

三井 造船 技報

平成 26 年 7 月 ■ 第 212 号

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW No. 212 2014



進化続ける港湾荷役用重量物運搬機械



表紙説明

進化続ける港湾荷役用重量物運搬機械

三井造船は、コンテナ荷役用クレーンとして、1960年代後半に日本初の岸壁クレーン（商品名：ポーターナ）及び蔵置ヤード用タイヤ式門型クレーン（商品名：トランステーナ）を納入後、海上物流輸送の高速化・効率化に着眼して、大型化、高速化及び自動化を進めてきた。現在のポーターナは、コンテナ船の大型化に伴い、吊上荷重、大きさ、移動速度について、いずれも1号機の2倍以上になっている。一方、トランステーナでは、コンテナ船の大型化、高速化に伴って取り扱い貨物量も増加しており、荷役中に排出されるCO₂を削減するために、ハイブリッド化と電動化が進められている。

また、1970年代に商品化したコンテナターミナル管理システム（CTMS）についても、より効率的な荷役を求めて継続的に改良を進めるとともに、クレーンの遠隔保守システムや自動化システムなどクレーンと一体となった製品開発を進めている。

- ①日本最初のポーターナ（神戸港摩耶埠頭向け）
- ②最新の大型ポーターナ（マレーシア／ケラン港向け）
- ③日本最初のトランステーナ（神戸港摩耶埠頭向け）
- ④ケーブルリール給電方式の電動型トランステーナ（清水港新興津埠頭向け）

Cover

Evolving heavy duty container handling equipment in port area

Mitsui Engineering and Shipbuilding Co., Ltd. (MES) has been pursuing the increase in size and speed, and automation of container handling cranes for speed up and optimization in marine transportation, since implementing the first ship to shore crane (PORTAINER[®]) and rubber tired yard gantry crane (TRANSTAINER[®]) in late 60's.

For the recent PORTAINER[®], rated load, size and speed have doubled compared with the first unit as the size of container vessels has been increased. While for TRANSTAINER[®], we have developed hybrid and shore powered cranes in order to reduce carbon dioxide emission during the container handling as the container handling volume increases due to the increase in size and speed of TRANSTAINER[®]. As for the Container Terminal Management System (CTMS), which first comes onto the market in early 70's, we are continuously improving our products for more efficient terminal operation and are pushing the development of crane related products forward such as remote monitoring system, automation system.

- ①The first PORTAINER[®] in Japan (Maya, Port of Kobe)
- ②Recent large size PORTAINER[®] (Port Kelang, Malaysia)
- ③The first TRANSTAINER[®] in Japan (Maya, Port of Kobe)
- ④TRANSTAINER[®] with cable reeled shore power system (Shinokitsu, Port of Shimizu)

三井造船技報

2014年(平成26年)7月・第212号

目次

製品・技術解説

| | |
|------------------------|---|
| 重量物運搬機械及び物流システム製品..... | 1 |
| 機械・システム事業本部 市村 欣也 | |

技術論文・報告

| | |
|--|----|
| 没水型展張式幕状津波防波堤の検討 - 水槽試験による巨大津波への対応能力の実証 - | 13 |
| 島田 潔 松原 直哉 喜多代顕彦 羽生 一成 | |
| PIV 計測技術と CFD 解析を用いたプロペラ後流渦場の可視化技術の開発 | 19 |
| 木村 校優 安藤 智子 松田 識史 須山 達夫 | |
| 荒天中の船体構造応答予測技術の開発..... | 26 |
| 安田 章宏 シェリーフ ラシッド | |

製品・技術ニュース

| | |
|---|----|
| 国内最大規模のバイオガス発電施設の建設に着工 - 家畜排せつ物からのエネルギー創出と地域環境の保全に貢献 - | 31 |
| バランスド扁平アーチ橋“滝見橋”の建設 - 世界文化遺産の構成資産「白糸の滝」に架けられた橋梁 - | 32 |

トピックス

| | |
|---|----|
| 三井造船システム技研が ISMS/ISO 27001 認証を取得 - 認証範囲を一部門から全社へ拡大 - | 33 |
|---|----|

Home Page News

| | |
|---|----|
| 航海訓練所向け練習船「大成丸」完工 | 34 |
| 新潟造船 オーシャン・ゴーイング・タグ 4 隻を受注 - 世界最大級 300 トンの曳航能力 - | 34 |
| ベトナム ニソン製油所向け蒸気タービン発電設備 5 基を受注 - ベトナムから初の受注 - | 35 |

MITSUI ZOSEN TECHNICAL REVIEW

No. 212 JULY 2014

CONTENTS

| | |
|---|----|
| Products and Technology Explanation | 1 |
| Technical Paper and Report | |
| Examination of Underwater Self-spreading Sheet-type Tsunami Breakwater - Opposing Capability Massive Tsunami Verified by Tank Test - | 13 |
| <i>Kiyoshi SHIMADA, Naoya MATSUBARA, Akihiko KITADAI, Issei HABU</i> | |
| Development of Advanced Flow Visualization Technology using PIV and CFD ... | 19 |
| <i>Koyu KIMURA, Satoko ANDO, Satoshi MATSUDA, Tatsuo SUYAMA</i> | |
| Development of a Numerical Method to Predict Structural Response of Ships in Extremely Rough Sea States | 26 |
| <i>Akihiro YASUDA, Sherif RASHED</i> | |
| Products and Technology News | 31 |
| Topics | 33 |
| Home Page News | 34 |

重量物運搬機械及び物流システム製品

機械・システム事業本部 市村 欣也

1. はじめに

三井造船では、昭和初期より荷役機械を製造してきており、1960年以降、海上輸送用コンテナ(以下、コンテナ)、バルク貨物、産業用重量物などを荷役する各種クレーンを広く取り揃えて世に送り出してきた。特に、コンテナ荷役用クレーンについては、米国 Paceco Corp.(以下、パセコ社)との技術提携を機に、主力製品として開発、製造及び販売に取り組んでいる。また、コンテナターミナルの荷役作業を管理するコンピュータシステムについても、コンテナリゼーションの早い時期から取り組み、商品化してきた。

一方、バルク及び産業用重量物荷役用クレーンでは、製鉄所、造船所、発電所などで使用される荷役機械を中心に商品化してきた。

本報では、コンテナ荷役用クレーンの大型化、自動化、環境対応といったコンテナ荷役のトレンドを紹介しつつ、当社のクレーン及び物流システム製品を紹介する。また、バルク及び産業用重量物荷役用クレーンとして、鉄鉱石・石炭用アンローダと製鉄所構内重量物搬送クレーンについて紹介する。

2. コンテナ荷役用クレーン

2.1 コンテナクレーン事業の沿革

今日、物流の主役を担う商用コンテナ輸送は、1956年に、米国パンアトランティック汽船会社(後のマースク・シーランド社)により開始された。その2年後に、米国マトソナ

ビゲーション社は、カリフォルニア州アラメダ港の岸壁にコンテナを荷役する専用クレーンを設置した。この世界初のコンテナ専用クレーンを製造したのがパセコ社である。

当社は、1961年に同社と技術提携を結び、1967年に神戸港摩耶埠頭に日本初の岸壁クレーン(商品名:ポーターナ、写真1)を、1968年に同埠頭に日本初の蔵置ヤード用タイヤ式門型クレーン(商品名:トランステーナ、写真2)を納入した。1988年にはパセコ社を買収、子会社化し、2014年5月現在、303基のポーターナと1108基のトランステーナを世界各地の港に納入している(写真3,4)。

2.2 岸壁クレーン(ポーターナ)

2.2.1 標準型ポーターナ

現在、主要なコンテナターミナルでは、コンテナ輸送専用船(以下、コンテナ船)に対して1時間当たり30本から40本程度のコンテナを積み下ろししている。また、コンテナ船の運行スケジュールを乱さないように、決められた時間内に確実に作業を終了させなければならない。

このため、クレーンには高い剛性、操作性の良い駆動制御システム、信頼性が高く保守の容易な機器・部品の採用などが求められる。また、岸壁強度の制約からクレーン自重が制限されることも多く、軽量化も求められている。

当社の標準型ポーターナは、モノボックス方式のブーム・ガーダ(写真5)を採用して軽量化と高剛性化を両立させるとともに、インバータ制御の駆動装置、コンピュータ制御による吊荷振止め装置、視認性の良い運転室の設計などにより操作性を高めている。

さらに、モータ・減速機はユニット構造を採用し、スプレッド傾転装置、スナッグロード保護機構をガーダ後端に集約するなど、保守性を向上させている(写真6)。



写真1 日本初の岸壁クレーン(ポーターナ)



写真2 日本初の蔵置ヤード用タイヤ式門型クレーン(トランステーナ)



写真3 近年のポーテナー



写真5 モノボックス式ブーム・ガーダ



写真4 近年のトランスターナ



写真6 ガーダ後端部

2.2.2 大型ポーテナー

近年、多くの海運会社がコンテナ船を大型化することでコンテナ1本当たりの運賃を低く抑えようとしており、アジア - 欧州、アジア - 北米西岸といった基幹航路では8000～10000個(20フィートコンテナ換算)のコンテナを搭載できるコンテナ船が就航している。これらの船では、全長330m以上、幅45m(デッキ上にコンテナを18列積載)以上に達しており、現在就航している最大のコンテナ船であるマस्क・トリプルE級では全長約400m、幅58m(同23列積載)となっている。

コンテナ船の大型化に対応するためクレーンの大型化が求められており、当社では2014年に、マレーシア・ケラン港向けにオンデッキ24列船対応のポーテナーを納入した(写真7)。その仕様を表1に示す。

大型ポーテナーでは、1個のコンテナを荷役するために移動する距離が従来型に比べて長くなるため、荷役能率が落ちないように巻上下及び横行動作を高速化しており、また、20ftのコンテナを2個同時に荷役できる吊具(以下、スプレッド)を装備している(写真8)。さらにクレーン大型化に伴い、運転席の位置が高くなり、地上付近の作業に対する視認性が悪化するため、これを補うためのビデオカメラ装置も搭載している。

2.2.3 免震型ポーテナー

当社では、1995年の阪神淡路大震災を機に、免震機能を持ったポーテナーを開発した(写真9)。この免震型ポーテナーは、走行装置と主構造物の間に設置した積層ゴムの変形を利用し、地震動がクレーン本体に直接伝わらないようにしたものであり、2001年に東京港に納入して以降、今日までに19基を納入し、国内で稼働している全ての免震機能付きコンテナ荷役用岸壁クレーンの約4割を占めている。

さらに2007年には、「港湾の施設の技術上の基準を定める省令(国土交通省令第15号)」及び「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示(国土交通省告示第395号)」が施行され、耐震強化岸壁に設置される荷役機械は、国の適合性確認審査に合格しなくなりました。当社は2012年に、適合性確認審査に合格した日本初の免震型ポーテナーを名古屋港に納入し、その後、2013年には清水港と神戸港に納入している。

2.3 蔵置ヤード用タイヤ式門型クレーン(トランスターナ)

2.3.1 標準型トランスターナ

蔵置ヤード用のコンテナクレーンとしてはレール式又はタイヤ式の門型クレーンが使用されるが、荷役の繁忙に応じて蔵置ヤード内を自由に移動できるタイヤ式が世界中に広く普



写真7 大型ポーテナー



写真9 クレーン免震装置

表1 大型ポーテナーの主な仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|--------|-------------------|------------------------|
| 定格荷重 | 65 t | 20 ft コンテナ 2 個吊可 |
| アウトリーチ | 67 m | オンデッキ 24 列船対応 |
| スパン | 30.48 m | |
| 揚程 | 52 m | 海側レール面上 オンデッキ 9 段対応 |
| 巻上速度 | 90 m/分 180 m/分 | 負荷時 無負荷時 |
| 横行速度 | 240 m/分 | |
| 自重 | 約 1 450 t | |



写真10 16輪型走行装置



写真8 ツイン 20 ft スプレッダ

表2 標準型トランスレーナの主な仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|----------|------------------------|--------------------------|
| 定格荷重 | 40.6 t | |
| スパン | 23.47 m | 6 列 + 1 シャーシレール |
| 揚程 | 15.24 m 18.00 m | 4 段積み 5 段積み |
| 巻上速度 | 23 m/分 52 m/分 | 負荷時 無負荷時 |
| 横行速度 | 70 m/分 | |
| 車輪数 | 8 又は 16 輪 | |
| 自重 | 約 120 t 約 130 t | 4 段積み(8 輪) 5 段積み(8 輪) |
| 自動直進走行装置 | Gyro 式, GPS 式, 磁気線式 | オプション装置 |

及している。

当社のトランスレーナは、ポーテナーと同様に、操作性の良い駆動制御システム、信頼性が高く保守の容易な機器・部品を採用するとともに、機器の配置を工夫して保守点検スペースを広く取ったクラブトオリを採用し、全てのアクチュエータを電動化することにより油圧ユニットと油圧配管を不要としている。また、走行装置は 8 輪型のほか、走行路の舗装強度が低い場合には輪荷重の小さな 16 輪型を選択するこ

ともできる(写真 10)。標準型トランスレーナの仕様を表 2 に示す。

2.3.2 環境対応型トランスレーナ

トランスレーナは、機上に搭載したディーゼル発電機セットから供給される電力を動力源としている。このため、ディーゼルエンジンの排気ガス中に含まれる二酸化炭素(CO₂)や

窒素酸化物(NOx)あるいは粒子状物質(PM)といった有害物質の排出が問題となっていた。そこで、環境対応型トランスレーナ(商品名:MESecoTT)として、軽油の消費量を減らすことで有害物質の排出を抑える省燃費型トランスレーナと地上からの給電によりゼロエミッションを達成する電動型トランスレーナを商品化した。

省燃費型トランスレーナは、必要とする出力に応じてディーゼルエンジンの回転数を制御するEVSC(Engine Variable Speed Control)方式と蓄電池を搭載してパワーアシストするハイブリッド方式(写真11)の2方式に分類され、従来型のトランスレーナと比較して、EVSC方式が36%(実績値による比較)、ハイブリッド方式(大容量電池タイプ)が52%の省燃費となる。なお、ディーゼルエンジンにおけるCO₂排出量は軽油の消費量に比例するため、CO₂排出削減率も軽油削減率に比例する。

一方、電動型トランスレーナは、バスバー給電方式(写真12)とケーブルリール給電方式(写真13)の2方式に分類され、CO₂排出削減率はいずれも約75%である。

従来の電動型トランスレーナは、蔵置ヤード内においてブロック間を移動する際に、電源と接続又は切離しをする作業が必要であるため、地上作業員を必要としていた。この問題

を解決するために、2010年に博多港に納入したトランスレーナには、ブロック間移動時にバスバーと集電子を自動的に着脱する装置を日本で初めて搭載した。

表3に、環境対応型トランスレーナの国内と国外を合計した納入実績を示す。

2.4 自動化クレーン

2.4.1 自動化トランスレーナ

トランスレーナには、運転手の疲労を軽減するために走行時直進操舵を自動で行う自動直進走行装置、クレーン停止時の捻れを自動的に補正するスキュー制御装置、停止した位置の番地を自動的に検出する装置などをオプションとして準備している。また、これらを組み合わせることにより、蔵置ヤード管理コンピュータから発信される作業指示を受け取り、ボタン又はレバー操作によって自動的に荷役位置まで移動するシステムを構築することができ、博多港などに納入している。

さらに2005年には、横浜港において国土交通省によるトランスレーナ遠隔運転の実証実験が行われ、当社のクレーンで遠隔運転を実施した(写真14)。

2.4.2 オーバーヘッドブリッジクレーン

シンガポール港パシルバンジャンターミナルでは、自動化ターミナルを実現するために世界でも類を見ないオーバー



写真11 ハイブリッドトランスレーナ



写真13 ケーブルリール給電式電動型トランスレーナ



写真12 バスバー給電式電動型トランスレーナ

表3 環境対応型トランスレーナの納入実績

| 方式 | 納入済み | 既受注(製造中) |
|-----------|------|----------|
| 省燃費型 | | |
| EVSC | 14基 | 30基 |
| ハイブリッド | 49基 | 34基 |
| 小計 | 63基 | 64基 |
| 電動型 | | |
| バスバー給電 | 14基 | 14基 |
| ケーブルリール給電 | 3基 | 0基 |
| 小計 | 17基 | 14基 |
| 合計 | 80基 | 78基 |

2014年1月現在 ただし、納入後に改造したクレーンは除く



写真 14 トランステナーの遠隔運転



写真 15 OHBC を採用したコンテナターミナル

ヘッドブリッジクレーン(Over Head Bridge Crane : OHBC)方式を採用した。これは、コンクリート支柱に支持された走行路上を走行し、地上を走行するシャーシとクレーンの動線交錯がなく、自動化の制御が容易になる上、安全性も向上するというメリットがある。特に、シンガポール港は積替率が高いためコンテナを高く積み上げており、背高のクレーンから地上を走行するシャーシを確認することが困難で、クレーン脚部とシャーシが衝突する危険性が指摘されていた。

当社は、1997年から2001年にかけて合計44基のOHBCを納入した(写真15)。表4にOHBCの仕様を示す。

OHBCの上に運転手は乗っておらず、上位システムからの荷役指示を受け取り自動で荷役を開始する。有人のシャーシへコンテナを積み込む、あるいはシャーシから取り上げる際に、スプレッドがシャーシの直上に到着してから遠隔運転コンソールとOHBCが通信接続され、管理棟内でスタンバイしている運転手がOHBCを操作できるようになる(写真16)。遠隔運転コンソールには、OHBCに搭載されているカメラの映像が映し出され、運転手はこの映像を見ながらOHBCを操作する。特に位置合わせ操作は、スプレッドの角に取り付けられたカメラの映像を4分割画面に合成し、画面上でコンテナの角を上下左右均等に合わせることで行

表4 OHBCの主な仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|---------------------|-------------------|------------------|
| 定格荷重 | 41 t | 20ft コンテナ 2 個吊可 |
| スパン | 43.6 m | 10 列 + 3 シャーシレーン |
| 揚程 | 24.39 m | 8 段積み |
| 巻上速度(負荷時) (無負荷時) | 53 m/分 130 m/分 | |
| 横行速度 | 70 m/分 | |
| 自重 | 約 250 t | |



写真 16 OHBC の遠隔運転

う。また、必要なときだけ運転手が遠隔でOHBCを操縦するため、一人の運転手が複数台のOHBCを操作して荷役を行っている。

現在の自動化ターミナルでも採用している遠隔運転の手法、すなわち、必要なときだけ遠隔運転コンソールとクレーンを通信接続する、一人の運転手が複数台のクレーンを操作する、スプレッドカメラの映像を4分割画面に合成して位置合わせに用いるといった技術は、全てOHBCにおいて具現化したものである。

2.4.3 鉄道ヤード用門型クレーン

欧州や米国では、ターミナル内まで鉄道を引き込み、コンテナを直接鉄道貨車上に積み込む荷役を行っているコンテナターミナルが多い。米国のロサンゼルス港では、コンテナターミナル内の鉄道ヤードで用いるレール式の門型クレーンを自動化することを計画しており、当社ではこの鉄道ヤード用門型クレーンを受注し、現在製造中である。図1に本クレーンの完成予想図を、表5に仕様を示す。

本クレーンは、スパンの外に張り出したカンチレバーと旋回式のトロリを有しており、鉄道貨車に積み込むコンテナはスパンの外側に45度傾いた状態で積みつけられる。これをクレーンが自動で取り上げ、鉄道貨車への積み込みは遠隔運転で行われる。

2.4.4 レールシャトルシステム

現在、オランダのロッテルダム港、ベルギーのアントワープ港、米国のヴァージニア港などで稼働中の自動化ターミナルでは、コンテナの長手方向を岸壁線と直角に向けて蔵置し、Automated Stacking Crane(以下、ASC)と呼ばれるレール

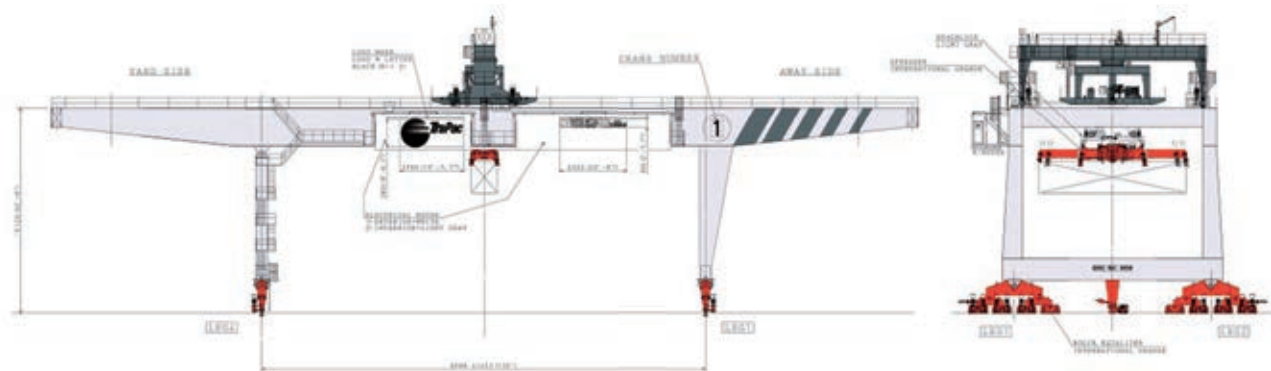


図1 鉄道ヤード用門型クレーン

表5 鉄道ヤード用門型クレーンの主な仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|--------------|-----------------|--------------------------|
| 定格荷重 | 40.6 t | |
| スパン | 41.45 m | スパン内6トラック アウトリーチ2トラック |
| カンチレバーアウトリーチ | 14.02 m/14.17 m | |
| 揚程 | 14.1 m | 3段積み |
| 巻上速度(負荷時) | 30 m/ 分 | |
| (無負荷時) | 60 m/ 分 | |
| 横行速度 | 120 m/ 分 | |
| 自重 | 約 500 t | |

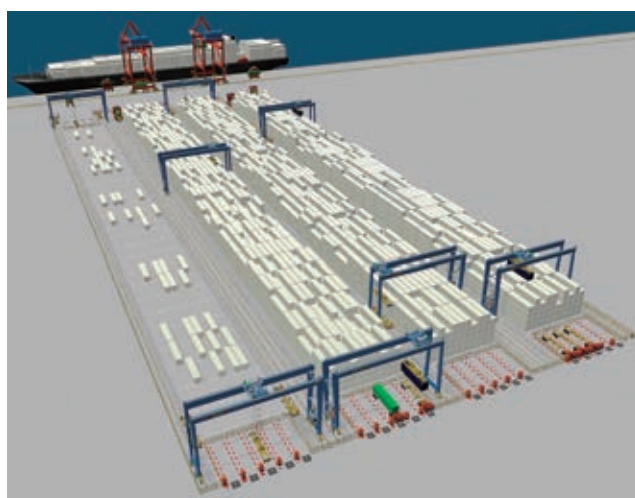


図2 レールカート方式自動化コンテナターミナル

式門型クレーンがコンテナを吊ったまま所定の番地まで走行する方式が採用されている。この方式では、自動化エリアと有人エリアの切り分けが容易になるというメリットがある反面、各蔵置ブロックに配置されたASCが、それぞれ海側、陸側の荷役に特化するために、海側の荷役が集中したときに陸側ASCが有効に活用できないという問題がある。さらに、コンテナ1個を搬送するために重量の重いASCが高速で走行しなければならず、電力消費が大きいという問題もある。

そこで、パセコ社ではASCの下にレールシャトルと呼ばれる直線往復するレール台車を設置することで、従来のASC方式のデメリットを解消するシステムを開発し、当社で商品化を進めている(図2)¹⁾。

当社で実施したコンピュータシミュレーションでは、レールシャトルを用いた場合、従来のASC方式と比較して約48%荷役効率が向上し、電力消費が70%低減する結果が得られた。

3. コンテナターミナルマネジメントシステム(CTMS)

3.1 システム事業の沿革

当社では、1970年代初めのコンテナリゼーション黎明期に日本で最初のコンテナターミナルオペレーションシステム(Terminal Operation System: TOS)を納入して以来、40年以上に渡ってコンテナターミナル向けのシステムを提供してきた。その間、利用するコンピュータは、大型計算機、ミニコンピュータ、オフィスコンピュータ、PCサーバと大き

く変貌を遂げてきたが、ソフトウェアとしても適宜これらに対応したパッケージを開発し、国内外のユーザに対して継続してTOS製品を提供し続けてきた。

また、コンテナターミナル専用のコンピュータシミュレーションシステム(Container Terminal Simulation System: CTSS)を開発し、コンテナターミナルの建設計画や日々の運用改善に関するコンサルティングサービスも行ってきた。

現在ではコンテナ関連システム製品として、TOSパッケージであるCTMS(Mitsui Container Terminal Management System)のほかに、トラック会社向けのコンテナ配送トラック運行管理システム(TOシステム)なども販売している。

以下に、CTMSの概要と最新の技術動向を紹介する。

3.2 CTMSの概要

CTMSはコンテナヤード用の業務ソフトウェアパッケージであり、図3に示す6個のサブシステムで構成される。

YPCS(Yard Plan Computer System)は、寄港本船の情報やコンテナ、貨物の詳細情報を総合的に管理するCTMSの基本システム、YP(Yard Plan System)とVP(Vessel Plan System)はそれぞれヤード運用や本船揚げ積み手順などを計画するためのサブシステムである。YO(Yard Operation System)はトランスレーナ、ポーターナなど荷役

機器の配置や荷役作業指示情報を管理しヤード内の荷役効率を向上させるシステム、IGS(Integrated Gate System)はコンテナターミナルのゲートに設置した受付装置や番号自動認識装置、カメラ、各種センサーを介して、コンテナの出入りを管理するシステム、WEBはコンテナターミナルの各種情報をインターネット経由で外部に公開し、輸出入コンテナの搬出入予約などを行うシステムである。

(1)YPCS

YPCSは、コンテナターミナルにおける基本情報であるコンテナ情報、輸出入ドキュメント情報(輸出ブッキング情報、輸入マニフェスト情報など)、本船寄港情報などを管理するシステムである。2009年に、従来のクライアントサーバー方式からWEBアプリケーション方式に変更した新バージョン

を開発し、最新版をシアヌークビル港、苫小牧港などに納入している。図4にYPCSの画面例を示す。

(2)YP

YPは、GUI(Graphical User Interface)機能を駆使したユーザフレンドリーなヤードプランシステムである。グラフィカルなコンテナ蔵置状況照会、蔵置計画登録、コンテナ移動情報登録などの機能を持ち、コンテナの蔵置場所自動決定のほか、蔵置の自動計画、ヤード内コンテナ整理作業の自動生成など、豊富な自動化機能を持っている。

また、在庫コンテナ一覧や在庫集計表示は、ユーザが自由にそのフォーマットを変更できるなど大変使いやすいツールとなっている。図5にYPの画面例を示す。

(3)VP

VPは、YPと同様のGUIベースの本船プランシステムである。本船積載情報表示生成、岸壁クレーンの荷役工程(オペレーションスケジュール)計画機能、本船揚積プラン生成機能などから成り、揚げ積み荷役スケジュール自動生成、揚積プラン自動生成など自動化機能も豊富に揃っている。図6にVPの画面例を示す。

(4)YO

YOは、ヤード内でコンテナをハンドリングする荷役機器に搭載され、無線LANで接続される車載端末をベースに、各荷役機器のヤード内での配置を管理するとともに、荷役作業指示を最適な荷役機器に自動的に送信する機能を持つ。YOもGUI機能を持ち、荷役機器の現在位置をヤードマップ上にリアルタイムに表示する機能も持つ。

また、本船荷役やヤード内シフト荷役に関しては、本船、



図3 CTMSの構成



図4 YPCSの画面例

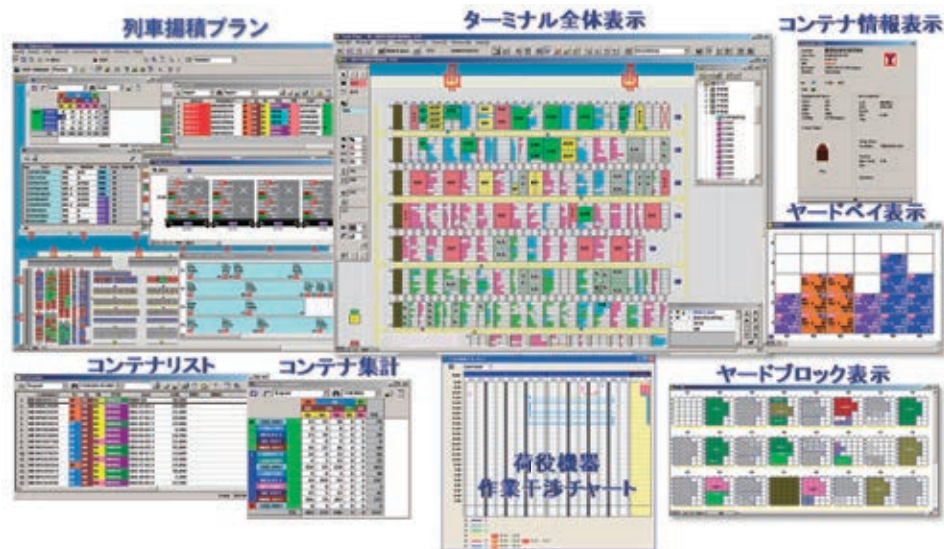


図5 YPの画面例



図6 VPの画面例

岸壁クレーン単位に最新の荷役状況や能率を表示し、荷役工程をリアルタイムに修正する機能も持っている。図7にYOの画面例を、図8に車載端末の画面例を示す。

(5) IGS

IGSは、コンテナターミナルの陸側コンテナ受け渡しゲート内に設置され、トラックドライバーが操作するゲート装置、現場作業員が操作する無線ハンディ端末、カメラや各種センサー類から成るシステムで、従来の対面型受付方式から、遠隔操作型、作業員操作型、あるいは事前搬出入予約情報をベースにしたトラックドライバー操作型など、ゲートにおけるコンテナ搬出入処理を効率化するためのシステムである。

また、高精度のコンテナ番号自動認識システムも標準で備えており、コンテナ搬出入における能率向上、ゲート前滞留解消と事故防止に大きく寄与するシステムとなっている。

図9にシステムの概要を示す。

(6) WEB

WEBは、コンテナターミナルあるいは港毎に設けるポータルサイト用サブシステムであり、本船の入出港情報やコンテナの搬出許可情報を関係者に公開し、コンテナ搬出入の予約受付を行うことにより、コンテナターミナルでのサービスを向上させるシステムである。また、WEBは、コンテナターミナルの状況を画像で提供する機能も持っている。

2001年に開発した博多港物流ITシステム(HITS)をはじめとして、名古屋港統一ターミナルシステム(NUTS)、苫小牧港外貿コンテナ事業共同組合搬出予約システム、さらには国土交通省コンテナ物流情報サービス(Colins)と、国内では豊富なポータルサイトの構築実績がある。



図7 YOの画面例



図8 車載端末の画面例

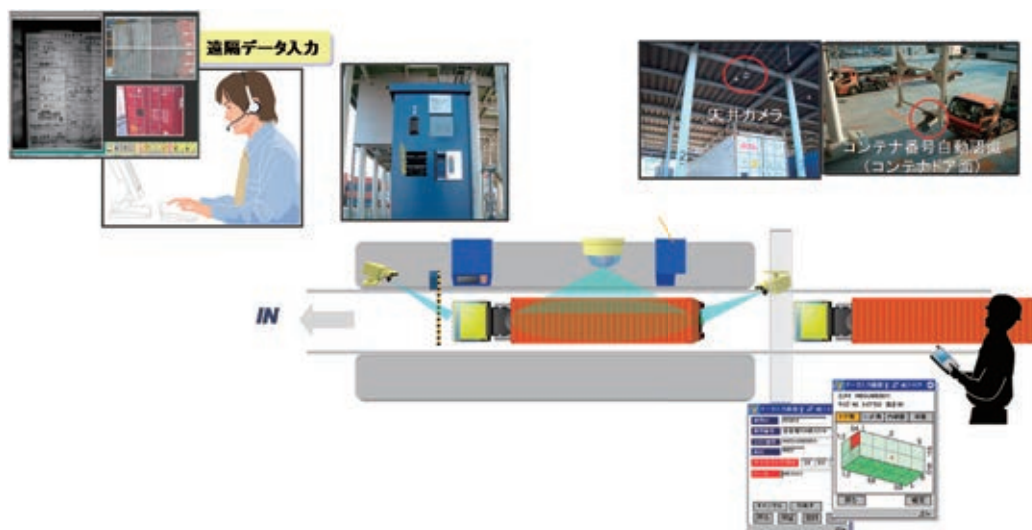


図9 IGSシステムの概要

3.3 最近の技術動向

CTMS を取り巻く最新の技術動向について、以下にトピックスを紹介する。

3.3.1 自動化ターミナル用 CTMS

自動化ターミナル用 CTMS は、2005 年に日本唯一の自動化ターミナルである名古屋港の飛島コンテナ埠頭株式会社（以下、TCB）に納入した。当初 TCB ではヤードクレーンの遠隔運転による半自動運転で運用していたが、その後 AGV（Automated Guided Vehicle、自動搬送台車）による全自動運転を行い、現在では海側（本船荷役）は全自動運転、陸側（搬出入荷役）は遠隔運転による半自動運転で運用されている。

本ターミナルでは、CTMS は、ヤードと本船プランニング機能や IGS に加えて、自動化クレーンや AGV に対する作業指示の生成、送信などの管理を行う機能を担っている。

3.3.2 携帯端末の利用

近年、スマートフォンやタブレット端末の普及に伴い、コンテナターミナルにおいてもこれらを利用したシステムに対する要望が増えている。このシステムでは免許を与えられた携帯キャリア会社のみが利用可能な無線の帯域を利用するため、現在問題となっている 2.4 GHz 帯無線の混雑及び相互干渉に対する一つの解決策となる。携帯端末回線は利用する度に費用がかかるものの、端末自体の価格も安くインフラは通信会社が設置するため、初期費用が少なく済むメリットがある。また、このような端末を現場に配置することは、現状のセンター業務の煩雑さやリアルタイム処理の困難さを招いているセンター主導型運用に、現場主導型運用を適宜取り入れていくためのツールとして捉えることもできる。

このような背景より、当社では本船荷役及びヤード管理にタブレット型の携帯端末を利用するアプリケーションを開発し、パッケージの一つとして提供している。具体的には、本船荷役における進捗状況の確認、手順や作業指示の確認と変更、空コンテナ管理現場での搬出入作業指示把握、ヤード蔵置状況確認入力機能などで、いずれも今までの無線による

データ通信ではなく、3G/4G/LTE といった携帯電話の通信網を利用する形態としている。図 10 に、携帯端末利用システムの画面サンプルを示す。

3.3.3 外部システムとの連携

CTMS が標準で提供する外部システムとの連携には、日本における通関システムである NACCS（Nippon Automated Cargo and Port Consolidated System）と海運会社 EDI（Electronic Data Interchange）がある。NACCS に関しては市販の NACCS 接続用パッケージを CTMS 向けにカスタマイズしたものを利用し、海運会社 EDI に関しては 2011 年に当社がパッケージとして新規開発した EDI システムを提供している。この EDI システムはコンテナに関する標準規格フォーマットを利用して海運会社などのデータの送受信を行うが、海運会社独自のフォーマットに対しても翻訳ロジックを個別開発するのみで対応可能な仕様となっている。

また、定期的な送受信を行うスケジューリング機能や送受信結果を表示するモニター機能を標準で装備している。図 11 に EDI パッケージの画面例を示す。

3.3.4 CTMS のクラウド化

従来の CTMS は、顧客の規模やニーズに合わせてシステムを構築する製品であるが、インターネット上のクラウド環境に汎用の CTMS を構築することにより、小規模のターミナル向けに導入費用を最小限に抑えた CTMS 利用サービスを提供する準備を進めている。コンテナ取扱量が少ない地方港も、本サービスを利用することにより、最小限の費用でコンテナ搬出入情報の電子化や国内外各港とのデータリンクが可能となり、コンテナの荷役効率の向上と他港との競争力強化を実現することができる。

4. バルク及び産業用重量物荷役用クレーン

4.1 鉄鉱石・石炭用アンローダ

鉄鉱石、石炭及び穀物は三大バルク貨物と呼ばれ、世界的に物流量が多いバルク貨物である。中でも、鉄鉱石や石炭は、

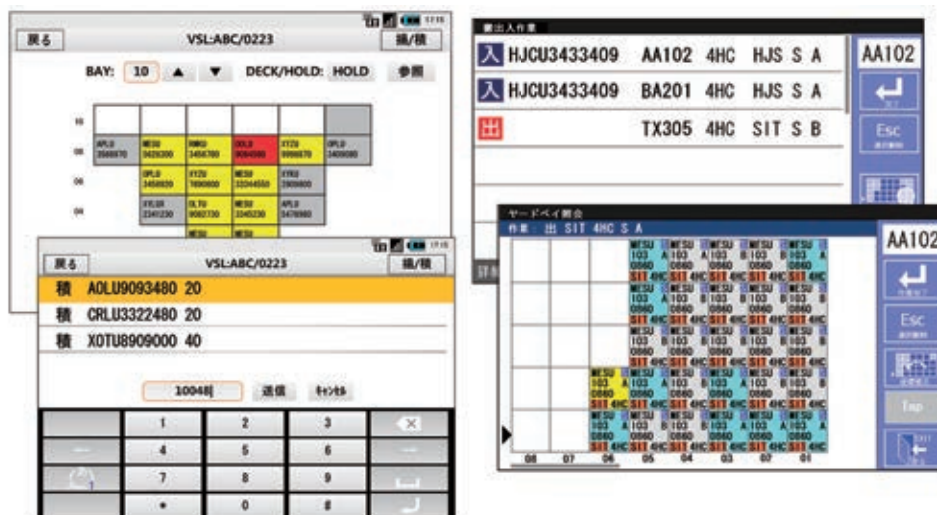


図 10 携帯端末利用システムの画面例



図 11 EDI パッケージの画面例



写真 17 グラブバケット式アンローダ



写真 18 鋼板出荷用クレーン

バルクキャリアと呼ばれる貨物船で輸送され、製鉄所や火力発電所といった消費地においてアンローダにより荷降ろしされる。鉄鉱石や石炭の輸送においても、貨物船の大型化により輸送コストを削減する試みがなされており、世界最大級のバルクキャリアであるヴァーレマックス級は 40 万 DWT に至っている。

鉄鉱石や石炭を荷役するアンローダは、連続式とグラブバケット式に大別される。前者は、荷役中の粉じん飛散が少ないという長所があるが、機構が複雑で初期導入コストと保守コストのいずれも後者に比べ割高になる。また、荷役能力は、いずれの方式も最大で 3 500 t/h に達しているが、1 500 t/h ~ 2 000 t/h のアンローダが多く普及している。

当社では、2011 年に、国内製鉄所向けに 1 500 t/h のグラブバケット式アンローダを納入した(写真 17)。本アンローダには、従来のものと比較して約 35% 軽量化したグラブバケットを搭載しており、クレーン自重と消費電力の低減が図られている。

4.2 製鉄所構内重量物搬送クレーン

4.2.1 製鉄所岸壁製品出荷用クレーン

製鉄所では、その製品である鋼板ロールや線材ロール、型

表 6 鋼板出荷用クレーンの主な仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|-----------|--------|---------------|
| 定格荷重 | 77.2 t | ツイストロック下 |
| スパン | 20 m | |
| アウトリーチ | 30 m | |
| 揚程 | 20 m | 海側レール面上、リフマグ下 |
| 巻上速度(負荷時) | 50 m/分 | |
| 横行速度 | 90 m/分 | |

鋼材、鋼片などを輸送船に積載して出荷している。出荷ヤードでは、これらの製品を橋型のクレーンを用いて貨物船に積み込んでおり、積み込む製品に合わせて吊具をリフティングマグネットや C 型フックに換装している。

当社では、これまで 17 基の製品出荷用クレーンを納入しており、各製鉄所の製品に合わせて、大きさ、定格荷重、吊具などをカスタムメイドで製造している。特に、鋼板出荷用クレーンでは、鋼板の長さに合わせて海側脚間隔を広げてお



写真19 鋼片荷役用門型クレーン

り、32 m 長さの鋼板が通過できるようにしたのも納入されている(写真18)。本クレーンの仕様を表6に示す。

4.2.2 鋼片荷役用クレーン

製鉄所内の高炉で製造された鋼片は、圧延工程を待つために一時保管されることがある。この一時保管場所で使用するのが鋼片荷役用クレーンであり、最高温度が950℃に達する鋼片をトングと呼ばれる特殊な吊具で挟み込み荷役する。建屋内の蔵置ヤードでは天井クレーン型のクレーンが、屋外では門型のものが用いられる。吊荷が高温であるため、クレーン本体には遮熱板が取り付けられているものもある。

写真19に門型クレーン方式の鋼片荷役用クレーンを示す。

4.2.3 タイヤ式製品搬送クレーン

タイヤ式製品搬送クレーンは出荷を待つ製品、特に、パイプなどの長尺製品を屋外の保管ヤードに借り置きする際に使用される。タイヤ式製品搬送クレーンは2.3で紹介したトランスターナと同様に、機上にディーゼル発電機セットを搭載しているため地上側に電源設備が不要であり、タイヤマウントのため走行路の舗装も安価であることから、保管ヤードを整備する際の投資が低く抑えられるというメリットがある。

当社では、これまでに6基のタイヤ式製品搬送クレーンを国内製鉄所向けに納入しており、鋼管などを保管するヤードで用いられている(写真20)。

5. おわりに

経済のグローバル化に伴って、物流は非常に大きな位置を占めるようになってきた。特に、重量物を大量に輸送できる



写真20 タイヤ式製品搬送クレーン

海上物流量は確実に増加しており、これを支えるクレーン及び物流システムの重要性も高まっている。

本報では、当社のクレーン及び物流システム製品について紹介した。当社では、クレーンの製造、据え付けのみならず、導入計画からアフターサービスまで製品ライフサイクルにわたり一貫したサービスを提供している。また、自動化や環境対策など、社会のニーズに合わせた新製品を開発しており、今後も顧客に選ばれる製品を提供していきたい。

なお、本報で使用している“ポーターナ”及び“トランスターナ”は米国パセコ社の登録商標であり、“MESecoTT”及び“CTMS”は三井造船の登録商標である。

参考文献

- 1) 栢菅・外：次世代型高効率自動化コンテナターミナルの開発、三井造船技報、209(2013-7)、p. 12

共同執筆者：深澤紀博

〔問い合わせ先〕

機械・システム事業本部 運搬機システム営業部
TEL 03 - 3544 - 3906 市村 欣也

没水型展張式幕状津波防波堤の検討 - 水槽試験による巨大津波への対応能力の実証 -

島田 潔* 松原直哉** 喜多代 顕彦*** 羽生 一成***

Examination of Underwater Self-spreading Sheet-type Tsunami Breakwater - Opposing Capability to Massive Tsunami Verified by Tank Test -

Kiyoshi SHIMADA, Naoya MATSUBARA, Akihiko KITADAI, Issei HABU

Model experiment has been carried out in the tsunami channel at Akishima Laboratories (Mitsui Zosen) Inc., simulating the massive tsunami which devastated Tohoku district coast in 2011. A new sheet-type breakwater model is tested, which normally stands by far below the sea surface and does no harm to surface traffic but stretches up in emergency to reduce tsunami energy reaching shore line.

The new breakwater has been confirmed to promptly stretch up in response to a leading tsunami flow and weaken subsequent massive tsunami traveling ashore by some 20%.

Furthermore, it is confirmed two-row breakwater can enhance tsunami reduction rate by another 20%, totaling some 40%. A simplified multi-reflection approach has been tried, revealing 50% reduction could be attained with three-row breakwater.

Mooring force is related with tsunami reduction rate on trade-off basis, relation of which is described quantitatively in this report.

津波波形の時系列を簡便に調整できる津波水槽を設計・製作し、2011年に東北地方を襲った大津波を対象とした模型実験を実施した。設計・製作した模型は、通常時は海中に没した状態で水上交通を阻害せず、津波来襲時に展張して沿岸域へ達する津波エネルギーを低減する幕状の防波堤である。

幕状防波堤が津波の初期流れによって素早く展張し、引き続いて来襲する津波最大波の進行を抑えて沿岸域へ到達する最大津波高を約20%低減できることを、水槽試験によって確認した。また、本防波堤を2重に配置することにより、更に約20%、計40%程度の津波高を低減できることを確認した。また、3重に配置することによって約50%の津波低減効果が得られることを、多重反射モデルによる簡易的な検討によって明らかにした。

また、係留力は津波低減効果とトレードオフの関係にあり、両者の定量的な関係も明らかにした。

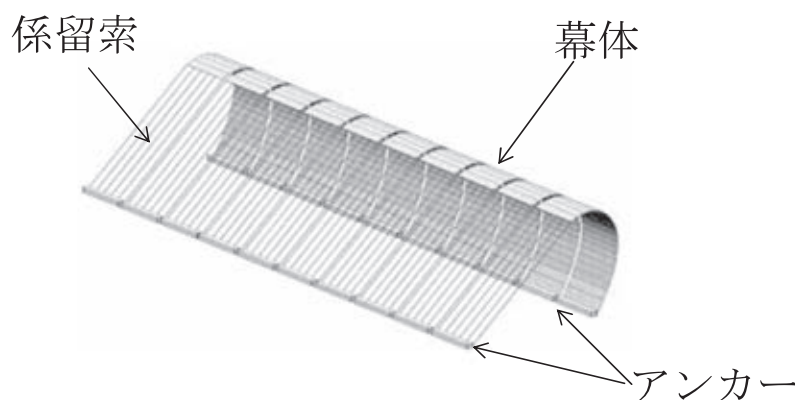


図1 幕状津波防波堤の構成
Composition of Sheet-type Tsunami Breakwater

* 株式会社三井造船昭島研究所

*** 株式会社三井造船昭島研究所 事業統括部

** 株式会社三井造船昭島研究所 技術統括部

1. 緒言

2011年にマグニチュード9.0の大地震によって発生した10mを超える巨大な津波が東北地方沿岸域を襲い、甚大な被害を及ぼした。近い将来、これと同規模の東海地震、南海地震などの海溝型巨大地震が発生し、本州、四国及び九州の沿岸を巨大津波が襲うことが懸念されている。

しかし、10mを超える巨大津波から沿岸域を守る津波防波堤を建設することは莫大な費用がかかる上に、港としての機能面や景観面からの問題もあって現実的ではないと考えられている。津波被害は避けられないものとし、その被害を最小化することを目標とする減災対策が防災対策に代わって進められている。

そこで、景観上の問題に配慮した直立浮上式¹⁾やフラップゲート式²⁾などの新形式津波防波堤の開発が進められている。本報では、低コストで短期間の設置工事で津波被害を低減できる新形式の没水型展張式幕状津波防波堤(以下、幕状防波堤と称す)の開発を目的として実施した津波水槽における模型試験結果について報告する。

2. 津波防波堤の概要

本防波堤は、通常は海面下深くに没した状態で水上交通を阻害せず、津波来襲時において防波堤として機能する。その作動シーケンスは次の通りである。

海面下深くに没しており、待機状態にある。

津波が来襲すると、その初期流れによって展張し、没水型の防波堤となる。

津波をブロックし、陸域へ到達する津波高を低減する。

津波流速の減少に伴い、展張が解かれて元の待機状態に戻る。

幕状防波堤の構成を、図1に示す。

3. 津波水槽

3.1 水槽要目

本試験を実施した津波水槽の要目を以下に示す。

水路部

- 幅 : 2.0 m
- 長さ : 30 m(傾斜部を含む)
- 水深 : 0.5 m
- 傾斜部勾配 : 1/7.9

タンク部

- 幅 : 1.9 m
- 奥行 : 1.5 m
- 高さ : 3.0 m
- 負圧水頭 : 2.0 m
- 整流部長さ : 1.0 m
- 電磁バルブ : オリフィス径 15 mm × 7 基
- ボールバルブ : ポア径 40 mm × 1 基

写真1はタンク部外観であり、ポンプによってタンク内に水を引き上げた後、タンク上部のバルブを開放することによってタンク内に空気を供給し、津波流れを発生させるシステムである。本システムでは弁の開閉のタイミングを制御することにより、実際の津波流れに対応した流れを発生させることが可能である。

3.2 造波性能

津波水槽内の流場は、大略的には均一で1次元のと考えられることができるため、流量保存則とベルヌーイの定理を用いてタンク水位変化Hは次式で表せる。

$$H = \left\{ \sqrt{H_0} - \frac{1}{S_T} \sqrt{\frac{wg}{2A}} \int_0^t S_V v dt \right\}^2 \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、 H_0 : 初期タンク水位
- : バルブ流量係数
- S_V : バルブ断面積
- S_T : タンク断面積
- w : 水密度
- A : 空気密度
- g : 重力加速度



写真1 津波水槽のタンク部外観
Appearance of Pulling-up Water Tank

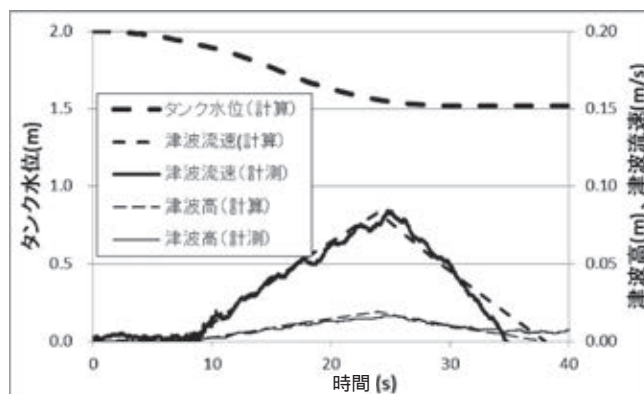


図2 タンク水位、津波流速及び津波高の時系列変化
Time Series of Predicted and Measured Tsunami Velocities and Heights along with Predicted Water Level of Tank

バルブ断面積の時系列変化を与えればタンク水位は式(1)から求まり、水路入口における津波流速 u 及び津波高 h は式(2)で求められる。

$$u = \frac{S_V}{S_C} \sqrt{\frac{2}{A} \frac{w g}{H}} H$$

$$= u \sqrt{\frac{h}{g}} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 S_C : 水路断面積
 h : 水深

水槽試験では、7基の電磁バルブを2.5s間隔で順次解放した後、2.0s間隔で順次閉めることで、津波流れを発生させた。津波流速と津波高の計測時系列を式(2)による計算結果と比較して図2に示す。なお、タンク水位の時系列変化については計算結果のみを示した。式(1)と式(2)による計算結果と計測結果はほぼ一致していると言える。ここで、バルブ流量係数は、

$$= 0.4 \dots\dots\dots(3)$$

とした。このようにバルブの開閉タイミングを調整することにより、目標にほぼ近い津波時系列を発生させることが可能と考えられる。

4. 水槽試験

4.1 試験模型及び試験セットアップ

本試験では、シート、パイ及びテグスによって防波堤模型を製作し、上流側のテグスと下流側のシートを係留装置に固定して係留力の水平成分(抵抗)と鉛直成分(揚力)を計測した。床に展張した状態での1m幅模型の外観を写真2に示す。

幕状防波堤模型を2重に配置したときの全体配置図と写真を、それぞれ図3及び写真3に示す。

また、津波流れが作用し、幕状防波堤が展張した時の状況を写真4に示す。

4.2 試験結果

水槽試験で使用した津波高の時系列を図4に示す。これは7つの電磁バルブを順次開放した後に順次閉鎖して発生させたものであり、模型縮尺を1/400と想定すると、2011年の東日本大震災の際に釜石沖(水深204m)で計測された津波高6.7m³)に匹敵するものである。なお、水槽中央部の津波高に比べて、海岸線に当たる最下流の傾斜部を上りきった点における津波高が減少しているが、これは先に傾斜部に達した津波流れの逆流の影響を受けたものと考えられる。なお、時間ゼロは電磁バルブの最初の開放の瞬間に対応している。

防波堤による津波低減効果を示すものとして、図5に最下流の傾斜部を上りきった点における津波高さの計測時系列の比較を示す。津波最大高さは、防波堤模型を1重に配置した場合で22%、2重に配置した場合で37%低減している。

2mの水槽幅全体に亘って1m模型を1重に配置したと

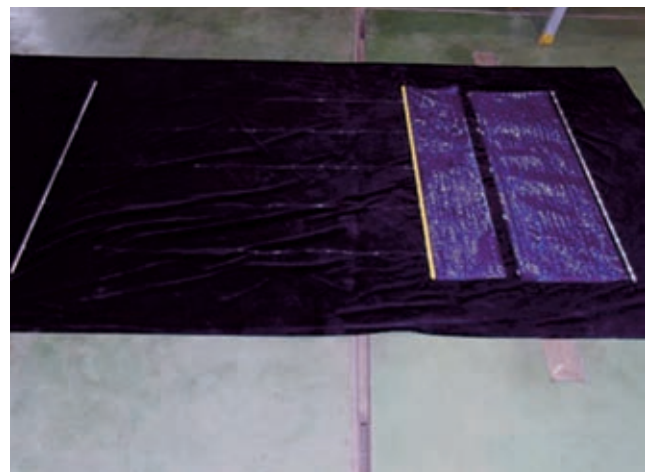


写真2 床に展張した1m幅の幕状防波堤模型の外観
 Appearance of 1-m-width Model Spread on Floor

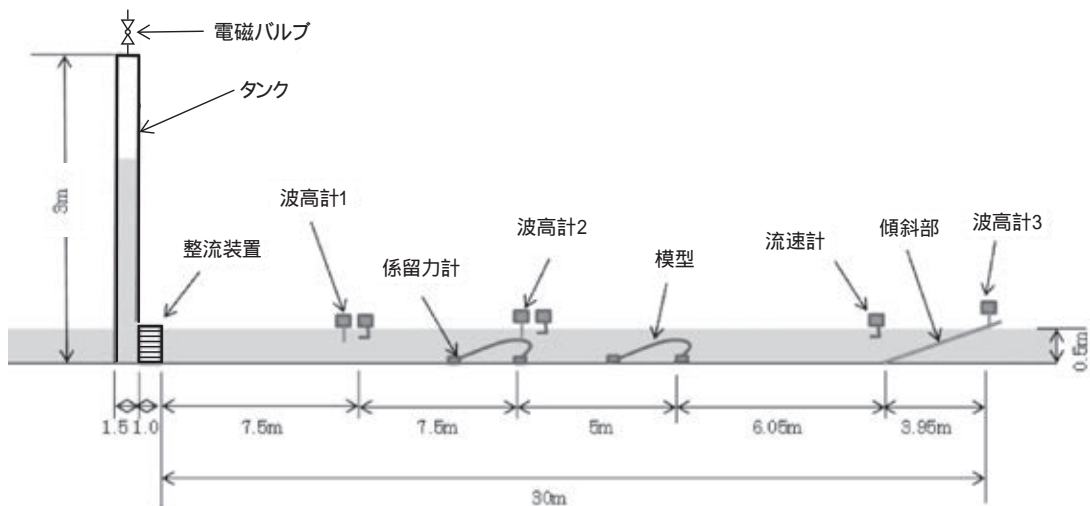


図3 津波水槽全体配置
 General Arrangement of Tsunami Tank with Models Set up in Two Rows

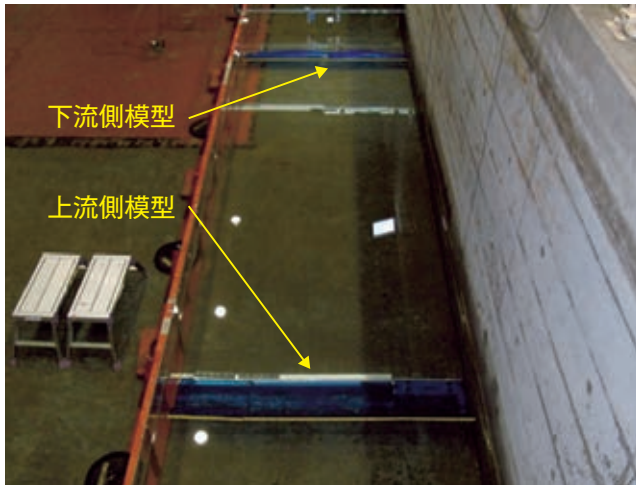


写真3 2重配置した幕状防波堤模型
Sheet Structure Models Set up in Two Rows



写真4 津波流れ中の幕状防波堤の展張状態
Stretched Sheet Structure in Tsunami Flow

きの1m模型に作用する係留力の計測時系列を図6及び図7に示す。図6は上流側の係留索に作用する係留力、図7は下流側の幕側に作用する係留力であり、それぞれアンカー部に設置した係留力計で計測している。

5. 簡易推定モデル

5.1 試験結果との検証

津波が作用したときに幕構造前面の圧力が高くなり、津波の一部を反射する。このとき、幕構造の前後で水位差が生じることになり、これが津波抗力(水平成分)の要因と考えることができる。ここでは、単位幅当たりの津波抗力(係留力) F_X を

$$\left. \begin{aligned} F_X &= \rho g \Delta h \\ &= \rho g I h (1 + C_R - C_T) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 Δh : 前後水面水位差
 I : 入射津波高

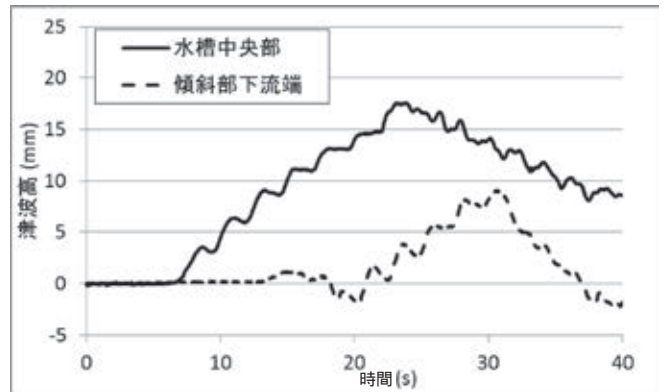


図4 津波高の計測時系列
Time Series of Measured Tsunami Height

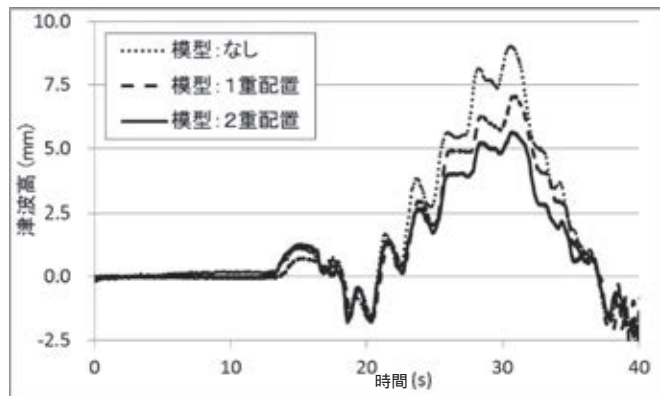


図5 幕状防波堤模型による津波高の低減
Tsunami Height Decrease due to Sheet Structure Models

C_R : 反射率
 C_T : 透過率
: 有効係数

で表すこととする。

浮体に作用する波漂流力を求める場合には1サイクルの平均運動量に対する保存則を用いるが、時々刻々の津波抗力(係留力)を求める場合には質量保存則を適用する必要がある、

$$C_R + C_T = 1 \dots\dots\dots(5)$$

の関係を用いる。これより、

$$F_X = 2 \rho g I C_R h \dots\dots\dots(6)$$

となり、1重配置の場合の最大波に対する津波低減率の計測結果から、本模型の反射率として

$$C_R = 0.2 \dots\dots\dots(7)$$

を設定すると、係留力(水平成分)の計測結果から、次の結果が得られる。

$$C_T = 0.8 \dots\dots\dots(8)$$

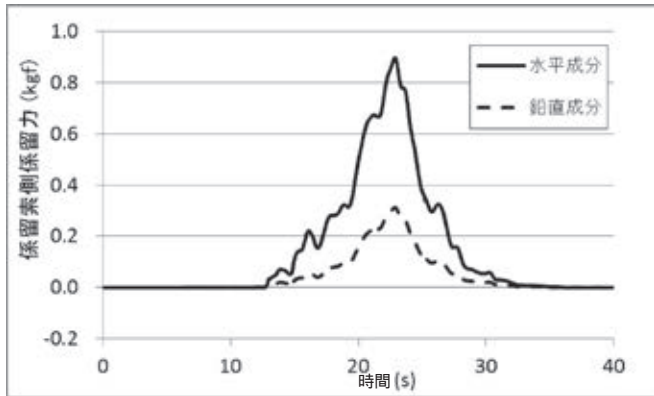


図6 1 m 模型の係留索に作用する係留力の計測時系列
Time Series of Measured Mooring Forces
of Ropes of 1 m-width Model

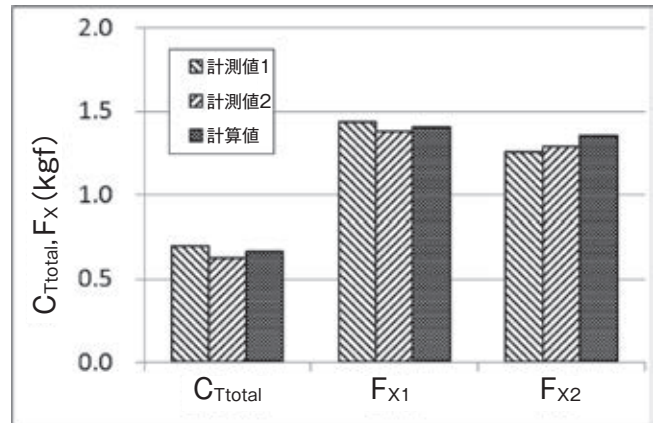


図8 2重配置の場合の透過率と係留力の計算値と計測値の比較
Comparisons between Measured and Predicted Data
with Transmission Coefficient and Drag Force
on Two-row Sheet Structures

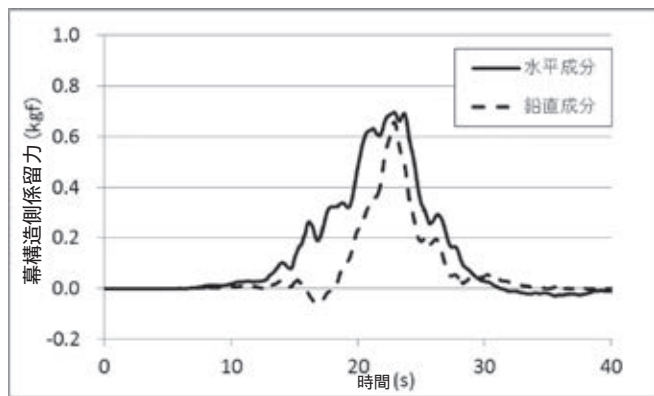


図7 1 m 模型の幕側に作用する係留力の計測時系列
Time Series of Measured Mooring Forces
of Sheet of 1 m-width Model

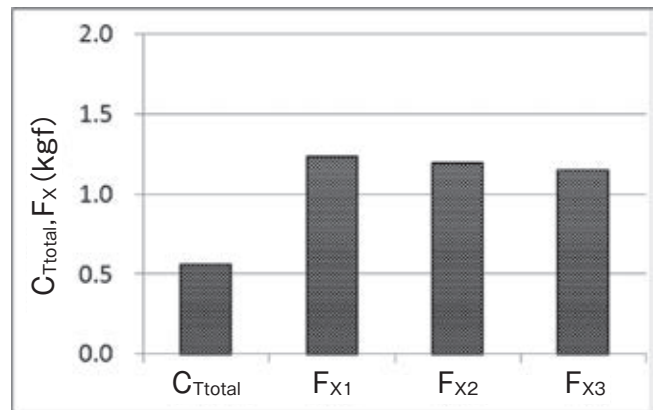


図9 3重配置の場合の透過率と係留力の推定結果
Prediction of Transmission Coefficient and
Drag Force of Three-row Sheet Structures

次に2重配置の場合には，上流側及び下流側の幕構造の前後水面水位差 Δ_1, Δ_2 は，多重反射を考慮してそれぞれ次のように表せる．

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{2C_{TB}C_R}{C_T + C_{TB}C_R} I \\ \Delta_2 &= \frac{2C_T C_R}{C_T + C_{TB}C_R} I \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

ここで， C_{TB} ：1重配置の逆方向透過率

式(9)を2重配置の上流側構造物の抗力の計測結果に適用すると，逆方向透過率として次の結果が得られる．

$$C_{TB} = 0.83 \dots\dots\dots(10)$$

また，2重配置全体としての反射率 C_{Rtotal} 及び透過率 C_{Ttotal} は，次式で求められる．

$$\left. \begin{aligned} C_{Rtotal} &= \frac{C_R(C_T + C_{TB})}{C_T + C_{TB}C_R} \\ C_{Ttotal} &= \frac{C_T^2}{C_T + C_{TB}C_R} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(11)$$

上記の諸係数を用いて，2重配置の場合の透過率 C_{Ttotal} と上流側及び下流側の幕構造に作用する津波抗力(係留力) F_X について推定計算を行い，2回行った試験結果と比較したものを図8に示す．試験結果には再現性が認められ，計算値と計測値の対応もほぼ良好であり，簡易推定法は有効と考えられる．

5.2 試算

津波低減率を更に上げるために3重配置にした場合についても同様に簡易推定法を適用した．3重配置の先頭，中央，後方の各幕構造の前後面の水位差 $\Delta_1 \sim \Delta_3$ と，3重の幕構造全体としての反射率 C_{Rtotal} 及び透過率 C_{Ttotal} は式で表せ

る。ただし、3重の幕構造が、すべて同一の場合である。

$$\begin{aligned}
 1 &= \frac{2C_R C_{TB}^2}{C_T^2 + C_R C_T C_{TB} + C_R C_{TB}^2} \quad | \\
 2 &= \frac{2C_R C_T C_{TB}}{C_T^2 + C_R C_T C_{TB} + C_R C_{TB}^2} \quad | \\
 3 &= \frac{2C_R C_T^2}{C_T^2 + C_R C_T C_{TB} + C_R C_{TB}^2} \quad | \dots\dots\dots(12) \\
 C_{Rtotal} &= \frac{C_R(C_T^2 + C_T C_{TB} + C_{TB}^2)}{C_T^2 + C_R C_T C_{TB} + C_R C_{TB}^2} \\
 C_{Ttotal} &= \frac{C_T^3}{C_T^2 + C_R C_T C_{TB} + C_R C_{TB}^2}
 \end{aligned}$$

式(12)を用いた計算結果を図9に示す。透過率は約50%となり、大幅な津波高低減効果が期待できる。

津波高低減率(反射率)と津波抗力(係留力)はトレードオフの関係にあり、高い津波高低減率を要求すれば係留力は大きくならざるを得ない。本試験で想定した1/400模型、水深0.5mの場合の最大津波抗力を、図9の推定結果から1m幅当たり1.25kgf程度と考えると、実機では200tf/mとなる。この値は非常に大きなものであり、本方式の実機での実現性は低いと言わざるを得ない。

ここで、係留力に対する水深の影響を考えてみる。入射津波高 h 及び係留力 F_x に対する水深の影響は

$$\begin{aligned}
 h &\propto h^{-1/4} \dots\dots\dots(13) \\
 F_x &\propto h \quad h^{3/4}
 \end{aligned}$$

で表せられるため、設置水深を浅くすることにより係留力を低減することが可能と考えられる。設置水深を30m程度と想定すると、係留力は50tf/m程度に減少すると予想され、実機への適用性が期待される。

6. 結言

2011年の東日本大震災で経験したような巨大津波に対する防災対策は困難と考えられているが、1重の防波堤のような線ではなく、幕状構造物を多重に配したゾーンで対応することで、想定外の津波を想定(設計)内まで減少させ、津波被害を大幅に低減することが可能と考えられる。

本研究は、ポートレースの交付金による日本財団の援助を受けて海洋政策研究集団(一般財団法人シップ・アンド・オーシャン財団)が行う技術開発基金による補助を受けて実施した。ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 1)高山. 外: 緊急時浮上式津波防波堤の開発 - 浮力浮上式鉛直鋼管システム -, 沿岸技術研究センター論文集, 10(2010)
- 2)木村. 外: フラップゲート式可動防波堤の実海域実験, Hitz 技報, 73, 2(2012)
- 3)河合: 津波の観測結果の概要(ナウファスが捉えた2011年東北地方太平洋沖地震津波), 港湾・空港・漁港技術講演会, (2011)

[問い合わせ先]

株式会社三井造船昭島研究所
TEL 042 - 545 - 3119 島田 潔



島田 潔 松原 直哉 喜多代顕彦 羽生 一成

PIV 計測技術と CFD 解析を用いた プロペラ後流渦場の可視化技術の開発

木村 校 優* 安藤 智子* 松田 識史* 須山 達夫**

Development of Advanced Flow Visualization Technology using PIV and CFD

Koyu KIMURA, Satoko ANDO, Satoshi MATSUDA, Tatsuo SUYAMA

For development of ships, it is very important to enhance their performance by fully understanding a fluid phenomenon. Recently, CAE (Computer Aided Engineering) represented by CFD (Computational Fluid Dynamics) is widely used for optimized design of the shape while predicting a complicated fluid phenomenon. But the reliability of CFD is not necessarily enough, so verification that CFD can reproduce a real fluid phenomenon is required. On the other hand, PIV (Particle Image Velocimetry) which is a velocimetry technology using visualization technique is drawing much attention recently. The fluid phenomenon that had been very difficult to understand by conventional method is expected to be clarified and its wide use is now anticipated. In such a circumstance, it is important to develop fluid measurement technique to carry out hybrid of CFD and EFD (Experimental Fluid Dynamics) effectively to achieve higher performance products. In this paper, we introduce the result of research on the PIV around the marine propeller in the cavitation tunnel.

船舶や回転機械の製品開発において、流体现象を把握し、性能向上を図ることは重要な技術分野である。最近の傾向では、複雑な流体现象を予測し、形状の最適化を行う設計プロセスにおいて、CFD 解析に代表される CAE 技術が多用されるようになってきている。ただし、CFD 解析の信頼性は必ずしも十分とは言えない場合もあり、CFD 解析が実際の流体现象を再現できているかの妥当性を検証することは不可欠である。一方、EFD としては、可視化技術を応用した流体速度の計測手法である PIV 計測技術が最近注目され、これまで計測が困難であった流体现象の解明に対する有用性が大いに期待されている。

このような状況において、より高性能な流力設計を実現するためには、CFD と EFD の相互補完を効率的に行う流体計測技術の開発が必要であると考えられる。本報では、キャビテーション水槽における船用プロペラ周りの流体现象を PIV にて計測した事例を中心に、流体計測の高度化技術を紹介する。

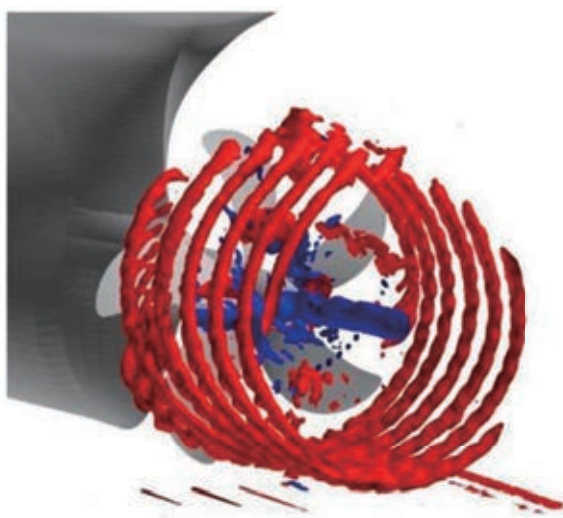


図1 プロペラ後流渦の PIV 計測結果
PIV Measurement Result of Vorticity
Field behind Dummy Ship Model with propeller

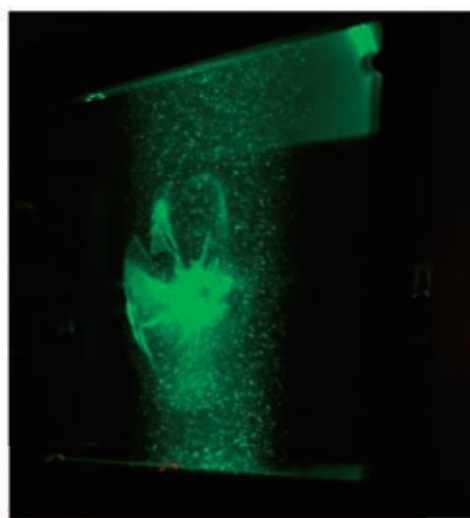


写真1 プロペラ回りのトレーサ粒子の撮影画像
Photograph of Tracer Particle around Propeller

* 株式会社三井造船船島研究所

** 技術開発本部 基盤技術センター

1. はじめに

流体力学は、あらゆる流体现象の研究や工学製品の開発にも応用される重要な技術分野である。その中で、実際の流体现象を再現する主な手法として、実験流体力学 (Experimental Fluid Dynamics : EFD) と数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics : CFD) がある。船舶及びプロペラの開発においては、従来から水槽試験などを代表とする EFD が主に用いられてきた。しかし、近年の計算機能力や数値シミュレーション技術の飛躍的な発展と CO₂ 削減に向けた性能開発の要求への高まりに伴い、CFD の重要性が急速に高まっている¹⁾。

CFD 解析は、複雑な流体现象をより効率的に再現・可視化することが可能であり、従来の EFD では技術的に困難であった任意の位置での圧力分布や流向などの詳細なデータを求めることができる。そのため、航空機、自動車、船舶、機械製品や建築物の設計など広い分野で用いられているものの、その信頼性は必ずしも十分とは言えない。そこで、CFD 解析結果が実際の流体现象を再現できているかを検証することが必要不可欠である。

CFD 解析結果の検証としては、従来までは EFD で得られた力やピトー管計測による流場計測結果を使用していたが、限定された部位でのデータであるため、CFD 解析の流場の妥当性を検証するには必ずしも十分ではなかった。

そこで近年注目されているのが、粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry : PIV) と言われる手法である。PIV は流速計測を非接触かつ面計測で実施することができ、この手法を用いることにより、従来はピトー管で点計測にて実施していた船体伴流計測なども短時間でかつ高密度のデータ取得が可能である²⁾³⁾。本手法を用いたプロペラ後流渦の計測結果の一例を図 1 に示す。

このような PIV による流場計測データを用いた CFD 解析の検証を実施することで、CFD 解析の精度向上を図り、製品開発を加速させることが可能となる。また、逆に CFD 解

析結果を用いた EFD の検証を行い、両結果を比較することにより双方の誤差を素早く発見・修正することができる。このように EFD による実験結果と CFD によるシミュレーション結果を比較することは非常に重要な技術であり、この比較・解析の過程をより効率化する研究の重要性が高まっている⁴⁾。

三井造船においても CFD と EFD の相互補完に関する流体計測技術の高度化研究に取り組んでおり、本研究は、EFD に PIV 計測を用いて、CFD 解析結果の妥当性を確保しながら、より高性能な製品開発を実現するための CAE 技術を構築するものである⁵⁾。

本報では、キャピテーション水槽における船用プロペラ周りの流場現象を PIV にて計測した事例を中心に紹介する。

2. PIV 計測技術

PIV 計測の基本的な原理は、図 2 に示すように流れの中に微細なトレーサ粒子を混入し、レーザシート光で流場計測を実施したい面を照射する。微小時間間隔 t でパルスシート光を 2 回照射し、CCD カメラで撮影することにより、2 時刻でのトレーサ粒子画像を取得することができる。これらの連続する 2 フレームのトレーサ粒子像から粒子の移動量 x を求め、画像の変換係数 から流速分布を求める。従来の点での流速計測と比較し、面での流速分布を短時間で得ることができる。

また、カメラを 2 台使用することでステレオ撮影が可能となり、パルスシート光の流速 2 成分 (u, v) に加え、面外方向速度 (w) も測定することができる⁶⁾。

本研究では、3 次元流場を把握するためにステレオ PIV を適用した。写真 1 に PIV 計測時のレーザ発光の様子を、写真 2 に PIV 計測による撮影画像の例を示す。

3. 船用プロペラ周りの流場現象

3.1 プロペラ単体での PIV 計測

船用プロペラ周りの流場現象を把握するため、三井造船昭島研究所のキャピテーション水槽第一計測洞にて、プロペラ単体での逆 POT (Propeller Open Test) 状態における PIV 計測を実施した。

3.1.1 供試模型

本研究では、実用型 5 翼プロペラを使用した。供試プロペラ模型の主要目及び写真を表 1 と写真 3 に示す。プロペラ模型は、レーザ反射光を低減するために、黒のつや消しアルマイト処理を行った。

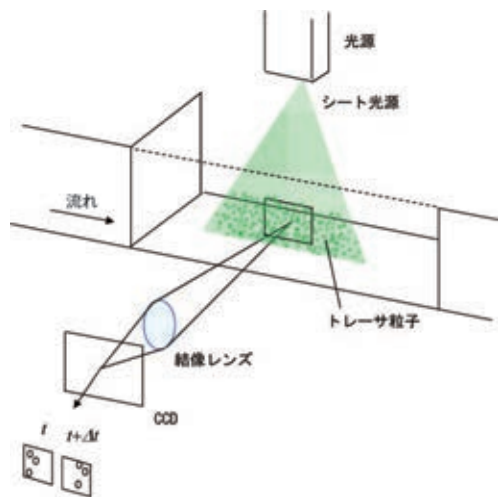


図 2 PIV 計測の原理
Concept of PIV Measurement

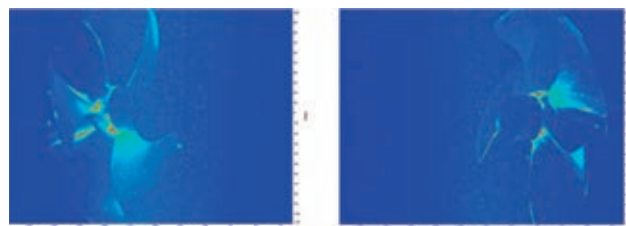


写真 2 ステレオ PIV 計測による撮影画像
Photograph of Stereo PIV Measurement

表1 プロペラ模型の主要目
Principal Particulars of Marine Propeller Model

| | |
|--------|--------|
| 翼数(枚) | 5 |
| 直径(m) | 0.25 |
| ボス比 | 0.16 |
| 平均ピッチ比 | 0.7367 |
| 展開面積比 | 0.46 |
| 後退角(度) | 20.02 |

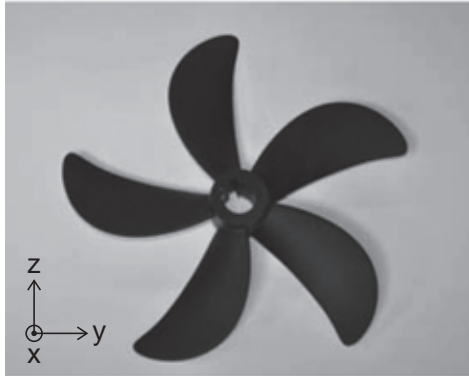
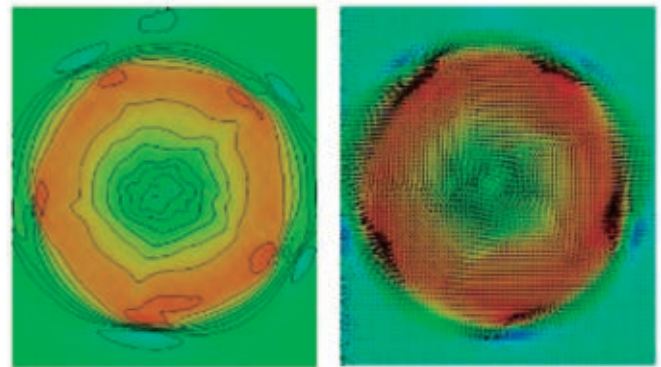


写真3 プロペラ模型
Marine Propeller Model

表2 PIV 計測システムの概要
Overview of PIV Measurement System

| | |
|--------|--|
| カメラ | ImagerProX 2 M(1600×1200 pixel, 素子サイズ7.4×7.4 μm) |
| レンズ | Ai AF Zoom-Nikkor 24-85 mm f/2.8-4D IF, F 値 8.0 |
| 撮像条件 | 撮像距離 約 1565 mm, 睨み角 60 度 |
| 視野サイズ | 約 W300 mm × H300 mm |
| レーザー | DPIV-L200 ダブルパルス YAG レーザー 200mJ |
| シート光学系 | シリンドリカルレンズ f= -12.7 mm 焦点レンズ 1000 mm |
| トレーサ粒子 | ナイロンパウダー (平均径 4.1 μm, 比重 1.02 g/ml) |
| PIV 解析 | LaVision 社 FlowMaster DaVis8.0 |



(a)流速分布 (b)ベクトル分布

図4 PIV 計測結果 ($x/D_p=0.31$)

PIV Measurement Result of Velocity Distribution and Vector at Plane $x/D_p=0.3$

3.1.3 実験結果

実験条件は、プロペラ回転数 n を $n=25$ rps, 式(1)で定義されるプロペラ前進係数 J を $J=0.5$ とした。ここで、 V_a , D_p はそれぞれ、プロペラの前進速度、プロペラ直径である。

$$J = \frac{V_a}{nD_p} \dots\dots\dots(1)$$

本ステレオ PIV 計測では、プロペラ G.L. (Generator Line) 後方 x の断面位置における流速分布及び速度ベクトル分布を求めた。一例として、 $x/D_p=0.31$ における計測結果を図4に示す。プロペラチップボルテックやハブボルテックの様相が捉えられており、より高密度な流場情報が得られていることが分かる。

また、プロペラの後流場を断層写真の様に計測することによって、3次元空間での流場構造の情報を得ることもできる。図5に、プロペラ後流場を 12.5 mm ピッチで $1.2 D_p$ まで断面計測を行い、合成した結果を示す。

ステレオ PIV 計測を用いることにより、流れの定性的な傾向と流速3成分 (u, v, w) を定量的及び空間的に把握することができる。従来の計測技術では、コストや時間的に計測困難であった高精度の流場情報が比較的簡便に得られ、流場特性を評価できると同時に CFD 解析の検証データとして非常に有力であることが分かる。

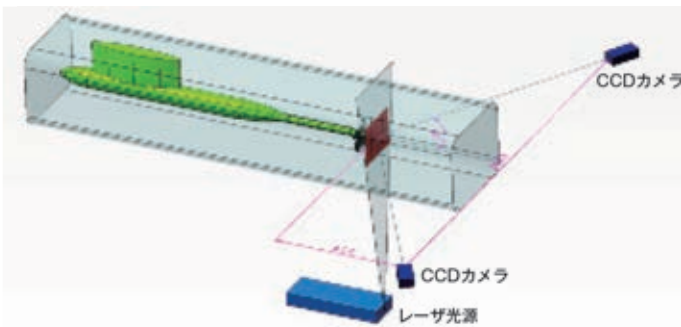


図3 ステレオ PIV 計測システムの配置
Experimental Arrangement of Stereo PIV Measurement System

3.1.2 PIV 計測システム

ステレオ PIV 計測システムの配置を図3に示し、PIV 計測システムの概要を表2に示す。

水槽を挟むように2台の2MピクセルCCDカメラを配置して、ステレオ撮影をすることで流速3成分を取得した。レーザー光源には出力200mJのダブルパルスNd:YAGレーザーを水槽下に配置し、90度折り返しミラーを介することによりプロペラ後流場を照射した。トレーサ粒子としては、水の密度と同程度のナイロンパウダーを使用している。

本システムでの計測領域は、約W300mm×H300mmである。また、プロペラ動力計からの回転パルスをPIVタイミングユニットと同期させることにより、一定のプロペラ位相角での計測が可能となっている。なお、PIV解析には、LaVision社のFlowMaster DaVis8.0を採用した。

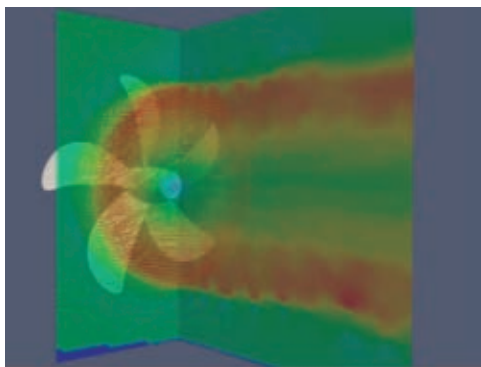


図5 プロペラ後流場の計測結果
Experimental Results of Velocity Field behind the Propeller

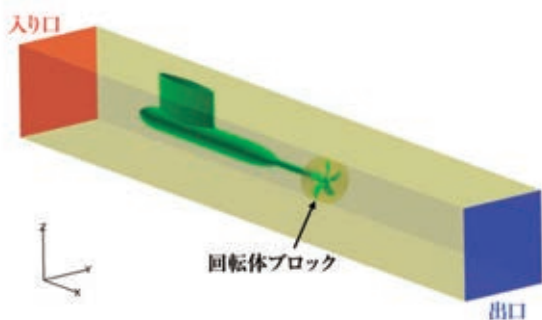
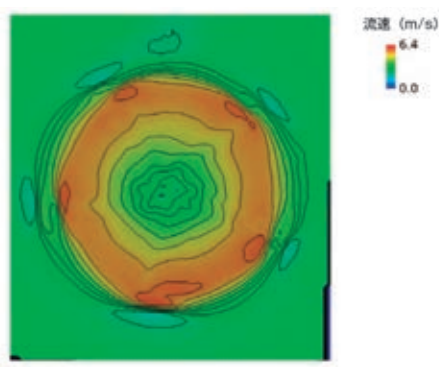


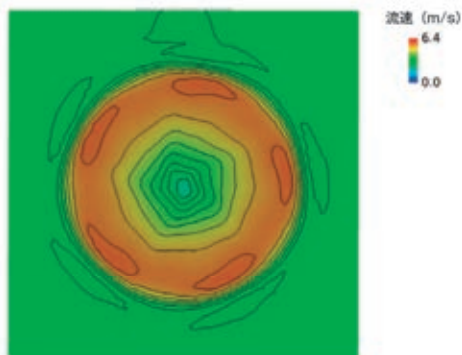
図6 CFD 解析領域
Computational Domain of Cavitation Tunnel

表3 CFD による解析条件
CFD Calculation Conditions

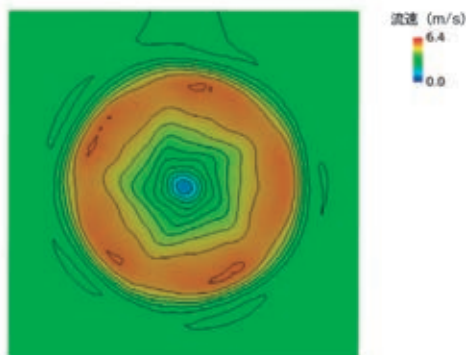
| | |
|-------|--------------------------------------|
| 格子生成 | Gambit, Tgrid |
| 格子数 | 約 500 万メッシュ |
| 数値解法 | SIMPLE 法での定常計算 |
| 回転影響 | MRF (Multi Reference Frame) 法 |
| 乱流モデル | k- SST |
| 解析ソフト | FLUENT ver.13.0, OpenFOAM 1.6-ext 1) |



a) PIV



b) FLUENT



c) OpenFOAM 1.6ext

図7 流速分布の比較 ($x/D_p=0.3$)

Comparison of Velocity Distribution between PIV Measurement and CFD Calculations at Plane $x/D_p=0.3$

3.1.4 PIV 計測結果と CFD 解析結果の比較

FLUENT と OpenFOAM による実験を模擬した CFD 解析を行い、PIV 計測結果と比較を行った。CFD 解析領域を 図6 に示す。プロペラ動力計をキャビテーション水槽内に配置し、プロペラ回転領域を設定した。

格子生成においては、川村らの手法⁷⁾を用いた。すなわち、翼表面には四角形及び三角形メッシュを作成し、境界層を解析するためにプリズム格子を用いた。プリズム格子の外側の領域においては、4 面体格子を生成した。なお、境界層を解析するために、最小格子間隔は粘性長さで約 1.0 になるように設定した。特に、翼表面の輪郭付近を四角形メッシュにすることにより、翼前縁及び後縁の解析精度を効率的に確保した。解析条件を表3 に示す。なお、OpenFOAM による解析では、FLUENT と同様の格子を用いて計算を行った。

プロペラ G.L. より $x/D_p=0.3$ 後流断面位置における流速分

布の比較を 図7 に示す。さらに、同断面において $y=0$ での流速分布の比較を 図8 に示す。翼端付近のチップボルテックスの影響については十分な精度で再現できていないが、約 $0.3D_p$ 付近からボス径付近までの流速分布については、CFD 解析結果と PIV 計測結果がよく一致していることが分かる。

チップボルテックス影響の精度向上には、翼先端付近の格子密度を増加し、解析精度をあげる必要があると考えられる。ボスキャップ後方のハブ渦強さの違いに関しては、乱流モデルの影響が大きいと考えられる。ここで PIV 計測結果と CFD 解析結果の差分平均を求めると、FLUENT で約 13%、OpenFOAM で約 16% であり、二つのコードが同等の計算

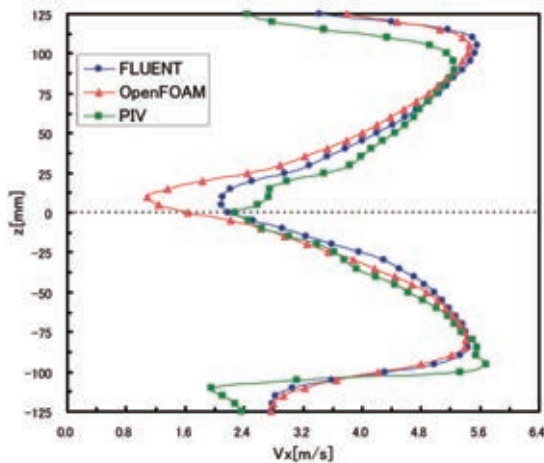


図 8 流速分布の比較 ($x/D_p=0.3, y=0$)
Comparison of Velocity Profile between PIV Measurement and CFD Calculations at Plane $x/D_p=0.3$ on Center-plane

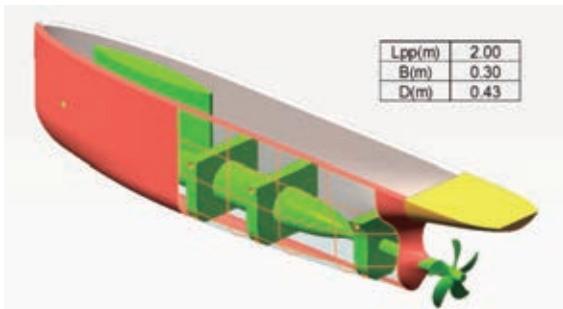


図 9 ダミー模型船の概略
Schematic Diagram of Dummy Ship Model

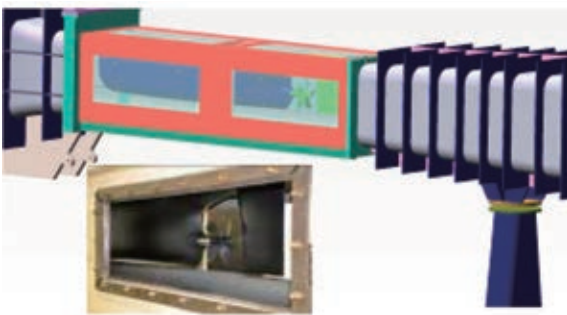


図 10 ダミー模型船とプロペラの実験概略
Experimental Configuration for Dummy Ship Model with Propeller

精度で解析可能であることを確認した。

3.2 ダミー模型船とプロペラの PIV 計測

船尾流場中で作動するプロペラ周りの流場計測を行うため、キャビテーション水槽内にダミー模型船を配置し、PIV 計測を実施した。

3.2.1 供試模型

船尾における流場状況を把握するため、動力計に設置固定できるダミー模型船を製作した。船尾形状はできる限り本船

表 4 PIV 計測システムの概要
Overview of Stereo PIV Measurement System

| | |
|--------|--|
| カメラ | ImagerProX 2 M (1 600 × 1 200 pixel, 素子サイズ 7.4 × 7.4 μm) |
| レンズ | Ai AF Zoom-Nikkor 24-85 mm f/2.8-4D IF, F 値 5.6 |
| 撮像条件 | 撮像距離 約 1 300 mm, 睨み角 60 度 |
| 視野サイズ | 約 W300mm × H300mm |
| レーザー | DPIV-L200 ダブルパルス YAG レーザー 200mJ |
| シート光学系 | シリンドリカルレンズ f = -12.7 mm 焦点レンズ 1 000 mm |
| トレーサ粒子 | シルバーコートガラス粒子 (平均径 14 μm, 比重 1.7 g/ml) |
| 解析ソフト | LaVision 社 FlowMaster DaVis8.0 |

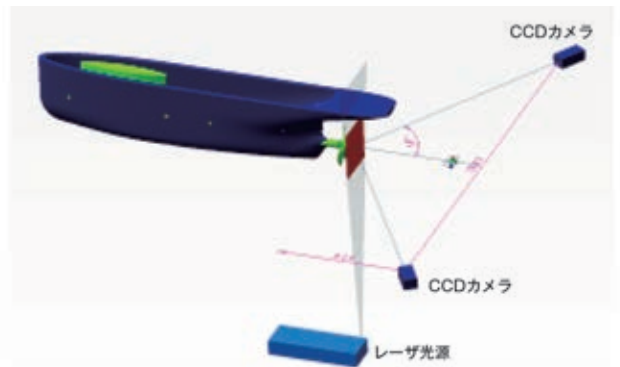


図 11 ステレオ PIV 計測システムの配置
Experimental Arrangement of Stereo PIV Measurement System

の形状を再現し、船首形状は Wigley 船型を模擬した簡略形状とした。また、ダミー模型船の材質は腐食と劣化を考慮し、FRP と ABS 樹脂の複合材を採用した。図 9 にダミー模型船の概略図を示す。また、図 10 にキャビテーション水槽に配置したダミー模型船とプロペラの実験概略を示す。

3.2.2 PIV 計測システム

本計測に使用したステレオ PIV 計測システムは、プロペラ単体計測時のシステムと基本的には同様であり、表 4 に PIV 計測システムの概要を示す。図 11 に、ステレオ PIV 計測システムの配置を示す。

プロペラ単体の計測と同様に、水槽を挟むように 2 台の CCD カメラを配置してステレオ撮影を行い、レーザー光源には出力 200 mJ のダブルパルス Nd : YAG レーザーを用いた。なお、トレーサの散乱光の輝度を大きくするため、シルバーコートガラス粒子を使用した。解析には、LaVision 社の FlowMaster DaVis8.0 を使用した。

3.2.3 実験結果

実験は、プロペラ回転数 $n=13.71$ rps, 水槽内流速 $V_m=1.9$ m/s で行った。プロペラ G.L. より $x/D_p=0.3$ 後流断面における PIV 計測結果を図 12 に示す。3.1 に述べたプロペラ単体の逆 POT 状態 (図 4 参照) とは異なり、ダミー模型船による伴流の影響でプロペラの荷重分布が不均一となり、右舷側が左舷側に比べて加速流が強くなっていることが確認できる。

図 13 に、ダミー模型船の船尾領域を 5 mm ピッチで PIV

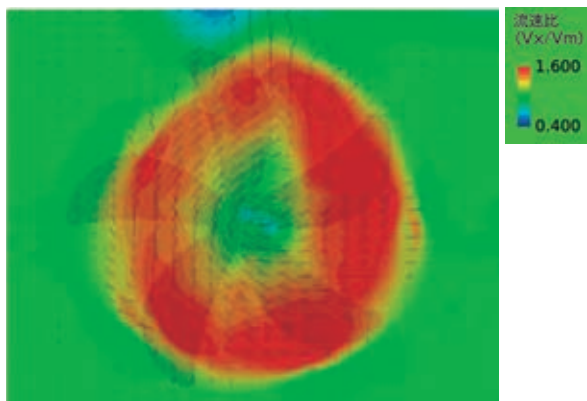


図 12 PIV 計測結果 ($x/D_p=0.3$)
PIV Measurement Result of Velocity Distribution
at Plane $x/D_p=0.3$



図 14 ダミー模型船を含む CFD 解析領域
CFD Calculation Domain with Dummy Ship Model

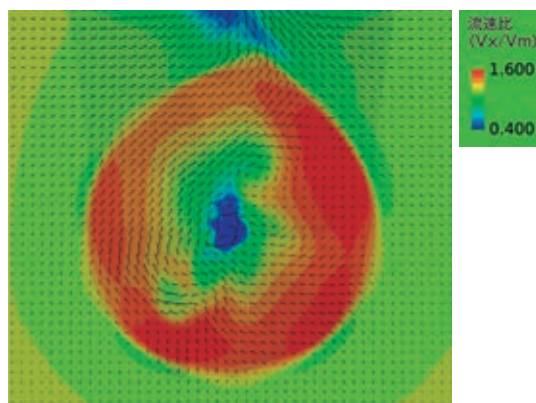


図 15 CFD 解析結果 ($x/D_p=0.3$)
CFD Calculation Result of Velocity Distribution
at Plane $x/D_p=0.3$

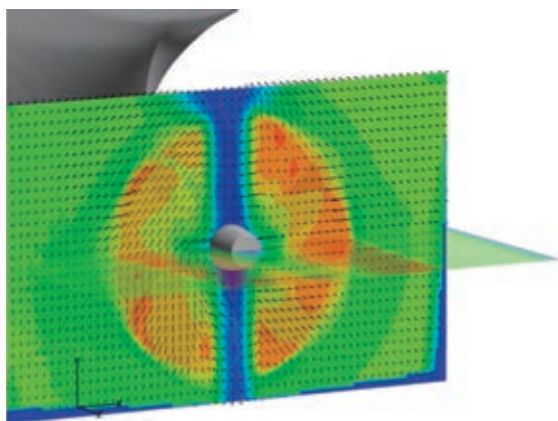


図 13 PIV による後流場の計測結果
PIV Measurement Result of Velocity Field
behind Dummy Ship Model with Propeller

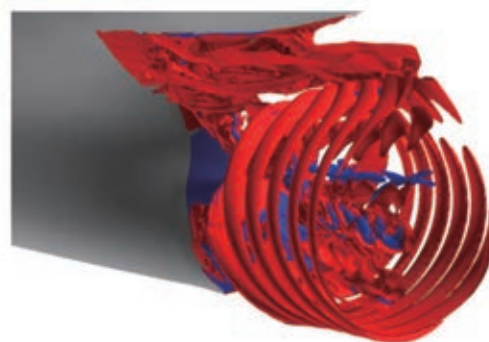


図 16 プロペラ後流渦の CFD 解析結果
CFD Calculation Result of Vorticity
Field behind Dummy Ship Model with Propeller

計測を行った空間的な流場構造を可視化した結果を示す。このように PIV 計測により、流場の詳細な可視化情報が得られることが分かる。

ステレオ PIV にて計測された流速 3 成分 (u, v, w) を用いて解析することにより、図 1 に示すような船尾でのプロペラ後流渦を可視化することもできる。船尾における流れ場の構造を色々な視点から把握することができ、流体現象の解明に対する有用性が大いに期待される。

3.2.4 PIV 計測結果と CFD 解析結果の比較

ダミー模型船に関しても、PIV 計測結果と CFD 解析結果の比較検証を行った。解析領域を図 14 に示す。

解析ソフトは STAR-CCM+ver.8.04 を使用し、乱流モデルは SST (Menter) $k-\omega$ 、格子はポリヘドラルメッシュで約 450 万セル、Sliding Mesh 法による非定常計算を適用した。

プロペラ G.L. より $x/D_p=0.3$ 後方の断面における流速分布の CFD 解析結果を図 15 に示す。PIV 計測結果の図 12 と同様に、右舷側が左舷側に比べて加速流が強くなっていることが分かる。なお、流速と流向のねじれについては、PIV 計測結果と比べると平滑化されている。

また、ダミー模型船の船尾におけるプロペラ後流渦の CFD 解析結果を図 16 に示す。空間的なプロペラ後流渦をある程度捉えることができ、図 13 に示す PIV 計測結果と比べても同程度の精度でプロペラ後流渦を再現できていることが分かる。ただし、CFD 解析結果は PIV 計測結果に比べると後流渦が強く解析されており、船体とプロペラの干渉による干渉影響を必ずしも十分な精度で捉えることができていない。このように、PIV 計測結果と比較、検証することにより、CFD 解析結果の妥当性を確認しながら精度向上を図ることができることは有用である。すなわち、EFD による実験結果

と CFD によるシミュレーション結果を比較することは非常に重要な技術であり、この比較・解析の過程をより効率化する EFD と CFD を融合した CAE 技術の実用化が、より高性能な製品開発において重要な役割を担うと考えられる。

4. おわりに

キャビテーション水槽における船用プロペラ周りの PIV 計測結果の事例を中心に、流体計測の高度化技術について紹介した。

PIV 計測により、プロペラ作動時の複雑な流場現象における詳細な流場情報が得られた。また、CFD 解析結果との比較により、CFD 解析の問題点や課題を明確にすることで、より高精度な船用プロペラ性能評価を可能とする EFD/CFD を融合した CAE 技術の実現性が確認された。

今後は、この EFD/CFD 融合技術を当社の流体製品開発に広く応用し、高性能な製品開発を実現していく考えである。

参 考 文 献

- 1) 藤井．外：CO₂ 排出量大幅削減船の開発，三井造船技報，203(2011-7)，p. 37
- 2) Ho Kim, et al. : Phase-Averaged 3D-PIV flow field Measurement for KVLCC2 propeller plane in waves, The 6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics(APHydro)(2012)
- 3) M. Felli, et al. : Application of Stereo-PIV : Propeller

Wake Analysis in a Large Circulating Water Channel, 11th Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics,(2002)

- 4) 口石．外：JAXA デジタル / アナログ・ハイブリッド風洞(DAHWIN)の開発(その1): システム概要と活用例，第45回流体力学講演会 / 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2013，(2013)
- 5) 安藤．外：船用プロペラ周りの PIV 計測および CFD 解析，第26回数値流体力学シンポジウム，(2012)
- 6) 可視化情報学会：PIV ハンドブック，(2002)，森北出版
- 7) 川村．外：Numerical Prediction of Hull Surface Pressure Fluctuation due to Propeller Cavitation，日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集，6，(2008)，p. 213

〔問い合わせ先〕

株式会社三井造船昭島研究所 技術統括部 船舶性能技術部
TEL 042 - 545 - 3121 木村 校優



木村 校優 安藤 智子 松田 識史 須山 達夫

荒天中の船体構造応答予測技術の開発

安田 章 宏* シェリーフ ラシッド**

Development of a Numerical Method to Predict Structural Response of Ships in Extremely Rough Sea States

Akihiro YASUDA, Sherif RASHED

This report describes developments to predict structural response of ships in extremely rough sea states. Recent progress of numerical methods makes it possible to predict the ship structural responses in waves. In the proposed method, the behavior of ship structure is predicted using the finite element method, and the wave behavior is predicted using the finite volume method. Fluid-ship structure interaction is taken into account. Numerical results are compared with two experiments using model ships in a water tank. One test is performed in a small amplitude wave condition and the other is performed in a finite amplitude (nonlinear) wave condition. It is found that numerically predicted heave and pitch angle have good correlation with experimental results. Longitudinal bending moments of model ship cross-sections are also compared in the nonlinear wave condition and good correlation between numerical and experimental results is found. These results show that the developed numerical method can properly predict ship structure response in waves.

本報では、荒天中を航行する船体構造の応答予測手法の開発について述べる。近年のシミュレーション技術の発展に伴い、これまで予測が困難であった波浪条件下における船体構造応答の予測が可能となった。開発した手法では、波を有限体積法、船体構造を有限要素法を用いてそれぞれの挙動を解き、波と船体の相互作用を考慮しながら船体構造応答を予測することができる。本手法による結果と微小振幅波条件、有限振幅(非線形)波条件における模型船の実験結果との比較をそれぞれ行った。その結果、船体の上下動、ピッチ回転角に加えて、船体断面に発生する縦曲げモーメントも実験と良好に一致する結果を得た。これらの考察から、従来より用いられてきた計算手法では考慮できていなかった流体構造連成を含めて、波浪中の船体構造応答を予測できる妥当な手法であることが示された。

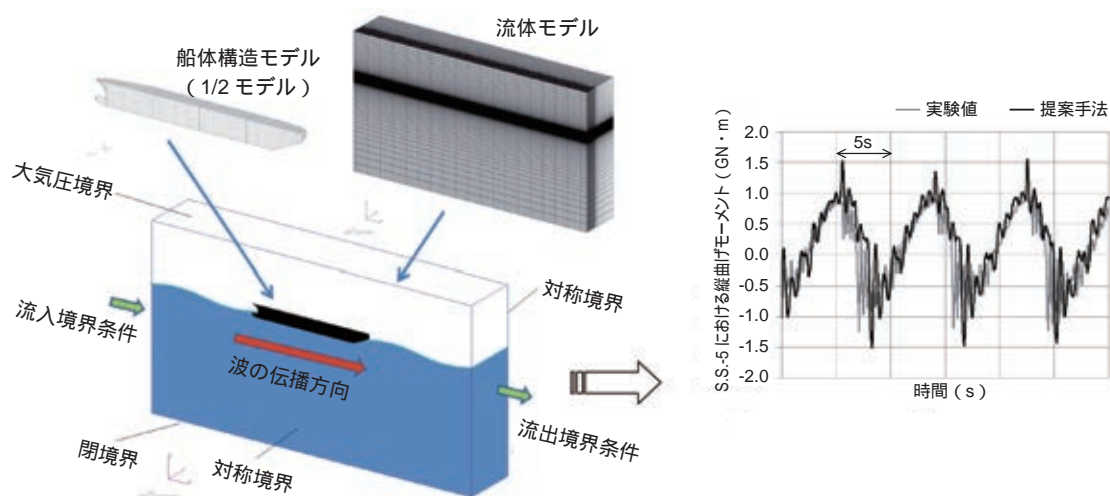


図1 数値計算モデルと計算結果
Simulation Model and Numerical Results

* 技術開発本部 基盤技術センター

** CAE Lab

1. はじめに

波浪中を航行する船体構造には様々な荷重が作用することが知られており、それらの荷重に耐えることができる安全な船体構造の設計が行われている¹⁾。船体構造設計においては、長年培われた経験及び適切な計算手法を駆使して設計がなされているが、最近ではシミュレーション技術の発展に伴って、これまで予測が困難であった荷重条件の検討もなされつつある²⁾。その一例として、荒天中を航行する船体構造に作用する荷重条件が挙げられる。この条件下においては、波高/波長比が大きい波による変動圧力が船体外板に作用し、大きな変動振幅のある縦曲げやせん断荷重が船体構造に作用することがある。また、船体外板に水面が高速で衝突するスラミングによる衝撃荷重も、波高が大きい波浪条件下では重要な検討課題の一つである。

これらの現象を精度良く予測するためには、従来より用いられてきた計算手法では考慮できていなかった流体構造連成を扱う必要がある。具体的には、スラミング等により水面が船体に衝突した際には、船体構造の変形が構造表面に作用する水の圧力変化に影響を与える。それにより、船体構造の局部的又は船体全体の挙動が異なる可能性がある。このような背景から、流体構造連成を考慮した波浪中における船体構造の応答予測手法の開発を行った。ここで開発した手法では、波を有限体積法を用いて計算し、船体構造応答は有限要素法を用いて計算する。さらに、波と船体構造の相互作用を考慮し、非定常問題として数値計算する手法である。船体構造応答予測には有限要素法を用いているため、局部又は船体全体を弾性体や弾塑性体として扱うことが可能である。そのため、本手法は、局部構造又は全体構造の弾塑性挙動と波との流体構造連成を考慮した包括的な計算手法と言える。

本報では、二つの実験結果と比較することにより、本手法の妥当性を示した。

2. 数値計算手法

まず、波の挙動に関する数値計算手法について述べる。本手法では圧縮性・非粘性流体を仮定し、有限体積法³⁾を用いて波を計算した。ここでは、 x 方向に進む規則波に対して船体が向波条件で航行する場合を考える。また、鉛直方向を z 方向とする。

流体の支配方程式を式(1)~(3)に示す。これらの式は、質量保存、運動量保存及びエネルギー保存の原理から得られる。

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV + \int_A (\rho u \cdot n) dA = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho u_i dV + \int_A \rho u_i (u \cdot n) dA = - \int_A p n_i dA - \int_V \rho g_i dV \dots\dots(2)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho e dV + \int_A \rho e (u \cdot n) dA = - \int_A u_i p n_i dA \dots\dots(3)$$

ここで、 t は時間、 ρ は密度、 V は空間に固定された微小

計算要素の体積、 u は速度ベクトル、 A は微小計算要素表面の面積、 n はその面の法線ベクトル、 p は圧力、 g は重力加速度、 e は単位質量当たりの内部エネルギーであり、下添え字の i は $i = 1, 2, 3$ の成分を表している。また、 n_{z_i} ($n_{z_1}, n_{z_2}, n_{z_3}$) = (0, 0, -1) のベクトルである。

さらに、次式の状態方程式を用いて水の圧力を求める。

$$p = a \mu \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 a は体積弾性率である。また、 μ は体積ひずみ (= $(p/p_0) - 1$) であり、 p_0 は圧力が大気圧の時の密度である。波の運動を計算するために Airy の線形波理論⁴⁾を用いた。初期条件及び境界条件の流速を式(5),(6)に示す。

$$U_x = - \frac{\phi}{x} - U_s = \frac{H}{2} \frac{gk \cosh k(d_w + z)}{\cosh kd_w} \cos(kx - t) - U_s \dots\dots(5)$$

$$U_z = - \frac{\phi}{z} = \frac{H}{2} \frac{gk \sinh k(d_w + z)}{\cosh kd_w} \sin(kx - t) \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 U_x は水の波進行方向速度、 U_z は水の鉛直方向の速度、 ϕ は速度ポテンシャル、 U_s は船の速度、 H は波高、 d_w は水深、 k は波数、 ω は波の角速度である。

流入に関する境界条件は、水面よりも下にある要素と水面が要素内に含まれる要素で、場合分けを行った。前者の場合については、流入させる要素面の面積 A と水の速度 U_x 、流入する水の密度 ρ を用いて、質量流量 $\rho A U_x$ を境界条件として与えた。後者の場合については、図2に示すように、水面が要素高さの中間に位置するが、要素の面積全体に対する境界条件として定義した。要素高さ h 、要素内の水面高さ h_1 、流入する水の密度を ρ_1/ρ とし、要素の奥行き方向の長さ b を用いて、境界条件の質量流量を $U_x (bh) \rho_1/\rho = U_x (bh_1) \rho$ とした。さらに、鉛直方向速度も線形理論に従って与えた。

一方、下流端における流出境界条件は、流入境界と同様に定義した。このようにして、水粒子の軌道運動を再現した。

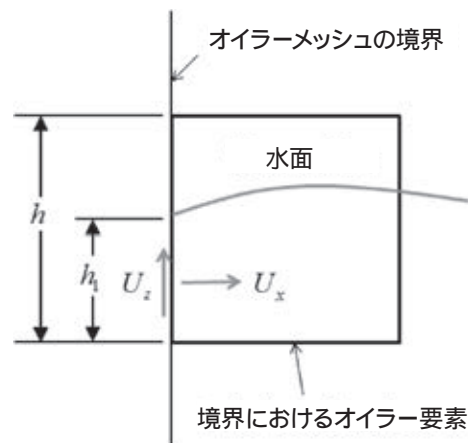


図2 水面を含む要素における流入境界条件
Flow through an Inlet Boundary Element Face at Wave Surface

なお、本シミュレーションにおいては、初期条件と境界条件は Airy の波理論に従うように定義されているが、流入と流出境界を除く計算領域においては式(1)~(3)で表される支配方程式に従って流体は運動する。そのため、時間が経つにつれて、境界から離れた計算領域においては山が高く、谷が広い波、すなわち非線形波の定常状態が計算される。一方、初期条件と境界条件を適切な非線形波理論で定義した場合には、より正確な非線形波の定常状態が短時間で計算されるものと考えられる。

船体構造の数値計算には、有限要素法³⁾を用いた。本手法では船体構造を弾性体、弾塑性体又は剛体としてモデル化することができる。船体構造が弾性体又は弾塑性体の場合には、要素内の応力と歪みを求めて構造節点の新たな変位、速度及び加速度を求める。剛体の場合には、剛体の運動方程式から重心位置の変位、速度及び加速度を求める。

波と船体を連成させるためには、流体の圧力を船体外板に、そして船体運動を移動境界として流体に与える³⁾。そして、それぞれの解を相互に作用させながら運動を求める³⁾。このようにして、波と船体を連成させてそれらの運動を予測することが可能である。なお、本手法の開発では、陽解法有限要素法・有限体積法・流体構造連成解析ソフトである MSC.DYTRAN³⁾に対して波生成プログラムを開発し、追加した。

本報では、開発した手法の妥当性検証を目的として模型船による水槽実験結果との比較を行ったため、板要素を用いて船体をモデル化し、その特性を剛体として定義した。数値計算モデルの例を図1に示す。なお、本計算においては、船体の重心位置を波の進行方向に対して拘束し、船体の上下運動とピッチ回転運動を考慮した。船速については、水の粒子速度に船速を加えることにより、船に対する波の相対速度として考慮した。また、大気はボイド(void)と仮定し、圧力はゲージ圧として計算した。

3. 妥当性の検証

3.1 微小振幅波条件実験との比較

波浪中の船体運動予測を行う上で基本的な問題である微小振幅波条件での船体模型実験結果⁵⁾と本手法との比較を行った。実験では、式(7)で表される数学船体モデルの Modified Wigley Model が用いられている。

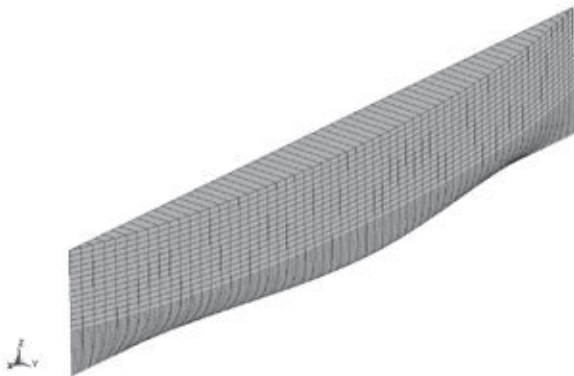


図3 Modified Wigley Ship の FEM モデル
FEM Model of Modified Wigley Ship

$$= (1 - \frac{2}{3} \chi (1 - \frac{2}{3} \chi (1 + 0.2 \chi^2))^2) + \frac{2}{3} (1 - \frac{8}{3} \chi (1 - \frac{2}{3} \chi^2))^4 \quad (7)$$

ここで、 $\chi = 2X/L$ 、 $\chi = 2Y/B$ 、 $\chi = 2Z/d$ であり、 X, Y, Z は船体座標系における船体表面の座標、 L は船長、 B は船幅、 d は喫水である。実験においては、 $L = 2.0 \text{ m}$ 、 $B = 0.3 \text{ m}$ 、 $d = 0.125 \text{ m}$ 、排水量 $\Delta = 0.042 \text{ t}$ の模型が使用された。実験時の模型速度 U_s は、 0.886 m/s (フルード数 $Fr = U_s/\sqrt{gL} = 0.2$ から計算) である。実験では、向波条件の単一規則波に対する船体運動が計測されている。比較対象の実験条件は、 $\lambda/L = 0.5, 1.0$ 及び 2.0 の 3 ケースとした。ここで、 λ は波長である。なお、本手法による計算では $L = 200 \text{ m}$ 、 $B = 30 \text{ m}$ 、 $\Delta = 42022.5 \text{ t}$ の船体とした。

図3に本計算で用いた船体モデルを示す。本計算においては、対称性を考慮して片舷モデルを使用した。流体モデルの上流端には流入境界条件、下流端には流出境界条件を与え、側面及び海底は法線方向速度がゼロとなる境界条件とした。船体モデルの速度は 8.857 m/s (フルード数は 0.2) を与え、すべてのケースにおいて波高は 3.33 m とした。ここで、深水波の周期 T は $\sqrt{2\lambda/g}$ 、波の速度 C は $gT/2$ で計算される⁴⁾。また、船体全体を剛体と仮定し、質量と回転慣性モーメントを与えて計算を行った。

図4に実験と本手法による計算結果の比較を示す。さらに、線形ストリップ法による計算結果⁵⁾も併せて示した。線形ストリップ法は、微小振幅波条件において船体運動を精度良く予測できる計算手法として良く知られている。横軸は波長と船長の比、縦軸は入力波高の振幅に対する船体上下動の振幅の比を表している。図から分かるように、実験結果、ストリップ法及び本手法による計算結果は良好に一致しており、本手法は微小振幅波条件下における船体の応答を精度良く予測できることが分かる。

3.2 有限振幅波条件実験との比較

有限振幅波条件の比較対象として、コンテナ船の実験結果⁶⁾を用いた。比較を行った実験条件は $\lambda/L = 1.0$ 、実船換算の入力波高 12 m であり、実験時の模型速度は 0.542 m/s ($Fr = U_s/\sqrt{gL} = 0.1$ から計算) である。3.1 と同様に、向波

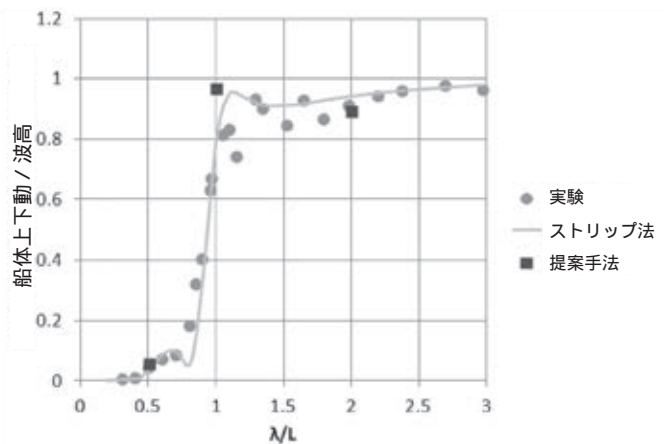


図4 微小振幅波条件下における実験との比較
Comparison of Results in Small Amplitude Wave Condition

条件の単一規則波に対する船体の応答が計測されている。ただし、本実験においては4分割された船体モデルが用いられており、各分割断面に取り付けられた検力計により断面毎の縦曲げモーメントとせん断力が計測されている。さらに、入力波高、船体上下動及び船体のピッチ回転角も計測されており、これらの計測結果と数値計算結果の比較を行った。実験における模型の寸法は $L = 3.0 \text{ m}$, $B = 0.432 \text{ m}$, $D = 0.262 \text{ m}$, $\sigma = 0.125 \text{ t}$ である。ここで、 D は型深さである。一方、計算では、実船サイズである $L = 175.0 \text{ m}$, $B = 25.2 \text{ m}$, $D = 15.3 \text{ m}$, $\sigma = 25 \text{ 640 t}$ とした。計算に用いた船体モデルを図5に示す。

計算においては、分割された各船体部分を剛体としてモデル化し、質量と回転慣性モーメントをそれぞれ与えた。一方、分割モデル間の結合は、図6に示すように、三つの剛性の高いバネ要素を用いてモデル化を行った。図中におけるバネ1と3に発生する船長方向の力 F_1 と F_3 を用いて、船体に発生する縦曲げモーメント M を式(8)で求めた。

$$M = (F_1 - F_3)l \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 l は中立軸からバネまでの距離である。さらに、バネ2に発生する鉛直方向の力 F_2 をせん断力として評価することが可能である。ここで、バネ定数は $1.0 \times 10^{11} \text{ N/m}$ とした。この値は、船体全体が剛体として運動する剛性の高いバネ定数であることを確認して用いた。また、高周波振動への対策として、各バネと同じ位置に特性が $1.4 \times 10^9 \text{ N/(m/s)}$ のダンパーを設けた。これは高周波ノイズを低減させること

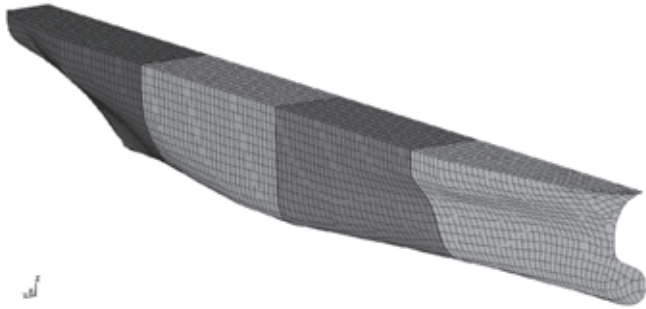


図5 SR194 実験対応計算における船体 FEM モデル
FEM Model of SR194 Container Ship

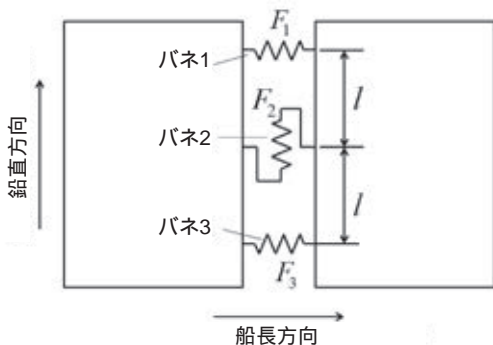
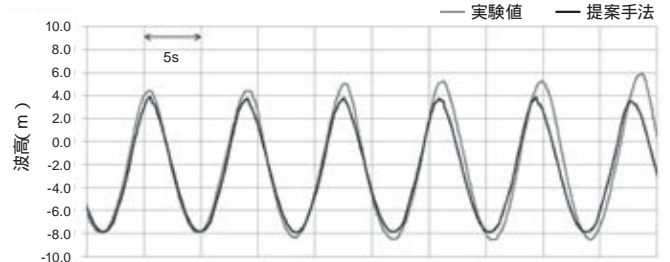
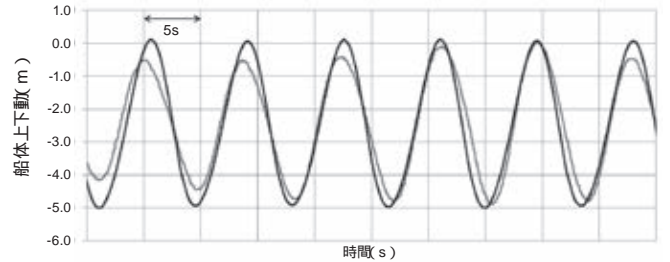


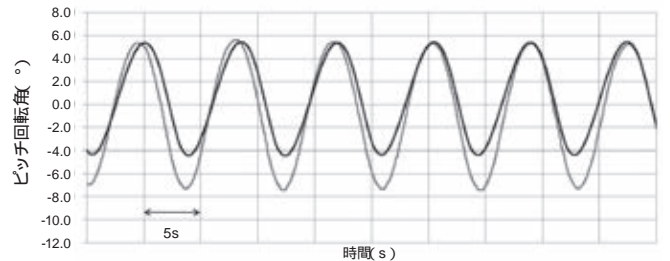
図6 分割船体モデルにおけるバネ結合
Modeling of Ship Model Body Connection using Discrete Spring Elements



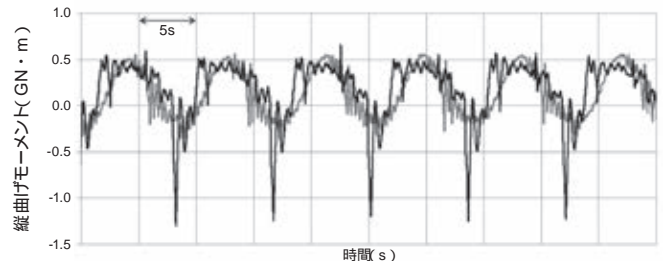
(a)波高



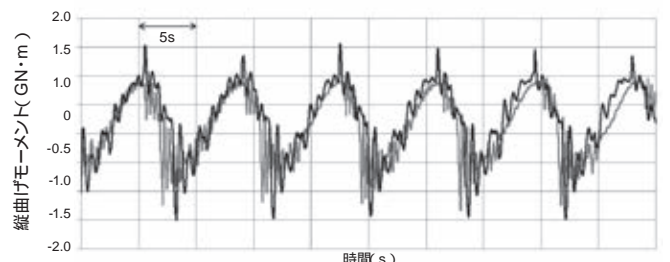
(b)船体上下動



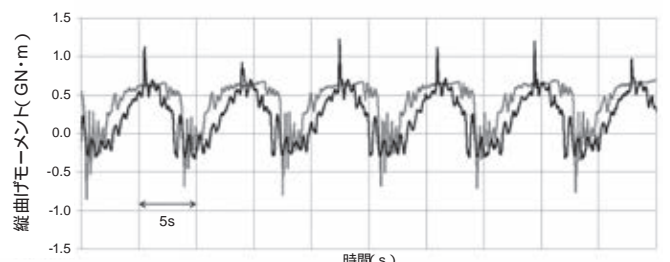
(c)ピッチ回転角



(d)断面 S.S.-2 1/2 における縦曲げモーメント



(e)断面 S.S.-5 における縦曲げモーメント



(f)断面 S.S.-7 1/2 における縦曲げモーメント

図7 SR194 実験結果と計算結果の比較
Comparison of Simulation Results with SR194 Experimental Results

を目的としており、計算結果に影響のない値とした。

図7に実験と計算の比較結果を示す。ここでは(a)波高、(b)船体上下動、(c)ピッチ回転角、(d)断面 S.S.-2 1/2 における縦曲げモーメント、(e)断面 S.S.-5 における縦曲げモーメント及び(f)断面 S.S.-7 1/2 における縦曲げモーメントについて比較を行った。ただし、断面 S.S.-2 1/2 ~ S.S.-7 1/2 の位置を図8に示す。なお、縦曲げモーメントについては、 Hog変形を正とした。線形波理論を使用した波の違いによる影響は少し見られるが、実験結果と計算結果は良好に一致しており、波高が大きい波浪条件に対しても本手法が適用可能なことを示している。図7(d)においてサグモーメントの鋭いピークが見られるが、これは船首スラミングによる影響と考えられる。

図9に、スラミング発生時における船首部近傍の水の圧力分布を示す。計算では船体分割モデルの各部分を剛体でモデル化しているため、船首部に発生したスラミング圧力が直ちに結合部のパネに伝わるにより鋭いピークのサグモーメントが発生しているものと考えられる。一方、実験では船体模型は剛体ではないため、船体分割モデルの変形の影響によりこの効果が緩和されているものと考えられる。計算において船体構造の剛性を考慮したモデルを用いた場合には、このようなピークは生じないものと考えられる。

4. おわりに

本報では、波浪中を航行する船体構造に発生する荷重とそれに対する応答を評価するための数値計算手法を示した。本手法では、船体構造に有限要素法を用いて、また船体周囲の水に有限体積法を用いて計算し、両者の相互作用(流体構造連成)を考慮しながら波と船体構造の挙動を予測できる。波の生成については、線形波理論を初期条件と境界条件に適用した有限体積法による計算を可能にした。

本手法を用いて、微小振幅波条件及び波高が大きい波浪条件での実験結果と計算結果の比較を行い、両者が良好に一致することを示した。これより、従来より用いられてきた計算手法⁷⁾では考慮できていなかった流体構造連成を含めて、波浪条件下における船体構造の応答予測が可能であることを示した。

本報においては、実験との比較を行うために、船体分割モデルの各部分を剛体としてモデル化した計算を行ったが、鋼材の特性を与えた弾性体又は弾塑性体として船体構造をモデル化することも可能である。そのため、本手法は、局部構造又は船体全体を実際の船体を再現するようにモデル化し、波との流体構造連成を考慮できる包括的な手法であると言えます。本報ではその可能性を示した。

今後は、非線形波理論の適用による波生成の高精度化及びスラミング応答に関する予測精度検証を行い、本手法を更に高度化して船体構造設計に適用していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 今北．外：船舶の構造設計における数値解析技術，三井造船技報，200(2010-6)，p. 2
- 2) 柴田．外：波浪時における船体の大振幅運動の粒子法

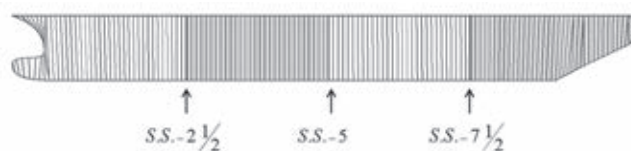


図8 計算結果を表示した船体断面位置
Positions of Force and Moment Output Cross Sections

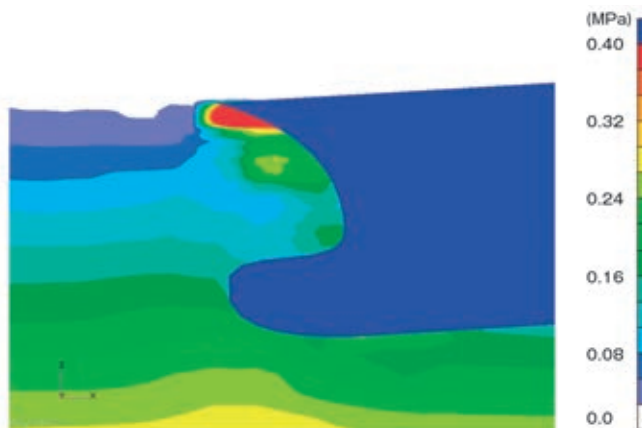


図9 船首部近傍における圧力分布の計算結果
Simulation Result of Pressure Distribution near Bow Flare of Ship

による3次元数値解析，日本船舶海洋工学会講演会論文集，3(2006-11)，p. 67

- 3) MSC Software : Dytran 2012 Theory manual ,(2012)
- 4) R. G. Dean, et al. : Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists , Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 2 ,(1991) , World Scientific
- 5) 柏木．外：波浪中船体動揺および抵抗増加の計算に関する一考察，関西造船協会誌，234(2000-9)，p. 85
- 6) 財団法人日本船舶技術研究協会：第194研究部会 波浪中の船体応答に関する研究 報告書 ,(1984)
- 7) 例えば，朱．外：ダブルハルタンカーの強度評価に用いる設計荷重について，平成13年度 ClassNK 研究発表会 ,(2002)

〔問い合わせ先〕

技術開発本部 基盤技術センター
TEL 0863 - 23 - 3103 安田 章宏



安田 章宏



シェリー ラシッド

国内最大規模のバイオガス発電施設の建設に着工
- 家畜排せつ物からのエネルギー創出と地域環境の保全に貢献 -

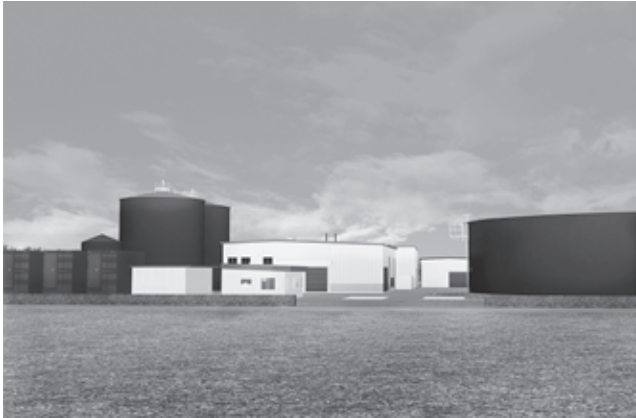


図1 バイオガス発電施設の完成予想図

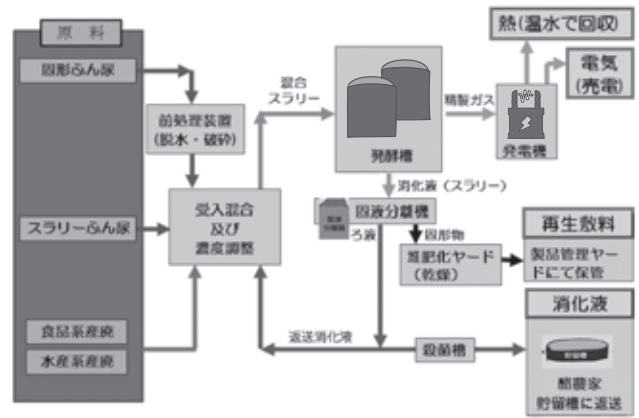


図2 発電設備のプロセスフロー

三井造船は、北海道の別海町(町長：水沼 猛氏)と共同で、特別目的会社「別海バイオガス発電株式会社」を設立し、国内最大規模のバイオガス発電事業を開始する。バイオガス発電施設は別海町内に建設し、施設完成後、メタン発酵の立上運転を経て、2015年7月の本格操業開始を目指し工事を進めている(図1)。

別海町は、乳牛約11万頭を飼養する日本一酪農業が盛んな町である。本事業では、酪農家から排出される家畜排せつ物を有価で購入し、55℃の高温発酵により原料に含まれる有機性成分をメタンガスに転換してガスエンジンで発電する(図2)。

また、発酵が終了した発酵残渣(以下、消化液)は、牧草地への有機性肥料として再利用されるほか、消化液を固液分離して得られる固形成分についても、一定の乾燥処理を行った後、乳牛の敷料として再利用する計画であり、収集した家畜排せつ物全量を地域内で循環利用する地球環境に優しいシステムとなっている。

三井造船グループとしては国内で10ヶ所のバイオガスプラントの施工実績があるほか、デンマークでは1992年に本件と同規模のバイオガスプラント(設備能力は6500頭/日に相当)を建設している。今後も各地で活発化する電源確保のニーズに対して、技術提案を積極的に進めていく。

特長

- (1)本事業は、農林水産省をはじめ、7府省連携によりバイオマス産業都市に認定された別海町バイオマス産業都市構想の中核的的事业に位置づけられている。
- (2)電力固定価格買取制度(FIT)に基づき20年間の売電価格が保証され、また、発酵に伴う副産物(消化液及び敷料)を酪農家に販売することで事業を継続する計画である。
- (3)新たに設立した「別海バイオガス発電株式会社」が施設の建設から運営管理までを一括して実施する。
- (4)計画発電量は、別海町全6360世帯の44.2%に当たる約

9600MWh/年を見込み、家畜排せつ物を原料とするガス発電施設としては国内最大規模となる。

- (5)別海町で進めている国営事業と協調することで、家畜排せつ物による環境汚染リスクの発生をより低減させ、地域環境保全に貢献する。
- (6)原料の搬入量は、最大で約15km離れた広い範囲に分散する80軒以上の酪農家から、1日当たり成牛4500頭分に相当する家畜排せつ物280トンと、産業廃棄物(食品系及び水産系)5トンを予定している。

主要項目

1. 事業概要

事業名称：別海バイオガス発電事業
事業形態：特別目的会社(SPC)を設立した事業運営形態を採用
発電能力：1800kW(600kW×3基)
発電方式：ガスエンジン+熱回収
建設場所：北海道野付郡別海町別海2番地他
施設規模：メタン発酵槽 4000m³×2基
処理方式：湿式高温メタン発酵方式(55℃)
本格稼働：平成27年7月1日

2. 事業会社概要

社名：別海バイオガス発電株式会社
所在地：北海道野付郡別海町別海2番地
代表者：代表取締役 小倉 智(三井造船)
資本金：4.3億円
出資比率：三井造船70%、別海町30%

(エンジニアリング事業本部)

[問い合わせ先]

環境エネルギー・インフラ営業部
TEL 043-351-9262 小倉 健彦

バランスド扁平アーチ橋“滝見橋”の建設
- 世界文化遺産の構成資産「白糸の滝」に架けられた橋梁 -



写真1 滝見橋

白糸の滝は、富士山の西側、静岡県富士宮市にあり、2013年6月に世界文化遺産として登録された富士山の構成資産25件の一つである。滝見橋は白糸の滝の下流約150mに架けられ、本橋上からは富士山の裾野から突如出現する白糸の滝の流れを一望することができる(写真1)。

滝見橋の最大の特長は、環境との調和が配慮されていることである。すなわち、世界遺産構成資産である白糸の滝という自然が創出した自然環境への刺激を低減していること、この滝から発生する飛沫に対して高い耐久性があること、さらに、壮麗な瀑布を体感できることにある。

これらに即した設計とするため、日本初のバランスド扁平アーチ構造が採用されるとともに、プレストレストコンクリート構造により、長寿命化と高い性能性を保持しながら、橋体自体を非常にコンパクトにまとめることを可能とした。今後、本形式橋梁の長大化が期待される。

特長

(1) 扁平アーチ構造

一般のアーチ構造では、スパンに対するライズ(アーチの反り)の比が1/5 ~ 1/8(スパンライズ比)必要である。滝見橋では、橋面高さの制約、すなわち河川のHWL(計画高水位)の制約から1/12という扁平な構造となるが、橋体の大きさをコンパクトにすることが可能となった。

(2) バランスドアーチ構造

扁平アーチ構造の最大の弱点は、拱台に大きな水平力が作用するため強固な地盤が求められるが、背面に斜材を設けたバックスティ構造によって、その水平力の約60%を低減し、バランスの良い構造としている(図1)。斜材

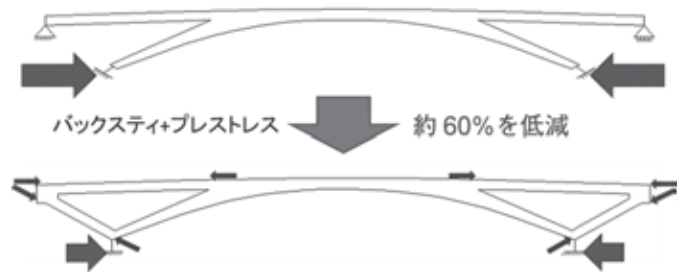


図1 拱台に作用する水平力への対策

付きバランスド扁平アーチ構造は、日本初の構造形式である。

- (3) ノーシュー・ノージョイント構造(支査・伸縮装置の排除)
維持管理上、架橋位置の高湿度な環境に配慮し、金属製の支査・伸縮装置などの橋梁付属物は設置しない設計とした。斜材を含めたバランスド扁平アーチ構造に、剛結の橋脚を設置したポータル構造(一体化構造)としている。

橋梁諸元

橋名: 滝見橋
架橋位置: 静岡県富士宮市白糸の滝
橋長: 39.0 m
橋種: プレストレストコンクリート橋
構造形式: バランスド扁平アーチ橋
有効幅員: 2.5 m
橋格: 歩道橋 3.5 kN/m²
工期: 平成24年11月 ~ 平成25年10月

事業計画: 富士宮市
計画 Ad: 日本大学理工学部 教授 天野光一
設計監修: 日本大学理工学部 教授 関文夫
構造設計: パシフィックコンサルタンツ株式会社

(ドービー建設工業株式会社)

[問い合わせ先]

工事部
TEL 03 - 3918 - 2914 松下 広幸

三井造船システム技研が ISMS/ISO 27001 認証を取得 - 認証範囲を一部門から全社へ拡大 -



写真1 認証機関の審査登録証書

表1 ISMS 登録認証の概要

| | |
|------|--|
| 適用規格 | JIS Q 27001 : 2006 (ISO/IEC 27001 : 2005) |
| 登録範囲 | コンピュータ及びこれに関する通信, 設計, 計測などの機器の開発, 設計, 製造, 据付, 修理及び販売 前号に関連するシステムの設計, ソフトウェアの開発, 販売 コンピュータを利用した各種計算事務 コンピュータシステムの運用サービス, 保守及び教育訓練サービス業務の受託 |
| 登録日 | 2012年10月12日 |
| 改定日 | 2014年3月6日(今回の全社拡大取得) |
| 認証機関 | 一般社団法人日本能率協会審査登録センター |

三井造船システム技研株式会社は、2014年3月6日付で「情報セキュリティマネジメントシステム(Information Security Management System: ISMS 認証)を全社で取得した(写真1)。

今回の認証は、2012年10月に当社の一部門である基幹ソリューション事業部 IT サービス部が取得した認証範囲を全社へ拡大したものであり、登録認証の概要を表1に示す。

IT化の進展に伴い、不正アクセス、サイバー攻撃やコンピュータウイルスによる被害及び内部不正者や外部委託業者による情報漏えい事件など、企業が所有する情報資産を脅かす要因が著しく増加しており、これらの脅威から組織を防衛し維持していくためには、技術的、物理的、人的及び組織的な取り組みを経営陣からのトップダウン体制で推進する必要がある。

この情報セキュリティに対する組織の取り組みについて、一般財団法人日本情報経済社会推進協会(JIPDEC)は、ISMSを「個別の問題毎の技術対策の他に、組織のマネジメントとして、自らのリスクアセスメントにより必要なセキュリティレベルを決め、プランを持ち、資源を配分して、システムを運用することである」と定義しており、また、「組織が保護すべき情報資産について、機密性、完全性、可用性をバランス良く維持し改善することが情報セキュリティマネジメントシステム(ISMS)の要求する主要なコンセプトである」と規定している。

- ・機密性：認可されていない個人、エンティティ 又はプロセスに対して、情報を使用させず、また、開示しない特性
- ・完全性：正確さ及び完全さの特性
- ・可用性：認可されたエンティティが要求したときに、アクセス及び使用が可能である特性
“ 実体 ”, “ 主体 ” などともいう。

ISMSの全社拡大認証取得により、当社の取り組みが情報セキュリティの国際規格である ISO/IEC 27001 の要求事項に、全社レベルで適合していることが認められた。

当社は、顧客の情報システムを開発し、適切に管理運用するとともに、ITインフラやセキュリティの構築及び運用サポートを行っており、今回の認証範囲の拡大取得を受け、情報セキュリティ管理のより一層の強化を図り、顧客から安心と信頼されるサービスの更なる向上に努めていく。さらに、人間系と技術系のセキュリティビジネスの拡大にも取り組んでいく。

(三井造船システム技研株式会社)

〔問い合わせ先〕

情報セキュリティ推進室

TEL 043 - 274 - 6173 廣田 斉

航海訓練所向け練習船「大成丸」完工



三井造船株式会社は、独立行政法人航海訓練所(理事長:飯田 敏夫氏)及び共同発注者の東京センチュリーリース株式会社(社長:浅田 俊一氏)向け練習船「大成丸」(当社第1890番船)をこのほど完成し、本日、玉野事業所にて引き渡しました。

本船は、昭和56年(1981年)に建造された旧大成丸(3代目)の代替船として、平成23年度予算で独立行政法人航海訓練所と東京センチュリーリース株式会社との共有建造方式により、建造することが認められました。平成25年2月14日に起工、建造工事が開始され、同年、7月25日に皇太子殿下ご臨席のもと、命名・進水式が行われました。

本船(4代目)は、内航船員の育成に適した船体、機器、設備を有する練習船であり、航海訓練を通じて優秀な船員を内航海運に送り出すこと、また、近隣諸国への航海訓練を通して国際親善にも寄与するものとして期待されています。

[担当] 船舶・艦艇事業本部 国内船・官公庁船・国内プロジェクト営業部 一柳 電話:03-3544-3462

[問い合わせ先] 経営企画部 広報室 乾(いぬい) 電話:03-3544-3147

新潟造船 オーシャン・ゴーイング・タグ4隻を受注 - 世界最大級 300トンの曳航能力 -



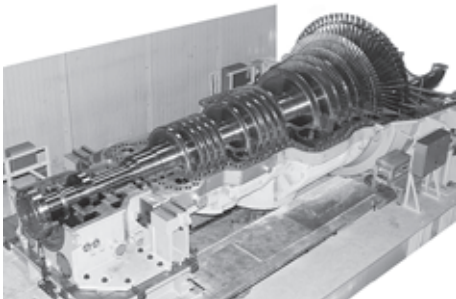
三井造船株式会社の100%出資会社である新潟造船株式会社(本社:新潟市)は、欧州顧客向けにオーシャン・ゴーイング・タグ4隻を受注しました。

本船は、オフショア船の設計建造に多数の実績があるノルウェーのULSTEIN DESIGN & SOLUTIONS社の設計を活用して建造されるもので、曳航能力は、世界最大級の300トンとなります。これら4隻は、カナダのTEEKAYグループ傘下のTEEKAY OFFSHORE PARTNERS社の子会社であるALP MARITIME SERVICES B.V.社(本社:オランダ)に、2016年までに順次竣工・引き渡す予定です。

新潟造船はこれらのタグの建造を通じて、三井造船グループが推進する海洋関係プロジェクトへの事業展開の一翼を担います。

[問い合わせ先] 新潟造船(株) 業務部 本多 電話:025-222-6121

ベトナム ニソン製油所向け蒸気タービン発電設備 5 基を受注 - ベトナムから初の受注 -



三井造船株式会社は、ニソン石油精製有限責任会社(Nghi Son Refinery Petrochemical Limited Liability Company)がベトナム国北部ニソン経済区で推進しているニソン製油所・石油化学コンプレックス・プロジェクト向けに蒸気タービン発電設備 3 種 5 基(合計出力約 200 MW)を受注しました。

本設備は、コンプレックスに電力を供給する大型発電設備であり、本コンプレックスを建設する JGCS コンソーシアム(日揮、千代田化工建設、仏テクニップ、韓 GS 建設と SK 建設で構成されるジョイントベンチャー)から受注し、日本で設計製作、2015 年に順次引渡されます。その後、現地で当社による技術指導のもと据付・試運転が行われ、2016 年に本格稼働に入る予定です。

本プロジェクトは、出光興産株式会社、クウェート石油国際会社、ペトロベトナム社及び三井化学株式会社が共同で設立したニソン石油精製有限会社が進めるものとなります。ベトナムで 2 基目となる製油所を含む、製油所・石油化学コンプレックスを新設するもので、同国において今後需要が増加する石油製品、および輸出用石油化学製品の製造を目的としています。

三井造船は 1963 年より 300 基余りの陸船用、発電用及び圧縮機駆動用等の蒸気タービンを製作し、特に産業用発電設備の分野では日本有数のタービンメーカーとなっています。今回は、国内外のメーカーとの厳しい競争の中で、当社製品の効率と信頼性が高く評価されて受注に結びつきました。

[担当] 機械・システム事業本部 産業機械営業部 西村、森谷 電話：03 - 3544 - 3951

[問い合わせ先] 経営企画部 広報室 乾(いぬい) 電話：03 - 3544 - 3147

三井造船技報編集委員会

委員長 中谷 龍 男
委員 木澤 厚 夫
神 永 肇
倉山 潔
速水 礼
佐野 健一
鎌田 勤也
穴倉 進
兼本 浩

三 井 造 船 技 報

第 212 号

2014 年(平成 26 年)7 月 7 日発行
(年 3 回発行)

発行人 土井 宣 男
発行所 三井造船株式会社 技術開発本部
〒104 - 8439 東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号
TEL 03 - 3544 - 3266
印刷 株式会社 三造ビジネスクリエイティブ
〒261 - 7128 千葉県千葉市美浜区中瀬 2 - 6 - 1

三井造船株式会社

<http://www.mes.co.jp/>

| | | | |
|------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------|
| 本 社 | 〒 104-8439 | 東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号 | TEL 03-3544-3147 |
| 幕張センター | 〒 261-7128 | 千葉県千葉市美浜区中瀬 2 丁目 6 番 1 | TEL 043-351-8000 |
| 北海道支社 | 〒 060-0807 | 札幌市北区北七条西 4 丁目 5 番地 1(伊藤 110 ビル) | TEL 011-736-0036 |
| 東北支社 | 〒 980-0811 | 仙台市青葉区一番町 2 丁目 7 番 17 号(朝日生命仙台一番町ビル) | TEL 022-262-3481 |
| 中部支社 | 〒 450-0003 | 名古屋市中区名駅南 1 丁目 24 番 30 号(名古屋三井ビル) | TEL 052-582-0145 |
| 関西支社 | 〒 550-0004 | 大阪市西区靱本町 1 丁目 11 番 7 号(信濃橋三井ビル) | TEL 06-6447-2001 |
| 中国支社 | 〒 730-0051 | 広島市中区大手町 2 丁目 7 番 10 号(広島三井ビル) | TEL 082-248-0311 |
| 呉営業所 | 〒 737-0045 | 広島県呉市本通 3 丁目 5 番 18 号(メゾンロイヤル) | TEL 0823-25-7837 |
| 九州支社 | 〒 812-0011 | 福岡市博多区博多駅前 1 丁目 1 番 1 号(博多新三井ビル) | TEL 092-411-8111 |
| 東九州支店 | 〒 870-0027 | 大分県大分市末広町 1 丁目 1 番 18 号(ニッセイ大分駅前ビル) | TEL 097-537-9260 |
| 沖縄支店 | 〒 900-0033 | 沖縄県那覇市久米 2 丁目 4 番 16 号(三井生命那覇ビル) | TEL 098-869-3135 |
| 玉野事業所 | 〒 706-8651 | 岡山県玉野市玉 3 丁目 1 番 1 号 | TEL 0863-23-2010 |
| 千葉事業所 | 〒 290-8531 | 千葉県市原市八幡海岸通 1 番地 | TEL 0436-41-1112 |
| 大分事業所 | 〒 870-0395 | 大分県大分市日吉原 3 番地 | TEL 097-593-3111 |
| 技術開発本部 | | | |
| 玉野技術開発センター | 〒 706-0014 | 岡山県玉野市玉原 3 丁目 16 番 1 号 | TEL 0863-23-3001 |
| 千葉技術開発センター | 〒 290-8531 | 千葉県市原市八幡海岸通 1 番地 | TEL 0436-41-1110 |
| 基盤技術センター | 〒 706-0014 | 岡山県玉野市玉原 3 丁目 16 番 1 号 | TEL 0863-23-3101 |
| 昭島研究センター | 〒 196-0012 | 東京都昭島市つつじが丘 1 丁目 1 番 50 号 | TEL 042-545-3111 |
| つくば研究センター | 〒 104-8439 | 東京都中央区築地 5 丁目 6 番 4 号 | TEL 03-3544-3266 |
| 海外事務所 | 北京, ジャカルタ, ハノイ, クアラルンプール | | |
| 海外現地法人 | 三井造船ヨーロッパ株式会社(ロンドン) | | |
| | 三井造船(U.S.A.)株式会社 | | |
| | 三井造船(上海)商貿有限公司 | | |
| | 三井造船アジア株式会社(シンガポール) | | |

三井造船技報 第 212 号の発行に当たって

「三井造船技報」をご高覧いただき、ありがとうございます。

本誌は、当社が平素ご指導いただいている方々へ、最近の当社の新製品や、それを支える技術についてご紹介するものです。本誌の内容につきましては、更に充実を図る所存ですので、忌憚のない御意見を賜りましたら、大変幸甚です。

送付先の貴組織名、ご担当部署、所在地などにつきましては正確を期しておりますが、変更などがございましたら、以下にご記入の上、FAX でお知らせ頂きたくお願い申し上げます。

敬具

キ リ ト リ 線

FAX : 03 - 3544 - 3125

三井造船株式会社 技報編集委員会 事務局 行(TEL. 03 - 3544 - 3266)

三井造船技報 送付先の確認と第 212 号へのご意見等について

1. 送 付 先 : 従来通り 変更 削除 (いずれかに V を付けてください)

a) 旧送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

旧送付先は、現在の宛先ラベルのコピーをここに貼付して
頂いても構いません。

b) 新送付先

所在地 〒 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

ご担当者 _____

TEL No. _____

FAX No. _____

2. 今後の編集に反映させていただくため、下記アンケートにご協力をお願いします。

(1) 本号で興味のある記事をお知らせください。(最初のページ No. で可。複数回答可)

技術論文・報告では

製品・技術ニュースでは

その他の記事では

(2) その他、ご意見・ご要望あれば、お聞かせください。

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

船舶・艦艇事業本部 TEL 03-3544-3318 FAX 03-3544-3031

液化天然ガス（LNG）運搬船，液化石油ガス（LPG）運搬船，原油輸送船，石油精製品運搬船，ばら積貨物船，オープンハッチ型貨物船，鉱石運搬船，石炭運搬船，コンテナ船，自動車運搬船，FSO，FPSO，超高速貨物船，超高速カーフェリー，各種特殊船

修繕船，各種改造船工事，M & R エンジニアリング

護衛艦（DD），潜水艦救難母艦（AS），潜水艦救難艦（ASR），音響測定艦（AOS），輸送艦（LST），補給艦（AOE），掃海母艦（MST），海洋観測艦（AGS），巡視船，練習船，海洋気象観測船，漁業調査船，漁業取締船，海洋調査船，研究調査船，物理探査船，環境整備船，視察船，測量船，交通艇，消防艇，高速旅客船，深海探査ロボット（AUV，ROV），小型水中ロボット，水道管点検ロボット

自動艦位保持装置（DPS），システム操船装置，艦橋情報表示装置（ABS / IBS），舵減揺装置，船体運動状態表示装置（SMACS），航海情報表示装置，フィンスタビライザー，中折式デッキクレーン，赤外線低減装置，弾薬搭載機材，補機制御表示装置，機関操縦装置，水中放射雑音シミュレータ，防火防水実習場，各種訓練水槽，操船シミュレータ

橋梁，ハイブリッド構造物（浮防波堤，浮消波堤，浮棧橋，浮体式係船岸，ケーソン），海洋構造物（シーバース，ケーソン，沈埋函，ジャケット），浮体式海洋設備

船舶運航支援のポータルサービス

機械・システム事業本部 TEL 03-3544-3950 FAX 03-3544-3055

船用ディーゼル機関

往復動圧縮機，バイナリー発電設備，蒸気タービン，炉頂圧回収タービン，軸流・遠心式圧縮機

鍛造前誘導加熱装置（ピレットヒータ，パーヒータ，ピンヒータ 他），鉄鋼・非鉄分野向誘導加熱装置（薄板加熱装置，銅管焼鈍装置，線材加熱装置），高周波電源装置（PWM インバータ，サイリスタインバータ，トランジスタインバータ，ゾーンコントロール用電源）

遠隔操作マニピュレータおよびその周辺機器，センシング機器（地中埋設物・建築物探査レーダ，太陽追尾採光システム，複合材剥離検査器），レーダ探査サービス，水理実験設備，塔，槽，熱交換器，回転式乾燥機

IT を活用した各種設備・機器のリモートモニタリングサービス・診断サービス・情報サービス，各種設備・機器の包括ノ一括メンテナンスサービス，各種技術サービス（運転及びメンテナンスにかかわる技術指導・工事指導・工事施工），LSS（ライフサイクルソリューションサービス：陸・船用ディーゼルエンジン，ガスタービン，各種ボイラ，プロセス用圧縮機，蒸気タービン発電設備，炉頂圧タービン発電設備，プロセス機器，誘導加熱装置，各種クレーンの保守，改造用部品・機器の供給，性能改善・改造工事・延命工事などのエンジニアリング・サービスと施工）

SiC ウェハー，CVD-SiC コーティング，SiC 製半導体装置用部品

岸壁用コンテナクレーン，ヤード用コンテナクレーン，船用ガントリークレーン，ローダー，アンローダー（連続式，グラブバケット式），ジブクレーン，天井クレーン，コンテナターミナルマネジメントシステム

次世代リチウムイオン電池正極材

エンジニアリング事業本部 TEL 043-351-8000 FAX 043-351-8111

プラントのエンジニアリング及び建設工事（石油化学，化学繊維，合成樹脂，石油精製，ガス製造・精製，無機化学，化学肥料，石炭化学，発酵関連，ファインケミカル，代替エネルギー関連），プラント要素技術（加熱炉，分解炉，分解ガスクエンチャー，高粘度流体脱揮装置），エンジニアリング支援システム，フィージビリティスタディ，プラントメンテナンス，SDM 工事

海外土木・建築工事全般，特殊構造物，風力発電設備工事，海外橋梁

ガスタービン発電設備，ガスエンジン発電設備，ディーゼルエンジン発電設備，太陽熱発電設備，バイオマス発電設備，各種コージェネレーションプラント，バイオエタノール設備

三井リサイクリング 21（キルン式ガス化溶融システム），廃棄物処理関連（流動床式焼却炉，粗大ごみ処理施設，リサイクルセンター，加熱脱塩素化装置，ダイオキシン分解触媒，炭化炉，PCB 処理），ガス処理関連（脱塩，集塵）

水処理関連（産業排水，汚泥），ガス処理関連（排煙脱硫，排煙脱硝，脱臭），廃棄物再資源化システム（焼酎廃液，有機性廃棄物からのメタン発酵，コンポスト及び乾燥装置），バイオガスプラント（生ごみ・汚泥バイオガスプラント，油温減圧乾燥式食品廃棄物再資源化システム，家畜糞尿再資源化システム）

MITSUI-ALSTOM 蒸気タービン

To the Top Supplier in Asia.

三井造船は1963年より蒸気タービンを製作し、これまで産業用発電設備分野において約350基の実績を有しmajor supplierに成長しています。1995年からはAlstom社との技術提携の下、総合エンジニアリング企業のノウハウを活かし、お客様のあらゆるニーズに対応可能な高効率かつ高信頼性タービンを世界各国へ供給しています。

近年当社は、タイ王国SPP(Small Power Producer)向けガスタービン複合発電設備用の蒸気タービン発電設備においてトップシェアを誇っており、発生した電力・蒸気は周辺工業団地ユーザーや電力会社へ供給されています。三井造船は蒸気タービン発電設備を、産業機械事業の重要な柱に位置づけて、今後も受注拡大を目指して鋭意営業展開していきます。

MES蒸気タービン 対応レンジ
(2014年5月末時点)

| 最大実績(kW) | 製作範囲(kW) |
|----------|---------------|
| 178,000 | 3,000~150,000 |

ラインナップ



高速二軸型: 3MW~100MW



直結式一軸型: 30MW~150MW



減速式一軸型: 25MW~50MW