

所外発表論文等概要

〈特別研究官〉

小型高速艇の落下試験方法の検討

Study on the method of the drop test for small craft

宮本 武、平方 勝、加納敏幸、福島正朗

平成11年 6月

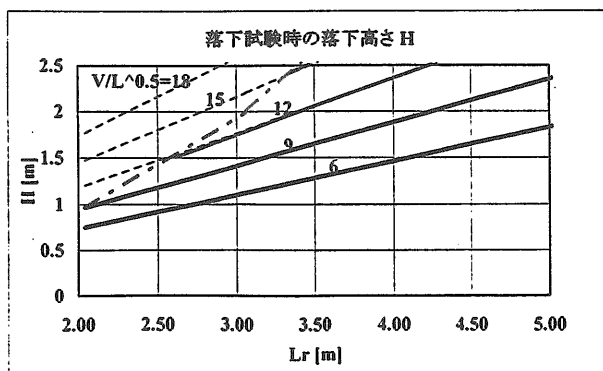
FRP漁船研究会誌第228号

小型FRP船体の構造強度を確認する方法の一つとして、日本小型船舶検査機構の落下試験基準がある。従来の基準では、落下高さは一律に2.5mと規定されており、船速や船の大きさ等を考慮した新たな落下試験基準が求められていた。

このような背景から、日本小型船舶検査機構「小型船舶の構造設計に関する検討委員会」において、平成9年度FRP複合艇（FRP製船体と舷側部がゴム製）及びアルミ合金艇を用いた波浪中実験及び落下実験を行い、長さ2mから5m程度の小型船を対象とした、船体の材質の違いによらずに、波浪中航走時に受ける最大衝撃荷重と等価な荷重を与える落下試験方法について検討を行った。

波浪中を航行する船舶の最大衝撃荷重をできるだけ合理的に推定するため、加速度に関して最大応答を示す波浪条件を設定し、そのような波浪条件の中で航行する船舶の運動から船底と水面との衝撃速度を推定し、波浪衝撃荷重を求める方法を検討した。

検討の結果、速長比をパラメータに船の長さに対する落下高さを図のように設定した新しい落下試験基準が平成10年12月にまとめられたのでここに報告する。



〈推進性能部〉

Preliminary experiments on microbubbles for drag reduction using a long flat plate ship

長尺平板模型船を用いた摩擦抵抗低減のための

マイクロバブル予備実験

児玉良明、角川 明、高橋孝仁

平成11年10月

1999 ONR WORKSHOP ON GAS BASED SURFACE SHIP DRAG REDUCTION

(oral presentation)

著者らは、マイクロバブルによる摩擦抵抗低減を実船に適用するため研究を行ってきた。マイクロバブル実験用の小型高速流路を製作して基礎実験を行い、壁面近傍の局所的ボイド率が摩擦抵抗低減率に最も影響することが分かった。

実船でのマイクロバブルによる摩擦抵抗低減率の推定のための第2ステップとして、長さ12mの平板模型船を製作し、曳航水槽においてマイクロバブル実験を実施した。本報告は、その予備的な結果を示す。模型船の幅は1mで、喫水は45mmであった。気泡は船首から3m下流位置に設けられた幅500mm、長さ100mmの多孔質板から注入された。

船の全抵抗を、船速5m/sec、7m/secにおいて、気泡注入量を変化させた状態で計測した。マイクロバブルによる抵抗低減量は、7m/secよりも5m/secの方が大きかった。抵抗低減が吹き出し板の下流の平板部においてのみ生じたと仮定すると、その部分のマイクロバブルによる摩擦抵抗低減量は最大で約50%に達した。

局所壁面摩擦応力を、Position 1、2、3において、流速5m/sec、7m/secで計測した。それらの位置は多孔質板の0.5m、1.8m、5.8m下流である。Position 1と2においては、これらの速度における摩擦抵抗低減率はほぼ等しかった。Position 3では、速度5m/secの方が7m/secよりも摩擦抵抗低減率が高かった。

境界層内の局所ボイド率を、吹き込み管を用いて、Position 1と3において、速度7m/secで計測した。Position 1におけるボイド率分布は、壁から10mm以内の領域で鋭いピークを示した。Position 3では、そのようなピークは存在せず、外側に向かって単調になら

かに減少した。

平板模型船の長さを、平行部を追加することにより28mに延長し、速度7 m/secにおいて予備走行を行ったが、計測は行われなかった。また、9月には、平行部をさらに追加することにより長さを50mに延長した実験を予定しており、もし間に合えば一部を発表する予定である。

### マイクロバブルによる船の摩擦抵抗低減に向けて Toward Application of Microbubbles to Ships for Skin Friction Reduction

児玉良明

平成12年3月

(社)日本海洋開発産業協会機関誌  
「海洋開発ニュース」平成12年3月号

地球温暖化対策として、船舶の排出ガス低減に貢献するため、船の抵抗の低減を目的とした研究を実施しており、マイクロバブルは、大型タンカーなどで抵抗の約8割を占める摩擦抵抗成分の低減を目的とするデバイスである。水の粘性によって発生する摩擦抵抗は、通常の流れの状態である乱流状態では層流状態よりも2桁程度大きくなるので、流れを乱流状態からいかに層流状態に近づけるかが、摩擦抵抗低減のポイントである。

マイクロバブルは最大約80%もの摩擦抵抗低減効果をもつ。この低減効果を解明するために実験を行い、気泡が壁近くに集まっているときに大きな低減効果が得られることが分かった。

マイクロバブルの船舶への実用化のためには、注入した気泡を出来るだけ長く船底に保持できるような船体形状と、気泡を船底に注入するために必要な仕事を考慮した正味の摩擦抵抗低減効果を考慮する必要がある。このことから、マイクロバブルに適した船は、平らで広い船底をもち、且つ高速な船であることが分かる。また、一度注入した気泡が下流方向にどれくらい長い間摩擦低減効果を保持するかも、重要な要素である。当所では長さ50mの平板船を用いて、大型タンカーの巡航速度に相当する毎秒7mの速度でマイクロバブル実験を行い、摩擦低減効果についての貴重な実験データを得ることができた。

### シミュレーション援用船型設計 Hull Form Design Aided by Simulation

児玉良明

平成11年12月

「試験水槽委員会 (JTTC) シンポジウム  
—船型設計と流力最適化問題—」講演集

まず、CFDが船型設計ツールとしてどこまで使えるかを調べた。伴流分布、船体表面圧力分布、自由表面波、船体抵抗値、推進性能、計算時間の短縮、計算結果の後処理、計算結果の信頼性について、計算結果を実験結果と比較することにより検討した。伴流分布・船体抵抗値では乱流モデルが、自由表面波では格子解像度が、計算時間の短縮ではマルチグリッド法などの収束加速法と計算機の発達、後処理では市販コードが、計算結果の信頼性では不確かさ解析が、重要であることを示した。

次に、CFDを用いた船型設計例として巡視船船型の試設計の例を示した。そこでは、プロペラチップ・クリアランスなどの設計条件や主要目が与えられ、Michell近似による造波抵抗計算を基にCpカーブ最適化が行われた。そしてフレームラインがCADにより決定され、CFDを用いた推進性能の推定によってフレームライン形状が改良され、最終的な船型が決定された。

そして、CFDをベースとした船型設計システムの型を、CFD部、CAD部、評価部、標準形式線図データ部、外部システム部 (CIM等) の集合体として示した。さらに、船型設計に適したCFDシステム像を、計算スキーム、非構造格子、自由表面波、乱流モデル、ライブラリー化、並列化、前後処理について説明した。最後に、シミュレーション援用船型設計は、まだいくつかの課題を残しているが、それぞれについて解決の見通しもあり、SBD (Simulation-Based Design) の一環として今後発展するであろうと述べた。

船型の形状最適化

Shape Optimization of Ship Hull Forms

日野孝則

平成12年7月

日本機械学会

「ここまでできる機械の最適化」講習会テキスト

ナビエ・ストークス方程式の数値解法であるCFD (計算流体力学) は種々の流体工学分野において、実用的な解析ツールとして用いられるようになってきた。船舶設計の現場においてもCFDによる流体解析は日常的に使用されている。この場合、CFD解析は与えられた形状のまわりの流れ場の情報を与えるツールとして用いられている。

最近では、高性能計算機ハードウェアの低コスト化により、CFDを利用した形状最適化が注目されるようになってきた。これは流体力学的最適設計の観点からCFD計算と非線形最適化手法によって最適物体形状を自動的に求める手法である。この場合のアウトプットは、与えられた形状のまわりの流れ場ではなく形状そのもの (およびそのまわりの流れ場) である。船型設計への応用も近年活発に行われるようになってきた。

当所においても、船体抵抗低減のためのアプローチの一つとして、CFDによる船型最適化の研究を進めている。CFD解析によれば船体のまわりの粘性流れをシミュレートすることができるので、船型最適化手法は強力な設計ツールとなることが期待される。しかし、この最適化問題は非線形問題であり、最適化過程においてCFD解析を繰り返すことから、最近の高性能計算機を用いたとしても依然として計算負荷がかなり大きい。したがって、船型最適化手法が実用的なツールとなるためには、効率的な計算アルゴリズムの構築が不可欠である。

ここでは、当所で開発した船型最適化システムを例にして、システムの構成、各要素の概要を述べ、実用的な最適化システムを構築するための要件を論ずる。後半では船型最適化の事例により、船舶設計における最適化手法の現状を紹介する。

Free-surface Flow Analysis around a Ship Hull using an Unstructured Grid Flow Solver

非構造格子法による船体まわりの自由表面流れの解析

李 信亨、日野孝則

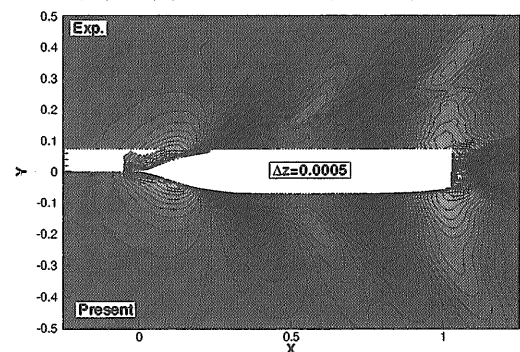
平成12年7月

日本流体力学会

第11回計算流体シンポジウム論文集

実用船型として非常に重要な高速コンテナ船のまわりの自由表面流れを数値シミュレーションによって解析した。このような複雑形状を扱うために非構造格子法によってレイノズル平均ナビエ・ストークス方程式を離散化し、非圧縮粘性流れをシミュレートする手法を用いた。本手法ではセル形状として六面体、四面体、三角柱、四角錐が使用できる。擬似圧縮性を導入した連続の式と運動方程式を、セル中心に変数を定義する有限体積法によって非構造格子上で離散化する。その際、流束差分法をベースにする風上差分を用いて対流項と圧力勾配項を評価し、中心差分によって粘性項を評価することによって空間2次精度を維持する。時間積分はオイラー陰解法による1次精度とし、効率的に定常解を求めるスキームとした。また、乱流モデルとしてSpalart-Allmarasの1方程式モデルを採用し、自由表面を扱うためにレベルセット関数による界面捕獲法を用いた。界面捕獲法では計算格子を空間に固定し、水面形状は各点で定義されたレベルセット関数の値を用いて追跡される。水面を扱う際の自由度が大きいので、複雑形状まわりの流れには特に適している。レベルセット関数は水面からの距離に対応するスカラー量であり、空中で負、水中で正の値をとり、値がゼロの当値面が水面に相当する。レベルセット関数は水面の運動学的条件と等価な移流方程式によって更新され、水面位置を定義する。

高速コンテナ船を対象として本法を適用し、当所などで実施された水槽試験による計測結果を用いて計算結果を検証した結果、コンテナ船のような複雑な実用船型についても、本計算法が自由表面流れの特性を合理的に予測できることが示された。下図はコンテナ船まわりの波紋に関する実験と計算の比較である。



コンテナ船型の波紋図 (上：実験、下：計算)

## Numerical Simulation of Unsteady Flows around Ship Running With Forced Motion

強制動揺時の非定常船体周り流れの  
数値シミュレーション

日夏宗彦  
平成12年9月

Proceedings of The fourth Int.Cont.Hydrodynamics

近年、船舶の実海域における流体力学的諸性能を評価するための研究が盛んに行われつつある。波浪中の推進性能を調べるためには波浪中で船尾粘性流場がどのような挙動を示すかを調べる必要があり、このためにはポテンシャル理論では不十分であって、ナビエ・ストークス方程式を基礎とした数値解法に依らざるを得ない。本論文では、波浪中の船体周り流場を数値シミュレーションするための第一段階として、船体運動を考慮した非定常流場の計算法の開発を試みた。このため、船体運動を考慮した自由航走状態における船体周り流場及び強制運動状態の流場の数値シミュレーションを行い、実験結果と比較し、その結果に対する考察を報告したものである。

計算手法は、RANS (レイノズル方程式) を空間的に2次精度、時間的にはFractional Step法で離散化したものを数値的に解いた。計算に用いた船型は計算の単純化のため、Wigley船型とした。レイノズル数は計算の安定化のため100,000とした。まず、自由航走シミュレーションを行い、運動計算の妥当性を実験で検証した。その結果、ヒープについては実験結果とほぼ一致する結果が得られた。ピッチについては比較に用いた供試船の重心位置が不明であったため、この相違が結果のずれに影響しているものと思われる。これについては、模型船の慣動半径と重心位置を計測したうえで、静止状態から定常状態に至る実験データを取得し、計算結果と比較する必要がある。抵抗値については、実験結果からレイノズル数が100,000における値を推定した結果とあっていたので、計算コードには誤りはないと思われる。

次に強制ピッチ状態のシミュレーションを行い、運動モードにより流体力と伴流分布がどのように変化するか調べた。その結果、摩擦抵抗増加と伴流変化は同位相である、船首下げ状態で摩擦抵抗が増加するなど興味深い結果が得られた。

今後の予定として、一般船型にも計算可能とすること、入射波の影響を考慮することがあげられる。

## Unstructured Grid Flow Solver for Ship Flows

船体まわり流れのための非構造格子による流体解析法

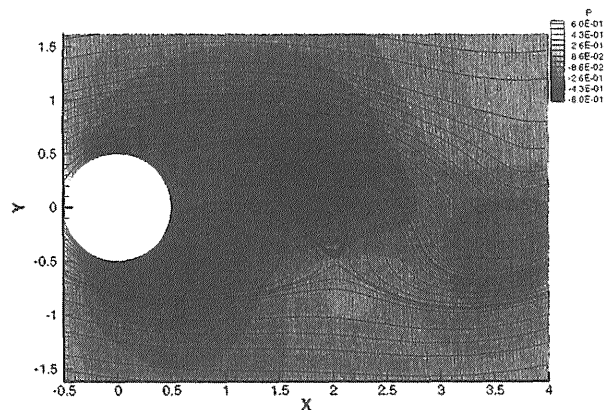
李 信亨、日野孝則

平成12年9月

Proceedings of Fourth International Conference on  
Hydrodynamics

船舶流体力学における種々の問題に適用するために非構造格子による流体解析法を開発した。手法は、非圧縮粘性流れに関するレイノズル平均ナビエ・ストークス方程式を用い、擬似圧縮性を導入した連続の式と運動方程式を、セル中心に変数を定義する有限体積法によって非構造格子上で離散化するものであり、本手法ではセル形状として四面体、四面体、三角柱、四角錐が使用できる。乱流モデルとしてSpalart-Allmarasの1方程式モデルを採用し、自由表面を扱うためにレベルセット関数による界面捕獲法を用いた。また、近年その重要性が増している非定常流れを扱うために、時間微分の離散化には、2次精度の陰の後退差分を用い、1次精度で評価する擬似時間差分との組み合わせにより、各時間ステップで連続の条件を満たす計算法とした。

本手法を船体まわりの定常流れ解析や2次元非定常流れに適用した。図には円柱まわりの流れの計算例を示す。計算結果は他の実験結果や計算結果と良く一致しており、本手法による非定常流れ計算が有効であることが分かった。また、船体まわりの流れの計算結果も従来の手法とほぼ一致しており、複雑形状まわりの非定常流れを解析するための基礎を確立した。



円柱まわりの非定常流れの計算例

### Unstructured Grid Flow Solver for Practical Ship Hulls

実用船型のための非構造格子による流体解析法

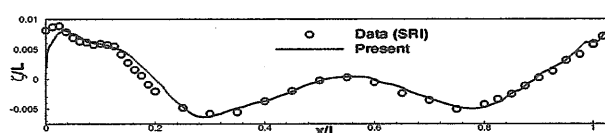
李 信亨、日野孝則

平成12年9月

Proceedings of Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics

非構造格子による流体解析法を開発し、実用船型まわりの流れの数値シミュレーションに適用した。手法は、非圧縮粘性流れに関するレイノズル平均ナビエ・ストークス方程式を用い、擬似圧縮性を導入した連続の式と運動方程式を、セル中心に変数を定義する有限体積法によって非構造格子上で離散化するものであり、本手法ではセル形状として六面体、四面体、三角柱、四角錐が使用できる。この非構造格子法の特徴を活用するため、六面体と三角柱の組み合わせによるハイブリット格子により、船体から離れた領域の格子を粗くする手法を試みた。この手法により、計算セルに個数はオリジナルの格子の87.8%となり、CPU時間および記憶容量もそれぞれ12%および15%低減した。乱流モデルとしてSpalart-Allmarasの1方程式モデルおよびその改良モデルを採用し、船尾伴流への計算精度への影響を調べた。また、自由表面を扱うためにレベルセット関数による界面捕獲法を用いた。

計算結果はベンチマークとなる実験結果とよく一致しており、本計算手法の有効性が確認された。図はコンテナ船型の船側波形の計算値であり、当所の400m水槽で計測された実験値と良く一致していることがわかる。



コンテナ船型の船側波形の比較

### Measurements of Surface Pressure and Local Velocity Field around a KCS Model and Uncertainty Analysis

KCS模型の流場計測および船体表面圧力計測と不確かさ解析

久米健一、右近良孝、竹子春弥

平成12年9月

船舶流体力学におけるCFDに関するワークショップ前刷集

2000年9月に開催される「船舶流体力学におけるCFDに関するワークショップ」では、各国CFD技術の精度評価が行われる。当所ではこの評価に用いるための検証実験データを供与した。本論文では、KRISO(korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering)Container Shipの模型を用いた、船体表面圧力計測および伴流計測の結果を報告する。また、伴流計測結果については、計測値の信頼性を示す「不確かさ」を計算した。

船体表面圧力計測は、左舷のS.S.3からS.S.1/2までと右舷のS.S.2からS.S.1までの範囲において、プロペラ無し曳航状態および自航状態で実施した。一方、伴流計測は、プロペラ面の後方0.25D (Dはプロペラ直径)の位置において曳航状態および自航状態について行った。これは、単にバルバスバウやスターンバルブが付いた実用的な船型の流場データを得ただけでなく、プロペラ直後の詳細な流れの様子を計測したことで、CFD計算の精度評価に大きく寄与するものと考えられる。不確かさ解析はAmerican National Standards Institute(ANSI)and American Society of Mechanical Engineers(ASME)が提案したstandard on measurement uncertaintyとAmerican Institute of Aeronautics and Astronauts standardに基づくThe uncertainty assessment methodologyに従っている。この不確かさ解析の目的は、実験結果が持つ不確かさを明示し、また減少させることであり、これはCFD研究者が計算コードの正当性を確認する上で大変有益な情報となる。

### Flow Computation around a Tanker Hull Using Modified Spalart-Allmaras Model

改良Spalart-Allmarasモデルによる  
タンカーまわりの流れ計算

日野孝則、平田信行

平成12年9月

Proceedings of Workshop on CFD in ship  
Hydrodynamics

CFD技術の発展により、進行する船体まわりの定常流れのシミュレーションによって模型船スケールの抵抗は正確に計算できるようになってきたが、肥大船の後方に生じる大きく変形した伴流分布の再現は依然として困難な課題である。その原因は主として乱流モデルの不備にある。これまでに開発された実用的な乱流モデルの中で、SR222修正 Baldwin-Lomax モデルは非常にシンプルな修正でありながら、良好な性能を持っている。このモデルは、剪断応力と縦渦の3次元的な関係を考慮することによって、オリジナルの Baldwin-Lomax の渦粘性係数を低減させ、実験に近い伴流分布を実現している。しかしながら、このモデルは混合長さを代数的に決定する必要があるため、複雑形状を扱うための方法として有力な、非構造格子法や複合格子法への適用が難しい。

本論分では、非構造格子／複合格子へも適用可能で実用的かつ有効な乱流モデルとして、1方程式乱流モデルの一つである Spalart-Allmarasモデルを改良し、縦渦のある流れに対応させることを試みた。肥大船流れとして、KVLCC2タンカー船型を対象として二重模型流れの計算を行った。格子密度の異なるいくつかの格子による計算結果を実験結果と比較した結果、モデルパラメータCを適切に選ぶことで、下図に示すように実験で見られるフック型の伴流分布を従来よりよく再現できることが分かった。しかし、パラメータの決定方法についてはさらに検討する必要がある。

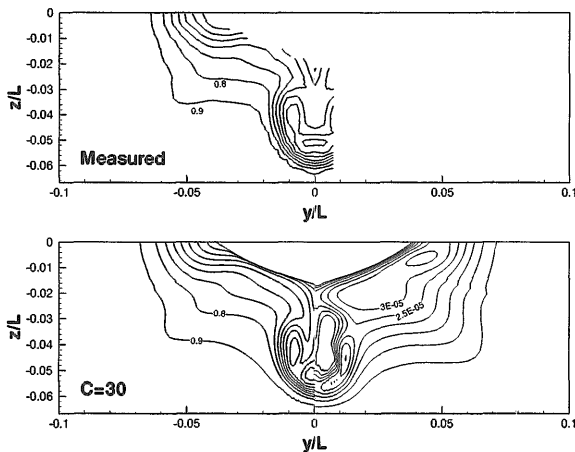


図 プロペラ面における伴流分布の比較

### Numerical Simulation for Investigation of Influence of Ship Motion on Ship Wake

船体運動が伴流分布に及ぼす影響評価のための  
数値シミュレーション

日夏宗彦

平成12年10月

Proceedings of Fourth Osaka Colloquium on Seakeeping  
Performance of Ships

波浪中の船舶の推進性能を評価するためには、波浪中を非定常運動しながら航走する船体周りの流れを知る必要がある。このためには、粘性流場の解析が可能なCFD技術を波浪中の問題も扱えるよう拡張する必要がある。船体運動を精度よく解くこと、船体運動を伴う非定常流場の計算が精度よく実行できること、入射波の影響を考慮することなど多くの課題があり、これらの問題を解決するため、船体強制運動時の粘性流場の計算法を開発した。

本論ではそれを用いて、船体運動が船尾伴流にどのような影響を与えるかを調べることに焦点を当てた。規則波中を航走する船体の船尾伴流が増速されることは実験で知られているが、どのような運動モードが伴流にどのような影響を及ぼすのかを詳細に検討した研究は少ない。そこで、船体を強制ピッチ、強制ヒープ、強制サージさせた状態をCFDにより解析した。

得られた結果を用いて、各運動モードと摩擦抵抗、圧力抵抗、伴流分布、船速波形の変化について、すなわち運動との位相関係について考察した。また船尾伴流分布についても、各運動モードにおける船尾における平均流速の極小、極大値をとる状態の流速分布を示した。その結果、強制運動により、伴流係数  $(1-W)$  が平水中のそれより増加することが示された。とくに強制サージ運動の場合、その増加が著しいことが明らかになった。伴流分布からは、強制ピッチ運動、強制ヒープ運動は、 $(1-W)$  が最大値になる時、船底部分の伴流分布が船体中央部に向かって収縮することを得た。一方、強制サージ運動では、 $(1-W)$  が最大値になる時、伴流分布全体は船体中心面に平行に収縮することがわかり、これが大きな平均流速の増加を与えるものと考えられるなど、興味深い結果が得られた。

**Evaluation of Ship Propulsive Performance by analyzing Full-scale data and Time history of ship motion on actual sea**

実船のデータ及び時系列データの解析による推進性能の評価について

南 佳成 塚田吉昭、日夏宗彦、辻本 勝  
矢吹英雄、斉藤重信、野田英夫

平成12年10月

Proceeding of Fourth Osaka Colloquim on Seakeeping  
Performance of Ships

船舶の推進性能は平水中での模型試験、試運転成績で評価される場合が多いが、実際に運航する実海域の状態でも評価しておく必要がある。実海域の推進性能を評価するためには、推進諸性能データ以外に航海中の海象状況も計測する必要がある。平成9年度に建造された航海訓練所の練習船青雲丸(2世)は気象、海象情報や主機馬力等のデータを船内に装備された各種センサーから船内LANを通じて自動的に時系列データとして計測することができる。

著者らは、青雲丸の世界一周航海時に得られたデータを用い、実船データ解析から実海域の推進性能評価法の検討を行った。また、この特定区間で向波と横波の2つの状態について1HZのサンプリング周期で馬力、船体運動、舵角、風、波浪の時系列データを同時に計測し、これらのデータをもとにエンジン馬力(以下、BHPという)の変動と船体運動、操舵、風及び波との関係についても調べた。

得られた主な結果を以下に記す。

- 1) 実船の計測データから水温補正及び移動平均処理を行ったデータを用いてアドミラリティ係数(以下 $C_{adm}$ とする)を求め、外乱と推進性能の関係を明らかにすることができた。
- 2) 外乱として相対風速、有義波高及び波向が推進性能に及ぼす影響を実船データ解析から評価した。相対風速は $C_{adm}$ の変化に大きな影響を与え、追波状態でも波高が大きい海象では $C_{adm}$ が低下した。
- 3) 様々な外乱条件に対する推進性能( $C_{adm}$ )の変化を評価するため、波については耐航性理論から波浪中抵抗増加を、風については模型船の実験データから風圧抵抗成分を推定し、外乱による推進性能( $C_{adm}$ )の変化を推定した。実海域で計測した $C_{adm}$ と同じ外乱条件で上記手法で推定した $C_{adm}$ を比較した結果は定性的によく合っており、理論計算及び実験結果による推進性能推定法が実船の推進性能評価に対して妥当であることが確認できた。
- 4) 向波と横波の2つの状態において計測された推

進諸性能、船体運動、操舵、外乱の時系列データから各データの相関関係を調べた。特にBHPに関して、時系列データの変動成分は周波数解析から向波では相対風速の影響が大きく、横波では操舵の影響もかなり大きいことが分かった。

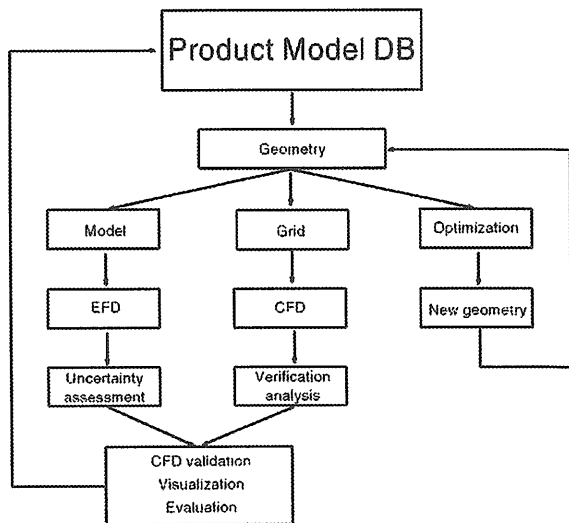
今後、さらに詳細に航海データを収集を行い、推進性能と各データの相関関係を明らかにし、実海域での推進性能評価法の検討を進めていく。

**Concurrent and Complementary Experimental and Computational Investigations for Hydrodynamic Design System of a Surface Ship**

同時的かつ相補的な実験と計算の統合による水上船舶の流体力学的設計システムに関する研究  
 李 信亨、日野孝則、平田信行、児玉良明  
 久米健一、竹子春弥、右近良孝  
 平成12年11月

Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exposition

本論文では、船舶流体力学における実験と計算の統合的研究の結果を示した。当所で開発中の流体力学統合設計システムの基本概念および方法論、さらに船舶の基本的な流体力学的性能を論ずる上で必要な模型実験のデータおよびCFD（数値流体力学）計算結果が示されている。また、CFD計算を相補する実験データおよび計算結果／実験結果の不確かさ解析によってこれらの情報は総合的なものとなっている。この実験／計算の統合的研究によって、その構築が強く望まれている系統的な流体力学統合設計システムは、現在実用可能な技術を統合することで実現できる見通しが得られた。今後必要となる、実験流体力学と数値流体力学の改善および船体形状最適化技術の組み込み、仮想環境を可視化できるグラフィックユーザーインターフェイス（GUI）を用いたシミュレーション援用設計システムの構築である。



**Computational Investigation of 3D Turbulent Flow Separation around a Spheroid using an Unstructured Grid Method**

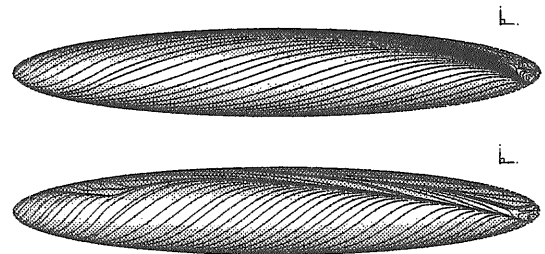
非構造格子法による回転楕円体まわりの3次元乱流剥離の計算  
 李 信亨、日野孝則  
 平成12年11月  
 日本造船学会論文集第188号

非構造格子による非圧縮NSソルバーを用いて6：1回転楕円体まわりの剥離流れを解析した。層流と乱流の両者について迎え角を変えていくつかのシミュレーションを行い、流体力やモーメント、限界流線および速度場を実験結果と比較した。

層流流れの計算結果は、本計算法が迎え角の増加に伴う剥離領域の成長の様子をシミュレートしており、流体力やモーメントと剥離域との関係もよく捉えていることを示している。層流剥離では流れが非定常になる場合があることから、非定常流れの計算手法を適用した。

乱流剥離の場合には、層流剥離に比べて、剥離線が下流後方へ移動し、渦の領域が小さくなるという差が見られる。流れ場は計測結果とある程度一致しており、本計算法が3次元物体の後方の乱流剥離の予測に適用可能であることが分かった。

また、乱流剥離流れに対する乱流モデルの影響を検討するため、使用した1方程式Spalart-Allmarasモデルに修正を加えて流れ場を比較し、渦の核部分での渦動粘性係数の大きさが流れに大きな影響を持つことが確認され、3次元剥離流れのシミュレーションのためには、より高度な乱流モデルが必要であることが明らかになった。



図：物体表面上の限界流線、抑え角10°（上）および迎え角20°（下）



(運動性能部)

実船データ解析による実海域推進性能推定法の検証  
Investigation on Ship Propulsive Performance in Actual  
Seas Based on Probabilistic Method

辻本 勝、日夏宗彦、塚田吉昭、南 佳成

矢吹英雄、斎藤重信、野田英夫

平成12年5月

関西造船協会誌

船舶の総合的な性能の推定、評価を行うためには、船舶の基本性能としての平水中性能だけでなく、実海域での船舶性能の推定、評価を行う必要がある。前報(塚田等：実船データ解析による推進性能評価法の検討、関西造船協会誌第233号)では航海実績の時系列データを用いて実海域推進性能の推定、評価について検討を行ったが、瞬時値として得られる推定値の集合をどのように評価するかという点について更に検討が必要であった。一方、実海域を航行する船舶の性能推定法として確率論を基にした手法が開発されているが、その検証は船舶が遭遇した海象の計測精度の問題や、航海実績が公表されない等のため十分実施されていない。

本論文では船内LANを持ち、自動的に航海データを収集するシステムを備えている運輸省航海訓練所練習船青雲丸(2世)航海データを用いて、船速、燃料消費量、主機馬力の変化について確率論を基にした理論推定を実施した。これらの航海データは10分に1度自動収集されたものであり、1998年及び1999年の世界一周航海並びに1998年4月から1999年12月の間の4時期に日本海を航海して得られたデータの3種類に分類して解析を行った。そして船速、燃料消費量、主機馬力の変化について理論推定して得られる確率密度関数との比較を行い、理論推定手法の検証を行った結果、両者が良く一致することから、確率論を基にした理論性の有効性が確認できた。

さらに船速、燃料消費量の確率密度関数から、定時性及び運航経済性に係る指標として航海時間、総燃料消費量を求め、実海域推進性能を評価する手法について提案を行った。そして一例としてシーマージンを0%、15%、30%とした3つの場合について計算結果を示し、船舶建造や運航の計画時点で評価を行えることを示した。

On the Revised Integrated Green's Function Method  
for the 3D Unsteady Flow around an Advancing Ship  
非定常流中を前進する船舶に働く流体力を計算する改  
訂積分グリーン関数法について

渡辺 巖、辻本 勝

平成12年10月

Proceedings of the 4th Osaka Colloquium on Seakeeping  
Performance of Ships

航走する船体周りの非定常流場の3次元計算法について著者らは、先に、特異点を分布させるパネル面上の空間積分を行った後にフーリエ逆交換を行う方法(積分グリーン関数法)を提案し、被積分関数が原理的に問題なく計算できることを示した。しかし、パネルが自由表面に近い場合振動が残り、計算精度及び計算時間に影響を及ぼすため、実用的な手法であるためには大きな問題であることが分かった。

そこで積分をもう一歩進めて、標点となるパネル面上についても積分を行う方法(改訂積分グリーン関数法)を考案した。この手法は積分型の平均化を行うことで数学的特異性及び振動を解析的に処理するもので、特異点を分布させるパネルと標点となるパネルが水面にある場合でも精度良く積分が行われることを確認した。

この改訂積分グリーン関数法を用いて、前進する没水楕円体周りの非定常流場を計算し、本手法の有効性について検討した結果を報告している。

## 合理的な乾舷設定法について

Rational Method for Assigning Freeboard

小川剛孝

平成12年10月

電子情報通信学会技術研究報告平成12年11月号

船舶が必要とする最小の乾舷及び船首高さは、満載喫水線条約及び国内規則である満載喫水線規則で規定されている。これらの基準は主として経験則に基づいていること、制定後30年以上が経過していることから、見直し作業が行われつつあり、工学的手法を用いた合理的な基準の策定が望まれている。

近年、内航船の便宜を図るための新たな海域として限定近海という区分が設けられた。現行の満載喫水線規則では、沿海を航行する船舶及び遠洋・近海を航行する船舶について各々規則が定められているが、これらの中間に位置する限定近海の満載喫水線については現時点で規定は整備されていない。そのため、国内基準の見直し作業の一つとして、限定近海を航行する船舶の乾舷及び最小船首高さを新たに設定する必要がある。

そのため、当所では平成9年度より指定研究として合理的な乾舷設定法に関する研究を開始し、乾舷及び船首高さの評価手法の検討等を行ってきた。これまでの検討結果をもとに、現在運航されている代表的な内航船が、沿海、限定近海及び近海を航行した場合の海水打ち込み確率及び甲板荷重の発生率について長期予測計算を行い、海域の違いがこれらに及ぼす影響について検討を行った。また、その結果をもとに限定近海船の乾舷限定及び沿海船の最小船首高さの推定、乾舷の指定条件の検討を行った。

その結果、限定近海船に関して、海水打ち込みの観点から下記のような乾舷及び最小船首高さの設定が合理的に行えることが分かった。

乾舷に関して、船長にかかわらず沿海船の基本乾舷に修正係数として1.06を乗ずることで設定できることがわかった。また、最小船首高さは、近海船の最小船首高さに、以下に示す船長の関数で表わされる修正係数を乗じることで設定できることがわかった。

修正係数：

○Lpp100m未満の船舶  $1.0-0.0022 \times Lpp$  (Lppは垂線間長)

○Lpp100m以上の船舶 0.78

## 停止時の船に働く定常波力に関する模型実験

Model Experiment on Steady Wave Forces and Moment

Acting on a Ship at Rest

上野道雄、二村 正、宮崎英樹、野中晃二、原口富博

平成12年11月

関西造船協会講演論文集

関西造船協会誌235号

定常波力は一般に船速の影響を受けると考えられるが、操縦運動を推定する際には近似的に停止時の定常波力を用いることができることが報告されている。また、機関故障などで船が航行不能に陥った際の波による漂流運動を考える場合も、漂流速度は小さいと考えられることから、定常波力は停止時の値を近似値として用いることができると考えられる。このように、停止時の定常波力は船の操縦運動を推定する際の重要な外力の一つであると考えられる。

本報告では停止時の船に働く定常波力をVLCC模型を対象として模型実験によって計測した。また、3次元パネル法とストリップ法によって船体運動の計算をおこない、それぞれの計算結果をもとにNewmanの方法とSalvesenの方法によって定常波力の計算をおこなった。船体運動の振幅が2種類の計算値とよく一致していることから、本計測装置の移動部重量の悪影響が心配された前後揺れや左右揺れについても計測結果には大きな問題点はないと考えられ、ほぼ問題なく船体が6自由度で運動をおこなった状態で定常波力の計測ができたと考えられる。定常波力に関する検討では、Salvesenの方法による計算結果よりもNewmanの方法による計算結果の方が全般的に実験結果とよく対応していることがわかった。このことは理論的成り立ちから考えて妥当と考えられるが、それでも回頭モーメントについては前後力や左右力に比べて計算値と実験値の差が大きいことも明らかとなった。

今回の模型実験に際しては、定トルクモーターに前後、左右と船首揺れに対する復原力と反定常波力を発生させる機構をもった装置を用いて模型船に6自由度の運動をさせながら定常波力を計測した。前後と左右の移動部重量の問題やコギングの問題等改善すべき点はあるものの、上記のように本装置はほぼ満足すべき性能を有していることが確認できた。本装置は停止時よりさらに計測が困難と考えられる波浪中前進速度のある場合の船体運動と定常波力の計測にも利用できると考えられる。さらに、波浪中で前進速度のある場合の中でも直進時だけでなく斜航や旋回といった波浪中操縦運動時の船体運動と定常波力の計測も本装置を使って実施できるものと期待される。

大波高中における船首相対水位変動に関する考察

Study on relative water height in rough seas

小川剛孝、辻本 勝、沢田博史、南真紀子

平成12年11月

関西造船協会講演論文集第15号

著者らは、現在進められている満載喫水線条約及び国内規則の見直し作業において、海水打ち込みの観点から検討を行っている。その中で、内航タンカー模型及び内航貨物船模型を用いて波浪中実験を行い、船体運動、船首相対水位、甲板荷重等を計測した。さらに、洪水流モデルを用いた甲板上水位分布の推定法や甲板荷重の推定法を提案し、精度よい推定が可能であることを示した。これらの研究において、甲板上水位分布や甲板荷重は船首相対水位が船首を越えた高さ（越波高さ）に強い相関があるという知見が得られた。このことから、甲板荷重等を正確に推定するためには船首相対水位変動の一層の精度向上が必要と考えられる。海水打ち込みに限らず、スラミング等の大波高中での耐航性の観点からも精度向上は重要であると考えられる。

そこで、船首相対水位変動の推定精度向上を目的として、内航貨物船模型を用いた波浪中実験を行った。正面向波において、船体運動、船首相対水位を計測し、波高の非線形影響と船首部における反射波の影響を調べることで、精度向上のための問題点を整理した。

その結果、波高影響に関して船体運動及び船首相対水位の無次元振幅は波高の増加にともない減少するが、位相はほとんど変化しない事がわかった。また、浸水面形状の時間的变化による非線形性を考慮した船体運動推定法により波高影響をうまく考慮できる事を確認した。

船首部における反射波の影響に関して、計測波形を用いた検討により、船首相対水位が上昇する場合、動的な水位変動が無視できないことがわかった。

さらに、ストリップ法 (NSM) による前後揺の推定は、振幅及び位相とも縦揺及び上下揺れに比べて実験値との一致度はよくない。船首相対水位変動の推定に前後揺れ及び波の粒子速度の前後方向成分による動的な水位変動を加味するためには、一層の推定精度の向上を図る必要があるという知見が得られた。

〈機関動力部〉

Numerical Simulation on the Propagation of an Internal Wave in Multifluid

多相流体中を伝播する内部波の数値シミュレーション

岡 秀行、河村哲也、石井克哉

平成12年 7月

The First International Conference on Computational Fluid Dynamics

Lecture Notes in Physics(Springer-Verlag)

地球温暖化防止のための有効な手段の一つとして二酸化炭素の深海貯留法が検討されている。これは深海底の窪地に液体二酸化炭素を貯留する方法であるが、地震及び海震等によって海底岩床上で地滑りが起こり、その土砂が窪地に流入した場合、ハイドレート膜に覆われていた液体二酸化炭素が海水中に排出される可能性がある。また、液体CO<sub>2</sub>導入管あるいは洋上プラントに対する流れの影響も調査する必要があると思われる。そこで本研究では、大気、海水及び土砂を含む海水をそれぞれ非圧縮性ニュートン流体であると仮定し、海底地滑りを想定して矩形容器内における3流体を含む流れ場の数値シミュレーションを行った。

本計算では、地滑りによって生じる濁流と海水間の内部波及び海面上に生じる自由表面波を捕らえるためにLevel Set法を用いている。また、物体適合格子ではなく矩形格子を用いて海底の窪地を模擬するためにVirtual Boundary Methodを適用した。一般に、曲面（あるいは曲線）をもつ物体周りの流れ場を数値計算する際、直交格子を用いると境界条件の処理に困難を伴う。しかし、ここでは物体表面に境界条件を与える代わりに外力を与えることにより流れ場の中の物体を表現し、直交格子を用いているにも関わらず、複雑な境界面を持つ変形容器内の流れ場が得られ、濁流の発生の結果生じる内部波及び自由表面波の運動をシミュレートすることが出来た。本論文において、Level Set法とVirtual Boundary Methodを組み合わせることで、複雑な壁面境界条件下における自由境界問題を数値的に解析できる可能性を示した。

### Numerical Simulation on the Propagation of Water Waves Using Level Set Method

Level Set法による水波の伝播の数値シミュレーション

岡 秀行、河村哲也、石井克哉

平成12年10月

第49回理論応用力学講演会

Theoretical and Applied Mechanics(Vol.49)

21世紀には、メタンハイドレートは環境への負荷が少ない重要なエネルギー資源になると考えられている。しかし、メタンハイドレート層は大陸斜面の縁と近くの深海底に存在するため、それを採取することは海底地滑りが起こる危険性を高めることになる。海底地滑りが起こった場合、海面上において大波が発生するため、輸送用船舶あるいは洋上プラントに被害が及ぶ可能性がある。

そこで本研究では、大気、海水及び海底岩床をそれぞれ非圧縮性ニュートン流体であると仮定し、海底地震を想定して複雑形状容器内における三層流の数値シミュレーションを行った。また、陸上における地震波の伝播・干渉問題への応用も視野に入れ、大気、沖積層及び硬い岩盤をそれぞれ非圧縮性ニュートン流体であると仮定し、地震波と水波の相似性を仮定したシミュレーションを行った。

本計算では、海底面及び海水面の二つの海面を自由境界面として扱うため、この挙動を捕らえるためにLevel Set法を用いている。また、物体適合格子ではなく矩形格子を用いて流れ場の支配方程式を離散化するため、海底地形を模擬するためにVirtual Boundary Methodを適用した。一般に、複雑な形状をした物体周りの流れ場を数値計算する際、直交格子を用いると境界条件の処理に困難を伴う。しかし、ここでは物体表面に境界条件を与える代わりに外力を与えることにより流れ場の中の物体を表現している。それゆえ、直交格子を用いているにも関わらず、複雑な境界面を持つ変形容器内の流れ場が得られ、海底面の運動の結果生じる海水面の挙動をシミュレートすることが出来た。本論文において、Level Set法とVirtual Boundary Methodを組み合わせることにより、複雑な壁面境界条件下における自由境界問題を数値的に解析できる可能性を示した。

〈材料加工部〉

### プラスチック廃棄物リサイクリング新システムの開発とそのエネルギー収支の検討

An Energy Balance Study of a Newly Developed Recycling System for Waste Plastics

林 慎也、野間口兼政

平成12年10月

(社) 強化プラスチック

第45回FRP総合講演会

現在の地球規模でのリサイクルの風潮により、繊維強化プラスチック (FRP) 製品のリサイクルも極めて近い将来義務づけられることが予想される。熱硬化性樹脂を用いたFRPはリサイクル技術やその経済性により実用化が難しいのが現状である。本報告では、熱硬化性樹脂 (不飽和ポリエステル樹脂、60wt%) とガラス繊維 (Eガラス、40wt%) で構成されているFRP舟艇 (プレジャーボート等) の経済的に成り立つリサイクル方法について提案した。

このリサイクル方法は以下のとおりである。

1. 樹脂分は超臨界領域あるいは亜臨界領域の水蒸気により、加水分解反応により原料にケミカルリサイクルを行う。
2. ガラス繊維はプラズマ熔融炉で1400°C以上で熔融し、タイル等に形成するマテリアルリサイクルを行う。

また、このリサイクルのための超臨界領域あるいは亜臨界領域の水蒸気及びプラズマ熔融のための電気は、一般のプラスチック廃棄物の熱分解ガスを利用した発電 (一種の火力発電) により賄う。(一般のプラスチック廃棄物はサーマルリサイクル)

本報告では、このシステムのエネルギー収支について検討し、経済的に成り立つことを示した。

## Sliding Wear Mechanisms of Alumina

アルミナのすべり摩耗メカニズム

千田哲也、John Drennan

平成12年10月

Synopsis of International Tribology Conference

Nagasaki 2000

船用機関の耐摩耗性高温構造材料として期待されるアルミナセラミックスについて、これまでに行った室温から1000°Cまでの範囲の摩擦摩耗試験結果をまとめ、アルミナの摩耗メカニズムを考察した。比摩耗量は700°Cと800°Cの間で大きく減少し、高温では $10^{-6} \text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ 以下の低いレベルになった。600°C以下では摩擦面に摩耗粉の凝集層が観察されたが、電子顕微鏡観察では摩擦面近傍に高密度の転位網はみられず、摩耗は脆性的な破壊によるものと推測された。しかし、摩耗粉には強い塑性変形がみられ、摩耗粉の応用再配分効果によりバルク表面には変形があまり生じなかったと考えられる。1000°Cでは、摩耗量はほぼゼロに低下し、電子顕微鏡観察によると、摩擦面は平滑な鏡面となっており、表面は動的再結晶により形成されたと考えられる微細な結晶から構成されていた。700°Cと800°Cの間で起きる高温での摩耗量の低下は、摩擦面の材料挙動が脆性から延性へ遷移することによるものと考えられる。摩擦熱を考慮すると、遷移温度は950°Cから1030°Cと推定され、破壊試験でみられる脆性-延性遷移と同じ温度レベルであった。遷移温度付近では、摩擦面に脆性、延性双方の特徴がそれぞれ局所にみられた。

## チタンシリサイド溶射皮膜の組織と耐酸化性

Microstructure and Oxidation Behavior of Titanium

Silicide Coatings

植松 進、李 鋼

平成12年10月

高温学会 第9回溶射総合討論会講演概要

プラズマ溶射プロセスの特徴は、プラズマ中に投入された粒子が融点以上まで急速に加熱されるが、加熱されている時間が非常に短く、プラズマジェットのリターン部、あるいは基材上では急速に冷却される非平衡プロセスであるため、熱プラズマ中に投入された粒子の化学組成や結晶構造が変化する場合がある。

金属シリサイド系遷移化合物のバルク材は高温安定性、耐酸化性と電気抵抗が低いという特性をもつが、溶射皮膜での研究はあまり見られない。そこで本研究では、チタンシリサイド粉末を出発原料として、プラズマ溶射を行い、溶射条件が皮膜構造に与える影響について調べた。

X線回折結果から大気溶射では減圧溶射で見られなかったSiとTiの酸化物を含んでいたが、その量は非常に低いものであり、TiSi<sub>2</sub>相の溶射中における酸化による分解は非常に少なかった。また、減圧溶射で主要だったC54-TiSi<sub>2</sub>相の割合が少なく、かわってC49-TiSi<sub>2</sub>相やTi<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>相の割合が多くなり、溶射距離が長くなるとC49-TiSi<sub>2</sub>相とTi<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>相の比が逆転していた。そのTi<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>相については飛行時間が長くなるにつれて増加することから、Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>相の安定化に大気中の窒素ガスが影響している可能性が考えられる。

溶射皮膜の断面組織写真は典型的なラメラ構造を示しており、大気溶射のSEMの組成像でも他の場所よりTi成分に富んだTi<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>相組織がTiSi<sub>2</sub>相組織と明瞭に判別できており、これはEPMA元素分析およびX線回折結果とも符合したものであった。また、酸化試験の結果では、電気炉で900°Cで2h保持した時、鋼基材側は激しく酸化して減厚していたのに対し、皮膜表面はSEMによる観察でも試験前とほとんど変わらず酸化物の量もごくわずかであり、非常に優れた耐酸化性を示していた。

### Influence of Microstructure on Seawater Corrosion of Al-Mg-Si Alloy A6N01

Al-Mg-Si合金A6N01の微細構造とその耐海水性への影響

高橋千織、松岡一祥、千田哲也  
古谷典子、矢野不二夫  
平成12年10月

Proceedings of the 6th International Symposium On Marine Engineering TOKYO 2000

船舶用の実用および実験室レベルで試作された5000系と6000系アルミニウム合金について、期間6ヶ月及び1年の人工海水浸漬試験を行い、それらの耐海水性について組織との関係から考察した。組織の評価についてはX線回折分析装置、走査電子顕微鏡、電子プローブマイクロアナライザ、透過電子顕微鏡などを用いて詳細な検討を行った。同じ規格の範囲内で製造された合金であっても、製造条件の違いにより組織、特にMgの分布状態に様々なパターンのあることが示された。試料表面には試験開始後のかなり初期の段階で腐食生成物が多く生じるものがあったが、この腐食生成物は主にAlとMgの水酸化物であった。1年の浸漬試験後の腐食量はほとんどの試験片で7 g/cm<sup>2</sup>程度であり、合金種類、調質条件などの特定の条件による影響は特に見だせなかったが、実用材の一部に腐食生成物が多量に発生した試料があり、この試料では腐食量も若干多かった。試験終了後に試料表面の観察を行った結果、腐食形態は大きく3つに分けられた。一つはFe、Si析出物の周囲が優先的に溶解してできたクレーター状のミクロ孔食であり、このタイプの腐食形態はすべての試験片で観察された。また、それに加えて粒界腐食を伴うマクロ孔食を生じるタイプと、連続的で浅い粒界腐食の発生するタイプがあった。これらの腐食形態の差は、押出加工以前も含めた加工熱処理条件に依存して、析出物や晶出物および粒界の母相に対する電気化学的な相互作用によって決定されるものと考えられた。最も腐食量の大きかった実用材で見られた腐食形態は粒界腐食を伴う孔食であり、今回の実験範囲内では問題のない腐食量ではあったものの、浸漬期間が長くなった場合、さらに腐食量、孔食深さが大きくなることが予想される。6000系合金の接水部利用を拡大するには、製品組織のばらつきを押さえることで腐食形態を制御し、製品の信頼性を向上する事が必要であると考えられた。

### SH波による人工欠陥の探傷実験

Ultrasonic Testing Using SH-Wave on Artificial Defects

勝又健一

平成12年11月

日本非破壊検査協会

平成12年度秋期大会講演概要集

船体のような広域な範囲を超音波検査するには、長距離の探傷と共に容易な走査が望まれる。さらに、ロンジやトランスなどの板骨構造による、溶接部に影響され難い水平伝搬するSH波が有用と考える。表面SH波は板の表底でモード変換しないため、比較的長距離でも乱れることなく進むと思われる。本報告は板厚の異なった試料における端面のエコー高さ及び、縦穴等のエコー高さの測定、さらに使用した探触子の条件を基に、強度分布をパルスの時系列合成で求めたものである。

板厚と探傷可能距離の実験は、次のように行った。屈折角90度のSH深触子は板の中央に配置し、前後の端面からの多重エコーから所定の感度での伝播距離を求めた。所定の感度は、超音波検査に用いる標準反射源の-8 dmである。結果は厚さ10mmで1 m、1 mmで3 mとなった。人工欠陥では反射率が大きな端面よりも小さくなり、溶接部に設けた直径4 mm、長さ40mmの横穴が探傷可能距離500mmとなった。スリットの場合、表面開口と底面開口との位置ではエコー高さが異なり、路程90mmから底面開口の方が高い結果を示した。両者の差は表面開口の面反射とコーナー反射の底面開口である。遅れエコーではSH波が縦穴の接線で表面波にモード変換したとして、 $\pi r$ の計算値と測定値から求めた値とを比較した結果、ほぼ1対1となった。これは、SV波における横穴と同様のモード変換現象を示したと言える。数値計算による2M20×∞A90-SHの強度が最大の方向は、屈折角90度の方向となった。指向角が10度以内では一様の音場と思われる。板厚20mmの場合、距離100mm以上に匹敵する。

表面SH波は鋼板に対して水平に伝播し、溶接部があってもあまり影響されない。しかし、試験材に横波を入射しなければならないので高粘性の接触媒質が必須である。これは走査性が悪いので、超音波の入射エネルギーを安定化させるのが難しい。水平伝播する波はSH波以外にも、減衰が少ない種類の波があるので確認実験していきたい。

〈装 備 部〉

## 蛍光ライダーによる実海域の環境計測に関する研究

A study of fluorescence LIDAR for in-situ observation in marine environment

山口良隆、田中 昇、山之内 博

柴田俊明、樋富和夫、山岸 進

平成12年6月

日本環境化学会

第9回環境化学討論会講演予稿集

昨年12月、フランスにおいてマルタ船籍タンカー・エリカ号の沈没事故が起こった。約4万トンの積載されたオイルのうち、一部海洋に流失し、さらにその一部は海岸に着岸した。このようなオイル漂着を未然に防止するために防除作業を行うが、その対策として流出オイルの動向を把握する必要がある。その方法として人工衛星を用いた広域での計測があるが、雲などの障害物があり天候に測定条件が左右される。また計算機を用いた油拡散シミュレーションでの予測も試みられているが、現実の流出方向と計算結果とが一致するのは非常に難しい。

現場からの要請もあり、海上での流出オイルの状況把握をするために小回りの利く現場型リモートセンシングシステムの構築を行っている。また船舶や小型飛行機などに搭載のためにダウンサイズ化をし、またオイルや微生物などの詳細な海洋環境情報を入手するためにスペクトル検出などの高性能化を目指している。今回は、作製したライダー装置を用いて実海域での実験のために航空機に搭載し性能試験を行った。

蛍光ライダー装置の光源は、紫外光を発するNd:YAGレーザー(355nm)を使用した。この光源は時間幅の狭いパルスレーザーであり、受光側に装備したバンドパスフィルターと高速ゲートとの対応で特定な蛍光波長とともに減衰が観測できる。最終的には、レーザースポットの周辺情報を含めたCCD画像として記録される。航空機実験のためにコンパクトに設計を行った。飛行機実験は電子航法研究所のBeechcraft-99を使用した。機体下部中央に、飛行中地面と蛍光ライダーが垂直になるように装着を行った。

前回の実船実験でのオイルが観察されないという教訓より、今回の飛行機実験では蛍光材を塗った目標を地上に置き、それを仮想オイル群れとした。受光器に405nm以下の光をカットするフィルターを使用した。高度約300mからの蛍光ライダー測定を行ったところ、紫外線を蛍光板に照射したときの蛍光画像が取得できた。地上からの蛍光が飛行機上で得られたことにより、次のステップの実海域でのオイル検出実験について目処がついた。そのため次は実海域でオイル検出実験を行う予定である。

## 紫外レーザー励起蛍光分析法を用いたリモートセンシングシステムによる海洋観察

A marine environment observation using the remote sensing system of ultraviolet laser excited fluorescence and analysis

山口良隆、松倉洋史、山之内博

樋富和夫、山岸 進

平成12年9月

日本分析化学会

日本分析化学第49年会講演予稿集

近年、日本海沖ナホトカ号およびフランス・ナント沖においてエリカ号などのタンカー沈没事故が起こり、積載されたオイルが海洋に流出した。また大きな問題はその一部が海岸に着岸し、海岸・砂浜などを汚染することである。このようなオイル漂着を未然に防止するために海上で防除作業を行うために流出オイル状態を把握することは重要である。人工衛星や油拡散シミュレーションなどを用いた研究もあるが良い結果が得られていない。現場で直接流出オイルの状態を測定し、状況把握には即効性があるため、船舶や飛行機などに搭載でき、直接現場で小回りの利く分析システムの開発を行っている。検出法は、オイル成分中に不飽和結合を持つ化合物の含有率が多く、これらに紫外光を照射すると蛍光を発するという性質を利用した。このように光を利用したリモートセンシングはライダー(LIDAR: Light Detection and Ranging)と言う。また本装置は特に蛍光法を利用しているので蛍光ライダーと呼ばれる。蛍光ライダーは、蛍光分析よりもオイル種の識別ができ、さらにラマン散乱と蛍光の差よりオイルの膜厚を測定できる。装置の光源は、パレスの紫外光を発するNd:YAGレーザー(355nm)を使用した。受光側に装備したバンドパスフィルターと高速ゲートとの対応で特定な蛍光波長とともに特定時間での強度が観測できる。最終的には、レーザースポット周辺情報も含めたCCD画像として記録される。現場用にコンパクト設計を行った。今回は飛行機事件を行い、電子航法研究所のBeechcraft-99を使用した。3月14日に日本海のナホトカ号沈没ポイント近辺をBeechcraft-99で飛行中に、海上に沈船からと思われる流出オイルを発見した。そこで流出オイルの蛍光画像が得られた。しかしながら今回の蛍光画像は太陽光で励起されたものであり、紫外レーザーが照射されればさらに明確な像が得られると確信している。

### Detection of Spilled Oil using a Compact Imaging Lidar System

蛍光ライダーシステムによる流出油の検知  
樋富和夫、山岸 進、山之内博、山口良隆、柴田俊明  
平成12年10月

Proceedings of Sixth of International Symposium on  
Marine Engineering

ロシア船籍「ナホトカ号」油流出事故における海上回収作業時において、目視では流出油の発見が困難であったことが報告され、昼夜を問わない防除作業を援助するための監視技術の重要性が再認識された。

このような現状の監視法の問題点を補完するため、本研究では新しい監視法である蛍光ライダーシステムの開発に着手した。そのシステムは、レーザー励起によって発生する汚染物質の蛍光特性を利用する手法で、以下の特徴がある。

- 1) レーザー励起で蛍光を発生させるアクティブ方式により、昼夜を問わない観測が可能であること。
- 2) 蛍光スペクトルより汚染物質の識別が可能であること。
- 3) 受光側として、CCDカメラをベースとするためリアルタイム監視が可能であること。
- 4) 近年のレーザー技術と超高感度素子の発展によりコンパクト化ができ汚染現場へ直行する小型飛行機や油防除船舶への搭載が可能であること。

本報告では、このような特徴を室内実験、中規模水槽実験、船舶及び小型飛行機による海上観測実験によって検証し、汚染物質の時間分解蛍光スペクトルの概要、蛍光ライダーシステムの概要、油種の識別法、油膜厚の推定法、船舶及びビーチクラフト機による実海域検証結果について示した。

結論として、琵琶湖の観測実験において蛍光スポット連続画像が取得され、航空機搭載への見通しが得られた。また、本システムを高度化し、実用化を図るための、1) ゲート調整の自動化、2) 広域深査機能等の問題点が把握された。

〈システム技術部〉

### Simulator Experiments For Developing A Navigation Support System

航海支援システムの開発のための  
操船シミュレータ実験  
福戸淳司、沼野正義  
平成12年5月

Proceedings of International conference on marine  
simulation and ship maneuvering

近年、船員の減少と高齢化が大きな問題となっている。また、海運業界の経済的低迷から、現在すでに少人数による運航が進んでおり、船員に対して大きな負担を強いている。このため、安全の確保と省力化の両立が望まれている。

その1つの解として一名当直用航海支援システムの開発を行った。このシステムの開発は、全国内航タンカー海運組合と当所及び三菱重工と共同で1993年から実施された。開発においては、一名当直のために必要な仕様を求めるため、操船シミュレータ実験を実施した。

本論では、操船シミュレータを用いた航海支援システムの設計法について述べた。開発においては、操船シミュレータ等を用いて、熟練操船者から省力化のための自動化機能、航海支援システムのユーザビリティおよびシステムの安全性に注目して意見を集約し、航海支援システムの仕様として確立し、さらにそのプロトタイプを用いたシミュレータ実験により、さらにブラッシュアップした。操船シミュレータ実験は、一名当直で問題となる作業が集中する状況と長期間刺激の少ない状況に対応して、輻輳した狭水道と遭遇船の少ない大洋域について実施し、それぞれの問題点とその解決策を航海支援システムに組み込むことができた。

最後に本研究で開発した航海支援システムを紹介しその評価結果を示した。



**DECISION-MAKING METHODOLOGY OF OPTIMAL SHIELDING MATERIALS BY USING FUZZY LINEAR PROGRAMMING**

ファジィ線形計画法による最適遮蔽材の決定法

金井康二、三浦俊正、平尾好弘

平成11年10月

Ninth International Conference on Radiation Shielding  
(ICRS-9)

遮蔽を設計する段階から安全性と経済性などトレード・オフ関係となる制約条件のもとで、目的にかなった的確な遮蔽材を選択することが要求される。また、国際的な防護委員会 (ICRP) の基本理念は「合理的に達成可能な限り小さくALARA」と詠われている。このため、東海支所とシステム技術部の共同研究として、信頼性の高い高性能遮蔽材を開発し、効果的な遮蔽設計を可能にすることを目的に理論的研究と実験的研究の双方を分担して手がけてきた。理論的研究では従来の線形計画法を改良して、ファジィ理論を利用し異なった元素から成る物質の最適な構成成分比を予測するもので設計の初期段階、仕様が固まらず、見直し変更が伴う場合にも、定性的な専門知識を援用して手軽に取り扱える手法として提案するものである。今までいくつかの成果を発表してきたが今回の報告は中性子並びにガンマ線の線量率の他に放射化量を通常の定期保守あるいは事故時の見積もり量、更には放射線施設の解体作業時及び、廃棄処分時の見積もり量をファジィ線形計画法で扱えるようアルゴリズムの改良を加え、より一般化を図ったので発表に供するものである。この手法を用いて、当所の東海支所で試作したボロン・鉛を含んだ高含有水素モノマーのゲル状遮蔽と遮蔽特性を比較したところ最適な構成成分比を予測するために有効であることが確認された。

**Advanced Maintenance for Marine Diesel Engine Based on Structural and Functional Modeling**

構造・機能モデルを用いた船用ディーゼル機関の保全手法

沼野正義、石村恵以子、西尾澄人

平成12年10月

Proceedings of Sixth International Symposium on  
Marine Engineering

船舶の推進機関の保全作業は安全運航のための必要不可欠な船上作業の一つである。定期的な点検や部品交換は航海中の故障発生による洋上での作業を低減するための予防保全として有効である。しかし、推進機関システムは多くの部品から構成されているため、保全計画を立案しこれを実施するには多大の時間と労力が必要である。保全データは機関の構成部品の劣化の予測の基礎となるため、これらを蓄積して解析することが予防保全のために重要である。

著者らは、これらの保全データを格納するものとし、機関のシステム構造的・機能的モデルを提案する。そして、このモデルの要素間の関係を定義する。すなわち、このモデルは構成要素間の機械的、熱的ならびに化学的関係を包含することになる。モデルの初期状態はシステムの設計者によってデフォルト値として設定される。また、要素間の関係も設計者の推奨値を基に初期状態が設定される。機関システムの保全に関する状態を記述するために健全性を導入する。摩耗のように明白な状態変化が観測できるものと疲労のように内部にダメージが蓄積されるが明白な状態変化が観測できないものの2つの型があり、それぞれ異なった扱いが必要である。前者は、閾値との比較を基にした扱いが可能であるが、後者は確率論的な扱いとともに、故障時に致命的なダメージを受けないような配慮が必要である。蓄積された保全データは、寿命評価としての解析に用いるとともに、保全計画の立案の基データとして活用できる。

**Reduction of Human Errors in Plant Operation  
Utilizing Human Error Correction Function as an  
Individual and Crew**

個人およびチームとしての人間の誤り訂正機能を利用  
したプラント運転におけるヒューマンエラーの低減  
沼野正義、宮崎恵子、田中邦彦、松倉洋史  
丹羽康之、福戸淳司、室原陽二  
平成11年8月  
第8回人間コンピュータインタラクション  
国際会議論文集

原子力プラント等の大規模かつ複雑なシステムにおいて、ヒューマンエラーを低減化するために、多くの自動化システム化が取り入れられている。しかし、設計条件をこえる事象に対しては、緊急停止によるダメージを軽減するために人間である運転員による適切な処理が期待されている。

一方、人間は個人として、チームとして異常事態に対処するが、この際には、人間を取り巻く環境を通じて同時に得られる多面的な情報により、自らの誤認識、誤判断および誤操作に気づいて誤りを訂正することが可能であると考えられる。本論文では、遠隔の制御室にいる運転員に、プラント状態に関する情報を現場感覚的な多面的な情報として与えるインターフェイスを用いることによって、人間本来の誤り訂正機能を利用したヒューマンエラーの低減化技術について述べる。

多面的な情報として、従来の制御コンソールの視覚情報と、透過型ヘッドマウントを用いたプラント状態の3次元表示を併用するとともに、従来のボタンやレバーによる操作入力に、反力や振動、音響等のフィードバックを与える。日常生活での経験に類似した情報提供を行い、人間自身が多面的な情報に動的に観点を移動させることによって誤認識、誤判断および誤操作に気づいて、誤りを訂正機能を発揮できるような支援システムを提案する。同様に、チームの構成員間で情報を共有することにより、構成員間で動的な視点の移動による誤り訂正機能をチームでの運転にも拡張することができる。この考えの基にプラント模型を対象とした3次元表示および感覚フィードバック入力装置を試作し、その有効性を確認した。

**A Reliability Analysis of Man-Machine System  
(Holdup Tank System) by the GO-FLOW**

GO-FLOW手法によるマン・マシンシステム（ホールドアップタンクシステム）の信頼性解析  
松倉洋史、松岡 猛、三友信夫  
平成12年11月  
Proceedings of 5th International Conference on  
Probabilistic Safety Assessment and Management  
(PSAM5)

プラントの信頼性を評価するためには、機械系だけでなく人的要因および人間-機械間の相互作用を含めて解析を行う必要がある。しかし、イベントツリー(ET)手法・フォールトツリー(ET)手法等、確率論的安全評価手法分野において従来から広く行われてきた解析方法を人間・機械系に対して適用した場合、下記のような欠点がある。

- ①人間-機械間の相互作用を正確に解析するのが難しい。
- ②時間による確率変化や時間遅れの影響を別々に解析する必要があり、手間がかかる。
- ③ツリー状にシーケンス展開されるため、形と機能・現象の対応をつけづらい。そのためツリーの作製・検証・変更が困難である。
- ④新たに考慮する要素を付け加えていくと急激にシーケンス数が増加するが、それに対応するのが困難である。

GO-FLOW手法では主として機械系に対して解析が行われてきたが、著者らは本手法を人間・機械系に拡張することを試みている。本報告ではホールドアップタンクとオペレーターからなる系を対象として人間-機械系全体の信頼性解析をまとめて行い、システム起動から6時間後までの状態を「To Over Flow」「To Dry Out」「System Stop」の3種類に分類して評価した。また、比較対象としてオペレータが介在しない場合の状態を評価した。それらの解析を通し、GO-FLOW手法を用いることにより人間-機械系の解析においてFT・ET手法の抱える上記問題点を克服できる可能性を示した。

## A Method to Solve Logical Loops in the GO-FLOW Methodology

GO-FLOW手法における論理ループの解法

松岡 猛

平成12年12月

Proceedings of the International Conference on Probabilistic Safety assessment and Management

従来GO-FLOW手法においては閉ループを形成する論理構造を解析する機能は無かった。本論文では閉ループの解析方法と簡単なサンプルシステムについての解析結果を報告している。

GO-FLOWチャート作成の段階においてしばしばループ構造があらわれた。このようなループ構造はシステム動作の論理の解釈により回避できる場合もあったが本質的な閉ループとなっているシステムも存在していた。ループ構造を解析する機能を整備したのでその結果を報告する。

解析対象システムとして以下のものを設定した。工学的な機構に運転開始指令を与える。運転員あるいは観測装置が運転状況をモニターし運転されていない場合一定時間後に再度運転開始指令を与える。工学的機構の故障発生、観測の不完全さ、運転開始指令の発生失敗、運転開始失敗等の事象を考慮して解析を進めた。解析対象システムをGO-FLOWチャートにモデル化するとループ構造が現れた。

ループ構造を持ったGO-FLOWチャートの解法は以下の方法によっている。チャート中にあるループ構造に関しては切断箇所を指定したデータを与える。すると解析プログラムは自動的に新規信号線を切断箇所に生成し、切断点以降の最初のオペレータの入力信号線と設定する。切断された箇所へ至る信号線強度から得られる値を新規信号線強度に与え繰り返し計算をする。切断箇所の信号線と新規信号線の強度の差が全タイムポイントにおいて設定値以下となるまで繰り返し計算を実施する。

本解析例では信号線強度の差が $1 \times 10^{-6}$ 以下になるまで繰り返し計算を実施した。繰り返し回数は11回、全計算時間は26秒であった。解析結果として、工学的機構のみの健全性、初期開始指令のみが与えられた場合の運転確率、運転開始指令を引き続き与えた場合の運転確率をグラフに示した。妥当な時間推移を示し、閉ループの解析方法としては満足するものが得られた。

## 劣化モデル異常・故障伝搬モデルを用いた船用機関の保全支援

Maintenance Support Using Deterioration Model and Propagation Model

of Abnormal States and Failures for Marine Engines

沼野正義

平成11年12月

第8回交通物流部門大会・講演論文集

船舶の運航は、船上の現場においては船橋での操船作業と機関室での推進性能維持作業によって成り立っている。安全運航にとって、正常な推進機関の作動が大前提であるため、不断の保全作業が必須である。比較的近距离輸送に従事する内航船や、長期間の連続した航行が必要な外航船では、機関の規模、形式、ならびに保全形態が異なっている。保全作業には、事後保全としての故障箇所の発見、部品交換と予防保全としての定期的な部品の調整、交換作業がある。特に、洋上での故障に対応した保全作業を軽減するために適切な時期の部品交換による予防保全が不可欠となっている。通常は、部品ごとの重要性とMTBF等の統計的データから交換時期を決定しているが、統計的データには、技術や機器の進歩に伴う変化が含まれるため実際の故障確率と大きく異なる場合がある。このような場合には、実際の機器が製造から運転を経た履歴を追うことによる現在の健全性の推定が有効である。異常や故障原因の推定や、保全の経済性効果を評価するためには、特定の部品の上流及び下流に因果関係をたどることが必要である。これらを行うための劣化モデルと異常・故障伝搬モデルを提案する。劣化モデルにデフォルト値を導入したことにより、異常・故障の発生、進展を推定するための要素間の関係が不明の場合でも、従来通りの保全情報が得られることから、スタートポイントは保証されると考える。

新たに得られた関係の追加、修正のためのインターフェイスとモデルを使った保全支援インターフェイスが不可欠であり、適切な設計が必要である。機関の3次元形状モデルと系統図的な機能関係モデル上に劣化情報を載せることにより、わかりやすいユーザーインターフェイス構築が可能である。運転、保全履歴および健全性低下パラメータ、要素間の定性的関係が重要であるため、本支援システム構築には、蓄積されたデータ、各種パラメータ、知識等のデータベースとリンクしたデータ駆動型のプログラミングが有効である。現在、情報化の進展に伴い、運転・保全履歴の蓄積や上陸からの支援が可能となってきたが、蓄積された情報と現実の機関とを結びつける有効なインターフェイスとして、劣化モデル、異常・故障進展モデルが位置づけられと考える。

〈原子力技術部〉

屈曲ダクトストリーミング体系における有効な  
補償遮蔽の解析並びに開発  
Analysis and Development of Effective Compensation  
Shields  
in a Multilegged Duct Streaming System  
植木紘太郎、川合将義  
平成12年11月  
American Nuclear Society  
Nuclear Technology Vol.132 Nov.2000

本研究では、先ず、NCNPコードのCell Flagging法を用いて、大阪大学のOCTAVIANで行われた14 MeV中性子による3本直ダクトストリーミング実験の解析を行った。そして、ダクトの入口に立てたFlagging Cellを通過した中性子およびダクト中に置かれた検出器に入った中性子がダクトの出口に置かれた検出器にどのくらい寄与するか、定量的に同定した。さらに、本解析によってダクト入口に入った中性子のストリーミング経路が明らかになった。

続いて、このCell Flagging法の応用として、厚さ2mのコンクリート遮蔽体中に二回屈曲円筒ダクトのある中性子ストリーミング体系を設定し、この屈曲ダクトの周囲にFlagging Cellを置いた。中性子線源としてはOCTAVIANの実験と同じ14 MeV中性子とした。そして、それぞれのFlagging Cellを通過した中性子がダクト出口に置かれた検出器にどの位寄与するかを調べた。次に、これらのFlagging Cellのいくつかを中性子遮蔽材NS-4-FRに置き換えることにより、ダクト出口における中性子の線量当量率を効率よく低減することの出来る補償遮蔽が得られた。NS-4-FRという中性子遮蔽材は、使用済燃料輸送容器の中性子遮蔽材として使用実績があり、カルフォルニウム-252中性子（平均エネルギー2.3MeVに対する1/10価層は14.5cmである。

本計算結果から、それぞれのFlagging Cellを通過した中性子がダクト出口における線量当量率に対し等しく寄与するように補償遮蔽を設定することが、中性子ストリーミング体系において有効な補償遮蔽システムを構築する本質である、と考えられる。

Flow Characteristics of Pulsating Flow obstructed  
by an Array of Square Rods

角柱列を挿入した脈動流の流れ特性  
村田裕幸、澤田健一、小林道幸  
平成12年11月

Proceedings of International Mechanical Engineering  
Congress and Exhibition

角柱列が周期的に挿入された動脈流の流動特性を明らかにするため、角柱高さを代表寸法とするレイノルズ数を150とし、脈動周期、脈動振幅、角柱の配列ピッチをパラメータとしてPTV (Particle Tracking Velocimetry) を用いた動脈流の可視化実験を行うとともに、2次元非定常の数値解析を行った。その結果、次のようなことが明らかとなった。

- (1)閉そく比が0.3である本研究の条件において、脈動がない定常流の場合、 $L/d=6.67\sim 13.3$ では各々の角柱からはカルマン渦が周期的に放出され、そのストローハル数は0.3である。一方、 $L/d=3.33$ の場合には、カルマン渦は放出されず、角柱背後に非常に低速の循環領域が形成される。
- (2)脈動周期が比較的長く脈動振幅が大きい場合、角柱後流は脈動の加速位相で安定化し、減速位相で不安定化する。一方、脈動振幅が小さい場合には、脈動による顕著な効果は見出されなかった。
- (3)脈動周期が定常流におけるカルマン渦放出周期よりも短く、脈動振幅が比較的大きい場合、カルマン渦列の不完全な形成と崩壊が脈動周期と同一の周期で繰り返された。
- (4)脈動のない定常流について数値解析を行ったところ、解析結果が計算領域の大きさによって変動する $L/d=6.67$ の場合を除いて、計算結果は実験結果と良く一致する。
- (5)数値解析コードの圧力勾配パラメータを時間的に正弦波状に変化させたところ、解析結果は脈動流となった。解析結果における主流方向の圧力勾配と断面平均流速の時間変化は、実験結果と良く一致する。

FLOW CHARACTERISTICS OF OSCILLATING FLOW IN A  
CHANNEL OBSTRUCTED BY AN ARRAY OF CIRCULAR  
CYLINDERS

円柱列を過ぎる脈動流に関する実験

澤田健一、村田裕幸、小林道幸

平成12年11月

Proceeding of International Mechanical Engineering  
Congress & Exposition

2次元円柱周りの流れについては、従来多くの研究がなされ、自由流中の単一円柱周りの流れだけでなく、ブロック比の効果や複数円柱などが流れの特性や伝熱に与える影響などに関して多くのことが明らかにされてきている。また近年、周期的変動を伴う流れの中におかれた物体周りの流れが伝熱効率促進の可能性の観点から注目を集めており、工学的な観点からも特に船用炉において自然循環炉心冷却時に船体の動揺に起因する脈動流が伝熱効果に影響を与える可能性が指摘されている。脈動流が単一円柱周りの流れに与える影響に関しては幾つかの研究が行われているが、実際の熱交換器などの機器においては、流路幅の影響や複数配列された円柱列などにより、より複雑な流れとなっている。工学上の観点からもこのような複雑流路において脈動流が渦の生成や伝熱にどのような影響をあたえるかを明らかにすることは重要である。

そこで本研究では、蒸気発生器で構成されるような複雑流路における脈動流の影響を調べるために、まず基本的研究として蒸気発生器内部を単純化し、円柱列で構成される二次元チャンネル流路を作成し、非加熱の可視化実験を行った。実験装置には回路式流水槽を用いた。測定部は、高さ $H=50\text{mm}$ 、幅 $W=400\text{mm}$ 、長さ $4000\text{mm}$ とした。またチャンネル流路中に直径 $15.4\text{mm}$ の円柱を流路高さ中心面上に流れに直交して配置した。流れの脈動は測定部上流に設置した可変ピストンによって制御し、流量 $Q=Q_1+Q_2\sin\omega t$ で表される周期的な脈動流を発生させた。流れの可視化には、直径 $30\mu\text{m}$ のナイロン粒子を流れ場に懸濁させ、ストリット光を照射して流れ場をCCDカメラによって撮影する方法を採った。可視化画像は3時刻パターンマッチング法を用いたPTV (Particle Tracking Velocimetry) によって画像処理を施した。実験は、脈動周期・振幅などの脈動流のパラメーターを種々に変化させることで、特に、低レイノルズ数領域において、これらがカルマン渦の生成や流れ場の特性に与える影響を明らかにした。

〈海洋開発工学部〉

多目的作業船の性能向上に関する研究

Improvement of performance on Multi-purpose  
Work Vessel

山川賢次、原 正一、星野邦弘

湯川和浩、影本 浩

平成11年11月

関西造船協会誌 (233号)

日本近海は、油タンカーの輻輳海域であり、その上に冬季は季節風による、また夏季から秋季には台風による厳しい気象・海象が出現する。こうした条件の下で、ロシア籍油タンカー「ナホトカ号」の海難のような大規模な油流出事故が再び発生する可能性は十分にある。したがって、高波浪下で高粘度の油の回収を可能とする効果的な油回収技術の研究が急務となっている。

著者らは、海面に浮遊する流出油を効率よく集めて、波浪低減の処置を施した作業水面に取り入れて、機械的な油回収措置を用いて直接回収する方式の研究の一環として、油回収船舶及び作業水面の静穏化に関する研究を担当して現在実施中である。この油回収船は、船体中央部にムーンプールと呼ばれる甲板から船底まで貫通する作業水面及び船尾から作業水面に浮遊物を導入する導入部・水路部を有するバージ型の作業船である。この作業船は、流出油の回収作業のみならず、海面清掃や海洋工事の作業船としても活用できるものとして、多目的作業船と位置づけている。

この作業船が流出油回収作業に従事する場合のコンセプトは、船尾の両舷からオイルフェンスを伴った曳航索を展張して、ゆっくりと曳航しながら作業水面に流出油を取込むものである。また、引船の使えない浅い海浜では、アンカーを打って作業船側からウインチで巻き取って前進することができるものである。このような作業船に要求される性能は、浮遊する油を波浪中でいかに取り込み、いかに効率よく回収できるかである。そのためには、取入部、導入部及び作業水面における波浪の静穏化が重要である。この研究では、波浪中の流出油回収を主目的とする多目的作業船の模型実験を行って、次の結果を得た。

- 1) 波浪低減用の付加物は、取入部と水路部の消波ブロック、moon-pool入口水面下の堰、moon-poolのスリット型底板、波吸収壁が有効である。
- 2) この四つの付加物によって、想定される海域の波浪帯 ( $\lambda/L=0.3\sim 2.7$ ) でmoon-poolの水位変動を追波中で入射波の0.3~0.4倍程度、向波中では0.2倍程度に静穏化することができた。

今後は次の項目について検討する予定である。

- 1) 浮遊物をスムーズに取り入れるために、また浮遊物

- の衝突対等による破損を避けるため、波浪低減用の付加物をできるだけ単純な構造にすること。
- 2) 速曳航による流出油の流れ込みの確認と改善。
  - 3) 実油の浮遊する水面における静穏化の確認。

**水槽試験における画像処理の応用  
(その2 3次元粒子追跡法による損傷・転覆  
船舶の動揺計測)**

Application of the Image Processing in the Tank Test  
(Part 2, Measurement of Motions of Damaged and  
Capsized Ship by the 3-dimensional Particle Tracking  
Method)

星野邦弘、原 正一、山川賢次、湯川和浩

平成12年5月

西部造船会会報 第100号

水槽試験における模型船の動揺計測は、流体力や波・流れの計測とともに重要な計測項目の一つである。模型の動揺計測には機械式、光学式、超音波式等の各種の計測手法が用いられているが、その中でも光学式動揺計測手法は、機械式のように機構部の摩擦の影響がないことと超音波式に比べて時間分解能が高くノイズに強いことから動揺計測の主流となってきた。光学式の動揺計測としては、赤外線 LED とフォトダイオードを用いた位置検出素子 (PSD: Position Sensitive Detector) を用い、時分割により多点計測を行う方法が多く用いられている。この方法が多用される理由は、PSD が非分割素子でかつ走査の必要がないことから容易に高速度、高分解能を実現することが出来るためであるが、①水面反射の影響を排除することが困難である、②水中計測ができない、③時分割計測のため LED の同期発光用の信号ケーブルが必要となり完全な非接触計測が困難であるなどの欠点を有している。本論で開発したビデオカメラで撮影された画像から解析する手法は、空間および時間分解能が低い等の欠点を持っているが、水中移動物体についても計測可能であることや PTV (Particle Tracking Velocimetry) 等の手法と併用することによって動揺計測と同時に流場や波浪場の計測も行える等、今後の新しい計測手法としての発展が期待される。ビデオ画像を用いた計測法の空間および時間分解能の向上は CCD カメラ等の撮像機器の技術的発展により解決されてくるものと思われる。

本論では 2 台または 3 台の水中カメラにより模型の表面に貼り付けた円形のターゲットを 3 次元的に追跡し模型の 3 次元動揺を計測するシステムを開発し、その有効性を実験により確認したので報告する。実験は全没水に近い船首部だけ残った状態の損傷・転覆船舶の曳航時の 3 次元振れ回り動揺の計測について行った。模型が殆ど没水した状態のため機械式や赤外線 LED を用いた方式では計測不可能であるが本システムを用いることで模型船の 6 自由度動揺を計測することが可能となった。本システムの開発により、水槽関係実験者の究極目標であった模型の 3 次元挙動と 3 次元流場および波浪場の同時計測の実現へと一歩近づいた。

損傷船舶の曳航に関する研究 (その2 波浪中の  
索張力増加とふれまわり運動)

On the Towing of Damaged Ships (2nd Report: Towline  
Force Increase and Unstable Motion in Waves)

原 正一、山川賢次、星野邦弘、湯川和浩  
平成12年5月

関西造船協会誌 第234号

平成11年12月にフランスプレストの沖合いでマルタ船籍のエリカ号が荒天下で海難事故を起こし、船体は2つに折損、分離して漂流した。船体後半部は汚染を回避するために、沖合いに曳航することが試みられたが、曳航中に120mの海底に沈没した。そして、積載していた約10,000トンの燃料油が漂着して、多大な環境被害をもたらした。この事故は、平成9年1月に日本海で発生したロシア船籍大型油タンカー「ナホトカ号」の海難事故と状況がよく似ている。本事故のように、航行不能となった船舶が、有効な曳航手段を講じられないまま漂流、漂着し、油流出等による甚大な被害をもたらした例は数多い。

著者らはこれまで幾何学的船型(船首部のみ楔型の箱型船型)を有する船体の一部が損傷した模型を使用して、平水中及び向波状態の規則波中において曳航実験を行い、主に曳航索張力及びふれまわり運動について検討を行った。また、曳航時の流体力係数を求め、流れの可視化とともに操縦運動方程式を解いてふれまわり運動の解析を行った。さらに、拘束した模型の流体力の推定法を示して実験値と比較し、両者はよく一致することがわかった。

本報告では、不安定な挙動が予想される追波状態についても曳航実験を行い、実海域での波浪を想定して不規則波中においても実験を実施した。ふれまわり運動については、以下のような結論が得られた。

(1) 追波中でも曳航速度が大きくなればふれまわり周期が短くなり、波周期にかかわらず曳航速度によってふれまわり周期は決定されることがわかる。この傾向は、向波中の場合と全く同じである。また、規則波中と不規則波中のふれまわり周期はほぼ同程度であった。このことから、ふれまわり周期は、船体固有のものであり、外乱の状態にかかわらないことがわかる。

(2) ふれまわり運動の周期の無次元値「船長/曳航速度」は、曳航時の船体の姿勢にかかわらず曳航速度に対してほぼ一定値となった。これは、不規則波中でも同じである。

また、波浪中の索張力増加について、曳航方向及び船体姿勢を変化させた実験結果をまとめたのでその外要を紹介する。

〈氷海技術部〉

Model-Scale Measurement of Ice Load Distribution  
on Icebreaker PM "TESHIO"

砕氷船「てしお」模型船による砕氷時水荷重の計測  
成田秀明、泉山 耕、若生大輔

Proceedings of The 15th International Symposium on  
Okhotsk Sea and Sea Ice

砕氷時に船体に働く水荷重の作用メカニズムについての正確な理解は氷海船舶の性能向上および合理的な船体構造設計に役立つ。しかしながら、砕氷時における氷の破壊現象は非連続で不規則な確率現象であるため、数学による解析は困難であり、かつ現象そのものを測定することもこれまでは計測技術が未発達であったため行われることは希であったし、測定内容も極めて限定されていた。本研究においては、この破壊現象の理解を促進するために、模型平坦水の中を砕氷船「てしお」の模型船を曳航し、船体表面に作用する水荷重をプラスチックフィルム状の触感型圧力センサー(Tactile Sensor)を用いて直接測定した。これは氷海水槽での模型試験において、史上初めての試みであり、このセンサーの利用可能性を評価すること、水荷重の発生メカニズムを理解することを目的とした。実験で得られた水荷重分布の形と時間的変化を解析して、氷板の曲げ破壊フェーズと氷片を回転沈下させるフェーズにおける局所水荷重の大きさと作用面積などの分布特性を調べ、両フェーズにおける力学的相互作用メカニズムの違いとの関連を検討した。模型は実船の16分の1サイズであり、模型氷盤の厚さと強度は同じ縮率となるように製造した。曲げ破壊フェーズにおいては、船体外板が氷盤の縁を斜め上方から圧迫し、曲げにより氷盤の一部を折り取る。回転沈下のフェーズでは、折り取られた氷片を船体が回転させつつ沈下させる。前者では荷重分布が、船首近傍で喫水線直下近傍のある長さの線分に集中する。そして圧力のピークが非常にシャープである。後者では、圧力の作用する位置が喫水線より下がりがかつ船体中央寄りであり、荷重分布は面的な広がりを持ち、はっきりしたピークがみられない。今回は、荷重測定を行った範囲が、タクトイルセンサーシステムのキャパシティの限界により、極めて限定されたが、将来、この測定が船体表面全体においても可能となるならば、砕氷時船体抵抗の発生メカニズムの解明や、船体補強の適切さの判定に役に立つ。なお、当所においては、砕氷巡視船「てしお」の船体構造部材に生じるストレスの測定を実施した。この実船データを解釈する上で、本模型実験結果を定性的に役立て得る可能性がある。

〈東海支所〉

### A Simple Method of Calculating Radiation Streaming through Cylindrical Ducts in a Concrete Shield

コンクリート遮蔽体中の円筒ダクト漏洩放射線  
簡易計算法

三浦俊正、平尾好弘、石田紀久、藪田尚宏

平成11年10月

日本原子力研究所、日本原子力学会

遮蔽における複雑形状部での放射線ストリーミング遮蔽設計計算手法の調査を行ったところ、いろいろと問題があることがわかった。このためにコンクリート遮蔽中の円筒ダクトに関する研究を行った。すなわち、ストリーミング放射線の系統的な計算をモンテカルロコードMCNP4Aで行った。計算条件は以下の通りである。ダクト長さは150cmとした。ダクト径は5~40cmである。屈曲ダクトの場合の屈曲角度は30~90度とした。遮蔽壁の一面に平面線源を設けた。線源から放射される放射線の角度分布は等方または一様方向とした。一様方向の場合は放射線の方向とダクト軸の角度を0~60度とした。エネルギー効果を調べる計算以外ではガンマ線のエネルギーは1.25MeVとした。中性子線源の場合は三種類のものとし、それぞれ、核分裂スペクトル、1/Eスペクトル、およびマックスウェル分布をもつものとした。モンテカルロ計算の評価を行うため日本原子力研究所のJRR-2で実験を行った。線源としては強度3.7GBqのコバルト同位元素を用いた。コンクリート中のダクト中心軸に沿った線量分布を熱蛍光線量計で測定した。次にガンマ線ストリーミングに関する結果の一部を示す。45度方向からの一様入射の場合、線源が1.25MeVの場合と核分裂スペクトルの場合で軸方向線量当量率分布はほぼ一致した。これらの結果に対し、0.5MeVの場合は最大で50%過少評価し、6MeVの場合は最大で3倍過大評価した。これらの差の原因を調べるため同じ一様方向の線源に対し、二つの線源空間分布の場合を計算した。一つは線源が入口壁面全面に分布する場合であり、もう一つは線源がダクト入口面内のみ分布する場合である。結果として、ダクト軸に沿った線量当量率はダクト口径を20cmとすると前者の場合が後者の場合の5~10倍大きかった。ダクト口径を40cmとすると前者は後者の3.5~7倍大きかった。ダクト入口に置いた点線源に対する直視線の計算式による計算と入射角度30~60度の場合の結果を比較すると前者の方が減衰が緩やかであるが、部分的に過少評価した。これらのデータを用いて簡易計算法を提案した。線源が与えられるとそれをいくつかの領域に分け、それぞれの部分からのダクト入口での線量当量率の寄与とそれらの成分のダクト中での減衰を掛け合わせ合計する方法である。

### 円筒ダクトストリーミング放射線量簡易計算プログラムの開発

Development of a Simple Calculation Code of Streaming Radiation Doses through

Cylindrical Ducts

三浦俊正、平尾好弘、佐藤 理

石田紀久、奥野功一、佐藤富士男

平成12年9月

日本原子力学会2000年秋の大会予稿集

普通コンクリート遮蔽壁中にある直及び屈曲円筒ダクトをストリーミングする放射線の線量を簡単にかつ精度良く計算できる計算コードを開発した。対象は原子炉や核燃料サイクル施設における中性子及びガンマ線である。本計算法は原理的にどのような複雑形状部にも適用できるものであり、また、放射線の種類は問わない。しかし、計算には各複雑形状部ごとにストリーミングデータベースを必要とする。中性子の場合はエネルギーを3群で、ガンマ線は1群で扱った。直ダクトの場合、入口からXの位置での全線量当量率はエネルギー、入射角度、口径の関数であるストリーミング線量減衰関数を加え合わせ求める。1回屈曲ダクトの場合は2脚目に対する線量減衰関数を加え合わせ求める。2回屈曲ダクトの場合も1回屈曲ダクトと同様に計算する。データベースとして必要なストリーミング線量減衰関数、透過線量減衰関数、中性子線量の群ごとの割合の計算は主にモンテカルロ計算コードMCNPで行った。直ダクトの計算では入射面全面に一方向線源を設けた。入射角度は0、15、30、45、60度を、ダクト口径は5、10、20、30、40cmを、屈曲角度は30、45、60、90度をそれぞれ選択した。計算コードの概要は次の通りである。任意の寸法・屈曲角・屈曲回数の円筒ダクトに対し、入力条件に従ってストリーミングデータベースの内外挿を行い、それに基づきダクト中及び出口での線量率分布を求める。求めた線量率分布を図示及び表示する機能も有する。入力データは対話式に作成される。画面構成はダクト形状選択、ダクト寸法、線源、計算点等の設定、プロットおよびデータ表示の画面等である。対象機種はPC/AT互換機で、OSはWindows95/98/NT4.0である。モンテカルロ計算により作成したデータベースの信頼性は日本原子力研究所での<sup>60</sup>Co線源による実験、(株)間組技術研究所における<sup>252</sup>Cf線源による実験、及びSn計算との比較により評価した。今後はコンクリート密度、鋼製ライナー、線源形状等の補正計算、遮蔽欠損効果等の計算が行えるようにする。



〈LCA研究グループ〉

### Life Cycle Inventory Analysis of Ship for Estimation of CO<sub>2</sub> Emission

船舶のCO<sub>2</sub>排出量の推定に関するライフサイクルインベントリ分析

亀山道弘、木原 洸、平岡克英、城田英之  
千田哲也、林 慎也、福本正明

平成11年10月

Sixth International Symposium On Marine Engineering  
TOKYO2000

製品のライフサイクルにわたる環境への影響を評価するLCA (Life Cycle Assessment) がISO14000シリーズの普及と共に産業界に広がりを見せている。日本では多くの資源やエネルギー等を海外から船舶により輸入するため、製品のLCI (Life Cycle Inventory Analysis) では、船舶による輸送を考慮する必要がある。しかし、数十万に及ぶ素材や部品を使用して建造され、様々な環境で運航される船舶のライフサイクルは複雑であり、船舶自体のLCI分析は未だ本格的に実施されていない。そのため船舶のLCA解析の実施及び船舶輸送に関するインベントリーデータの提供のための共通の手法の確立へ向けて、著者等はモデル船を対象に大型船舶のライフサイクル全般にわたる二酸化炭素の排出量に関するインベントリー分析を行った。

モデル船は単底構造の載荷重量 (DWT) 約87,000トンのタンカーとした。LCI分析の分析の対象範囲は電力や鋼材等の素材やエネルギーの生産から船舶の建造、運航、解体及び解体した船舶から回収した鋼材による建築用の伸鉄材の生産までとし、固形廃棄物等の焼却や埋立及び解体後のその他の部品又はスクラップ金属の再利用は対象から除いた。解析の対象としたモデル船の機能単位は1 (ton-km) の原油輸送とし、解析の対象とした環境への負荷項目は地球温暖化等の主因である二酸化炭素の大気中への排出量とした。また、分析手法はプロセスツリーの記述に基づく積み上げ法とし、マトリックス計算を行った。主機関等船舶に使用される全ての部品については、関連する素材により同じ重量に置き換える等の簡略化を行った。

モデル船のライフサイクルのプロセスツリー図を作成し、代表的な航路を対象にLCI分析を行い、船舶のLCI分析の実施方法を明らかにすると共に、船舶のライフサイクルのステージ毎の二酸化炭素の排出量は約6 (g-CO<sub>2</sub>/ton-km)、また船舶の運航ステージにおいて全ライフサイクルの二酸化炭素の排出量の約98 (%) を排出していること等が示された。

### Life Cycle Inventory Analysis of CO<sub>2</sub> Emission from Ship

船舶からのCO<sub>2</sub>排出に関するライフサイクルインベントリ分析

亀山道弘、木原 洸、平岡克英、浦 環  
平成11年11月

The 4th Sixth International Conference on EcoBalance

製品のライフサイクルにわたる環境への影響を評価するLCA (Life Cycle Assessment) がISO14000シリーズ普及と共に産業界に広がりを見せている。日本では多くの資源やエネルギー等を海外から船舶により輸入するため、製品のLCI分析 (Life Cycle Inventory Analysis) では、船舶による輸送を考慮する必要がある。しかし、数十万に及ぶ素材や部品を使用して建造され、様々な環境で運航される船舶のライフサイクルは複雑であり、船舶自体のLCI分析は未だ本格的に実施されていない。そのため船舶のLCA解析の実施及び船舶輸送に関するインベントリーデータの提供のための共通の手法の確立へ向けて、著者等はモデル船を対象に大型船舶のライフサイクル全般にわたる二酸化炭素の排出量に関するインベントリー分析を行った。

モデル船は単底構造の載荷重量 (DWT) 約87,000トンのタンカーとした。LCI分析の分析の対象範囲は電力や鋼材等の素材やエネルギーの生産から船舶の建造、運航、解体及び解体した船舶から回収した鋼材による建築用の伸鉄材の生産までとし、固形廃棄物等の焼却や埋立及び解体後のその他の部品又はスクラップ金属の再利用は対象から除いた。解析の対象としたモデル船の機能単位は1 (ton-km) の原油輸送とし、解析の対象とした環境への負荷項目は地球温暖化等の主因である二酸化炭素の大気中への排出量とした。また、分析手法はプロセスツリーの記述に基づく積み上げ法とし、マトリックス計算を行った。船舶に使用される部品のうち主機関については製造に関するインベントリー分析の解析結果を用い、他の部品については関連する素材により同じ重量に置き換える等の簡略化を行った。

モデル船のライフサイクルのプロセスツリー図を作成し、代表的な航路を対象にLIC分析を行い、船舶のLIC分析の実施方法を明らかにすると共に、船舶のライフサイクルのステージ毎の二酸化炭素の排出量の概略を明らかにした。解析の結果、船舶のライフサイクル全体での原油輸送の機能単位当たりの二酸化炭素の排出量は約6 (g-CO<sub>2</sub>/ton-km)、また船舶の運航ステージにおいて全ライフサイクルの二酸化炭素の排出量の約98 (%) を排出していること等が示された。