

超音波波高計(水中型)について

高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘

港湾技術研究所

On the Ultrasonic Surface Wave Transducer in Water Type

By T. Takahashi, Y. Suzuki and H. Sasaki

Port and Harbour Technical Research Institute, Yokosuka

Abstract

The present paper describes the development of a wave meter which is capable of obtaining actual surface profiles of ocean waves continuously and automatically by means of ultrasonic waves.

In the first chapter, research processes are summarized.

In the second chapter, fundamental and preliminary experiments (both in model basins and in the actual coast) which have been conducted to develop the ultrasonic wave type wave meter are briefly commented. Performances of the apparatus have been compared with those of the wave meters of pressure type and of wire resistance type. After these experiments and analyses, the submerged emitter type has been adopted for practical observations.

In the last chapter are described details of the apparatus, measuring principles, performances, installations and several findings from field observations with this apparatus on the Kashima Coast, Ibaraki Prefecture.

Major findings are as follows:

- 1) Comparison of the wave profile records taken by this apparatus with those of the pressure type wave meters which had been installed at the same location by the method of frequency analysis, made it clear that this apparatus takes records of actual surface wave profiles more precisely in higher frequency band than the pressure type wave meter does, although many characteristics concerning ultrasonic waves remain to be solved.
- 2) The correction factor N , usually employed for the pressure damping ratio to transform the pressure fluctuations at any depths to the surface wave height, decreases rapidly with the increase in component wave frequency at the water depths of 10 to 13 m.

まえがき

国立防災科学技術センターにおいて企画推進された、相模灘の海象等に関する研究の一環として、当所においては、波浪のエネルギースペクトルに関する研究をテーマとし、水中発振方式による超音波式波高計の試作・実用化促進とあわせ主題の研究に参加して来た。

港湾技術研究所の立場から、現地波浪に関する実測資料の重要性は云うまでもなく、本質的な波浪特性の研究の

ほか、構造物の設計・施工、防災計画或いは漂砂現象の解明等に関連して、常に信頼性の高い波浪諸元の適確な表示が求められ、近時現地波浪の不規則性の認識と、もにその必要性は著しく高まって居るが、波浪観測の現状は現象の複雑性、測定条件の特異性により不明確な点が多く、測定上の技術基準も不確定な要素が多い。例えば波浪諸元は実用的には単一的な波形として表示され、表面波形と水中圧力波形の相関については既往の研究結果

に可成りの疑問をもたれたま、大部分の観測は水圧波形の測定によつて行われ、海の波の基本的事実である波の不規則性について一般的にはほとんど取扱われて居らず、この間の問題点は今後の研究にまたねばならない。

一方測定機器に関しても個々の特性・性能に多くの差異があり、被測定現象との関連においてその測定値間の相関はほとんど明らかにされぬま、個々の事例に応じて散発的に現地観測に使用されて居る状態である。

これらの事例は単に港湾関係のみならず、海岸保全、干拓、河口等沿岸波浪に関連した計画・建設に共通の基本的問題点であり、現地波浪に対して統一的技術基準をもった観測法の確立ならびにその特性解明法の必要性が痛感されて来た。

我々はこのような現状に対処するため、従前より不規則波の性質を解明する一途としてエネルギースペクトルによる現地波浪の解析を試み、また解析結果の信頼性を高め同時により忠実な波高観測値を普遍的かつ安定性のある方式によつて得るため、超音波を応用した波高計を企図しその開発研究を進めて居たが、本研究の実施によつて試作第1号機を完成し、鹿島港における現地観測に試用して実用効果を一応確認する段階に到達し得た。

しかしながら超音波式波高計に関しては後述のごとくなお未解決の点も多く、更に性能の向上を計り初期の目的を達成するには、現地海象の複雑性と相まつて、不規則性の概念を導入した現地波浪観測資料の解析、即ち波浪エネルギースペクトルの研究と並行して検討することが必要不可欠であり、今後の研究は基本的現地スケールの場において系統的かつ継続的に実施されねばならず、主題の研究と、もに平塚実験場における波浪等の観測・データ処理施設の供用は、今後の研究成果に大きく期待されるものである。

本報告においては我々が従前より実施して来た基礎的研究ならびに現地観測の試用結果（「超音波式波高計の研究経過について」水工部観測調査課、昭和39年度末、港研部内資料、「波高観測の一例について」：高橋・鈴木・佐々木・菅原・中井、1965. 12、第3回港湾技術研究所研究発表会。）についてその概要を述べる。

1. 超音波式波高計の研究経過

(1) 昭和37年7月～38年3月

超音波の応用による表面進行波測定の可能性を、沖電気工業株式会社並びに東京電力株式会社技術研究所と共

同研究を提結し、市販音響測深機を利用して一部機構、電気回路を附加改造し、水路実験により検討を行ない、その可能性を認識し超音波式波高計に関する次後の研究計画を策定した。

(2) 昭和38年4月～39年9月

2次元的超音波実験用仮設水槽を設けて基礎実験を進めると、もに、東京電力株式会社技術研究所との共同研究を継続し、海上電機株式会社の協力を得て機器の整備を計り、大型造波水路により水中発振方式並びに空中発振方式による実験を行ない、それ等の結果によつて水中発振方式による現地実験用超音波式波高計実験装置を製作し、久里浜港内において継続的実験観測を実施すると、もに、長期自動記録を可能とするペン書き記録計によるアナログ記録用出力回路のバラック実験を進めた。

(3) 昭和39年10月～40年3月

特別研究促進調整費により、現地用超音波式波高計水中発振型第1号機（記録を除く）の試作を行なった。

(4) 昭和40年度

上記試作1号機を使用し、鹿島港の協力を得て同港の既設水圧式波高計と併置して現地観測を連続的に実施し、実用上の効果及び今後の問題点を一応確認し得た。又水圧式波高計測定値とあわせスペクトル解析を行ない、超音波式波高計と2種の水圧式波高計（摺動抵抗型及び抵抗線歪計型）との相関例を求め得た。

現在、鹿島港における試用観測を終了し、平塚における波浪等観測塔の整備と併行して同地点への設置（昭和41年3月完了予定）並びに今後の研究実施準備を進めて居る。

2. 基礎実験

2.1 実験及び研究内容

2.1.1 予備実験

従来の音響測深機器送受波器を一部改造し、水槽実験により水中超音波の概念的性状ならびに実験使用機器機能の認識を得、具体的研究計画を立案するため、下記実験を行なった。

(1) 水面反射信号の観察

平水面および動水面において定性的実験を行ない、超音波式波高計実現の可能性を確認した。

(2) 送受波器指向特性試験

実験値解析上の基礎資料とするために行つた。

(3) 送受波特性試験

具体的実験計画の策定ならびに実験用水槽を設計する

ための資料を得るため、施設・装置における多重反射の影響ならびに発信ビームの2次元の取扱いについて検討した。

2. 1. 2 現地波浪に対する実験的観察

現地用波高計として具備すべき機構的条件の把握、現地観測において障害となるであろう事項の抽出、入力信号の安定度検討等を目的として、久里浜港内に超音波波高計実験用装置を水圧式波高計と併置し、後記の水槽実験と並行して継続的な観察を実施した。

2. 1. 3 実験水槽における送受波特性試験

本研究のために施工した仮設平面水槽を使用し、2次元の実験手法（実験手段として精度的に問題はあるが、期間的・経費的關係を勘案し前記予備実験の結果により決定した。）により下記実験を行なった。

- (1) 模擬境界層（空気/水）における超音波反射特性に関する実験
- (2) 水中障害物からの反射信号および超音波伝搬特性に関する実験

2. 1. 4 進行波形測定比較実験

現地用超音波式波高計を試作するための設計資料を得る目的で、水中発信方式と空中発信方式の比較検討を中心に、実験用セットを準備し、大型造波水路において抵抗線波高計と併置して実験を行ない、実用特性の比較検討を行なった。主な検討項目は下記のとおりである。

- (1) 反射波受信確度
- (2) 伝播及び反射損失 —— 未完了
- (3) 使用周波数及び送受波器指向特性の選定 —— 未完了
- (4) 総括的記録特性

2. 2 主要実験施設及び機器

2. 2. 1 実験施設

基礎実験研究に使用した主要施設は下記のとおりである。

- (1) 貯水槽（港湾技術研究所内既設）
構造：鉄筋コンクリート製
寸法：10m×4.5m、深さ2.5m。
- (2) 超音波実験用平面水槽（港湾技術研究所 仮設）
構造：鉄筋コンクリート製
寸法：9.4m×7.0m、深さ0.55m（一部0.75m）、扇形水槽（ $r=4.7m$ ）。
- (3) 大型造波水路（港湾技術研究所内既設）
構造：鉄筋コンクリート製（環流水路付）
寸法：巾3.0m、長さ105m、深さ2.5m。

造波波高；10～70cm。

造波周期；1～7sec。

- (4) 現地波浪観測施設（港湾技術研究所既設及び東京電力株式会社技術研究所仮設）

測点：久里浜港内港研前面約350m。

水深；—7m。

設備；受感部設置用コンクリートブロック（1m×1.5m×0.8m）。

通信用水中ケーブル —— 測点～港研内実験室（鍍装3C1条、鍍装8Cシールド1条、鍍装6C同軸2C1条）。

2. 2. 2 使用機器

基礎実験研究に使用した下記主要機器は、当所ならびに前記共同研究機関により供試・製作されたものである。

- (1) 超音波機器—1

型式；精密音響測深儀 SE—10型（沖電気製）を改造。送受信パルス周波数変換アダプター—附加。

記録；電気放電破壊紙使用。

送受信周波数；400KC及び変換アダプターを使用し71MC。

振動素子；円板型チタン酸バリウム、送受個別。

半減指向角；3～4°

- (2) 超音波機器—2

型式；精密音響測深儀 SD—1500（日本電気製）送受波器及び信号出力端子一部改造。

記録；電気放電破壊紙およびペン書きアナログ記録。

送受信周波数；200KC。

振動素子；円板型チタン酸バリウム。

半減指向角；約3°。

- (3) 超音波機器—3

方式；超音波パルス空中発射方式。

型式；VR—4101型（海上電機製）。

測定範囲；0～40cm。

出力；記録用アナログ出力。

（パルス繰返し50回/秒）。

送受信周波数；100KC。

振動素子；円筒型チタン酸バリウム。

半減指向角；約2.5°。

- (4) 送受信制御演算増巾器

用途；上記超音波機器と併用してその送受信信号を制御し、演算回路を介して測定入力。

D/A 変換して所要の測定出力を得るものである。

共振周波数： 200KC.

繰返し周波数： 25回/秒.

測定範囲： ± 1m.

出力： 記録用アログ出力及び受波無信号記録用出力.

(5) 実験用波高計—1

型式： 抵抗線型波高計（2線式）.

測定範囲： 0～80cm.

(6) 実験用室波高計—2

型式： 抵抗線歪計式波圧計応用.

(7) 現地用波高計—1

型式： 水圧式波高計摺動抵抗型.

(8) 現地用波高計—2

型式： 水圧式波高計抵抗線歪計型.

2. 3 実験結果と実用効果に対する考察

2. 3. 1 超音波式波高計としての水中発射型と空中発射型の比較

以上の実験結果に現地用波高計としての使用条件を考慮して水中発射型と空中発射型を比較すると、現時点においては下記のように考えられる。

(1) 水路実験の結果から（境界条件を含めて）、直読的測定精度の安定性は、空中発射型の方が長周期波においてやゝ良好と思われる。

(2) しかしながら通常の進行波に関する測定受信感度は水中発射型の方が全般的に平均化されて居り、特に短波長の波に対しては相対的に良好な結果が得られた。

(3) 空中発射の場合、送受波器面に水滴がある程度以上附着すると感度は急激に低下する。

同様の事は水中発射型を現地で使用する際、送受波器に藻や海草が附着することによつて起るがその減衰効果は極くわずかであり、保守作業により解決される。

(4) 波頭にくずれを生じ水中に気泡を巻き込み出すと水中発射型は顕著な影響を受け、アナログ記録の場合は明瞭に誤測を生じるが、空中発射型には影響を及ぼさない。

しかしながら空中発射型の場合においては、碎波や風によつて生ずる水飛沫、或いは降雨・降雪によつて、当然誤測、欠測を生じると考えられる。

(5) 水中発射方式では、超音波伝搬経路上における水

質（水温・比重等）変化及び分布状態によつて、伝搬速度の変動、屈折現象等を生じて精度的な変化を来し、水質条件及び浮遊物の存在その他の周囲条件により、不正反射、多重反射を生じて誤測・欠測を招く場合があり、従つてサイドローブによる測定障害等に対しても充分留意しなければならない。

(6) 空中においては超音波伝搬中の減衰が極めて大きく、測定レンジが数メートル以上に及ぶ現地用波高計において、1個（対）の送受波器により安定した測定信号レベルを得ることは困難であり、空中発射型においては入力信号処理上の問題点が多いと考えられる。

(7) 一般的な現地用波高計として設置する場合の附帯施設として空中発射型は必ず観測塔（杭）を要し、技術的・経済的な普遍性に欠けるほか、沿岸部海上に固定的な施設を設けること自体に極めて大きな支障がある場合が多い。

2. 3. 2 超音波式波高計（水中発射型）の使用効果に対する検討

上記水中発射と空中発射方式に対する検討結果により、現地用超音波式波高計として我々は水中発射型を設計・製作することとし、現用波高計に対する実用効果を一応下記のごとく想定した。

注： 現地用波高計に超音波を利用する場合には水中発射型を選択したが、実験水路用として製作する場合には空中発射型の方が一般的に有利であると思われる。

利 点

(1) 水圧式波高計と比べ、測定値から表面波高への換算手続きが直線的であることは、水圧式における表面波換算係数及び補正係数に含まれる不確定・不明確な要素を除去することとなり、不規則性を有する現地波浪の解析上後述の精度的欠点を補つて余りあるものである。

又、短周期波の測定において、受感部の設置水深及び被測定波長に対応して水圧記録は大きな感度変化を来し、測定精度（解析精度）に大きな影響をもたらすが、超音波式の場合は固有の指向特性に対応し、ほぼ設置水深に比例した誤差のみである。

(2) 階段抵抗式等海面附近に固定設置するタイプの波高計と比べると、それ等と従来の水圧式波高計の場合と

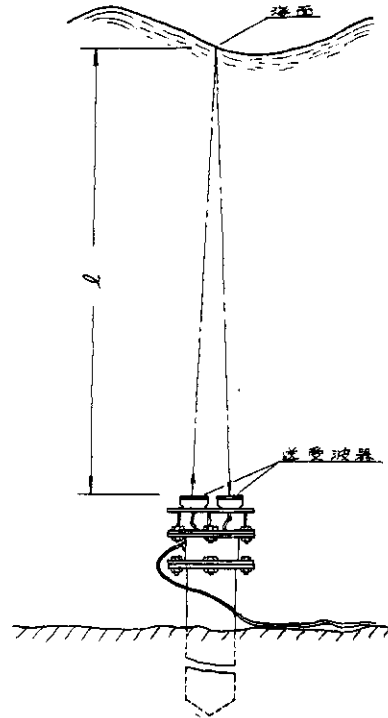
同様、技術的・経済的に設置条件の有利なことが挙げられる。

欠点

(1) 超音波伝搬経路上の状態・条件ならびに海面反射条件により、誤測・欠測が偶発的に起こり、将来記録→データ処理の全自動化を計る場合には基本的な問題点となる。

(2) 水質条件の複雑或いは急変する場所において使用することは、測定値補正の可能性からみて困難である。

(3) 現地用汎用機を考慮する場合、受感部設置点と測定記録点は1000～4000mのケーブルで接続される場合が多く此の間における高周波の減衰・雑音の混入・誘導障害は極めて大きく、測定をほとんど不可能にするから、超音波機器機構の大部分を受感部において送受波器と一体に設置しなければならず、保守上の問題点として考慮されなければならない。



第 1 図

3. 超音波式波高計（水中発信型）の試作と実用例

3. 1 試作波高計について

超音波式波高計とは、媒質中の超音波伝搬特性並びに異種の媒質が形成する境界層での反射特性を利用したものである。

超音波を応用した波高計の方式としては、測定しようとする海面に対して空中より超音波を放射しその反射を検知する方法（空中発信型）と、水中より海面に向かって超音波を放射しその反射を検知する方法（水中発信型）が考えられるが、我々は前述の研究結果に基づき水中発信方式により現地用の超音波式波高計を試作することとし、特別研究促進調整費の示達によつてその第 1 号機を完成した。

3. 1. 1 測定原理

第 1 図に超音波式波高計水中発信型の測定原理を示す。図示のように超音波送受波器を海中（海底または適当な水深位置）に固定設置してパルス状の超音波を鉛直上方に放射し、空気との境界層を形成する海面からの反射波を受信し、その間に要する経過時間を測定すれば、送受波器より海面迄の距離は次式により求められる。

$$l = \frac{1}{2} C \cdot t \quad (1)$$

l : 送受波器から海面までの距離

C : 超音波の水中伝搬速度

t : 超音波が l を往復するのに要した時間

上記の操作を短時間々隔で継続し、その所要時間を連続的に電圧に変換して記録装置に導入すれば、連続的な水位の時間的变化すなわち表面波形を得ることが出来る。

海水中の超音波の伝搬速度は、水温、塩分濃度、水圧等によつて変化し一定ではない。これらの関係については多くの計算式があるが計算結果においては大差なく、標準音速 1500 m / sec に対し 1 ~ 3 m / sec に過ぎない。一例として一般的に音響測深儀の測定値修正に使用されて居る実験式を示す。

$$C = 1410 + 4.21 t - 0.037 t^2 + 1.14 S \div 0.0168 h$$

[m / sec] (2)

C : 音波の水中伝搬速度 (m / sec)

t : 水温 (°C)

S : 塩分濃度 (‰)

h : 水深 (m)

このように水質条件によつて音速は変化するが、波高

計として使用する場合その補正はほとんど不可能であり、試作機においては音速1500m/sec一定として使用することとして居る。

相模灘沿岸における海中音速の通年変化は、 $+0.35 \sim 5.8$ %程度と推定されるが、淡水の流入の著しい河口附近では別途検討されなければならない。

3. 1. 2 試作第1号機

超音波式波高計水中発信型試作第1号機の装置系統を第2図に示す。又写真・1～写真・3に装置（記録計を除く）外観を示す。

写真・1は海中に設置される送受波器部で、直径36cm高さ22cmの水密筐体とその上部にセットされた送受波用振動子が取り付けられ、筐体内には発振・受信増巾・信号変換回路等が納められ、写真・2に示す演算増巾器とは4芯ケーブルにより接続される。写真・3は電源装置で、このほか電子管自動平衡式のペン書き記録計が接続される。

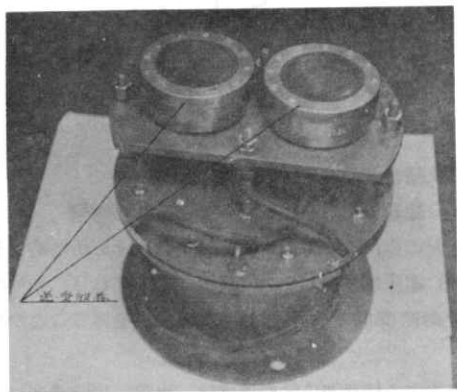


写真 1

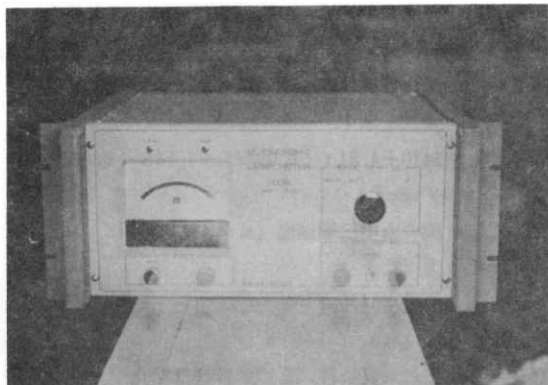


写真 2

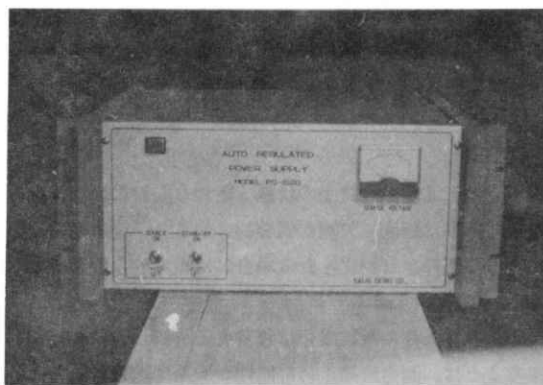


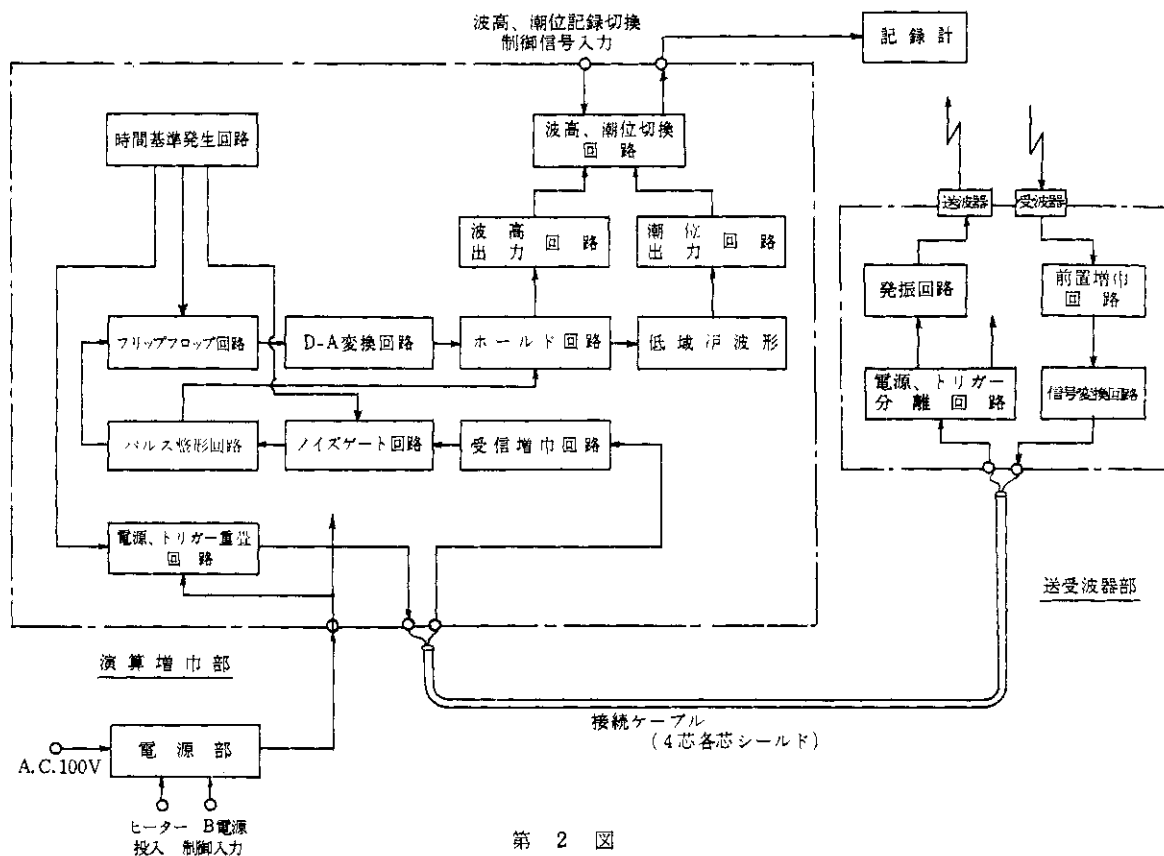
写真 3

本機の動作は陸上測定記録部に置かれた演算増巾器からの指示により行われる。いま演算増巾器内で発生された超音波発射制御用の電気信号は、ケーブルを通じて海中測定点に設置された送受波器部に送られ、送受波器部内の発振ゲート回路を動作させ、送波器振動子より海面に向けて超音波パルスを発射する。発射された超音波パルスは海面における大気との境界層で反射し、その一部は海底へ向けて戻り受波器振動子をたゞき受波信号となる。受波された超音波パルスは増巾されたのち伝送用受信信号に変換され、ケーブルを通して演算増巾器に送り返される。演算増巾器では超音波発射信号を発信してから受波信号が到達するまでの時間を電氣的に計測し、その測定時間に比例した直流電圧を作り出して、記録計ならび指示計用の出力とする。この出力電圧は次の受信信号を受け新たな出力電圧が送られるまで保持されるから、記録はアナログ状の波形として描かれる。

以上の波高計としての必需回路のほか、装置の動作精度確認及び多目的利用のため時定数数分の潮位検出回路を附加して居る。また魚類・浮遊物等が送受波器と海面の間に介在した場合、これ等を反射体として不正受波信号を検知して誤動作する事があるので、その障害をある程度除去するため、送受波器から或る範囲（鹿島港における場合は、設置水深12m・潮差±1m・最大波高8mを仮定し、送受波器上5mに調整された）からの受波信号は自動的に除去する。

本機の主要性能は下記のとおりである。

測定レンジ	フルスケール10m.
測定繰返し周波数	6.25C/sec.
測定水深範囲	7m~20m.
超音波周波数	200KC.
基準音速	1500m/sec.



第 2 図

振動子（送受別） チタン酸バリウム，100mmφ。
 半減指向角 3°
 測定出力 直流アナログ電圧，0～10V。

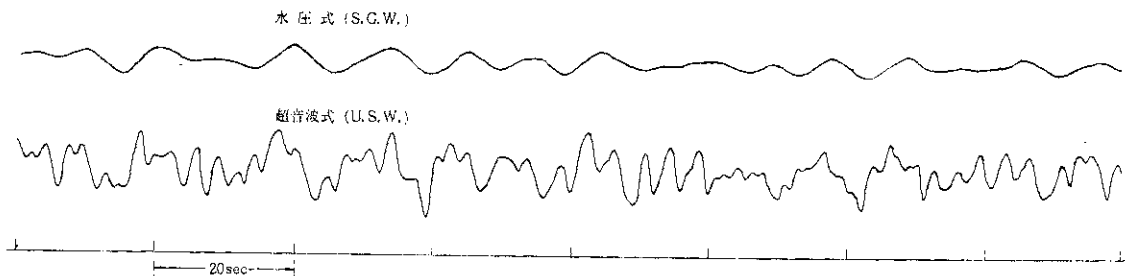
3. 2 現地試用観測例

3. 2. 1 観測及び記録例

現地観測への連続的の試用は、茨城県鹿島港湾調査事務所の協力を得て設置工事並びにその後の定常観測を実施して居る。

送受波器は、鹿島港沖合約1500m・水深—13mの地点に既設水圧式波高計と隣接して設置し、定常的連続観測のための時限装置・記録計等は既設総合波浪観測装置を供用することとし、数か月間にわたり2時間間隔20分間の連続測定を自動的に行なつて来たが、40年度末には平塚沖の波浪等観測塔に移設し、新たな実験を進める予定で居る。

鹿島港における記録の一例を、第3図に示す。図は水圧式波高計抵抗線歪計型の同時記録を示して居る。



超音波式波高計の記録は、不規則な水位変動を比較的忠実に表わして居るようである。即ち周期10数 secの波に周期4 sec前後の風浪が重畳して居る様が一見して明らかに認められる。

抵抗線歪計型波高計の記録では短周期の波はほとんど見受けられず、長周期の波のみが存在するような波形が示されて居るよう見受けられる。これは海底の圧力波において短周期成分のエネルギーが大きく減衰するためであり、後述の解析例にも見られるように、測定値の処理・解析に当って今后大いに研究されねばならない。

3. 2. 2 観測値解析例

海面の波をあらゆる一般的な指標として有義波が用いられて居るが、直接海面の水位変動を測定して居ると考えられる超音波式波高計の記録と、海底の圧力変動を測定する水圧式波高計の記録とを特性的に比較する場合、有義波の概念で比較する事は危険である。

また、式(3)に示す表面波換算係数は理論的に求められた値であり、波長に比して水深が大きい場合は実測値と較べよく一致しないことが通念となつて居る。一方超音波式波高計の記録から有義波の定義に従った整理を行おうとしても、個々の波の山・谷を判定することは難しく、有義波高・周期を求めることは困難である。

上述の海中圧力波高測定値と表面波高の関係は次式であらわされる。

$$H_s = \frac{1}{w} \times S \times a \times \left(\frac{\cosh \frac{2\pi h}{L}}{\cosh \frac{2\pi R}{L}} \right) \times n \quad (3)$$

- H_s : 表面波高
- w : 海水の比重
- S : 波高計の記録感度
- a : 記録振幅 $S \times a = H_p$ (圧力波高)
- L : 波長
- h : 波高計設置点の水深
- R : 海底から波高計までの高さ
- n : 補正係数
- () : 表面波換算係数

海面の波のような不規則な変動を測定原理的に型式の異なる測定器により計測し、その結果を比較する場合には2次元スペクトル分析法を用いることが望ましいが、我々は各波高計（超音波式波高計、水圧式抵抗線歪計型及び撓動抵抗型波高計）で得られた記録から一次元エネルギー

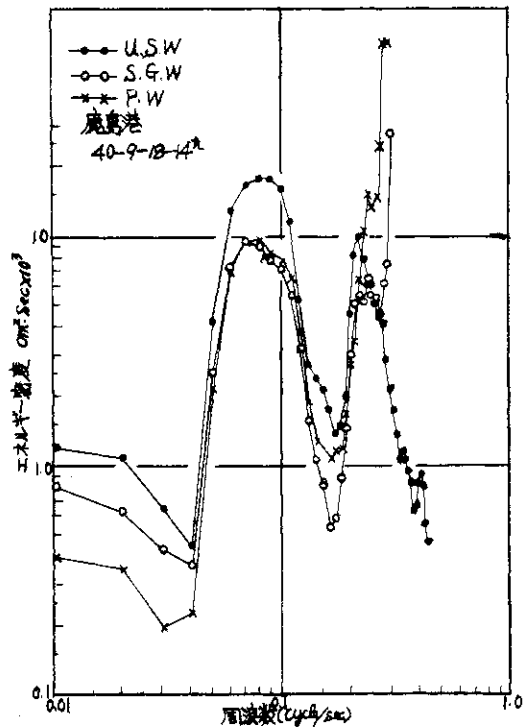
スペクトルを求め、各周波数帯に含まれるパワーをエネルギー密度であらわして比較することとした。

計算方法としては、得られた波形記録が定常ガウス過程の一部であるものとし、波形記録の自己相関函数を求め、Tukey Hanningの方法を用いてエネルギースペクトルを求めた。

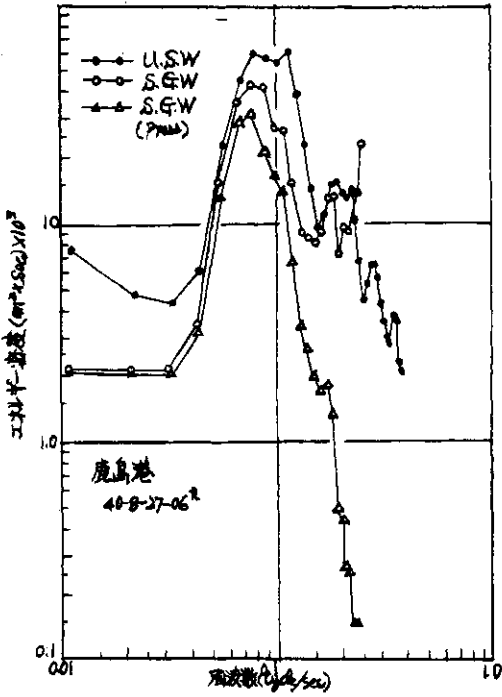
水圧式波高計記録から表面波のエネルギー密度を算出するには、まず水圧波のスペクトル密度を求め、各周期成分毎に表面波換算係数を乗じて求めて居る。

以上の手続きによる整理結果の一例を第4図～第6図に示す。第4図は昭和40年9月18日14時の超音波式波高計(U.S.W.)、水圧式抵抗線歪計型波高計(S.G.W.)、水圧式撓動抵抗型波高計(P.W.)の表面波スペクトルを、第5・6図は昭和40年8月27日6時および同年9月1日20時のU.S.W.表面波スペクトルと、同時刻におけるS.G.W.水圧波スペクトルおよび表面波スペクトルを示して居る。

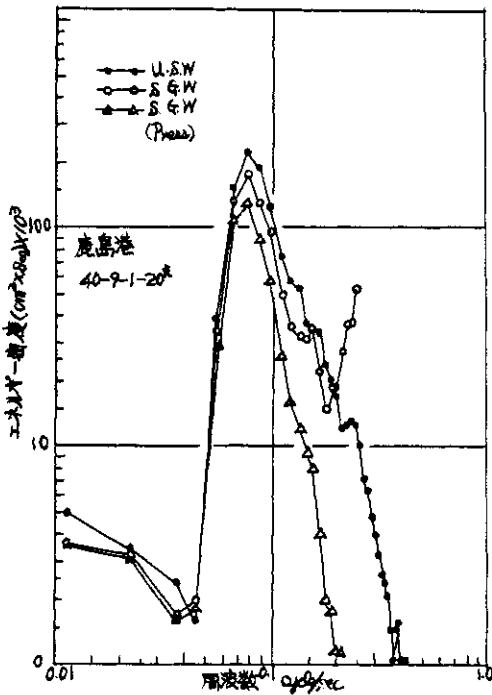
計算に使用した測定記録はいずれも20分間の同時連続記録である。



第 4 図



第 5 図



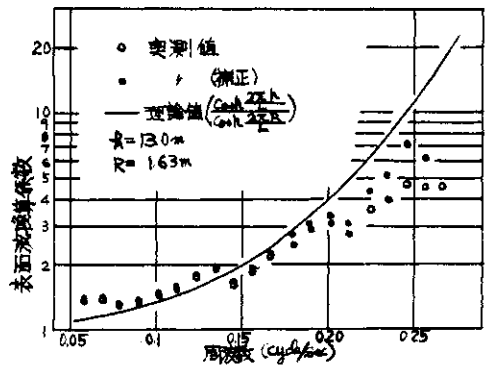
第 6 図

これ等一連の観測結果に対しては目下整理を進めて居る段階であり報告するに至つ居ないが、水圧式波高計による測定値整理上問題となる表面波換算係数については明らかに問題点が提起されて居る。

第 4 図における U.S.W. スペクトルは、0.08% (周期 12.5 sec) および 0.22% (周期 4.5 sec) の近くに 2 つの顕著なスペクトルピークをもつて居るが、S.G.W. と P.W. の表面波スペクトルでは 0.08% にのみピークがあらわれ、0.22% 以上の高周波領域でそのエネルギー密度は急激に増大する。この傾向は第 5 図および第 6 図においても同様である。

これは波高計の設置水深が約 13m であり、0.22% (周期 4.5 sec) 附近より短い波長の波は水圧変動の減衰量が極めて大きく表面波換算係数が急激に増大することにより、エネルギースペクトルに含まれて居る種々の雑音、即ち記録データ読み取りの場合の量子化誤差、機械装置の測定誤差、スペクトル解析時の誤差などが極度に増巾され、実際に此の領域に含まれている表面波のもつエネルギーの数倍になつて居ること、表面波換算係数そのものが過大な値をとつていると考えてよいであろう。

試みに表面波換算係数を実測値から求めると第 7 図のような傾向が得られる。図は、観測中に相当大きな波形を記録した 9 月 1 日の記録によるもので、量子化誤差による雑音は計算された各周波数におけるパワーの最小



第 7 図

値より1桁位低く、測定器誤差もこれと同等と考え、また我々が超音波式波高計の開発に関連して行つた基礎実験結果からU.S.W.の測定値はほぼ忠実な表面波形をあらわして居るとして、U.S.W.の表面波スペクトルとS.G.W.の圧力波スペクトルから、各周波数毎の表面波換算係数に相当するものを示して居る。

此の場合、表面波換算係数の理論値は、周波数0.15%位までは実測値より10~40%小さいが0.2%より高周波の領域では実測値に較べ急激に大きくなって居る。

以上のことは超音波式波高計の測定値が忠実に表面波形をあらわして居ると仮定したものであり、此の点に関しては今後の現地観測において基本的に確認されなければならない。

あとがき

本報告においては我々が行なつた超音波式波高計開発に関する一連の研究経過を概略的に述べたが、本文中に

も指摘したような未解決の問題は多く、本機の改良あるいは使用に関連して、今後究明すべき一連の研究課題を列挙すると次のようである。

(1) 超音波式波高計における、超音波の水中伝搬および反射特性に関する発信周波数、指向性、受信感度の総合的研究

(2) 超音波式波高計測定値と表面波形の相関に関する研究

(3) 沿岸波浪の性質研究への利用とデータ処理システムの合理化に関する研究

(4) 水圧波形と表面波形の相関に関する研究への利用と水圧式波高計測定値処理方法の研究

上記研究課題の大部分は、今後基本的現地スケールの場において継続的に実験・観測・解析が進められてはじめて解決される問題であり、その成果は沿岸波浪の不規則性に基づく諸現象の解明に資するところ極めて大なるものがあると信ずる。