

所 外 発 表 論 文 等 概 要

<推進性能部>

CFD 入門(2) —差分法—

Introduction to CFD(2)
—Finite Difference Method—

児玉良明

平成8年8月

日本造船学会誌第806号 (平成8年8月号)

CFD(Computational Fluid Dynamics、計算流体力学)は、流体運動の支配方程式であるナビエ・ストークス (略称、NS) 方程式を数値的に解くことによって、流体運動を計算機上でシミュレーションする手法である。本文は、船まわりの流れを主な計算対象としたCFDについて初歩から説明した連載の第2回目であり、実在世界では連続して分布している速度や圧力などの流れの量を離散的な点での値で表す離散化法を、主に差分法を例に説明した。

差分には空間差分と時間差分の2種類がある。空間差分は、参照点が基準点から左右対称に分布する中心差分と、左右非対称に分布する風上差分の2つに大別される。時間差分は、現時間ステップでの既知の値を単に代入するだけで次の時間ステップの値が求まる陽的時間差分と、連立方程式を解いて初めて次の時間ステップでの値が求まる陰的時間差分がある。陰的時間差分は、時間を1ステップ進めるための計算時間は大きいですが、数値安定性に優れているので時間刻みを大きくとれ、結局計算効率に優れている。

数値安定性を調べる方法としてフォン・ノイマンの方法がある。そこでは解に周期的な微小かく乱を与えて、それが減衰する場合には安定、成長する場合には不安定と判定する方法である。拡散方程式と線形移流方程式にフォン・ノイマンの方法を適用し、結果を数値計算で確認した。

CFD 入門(3) —差分法 (続) —

Introduction to CFD(3)
—Finite Difference Method(Cont.) —

児玉良明

平成8年9月

日本造船学会誌第807号 (平成8年9月号)

CFD(Computational Fluid Dynamics、計算流体力学)は、流体運動の支配方程式であるナビエ・ストークス (略称、NS) 方程式を数値的に解くことによって、流体運動を計算機上でシミュレーションする手法である。CFDは数10万～数100万の連立方程式を解く大規模計算であり、近年の計算機の発達により初めて工学的実用性をもつに至った。

本文は、船まわりの流れを主な計算対象としたCFDについて初歩から説明した連載の第3回目であり、現実の世界では連続して分布している速度や圧力などの流れの量を離散的な点での値で表す離散化法の1種である差分法に関して、マトリックス法による数値安定性解析について説明した。前報で数値安定性を調べる方法として説明したフォン・ノイマンの方法は、未知量がスカラー量で、周期境界条件の場合に適用が限定されるが、今回説明するマトリックス法は、未知量がベクトル量の場合でも、境界条件が周期境界条件以外の場合でも適用できる、高い汎用性をもつ安定性解析法である。

支配方程式を離散化すると、結局、未知量に関する連立方程式が導かれる。そしてその方程式の係数行列の性質を調べて数値安定性を判別するのがマトリックス法である。マトリックス法では、行列の固有値と固有ベクトルが重要な役割を果たす。そして、計算が安定に進んで解が求まる条件である安定性条件は、係数行列のスペクトル半径すなわち行列の固有値の絶対値の最大値が1より小さいという条件として表される。また、定常解を非定常方程式の収束解として求める場合には、スペクトル半径は比較的容易に求められることが示された。

離散化式には数値安定性の他に適合性、収束性という条件があり、離散化式はこれら3つの条件を満たして初めて意味のある数値解を与えることができる。なお、適合性、安定性、収束性はLaxの同等定理によって互いに関連づけられている。

CFD 入門(4) —保存性—

Introduction to CFD(4)
—Conservation Property—

児玉良明

平成8年10月

日本造船学会誌第808号(平成8年10月号)

CFD(Computational Fluid Dynamics、計算流体力学)は、流体運動の支配方程式であるナビエ・ストークス(略称、NS)方程式を数値的に解くことによって、流体運動を計算機上でシミュレーションする手法である。CFDは数10万～数100万の連立方程式を解く大規模計算であり、近年の計算機の発達により初めて工学的実用性をもつに至った。

本文は、船まわりの流れを主な計算対象としたCFDについて初歩から説明した連載の第4回目であり、離散化された系での質量・運動量の保存性について説明した。単位長さの領域における線形バーガス方程式の数値解を、様々な離散化法によって得られた式を解いて求め、それらの解の精度と保存則が満たされる精度を調べた。

まず、差分法を用いて数値解を求めた。得られた解は、境界層がある右端で精度が落ち、保存性は、同じく右端で満たされていない。これは、差分法が離散化において保存性を考慮していないために生じたものである。

次に、同じ問題を、保存性を考慮した有限体積法を用いて離散化した。コントロール・ボリュームを用いた有限体積法による離散化により、両端にコントロール・ボリュームの間隙があり、保存則が満たされていないことが明らかになった。そして、同じく有限体積法であるが、コントロール・ボリュームの中心に未知量を配置するセル・センター配置を用いる離散化によって、計算領域を両端まで隙間無くコントロール・ボリュームで埋めることができ、結果として解の精度が高く且つ保存則を満たした解を得ることができた。

最後に、有限要素法を用いた離散化は、有限体積法におけるコントロール・ボリュームの概念を更に一般化したものであることを示した。

CFDの概要と将来展望

Perspective of CFD

日野孝則

平成8年10月

新しい造船学シンポジウムテキスト

CFD(Computational Fluid Dynamics)は計算流体力学と訳され、数値解析によって流体现象を研究する手法である。コンピュータの性能向上と数値計算アルゴリズム研究の進展により、CFDは理論的研究や実験的研究と並んで流体解析の有力なツールとなりつつある。

CFDの本質は、流体運動を記述する偏微分方程式の数値解を求めることである。CFDに必要な計算資源は、記憶容量、CPU時間ともに膨大なものであり、当初はスーパー・コンピュータを用いなければCFD解析は不可能であった。しかし、近年のコンピュータ・テクノロジーの発展により、比較的低価格のワークステーションを用いても、実用的な計算が行えるようになった。最近では、パーソナル・コンピュータ(PC)の性能向上が著しく、PCによるCFDも可能になりつつある。

CFDの研究は航空宇宙工学の分野が最も進んでおり、「数値風洞」という言葉に象徴されるように、従来の風洞試験を数値計算で置き換えようという意気込みでCFD技術の研究が進められてきた。船舶工学の世界でもこれにならって、「数値水槽」を作ろう、すなわち、従来水槽試験で行われてきた船体の流体力学的な性能推定をCFDによって可能にしよう、という研究活動が盛んになっている。最初は曳航試験に対応する、直進する船体まわりの二重模型流れのシミュレーションや、造波シミュレーションが行われ、後に自航試験に相当するプロペラ・モデルの導入がなされた。さらに斜航状態や旋回状態のシミュレーションにより操縦時の流体力の推定も可能になりつつある。そして、限られたフェーズではあるが、CFDは設計現場でツールとして用いられつつある。

本稿では、まずCFD技術の基礎的な事項として、支配方程式、数値解法、格子生成を整理し、船舶流体力学に不可欠な自由表面条件の扱いや高レイノルズ数流れの解析に必要な乱流モデル、さらに計算結果の後処理について述べる。次に次世代のCFD技術を目指した技術開発として、複雑形状まわりの流れの計算およびCFDによる形状最適化手法について展望する。

CFD 入門(5)―風上差分―

Introduction to CFD(5)―Upwind Differencing―

児玉良明

平成8年11月

日本造船学会誌第809号 (平成8年11月号)

CFD(Computational Fluid Dynamics、計算流体力学)は、流体運動の支配方程式であるナビエ・ストークス (略称、NS) 方程式を数値的に解くことによって、流体運動を計算機上でシミュレーションする手法である。CFD は数10万～数100 万の連立方程式を解く大規模計算であり、近年の計算機の発達により初めて工学的実用性をもつに至った。

本文は、船まわりの流れを主な計算対象としたCFD について初歩から説明した連載の第5回目であり、流体運動の支配方程式であるNS方程式の中で、流れを表す移流項の離散化式として最もよく用いられている風上差分について説明した。移流項の離散化は、高精度であると同時に数値安定性に優れた使いやすいものでなければならないという、相反する2つの要請を満たす必要があるが、高次精度の風上差分式はそれらの条件を満たすことを示した。

移流項の係数が外に出ている非保存形で、従属変数がただ1つのスカラー量の場合には、係数の正負に応じて差分式を使い分けることによって風上差分式を構成できる。そして、内挿または外挿の精度を上げることによって1次精度から3次精度までの風上差分式を容易に作ることができる。同じく非保存形で従属変数が複数あるベクトル量の場合には、移流項の係数行列の固有値の正負に応じて式を使い分けることによって風上差分式を構成することができる。

CFD 計算に用いられるNS方程式は、移流項に係数がない保存形をしていることが殆どである。この場合には、微分の内側でフラックスの差をとり、その係数の正負を用いて風上差分を構成する。保存形で且つベクトル量の場合には、微分の内側でフラックスの差を基にヤコビアン行列を作り、その固有値の正負に応じて風上差分を使い分ければよい。

Nonlinear Roll Motion of a Ship with Water-on-Deck in Regular Waves

甲板上に滞留水がある場合の非線形横揺れ運動

村重 淳、合原一幸、山田泰司

平成8年11月

Proceedings of Second Workshop on Stability and Operational Safety of Ships

波浪中で船内に自由水がある場合の船体運動は、非常に複雑で未解決の問題である。本研究では、Ro-Ro 客船の車両甲板上に滞留水がある場合の波浪中の横揺れ運動を、実験とモデル方程式により検討した。車両甲板は区画されていないので、そこに溜まった水は広いスペースを自由に動き回ることができる。したがって、その動的影響は無視できないと考えられる。

実験では、Ro-Ro 客船模型の車両甲板上に水を入れ、横波 (規則波) 中の船体運動を計測した。その結果、同じ条件の波浪中でも、複数の横揺れ運動のモードが存在すること、すなわち、非線形横揺れ運動がみられることがわかった。その際、わずかな外乱を与えることにより、横揺れ角が4～5倍になる場合があった。したがって、この非線形運動は転覆等につながる可能性のある重要な現象である。

次に、船体の横揺れと甲板上的水の連成運動に注目したモデル方程式を導いた。モデル方程式を数値計算することにより、実験結果と同様な非線形解が得られた。したがって、この非線形横揺れ現象の原因は、甲板上的自由水の動的影響である。特に、船体と自由水の非線形連成と、大振幅に伴う復原力の非線形性が重要な役割を果たしている。

今後は、上記のような非線形横揺れが起きた場合、その複数の横揺れ運動の中で最も安全で安定なモードに制御する方法を開発したいと考えている。

Flow computation for complex configuration using multi-block technique

マルチブロック法を用いた複雑形状まわりの流れ計算

平田信行

平成8年12月

Proceedings of Second International Conference on Hydrodynamics (ICHD-96)

マルチブロック法を導入したNavier-Stokes ソルバーを、形状が複雑な物体まわりの自由表面流れの計算に適用した。

数値解法は、擬似圧縮性を考慮したNavier-Stokes 方程式を有限体積法で離散化して解くものであり、対流項は Flux Difference Splitting による3次上流差分で評価した。時間進行はオイラー陰解法とし、IAF 法を使用した。複雑な形状にも対応するため、流れ場を複数のブロックに分けて解くマルチブロック法を導入した。乱流モデルには、Baldwin-Lomax の代数モデルを用いた。さらに、非線形の自由表面条件を組み込み、複雑な形状を有する物体まわりの自由表面流れの計算を可能にした。

本研究では、複雑形状の物体として、同型の水面貫通ストラットが前後に2本付いた没水回転体を対象船型とした。没水回転体の長さに基づくフルード数を変えた計算を行い(0.265, 0.891)、ストラットと没水体との水力学的な干渉を調べた。自由表面波の影響を見ることを主眼としたため、レイノルズ数は 1×10^6 と乱流であるが、実験 ($7.313 \times 10^6, 2.455 \times 10^7$) に比べて小さな値を採用した。

剰余抵抗と波形に関して実験値と比較し、両フルード数ともに精度よくシミュレートすることができ、この解法がかなり複雑な形状にも対応できることがわかった。次に、フルード数による影響をみた。フルード数が0.891の場合には、波長の長い縦波が支配的であった。一方、フルード数が0.265の場合には、横波が支配的であり、前後のストラットの間隔とストラットが造る横波の波長が一致した。そのため、2本のストラットが造る波が同位相で重なり造波抵抗が大きくなり、hump speedであることがわかった。

A Multiblock-Multigrid Navier-Stokes Solver for Free Surface Flows

自由表面流れのためのマルチブロック・マルチグリッド・ナビエ・ストークス・ソルバー

日野孝則

平成8年12月

Proceeding of The 2nd Asian Computational Fluid Dynamics Conference

船舶工学や海洋工学などの流体工学の分野では自由表面流れが非常に重要である。自由表面条件は非線形の条件であるから、特に自由表面の変形が大きい場合に自由表面問題を解析することは容易ではない。船体まわりの流れのように粘性による境界層や伴流と水面波が強く干渉するような流れの場合には、その解析は著しく困難になる。計算流体力学手法 (CFD) は自由表面を伴った粘性流れを計算することができる有力な手法として期待されている。

本研究では、複雑形状のまわりの自由表面流れを計算する手法を開発した。ベースとなる流れ解析コードはレイノルズ平均された非圧縮性ナビエ・ストークス方程式に対する有限体積法である。速度が連続の条件を満たすように圧力を求めるために擬似圧縮性を導入し、非線形の自由表面条件を満たすように自由表面適合座標を用いた。非粘性項は3次の風上差分で粘性項は2次の中心差分でそれぞれ評価し、5段階ルンゲ・クッタ法による時間積分に収束加速のための多重格子法を併用した。乱流モデルは、Spalart-Allmarasによる1方程式モデルを採用した。また、複雑形状を扱うためにマルチ・ブロック法を用いた。これは計算領域を複数のブロックに分割し、ブロック境界で情報を交換しながらブロック単位で流れ計算を進める手法である。

船体まわりの自由表面流れと船体と舵を含む複雑形状のまわりの流れに本手法を適用し、複雑形状まわりの自由表面流れ計算に本手法が有効であることが確かめられた。

An Unstructured Grid Method for Incompressible Viscous Flows with a Free Surface

自由表面を伴う非圧縮粘性流れのための非構造格子法

日野孝則

平成9年1月

AIAA 35th Aerospace Sciences Meeting

AIAA Paper 97-0862

工学的に重要な流れは一般に複雑形状のまわりの流れなので、CFD (計算流体力学) 技術を実際的な流れの解析に用いる場合に格子生成が問題になることが多い。複雑形状まわりの格子生成手法としては、マルチ・ブロック法などの領域分割法や非構造格子法が提案されている。このうち非構造格子法は計算領域を分割するセルの形状と並び方に大きな自由度を与える手法であり、領域分割法に比べてより大きな形状適合性を持っている。

CFD 手法を船舶海洋など水力学問題に適用する際には、しばしば自由表面問題を扱う必要がある。自由表面流れは計算領域が時間とともに変形するという特徴があり、形状が固定されている場合より格子生成はさらに重要になる。したがって、自由表面流れを解析する手法として非構造格子法は極めて有用であると期待される。

本研究では、自由表面を伴う非圧縮粘性流れをシミュレートするために、非構造格子法を用いた2次元ナビエ・ストークス・ソルバーを開発した。支配方程式に擬似圧縮性を導入し、空間離散化にはセル中心に変数を配置した有限体積法を用いた。対流項は2次精度の風上差分を用い、粘性項は同じく2次精度の中心差分で評価した。時間積分は陰的に行ない、得られる連立方程式の解法はヤコビ反復法を用いた。乱流モデルにはSpalart-Allmarasの1方程式モデルを採用した。各時間ステップで計算格子を再配置することにより、非線形の自由表面条件を満足させている。

自由表面がない場合の物体まわりの層流と乱流の流れ計算によって本手法の基本的な性能を確認した後、自由表面問題への応用として没水水中翼のまわりの流れを計算した。結果は、実験結果や他の計算結果とよく一致し、本手法が自由表面問題解析に有効であることが確認された。

Investigation of a Three-Dimensional Power-Augmented Ram Wing in Ground Effect

3次元PAR-WIGに関する解析

平田信行、日野孝則

平成9年1月

35th AIAA(American Institute of Aeronautics and Astronautics)Aerospace Science Meeting and Exhibit

AIAA paper97-0822

WIG(Wing-in Ground effect)は、次世代の超高速船の担い手として期待されているが、大型化を図るには離着水速度を下げる必要があり、高揚力化という技術課題が残っている。この問題の解決策の一つが、RAR(Power Augmented Ram)である。このメカニズムは、翼の前方に推進器を配置し、その推進器で加速された空気流を翼下部に流し込むことにより翼下面の圧力を上げ、大きな揚力を得るものである。この方法を用いると超低速での離着水が可能になり、構造重量、エンジン重量を小さくし、ペイロードを増やすことができる。本研究では、前方にプロペラを配置した翼端板付き矩形翼まわりの流れを数値実験により求め、プロペラ、地面、翼の空気力学的な干渉について検討を行った。

数値解法は、単純化したモデルではあるが流場計算にはなお形状が複雑なため、流れ場を複数のブロックに分けて計算するマルチブロック法を用いたNSソルバーとした。ブロックの数や境界条件は入力データで変更可能であり、汎用の計算コードである。基本になっているNSソルバーは、擬似圧縮性を導入したNavier-Stokes 方程式を有限体積法で離散化して解くものであり、非粘性項は3次の上流差分を用いたRoe's schemeで、粘性項は2次の中心差分で評価した。時間積分として、近似因数分解法による1次のEuler 陰解法を適用した。プロペラはHough-Ordwayが提唱した体積力分布で表現し、乱流モデルはBaldwin-Lomaxの代数モデルを用いた。

地面板法を用いた風洞実験の結果と地面、翼下面の圧力、空気力に関して比較を行った。全ての高度域で計算結果と実験値とは良く一致しており、本計算手法がPAR-WIG まわりの計算に適用可能であることを確認した。また、PARの回転流が翼前縁付近で外向きの流れを促進し、低高度でも地面板上に2次元剥離が生じず、地面における境界条件の差が流体力にはほとんど寄与しないことがわかった。

<運動性能部>

Long Time Fully Nonlinear Simulation of Floating Body Motions with Artificial Damping Zone

減衰領域を用いた浮体運動の長時間非線形シミュレーション

谷澤克治

平成8年11月

日本造船学会論文集 第180巻

荒天波浪中にある船体や海洋構造物などに作用する波浪外力や、それに対する動揺を正確に求めることは、耐航性能研究の目標とする研究課題である。従来、この研究は主に微小波高、微小動揺を仮定する線形理論を拡張する形で進められてきた。しかし、線形理論では大振幅動揺や極端な例では巻波による転覆等への応用は困難であり、微小変位を仮定しない非線形計算法の開発が望まれている。そこで波浪外力研究室では理想流体の仮定だけに立脚し、微小変位を仮定しない非線形耐航性能理論の研究を実施し、流体と浮体との運動方程式を連立させて解いて波浪中の任意形状浮体の大振幅動揺を時間領域でシミュレートするための新しい理論と数値計算法の開発を行って来た。本報では、これまでに研究開発した非線形数値計算法をさらに実用的なものにするため、波の放射条件を満たす減衰領域を導入し、その性能を定量的に評価すると共に、減衰領域と造波機を組み合わせることで吸収式造波機を構築した。本報の前半は、これら減衰領域の定式化とその性能評価に当てる。減衰領域の導入により、有限の計算領域でも反射波に影響されない長時間の計算を行うことが可能となった。そこで本報の後半では、その応用例として、水平方向に弱いバネで係留された船体中央横断面形状の2次元浮体の規則波中動揺の長時間計算を実施し、対応する実験結果と比較検討を行った結果について述べる。また計算結果から波漂流力や波漂流減衰力を推定する方法についても触れる。

<機関動力部>

固体電解質燃料電池複合サイクルによるCO₂回収性能の評価Estimation of CO₂ Recovery Performance with SOFC Combined Cycle

波江貞弘、汐崎浩毅、川越陽一、熊倉孝尚

平成9年1月

エネルギー・資源学会

第13回エネルギーシステム・経済コンファレンス

講演論文集

最近の地球環境保全、特に温暖化に対する関心の高まりにつれ、その原因物質の一つである二酸化炭素の大気への排出抑制の必要性が指摘されている。これに対し永続的に重要な技術課題は、エネルギー利用効率の向上による抑制である。また、中長期的に化石燃料に依存せざるを得ない期間においては、エネルギー変換時に生じるCO₂の分離回収技術の確立が必要と思われる。一方、固体酸化燃料電池(SOFC)は第三世代の燃料電池として注目されており、近年のセラミック技術の急速な進歩に伴って、実用化の可能性が高まっている。これらの背景から、筆者らはエネルギー変換効率の向上と同時に、CO₂の効果的な分離回収を目的とするSOFC複合サイクルを提案し、その性能特性について検討を行ってきた。本報告は、これまでの報告で検討が充分でなかった上記サイクルによるCO₂の回収率及び所要動力について考察を行ったものである。説明の必要上、前報を引用して提案システムの概要についても記述している。なお、今回対象としているCO₂の分離回収は、非化石燃料・太陽エネルギー等との組み合わせによる二次媒体としての利用、メタンハイドレートとの置換、大気中CO₂濃度の急増を遅延させるための中長期的貯留などを前提とした技術課題と考えている。

システム総合熱効率、二酸化炭素回収率・所要動力に関する結果をまとめるとつぎのとおりである。

- (1) 燃料電池内での発熱が改質熱として有効に利用されるため、電流密度の比較的広い範囲に対して、総合熱効率は60% (LHV) 以上の値となる。
- (2) CO₂分離装置入口の体積濃度は、燃料の蒸気改質/CO₂分離後での熱機関利用に対して3倍、在来機関の排気ガスに対して10倍程度に濃縮される。このため、単位プラント出力に対する処理ガス量が1/3～1/10に減少し、装置が小型化するため実用上極めて有利になると考えられる。
- (3) 本システムでの二酸化炭素回収率は93～100%の範囲にあり、大気中に放出される体積濃度は在来の熱機関に対して1/10以下に減少する。
- (4) この回収に必要な動力は、圧縮比(系圧力)8～10において総入熱量に対する絶対比率で2.6～3%、圧縮比2～4で4.6～6.5%程度となる。この所要動力を考慮した総合熱効率は後者の場合で64.5%である。

軽量化アルミニウム合金船構造の座屈強度

Buckling Strength of Lightened Aluminium Hull Structure

松岡一祥、田中義照、北村 茂、佐久間正明

平成8年12月

軽金属溶接第34巻12号

高強度アルミニウム合金を使用した大型の軽構造高速船の建造が増えている。また、軽量化に加えて工数削減の目的で、A6N01S-T5 による中空押出材、あるいは、A5083P-H321 外板にA5083S-H112 バルブプレートと溶接して出荷するプレリブドパネルなどの高強度合金による部材も用いられるようになってきている。

高強度アルミニウム合金による溶接構造物の強度低下の要因の大きなものに溶接熱影響軟化がある。一般に高強度材料では溶接による軟化は著しく、母材強度で設計することは危険である。そこで、軟化部耐力で設計するが、軟化部を挟むゲージ長で耐力が変化するなど、設計方法が確立されていないのが現状である。

本論文は、これらの高強度軽量化部材を用いた船体外板構造の座屈強度を、従来から用いられているA5083S-H112 パイセクションと比較して論じたものである。パイセクション、プレリブドパネル、中空押出材を用いた構造模型による座屈試験、FEM 解析を行い、座屈強度の簡易計算方法について検討した。検討結果に基づき座屈強度算定法を提案した。さらに、外板構造の寸法等の影響について検討し、軽量化効果について論じた。

以下に得られた主な結論を示す。

- (1) 簡易計算法による結果と、実験およびFEM 解析結果を比較し、簡易計算法の有効性を確認した。
- (2) パイセクション構造では、耐力を110MPaとする現行設計法によると座屈強度を特に評価する必要はない。
- (3) A5083P-H321 あるいはA6N01S-T5 などの高い耐力の材料を用いる場合、最軟化部の耐力を座屈強度の上限とすることは不合理で実用的ではない。
- (4) プレリブドパネルでA5083P-H321 外板の高い耐力を有効に活用するためには、狭いステイフナスペースとすべきである。さらに、バルブプレートの材質を代えるなど座屈強度改善の余地は残されている。
- (5) 中空押出材の座屈強度は横部材との溶接による軟化部の影響を大きく受ける。そこで、ブラケットなどにより軟化部を区切り、長大な塑性関節線の形成を妨げることが座屈強度の向上には有効である。

セラミックスの摩擦表面の挙動

Behavior in the Friction Surface of Ceramics

千田哲也

平成9年1月

セラミックス (日本セラミックス協会誌) 第32巻第1号

セラミックスは、耐摩耗性材料として期待されるが、そのトライボロジー (摩擦・摩耗) 現象は多くの因子に支配され、耐摩耗性の評価はたいへん難しい。また、摩擦面は化学的にも力学的にも特異な場であり、真実接触点で起きるマイクロな現象には、なお不明な点が多い。本稿では、無潤滑で摩擦したときのセラミックス表面の力学的挙動と摩耗現象に関する研究の到達点について、化学反応の影響の小さいアルミナを主な例として解説した。

摩擦面には弾性変形、塑性変形、微小破壊などの挙動がみられる。ダイヤモンドのような硬い突起が表面に接触しているとき、荷重点の直下に圧縮応力が、その周囲に引張応力が生じる。圧縮応力領域にはセラミックスのような脆性材料でも転位などの塑性変形が生じ、一部は掘り起こされて摩耗粉として除去される。荷重が相当に大きい場合には、セラミックスに特徴的な脆性破壊による摩耗が起きる。

一方、同種材料の接触の例として挙げたアルミナ同士のすべり摩擦では、温度と荷重により4つの特徴的な挙動がみられる。室温付近の比較的低荷重の場合、大気中の水分との反応により水酸化アルミニウムが生じて潤滑効果を示す。中温度域の低荷重の場合、塑性変形による掘りこし摩耗はあるが、摩擦係数も小さいマイルド摩耗状態である。中温度域の高荷重の領域では、いわゆるシビア摩耗がおきる。摩擦面はおもに粒界面からなる脆性破面で、微小破壊による摩耗とみられる。800℃以上の高温では、塑性変形に伴う動的再結晶により微細化した粒子が平滑な表面を形成し、その表面層の潤滑効果のために摩耗量は非常に少なくなる。これらの結果から、セラミックスが優れた耐摩耗性を示す場合として、(i) 科学反応による潤滑性の物質の生成、(ii) 表面にき裂を発生させない程度の低い荷重の接触、および (iii) 主に高温での微粒子からなる表面層の形成の3つの形態があることがわかる。

試験体の表面粗さによる底面エコー高さへの影響について

The Effect of Surface Roughness on
Echo Height from Back Surface

勝又健一、森山茂樹、山田尚雄、星野充宏、高橋雅和、
後藤智信、成瀬 健
平成9年1月
日本非破壊検査協会

第4回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集

超音波垂直探傷において、探傷面が粗くなると深触子から試験体へ入射する超音波の効率が低下する。また、受信する場合には超音波の受信効率が低下する。両者の積は伝達損失と呼ばれ、損失が大きいくほど探傷感度が低下して欠陥の検出に影響を及ぼすことになる。本報告は、試験体の面のあらさと伝達損失との関係を測定したものである。なお、あらさによる反射損失も併せて調べた。

減衰の異なる2種類の鋼試験体、計15本の片面には放電加工で4~215 μm のあらさを与えた。加工した表面の最大あらさRmaxの異なる試験体は各々9本と6本である。用いた探触子は周波数5MHzがパルスの波数は3と4の2種類、2MHzの探触子は波数が2である。これらは接触媒質には一般的に使用されているソニコートを使用した直接接触法で実験した。伝達損失試験体のあらさ面を探傷面として底面エコーの高さを調べ、反射損失は試験体平滑面を探傷面として底面エコーの高さを測定した。反射損失及び伝達損失の両測定とも第1回目の底面(B₁)エコーである。

探触子が5MHzにおける伝達損失は最大あらさが粗くなるにしたがって増加し、約100 μm からは変化がみられなかった。ただし、波数が3と4を比べると波数の少ない探触子の方が損失が小さくなる傾向を示した。この傾向はあらさが100 μm 以上で顕著であった。2MHzの探触子では最大あらさとともに増加した。この特性は減衰の異なる両試験体とも同様であった。あらさと伝達損失との関係は最大あらさの半分が接触媒質で満たされているものとしたパルス伝搬による数値実験に比べた場合、実験値と計算値はほぼ対応していた。反射損失では最大あらさが最も粗い試験体までエコー高さには変化がなかった。結局、5MHz及び2MHzでは最大あらさが100 μm までの範囲では損失が生じていないことが分かった。B₁以降の多重エコーの高さは、探傷面のあらさが小さいほど低下していた。

船舶航行の安全評価シミュレータ

Safety Evaluation Simulator of Ship Navigation

金湖富士夫
平成8年6月
情報処理学会
情報処理第37巻第6号

テクノスーパーライナー、高信頼度知能化船等、これまでの枠を超えた新しい概念に基づく船舶が開発されている。それらの船舶が実海域で航行可能になるためには、それらの船舶の航行における安全性をシミュレータにより評価し、関係者を納得させることが必要である。

船舶技術研究所では、新たな概念に基づく船舶の安全評価を行うためのシミュレータの開発を実施し、このシミュレータを用いて多くのシミュレータ実験を行い、そのような新たな概念の船舶の安全評価を実施してきた。

ここでは、情報処理学会誌の読者を対象として、船舶と運航技術の最近の動向を示すとともに、同シミュレータ(SISANAM)の特徴、および、SISANAMによる安全評価の例として、高信頼度知能化船と大型高速船の評価例を示している。

SISANAMは、本来、高信頼度知能化船の評価のために作成されたものであり、知能化船では、アクチュエータの自動化のみならず、運航時の人間の判断をも自動化することを目標にしていたため、SISANAMでは、これらを十分に評価できること、すなわち、生じ得る状況を十分に模擬できることが要求された。このため、SISANAMでは、船舶の操縦運動モデル等の物理的挙動を模擬するモデルとして、できる限り精度の高いものを用いるだけでなく、交通流も現実に近いものにするために、交通流をなす各船舶がそれぞれ独自の動きを可能にするように、航行の実世界の要素を、オブジェクト指向的な考え方で模擬している。

高信頼度知能化船の安全評価においては、主に東京湾内の航行における知能化船の性能が試験されたが、プロジェクターによるリアルタイムでの画像等を用いた専門家によるコメントに基づく改良が何度となく実施され、満足できる性能を発揮することができた。また、大型高速船の安全評価においては、一般船舶に脅威を与えずに航行するための方法および航行可能な交通環境、そして、安全航行に有効な運航体制を求めることができた。

以上のように、SISANAMは、高信頼度知能化船、大型高速船の航行の安全評価のための有用なツールであることが確認され、また、今後出現するであろう種々の運航形態を持つ船舶の安全評価にも威力を発揮すると期待される。

機関室における火災感知器配置

Study on Location of Fire Detectors in Engine Room

太田 進
平成8年10月
日本船用機関学会
第57回講演会 講演前刷

船舶の機関室火災による損害を低減するには、まず、火災を早期に探知することが重要である。そのため、一定以上の大きさの船舶の機関室に対しては、規則により火災感知器の設置が要求されているが、火災感知器の配置の詳細は規定されていない。効果的な火災感知器配置を検討するには、機関室内における火災の発生場所、即ち着火源について調査する必要があるのに対して、機関室火災の実態は、過去に主として燃焼物の観点から調査されているが、着火源の観点からは論じられていない。

当所では、従前より海難審判採決録に基づき、火災及び爆発に関する事故例のデータベースを作成している。このデータベースを用いて1979年～1993年に発生した総トン数100トン以上の貨物船及び旅客船の機関室火災事故例27件を抽出し、これら事故例の採決録を主として着火源の観点から詳細に調査した。

調査の結果、機関室火災の大半は航海中に発生すること、多くの航海中の機関室火災においては、燃料油や潤滑油といった可燃性油が出火燃焼物となり、且つ、防熱や油密措置が完全でない、または施工されていない、排気管系統の高温表面が着火源となっていることなどを明らかにすることができた。さらに、排気管系統の中でも、特に①過給機、②排気集合管、③排気管伸縮継手の三箇所から出火する場合が多いことが分かった。

結論として、これら三箇所から出火した場合に、その熱または煙を迅速に捉えられる場所に火災探知機を追加すれば、多くの機関室火災を早期に探知できる可能性が高いことを示した。

ホルムアルデヒドのYAG 倍波励起による蛍光寿命測定

Measurements of Fluorescence Life Time of Formaldehyde Excited by YAG Harmonic Generator

山岸 進
平成8年11月
第34回燃焼(日本)シンポジウム前刷り集

LIF(Laser Induced Fluorescence: レーザ誘起蛍光) は高感度な計測方法であり、微量成分検知や積極的に蛍光物質をシードした計測等に使われているが、高圧条件における定量化にはクエンチングに付いてのデータが必要であり大きな課題となっている。減圧火災中のOHについては、実験的にクエンチング速度を直接時間履歴から測定する方法も用いられたが、大気圧下では2原子分子OHのクエンチ速度がエネルギー遷移に比べて速いため用いられなかった。衝突によるクエンチ効果を蛍光の時間的な変化から直接的に評価するためには、理論的または実験的に分かっている真の放射寿命と実験的に蛍光寿命を求める必要がある。ホルムアルデヒドについては理論的解析も進んでおり放射寿命について計算と減圧下での多くの実験値が報告されている。一方、大気圧下での蛍光寿命の測定には励起レーザーのパルス幅に比較して十分長いものでなければならないが、YAG(Yttrium Aluminum Garnet)レーザーの3、4倍高調波は10nsec以下のパルス幅であり、多原子分子の場合、エネルギー準位間隔が密であり内部緩和が非常に速く行われるため、衝突によるクエンチング速度を測定することが可能と考えられる。

ストリークカメラによる直接測定の結果、大気圧下(室温)での窒素希釈のクエンチングレートは 10^7sec のオーダーであることが分かり、ホルムアルデヒドの蛍光量子効率が0.0078と実験的に求められた。スペクトル的には、YAG 3倍波励起では、ホルムアルデヒドの広い波長範囲にわたって強い蛍光スペクトルが観測され、類似の構造を持つ蛍光がアセトアルデヒドとアセトンにも観測されるが、その強度はホルムアルデヒドに比べて弱いことが分かった。YAG 4倍波励起では、ベンゼン、エタノール等アルコール類には強い蛍光が観測されるが、H₂COの蛍光は非常に弱く他の干渉が強いので4倍波による観測は適さないことが分かった。

海難の実態と船舶からの避難・救命システムについて

The Marine Casualty and Lifesaving System

長田 修

平成8年12月

日本造船学会誌

810 1996/12

大型のタンカーや客船等に海難事故が発生すると、事故原因ならびに船舶及び人命の災害状況が調査され、船舶の構造・設備・救命設備等、主としてハード面から関連規則の改正がされてきた。しかし、エストニア号など最近の大型船舶の海難事故対応に際して、船舶管理、ヒューマンファクター等ソフト面での重要性が指摘され、船舶及び救命設備を総合的に検討しようという機運が国際海事機関(IMO)で高まり、国内でも各種の検討がされている。

今までの海難事故調査は、船体損傷面からみた場合が多いが、本稿では、救命システムの信頼性と安全性を検討する見地から、海難の種類と乗船者の避難・救助脱出方法との関係に重点を置き、日本周辺海域では、海難審判の現況、要救助海難統計、海難審判採決録から、世界では、LLOYD'S WEEKLY CASUALTY REPORTS からのデータをもとに調査・分析した。

また、新自由降下式救命艇の開発等、国内で現在実施されている救命システム関連の調査研究の実施状況についても解説し、個々の救命設備の安全性・信頼性の評価は、環境(海・気象、海難事故による本船損傷状況の推移、救難体制)、船舶・乗客、及び、その他の救命設備からなる救命システムの一環として考え、その積付・性能基準の改善に結びつける必要があることを述べた。

海難事故による船舶の損傷状態の報告は多いが、人命に直接関連する乗員の脱出・救助状況に関する詳細なデータは不足している。これらのデータベースの構築と事故分析に関する調査研究は、継続して実施されることが重要であると考えている。

Lidar Observation of Convective Boundary Layer with Continental Cold-Air Outflows

大陸からの寒気吹き出しのある対流境界層のライダー観測

山岸 進、山之内博、土屋正之

平成8年12月

酸性雨国際シンポジウム講演論文集

国境を越えて長距離輸送された大気汚染物質による環境破壊が国際的な問題となっており、東アジア地域では汚染物質が海上を輸送されるため、欧米のモデルをそのまま導入することはできず、独自のモデルを用意する必要がある。しかし、海上での汚染物質の移流拡散に関するデータは陸上に比べて極めて少なく、モデルの検証は十分行われていない。本報告は、広域観測を行うに有効なライダーを用いて、冬季日本海での寒気の吹き出しに伴う対流の観測結果とその解析である。隠岐酸性雨観測局の構内に移動型ライダーを設置して、随時ゾンデも放球して観測を行った。

1995年12月1日北西太平洋に発達した低気圧があり、西高東低の冬型となり大陸からの寒気の吹き出しが観測終了の7日まで続いた。大気境界層内には強い対流現象が生じており、ライダーでは時折海面近くに基のあるブルームが明瞭にライダーで観測された。境界層上部に発達した雲はほぼ一体化してその厚さは約1 kmから3 kmに達していた。このような状態で北の風が続いた場合はSO₂濃度はトレースレベルであったが、西よりの風に変わった後約16時間たつと、SO₂のピークが観測された。これは冬季大陸から汚染物質が輸送される気象状況の一つの典型例と考えられる。ゾンデによると接地層と雲頂に強い温度逆転が観測された。これから求めた担当温位(equivalent potential temperature)が海面近くから雲頂まで層内が一様であることから熱、運動量の交換が活発に行われていることが示された。汚染物質はこの厚く発達した層内を運ばれているものと推定され、海上観測でよく見られる大気安定度が中立あるいは弱い不安定の場合と大きく異なっていることが分かる。

さらに、混合層内のエアロゾル濃度変化の周波数減衰特性をFFTで周波数分析した結果、高度に関わらずほぼ一様な特性を持ち、速度変動の-5/3乗則に近いことが示された。ライダー観測によるエアロゾルの乱れの分析は、大気構造を観測する上で有効な手法になると考えられる。

原子力における確率論的安全評価法 (その2)

Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Plants (Part 2)

松岡 猛

平成8年11月

日本信頼性学会誌 Vol.18 No.7、11月号

原子力分野で導入されてきている確率論的安全評価法 (PSA: Probabilistic Safety Assessment) についての解説で、3回連載の第二回分である。今回は、PSA において主要な役割を果たしているシステム信頼性解析の各種手法について解説を行っている。従来PSA においてはフォールト・ツリー解析が主として用いられてきたが、近年動的な挙動を示すシステム解析のため様々な手法が提案されている。

定性的な解析方法としてのFMEA、古典的な方法である信頼性ブロック・ダイアグラム、フォールト・ツリー、マルコフ解析、GO手法についての概要説明である。

ベトリ・ネットは離散事象システムについての解析手法であり、グラフ的な方法が用いられている。機能を拡張した種々のベトリ・ネットがあり、最近PSA への応用も試みられている。

ダイグラフ・マトリックスは大規模システム解析に適用され、故障許容解析、システム信頼性解析、予測シミュレーション診断が可能となっている。ダイナミック・イベント・ツリーは時間軸を明示的に表示した解析方法で、同一の事象でも発生時刻が異なるとツリー中の別位置に分歧が現れる。人間信頼性解析にも活用できるが手法の完成までには今後の研究が必要である。

成功状態に着目してシステムの論理構造をフォールト・ツリーに似た形に表現し、時間要素を組み込んだブール代数を定義しシステムの動的挙動に対応できるようにしたダイナミック・ゴール・ツリーがある。

プロセス変数を連続量としたセミ・マルコフ・モデルとして取り扱い、相空間の中でシステムの状態遷移を考える連続イベント・ツリー解析法もある。

動的システムをモンテカルロ・シミュレーションを応用して取り扱うディスクリット・イベント・シミュレーションは厳密な解放でないため比較的大きなシステムも取り扱い可能である。プラント挙動の決定論的モデルと機器信頼度の確率モデルを結合した解析方法としてDYLAM があるが対象システムが大きくなると解析に長大な時間を要する。

最後に船舶技術研究所で開発されたGO-FLOW 手法について概要が述べられている。

MCNPを用いたラジオアイソトープ電池の制動X線の計算

Calculation Using MCNP Code for Bremsstrahlung Photons Emitted from Radioisotope Battery

大橋厚人、植木紘太郎、千田哲也

平成8年7月

Proceedings of the Sixth EGS4 Users' Meeting in Japan

近年、海中動力源、自動気象観測、宇宙開発等の幅広い分野で、安全でメンテナンスフリー、長寿命、小型、軽量の分散型の電源が求められ、その一つとしてラジオアイソトープを熱源とした熱電発電システムが注目されている。本研究では、核分裂生成物の中で生成率が高い、ストロンチウム-90 (^{90}Sr 、 β 崩壊、半減期28.8y)を用いたRI電池を取り上げ、この熱源部分を傾斜構造化することにより、どの程度放射線線量が低減可能かを計算した。

解析には、米国ロスアラモス国立研究所で開発された、連続エネルギーモンテカルロ計算コードMCNP 4A を用いた。この計算コードの電子輸送の部分は、米国サンディア国立研究所で開発されたITS コードが組み込まれている。計算コード、 β 線スペクトル等の入力データの信頼性を確かめるため、ストロンチウム-90 を用いたNaumann and Waechter(1965)の実験を解析した。その結果、実験値と良い一致が得られ、関連した計算について十分な信頼性を持つことが証明された。

一方、ラジオアイソトープ熱源からの制動X線の計算のため、基本構造として、内側にチタン酸ストロンチウム、外側にホウ化窒素の2層中空モデルを設定した。この境界に新たに混合層を作り、混合層の厚さを変化させ、どの程度放射線線量低減ができるかを計算した。

電子輸送を含めた計算は非常に時間がかかるため、まず、電子のcut off energyを切り上げた、混合層の変化による線量変化の傾向のみを調べる簡略計算をおこなった。この計算により、最小値の位置の日安をつけ、その最小値付近において通常の設定で計算した。その結果、3層では、12.0~17.5cmを混合層としたとき最小となり、基本構造の吸収線量から17%の線量を低減できた。

Ice Effect Factor of Propulsive Performance of a Ship in Ice-Covered Waters

氷海航行船舶の推進性能における氷影響係数

小山鴻一、宇都正太郎、吉田三雄

平成9年2月

オホーツク海・氷海研究グループ

第12回オホーツク海と流水に関する国際シンポジウム
講演要旨集

本論文は、船舶の砕氷航行時の推進性能について論じている。

既に確立されている水槽試験解析法を推進性能推定に活用することは、どの様な船の場合においても基本的に重要である。氷海域を航行する船の場合においても同様である。ただし、氷の海域と氷の無い海域とでは船体周りの流れの様子が異なるので、氷海域航行船の場合は確立されている水槽試験解析法に修正を加える必要があるかも知れない。本論においては、氷海試験水槽における模型船の推進性能試験の解析結果を示し、そこにおける問題点とその改良を示すことによって、Ice Effect Factor(氷影響係数)を用いた新しい解析法を提案する。

供試船は最近オホーツク海で運航を開始した小型の砕氷型巡視船「てしお」であり、2軸2舵、推進器はダクト付き可変ピッチプロペラである。推進性能模型試験は、自航試験でなく荷重変更試験法により行った。その試験は、船舶技術研究所の氷海水槽において平坦水中で行い、更に、通常水槽で氷の無い状態でも行った。

従来法によって、水中推進性能試験のデータを解析すると、伴流係数 $1-w$ の値が極度に大きな値を示し、物理的理解を不自然なものとする。これに対し、新解析法においては、この様な不合理な表示は無く、Ice Effect Factor という係数を用いることによって、理にかなった解析結果を得ることができる。この方法においては、水中模型試験に加えて、氷の無い状態における荷重変更試験が必要となる。Ice Effect Factor の主要項は、氷の無い状態と水中状態におけるプロペラトルクの比となっている。

Statistical Data of Offshore Structure Accidents from View Point of Maintenance

保守管理から見た海洋構造物の事故について

在田正義、高井隆三、金原 勲、中川賢一郎、宮鍋僚一

平成8年10月

テクノ・オーシャン国際シンポジウムプロシーディング

日本造船学会海洋工学委員会設計部会に設置された「海洋構造物の保守点検に関するWG」の活動の一環として取りまとめた論文である。

海洋構造物の建造数が減少しているため海洋構造物の高齢化が急速に進行していること、また超大型海洋構造物の建造が検討されていることから、海洋構造物の保守管理技術に注目が集まっている。そこでこれまでの海洋構造物の事故を保守管理という観点から見直した。

各年度毎の海洋構造物の船齢分布を、1994年時点での船齢別残存率をもとに計算し、今後の建造数を当該年に退役した海洋構造物の数と仮定し、計算した船齢別残存率を適用して、今後の船齢分布を予測した。このことから、今後数年は急激に高齢化が進行してピークに達し、その後は一種の安定状態に達することが判った。

事故と保守管理との関係で、最も結びつきが深いと考えられる船齢と事故との関係を調べた。船齢と事故率との関係から、船齢1年未満で起こる事故は極めて多い(初期故障)が、これは急激に減少し船齢10-11年で極小値となる。その後は増加に転じ船齢14-15年で極大値となり、さらに船齢が進むと緩やかに減少する。24-25年で極小値となり、26年以降は増加する。極大値を示す船齢14-15年は、防食対策が十分でない場合に腐食ないし腐食疲労の進行がある程度の累積量に達する時期に相当すると考えられる。このことから、ドック・インによる検査・補修が困難な海洋構造物では、船齢10年以上で特に入念な検査が必要ながわかった。

事故原因を、保守管理と関係が比較的深いものからあまり無いものに分類し、比較的深いものについては、これに船齢との関係を調べることによって、事故と保守管理との関係を探ってみた。構造損傷は事故原因のうち最も保守管理との関係が深いと考えられるが、船齢と事故率との関係は、先に示した一般的な船齢-事故率カーブよりもさらに海洋構造物特有の、中位船齢で事故率が著しく増加する傾向を示した。この傾向は、事故原因の一つである暴噴では見られなかった。このことから、中位船齢での事故率増加は、海洋構造物の保守管理の困難さからくることが裏付けられ、設計段階で保守管理計画を織り込んでおくことの大切さが明らかとなった。