

所 外 発 表 論 文 等 概 要

<推進性能部>

自由表面問題への CFD 手法の応用
Application of CFD Technique to
Free Surface Problem

日夏宗彦、高木 健

平成4年1月

日本造船学会誌 第751号

等について、最近の研究成果を踏まえて平易に解説している。

標記記事は、平成4年造船学会誌1月号に企画されたCFDに関する特集記事の一つである。本記事では、自由表面問題の解析に応用されている3つの手法、一境界要素法、有限要素法および差分法—について、それらの手法を用いて自由表面問題を解析する上で生じる問題点等を解説したものである。各手法自体の具体的な説明は含まれていない。

主な内容は、開境界条件の処理法、浮体と自由表面がある場合の問題点、開境界条件と消波装置の関連性、差分法における自由表面条件の取扱い方とその問題点、有限要素法で自由表面問題を精度よく解析するための方法

<運動性能部>

斜め追波中の危険出会い群波現象に対する一考察
A Consideration on Dangerous Encounter Wave
Group Phenomena in Quartering Seas

高石敬史

平成3年10月

日本航海学会論文集 第86号

著者はさきに追波や斜め追波中の大波高の危険出会い群波現象の存在とその危険性について指摘し、船速、出会い角、波の周期で決まる危険条件判定図を安全運航のための一指針として提案した。

角水槽における波浪中の模型実験においても、この危険条件にあてはまるか、それに近い場合に転覆の確率が高いことが観測されている。そのほか実船の海難例にもこの危険条件下で遭難したと推定できるものも幾つか見られる。しかしながら斜め追波中の転覆実験結果を詳細に調べてみると、転覆する危険運航条件は判定図に示す1点のまわりにある広がりを持っていることが分かる。

危険出会い群波現象は、空間固定の周波数 ω をベースにした波スペクトラムを、船と波の出会い周波数 ω_e ベースのスペクトラムに変換した場合、波のエネルギーの相当な部分が、ほとんど単一と言ってもよい狭い出会い周波数範囲のところに集中することにより発現する。そこで本論では、大波高連続群波現象発生の場合、不規則波のエネルギーの出会い波における集中の度合いと相関を持つことに注目し、波エネルギーの集中度係数の概念を導入した。集中度係数は、出会い波スペクトラムの上でピークを含む非常に狭い周波数範囲に含まれる波のエネルギーが、全周波数に含まれる全波エネルギーに対して占める割合を表すものである。船速/波周期をパラメータに選べば集中度係数は船の速度や波との出会い角を総てカバーする1つの図の上に表すことができる。

角水槽におけるコンテナ船(G船型)の転覆実験の結果である転覆の頻度(危険度)をこの図にあてはめ危険度と波エネルギーの集中度係数との相関を調べたところ、両者の相関が十分に認められた。そして転覆の危険を予知する集中度係数の範囲を決めることができた。この新しい判定図は斜め追波中の転覆の危険を予防するための運航マニュアルとして有用である。

. ロル型転覆方程式のカオスとフラクタル

Chaos and Fractals of a Loll Type
Capsize Equation

田口晴邦、菅 信

平成3年11月

西部造船会会報 第83号

船内に浸水した船や、甲板上に打ち込み水が滞留した状態の船、或いは重心を上げ過ぎた船等では直立時のGMが負になり、ある角度傾いてから安定な平衡状態に至る場合がある。このような状態にある船の波浪中での転覆を表わす横揺れ方程式をロル型転覆方程式と呼ぶ。通常の転覆方程式に関するこれまでの一連の調査に引き続き、ロル型転覆方程式の解の挙動を数値的に調べたところ、これまでとは異なる性質のカオスやフラクタル現象が観察された。

強制力を少しづつ大きくする方法で解の分岐状況を調べてみると、横揺れ同調に近い周波数付近では、強制力の小さい間は片側の平衡状態を中心とした小振幅の横揺れ、跳躍、2~4周期分岐が起こるが、4周期分岐の後からカオスが発生し、ここから解は両側の平衡状態にまたがる大振幅の横揺れになる。カオスの発生から転覆に至るまでのカオス領域は通常の転覆方程式よりかなり広く、またカオスアトラクターも軟化スプリング系に見られる地味なものではなく、硬化スプリング系の派手なものとなる。更にカオス領域の中に5周期や3周期の窓現象が観察される。これらの分岐状況は周波数によっても大きく異なり、その変化の全容を把握するのは容易なことではない。初期値平面の転覆限界のフラクタルな変化についても、帯状の無限の階層をもつ転覆領域が非転覆領域の中に深く侵入する新しいタイプのものが現われたり、更に時間領域のカオスアトラクターのようなものが制御空間に現われる等、制御空間の転覆限界の複雑さもこれまでに観察されたものとはかなり異なる様相を呈している。

このような未知の現象を広く調査してそのメカニズムを追求し、負のGMを持つ船の転覆現象に対する理解を深めることは、損傷時復原性に関する安全基準の近代化や受動型減揺水槽の追波中での危険な作用に対する対策を考える上でも必要であり、本報はその初歩的な第1歩と位置付けている。

薄い船の理論に基づく非定常流体力計算法

On Calculation of Unsteady Hydrodynamic Forces
based upon Thin Ship Theory

渡辺 巖

平成3年11月

関西造船協会誌 第217号

波浪中の船体に働く非定常流体力の、流れの三次元性を正しく取り入れた計算法の開発は最近の高速船開発の動向とも相まって強く望まれている。これまでに研究開発が行われているのは、積分方程式法、細長船近似による計算法がほとんどである。これらは計算時間、適用限界等に多くの解決すべき課題を残している。一方、細長船理論と同じ範疇に属する近似理論として薄い船の理論に基づく計算がある。30数年前、花岡によって任意船型に対する非定常流体力の計算式が提示されている。この理論は積分方程式を解く必要がないという特徴があり、計算時間の面からは大変な利点を有している。しかしこれまで実際の船型について計算されたことはほとんどない。

本論文では、花岡の導いた計算式を実際に計算し、計算精度、薄い船の仮定の問題点を探ることとした。まず、流体力を与える一般的な式を導き、それから任意の船体形状についても適用できるような計算式を導く。その結果得られる流体力の計算式は特殊関数を用いた有限フーリエ級数の形で解析的に表されるので特性、精度評価が容易である。

次に実際への適用例として、コンテナ船の向波中縦運動に伴う流体力、波浪強制力を様々な波長、前進速度について計算した。得られた計算結果を他の計算法、実験結果等と比較して計算結果の持つ意味について議論を行い、本計算法の実用性、改良すべき点を明らかにした。

斜め追波中の船の転覆について (第4報、強制マシュー型転覆方程式におけるカオスとフラクタル)

Capsizing of a Ship in Quartering Seas
(Part 4 Chaos and Fractals in Forced Mathieu
Type Capsizing Equation)

菅 信、田口晴邦

平成4年5月

日本造船学会論文集 第171号

自航模型船による斜め追波中の転覆実験でカオスの前段現象である周期分岐現象を伴う転覆という新しいタイプの転覆例が多数観測されたことから、著者らは転覆現象を最近の非線形力学系理論に基づいて取り扱う必要があるとの認識のもとに、転覆を表現する最も簡単な横揺方程式として、復原力項に3次の非線形項を持つ横揺れ方程式を数値的に調べ、そこに現われるカオスやフラクタル等の不思議な非線形現象について前報で報告した。同時に模型実験で観測されたような周期分岐を伴う転覆という新しいタイプの転覆が、最も簡単な横揺方程式においても出現し得ることや、カオスを含む周期分岐現象の発生を転覆の前兆と見なすべきこと等を明らかにした。

しかし斜め追波中の船は必ず復原力係数の時間的な変動を受けるものであり、そこでの転覆現象はそのことを考慮した横揺方程式、即ち強制マシュー型の横揺方程式によって表されるべきものである。本報ではこの強制マシュー型横揺方程式について従来と同様な方法を用いて調査した結果を報告した。マシュー型方程式の第1不安定領域に特有な、出会周期の2倍周期をもつ明白なパラメトリック横揺れの存在は確認できるものの、その横揺れは通常の2周期分岐を伴う横揺れとは異なり、直ちに転覆につながるものではないこと、言い換えればマシュー型横揺れ方程式には2種類の周期分岐現象があって、1つは熊手型の周期分岐のカスケードからカオスを経て転覆に至る通常のタイプであり、もう1つは分岐曲線に突然2周期分岐が現われるが、周期分岐のカスケードが進行せず元の1周期解に戻ってしまうマシュー型に特有のタイプであること等を示した。その他に強制力の振幅と周波数からなる制御平面における第1不安定領域のフラクタルな転覆領域が第2不安定領域の1部から発達して形成されることや初期値平面の転覆限界のフラクタルな変化等についても興味深い調査結果を示してある。

<構造強度部>

鋼/PCハイブリッドバージの縦強度の実験的検討

Experimental Study Longitudinal Strength of

Steel/PC Hybrid Barge

松岡一祥、田中義久、千秋貞仁

平成4年5月

日本造船学会論文集 第171号

海洋環境における耐久性は、海洋構造物を設計する場合、考慮すべき最も重要な課題の1つである。1つの解決策にコンクリートの使用がある。すなわち、耐腐食性がコンクリート構造物の利点である。しかし、一方、大きな構造重量、および、長い建造期間が欠点でもある。鋼/コンクリートハイブリッド構造、および、プレキャストブロック建造法はそれらの弱点を補うことができる概念である。

本論文は、鋼/PC（プレストレストコンクリート）ハイブリッドバージの縦強度について実験的に取り扱ったものである。併せて、輪切り状プレキャストブロックの接合・緊張（コンクリートに圧縮のプレストレスを与える）建造法についても検討した。

接水部および飛沫帯にコンクリートを、そして、上部および内部構造部材に鋼板を用いる、ハイブリッド発電プラントバージを想定構造物とした。舷側タンクに注目して、3つのプレキャストブロックを縦方向に接合・緊張して、縮尺1/4程度の模型を製作し、コンクリートに導入された圧縮ひずみなどの測定を行った。サギング状態を模擬する3点曲げ試験を実施し、曲げモーメントと曲率、最終強度、せん断力とコンクリートのひび割れ、鋼/コンクリート合成部およびブロック接合部の強度などについて検討した。得られた主な結論を以下に示す。

- (1) 船底のプレストレスの消失後、ブロック接合部の損傷が破壊過程の引金となった。しかし、十分なプレストレス量により所定（曳航時波浪中）の縦曲げ強度を得ることができる。
- (2) 想定構造物は、曳航時波浪中のせん断力にさらされてもコンクリート側外板にせん断ひび割れは生じないと考えられるが、縦曲げ強度に比べると安全余裕が小さい。

<機関動力部>

エマルジョン燃料がディーゼル機関の

燃焼・排ガスに与える影響

Influence of Emulsion Fuel on Combustion and Emission of Diesel Engine

塩出敬二郎、菊地正晃、沼野正義、桑原孫四郎

平成4年5月

日本船用機関学会 講演前刷

近年船用ディーゼル機関を取りまく環境は大きく変化している。すなわち、船舶運航に関わる乗組員の減少、機関を扱う熟練エンジニアの減少、船用燃料の低質化、海洋及び大気環境の保全に対する各種規制の強化などである。これらの変化に対応するための努力が各方面でなされているが、船舶技術研究所に於いても船用機関の信頼性向上を目的とした燃焼改善の研究を行っている。低質燃料の使用による機関故障で、燃焼不良により発生するすすなどが原因となる故障が多く報告されている。この種の故障を防ぐ為には、燃焼を改善して排気中のすす濃度を低減することが必要である。低質燃料の燃焼を改善する方法の一つとして、中速4サイクル・ディーゼル機関によるエマルジョン燃料の燃焼試験を行った。エマルジョン燃料がディーゼル機関の燃焼・排ガス組成に与える影響を調べた。

実験機関でA重油及びC重油とそれぞれのエマルジョン燃料を用いて船用特性に沿って運転し、定格出力の25%、50%、75%、100%負荷時の機関性能、排ガス組成、ダスト量、燃焼室壁面温度などを計測した。エマルジョン燃料が燃焼、排ガス組成などに与える影響は次のようなものである。

- a. 水の添加量が増加すると粘度は大幅に増加する。
- b. 燃料のセタン価が低下するので、低負荷時には着火遅れは大きくなる。しかし、高負荷時には逆に小さくなる。
- c. 燃焼期間は低負荷時には着火遅れ期間中に生成される混合気が多くなる分だけ短縮され、高負荷時には、マイクロ爆発や空気の巻き込み量が増加することにより燃料と空気の混合が促進されるので短縮される。
- d. スモーク濃度は低負荷時には悪化するが、高負荷時には大幅に低減する。
- e. ダスト濃度は低負荷時には悪化する。高負荷時においてもあまり差がでない。
- f. 燃焼フレームはブランクの燃料に比べて多少長くなる。

<材料加工部>

溶射法傾斜皮膜熱衝撃劣化部の
組織と超音波特性

Ultrasonic Characteristics and Structure of

Thermal Shock Damaged Coating

吉井徳治、島田道男、秋山繁、福島孟

平成4年3月

日本非破壊検査協会 平成4年度春季講演概要集

傾斜機能材料の使用環境として想定されている高温、高温度落差環境では、熱応力による層間剥離や微小クラック、高温による材質変化等が生じる場合が考えられる。傾斜機能材料の開発はこれらの課題を解決することにあるが、その実用化を促進する観点から、これらの材質劣化現象の非破壊的な評価技法の確立も重要な課題となっている。

厚さ約3mmのSUS304基板上にプラズマ溶射法にて作製した8YSZ/NiCrAlY系溶射皮膜の試料に対し、種々の程度の炭酸ガスレーザー熱衝撃を加えた。試料に生じた熱衝撃劣化を、点集束型超音波センサ15MHzおよび35MHzを用いた水浸超音波計測法(Cスコープ)による画像化を行った。画像化する超音波エコーとしては試料表面および裏面から超音波を入射するに際し、溶射皮膜表面と界面に焦点を合せたものを用い、それらから得られる画像の特性、およびその他の情報についてクラックなどの組織との関連で調べた。

溶射皮膜表面が滑らかでないため、得られた像から精密な探傷することは出来なかったが、レーザー照射部に生じた表面状態と得られた像の間には相関関係が認められた。底面エコーあるいは基板と溶射皮膜との界面でのエコーを用いることにより、劣化程度、劣化による構造変化等に関する情報を得ることができた。実用的には、表面からの探傷が有利であるが、今回の試料では、裏面から探傷することにより、高分解能の探傷が可能であった。

レーザー超音波の波形変化及び欠陥エコーの挙動

Study on Waveform Transformation and Flaw

Echo Behaviour of Laser Ultrasound

島田道男、吉井徳治

平成4年3月

日本非破壊検査協会 平成4年度春季大会講演概要集

光学的に超音波の発生検出を行うレーザー超音波法は、その非接触遠隔計測法としての特徴を生かし、高温物性を評価するために用いられる例が多い。しかし、レーザー超音波には、従来の超音波と比較して、広周波数帯域であること、微小点での計測が可能であること、大振幅超音波発生が可能であること等の特徴があり、新しい欠陥検出、材質評価等への応用拡大が期待されている。

現在、レーザー超音波法は、光学的超音波検出装置の感度がやや低いこともあって、実用規模の非破壊検査への応用に至っていないが、レーザー超音波特性が十分に解明されていないことも、実用化されない原因の一つと考えられる。

レーザー超音波の特性は、従来の超音波の特性及びその理論を基に解析され、その範囲内で説明されることが多い。今回、超音波の伝播距離による波形の変化において、レーザー超音波特有の現象が観測されたので、種々計測条件を変え、実験的に検討を加えた。

伝播距離による波形変化は、従来の超音波では結晶粒界での散乱のため、高周波ほど減衰が多い。レーザー超音波では遠距離音場の領域においても、伝播距離が大きくなるに従い、相対的に高周波成分が増加し、従来の超音波とは逆の性質を示した。これは、レーザー超音波を微小点で発生させたため、指向性の鈍い低周波成分が急激に拡散したためと考えられるが、さらに波動シミュレーション等による詳細な検討の必要がある。

また、欠陥を含む試験体において、レーザー超音波計測を行い、レーザー超音波の欠陥エコー挙動、同時に付随して計測される各種エコーを実験的に調べた。その結果に基き、レーザー超音波を用いた欠陥検出法の可能性について検討したところ、微小点で発生するレーザー超音波は、広い範囲に伝播するため、広角探傷に優れていることが分かった。

ムライトセラミックスの高温摩耗
Wear of Mullite Ceramics at Elevated
Temperatures

千田哲也、猿田昌彦、越智保雄

平成4年5月

日本潤滑学会トライボロジー会議 '92 春東京

高温での耐摩耗性材料としての応用が期待される構造用酸化物セラミックスのひとつであるムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) について、室温から 1000°C までの摩擦摩耗特性を調べ、アルミナの結果と比較した。試料には、天然鉱物原料より作製され、粒界ガラス層を多く含む焼結体 (M-1) と、ゾルーゲル法により作製したち密な高純度焼結体 (M-2) を用いた。

アルミナでは、温度の上昇とともに摩擦係数は減少したが、ムライトでは、M-1、M-2ともに0.8から1の範囲でほぼ一定で、M-2では高温で摩擦係数はむしろ少し増大した。摩耗による重量減少量は、摩擦距離の増加に比例して直線的に増加した。M-1では、比摩耗量は室温から 800°C までほぼ一定であった。M-2では、室温から 600°C まで温度とともに比摩耗量が少し増加する傾向にあった。M-2ではアルミナと同じように 800°C 以上で比摩耗量がほぼ1桁減少した。

M-2については、室温では表面近傍にほとんど巨視的な変形層はみられなかったが、 1000°C では $10\mu\text{m}$ 程度の厚さの、アルミナでも観察されているような微粒子からなる表面層が観察された。これは、高温圧縮せん断応力場における、再結晶化(微細粒化)を伴う結晶粒自身の塑性変形の結果と考えられる。表面層では、粒径が小さかつ温度が高いため、粒界すべりあるいは拡散クリープにより巨視的なせん断変形(塑性流動)が可能になり、その効果により摩耗量が減少したものと考えられる。

一方、M-1は、高温で摩耗量が減少せず、また微細粒の表面層も形成されない。結晶粒が変形可能になる温度域になると、M-1は、多くの粒界ガラス層を含むため、粒界層の弱化により変形領域が容易に除去されたため、摩耗量が減少しなかったものと考えられる。

ギアポンプ用焼結歯車の歯元応力解析と
損傷解析

Failure Analysis of Sintered Gear for
Lubricating Pump

高井元弘、宗像良幸

平成4年5月

日本船用機関学会第49回学術講演会 講演集

焼結歯車は量産性に富み、コストメリットがあるため自動車工業を初め多方面に使用されている。船用分野でも小型ディーゼル機関のオイルポンプ用ギアとして多数使われている。本報告は、小型船用ディーゼルエンジンに使用されていたオイルポンプ用焼結歯車に、歯元からの欠損、歯元クラックによるボス割れなど多数の損傷事故の発生が報告されたため、焼結歯車の稼動時の歯元応力、軸への焼きばめにより生じる残留応力、片当たり時の歯元応力を有限要素法により解析し、焼結歯車の損傷原因について、疲労強度の面から解析したものである。以下の結論が得られた。

- (1) 焼きばめ残留応力は、歯元部の応力集中により過大となり、歯元部の応力集中は約2.0となる。
- (2) 稼動時に歯のかみ合い時に歯元に発生する応力の絶対値は、最大応力発生位置で、圧縮側歯元部のほうが引張側歯元部より約40%大きい。また、隣接する歯がかみ合った時に歯元部で逆方向の応力が生じる。
- (3) 片当たり状態が進行した場合、圧縮側歯元部では正常当り時の3倍以上の応力が発生する可能性があるが、引張側歯元部では、2.5倍以下であり、さらに片当たりが進行した場合、引張側歯元部では逆に減少することが予想される。
- (4) 焼結歯車の損傷は、焼きばめ残留応力の存在と、片当たり状態の進行により、圧縮側歯元部で材料の疲れ限度を越え、疲労破壊に至ったものと推定される。

< 装備部 >

船底防汚塗料からの有機スズの溶出
Release of Organotin Compounds from
Antifouling Paints
内藤正一
平成4年3月
塗装工学 第27巻第3号

船底防汚塗料の防汚剤として使用されていたトリブチルスズ (TBT) ・トリフェニルスズ (TPT) 等の有機スズ化合物が沿岸の魚介類を汚染していることが環境庁の調査で明らかになり、有機スズの防汚塗料への使用は規制を余儀なくされる事態になった。そのため、有機スズの溶出量の適正な管理が必要となった。

この報告は、汚染状況と規制の現状を概説すると共に、これまでに著者らの研究で実施した実海域試験 (実船航海と湾内定置) を紹介し、その試験で明らかになった溶出実態の特徴について述べたものである。

論述した要点は、まず本研究で得られた溶出速度のデータと既存の評価値 (バフリング法および ASTM/EPA 法で評価された値) との関係についての検討結果を示した。

次に、有機スズ含有量の規制と溶出速度低減の効果について示した。

また、日射の影響で防汚効果が低下する原因についてその根拠を示した。

提示した結論は以下のようなものである。

- (1) 実船において評価された溶出速度の値は、既存の評価値に比べ3～5倍高い。
- (2) 防汚性能を保持するために必要な溶出速度は $5 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{day}$ (TBT イオン換算) 以下であり、これ以下に溶出を抑制する必要がある。
- (3) ポリマー型塗料は TBT 含有量の低減によって溶出量減少の効果がある。
- (4) 日射の影響を受けると塗膜中で TBT が DBT に光分解して防汚効力を弱めることになり、その影響は船体中央の喫水線付近が大きい。

< システム技術部 >

音声を用いた操船支援システムについて
A Study on a Voice Alarm Indication
有村信夫
平成4年3月
航海学会 海上交通研究関東部会

本発表は、人間による見張り報告と同様な会話様式で、合成音声による警報と見張りの支援情報を発生する船舶衝突予防用音声支援装置の適用性について検討した結果に関する報告である。

即ち、近年、船舶では、運行の高速化と各種自動化機器の導入に伴う運航要員の省人化が実施されつつあるが、操船者の情報処理負担は軽減されていない。

一方、海難事故統計によると船舶の衝突事故の主たる原因は、見張り不十分による他船の発見の遅れや操船者の判断錯誤にある。

したがって、見張り作業の認識時と避航操船の判断時の情報処理負担の軽減が図られるように、操船者を支援することが重要な課題となる。

例えば、従来の船舶用の自動衝突予防援助装置 (ARPA) では、様々な警報の発生を警報音や CRT 上にシンボル表示又はアラームランプの点灯又は点滅を併用することにより、操船者に知らせているが、操船者は見張り作業の合間にも海図による航路の確認や船位確認等の煩雑な業務に従事しているため、ARPA による警報の発生頻度が高い輻輳海域において、操船者は警報音自体を煩雑に感じる場合もあり、また、そのような状況下にあっては警報内容の確認を行う余裕がない場合もある。

このような状況を解決すべく、本発表では、ARPA の支援目的を円滑に達成するために実施した、次の

- ①操船者の精神的負担の調査
- ②避航操船データの収集
- ③ARPA の表示データの収集
- ④船橋における見張り様式

調査結果を踏まえて、マン・マシン・インタフェースの機能向上を図った。

航行環境の情報の入手と情報の処理を支援する方式の特徴は、①危険海域の情報を画像表示する方式と、②操船者と支援機器間の情報伝達手段に音声を用いる方式によって、操船者を視覚情報と聴覚情報の両面から効果的に支援する点にある。

ここでは、本研究の経過概要とシステムの適用性について、考察を行った結果について述べている。

確率論的安全評価における従属故障と
外的事象の取り扱い

Procedures for Treating Dependent Failures and
External Events in the PSA

松岡 猛

平成4年3月

システム制御情報学会誌 第36巻第3号

大規模システムの信頼度を向上させる手段としては、同一機能を持った系を多重化して、冗長性を持たせる方法が広く実施されている。しかしながら、従属故障により、この冗長性が破られる場合には、独立故障のみが発生すると仮定した場合に比較して、格段にこの冗長系の信頼度が落ちてしまう恐れがある。それ故、確率論的安全評価 (PSA) の実施においては、従属故障を適切に扱うことが極めて重要になってくる。従属故障をまったく考慮に入れていない解析結果は、多分に過小評価となっているが、逆に、共通原因故障やシステム間相互作用を不用意に過大評価すると、今度は何桁も大きな解析結果が出てくる恐れがある。

本解説においては、まず従属故障の分類を試み、ランダム故障、地震・火災等の外的事象も含めた統一的な分類に関する考え方を示した。

次に、PSAにおける外的事象の取り扱い方法の概略を述べ、具体的手順の説明として“地震”及び“火災”を取り上げた。

従属故障、共通原因故障については、システム論理モデル作成から始まる解析手順各項目について詳述した。その中で、従属故障/共通原因故障のモデル化においては、明示的方法とパラメトリックな方法がある事を示し、パラメトリックな方法においては、 β ファクタ法、MGL法、 α ファクタ法、BFR法の説明を与えた。従属故障データ解析においては、インパクト・ベクトルを用いる方法、及び、パラメトリックな方法におけるパラメータ値の推定法について説明し、 β ファクタ値として代表的な値の表を示した。

最後にシステム定量解析及び結果の解釈・活用について簡単に触れている。

<原子力技術部>

Neutron Shielding Ability of KRAFTON
N2-Mannan-KRAFTON N2 Sandwich-Type
Material and Others

クラフトン N2-マンナン-クラフトン N2 サンドイッチ
タイプ材料および他の材料の中性子遮蔽性能

植木紘太郎、大橋厚人、穴山義正

平成4年4月

American Nuclear Society Topical Meeting

多機能遮蔽材として KRAFTON N2 が開発され、引き続き ^{252}Cf 中性子源を用いた遮蔽実験が行われた。遮蔽実験は、KRAFTON N2、マンナンと呼ばれるゲル状の物質をサンドイッチした KRAFTON N2-Mannan-KRAFTON N2、および鉄、ポリエチレン等従来の材料を含め数種類について実施した。

ソフトセラミックスの一種である KRAFTON N2 は、種々の金属や水酸化物をエポキシ樹脂および熱凝固樹脂を加えて固化したものであり、Mannan はヘキササンという水酸化物を加水分解してナトリウム炭酸塩を加えてゲル状にしたものである。サンドイッチにした板は 1.1 cm の KRAFTON N2-3.3 cm の Mannan-1.1 cm の KRAFTON N2 の組合せである。

^{252}Cf (平均エネルギー 2.35 MeV) 中性子源を用いた実験では、中性子線量当量率を 1/10 に減衰するために必要な平板の厚さは、N2-Mannan-N2 のサンドイッチ材は 17.0 cm、KRAFTON N2 だけでは 18.5 cm を要する。代表的な中性子遮蔽材であるポリエチレンは 12.5 cm 厚で 1/10 に減衰できた。

現時点では KRAFTON N2 はポリエチレンに比べ中性子遮蔽性能はかなり見劣りするが、さらに遮蔽性能を向上させるため、水素、ボロンあるいはリチウムの含有量を増加させたものを開発中である。他の性質では、軟化軟点はポリエチレンが 40°C であるのに対し KRAFTON N2 は 160°C、20°C における圧縮強度は 225 kg/cm² に対し 450 kg/cm² と KRAFTON N2 が優れている。

実験は NESX (Next Event Surface Crossing) エスティメータを用いたモンテカルロコード MCNP で解析した。解析は実験と比較し、信頼性のある結果を与えた。

Integral Test of Cross Sections in JENDL-3 by
Monte Carlo Analysis of Benchmark Experiments

ベンチマーク実験のモンテカルロ解析による

JENDL-3の核データ積分テスト

植木紘太郎、大橋厚人、川合將義

平成4年4月

American Nuclear Society Topical Meeting

本研究は核データライブラリー JENDL-3 (Japanese Evaluated Nuclear Data Library - Version 3) に収納されている鉄、炭素、ベリリウムの断面積をモンテカルロ法による中性子ベンチマーク実験解析によって、積分テストしたものである。

鉄の断面積は核分裂中性子源に対しては ORNL および WINFRITH における実験、D-T 中性子源に対しては LLNL の実験を解析してテストした。また、炭素およびベリリウムの断面積は JAERI-FNS 飛行時間法実験を解析してテストを行った。

解析には連続エネルギーモンテカルロコード MCNP を用いた。本研究では粒子記録ルーチン TALLY の改訂およびウエイト・ウィンドウパラメータの適切な選定に留意した。その結果、計算された中性子エネルギーベクトルの FSD (Fractional Standard Deviation) がモンテカルロ計算結果として十分信頼性があると認知されるまで、低減することができた。

JENDL-3 を使ったモンテカルロ計算は、全体として、広いエネルギー領域に渡って実験と良い一致を示した。特に、WINFRITH の鉄の実験では、24 KeV ウィンドウより僅か低いエネルギーにおいて、ENDF/B-IV ライブラリーよりもずっと良い一致を示した。また、JAERI-FNS 飛行時間法実験による黒鉛の実験でも、D-T 中性子の非弾性散乱による幾つかのピークおよび谷について ENDF/B-IV よりも実験に近い結果を示した。

一方、核分裂中性子源による 2 つの鉄実験では、JENDL-3 を用いた結果は 0.8 ~ 3.0 MeV において明らかな過少評価になった。

強制流動サブクール沸騰限界熱流束相関式の評価
Evaluation of Critical Heat Flux Correlations in
Subcooled Flow Boiling

稲坂富士夫、成合英樹

平成4年5月

日本伝熱学会 第 29 回日本伝熱シンポジウム講演論文集

一様加熱を受けるサブクール沸騰の限界状態は、一般に管出口付近で生じるので、限界熱流束相関式の多くは管出口条件をパラメータとしている。しかしながらサブクール沸騰では、限界状態における局所流れは、非平衡性が強いいため大なり小なり上流の影響を受けるものと考えられるが、相関式を引用する場合、研究者の多くは管出口条件をそのまま式に代入して予測値を求めている。本報告では、相関式に直接実験値の管出口条件を代入する場合 (Direct Substitution Method; DSM) と、実験値の入口条件を用い、管入口から出口までの条件を考慮した場合 (Heat Balance Condition Method; HBM) の 2 つの予測結果の違いについて評価を行った。さらに、サブクール沸騰限界熱流束に対する 7 つの実験整理式と 3 つのメカニスティックモデルを対象に、上記 2 つの評価法による違い、および圧力 0.1 ~ 4.0 MPa における種々の限界熱流束データに対する予測精度について評価を行った。

HBM は、実験値の入口条件を用い、熱バランス式から出口条件を与えるため、実験値とは異なる出口条件で解が求められることになるが、上流の影響が考慮されるため、local conditions concept に基づく実験式はもとより、system parameters concept の実験式やメカニスティックモデルも含め、HBM を用いる方が妥当な予測値を与えることを示した。

また、圧力 0.1 ~ 4.0 MPa における種々のデータを用いて各相関式を評価した結果、HBM を用いた場合、内径、あるいは管長が極めて小さくて高流速といった特種なパラメータ領域を除き、Gunther, Knoebel, Katto, 修正 Tong, および Griffel の各相関式が妥当な予測を与えることを示した。

<海洋開発工学部>

浮遊式海洋構造物の実海域実験

その6. 不均一温度分布による変形と応力

At-Sea Experiment of a Floating Offshore
Structure Part 6. Deformation and Stress
of Structure due to the Ununiformity
of the Temperature Distribution

星野邦弘、岩井勝美、佐藤 宏

平成4年5月

日本造船学会論文集 第171号

海上空港等の大規模浮遊式海洋構造物の上部構造物には、波浪による弾性変形はもとより日射を主要因とする自然環境条件によって温度分布が不均一となり撓み変形が生じる。浮遊式海洋構造物の温度分布による撓み変形と熱応力に関する研究は極めて少なく、実機計測は著者らの知る限りでは存在しない。

本論文では構造物の規模は小さいが浮遊式海洋構造物「POSEIDON号」で計測した実測自然環境データから構造物の温度分布を求め、有限要素法による構造解析を行ない撓み変形と熱応力の分布を求めると共に、実測歪と計算値との比較を行った。本論により得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 上部構造物の上面と下面の温度差によって生じる撓み変形は構造物中央部が浮き上がり、四隅が垂れ下がるような変形をする。また、この時上甲板面では圧縮方向の応力が発生し、長さ方向応力および幅方向応力はボックスガータ部分で最大となる。
- 2) 側壁面へ入射する日射量の相違により、側壁間で温度分布に不均一性が生じ、上部構造物は水平面内においても曲げ変形をする。この曲げ変形量は甲板面の上下曲げ変形に比べるとはるかに小さい。
- 3) 推算した温度差に起因する歪は、ボックスガータ上面では実測値と良く一致する。その他の個所については、定量的にはやや相違するものの定性的には良く対応した。
- 4) ボックスガータ上面の実測歪は、その上下の温度差に対して1日を単位にループを描く履歴特性を示す。
- 5) 気象庁より公表されている3時間毎の気象データを用いて、上部構造物上面の温度の1日の最大値最小値を推定する回帰式を示した。なお設計に用いるデータとしてはこの推定値に加えて、上部構造物下面温度は外気温の最大値を用いれば良い。

浮遊式海洋構造物の実海域実験

その7. 係留ラインの張力特性

At-Sea Experiment of a Floating Offshore
Structure Part 7. Characteristics of
Mooring Line Tensions

尾股貞夫、大松重雄

平成4年5月

日本造船学会論文集 第171号

浮遊式海洋構造物の係留設計においては、係留ラインに働く最大張力を予測すること及び長期間にわたってどのような繰り返し荷重が働くかを精度良く推算することが重要である。係留ラインの張力特性については従来から多くの理論的、実験的研究がなされ、係留ラインの動揺によって生じる流体力の動的影響を考慮した張力の計算法等が示されている。しかしながら、実機で計測されたデータを用いてこれらの考察を行った例はあまりないようである。

今回のPOSEIDON号の実海域実験ではほぼ2年間にわたって変動張力を計測している。また、長周期運動計測装置により浮体の運動も計測している。そこで本論文ではこれらのデータを使用し、まず変動張力の時系列シミュレーション法について検討を行い、長周期運動および係留ラインの動的影響を考慮した新しい簡易計算法を提案した。次に、実測時系列データやシミュレーションによって得られた時系列データのスペクトル解析及び統計解析により、係留ラインの動的影響や長周期運動が変動張力に及ぼす影響を検討した。最後に、これらの結果より、N波中の最大張力、振幅分布の予測法について考察した。その結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 実測された係留点の運動から、今回提案した動的計算法により変動張力の時系列シミュレーションを行ったところ、従来の簡易計算法に比べ、非常に良く実測値と一致することが確かめられた。
- 2) スペクトル解析や統計解析により、変動張力に及ぼす係留ラインの動的影響の寄与分、長周期運動の影響の寄与分が明らかになった。
- 3) 実測された張力の統計分布について、統計モデルの当てはめを行ったところ、Hermite momentモデルは変動張力のような非線形の強い現象にも精度良い当てはめができることがわかった。これにより、N波中の最大張力や振幅分布の予測が可能である。

浮遊式海洋構造物の実海域実験

その 8. 自由動揺時の流体力特性について

At-Sea Experiment of a Floating Offshore
Structure Part 8. Analysis of

Free Decaying Test

斉藤昌勝、加藤俊司、大川 豊

平成 4 年 5 月

日本造船学会論文集 第 171 号

海洋構造物の動揺特性は、その流体力特性によって左右される。流体力の中でも、減衰力として働く粘性抗力は理論的に求めるのが困難なものである。このため粘性抗力は強制動揺試験または自由動揺試験により実験的に求められ、モリソン式における抗力係数で表記されるのが通常である。この場合に実機と模型の間の縮尺影響は設計における重要な要素であるが、実機を用いた計測例はほとんどない。

本論文では、浮遊式海洋構造物 POSEIDON 号を用いて行った自由動揺試験結果を解析するにあたり短いデータから流体力を推定するために、静的最適化法を利用した時系列フィッティング法を考案し、実機の抗力係数特性を求めるとともに、1/25 模型を用いて自由動揺試験および強制動揺試験を行い抗力係数特性を求め、その尺度影響を調べた。以下に本論文で得られたおもな結果を述べる。

- 1) surge, sway に対する粘性抵抗係数 C_d の中には Kc 数に反比例する項が存在し、実機ではこの項が模型よりも大きい。
- 2) 微小角度の時、roll, pitch の線形減衰係数とは、surge, sway とは逆に模型の方が大きい。
- 3) 実機のシミュレーションを行うときには、粘性減衰力を定係数の線形項と定係数の自乗項に分離するのが妥当であると考えられる。この場合、実機の減衰力の自乗項は模型にくらべ小さい。

<氷海技術部>

船舶技術研究所氷水槽における模型氷の水質について

Model Ice Properties at Ice Tank of
Ship Research Institute

田淵浩文、北川弘光、小山鴻一、泉山 耕

平成 3 年 10 月

第 7 回 寒地技術シンポジウム

氷水槽は、砕氷船あるいは寒冷地用海洋構造物等の研究・開発のための実験施設であり、自然界に存在する氷の各種特性を模擬した模型氷を用いて実験を行うための水槽である。従って、使用される模型氷の水質は模型試験の試験結果に大きな影響を与える重要な因子であり、より特性の優れた模型氷を求める試みがそれぞれの氷水槽において連綿と続けられている。

船舶技術研究所氷水槽では、1981 年の建設以来 10 年余にわたって各種の氷中模型試験が行われている。この間、氷水槽で使用される模型氷も塩氷水に始まり、尿素水そしてエチレングリコール系模型氷と変遷してきた。一般に氷の材料力学特性には、ばらつきが大きく、試験結果には十分な量のデータが必要となるが、模型氷もその例外ではない。本論文では、氷水槽の諸設備、模型氷及び水質試験法に関して概略的な説明を行ったのちに、以下の点についてこの 10 年間に蓄積された模型氷の水質データの解析結果を報告し、考察を加えた。

- ① 模型氷の構造について
top-layer の厚さは氷厚の増大とともに増加する。これは、遷移領域において再結晶化現象が起きているという Hirayama の考察を裏づける結果である。
- ② 氷板中に取り込まれる添加物の濃度について
各模型氷について、水槽水と氷板中の添加物濃度の比較を試みた。Timco の試験結果とは、必ずしも一致は示さず、添加物による模型氷の改良という点についてもまだ研究の余地はあると考えられる。
- ③ 弾性率と強度の関係について
弾性率と曲げ強度の比は高強度領域において、塩氷水、尿素水、EG/AD 氷の順に高くなり、EG/AD 氷の優位性が示された。しかしながら、実海水と比べると、低強度領域では、この比はいずれも低い値を示し、さらに改善の必要がある。
- ④ 水質の安定性について
EG/AD 氷の水質の経時的劣化の可能性を示した。その原因については明らかではないが、これは模型氷の添加物の選択にあたって考慮すべき点である。

織布積層複合材の極低温域における
熱収縮異方性について

A Study on Anisotropic Thermal Contraction of
Woven Cloth Laminates

前田利雄、桜井昭男、高島逸男、山越寿夫

平成4年3月

日本材料学会 第21回FRPシンポジウム講演論文集

長繊維型の積層複合材はアルミ合金等に比べて熱的寸法安定性がよく、軽量、高強度であることから、船舶・航空機部品等の構造部材に広く使用されている。最近では、極低温容器や宇宙構造物等の大きな温度変化を受ける構造物への利用が検討されており、これに伴って、従来にも増して高い寸法精度が要求されるようになってきた。しかしながら、一般に使用される織布積層複合材は典型的な直交異方性を持つとともに、極低温域においては熱・機械的特性とも温度依存性が高くなるので、クライオスタット等の極低温用構造材として用いる場合、その異方性を十分把握しておく必要がある。本報告では、直交積層材の熱収縮率の方向依存性を明らかにするとともに、異方性の低減を図るため、斜交積層材及びハイブリッド積層材を製作し、低温域における熱収縮率特性を調べた。

供試FRPは強化材にガラスロービングクロス、カーボンクロス、アラミドクロスの3織布を、また樹脂には低温靱性に優れたビニルエステル樹脂を用いた。

得られた結果の主なものは次のとおりである。

- (1) 直交積層材の熱収縮率と斜交角度の関係は、GFRP、CFRP、AFRPのいずれも試験片主軸と繊維方向とのずれが最大となる45°において熱収縮率が最大となり、特にAFRPは異方性が顕著である。
- (2) 直交積層材の異方性を改善するため、織布の方向を変化させて斜交積層としたCFRP及びAFRPは、直交積層材に比べて全体的に熱収縮率が低下するとともに、異方性を小さくする効果が顕著に現れた。
- (3) 異方性の強いAFRPと比較的少ないGFRPあるいはCFRPとをハイブリッド積層することにより、低温域での熱収縮率の異方性をかなり低減できることがわかった。

船用プロペラまわり流場計算へのCFDの応用
—計算格子生成及びオイラー方程式を用いた非粘性計算—
Application of CFD to the Flow Computation
around a Marine Propeller, Grid Generation and
Inviscid Flow Computation using Euler-equation

宇都正太郎、児玉良明

平成4年5月

関西造船協会誌

船用プロペラ流場に関する理論計算は従来、ポテンシャル理論をベースとした発展を遂げているが、現状で残された研究課題は船体、舵との相互干渉や尺度影響等に代表される非線形性が強く、且つ流体の粘性が支配的な役割を果たす現象の解明に大略、限定される。これらの問題には、近年急速な発展を遂げつつある計算流体力学(CFD)手法が有力な手段として考えられる。そこで本研究では船用プロペラまわりの流場計算にCFD手法の適用を試みた。

最大の技術的課題の一つであるプロペラ実機形状まわり計算格子生成には共著者の1人によって考案された「幾何的方法」を採用したシステムを新たに開発した。支配方程式系は非粘性オイラー方程式及び擬似圧縮性項を付加した連続の式であり、空間方向の離散化には速度、圧力を格子の中心位置で定義する“Cell-centered”配置を用い、有限体積法に基づいた3次精度風上差分スキームを採用した。

計算対象は運輸省航海訓練所練習船「青雲丸」の固定ピッチプロペラ(MAU、5翼)である。但し、ピッチ比のみを原型の値より大きく設定した。翼面圧力分布、スラスト、トルク係数の各々について揚力面理論計算結果と比較、検討を行った。プロペラのピッチ比を大きくした場合には両者は定量的に良く一致した結果を与えるが、ピッチ比が小さくなり原型の値に近づくとき格子歪の影響が計算の安定性及び精度に影響を及ぼすことが明らかになった。この問題を解決するためには複合格子法の導入が有力であると考えられる。