沿岸波浪観測システムに関する研究　?.波高の定時観測

著者	渡部 勲, 徳田 正幸
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	61
ページ	1-24
発行年	1984-10-15
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002796/

551.466.3(265.5)

沿岸波浪観測システムに関する研究

Ⅰ．波高の定時観測

渡部　勲＊・徳田正幸＊＊
国立防災科学技術センター平塚支所

Observation System for Coastal Wave
I. Wave Height Observation

BY
I. Watabe, M. Tokuda
Hiratsuka Branch, National Research Center for Disaster Prevention
NO. 9 - 2. Nijigahama, Hiratsuka, Kanagawa-ken 254

Abstract

A total system of data gathering for the coastal waves by a digital computer was developed. This system consists mainly of wave-gauge, telemeter and computer.

Wave heights are observed at the marine observation tower off Hiratsuka in Sagami Bay by use of a capacitance-type wave-gauge. The raw data are digitized and trassmitted to the computer, MELCOM-COSMO 700S, situated in the office of the Hiratsuka Branch, through a submarine cable. Wave statistics are done on basis of the zero-up-cross method and the spectral analysis method. The results and raw data are stored every hour in magnetic disks, and filed every month in magnetic tapes.

1. はじめに

最近，沿岸域における自然災害は減少の傾向にあるように思われる．これは防波堤や港が整備されて来たことによるところが大きい．しかしそれに伴って沿岸の汀線近くまで都市化が進んでおり，一度災害が起こると大きな被害を引き起す危険性を有している．またダム等によって河川水による土砂の海への流出が減少したために，砂の輸送のバランスがくずれ，砂浜が減少する海岸が出て来ている．このような自然災害を防止するために最も大切なことは，自然の現象の実態を明らかにすることである．このために長期間に亘って自然現象の観

＊ 沿岸防災第2研究室，　＊＊ 沿岸防災第1研究室

測が必要となる．

沿岸波浪は沿岸の現象の中で最も重要なものの一つである．よって沿岸防災の研究において波浪の長期観測は不可決なものである．このために波浪の定時観測システムを開発した．このシステムは既に1978年11月から稼動を開始し，現在に至っているが，その間システムの中枢である電子計算機が更新され，波高計センサを含むシステム全体も観測効率を高めるために改良されてきた．その結果ここ２～３年に亘ってデータ取得率が向上した．このようなことから，本論文は現在の波浪観測システムについて議論する．

本論に入る前に，沿岸波浪観測の現状について概略的に述べる．日本の沿岸波浪観測は主として気象庁と港湾技術研究所で行われている．気象庁における観測システムは1974年度の石廊崎をはじめとし現在７つの沿岸域で行われている．このシステムは気象庁波浪観測資料第１号（1978）で示されているように，沿岸波浪の実況をオンライン・リアルタイムに得ること．そして主として沖波そのものの表面波形を観測することを目的としている．このために，波高計として水中発射型超音波波高計を用い，そのセンサである送受波器を汀線より沖１～２ kmの水深約50 mに設置する．波浪計の本体は設置海域に最も近い測候所におかれ，データの収集・処理は最寄の気象台の小型電子計算機で定常的に行われる．データの伝送についてはセンサと波高計本体間はケーブルで，本体と計算機間は電々公社回線を通じて行うものである．

港湾技術研究所を中核とする沿岸波浪観測システムは，港湾を中心とする全国沿岸における来襲波浪の特性に関する基礎情報の収集・提供を目的としている．このために波高計は気象庁と同じ超音波波高計を用いているが，センサの設置場所が気象庁のように沖波そのものの波形を観測するように必ずしも統一されていない．このシステムは広瀬ら（1981）によって示されているように，次の３つの都局の協力体制により，1970年度から稼動されており，現在集中処理対象港は約30港となっている．協力体制の都局は，沿岸波浪観測網展開計画実施の総括調査を行う港湾局，現地観測の実施と成果の活用を行う各港湾建設局，観測取得データの集中的処理・保管を行う港湾技研で構成される．データの伝送は一部を除き，現地でデータ記録されたカセットテープを定期的に港湾技研へ郵送する方式である．

以上述べたように日本の沿岸波浪の観測網は主として気象庁と港湾技研の観測システムによって構成される．しかし両者の目的が異なるために，センサの設置水深，データ伝送方式，解析法が必ずしも統一されていない．前者は波浪予報・警報の向上のために，波浪の特性の時刻的な変化を観測することに重点が置かれているが，後者は港湾の建設・保守に必要なデータ，すなわち最大波高・周期等を観測することにある．このような相違はデータ伝送に最もよく表われている．前者はオンライン・リアルタイムに対して，後者はカセットテープを研究所に郵送するシステムとなる．今後さらに，日本の沿岸波浪の観測網を質的に充実させるためにはできるだけ沖波を観測し，そのデータをオンライン・リアルタイムで提供できる観測シス

テムに統一すべきである．

本論文で議論する観測システムはオンライン・リアルタイムシステムである．すなわち本観測システムは気象庁に類似したもので，波高計センサは平塚沖にある波浪等観測塔に，本体は塔の観測室に，データの収集・解析を行う計算機は平塚支所に配置し，観測塔と平塚支所間のデータ伝送は海底ケーブルで行うものである．問題点としては，波高計センサを水深20 mにある観測塔に設置するために，沖波の計測が難かしい点にある．次に，本観測システムを波高計測部，データ伝送部及びデータ処理部に分けて詳しく議論する．

2. 波高計測部

波高計センサ及び本体の設置場所は図1で示す海域にある波浪等観測塔である．観測塔は神奈川県平塚市沖約1 km，水深20 mの地点（北緯35°18′07″ 9，東経139°20′56″ 5）に昭和40年（1954年）に建設された（写真1）．これは図2で示す構造をもち，波高20 m，風速60 m／sに耐えられるように設計されている．使用している波高計は容量型波高計で，センサは5 mm φの引込用被覆動力線を用い，図3に示すように水深約10 mのところに15 kgの錘がある構造である．この容量型波高計は徳田（1983）に示されているように非常に高い周波数の搬送波を使用しているため，波に対する応答性が良く，短かい周期の波も正確に観測できる．また図4に示すように応い直線性をもつ入出力特性を有している．欠点として，第一にセンサ・ケーブルに生物（主として藻）や浮遊物が付着しやすいことである．それらの付着物がセンサに着くと，センサの静電容量が水面変動に応答しなくなり，正常な波形が

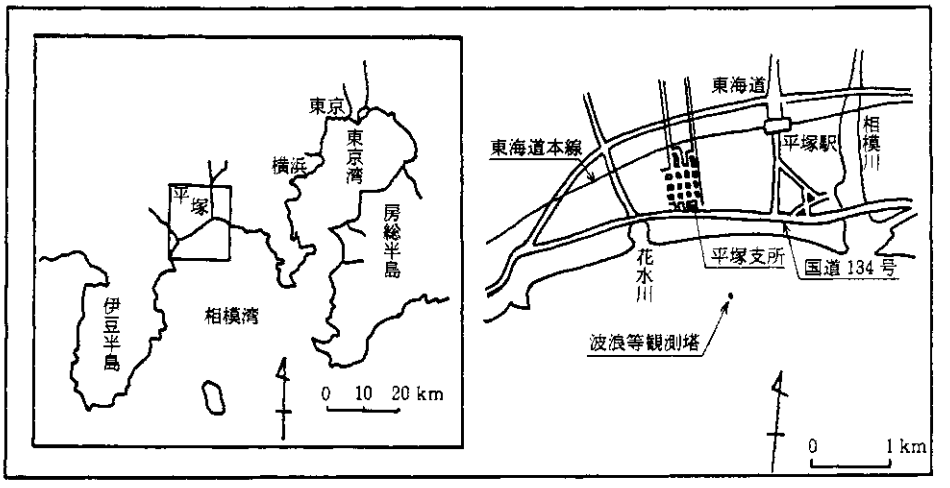


図　1　波浪等観測塔設置場所

Fig. 1　Location of the marine observation tower.



写真１　波浪等観測塔

Photo. 1　Marine observation tower.

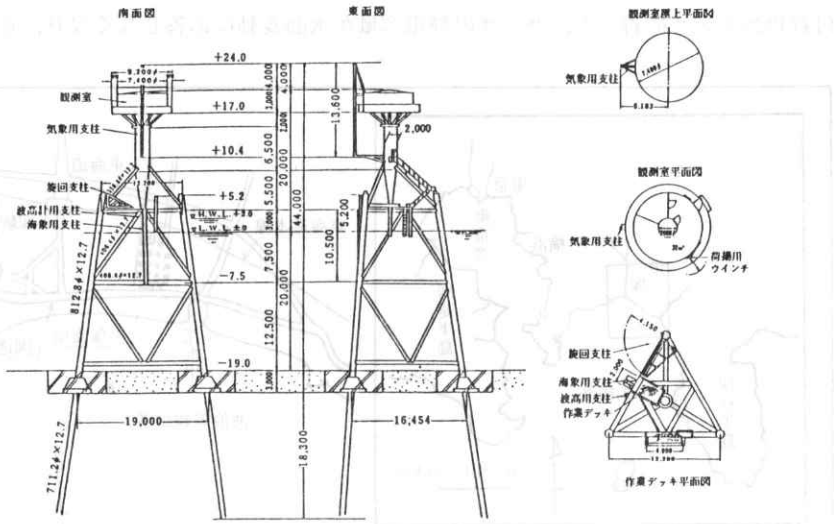


図　2　波浪等観測塔構造図

Fig. 2　Structure of the marine observation tower.

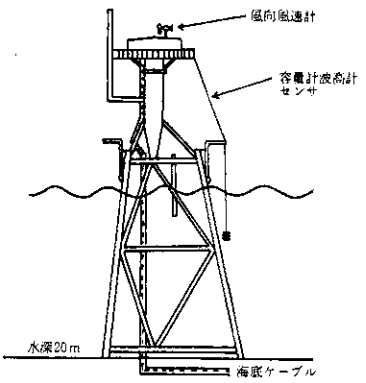


図　3　観測塔に設置された容量型波高計センサ

Fig. 3　Sensor of capacitance-type wave-gauge.

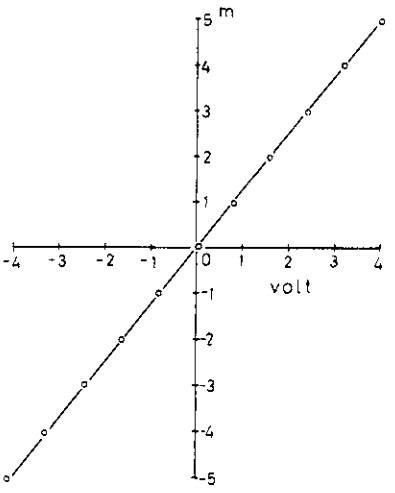


図　4　容量型波高計の入出力特性

Fig. 4　Calibration curve of the wave gauge.

測定できなくなる。第二に，台風などの異常波浪時の流木等によって，センサ・ケーブルが破損され易いことである．対策として，第一に対してはセンサケーブルに防腐剤を塗っている．このために掃除は約3ケ月に1回の割合で済むことになった．第二に対して，図3に示したようにセンサ・ケーブルの下端を固定しないで，重い錘りをつけた構造にした．

3.　データ伝送部

波高の定時観測データの伝送システムは，図5に示す．このシステムによると，観測塔で得られたデータに対して，A／D変換を行ってデジタルデータとして海底ケーブルを通じて陸上施設にある中央処理装置に伝送される．観測塔から陸上にデータ伝送される方式として次の3つの方式が用いられている．第一は，高速用のテレメータ伝送である．これは40チャンネルまで同時に伝送することができる．その場合，1チャンネル当りのデジタルデータの読み取り間隔は20ミリ秒となる．第二は，波高データを含めた定時観測データを伝送する遠方制御システムである．これは比較的変化の遅いデジタルデータを効率よく送るものである．第三は，アナログ信号を送るものである．ここで，波高の定時観測データの伝送はこれらの3つの方式のうち，どれが最も効率的かを検討する．

観測塔で観測される波浪は，主として周期が1秒から20秒までの範囲の波で構成される．よってデータの長さは20分間で，読み取り間隔は0.3秒で充分であると言える．0.3秒毎のデジタルデータの速度は，上述した高速用のテレメータのデータ伝送速度に比べて15倍も遅い．これを用いるとあまり効率的でない．一方低速用の遠方制御システムに対してはデータ

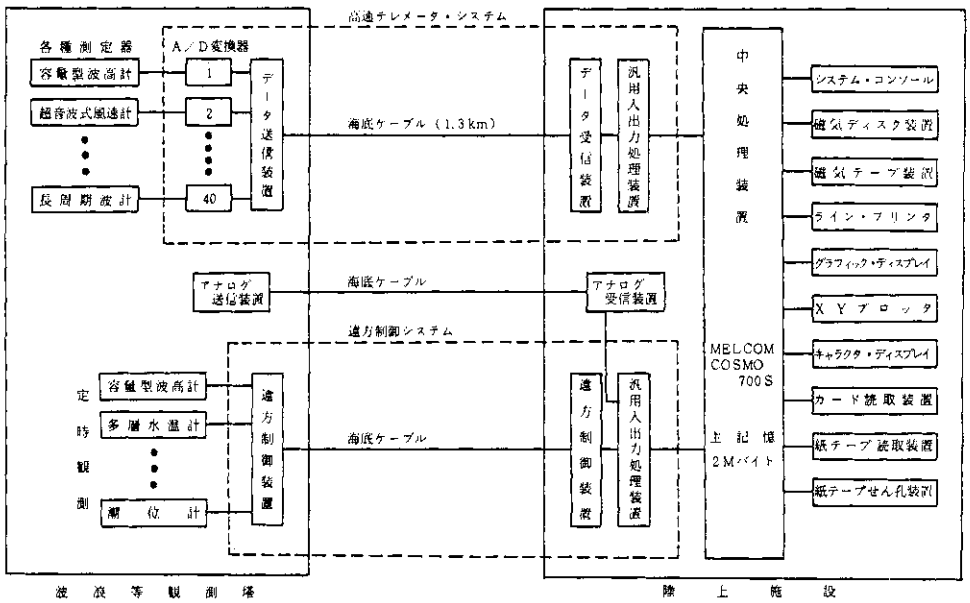


図　5　波浪観測データの伝送システム

Fig. 5　Block diagram of the telemetric system.

伝送速度について工夫すれば，高速用テレメータシステムに比べてはるかに効率的であると言える．よって波浪データは遠方制御システムによって塔から陸上の計算機に伝送することにした．

用いた遠方制御システムは図5から分るように1対の海底ケーブルの回線を用いて，図6に示されている伝送フォーマットを用いた．この伝送フォーマットはフレーム（1）とフレーム（2）を1サイクルとして構成される．1サイクルは2816ビットで64ワード（64チャンネル相当）の大きさをもつ．伝送速度は1200ビット／秒であるために，1サイクルを全部伝送するのに約2.35秒を必要とする．このことから，最大のデータ伝送速度は64チャンネルに全て同一のデータを送る場合で，その場合の読取り間隔 Δt は 2.35 ／64≈0.037 秒となる．波浪の場合は，$\Delta t = 0.3$ 秒であるので，1つおきに波浪データを伝送すると，0.074秒となり充分と言える．このような構成で遠方制御システムを通じて伝送されたデータは，図5で示されるように陸上の計算機の汎用入出力処理装置に送られ，各々チャンネル毎に分離され，0.3秒間隔で中央処理装置に出力される．

4.　データ処理部

観測塔で測定された波浪データは前章で述べた遠方制御システムによって計算機に送られ，図7に示す処理を行う．遠方制御装置から随時伝送されてくるデータはＯＲＩＧＩＮＡＬファ

(1)　サイクル構成

フレーム(1)	フレーム(2)

(2)　フレーム構成

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
同期信号	チャンネル	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	9	1	10	1	11	1	12	1	13	1	14	1	15	1	16	1

32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
同期信号	チャンネル	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	SV	〃
	1	17	1	18	1	19	1	20	1	21	1	22	1	23	1	24	1	25	1	26	1	27	1	28	1	29	1	30	1		1

SVはチャネル1を交互に伝送するための信号

(3)　チャンネルと内容

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
内容	波高	風速	風向	流速SN	流速EW	長周期波	潮位	表層水温			多層水位1	〃 2	〃 3	〃 4	〃 5	〃 6	〃 7	〃 8													

図　6　遠方制御システムのチャンネルと内容

Fig. 6　Format diagram of the data transmission unit.

イルに，データを出力した時刻はＴＩＭＥファイルに記憶される．ＴＩＭＥファイルに記憶されたデータの出力時刻は，１分間で取り込まれるデータの個数が採取された時の計算機のタイマー（内部タイマー）の時刻となる．読取り間隔Δtとチャンネル数はそれぞれ0.3秒と32チャンネルである．よって１分間に取り込まれるデータ数の合計は$(60\times32)/0.3=6400$個で，32チャンネルを１件とすると，200件となる．この随時取り込まれるデータから定時観測の処理に必要な正時前後10分間のデータを選り抜く．このデータの選り抜きは，内部タイマーが毎正時30分になった時起動がかかり，処理プログラムによって行われる．この起動をかける役割をするのがＡＵＴＯＪＯＢプログラムである．

ここで問題になることは0.3秒間隔で200件のデータを読取った時刻と内部タイマーの時刻は，それぞれ誤差を生じるために必ずしも一致しない．このような問題は松村ら（1979）が用いた地殻活動観測データ処理オンラインリアルタイムシステムでは生じない．すなわち彼らのデータの採り込みタイミングは１秒毎にＪＪＹの精度の高い外部時計の信号により実時間と周期をとる方法が用いられているためである．ここでは，生じた時刻の誤差はソフト的に補正する方法（時刻補正プログラム）を採用した．

ＡＵＴＯＪＯＢプログラムが起動すると最初に時刻補正のプログラムが行われる．時刻補正プログラムは上述した時刻的な誤差をチェックして補正を行うものである．次に必要なデータの選り抜きは図7で示したＲＯＵＴＩＮＥのプログラムで行われ，正時前後10分間の合計20分間の波高の生データはＴＬＦＩＬＥファイルに記憶される．これらの定時観測データ処理は毎

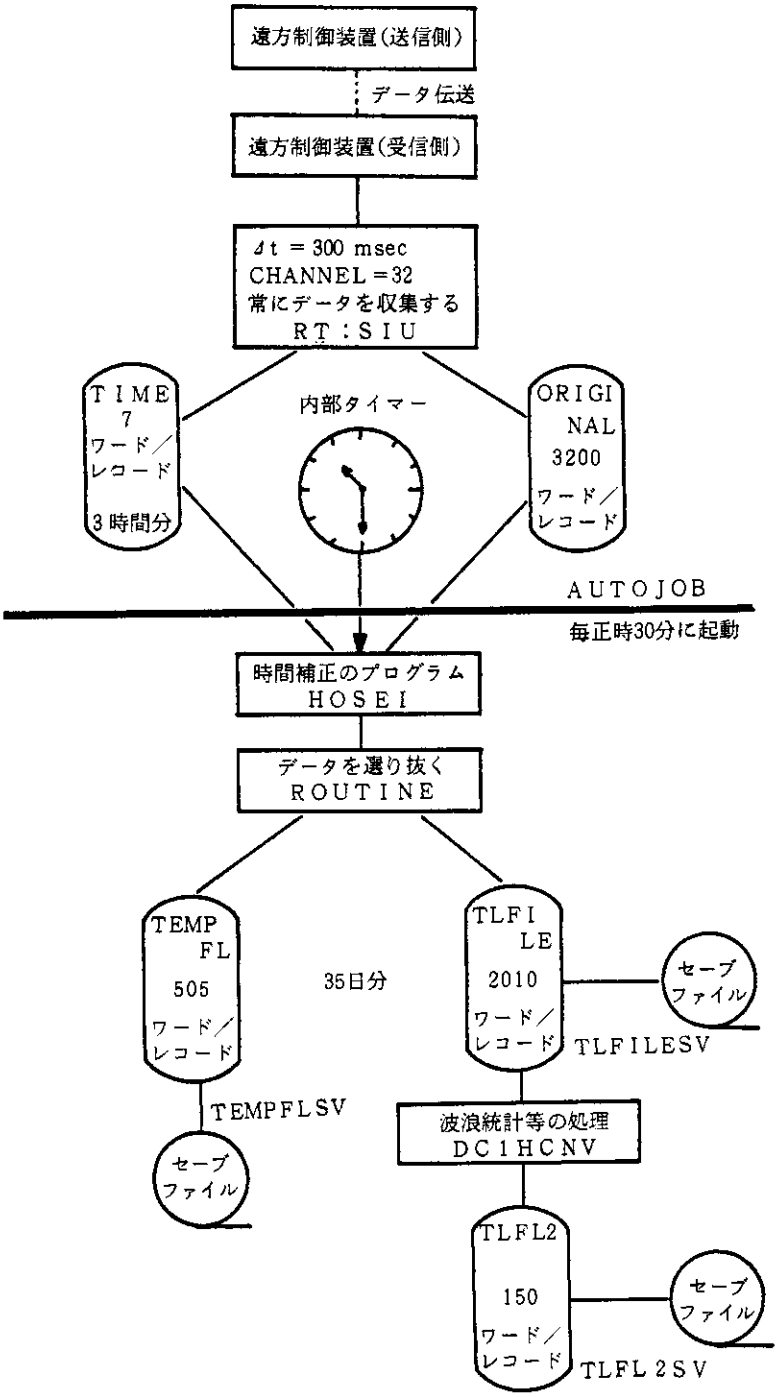


図　7　定時観測の処理システム

Fig. 7　Information processing diagram of observation system.

正時30分から行われ，約３分間で完了する．AUTOJOBプログラムはこれらの処理の実行を自動的に行わせるものである．その場合，データ処理のプログラムは実行形式で磁気ディスクに常に記憶されており，実行時のみディスクから主記憶の実行領域に読み出され，実行終了後は主記憶から消される．このために上記の処理は実行時（約３分間）を除けばほとんど計算機に負担がかからないものとなった．使用している計算機は中型汎用機（MELCOM－COSMO　700S）で，上述した定時観測のデータ処理だけでなく，他の一般的な計算処理をも同時に行うことができる．定時観測データ処理システムは概略的に図８に示した．次に，これらの工程及びファイルについて詳しく議論する．

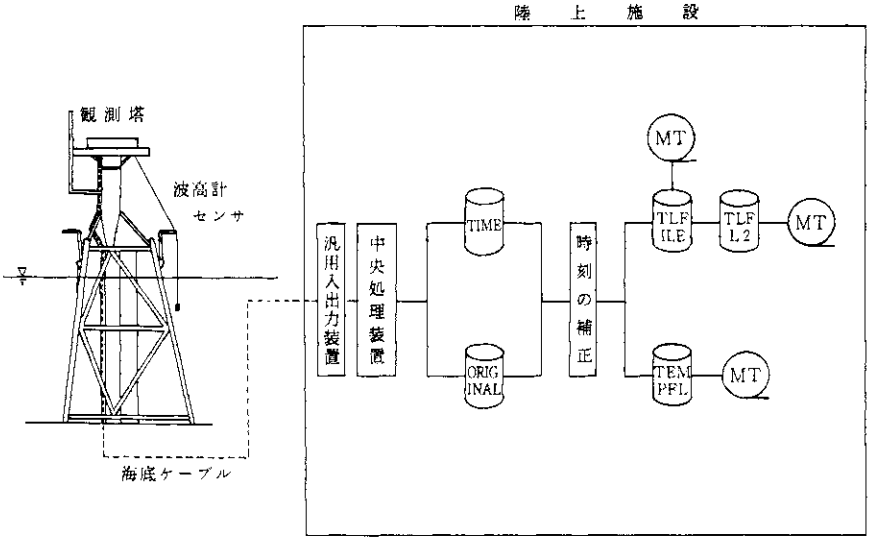


図　8　定時観測システムの概略図

Fig. 8　Black diagram of total system of data gathering.

(1)　TIMEファイルとORIGINALファイルの処理

遠方制御システムから随時伝送されてくるデータは，TIMEファイルとORIGINALファイルに記憶される．TIMEファイルは図９に示すように１レコード当り７ワードで構成し，１分間毎の生データを出力した時の年，月，日，時，分，秒，データ件数が記憶される．一方，ORIGINALファイルは１レコード当り3200ワードで構成され，１分間に読み取られた生データが記憶される．

本システムの中央処理装置は１ワード32ビット単位であるが，伝送されてくるデータは１ワード12ビット単位で送られてくるために，ファイルには１ワードに２つのデータを記憶させた．従って１分間で得られるデータ量，１レコードは32×200＝6400ワードとなるが，

年	月	日	時	分	秒	件　数

図　9　ＴＩＭＥファイルの形成

Fig. 9　Format diagram of "TIME" file.

記憶容量は6400ワードの半分，3200ワードとなる．よってＴＩＭＥファイルとＯＲＩＧＩＮＡＬファイルは後で示す理由から常に３時間分のデータを記憶する必要があるので，それらの記憶容量は共に180レコードの大きさとなる．

時刻と１分間の生データをファイルに書き込む方法について述べる．これを行うために，図10に示すようにＴＩＭＥファイルとＯＲＩＧＩＮＡＬファイルをＫＥＹ付きファイルにする．用いた両ファイルの大きさは，後述する時刻の補正のために３時間分のデータが記憶できる大きさとした．具体的には次のようなことになる．ＫＥＹ値が０をもつデータから順番に書き込まれ，ＫＥＹ値が179番になると再びＫＥＹ値が０をもつデータから順に書き込まれる．ファイルは３時間周期で入れ換えられることになる．このように３時間周期でディスクに書き込むために，ＫＥＹ値の決定は図11に示すように３つの区分に分けるものである．

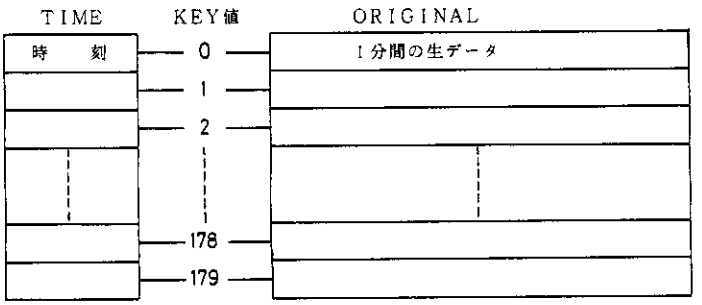


図　10　ＫＥＹ付ファイル

Fig. 10　Keyed file.

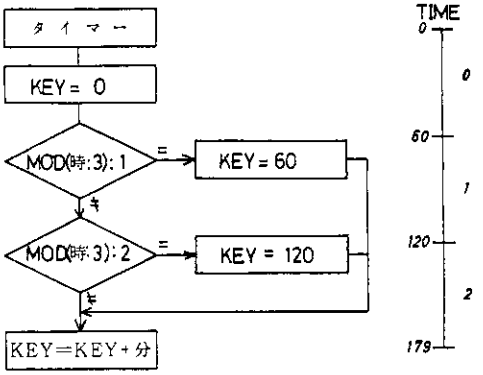


図　11　ＫＥＹ値の決定法

Fig. 11　Flow chart for determination of KEY value.

例えば，10時25分のデータのＫＥＹ値は次のようになる．10時を３で割ると１が余る．従ってＫＥＹ値は１×60＋25＝85となる．

(2) 時刻の補正のプログラム（ＨＯＳＥＩ）

リアルタイム・データ収録プログラムを起動させると，上述した理由により，時刻の誤差を生じる．この補正を行うのがＨＯＳＥＩプログラムである．具体的には次のようになる．

実際にその誤差を統計的に調べた．その結果，約26時間に１分間の空白ができて桁上がりを生じていたことが判った．つまり約26分に１秒の誤差である．この誤差の様子を具体的に表すと図12を得る．この図から分るように，ＫＥＹ値が83から85の間で桁上がりが起ったために，ＫＥＹ値84には３時間前のデータが残ってしまう．このために，この空白を補い，かつデータの連続性を保つ必要がある．これは次のように行った．図13に示すように，空白した時刻の24分前から後25分までのＯＲＩＧＩＮＡＬファイルのデータを４件づつずらし，空白の１分間を補うことである．このような補正を行うと，図14に示すように，空白の１分を含む50分間のデータ件数は196となる．

上記の時刻の補正プログラムをＡＵＴＯＪＯＢプログラムで起動がかかった時（毎正時30分）に行われる．空白がある場合それを補正するのに50分間のデータ件数を必要とするので，補正のチェックはＡＵＴＯＪＯＢプログラムの起動時の１時間30分前から１時間のデータ件数となる．従って，定時観測の処理ができるデータは，時刻補正のチェックが済んだ時間のデータ，すなわちＡＵＴＯＪＯＢプログラムの起動がかかった正時の２時間の前後10分間の合計20分間のデータとなる．このようなことから，（１）のところで述べたディスクに常に３時間分のデータを記憶する必要がある．

	データ（ＴＩＭＥファイル）						
KEY値	年	月	日	時	分	秒	件数
0	83	10	26	03	00	58	200
1	83	10	26	03	01	58	200
⋮				⋮			
83	83	10	26	04	23	59	200
84	83	10	26	01	24	54	200
85	83	10	26	04	25	00	200
⋮				⋮			
178	83	10	26	02	58	56	200
179	83	10	26	02	59	57	200

図　12　時刻の誤差が生じたファイル

Fig. 12　An example of file with time error.

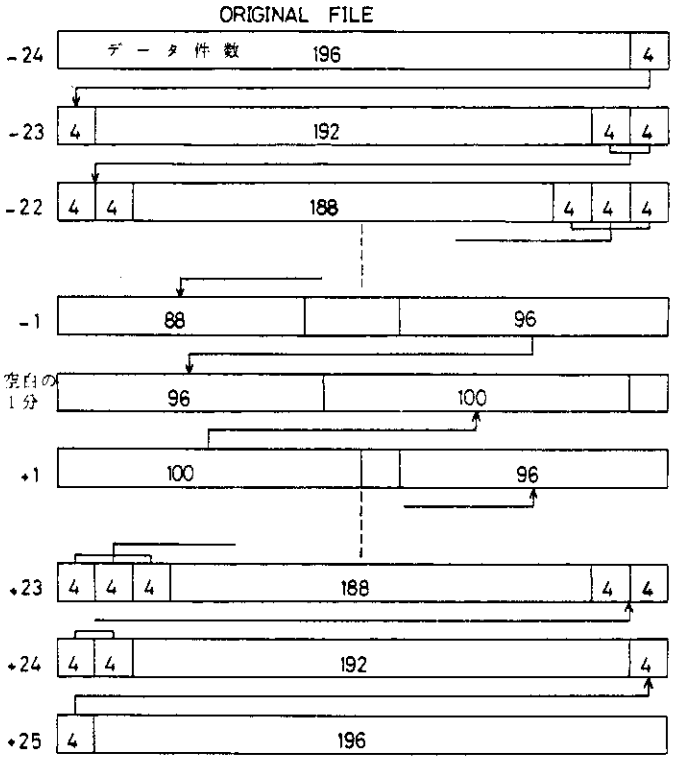


図　13　空白の１分間の補正

Fig. 13　Correction for time error.

KEY値	データ（ＴＩＭＥファイル）						
	年	月	日	時	分	秒	件数
0	83	10	26	03	00	58	200
1	83	10	26	03	01	58	200
⋮							
59	83	10	26	03	59	58	200
60	83	10	26	04	00	59	196
61	83	10	26	04	01	59	196
⋮							
83	83	10	26	04	23	59	196
84	83	10	26	04	24	99	196
85	83	10	26	04	25	00	196
⋮							
108	83	10	26	04	48	00	196
109	83	10	26	04	49	00	196
110	83	10	26	04	50	01	200
⋮							
178	83	10	26	02	58	56	200
179	83	10	26	02	59	56	200

50分間

図　14　時刻補正されたＴＩＭＥファイル

Fig. 14　An example of the corrected "TIME" file.

(3) データ選り抜き処理（ＲＯＵＴＩＮＥ）

前述したように，データは1分間の単位で3時間分のものがＯＲＩＧＩＮＡＬファイルとＴＩＭＥファイルに記憶される．プログラムＲＯＵＴＩＮＥは，これらのデータから必要なものを選り抜き，ＴＥＭＰＦＬファイル（図16）とＴＬＦＩＬＥファイル（図17）として磁気ディスクに書き込むプログラムである．具体的に次のようになる．

これらのファイルは磁気ディスク上に直接ファイルとして，すなわち0～840までのアドレス番号を指定することによって自由に読むことや書くことができるファイルである．ファイルのインデックスとしてアドレス番号0を使用している．インデックスの内容は観測時刻（年月日時分）とモードで，各々12バイトで表現される．このモードは磁気ディスクに送られて来たレコードのアドレス番号の索引に用いられるもので，書き換えを行うレコードを「2」とし，それ以外を「1」とセットする．レコード書込み終了後は，次のレコードを「2」とし，それ以外を「1」とする．これにより書込みを行うレコードを容易に探し出すことができる．上述したＲＯＵＴＩＮＥプログラムのフローチャートは図15に示した．

(4) ＴＥＭＰＦＬファイル，ＴＬＦＩＬＥファイル及びＴＬＦＬ２ファイル

ＴＥＭＰＦＬファイルは1分毎の水温，風向風速等のデータ（16件）を，1時間分を1レコードとして記憶するファイルで，その形式は図16に示した．この図で，水温1～8は1分毎の瞬間値であるが，それ以外は全て1分間の平均値とした．1レコードの大きさは16ビット長で，1010ワードの大きさとなる．

ＴＬＦＩＬＥファイルは主に毎正時をはさむ20分間の波浪の波高データ（4000個）を記憶するファイルで，レコード形式は図17に示した．波高データ以外に，正時をはさむ10分間の平均とする風向・風速と，正時の1分間の平均値とする流速・潮位等がある．1レコードの大きさは4020ワードである．

ＴＬＦＬ２ファイルは，ＴＬＦＩＬＥファイルの波高の生データを処理して得られた波浪統計及びパワー・スペクトルの結果を記録するファイルで，その形式は図18に示した．このファイルに入るデータは計算結果であるので，32ビットを1ワードとした．1レコードの大きさは32ビット長で150ワードの大きさとなった．

以上述べた三つのファイルはそれぞれ840レコード，すなわち35日分(約1ケ月分)のデータ量を記憶できる大きさをもつ．従って，これらのファイルは1ケ月毎に磁気テープにセーブされ保管される．

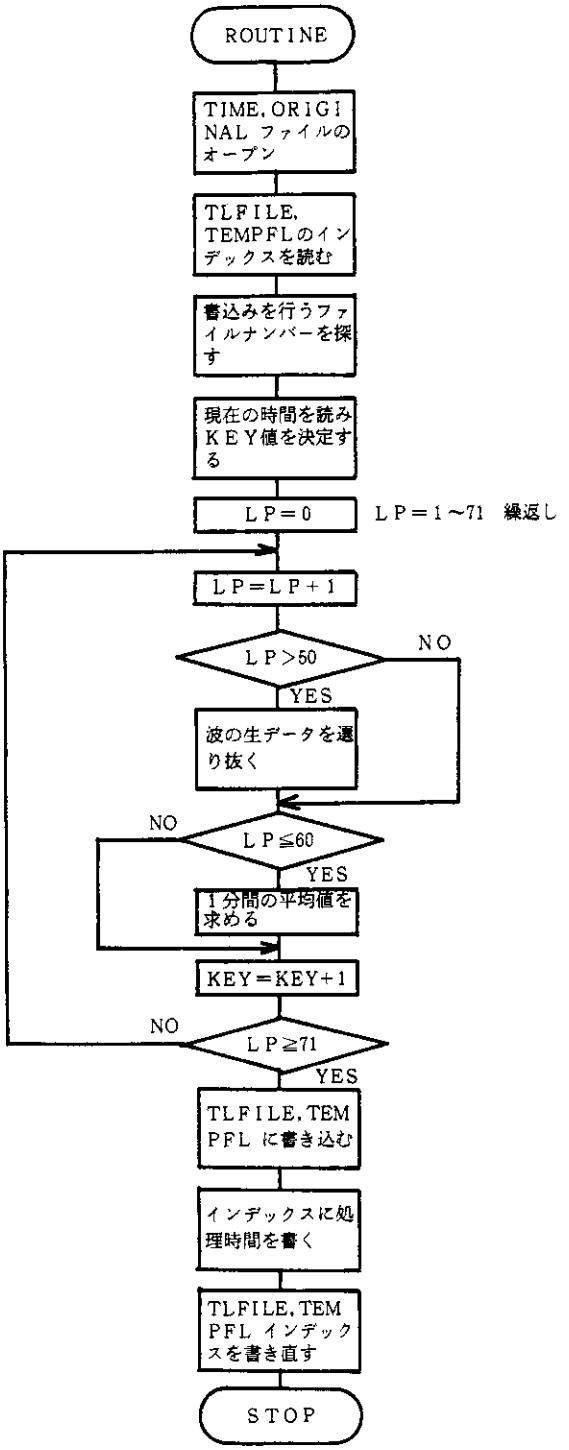


図　15　データ選り抜き処理プログラム（ＲＯＵＴＩＮＥ）の流れ図

Fig. 15　Flow chart of "ROUTINE" program.

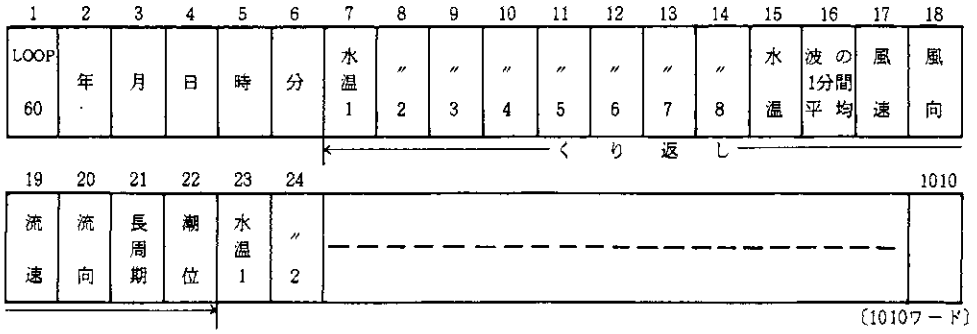


図　16　ＴＥＭＰＦＬファイルの形成

Fig. 16　Format diagram of "TEMPFL" file.

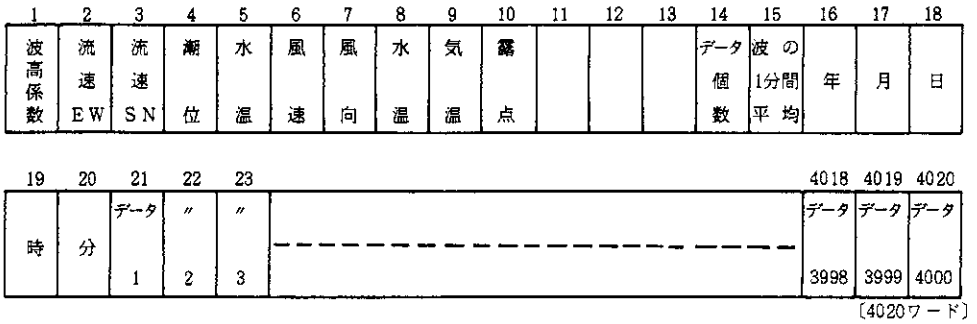


図　17　ＴＬＦＩＬＥファイルの形成

Fig. 17　Format diagram of "TLFILE" file.

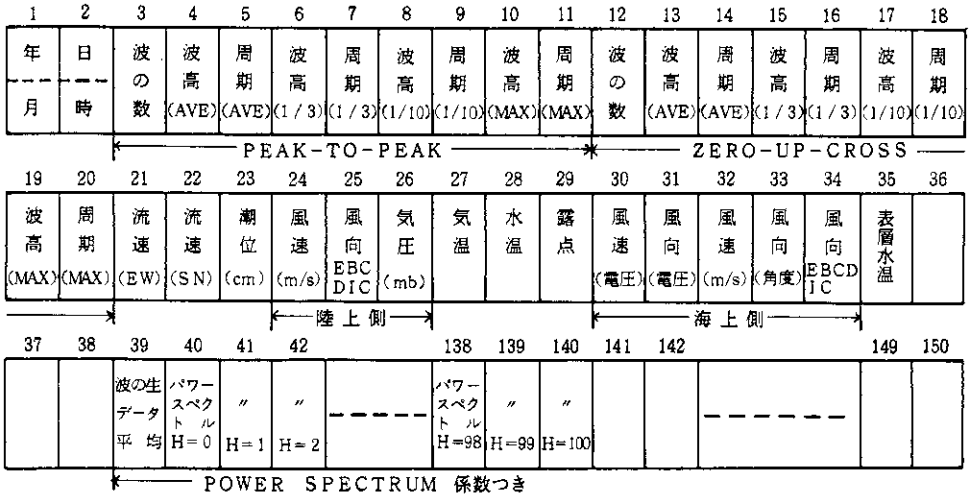


図　18　ＴＬＦＬ２ファイルの形成

Fig. 18　Format diagram of "TLFL2" file.

5. 波高解析

前章で説明したように，ＡＵＴＯＪＯＢプログラムの起動がかかり，プログラムＲＯＵＴＩＮＥによってデータの選り抜きが行われるとともに，プログラムＤＣ１ＨＣＮＶによって波高解析が実行され，波浪統計とパワー・スペクトルが計算される．その結果はＴＬＦＬ２ファイルに記憶される．波浪統計は有義波法で，パワー・スペクトルはパワー・スペクトル法で，次に示すように計算される．

(1) 有義波法

この方法はよく知られているように，水面の高まりを個々波と見なし，個々波の統計的特性で波浪の場を表わすものである．波高の生データから個々波を読み取る方法は，ＰＥＡＫ－ＴＯ－ＰＥＡＫ法とＺＥＲＯ－ＵＰ－ＣＲＯＳＳ法を採用した．前者は図19から分るようにピークからピークまでの時間を個々波の周期とし，その間の最大と最小の水面の高さの差を個々波の波高とした．後者は図20から分るように平均水面を横切る点間の時間を個々波の周期とし，個々波の波高は前者と同様に定義される．このようにして得られた個々波（Ｎ個）を波高の高い順に並び換えて，次式で最大波高波（H_{MAX}，T_{MAX}），１／３波高波 ― 有義波（$H_{1/3}$，$T_{1/3}$）及び１／10波高波（$H_{1/10}$，$T_{1/10}$）が計算される．

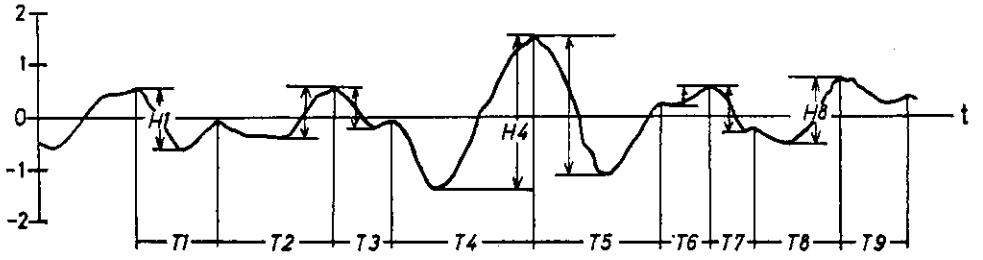


図　19　ＰＥＡＫ－ＴＯ－ＰＥＡＫ法

Fig. 19　Peak-to-peak method.

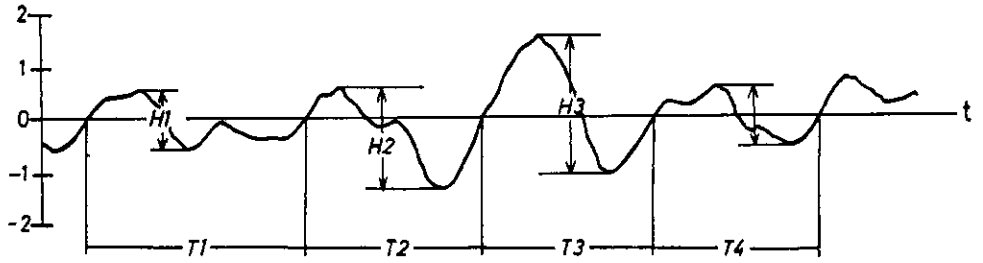


図　20　ＺＥＲＯ－ＵＰ－ＣＲＯＳＳ法

Fig. 20　Zero-up-cross method.

$$(H_1,\ T_1),\ (H_2,\ T_2),\ \cdots\cdots,\ (H_N,\ T_N) \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} &H_{MAX}=H_1,\ T_{MAX}=T_1 \\ &H_{1/3}=\frac{3}{N}\sum_{i=1}^{N/3}H_i,\quad T_{1/3}=\frac{3}{N}\sum_{i=1}^{N/3}T_i \\ &H_{1/10}=\frac{10}{N}\sum_{i=1}^{N/10}H_i,\quad T_{1/10}=\frac{10}{N}\sum_{i=1}^{N/10}T_i \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

上述したことから分るように，ＰＥＡＫ―ＴＯ―ＰＥＡＫ法は比較的に小さい波をよく表わし，一方ＺＥＲＯ―ＵＰ―ＣＲＯＳＳ法は大きい波をよく表わすと言える．

(2) パワー・スペクトル法

これは有義波法と異なって，水面の高まりを多くの成分波の重ね合せと仮定して解析するものである．すなわち水面を0.3秒の間隔（個数Ｎ個）で次のように表わす．

$$\left.\begin{aligned} &\eta\ (j\Delta t)=\sum_{i=0}^{N/2}\left(A_i\cos\frac{2\pi}{N}ij+B_i\sin\frac{2\pi}{N}ij\right) \\ &\frac{2\pi}{N}ij=2\pi\left(\frac{i}{N\Delta t}\right)(j\Delta t)=2\pi f_i t_j \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

水面が式（３）で表わされる時，一方スペクトル密度ϕ'は次式で定義される．

$$\phi'(f_i)=\frac{2}{\Delta f}(A_i^2+B_i^2),\quad \Delta f=\frac{1}{2(N/2)\Delta t}$$

一次スペクトル分布ϕ'を平滑化することによって統計的に意味のあるスペクトル密度分布を得る．よってこの方法は波浪の場をパワー・スペクトル密度で表わすものと言える．パワー・スペクトル密度を計算する方法は，ＦＦＴ法と相関法（ＢＴ法）がある．ここでは相関法を用い，次の条件で計算を行った．読み取り間隔Δt＝0.3秒，データ個数Ｎ＝4000個（20分間のデータ），ラグ数100（30秒）である．

前章で述べたように，解析結果はＴＬＦＬ２ファイルに記憶され，１ケ月毎に磁気テープにセーブされる．これらを用いて，図21に示されるように，定時観測の成果として印字及び図示される．それらの内容はそれぞれ表１～表４，そして図22～図26に示した．

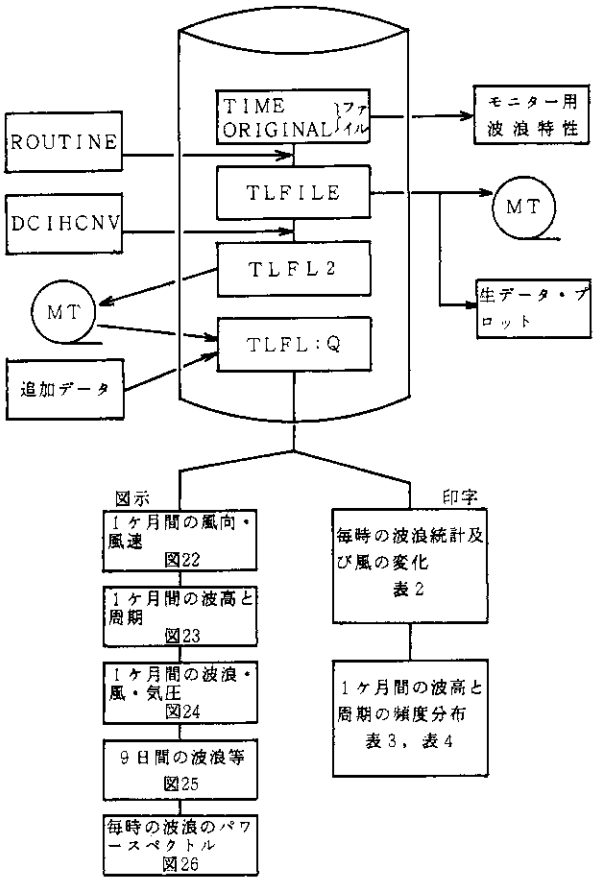


図　21　定時観測の成果の流れ図

Fig. 21　Flow chart for output of wave observation results.

表　1　定時観測の成果

Table 1　List of wave observation results.

No.	項　　目	出 力 内 容	図表番号
1	毎時の波浪統計及び風の変化	1日単位，随時	表 2
2	1カ月間の最大波高とその周期の頻度分布	1カ月単位，毎月	表 3
3	1カ月間の有義波高とその周期の頻度分布	〃　，〃	表 4
4	1カ月間の風向風速の頻度分布（観測塔）	〃　，〃	図 22
5	1カ月間の有義波高とその周期の頻度分布	〃　，〃	図 23
6	毎時の波浪統計及び風の変化	〃　，〃	図 24
7	9日間の波浪，風，気圧，潮位変化	〃　，〃	図 25
8	毎時の波浪のパワー・スペクトル	1日単位，随時	図 26

表　2　毎時の波浪統計及び風の変化

Table 2　Variations of significant wave height, direction and speed of wind, atmospheric pressure.

1983 11 27

	WAVE		＊＊ZERO-UP-CROSS＊＊				WIND(LAND)			WIND(TOWER)	
HOUR	NUM	H T (AVE)	H T (1/3)	H T (1/10)	H T (MAX)	TIDE	VEL	DIR	PRES	VEL	DIR
0	208	48.3 5.7	74.6 6.9	88.3 7.2	107.4 5.4	143.0	2	NE	1012	4.9	NNE
1	208	45.7 5.7	68.6 7.1	83.7 7.0	102.5 8.7	119.7	1	NE	1013	3.7	NNE
2	196	41.9 6.1	63.4 7.2	74.9 7.2	82.4 6.3	103.0	0	—	1013	2.3	N
3	210	37.7 5.7	59.9 7.2	73.3 7.3	95.8 6.9	91.9	2	NE	1014	4.0	NE
4	206	35.1 5.8	57.5 7.2	71.9 7.3	89.1 6.0	90.3	2	NE	1015	4.2	NNE
5	243	30.8 4.9	48.5 6.5	60.4 6.8	77.5 7.5	100.9	3	NE	1016	5.3	NE
6	230	34.8 5.2	55.2 6.6	66.6 6.6	81.8 5.4	118.9	2	NE	1017	5.2	NNE
7	261	27.7 4.6	46.8 6.4	58.3 6.5	83.6 6.3	143.7	2	NNE	1018	4.3	N
8	269	25.4 4.4	43.5 6.7	54.6 7.0	68.4 7.5	166.0	3	NE	1019	5.7	NNE
9	284	24.2 4.2	40.7 6.3	53.1 6.6	69.6 6.6	185.5	3	NNE	1020	6.1	NNE
10	266	24.3 4.5	41.5 6.6	52.7 7.0	67.7 6.9	198.1	3	NE	1020	3.7	NNE
11	225	26.4 5.3	42.2 7.0	52.4 7.6	70.8 7.5	202.8	2	E	1020	1.5	E
12	239	26.5 5.0	45.4 6.9	59.1 6.8	81.2 7.8	199.7	3	S	1020	3.9	S
13	271	27.0 4.4	47.1 6.6	60.4 6.7	86.1 6.3	196.3	4	SSW	1020	4.4	S
14	303	32.5 3.9	53.3 6.1	67.4 6.8	83.6 6.0	191.0	5	SSW	1020	4.8	SSE
15	308	31.9 3.9	51.5 5.8	65.0 6.7	72.0 7.2	184.3	5	SSW	1020	4.7	SSE
16	306	31.6 3.9	49.5 5.7	62.7 6.5	80.6 9.9	181.2	5	SSW	1020	4.3	S
17	343	29.9 3.5	48.4 5.1	62.6 6.0	78.7 3.0	180.2	5	SSW	1020	4.8	S
18	331	26.1 3.6	41.5 5.4	52.5 6.6	69.0 7.2	182.0	3	WNW	1021	3.8	SW
19	312	25.1 3.8	40.4 5.4	51.8 6.5	68.4 8.1	183.4	4	NNW	1022	5.7	NNW
20	286	23.0 4.2	38.2 6.3	46.3 6.7	70.2 7.8	186.0	2	NNE	1022	6.0	N
21	255	22.8 4.7	37.4 6.7	47.2 7.0	56.8 6.6	186.9	2	NNE	1022	3.1	NNE
22	272	21.4 4.4	36.4 6.7	44.3 7.2	53.1 7.2	183.7	3	NNE	1022	3.5	N
23	241	24.2 5.0	39.8 7.0	50.7 7.5	66.5 7.5	177.7	2	NNE	1022	3.0	NW

1983 11 28

	WAVE		＊＊ZERO-UP-CROSS＊＊				WIND(LAND)			WIND(TOWER)	
HOUR	NUM	H T (AVE)	H T (1/3)	H T (1/10)	H T (MAX)	TIDE	VEL	DIR	PRES	VEL	DIR
0	216	30.8 5.5	50.0 7.4	64.0 7.3	87.3 7.8	163.5	4	NNE	1022	4.9	N
1	236	28.9 5.1	49.0 7.5	63.9 7.2	87.9 6.9	144.6	4	NNE	1022	5.9	N
2	221	30.4 5.4	52.2 7.5	64.6 7.4	90.3 7.2	128.0	3	NNE	1023	6.1	NNE
3	230	28.0 5.2	46.8 7.0	60.1 7.4	75.7 7.2	112.6	4	NE	1023	6.9	N
4	222	23.3 5.3	39.4 7.4	50.5 7.6	64.7 8.1	100.4	3	NNE	1023	6.0	N
5	232	21.3 5.1	36.4 7.5	45.9 7.4	56.8 8.4	98.8	3	NNE	1024	6.4	N
6	227	21.3 5.2	34.0 7.4	41.9 7.6	48.2 6.6	106.4	3	NNE	1025	6.1	N
7	308	19.9 3.9	32.9 6.3	42.8 6.9	54.3 7.2	120.0	4	NE	1026	8.7	NNE
8	342	16.8 3.5	28.7 5.8	39.3 7.3	56.2 7.2	140.0	5	NNE	1028	7.5	N
9	372	14.5 3.2	23.6 5.2	30.9 6.4	51.9 6.3	159.3	4	NNE	1029	6.2	N
10	479	17.6 2.5	26.8 3.5	33.5 4.7	53.7 8.7	180.9	7	NE	1029	10.5	NNE
11	471	15.8 2.5	24.1 3.5	31.1 4.8	45.2 7.5	192.2	6	NE	1029	8.5	NNE
12	431	14.6 2.8	23.0 4.4	30.5 5.9	46.4 7.5	197.4	5	NE	1028	8.1	NE
13	414	13.9 2.9	22.7 4.7	29.4 6.2	40.3 8.1	197.2	5	ENE	1028	5.8	NE
14	346	13.8 3.4	23.0 5.7	30.2 6.9	42.1 6.6	188.9	4	ENE	1028	3.9	NE
15	299	15.1 4.0	26.5 6.4	33.9 7.1	42.1 7.8	180.9	2	E	1029	3.9	NE
16	258	17.1 4.6	28.3 6.5	36.6 6.9	56.2 8.1	169.4	1	NE	1029	3.2	NE
17	303	15.7 3.9	27.1 6.4	35.3 7.1	46.4 7.5	159.8	2	ENE	1030	4.2	NE
18	309	13.7 3.9	24.2 6.3	30.5 6.7	42.1 6.6	154.0	0	—	1032	3.7	N
19	289	14.1 4.1	24.1 6.1	31.4 6.4	40.3 6.0	150.8	2	NNE	1032	4.6	N
20	303	13.8 4.0	23.9 5.9	30.8 6.1	43.9 6.3	152.0	3	N	1033	5.2	N
21	305	13.4 3.9	22.8 6.2	28.7 6.5	37.2 6.6	159.8	2	NE	1033	5.0	N
22	320	13.9 3.7	24.0 6.1	31.1 6.6	38.5 6.6	165.0	2	NE	1033	5.1	N
23	326	12.6 3.7	22.4 6.0	29.9 6.3	42.7 6.3	167.6	3	NNE	1033	3.8	N

表　3　1カ月間の最大波高

Table 3　Distribution of monthly frequencies of maximum wave height and period of maximum wave.

1983 11　　*SIGNIFICANT WAVE*

WAVE HEIGHT(CM)	PERIOD (SEC) 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	TOTAL NUMBER	PER CENT
0 — 30	5	8	23	46	61	26	8	3							180	25.2
30 — 60		18	6	19	55	90	88	27	12	1					316	44.3
60 — 90		1	5	7	18	31	30	19	10	12	4				135	18.9
90 — 120			8	10	5	3	1	6		3	1				37	5.2
120 — 150			3	15	10	2	1	4							36	5.0
150 — 180				5	2	1									8	1.1
180 — 210				1											1	.1
210 — 240															0	.0
240 — 270															0	.0
270 — 300															0	.0
300 — 330															0	.0
330 — 360															0	.0
360 — 390															0	.0
390 — 420															0	.0
420 —															0	.0
TOTAL NUMBER	5	27	46	103	149	153	128	59	22	16	5	0	0	0		
PERCENT	7	3.8	6.5	14.4	20.9	21.5	18.0	8.3	3.1	2.2	.7	.0	.0	.0		

表　4　1カ月間の有義波高と周期の頻度分布

Table 4　Distribution of monthly frequencies of significant wave height and period of significant wave.

1983 11　　*MAXIMUM WAVE*

WAVE HEIGHT(CM)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	TOTAL NUMBER	PER CENT
0 — 30		1	3	2	4	5	8	5	2	3					33	4.6
30 — 60	4	4	4	32	41	39	31	8	12	10	4	1	1		191	26.8
60 — 90	3	3	9	14	28	42	55	25	11	21	3	2			216	30.3
90 — 120	3	5	3	9	14	15	26	19	5	11	7	6	4	1	128	18.0
120 — 150			2	5	10	9	11	7	2	5	10	5			66	9.3
150 — 180			5	9	2	3	2	1	1	4				1	28	3.9
180 — 210			4	8	2	2	5								21	2.9
210 — 240				6		1	1								8	1.1
240 — 270			2	4	3	3	3	1							16	2.2
270 — 300				1			1	1							3	.4
300 — 330			1	1	1										3	.4
330 — 360															0	.0
360 — 390															0	.0
390 — 420															0	.0
420 —															0	.0
TOTAL NUMBER	10	13	33	91	105	119	143	67	33	54	24	14	5	2	713	
PERCENT	1.4	1.8	4.6	12.8	14.7	16.7	20.1	9.4	4.6	7.6	3.4	2.0	.7	.3		

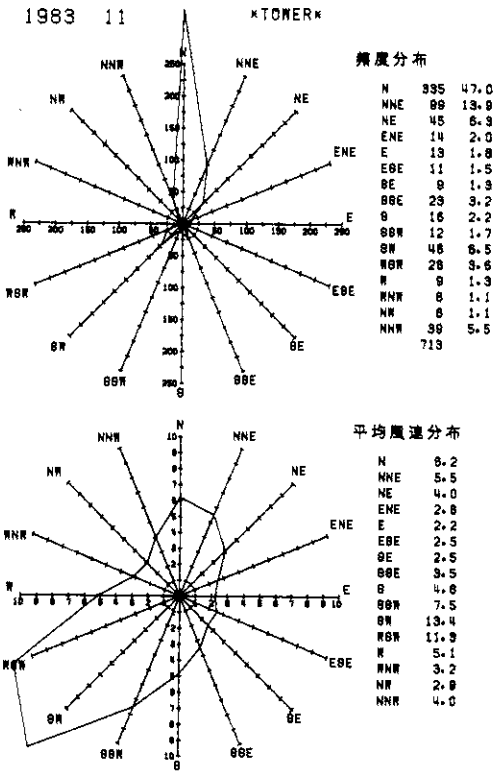


図　22　1カ月間の風向風速の頻度分布

Fig. 22　Distribution of monthly frequencies of direction and speed of wind.

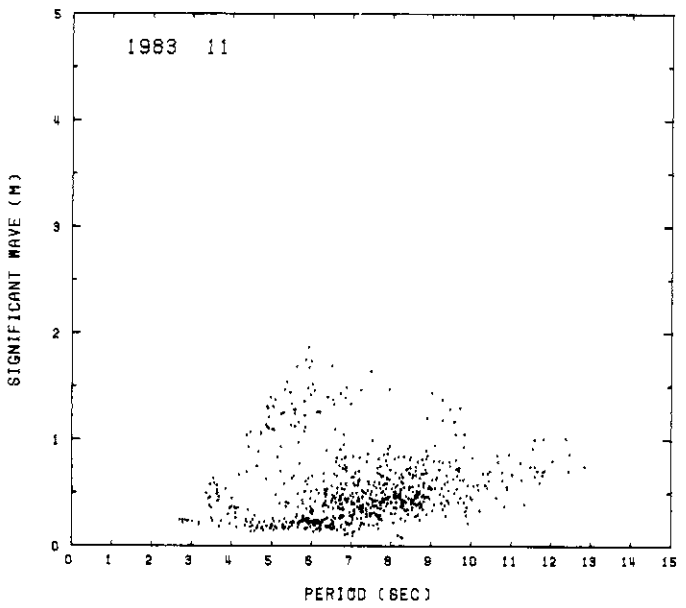


図　23　1カ月間の有義波高と周期の頻度分布

Fig. 23　Distribution of monthly frequencies of significant wave height height and period of significant wave.

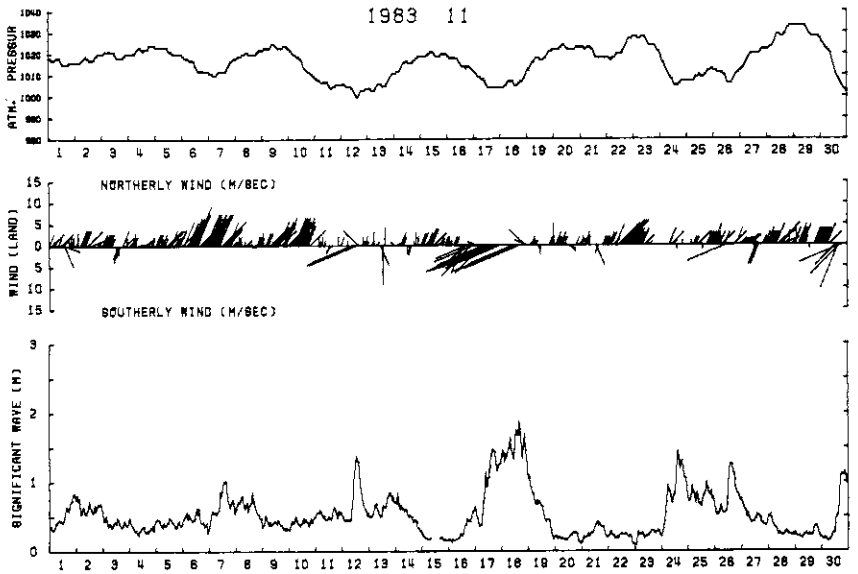


図　24　毎時の波浪，風，気圧の変化

Fig. 24　Variation of significant wave height, direction and speed of wind, atmospheric pressure.

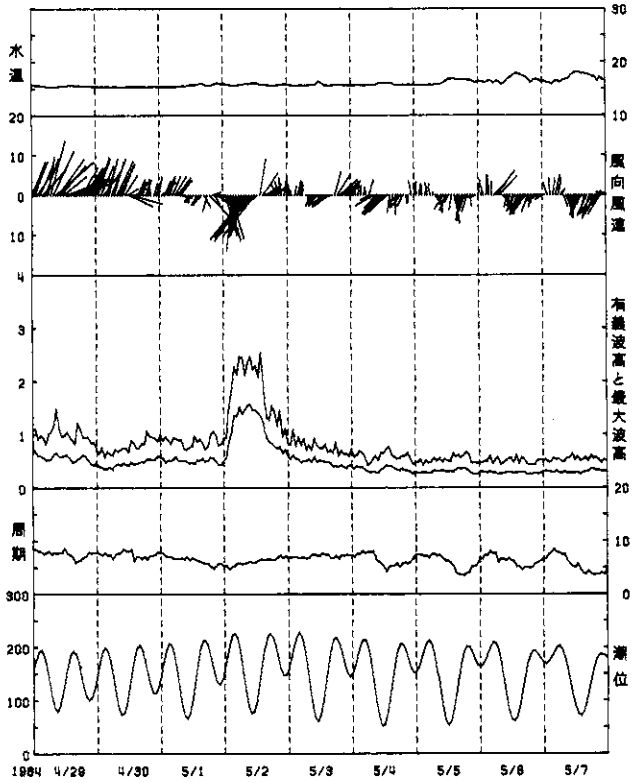


図　25
9日間の波浪，風，水温，潮位の変化

Fig. 25
Changes of atmospheric pressure, direction and velocity of wind, maximum and significant wave height and period of significant wave.

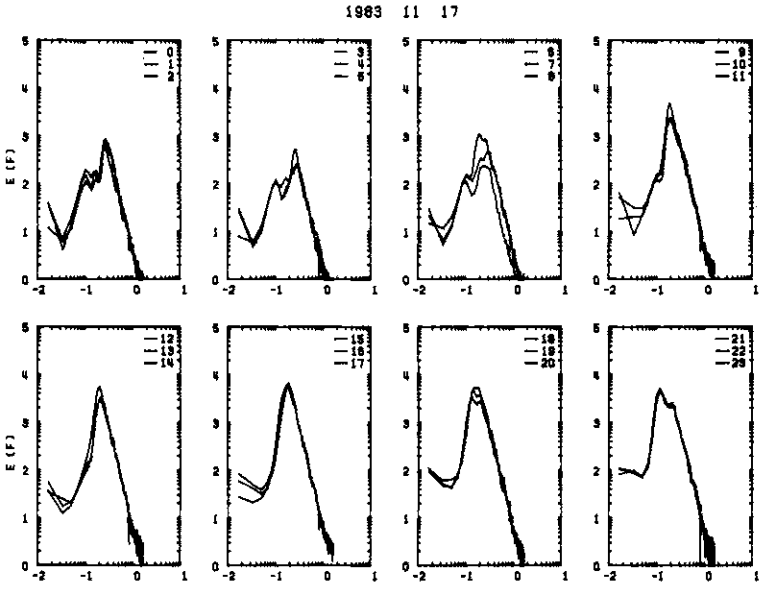


図　26　毎時の波浪のパワー・スペクトル
横軸（周波数Hz）と縦軸（スペクトル密度cm^2・s）
の数字は10のベキ数を表わす．

Fig. 26　Distribution of power spectrum of wind waves.

6. まとめ

本論文で議論した定時観測システムは次の特徴をもつ．第一に波高計として定量型波高計を使用していること．第二に設置場所が平塚沖1kmにある観測塔であり，データは有線のテレメータで陸上施設に伝送されていること．第三に観測及びデータ解析の同時処理が中型の汎用電子計算機で行われていることである．計算機として中型の汎用計算機を導入したのは，定時観測のジョブのほかに，同時に他の一般的な計算処理を行うためである．現在のシステムが確立したのは，およそ5年前である．それ以来今日まで観測を実行しながら，さらにシステムの向上に努めてきた．これらの成果は，平塚沖波浪観測資料（（1）1979年，（2）1980年，（3）1981年）として刊行した．今後の課題として，

（1）データの欠測はできるだけ少くすること．使用している容量型波高計は精度が高く，広いダイナミックレンジを有するが，センサが破損しやすい．このために超音波式波高計を導入する必要がある．

（2）データ伝送に用いている遠方制御装置は波高，水温等のデータ伝送で，すでにあまり余裕がない．今後波浪の方向スペクトルを定時観測するためには，さらに相異なる2点以上の波高データの伝送をしなければならない．このために，多チャンネルの高速データ伝送が

できる装置を必要とする．

（3）定時観測の成果はひと月単位で処理されている．季節変化や年変化の特性を比較的容易に調べるために，1年間のデータを記録できる磁気ディスク（ファイル）を必要とする．

7. 謝　辞

本研究のデータ処理システムの作製にあたって，三菱電機株式会社電子システム部　香本靖氏に御協力を頂き，また論文の図等の作成にあって，相模工業大学情報工学科学生の堀江賢次氏と佐藤浩氏にお世話を頂きました．ここにあわせて深く謝意を表します．

参　考　文　献

1）広瀬宗一・佐々木弘・高橋智晴（1981）：波浪観測データの集中処理システムについて．港湾技術資料，No.400，3－54．
2）気象庁（1978）：気象庁波浪観測資料．第1号，1－63．
3）松村正三・大久保　正・勝山ヨシ子・浜田和郎（1979）：計算機による地殻活動観測データ処理システム．国立防災科学技術センター研究速報，第35号，1－18．
4）徳田正幸（1983）：三本の波高計センサによる波浪の方向特性の算出法Ⅱ．観測塔で観測されたうねりの方向特性．国立防災科学技術センター研究報告，第30号，167－187．
5）渡部　勲・藤縄幸雄（1979）：平塚沖波浪観測資料（1）．防災科学技術研究資料，第38号，1－107．
6）渡部　勲・徳田正幸（1980）：平塚沖波浪観測資料（2）．防災科学技術研究資料，第47号，1－179．
7）渡部　勲・徳田正幸（1981）：平塚沖波浪観測資料（3）．防災科学技術研究資料，第59号，1－127．

（1984年7月4日　原稿受理）