U.D.C. 531.719.21(204):534.88-8

海中作業用水中位置監視システム **Underwater Positioning System**

日立製作所は、このたび海底で作業する水中ブルドーザなどの海中作業機械やダ イバーの位置を, 高精度で監視記録できる水中位置監視システムを開発した。

本システムは、海底若しくは船舶に2個又は3個の超音波トランスデューサ(送受 波器)を設置して音響基準点とし、この基準点に対する水中物体の位置を超音波によ って計測するものであり、2基準点の場合にはX、Y平面での位置を、また3基準 点の場合にはX, Y, Z三次元位置をそれぞれ計測できる。特に, 水中作業機械か ら発生する音響雑音の影響を防止できる特殊な雑音処理方式を開発し,海底作業現 場の雑音環境下で実用化できる技術を確立した。

| 伊藤哲男* Tets | uo Itô |
|-----------------|------------------|
| 関口義清** Yosh | nikiyo Sekiguchi |
| 阿田木俊材** Tosh | niki Atagi |
| 安 斎 太 郎*** Tarê |) Anzai |
| 泉 久**** Hisa | shi Izumi |

言 1 緒

我が国の海洋開発は、長期的に見て国の基盤作りともなる 重要な課題であり、水産資源の確保育成、港湾建設、架橋工 事,鉱物資源の採取、海洋環境の調査、保全などその対象は 極めて広い。

そのため、それぞれの分野において新しい装置やシステム の開発研究,実用化試験が進められているが,それらを推進

って、実用化できるものはまだ開発されていない。そこで、 これらの技術的問題点の解決とともに、コンパクトで作業現 場でも容易に取り扱える汎用性の高い装置を開発した。

装置は図1に示すように、超音波送・受信部と位置計算処 理部を内蔵した一組の処理装置, X-Y記録計及び超音波トラ ンスデューサ(送受波器)とで構成され、また必要に応じて、 図2に示すトランスポンダ(応答器)を組み合わせて使用する。 トランスポンダとは、質問信号と呼ぶ周波数fiHzの超音波パ ルスを受信すると、これと識別できる別の周波数の超音波パ ルスを発信する応答器であり、電池で作動するので海中の任 意の位置で音響発信点として使用できるものである。

するための基本的且つ共通的技術として, 高度な水中位置監 視技術の確立が望まれている。すなわち,海中でなんらかの 作業を行なう場合、そこでは基準となるべき位置が決められ ず、そのため自己の位置や作業地点の位置がほとんど把握で きないという問題が生ずる。例えば、ダイバーが海底で作業 を行なう場合、その位置を洋上から把握できればダイバーへ 適切な指示を与えることができて,作業能率及び安全性の大 幅な向上を図ることができる。また水中ブルドーザ(1)のよう な海底作業機械は、その位置を正確に監視できないと遠隔操 縦ができないし、また海中ロボットによる海洋計測システム(2) では、ロボットの位置を船上から監視し追跡する必要がある。 その他,港湾工事や架橋工事においても,海底での正確な作 業位置を監視することによって,その作業能率が大幅に向上 できることは言うまでもない。

日立製作所は、このような背景の問題点を解決するために、 超音波による水中位置監視システムを開発した。

そして,日本国土開発株式会社,日立建機株式会社,日立 製作所3社で共同研究中の水中ブルドーザの位置監視, 芙蓉 海洋開発株式会社との協力による海底位置の標定,あるいは 海底で作業中のダイバーの位置監視などへ適用して,一連の 実用化試験を過去数年にわたり実施し,実用化へのための技 術を確立することができた。

2 水中位置監視装置の構成及び監視方式

2.1 装置の構成

従来,水中位置の監視には超音波を用いた探査装置や,船 波パルスを発信し、これを2個所の基準点A、Bで受信して 舶のナビゲーション(航行)のための長基線方式位置監視シス 図示の距離a, bを計測する。従って, A, B, Cを結ぶ三 テムなどが使用されている。しかし、水中ブルドーザのよう 角形三辺の長さから、A、Bを基準位置としてCの位置が計 な海底作業機械の位置監視では, 取扱いの容易さとともに精 算でき、位置計算処理装置によってその値がX-Y記録計に出 度, 信頼性が重要であるうえ, 作業環境下ではしばしば超音 力される。Cからは毎秒5回の割合で超音波パルスを発信す 波信号レベル以上の強烈な音響雑音が生ずるという問題もあ

本装置の主要な仕様を表1に、またシステムを構成する要 素を図3に示す。本システムでは、必要に応じてCRT(Cathode Ray Tube)表示装置や船舶の動揺補正用傾斜計などが 使用される。

このシステムは、2基準点方式と3基準点方式という二と おりの監視方式を採ることができるので、以下に二つの具体 例を掲げてその原理を説明する。

2.2 2基準点による水中位置監視方式

本方式の代表例として,水中ブルドーザの位置監視方式を 図4に示す。このシステムは、母船上でブルドーザの位置を 追跡監視しながら遠隔操縦するものである。同図に示すよう に海底の2個所に超音波トランスデューサA, Bを設置固定 して音響基準点とし、位置を測定すべき対象のブルドーザに トランスデューサCを搭載して, 三角測量の原理でその位置 を計測するものである。装置本体と、それぞれのトランスデ ューサとはケーブルで結合する。

このようにして、まず一方の基準点トランスデューサAか ら超音波パルスを発信し、他方のBで受信して超音波の伝搬 所要時間を計測し、超音波の海中での音速が1,500m/sである ことから、A、B間の距離xoを求める。

次に、 ブルドーザに搭載したトランスデューサ C から超音

73

* 日立製作所日立研究所 ** 日立製作所戸塚工場 *** 日立製作所研究開発推進センター 工学博士 **** 日立製作所機械研究所

882 日立評論 VOL. 57 No. 10(1975-10)

処理装置

X-Y記録計



図 | 水中位置監視記録装置 処理装置は,超音波送・受信部と位 置計算処理部を内蔵し,またX-Y記録 計の代わりにCRT表示装置も使用で きる。



図2 トランスポンダ(応答器)
周波数f_iの超音波パルス(信問信号)
を受信すると、これと識別できる別の周波数f₀の超音波パルス(応答信号)を発信するもので、電池で作動する。

表1 水中位置監視記録装置の主な仕様 質問信号,応答信号周波数は,50~150kHzの範囲で任意の値のものを指定できる。

| 項 目 | 仕 | 様 | |
|---------------|-------------------|------------------|--|
| 測査したが | 基準点トランスデューサから50m, | 100m, 200m, 400m | |
| 別足レン | の4段階 | | |
| 精月 | 測定レンジの0.5%以内 | | |
| 質問信号周波数 90kHz | | | |
| 応答信号周波数 | I00kHz | 1.56 | |
| 音響出フ | 85dB(電気出力にして100W) | | |

使用することによって、ケーブルの不要なシステムを別に構 成することができる。

2.3 3基準点による水中位置監視方式

本方式は,音響基準点の数を3個にすることによって,水 中の三次元位置を監視するシステムである。本方式の代表例 を図5に示す。このシステムは,沖合の海底の位置を標定す るシステムであり,船舶と海底との相対位置を超音波により 求め,同時に電波により陸上の電波発信機と船舶との相対位 置を求め,これを総合して海底位置を標定するものである。

この場合には、同図に示すように船舶の船底に3個のトラ ンスデューサA、B、Cを設置し音響基準点とする。そして、 海底の標定すべき位置にトランスポンダTを設置する。

| るので、ほとんど連続的にブルドーザの位置が追跡できる。 |
|-----------------------------|
| この方式の応用としては、ブルドーザに類似の海底作業機 |
| 械,あるいはダイバーの位置監視などがあり,海底作業の位 |
| 置監視に適する。 |
| なお、本例のようなケーブルの付いたトランスデューサを |
| 使用するのが不便な場合には、図2に示すトランスポンダを |

74

動作原理について次に述べる。まずトランスデューサAからトランスポンダへ質問信号(周波数f_iの超音波パルス)を発信すると、それを受けてトランスポンダが応答信号(周波数foの超音波パルス)を返信する。そこで、この音波を船底のトランスデューサA、B、Cでそれぞれ受信すれば、超音波の伝搬所要時間から、トランスポンダまでの距離a、b、cが求



図3 水中位置監視システムの構成要素 X, Y, Z各位置は, ディジタル表示で10cm単位で表示される。

図4 水中ブルドーザ位置監視システム トランスデューサA, Bを 基準点として, 水中ブルドーザの位置を計測する。



図5 3基準点方式による海底位置の標定システム 船底に設置した3個の超音波トランスデュー サA, B, Cを基準点として, 海底のトランスポンダの位置を標定する。

められる。トランスデューサ間距離 x_0 , y_0 は既知であるので, これら五つの距離が分かればトランスポンダの位置, すなわ ち標定すべき海底の位置(X, Y, Z)が計算できる。計算処 理装置は, 同図(b)に示すように3基準点の中心を座標原点O とし, 海面と平行にXY平面, 垂直方向をZ軸とする座標空 間を定め, トランスポンダの位置(X, Y, Z)を計算する。 この場合,船舶が波浪によって動揺してもX,Y,Z各軸 が変化しないように,座標計算補正を自動的に行なう。 この方式は,船舶によって水中物体を追跡監視するシステ ムや,海洋上の特定地点に船舶を停止させるための位置決定 システムなど,応用分野が広い。 なお2基準点方式と3基準点方式とでは,位置計算アルゴ

75

884 日立評論 VOL. 57 No. 10(1975-10)





図6 自動追尾受信方式の原理説明図 A, Bが基準点トランスデューサ, Cが測定対象のトランスデューサである。

図8 ダイバーの水中位置監視記録例 TA, TBの2個所にトランス デューサを設置して基準点とし、ダイバーの水中位置を記録した。

リズムが異なるだけで、ハードウェアの変更はほとんどない。

3 **雑音処理**⁽³⁾

水中ブルドーザのような作業機械の位置を,従来の超音波 式探査ソーナで計測することは,ほとんど不可能である。そ の理由は,ブルドーザが発する機械音,特に排土板が駆動す る際に発生する衝撃音が,超音波領域の周波数成分を含み, しかもそのレベルが信号超音波以上に強烈なためである。そ こで,次のような雑音処理方式を開発し実用化した。

3.1 自動追尾受信方式

76

この原理は図6に示すように、基準点A、Bに対し測定対 象Cの位置が図示の位置にあったとき、その時の距離値a、 bを一時記憶し、次の測定時間までに測定対象が移動する範 囲を図示の点線で囲まれる範囲と予測して、a±δ、b±δ の範囲から発信される超音波だけを受信するように、受信時 間帯を限定する方式である。しかし、なんらかの原因で信号 が途絶した場合には、測定対象が予測範囲外へ移動し見失う



ので、その場合には予測範囲を±2δ、更には±3δと順次拡 大して測定対象の位置を再捕獲し、捕獲した後は、再び予測 範囲を縮小し測定対象を追尾していく方式である。

3.2 2 周波分離受信方式

この原理は,信号周波数が特定の周波数(例えば100kHz) であるに対して,雑音は信号周波数の前後の成分も広く含む という違いに着目して,受信した信号を信号周波数成分と, それに極めて近い別の周波数成分を選択する二つの帯域ろ波 器により分離し,信号と雑音の周波数パターンの違いを検出 して雑音を阻止する方式である。

この二つの方式と、AGC(Automatic Gain Control)受信 方式を併用した効果によって、雑音影響はほとんど完全に防 止でき、安定な動作が可能となった。

4 各種の適用例と海洋試験

4.1 ダイバーの水中位置監視

海底状況の調査や測量,また各種の海中作業において,ダ イバーの果たすべき役割は極めて重要である。しかし,ダイ バーが海中に入ると,洋上からその位置を監視できないばか りでなく,ダイバー自身もその位置を確認するのが容易では ない。そこで、本システムを応用して位置監視試験を行ない 好結果を得た。

図7は、ダイバーが位置監視用トランスデューサを携帯し て、海底に入ったワイヤに沿って移動し周囲の調査を行なっ ている写真を示すものであり、その移動軌跡の記録例を図8 に示す。この場合の監視方式には、図4に示す2基準点方式 を採ったが、ダイバーのわずかな動きをも鮮明に知ることが できた。また試験の一環として、水深計を組み込んだトラン スデューサをダイバーに携帯させ、位置とその水深を記録し ながら、同時にダイバーの目視した海底の情報を総合するこ とによって、一般の測深器では得られないような精密な海底 地図を作成することができた。 これら一連の試験によって、ダイバーの位置監視が作業能 率向上に大きく寄与し、且つ事故防止の点からも極めて有意

図7 海底を調査中のダイバー ダイバーが携帯したトランスデュー サから発信する超音波によって、ダイバーの位置が監視できる。 義であることが分かった。

4.2 水中ブルドーザの位置監視

図9に水中ブルドーザの写真を、その位置監視の状況を図 4に示す。各種の計器だけをたよりに、目視できない海底の ブルドーザを遠隔操縦して海底で土木作業を行なうという、 今までに経験したことのない新しい工事法であり、それだけ にブルドーザの位置を正確に監視することが要求された。

工事試験時のブルドーザの移動軌跡を図10に示す。ブルド ーザの前進,後進及び,旋回に伴い,記録計上にその位置が 鮮明に記録されてゆき,ブルドーザ遠隔操縦のために必要, 且つ十分な情報を安定に与え得ることを確認した。

この試験における最大の問題は、ブルドーザから発生する 音響雑音による誤動作であり、通常の受信方式を用いたもの では実用化が不可能であることが分かった。そして3.に述べ た雑音処理方式を開発したことによって、初めて鮮明にブル ドーザの軌跡を記録できるようになり、これは雑音環境中で の位置監視には必須のものとなろう。

4.3 海底位置の標定システム

このシステム(図5)は、財団法人機械振興協会の開発プロ ジェクト「ロボットによる海洋計測システム」の一環として、 芙蓉海洋開発株式会社所有の調査船「わかしお」によって試 験が行なわれた。図11に試験中の「わかしお」の写真を示す。

試験は沼津沖で行なわれ,陸地から約1km,水深50~100m の海中数個所にトランスポンダを設置した。また「わかしお」 と陸上の電波発信機との距離は約4kmであった。

トランスポンダの近辺を船舶が航行したときの、トランス ポンダと船舶の相対位置記録結果を図12に示す。電波によっ て電波発信機と船舶との相対位置を求め、本装置によって船



図 9 海底で試験工事中の水中ブルドーザ 位置監視用トランスデ ユーサは、ブルドーザの先端に搭載されている。 図|| 海底位置標定システムを試験中の船舶「わかしお」 本船(芙 蓉海洋開発株式会社所有)により、ロボットによる海洋計測システムの一環として、海底位置の標定システムの試験が沼津沖で行なわれた。







図10 水中ブルドーザの水中位置監視記録例 TA, TBの2個所に トランスデューサを設置して基準点とし, 水中ブルドーザの位置を記録した。 図12 3 基準点方式による船舶とトランスポンダの相対位置記録例 X, Y座標原点が常に船舶の位置であり、トランスポンダの位置は、船舶に対し て相対的に求められる。

77

886 日立評論 VOL. 57 No. 10(1975-10)



図13 船舶の位置監視記録例 TA, TBの2個所の海中にトランスデョーサを設置して基準点とし, 船舶の位置を記録した。

て、2基準点方式によって小形船舶の位置を追跡記録した結果を示す。精度検討のために、土木測量用のトランシットによる測定値と比較した結果、±30cm以内の範囲でよく一致することを確認した。

5 結 言

超音波を応用した水中位置監視システムを開発し,ダイバ ーや水中ブルドーザの位置監視,海底位置標定システムなど 各種の実験を行なって,実用化技術を確立した。特に海中作 業に伴って発生する音響雑音の影響を防止する処理方式を開 発し得たことは,港湾工事や海中構造物の設置など,従来不 可能であった雑音環境下においても,高精度の位置計測がで きる有力な手段になるものと思われる。

終わりに当たり,この開発に際し,水中ブルドーザでの試 験においては,日本国土開発株式会社,日立建機株式会社, また調査船「わかしお」による海底位置標定システムの試験 においては,財団法人機械振興協会及び芙蓉海洋開発株式会 社の一方ならぬ御支援をいただいた。ここに関係各位に対し 厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

(1) 須之部,泉ほか「深海形水中ブルドーザシステムの開発」

舶とトランスポンダの相対位置を求め、両者を総合してトランスポンダの位置を標定した結果、±3m以内の誤差で標定できることが確認できた。

4.4 船舶の位置監視

図13は、岸壁に沿った2個所にトランスデューサを設置し

- 日立評論, 54, 1097 (昭47-12)
- (2) 渡辺:「海洋計測システムの開発」計測と制御, 11, No. 1, 123, (1972)
- (3) M. Nishihara, K. Katagilまか: "Acoustic Positioning System" The 2nd International Ocean Development Conference, Preprint-Vol 1, 498 (1972)



铸鉄の摩耗特性に及ぼす黒鉛形状の影響に 関するX線的検討 日立製作所山田俊宏・佐々木敏美,他1名 鋳物 47-3,163 (昭和50-3)

摩擦,摩耗に伴う材料表面層の塑性変形, あるいは摩擦熱の発生は,材料表面層の諸 特性に種々の変化を与え,摩耗機構を複雑 にする原因の一つとなっている。とりわけ, 鋳鉄は組織中に黒鉛を含むために,摩擦, 摩耗による変形挙動は複雑となり,その耐 摩耗性は黒鉛形状に影響される場合が多い。

筆者らは先に(鋳物, 46(1974) 10.913), 黒鉛形状の異なる代表的な鋳鉄である片状 黒鉛鋳鉄及び球状黒鉛鋳鉄を取りあげ,球 状黒鉛鋳鉄が片状黒鉛鋳鉄に比べて優れた 耐摩耗性を示すことを明らかにし,次いで その原因について主として摩擦面及びその 近傍の光学顕微鏡観察による黒鉛の変形挙 動から検討した。

しかし、光学顕微鏡による観察のみで、

78

鉄表面層の構造変化と黒鉛形状の関係について,X線を用いて更に詳細に検討した。

摩耗試験はピンーディスク型試験機を用 いて乾燥状態で行なった。摩耗試験片には 結晶粒の微細化(ASTM粒度No.6~7)及 び基地組織の統一を目的として,熱処理に よってフェライト基地とした片状黒鉛鋳鉄 及び球状黒鉛鋳鉄を用いた。摩擦面の定性 分析及び積分幅の測定はCr Kα線を用いて 行なった。

まず,これらの摩耗特性を求め,特性曲線の極大点及び極小点で耐摩耗性を判定した結果,球状黒鉛鋳鉄は片状黒鉛鋳鉄に比べて2~4倍の耐摩耗性を示すこと,並びに本実験条件下における摩耗機構はいずれもsevere wear であることを明らかにし

その結果、片状黒鉛鋳鉄の表面層には (1.3~1.5)×10⁻³程度のひずみが残留して おり、それは摩擦速度及び測定方向によっ て大きく変化しない。これに対して、球状 黒鉛鋳鉄表面層の有効ひずみは測定方向及 び摩擦速度によって異なり、摩擦痕に対し て平行方向及び摩耗量の少ない条件におい て大きなひずみが認められた。また、球状 黒鉛鋳鉄表面層の積分幅と摩耗の間には炭 素鋼の場合と同様の関係が認められ、球状 黒鉛鋳鉄は片状黒鉛鋳鉄に比べて均一材料 に近いことが明らかとなった。

以上の結果は,前回の光学顕微鏡による 観察結果と一致し,球状黒鉛鋳鉄が優れた 耐摩耗性を示す原因は,基地組織の塑性変 形により黒鉛が球状から片状に近い形とな

| | osevere wear cabaccensonacc | 10により 羔 如か 現れから 月れに 近い 形とな |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 摩擦, 摩耗に伴う表面層の変形挙動のすべ | た。次いで,摩擦表面層の積分幅を測定し, | るのに時間を要することによるものである, |
| てを把握することは困難であると考えられ | これから有効ひずみの黒鉛形状による変化 | という事実を裏付けている。 |
| た。そこで今回は, 摩擦及び摩耗に伴う鋳 | について検討した。 | |
| | | |