

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

2次元 PAR-WIG まわりの粘性流計算

Simulation on Viscous Flow around

Two-Dimensional Power-Augmented Ram Wing
in Ground Effect

平田信行

平成5年11月

日本造船学会論文集 第174号

プロペラ影響を考慮した船体まわり流れの 数値シミュレーション

Numerical Simulation of Flow around a Ship Hull
including a propeller Effect

日夏宗彦、児玉良明、藤沢純一、安東 潤

平成6年5月

西部造船会々報

高迎角時の翼は、地面に近づくにつれて揚力が増大することが知られている。これは、翼下面において高い圧力（ラム圧）の領域が増加するためである。この現象（地面効果）は、2次元翼でも説明することができる。

本研究では、2次元翼で地面からの高度が揚力、抗力、ラム圧に与える影響を数値実験により考察した。次に、ラム圧を積極的に増加させるため、PAR-WIG (Power-Augmented Ram Wing in Ground effect) を考えた。PAR-WIG とは、地面効果を有する翼で、翼の上流から翼下面に空気を強制的に流し込むことによりさらにラム圧を増加させ、揚力を増大させるものである。この効果により構造重量、搭載パワーを小さくすることができる。PAR-WIG の流体力学特性も検討した。

数値解法として、2次元の NS 方程式を有限体積法で離散化し、Fractional Step 法のアルゴリズムを用いた。連続の式は、ADI 法により収束計算を行い、時間進行は、Euler Implicit で、運動方程式は、IAF 法で解いた。乱流モデルには、Baldwin-Lomax の代数モデルを用いた。翼上流の推進器に対応する位置に体積力を与え、PAR 効果を表現した。

本計算結果により以下の知見を得た。(1)高度が低くなると堰止め効果によりラム圧が増加し、その結果揚力が増大するが、抗力はほぼ一定である。(2)翼下面に丸みを持つ翼は、翼後縁で増速するため圧力が低下するため、下面の形状は平にするかキャンバあるいはフラップをつける方がよい。(3) PAR を始動させることにより、前縁付近に集中してラム圧が増大し、高揚力を得る。

今後の課題としては、高 PAR 使用時において水面影響を組み込むこと、及び翼端部の影響を考慮した実際的な問題として、3次元翼まわりの流れ場を考えていきたい。

プロペラ・船体干渉問題は船舶の推進性能を評価する上で重要な問題であり、現在まで主として水槽試験によっていた。本論文は、この問題を CFD (数値流体力学) により解析を試みたものである。プロペラ影響は船体まわりの流場に対して、等価な体積力の分布に置き換えられる。本論文ではプロペラ力の評価に無限翼数プロペラ理論を用いた。また粘性流場は、擬似圧縮近似を用いたナビエ・ストークス方程式を有限体積法で離散化し、IAF 法 (近似因数分解法) により数値解析した。この粘性流場解析コードに先に述べたプロペラ力の体積力分布を加えることで、自航状態の数値シミュレーションができる。

ここでは $C_b=0.83$ のタンカー船型を取り上げ、この船型の自航状態の数値シミュレーションを行った。計算で得られた船体表面圧力分布及び自航要素は実験結果と比較し、計算結果が実験結果をよく説明できることを示した。さらに、2軸船の場合の計算を行い、プロペラ回転方向の違いによる流場の変化を示し、本手法が船型設計に大いに役立つ有用な手法であることを示した。

〈運動性能部〉

Measurements of Unsteady Flow near the Crest
of Deep Water Plunging Breaker

深水域巻き波砕波の波頂近傍での非定常流の計測

富田 宏、沢田博史

平成6年9月

FLUCOME'94 第4回国際シンポジウム

海洋における砕波現象は海の上層部に起こる最も劇的な過程であり、それは海洋工学のみならず大気海洋間の相互作用に関係して重要な役割を演じるものである。本論では実験室で生起された深水砕波の動力学的諸性質についての計測とその結果について論じている。実験は長さ36m、幅1m、型深さ2.5m(水深2m)の水槽において行なわれた。収束する波束を造波することにより、水槽中央に強い巻き波型砕波を現出させ、各点での水位変動の計測を行った。波束のなす全仕事率(波の運動量フラックスに比例)は砕波過程を通じてその41%が失われることが明らかにされた。この値は当該過程による波のパワーの散逸に対してその上限値を与えるものと思われる。またその際波束のスペクトルのピーク周波数の逡減が生じることが発見された。

LDA(レーザ、ドップラー、流速計)を用いて巻き波砕波の波頂近傍における流場の動的直接計測を行った。静水中に進行する波系に対する今回の実験では波峰直下(静水面より上)においても波頂の2/3程度の高さまで流れは無渦運動(ポテンシャル流れ)に近いことが確かめられた。同時に波頂の直下において強い水平ジェット(薄層)が存在することが確認された。この層における水平流速の最大値は波の位相速度の1.41倍に達する。水平ジェットと下部の波動流の間に極く薄い乱れの層が発生することが定性的に認められた。

〈構造強度部〉

二重船殻中型タンカーのスロッシング模型実験
Experimental Study on Sloshing Impact Loads
of Middle-Sized Tankers with Double Hulls

竹本博安、岡 修二、安藤孝弘、

小宮 守、安部和教、内藤 林

平成6年11月

日本造船学会論文集 第176号

二重船殻構造の中型タンカー(載荷重量10万トン前後)では、従来の構造の中型タンカーの様な荷油タンクを仕切る縦通隔壁がないside-to-sideの荷油タンク配置が経済的であると考えられる。したがって船側と船底が二重船殻構造で中央部は幅の広い一つのタンクとなる。この構造方式ではセンターラインに制水隔壁が無く、従来の単底構造の中型タンカーに比べてタンクの幅が広く、タンク内面の突起物も少ないので、タンクの前後方向のみならず幅方向にも大きなスロッシング圧力が発生することが懸念される。

本研究では、二重船殻中型タンカー固有の形状及び寸法の荷油タンクについて、基礎的なデータを収集することを目的として模型実験を実施した。別報の数値解析法の検証データを得ることも目的の1つである。

模型実験は専用の動揺装置を製作し、2次元と3次元の模型10種類について、それぞれ液位、運動の種類(横揺れ、水平揺れ:規則動揺、不規則動揺等)、周期の変化等を組み合わせて、約700ケースの条件を設定し、実験を行った。

これらの研究の結果として次の結論を得た。

(1) 中型二重船殻構造タンカーのスロッシング荷重に関して、模型実験により基本的な情報を得ることができた。液位と同調周期の関係や内構材の影響、浅水位での挙動あるいは、船体中心線の制水隔壁の効果等が明らかになった。

(2) 不規則波中でのスロッシング荷重について、規則動揺での実験結果からの予測値との関係が明らかになり、実用面での見通しが得られた。

(3) 疑似3次元動揺装置の開発製作により、スロッシング現象の実験的研究が可能となったが、これはさらに減揺装置の評価等類似の課題への応用が期待される。

(4) なお、残された課題として、スロッシング衝撃圧と荷重の関係はさらに詳細な検討が必要かと思われる。

〈材料加工部〉

6 N01押出型材溶接部の疲労強度

Fatigue Strength of Welded Joints of 6N01

Aluminium Alloy Extrusions

松岡一祥、上村 武、鎌田敬治、千秋貞仁

平成6年5月

軽金属溶接 第32巻第5号

アルミ合金製中空押出材の船殻への適用を目的として、耐海水性に優れていると考えられる、Cuをほとんど含有しない6 N01アルミ合金の基礎継手の強度について、実験的、解析的に検討した。

縦リブ付きおよび荷重非伝達型試験片を用いて、溶接残留応力を測定し、引張試験で応力集中と引張強さを求め、さらに、疲労試験を実施した。縦リブ付き試験片に対しては、3次元FEM解析により溶接残留応力および応力集中を求めた。荷重非伝達型試験片に対しては、平面ひずみFEM解析を実施したが、3次元モデルの対象断面と共通の要素分割を用いた。

実験および解析結果を比較検討し、最後に疲労設計法を提案した。得られた主な結果を以下に示す。

(1) 溶接残留応力および応力集中の疲労強度に及ぼす影響は大きい。

さらに、疲労強度について検討するために、残留応力と応力集中について調べ、

(2) 固有応力法による残留応力解析法が鋼材に対すると同様、アルミ合金に対しても適用できる。

(3) 構造的応力集中係数は3次元応力解析結果の2次元解析結果に対する比として計算できる。

(4) 止端部の局所的応力集中係数のばらつきは避け難い。

ことがわかった。残留応力と応力集中の影響を考慮した疲労設計法について検討し以下の結論を得た。

(5) 溶接残留応力と応力集中を考慮すれば、母材の疲労試験結果から溶接部の疲労強度を求めることができる。

(6) 母材の疲労強度の下限を用いる場合、局所的応力集中係数には、止端を加工した場合には1.3、溶接ままの場合には2を、特に止端形状の悪いものを改善するなら1.7を用いることができる。

ムライトセラミックスの高温トライボロジー

Tribology of Mullite Ceramics at Elevated

Temperatures

千田哲也、猿田昌彦、越智保雄

平成6年6月

日本セラミックス協会学術論文誌 第102巻第6号

船用機関の耐摩耗材料としても期待されるムライトセラミックス ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) について、室温から1000°Cまでの摩擦摩耗特性を調べた。試料には、天然鉱物原料より作製され、粒界ガラス相を多く含む焼結体 (M-1) と、ゾルーゲル法により作製したち密な高純度焼結体 (M-2) を用いた。摩擦係数は、M-1、M-2ともに0.8から1の範囲でほぼ一定で、M-2では高温で摩擦係数は少し増大した。摩擦による重量減少量は、摩擦距離の増加に比例して直線的に増加した。M-1では、比摩耗量は室温から800°Cまでほぼ一定であった。M-2では、室温から600°Cまで温度とともに比摩耗量が少し増加し、800°C以上で比摩耗量がほぼ1桁減少した。M-2については、800°C以上で、粒径0.05 μm 程度の微粒子からなる数 μm 程度の厚さの表面層が形成されているのが観察された。表面層内部は非常にち密で、SEMの観察では欠陥はほとんどみられなかった。このような表面層は、高温圧縮せん断応力場における、動的再結晶による微細粒化を伴う結晶粒自身の塑性変形の結果と考えられる。また、摩擦発熱による温度上昇を考慮すると、高温における摩耗量の減少は破壊靱性値の向上と相関があった。これまでに得られているアルミナの結果と比較すると、800°C以上で摩擦面に微細粒子の表面層を形成し、摩耗量が急激に低下する傾向は全く同じであったが、アルミナでは摩擦係数が温度の上昇とともに低下したという点が異なる。ムライトの摩擦係数が高温で低下しないことや、天然原料のムライトで表面層の形成がみられないことは、アルミナに比較して粒界にガラス相が多く存在するために、摩擦面の凝着の効果が増大し粒界強度が低下するためと推測された。

ZnO-Bi₂O₃セラミックスの液相焼結中における
ZnO 結晶粒成長

ZnO Grain Growth in ZnO-Bi₂O₃ Ceramics
during Liquid Phase Sintering

千田哲也、D. Dey、R.C. Bradt

平成6年10月

日本セラミックス協会第7回秋季シンポジウム

セラミックス材料の強度などの機械的性質や電気的性質の多くは結晶粒径に依存する。焼結セラミックスでは、焼結中に結晶粒成長が起きるが、セラミックスの特性の向上のためには、この結晶粒成長プロセスを十分把握して粒径を制御する必要がある。本報告は、酸化亜鉛(ZnO)を例としてセラミックスの結晶粒成長のメカニズムを調べる一連の研究の一環として、ZnOにBi₂O₃を添加した場合の結晶粒成長への効果について考察したものである。

ZnOに0.5wt%程度のBi₂O₃を添加すると、ZnO結晶粒径は増大し、粒成長の活性化エネルギーは低下する。この傾向は3wt%程度までの範囲では、添加量にかかわらず変化しないが、さらに添加量を増すと添加量に依存して結晶粒径は小さくなり活性化エネルギーは増大する。このような添加量に対する依存性から、最初の3%程度までの添加では、結晶粒成長の律速過程はZnOとBi₂O₃-richの液相の界面での反応(液相への融解-再析出)であるが、9%程度以上では液相内の拡散過程が粒成長を律速し、その中間は遷移領域であると推定される。

ZnO-Bi₂O₃の焼結時の粒子配列モデルを仮定して液相の厚さを推定した。均一な液相膜を形成すると仮定すると添加量1%では液相は0.1nmであるが12%では3nmになった。また表面張力を考慮したモデルではそれぞれ2nmと5nmと推定された。ウルツ鉱型ZnO結晶の格子定数(a=0.32nm、c=0.52nm)に比較して液相が十分厚くない場合には液相内の拡散は重要でなく界面の反応が律速過程となるが、液相が厚くなると拡散律速に変化すると考えられる。

<装備部>

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2:夜間の航行)

Evaluation of Navigation System of Large High
Speed Vessel with Simulator Experiment
(Part 1: Night 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6年5月

日本造船学会論文集 第175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、大型高速船の夜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な要素は、レーダ、ARPA、操船援助者による支援、暗視装置である。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、夜間の航行において、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4隻/nm²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および暗視装置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。

高速航行と交通環境

High Speed Navigation and Marine Traffic
Circumstances

金湖富士夫

平成6年6月

日本航海学会 NAVIGATION 第120号

高速船が輻輳海域を航行する場合、衝突回避において高速船の先行避航が重要となる。また、高速船の先行避航を前提とした場合、航行の場を乱さずに航行できる輻輳度はどの程度までか、その際にどのような運航体制が必要かという問題が生じる。この報告では、それらの問題を解明するため、高速船の航行時における種々の支援手段の操船者への寄与について考察を加えてそれらの有効性を定性的に示すとともに、それらの支援手段から構成される運航体制の有効性、および高速航行の航行限界となる航行密度について船舶技術研究所のシミュレータを用いて定量的に検討した結果を示す。検討対象となる高速船は船長127mの大型高速船で、速度は50ノットである。

ここでは、まず、高速船が先行避航を行う際の基準として採用した、避航される他船の操船者が感じる心理的な脅威をシミュレータ実験によって定量化した。その結果、他船が小型船(船長50m)の場合、その前方で避航する場合は1000m以遠で、後方で避航する場合は600m以遠で避航開始すべきこと、また、大型船(船長209m)の場合は前方1500m、後方1000m以遠で避航開始すべきことが明らかになった。これらの数値を避航開始限度距離と呼ぶ。

また、昼間の航行において、ここで考慮した大型高速船がそのような航行基準を満たしながら航行可能な限界航行密度は、すべての他船が小型船の場合に6隻/nm²であり、避航開始限界比(避航開始距離と避航開始限界距離との比)の分散分析、および操船者に対するアンケート結果の数量化理論Ⅲ類による解析の結果、運航体制の要素として有効であると判定可能な支援手段は、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。

船舶とその運航技術開発における操船
シミュレータの利用Application of manoeuvring Simulator for
Development of Ships and Navigation Technique

金湖富士夫

平成6年7月

日本造船学会 TECHNO MARINE 第781号

テクノスーパーライナー、高信頼度知能化船、統合化ブリッジ等、新たなコンセプトに基づく船舶および運航技術が開発されている。それらの船舶あるいは運航技術が実海域において稼動可能になるためには、それらの航行における安全性をシミュレータにより評価し、関係者を納得させることが必要である。また、この過程で明らかになる問題点を克服するよう改良を加えることにより、それらの開発が促進される。

船舶技術研究所では、新たなコンセプトに基づく船舶あるいは運航技術の安全評価を行うためのシミュレータの開発を実施し、このシミュレータを用いて多くのシミュレータ実験を行い、そうした船舶および運航技術の安全評価を実施してきた。

ここでは、開発されたシミュレータ(SISANAM)の特徴を示すとともに、そのシミュレータによる安全評価の例として、高信頼度知能化船および大型高速船の評価例を示す。

SISANAMは航行の実世界を十分な精度で模擬できるものであり、知能化船の開発・評価のための有用なツールであることが確認された。

SISANAMを用いて知能化船の自動運航システムの評価を実施したところ、衝突回避、離着岸等の機能が所期の性能を満たしていることが確認された。

また、SISANAMに高速の景観表示システムを加えて、大型高速船の運航体制の評価を実施したところ、同高速船が航行可能である限界航行密度は6隻/nm²であり、考慮した運航体制のうち最も有効であるのは、レーダに加えて、ARPAおよび操船援助者による避航等の判断支援から構成されるものであることが判明した。

さらに、ここでは、シミュレータの検証問題についてもコメントしている。

LIF Measurements of Formaldehyde in Flame
by YAG THG

火炎中のホルムアルデヒドの YAG 3 倍波による
LIF 計測
山岸 進、土屋正之
平成 6 年 7 月
COMODIA 94

ホルムアルデヒド (H₂CO) 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有害な環境汚染物質でもある。特に、低温領域での燃焼反応は、未開明の部分が多く、モデルの精密化には実測と計算による詳細な比較検討が必要である。燃焼ガス中のこのような微量成分を検知するには LIF (Laser Induced Fluorescence) が有効な方法である。スペクトルにより燃焼ガスのような混合気の濃度や温度を求めるには、観測対象とする観測線の重なりに関する調査が極めて重要である。

筆者らは、YAG レーザ 3 倍波で励起したスペクトルに、H₂CO の蛍光バンドが広範に互って観測されることを確認し、他のスペクトルとの重なりを明らかにした。そして、光源として強力でかつ安定している YAG THG の LIF を用いて H₂CO の濃度測定を行い、窒素の振動ラマン線を用いて同時に温度測定する方法を提案した。

本実験によって、H₂CO の振動回転バンドが広範にわたって観測されること、各バンドの強度が励起エネルギーにほぼ比例すること、蛍光強度の減衰時間も各々同じであることが確認されたため、励起状態のエネルギー遷移がクエンチングに比して非常に速く行われていると推定される。このため大気圧下での蛍光測定において問題とされているクエンチングの影響は少ないと考え、窒素のラマンと H₂CO 蛍光を同時に観測して、線強度比と散乱面積比から濃度を計算した。

H₂CO の燃焼反応は主として 1000K 以下で生ずるので高温時の特徴あるスペクトルを用いることはできないため、積分強度を用いて温度測定を行った。窒素のラマン線と干渉する成分はホルムアルデヒドであることが確認されたので、シミュレーションによって、N₂ ラマン線強度の補正を行うことが可能となった。

実際、バーナ火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。

ライダーによる海洋大気境界層内乱流構造の観測
Lidar Observation of Turbulent Structure

in Marine Boundary Layer
山岸 進、山之内博、土屋正之
平成 6 年 7 月
第 17 回国際レーザーダ会議

海上大気混合層は、汚染物質移流拡散モデルの重要な部分であるが、観測データが少なく、実測資料を集積する事が重要な課題となっている。

陸の影響の少ない大洋上でのデータを収集することを目的に、1993年11月26日～12月5日航海訓練所の協力を得て、練習船青雲丸にライダーを搭載し、東京湾から南鳥島沖までの往復航路で観測を行った。

本報ではこの観測に際して開発した解析手法を用いて混合層の構造と乱れの解析を行った結果を示した。

境界層上部構造：観測では海水温度が気温より高く活発な混合が行われており、夜間でも高さは約 1.2km までに達していることが示された。この混合層高度は自由気球の相対湿度変化記録と良く一致していることが検証された。

平均上昇速度：ライダーで観測されるエアロゾル濃度の特徴あるパターンの移動を図形的に解析することによって、流速分布を求める手法を開発した。これより求められた上昇速度は 0.8m/sec であり、層内各部分における平均的移動方向を知る手がかりができた。対象とする濃度変化の寿命は、最小サンプリング時間 (0.3sec) より十分長いもので、気流のトレーサと見なすことができる。

乱れのスペクトラム：鉛直方向を観測して乱れの通過時間を測定したものであり、このエアロゾルの濃度変化を FFT で周波数分析し、周期成分と減衰特性を調べた結果、層内では乱れはスペクトル的に類似した状態であることが示された。また短周期になるにつれ成分強度は急速に弱くなるが、その中に幾つかのピークが見られた。スペクトル成分の減衰は、 $-7/3$ 乗則に近く、次元解析の方法によって導かれた圧力変動スペクトルに対する成分の減衰とほぼ一致する事が分かった。

〈システム技術部〉

船舶の安全運航へのバーチャルリアリティの応用

Application of Virtual Reality for Safety

Navigation

宮崎恵子

平成6年9月

日本船用機関学会誌9月号

船舶の安全運航は、船舶に関わる人たちにとって、常に最大の関心事であるが、この安全運航に、まだ新しい技術であるバーチャルリアリティがどのように応用できるかについて解説した。

前半では、バーチャルリアリティの言葉の定義と要素技術について簡単に紹介した。バーチャルリアリティを理解するための分類法として、Autonomy、Interaction、Presenceの達成具合で整理する「AIPキューブ」を示し、操船シミュレータについて例示した。要素技術としては、現在開発されている主なものについて、簡単な解説を行い、写真によって例示した。取りあげたものは、情報提示ではヘッドマウントディスプレイ、液晶シャッターによる立体視用眼鏡(以上、視覚)、フォースディスプレイ(触覚)、三次元音場(聴覚)、動揺台等(前庭感覚)である。操作としてはデータグローブ、三次元マウス等を、位置等の検出として磁気センサー類と画像処理による方式を示した。

後半は、安全運航への応用として、操船シミュレータと操船機器のインターフェースについて述べた。操船シミュレータは安全評価や訓練等に用いられており、操船者に十分な情報や違和感のない応答、景観画像さらに操船機器等を提供しなくてはならない。そこでブリッジ、景観画像等について、バーチャルリアリティを応用する方法を示した。また、機関システムを例にして、熟練していない乗組員でも、人間が本来持っている能力で直感的に事象を把握できるインターフェースについて、考え方を示した。

階層的なプラント機能モデルによる

原子力プラント状態判断

The Judgment of Plant State by Hierarchical Plant Function Model

菅澤 忍、松岡 猛

平成6年9月

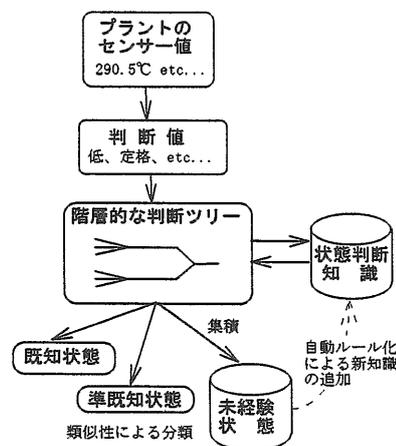
日本原子力学会「1994年秋の大会」予稿集

原子力基盤クロスオーバー研究により、原子力用人工知能に関する研究が、現在進められている。船研ではマン・マシン・インターフェース・システム(MMI)の自律型原子力プラントへの適応性の評価を担当しており、これまで自律型プラントとしてのシミュレータの開発を進めてきた。本報告ではシミュレータからプラントのセンサー値を基にプラントの状態を階層的な判断ツリーを用いて判断する機能をもったシステムを開発したのでその結果を述べている。

プラント機能モデルはまず数値情報であるセンサー値を判断値(eg.低、定格、高、異常高)に変換する。そして、各機器およびサブシステムに用意されているルールによってそれらの状態が判断される。それを階層的に繰り返すことによってツリーの最上位に位置するプラント全体の状態を判別する。あらかじめ選択した13種類のプラント状態に関しては正しく判断する。また、判断の過程において一次ループ機能や二次機能などのサブシステムの機能も判断の過程において知ることができる。

また、各々のルールにおける条件部が完全に満足されていず、一部、隣接判断値で満たされている場合は概ね合致しているとしてその結論を採用する。それ以外は未経験状態となる。

また、グラフィカルなユーザーインターフェースを作って各機器・サブシステムの状態、ルールおよび判断結果がわかりやすく表示されるようにした。



プラント機能モデルによる判断

〈原子力技術部〉

高圧水中における CO₂液泡の溶解特性

Dissolution Characteristics of CO₂ Droplet
in High Pressure Water

綾 威雄、鈴木 亭、山根健次、成合英樹

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

最大の地球温暖化ガスである CO₂を火力発電所などの大量排出源から回収し、広大な海洋で処理する方法が注目されている。CO₂の海洋処理には、CO₂が液体で存在し得る深度500~900mの垂深海に溶解させる方法(溶解法)とCO₂が海水より重くなる3000m以深の深海底に貯留する深海貯留法とがある。これまでの筆者らの実験から、高圧低温下で形成されるCO₂クラスレートは徐々にではあるが溶解することが知られている。しかし、深海条件におけるCO₂液泡とそのクラスレートの詳細な溶解特性は、いずれのCO₂海洋処理法の実現性を検討する上においても極めて重要であるが、十分なデータが存在しない。

今回、深度500m程度の垂深海を想定したCO₂液泡の溶解特性に与える温度、圧力及び溶解CO₂濃度の影響を実験的に調べた。実験は、クラスレートが生成されるとされる水-クラスレート-CO₂(液体)領域と、クラスレートが生成されない水-CO₂(液体)領域に対して行った。圧力チャンパー頂部の受け皿に付着した直径8mm程度の単一液泡の溶解過程を5~10時間観察し、以下の結果を得た。

1. 液泡径は時間とともに直線的に減少するが、クラスレート膜で被われていないCO₂液泡の溶解過程には溶解速度に変化点が現れ、その前後において溶解速度が急激に減少する(変化点の現れる理由は不明)。
2. 溶解速度の変化点は、溶解CO₂濃度の増加とともに早く現れる(変化点における液泡径が大となる)。
3. クラスレート生成域においてもクラスレートが生成されない場合がある。液泡界面に生成されるクラスレート膜は、溶解速度を数分の1程度に抑制するが、この場合、溶解速度に変化点は現れない。
4. 溶解速度は溶解CO₂濃度に依存し、濃度増加とともに減少する。
5. 温度低下は、僅かながら溶解速度を減少させる。

水中を上昇する単一 CO₂液泡の溶解速度

Dissolution Rate of a Single CO₂ Droplet Rising
in Water

綾 威雄、山根健次、山田信夫

平成 6 年 7 月

日本混相流学会混相流シンポジウム'94講演論文集

世界の4%台のCO₂を排出しているわが国だけで、毎日20万トン級タンカーで約10隻分のCO₂を大気に排出している。従って、地球温暖化の主因とされる大気中CO₂濃度の増加傾向を抑制するには、極めて大量のCO₂を処理しなければ意味がない。そのような中、大気の400倍以上の分子数を有する海洋がその処理場所として注目を浴びるようになった。

CO₂の海洋処理には、450~500m以浅で行われる気体溶解法、水深900~500mで適応可能な液体溶解法とCO₂がCO₂溶解海水より重くなる深度3500m以深の深海底に貯留する深海貯留法が考えられている。気体溶解法は実現すれば最も経済性に優れているが、気体であるため大量処理に適しているかどうか疑問である。また、深海貯留法は、影響範囲を限定できるという意味から海洋環境保全の立場からは望ましいが、経済的負担が大きいなどの問題がある。

本研究は、大量性と経済性のバランスから見て望ましい液体溶解法に焦点を当て、その実現性検討にとって不可欠な単一CO₂液泡の溶解速度と上昇速度を実験的に求めたものである。

実験は耐圧7MPaの装置を用い、水深500mに相当する5MPaの海水中へ微量のCO₂を注入する方法で行った。鉛直方向で25cm離れた観察窓の通過所要時間から求めた単一CO₂液泡の上昇速度は、液泡径の2乗に比例することが判明した。一方、溶解速度に比して上昇速度が速いため、液泡回りの濃度境界層は発達せず、液泡は常に新鮮な海水に接する。従って、溶解速度は液泡の表面積、つまり、径の2乗に比例する。これは、上昇距離当たりの溶解量は液泡径によらず一定となることを意味しており、望ましい性質である。

CO₂液泡の溶解速度は、上昇速度に見合う流れの中に置いたCO₂液泡の直径変化をビデオ観察から求めた。その結果、100mの上昇で完全に溶解するCO₂液泡径は3.7mm程度であることが分かった。今後、液泡間の干渉や上昇プルームの影響を調べる必要がある。

Problems in the Simulation of Condensation Induced Waterhammer

凝縮起因水撃の数値解析における問題点

Dobromir P. Panayotov、綾 威雄

平成6年7月

日本混相流学会混相流シンポジウム'94講演論文集

凝縮に起因した水撃は大きな衝撃的圧力パルスを伴うことから、LOCA時の軽水炉の健全性確保にとって重要である。当所では、凝縮起因水撃の発生メカニズムの解明と配管系への荷重の推定手法を検討してきた。荷重を精度よく推定するには、凝縮起因水撃を数値解析的に再現できることが望ましいが、それが極めて複雑で高速な現象であるため、未だ計算機上でシミュレートできない状況にある。

そこで、本研究では、既存の二流体モデルに立脚した既存コードの凝縮起因水撃への適応能力を把握するため、当所で行った実験を対象に数値解析を試み、問題点の洗い出しを行った。

既存コードとして、原研で整備された1次元解析用のMini-TRAC Ver.3を選び、その中でオプションとして使用可能なTRAC-PF1とRELAP5/Mod2の保存式による計算結果を比較検討した。また、解析条件としては、注水水の凝縮能力が蒸気流量を凌ぐ逸走領域(テスト1)と水撃の発生する流動振動領域(テスト2)を選んだ。長さ3.342mの水平管を55のセルに分割し、初期条件は、中立的意味あいから、冷水注入点(No28セル)の上流側をボイド率1(蒸気のみ)、下流側をボイド率0(水のみ)とした。時間刻み幅は、予備解析の結果を踏まえ、0.01秒とした。

テスト1に対しての解析予測は、TRAC-PF1モデルでは圧力とボイド率が同期して激しく振動している。これに対し、RELAP5/Mod2モデルでは、ボイド率が時間の経過とともに緩やかに変化し、振動は生じていない。テスト2に対する結果は、RELAP5/Mod2モデルにおいて若干振動的となる他はテスト1と同様であった。

以上、振動発生点から見る限り、TRAC-PF1モデルの方が優れているように思われる。しかし、いずれのモデルにおいても水撃を再現できないことも事実であり、今後、現象を支配する凝縮熱伝達率と界面積濃度が正しく評価できているかを調べる必要がある。

Augmentation Mechanism of Forced-Convection Heat Transfer by Applying Electric Fields in the Restricted Region near the Wall

壁近傍領域のみに電場を印加させる強制対流熱伝達促進とそのメカニズムに関する研究

安達雅樹、矢部 彰、片山 隆、成合英樹

平成6年8月

Proceedings of 10th International Heat Transfer
Conference

液体を熱媒体としている熱交換器の場合、圧力損失を低く抑えつつ、伝熱性能を向上させることが重要である。その一手段として、伝熱面を兼ねた電極と、その近傍に主流に沿って設置した電極との間に電場を印加することで、温度境界層に擾乱を起こして、伝熱を促進する方法が提案されている。この電気流体学(通称EHD)的伝熱促進法は、電気伝導度が $10^{-8}[\Omega^{-1}\text{m}^{-1}]$ 程度の代替フロン等に対して適用可能であり、その応用が期待されている。

本研究ではまず、矩形流路の上下壁面に熱源と陽極を兼ねさせると共に、壁面から垂直方向に5mm離れた平面に、主流に平行に等間隔に張った細線を陰極とした形で、広範囲のレイノルズ数(1470~27300)における、熱伝達率と圧力損失について測定した。特に層流域においては、1Pa以下の圧力損失を計測した。その結果、電場を印加しない場合と比べて、熱伝達率は層流域で約20倍、乱流域で数倍の増加を確認した。さらに、熱伝達に対するコルバーンのJ因子と圧力損失より求めた抵抗係数の1/8との比を用いて総合評価すると、電場を印加しない場合に比べ、層流域では約4倍、乱流域で約2倍になったことから、この方法は、特に層流域において有効であることが判明した。

次にこの現象のメカニズムを解明するため、流速と電流のパワースペクトラムを解析した。その結果、1Hz周辺の電流と速度の変動成分が相互に関連することが明らかになった。これは、電極配置と主流の影響から電極間のイオンの移動時間が1秒のオーダーになる事を示している。

また、EHD効果をミクロな視点から検証するため、静止状態のHCFC-123中に一組の平行平板電極を設置し、非加熱時の一様電界の効果調べた。まず、トレーサーを混入した後、厚さ0.2mmのレーザーシートにより、流動状態を観察した。その結果、電界強度5kV/cm以上では、陰極の所々からトレーサーが陽極へ飛び出す流動現象が観測された事から、ジェット流の存在を確認した。次に電極間に静電プローブを挿入し、その電圧電流特性を測定した。特に静電プローブを陽極近傍に設置すると、特定電圧以下では電流は流れず、それ以上では線形特性が現れた。この事から

陰イオンのみが存在する領域を見出した。さらに、この結果を用いて電位分布をプロットすることにより、印加電圧の上昇に伴い、空間電荷に起因した電位分布の偏りが小さくなることを明らかにした。

燃料サイクル施設遮蔽安全性の実証を目的とした
モンテカルロ法によるベンチマーク実験解析と
その精度(1)

Monte Carlo Analysis on Benchmark Experiments
and Accuracy to Demonstrate Shielding Safety
of Nuclear Fuel Cycle Facilities (1)

植木紘太郎、内藤俣孝、坂本幸夫、
高野 誠、増川史洋、坂本浩紀
平成6年9月
日本原子力学会1994年秋の大会

本研究は日本原子力研究所が科学技術庁から受託した「遮蔽安全性実証解析」の一環として行ったものである。本受託研究を遂行するため中沢正治東大教授を部会長とする「遮蔽安全性実証解析専門部会」を設け、さらにその下に「安全確保の考え方検討ワーキンググループ」(リーダー：小佐古敏荘東大助教授)および「計算法検討ワーキンググループ」(リーダー：坂本幸夫原研副主任研究員)を設置した。本シリーズ発表に関してはさらに少人数の「詳細法レビューチーム」(リーダー：植木紘太郎船研研究室長)においてとりまとめたものである。

まず、最も基本になる厚いコンクリート壁の透過問題を対象にしたベンチマーク問題として、ガンマ線にたいしてはVirginia大の、中性子については原研FNSのコンクリートスラブ実験を選定した。また、鉄体系ではあるが、計算コードの精度を検証するため、典型的なベンチマーク問題であるASPIS並びに原研FNSの鉄中性子透過実験も取り上げた。さらに、実体系ベンチマーク問題として、NEA-CRPの使用済み燃料輸送キャスクを対象に中性子及びガンマ線を解析し、世界各国の結果と相互比較した。次に、ストリーミング問題であるが、これは、コンクリート壁を縦横に貫通するダクトあるいはスリットの遮蔽を対象にしたもので、ガンマ線がKansas State大の線源及び検出器ともオフセンター上にある直円筒ストリーミング実験を、中性子はETNAの全長3 m以上に及ぶ2回屈曲ダクトストリーミング実験をそれぞれ解析した。また、特異なストリーミング問題としてStudsvik社が行ったヘリカルダクトベンチマーク実験を取り上げ、スクリュウの形状を極力忠実にモデル化した解析をおこなった。燃料サイクル施設の境界において問題になるスカイシャインについてはガンマ線及び中性子とも代表的なベンチマーク実験であるKansas State大と東大の弥生炉による実験を解析し、モンテカルロ法による大気散乱計算の精度を検証した。

近い将来、高速ワークステーションを大量に並列化することにより、実験に匹敵するくらいの粒子を追跡することも問題によっては可能になると予測される。

一方、分散低減法もさらに高度なものが開発されようとしており、これらを両輪として、モンテカルロ法が遮蔽設計法の一翼を担えるものと考えている。

MCNPコードによる解析結果はここで取り上げた全問題に対し線量当量率や反応率のような積分値に対しては、モンテカルロ法による計算として“reliable”と判定できる相対標準偏差 (FSD) が10%以内を達成することができた。

〈海洋開発工学部〉

At-sea Towing Experiment Using Patrol Boats

巡視船による曳航実験

原 正一、山川賢次、丸山繁樹、高橋亮司

平成5年11月

関西造船協会誌 第221号

巡視船の救難業務において、曳航は重要な部分を占めている。事実、1992年度の要救助船舶は2000隻、1991年度の曳航実績は270隻にのぼっている。この曳航作業は、風波のない平水中においても曳航計画から準備、もやい索受け渡し、曳航開始、曳航状況監視、曳航解除作業まで操船者または作業者が一体となって進めなければならないものであり、一つ一つの作業が確実に行わなければ成功はあり得ないものである。さらに、波浪中においては波浪、風による外力、波打ち込み、動揺による作業性の低下、視界の悪化、曳航力の急激な変動、船の風上への切り上がりなど種々の要因により、作業が困難極まることがある。しかしながら、現在荒天下で曳航作業を行う際に指針となるようなデータは極めて少ないのが実状である。このため、海上保安庁では曳航問題検討会を設置し予備実験を行い、主に荒天下での曳航抵抗、曳航中の操縦性能などに関して検討を行ってきた。さらに、試験方法などの詳細を検討し、巡視船3隻を用いた曳航実験を行った。ここでは、その概要と試験結果について述べられている。

今回の試験により、以下のことが明らかとなった。

(1)巡視船を使用して、ファインな船型の風に対する切り上がり特性を調査することができた。風圧面積の大きな大型船を曳航する場合、被曳船の風に対する切り上がり特性を把握しておくことが重要である。

(2)合成繊維索を使用した際の、曳航時の平均的な曳航索張力をほぼ推定できる。しかしながら、波高、うねりの大きい海象条件では長周期動揺が発生することも考えられ、この際の最大索張力の推定が重要である。

(3)一般にいわれている100馬力1トンの曳航力は、荒天中においては極端に減少する。

On the Dynamic Towline Tension During Towing
曳航時の動的索張力に関する研究

原 正一、山川賢次
平成6年4月

ISOPE94, Proceeding of ISOPE94

潮流中で振動する索に働く張力に関する研究
On the Tension of Oscillating Towline in Current

原 正一、山川賢次、申鉉慶
平成6年5月

関西造船協会誌 第222号

構造物の曳航時における最も重要な課題は、ふれまわり運動であり、保針性劣化や曳航索の衝撃力発生の原因となる。なかでも、曳航索に働く衝撃力は、索切断の事故につながる重要な課題である。そこで、このふれまわり運動時の索張力の実態を解明するために、2種類の海洋構造物模型を用い、平水中曳航時の索張力について検討を行った。さらに、索切断事故の主な要因である荒天時における衝撃的な索張力を検討するため、波浪中における曳航実験を、曳航索に働く張力変動に主眼をおいて解析を行った。また、曳航索のみの強制サージ試験を行い、その動的索張力の実験結果と理論計算との比較を行い、以下のような結論を得た。

(1) 今回提示した索張力係数 C_{T1} を用いると、比較的広範囲の試験状態に対して一義的に表現することができるとともに、衝撃的な張力も推定できることから曳航時における索張力を評価する基準となり得る。

(2) 曳船による曳航の場合のふれまわり運動時には、索張力係数 C_{T1} は曳航索の水平角振幅 θ_{1ta} に関係なく一定値をとり、曳航速度が決定されると索張力 T_{1sp} を推定することが可能である。また、最大索張力は、大きくふれまわった場合でも最大で T_{1sp} の2倍程度であり、曳引台車で曳航した場合の最大索張力の1/5程度である。

(3) Hermite moment モデルを用いて、曳航時の索張力の統計分布に適用した。その結果、索長が船長の4倍程度の強非線形な索張力を発生するような場合を除くと、Hermite moment モデルは、実験と良く一致しその最大値の予測は安全側の推定値を与える。

(4) 曳航索の強制サージ試験を行い、索の動的張力の実験と計算を比較した。索がスラックな状態の場合、Fylling の簡易な推定式は有効であるが、索が緊張する場合はランプドマス法あるいは Shin による推定手法が実験とよく一致し、スナッピング現象の生ずる場合でも Shin の方法は実験との対応が良かった。

著者らは、これまで代表的な海洋構造物であるバージ及びセミサブの模型を使用して曳航実験を行い、主に曳航索の動的張力について検討を行った。また、浮遊式海洋構造物のプロトタイプである「ポセイドン号」、巡視船及びケーブル敷設バージを用いた曳航実験を行い、索張力の計測を行ってきた。これまでの研究においては、静水中において索のサージ方向の強制動揺試験を実施して、理論計算との比較を行い実験とよく一致することを確かめた。しかしながら、曳航時の索張力については、流れの中の索の挙動を取り扱うのが一般的である。この問題は、従来流れの中の索の抗力と静水中における索の動的張力との重ね合わせが可能であるとの仮定のもとに取り扱われてきた。しかしながら、曳航索の潮流中の強制動揺実験を行った例は少なく、今回この仮定の実証を試みた。また、潮流中におけるサージ方向の強制動揺試験のみならず、スウェイ方向の強制動揺試験も試み、索の動的張力について検討を加え、3次元ランプドマス法による計算と比較した。また、曳航時の長周期運動を考慮して、短周期運動と大振幅の長周期運動を重ね合わせた動揺モードについても実験を行った。以下にその結果を記述する。

潮流が存在する場合は、流れの上流側では計算値と実験結果は良く一致したが、下流側における索張力については潮流速度が大きくなると重ね合わせの原理が適用できなくなることがわかった。これは、索の潮流による変形が主要因であると思われる。また、潮流の存在しない場合、長周期及び短周期動揺とを重ね合わせた動揺モードについても、実験結果は時系列シミュレーションと比較して良い一致を得た。特に、スウェイ方向の動揺モードについても、良好な結果が得られた。今後の課題として、流れによって索が大変形した場合についても考慮することのできる、計算手法の開発が考えられる。

〈氷海技術部〉

円錐型構造物に加わる氷荷重の数値計算とその応用
A Numerical Simulation of Ice Forces on a Conical
Structure and its Application

金田成雄、泉山 耕

平成4年12月

第8回 寒地技術シンポジウム

北極海域等の氷海域に建設される海洋構造物の形式として代表的な形状は円錐形状であり、これと氷板との干渉問題を数値解析手法により検討した。従来の数値解析法が氷板と円錐との接触直後に発生する初生荷重の推定に留まるのに対し、本手法は、連続干渉課程における氷荷重をシミュレートできる点に特徴がある。

本報告では、この数値計算手法を用いて単独円錐及び二本円錐からなる構造物に加わる氷荷重の推定を試みた結果を示している。

単独円錐に加わる氷荷重に関する計算については、すでにその一部を紹介し、模型実験の結果と良い一致を見ている。今回は、ラルストンの塑性限界理論との比較を試みたが、ラルストンの解は破壊及び乗り上げ成分とも過大な荷重を与えることを数値シミュレーションの手法によって確認した。

二本円錐に加わる氷荷重については、円錐水線径の小さな模型に対して氷荷重を破壊成分と乗り上げ成分に分離し、実験結果と比較したが、乗り上げ成分は同レベルであるのに対し、破壊成分は実験結果の50%程度であった。本シミュレーションにおける破壊成分の計算は、破壊様式について単純な仮定を設けて行っている。このことが、各円錐に加わる氷荷重は実験結果に対して過小な推定氷荷重を与えることとなった一因と考えられる。

今後は、氷板破壊成分の計算方法の妥当性についての議論が必要であろう。また、円錐中心間隔の変化に対する氷荷重の変化については、本シミュレーションでは氷縁と円錐水線との幾何学的関係だけにに基づき氷板の破壊をシミュレートしているため、円錐中心間隔の変化の影響は見られない。つまり、クラックが実際に生じるものとは異なるため、その影響をとらえることが出来ない。このクラックパターンのシミュレーションも今後の重要な課題となろう。

巡視船「そうや」によるオホーツク海水況観測
On the Measurement of Okhotsk Sea Ice
by a Patrol Ship "SOYA"

宇都正太郎、田村兼吉、下田春人

平成6年7月

第17回極域気水圏シンポジウム、同講演要旨

船舶技術研究所では平成2年度より海上保安庁所属の巡視船「そうや」によるアイスパトロールの機会を利用して冬季オホーツク海実船実験を実施中である。その中の1項目に船上ビデオカメラを用いたオホーツク海水況(氷盤密接度及び氷厚)計測がある。本論文では平成6年1月下旬から2月初旬にかけて行われた実船実験で得られた氷況計測結果について報告する。

計測手法は以下の通りである。まず、船橋上部マストに設置したビデオカメラによる進行方向映像を用いて氷盤密接度の分布を求め、船橋横に設置したカメラによる鉛直下向き映像から氷厚分布の計測を行った。なお、氷盤密接度分布解析のための画像処理アルゴリズムは金沢大学で開発されたものである。位置情報との対応をとるために「そうや」搭載のGPS装置の出力を1分間隔で記録した。これらの計測データを用いて氷況データベースを試作した。

オホーツク海の氷況データは主として気象観測衛星「ひまわり」や北海道大学の流水観測レーダーによるリモートセンシングデータによって得られており、本計測結果はこれらのシートルースデータに位置づけられる。リモートセンシングデータをもとに海上保安庁第1管区海上保安本部が作成した流水分布図と本計測による氷盤密接度を比較すると、本結果の方が若干低めの数値を与えるものの、定性的に良く一致する傾向を得た。氷厚に関してはリモートセンシングによる広域計測手法は未だ確立されていない。従って本計測結果は極めて価値の高い技術資料であり、船舶や港湾施設の設計に資するだけでなく、流水の数値予測や気候変動シミュレーション等の基礎的な資料として活用されることが期待される。なお、本研究は海上保安庁装備技術部との共同研究のもとに実施された。

塗膜評価に関する文献について

An Analysis of Literatures Concerning Coating
Film Evaluation Technologies

在田正義

平成6年7月

腐食防食協会第99回腐食防食シンポジウム
「塗膜下腐食および塗膜の耐久性と評価技術」

塗装鋼材を対象として、塗膜下の腐食や塗膜自体の劣化挙動を測定する方法として電気化学的方法がある。電気化学的方法としては、交流インピーダンス法、分極測定法、カレントインターラプター法、直流抵抗法がある。このうち報告文献が多いのは交流インピーダンス法と分極測定法である。特に交流インピーダンス法は、ここ数年間で数百に及ぶ文献が出され、応用分野も多岐にわたっている。そこで、ここでは分極測定法および交流インピーダンス法について文献調査した結果について報告した。また、代表的文献について内容を比較検討するため、測定対象、実験法、測定項目、結果を一覧表にした。

分極測定法には、腐食電位測定法、分極曲線測定法及び分極抵抗法とがあるが、それぞれに利点、欠点があり、実用性の点では未だ限界があるのが現状である。この方法を研究する専門家の目から1969年以降に発行された主要文献を21篇収集し要約を作成した。これら21篇の発表年は1969年から1990年まで広く分布しており、最近になってこの方法が著しく注目を集めているという傾向は無かった。

塗膜に交流インピーダンス法を適用する文献を、科学技術文献センターのシステムによって検索した。使用言語：日本語及び英語、1985年以降発行の文献、検索のアルゴリズム：インピーダンス+塗膜とし、1993年7月27日に実施したところ、226件の文献が得られた。このうち3件は検索の際想定していない文献であった。そこで残りの223文献についての発行年と文献数の関係は、1985年-21件、1986年-20件、1987年-31件、1988年-23件、1989年-34件、1990年-34件、1991年-30件、1992年-29件、1993年-1件となっており1989年以降毎年30件以上の文献が発行されていることがわかった。その内容も実用塗膜の長期暴露試験による劣化程度の測定、耐久性予測に適用したものが含まれており、この方法が実用化の域に達していることを伺わせた。

Maintenance of Ultra Large Floating Offshore
Structure

超大型海洋浮体構造物の保守管理

在田正義

平成6年9月

韓国ウルサン大学海洋船舶工学部
マリナビジョン-2010前刷集

超大型海洋構造物の保守管理技術について概観するとともに、実海域で行った保守管理技術に関する実験結果を示した。最後に、将来の研究方向について述べた。

船舶の場合と比較した一般海洋構造物の保守管理の特徴は、船舶がドックに入って修理できるのに対し、海洋構造物では通常はそれが出来ないこと、生物の付着が海域や場所によっては著しいことである。

対象を超大型海洋構造物に限定するとさらにいくつかの特徴がある。超大型海洋構造物には色々なタイプの構造が提案されているが、ここでは海上浮体空港を対象とした(大きさは840m×5000m程度、稼動期間100年)、2つの構造方式を想定した。1つは多脚型のセミサブ構造を直接海域に浮かせて係留する方式である。他は、防波堤に囲まれた海域に長い矩形断面をもつ箱型のポンツーン構造を浮かせて係留する方式である。保守管理に関し、セミサブ型構造では、作業が海象によって大きく影響を受けること、2万本近い脚の付着生物除去・点検作業に困難がともなうこと、係留索の保守・管理が必要であること等の特徴がある。一方ポンツーン構造の場合は、外形が単純なため付着生物除去等を含む側外面の点検・補修作業が容易、係留はドルフィン型が可能で問題が少ない、しかし底面は水面下にあり、しかも広大な面となるため問題が多い等の特徴がある。また両方式共通のこととして、広大な暗黒の海面が発生すること、構造内部は積荷によっては極めて腐食性の強い環境になること、従来の技術の単なる延長で対処する範囲を越えているため、稼動開始から稼動終了までのプログラムを作っておくことが安全上必要であること、また想定する稼動期間の長さから不測の事故や経済的・社会的要請で大規模な修理や改造が必要となることが予想されるため、構造的に柔軟であることが必要であることがわかった。

船研で実施したポセイドンでの保守管理関係の実験結果を要約して示した。

クライオスタット用 FRP の真空保持性能の検討
Study on Performance of FRP for Keeping Cryostat
Vacuum

桜井昭男、前田利雄、高島逸男、尾股貞夫
平成6年10月

第39回 FRP 総合講演会講演要旨集

超電導電磁推進船の開発技術は、我が国の主要な先端技術のひとつであるが、将来実用化をめざすためには船用クライオスタットの軽量・コンパクト化とともに、荒海においても長期間安定して超電導コイルを極低温に冷却、維持できる高い断熱性能が要求される。これに応えるため、筆者らは極低温域での強度特性に優れた FRP を主構造材とし、多層断熱材と組み合わせた構造のクライオスタットの開発を進めている。

本報告では、FRP クライオスタットの真空特性を決定する重要な因子である、FRP を通してのガス透過と FRP 自身からのガス放出とについて調べるとともに、その低減策として FRP 表面に生成したアルミ蒸着膜の有効性について検討した。

供試した FRP は強化繊維に平織のガラスロービングクロス、カーボクロス、アラミドクロスの3基材を用い、また樹脂には低温靱性に優れたビニルエステル樹脂を使用して、ハンドレイアップ法、真空成形法及びオートクレーブ法により成形した。一部の供試板については接合部からのガス透過・放出の特性を求め、ハンドレイアップ成形板の中央部にシングルラップ継手を設けた。

試験は真空漏れ試験槽を製作し、試験槽内が平衡圧力に達するまで排気した後、封じ切り、圧力の経時変化を調べるビルドアップ法により圧力上昇速度を求めて比較検討を行った。

その結果、GFRP では板厚が 3 mm 以上になるとガスの透過はほとんどないことがわかった。また、FRP からのガスの放出には成形法に起因する FRP の表面粗さや気泡の有無、すなわち真空露出部の表面積が大きく影響を及ぼすことを示すと同時に、放出ガスの低減策として、FRP 表面にアルミ蒸着を施すことの有効性が確認できた。

さらに、一般に行われている接合法が超低温域でも十分使用できることがわかった。

FRP クライオスタット用断熱支持体の
熱的・機械的特性

Study on Thermal and Mechanical Properties of
Adiabatic Supports for FRP Cryostat
前田利雄、桜井昭男、高島逸男、山越寿夫

平成6年10月

日本材料学会「材料」第43巻第493号

超電導電磁推進船に搭載する船用クライオスタットの真空断熱層内に設けられる支持体は、強大な電磁力を支える機械的強度と、外界から超電導コイルへの熱侵入を防ぐ高い断熱性能とが要求される。一般に、支持力を大きくするためには太くて短い支持体が必要であり、熱侵入を少なくするためには断面積が小さく長い支持体が必要となる。この矛盾する要求をともに解決するための断熱支持体として、ガラスマイクロバルーンを混入した複合材(シンタクティックフォーム)の円柱、並びに高強度 FRP 製円筒殻をとりあげ、低温環境下における熱的特性並びに強度特性について検討した。

供試断熱支持体のシンタクティックフォームの円柱は、低温靱性に富むビニルエステル樹脂にガラスマイクロバルーンを充填材として混入した注型板より所定の寸法に機械加工したものである。また、一重円筒殻はガラスロービングクロスを基材として内径23mm、外径25mmの円筒状にハンドレイアップ成形した FRP パイプを切断して使用した。多重円筒殻は上述の FRP パイプを機械加工して所定の寸法に仕上げた円筒殻を組み合わせて接着接合したものである。

得られた結果の主なものは次のとおりである。

- (1) 供試した断熱支持体の貫流熱量は、伝熱面積の最も大きいシンタクティックフォームが比較的大きかった。一方、円筒殻では多重化が進むほど貫流熱量が少なくなり、多重円筒殻が有効に機能することがわかった。
- (2) 円筒殻の熱収縮率はシンタクティックフォームに比べて小さく、また、熱収縮率には多重化がほとんど影響しないことがわかった。
- (3) 本研究で使用した FRP 製の円筒殻は極低温用金属に匹敵する比降伏応力を持ち、かつ熱伝導率はアルミ合金より3桁程度小さく、断熱支持体として優れた特性を持っていることを示した。

〈大阪支所〉

自由降下式救命艇の着水衝撃について

Impact Force of Free-fall Lifeboats at Water Entry

樋富和夫、宮田 修

平成5年10月

日本航海学会論文集第90号

自由降下式救命艇は、海面から十数メートルの船上に積付けられた傾斜角30~35度のスライド架台を滑走し空中をダイビングした後、海面へ着水し離船を図るスライド降下タイプと、主に海洋構造物への積付けを対象とした重力による自由落下タイプがある。これらのシステムの特徴は、従来のポートダビットに比べ迅速に離船できるが、乗艇者に着水衝撃が作用することである。救命システムは、迅速かつ安全に脱出できることが基本要件であるため、特に自由降下式救命艇においては着水衝撃から乗員を保護することは重要な課題である。

本研究では、着水衝撃から乗員を保護するための要件を求めることを主目的として、スライド降下用として設計された模型艇(縮尺=1/7.4、 $L_{oa}=1\text{ m}$ 、 $W=14.7\text{ kg}$)によるスライド降下および自由落下による着水衝撃実験を実施した。また、実艇と模型艇との相関性を求めるために、全閉型救命艇の実艇($L_{oa}=6.5\text{ m}$ 、 $W=2,400\text{ kg}$)と模型艇(縮尺=1/5、 $L_{oa}=1.3\text{ m}$ 、 $W=18.7\text{ kg}$)を用いて自由落下による着水衝撃実験を実施した。

これらの実験によって得られたデータをもとに降下高さ、降下角度、着水角度、着水環境などの着水条件と衝撃加速度の関係や模型艇との相関性について考察した。また、水上機で適用されている三次元モデルによる着水衝撃理論をもとに乗員および艇体を保護するための要件について考察した。

その結果、適用した三次元モデルが着水速度と船首部形状を主パラメータとして着水加速度の推定に利用できることを示した。また、乗員が受ける加速度をより小さくするために考慮しなければならない設計概念として、船首や船底形状、着水設計、降下方式の選定、座席配置などがあることを示した。

Numerical Analysis of Electric Field in a Closed Space Injected with Charged Fluid

帯電流体注入空間の電場数値解析

山根健次、吉田紘二郎、綾 威雄

平成5年12月

JOURNAL OF ELECTROSTATICS 第33号

タンカーでは荷揚げ後の壁面付着残液除去の目的で蒸気をタンクホールド内に注入する場合があります。噴出する蒸気は電荷を帯びた帯電ガスとなってホールド内を流動することから、タンク内に残留あるいは蒸気加熱によって発生する可燃性ガスに対して静電的な引火危険性のあることが指摘されている。

帯電流体注入時の電荷密度は、タンク内に注入される電荷が瞬時に混合して均一になるという瞬時混合モデルを使えば、注入電荷密度、注入流量と電荷緩和係数の関数として近似的に求められる。しかし、この方法における電荷緩和係数はタンク内の流動状態やタンクの寸法といったさまざまな条件の影響が含まれたものであり、体系に依存するものと考えられる。

瞬時混合モデルより一般性の高い電場解析を行うには電界と流れによる電荷移動を分離し、電荷密度分布を考慮する必要がある。自然界に起こる流れはほとんどが渦を伴う乱流である。乱流三次元流れ場の数値解析は主に計算速度の面から小型のコンピュータでは不可能であったが、近年、コンピュータハードウェアの発達に伴いデスクトップ型でもある程度可能となった。このような状況を踏まえ、現実に近い渦ありの流れ場が扱える $k-\epsilon$ 乱流モデルを使い、実験との整合性を確認できる矩形ホールドを解析対象として、電荷移動を考慮した非定常電場の数値解析を行った。その結果 $k-\epsilon$ 乱流モデルを使った解析は、渦流れに伴うホールド内乱流攪拌をほぼ再現できるため、精度の高い電場解析に用いることができるとともに、瞬時混合モデルでは困難であった注入部近傍の電荷密度の評価にも有用であることなどが分かった。また、帯電流体の電荷移動度は密閉空間内の電界強度を支配する大きな因子であり、帯電蒸気の場合、注入電荷密度との相関があり、その値として $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / (\text{s} \cdot \text{V})$ を使えば実験値との整合性が良いことが分かった。

船内機艙の機関室火災防止について

Prevention of Engineroom Fire
on an Inboard-engine Craft

吉田紘二郎、太田 進、長田 修

平成6年7月

電子情報通信学会技術研究報告「安全性」S-94

小型船においては、通常、機関室が無人であることが多いため、発生した火災の発見の遅れなどから重大事故に結び付く場合がある。

そのため、小型船舶安全規則の見直しに際して、特に、機関室火災の発生防止対策に関する資料を得ることを目的に調査研究を行った。

海難審判採決録に基づき、昭和62年より平成3年までの5か年間に結審した小型船舶機関室火災事故例について、事故の経緯、技術的問題点を検討したところ、14件中9件が油火災であり、消火できたのは2件のみであった。また、そのほとんどにおいて、排気管のラギングの不備が原因と分かった。

このことから、現状の消火設備では、小型船機関室の油火災の消火は困難であると考えられること、排気管ラギングとしては表面温度上昇の防止と同時に、油密性を確保することが重要であることが分かった。

これらの結果を踏まえて、小型船に使用される代表的な大きさの機関を用い、排気管の表面温度やラギングの効果等について、計測実験を行った。

乾式排気管の場合、通常のガラスマットを用いたラギングでは、表面温度上昇が 100°C を超えた。計算の結果、密度約 $100\text{kg}/\text{m}^3$ のガラスマット(厚さ8mm)を、温度約 410°C の排気ガスが通る鋼管にラギングとして用いた場合、周囲の気流が 1 m/s 以上あれば温度上昇は 100°C 以下となることが分かった。

湿式排気タイプの小型船を用いた実験では、冷却水が途切れた場合に2~3分で排気ゴムホースが焼損した。このことから、機関の過熱警報とは別に、何らかの冷却水監視装置の必要性が考えられる。

この実験と並行して、機関室内に煙感知器を配置してその有効性を調べたところ、適正な設置場所(通常は主機給気口付近)を選べば、無人の機関室における火災検知装置の一つとして有力な手段になり得ることが分かった。

船舶における EMC の研究について

Electromagnetic Compatibility in Ships

山根健次、吉田紘二郎、樋富和夫、橋本長俊、
橋本 武、坂本研也、片木 威

平成6年7月

電子情報通信学会技術研究報告「安全性」S-94

1976年頃から無線機やFM放送の電波による自動車に搭載した電子機器類の誤動作事故が報告され始め、今日に至るまでに電磁波に起因する事故が数多く発生してきた。その間、不要な電磁エネルギーの放出防止と電磁環境に対する耐性を有する人工システムの電磁環境適合性(EMC; ElectroMagnetic Compatibility)について各関連分野で検討されてきた。

船舶においても、近年、船用機器の制御、監視等を電子デバイスで行うことが増加し、電子ガバナの誤動作が報告されるなど EMC 問題は安全運航を確保する上で重要な課題となっている。

本研究では、運航時に船内外で発生する電磁波を測定し、その発生源、特性、電子機器等に及ぼす影響について調査し、適正な電磁波環境のあり方や電子機器の信頼性等について検討することを目的としているが、今回はその調査等の一環として、船舶に対し外部から放射される電磁波を把握するために大阪湾岸における陸上からの電磁放射の計測や船舶の機関設備や電子機器が稼動していない状態における船内各室の電磁環境の計測を行った。

大阪湾内の測定から、 $500\text{KHz}\sim 30\text{MHz}$ の周波数範囲において電磁耐性試験で行われている $10\text{V}/\text{m}$ の電界照射よりも大きい電界が計測される場所があること、 $30\text{MHz}\sim 200\text{MHz}$ ではテレビやFM放送の送信所に近い場所で大きな電界が計測されるものの最大値は $100\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 以下であること、 $200\text{MHz}\sim 1000\text{MHz}$ ではUHF放送の電波が大きくポートアイランドの $109\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ が最大測定値であること等がわかった。

また、神戸商船大学練習船深江丸を使った船内各部の電磁環境調査から、船体各部での減衰は下甲板下機関室、上甲板上コンピュータ室、船橋の順に大きく、周波数が低いほど減衰が大きくなること等がわかった。

本実態調査によって得られた電界強度に関するデータは、大阪湾岸における陸上側から放射される電磁波のベースや船体による減衰に関するデータとして、今後、本研究において基礎資料として活用される。

仕切弁におけるふたボルト締めトルクの
弁箱胴への影響と FEM 解析結果

Effects of the Bolt Torque on Body of Gate
Valves and Its Analysis by FEM

伊飼通明、川崎雅生

平成 6 年 9 月

雑誌「配管技術」 日本工業出版第36巻第11号

通常、仕切弁の強度試験は、仕切弁が組み立てられた状態を応力値 0 とした後、試験される場合が多い。しかし、弁ふたと弁箱との隙間からの漏れを少なくするため、フランジの面間圧力を高めた構造の仕切弁の場合、組み立てられた状態ですでに初期応力がかかっている（フランジの付け根の部分ではフランジ同士接触しているが、他の部分ではすきまがあり、このためボルトで締め付けると弁箱胴の部分にモーメントがかかる）と考えられる。このような初期応力のかかった状態を応力値 0 とみなしての強度試験は、安全性に影響を及ぼす場合も考えられる。

そこで、呼び径300のダクタイル鋳鉄製仕切弁についてボルト締めトルクの弁箱胴への影響を調べるため、圧力試験により応力と変位の計測を行った。一方、安全性の確認を容易にするため、ボルトの拘束条件を含んだ仕切弁の FEM 解析の可能性について検討を行った。

(1) 試験から、弁箱胴の側面部分でふたボルト締めトルクの影響が大きく出ていることが分かった。したがって、仕切弁の強度試験をする場合、ふたボルト締めトルクによる力がかかっていることを念頭において仕切弁の設計あるいは強度試験をしなければならないと考える。

(2) 圧力試験による応力計測値と FEM 解析値の誤差が大きくでる結果となったが、この原因はシェルモデルで解析したことによると考えられる。