

沿岸大水深海域 (−50 m) における波浪観測の一例について

高橋 智晴*・佐々木 弘**・副 島 毅***・金子大二郎****

1. ま え が き

港湾建設, 沿岸防災をはじめとする各種臨海事業計画の大規模化, 広域化により現地調査観測対象海域も逐次大水深域におよび offshore における波浪情報の有機的利用と波浪計測技術の開発は各方面より強く要望されるに至っている。筆者らはその属するところの必然的情報需要と運輸技術審議会答申に基づく沿岸波浪観測網展開計画の推進を背景として, 水深 −50 m 海域を対象とする定常的な波浪観測手法およびオンライン・リアルタイム処理情報網に関する種々の技術的開発研究をすすめて来た。成果の一部が昭和 47 年度より港湾建設局などにおいて導入実施され実用的性能の確認を得たので, 大水深測定点における超音波式波高計水中発射型の適用性と, 水深 −50 m 地点に測定点を設けた定常観測の実施例について報告する。

2. 波高計機種を選定

水深 −50 m を目途として測定点における定常観測用波高計として超音波式波高計水中発射型を使用することとした。その理由は, 測定点 (受感部設置点) の自然環境条件あるいは使用条件, 測定原理などによってその他の在来機種にはそれぞれ下記の欠点が実用上の問題点として指摘され, これらの問題点に関する改善策はいずれも早急には解決しがたいであろうと判断したことによる。

- (1) 測桿式波高計 (階段抵抗式, 電気容量式など) の場合には, 測定座標原点を固定した測桿部を海面に保持することが設置上の必要条件であり, 測定点の大水深化とともに測桿保持施設の構築は現実にはきわめて困難となる。
- (2) 水圧式波高計による場合には, 表面波形への換算手法が未確定である。特に海上作業の管理, 船舶の運航, 海洋性施設の運用などに関連して情報需要の増加が予想される比較的小さい波に対するデータの取得はほとんど期待しがたい。

(3) 加速度計などを利用したブイ方式による場合には, ブイの係留, 挙動補正について汎用的な安定性および精度を期待しがたく, また測定出力の処理も複雑となる。

(4) 船舶, 航空機などを利用する方法 (船用波浪計, 実体写真法, ホログラム法など), 短波による海面エコーの測定法などを定常的な沿岸波浪観測に導入するためには実施上あるいは時間・空間的な制約を受け, 汎用的な情報取得は困難視される。

一方, 超音波式波高計水中発射型の場合には, 送受波器の設置水深が大きくなるに従い, 超音波応用機器に対する通常概念として下記の欠陥が指摘されている。

- ① 振動子の指向特性 (半減半角であらわされるビーム指向角) を一定とするならば, 水深に比例して海面の対象反射面積が拡大する。
- ② 超音波の伝播距離に比例してパルスの発射間隔が長くなる。
- ③ その他, 雑音および減衰領域の拡がりによる S/N 比の低減をきたす。上記の特性改善 (振動子の大型化) あるいは所要の受信感度を得るために必要な発振出力の増加などが必要となる。

以上の指摘事項は, 基本的測定精度および波形分解能の低下を意味し, また実用性上の問題点となり得るが, その対策として筆者らは現地および水槽実験, 特性モデル計算などを試みて実用性に対する検討改良を進め, 水深 −50 m 程度の海域における超音波式波高計 (送受波器は海底設置) の適用性について上記各項に対し以下の結論を得た。基本的考察の内容については次節に概述する。

① クロスビーム振動子および有効反射面 / パルス長によって形成される実効的指向角について検討を行い, 後者を採ることによって現用共振周波数 200 KHz, 半減半角約 3° の振動子を用いる場合でも, パルス長 15 μ sec とすれば送受波器設置水深 −50 m として実効的指向角は約 1°13' (対象反射海面は水平面上において約 1.06 mr) となり, 実用上測定誤差は無視し得るものとした。

② 反射海面の不安定さによる受信レベル変動および 15 m 程度の水位変動を考慮して第 3〜第 5 エコーまでの受信エコーを除去することとした。このことは計

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部海象観測研究室室長

** 運輸省港湾技術研究所水工部海象観測研究室研究員

*** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官

**** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部海象観測研究室研究員

測入力として 3 Hz による水位のデジタル測定を意味するが、工学的利用目的に対する時間軸分解能としては十分有意であると考えた。

③ 従来の AFNG 回路および出入力回路による Gain 調整範囲でセットされ、大水深化に伴い別段の改良を必要とする点は特に認められなかった。

3. 大水深化に伴う超音波式波高計特性の検討

(1) クロスビーム振動子

振動子から発射される超音波ビームの指向性は、振動子の形状によって異なるが、同一形状の振動子では音波発射面の寸法の大きいものほど指向角は小さくなり、円形面の振動子では直径に、方形振動面を有する振動子では辺の長さに比例して指向角は鋭くなる。

しかしながら振動子を大形化することは、これを駆動するための電力の増大を来し、取扱い上も不利となる。このような欠点を排除し、比較的低電力でかつ軽量であって指向角を尖鋭化する方法として、図-1(a)に示すように長方形の振動子4個を十字状に組合せたクロスビーム振動子を考案し実験を行った。

この振動子は十字に交差する一方を送波用振動子とし、他の一方を受波用振動子としたもので、指向性は送受波それぞれの長辺側で鋭く、短辺側では広がった扇状をなしている。このような指向性の振動子を直交させてクロス振動子として使用すれば、図-1(b)に示すように送波振動子による指向ビームと、受波振動子による指

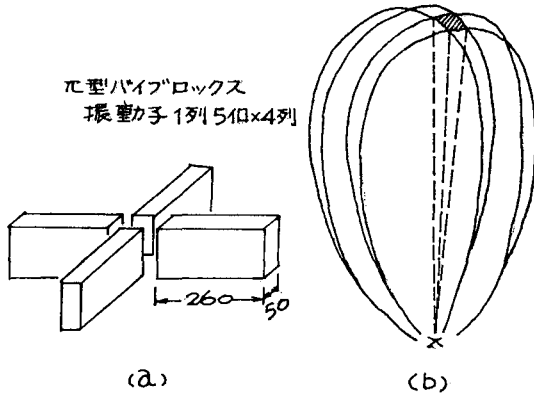


図-1 クロスビーム振動子説明図

向ビームは直交し、図中の斜線で示す指向方向のみを有効範囲とした鋭い指向特性を実効的に得ることができ

る。試作した振動子は、共振周波数 20 KHz, π 型パイブロックを組合せて構成されている。この振動子の指向性を図-2に示す。図中④は長辺方向の指向性、③は短辺方向の指向性を示す。指向角(半減半角)は、④2.3°, ③はほとんど指向性を有しない。この振動子を現用波高計の 200 KHz 振動子と一緒に -13 m の海中に設置し、

受波信号レベルを測定した結果では、両者ほぼ同一の値が得られ、ノイズレベルと海面反射信号の最小値とのレベル差は約 38 dB と 34 dB で、クロス振動子のほうが 6 dB 程高くかつ安定であった。ただし、振動子の励振電力はクロスビームのほうが約 10 倍程度大である。

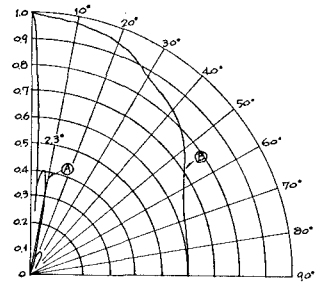


図-2 クロスビーム振動子指向性図

現在の時点では、構造上の問題点を含め今回の実験結果と、後述する有効反射面積/パルス長による検討結果を直接比較することはできないが、試作振動子の実験特性から判断すると、将来より大水深用波高計の開発が望まれる場合には有効な手段となるであろうことがうかがえる(国有特許出願済)。

(2) パルス幅と実効反射面積

振動子から放射された超音波ビームは、その振動子の持つ指向性により一定の指向角をもって伝播する。超音波式波高計ではこの指向角による海面での対象反射面積の増大が測定結果に対し誤差の増加となってあらわれるであろうといわれている。

しかしながらこの反射面は、指向角の範囲内では発射する超音波パルスの幅(長さ)によって異なり、パルス長を短くすれば反射面積を実効的にせまくなることができであろうという考え方で以下の検討を行った。

図-3(a)に示すように振動子の設置水深を h とし、海面を水平な無指向性反射面と仮定し、振動子より長さ $l_p (=t_p)$ なる超音波パルスを発射すると、受信波形は図-3(b)に示すような形で得られる。すなわち、発射された超音波パルスは時間 t を経過すると水深 h を半径とする $AO'A'$ 上に達し、まず振動子に一番近い直上で

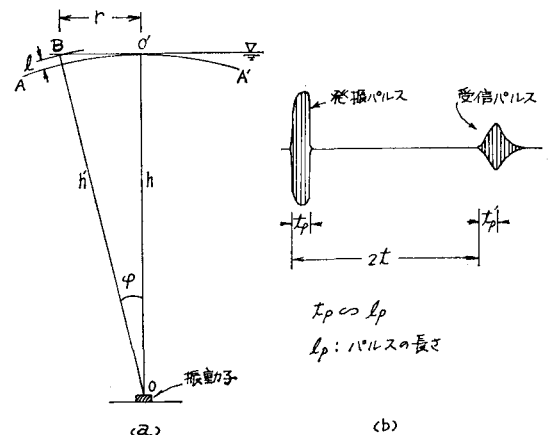


図-3 パルス幅と実効指向角説明図

反射・帰来し、 O' 点より離れるに従い逐次遅れをもって反射し、受信される。反射信号は重合されて逐次増大し、 B 点すなわち $l=l_p/2$ の点での反射を受けたときすなわち受信パルスの立上り後、 $t'_p(=t_p)$ を経過した時点で最大となる。以後逐次減少して行く。波高計はこの受信パルスの立上り前縁があるレベルに達した点を反射信号として捉え、測定を行うものであるから、反射パルスの最大値をトリガーレベルとした場合に対象反射面は最大の面積をもち、海面上 O' 点を中心とした半径 r の円形となる。この時 h と h' のなす角が実効的指向角をあらわしており、振動子固有の公称指向角(半減角)の範囲内において、実効上の指向角は水深が一定であればパルス幅によって決定されることとなる。

以上の考え方を現地あるいは水槽実験において検証することは現実にほとんど不可能であるので、海面における反射条件を微小点における無指向性全反射と仮定して数値計算により実効受信入力レベルの試算を行った。試算に用いた送波面よりの発振波形を図-4に、試算結果の送受指向特性を図-5(a), (b)に示す。

図-4に示す発振波形は現用波高計振動子(200 KHz)による実測値をあらわし、図-5(a)には反射海面を水平、(b)には海面勾配 1/5 と仮定した場合の送波面より見た指向方向に対する送受指向性積と反射面における音圧レベルのピーク発生時間差の関係を示す。図-4において発振パルス長として考えられる有効成分は 3~4 波

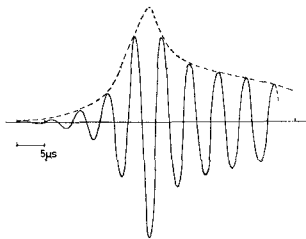


図-4 発振波形

程度であり、発振周波数 200 KHz の場合のパルス長を $15 \mu \text{sec} \sim 20 \mu \text{sec}$ と想定することが適当であることを示している。また、計算結果は実測波形を継続的に入力した場合でも実効的指向角は 1.8° 弱となり、海面勾配の影響は通常ほとんど無視し得ることを示している。また、海面勾配 1/5 の場合にも入力レベルの最大値は指向中心軸上に求められ海面勾配によって測定波形に生ずる計測上の誤差も実用上無視し得ることが明らかになった。

4. 観測の実施例

水深 -15 m 地点における沿岸波浪観測施設は、前記検討改良結果による超音波式波高計を用いて昭和 47~48 年度に、波浮、むつ小川原(第二港湾建設局)、浜田(第三港湾建設局)、那覇、中城湾、金武湾(沖縄総合開発事務局)において整備され現在定常的な観測が行われている。これらの施設は個々の地点における事業調査目的あるいは国の行政需要目的に添って計画実施されているが、両者の情報利用目的に準拠しかつ最初に整備された現地施設として、波浮(横浜調査設計事務所所管)および浜田(境港工事事務所所管)における実施例を引用させていただきその概要を紹介する。

(1) 観測施設の配置と伝送路

図-6 に波浮、図-7 に浜田の沖 -50 m に測定点を有する観測施設の配置を示す。

波浮の測定点は、伊豆大島波浮港南東沖水深 -50 m 地点にある。受感部よりの信号は、海底ケーブルにより波浮港内の観測局(東京都水産試験場大島分場内借用)に直送され、ここで波形信号に変換しモニター記録すると同時にデジタル信号に変換して電電公社特定通信回線を通じて 64 km 離れた横須賀市久里浜にある監視局

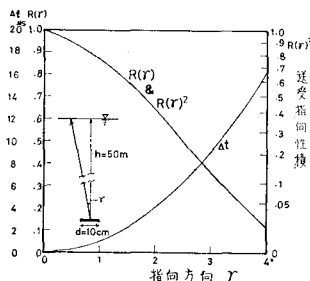


図-5(a) 送受指向特性

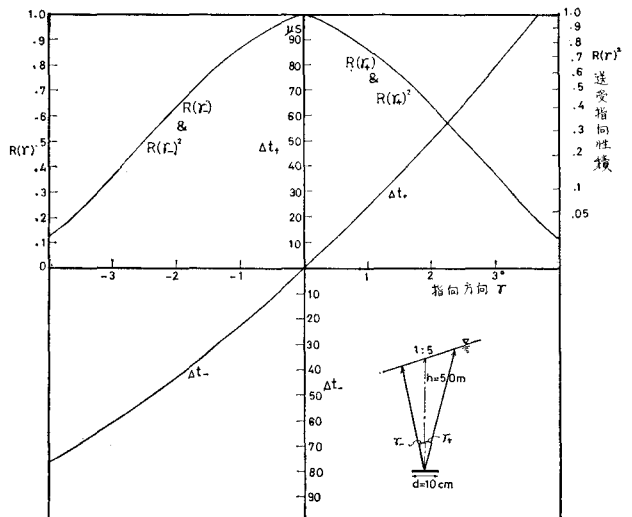
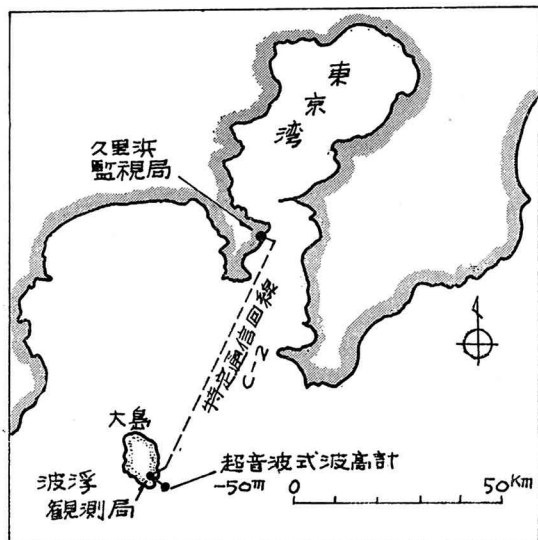


図-5(b) 送受指向特性

(港湾技術研究所内) に伝送し、波形信号に復調してアナログおよびデジタルで記録される。

浜田沖の測定点は、浜田港沖馬島北西水深 -50m の地点にある。受感部よりの信号は、海底ケーブルにより馬島南東側にある松島に設けられた中継局に直送され、ここから無線テレメータにより浜田港長浜に設けられた観測局 (浜田港湾合同庁舎内借用) に伝送される。ここで波形信号に変換しモニター記録すると同時にデジタル信号に変換して電電公社特定通信回線を通じて 130 km 離れた境港市にある監視局 (第三港湾建設局境港工事事務所内) に伝送され、ここで波形信号に復調してアナ



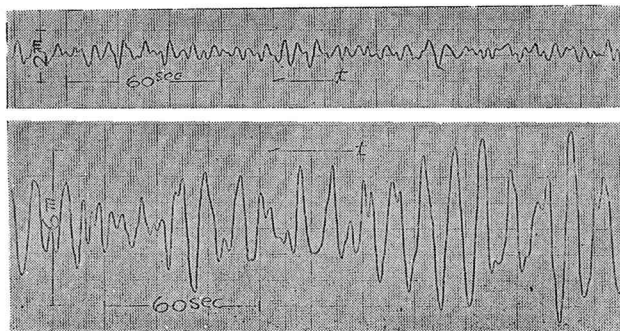
図—6 観測施設の配置例 (波浮)

ログおよびデジタルで記録される。

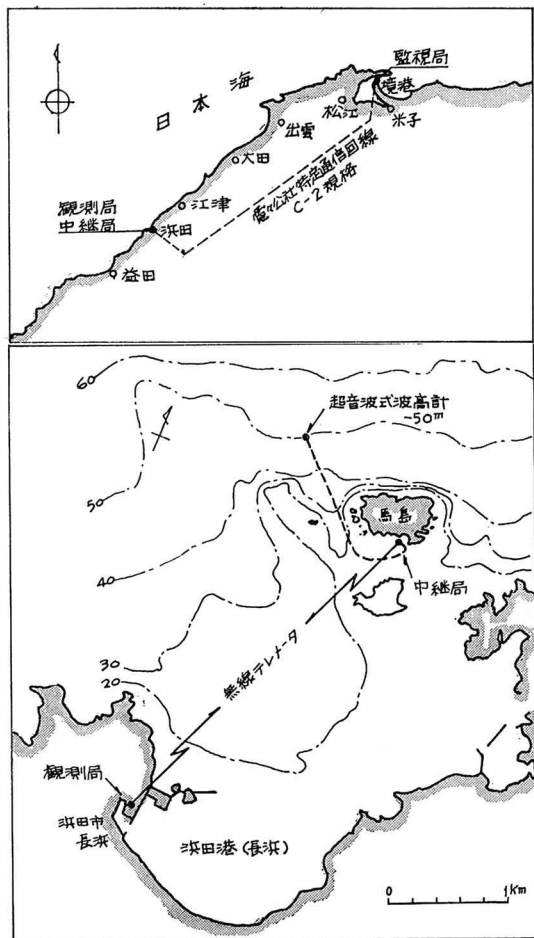
波浮から久里浜に伝送された記録例を図—8に示す。

観測は、監視局時計装置よりの指令により、定められたシーケンスに従い自動的に行われ、通常は2時間ごとに20分間の観測データが取得される。

無線テレメータおよび電電公社特定通信回線を利用した有線テレメータの要目を下記に示す。



図—8 観測記録例 (波浮—久里浜伝送)



図—7 観測施設の配置例 (浜田)

無線テレメータ装置

無線方式: 400 MHz 帯, F_2

無線出力: 0.3 W

通信方式: 単方向通信

伝送方式: PPM, 1CH

制御方式: 受量側よりのコール式

電 源: 送量装置 DC 12 V 400 mA

受量装置 AC 100 V 0.08 A

有線テレメータ装置

伝送回線: 電電公社特定通信回線 C—2 規格

伝送速度: 200 B

同期方式: 非同同期式 (独立同期方式)

符号方式: 純 2 進

符号構成: 1 ワード/16 ビット, データタビ
ット

データ伝送同期: 200 m sec

(2) 観測施設・装置の構成

観測に使用している機器装置の構成を浜田の例により図—9に示す。波浮の場合にはこの構成か

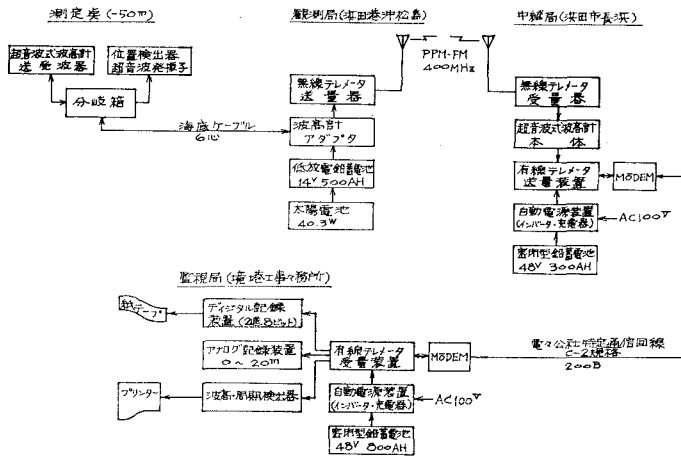


図-9 観測装置の構成例 (浜田)

ら中継局と観測局間の無線回線を省略した形となる。

(3) 海中施設

送受波器は、先に開発した振動子をジンバルサポートした形式のものをを用いた。これは送受波器の傾斜が 15° の範囲内であれば、振動子の音波放射面が自動的に水平に支持されるようにしたもので、送受波器の傾斜による測定誤差の介入を防いでいる。

受感器設置架台は、今回新しく設計されたもので、ベースの上に八角形の亀甲状の函塊を取付け、送受波器はこの函の中に固定することにより、底引き漁撈、アンカー等による損傷を極力避けるように考慮してある。函部には、送受波器のほか設置点位置検知用超音波発振器、

である。

浜田の場合には、海中架台に設置位置検知用の超音波発振器を取付けた。検知範囲は約 200 m で、無電圧検知リレーにより作動する。電源電池の容量は連続動作で 4 カ月分、交換サイクルは未使用の場合で 2 年ごとである。

ケーブルの布設および受感部設置作業の手順は、これまで一般に行われてきた浅海域での設置工事と本質的には変るものではない。しかしながら、-50 m 水深での潜水作業時間は、1 回 10 分間程度で、1 日 2 回、ただし、1 回目と 2 回目は 4~5 時間の間隔が必要であるといわれている。また、潜水作業は最低 2 名 1 組で行うことが決められており、6 名の潜水夫による場合でも 1 日の作業時間は延べ 1 時間程度となり、極力潜水作業を低減するよう機器装置および作業手順を考えることが必要であった。

(4) 陸上施設

浜田における中継局は、銅板製キュービクル型で、島の上にコンクリート基礎を打設し、これに据付け固定した。電源は太陽電池による二次電池充電方式とし、太陽電池はキュービクル上に取付けられている。組合せ使用する二次電池には、500 時間率 500 AH の海洋用低放電鉛蓄電池を使用している。

観測局は中継局からの信号を受けて、監視局に伝送する施設である。通常、観測の制御と観測データの記録は監視局が行い、インク書きアナログ記録、サンプリングデジタル記録、一波対応の波高周期検出記録の 3 種類の記録が得られるようになっている。観測局は、観測局以降に障害が発生した場合には手動切換により監視局と切離し、単独で観測制御・記録を行えるようになっている。

観測局と監視局の電源は、商用交流、整流器、インバータ、蓄電池を組合せた常時インバータ方式による無停

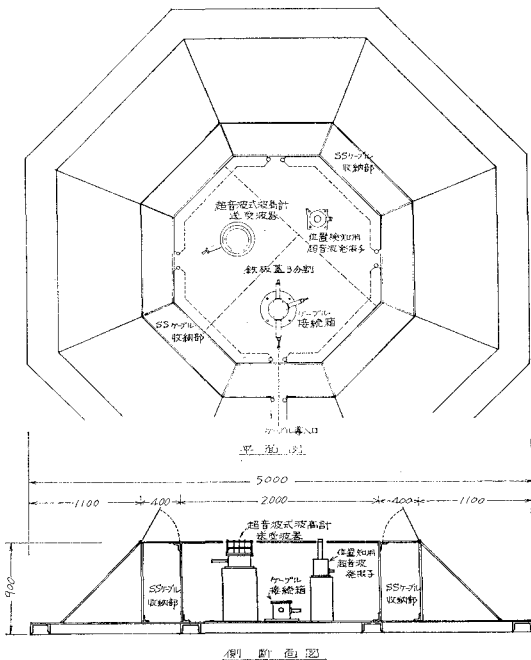


図-10 受感部設置架台例 (浜田)

電電源装置を使用しているので、観測中に停電があっても記録の瞬断はないようになっている。

5. あとがき

水深 -50 m を基準とする定常的な波浪観測施設は、現在石廊崎(気象庁)、油津(第四港湾建設局)などにおける整備計画が進捗しつつあり昭和49年度末には10地点におよび、沿岸大水深海域における波浪観測情報に対する需要は個々の事業調査あるいは国の施策を背景として今後急速に高まるものと予想される。

この報告においては主題とする当該海域における定常的波浪観測実施の可能性を実証的に明らかにしたが、より汎用的活用効果を向上するためには測定点より陸上局に至る信号伝送距離の長大化あるいは施工上の制約に対処する普遍的施工方法の開発が必要となるであろう。その対策の一環として筆者らの行った耐波性直立ブイに関する研究成果をもとに、新技術開発事業団において沿岸大水深海象システムの開発がすすめられており、時宜を

得て発表の機会を得れば幸いである。

この報告を発表するにあたり微力な筆者らの研究成果をもとに、初めて沿岸大水深海域における波浪の定常観測を実現された運輸省港湾局ならびに第二港湾建設局、第三港湾建設局関係各位のご努力に深甚の敬意を表するとともに、超音波式波高計の改良研究にご協力をいただいた海上電気株式会社関係各位に謝意を表し筆を擱く。

参 考 文 献

- 1) 高橋智晴・土子良治: 海象計測における超音波の利用(波高計, 流速計, 波向計), 昭和47年度電気四学会連合大会講演論文集, pp. 794~797, 1972年11月.
- 2) 高橋智晴: 沿岸波浪に関する観測網の展開と情報のシステム化について, 港湾, pp. 105~115, 1973年1月.
- 3) 高橋智晴・佐々木弘・ほか: 超音波式波高計について, 港湾技術研究所報告第12巻第1号, pp. 59~82, 1973年3月.