

波浪観測データの集中処理方式について

高橋 智晴*・鈴木 禧実*・副島 毅*・中井 徹也*

1. はしがき

わが国の港湾における沿岸波浪の定常観測は、昭和 28 年小名浜港での水圧式波高計による定常観測の成功に始まり、約 100 か所で波浪観測が実施されている。

一方、波浪観測を定常業務化する観測地点がふえるにしたがい、取得された観測データは所定の方式で整理され、調査目的に応じて活用されているが、港湾関係の機関で取得されたデータにおいてもその取扱いは一定しておらず、統一的技術基準による観測の実施、観測データの処理解析の必要性が望まれ、港湾技術研究所においては昭和 40 年以来現地観測記録の読み取り作業および解析処理をデジタル記録により機械化する方法について研究してきた^{1),2),3)}。

本報告においては、現地波浪デジタルデータ取得方式、ならびにそれに基づく波浪観測データの集中処理方式について述べるとともに、デジタルデータ処理方式による観測精度について概説する。

またこのデータ取得処理方式が、運輸省港湾局において策定された“波浪に関する拠点観測”(昭和 43 年 10 月策定、昭和 45 年度より実施中)にいかに関与しているかを示す。

2. 波浪データ集中処理方式

(1) デジタルデータ処理システム

波浪データの処理方法には種々の方法があるが、アナログ記録をもとに手作業により記録を処理解析しようとする場合には、記録読み取り時に個人誤差が介入し同じ記録を同一の方法で読み取っても同じ結果が得られるとは限らず、また読み取り後の演算処理の段階では演算の誤差も介入する。したがってデータ処理の解析的手法のみを規定しても同じ技術レベルの結果が得られるとは限らない。

これらの誤差の介入を排除し従来手計算に頼っていた作業をすべて機械化し、高速電子計算機を用いてデータ処理作業の能率を向上し、多くの観測データを統一的技術水準で集中的に処理する場合には、取得データをデジタル化するのが望ましいと考えられる。

高速デジタル計算機へのデータ入力方法として、カ

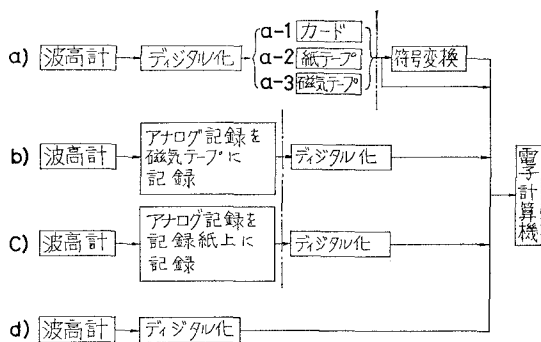


図1 デジタルデータ処理系の例

ード、紙テープ、磁気テープによる3通りの方法を考慮すれば、波浪観測記録をデジタル化して電子計算機で処理する場合には図1のようなデータ処理系が考えられる。

ここで通常実施されている現地波浪観測装置は、海の近くの観測所で自動制御により継続的に測得されるものであること、現地での保守が比較的簡単で故障が少なく、かつ安定性のあること、安価なことが望まれ、また個々の波の周期としては一般に3秒程度以上の波が対象となることを考えあわせると図1のa)のa-1、a-3のごとく現地波高計の電氣的出力をデジタル化してカードまたは磁気テープに収録する方法は高価であり、保守も容易でなく適当でない。b)はデジタル化の段階でa-3と同程度に高価なものとなるが、デジタル化の作業をデータセンターの性格をもつ部所で統一して行なえば割合に経済性が高くなると考えられる。しかしながら現地での保守は容易ではない。c)は現在の観測方法を考慮した場合実現可能であるが、デジタル化作業を高効率で行なう方法は現在の技術には見あたらない。結局、現在の開発技術を活用して現地波浪記録を比較的容易にしかも安価にデジタル化できる方法としてはd)-2であると考えた。波浪データのon-line処理を行なう場合にはd)の方式も考えられるが、このシステムの開発当初においては現在実用化されているミニコンピュータ等が開発されておらず、データ処理方式としてはoff-line方式を中心に検討した(on-line方式については後述する)。

このように波高計記録をデジタル化して処理するこ

* 正会員 運輸省港湾技術研究所

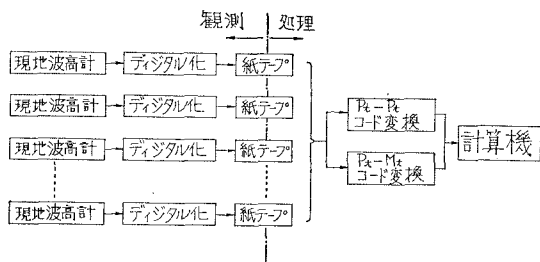


図-2 デジタルデータによる集中処理システム説明図

とを考える場合、単に一観測点における観測記録を対象としていたのでは初期の目的を満足する結果も得られず、また不経済であるので図-2のような集中処理方式の実用化研究を促進し、実用的段階に達した。すなわち、現用の現地波高計にデジタル記録装置を附加し、紙テープ上に特殊コードのデジタル記録を収録し、当所で開発したコード変換器により既設電子計算機の符号になおし、計算機への入力データとする方式である。

沿岸波浪の定常観測は2時間ごとに20分間の観測が一般的であり、この20分間の記録から有義波の諸元を求めることがデータ処理の中心の作業となっているが、近年波浪データの処理法としてスペクトル解析をする例も増加している。したがって沿岸波浪の汎用的デジタル記録としては20分間の連続波形記録が必要であり、有義波の計算に際しては量子化時間間隔を十分小さくとる必要がある。われわれはデジタルデータ取得方式の開発にあたり量子化時間間隔、 Δt を0.2 secおよび0.5 secとし、現地紙テープは8単位標準品を使用し、コードはパリティビット無しの純2進8桁コードを採用した。したがって測定入力信号は紙テープ1キャラクターに0~250の数値として記録される。251~255に相当する符号は、データ区間切符号等特殊コードとして識別される。 $\Delta t=0.2$ secの場合20分間のデータは約6000キャラクターのデータ列となり、通常の紙テープ1巻は105000キャラクター程度であるので、上記の特殊コードを用いても1日半に1回の割合で紙テープを交換する必要がある。現地データをパリティ付の2進10進数で表わし電子計算機で直接読み取れるようにデジタル化することも可能であるが、桁数が増えるため現地での紙テープもそれに比例して増加することと、電子計算機に直接紙テープデータを入力することは能率上得策ではない等の理由により、コード変換器により磁気テープ上に再録して計算機の入力とする方式とした。

(2) 集中処理方式使用する機器の概要

a) デジタル記録装置

現地波高計の測定出力をデジタル記録するものである。試作1号機は昭和41年度鹿島港に設置したもので、モニター用アナログ記録計の記録ペンの変位量を1 kΩ

のスライド抵抗を伸介して電圧の変化に変換してデジタル記録計の入力とした。A-D変換はサーボ式で入出力応答速度はフルスケールに対して1.0秒以内であり記録紙の有効幅150 mmが250ディビットになるように設定した。データ量子化時間間隔は0.2秒、0.5秒の2段切換とした。

アナログ記録計のペンの変位、あるいはサーボモータの回転角と機械的に接続されたポテンションメータの発生電圧をデジタル記録計の出力とする場合にはアナログ記録計の故障により、デジタル記録計も欠測となるため、昭和42年に波高計の測定信号(アナログ記録計への測定入力)を直接入力とする方式を開発するとともに、A-D変換方式を電子式に改良して、出力応答速度がフルスケールに対して0.1秒に改善した。これによって量子化時間間隔をパーフォレータの最高さん孔速度0.05秒/1データまで可能とし、水路実験等への応用も可能となった。主な機能を表-1に示す。

表-1 デジタル記録装置機能、性能表

入	力: 0~1 kΩ, スライド抵抗, ±0.5V, ±1.0V, 電圧入力
記録方式:	8単位紙テープにさん孔
出力コード:	純2進8桁コード
サンプリング周期:	0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0秒
A-D変換方式:	電子式逐次比較形
読取値:	±0.001秒以内の瞬時値
変換値:	フルスケール250分割
分割精度:	分割単位±50%以上
入出力応答速度:	フルスケール0.1秒以内

b) コード変換器

前述のごとく、この処理方式では現地波高計のデジタル記録はパリティビット無しの純2進8桁のコードで収録されるため、電算機の入力データを得るためには符号変換をしなければならない。

コード変換器の1号機としては、デジタルデータの解析精度その他デジタルデータ取扱い上の問題を検討するために紙テープ紙テープコード変換器を試作した。データの解析精度の検討用としては十分の性能をもっていたが、データ変換速度が遅く(0.2 sec/1データ)データの集中処理実験用には不十分なので、昭和42年に2号機として1号機の6倍の変換速度をもつ紙テープ紙テープコード変換器を試作した。

現用のコード変換器は昭和43年3月に完成した紙テープ磁気テープコード変換器であり、次のような2つの機能をもっている。

計算機入力データの作成; 紙テープ読取装置によって前述の特殊コードを読み込み、符号変換後磁気テープに書き込むと同時にデータ数、データ No. 等の印字を行う。

モニター用アナログ記録の再現; 磁気テープ装置で磁

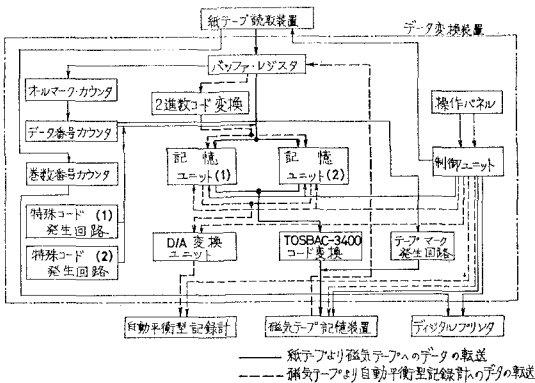


図-3 紙テープ磁気テープ符号変換器ブロックダイアグラム

紙テープ上に書込まれた記録を読み出しアナログ記録計で記録を再生する。

これらの動作は 図-3 に示されている。図中実線は紙テープより磁気テープへのデータ転送、点線は磁気テープよりアナログモニター記録計へのデータ転送経路を示す。各装置の機能を 表-2 に示す。

この変換装置を使用すると、波浪観測標準記録(20分間/2時間)を0.5秒間隔でサンプリングした一測点の紙テープデータ1カ月分(360ケース)を約1時間で変換し磁気テープ上に収録することが可能である。

表-2

1) 紙テープ読取装置	精 度 0.5%
紙テープ読取機	3) 磁気テープ記憶装置
読取方式 光電式	制御方式 シングルキャブ
読取速度 500字/秒	スタン方式
単位数 8単位	記録速度 28.8kc
紙テープ繰出し、巻取機	トラック数7トラック
繰出速度 500字/秒	4) デジタルプリンタ
巻取速度 1500字/秒	桁数 14桁/行
2) データ変換装置	印字速度 5行/秒
記憶ユニット	5) 自動平衡型記録計
記憶容量 128語	レシ多レンジ切換
メモリアルタイム 10μsec	記録紙送り 6~300mm/分
D/A変換ユニット	ペン速度 0.4秒/フルスパン
変換速度 20μsec	精 度 ±0.5%

c) 特殊コードパンチャー

現地で紙テープ上に記録されたデータのミスパンチ、輸送中におけるテープの損傷、紙テープ取扱い中の切断等の場合に修正用のデータを作成したり、現地紙テープデータの複写をするための装置で、つき合わせ方式で読み取り値とさん孔値をチェックする。さん孔する場合には純2進8桁コードをさん孔、8単位の標準コードであればどのような符号でも複写することができる。複写する場合のさん孔速度は850字/分である。

3. デジタル記録のデータ処理精度

デジタル記録を用いて数値演算をした場合のデータ

処理精度は、同じ演算をデジタル化する前のアナログ記録に対して手作業により行なった結果に対する相対誤差の大小であらわされるものとする。もちろん手作業は十分慎重に行ない誤差を最小限にした場合を比較の対象とする。

この処理系で最も頻繁に実施されるデータ処理の一つである有義波法による解析の際にどの程度の演算誤差が生ずるのかについて検討してみた。

今、量子化レベル ΔL が 0.6 mm (フルスケール 150 mm の記録紙上)、量子化時間間隔、 Δt が 0.2 秒とすれば1回の観測時に約 6 000 個のデータ列が測定される、このデータから次の手順で波高、周期を読み取り、読み取られた個々の波について通常の平均波、有義波、1/10 最大波などを求めるものとする。

まず 6 000 個のデータ列の平均値を求める。波高は 図-4 の $\overline{ce}$ および $\overline{hf}$ 、周期は $\overline{ch}$ および $\overline{hn}$ のように読み取る。図中 a, d, g, i, m は平均線を横切る点であるが、 c は $[ad]$ での最高値、 e は $[dg]$ での最低値として求める。したがって $jklm$ というような波は1個の独立した波として求めないわけであり、周期のとり方は ag および gm を周期として求める zero-up-cross 法に近い取り方をしていることになる。

電子計算機で演算する場合には原記録の精度に比較して演算そのものによる誤差は皆無と考えると良い。個々の波の波高および周期の読み取り誤差は波形の振幅、周期の関数となる。種々の周期、振幅の正弦波についてアナログ記録をデジタル記録に変換する場合に誤差が $\pm \Delta L$ 、 $\pm 2 \Delta t$ 以下になる ΔL 、 Δt 振幅、周期の関係は 図-5 のようになる。海の波は不規則であるのでこの図を使用する場合には波高の平均値が ΔL の何倍かを知り、平均周期を知ることにより Δt をどの程度の値に設定すれば良いかを判定することができる。たとえば記録紙上の平均波高が 30 mm、平均の周期が 10 秒の場合、30 mm/0.6 mm=50 であるから、個々の波の波高、周期の読み取り誤差を $\pm \Delta L = \pm 0.6$ mm および $\pm 2 \Delta t$ 以下にするには Δt は 0.32 秒以下にとれば良いことがわかる。実際の読み取り誤差は Δt を極端に大きくとらない限り $+\Delta L$ と $-\Delta L$ の間に入り、周期の読み取り誤差は $+2 \Delta t$ と $-2 \Delta t$ の間に入るの、これらの波の平均量として求められる平均波、有義波、1/10 最大波の波高、周期の量子化による誤差はきわめて小さくなる。現地定常観測において実用上とりうる Δt の最少値 0.2 秒を用いて求めら

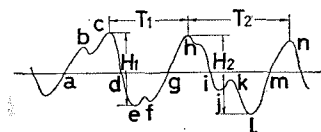
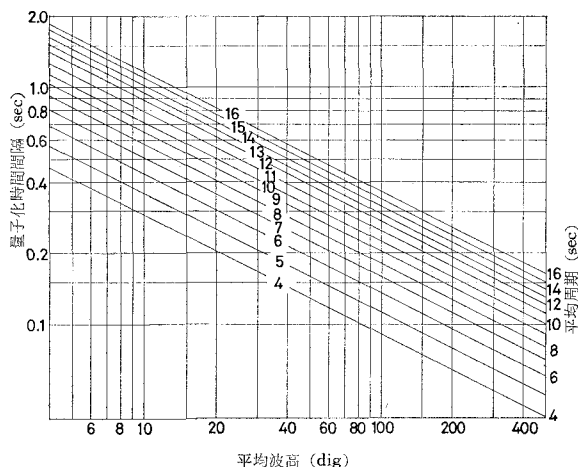
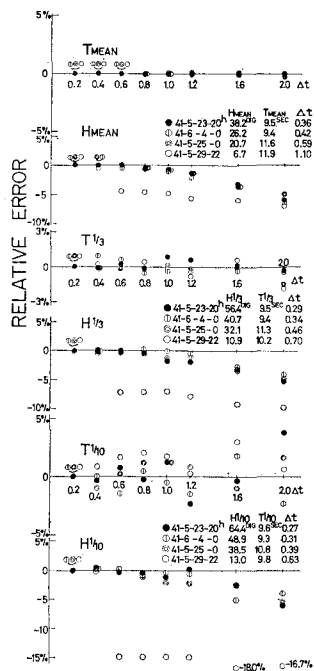


図-4 波形読み取り説明図



図—5 波の平均波高, 平均周期と最大量子時間間隔, Δt の関係



図—6 Δt の大きさによる波浪特性値の算定誤差

れる平均波, 有義波, 1/10 最大波の波高, 周期の演算結果に対して, Δt を大きくして処理した演算結果の相対誤差を求めると図—6 のようになる。この図から, 図—5 で求められる Δt より大きな Δt を用いて計算した場合でも相対誤差はきわめて小さいことがわかる。

一般的傾向としては, 周期の場合も波高の場合も量子化時間間隔が大きくなるにしたがい相対誤差が増大する。相対誤差は平均波, 有義波, 1/10 最大波の順で大きくなる。また波高については振幅が大きいほど相対誤差は小さくなる。これらの点については 図—5 から明らか

かなことである。以上の結果から次のことがいえる。

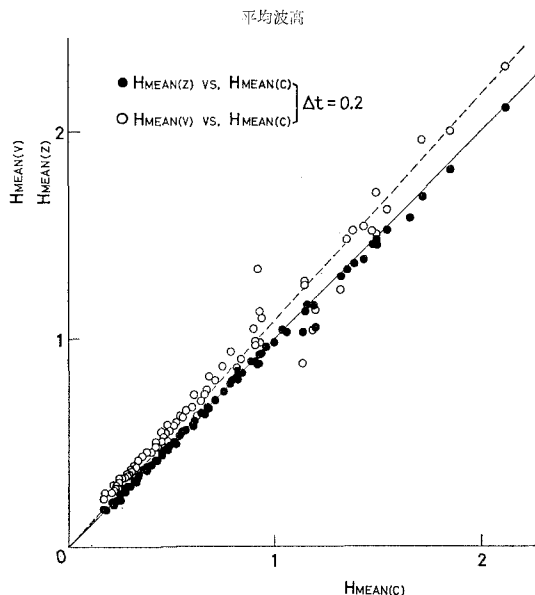
通常の現地波浪観測機器で測定される波の平均周期が 6~20 秒, 記録紙上の平均波高が 10~50 mm (15~70 digit) である場合には Δt を 0.5 秒としても, $\Delta t=0.2$ 秒で計算した結果に対する相対誤差は高々 1% 程度であろう。表面波を直接観測する階段抵抗式波高計, 超音波式波高計等の場合には短周期の波も記録されるので $\Delta t=0.2$ 秒で計算する必要があるが, そのような場合には記録時間は 10 分間程度でも波浪特性値を算出するのに十分な情報が得られる。

図—7, 8, 9 はアナログ記録から手作業により求められた平均波高, 有義波高, 平均周期とデジタル記録から電子計算機を用いて得られた結果を比較したものである。

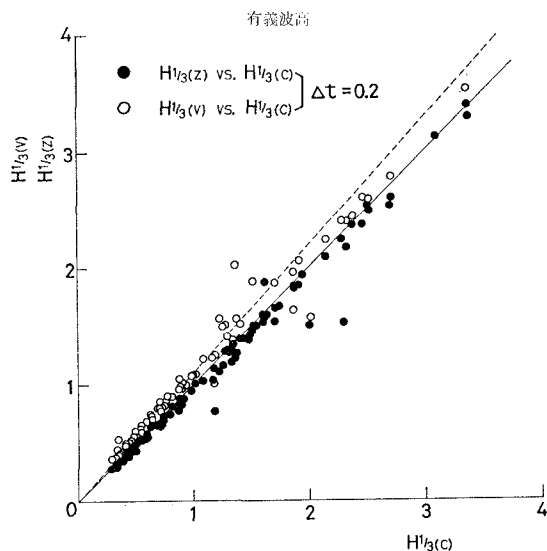
使用したデータは鹿島港における昭和 41 年 5 月~8 月の水圧式波高計のデータで波高計の設置水深は約 13.5 m である。水圧式波高計の記録から表面波への換算は次式による。

$$H_s = K \times \frac{n}{W} \times a_p \times \frac{\cosh \frac{2\pi h}{L}}{\cosh \frac{2\pi R}{L}}$$

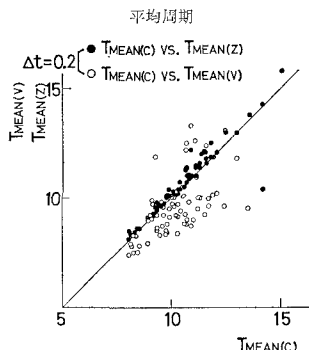
ここに, a_p : 記録波形の波高の平均量, H_s : 表面波高, K : 波高計および記録系を含めた測定系の増幅率(感度), n : 波高補正係数 ($n=1.35$), W : 海水の単位体積重量, h : 波高計設置場所の水深, R : 機高(海底から波高計までの高さ), L : 波長。



図—7 平均波高の手作業による演算結果と計算機による演算結果の比較



図—8 有義波高の手作業による演算結果と計算機による演算結果の比較



図—9 平均周期の手作業による演算結果と計算機による演算結果の比較

図中、 $H_{mean}(Z)$ および $H_{1/3}(Z)$ は zero-up-cross 法による平均周期から波長を求めて上式により表面波に換算された値であり $H_{mean}(V)$ 、 $H_{1/3}(V)$ 、 $T_{mean}(V)$ は手計算による値である。図—7、図—8 から手作業による平均波高、有義波高の算出値は計算機によるそれよりも大き目になっていることがわかる。この原因は次のように考えられる。

i) アナログ記録の波の波高が 1 digit 以下の場合には、デジタル化された記録の整理段階で 1 個の波とみなされないため波数が少なくなり、デジタル記録から求められる周期はアナログ記録を手作業で処理した結果得られる周期より大きく算出される傾向がある。使用したデータは実水深が約 13.5 m の地点に設置されたものであるから周期 7~8 秒程度の波の場合に 1 秒の差があれば算出される波高の差は 3~15% に達する。

ii) 記録波形の振幅が小さい場合には、デジタル記録による演算処理結果の波高が小さ目に算出されること

と人間が読み取る場合に読み取り波高が大き目に求められる傾向があるため、波高の小さい領域での相対的な差異は大きくなる。

人間がアナログ記録から読み取って整理した結果（手作業処理）とデジタル記録から計算機により求められた結果（全自動処理）を比較すると前述のようになるが、手作業の場合には記録紙からの読み取り、その後の演算処理の段階で 2~3% の誤差が介入し、時には 5~6% になること、および人間が読み取る場合には記録波形の平均線を正確に求めることができないため、読み取る波数が一般に多目になりやすく、したがって周期は小さく求められる傾向があることを考えれば、デジタル記録による電子計算機処理の結果は実用的に十分満足すべきものと考えられる。とくに多くの観測地点の相関あるいは長期間に渉る統計量としてデータを処理する場合の優位はいうまでもない。

4. 波浪に関する拠点観測

日本沿岸の波浪観測体制が“波浪に関する拠点観測の実施要綱”という形で運輸省港湾局で策定され同時に昭和 43 年度に日本沿岸に 14 の観測拠点（八戸港、鹿島港、潮岬、金沢港、酒田港、東京湾、田子の浦港（長周期波）、神戸港、宇部港、端島（長崎）、苫小牧港、留萌港、紋別港、釧路港）が指定され、各拠点港は昭和 43~44 年度において観測施設、機器の整備を行ない、これらの波浪観測拠点で測得された波浪のデジタルデータは 45 年度より前述のデジタル処理方式で集中的に処理されている。

その主たる目的は、

i) 日本沿岸における波浪の特性を把握し、港湾および海岸における施設計画、設計における波浪条件を決定するための資料をうる。

ii) 日本沿岸に襲来する異常波浪を確実に観測し、港湾および海岸における施設の災害原因の究明、ならびに災害復旧工法決定のための資料を得る。

iii) 波浪推算法の確立のための基礎的研究資料を得る。等である。

この体制におけるデータの取得ならびに処理システムは図—10 のようになる。ただし北海道開発局管内を除く。すなわち各港湾建設局管内の波浪観測拠点港で紙テープの上に測得された波浪のデジタル記録は港研に輸送され、Pt-Mt コード変換器により磁気テープに変換され、港研に設置されている電算機 Tosbac-3400-Model 41 を用いて集中処理され、有義波諸元その他の平均波の諸元が求められる。結果は一定期間ごとに月報台帳形式に編集され担当拠点に送付される。磁気テープに収録された有義波演算結果は一定期間ごとに統計処理される。また異常波浪時の波については、有義波法によるデ

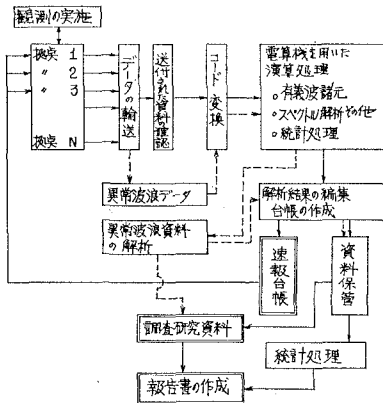


図-10 波浪の拠点観測におけるデータ取得処理体制

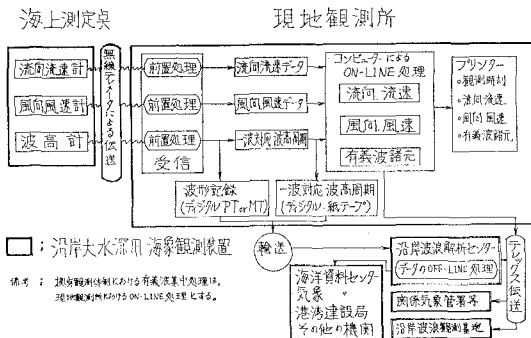


図-11 広域波浪観測体制における波浪データの取得処理説明図

ータ処理のみならず、水位変動の瞬時値の分布、波高分布、パワースペクトルその他の統計量、相関関係等も必要に応じて求められ、今後これらの資料に基づき各拠点における沿岸波浪の特性を究明すると同時に日本沿岸の波浪の特性の解明を計ることになっている。

しかしながら図からも明かなように、この処理系は off-line 処理系を構成しており、現地観測点で測得された沿岸波浪のデジタルデータから有義波その他の波浪特性値を算出するまでかなりの時間差がある。またデータ処理段階で人間の判断を要する箇所がある。すなわちデータの解析処理そのものは機械化されるが、観測された順番にデータを並べ測得データ数をチェックする作業は人間の手作業を必要とする。また上述の観測目的を満足するためには 14 点の観測点はきわめて過少であり将来沿岸観測網を形成するものと考えられる場合には、データ

処理の段階において手作業ないしは人的判断を要する割合をさらに減少させるとともに、観測データの汎用的かつ多目的利用を考慮して、取得資料のリアルタイム処理と情報伝達システムを確立することが望まれ、これらの点については新たに沿岸広域波浪観測体制を整備する構を前提とした、新体制の確立が必要であると考えている。また従来の観測資料では、観測点の水深が大きくなれば測定される波も大きくなる傾向を有することは明らかであり、可能な限り水深の大きい地点で観測しなければならないというような事例も多い。

新しい波浪観測技術により取得データを図-11に示されるような装置を用いて集中処理する方式について研究中である。現在の拠点観測と比較した場合有義波法による波浪特性値が on-line で処理される点が特徴であり沿岸波浪観測データの活用度は著しく向上するものと考えられる。

5. あとがき

デジタル記録方式による波浪観測データの集中処理方式に関して構成機器の性能、演算の精度およびこの処理方式の応用について述べたが、結論として通常のデータ処理精度および構成機器の性能は波浪データの集中処理上実用的に十分な段階に達し得たと考えられる。今後はソフトウェアの改善と on-line システムによるデータの実用的処理系を確立するための開発研究を沿岸大水深海域における波浪観測法の開発研究とあわせ促進する予定である。

なお、このデータ処理方式の開発にあたり、港湾技術研究所水工部佐々木弘、菅原一晃両技官および当研究所計算室各位の協力を得た。ここに記して謝意を表します。また各種機器の設計製作にあたり三菱電機(株)、東京芝浦電気(株)の協力を得た。

参考文献

- 1) 高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘・菅原一晃・中井徹也：波浪観測の一例について（デジタル記録方式による波浪観測データ処理システム）、第4回港湾技術研究所研究発表会、1966。
- 2) 高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘・菅原一晃・中井徹也：波浪観測の一例について（デジタル記録方式による波浪観測データ処理システムⅡ）、第5回港湾技術研究所研究発表会、1967。
- 3) 高橋智晴・佐々木弘・鈴木禧実・副島毅・中井徹也：波浪観測の一例について（波浪観測データ集中処理システム）、第7回港湾技術研究所研究発表会、1969。