

8 700 TEU 積載メガコンテナ船の開発

Development of 8 700 TEU Type Mega Container Carrier

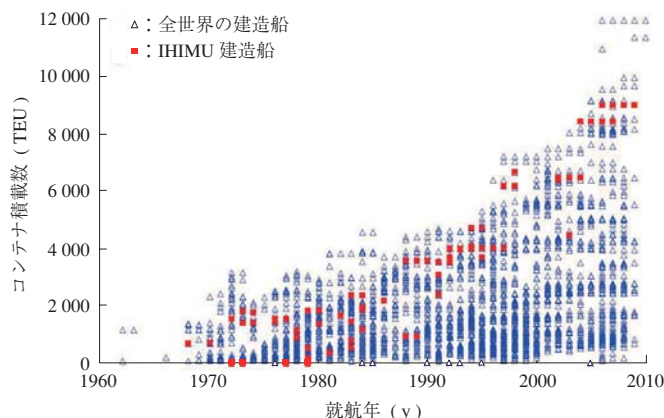
阪 口 克 典 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 課長代理 技術士（船舶・海洋部門）
 豊 田 昌 信 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部 課長代理 技術士（船舶・海洋部門）
 犬 飼 泰 彦 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド 基本設計部

世界の物流の増大は激しく、基幹航路を中心としたコンテナ船の大型化は著しい。一方で、原油価格高騰に伴い省エネルギー船型の要望は大きい。こうした状況のなか、IHIMU は 8 700 TEU 型のコンテナ船を開発した。本船は積付効率および推進効率を最大とするため、最適な主要目・一般配置を選定している。IHIMU の船型開発技術、船体構造開発技術を始めとした要素技術が、本船の高性能、高信頼性のベースとなっている。本稿では本船の概要および IHIMU のコンテナ船開発に関する技術を紹介する。

Because of strong growth in the global container trade, container vessels engaged in main service routes such as Europe-Far East and Northern America-Far East have been getting larger with increased container stowage capacity every year. IHIMU (IHI Marine United Inc.) has developed the Mega Container Carrier with a container stowage capacity of 8 700 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit). The vessel was designed to maximize container stowage capacity and propulsive performance. Advanced technologies achieved by IHIMU related to hydrodynamics and hull structural design have been reflected in the design of the vessel. This paper presents the outline of the vessel and such technologies for container vessels.

1. 緒 言

株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド（以下、IHIMU と呼ぶ）は、「JAPAN ACE」（1968 年竣工）以来 100 隻を超えるコンテナ船を建造してきた。これらの多くは第 1 図に示すとおり、各年代の最大クラスである。すなわち、IHIMU は世界のコンテナ船の大型化をリードしてきた存在であり、そのたびに IHIMU は高効率の船型を開発する技術と高い信頼性の船体構造を開発する技術を向上させてきた。



第 1 図 就航したコンテナ船とその大きさ

Fig. 1 Delivery of container vessels and sizes

一方で、世界のコンテナ貨物の増加は激しく、特に中国を始めとする東アジアから欧州・北米の基幹航路に就航するコンテナ船の大型化は著しい。大型化によってさらに多くのコンテナを運搬するため、今まで以上に船の信頼性は重要になっている。他方、最近の原油高に伴う燃料費の高騰によって、省エネルギーに対する要求が高まっている。特に大型コンテナ船は燃料消費量が多く、それが船主の運航採算に及ぼす影響は大きい。そのため省エネルギー船型に対する船主の期待は大きい。

このような状況のなか、IHIMU は川崎汽船株式会社向けに 8 700 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) 積コンテナ船を開発した。開発に当たっては、IHIMU が長年にわたって積み上げてきたコンテナ船に関するノウハウと要素技術を駆使した。その結果、要求された条件のコンテナを、より少ない燃費で運ぶことができる船型を実現した。

本稿では本船の概要を紹介し、IHIMU の要素技術である、船型開発技術および船体構造開発技術を中心に述べる。

2. 8 700 TEU 積コンテナ船の概要

本船計画時の要求設計条件の主なものは以下のとおりである。

- (1) 単位重量 9 t/TEU のコンテナを 8 000 TEU 以上積載する。
- (2) 航海速度は 24.5 kn を確保したうえで、燃料消費量は最小限にする。

本船の主要目（計画値）を次に、一般配置図を第 2 図に示す。

全 長	336.0 m
型 幅	45.80 m
型 深	24.40 m
満 載 喫 水	14.00 m
載 貨 重 量	96 700 t
総 ト ン 数	99 400 t
コンテナ数（デッキ上 7 段）	8 680 TEU
主 機 関	12K98ME
連続最大出力	67 270 kW × 93.4 rpm
航 海 速 力	24.5 kn

本船の最大の特徴は、船幅をデッキ上のコンテナで 18 列に対応する幅としたことである。

本船の計画において、要求設計条件を考慮し、船型、主要目、区画配置を注意深く検討した。本船の計画時点で最大クラスのコンテナ船では、デッキ上 17 列（ホールド内 15 列）の船幅が最大であったが、主要目および第 2 図に示すように、デッキ上 18 列（ホールド内 16 列）の船型を船主に提案し、本案が採用された。

本船の推進性能の改良を示すため、IHIMU が建造した最近の実績船である 6 492 TEU 型（2002 年竣工）、8 172 TEU（2004 年竣工）と本船の 8 680 TEU について、9 t/TEU を 1 TEU 運ぶための推進馬力の比較を第 3 図に示す。グラフの縦軸は 6 492 TEU 型の馬力を 100 とした指標を示す。6 492 TEU と 8 172 TEU の性能差は、船型性能技術の改良による改善、8 172 TEU と 8 680 TEU の性能差は、要求設計条件に対し適切な船型、主要目、区画配置を選択したことによる影響が大きい。

すなわち、IHIMU は高い流体力学に関する技術力をベースとし、要求設計条件に最適な主要目、区画配置を設

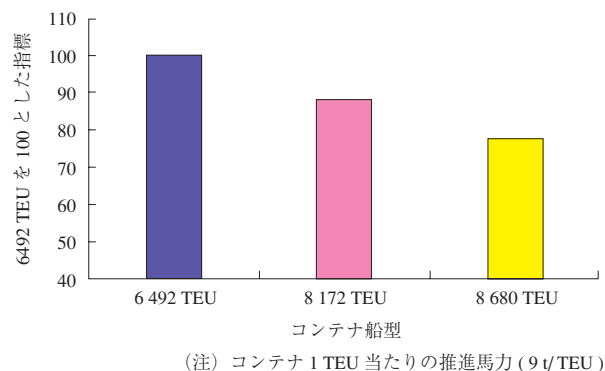


Fig. 3 Mega carrier characteristics compared with previous vessels

定し、高い推進性能をもつ船型を開発した。この船型は、高度な船体構造解析力を駆使し、倉口変形や縦強度、振動などのコンテナ船の大型化に伴う諸問題を解決することによって実現された。

3. 高推進性能コンテナ船型の開発

3.1 船型開発の経緯

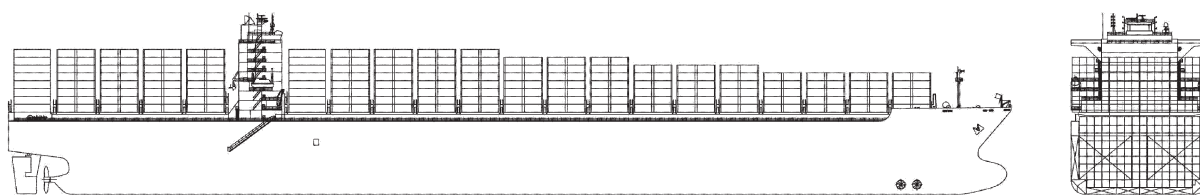
緒言で述べたように、大型コンテナ船の省エネルギー効果に対する船主の期待は大きい。また、高馬力化に伴い従来以上にプロペラキャビテーション、舵エロージョンが問題となり、これらに対する適切な設計が不可欠となっている。本章では流力性能に関わる船型開発の現状について述べる。

3.2 省エネルギー船型の開発

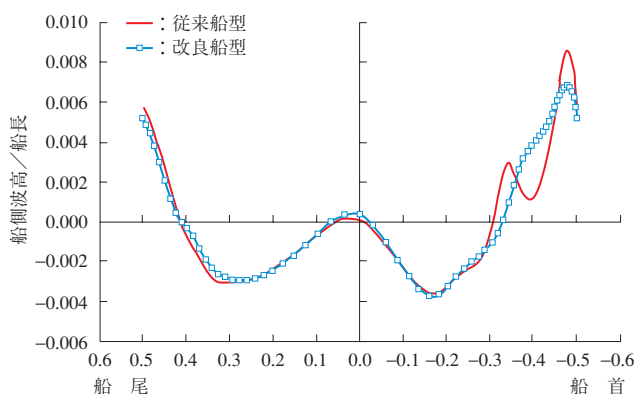
船型開発では主として CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いた船型最適化を実施した。

コンテナ船型は肥大船型に比べて全抵抗に占める造波抵抗の割合が多く、造波抵抗の低減が省エネルギー化に大きく寄与する。一例として、CFD 計算によって得られた船側波形計算値の従来船型と改良船型の比較を第 4 図に示す。船首付近の船側波形は船型最適化によって低減させることが可能である。

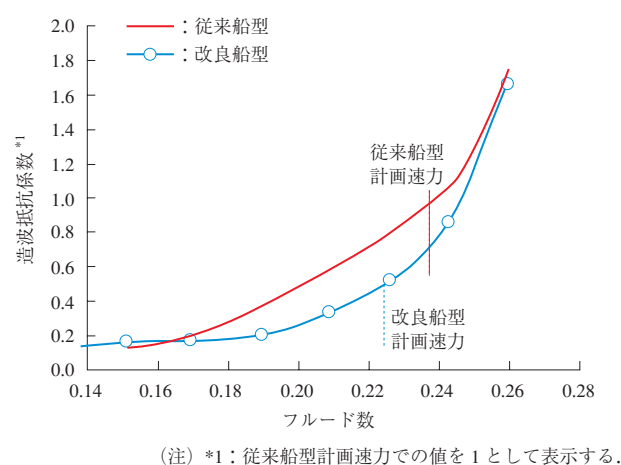
これらの船型の造波抵抗係数の水槽試験結果を第 5 図に示すが、船長増に伴うフルード数の減少と相まって、改



第 2 図 一般配置図
Fig. 2 General arrangements



第4図 CFDによる船側波形の比較
Fig. 4 Wave patterns calculated by CFD



第5図 水槽試験による造波抵抗計測値
Fig. 5 Wave making resistance measured by tank model tests

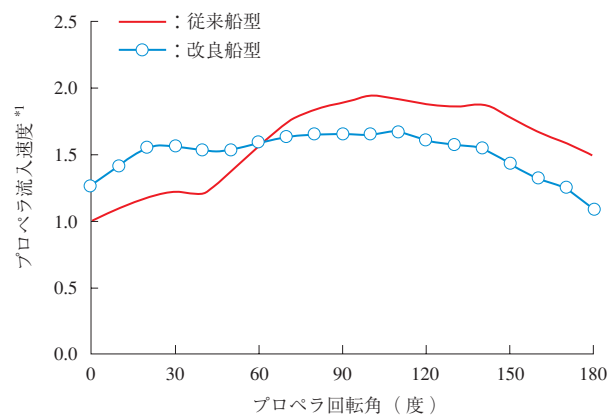
良船型では従来船型に比べ大幅に造波抵抗が低減していることを確認した。なお、改良船型においてはCFDを用いた船尾形状の改良も平行して実施することで自航要素を改善させており、これも水槽試験で確認した。本船の船型は本項で述べた改良船型の思想を踏襲している。

3.3 船尾流場の改善

制限された喫水で船型が大型化（高馬力化）することによって、大型コンテナ船のプロペラキャビテーションはより厳しい状況となりつつある。このため、プロペラ単独性能の向上と並行して船尾流場を改良することで、キャビテーション性能の改善を図った。

第6図に従来船型と改良船型のプロペラ面における伴流分布計測値の比較を示す。従来船型と比べプロペラ直上位置（0度）での流入速度が増加し、回転方向に対してはより均一化された流場となっている。

キャビテーション試験では、翼面のキャビテーションの



(注) *1: 従来船型の回転角0度での値を1とする。

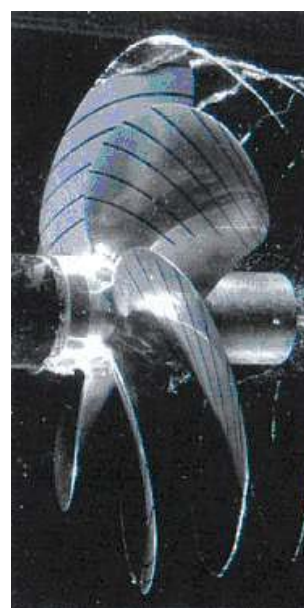
第6図 プロペラ面伴流分布計測値の比較
Fig. 6 Wake distribution on propeller surface

状況が良好であることを確認した。第7図に水槽試験におけるキャビテーションの様子を示す。また、プロペラ変動圧は従来船の値の1/2程度になることを確認した。第8図に水槽試験におけるプロペラ変動圧の計測結果を示す。

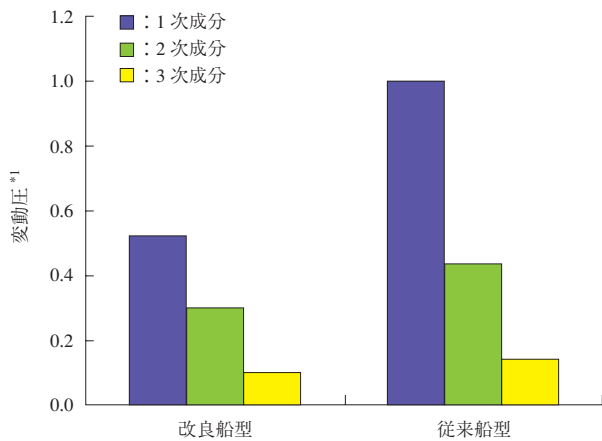
3.4 舵エロージョン対策

大型コンテナ船の高馬力化に伴うもう一つの問題点として、舵面上に発生するキャビテーションエロージョンが挙げられる。上記のプロペラキャビテーション性能向上と平行して、新船型においては舵エロージョン防止の観点から下記の対策を実施した。

- (1) 水平・垂直止水板の装備（ホーン、舵間）
- (2) 舵断面形状の改良
- (3) フレア型プロペラボスの採用



第7図 水槽試験におけるキャビテーション
Fig. 7 Observation of propeller cavitation in water tank



(注) *1: 従来船型の1次成分を1とする。

第8図 水槽試験における変動圧計測結果

Fig. 8 Measured pressure fluctuation

第9図に海上公式試運転後の本船の舵の外観を示す。対策を施した既就航船の舵について就航1年後の状態を観測したが、舵面上の塗装はく離は発生しておらず、本対策の有効性が確認された。また、プロペラ翼面上にキャビテーションのこん跡は見当たらなかったことを付記する。

4. 幅広船型実現のための強度評価

倉内のコンテナ列数を15列から16列へ増やすことで、船体への作用荷重や船首部へのバウフレア荷重の増大、倉口変形量の増加による船体構造への影響が予想される。

本船の開発に当たっては、船主に安心して運航していたため、健全性向上のために強度検討を実施した。このなかから、以下の4項目を紹介する。

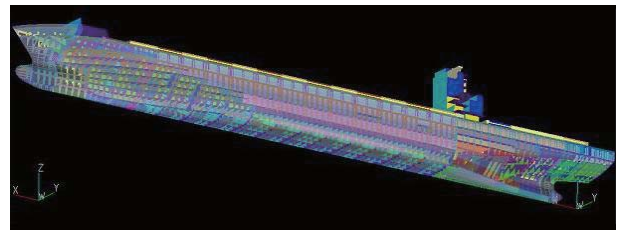
4.1 構造配置検討のフロントローディング

設計変更が容易な設計初期段階で全船にわたり3Dモデルを活用した。第10図に3Dモデルによる構造配置の検



第9図 エロージョン対策を施した舵

Fig. 9 Improved rudder against erosion



第10図 3Dモデルによる構造配置検討例

Fig. 10 Study of hull structural arrangement with 3D model

討例を示す。構造配置が不連続となっている箇所、外板とコンテナフラットとの距離が近く強度面だけでなく工作上も補強が困難な箇所を抽出した。この配置検討モデルから直接有限要素 (FEA) モデルを作成し強度評価を行い、この結果を配置検討にフィードバックすることが可能である。同時に2重船側幅や船首船倉部のコンテナフラット、ガーダ配置の連続性などを確認し、健全性の向上を達成した。

4.2 倉口変形量の増大影響

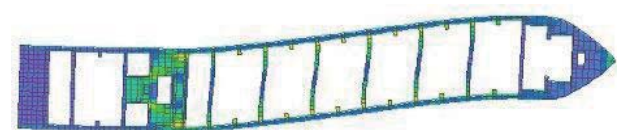
倉内のコンテナ列数の増加は、横隔壁のスパンおよび横隔壁へのコンテナ荷重に影響を与え、横隔壁の前後変形量を増大させる。この変形量の増加は、船の主要目にも影響するため、精度良い変形量の推定、場合によっては変形量自体を抑え込む設計が必要になる。

この精度良い推定のためには、船体ねじり、縦曲げ、前後荷重による各変形量を、各荷重成分の位相を考慮し、正しく重ね合わせる必要がある。ストリップ法による運動計算結果によって各荷重成分の組み合わせを求め、FEAで変形量を算出する (第11図)。以上から積み荷を含めた船全体の安全性を確認した。

4.3 バウフレア荷重による船首部強度

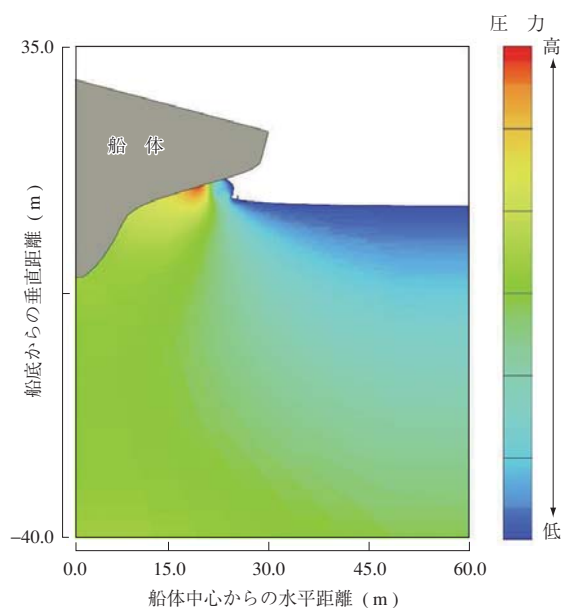
船首部分においては、上甲板付近の幅はコンテナ積載のため広がるが、推進性能のため喫水線付近の幅は大きく変化しない。そのため喫水線上の船体の広がりであるバウフレアは著しく増大する。鋼船規則で、パネルや小骨などの局所的な強度評価は可能であるが、本船のように大きく張り出した構造部分の全体的な評価はできない。

そこで、広範囲の船体形状による影響を考慮するため、



第11図 ねじれモーメントによる倉口変形の計算例

Fig. 11 Deformation by torsional bending moment



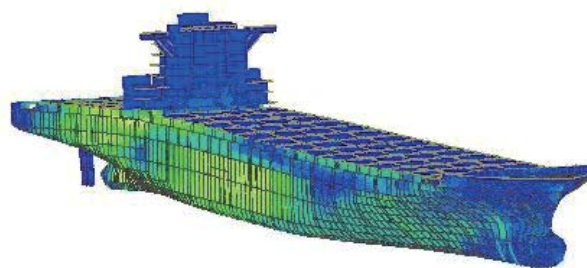
第 12 図 圧力分布の計算例
Fig. 12 Pressure distribution on bow flare

CFD による衝撃圧とその分布を用い、FEA による強度評価を行った。荷重の算出においては、波面との相対速度や横傾斜角が重要なパラメタである。そのため、ストリップ法による運動計算を基に長期予測を行い、計測例との比較検討し、荷重を決定した。第 12 図に圧力分布の計算例を示す。この評価で、バウフレア部に広範囲に作用する衝撃荷重に対し、十分な強度をもっていることを確認した。

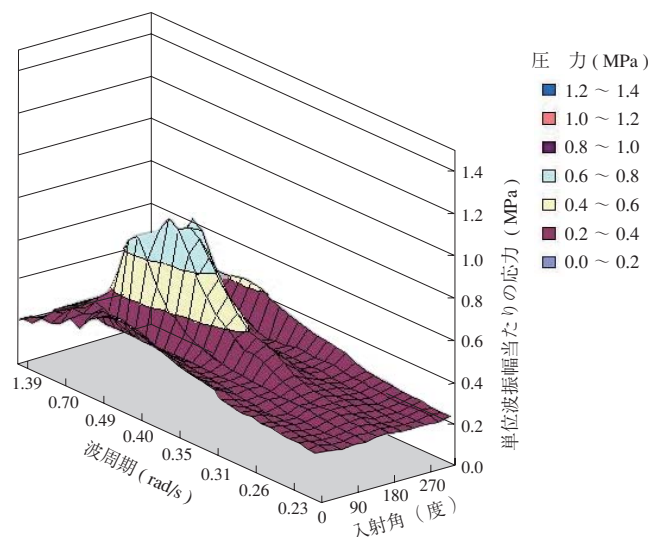
4.4 実海域における船体構造強度

本船の構造強度解析は、従来手法である選定した荷重条件を用いた横強度計算や全船曲げ・ねじり強度解析に加え、財団法人日本海事協会の Notation である PrimeShip DA & FA を取得するための強度解析を実施している。さらに、荷重推定、強度計算、評価を一貫して行う SPB-HULL という強度評価システムを適用して、船体構造の安全性を高めている。第 13 図に SPB-HULL による全船解析例を示す。

本システムでは、実海象で遭遇する可能性のあるすべての波長、波高、位相に対して強度計算を行い、全船にわたる各部位の応力応答関数（第 14 図）を求め、応力の長期予測、疲労寿命を推定する。本システムによって、従来の手法による限られた荷重条件に加え、あらゆる荷重条件



第 13 図 SPB-HULL による全船解析例
Fig. 13 Extensive structural analysis by SPB-HULL



第 14 図 応力応答関数の例
Fig. 14 Stress response function

を考慮した各部位での強度評価が可能となる。従来手法による補強効果の確認、詳細評価が必要な箇所の抽出・検討を実現し安全性を高めている。

5. 結 言

株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドが培ってきた、数多くのコンテナ船設計・建造実績をベースとした個々の要素技術を集大成し、最適な主要目・一般配置を選定し、高い積付効率、推進性能をもつ、信頼性の高いメガコンテナ船を開発した。本船は 8 隻シリーズであり、第 1 船は無事引渡を終え欧州航路に就航している。第 1 船の海上公式試運転では、計画どおりの性能を確認した。