

所外発表論文等概要

〈推進性能部〉

Chaotic Roll Motion of a Flooded Ship in Regular Beam Waves

浸水した船舶の規則的横波中におけるカオス的横揺れ運動

村重 淳、合原一幸

平成9年8月

Proceedings of 4th Experimental Chaos Conference

甲板上への浸水が原因で転覆した事故が過去に何件か発生している。特に北欧で発生したカーフェリーの事故はかなり多くの方が亡くなったため、大きな社会問題になっている。しかし、浸水により船内に滞留した海水が船体運動に与える影響や転覆に至るメカニズムはまだ完全には理解されていない。

本研究ではまず、フェリーの模型船の甲板上にある程度の水を入れ、横波中の船体運動を調べる水槽実験を行った。その結果、比較のおだやかな波浪中でも複数の揺れのモードが共存する非線形横揺れが発生する可能性があることがわかった。その中には、規則波中でも不規則かつ大振幅の揺れが見られた。著者らは、この複雑な非線形横揺れに焦点を当て、非線形力学の観点から実験的に検討した。

フェリー模型の実験から、この問題では船内の滞留水と船体の横揺れの連成運動が特に重要であることがわかる。そこで、この点をさらに詳しく調べるために、中に水の入った箱船の横波中の運動を実験で調べた。その結果、フェリー模型の実験と同じように、規則波中でも複雑な非線形横揺れが観察された。また、この横揺れの時系列データを非線形力学の分野で用いられている手法で解析すると、低次元の決定論的カオスを特徴づける性質がはっきりと見られた。このような非線形運動は、従来の線形理論や摂動論を利用した弱非線形理論ではとらえることができない。本論文は、新たな実験データ解析手法とその結果をまとめている。

Modification of Hull Form on a B-Spline Net for Optimization Using CFD

CFDを用いた船型の最適化のためのB-スプラインネット上の船型変更

児玉良明、竹子春弥、日野孝則

平成9年10月

ICCAS'97, 9th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding

Proceedings of ICCAS'97

CFD(Computational Fluid Dynamics、数値流体力学)は、船体まわり流れの数値計算法として利用価値が高いが、CFDで得られた計算結果が高精度であるためには船体形状が正確に表現されている必要がある。すなわち、CFDの上流に位置する技術として、物体形状の表現技術であるCAD(Computer-Aided Design)技術が必要である。そして、CFDが有効に利用されるためには、CADとのリンクが緊密にとられていなければならない。本報告では、CADとCFDのリンクの方法とその要件について議論した。まず、CFDの第1段階として、CADから受け渡された船型データを基に流れの計算領域全体に格子を生成する格子生成法についてIGM法(Implicit Geometrical Method)を例に説明し、IGM法が船体表面格子及び3次元空間格子の生成に有効であることを示し、格子生成法の満たすべき条件について議論した。次に、CFDによる船体まわり流れの数値計算が、船体抵抗、プロペラ面伴流分布、自由表面影響について高い精度で推定可能であることを示した。このように、与えられた形状の船型の抵抗を高精度で推定できることから、CFD計算に基づく抵抗最小化の意味での船型の最適化が、実用的な価値をもつということが言える。抵抗の最小化の例として、2次元翼型について、容積を一定としたまま抵抗が最小化となるように翼型形状を変形し、CFDとCADに基づく物体形状の最適化が十分に可能であることを示した。

Nonlinear Roll Motion and Bifurcation of a Ro-Ro Ship with Flooded Water in Regular Beam Waves

規則的な横波中におけるRo-Ro船の

非線形横揺れ運動と分岐現象

村重 淳、小室元政、合原一幸

平成9年10月

Proceedings of Third International Workshop on Theoretical Advances in Ship Stability and Practical Impact

著者らはこれまでの研究で、Ro-Ro船の車両甲板上に滞留水がある場合その横波中の船体運動、特に横揺れ運動に非線形現象が見られる可能性があることを実験で示した。規則的な波の中でも不規則で複雑な挙動を示す場合があり、それはカオスであることがわかっている。しかし、そのような複雑な非線形現象が発生するメカニズムはまだ完全には理解されていない。

本研究では、規則的な横波中で車両甲板上に滞留水がある場合の船体運動をモデル化した方程式を考案し、それを利用して非線形現象を調べている。特に分岐現象、すなわち波高や波周期を変えたときに見られる急激な船体運動の変化を検討している。モデル化した方程式はいくつか特徴的な性質を持つために、分岐現象の計算には注意を要する。今回の発表では、分岐の計算方法をまとめ、いくつかの計算結果を報告する。

プロペラによる振動

Vibration Induced by Marine Propellers

右近良孝

平成9年10月

日本学術会議、水力学・水理学研究連絡委員会
第9回キャビテーションに関するシンポジウム
講演集

本解説は、プロペラにより生じる種々の振動について、他分野の研究者にも参考となる様に紹介したものである。

船舶の分野において問題とされる振動は、主に船体振動である。この振動は主機関や補機を起振源として発生するばかりでなく、プロペラやキャビテーションにより誘起される流体力を起振源として船尾周りで発生し、現在も設計時にとりわけ注意が払われている。

プロペラによる振動はその伝播経路から次の2つに大別される。まず、プロペラに働く流体力がプロペラ軸を介して船体に伝わるシャフト・フォース（ベアリング・フォースとも呼ばれる）があり、この力が大きいと船体振動を起こすばかりでなく、軸受が焼き付いたり、極端な場合にはプロペラ軸やキー溝（小型船）に亀裂を生じさせる危険がある。

一方、プロペラが誘起する変動水圧が水中を経て船体に伝わるサーフェス・フォースがある。通常、シャフト・フォースと比べて、サーフェス・フォースの方が格段に大きいことが知られている。これらの力により引き起こされる振動は乗り心地を悪くしたり、搭載電子機器に悪影響を及ぼすばかりでなく、肋骨など船体構造材に亀裂を生じさせることもあり、船の安全にも大きな影響を与える。起振力を軽減できない場合には補強材を用いて安全を確保することになるが、船殻重量が増加し、問題となるので、設計の段階で振動評価と対策が重要となる。また、ISOにおいてISO9654が定められ、振動レベルを高精度で予測することがますます重要な課題となっている。

ここでは、シャフト・フォースとサーフェス・フォースの研究の現状について紹介するとともに、その軽減対策について紹介した。

Bi-orthogonal decomposition and Wavelet transform to analyse kinematics and dynamics of surface waves

表面波の特性を解析するためのBOD法とウェーブレット変換

M. Houri、富田 宏、C. Kharif、J.P. Giovanangeli
平成9年11月
日本造船学会論文集 182号

風波の発達初期過程はPhillipsによる海上風乱流成分と波との共鳴相互作用によって説明される。ここでは、人為的に一定間隔で放出される海上風中の渦列とそれによる波の成長について数値計算と風洞実験について述べている。渦列の周期とそれを運ぶ平均風の速度とが、水面波の分散関係を満たさないときは、基本波に対する高調波(Superharmonics)または低調波(Subharmonics)が発生することが、通常のフーリエ解析によって確かめられた。

渦列の発生は周期現象というより、むしろ間欠的(Sporadic)な現象なので、これをよりよく分析するために、近年フランスおよびポルトガル等の諸国で開発されたBOD(Bi-orthogonal decomposition)法を用いてシミュレーション結果を解析することを試みた。これは、ある時空間の関数 $u(x,t)$ を各々「トポス」と「クロノス」と呼ばれる空間のみ、および時間のみ関数列の双一次形式に展開するシステムティックな解析法である。これによって、互いに直交する空間モードのそれぞれが時間的にどのように成長してゆくのが明らかになった。

BOD法を適用するには現象の時空間における全ての物理量が必要となるので、これを通常の水槽実験に適用するためには、現状では大きな困難が伴う。そこで、風によって生成される波浪の風洞実験データからその間欠渦列と水面波の相互作用を観測、解析するために近年乱流分野等でしばしば用いられるウェーブレット解析を行い、渦列と水面波の間欠的(Sporadic)な特性とそれらのエネルギー成分のダイナミックな振る舞いを明らかにした。

これらの新しいデータ解析法は未だ完成と実用の段階には至っていないが、これらの研究を推し進めて、船舶分野の水槽試験等に利用することはきわめて有益であると思われる。

Nonlinear Roll Motion of a Flooded Ship in Regular Waves

浸水した船舶の規則波中における非線形横揺れ運動
村重 淳、合原一幸

平成9年11月
日本造船学会論文集 第182号

1994年秋に発生したエストニア号の転覆・沈没事故以降、浸水した船舶の波浪中安全性が再検討されている。特に、カーフェリーの車両甲板のように仕切りのない広い空間に浸水した場合、滞留した海水の船内における運動が波浪中船体動揺に与える影響は無視できないと考えられる。

著者らはフェリー模型を用いた実験により、浸水した船舶は規則的な波の中でも不規則で複雑な挙動を示す場合があることを示した。そのような非線形運動の原因としては、船の横揺れと船内の滞留水の連成運動が考えられる。そこで、その点を明らかにするために、箱形の模型を用いて連成運動に焦点を絞った実験を行った。その結果、フェリー実験と同様に、規則波中でも複雑な横揺れが見られる場合があることがわかった。さらに、実験データを非線形時系列解析の手法により調べたところ、その複雑な非線形横揺れはカオスであることがわかった。つぎに、このような非線形現象が発生するメカニズムを検討するために、現象をモデル化した方程式を導いた。その方程式も実験と同様な非線形運動を表す解を持つことが、数値計算により示された。また、この方程式は従来の非線形横揺れ方程式とは異なり、船内の滞留水との連成運動が含まれている。この連成運動が非線形現象にどのような影響を与えるか検討されている。

A 3D Unstructured Grid Method for Incompressible Viscous Flows

非圧縮粘性流れのための3次元非構造格子法

日野孝則

平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

計算機の性能向上により、数値流体力学(CFD)を実用的な流れの計算に用いることが可能になりつつある。実用的な流れ解析では複雑形状を扱うことが重要であるが、形状が複雑になると計算格子生成に多大な労力を要し、これがCFD実用化のボトルネックとなっている。

非構造格子法は、計算領域を分割するセルの形状とその並び方に規則性を要求しないので、形状適合性に優れている。本研究では、この非構造格子法を用いた3次元非圧縮性ナビエ・ストークス方程式の数値解法を開発した。

3次元空間を分割するセル形状として、四面体、三角柱、四角錐、六面体の任意の組合せを扱えるように、有限体積法を用いて空間離散化を行なった。擬似圧縮性を導入したナビエ・ストークス方程式の非粘性項の評価には、Flux-difference-splittingによる風上差分を用い、MUSCL法により空間2次精度を維持した。粘性項については2次精度の中心差分で評価した。時間積分には後退オイラー法を用い、最終的な連立一次方程式の解法はガウス・ザイデル法によった。また、一方程式乱流モデルを導入することで高レイノルズ流れへの適用を可能にした。乱流方程式は、対流項を1次精度の風上差分で評価した他はナビエ・ストークス方程式と同様の手法によって離散化した。

計算手法を2次元翼型まわりの流れと実用的な船体まわりの流れに適用した。計算結果は、従来の構造格子法による解と同等の精度であることが示され、本手法の基本的な性能が確認された。

数値解析法概説

Outline of Numerical Analysis

日野孝則

平成9年11月

日本造船学会推進性能研究委員会

第7回JSPCシンポジウム「コンピュータ時代の船型開発技術」

CFD(Computational Fluid Dynamics)を支える種々の要素の中で流体力学と数値解析は最も重要である。本稿では、CFDの視点から見た数値解析とその周辺の技術について概説する。

まず、空間離散化手法として、有限差分法、有限要素法および有限体積法を説明した。有限差分法はテイラー展開をベースとして導かれ、偏微分を差分で置き換えて離散化する。一般曲線座標系で差分法を適用するためには、座標変換が用いられる。有限要素法は、重みつき残差法として一般化され、方程式の残差に重みを掛けて領域積分した値が最小になるように解を求める。領域積分を数値的に扱うために要素内での変数の分布形状を基底関数によって仮定する。この基底関数と重み関数を同一の関数とすると、ガラーキン有限要素法が得られる。有限体積法は、セルに関して支配方程式を積分し、ガウスの発散定理によって体積積分を面積積分に変換する。さらにこの面積積分を数値積分で置き換えることにより離散化する。さらに、有限体積法で現れる、セル体積や面の面積の求め方を解説した。

次に時間積分手法に関して、いくつかの陽解法と陰解法を導出した。空間離散化と時間積分を選択すると計算スキームが決まる。計算スキームの安定性を解析するための手法として、フォン・ノイマンの方法を説明し、いくつかの計算スキームについて安定性解析の例を示した。

時間と空間で離散化された方程式は大規模な連立1次方程式に帰着する。その解法として、反復法とその収束性を示すとともに収束加速法として多重格子法を紹介した。

コーディングの技法は効率的なプログラム作成にとって重要である。簡単な例により、コーディングがいかに計算速度に影響するかを示した。

最後に、インターネット上にあるサイトの中で数値解析に関する有用な情報を持つものを紹介した。

第8章 キャビテーション水槽における実験システム
Experimental System in Cavitation Tunnels

右近良孝、山口 一

平成9年11月

日本造船学会 推進性能研究委員会

第7回 JSPCシンポジウム

「コンピュータ時代の船型開発技術」講演集

本テキストはコンピュータ時代の船型開発技術の一つとして活用されているキャビテーション水槽における実験システムについて解説したものである。

まず、船型設計とキャビテーション実験との関わりについて触れた。プロペラに関しては、特にわが国では理論計算の発達が目覚ましかったので、検証実験が盛んに行われた。キャビテーション水槽の歴史とともにキャビテーション水槽で行われてきた実験や使用目的の変遷について述べた。次いで、船型設計でキャビテーション水槽が活用される場合の目的と考え方について述べた。キャビテーション水槽の特徴を生かした試験が行われていること、キャビテーションが発生することによってもたらされる3つの深刻な問題、即ち、推力低下、エロージョン、そして振動・騒音についての研究の変遷並びに現在取り組まれている研究課題について述べた。特に振動予測法については、理論の確立の必要性が強調されている。

次に翼型とプロペラとに分けて詳細に解説を行った。まず翼型についての実験において行われている試験と現在の計測技術レベルの他、計測時の注意点や問題点を述べた。

一方、プロペラに関する実験では、キャビテーション試験において最も重要な気泡核分布の計測法と気泡核のキャビテーション観測に及ぼす影響について述べた。キャビテーション水槽では気泡核が少ないので、安定して発生させるための工夫がなされている場合と、不安定な現象から有意なキャビテーション・パターンの情報を得る方法について紹介をした。キャビテーション試験法および観測法についての新しい試みについて述べた。キャビテーション水槽で行われるプロペラ性能計測、流場計測法、翼面圧力計測法についての現状の技術レベルにつき解説した。最も進んだ船研の船尾変動圧力試験法、伴流シミュレーション法やキャビティ形状計測法について述べるとともに、最近のキャビテーション水槽を活用した各種の試験について解説した。

Non-Smooth Characteristics and Bifurcation of a
Mathematical Model for Motion of a Flooded Ship
in Waves

浸水した船舶の波浪中運動に対する数学モデルの
不連続性と分岐

村重 淳、小室元政、合原一幸

平成9年12月

Proceedings of 1997 International Symposium on
Nonlinear Theory and its Applications

本研究では、浸水した船舶の横波中の運動、特に横揺れ運動の非線形現象を調べている。これまでの研究で、規則的な波の中でも不規則で複雑な挙動を示す場合があり、それはカオスであることが模型実験によりわかっている。そこで、そのような複雑な非線形現象が発生するメカニズムを、現象をモデル化した方程式により理論的に考察している。

カオスのような非周期的現象の解明には、分岐現象の把握が基礎になる。非線形力学の分野では分岐現象の計算方法がある程度確立されているが、本研究で用いているような不連続性を含む方程式の場合は注意を要する。今回のシンポジウムでは、不連続性を含むシステムの分岐計算法を整理し、計算結果の例をいくつか用いて不連続性が分岐現象に与える影響を明らかにする。

Measurements of Pressure Fluctuations Induced by a Cavitating Propeller in a Cavitation Tunnel and Its Correlation between Model and Full-Scale

キャビテーション水槽における船尾変動圧力計測及び実船と模型の相関
 右近良孝、工藤達郎、黒部雄三
 平成10年4月

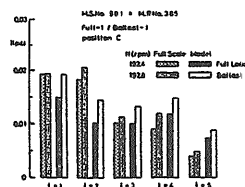
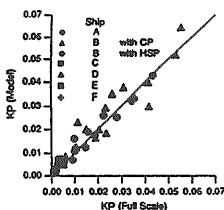
Proceedings of Third International Symposium on Cavitation

本論文では船研の大型キャビテーション試験水槽で開発された船尾変動圧力計測法を紹介するとともに、今まで得られた本方法に基づく模型計測と実船計測との相関について述べている。

先ず、各種の船尾変動圧力計測法の長所短所について、また船研や二国間共同研究を行っているハンブルク造船研究所での経験や研究成果について概論した。キャビテーションの発生を支配するパラメータと、船研におけるその制御法や変動圧力信号のデータ処理法との関連について解説した。

具体的な計測例として、第21期ITTC(国際試験水槽会議)での船尾変動圧力比較計測において船研が行った膨大な試験結果のうち、代表例について報告し、以前船研がリーダーシップをとって行った比較試験と同じ結論が得られたこと並びに平板計測法の確立の必要性について述べた。

船研における模型船を用いた計測法が定量的にも非常に良い相関をもって計測がなされていることを述べるとともに、最近の船研での計測において得られた新しい知見や計測上の問題点について紹介した。ドイツの小型タンカーについての模型試験では、キャビテーションのみならず、変動圧力に関して模型と実船計測との相関が従来程良くなく、その原因としてはそれまであまり重要視されていなかった翼端渦キャビテーションの影響が大きいことを明らかにした。また、内航RO/RO船についての計測でも、舵によって増大された翼端渦キャビテーションが変動圧力の高次成分を大きくすることを明らかにした。定量的レベルで良い相関を得るためには、粘性の強い影響を受ける翼端渦キャビテーションのシミュレーション法の開発を始めとする、更に高度な計測法の開発及び改良の研究の必要性を強調した。



Note on natural and forced breaking waves in deep water

深水域における重力波の自然砕波と強制砕波について
 富田 宏、M. Houri、沢田博史
 平成10年5月
 日本造船学会論文集 183号

2次元波浪水槽中での自然砕波ならびに強制砕波に関する2種類の実験的研究について報告している。それらはそれぞれ中位静穏時ならびに荒天時における実海域に存在する砕波の簡単なモデルと考えられる。第1の型(三日月波)は普通比較的穏やかな海象下において観測される。初期に $ak=0.34$ 程度の規則波においては3次元不安定が2次元的な側帯波不安定より卓越し、その結果三日月波が現れることとなる。最大不安定モードとしての斜め輻射波成分の方向およびその成長率はMcLeanの理論によってきわめてよく説明されることが判明した。

第2の型(強い巻き込みを伴う砕波)は、エネルギー収束法を利用して本質的に海底の影響を受けない深水域において生成された。波峰の過渡的な変形を高速ビデオカメラによって、また波峰内部での複雑な非定常流場についてはLDA(レーザ・ドップラー流速計)によって詳細に計測された。波動の運動量フラックスの41%が単一の巻き波砕波によって失われること、波頂部近傍では水粒子の水平流速は波速の約1.4倍に達することが実験により確かめられた。

その他注意すべき点として次の2点が認められた。第一に巻き波砕波中においても流場は波頂部分近傍を除いてポテンシャル流れとしてよく近似出来るらしいということ。また第二に孤立した巻き波(Plunging Breaker)および崩れ波(Spilling Breaker)の双方に対してそのスペクトル成分のピーク周波数に対する低減現象が生じることが見いだされた。

〈運動性能部〉

Stability of a RO-RO Passenger Ship with
a Damage Opening in Beam Seas

RO-RO客船の損傷時の横波中復原性に関する研究

石田茂資、村重 淳

平成9年9月

STAB'97 6th International Conference on Stability
of Ships and Ocean Vehicles

RO-RO客船の特徴は、閉鎖された広い車両区画を船内の高い位置に持っていることである。ここに浸水すると滞留水の自由水影響によって復原力が悪化し、場合によっては転覆すると言われている。本研究では、SOLAS規則に規定された船側損傷を模型船に与え、横波中における運動や車両甲板上の滞留水量(以下単に滞留水量と呼ぶ)などを計測した。また、現象を単純化して理解しやすくすることとパラメータを広範囲に変化させることを目的として、2次元模型による同様の実験を行った。

パラメータとして、重心高さ、Center casingの有無、初期傾斜角、波高、乾舷高さを変化させて実験を行い、最終状態(転覆しない場合は定常状態、転覆する場合は転覆直前)における傾斜角と滞留水量に着目して解析を行った。その結果、損傷時メタセンタ高さ GM_d が大きいほど定常傾斜角が小さく滞留水量が大きいこと、 GM_d が十分に大きければ大量に浸水しても転覆しないこと、波上側に傾斜すると滞留水量が多くなる傾向にあること、center casingがない場合は波下側に、ある場合は波上側に傾斜すること、などがわかった。

本論文で扱っている問題は、滞留水量が損傷口からの海水流入と流出のバランスによって決定されることが特徴であり、そのバランスの条件が安全上重要になる。車両甲板内の平均水面高さと船外の静止水面との差 H_d に着目して解析したところ、転覆する危険の高い状態(波高が高く波上側に傾斜する状態)では H_d が一定の範囲内にあり、車両甲板内の水面の方が高いことが明らかとなった。また、 H_d は乾舷高さにはほとんど依存しないが、規則波中では波高によって直線上に変化することがわかった。このような H_d の性質を利用して、滞留水量を一定とした復原力曲線群から転覆危険性を判別する方法を提案した。

タンカーに働く風荷重と流れの可視化
Wind Loads and Flow Visualization around an Oil
Tanker Model

二村 正、藤原敏文、上野道雄、野中晃二

平成9年10月

可視化情報学会誌 (1997 Vol.18 Suppl.No.2)

船舶が港湾内などを低速で航行する場合、風の影響を強く受けある風速以上になると操船が困難になる等、船舶の操縦性能に及ぼす風の影響は安全航行を計る上で重要な要素である。このため、これまで多くの船型について風荷重の計測が行われているが、公表されている結果は古い船型のもが多く、現在運行している船舶の風荷重の計測が望まれている。また、実験手法についても確立されておらず、風速分布の違いやデッキ上の細かな艀装品の有無など種々の状態で計測が行われている。更にこれまでの風荷重に関する研究では流体力の計測だけで、風の流れの様子についての報告はほとんどない。そこで、大型のタンカー船型について、海上風を模擬した風速分布中と風胴固有の風速分布中での風荷重の計測、デッキ上の細かな艀装品の有無の状態での風荷重の計測を行い、これらの影響について検討した。また、油膜法、スモーク法、スモークワイヤー法による流れの可視化実験を行った。

風荷重の計測では、大型タンカーに働く風荷重の大きさや傾向が把握できた。また風速分布の違いは無次元化の方法により補正することが可能であり、デッキ上の手すりやクレーン、配管等の細かな艀装品の影響は比較的小さいことがわかった。ただし、この結果は今回の大型タンカー船型でのみ成り立つことであり、他の船型でのデータの蓄積が必要である。

流れの可視化実験により、大まかではあるが大型タンカー船型まわりの流れの様子が把握できた。向風の状態では船首前方海面上と船尾ブリッジ前デッキ上に馬蹄渦、船首デッキ上に剥離渦、船尾船側に一對の剥離渦が観察される。斜め向風になると風上船側水面上と風上ブリッジ前デッキ上に馬蹄渦、風上デッキ上に剥離渦が観察される。斜め向風の特長として船首船側から発生し、船体後方まで煙を巻き込みながら徐々に大きくなる剥離渦が観察される。更に風向きが変わるに伴い、これらの渦の剥離位置や渦の流れる様子の変化が把握できた。しかし、いずれの状態においても流れは複雑で、特にブリッジまわりの流れを把握することは困難に近い。また、流れ場と流体力の関係について検討を行うためには定量的な流れ場の計測が必要である。

箱形浮体構造物の付加質量チャート

A Quick Chart for Added Masses of Block Type
Floating Structures

鳥野慶一、野中晃二、前川和義、秋元研一

平成9年11月

関西造船協会誌 第229号

船舶の操縦運動の解析・推定においては付加質量の値を正しく求めておくことが必要になるが、通常的一般商船を対象とした付加質量については、系統的模型試験にもとづく元良のチャートがあり、付加質量を船長船幅比・喫水船幅比及び方形係数で整理したものであり、その簡便性から操縦性分野では広く用いられている。

一方、海洋開発や土木工事に於いて各種のバージや浮体構造物などの方形係数が1に近いほぼ直方体とみなせる箱形浮体を曳航する機会が増えているが、これに元良チャートを適用するには対象とする船型の範囲外であり外挿より得られる結果は精度も信頼性も不十分である。

本研究では、このような箱形物体を対象とした付加質量の早見チャートを、模型実験と理論計算より作成した。

模型実験では、6種類の箱形模型を用い曳航水槽において加速と減速の定加速度試験を行い、計測された流体力を速度項と加速度項に分離することにより付加質量を求めた。

計算は、非粘性・非圧縮性の仮定の下に静水面を鏡像面とする2重モデルについて行い、実験値と比較したところ大略良い一致を得た。そこで、種々の形状の直方体について計算を行い、計算結果をもとに付加質量の早見チャートを作成した。

このチャートは、箱形物体の運動方向前面のアスペクト比と前面に対する奥行比をパラメーターとして用いており箱形物体の寸法比が与えられれば、前後方向と横方向の付加質量がこのチャートより簡単に読みとることが出来る。

ナホトカ号は何故沈んだか？

Why M.S. Nakhodka had to sink?

渡辺 巖

平成10年3月

日本船長協会

第105回 船長実務講座

1997年1月に日本海で発生したロシア船「ナホトカ号」の事故原因調査が運輸省で行われた。本稿はこの委員会で行われた原因調査の概要を船長協会の会員に講演した際の議事録をまとめたものである。まず事故の概要について述べ、当時の本船がどの程度の海象下にあったか、その時の船はどのような航海をしていたかの説明をはじめに行った。それに続き、事故発生時の状況とその後の船体の状況について述べた。次に事故原因調査委員会の作業の説明に入り、船体強度に関する調査、板厚計測、鋼材特性の計測結果について説明し、当時の船体はかなり老朽化しており、甲板等が衰耗していたことを述べた。次に船体を破損に至らしめた荷重についての説明を行った。荷重としては積みつけによる静的荷重と波浪による荷重を取り上げその推定結果について紹介した。その結果、ナホトカ号の事故時の貨物の積みつけは甲板を圧縮する方向に大きく作用するようなものであったことを示し、波浪荷重が重なると甲板の破壊を引き起こしかねない程度のものであったことを示した。以上より、日本側の事故原因調査委員会は、衰耗による船体の強度不足と荷重が増大するような積みつけをして荒天下を航行していたことが事故の原因であるとの結論を得たことを述べた。一方ロシア側の事故調査結果についても言及し彼らの主張する、いわゆる爆発説や衝突説は根拠が薄弱であると何故委員会は考えたかについて紹介した。最後に今後の事故再発防止対策、油防除対策についても触れている。

ナホトカ号事故時の波浪外力の推定

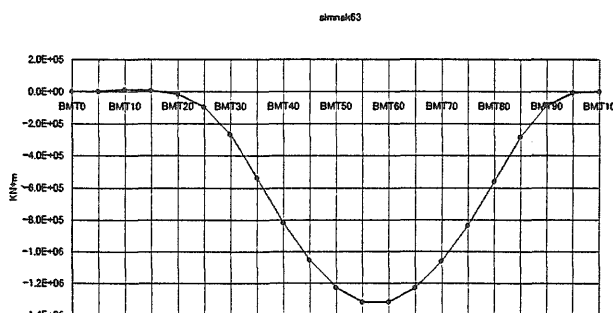
On Estimation of the Wave Loads on the MS NAKHODKA at the Accident

渡辺 巖、大坪英臣

平成10年5月

日本造船学会論文集 第183号

1997年1月に日本海で発生したロシア船「ナホトカ号」の事故原因調査が運輸省で行われた。調査の過程では、事故当時ナホトカ号がどのような荷重状況下にあったか、船体の構造強度が大きな課題であった。著者等はこの事故調査委員会のメンバーとして荷重についての検討を担当した。そこで検討されたのは、貨物の積み付けによる静的荷重成分、波浪による動的変動荷重成分等である。この論文ではこれらについてどのようにして荷重推定がなされたかを述べる。特に積み付けがサギングモーメントを大きくするものであったことを示す。波浪外力については当時の波浪状況を沖合いブイの計測値等をもとに有義波高8mの不規則波浪と推定し、その時の波浪荷重を非線型シミュレーションプログラムにより計算した。その結果、船長方向の縦曲げ荷重は下の図に示すような形の分布形で折損箇所所最大となることが分かった。折損事故は衰耗等によりこれに耐える強度が失われていたため発生したことを述べている。



船体に働く風圧力の推定

Estimation of Wind Forces and Moments acting on Ships

藤原敏文、上野道雄、二村 正

平成10年5月

日本造船学会論文集 第183号

船の操縦運動に対する風の影響は船の安全航行を考える上で重要であり、これまでも強風下の操船限界や港湾域における低速航行時における風の影響等の研究がおこなわれてきた。操縦性能に対する風の影響を正しく評価するためには、風が船におよぼす力を精度良く推定することが不可欠であるが、現在利用できる風圧力推定式は1970年以前の船型を対象につくられたものであり、近年の船型を対象に風圧力を推定する場合にはその信頼性の低下が考えられる。そのため、現存する船を対象にした実用的な風圧力推定法の構築が望まれるところである。

本研究は、船体形状のみのデータから精度良く風圧力の推定を行うことを目的とし、過去に計測された様々な船舶の風洞実験データを利用して、回帰分析により新しい風圧力推定式の提案を行った。初めに、できる限り近年建造された船舶の実験データの収集を行い、異なった実験状態で行われているデータについては同一条件で扱うために、実験データに及ぼす風速分布の影響を補正した。次に、船体形状を表現する主要寸法で構成される説明変数を用いて、重回帰分析により推定式の作成を行った。推定精度向上のため従来の推定法では考慮されていない多くの説明変数について取り上げ、それらの項の選択にあたっては統計解析手法により合理的に推定式の作成を行った。前後力、横力、回頭モーメント係数の推定式の提案を行うとともに、今まで推定手法の無かった傾斜モーメント係数の推定式も提案した。また、本推定法の精度を検証するために他の推定法の推定結果との比較を行い、本推定法が実験データに対して他の方法より精度良く推定できることを確認した。

〈構造強度部〉

人工海中における造船用鋼板の長寿命
腐食疲労強度の検討

A Study on a Long Term Corrosion Fatigue
Strength of a Ship Structural Steel Plate in
Synthetic Seawater

小林佑規、田中義久、後藤英信、松岡一祥、本橋嘉信
平成10年5月
日本造船学会論文集 Vol.183, 1998

船舶の寿命・余寿命評価には、疲労強度のS/N関係を明確にしておく必要がある。しかし、長寿命の腐食疲労特性については、実験データも乏しく、明らかになっていない点が多い。

本研究の目的は、50キロ級KA32の造船用鋼板について、1年数ヶ月程度の腐食疲労試験結果から、船舶の寿命20年におよぶ腐食疲労強度および疲労強度を確たるものとする所要試験時間を推定することにある。供試材の人工海中における腐食速度および疲労き裂進展特性を実験的に求め、これらの結果を用いて大気中疲れ限度以下の応力範囲を対象とした応力比0.1で繰返し速度0.17Hzの長寿命腐食疲労強度について検討した。

得られた結論を以下に示す。

- (1) 浸漬試験による腐食速度は、研磨面が 0.07mm/year 、ショットブラスト面が 0.09mm/year である。繰返し速度0.17Hzで5年を超える長寿命腐食疲労では、腐食による負荷応力の増加が無視できない。
- (2) Paris則の成立する範囲でのき裂進展速度は、海水中が大気中のそれより2～3倍大きく、応力拡大係数範囲が低いほどき裂進展速度の試験環境による影響が大きくなる。
- (3) 下限界応力拡大係数範囲は、大気中が $2.5\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 、海水中が $1.2\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ である。
- (4) 長寿命腐食疲労特性は、 $\Delta K = f(Rc, y) Cc Nc^n$ の $\Delta K/Nc$ 関係からほぼ推定される。ここに、 $f(Rc, y)$ は腐食溶解による腐食衰耗率、 n はき裂進展特性から得られる指数、 Cc は 10^6 回(2-3ヶ月)程度の腐食疲労試験結果から得られる定数である。
- (5) 腐食疲労き裂発生時の応力拡大係数範囲の下限界値として駒井らの結果 $\Delta K_{CF} = 1.71\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ を適用すると、断面が $10 \times 32\text{mm}$ で腐食速度が 0.09mm/year の平板試験片では、14～24年後は腐食ピットから腐食疲労き裂が発生せず、腐食ピットは腐食衰耗に移行する。
- (6) 腐食衰耗に移行する以前の腐食疲労寿命について、腐食疲労試験の $f(Rc, y)$ を定めるには、5年程度の腐食疲労試験が必要であると判断される。

Tensile, Compressive and Bending Strengths of MR
Constitutional FRP Laminates under Impact Load

衝撃荷重下におけるMR構成FRP積層板の引張、
圧縮および曲げ強度

小林佑規、田中義久、本橋嘉信
平成10年6月

ECCM-8, European Conference on Composite
Materials, Volume 1, Woodhead Publishing
Limited

FRPは、軽量かつ耐食性であることから、小型漁船やプレジャーボートに使用されている。FRP船は、今日まで、大型化や高速化がはかられてきた。FRP船の高速化に伴う安全性では、船底や船側外板が波浪衝撃や海上浮遊物体との衝突に対して十分な強度余裕を保持するよう配慮しなければならない。船速30kTは15m/sに相当し、この程度の衝突速度に対する耐衝撃特性は調べておかなければならない。FRP船には、従来よりガラスロービングクロスとガラスチョップドストランドマットのMR構成積層板が使用されている。MR構成積層板は、ロービングクロスのみ積層板に比べ、マットが緩衝層となって層間剥離を抑制し、耐衝撃性が改善される。このような特性については、著者らも5種類の積層板により確認してきた。

本論文では、不飽和ポリエステル樹脂をマトリックスに、ガラスマット/アラミドロービングクロスまたはガラスマット/ガラスロービングクロスの強化繊維を積層した2種類のMR構成積層板について、静的および衝撃引張、衝撃圧縮、衝撃曲げ試験結果をとりまとめた。各試験の計測波形から衝撃下の応力-歪線図を作成し、歪速度が強度と変形に及ぼす影響を検討した。衝撃特性に関して得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 衝撃引張強度は、マトリックス樹脂の衝撃引張歪速度依存性の影響を直接受ける。また、衝撃引張強度は、一定の歪速度までは向上するが、その歪速度を超えると急激に低下する。
- (2) 衝撃圧縮強度は、歪速度の増加とともに増加し、樹脂の衝撃圧縮特性からほぼ推定できる。ただし、アラミド系の積層板は、アラミド繊維の圧縮強度が極めて小さいため繊維の座屈により、歪速度の増加に伴う圧縮強度の増加が制限される。
- (3) 衝撃曲げ強度は、引張の強度低下と圧縮の強度向上が相殺され、衝撃引張強度に見られたような急激な強度低下を引き起こすことはない。

FRP積層板の衝撃圧縮および衝撃曲げ強度
Compressive and Bending Strengths of FRP
Laminates under Impact Load

小林佑規、田中義久

平成10年7月

FRP漁船研究会 FRP漁船 第217号

強化プラスチック(FRP)船は、今日まで、高速化と大型化がはかられてきた。高速化では、船底や船側外板は波浪衝撃を受け、また海上浮遊物体との衝突が避けられない。例えば、船速30ktで航行する船体が海上浮遊物体に衝突すれば衝突速度は15m/sに達し、何らかの船体損傷が生じるのではないかと危惧される。このような背景から、著者らはFRP積層板の引張、圧縮および曲げにおける耐衝撃抵抗性に関する材料特性を調査している。

本報告は、不飽和ポリエステル樹脂をマトリックスとし、積層構成の異なる5種類のFRP積層板について、衝撃圧縮および衝撃曲げ試験結果を、強度、歪および歪エネルギーと歪速度の関係についてとりまとめたものである。衝撃圧縮および衝撃曲げ試験から得られた結果は、以下のとおりである。

- ① 衝撃圧縮下の樹脂は、比例限界および最大圧縮強度が歪速度の増加とともに直線的に増加する。圧縮の比例限界歪および破壊歪は、歪速度に依存しない。特に、比例限界歪は、歪速度が増加しても静的特性値が保持される。
- ② 積層板の比例限界および最大圧縮応力は、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、安全側の推定ができる。積層板の比例限界歪は、静的圧縮のそれに等しい。ガラスマットは圧縮強度の向上に寄与する。
- ③ 衝撃曲げ下の樹脂は、歪速度が 20s^{-1} 以下で静的強度が保持されるが、それ以上の歪速度で低下する。曲げ破壊歪は、歪速度が 20s^{-1} を越えると0.007の一定値となり、静的曲げ破壊歪の50%に低下する。
- ④ 積層板の最大曲げ破壊強度は、いずれの積層構成においても静的曲げ強度より大きくなる。衝撃曲げ歪はアラミドロービングクロス/ガラスマットのMR構成板のみが静的試験の値を保持するが、この他の積層板は静的曲げ歪より低下する。
- ⑤ ガラスマットのみの積層板とアラミド/ガラスマットのMR構成板は、衝撃曲げ破壊エネルギーの歪速度依存性が小さく、耐衝撃抵抗性に優れている。ガラスロービング/ガラスマットのMR構成板は、ガラスロービングクロスのみ積層板より引張縁の衝撃曲げ破壊エネルギーが改善され、曲げ衝撃抵抗性が向上する。

動荷重を受ける浮体の弾性応答

Elastic Response of A Floating Platform Stimulated
by Dynamic Load

遠藤久芳、矢後清和、千秋貞仁

平成10年7月

日本造船学会 第14回海洋工学シンポジウム

プロシーディング

垂直衝撃荷重および水平移動荷重など波浪荷重以外の動的荷重に対するVLFS(超大型浮体式海洋構造物)の過渡的弾性応答に関しては、これまでほとんど実験がなされておらず解析法の検証に資するに不十分であった。一方、VLFSの流力弾性問題の解析法に関しては、周波数領域解析法の開発においてはめざましい発展があったものの、時間領域解析法の研究は遅れていた。これまで、時間領域解析法の研究は航空機の離発着を対象としたものに若干みられたが、流体力の取り扱いに省略化があったり、モデル化の制約があり、適用範囲が限定されているようである。そこで、著者らは、垂直衝撃荷重および水平移動荷重に対する浮体の弾性応答について水槽にて模型実験を実施し、併せて時間領域計算法を開発しこれらの実験結果について解析した。

航空機の離発着および、落下物による衝撃に対する浮体の過渡的弾性応答を研究対象として、模型実験を実施した。実験に供した模型は、300メートル長さのメガフロート実証試験モデルの1/30.8縮尺相似モデルVL-10である。落下衝撃実験では、鉄製ウェイトを自由落下させ浮体表面のクッションの上に衝突させた。移動荷重試験では、航空機を模した台車を浮体表面上にて牽引走行させた。本報告では、これらの実験のうちそれぞれ代表的な1例を採り上げて実験結果および解析結果を示し、過渡的弾性応答特性について述べた。

VLFSのような多自由度系の流力弾性問題に適用することができる時間領域計算法を開発した。本解析法では、弾性の取り扱いはFEM、時刻歴計算の解法はウイルソンの θ 法を基本ソルバーとしている。流体力の計算は直接法を基にしており、先ず流体力係数の周波数応答関数を求め、これを基本ソルバーのメモリ影響関数に取り込んだ。この計算法を用いて、実験結果を解析し、計算精度を検証するとともに、衝撃荷重および移動荷重に対する浮体の応答特性について考察を加えた。解析精度はほぼ満足できる程度であったが、垂直衝撃荷重に対する応答については、高周波成分に若干の不一致がみられた。

〈機関動力部〉

乳化燃料を使用した場合の中速船用ディーゼル機関
からの排ガス組成の研究
Study on Exhaust Gas Composition from Medium-
speed Marine Diesel Engine with Emulsified Fuels
中島康晴、山谷周二、菊地正晃、桑原孫四郎、
石村恵以子、西尾澄人
平成9年9月
日本化学会第73秋季年会 講演予稿集

近年、地球環境保全の見地から、船舶からの大気汚染物質の排出削減が重要な問題となっており、重油と水を混合して調製した乳化燃料の使用が、窒素酸化物(NO_x)の低減技術として有望視されている。一方、乳化燃料の使用により、一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)および粒子状物質(パーティキュレート:PM)等の排出が増大するという報告もなされている。そこで我々は、乳化燃料を使用した場合の中速船用ディーゼル機関からの排ガス組成について検討した。

中速船用ディーゼル機関から排出されるNO_xの濃度は、A重油を使用した場合は負荷全域においておよそ2,000ppmであった。一方、乳化燃料を使用した場合は、加水率の増加とともに減少し、加水率45%において1,400~1,700ppmにまで低下した。COの濃度は、A重油を使用した場合は機関負荷率に応じて100~400ppmの範囲で変化したが、乳化燃料を使用した場合は負荷全域でおよそ200ppmとなった。HCの濃度は、A重油を使用した場合は負荷全域でほぼ一定であったが、乳化燃料を使用した場合は、低負荷域では加水率の増加とともに増大し、高負荷域では逆に減少した。PMの排出率は、A重油を使用した場合は0.1~0.2g/kWhであったが、乳化燃料を使用した場合は、低負荷域では加水率の増加に従い増大し、高負荷域では顕著な変化を示さなかった。これらの結果から、適当な運転条件下であれば、船用ディーゼル機関に対して乳化燃料を使用することにより、他の大気汚染物質の増大を伴わずにNO_xを低減することが可能と考えられる。

船用燃料油の単一液滴の着火遅れ
Ignition Delay of Single Droplet of Marine Fuel Oils

羽鳥和夫
平成9年10月
日本船用機関学会 第59回学術講演会講演集

船用燃料油は基本的に残渣油と軽質油の混合燃料である。これまでにパラフィンとヘキサン二成分混合燃料や残渣油と軽質油の混合燃料を用い、高温空気中における単一液滴の燃焼過程を調べてきた。この結果、これらの燃料の燃焼過程は単一組成燃料と異なる傾向を示すことが明らかになった。例えば、着火遅れは、特に空気温度の低い範囲で、混合割合や空気温度の影響が大きい。これに対し、燃焼時間はこれらの影響が小さい。これらの現象は液滴が低沸点成分で着火するか、または高沸点成分で着火するかによって説明できた。

本報告は、これらの結果を基に、高温静止空気中において各種船用燃料油の単一液滴の着火遅れを調べ、着火遅れに及ぼす初期直径や雰囲気温度の影響を調べた。燃料油はこれまでに当所でディーゼルエンジンに用いられた12種の船用燃料油を用いた。

実験は次のように行った。実験用の高温炉は内径80mm、長さ200mmの炉心管を電気炉内に納めたものである。液滴は、懸垂棒の先端に固定しておき、炉を移動することにより高温雰囲気中に曝される。懸垂棒は直径0.5mmの石英棒を用いた。炉内に入った液滴は、周囲の高温空気と炉壁からの輻射により加熱され、着火、燃焼する。炉の移動時から燃焼が終了時に至る液滴の挙動はVTRで録画すると同時にモニターで観察する。着火遅れは液滴が炉の内壁を通過してから火炎が発生するまでとした。

簡易的に船用燃料油の着火遅れを予測する方法として、主に燃料油の比重と動粘度から求める着火性指標が用いられている。このため、本実験で得られた結果から、燃料油の比重と動粘度が着火遅れに及ぼす影響を調べた。この結果、船用燃料油の単一液滴の着火遅れは、燃料油の比重と粘度のみでは十分に説明できないことが明らかになった。さらに、本実験で得られた結果の一部はディーゼルエンジンの着火遅れと同様の傾向を示した。

二酸化炭素の深海底貯留法
Sequestration Technology of Liquid Carbon
Dioxide in the Deep Ocean Basin

綾 威雄

平成9年11月

日本機械学会誌 Vol.100, No.948

今日のCO₂問題の本質は、世界の4%を占めているに過ぎない我が国から、液体換算で毎日20万トンタンカー8隻分ものCO₂を大気に排出し続けているという超大量性にある。大気の430倍の分子数を有している海洋を利用するCO₂海洋処理法は、CO₂問題の本質である超大量性に対応可能な対策技術である。

これまでかなりの数のCO₂海洋処理法が提案されているが、いずれも、溶解法と貯留法とに分類することができる。溶解法は、海洋の広さを直接活用し、溶解拡散後のCO₂濃度の増加は僅かであることに着目した処理法であるのに対し、貯留法は、深海底の窪地などにCO₂を液体またはハイドレートとして溜めることにより溶解をできるだけ抑制しようとする方法である。

液体CO₂は水より圧縮性が大きく、約2700m以深で海水より重くなる。そのため、従来、貯留法の適用深度は、3000m以深で十分と考えられてきた。しかし、湖のように溜められた液体CO₂の上方には、CO₂溶解海水からなる密度成層が形成されるため、貯留CO₂が密度的に安定となるには、深度3500m以深が求められる。

ところで、CO₂は深度500~900m以深(深度の違いは、海域による温度差による)では、海水と反応してハイドレートとなるが、CO₂海洋処理研究が始まった8年ほど前は、それまでのハイドレート研究が天然ガス輸送管の閉塞防止を目的に行われてきたという歴史的経緯もあり、相平衡図以外、貯留法の実現性検討に必要なデータはほとんどなかった。そのため、我が国を中心とするCO₂海洋処理研究では、深海条件下におけるCO₂ハイドレートの諸性質を明らかにすることにターゲットが絞られてきた。これまでに公表された特筆すべき成果として、①非溶解が期待されたCO₂ハイドレートも溶解すること、②その溶解速度はハイドレートと共存するCO₂溶解度を駆動力とする拡散支配であること、③ハイドレート共存溶解度は、準安定なハイドレート非共存溶解度より小さく、固体の溶解度に似た温度依存性を示すこと、などが挙げられる。

なお、国際海事機関(IMO)は、1996年12月8日、海洋投棄を規制するロンドン・ダンピング条約を、リバーリスト方式(投棄可能物質をリストに載せる)へ移行することを決議した。新条約の発効に備え、CO₂のリスト化に必要な科学的バックデータの蓄積も必要になってくるであろう。

固体酸化物燃料電池セルの新製法と
その基本性能の研究
New Manufacturing Method of Solid Oxide Fuel
Cell and Performance

川越陽一、波江貞弘、熊倉孝尚、汐崎浩毅

平成10年3月

日本船用機関学会誌 第33巻第3号

燃料電池は、燃料の持つ化学エネルギーを途中で熱の形態を介さずに直接電気エネルギーに変換するため、より高い効率を持つ発電装置として有望視されている。当所においては、電解質に固体酸化物(YSZを使用)を用いた、固体酸化物燃料電池(以下SOFCと省略)を、船用機関として適用する際の技術的な問題点を抽出しその対策を検討するための実験的研究を行ってきた。SOFCにおいて直接発電を行う役目を担うのはSOFCセル部であるが、通常、板型のセルは、薄い電解質板の各表面に、燃料側電極(NiO-YSZサーメット)と空気側電極(LSM)を、それぞれ塗布焼成し製作される。今回、性能の向上を目的として、電解質表面を粗面加工した後に電極を焼成する方法を用いてセル(加工後の電解質厚150 μ mのものを使用)を製作し、その発電性能を測定した。その性能を未加工のセルと比較し、電解質の表面加工が発電性能に及ぼす影響について考察した。発電性能を測定する際には、空気側に大気を、また燃料側に燃料として水素と窒素の混合気をそれぞれ一定の流量で供給し、定電流法により電流を変化させた際の電圧の変化を測定する方法を用いた。その結果、ほとんどの発電可能電流値Iの範囲で、得られた電圧Vの値は、表面処理を行ったセルの方が未加工の物より高い値が得られた。この傾向は、電流密度が高い領域でより顕著で、発電可能な電流の範囲も3.0A/cm²にまで広がった。これは、電解質の表面を粗面加工したことで、電解質と電極との接触面積が広がったことが直接の理由と考えられる。また、電圧の変化に対する負荷変動追従性についても、表面加工を行うことで、大幅な改善が見られた。さらに、同様のセルを用い、天然ガス(メタン)を燃料として使用した際の性能についても調べた。水素を燃料として使用した場合に比べ、大部分で若干低い電圧値となったものの、発電自体は安定な結果が得られた。メタンを燃料として使用する際には、ニッケル触媒を用いて改質する必要がある。メタンのニッケルによる改質反応の促進は、燃料に含まれる水蒸気分圧に依存すると考えられるが、今回その明確な依存性が見られなかった。この原因として燃料極側でメタンが直接酸化されていることが考えられる。今後の検討課題としたい。

CO₂海洋処理法の現状と問題点CO₂ Ocean-Sequestration Technology: Its State of Art and Problems

綾 威雄、山根健次

平成10年 3月

電子情報通信学会安全問題研究会講演集

代表的なCO₂海洋処理法である溶解法と深海底貯留法は、今日のCO₂問題の本質である大量処理に適しており、地球温暖化傾向を緩和させる有望な工学的手段であるが、その実現には、CO₂タンカーを始めとする各種ハードウェアの開発やロンドン・ダンピング条約のリバースリスト方式の発効に備えた行政的対応が求められているばかりでなく、以下のような安全確保の課題が存在する。

CO₂海洋処理の安全性に関わる課題として、減圧により過飽和となった溶解CO₂が気化するシャンパン現象の防止が挙げられる。

シャンパン現象による事故としては、1986年8月21日、カメルーンのニオス湖で起こった災害が有名である。これは、通常は火口湖の底に沈殿している高濃度CO₂溶解水が、上層部の高密度冷水と入れ替わることにより、湖面から大量のCO₂が気化し、CO₂を高濃度を含んだ空気が谷筋を下り、1700名もの住民と無数の動物を窒息死させたというものである。

このようなシャンパン現象は、CO₂海洋処理においては、CO₂タンカーから海中に伸びたCO₂送り込み管が浅海で破断すると生じる可能性がある。従って、CO₂送り込み管には高い信頼性が求められるとともに、万一、破断事故が起こった場合に備え、送り込み管をCO₂タンカーから必要な距離だけ離れた場所から潜らせるなどといった対策を講じる必要がある。

また、人間は空気中CO₂濃度が数%を超えると麻酔効果により死亡することが最近明らかにされており、上述の距離は、乗船員のいるCO₂タンカーにおけるCO₂濃度が十分な安全率を持ってこの値を上回らない条件から算定されるべきであろう。

この他、CO₂の回収から海洋処理に至る全ての過程で、事故に結びつく可能性のある事象やプロセスを洗い出し、発生確率が許容値以下に入らないシーケンスに対して的確な安全対策を講じることも重要である。

CO₂の海洋処理法

Sequestration Technologies of Carbon Dioxide in the Ocean

綾 威雄、山根健次

平成10年 3月

TECHNO MARINE(1998年 3月号)

地球温暖化を緩和させる工学的方法として期待されているCO₂海洋処理法には、溶解法と貯留法とがある。前者は、大気の430倍もの分子数を有する海洋に平均的に溶解させた後のCO₂濃度は無視できる程度となることを狙ったものであるが、溶解途中でCO₂濃度の高い海域が現れるため、その影響範囲と程度の評価が重要である。これに対し、後者は、深海底の窪地にCO₂を液体として溜めることにより、回りの海洋環境への影響範囲を限定しようとするものであるが、処理深度が前者より深いため、処理コストが若干かさむという欠点がある。このように、溶解法、貯留法ともにそれぞれに問題点を抱えているが、CO₂海洋処理法全般についても、CO₂タンカーを始めとする各種ハードウェアの設計研究、並びにCO₂深海送込管の破損事故などに対する安全対策研究が求められている。

また、行政的には次のような課題がある。一般に、海洋投棄は、国際海事機関(IMO)で定められた方法(ロンドン条約やマーポール条約)に従って行われている。陸上からの投棄を含む海洋投棄全般を規制している現在のロンドン条約では、投棄できない物質が定められており、CO₂はこれまで投棄物質と考えられていなかったこともあり、投棄不能物質のリストには載っていない。溶解法も貯留法もその実行に当たっては、安全性と有効性が確認されなければならないのは当然であるが、少なくとも、現在のロンドン条約で見ると、CO₂の海洋投棄(溶解法と貯留法も、投棄には違いない)は違法とはならない。

ところが、1996年12月8日、IMO総会はロンドン条約をリバースリスト方式(投棄可能物質をリストに載せる)へ移行させる改正案を採択した。この改正条約が発効するには2/3以上の加盟国が批准する必要があるが、これまでのところ、批准国は少数にとどまっている。海洋投棄量が世界一の我が国では、新条約が規制方式を180度転換させることから、環境庁全体の勉強会が続けられている。しかし、いずれは海洋投棄がリバースリスト方式により規制されるものと考えられ、それまでに、CO₂をリストに載せるための十分な科学的バックデータを蓄積しておく必要がある。

Fundamental Study on Flashing Oscillation in Advanced Reactor with Water-Filled

水漬型格納容器を持った新型炉における

フラッシング振動に関する基礎研究

綾 威雄、賞雅寛而、多田恭祐、田村祥一

平成10年5月

Proceedings of the 6th International Conference on Nuclear Engineering

水漬け型格納容器は、軽水炉の受動安全性を高めるとともに小型化を狙った格納方式であるが、その安全性を確認するには、設計基準事故である一次系破断事故時に、原子炉容器内から放出される高温高压水が低温低圧水中でフラッシング・凝縮する未知現象を解明し、それが回りの構造物へどのような力学的影響を与えるかを明らかにする必要がある。そこで、当所は、このフラッシング・凝縮現象を実験的に明らかにするための基礎実験を東京商船大学と共同で行っている。

これまでに、高温水放出口近傍に規則正しい圧力振動(FO: Flashing Oscillation)が生じること、線形解析からその振動周波数は放出流量とプール水サブクール度に依存することなどを明らかにした。

今回、FO発生中の放出流量を計測し、実験データおよび解析から以下の結果を得た。

①FO周波数に及ぼす放出ノズル長さの影響はほとんどない。これは、FO周波数は、フラッシング発生場所(ノズル内あるいはプール水中)に依存しないことを意味する。②放出圧力、放出口径とプール水温の増加は、いずれもプール水中でのフラッシング量の増加をもたらす。フラッシング発生場所を放出口に近づける。このため、フラッシングが放出口より離れて生じるPhase Bは起こらず、もっぱら放出口近傍でフラッシングが生じるPhase Aのみとなる。そして、これらのパラメータをさらに増加させると、FOは発生しなくなる。また、放出ノズルを短くすると、フラッシングによる蒸気泡は発達せず、Phase Bが現れる。これらの事実から、長い放出ノズルを使うことによりFO(Phase AとPhase Bが交互に生じ、それと同期して圧力変動が生じる)の発生を抑制できることが分かる。③上述の各パラメータの効果を現象マップとしてまとめた。④飽和水のガス空間への放出量に関するBaileyの相関式は、今回の実験結果をよく予測できた。プール水サブクール度は放出流量にほとんど影響を与えないが、これは、プール(実炉では格納容器)側の影響は、圧力を除いて、放出流量にあまり影響を与えないことを示唆している。

CO₂ハイドレート膜の解離温度近傍での強度異常 Strength Abnormality of CO₂ Hydrate Membrane just below Dissociation Temperature

綾 威雄、山根健次、波江貞弘、成合英樹

平成10年5月

Proceedings of 35th National Heat Transfer Symposium of Japan

地球の温暖化傾向を緩和させる工学的手段として提案されている「CO₂深海貯留法」が、1997年12月に地球温暖化防止京都会議において先進工業国のCO₂排出量削減割合が当初の予想より高めに設定された結果を受け、従来に増して関心が高まっている。液体CO₂は、4.4 MPa以上、8.7℃以下の海水中では、水分子と反応してハイドレートとなるため、貯留法の実現性を検討するには、ハイドレート生成域におけるCO₂の性質を知る必要があるが、著者らが貯留法の研究を始めた8年前は、相平衡図以外、平衡物性の多くは未測定のままとなっていた。

そのため、著者らは、ハイドレート膜で被われたCO₂液泡の溶解速度やハイドレート生成領域における溶解度を世界に先がけて計測し、当初、難溶性であるとの期待があったCO₂ハイドレートの溶解速度は、溶解性の高い液体CO₂の1/2~1/3にも達すること、及びCO₂ハイドレートの溶解は単にハイドレート共存溶解度に依存した拡散律則となっていることなど、溶解法を含むCO₂海洋処理法全般を評価する上で不可欠なデータを提供してきた。しかしながら、CO₂貯留法の評価に必要なとされるハイドレート膜の強度データは、著者らによる試験的計測値1.3N/mと膜間差圧法によるデータ以外にはなく、また、膜間差圧法によるデータは、CO₂濃度の増加とともに膜強度も増加する傾向が見られるもののバラツキが多く、精度の高い計測法によるデータが求められていた。

そこで、今回、数年前に試験的に計測した表面張力法を改良した方法で膜強度を高精度で計測した。その結果、1~8℃の低温域では温度上昇とともに膜強度は若干減少する傾向が見られるが、解離温度(12.7℃)の少し低温側で、膜強度は低温域の10倍にも達するという強度異常が現れる。このような強度異常はハイドレート研究者の間でも全く予想されていなかった新現象であり、CO₂の海洋処理、とりわけ、高温水域を処理海域とする溶解法の評価にとって極めて重要である。強度異常の生じる原因として、解離温度近傍での水素結合の分解がCO₂分子の拡散移動を容易にすることが考えられる。

Study on Emission Characteristics of Air
Pollutants from Medium-speed
Marine Diesel Engine with Emulsified Fuels

乳化燃料を用いた中速船用ディーゼル機関からの
大気汚染物質の排出特性に関する研究
中島康晴、山谷周二、菊地正晃、桑原孫四郎、
西尾澄人、石村恵以子、張 潔
平成10年5月

Proceedings of 22nd CIMAC International Congress
on Combustion Engines

海洋汚染防止条約(MARPOL)の新しい議定書が国際海事機関(IMO)により採択され、2000年1月1日より船舶からの排出ガスも国際的な規制を受ける見通しとなった。我々は、この規制の対象物質の1つであるNO_xの排出抑制技術として、乳化燃料の使用を検討してきた。本報では、乳化燃料を用いた場合のNO_x及びその他の大気汚染物質の排出特性を検討した。

実験は、4-サイクル中速船用ディーゼル機関を用いて行い、機関負荷率は船用特性および発電機特性に基づいて25%から100%までを25%間隔で変更した。また使用燃料及び燃料噴射ノズルの噴孔径を変更し、排出特性に対する影響についても検討した。

NO_xは乳化燃料の加水率の増加に対して減少した。また、小孔径よりも大孔径のノズルの方が、C重油よりもA重油の方がNO_x低減率は増加した。N₂OはA重油及びA重油を基材とした乳化燃料による排ガス中にはほとんど検出されず、C重油に対しては50ppm程度含まれたが、加水率の増加とともに減少した。COは低負荷域では加水率の増加とともに増大したが、高負荷域では減少した。また、小孔径よりも大孔径のノズルの方が、A重油よりもC重油の方がCO低減率は増加した。HC及びPMは低負荷域では加水率の増加とともに増大したが、高負荷域では顕著な相違は見られなかった。一方、重質な燃料油の使用による影響は、HCには見られなかったが、PMには排出率の増大となって現れた。

乳化燃料の使用は火炎温度の低下によるThermal NO_xの抑制効果を持つが、低負荷域では燃焼の悪化によりCO、HC及びPMの増大を招く可能性もある。乳化燃料に適合した燃料噴射ノズルの使用、並びに燃料の種類及び負荷率に応じた加水率の選択により、これらの増大を抑制すれば船用機関における大気汚染物質の抑制方法として極めて有用と考えられる。

多量の不凝縮ガスを含む蒸気の凝縮に関する研究
A study on the vapour condensation in the presence
of large amount of noncondensable gas

汐崎浩毅、波江貞弘、刑部真弘
平成10年5月
日本船用機関学会
第60回学術講演会講演予稿集

多量の不凝縮ガスを含む蒸気の凝縮現象については、動力装置排ガスからの潜熱回収、CO₂分離技術や、原子炉における崩壊熱除去、2成分混合冷媒サイクルにおける凝縮等に関して注目され、研究が実施されている。

本報告は、これら各分野の凝縮実験の結果について統一的な観点から考察を試みている。これまで比較的研究が少ない乱流気相側の拡散抵抗を主対象とする解析手法について整理し、各分野で行われた実験結果と比較するとともに、新たに主流不凝縮ガス濃度を広範囲に変化させた凝縮実験を実施し考察を行った。

研究結果の概要は以下の通りである。

- (1) 解析結果を整理すると、まず主流及び凝縮界面の蒸気濃度が共に非常に小さい場合は、通常の熱伝達と物質伝達のアナロジーによって水蒸気凝縮量が計算できる。そこから主流蒸気濃度を増加させると、吸込み境界層の影響が大きくなり、単純なアナロジーによる計算値より凝縮量は増大する。さらに、冷却温度を上昇させると、吸込み効果は減少するが、一方界面の蒸気濃度の効果が増大し、総合結果としてアナロジーからのずれは増加する。
- (2) 今回行った実験では、気相流速及び主流の蒸気濃度が比較的高い領域で、解析結果に比べ、蒸気凝縮量が小さくなるという結果となった。原因の一つとして、液膜が凝縮面を一様に覆わずに、高温の乾き部が生じ、これが凝縮面として有効に働いていないことが考えられる。伝熱面材質・物性、曲率の影響を含め、今後検討が必要な課題である。

タービン内再熱水素燃焼ガスタービンの研究

Study on Internal Hydrogen Reheat Gas Turbine

春海一佳、菅 進、平岡克英、井亀 優、

城田英之、森下輝夫

平成10年6月

日本ガスタービン学会誌(1998年6月、vol.26 No.101)

エネルギーの消費において、エネルギー源の将来的確保と地球環境に対する配慮は今や例外なく求められている。水素は再生可能な2次燃料であり、二酸化炭素による地球の温室効果を軽減する次世代燃料として、また、その燃焼がSO₂、炭化水素、COを発生させず、NO_x低減も容易と考えられることから、大気汚染をもたらさないクリーンな燃料として期待されている。

水素は燃料としては、単位質量あたりの発熱量が高く、また燃焼速度が速い。また、高い比熱と熱伝導率を有し、冷却材としての優れた特徴も併せ持っている。水素の持つこれらの特徴を生かして、我々は、タービン内再熱水素燃焼ガスタービンを提案した。この方式では、複数回の再熱を実現することが容易であり、カルノーサイクルと同じ熱効率を有するエリクソンサイクルの等温膨張過程を近似的に実現することができる。

このタービン内再熱を実機により実証するため、我々は単段の試験タービンを製作し一連の実験を行ってきた。製作した試験タービンでは、当初十分な燃焼効率が得られなかったが、改善の方策を講じた結果、再熱用水素がタービン内部でほぼ完全燃焼することを確認し、出力、NO_x排出特性等についての試験データを得た。再熱により出力が上昇すること、またNO_xの排出総量が再熱の有無に関わらずほぼ一定であることを確認した。その後、タービンを分解点検して、高い熱的負荷が予想されていた再熱部を含め、内部に異常が生じていないことを確認した。本論文では、試験タービンの運転試験結果および運転終了後の分解点検結果についてまとめて報告した。

Flashing Oscillation Phenomena Caused by Discharging of High-Pressure Saturated Water into Pool Water

高圧飽和水のプール水中放出に伴うフラッシング振動現象

綾 威雄、賞雅寛而、田村祥一、倉林美積

平成10年6月

Proceedings of the 1st European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting

水漬け型格納容器は、軽水炉の受動安全性を高めるとともに小型化を狙った格納方式であるが、その安全性を確認するには、設計基準事故である一次系破断事故時に、原子炉容器内から放出される高温高圧水が低温低圧水中でフラッシング・凝縮する未知現象を解明し、それが回りの構造物へどのような力学的影響を与えるかを明らかにする必要がある。そこで、当所は、このフラッシング・凝縮現象を実験的に明らかにするための基礎実験を東京商船大学と共同で行い、以下の結果を得た。

- (1) 一定の条件下では、フラッシングが放出口 (Phase A) と離れた場所 (Phase B) で交互に生じ、圧力振動がこれに同期するフラッシング振動 (FO) が生じる。FO時には、Phase Bで鋭い圧力ピークが現れる。
- (2) FOは、フラッシング量と凝縮量とがアンバランスとなることにより生じていると考えられる。
- (3) FOの周波数が放出ベント管長さの影響をほとんど受けないことから、現象を支配するコントロール容積は、フラッシング蒸気泡とその周りのプール水であることが分かる。
- (4) フラッシング蒸気泡を球形でモデル化した線形解析から求められるFO周波数は、放出圧力や放出口径などの実験パラメータの影響をよく説明できる。
- (5) 放出圧力と放出口径の増大、及びプール水サブクール度の低下は、フラッシング量の増加をもたらす。フラッシング位置を放出口に近づける。つまり、Phase Aのみとなり、FOが消滅する。また、短いノズルでは蒸気泡が発達しにくいいため、FO発生の原因であるPhase Bが生じると考えられる。このことから、FO発生の抑制には長いノズルの使用が有効であると言える。
- (6) ノズルからの気体放出に関する相関式 (Baileyの式) は、本実験の飽和水放出量をよく予測できる。この結果は、放出飽和水量がプール水のサブクール度、つまり放出ノズル外部の条件にほとんど依存しないことを示している。

二酸化炭素ハイドレートの代表的な形態

Typical Figures of CO₂ Hydrate

綾 威雄

平成10年 6月

混相流 Vol.12 No.2

回収二酸化炭素の海洋処理が地球の温暖化傾向を緩和させる工学的手段として注目されるようになって10年近くになる。この間、500~900m以深で生じるCO₂ハイドレートの性質に関する研究が各所で始められ、その性質が徐々に明らかとなってきた。例えば、当初、ほとんど溶解しないとの期待があったCO₂ハイドレートが液体CO₂の1/2~1/3もの速度で溶解することや、ハイドレート生成領域の溶解度は低温ほど減少するというガスの溶解度の温度依存性とは逆の性質のあることなど、当所の予測や期待に反する事実が次々と判明した。

このような研究の進展とともに、CO₂ハイドレートの生成に幾つかの形態が存在することが分かってきた。CO₂海洋処理において最も普通に生じるCO₂ハイドレートは、液体CO₂と海水との液々界面に薄膜として生成する。この場合のハイドレートの生成形態は、両液の接触状況により見た目にはかなり異なる。例えば、5MPa中の液体CO₂は清水より軽く、注入口から上昇する。その際、CO₂ハイドレート膜で被われた葡萄の房状のCO₂液泡が離脱を繰り返すが、注入口に振動をかけると、ハイドレート膜が円筒状に成長し、注入ノズルを閉塞する。また、焼結合金を通して注入した場合は、両液の接触面積が飛躍的に増加するため、液泡群が全体として雪のように見えるが、一つ一つの液泡はハイドレート膜で被われており、本質は変わりはない。

もう一つのハイドレート生成形態は、非ハイドレート生成領域にある高濃度CO₂溶解水が冷却された場合に、余剰のCO₂がハイドレートとして析出する場合である。例えば、非ハイドレート領域の高濃度CO₂溶解水中に通されたステンレス管内を、1~2℃の冷水を1時間以上流し続けると、突然、針状のCO₂ハイドレートが管外面に析出する。析出温度に達してからの待ち時間が長いのは、ハイドレートが結晶であることの証である。また、析出の場合は、膜状ハイドレートとは異なり、直径約60μmの針状結晶の内部までハイドレートである。針状ハイドレートは、冷却面で成長するのではなく、植物の芽のように、先端が伸びていることがビデオ映像の検討から判明している。なお、ハイドレートの成長方向が斜め上方に揃っている理由について現時点では不明である。

〈材料加工部〉

ジルコニアのレーザ熱衝撃強度に関する研究

Estimation of Thermal Shock Resistance of Zirconia Ceramics by Laser Irradiation

秋山 繁、千田哲也、天田重庚

平成9年9月

創立100周年記念中国四国支部記念式典・講演会
講演論文集No.975-2

一般に、構造用セラミックスは、高温特性に優れているため、大きな熱流束を受ける苛酷な環境で使用されることが多い。このような環境では、急激な温度変化にさらされるため、熱応力により材料が破壊される危険性がある。そのため、材料の耐熱衝撃特性について十分に検討しておくことが重要である。

当所では、従来より炭酸ガス(CO₂)レーザを用いてセラミックス材料の熱衝撃強度評価法の研究を行ってきた。今回、部分安定化ジルコニアセラミックス(5wt%Y₂O₃ZrO₂)φ50×10t(mm)について、1kw級炭酸ガスレーザを用いて単発照射熱衝撃試験を行い、レーザビームの試験片表面におけるスポット径D(mm)と破壊臨界レーザ出力密度P_c(W/mm²)の関係を求め、ジルコニアセラミックスの熱衝撃強度を評価した。また、熱衝撃試験をモデル化して、有限要素法による熱伝導解析及び熱応力解析を行った。レーザ単発照射熱衝撃試験の結果から、ジルコニアセラミックスの熱衝撃強度は、用いた材料の標準的な物性値を用いて行った有限要素法解析により予測される強度の約1/10以下となった。そこで、走査型電子顕微鏡による試験片の観察を行い、用いたジルコニアセラミックスには、粉末の焼結不良と考えられる試験片全体に分布する50~100μmの初期欠陥が存在することを発見した。さらに、電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)による欠陥近傍の元素分布分析を行ったが、亀裂発生の原因となる元素分布は見つからなかった。結局、ジルコニアセラミックスの熱衝撃強度が、解析による推定値より極端に低下した理由は、初期欠陥の存在であると結論した。また、初期欠陥の存在する場合、レーザ熱衝撃による亀裂発生の確認には、走査型電子顕微鏡や浸透探傷法に比べ、AE信号計測法が有力であることがわかった。

アルミニウム合金A6N01-T5の腐食形態に及ぼす
組織の影響

Influence of Microstructure on the Corrosion
Behavior of Aluminum Alloy A6N01-T5

高橋千織、松岡一祥、千田哲也、柴田俊明、
古谷典子、矢野不二夫

平成9年11月

(社)日本造船学会論文集 第182号

複数のアルミメーカーで船舶用として製造されたA6N01-T5合金実用材を40℃の人工海水中に20日間浸漬し、その腐食挙動について考察を行った。腐食試験後に行った走査電子顕微鏡(SEM)による試料表面の観察では、晶出物が優先溶解したと思われる微細孔食がみられ、一般的な孔食はいずれの試料においても観察されなかった。腐食形態としては、(1)比較的大きな微細孔食による腐食、(2)全面腐食、(3)粒界上に生じた微細孔食がつながって粒界腐食の形態となっているものの3パターンに分類された。光学顕微鏡による組織観察、X線回折分析、電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)による元素分析などによってこれら試料の組織を調査した結果、6N01-T5という同一の規格の範囲内であっても、化学成分や加工・熱処理条件の違いによって組織に大きなばらつきのあることが明らかになった。EPMAによる分析では、特にMgの分布に明瞭な差が見られた。また、X線回折分析の結果から、いずれの試料にもMg₂Siが晶出物あるいは析出物として存在しており、この他には試料ごとに違いがあるものの、AlFeSiの α 相と β 相、Al₆Mnなどが析出していた。すなわち、A6N01-T5材はMg₂Siの析出形態や分布およびAlFeSiやAl₆Mnの有無によって組織が特徴づけられた。この分類は腐食形態のパターンによる分類と対応しており、このような金属組織学的検討が腐食形態の予測に役立つものと考えられる。

ルビーレーザーを用いた超音波発生における
力学パラメータの評価

Evaluation of Mechanical Parameters on
Ultrasound Generation using Ruby-Laser
Deposition

島田道男、吉井徳治

平成10年2月

日本機械学会論文集A

レーザーを用いた超音波の励起・検出技術は、超音波の振幅を材料表面の変位や変位速度として直接微小点で計測するため、従来の超音波計測技術と比較して定量性の面で大きな利点がある。このような定量性を生かした材料評価を行うためには、レーザー照射による超音波発生に関する力学的なパラメータ(レーザー照射による圧力パルスの大きさ、パルス幅、作用面積等)を把握しておくことが重要である。

力学パラメータの検討には、超音波の伝搬損失の影響を避けるため薄板を対象とした計測実験が必要である。伝搬損失の少ない薄板実験では、レーザー照射による超音波の振幅は大きく、光学式ヘテロダイン超音波検出装置に頭打ち現象を生じてしまう。従って、これまで圧電センサや容量型センサを用いた研究が行われてきたが、その性質上検討が十分であるとはいえない。例えば、点での計測ができないことや、周波数特性の影響を取り除くことができない等の問題があった。

著者らは、以前光学式ヘテロダイン超音波検出装置の頭打ち現象を信号処理により回避できることを示した。そこで、本信号処理を用いて、薄鋼板におけるレーザー超音波計測実験を試みた。レーザー照射位置及び板厚をパラメータとして計測した波形データを基に、波形及び空間分布に関する解析を行った。

実験及び数式を使った検討から、圧力パルス波形は変位速度波形に引き継がれ、変位速度波形から圧力パルスのパルス幅や、最大圧力が推定できることが分かった。レーザー出力が2 Jouleの時、圧力パルスの最大値は130MPa、パルス幅80ns、作用面の大きさ24mm ϕ 程度であることが分かった。レーザーのバーンパターンの大きさは3.5mm ϕ 程度であるので、バーンパターンから圧力パルス作用面積の推定はできないことも分かった。

また、振り子を用いた圧力パルスの力積計測実験も実施した。力積値は超音波計測値から予想される値の1/3程度であったが、これは、力積計測実験におけるレーザー受光部が小さかったため、レーザーによる圧力パルスが小さくなったと考えられた。

Investigation of Steel Thickness Measurement by
an Electromagnetic Method using a Step Exciting
Current

電磁的手法による鋼板厚さ測定法の検討

成瀬 健、島田道男、吉井徳治

平成10年 4月

Materials Evaluation (An Official Journal of the
American Society for Nondestructive Testing)

Vol.56 No.5

腐食した部材の残存板厚の測定は、高齢船舶の検査における重要な評価項目である。現在、超音波厚さ計を用いた測定が行われているが、表面を滑らかにするためのグラインダかけが必要であり、作業の効率が悪く十分な点数の測定が困難である。そこで、表面の凹凸に影響されない測定法として、電磁誘導現象を利用した手法について、計測実験と有限要素法によるシミュレーションを実施して検討した。

測定は、鋼板の表面上に位置させた励磁コイルにステップ電流を流し、鋼板を透過する磁界を裏面に位置させた検出コイルで測定する方法である。検出電圧には2つのピークが認められた。第1のピークは、励磁電流のステップ時刻と同時に生じ、第2のピークはステップ時刻より遅れが認められた。これより、第1のピークは、空气中を回り込んでくる直接磁界によるものと考えられた。第2のピークは、鋼板を透過してくる磁界によるものと考えられた。

第2のピークについて、ステップ時刻からの遅れ時間、半値幅、ピーク値が鋼板の厚さの関数になっていることを実験的に明らかにした。また、これらの値が、コイルのリフトオフ（コイルの鋼板の間隙）や励磁電流の大きさから受ける影響についても実験的に明らかにした。ピーク値に比べて、半値幅、遅れ時間にはその影響が小さいことがわかった。

有限要素モデルから計算した検出コイル電圧にも、2つのピークが認められ、第2ピークの遅れ時間、半値幅、ピーク値と板厚との関係についても実験結果を裏付けるデータが得られた。また、実験値と計算値の比較から、透磁率のバラツキによって生じる誤差についても、検討することができた。

Buckling Strength of Lightened Aluminium Hull
Structure

軽量化アルミニウム合金船体の座屈強度

松岡一祥、田中義照、藤田 譲

平成10年 4月

Proceeding of 7th International Conference on Joints
in Aluminium

アルミニウム合金船の外板構造には、5083S-H112による π -セクションが一般的である。しかし、近年、軽量化を目的として、6N01S-T5による薄肉幅広押出材、5083P-H321外板に5083S-H112バルブプレートを溶接して出荷する防撓パネル（プレリブドプレート）などが用いられるようになってきている。そこで、 π -セクション（5083S-H112）、プレリブドプレート（5083P-H321/S-H112）、中空押出材（6N01S-T5）を用いた外板構造模型を製作し、その強度と軽量化効果について実験的、解析的に検討した。また、座屈強度の簡易計算法についても検討した。

それらの結果を比較検討して、以下の結論を得た。

- (1) 簡易計算法、有限要素法および実験値を比較し、簡易計算法の有効性を確認した。
- (2) A5083-H112合金によるパイセクションを用いるなら、現行日本の許容応力110MPaによる設計は適切である。
- (3) 高強度なA5083-H321あるいはA6N01-T5合金を用いた場合、溶接軟化部の耐力を上限とする設計は不適切である。
- (4) 外板をA5083-H321とした場合、その高い耐力を有効に活用するためには、縦方向防撓材の間隔を適切に選択する必要がある。
- (5) 押出中空材構造の座屈強度には、溶接による熱影響軟化の影響が大きい。そこで、座屈強度を上げるためには、長大な塑性関節線の形成を妨げることが有効で、長い溶接ビードはブラケットなどで区切る必要がある。

Fatigue damages in aluminium ships and the
betterment of details

アルミ船の疲労損傷と構造詳細の改善

松岡一祥、石渡 博、平山万太郎、藤田 譲

平成10年5月

Proceedings of The Third International Forum on
Aluminium Ships

近頃、アルミニウム合金船が大型化、高速化する傾向にある。この傾向には、相対的な構造重量の低減が伴う。そのような大型、高速の軽量化船には、今まで経験されなかったような疲労損傷が生じる場合がある。疲労損傷には、荷重、構造詳細、施工品質などの因子が複雑に関係している。本報は、これらのアルミニウム合金船の疲労損傷に対する若干の助言を行ったものである。

前半では、アルミニウム合金船構造における疲労損傷の多発箇所と対策を述べている。

後半では、軽構造高速船に特徴的な損傷として、単胴高速船のチェーン回りの疲労損傷を2例、SES(Surface Effect Ship)の内船側外板とウェットデッキ交差部のクッション圧変動による疲労損傷、および、Wave-piercing船形のウェットデッキスラミングによる損傷を取り上げ、それらの原因と対策を紹介している。

最後に、「アルミニウム合金溶接構造は、鋼溶接構造に比べ重量は1/3であるが、疲労強度も約1/3であり、疲労には特に注意を払う必要がある。しかし、たとえ大規模な疲労損傷が生じて、鋼船のように脆性破壊して、折損、沈没してしまうような事態に到ることはまずない。これは、アルミニウム合金の延展性、靱性によるもので、最終局面まで考えると、アルミニウム合金船の安全に対する余裕は鋼船よりはるかに高いと考えられる。」と結んでいる。

6N01合金溶接継手の耐力

Proof Strength of Aluminium Alloy 6N01 Weldment

松岡一祥、北村 茂

平成10年5月

軽金属溶接構造協会第28回研究発表会講演概要

Mg₂Siの微細な析出物によって強化される6N01合金は、溶接入熱によりMg₂SiがAlに溶出、軟化する。その後、自然時効により強度は若干回復するものの、船舶等の溶接構造物では軟化した溶接継手の耐力が設計上重要である。

本報は、軟化部を含む溶接継手の耐力を取り上げ、施工および合金成分の影響について調査した結果を報告するものである。

22種類の6N01-T5合金の100シリーズの突き合わせ溶接継手の引張試験結果を要因解析し、以下の結論を得た。

- 1) 入熱量Q、板厚Tおよび標点間距離GLの継手耐力に及ぼす影響は $Q/(T \cdot GL)$ で整理できる。
- 2) $Q/(T \cdot GL)$ が大きくなるほど継手耐力は小さくなるが、2500(J/m)/mm²以上では一定になる。 $Q/(T \cdot GL) > 2500(J/m)mm^2$ では標点位置の最高到達温度が370℃以上となり、完全軟化域の耐力を求めたことになる。
- 3) 合金成分の影響では過剰Siの焼き入れ効果による継手耐力の増加が大きい。過剰Si量0.3%程度で40MPa以上の増大が期待できる。しかし、0.3%を超えるとこの効果は減少して行く。
- 4) Cuは0.18%以下で継手耐力を低下させる。
- 5) Mnが0.16%以上ではMn量の増加と共に継手耐力は減少する。Mn量は0.1ないし0.15%以下であることが望ましい。
- 6) Mg₂Si量は継手耐力に影響を及ぼさない。
- 7) Znは極力少なくすることが継手耐力の向上の観点から望ましい。しかし、0.1%以上の場合についてはさらに検討が必要である。

船舶・造船の現状と将来 造船用鋼と非鉄鋼材料
The Present and Future of Ships and Shipbuilding
Steels and Nonferrous Materials for
Hull Structures
松岡一祥
平成10年6月
鉄鋼界 第48巻 第6号

船舶および造船の現状と将来について、構造材料に焦点を当てて解説している。

一般商船と造船用鋼については、1970年代後半からTMCP鋼の使用による軽量化が進み、それによって10%程度の船体重量の低減効果が得られた。しかし、1990年代になると、軽量化による障害が現れるようになった。現在、新しい鋼材の造船への適用は低調である。

鉄鋼以外の船体用材料には、FRP、アルミニウム合金などがある。更にチタンも注目されているが、ここでは軽構造高速船を中心に、アルミニウム合金を取り上げた。アルミニウム合金のプレハブ部材を中心に、その使用例として、ロウ付けハニカムパネルを用いた赤潮調査船「のじぎく」、ステンレス鋼およびアルミニウム合金製サンドイッチパネルを用いたTSL-F「疾風」、および、プレリブドパネルを用いたTSL-A「飛翔→希望」を紹介した。さらに、これらのプレハブ部材に対する造船所の立場について説明した。

アルミニウム合金の使用については、その鋼材との境界が現状では船長100m程度に存在することを示した。

最後にこれからの造船材料がどのように推移して行くかを考えるために、木から鉄そして鋼へと変遷した歴史を辿り、材料、工作法、制度の関係について考察した。

〈装備部〉

水流上のせきとめ油層への油の粘性の影響
Influence of Oil Viscosity to Oil Layer Before
Barrier on Water Flow
上田浩一、山之内 博
平成10年5月
日本船用機関学会第60回学術講演会・講演予稿集

オイルフェンスのような流出油の拡散防止や流出油回収機の回収部での滞留油層の状況を把握することは、漏油の限界流速や、回収の効率を上げるために重要である。我が国ではタンカー等によって運ばれる油の種類は数十種類あり、航路によって温暖な海域から寒冷海域まであり、また揮発成分の蒸発や油が水とエマルジョンにより、流出油の粘性は低粘性から高粘性まで幅広い。従って低粘性から高粘性の油までの滞油油層の状況を把握する必要があり、灯油、B重油、C重油、潤滑油を用いて低粘性から高粘性まで実験的に調べた。滞留油層の状況は油層フルード数と無次元油層長さで整理した。高粘性油の滞油への喫水の影響についても調べ、網による流れの制御により、漏油の限界流速を上げる効果について調べた。

堰部での滞油の漏れの挙動を、油の粘性によって四つの領域に分けて考えた。いずれの場合にも油層フルード数が0.5以下であれば油層は漏れない。油層の状態は無次元油層長さとおよび油層フルード数でほぼ推定できるが、より正確に推定するには油の粘性毎の係数を求める必要がある。1000×10⁻⁶m²/s程度の高粘性油の場合は無次元油層長さとおよび油層フルード数の関係を求めた。堰部に流れによって寄せられた油層の界面に発生する大きな油層の波が堰の下部から千切れて流れる。このとき堰の喫水を深くすることにより漏油を防ぐ効果は少ない。網をオイルフェンスの前部に設置し流れを緩和し渦の発生を抑制すると漏油防止効果は流速（または油層フルード数で）50%程度性能が向上できる。網による流れの制御においても油層は薄い場合、その喫水を深くしても効果は少ない。

**Oil Containment on Water Currents and a Method
of Prevention of Escaping Oil with Net**

水流上の油の堰き止めとネットによる漏油防止

上田浩一、山之内 博

平成10年6月

Environment Canada, Emergencies Science Division
Proceedings of 21st Arctic and Marine Oilspill
Program Technical Seminar

オイルフェンスのような流出油の拡散防止や流出油回収機の回収部での滞留油層の状況を把握することは、漏油の限界流速や、回収の効率を上げるために重要である。我が国ではタンカー等によって運ばれる油の種類は数十種類あり、航路によって温暖な海域から寒冷海域まであり、また揮発成分の蒸発や油が水とエマルジョンにより、流出油の粘性は低粘性から高粘性まで幅広い。従って低粘性から高粘性の油までの滞油油層の状況を把握する必要があり、種々の油を用いて低粘性から高粘性まで実験的に調べた。滞留油層の状況は油層フルード数と無次元油層長さで整理した。高粘性油の滞油への喫水の影響についても調べ、網による流れの制御により、漏油の限界流速を上げる効果について調べた。模型実験は幅45cm、深さ45cm、長さ782cmの回流水槽及び一部は幅3.8m、深さ4.1m、長さ60mの回流水槽で行われた。

堰部での滞油の漏れの挙動は、油の粘性によって四つの領域に分けて考えた。いずれの場合にも油層フルード数が0.5以下であれば油層は漏れない。油層の状態は無次元油層長さとお層フルード数でほぼ推定できるが、より正確に推定するには油の粘性毎の係数を求める必要がある。1000×10⁻⁶m²/s程度の高粘性油の場合は無次元油層長さとお層フルード数の関係を求めた。油量がある程度以上になると油層の状況は流速で表すよりも油層フルード数で表現する方が、模型の大小にかかわらず同じ直線で表せる。水流速が速くなると堰部に流れによって寄せられた油層の界面に発生する大きな油層の波が堰の下部から千切れて流れる。このとき堰の喫水を深くすることにより漏油を防ぐ効果は少ない。網をオイルフェンスの前部に設置し流れを緩和し渦の発生を抑制すると漏油防止効果は流速（または油層フルード数で）50%程度性能が向上できる。油層は薄いため、ネットも喫水を深くしても効果はなく、表面流を制御すればよい。

〈システム技術部〉

実船調査による航行環境評価指標の解析

**The Research on the Analysis of Evaluation Index
for Navigation Environment by Actual ship Survey**

有村信夫、勝原光治郎、室原陽二

平成9年10月

日本航海学会論文集 第98号

輻輳海域を航行する内航船舶では、航行の安全性確保と操船者の見張り作業の負担軽減を図る衝突予防支援装置の改善対策が課題となっている。

本発表では、衝突予防支援装置の判断支援機能を改善するために、実船に搭載した衝突予防援助装置(ARPA)で航行船舶の航跡データを平成元年から9年間に渡って集積して、航行環境の安全性を評価する指標の要素に関わる避航領域の解析と検討を行ったものである。

考察では、実態調査の航跡データを基に、接近速度に対する相対航跡密度分布を統計的に解析して、衝突危険船舶に対する避航領域と、避航操船後の航過領域を調べた。また、避航領域の解析は見会い状態(反航船、同航船、横切り船)と航行海域(沿岸航行海域、輻輳航行海域、狭水道航行海域)に対して行った。

考察の結果、避航領域は航過領域に比較して1.5倍大きく、接近速度と船舶の諸元性能特性(船舶長、停止性能、旋回性能)に大きく依存していて、また、航行海域によっても避航領域の大きさが異なることが判った。

さらに、避航操船時の接近速度に対する接近余裕時間の採り方は船の大きさや速度及び航行海域によって異なることが判った。

すなわち、避航領域は船の大きさや接近速度及び船舶の停止性能特性をパラメータとした一般式で推定できることを示した。

この避航領域の推定方式は、基準避航領域や航行の安全性を評価する指標の判断要素として使用可能である。

確率論的安全評価手法
Probabilistic Safety Assessment

松岡 猛

平成10年3月

電気学会研究会生産設備管理研究会講演予稿集
平成10年電気学会産業応用部門全国大会講演予稿集

化学プラント等大規模システムの安全管理のためには確率論的安全評価 (PSA) が有用な手法と考えられる。本報告では、PSAにおいて主要な位置を占めるシステム信頼性解析手法GO-FLOWの概要説明を行い、次に解析例としてJR新幹線の自動列車制御装置 (ATC) を取り上げ、その解析結果について述べている。

ATCとは、先行列車との間隔および進路の条件に応じて、運転室内に列車の許容速度を表示するとともに、列車がその制限速度以上となれば自動的にブレーキが働いて、列車を安全に停止させるものである。許容速度の決定、列車上における制限速度の検出には冗長系を用い信頼性の向上を図るとともに、万一制限速度が得られない場合はフェイル・セーフによりブレーキが働く機構となっている。

ATCの制御回路図をもとにシステム動作・故障をGO-FLOWチャートにモデル化した。システムを構成する機器・部品の故障率は、主として平成8年度の山陽新幹線における関連事故情報に基づき推定した。

解析の結果、ATCのシステム信頼度の時間に伴う推移がGO-FLOW手法により容易に求められることが示された。信号処理系は十分な信頼度を有していると考えられ、電源系、ブレーキ系、地震・降雪等の外部的要因のシステム信頼度に対する影響は大きいと考えられる。

事故を引き起こさない安全確保のためにはブレーキ系の動作の信頼度が重要であると言える。

船上の避難行動のシミュレーション - II
Simulation of Human Escape on Board - II

勝原光治郎、亀山道弘、宮田 修、高杉喜雄、
阪根靖彦

平成10年3月

日本航海学会論文集 第98号

旅客船が災害に遭遇し乗客が船から脱出をしなければならないとき、避難行動には2通りのパターンがある。1つは、避難経路を乗客自らが選択しなければならないケースと、予め定められた経路に従って避難するケースである。前者はI報で述べ、今回は後者の場合である。

航海訓練所練習船「青雲丸」で平成6年度から3年間、計8回の実験結果について、シミュレーション計算結果がよく一致することを確かめた。

そこで定員が乗船した場合について、避難経路を与え、シミュレーションを行った。滞留場所に滞留人数比例の円を描くとともに、現行規則が滞留時間約60秒以内という趣旨と解釈し、同時間を越えた場合にアラームが出るようにした。また人の流出速度と密度に関する経路の分析によってどの場所で経路が飽和しているかを表示するようにした。また、各個人毎および避難経路毎に避難時間を求め、避難時間曲線を描かせた。そして、避難経路の案に対してこれを実行し、避難時間の最も短い最適避難経路を求めた。

このように本シミュレーションは現行規則を遵守しているかの確認のみならず、より高度の避難安全確保のための情報提供を示した。

航空機リモートセンシングによる海上浮遊物の
探索技術について

Study on Detection Technique for Floating Targets
by using Airborne Remote Sensing

桐谷伸夫、松倉洋史、金井康二

平成10年3月

日本航海学会論文集 第98号

海難事故の発生により海上を漂流する救命いかだなどを捜索する手段としては、船舶や航空機からの目視やレーダによる観測が主たる手段である。航空機による観測では、その機動力より広範囲の海域を効率的に捜索することが可能であり、迅速な対処の要求される捜索業務において有効な手段であるが、十分な捜索効果を得るまでには至っていない。もとより捜索業務に係わる我が国関係機関の観測員の能力や使命感は極めて高いものであるが、目視観測では人間としての生理的な制限などを受けるものである。そこで、捜索結果の信頼性向上のためにも対象海域を連続的に監視し、目標物を自動的に抽出・判断して観測員への情報提供を実施して捜索業務の支援を実現する「海上監視支援システム」の研究開発が開始された。

現在まで開発されたシステムの機能モデルでは、可視光RGBカメラと赤外線カメラ画像による4チャンネルのデジタル・データを入力とする画像情報収集装置が試作され、これまでに伊豆下田沖を実験海域として実物の小型救命いかだを漂流させた飛行観測実験を2回実施した。画像処理を実行する機能モデルのソフトウェアでは、可視光RGB画像データによる色情報を用いた目標物探索・認識アルゴリズムの試作と評価を実施した。採用したアルゴリズムは、RGBそれぞれの色輝度のコンビネーションを導入したしきい値処理と雑音処理のためのフィルタリング、目標物抽出のラベリング処理、そして目標物認識処理から成るものであり、これらの手順によるアルゴリズムが十分に機能することが明らかとなった。しかしながら、パフォーマンスとしては約3秒間隔の動作となっており、目標とするシステムがリアルタイムでの動作を目指していることから、更なる高速化と高信頼度化を進めることが課題である。また、マルチメディア情報により捜索業務の効果的な支援を実現するためには、ヒューマン・インターフェースの検討などがプロトタイプ・モデルによる実証実験に向けての課題と考えられる。

船舶信頼性情報を利用したフォールトツリー・
モデルとGO-FLOW解析の検討

Study of Fault Tree (FT) Modeling and GO-FLOW
Analysis by using Ship Reliability Investigation
Committee (SRIC) data

桐谷伸夫

平成10年4月

The Journal of The Marine Engineering Society in
Japan Vol.33 No.4 1998

船舶信頼性調査委員会により1982年より開始された船用機器の信頼性調査は、同委員会の10年にわたる活動後も運輸本省と船舶技術研究所システム技術部を事務局として継続実施されている。現在までに収集・整理された船用機器の故障情報などに関するフィールド・データの総数は約11万4千件であり、船舶信頼性データベース(SRIC Database System)として運用され、船用機器の信頼性解析や評価が行われている。

船舶信頼性委員会の活動として実施された信頼性情報の解析例としては、標準の推進プラントを想定してフィールドデータに基づく各機器の故障率を導入したフォールト・ツリー解析(FTA)などがある。採用された推進プラントFTモデルでは、種々のサブシステムが複数OR接続され、トップイベントには「ディーゼル主機関正常運転に異常発生」が設定されている。本論では、最新の故障情報を導入したFTモデリングの検討、およびシステム信頼性解析手法として有効なGO-FLOW手法を用いたシステムのモデリングについて検討した。GO-FLOW手法は、船舶技術研究所システム技術部松岡らによって開発されたシステム信頼性解析手法のひとつであり、対象システムを構成する各種機器の故障を表現するオペレータと、それらを結ぶ信号線によってモデルを作成して信頼性評価を実施するものである。すなわち、モデル化されたオペレータに対して故障発生に関わるデータを与え、信号線を通る信号を処理することによってシステムの動作を検討するものであり、燃料油や空気、動力や電気信号などの具体的な流れによって表現される機関部モデルへの適用が有効と考えられる。

安全な運航に致命的な影響を及ぼすような重故障の発生低減は必須条件であるが、故障自体が直接的に運航へ大きな影響を与えるものではなくとも、その修復に人員と時間の投入を必要とするような故障もまた副次的に航行の安全を阻害する大きな要因と考えられる。SRICデータベース・システムとして構築された船用機器の故障情報を信頼性評価の指標であるManning Index(配員指数:故障率と処置工数の積)により整理するならば、安全な運航を阻害する人的時間的な損失としては、補機系機器故障が最も大であることが指摘される。