

## 所 外 発 表 論 文 等 概 要

### JIS Z2350:2001 - 超音波探触子の性能測定方法 - 改正規格の概要

An outline of the amended standard  
"JIS Z2350 Method for measurement of  
performance characteristics of  
ultrasonic probes"

島田道男、養祖次郎、鈴木孝信  
平成13年11月

日本非破壊検査協会超音波分科会 No.21671

超音波探触子基本特性の測定方法並びに表示方法を定めた JISZ2350「超音波探触子の性能測定方法」の改正作業が平成12年度に行われた。本規格は平成4年度に改正されているが、その後の技術の進歩に合わせるため、対応する国際規格への早期の整合化が要請されたことが、改正の理由である。

国際規格と整合化させるために、対応する国際規格 ISO10375"Non-destructive testing-Ultrasonic inspection-Characteristics of search unit and sound field"及び ISO 12715"Ultrasonic non-destructive testing-Reference blocks and test procedures for the characterization of contact search unit beam profiles"の内容が全面的に JIS 規格に取り入れられた。また、従来から国内での使用実績が高く、規定を削除すると混乱を生じる恐れのある規定は、JIS 規格に残している。一方、必要性が低く無くても影響の少ない規定は削除し、内容を整理した。

以上の基本方針のもとに、旧規格との相違点の概要を以下の通り紹介した。探触子の表記記号の改正点。

接触型探触子のビームプロファイル測定用に追加した ISO 規定の試験片及びビームプロファイル測定方法。ISO に一致させた相対感度測定法の規定。水浸探触子ビームプロファイル測定法。有効振動子寸法の測定および中心感度積の測定は削除した。ビームプロファイル測定用 ISO 試験片の問題点(縦断面と横断面で評価の考え方が不一致、横断面では精度が悪い)。

探触子の表記記号は日本独自のもので、今回の改正で完成度が高まったので、ISO への提案が望まれる。横断面のビームプロファイル測定用の ISO 試験片には、問題点も多いので、対策を検討する必要がある。

### 構造強度モニタリングデータに基づく就航船の 船体構造強度評価

Structural Safety Assessment of an Aged Ship  
based on Structural Monitoring Data

河邊 寛、岡 正義、坂本義人  
平成13年12月

日本造船学会論文集第190号

船舶の構造強度は設計・建造時に、その使用目的及び操業状態を勘案して使用期間中、安全に航行できるよう十分な検討が成される。実際に就航するためには船級協会による定期的な検査を行い、船体構造の健全性維持に力を注いでいる。

船体構造の破損の形態は、腐食・衰耗による強度低下と疲労亀裂であり、船体構造の健全性の維持にはこのような不具合の発生を未然に感知することが重要である。そのためには船舶の構造部材の腐食・衰耗の状態を記述する適切なカルテを作成するとともに船舶が遭遇した荷重履歴を把握することが必要であり、両者を突き合わせることで船体構造の健全性を合理的に評価できる。

そのような背景から、当所では就航船に働く荷重を推定することを目的として、海上保安庁の1000トン型巡視船の船体運動と甲板の縦曲げ応力等を計測し、あわせて過去から現在までの航海記録の波浪観測に関する統計解析を行った。その結果、

計測されたピッチレートと船体中央甲板の縦曲げ応力の応答の相関関係から、遭遇した海象の平均波周期、波との相対角を推定する方法を開発した。

船舶の遭遇する海象を推定し、一般に公開されている海象統計と比較することにより、船舶に働いた波浪荷重の履歴を推定するための海象を設定した。

この海象に基づいて推定した荷重の長期分布と実際に計測された荷重の長期統計とを比較することにより、海象の推定法の妥当性を検証した。

想定海象のうち、相対波向きの頻度分布が荷重の長期分布に与える影響を検討した結果、相対波向き分布は座屈・大変形の強度評価には、ほとんど影響を与えないものの、疲労強度をマイナー則に基づく累積疲労被害度で評価する場合には大きく影響することが明らかとなった。

# 並進運動に伴う気泡・液滴・粒子周りの減圧挙動 Depressurization Behavior due to Translational Motion of Bubble, Droplet and Particle

杉山和靖、高木 周、松本洋一郎

平成 13 年 5 月

日本機械学会論文集 B 編 67 巻 657 号

気泡・液滴・粒子が並進運動することによって、界面上で平均化された圧力は遠方における圧力より低くなる。本論文では、この並進運動に伴う減圧を「並進減圧」と呼び、それを流体の密度と並進速度で無次元化した「並進減圧係数」を定義し、並進減圧係数に対する粒子・流体粘性比とレイノルズ数の影響を、理論と数値計算によって調べた。

気泡流やキャビテーション現象のように気泡の体積変化が問題となる場合、並進減圧は外向き法線方向へと引っ張る力をもたすため、並進減圧に対する知見は気泡の膨張を定量的に評価する上で重要である。また、混相流の数値予測では、二流体モデルのような平均化方程式を用いた解析が主流であるが、混相流体としての応力を記述する構成方程式を定式化する上で、並進減圧の評価手法の高度化が求められている。

本論文では、まず、微小レイノルズ数での並進減圧係数の漸近解をストークス展開法によって理論的に導出した。その結果、微小レイノルズ数での並進減圧係数は有限であり、粒子・流体粘性比の関数として記述できることがわかった。

次に、直接数値シミュレーションを用いて、中間レイノルズ数域における並進減圧係数を調べた。図に並進減圧係数とレイノルズ数の関係を示す。図において、低レイノルズ数域での1/12、13/192、1/16を示す細線は上述の微小レイノルズ数の理論によって導出された漸近解であり、それぞれ、気泡、液滴(粒子・流体粘性比が1)、固体粒子に対応する。図より、微小なレイノルズ数での気泡・液滴・固体粒子に対する並進減圧係数の数値解は、本研究で導出した理論解とよく一致することがわかる。また、気泡の並進減圧係数はレイノルズ数の増加とともに単調に増加し、高レイノルズ数でポテンシャル流の解(図中の1/4を示す細線)に漸近することがわかる。それに対し、固体粒子の場合、流れの剥離の影響によって、並進減圧係数はレイノルズ数の増加とともに単調には増加せずに、レイノルズ数が約100で最大値を示すことがわかる。

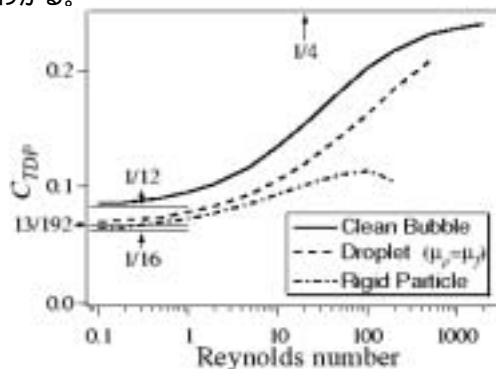


図 並進減圧係数( $C_{DP}$ )とレイノルズ数( $Re$ )の関係

# GO-FLOW 手法による 船用機器システムの確率的な安全評価 Probabilistic Safety Assessment of Ship Equipment

System by GO-FLOW Methodology

桐谷伸夫

平成 14 年 3 月

日本マリンエンジニアリング学会誌第 37 巻 2 号

陸上における種々の大規模プラントや巨大システムにおいて、リスク評価あるいは安全評価を実施することが重要であることは言うまでもない。近年、原子力プラントなどの安全評価の手段としては定量的な評価手法が重要視されており、一般的にはフォールト・ツリー解析やイベント・ツリー解析が安全評価手法として採用されている。これらの手法は有効なものとして多くの実績を持つものであるが、解析者に高い習熟度や解析対象に対する広範で詳細な知識と理解を要求することやモデリングの困難さなどから、解析手法として決して取り組み易いものではないことに大きな問題があった。一方、当所の松岡らによって開発された GO-FLOW 手法は、既存手法が持っていた問題を軽減すると同時にシステムの安全度を定量的にかつ時間的要素を含めて評価することを可能とした点において優れた特徴を持つものである。

本研究は船舶をひとつの巨大システムとして考える観点より、その安全評価を GO-FLOW 手法によって定量的に実施したものである。船用機器個々の信頼性に注目した取り組みは重要なものであるが、船舶がひとつのシステムであることに視点を置いた安全評価やシステム信頼性評価の実施もまた重要である。特に解析対象システムのモデリングにおいては、これまでに多年にわたって当所において実施してきた船用機器の信頼性に関わるフィールド・データの収集や評価を目的とした船舶信頼性調査(1982 年～1999 年)の成果を導入することによって、実利的にも高い意義と価値を獲得することを目的とした。解析対象システムとして提案した船用機器システムの GO-FLOW モデルは、燃料サービス・タンクからの燃料の流れに注目して主機の正常運転からプロペラの正常回転までをシステムの機能として設定したものであり、特に移送ポンプや粘度調整器などの待機冗長系機器を取り込んで表現されていることに特徴を持つものである。船舶信頼性情報に基づく信頼性データを導入した GO-FLOW モデルによって解析を実施した結果、システム構成機器の故障発生による船用機器システムの異常発生確率は運転 1000[hr.]において 0.9887 であり、異常発生確率 0.5 となる運転時間は約 157[hr.]であることが明らかとなった。また、冗長系設置の効果は運転 240[hr.]経過時点で故障確率を約 6.4[%]軽減する効果をもたらすことが明らかとなった。さらには、保全作業実施による信頼性向上によるシステム全体への影響度合いも明らかとなった。

# 浦賀航路における避航失敗確率について

## Failure Probability of Collision Avoidance in Uraga Route

金湖富士夫

平成14年3月

電子情報通信学会 信学技法 SSS2001-34 2002/3

危険な遭遇の発生数の推定理論を用いて浦賀航路における危険な遭遇の発生数を求め、同発生数と要救助海難統計より求めた浦賀航路での衝突事故数から、浦賀航路における避航失敗確率を算出した。また、同じ方法で分離航行が実施される前の避航失敗確率、さらに、現状の分離航行に速度管制を加えた場合の衝突数の減少を推定した。また、過去の航行実態調査からの衝突確率との比較を行った。

その結果、本報告の方法では分離航行を施行すると危険な遭遇の頻度が1/4ほどになるが、実態調査では、現状の分離航行により衝突事故は以前のおよそ1/7であることが判明した。しかし、反航が同航より避航失敗確率が2倍ほど高いとの藤井等の指摘を加味すると、本報告の方法による結果は実態を良く説明していると考えられる(表)。また、浦賀航路内の速度分布を現状の速度分布の10%に管制する場合は、危険な遭遇は現状の10%程度に減少することが予測される。しかし、船種、船型で航行速度の違いがあるため一律に速度管制を実施することは困難であるとともに、現実の衝突回数はずでにかなり低いため、遭遇頻度を減らすためにこれ以上の対策を施す必然性は薄いと思われる。

ここで用いた避航失敗確率の推定方法は任意の海域に適用できるものであり、航路設計等に役立つと期待される。

表1 衝突失敗確率

避航失敗推定確率(浦賀航路)			
浦賀航路設定前	浦賀航路設定後	比	
$0.69 \times 10^{-4}$	$0.41 \times 10^{-4}$	1.66	

海域	避航失敗確率文献値(藤井等:海上交通工学)			
	反航	同航	比	備考
浦賀水道	$3.0 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	3	1960年代後半5年分
明石海峡	$0.8 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-4}$	0.73	1960年代後半5年分
鳴門海峡	$1 \times 10^{-4}$	$0.4 \times 10^{-4}$	2.5	1960年代後半5年分
Dover Strait	$1.8 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	1.8	1970年前後9年間
まとめ(藤井等)	$2.0 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	2	推定精度 $10^{\pm 0.5}$

# Ship Flow Computations by an Unstructured Grid Based NS Solver

非構造格子ベースのNS ソルバーによる

船体まわりの流れ計算

日野孝則

平成14年3月

九大応力研研究集会報告

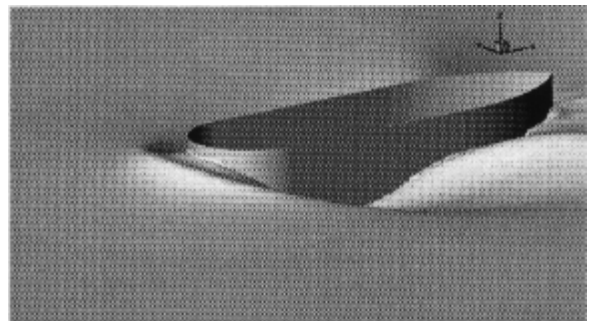
「移動境界とその周りの流れ解析」

船舶のような複雑形状のまわりの流れを解析するツールとして、非構造格子法によるナビエ・ストークス・ソルバーが有効である。非構造格子法は格子セルの配置に規則性を要求しないため、複雑形状に適合した格子を生成することが可能となる。

一方、船体まわりの流れ解析においては自由表面影響を取り込むことが極めて重要である。非構造格子法において自由表面流れを扱うためには、レベルセット法などの界面捕獲法が適している。界面捕獲法は界面適合法と異なり、自由表面の変形に伴って格子を移動させないため、複雑形状まわりの格子生成を繰り返す必要がない。また自由表面の大きな変形にも追従できるという利点もある。

これらを踏まえ、非構造格子によるナビエ・ストークス方程式の数値解法を開発した。空間における離散化は2次精度の有限体積法を採用し、時間積分には1次精度オイラー陰解法を用いた。自由表面の扱いはレベルセット法によった。自由表面における境界条件を満たすように速度と圧力を水の領域から空気領域に外挿することによって、水面下のみを計算することを可能にしている。

ここでは計算手法の概要を述べるとともにいくつかの解析例を示した。下の図は、肥大船首の数式モデルのまわりの自由表面流れの計算例である。実験で見られるような波崩れは再現されていないが、船首前方の急峻な波が計算されている。



肥大船首の数式モデルのまわりの自由表面流れの計算

# 壁面スライド気泡群中に観察される気泡間相互作用 (第1報 気泡間相互作用パターンのPTVによる計測)

Bubble-Bubble Interaction Observed in a  
Swarm of Wall-sliding Bubbles  
(1st report, Measurement of the Interaction  
Pattern using Particle Tracking Velocimetry)  
北川石英、芦原将彰、村井祐一、山本富士夫

平成 14 年 4 月

日本機械学会論文集 B 編 68 巻 668 号

気泡流中において気泡数密度を増大させると、気泡同士の距離が短くなり、単一時とは異なる群としての振舞が観測されるようになる。この群としての振舞は、本来、個々の気泡の相対的な配置に依存するものだが、これまでの気泡流解析モデルでは、局所ボイド率の増加だけで表現されるような成分、すなわち均質的な成分しか考慮されてこなかった。具体的には気泡の抗力係数や付加質量係数などを、その気泡の近傍のボイド率で修正する方法である。これに対して、群の内部での気泡の相対運動は、それらでは予測しえない。本研究でいう気泡間相互作用とは、群の内部における気泡の相対運動をもたらしものを指す。本研究では、気泡間相互作用力を解明するために、壁面と気泡界面の距離が気泡直径よりも十分に小さい”壁面スライド気泡群”を対象とし、PTV による気泡運動の計測を行った。それに伴いまず、単一で壁面上をスライド運動する気泡の抗力係数の算出を行い、従来に報告されている無限液体中のそれとの比較を行った。その結果、壁面単一スライド気泡の抗力係数は無限液体中のそれより大きいことを明らかにした。また、3 種類のボイド率に対して、着目気泡と遠方気泡との関係および着目気泡と最接近気泡との関係を明らかにした。特に、スライド気泡群中にある個々の気泡の絶対速度の鉛直成分の平均は、互いに気泡が接近する場合で単一スライド気泡のそれより増加すること、また、ボイド率と  $Re$  数の低い場合では、ほぼ  $360^\circ$  全方向に離間速度が生じ、気泡同士が相互に反発して拡散するような相互作用メカニズムの存在するのに対し(図 1.(a)参照)、ボイド率と  $Re$  数が高い場合では、水平方向に離間速度、鉛直方向に接近速度が検出され、気泡群内部で個々の気泡が上下左右に内部循環することを明らかにした(図 1.(b)参照)。

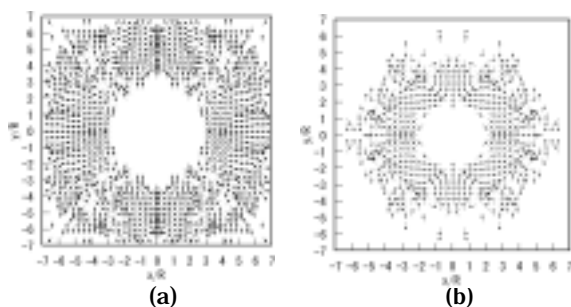


図 1 . 計測結果

# 一様等方性乱流場中での微細気泡・微粒子の挙動 に対する密度比の影響

Effects of the Density Ratios to the Behaviors  
of Small Bubbles and Particles in Isotropic  
Homogeneous Turbulence

杉山和靖、高木 周、松本洋一郎

平成 14 年 5 月

日本機械学会論文集 B 編 68 巻 669 号

マイクロバブルによる船舶の抵抗低減やディーゼルエンジンの燃料噴霧など、多くの工業プロセスで存在する分散混相乱流では、渦と微細な粒子・気泡の運動との相互作用に対する知見が、その挙動を予測するのに必要である。混相乱流で見られる特徴的な現象である乱流変調、粒子分散、乱流中の組織的構造に対する粒子の選択的な集積 (Preferential Concentration; 以下 PC と表記) については、これまでに多くの研究がなされてきた。混相乱流の中でも微細気泡流の乱流構造に着目すると、乱れに対する気泡運動の特徴を理解するには、気泡・粒子運動の時間スケールと分散相の各種乱流統計量の関係について、気泡と重い粒子との性質の違いを照らし合わせることで有効であると考えられる。しかし、乱流中の微細気泡を対象とした研究報告は重い粒子の場合に比べて少なく、気泡と重い粒子との性質の違いを照らし合わせるための十分なデータが得られていない。

そこで、本研究では、粒子濃度が低く、PC の傾向が弱い状況を仮定して、一様等方性乱流場中を運動する微細気泡・微粒子を one-way coupling 法により追跡した。そして、粒子の各種乱流統計量を計算し、密度比やストークス数によって整理した。特に、粒子密度が無視しうる気泡の場合に着目し、Preferential Concentration (PC) や粒子分散の影響について調べた。そして、以下の結果を得た。

1. 気泡の PC の傾向は、同じストークス数  $St$  を有する重い粒子に比べて強い。
2. 気泡と重い粒子の PC の傾向は、ともに、粒子運動の緩和時間と渦の寿命が同程度である場合に強い。
3. 粒子速度の rms 値  $v_{rms}$  に対する  $St$  の影響を計算し、乱流中の組織的構造の影響が考慮されていない Tchen の理論との比較を行った。重い粒子に対する  $v_{rms}$  と  $St$  の関係は Tchen の理論値に近いのに対し、気泡に対する  $v_{rms}$  と  $St$  の関係は Tchen の理論値と大きく異なる。
4. PC の傾向が強い場合、重い粒子の粒子拡散係数  $D_p$  は媒質流体の乱流拡散係数  $D_f$  よりも高くなる。それに対し、PC の傾向が強い場合の気泡の  $D_p$  は  $D_f$  よりも低くなる。
5.  $St$  が大きくなると、重い粒子の  $D_p$  は  $D_f$  よりも低くなる。これは、重い粒子の乱れに対する応答性が低下するためであると考えられる。それに対し、 $St$  が大きくなると、気泡の  $D_p$  は  $D_f$  よりも高くなる。これは、気泡の加速度が流体の加速度に対して 3 倍に増幅される効果によって、流体よりも気泡運動の乱れが増幅されるためであると考えられる。

なお、本研究での解析は one-way coupling 法によって行われており、分散相から連続相への作用が考慮されていない。実際の流れ場では気泡・粒子運動によって連続相の乱れの変調が現れる。乱れの変調の程度は PC の程度などに依存し、本解析から、重い粒子よりも気泡の方が PC の傾向が強いという結果を得た。この結果より、気泡を含む混相乱流の解析には、重い粒子を含む場合よりも、分散相から連続相への作用を考慮することが重要であると考えられる。

### Multi Objective Optimization of Ship Hull Form Design by Response Surface Methodology

船型設計における応答曲面法を用いた多目的最適化手法について

南 佳成、日夏宗彦

平成14年7月

Proceeding of 24th Symposium on Naval Hydrodynamics (2002)

従来、船型設計は推進性能(平水中)を中心に行われてきた。しかし、実海域の運航性能を検討するためには、平水中の推進抵抗以外に耐航性能(波浪中抵抗増加や定時性評価)も考慮するべきである。推進抵抗及び耐航性能を含んだ多目的関数に基づいた船型設計では、設計プロセスの中で試設計された船型の運航性能を実験的手法で評価すると膨大な時間と工数を要する。このため、本研究では船型設計における船型の性能評価に実験的手法を用いず、シミュレーション計算を積極的に利用した設計システムを開発し、船型設計の高度化、効率化を図ることを目的としている。しかし、船型設計の高度化を考えた場合、シミュレーション計算自体にもCFD計算などの高精度・大規模計算ツールが必要となるが、これらのツールは計算工数が大きいという問題がある。そこで、本研究では設計システムにおける船型の最適化プロセスでの評価解析回数をできるだけ少なくするために、実験計画法などを用いて解析(計算)回数を減少させることができる応答曲面法を用いた最適化手法を適用した。

この応答曲面法とは、最小二乗法、実験計画法および最適値探索法を含んだものである。その特徴は、設計変数に対する評価関数の応答を近似多項式で表現できると仮定し、その近似多項式を求めるための設計変数の組み合わせについて実験計画法を利用して効率的に求めることにある。この手法により、必要最小限の解析回数で評価関数の応答の特徴を精度よく把握することができる。また、多目的関数を用いた船型設計では、各評価関数上のトレードオフが必要になる。このため、応答曲面法で各評価関数の応答曲面(近似多項式)を求めておけば、設計パラメータ、トレードオフの重みの変化に対して各評価関数の解の挙動を簡単に知ることができる。これにより、各評価関数のトレードオフにおける検討時間も大幅に減らすことが可能である。

本論文では、この応答曲面法を用いた多目的船型設計の有効性を確認するために、数式船型(Wigley model)、Series 60 船型を対象に船体抵抗、波浪中抵抗増加、船体運動を多目的関数に用いた最適化計算を実施し、船型設計を行った結果を報告する。

**Computation of Viscous Flows around a Wigley Hull Running in Incident Waves by use of Unstructured Grid Method**

非構造格子系による入射波中を航走する Wigley 船型周りの粘性流場の計算

日夏宗彦、日野孝則

平成 14 年 5 月

Proceeding of ISOPE(International Offshore and Polar Engineering Conference)2002

波浪中を航走する船舶の推進性能を推定することは、船の長期性能を推定する上で重要である。波浪中推進性能は、今まで波浪中抵抗増加の研究を中心に進められ、成果を上げてきた。しかし推進性能を考えると、推進器性能がどのようなものであるかを推定することが重要であり、このためには波浪中を航走する船舶の船尾粘性流場がどのような振る舞いをするかを把握する必要がある。このためには CFD が一つの有力の手段となる。本研究では正面規則波中を運動を伴って航走する船体（今回は簡単のため Wigley 船型とした）の流れを CFD で解く方法について記した。計算手法は海技研で開発された非構造格子系をベースにした SURF コードを改良した。自由表面はレベルセット法で解いた。改良点は、入射波影響を考慮したこと、船体運動を解くこと、船体運動にともなう格子移動の影響を考慮したことである。

まず検証計算として、平水中を静止状態から一様航走速度まで加速し、その後一様速度( $Fn=0.289$ とした)で航走する状態をシミュレーションし、実験値と比較した。その結果船体運動は実験結果をよく表現するものであった。また船側波形も実験結果とよく一致した。

次に入射波中（波長船長比=1）を航走する状態のシミュレーションを行った。船体に働く力の平均値は平水中を航走する場合に比べ増加し、抵抗増加分が計算された。また、伴流係数(1-w)も平水中を航走する場合に比較し増加する結果が得られた。船体運動はストリップ法の結果に比べ小さかった。今回の方法は計算時間がかかったため格子数はそれほど多くとれなかった。格子数依存性等の調査が必要である。また、現在は疑似圧縮近似に基づく方法をベースにしているが、非定常計算の場合はいわゆる projection 法や計算の効率化も検討すべきである。

**Numerical Investigation of Influence of Surging Motion on Viscous Flows around a Wigley Hull Running in Incident Waves**

入射波中を航走する Wigley 船型周りの粘性流場に対する前後揺れの影響調査のための数値計算

日夏宗彦、日野孝則

平成 14 年 7 月

Proceeding of ASME(American Society of Mechanical Engineering) FEDSM(Fluids Engineering Division Summer Meeting) 2002

波浪中抵抗増加の実験では、前後方向の運動を拘束するため、重力式振り子や適当なバネで固定する方法が用いられる。この方法では、時間平均である抵抗増加を計測することに対しては問題ないといわれている。しかし抵抗値の時間変動や伴流に与える影響とサージングの大きさの関係については、あまり調査されていないと思われる。本研究は、サージング運動と抵抗変動、伴流の変動を数値計算によって調べることを目的とした。計算コードは非構造格子系による SURF コードで、サージ、ピッチ、ヒープ運動を同時に解いた。

計算には Wigley 船型を用い、船速は  $Fn=0.289$ 、入射波波長は船長と同じとし、波高は船長の 0.008 倍とした。サージを固定するバネの強さは 2 種類とし、バネ平均ののびが船長の約 1/4%および約 1%程度となるように設定した。

計算の結果、船体にかかる抵抗値の変動と伴流の変動は、バネがある場合（サージ運動をしている）とならない場合（サージ固定）で、ほとんど同じであった。これは今回設定したバネが強すぎたためと考えられる。逆に言えば強いバネで接合するときは、サージ量がわずかにあっても、粘性流場の観点からは、サージ固定の場合とほぼ同一であるといえる。

サージ量が大きい場合の粘性流場との関係は興味ある問題で、バネを弱くした場合計算も行ったが、計算は途中で発散した。原因はサージ運動が大きくなり、今回用いた格子および自動格子再配置方法がうまく機能しなかったためと思われる。弱いバネで接合したときの状況を計算するには、自動格子再配置方法に今ひとつ工夫が必要であり、これを克服してサージ量が大きい場合の粘性流場の違いを明らかにすることが今後の課題である。

# ハイドレート生成領域における二酸化炭素 溶解度の二元性

## Dual Nature of CO<sub>2</sub> Solubility in Hydrate Forming Region

小島隆志、山根健次、綾 威雄

平成14年5月

Proceedings of the 4th International Conference  
on Gas Hydrates

地球温暖化対策の一つとして、火力発電所等の大量排出施設からCO<sub>2</sub>を回収・液化し、海洋を利用して処理する方法が提案されている。その一つに、CO<sub>2</sub>の密度がCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を貯留するという深海貯留法がある。このとき500m以深に対応する圧力、温度条件下では海水と液体CO<sub>2</sub>の界面にハイドレート膜が形成されると考えられる。

この膜が安定的にCO<sub>2</sub>を覆うように存在するならば、CO<sub>2</sub>の海洋への拡散抑制効果が期待できる。そのため深海貯留法の実現性を検討するには、このハイドレート膜の物性性解明、とりわけCO<sub>2</sub>の溶解度は重要である。そこで本研究では、CO<sub>2</sub>溶解度の二元性とCO<sub>2</sub>海洋隔離法との関わりを、ハイドレート膜が共存する場合と、共存しない場合について、測定したCO<sub>2</sub>液泡の溶解速度など、最新の実験データを元に、外部流動場中のCO<sub>2</sub>の物質移動について考察した。

それにより、溶解速度の支配因子である液泡表面濃度を、種々の条件下においてさらに検討し、今後の研究展望について述べる。

以上のことから、二酸化炭素海洋隔離法を正確に評価するためには、CO<sub>2</sub>溶解度の二元性が明らかにされる必要がある。これまでのところ、どのような条件がいずれの溶解度を出現させるのか、という実海域における溶解度の決定条件や、二つの溶解度の空間的境界とその移動についてほとんどわかっていない。

そのため、溶解度の二元性の問題は深海貯留法はもとより、直接的に溶解度に影響する溶解法にとっても極めて重要な問題となるであろう。

# 相手船による妨害ゾーンとその表示について

## On an Obstacle Zone by Targets and its presentation

今津隼馬、福戸淳司、沼野正義

平成14年5月

日本航海学会第106回講演会

衝突回避行動の決定には、船舶間の衝突危険を予測することが必要とされている。しかしながら、回避行動を検討するには、衝突危険評価値そのものよりも自船の行動に及ぼす相手船の影響を捉えることの方が重要である。

そこで、相手船による影響を視覚的に表現する方法として、自船行動空間中での相手船の存在とその運動により妨げられる空間、すなわち相手船による妨害ゾーン表示(OZT: Obstacle Zone by Targets)を提案する。ここで提案するOZTは、最接近時間(TCPA)と最接近距離(DCPA)の両方と密接な関係にあり、感覚的にも捉え易い特徴を持っている。また、船橋からの視覚情報と照合が容易な表示形式を取ることで、OZTの対象となる船舶の識別を容易にすることができる。

直進航路を航行する自船を含む2船が遭遇し、それぞれがある速度誤差を持って航行している場合、その衝突の可能性は、以下のように与えられると考えられる。相手船の航路上の任意の点での到達予想時間は、速度誤差に基づく正規分布で表現できる。一方、その任意の点群に向かって自船が航行すると仮定すると、同様にその到着予測時間も正規分布で表現できる。この到着予測時間が重なるところを両分布の積として求め、その値を相手船との衝突リスクとし、ある値以上になった場合に、その時確保すべき離隔距離に相当する円をその点上に表示する。この妨害ゾーンの表示は、操船者の視線に対応して、離隔距離と方位に基づく極座標の3D表示となっている。

本研究では、表示における複数隻の遭遇におけるOZTの表示特性や時間変化による影響、さらに自船及び他船の行動変化による影響を調査し、輻輳海域での有効な行動決定手段であることがわかった。

**使用済燃料運搬船「六栄丸」による  
線量率分布測定とそのモンテカルロ解析**  
Measurement of Dose Rate Distributions in  
the Spent Fuel Transport Vessel “ROKUEI  
MARU” and Monte Carlo Analysis  
植木紘太郎、秋山秀夫、大西一成、  
松本誠弘、長谷川正、吹野純一  
平成 14 年 6 月  
日本機械学会講演論文集

平成 13 年 11 月、関西電力高浜発電所において、使用済燃料運搬船「六栄丸」による実船実験を実施し、輸送容器周囲、本船のハッチカバー上および操舵室等において、中性子及びガンマ線の線量率を測定し、線量率分布の特性を検討した。本船には高浜発電所から六ヶ所村のむつ小河原港へ向け、NFT-14P キャスクが第 2 および第 3 船倉にそれぞれ 3 基ずつ、合計 6 基積載されていた。

本実船実験の解析には、連続エネルギーモンテカルロコード MCNP 4C が用いられた。NFT-14P キャスクの遮蔽解析では、14 体の使用済燃料集合体を収納したバスケットを詳細にモデル化し、「六栄丸」に関しては、NFT-14P キャスクが第 2 および第 3 船倉にそれぞれ 3 基ずつ積載されている状態を忠実にモデル化する等、モンテカルロ法の利点を十分に生かした遮蔽解析を行い、実測値との比較並びにその違いの要因を検討した。

ハッチカバー上における線量率分布は、全ての測定点で、ガンマ線の方が中性子よりも約 2 倍高い値を示している。この要因としては、各ハッチカバーには特に中性子遮蔽を目的とした蛇紋岩コンクリートが施工してあることがあげられる。この蛇紋岩コンクリートは普通コンクリートよりも水素が 2~3 倍くらい多く含まれているので、特に中性子に対する遮蔽性能が優れている。

また、ハッチカバー上における全線量率の最大値は、 $0.15\mu\text{Sv/h}$  である。この値は、船体表面及び表面から 1m における規準値であるそれぞれ  $2000\mu\text{Sv/h}$  及び  $100\mu\text{Sv/h}$  と比較しても、非常に大きな安全裕度があることが明らかである。

解析結果の一例として、第 3 船倉ハッチカバー上の中心線上における船首 - 船尾方向の測定値との相違を検討する。MCNP 4C の計算結果の相対標準偏差 (Fractional Standard Deviation) は一部を除き 5 % 前後であり、モンテカルロ計算としては信頼性の高い結果が得られた。しかし、計算値は測定値の 5 ~ 8 倍大きい値を示している。この過大評価の要因としては、中性子遮蔽材であるレジンの水素原子密度、ハッチカバー内の蛇紋岩コンクリートの水素原子密度、同じく厚さ、仕切板の構造等が保守的になっていることが考えられる。その他、船体には多くの補強材が使用されているが、遮蔽計算では無視されていることも、測定値との相違が生ずる要因になっている。

**Prediction of the Stopping Distance**  
停止距離の推定法  
原口富博  
平成 14 年 6 月  
Proceeding of the Joint Workshop by the Korea  
Towing Tank Conference and Seoul National  
University

操縦性暫定基準 (Res.A.751(18)) では、停止性能の基準は停止距離が船長の 15 倍を超えないように決められている。しかし、大型船に対しては主管庁が基準値を決めることができるようになっている。このためその解説書 (MSC/Circ.644) で停止性能の推定法が紹介されている。この推定法で使用されている係数等は、古い船舶に対するデータに基づいて求められていることから、現状の船に適用するには必ずしも十分ではない。従って、これを現状と合うように内容を見直す必要があり、このため本論文では従来の停止性能の推定法を再検討し、最近の船への適用を考えて新たな停止距離の推定法を提案したものである。

本推定法は、船の抵抗係数、後進推力および後進発令からプロペラ逆転までの主機操作時間の推定法から構成されている。船の抵抗係数についてはフル・ドの推定法を用いているが、他の 2 つについては実験式を構築している。実験式を構築するにあたり、操縦性データ - タベ - スにある最近の船を含む満載状態の船に対する停止試験結果を用いている。この停止試験結果に含まれる船種は、タンカ - およびバルクキャリアであり、操縦性暫定基準の適用範囲を考慮し、船長も 104m ~ 365m の船を選んでいる。本推定法による停止距離の推定結果と満載状態の船の停止試験結果と比較した結果、本推定法が全体の試験結果の傾向を良く表していること、推定値と計測値の一致が良いことが解った。但し、主機が蒸気タービンの場合は、後進推力をディゼルの場合の 70% 位に小さく推定する必要がある。



### Onboard Wave Monitoring System by Video Image Processing

ビデオ画像処理による船載型波浪計測システム

石田茂資、渡辺 巖、桐谷伸夫、高石敬史  
宮崎 剛、増田光一、大津皓平、南 清和  
平成14年7月

The 10th Pacific Congress on Marine Science and Technology (PACON2002)

船舶の経済性・安全性の向上のため、また海洋環境を把握する上でも、波浪情報の重要性は論を待たない。波浪情報の取得方法は種々考案されており、最近では人工衛星の利用も積極的に行われているが、情報量、精度、即時性、費用等の面でそれぞれ一長一短がある。その中で一般商船からの目視観測は、波高とともに波向、波周期もリアルタイムに把握できるため、これを機械計測に置き換えて精度やばらつきの問題を解決できれば非常に有用である。そこで、運輸施設整備事業団の「運輸分野における基礎的研究推進制度」により、平成11年より船載波浪計測システムの開発を行った。

本波浪計測システムは、市販のビデオカメラで撮影された船側の画像を処理して複数点の相対水位変動を求め、そこに含まれる船体運動の影響を補正して波浪情報を取得しようとするものである。画像処理では、市販の光学式計測機器が管理された環境下で利用されるのに対し、本システムでは様々な光線条件が変化する実海域画像を処理しなければならない。また、塗装の塗り分け部や汚れも強い誤差要因となる。本研究では、連続した画像の差分処理等を組み込むことにより、安定した画像処理手法を開発した。また、近赤外光を利用して夜間計測を可能にした。

船体運動を補正して真の波浪情報を抽出する方法としては、船体応答から波方向スペクトルを逆算する従来の手法の応用を検討するとともに、波浪の主要パラメータである波高、波向、波周期を安定して求める簡易解析法を開発した。そして、これらを組み込んだ波浪計測システムを構築し、水槽実験と実船実験により性能検証を行った。

### Numerical Simulation of Unsteady Turbulent Flow Around Maneuvering Prolate Spheroid

操縦運動する回転楕円体まわりの

非定常乱流流れの数値シミュレーション

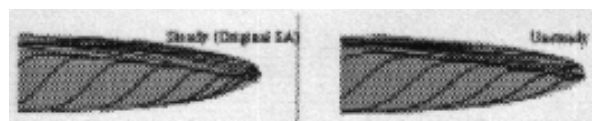
李 信亨、日野孝則

平成14年9月

AIAA Journal

操縦運動をする物体まわりの非定常乱流流れを解析するための3次元レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式の数値解法を開発した。物体固定座標系で操縦運動を考慮するために、ナビエ・ストークス方程式に体積力を付加し、速度と圧力のカップリングのため擬似圧縮性を導入した。さらに、非定常流れを計算するため、擬似圧縮性によって連続の条件を満たす際に用いる擬似時間ステップと、運動方程式を時間積分する際に用いる実時間ステップを併用した。また、乱流モデルとして Spalart-Allmaras1 方程式モデルを用いた。支配方程式は空間については2次精度の有限体積法で離散化し、時間微分は2次精度後退差分で近似した。

本手法によって非定常な頭上げ運動をする回転楕円体まわりの流れを計算した。積分量および局所的な流れの状態の両者について計算結果を解析し、実験結果との比較によって検証した。全体として、本手法は流れの状態を良く予測しており、実験結果とも良く一致した。定常流れと非定常流れを比較すると、非定常流れでは定常流れに比べて流れ場の発達および流れの剥離に遅れが見られた。これは、定常流れあるいは準定常流れの解析結果を単純に拡張しただけでは、非定常流れを理解することができないことを示している。また、流れ場の詳細を実験結果と比較すると、等方性を仮定した渦動粘性乱流モデルでは剥離流れの渦構造を再現できないことがわかった。これは、今後の研究課題の一つである。



迎え角30°の場合の表面流線の比較  
(定常(左)、非定常(右))

## 並進運動に伴う球形液滴周りの減圧挙動に対する微小慣性の影響 (第2報, 直接数値シミュレーションによる理論の検証)

Small Inertia Effect on Depressurization Behavior due to Translational Motion of Spherical Drop (2nd Report, Verification of Theory by Direct Numerical Simulation)

杉山和靖、高木 周、松本洋一郎

平成 14 年 7 月

日本機械学会論文集 B 編 68 巻 671 号

気泡・液滴・固体粒子が並進運動することによって、界面上で平均化された圧力は無限遠における圧力よりも低くなる。この並進運動に伴う減圧は、「並進減圧」と呼ばれ、気泡間の相互作用に対して重要である。多体問題では、個々の気泡の並進運動に伴い、気泡の周囲に圧力の分布が生じ、他の気泡の運動がその圧力分布の影響を受けるが、そのような圧力分布は、抗力・揚力だけではなく、並進減圧にも起因するためである。

前報では、並進減圧を流体の密度と並進速度で無次元化して並進減圧係数  $C_{TDP}$  を定義し、 $Re$  が微小である条件の下で  $Re^2 \log Re$  のオーダーまで考慮して  $C_{TDP}$  を理論的に導出した。本報では、球形液滴周りの流れを直接数値シミュレーション (DNS) し、前報で導出した  $C_{TDP}$  の検証した。

まず、抗力係数、 $C_{TDP}$ 、速度分布と計算領域の遠方境界半径の関係を調べ、 $C_{TDP}$  に対する  $Re$  摂動成分の影響を議論するために必要な計算領域の大きさを決定した。 $Re=0.1$  の場合には、液滴半径の  $10^3$  倍程度以上の遠方境界半径が必要であることを確認した。また、DNS の結果が、速度分布の  $Re$  依存性や抗力係数の粘性係数比依存性をよく再現できることを確認した。

十分にレイノルズ数が小さい場合 ( $Re < 0.5$ )、 $C_{TDP}$  の理論解が本 DNS 結果に一致し、前報の理論解析の妥当性を確認した。特に、 $C_{TDP}$  の  $O(Re^2 \log Re)$  の成分に液滴遠方場の影響が寄与することを示した前報の結果と本 DNS 結果が整合することを確認した。次に、 $C_{TDP}$  の理論解の適用限界について調べた。 $O(Re^2 \log Re)$  まで考慮して導出された  $C_{TDP}$  の理論解は、 $Re$  の増加に対して  $Re = 0.223 \dots$  で分布が変曲しはじめるのに対して、計算結果からは変曲が認められなかった。この変曲点付近での  $Re$  以上では、理論解析における微小な  $Re$  の仮定が破綻し始めることがわかった。

## 沖合底びき網漁船の転覆事故再発防止策の検討 A Study for Prevention of Capsizing Accident of Offshore Trawlers

田口晴邦、石田茂資、渡辺 巖、沢田博史、  
辻本 勝、山越康行、馬 寧

平成 14 年 7 月

第 32 回安全工学シンポジウム講演予稿集

平成 12 年 9 月に発生した第五龍寶丸転覆事故を受けて、国土交通省では同種事故の再発防止対策の検討を行い、昨年 8 月に具体的な再発防止策を取りまとめた。本論文では、事故再発防止対策の基礎資料となった、事故状況の検証及び転覆事故要因の分析評価結果並びにそれらに基づいた事故再発防止策の概要を報告する。

事故状況の検証においては、まず、事故発生状況に関する各種情報を整理・検討し、事故シナリオを想定した。次に、事故発生時の復原力及び傾斜モーメントを推定し、その値を使って事故シナリオに沿った計算を行い、転覆方向の横揺れ運動エネルギーと動復原力を比較することで実際に転覆が発生するか検証した。

その結果、第五龍寶丸転覆事故は、

多量の漁獲物の入ったコッドの引揚げ

急激な操船による内方・外方傾斜

袖網等コッド以外の搭載物の移動

漁獲物の入ったコッドの移動

の 4 つの要因が複合して発生したと考えられることが明らかになった。

そこで、各事故要因を分析するとともに、その大きさを変化させて復原力や傾斜モーメントの比較計算を行い、転覆への影響度を評価した。

その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) コッドの引揚げは、重心上昇による復原力減少をまねくだけでなく、遠心力による外方傾斜モーメントのレバーの増加などにつながるため、復原力及び傾斜モーメントの両面から転覆の危険性を増大させる。
- 2) 以前の調査研究で、第五龍寶丸クラスの船で一度に引揚げ可能なコッド重量の目安とされていた 30t の場合でも、引揚げ前に比べて動復原力は約 40% も減少する。
- 3) 甲板上に引揚げた 50t のコッドが傾斜角 25 度で移動する場合、移動前に比べて動復原力は、約 60% 減少する。コッドの重量を変化させると、40t の場合で約 35%、30t の場合で約 25% の減少となる。
- 4) 旋回運動による外方傾斜モーメントは転覆まで持続的に働くことから、転覆に対する寄与度は大きい。

最後に、これらの検討結果を基に国土交通省で策定された、

復原性の明確化

船体構造設備の改善

操業中の安全な作業、操船の実施

を主な内容とする事故再発防止策の概要を報告した。

### A Study on Optimization of 2-Dimensional WIG by Using CFD Code

CFDを用いた2次元WIGの最適化に関する研究

鈴木和夫、工藤祐一、平田信行

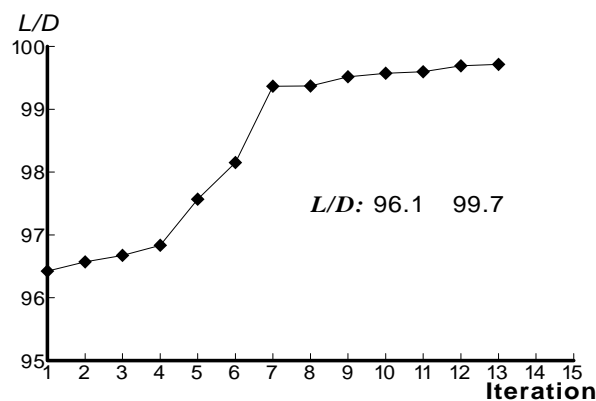
平成14年10月

Proceeding of 5th International Conference  
on Hydrodynamics(ICHHD2002)

WIG (Wing In Ground effect Vehicle ; 地面効果翼機) は、次世代の超高速船の担い手として期待されており、中国ではすでに商用運航が始まっている。このような状況下、さらに効率的な運航を実現するために、流体力学的に最適な地面効果翼形状を求める研究が強く望まれている。

本研究では、流れ解析、最適化、形状変化の3つのモジュールを組み合わせた2次元翼の最適化システムを開発し、本システムにより地面効果内において揚抗比が最大になるような2次元翼型を求めた。なお、流れ解析モジュールとしては、ルンゲクッタ法で高速化を達成しているNSソルバーFRESHを用いた。また、最適化モジュールにはSQP法を用い、感度係数は差分により計算した。

対象とする2次元翼型を、4桁のNACA翼に4次式のキャンバを与えた数式で表現した。初期形状はNACA4412とし、拘束条件として翼断面の面積が一定の条件を課した。計算条件は、レイノルズ数が3百万、迎角は6度で地面からの高さを翼後縁位置でコード長さの30%とした。最適化の結果は、下図に示すとおり揚抗比が初期形状に比べて4%程度大きくなっており、今回開発した最適化システムが有効であることがわかった。今後は、さらに実用的な3次元の地面効果翼に対して、本システムを適用する予定である。



図：SQP法の収束履歴

### ハイドレート生成領域における二酸化炭素溶解度の二元性

Dual Nature of CO<sub>2</sub> Solubility in Hydrate Forming Region

小島隆志、綾 威雄、山根健次

平成14年10月

Proceedings of the 6th International Conference on  
Greenhouse Gas Control Technologies

二酸化炭素深海貯留法は、海洋を二酸化炭素の膨大な貯蔵庫として利用できる一方、海洋環境に与える影響および技術の実現性など不明な点も多い。大阪支所では、水深4000m対応の循環型深海模擬装置を用いて、環境影響評価の基礎となるハイドレート膜の安定性や溶解後の二酸化炭素の状態、安定隔離期間の検討について研究を行っている。

中でも、ハイドレート膜で覆われた液体二酸化炭素の溶解速度が、ハイドレート膜で覆われていない液体二酸化炭素の溶解度に比べて遅くなる現象が観察された。これは、ハイドレートが生成する条件下では二酸化炭素は、液体二酸化炭素としての溶解度と、二酸化炭素ハイドレートとしての溶解度という、二つの溶解度を持っていることに示唆される。さらに、2前後の低温域では、後者が前者の1/3となることが明らかとなっている。その後、Makogonらの研究者グループによって、メタンハイドレートの場合についても、同様な二元的性質の出現が報告されている。

二酸化炭素海洋隔離法を正確に評価するためには、二酸化炭素溶解度の二元性が明らかにされる必要がある。これまでのところ、どのような条件がいずれの溶解度を出現させるのか、という実海域における溶解度の決定条件や、二つの溶解度の空間的境界とその移動についてほとんどわかっていない。そのため、溶解度の二元性の問題は深海貯留法はもとより、直接的に溶解度に影響する溶解法にとっても極めて重要な問題となる。

このような溶解度の二元性と二酸化炭素海洋隔離との関わりを、ハイドレート膜が存在する場合と、共存しない場合について、測定した二酸化炭素液泡の溶解速度など最新の実験データを元に、外部流動場中の二酸化炭素の物質移動を、動的形成と静的形成の概念を導入し考察した。それにより、溶解度の支配因子である液泡表面濃度を、種々の条件下において詳細に検討し、今後の研究展望について述べる。

### ***In Situ* Experiments of Cold CO<sub>2</sub> Release in Mid-Depth**

低温 CO<sub>2</sub> の中層放出実海域実験

綾 威雄、山根健次、小島隆志

P. G. Brewer, E. T. Peltzer,

平成 14 年 10 月

第 6 回温室効果ガス制御技術国際会議講演文集

CO<sub>2</sub> タンカーで運ばれる - 55 前後の液体 CO<sub>2</sub> は 500m 程度の中層でも海水より重くなる。著者らは、CO<sub>2</sub> のこのような性質を利用し、中層に放出した CO<sub>2</sub> を、密度的に安定となる貯留深度 3500m 以深の深海底まで自由沈降させるアイデア、COSMOS、を提案した。当所とモンテレー湾海洋研究所は、COSMOS 開発の基礎資料を得るため、1999 年から年 1 回の割合で、実海域実験を行ってきた。

1999 年 10 月 13 日に行った第 1 回実験では、海水とほぼ同温度の CO<sub>2</sub> 約 2kg を深度 450m の中層へ一塊りとして放出したが、数秒後に直径数 cm の多数のハイドレート膜で覆われた小液泡に分裂した。この結果は、放出された液体 CO<sub>2</sub> の塊は Taylor Instability と呼ばれる界面不安定により、小液泡に分裂する性質のあることを示唆している。

そこで、2000 年 10 月 5、6 日に行った第 2 回実験では、2kg の CO<sub>2</sub> を深度 500m の海中にスラリー(ドライアイスと低温液体 CO<sub>2</sub> の混合物)として放出した。放出は 2 回行われた。1 回目は、ドライアイス率が 70% を越えていたため、沈降速度が 0.5m/s と速く、ROV(有索無人潜水艇)が CO<sub>2</sub> スラリー塊を追尾できなかった。しかし、2 回目の放出では、ドライアイス率を 30% 程度にまで減少させたところ、沈降速度が ROV 追尾速度の 0.3m/s 程度になった。直径約 8cm の氷で覆われた CO<sub>2</sub> スラリー塊の沈降過程が完全に観察された。50m 程度沈降した後、海水からの受熱により氷層が溶け切るとともに、上昇に転じ、やがて、第 1 回実験で見られたような界面不安定による小液泡へ分裂した。この CO<sub>2</sub> スラリー塊の運動が数値解析により再現できた。

2002 年 2 月 19、20 日に行った第 3 回実験では、直径 5cm と 10cm の CO<sub>2</sub> スラリー塊をそれぞれ深度 350m と 500m から放出し、沈降過程をつぶさに観察した。その結果、CO<sub>2</sub> をスラリーとして放出することの有望性が確認された。

3 回の実海域実験の結果を基に、CO<sub>2</sub> をスラリー塊として放出する方法を新 COSMOS として提案した。新 COSMOS は、3500m の深海底に到達する最小スラリー径が元の COSMOS の要求する 1.0m より大幅に小さい 0.4m になることや、放出深度を CO<sub>2</sub> タンカーの長さより短い 200m でも可能なことなど、実用化にとって多くの利点を備えている。また、新 COSMOS は、ドライアイス率と直径を変えることにより、任意の深度で Uターンさせることができることから、貯留法だけでなく、溶解法への適用も可能となる。

### **Numerical Simulation of Ship Flows with Contrarotating Propellers Effects**

二重反転プロペラを装備した船体周りの流場計算

大橋訓英、平田信行、日野孝則

平成 14 年 5 月

西部造船会々報 第 104 号

船舶における高効率推進法に関する研究は古くから行われ、多々ある高効率推進法のなかでも、二重反転プロペラは高効率を達成することができる有望な推進法の一つである。二重反転プロペラについては、これまでも理論的研究が行われてきたが、多くは揚力線理論及び揚力面理論に基くものであった。一方で、CFD(Computational Fluid Dynamics)は、船型設計段階でも使われるようになった。CFD により船の推進性能を推定するには、プロペラをモデル化する必要がある。簡単にプロペラ影響を表す方法として、体積分分布を用いる方法がある。

本論文では、二重反転プロペラ影響を体積分分布で表し、CFD により流場計算を行った。まず、プロペラ単独状態で流場計算を行い、前プロペラが発生する旋回流を後プロペラが回収する様子を捉えた。また、プロペラ後方流速分布を実験結果と比較した結果、周方向流速については推定精度がよくないが、推進性能を推定する上で重要な要素であるプロペラ軸方向流速については実験値とよく一致していることが分かった。

さらに、船体に二重反転プロペラを装備した状態(舵なし)について推力一致法及び荷重度変更法の二種類の方法で自航計算を行い、自航要素の内の推力減少係数について実験結果と比較した。その結果二重反転プロペラの場合、通常型プロペラと比較して推力減少係数が大きくなる傾向が得られ、これは実験の傾向と一致した。また、プロペラ後方流場については二重反転プロペラ後方では、通常型プロペラと比較して、旋回流が大幅に減少している様子が捉えられた。

以上より本二重反転プロペラモデルは、基本的な推進性能を推定するためには有効な方法であることがわかった。より高精度なシミュレーションのためには高度なプロペラモデルが必要であり、これは今後の課題である。

# NAV 48/INF. 5 Studies on specification of a shipborne simplified VDRs (S-VDRs) based on a casualty database

海難データベースに基づいた  
船載型簡易 VDR の仕様の検討

福戸淳司、伊藤博子

平成 14 年 7 月

第 48 回 IMO 航行安全小委員会における  
インフォメーション・ペーパー

現在、日本は既に規格化されている通常の航海データ記録装置(Shipborne voyage data recorder : VDR)の他に現存船用として、データ数を減らし、浮遊式の仕様での簡易型航海データ記録装置(Shipborne simplified voyage data recorder : S-VDR)を提案している。

本論では、この現存船に対応した S-VDR の仕様を検討するため、記録データと海難事故解析の関係、搭載義務化された場合の海難事故の発生頻度について解析を行い、S-VDR の仕様について検討を行った結果を示す。

VDR の目的は、海難事故が発生した後に、そのデータを解析して事故原因を解明し、安全対策策定に役立てる事である。そこで、記録データと海難事故の関係について、通常の VDR と簡易型の VDR の記録データを示し、各記録データでどのような海難について解析が可能かの検討を行った。海難のタイプとしては、衝突、座礁、船体及び機関破損、転覆沈没、火災爆発について、どのデータが解析に利用できるかの検討を行った。

次に海難事故データベースとして、LMIS (Lloyd's Maritime Information Services Limited) casualty database を用いて、VDR の搭載義務船である 3000GT 以上の船についての、海難事故頻度の解析を行った。この解析では、簡易型の弱点と思われる耐水圧及び耐火性について、検討するため衝突と火災及び爆発について詳細に検討を行った。

最後に、従来の VDR と簡易型 VDR の仕様の主要な違いである耐水圧性能と耐火性能について考察を行い、耐水圧性能については、浮遊式の場合、GMDSS で用いられている EPIRB の仕様で十分であることを示した。また、耐火性能については、カーゴエリアの火災頻度が少ないこと、VDR のデータに火災の原因究明に役立つデータが無いこと、及び設置場所を適正にすれば直接火に曝されることは少ないことを考慮して、特段の耐火性能は規定する必要はないと結論づけた。

さらに、浮遊式の場合問題となる、搜索方法については、次回までに実海域実験を行い搜索の可能性を評価することを示した。

# 天然ガスハイドレートペレットの熱的特性の検討 Study on Thermal Property of Natural Gas Hydrate Pellet

中島康晴、高島逸男、前田利雄、太田 進  
平成 14 年 8 月

日本エネルギー学会 80 周年記念大会講演要旨集

パイプライン、液化天然ガスに続く新しい天然ガスの輸送方法として、天然ガスをハイドレート化し、さらにペレット状に加工して輸送する方法が検討されている。輸送中における天然ガスハイドレート (NGH) ペレットの熱的安定性を評価するためには、熱伝導率などの熱的特性データが不可欠であるが、そのデータは非常に少ない。さらに、ペレットの内部には空隙や氷粒、氷層が含まれるため、純粋なガスハイドレートとは熱的特性データが異なる可能性がある。そこで、NGH ペレットのマクロな熱的特性として、熱伝導率の検討をおこなった。

熱伝導率は、保護熱板法 (JIS A1412-1:1999) の試験体 1 枚方法により測定した。NGH ペレットを船倉に並べた状態での伝熱状態を検討するため、ペレットを層状に配置した状態において測定を行った。また、測定温度は -20 および -15 とした。

測定により得られたデータは、より低温域での文献値よりも低い値であるが、隙間を有するペレット層全体での熱伝導率を測定しているため、妥当な結果と考えられる。測定終了後、NGH ペレットの状態を確認したところ、上下の板にペレットが固着していたほかは、見かけ上大きな変化はなかった。また、-20 では測定開始後 18 時間程度で熱伝導率がほぼ一定となったが、-15 では測定開始後 24 時間後も完全に一定にはならず、時間の経過とともに徐々に熱伝導率が上昇していた。この温度域では徐々に NGH が分解するため、完全に静的なデータは得られない可能性がある。

# Hydrodynamic Characteristics of a Launcher of a Compact Deep-sea Monitoring Robot System

深海モニター用小型ロボットシステム中継機の  
流体力特性

上野道雄、二村 正

平成 14 年 11 月

Proceedings of Techno Ocean 2002

中継機が潜水艇を内部に格納した状態で海上から海底近くにまで重力のみによって潜航し、海底近くで潜水艇を切り離して作業をおこなう深海モニター用小型ロボットシステムの開発の鍵となる技術の一つに、目標点近くに中継機すなわちシステム全体を投入する技術の開発がある。これは、潜水艇を遠隔操縦する際の通信手段としての高速音響通信装置の指向性によって、潜水艇が活動できる範囲に制限があるためである。できるだけ正確に中継機を目標点まで到達させるためには、中継機が重力で降下していく際の流体力学的機構を明らかにし、水平方向移動に最適なひれや舵の設計をおこなう必要がある。

当初の概念設計では、中継機は前方に固定されたひれと後方に制御用の舵を持つ。降下時に水平方向に移動する手段はこの舵のみである。この水平方向の移動機構は、通常の船の操縦運動と基本的には同じである。すなわち、舵の小さな力によるモーメントによって主船体が流れに対して迎角が発生し、主船体が大きな揚力体として操縦流体力を発生するというものである。中継機の場合は前方に想定されるひれが主船体の役割を果たすことになる。

しかし、中継機の降下運動と船の操縦運動の決定的な違いは、船の水平面内の操縦運動にはない復原力が中継機の降下運動には存在することである。このことが原因で、重心と浮心の位置関係によっては全く水平方向移動ができない状態や意図した方向とは逆方向に移動してしまう状態が存在することを著者らは線形および非線形解析によって明らかにしてきた。

本報告では、初期の概念設計における考え方を逆転して、舵が発生するモーメントによってひれの力を発生するという上記の通常船舶の機構に基づくのではなく、舵の力そのもので水平方向移動する場合について検討をおこなった。すなわち中継機前方のひれがない場合の降下特性を推定計算によって調べた。推定計算に必要な流体力の推定法は水槽実験によってその妥当性を検証した。ひれのある場合とない場合の比較検討によって、重心が浮心にきわめて近い状態にある場合を除いて、ひれのない状態の方が効果的に水平方向移動が可能であることを示した。

# 船首バルブ部に作用する波浪衝撃荷重について Water surface impact loads on bulbous bow of ships

谷澤克治、南真紀子、小川剛孝、山田安平

平成 14 年 11 月

日本造船学会論文集、第 192 号

油流出事故防止対策のひとつとして検討されている緩衝型船首構造は通常船首より柔構造となるため、設計基準の策定にあたっては、スラミング等により船首に作用する波浪衝撃荷重の正確な推定が求められている。そこで、著者らは当所の 80 m 角水槽においてコンテナ船の自航式模型を用いた水槽実験を実施し、船首バルブ部に作用する波浪荷重を計測した。その結果、上下方向の荷重の大きさは、向波状態の最も厳しい場合でもバルブに働く浮力の 2 倍程度であること、また斜め向波中で計測した水平方向の荷重の大きさは上下方向の荷重より小さく、浮力の半分程度であることが分かった。これらの実験結果より、バルブに作用する波浪衝撃荷重は浮力のオーダーであり、緩衝型船首構造の設計上の深刻な制約要因にはならないと言える。本研究では、船首バルブ部に作用する波浪衝撃荷重の簡易推定法の開発も行った。本推定法は von Karman の運動量理論にもとづくもので、バルブ形状を楕円体近似して長さ、幅、高さの簡単なパラメータで表現し、衝撃荷重を簡便な数式で与えることができる。また、推定法の妥当性を検討するため、水面の盛り上りと動圧を考慮したより厳密な遠山の方法による推定値との比較も行い、本推定式が通常のパルブ寸法の範囲内で全般的に少し高めの推定値を与えることを確認した。計測値との比較では、上下方向の荷重推定値は計測値よりも少し低めであるものの、良好な結果を与えるのに対し、横荷重については計測値よりもかなり小さな推定値となった。その原因として Sway, Yaw 等の水平運動による速度の影響が考えられるが、誤差の要因については現在検討中である。本論文は以上研究成果の報告である。

## 2次元 WIG 翼型の CFD に基づく最適化の試み

A Pilot Study on Optimization of 2D WIG  
Based on CFD Code

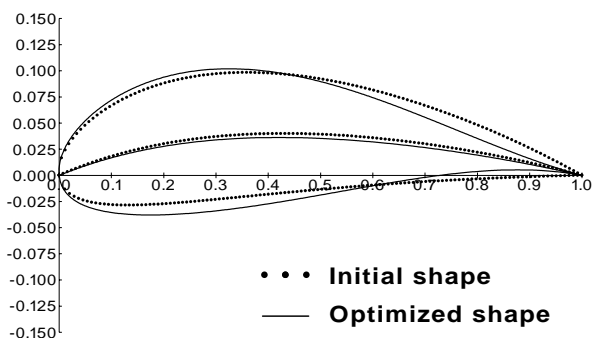
鈴木和夫、工藤祐一、平田信行

平成14年10月

第40回飛行機シンポジウム講演集

2次元 WIG の翼型最適化というような空力形状最適化問題を解くには、次のような3つの要素手法が必要である。すなわち、最適化すべき空力性能に相当する目的関数の数値的評価手法、目的関数を最適化する数値計画法、さらに最適化のプロセスにおける翼型の形状変化の表現手法である。本研究では、目的関数として揚抗比をとり、WIG 用 CFD コード(NS ソルバー)により目的関数を数値的に表現する。また、目的関数の最小化計算を行う最適化手法として逐次2次計画法 SQP (Sequential Quadratic Programming) を用いる。さらに最適化計算において、2次元 WIG 翼型を、NACA4 字系を参考に設定した翼厚およびキャンバの関数により表現する。

本論文の前半では CFD コードが翼型の変化に対して空力性能の差を的確に表現できるか等を調査するために、一様流中の翼型および WIG について数値計算を実施した。その結果、計算結果は実験結果等と良く合致しており、本 CFD コードは最適化の過程において翼型の性能差を感度良く表すことができ、空力最適化問題に適用可能であること確認した。後半では、実際に 2次元 WIG 翼型の最適化の試みとして、NACA4412 翼型を例にとり、高度 0.3c、迎角 6° の場合の WIG 翼型の最適化計算を実施した。最適解は下図に示すとおり、翼厚がやや増加し後縁がカスプ状に変化しており、揚抗比で約 5% の改良が達成されており、本研究の手法により 2次元 WIG 翼型の揚抗比の改善が可能であることが分かった。



図：WIGの最適形状

## 航行不能船舶の定常漂流運動について

## On Steady Drifting Motion of Disabled Ships

上野道雄、二村 正、宮崎英樹

平成14年12月

日本造船学会論文集第192号

実海域において機関故障等の原因で航行不能状態となった船舶は、風や波、潮流の影響によって一般に漂流状態に陥る。航行不能船舶の漂流が、重大な環境被害をもたらす座礁等の海難事故につながらないようにするためには、気象海象等のデータを用いた漂流予測とこれに基づく航行不能船舶の曳航等の対策が必要となる。その際に基本となる漂流予測は、予測される海域における気象海象条件下でどちらの方向にどの程度の速度で漂流するかといった定常漂流状態の予測になると考えられる。

本報告では、まず、航行不能船舶の定常漂流状態を斜航流体力と風の力、波の力を考慮して釣合方程式を解くことによって解析した。その結果、風と波と潮流の複合外乱下において複数の解が得られることを示した。解の物理的な安定性は別途解析する必要があるが、複数の解の存在は漂流状態も複数存在する可能性を示すものと考えられる。

次に、複数の定常漂流状態の存在を調べるため、波浪中の漂流実験を実施した。その結果、同一の長波頂規則波の条件下で、左右対称な2組の定常漂流状態が確認された。この事実は複数解の存在に関する上述の解析結果と対応するものと考えられる。

さらに、実際の漂流事例を解析し、事例と同じ風と潮流の条件で定常漂流状態の推定計算をおこなった。対象とする横傾斜した航行不能船舶に関する流体力データが得られず、類似船型の直立時のデータを用いたため、得られた複数解には漂流速度と漂流方向、船首方位がすべて漂流事例と一致する解はなかった。しかし、漂流方向や船首方位においては大略一致する解が得られた。

本報告で示した定常漂流状態の推定計算で得られる解は物理的に不安定な解も含むが、漂流状態の可能性を示す推定手法として漂流する航行不能船舶に対する救助対策の立案等に役立てることが可能と思われる。

船舶が航行不能となる原因は様々で、本報告で示した例のように大きく横傾斜した状態のほか大きなトリムがついた状態や船体の一部が折損した状態などもあり得る。海難事故現場において定常漂流状態の可能性を示す推定計算結果をより確実なものとするためには、多様な船型と船の状態に対する斜航流体力と風および波の力の推定法の開発が必要と考えられる。

## 原油タンカーの上甲板裏空隙部環境における 造船用鋼の腐食および腐食疲労

Corrosion and Corrosion Fatigue of Ship  
Structural Steel Plates in Vapor Space of  
Crude Oil Tankers

小林佑規、田中義久、後藤英信、丹羽敏男

平成 14 年 11 月

日本造船学会論文集 第 192 号

タンカーの経年劣化における船体強度評価では、上甲板裏の腐食衰耗評価が重要な役割を担っている。さらに、腐食衰耗とともに腐食疲労が重要となる。著者らは、今までに、パラストタンクを始めとする海水環境、石炭船倉に代表される希硫酸環境において、腐食および腐食疲労について実験的な研究を実施してきた。これらの研究に次いで、本研究では、タンカー原油タンクの上甲板裏空隙部を模擬した環境での腐食と腐食疲労試験を行った。腐食試験は、上甲板裏の腐食速度を得ることに主眼をおいた。腐食疲労試験は、切欠き底のき裂発生寿命  $N_c$  を基準として、S-N 線図、修正 MIL-HDBK-5 法による切欠き底の等価応力  $Seq-N_c$  関係、切欠き底のき裂発生における応力拡大係数範囲

$K-N_c$  関係についてまとめた。さらに、腐食ピットが、疲労き裂として進展していくか腐食衰耗に移行するかの境界値である応力拡大係数範囲  $K_{cf}$  を求めた。主な結果は、以下の通りである。

- (1) 上甲板裏の連続腐食試験から、腐食速度はほぼ  $0.2\text{mm/y}$  と推定される。この値は実船の腐食速度  $0.1\text{mm/y}$  の 2 倍である。実船は、フル・パラストの繰返しなどのより、腐食衰耗が少ないと考えられる。
- (2) パラスト状態のタンクに IG が充填された腐食環境では、水分があれば腐食速度が  $0.18\text{mm/y}$  となる。この腐食速度は  $\text{H}_2\text{S}$  ガス含有の原油積荷環境と同程度である。
- (3) TMCP 鋼と軟鋼の腐食速度は変わらない。
- (4) 空隙部腐食疲労の短寿命域でのき裂発生寿命は、希硫酸 pH4 と pH2 環境の寿命にほぼ等しく、長寿命域でのき裂発生寿命は、 $K_t$  が 1.2 では希硫酸 pH4 および pH2 環境の寿命に低下するが、 $K_t$  が 2.0 以上では海水環境の寿命にほぼ等しい。
- (5) 腐食疲労き裂に発展した腐食ピットのアスペクト比は、 $0.4 \sim 0.8$  の範囲にあり、平均 0.6 程度と見られる。この値は、希硫酸 pH4 および pH2 環境のアスペクト比の平均値 0.4 より大きい。
- (6) 腐食疲労き裂が進展するか腐食衰耗に移行するかの境界値は、腐食ピットの形状から応力拡大係数範囲  $\Delta K_{cf}$  が  $4.70\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  である。

## Improvement of The GO-FLOW Methodology - Reliability Analysis of a Continuously Maintained System -

GO-FLOW 手法の改良

- 連続的に保守が実施されるシステムの  
信頼性解析 -

松岡 猛

平成 14 年 6 月 24 日

第 6 回確率論的安全評価と管理に関する国際学会

当所では、システム信頼性解析手法 GO-FLOW を開発し、種々のシステムの信頼性解析、安全性解析に適用してきた。

GO-FLOW 手法においては、点検・保守を含めた信頼性解析が実施できるが、従来は点検スケジュール、保守に要する時間が事前に決められている場合の解析であった。しかし、故障発生は確率的な事象であるため、故障発生を検知した時に即座に修理を実施する場合は点検・保守スケジュールを事前に設定しておくわけにはいかない。

GO-FLOW 手法において保守を含めた確率的な事象を取り扱えるように解析体系、解析プログラムを改良した。

単一機器において故障率 ( $\lambda$ )、補修率 ( $\mu$ : 単位時間当たりの修理成功確率) を考慮したときの機器の信頼度を導出しこれをプログラム内の機器信頼度推移の定義式に組み込んだ。

解析機能の検証のため、まず 3 個の同種機器が並列あるいは直列に結合されたシステムを取り上げ、故障時にはそれぞれ修理が実施される場合が改良した GO-FLOW 手法により容易に解析できることを示した。

次に、上述 3 個の機器のシステムにおいて補修員が 1 人の場合、2 人の場合について、GO-FLOW チャートへのモデル化方法、解析結果を示した。一人の補修員は同時には 2 つの機器故障の修理を実施できないところに問題の難しさがある。このような保守条件も容易に GO-FLOW チャートに表現でき解が求まること が示されている。

最後に、原子炉補機冷却系を取り上げて解析を実施した。このシステムは原子炉の主要機器へ冷却水を供給する。万一この冷却水供給が停止すると主要機器の連続運転が不可能となり、重大原子炉事故に至ってしまう。そのため、このシステムには高い信頼度が要求されており、常時 2 台のポンプが稼動するとともに、バックアップとして 1 台のポンプが待機状態におかれている。稼動中のポンプが故障したときは待機中のポンプを起動してシステムの機能を維持する。故障したポンプの修理完了後は再び投入する。

解析の結果、年間連続運転時でも  $3 \times 10^{-6}$  のアンアベラビリティが得られた。

今回の改良により GO-FLOW 手法はより強力な解析手法となり、今後種々の信頼性解析に応用していくことが期待される。



**Development of fire risk assessment method  
caused by earthquake (II)**

三友信夫、松岡 猛 (海上安全研究領域)

松倉洋史 (輸送高度化研究領域)

鈴木一貴 (法政大学)

平成 14 年 6 月

PSAM 6

当所では、平成 11 年度より 5 カ年計画で、地震誘起による同時多発火災リスク評価手法の開発・整備を行なう事を目的とした研究を実施している。本研究開発は (1)火災発生シナリオの検討、(2)地震時火災損傷評価手法の開発、(3)火災実験による火災進展解析コードの検証、(4)サンプルプラント評価、について 5 カ年計画で実施するものである。

本報告では、各研究項目について現在までに得られた結果と今後の展望について報告を行った。

火災シナリオについては、これまでに得られた原子力プラントにおける火災事例とそれらに対する検討結果について報告を行っている。本研究で開発した火災進展解析コードは、汎用熱流体解析コード PHOENICS 及びその外部関数機能を基にしたものであり、その解析例について示している。更にこの開発した火災進展解析コードの検証を行なうために、火災実験を行ないその結果と計算結果の比較を行なっている。最後に、各研究項目に関して、今後の展望について述べている。

**確率論的安全性評価手法による事故・災害の分析  
タイタニック事故を例にして**

**Probabilistic Safety Assessment of TITANIC,  
as an example of assessment on accidents or  
disasters**

三友信夫、松倉洋史、松岡 猛

平成 14 年 7 月

神戸商船大学地域共同センターシンポジウム

本シンポジウムのテーマである「危機管理 予測と回避」の例として、タイタニック号事故の確率論的安全性評価手法による解析例を紹介した。

現在、原子力発電プラントに代表される複雑システムにおいては、その安全評価のために確率論的安全性評価手法 (Probabilistic Safety Assessment, PSA) が導入されている。この手法を海洋分野へと応用するための第一歩として、タイタニック号事件の解析をイベントツリーを用いることによって行い、この研究の紹介を行った。

内容としては、イベント・ツリー手法の紹介を行い、次にタイタニック号の事件について、収集したデータをもとに経緯、各種条件、数値の設定などについて述べ、さらに作成したイベントツリーを示した。この作成したイベントツリーに確率値を与え、解析を行った結果を示した。解析結果は、実際に起こってしまったタイタニック号の事件はおよそ 42 航海に 1 回という大きな確率で発生してしまうというものであり、また、90%の信頼幅で考えると、およそ 29~71 航海に 1 回となるものである。しかしながら、この結果はタイタニック号という特定の船舶が迎った特有な環境下における事故の発生確率を示したものである。以上の結果に加え比較のために、さらに 1978~1995 年の間における旅客船・フェリーの事故遭遇確率を調査し、これらについても紹介した。最後にこのタイタニック号の事故を契機に、旅客船に対して各種安全対策が施され安全性がはるかに高められた点に触れ、この結果と被害者数の推定値から、この事件に関する結果の検討について述べた。

本論により、海洋分野でイベントツリーを用いた安全性評価の有効性を示し、タイタニックに限らず各種事故解析、事故原因究明の有効な手法となり得ることを示した。本方法を広く各種システムの事故解析に適用する事により、同種の事故の再発を防ぎ安全性向上に寄与できることを述べた。

**確率論的安全性評価手法による  
タイタニック号事故の解析**  
Probabilistic Safety Assessment of TITANIC  
三友信夫、松倉洋史、松岡 猛  
平成 14 年 2 月  
電子情報通信学会技術研究報告

現在、原子力発電プラントに代表される複雑システムにおいては、その安全評価のために確立論的安全性評価手法 (Probabilistic Safety Assessment, PSA) が導入されている。この手法を海洋分野へと応用するための第一歩として、タイタニック号事件の解析をイベントツリーを用いることによって行い、この研究の紹介を行った。

内容としては、イベント・ツリー手法の紹介を行い、次にタイタニック号の事件について、収集したデータをもとに経緯、各種条件、数値の設定などについて述べ、さらに作成したイベントツリーを示した。この作成したイベントツリーに確率値を与え、解析を行った結果を示した。解析結果は、実際に起こってしまったタイタニック号の事件はおよそ 42 航海に 1 回という大きな確率で発生してしまうというものであり、また、90%の信頼幅で考えると、およそ 29~71 航海に 1 回となるものである。しかしながら、この結果はタイタニック号という特定の船舶が辿った特有な環境下における事故の発生確率を示したものである。以上の結果に加え比較のために、さらに 1978~1995 年の間における旅客船・フェリーの事故遭遇確率を調査し、これらについても紹介した。最後にこのタイタニック号の事故を契機に、旅客船に対して各種安全対策が施され安全性がはるかに高められた点に触れ、この結果と被害者数の推定値から、この事件に関する結果の検討について述べた。

本論により、海洋分野でイベントツリーを用いた安全性評価の有効性を示し、タイタニックに限らず各種事故解析、事故原因究明の有効な手法となり得ることを示した。本方法を広く各種システムの事故解析に適用する事により、同種の事故の再発を防ぎ安全性向上に寄与できることを述べた。

**地震誘起火災リスクの研究(3)**  
Development of fire risk assessment method  
caused by earthquake (3)  
三友信夫、松岡 猛、(システム技術部)  
鈴木一貴、新井和吉 (法政大学)  
平成 14 年 3 月  
日本原子力学会 2002 年春の年会

当所では、平成 11 年度より 5 ヶ年計画で、地震誘起による同時多発火災リスク評価手法の開発・整備を行なう事を目的とした研究を実施している。本研究開発は (1)火災発生シナリオの検討、(2)地震時火災損傷評価手法の開発、(3)火災実験による火災進展解析コードの検証、(4)サンプルプラント評価、について 5 ヶ年計画で実施するものである。

本報告では、火災進展解析コードの開発と火災実験による検証について報告を行っている。

本研究で開発した火災進展解析コードは、汎用熱流体解析コード PHOENICS 及びその外部関数機能を基にしたものであり、その計算結果の例を示している。また、この開発した火災進展解析コードの検証を行なうために、火災実験を行ないその結果と計算結果の比較を行なっている。この結果について、報告を行った。

実験は ISO9705 に従った火災実験室にデッキを取り付け、燃料プール火災を模擬したものと、燃料ジェット火災を模擬したものにより周壁とデッキ部の温度上昇を測定した。

この火災実験について、前述の火災進展解析コードで計算を行い、その計算結果と実験結果について比較、検討を行った。その結果、計算と実験の結果には良い一致が見られなかったが、この原因としてはダクトによる排気の影響等が考えられた。

**IMOにおける操縦性基準の審議動向**Report of Discussion on Standards  
for Ship Manoeuvrability in IMO

原口 富博

平成14年9月

日本造船学会誌第869号

操縦性暫定基準が1993年11月に国際海事機関(IMO)で決議A.751(18)として採択された。この基準は、その後5年間で実施上の問題の見直しが行えるようになっていたため、我が国では運輸省船舶技術研究所(現当所)で操縦性デ・タベ・スを構築するとともに、(社)日本造船研究協会RR74操縦性WGにおいてその問題点を検討する作業を開始した。

その検討結果に基づき、我が国は操縦性暫定基準の回頭制動性能および針路安定性能の基準値、さらに停止性能の基準値に問題があることを指摘して、IMOの海上安全委員会(MSC)の第70回および第71回の会議で操縦性暫定基準の見直し作業を行うよう提案した。MSC71ではこの提案が承認され、設計設備小委員会(DE)でその作業が行われることになった。

実際に作業が行われたのは、DE44とDE45であり、操縦性暫定基準の見直し作業は、日本提案および韓国提案を中心に行われた。操縦性暫定基準の回頭制動性能および針路安定性能の基準値については、我が国提案に基づき $10^\circ/10^\circ$ Z操縦試験のセカンドオ・バ・シユ・ト角の基準値が $35^\circ$ から $40^\circ$ に変更された( $L/U>30$ )。さらに停止性能の基準値については、エンジン馬力や排水量等をパラメータとした日本提案を中心に議論が進んだが、最終段階で現状通りとすること決定された。この停止性能の基準値では、大型船に関する基準値は主管庁によって定めらることになっており、その推定法は解説書に含めることになっている。このため我が国および韓国は共同でその推定法を検討し、本年12月に開催されるMSC76に提案する予定となっている。本操縦性基準は、本年12月に開催されるこのMSC76で採択され発効する予定である。

本文は、IMOでの操縦性暫定基準の見直し作業に至る経緯とともにIMOでの審議結果について報告している。

**Manufacture Accuracy of Three KCS Models and Resistance Test Results**

3隻のKCS模型船の製作精度と抵抗試験結果

右近良孝、藤沢純一、柳原 健、竹子春弥、

久米健一

平成14年9月

Proc. of 23rd ITTC

(International Towing Tank Conference)

現在、国際試験水槽会議(以下、ITTC)に参加している各水槽保有機関では、新しい模型船削成機が導入されていることもあり、模型船製作精度に関心が集まっている。第23期総会では「模型船の製作精度」についてというテーマでグループディスカッションが行われることになった。このため、従来から海技研では模型船の製作精度に関心を持って取り組んできたのでその成果の一部を発表することとした。

海技研では前期ITTC抵抗委員会に協力してCFD用の検証データを国際ワークショップに提供するため、模型船を製作し、抵抗・自航試験、船側波形計測、船尾流場計測、船体表面圧力計測を実施し、船尾流場計測と船体表面圧力計測結果を発表した。

しかしながら、パラフィンと木との組み合わせで作した模型船はオフセットデータの受け渡しのシステムがなかったことから線図がオリジナルとは厳密には異なり、また種々の要因により従来にないほど模型船が変形した。

このため、2隻目の模型船を木製で製作した。第1船より精度良く製作できたが、船体表面圧力計測後に変形が生じ、今後の使用に耐えられなくなったので、新たに3隻目を作成した。

これら3隻の模型船の製作精度については詳細に計測が行われた。本計測では船体表面には3隻の製作精度を比較するため、垂直方向のズレではなく、線図オフセットからの水平方向のズレを等高線で解析するとともに平均変形量、最大変形量とで比較評価した。

これらの3隻の模型について、計5回の抵抗試験を行い、水槽水温の違いを補正するため15に変換して比較した。造波干渉が顕著となる特長的なフルード数などにおいて、抵抗値のパラツキの大きい3つの節が生じ、船首及び船尾の模型製作誤差の影響によるものと推定される。

更に、不確かさ解析をそれぞれの船の抵抗試験について行った。模型船の精度と不確かさとの間に一定の傾向が見られた。

最後に、局所的な模型船の製作精度と試験結果の相関を調べることの重要性和試験前ばかりでなく試験後及び中間での寸法計測の重要性を指摘した。

**海洋構造物のリスク評価の研究動向  
構造部会活動報告を兼ねて**  
Research Trend on Risk Evaluation of  
Offshore Structures  
With Report on the Activity of  
Offshore Structure Committee  
渡辺喜保、藤久保昌彦、有馬俊朗  
平成 14 年 9 月  
日本造船学会誌第 869 号

日本造船学会海洋工学委員会構造部会は、各種海洋構造物の構造強度、設計法、応答の解析法および安全性の評価法等に関する情報交換および調査・研究を行っている。部会は年 4 回程度行いが、特に関心ならびに重要度の高いテーマについては、ワーキンググループを編成して集中的な調査・研究を行い報告書にまとめて公表している。これまでの成果の主なものには、半潜水式海洋構造物の構造設計要領および海洋構造物の信頼性設計指針がある。現在は、超大型浮体構造物の構造設計に関する教科書の出版に部会を挙げて取り組んでいる。本稿では、はじめにこの教科書について紹介し、つぎに調査報告として、海洋構造物のリスク評価の現状と研究動向について解説する。

リスク評価は、安全に対する工学的判断のための合理的意志決定法として今後ますます適用が広がるものと予想される。海洋構造物については欧米を中心に多くの適用実績が見られるが、本稿で触れたリスク評価基準や HOF (Human and Organization Factors) の影響については、まだ検討すべき多くの課題があり、今後さらなる研究が期待される。なお、現在執筆中の超大型浮体構造物の教科書では、第 10 章で、3.2 節に述べたシステムの総合信頼性に関するリスク評価の事例を紹介する予定である。

**船上観測によるリュッツォホルム湾定着氷の  
氷厚分布について**

Distribution of Land-fast Ice Thickness in  
Lutzow-Holm Bay, Antarctica by Ship-based  
Observations

宇都正太郎、下田春人、泉山 耕  
平成 14 年 10 月  
日本雪氷学会全国大会 講演予稿集

南極昭和基地が位置するリュッツォホルム湾には例年、砕氷船の航行にとって厳しい海水が発達し、且つその年々変動も著しい。ところが同湾の海水状況、とりわけ海水の厚さは砕氷能力に最も影響を及ぼすパラメータであるが、その観測データは極めて限られている。このため現在計画中の次期南極観測船の建造に際して重要な基礎となる氷厚データの充実が求められている。そこで著者らは第 42 次日本南極地域観測隊夏隊 (2000-2001) で実施した船上観測によって、定着氷の氷厚分布を初めて連続的に観測した。観測データの予備的な解析を行い、リュッツォホルム湾定着氷の氷厚分布の特性について検討した。主な結果を以下に示す。

1) 目視による毎正時の氷厚及び積雪深の観測結果から 12 月下旬の昭和基地への往路に比べて、2 月中旬の復路では定着氷縁が約 27km 後退したこと、氷厚に比べて積雪の衰耗が著しいことがわかった。

2) 電磁誘導法による復路の全氷厚 (氷厚 + 積雪深) 分布を Fig.3 に示す。ばらつきはセンサのノイズ及び動揺による。南緯 68.8 度付近で氷厚が 1.5m 程度から 2.5m 程度に不連続に変化している。また 68.8 度以北でも厚い氷が点在している。過去の定着氷の流出を反映しているのではないかと考えられる。今後、衛星観測データとの比較等、詳細な解析を行う必要がある。

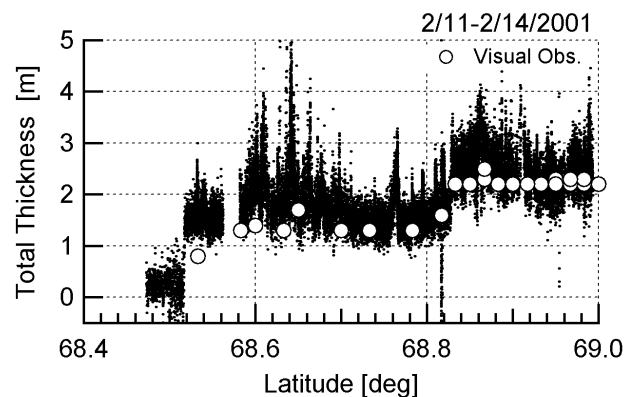


Fig.3 電磁誘導法による定着氷の全氷厚分布

## 事故調査体制へのあたらしい取り組み New Approach to Accident Investigation

松岡 猛

平成14年5月

土木学会構造工学委員会

現代社会は科学技術の発展により人間の利便性の向上、社会の繁栄・発展がもたらされてきた。その一方、システムの高度化、複雑化、巨大化により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。安全対策の基本としては、万一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が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。

発生してしまった事故の真相を究明するためにはまず調査機関に中立性が求められる。また、事故現場・証拠が保全される必要があるが、そのためには専門家により構成された初動調査機関を一層充実させ、他の機関に優先する調査権限が必要となる。調査結果の報告書はすみやかに公開されるべきで、その事により同様の事故の発生を防止することが可能となる。事故調査と犯罪捜査が重なり押収されるべき証拠類が同一となった場合は、どちらが優先されるべきであるかが問題となってくる。犯罪が関与していない場合は当然事故調査に優先権が出てくる。

事故の真の原因を探るためには、関係者の証言が欠かせない。しかし、その証言をすることにより、自らに刑事責任が及ぶ恐れがあるときには、有効な証言は得にくい。事故調査に重要な証言を得る場合には、それが刑事責任の追及の材料とされないことを保証する(免責する)必要が出てくる場合があり得るが、刑事免責はわが国の司法制度の中には確立されていない。事故調査において積極的に免責制度を導入する事を検討する必要がある。免責制度の導入には、明確な免責の基準、免責制度についての合意の形成、公正なる運用方法の確立が必要となってくる。一般に責任には、民事責任、刑事責任、行政責任の3種類がある。民事は過失責任の原則に基づいており、刑事は原則として故意のみが責任に問われる。しかし、民事においても最近無過失責任という考えが事故の対象によっては導入されてきている。

一方、被害者救済の方法としての種々の保険制度についても論じている。ニュージーランドには、社会保障(国の一般財源)による統一的な事故補償制度が整備されている。日本でも犯罪被害者等給付金支給法(三菱重工ビル爆破事件が契機となり制定)があるが、十分の額は期待できない。

新しい技術の開発、施設の整備、運用システムの改善等により確実に公共システムの安全性向上は実現できると信じる。

## 車いす搭乗者と歩行者群集の避難実験 Evacuation Experiments for Wheelchair User and Pedestrian Group

宮崎恵子、勝原光治郎、松倉洋史、桐谷伸夫

平成14年10月

日本航海学会論文集第108号

交通バリアフリー法の制定等により、今後、バリアフリー旅客船が続々就航することとなる。バリアフリー旅客船の安全性の一つである避難時の安全を確保するため、歩行者の群集と車いす搭乗者とが共に避難する場合を想定し、相互影響について検討する必要がある。そこで、当所では、両者の挙動を観測する基礎的な避難実験を実施した。その結果、歩行者の歩行速度の点では、基本的に問題がなかったが、車いす搭乗者の走行方法等の違いや、群集の心理状態によって、両者の挙動に変化が見られた。これら挙動変化を解析した結果について述べる。

旅客船内通路用床材の歩行面と、ベニヤ板製の壁からなる、長さ15mの旅客船の模擬通路を作成した。この模擬通路内を、歩行者の群集が移動し、車いす搭乗者を追い越す。群集は30人からなり、識別のために、それぞれ、色の異なるヘルメットを被った。実験の様子は、通路脇に設置したクレーン車の高度30mの位置に取り付けたビデオカメラで撮影した。車いす搭乗者の移動速度を一定とするため、電動車いすを主体とした。本実験の実験条件として変化させる項目は、通路幅(3m、2m、開口部通過)、群集の密度(2、3、4人/m<sup>2</sup>)、車いす搭乗者の状態(停止、電動、手漕ぎ自走、介助者押す)、群集の心理(車いす搭乗者への優しさ、群集の競争心)である。なお、密度は初期配置の密度である。

ビデオ画像から、歩行者の動線を求め、それを基に、各歩行者の相対位置、歩行速度、群集流としての平均速度、開口部における流出係数を解析した。また、実験時のアンケートからも、挙動変化について抽出した。これらを実験条件別に整理、比較することにより、車いす搭乗者と歩行者の群集の避難行動における相互の影響を明らかにした。以下、主な結論を示す。

- ・群集流の平均歩行速度の観点では、通路幅2m以上では、直線通路での避難行動において、車いす搭乗者との共存は問題ない。

- ・歩行者に競争心もしくは意地悪な気持ちがあると、車いす搭乗者への接近が見られる。

- ・速度一定の電動車いす及び介助者が押す場合は、スムーズな追い越しとなるが、手漕ぎ自走はその速度変動により歩行者にとまどいが見られる場合がある。

- ・開口部2mの通過では、車いす搭乗者の横とすぐ後ろの複数の歩行者に歩行速度低下が見られる。また、開口部において流出速度の低下もあり、車いす搭乗者1人分が歩行者2~3人分に相当する。

引き続き、他の条件についても実験をおこない、技術基準の通路幅等についても検討を進めたい。

### Axial Crushing Mechanism of Bulbous Bow

船首バルブ模型の軸圧潰メカニズムについて

山田安平、遠藤久芳、平方 勝、

佐久間正明、安藤孝弘

平成 14 年 12 月

日本機学会第 11 回 交通・物流部門講演会講演集  
(2002)

近年、環境保護に対する関心が高まり、衝突による油タンカーからの油流出事故が社会的問題となっている。新造油タンカーは、通常、2重船殻構造を義務づけられているが、大型かつ高速の船舶が衝突した場合には、油タンカーの耐衝突強度強化のみで油流出を防止することが困難であることが最近の研究によりわかってきた。そこで、衝突船の船首バルブにおいても衝突時のエネルギーを吸収する緩衝型船首構造を国際ルールに採用することが検討されている。本研究では、簡略化した船首バルブ模型を準静的に軸圧潰し、船首バルブ模型の外板 Folding メカニズムを明らかにした。また、汎用有限要素解析ソフト LS-DYNA を用いて実験と同様の解析を行い、実験結果と比較し、反力・吸収エネルギーについて考察を行った。

本研究により得られた結論は以下の通りである。

- (1) 全ての模型は、外板が船首先端より逐次座屈し、外板が円錐の内部にめり込むように折り畳まれて (folding) いく逐次塑性崩壊モードで圧潰する。
- (2) 外板座屈は、ほぼ軸対称であり、円錐の外側に凸となる場合 (outward buckling) と円錐の内側に凸となる場合 (inward buckling) とが交互に生じた。
- (3) 荷重は、外板が座屈するまでは荷重が上昇していき、外板の座屈とともに Folding が始まり荷重が減少していく。
- (4) 崩壊メカニズムを考慮した簡易解析法は、平均反力を比較的良好に推定できることが確認できた。

### 細長体理論による操縦流体力の推定

Estimation of Manoeuvring Hydrodynamic Forces by Slender Body Theory

野中晃二

平成 14 年 12 月

日本造船学会試験水槽委員会運動性能部会  
操縦性能推定専門研究会報告書

船体は一般に細長いという性質を利用し、3次元流場問題を取り扱いの容易な2次元問題へ変換する細長体理論は、操縦流体力推定の分野において広く利用されている。

細長体理論を用いた操縦流体力推定法で求まるものは横力と回頭モーメントであり、前後方向の力は求まらない。更に、3次元影響と粘性影響に相対的に粗い近似を用いる細長体理論による推定法は当然推定精度も低い。

しかしながら、船尾形状の違い等の船型変化による操縦流体力の定性的変化を把握するには十分実用的な精度を有する段階に達しており、加えて、操縦運動の数学モデルを作成するには、多数の運動状態での計算を必要とするが、推定計算に要する時間の短さ及び取り扱いの容易さが細長体理論による推定法の大きな魅力となっている。

細長体理論を用いた操縦流体力推定法の研究は、実用船型について初めてその有効性を示した不破の研究以降、特に日本において積極的に取り組まれて来た。本報告書では、先ず、不破の研究につながる前段階としての、揚力体に関する細長体理論研究の発展について簡単に触れるとともに、不破の研究以降日本において、細長体理論を用いた操縦流体力推定法の研究がどのように進んで来たのかという研究の流れを示す。次いで、推定法の理論構成と流れのモデルについて考え方と特徴を示す。推定法は流場の表現、流体力の表現、流れのモデルという3要素からなる。流場と流体力の表現についての理論的検討は、現在の流れのモデルの範囲において一応実用的に十分な段階に達しており、今後の主要な課題は、理想流体では存在しない剥離現象を的確に反映した合理的な流れのモデルの追求と考えられる。

最後に、現在どの程度まで操縦流体力を細長体理論で推定出来るのかを示す例として、深水域及び浅水域で斜航・旋回する場合の操縦流体力、及び、ヒールした状態で斜航・旋回する場合の操縦流体力について、実験値と推定計算値との比較の例を示し、細長体理論による操縦流体力推定法が十分実用段階にあることを示す。

# メガフロートの構造詳細部の波浪変動応力解析 Wave-induced stress analysis for detailed structural members on a very large floating structure (Mega-Float)

岡 正義、岡 修二、正信聡太郎、河邊 寛、  
井上 清

平成14年11月

日本造船学会論文集第192号

海上の空間を超大型浮体式構造物により利用する技術は、過去の理論的研究、水槽模型試験及び実海域の大型実証実験により、その実用性、安全・信頼性、経済性が各方面から検討され実現に向けて歩み出そうとしている。

波浪中の構造応答は現在、流体 - 構造連成弾性応答計算法が開発されているが、そのアウトプットは主として上下変位などの運動の検討に用いられることが多く構造詳細部の応力を求めるには至っていない。また、波浪中の構造詳細部の変動応力応答の理論計算については過去の研究で種々の提案が成されているものの、実海域での検証を行った例は少なく、計算手法の確立が求められている。

本研究では、200m×100m 規模のメガフロートを対象に、波浪によりメガフロートの構造詳細部に誘起される応力応答の理論計算法の開発を行うとともに、実海域での実証試験を実施して応力推定の検証を行った。応力の理論計算としては、まず公称レベルの応力応答を「詳細3次元解析法」で求め、次に構造詳細部をズームングした有限要素法により詳細部の応力を計算する2段階解法を用いて行った。さらにこの結果を用いて、メガフロートの長期の使用期間にわたり構造部材に蓄積される疲労被害度の計算を行った。実海域の実証試験により得られた構造詳細部の応力計測値と理論計算値との比較を行うことによって本手法の有効性を確認した。

# 船舶推進プラントのGO-FLOW モデリングと安全評価 GO-FLOW Modeling and Reliability Estimation

for Propulsive Plant on Ship

桐谷伸夫

平成14年12月

第35回安全工学研究発表会

船舶は自律性を持った大規模システムであり、ひとつの巨大プラントとして捉えることができるものである。特に海上を航行する船舶は、陸上の設備や施設と異なり、安全が大きく阻害されるような緊急時においても容易に他者の支援を得ることが困難な存在であることから、高い安全性の確立が求められている。更に海上を航行する船舶の使命は、安全に航海を継続して目的港へ予定通りに到着することであり、換言するならば推進機能と操船機能の確保が重要な要件となっている。そこで、主機や燃料油系、発電原動機系などの様々なサブシステムから構成される推進プラントに注目して、その安全度を定量的に評価することを実施した。

これまで大規模システムやプラントの安全評価においては、フォールト・ツリーやイベント・ツリーを用いた定量的な安全評価の実施が大きな成果を上げているが、船用推進プラントの安全評価においては経過時間要素の評価が導入可能な確率論的安全評価手法のひとつである GO-FLOW 手法によるモデリングを実施すると共に信頼性評価を実施した。GO-FLOW 手法を適用した本解析のシステム・モデリングでは、船舶の推進機能の確保に大きく寄与する種々のサブシステムの存在を想定し、それらによって構成されるシステム、すなわち推進プラント全体をモデリングした。モデリングの実施においては、できうる限り実利性の高いモデルを構築することを目的として、例えば燃料油清浄機装置や発電原動機装置などに関しては常用2機並列冗長の運転状態をモデル化している。また、それぞれのサブシステムにおける機能動作評価結果は、主機系サブシステムにおいて従属関係を持つ機器の運転状態としてフィード・バックされる点に大きな特徴を持つモデリングが実現できている。

推進プラントの信頼性モデルにおいて、解析目的である安全運航の実現を評価するものは最終的に主機の正常運転と主軸系機器の機能正常、そして操舵系機器の機能正常に基づく安全運航実現の成功・失敗確率である。この視点において、推進プラントの最終的な全システム正常稼働に対する故障確率を評価した結果、運転600時間に対して0.91618であることが明らかとなった。また、船舶推進プラントモデルの最終出力値である安全運航の実現に対して影響するサブシステムの出力値(運転状態に影響する条件の成功確率)を導入して再計算を実行した結果では、全システム正常稼働に対する故障確率が運転400時間に対して0.96594であることが明らかとなった。計算されたシステムの安全度は、船舶推進プラントの機能阻害を直接的に示すものではなく、システムを構成する機器のいづれかに故障が発生することを意味したものであるが、例えば直接的に運航の阻害を意味する重大故障率を導入するならば、船舶推進プラントの機能阻害、すなわち船舶の推進機能の喪失に対する評価値を得ることも可能である。

# 実海域性能を考慮した船型最適化手法に関する考察 Consideration in optimization of hull form for improving ship performance in actual seas

南 佳成

平成 14 年 10 月

RIAM Workshop 2002 Floating Body Dynamics in  
Waves

実海域の運航性能を検討するためには、平水中の推進抵抗以外に耐航性能(波浪中抵抗増加や定時性評価)も考慮すべきである。しかし、推進抵抗及び耐航性能を含んだ多目的関数に基づいた船型設計は、高精度化を図るために CFD のような大規模計算ツールを用いると性能評価に膨大な時間と工数を要する。このため、船型設計時の性能評価の回数を減らすことが、設計の効率化につながる。著者は、品質工学等で用いられている実験計画法と最小二乗法を組み合わせた応答曲面法と呼ばれる近似手法を船型最適化に応用して最適化プロセスにおける性能評価回数を減少させる最適化手法を開発した。

本報告では、応答曲面法を用いた最適化手法の妥当性を確認するために、対象船型を数式船型とし、設計変数を 2 変数とした場合に対して応答曲面法を用いて最適化結果と、他の最適化手法の非線形二次計画法(SQP)や遺伝的アリゴリズム(GA)による最適化結果との比較検討を行った。最適化に用いる評価関数は実海域性能を考慮するために平水中抵抗だけでなく、波浪中抵抗増加、波浪中船体運動も加えて複数の評価値を考慮しているが、重み係数法を用いることで単一目的関数としている。今回、応答曲面法において評価関数を近似するモデルとして二次関数を用いた。シミュレーション条件として、船速はフルード数  $Fn=0.25$  の 1 速度、波浪条件はまず波浪の影響を評価するために向波規則波中で波高波長比  $h/\lambda=0.05$  の 1 条件で行った。平水中抵抗は CFD 計算、波浪中抵抗増加、波浪中船体運動はストリップ法、丸尾の近似式を用いて推定している。最適化結果から、最適化プロセスにおける検索時間に関して応答曲面法が他の最適化手法よりも速く、最適値も SQP とほぼ同じ値に収束していることが確認できた(図-5)。また、応答曲面法の設計空間の推定精度を確認するために、設計パラメータを等間隔に分割してそれぞれの値に対して総当たりで CFD 計算等を実施して得られた計算値をもとに作成した応答曲面と応答曲面法によって推定した応答曲面を比較した。応答曲面法を用いて推定した応答曲面は、実際に計算して求めた応答曲面に対して定性的な傾向を十分捉えていることが確認でき、応答曲面法の用いる近似モデルは二次モデルでも実用的に使用できることが分った(図-6, 図-7)。これらの結果から、応答曲面法を用いた最適化手法が船型設計にも有効であることが分った。

# 国内フェリー・RORO船航路の需要予測に基づいた船舶主要目の決定と航路の採算性に関する研究

A study on determining specifications of  
vessels and profit of a ship company by an  
estimation for cargo demand analysis on ferry  
or RORO-ship lines

久保 登、勝原光治郎、大和裕幸(東大)

道田亮二(IHI)

平成 14 年 11 月

日本造船学会秋期講演会

国内フェリー航路や RORO 船航路は、国内長距離ユニットロード物流需要の 10% を担っていて、小回りの利く車載貨物の特性や、直線的長距離航路による低コストで低環境負荷という海運の特性などを生かした輸送手段として、今後の発展が期待されている。

これらフェリー・RORO 船航路が、事業として発展していくために、現状の改革や新規航路の検討が絶えず行われている。その場合に、航路の経営者は各種情報収集に基づく経営判断を行うが、現状では必ずしも合理的根拠によらない「経験と勘」を用いなければならない状況がある。これは、ひとつには、航路経営の様々な要素を診断する技術が現在ほとんどない、ということが挙げられる。つまり、日本経済の変化、大口顧客との契約更改、航路運賃の改定、船舶リブレース、新規航路開設、競合他社の運賃改定等経営変化などに際して、最適な航路条件や船舶主要目は何であるか、採算性はどうかなどを判断しなければ、合理的な航路を経営してゆくことは困難なのである。もし、これらの要素を診断する「航路診断法」があれば、船社の経営改善や戦略立案に役立つことはもちろん、最終的には「経験と勘による経営者の判断」を優先させるとしても、その判断の適否の経験をこの方法の活用によって蓄積することができることになる。

本研究で提案した手法では、まず、著者らの開発した需要予測プログラムで、経営を検討する航路の予測需要量を算出する。次に需要予測によって検討航路に割り付けられた予測需要量を輸送するのに必要な船舶の積載量(ペイロード)と投入船舶隻数を求め、算出されたペイロードに見合った、フェリーまたは RORO 船の主要目を計算する。さらに、求められた主要目を持つ船舶の船価と投入隻数から、その船を運用した場合の当該航路の年間採算を計算する。

この手法を用いることにより、国内フェリー・RORO 航路の新規航路や、航路の条件を変更したい既存航路について、合理的な計算による経営指針が提示される。また、このように物流需要を考慮した船舶設計が行われれば、造船所の側も船社に船型を提案することができ、航路に対する提案を造船所からも受けられれば、船社にとっても有益となる。さらに、船社事業の展開に融資する金融関係機関が当該航路の事業性を判断したり、起業家がツールとして活用したりすることも期待できる。



# 事故調査に見る安全の責任 - 事故調査における責任問題の理想と現実、事故調査と免責問題 -

Responsibility for safety in Accident Investigation, Ideal and the real in responsibility in accident investigation, accident investigation and immunity from prosecution

松岡 猛

平成14年12月

日本学術会議 安全工学ワークショップ2002

安全対策の基本としては、万一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。事故の関係者から正確な証言を得るためには、どうしても事故責任、免責、被害補償も視野にいたれた検討が必要となる。本論ではまず、日本学術会議安全工学専門委員会でもまとめた事故調査体制のあり方で述べられている提言について説明した。

次に、事故責任に関係する民事責任、刑事責任、行政責任についてそれぞれの性質、責任の範囲について述べた。民事責任は過失責任が原則で、無過失の場合は責任が追求されない。しかし、最近では鉱業災害、大気汚染、水質汚染等では無過失責任が追求されるようになっている。刑事責任は故意犯が原則で過失は罪には問われない。しかし、例外的に過失犯とされているものには、失火罪、過失往来危険罪、過失致死罪、業務上過失致死傷等がある。行政責任では免許の停止、取り消し、業務の一定期間の停止等の行政処分が行われる。

事故に到るまでの人間行動の解明のためには事故当事者の正直な証言が必要である。そのためには過失責任を問わない立場を確立することが必要となる。さらに、特異な事故や未解明の事故が当事者の証言により解明され、将来起こるかも知れない事故を未然に防ぐ効果がある場合は免責制度を導入することは有用である。今後免責制度について検討する価値はあると考ええる。

一方、被害者救済の方法として損害保険、障害保険、責任保険、公的救済制度、社会保障等の種々の保険制度が存在する。

以上の議論をふまえ、事故発生、事故調査体制、事故責任、補償制度等の関連事項をまとめた図を示し相互の関連を整理した。

最後に、ニュージーランドには社会保障(国の一般財源)による統一的な事故補償制度が整備されているので、その内容についての紹介を行った。

本論により、事故責任、免責制度、被害補償を含めた議論の整理がある程度できたと考える。今後これを基に総合的に事故調査体制のあり方を検討していきたい。

# ストリーミング放射線簡易計算コードの評価 Evaluation of a Streaming Radiation Simple Calculation Code

三浦俊正、平尾好弘、佐藤 理

平成15年3月

日本原子力学会「2003年春の年会」要旨集

原子炉や核燃料サイクル施設等における、普通コンクリート遮蔽壁中の円筒ダクトに関するストリーミング放射線量簡易計算コードの入出力操作、計算精度等の評価を行った。本計算コードはWINDOWS上で操作できる。以下に入力データを示すが、括弧内の値は入力可能範囲を示す。入出力操作画面の(1)線源情報では(a)第1脚設置角度が0度の場合と(b)そうでない場合のいずれかが選択でき、(a)では点線源集合体または面平行入射線源を、(b)では0度平面線源又は等面線源を選択する。点線源集合体の場合は点線源の数、位置、強度を、面平行入射線源の場合は入射角度の数、値、強度を入力する。線源強度は中性子の場合は3群、ガンマ線の場合は1群のエネルギースペクトルを線量、線束等を入力する。(2)壁情報ではコンクリート密度( $2.0 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ )と壁の厚さを入力する。(3)体系形情報ではダクト直径( $5 \sim 40 \text{ cm}$ )、ライナーの厚さ( $0 \sim 1 \text{ cm}$ )、脚数(3)及びその長さ( $1.5 \text{ m}$ )、屈曲角度( $30^\circ$ )を入力する。(4)評価点の指定では評価点を等間隔または任意の位置で指定する。(1)から(4)のデータチェックは自動的に行われる。計算の実行はほぼ瞬時に終了する。計算結果は操作画面の「実行結果」に示される。この結果はそのままEXCELのワークシートに貼り付けることができ、簡単にグラフ化できる。計算コードの評価を行うため、直径20cmの45度1回屈曲円筒ダクトに対するモンテカルロ計算コード-MCNPの計算結果との比較を行った。遮蔽壁の厚さは1.5mで、ダクトの第1脚長は1mである。線源は核分裂線源で、30度方向平行入射である。MCNPの計算では面検出器と点検出器の計算を行った。第1脚部では面検出器によるMCNPの計算と簡易計算はほぼ一致した。点検出器の場合は検出器がダクト中心軸上に置かれたため、入口付近で面検出器の結果より低めとなった。第2脚部では屈曲部での分布及び絶対値に差が見られた。しかし、その差は小さく、減衰傾向を含め簡易計算の結果は満足すべきものであった。

# 角柱列を挿入した平行平板間流れの数値解析 における周期境界条件の適用妥当性

Applicability of Spatial Periodic Boundary  
Conditions to Numerical Computation  
of Flow in a Channel obstructed by  
an Array of Square Rods

村田裕幸、澤田健一、鈴木健二郎

平成 15 年 5 月

日本機械学会論文集 (B 編) 第 69 号 678 号

乱流のように不規則性が顕著ではないが、非定常性を持つ流れにおける熱伝達は、定常流下の熱伝達より良好なことから、実際上の重要性が少なくない。このため、例えば平行平板間に単一角柱を挿入して不安定化させた流れに関して研究がなされている。しかし、実用上の見地からは、複数の物体を流れ方向に周期性を持って配置する場合などの、より実機に近い系を取り上げることが有意義である。流れ方向に周期性を持つ流れは、若干の研究例を除けば、ほとんど研究されていない。流れ方向に幾何学的な周期性を持つ流れを解析する場合、流れ場の幾何学的最小周期単位を計算領域としてその前後で流れ場の周期性を仮定するのが実用上簡便である。しかしながら、このような方法で得られた解の妥当性について検討した例は見当たらない。

本研究では、平行平板間流路に複数個の角柱を流れ方向に等間隔で挿入した場合の非定常流を取り上げ、計算領域の入口・出口に周期境界条件を適用して、その流動挙動を数値解析する。一般に、計算結果は境界条件に支配されるため、流れ方向に周期境界条件を適用すると、そのことが計算結果を拘束することになる。この拘束度は計算領域を拡大するにつれて次第に低下する。そこで本研究では、角柱寸法、流路レイノルズ数、角柱の配列ピッチを変化させた系に対して、単位周期領域を複数個連結して計算領域を変化させた計算を実施し、その影響を検討した。

その結果、計算領域の大きさによって計算結果が変動する場合があることを見出し、流れ場の最小周期単位を計算領域として周期境界条件を適用する取り扱いが、限られた流動条件でのみ物理的に妥当と判定できることを指摘した。なお、計算結果が変動する場合、ストローハル数と揚力係数の振幅が計算領域の大きさに敏感に反応するのに対し、抗力係数は殆ど変化しない。また、計算領域の大きさによらず解が一意に定まる場合の流動特性を検討し、ストローハル数、抗力係数、揚力係数の振幅が閉そく比の増大に伴って顕著に増大することを見出した。

# 流路内に挿入された円管列の流力振動

Study on Flow-Induced Vibration of an Array  
of Circular Cylinders in a Channel

村田裕幸、稲坂富士夫、安達雅樹

平成 15 年 3 月

日本原子力学会 2003 年春の年会予稿集

流力振動が原因とされる原子炉事故の例はこれまでも報告されており、既存軽水炉の長期供用化と関連して流力振動現象に関する知見の蓄積が望まれる。本報告では流路内に挿入された円管列の体系を取り上げ、挿入する円管の本数、ピッチをパラメータとする流力振動実験の結果について報告する。

本実験装置の測定部断面は幅 25mm、高さ 200mm の矩形であり、直径:  $d = 13.7\text{mm}$ 、長さ 190mm のインコネル円管がピッチ 20mm で 5 本まで設置できる構造になっている。インコネル円管は測定部上壁で固定され、下端は自由端となっている。本実験の流路は閉そく比が 0.52 とかなり高く、流力振動の様式も一様流中に挿入された場合とは異なると考えられる。本実験では、円管内壁に貼付された歪みゲージにより、円管の受ける抗力方向及び揚力方向の曲げ歪みを計測した。

測定部に円管を 1 本挿入した場合、換算流速:  $V_r$  2.32 では円管は若干のうなり音を発生するものの殆ど振動しないが、 $V_r = 2.36$  になると円管の変位が激しくなり流力振動が発生した。揚力方向の振幅が顕著なことから、この流力振動は揚力方向の振動であることが分かる。本体系では換算減衰率:  $C_n$  が 5.3 と大きいため、(揚力方向の振動よりも低い換算流速で発生する) 抗力方向の振動は回避されると考えられるが、 $V_r = 2.36$  は一様流中の単一円管において発生する揚力方向振動の換算流速下限値に比べてかなり低く、同体系では抗力方向の振動が発生する範囲に収まっている。そこで、円管先端部の変位のリサージュ曲線によって  $V_r = 2.36$  のときの振動様式を検討したところ、リサージュ曲線は扁平なハート型で、円管先端部の抗力方向の変位が揚力方向変位の 2 倍の周波数で変動することが明らかになった。このことから、本体系の  $V_r = 2.36$  での流力振動が円管から放出される交互渦によって発生する揚力方向の振動であることが確認された。

さらに、複数の円管を挿入した場合、ピッチ:  $p/d$  4.38 では流力振動が発生する換算流速下限値が単一管の場合よりも低下すること、配置する円管が 3 本以上の場合には円管先端部のリサージュ曲線が円管相互で同一にはならないことが明らかとなった。

## 二酸化炭素深海貯留に関する研究

### Study on Ocean Storage of Carbon Dioxide

中島康晴、綾 威雄

平成15年1月

らん (関西造船協会誌) 第58号

二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) を深海底に送り込み、長期間に亘って貯留する  $\text{CO}_2$  深海貯留は、地球温暖化を防止するための革新的技術として研究されている。海技研におけるこれまでの深海貯留研究の概要をまとめるとともに、今後の国際共同研究についても紹介する。

深海底に貯留された液体  $\text{CO}_2$  の表面には、 $\text{CO}_2$  ハイドレートが膜状に発生する。海技研では、 $\text{CO}_2$  ハイドレートの安定性や膜強度などについて詳細な検討を行い、従来理論からは説明のできない特異な性質のあることを明らかにした。そして、その特異性を説明するため、「自由水分子モデル」などを提案している。これまでの実験の結果、 $\text{CO}_2$  ハイドレートも海水中にゆっくりと溶解することがわかった。しかし、窪地状貯留サイトの半分程度の高さまで液体  $\text{CO}_2$  をためた場合、密度成層が形成され、2000 年を超える貯留期間をもたらすと期待されている。

次に、 $\text{CO}_2$  の効率的な深海送り込み法を考案し、これを COSMOS と名付け、特許を取得した。COSMOS の研究にあたっては、ノルウェー・ベルゲン大学との共同研究により、低温  $\text{CO}_2$  液滴表面における表層及び  $\text{CO}_2$  ハイドレート膜の発達過程に関する知見を得た。さらに、COSMOS の原理確認を行うため、米国・モンテレー湾海洋研究所 (MBARI) との共同研究により実海域実験を行った。オリジナルの COSMOS 実験装置に改良を加えた装置により放出実験に成功した。実海域実験の結果をもとにオリジナルの COSMOS を改良した新 COSMOS を考案した。

これまででは、物性測定や技術開発を中心に研究を行ってきたが、今後の最大の課題は、海洋環境に対する影響の評価である。MBARI 及びベルゲン大学とともに、海洋環境への影響評価を目的とした国際共同研究を 2002 年度から 3 カ年にわたって実施する。モンテレー湾において液体  $\text{CO}_2$  を海中に放出する実験をおこない、周辺海水の pH 変化などの測定や深海生物への影響の調査を行う。また、海技研において深海貯留の陸上模擬実験を行い、実海域実験を補完する。ベルゲン大学においては、海洋モデルを用いた溶出・拡散過程のシミュレーションを行う。これらの結果を実海域実験と比較検討することにより、深海貯留がもたらす海洋環境への影響を評価する。