

# 「海翔丸」向け自動係留・自動陸上排送装置

## Development of the Automatic Mooring and Discharge System for “KAISHO-MARU”

宮 部 宏 彰 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド開発部 課長  
堀 内 敏 光 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド開発部  
渡 辺 学 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド基本設計部  
田 崎 哲 夫 技術開発本部総合開発センター制御システム開発部  
川 崎 恭 弘 石川島造船化工機株式会社設計部

自動係船システムは、関門航路の浚渫作業に従事している大型浚渫兼油回収船「海翔丸」が浚渫した土砂の船外排送作業を支援するシステムで、年間を通して24時間体制で実施されるこの処理作業に従事する乗組員の、負担軽減を目的としている。システムは、接岸を支援する自動離着棧システム、岸壁への自動係留装置、および浚渫土砂の自動陸上排送装置によって構成され、本船接岸から係留、土砂排送、本船離岸までの陸上側作業を無人で行う世界初のシステムである。本稿では、作動確認試験などを通して確認された機能とその有効性について報告する。

The automatic mooring and discharge system is the system that supports the crew during steering for mooring and transferring the dredged sand from the ship's hopper tanks to the reclamation field, and consists of the programmed berthing system, automatic mooring system and dredging sand transfer system. This is the first system developed in the world, and has been applied to the trailing suction hopper vessel “KAISHO-MARU” that is engaging in maintenance and dredging in the Kan-Mon strait area between Honshu and Kyushu. The function and the efficacy were confirmed through sea trials.

### 1. 緒 言

大型浚渫兼油回収船「海翔丸」(以下、本船と呼ぶ)は、福岡県の太刀ノ浦港を基地港とし、主として関門航路の航路維持に従事している。

浚渫された土砂は、周防灘に現在建設中の新北九州空港予定地にある新門司沖土砂処分場に運搬され、同空港用地の北側工区の埋立てを、今後約10年間かけて完了する予定である。

第1図に「海翔丸」を示し、次に主要目を示す。



第1図 「海翔丸」  
Fig. 1 “KAISHO-MARU”

全 長	103.0 m
型 幅	17.4 m
型 深 さ	7.2 m
計画満載喫水	5.7 m
総 ト ン 数	4 663トン
泥 倉 容 量	2 000 m <sup>3</sup>
推 進 器	電動 360 度旋回型 4 翼固定ピッチ式ノズル付プロペラ × 2 基
電 動 機	1 500 kW
バウスラスト	電動固定ピッチ式プロペラ × 1 基
推 力	約 9.3 t
電 動 機	600 kW

この浚渫・排送作業は24時間体制で実施されるため、本船乗組員の作業負担が非常に大きい。また、浚渫土砂の投入作業は通常、ホッパと呼ばれる泥倉船底の開閉扉を開放して行われるが、土捨作業の進捗に伴い水深が浅くなり、ホッパ開閉による浚渫土砂投入作業が次第にできなくなる。このため、本船を浚渫土砂の移送施設を設置した棧橋(ドルフィン)へ係留し、陸上設置の排送管経由で浚渫土砂の排送・投入(船外排送)を行うが、通常の係留作業ではド

ドルフィン上に係留索の索取要員が必要となる。そこで、国土交通省九州地方整備局において、この作業を自動化し、最小限の労力で作業を進めるシステムが計画・開発され、自動係留・自動陸上排送装置を実現し稼働させた。

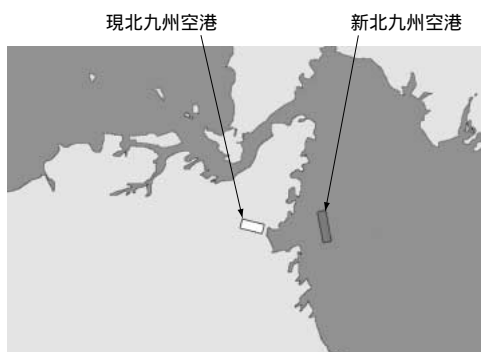
## 2. 設置海域と設計条件

自動係留システムは、関門航路に程近い、北九州市門司区の地先となる周防灘沖合約 3 km に、2005 年度開港予定で建設中の新北九州空港建設地の一区画に設置された。第 2 図に本システムの設置海域を示す。この海域は、本州と九州の間にあるため、海象が穏やかで 1 m を超える波高はほとんど見られない。しかし、設置海域は干満時の潮位差が約 4 m と大きいことから、特に船をドルフィンに接岸させる際の条件（接岸時条件）の設定においては、土捨作業に伴う船の喫水変化に加え、干満差とこれに伴う潮汐流に対して十分な注意を払う必要があった。

接岸時における計画条件を次に示す。

潮 位	H.W.L. + 4.04 m L.W.L. + 0.08 m
干 満 差	4.0 m
船体喫水変化	2.2 m
平均風速	15 m/s
風 向	全方向
有義波高	1.5 m
平均波周期	5.0 s
波 向 き	N から E
潮 流	0.12 m/s
接岸速度	0.1 m/s
接岸精度	±1.5 m (前後方向)

本船が進入する航路の航行可能な水深は干潮時で約 8 m 必要である。自動係留システムの設置された海域は水深が浅く、航行可能な海域が非常に限られた範囲であることか



第 2 図 設置海域  
Fig. 2 Installation site

ら、システムにはさまざまな外乱に対して柔軟に対応でき、かつ高い精度の操船が求められた。

## 3. 自動係留システムの基本的な流れと機能

自動係留システムは自動離着棧システム、自動係留装置、自動陸上排送装置から構成され、これらを運転するうえで必要なデータは、特定小電力無線および無線 LAN によって連携させる。

本船は浚渫土砂の排送作業を行うため、ドルフィンの岸壁前面約 800 m の海域から操作盤上のスイッチ操作で自動離着棧システムの自動操船モードに入る。本船はこの自動操船によって乗組員の操作を一切必要とせず、あらかじめ設定された航路上を設定された針路・速度で移動し、自動的にドルフィンに接岸する。このとき、ドルフィン側では自動係留装置が接岸に向けて起動しており、接岸時に後述の吸着盤と呼ばれる真空圧で船体を保持・係留する装置が本船に押付けられ、係留が完了する。

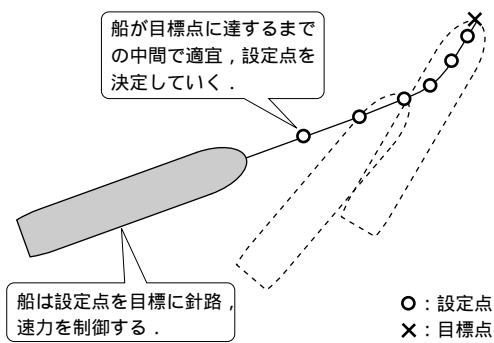
接岸・係留作業が完了すると、自動陸上排送装置によって本船側の船外排送管はドルフィン側の排送管に接続され、泥倉内にためられた浚渫土砂を土捨場所へ排送する。排送完了後、接続された船外排送管を分離・格納した後、本船はドルフィンから離岸し、再び浚渫作業を行う。これら一連の作業は 3 ~ 4 時間程度で実施され、1 日に 5 ~ 6 回繰り返される。

### 3.1 自動離着棧システムの機能

離着岸の制御システムは、本船の推進器をコンピュータ制御下で自動操作して、ドルフィンまでのアプローチ操船と、接岸および離岸を自動化するシステムである。これは、船位誘導機能によって、状況に応じた最適な船位、針路、速力が決定される一方で、船位保持機能によって、バウスタスタと推進器を自動的に操作しながら、設定点を自動的に追尾させ、本船を目標位置まで制御するものである。この船位誘導の基本的な仕組みを第 3 図に示す。

船位誘導時に針路・速力の補正量は、風などの外乱が大きい場合は予定コースからの船位の逸脱距離や、所要時間の長短に大きく影響される。このため、船位誘導は設定点の決定と同時に、その時点でのとるべき針路・速力を状況に応じて自動的に補正する。

乗組員は、こうした自動係留システムの動作状況や本船の航跡情報を、船橋に設置された推進操作盤および推進自動操作盤の画面上で確認することができる。ここでは、船位・船速に限らず、推進器の作動状況 海象・気象状



第3図 自動追尾の仕組み  
Fig. 3 Control system of auto tracking

況 接岸時吸着位置との船位誤差 吸着力（真空圧），などが表示され，自動係船システムの作動状況を的確に把握することができ，装置などの異常時には適切な対応をとることができるよう配慮されている。

### 3.1.1 動作モード

本システムにおいては，進入航路上にある本船の誘導から，ドルフィンへの接岸・離岸に至るまでの，本船および自動係留・自動陸排関係の陸上設備一連の自動操作を効果的に実現するため，装置の作動状況を五つのカテゴリに分け，スムーズな制御を実現した。以下に，各動作モードの概要を示す。

#### (1) アプローチモード

ドルフィンの約 800 m 手前から前面海域（ドルフィン約 25 m 手前）まで本船を自動的に船位誘導する。

#### (2) 接岸モード

前面海域から接岸するまで本船をドルフィンに対し平行となるよう誘導し，吸着盤による係留を完了する。

#### (3) 離岸モード

船外排送管の本船格納完了に基づき係留を解除し，本船を岸壁から前面海域まで誘導する。

#### (4) 保持モード

アプローチ開始海域から前面海域に至るまでの範囲内で本船の位置を保持する。なお，前面海域における保持モード指令は本船を所定位置に誘導保持する。

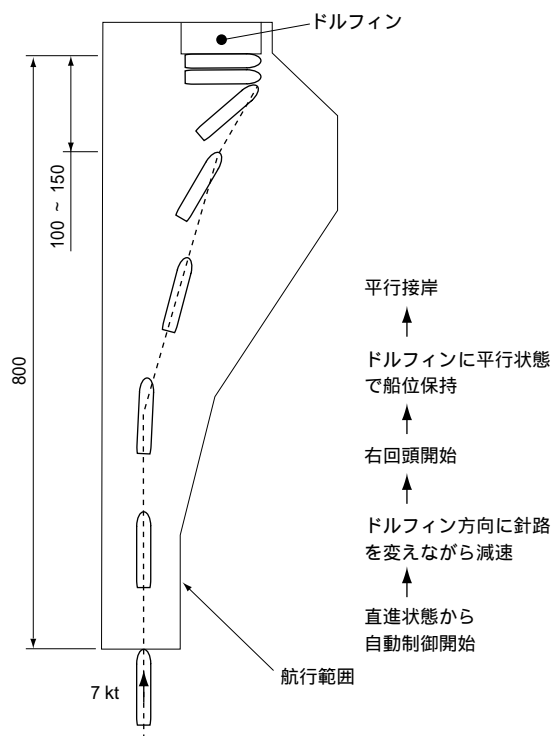
#### (5) トータルモード接岸

上記アプローチモードと接岸モードを連結し，アプローチ開始から接岸終了までを一括して行う。

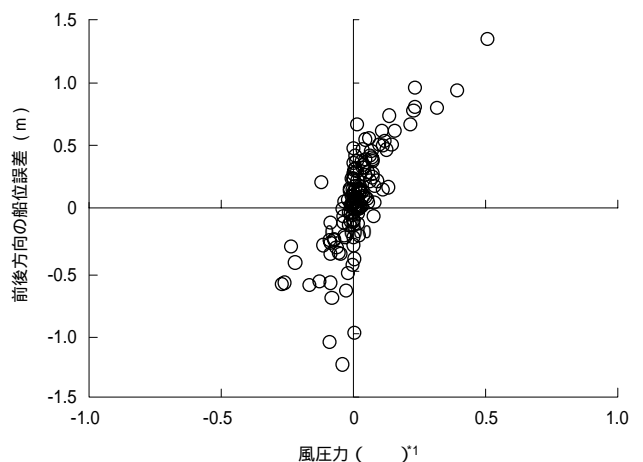
これら自動接岸時のプロセスを第4図に示す。

### 3.1.2 操船精度

船がドルフィンに自動接岸する際の前後方向の船位誤差を第5図に示す。これは2004年3月から2004年7月まで行われた約140回分の接岸についてデータをまと



第4図 自動接岸時のプロセス（単位：m）  
Fig. 4 Automated berthing process (unit: m)



(注) \*1：風速 15 m/s，正面時の風圧力を 1.0 とした値

第5図 自動接岸時の前後方向の船位誤差  
Fig. 5 Error of surge direction at automatic berthing

め，船位誤差に対する風圧の影響を示したものである。横軸は接岸時の条件である平均風速 15 m/s で正面から風を受けた場合の風圧力を 1.0 とした値とし，縦軸は前後方向の船位誤差を示している。この結果から，ほとんどのケースで着岸時の船位が  $\pm 0.5$  m 以下に制御できていることが分かる。

この結果，風圧力が小さい場合には，船位の誤差にばらつきが見られた。これは船外排送管の稼働範囲内に船を誘

導する際に、船内での交替待機中の乗組員への騒音影響をより低減させるため、極力バウスタスタを使用しないよう制御パラメータを補正し、静音な状態で自動係留装置に接岸・係留するよう配慮したためである。こうした制約下においても、接岸・離岸を安全かつ正確に行うよう、実海域での調整を繰り返し実施した。

### 3.2 自動係留装置の機能

自動係留装置の全景を第6図に示す。装置は、ドルフィン上に昇降式防舷材と吸着式係留装置を1組として、船首側、船尾側にそれぞれ1基ずつ、計2基を配置している。吸着式係留装置は、先端にリップゴムを装備した吸着盤、この吸着盤を船体に押付けるためのアーム部、船を係留するワイヤ、潮位変化などに対して本装置を上下方向に稼働させる昇降装置などで構成される。

通常の岸壁係留では、船舶がある程度岸壁に接近した後、船上から係留索を陸上に渡し、岸壁側で固定した後、船から索を引き込む方法をとる。これに対して機械的な無人システムである係留装置では、さまざまな動きをしながら岸壁に接近してくる本船を確実に捕そくし、かつ係留時の船体動揺に追従させる機構が必要となる。

このため本装置では、接岸時の船体の姿勢に対して柔軟な吸着面に対応させると同時に、真空装置でリップゴムの内部を真空にして、本船の船側外板に吸着し、ワイヤで係留する機構とした。ワイヤはオートテンション機構によって係留中の船体動揺に対して吸着盤が無理なく追従できるようにし、本船の離岸後は吸着盤をアーム先端にかん合させた後、ワイヤおよびアームを収納させ格納するようにした。第7図に吸着盤と防舷材を、第8図に本船の係留状態を示す。

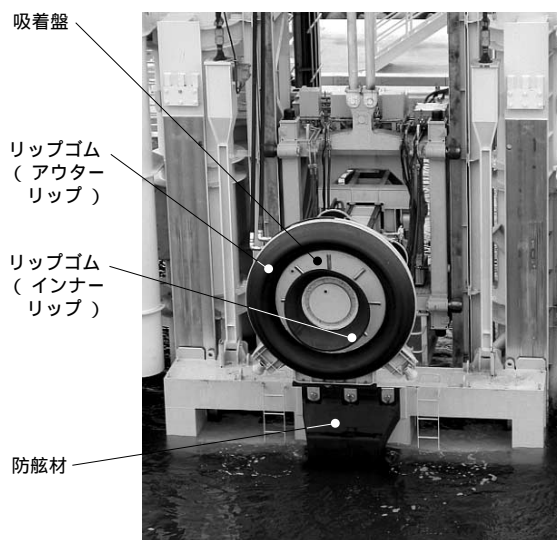
#### 3.2.1 自動係留装置の代表的な機構

##### (1) 吸着盤昇降装置

装置は干満差と、本船の喫水変化に追従させるため、2基の吸着盤ユニットを潮位計と喫水計のデータ

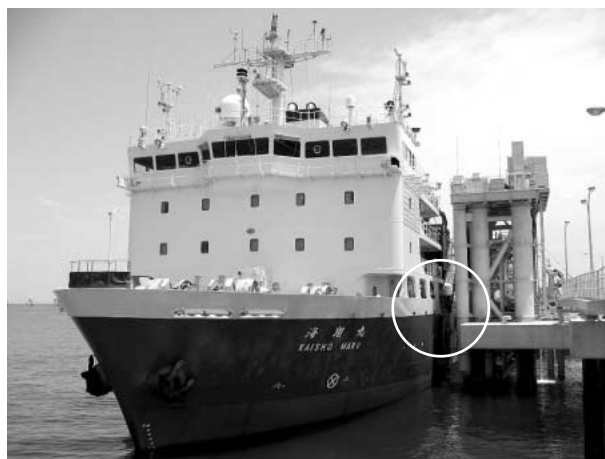


第6図 自動係留装置の全景  
Fig. 6 Automatic mooring system

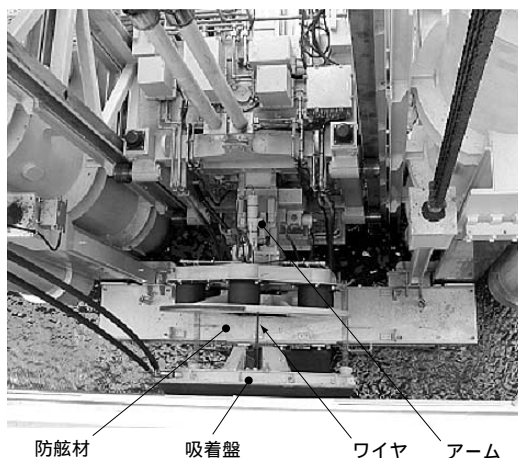


第7図 吸着盤と防舷材  
Fig. 7 Adsorption disk and fender

(a) 係留状態



(b) 自動係留装置



第8図 「海翔丸」の係留状態  
Fig. 8 Mooring condition of "KAISHO-MARU"

を基に独立して自動的に上下方向に作動させることとした。これによって、船のトリム量も含めたドルフィンと船体の相対水位差を相殺した状態で係留が可能となった。

(2) 吸着盤首振りおよびアーム揺動装置

本船の接岸の際、船体動揺や接岸時の運動エネルギーを吸収させるため、吸着盤の向きには適切な自由度をもたせる必要がある。同時に、真空圧で効率的に吸着させるため、吸着盤を押し付ける必要がある。このため、先端部に吸着盤を装備したアームを伸縮、上下および前後方向に作動させ吸着盤を船体に押し付けることができる機構とした。

(3) 防舷材昇降装置

防舷材は吸着盤によって引き込まれた船体を受け止めるため、潮位変動に対して船体との相対位置を適切に維持する必要がある。このため、吸着盤昇降装置と同様に、潮位、船首・船尾各々の喫水に合わせて自動的に高さ調整ができるようにした。

3.2.2 技術的課題

本装置に採用された際の工夫点として、代表的な3点について次に示す。

(1) ワイヤ係留方式と吸着盤の格納方法

船体はつねに外乱によってあらゆる方向に動揺しているため、アームなどによる固定式保持には機械的に無理が生じる。したがって、係留時の機械的寿命の向上および船体動揺に追従できる機構として、ワイヤ係留方式を採用した。この方式の適用によってアームなどへの不規則かつ繰り返しの荷重を避け、機械的な寿命を大幅に改善することができた。

また、吸着盤の格納に際しても吸着盤フレームにガイドを設け、ワイヤによる吸着盤の引き込み時に吸着盤をガイドに沿ってかん合させることで、スムーズに格納できる構造が実現した。

(2) 吸着機能の確実性・安全性の向上

吸着動作時間を極力短縮させ確実に係留状態にするため、アームで吸着盤を船側に押し付けることと併せて、吸着盤のリップゴムにはインナーリップ（内側）とアウトターリップ（外側）の2種類の吸盤機構を設け、より確実な吸着を可能とした。

(3) 重錘式アキュムレータの採用による据付けスペースおよび動力の削減

係留索は本船が沖に移動しないように一定の張力を働かせ、同時に他船の引き波などによる単発的な大きい船体動揺に追従させる必要がある。このため、大型の油圧ポンプやブラダ式アキュムレータの適用が考えられるが、前者は大きな動力が必要となり、後者は広い据付けスペースを必要とするため、いずれも採用しなかった。本装置では重錘式アキュムレータ（以下、ACC と呼ぶ）を採用し、油圧シリンダの端部にカウンタウェイトを取り付けることによって、コンパクトで安定した圧力の油量を確保することに成功した。

この結果、船体動揺によってアクチュエータから排出された圧油は、カウンタウェイトで圧力が保持されながらACC 内に蓄圧されるため、瞬間的な船体動揺の発生時にオートテンション機構に必要な作動油の補充が可能となった。また、圧油のリリーフ弁通過量が減少し、作動油の熱交換量も減少することができた。

3.3 自動陸上排送装置

3.3.1 自動陸上排送装置の基本機構

自動陸上排送装置の全景を第9図に示す。装置に求められる機能を満足するため、自動陸上排送装置は主に次の各装置で構成される。

- (1) ドルフィン上に設けた移動台車
- (2) 移動台車上に設けたY型受台
- (3) 本船の船外排送管と陸上排送管のカップリング装置



第9図 自動陸上排送装置の全景  
Fig. 9 Automated discharge system

- (4) 移動台車とY型受台をつなぐスイングホース
- (5) 移動台車とドルフィン上の固定配管をつなぐテールホース

これらの装置は自動離着棧システム、自動係留装置と連携をとりながら作動する。浚渫土砂の船外排送管のかん合状況を第10図に示す。この装置の船体動揺に対する計画条件を次に示す。

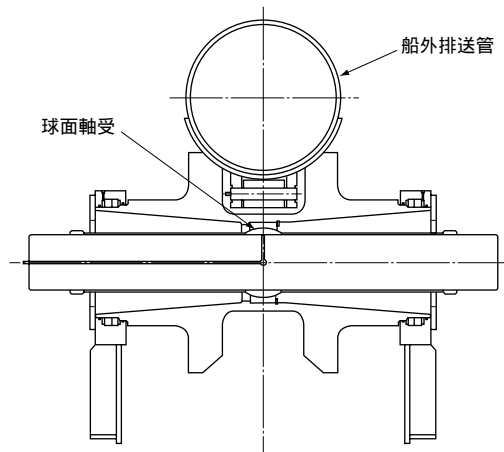
前後揺れ	± 0.18 m
左右揺れ	± 0.46 m
上下揺れ	± 0.28 m

接岸位置の前後方向の誤差、接岸後の船体動揺による前後・左右方向への動揺に加え、浚渫土砂排出に伴う喫水・トリム変化や、潮位変化の上下方向の変位と係留後の船体動揺への追従性が課題となった。

### 3.3.2 技術的課題

装置の設計に際しては、前述の接岸中の計画条件や、船体動揺によって船体が前後・上下に変位することを考慮した。特に船体動揺のような比較的短周期の動きとは異なる潮位変化や、流れによる前後方向への移動など緩やかな移動・変位への対応として、基準位置から± 2.5 mの範囲までは追従させることとした。

このため、本船上に設置された浚渫土砂の船外排送管はドルフィン上のY型受台で支持し、これを船体の変位に追従させることとした。また、ドルフィン上に設置された陸上排送管のカップリング装置は、カップリングローラ、ガイドローラとスイングホース先端の金物で構成されており、このカップリングローラに球面軸受けを内蔵させることで、接続機構そのものに対しても、排送管かん合後の追従性を確保できる機構とした。第11図にカップリングローラ断面を示す。

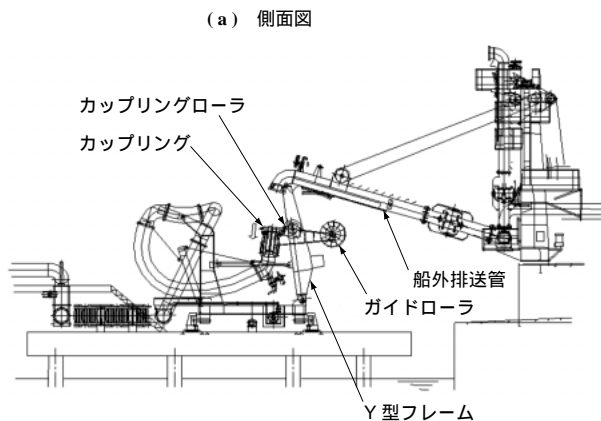


第11図 カップリングローラ断面  
Fig. 11 Cross section of coupling roller

これらによって、船側のポンプによる浚渫土砂の排送を確実に実施できるようになり、本船に浚渫土砂が満載状態の場合、約1時間で土砂の排送が可能である。この土砂の排送状況は、本船の船外排送管が見通せる船橋の後部に設置された浚渫操作盤(第12図)によって監視される。



第12図 浚渫操作盤  
Fig. 12 Dredging control panel



第10図 浚渫土砂船外排送管のかん合状況  
Fig. 10 Coupling condition of over board discharge pipe

#### 4. 結 言

接岸・係留作業における陸上側の人員を無人化したこのシステムは、前例がないため非常に関心の高いものであったが、合理性や安全性に優れることが立証された。「海翔丸」のあらゆる状態において、浚渫土砂を確実にかつ迅速な排送を実現したこの技術は、浚渫土砂の排送システムに限らず、係留を伴うさまざまな作業の省力化・安全性向上に寄与するものであり、新しい港湾設備の一つの形として期

待されている。

#### 謝 辞

本工事の施工および機能確認試験に当たって、ご発注いただいた国土交通省九州地方整備局 関門航路事務所、下関港湾空港技術調査事務所をはじめ、社団法人日本作業船協会、東洋・国総特定建設工事共同事業体など関係各位から多大なご協力をいただきました。ここに記し、深甚の謝意を表します。