

# 人工海底山脈構築における施工管理

坂本 守<sup>1</sup>・黒台 昌弘<sup>1</sup>・黒沢 慎太郎<sup>2</sup>・山口 芳範<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 株式会社間組 技術研究所技術研究第一部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1)

<sup>2</sup>株式会社間組 名古屋支店土木部 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-5-5)

<sup>3</sup>工修 株式会社間組 名古屋支店土木部 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-5-5)

静岡県舞阪沖水深75m地点での峰間60m、高さ15mの人工海底山脈の造成工事として、2.0～2.5 tの石材を全開式土運船に積込み、海面から投入してマウンドを造成した。船舶の位置測量にはD-GPSを使用し、投入直前に測定した投入目標位置周辺の水深1mごとに流向・流速を測定し、その潮流から求めた落下時の水平方向の変位を予測し、海面上での土運船投入位置を定めた。また投入毎にナローマルチビームで堆積形状を測量し、マウンド重心が投入中心位置になるよう目標位置の管理を行った。また関係者のみが閲覧可能な現場HPを設置し、施工結果・予定情報を随時確認できるようにし、また土運船にWEBカメラを設置し、テレビ電話通信を利用して、投入立会がない場合でも監督員が現場状況を確認できるようにした。

**キーワード：**人工海底山脈，GPS，落下予測，ナローマルチビーム，湧昇流

## 1. まえがき

本工事は、水産庁の広域漁場整備事業で実施された静岡県経済産業部水産局水産振興課発注の人工海底山脈の造成工事である。

人工海底山脈とは、海底にブロックや石材などを用いて大規模なマウンド魚礁を構築することにより、潮汐流を利用した人工的な湧昇流を発生させ、また岩礁生態系の形成を促し、対象海域の基礎生産力、魚介類の増殖・生産を増大させる人工漁場の造成を目的とする構造物である。

この人工海底山脈による漁場整備は、(社)MF21において石炭灰硬化体ブロックを用いた人工海底山脈の実証事業が行われ、平成12年に世界初の人工海底山脈が完成した。この実証事業の効果が認められ、平成15年から水産庁の補助事業として長崎県、鹿児島県などで人工海底山脈事業が実施され、これまでに合計7地点で完成している。

静岡県では、天然礁の少ない遠州灘において海域の生産力の増大と漁場造成を目的として平成20年度から本工事に着手した。造成地点は図-1に示すように浜名湖から東南方向に約

10kmの沖合で、図-2のような形状のマウンドを南北方向に造成するもので、施工地点の水深は約75mである。造成材料は事業コスト低減の観点から天然石材を素材として採用したが、漁協から底曳網で揚がらない重量の素材を選定してほしいとの要望により、最終的には他地点で例のない2.0～2.5 t石材を採用したことが大きな特徴である。前例のない石材を使用したことにより、初年度にマウンド法面勾配、割増率、散乱幅、石材落下予測式の検証などを確認するための試験工事を行い、その後に本工事へと移行した。

ここでは試験工事から人工海底山脈完成までの工事における施工管理手法および施工結果について報告する。

## 2. マウンド造成方法

### (1) 工事概要

発注者：静岡県経済産業部水産局  
水産振興課

施工場所：浜松市西区舞阪町舞阪地先

※地球観測衛星（Terra/テラ）搭載センサのASTER（アスター）による衛星画像  
（2005/12/15と2006/12/18に撮影した画像を合成）



マウンド造成地点(世界測地系)  
北緯：34° 36' 49.03"  
東経：137° 40' 00.10"

図-1 マウンド造成地点位置図

表-1 使用船舶一覧

名称	寸法				規格・能力	使用役割
	長さ	幅	深さ	喫水		
土運船	61.00	16.00	5.50	4.00	1,800 m <sup>3</sup> 積	石材海上運搬・投入
押船	29.01	7.06	3.48	4.00	1,200PS×2	石材海上運搬・投入
引船	13.3	5.7	1.9	2.30	450PS×2	土運船誘導，旋回補助
引船	12.0	5.8	1.9	2.40	450PS×2	
測量船	11.91	3.19	1.29	—	6.6 t, 120PS	測量関係，警戒船兼用

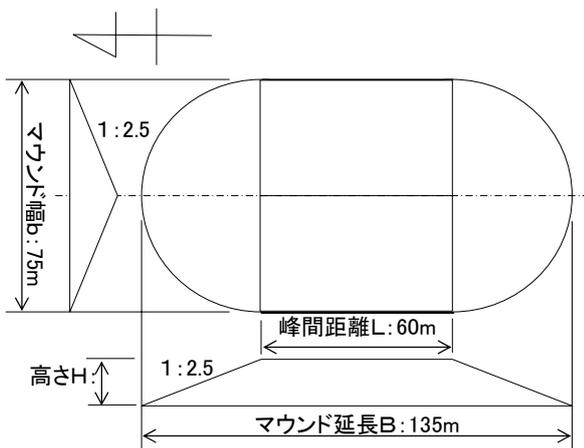


図-2 マウンド設計形状

て積込めるよう1,800m<sup>3</sup>クラスの船舶を調達した。測量船は地元漁協への貢献も考慮し，漁協から紹介された船舶（遊漁船）を採用した。

### (3) 主要機材

本工事で使用した測量等に使用した機材を表-2に示す。GPSは当初測量精度の高いRTK-GPS（誤差数cm）の採用も検討したが，①設置する陸上基地局からの電波の，海上目標地点における受信安定性が不明である，②D-GPSの誤差は1m程度で，投入する石材約1個分であるため，施工管理上問題ないと判断できる，の2点の理由によりD-GPSに決定した。

期 間：平成20年度～22年度（工事5件）  
工事内容：石材数量（2.0～2.5t） 74,744m<sup>3</sup>

### (2) 使用船舶の構成

表-1に本工事での使用船舶一覧を示す。土運船は，1回の投入量に1,300m<sup>3</sup>程度を余裕を持つ

### (4) 海面投入位置の決定

#### a) 石材落下挙動解析

海面から石材を投入すると，潮流の影響を受け流下する。そのため海底上の目標地点に対し精度良く投入するためには，付近の潮流を測定

表-2 主要機材一覧

作業種別	名称	仕様・構成等
位置測量 (測量船, 土運船)	D-GPS	GPS受信機, ビーコン受信機 (誤差1m)
流況計測	流向・流速計 (ADCP)	ワークホース300kHz 誤差5mm/s
出来形測 量	ナローマルチ ビームシステ ム	Seabat8125 水深分解能6mm

し、その影響を受けた場合の落下時挙動解析を行う必要がある。またこの工事では石材投入作業に当たり、特記仕様書に「投入直前に船舶搭載型の潮流測定器を用いて水深1mごとの潮流（流速，流向）を調査のうえ，石材の落下挙動予測解析を行い，海面での投入位置を決定してから，予め定めた海底の1点に投入するものとする。」との仕様が示されていた。

当社が過去に施工した（社）MF21の実証事業では，投入海域の海面から海底までの間の平均流速を測定し落下挙動解析を行っていたが，本工事の仕様により，水深1mごとに測定した流向・流速，また2.0～2.5t石材の特性を考慮した解析プログラムを作成，適用した。

b) 海面投入位置決定手順

図-3に投入位置決定手順のフローを示す。

水深1mごとの流向・流速を測定する機器として流向流速計（ADCP）を使用した。測定はアルミ梯子等に結束し測量船の船側に固定する場合と，ブイに吊り下げた状態で海面に浮かべる場合があるが，測量船のスクリューの影響を避けるため，どちらも測定中は原則として測量船のエンジンを止め，海流に流された状態で測定した。

1回の測定時間は十秒程度であるが，海中の浮遊粒子や魚群の存在によって計測のたびに若干分布が変化するため，数分間測定を繰り返し，数値に大きな変動がなくなると判断された後，その計測データの平均値を現地の流況データとして採用した。

測量船に搭載したPCにあらかじめ落下挙動解析プログラムをインストールしておき，計測した流況データを用いて解析を行った。出力は海面位置からみた着底位置の方位（角度）と距離（m）の2種類である。よってこの値を使用し海底上の目標位置から逆算した相対位置が海面での投入位置となる。

測量船での出力結果は土運船に無線あるいは携帯電話で連絡し，土運船誘導システムに入

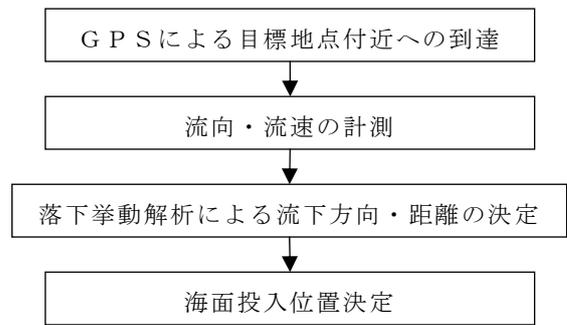


図-3 海面投入位置決定フロー

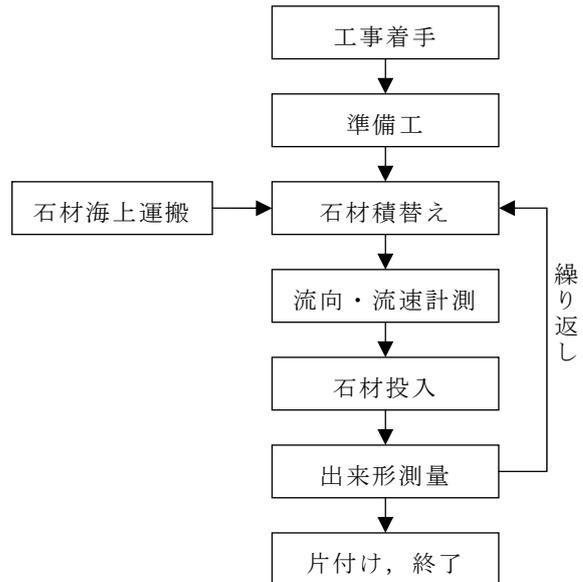


図-4 施工全体フロー

力した。

(5) 石材積替え作業

図-4に施工全体の手順をフローで示す。

石材は静岡県内に所要の仕様，数量が安定して出荷できる適当な石材業者がなく，三重県尾鷲の石材を採用することとした。石材の積出し港は賀田港であった。

発注時の条件では石材を運搬したガット船と土運船を水深5～10m程度の舞阪沿岸域で停泊させ瀬取りすることとなっていたが，シラス，フグ漁などの海域であることから，漁協との協議により沖合いでの瀬取りを断念し，近隣港内の岸壁での積替えに変更した。最も近い候補は福田漁港であったが，港内航路の水深が足りず最終的に御前崎港を選定せざるを得なかった。御前崎港から投入位置までの航程は往路で6.5hr，復路で4.5hr程度であった。（図-1参照）結果的に港湾内での作業としたことにより，石材積替えは天候の影響を受けにくくなり，工程

表-3 石材検収項目

作業種別	頻度	仕様
全体数量	1船に1回 (投入1回あたりの数量)	1,000m <sup>3</sup> /回以上
個体重量	15個/1,000m <sup>3</sup>	2.0~2.5 t / 個
見掛比重	1回/工事	2.5以上



遅延のリスクは減少することとなった。

石材検収はガット船上で行った。写真-1のようにガット船にはあらかじめ左右舷方向にほぼ同じ断面となるように石材を積込み、所定の船倉寸法に対する平均的な積込み断面の折れ点位置、高さを計測することで全体数量として検収した。工事によっては、ガット船1船に2回投入分の石材を積み込んだため、その場合はまず全体数量を検収し、1回目の投入分を積替えた後、ガット船に残った数量を検収することによりその差を1回目の投入数量として算出した。土運船での検収は船倉に下りる必要があり、危険作業回避のため実施しなかった。表-3に施工時の石材検収項目を示す。

## (6) 石材投入時の管理

### a) 作業中止基準

表-4に他の海洋工事の事例を参考に定めた作業中止基準を示す。基準値は海洋工事における標準的な値を採用した。

### b) 気象予報

試験工事での石材投入作業実施の判断は、静岡地方气象台による静岡県西部の予報、および清水海上保安部沿岸域情報提供システム(MICS)を中心に、使用船舶が契約していた波浪予報などを参考に前日夕刻に判断することを原則としたが、場合によっては出航直前に判断した。

表-4 作業中止基準

項目	基準値
風速	10m/s以下
波高	1.5m以下
視界	1,000m以上

表-5 標準施工サイクル

項目		時刻
石材検収・積込	1日目	8:00~12:00
海上運搬	2日目	0:00~6:30
流況計測		6:30~7:00
石材投入		7:00~8:00
帰港		8:00~12:30

またその後の工事では、より信頼性の高い判断のため気象予報会社のピンポイント天気予報を採用した。この予報は陸上以外に海上においても予報位置座標を事前に指定することで風向、風速、波高などを含めた予報を得ることが可能である。本工事においては御前崎周辺で波高が高くなる傾向があるため、投入地点とともに予報地点に追加した。施工時に現地で波高の計測などを目視で確認する限り、良好な精度であったと判断している。

### c) 施工サイクル

石材投入時刻は、当初潮汐流の潮止まりの時間帯を目標とする予定であったが、投入地点周辺では好天であっても昼前から夕方にかけて沖合から風とうねりが出て投入に適さない状況となることが試験工事当初に判明したことから、投入時刻を静穏な明け方頃とし、それに併せてその後のサイクルを設定した。基本的なサイクルを表-5に示す。

このサイクルを基本として、当日の天候を考慮し、投入時刻が夜明けから11時頃の間になるように修正して対応した。

### d) 投入位置の許容範囲と投入判断

工事の特記仕様書では土運船の投入位置の許容差は明記されていないことから、自主管理目標値として投入目標位置を中心とした半径3mの円内に土運船船倉の中心が入ることを許容範囲と設定した。

本工事における引船の役割は、土運船の巡回補助および投入直前までの土運船位置固定で、投入時(投入合図から投入完了まで)は土運船から離れるため、投入時は土運船が固定されておらず、潮流や風により土運船は移動していくことになる。そのため、最終的に以下のような手順で投入判断を行うこととした。

- ①土運船が現地到着後，流況計測を行う間，押船の操船を止め，潮流と風圧によりどの程度流されるかを調べておく．
- ②投入目標位置決定後，流向・流速を参考に，潮下側から土運船を目標位置に向けて操船する．この際，潮流と風圧により前進進入と後進進入の2方法があった．
- ③投入に当って当社職員はナビゲーションシステム画面を見ながら，船上スピーカーで投入作業者に目標位置までの距離をカウントダウンで知らせる．
- ④船長の判断により，投入時に投入許容範囲に土運船を保持できると判断した場合，職員がスピーカーで投入合図を行うとともに汽笛により全員に周知する．

### (7) 出来形測量

本工事での投入後の出来形はナローマルチビームシステムによる音響測深により実施した．このシステムはGPS，動揺センサー，ジャイロ，音速度計などを含み，海底地形を面状に高精度に測量するシステムで，すべてデジタルデータで収録されるので，断面図，鯨観図など出力形式の変更が比較的容易である．

反面，波高が高く測量船の動揺が大きくなると測量データの欠落が発生するため，測量精度を確保するためには静穏時間帯に実施することが必要である．当該海域では当初南北方向に測線を取って測量する予定であったが，西からの波の進入が卓越していたことから，横波を受けることによるローリングを抑える目的で東西方向に測線を取るよう変更して対応した．

## 3. 工事結果

### (1) 出来形全体概要

全工事における，投入数量を表-6，完成時のマウンド鯨観図を図-5に示す．マウンド設置位置の底質がやや軟弱であったことにより，投入当初は投入数量に対して出来形容積が小さかったが，その後は徐々にその割合が増加し，マウンド完成時には峰部マウンド高さ15m以上で，累計石材割増率は約1.4となった．この値は長崎県等の他地点で採用されている石材の割増係数と一致している．

また，測量による出来形形状を見ながら，マウンド中心が造成目標位置に一致するよう投

表-6 全工事における投入数量

工 事	投入数量
平成 20 年度	4,274m <sup>3</sup>
平成 20 年度 (その 2)	10,218m <sup>3</sup>
平成 21 年度	14,002m <sup>3</sup>
平成 21 年度 (その 2)	34,800m <sup>3</sup>
平成 22 年度	11,450m <sup>3</sup>
合 計	74,744m <sup>3</sup>

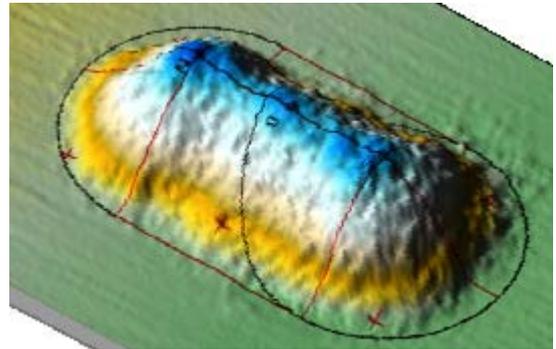


図-5 マウンド完成時の鯨観図

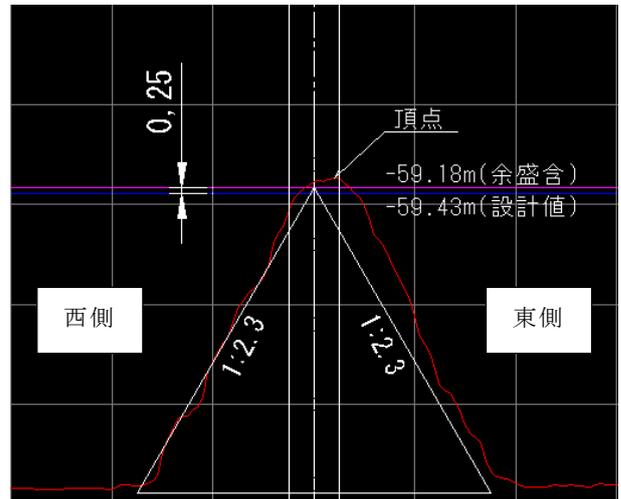


図-6 マウンド中央部の法勾配

入目標位置を補正した．この手順とは，測量結果から作成した等深線図をもとにCAD上でマウンドの図心座標を求め，造成目標座標に対してその図心の対角位置に投入目標座標を設定するものである．その結果南北マウンド完成時点ではマウンドの重心が設計座標に対し，直線距離で0.8m程度の誤差（石材で約1個分）に収めることができた．また峰部の東西側斜面の勾配は，設計高さ15mと法裾の勾配で見ると平均して約1:2.3と若干設計勾配よりも小さい値となった（図-6）．

### (2) 出来形形状の推移

図-7に南北のマウンドが高さ15mに到達するまでの投入数量とピーク高さの推移を示す．

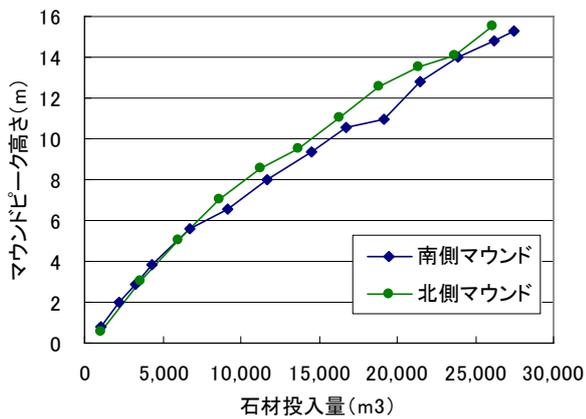


図-7 マウンドピーク高さの推移

高さが8m程度までは投入数量とともに高さも比例して増加するが、その後は投入量に対してピーク高さの上昇量が若干緩やかになる傾向にあった。

### (3) その他の施工管理上の工夫点

#### a) WEBカメラの設置

石材投入状況を監督者が船舶に乗船することなく状況把握できることを目的として、土運船押船の操舵室にWEBカメラを設置し、携帯電話回線により陸上から投入状況を観察できるシステムを導入した(図-8)。このシステムは携帯電話のテレビ電話通信を利用したもので、あらかじめ通話者の電話番号を登録したWEBカメラ専用携帯で観察するため、アクセス者を限定できる。しかもライブ映像であるため、投入時刻でのみ状況を見ることが出来る。

施工開始前に、あらかじめ電話番号を登録したFOMA携帯電話を監督員に渡し、立会ができない場合でもテレビ電話通信によって現場状況が確認できるようにした。

#### b) 現場HPによる情報配信

本工事は石材投入の実施が海象条件に大きく影響を受けるため、曜日に関係なく投入可能な天候であれば実施することにしたこと、および最終判断が前日の夕刻であったため、投入実施判断を監督員に確実に連絡することができない可能性があった。そのため、施工予定および実施概要を監督員を含む関係者が任意の時刻に確認できるよう、現場状況の概況を掲載したHPを開設した。

このHPには、投入予定日時に加え、施工後には投入日時、天候、流況などの主要データとともに、投入時の状況写真などを添付し、随時



図-8 テレビ電話通信システム

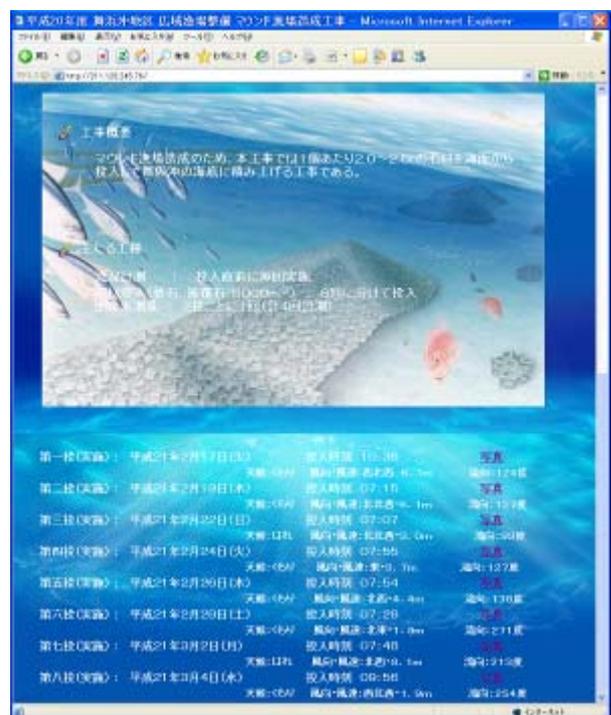


図-9 HP画面の例

確認できるようにした。また一般に公開するものではないため、パスワードを設定しHPへのアクセスを限定した。HP画面の一部を図-9に示す。

## 4. まとめ

本工事は過去に例のない2.0~2.5t石材を使用したマウンド造成であったが、発注者のご指導の下、人工海底山脈を比較的精度良く無事故で竣工することが出来た。本紙面をかりて深く感謝の意を表します。