

#### 4.3.1 調査・測量

#### 【港湾施設／調査・測量】

技 術 名	水中測位システム
番 号	No. 4.3-1
発 注 者	—
施 設 名	港湾施設
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	水中超音波計測、トランスポンダ、ワイドベースライン

##### (1) 概 要

わが国における海洋開発の必要性が高まる中で、沖合・大水深海域における海洋構造物の施工技術が重要な課題となっている。沖合・大水深海域の海洋構造物の工事は、厳しい施工条件の中で高い施工精度が求められる。このようなニーズに対応するため、長年の港湾海洋工事で培った水中超音波計測技術を応用し、独自のワイドベースライン方式による水中測位システムを開発したことで、沖合約 10 km・水深約 75m の海底における人工湧昇流漁場造成工事に適用した。

##### (2) 技術詳細

海洋構造物を吊り下げた大型のクレーン船の回りに、GNSS や超音波送受波器を搭載した測量船（3 隻）を深度に合わせて配置し、GNSS により受信された測位のデータと超音波測定装置によって得られた測距データを組み合わせることより、構造物に取り付けられた水中トランスポンダの位置を精度良く計測する。

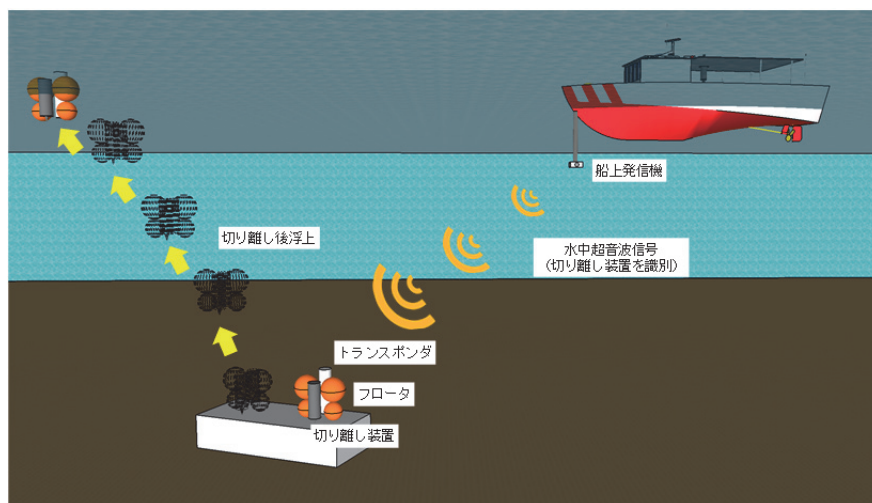


図-1 システム概略図

### (3) 結 果

沖合約 10km・水深約 75m の海底における、人工湧昇流漁場造成工事において、設置精度 1.0m 以内で施工することができた。本方式は、誘導から設置に至るまでのトータルシステムであり、リアルタイムに表示されることにより施工管理へ即座にフィードバックできる。水中トランスポンダの確実な回収および転用を可能とする装置で、船上より、切り離し装置部へ専用の超音波信号を送信する。切り離し装置部では当信号を受信することにより、水中にてフック部を確実に切り離し浮上させる。



図-2 人工湧昇流設置状況図

参 考 文 献	五洋建設(株)ホームページ： <a href="http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/oceanic/wbl.html">http://www.penta-ocean.co.jp/business/tech/civil/oceanic/wbl.html</a>
備 考	NETIS 登録技術（登録番号 KTK-040007-A）

技 術 名	水中ポジショニングシステム
番 号	No. 4. 3-2
発 注 者	—
施 設 名	—
所 在 地	—
工 事 名 称	—
施 工 期 間	—
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	水中測位、侵入検知、軌跡記録、トランスポンダ
<p>(1) 概 要</p> <p>水中でのブロックや構造物の据付けでは潜水士による誘導や玉掛け、玉外し作業が伴う。水中の潜水士位置はクレーンオペレータから目視確認することは難しく、クレーンオペレータは潜水士が吐く気泡の位置や水中電話によるやりとりで潜水士位置を見当つけている。しかし、気泡は海流によって流されたり、視界の悪い水中では潜水士本人が吊荷に対する位置を見誤ったりして正確な位置を知るのは困難である。そこでクレーンオペレータが水中の潜水士の位置を把握して、作業の安全性を向上する目的で開発された。</p> <p>水中位置監視システムは、従来の潜水士作業や構造物の水中据付作業で不可欠であった対象物（潜水士や吊荷など）の測位・監視を行うシステムである。</p> <p>対象物の測位・監視作業は、対象物にトランスポンダを取付け、潜水士船や作業台船に送受波器、GPS、コンパスを設置して行う。送受波器から特定のトランスポンダを呼び出し、トランスポンダが応答を返す。この伝搬時間を解析して送受波器からみた対象物の位置を特定し、GPS およびコンパスの指示値から対象物の絶対位置を算出する。同システムでは、トランスポンダごとに異なる信号を割りつけているため、どの対象物がどこにいるかを特定できる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特 徴</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 同時に6つの対象物を作業半径150m×水深30mの範囲で測位可能。</li> <li>② 対象物の水中位置を作業船上のモニタで監視することにより潜水士を誘導することや、ブロック据付時の起重機船オペレータが潜水士や吊荷の位置を確認しながら作業を行うことが可能。</li> <li>③ 管理範囲内に対象物が入るとモニタに警告を表示し注意喚起をすることが可能。</li> <li>④ 対象物に取り付けるトランスポンダはワイヤレスのため作業性がよい。</li> </ol>	

2) システム構成図

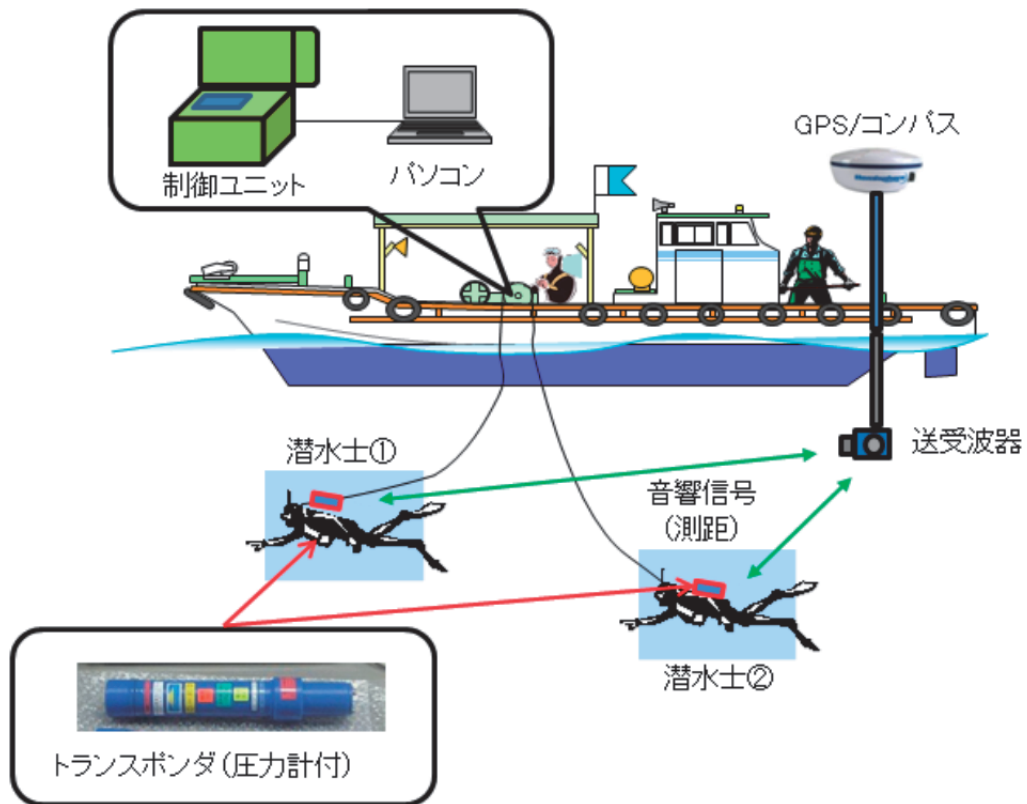
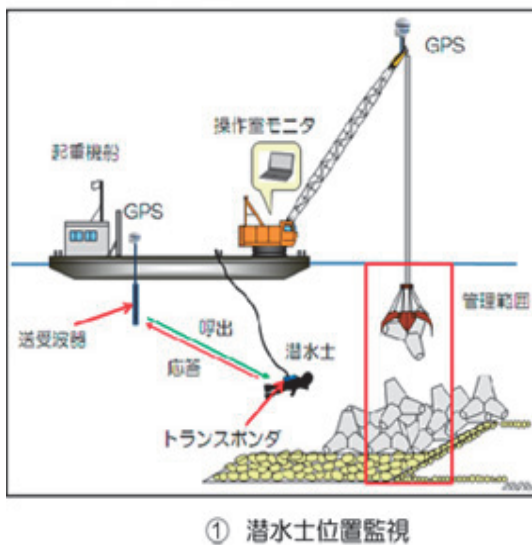


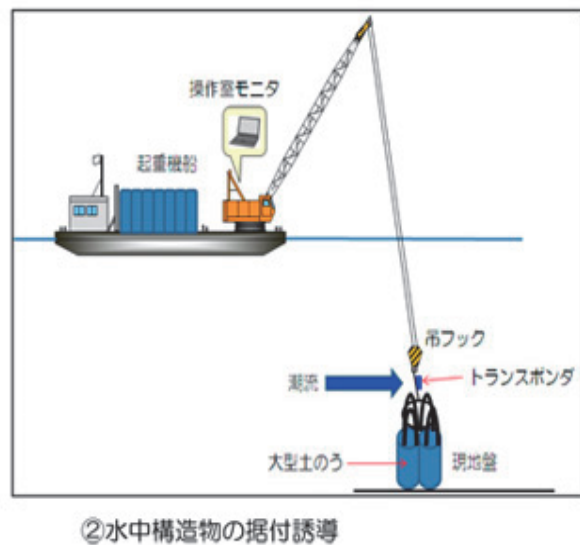
図-1 システム構成図

3) 位置監視概要図



① 潜水士位置監視

図-2 ブロック据付時のシステム概要図



②水中構造物の据付誘導

図-3 土のう据付時のシステム概要図

### (3) 結果

#### 1) システムの測位精度の検証と評価

- ① 平面測位精度は適用範囲において送受波器とトランスポンダ間の距離の±4%、測深精度は±50cm以下で対象物の位置を特定できることが確認された。
- ② 3つの対象物の位置を同時に把握できることが確認された。
- ③ 水中の管理範囲に対象物が侵入したことを検知できることが確認された。
- ④ 対象物の移動軌跡を記録できることが確認された。(平面精度検証試験、測深精度検証試験結果による。)

#### 2) 導入事例の紹介

##### ① 潜水士の位置把握

ブロック据付・撤去作業では潜水士が吊荷位置の誘導や、吊荷の玉掛け・玉外しを行うが、クレーンオペレータは直接潜水士の位置を確認することはできない。そこで、クレーンブーム先端部を吊荷中心とした任意の半径範囲を管理範囲として、潜水士位置に重ねてクレーンオペレータ席に取り付けたモニタに表示した。クレーンオペレータはこのモニタで潜水士位置を確認して吊荷作業を行った。写真-1にクレーン操作状況を示す。水中電話と合わせて視覚的に潜水士位置を確認できるので上下作業の防止、挟まれ・接触事故防止が図れた。図-2にブロック据付時のシステム概要図を示す。



写真-1 クレーン操作状況

## ② 水中構造物の据付誘導

大深度や潮流のある海域での構造物据付では、吊荷が流されてしまい起重機船のブーム先端を吊荷位置として管理することができないため、個別に吊荷の測位が必要となる。そこで、図-3の土のう据付時のシステム概要図のように吊荷の真上にトランスポンダを取付けて、クレーンオペレータが吊荷位置を確認しながら精度のよい据付作業を行った。

## 3) 今後の展開

本システムは一般財団法人沿岸技術研究センターに港湾関連民間技術の確認審査・評価を依頼し、評価証を2012年7月に取得した。これまでケーソンの被覆ブロック据付・撤去時の潜水土の位置監視、水深50m、最大潮流4～5ノットの海域での土のう設置、最大潮流1.7ノット、水深300mでのブロック据付など8現場の導入実績（2012年5月現在）を積んでいる。

本システムは超音波を使った水中音響測位がコアとなっている。海上工事では近傍にケーソンなどの構造物や他の作業船があり、音響反射や干渉によって測位に影響を及ぼす劣悪な水中音響環境といえる。構造物や吊荷、作業船などが輻輳する現場ほど潜水土の安全確保のために位置監視は重要な技術となる。そのため、信号処理方法などの試行錯誤を重ねて、より安定した測位ができるシステムの確立に継続して取り組んでいきたい。

今後も現場導入とシステムの安定性を高めてデータの蓄積を行い、大深度や狭隘な施工場所への導入など適用範囲の拡大やシステム信頼性の向上に努めたいと考えている。

参考文献	<ul style="list-style-type: none"><li>海中ロボット：浦環・高川真一、(株)成山堂書店、1997年4月28日</li><li>CDIT：(一財)沿岸技術研究センター機関誌、Vol. 36、2011年10月</li></ul>
備考	—

技術名	4D ソナーによる施工管理システム
番号	No. 4. 3-3
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	五洋建設(株)
キーワード	水中作業、リアルタイム水中可視化、4次元測量、作業効率向上、水中構造物

## (1) 概要

4D ソナーによる施工管理システムは、海底や水中構造物の形状を4次元 (X, Y, Z, 時刻) で計測し、表示および記録することができるシステムである。ソナーを艀装した船体の動揺を計測して瞬時に補正することができ、超音波のノイズデータの除去も自動で行うため、従来不可能であった位置情報を有するリアルタイムな水中可視化計測による施工管理が可能となった。

## (2) 技術詳細

## 1) システムの内容

4D ソナーシステムは、海底地形や水中構造物の形状を超音波にて立体的に計測し、表示および記録することができる施工管理システムである。ソナーにより  $50^{\circ} \times 50^{\circ}$  の範囲を  $128 \times 128$  (16,384) 本のビームで最大 150m の距離まで計測することができる。

16,384 個の計測点は、各々4次元 (X, Y, Z, 時刻) データであるため、計測結果は立体映像として可視化される。

データ更新レートは、最大 12Hz であるため、水中の動体計測も可能である。また、ソナーを艀装した船体の動揺を計測して補正することができ、超音波のノイズデータの除去も自動で行うため、従来は不可能であったリアルタイムな4次元の測量結果の表示が可能である。ソナー部を遠隔操作や自動操縦でパン(水平方向)、およびチルト(鉛直方向)可動させることができるため、ソナーの計測範囲である

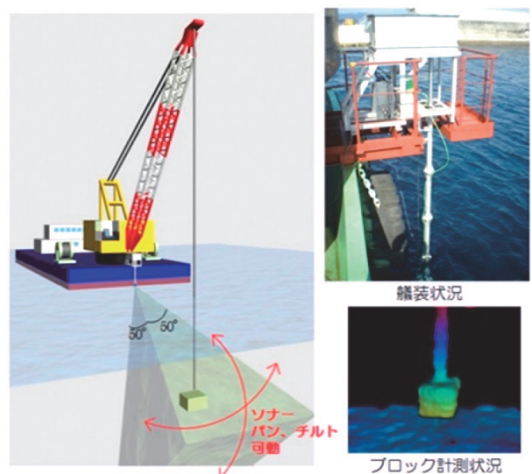


図-1 システム概要

50° × 50° 以上の範囲を計測して表示することも可能である。4D ソナーシステムにより、捨石投入、捨石均し、浚渫、ブロック据付、障害物撤去などの海上工事において、潜水士の誘導なく、船舶機械の重機オペレータが水中作業状況をリアルタイムに確認しながら作業を行えるため、作業効率および安全性の向上が実現される。

## 2) システムの検証

4D ソナーシステムの精度を検証するために、他の計測方法との比較を行った。まず、超音波計測機器であるナローマルチ測量と同一箇所を測量し、取得したデータの比較を行った。ナローマルチ測量は、水路測量に使用されており、適用可能な機器の精度については、“海上保安庁告示第 102 号”および“マルチビーム（浅海用）音響測深実施指針”に記載されている。実験で使用したナローマルチビームソナーと構成機器は、水路測量において広く使用されている機種であり、ビームフォーミング方式とインターフェロメトリ

方式を組み合わせることでそれぞれの方式における特性を生かし、海底の様々な形状を計測できるようになっている。特にソナーの直下付近で取得する反射波はビームフォーミング方式を採用している。ビームフォーマーは複雑な海底形状を捉える場合に適した方式である。4D ソナーシステムもビームフォーミング方式を採用しているため、同様の結果が予想される。表-1 に実験に使用した 4D ソナーシステムとナローマルチビームソナー、およびその構成機器の仕様を示す。

次に超音波とは異なる方法により海底地形を計測し、本システムの計測結果と比較する。海底計測方法として、レッド測深や水中スタッフによる測量があるが、より精度の高い水中スタッフ測量、および水中水準測量器により、各々 2m ピッチで計測を行った。

計測は、沖防波堤のケーソンマウンドの基礎捨石部で実施した。捨石マウンド天端部は、水深約 11m で、法面箇所は水深約 19m まで 1 : 2 の法となっている。基礎捨石は 1 t/個である。使用した計測機器一覧を表-2 に示す。

表-1 実験に使用した構成機器の仕様

機 器	項 目	4Dソナーシステム	ナローマルチビームソナー (SEABAT8125)
ソナー	受波信号処理方法	ビームフォーミング	ビームフォーミング インターフェロメトリ
	ビーム数	16384	240
	最大レンジ	150m	120m
	計測範囲	50° × 50°	120° × 1°
INS	方位計測精度	0.01°	
	ロール計測精度	0.01°	
	ピッチ計測精度	0.01°	
	ヒープ計測精度	5% or 5cm	
RTK-GPS	精度	水平 8mm+1ppm RMS	
		垂直 15mm+1ppm RMS	
音速・圧力センサ	音速度計測精度	±0.05m/s	
	音速度測定範囲	1400~1600m/s	
	圧力計測精度	±0.05%FS	
	圧力測定範囲	100m	

表-2 計測機器一覧

項目	4Dソナーシステム	ナローマルチビームソナー (SEABAT8125)	水中スタッフ + トータルステーション	水中水準測量器
計測項目	平面座標 (xy)	平面座標 (xy)	水深	水深
	水深	水深		
	時刻			
測深精度	実験により検証	実験により検証	5mm (測距離200m、測角精度5°)	±20mm



### ①ソナーによる計測

測量船に4Dソナーシステムとナローマルチビームソナーを設置し、予め設定した2側線を25回ずつ測量する。計測時の航行速度は、約3knotで4Dソナーシステムは、5Hzでデータ収録を行った。RTK-GPSと船体の動揺を計測するINS(Inertial Navigation System)は、本システムとナローマルチビームソナーで共有して同じデータを使用している。

### ②水中スタッフ、水中水準測量器による計測

水中スタッフにミラーを取付け、予め設定した測点をトータルステーションで測量すると共に、水中水準測量器で計測した。測点は、側線上に2mピッチで設定した。計測概念を図-2に、計測状況を写真-1に示す。



写真-1 水中スタッフと水中水準測量器による計測状況

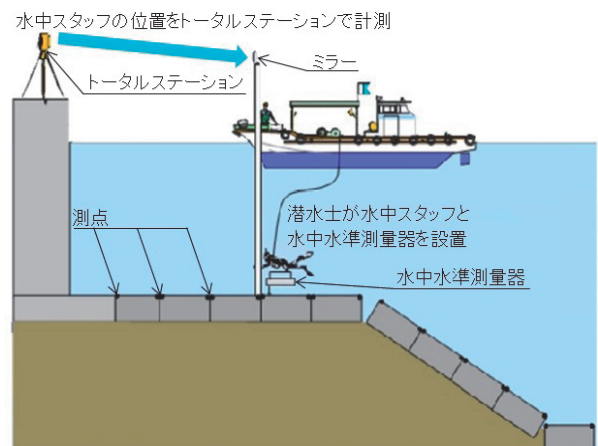


図-2 水中スタッフと水中水準測量器による計測

## (3) 結果

### 1) 実験結果

比較断面を図-3に示す。水中スタッフによる計測は、スタッフを最大限使用し、-13mまでのデータを取得できた。

ナローマルチビームソナーの計測結果は、水中スタッフおよび水中水準測量器の計測結果より深くなる傾向となり、4Dソナーシステムの計測結果は、より水中水準測量器に近い値となった。

4Dソナーシステムとナローマルチビームソナーの25回分の測定データを2mピッチの各測点毎(c1~c16)で平均し、他の計測方法と比較した。

水中水準測量器の計測値を真値と仮定すると、図-3より、ナローマルチビームソナーの誤差は、最大0.77mで平均0.35mであった。

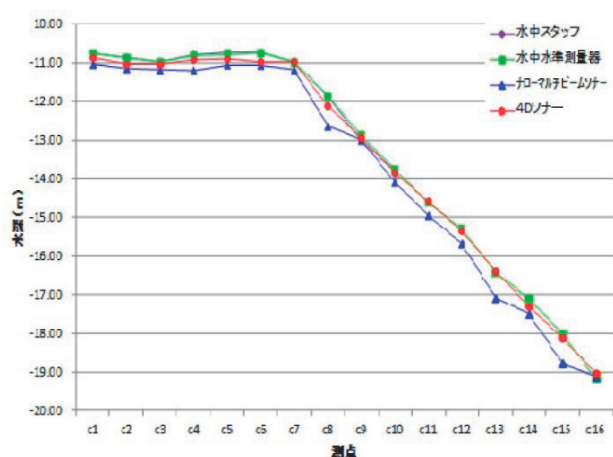
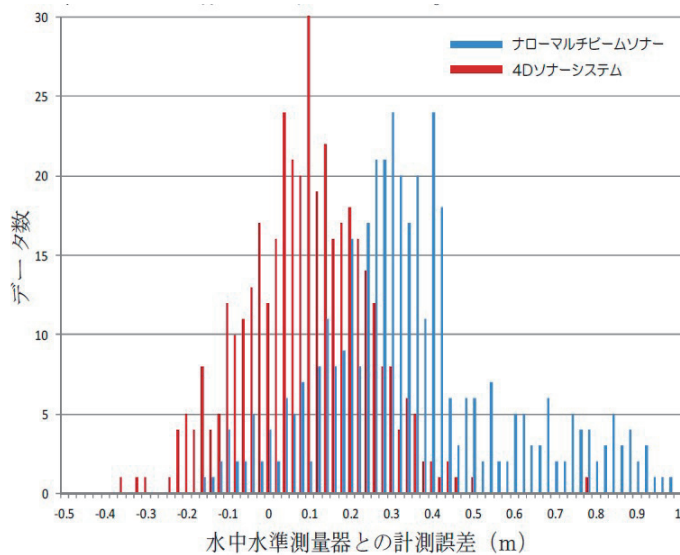


図-3 各測点における計測値比較

一方、4D ソナーシステムでは、最大 0.25m で平均 0.08m であった。

各測点における 4D ソナーシステムとナローマルチビームソナーの水中水準測量器との計測差の頻度分布を図-4 に示す。水中水準測量器と 4D ソナーシステムの計測差の平均値 ± 2σ に含まれるデータ数は、全データ数の 96% であった。



4D ソナーシステムの計測差

標準偏差 0.149m

平均値 0.082m

ナローマルチビームソナーの

計測差

標準偏差 0.240m

平均値 0.349m

図-4 水中水準測量器との計測差の頻度分布 (標本数 400)

## 2) 構造物工事 (ブロック据付) における効果の検証

4D ソナーシステムを活用した据付と従来工法による据付について、据付精度の比較検証を行った。精度確認のための測量は、ナローマルチビームソナーを用いブロック 1 個につき 3 点を計測して、据付位置や向きを算出した。

比較は、通常施工箇所のビーハイブ (30t 型) 9 個とホロスケヤー (40t 型) 6 個を対象とした。表-3、表-4 に示すように、据付位置および据付方向ともに、4D ソナーシステムによる誘導据付が良い結果となっているが、顕著な差ではなく、本実証工事では施工数量が少なかったため、今後の施工実績の蓄積により評価したいと考える。

表-3 ブロック中心座標の差の標準偏差

検証項目	工事形態	目標との差の標準偏差(m)
据付位置精度	システムによる誘導据付	0.20
	通常施工	0.36

表-4 方位角度差の標準偏差

検証項目	工事形態	向き	目標との差の標準偏差(°)
据付方位精度	システムによる誘導据付	法線平行	2.45
		法線直角	1.92
	通常施工	法線平行	2.56
		法線直角	2.99

<p>参 考 文 献</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(一社)日本埋立浚渫協会 marine voice 21 Spring 2015 vol.289</li> <li>・(一財)沿岸技術研究センター 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第12004号</li> <li>・国交省中国地方整備局 中国技術事務局ホームページ  <a href="http://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/26_hirosima/H26_hiroshima_07.pdf">http://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/26_hirosima/H26_hiroshima_07.pdf</a></li> </ul>
<p>備 考</p>	<p>(一財)国土技術研究センター 第15回国土技術開発賞 優秀賞</p>

技術名	自動ベルーガ
番号	No. 4. 3-4
発注者	—
施設名	—
所在地	—
工事名称	—
施工期間	—
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	自律航行、深浅測量、堆砂量調査
<p>(1) 概要</p> <p>本システムは、工具を必要としない組立式の小型双胴船を使用し、ナローマルチビーム測深機を搭載して自動航行を行うことにより、深浅測量の省人化および省力化を可能にするものである。また、RTK-GPS を用いて高精度に位置管理を行うとともに、ナローマルチビーム測深機の採用によって地形を面的に捉えることが可能となり、測量効率の向上に寄与できる。当該システムの導入により、湖底や法面部の詳細な測量が高精度かつ広範囲に行うことが可能となり、ダムの貯水池において堆積物の状況を効率的に把握することができる。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特徴</p> <p>① 人力で運搬可能で、組立は工具不要。</p> <p>② 一般の船が搬入困難な水域での測量が可能であり、喫水が浅く、慣性力が小さいので水深のない水域（海域）での測量が可能。</p> <p>③ 自律航行をはじめ遠隔操作、手動操作が可能であり、陸上基地局では測量状況やバッテリーの残量等を監視できる。</p> <p>④ バッテリーの充電に時間が掛かることやバッテリーの交換に手間が掛かることから、最近ではゴムボートで押すこともある。</p> <p>⑤ 取得データは、解析システム（ベルーガアナライザー）にて管理する事により、日々の施工管理情報を容易に集約する事が可能。</p> <p>2) 適用分野</p> <p>① 浚渫、土捨、埋立等一般海洋土木工事の詳細な深浅測量</p> <p>② 海域他、ダム貯水池の堆砂量調査</p>	

### 3) 適用条件

- ① 山間部等の場合、上空視界状況による。
- ② 航行速度=2knot (最大)、1.4knot (通常)
- ③ 波高0.5m 以下
- ④ 長時間化運転不可 (4~5 時間まで)

### 4) 概要図、計測状況およびシステム画面

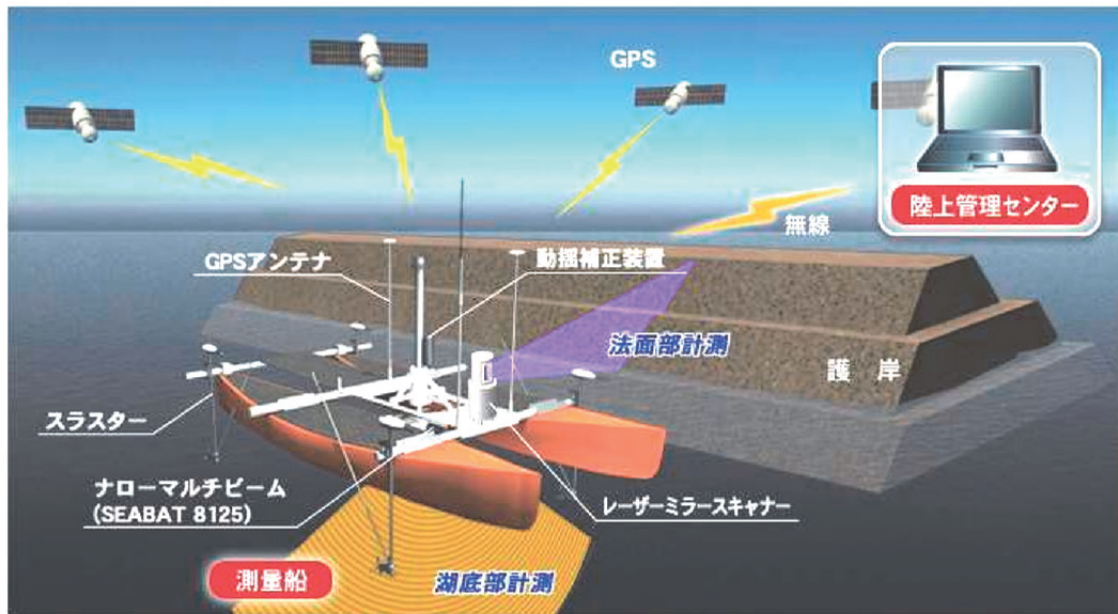


図-1 概要図



図-2 計測状況

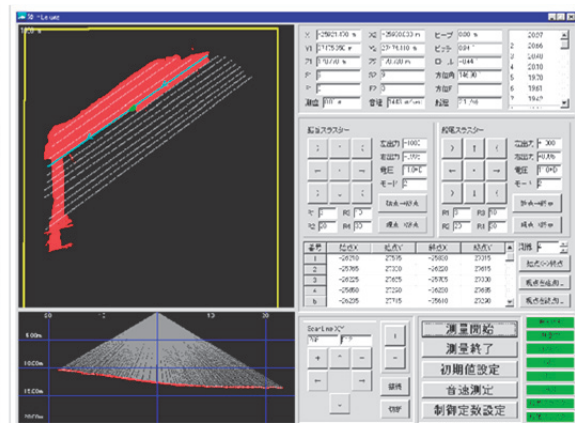


図-3 陸上基地局監視画面

<p>参 考 文 献</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 東亜建設工業(株)ホームページ：  <a href="http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m01/index.html">http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m01/index.html</a></li> <li>・ 国土交通省ホームページ：  <a href="http://www.mlit.go.jp/common/001083016.pdf">http://www.mlit.go.jp/common/001083016.pdf</a>            次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進            水中維持技術の現場検証・評価の結果（2015年3月19日）            次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会 水中維持管理部会</li> </ul>
<p>備 考</p>	<p>—</p>

【港湾施設／調査・測量】

技術名	PU-NAVI（ピンポイント水中位置誘導システム）
番号	No. 4. 3-5
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施設名	－
所在地	大阪府此花区夢洲東1丁目地先
工事名称	大阪港北港南地区 航路(-16m) 附帯施設基礎等工事(第1工区)
施工期間	2013年1月～2014年1月
施工者	東亜建設工業・大本組・本間組共同企業体
キーワード	水中位置誘導、潜水作業
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>本工事は、大阪港北港南地区航路(-16m) 浚渫の附帯施設工として工事区域明示のための灯浮標(表示用標識)の移設、撤去及び汚濁防止膜設置並びに埋立護岸基礎工の施工を行うものであった。この中で、汚濁防止膜の設置は港湾区域境界線付近での作業であったため、施工中もこの境界線を越えることなく、かつ水中で作業を行う潜水士の安全も確保しながら設置を行うことが課題であった。</p> <p>2) 技術概要</p> <p>汚濁防止膜の設置において、PU-NAVI（ピンポイント水中位置誘導システム）を応用し、汚濁防止膜専用吊具の両端、及び潜水士に CCD カメラ及びトランスポンダーを設置することで、水中での吊荷位置、及び潜水士の位置をモニターにて監視しながら施工を行った。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システム概要</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 水中の吊荷や潜水士の位置の把握が可能</li> <li>② 吊荷位置の誘導だけでなく、台船位置誘導及びブーム先端位置誘導も可能</li> <li>③ 潜水士と吊荷の接近をモニター上で確認できる</li> <li>④ リアルタイム性に富む位置誘導が可能(無線 LAN の通信速度に依存)</li> <li>⑤ トランスポンダーとトランスデューサ間に遮蔽物がある場合は使用不可</li> <li>⑥ 水中に気泡がある場合は、気泡が消散するまで使用不可</li> </ul>	

2) 平面図、断面図および監視モニター等

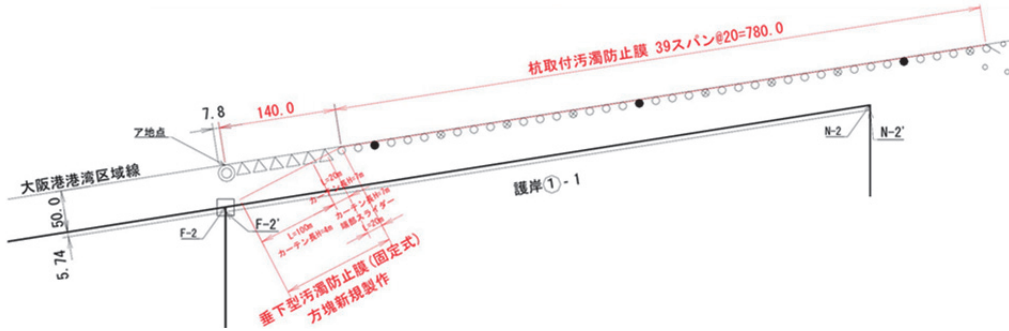


図-1 平面図

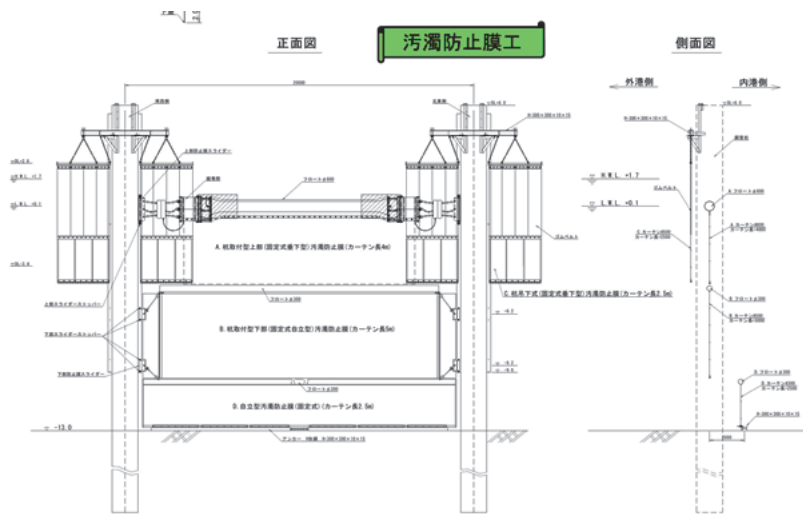
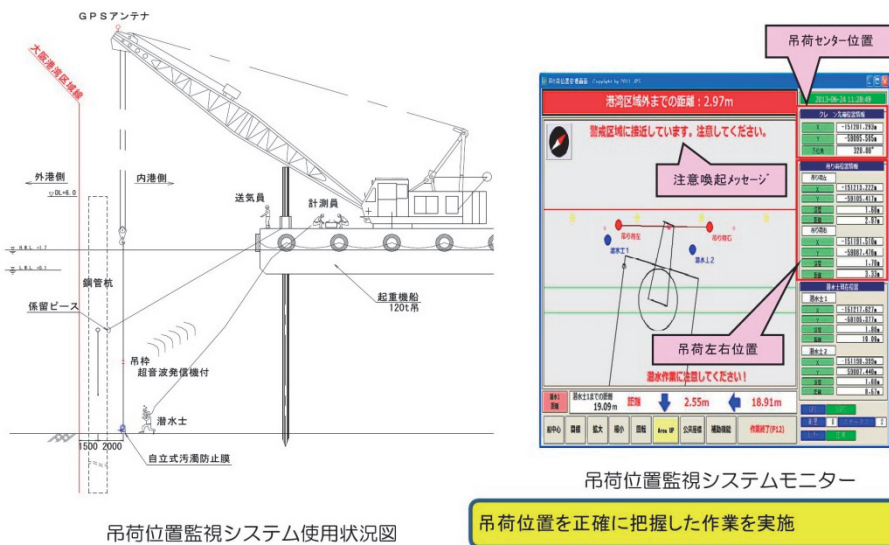


図-2 断面図（汚濁防止膜詳細図）



吊荷位置監視システム使用状況図

図-3 監視モニター参考図





写真-1 専用吊具



写真-2 吊荷位置監視状況

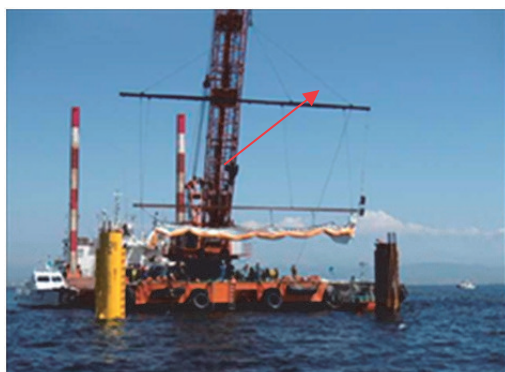


写真-3 汚濁防止膜設置状況



写真-4 汚濁防止膜設置完了

### 3) 汚濁防止膜概要

種類		規格・形状寸法	単位	数量	取付位置	備考
固定式	自立型	H=2.5m、フロートφ300、#300	セット	39	鋼管杭部	杭間20m

### (3) 結果

本システムの採用により施工中も港湾区域境界線を越えることなく、かつ水中で作業を行う潜水士の安全を確保して工事を行うことができた。

参考文献	東亜建設工業(株)ホームページ： <a href="http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m14/index.html">http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m14/index.html</a>
備考	<p>【工法（特許、NETIS登録等）】 NETIS登録番号（KTK-120005-A）</p> <p>【工事实績】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・須崎港湾口地区防波築造工事 （国土交通省 四国地方整備局 工期：H25.10～H26.3）</li> <li>・鳥取県千代地区防波堤（第1）（西）築造工事 （国土交通省 中国地方整備局 工期：H24.3～H24.11）</li> </ul> <p style="text-align: right;">他</p>