

## 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/m<sup>2</sup>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。

先ず、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、船研で開発した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、風と遭遇する出会い方位の頻度は、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游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。

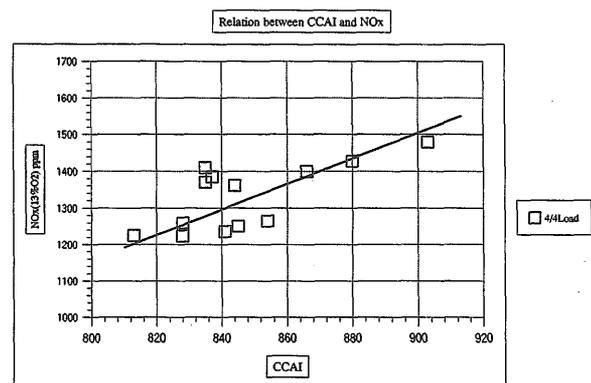


図1 CCAI と NOx の関係

〈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  $\text{Si}_3\text{N}_4$  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、 $2\pi$ 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 $\alpha$ -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 $\gamma$ 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うものである。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。

シミュレータ実験による大型高速船の  
運航体制評価 (その1: 昼間の航行)

Evaluation of Navigation System of  
Large High Speed Vessel with Simulator  
Experiment (Part 1: Day Time Navigation)  
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

著者等が開発した大型高速船の運航体制評価手法に従い、大型高速船の昼間の運航を想定した運航体制の評価を実施した。検討対象となる運航体制を構成する主要要素は、レーダ、ARPA、操船援助者による支援である。まず、「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」にある避航開始限界距離を満足する限界航行密度を求め、次にその航行密度で交通環境を作成するとともに、検討対象となる運航体制を模擬し、シミュレータ実験を実施した。その後、得られた避航データを評価基準量で基準化した値(評価量)、および操船者に実施したアンケート結果を用いて運航体制の評価を実施した。

その結果、昼間の航行において、ここで考慮した大型高速船が避航開始限界距離を遵守可能な限界航行密度は6隻/nm<sup>2</sup>であり、運航体制の要素として有効であると判定可能なものは、ARPA、操船援助者による判断支援であることが明らかになった。また、大型高速船の運航体制の評価手法として、著者等が開発したシミュレータ実験を主体とする一連の評価手順が有効であることが示された。

各種油吸着材の性能について

Oil Absorbent Test by Packed Bed  
藤井忍、柴田俊明、長田修  
平成7年3月  
第29回日本水環境学会年会講演集

本研究は、天然の木材からなる新規に開発された油吸着素材の油吸着性能及び油保持性能を既存のものを実験的に比較検討し、タンカー事故による海上流出油の回収等に実用化するための資料を得ることを目的として実施した。

実験に用いた油吸着マットは4種類で、新しく開発された油吸着素材を不織布に詰めてマット化したものも含まれている。

油吸着量は、油吸着マットを10cm×10cmに裁断した試験片を、20°CのB重油に5分間浸した後水平状態の金網上に静置し、増加重量より求めた。

また、油の海上回収作業中における油吸着マットの油保持性能を調査するため、B重油に5分間浸漬後試験片の隅を垂直方向にフックで引き上げ、吸着量の減少を計測し、保持油率を求めた。

本研究によって得られた結果を以下に示す。

新素材によるマットAの吸油率は、在来品の各種油吸着材に比べて2倍前後の値を示した。

油温度と油吸着率との関係を求めたが、本実験の温度範囲(5~20°C)では、有意差は認められなかった。

油を吸着後60秒間吊り下げた時の油吸着量と吊り上げ直後の最大油吸着量との比で表した保持油率の平均値は、A:70、B:78、C:72、D:88(%)である。この結果から、不織布にポリマーを織り込んだマットDが保油性に優れていることがわかった。

本研究の結果、新しい油吸着材の素材は、在来の化学繊維等を用いたマットに比較し、油吸着性能が優れていることがわかった。

今後、新素材の特性を有効に生かすため、保持油性を考慮してその加工方法等の検討が必要と考える。

本研究は、新素材を開発した北海道林産試験場との共同研究により実施した。

船舶の確率論的安全評価手法  
 (その1: 船舶の遭遇確率の推定手法について)  
 Probabilistic Safety Assessment Method of Ship  
 (Part 1: Estimation Method  
 of Encounter Probability)  
 金湖富士夫  
 平成7年5月  
 日本造船学会論文集 第177号

最近IMOにおいて船舶関連の基準改正に際してFSA (Formal Safety Assessment) の概念を適用することについての議論が開始されている。その概要は、原子力発電所等の安全評価に使用されているPSA (Probabilistic Safety Assessment: 確率論的安全評価) の手法を導入して船舶の安全評価を行うものである。

船舶の安全を確率論的に評価する際にまず必要になるのは、事故の発生する確率を求めることである。船舶が遭遇する事故のうち破損が大きくかつ件数の多いものの一つとして衝突がある。衝突事故の確率は、そのまま直進すると他の船舶に衝突するという危険な状況の発生確率すなわち遭遇確率と、危険な状況になった場合にそれを回避できない確率との積と考えられる。

ここでは、任意の交通環境における遭遇確率を推定する理論的な手法を提案し、その妥当性を航行シミュレーションにより検証している。この手法は2段階の理論で構成され、最初の段階は、想定している領域の境界上で船舶がポアソン分布に従い発生することを前提とした領域内の各部分の船舶航行密度を求める理論である。この段階で、領域の境界上で船舶が発生する確率分布のパラメータ ( $\lambda$ : 平均発生率と呼ぶことにする) が領域内の各部分の平均船舶航行密度により表現されることになる。次の段階は、領域の境界上で発生した船舶と、評価対象船舶との危険な遭遇の生じる確率を求める理論である。この段階で、 $\lambda$  から遭遇確率が求められるが、前の段階で $\lambda$  が平均船舶航行密度で表わされているため、遭遇確率は平均船舶航行密度で表わされることになる。したがって、任意の海域においてその中の平均船舶航行密度および船舶の航行速度、方向の分布がわかれば、遭遇確率が推定されることになる。

Experimental Study on a New Floating  
 Lining Method for Cabins  
 新方式防振内装船室に関する実験的研究  
 原野勝博、金丸貞己  
 平成7年7月  
 International Institute  
 of Noise Control Engineering  
 Proc. of 1995 International Congress  
 on Noise Control Engineering

船室の防振内装は室内の騒音低減法として、他に影響を及ぼさず、騒音トラブル発生後の事後処理として行えるメリットがあるが、その騒音低減効果は10ホン程度で、もっと効果的な手法が望まれている。本報告は筆者等が以前行った防振内装法に関する研究で明らかにした従来の防振内装法の防振効果が不十分な理由を説明し、次にそれらの欠点を改良した新方式の防振内装法の設計概念とそれによる実験結果の一部を述べたものである。従来方式の防振内装法は、内装壁や天井を防振ゴムにより鋼板に弾性支持して振動絶縁を図っている。この方式では、支持点における内装材の曲げ剛性の不足により、ゴムに作用する内装材の有効質量が振動周波数の増大と共に減少することが防振効果があがらない理由の第一であり、もう一つの理由は内装材は面密度が小さいために鋼板の振動により放射される音により特に高周波域において容易に加振されるのにその対策がないことである。新方式の防振内装法は、前述の点を考慮し、(1)内装壁と天井面を箱形に組み立てて防振効果の高い床面に固定し鋼板面とは結合部を持たぬ構造にする、(2)鋼板面には高音域で遮音効果のある高密度のロックウールボードを貼り付けて、遮音対策を行う、(3)ローリング時の揺れ止め対策として、箱体のコーナー部で鋼板面と防振ゴムで弾性支持するが、支持箇所には剛性の高い金具を取り付けゴムに作用する有効質量を十分大にする、がそのポイントである。新方式防振内装法の実験は、実物の約2/3の模型の浮床上に9mm厚合板と鋼製フレームで組み立てた箱形構造物を固定し、その振動特性を調べた。箱形構造物の壁面、天井面はほぼ同じ振動レベルであるが、浮床面に比べ広い周波数域で約10dB振動が増大していた。しかしこの振動レベルは、パネルの材質により大きく変化し、特にダンピングの付加により振動レベルは大幅に低下し、市販のダンピングシートを内装面のほぼ全面に貼り付けることにより広い帯域で振動レベルは約10dB低下した。ダンピングの効果が高い理由はこの方式では振動エネルギーは内装壁の下部からのみしか伝達されず、曲げ波が長い距離を伝搬するために振動エネルギーが有効に消費されるからである。この結果、内装壁、天井面は浮床面と同レベルになり、従来の防振内装法に比べ大幅に振動レベルを低減できる見通しを得た。

## Dispersion Model in the Marine Atmospheric Boundary Layer

海上大気境界層内の拡散モデル

山岸進、山之内博、土屋正之、川上富春

平成7年7月

第5回船用機関国際シンポジウム講演論文集

大気汚染の着地濃度の平均値予測には、OCDモデルをはじめとしてガウシアン型モデルを用いたソースレセプターモデルが広く用いられて来た。しかし、ガウス型拡散モデルの適用についてその信頼性は必ずしも確立しておらず、特にデータの少ない海上や海岸付近については気候の特性に応じて検証する必要がある。ここでは、感度解析を行い各要素の影響を調べた。

このモデルでは、鉛直、水平方向の拡散がガウシアンとして、汚染物質が逆転層と水面で完全反射とする解析解を用いる。拡散幅は、乱流、浮力、ダウンウォッシュによって与えられると考える。

大気安定度は、直接拡散式には現れないがパラメータを決定する上に間接的に大きな影響を与える。この判別には Monin-Obukhov 長を用いた。フュームゲイションは、大気が海上では安定で陸上で不安定である場合生じ易い。東京湾の例ではこのような条件は1%ぐらいある。海水温度がより低い地域ではフュームゲイションの可能性が高くなると考えられる。また東京湾の統計では陸上より不安定が生じ易く、観測によれば夜間にも不安定が生ずる等陸上と異なることが分かった。

排出源高さの影響は比較的近距离の着地濃度に現れる。船体構造の乱れの影響を受け易く、しかも煙突が集合体となっている等陸上の高煙突とは構造が大きく異なるためダウンウォッシュ効果については検討が必要となる。海上混合層の上端が安定した逆転層(リッド)によっておおわれている場合、汚染物質が層内に閉じこめられて高濃度となって移流する。このリッドの影響は煙源から比較的離れた所に現れ、大気が不安定になるほど近くから現れる。しかし、現在の所混合層の高度を十分な精度で推測することは困難である。

そこで、大気境界層の高さと拡散幅についてライダーによる実測を行った。ライダーによる信号強度の急激な変化はゾンデで観測された温度逆転層と良く一致しており、これを混合層高度とみなせる。伊勢湾から新島までの観測の結果、海上での混合層の発達高さは陸上より低く、日射の日変化は明確には現れず、多重構造が生ずる事が示された。同じく、ライダー観測で得られた海上での排煙の広がり幅は、理論的推定値より小さく、陸域より安定であることが示された。

通常の気象観測で測定されている地表の温度、湿度、風速等から大気混合層の高度や速度分布をより精密に

推定するためには、海上大気境界層モデルの精密化が必要と考えられる。拡散着地濃度の評価に関しては、水表面における吸収、沈着の評価、また初期拡散における構造物効果を実状に即するように調整しなければならない。

モデル実証は、実測データによって評価されるものであり、それにはライダー観測が有効であり、これまで拡散モデルに考慮されていない現象が観測された。これらの現象を明らかにしモデルを精密化するためには大気と海水温度及び乱れの直接的観測が必要となる。

**Oil Spill from Damaged Model Ship Tanks  
with Double Hull**

二重船殻構造損傷モデルタンクよりの油流出

山口勝治、山之内博

平成7年7月

Proceedings of ISME Yokohama '95

最近多発した大型タンカー事故による環境汚染を防止するため、従来のような一重ではなく、貨物倉を船体外板で保護する二重船殻構造等船舶構造の変更が義務付けられている。しかし、大型ダブルハルトンカーが、激しく座礁したり衝突したりすると船体外板、貨物倉とも破損し、油流出が起こるものと考えられている。従って、本格的なダブルハルトンカー時代を迎えるに当たり、船舶事故時でのダブルハルトンカーのより一層の環境保全性を向上させるためには、事故時での漏油防止性能やより漏油の少ないダブルハルトンカー構造の在り方、積み荷条件等を把握しておくとともに、流出油の環境影響を予測し、影響緩和、原状回復等のための防除措置を講じ、流出油の規模の大きさに基づく対応が必要となる。しかし精度よくダブルハルトンカーの油流出防止性能評価や環境影響評価ができておらず、油流出量予測手法の開発が求められている。

実船での複雑な実状況に対応する油流出量予測手法の開発に先立ち、流出現象や機構の解明がより容易に行える縮小モデルタンクによる、モデル化された状態における実験での各種影響因子の流出油量に及ぼす影響を明らかにすることとした。

本研究では、ダブルハルトンカーの中央部断面を模擬したモデルタンクから衝突および座礁事故時において静水中へ流出する油の挙動を観察し、油流出量を計測するとともに、タンク内に流入する水量を測定した。タンク側部に破孔のできる衝突事故においては、破孔部での貨物油とタンク周囲の水による水頭との差がなくなるまでタンク内の油流出が続いた後、破孔下部の油がタンク周囲の水と入れ替わり、油が流出する。タンク内に残る油量は、破孔部でタンク周囲の水による水頭と平衡する貨物油高さに相当する量となる。座礁の場合には、ダブルハルトン内に水が流入して水膜を形成し、破孔部でタンク内外の圧力がバランスして、油流出が終了する。水膜厚さは試験条件によって変化し、油流出の減少とともに大きくなる。これらの観察結果や測定結果に基づいて油流出をモデル化し、流出油量予測式を導いた。予測式と一連の実験により得られた油流出量の実験値との比較を行い、予測される油流出量は実験値と良く一致した。いろいろな貨物倉の大きさ、ダブルハルトンの構造・寸法、貨物の積載条件の違いに対しても適用できる油流出量予測手法が確立されたことを確認した。

本研究の結果、ダブルハルトンカー衝突・座礁事故時での漏油防止評価に対する有力な手段が得られたものと思われる。

〈システム技術部〉

**Safety Assessment of Newly Developed  
Marine Transportation System with  
Safety Margin as an Index**

安全余裕を指標とした新たに開発される

海上輸送システムの安全評価

沼野正義、宮崎恵子、福戸淳司、村山雄二郎

平成5年9月

Proceedings of MARSIM '93

増大する海上輸送への要求に応えるために、高速船や知能化船を含む高度海上輸送システムが実現しつつある。これらの要素の高度な性能は効率的な輸送システムを実現する上で有用である。しかしながら、これらの新しく開発された要素は航行の全体システムとしての安全に影響を与える。従来の海上交通は通常の船速の船舶で構成されているが、その安全を海員の専門的な技量によって維持されてきた。法定航路、狭水道や港湾の安全性の評価もこれらの専門家の主観的評価指標に基づくものである。

新たに開発されたシステムに対しては、これらの主観的評価指標では不十分であり、評価指標の再構築が必要である。シミュレータ実験は、実現されていないシステムをも簡単にモデル化できることから、このようなシステムの安全性を評価に用いることができる。さらに、システムの安全を阻害する外乱を補償する機能モデルを構築し、実験シナリオや評価指標を明らかにすることによって安全性の評価が可能となる。

そのプロセスは次のとおりである。

- (1) 新たに開発される、環境を含むシステムのモデル化。
- (2) シミュレータへの組み込み。
- (3) 主観的評価指標の再構築のためのシミュレータ実験。
- (4) 交通安全を阻害する外乱を補償するモデルの構築。
- (5) 外乱を十分にカバーできるシナリオ群の選定。
- (6) シミュレータ実験結果の評価。

本論文では、安全余裕の考え方と上記の評価プロセスの各ステップについて述べる。

航行安全評価に用いる操船シミュレータ  
A Maneuvering Simulator for Navigation  
Safety Assessment

福戸淳司

平成6年3月

人工知能学会 知的教育システム研究会  
第7回知的教育システム予稿集

衝突予防支援装置の開発  
航行環境評価指標のモデル化

Development of Collision Preventing  
Support System

—Model of evaluation indices for navigation—

有村信夫

平成6年5月

日本航海学会論文集 第90号

高速航行シミュレーションによる安全性評価の研究で構築しつつある高速船用シミュレータと、これを用いた安全性の評価の考え方および評価例について述べる。

航行の安全の評価は、操船者、運航会社、利用者等立場の違う評価者が、様々な要件を考慮した上で、航行の条件について合意点を得ることと考えられる。このような主観的な合意を得る場合、基準を設定し、その基準で合意できるかどうか互いの立場で評価を行う必要がある。そのためには、安全評価上考慮すべき顕在化し得る隠れた危険（潜在的危険）を体験に基づいて設定し、安全についての評価指標を確立し、シミュレーションでそれを評価する事が必要となる。この考えに基づいて、以下の手順で航行の安全評価を行う事を提案している。

- (1) 安全評価の対象のモデル化
- (2) 問題点の抽出
- (3) 安全対策の検討
- (4) 評価指標の確立
- (5) 総合評価

また、これらの評価を行う上で、操船シミュレータに必要な機能について、自船及び他船の動きを体感できる機能、シナリオ作成機能、結果出力及び実験再生機能の観点から述べた。

最後に、高速船の航行できる限界航行船舶密度の評価について、報告する。本実験では、安全の指標として、他の一般船に脅威を与えない事が重要と考え、避航時の避航開始距離および操船者の操船レベルの主観的評価から、航行安全評価を行った。この結果から、操船者（特に一般船）は、余裕として、避航開始距離を重要と考えており、高速船にある一定以上の避航開始距離を求めている事が分かった。さらに、 $7.5/nm^2$ 以上の航行船舶密度になると他船に脅威を与える状況になった。

本報告は、衝突予防支援システムで航行環境の潜在的危険を評価して、操船者に操船判断に関する支援情報を提供するための評価指標のモデル化について提案を行ったものである。

すなわち、新しい衝突予防支援装置では、操船者の情報処理負担の軽減を図るために、衝突の危険を最接近航過時の距離的余裕と衝突までの時間的余裕の観点から評価して、衝突の潜在的危険海域を画像で表示すると共に、危険な目標船舶の接近警報を合成音声で表示する方法を採っている。

本発表では、衝突の危険から航行船舶の安全を守るために操船者が想定している操船判断目標の距離的余裕に関する潜在的危険の評価指標に、海上実態調査で得られている閉塞領域（航行中の他船を入れることを避ける領域）を活用して評価指標のモデル化を行っている。

評価指標のモデル化は、避航領域の判断要素となる船舶の諸元・性能を巨視的に把握するために、船舶明細書と操縦性能試験データの統計分析結果を基に、旋回性能と船の長さ及び速力をパラメータ要素として、衝突領域、限界閉塞領域、余裕閉塞領域からなる閉塞領域を定義している。

さらに、閉塞領域の活用例としては、2船による相対的に換算した閉塞領域から、2船間の接近状態を示す閉塞度を求めている。また、閉塞度と危険度の対応関係を示すと共に、閉塞領域の速度依存性を示している。

狭水道における操船時の余裕について  
 On Safety Margins in Navigation through  
 Narrow Channels  
 福戸淳司、宮崎恵子、沼野正義、村山雄二郎  
 平成6年10月  
 日本航海学会論文集 第92号

日本周辺の海域には、狭く入り組んだ狭水道が多数存在し海上交通の障害になっている。今後予想される海上輸送の大型化、高速化を考慮するとこのような狭水道における航行の安全性評価および安全対策の策定は重要となる。航行の安全性の評価について、当研究所では、安全余裕を指標とした評価法を提案している。本報告では、瀬戸内海の音戸瀬戸を対象とした狭水道における航行の安全性評価を通じて、航行時に感じる安全余裕について検討した。

航行の安全性評価においては、まず、航行海域の実態調査や当該区間を航行する操船者へのアンケートを基に、航行環境のモデル化を行い、航行上の問題点の抽出を行った。次に、航行上の問題点及び航行環境に則したシミュレーションシナリオを作成し、長年の航行経験のある船長による操船シミュレータ実験を行った。この安全性評価においては、当研究所が提案している安全のレベルとその時の安全余裕を、操船後のインタビュー等から階層的にモデル化し、それを担保するための指標を得ることができた。安全のレベルとしては、以下の3段階と考えられる。

- (1) 対象船舶が通行可能な操船性能を有している。
- (2) 経験に基づく定石通りの操船を確立している。
- (3) 高度な情報支援を受けている。

また、このシミュレータ実験から、当該海域を通行する際の注意点等航行に有用な情報が得られた他、従来使わない方がよいとされていた大舵角操舵が航行の安全に寄与することがわかった。さらに、現在考えられている安全対策について、それぞれの有効性について評価を行った。

狭水道航行のための運航支援  
 Supporting System for Navigation  
 through Narrow Waterway  
 沼野正義、桐谷伸夫、福戸淳司、田中邦彦  
 平成6年10月  
 日本航海学会論文集 第92号

内航海運において、より高い安全性、効率性および労働環境の改善を目指した近代化船の開発が計画されている。この中で、船橋における当直についても、適切な支援装置の導入によって操船者の負担を軽減し、安全性を高める必要がある。

狭水道航行における適切な支援の機能仕様を求めるため、シミュレータ実験海域として、潮流、屈曲、航路の交差および横切り船等の観点から、来島海峡航路を選定した。潮流は実測データに基づいて実験シナリオに取り込み、通航船は観測結果をそのまま用いた。実験では、同航路の通航経験のある熟練した船長が3000Gtのタンカーを操船した。

実験結果から輻輳した狭水道において単独で操船することを想定して、この場合に必要な支援の機能仕様を明らかにし、これに従い、船長、操舵士およびレーダー監視者の3人当直における役割分担を基にして、船長以外の当直者の役割を分担するものとして適切な支援装置のあり方を次のようにモデル化した。

- (1) 操舵士の役割；船長の指示に従い、保針、できれば航路を保持する。音声入力等のマクロ命令による指示と音声によるアンサーバックおよび指示の繰り返し報知が必要。
- (2) レーダー監視者の役割；座礁危険情報、衝突危険船情報を提供する。見落とし等を防止するための繰り返し報知が必要。
- (3) その他；予定航路に基づいて、必要情報の選択、船位、船速、通過予定時刻等の計画との偏差の提供。

これらは、音声入出力によるノータッチ操作と状況に適合した情報の提供を基本としている。このモデルは必要条件から求めたものであるため、十分条件を満足するためには、航行の各局面を考慮した検討が不可欠である。これらの機能をすべて実現できるとは限らず、実システムにおいては、機能の実現レベルに応じた当直体制が必要である。

## 船舶の衝突予防航行支援装置の開発

Development of Navigation Support System  
for Preventing Ship Collisions

有村信夫、山田一成

平成6年10月

テクノ・オーシャン'94 第5回国際シンポジウム

ウォータ・フロントの開発が進む海域では、海上交通の輻輳化と船舶の高速化が将来予想される。

一方、船舶密度の高い海域や狭視界域を航行する内航船舶等では、熟練した操船者が不足する中で、運航要員の少人数化が進む傾向にあり、操船者の負担増加に伴う衝突海難の危険性が懸念されている。

本発表は、この現況を改善して内航船舶の安全性向上を図ることを目的として、新しい衝突予防航行支援装置の開発について報告する。

すなわち、本衝突予防航行支援装置では、航行海域における衝突の潜在的危険を解析して、衝突危険海域の画像表示情報と、危険な目標船舶の接近警報を合成音声で伝達する方式を採って、操船者の情報処理負担の軽減を図っている。また、衝突の潜在的危険は、海上実態調査で得られている閉塞領域（航海中の他船を入れることを避ける領域）の概念を活用した評価指標モデルで判定する。

さらに、本システムの支援効果は、実船調査データを基に考察して、その有効性を示している。

## The GO-FLOW Reliability Analysis Methodology

## — Analysis of Common Cause

## Failures with Uncertainty —

## GO-FLOW 信頼性解析手法

## — 不確実さを考慮した共通原因故障解析 —

松岡猛、小林道幸

平成7年8月

The Proceedings of 13th International Conference  
on Structural Mechanics in Reactor Technology

船舶技術研究所で開発を進めている GO-FLOW 手法において不確実さ幅を考慮して共通原因故障解析を実施する機能を整備した内容についての発表である。

講演においては、まず GO-FLOW 手法の概要を述べ、次に共通原因故障の GO-FLOW 手法における取り扱い方法、機器の不確実さ幅を考慮しながら共通原因故障からの寄与を評価する手順について述べている。更に、解析対象として、加圧水型原子炉補助給水系 (AFWS) を取り上げ、2群の共通原因故障機器群を考慮し MGL モデルを用いた解析例の紹介をおこなっている。

従来、不確実さ解析を GO-FLOW 手法において実施する際には、第一段階でミニマル・カット・セットを求めてから第2段階で各機器の故障確率値を分布型に従い乱数を用いて割り当て、多数回の施行を繰り返す方法を取ってきた。共通原因故障を併せて実施する場合には同時に故障する機器の種々の組み合わせを考慮する必要があり、考慮すべきミニマル・カット・セットも異なってくる。また、近年の計算機能力の向上もあり従来困難であった長時間を要する計算も実施可能となった。そこで、本解析においてはミニマル・カット・セットを求めることなく共通原因故障を考慮した GO-FLOW 解析を故障確率を変化させて多数回実施する。それらの結果を最後に集計し全システムの信頼度分布を求める。

解析対象としては、加圧水型原子炉補助給水系 (AFWS) を取り上げた。この系には3台のポンプが備えられており、2台はそれぞれ個別の電動機により駆動される電動ポンプ、1台はタービン駆動ポンプである。このうち少なくとも1台のポンプで4基の蒸気発生器のうち少なくとも2基の蒸気発生器への給水に成功すれば機能は満足されるものとした。要求される機能継続時間は24時間と設定した。共通原因故障機器群としては、(1) {ポンプ駆動用の2台の電動機の起動失敗}、{3台のポンプの起動失敗}の2群を選び、 $\beta$ ファクタ法を適用した。故障確率の分布としては、チェック弁故障、タンク漏洩には正規分布、タービン起動失敗には対数正規分布、電動機・ポンプの運転中の故障にはヒストグラム分布を与えた。試行回数として、5000回について実施した。

GO-FLOW 手法において不確実さ幅を考慮した共通原因故障解析を実施する機能が整備された。ミニマル・カット・セットを求めることなく直接的に解析する方法であり、従来困難であったフェーズドミッション問題における不確実さ解析も実施できる様になった。

〈原子力技術部〉

<sup>90</sup>Sr RI 電池の3層遮蔽構造について

Shielding Structure for Three Layer Model of Heat Source with <sup>90</sup>Sr Radioisotope Battery

植木紘太郎、大橋厚人、千田哲也

平成6年11月

未踏科学技術協会 第7回傾斜機能材料シンポジウム

移動体の動力源としてラジオアイソトープを用いる場合、放射線線量限度を満たし、遮蔽材の重量、容積をできるだけ減らすための最適遮蔽設計をおこなう必要がある。当所では、<sup>90</sup>Srを用いたRI電池について、遮蔽に関する最適遮蔽にくわえ、線源部分をFGM (Functionally Gradient Materials) 化することにより熱源表面温度の向上、熱流束の向上、電極部分の耐表面損傷をも考えた最適構造を研究している。今回考察モデルとして、まず基本構造を設定し、それに対し各分野でいかなる最適化が可能であるか検討している。そのうち本発表では、モンテカルロ計算コードによる遮蔽解析結果について報告する。

混合層をいろいろ変えて計算させ、基本構造の線量で規格化した。その結果を Fig. 2 に示す。グラフ中の誤差は、モンテカルロ計算結果の標準偏差を示している。縦軸には、基本構造に対する線量の比を示し、横軸は、Fig. 1 の R<sub>2</sub> を示している。3本のグラフは、それぞれ、Fig. 1 の R<sub>1</sub> に相当し、計算した3層モデルの数は、グラフの点に対応し、24例となる。このうち、混合層を、10~15cmとした時がこの中で最も小さくなり、基本構造の83%の線量となった。なお、基本構造での線量は、0.057±0.002mSv/h/Ciであった。

次に、基本構造の線量を規準とし、内部に混合層をつくることにより外側のBN層をどの程度削り、重量を減らすことができるかを調べた。計算方法は、10~15cmを混合層とした3層構造の表面のBNの厚さを減らして数例計算し、基本構造と同線量となる厚さを内挿により求めた。その結果、10~15cmに均一層をつくった場合、外側のBN層をおよそ1.4cm削ることができ、これはおよそ熱源部全体の10%の重量低減となった。

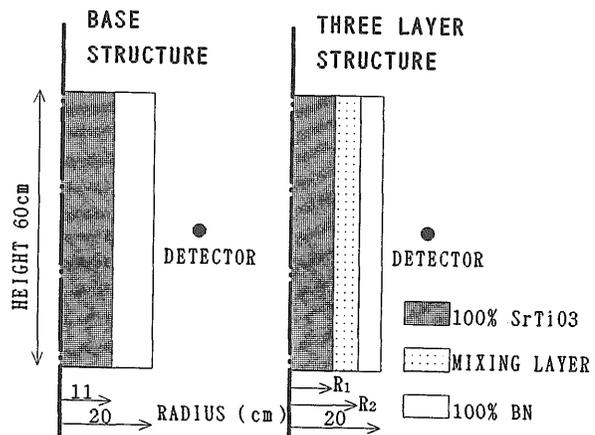


Figure 1. Considered models. Varying R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> of three layer structure, we calculated the radiation dose.

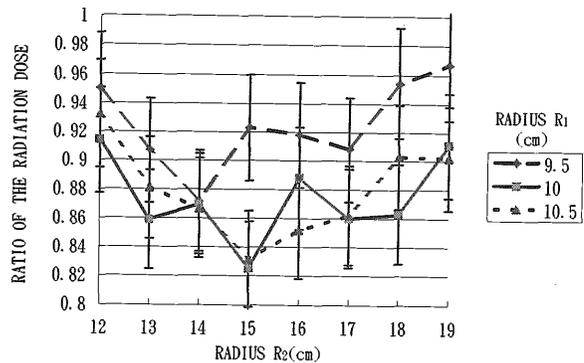


Figure 2. Ratio of the calculated radiation dose of three layer structures to the base structure. The radii of R<sub>1</sub> and R<sub>2</sub> are the same meaning as Fig. 1.

(ERROR : FSD ±4%)

非均一加熱条件下のサブクール沸騰  
 限界熱流束に対するねじりテープの影響  
 Effect of Internal Twisted Tape on Critical  
 Heat Flux of Subcooled Flow Boiling  
 under Non-Uniform Heating Condition  
 成合英樹、稲板富士夫、石川厚史、木下秀孝  
 平成6年12月  
 日本機械学会論文集B編 60巻580号

核融合炉機器の中で、プラズマに直接面するものは、従来の原子炉燃料棒に比べて数倍から数十倍もの定常的熱負担を受けることが想定されており、強制冷却が不可欠となる。しかもこれらの機器は、一般に片側からプラズマによる熱および粒子負荷を受けるので、その冷却材は円周方向に強く非均一加熱されることになる。現在計画が進められている国際熱核融合炉のダイバタ板の冷却構造として、ねじりテープを挿入した管(旋回流管)内に水を流すことが考えられているが、機器の除熱限界を規定する限界熱流束は設計上重要な因子であり、その特性の解明が大きな課題となっている。

本研究は、非均一加熱条件下の旋回流管、およびねじりテープが挿入されていない管(ストレート管)に対する限界熱流束特性、ならびにその限界熱流束増大のメカニズムを実験的に明らかにすることを目的として実施した。実験には、直接通電加熱による非均一加熱条件を模擬するため、ステンレス管の円周方向の肉厚をそれぞれ90、180、270度削り取った3つのテスト管を用いた。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) ストレート管に対する非均一加熱条件の限界熱流束は、均一加熱条件のものより少し大きくなるが、その理由は、管出口の平均クオリティが低くなるため、その限界熱流束は、均一加熱条件の相関式により予測可能である。
- (2) 旋回流管に対する非均一加熱条件の限界熱流束は、クオリティが殆ど等しいにも拘わらず、非均一加熱度が大きくなるほど均一加熱条件のものより大きくなる。
- (3) 旋回流管の限界熱流束増大は、ねじりテープに沿う気泡境界層の断続的な発達と消滅によるものであることが、バーンアウト発生開始位置を観察することにより確かめられた。

モンテカルロ法と放射線遮蔽計算への応用  
 Monte Carlo Method and Application  
 to Radiation Shielding Calculations

植木紘太郎

平成7年3月

Bulletin of the Society of Naval Architects of Japan

モンテカルロ法に関する初めての文献(1945年頃)は、Von NeumannとUlamの考えにしたがって、決定論的な数学の問題を無作為抽出法を用いて解く方法が多く、例えば、針をランダムに落として $\pi$ の値を推定したのもその1つである。またその頃、Von NeumannとUlamは米国ロスアラモス国立研究所で、ウランの核分裂にともなう中性子のランダムな拡散現象を電子計算機でシミュレーションしている。これが原子力工学への最初の一步であろう。

今日、物理学における宇宙線シャワーや分子の多体問題、原子炉の臨界問題ではモンテカルロ法の独壇場である。また、10桁以上の放射線の減衰(概念的には $10^{10}$ 個の放射線が発生しても厚い遮蔽体によってそのうち1個しかその外に漏洩しない事象)を扱う遮蔽工学の分野においても、今日、高速ワークステーションやパラレルコンピュータの出現を背景に、決定論的な解法よりも手軽にモンテカルロ法が使用され、実験や実測データとも無理なく対応できるようになってきている。

造船学会誌ということで、船に関するモンテカルロ解析例を示す。

現在、「青栄丸」という船が各原子力発電所から青森県六ヶ所村の原燃サイクル施設へ低レベル放射性廃棄物を輸送している。本解析例は同船に乗船し、ハッチカバー上において測定したガンマ線線量当量率をモンテカルロコードMCNP 4Aに改良を加え、実船実験と比較したものである。改良点は、船倉に積載された多量(廃棄物個化体を収納したドラム缶の数にして1船倉当り480本)のドラム缶から発生するガンマ線を効率よくランダムサンプリングし、効率よく検出して計算精度の向上を図るためのサブルーチンを開発、計算コードに組み入れた点である。その結果、ドラム缶ごとに線源強度を与え、コンテナ形状までモデル化した計算の方が明らかに実験に近い線量当量率分布を示すことが分った。このような詳細なモデル化を行うことはモンテカルロ法をもって初めて可能になるものであり、モンテカルロ法が合理的な遮蔽設計法として有力な手法になりうることを意味している。

高温・高圧水の液中フラッシング  
Flashing of High-temperature and  
High-pressure Water into the Pool Water  
綾 威雄、賞雅寛而、高木 映、近藤宏一  
平成7年3月  
日本原子力学会 1995年春の大会 要旨集

水張り格納方式を採用している受動安全型炉は、事故時の安全性が高いことから、次期船用炉として有望視されている。一次系配管破断を仮定している設計事故時には、高温・高圧水が格納容器内のプール水に放出され、フラッシングと凝縮が同時に生じるが、このような複雑な現象についての実験的検討はほとんどなく、その解明は、受動安全型船用炉の実現に向けての重要な研究課題となっている。今回、高温・高圧飽和水をベント管を通して大気圧中のプール水中に放出する際に生じるフラッシング・凝縮現象の解明を目指した実験を始めたので、これまでの結果を報告する。

実験に用いられた高圧飽和水タンク(200L)と解放プール水槽を結ぶベント管(内径21mm)の先端には、破断口を模擬するため、直系4mmの放出孔付きキャップが設けられている。圧力容器に相当する高圧タンク内、ベント管内放出孔附近、及び、プール水中(放出孔より116mm)の圧力と温度が計測される。プール水中でのフラッシング・凝縮現象は、これら温度・圧力の測定と同期された高速度ビデオカメラによって撮影される。実験パラメータとして、高圧タンク内圧力(6又は9 kg f/cm<sup>2</sup>)とプール水温(29~50°C)を選んだ。

本実験条件の範囲内では、高温・飽和水がプール水中に放出されると、放出孔でのフラッシング後の凝縮と、放出孔から離れた場所での蒸発後の凝縮が交互に生じる現象が存在すること、及び、その周期は飽和水温度とプール水温に依存すること等が分かった。高圧飽和水放出開始から6秒後のプール水中圧力とビデオ撮影画像から、ベント管内圧力は飽和水のまま放出される時に低く、放出孔でフラッシングしている時にピーク時を生じており、またその周期は5 ms程度である。この圧力ピークの周期は、プール水温が上昇するにつれ、また、水温が低い場合に、飽和水の圧力が高くなるにつれ、ともに短くなることが確認された。

Critical Heat Flux Calculations  
for the Pressurized Water  
Reactors with Hexagonal Core Geometry  
六角柱炉心を有する加圧水型炉における  
限界熱流束の計算法  
綾 威雄、D. P. Panayotov、B. D. Ilieva  
平成7年4月  
Proceedings of ICON-3  
(Third Int. Conf. on Nuclear Engineering)

旧ソ連製加圧水型炉のVVER-440とVVER-1000(それぞれ440MWと1000MW)は、現在も東ヨーロッパ諸国で運転されている。これらの炉の特徴の一つは、三角形燃料棒が束ねられた六角柱燃料アッセンブリーからなる特異な炉心形状が採用されている点であるが、設計・建設段階でこのような炉心を対象とした熱流動解析コードは開発されなかった。また、西側諸国にも同型の炉がないことから、それに対応できる解析コードがない。そのため、懸念されているこれら炉心の安全裕度を早期に評価するため、西側諸国において炉心サブチャンネル解析用コードとして広く使われている、COBRA-3Cを上記加圧水型炉に適用すべく、改良を加えた。改良後のコードを、COBSOFMと呼んでいる。主な改良事項は次の4点である。

- ①サブクール沸騰域における相間スリップ比の改善。
- ②バーナウト前後の熱伝達率の整備。
- ③二相流における乱流混合モデルの導入。
- ④限界熱流束相関式の整備。

上記の内、始めの3点は改良が完了し、既に公表しているもので、本論文では、最後の4点目について報告する。

VVER-440とVVER-1000の設計者は、最近まで、限界熱流束相関式として、OKB相関式として1976年に発表されたBezrukov式の使用を勧めてきた。しかし、この式は、三角形燃料棒のロッドバンドルに対しては、定格運転時には適用できるが、電源喪失や循環ポンプのコーストダウン時のような高流速時や軸方向非均質加熱時には適用できない。一方、VVER-440とVVER-1000の全パラメータ範囲をカバーしている相関式としては、1978年に公表されたSmolin式のみであることが判明した。しかし、多くの実験データとの比較から、定格運転近傍では、Bezrukov式の方が精度がよいことが分かった。そこで、質量速度が1500kg/m<sup>2</sup>s以下と3000kg/m<sup>2</sup>s以上ではSmolin式を、これらの間では、Bezrukov式を用いることにした。COBRA-3Cコードにこの改良を加えたところ、広範囲にわたって実験結果とよく一致するようになった。改良コードCOBSOFMは、現在、ブルガリアのKozloduy炉に適用している。

Critical Heat Flux Multiplier of Subcooled  
Flow Boiling for Non-Uniform Heating  
Conditions in a Swirl Tube

非均一加熱条件下の旋回流管に対する  
サブクール沸騰限界熱流束増倍率  
稲板富士夫、成合英樹  
平成7年5月

Third International Symposium on Fusion Nuclear  
Technology, Fusion Engineering & Design 第28巻

国際原子力機関の下、4極(日本、米国、EC、ロシア連邦)協力によって進められてきた国際熱核融合炉の開発研究も、1992年より工学設計段階に入っています。核融合炉を構成する機器の中でも、プラズマに直接面する機器は、従来の原子炉燃料棒が受ける数倍から数十倍高い定常的熱負荷を受けることが想定されており、強制冷却が不可欠となります。しかもこの熱負荷は、一般に片側から入射してくるので、冷却材は円周方向に強く非均一加熱されることとなります。特に高熱および粒子負荷にさらされるダイバータ板の冷却構造の1つとして、ねじりテープを挿入した冷却管内に水を流す方法が考えられていますが、機器の除熱限界を定める限界熱流束がどのくらいになるかが、熱設計上大きな課題になっています。最近になり、ビーム照射装置等を用いた非均一加熱条件下の旋回流管に対する水の限界熱流束データが幾つか報告されてくるようになり、その限界熱流束が均一加熱条件のものよりかなり大きくなることが明らかにされています。しかしながら、その限界熱流束増大と非均一加熱特性との関連を系統的に調べた研究は、殆どありません。

本報告では、著者らが実施してきた直接通電加熱による非均一加熱の実験的研究を踏まえ、その限界熱流束増大を説明する因子として、流路断面内における最大熱流束と平均熱流束の比で定義される非均一加熱因子を新たに提案しました。また、ビーム照射データに対する限界熱流束増大と非均一加熱因子との関連を調べるために、差分法による非定常熱伝導解析を行い、入射熱流束に対する冷却面最大熱流束および平均熱流束を求めました。

解析の結果、非均一加熱条件下の旋回流管の均一加熱条件に対する限界熱流束増倍率は、非均一加熱因子が大きくなるほど大きくなることを明らかにしました。

本研究成果は、核融合炉機器の熱設計に当たり、大いに有用であることが期待できます。

〈海洋開発工学部〉

振動流中の3次元傾斜円柱に働く流体力  
Hydrodynamic Forces Acting  
on an Oscillating inclined  
Finite-length Circular Cylinder

星野邦弘、小寺山亘

平成7年5月

西部造船会、平成7年度春季講演会  
西部造船会会報 第90号

浮遊式海洋構造物を構成する要素部材は、海洋構造物全体の構造様式が複雑となっても没水した円柱や角柱、海面を貫通した円柱や角柱あるいは各種の没水浮力体の組み合わせであると考えられる。従って、これらの浮遊式海洋構造物を構成する要素部材に働く流体力を簡便に推算する事ができれば、要素部材毎に流体力係数を求め、これらを代数加算する推定手法により浮遊式海洋構造物全体に働く流体力を予測することが可能となる。著者らはこれまでに「海洋構造物に加わる流体力の推定法に関する研究」の一環として、海洋構造物の構成部材の一つである円柱部材に働く流体力に関して様々な実験的研究を行ってきた。本論文は、これらに引き続き、水面を貫通し流れの中に端部を有する3次元傾斜円柱に働く流体力について検討した結果について報告するものである。

2次元傾斜円柱部材に働く流体力については、これまでの研究から円柱の中心軸の法線方向の速度および加速度成分だけが流体力に関係するとして解析し、傾斜角を考慮したKc数で整理すれば傾斜角度が非常に大きい場合を除けば流体力係数に角度の影響がほとんどない事が報告されている。ところが、3次元傾斜円柱の端部影響について検討した研究例は極めて少なく、3次元傾斜円柱に働く流体力に及ぼす端部および傾斜影響について明らかになっているとは言いがたい。また、円柱の渦放出の非対称性から生ずる揚力の特性についても傾斜円柱の場合は殆ど検討されていない。本報告は、3次元円柱模型を鉛直状態から傾斜させ強制動揺させることで、振動流中の3次元傾斜円柱部材の抗力係数、付加質量係数および揚力係数を実験的に求め、鉛直有限円柱および2次元傾斜円柱の流体力係数と比較して3次元傾斜円柱に働く流体力係数に及ぼす傾斜および端部の影響について整理し、考察を加えたものである。

### 3. 新しい水槽試験技術

#### 3. 4 流れの可視化

##### Flow Visualization

星野邦弘、二村 正

平成7年5月

TECHNO MARINE (日本造船学会誌) 第791号

私達の目では、水や空気などの流れをそのままの状態を観察することはできない。これらの流れに何らかの工夫を施し、人間の目に見えるようにする技術が“流れの可視化”である。この技術を用いて流れの構造を直接観察することは、流れとそれに伴った様々な現象の物理的な理解を容易とする。また、未知の流体挙動を発見する糸口や理論的研究を行う際の手掛かりともなりえる。したがって、流体现象を取り扱う船舶・海洋工学分野においても“流れの可視化”は有効な研究手段の一つであるといえ、船舶・海洋工学分野の研究者もこの技術を十分に活用して研究を進めて行く必要がある。本解説では、これまでに船舶・海洋工学分野で利用された“流れの可視化”手法と、今まで使用されていないが将来利用が可能であると思われる手法について、以下に示す分類毎に整理し、簡単な概要の説明と実際の適用例の紹介を行なった。

- 1) 壁面トレーサ法
- 2) タフト法
- 3) 注入トレーサ法
- 4) 化学反応トレーサ法
- 5) 電気制御トレーサ法
- 6) 光学的可視化法
- 7) コンピュータ利用の可視化法

本解説では、実際に“流れの可視化”実験を行う際に必要となる詳細な技術的内容については省略し、参照すべき文献を示すに留めた。

### New Stochastic Approach for Extreme Statistics of Slow Drift Motion of Moored Floating Structures

係留浮体の長周期運動の極値統計予測に対する

新しい確率論的手法

加藤俊司、岡崎 卓

平成7年6月

Proceedings of the 5th International Offshore and Polar Engineering Conference

浮体式海洋構造物の係留システムを設計する場合、通常の設計法で用いられる安全性評価は、浮体と係留システムを一体にした運動方程式に外力の時系列を入力させ、その運動方程式を解いて得られた応答時系列の最大値が、はじめに設定した許容値以下かどうかで行う。この評価法では最大値が少しでも許容値を越えれば安全性は0%、少しでも越えなければ100%安全という評価しかできない。しかしながら、安全性評価は、こうした真か否かの評価ではなく、何%安全なのかといった定量的な評価でなければならない。こうした評価は、動的信頼性に基かなければ不可能である。この動的信頼性を求める問題は、応答の最大極値がある許容値を越えない確率を求めることと等価である。外力がガウス型でかつ運動方程式が線形の場合には、この問題はすでに解かれているが、浮体係留システムのように運動方程式が非線形となり、外力も非ガウス外乱である場合にはほとんど解かれていない。本論は、このような非線形応答問題に対しても動的信頼性による安全性評価ができる方法を示したものである。その方法とは、一般化フォッカープランク方程式を繰り込み摂動近似で解く方法である。最大極値の超過確率を求めることは、応答の定常性および極値間の独立性を仮定すれば、応答変位と応速度の結合確率密度を求めることに他ならない。非ガウス外乱である外力が白色雑音から生成されるとすれば、結合確率密度の時間推移は、変位、速度および外力を変数とする非線形拡散方程式（フォッカープランク方程式）で表されるが、これを射影演算子を使用して変位と速度のみの支配方程式（一般化フォッカープランク方程式）に変換することができる。この方程式を解析的に解く為に、特異摂動法の一つである繰り込み摂動展開を用いた。この方法を具体的に非ガウス型である2次波力を受ける浮体係留システムの最大極値の超過確率推定に応用した。その結果、2次波力を受ける場合は、応答の確率密度はガウス型ではなくピアソンIV型で表される事また同一超過確率の条件下において線形な波力のみと仮定したものよりも応答変位にして倍大きくなること等が判った。さらに、運動方程式の減衰力が大きくなればなるほど2次の波力を受ける場合の超過確率は線形な波力のみと仮定したものよりも裾が広がる。一方減衰力を小さくするかあるいは係留復原力を大きくすると線形波力のみと仮定した超過確率に漸近する。このように非線形な波力を受ける係留浮体の動的安全性は、非線形波力の大きさ、浮体係留系の減衰力および復原力に大きく影響されるので注意が必要であり、決して線形な波力のみで係留浮体の安全性を評価してはならない。

## 可撓性箱型浮体の強制動揺実験と変動圧力分布

Forced Oscillation Test of a Flexible  
Floating Structure and Hydrodynamic  
Pressure Distributions.

矢後清和

平成7年7月

日本造船学会 第13回 海洋工学シンポジウム

海上空港を、従来の埋め立て工法ではなく、浮体式工法により実現しようとする構想が発表されている。関西国際空港第1期工事においては、多数のフーティング要素浮体で空港本体を支持する方式が、日本造船工業会から発表され、フィジビリティスタディーが行われた。近年、この方式とは別に箱型浮体構造物を直接空港本体として用いる案が、関西空港第2期工事を想定してマリフロート推進機構から提案されている。この浮体は長さ4000m、幅1250mと大規模であるが、厚さは4.5mと長さ・幅に比べて極めて小さいという特徴を持つ。従って、構造物を従来の耐航性理論で扱われるように、浮体を剛体として扱う事は出来ず、流体と構造応答との相互干渉を考慮した、流力弾性現象として波浪に対する応答を捉える必要がある。流力弾性を考慮した波浪応答推定法として、モード重畳法がある。この方法は、波浪による浮体の挙動を、構造的な浮体の固有モードの重ね合わせで表現するものである。構造的な応答は、このモードの形によって定義されるので、流体的な力は各モードで変形するものとして境界条件を与えて推定する事ができる。

本研究は、モード重畳法を用いた波浪応答推定法を前提に、各モード形で挙動したときに浮体に働く流体力を推定する方法についての検証を目的とする。浮体厚みが長さ・幅に比して小さい事から、極浅喫水を仮定した圧力分布法により、モード挙動時の浮体底面圧力分布を計算した。また、発泡性ゴムで製作した箱型弾性浮体模型を4台のアクチュエータでモード挙動させ、その時の底面圧力を計測した。計算と実験の結果を比較した結果、全体的に両者は良い相関を示し、計算法の有効性が確認できた。しかし、短周期で挙動した時、浮体端部の圧力は実験値の方が小さくなる傾向を示す事が判った。粘性影響等が原因として考えられ、詳細な実験研究を今後行う必要があるといえる。

## 超大型浮体式海洋構造物に対する

日射エネルギーの影響の検討

Study on the Effects of Solar Radiation  
for the Design of Huge Offshore Structure

星野邦弘

平成7年7月

日本造船学会 第13回海洋工学シンポジウム論文集

海洋空間の有効利用を目的とした浮体式海上空港や海洋情報都市等の大規模な浮遊式海洋構造物では、数キロメートルに及ぶ長大な上部構造物を有するものとなる。このような大規模浮体式海洋構造物の上部構造物は、甲板面へ入射する日射エネルギーを主要因として温度分布が不均一となる。大規模浮遊式海洋構造物の設計にあたっては、不均一温度分布によって生じる上部構造物の変形と、応力についても検討する必要がある。

本論文では、まず建築および土木分野における建築物の温度分布による変形や応力の問題に関する設計・評価指針の調査を行なった。その結果、既存の設計・評価指針では建築物に対する温度影響に関して明確に述べたものではなく、大部分が設計者の判断にゆだねられていることが判った。続いて浮遊式海洋構造物に対する日射を主要因とする伸縮やたわみ変形と応力の問題に関する研究について、関西国際空港や多目的沖合貯蔵・中継基地構想の建造基礎技術に関する研究成果と船舶技術研究所で行った実海域実験で得られた研究成果を整理した。その結果を簡単にまとめると以下の通りである。

(1) 温度による伸縮量は、ドルフィンダンパー部等で十分吸収できる量である。

(2) 温度分布によるたわみ変形は、空港機能上無視する事が出来る。

(3) 温度分布により上部構造物中央部に生じる圧縮応力はかなり大きく、他の荷重と複合的に加わった場合の総合的な構造強度の評価が必要である。

最後に、温度影響の緩和法について、(1)伸縮装置による拘束応力の緩和、(2)放熱の促進、(3)高含水材による水分蒸発冷却の促進、(4)2重屋根方式について、その効果と問題点について検討を行った。

## 〈水海技術部〉

海洋油汚染事故への緊急展開について  
On the Preparedness, Response and  
Environmental Assessment against  
Marine Oil Spill

在田正義、松岡一祥、足達宏之、山岸 進、  
上田浩一

平成6年10月

テクノ・オーシャン'94

国際シンポジウムプロシーディング

海洋において大規模油流出事故が起こった場合の対策について、緊急対策（事故の通報・発見、緊急出動の体制の決定、現場での回収・分散・沈澱・洗浄処理、油の拡散・沈澱等の諸処理、事故海域の現状復帰か否かの判定と緊急処理の終了、被害の補償）に関する政策や技術の現状を示すと共に、それらの将来の発展方向を述べた。さらに、わが国が緊急事態に備える体制として、流出油の検知・汚染の除去の任務を統括する海洋油濁防止センター、海洋の監視・自然への影響を評価して緊急の除去作業の終了時点を決定する環境評価センター、緊急対応終了後の補償を統括する補償センターを提案し、各々のセンターが備えるべき権能とそこに至るまでに必要な研究について検討した。

関連した技術としては、特に流出油の発見・拡散状況の監視技術、回収・分散等の処理技術について詳しくふれた。監視に関し、多くのセンサーが開発されているが、万能のものではなく複数のセンサーを組み合わせて使うことが考えられる。しかし、現在実用化の段階に達したセンサーはないため、今後目的を絞ったセンサーの開発が必要である。流出油の処理に関しても多くの技術があるが、高粘度油の処理、ゴミ・海草混入油の処理、荒天時の作業性の問題が多く、これまた今後研究すべき課題は多い。

環境評価技術については、米国で進んでいる海洋環境影響度指数マップ (Environmental Sensitivity Index Atlas) を取り上げた。わが国においてもこれに相当するマップの作成が検討されているが、その必要性を強調した。

わが国が緊急事態に備える体制として提案した海洋油濁防止センター、環境評価センター、補償センターは、流出油の処理、処理効果の評価、責任関係を担当し、互いに協力・監視関係にある。こうしてより適切な流出油の処理が出来る体制となることを目的としたものである。

氷と構造物の動的干渉に関する実験的研究  
An Experimental Study on the Dynamic  
Ice Loading on a Structure

泉山 耕

平成6年11月

土木学会、海岸工学論文集第41巻(2)

本論文は、氷と構造物の干渉問題に関して、構造物に振動等の動的応答が生じる場合の問題を扱った論文である。この問題は、従来は、灯台、橋脚等の細長かつ上部に大質量を有する構造物に特有の問題と考えられていたが、近年、水線部が100m×100mという巨大な極域用海洋構造物“Molikpaq”において、構造物全体の振動を伴う強大な氷荷重が計測されたことから、新たに注目を集めるに至った問題であり、現在活発に研究が行われている。

本論文では、氷海水槽において行った模型実験について、その概要、計測結果の解析結果を報告した。模型実験は、National Research Council of Canada のオタワの氷海水槽において行った。構造物模型としては、動的氷荷重についての基本的知見を得るという観点から、最も単純な構造形式の一つである、角柱を用いた。構造物の動的特性をシミュレートするために、固有周期等の振動特性を任意に設定できる振動台を用いて実験を行った。この振動台の下部に構造物模型を取り付け、水槽台車により模型氷の中を曳引した。振動台と台車の間、振動台と構造物模型の間の二ヶ所に検力計を配して力を計測するとともに、変位計、加速度計により模型の運動を計測した。

本論文において報告した主な研究結果は以下のとおりである。まず、過去の研究により、氷との干渉により構造物に発生する運動の最大速度は氷の運動速度にほぼ等しいことが示されているが、本研究の結果においてもこれを確認した。また、氷の運動速度がある速度を越えると構造物の運動が急激に減衰するが、この運動状態の遷移が、氷の速度だけではなく、氷荷重の大きさにも依存することを示した。一方、典型的な振動現象の見られる一例に注目して模型の運動と氷荷重との関係を詳細に解析することにより、構造物の動的応答を伴う場合の氷荷重の発生機構について一つのモデルを示した。

波浪による氷板の変形に関する  
 模型氷及び模擬氷を用いた実験  
 Experimental Study on Wave-induced Ice  
 Deformation by Using Doped Ice  
 and Plastic Sheet  
 金田成雄、今井 正、平山健一、堺 茂樹  
 平成6年12月  
 土木学会 海岸工学論文集

自由海面と氷板に覆われた海面が共存する海域では、進入した波浪により氷板は変形し、変形がある限度を越えると曲げ破壊が生じる。破壊された氷片は波浪と共に運動し、船舶或いは海洋構造物への衝突等による衝撃水力となる。また、船舶航行時の船首波と氷板の干渉は、その航行性能に影響を及ぼしている。冬季の北海道オホーツク海沿岸においても流水により海産物の被害や構造物の損傷、破壊等が生じている。このように氷板と波浪の相互干渉の解明は船舶及び水工学の上で重要な研究課題の一つである。

氷板と波浪の相互干渉に関する従来の研究においては、理論解析による弾性平板下での波動の線形解を用い、氷板下での波浪特性及び波浪による氷板の破壊条件等を検討している。また、ポリプロピレン板を用いて実海水を模擬した造波実験を行い、波浪による氷板の変形特性を検討しているものもある。しかしながら、両者とも現地観測或いは実際の水を使った実験による検証は行っていない。

そこで、従来の研究を踏まえ岩手大学と船舶技術研究所との共同研究により模擬氷(ポリプロピレン板)及び模型氷(氷水槽の水)を用いた造波実験を行い、波浪による氷板の変形特性について検討した。両者の実験とも、波が氷板に進入する際の波高伝達率、氷板内を伝播する間の波高減衰及び氷板内の波速に対する入射波の周期、波形勾配、氷厚の影響を検討し、両者の結果を比較した。この比較により、系統的实验が容易に行える模擬氷を用いた実験の有効性を検証した。

波高伝達率、波速については、入射波周期及び氷厚に依存しており、波形勾配の影響は本実験条件の範囲内では見られず、両者の実験は同一の傾向を示した。波高減衰率は周期のみに依存し、両者の値は若干違うものの、ほぼ同一の傾向を示した。

電波による模擬海水の氷厚計測  
 Experiments on Detection of Model  
 Seaiice Thickness using UHF Waves  
 高島逸男  
 平成7年2月  
 北方圏国際シンポジウム実行委員会  
 第10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

水海技術部低温環境研究室では砕氷船の氷海航行を支援するための氷厚の探知技術の研究に取り組んでいる。砕氷船用の氷厚探知システムとしては人工衛星による海水の分布情報とともに航路周辺の氷厚の分布が必要となる。有効な氷厚探知システムとして、海水の厚さ1~2mを精度良く測り、航行可能な領域とそうでない領域とを衛星画像に重ねて色付けすることや、特に航行が困難となる航路周辺の氷丘部の位置を捉えられれば望ましいと考えられる。

海水厚をレーダで探知するためには、海水中での電波の減衰、氷厚の分解能を考慮すると、100MHz~900MHzの周波数帯域を用いなければならない。これらの周波数領域における海水の電波特性については報告例が少ないので、まず模擬海水の誘電率の測定を行った。次に、アンテナ等を整備して空間での誘電率の計測、電波による氷厚計測の可能性等について調べた。引き続き、信号発生器、デジタルオシロスコープ等を組み合わせて、ステップ周波数レーダを構成し、測距実験、模擬海水の氷厚探知実験等を行い、次のような結果が得られた。

(1) 同軸管を用いた反射法により、模擬海水の複素誘電率を測定した結果、誘電率の実数部は約3(2.7~3.2)となり、氷中の塩分量、測定周波数、氷の温度等の変化にそれほど影響されないことがわかった。また、誘電率の虚数部は氷中の塩分量及び温度に大きく依存し、測定範囲において0.02~1.3程度となった。

(2) 空間における反射法により、金属板上においた模擬海水盤を計測した結果、誘電率と氷厚との関係を実用に供することのできる精度で求めることができた。

(3) ステップ周波数レーダを試作して、模擬海水盤の氷厚を計測した結果、分解能13.5cmで氷厚45cmの模擬海水盤を探知することができた。これによりステップ周波数レーダが氷厚探知レーダとしての可能性を有することがわかった。

Maintenance Technology of  
Ultra Large Floating Offshore Structure

超大型海洋構造物の保守管理技術  
在田正義

平成7年3月

港湾技術研究所 沿岸域における浮体構造物の建設技術に関する国際ワークショップ・プロシーディング

超大型海洋構造物の保守管理技術について、その特徴、現状の技術、今後の研究方向について概観した。

超大型海洋構造物としては、海上空港を想定した。この場合、従来の海洋構造物とは、寸法、想定耐用年とも桁違いに大きく、長いことが特徴となる。

保守管理技術については、マリンプロート推進機構と沿岸開発センターが行っている「大規模浮体構造物の研究」(平成5年度-平成6年度)のうち耐久性分科会の中間報告をまとめたものから、コンクリート構造と鋼構造の各々について概要を述べ、超大型浮体に適用可能な防食仕様を示した。

船舶の場合と比較した海洋構造物の保守管理の特徴は、ドックに入れられないこと、及び生物付着が著しいことである。このため、初期設計段階で保守管理・防食方式を十分検討しておく必要がある。

保守管理の大きな部分を占めるのが防食である。海洋構造物は大きく分けて、コンクリート製と鋼製とに分けられる。コンクリート構造の防食は、鉄筋の防食が中心であり、水-セメント比、かぶり、ひび割れ幅による対策(第1種防食)と、鉄筋のエポキシ樹脂塗装や亜鉛メッキ、コンクリートの表面被覆、電気防食(第2種防食)がある。耐用年数を100年以上とした構造物の建設、防食施工例は無い。

鋼構造の防食は多くの方法がある。塗装、有機及び無機ライニング、耐食性金属被覆、犠牲鋼板巻き等である。これらは、使用環境に応じ使い分ける。耐用年数100年の防食施工例が日本に2例ある。

超大型海洋構造物として、多脚型のセミサブ構造と、防波堤に囲まれた海域に箱型構造物(ポンツーン)を浮かべる方式とが提案されている。保守管理上では各々特有の特徴がある。従来技術の延長の保守管理システムだけでなく、暗黒海面对策、社会的・経済的要求による改造可能な構造、稼働の開始から終了までの劣化予測、稼働停止時の条件設定も必要である。

〈大阪支所〉

ハイブリッドFRPの積層構成と強度について

On The Laminate Constitution and  
Strength of Hybrid FRP

吹上紀夫、津島 聡、小野正夫

平成7年3月

(社)日本材料学会 第24回FRPシンポジウム

近年、船舶の高速化あるいは省エネを目的に船体を軽量化しようとする傾向にある。このため、従来のGFRPに比重の小さい高強度なカーボン繊維やアラミド繊維を組合せたハイブリッド型(HFRP)が使用されるようになってきた。本研究は、このHFRPの積層構成と強度特性の関係を求め、船体軽量化のための設計に役立てようとするものである。

使用原材料として、樹脂は不飽和ポリエステル(UP)及びビニルエステル(VE)を、強化繊維は特注した一方向織(縦スグレ)のカーボン繊維(C)、アラミド繊維(A)及びガラス繊維(G)と従来のガラスマット(M)を用いた。成形試験材は大きく分けて2種類である。試験材(1)は同一繊維を一方向に積層したもので、HFRPにした場合の各繊維層の強度特性を求めためである。試験材(2)はHFRPで、6層上下対称に積層した。中央層に強度の低いM層を2層、外側2層には高強度の一方向織りを上下対称に配置した。即ち、GC-MMCG、AGMMGA、CAMMAC……の要領である。

試験結果として、強化繊維のみを束にして引張った場合の強度はフィラメント(繊維一本:カタログ値)の強度よりも低い値となった。この値は成形したFRPの強度から逆算した繊維強度に近い値で、FRPの強度を計算で求める場合の資料となった。HFRPの引張及び圧縮試験ではG、C、A及びM層の弾性係数が異なり、各層の応力分担割合が悪く、強度の向上が見られなかった。これに比べ、曲げ試験では積層構成によって強度が大きく向上し、GCMCGでは100kg/mm<sup>2</sup>以上となった。また、UP樹脂に比べVE樹脂は樹脂のみの強度及び伸びが大きいのでCやAによく追従し、安定した強度が得られた。

これらの結果により、G層の厚さに対しC層の厚さ割合を小さくすると荷重の負担が弾性係数の高いC層に多くかかるため、かえって強度が低下する現象が生ずること、曲げでは積層構成を最適にすると曲げ強度が大きくなることなどが分かった。

三次元中空織物複合材パネルの力学特性  
Mechanical Properties of 3-D Woven Fabric  
Reinforced Composite Panel

吹上紀夫、小野正夫、江上雅之、藤田章洋、  
前川善一郎、濱田泰以、中井朝美、中谷 有  
平成7年3月

(社)日本材料学会 第24回 FRP シンポジウム

船舶、車輛、航空体等への使用を考慮した材料設計において、高剛性化、高強度化及び軽量化は重要な課題であるが、なかでも材料に厚みを付与しながら軽量化をはかることは困難である。三次元中空織物を用いた複合成形材(3D-FRP)は高剛性、高強度及び軽量化を実現する材料として注目されており、大型パネルへの適用が有効と考えられている。本研究は、この3D-FRP パネルの設計支援となる基礎データを得ることを目的に、樹脂、表面材等を適宜組合わせた3D-FRP について、曲げ負荷を与えた場合の静的及び動的特性を明らかにした。使用した原材料は、板厚方向にも繊維束が柱状に配置(中空)された三次元中空織物(パラビーム:パラビーム社製)、マトリックス樹脂はフェノール樹脂及びエポキシ樹脂である。試験材は芯材内部が中空のもの、中空部に発泡材を注入したもの、表面材にGFRP、メラミン化粧板またはアルミ板を用いたものなど、これらの要素を適宜組合せ成形したサンドイッチ材である。これらについて、静的曲げ試験、曲げ疲労試験及び落錘(3点曲げ)衝撃試験を行い、それぞれの試験に対する強度特性を求めた。

静的曲げ試験において、内部が中空のものは板厚方向の潰れと、平面方向のずれ変形(FRPの層間剪断変形に相当)が大きく発生するため、表面材が破壊する前に負荷荷重が低下してくる現象を示した。一方、中空部に発泡材を挿入したものは芯材の潰れが少ないため剛性低下が少なく、高い値を示した。最終の破壊現象はいずれも表面材の引張または圧縮破壊であった。曲げ疲労試験では、 $5 \times 10^5 \sim 10^6$ 回になると曲げ変形が進まなくなるため、最大疲労回数を $10^6$ とし、この時の応力を曲げ疲労強度とした。表面材がメラミン及びアルミのものの疲労強度は共に30MPaであったが、静的強度と比較するとそれぞれ1/2及び1/2.8となった。表面材がメラミンのものの衝撃試験では、破壊時の曲げ応力が67MPaとなり、静的強度とほぼ同様となった。

三次元中空織物を用いた複合成形材に発泡材を注入したもの及び表面材としてFRPを成形したものは、密度を大きく増すことなく剛性等曲げ強度特性を向上させることができた。

FRP リサイクルの方向

Orientation of FRP Recycling

中西洋一郎、吹上紀夫、井上久弘、淡路敏夫、  
中島康郎

平成7年3月

(社)日本材料学会 第24回 FRP シンポジウム

樹脂をマトリックスとするFRPは耐食性がよいため腐敗せず、使用後の処理が困難なため大きな社会問題となっている。現在はほとんど破砕して埋め立てられているが、有限な資源の有効利用という点からFRP廃棄物は再資源化するリサイクルが望まれている。日本材料学会複合材料(高分子系)部門委員会でもこの問題を取上げ、FRPのリサイクル方法を中心に調査、研究を行ってきた。

FRPのリサイクル方法としては、①ケミカルリサイクル、②マテリアルリサイクル及び③サーマルリサイクル(熱回収)の三つが考えられる。①ケミカルリサイクルでは、マトリックス樹脂を化学的に分解してモノマーを回収したり、ガソリンや灯油に還元する方法、オートクレーブ等を使って高压下あるいは高温下で熱分解する方法、水蒸気分解してオイルを回収する方法などが行われている。これらの中で、熱分解は回収するオイルが強い酸性であることと、多種成分の混合物であることなどから、モノマー還元が困難であり実用性の要素が少ない。②マテリアルリサイクルでは、再使用と再利用に分けられるが、望ましいのは製品あるいは部品として再使用する方法である。再利用はFRPを材質別に分類し、破砕、粉砕、微粉砕して再成形したり、樹脂の増量材として使用することであるが、現時点では炭酸カルシウムのようなバーজন充填材にコスト面で勝てないことから、有力な方法ではあるが、検討を要するところである。③サーマルリサイクルでは、FRPを固形燃料としてその熱エネルギーを回収する方法で、資源のリサイクルにはならないが、現時点ではコストの点、簡便性の点から、最も有効なFRPの処理方法と考えられる。また、マテリアルリサイクルしても最終的には燃焼させ熱エネルギーの回収という形になることが多い。

これまでの検討結果から、中長期的には、廃FRPの問題点を解決する方法は、製品の設計段階から再使用できる要素を組み込んでおくことが望ましく、易リサイクル設計の推進にあると考えている。また、短期的には、サーマルリサイクルを推進せざるを得ないと考えられた。

仕切弁についてのリップの効果及び  
弁箱の対称性に関する実験的検討

Experiments on the Effect of Ribs and the  
Symmetry of Bodies for a Gate Valve

伊飼通明、川崎雅生、丸本芳男、吉居久光、  
井上孝史、須藤久良、上野恵司

平成7年6月

(社)日本バルブ工業会 「バルブ技報」第10巻第1号

仕切弁は呼び径の大きな場合、漏れや強度の面からリップで補強する場合が多い。しかし、リップは補強効果があるとされているが、その効果について実験的に確かめられたデータは少ない。そこで、今回形状の異なるリップについて圧力実験を行った。実験に用いた仕切弁は、呼び径300のダクタイル鋳鉄製のものであり、リップを有しない弁、縦リップを有する弁、T形縦リップを有する弁、そしてT形縦リップに水平リップを有する4種類の弁である。

一方、仕切弁の設計にFEMが用いられ、仕切弁の対称性から1/4のモデルで解析が行われている。そこで、弁箱の対称性の確認の圧力実験を行った。得られた結果は以下の通りである。

(1) リップの効果

①縦リップの効果

縦リップは、確かに弁箱の変形を抑える効果はあるが、管フランジとボンネットフランジを結ぶ縦リップ上のアール形状に注意しなければならない。この形状によっては縦リップにかなりの応力集中が発生するからである。

②T形縦リップの効果

T形縦リップは、縦リップに比べて応力集中の緩和に対して効果があり、また変形を抑える効果もある。そして、T形縦リップは弁箱胴全体に垂直方向応力についても軽減効果がある。

③T形縦リップ+水平リップの効果

T形縦リップ+水平リップは、応力を軽減する効果よりも変形を抑える効果の方が大きい。なお、水平リップはボンネットフランジのボルトの取り付けとの関係から最適位置に取り付けられない場合もある。

(2) 弁箱の対称性

実験結果から17%程度の弁箱胴の肉厚の偏りがある値が得られ、FEMにより設計肉厚を入力する時に十分注意する必要がある。

〈東海支所〉

Theoretical Model Calculation of Dosimetry  
Cross-sections for Cobalt from threshold  
energy to 50 MeV

しきいエネルギーから50MeVまでのコバルトの  
ドシメトリ反応断面積の理論計算

岩崎 信、小田野直光

平成6年5月

Proceedings of the International Conference on  
Nuclear Data for Science and Technology,  
p.627 (1004)

日本原子力研究所で開発が計画されているESNITによって得られる高エネルギー中性子場での中性子源特生の決定に必要なドシメトリ反応断面積の評価を、理論計算に基づいて、しきいエネルギーから50MeVまで行った。Co元素は多重反応により熱中性子エネルギーから50MeVまで一つのドシメータで感度があり、単独の箔により中性子ドシメトリが可能である。

理論計算に用いる最適パラメータは20MeV以下の $(n, 2n)$ 、 $(n, p)$ 、 $(n, \alpha)$ 反応断面積の実験データ、14MeVでの中性子・荷電粒子放出スペクトルの実験データを再現するように、一般化最小自乗法によって決定した。Fe、Coに対する $(p, xn)$ 反応断面積もパラメータ決定において考慮した。この様に決定したパラメータを用いて計算を50MeVまで拡張した。ドシメトリ反応として利用可能な $(n, 2n)$   $^{58}\text{Co}$ 、 $(n, 3n)$   $^{57}\text{Co}$ 、 $(n, 4n)$   $^{56}\text{Co}$ 、 $(n, p)$   $^{59}\text{Fe}$ 、 $(n, \alpha)$   $^{56}\text{Mn}$ 反応断面積は20MeV以上での最近の実験データとよく一致した。また、 $(n, 2n\alpha)$ 反応は断面積値が比較的大きく、生成される $^{54}\text{Mn}$ の崩壊定数が十分精度よく明らかになっているので、30~50MeVにおけるドシメトリ反応断面積として有望であることを明らかにした。理論計算によって得られた断面積値は最近の実験データと一致している。この他にも、ヘリウム蓄積ドシメトリ反応断面積や主要な反応チャンネルの断面積についても計算した。

Measurement of Activation Cross-sections  
for Several Elements between 12 and 20 MeV

12~20MeV 領域での放射化断面積の測定

小田野直光、岩崎 信、松山成男、大久保剛、

福田 浩、佐久間正剛、北村正晴

平成7年4月

日本原子力研究所 1994年核データ研究会報文集、  
JAERI-Conf 95-008,p.165 (1995)

中性子エネルギー12~20MeV 領域において、Co、Ni、Y、Nb、Tm、Au の放射化断面積を測定した。中性子源は東北大学高速中性子実験室のダイナミトロン加速器によって得られる3.2MeV の重陽子による T (d,n)<sup>4</sup>He 反応によって発生させた。

高純度または超高純度金属箔のセットを入射中性子エネルギー範囲が12~20MeV をカバーするように重陽子ビームに対して0~140度に配置した。中性子源と箔のセットの距離は5cmとした。放射化率の測定は高純度ゲルマニウム検出器を用いたガンマ線の測定により行った。各箔の位置における中性子束は箔を2枚のNb箔で挟み、それらの放射化率から決定した。参照反応には<sup>93</sup>Nb (n,2n) <sup>92m</sup>Nb 反応を用い、断面積値には1991年のNEANDC/INDC標準ファイルのデータを用いた。

中性子源特性の詳細については、飛行時間法によって測定した。散乱中性子及び寄生反応中性子の放射化反応率への寄与は、特に低しきいエネルギーの反応で重要となるが、それらの寄与の補正は、中性子源スペクトルと反応断面積のデータから補正した。

以下の重要な、ドシメトリ及び放射化反応断面積(<sup>59</sup>Co(n,2n)、(n,α)、(n,p)、(n,3n)、<sup>58</sup>Ni(n,p)、(n,np)、(n,2n)、(n,pα)、<sup>60</sup>Ni(n,p)、<sup>89</sup>Y(n,2n)、<sup>93</sup>Nb (n,α)、<sup>199</sup>Tm (n,2n)、<sup>197</sup>Au (n,2n)、(n,3n)、(n,α)、(n,p))について測定を行った。これらの測定値について、利用可能なドシメトリファイル、放射化断面積ファイル、過去の実験データ等と比較した。