

# 潜水作業の安全性を向上させる「水中位置測定装置」

社団法人 日本埋立浚渫協会 安全環境対策部会 水中位置測定装置開発WG

港湾工事における潜水作業は、依然として危険性の高い作業であるが、その災害防止対策は、潜水士の位置をリアルタイムで確認できない等、その作業の特殊性から潜水士自身に依存している部分が多い。この度、作業船稼働中の工事海域で潜水士の位置をリアルタイムで測定し、船上のパソコン画面に位置情報を表示できる水中位置測定装置 (Ultra Sonic Positioning System) を開発したので、その概要を報告する。

## 1. はじめに

近年、港湾構造物は大深度化するとともに、複雑化する傾向にあり、従来にも増して工事の安全対策が要求されている。工事の施工において機械化が進む中で潜水士の作業は、作業の専門性や特殊性からなかなか機械化が進んでいないばかりか、逆に潜水士を必要とする工種が増加している。潜水士の作業は、高気圧という悪条件下での作業であり、また水中の潜水士の位置や作業状況を陸上の支援者から確認する手段がないため潜水士まかせとなる傾向にあり、依然として危険度の高い作業となっている。

このような中、(社) 日本埋立浚渫協会では㈱ソニックと共同で、潜水士の水中位置を測定し、危険要因との接近状況を陸上支援者に知らせることにより潜水作業の安全性を向上させる水中位置測定装置 (以下“USPS”) を開発した。本文では、この装置の開発の経緯や特徴などを紹介する。

## 2. 開発の経緯

### 2-1 開発の背景

構造物や作業船の大型化により、潜水士の扱う吊荷の重量が大きくなったこと、水中での作業でも機械化が進み潜水士の建設機械との接触等の機会が格段に増えたこと及び工事の複雑化・工程の短縮化の要求から工事区域において複数の作業が同時に行われるようになったこと等の理由により潜水士の安全対策の強化が急務となっている。

潜水士の安全対策の強化を行う上でまず必要なことは、作業船等の稼働する海域で、潜水士の水中位置を正しく把握する必要があるが、従来の水中位置の計測装置は

- ① 静かな海域でしか使えない
- ② 重く大きいため潜水士が携帯することが出来ない等の欠点があり、新しい装置の開発が待たれていた。

### 2-2 開発の目標

新しい装置の開発においては以下の項目を開発目標とした。

- ① ノイズの多い工事海域で使用できる。

- ② リアルタイムで連続して測定・表示できる。
- ③ 長時間使用できる。
- ④ 正確 (直線距離で誤差 1m 以内) に測定できる。
- ⑤ 潜水士の作業の支障とならない。
- ⑥ 普及の面から価格が高額とならない。

## 3. 開発の内容

### 3-1 位置算出方法

#### 【音源の方式】

位置算出に使用する音源の方式には下記 3 種類があるが、本装置には 3 次元位置測定が可能で小型であるレスポンド方式を採用。

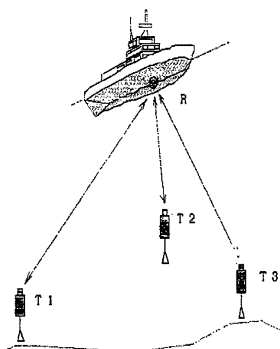
方式	ピング	トランスポンダ	レスポンド
原理	一定周期で超音波パルスを送信	船上から発信した超音波コード信号を識別して応答信号を発信	船上から有線にて発信トリガ信号を受け、超音波を発信
外形	小型	大型	小型 (ケーブル付)
特徴	超音波の到来角度しか分からない	3次元位置測定が可能	3次元位置測定が可能
主用途	タガの簡易位置測定	構造物の 3次元位置測定	水中作業ホットの位置測定

#### 【測定方式】

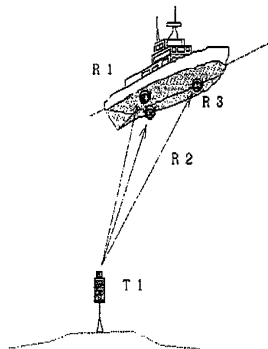
位置算出に使用する測定方法は下記 3 種類があるが、測定範囲が広く、浅海域での安定性が大きく移動点が小さく軽いことを考慮して SBL (Short Base Line) 方式を採用。

方式	LBL 方式	SBL 方式	SSBL 方式
方式の概要	1 個の移動点と 3 個のトランスポンダとの距離を測定	1 個の音源からの音を 3 個の受信器で受け、3 点との距離を測定	1 個の音源からの音を 1 個の受信器で受け位相差により位置を測定
測定範囲	制限なし	制限なし	鉛直軸を中心に 120 度の範囲
角度精度	制限なし	どの角度も一定	水平に近くなるに従い悪くなる
浅海域の影響	影響なし	影響なし	多重反射により測定不能になりやすい
深海域の影響	温度差等の影響が出る	温度差等の影響が出る	深くなると測定範囲が広がる
移動点の大きさ	大きい	小さい	小さい

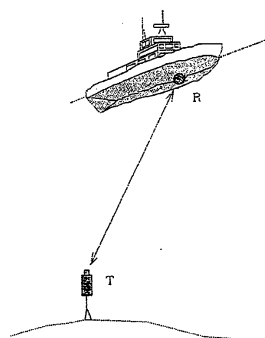
LBL 方式



SBL 方式



SSBL 方式



3-2 測定器に使用する超音波

既存の水中位置測定装置の音源および受信器は、ノイズの無い場所での使用を前提に選定されているため、作業船等のノイズを実際に測定した結果を基に測定器に使用する超音波の性質を決定した。

【ノイズ測定結果】

- ・周波数 100KHz 以上では、ノイズ発生源が無いかわ減衰してノイズが測定されなかった。
- ・ノイズの最大音圧(エネルギーの大きさ)は 150dB 程度。
- ・連続性を持つ発生源は無いかわ、もしくは小さく測定されなかった。

【採用する超音波】

- ・周波数 :100KHz を使用
- ・音圧 (エネルギー) の大きさ :150dB 以上を確保。

3-3 ノイズ障害対策

【USPS の前提】

- ・発信センサからの信号 > 周辺ノイズ
- ・水中では音は距離の二乗に反比例して減衰する。

音の減衰特性:  $I=I_0/r^2$

I: 受信センサ位置での音の大きさ (dB)

$I_0$ : 送信位置での音の大きさ (dB)

r: 送信位置と受信センサとの距離 (m)

【発信音とノイズとの識別方法】

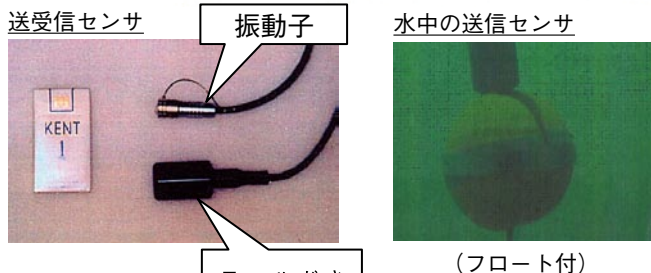
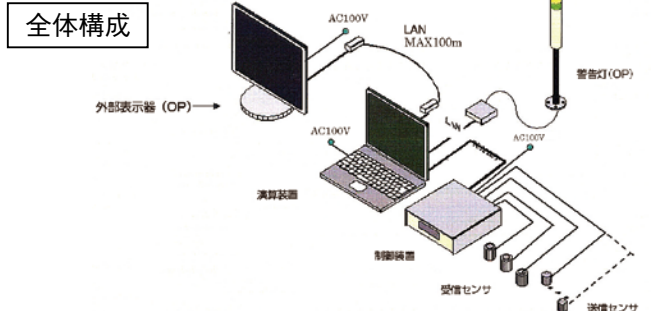
本装置では、発信センサから発信される超音波にはコード信号が付いていないため、受信側では周辺ノ

イズより受信音が大きくても機械的には発信センサからの超音波かノイズかが判断出来ない。このため本装置では音の減衰特性を利用して受信音から発信音の大きさを逆算し、設定した閾値を超えた最初の音波を発信センサからの発信音と判断する仕組みになっている。

【信号対雑音比 (S/N 比) の補正】

海域毎に潜在するノイズの特性が異なることから S/N 比が小さくなり、周辺ノイズと発信音の識別が困難となることを防止するため、S/N 比を補正する回路を設けている。

3-4 USPS の構成



3-5 機能

【基本機能】

【演算関係】

- ・送信センサの座標値 (x,y,z) の算出
- ・測定した3つの受信センサからの距離を基に算出
- ・危険度の判断
- ・送信センサの座標値を基に危険度を判断し表示
  - ① 設定した危険エリア内へ送信センサが進入した時
  - ② 危険点(他の送信センサでも可)との距離が設定値以内となった時

【測定関係】

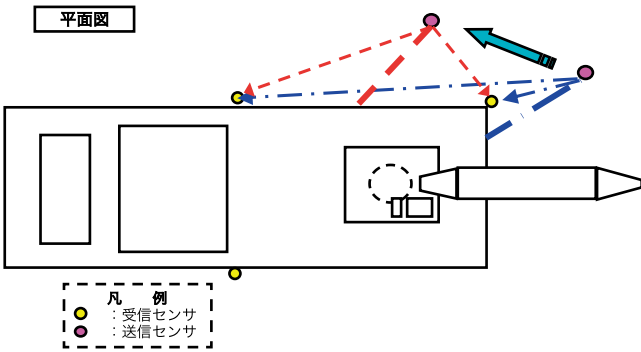
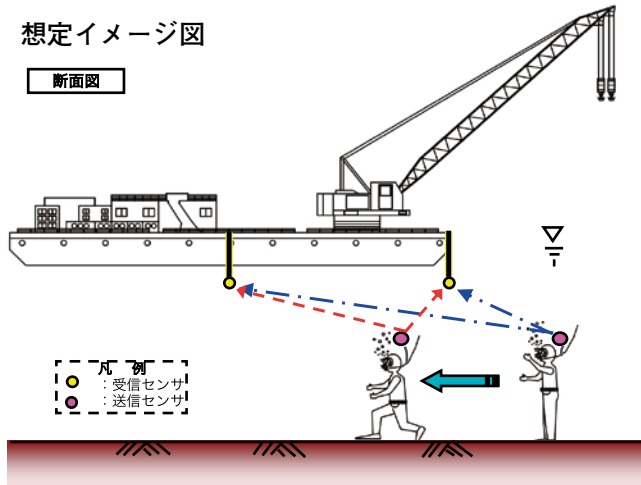
- ・作業船、潜水士船等に設置した受信センサで送信センサから発信された超音波を受信し、その到達時間から2点間の距離を算出する。

距離 = 到達時間 × 水中の音速

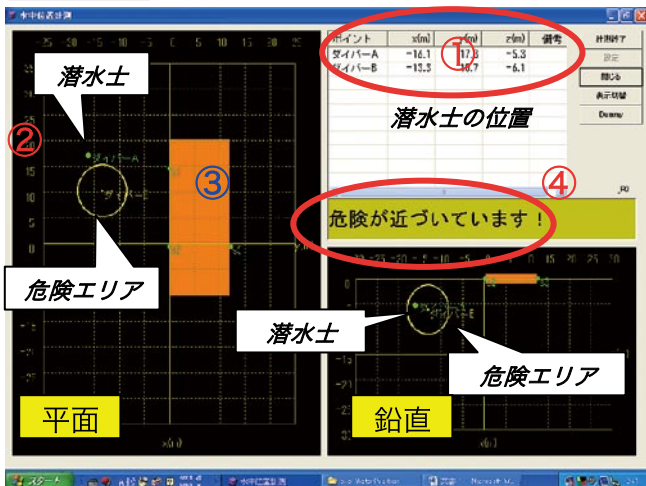
水中の音速 :1500m/ 秒 /8℃

・測定範囲は 50m (縦) × 50m (横) × 30m (深さ)

### 想定イメージ図

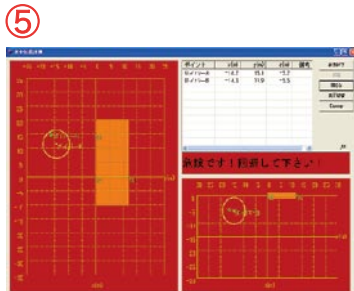


### 表示関係



・モニタ画面上にリアルタイム (1秒周期) で下記を表示

- ①送信センサの座標値(xyz)
- ②平面図、断面図上の送信センサの位置
- ③平面図、断面図上に任意の形のオブジェクト及び危険エリアの位置



④接近時警報の表示 (画面中央部に黄帯にて表示)

⑤危険時警報の表示 (画面全体を赤色に表示)

### データ保存関係

- ・測定データは演算装置として使用する PC にエクセル形式にて自動的に保存
- ・保存データは別の記憶媒体に移動・複写可能
- ・保存データにより画面表示の再生が可能

### 【オプション機能】

OP の機器の増設により下記の機能を追加可能

### 演算関係

- ・計測点 (送信センサ) の増設 (最大 5 点の計測が可能)

### 表示関係

- ・パトライトの増設により、周囲の関係者に危険度等をブザー音とパトライト点滅 (3 色) で周知
- ・複数のモニター (使用者手配) の増設により複数の位置で同一情報を同時に利用することが可能

## 3-6 開発の経過

開発の経過の概要

### 【平成 16 年】

- ・水中の暗騒音の測定
- ・各種作業船の稼働中の水域の騒音測定
- ・システムの設計
- ・試験機製作とその水槽内性能確認試験

### 【平成 17 ~ 19 年】

- ・試験機の海域での性能確認 (千葉港、横須賀港)
- ・工事海域での試験機の性能確認 (東京湾口部、横浜港)
- ・性能確認に伴うハード面、ソフト面でのシステムの改良

### 【平成 20,21 年】

- ・実用機の製作
- ・実用機の海域での性能確認 (千葉港、小名浜港、新潟港)
- ・ノイズ対策の増強

## 3-7 実作業での使用試験結果

新潟港における試験結果は下記の通り

- ・年月日:平成 21 年 9 月
- ・実施場所:新潟港 (東港地区)
- ・使用目的:防波堤改良工事における消波工 (テトラポッド乱積) 施工時の潜水士の災害防止対策
- ・使用方法:潜水士に送信センサを付け、クレーン船の運転席にモニタ (クレーン旋回範囲を危険エリアに設定) を置き、クレーンオペが潜水士の位置を確認しながらクレーン操作をする手順。
- ・使用結果:効率よく安全に施工が出来た。

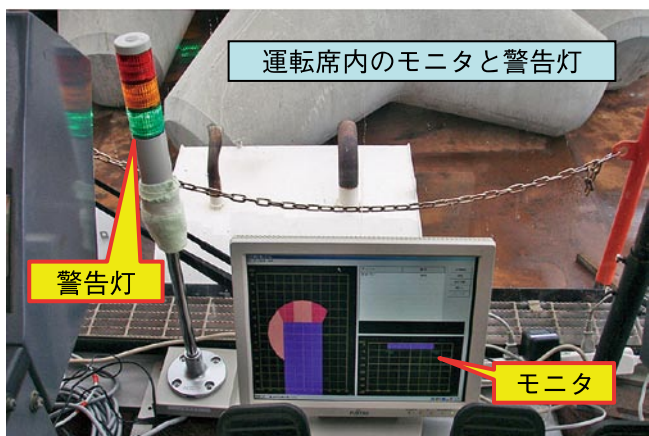
(潜水士) 取付けた送信センサは作業の支障とはならなかった。(クレーンオペ) 潜水士の位置が自分の目で確認できるので安心してクレーン操作ができた。



据付作業状況



潜水士と送信センサ



運転席内のモニタと警告灯

### 3-8 特許関係

今回開発した水中位置測定装置に関して平成 21 年 9 月に特許願を提出した。

特許出願人：(社)埋立浚渫協会及び(株)ソニック

発明の名称：水中接近警報装置

## 4. 製品化された USPS の概要

### 4-1 基本仕様

測定方式：SBL 法レスポンド方式

測定範囲：50m × 50m × 30m (縦×横×水深)

精度：直距離精度 ± 1m

測定周期：0.2 秒/CH (各センサは 1 秒間隔送信)

測定チャンネル数：最大 5 チャンネル

表示方式：ノートパソコン LCD グラフィック表示

データ出入力方式：RS232C

データ出力間隔：1 秒に 1 回

送受信器保証深度：50m

電源：AC100V

### 4-2 機器構成

制御装置：1 台

演算・表示装置：1 台 (NotePC WindowsXP)

受信用センサ：3 個 (各 100m ケーブル付)

送信用センサ：1 個 (100m ケーブル付)

### 4-3 オプション

本装置全体は使用目的に合わせて拡張できるように、送信センサ (1 点) を計測・表示できる組合せを基本構成とし、他は使用者のニーズにより購入できるようにしてある。

### 4-4 価格設定

USPS は共同開発者である(株)ソニックから下表の価格で平成 21 年 10 月から発売を開始された。

機器構成	数量	一般価格	備考
①演算装置	1 台	570,000	ノートPC付
②送信センサ	1 個	220,000	ケーブル付
③受信センサ	(3個)	660,000	ケーブル付
④制御装置	1 台	1750,000	
合計		3,200,000	
※警告灯	1 台	150,000	インターフェイス付
※送信センサ	1 個	220,000	ケーブル付
※巻取ドラム	1 台	85,000	
※収納ケース	1 台	80,000	制御装置用

注)・※印はオプション品です

・会員価格については協会宛お問い合わせ下さい

## 5. 今後の取り組み

本装置を幅広い皆さまに適切に活用して頂き、潜水作業従事者の災害撲滅に貢献できれば幸いである。また、本装置は今後の使用に際して

- ① GPS との連動による位置出し機能の充実
- ② 発信センサの非有線化による利便性の向上
- ③ 制御装置と演算装置間のデータ送金の無線化による利便性の向上

等いろいろな改良できる点を残している。

本装置の開発にあたり、ご支援、ご協力を頂いた関係者各位に謝意を表します。

(東洋建設株式会社 安全環境部長 岡部勝信)