

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

A Finite-Volume Method with Unstructured Grid for Free Surface Flow Simulations

自由表面流れのシミュレーションのための
非構造格子を用いた有限体積法

日野孝則、L. Martinelli, A. Jameson

平成5年8月

Proceedings of 6th International Conference on
Numerical Ship Hydrodynamics

自由表面流れは船舶流体力学において非常に重要である。造波抵抗は船体の推進性能の主要部分であり、大波高の波は海洋構造物に大きな損傷を与える。しかし、自由表面問題は非線形性のために、正確かつ効率よく流れの特性を予測することは難しい。

ここでは、オイラー方程式を基礎式とした有限体積法によって2次元自由表面問題を解く新しい方法を示す。空間の離散化には、非構造格子を用いており、複雑形状を扱う能力に優れているので、自由表面の動きに追従して、流体領域を変形させることが容易に行える。

擬似圧縮性を導入した支配方程式は、双曲型となり圧縮性流体のために開発された数値解法が適用できる。時間積分は多段階ルンゲ・クッタ法を用いた。空間積分は、三角形で構成される非構造格子で行う。

計算の収束を加速するために、いくつかの手法を用いている。局所時間刻みは、時間積分における時間刻みを局所的な安定条件から求める手法である。残差平滑化は、方程式の残差を空間方向に平均化することで安定条件を緩和する。多重格子法は、粗さの異なる複数の格子を用いて、収束を加速する手法である。

非線形な自由表面条件を用い、計算格子は自由表面の動きに追従して移動する。

2次元水中翼のまわりの自由表面流れのシミュレーションを行った。計算結果は、対応する実験データと良い一致を示し、本手法の有効性が確認された。

粘性影響の取り込み、3次元化に向けて、今後の研究を予定している。

渦格子法によるスーパーキャビテーティング・プロペラの設計

Design of Supercavitating Propellers Using
a Vortex Lattice Method

工藤達郎、右近良孝、黒部雄三

平成6年5月

日本造船学会論文集 第175号

著者の一人は前報「渦格子法によるスーパー・キャビテーティング・プロペラの性能計算」において渦格子法を用いたスーパー・キャビテーティング・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た。また、著者らは前報「スーパー・キャビテーティング・プロペラの設計」において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た。本報では渦格子法を用いて前報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い、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開発した。本手法を用い、先ず60kt 超高速船用の高荷重 SCP を設計した。プロペラ翼断面は前報同様 SRJN を用いた。船研の大型キャビテーション水槽で実験を行い、SCP の性能を評価した結果、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 としては高効率となった。次に50kt 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た。設計点で0.738という高い効率が得られた。更に、50kt の設計条件で設計しても翼根部では SC 状態とならないので、翼根部近傍ではサブ・キャビテーティング・プロペラ用の翼断面を用い、翼端側では最適 SC 翼断面を用い、実機ベースでの翼強度を満たした SCP を設計した。効率は0.689にとどまったが、設計スラストを満たした比較的高性能な SCP が得られた。

A Study of Grid Dependence in Navier-Stokes
Solutions for Free Surface Flows
around a Ship Hull

船体まわりの自由表面流れのナビエ・ストークス
解の格子依存性について

日野孝則

平成6年11月

日本造船学会論文集 第176号

ナビエ・ストークス方程式の直接解法によって船体まわりの自由表面流れを計算する際の解の格子依存性について、数値実験により検討を行なった。

通常、船体の近傍の領域には境界層内の急峻な速度勾配に対応するように、計算格子が集中している。このため、船側波形は精度良くシミュレートされているが、船体から離れたところでは相対的に格子間隔が粗く、波形の計算精度が悪い。そこで、船体から離れたところでの格子密度を変えたいいくつかの計算を行なった。

計算手法は、疑似圧縮性を導入したナビエ・ストークス方程式を有限体積法を用いて解くものであり、対流項は Flux Difference Splitting による3次上流差分で評価している。局所時間刻み、残差平均法、多重格子法等の採用により、収束を加速している。また、波形の発達に伴い、計算格子を各時間ステップで生成することにより、非線形の自由表面条件を満足させている。

105×25×57、105×33×105、153×33×105の3種類の格子を用いて、Series60 ($C_b=0.6$) 船型のまわりの自由表面流れ (フルード数0.316、レイノルズ数 4×10^6) を計算し、比較した。その結果、船体から離れたところの格子密度をあげることで解像度が向上し、自由表面波を良くシミュレートできること、また、抵抗値や船側波形は船体から離れたところの格子密度にはあまり影響されないことがわかった。

非構造格子による2次元非圧縮粘性流の計算
Computations of Two-Dimensional Incompressible
Viscous Flows with an Unstructured Grid Method

日野孝則

平成6年12月

第8回数値流体力学シンポジウム講演論文集

急速に発展している CFD 技術であるが、工学的設計ツールとして用いるためには、複雑形状物体のまわりの流れが簡便に計算できることが必要である。複雑形状の CFD 計算を困難にしているのは、格子生成である。単一のトポロジによる構造格子を用いた場合、複雑形状の格子生成は非常に難しい。そのような場合には、領域分割法または非構造格子法などの特別のアプローチが用いられる。

非構造格子法は、格子の形状適合性の高さから複雑形状物体まわりの CFD 計算の有力な手法と見られている。また、格子の相互依存性がないことから、解適合格子法への適用が容易であることも特長の一つである。欠点としては、計算効率が構造格子法に比べて良くないことがあげられる。しかし、計算手法の研究が活発に行なわれており、Massively Parallel Processor を始めとする計算機ハードウェアの進展と合わせ、効率の向上が図られている。

ここでは、非構造格子法を用いて、2次元非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を解く手法について述べる。支配方程式に疑似圧縮性を導入して、定常問題を解く。セル形状は三角形とし、変数は頂点に配置する。対流項は Flux-Difference-Splitting に基づき2次風上差分で、拡散項は中心差分でそれぞれ評価する。時間積分には Euler-Implicit Scheme を用いる。

平板および円柱を対象として低いレイノルズ数の層流の計算を行なった。平板の計算結果は、Blasius 解や、構造格子による解と速度分布、摩擦係数とも良く一致した。また、円柱のまわりの計算結果の圧力分布も他の計算結果と良く一致し、本手法の妥当性が検証できた。

今後は、乱流モデルの導入によって、高いレイノルズ数の流れのシミュレーションを可能にするとともに、さらに複雑な形状への適用を試行していく予定である。

非圧縮ナビエ・ストークス・ソルバーによる
浮体まわりの流れの数値解析
Numerical Analysis of Flows around a Floating
Body by Incompressible Navier-Stokes Solver
日野孝則
平成7年1月
第44回応用力学連合講演会講演予稿集

他の流体力学の分野と同様に、数値流体力学(CFD)は船舶流体力学においても有力なツールになりつつある。船舶のまわりの流れの大きな特徴は自由表面波の存在であるから、船舶におけるCFD技術においては、自由表面影響を考慮したナビエ・ストークス・ソルバーの開発が非常に重要な研究課題となっている。

ここでは、自由表面流れに対応する非圧縮ナビエ・ストークス・ソルバーの概要と計算例を述べる。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。

計算対象は、Series60 ($C_b=0.6$) と呼ばれる貨物船船型である。計算条件はフルード数0.316、レイノルズ数 4×10^6 である。これは長さ約3mの模型船スケールに相当する。153×33×105 (主流、深さ、横手方向)の格子を用いて計算した。

計算結果は、波形は実験値と概ね一致したが、抵抗値は計測値より小さめの値となり、手法の実用化のためにはさらに高精度の手法が必要である。

〈運動性能部〉

転覆確率を用いた横揺れ減衰装置の能力決定
Determination of the Capability of Roll Damping
Devices using Capsizing Probability
藤原敏文、池田良穂、梅田直哉
平成6年11月
Proceeding of fifth international conference on
stability of ships and ocean vehicles

船舶の縦揺れや横揺れを低減させる手法としては、ビルジキール、フィンスタビライザー、アンチローリングタンク等を用いることが考えられる。これらの装置は船体運動を小さくする効果があることから、同調横揺れによって起こる転覆事故を防ぐ役割を果たす。しかしながら、このような装置がどれだけ安全性に寄与しているかといった評価を行うことが今までは困難であった。

そこで本論文においては、横揺れ減衰装置の安全性に及ぼす影響を転覆確率によって評価することを提案し、この転覆確率の計算方法の妥当性を模型実験によって確かめた。この実験結果により転覆確率の算出方法の有効性が確かめられたので、内航貨物船を例に取りビルジキールの性能評価を転覆確率を用いることによって行った。このことから船の設計段階において、ある転覆確率を満足するビルジキールの大きさ、重心位置を任意の海象において決定することが可能になった。

また、転覆確率を求める際、運動方程式には線形の復原項を用いたが、このことに対する妥当性を模型実験、および数値計算の両面から検討を行った。この結果、評価に用いた2隻の内航貨物船に関しては、復原力の非線形性の影響がやや見られたものの、それほど大きな影響を与えないことがわかった。

今回は、横揺れ減衰装置としてビルジキールのみを考慮したが、アンチローリングタンクやフィンスタビライザー等の装置における減衰力が明らかになりさえすれば、転覆確率を計算することができ、この評価手法の意義は大きいと考えられる。

波浪中を航行する船舶に作用する波浪荷重について

On the Wave Loads Acting on a Ship

Running in Waves

渡辺巖

平成6年

日本流体力学会会誌「ながれ」

船舶の構造様式を考える上で、波浪によってどのような荷重が船体に働くかを知る事は重要なことである。このためには、船体と海洋波との相互干渉についての流体力学的な考察が必要である。本論文は船体に働く波浪荷重を求めるために、流体力学的な手法がどのように用いられるかを造船工学以外の流体力学研究向けに概説したものである。まず、波浪荷重の分類を行いそれを決定するための手順を紹介している。ここでは海洋波に関する情報の重要性が述べられる。次に船体と波の相互干渉の解明に用いられる流体力学的な定式化とその解法について述べている。ここでは三次元理論による厳密計算法と、設計等の実務で使われている近似計算法の考え方を紹介し、それによる結果が実際の値をどの程度良く説明できているかを論じている。最後に今後に残されている問題点について触れている。

〈材料加工部〉

アルミニウム合金 A6N01 押出型材溶接継手の
疲労強度とその改善法

Fatigue Strength of As Welded and Improved
Joints of 6N01 Aluminium Alloy Extrusions

松岡一祥、上村武、鎌田敬治

平成6年11月

日本造船学会論文集 第176号

近年、大型の軽構造高速船の計画、建造が増加している。これらの船舶の構造材料には、A5083を中心に、アルミニウム合金が使用される場合が多い。また、アルミニウム合金 A6N01 もその押出性の良好さから、使用実績が増えている。本報は、A6N01-T5 押出型材のすみ肉溶接継手の疲労試験を行い、応力集中と溶接残留応力の影響について、船体に使用実績の多い A5083 合金と比較、検討したものである。結論を以下に示す。

- (1) A6N01 合金の疲労強度に及ぼす応力集中および溶接残留応力の影響は、最大応力効果を考慮した等価応力範囲（下式参照）により統一的に評価できる。

$$S_{eq} = S^m \cdot S_{max}^{1-m} = K S_n \cdot \left(\frac{1}{1-R} + \frac{S_R}{K S_n} \right)^{1-m}$$

ここに、 S_{eq} は等価応力範囲、 S は応力範囲、 m は定数、 S_{max} は最大応力、 K は応力集中係数、 S_n は公称応力範囲、 R は応力比、 S_R は残留応力である。

- (2) 一方、A5083 合金では、平均応力の影響が大きく、等価応力範囲では評価できない。各寿命強度毎に平均応力/応力範囲関係を把握しておく必要がある。溶接継手については、0.2% 耐力程度の残留応力が存在するものとして取り扱うのが簡単である。

さらに、縦方向付加物の角回し溶接部の疲労強度改善法についても検討し、以下の結論を得た。

- (3) 縦方向付加物の角回し溶接部の有効な疲労強度改善法は、1) 角回し溶接止端部の研削、および、2) 角を仮付などで塞いだ後両側のビードを延ばして、疲労き裂発生個所を塞いだ角に誘導したものである。1) と 2) は同程度の疲労強度である。2) は特にスロット穴の角に有効である。

Fatigue Life Estimation of Welded Joints
of an Aluminium Alloy under Superimposed
Random Load Waves : Application of a
2-Dimensional Rainflow Method

重畳ランダム荷重下におけるアルミニウム合金溶接継
手の疲労寿命推定—2次元レインフロウ法の適用—
高橋一比古、前中浩、宮本武
平成6年12月

The European Structural Integrity Society Fatigue
& Fracture of Engineering Materials
& Structures, Vol.17, No.12

実構造物・機器に加わる荷重パターンとして、比較
的長周期の1次波の上に短周期の2次波が重畳してい
るような場合は比較的多く、そのような重畳ランダム
荷重下における構造部材の疲労寿命を精度良く推定す
ることは、工学的に重要なテーマである。そこで本研
究では、船体用構造材料として用いられる耐食性アル
ミニウム合金 A5083P-O 材および A5183-WY 材のす
み肉溶接T継手を対象として、1次変動波形に2次変
動波形が重畳する形の重畳ランダム荷重波形を用いた
疲労試験を実施し、個々の応力振幅に対する平均応力
効果を考慮に入れた高精度な寿命推定法について検討
した。

試験片は、板厚10mmの主板におなじく板厚10mmのリ
ブ板を1枚溶接した、荷重非伝達すみ肉溶接T継手を用
いた。溶接はMIG自動溶接により行い、溶接止端部
にはグラインダー仕上げを実施した。疲労試験は片振
りの3点曲げ荷重制御で実施し、1次波形としては一
定の応力値を保持するもの(DC)と台形波(GAG)の
2種類を、また2次ランダム波としては広帯域・狭帯
域の2種類を用いた。

まず、1次元レインフロウ法および修正マイナー則
による寿命推定はすべて危険側となっており、同方法
によって高平均応力域の重畳ランダム疲労寿命を推定
すると、推定誤差が寿命比で1桁近くなる場合もあり、
適用に際しては注意を要することがわかった。

また、1次応力波は2次ランダム波に対して平均応
力として作用するが、その度合いは定平均応力(DC)
の場合よりも1変動台形波(GAG)の場合の方が大き
かった。そこで、応力波形を2次元レインフロウ法に
よってカウントし、1次波がGAGのときには引張強
さ σ_u を、DCのときには真破断強さ σ_r を用いて修正
グッドマン補正を施した後、修正マイナー則を適用す
ると、最も良好な寿命推定結果が得られた。

構造物の疲労寿命評価における応力振幅頻度
の求め方—2次元レインフロウ法のすすめ—
Some techniques to obtain stress amplitude
histograms in fatigue life estimation of
real structures ; the author recommends
a 2-dimensional rainflow method.

高橋一比古
平成7年1月

日本材料試験技術協会
材料試験技術、Vol.40、No.1

実構造物の疲労寿命あるいは疲労被害度を評価しよ
うとする場合、まず、構造物にどのような繰返し荷重
が作用するかを把握し、その荷重によって部材に生ず
る局所的な繰返し応力の特性を的確に評価することが
基本となる。この繰返し応力の特性として、疲労設計
上、最も重要となるのは、応力振幅ごとの繰返し頻度、
すなわち応力振幅頻度分布であり、実応力波形から応
力振幅頻度分布を求めるために、レベルクロス法、レ
ンジ法、ピーク法、レインフロウ法等々、種々の波形
サイクルカウント法が提案されてきた。これらはそれ
ぞれに特徴があり、適用する波形のタイプさえ間違え
なければ、それなりのメリットを有しているとも言え
るが、鉄道・橋梁・船舶・自動車等を対象に現在行わ
れている実機計測の動向から判断するに、レインフロ
ウ法が用いられる場合が圧倒的に多くなっている。

本稿ではまず、実構造物の疲労設計にあまり詳しく
ない読者のために、船舶・海洋構造物における一般的
な(疲労)設計法の簡単な解説をし、海洋構造物の設
計基準が船舶のそれに比べて厳しい理由や、最近に
なって登場した、パソコン用のフロッピーディスクを
媒介とした設計規格等について紹介した。

次に、著者らが最近行っている1次元および2次元
レインフロウ法の適用に関する研究成果の一部を解説
し、応答波形に狭帯域仮定が成り立たない場合には、
波形カウント法の選択に留意しなければならないこと、
重畳ランダム応力波形に対する2次元レインフロ
ウ法の適用例、修正グッドマン線図を用いた平均応力
補正の仕方等について述べた。

最後に著者の立場として、レインフロウ法は本来、
応力レンジと平均応力という2次元情報を与えるアル
ゴリズムであること、1次元から2次元への変更はプ
ログラムを数行書き換えるだけで済み、平均応力の影
響を後から定量的に評価できるようになること等の理
由から、実機計測・データ後処理等では2次元レイン
フロウ法を使用するよう提言した。

Friction and Wear of Silicon Carbide
at Elevated Temperatures

炭化ケイ素の高温摩擦摩耗

肖漢寧、千田哲也

平成7年1月

第33回セラミックス基礎科学討論会講演要旨集

炭化ケイ素 (SiC) セラミックスは、硬度が高く、かつ1000°C以上でも優れた機械的性質を有するため、高温で使用される耐摩耗性材料として有望であるが、これまでに、高温でのトライボロジー（摩擦・摩耗・潤滑）試験の報告は少なくその性質は明らかではない。そこで室温から1200°Cまでの範囲ですべて摩擦摩耗試験を行い、高温トライボロジー特性を調べた。大気中では酸化の影響が現れると考えられるため、真空中での試験もあわせて行った。試料は α -SiC焼結体を用いて摩擦係数と摩耗による重量減少量を測定し、SEMとX線回折により摩擦面の分析を行った。本報告では、摩擦係数と摩耗量の温度依存性と摩擦面等の分析結果の一部を報告した。

大気中では、温度が高くなると摩擦係数はわずかに増加した。この傾向は接触面圧が小さい場合の400°C以下で顕著であった。真空中では、摩擦係数はあまり大きな変化はなく、概ね大気中の値より小さかった。比摩耗量は、大気中では400°C以上で増加したが、真空中では温度によってあまり変化しなかった。摩耗粉のX線回折結果によれば、すべての条件でピーク幅の増加がみられ、摩耗粉は変形していることがわかった。また、大気中ではアモルファス状のシリカの存在がみとめられた。1200°Cで試験した摩擦面近傍の断面のSEM観察では、大気中で内部に亀裂を有する微細粒子の層が観察されたが、真空中では亀裂のないアモルファス状の薄い膜が観察された。

大気中の炭化ケイ素の摩耗に関して、酸化の影響が重要と考えられる。大気中低温で摩擦係数が低いのは雰囲気中の水分の影響による酸化物の形成が寄与していると考えられる。1000°C以下の中間的な温度では、酸化が亀裂進展を促進するといわれ、それにより大気中でのみ摩耗量が増加すると思われる。SEM観察から、1200°Cでは酸化物の堆積が摩耗を抑制したと推測される。真空中では、塑性変形による表面の剝離と微少破壊により摩耗すると考えられる。

〈海洋開発工学部〉

能動的制御海洋構造物の研究

Research and Development of Actively Controlled
Floating Offshore Structure

安藤裕友、加藤俊司

平成6年10月

テクノ・オーシャン'94国際シンポジウム論文集

本論文では、浮体式海洋構造物に対してその一部に能動的制御機構を取り付けることで、どの程度動揺の低減が計れるかを検討した。

能動制御を実施するにあたり、動揺低減の効果を十分に発揮するためには制御対象の安定化をスムーズに行うことと、制御対象に働く外乱を検知し、制御力に反映させることを同時に行うことが動揺低減を実現する上で最も効果的な制御方法であることは、容易に推察できる。本論文では、系の安定化はフィードバック制御で行い、同時に外乱の影響を反映させるためにフィードフォワード制御を用いた。本論文ではフィードフォワード併用型フィードバック制御の中でも、フィードフォワード系に重点を置き最も基礎的なフィードフォワード併用型フィードバック制御系を試設計して有効性を模型試験により実証した。

航行する船舶が遭遇する方向波スペクトルの
推定法について

On the estimation of encounter directional
wave spectra of a running ship

吉元博文、渡辺巖
平成6年11月
日本造船学会論文集

船舶の設計において、船舶が遭遇する海象条件を精度良く設定することは、極めて重要な課題である。従来、海象条件の設定は、既存の波浪データベースをもとに行われてきたが、最近の船体構造解析手法の進展にともなって、詳細かつ高精度の遭遇海象情報が必要とされつつある。しかしながら、既存の波浪データベースのほとんどが、目視観測データで構成されているために、それより設定される海象条件の精度には限界があることは明かであり、そのため目視観測にかわる新たな遭遇海象計測法の開発が望まれている。そこで、こうした要請に応えるために、船体応答を利用した遭遇海象計測法について検討を行った。

本論文は、その検討結果について報告するものである。

船体応答を利用した遭遇海象計測法では、以下の問題点を解決する必要がある。即ち、

- ・実際の海域で船舶が遭遇する海洋波は、周波数成分だけでなく方向成分を含んだ短波頂不規則波であるために、方向波スペクトルとしての取扱いが必要である。
- ・船体が前進速度を有するために、追波状態では、一つの出会周波数に三つの入射波の周波数成分の影響が重畳してくる。

などの問題がある。これらの問題に対して、本論文では、拡張最大エントロピー原理法(橋本典明他、海洋波の方向スペクトルの推定における最大エントロピー原理法(MEP)の拡張、港湾技術研究所報告、32巻1号)をもとに、新たに追波状態までを扱える方向波スペクトルの推定法を提案した。さらに、数値シミュレーション並びに水槽実験により、本論文で提案する手法が、追波状態においても高い推定精度を有することを示した。

波浪中における能動的制御海洋構造物の動揺実験
Experiment on Behaviors of Active Controlled
Floating Offshore Structure in Wave

安藤裕友、加藤俊司

平成6年12月

日本機械学会、第3回交通・物流部門大会講演集

現在、海洋構造物の設計にあたっては、過酷な自然環境下での安全性に重点が置かれているが、近い将来、安全性だけでなく居住性及び快適性の面も重要になると考えられる。居住性及び快適性を実現するにはいろいろな要因があるが、特に、動揺に関する面が重要であると考えられる。また、超大型海洋構造物での上載機能保証の観点からも動揺による影響を極力避ける必要がある。そのため、動揺を積極的に軽減する手法の一つとして能動的制御を海洋構造物に取り入れることで動揺をどの程度低減できるかを実験によって究明した。

すなわち、上部構造物の中心での上下揺れ及び縦揺れについて動揺が低減できるかを見ることとし、浮体構造物の一部に能動的に可動浮体を取り付けたモデルを試設計して、有効性をモデル実験により検証した。モデルの特徴は、動揺の起因である波浪外力を素早く感知するために浮体部の底に圧力センサーを付けている点である。実験項目として、規則波(波高5 cm)と不規則波中での波出合角 0° 、 30° の場合を行った。

実験結果としては、上下揺れ、縦揺れ共に同調点近傍では明らかに制御時の方が制御なしに比べて $1/4 \sim 1/5$ に動揺を抑えることができた。