

所外発表論文等概要

<推進性能部>

Series 60 模型周りの造波粘性流場の数値計算法

Numerical Computation of Viscous Flow with Free Surface around a Series 60 Model

塩谷 茂明、児玉 良明

平成8年11月

日本造船学会秋季講演会論文集第180号

船体まわり流れに関してナビエ・ストークス方程式を数値的に解く CFD 計算法は、波無し状態についてはかなり発達してきたが、自由表面波が存在する場合には、自由表面境界条件の困難さから、課題が未だ残されている。本論文では、船舶の周りの造波粘性流場に関する CFD 計算法について、若干の改良を行い、シリーズ 60 船型モデル ( $C_B=0.60$ ) を供試船に数値計算を行い、実験結果と比較した。

シリーズ 60 船型は、以前に計算を行った Wigley 船型より少し肥えた船型であるが、これについても高精度な船体抵抗係数の推定が可能であることを確認した。

粗い格子を用いて、船体を静止状態から徐々に加速して一定前進速度に達する方法で自由表面波の計算を促進した後、密な格子に移行して詳細な粘性流場を計算した。この方法によって、従来の単一格子を用いた場合には発散した計算も収束解が得られ、方法の有効性が確認された。

船体周り流れの計算によく用いられる Baldwin-Lomax 乱流モデルに、船尾縦渦の近傍で渦粘性係数を小さくする強制減衰モデルと、逆圧力勾配のある場所で渦粘性係数を小さくする圧力修正モデルを導入した、SR222 修正 Baldwin-Lomax 乱流モデルを用いて造波粘性流場を計算した結果、修正乱流モデルは、伴流分布等の船尾粘性流場について、従来のモデルよりも実験との一致度が高かった。

計算結果の波形は、船側では実験結果との一致度が非常に良い。しかし、船体から離れるにつれて、計算で得られた波形は減衰が大きく、一致度は低下するため、波紋のシミュレーションは必ずしも良好とは言えない。特に、波長が短くなる低フルード数域でこの傾向が著しい。今後は、タンカーなどの肥大船型の計算、波紋計算の高精度化、碎波を含む自由表面計算法の高度化に取り組むべきである。

CFD 入門 (6) — 任意形状物体まわり流れの計算 —

Introduction to CFD (6) — Computation of Flow around a Body with Arbitrary Geometry —

児玉 良明

平成8年12月

日本造船学会誌第810号 (平成8年12月号)

CFD (Computational Fluid Dynamics、計算流体力学) は、流体運動の支配方程式であるナビエ・ストークス (略称、NS) 方程式を数値的に解くことによって、流体運動を計算機上でシミュレーションする手法である。CFD は数 10 万～数 100 万元の連立方程式を解く大規模計算であり、近年の計算機の発達により初めて工学的実用性をもつに至った。

本文は、船まわりの流れを主な計算対象とした CFD について初歩から説明した連載の第 6 回目であり、流体運動の支配方程式である NS 方程式の、任意形状物体まわりの流れを計算するための離散化法について説明した。

まず、非圧縮流の代表的な計算スキーム (計算法) である MAC 法と擬似圧縮法について説明した。MAC 法では、各時間 step で連続の式が満たされる、いわゆる time-accurate な計算が可能であるが、発散し易い。擬似圧縮法は、time-accurate な計算はできないが、定常流を短い計算時間で求めることができる。

これまでの 1 次元問題に関する CFD の知見を基に任意形状物体まわり流れを計算するためには、物体適合格子と Gauss の積分定理を必要とする。物体適合格子は、計算対象の物体形状に fit した格子であり、物理空間と計算空間の間の写像 (座標変換) を定義する。Gauss の積分定理は、1 次元の場合の定積分の拡張であり、体積積分を、その体積の周囲の面積分に変換する。未知数を格子セルの中心に置き (cell-centered 配置)、格子セルをコントロール・ボリュームとして使用する。

移流項は、連載の第 5 回に説明した風上差分を用いて離散化する。ただし、座標変換を考慮する必要がある。擬似圧縮法では、移流項の信号の伝播速度の形から、流れが必ず亜音速であり、不連続面である衝撃波は発生しないことが保証されている。粘性項は Gauss の積分定理を用いて評価する。

以上により、時間ステップを更新するための連立方程式が導かれる。

## 波浪中における非定常船尾伴流の計測

### Measurement of Unsteady Ship Wakes in Waves

塚田 吉昭、日夏 宗彦、長谷川 純  
平成9年5月  
関西造船協会誌 第228号

船舶の推進性能の評価は主として平水中の性能が重視されているが、実際の運航は風波の伴う実海域で行われるから、このような水域における推進性能の評価もまた重要となる。推進性能を評価する上で、船体周りの流場の把握は重要であるが、波浪中の流場計測例は平水中に比べ少なく詳細な流場データの蓄積が望まれている。さらに今後期待されるCFDによる非定常流場の検証用データの整備の意味からも、詳細な流場データは貴重な資料になると思われる。これらを踏まえ、本研究では、推進性能に影響が大きい船尾伴流の正面規則波中における変化を模型実験より把握することにした。

流場計測には5孔ピトー管計測システムを用いた。通常、時間平均流れの計測に広く用いられているこのシステムは、予備調査から実用的にも波浪中の流場計測が可能であることを確認した。

実験は波浪中で船体縦運動を自由にした状態と拘束した状態、および平水中で強制動揺装置による船体強制ピッチング状態の計測を実施し、これらの比較検討から伴流に対する船体運動や波浪との関係を調査した。

波浪一周期の平均流速成分から、伴流係数  $(1-w)$  は実施したすべての状態で平水中の値に比べ大きく、長波長では船体動揺による影響が、短波長では波浪の振動周波数影響が大きいことが確認された。循環  $(\Gamma)$  は船体拘束状態でその増加がもっとも大きい、強制ピッチング状態では逆に減少することがある。

波浪一周期にわたる  $1-w$ 、 $\Gamma$  の変化を見ると、運動自由状態の  $1-w$  の変化は船体拘束と強制ピッチング状態の重ね合わせでその変化が説明できる。また  $1-w$  の振幅は船体固定状態では短波長の方が長波長より小さく、波長の短い方が船体の影響を強く受けている。 $\Gamma$  は強制ピッチングで見ると船首上げで  $\Gamma$  が減り、下げで大きくなる傾向があり、上下流の影響が大きい。なお、運動自由状態の  $\Gamma$  の変化は、今回のデータだけでは一般的な傾向を見いだすことは出来なかった。

今後の波浪中推進性能の解明や非定常流場の数値計算結果の有効性の検証等に本データの活用が期待される。

## 非構造格子法による自由表面粘性流れの計算

### Computations of Free Surface Viscous Flows by an Unstructured Grid Method

日野 孝則  
平成9年7月  
日本流体力学会第8回計算流体シンポジウム論文集

急速に発展しているCFD (Computational Fluid Dynamics) 技術であるが、工学的設計ツールとして用いるためには、複雑形状物体のまわりの流れが簡便に計算できることが必要である。船舶・海洋工学においても、高速船における複合船型やある種の海洋構造物など、複雑形状をもつ物体を扱う必要性は高い。

CFDにおいて複雑形状を扱う手法として種々のものが提案されているが、その中で非構造格子法は格子セルの形状及び並べ方に自由度を与える方法であり、最も柔軟性に富むものである。

ここでは、非構造格子法による非圧縮性ナビエ・ストークス方程式の数値解法に非線形自由表面条件を組み込み、複雑形状まわりの自由表面粘性流れをシミュレートする手法を開発した。

支配方程式は非圧縮性のナビエ・ストークス方程式であり、乱流に対応するためにレイノルズ平均を施す。また、定常流れを対象とし、連続の式に擬似圧縮性を導入する。次に非構造格子による空間分割を行ない、有限体積法によって支配方程式を離散化する。時間積分はオイラー陰解法によって行なう。まず時間に関して線形化を行ない、得られた連立方程式はヤコビ法による反復で解く。乱流モデルとして、Spalart-Allmarasによる1方程式モデルを用いる。

境界条件は、流入境界では流速を一樣流とし圧力をゼロ次外挿で与え、流出境界では、逆に流速をゼロ次外挿し、圧力をゼロに固定した。物体境界では流速はゼロ、圧力をゼロ次外挿で近似するNo-slip条件とした。自由表面条件は力学的条件と運動学的条件から構成される。力学的条件として、自由表面上の流速を内側からゼロ次外挿し、圧力を大気圧と等しく与えた。運動学的条件は自由表面形状を波高関数で与えれば、その実質微分がゼロという条件となる。これをナビエ・ストークス式と同様に有限体積法とオイラー陰解法による時間積分で時間発展的に解いて自由表面形状を得る。

2次元水中翼まわりの自由表面流れに対して適用した結果、実験結果とよく一致する波高分布が得られ、本手法の有効性が示された。

<運動性能部>

応答から見た波浪の諸問題

Problems of ocean waves from the point of view of ship response

富田 宏、平山 次清、馬 寧、  
新開 明二、石田 茂資、小川 剛孝  
平成9年6月

日本造船学会 第13回運動性能研究委員会シンポジウム

船舶および海洋構造物の計画、設計に関しては、波浪あるいは荷重が与えられればかなりの精度で運動および構造応答の推定が可能となってきた。しかし、それらに必要な海洋波浪の短期、ならびに長期にわたる特性については現在に至るも、十分なデータと確立した知見が得られているわけではない。ここでは沖合での海洋波浪を中心として現状での波浪に関する諸問題を特に応答の観点からまとめるとともに将来に対する提言も試みている。内容としては、まず船舶の総合性能保証の一環としての波浪中性能保証の提言と可能性の検討を行い、次にそのためのバックアップデータとしての海洋波浪データの現状について、取得方法、データベース、シミュレーション等の各方法を通覧し、続いて波浪統計の船舶・海洋構造物分野への応用に関する最新の成果を披露する。後半は主に設計波の問題についてその周縁の諸問題を取り上げている。則ち、設計波の規準を考える際に常に悩みの種となる異常波浪の問題を、ここでは単に統計的な問題としてのみならず、その物理的な実在について詳しく説明している。更に実海域の海象を記述するための道具として必須のものながら従前から種々の誤解、誤用等の問題点を孕んできた海洋波のスペクトル、殊に実用上重要な標準スペクトルについて、最新の状況とその中での進むべき方向についての提言をしている。

最後に、これらの知見を踏まえて波浪中性能保証を現実的に可能とすべくするために必要な水槽試験法、特に、設計波浪、異常波浪の造波法等、海洋波浪の水槽中への再現についての最新技術の総括と問題点について述べている。

非線形問題への挑戦

Challenge to Nonlinear Problems

谷澤 克治、内藤 林、荒井 誠

平成9年6月

日本造船学会 第13回運動性能研究委員会シンポジウム

波浪中における船舶の長期性能予測の問題を考えると、比較的穏やかな海象中での船舶の挙動だけでなく、荒れた海象中での挙動を精度良く推定できることが望ましい。本稿「非線形問題への挑戦」は第13回運動性能研究委員会シンポジウムテキストの[セッション3]の稿で、船舶海洋流体力学の種々の非線形問題の内、船舶の実海域での性能推定を行うために克服すべき非線形問題と、これらを克服するための新しい理論や数値計算法の解説を目的として執筆したものである。本稿は第1章 緒言、第2章 実海域における凌波推進性能、第3章 時間領域の非線形数値計算法、第4章 結言から構成されており、船舶技術研究所は第3章を分担執筆した。第3章では(1)時間領域において波浪中の大振幅浮体運動をシミュレートするための基礎理論と加速度ポテンシャルを用いた加速度場の定式化、(2)現在知られている加速度場の3種類の解法(モード分解法、繰り返し計算法、陰境界条件法)、(3)時間領域の非線形シミュレーション法、(4)計算精度の検証、(5)減衰領域による波の反射防止法、(6)大振幅動揺、船側水圧解析、入射波と係留浮体の長周期動揺との相互作用の解析、パラメータ横揺れの解析等への非線形シミュレーション法の応用例、(7)本計算法の3次元問題と流力弾性問題への拡張について解説した。また最後に、わが国造船技術の将来戦略の一環として数値計算技術を位置づけることの必要性を提唱した。

## 安全性に関する国際規則と船体運動研究

### Recent Researches and Trends on the Regulations for the Safety of Ships

田口 晴邦、渡部 巖、芳村 康男

平成9年6月

日本造船学会 第13回運動性能研究委員会シンポジウム

本論では、近年国際海事機関（IMO）において条約規則の制定作業が行われた、或いは審議中の安全性に関する国際条約規則類の内、船体運動に関係する復原性、満載喫水線、操縦性に関する規則の動向とそれに関連した研究の動向を紹介している。

まず、復原性基準については非損傷時復原性と損傷時復原性に分けてこれまで議論されてきた課題の紹介とその根拠をなす考え方や情勢の変化について紹介する。具体的には非損傷時復原性については追い波中の復原性と操船ガイダンスの問題をまず述べ、次に非損傷時復原性コードのまとめ作業について紹介する。損傷時復原性については損傷時復原性と波浪影響の関係を述べ、それとの関連でエストニア号事故を契機に行われたRO-RO客船の復原性の問題を取り上げる。そして最後に新しい基準のあり方といわれる確率論的損傷時復原性規則の現状について触れている。

次に、満載喫水線基準については、国際的にはIMOの1966年国際満載喫水線条約において、国内的には満載喫水線規則に定められているが、両者とも制定後30年以上が経過し、現在船の耐航性研究の成果を活用して見直し作業が進められている。本論では、満載喫水線基準の見直しに関連した検討作業の経緯、現状及びそれに対応して我が国で実施した調査研究の概要並びに関連した研究課題について紹介している。

また、船の操縦性基準については、大型タンカーやケミカル・キャリアの事故を契機にIMOで検討が開始され、その結果、1993年11月に暫定操縦性基準：A751（18）が採択され、1994年7月1日から起工される船長100m以上の船舶及び全ケミカル・キャリアに試行されることとなった。本論では、今日までの操縦性研究の成果がどう基準作りに関わって来たかを中心に要約する。また、本基準はまだ暫定であり、将来確定し法制化するにはまだ数多くの解決すべき問題が残されており、これらの点についても、今後対応すべき方向を検討している。

## 自由航走模型船の水中超音波による位置計測システム

### Ultrasonic Positioning System for Free Running Model Ships

二村正、上野道雄、藤原敏文、野中晃二、小川陽弘

平成9年7月

可視化情報学会誌（1997 Vol. 17 Suppl. No. 1）

船舶技術研究所には、主に船舶の安全性の研究を行うための一辺が80mの正方形の水面を持つ角水槽がある。この角水槽では、以前より無線操縦で自由航走する模型船の位置や速度を水中超音波により計測している。最近、この水中超音波による位置計測システムは、計算機の処理速度の増加や新しく開発したプログラムにより、リアルタイムでの模型船の航跡、速度、進行方向、偏角の計測、表示が可能となった。

本報告では、船舶の安全性の研究に馴染みのうすい可視化情報学会の研究者に対し、船舶技術研究所の角水槽で行われている操縦性試験（旋回試験やZ試験）について紹介した。また、水中超音波による位置計測システムの機器構成、新しく開発したプログラムの内容、リアルタイムで表示される航跡について示し、このリアルタイムで表示される位置計測システムを利用した実験技術について紹介した。

この水中超音波による位置計測システムを用い、固定点での位置計測と実際の自由航走模型船の位置計測を行い、その計測精度について検討した。角水槽のほぼ中央の固定点の位置計測結果は、数点を除き半径1cmの範囲に収まり、精度良く計測されていることを示した。実際の自由航走模型船を用いた位置計測精度については、リアルタイムで求められた模型船の位置から方位角や回頭角速度などの運動を計算し、模型船上に搭載したジャイロの計測値と比較した。その結果、両者にほとんど差が無く、固定点の位置計測精度と同程度の精度であり、この位置計測システムによる位置計測精度は、船舶の安全性の研究を行うための運動計測に十分であることを示した。

## &lt;構造強度部&gt;

## Long-term Prediction of the Wave Load for VLFS

超大型浮体構造物の波浪荷重についての長期予測

遠藤 久芳、矢後 清和

平成9年4月

Proceedings of 16th International Conference on Offshore  
Mechanics and Arctic Engineering

VLFS (超大型浮体式海洋構造物) の信頼性設計を念頭において、稼働寿命中に受ける波浪荷重について、その最大の大きさを統計的に推定するケーススタディを行った。例として採り上げたのは、メガフロート技術研究組合が実海域実証試験を実施中の300m×60mの大きさのVLFSであり、その稼働寿命を100年と想定した。VLFSの想定設置海域は比較的静穏な内海であり、19年間の波データが蓄積されている。この19年間のデータを基にして、100年間の特性を統計的に推定した。100年最大の波浪荷重を推算するために、2種類の長期予測法と1種類の短期予測法(設計スペクトル法)を採用し、その結果について比較検討した。

荷重の不確実性要因として、統計的要因、モデリングエラーについて評価した。モデリングエラーは、応答解析において生ずる推算誤差であるが、この誤差の大きさについては、水槽における不規則波中実験結果との比較検証により3%と評価した。長期予測(1)は通常の前測法であり、100年間の短期応答の標準偏差を用いた確率分布から、最大値を推定した。長期予測(2)では、短期応答の最大値を用いてその100年間の確率分布から同じく最大値を推定した。設計スペクトル法では、先ず波データから100年間で最も厳しい短期海象を統計的に抽出して、この短期応答中での最大値を推定した。

3つの方法から得られた100年最大波浪荷重の推定結果を比較すると、2つの長期予測法により得られた荷重は平均値はほぼ同じ大きさであり、変動係数はやや(2)法の方が大きかった。ただし、両長期予測法共に、この変動係数の値は6~7%と小さい値であった。設計スペクトル法によれば、長期予測法に比べて、その推定値は約34%大きく、変動係数は約2倍の大きさとなった。

長期予測から得られた100年最大波浪荷重をVLFSのデッキの応力に換算すると、平均150MPa、標準偏差10MPaであり、降伏応力を十分下回る程度であった。

## &lt;機関動力部&gt;

## Study on the Exhaust Emissions of NOx and Particulate Matters from a Marine Diesel Engine with Emulsified Fuel

エマルジョン燃料を使用した中速船用ディーゼル機関からのNOxおよびパティキュレートの排出特性についての研究

中島 康晴、塩出敬二郎、菊地 正晃、桑原孫四郎  
平成8年11月Proceedings of 3rd International Marine Engineering Conference  
(第3回 国際船用機関会議 講演予稿集)

現在、船舶からの排出ガスについて国際的な規制案が国際海事機関(IMO)において審議されている。規制の主たる対象である窒素酸化物(NOx)に対する有力な低減技術として、燃料油と水を混合して得られるエマルジョン燃料が検討されている。さらに、エマルジョン燃料の使用により、NOxと同時に大気汚染物質であるパティキュレート(すすなどの粒子状浮遊物質)の排出が低下したという報告もある。そこで著者らは重油と水を混合してエマルジョン燃料を調製し、これを用いた場合のNOxおよびパティキュレートの排出特性を検討した。

実験は、4-サイクル中速船用ディーゼル機関を用いて行った。エンジンを定格出力の75%で運転し、加水率10~50%(A-重油)または10~20%(C-重油)のエマルジョン燃料を燃焼させてNOxおよびパティキュレートの排出率を測定した。NOxの排出率は加水率の増加に伴って単調に減少し、A-重油の場合、加水率50%の場合に水を添加しないときに比べて25%以上減少した。C-重油の場合でも同様の傾向を示した。一方、パティキュレートの排出率はこれとはやや異なる特徴を示した。A-重油の場合、加水率30%において25%以上減少したが、それ以上では減少量は低下した。また、C-重油の場合、加水率10%において約8%減少したが、水添加率20%では0%の場合とほぼ同様であった。また、加水率30%のA-重油系エマルジョン燃料を用いて、エンジンを定格出力の25%、50%および75%で運転してNOxおよびパティキュレートの排出率を測定した。NOxの排出率は出力の増加に伴って減少した。一方、パティキュレートの排出率は出力50%においてもっとも低下した。

これらの結果から、NOxおよびパティキュレートの排出特性について次のように推測される。NOxは、そのほとんどがサーマルNOxであるため、加水率の増加に伴って系の温度が低下し、それにより排出率が低下する。一方、パティキュレート場合は、噴射された燃料液滴内の水粒子がマイクロ爆発を起こし、より小さな燃料液滴が形成され、局所的な空燃比が向上してより完全に燃焼し、排出率が低下する。しかし、加水率がある程度以上増加すると系内の温度がかなり低下し、燃焼が不十分になってパティキュレートの減少量が低下すると考えられる。

## 蒸気の凝縮に及ぼす多量の不凝縮ガス及び冷却温度の影響

## Effects of Large Amount of Non-condensable Gas and Cooling Temperature on the Vapour Condensation

汐崎 浩毅、波江 貞弘

平成9年7月

日本混相流学会 第16回混相流シンポジウム講演論文集

多量の不凝縮ガスを含む蒸気の凝縮現象は、ディーゼル主機やボイラ等動力装置の排ガスからの顕熱・潜熱回収によるエネルギー利用効率の向上や、燃料電池、海中動力源における二酸化炭素分離技術と関連して注目されている。同様な現象に関する研究は、新形式を含む原子炉における崩壊熱除去あるいは中低温排熱回収用2成分混合冷媒サイクルにおける凝縮器等に関しても実施されている。しかしながら、統一的な観点からこれら各分野の結果を比較考察した例は少ない。本報告は、各分野に共通する課題として、凝縮現象における熱伝達と物質伝達に及ぼす不凝縮ガス濃度（あるいは蒸気濃度）ならびに冷却面温度の影響に注目している。従来検討が十分でなかった乱流気相側の拡散抵抗を中心とする解析手法について相互比較を行うとともに、各分野で得られている実験データの整理、不足する条件に対するデータの収集を目的としている。

研究成果として、以下の結論を得ている。(1)本研究で提案した表示法を用いると各分野にわたる広い範囲の蒸気濃度や冷却温度に対して、また気相が層流、乱流の場合を含めて、その拡散抵抗を統一的に比較考察することが可能である。(2)冷却温度の減少につれ吸込み境界層の影響は大きくなるが、凝縮液膜界面での不凝縮ガス濃度の効果は小さくなるため、総合結果として熱と物質伝達の間通常成立するアナロジーで推測される値からのずれは減少する。一方、界面蒸気濃度が主流蒸気濃度に近い場合においては、蒸気濃度の増加につれ通常のアナロジーによる推測値（吸込み効果もない）からのずれは大きくなる。(3)各分野での実験値間および解析結果との間で、傾向はほぼ一致している。また、今回新たに収集したデータの傾向も解析結果と矛盾するものではない。広範囲のデータの取得ならびに解析との詳細な比較検討が今後の課題である。

## &lt;材料加工部&gt;

## ステップ励磁電流を用いた電磁誘導法による鋼板厚測定手法の検討

## Steel Thickness Measurement by an Electromagnetic Method with a Step Exciting Current

成瀬 健、島田 道男、吉井 徳治

平成9年5月

非破壊検査第46巻5号

現在、船舶検査では、船体構造部材の腐食衰耗量を超音波板厚計により測定している。しかし、腐食の度合の著しい部材では表面の凹凸が大きいため、計測に必要な安定した接触を得るために、表面処理に多大な労力を要する点が問題となっている。そこで、表面状態に影響されにくい板厚計測法として、材料の情報を非接触で得られる電磁誘導法に注目した。しかし、船舶等に用いられる厚さ10mm以上の鋼板厚測定に電磁誘導法を試みた例は現在のところ見られない。その理由として、磁性金属である鋼は表皮効果が大きく、板厚方向の磁束密度減衰が大きいため挙げられる。そこで著者らは、表皮効果の少ない低周波数交流励磁電流による鋼板厚測定の可能性を有限要素法（FEM）解析により検討した。その結果、鋼板の励磁コイルと反対側空間において板厚による磁束密度分布の変化を確認し、厚さ20mm程度までの鋼板厚測定の可能性を示した。しかし、この結果をもとに実験を試みたところ、交流励磁電流では鋼板を透過した磁束と鋼板の外側を回り込んだ磁束の分離が困難なため、測定に適さないことが分かった。

本研究では、鋼板を透過した磁束と鋼板の外側を回り込んだ磁束を分離して計測することをステップ励磁電流により試みた。また、本方法による鋼板厚測定の可能性を検討するため、厚さの異なる試験片を用いた実験とFEM過度磁場解析を実施した。

実験およびFEM解析から得られた検出コイル電圧波形には二つのピークが現れ、最初に現れた第一ピークが鋼板の外側を回り込んだ磁束によるピークであり、次に現れた第二ピークが鋼板を透過した磁束によるピークであることを確認した。また、第二ピークから抽出した波形パラメータ（「振幅」、「遅れ時間」および「半値幅」）がいずれも厚さ21.8mmまでの範囲で板厚と相関関係にあることを確かめ、それらによる鋼板厚測定の可能性を示した。中でも、励磁・検出両コイルリフトオフと励磁電流振幅の影響を最も受けにくい「遅れ時間」が板厚測定に有効であることを示した。また、鋼板の透磁率が検出電圧に大きく影響することも確かめた。

## Al-Mg及びAl-Mg-Si合金の耐海水性に及ぼす組織の影響

Effect of microstructure on the Corrosion Resistance of Al-Mg and Al-Mg-Si Alloys in Seawater

高橋千織、松岡一祥、千田哲也、古古典子、矢野不二夫  
平成9年5月  
(社) 軽金属溶接構造協会 平成9年度研究発表会講演集

平成5年度から6年度にかけて当研究所で行われた6NO1アルミ合金を中心としたAl-Mg及びAl-Mg-Si合金の人工海水中での腐食試験結果に対し、金属組織の見地から検討を行った。また、船舶用として製造された6NO1合金実用材についても同様の調査を行い、その結果を報告した。平成5年度及び6年度の腐食試験の結果、二つのシリーズには腐食量、腐食形態に大きな違いが見られた。電子プローブマイクロアナライザを用いた元素分布の分析結果から、この二つのシリーズでは特にMgの分布状態が著しく異なることが判った。平成5年度のシリーズでは腐食形態は孔食であったが、このシリーズではMgがマトリックス中にほとんど存在しておらず、多くが晶出物の形で析出していた。一方、大部分のMgがマトリックス中に存在する平成6年度のシリーズでは腐食形態は粒界腐食型であった。このことから、腐食形態や腐食量の違いは、析出物の分布状態などの組織の違いに関係すると推測された。X線回折分析の結果とも合わせると、腐食形態の違いは主にMg<sub>2</sub>Siの分布状態に依存して生じているものと推定された。また、二つのシリーズにおけるこのような組織的な違いは合金元素の添加量あるいは加工熱処理条件の違いに起因すると考えられたが、どの因子がどのように影響を与えているかは今回の検討範囲では明らかにできなかった。しかしながら、特定の製品規格内であっても合金元素の添加量あるいは加工熱処理条件が異なれば、その腐食形態や腐食量は大きく異なる可能性が示された。そこで、実際船舶用に製造されたアルミ合金についても組織的な違いがどの程度あるかを調べたところ、実用の6NO1-T5材でも製品ごとにMgの分布状態に大きな違いのあることが明らかになった。すなわち、同一規格内の実用材においても、製品部材の組織に依存して形態の異なる腐食が選択的に生じる可能性のあることが示唆された。

## &lt;装備部&gt;

## On the Evaluation of Resistance of Vessels in Level Ice Through Stopping Performance Tests

停止惰力試験による平坦氷中の船舶の抵抗に関する評価について

間島 隆博、加納 俊幸、宇都正太郎、泉山 耕  
平成9年4月

PROCEEDINGS OF THE 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON OMAE 1997

1996年2月、海上保安庁の砕氷型巡視船「てしお」、「そうや」、耐氷型巡視船「ゆうばり」の3船を用いてオホーツク海の氷海域で実船砕氷試験が行われた。ここでは、その試験項目の一つである停止惰力試験を中心に解析を行い、得られた各種のデータから、氷海中における実船の抵抗を推定する方法を提案した。具体的には、砕氷時の船の抵抗は速力に対して線形であるという仮定のもと、推力を発生せず惰性のみで砕氷する船の運動方程式は下式のように単純化され、最終的に停止距離、停止時間、初期速度の3データを最低2組用意すれば未知数である、 $R_0$ 、 $R_1$ が求まり、船の抵抗が推定できるというものである。

$$\frac{W}{g} (1 + \kappa) \frac{dV}{dt} + R = 0$$

$$R = R_0 + R_1 V$$

ここでgは重力加速度、Wは排水量、 $\kappa$ は付加質量、Vは船速、tは時間、Rは抵抗、 $R_0$ 、 $R_1$ は抵抗の未知数である。

さらにその手法を用いた結果より停止惰力試験中の船速の時間履歴を計算して試験値との比較検討を行った。その結果、一部のケースについては外れるものの、両者は比較的良好に一致することが示された。

さらに、砕氷中の船の抵抗を主要目を用いた無次元化を行い、抵抗係数を算出して3船の主要目による砕氷能力の違いを明らかにした。この結果、砕氷型巡視船である、「てしお」、「そうや」については速力Vに依存しない抵抗成分 $R_0$ 、つまり船が氷と接触したとき氷を砕いて速力を得るのに最低必要な推力に対する抵抗が小さく、無次元化された全抵抗で考えると耐氷型巡視船「ゆうばり」と比較して砕氷能力に優れていることが示された。

## 紫外レーザー励起による流出油の蛍光検知

## Fluorescence Detection of Spilled Oil by UV laser

山岸 進、山之内 博

平成9年7月

第18回レーザーセンシングシンポジウム講演集

ナホトカ号海難事故の経験から、輸送中の大量の油または化学物質の流出防除作業を支援する監視技術の重要性が再認識された。本報はパッシブ手法やマイクロ波による方法を補うものとして、汚染画像を実時間表示する蛍光ライダーに関するフィージビリティスタディを行い、実用性を確認したものである。

ここで述べるのは、紫外線レーザー照射によって生ずる蛍光をバンドパスフィルターと高速ゲート操作付きイメージインテンシファイアとCCDを用いて観測し、実時間で画像表示するシステムである。ラマン散乱光またはクロロフィルの蛍光にバンドパスフィルターの通過波長を合わせておけば、油膜部分が影として表示され、この減光度合いから膜厚さを推定することも可能となる。想定したシステムで理論的推定を行うと昼間でも有効観測距離約350mと実用的な計測が可能と考えられる。成分の濃度を直接測定することは困難であるが、成分識別情報は保持されている。高速ゲート操作は、背景光雑音の除去と蛍光減衰時間特性を利用した成分識別にとって重要である。このためレーザーパルスと蛍光の時間特性についてさらに詳しく検討することが必要となる。実験では、YAGレーザーの3倍波（THG）で試料を照射して、蛍光を入射方向に対して垂直方向から観測した。軽油、A重油、C重油それぞれ特徴が見られるが、スペクトルはブロードなもので単独フィンガープリントとすることは困難である。

スペクトル10nm毎の積分強度について減衰時定数を算出した結果、短波長側の時定数は非常に小さいが、長波長側の減衰時間は約25nsecを示しており、寿命の短い蛍光特性と長いものが混合していると見なせる。

## 高速巡視船の波浪衝撃加速度と衝撃緩衝用椅子の効果について

## Acceleration and the Effect of Shock Absorbing Seat on High Speed Patrol Ship in Rough Sea

原野 勝博、今里 元信

平成9年7月

(社)日本機械学会 第6回交通・物流部門大会講演論文集

近年緊急の用務に対応するために巡視船の高速化が図られているが、波浪中を高速で航行する船舶は大きな波浪衝撃を受けるので、乗務員の労働環境保護の一環として衝撃緩衝装置付き椅子（シートダンパー）を操舵室等に装備する巡視船艇が多くなっている。100トン以下の小型の巡視艇船の乗員の受ける加速度の実態調査については神田等の詳細な報告があるが、最近建造された350トンクラスの高速度巡視船の耐波試験の一環としてその波浪衝撃加速度を測定する機会を得たので、衝撃緩衝効果について疑問視する報告もでてきているシートダンパーの緩衝効果の調査を併せて行った。得られた結果は以下の通りである。

- (1)うねり波高2.5m中を速力24ノットで航走中の350トン型の巡視船の上下方向加速度は、5分間で最大1.7G、動的応答指数（DRI）で2.0、1/3最大値で0.47G、動揺域乗り心地指数（VRQI）で0.233Gであり、非常に厳しい環境であると伝える。（米国海軍の基準で見ると、許容曝露時間は55分に相当するレベルである。）
- (2)シートダンパーに着座したときのダンパーの固有振動数は1.8Hz前後であり、衝撃加速度が4Hz以上のスペクトルを有しないと緩衝効果はないと考えられ、試験機による実験、実船実験もそれを裏付ける結果が得られた。
- (3)シートダンパーに波浪衝撃の緩衝効果は認められなかったが、20～80Hzの体感振動域では明瞭な防振効果が確認された。
- (4)本論文で提案した人体腰部の加速度計測法は、かなりの測定精度があることがわかった。



&lt;システム技術部&gt;

## 操船システムの統合化

## Integration of Navigation Support System

小瀬 邦治、石岡 靖、福戸 淳司

平成9年6月

日本造船学会シンポジウム「船体運動およびその制御と海象」テキスト

現在、大型船の海難事故による海洋汚染に対する関心が全世界的に高まり、より以上の安全性を求められている。また、海運国としての競争力を維持していくため、コストの低減を含むサービスの向上が求められており、運航システム自体の大きな改革が求められている。このような状況の中で、従来のような各種機能の追加のみによる改善では、サービスの向上要求に対する対応およびより一層高いレベルでの航行の安全の確保が困難になっている。このため、安全航行に必要な操船機器の諸機能を、人間との関わり合いを十分考慮して、統合化を行い、人間にとって使い易く、間違いの起こり難い操船システムが求められている。

本報告では、まず、物流としての海運の現状と問題点を指摘した後、近年利用可能になったGPS、電子海図、ARPA等の新しい技術の紹介および将来への展望を行った。次に、航空機や原子力プラント等、他業種の物も含めた運転支援システムの動向と展望を人間と機械の関係とその安全性の確保の方法に注目して紹介を行った。最後に、船舶の運航に関する特殊性とその支援に必要な機能を示して、現在実現化されているあるいは実現されつつある統合操船システムの実例の紹介を行い、今後の発展の方向について議論した。

本報告により、操船システムの統合化の必要性が認識され、この分野の研究が進むことが望まれる。特に、操船者を含めたシステムとして統合化することの重要性が認識されると期待される。

また、現在可能な技術および統合操船システムに求められる機能と使用環境が理解されることにより、統合化の方法や必要機能が明確になることを期待する。

&lt;原子力技術部&gt;

## プール水中における高圧飽和水のフラッシング

## Flashing of High-pressure Saturated Water into Pool Water

綾 威雄、賞雅 寛而、近藤 宏一

平成9年1月

日本原子力学会誌 39巻1号

実用原子力商船に搭載される船用炉として、受動安全性を高めた水張り格納方式を採用した炉型(受動安全型船用炉)が有望だと考えられている。水張り格納方式においては、一次系破断事故(LOCA)のような設計基準事故時に、破断口から高圧飽和水が低圧の常温水中に放出される。放出された飽和水の一部は、フラッシングにより蒸気になるが、回りの冷水と直接接触するため急速に凝縮する。従来、フラッシングと凝縮が共存する現象についての研究はほとんど行われておらないため、受動安全型船用炉の事故時の健全性を確認するには、このフラッシング-凝縮現象を解明する必要がある。

本研究では、その第一段階として高圧飽和水の大気圧放出実験を行った。実験パラメータとして、飽和水圧力(0.4~0.9MPa)、放出口径(4, 5, 6mm)及びプール水温(20, 30, 40, 50℃)を選んだ。実験結果から、フラッシングが放出口近傍(Phase A)と放出口からある程度離れた位置(Phase B)で交互に生じる現象(フラッシング振動: Flashing Oscillation, FO)が実験範囲内で起きることが分かった。ベント管内とプール水中の圧力は、FOに同期して振動し、圧力振動のピークはPhase Bで生じる。FOのコントロール容積はプール水中放出高温水と蒸気泡であることを確認した上、FOの周波数に及ぼす実験パラメータの影響を調べるための線形解析を行った。その結果、振動周波数 $\nu$ は、現象が凝縮に支配されると仮定した場合の次式でほぼ表せることが分かった。

$$\nu = \text{const.} \Delta T^{5/6} dv^{-3} P_H^{-1/4}$$

ただし、 $\Delta T$ : サブクール度、 $dv$ : 放出口径、 $P_H$ : 放出水圧力である。

< 海洋開発工学部 >

超大型浮体式海洋構造物に作用する風荷重

Wind Loads Acting on Very Large Floating Structures

北村 文俊、佐藤 宏、島田 潔、三上 隆

平成9年4月

第16回海岸工学・極地工学に関する国際会議 OMAE' 97 論文集

超大型浮体式海洋構造物 (VLFS) は、比較的低い乾舷高さに対し、極めて巨大な甲板面積を持ち、空港や電力プラント等としての利用が可能なのである。本論文では、風洞実験の結果に基づき、VLFSに作用する風荷重の実際的な推定方法を提案している。

VLFSと一般的なサイズの海洋構造物との違いは、次の3つの点である。(1)風速風向が必ずしも構造物すべての場所で一様ではなく、場所により異なることがある。(2)風の表面摩擦抗力の割合が大きく、圧力抗力と比べて同じオーダーになる。(3)空力アドミッタンスは重要であるが、定常風荷重と比較して変動風荷重は小さい。

風洞実験は3種類の模型を用いて行った。まず、二次元模型により、大気境界層の風速分布も考慮して摩擦抗力特性を調べた。摩擦抗力は、検力計により直接計測した。さらに風の変動による摩擦抗力の変動分を測定し、空力アドミッタンスについて検討した。次に、三次元模型を使って、構造物全体の風荷重に対する、風向影響について調べた。同時に構造物側壁の圧力分布についても測定した。さらに、構造物コーナーの部分模型を用いて、凸および凹の2種類の、コーナー付近の側面の圧力分布を測定した。その結果、コーナーの影響は、コーナーから乾舷高さのおよそ10倍以内の部分に限られることが明らかになった。

VLFSの風荷重の実際的な推定方法は、係留装置の容量と数の決定などの際に有効である。デッキ上の構築物等の影響の検討が今後の課題である。

Estimation of Dynamic Towline Tension During Towing by the Probabilistic Method

曳航時の動的張力の確率的手法による推定

原 正一

平成9年5月

7th International Offshore and Polar Engineering Conference Proceeding of ISOPE 1997

近年、海洋空間の有効利用のための大型海洋構造物の構想が数多く発表されている。このような巨大な海洋構造物の建造は、従来の規模の海洋構造物のように全てドックで完成させる建造方式ではなく、海洋構造物のユニットをドックで建造、設置海域まで曳航による輸送、洋上接合によってユニットを接合して完成する方式が採られると考えられる。このユニットは300m規模の浮体構造物と想定され、従来の被曳航浮体に較べて非常に大型のものとなり、大型海洋構造物の曳航時の安全性評価手法を確立する必要がある。

曳航索の張力は、定常張力に変動張力が加わる。非定常な現象である変動張力は、曳船と被曳航浮体の相対的な位置の変化にともなう相対運動、あるいは索が水中で動揺することによって生じる。前者は、波による周波数成分と長周期成分の重畳した運動であり、後者は、索が水をきる速度の2乗に比例する抗力成分である。動的な張力を確率的に捉えた研究としては、安藤らが小寺山らが示した動的張力を表現する式を用いて、係留ラインに働く動的張力の確率密度関数を導いた。一方、Borgmanらは、抗力項と慣性力項の結合確率密度関数から、海洋構造物などの要素部材に働く波及び流れによる力の確率密度関数を求めた。Vinjeは、波と流れが共存する場合のモリソン型の波力の極値分布を示した。また、波力が大きい場合のアップクロスの平均値の漸近解を示した。Naessは、これより最大極大値の期待値を表わす式を導いた。

本報告では、曳航時の曳船と被曳航浮体の相対距離が大きくなった場合、静的索張力が指数関数的に増加することを考慮して、曳航索張力を曳航索が変動する変位速度の2乗に比例する抗力項と復原力を指数関数で近似した非線型復原力とで表現する。いわゆるクロスフロードラッグと非線型復原力を用いた理論モデルにより、曳航時の変動索張力の確率密度関数及び最大極大値の期待値を求める式を導くことを試みたものである。これは、従来の線型な復原力項を用いた式を一般化したものと考えられることができる。さらに、シミュレーション計算によって、導かれた理論式の有効性を実証した。

<氷海技術部>

砕氷型巡視船「てしお」の氷中航行性能について (その2)  
プロペラと氷の干渉に関する実船試験

Performance of the Patrol Icebreaker “TESHIO” in Ice-Covered Waters (Part2) Full-scale Test Results of Interaction between Propeller and Ice Blocks

田村兼吉、泉山 耕、宇都正太郎、下田春人、岸 進  
平成8年11月  
日本造船学会論文集 第180号

氷海用プロペラに関する課題の一つとして、氷片とプロペラの干渉問題がある。氷海域を航行する船舶では、船首部で砕氷した氷片がプロペラに衝突する現象は頻繁に発生し、効率の低下のほか、時としてプロペラ翼の破損や機関への障害などを引き起こす。氷片とプロペラの干渉は、プロペラ設計時に翼の強度や翼厚を決定する重要な要素であり、水中抵抗と並んで、水中推進性能の中でも特に重要な問題となっている。

そこで、本論文は海上保安庁の砕氷型巡視船「てしお」の氷海中実船試験時に行われた、ノズルプロペラと氷片との干渉データの計測結果についてまとめた。この計測は、砕氷船用のプロペラ、軸系、エンジンキャパシティ等の設計のための基礎資料を集めることを目的の一つとしている。また、本計測で用いた実船での軸馬力の変動成分の計測方法について述べるとともに、後半では、氷片との干渉頻度について、氷海水槽での模型実験結果との比較を行った。

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) ゲージをプロペラ軸に直接貼り付ける方法により、プロペラと氷との干渉による軸馬力の変動成分を計測することができた。
- 2) 氷との干渉による軸馬力の変動成分は、最大で定常成分と同程度の大きさをもつ。
- 3) 干渉の頻度は軸馬力に対して比例の関係が認められる。
- 4) 干渉の頻度に関する実船試験と模型実験との比較では、氷厚が大きいほど干渉頻度が高くなるという同一の傾向が確認できた。
- 5) 模型一実船実験結果の比較から相関パラメータの導出を試み、これを用いて干渉頻度を整理した結果、模型一実船結果が線形的な関係を満足することを示した。

極域氷海航行船舶の国際統一規約制定について

On the international code for polar navigation

成田 秀明、山口 真裕  
平成9年2月

第12回 オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集

北極海での船舶運航により海難事故や海洋汚染が発生し、自然環境への悪影響が生ずるのを未然に防止する必要がある。このため、4年前からこの分野の経験の最も深いロシアとカナダを中心として、国際船級協会 IACS および氷海船舶工学や運航のエキスパートの協力を得つつ、国際海事機構 IMO の場で極域航行船舶の国際的統一規約 (Code of Polar Navigation : 以下 Code) を制定しようとする準備会議 (Harmonization Meeting : HM) が行われている。HM は複数の作業部会で構成されており、全体会議が年2回開催される。HM の動機・目的は、極域の船舶運航に関する国際的な統一ルールとスタンダードの確立であるが、本質的には北極海とその縁辺の環境保全および船舶運航と人命の安全を確保することにあり、北極圏諸国住民の利害を直接反映している。そのため北極海沿岸国の意志を代表する環北極国助言団 = CAGIO (Circum-Polar Advisory Group) が設立され、Code 作成の基本的方向付けを行っている。近々、CAGIO は IMO の諮問機関としての資格を取得するであろう。

Code の目的は、以下の項目に関するスタンダードを確立する事にある。

- 1) 船体設計基準 (砕氷能力、構造強度、構造材料)
- 2) 船体の区画および損傷時復原力
- 3) 氷海航行のための通信情報等設備
- 4) 油類等汚染物質の外板からの隔離
- 5) 船長等の氷海航行資格の認定制度
- 6) 氷海用救命設備
- 7) 推進機関・航続力

Code の適用海域は、北緯 60° 以北および南緯 60° 以南の全海域で、いわゆる亜北極の氷海域—バルト海、オホーツク海は対象域外となっている。本規約は国際海事機構 IMO の総会決議を経て 2001 年の発効を目指している。その暁には、我国が運用する南極・北極域向けの観測船はすべて、その船体構造・航海設備・救命設備等に関して、本 Code の制約をクリアすべく検討が必要となる。

## 衝突水噴流による壁面附着液の洗浄

Washing of clingage residues over a plane  
with Impinging Water Jet

上田 浩一、山之内 博  
平成9年7月

日本機械学会 第7回環境工学総合シンポジウム '97講演論文集

ケミカルタンカーのタンクの洗浄廃水の海洋への排出は海洋汚染防止のため、規制されている。例えば最も有害性の高いカテゴリAに属する化学物質（アルファ-メチルスチレンやm-ディイソプロピルベンゼンなど）の洗浄廃水は洗浄排水中の残液濃度が0.1%以下になるまで洗浄廃水を陸揚げし、その後は定められた条件下で12海里以上で排出できる。

大量の水で洗浄することは洗浄廃水の処理コストが高いこと及びその廃水を一時貯蔵するためのスロップタンクの容量を大きくする必要があるので、運航上大きな負担となる。そのため効率よく少量の水でタンクを洗浄する必要がある。

ケミカルタンカーのタンク洗浄水量は、タンク内残液量を少なくすることと洗浄中タンク内に滞留する量を少なくすることにより低減できる。タンク内の残液量についてはストリップング装置やストローパイプを取り付けることにより低減されてきた。そこで今後は洗浄中タンク内の滞留量を少なくすることと、水噴流の走査線を最適化することによりさらに必要な洗浄水量を低減していく必要がある。それは洗浄ノズルを小口径化し最適な走査線で洗浄することにより達成できる。

そこで模型タンクと口径の異なる三つの洗浄機を用いた実験を行い、洗浄水量と排水中の残液濃度の関係を求め、小口径ノズルにより洗浄水量が低減できることを明らかにした。

またノズル単体と垂直平板を用いて、洗浄時間と洗浄された面積をノズル口径を変えて実験を行い、小口径ノズルで十分洗浄出来ることを示した。さらに小口径ノズルにした場合の射程距離と洗浄面積の関係を調べ、水噴流が水滴状になっても、十分に到達すれば洗浄効果が良いことが明らかになった。垂直平板の洗浄では水圧を上げても洗浄面積の増加は少ないが、天井面に関してはノズルへの付加圧力の影響が大きいことがわかった。

## ＜大阪支所＞

## ロシア・タンカー「ナホトカ号」油流出事故

Marine Oil Pollution due to Russian Tanker NAKHODKA

在田 正義  
平成9年8月

日本船用機関学会誌 (VoL.32 No.8 1997)

1997年1月に日本海で発生したロシア・タンカー「ナホトカ号」折損による油流出とその日本海側7府県への漂着に関連して、タンカー事故による海洋油汚染をなくすための方策について述べた。全体は、世界及び日本の油流出事故の概観、日本における油流出監視と防除体制、船舶・船員問題、今後取るべき方策より構成した。

ナホトカ号事故の経過では、乗組員の救助、海岸漂着油の回収状況にふれた。

世界及び日本の油流出事故では、1967年に英仏海峡で発生したトレー・キャニオン号事故、1971年に新潟で発生したジュリアナ号事故、1989年にアラスカで発生したエクソン・バルディス号事故を取り上げ、事故の経過とそこで得られた教訓を、ナホトカ号事故との関係で示した。

日本における流出油監視、防除体制では、日本で採用されている「油流出防除の原因者責任の原則」を示し、船舶所有者、特定油の保管施設設置者、船舶の係留施設設置者が義務としてとるべき油防除資材等の保持、実際の事故の際に指揮を海上保安庁と実際の防除作業を担当する海上災害防止センターとの関係、日本でこれまで想定されてきた事故とナホトカ号事故との関係を示した。今後の海洋油汚染事故対策では、事故の規模の想定、油流出処理の責任者の明示が極めて重要であることを強調した。

船舶・船員問題では、世界の伝統的海運国で、自国船籍船の自国船員による運行という基本から大幅にずれてきている現状を示した。そして、大型船の重大事故が続くばら積み貨物船の多くが、便宜置籍船であること、こうした船を認めないことが安全運行への道であることを強調した。

最後に、日本が多くの石油を中東をはじめ多くの地域から輸入し、国際油濁補償基金の1/4近くを出資していることから、海洋油流汚染に対しても大きな責任を持っていること、そこで我が国としての事故防止、油汚染防止のための総合的な対策を持つべきことを述べた。ナホトカ号関係で最近出版された文献についても触れた。