

所外発表論文等概要

〈推進性能部〉

海面効果翼船の基礎的研究

Fundamental study on WISES (Wing-in-Surface Effect Ship) in the Ship Research Institute

不破 健、牧野雅彦、長谷川 純、堀 利文  
平成5年11月

日本航空宇宙学会 第31回飛行機シンポジウム

海面を掠めて航行する海面効果翼船WISES (Wing-in-Surface Effect Ship) は中・短距離における次世代の交通手段として期待されている。既に実用化されつつあるが、性能および安全性に対する評価の方法はまだ確立しておらず重要な研究テーマである。また、WISESは海面の鏡像効果を利用して高揚力をねらうまったく新しい形式の船舶であるため、未知の部分が多くその特性および推進性能の把握は安全性の評価と共に重要であり、設計に際してはそれらを個別にせず総合的な一つのシステムとして扱う必要がある。このため、船舶技術研究所では、海面効果翼の基礎特性を把握することから研究を開始し各種の実験および数値計算を行っている。

本報告はその研究計画の流れの中で、既に開発されているLippisch型WISESを例として曳航試験と強制動揺試験を行った。曳航水槽においては種々の高度や迎角変化を行い空力特性を計測した。これらの結果から得られた空力微係数を地面効果を含む運動方程式に用い、コンピューターによる運動シミュレーションを行った。一例として突風外乱があったという条件で試み、縦揺れは海面効果外と比較して効果内ではその影響で揺れの振幅が減衰しにくい結果を得た。

WISESは海面に極近い高度で航行するため、定常時の安定性および外乱に対する安定性確保は重要である。本手法はWISESの安全性評価を行う上で有用な手段の一つであり、このように実験およびシミュレーションを基本とする評価の手法が次第に確立しつつある。

Fundamental Study on Safety Evaluation of Wing-in-Surface Effect Ship (WISES)

海面効果翼船の安全評価に関する基礎研究

不破 健、平田信行、長谷川 純、堀 利文  
平成5年12月

2nd International Conference on Fast Sea Transportation, Proceedings 3

海面効果翼船は、次世代の高速海上輸送の担い手として期待され、各国で開発研究が行われている。現在の高速船に比べて速力が極めて大きく、また、船と航空機の特徴を兼ね備えた設計法にも未知の要素が多いため、潜在的な危険性は大きく、その安全評価は特に重要な課題である。

本論文は、海面効果翼船の安全性を規定する要因と要素とを抽出し、それらを合理的かつ系統的に評価する安全評価手法について考慮したものである。現在、国際海事機構 (IMO) において、高速船の安全基準の見直し作業が行われているが、海面効果翼船もその対象とすることも提案されている。また、ロシアにおいて軍事目的に開発された大型の海面効果翼船を導入する計画が各国で検討されている。これらの機運により、安全基準の策定の必要性が高まっているが、在来船の経験を基礎とする手法から脱却し合理的な手続きと理論的な背景を十分に備えた基準作りが急がれている。その基礎としては、海面効果現象の理解と、それを利用する海面効果翼船の設計法に関する洞察が不可欠である。そのため水槽で実施した、基礎計測の成果を紹介し、理論計算、運動シミュレーションの結果を示した。特に安全上問題となる安定性と波浪・着水衝撃の推定のために海面効果翼船の運動シミュレーションは重要であり、航空機の運動モデルに海面効果を加味した運動方程式を構築し、強制動揺法や理論的な手法によりその諸係数を決定した。安全評価手法としては、総合的なシミュレーションシナリオに基づく評価と、設計概念、手法等の合理性の審査および実船データにおける確認の過程を必須とする手法を提案している。

マルチ・ブロック法を用いた  
海洋構造物まわりの流場の数値計算

Numerical Simulation on Flow Field around  
Offshore Structure Using Multiblock Code

平田信行、児玉良明  
平成5年12月

第7回数値流体力学シンポジウム講演論文集

海洋空間の有効利用に関して、海上空港などは常々注目を集め有望視されてきた。海上空港を建設する工法として浮体式、栈橋式、埋立式等があるが、大水深海域における利用を考えると浮体式の海洋構造物が有力な候補として挙げられる。

浮体式海洋構造物に働く外力として、風、波、潮流によるものを通常考慮する。このうち、潮流による外力は、構造物の移動、傾斜といった復原性および係留特性に大きな影響を持ち、設計時の評価に欠かせない。

本研究の目的は、潮流による海洋構造物まわりの流場を数値計算により求め、復原性、係留特性に関して評価を与えることである。ただし、海洋構造物は一般には複数の浮体要素（例えば、円柱群）によって構成されており、計算格子のトポロジーも単一で解くことは難しい。このような複雑な形状を有する物体まわりの流場を解くために、複数のブロック格子を組み合わせるマルチ・ブロックの手法を用いたNSコードを作成した。対象とした構造物はPOSEIDON号であり、本研究ではそのうち1本の浮体要素のみを取り上げて数値実験を行った。計算状態はフーティングの直径を基準長さとするレイノルズ数が $10^4$ という層流状態とした。計算結果は、角を有する流場よりそこで大きな剝離を生じ渦が放出し続ける。そのため、速度の平均残差がほとんど落ちなかった。しかし、抵抗は無次元時間で10秒を過ぎるころからほぼ落ちついており、海洋構造物まわりの流場を解く可能性を示した。

今後の課題としては、乱流モデルを考慮し高レイノルズ数での流場を解くこと、自由表面の影響を入れること、マルチ・ブロック法にのっとった計算格子の生成プログラムを構築すること等が挙げられる。

NS Computation of Free-Surface Flows  
around a Ship Using a NICE Code

NICEコードを用いた船まわりの自由表面流のNS計算

児玉良明、塩谷茂明  
平成6年3月

Proceedings of the CFD Workshop Tokyo 1994

船体まわりの自由表面流れのためのNSソルバーを開発した。その計算コードはNICEコードと呼ばれ、自由表面の存在しない流れについてのコードを自由表面用に改造したものである。自由表面波の考慮にあたって、定式化におけるいくつかの工夫を行った。

支配方程式であるNS方程式の離散化では、非粘性項の取扱いについて、移動格子系の定式化を示した。すなわち、格子の移動速度の考慮は定式化の極く一部分である固有値を変更するだけで可能であり、固有値ベクトル等は固定格子系のそれをそのまま用いることができる。

自由表面境界条件のうち動力学的条件では、自由表面における垂直及び接線応力の釣合の式を立て、近似無しに従来に比べて非常に簡単な式を導いた。また、自由表面境界条件のうち運動学的条件では、静止座標系から動座標系への座標変換を正しく考慮することにより、条件式が非常に単純になることを示した。

以上に示したいくつかの新たな工夫を取り入れた計算コードを用いて、船体まわりの自由表面流れを計算した。計算は約2万点の格子点数を用いて、無次元時間3.0まで行われた。波高変化を陰的な時間差分に組み込むことによって、高い数値安定性を得ることができた。非常に少ない格子点数にも拘らず、波は良く発達した。船側波形は実験結果と良く一致した。水面全体の波紋は、波の高低のパターンは実験結果と一致しているものの、船側から遠ざかるにつれて一致度が悪くなった。これは格子の解像度が低いことが第一の原因であると思われる。自由表面と船体表面の交線では、波高をゼロ外挿で決定することによって、船体表面における自由表面の上下を可能にしたが、数値安定性の点で改善の余地があることが分かった。

造波成分を含めた船体抵抗値は、格子点数が少ないにも拘らず、実験値と良い一致を示し、本計算コードの高い実用性が確認された。

Design and Evaluation of New Supercavitating Propellers

新しいスーパーキャビテーション・プロペラの設計

右近良孝、工藤達郎、黒部雄三、星野徹二

平成6年4月

Org. Com. of the 2nd Int. Symp. on Cavitation  
Proc. of the 2nd Int. Symp. on Cavitation

本論文では、スーパー・キャビテーション・プロペラ (SCP) の新しい設計法を提案し、具体的に高性能な SCP を設計し、実験でその性能を確かめた。先ず、既存のチャートによる設計法により、目標となる SCP を設計し、実験によりその性能を把握した。次に、一次渦パネル法という新しいスーパー・キャビテーション翼理論を開発し、SCP の各翼断面性能を精度良く計算する方法を導入した。この計算と揚力線理論とを組み合わせた設計法により、SRIJ-ISCP を設計した。その結果、過大なスラストが発生するなどの改善の余地が見いだされた。その原因として、従来の揚力面キャンパー補正法が不適切であることが判明したので、SCP 特有の荷重分布に対応できる揚力面補正計算を用いて SCP を設計した。その結果、与えられたスラストを発生し、かつ11%効率向上をする SCP を設計することができた。

Calculation of Supercavitating Propeller Performance Using a Vortex Lattice Method

渦格子法を用いた SCP の性能計算

工藤達郎、右近良孝

平成6年4月

Org. Com. of the 2nd Int. Symp. on Cavitation  
Proc. of the 2nd Int. Symp. on Cavitation

船舶の高速化にともない、その推進器としての SCP (スーパーキャビテーション・プロペラ) の重要性が増してきている。しかし、SCP 翼型の2次元理論解析や SCP の設計法に関する論文が数多く発表されているのに比べて、SCP の理論的性能解析に関するものは僅少である。キャビテーションが発生した通常プロペラの理論解析は少数の研究者が発表しているが、SC 状態での性能解析の精度は悪く、SCP への適用は無理である。

本論文では、SCP の性能を渦格子法により計算するために、キャビテーションが発生した状態での所定の翼荷重が得られるようにキャンパ面を逐次変形することによりキャビティ表面での圧力条件を満たすという手法を提案し、その手法により実際に性能計算を行った。後流渦の変形を考慮にいれない計算では、実験結果と比較してスラスト、トルク共に約7%小さめであるが、蒸気圧に収束しきっていない背面側の圧力を補正することにより実験値と2%以内の誤差で合う結果を得ることができた。

また、後流渦の変形まで考慮に入れた計算では、スラスト、トルクの計算精度は向上し、チップ・ボルテックス・キャビテーションまで含めてキャビテーションの発生の様子を良い精度で計算することができた。

A Study on the Motion of Wing-in-Surface Effect  
Ships by Means of Computer Simulation

コンピュータシミュレーションによる  
海面効果翼船の運動に関する研究

不破 健、南 佳成  
平成6年5月

2nd International Conference on Ekranoplans

ロシアではエクランプランと呼ばれる海面効果翼船(WISES:ワイゼス)は将来の高速海上輸送機関の一つの候補として考えられている。WISESに関する法規や安全基準の基礎として、その合理的な評価手法を確立するため、現在、船舶技術研究所では研究を実施中である。

コンピュータ・シミュレーションを用いて通常の状態や極限状態、緊急事態および事故や故障の状況におけるWISESの運動を推定することにより、具体的なWISESの安全評価を広範に実施することができる。

このような立場から、簡便で利用しやすく、そしてWISESの運動を十分に表現できる適切な運動方程式を導いた。水槽や風洞における各種の実験および理論的な推定式から典型的な形状をもつWISESについて具体的な空力微係数を決定し、安定判別やシミュレーション計算により、モデルおよび決定法の有効性を確認した。海面効果により航行高度に応じて特性が変化することが特徴であるが、運動方程式を線形微分方程式とし、その係数が高度をパラメータとして変化することによりこの特性を十分良く表現できることを示した。これは非線形方程式を線形化する際に摂動の中心を時々刻々の航行状態に対応して変化させることに相当しており、数値解法にも工夫を行っている。シミュレーション計算としては突風に対する応答や簡単なフィードバック系による高度維持制御の例を示し、WISESの特性を具体的に考察した。

海面効果翼船の設計手法と検討例について

WISES Design Methods and Their Application.

高橋孝仁、不破 健  
平成6年5月

関西造船協会誌 222号

翼が海面(地面)すれすれを飛行することによって揚抗比が上昇する。この効果を有効利用した海面効果翼船(WISES: Wing-In-Surface Effect Ship)が次世代の超高速船として注目されている。船研での研究目的はWISESの安全評価手法の確立であるが、これも特性や形状と密接な関係にあり、概念設計を行うことは設計のポイントを把握し、海面効果現象の理解を深めることにつながるので試設計を行った。本論文ではWISESの設計手法について検討し、設計例を示した。

まずWISESの設計手法については基本的に航空機設計手法と同じ考え、これにWISESに特有な項目を付加しそして不必要な項目を削除するという考えに基づいた。設計ツールとしてはISAAC(航空機設計)、DATCOM(空力特性計算)、安定判別プログラム等のプログラムを用い、地面効果内特性については実験データ、実験データに基づく推定式など用いた。この設計の過程を通じてWISES設計システムについての要件、設計の手順、その構築に際しての考え方を整理し、設計例を示した。

設計のポイントに関しては、特に主翼と尾翼の設計についてWISESの本質的な要素である地面効果特性や安定性について検討を行った。

今回の設計手法及び設計例は極めて初歩的な検討に留まったが、今後これらの検討をさらに深化させ、基礎データの蓄積、試行錯誤の積み重ねによりさらに水準の高いWISESが設計できると考える。

なお、ISAACは航空宇宙技術研究所で開発されたSTOL(Short Take Off and Landing)機初期設計用CADプログラムであり、与えられた形状に対する飛行特性、重量、運航費その他の推定機能を持つ。またDATCOMは米国空軍で集積したデータ集であり、各種空力係数・微係数を推定できる。これらのプログラムの使用は航技研との共同研究による。

## 〈運動性能部〉

小型船の横波中転覆機構に関する模型実験  
(その2、左右揺の減衰力とその着力点の非線形性について)Model Experiment on the Mechanism of Capsizing  
of a Small Ship in Beam Seas (Part 2 On the  
Nonlinearity of Sway Damping and its Lever)石田 茂資  
平成5年11月

日本造船学会論文集 第174号

小型船は、一般に軽量浅喫水でハードチェーンを有する等の特徴を持っているため、特に転覆に至るような大振幅の運動は中大型船と異なった特性を示す可能性がある。著者らは、前報で、転覆限界と言われる船幅と同程度の波高を持つ集中性過渡水波を使用した横波中の転覆実験について報告した。そこで見られた特徴のひとつは、波に乗って大きく横流れしつつ横揺が発達し転覆したことである。このような横方向の波乗りは、軽量浅喫水な小型船ならではのものと考えられる。ハードチェーンやスケグ等の凸部を水面下に持つ小型船は、大きな横流れの際にその抗力成分が無視できない可能性がある。

本報告では、上記の点に着目して強制左右揺試験を行い、左右揺の減衰力の大部分が速度の自乗に比例する抗力成分であること、その着力点が傾斜角の関数であることを示した。シミュレーションによって前報で報告した転覆実験について説明を試みた結果、左右揺の抗力成分によるモーメントが転覆に大きな影響を与えることが明かとなった。

また、実船が転覆に至るような海象では、出合い周期成分の運動とともに風による定常的な横流れと定傾斜が重要と考えられる。そこで、速度一定で強制横流れ試験を行うとともに風圧力計測を行った。その結果、横流れ速度一定時においても抗力の着力点が傾斜角等によって複雑に変化すること、風による定傾斜が風速の3乗に比例すること、横風と横波が共存する状態では風下側に著しい非対称横揺をする可能性があることが明かとなった。

## 外洋ヨットの転覆現象に及ぼす船型等の影響について

On the Effect of Hull Forms and Other Factors  
on the Capsizing of Sailing Yachts二村 正、石田茂資、渡辺 巖  
平成6年5月

日本造船学会論文集 第175号

最近の外洋仕様のヨットには、復原性能上問題があると言われているものがあり、重大な海難事故も発生している。そこで、古典的な船型から最近のレーサータイプまで、船型の異なる3隻のヨット模型を使用して、横波中における転覆及び倒立状態からの起き上がり実験を行った。船型、波高、重心高さ、マストの有無等と、転覆及び起き上がり現象の関係について検討を行った結果、主に以下のことが明かとなった。

- 1) 最近のレーサータイプの船型は旧タイプの船型に比べ転覆しやすく、起き上がりにくい。
- 2) ヨットの転覆、起き上がり運動には、マストに働く流体力の影響が非常に大きい。
- 3) マスト付きヨットの転覆運動は、マストが着水するとその流体反力により急激に回転運動が小さくなり、一時的に停止する。この傾斜角が復原力消失角を超えるか否かで、転覆、非転覆が決定される。同じ波高であれば、この傾斜角は船型や重心高さの影響をあまり受けない。このため、マスト付きヨットの耐転覆性能は、船型によらず復原力消失角の大ききで評価でき、復原力消失角が大ききほど転覆しにくい。
- 4) マスト付きヨットの起き上がり運動は、主に、波による船体の横流れ量と、マストに働く流体力により傾斜角が決定され、この傾斜角が、復原力消失角付近まで達するか否かで、起き上がりが決定されると考えられる。このため、マスト付きヨットの起き上がり性能は、復原力消失角でほぼ評価でき、復原力消失角が大ききほど起き上がりやすい。
- 5) マスト無しのヨットは、マスト付きに比べ転覆しやすい。これは慣動半径が小さいこと、マスト着水時の流体反力が発生しないことによると考えられる。

以上の他、安全上必要な最低の復原力消失角や、耐転覆性能の改善方法についても検討を行った。

## 〈構造強度部〉

繰り返し荷重下の船体用構造材料の変形挙動と  
強度特性に関する研究（その1）Study of Deformation Mechanism and  
Strength Characteristics of Ship Structural Materials  
under Cyclic Loading Conditions (1st Report)

富田康充、橋本聖史、大沢直樹、千秋貞仁

平成5年11月

日本造船学会論文集 第174号

繰り返し変動荷重をうける金属材料内部の微視的変形機構を解明し、それに基づいて応力-歪応答を推定できるようになれば、材料強度に関する種々の問題を解明するための大きな手がかりになる。

繰り返し荷重試験における金属材料の応力-歪応答は、応力レベルが大きくなるにつれて粘弾性的挙動から粘弾塑性的挙動への遷移をみせるが、この変化は、内部構造変化を伴わない可逆的変形機構から内部構造変化を伴う不可逆的変形機構へ支配的変形機構が交代することに対応しており、この現象が破壊に深く関係することは明かである。

材料が単軸正弦波応力を受けるときの応力・歪応答のヒステリシスループ特性を正しく表現できることは、構成式の定式化において微視的変形機構の取扱いが適当であると見なすための必要条件となる。

本報告では、船体用構造材料として代表的な軟鋼について、その応力・歪応答が粘弾性的挙動から粘弾塑性的挙動に変化するの、支配的変形機構が拡散流れから転位線すべりに交代することが原因であると仮定して、Ashbyらの金属の微視的変形機構に関する研究をもとにRiceのFlow Potential理論を用いて局所構成式を導出し、Taylorモデル近似により多結晶体の構成式の一般形を考え、さらに、単純重ね合わせ近似と構成式の簡略化を行って、粘弾・塑性構成式を定式化した。

一方、室温下で軟鋼SM41Bについて、単軸定荷重振幅正弦波形荷重試験を行って粘弾性的挙動から粘弾・塑性的挙動への遷移に伴うヒステリシスループ特性と実験結果を比較して両者が良好な一致を見せることを示した。

また、粘弾性的挙動から粘弾塑性的挙動への遷移点と疲労限を比較して両者に強い相関があることを示し、その物理的背景に考察を加えた。

フェロセメントの引張試験における  
ひび割れ性能及び付着強度Cracking Characteristic and Adherence Strength  
on Tensile Test of Ferro-cement

北村 茂、佐藤 忠、野間宏平、酒井 謙

平成6年6月

日本コンクリート工学協会

コンクリート工学年次論文報告集 第16巻第1号

フェロセメントの金網を硬鋼線に置き換えた新しい工法で船側外板に相当する供試体を製作した。硬鋼線の太さ及び間隔を変え、ラテックス系の乳剤で練ったモルタルを1、3、5mm厚さに塗った。供試体の引張試験及び付着強度試験により、ひび割れ性能及び付着強度について検討した。得られた実験結果を要約すると次のようになる。(1)供試体の荷重-変位曲線に於いて、モルタルは荷重をかける初期の段階で寄与しているが、荷重の増加と共に、硬鋼線とモルタルのずれ（剝離）が起こり、硬鋼線の引張り強度で破断した。(2)フェロセメント船に要求されるひび割れ発生荷重を高くするためには、硬鋼線の線径が細いほど、ひび割れ発生荷重は高くなり、ひび割れの分散性も良くなった。(3)硬鋼線とモルタルの不連続部（切断位置）で歪みは最大値を示し、かぶり厚さが厚いほどその値は小さくなった。(4)実験より求められた付着特性をもとに、有限要素法で、剝離進展解析を行ったところ、実験値と良い一致をみた。

〈機関動力部〉

タービン内再熱水素燃焼ガスタービンの研究 (第2報)

Internal Reheat Gas Turbine with  
Hydrogen Combustion (2nd Report)

菅 進、平岡克英、熊倉孝尚  
井亀 優、城田英之、森下輝夫

平成5年10月

日本ガスタービン学会 第8回ガスタービン秋季講演会

水素をタービン内で燃焼させることにより等温膨張を近似的に実現することができる。著者らはこれをタービン内再熱と名づけ単段のタービン内再熱試験タービンを試作、水素の着火・燃焼試験に成功し、その結果を第1報で報告した。本報告では主空気流量および再熱水素流量を変えてタービン運転試験を行った結果について述べる。

運転試験ではタービン下流で排気を採取してガス分析を行い、水素の燃焼効率およびNO<sub>x</sub>の増加の有無を調べた。主燃焼器の燃料はとう油を使用し、再熱用の水素は水素ポンプからノズル翼に供給する。再熱水素の燃焼状況はタービン後方からビデオカメラで観察した。

タービン運転条件は、主空気流量を設計値及び+10%、-10%とし、水素流量はタービン段1段あたりの温度降下量に相当する範囲を考慮して0.07%から0.11%、タービン入口温度は940C、回転速度は定格の20,000rpmとした。

タービン内再熱タービンの出力性能を考察するためノズル・動翼間の水素燃焼による発熱をノズル前の発熱に置き換えて理論断熱仕事を求め、みかけタービン効率を定義した。また、ガス分析とは別にタービン入口と出口の熱収支から再熱水素の燃焼効率を推定することを試みた。

運転実験から以下の結果が得られた。

- (1) 主空気流量および水素流量が設計条件のとき、水素再熱時の出力は非再熱時のみかけタービン効率を用いた計算値とほぼ一致した。
- (2) ガス分析から求めた水素燃焼効率は最も高いところで96%となった。
- (3) 水素再熱によってNO<sub>x</sub>中に占めるNO<sub>2</sub>の比率は大幅に増加するが、NO<sub>x</sub>の総量は変わらない。CO濃度は水素再熱により約2倍に増加した。

酸水素水中燃焼特性

Combustion Characteristics of Hydrogen/  
oxygen in Water

熊倉孝尚、菅 進、平岡克英、井亀 優

平成5年11月

日本燃焼学会 第31回燃焼シンポジウム講演論文集

内燃式蒸気タービン機関の蒸気発生部の概念は理論混合比の酸素・水素を作動流体である水および蒸気中で燃焼させ直接蒸気を発生させる方式で、水素の燃焼熱を無駄なく作動流体に伝えかつ燃焼生成物が水蒸気となる利点を有する。本研究では、この燃焼方式における水中燃焼の特性をモデル装置を用いて調べ、安定な燃焼と高い燃焼効率が得られる燃焼法を検討した。これまでの研究結果のうち前報で、部分予混合燃焼方式が安定な燃焼および高い燃焼効率を可能にすることを示した。そこでこの効果を詳しく調べることにし、酸素の予混合割合による燃焼効率の変化を明らかにするとともに、水温が燃焼効率に及ぼす影響を調べた。

実験には、ノズルは同軸噴流型を用いこれに取り付けるフード寸法を内径8mm、長さ60mmとした。水中燃焼用の水は大気圧下における静止水である。火炎の向きは下向きとした。

拡散燃焼法は逆火を伴うことなく安定な燃焼が得られるが、燃焼効率が予混合燃焼法の99.8%に比べ水素酸素の混合が不十分なため低い値を示した。そこで拡散燃焼法において酸素の一部を水素との予混合に用いると燃焼効率が改善され、水温が室温の場合酸素の予混合割合が0.5以上では完全予混合燃焼法の効率と同等でかつ、逆火の発生を伴わなかった。

一方、水温が低いときと飽和温のときの燃焼効率に明かな差異がみられた。即ち水温が高くなると燃焼効率が低下し、低下分は飽和温水中で酸素の予混合割合が0.5のときは約1.2%、1.0(完全予混合)のときは約0.6%となった。この原因として、飽和温水の場合火炎周囲の蒸気泡が大きくなり、この蒸気によって未燃ガスが希薄化され燃焼が不十分になること、また気泡に囲まれた燃焼ガス体の平衡ガス温度がより高い状態にあることが起因していると考えられる。

Characteristics of Stoichiometric H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Combustion  
in Water with Premixing and Diffusion Burners

予混合および拡散バーナによる  
量論酸水素混合気の水中燃焼特性

熊倉孝尚、菅 進、平岡克英、井亀 優

平成6年6月

第10回世界水素エネルギー会議 プロシーディングス

海中動力源への応用が可能な内燃式蒸気タービン機関の蒸気発生部は酸水素混合気を作動流体（水および蒸気）中で燃焼させ直接タービン駆動用の水蒸気を得る特殊な方式で、理論的には燃焼熱の損失を皆無にできる利点を有する。水中燃焼技術については、その実用化に対する基本的要求は安定燃焼と高燃焼効率である。この要求に対し予混合バーナと拡散バーナを用いて量論混合比の酸水素の燃焼特性を実験的に調べ、それぞれの燃焼特性を明らかにした。この結果に基づいて基本要件を更に満足する燃焼技法を提案して調べほぼ満足する結果を得た。これらの研究内容を報告した。

水中燃焼実験は水タンク内で実施した。予混合バーナと拡散バーナの燃焼特性は基本要件に対し一長一短の結果を示した。即ち、前者は火災のフラッシュバックをとめない安定燃焼に欠点があり、比較的安定燃焼する範囲がノズルや火炎保持用のフード寸法またガス流量のパラメータにより限定された。しかし燃焼効率はこれらパラメータに影響されず99.86%というほぼ完全燃焼が得られた。これに対し後者は、フード長さ10mm以上であれば極めて安定に燃焼する。しかし燃焼効率はパラメータに影響され最良の効率でも99.0%にとどまった。拡散バーナの燃焼効率改善のため、部分予混合燃焼法を試みた。これは拡散用の酸素の一部を水素と予混合するもので、その予混合用の酸素比が0.5以上で予混合燃焼時と同等の値が得られた。しかも安定な燃焼を示した。

以上は水温が低い状態のときの結果であるが、水温が高くなると燃焼効率が低下し、蒸気発生状態の飽和水温では酸素比が0.5以上の場合でも効率の低下は0.6~1.2%となった。この低下の分、非凝縮ガスの水素と酸素が残存する。この効率低下原因の解明は今後の課題である。実用の面からみると残存ガスの処理の安全性から、酸素の残存しない、やや水素過濃な酸水素混合比での燃焼が望ましいことを示した。

Solar Hydrogen-Methanol Energy System  
for Transportation Sector in Japan

運輸交通機関用太陽水素メタノールエネルギーシステム

平岡克英、菅 進、井亀 優、城田英之、森下輝夫

平成6年6月

第10回世界水素エネルギー会議論文集

地球温暖化防止のために大気中へのCO<sub>2</sub>排出を低減するとともに将来の石油資源枯渇に対処するために様々な水素エネルギーシステムが提案されている。著者らは、海外の豊富な太陽エネルギーで太陽光発電を行い最終的には液化水素に変換して日本の運輸交通機関用に供給する太陽水素エネルギーシステムの技術的可能性について検討し、その概要をすでに報告した。本報文は、水素をメタノールに変換して供給する場合について検討したものである。

メタノールは水素とCO<sub>2</sub>から合成できる。また常温では液体なので極低温の液化水素に比較して輸送や貯蔵が容易である。さらに、輸送機関へのメタノールの利用については、メタノール自動車のフリートテストが実施されており既に実用レベルに達している。そこで日本の運輸交通機関が現在消費している石油燃料をそれとエネルギー的に等価な量のメタノールで置換する場合、太陽水素エネルギーシステムが概略どのようなものになるのか試算した。

このエネルギーシステムは、メタノール合成に必要なCO<sub>2</sub>をエネルギー消費地において回収しそれを製造地へ再循環するいわゆるCO<sub>2</sub>循環水素エネルギーシステムである。回収するCO<sub>2</sub>は低温高圧の液体で製造地に返送するものとして液化CO<sub>2</sub>タンカーの概念設計をおこなった。

太陽水素メタノールエネルギーシステムは、エネルギー製造地における太陽電池の出力の59.2%を消費地にメタノールとして供給する。その一部をCO<sub>2</sub>を回収するエネルギー源として利用する場合には35.3%になる。また、メタノールの製造や輸送には、太陽電池面積6940km<sup>2</sup>、メタノールタンカー（23.9万トン積載）54隻、液化CO<sub>2</sub>タンカー（14.5万トン積載）123隻が必要になる。



## 〈材料加工部〉

## 溶射法傾斜機能皮膜熱衝撃劣化部の超音波評価

## Ultrasonic Evaluation on Thermal Shock Deterioration of Functionally Gradient Plasma Sprayed Coating

島田道男、吉井徳治、秋山 繁、福島 孟

平成6年4月

非破壊検査 第43巻第4号

高性能耐熱材料の開発は、宇宙往還機や核融合炉、熱機関の大幅な効率向上を実現するための不可欠の要素である。そのため、全く新しい傾斜機能の概念を適用した超耐熱材料の開発が積極的に行なわれている。

傾斜機能材料は表面から内部にかけて材料組成を徐々に変化させ、セラミックスの持つ耐熱性と金属材料の良好な機械的性質を合わせ持たせた材料である。これを実現するため、種々の方法にて材料創製が試みられている。また材料の熱機械的強度を評価するため、レーザー加熱熱衝撃試験法が用いられ、多くの試片について実施された。本試験法は短時間レーザー照射による急速加熱冷却過程で大きな熱応力を生じさせ、材料を破壊するものである。

このような試験において、結果の判定は試片の目視観察やSEM観察によって、表面上のき裂あるいは表面性状変化を調べることによって行なわれる。内部のき裂や界面剝離等の詳細な評価を行うためには、試料の切断等の作業が必要であり、必ずしも容易ではない。また、ミクロなき裂や材質変化等の劣化状態の評価は困難である。したがって非破壊的な評価法の適用が要請されている。

そこで、プラズマ溶射法によって作成した傾斜組成皮膜に種々の強さの炭酸ガスレーザー熱衝撃を加えた。その劣化部を水浸超音波法を用いて計測した。またSEM等による試料表面および切断面観察を行ない、熱衝撃によるき裂や層間剝離等の劣化状態と超音波計測値との対応を検討した。

溶射皮膜面特有の凹凸のため、高分解能のき裂探査はできないが、溶射皮膜内部の剝離や微少き裂に伴う超音波エコー高さの低下、材質変化に対応する超音波伝播時間の変化があることが分かった。これによって、非破壊的に劣化損傷評価が可能であることを明らかにした。

## レーザー照射によるアルミナの熱衝撃強度の評価に関する研究

Estimation of Thermal Shock Resistance of  $Al_2O_3$  Ceramics by Laser Irradiation

秋山 繁、島田道男、吉井徳治、天田重庚

平成6年5月

日本機械学会論文集A編 第60巻第573号

近年、セラミックス材料の熱衝撃特性をレーザーパルスを用いて評価する方法が提案され、各種材料について熱衝撃特性評価研究が行われている。レーザー熱衝撃特性評価試験法は、従来から行われているクエンチング法と比較して、試験法が簡便なこと、高い熱流束が得られること、熱伝達係数の変動が小さいことなど、多くの利点を有するが、各種セラミックスへの適用可能性や定量的評価の研究が不十分である。

本研究では、レーザー照射によるセラミックス材料の熱衝撃強度評価試験法の確立のため、以前評価したセラミックス材料のマコールより熱衝撃強度の高いアルミナセラミックスについて検討した。有限要素法を用いて準定常弾性熱応力解析を行い、出力密度、ビーム径及び熱応力の関係を求め、炭酸ガス、レーザー熱衝撃試験結果と比較して、次の結論を得た。

- (1) 引張強さまたは圧縮強さでアルミナが破壊すると仮定して、最大引張応力及び最大圧縮応力とビーム径の関係より熱衝撃破壊臨界曲線が得られた。
- (2) 試験より得られた破壊臨界出力密度が、計算により求めた引張強さによる熱衝撃破壊臨界曲線に近い値になることが判明した。よって、アルミナセラミックスは、レーザー熱衝撃試験によって引張強さで割れが生じたと考えられる。
- (3) 最大引張強さの生じる場所は、レーザービーム照射表面よりも深く、レーザービーム径の境界より内側の位置となった。
- (4) アルミナセラミックスのレーザー熱衝撃強度特性値は、引張強さで評価して約 $2.9W/mm^2$ 、圧縮強さで約 $3.6W/mm^2$ となり、マコールの圧縮強さで評価した熱衝撃強度特性値約 $0.6W/mm^2$ と比較して、高い熱衝撃強度特性を持つことがわかった。
- (5) 本試験法による熱衝撃強度の推定は十分可能であり、破壊臨界出力密度の最低値をもって、セラミックス材料の熱衝撃強度の指標とすることができる。

## 〈装備部〉

船底破口からの貨物・燃料油の流出について  
 - 潮流等による油の二次流出 -

Outflow of Cargo or Oil Fuel from  
 the Bottom Hole of Ship  
 -Secondary Oil Spill Caused by Waves and Current-

長田 修

平成5年10月

日本航海学会秋季講演会

本研究では二重底または喫水と同程度の深さまで油を積載したタンクが座礁した場合における油流出量と、潮流速度、波高、油の粘度の関係を実験的に求めた。

S & O財団筑波研究所の大型回流試験水槽に1/30、1/100の模型油タンクを設置し、油の粘度、潮流速度、波高等の試験条件を変え、油流出量を求めた。対象船舶は長さ318mのVLCCタンカー、底部破口は長さ36m、幅3.75mの長方形とし、ミッドデッキ下部タンクや燃料タンク座礁時の油の流出を調査した。燃料油の場合、タンクを二重底等の船体底部に配置し、タンク内積付率、油の高粘度保持に配慮すれば、潮流による油の流出を防ぐことができることが分かった。また、破口の流量係数、波浪による二次流出に関してもデータを得た。タンク深さ、破口寸法、喫水等による影響やスケール・エフェクト等は今後の検討課題である。

ホルムアルデヒド濃度とガス温度の同時測定

Simultaneous Measurements of Concentration  
 and Temperature of Formaldehyde

山岸 進、土屋正之

平成5年11月

第31回燃焼シンポジウム

燃焼ガスの微量成分を検知するにはL I F (Laser Induced Fluorescence) が有効な方法である。ここで測定対象としたホルムアルデヒド ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) は炭化水素燃焼過程で発生する重要な中間生成物の一つであると共に、アルコール燃焼において問題とされている有害な環境汚染物質でもある。研究には、燃焼反応として比較的低温領域である1000K以下の分光的非接触温度測定の確立が重要である。筆者らはYAGレーザ3倍波で励起した蛍光バンドを用いて濃度測定を行い、温度測定には窒素の振動ラマン線を用いる方法を提案した。この場合、主な干渉はホルムアルデヒドであることが確認されているので、干渉バンド形状をシミュレーションによって十分な精度で推定でき、N<sub>2</sub>ラマン線強度の補正を行うことが可能である。

また、大気圧下でのクエンチングについては、広範な振動回転バンドが観測されること、各バンドの強度が励起エネルギーに比例すること、蛍光強度の減衰時間も各々同じであることが本実験によって確認されたため、励起状態のエネルギー遷移が粒子間衝突によるクエンチングに比して非常に速く行われており、蛍光強度がこれによって大きく影響されることはないと考えられる。従って基準となる成分(N<sub>2</sub>)のスペクトルと $\text{CH}_2\text{O}$ 蛍光を同時に観測して、その線強度比と散乱断面積比から濃度を計算する事ができる。

上述の方法を用いて、バーナ火炎の炎面近傍におけるホルムアルデヒドの濃度と温度分布をin-situ観測した。

二重船殻構造モデルタンクよりの油流出-II

Oil Spills from Model Tank with Double Hull-II

山口勝治、山之内 博

平成6年3月

日本航海学会論文集 第90号

タンカーの座礁事故や衝突事故時での油流出量の予測は、環境保全、海上防災などの分野で必要とされている。1992年国際海事機関 (IMO) は、将来のタンカーの一つとして、ダブルハル船体構造の採用を義務付けることを決定し、1993年7月より実施されることとなった。船体構造をダブルハル化することにより、タンカーの油流出事故は大幅に減少するものと期待される。

しかしダブルハルタンカーでも座礁や衝突によって外板、内板ともに破損し、油流出事故の起こることが懸念されている。また、事故時での、ダブルハル船体構造からの油流出現象の詳細が分かっていないため、精度よくダブルハルタンカーの油流出防止性能評価ができない。このため、油流出現象や流出機構に関する基礎情報やダブルハルタンカーからの事故中の油流出量を予測する手法の開発が必要とされている。

本研究では座礁事故時を対象とし、前報で得られたデータを基に、ダブルハルタンカーの中央部断面を模擬したモデルタンクからの油流出量を予測する方法について検討した。油流出中、ダブルハル内には油層と水層が形成され、破孔でのタンク内外の水頭がバランスして油流出が終了するものとして計算を行った。この方法によって油流出量を算出するには、流出終了時のダブルハル内の水層厚さを与えることが必要となるので、この値を求める方法について検討した。

実験値の整理より無次元水膜厚さ $\alpha$ は2つの領域に別れることが分かった。各領域で $\alpha$ を求める方法について検討した。

本研究の結果、ダブルハルモデルタンクの漏油防止性能を評価する手法が得られたことになり、ダブルハルタンカー座礁事故時での漏油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>

船舶航行システムの安全評価用シミュレーター I  
—リアリティのある景観情報—

The Simulator for the Safety Assessment of  
a Ship Navigation System-I  
—Reality of the Scene from Bridge—

田中邦彦、金湖富士夫、宮崎恵子、桐谷伸夫

平成4年10月

日本航海学会論文集第88号

船舶航行の安全評価のためには、シミュレータを用いた検討が有効である。著者等は、船舶航行に関する要素から構成されるシステム (船舶航行システムと呼ぶ) の安全を総合的かつ多方面に評価できるシミュレータ (安全評価用シミュレータと呼ぶ) を開発するとともに、この安全評価用シミュレータを用いて船舶航行システムの安全評価の研究を進めている。

まず、安全評価用シミュレータの開発に当たり、その安全評価用シミュレータの具備すべき機能として、船舶航行を構成する要素として、船舶、操船者、環境 (交通環境、自然環境)、および陸上支援が上げられる。船舶航行システムの安全評価のためには、個々の要素に関する検討のみならず、要素間の関連を総合的に検討する必要がある。シミュレータを用いて安全評価を行うためには、操船者が実海域で操船を行う時の反応と有意な差を生じさせない程度に現実の世界をシミュレータ上に模擬することが必要である。そのためには、船舶航行システムを構成する要素の機能をモデル化して表現し、このモデルの機能を十分に評価できるものでなければならない。

また、シミュレータでは各種の情報を表現するが、操船者が、操船時に入手する情報の中でも、景観情報 (3D景観画像) のリアリティは特に重要な要件である。シミュレータにおいては、操船者が実際の操船時に用いる情報を欠落なく、操船に伴って変化する景観の動きをスムーズに表現して与えることが必要である。

次に、安全評価に関する考え方として、実際の海域の避航操船を含むあらゆる操船作業において、外乱によって生じる事態 (潜在的危険) に対しても適切に対応できるためには、外乱による影響を見越した余裕を常に確保した操船が必要である。この時の余裕を安全余裕と定義すれば、この安全余裕の大きさを基に船舶航行の安全を評価することが可能であると考えられる。

## 高速海上交通の航行支援システム（支援の有効性の評価）

Navigation Support System of High Speed Marine  
Transportation System

宮崎恵子、福戸淳司

平成5年12月

日本機械学会第2回交通・物流部門大会講演論文集

今後予想される海域の輻輳化および運航の高速化に伴い、高いレベルでの航行支援が必要になると考えられる。著者らは、航行支援システムを検討するために、操船者の各作業において有効と思われる情報、支援の中から、シミュレータに組み込むことのできるものを選択し、シミュレータ実験を行った。そして、操船者による支援の有効性の主観的評価をアンケートにより実施し、その結果を主成分分析により整理して、支援の効果を求めた。これについては、日本航海学会論文集第89号にて発表してある。本稿では、その結果と実験時に行ったインタビューから、各支援が有効であった理由や問題点を求め、大型高速船の航行支援システムについて検討を行った。

操船者により支援が有効と評価されたものは、昼間夜間の航行とも、順位の逆転はあるものの、操船者はARPA、援助者による判断支援、表示更新周期3秒レーダが操船支援として有効であると評価している。

これをもとに、大型高速船の航行支援システムについて、検討を行った。ARPAが有効と評価されたことから、速度ベクトルは相手の将来位置が予測でき、避航操船には有効であることがわかる。また、今回用いたARPAは、高速で変針してもベクトルが正しく表示されるものであったので、情報として信頼性の高いものであった。情報の信頼性の高さがシステムとして望まれる。さらに、表示の更新周期が、1秒のものより3秒のものが有効と評価されたことから、人間の時間感覚にあった表示が必要とされていることが明らかである。援助者による支援は、高く評価されている反面、援助内容の高度化と意思疎通の改善が強く望まれている。グループ間の共同作業、情報の共有など、船舶航行の分野での特徴、大型高速船としての特徴の抽出と、他分野で行われている研究の調査を行い、検討したいと考えている。

Development of the GO-FLOW Reliability Analysis  
Methodology – Common Cause Failure Analysis and  
Uncertainty Analysis –

GO-FLOW信頼性解析手法の開発  
– 共通原因故障および不確実さ解析 –

松岡 猛、小林道幸

平成6年3月

PSAM-II : An International Conference  
PSAM-II (Plenum社より出版の単行本)

船舶技術研究所で開発を進めているGO-FLOW信頼性解析体系の機能を共通原因故障解析、不確実さ解析を中心にして説明した。

まず、GO-FLOW手法におけるオペレータ、信号線の意味、解析手順、等の概略説明を行った。

次に、GO-FLOW解析支援システムの概要説明を与えた。本支援システムは、PC9801上に構築された各種プログラムより成り、GO-FLOW解析本体の計算を行う大型計算機とPCとはイーサ・ネットで接続されている。CRT画面上でGO-FLOWチャートの作成が行えるとともに、チャートの図化器による作画、解析のための入力データの自動生成等便利な機能を有している。本支援システムによりGO-FLOW信頼性解析が従来に比較して数段容易に実施出来る様になった。

共通原因故障解析機能の説明においては、GO-FLOW手法において共通原因故障を取り扱う方法、加圧型原子力プラントの補助給水系を対象システムとして取り上げたMGL法による解析過程・結果を述べた。従来から整備されている $\beta$ ファクター法、BFR法に加えて、 $\alpha$ ファクター法、MGL法による解析機能も整備されている。

不確実さ解析機能の説明においてはGO-FLOW手法において不確実さ解析を実施する方法について説明した。本解析はモンテ・カルロ法を基本としており、第一段階で従来のGO-FLOW解析と同等の解析を実施し、ミニマル・カット・セットを求める。第2段階で不確実さデータを用いて機器の故障率等に乱数を用いて求めた値を割り当て多数回の計算を繰り返す事により、システム全体の非信頼度の分布状況を計算する。サンプル・システムとして、ラスムッセン報告において取り上げられたフォールト・ツリーと等価となるモデル的体系を設定した。本解析機能により時間経過にともなう累積確率分布の変化の様子が容易に得られることが示された。

Development of the Fire Risk Analysis Methodology  
for Nuclear Power Plants

原子力プラントにおける火災リスク評価手法の開発

松岡 猛、宮崎恵子、近藤雅明

平成6年3月

PSAM-II: An International Conference

PSAM-II (Plenum社より出版の単行本)

船舶技術研究所が日本原子力研究所の協力により進めている火災リスク評価手法開発の成果についての報告である。報告においては、炉心損傷頻度算出手順の説明、およびサンプル・プラントにこの手順を適用した結果について述べている。

最近、米国電力中央研究所 (EPRI) では火災リスクを検討する際のスクリーニングのための手引きとしてFIVE手法をまとめている。本開発では、このFIVE手法を参考として、評価手順を整理された形でまとめた。

解析対象プラントとして、公開情報を参考にBWR型原子力プラントを設定した。耐火壁で囲まれた領域を1火災区画として全体で145区画を同定した。順次スクリーニング手法により問題となる区画を絞り込んで行った結果、最後にスイッチ・ギア室内のケーブル火災、制御室内非常用冷却系盤出火の2ケースが残った。その際、各火災条件に対して火災発生頻度を詳細に推定する手法の具体例として、実施内容を記述した。

以下、内的事象に準じて起因事象の選定、イベント・ツリーの作成、システム信頼性解析、事故シーケンスの選定、を実施し炉心損傷頻度を算出した。

サンプル・プラントを対象とした解析実施例においてはプラント内全区画が検討され、FIVE手法で示されたスクリーニング手法が有効であることが確認された。今後の課題としては、火災区画間の火災伝播の可能性の評価や、消化作業の評価として適切な手法の開発が残されている。

〈原子力技術部〉

Taking Space-Energy-Dependent Importance Function  
for Russian Roulette and Splitting in  
Continuous Energy Monte Carlo Calculation

連続エネルギーモンテカルロ計算における  
ロシアンルーレットおよびスプリッティングを行うための  
空間およびエネルギー依存インポートランス関数の採用

植木紘太郎、大橋厚人

平成6年4月

8th International Conference on Radiation Shielding

モンテカルロ計算において、連続エネルギーモンテカルロコードMCNPではWeight Window Bounds, 多群モンテカルロコードMORSEではWeight Standardsのようなインポートランス関数を、遮蔽体系ならびにエネルギー領域毎に適切に割当てられれば、すばらしい計算結果が得られる。しかしながら、そのようなインポートランス関数は今日モンテカルロ計算を行うユーザの感や予測によって割当てられている。MCNPコードでは、空間およびエネルギー依存インポートランス関数としてWeight Window Boundsを作成するために、Weight Window Generatorを使用することができる。しかし、それによって作成されたWeight Window Boundsは必ずしも次の計算に対し十分満足するようなものではなく、特に深層透過問題やストリーミング問題に対しては満足する値を用意できない。

本研究のねらいはインポートランス関数をこれまでのように感や予測によらず、遮蔽体系中の粒子の衝突数を基本にした経験式によって与えるというものである。

遮蔽体系中の衝突数および重みはモンテカルロコードMCNPの本研究で改訂したサブルーチンHISTORYで計算されるので、その結果を基に、経験式で求めたインポートランス関数をWeight Window Boundsとして割当てる。

このようにして得られたインポートランス関数の有効性を試験するため、D-T中性子の深層透過問題に本関数を適用した。その結果、インポートランス関数を用いない1回目の計算、1回目の計算を基にして作成したインポートランス関数を用いた2回目の計算、2回目の結果を基にした3回目の計算と、モンテカルロ計算を進めることによって、線源エネルギー14MeVを含むエネルギー領域においても遮蔽体系全体に渡ってほぼ一様な衝突密度分布が得られ、線源から最遠の計算点における相対標準偏差 (FSD) も0.576から0.089へと飛躍的な改善が見られた。

CO<sub>2</sub>溶解密度成層の安定性に関する実験的研究Stability of CO<sub>2</sub> Dissolved Density Stratified Layer

綾 威雄、山根健次、山田信夫

平成6年5月

日本伝熱学会 第31回 日本伝熱シンポジウム講演論文集

CO<sub>2</sub>は3000m以深の深海では海水より重くなり、再浮上の恐れがないところから、CO<sub>2</sub>の深海貯留が有望な地球温暖化抑制法となるのではないかと期待がある。しかしながら、最近、かつて非溶解性と期待されていたCO<sub>2</sub>クラスレートがそのような深海に相当する高圧低温の海水中で徐々にではあるが溶解することが著者らの実験から明らかにされ、CO<sub>2</sub>の深海貯留実現が危ぶまれた。ところが、その後、深海底に湖のように貯められるであろうCO<sub>2</sub>の界面上方のCO<sub>2</sub>溶解海水は回りの海水より重いことに着目した新たな貯留法が提案されるに至った。

本研究は、深海の窪地上部に形成されるCO<sub>2</sub>溶解密度成層が深海流に対してどの程度安定であるかを、30MPa仕様の高圧回流水槽を使った模擬実験から検討したものである。深海の窪地を模擬するために30mm角のピーカーを使用した。1週間程度の長期ビデオ観察により、ピーカーの途中まで注入したCO<sub>2</sub>の液位低下速度を調べたところ、ピーカー上方の流速が6.25mm/s以下では、CO<sub>2</sub>の溶出は分子拡散程度に押さえられ、事実上CO<sub>2</sub>の溶解を抑制できることが分かった。また、これ以上の流速では、流速の増加とともに指数関数的に溶解速度も増加することも判明した。

本実験の規模は実際の深海から見れば非常に小さく、模擬実験から得られた安定限界流速がそのまま実海域に適用できない。そこで、密度成層の安定性を支配するリチャードソン数 (Ri) を頼りに実際の深海貯留サイトにおける安定限界流速を推定すると、密度境界層の厚みが10mの場合0.21m/s、100mの場合0.66m/sという数値が得られた。これは、静かな深海底の窪地にCO<sub>2</sub>を安定に貯留できる可能性を示唆している。しかし、本実験と実海域との寸法差が大きく、Ri数の適用法を検討する必要がある。

## 〈水海技術部〉

## Deterioration and Thickness Databases of Anticorrosive Paint Coating Films

防食塗膜の劣化および膜厚に関するデータベース

在田正義、田村兼吉、内藤正一、柴田俊明

平成5年12月

第8回アジア・太平洋腐食制御会議

Proceeding of 8th APCCC

鉄鋼を主要構造部材とし、海洋環境で使用される船舶、海洋構造物は、十分な防食対策を講じなければ、構造物としての安全を確保することはできない。塗膜による防食は、適用範囲が広く、施工自体も比較的容易であるが、塗膜の防食性、耐久性が施工条件を含む多くの要因に大きく左右されるため、信頼性に欠けるという欠点があった。この欠点を克服する方法を、全体システムとデータベースの面から検討した。

まず、「塗装材料・塗装仕様選択」－「塗装施工」－「稼働開始」－「稼働中検査・残存寿命推定」－「稼働終了か否かの判定・必要な補修」－「稼働終了」という塗膜による防食システムのフローチャートを提案した。この中には①塗膜の寿命 ②塗装対象の形状と塗膜厚との関係(塗膜厚) ③塗膜の劣化パラメータの経年変化の3つのデータベースが組み込まれている。

塗膜の寿命データベースは、任意の塗装仕様、施工条件、使用環境等に対し、塗膜の標準的な寿命(平面部を対象とする)を与えるものである。構造物の防食設計の際の塗装仕様決定に必要となる。また稼働中に取得した寿命関係データはフィードバックされる。

塗膜厚データベースは、対象構造物の隅角部、曲面部などの形状と局部的塗膜厚分布との関係を知るためのものである。一般に塗膜の欠陥や疲労き裂は隅角部や曲面部から発生するため、この部分の塗膜厚分布は構造物全体の腐食疲労強度に大きな影響を及ぼす。このため、構造物の細部設計の際にこのデータベースを利用し形状を決定することになる。

塗膜の劣化データベースは、構造物の稼働中に行う塗膜の非破壊検査データ(交流インピーダンス等)の評価のためにもちいる。

これらの3つのデータベースは、ここで提案した塗膜による防食システムの中でデータが蓄積されることにより推定する値の精度は向上する。このことによって塗膜による防食の信頼性自体も向上することを示した。

Influence of a Rubble Field in front  
of a Conical Structure

円錐型構造物前面の砕氷片の堆積の影響について

泉山 耕、M.B. Irani、G.W. Timco

平成6年4月

The 4th International Offshore  
and Polar Engineering Conference

本論文は、海洋構造物が氷と干渉する際に、構造物前面に形成される砕氷片の堆積 (rubble ice field) が、氷と構造物の干渉現象にどのような影響を与えるかという問題を扱った論文である。解析の対象は、六角錐型海洋構造物の模型に対する水槽試験である。この模型試験は、カナダ国内における産学官共同の研究プロジェクトの一環として、National Research Council of Canada (N R C C) 傘下のInstitute for Engineering in the Canadian Environment (I E C E) の氷海水槽において1992年に行われたものである。本研究では、上記模型試験結果に対し再解析を加え、rubble ice fieldの影響について研究した。

海洋構造物前面におけるrubble ice fieldの影響については、現地計測結果などから、その重要性は指摘されているものの、現象の複雑さゆえにこれを対象とした研究の数は非常に少ない。このため本研究では、まず、VTR映像よりrubble ice fieldの分類を行い、その発生メカニズム、構造などを考慮して、4種類のrubble ice fieldを定義した。これら4種類のrubble ice fieldについて、氷板の強度と厚さをパラメーターとして、これらがどのような条件で発生するのかを示した。

次に、rubble ice fieldが、構造物に加わる氷荷重に与える影響について考察した。まず、前記のrubble ice fieldの4タイプが、砕氷片の大きさに依存することに注目し、氷板の強度と厚さから与えられるある長さや砕氷片のサイズとの間に相関関係があることを示した。この長さをパラメーターとして、rubble ice fieldの形成前と形成後の氷荷重の関係を調べ、この長さが小さいほどrubble ice field形成後の氷荷重が相対的に大きくなることを示した。また、構造物前面中央部のパネルに働く氷荷重のみを対象として同様の解析をすると、この傾向は更に顕著となることが示された。

船用プロペラまわり粘性流場の  
尺度影響に関する基礎的研究Basic Study on the Scale Effect  
of the Viscous Flow around a Marine Propeller

宇都正太郎

平成6年5月

関西造船協会誌

船用プロペラ単独性能の尺度影響は設計段階における実船馬力推定の際に極めて重要な役割を果たしている。即ち、レイノルズ数が $10^5$ のオーダーで行われる模型スケールのプロペラ単独試験結果から $10^7$ の実船状態を精度良く推定することが、実船馬力の推定精度の向上に必要不可欠である。通常的设计ルーチンでは抗力成分の尺度影響のみを各翼素に対して2次元的に修正する手法が用いられている。近年、境界層の排除影響に起因する揚力成分の尺度影響の重要性が指摘されているが、そのメカニズムは尺度影響の3次元性ととも十分に解明されていない。

本研究では著者が先に開発した数値流体力学手法 (CFD) に基づいた船用プロペラまわり粘性流場計算コードを用いて、揚力成分を含めたプロペラ単独流場の尺度影響のメカニズムを解明することを目的とした。即ち、模型スケールから実機スケールの範囲の4種類のレイノルズ数について船用プロペラまわりの乱流計算を実施し、計算結果を基に以下の結論を得た。

- 1) レイノルズ数の増加に伴い、プロペラに作用するスラストは単調に増加し、逆にトルクは減少する。これはプロペラ単独性能の尺度影響について一般的に言われている傾向と一致する。
- 2) スラスト増加への寄与は摩擦成分と圧力成分で同程度のオーダーである。
- 3) 圧力成分の寄与は境界層の排除影響の減少による有効キャンバーの増加によるものである。
- 4) 翼荷重のスパン方向分布の計算結果から、圧力成分は翼端近傍で、より強い尺度影響を受けることが明らかになった。
- 5) 実船状態におけるプロペラ単独性能の推定精度をさらに向上させるためには粗度影響を含めた乱流モデルの開発が必要不可欠である。

〈大阪支所〉

ガラス／アラミド／カーボン系ハイブリットFRP積層板  
の力学特性と材料設計（第2報：疲労特性）

Mechanical Properties and Material Design of Glass/  
Aramid/Carbon Hybrid FRP Laminates  
(2nd Report Properties)

吹上紀夫、中田政之、金原 勲、影山和郎、鈴木敏夫  
平成6年3月

(社)日本材料学会 第23回FRPシンポジウム

近年、FRP船の分野において、船体の軽量化等性能向上のため、アラミド、カーボンなどの高性能強化繊維に対する関心は高まりつつあるが、我が国では構造基準等で具体的に規定されていないため、FRP船への適用実績が非常に少ない。このため、ガラス／アラミド繊維およびガラス／カーボン繊維のハイブリットFRP積層板について、基本的な引張および曲げ疲労特性を求めるとともに、ハイブリットFRPの材料設計指針について検討した。

使用したガラス繊維はチョップドストランドマット(M)およびロービングクロス(R)、アラミド繊維はロービングの朱子織(A)、カーボン繊維はロービングの平織(C)とした。また、ガラス／アラミドのハイブリット繊維(A2)およびガラス／カーボンハイブリット繊維(C4)は共にロービングの平織である。

試験材はこれら原材料を次のような構成で積層した。基本系：同一の繊維を積層。積層材I：両表面にMを配置。積層材II：両表面と中心層にMを配置。

試験は油圧サーボ型疲労試験機で行った。その結果、M積層材は含有率が低いため静的強度が低いが、疲労による強度低下も少なく、静的強度の高いC積層材も疲労による強度低下が少ない現象となった。一方、A積層材およびハイブリットのA2およびC4積層材は静的強度は高いが疲労による強度低下が大きくなった。これらの現象は引張および曲げ試験共に同様の現象であった。また、引張疲労による破壊現象では、低応力で回数の多い場合は、微細な亀裂（白化現象）が試験材全体に入り破壊する現象を示したが、高応力で早い回数で破壊するものは、静的試験での破壊と同様、白化が局部的に集中する現象となった。

その他、基本系の強度特性より、複合則を用いて積層材IおよびIIについて引張応力と回数の関係（S-N線図）を予測してみると、積層材Iよりも積層材IIの方が予測可能であることが分かった。

FRPサンドイッチ板の強度

Strength of FRP Sandwich Plate

吹上紀夫  
平成6年3月  
日本造船学会誌

漁船、モーターボート等小型船舶に多用されているFRPは耐食性や比強度が優れているが、剛性が低いため波浪を受けると船体が大きく変形し、ボルトや推進軸系に応力集中が発生して支障をきたすことがある。このため、船体を軽量芯材を用いたFRPサンドイッチ材にして剛性を上げる方法がとられているが、サンドイッチ材は芯材の強度に大きく左右されるため、芯材の強度を十分把握して使用することが重要である。そこで、市販されているものの中から幾つかの芯材を選び、その使用方法、サンドイッチ効果、強度等を検討してみた。

表面のFRPはガラス繊維構成のものとし、芯材は、天然木材のバルサ（芯材B）、発泡材（同C）、発泡材にガラス繊維を複合して強度を向上させたもの（同A、D）、成形性を考慮し曲面にも容易に使用できるようにしたもの（同E）の5種類とした。

両表面に配置するFRPや芯材は一般に引張と圧縮の強度特性が異なるため、曲げを受けた場合、断面の応力分布が複雑となる。このため、サンドイッチ断面を4層構造の複合梁としてその剛性を求めると共に、曲げ荷重による板厚方向の潰れも考慮してその強度を求めた。

その結果、芯材A、B、D、Eについては船体用サンドイッチ材の芯材として十分使用できるものであることがわかった。特に芯材Bは曲げに対する剛性が0であるが、厚さ方向の強度が高いため芯材の効果が顕著であった。一方、発泡倍率の高い芯材Cは厚さ方向の潰れが激しく生じ、有効なサンドイッチ芯材として使用することができなかった。一般に、サンドイッチ材の芯材として、塩ビ系の発泡材など発泡倍率の大きいものが使用されている場合が多いが、これらは芯材Cと同様の結果となることが予測され、船体の構造部材として使用するには不向きであることが分かった。