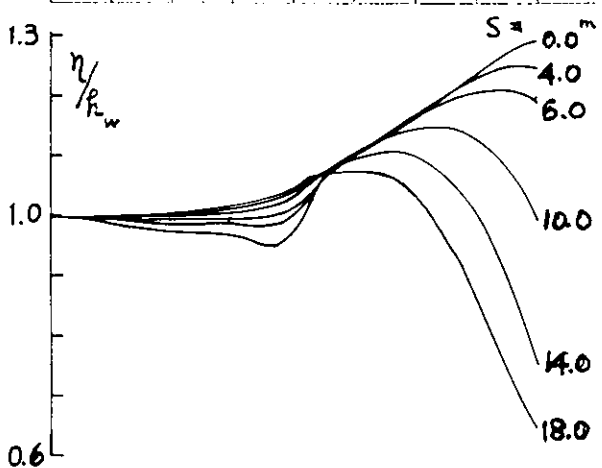
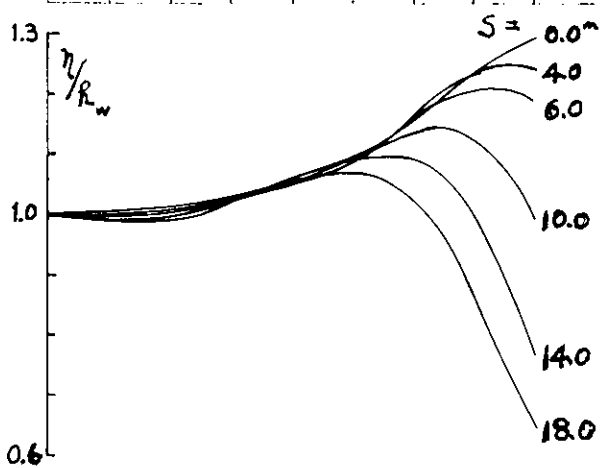
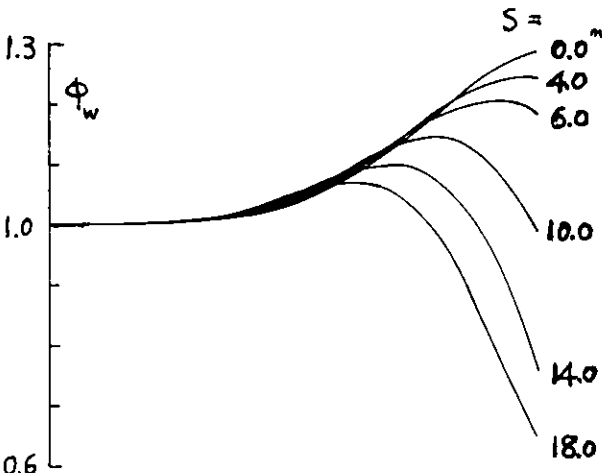
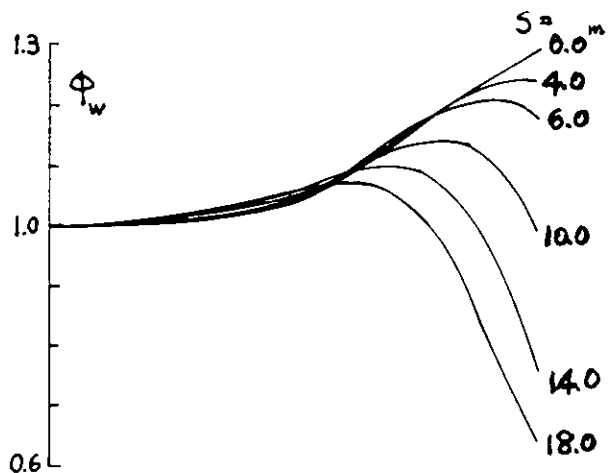
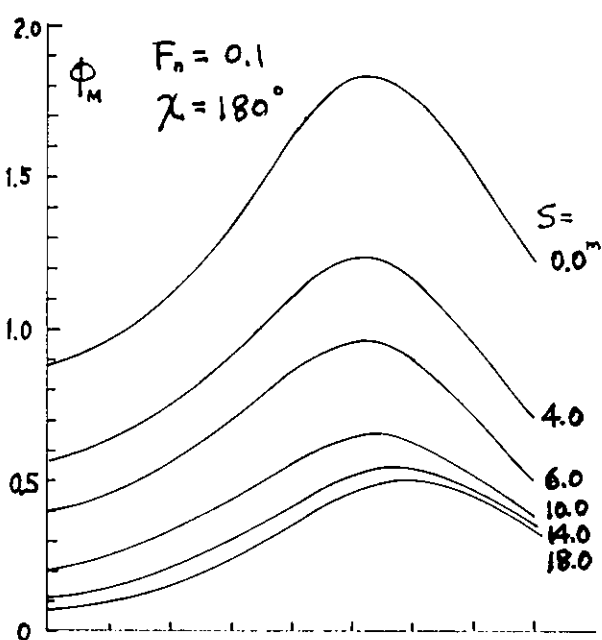
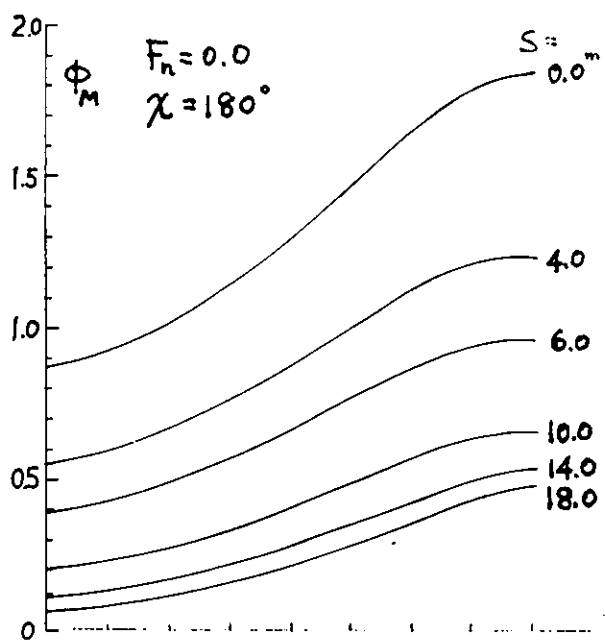
$$Q_n = \frac{n}{Ka} \cdot Y_n(Ka) - Y_{n+1}(Ka) \quad (7.3.2.9)$$

$$\begin{cases} S_n = P_n \cdot \cos \frac{n\pi}{2} - Q_n \cdot \sin \frac{n\pi}{2} \\ T_n = Q_n \cdot \cos \frac{n\pi}{2} + P_n \cdot \sin \frac{n\pi}{2} \end{cases} \quad (7.3.2.10)$$

$$T_n = Q_n \cdot \cos \frac{n\pi}{2} + P_n \cdot \sin \frac{n\pi}{2} \quad (7.3.2.11)$$

また、 J_n , Y_n はそれぞれ n 次の第一種、第二種ベッセル函数である。

以上の計算法により計算した結果を、船速 $F_n = 0$ に対しては図 7.3.2.4, $F_n = 0.1$ に対しては図 7.3.2.5 に示す。図中のパラメータは、波高を求めている位置の船首(F.P.)からの距離を実船換算の m で表示したものである。これらの結果からわかることは次の通りである。発散波によって入射波が乱される割合は、散乱波によるものにくらべて少ない。向波においては、パラメータ S にかかわらず誤差 10% 以内で計測しうる波の範囲をみると、 $\sqrt{L/\lambda}$ で 1.4 以下 (波長 λ で 130m 以上, 波周期で 9 秒以上) である。また、船首からの距離で $S = 14m$ のものにあつては、同様の誤差での計測範囲は $\sqrt{L/\lambda}$ で 1.9 以下 (入で 70m 以上, T_w で 6.5 秒以上) である。ただし、以上に述べた結論は、船首部を軸対称物体で置き換えることができるとした大胆な仮定のもとに導かれたものであることを考慮しなければならない。



☒ 7.3.2.4

☒ 7.3.2.5

7.4 船体近傍の動的な水位変動に関する模型実験

7.4.1 実験の目的

船体に固定した波高計によって海洋波を計測する試みはいくつか行われているが、今回鉱石専用船（笠木丸）の模型を使用して、船首及び船側の相対水位を測定して船体近傍の波高を求め、これが船体に乱されない場所の波高と一致するかどうかを調べる実験を行った。模型船を規則波中と不規則波中を、様々の出会い角で直進させた。実験中の船速は、平水中でフルード数 $F_n = 0.154$ （実船換算 15 kts）となるプロペラ回転数に保持したので一定な値ではない。波や運動による速度低下が生じて実際のそれは様々に変わるが、その関係も一つの計測項目として後に示す。模型船の主要目を表 7.4.1 に示す。

7.4.2 実験方法

主たる計測項目は相対水位変動と運動による加速度であるが、計測方法、計測位置の概略は図 7.4.1 に示す通りである。計測位置は船首と船側中央 weather-side に各 1 つ所ずつ設け、船体から張り出した台に加速度計をのせ、その直下にテフロン被覆線を用いた容量型水位計を設置した。張り出し台の位置は船首の場合、船首甲板前端より 18 cm 前方、10 cm 上方に加速度計が来る様な位置である。これは実船換算で船首より 10 m 前方に相当する。船側の場合には、船側より直角に 10 cm 離し、10 cm 上方に台がくるようにした。模型船にはこの他、Roll, Pitch 測定用のジャイロを搭載した。模型船の主要目を表 7.4.1 に示す。

実験は規則波中と不規則波中で行ったが、使用した波を表 7.4.2 に示す。規則波は波高一定（10.5 cm）とした。不規則波は Moskowitz-Pierson 型である。

表 7.4.1 主要目

Model	KASAGISAN MARU
$L_{pp} \times B \times D$	4.5 × 0.7397 × 0.419
draft	0.2915 (m)
Trim	0.0
DISP.	0.8020 (t)
$\overline{GM}$	0.0752 (m)
Roll Period	1.83 (sec)
k_L	0.236 L_{pp}

表 7.4.2 波浪

規則波					
λ/L	0.35	0.50	0.75	1.0	1.25

不規則波 (Beaufort 8 に相当)

平均周期 (T_m)	1.39 sec
有義波高 (H_m)	13.0 cm

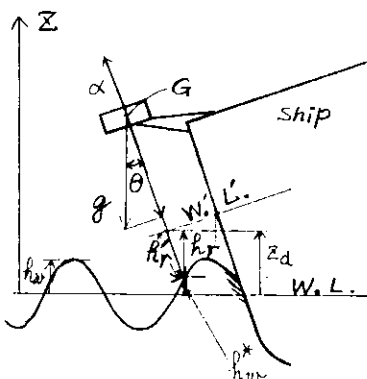
7.4.3 解析法 計測結果

(1) 規則波

前にも述べた如く、実験はプロペラ回転数一定で行ったので、航行の状態によって速度低下が生ずる。図7.4.2に示すのは出会い角をバラメーリーにした λ/L による速度低下の様子である。図7.4.3, 4の Pitch, Roll の記録を参照すればわかる様にピッチングの振幅と相関を持っている。ピッチング振幅が最大である $\lambda/L = 1.0$ 、 $\alpha = 180^\circ$ の附近では速度も平水中にくらべて約半分に減少する。またピッチングの振幅が大きくとも、それ程速度低下のない場合もある。速度低下に相関する他の要因、例えば上下揺振幅、波と運動の位相差等の影響があらわれる筈である。

図7.4.5(a), (b)に相對水位変動の船首、船体中央部での計測値を示す。船首の記録で顕著なのは $\lambda/L = 1.0$ 附近の向い波で大振幅の変動が生ずる事である。横波から斜め進み波に掛りてはほぼ入射波高に等しい。船側の記録では横波で大きな振幅となり、向い波では比較的小さい入射波振幅に等しい。(a), (b)のいずれの記録からもわかる様に船体運動と関係づけられる。船首の記録中、盛り上がった点はピッチングの、船側のそれはローリングの大振幅を記録する点に一致する。図7.4.6(a), (b)に船首、船側での上下加速度の値にも相對水位の場合と同じ傾向が見られる。明らかに船首での加速度にはピッチングの、船側の加速度にはローリングの影響が支配的である。

相對水位変動は船の上から測定した値であるから運動の変位分が含まれている。船体近傍での波高を求めるには相對水位からこの運動分を除く必要である。補正は次の様に考へ方に基づいて行った。入射波及び船体運動は出会い周期の正弦振動とする。更に船首、船側で測定される上下加速度には船体が傾斜する事による影響は小さく無視できるとする。



G点で加速度計の感ずる変動分は加速度計が傾むく事による変動分と運動の加速度である。運動による加速度を α 、重力加速度を g 、傾斜角 θ とすれば、

$$\ddot{z}' = \alpha + g(1 - \cos \theta)$$

での速度変動分が与えられる。これの各軸方向成分は

$$\ddot{z} = \ddot{z}' \cos \theta$$

又相對水位 h_r は水位計が傾むく為、計測される h_r' と次の様な関係がある。

$$h_r = h_r' \cos \theta$$

ここで $\theta \approx 0$ と置けば $\cos \theta \approx 1$ となるので、 $\ddot{z}$ 、 h_r はそれぞれ次の関係で置きがえられる。

$$\ddot{z} = \alpha \quad h_r = h_r'$$

必要なのは h_{rw}^* であるが、これは次の式で与えられる。

$$h_{rw}^* = z_d - h_r$$

この z_d は $\ddot{z}$ の積分で求められるのであるが、仮定により $\ddot{z}$ も h_r も正弦振動とすると次の様に書ける。加速度の相対水位に対する位相差を ε とすれば

$$\ddot{z} = \bar{\alpha} \sin(\omega_e t - \varepsilon)$$

$$h_r = \bar{h}_r \sin \omega_e t$$

従って z_d , h_{rw}^* は

$$z_d = -\bar{\alpha} \omega_e^2 \sin(\omega_e t - \varepsilon)$$

$$\begin{aligned} h_{rw}^*(t) &= -\bar{\alpha} \omega_e^2 \sin(\omega_e t - \varepsilon) - \bar{h}_r \sin \omega_e t \\ &= -\sqrt{\bar{h}_r^2 + \bar{\alpha}^2 \omega_e^4 + 2\bar{\alpha} \omega_e^2 \cos \varepsilon} \sin(\omega_e t - \varepsilon') \end{aligned}$$

以上の事から $\bar{h}_r$, $\bar{\alpha}$, ε , ω_e が知られる時、 h_{rw}^* の振幅は計算で求められる事がわかった。本実験ではレクチグラフに記録された計測値から、各振幅と相対水位と加速度の位相差を読みとり、補正を行ってみた。その結果が図7.4.7(a)(b)に示されたものである。いわば移動座標系から固定座標系への幾何学的変換を施しただけであるから、運動によって生ずる波や、船体から反射される波は含まれたままである。船首の記録をみると、向い波では比較的長い波の時、入射波高の4倍弱の波高が記録される。この付近はピフテングの激しい所であるから、運動によって生ずる波が非常に大きくなってしまっているであろう。又向い波の波長が短い所では入射波より小さい波高となる。この付近は反射波との干渉で打ち消される部分が大きい為であろう。船首で計測する場合は、むしろ横波から追い波にかけて記録した方が多少の変動はあるにせよ、比較的正確な波を与える事がわかる。

図7.4.7(b)の船側での記録から求めた波高を見ると船首の場合程極端な変化はない。しかし横波、追い波では入射波の2倍程度の波高が与えられる。これはRollによる逆波分が大きくなる為であろう。一般的特徴は向い波で良い値を示す。これは船首で測定した場合と逆の傾向である。

船首、船側のいずれで測定しても、運動が大きければ測定値が入射波を正確に表わさないとはいえない。運動によって生ずる波にしても、各運動の位相差によって波が打ち消し合う事もあるし、又更に反射波が加わって波を強めてしまう事もあるし、強める事もあるからである。

(2) 不規則波

規則波と同様に、相対水位変動記録 $\eta_r(t)$ と、上下加速度の記録 $\ddot{z}(t)$ とから、船体近傍の水面変動 $\eta_w^*(t)$ を求めることができる。すなわち、

$$\eta_w^* = \iint \ddot{z}(t) dt dt - \eta_r(t)$$

いま、 η_w^* , $\ddot{z}$, η_r , $z = \iint \ddot{z}(t) dt dt$ のオートスペクトラムをそれぞれ $S_{\eta_w^*}(f)$, $S_{\ddot{z}\ddot{z}}(f)$, $S_{\eta_r}(f)$, $S_{zz}(f)$ とし、 η_r と $\ddot{z}$, η_r と z のクロススペクトラムをそれぞれ $S_{\eta_r \ddot{z}}(f)$, $S_{\eta_r z}(f)$ とすると、これらの間には次式で示るような関係があるので、水面変動のオートスペクトラムを求めることができる。

$$S_{\eta_w^*}(f) = S_{zz}(f) + S_{\eta_r}(f) - 2 \Re \{ S_{\eta_r z}(f) \}$$

$$S_{zz}(f) = S_{\ddot{z}\ddot{z}}(f) / (2\pi f)^4$$

$$S_{\eta_r z}(f) = -S_{\eta_r \ddot{z}}(f) / (2\pi f)^2$$

数値計算の場合、記録のドリフトなどのため $S_{\ddot{z}\ddot{z}}(f)$ が $f=0$ で有限の値もとリ、従って $f \rightarrow 0$ で、 $S_{\ddot{z}\ddot{z}}(f) / (2\pi f)^4 \rightarrow \infty$ となる。このようなときには f の或る小さい値より低い周波数成分は省略するか、適当な数値フィルターを用いる。

このようにして求めた波のスペクトラムは、船が出会う波スペクトラムであり、固定点で測る波のスペクトラムとは異なっている。いま固定点で測ったスペクトラムを $S_w(\omega)$, $\omega = 2\pi f$, とすると、この波の中に出会角 χ , 船速 F_n で航走する船の出会う波のスペクトラム $S_e(\omega_e)$ は $S_w(\omega)$ により次式で表わされる。

$$S_e(\omega_e) = S_w(\omega) / |1 - 2\sqrt{\frac{L}{g}} \cdot F_n \cdot \cos \chi|$$

こゝに

$$\omega_e = \omega (1 - \omega \sqrt{\frac{L}{g}} \cdot F_n \cdot \cos \chi)$$

$$F_n = v / \sqrt{gL}, \quad L: \text{船の長さ}, \quad v: \text{船の速度}$$

$S_e(\omega_e)$ と $S_w(\omega)$ の関係は $\cos \chi \approx 0$ に従って、異なった形状を呈する。それを図示すると図 7.4.8 (a), (b), (c) のようになる。すなわち、向波、斜め向波中では $S_e(\omega_e)$ は $S_w(\omega)$ より ω の大きい領域に移ると共に高さが低くなる。横波中では両者は等しい。追波、斜め追波中では $S_e(\omega_e)$ は $S_w(\omega)$ より ω の小さい領域に移ると共に高さが高くなる。しかし、 $\omega_e = 0$ となる ω を ω_c とすると、 $\omega_e = \omega_c/2$ のところで $S_e(\omega_e) \rightarrow \infty$ となる特異な形状を呈する。ちょうど $S_w(\omega)$ を $\omega_c/2$ で折りがえし、 ω_c のところが縦軸に一致し、 $\omega > \omega_c$ の部分は縦軸で再びプラス側に折り返えされるような形である。従って ω_e 軸で $0 \sim \omega_c/2$ の間は価関数であるから、 $S_w(\omega)$ を $S_e(\omega_e)$ に変換することはできるが、逆に $S_e(\omega_e)$ を $S_w(\omega)$ に変換することは、追波、斜め追波中では原理的に不可能である。

いま今回の実験で測定した例として、図 7.4.9 に横波中での出会波のスペクトラムと、固定点で測定した波スペクトラムを示す。これは船首で測ったも

のであるが、 $S_e(w_e)$ は $S_w(w)$ より高い値を示している。これは図7.4.7(a)に示す、規則波中で測定された波高が横波で高く出ているのに対応するものと考えることができる。青雲丸の模型実験の結果では横波中の両スペクトラムは非常によく一致した。笠木山丸は船首附近の船型が肥えており低速であるため、船の前方に反射波がかなり存在するため、両方のスペクトラムに差が生じたものである。規則波中の結果から類推すると向波中で船側の出会波が、固定長の波を比較的忠実に示すはずであるが、今回の実験では確かめるに至らなかった。

7.4.4. まとめ

船載式波浪計の使用に対し、本模型実験から得られた結論をまとめると次のようになる。

- (1) 船首波浪計は斜め追波、追波で比較的正しい波高を与える。
- (2) 船体中央部の船側波浪計は向波又は追波中で比較的正しい波高を与えるが、やや高めの値を示す。
- (3) 船側波高の理論計算値は実験値と定性的にはよく一致する。

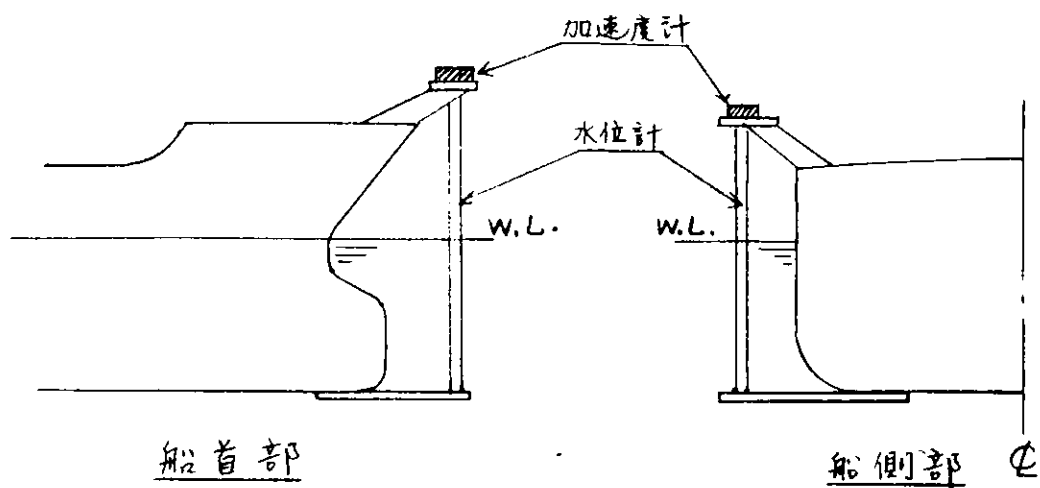


図 7.4.1 水位測定部概要図

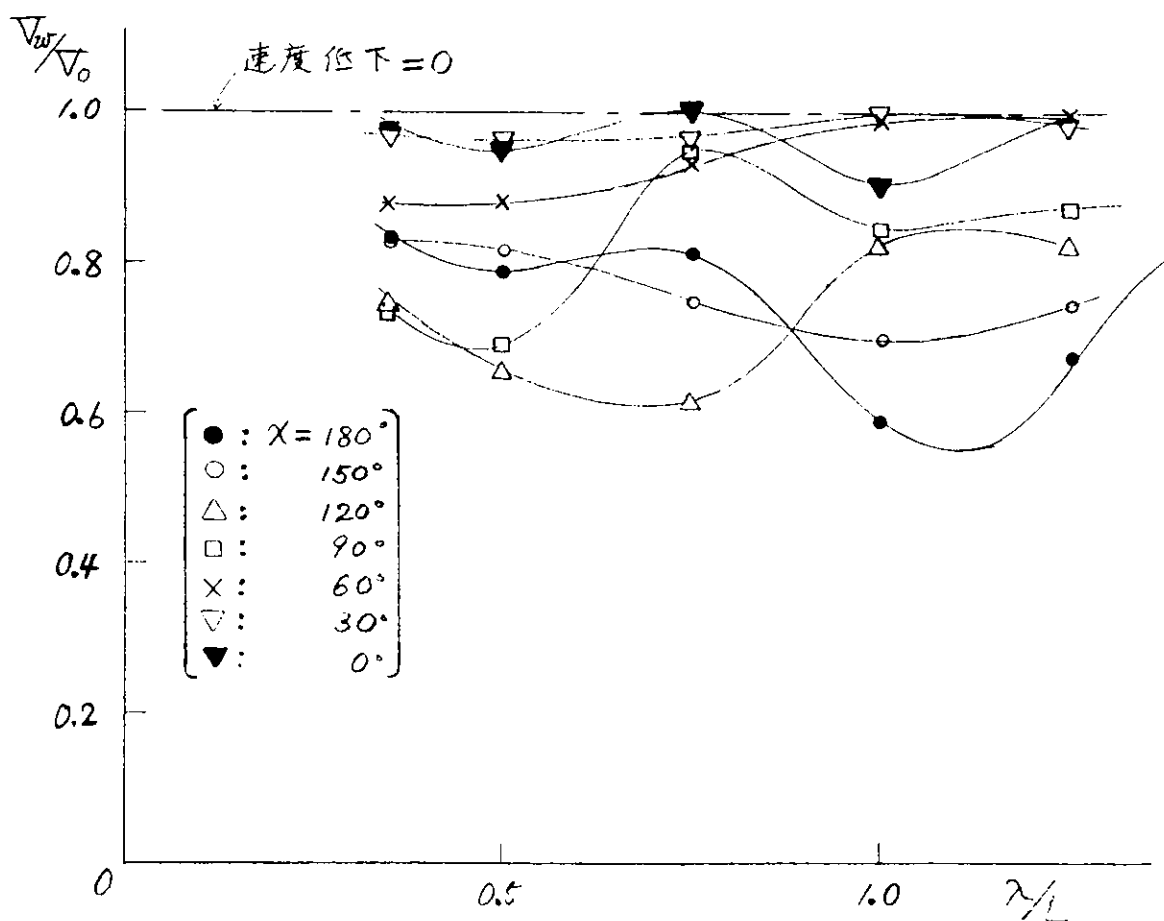


図 7.4.2 波浪中速度低下

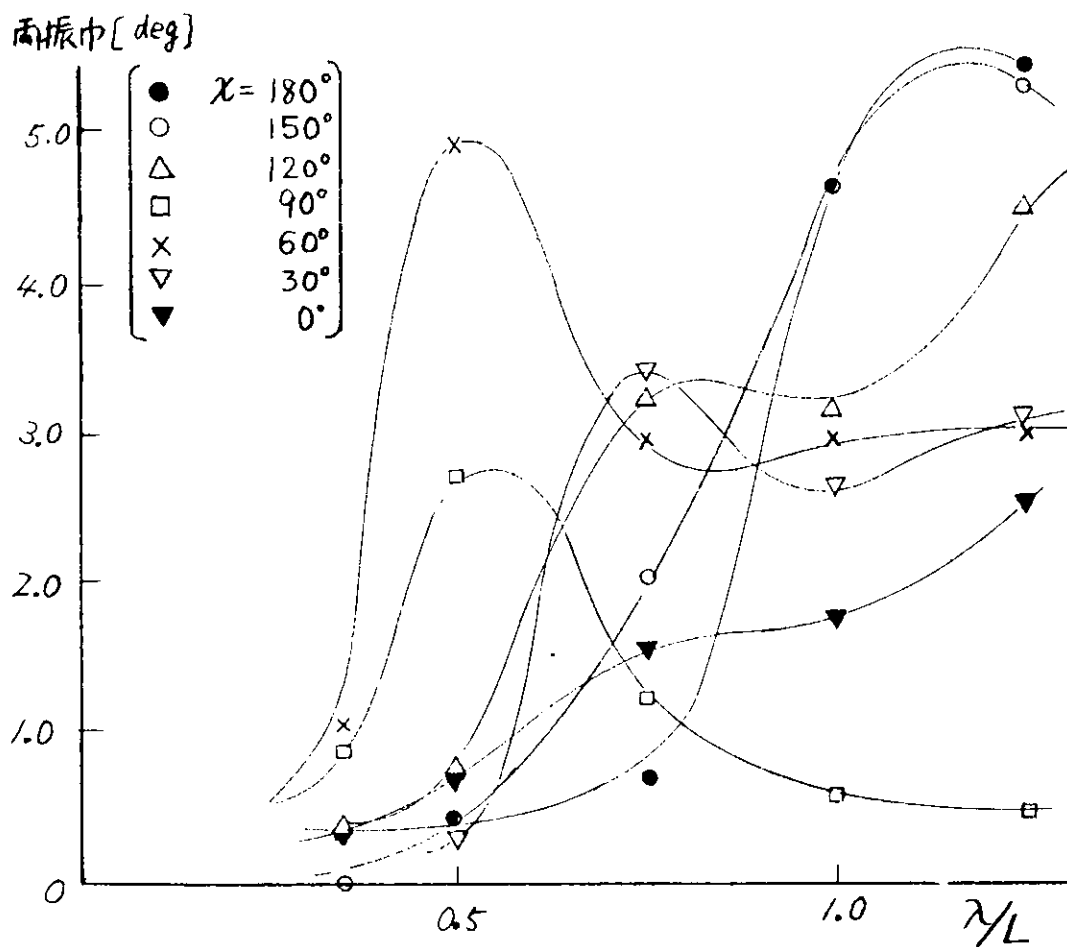


図 7.4.3 ピッチフォークの振巾

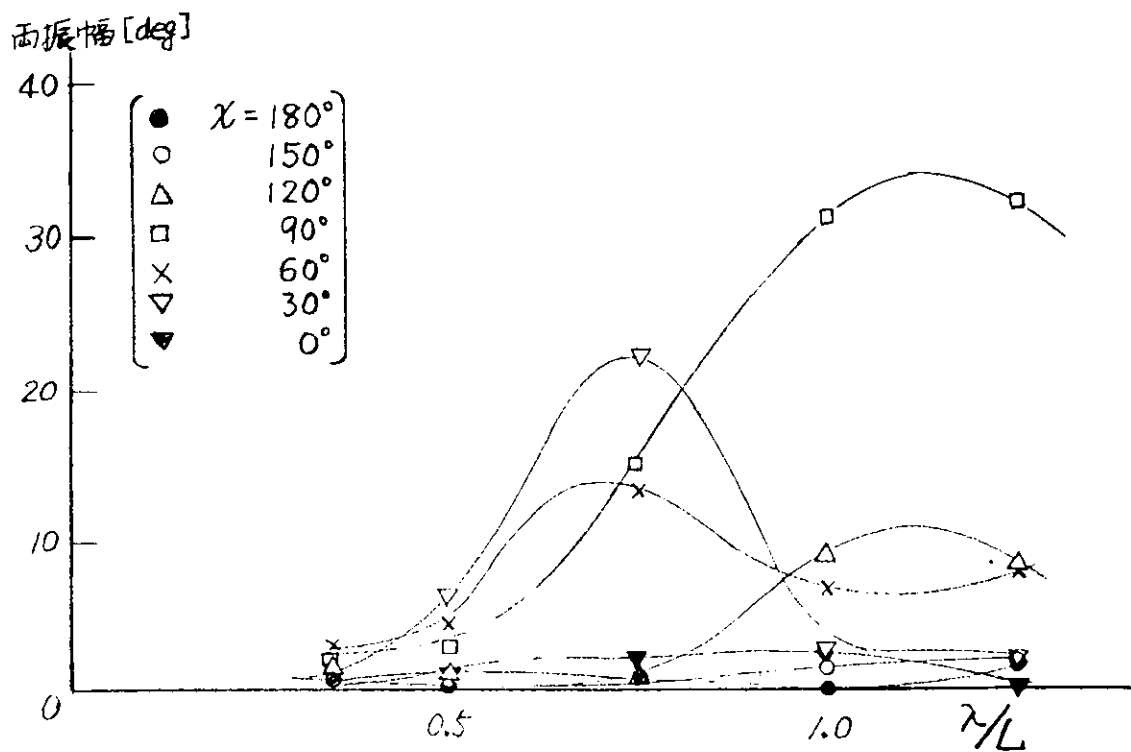


図 7.4.4 ローリングの振巾

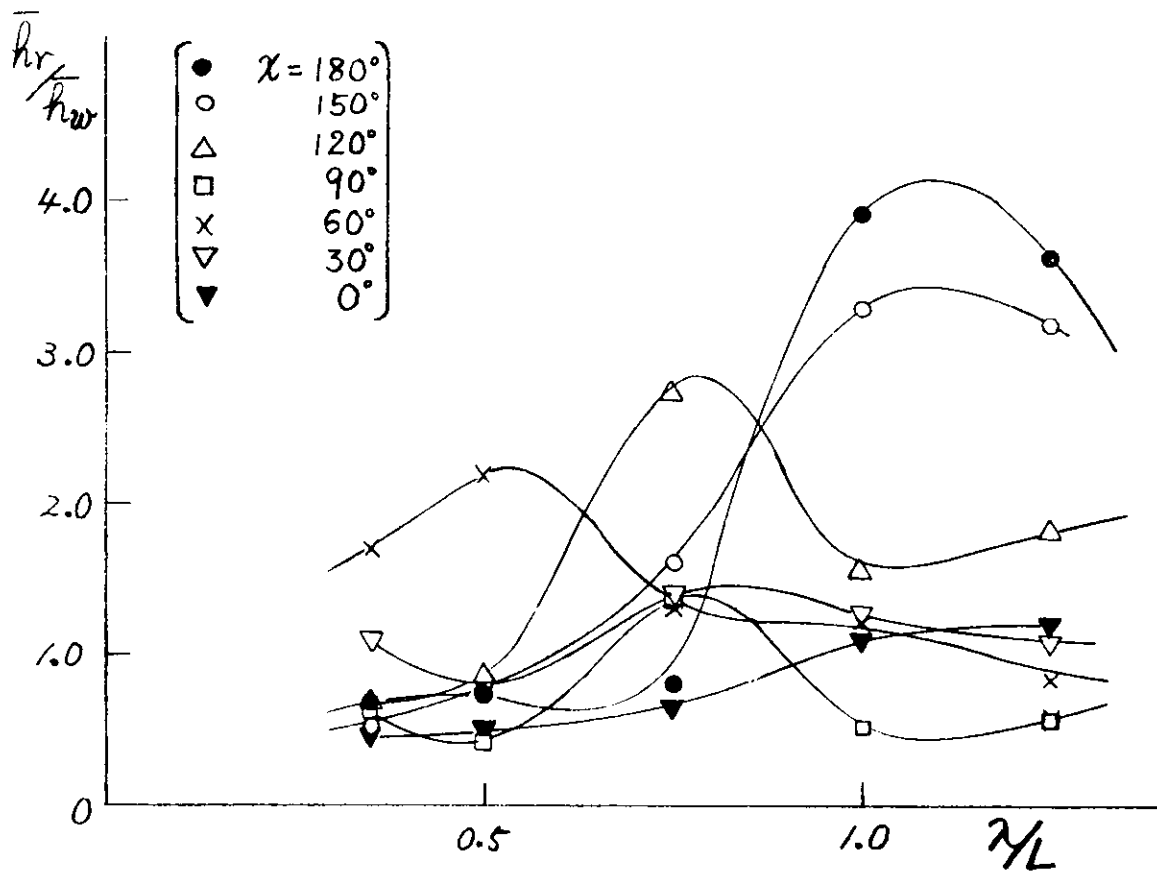


图 7.4.5 (a) 相对水位 (船首)

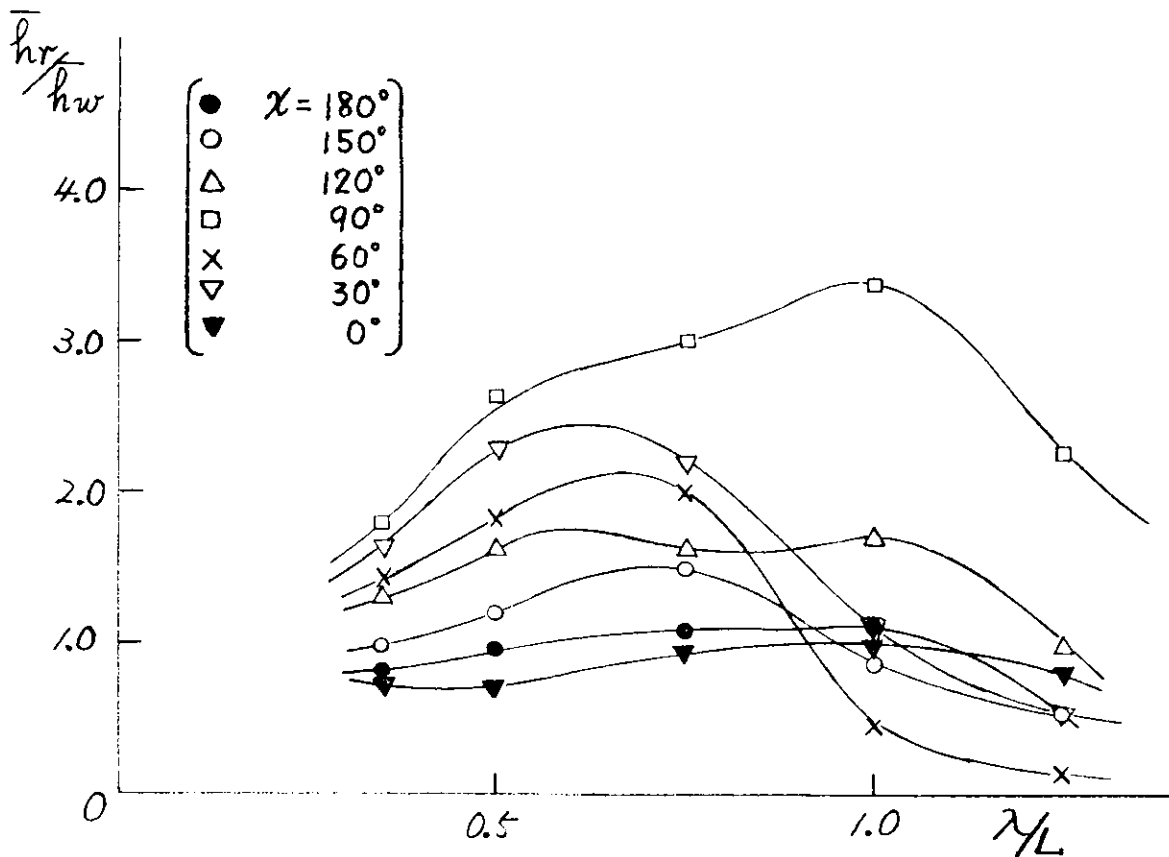


图 7.4.5 (b) 相对水位 (船侧)

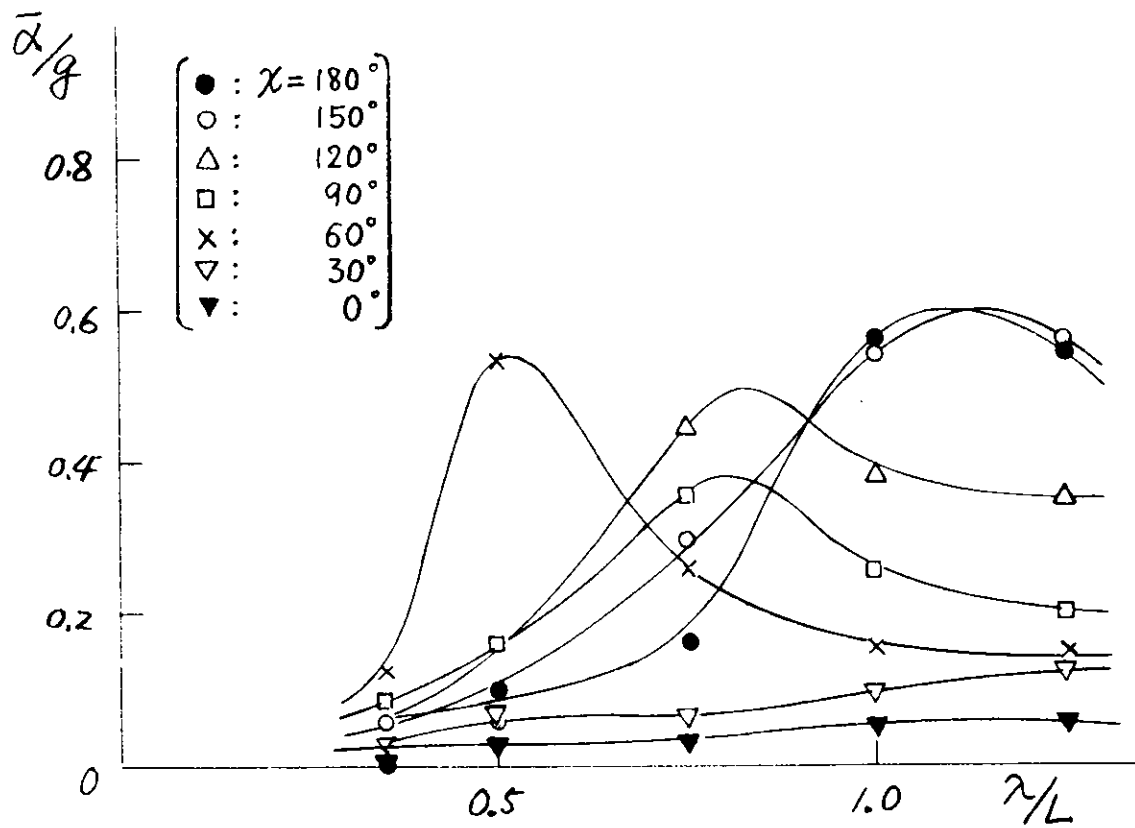


圖 7.4.6 (a) 上下加速度(船首)

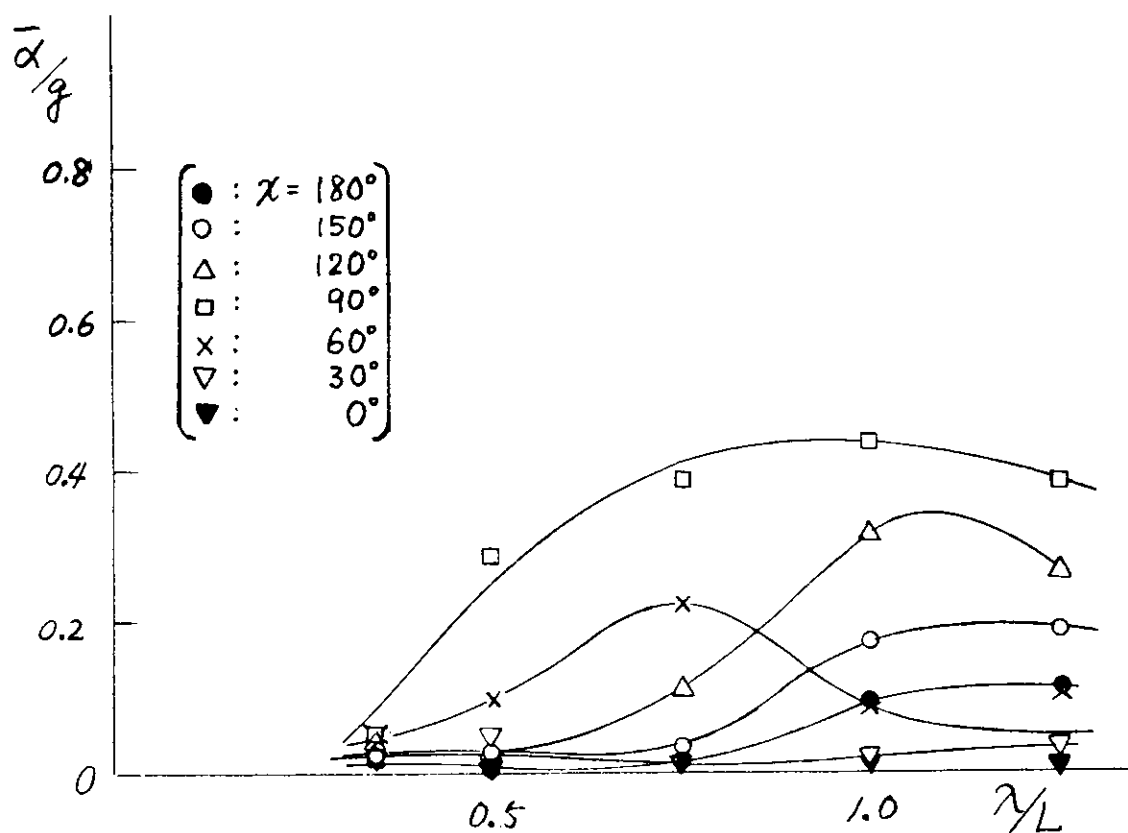


圖 7.4.6 (b) 上下加速度(船側)

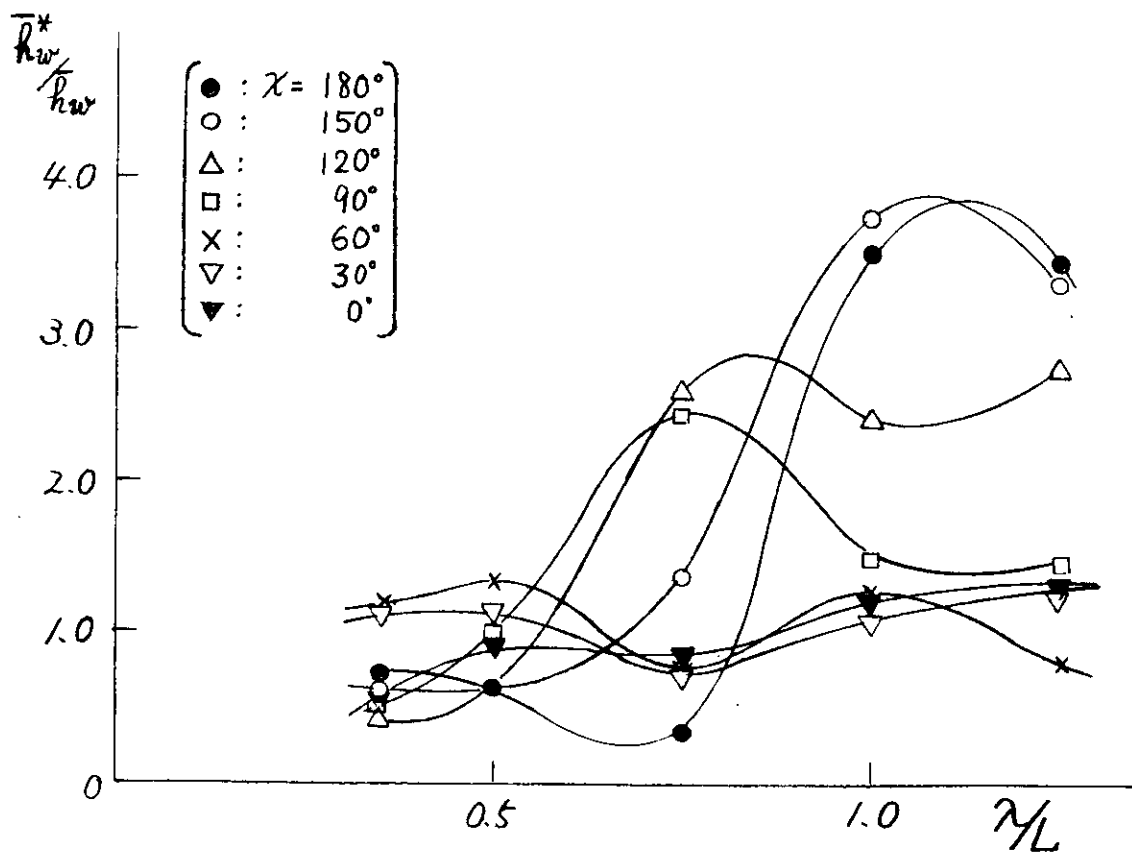


図 7.4.7 (a) 計測された波高(船首)

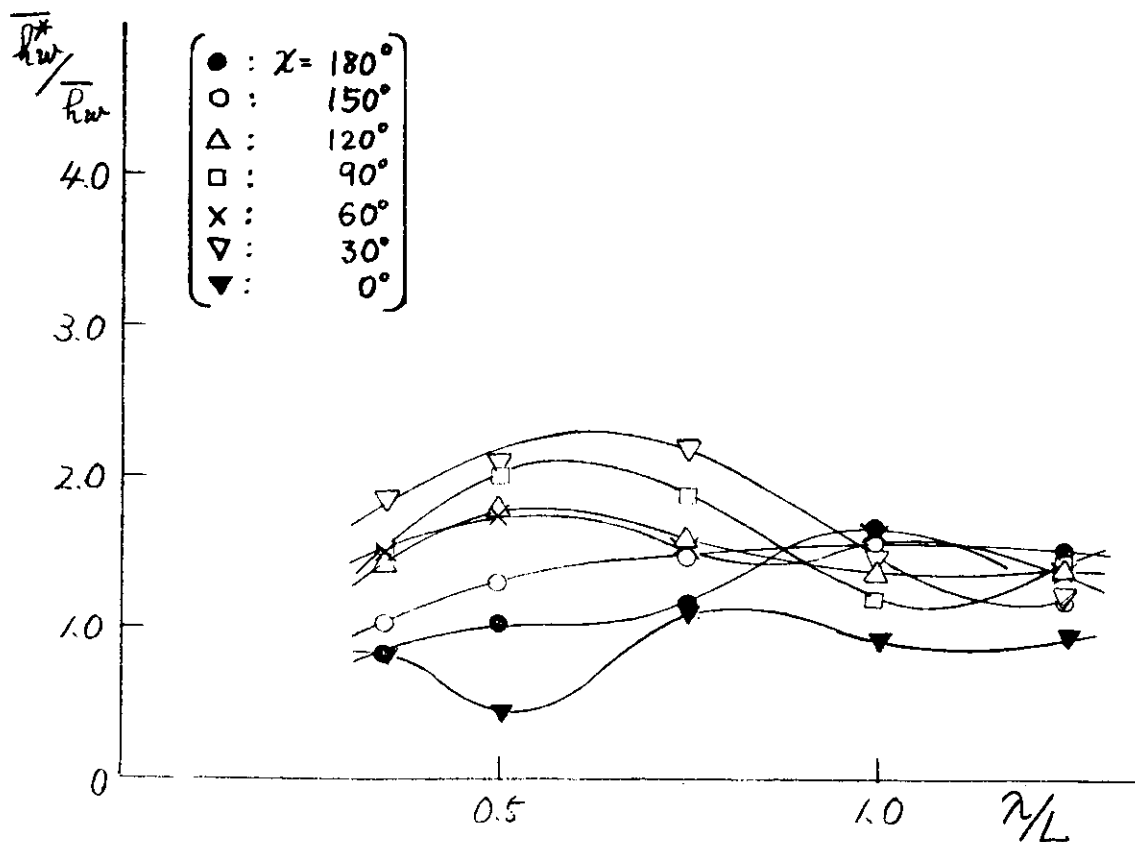


図 7.4.7 (b) 計測された波高(船側)

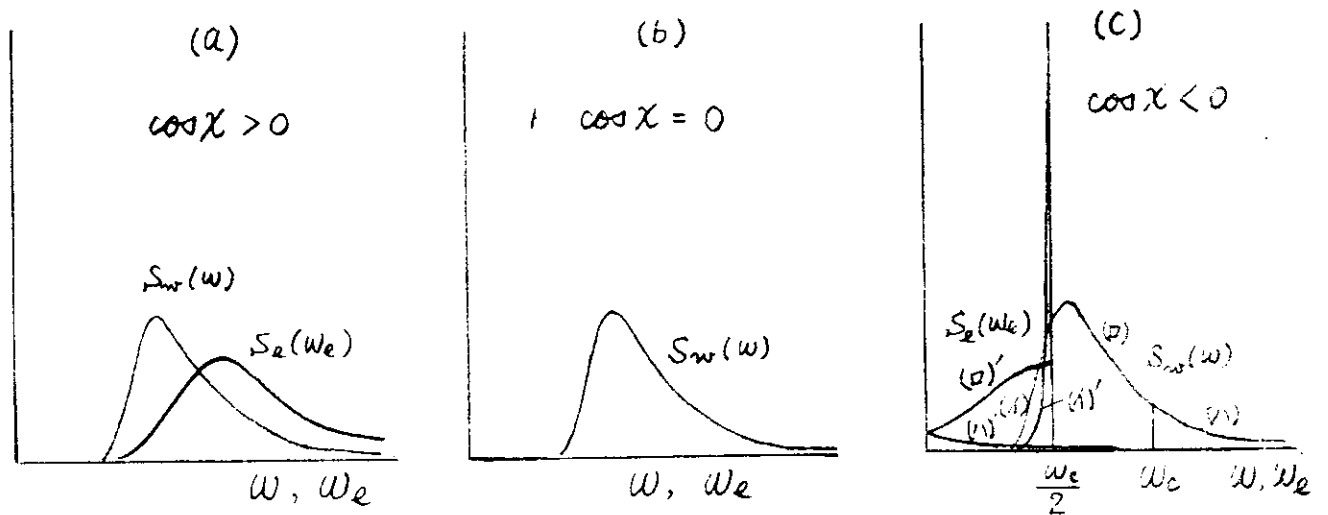


図 7.4.8 固定波の波スペクトラムを出会波スペクトラムに変換

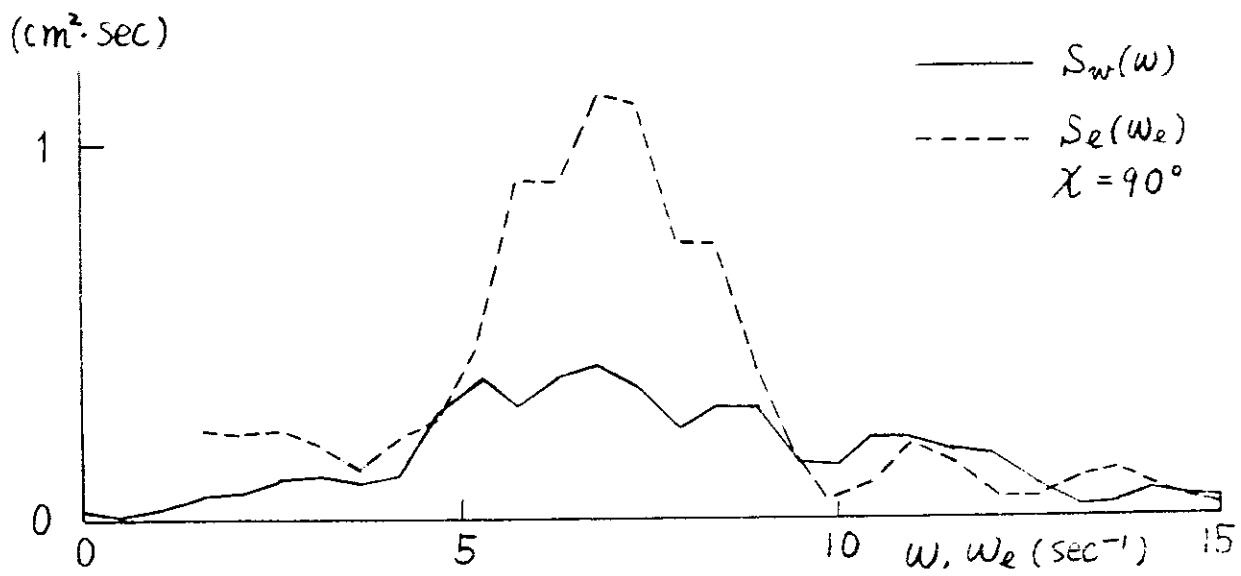


図 7.4.9 固定波の波スペクトラムと出会波のスペクトラム

8. レーダーによる波向計測法

8.1 研究の目的

波浪外力に関する実船試験において、波浪、風等の環境条件を正確には握る必要のあることは論をまたない。このうち波浪の観測の為に投す型波高計等が開発されつつあるが、これらの波高計の観測結果には波向に関する情報を含まない。この様な波向の観測については港湾土木において波向観測用のレーダーを設置している例もあるので、船上のレーダーによって波向に関する情報を集収し、波高計による観測結果を補足する実船試験用の波向観測システムを開発せんとするものである。

8.2 レーダーによる波向観測システムの持つべき機能

上記の目的の為に本システムの持つべき機能の目標を次の通り設定した。

- イ. 観測範囲 1～3 哩
- ロ. 観測波浪 40～300m 波長
- ハ. 複数の卓越波のそれぞれの方角と波長を観測しうること。
- ニ. 実船試験という特殊環境下（強風、雨、動揺等）で観測可能なこと。
- ホ. 人手を要せず、取扱い簡単なこと。

8.3. レーダー本体の検討

8.3.1 問題点

前節の機能を持つ波向観測レーダーシステムを開発する上での問題点は以下の通りと考えられる。

- イ. レーダーの PPI 映像に現われる波峰線は波峰上の細波、砕波等に基づくものと考えられるが、真実の波峰とどのような関係があるか。
 - ロ. 又上記の映像は風向によって影響を受けると考えられるが、その影響はどのようなものか。
 - ハ. 波向観測の為に船用のセンチ波レーダーで十分か。
 - ニ. 船体の動揺が映像に及ぼす影響は許容しうるものか。
- これらの問題点を解明する為に

大阪港 大阪海上保安監部レーダー所

新潟港 一港建新潟調査設計事務所

酒田港 一港建酒田港工事事務所

のレーダー観測の実際を調査すると共に、船体運動の影響については理論計算

によって影響度を調査した。

調査結果は以下の通りである。

8.3.2. レーダー映像と実際の波浪との関係

レーダー波向計による波峰線の映像記録とレーダー局前方海面に設置された波高計（超音波）による波浪記録の解析値を利用し、レーダー映像と波の特性との関係の有無について考察を行なった。

以下の結果は、運輸省第一港湾建設局酒田工事事務所および新潟工事事務所におけるレーダーによる波向観測資料を整理したものである。なお、レーダーの波峰線記録のほか、次の資料を参考にした。

運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所

(1) 波浪観測台帳 第9、第10および第11集

(2) 波向観測台帳 第3、第4集

酒田港、新潟港におけるレーダーの仕様を以下に示す。

製造者名	沖電気(株)海象観測レーダー
距離分解能	4 m
最小探知距離	6 m
発振周波数	34860 MHz (8.6 mm波)
変調パルス幅	0.022 μ Sec.
変調発振数	4000 Hz

8.3.1表にレーダー映像の日時を、8.3.2表に映像よりえた波長に相当する波の周期と波高計より求めた表面波の周期を与えてある。なお、映像面における波長とは、画面内に適当な区域を想定し(8.3.1図、8.3.2図参照)その域内の波峰線映像の平均間隔をとったものであり、波の周期とは、この波を浅海波と仮定し、前記波長に相当する周期を導いたものである。資料解析の結果は酒田港関係として：

8.3.3図 風速と波長の関係

8.3.4図 各区域における観測波長(PPI映像)

8.3.5図 波高計より求めた周期とレーダー映像から求めた周期との関係

8.3.6図 風向別波向観測可能回数の頻度分布

8.3.7図 波向観測可能な場合の波向と風向との関係

8.3.8図 波向観測台帳より求めた風向、風速別観測可能頻度分布
(1970、1971冬期)

8.3.9図 波向観測台帳より求めた風向、有義波高別観測可能頻度分布
(1970、1971冬期)

8.3.10図 波向観測台帳より求めた風向、有義波の相度別観測可能頻度

分布 (1970, 1971 冬期)

新潟港関係として:

8.3.11 図 風速と波長の関係

8.3.12 図 各区域における観測波長 (PPI 映像)

8.3.13 図 波向観測台帳より求めた風向別観測可能頻度分布 (1971 冬期)

8.3.14 図 波向観測可能な場合の波向と風向との関係 (1971 冬期)

8.3.15 図 波向観測台帳より求めた風向、風速別観測可能頻度分布
(1971 冬期)

8.3.16 図 波向観測台帳より求めた風向、有義波高別観測可能頻度分布
(1971 冬期)

8.3.17 図 波向観測台帳より求めた風向、有義波の嶺度別観測可能頻度
分布 (1971 冬期)

以上の各表、各図から、一部自明の事実を含み、以下の各項が分かる。

a. 風速が大きくなれば、波長も大きい。

b. 波長は沖合ほど大きい。

c. 風向と波向が一致しているとき、波向を観測しうる可能性が多い。

d. 波高が大きいほど波向観測可能。

e. 嶺度が大きいほど波向観測可能。

f. レーダー映像の波と、波高計の波は大体において一致している。

d, e のいずれが、波向観測の可能性により強い効果を持つか、あるいは 2 要素が相乗的に働くか、更に吟味が必要であろう。これに関して、波峰線付近の波の構造と PPI 映像の関係を調べる必要がある。

8.3.3 波向観測の為には船用のセンチ波レーダーで十分か

レーダーの映像面に現われる、いわゆる Sea clutter については未だ十分に解明されていないのが現状であるが、波峰上の細波、白波等が映像として現われるものと推定される。この様な対象を荒れた海面で観測する手段として普通の船用センチ波レーダーと分解能の高いミリ波レーダーとを比較すると次の通りである。

イ. 分解能 レーダーの方位分解能は、周波数の高いほど、電波の指向性が鋭く、ビーム幅は波長に比例して鋭くなる。距離分解能はパルス幅に依存する。普通の船用センチ波レーダーとミリ波レーダーの分解能を比較すると次の通りである。

	船用センチ波レーダー	ミリ波レーダー(例)
方位分解能	$1^{\circ} \sim 2^{\circ}$	$15'$
距離分解能	$25m \sim 80m$	$4m$

すなわち、ミリ波レーダーは小物標に適しており、実際の映像もセンチ波に比し、はるかに繊細である。しかしながら、実船試験において観測の対象となる波浪は波長30m以上と考えており、波峰線の識別を主目的としているので、センチ波レーダーで不便はないものと考えられる。

ロ. 海面反射強度 ミリ波の方が強いと言われている。

ハ. 降雨、霧の影響 波長の短いほど、降雨、霧等による吸収減衰が大になるので実船試験という環境で使用するにはセンチ波の方がよい。

以上、本船のレーダーを使用する方が設備が簡便になることより、船用のセンチ波レーダーで十分であると考えられた。更にセンチ波とミリ波を実地に比較する為には大阪港のレーダー所において調査をした。

このレーダー所にはミリ波とセンチ波のレーダーが設置されている。同所におけるPPIスコープの写真撮影の結果は写真8.3.1及び8.3.2の通りであり、ミリ波レーダーの映像は繊細であるが、センチ波レーダーでも十分波浪の観測を行いうるものと考えられる。

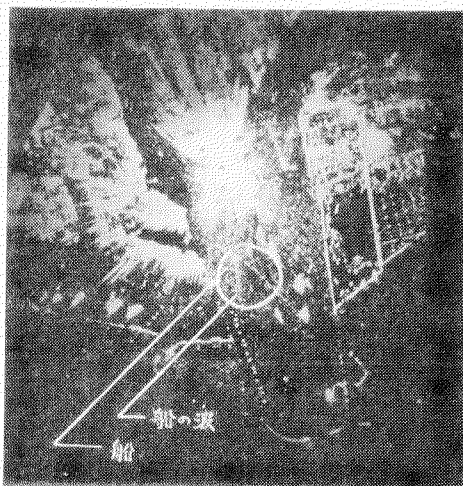


写真 8.3.1

センチ波レーダーによる映像

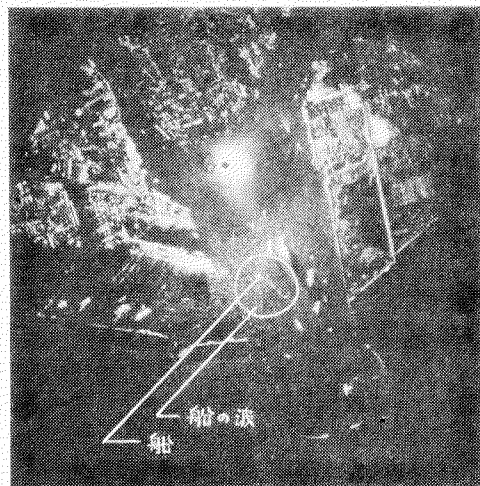


写真 8.3.2

ミリ波レーダーによる映像

8.3.4 船体の動揺が映像に及ぼす影響

(1) 方位誤差の一般式

船体が Roll, Pitch, Yaw 等の運動をした場合、レーダーから得られる Target の方位角情報は見かけの方位角となり、真の方位角との間に次に示す誤差を生ずる。

a) Roll 及び Pitch に基づく方位誤差

8.3.18図は船の動揺中心 G を中心とする単位円を示す。本図において

GZ レーダーマストの方向

GP 左舷方向

GS 右舷方向

GB 船首方向

とし、 T を Target とする。

図において船の Pitching angle を ϕ , rolling angle を θ とすればレーダーマストの方向は GZ から GZ' になり、それに伴い S, B はそれぞれ S', B' となる。従って Target T に対する当初の方位角 α 、及び高度角 β はそれぞれ α', β' として観測されることになり、 $\alpha' - \alpha$ が方位誤差となる。

見かけの方位角 α' を幾何学的に計算すると次式で表わすことが出来る。

$$\tan \alpha' = \frac{\cos \beta \sin \alpha \cos \theta + (\cos \beta \cos \alpha \sin \phi + \sin \beta \cos \phi) \sin \theta}{\cos \beta \cos \alpha \cos \phi - \sin \beta \sin \phi} \quad (8.3.1)$$

b) Yaw に基づく方位誤差

Yaw angle を ψ (右舷を正) とすると、これは方位角 α が $\alpha - \psi$ となったのと同じであるから、Roll Pitch Yaw を含めた見かけの方位角 α' は次式の通りである。

$$\tan \alpha' = \frac{\cos \beta \sin(\alpha - \psi) \cos \theta + [\cos \beta \cos(\alpha - \psi) \sin \phi + \sin \beta \cos \phi] \sin \theta}{\cos \beta \cos(\alpha - \psi) \cos \phi - \sin \beta \sin \phi} \quad (8.3.2)$$

c) Target が水平線付近にある場合の方位誤差

アンテナ高さが 30 m とし、船から 1 哩離れた Target における grazing angle は 0.9° である。従って Target はほぼ水平線付近にあると考えてよい。従って $\beta \doteq 0$ とすれば

$$\tan \alpha' \doteq \tan(\alpha - \psi) \frac{\cos \theta}{\cos \phi} + \tan \phi \sin \theta \quad (8.3.3)$$

となる。

(2) 方位誤差の評価

(a) 方位誤差の一般的性質

(i) Roll Pitch による方位誤差

Roll Pitch が単独に存在する場合の α と α' との関係はそれぞれ

$$\text{Roll のみ} \quad \tan \alpha' = \tan \alpha \cos \theta$$

$$\text{Pitch のみ} \quad \tan \alpha' \cos \phi = \tan \alpha$$

となる。すなわち、 α と α' との差に対しては θ と ϕ との影響は同じである。しかし、一般の商船では Roll 角が Pitch 角より大きいので商船での方位誤差は、ほとんど Roll によって支配される。

(ii) Yaw による方位誤差

Yaw はそのまま方位誤差となる。

(iii) 誤差の最大方位

Roll のみの場合に、方位誤差を $\Delta \alpha$ とすると

$$\tan(\alpha + \Delta \alpha) = \cos \theta \tan \alpha$$

$\Delta \alpha$ を微小量として

$$\tan(\alpha + \Delta \alpha) = \tan \alpha + \Delta \alpha \frac{d \tan \alpha}{d \alpha}$$

故に

$$\Delta \alpha = \frac{\sin 2\alpha}{2} (\cos \theta - 1)$$

すなわち、 $\Delta \alpha$ を微小量とした時、誤差の最大方位は 45° , 135° , 225° , 315° の方向である。

Pitching の場合も同様である。

(b) 動揺による図形の歪み

前記の一般式により、一例として

$$\text{Roll Angle} = 40^\circ, \quad \text{Pitch Angle} = 10^\circ, \quad \text{Yaw Angle} = 0^\circ,$$

$$\text{Scope Range} = 3 \text{ N.M.} \quad \text{Scanner 高さ} = 30 \text{ m.}$$

とし、船の進行方向と 90° , 45° , 0° の角度をなす直線群の PPI Scope 上での歪みを計算し、作画した結果は 8.3.19 図以下の通りである。

本図より動揺による図形の歪みは認められるが、波向観測の目的の為には特に対策を必要とするほど大きいものではないと判断出来る。

8.3.5. まとめ

以上の検討結果をまとめると以下の通りである。

1). レーダー映像と実際の波浪との関係については、酒田港の PPI 映像より推定される波周期と波高計により求められる波周期の比較より、レーダー映像は波峰線を示しているものと考えられる。

2). レーダー映像に対する環境の影響については、明確な結論は出せないが、新潟及び酒田港の観測記録を整理した結果によれば次の通りである。

i) 波高の高いほど

ii) 波度の高いほど

iii) 風向と波向が近いものほど

よく観測されている。

3). レーダー本体は船用のセンチ波レーダーでよい。

4). 船体の動揺によって映像が歪むが、今回の目的の為には許容しうる程度である。

8.4 波向観測レーダーシステム案

8.4.1 設計の方針

前節の検討によって、レーダー本体は本船の航海用レーダーで十分所期の目的を達しうると判断されたので、本船の航海用レーダーによる波向観測システムについて検討することにした。

本案において考慮した基本的事項は次の通りである。

1) 本システムは実船試験の為の設備であり、多様な実船試験計画に幅広く適用出来ることが望ましい。すなわち、計測室が船橋から離れていても観測可能なものとしておくと共に、本船のレーダーの航海用レーダーとしての機能を阻害しない為、本船用レーダーより信号のみをもらい、波向観測はサブレーダーにより行うシステムとする。

2) 観測記録の為の最低限度の装置は PPI の撮影装置とする。

3) 実際の海面での波向は複雑であつて影像の視察のみによつては簡単に

は判断しかねる場合も考えられるので、レーダー信号を有効に活用した装置を開発する必要がある。

ニ) 実船試験用であるので取扱簡便なものとする。

8.4.2. システムの概要

前記の方針を満足せしめるシステム案のブロック図を 8.4.1 図に示す。すなわち、本システムは

1. ブースター及びサブレーダー
2. 撮影及び制御装置
3. 波向記録装置

の3つの主要部分よりなり、各部の概要は次の通りである。

イ) ブースター及びサブレーダー

ブースターは主としてマスターレーダーの第一検波出力の映像中間周波信号の増幅、制御を行いうる回路部であつて、サブレーダーに適切なレベルの映像信号を与えると共に、マスターレーダーとサブレーダーとの相互干渉を無くすることを目的とする。

サブレーダーはマスターレーダーより、ブースターを通して必要信号を入力し、ほとんどマスターレーダーの拘束を受けずに操作、観測を行う為のレーダーである。

ロ) 撮影装置及び制御装置

PPI 映像を自動又は手動により撮影し、同時に撮影日時及び船首方位を記録する為の装置である。

ハ) 波向記録装置

レーダーの信号を処理して複雑な海面の映像より波向を求める装置である。

8.4.3. ブースター及びサブレーダーの設計仕様(案)

ブースター及びサブレーダーの設計仕様(案)及び系統図(案)(図 8.4.2 及び 8.4.3 参照)を以下に示す。

イ) ブースターの仕様

- | | |
|--------------|----------------------|
| 1. 入力信号 | (イ) 第一検波出力 |
| | (ロ) STC LEVEL 信号 |
| | (ハ) GAIN " " |
| 2. 出力信号 | 映像中間周波出力信号 |
| 3. 中間周波数 | 60 MHz |
| 4. 中間周波帯域幅 | 3 MHz |
| 5. 中間周波増幅度 | 80 db. |
| 6. STC 抑圧度 | 60 db. |
| 7. GAIN 調整範囲 | 30 db. |

8. 雑音指数 11.5 db以下
9. 入力電源 AC 100V 50/60 Hz
- ロ) サブレーダー仕様
 1. PPI表示管 12インチ (12ABP7A)
 2. 距離範囲 $3/4$, 1.5, 3 哩
 3. 距離環 $1/4$, $1/4$, $1/2$ 哩
 4. 距離環確度 $\pm 1\%$
 5. 距離分解能(最小) 22M.
 6. 最小探知距離 30M.
 7. 操作
 - (イ) 起動 自動 - 手動
 - (ロ) 輝度調整 手動 (半固定)
 - (ハ) 距離レンジ 手動
 - (ニ) 距離環 手動
 - (ホ) 利得調整 手動
 - (ヘ) STCレベル 手動
8. 同期方式 シンクロサモーターによる同期方式
9. 入力信号 (主レーダー, BOOSTER より)
 - (イ) 映像中間周波信号
 - (ロ) デスプレートリガー信号
 - (ハ) 空中線同期信号
 - (ニ) 船頭方位表示信号
 - (ホ) 変調幅切換信号
 - (ヘ) 外部起動信号
10. 出力信号
 - (イ) 利得調整信号
 - (ロ) STC調整信号
11. 波向観測 SUB RADAR としての主たる機能
 - (イ) 海面反射信号が距離の3乗に逆比例するためにSTC回路の制御信号としての対数演算出力
 - (ロ) 主レーダーのレンジ切換による送信パルス幅変更に対する自動利得調整
12. 入力電源 AC 100V. 50/60 Hz.

8.4.4. 撮影及び制御装置

仕様の概要は以下の通りである。

1) 撮影フード

1. 対象 CRT 12インチ
2. 表示データ 年月日時分、方位角
3. カメラ キヤノンモータードライブ及び一般カメラによる
他、ポラロイドカメラによるチェック撮影

ロ) 撮影制御装置

1. 機能 自動又は手動により、サブレーダー等の外部機器を起動し、カメラ撮影の起動を行う。
又船時計信号及び方位信号を入力し、撮影フード用表示データを出力する。
 2. 設定 上記に必要な時刻、自動記録時間間隔(10分～10時間)及び連続撮影(5秒/1コマ)を設定する。
 3. 電源 AC100V +15%, -10%, 50/60 Hz.
- 以上の仕様による装置の外形写真を次に示した。(

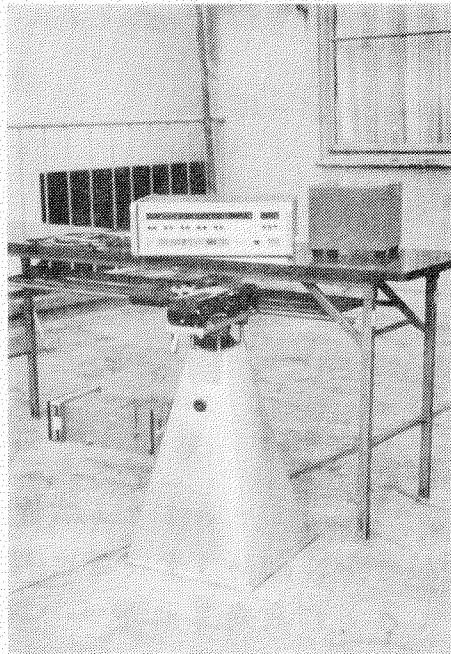


写真 8.4.1. 撮影及び制御装置

8.5 波向測定法の調査

レーダーの PPI 映像、又は信号を処理して波向を測定する方法には次の方法が考えられる。

a) PPI 映像写真より視察による

映像写真上の波峰線を識別して波向を測定する方法であり、長波峰の規則正しい波浪においては十分有効である。(写真 8.5.1 参照) 又、映像写真の一つの特徴として、写真 8.5.2 に見る如く波群全体の映像は波向の方向に長くなるので、これより波向を推定する事も考えられる。^(の明るい部分)

b) PPI 映像の連続撮影

PPI 映像を連続撮影し、これを連続的に映写すれば波峰の運動を動的に観察しうるものと思われる。前節の撮影装置では、この目的の為に 5 秒/コマで連続撮影が出来る機能を持っている。

c) 光の回折による方法⁽³⁾

松尾氏他の開発した方法である。これは PPI 映像の陰画を白黒反転して波峰が白くなる様にし、これにナトリウム光源をピンホールを通して照射して回折を起さしめるものである。詳細は原文献によることとし測定の実理を説明すると次の通りである。すなわち、図 8.5.1 の映像の回折像を作ると図 8.5.2 の如くなり

0 m 方向の像は MOM 線上の 1、2 および 1'、2' のような黒点となり、MOM の方向は 0 m の方向と一致し、距離 01 は平均波長に反比例する。二次波 0n についても同様である。

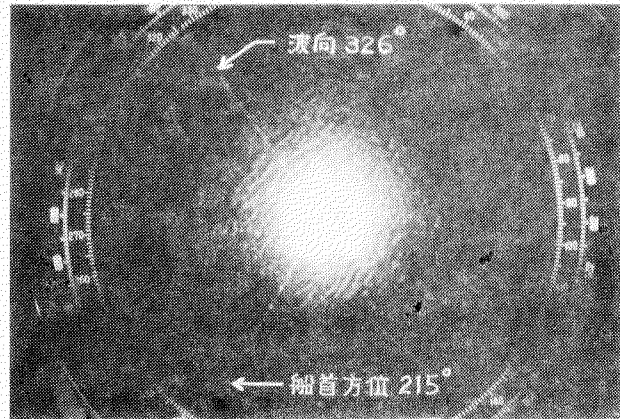


写真 8.5.2

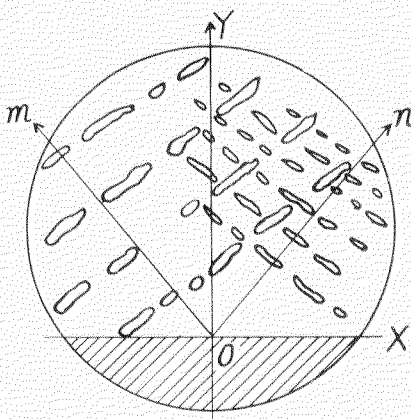


図 8.5.1. レーダー写真映像の説明図

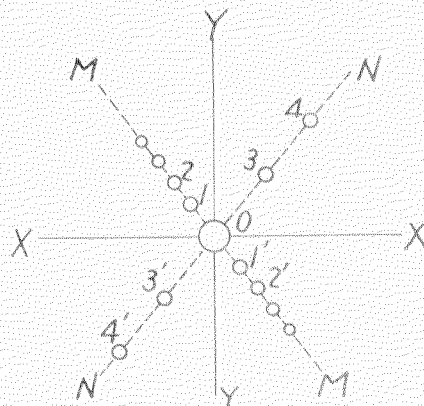


図 8.5.2 回折像モデル図

d) 反射信号を利用する

図 8.5.3 の PPI スコープ上の ①、②、③ の位置の A スコープを取ると、図 8.5.4 の様なパターンを示す。この様な信号より雑信号を除去整形して波峰による信号のみを取り出し、これを活用して波向を測定する方法である。

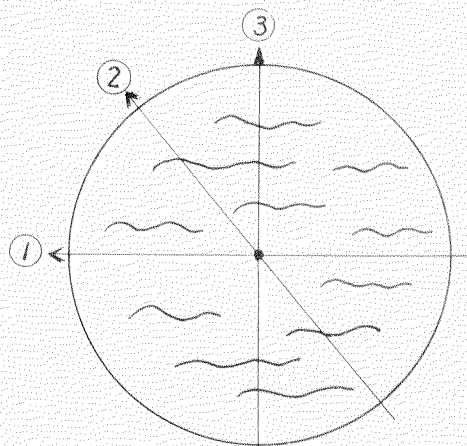


図 8.5.3

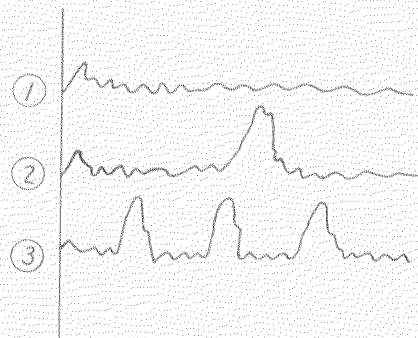


図 8.5.4

たとえば、レーダー空中線の一定の回転角中に受信する信号の数を積算すれば、レーダーの繰返し周波数は一定であるから、これはその方向で観測される波峰の数に比例する。そして観測される波峰の数は波浪に直角の場合にほぼ極大となると考えられるので、これらを各方位毎に比較すれば、これより波向を測定することが出来る。

以上のうち、(a)については問題はないが、(b)については実際の波浪の連続撮影によって今後検討して見る必要がある。(c)の方法は既に実際に応用されているので、陸上で解析するには有効な方法と考えられるが、船上の解析手段としては設備の面で難点がある。(d)については、その可能性について検討を必要とするので、光学的な模型によって実験を実施中である。

これは波浪の映像に線光源をあて、これをフォトトラジスターで走査することによってレーダーで得る信号波と同様の信号を再現するものである。(写真 8.5.3 参照)

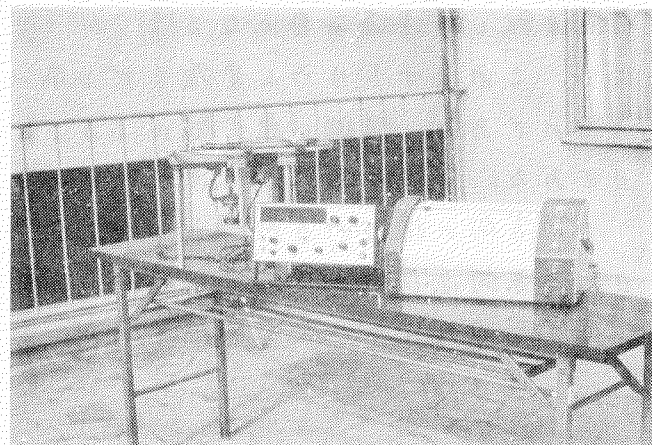


写真 8.5.3

参考文献

- 1) 丸川武志 9 G C 帯における海面波浪と実効反射係数
電気通信学会雑誌 45 巻 8 号 昭和 37 年 8 月
- 2) 高橋智晴 海象観測用レーダー、超音波式波高計、S. 46. 6. 21.
(第 20 回直技研報“沿岸波浪観測法”抜粋)
- 3) 松尾純一他 日本沿岸の波について (第 2 報)
金沢海岸のレーダー観測による波向分布
第 14 回海岸工学講演会講演集 1967.
- 4) 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所
波浪観測台帳 第 9、第 10、及び第 11 集
波浪観測台帳 第 3、第 4 集

SAKATA PORT

Data No.	年 月日時	λmとその周期			波向	平均 波高	風向	風速	T 1 / 3	
		Pw(-14)	Area A	Area B					Analogue	digital
1	45 1-13-10	81 8.1	63 7.3	98 8.3	97	2.50	NW	15.8	7.6	8.2
2	16	109 10.2	86 9.4	115 9.2	77	2.84	NW	14.3	8.7	9.1
3	14-10	69 7.2	63 7.3	104 8.6	79	2.29	W	11.0	8.5	9.0
4	16	104 9.8	92 10.0	129 9.5	78	2.25	WNW	12.0	8.4	9.2
5	16-10	63 6.8	63 7.3	69 6.7	66	1.00	WNW	6.0	7.7	8.9
6	16	86 8.5	69 7.8	92 7.9	83	1.83	W	13.7	7.6	8.2
7	17-10	92 8.9	75 8.4	104 8.6	88	1.88	NNW	5.7	8.9	9.8
8	16	92 8.9	86 9.4	127 9.8	79	1.69	NW	10.3	9.2	9.7
9	18-10	75 7.6	92 10.0	104 8.6	78	1.46	NW	6.7	8.4	9.0
10	16	86 8.4	69 7.8	121 9.5	51	1.62	NNW	8.3	7.7	9.9
11	22-10	75 7.6	81 8.9	92 7.9	62	2.49	WNW	13.0	7.9	8.3
12	16	86 8.5	75 8.4	104 8.6	62	1.74	NW	9.7	8.0	8.9
13	24-10	86 8.5	81 8.9	104 8.6	55	1.75	NW	9.7	8.7	9.2
14	16	92 8.9	86 9.4	104 8.6	69	1.36	NW	6.8	8.0	8.3
15	25-10	69 7.2	58 6.8	75 7.0	68	1.63	WNW	12.8	7.3	7.6
16	16	63 6.8	52 6.3	81 7.4	69	1.26	WNW	8.7	7.7	7.9
17	2-2-10	144 13.0	127 13.3	144 10.8	68	6.07	欠測	欠測	12.1	12.2
18	16	104 9.8	115 12.2	127 9.8	67	5.78	欠測	欠測	11.0	12.1
19	3-10	109 10.2	98 10.5	109 8.8	73	2.64	欠測	欠測	10.7	10.7
20	16	115 10.7	92 10.0	138 10.4	64	2.39	欠測	欠測	9.4	9.8

Data No.	年 月日時	λ_m とその周期			波向	平均 波高	風向	風速	T 1/3	
		Pw(-14)	Area A	Area B					Analogue	Digital
21	45 2-9-10	86 8.5	86 9.4	128 9.7	39	3.19	欠測	欠測	9.2	欠測
22	16	104 9.8	98 10.5	173 12.4	68	5.44	欠測	欠測	11.2	欠測
23	3-1-10	92 8.9	81 8.9	104 8.6	50	2.88	NW	16.3	8.9	8.8
24	16	98 9.4	86 9.4	92 7.9	42	1.73	NW	11.7	7.2	7.4
25	6-10	81 8.1	75 8.4	86 7.6	72	3.03	WNW	15.5	8.9	9.3
26	16	86 8.5	109 11.6	121 9.5	70	3.97	WNW	17.3	9.4	10.1
27	17-10	93 9.4	81 8.9	121 9.5	91	4.93	W	19.3	10.0	10.5
28	16	115 10.7	121 12.8	161 11.7	74	5.75	WNW	16.3	11.8	12.3
29	18-10	116 10.7	115 12.2	121 9.5	72	3.99	NW	16.2	10.4	11.0
30	16	93 9.4	92 10.0	109 8.8	70	3.12	W	13.2	9.2	10.0

Pw(-14)実測値

- 註 1. λ_m : Radar映像から読みとったPw(-14), AおよびB付近の五波の平均波長。
2. λ_m の周期は次式による $T^2 = \frac{2\pi\lambda_m}{g} \cdot \frac{1}{\tanh \frac{2\pi h}{\lambda_m}}$
(ただしhはPw(-14)の水深h=14mとする)
3. 計測点は次の3点
Pw(-14) : 波高計設置場所 (水圧式)
A 別図による
B
C : Pw(-14)と同じ水深の海域
4. 波向 : 北から反時計回りの角度

NIIGATA PORT

Data No.	年 月日時	λ_m とその周期			波向	平均 波高	風向	風速	T 1/3	
		A	B	C					Analogue	Digital
31	46 11-1-10	109 11.0	欠測 欠測	125 11.5	12	2.14	NNW	4.5	9.9	欠測
32	5-10	54 6.3	欠測 欠測	66 7.0	欠測	0.67	N	7.5	6.4	欠測
33	5-16	54 6.3	欠測	72 7.4	10	0.75	N	6.8	6.9	欠測
34	8-10	65 7.2	106 8.9	82 8.2	33	欠測	N	13.2	欠測	欠測
35	8-16	94 9.7	110 9.1	104 9.8	31	欠測	NW	8.0	欠測	欠測
36	15-10	49 5.9	56 6.0	54 6.1	欠測	欠測	N	5.8	欠測	欠測
37	15-16	63 7.0	93 8.1	66 7.0	32	1.41	N	9.7	7.4	欠測
38	12-1-10	88 9.1	128 10.2	122 11.3	36	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
39	1-16	99 10.1	135 10.6	113 10.5	34	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
40	3-10	66 7.3	103 8.7	66 7.0	91	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
41	3-16	74 7.9	128 10.2	122 11.3	86	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
42	4-10	107 10.8	欠測 欠測	103 9.8	34	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
43	4-16	79 8.4	104 8.8	84 8.3	35	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
44	6-10	欠測 欠測	欠測 欠測	60 6.5	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
45	6-16	72 7.8	欠測 欠測	83 8.2	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
46	7-10	63 7.0	欠測 欠測	81 8.1	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
47	7-16	82 9.5	88 7.7	82 8.2	35	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
48	8-10	71 7.7	99 8.5	71 7.3	33	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
49	10-10	71 7.7	112 9.2	84 8.3	35	欠測	欠測	欠測	欠測	欠測
50	13-10	65 7.2	欠測 欠測	75 7.6	38	欠測	NNW	9.9	欠測	欠測

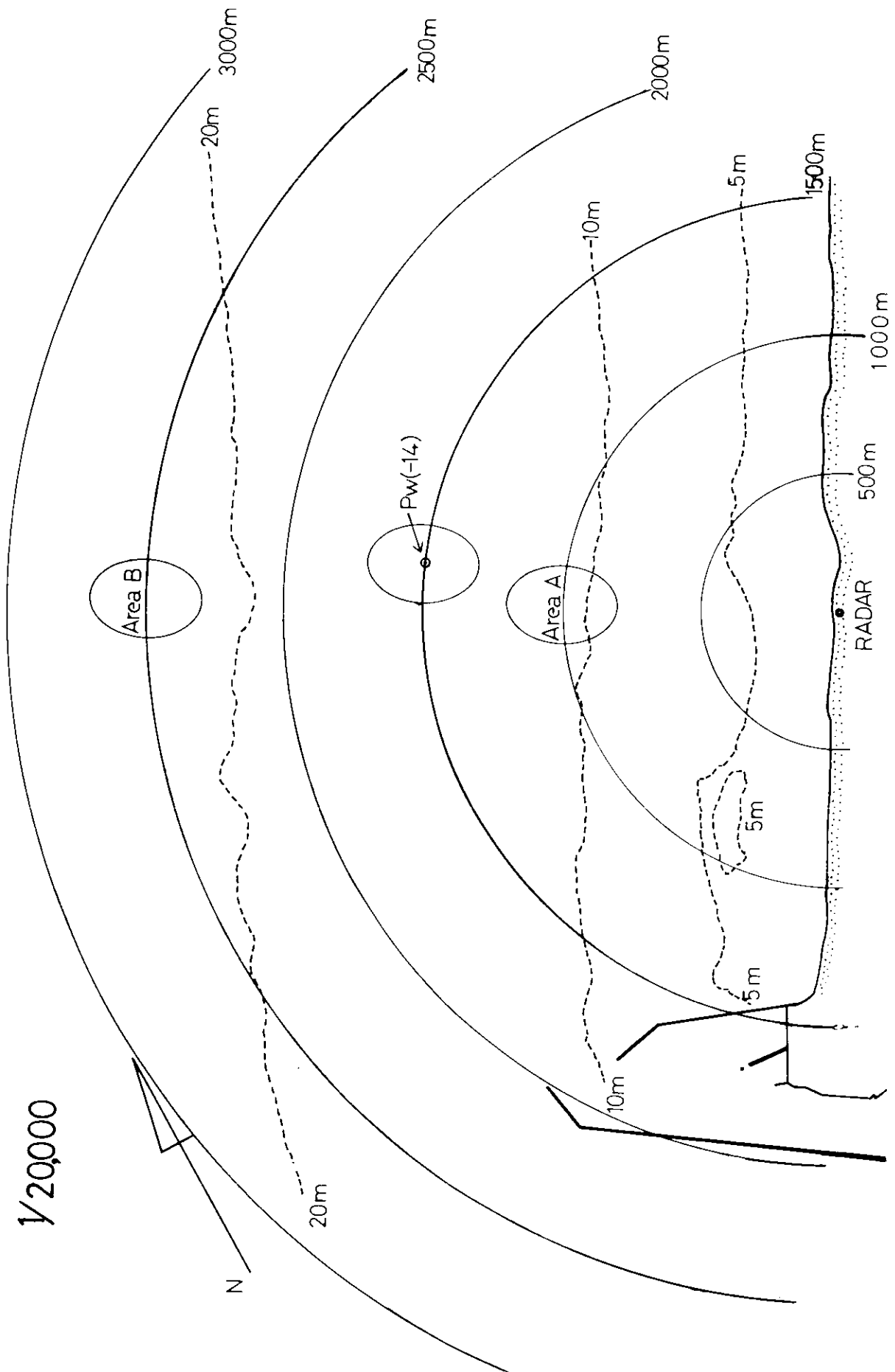
Data No.	年 月日時	λ mとその周期			波向	平均 波高	風向	風速	T 1/3	
		A	B	C					Analogue	Digital
51	46 12-15-10	62 7.0	欠測 欠測	71 7.3	欠測	1.10	N	8.0	7.7	欠測
52	15-16	103 10.4	113 9.3	107 10.1	37	1.55	N	9.8	9.0	欠測
53	16-10	97 9.9	欠測 欠測	107 10.1	33	1.34	S	4.7	9.0	欠測
54	20-10	76 8.1	欠測 欠測	欠測 欠測	欠測	0.82	NNE	6.0	7.5	欠測
55	20-16	欠測 欠測	欠測 欠測	欠測 欠測	欠測	0.86	NE	4.3	8.3	欠測
56	21-16	72 7.7	欠測 欠測	欠測 欠測	欠測	0.63	NE	5.2	6.6	欠測
57	22-10	87 9.1	119 9.6	110 10.3	34	2.18	NNW	10.5	8.5	欠測
58	22-16	欠測 欠測	126 10.1	93 9.0	33	1.73	NNW	11.3	9.0	欠測
59	23-10	欠測 欠測	103 8.7	85 8.4	31	1.27	NNW	9.8	8.6	欠測
60	23-16	84 8.8	101 8.6	97 9.3	31	0.95	NNW	6.3	8.3	欠測

NIIGATA EAST PORT

61	44 12-1-10	欠測 欠測	75	69	欠測	1.77	N	9.5	6.5	欠測
62	1-16	欠測	欠測	81	欠測	1.58	NNW	9.2	7.6	欠測
63	2-16	欠測	欠測	72	欠測	0.38	W	3.4	6.9	欠測
64	3-10	欠測	162	100	34	3.6	WNW	19.5	12.1	欠測
65	3-16	欠測	124	81	欠測	3.31	NW	18.0	11.4	欠測
66	4-10	欠測	132	71	32	2.21	NNW	12.7	8.4	欠測
67	4-16	欠測	129	116	32	3.82	NW	14.6	9.3	欠測
68	8-16	欠測	97	78	34	1.60	WNW	14.6	6.9	欠測
69	12-16	欠測	欠測	60	欠測	1.55	W	13.7	6.9	欠測

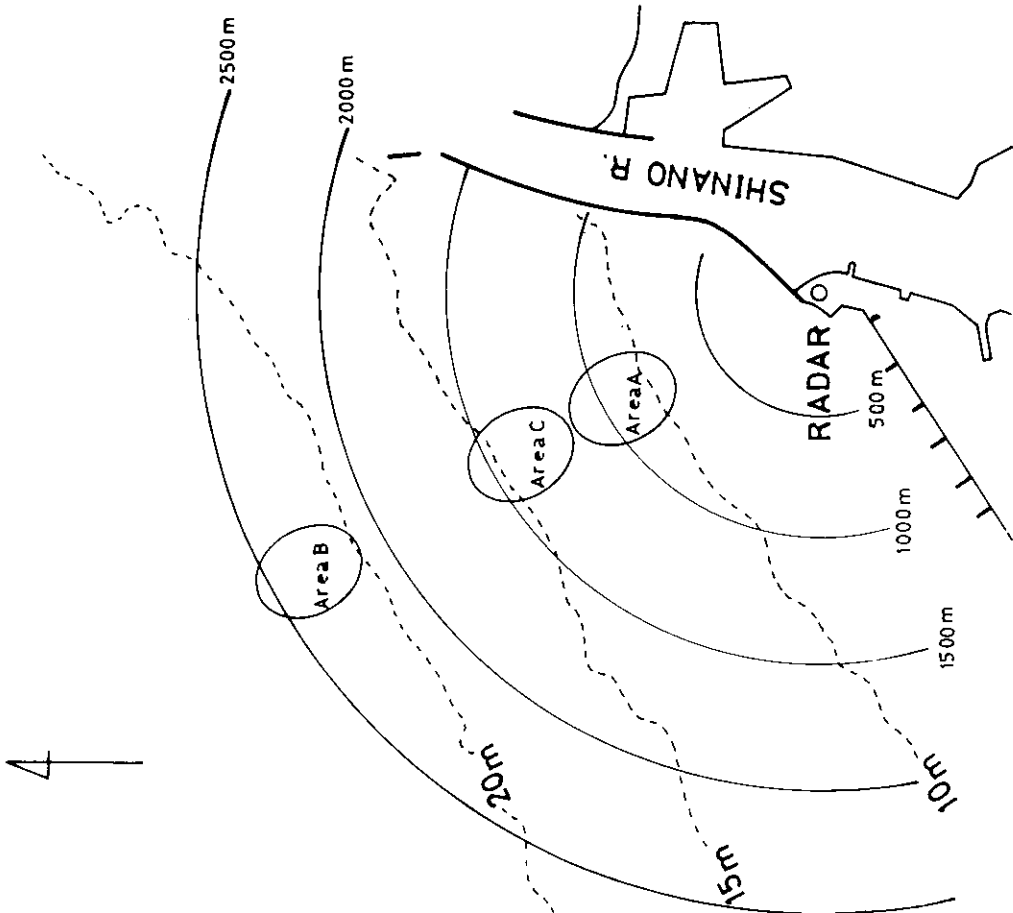
SAKATA PORT

1/20,000



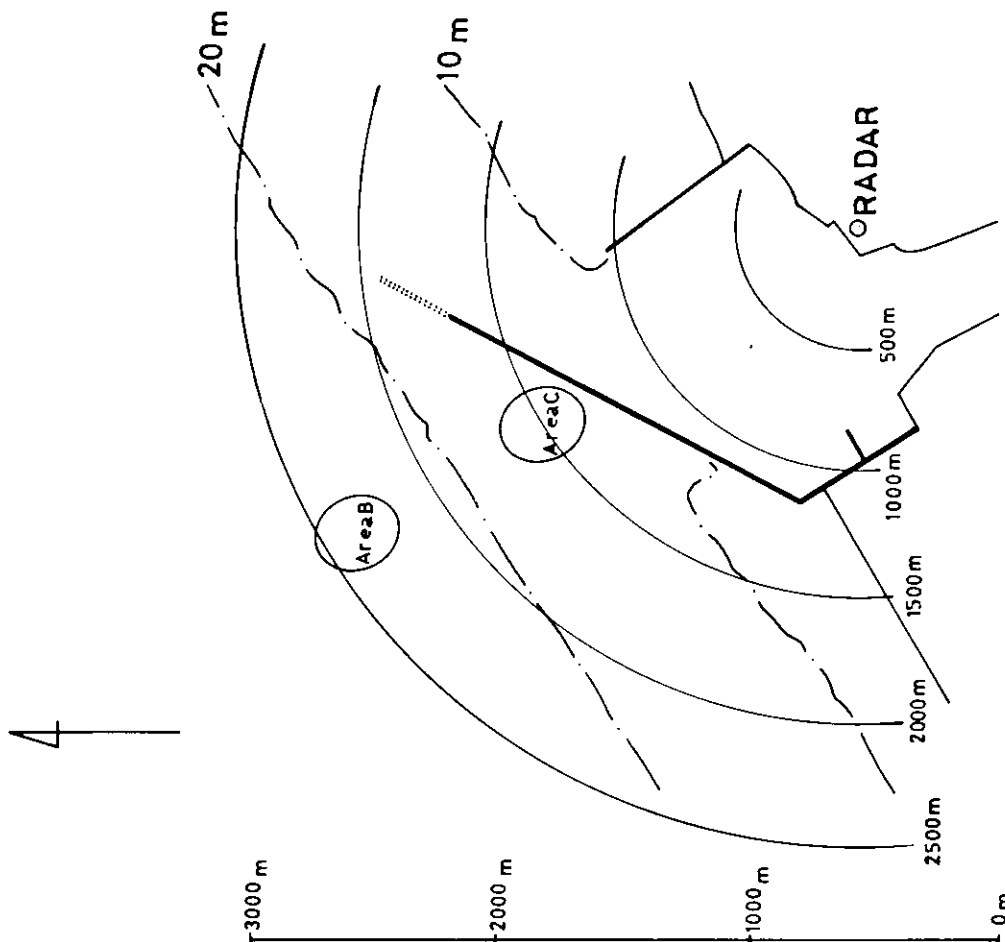
NIIGATA PORT

1/300000

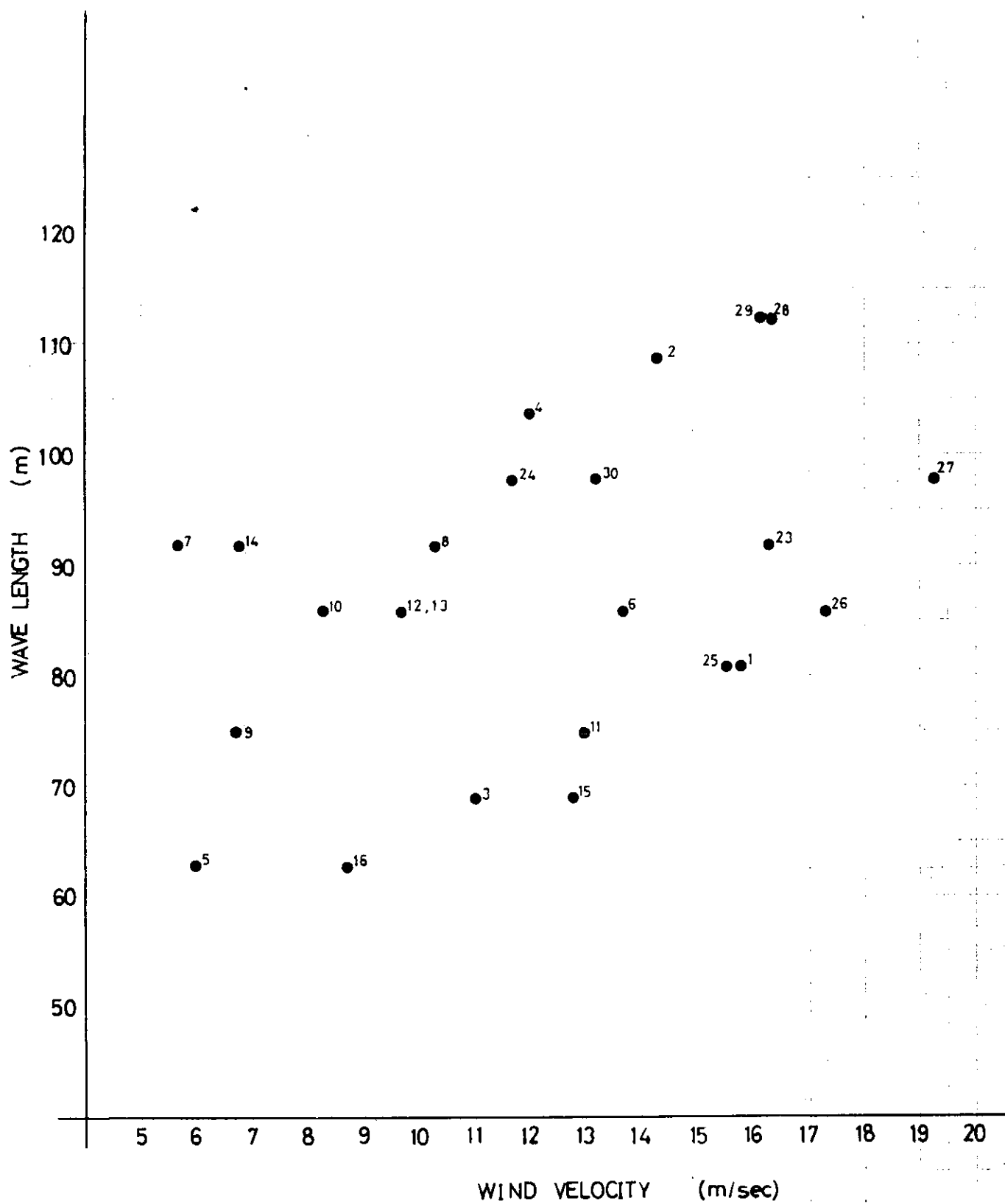


NIIGATA EAST PORT

1/300000



SAKATA PORT



☒ 8. 3. 3

SAKATA PORT

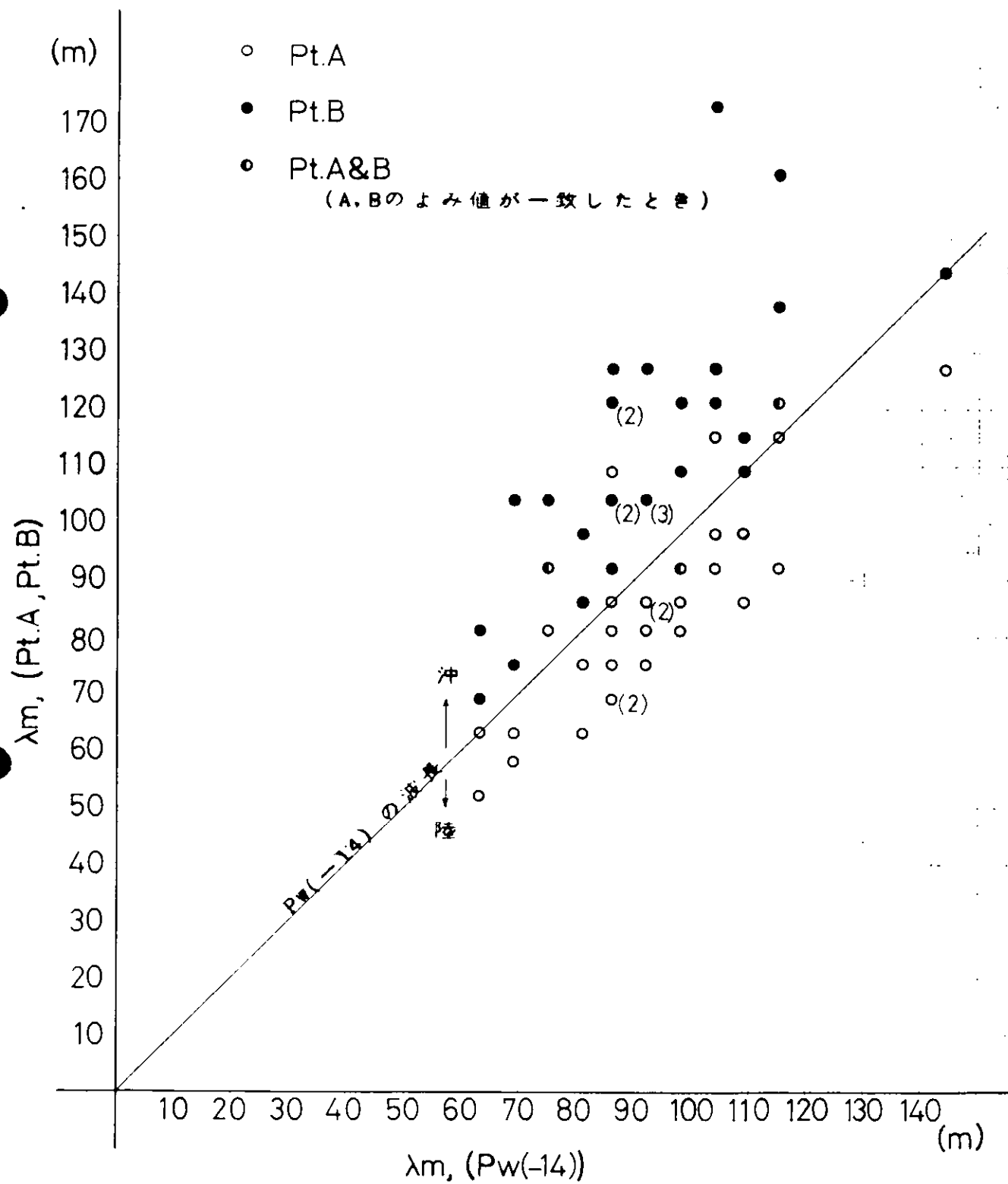
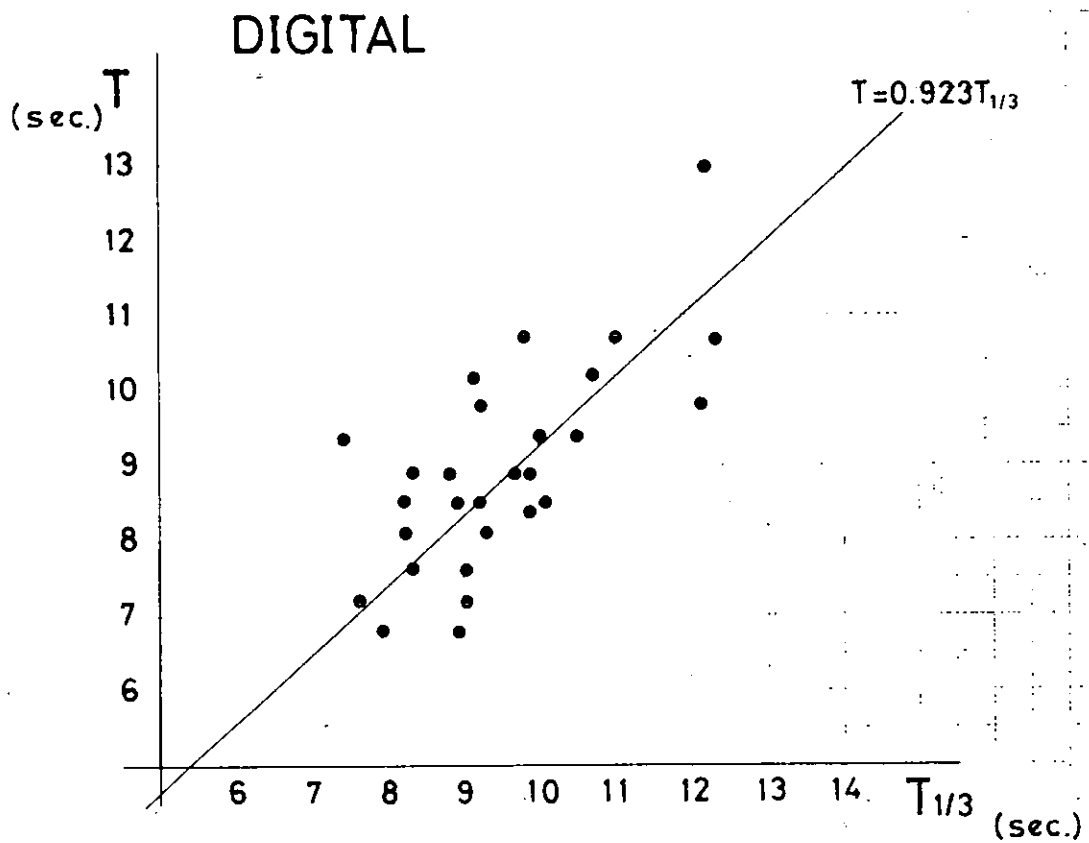
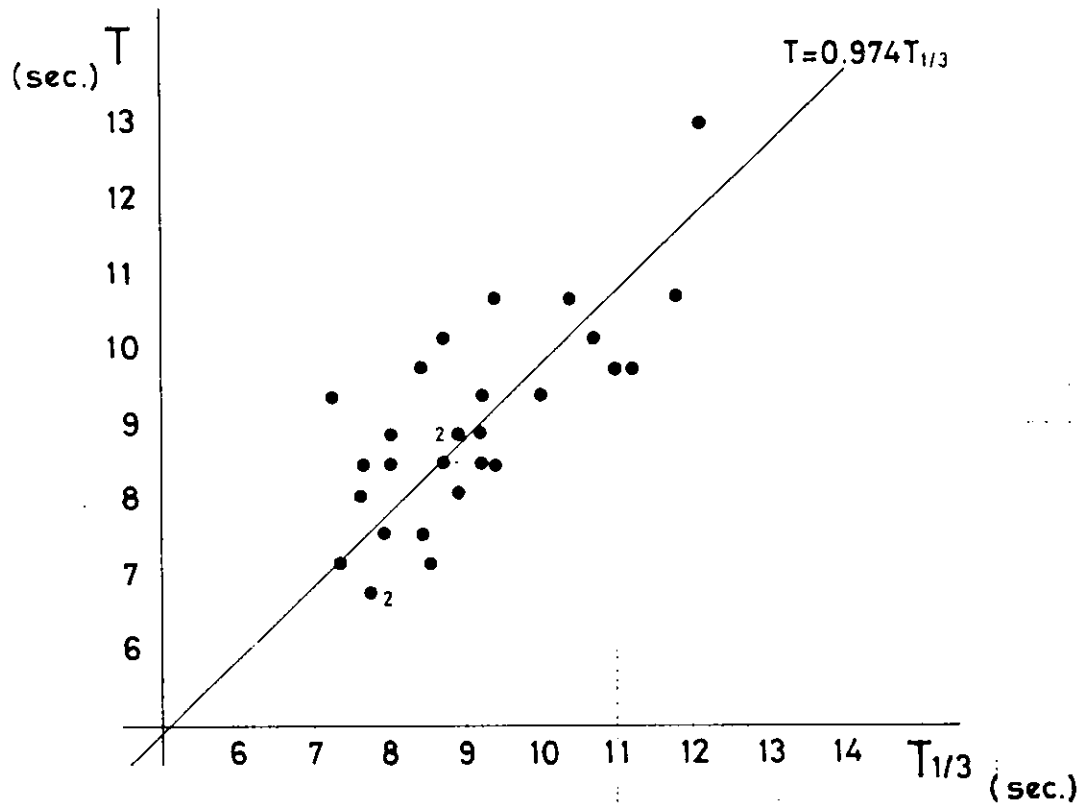


図 8. 3. 4

SAKATA PORT ANALOGUE



T は波長より逆算した波周期

SAKATA PORT

winter 1970, 1971

白 : 波向観測可能

黒 : 波向欠測

ただし機器の故障は極めてまれであるから欠測数はそのままPPIに波頂線が出なかった回数と考えてよい。

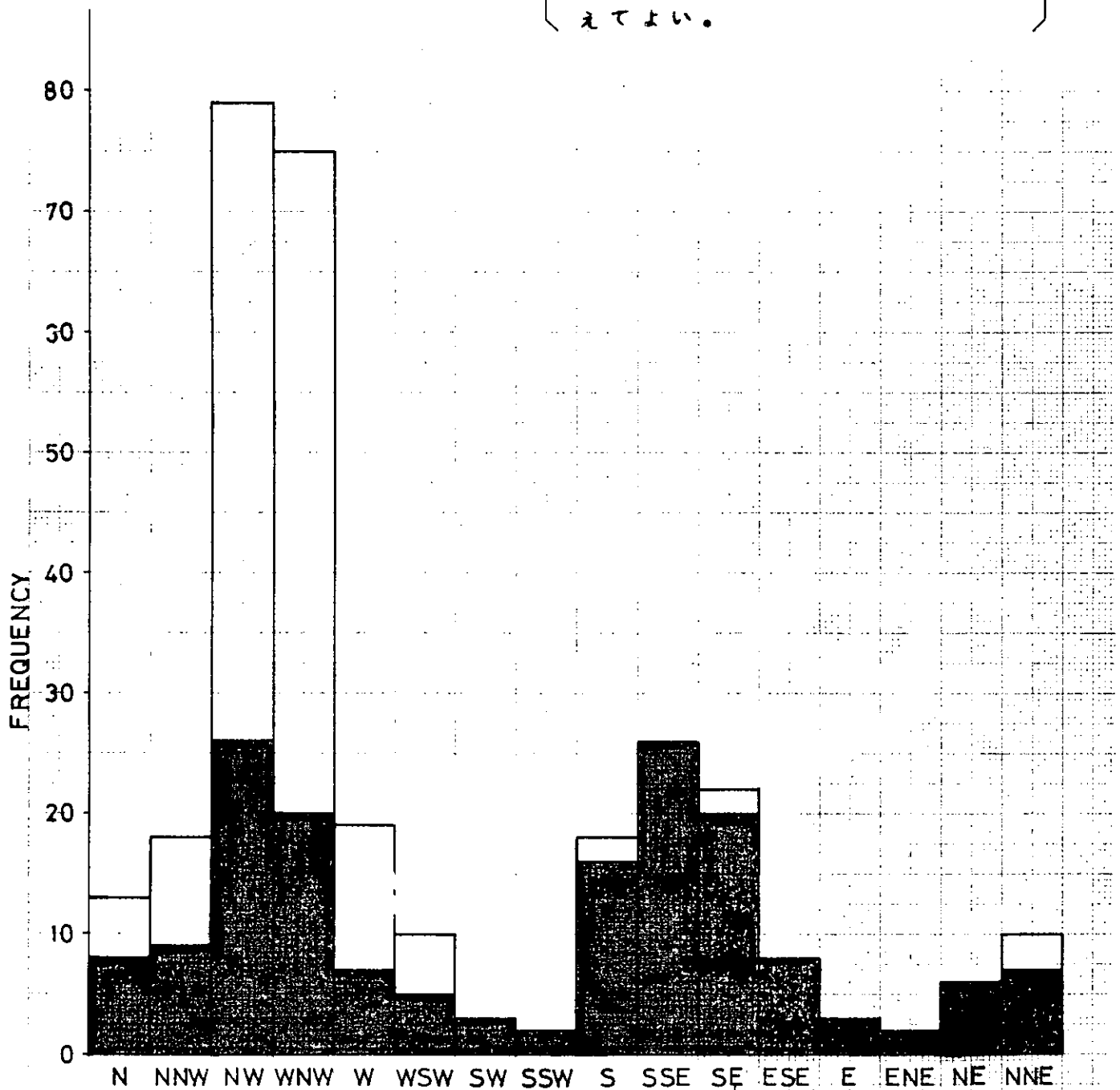


図 8.3.6

SAKATA PORT

winter 1970,1971

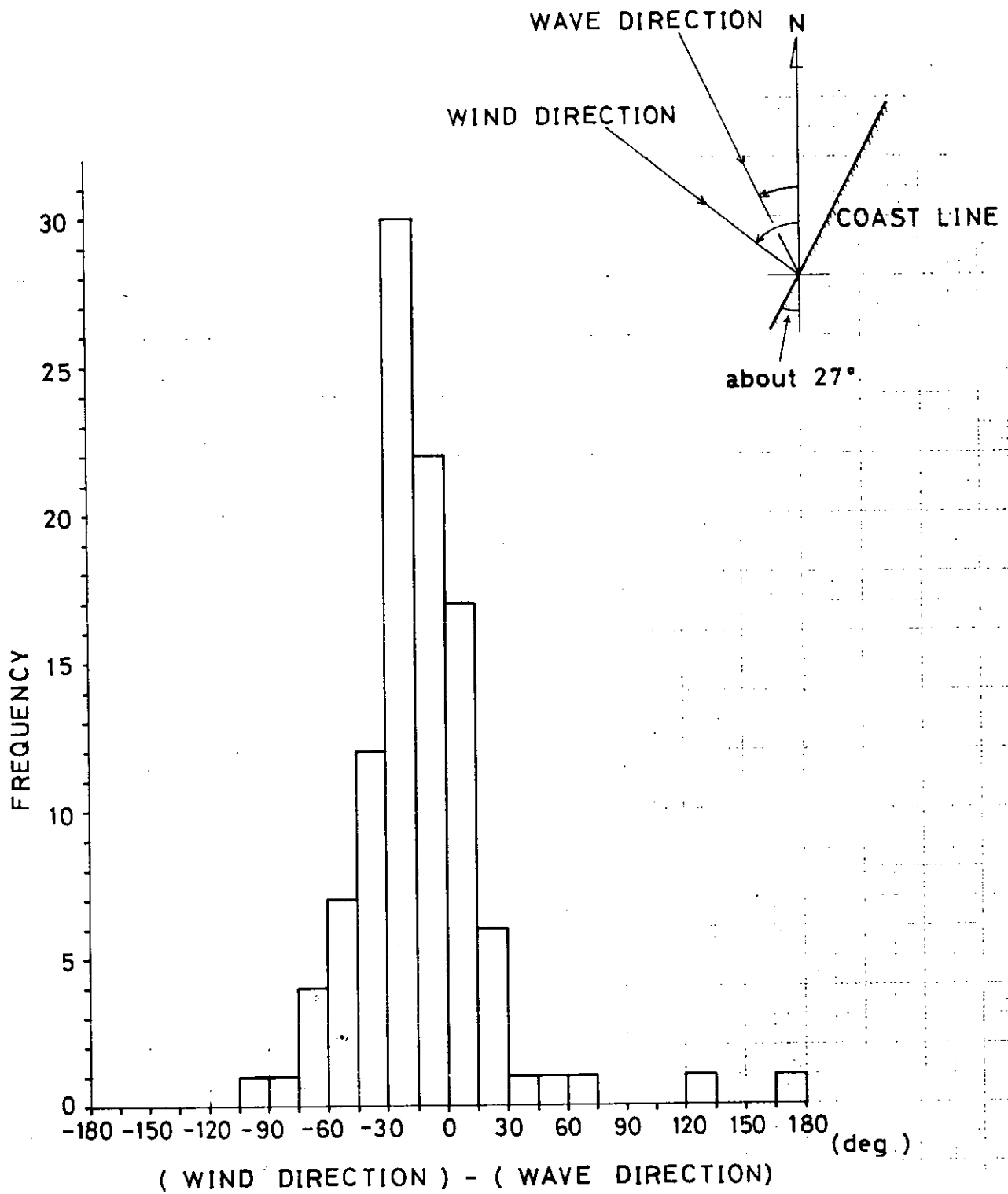
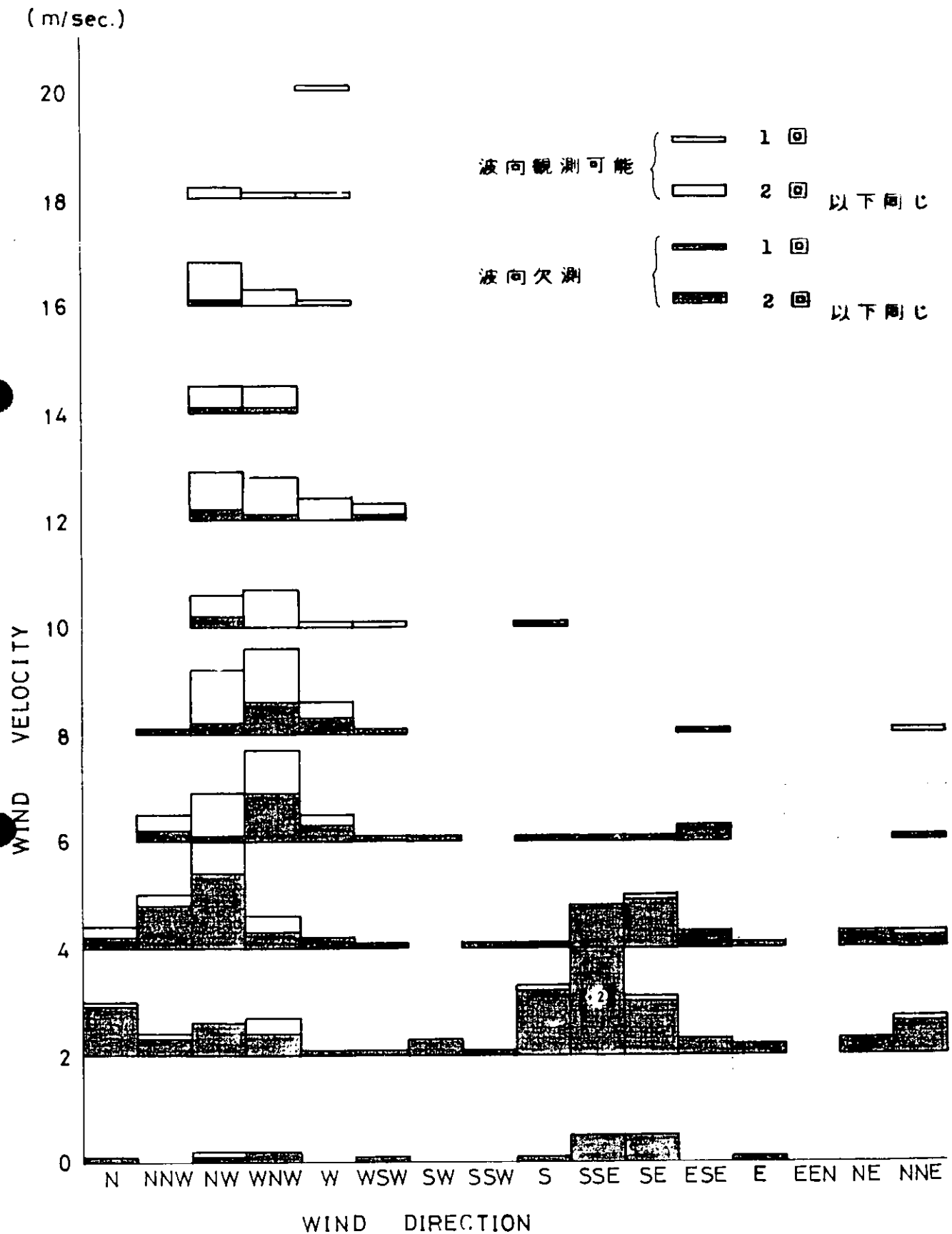


図 8.3.7

SAKATA PORT

winter 1970, 1971



SAKATA PORT

winter 1970,1971

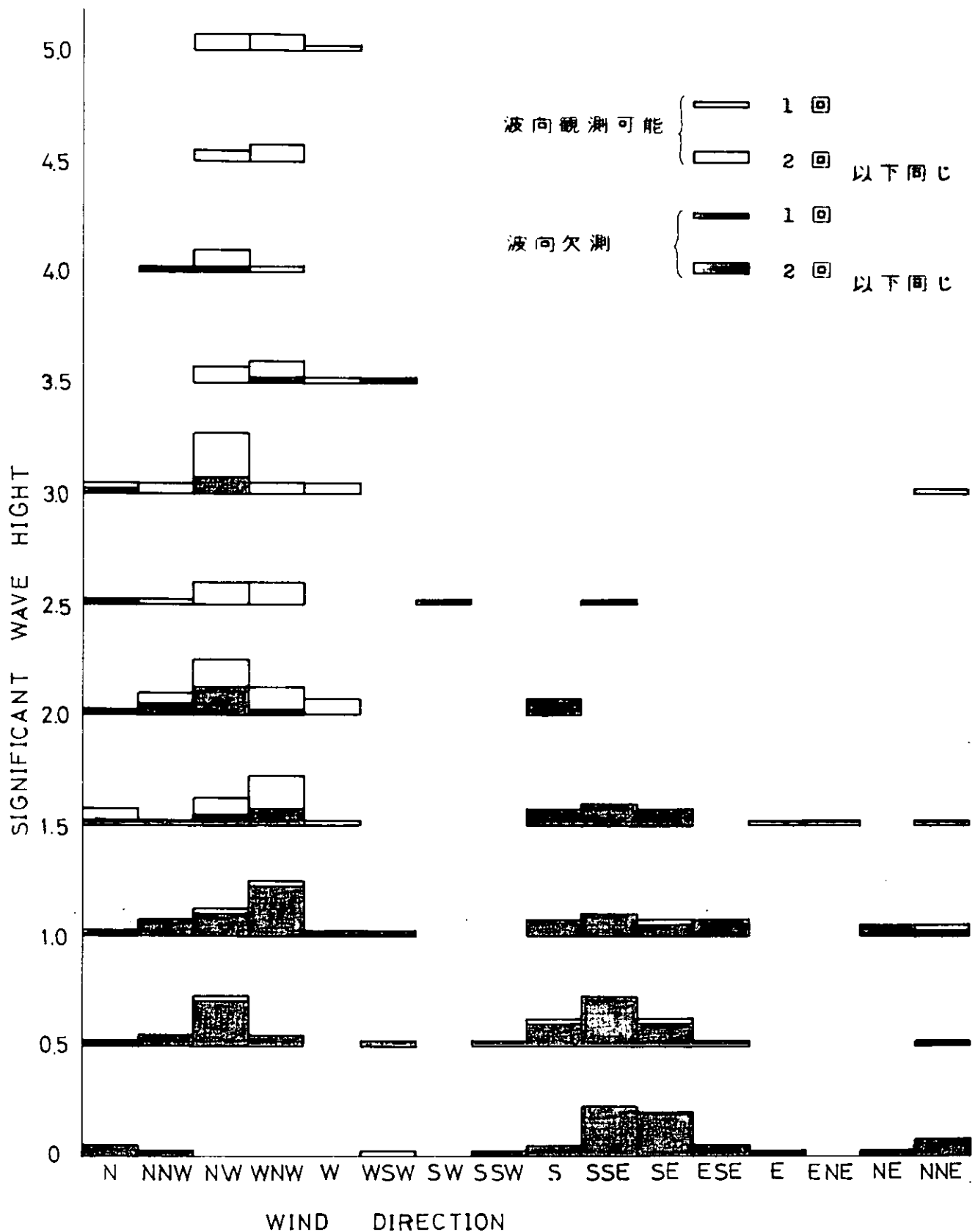
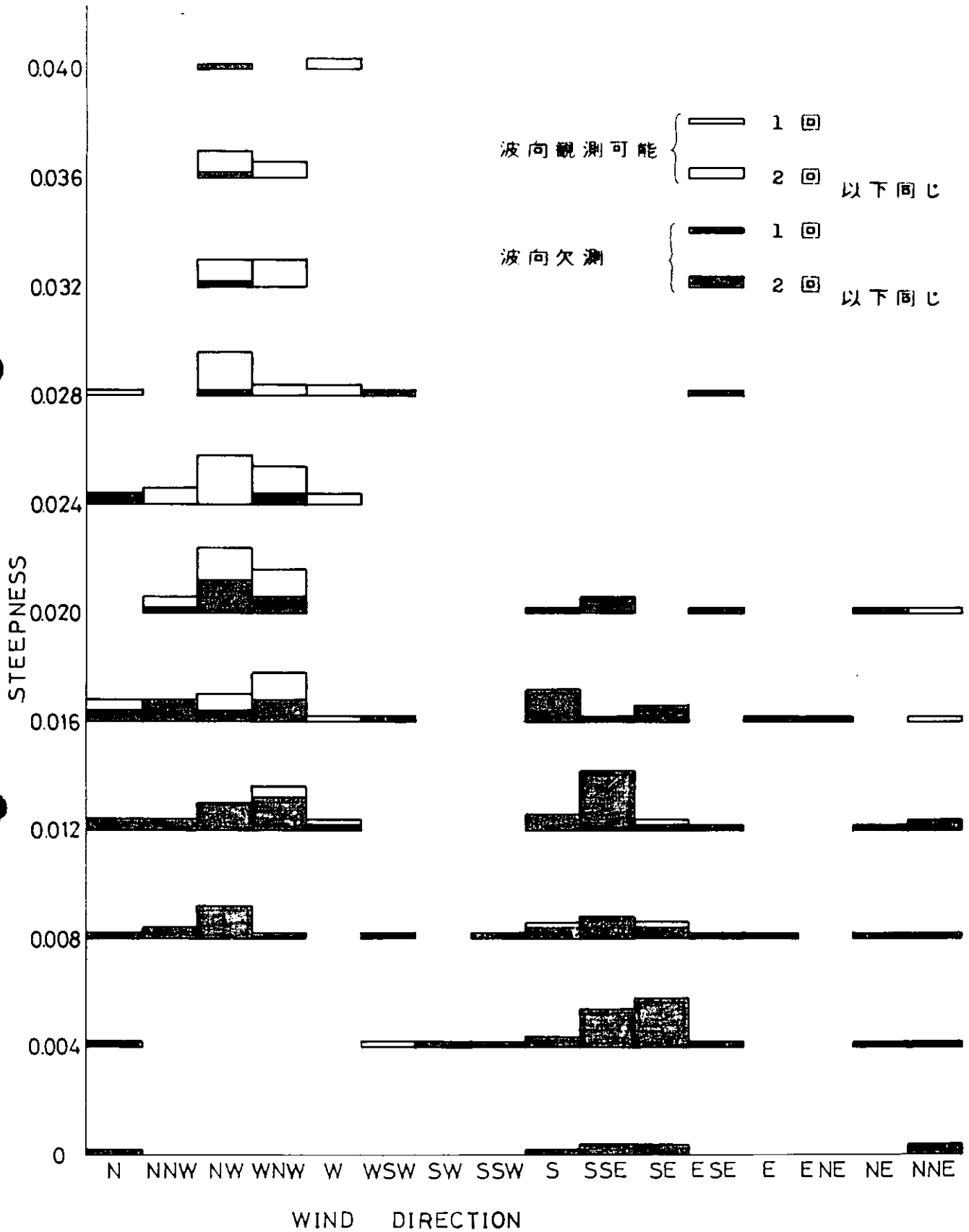


図 8.3.9

SAKATA PORT

winter 1970, 1971



NIIGATA PORT

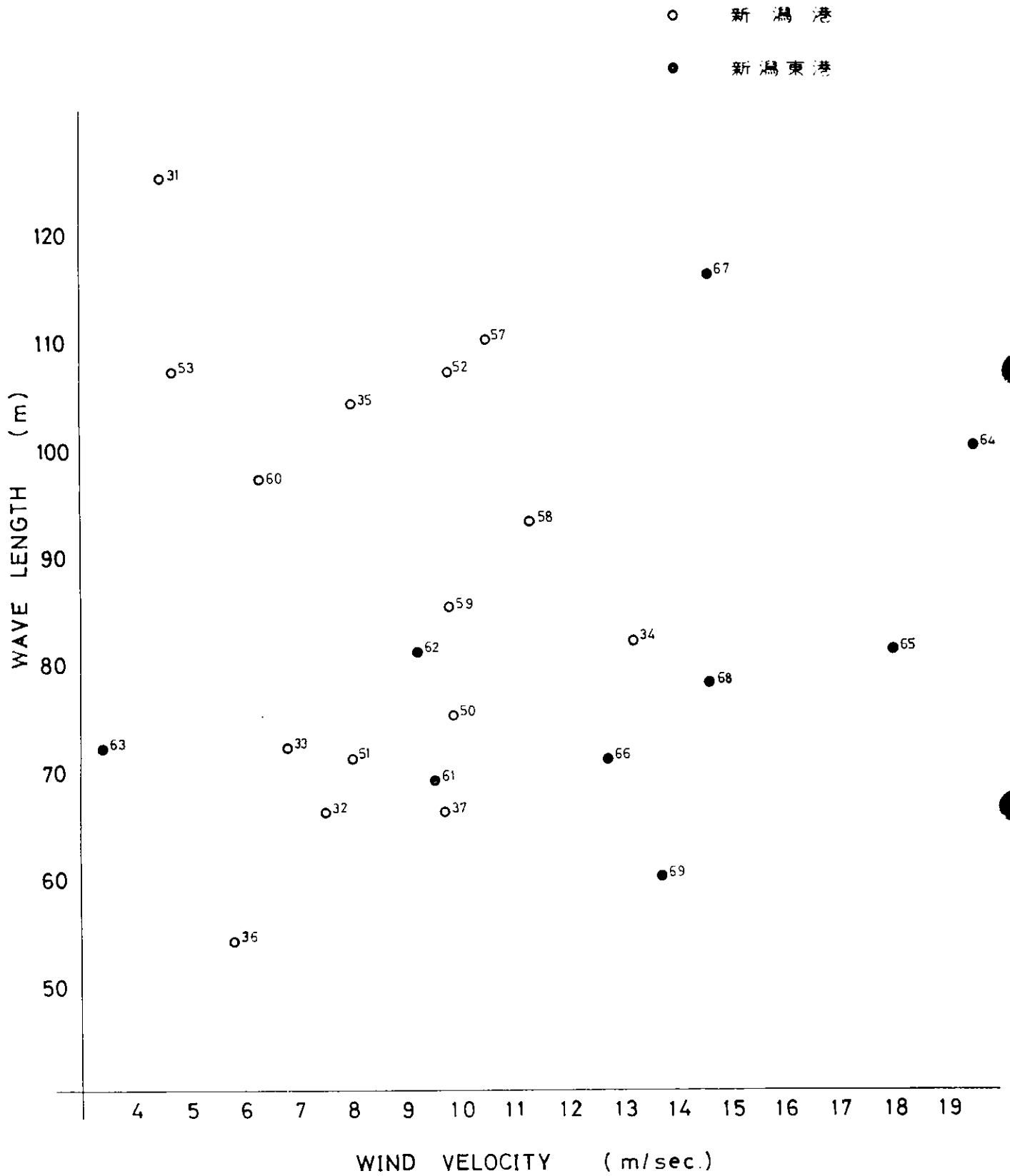


図 8. 3. 11

NIIGATA PORT

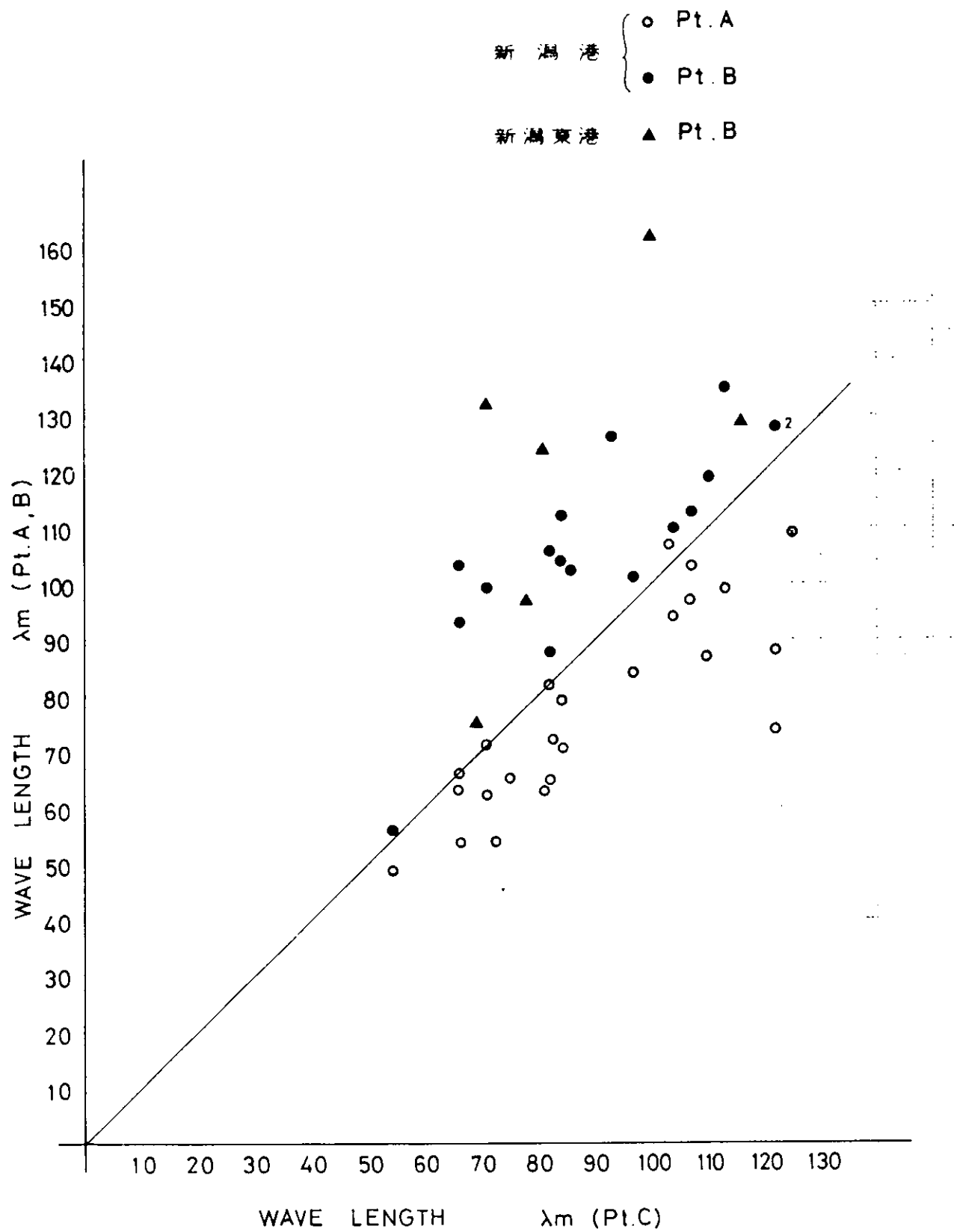


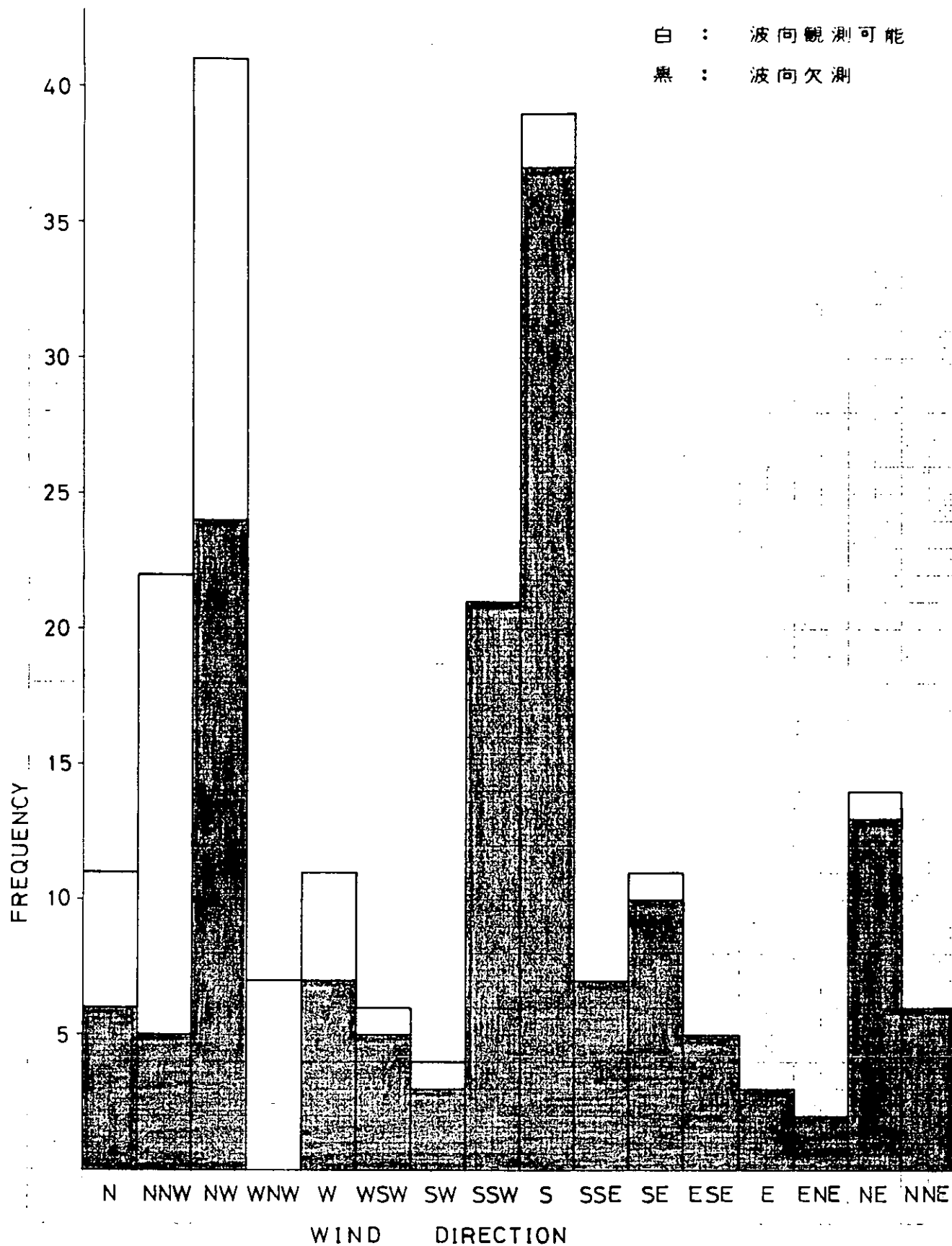
図 8.3.1.2

NIIGATA PORT

winter 1971

白 : 波向観測可能

黒 : 波向欠測



NIIGATA · PORT

winter 1971

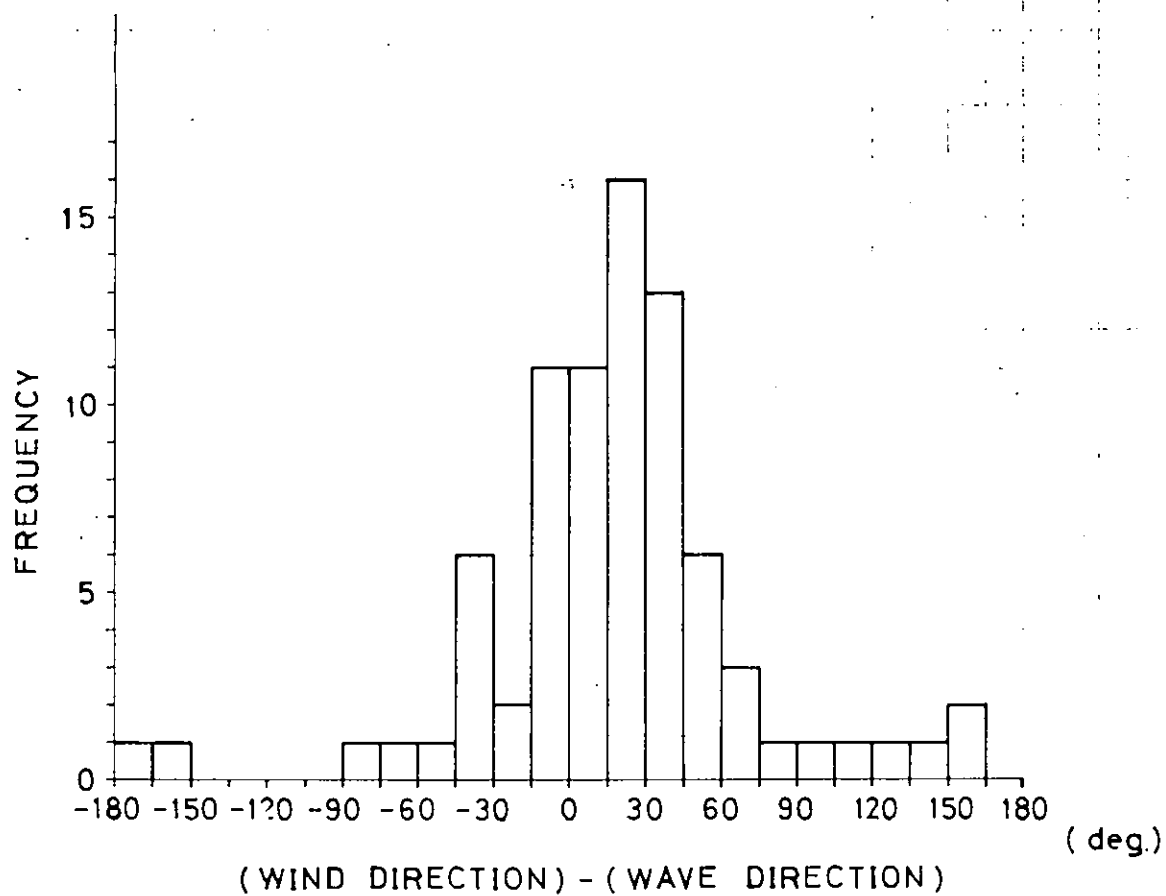
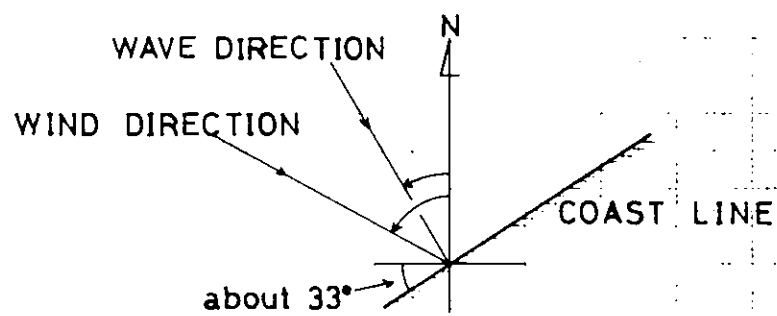
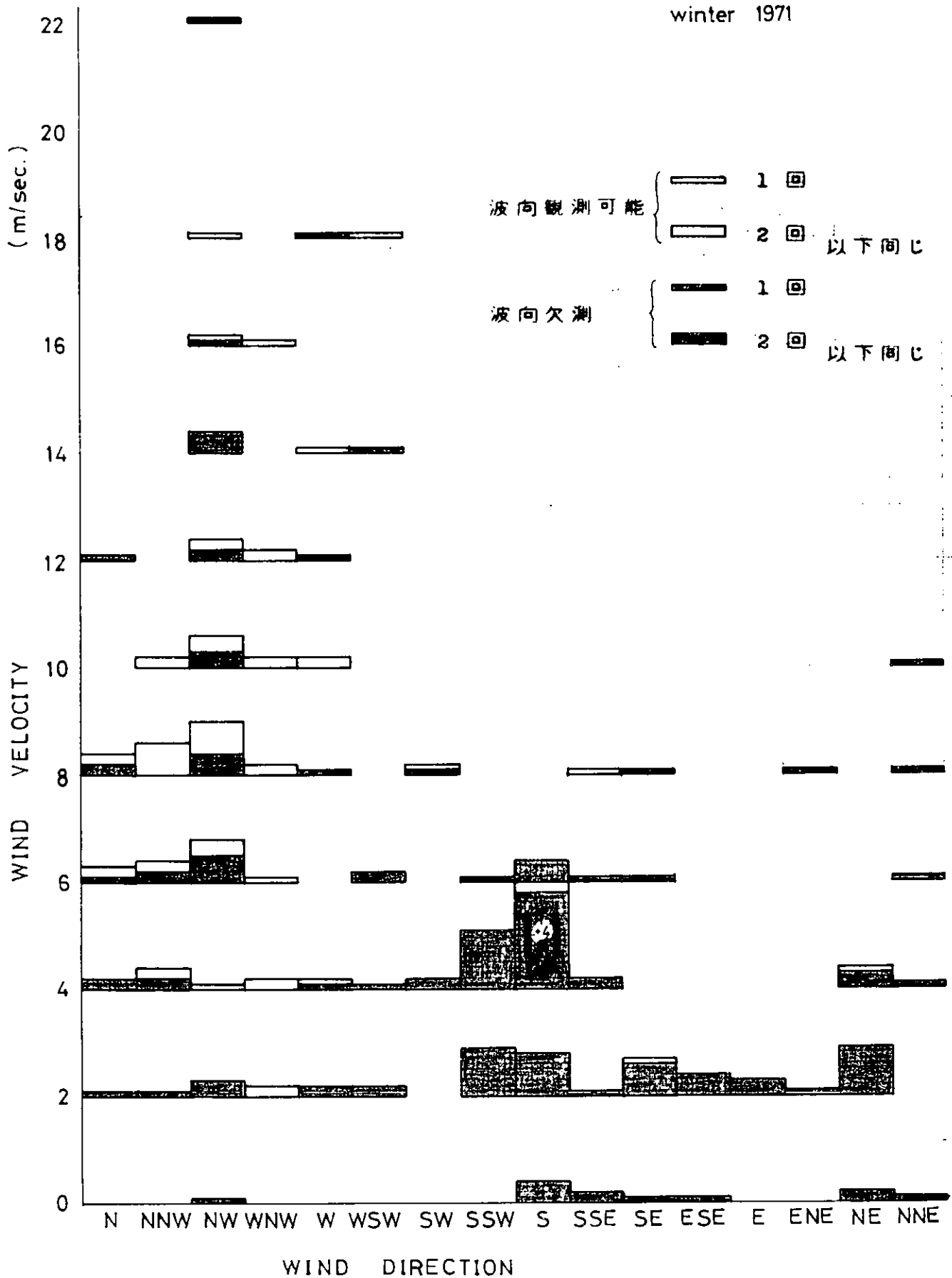


図 8.3.1 4

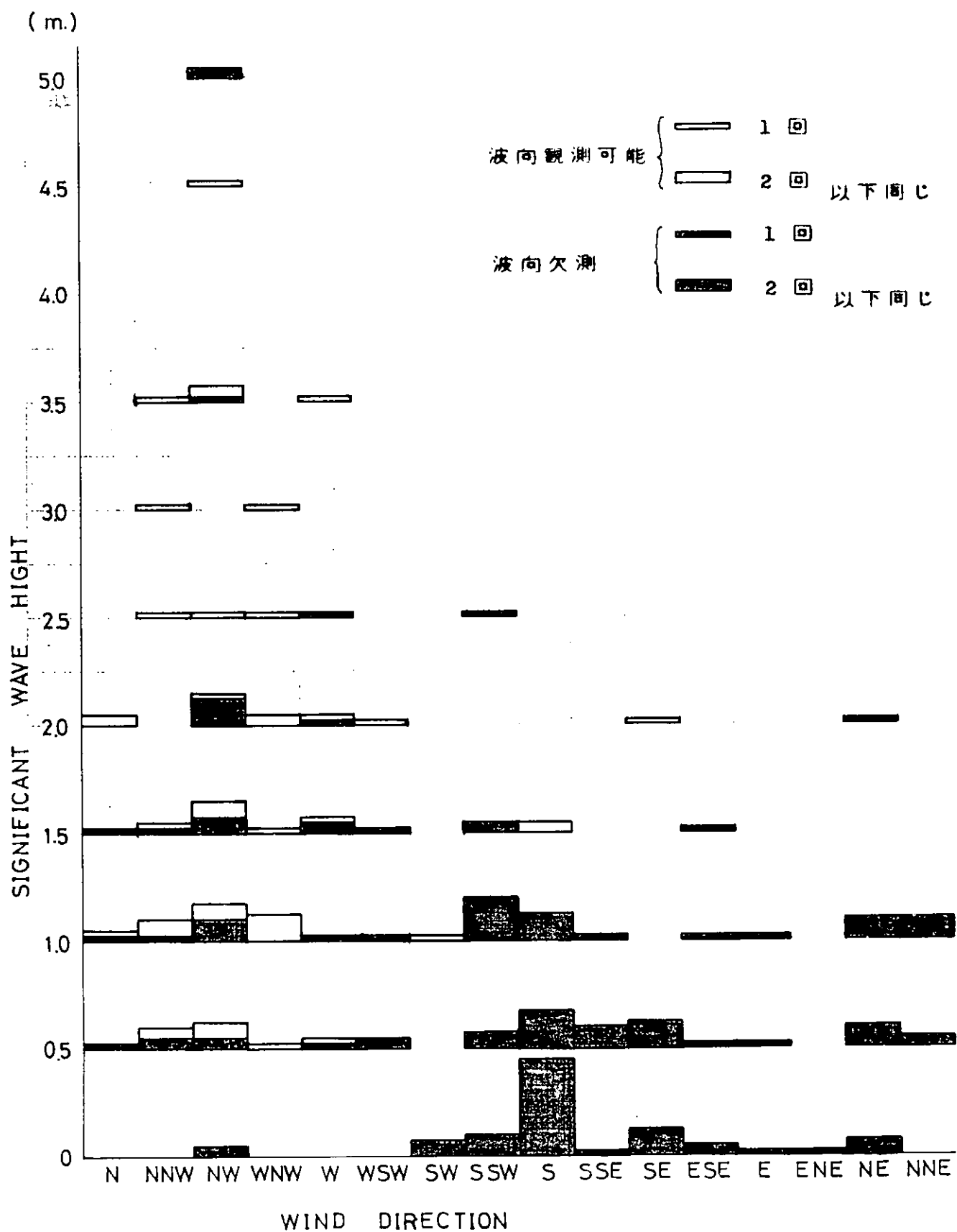
NIIGATA PORT

winter 1971



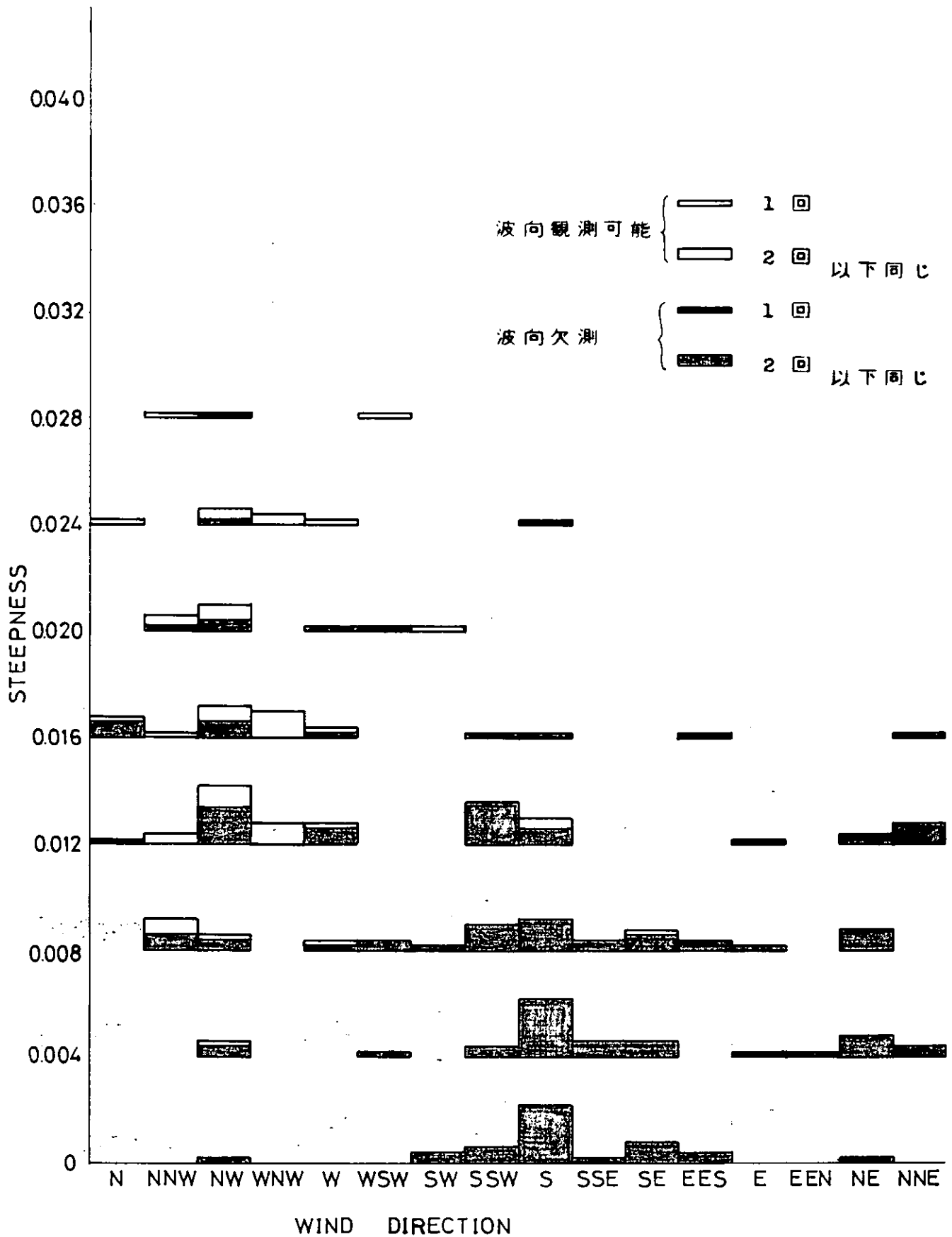
NIIGATA PORT

winter 1971



NIIGATA PORT

winter 1971



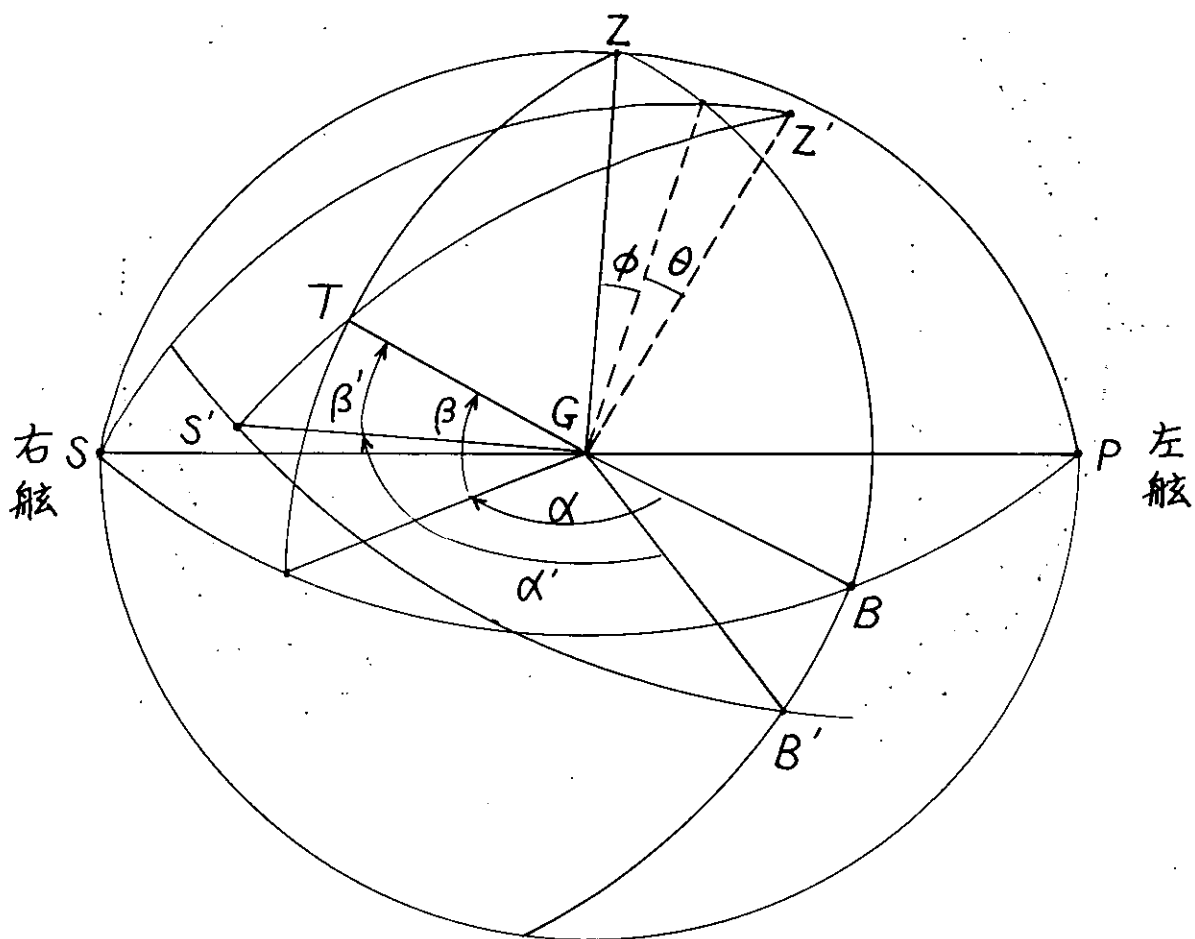


図 8.3.18 船の動揺中心を中心とする単位円

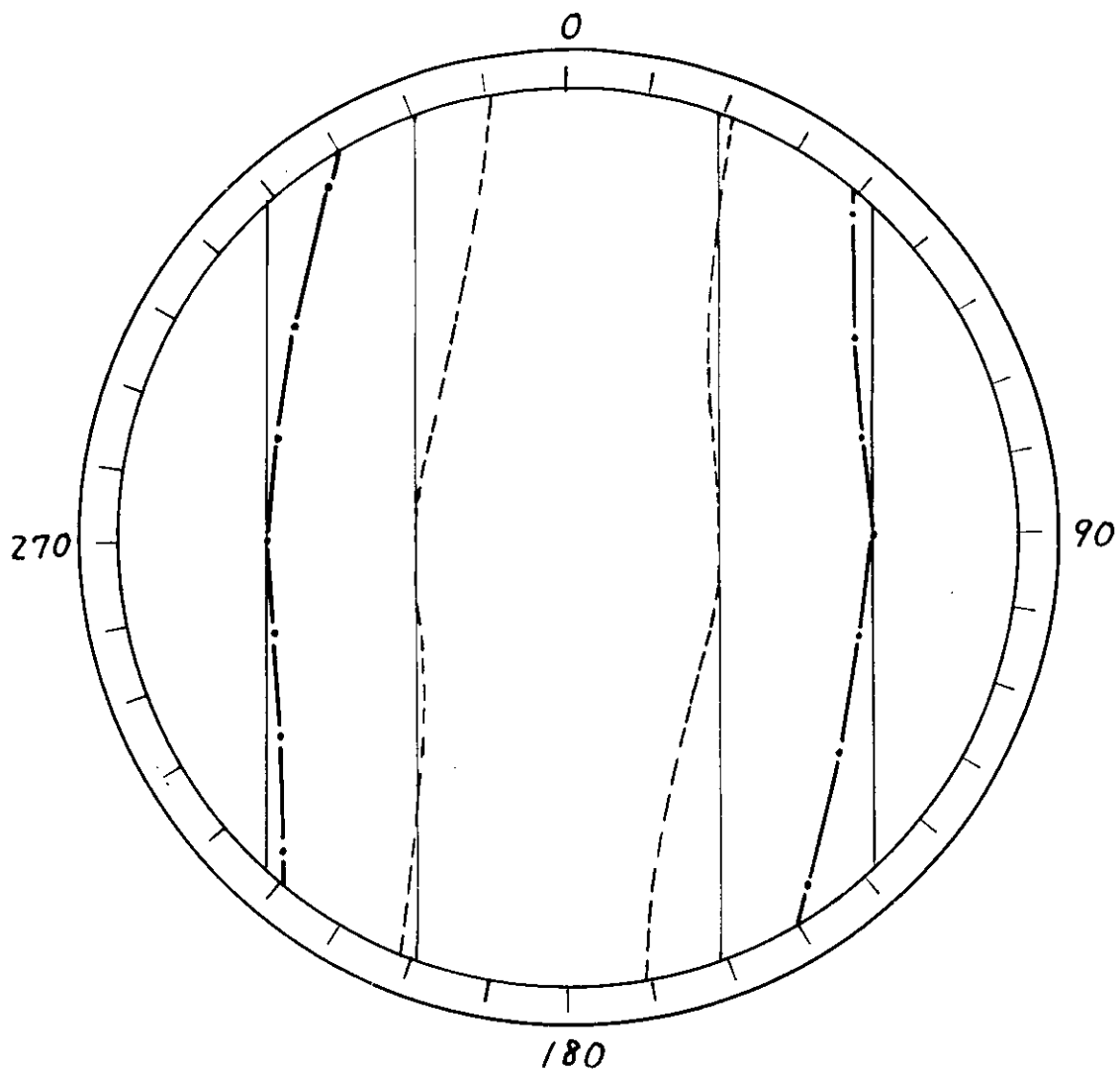


図 8.3.19. PPI-Scope の歪図形

実像 ——— 真像

点線・破線 ——— 歪像

($\theta = 40^\circ$, $\phi = 10^\circ$, $\psi = 0$)

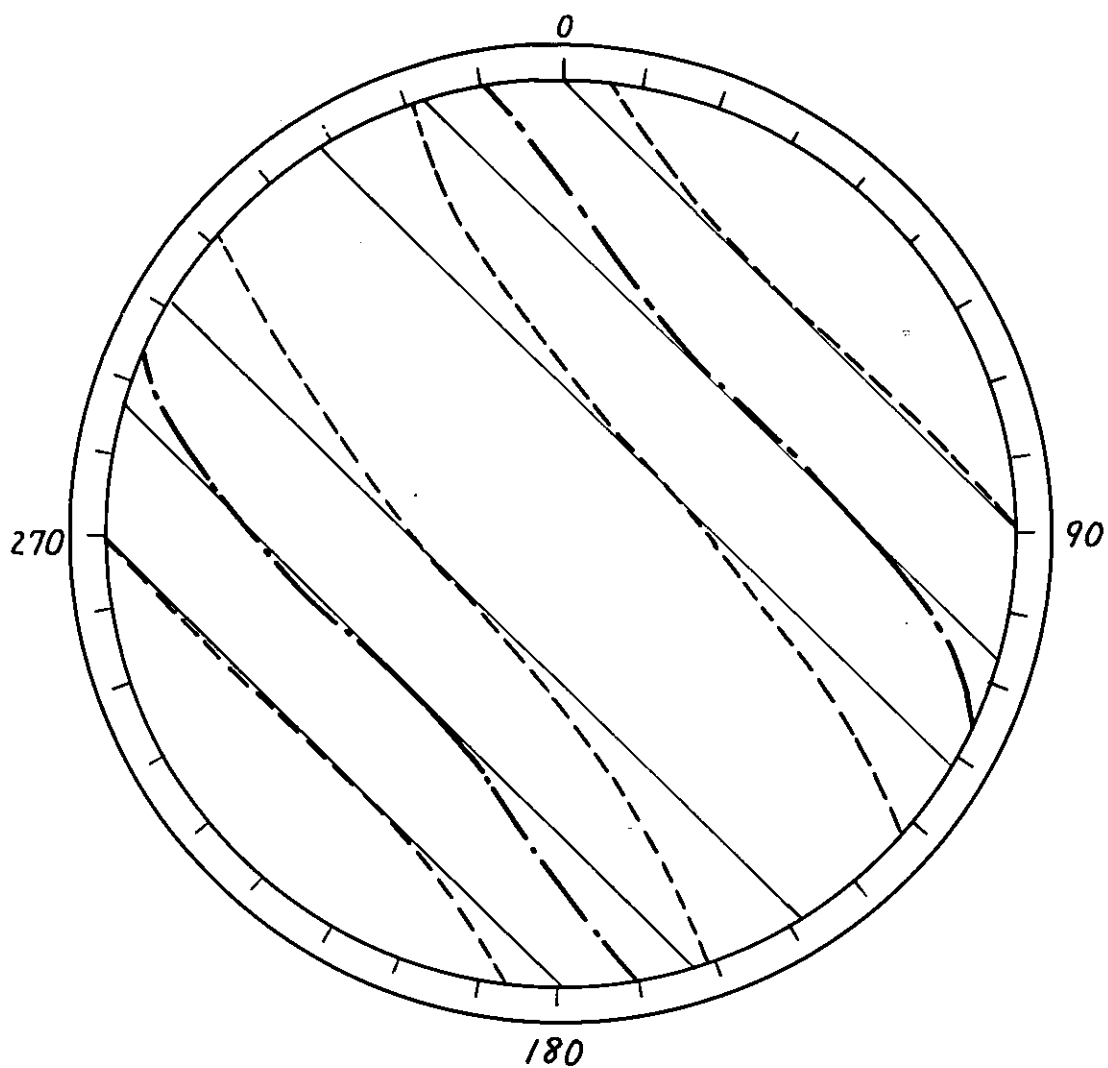


図 8.3.20. PPI-Scope の歪図形

実線 ——— 真像

点線・破線 ——— 歪像

($\theta = 40^\circ$; $\phi = 10^\circ$; $\psi = 0$)

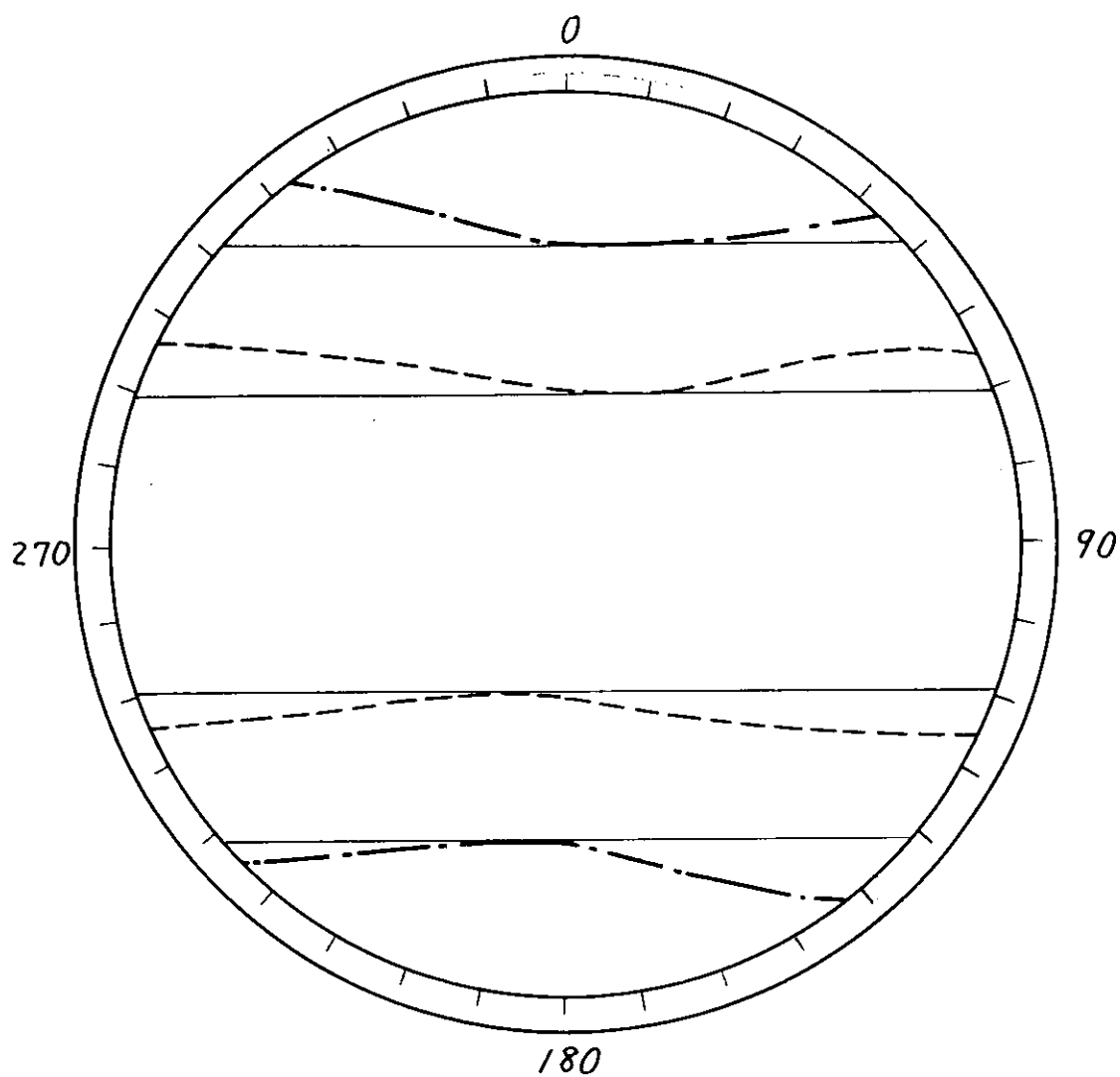


図 8.3.21 PPI-Scope の歪図形

実線 ——— 真像

点線・破線 — 歪像

($\theta = 40^\circ$, $\phi = 10^\circ$, $\psi = 0$)

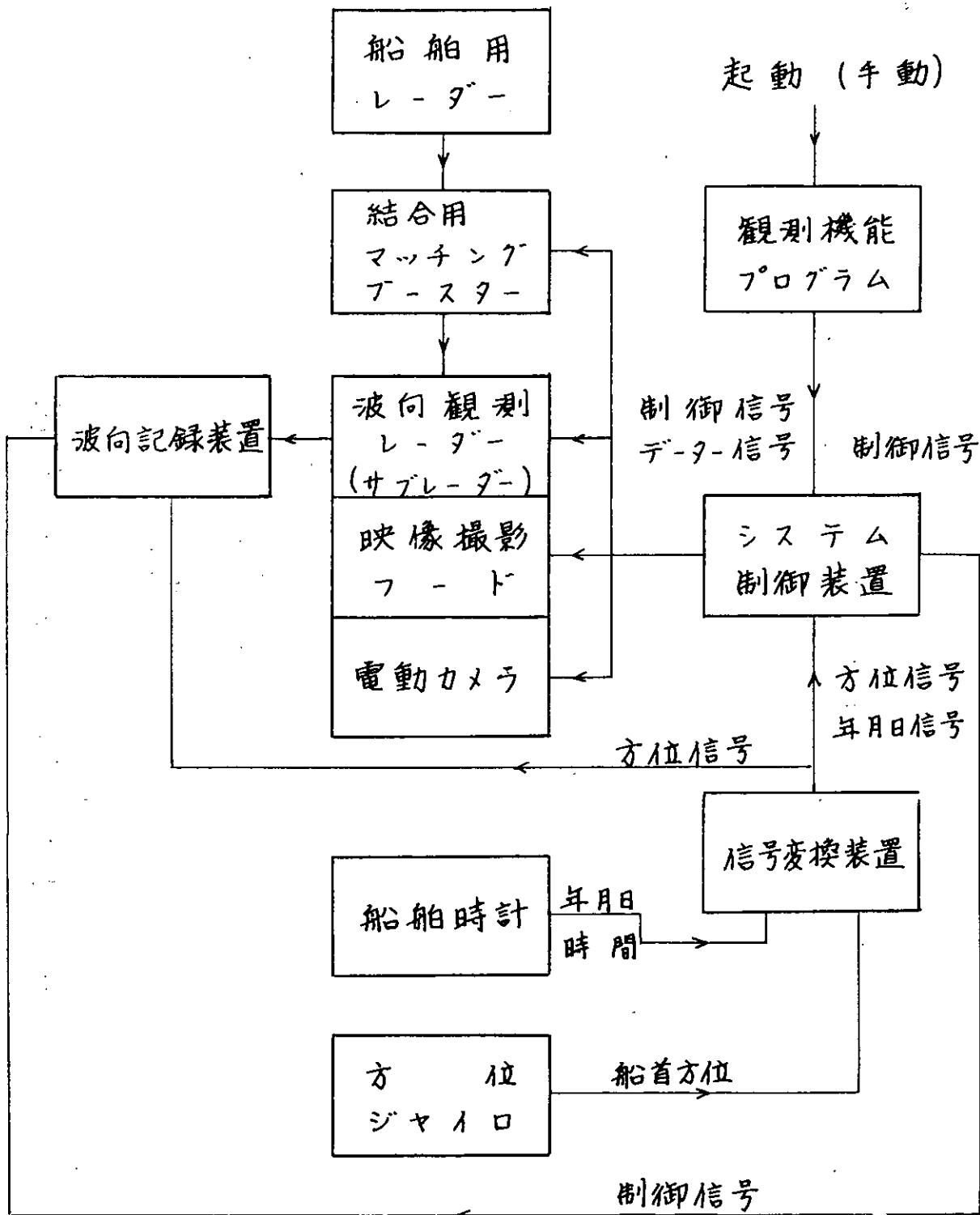


図 8.4.1 波向観測レーダーシステムブロック図

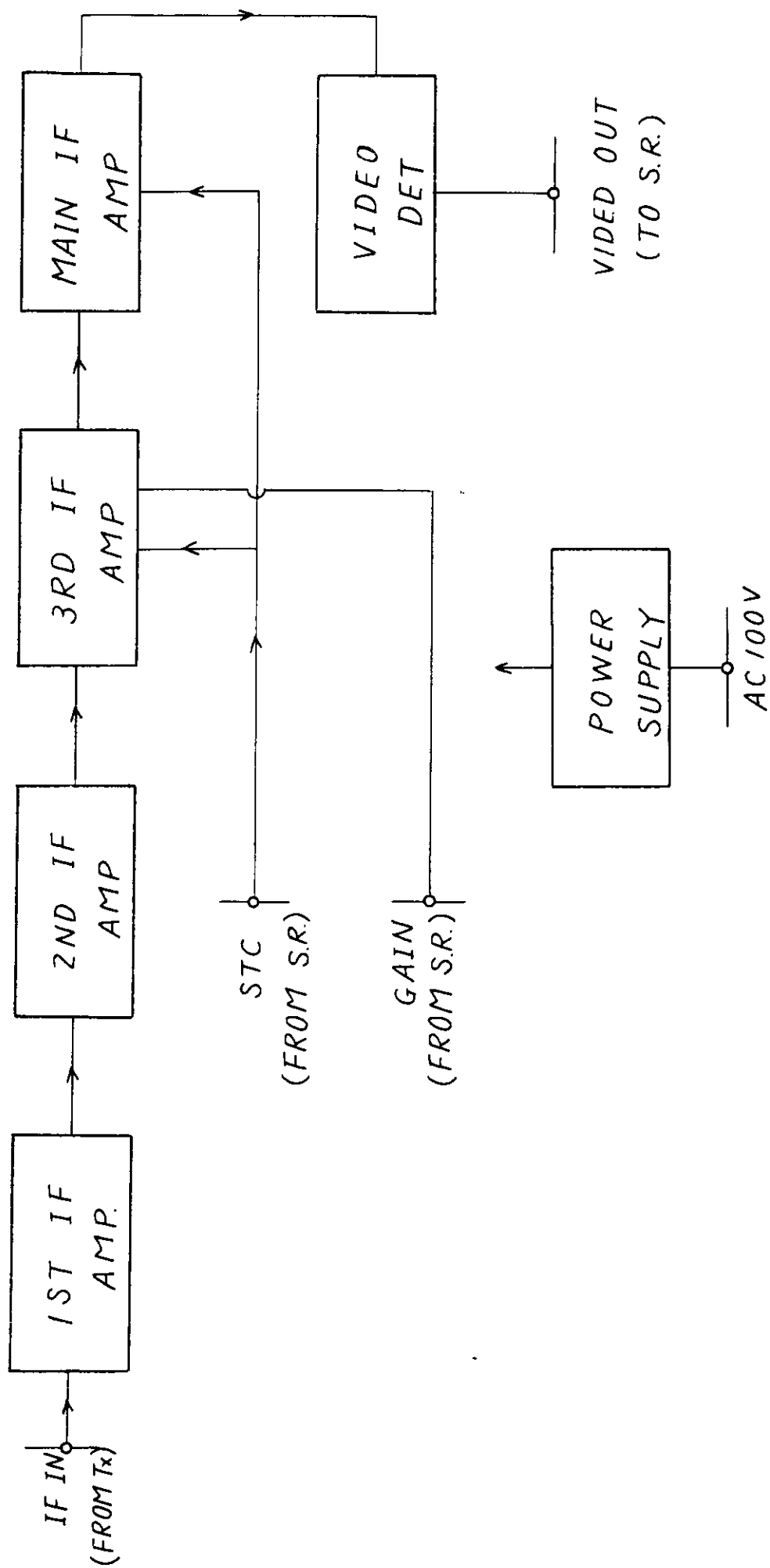


図 8.4.2 7-スタシステム図

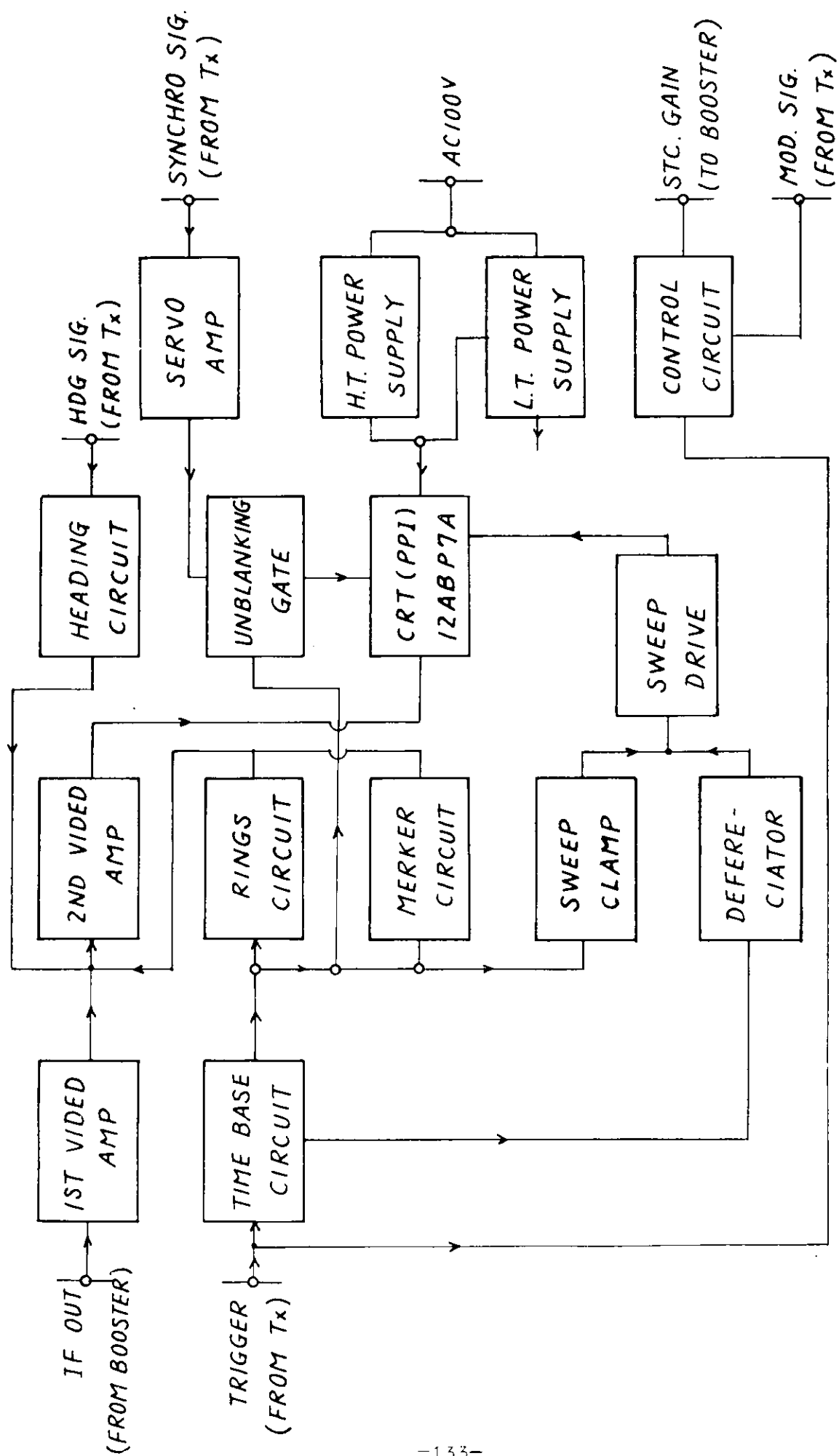
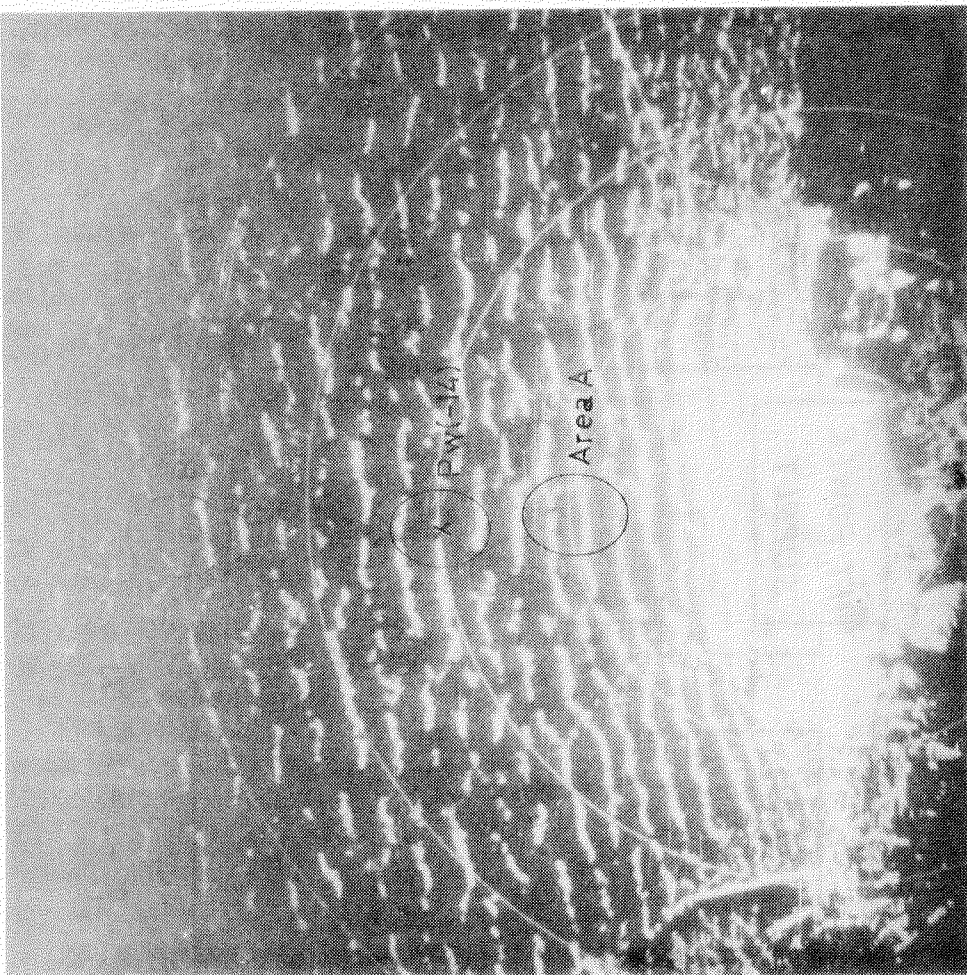
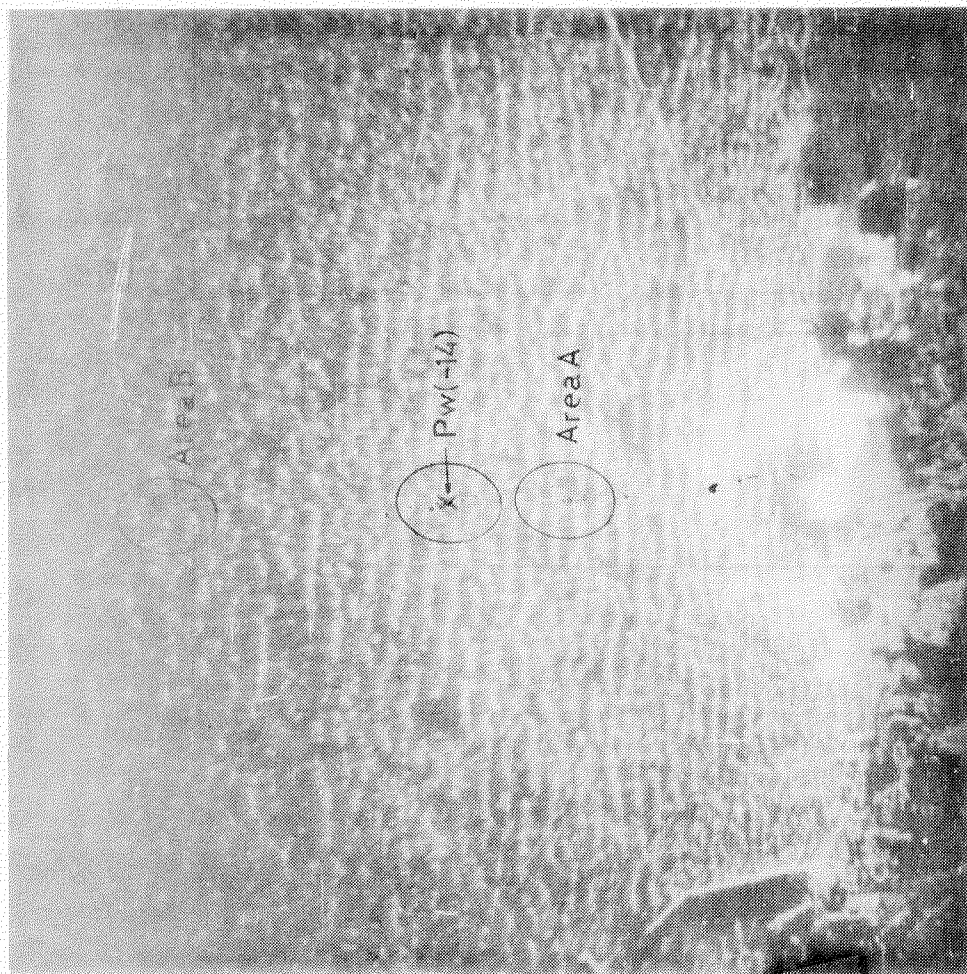


図 8.4.3 ガル-ター-系統図



昭和45年1月22日16時 $P_w(-14)$
 風向 WNW 波向 62° 波長 75 m
 風速 13.0 m/sec 平均波向 2.49° 周期 7.6 sec

昭和45年3月17日16時 $P_w(-14)$
 風向 WNW 波向 74° 波長 115 m
 風速 16.3 m/sec 平均波高 5.75 m 周期 10.7 sec

写真 8.5.1. P.F.I. 映像写真 (酒田港)

9. 進徳丸による実船実験

今年度研究のとりまとめとして、航海訓練所進徳丸による実船実験を以下のごとく計画し、実施した。

9.1 実験の目的

当委員会が検討してきた、各種波浪計等機器の性能試験を行ない、波浪計等各種機器の性能の確認および比較を行なうとともに、その改良点を見出し、来年度に予定されている総合実船実験に備えるものとする。

9.2 実験の内容

9.2.1. 平塚沖テスト

国立防災科学技術センター平塚支所の波浪観測塔の波浪計を原器として参加各種波浪計の比較実験を、主たる内容とする。

9.2.2. 博多沖テスト

投す？型各種波浪計の比較実験を主として行なう。この場合、クロバリーフ型が比較の原器となる。

9.2.3. 洋上での波浪計の投棄テスト

投す？型各種波浪計を実験船より投棄し、計器の作動、電波の到達等実用化試験を行なう。この場合、波浪計は回収しない。

9.2.4. レーダー波高計の調査

47年度製作機器による波峯線のPPI映像の撮影およびAスコープによる反射電波の計測を随時実施する。

9.2.5. 超音波波高計による調査

船体中央部玄側における相対水位の計測を随時実施する。

9.3 参加機器

9.3.1. 波浪計

(1) 水圧式波浪計(投す？型)

東京大学 (久保田気象測器) 5台

大阪府立大学 (神戸電波) 4台

(2) 加速度式波浪計

東京大学 (旭電機) 4台

以上は無線テレメーター方式。

(3) フローバ型波浪計

九州大学 (旭電機) 1 台

これは有線リモーター方式

9.3.2. レーダー波向計関係

川重、神高大、大府大 (神戸電波) 撮影装置一式

9.3.3. 相対水位計およびその他 (船研)

超音波波浪計等 一式

9.4. 参加人員 (20名)

大阪府立大学田口賢士教授を実験責任者とし、東京大学前田久明助教授を実験計画立案、連絡係として、以下の人員が参加した。

東京大学	4
九州大学	4
神戸商船大学	2
大阪府立大学	2
船舶技術研究所	3 (うち1名は平塚で陸上計測にあたり。)
機器製作関係者	5

9.5. 実験実施日程

48-2-7 日立造船築港工場にて進徳丸に機器の一部積込み (九大、大府大)

48-2-13 千葉港にて機器の積込み (東大、船研)

実験担当者打合せ (本船にて)

48-2-14 全員乗船完了 千葉港出港 (11-00)

実験担当者と進徳丸との打合せ

金田沖仮泊

48-2-15 平塚沖 9-00 より実験開始

潮岬、土佐沖の間で随時実験を実施しつつ

48-2-17 六連島沖、仮泊

48-2-18 実験

48-2-19 午前中実験

午後博多入港、実験終了

48-3-4~7 神戸港にて一部機器の揚陸

48-3下旬 東京港にて残部機器の揚陸

9.6. 結果

現在結果のとりまとめ中である。