

## 所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

ワークステーション流体力学

Fluid Dynamics with Workstations

日野孝則

平成3年5月

日本造船学会誌 743号

CFDの略語としての計算流体力学は、従来の理論流体力学や実験流体力学に続く第3の手法としての地位を固めつつある。このCFDの発達はスーパーコンピュータの存在を抜きにしては語れないが、近年の計算機技術の発展に伴うワークステーションの高性能化によって、CFDの中で占めるワークステーションの比重が高くなってきている。

ここでは、ワークステーションによるCFD技術の開発について紹介する。

プログラム入力、ワークステーション上の高機能エディタの使用により、従来のような紙上コーディングの作業はなくなった。また、コンパイル・エラーやリンク・エラーの検出や修正も、エディタの機能やUNIXのコマンドで効率良く行うことが可能となっ

た。

プログラムのデバッグにおいても、ワークステーション上のウィンドウベースのデバッグツールにより、従来に比べると短い時間でプログラムの修正が行えるようになった。

本計算は、大型計算機(スーパーコンピュータ)を用いることが多いが、ネットワークでワークステーションと大型機がつながっていると、比較的容易にプログラムやデータの転送が行える。しかし、OSの違いや文字コードの違いがあると、それらのための変換に時間を取られる。

CFDの要素技術としては、計算格子生成という前処理、計算結果の視覚化という後処理も重要である。これらに共通して言えることは、対話型処理であること、グラフィックス出力を伴うということである。このような処理は、ワークステーションが最も得意とするところである。

A Fundamental Study on a Flow Field  
around a Submerged Body of Revolution  
with Surface Piercing Strats

水面貫通型ストラットのついた没水回転体まわりの  
流場に関する基礎的な研究

不破 健、平田信行、日野孝則  
平成3年6月

First International Conference on Fast Sea Transportation Vol.1

近年、各国で新形式超高速船の開発プロジェクトが実施され関心を呼んでいる。その基礎研究として流体現象の解明は重要である。

ここでは、船体構成要素となる没水体とストラットのまわりの流場についてデータの少ない高速域を主対象として流場計測と理論計算とにより検討した。

2本の円弧翼型ストラットをもつ長さ約4mの没水回転体の模型を一定の姿勢で拘束し、流体力、波形、後流が計測され、表面流線が観測された。波形は水槽中央部の架台に設置した複数の容量式波高計とトラバース装置に取り付けたサーボ式波高計により計測され波紋図にまとめられた。後流計測実験では、船体後方の横断面内の流速分布等を5孔ピトー管により計測した。また、タフト法により可視化した船体表面流線を側面より水中ビデオで撮影し観測した。

これらの総合的な計測により基本的な流場の構造が明らかになり理論計算結果と比較検討された。理論計算は線形造波理論、ノイマン・ケルビン問題に対する足達・竹子法を中心に検討を加えた。高速時にはストラット部から顕著なスプレーが発生し、波崩れも観察されるが、キャビテーションや空気扱い込み現象あるいは大域的な剝離は発生しない。その結果、基本的には造波およびその干渉現象が流場を規定し、抵抗等の流体力特性を決定していることが判った。また、成分分離による抵抗推定も有効であることが判った。近場の流場は砕波やスプレー等で規定されるのでそれらのモデル化とそのモデルを組み込んだ計算法の研究が必要である。そのためにはCFDの手法が有効で今後の研究が期待される。

CALCULATION OF FREE-SURFACE FLOWS  
GENERATED BY PLANING CRAFTS

滑走艇によって造られる自由表面流れの計算

日野孝則、平田信行、堀 利文  
平成3年6月

First International Conference on  
Fast Sea Transportation

滑走艇は小型の高速船としてよく用いられている。高速時には動的揚力によってその重量の大部分を支持するので、滑走艇の性能予測には滑走状態の解析が必要である。滑走艇のまわりの流れ場は、船首におけるスプレーやトランザム・スターンでの波の切れなどの低速船にはない特徴を持っている。

本論文では、このような流れ場に対するCFD技術の適用可能性を調べるために、簡単な形の滑走艇に対して自由表面流れの計算を行った。

計算法は、オイラー方程式の有限差分法をベースとして、非線形自由表面条件を考慮したものである。滑走時のトランザム・スターンでの波の切れを表現するため、船尾端での境界条件を工夫した。すなわち、船尾端の船底では、流速は船底に沿う方向で与え、さらに、そこでの波高が船底より低くならないという条件を課した。一方、船首におけるスプレーについてはモデル化を行わず、船首船底での波高を線形外挿で与えるという近似を行った。

deadrise角 $0^\circ$ の箱型の滑走艇に対して、船尾ベースのフルード数で1.011の計算を行った。船尾端での波の切れは良くシミュレートされたが、船体表面圧力分布の実験値との比較では、船首部での圧力のピークが計算では表現されていないことが分かった。これは船首部の波形の扱いの近似のためと思われる。

次にdeadrise角 $10^\circ$ の柱状船型について、フルード数1.433で計算を行った。後続波形を実験値と比較した結果、良好な一致が見られた。

## Flow Field Measurements Around Marine Propellers at Towing Tank Using Fiber Optics LDV

光ファイバ LDV による曳航水槽での  
船用プロペラまわりの流場計測

角川 明、竹子春弥、牧野雅彦  
平成 3 年 8 月

American Society of Mechanical Engineers  
Proceedings of 4th International Conference  
on Laser anemometry

船舶技術研究所では LDV 応用の第 2 段階として、曳航水槽における船尾まわりの流場計測に LDV を利用した。現在のところ、曳航水槽特有の制約が LDV 利用の妨げとなっているため、LDV による曳航水槽における流場計測例は未だ数少ない。また、自由航走状態の模型船に LDV を搭載した例は、未だ報告されていない。

著者らは、曳航水槽の制約を検討すると共に、光ファイバ LDV を使用した流場計測システムを開発した。そのシステムは模型船搭載型であり、自由航走状態の船尾流場計測を目的としている。プロペラまわりの流速分布を、その LDV システムにより数例計測した。その計測結果、および LDV に欠かせないシーディングについて検討し、以下の結論が得られた。

(1) 曳航水槽における自由航走状態の模型船まわりの LDV による流場計測は、制約条件が厳しく、実状において非常に困難である。計測ボリュームが小さく、しかも焦点距離と受光レンズ口径の比が大きい、後方散乱型 LDV の開発が望まれる。

(2) 模型船搭載型 LDV 計測システムにより、プロペラ設計に対する情報として、さらに実際的な状態におけるプロペラまわりの流場計測が可能となった。

(3) 計測データ数を優先する場合は、計測点の移動と共に船首シーディングノズルを移動するシーディング法が使いやすい。そしてシーディングが流場に与える影響を少なくするためには、計測前に船尾後方へ散布するシーディング方法が確実である。

(4) 現在のところ、曳航水槽における LDV 計測は、LDV の性能およびシーディングの問題から、計測効率が悪く、特定目的の計測に限定せざるを得ない。ただし、十分なシーディングと剛性の高いトラバース装置を工夫するならば、流速変動成分の計測も可能である。

## Measurement of Pressure Distribution on Full Scale Propellers

実船プロペラの翼面圧力計測

右近良孝、工藤達郎  
湯浅 肇、上入佐光  
平成 3 年 9 月

The Symposium on Propellers/Shafting  
'91, SNAME Proc. of the symp.  
on Propellers/Shafting '91

本論文では世界初の実船プロペラ翼面圧力計測法の開発とこの方法に基づく計測結果について述べる。実船計測は運輸省航海訓練所の青雲丸の通常型プロペラ（以下、CP という）とハイリースキュードプロペラ（以下、HSP という）の 2 つのプロペラについて行われた。本計測のために、新たに特殊圧力計が開発され、各種の予備試験が行われた。

実船計測は穏やか海域を選び、注意深く行われたので、両プロペラに関しキャビテーション発生域を除き、プロペラ回転数に拘らず、流体力学的に相似な計測結果が得られ、本船のスラスト計の指示値と合理的な対応が得られた。計測結果は船研で開発されている既存プロペラ揚力面計算法と比較した。この計算では実船推定伴流分布が用いられた。

CP に関しては背面側の主な計測点において、本計測と理論計算値が非常に良く一致した。一方、正面側の後縁側では理論計算が圧力を過少評価する、即ち、低い圧力を与えることが分かった。一方、HSP に関しては、0.7R (70%半径位置) より内側では本計測と計算値は良く一致するが、0.9R では計測値は後縁にいくに従って低い圧力となり、後縁では理論とは全く異なるものとなった。これは HSP では正転時においても、理論、即ち、設計で予測される以上の高荷重が翼端近傍の後縁に加わることを意味し、近年報告されている翼端での切損事故との関連を示唆するものである。

また、本計測結果は既存のプロペラ理論の改善すべき点を指摘しており、極めて貴重なデータであり、CFD を含む理論計算や新しい設計法の検証データとして、有効に活用されるであろう。

## Computation of Viscous Flows with Free Surface Around an Advancing Ship

進行する船のまわりの自由表面を含む粘性流れの計算

日野孝則

平成3年9月

The 2nd Osaka International Colloquium  
Proceedings of the 2nd Osaka  
International Colloquium

自由表面流れは船舶流体力学において極めて重要である。この自由表面流れを解くために、CFD 技術をベースとして多くの計算法が開発されてきた。しかし移動境界の取り扱いの複雑さのため、自由境界近くで解を精度良く求めることは容易ではない。本論文では粘性自由表面流れを解くための新しい計算法を示す。自由表面に適合しない座標系において、自由表面条件を精度良く満足させるように注意をはらった。

手法は非定常ナビエ・ストークス方程式に対する有限体積法をベースとし、非線形自由表面条件を取り込んでいる。支配方程式は計算セルの中心に変数を配置して、運動量と質量が全域で保存されるように離散化される。自由表面の運動学的条件に対して新しい手法を用いた。この手法は流体体積の保存性を満たしている。自由表面条件の扱いにおいては、運動量と質量が境界近くでも保存されるように留意した。

時間積分は近似因数分解法を用いることにより、運動方程式、自由表面の運動学的条件の両者について陰的に行う。

乱流モデルは Baldwin-Lomax の代数モデルを用いた。

数式船型である Wrgley Model を対象に、レイノルズ数を  $10^6$  とした計算を行った。フルード数 0.25 と 0.05 の 2 種の計算を行い、自由表面の影響の少ない、フルード数 0.05 の結果を比べて、フルード数 0.25 の結果では、圧力分布、速度分布に顕著な自由表面影響が見られた。

## A Globally Conservative Upwind Scheme Applied to Flow Past a Ship Hull

船体まわり流れに適用されたグローバルな  
保存性をもつ上流差分スキーム

児玉良明

平成3年9月

The 2nd Osaka International Colloquium  
Proceedings of the 2nd Osaka  
International Colloquium

船体まわり流れの数値計算の目的は、大別して 2 つある。ひとつは船尾プロペラ面に流入する流れの分布を求めることであり、プロペラ性能計算の入力として重要である。もうひとつは抵抗値の推定である。本論文で紹介する新しい計算スキームでは、船体抵抗値がそれを計算する際の積分路のとり方に依存しないという特徴をもつ。すなわち抵抗値が唯一に定まるため、その高精度推定に関する確かな基礎を与えることができる。グローバルな保存性とは、そのような特徴を表す言葉である。

本論文では、著者が以前に発表したグローバルな保存性をもった 2 次元計算スキームの 3 次元への拡張を示す。そこでは有限体積法に基づき、cell-centered な計算点配列を用いて、保存的な 3 次精度上流積分スキームを構成する。

シリーズ 60 ( $C_B=0.6$ ) 船型について計算を行った。船体近傍の流速分布は、以前の計算と殆ど同一であり、実験結果と良い一致を示したが、船尾縦渦については十分な強さを予測できなかった。船体表面圧力分布は実験結果と良い一致を示した。

船体抵抗値を計算し、その値が積分路に依存しないこと、すなわち船体表面で積分した値と計算領域の外側境界で積分した値が一致することを確認した。そして得られた抵抗値は実験値と極めて良い一致を示し、かつレイノルズ数に対する依存性も良い傾向を示した。

本計算法が従来の計算法に比べて精度が高いと同時に 1/3 の計算時間しか必要としないことを確認した。

## Model Test on Performance of Propellers Driven by an Outboard Motor

船外機プロペラの性能に関する模型試験

右近良孝 住野吉胤

平成3年10月

Small Engine Technology Conference,  
SETC Proc. of SETC

小型高速艇に用いられる船外機用プロペラの性能を正確に評価するには、海や湖での実艇試験は潮流、風ばかりではなく波等の複雑な外的要因のために適切ではない。本論文では実験データが全く公表されていないこの種のプロペラの性能を正確に把握するため、曳航水槽ばかりでなく、大型キャビテーション水槽において2種類の模型プロペラにつき、試験が行われた。これらのプロペラは翼面形状とスキューラインを除き、幾何学的に同様な形状となっている。1つのプロペラは高速モーターボートに用いられ、在来外のスキュー形状となっている。一方、もう1つのプロペラはレース用ボートに用いられるクリーバー型(三カ月型)の翼面形状をもつ。

2つの試験施設での実験結果、スーパーキャビテーション状態では前者のプロペラの効率は後者のそれより高く、一方、空気吸い込みに関しては後者の方が空気を吸い込みみずらく、高いスラストを発生し易いことが分かった。

本研究では2つのプロペラの性能計算のために、プロペラ揚力面計算を用いたが、計測結果とは定性的に逆な傾向の計算結果が得られた。プロペラ形状により粘性影響が複雑に変化したためと考えられ、翼後縁が厚いプロペラの性能計算法の改良の必要性が指摘された。

今回得られた模型試験結果は高速モーターボートプロペラの設計に貴重なデータを与えるものとする。

〈運動性能部〉

## 船の転覆限界のフラクタル性に及ぼす強制力の位相の影響について

On the Effect of the Phase of Exciting Force on Fractal Capsize Boundaries of a Ship

田口晴邦、菅 信

平成3年5月

西部造船会々報 82号

転覆を表す横揺れ方程式の中で最も単純なものは、復原力項に3次の非線形項を持つ軟化スプリング系の強制 Duffing 方程式で表せる。この方程式を変換することにより、減衰係数  $\kappa$ 、強制力の振幅  $B$ 、周波数  $\Omega$ 、位相  $\delta$  の4つの制御パラメータを持つ非線形常微分方程式が得られる。この型の方程式の解はパラメータの組み合わせや、初期条件によって Chaos を含む複雑な挙動を示すことが知られている。また、前報では上記の方程式を数値的に解くことにより横揺れ角と横揺れ角速度の作る初期値平面や、4つのパラメータの内  $\kappa$ 、 $B$ 、 $\Omega$  の作る制御空間で転覆領域と非転覆領域の間の境界、即ち転覆限界が非常に複雑なフラクタル性を有した形状をしていることを示した。

そこで本報では未調査であった強制力の位相  $\delta$  が、初期値平面及び制御空間の転覆限界に及ぼす影響について調べた。さらに、転覆か非転覆かを判定する強制力のサイクル数は実際の海上で船が転覆する程の高波高の波を続けて受ける回数に対応するものであるが、これを变化させた場合に転覆限界がどのように変化するかについても調べた。

その結果、転覆限界のフラクタル性が強制力の位相によっても複雑に変化する、つまり転覆限界は4つの制御パラメータと2つの初期値の作る6次元空間内で複雑なフラクタル性を有する形状をしていることが明らかになった。また転覆か非転覆かを判定する強制力のサイクル数が1~2程度では転覆限界のフラクタル性が少なくなり、 $\Omega$ - $B$ 制御平面の転覆限界が高波高側へ移動することが明らかになった。このことは前報で示した分岐限界が必ずしも転覆限界の危険側に来るとは限らないことになり、今後安全基準への応用を考えた場合、この分岐限界が基準としての有用性を持つ可能性もあり、サイクル数に関する検討を詳細に行う必要があると考えている。

〈構造強度部〉

PC鋼より線の3% NaCl水溶液における応力腐食特性  
Stress Corrosion Characteristics in a Prestressing  
Strand in a 3% NaCl Aqueous Solution

小林祐規、田中義久

平成3年9月

プレストレストコンクリート技術協会

プレストレストコンクリート Vol. 33 No. 3

本稿は、プレストレストコンクリート(PC)構造の緊張材に用いられるPC鋼より線の応力腐食特性についての報告である。応力腐食実験は、自然腐食状態およびアノード分極下において、定荷重法により実施した。結果は、断面減少、腐食速度、強度低下について、電気化学的な見地から検討した。さらに、被覆モルタルのひびわれがPC鋼より線の断面減少および腐食速度に及ぼす影響を検討した。以下、主な結果を示す。

1. PC鋼より線の腐食速度について

自然腐食状態での初期腐食速度は、試験時間に比例して早くなり、1年後の腐食速度は、0.115mm/yrとなる。これは、ブルーイング処理(低温下での応力除去焼鈍)により形成される酸化皮膜が、腐食を抑制しているためである。しかし、皮膜は、4.5カ月の試験で破壊される。皮膜破壊後は、腐食速度が0.2mm/yrとなる。

アノード分極下における腐食速度は、負荷応力の影響を受けず、電位が自然電極電位に近いとき0.1mm/yrとなる。この腐食速度は、分極曲線から求めた腐食速度にほぼ等しい。また、被覆モルタルのひびわれ直下でのPC鋼より線には、腐食による局所的な断面減少が生じる。この局所の腐食速度は、ひびわれ幅、電位および負荷に依存するが、狭いひびわれ幅では、電位および負荷の影響が小さい。ひびわれ幅0.25~0.3mmでの腐食速度は、0.1~0.2mm/yrとなる。

2. PC鋼より線の応力腐食速度について

自然腐食状態下では、破断強度は試験時間が長いほど低下したが、破断応力はほとんど低下しなかった。これは、腐食による断面減少が大きな要因である。

アノード分極下では、素線の残存強度試験から、破断応力が8~10%低下した。この要因として、局部腐食による切欠き、孔食の成長および素線表面の応力腐食割れがあげられる。

〈機関動力部〉

Two-phase Mist Flow Cooling in the Tube with High  
Wall Temperature (Analytical Estimation)

高温壁管内の二相噴霧流冷却に関する研究  
(解析的検討)

波江貞弘

平成2年12月

SCRIPTA Technica Incorporation  
(Sponsored by ASME)

Heat Transfer Japanese Research 19巻5号

噴霧流伝熱については、貫流ボイラや原子炉の蒸気発生器の高乾き度領域における伝熱や空気熱交換器の小型化に関して多くの研究がなされている。しかしながら、高温壁面の冷却手法として噴霧流の温度特性を積極的に活用するという視点から検討した例は見られない。高温域噴霧流による冷却は、(1)液体による冷却に比べると伝熱量は一般に小さいが、(2)液滴の蒸発潜熱によって見掛け上、熱容量の大きな流体による冷却と同様な性質を持ち、また、(3)壁温度に対して系圧力を独立に維持でき、沸騰遷移のような不安定現象を伴わないなどの特徴を保有している。したがって、高温域噴霧流伝熱は、高温の壁面を弱冷却し、しかも比較的広い範囲を等温度に維持する目的に適していると考えられる。

本研究では、上記の冷却特性、特に従来検討されていなかった流体温度の上昇抑制効果に注目し、流量、気液流量比(乾き度)、液滴径、液滴速度、気相温度ならびに熱流束の各因子が及ぼす影響を解析的に推定している。

結論として、流体の温度上昇係数を新たに導入し、液滴径が200ミクロン以下で、入口乾き度が低い場合に、この係数が小さいこと、熱流束の増加によって多少増加するが、質量速度の影響はかなり小さいことを示している。また、本係数に関して、物性値の温度依存性も考慮した、熱的発達域を対象とする簡易表示式を導いている。一方、管入口部の熱的助走区間では初期蒸気温度と液滴すべり速度が影響することを述べている。

Investigation of Annular Liquid Film Flow in  
Tubes with Helical Ribs and Wires  
(Suppression of Droplet Entrainment with  
the Aim of Improving Evaporative Heat Transfer)

ら旋細線などを挿入した管内における  
環状液膜流の研究  
(蒸発伝熱の改善を目的とするエントレインメント抑制について)  
波江貞弘、汐崎浩毅  
平成3年3月

米国機械学会及日本機械学会 第3回日米機械学会  
熱工学合同会議、講演論文集 第2巻

貫流ボイラや原子炉、ヒートポンプ・コジェネレーションシステムの蒸発器など、貫流型蒸気発生装置の小型高性能化に関連して、蒸発管内における多量の液滴発生(エントレインメントと称する)は管壁面上の液膜流量を減少させ、伝熱性能の劣化ならびに蒸気乾き度の低下の要因となるため、これを極力抑制する必要がある。そこで、細線などをら旋状に挿入した蒸発管を新たに提案し、ら旋構造や気液流量を変化させた場合の環状噴霧流の流動状況への影響を実験的に検討している。また、液膜流の界面形状とエントレインメントとの関係を調べている。主な結論はつぎのとおりである。

液滴量の総液流量に対する比  $E$  は、細線などら旋構造物の高さ  $d$ 、ら旋ピッチ  $p$ 、ら旋条数  $n$ 、気相流速  $U_g$ 、液流量  $W_L$  によって影響される。そして、ら旋溝構造管内ではエントレインメントが抑制され、平滑管における値  $E_s$  と比較すると、最大で40%程度にまで低減される。その際、液膜表面に存在する通常「じょう乱波」と称される界面波の数は減少し、またその形状も三次元的な小さな波に変形している。これらの変化がエントレインメント抑制の原因と考えられる。

著者らは別報において、上記エントレインメント抑制効果が三つの無次元数で整理可能なことを既に報告しているが、本論文では最終的に次の実験整理式を提示している。

$$E/E_s = k \times n^i (\pi D/p)^{-0.353} / (d/\delta)$$

ここで、 $\delta$  はじょう乱波の代表高さであり、

$$\delta = 185 \times W_L^{0.32} / U_g$$

で表示される。また、 $k$ 、 $i$  は実験定数である。

一方、ら旋溝構造管の二相流圧力損失は、管の水力直径による換算だけでは充分整理できず、他の要因が影響することを述べている。

船舶航行における潜在的危険の評価

Safety Assessment of Ship Navigation  
considering Potential Danger

沼野正義、奥住恵子、福戸淳司  
金湖富士夫、田中邦彦、桐谷伸夫  
有村信夫、村山雄二郎、今津隼馬  
平成3年5月

日本航海学会第84回講演会 前刷

一般的に安全の評価には、確率論的な手法が用いられている。しかし、この手法で、航行の安全を担保する各種安全支援方策の効果を評価するのは、ほとんど不可能である。そこで、これに代わって、安全を担保している安全支援方策を明らかにし、この効果を「安全余裕」という指標で評価する手法を提案している。

船舶航行において、衝突の危険のある見合い関係が生じる度に、操船者は状況の把握、衝突危険性の判断、操船行動の計画、実行といった一連の危険回避処理を行っている。ここで、安全を担保するというのを、通常は衝突回避過程を含む航行の各局面において、航行環境や操船者等の状況の変化(「外乱」)によって潜在的な危険が顕在化した場合に、これを回避できることを意味すると考える。従って、衝突が回避された結果とその過程を解析し、「外乱」による潜在的な衝突の危険を回避するのに要する時間や距離等を除いた最接近点までの残りの距離や時間等を「安全余裕」と呼び、潜在的な危険の評価指標とする。ただし、船舶の遭遇では、操縦性能や想定すべき「外乱」、操船者の回避能力等が複雑に影響し合うため、「安全余裕」は時間や距離だけで表現するのではなく、見合い関係等を含めて総合的に導出する必要がある。高速船と一般船との遭遇において、高速船の操縦性能の良さを考慮すると、操船者の「危険回避処理時間」の確保の方が、船舶性能に依存する操縦運動にかかる時間を考慮するよりも、安全を担保する上で重要であると考えられる。このように、「危険回避所要時間」が決まると、高速船側の「安全余裕」が導出でき、潜在的危険の程度が推定できると考えられる。「安全余裕」による評価は、航路設計や在来船と性能の大きく異なる船舶の安全評価等において有効と考えられる。安全余裕による定量的な評価のためには、「外乱」の範囲や衝突回避性能等についての調査を深めることが重要である。

## Effect of Helical Wires on Liquid Film Structures in a Two-Phase Annular Mist Flow

環状噴霧流の液膜構造に及ぼすらせん線の影響

波江貞弘、汐崎浩毅

平成3年9月

日本混相流学会

混相流国際会議 講演論文集 1巻

蒸気ボイラや原子炉等の蒸気発生器など貫流型蒸気発生装置の小型高性能化に関連して、蒸発管内における多量の液滴発生（エントレインメント）は伝熱管表面のドライアウトを早め伝熱性能を著しく劣化させるばかりでなく、発生蒸気の乾き度を低下させる要因となる。著者らは蒸発管内壁に細線をらせん状に挿入することによって、この液滴発生を抑制する研究を実施してきた。本報告はその第3報として、抑制機構を中心に実験的検討を行ったものである。

前報までの検討結果から、エントレインメントは気液界面のじょう乱波の波頭から発生すること、液膜抵抗法による計測により、らせん線がこのじょう乱波を減少させていることが明らかになっている。また、らせん回転による遠心力の作用が逆方向となる二重管構造の流路内での実験結果と円管内での結果とを比較する事により、上記のじょう乱波の減少に及ぼす遠心力の作用は小さいこと、現象を支配しているのは液膜界面波に対するらせん線の直接的な干渉作用であることを一部報告している。そこで、本文の前半ではこれらの結果を要約して、これまでの議論を整理している。

さらに、後半ではらせん線周辺の液膜構造について、液膜抵抗法による詳細な計測、ならびに油膜塗布法による流れの可視化計測を実施して、流動状況を調べている。これらの実験から、らせん線の上流側直前において液膜流の平均厚さならびに界面の波数が急増すること、管壁面近くにおいて液膜内に二次流れが観測されることを明らかにしている。そして、これに起因して液膜内に生じると思われる大きな速度勾配によって界面の波のエネルギーが散逸され、結果としてじょう乱波が小さな波に砕波されるものと推論している。

〈材料加工部〉

## 焼結アルミナの高温摩擦摩耗特性

Friction and Wear of Sintered Alumina at High Temperature

千田哲也、飯野千織、植松 進

天田重庚

平成3年7月

日本機械学会論文集 C編 57巻539号

焼結アルミナの摩擦摩耗試験を、最高1200°Cまでの高温で行い、摩擦摩耗特性について考察した。温度、荷重（面圧）およびすべり速度を変えて試験を行い摩擦係数を測定した。また、一定条件で摩擦をした後の重量減少量で摩耗を評価し、摩擦面のSEM観察等を行った。

摩擦係数は、室温では約0.8であったが、温度が高くなるにしたがい単調に低下し、1200°Cでは0.4程度になった。高温では、荷重が高いほど摩擦係数は低くなり、この荷重依存性は温度が高くなるほどより顕著になった。摩擦係数のすべり速度依存性はなかった。

室温での摩耗量は同一条件でも大きく異なる場合があった。室温では、試験中摩耗粉があまり発生せず試験後の摩擦面が比較的平滑な場合と、多量の摩耗粉が発生し摩擦面に激しい層状の剝離の跡がみられる場合があった。この違いは摩耗のモードが異なるためであるとし、それぞれに約1桁異なる摩耗率を適用し、試験途中でモードが変化する場合があると考えたことにより、摩耗データのばらつきを説明することができた。

摩擦係数が低くなる800°C以上の温度域では、比摩耗量もそれ以下の温度域にくらべ1桁以上小さくなった。摩擦面の相変化や特定元素の析出等はなかったが、試料断面のSEM観察により、摩擦面付近に厚さ5-10 μmの、微細な粒子からなる表面層が形成され、表面がきわめて平滑になっていることがわかった。高温での摩擦係数の低下と摩耗量の減少は、この微細粒子層の形成によるものと考えられる。



Twinning in ZnO Ceramics with Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AdditionsSb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を添加した ZnO セラミックスの双晶

千田哲也, R.C. プラット

平成 3 年 9 月

日本セラミックス協会学術論文誌 99巻 9号

ZnO 焼結体の結晶にみられる双晶に関して、知られている 3 つの形成メカニズム、すなわち転移双晶、変形双晶および成長双晶について、それぞれの可能性を検討した。ZnO に Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を添加した焼結体では、ZnO の各結晶粒中にただ 1 つの双晶境界が粒子のほぼ中央にみられる。また、極性を持つウルツ鉱型構造である ZnO の双晶は、極性の逆転による head-to-head 型の反転双晶 (inversion twin) であるとされる。

ZnO 双晶の微構造的特徴は、転移双晶や変形双晶でみられるものと形態がかなり違っており、また、ZnO 焼結体には双晶を形成するような相転移や変形の履歴はないため、転移や変形による双晶である可能性は考えにくい。一方、Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を添加すると、ZnO との反応によりスピネル型立方晶構造を持つ Zn<sub>7</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>12</sub> が形成されるが、ウルツ鉱型六方晶構造の ZnO とスピネルの酸素イオンの積層配列の類似性から、スピネルの存在により粒成長時に酸素イオンの積層欠陥が誘導され、双晶境界が形成されるというメカニズムが有力と思われる。粉末成形体の焼結と粒成長の初期段階において発現する成長双晶であると考えるのが妥当であるとの結論に達した。

双晶が各 ZnO 結晶粒にただ 1 組だけ形成されるのは、双晶境界が head-to-head 型に限られることの結果と考えられる。そして、焼結のきわめて初期に双晶が形成され、その後等方的に粒成長が起きる結果、結晶粒のほぼ中央に双晶境界が残ることになったと思われる。

Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を添加した ZnO セラミックスの双晶Twinning in ZnO Ceramics with Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Additions

千田哲也, R.C. プラット

平成 3 年 10 月

日本セラミックス協会

創立100周年記念国内シンポジウム

ZnO 焼結体の結晶にみられる双晶に関して、知られている 3 つの形成メカニズム、すなわち転移双晶、変形双晶および成長双晶について、それぞれの可能性を検討した。ZnO に Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を添加した焼結体では、ZnO の各結晶粒中にただ 1 つの双晶境界が粒子のほぼ中央にみられる。また、極性を持つウルツ鉱型構造である ZnO の双晶は、極性の逆転による head-to-head 型の反転双晶 (inversion twin) であるとされる。

ZnO 双晶の微構造的特徴は、転移双晶や変形双晶でみられるものと形態がかなり違っており、また、ZnO 焼結体には双晶を形成するような相転移や変形の履歴はないため、転移や変形による双晶である可能性は考えにくい。一方、Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を添加すると、ZnO との反応によりスピネル型立方晶構造を持つ Zn<sub>7</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>12</sub> が形成されるが、ウルツ鉱型六方晶構造の ZnO とスピネルの酸素イオンの積層配列の類似性から、スピネルの存在により粒成長時に酸素イオンの積層欠陥が誘導され、双晶境界が形成されるというメカニズムが有力と思われる。粉末成形体の焼結と粒成長の初期段階において発現する成長双晶であると考えるのが妥当であるとの結論に達した。

双晶が各 ZnO 結晶粒にただ 1 組だけ形成されるのは、双晶境界が head-to-head 型に限られることの結果と考えられる。そして、焼結のきわめて初期に双晶が形成され、その後等方的に粒成長が起きる結果、結晶粒のほぼ中央に双晶境界が残ることになったと思われる。

〈装 備 部〉

制振材の振動低減効果に関する実験的検討

Experimental Studies On Effects of  
Damping Materials.

金丸貞己、原野勝博

平成3年9月

日本騒音制御工学会技術発表会

講演論文集 1991年9月

船舶居住区における騒音は、主機・補機等からの空気伝搬音よりも、船体構造体内を伝搬する固体伝搬音による騒音が支配的である。その騒音軽減対策として、船室の鋼板構造物に制振材を貼付し、振動低減を図る方法が試みられている。

当所においても、船舶居住区の低騒音化対策として、制振材による効果的な適用法について検討している。ここでは、その一環として制振材をスティフナ付鋼板に貼付し、構造体に取り付けた時の振動低減効果を調べた。この結果を基に一般に用いられている振動低減量推定式の係数  $C$  (理論値は  $C=10$ ) を実験的に求め、さらに制振材の貼付パターンや面積比による振動低減効果について検討した。

この結果、振動低減推定式の係数  $C$  は、本構造体では約3~4.3になった。これは理論上の振動低減量の30%~43%である。

制振材貼付面積比による振動低減効果は、制振材100%貼付と比較して60%貼付の時は75%に、30%貼付の時は49%の効果になった。

貼付パターンの違いによる振動低減効果では、低周波数域では鋼板の中央部へ、高周波数域では周辺への制振材の貼付が効果的であることが判った。

構造体内の振動伝達パワーの測定

(その2: 防撓材の溶接法等の検討)

Measurements of Vibrational Transmitted Power  
in Structural Elements by Intensity Method  
(Part 2: Examination on the Influence of  
Welding Length of Stiffner)

原野勝博、金丸貞己、橋爪 豊

平成3年9月

日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集

動力源の起振力を知ることは、防音・防振対策を行う上で重要であり、筆者等は振動インテンシティ法による機器の起振力を測定する方法を検討している。前報ではビーム要素の2点間の加速度信号のクロススペクトルを計測する(2点法)ことで梁や平板中を伝搬する振動エネルギーフローを計測できることを示した。その計算にはビーム要素の曲げ剛性値が必要であり、防撓材が付いている場合は、その接合部は完全に溶接されているとして曲げ剛性を計算している。しかし、薄板構造物では、溶接歪による変形が大きくなるため全溶接できない場合がある。そこで防撓材接合部の長さ、実際の溶接長さの割合を100、50、10%に変化させた梁構造体の振動伝達パワーが、前報で示した計算法からどの程度外れるかを実験的に調べてみた。

2点法は理論的には振動系が完全自由場の場合のみに成立する関係であり、実際の構造物に適用するにはまだ未解決の課題が多い。そこで、基本原理に戻り、制約条件がないと考えられる、差分法に基く4点の計測信号のクロススペクトルから伝達パワーを求める式を導き、実験値と比較してみた。検討結果は、以下の通りである。2点クロススペクトル法による構造体中の振動伝達パワーの計測精度は、スティフナ結合部が完全に溶接されており、要素分割法が適切であれば誤差10%程度であった。しかしこの手法をスティフナが全溶接でない場合にそのまま適用すると、計測精度は溶接率により大幅に変化し、溶接率が50%の場合66%程度に、溶接率10%では47%に低下することが分かった。この原因は、スティフナの結合力が弱くなると、各要素が自由に変形し易くなって、縦曲げ振動モード以外の振動モードが生じ、全溶接時に想定したような要素分割計測箇所の設定が適切でなくなるためである。4点差分法から求めた伝達パワーは、スペクトルの形は似ているが、入力パワーより過大になった。

〈システム技術部〉

確率論的安全評価における火災リスク評価手法の  
研究(3)火災事故データの分析

Study fo Fire Risk Analysis Method in the PSA (3)  
Analysis of Fire Accident Data

松岡 猛、高荷道雄、川久保文恵、蛭沢勝三

平成3年10月

日本原子力学会秋の分科会

外的事象・火災による炉心損傷頻度の評価においては、火災原因、火災鎮火時間、火災発生場所等のデータを整備・分析することが重要となる。

米国サンディア国立研究所で収集した原子力プラント火災事故情報を基に火災事故データの整備・分析を行った結果について報告する。

本データは、IBM-PC上でリレーショナル・データベース dBASE IIIを管理システムとして用いたシステムである。含まれているデータは、米国原子力保険会社のデータ、米国電力研究所 (EPRI) のデータ、原子力事業者から米国原子力規制委員会への報告 (LER)、Nuclear Power Experience (NPE) であり、計354件の火災事例が収録されている。データ中の項目は、プラント名、運転開始年月日、火災発生・消火・火災による影響等であり、各項目別に検索・表示・出力が可能である。

まず、このデータ・ベースを NEC-PC 980 1上で使用できる様に修正した。次に、データ中から建設中の事故を除いた201件について分析を行った。その結果、(1)火災原因としては、機器及び電気故障が全体の68%となっている、(2)火災発生場所は、BWRではディーゼル発電機建屋、タービン建屋、補助機器建屋での発生割合がほぼ同程度であるが、PWRではディーゼル発電機建屋が主となっている、(3)鎮火に要した時間として1時間以上のものがある、等の知見が得られた。

今後は、火災発生頻度、消火成功確率等の定量評価をこのデータ・ベースを用いてできるかの検討を行って行く。

GO-FLOW 手法による信頼性解析(10)  
保守・点検計画評価への応用

Reliability Analysis by the GO-FLOW  
Methodology (10)

Application to the Evaluation of  
Maintenance Planning

松岡 猛、小林道幸

平成3年10月

日本原子力学会「秋の分科会」要旨集

待機系の保守・点検計画の評価をアンアベイラビリティの観点から行う試みについて報告する。

解析は GO-FLOW 手法を用いて行い、解析対象としては、加圧水型原子炉補助給水系を取り上げた。系の主要機器は DG 駆動の2台のポンプ及びタービン駆動の1台のポンプであり、3台中1台のポンプが運転されれば給水系の機能は満足される冗長系となっている。定期試験のスケジュールは、弁・ポンプは30日毎に、DGは60日毎に、それぞれ試験時期をずらして実施するものとする(基本ケース)。

解析結果を、横軸にアンアベイラビリティ (U) 縦軸にその出現頻度 (F) (アンアベイラビリティが  $U \sim U + \Delta U$  間に存在する時間) を取ったものを図に表現して評価を行う。U と F の積がリスクに比例すると考え、これを評価基準とする。図中、 $U \times F =$ 一定の直線は右下がり45度の直線となる。基本ケースの場合、全体のリスクに占める割合は定期試験からの寄与が大きい事が図より容易にわかる。

この評価方法を用い、(1)基本ケース、(2)定期試験を実施しない場合、(3)弁・ポンプの試験を実施しない場合、(4)DGの試験を実施しない場合、(5)弁・ポンプの試験間隔を2倍とする場合の5ケースについて比較を行った。その結果、ケース(5)が5つのケースの中では最適な保守・点検計画であると評価された。

保守・点検計画の評価をアンアベイラビリティの観点から行う試みについて述べ、ここで提示した評価方法より試験スケジュールの評価が適切に行える事を示した。

確率論的安全評価における火災リスク評価手法の  
研究(1)炉心損傷頻度算出手順の検討

Study of Fire Risk Analysis Method in the PSA (1)  
Calculation Procedure of  
the Core Damage Frequency

松岡 猛、奥住恵子、蛭沢勝三

平成3年10月

日本原子力学会「秋の分科会」要旨集

包括的なPSAの実施のためには外的事象も評価する必要があるが、外的事象は、その種類毎に現象が著しく異なるため解析手法もそれに応じて開発する必要がある。船研では、原研からの受託研究として地震リスク以外の外的事象について調査・研究を実施している。本報告は、外的事象・火災についての炉心損傷頻度算出手順について検討した結果を述べたものである。

炉心損傷頻度算出手順としては以下の様に定式化した。(1)プラントの熟知、(2)火災区画候補の選定、(3)発火頻度の推定、(4)火災発生頻度の推定、(5)ベイズ法による推定、(6)火災発生頻度による火災区画の選定、(7)火災原因の起因事象の同定、(8)事故シーケンスの選定、(9)COMPBRN IIIコードによる定量評価、(10)消火作業の評価、(11)耐火壁損傷確率の再評価、(12)回復操作の評価、(13)不確実さ解析、(14)炉心損傷頻度算出。

以上の手順の確認のため、入手し得るデータを基に炉心損傷頻度の試算を行った。改良標準型BWR原子炉建屋を対象とし、火災区画としてはスイッチ・ギア室を取り上げ、外部電源を取り込んでいるこの部屋での火災発生により外部電源の喪失が起因事象とした。内的事象のイベント・ツリーを参照として多数存在する事故シーケンスを6種の基準により選別し、18種のシーケンスを残した。分電盤直前におかれた油からの出火のケースをCOMPBRN IIIにより解析した結果、温度上昇の最も高いのは分電盤直上のケーブルで発火後10分程度で損傷温度にまで上昇する事が示された。消火作業の評価はSiu & Apostolakisのモデルに基づいて行った。また、ランダム故障の回復操作の評価も考慮に入れた。炉心損傷頻度の試算の結果、火災事故リスク評価のための手順は一応確立された事が確かめられた。今後、プラント全体にわたる解析を実施し問題点の抽出、解決を行う予定である。

(58)

確率論的安全評価における火災リスク評価手法の  
研究(2)火災進展解析コードCOMPBRN IIIを  
用いた火災進展の影響評価

Study of Fire Risk Analysis Method in the PSA (2)  
Sensitivity Study on Fire Propagation with COMP-  
BRN III code

松岡 猛、川久保文恵、高荷道雄、蛭沢勝三

平成3年10月

日本原子力学会「秋の分科会」要旨集

火災リスク評価において使用される火災進展解析コードCOMPBRN IIIの解析結果に大きな影響を及ぼすパラメータにはどのようなものがあるか知るために感度解析を行った結果の報告である。

改良標準型BWR原子炉建屋内のスイッチ・ギア室を直方体の火災区画でモデル化し、この区画中央部にスイッチ・ギアキャビネット2基、天井にそれぞれのケーブル、奥壁面に分電盤を設置した。分電盤直前に置かれた油が発火するケースを取り上げ、発火後60分までの区画内ケーブル、スイッチ・ギア、天井、壁面の表面温度を求めた。計算に用いた入力パラメータの物性値は、主としてNUREG-1150に記載されている値を基準値として用いた。機器の熱伝導率、出入口高さ等12の因子を感度解析の対象とし、各因子毎に基準値に対して最小値、最大値を設定した上で感度解析を行った。

基準ケースの解析結果では、(1)温度上昇は、ケーブル、スイッチ・ギアキャビネット、天井・壁面の順に速く上昇した、(2)分電盤直上及び壁面のケーブルともに発火後60分以内でケーブルの機能喪失温度543Kになり、特に天井ケーブルは発火後10分程度で543Kに達している、事がわかった。

分電盤直上ケーブルの温度上昇に大きな影響を及ぼすパラメータは、空気の流入係数、機器の熱伝導率、火災区画の出入口の大きさ等であった。

今後は、対象火災区画や区画内機器・ケーブル等の配置条件を変えて解析を実施する。また、現実的な温度挙動を表現できるように、実際の火災実験結果とCOMPBRN IIIでの計算結果とを比較し、コード・モデルの詳細化を図る予定である。

## 操船シミュレータ実験による避航開始位置の観測

Measurement of the starting position of  
Collision Avoidance Maneuver by means of  
Ship Maneuvering Simulator Experiments

福戸淳司、沼野正義、金湖富士夫、  
田中邦彦、奥住恵子、今津隼馬  
平成3年10月

日本航海学会講演会論文集

現在、船舶技術研究所では、輻輳海域を航行する高速船の安全性を評価するためのシミュレータ実験を行っている。そこで、本論では、昨年度より行ってきた輻輳海域での高速船のシミュレータ実験のデータを基に、操舵時の操船者の意識の簡単なモデル化を行い、運航の安全性の指標となると考えられる避航開始位置を計測したのでその結果を示す。

## 1、避航開始位置と避航対象船の考え方

避航開始位置を避航操舵を行ったときの相手船の相対位置と定義し、実験中の操舵の記録から避航したと思われる操舵を特定し、その時の相手船の状況から避航対象船を求める。そこで、避航操舵及び避航対象船の特定のため、操舵時の意識の簡単なモデル化を行った。本実験では何らかの操舵を行った動機としては、危険船の避航、目的地への変針、コースの微調整の3つが挙げられる。また、ある程度前方に見える場合は避航の対象になるが、ほぼ真横を通過するような状況では、避航の対象にはならない。このような操船者の意識のモデルを基にして、操舵した時毎に避航の有無および最も危険と思われる相手船を避航対象船として求めた。

## 2、避航開始位置の解析結果

避航時の避航対象船の位置と相対方向から避航時は行合い、同航等見合の状況をよく認識し、同航船に対しては比較的近い位置で、また行合船に対しては比較的遠い位置で避航を開始している。

これより、相手船のアスペクトによる避航開始位置の変化が得られたほか、操船シミュレータの現実観の検証データを得ることが出来た。

〈原子力技術部〉

Application of the Monte Carlo Method for Neutron  
Shielding Analysis of Transport Casks

放射性物質輸送容器の中性子遮蔽解析に対するモンテ  
カルロ法の応用

植木紘太郎  
平成3年7月

International Journal of Radioactive Materials  
Transport

本論文は、(1)使用済燃料輸送容器の中性子遮蔽実験解析、(2)使用済燃料輸送船による船内線量当量率分布測定の実験解析、および(3)鉄-ポリエチレン遮蔽体系の中性子遮蔽に対する最適遮蔽実験解析をいずれもモンテカルロ法によって行い、モンテカルロ法の有効性並びに適用性を実証したものである。

電力中央研究所で行われた使用済燃料輸送容器の中性子遮蔽実験の解析には、Next Event Surface Crossing (NESX) Estimatorを取り入れたモンテカルロ計算を行った結果、従来のPoint Detector Estimatorに比べ、計算精度および計算時間について大幅な改善が見られた。

使用済燃料輸送船「パシフィック スワレ」による実船実験の解析においては、モンテカルロ分割結合計算コードシステムを開発し、本システムを適用した。その結果、輸送容器13基、5つの船倉を含め全長100mにも及ぶ輸送船を2回に分けて効率よく、しかも高い精度で遮蔽計算を行うことができた。計算された中性子線量当量率分布は測定値に対し、ハッチカバー上でファクター2以内、居住区においてもファクター1.5以内で一致を見ることができた。

鉄-ポリエチレン遮蔽体系に対する中性子最適遮蔽実験解析では、実験によって得られた最適配列もモンテカルロ計算によっても十分良い精度で再現することができた。

以上、本研究によって得られたモンテカルロ法を採用することにより、モンテカルロ計算は輸送容器の遮蔽解析の一オプションとして有効であることが実証された。また、本研究による実験データは直接、輸送容器あるいは輸送船の遮蔽設計に適用することもできる。

## Gamma Ray Transport Calculation Including Bremsstrahlung by the Monte Carlo Code MORSE

モンテカルロコード MORSE による制動輻射を含む  
ガンマ線の輸送計算

植木紘太郎、波戸芳仁

平成 3 年 8 月

日本原子力学会

Journal of Nuclear Science and Technology

モンテカルロ計算において中性子-ガンマ線輸送計算をより詳細化するため、ガンマ線の輸送計算に制動輻射を取り入れた。この制動輻射の取り入れはモンテカルロコード MORSE-CG をベースにした。そして、計算精度はいくつかのベンチマーク問題の解析と詳細な数値解析とによって検証した。

ガンマ線の輸送計算に制動輻射を含める場合は、高エネルギーのガンマ線によってはじき出される電子の多重散乱を考慮することが本質的に重要である事が明らかになった。そこで、電子の多重散乱を MORSE-CG コードで簡便にかつ十分な精度で取り扱えるように、電子は制動輻射によって光子を発生させる前に完全拡散状態になる、という仮定を導入し、また、制動輻射時の電子の角度分布はガウス分布をするものと仮定した。この仮定に基づく近似については、ベンチマーク実験との比較および制動輻射を詳細に取り扱える EGS-4 コードによる計算と比較を行い、本計算に取り入れた近似法が十分な精度を有することが示された。

この制動輻射を含む MORSE-CG コードは MORSE-BREM と名付けられた。本コードはもともと中性子の輸送計算ができるので、制動輻射計算機能を付加したことにより、中性子の吸収あるいは衝突によって発生する二次ガンマ線の輸送計算がより正確に取り扱えるようになったので、遮蔽解析あるいは設計コードとして本コードの利用が期待される。

## On the Interaction between a Conical Structure and Ice Sheet

円錐型構造物の氷板の干渉について

泉山 耕、北川弘光、小山鴻一、宇都正太郎

平成 3 年 9 月

11th International Conference on Port and  
Ocean Engineering under Arctic Conditions

本論文では、模型試験結果に基づいて、円錐型海洋構造物と氷板との干渉問題について考察する。特に、模型に加わる氷荷重について、氷板に発生するクラックパターンとの関係の上で評価することを試みる。

一般に、氷と構造物が干渉する場合、氷の破壊様式あるいはクラックパターンにより氷荷重の挙動は大きく影響を受ける。本研究では、ビデオ映像より氷板の円周状クラックを読みとり、これを円弧近似することによりクラックパターンの定量的評価を試みた。この結果を用いて、円周状クラックを代表する長さとして近似円弧の半径をとり、これと、氷板の曲げ強度、厚さ及び水の単位体積重量より計算される長さ（本論文ではこれを破壊長と呼ぶ）を比較することにより、両者の間に良い相関関係が存在することを示した。

円錐型構造物と氷板が干渉する際に構造物に加わる氷荷重は、氷板を破壊するために必要な成分（破壊成分）と破壊された氷片が構造物斜面上に乗り上げることによる成分（乗り上げ成分）から成っていると考えることができる。従って、氷荷重を評価・推定するためには、これら二つの成分を分離して取り扱うことが必要となる。本研究では、模型実験時のビデオ映像を用いて成分を分離することを試み、その結果を円錐に加わる氷荷重の推定式として著名な Ralston の理論式との比較を行った。

破壊成分については、理論式はある領域では実験結果と良く一致するものの、その他の領域では過大な値を与えることが示された。この傾向は、破壊長と模型水線径との関係に基づく考察から説明することができる。一方、乗り上げ成分については、理論式は過大な結果を与えることが示された。これは理論式導出の上での仮定から予想される結果であり、これまでにも他の研究者によって指摘されている。本論文では、更にこれに加えて、乗り上げ成分が模型斜面長と破壊長との比に依存することを示した。

〈海洋開発工学部〉

Three Dimensional Effects on Hydrodynamics  
Forces Acting on an Oscillating Finite-length  
Circular Cylinder

振動する有限長円柱に加わる流体力の3次元影響について

星野邦弘、中村昌彦、小寺山 亘  
平成3年8月

Proceedings of First International Offshore  
and Polar Engineering Conference

海洋構造物の構成部材には、耐圧性に優れている事や流体力係数に方向性を持たない等の理由によって円柱部材が多く用いられる。従って円柱に加わる流体力の研究は海洋構造物の性能や構造強度の推定のため重要である。また、実際の海洋構造物では半潜水式海洋構造物のカラムやブレースに代表される有限長さの円柱部材が用いられている。これに対して、有限長さの円柱部材に加わる流体力の研究は、定常流中に置かれた場合の流体力の研究はいくつか見受けられるが振動流中の研究はほとんど行われていない。振動流中の有限長円柱に加わる流体力の研究は海洋構造物に加わる波力や運動性能に関する基礎的研究として特に重要である。

本論文では円柱模型の長ささと直径の比を系統的に変化させ、模型を強制動揺させる事で振動流中における円柱模型に加わる流体力を実験的に求めた。また、円柱模型周りの流れの可視化も行い、流体力係数と流場の相関についても検討を加えた。その主な結果は次の通りである。

(1) 振動流中の有限長円柱の抗力係数に対する3次元影響の傾向は定常流中の有限長円柱の傾向と一致する。

(2) 振動流中の有限長円柱周りの流場の可視化を行った結果、2次元円柱の場合に $K_c$ (Keulegan-Capenter)数15付近で現れる大きく発達したカルマン渦的な渦対は観察されなかった。

(3) 振動流中の有限長円柱の付加質量係数は抗力係数の場合と異なり2次元円柱の値よりも大きい。また $K_c$ 数の変化によらず殆ど一定値となる。

(4) 振動流中の有限長円柱の揚力係数は2次元円柱の揚力係数よりはるかに小さい。

〈水海技術部〉

放射線線量率空間分布のシミュレーション  
— 円筒状放射線源集合体系の場合 —

Simulation of Spatial Distribution  
of Radiation Dose Rates  
— in the case of array of cylindrical  
radiation sources —

山越寿夫

平成3年6月

日本シミュレーション学会第10回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス予講集(1991年)

放射線源を収納した沢山の円筒型容器を多段配置した体系につき、広域にわたる線量率の複雑な空間分布を効率よく計算する手法を開発し、すでに計算原理、計算結果の精度と信頼性につき関係学会で発表を行ってきたが、この計算原理にもとづき新たに開発された計算コードQBFが円筒形状放射線源の集合体系における放射線線量率空間分布のシミュレーション手段として従来になく実用性が高く、応用上、優れた特徴を持つことを示す。応用例として、使用済核燃料運搬船の乗員居住区域を中心とした線量率空間分布のシミュレーションをパソコンPC-9801(VX-21)で行った結果を示し、以下の点を指摘する。

(1) 船内の容器相互位置・船体区画構造・遮蔽体構造を反映した複雑な三次元広域空間線量率分布が約5分の計算時間でシミュレートでき、従来のものよりも格段に速く計算できること

(2) この著しい計算時間の短縮化にもかかわらず結果の信頼性が高いこと、

(3) 各容器からの線量率空間分布への寄与の内訳がシミュレートでき、従って容器の空間配列の最適化を可能ならしめていること、

(4) 容器発送前検査のごとく現場で得られる測定データをそのまま容易にシミュレーションへ反映させることができること、以上の諸点が、従来の手法では期待出来なかった、応用上優れた特徴である。いっぽう、容器が円筒形状をしているとした扱いについては、ほとんどの使用済核燃料輸送容器や核燃料廃棄物収納容器において見られるものである特殊な扱いとは考え難い。従ってQBFコードの活用性は高く、多くの場で線量率空間分布のシミュレーションを行う際に有効な手段となり得るとの結論を得た。

## 氷海塗膜に関するソ連論文の紹介

On a Technical Report Concerning Ice Tolerance of  
Paint Coating Published in USSR

在田正義

平成3年8月

船舶技術協会船の科学 44巻8号

ソ連北極海沿いの航路の歴史と現状、この航路における氷海塗膜の重要性を説明し、3種の氷海塗膜の実績と解析結果を示す最近発表されたソ連文献を紹介した。

シベリア沿岸沖を通る北東航路は、1878-9年、スウェーデンのノルデンショルトにより開拓された。この航路は、主として、シベリア沿岸諸都市への補給路として夏季に利用されたが、最近、ヨーロッパから極東諸国への最短航路、しかも通年航路として注目されるようになった。ノルウェー、ソ連を中心とする、この航路の開発計画は、FSの段階を終え、本計画に移っている。この計画の実現には船体の摩擦抵抗を減らし、極めて苛酷な腐食環境から船体を守る氷海塗膜が必要となる。そこで、現在実用化されている3種の氷海塗膜の実績を示すソ連文献の概要を示すと共に、塗膜の諸性質に関する必要なデータを補った。

砕氷船に塗布した3種の氷海塗膜、ゼブロン（ポリウエタン系、米国ネケックス社）、イナータ160（エポキシ系、ノルウェーのテクノス・インテル社）、パーマックス3000（エポキシ・ガラスフレグ入り、日本の中国塗料）の2年～3年の氷海中航行実績によると、イナータ160（3年航海）は、50%以下の塗膜残存率のところ38%、パーマックス3000（2年、4航海）は、80～85%の残存率であった。パーマックス3000は特にすぐれた性質を示した。

氷海塗膜の塗布費用、損耗速度、補修費用、及び、塗膜のない場合の船体摩耗速度から、氷海塗膜を施すことと、これを施さず船体の板厚を増すこととの経済比較を行っている。肋骨心距  $l$  が大きく、外板板厚  $t$  が比較的薄い船体部位では、氷海塗膜を用いるメリットがないこと、 $l/t \leq 26$  ではじめてメリットがあるとの結論を示している。

氷海塗膜の初期厚さ分布、氷による損傷の形態を示すと共に、原論文にはない上記3塗膜の諸物性を表にして示した。

<大阪支所>

低い周波数の弾性波を用いた CFRP 板の非破壊検査

The NDI of CFRP Plate by Elastic Wave

津島 聡

平成3年9月

日本工業出版「超音波 TECHNO」 3巻8号

CFRP はカーボン繊維の特性を利用した高性能な材料であり、自動車や航空機など軽量化を要求する構造材に多く使用され始めた。このような複合材料の信頼性向上のためには線維含有率、剝離および板厚等の非破壊検査が必要である。将来、超高速船にも CFRP が使用されることを想定して、大型構造物の探傷に有利と思われる低周波の弾性波を用いて非破壊検査を試みた。

CFRP 試験板は1層が0.3mmのPAN系のカーボン繊維を16層または32層重ね、マトリックスをエポキシ樹脂としてプリプレグ法で成形した。積層構成は一方積層および直交積層の二種類とした。また、繊維体積含有率を25、40、60%と変化させた試験板も用いた。試験体寸法は300×300および300×380mm（繊維含有率を変化させた試験体）とし、板厚は1.1～4.5mmとした。

実験方法は次の通りである。ハンマーの打撃により弾性波を発生させ、その受信には圧電型加速度計を用いた。受信した信号は増幅器および波形記憶装置を介してオシロスコープ等に伝えられる。弾性波の周波数と位相速度はオシロスコープから読み取り、周波数分析はFFT分析器を用いた。

実験の結果、板厚方向の打撃により、逆分散性を持つA<sub>0</sub>モードのラム波が発生していることがわかった。この波の位相速度  $C(f)$  と板厚  $H$ 、周波数  $f$  の関係は波長に対して板厚  $H$  が小さい場合、 $C(f)$  は、縦波、横波および  $(f \cdot H)$  の関数となる。従って縦波と横波速度の既知の板では周波数  $f$  と位相速度  $C(f)$  を測定することにより板厚を推定することができる。試験体に剝離がある場合、その上部に加速度計をおいて測定すると位相関係がランダムになり、剝離の存在がわかる。また、エッジワイズ方向の打撃により、板の長さを半波長とした共振波が発生する。この共振周波数より弾性波の伝播速度  $C_p$  を測定でき、繊維含有率  $V_f$  と  $C_p$  の関係を求めておくことにより、 $V_f$  の推定ができる。



〈大阪支所〉

コールドレグ流動振動に及ぼす船体動揺の影響

Effect of Ship Motions on Cold-Leg Flow Oscillation

綾威雄、山根健次、成合英樹

平成3年10月

日本原子力学会「1991年秋の大会」予稿集

原子力船の事故シナリオに及ぼす船体運動の影響の解明を求めているIMO勧告の趣旨に従い、コールドレグ流動振動に及ぼす船体運動の影響を明らかにするための実験を行ってきた。今回、代表的な船体運動である動揺の影響を調べたので報告する。

実験は緊急炉心冷却(ECC)水注入部を念頭に置いた試験部を動揺装置に搭載することにより実施した。振子式を採用している動揺装置の周期はほぼ一定であるため、動揺と流動振動との関わりは、流動振動周期を支配する蒸気容積の変更により調べた。ECC水が注入される水平管は40Aのポリカーボネイト製またはステンレス鋼製で長さ約3mである。蒸気流束は蒸気空間を模擬したヘッダー上流側のオリフィス部で臨界流とすることにより計測した。その他の実験パラメータは、注水の流束と温度及び動揺振幅[30°C以内]である。水平試験部の3点を含む計6点で圧力変動を計測するとともに、水平管に沿う10点とヘッダーで温度を計測した。

流動振動と動揺が近い周期[それぞれ2.9秒と3.1秒]をもつ場合、流動振動に伴う圧力振動波形は動揺と極めて良く同期している。温度波形から、流動振動は水平管全域に亘っており、水撃発生のための層状水が形成されていることが判明した。水撃は最大下り傾斜を示すときに発生する。理由は明らかでないが、動揺時の水撃発生時刻は、注水流束と蒸気流束で示される水撃発生領域が上り勾配時に広がるという定傾斜の場合と趣を異にしている。

ヘッダー容積を1/8にすると、流動振動の周期は約1/4になり、動揺に同期した圧力振動はほとんど消え、独立した短周期な振動が卓越するようになる。そして、短周期であるため流動振動は注水点近傍に制限され、水撃発生のための層状水は形成されなくなる。圧力変動と動揺角の相互相関も調べたが、上記の結果を支持するものであった。

〈東海支所〉

スロット漏洩中性子束簡易経験式

An Empirical Formula of Neutron Flux Distributions in Slots

三浦俊正、成山展照

平成3年10月

日本原子力学会1991年秋の大会予稿集

これまで切り口形状が円筒、円環、矩形の直、屈曲、段付きダクトにおける漏洩中性子束分布を表す簡易経験式を導出してきた。今回は切り口がスロット形状のダクト内中性子分布の測定を行い、その結果に対してすでにこれまでに報告している円筒ダクトの経験式を適用し、速中性子、熱及び熱外中性子に対し式に含まれるパラメータの最適値を決定した。測定はJRR-4原子炉のプール水中にスロット試験体を設置して行った。測定を行ったスロットはスロットの短い方の幅が1、3.3、10cmの3種類で長い方の幅はいずれも25cmである。スロット試験体の長さは290cmであったが測定は終端からの反射の影響が無視できる240cmまで行った。中性子束の測定は放射化検出器で行った。スロットの炉心に対する設置角度は0、45、90を選んだ。

円筒ダクトの式から類推してスロットにおいて入り口からXの位置における中性子束の相対値は $\phi(X)/\phi(0)=f(X)+\{1-f(X)\} \cdot T(X)$ と表す。本式の第1項は直接線及びアルベド成分の和に対応し、第2項は透過線に対応する。ここで $f(X)=1/\{1+(X/\sqrt{S\ell}/a)^b\}$ であり、 $T(X)$ はスロットがない場合の遮蔽体中での中性子束相対分布である。また $S\ell$ はスロットの切り口断面積、 $a$ 、 $b$ は中性子のエネルギー及びダクトの設置角度に依存するパラメータである。 $a$ 、 $b$ の値は実験的に決定した。以下の結果の一例としてスロット設置角度45度における低エネルギー中性子に関する実験値と経験式の比較を述べる。スロットの幅が1cmの場合は $X/\sqrt{S\ell}=10$ 程度すなわち入り口から約80cmまで透過線の割合が大きいことを示した。パラメータ $b$ の値は円筒ダクトの場合と等しいが、 $a$ の値は小さく円筒ダクトに比べて中性子束の値は約半分となった。しかし、経験式は実験値を±30%以内で実験値と一致した。