

上五島石油備蓄基地建設工事における大水深捨石投入均し工法の開発

CONSTRUCTION METHOD DEVELOPED FOR THE DEEP WATER RUBBLE MOUND OF KAMIGOTO NATIONAL OIL STORAGE PROJECT

佐藤信也*・下村祐一**・内藤豊章***・藤木一夫****・菊池建二*****

By Nobuya SATOH, Yuuichi SHIMOMURA, Toyoaki NAITOH,
Kazuo FUJIKI and Kenji KIKUCHI

1. ま え が き

上五島石油備蓄基地は、国家石油備蓄計画の一環として、現在長崎県五島列島中通島青方湾西方海域に建設中である。貯油方式は世界にも類例のない洋上備蓄方式であり、第 I 期計画では 1 隻の容量 88 万 kl の貯蔵船を 5 隻浮かべ、合計 440 万 kl の原油を貯蔵するものである。貯蔵船の大きさは (長) 390 m × (幅) 97 m × (深) 27.6 m と後楽園球場の約 3 倍の面積を有する巨大なものであり、これを常時安全に保留するため、計画・設計段階での検討はもとより、現地においても厳しい品質管理、施工中の安全管理の下に建設が進められている。プロジェクトは、海洋土木技術と造船技術を結集して取り組まれているが、海洋土木技術だけをとり出してみても多くの新しい技術、工法が採用されている。

なかでも水面下 30~40 m の所で多量の捨石を用い、3~4 m ごとに層状に基礎マウンドを仕上げていくためには、在来の施工法に代わり、安全かつ高い精度の確保できる施工法が必要であった。しかしプロジェクト着手時このような条件に適合する施工法は確立されておらず、そのため本プロジェクト用に潜水士に頼らない機械化施工法を新たに開発した。現在開発された施工法により、係船ドルフィンの基礎マウンド工事は十分な成果を

もって完了したので、ここにプロジェクトおよび開発された捨石投入均し工法の概要を報告する。

2. プロジェクトの概要

(1) 基地施設の概要

基地の建設地点を図-1 に、また施設の概要を図-2 に示す。基地は原油を貯蔵する 5 隻の貯蔵船およびそれを保留するための施設、貯蔵船を取り囲む防油堤とそのアンカー等で構成される約 40 ha の貯蔵船泊地、泊地を静穏に保つための西および北側の防波堤、原油受払いのためのタンカー着棧用シーバース、基地の運営維持のための各種施設のできる約 12 ha の陸上管理ヤードから構成されている。各種施設の概要を以下に示す。

1) 貯蔵船施設

貯蔵船 88 万 kl × 5 隻 (全体計画 7 隻)
(長) 390 m × (幅) 97 m × (深) 27.6 m
一次防油堤 延長約 4 200 m
二次防油堤 (兼防衝堤) 延長約 1 800 m

2) 港湾施設

貯蔵船保留施設
荷役係船ドルフィン 5 基
係船ドルフィン 6 基
配管橋 10 連
配管橋脚 (兼浮防油堤アンカー) 6 基
浮防油堤アンカー 24 基
北防波堤 延長 500 m
西防波堤 延長 450 m
シーバース (30 万 DWT 級ドルフ
インタイプ固定保留施設) 1 基

* 上五島石油備蓄 (株) 建設一部工務課長
(〒105 港区虎ノ門 3-5-1)

** 上五島石油備蓄 (株) 建設一部工務係長 (同上)

*** 正会員 鹿島建設 (株) 鹿島・五洋・東亜・不動建設共同企業体副所長

**** 鹿島建設 (株) 同上工務部長

***** 鹿島建設 (株) 同上機電部長

Keywords : construction method for rubble mound

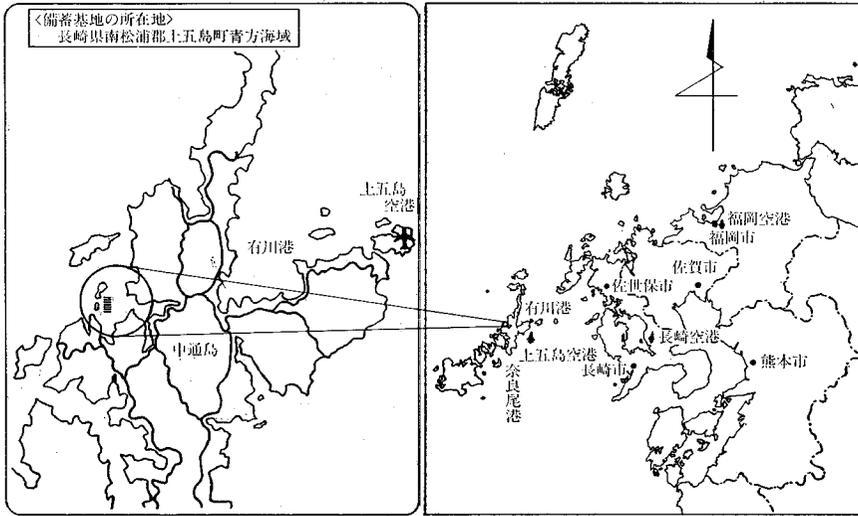


図-1 基地建設地点

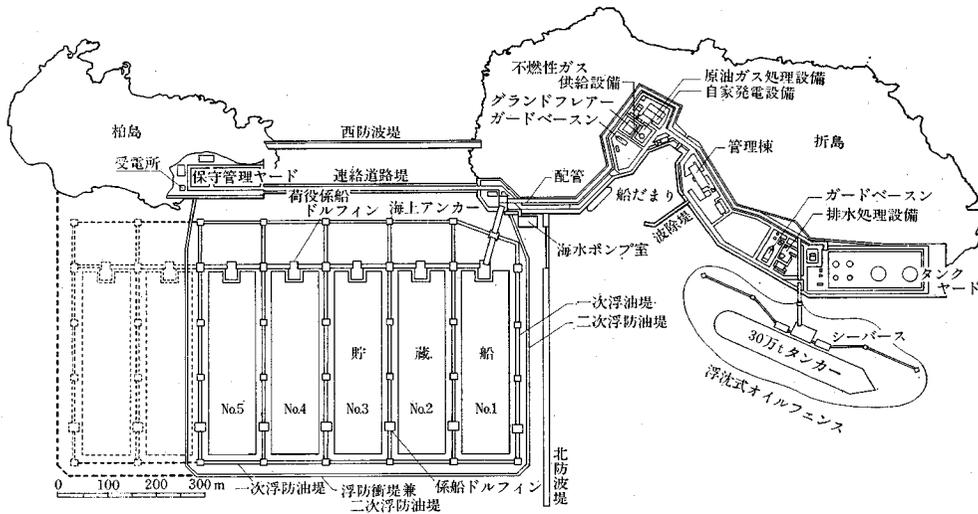


図-2 基地施設の概要

3) 陸上管理ヤード

造成	12 ha
護岸延長	約 2 080 m
用役設備	1 式
環境保全設備	1 式
防消防設備	1 式
監視制御設備	1 式

(2) 自然条件

基地建設地点は、五島列島中通島青方湾西方で、西を折島、柏島に、北を祝言島に囲まれた静穏な海域である。周辺の地形はリアス式地形であり、山がせまり、また海も急深である。基地建設地点の大半は水深 30 m 前後であるが、一部浅い所もあるため、貯蔵船からの要求

水深 27 m まで浚渫している。海底の堆積土は、主として砂、シルトであり、層厚はおおむね 5~10 m となっている。また基盤となる岩盤は五島層群と呼ばれる砂岩、頁岩の互層である。五島周辺の気候は海洋性気候に属しおおむね温暖であり、冬期でも日中の気温が 0°C まで下がることはほとんどない。風は夏期 S 系が、冬期 NW 系が卓越し、風速 10 m/s 以上の風の出現率は 10 % くらいである。現地付近の流速は 0.5 ノット以下であり、また波高も貯蔵船泊地近辺でおおむね 1 m 以下である。

(3) 港湾構造物の概要

原油の貯蔵船は鋼製箱形の形状で(長) 390 m × (幅) 97 m × (深) 27.6 m であり、内部は 9 区画に仕切られて

いる。区画の外周は2重殻になっており、壁の中は内部の油面より高い位置まで水が満たされ、外部の水圧の方が内部の油圧より高くなるように配慮された方式を採用している。この貯蔵船を常時安全に係留する施設に係船ドルフィンであるが、これについては(4)で記述する。

貯蔵船の周囲には2重に鋼製浮体の防油堤が設けられるが、これを固定する構造物として4本の斜鋼杭で構成される海上アンカーが24基、アンカーと配管橋の橋脚を兼ねるものが6基計30基作られる。杭の径は1600~1900mmで杭重、杭長とも最大のものは、86t、58mである。杭の先端は堆積層が薄くすぐ固い岩盤となるため、岩盤を2~3m削孔し、アンカーパイル挿入後モルタルグラウトで岩盤と杭を一体化する構造を採用している。杭の施工は海上作業台を利用して行っているが、この作業台は当工事のために新たに考案されたものでJEP(Jumping & Elevating Platform)と呼ばれ、数々の工夫がなされている。なかでも作業用船舶の輻輳する海域で、スムーズに他の作業場所へ移動できるようにフローターを取り付け、工事の終了した構造物をかわしながら、直角四方向へ移動可能としたアイデアはいかなく威力を発揮している。

貯蔵船泊地の静穏度を保つために北側に設けられる防波堤は延長500mの通常のケーソン式混成堤であるが、水深が30~40mと深くまた海底の堆積土も軟弱であるため、サンドコンパクションパイルで地盤改良を行いその上に-15mまで捨石でマウンドを築き、長崎港内で製作したケーソンを回航、据付けし、中詰、上部工を施工して完成させる。

原油受払いのための施設として基地の北側に建設中のシーバースは、鋼製ジャケットのドルフィンタイプの構造である。設置地点の地盤は堆積層が薄いため、ジャケット設置後岩盤を削孔し、ピンパイル挿入後モルタルグラウトで岩盤、ピンパイル、ジャケットの一体化を計っている。

基地西側の防波堤はケーソン式混成堤で、前面に消波ブロックを置く構造であり、運輸省第四港湾建設局によって建設された。陸上管理ヤードの護岸はL形ブロックを主体としたものであり、埋立、護岸工事とも長崎県土地開発公社が発注主体となって施工された。

(4) 原油貯蔵船係留用ドルフィンの構造と施工法の概要

貯蔵船は横方向2点、長手方向1点の3点で係留され、横方向は係船ドルフィンに取り付けた防舷材で、また長手方向は防舷材および係留用ロッドでその動きを拘束する方式を採用している。ドルフィン1基に作用する貯蔵

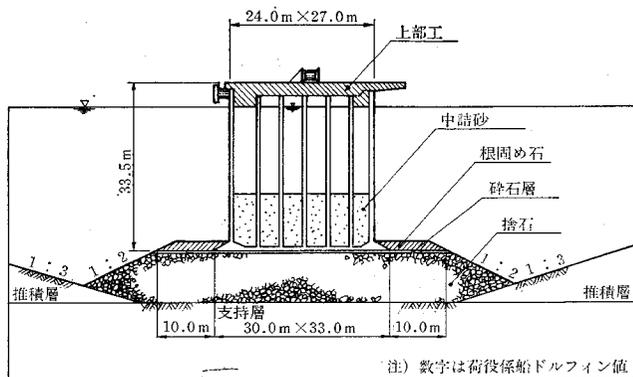


図-3 ドルフィン構造概要

船からの最大設計荷重は2000tであり、この荷重および現地の地盤、水深、施工性、経済性等を総合的に検討した結果、係留用ドルフィンは図-3に示すように、捨石マウンド上に鉄筋コンクリート造ケーソンを置く重力式ドルフィンを選定した。

貯蔵船係留用ドルフィンは全部で11基作られるが、このうち5基は原油出荷のための設備が設けられるため、荷役係船ドルフィンと呼称されている。ドルフィンは、外形寸法上から3種類に分かれるが、構造は同一であり、外壁50cm、内壁30cmの格子状の壁で構成され下部には底版を設け、上部は防舷材の反力の伝達、荷役設備や係船設備の基礎等を配慮してマスコンクリート構造としている。ドルフィンの最大のものは27m×24m×33.5mで、また水中重量は完成時で約20000tである。

ドルフィンは6000t級フローティングドック内で下から12~15mまで作り、その後別に海底に設けた製作マウンドに移設する。製作マウンドは、ドルフィンの自重と浮力との関係から深さ、使用段数が決められ、係船ドルフィンで2段、荷役係船ドルフィンで3段の2系列用いられている。製作マウンド上に移したドルフィンは各段で所定の高さまでコンクリートを打ち上げ、逐次深い方へ移動させる。製作マウンド上で最終ロットまで作り終わったドルフィンは、これと並行して建設されている本マウンド上に据え付けられ、中詰土砂投入、上部コンクリート施工、防舷材取付け等を行って完成する。このようにフローティングドックと階段状の製作マウンドを組み合わせ、鉄筋コンクリートケーソンを作る方式は珍しい方式である。

貯蔵船を常時安全に係留する構造物であり、また荷役設備の基礎ともなるドルフィンは水深-28.5mを上面とする捨石マウンド上に設置される。貯蔵船泊地の基盤は-30~-40mの所にあり、この基盤まで浚渫したのち、次項で詳述する捨石投入均し台船を用いて一層厚3

～4m に、5～200 kg/個の捨石を投入均しする。一層の捨石の投入均しが終了すると、係船ドルフィンの将来の沈下をできるだけ抑制するため、重量約 40 t の鋼製重錘を使用して捨石を締め固める。捨石マウンドの最上層は、ドルフィン底面と捨石マウンドとのなじみをよくするため、20～80 mm の砕石を敷き均す。

保留用ドルフィン1 函は製作開始から完成まで 10～12 か月の期間を要し、最盛期には、8 函のドルフィンと並行作業で製作している。

3. 捨石投入均し台船の開発と実績

港湾工事における護岸、防波堤等のケーソンの基礎となる捨石マウンドは、通常ガット船等により海面上から直接投入し、マウンド上に遣方等を設け潜水士が人力均しで仕上げる方法がとられている。しかし、今回のドルフィンの基礎は、

- ① 水深 30～40 m 下に捨石マウンドを築かなければならない。
- ② ドルフィンの将来の沈下抑制のため、捨石は一層厚 3～4 m ごとに、重錘で締固めを行う。このため、中間の層でも締固めが行える程度の精度で仕上げる必要がある。

等、捨石マウンド築造条件が、これまでの防波堤等の基礎よりさらに厳しくなっており、在来工法では、

- ① 所定の場所、高さへの確実な投入均し精度の確保が困難となる。
- ② 捨石投入ロスや均し能力の低下に伴うコストの増大。
- ③ 大水深下での熟練潜水作業員の確保が難しく、また潜水作業に対する危険性の増大

等が懸念されたため、在来工法に代わる技術が必要と考えられた。これまで捨石投入均しに関する機械化施工法が種々提案されている。しかし実験的に用いられているものが多く、一部実用に供されたものもあるが、水深 30～40 m での投入均しや、投入と均しを同時に行うことについては、実績がないのが実情である。したがって、このたび水深 30～40 m で使えなおかつ投入と均しが同時に行える方式について開発し、実施工に用いることとした。

(1) 捨石投入均し台船の基本構想

基礎マウンドの形状を図-4 に、また基礎工事の工事数量を表-1 に示す。

基礎マウンドは、基盤まで浚渫したのち、一層の層厚 3～4 m に 5～200 kg/個の捨石を投入均しし、投入均しの終了したマウンド面を各層ごとに、重量約 40 t の鋼製重錘で締め固める。投入均し、締固めの作業を繰り返したのち、最上層の基面均しを行って基礎マウンドを完

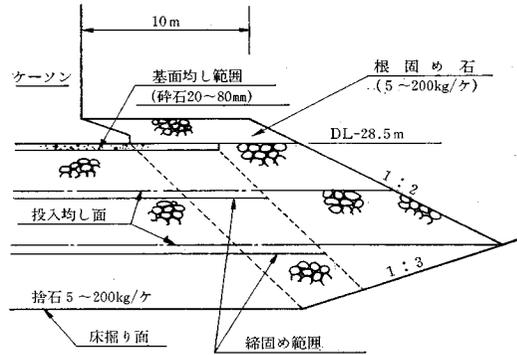


図-4 捨石マウンド標準断面

表-1 基礎工事数量

項目	数量	工事数量
基礎床掘		468,000m ²
捨石投入均し		282,000m ²
＃ 層数		11基計27層
捨石締固め		56,000m ²
基面均し		17,000m ²
根固め石投入		20,000m ²
＃ 均し		15,000m ²

表-2 開発目標基本条件

	基本条件
捨石サイズ	5～200kg/ケ
捨込み深度	20～40m
均し精度	±50cm
投入均し層厚	2～5m
投入均し量(最大)	1,300m ² /日
均し面積(最大)	300m ² /日

成させる。これら一連の作業、すなわち浚渫から捨石投入均し、締固め、基面均しまでを同一の機械設備で施工するシステムは理想であるが、精度、能力、コスト、開発に要する期間等を勘案し、また浚渫、締固め、基面均しはそれぞれ別の技術で対応可能であることから、捨石の投入均し作業だけに焦点を絞って開発を行うこととした。捨石投入均し設備に要求される基本条件を表-2 に示す。

捨石投入均し設備について表-2 に示す条件以外に、限られた工事海域の中で多種多様な工事をシリーズで行うため、

- ① 別の施工場所への移動が比較的簡単にできること。
- ② 大がかりな船団構成とならないこと。
- ③ 捨石の投入均し作業については、位置決め、投入均し、仕上り状況の確認等一連の作業が1つの設備

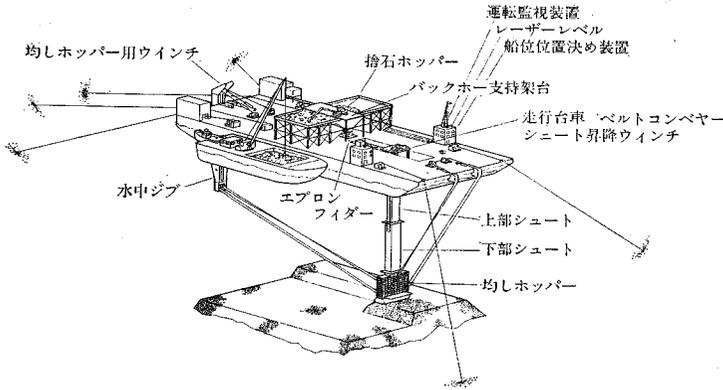


図-5 捨石投入均し台船の概念図

でできること。

④ 潜水士を頼らず、可能な限り機械化施工を行うこと。
 等がまた重要な条件であり、これら条件を満たす装置として図-5 に示す概念の捨石投入均し台船を開発目標に選定した。

(2) 陸上実験

捨石投入均し台船が必要とする機能を大別すると、次の3つに区分できる。

- ① 捨石投入均し台船の移動、固定、投入位置の位置決め。
- ② 捨石の貯蔵、投入位置までの運搬。
- ③ 捨石の均し——連続投入される捨石を移動しながら所定の高さに仕上げる。

この場合一番問題となるのは、③の機能であり、横移動するときの抵抗および仕上り精度について不明な点を解明するため、事前に陸上で実験を行った。実験は図-6のような方法で行った。実験から表-3、4 に示す結果が得られた。

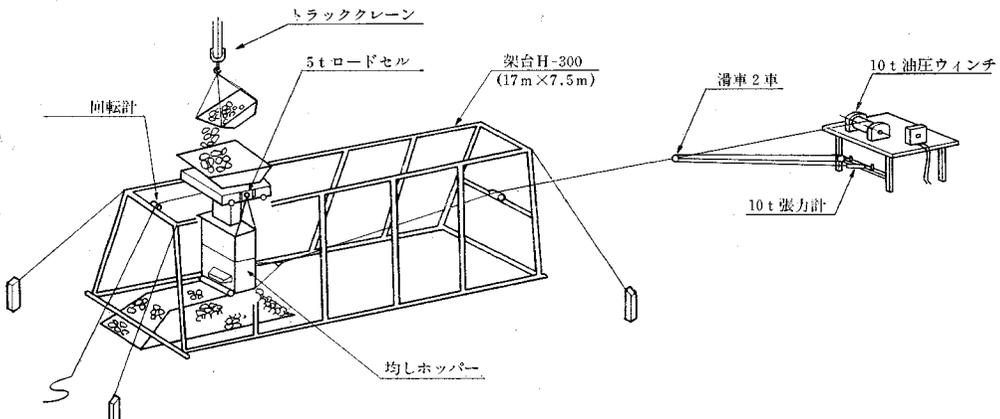


図-6 実験装置の概要図

実験から仕上り精度は十分 ± 50 cm 以内に収まることおよび水平抵抗力は予想より小さいことが判明した。実験の結果をもとに、実機の仕様を設定した。

(3) 実施工に使用した捨石投入均し台船

実施工に用いた捨石投入均し台船の仕様を表-5、6 に示す。捨石投入均し台船の仕様決定にあたって配慮したことは以下の諸点である。

- ① 台船には載荷状態に対応して、台船を水平に保つためのバラスト調整機能を持たせること。

表-3 力学的特性の実験結果 (代表値)

均しホッパー 角度	均しホッパー 幅×長×高	ホッパ 一自重	積載 重量	捨石 サイズ	均し 層厚	牽引力
90°	2.5×1.0×3.5	10.9	12.1	5~200	1.0	5.6
#	2.5×1.0×2.0	9.6	6.7	#	3.0	2.8
45°	2.5×1.0×2.5	8.6	7.8	#	1.0	6.5

表-4 施工性能に関する実験結果

実験要素	施工性能	実験の結果
捨石サイズ	均し抵抗力 均し精度	捨石が小さいほど小さかった。 捨石が小さいほど良かった。
均し速度	均し抵抗力 均し精度	速度が早いほど大きかった。 因果関係は特になかった
均しホッパー 出口形状	均し抵抗力 均し精度	45°の方が、90°より大きかった。 45°の方が、90°より悪かった。
捨石積載高	均し抵抗力	高さに比例して大きくなった。

表-5 主要設備機械の仕様

設備機器名	仕様	数量
A. 船体設備		
船 殻	半潜式6,000tonリバージ改造 幅26m×長90m×深6m	1 隻
係留ウインチ	油圧式 20 t	6 台
アンカー	ストックアンカー	6 丁
バラストポンプ	渦巻式	2 台
B. 投入均し設備		
捨石ホッパー	幅22m×長12m×高6.5m	1 基
エプロンフィーダ	最大800t/h	2 台
ベルトコンベア	幅2m×長42.5m	1 基
走行台車	ボギー台車	1 基
上部シュート	箱型 幅1.5m×奥2m×長19m	1 基
下部シュート	箱型 幅2m×奥2.5m×長13.7m	1 基
昇降用ウインチ	油圧式 30 t	2 台
均しホッパー	底開型 幅5m×奥2m×長7m	1 基
同上用ウインチ	油圧式 15 t	2 台
同上控え用ウインチ	油圧式 7.5 t	2 台
水中ジブ	幅4.5m×奥4.5m×長28m	1 基

表-6 計測設備仕様

	計測項目	機 器 名	台数
位置	船体位置	作業船位置決めシステム	1式
基準高	船体レベル	レーザーレベル	1式
深度	捨石均し面	超音波測深装置	1式
距離	台車走行距離	ロータリーエンコーダ	1台
	シュート長さ	"	1台
速度	台車走行速度	タコメーター	1台
	均しホッパー用ウインチ速度	"	1台
	控えホッパー用ウインチ速度	"	1台
張 力	均しホッパー用ウインチ張力	ロードセル	1台
	控えホッパー用ウインチ張力	"	1台
傾 斜	シュート傾斜	傾斜角検出器	1台
	均しホッパー内捨石レベル	超音波空満レベル計	1式
捨石量	捨石量	超音波測深装置	1式
	均しホッパー内残量計測	ロータリーエンコーダー	1台
データ 処 理	運転監視装置	収集制御器	1台
		パーソナルコンピュータ	1台
		カラーCRTディスプレイ	1台
		プロッタープリンター	1台

- ② 台船上には1日の施工量に見合う捨石貯蔵用ホッパーを設けること。
- ③ 鉛直の投入シュートは最大、最小投入深度に対し深さ方向に調整可能であり、かつ潮位変動についても調整可能なものとする。またシュートの下端には捨石が適量ストック可能な均しホッパーを設けること。
- ④ 投入用鉛直シュートは台船上のウインチ操作で、水平に移動するが、捨石投入を連続的に行うため、

シュートに連動して水平に移動できるベルトコンベアと組み合わせること。

- ⑤ 船の位置、潮位も考慮したシュートの高さ、投入

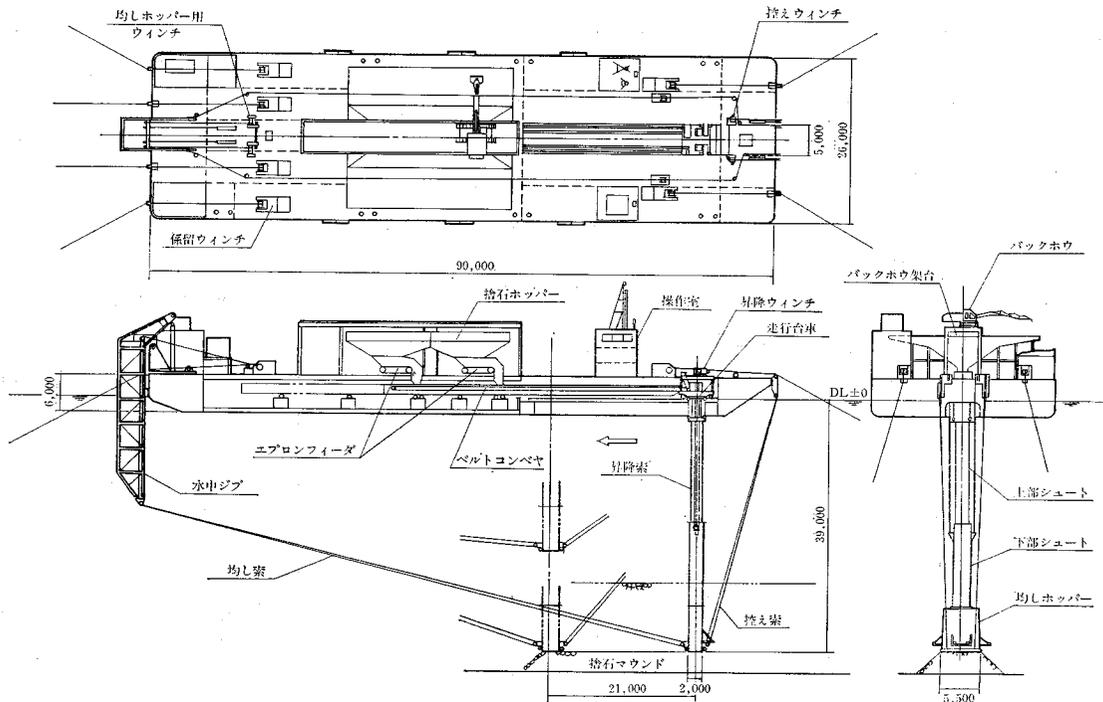


図-7 捨石投入均し台船の全体図

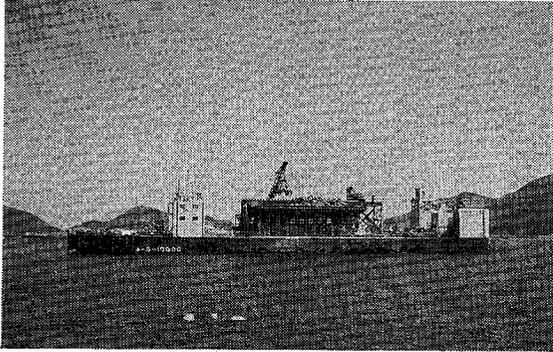


写真-1 捨石投入均し台船

均し面の仕上り状況、シュートの移動速度、シュート移動時の張力等設備の運転制御に必要なデータを光学機械やコンピューターを駆使して、コントロール室でリアルタイムに入手し、運転制御に反映できる計測システムを有すること。

捨石投入均し台船の全体を図-7に、また、完成した捨石投入均し台船を写真-1に示す。

また捨石投入均し台船での、捨石の投入均し手順は次のとおりである。

- ① 近隣の捨石の産地からガット船で捨石材を運搬し投入均し台船上の貯蔵ホッパーにストックする。
- ② 捨石をホッパー下のエプロンフィーダーを介して水平に取り付けたベルトコンベア上に落とす。ホッパー上のバックホウは、捨石のエプロンフィーダーへの落下を容易にするために用いる。
- ③ ベルトコンベア上の捨石はコンベア先端の鉛直の投入シュートに運ばれ、シュート内を落下して、シュート下端の均しホッパー内にストックされる。
- ④ 投入用シュートは台船上のウインチのワイヤー操作により水平に1ストローク 20 m 移動する。シュートとベルトコンベアは水平方向に連動して動くようになっており、これにより捨石を連続投入して幅 5 m, 長さ 20 m, 上面積 100 m² のマウンドの層を形成する。
- ⑤ 台船の移動は、台船上の係船ウインチおよび海底のアンカーとで行う。

(4) 施工実績

係留用ドルフィンの基礎マウンドの捨石投入均しは、現地での試運転調整を行ったのち、60年7月から開始した。マウンド各層は、試運転時の試験結果をもとに平面的に 30~75 分割し1シフトごとに投入均し台船を移動しながら一層厚 3~4 m の層に仕上げている。シフト割の一例を図-8に、また図-9には、投入均し作業管

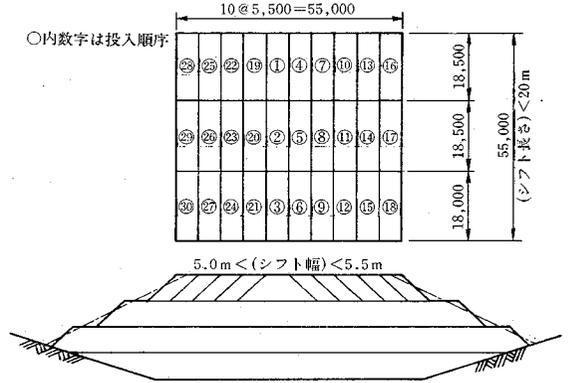


図-8 捨石マウンドシフト割の一例

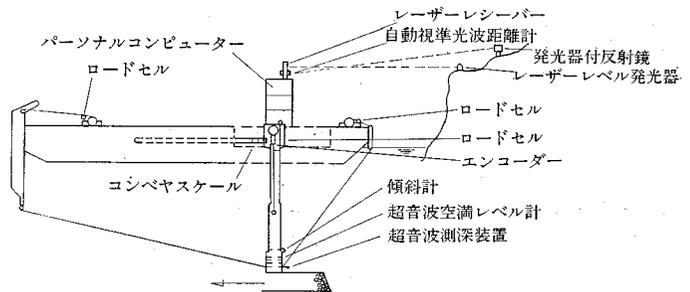


図-9 計測機器配置図

理のための計測機器の配置の概要を示した。

a) 施工管理

捨石投入均し作業の管理は、表-7に示す項目について行っている。

施工管理に必要なデータはリアルタイムにコントロール室で入手できるようになっており、十分確実な精度で捨石の投入均しが行われている。たとえば捨石マウンド各層の上表面の凹凸は、均しホッパー下端から 1.5 m 上に取り付けた音響測深機で計測され、その結果がコンピューターのアウトプットとして表示されるので、1シ

表-7 投入均し作業管理項目

管理項目	内容
投入均し位置	位置決めシステムでの差
投入均し高さ	基準レベルとの差
均し面の凹凸	音響測深機の結果
シュート吊荷重	ロードセルの値
ホッパーけん引力	〃
台車速度	ロータリーエンコーダーの値
ホッパーの傾斜	傾斜計の値
シュート走行距離	ロータリーエンコーダーの値
ホッパー内捨石高	空満計の値
捨石投入量	投入前後の測深結果

フトごとに捨石投入量の不足の部分は、いつでも再投入可能である。写真-2にはコントロール室の計測器の一部をまた、図-10には管理用データの一例を示した。

図-10の左側は捨石投入均し台船の平面位置のずれを表示しており、操船者は、画面に表示されたずれに対応して船の位置を調整している。また図-10の右側は、音響測深機でのマウンド上面の凹凸の測定結果である。

b) 実績

① 施工量

62年4月末現在すでに全マウンドの捨石投入均しが終了しているが、実際施工した数量は次のとおりである。

マウンドおよび層数	11基 27層
捨石投入均し面積	95700 m ²
総シフト数	1091回
投入均し作業工期	60.7~62.4 22か月
最大日当たり投入量	2000 m ³
平均日当たり投入量	1300 m ³

② 投入均し精度

投入均し後の捨石マウンドの仕上り結果の一例を図-

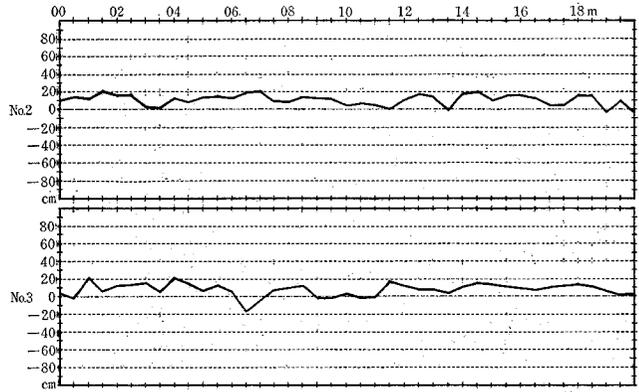


図-11 捨石マウンド表面の実測結果例

11に示した。

基礎マウンドの設計上の高さ、重錘による予想締固め量から、各層ごとの均しホッパーの高さを設定して施工したが、できあがったマウンドの高さと設定高との差は平均5cmであり、またマウンドの一層の上表面の不陸は±50cm以内に収まっている。各マウンドとも最上層は特に仕上り高さの精度が必要であるため捨石材の粒度を調整した結果も反映され不陸も小さな値となった。不陸の大半は±30cm以下である。図-12には天端の不陸分布の一例を示した。

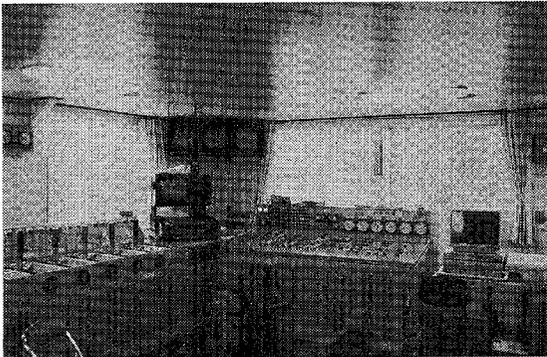


写真-2 コントロール室の計測器

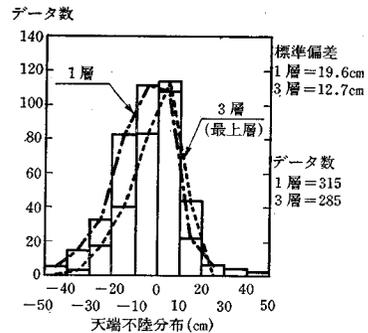


図-12 天端の不陸分布の一例

管理項目	捨石投入位置	捨石投入高さ
計測装置	自動位置決めシステム	レーザーレベル 音響測深機 (指向全角 6° 指向径 15cm)
管理情報	位置管理図 シフトNo.18 (L-2-4)	施工高さ管理グラフ 投入距離 設定高さとの差 cm
管理基準	位置のずれ ±15cm以内	捨石面の凹凸 ±50cm以内

図-10 管理用データの一例

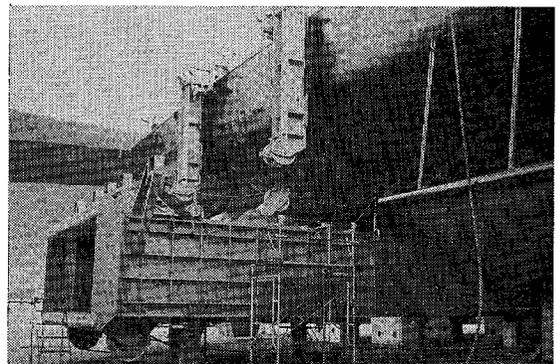


写真-3 捨石投入均し台船に取り付けたシュートおよび均しホッパー

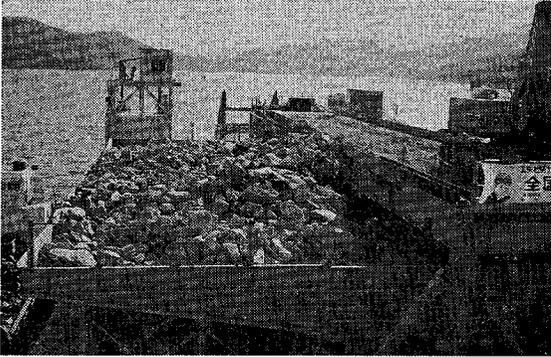


写真-4 捨石投入均し台船上の貯蔵ホッパー

なお参考までに捨石投入均し台船の機械設備を写真-3, 4, 5 に示した。

4. あとがき

わが国で初めての試みとして、新たに開発した機械設備で大水深下のドルフィン基礎マウンドの捨石投入均し作業を行ったが、所定の工期内に十分な精度でマウンドの築造を行うことができた。今後防波堤の基礎等について、大水深下での施工が増加すると予想され、また熟練潜水士の不足や潜水病の危険等を併せ考えると、当工事で採用した捨石投入均し工法は、非常に有力な施工手段となると思われる。また今回得られた結果が今後の同種工事に役立てば幸いである。なお、今回の捨石投入均し工法の開発および実施工での適用について、直接、間接にご指導、ご援助頂いた関係者の皆様に誌上を借りて感

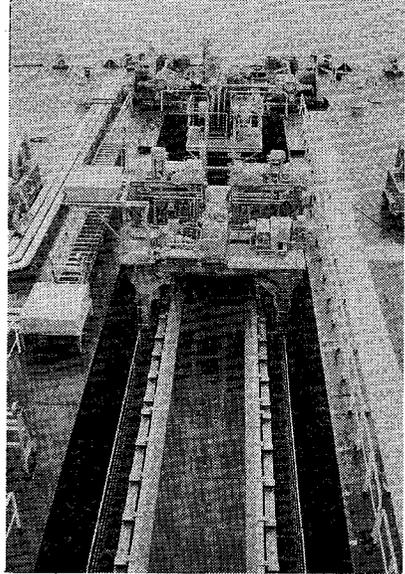


写真-5 ベルトコンベアと走行台車

謝の意を表します。

参考文献

- 1) 運輸省第二港湾建設局 横浜機械整備事務所：捨石均しシステムの開発，作業船，第 155 号，pp. 37~46，昭和 59 年 9 月。
- 2) 中川英毅：大水深捨石ならし 機械開発の現状，第 5 回建設用ロボットに関する 技術講習会「情報化施工とロボット化への展望—水中施工編—」テキスト，土木学会建設用ロボット委員会，pp. 27~39，昭和 61 年 11 月。

(1987.5.21・受付)