

4.3.3 基礎

【港湾施設／基礎】

技術名	気象予測システム・捨石均し管理システム
番号	No. 4.3-10
発注者	国立開発研究法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、電源開発 (株)
施設名	洋上風力発電施設、洋上風況観測施設
所在地	福岡県 北九州市沖
工事名称	洋上風力発電施設建設工事
施工期間	2011年8月～2013年5月
施工者	五洋建設 (株)
キーワード	据付精度の向上技術、遠隔制御、気象予測

(1) 概要

1) 工事概要

国立開発研究法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が取り組む「洋上風力発電システム実証研究」および「洋上風況観測システム実証研究」の枠組みの中で、電源開発株式会社からの発注のもと、当社は2011年8月から2013年5月まで、北九州市沖での洋上風力発電施設の基礎構造設計・製作・据付と風車組立、および洋上風況観測塔の基礎製作・据付、観測塔組立に取り組んだ。



写真-1 風力発電施設の設置状況

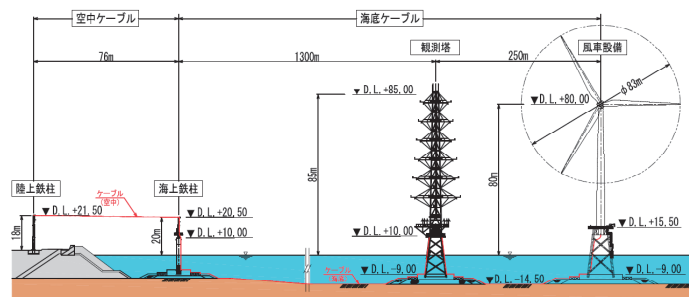


図-1 実証研究設備模式図

風車が建設される場所は福岡県北九州市の沖合約1.4kmにある水深約14m地点。そこに2MW級の風車1基と風況観測塔（高さ85m）を建設した。

今回、基礎構造には鋼管と鉄筋コンクリートを併用した「ハイブリッド重力式支持構造物」が採用された。鋼管部分はジャケット構造になっており、波が透過するため、通常のケーソン堤などに比べ大幅に波力を低減できる。また、鉄筋コンクリート底版が最下部にあり、重心が低いいため地震時の安定性にも優れている。

2) 施工法の概要

工場所は日本海に面し、冬季の季節風や波浪が厳しい海域である。事業工程では、風車建

設完了（電設工事は除く）は2013年3月末である。大臣認定取得からわずか1年間で風車建設を完了させるために、厳しい気象条件下での建設工事が始まった。

① 捨石マウンドの築造

風車建設には鉛直精度の確保が至上命題である。通常、陸上の風力発電施設では鉄筋コンクリート基礎の天端面をレベル調整し風車タワーと接合される。今回は耐久性や安全性の観点から接合部でのレベル調整は行わないこととしたため、支持構造物の鉛直精度、すなわち捨石マウンドの水平精度がそのまま風車の鉛直精度に反映される。

そこで、捨石マウンドの築造には転圧が可能な「重錘落下による機械式での均し作業」を行った。その結果、洋上風車、風況観測塔とも高い鉛直精度を確保することができた。また、「自動追尾型トータルステーションによる管理システム」の導入が鉛直精度の確保に大きく寄与した。

② 支持構造物の製作・据付

洋上での作業を最小限とするため、支持構造物は「プレキャスト化」している。そのため重量は4,000tを超えており、製作・据付には浮力が活用できるフローティングドックと3,700t吊の大型起重機船を併用した。

支持構造物の据付完了は2012年10月。工程を考えると引き続き風車タワーの建設に取り掛かるところであるが、現地海域の海象面は日本海特有の厳しい時期にあたる。そこで、10月から1月までは越冬期間として工事を中断し、工事再開に備えた。

③ 風車の組立

現地の海域は、季節風の影響により、通常であれば2～3月は工事ができるような海象状況ではない。しかし、2013年3月の完工に向けて、高波浪の合間をぬって施工することが求められた。

そこで、当社独自の「気象予測システム」をさらに高度化し、施工管理に活用した。その結果、予報的中率は90%を超え、細やかな施工管理、工程管理を可能にした。洋上風力発電のマーケットが成熟している欧州とは違い、風車据付専用船が存在しないことや、風車部品やクローラクレーンをSEP船に積み込む際に岸壁の耐力が不足するなど港湾インフラの面で厳しい状況ではあったが、発注者や協力会社、関係各署の協力のもと、2013年3月23日、洋上風車が完成した。



写真-2 重錘落下による機械式での均し作業



写真-3 大型起重機船による支持構造物の据付



写真-4 SEP 船を活用した洋上での風車組立

(2) 技術詳細

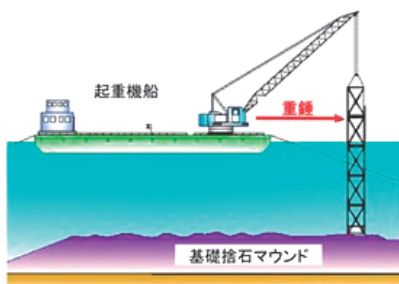
1) 風車据付精度の向上技術

① 重錘落下による機械敷均し

- 風車設置に要求される水平精度を基礎部の造成及び支持構造の製作精度で確保
- 支配的な基礎部造成及び設置時の精度に対する管理手法の構築と検証を実施

- ✓ 基礎捨石マウンドは重錘落下による機械敷均し
- ✓ 重錘落下の位置管理はRTK-GPSを利用、高さ管理は自動追尾型トータルステーションを利用
- ✓ 支持構造物の設置精度には据付管理システムを適用

基礎部の重錘敷均し(イメージ)



基礎部の重錘敷均し状況



設置精度の確認状況



図-2 重錘落下による機械敷均しと設置精度確認状況

② 気象海象予測システム

施工時期が限定されるため、ピンポイント地点の気象海象予測システムを活用し、予想される気象海象条件に合わせた合理的な工程を立案することで円滑な施工管理を行った。

③ 据付精度の確保

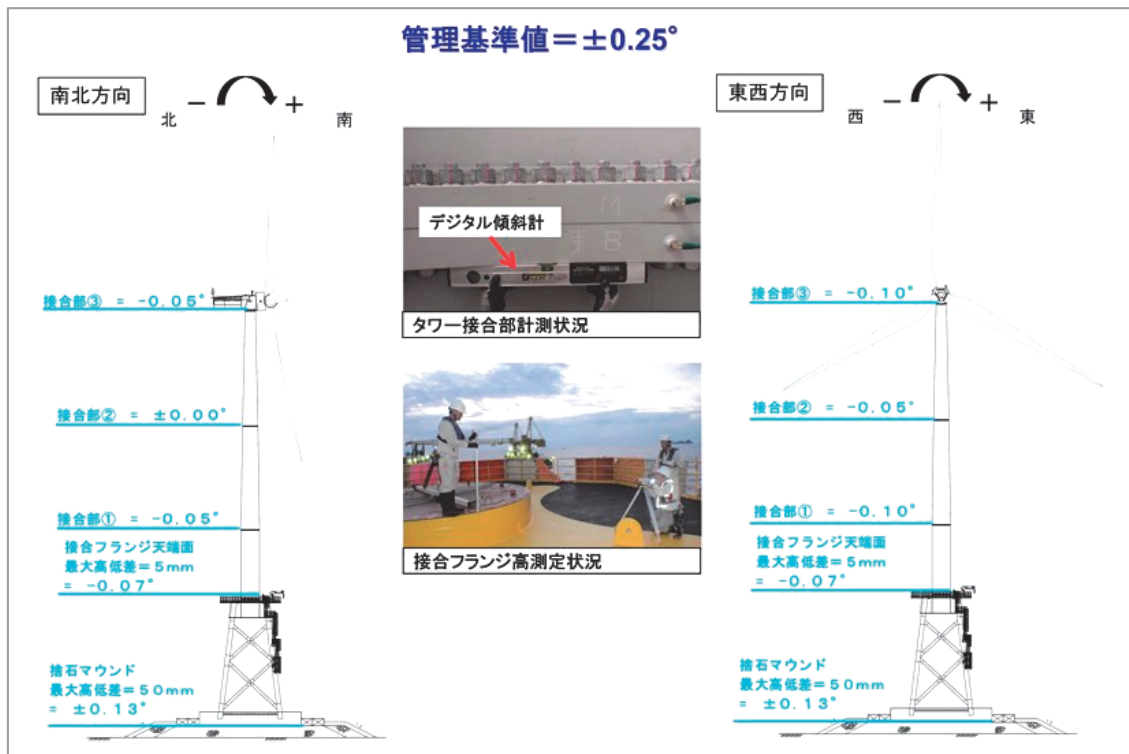


図-3 デジタル傾斜計による据付精度の確保

2) 維持管理手法の高度化技術

正確な健全性判断および寿命予測のため、風車内に温湿計や加速度計などの各種センサー及び主要箇所にて Web カメラを設置し、陸上から常時モニタリングできる遠隔制御システム (SCADA) を適用し、稼働率の向上と維持管理手法の確立を目指した。

(3) 結果

平成 24 年 10 月の風況観測開始、平成 25 年 6 月の風車運転開始により、洋上風況データの確実な取得・解析を通じて、我が国における洋上風況、海象特性を明らかにし、風車本体・支持構造物の挙動をとらえ、海域環境課での構造物の耐久性や洋上風車の運転管理に関する技術上の課題を解明していく。

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> ・五洋建設(株)ホームページ: http://www.penta-ocean.co.jp/project/pj_story/2013/13.html ・NEDO ホームページ: http://www.nedo.go.jp/fuusha/doc/20130627_04.pdf ・洋上風力発電施設の施工管理について, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 69, No. 2, I_114-I_119, 2013.
備考	—

技 術 名	自動潜水管理システム
番 号	No. 4. 3-11
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	自動潜水管理、水深センサ
<p>(1) 概 要</p> <p>港湾工事において、潜水作業（捨石投入・均し、被覆石均し）に関係する事故は 17 件発生し、内 7 件が減圧症である。（(社) 日本潜水士協会調査、平成元年～平成 15 年 1 月）減圧症は“ベテラン潜水士でも陥る事故”という特性があり、その防止対策は潜水士自身の自己管理に委ねられていた。また、潜水計画の立案や変更は煩雑であるため、人為的ミスに起因する減圧症などを発症する危険性がある。</p> <p>自動潜水管理システムは、潜水士に水深センサを装着させて、潜降開始から浮上までの一連の作業時間と潜水深度をパソコンで自動計測することで、潜水深度に応じた潜水時間、浮上方法とその時間、2 回目以降の潜水時の浮上時間などを演算処理し、潜水士船上の作業員、および遠隔地の安全管理者にアナウンスするものである。システムは、遠隔地に設置した管理者用サーバーパソコンと、潜水士船のクライアントパソコンで構成され、潜水管理画面は、潜水士船だけでなく、インターネットを経由して遠隔地でリアルタイムに監視することができるものである。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 特 徴</p> <p>① 潜水計画を自動的に作成 高気圧作業安全衛生規則に則った潜水計画を自動的に作成できる。</p> <p>② 適切な潜水管理指示が可能 潜水時間、潜水深度、浮上時間、およびガス圧減少時間を自動計測することで、送気員や安全管理者が潜水状況をリアルタイムに監視し、適切な潜水管理指示を行うことができる。</p> <p>③ 2 回目以降の計画を自動的に修正 自動計測された潜水データに基づき、煩雑な 2 回目以降の潜水計画を自動修正できる。</p>	

2) システム構成

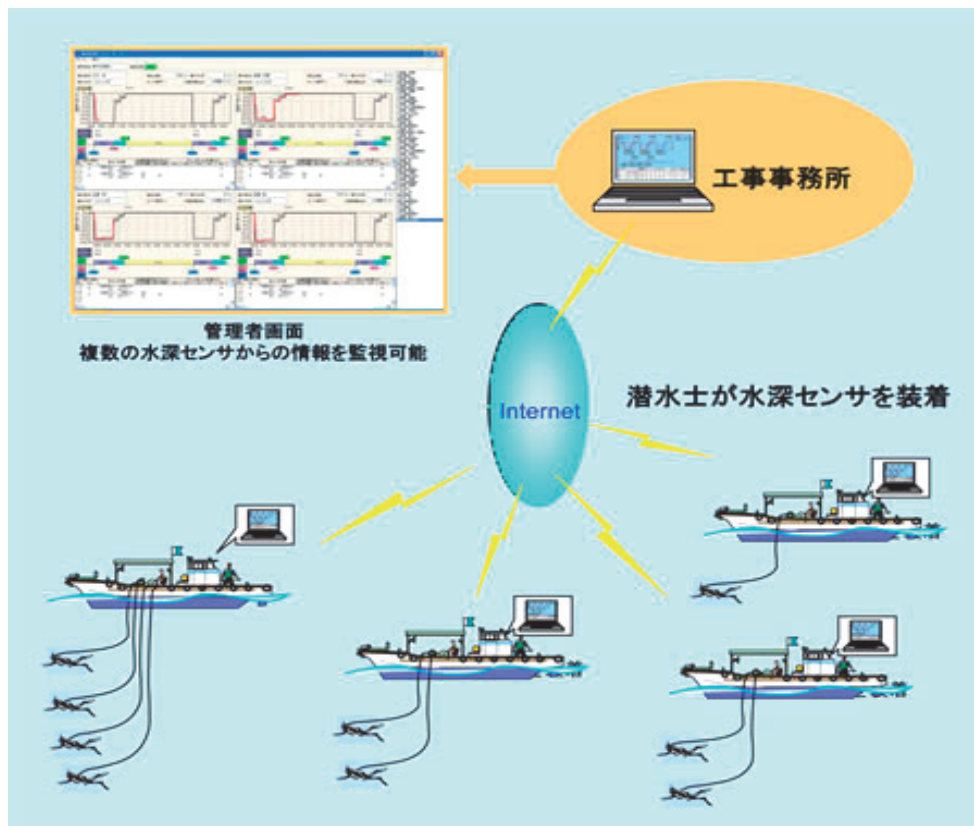


図-1 システム構成図

(3) 結果

1) 効果

- ① 高気圧作業安全衛生規則に則した潜水計画を自動的に作成することができるため、潜水計画立案時のミスを防止することができる。
- ② 潜水士以外の者が潜水状況（潜水深度、潜水時間、浮上速度など）を監視できるため、リアルタイムかつ客観的な潜水管理を行うことができる。
- ③ 潜水計画修正のための潜水時間、潜水深度、浮上時間及びガス圧減少時間を自動計測できるため、適正な潜水管理を実施することができる。
- ④ 自動計測された潜水データに基づき、潜水計画を自動修正できるため、煩雑な潜水計画の変更作業を行う必要がない。

2) 技術評価等

- ① 平成 22 年 4 月 16 日に（一財）沿岸技術研究センターより、評価証を取得。

<p>参考文献</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・五洋建設(株)ホームページ：http://www.penta-ocean.co.jp/business/index.html ・建設業労働災害防止協会ホームページ：http://www.kensaibou.or.jp/
<p>備考</p>	<p>特許番号 第 4942002 号 平成 22 年度建設業労働災害防止協会より顕彰基金による顕彰受賞</p>

技術名	無線式ガット船捨石投入支援システム
番号	No. 4. 3-12
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(第二工区)
施工期間	2013年3月～2014年1月
施工者	東亜建設工業(株)
キーワード	捨石投入、ガット船、投入位置管理
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>捨石の投入箇所に不陸があったため、投入に偏りが生じると急勾配や偏荷重が発生し堤体が不安定となる懸念があった。このため、捨石層を均一に仕上げることが目的として、無線式ガット船捨石投入支援システムを用いた。</p> <p>2) 技術概要</p> <p>投入支援システムは、投入作業支援機能及び堆積形状予測機能を有し、オペレーターや投入指示者が、直接モニターや携帯端末（PDA、タブレット等）で投入状況を確認できる。なお、当システムは入域してきたガット船に短時間で取り付けることが可能。</p> <p>投入作業支援機能は、GPS 無線ユニットを投入船のブーム先端に取り付けることで、捨石の投入位置及び履歴を正確に確認できる。堆積形状予測機能は、投入位置と投入回数に応じた投入後の層厚や体積形状が予測可能。</p> <p>予め堆積形状を予測して投入間隔や投入回数を決定することで、不陸の多い現況に合わせて仕上がり天端を調整し、均一な捨石層が構築できるため、法面の崩壊を防止して堤体の安定性を確保した施工が可能。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) システム概要</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ブーム先端部への GPS ユニット設置・撤去の時間短縮 ② 5回/秒のデータ取得可能な DGPS の採用によるリアルタイムかつ高精度な誘導 ③ 投入履歴記憶機能、履歴の画面表示により効率的な捨石投入作業が可能 ④ 施工エリアが GPS 測位可能 ⑤ ブームトップに GPS アンテナ架台を取り付けることが可能な非駆動部が必要 ⑥ ブームトップが磁石で固定できる材質 	

2) 施工状況および投入支援機能モニター等

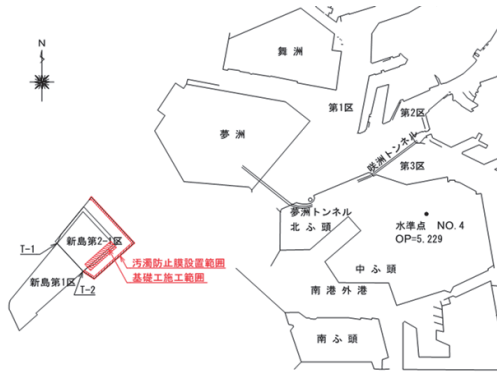


図-1 全体平面図

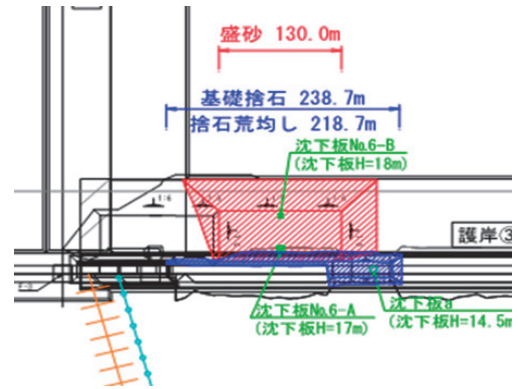


図-2 平面図（基礎捨石投入エリア）

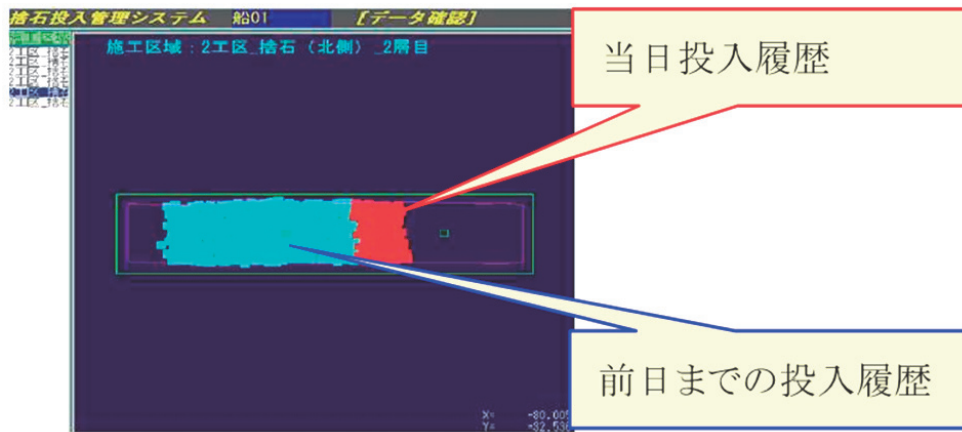


図-3 投入支援機能モニター



写真-1 捨石投入状況



写真-2 機器設置状況
(ガット船ブーム先端)

3) 実施規模

基礎工 基礎捨石 10~200kg/個 (30,745 m³)

(3) 結 果

本システムの採用により捨石層を均一に仕上げることができ、法面の崩壊を防止して堤体の安定性を確保した施工ができた。

参 考 文 献	東亜建設工業(株)ホームページ： http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/surveying/m17/index.html
備 考	【工法（特許、NETIS 登録等）】 NETIS 登録番号（KTK-110005-A） 【工事实績】 ・大阪港北港南地区航路（-16m）附帯施設基礎等工事（第一工区） （国土交通省 近畿地方整備局 工期：H25.1～H26.1） ・高知港三里地区防波堤（東第一）築造工事 （国土交通省 四国地方整備局 工期：H23.8～H24.8） 他

技 術 名	海底山脈築造技術
番 号	No. 4. 3-13
発 注 者	水産庁 漁港漁場整備部
施 設 名	五島西方沖地区湧昇マウンド礁
所 在 地	五島西方沖
工 事 名 称	五島西方沖地区湧昇マウンド礁工事
施 工 期 間	2011 年 9 月～2015 年 10 月
施 工 者	東洋建設(株)
キーワード	大水深、捨石投入管理

(1) 概 要

防波堤や護岸などの捨石基礎マウンドを築造する場合、ガット船により捨石を投入後、潜水士による均し作業で計画断面に仕上げるのが一般的である。潜水作業が困難な大水深に捨石基礎マウンドを築造する場合には、底開式バージによる直接投入施工を行う。底開式バージによる直接投入は、大量で急速に施工ができる反面、計画断面との差異が大きくなりやすいため、捨石の堆積形状を予測した投入計画に基づいた効率的な施工が課題となる。

「大水深捨石投入施工管理システム」は、人工海底山脈築造工事と防波堤基礎捨石マウンド造成工事における捨石の投入計画立案から施工管理までを網羅するトータルシステムである。

(2) 技術詳細

本システムは、主に堆積形状予測サブシステム、投入計画支援サブシステム、施工管理サブシステムの各サブシステムから構成される。

1) 積形状予測サブシステム

個別要素法を用いた三次元固液混相流モデルにより、底開式バージから海中に投入された捨石が相互に衝突しながら落下して海底に堆積する形状を予測する。このサブシステムでは、水深、バージ形状、捨石の重量などの諸条件をパラメータとして直接考慮できるため、現場条件に合わせた捨石の堆積形状の予測が可能である。

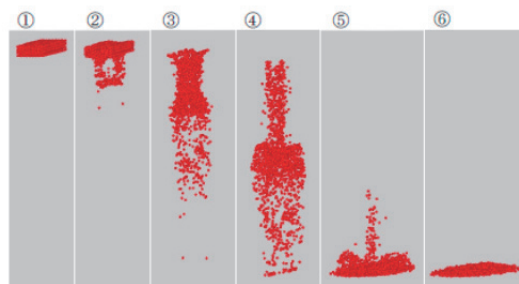


図-1 個別要素法による捨石の堆積形状解析例

2) 投入計画支援サブシステム

堆積形状予測サブシステムの予測結果から作成した1投入分の堆積形状パターンを重ね合わせることで、計画断面を効率的に築造する投入計画の立案を支援するシステムである。また、実際の投入で実測した堆積形状をデータベースとして蓄積する機能も併せ持つシステムである。

3) 施工管理サブシステム

高精度な施工管理を目的とした4つのサブシステムで構成される。

- ① 投入位置補正サブシステム：潮流による投入位置と堆積位置のずれを事前に予測し、投入位置を補正する。
- ② 底開バージ誘導サブシステム：各作業船の位置情報を無線LANで共有・可視化し、投入位置へ誘導する。(図-2)
- ③ 投入状況計測サブシステム：バージの軌跡や開扉の状況などを計測管理し、投入方法を検証する。
- ④ 深浅測量サブシステム：RTK-GNSSを利用したナローマルチビームによる深浅測量をおこない、出来形管理と堆積形状を検証する。

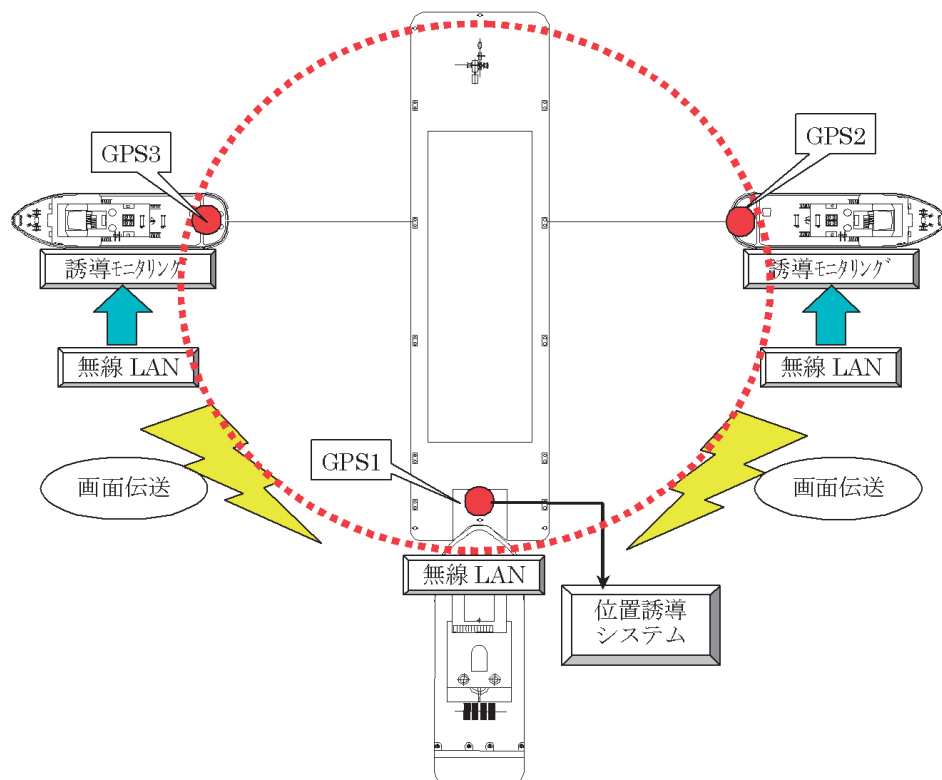


図-2 底開バージ誘導サブシステム概念図

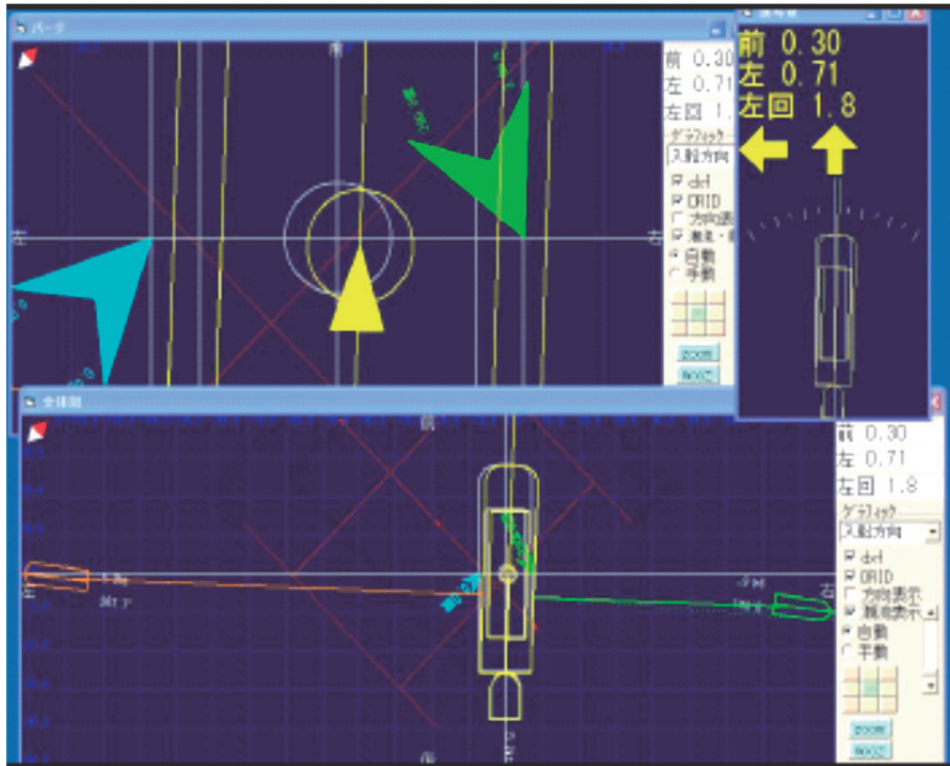


図-3 誘導画面

(3) 結果

個別要素法による堆積形状シミュレーション結果を基に施工管理を行った結果、設計形状に対して十分満足する海底山脈を築造することが出来た。特に峰の形成においては、投入中心と堆積中心の位置が精度よく制御できたことで、すべての測線において管理基準である法線±5mの範囲に施工ができた。

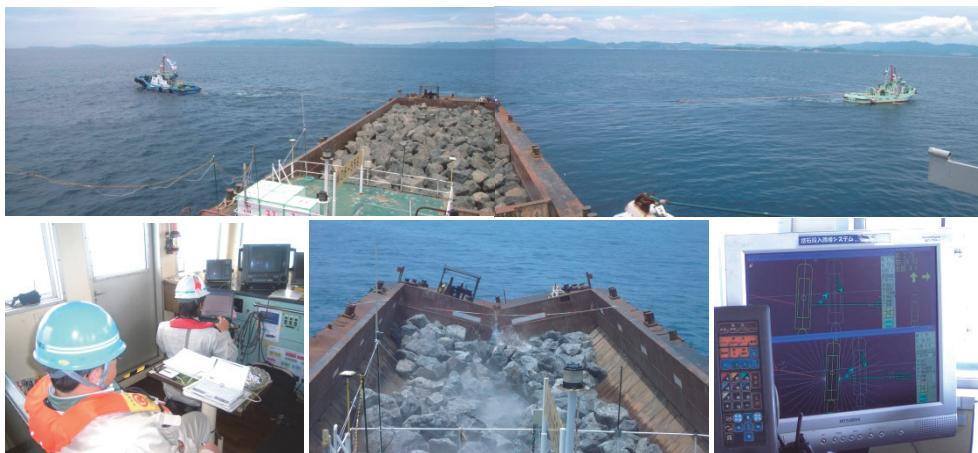


図-4 システム稼働状況

導入実績

- ・長崎県人工海底山脈築造工事（水深約 76m, 高さ 15m, 延長 41.2m）
- ・名瀬港防波堤基礎捨石マウンドの造成工事（水深約 47m）
- ・五島西方沖地区湧昇マウンド礁工事（水深約 150m、高さ 30m、延長 124m）

参 考 文 献	<ul style="list-style-type: none">・ 電力土木, No. 340, pp. 101-103, 2009.3 「大水深における高精度な捨石マウンド築造技術」・ 作業船, No. 294, pp. 35-40, 2009.1 「海底山脈の築造と施工管理（その3）」・ 建設の施工企画, No. 713, p. 92, 2009.7 「大水深捨石投入施工管理システム」・ 港のたより, Vol189, No. 6, pp. 19-20, 2009 「個別要素法を用いた大水深捨石施工管理システム」
備 考	<ul style="list-style-type: none">・ 特許 5176169 堆積材料の水底投下方法及びその施工管理装置・ 特許 5348589 バーヂ