

所外発表論文等概要

〈推進性能部〉

Recent Progress and Future Trends in CFD for Ship Flows

—What has the CFD Workshop
Tokyo 1994 Brought Us?—

船まわり流れに関する CFD の
最近の発達と将来の動向

児玉良明

平成6年6月

Korea-Japan Joint Workshop on CWC

船まわりの CFD (計算流体力学) の特徴は、流線型であること、波を生じること、プロペラが船尾で作動すること、等であり、その実用化のためには船舶流体力学独自の努力が必要とされている。当研究所では、過去約10年にわたって CFD の研究を行ってきたが、その一環として、当研究所が中心となって船まわりの CFD に関するワークショップが今年開かれた。

今日までの研究成果を、ワークショップでの発表結果とともに示した。船まわりの流れは、抵抗値は高精度で計算できるが、伴流分布は細部の精度が低く、乱流モデルの改良が必要である。船体造波の計算は、高フルード数では波紋・造波抵抗値ともに精度が高いものの、船体から離れた位置では減衰が著しい。碎波は、実験データを基にモデル化を考え、2次元問題について計算結果と実験結果を比較した。プロペラまわり流れは、粘性影響を精度高く考慮した CFD 計算によって、尺度影響が明らかにされた。プロペラ・船体干渉は、プロペラの回転成分も考慮に入れた計算を可能にし、プロペラ推進効率等を推定した。

今後の CFD 研究の動向について以下の言及を行った。CFD の普及に伴い、実験の形態も変化することが予想される。最適化は、CFD の計算結果の設計での自動活用する方法として重点的に研究されるべきである。直接シミュレーションは、乱流成分も含めて、何等のモデルも用いずに流れをシミュレートするので、特に流れの微細制御による粘性抵抗低減の研究に役立つと思われる。いずれにしても、今後の CFD 研究は、高度な計算機能を前提としたものが主体となるであろう。

Computations of Free Surface Flows Around a Ship by a Multigrid NS Solver

マルチグリッド NS ソルバーによる
船体まわりの自由表面流れの計算

日野孝則

平成6年7月

Proc. Workshop on Wave Resistance
and Viscous Flow

Multigrid 法を用いた Navier-Stokes ソルバーを船体まわりの自由表面流れの計算に応用した。

計算手法は、擬似圧縮性を導入した Navier-Stokes 方程式を基礎式とする。空間については、有限体積法で離散化し、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、Runge-Kutta 法を使用した。また、局所時間刻み法、残差平均法、Multigrid 法によって収束を加速している。乱流モデルには Baldwin-Lomax の代数モデルを使用した。さらに、非線形の自由表面条件を組み込むことで、船体まわりの自由表面流れのシミュレーションを可能とした。

計算は、Wigley 船型と Series 60 ($C_b=0.6$) 船型を対象とした。計算結果の波紋図や船側波形を実験値と比較し、船体近傍の自由表面波は精度よくシミュレートされていることが示された。しかし、船体から離れたところでは、計算波形は減衰しており、実験値とあまりよく合っていない。そこで、格子をさらに細かくした計算を行なったところ、結果は改善され、船体から離れたところでもある程度まで波形をシミュレートできることが分かった。また、船体から離れたところでの格子密度の変更は、計算波形には大きく影響するが、船体抵抗の計算値にはあまり大きな変化が見られなかった。計算結果の格子依存性については、さらに詳しく検討する必要がある。

海面効果翼船の特性と運動モデルについて
Simulation Model and Characteristics of Motion
for Wing-In-Surface-Effect-Ship

不破健、南佳成、塚田吉昭、長谷川純、堀利文

平成6年11月

西部造船会々報 第89号

海面効果翼船の設計に関する検討
Case Studies on the Design of
Wing-In-Surface-Effect Ship

角川明、高橋孝仁、不破健

平成6年12月

日本機械学会 第3回交通・物流部門大会論文集

海面効果翼船(WISES)は海面付近の低空を航行し、海面効果を利用して高揚抗比を得ることができる。一方、WISESの空力特性は海面効果により高度に応じて大きく変化し、運動特性にも大きく影響を及ぼすと考えられる。これより、WISESの安全性の観点からWISESの運動特性を把握することは重要である。本論文では、WISESの高度に対する空力特性の非線形性を考慮した運動モデルを構築し、WISESの運動特性を考察した。

ここで構築したモデルでは、運動方程式を非線形的な空力項を用いて記述する代わりに線形微分方程式とし、その微係数が高度に依存することにより大局的な非線形性を表現することができる。具体的なアルゴリズムとして、高度を有限の区間に分割し、その区間内では微係数が一定であると仮定して線形微分方程式を用い、高度変化に合わせて区間ごとに微係数を変更していく。また、このモデルを用いることにより、微小運動に対しては線形モデルの解析的な検討手法を適用することができる。

WISESの代表的な形状として水槽、風洞実験で空力特性を計測したりピッシュ型WISESについて、特性根による安定解析や運動のシミュレーションを行った。以下に得られた主な結論を示す。

- 1) 風洞内で前後方向を固定した状態での運動計測実験を行い、実験結果と運動シミュレーションを減衰特性の点で比較して運動モデルの妥当性を検討した。固有振動数には定量的に不一致はあるが、減衰率は実験と定性的に良く合っていた。
- 2) 安定解析の結果から、検討したすべての範囲の高度で静安定であり、高度が低い方が安定性が大きくなる。また、高度変化による特性根の軌跡から高度が低い方が動的にも安定性が大きくなることが分かった。
- 3) 高度による運動特性の変化を調べるために、異なった高度でインパルス的な外乱を与えてシミュレーションを行った。低い高度の方が、高い高度に比べて減衰が大きいことが確認された。また、外乱が大きい場合は、応答波形の歪みや初期の平衡状態とは別の平衡状態に移行することから、WISESの非線形特性を考慮することが重要であることが示された。

次世代の超高速船として注目されている海面効果翼船(WISES: Wing-In-Surface-Effect Ship)は各国で研究されており、そのため実用化に合わせて安全性の評価基準を確立させることも必要である。その基礎的研究の一環として主翼形状が矩形翼型および逆三角翼型のWISESの概念設計と若干の検討を行った。

WISESは、空中翼の揚力で重量を支持し、舵・昇降舵などの制御面により釣合いと安定性を維持するので、基本的には航空機と同一である。航空機と異なる点は水および波との関係である。海面効果を有効に利用するための翼の形状の選定、および安定性の確保が設計のポイントである。WISESの概念設計用CADプログラムは、航空宇宙技術研究所で開発されたISAACを基礎に若干の改造を加えたものである。設計するWISESと競合する交通機関としては、短距離・中距離の航空機を想定し、航続距離および乗客数を、それらの航空路線を参考にして経済性の面から検討した。経済性の相対評価の指標として、消費燃料の指標であるDOC-Fuelを用いた。その結果、設計するWISESの設計要件を、航続距離300海里および乗客数100人とした。巡航高度は有義波高1~1.5mの日本近海で航行するため3mとした。

設計対象とした主翼形状は、矩形翼と逆三角翼である。矩形翼は、WISESの特性を理解するため、翼自体の空力性能の理解し易さから選定した。概念設計用CADプログラムにおける海面効果内の空力特性の推算は、揚力線理論に基づく推算式を使用した。逆三角翼は、平面形がほぼ三角形で下反角があり、翼断面が大きいキャンバーを持つ薄翼である。概念設計用CADプログラムにおける、逆三角翼の海面効果内での空力特性は、アスペクト比が2で翼後縁形状を放物線としている翼型モデルの試験結果による実験式から求めている。

CADプログラムにより翼面荷重および主翼アスペクト比について検討した結果、翼面荷重を300kg/m²とし、アスペクト比が4の矩形翼、およびアスペクト比が2の逆三角翼を持つWISESを設計した。それによると乗客100人程度の大きさのWISESでは、航続距離が300海里以下、巡航高度と主翼の平均翼弦長の比が1.0以下の範囲で経済的にも航空機に対抗し得る航行性能を持つことが明らかとなった。逆三角翼型WISESは、アスペクト比が2~3程度であれば矩形翼型WISESと同様の航行範囲において同程度の航行性能を持つことが推測された。

Generation of 2D, 3D, and Surface Grids
Using the Implicit Geometrical Method
陰的幾何学的方法による2次元、3次元、
表面格子の生成
児玉良明
平成7年1月
Americal Institute of Aeronautics and
Astronautics 33rd Aerospace Sciences
Meeting AIAA Paper 95-0218

構造格子の新しい生成法である陰的幾何学的方法が開発された。本方法においては、生成された格子がもつべき性質を直交化・平滑化・集中化・最小間隔の確保の4つに集約する。それらを格子点の幾何学的な位置関係情報に基づく作用素として具体化し、適当な重みづけの下に組み合わせて使用する。初期格子を適当に生成し、これら4つの作用素を適用して逐次的に形状を変更し、最終的な格子を生成する。作用素の作成においては、作用素間の干渉が極力小さくなるように配慮された。平滑化の作用素は格子点座標の4階微分に相当し、従来から広く用いられている楕円型偏微分方程式法におけるLaplaceの作用素の一般化であることが示された。直交化の作用素は2次元格子について構成され、簡単な操作によって3次元に拡張された。集中化の作用素は1方向のアルゴリズムであるため、2次元・3次元で共通である。

2次元格子は、迎角が0度から90度までのNACA0012翼型まわりに生成され、他の格子生成法では不可能なような困難な場合においても高度に直交化された格子生成が可能であること、直交化と平滑化の併用によって、格子の直交性を損ねることなくスムーズな格子が生成できること、等が示された。

3次元格子は自動車運搬船の船体まわりに生成された。2次元格子について作られたアルゴリズムが簡単に3次元に拡張できることが示された。

表面格子は、船体表面において生成され、2・3次元格子生成と殆ど同一のアルゴリズムの適用によって、格子点が船体表面上を動くという拘束条件を満たしつつ、大きな時間ステップをとることができることが示された。

以上により、本格子生成法が同一のアルゴリズムで2次元・3次元・表面格子を取り扱うことができ、広い適用範囲をもつことが示された。

推進性能の研究動向—プロパルサに関する研究—
Recent Activities on Ship Propulsion
—Research on Propulsors—
右近良孝
平成7年3月
日本造船学会 Techno Marine
(日本造船学会誌) 788号

日本造船学会では毎年造船の各分野における研究動向の解説をしている。本解説では最近の推進性能関係の、とりわけ、プロパルサ関係の研究動向について解説を行っている。本解説では、ハード別に解説を行い、現在のもっとも進んだ理論や実験の成果や今後の課題について述べている。

まず、在来型プロペラについて、在来技術を応用して明らかにされた最近の知見、CFDの様態に現在開発段階にあるプロペラの研究の進捗状況を報告した。特にCFDによる計算と船研で行った世界初の実船計測との比較を行い、縦渦現象が計算でも捉えることができている。複合型プロペラとしてダクト・プロペラや、二重反転プロペラ等の研究成果について述べた。その他、水中翼やヨットのセール等の最近の研究動向にも触れている。

次に、プロパルサと切っても切れない関係にあるキャビテーション研究の動向について述べた。キャビテーションを発生させないプロペラの研究やキャビテーションが発生することを前提に高効率のプロペラを設計する研究について述べた。特に、後者のスーパーキャビテーション・プロペラに関しては、我が国では著しい技術進歩があった。この他、基礎的理論的及び実験的研究の最近の動向についても述べてあるので、若手研究者ばかりでなく設計者のガイドブックとして役立つものである。

渦格子法を用いた

高性能スーパーキャビテーション・プロペラの設計

Design of High Performance Supercavitating
Propellers Based on a Vortex Lattice Method
右近良孝、工藤達郎、黒部雄三、松田登、加藤洋治
平成7年5月
プロペラキャビテーション95シンポジウム前刷集

船研では、渦格子法を用いたスーパー・キャビテーション・プロペラ (SCP) の性能計算法を開発し、スーパー・キャビテーション (SC) 状態のプロペラ性能を精度良く計算することができることを示している。また、プロペラ揚力線理論と2次元SC翼型性能計算法を組み合わせ、性能の良いSCPを設計する簡易な方法を提案し、効率の良いSCPを開発している。本論文では初期設計において渦格子法を用い、上記の設計法より厳密な揚力面補正法によりキャンバおよびピッチ補正を行った。次に最終設計段階において渦格子法によるSCP性能解析法を活用して、キャビテーションの発生を考慮したピッチ補正を行う手法を提案している。

ここではこの手法を具体的に用い、先ず60ktの超高速船用の高荷重SCPを設計した。SCP翼断面は従来同様、船研が開発したSRJNを用いた。船研の大型キャビテーション試験水槽で実験を行い、SCPの性能を評価した。その結果、スラストは14%小さくなったが、効率はほぼ予測と一致し、高荷重度のSCPとしては高効率なものが設計できている。次に50ktの高速船用のSCPとして、翼展開面積比を小さくして、翼正面キャンバにより揚力を稼ぐという設計条件を与えて設計することにより、プロペラ性能の向上を図っている。設計点で0.738という極めて高い効率が得られていることが実験で確かめられている。最後に、50ktの設計条件でSCPを設計しても、翼根部では必ずしもSC状態とならないことから、翼根部近傍ではサブ・キャビテーション・プロペラ用のエアロfoil翼断面を用い、翼端側では最適SC翼断面を用いて、実機ベースでの翼強度を満たしたSCPを設計した。実験で得られた効率は0.689にとどまったが、設計スラストを満たしたこの種のプロペラでは比較的高性能なSCPが得られている。

〈運動性能部〉

On the Dynamical Properties of Plunging
Breakers in Deep Water

深水域における巻き波砕波の動力的性質について
富田宏、沢田博史
平成5年6月

The Air-Sea Interface, University of Toronto Press

波崩れ現象は大洋表面における最も重要な過程の一つであるばかりでなく、それは大気海洋相互作用において大きな役割を果たしている。この論文では深水砕波の動力的性質について水槽実験によって得られた精密な観測結果に関する報告を行っている。実験は長さ36m、幅1m、型深さ2.5mの波浪水槽において行なわれた。

強い巻き込みを伴う砕波および典型的な崩れ砕波等を集中波造波法によって水槽内に生起させ、進行方向に沿った各点において水面変位の計測を行った。それらのデータから砕波による波動のもつ運動量の減少が評価された。1回の砕波により最大41%の運動量が波動より持ち去られることが分かった。また当該波群の総エネルギースペクトルのピーク値は砕波後にむしろ増大し、同時にピーク周波数のダウンシフトが生じることが見出された。このことは、波動の作用量が現象を記述する重要なパラメータであることを示唆するものである。

砕波前面における空気巻き込みの様子が高速ビデオカメラによって詳しく調べられた。またLDA (レーザードプラ流速計) を用いた砕波内部の非定常流速分布の計測によって水面近傍での強いジェット流の形成とその発達の様子が明らかにされた。また測定の大変難しい表面流速について、ヒルベルト変換を用いた間接的計測法の導入を行ない、強い表面乱流層の存在しない場合でのその妥当性を確認し、同時に測定値の信頼限界について考察した。実験に利用した集中波造波法についてこれを大振幅造波の場合にも良好な集中性が得られる様、非線形理論に基いた信号の改良を行った。

A Nonlinear Simulation Method of
3D Body Motions in Waves

波浪中3次元浮体の
非線形シミュレーション法について

谷澤克治

平成7年4月

Proc. of the International Workshop on
Water Waves and Floating Bodies

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、微小動揺の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。そこで本報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に資するため、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三次元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方法を提案し、主にその数学的な定式化を行った。本報で提案する方法の最大の特徴は流体と浮体の連立運動方程式を加速度場を支配する積分方程式に変換して解く点で、このため流体と浮体の運動量やエネルギーの保存則を極めて高精度で満たす解が得られるのが特徴である。従って、本計算法を用いれば、浮体に作用する非線形の波浪外力や浮体運動を高精度でシミュレートすることが可能であり、従来の計算法では精度が上がらなかった波浪中による漂流力等についても高い計算精度が期待できる。本報ではこの手法の数学的な定式化として、まずオイラーの理想流体の運動方程式をL. Prandtlの非線形加速度ポテンシャルを導入することで、加速度ポテンシャルに関する積分方程式に帰着させた。次いで、浮体の加速度と流体加速度との幾何学的な関係を明確にし、浮体表面で成り立つ加速度ポテンシャルの幾何学的境界条件式を導いた。さらに浮体表面での圧力分布と浮体加速度の関係式を用いて幾何学的境界条件式から浮体の加速度を消去し、浮体表面で成り立つ幾何学的かつ力学的境界条件、すなわち理想流体のオイラーの運動方程式と3次元浮体のオイラーの運動方程式を連立させるための陰条件式を導いた。また、加速度ポテンシャルの非線形項を支配方程式から境界条件へ移すことで、境界要素法等の数値計算により適した定式化を示した。

斜航する船体の船尾流場の計測
Measurement of Stern Flow Field of a Ship
in Oblique Towing Motion

野中晃二、二村正、原口富博、上野道雄

平成7年5月

日本造船学会論文集 第177号

船体に働く流体力の推定には、船体まわりの流場の把握が必要になるが、操縦流体力の推定においては、横力発生の主要因となる剝離渦流を含む船尾付近の流場の把握が特に重要となる。主要目は同じでも、船尾形状の違いにより大きく操縦性能が変化する例も報告されており、IMO 操縦性暫定基準の施行とあいまって、フレームライン等の詳細な船体形状の影響も考慮できる精度良い操縦流体力推定法の開発が急務となっており、そのためにも、操縦運動している船体まわりの流場の正しい把握が要求されている。

本研究では、操縦流体力推定法の開発に資する事を目的に、主要目がほぼ同じで船尾形状のみ異なる3隻のVLCC船型について、斜航時の船尾流場の5孔管による計測、タフトによる流場観測、および、斜航船体に働く3分力の測定を行い、斜航時の流場の特徴の把握、船尾形状と船尾流場、流体力との関係の把握を試みた。

流場計測では、二つの渦グループに代表される斜航時流場の特徴は、定性的には船型による大きな差は見られないものの、伴流分布、渦度分布の集中度、範囲、強さ等に船型により明確な差が現れた。流体力計測においても、横力、回頭モーメントそのものには大きな差はないものの、操縦性能に大きく影響する圧力中心に船型による明確な差が現れた。

本研究により得られたデータおよび知見は、今後の操縦流体力推定法の開発に有益な資料となる。

航海実績を加味した波浪荷重等の長期予測について
Influence of Ship Navigation on the Long Term
Prediction of Wave Loads

小川剛孝、渡辺巖

平成7年5月

関西造船協会誌 (224号)

稼働期間における船体応答の最大期待値や平均値等を推定することは、船舶の強度及び安全性を考える際に非常に重要な問題である。そのために、短期不規則海面における船体応答と就航海域における波浪の発現頻度を用いて長期予測が行われている。その際には、船速は一定で航行するとし、波と出会う方位も全方位同じ確率と仮定するのが一般的である。しかし、実際には航路によって波との出会う方は異なり、また、波高が高くなるなど海象条件が悪くなると船速は自然に低下し、さらに操船者が船体及び乗組員の安全が脅かされると判断した場合に意識的に減速、変針を行うことがわかっている。このことから、操船の影響や航路の影響を合理的に取り入れて長期予測計算を行う必要があるとされている。

航路の特徴については最近著者等によって調べられている。これによると波、風と遭遇する出会う方位の頻度は、北米航路は全方位にわたって均等なものに対し、インド洋航路では相対的に左舷斜め前方と右舷斜め後方からの頻度が高いこと等航路差が大きいことがわかっている。

操船の実態についてはログブック解析にもとづく調査データや実船試験によって収集されたデータなどがあり、船舶に危険な状態を抑える操船の実態が調べられている。また、操船の影響を考慮した長期予測計算については中村等により行われている。この計算法では、船首部上下加速度または、横揺が基準値を越えた場合に変針、減速を行うとしている。しかし、実際の操船においては、スラミング、海水打ち込み及びプロペラレーシング等も考慮する必要があるため、2つの応答値だけを用いて操船影響を考慮することは十分でない。また、Soares は実船データをもとに荒天時の意識的変針についてのモデル化を行った。しかし、荒天時の操船に関するデータは絶対量が少ないため、モデルの妥当性を評価するための操船データがさらに必要だと考えられる。

本稿では船舶気象通報データから求めた船速及び針路について統計処理をほどこすことにより、航海の実績を調べて、実績に基づいたモデルを提示することとした。更に、これを用いて操船や航路の影響を考慮した長期予測法を提案し、波浪荷重等の長期予測を行った。

斜航する船体の船尾流場計測
Measurement of Stern Flow Field around a Ship
in Oblique Towing Motion

二村正、野中晃二、原口富博、上野道雄

平成7年7月

可視化情報学会誌 (Vol.15 Suppl. No.1)

現在、船舶の操縦性能を推定する場合、船体に関しては船の長さや幅等の主要な寸法比から推定しているが、主要寸法は同じでも船尾の形状が違くと操縦性能が大きく変化する例が報告されている。ところで、船体に働く操縦流体力を推定するためには、横力発生のもとの主要因となる剝離渦を含む船尾付近の流場の把握が特に重要である。そこで、斜航する船体の船尾形状と船尾流場、流体力との関係の把握、操縦流体力推定法開発のための資料収集を目的として、主要寸法が同じで船尾の断面形状がV型、中間型、U型の3隻のタンカー船型について、蛍光タフトグリッド法による船尾流場の可視化、5孔ピトー管による船尾流場の計測、流体力計測を行った。その結果以下のことが明らかとなった。

- 1) 可視化実験に使用した紫外線発光ランプを用いた蛍光タフトグリッド法は、水槽での可視化法として十分適用可能であると言える。
- 2) 可視化実験等により、斜航角の増加に伴う船尾流場の変化の様子が把握できた。
- 3) 船尾形状の違いによる船尾流場の違いが把握できた。
- 4) 5孔管による流場計測により、流場計算等と比較できる精度の良い流場データが得られた。
- 5) 船尾形状の違いによる流体力への影響は、圧力中心位置の変化として顕著に現れる。

船舶の操縦運動は斜航運動と回頭運動の組み合わせであるが、本研究では斜航状態のみを扱っているため、今後、回頭運動時についても同様な流場データの収集が望まれる。

RORO 客船「エストニア」号の海難と
それに対する安全対策の動向
On the Disaster of RO/RO Ferry "Estonia"
渡辺巖
平成7年7月
(社) 日本損害保険協会 予防時報 182号

1994年9月28日深夜のバルト海において、エストニアのタリンからスウェーデンのストックホルムに向かう途中の RORO 客船エストニア号が転覆した。約1000人の乗客乗員を載せた15000ton の大型船が、荒天の海を航行中、突然に船首から浸水して転覆し、900名近くの命が失われるという大事故である。

RORO 客船は欧州のなかでは、日本とは比べ物にならないくらい生活の中に根付いている。バルト海、北海、地中海では、トラックやトレーラーによる物流の一環として、自動車ごと気楽に外国旅行にでかける手段として、多くの航路が設定されている。その安全性確保は何にもまして重要なことである。

RORO 客船では同種の事故が過去にも報告されている。1987年に英国の Herald of Free Enterprise 号の転覆がそれである。きっかけは違うものの最終的には船内に海水が浸水した結果、転覆に至った点とされている。

今回の事故が以前の事故と同様なものであったことから、現存する RORO 客船の安全性に重大な疑問が投げかけられるとともに、その安全対策の不備を世論、議会から強く批判されることになった。その結果、事故原因の解明と並行して現存する RORO 客船の安全対策の強化、安全基準の見直しが欧州を中心に論議されている。本稿は、RORO 客船の一般的特徴と復原性能上の問題点をまず紹介している。これに続いてエストニア号海難の詳細とそこで明らかになった問題点を次に述べる。更にこの事故を契機に議論されている安全対策の動向の紹介を行っている。とりわけ、筆者が参加した IMO (国際海事機関) における「RORO 客船の安全性に関する専門家パネル」の討議概要等に主眼をおいて紹介している。

〈構造強度部〉

FRP 積層板の衝撃圧縮特性
Mechanical Properties of Fiber Reinforced
Plastic Laminates under Impact Compression
小林佑規、田中義久
平成7年6月
日本機械学会
複合材料の利用技術講演論文集 No.95-14

強化プラスチック (FRP) 船は、高速化と大型化の傾向にあり、船体の使用条件はますます苛酷化しつつある。既存船には、主にガラス繊維強化プラスチックが船体に使用されている。高速化では、船体の波浪衝撃や海上浮遊物体との衝突などに対する船体の安全性の確保が必要であり、著者らは、FRP 船体の強度設計や耐衝撃設計に必要な積層板の材料特性を調査している。

本稿では、FRP 積層板とマトリックス樹脂の静的圧縮特性および落錘衝撃圧縮特性について示した。衝撃圧縮特性では、荷重と歪の計測波形から衝撃圧縮下の応力-歪線図を作成し、圧縮強度、歪および弾性係数の歪速度依存性について検討した。FRP 積層板は、不飽和ポリエステル樹脂をマトリックスとし、アラミドおよびガラスロービングクロス、ガラスマットの強化繊維からなる5種類である。

1. 静的圧縮試験からは以下の知見が得られた。

(1) 弾性係数、比例限界および破壊強度は、引張の線形複合則が準用できる。ただし、アラミド繊維強化の積層板は、繊維を考慮しない計算値が実験値に一致する。(2) 圧縮破壊は、マトリックスの引張剪断破壊が基になって生じる。ロービングクロス積層板の破壊は、マトリックスが比例限界歪に達したときとみてよい。(3) ロービングクロスは、アラミド繊維が座屈し易く、ガラス繊維が座屈しにくい。ロービングクロスとマットとのハイブリット化により積層板圧縮特性は改善される。

2. 衝撃圧縮試験からは以下の知見が得られた。

(1) 不飽和ポリエステル樹脂は、比例限界および最大圧縮強度が歪速度の増加とともに線形に増加する。圧縮歪は歪速度に依存せず、比例限界歪は静的特性値が保持される。(2) マトリックス樹脂の歪速度依存性を複合則に適用して計算すると、積層板の比例限界および最大圧縮応力は、安全側に推定できる。(3) 積層板の比例限界歪は静的圧縮の比例限界歪に等しく、ガラスマットは圧縮強度の向上に寄与する。

〈機関動力部〉

ホログラフィによる火炎温度計測
Holographic Measurement of Flame
Temperature Distribution

佐藤誠四郎

平成7年5月

可視化情報学会 燃焼場の可視化と計測

本稿は、可視化情報学会主催の「燃焼場の可視化と計測」講習会テキストとしてまとめたものである。

光の干渉を利用した計測法の特徴は、対象とする物体の情報が二次元的に一度に得られること、干渉縞という形で直接目で見るので、全体的な情報の把握に適していることである。ホログラフィ干渉法は他の干渉法に比べ、光学系の配置の自由度が大きくアライメントが比較的容易であること、光学系や観測窓などにそれほど高精度の部品を必要としないことなどの利点がある。またCT(計算機トモグラフィ)との組合せが容易であり、干渉CTを用いれば非正常燃焼状態の瞬時に於ける完全な三次元計測が可能となる。本測定法は、現状ではこのような三次元計測が可能なのはほとんど唯一の手法である。

本稿では、ホログラフィ干渉法と計算機トモグラフィを用いた火炎温度の三次元空間分布測定法を中心に、まず干渉CT適用に必要な多方向干渉光学系について、これまで提案されている方法をまとめ、それぞれの問題点などを考察した。干渉法による温度測定上の問題として、ガス組成の取り扱い、燃焼場による光線の屈折補正の考え方など研究の現状を述べた。また実際の適用例、本測定法のネックとなっている干渉縞の自動解析法、干渉CT法の今後の問題点や将来の可能性についてまとめている。

Influence of Fuel Properties on Combustion
and Emissions of Medium Speed
Marine Diesel Engine

船用中速ディーゼル機関の燃焼及び

排気エミッションへの燃焼性状の影響

塩出敬二郎、菊地正晃、桑原孫四郎、西尾澄人

平成7年5月

21st CIMAC Congress (Interlaken, Swiss)

大型船用ディーゼル機関に広く使用されている残さ油は、その性状はかなりばらついているのが現状である。燃料性状はディーゼル機関の性能、機関故障、排気エミッションなどに大きな影響を与えることは良く知られているが、具体的な効果についてはまだ不明なことが多い。それ故、燃料性状がディーゼル機関の燃焼及び排気エミッションとどのような関連性があるかを調査した。燃料性状の異なる13種類の残さ油及びエクストラクト油を船用中速ディーゼル機関で燃焼実験を行い、各燃料の燃焼特性、排気ガス組成、機関性能などを調査した。船用残さ油の着火性は機関性能や排気ガス組成に大きな影響を与えるものの一つであるが、蒸留油の着火性を表すものとして広く用いられているセタン価やセタン指数は残さ油には適用が困難である。残さ油の着火性を表すものとして CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index) や CII (Calculated Ignition Index) なるものが提案されている。この実験に使用した燃料油の CCAI の値は813から903までである。CCAI と船用中速ディーゼル機関による燃焼実験における着火遅れ時間との間には強い相関性 (相関係数 $R^2=0.777$) があることが分かった。CCAI と排気ガス中の窒素酸化物との間にも強い相関性 (相関係数 $R^2=0.761$) があることが明らかになった (図1参照)。これは着火遅れが大きくなれば初期燃焼量が増加し窒素酸化物が増加するものと思われる。また、排気ガス中の煤じんの量 (JIS Z8808) は燃料中の硫黄分の濃度に大きく左右されることも分かった。

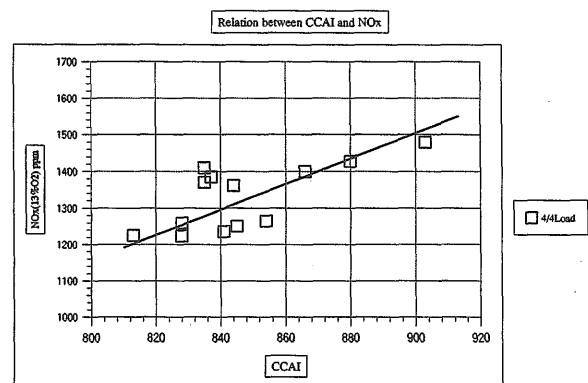


図1 CCAI と NOx の関係

〈材料加工部〉

き裂を有するセラミックスの
腐食雰囲気中の高温強度 (第3報)
Strength of Cracked Si_3N_4 Ceramics in
Hot Corrosive Environment (3rd Report)

宗像良幸、千田哲也

平成6年8月

日本機械学会第72期全国大会講演論文集 Vol. 1

アルミナ、イットリアを焼結助剤とする窒化ケイ素の亀裂材についてこれまで低質油燃焼バーナーリグを用いての引張試験と硫酸ナトリウムの塗布材の電気炉中での曲げ試験を行ってきたが前者ではデータ間のばらつきが小さかったが後者については試験条件が同一であるにもかかわらず亀裂強度に大きな差があった。このことを確かめるためより広範囲の試験条件を与えた試験を実施した。

試験温度を1100、1200°Cとする、亀裂としてビッカース圧子30kgf 圧入のものより (亀裂深さ0.3mm) より小規模なガラス切りによる亀裂 (亀裂深さ0.1mm) を与える、焼結助剤の異なる窒化ケイ素について試験するなどである。

これらはこれまで得た結果と本質的に変わるところはなく、熔融塩が亀裂の間に浸入するか否かによって強度は決まるようであり、セラミックスの強度試験で問題となる材料特性に基づくデータのばらつきではないことがわかった。

光学式超音波検出装置における
大振幅超音波応答の改善
Improvement of Optical Probe Response
on Large Amplitude Ultrasound

島田道男、吉井徳治

平成6年10月

日本機械学会論文集A編 60巻578号

近年、固体材料を対象としてレーザーを用いた超音波の発生検出が容易になったため、非破壊検査や材料計測をターゲットとした応用研究が積極的に行なわれるようになった。

著者らも、同手法に関する応用研究を行なっているが、薄板におけるレーザー超音波計測では、超音波検出装置 (ヘテロダイン干渉法) の出力波形が大きく乱れることが分かった。これは、大振幅超音波に対し、超音波検出装置が示す頭打ち現象であり、干渉信号から超音波信号を得るための復調法に問題があることが分かった。

従来の復調法の問題点は、干渉信号から位相信号を抽出するための逆三角関数演算にあり、 2π の整数倍の位相差を区別できないことである。そこで、位相信号を直接求めることを避け、一価の関数として計算可能な位相信号の時間微分を求める手法を工夫し、これを積分することにより、超音波信号を復調する手法を考えた。

本稿はこの手法に関して、以下に示す項目にしたがって、理論的および実験的に検討した結果をまとめたものである。

1. 頭打ち現象のメカニズムの解明
2. 信号処理法による新しい復調法の検討
3. 薄板における大振幅超音波計測実験 (新しい復調法による計測実験結果とこれまでの復調法による計測結果の比較)
4. 新しい復調法とこれまでの復調法の機能に関する比較検討
5. 新しい復調法の計測限界に関する理論的検討

新しい復調法の有効性が実験的に明らかになり、また計測法につきまとうノイズに関しても新しい復調法が有利であることが分かった。これによって、大振幅の超音波においてもDC~30MHzにわたる広周波数帯域で、超音波振幅の絶対値が計測可能となった。

Microstructure Measurement of
Plasma-Sprayed Alumina Coatings
プラズマ溶射アルミナ皮膜の微構造評価
高橋千織、千田哲也

平成7年5月

The Proceedings of the 14th International
Thermal Spray Conference

画像処理法および水銀圧入法を用いてプラズマ溶射アルミナ皮膜の微構造の解析を行った。画像処理法に用いた皮膜にはクロム酸含浸処理を施し、走査電子顕微鏡による研磨断面の組成像写真に画像処理法を適用した。皮膜内の微細な気孔にまで入り込んだクロム酸は観察試料作製段階での皮膜粒子の脱落や研磨材の入り込みを抑制すると同時に皮膜粒子と気孔の識別を容易にした。この結果、皮膜内の気孔の形態は粒子間に存在する溶射原料粒子と同程度の大きさをもつマクロな気孔、粒子内のミクロな垂直亀裂、ラメラ間の不完全結合部である幅の狭い気孔から成ることが確認された。溶射距離による気孔率の変化は画像処理法、水銀圧入法で測定したいずれの場合もほとんどなかった。しかしながら、微構造観察により溶射距離が長くなると皮膜内の気孔全体に占める不完全結合部の割合は高くなり、ラメラ間の空隙の幅は広がるが、逆に粒子内のミクロな亀裂が大幅に減少することが明らかとなった。また、溶射距離が長くなると個々のアルミナ粒子の扁平化の程度は低くなり、同時に α -アルミナである未溶融粒子の巻き込み量が少なくなって皮膜は γ 単相に近づいた。水銀圧入法による気孔径分布の測定結果は溶射距離が長くなるにつれて大きい方へシフトし、微構造観察の結果と定性的に一致した。このように画像処理法と水銀圧入法による微構造評価の結果は比較的良好に一致し、これら二つの評価法の有用性を示された。しかし、皮膜の微構造観察でみられたような $10\mu\text{m}$ 以上の気孔は水銀圧入法では測定されなかった。これは皮膜内部に比較的大きい気孔が存在している場合でも $2\mu\text{m}$ 以下の不完全結合部などがボトルネックとなっているためと考えられ、水銀圧入法により得られたデータの取り扱いに注意が必要であることが指摘された。一方、画像処理法では気孔の大きさや量を数値的に表すことができるだけでなく、気孔形態をも評価することのできる方法として期待されることが示された。

〈装備部〉

輻輳海域における大型高速船の
運航体制評価手法について

An Evaluation Method of Navigation System
of Large High Speed

Vessel in Congested Water Area

金湖富士夫、村山雄二郎、伊藤泰義、田中邦彦、
沼野正義、有村信夫、桐谷伸夫、福戸淳司、
宮崎恵子、原木信夫、今津隼馬

平成5年11月

日本造船学会論文集 第174号

現在世界各地で、高速船の更なる高速化、大型化が進んでおり、日本でもテクノスーパーライナー(TSL)という大型高速船の研究開発が実施されている。そのような大型高速船が輻輳海域に進入すれば、航行の場を乱し安全を疎外することが予想される。

したがって、輻輳海域における大型高速船の運航体制を評価する手法を開発し、それに基づき運航体制を評価すること、こうした評価に基づき、大型高速船の運航の安全を確保する運航体制を確立することは早急な検討を要する課題となっている。

本報告では、著者等が開発したシミュレータ実験を用いた輻輳海域における大型高速船の運航体制評価手法を紹介し、この手法に従って求めた評価基準量について報告する。

この手法は、高速航行する際に高速船が満たすべき運航の基準を策定してその基準を数値化し(これを評価基準量と呼ぶ)、次に、対象となる高速船が評価基準量を満たす限界となる輻輳度(限界輻輳度と呼ぶ)を求め、その高速船が運航を予定している海域の輻輳度と比較し、ほぼ同等であれば求めた限界輻輳度で交通環境を作成して、検討対象となる種々の運航体制のもとでシミュレータ実験を行い、最適な運航体制を求めるといものである。また、この手順において、限界輻輳度が対象海域の輻輳度よりかなり低い場合は、検討対象である高速船の操縦性能の設計変更によりフィードバックされる。

ここでは、評価基準量として、一般船の操船者の心理的許容限界となる大型高速船の避航開始距離(避航開始限界距離)を採用し、その値をシミュレータ実験により求めた。