

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

**Shape Optimization of Practical Ship Hull Forms
using Navier-Stokes Analysis**

ナビエ・ストークス解析を用いた実用船型の形状最適化

日野孝則

平成11年7月

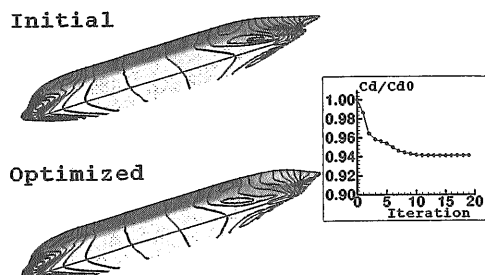
Proceedings of Seventh International Conference
on Numerical Ship Hydrodynamics

物体まわりの流れ場を計算するCFD（計算流体力学）手法と、SQP（逐次2次計画法）と呼ばれる非線形最適化手法を組み合わせ、実用船型を対象とする流体力学的形状最適化手法を開発した。

まず、実用船型のように複雑な形状を取り扱うために、形状の変化を原船型の半幅に重み関数を掛ける形で表し、重み関数のパラメータを設計変数とした。非線形最適化手法は、与えられた設計変数に従って船型を変更し、CFD手法によって流れ場および目的関数（抵抗などの流体力学的な性能）を求める。さらに、随伴変数法を用いて感度係数（設計変数に対する目的関数の勾配）を評価し、これらの情報を基に、流体力学的な性能が最適になる設計変数の組合せを自動的に探索する。

この手法を実用船型の抵抗最適化に対して応用し、排水量が初期船型より減少しないという制約条件、および機関設置のスペース確保のための幾何的制約条件の下で肥大船型の粘性抵抗を最小化する最適化問題を解析した。

図には、初期形状と最終形状のまわりに圧力分布を示す。この場合、19回の最適化反復によって粘性抵抗は約6%低減し、本手法が実用船型の形状最適化に対しても有効であることを確認した。



図：初期形状（上）と最終形状（下）のまわりの圧力分布と粘性抵抗の最適化履歴

船がつくる波を計算する

Computing Waves Generated by Ships

日野孝則、安東 潤

平成11年11月

日本造船学会

テクノマリン1999年11月号

船の波の計算法について概説した。

船の航跡が左右に約19度の角度で広がり、船がつくる波（ケルビン波）がほとんどこの範囲に限られる理由を素成波の重ね合わせを用いて説明した後、船がつくる波を計算で表現する方法について述べた。まず、速度ポテンシャルに基づくランキンソース法に関して、波の動力学的条件と運動学的条件の式の意味について述べ、これらを組み合わせ、線形自由表面条件式、さらに、ランキンソース法におけるDawsonの自由表面条件式を導いた。その後、数値計算の流れを説明し、さらに2次元円柱や船体まわりの造波など、いくつかの計算例を示した。

後半では計算流体力学（CFD）手法による波の計算について、自由表面条件の非線形な扱いについて述べた後、波面と計算格子の配置関係の相違からCFD手法は界面適合法と界面捕獲法に分けられることを示した。界面適合法は波面と計算格子を一致される手法で、計算精度が高い反面、波面の大きな変形には追従できない。一方、界面捕獲法では格子線と波面は一致しないので、計算精度の面ではやや劣るが、波面の大きな変形にも対応できる。それぞれの手法について、いくつかの計算例を示し、計算結果の検証の重要性を指摘した。

CFDによる船型最適化問題の現状

Present Status of Ship Hull Form Optimization
using CFD

日野孝則

平成11年12月

試験水槽委員会 (JTTC) シンポジウムテキスト

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を紹介して、最適化手法の現状および将来展望について述べる。

1方程式乱流モデルの船周り流れへの適用

Application of One-equation Turbulence Models for
Ship Flows

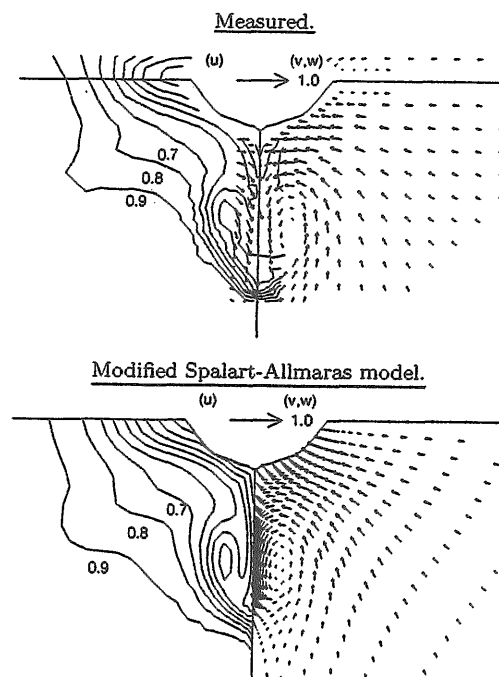
平田信行

平成11年12月

第13回数値流体力学シンポジウム前刷集ならびに
CD-ROM

船周りの流れにたいしてもCFDの進歩は著しく、抵抗に関して、実験値と数パーセント以内の相関を持つようになってきた。しかし、プロペラ性能を評価する上で極めて重要な肥大船の大きく歪んだwake分布の再現は大変難しい。これは、Baldwin-Lomax (BL) モデルに代表される低次の乱流モデルでは、船尾での渦動粘性係数を過大評価し、船体から剥離した縦渦が完全に発達しないためである。

本研究では、1方程式Spalart-Allmaras (SA) 乱流モデルの生成項を縦渦の核近傍で減衰させる修正を施し、2隻の肥大船に対して、従来のBLモデルによる数値計算結果や実験結果との比較を行った。なお、用いたNSソルバーは当所で開発したNEPTUNEコードである。結果は下図に示すように、今回提案した修正SA乱流モデルは、肥大船に特有なフック形状のくびれが再現できており、本修正モデルが有用であることがわかった。



図：SR196Aタンカー船型のプロペラ面におけるwake分布 (左側) と面ベクトル分布 (右側)

非構造格子による自由表面流れの計算
Computation of Free Surface Flows on
Unstructured Grid

日野孝則

平成11年12月

第13回数値流体力学シンポジウム前刷集ならびに
CD-ROM

計算流体力学(CFD)手法は種々の流体力学分野で実用的な設計ツールとして用いられるようになってきた。実験的な応用では複雑形状が問題になることが多く、格子生成技術と流れ解析技術の両者について複雑形状を扱う能力が求められている。非構造格子法は、そのためのアプローチの一つであり、格子の配置に規則性を要求しないことにより、形状取り扱いに関して高い自由度を持つ。また、船舶海洋工学においては自由表面流れが非常に重要であり、複雑形状まわりの自由表面流れの解析手法が望まれている。

ナビエ・ストークス・ソルバーを用いて自由表面を扱うための手法は2種類に大別できる。一つは界面適合(interface-fitting)法であり、自由表面形状は明確に定義され、追跡される。計算格子は自由表面形状に適合するように生成される。この方法は自由表面条件をその正確な位置で満足させるため、計算精度が高いという特徴がある。一方、自由表面の変形が大きくなると、計算格子の生成が著しく困難になるという欠点もある。もう一つの手法は界面捕獲(interface capturing)法である。この手法では、自由表面の形そのものは追跡されず、そのかわりに自由表面位置を表すスカラー量が用いられる。スカラー量として、例えばVOF (Volume of Fluid) 法ではセル内の流体の含有率が用いられ、level setでは、界面からの距離に符号をつけたものが用いられる。このアプローチの長所と短所は上の界面適合法の裏返しであり、自由表面形状が大きく変形しても対応できるが、計算精度の面では境界位置に格子点がないことから限界がある。

ここでは、非構造格子によるナビエ・ストークス・ソルバーを自由表面流れへと拡張する。非構造格子の利点である複雑形状への適合性を維持するためには、自由表面の変形に併せて格子を生成し直す必要がある。界面適合法よりも界面捕獲法の方が有利であるので、自由表面の扱いにはlevel set法を採用した。

計算結果から、自由表面近くに格子を集中させることで界面適合法と同程度の計算精度を達成できることが示された。非構造格子法の特長の一つである格子配置の自由度の高さを利用して、解適合格子法を併用することにより、複雑形状まわりの自由表面流れを効率良く計算する手法となることが期待される。

Statistical Analysis and Inference from the in-situ Data of the Sea of Japan with Reference to Abnormal and/or Freak Wave

日本海波浪データから見た異常波あるいはフリーク波の統計解析

富田 宏、川村隆文

平成12年5月

International Society of Offshore and Polar
Engineering Conference

ノルウェー沖合北海および北太平洋における実地波浪データより著者等によって示されたように、波浪の異常指標AIと海面における水位変動の統計的分布の尖り度(kurtosis)との間には良い相関が見られる。今回は日本海由良沖において1987年から1990年の間に当所によって取得された波浪データを統計解析することによって、ほぼ同様の傾向が確認された。

同所のデータに統計的処理を施して海洋表面水位変動、ゼロアップクロスならびにゼロダウンクロス波高、波極大値、波高と周期の結合等多くの短期統計分布を求めこれらを線形理論によるものと比較した。

次にAI (20分間のデータについての最高波高と有義波高の比) の長期統計を求め、線形理論による分布と比較し、かつKolmogorov-Smirnov検定を用いてその適合度の検定を行った。

有義波高、rms波高等代表的統計値と水位変動のエネルギーとの間の回帰分析を行って線形理論の妥当性を検証した結果、有名なForristalの実験式が成立しないなど、否定的な結果を得た。由良沖における海況は前回のノルウェー沖に比べて有義波高が1/2程度であり、荒天度が低いことからこれらの結果は波に対する水深比の小さいことからくる浅水効果であろうと推量された。

今回のデータで特徴的なことはAI値が2を超える波、いわゆるフリーク波が数多く発見されたことである。これはノルウェーでのデータにおいてフリーク波が皆無であったことと著しい対照をなすものである。さらに木村等によって定義され、ここで真性(genuine)のフリーク波と呼ばれている極めて特異な一発大波が当該海域では10例も取得された。この現象の真の原因については未だに解明されていないが、このような実海域での発見例を積み重ねることによって問題の核心に迫って行くことが出来るのではないかと考える。

〈運動性能部〉

**SIMPLE ESTIMATION METHOD ON SHIP MANOEUVRABILITY
BY MEANS OF MANOEUVRING PERFORMANCE DATABASE**

操縦性能データベースによる船舶の

操縦性能の簡易推定法

原口富博

平成12年5月

海事シミュレーションおよび船舶の操縦性能に関する
国際会議論文集

設計者が操縦性能暫定基準を満足するような設計を求められた場合、初期設計段階で船舶の操縦性能を推定する必要がある。その際、簡単な推定法があれば便利である。そこで本論文では粗くても簡単な推定法を提案した。この方法では線形回帰方程式を用い、その係数は操縦性能データベースにより決定する。回帰モデルは野本の式の指数から誘導され、そのパラメータは主に井上の式の線形流体微係数から構成されている。また、船尾フレームライン形状影響を表す係数として藤野、小瀬等によって既に提案されている σ も導入される。従って、初期設計段階で使用される主要目等で操縦性能暫定基準の各指標を推定することができる。この提案された簡易推定法について、満載状態について精度が検討した。また、左右の操舵方向の違いを考慮できるほどデータ数が必ずしも十分でないので、左右の操舵方向の試験結果の平均値に対して推定精度の検討を行った。まず、この推定式の係数を求める際に用いた操縦性能データについて比較検討を行い、さらにこのデータに含まれない船舶についてその操縦性能の推定結果を比較検討した。その結果をまとめると次のようになる。

- (1) 操縦性能暫定基準の指標の中、アドバンス、タクチカルダイアミータおよび 20° Zのファーストオーバーシュート角については、本推定法で良く推定できる。
- (2) 10° Zのファーストオーバーシュート角については、ほとんどのデータは大略推定できている。しかし、一部のオーバーシュート角の値が大きいデータが推定できていない。これは、オーバーシュート角が大きいデータについては σ_a とオーバーシュート角の相関が他のデータと傾向が異なるためであり、精度を改善するにはパラメータの改良が必要である。
- (3) 10° Zのセカンドオーバーシュート角についても、ほとんどのデータは大略推定できている。しかし、一部残差が 10° を越えており精度の改善が必要である。

**CRITERIA FOR YAW-CHECKING AND COURSE-KEEPING
ABILITIES IN IMO'S INTERIM STANDARDS FOR SHIP
MANOEUVRABILITY**

IMOの操縦性能暫定基準における回頭制動性能と針路安定性能に対する基準

芳村康男、小瀬邦治、原口富博

平成12年5月

海事シミュレーションおよび船舶の操縦性能に関する
国際会議論文集

国際海事機関 (IMO) は、海難防止のため船舶操縦性能暫定基準A. 751(18)を1993年に採択した。この基準は旋回性能、針路安定性能および回頭制動性能、および停止性能を含む典型的な操縦性能を包有している。しかし、この基準は十分な操縦性能データをもとに決定されていないため、実際の経験に基づいて見直しが行われることになっている。このため運輸省では5年間にわたり多くのデータを集め、実際に実船に適用した場合に針路安定性、回頭制動性能および停止性能に問題があることを指摘している。

本論文では、現在の暫定基準で特に針路安定性能および回頭制動性能に対する基準を中心に操縦性能基準を見直している。まず、これらの性能に対する指標を議論し、次いで多くの試運転データ、理論的研究、シミュレータスタディに基づく基準の評価を行い、最後に、操縦性能暫定基準の見直しに対するいくつかの提案を行っている。

CFDによる操縦流体力の推定について
 Computation of Hydrodynamic Forces acting on a
 Ship in Manoeuvring Motion
 宮崎英樹、野中晃二、二村 正
 上野道雄、日野孝則、平田信行
 平成12年5月
 日本造船学会論文集 第187号

現在IMO (International Maritime Organization) の場で操縦性基準についての議論が行われており、今後は設計の段階でその船舶の操縦性能を精度良く推定することが必要となることが予想される。これまでは設計の段階で操縦性能を推定するためには模型試験による方式や、過去に建造された船舶の試運転結果のデータベースによる方法などが用いられてきた。しかし、コストや時間、精度などの面から、これからは近年飛躍的に発達しているCFD (Computational Fluid Dynamics) による方法が主流になると考えられる。

現在日本では、当所で開発されたNICEコードと東京大学で開発されたWISDAMの2つのNS (Navier-Stokes方程式) ソルバーを操縦流体力推定に用いている。この二つの方法は共に有限体積法で支配方程式を離散化するが、WISDAM法は非圧縮流体としてMAC法的に速度・圧力を求めていくのに対し、NICE法では擬似圧縮性を導入して定常解を求めている。しかし、両コードとも計算時間が膨大であり、より短時間で精度良く操縦流体力を推定できる計算コードの開発が望まれる。

本論文では新たに当所で開発された高効率なソルバーであるNEPTUNEコードを定常での操縦運動状態が計算可能になるように拡張し、実験値との比較を行うことで本計算コードの有効性について検討を行った。

NEPTUNEコードの離散化はNICE法と同じであるが、離散化した方程式を準Newton緩和法を用いて解き、計算効率向上のためにMG (Multi-Grid) 法や局所時間刻み法などを導入し、計算時間の短縮を実現している。

計算の結果、流体力についてはタンカー船型、コンテナ船型ともに十分な精度で推定できていることがわかった。船尾流場については若干の違いが見られるが積分値である循環値は良く一致しており、本計算コードの有効性が確認できた。

波漂流力に及ぼす水底段差の影響について
 Effects of a Sea Floor Step on Wave Drift Force
 谷澤克治、南真紀子、沢田博史
 平成12年5月
 日本造船学会論文集

特別研究「荒天下における航行不能船舶の漂流防止法等に関する研究」の一環として、大波高時の漂流運動の研究を実施した。本研究では、これまでに開発してきた時間領域における波浪中浮体運動の非線形数値計算法、通称数値造波水槽を活用するため、平成10年度には規則波中に置かれたルイスフォーム断面を有する2次元浮体を対象に、数値造波水槽で求めた波漂流力と線形理論による推定値ならびに実験計測値との比較検討を行い、数値造波水槽の精度を検証した。平成11年度には本非線形計算法をベースに非常に高速なシミュレーションが可能な線形計算コードを追加開発し、水底段差等の種々条件下での波漂流力のパラメータスタディーを実施するとともに、二次元水槽において対応する実験計測を行い、その妥当性を検討した。

本論文は以上の研究成果の概要について述べたものは、前半では数値造波水槽の概要(線形・非線形)を簡単に紹介し、後半では数値計算結果と実験値との比較を紹介している。比較した項目は浅水域で水底段差が存在する場合の(1)自由動揺する浮体による波の反射透過係数、浮体の3自由度の動揺振幅、波漂流力等である。本論文ではこれらの項目について、浮体と段差との相対位置と入射波の波長をパラメータとして変化させた比較結果を示すことで、水底段差の波漂流力に及ぼす影響を明らかにするとともに、数値造波水槽が幅広い周波数帯で高精度に波漂流力を推定可能であることを検証している。

甲板水が甲板上構造物に及ぼす水平荷重の推定法に関する研究

A Prediction Method for Horizontal Impact Pressure on Deck Structures due to Shipping Water

小川剛孝、石田茂資、田口晴邦
平成12年5月
日本造船学会論文集第187号

満載喫水線基準について、近年条約及び国内規則の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。合理的に基準を規定するためには、これらが担保している安全性を定量的に評価する必要があり、著者らは、現在行われている基準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。

海水打ち込みはよく知られているように、船体及び甲板上構造物への損傷や作業性の低下を引き起こす可能性があるため、海水打ち込みに関する安全性を評価するためには、甲板水位及び甲板荷重を定量的に求める必要があると考えられる。甲板荷重を考える場合、上下方向にはたらく荷重だけでなく打ち込んだ水塊が甲板上を流下し、甲板上構造物等に作用する水平方向の荷重についても検討する必要があると考えられる。過去に行われた甲板上水位分布及びWater breakerに作用する衝撃圧の計測の結果によると、衝撃荷重のピーク値は甲板上水位5倍以上の水頭となり、決して無視できないものであると言われている。しかし、現在までのところ水平方向の荷重を対象とした研究は少なく、これを推定する手法として確立されたものは存在しない。

そこで本研究は、内航貨物船を用いた波浪中実験を行い、水平方向の衝撃圧を計測した。この実験では母船型の他にフレア形状を変えた場合と船首高さを変えた場合について計測を行っており、このような船首部形状の違いが水平方向の衝撃圧に与える影響について検討を行った。また、水平方向の衝撃圧について実用的な推定手法を開発したので同じく報告する。これは著者らが既に開発した洪水流モデルによる甲板上水位分布の推定法とWagnerによる衝撃水圧の推定法を組み合わせたものである。これにより推定した衝撃圧と実験値を比較したところ良好な一致をみたのでそれらの結果についても報告する。

Estimation of Wave Drift by Numerical Wave Tank, 2nd Report

数値造波水槽による波漂流力の推定、第二報
谷澤克治、南真紀子、沢田博史、内藤 林
平成12年6月

第10回国際極地沿岸工学会議プロシーディング

特別研究「荒天下における航行不能船舶の漂流防止法等に関する研究」の一環として大波高時の漂流運動の研究を実施した。本研究ではこれまでに開発してきた時間領域における波浪中浮体運動の非線形数値計算法、通称数値造波水槽を活用するため、平成10年度には規則波中に置かれたルイスフォーム断面を有する2次元付浮体を対象に、数値造波水槽で求めた波漂流力と線形理論による推定値ならびに実験計測値との比較検討を行い、数値造波水槽の精度を検証した。平成11年度には本非線形計算法をベースに非常に高速なシミュレーションが可能な線形計算コードを追加開発し、水底段差等の種々条件下での波漂流力のパラメータスタディーを実施するとともに、二次元水槽において対応する実験計測を行い、その妥当性を検討した。

本論文は以上の研究成果の概要について述べたもので、前半では数値造波水槽の概要（線形・非線型）を簡単に紹介し、後半では数値計算結果と実験値との比較を紹介した。比較した項目は浅水域で水底段差が存在する場合の(1)自由動揺に浮体による波の反射透過係数、浮体の3自由度の動揺振幅、波漂流力等である。本論文ではこれらの項目について、浮体と段差との相対位置と入射波の波長をパラメータとして変化させた比較結果を示すことで、水底段差の波漂流力に及ぼす影響を明らかにするとともに、数値造波水槽が幅広い周波数帯で高精度に波漂流力を推定可能であることを検証した。

〈構造強度部〉

波浪中の構造安全性評価法
Ship Structural Safety Evaluation Method
in the Sea Way

河邊 寛、田中義照、福岡哲二

平成12年2月

日本造船学会誌、第847号

日本造船研究協会第228部会「波浪中の船体構造の安全性評価の研究」(1996-1999)において実施された研究の内、筆者らが担当した船体構造に作用する波浪荷重に関する部分の研究を紹介したものである。内容は以下の項目より構成している。

- 1 波浪中の構造安全性評価法の考え方
- 2 長期予測における最大荷重と想定海象との関係
- 3 長期分布と短期分布の関係
- 4 新しい設計波条件の検討
- 5 内圧推定法に関する検討

1では現状の船体構造設計の構造安全評価のための波浪荷重の手順を整理し、波浪荷重と海象との関係を明確にすることの重要性を指摘した。2および3では波浪荷重の推定の基礎となる長期予測法を検討し、長期予測における超過確率が 10^{-8} 付近の波浪荷重の最大値は長期分布を構成する短期分布の中で短期パラメータが最大となる短期分布(最悪短期海象と称した)が支配的であることを導き、SR217の実船計測値およびバルクキャリアの試解析計算によってその妥当性を検証した。4ではその結果を用いて最悪短期海象を船体構造設計のための設計海象とする方法を提案し、具体的な事例を示した。5では液状貨物および石炭などの粒状貨物を積載した時に船体運動により船倉内に作用する荷重について検討し、特に今まで十分な資料が無かった粒状貨物による内圧推定に実験と理論計算による考察が加えられた。

波浪荷重の長期分布と遭遇海象との関係
(第2報 疲労被害度と想定海象)

Contribution of Supposed Wave Condition on Long-term Distribution of Wave Induced Load (2nd report Relation Between Fatigue Damage Ratio and Supposed Wave Condition)

河邊 寛、田中洋志、柴崎公太

平成12年5月

日本造船学会論文集、第187号

船体構造部材の疲労強度評価には、生涯にわたり船体に作用する波浪荷重の負荷履歴が必要となる。しかし、そのような荷重履歴を個々の船舶について予測する技術は現在のところ未解決であるので、波浪荷重の長期分布とSN線図を用いてマイナー則をベースとした線形疲労被害度によって疲労強度を評価している。船舶の航行する海域の想定海象と波浪荷重の長期分布および疲労被害度との関係は、例えば、日本-PG航路、北大西洋航路などの海象統計に基づく疲労被害度の数値の大小関係について検討した報告は多数あるが、船体の波浪に対する応答特性あるいは想定海象の統計的性質などの要素がどのように疲労被害度と関係があるのか詳細に検討した例はほとんど無い。

本研究は疲労強度評価のための波浪荷重の長期分布の分布形状と想定海象の関係を調べることを目的に、修正マイナー則をベースにした線形疲労被害度を想定海象の有義波高、平均波周期および波との相対角の寄与率から検討する方法を導き検討した。それによって、疲労被害度には特定の平均波周期および波との相対角が顕著に影響を与えることを明らかにした。この疲労被害度に大きく寄与する海象は、第1報で示した最悪短期海象の平均波周期及び波との相対角と一致し、最悪短期海象から疲労被害度を計算する方法を導いた。この方法は、長期分布の最大荷重のみならず分布形の全体像も精度よく推定可能で、座屈・大変形および疲労被害度の検討のための統一的な波浪荷重の長期分布の計算法として提案している。

〈機関動力部〉

交通・物流武門 船舶（概況と話題）

Transportation and Logistics Division (Ship)

城田英之

平成11年 8月

日本機会学会誌1999年 8月号

日本における1998年の船舶の建造・受注実績、船舶及び造船所にまつわる1998年の話題について、以下のように概説した。

1. 概況

1998年に世界で建造された100総トン以上の新造船建造量は2359万総トン（前年比6.5%減）であった。日本の建造量は990万総トン（前年比0.4%増）で、韓国（681万総トン）を抑えて引き続き世界一の座を堅持した。

また、我が国の新造船受注実績は、運輸省建造許可ベース（2500総トン以上、または長さ90m以上の船舶）で331隻、1068万総トンである。1997年に比べて隻数で19.2%の減少、総トン数で17.8%の減少となった。

2. 話題

企業が社会経済的ニーズとのバランスの中で環境保全を進める姿勢がますます求められてきおり、造船所でも国際規格ISO14000シリーズ（環境マネジメントシステム）を取得する動きが徐々に活発化してきている。

新造船船舶では、SSTH（超細長双胴船）船型を初めてカーフェリーに採用した70メートル級高速カーフェリー「オーシャンアロー」が熊本一島原間に就航した。また、1998年冬、カリブ海に就航したクルーズ客船「パラダイス」が、客船としては世界で初めて全船禁煙としたことで話題を呼んだ。

新時代への展開（3）近未来の技術「太陽水素メタノールエネルギーシステム」

Development for New Era, (3), Near Future Technology, "A Solar-Hydrogen-Methanol Energy System"

平岡克英

平成11年10月

日本造船学会 造船設計・技術研究委員会
第4回造船設計シンポジウムテキスト

標題の太陽水素メタノールエネルギーシステムは海外の砂漠上に設置した太陽光発電設備によって得られる電力で水を電気分解して水素を製造し、これと日本の発電所で回収したCO₂とでメタノールを合成し、さらに日本へ輸送して自動車用の石油代替燃料として供給するエネルギーシステム概念であり、種々ある自然エネルギーを利用する水素エネルギーシステム概念の中の一つである。

本稿では太陽水素メタノールエネルギーシステムの概念の背景となる地球温暖化・エネルギー資源問題および水素エネルギーシステム研究開発の現状を概観するとともに本エネルギーシステムの概念設計、本システムによって化石エネルギー消費量とエネルギー起源CO₂排出量がどの程度低減されるのか、その試算結果について述べている。

地球温暖化対策としてのエネルギー起因CO₂排出量低減は国際的な政治課題であり、日本はCOP3において1990年比6%削減のコミットメントをしている。また、現在は石油の需給は楽観視されているが近未来の世界的なエネルギー需要の増大にたいして石油代替エネルギーの開発はエネルギー安全保障として非常に重要である。特に運輸部門はそのエネルギー供給源のほとんどを石油に依存しており、その必要性が高い。そこでそれ自身からはCO₂を排出しない太陽エネルギーを利用して水素を製造し、火力発電所の排気ガスから回収したCO₂とでメタノールを合成して自動車部門に供給する太陽水素メタノールエネルギーシステムを提案している。

本システムは1996年に自動車部門が消費した石油エネルギーと発熱量で等価なメタノールを供給するためには太陽電池モジュール面積は8,450km²、海上輸送には24万DW石油タンカー級のメタノールタンカー59隻と液化CO₂タンカー131隻を必要とする。システム製造時には1996年の自動車部門の燃料消費量の約5.3倍の投入エネルギーを必要とする。システムの寿命を20年とするとライフサイクルでは省化石エネルギーとCO₂排出低減が可能であり、1996年の運輸部門と火力発電部門のCO₂排出量を約20%低減してCOP3の目標年である1990年レベルまで下げることがで

きる。しかし、非常に大きなシステムであり構築には材料のリサイクルも含めた長期的な視点が必要である。

船用ディーゼル機関から排出される揮発性有機化合物(VOC)の計測

Measurement of Volatile Organic Compound (VOC) from Marine Diesel Engines

中島康晴、高杉喜雄、菊地正晃、桑原孫四郎
西尾澄人、石村恵以子、張 潔、西川和美

平成11年12月

日本機械学会第8回交通・物流部門大会講演論文集

船用ディーゼル機関から排出される揮発性有機化合物(VOC)の排出特性を検討した。実験には、中速及び高速ディーゼル機関ならびに3種類の燃料を使用し、VOC成分としてはメタン、エタン、エチレン、プロパン、プロピレン、ベンゼン、トルエン及びホルムアルデヒドを計測した。

実験の結果、全般的な傾向として、いずれの機関及び燃料を用いた場合においても、計測対象物質のうち、メタン、エチレン、プロピレン及びベンゼンの排出量が多く、同じC2及びC3炭化水素であっても、飽和炭化水素であるエタン及びプロパンの排出量は不飽和炭化水素であるエチレン及びプロピレンと比較してきわめて少ない。また、芳香族炭化水素ではトルエンよりもベンゼンの排出量が多い。さらに、機関の種類による比較では、高速機関では中速機関よりもホルムアルデヒドの排出量が多く、さらに、乳化燃料の使用によりその排出量は基材燃料使用時の約1.5倍に増大している。また、メタンを除く全ての計測物質の排出濃度は環境大気中の濃度を大きく上回った。

次に、各機関ごとにVOC成分の排出特性を検討すると、高速機関ではエチレンの排出量が突出して多く、プロピレン、メタン及びベンゼンがそれに続く。また、燃料を軽油から乳化燃料に交換した場合、特にメタンの排出増大が著しく、排出濃度は約7倍に増加した。さらに、エタン及びプロパンも乳化燃料の使用に伴い5~7倍に増大した。一方、中速機関では全般的にメタン及びエチレンの排出量が多く、プロピレン及びベンゼンがこれに次いでいる。燃料をA重油からC重油に交換したことによる変化は、メタン及びベンゼンでは顕著ではないが、エチレン及びプロピレンでは排出濃度の低下をもたらした。

これらのVOC成分の排出が大気環境に及ぼす影響は、各成分の環境中での成分・消滅機構が異なるため、さらなる検討が必要であるが、本研究の成果は船用ディーゼル機関からの排出実態解明の端緒となるものと期待される。

コンテナ固縛評価手法の研究

Development of Method for Evaluating Securing Arrangements of Containers on Deck

中村朋広、安部浩二、坂本宗彦、太田 進

平成12年3月

日本航海学会論文集 (第102号)

コンテナ船の甲板上コンテナの流出事故を契機として、IMOは船舶に貨物固縛マニュアルの搭載を義務付けた。貨物の固縛評価手法は多くの船級協会により示されているが、国際的に統一された手法は未だ開発されておらず、以下の問題がある。

- ① 固縛評価手法の内容は船級協会毎に異なり、同一の条件であっても、評価結果が異なる。
- ② 各船級協会の固縛評価手法は、基礎となる考え方が示されておらず、近年の大型船で採用されているラッキングブリッジを用いた固縛方式への適用の可否が明らかでない。

これらの問題点を解決するため、「物理的に可能な限り明確な根拠に基づき」、「様々な固縛方式に適用可能な」貨物の固縛評価手法を開発することを目的として、日本造船研究協会に第234研究部会が設置され、日本財団の支援のもと、当所と共同で、平成9～11年の三カ年計画で研究を実施している。本研究は同部会の研究の一環であり、所与の加速度条件下におけるコンテナ各部及び固縛ロッドに作用する種々の力の評価方法（コンテナ固縛計算モデル）の開発を目的としている。本研究では、二次元の線形計算である固縛計算モデルを開発するとともに、その検証を目的として、計算の入力となるコンテナのラッキング剛性及び固縛ロッドの剛性を計測し、陸上の動揺台において二段積みコンテナを用いて傾斜試験を実施するとともに、冬季北太平洋航路において約三ヶ月間の実船試験を実施した。その結果、以下の結論を得た。

- ① 固縛ロッドは十分な張力を有する範囲では線形なバネとして扱える。また、コンテナのラッキング変形も線形なバネとして扱える。
- ② 片方の固縛ロッドの強力が零に近い場合を除いて、本固縛計算モデルは妥当であり、今後、固縛計算モデルを開発する際の基礎として用いることができる。

燃料噴射系の電子制御化による船用ディーゼル機関の排ガ斯特性の改善

その1 A重油使用の場合

Exhaust Emission Characteristics of a Marine Diesel Engine with an Electronically Controlled Fuel Injection System

Part1 On the Case of Marine Diesel Fuel

張 潔、高杉喜雄、桑原孫四郎、菊地正晃

西尾澄人、石村恵以子、中島康晴、菅 進

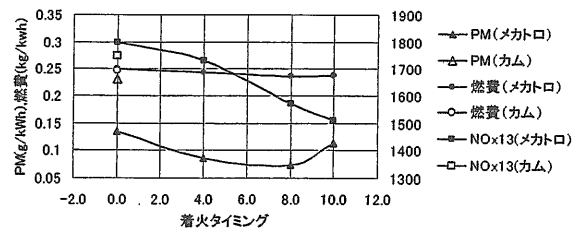
平成12年5月

日本船用機関学会64回学術講演会 講演予稿集

ディーゼル機関の排ガ斯特性の改善を目的として、実験用中速4サイクルディーゼル機関の燃料噴射系を電子制御化する試みを行った。燃料噴射ポンプは電気信号を受けて油圧で駆動される。

今回は、燃料としてA重油を使用し、船用負荷特性で試験を行った結果について報告する。

- (1)燃料噴射系を電子制御油圧駆動化することによって、カム駆動式に比べて低負荷域でのPM排出量を大幅に低減させることができた。これは油圧駆動によって低回転数域での燃料ポンプの作動速度が相対的に高まり燃料噴霧特性が改善されたことによる効果が大きいと考えられる。
- (2)燃料着火タイミングを変えて機関運転実験を行い、NO_xとPM排出特性および燃料消費率を総合的に最適化する着火タイミングについての検討を行った。最適着火タイミングを選定することにより、特に低負荷域ではNO_x排出量の低減の低域と同時にPM排出量および燃料消費率の改善が得られた(図)。最適着火タイミングは機関負荷条件によって異なるため、電子制御による最適化制御は排ガ斯特性の改善に有効である。
- (3)油圧作動圧力を高めることにより、燃焼特性はさらに改善される傾向が認められた。しかし、本装置で作動圧力を高くすると燃料配管の振動や着火タイミングのぶれが生じ、機関運転が不安定になるなどを経験した。装置の小型化、取り扱いの容易さなど改善すべき課題も多く、本装置の一層の改良が必要である。



船用ディーゼル機関から排出されるVOCの計測 及び評価

Measurement and Evaluation of VOC from Marine Diesel Engines

中島康晴、高杉喜雄、桑原孫四郎、西尾澄人
石村恵以子、張 潔、西川和美、尾崎高司

平成12年5月

日本船用機関学会 第64回学術講演会 講演論文集

燃焼機関から排出される揮発性有機化合物 (VOC) には、二酸化炭素に次ぐ温室効果ガスであるメタン等が含まれており、地球温暖化等への影響から関心を持たれているが、その排出実態については未解明の点が多く、特に船用ディーゼル機関からの排出状況については、ほとんど検討されていない。本研究では、船用ディーゼルから排出されるVOCを計測し、排出評価のための各種排出係数を算出した。実験には、当所に設置されている高速及び中速の4サイクルディーゼル機関、並びに航海訓練所練習船銀河丸にそれぞれ発電機及び主機として搭載されている中速4サイクル及び低速2サイクルディーゼル機関の計4種類の機関を用いた。VOCの成分としては、メタン、エタン、エチレン、プロパン、プロピレン、ベンゼン、トルエン及びホルムアルデヒドを計測した。

実験の結果、計測した成分の中では、メタン、エチレン、プロピレン、ベンゼン等が主要な成分であり、エタンやプロパンの排出量はきわめてわずかであった。ほとんどの物質の排出濃度は環境大気中の濃度を大きく上回ったが、大気中に比較的多く (1,650vol.ppb) 含まれているメタンでは、機関からの排出量が吸入量を下回る場合が見られた。機関の種類別に検討すると、高速機関ではエチレンの排出濃度が突出して高く、プロピレン、メタン及びベンゼンがそれに続いているのに対して、中速及び低速機関では全般的にメタン及びエチレンの排出濃度が高く、プロピレン及びベンゼンの順でこれに次いでいる。また、燃料油種や機関運転条件の影響は中速機関では比較的顕著であったが、低速機関ではあまり顕著ではなかった。

さらに、これらのVOC成分の排出係数を算出することにより船用ディーゼル機関からVOC排出量の評価を行った。排出係数にも機関機種や燃料性状等によりある程度の変動があるが、換算の過程で燃料性状や空気過剰率の影響を除去しているので、排出濃度の比べて変動は小さい。また、質量ベースの量であるので、分子量の大きなベンゼンやトルエンの寄与が相対的に大きい。さらに、ディーゼル機関が負の排出源となるメタン等については、機関からの排出量から吸入量を差し引き、正味排出係数を算出することにより、正味の排出量を評価できることを示した。

Study on Method for Evaluating Securing Arrangements for Pure Car Carriers

自動車船用固縛評価手法の研究

太田 進、坂本宗彦、安部浩二、中村朋広

平成12年5月

日本航海学会論文集 (第103号)

貨物流出事故防止のため、船舶には貨物固縛マニュアルの搭載が義務付けられている。貨物固縛マニュアルの作成のためには、固縛の適否を評価する必要があるのに対して、自動車専用船における自動車の固縛方式に関しては適切な評価法が確立されていない。本研究の目的は、自動車船用の固縛評価方法を開発するための基礎を確立することである。そのため、固縛装置の非線形性を考慮した計算モデルを開発した。本モデルでは甲板及び車体は剛体とし、懸架装置 (タイヤを含む) は互いに直行する3本のばねで構成されるものとした。また、固縛装置は張力のみを受け持つばねとした。

計算モデルの有効性を検証するため、計算の入力となる固縛装置のばね定数を長さとの関係において計測するとともに、計算モデルに対応する懸架装置の水平方向のばね定数を計測した。また、固縛装置の張力に関する実験を動揺台上及び冬季北太平洋航路の自動車専用船において実施した。さらに、実験時の固縛条件及び計測された加速度を入力して、固縛装置の張力及び懸架装置に作用する力を計算した。これらの実験の結果、張力の変動幅に関して、定量的には、実験結果と計算結果は必ずしも良く一致しているとは言い難いが、定性的には、張力が零になる現象を含め、計算結果は実験結果を十分に表現していることが分かった。よって、本計算モデルは、自動車専用船における固縛評価手法の開発のための基礎として用いることができると言える。

コンテナ固縛評価手法の研究－II
 －新コンテナ固縛計算モデルの開発－
 Study on Method for Evaluating Securing
 Arrangements of Containers on Deck-II
 Development of New Numerical Model for
 Container Lashing Arrangements
 中村朋広、安部浩二、坂本宗彦、太田 進
 平成12年5月
 日本航海学会論文集（第103号）

国際海事機関は貨物の固縛の不備による事故防止を目的として、船舶に貨物固縛マニュアルの搭載を義務付けている。各船級協会はマニュアル作成に必要な貨物固縛の安全評価手法を提示しているが、未だ国際的に統一された手法は確立されていない。

前報において著者らは二次元線形コンテナ固縛計算モデルを開発し、大型動揺台を用いた傾斜実験およびコンテナ船による実船実験により計算モデルの妥当性を検証した結果について報告した。その結果、すべての固縛ロッドが一定の張力を有する場合には、固縛ロッドの張力の実験結果と計算結果は良く一致するものの、固縛ロッドの張力が零に達するほど横加速度が大きい場合には、実験結果と計算結果が異なることが分かった。そこで、本報では、新たに開発した「固縛ロッドの非線形挙動」および「コンテナ前後端の相互作用」を考慮した三次元非線形コンテナ固縛計算モデルについて報告する。

固縛ロッドの張力に関して、本計算モデルによる計算結果と、動揺台による傾斜実験及び実船実験結果を比較した。計算結果は概ね実験結果と一致しているが、横方向加速度が大きい場合には、実験結果と計算結果の差は、最大35%に達した。しかしながら、コンテナ支柱下端に作用する力に関しては、計測された張力を用いた計算結果と、計算された張力を用いた計算結果の差は8%に過ぎないことが分かった。

本研究で開発した三次元非線形コンテナ固縛計算モデルは、固縛ロッドの張力に関しては実験結果と一致しない場合があるものの、コンテナ支柱に作用する力に関しては妥当な結果を与えられ、実用的なコンテナ固縛評価の安全評価手法として用いることができると言える。

〈材料加工部〉

炭化クロムセラミックスのレーザ熱衝撃強度に
 関する研究

Estimation of Thermal Shock Strength of Cr_3C_2
 Ceramics by Laser Irradiation

秋山 繁、天田重庚、千田哲也、島田道男
 古谷典ゆき、矢野不二夫

平成12年5月

日本機械学会論文集A編 第66巻 第645号

海洋・宇宙の分野における原子力の利用は、施設の重量・スペースの制約が厳しく、信頼性、経済性の面からも放射線遮蔽性能だけでなく機械的強度、耐熱性等にも優れた新しい多機能遮蔽材料の開発が望まれる。そのため、原子炉中性子遮蔽材料として、中性子遮蔽特性だけでなく機械的強度や熱的強度等にも優れた多機能遮蔽材料の熱衝撃強度特性について研究してきた。検討された材料の一つ炭化クロムセラミックス (Cr_3C_2) は、原子炉中性子遮蔽材料として優れた特性を持っており、ホウ化チタン (TiB_2) と同程度に中性子吸収機能が優れている。今回、炭酸ガス (CO_2) レーザ照射による炭化クロムセラミックスの熱衝撃強度特性評価試験を行い、炭化クロムセラミックスのレーザ熱衝撃度を求めた。まず、寸法の異なる4種類のモデルを用いて有限要素法による熱応力解析を行い、破壊臨界出力密度を求めて、熱衝撃強度に及ぼす寸法効果について検討した。また、レーザスポット径の大きさに依存しない最小破壊レーザ出力密度をセラミックスの熱衝撃強度特性値 P_L (W/mm^2) と定義し、試験結果と比較検討した。その結果、レーザ照射により生じた引張応力が、炭化クロムセラミックスの引張強さを超える時、炭化クロムセラミックスが破壊すると仮定して、最大引張応力とレーザビームのスポット径の関係より熱衝撃破壊臨海曲線が得られた。また、スポット径の大きな領域では、レーザ熱衝撃強度試験と有限要素法解析より得られた破壊臨海レーザ出力密度が、ほぼ一致したので、炭化クロムセラミックスは、レーザ熱衝撃試験において生じた引張応力が引張強さに達したとき、き裂が生じたと結論した。さらに、用いた炭化クロムセラミックスのレーザ熱衝撃強度特性値 P_L は、半無限体モデルの解析結果より $3.4\text{W}/\text{mm}^2$ となり、アルミナセラミックスの $P_L=2.9\text{W}/\text{mm}^2$ の約1.2倍、ホウ化チタンセラミックスの $P_L=16.5\text{W}/\text{mm}^2$ の約0.2倍であることがわかった。

チタン溶接継手の強度

Strength of Welding Joint of Titanium

岩田知明、松岡一祥

平成12年5月

軽金属溶接構造学会第30回研究発表会講演概要

チタンの、高い耐食性による維持コスト削減、高比強度による燃費向上など、環境・経済効果が船舶分野で近年注目されて来ており、漁船においては構造部材に使われ始めている。しかし、実績が乏しく、設計、製造及び検査方法が確立されていないため、基準化のための基礎資料整備が望まれている。特に船舶では、船体構造特有の隅肉溶接個所が多く、これらのデータ不足が適用の妨げになっている。本研究では、チタン船開発を促進するため、溶接製チタン薄板構造の基礎資料整備の第1段階として、横隅肉・縦隅肉溶接継手の強度試験を行った。

船舶用新材料であるチタンの機械的強度が、既に基準化されている船舶用軟鋼の強度を満たすように設計すれば、基準化が速やかである。ASTM Grade 2であれば、軟鋼基準を満たすが、国内での入手は比較的難しいため、JIS 2種材を使用した。使用した材料は、強度の高い圧延に垂直方向(C)のMil-Sheetに示された値で既に軟鋼基準を満たしていなかった。圧延方向(L)の母材強度試験結果ではJIS 2種基準は満たしたものの、軟鋼基準を約10%下回った。

横及び縦隅肉継手を用いて、引張試験を行い、応力集中および継手強度の測定を行った。

本研究により以下の結論が得られた。

- (1) 応力集中点において、局所応力が母材耐力を上回るのは、T-typeで159MPa(公称母材耐力の70.0%)、L-typeで134MPa(公称母材耐力の59.0%)であった。
- (2) T-typeとL-typeの公称破断応力はほぼ等しく、母材の公称破断応力を上回っていた。
- (3) チタン溶接継手には軟化部がないので、静的強度については、特に溶接部における強度低下を考慮する必要がない。ただし、応力集中は見られるので、疲労強度については検討を必要とする。

〈装 備 部〉

VR技術を用いた船舶避難シミュレータの開発
(第2報)Development of an Evacuation Simulator at
Maritime Accident (2nd Report)

池本義範、金湖富士夫

平成10年8月

第3回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集

船舶の確率論的安全評価システムでは避難者の判断・行動モデルを避難シミュレーションに組み込むことによって事故シナリオに基づく人命損失確率を計算しようとしている。この判断・行動モデルを構築するために仮想現実感技術を利用し、事故シナリオに基づく仮想的な海難環境で人間がどのように行動するか調べるのがこの研究の目的である。

一般に建物や船舶では事故や火災などの緊急時に狭い通路や階段を通して多数の人が避難する状況が想定される。従って避難シミュレータを用いた解析のためには火災時の煙、他の避難者の表現、及び階段昇降感覚のリアリティが必要である。

前報では試作した避難シミュレータを用いて、テスト用に設計した客船の一般配置図から三次元コンピュータグラフィックス画像(以下CGと呼ぶ)を生成し、仮想歩行装置を接続して他の避難者の画像を見ながら各デッキ内平面を歩けることを報告した。

本報告では前述した階段昇降感覚、火災時の煙による視界の制限、他の避難者のリアリティの向上の3つを目的として、次のような改良を行った。

- (1) 仮想歩行装置にモーションプラットフォームを付加して階段昇降感覚を付加向上させる。
- (2) CGのフォグ効果を用いることによって、被験者の視界を制限し煙が充満している様子を表現する。
- (3) 他の避難者の写真を45度づつ各方向から撮影し、これをデクスチュアとして用いた。これらを被験者の見る角度に合わせて正対させることで実世界で他の避難者を眺めるのと違和感無く感じられるよう工夫する。

上記の改良を行ったシステムで被験者3名による確認試験を実施した。この結果、避難シミュレータとして使える感触を得たので報告する。

Formal Safety Assessment

フォーマルセーフティアセスメント

金湖富士夫、遠藤久芳、石田茂資、太田 進

戴 暁旬、福元正明

平成10年12月

International Maritime Organization / Maritime
Safety Committee

本報告は、3つの付属書（ANNEX）で構成されている。

ANNEX 1では、リスク評価ための方法論および同方法論を実現するためのシステム（MSES: Marine Safety Evaluation System）について概要を述べている。

ANNEX 2では、MSESの中心部分である、結果解析システム（CAS: Consequence Analysis System）の解説を行っている。CASは5つのプログラム（船舶入力モジュール、破口推定プログラム、浸水シミュレーションシステム、煙流動シミュレーションプログラム、避難シミュレーションプログラム）から構成されるシステムであり、船舶の設計データを入力とし、事故シナリオ毎の人命損失期待値を出力するものである。

ANNEX 3では、CASを用いて、SOLAS74および90を満たす船舶を仮設計（以下、試算対象船舶と呼ぶ）し、各SOLASに対応する、対浸水および対火災それぞれのリスク制御手段の違い（対浸水は復元性の違い、対火災はスプリンクラーの有無）を考慮して、各SOLASに対応する仮設計した船舶のリスクについて検討した。まず、ロイド海難データから種々の事故後に発生する浸水災害および火災災害の発生確率を求めた。さらに、日本海事協会の詳細事故報告等から、破口の大きさ、位置、衝突エネルギー等の確率分布を推定した。次に、試算対象船舶が衝突された場合を想定し、その際の破口の位置、大きさ等を変化させて、浸水シミュレーションを実施し、得られた破口の確率分布を用いて同船舶が沈没に至る確率を計算し、90SOLAS船の方が沈没確率が低いことが確認された。火災に関しては、避難に影響を与えられるイベントシーケンスを3種類に絞り込み、煙流動シミュレーションを実施して各イベントシーケンスに対応する事故シナリオを求めた。次にそれら3種類の火災事故シナリオを用いて避難シミュレーションを実施し、90SOLAS船（スプリンクラー有り）の方が火災におけるリスク（人命損失期待値）が低いことを確認した。以上より、MSESによるリスク評価が妥当な結果をもたらすこと、したがって、MSESがFSA（Formal Safety Assessment）におけるリスク評価において使用可能であることが示された。

Evacuation Simulator for Analysis of Exacuees Decision in a Ship under Casualty

被災船舶における避難者の判断の解析のための

避難シミュレータ

金湖富士夫、池本義範

平成11年3月

Proceedings of Computer Society, VR'99

本論文は、IEEEの計算機学会（Computer Society）が主催する仮想現実感に関する年次国際会議（VR'99）で、ポスターとして発表することが許可されたものであり、仮想現実感技術を応用して製作した、被災船舶における避難者の判断の解析を実施するための避難シミュレータのプロトタイプについて報告している。

プロトタイプは、主計算機、画像生成用計算機、共有メモリー、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）、FASTRAK（被験者の体の各部の位置、姿勢を計測するための磁気センサ）、モーションプラットフォーム上に設置された、仮想歩行装置であり、本装置は筑波大学の岩田助教授が開発したものである。プロトタイプでは、主計算機で、他避難者の位置を計算し、それらのデータを共有メモリー経由で画像生成用計算機へ送り、被験者の目に写る画像を生成してHMDに表示させている。

プロトタイプを使用し、3人の被験者により、火災および他避難者による混雑状況における被験者の進行方向の判断を調査する実験を行った。この実験の目的は、避難シミュレータのプロトタイプの性能確認と、避難シミュレータによる避難時における人間モデルの作成方法の妥当性の確認である。

現時点のシミュレータは未だプロトタイプであるが、本シミュレータを利用した実験で、本シミュレータは、被災船舶における避難者の解析のための有用なツールとして活用可能な見込みを得た。

シリコンゴムの防振特性について

Vibration Isolation Characteristics of Silicon-Based Isolator

原野勝博、今里元信、藤井 忍

平成11年9月

日本騒音制御工学会

1999年研究発表会 講演論文集

1997年に建造された航海訓練所の練習船「青雲丸」の一室に施工された防振内装室の天井には、通常の市販の防振ゴムハンガーが使用されたが、公試時の振動計測では、その防振効果が認められたのは800Hz以上の周波数域で、浮床が100Hz位から効果がでるのに比べると不十分なものであった。その改善策として、従来の防振ゴムに替えてシリコン製の防振材を使った処、防振ゴムに比べ全帯域に亘って防振効果が数dB~20dB近く向上しており顕著な改善が見られた。今回使用したシリコンゴムは、カタログ値でみる限り共振倍率が格段に小さい訳ではないから、効果が格段に向上した理由は、バネ定数が大幅に小さくなったことと、たわみ(振動振幅)が小さいときは動バネ定数が小さくなる性質のためと思われる。

天井のように剛性が小さい構造物の場合、防振ゴムに作用する質量の算定が難しくハンガーの防振効果はおろか、共振周波数の推定も困難なことが多い。シリコンゴムを使った船室モデル実験の場合について、シリコンハンガーを取り付けた鉄骨と天井パネルをそれぞれ、両端支持され中央部に荷重を受けるビームとした2自由度の振動系とすると共振周波数は実験値と一致した。この方法は、ビームの高次の振動モードは考慮していないため高周波域では防振効果が過大となるが、シリコンゴムに作用する天井パネルの等価質量で防振効果を計算した処、1,600Hzまでは、実験値と比較的よくあった。

ベンゼン輸送船乗員のガス暴露について

Exposure to Benzene Gas during Marine Transfer Operations

山口勝治、藤井 忍、間島隆博、山之内博、坂本真二

平成11年11月

日本労働衛生工学会第39回学会抄録集

化学物質は我々の生活に欠かせないものとなっており、年々増え続け現在数万種類が流通している。そのうち多くの化学物質が海上輸送されており、輸送中の化学物質の管理の仕方によっては人の健康や生態系に有害な影響を及ぼすおそれがある。

純ベンゼン等揮発性物質は岸壁での荷役作業中および海上輸送中に蒸発しガスとなって船舶から大気中に漏出・排出され、拡散・移流して大気を汚染する。汚染空気を呼吸することにより人はベンゼンに暴露される。低濃度のベンゼンガスでも乗組員が慢性的に暴露されると白血病の原因になりうると懸念されているが、化学物質の微量暴露による影響は遅れて現出するため事後の対処は難しく、事前の予防的対策が有効となる。ベンゼンガスによる乗組員の健康被害の未然防止の観点に立って、暴露の実態を把握し、排出抑制、影響緩和等の対策を講じる必要がある。本報告では、ベンゼンを輸送する船舶の通常の「積み荷役」「航海中」「揚げ荷役」「タンククリーニング時」に環境濃度および個人暴露濃度を計測した結果およびその比較、評価について述べた。

計測は次のようにして行った。通常のベンゼン輸送中の作業区分ごとに環境濃度は船上の代表的作業場所3点でキャニスターにてガス採取後GC分析により、また個人暴露濃度は乗組員個人個人の襟元にパッシブサンプラーを装着してガスを吸着させ、抽出後クロマトグラフィー分析により濃度を求めた。

環境濃度は固定された計測点での濃度であるため、作業が測定点近傍で行われたときの潜在暴露濃度を与え、作業者は同じ濃度に暴露されることを前提としたことになる。しかし、乗組員は船内のいろいろな場所で行ういろいろな作業を行うため、個人個人の暴露は同じでないと考えられる。計測結果は個人の暴露濃度の大きさや範囲、頻度は作業形態によって大きく変わるが、環境濃度の平均値と個人暴露濃度の中央値はほぼ一致することが示された。つまり約半数の乗組員の個人暴露濃度は平均環境濃度を下回り、約半数が上回っていることが分かった。また高濃度暴露になる作業形態、作業内容を明らかにすることができた。

これらの成果はベンゼン貨物輸送中の船内ガス濃度管理を行う上で有力な資料になるものと思われる。

船舶の確率論的安全評価手法

—その2：FSA実現のためのリスク評価の方法論—

Probabilistic Safety Assessment Method of Ship
(Part 2: A Risk Evaluation Methodology for FSA)

金湖富士夫、太田 進、戴 暁旬、福元正明

平成11年11月

日本造船学会論文集 第186号

英国は1993年にIMO/MSC62において、船舶の安全基準を合理的に策定するための方法論として、FSA (Formal Safety Assessment) を提案した。FSAは審議すべき安全基準案を導入することによるリスクの減少、およびコストの増加を評価することにより、科学的かつ合理的に安全基準案を策定するための書式付きの手続きを定めるものである。IMO/MSC68では、FSAの暫定ガイドラインが承認され、それに基づいて各国がFSAの試適用の実施を開始し、現在に至っている。

本報では、FSAの実現のため、事故発生からその結果に至る過程の分析に基づいて開発したリスク評価の方法論、および、同方法論に基づき開発したリスク評価システムのプロトタイプについて略述し、リスク評価の例題として、同システムを適用して実施した火災拡大防止のためのリスク制御手段であるスプリンクラの評価を示すとともに、本手法の問題点につき考察している。

本方法論では、評価対象船舶の安全に関係するハードウェア、ソフトウェア、および外部要素が同船舶のリスクに影響を与える過程を科学的に推定し、恣意性をできるだけ排除したリスク評価方法を開発することを目標としている。また、同方法論を実現するためのリスク評価システムは、船舶の設計図面の情報を主な入力として、種々の事故が発生した後の災害進展イベントシーケンスが与えられた場合に、浸水および火災災害の進展をシミュレーションで求め、その結果を使用して避難シミュレーションを行い、人命損失数を推定するというものである。今のところ、事故発生確率は、ロイド海難データ等の事故データから求めている。プロトタイプシステムを用いて実施したスプリンクラのリスク評価の試行では、居室火災の部分リスクは25倍ほど小さくなるが、他の災害による部分リスクが大きな割合を占めるため、災害全体に対するスプリンクラのリスク低減効果は、スプリンクラ無の場合に比べて約20%の改善に止まっていた。

今後は災害進展シナリオの数の削減、シミュレーションプログラムの検証等の問題点の解決、同システムの改良、および同システムを用いての種々のリスク制御手段の評価を実施する必要がある。

Real Time Observations of a spilled Oil on the Marine

海洋での流出オイルの実時間観察

山口良隆、山之内博、柴田俊明、樋富和夫、山岸 進

平成11年11月

Eighth Asian Chemical Congress(8ACC)

第8回アジア化学会議

海洋における現場型計測は需要があるにもかかわらず、まだ確立された分野ではなく研究・開発の必要性がある。また工学的計測技術においてレーザーは非常に重要な役割を果たしている。我々はこの技術を応用して新しい「目」として海洋を見る手法の開発を行ってきた。観察対象としては、船舶事故後の油汚染や航行中にリークした油についてである。モニタリングとして油流出状況および回復状況、さらには航路において定常状態における経時変化や季節変化の観測を行う。以上の結果を総合的に評価を行い汚染状況を把握する必要がある。また様々な手法で実際に測定されており、さらに現在でも新しい分析手法や装置開発が行われている。そして実際の状況を把握するためにはその場で実時間で測定することが必要である。しかしながら標準的な測定法はまだ確立していない。以上の点から、我々は新たに装置を製作し、それを船舶に搭載し新しい環境測定技術としての評価をおこなった。

本装置はリモートセンシング技術を応用したものである。光源に時間幅の短いパルス紫外線レーザーを使用し、海面に紫外光を照射し蛍光分析を行う。また受光系に高速ゲートを搭載し、照射の紫外光をひろわないように光カットフィルターをつけてある。GPSも組みこんで位置情報もわかるようになっている。

装置の評価を行うために幾つかの実験を行った。海上に浮いている油を想定して、水槽の水面に数種類の油をまいて実験を行った。油の種類により蛍光強度が違ってくるのがわかった。現在は蛍光の相対的強度だけであるが、各波長での差を利用して油の種類判別も可能であると考えられる。また範囲は限定されるが水からのラマン散乱光より油の膜厚が特定できる。実船のライダー観測結果として、バックグラウンドに差があるが海面にレーザーを照射してActive Siteが観測できた。海上にオイル成分は浮いておらず、海面での蛍光の原因は海水の顕微鏡観察より生物起源のものと考えられる。生物種の特定は現装置では難しく改良が必要である。このような海洋での計測装置の作成を行っている。これからは得られたデータの解析のためのデータベースの充実と飛行機搭載型の開発などの計測法の開発を行っていく。

ダブルハルタンカーによる汚染防止と海洋汚染
Prevention of Oil Spills by Doublehull Tanker

山口勝治

平成12年1月

海上防災事業者協会

海上防災No.104

我々はタンカーでの輸送中常に汚染の脅威に晒されており、1989年3月アラスカ沖で起こったエクソンバルディズ号による座礁事故をはじめとして大事故は後を絶たない。これらの事故により引き起こされる環境破壊とそれに対する環境保全が国際的な大きな課題として注目され、油流出減少の大きなステップであるダブルハルタンカーに関する国際規制が1992年に強制化された。

これに対応してダブルハルタンカーが新造されるようになり、その数も増えているが、依然として従来のシングルハルタンカーも稼働している。今後、両形式のタンカーの混在する状況が10年あるいはそれ以上続くことになるであろう。

現在、油流出事故を起こしているのはシングルハルタンカーであり、将来すべてのタンカーがダブルハルタン化されれば油流出事故は大幅に減少するであろうと予測されている。ダブルハルタンカーは衝突や座礁事故に有効であり、費用対効果から見ても優れている。しかし、ダブルハルタンカーは完璧な油流出防止能力を付与するように設計されてはおらず、より大きな座礁事故や衝突事故が起きれば海洋汚染が発生することになるであろうと危惧されている。

従ってより環境対策を織り込んだタンカーの構造改良が求められるとともに、本格的なダブルハルタンカー時代を迎えつつある現在、ダブルハルタンカー事故に対応した防除体制を整備しておくことが必要となる。

本稿において、貨油タンクの寸法制限やタンク配置の規制に続く構造規制であるダブルハルタンカー導入の経緯、外板が破れてもタンク壁が損傷しないかぎり油流出は防止できるというダブルハルタンカーの構造やタンク配置、ダブルボトム高さやダブルサイド幅をもつ構造上の特徴、事故時静圧差やタンク内の油と海水が置換によって流出すること、その時の油流出量推定法、油流出防止性能の総合的評価によるダブルハルタンカーの有効性等について述べた。

〈システム技術部〉

人間を含むシステムの安全対策

——一名当直用航海支援システムへの適用——

On measures for keeping safety of human machine system -Application of the measures to a navigation support system for one person bridge operation-

福戸淳司

平成12年3月

2000年電子情報通信学会総合大会ソサイエティ
企画講演講演集

現在、高齢化や若年層の就労敬遠による船員の不足が進み、近い将来の海上輸送の安全確保に大きな危惧を抱えている。一方、物流の効率化が急速に進む中、輸送コストの削減を求められており、人員を増やす事は容易ではない。このため、全国内航タンカー海運組合と当所は、平成5年より内航タンカーの近代化について検討を進めた。

この内、航海関係では、安全で作業負担が従来と同等以下となる一名運航を目的とした航海支援システムの開発を行った。作業負担軽減については、自動化機能、判断支援機能及び良好なヒューマン・マシン・インタフェース (HMI) の導入で、安全対策については、当直者を含む運航システムの異常対策を、HMIを含めてシステム化する事で対応した。

本論では、後者の安全対策について、その考え方を述べ、HMIとして採用した音声入出力、具体的な安全対策例及びその評価について述べる。

「物流システム形成のための設計と評価手法に関する
基礎的研究（物流の構造分析と新システム検討に
必要な物流情報システムに関する研究）」

Design and Evaluation Methodology for the
Transportation System

—Study on Transportation Data and Analysis
System for Analysing and Evaluating
Logistics System—

勝原光治郎、伊藤泰義、不破 健、大高慎自
千田哲也、山之内博、有村信夫、丹羽康之
古川 武、五十嵐元彦、李 永雨

平成12年3月

運輸施設整備事業団

運輸分野における基礎的研究推進制度

平成11年度研究成果報告書

物流システムは経済社会の中に組みこまれ、その要素・変数も多数あり、極めて複雑なシステムである。このシステムを記述するデータと解析ツールも多様かつ多数あり、その処理に翻弄される事態がしばしば発生する。そこで物流に関するナレッジマネジメントのためのシステムを構築し、物流研究の飛躍的發展を期した。

このシステムを物流情報解析システム（TDAS）とよび、入力・検索・出力機能を中心に製作した。そして、物流ネットワーク解析、物流シミュレーション、地球温暖化問題の解析その他の物流問題を解きつつ、そのために作成したデータとツールをこのTDASに格納した。

最後に、TDASを活用し、物流事情を考慮した国内物流に用いる船舶設計のための物流解析を行った。

事故調査からの教訓を活かすために

Lessons Learned from Accident Investigation

松岡 猛

平成12年4月

日本学術会議安全工学専門委員会主催安全工学WS
安全工学WS「有効な安全教育をめざして」参考資料

現代社会は航空機、鉄道、自動車、船舶等の交通機関が発達し、人間の利便性の向上、社会の繁栄・発展に重要な役割を果たして、これら無くしては現代社会は成り立たなくなっている。その反面、個々の移動機構は高度・複雑化し、システム規模も巨大化してきている。そのため、ひとたび事故や障害が発生すると、多数の人命が失われ、社会経済活動を混乱させるなど、甚大な影響を及ぼすようになった。

大量・高速移動という便益をもたらしたのが科学技術であるのなら、その負の側面である交通事故（安全問題）の対策を考えることも、また科学技術の責務である。

交通機関における安全対策の基本としては、不幸にして起こってしまった事故を教訓として再び同様の事故を発生させないための調査・分析が重要であることは議論の余地の無いところであろう。

本報告では、まず交通事故の発生頻度、事故内容を概観し、次に交通事故調査方法のわが国における現状および主要諸外国の現状を記述している。これらを踏まえ交通事故調査方法のあり方について検討を行い、最後に学術会議安全工学専門委員会でもとめた対外報告「交通事故調査のあり方に関する提言—安全工学の視点から—」において示された下記の9項目の提言を紹介している。

1. 調査機関の設置
2. 事故調査の性質
3. 責任追求のあり方
4. 刑事免責制度
5. 初動調査体制
6. 事故情報の公開
7. 交通事故対策研究費
8. 道路交通事故への対応
9. 非職業運転者対策

システム信頼性解析手法GO-FLOWとその解析実施例

System Reliability Analysis Methodology

GO-FLOW and Its Applications

松岡 猛

平成11年12月

電子情報通信学会 フォールトトレラント

システム研究会

電子情報通信学会技術研究報告

システム信頼性解析手法GO-FLOWの概要および種々の応用例について述べている。中でも、フェイズドミッション問題の解法について詳しい説明が述べられている。

GO-FLOW手法は当所において開発されたシステム信頼性解析手法で、時間依存性の解析、複雑な動作モードを持つシステムの解析、動的システムの解析等フォールト・ツリー解析にはない優れた機能を持っている。

GO-FLOW手法の理解のため、手法の概要、信号の意味、タイム・ポイント、オペレータ機能概略、信号の強度の説明を与えた。更に、簡単な電気回路をサンプル問題として取り上げ、GO-FLOW手法によりどのように解析するかを説明し基本的な考え方を示した。

次に、フェイズドミッション問題をGO-FLOW手法により解く手順を詳しく説明している。フェイズドミッション問題とは、時間経過と共にシステムに要求される機能が順次変化していく場合におけるシステムの成功確率を評価することである。システムに要求される機能によって経過時間がいくつかのフェイズに区切られているためフェイズドミッション問題といわれる。

解析対象として沸騰水型原子炉の非常用冷却系を取り上げた。この例題の場合3つのフェーズがあり、各フェーズで要求される機能は2~3種類ある。問題となることは各フェーズの成功確率間の積を取る時に相互の従属関係を正しく評価することである。過去のフェーズの情報をもつオペレータを導入することにより、GO-FLOW手法でこれが正確に取扱える。

さらに、不確実さ解析機能、共通原因故障解析機能、共通原因故障を考慮した不確実さ解析機能、解析支援システムについての説明が与えられている。最後に、これまでの解析実施例として動的システムの信頼性解析、船用燃料電池システムの安全性解析、将来型船用炉非常用崩壊熱除去系の信頼性解析、危険物運搬船の消火設備の信頼性解析、加圧水型原子炉補助給水系の保守・点検を考慮したアベイラビリティ解析、原子力タンカーの衝突・座礁・火災事故時における船用炉非常用冷却系の解析、オレフィンプラントの安全性解析、新幹線列車自動制御システムの信頼性解析等について言及した。

<原子力技術部>

Numerical Simulation of Cold Leg Flow Oscillation of a PWR

PWRコールドレグ流動振動の数値シミュレーション

安達雅樹、綾 威雄

平成11年7月

Proceeding of the 3rd ASME & JSME Joint Fluid Engineering Conference

(International Symposium on Water Hammer)

加圧水型炉(PWR)の一次系破断事故時には、緊急炉心冷却水がコールドレグと呼ばれる配管から注入されるが、配管内を流れる蒸気と注入水との直接接触に伴い、凝縮起因水撃の生じる可能性が模擬実験により確認されている。コールドレグ流動振動と呼ばれるこの現象は、PWRの事故時の健全性に関わることから、実験及び解析研究がなされ、蒸気-水界面が注水口の下流にある時のみ凝縮が100%生じるとするいわゆる凝縮ON-OFFモデルが提案された。しかしながら、このモデルでは現象を十分模擬できないことが指摘されてきた。

そこで、本研究では、先ず凝縮量の時間的変化を把握するため、小規模模擬実験における圧力変動データなどから、凝縮量の変化を評価し、蒸気流量が大きく変化していることや、圧力急降下時に過渡的な蒸発が生じていることを明らかにした。次に、コールドレグ流動振動現象を数値シミュレーションするため、凝縮特性が注水ジェット部とその下流の水平界面とで異なることを考慮したモデルを考案した。これら二つの領域における凝縮熱伝達率としては、著者の一人がかつてレビューした直接接触熱伝達率を採用した。それによると、注水ジェット部の円柱状界面の熱伝達率は、 $10^5 \sim 10^6 \text{ W/m}^2\text{K}$ であるのに対し、水平界面の熱伝達率は、界面が安定している場合 $10^4 \text{ W/m}^2\text{K}$ 程度であるが、流動振動に伴い波立っている場合は、 $10^5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 程度まで上昇する。この他、凝縮量に関わる界面積は、水平界面が層状部先端位置まで広がっているとの仮定から評価した。層状部先端位置を求めるため、水平管内の気液ドリフト速度相関式が使われている。

以上のモデルを組み込んだ解析プログラムを作成し、模擬実験で凝縮起因水撃が生じた境界条件と初期条件に対する数値シミュレーションを行った結果、実験とほぼ同様の周期を持った圧力変動と界面変動が再現できた。また、流動振動に伴うボイド率と蒸気流速を詳細に調べ、過渡的に層状流からスラグ流へ遷移する条件が満たされていること、つまり、水撃が生じることを確認した。

Combination of Four Biasing Techniques for Gamma Ray Shielding Calculations

ガンマ線遮蔽計算のための4つのバイアス法の
組み合わせ

J. Ghassoun, A. Jehouani and K. Ueki
平成12年3月

Progress in Nuclear Energy
Vol. 36, No. 1, 2000

粒子の複雑形状でしかも深層透過問題に対するモンテカルロ計算効率を向上させるため、本研究では、次の4つの手法の組み合わせを基本とした手法を用いた。4つの手法とは、指数変換、角度バイアス、強制散乱およびウェイトウインドである。これら4つの手法は、決められた検出器に向かって粒子が散乱する確率を増加させることができる。本手法の効率をテストするため、実際の問題に適用した。我々は、黒鉛の中に置かれた鉛遮蔽体を迂回してその先に置かれた検出器に寄与するガンマ線の評価に関心がある。単一エネルギー点等方ガンマ線源が遮蔽体の一方に置かれている。この手法を検定するため、公開されているモンテカルロコードTRIPOLI-03およびMCNP-4Bを用いた。その結果、本手法を用いた多群モンテカルロプログラムによる計算結果は、高い計算効率 ($FOM=1/\sigma^2T$) をもって、各検出器位置において両計算コードと一致した。多群モンテカルロプログラムで使用した断面積はENDF/B-VIを75群に縮約したものである。この計算法は、また、様々な位置に置かれた検出のガンマ線エネルギースペクトル計算にも成功裏に使用されている。

<海洋開発工学部>

浮体海洋構造物に及ぼす海震作用の実験的検証
Experimental Verification of the Sequake Action
on the Floating Structure

安藤裕友

平成11年6月

日本機械学会

VS Tech '99 振動・音響技術シンポジウム

海に浮かぶ海洋構造物にとって、陸上とは違う自然現象の一つとして海震がある。実際に海震に遭遇した船員より情報を得て、体感結果により、海洋構造物の設計上、考慮に入れるべき要素であると位置づけられている。最近では、超大型浮体式海洋構造物に関する研究の中で、海震のような特殊な外力に関しても研究が行われている。しかしながら、海震は、現象自体が明確でないため理論計算が先行している。また、現象が過渡的であるため、別所らによる周波数領域の海震応答関数を逆変換して時間領域の解を求める方法や肥後らによる直接時間領域数値解法といった時間領域での議論が盛んになっている。海震は、地震による疎密波（音波）が水中を伝播して浮体に作用すると考えられている。特に海底と水面間で疎密波が共振周波数を持つ場合、浮体に多大な影響を及ぼす事が予想される。そこで、高周波かつ振幅がある程度起こる加振装置を開発し、実験レベルでの海震の再現を行い、浮体海洋構造物に及ぼす影響を調査した。その調査の結果として、以下のとおりことがわかった。

- (1) 浮体海洋構造物の出現により海底—水面間に顕著に強い圧力分布が定在する。
- (2) その圧力分布は、水深対応する高次共振周波数近傍で大きくなる。
- (3) 浮体海洋構造物の剛性によって海震による影響が異なってくる。
- (4) 疎密波の水中伝播は、自由表面近傍に比べて震源からの距離に対して急激な減衰がない。

防波堤が存在する場合のポンツーン型超大型浮体の
 波浪中弾性応答計算法 その2 厳密計算法
 Numerical Calculation of Hydroelastic Response of
 Pontoon type VLFS Close to a Breakwater part 2.
 Exact Calculation Method

大松重雄
 平成11年11月
 日本造船学会秋期講演会
 論文集第186号

前報では線状防波堤による回折波浪場の計算法、およびその回折波浪場の中での浮体の弾性応答近似計算法を示した。その近似計算法は、まず防波堤単独による回折波浪場を求め、次にその波浪場を単独浮体に作用する外乱として応答を解くという方法で、いわゆる防波堤と浮体の相互干渉は無視するものであった。

本報では、その相互干渉も考慮した厳密な弾性応答計算法を提案している。その際、前報では防波堤における波の反射率は1、すなわち全反射するものとして取り扱ったが、その後、反射率が任意(1以下)に与えられたときの回折波浪場の計算法を開発した。そこで本報では、防波堤の反射率は1以下、任意に与えられるものとして厳密計算法を開発した。また、ここで示す計算法では以下のような工夫を施している。すなわち、相互干渉を考慮する場合、防波堤と浮体が併存するとして流れ場を解く必要があるが、弾性応答の計算に必要なのは浮体に働く流体力(防波堤の存在による影響を取り入れた流体力)のみであり、防波堤に働く流体力を求める必要はない。その点を考慮すると、未知数を増加させることなく、しかも相互干渉影響を厳密に取り入れた効率の良い計算が可能である。

本報では、その計算法を示すと同時に、前報の近似計算法による結果との比較等いくつかの計算結果を示している。また、防波堤-浮体の間隔と波長の関係によっては弾性応答に共振現象が発生することが考えられる。そこで本報では、特に防波堤と浮体との相互干渉効果について、さまざまなパラメータで詳しい計算を行った結果も報告している。

損傷船舶の曳航に関する研究

On the Towing of Damaged Ships it
 原 正一、山川賢次、星野邦弘、湯川和浩
 平成11年11月
 関西造船協会誌 第233号

我が国は、大量の原油、液化ガス等を海外から輸入するとともに、国内で生産した化学薬品等を船舶により各地へ輸送、若しくは、海外へ輸出しており、また、周辺海域は諸外国の原油等の輸送ルートとなっている。そのため我が国には日本国籍及び外国籍の油タンカー、LNG船、ケミカルタンカー等が頻繁に往来している。更に、我が国周辺海域は気象海象が荒いうえ、往来する船舶には老朽船や運航技術の未熟なものが多数含まれているため、今後も、老朽化や衝突事故により船体が損傷や折損・分離を起こしたり、又は機関故障を起こすなどして、船体またはその一部が、漂流、漂着し、大規模な油流出事故、新たな衝突事故、爆発、火災事故等を引き起こすおそれがある。そのため、荒天下における航行不能船舶の漂流防止技術及び曳航技術を早急に確立する必要がある、漂流経路を予測する技術、曳航索の選定方法、曳航索の設置方法、安定した姿勢を保ちながらの曳航方法を確立することが重要である。

本報告では、海難事故等で航行不能となった損傷船舶を安全に曳航するために必要な技術について検討するために、まず幾何学的船舶模型を使用して、平水中及び波浪中において曳航実験を行い、主に曳航時の索張力及びふれまわり運動について調査した。その結果、以下のような結論を得た。

- (1)波浪中におけるふれまわり運動の周期は、各曳航速度に対して曳航時の船体の姿勢(トリムの大小)によらず平水中とほぼ等しい。
- (2)波浪中における曳航抵抗増加は、船速による相違が明確に現れ、曳航条件により短波長領域で特に曳航抵抗が増加する場合がある。
- (3)波浪中における曳航時のふれまわり運動は、曳航速度が6kt以下の場合では平水中の場合よりも小さい。したがって、平水中のふれまわり運動が推定できれば、波浪中では安全側にふれまわり運動を推定することが可能である。

損傷・転覆船舶に働く流体力の推定について
Estimation of hydrodynamic forces acting on
damaged and capsized ship

星野邦弘、原 正一、湯川和浩、山川賢次

平成11年11月

平成11年度秋季造船三学会連合大会
西部造船会会報第99号

海難事故等により航行不能となった船舶は、油流出や火災等の一次災害の発生や他の船舶の安全な航行を妨げたり、漂流して海岸に漂着し新たな二次災害を起こす恐れがあり、これらの危険を回避するために早急に安全な場所へ曳航する必要がある。航行不能船舶は折損や転覆等によって通常の船舶に比べて極めて異常な形状となる場合があり、現状ではこのような異常形状船舶に働く粘性抗力を理論的に推定することは困難である。

本論では、損傷・転覆により異常形状となった船舶に働く粘性抗力を、海洋構造物の粘性流体力について当所で開発した簡易推算方法により損傷・転覆の粘性抗力の推定を行った。この方法は、主として流体力学的に鈍い形状をした要素の組み合わせで構成された海洋構造物に働く粘性抗力が基本的断面形状の物体に働く粘性流体力の組み合わせで求められるものとして、相互干渉や粗度影響、尺度影響等も考慮して全体抗力を予測するものである。通常の船舶と半潜水式海洋構造物の基本形状はかなり相違するため、流場は両者でかなり異なるものと思われる。また、海洋構造物の場合のように要素部材間の相互干渉影響を考慮する必要がないので、その取り扱いはより容易となる。本論では、損傷・転覆船舶を幾何学的な船体形状を持った模型船で模擬し、転覆してトリムおよびヒールをともなった船舶に作用する流体力を実験的に求め、粘性抗力の推定結果と比較し推定手法の適用性の検討を行った結果について述べている。

アルミニウム流電陽極を用いた電気防食法の
電位分布に及ぼす種々の環境因子の影響と
陽極配置間隔について

Study on Potential Distribution and Anode
Distributive Distance of Cathodic
Protection used Al Galvanic Anodes in Various
Environmental Factors

高井隆三、渡辺喜保、望月紀保

平成12年1月

日本造船学会第15回海洋工学シンポジウム (15巻号)

超大型浮体式海洋構造物は、長期間に渡り安全且つ良好な使用状態で維持する事が求められており、そのための技術開発や種々の手法が研究・検討されている。

今回は、この浮体の水面下にある構造物に対する防食対策として検討されているアルミニウム流電陽極(以後、Al陽極とする)を用いた電気防食法を取り上げて種々の環境因子(例えば、海水温度、導電率、流れおよび塗膜状況等)下で電気防食を行った場合に電位分布がどのように変化するかを、電気防食法において、陰極側の分極特性に直線分極を仮定すると成立する $E_c^0 - (E_a - V_{ex}) = (hc/Sc + R) I$ の関係から考察した。

ここで、 V_{ex} は印加電圧、 I は防食電流、 R は回路抵抗、 E_a は陽極電位、 E_c は陰極電位、 E_c^0 は陰極の自然電位、 hc は陰極の分極抵抗、 Sc は陰極面積である。

また、種々の環境因子下において良好な電気防食を行うに必要なAl陽極間隔等について模型実験および市販されているFEMによる電位分布解析プログラムを用いて調べた。

本論では、1,000m級の浮体空港に対して実施された試設計¹⁾を基に、浮体の一部分を取り出し、その部分を大略1/10に縮尺した模型を用いて電気防食下での①流れが電位分布に及ぼす影響②海水の導電率の違いが電位分布に及ぼす影響③水面からAl陽極までの距離が電位分布に及ぼす影響について模型実験を実施した結果を述べると共に計算と比較した結果を示す。また、このプログラムを用いて種々の環境因子下でのAl陽極の適正な間隔を求める手法についても提示する。

Model Experiment of Underwater Sound Radiated from VLFS

VLFSから放射される水中音に関する模型実験
 國分健太郎、安藤裕友、肥後 靖、石原大輔
 平成12年2月

Proceedings of

19th International Conference on Offshore
 Mechanics and Arctic Engineering

浮体空港等の超大型浮体式海洋構造物が周辺海域へ及ぼす環境影響因子の一つとして、航空機の離着陸時の衝撃や、発電機の振動の水中への伝搬が考えられる。この論文では、超大型浮体式海洋構造物から放射され、水中を伝搬する音の研究を取り扱っており、水中音圧分布の予測ツールとして、弾性浮体と剛な海底で多重反射する水中音の圧力分布を時間領域で求める数値シミュレータを開発した。また、模型実験を行い、数値計算結果と実験結果を比較して数値計算結果の有効性を確認した。

模型実験では、超大型浮体式海洋構造物は、周囲に縁を付けて浮力を得ている薄いアルミ板でモデル化した。アルミ板の中心を正弦的に加振し、アルミ板を伝搬する振動は加速度計によって、アルミ板より放射されて水中を伝搬する振動はハイドロフォンによって、それぞれ計測した。

数値計算法には境界要素法を採用した。流体は、非粘性、非回転の圧縮性流体を仮定した。数値計算における入力は、境界条件である浮体の振動であり、加速度計で計測した振動よりモード形状を推定して使用した。

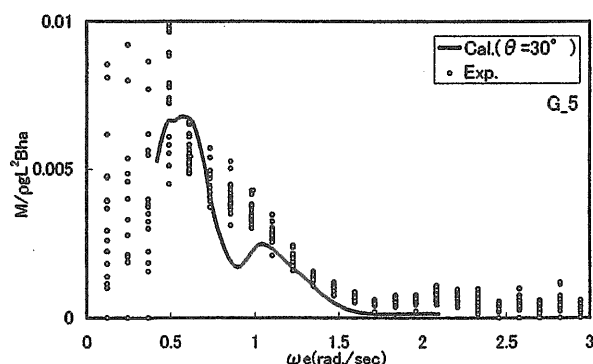
水中音圧の計算結果は、実験結果と良い一致を見せている。また、実験結果より、アルミ板より放射された水中音は、鉛直方向よりも水平方向へ伝搬することが明らかとなった。また、浮体底面は面音源であるので、音波の干渉により水中音圧分布は非常に複雑なものとなり、音圧の最大レベルは必ずしも加振点の直下で計測されるとは限らないことが、実験結果より明らかとなった。

超大型浮体ユニットの実機曳航

At-sea Towing of Huge Floating Unit
 原 正一、山川賢次、星野邦弘、湯川和浩
 平成12年5月
 日本造船学会論文集第187号

メガフロート技術研究組合の「超大型浮体式海洋構造物の研究開発」のフェイズIIとして、長さ1,000m、幅60m (一部120m)、深さ3mの大型の浮体構造物による海上空港モデルの実証実験が1998年度より3年計画で開始された。この浮体式海上空港モデルは、滑走路をA、B、Cの3ユニットに分割して製作し、実験海域で洋上接合して完成させる工法が採られた。Aユニットは、1999年7月初旬に石川島播磨重工業(株)愛知工場から三菱重工業(株)横浜製作所に曳航輸送された。Cユニットについては、同年8月初旬に日本鋼管(株)津製作所から横須賀港沖の実験海域まで曳航輸送された。曳航輸送は古来から操船技術の一つとして使われ続けてきたものであるが、このように厚みの小さい平坦な構造物の実機曳航に関するデータは乏しい。したがって、メガフロート浮体ユニットのように薄型の大型浮体構造物の外洋における長距離曳航に関する実機計測データの蓄積が重要である。

著者らは、フェイズIIで使用する浮体構造物の建造にあたって、Aユニット及びCユニット曳航時に実機実験の機会を得たので、曳航力、甲板歪み、曳航性能などの計測結果について報告する。



曲げモーメントの応答関数の実測値と計算との比較

Improvement of Performance on Multi-purpose Work Vessel

多目的作業船の性能向上に関する研究
原 正一、山川賢次、星野邦弘、湯川和浩
平成12年5月

Proceeding of ISOPE (International Offshore and Polar Engineering Conference) 2000

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。こうした海難が発生した場合、損傷した船体が漂流・漂着することによる海洋施設や港湾施設等への衝突等による二次災害の発生や流出油の拡散による広域海岸汚染などの危険性がある。このような海難時になすべきことは、漂流する船体の漂流を防止することと、流出油の拡散を防ぐことが重要である。著者らは、後者にあたる波浪中の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油捕捉水面に取り入れて、機械的な回収装置を用いて直接回収する方式の研究の一環として、油回収船と油捕捉水面の静穏化技術の開発を担当して研究を実施中である。

この船舶は、波浪中に浮遊する流出油回収を主目的とするが、波浪中で流出油回収作業に携わる船舶は相当の大きさであり、保管しておく空間の確保及びメンテナンスの人の配置も不経済である。そのため通常は、海洋工事等に稼働できる多目的作業船として効率よく活用するのが合理的であろうと考えられる。

この作業船の活用では、次のような構想が描かれる。

- 1) 機能は、非自航でクレーンや油回収装置等の機器とそれらの機器を駆動するための発電機を装備する。
- 2) 通常時は海面清掃、海洋工事、海中工事・海洋調査等のダイバー支援船などとして稼働する。
- 3) 油流出事故発生時
 - ・オイルフェンス展張船兼曳船で船尾両舷を曳航して浮遊する油を取入れる。
 - ・静穏化したmoon-pool内に油を導入して回収装置で回収する。
 - ・プロペラを持たないため、浅瀬に乗り入れることもできるので作業性がよい。
 - ・回収作業に参加した漁船等小型船の母船として、回収した油の引取りや物資の提供をすることによって、作業効率が向上する。

本論文は、波浪中で浮遊する流出油を取込んで効率よく回収するために作業水面の静穏化の実験的研究について現在までに到達したところを報告するものである。

At-sea Towing of Mega-Float Unit

メガフロート浮体ユニットの実機曳航
原 正一、山川賢次、星野邦弘、湯川和浩
平成12年5月
Proceedings of ISOPE 2000

メガフロート技術研究組合の「超大型浮体式海洋構造物の研究開発」のフェイズⅡとして、長さ1,000m、幅60m（一部120m）、深さ3mの大型の浮体構造物による海上空港モデルの実証実験が1998年度より3年計画で開始された。この浮体式海上空港モデルは、滑走路をA、B、Cの3ユニットに分割して製作し、実験海域で洋上接合して完成させる工法が採られた。この空港モデルは、滑走路のほかに空港機能を満足させるための付帯設備の空間としてフェイズⅠ（1995年度～1997年度）の研究で使用された長さ300m、幅60m、深さ2mの浮体構造物が改造して使用された。滑走路のAユニットとCユニットは伊勢湾内の造船所で、Bユニットは東京湾の造船所で製作された。Cユニットは、更に分割して瀬戸内海沿岸の幾つかの造船所で製作して日本鋼管（株）津製作所で接合して製作された。

Aユニットは、1999年7月初旬に石川島播磨重工業（株）愛知工場から三菱重工業（株）横浜製作所に曳航輸送された。Cユニットについては、同年8月初旬に日本鋼管（株）津製作所から横須賀港沖の実験海域まで曳航輸送された。曳航輸送は古来から操船技術の一つとして使われ続けてきたものであるが、このように厚みの小さい平坦な構造物の実機曳航に関するデータは乏しい。本格的な海洋空間利用の展開はこれからであり、今後、多種多様の構造物の出現も可能性としては考えられるが、被曳航体が大型化してくると水槽における模型実験にも限界がある。したがって、メガフロート浮体ユニットのように薄型の大型浮体構造物の外洋における長距離曳航に関する実機計測データの蓄積が重要である。

著者らは、フェイズⅠの実証実験で長さ100m、幅20m、深さ2mの構造物ユニットについて水槽実験と岡山県水島から横須賀港沖までの実機実験を行い、曳航時の曳航力、甲板ひずみ等を計測して、数値計算との比較を行った。フェイズⅡで使用する浮体構造物の建造にあたって、Aユニット及びCユニット曳航時に実機実験の機会を得たので、曳航力、甲板歪み、曳航性能などの計測結果について報告する。

<氷海技術部>

積層複合材の内部ひずみの計測

The Measurement on the Internal Strain of
Cloth Laminates

前田利雄

平成12年1月

九州大学応用力学研究所研究集会講演論文集

繊維強化複合材 (FRP) はマトリックス樹脂の硬化収縮に起因する内部ひずみが発生する。このひずみはFRPのクラックの発生や層間剥離の原因となる、さらには、疲労強度や低温域での使用等温度変化を受ける環境で使用する場合の耐久性等に大きく影響を及ぼす。このため、FRP構造物の設計施工に当たっては内部ひずみの発生状況を十分把握しておく必要がある。

そこで、マトリックス樹脂単板及び積層複合板の成形時にひずみゲージを埋め込む方式で内部ひずみを計測し、硬化過程におけるひずみの発生挙動を調べると共に、硬化後の積層板の残留ひずみについて検討を行った結果について報告する。本研究に用いた樹脂はFRP船用として用いられている不飽和ポリエステル樹脂2種類と低温用として優れた特性のビニルエステル樹脂の計3種類である。また、強化繊維はガラスロービングクロス、カーボンクロス及びアラミドクロスの3種類を用いた。得られた結果は以下の通りである。

- 1) FRPの成型時にひずみゲージを埋め込んで内部ひずみを計測した値の妥当性を検討した。
- 2) 樹脂単体の内部ひずみは各樹脂とも圧縮ひずみが発生し、その値は不飽和ポリエステル樹脂が最大で $-3,500\mu$ であった。
- 3) 積層板の内部ひずみは強化繊維により拘束されるため小さく、樹脂の値の約1/10であった。

FRPの内部ひずみは強化繊維により異なり、ガラス繊維強化複合材 (GFRP) は樹脂単体と同様に圧縮ひずみであるが、カーボン繊維強化複合材 (CFRP) 及びアラミド繊維強化複合材 (AFRP) は引張りひずみが発生した。これは樹脂硬化時の反応熱による強化繊維の寸法変化が繊維の線膨張係数の違いにより異なるためと考えられる。

<大阪支所>

2Pモデルによる異種材接合界面疲労強度予測について

On the Fatigue Strength Prediction for Bonded
Dissimilar Material's Interfaces by Two Parameter
Model

千秋貞仁、津島 聡

平成12年1月

九州大学応用力学研究所 研究集会講演論文集

近年、D' Amoreらにより、GFRPの疲労寿命予測モデルが提案された。このモデルは2つの定数 (α , β) を含むので、2パラメーターモデルと呼ばれている。これまでに、大阪支所で行われた船用GFRP積層材の引張り疲労試験結果を解析し、同モデルが優れた適応性を示すことを確認した。今回は先ず、このモデルが鋼材-樹脂接着界面の疲労強度予測に適用可能であることを確認し、さらに鋼材表面の粗度が疲労強度に及ぼす影響を表現出来るようにモデルの拡張を行った。次に、鋼材とエポキシ樹脂の直接接着接合部 (co-cured joint) の繰返しせん断疲労強度について、接合界面の鋼材表面粗度、接着部長さ、及び繰返し荷重の応力比 $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ をそれぞれ変化させてS-N (応力-破断繰返し数) 線図を計算した。それらの傾向より、次の結果が確認・予測された。

- (1) 2パラメーターモデルは、鋼材-エポキシ樹脂接着接合部界面のせん断疲労強度予測に適用可能である。
- (2) 短寿命域では粗度の大きいものが疲労強度に優れているが、中寿命域において強度の逆転が起り、長寿命域では、鋼材表面がなめらかであるほど疲労強度が向上する。
- (3) 接着部長さを増加させると、静的・せん断疲労強度の両方が向上する。
- (4) 繰返し荷重の応力比が疲労強度に与える影響は、線形的である。

これまでに、異種材料を (接着) 接合する場合、非着体接合界面に予め機械研磨等で粗度を設けておけば、接着界面の静的強度が向上することが実験的・経験的に知られている。これに上記(1)-(4)の予測結果を加え、疲労強度を考慮した鋼材-エポキシ樹脂接着接合部の設計について考察した。

CO₂溶解水中下におけるハイドレート膜の強度Hydrate Membrane Strength in CO₂ Rich Water

山根健次、綾 威雄、成合英樹、山本敬之、石田 実

平成12年 5月

Proceedings of 37th National Heat Transfer

Symposium of Japan

温暖化対策の一つとして、火力発電所等の大量排出源からCO₂を分離・回収し、海洋中に処理する方法が提案されている。その一つに、CO₂の密度がCO₂飽和溶解海水より大きくなる3,500m以深の深海底窪地に液体として溜めるといふ深海貯留法がある。CO₂は500m以深に対応する圧力・温度条件下では界面にハイドレート膜が形成されると考えられるため、この膜が深海流などの不安定化要因に対して安定的に存在するならば、CO₂の海洋中への拡散が抑制される。そのため深海貯留法の実現性を検討する上で、このハイドレート膜の力学的特性の解明が重要となる。

これまでに試みられたハイドレート膜の強度計測の内、著者らが採用した表面張力法が最も高精度であり、清水中や人工海水中のデータが得られている。しかし高濃度CO₂溶解水中での膜強度測定例はほとんどない。本研究では、上記の表面張力法を用いて、バルク水としてのCO₂濃度を変化させ、精度の高いハイドレート膜強度の計測と検討を行った。

実験は次のように行った。4,000m級深海模擬装置内を清水で満たし、40MPaまで加圧した後、試験部に置かれているピーカーに液体CO₂を満たす。圧力を保ちながら、さらにCO₂の注入と装置内の水抜きを繰り返して、高濃度CO₂溶解水を作る。CO₂濃度は、バルク水温度の低下とともに現れるハイドレート析出開始点の温度から求めた。膜強度は、温度を下げてハイドレート膜を生成させた後、Du-Nouy式表面張力計の白金製リングを鋼線のねじり力を通して押し込み、膜を破断することにより求めた。その結果、飽和濃度直近において、既に明らかにされている解離温度近傍での膜強度異常に匹敵する、新たな強度異常が出現することが判明した。この事実は、先に筆者らが提案している「自由水分子モデル」を支持するものである。

解離温度近傍のCO₂ハイドレート膜強度異常に関する考察Discussions on the strength Abnormality of CO₂

Hydrate

山根健次、綾 威雄、成合英樹

平成12年 5月

Proceedings of 37th National Heat Transfer

Symposium of Japan

地球の温暖化傾向を緩和する手段として注目されている二酸化炭素海洋処理法を評価するためには、液体二酸化炭素と海水との界面に生成するハイドレート膜の性質を明らかにすることが不可欠である。中でも、二酸化炭素ハイドレート膜の力学特性の解明は深海底窪地に液体二酸化炭素を貯留する方法の実現可能性を評価するために重要である。著者らが最近、高耐圧のDu-Nouy型表面張力計を用いて高精度計測に成功した二酸化炭素ハイドレートの膜強度データは、解離温度近傍での強度がそれより低温側における強度のおよそ10倍という異常を示していた。本報告は、この強度異常のメカニズムを説明するために、ハイドレートの生成・解離確率を与える基本モデルの提案に関するものである。著者らが提案したこのモデルは、従来、定性的にこの強度異常の説明が可能であったが、定量的には未確定の項の存在によって未完成なものとなっていた。今回、このモデルの中に含まれる未確定項である生成・解離確率にFermi-Dirac分布関数の適用を試み、本モデルが定量的にも解離温度近傍における強度異常の説明が可能であることを示した。

提案したモデルの要約は以下のとおりである。解離温度における水素結合の解離確率は生成確率と比べて無視できない大きさを持ち、膜によって隔てられた二酸化炭素と水分子の相互拡散は解離により活発になり、それに伴って膜の厚みが増すことになる。また、解離温度より十分低温側での解離確率は生成確率に比べて非常に小さく、膜内では通常の拡散が支配している。この場合、ハイドレート膜の水側への溶解速度が溶液中への拡散律則になっていること、また、ハイドレート共存域での溶解度が温度の低下とともに減少することから、膜の厚みは温度上昇とともに減少する。これらのことからCO₂ハイドレート膜強度が0～8℃で温度上昇とともに減少するという他の実験事実も合わせて説明することができた。