

所 外 発 表 論 文 等 概 要

アルミナ摩耗面のTEM観察 TEM Observations of Wear Surface of Alumina

川越 陽一、高橋 千織、古谷 典ゆき、
千田 哲也、足立 幸志
平成15年10月

機械学会第11回機械材料・材料加工技術講演会

アルミナは化学的に安定で、かつ高硬度、高強度という特性を持つため、耐摩耗材料への適用が期待される。アルミナは、同種材料の滑り摩耗において、室温と800℃以上の高温で、比摩耗量が $10^{-6}\text{mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$ 以下という優れた耐摩耗性を示すことがある。一方で、荷重が高い場合には同じ室温でも亀裂を発生させて $10^{-5}\text{mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$ 以上の高い比摩耗量を示すこともある。高温では表面に微細粒子の層が観察され、摩耗減少に寄与するとされている。一方、室温のマイルド摩耗状態に関しては、水酸化アルミニウムの形成がみられるとの報告はあるが、そのメカニズムは明らかではない。そこで、室温で同種材料同士($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$)のすべり摩耗試験を行い、低摩耗現象がみられたアルミナ試料について、摩耗面近傍の透過型電子顕微鏡(TEM)による観察と分析を行い、表面近傍の微細構造の変化から、摩耗のメカニズムを考察した。

室温で摩耗試験を行ったアルミナ試料について、摺動部を走査型電子顕微鏡(SEM)とTEMによりそれぞれ観察した。SEMによる観察では、摺動部は一部に亀裂が見られるものの、全体が平滑化されている。TEM観察から、室温において摩耗試験を行った試料は、その摺動部最表面に通常では見られなかった膜状構造が生じていることが分かった。その最表面の膜状構造の直下にはいくらかの転位が見られる領域があり、さらにその内側(十分に表面から離れた領域)は、オリジナルの結晶から殆ど変化の見られない組織からなる領域であった。それら各領域で電子線回折像を撮影した。最表面の膜状構造の回折スポットはリング状につながっており、この膜状構造が、アモルファスに近い極微細粒構造であることが推測される。転位が観察された領域(最表面の膜状構造の内側の領域)での電子線回折像では、回折パターンにひずみがみられたが、さらに内側の十分表面から離れた領域では殆どひずみの無い結晶であった。

摩耗面に生じたこの膜状構造が何らかの潤滑作用、あるいは応力分散の働きを持ち、結果的に摩耗量を抑える効果を持つのではないかとと思われる。

ポッド型推進器を装備した船舶の操縦性能基準に関する一考察

A Study on Manoeuvrability Standards for a Ship
with a Pod Propulsion System

原口 富博
平成15年8月
Proc. of MARSIM'03

国際海事機関(IMO)の第44回設計設備小委員会(DE 44)では、ポッドを装備した小L/B、高B/d船が針路安定性基準を満足しないことから変形Z試験による針路安定性能の評価法が提案された。そこで、本論文ではポッドを装備した船と在来型推進器船の比較検討を行い、ポッドを装備した船の針路安定性能に関する操縦性基準について考察した。

まず、在来型推進器船と(以後在来船と称する)とポッド型推進装置を装備した船(以後ポッド船と称する)の操舵角 10° および 20° の変形Z操縦試験および $10^\circ/10^\circ$ および $20^\circ/20^\circ$ Z操縦試験のオ-バ-シュ-ト角をシミュレーションにより求めて比較し、後者の試験法の方がオ-バ-シュ-ト角が大きく、個々の船の性能の違いがより明確になることを示し、変形Z操縦試験よりも現在の操縦性基準で定められた試験法が性能評価法としては適切であることを述べた。

また、在来船($L/U=31\text{sec}$)のうちV型船尾を有する船、およびポッド船のうちセンタ-スケグおよび原型から50%面積を増やしたストラットをつけたモデル船は、それぞれ不安定ル-ブ幅 8.4° および 8.9° を持っている。在来船Aのシミュレーション計算結果では、舵面積を単純に20%増やすとル-ブ幅が 6° となり、IMO決議A751(18)の針路安定性および回頭制動性能のオ-バ-シュ-ト角基準を満足することができる。一方、ポッド船($L/U=14.1\text{sec}$)のシミュレーション計算結果では、ストラットの面積を原型の1.5倍から2.5倍に増やすとル-ブ幅が 6° となりほぼIMO決議A751(18)を在来船同様に満足できる。従って、今回のシミュレーションモデルの場合在来船もポッド船も同様な不安定ル-ブ幅を持てば、即ち同様な針路安定性能を有すれば、IMO決議A751(18)で示された $10^\circ/10^\circ$ および $20^\circ/20^\circ$ Z操縦試験のオ-バ-シュ-ト角の基準を満足できることが解った。このことからこの基準はポッド船に対しても在来船と同様のレベルにあることが解った。

さらにポッド船と在来船を同じ $L/U=14.1\text{sec}$ で比較した場合、在来船の操舵速度が $L/U=31\text{sec}$ の時と同じため、ポッド船よりも在来船に対して基準レベルは厳しくなることが解った。

複雑形状遮蔽壁後部におけるストリーミング放射線量空間分布

Spatial Dose Distribution of Streaming Radiation Behind Shield Irregularities

三浦俊正、平尾好弘、佐藤 理

平成 15 年 9 月

日本原子力学会「2003 年秋の大会」予稿集

遮蔽設計においては複雑形状遮蔽欠損部をストリーミングする放射線に対し、欠損部出口から離れた遮蔽壁後部空間内評価点で線量計算を行う必要がある。遮蔽設計で使用される簡易計算法では、欠損部出口での放射線量を計算する手法は開発されているが、遮蔽壁後部放射線量分布を計算する方法はほとんどない。そこで、ストリーミング放射線線量の遮蔽壁後部空間内分布簡易計算法の開発のために必要な直円筒ダクトに関するデータベースを作成するため、直円筒ダクトを有する普通コンクリート遮蔽壁に対して壁後部空間での線量分布を MCNP モンテカルロ計算コードで計算した。線源放射線としては速中性子、中速中性子、熱中性子及び 1.25MeV のガンマ線の 4 種類とし、それらはダクト軸に対し、0, 15, 30, 45 及び 60 度の入射角度で遮蔽壁全面に平行入射させた。いずれの計算の場合も遮蔽壁の直径は 10 m とし、その厚さは 50, 75, 100 及び 150 cm と変えた。放射線の検出器は面検出器とした。すなわち、遮蔽壁から 3 m までの範囲において 50 cm 間隔で、それぞれ直径 8 m の面を設定し、各面には半径方向には 10 cm 間隔、円周方向には 10 度間隔でそれぞれ 40 及び 36 分割し、1440 個の面検出器を設定した。計算結果の一例として速中性子が口径 40 cm のダクトを有する厚さ 100 cm の遮蔽壁に角度 30 度で平行入射した場合を調べると、中心軸上が線量の減衰が最も少なく、ダクト出口からダクト軸に対し極角 45 度での 4 つの方位角 (0, 90, 180, 270 度) 方向では方位角が 180 度で線量の減衰が最も少ない。また、各方向の線量から壁透過成分を差し引くと、いずれの場合も漸近的に距離の逆自乗で減衰していることが明らかとなった。今後は、同様の計算を直スリット、円環ダクト等に対しても行い、データベースを完成させ、対応できる線源条件と複雑形状部の幾何条件の範囲を広げる。線量簡易計算は欠損部出口でのストリーミング線量にあわせてデータベースの数値を内挿あるいは外挿計算し、二次ガンマ線を含めて計算が行えるようなものにする。

円形水槽の造波特性について

Wave Making Properties of Circular Basin

前田克弥、細谷徳男、田村兼吉、安藤裕友、

久松勝久、佐伯延博

平成15年11月

西部造船会会報第107号

波浪水槽の全壁面に吸収型造波装置を設置した場合の利点としては、従来必要であった消波ビーチなどが不要なために水面全体を有効に利用できること、反射波の影響が無いことから長時間に渡って実験が可能であること、より実海域に近い多方向不規則波を再現することが可能であること等が挙げられる。このような背景の元、海上技術安全研究所では、有効直径 14m、水深 5m の円形で、全周にわたり A/C サーボモーターによるフラップ式の造波装置 128 機を備えた波浪水槽を 2002 年 4 月に完成させた。本円形水槽は当研究所において新たに「深海技術」の領域における研究を行うために整備した最大水深 35m の深海水槽における水面部分を受け持つものであり、その役割は言うまでもなく実海域波浪場を再現することにある。

そこで本稿では、円形水槽に置いて水槽実験を行うための基礎データとして、1) 水槽内における規則波の波高分布、2) 水槽中央部における波高及び位相の時間変化、3) 不規則波のパワースペクトル及び方向分布形状について検討を行った。

その結果は以下の通りである。

- 1) 水槽内における規則波の波高分布について計測を行った結果、波周期が 0.8 秒以下の場合では水槽中央部半径 2.0m 以内、それ以外の波周期では半径 4.0m 以内が模型実験の際の有効直径であることを確認した。
- 2) 規則波の波高及び位相の時間的な変化については、波周期が 0.8 秒以下の場合では造波開始から 7 分程度であれば安定した計測が可能である。それ以外の場合では 20 分以上、安定していることを確認した。
- 3) 一方向不規則波におけるパワースペクトルの計測値と目標値とはよく一致する結果が得られた。また多方向不規則波の場合においても、方向分布及びパワースペクトルは目標値とよく一致しており、本水槽における造波及び吸収制御が有効に機能していることが確認できた。
- 4) これらの結果より、本水槽を用いた実験においては、模型の大きさと主要な波周期の選定に注意する必要があるが、反射波に留意することなく長時間にわたって計測が可能であることを確認できた。

Flow Computations of a Ship with a Podded Propulsor

ポッド型推進器を装備した船体周りの流場計算

大橋 訓英、日野 孝則、右近 良孝

平成15年 9月

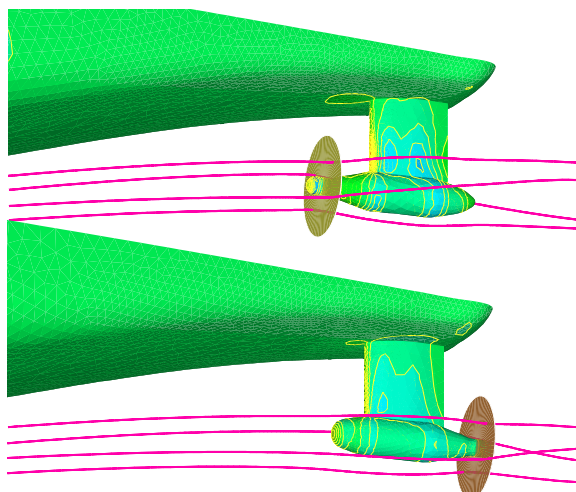
数値曳航水槽シンポジウム(NuTTS'03)

近年、ポッド型推進器を装備した船舶の建造が増加しており、ポッド型推進器を考慮した性能推定が重要となっている。

非構造格子法を用いたCFD (Computational Fluid Dynamics) は、船体にポッド型推進器が装備された状態のような、複雑形状周りの流場計算に適しており、推進性能を推定する際に非常に有効な手法であると考えられる。本論文では、海上技術安全研究所で開発された非構造格子用CFDコードにより、ポッド型推進器を装備した船体周りの流場計算を行い、計算結果と実験結果を比較することにより本手法の有効性を検討した。

対象とした船型はポッド型推進器を装備できるよう船尾形状変更が行われた内航貨物船である。まず、曳航状態において、トラクタ型とプッシャ型について、計算結果と実験結果の比較を行った。その結果、形状影響係数については実験結果よりやや大きくなる傾向があるものの、概ね実験結果と一致した。

次に自航状態における比較を行った。なお、プロペラ影響は体積力分布により表した。自航状態では、トラクタ型の推力減少係数及び有効伴流係数が、プッシャ型より低くなる傾向を示すことが実験で確認されているが、計算においても同様の傾向が再現でき、本手法の有効性を確認した。また、今回計測されていない船体及びポッド表面の圧力分布等、設計に使用できる情報を得ることができた(下図)。



船体表面圧力分布及び流線

(上：トラクタ型，下：プッシャ型)

圧縮荷重がメタンハイドレートペレットの分解に及ぼす影響

Effect of Compressive Loading on Dissociation of Methane Hydrate Pellets

疋田賢次郎、岩崎 徹、太田 進

平成16年 3月

日本航海学会論文集 第110号 (予定)

天然ガスをハイドレート化し、さらにペレット化する天然ガスハイドレートペレット(Natural Gas Hydrate Pellet : NGHP)は、様々な規模のガス田から天然ガスを輸送する手段になり得る可能性がある。そのため、(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構の委託により、三井造船(株)及び大阪大学と共同で三年計画の研究を実施している。

NGHP海上輸送の基礎として、三井造船(株)がNGHPの大量生産の研究用に天然ガスの主成分であるメタンを用いて製作したメタンハイドレートペレット(Methane Hydrate Pellet : MHP)を使用し、自己保存性について試験を行っている。自己保存性のメカニズムについて明確な定説は無いが、一つの説は、「MHの分解により生成された氷の膜により、内部の圧力が保たれることにより、MHの分解がおさえられる」というものである。氷の膜が自己保存性に影響を及ぼしていると考えれば、この膜に荷重が作用することによって亀裂が入れば、自己保存性は変化すると考えられる。一方、船倉内に積載された貨物には、船倉に作用する加速度に応じて貨物の自重による荷重が作用する。そのため、圧縮荷重条件下におけるMHPの自己保存性についても確認を要する。

試験時の設定温度は、これまでの研究から海上輸送の可能性がある -20°C とした。試験結果を縦軸は重量変化率、横軸は圧縮荷重で下図に示す。重量変化(減少)は、包蔵されたガスが分解し放出したことによると考えられることから、試験より以下の結論が得られた。

NGHPの海上輸送の可能性がある約 -20°C の温度において、船体運動及び貨物の自重に相当する静的な圧縮荷重が作用してもMHPの分解が、荷重の無い状態での分解に比べて大きく増加しないこと、即ち、MHPの分解に静的な圧縮荷重が及ぼす影響は、NGHPの海上輸送という観点からは、支配的な因子ではないことを確認した。

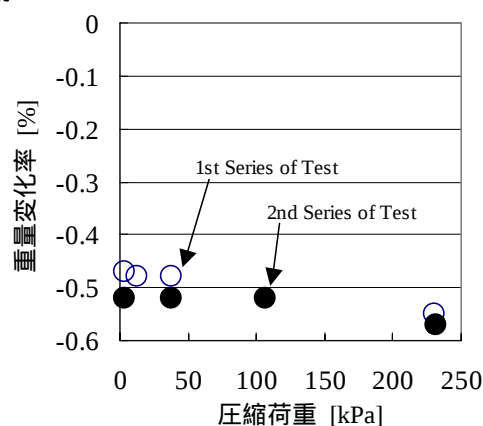


図 圧縮荷重と重量変化 (設定温度 -20°C)

小型漁船の機関室火災に関するリスク解析

Risk analysis on fire in engine rooms of small fishing vessels

吉田公一 太田 進、林 和男

平成15年9月

日本火災学会誌「火災」第265号

IMO では Formal Safety Assessment (FSA) と呼ばれる規則改正のためのリスクベースの検討手法について指針をまとめており、この中で、「FSA は、人命、健康、環境、財産の保護を含む海上安全の確保を目的とした、リスク及び費用対効果の評価に基づく体系的手法である。」としている。これまで船舶の分野においては、人命に関するリスクの評価は試みられているが、財産に関するリスクの評価は実施例が少ない。本研究の目的は、財産に関するリスクの評価の例を示すとともに、人命や環境のリスクを無視しても費用対効果の面で有利となる安全対策の検討方法を示すことである。

そこで、対象船舶として19総トン型漁船(「19 GRT 漁船」)を取り上げ、機関室火災について検討し、人命や環境のリスクを無視しても費用対効果の面で有利となる安全対策を模索した。

まず、19 GRT 漁船の機関室火災の発生確率は 5.6×10^{-4} 件/(隻・年)と推定できた。また、事故例を解析・検討し、電線火災、配電盤火災、機関油火災などの代表事故シナリオを抽出し、そのリスクを算定した。さらに、19 GRT 漁船の新造時の船価は魚種によっても異なるが、調査に基づき1.2億円と仮定した。事故一件当たりの平均の損害額は3,587万円、事故発生確率、 5.6×10^{-4} 件/(隻・年)を考慮し、安全対策を実施する前のリスクは、約2万円/(隻・年)と推定した。リスク低減措置として、配電盤の検査強化、固定式火災探知装置、固定式(泡)消火設備及び機関室外部からの消火用配管を考え、想定される財産リスク低減量とそのためのコストを比較した。即ち費用対効果を実人命や環境に関するリスクを無視して検討し、財産に関するリスク解析及び費用対効果の解析の一例を示した。また、安全対策のリスク低減効果の見積りが費用対効果に寄与することも示した。

プラズマ溶射したNi-C基およびCo-C基合金溶射皮膜の組織と特性

Structures and Properties of Plasma Sprayed Ni-C and Co-C Base Alloys Coatings

村上健児、星山康洋、三宅秀和、中嶋英雄

平成15年10月

日本機械学会 第11回機械材料・材料加工技術講演会論文集

炭化物粒子を分散させたNi基およびCo基複合材料は、高温での耐摩耗性や耐食性に優れており、溶射皮膜として種々の用途に利用されている。これらの溶射粉末は、炭化物粒子とニッケル合金とを、あるいは炭化物粒子とコバルト合金とを複合化させて作るのが一般的である。これに対して、本研究ではアトマイズ法で作製したNi-(0,14,29)wt%Cr-1.5wt%C合金粉末、およびCo-(0,14,29)wt%Cr-1.5wt%C合金粉末を減圧プラズマ溶射して、皮膜中のマトリックス中に微細な炭化物粒子をその場生成させ、得られたNi基およびCo基複合皮膜の組織および特性を評価した。

Ni-29Cr-1.5C合金、Co-14Cr-1.5C合金およびCo-29Cr-1.5C合金を水冷基板上に溶射した場合、皮膜は溶射中に基板から剥れるので調査に適した皮膜は得られなかった。水冷基板に溶射された合金液滴は $10^5 \sim 10^8$ K/s の冷却速度で凝固するため、as-sprayed皮膜の構成相はNi-1.5C合金とNi-14Cr-1.5C合金では合金元素を過飽和に固溶したNi相となり、Co-1.5C合金ではCを過飽和に固溶した非平衡 β -Co相となる。水冷基板に溶射したNi-1.5C合金やCo-1.5C合金のas-sprayed皮膜を熱処理したとき、あるいはこれらの合金を冷却しない基板上に溶射したときには、Cが黒鉛として析出する。一方、水冷基板に溶射したNi-14Cr-1.5C合金では、熱処理によってクロム炭化物がスプラット内部にほぼ均一に析出し、熱処理温度が高くなるとクロム炭化物は粗大化する。冷却しない基板に溶射したCr含有合金皮膜にはクロム炭化物が析出しており、Co-29Cr-1.5C合金皮膜の炭化物が最も粗大である。

水冷基板上に形成されたas-sprayed皮膜の硬さは熱処理温度の上昇とともに概ね単調に減少する。このことはas-sprayed皮膜における過飽和固溶体や微細結晶粒の形成が硬さに大きく寄与していることを示す。皮膜の硬さはCrの添加によって上昇し、冷却しない基板に溶射したNi-29Cr-1.5C合金とCo-29Cr-1.5C合金皮膜のマイクロビッカース硬さは600以上となる。

冷却しない基板上に溶射した硬さの高いCo-29Cr-1.5C合金皮膜とNi-29Cr-1.5C合金皮膜、および比較のために耐摩耗用に使われているSUS402J2皮膜について摩耗試験を行った。両合金皮膜の硬さはほぼ同じであるが、摩耗量は炭化物が粗大なCo-29Cr-1.5C合金皮膜の方が約6倍多い。Ni-29Cr-1.5C合金皮膜はSUS402J2皮膜に比べて約3倍耐摩耗性に優れている。

溶射された金属材料が大気中を飛行するときの酸化と溶射皮膜構造

Oxidation of Thermal Sprayed Metallic Materials during Flying in Air and the Coating Structures

村上健児、藤田直也、足立振一郎、
中嶋英雄、三宅秀和

平成15年11月

第3回先端工業材料の設計、製造および特性に関する
国際シンポジウム プロシ - ディングス

金属溶射皮膜の特性は皮膜を構成する個々のスプラットの特性、スプラット間の密着力、気孔の量と形態、皮膜と基材の密着力、酸化物の存在などに依存する。溶射材料はフレ - ムに巻き込まれる大気中の酸素によって一部酸化され、また燃焼フレ - ムを熱源とする場合には酸化剤中に含まれる酸素などによって一部酸化され、この酸化物が皮膜中に取り込まれる。これらの酸化物は皮膜の気孔率を増加させ、また皮膜を脆化させることがある。しかし、金属酸化物は一般に硬さが高いので、酸化物の量、形態および分布を制御することができれば、皮膜の有用な構成要素として利用することができる。本研究では、Cu、Ni-20wt%Cr合金およびFeを大気中で溶射し、生成する酸化物の形態と、熱処理によるその変化を調べ、形態変化の機構を提案した。

アーク溶射されたCu液滴は飛行中に酸素を溶解し、基板上で急速凝固して、酸素を過飽和に固溶したCuから成る皮膜を形成する。この皮膜を熱処理すると非常に微細な酸化銅がスプラット内部に析出する。熱処理温度を高くすると個々のスプラット内部の酸化銅は消失し、積層したスプラットの界面に板状の酸化銅が形成される。Ni-Cr合金のプラズマ溶射皮膜は合金層と酸化クロム層が交互に積層した構造を持つ。この酸化クロム層と上記の板状酸化銅は高温での熱処理でネッキングを起こし、粒状化する。一方、Feをプラズマ溶射して得られた皮膜のマトリックスは酸化鉄であり、この中に長く粗大なフェライト粒子や微細なフェライト粒子が分散している。皮膜が形成されるとき冷却速度が非常に大きいので、フェライトは酸素を過飽和に固溶しており、また酸化鉄マトリックスには非平衡な Fe_{1-x}O が含まれている。このため、皮膜を熱処理するとフェライト粒子内に微細な酸化鉄が析出し、また酸化鉄マトリックス中に微細なフェライトが析出する。さらに高温では粗大なフェライト粒が細かく分断される。Cu皮膜、Ni-Cr合金皮膜およびFe皮膜における酸化物相やフェライト粒の分断・粒状化は、酸化物相 / 金属相間の界面エネルギー - 、および各相内の粒界エネルギー - が駆動力になっていることを明らかにした。

ニッケル溶射皮膜の構造、機械的性質および熱伝導率

Structures, Mechanical Properties and Thermal Conductivity of Thermal Sprayed

Nickel Coatings

村上健児、中嶋英雄、松本弘司

平成15年11月

第12回溶射総合討論会概要集

著者らは、合金を溶射するとき皮膜を適度な高温に保つと、皮膜内積層構造の層間結合力が高まると同時に各層内には微細な組織が得られ、これらの結果として皮膜の硬さ、引張強さおよび耐摩耗性が著しく向上することを示してきた。層間結合力向上のメカニズムを調べるには、合金に比べて単純な組織が得られる純金属を溶射材料として用いることが望ましい。本研究では比較的酸化しにくい純Ni粉末を減圧プラズマ溶射し、溶射時の皮膜温度や熱処理条件が皮膜組織、機械的性質および皮膜に垂直方向の熱伝導率に及ぼす影響を調べた。さらに、層間結合力向上に効果的と考えられる皮膜表面の再溶融条件を数値計算によって求めた。

溶射中の皮膜を約600K以下に保って作製した皮膜断面では厚さ約2.5 μm の個々の層が明瞭に識別され、各層はそれに垂直な直径約0.4 μm の微細柱状晶からなっている。この皮膜に1273Kで3.6ksあるいは1573Kで360sの熱処理を施すと積層構造と微細柱状晶は消失し、皮膜は10 - 20 μm の寸法の等軸晶から構成される。この皮膜には数ミクロンの大きさの粒状気孔が見られる。これに対して、溶射中に皮膜温度を約880 Kに高めると、やや直径の大きな微細柱状晶が層界面を横切って成長する。皮膜温度が約1570Kのときには積層構造が不明瞭となり、立方方位に成長方向を持つ10 - 20 μm の長さの柱状晶が観察される。数値計算の結果、この皮膜の場合には溶射液滴の衝突によって高温の皮膜表面が瞬間的に再溶融することが可能である。従って、層厚さよりも長い柱状晶はこの再溶融に続くエピタキシャル成長で形成されたと考えられる。

皮膜自身のその面内方向への引張強さと皮膜の相対密度とは溶射中の皮膜温度が高くなるほど低下する。これに対して、皮膜に垂直方向の熱伝導率は溶射中の温度が約1570 Kの皮膜で最大となり、そのほかの皮膜では金属と気孔の複合則から予想される値よりも低い。これらの結果は、上述の組織観察結果から以下のように説明される。低温で溶射された皮膜では、層界面に面状の気孔があるために熱伝導率は低いが、結晶粒が微細であるので強度は高い。皮膜温度が高くなると、皮膜に垂直方向に大きな柱状晶が形成されて熱伝導率は高くなるが、溶射時の急冷凝固でNi中に過飽和に固溶していたガス放出による気孔率増加のため、および結晶粒径増大のために引張強さは低下する。

IMOにおける船舶安全規則の最近の動向と今後の展望

Recent activities and future trends on Safety

Regulation in IMO

吉田公一

平成15年9月

日本造船学会誌「Techno Marine」第875号

船舶の事故による人的被害は減少傾向にあるが、世の中の関心を引く重大海難は引き続き起きている。海難により人命が失われ、あるいは海洋環境に被害が発生すれば、当事者・当事国からそのようなことが再発しないよう措置を取ることを求める声があがる。IMOはこれに答えて、船舶の安全に係る国際規則を制定・改正してきた。一方で、重大海難を待って規則を制定すること(reactive)よりも、海難を未然に防ぐように措置を取っておくこと(proactive)が重要であると指摘されている。IMOも proactive に動いている。また、規則の性能要件化も進んでいる。こうした状況の中で、IMOにおける最近の船舶安全規則制定及び改正のトピックを述べ、その動向を概括した。

SOLAS 条約改正については、2001年9月11日の同時多発テロの後、海上におけるテロ防止(海賊も含む)を強化するために作成・締結された新 XI-2 章及び関連の国際船舶港湾設備保安コード(ISPS Code)の船舶保安に関する概要を述べた。さらに、ロングレンジ・トラッキング・システムなどの技術的な検討が今後進められる見通しを述べた。

MARPOL 条約については、老朽タンカーの相次ぐ損傷・海洋汚染事故の後、シングルハル・タンカーのフェーズアウト促進のための ANNEX I の改正が 2003 年 12 月の MEPC50 にて採択される見通しであること、及びその内容を概括した。

さらに、バルクキャリア及びタンカーの引き続く事故を防止するため、主管庁における船舶検査を強化する目的で、IMO の船舶構造強度基準を作成するかについて IMO にて議論していることを紹介した。

バルクキャリアの安全性強化については、海上技術安全研究所及び(財)日本海事協会が中心となって(社)日本造船研究協会にて実施した FSA の成果を踏まえた SOLAS XII 章改正を IMO で議論中であり、2004 年 5 月の MSC にて決着する見通しであることを述べ、その概要を示した。

粒子法コード検証のための甲板冠水の可視化実験

Visualization of the shipping water for validation of

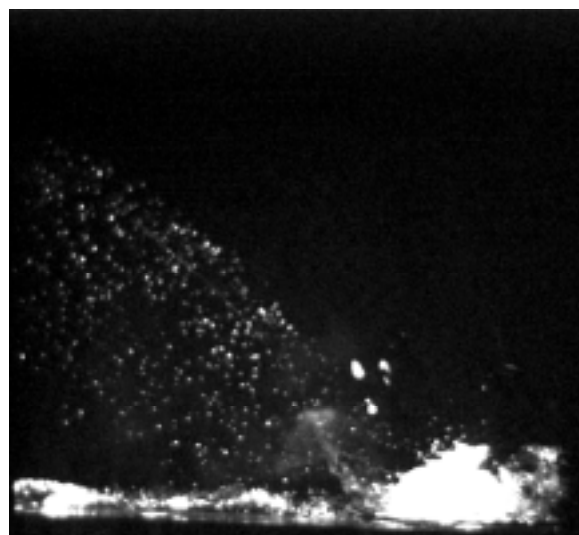
numerical simulation by particle methods

谷澤克治、沢田博史、星野邦弘、辻本勝

平成15年11月

日本造船学会講演会論文集、第2号

近年、粒子法等のロバストな数値計算手法が研究開発され、分裂や合体を伴う激しい流体現象についても安定した数値シミュレーションが可能になって来た。造船分野においても、これまで数値計算が困難であった甲板冠水、スラミング、スロッシング等の激しい流体現象の解析にこれらの新しい計算手法を応用する試みがなされ、成果を上げつつある。しかし、計算精度の検証はまだ不十分であり、精度検証に使える実験データも整備されていない。これまでの甲板冠水に関連した実験では、甲板上への打込水量、水位、圧力、荷重等の力学的な計測は行われているものの、打込水の流場計測は行われていないように思われる。これは甲板冠水現象が自由液面運動を伴う高速かつ非定常な 3 次元流れであり、流場計測が難しいからである。数値計算を直接検証するためには、圧力、荷重等の力学的な計測値だけでは不十分であり、流場そのものの計測データが不可欠である。そこで、著者らは造船分野で最も数理解析が遅れていると思われる甲板冠水に着目し、水槽実験により打込水の高速度撮影画像を取得すると共に、その PIV/PTV 解析により打込水の数値場を定量的に求めた。また、衝撃圧、衝撃荷重等の力学的な計測も実施し、画像と同期のとれた計測波形を得た。本報ではこれらの研究の概要について報告する。



甲板上への打込水の高速ビデオ画像

G 方程式燃焼モデルを用いた予混合乱流燃焼場の 数値解析

Numerical Analysis of Premixed Turbulent Combustion

Using the G-equation Model

岡 秀行, 春海一佳

平成 15 年 11 月

日本マリンエンジニアリング学会誌 第 38 巻 11 号

乱流燃焼場を数値解析する場合, その解析手法として DNS(Direct Numerical Simulation), LES(Large Eddy Simulation), RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations) が挙げられるが, 実用燃焼器における高 Reynolds 数流れを実務上解析するために, 市販の汎用流体解析ソフトでは計算コストが小さい RANS が主に用いられている. しかしその反面, RANS は物理量の時間平均値を対象とした乱流モデルであるため, 火炎の吹き飛びや消炎, 燃焼振動等の燃焼の非定常現象の解析は不可能である. また, 乱流を直接数値シミュレーションする DNS では, 乱流場のすべてのスケールの渦が計算されなければならない, 乱流が 3 次元の非定常な現象であることを考えると, 必要な格子数は $Re^{9/4}$ 程度となり, Reynolds 数 Re が一般に 10^4 を超えるような工学的な問題に適用するには無理がある. そこで, この見積もりよりも少ない格子数で解像可能な程度(グリッドスケール:GS)まで滑らかにした近似解を対象とする乱流モデルが, 本研究において着目する LES であり, 格子サイズより小さな変動の影響はサブグリッドスケール(SGS)応力にモデル化してまとめられる.

近年の急速な計算機能力の向上に伴い, 設計等に反映させるための実用計算において, 流れ場の非定常現象の解析が可能な LES が, 燃焼場の数値解析手法として今後主流になっていくと考えられる. そこで, 比較的簡単な形状の火炎を形成する予混合乱流燃焼場を対象とし, 燃焼モデルには flamelet 概念に基づく G 方程式を, 乱流モデルには LES を用いて数値解析を行い, 克服すべき課題として次の 2 点について確認した.

1. 乱流燃焼速度 S_T を予測するための決定的な関係式は現在存在しないが, G 方程式を用いた燃焼モデルでは S_T の関係式を用いる必要がある. そこで, S_T についての異なるモデル方程式を用いて比較したところ, 火炎形状に違いが生じることが分かった.

2. G 方程式モデルによる予混合乱流燃焼場の LES では, LES モデルの違いにより数値的に予測される火炎形状に大きな差異が見られることが分かった.

アルミナ摩耗面の TEM 観察

TEM Observations of Wear Surface of
Alumina

川越 陽一, 高橋 千織, 古谷 典ゆき,
千田 哲也, 足立 幸志

平成 15 年 10 月

機械学会第 11 回機械材料・材料加工技術講演会

アルミナは化学的に安定で, かつ高硬度, 高強度という特性を持つため, 耐摩耗材料への適用が期待される. アルミナは, 同種材料の滑り摩耗において, 室温と 800 以上の高温で, 比摩耗量が $10^{-6} \text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ 以下という優れた耐摩耗性を示すことがある. 一方で, 荷重が高い場合には同じ室温でも亀裂を発生させて $10^{-5} \text{mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ 以上の高い比摩耗量を示すこともある. 高温では表面に微細粒子の層が観察され, 摩耗減少に寄与するとされている. 一方, 室温のマイルド摩耗状態に関しては, 水酸化アルミニウムの形成がみられるとの報告はあるが, そのメカニズムは明らかではない. そこで, 室温で同種材料同士 ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$) のすべり摩耗試験を行い, 低摩耗現象がみられたアルミナ試料について, 摩耗面近傍の透過型電子顕微鏡 (TEM) による観察と分析を行い, 表面近傍の微細構造の変化から, 摩耗のメカニズムを考察した.

室温で摩耗試験を行ったアルミナ試料について, 摺動部を走査型電子顕微鏡 (SEM) と TEM によりそれぞれ観察した. SEM による観察では, 摺動部は一部に亀裂が見られるものの, 全体が平滑化されている. TEM 観察から, 室温において摩耗試験を行った試料は, その摺動部最表面に通常では見られなかった膜状構造が生じていることが分かった. その最表面の膜状構造の直下にはいくらかの転位が見られる領域があり, さらにその内側 (十分に表面から離れた領域) は, オリジナルの結晶から殆ど変化の見られない組織からなる領域であった. それら各領域で電子線回折像を撮影した. 最表面の膜状構造の回折スポットはリング状につながっており, この膜状構造が, アモルファスに近い極微細粒構造であることが推測される. 転位が観察された領域 (最表面の膜状構造の内側の領域) での電子線回折像では, 回折パターンにひずみがみられたが, さらに内側の十分表面から離れた領域では殆どひずみの無い結晶であった.

摩耗面に生じたこの膜状構造が何らかの潤滑作用, あるいは応力分散の働きを持ち, 結果的に摩耗量を抑える効果を持つのではないかとと思われる.

甲板打ち込み水の数理解析手法の妥当性について

On the validity of mathematical models

for the shipping water analysis

谷澤克治、沢田博史、星野邦弘、辻本勝

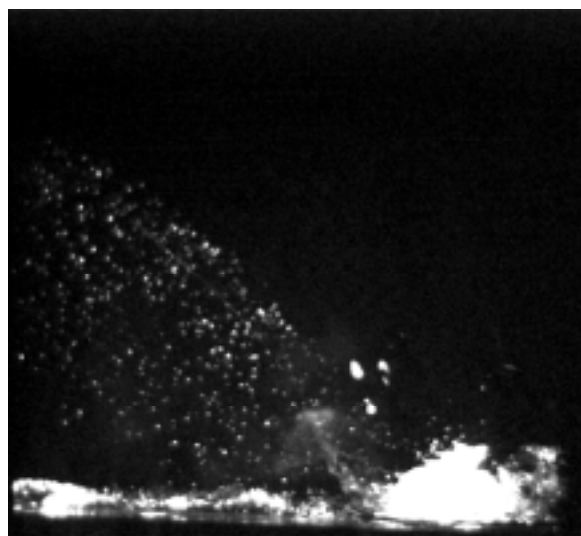
平成15年10月

九州大学 応用力学研究所

研究集会報告集 15ME-S6 (2004年3月)

荒天中を航走する船舶の船首甲板上への打ち込み水による衝撃荷重は、時にはハッチカバーを損傷させるような厳しいものであることが水槽実験により検証されている。そこで、甲板ならびに甲板上構造物の安全設計のため、甲板冠水による衝撃荷重の推定法が種々研究されて来た。これまでに提案されている数理解析手法では、甲板冠水の数学モデルとして、ダム崩壊モデルや洪水流モデルなどが知られており、これらを基礎にした荷重計算方法で実験結果を良く説明できるとされている。しかし、これらのモデルは、船首高さを超えた波が甲板上へ流れ込むタイプの打ち込み水を表現しており、厳しく叩き付けるようなタイプの打ち込み水を正しくモデル化していないと思われる。

そこで著者らは規則波中を向波状態で航走する船舶の船首甲板への打ち込み水挙動を詳しく調べるため、シート状ストロボ光と2台の高速ビデオを用いた可視化実験を実施し、実際の打ち込み水挙動の観察を試みた。本報はこの可視化実験で得られたデータをもとに、従来の甲板冠水の数学モデルならびにこれに基づく数理解析手法の妥当性について論じている。



甲板上への打込水の高速ビデオ画像

Hydroelastic Analysis of a Large Floating Structure 超大型浮体式海洋構造物の流力弾性挙動解析

大楠 丹、難波 康広

平成17年 4月

Journal of Fluids and Structures

現在日本で構想されている浮体式空港は、長さ、幅が数キロメートルであるのに対し、喫水が10メートル以下であるような、非常に薄いマットのような構造をしている。このような構造物の場合、曲げ剛性が相対的に小さくなり、従って波浪外力下では弾性的な挙動が顕著となる。

このような、長さ、幅方向には巨大で、厚さの薄い構造物の波浪中挙動の予測は、比較的新しい問題である。この問題に対するアプローチの一つとして、これまで数値計算によって弾性挙動を予測する研究がなされてきた。その一方で、構造物の厚さが非常に薄く、かつ水波の波長が構造物の水平方向の寸法に比べて非常に小さいということに着目し、出来るだけ解析的にこの問題を解こうとする試みもなされてきた。このような解析的アプローチでは、浮体形状が単純なものに制限される代わりに、数値計算的解法に比べて現象の物理的メカニズムの理解が容易になり、構造物の弾性挙動を表わす数学的表現がより陽な形で与えられるという利点がある。実際に超大型浮体式構造物を設計する場合には、そのような構造物は、必然的により複雑な構造を有するはずであり、当然境界要素法等に基づく数値的な計算が不可欠となる。しかしながら解析的アプローチは、数値的アプローチによって得られた結果の検証の際に有益である。

本論文では、浅海域における箱型超大型浮体式構造物の振動を出来る限り解析的手法で予測した。具体的には、喫水が近似的にゼロであるとし、更にこの微小喫水近似に加えて浅海理論も採用した。浮体式空港は沿岸域に設置されることが想定されるため、このような浅海理論の採用は比較的现实的であるといえる。また本論文では、入射波は縦波であり、かつ浮体の水平方向の寸法に比べ入射波長は非常に小さいとした。また、構造物の長さは幅に比べて非常に大きいとした。

本研究での問題の解法のポイントは、超大型浮体式構造物によって覆われている流体領域と、自由表面との間の境界における波の反射と屈折の取り扱いであった。すなわち、超大型浮体式海洋構造物上の弾性波と自由表面上の水波を、構造物端部における自由端条件が満足されるようにマッチングすることにより、解を求めた。この結果、構造物上の弾性振動を解析的に陽な形で求め、簡単な数値計算によって評価することができた。またこのようなアプローチの結果、超大型浮体式海洋構造物の弾性挙動は、板の上を伝播する波として理解出来ることが分かった。また、本論文での予測結果を、より大規模な数値計算によって求められた結果と比較し、その精度を確認した。

世界初！メガフロート実機自由動揺試験

Free Decay Test

with Mega-Float At-Sea Model

難波康広、正信聡太郎

平成15年11月

日本造船学会 秋季講演会 ポスターセッション

平成13年度から平成14年度にかけて、国土交通省及び総務省並びに経済産業省の連携のもと、「メガフロート情報基地機能実証実験」が行われた。「メガフロート情報基地」とは、急速に進展する情報化社会を支える重要なインフラである情報バックアップセンターを、地震等の災害に強いメガフロート上に整備しようという構想である。

国土交通省海事局は、この実証実験のうち、波エネルギー吸収装置による動揺低減技術の開発、長期健全性予測診断システムの開発を当所に委託し、これを受けて当所では水槽実験及び実証実験を通じ、研究開発を行った。

本研究では、この研究開発の一環として、メガフロート実機を用いた自由動揺試験を実施した。この特殊実験は、実機を用いた実験としては世界初である。

具体的な試験方法としては、実証浮体甲板上及びドルフィン上にピース類を取り付け、双方のピース間を油圧ジャッキを介してワイヤで結び、ジャッキで引き寄せる事により水平力を加え、ゴムフェンダーを圧縮した。その後、それを急激にリリースすることにより、浮体に生ずる自由動揺（サージ、スウェー、ヨー）をKGPSを用いて計測した。自由振動データから流体力を解析する方法としては、以前にボセイドン号の自由動揺試験解析用に、当所が開発した時系列フィッティング法を適用した。Fig.1に適用結果の一例を示す。

これによって得られた実機浮体でのサージの無次元減衰係数を、模型試験で得られた値及び以前行った全長50mのメガフロート模型試験結果と比較した。さらに、メガフロート実機浮体の減衰係数値を提案した。

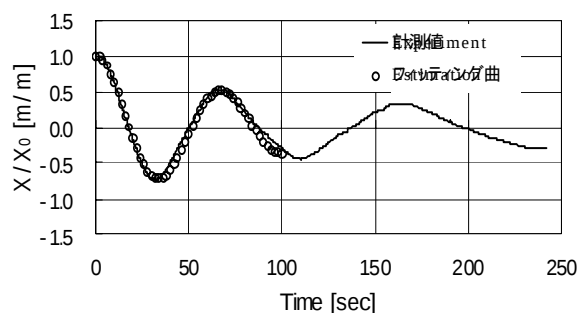


Fig.1 Horizontal displacement of the model (Surge) in an at-sea free decay test.

船舶の有害な防汚方法の規制に関する国際条約実効性確保のためのTBT含有塗料検査技術

Inspection Technique of TBT-containing Anti-fouling
Paints for the AFS Convention 2003 Enforcement

柴田 清、千田哲也、宮田修、山田康治郎
平成15年11月

International Symposium on Prevention of Pollution
from Ships, Shipyards, Drydocks, Ports, and Harbors

有機スズ化合物など船底防汚塗料中の有害物質の使用を規制する国際条約がIMOにおいて採択されたが、その規制を実効あるものとするためには、船底塗料中の対象物質を検出する検査技術の確立が必要である。本研究においては、船底塗料の採取および2つの段階の分析からなる方法を提案した。試料の採取と第一段目の分析は船舶検査やPSCの現場で実施可能とすることに留意した。

船体からの試料採取に当たっては、10mm径の円形研磨紙を塗膜表面に擦り合わせ、塗膜を実質的に傷つけることなく必要量を採取する。この操作を採取に当たる人間の個人差を生じさせないように、電動回転式の自動採取器を開発した。

第一段階目の分析は塗膜にスズ元素を含むか否かを判定するものである。研磨紙上に採取された塗膜片はそのまま蛍光X線分析装置を用いスズに起因する特性X線の発生の有無を検知する。微量の試料に対応するためにエネルギー分散型のスペクトロメータとシリコン・ドリフト型の検出器を採用し、採取現場への持ち運びが可能な小型の装置とした。また安定的な検出が可能となる必要最小試料量を確認した。塗膜中のスズ検出用に開発したソフトウェアを用いることにより、約5分間での測定が可能である。

第二段階目での分析は、前述の第一段階目の分析でスズの存在が確認された試料に関して、ガスクロマトグラフィ質量分析計でスズ化合物としての存在形態と濃度を測定する。この操作は試料を設備の整った化学分析実験室へ送付して行う。有機スズ化合物をガスクロマトグラフィで測定するためには塗膜中からの抽出と誘導体化の操作が必要であり、そのためキシレンによる抽出と臭化プロピルマグネシウムによるプロピル化からなる方法を開発した。

本研究で開発した方法により比較的簡単に条約で規制される船底塗料中の有機スズ化合物の検出が可能となる。

3 種類の吹き出し方法を用いたマイクロバブルに関する実験的研究

Experimental Study on Drag Reduction by Microbubbles Using Three Kinds of Air Injection Plates

高橋孝仁、児玉良明、牧野雅彦、堀利文
平成15年11月

日本造船学会講演会論文集第2号

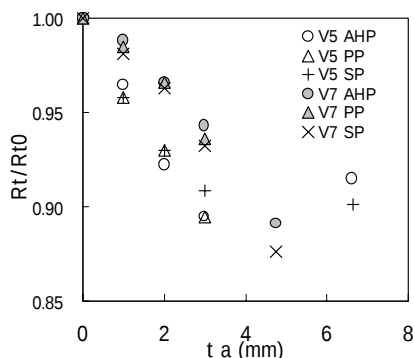
摩擦抵抗低減手法の一つであるマイクロバブル法（微細気泡の境界層への注入法）を船舶へ実用化するためには、マイクロバブルによるエネルギー低減量と別途に気泡生成のために付加するエネルギー増加量と、両者の総合的エネルギー収支としても低減できる気泡生成方法が求められている。すなわち摩擦低減効果が高く、かつ気泡生成エネルギーが少ない手法である。現在おもな気泡生成方法は、多孔質板（焼結金属でできたPorous plate、以下、PP）または多孔板（直径1mmの多数の直通穴Array holes plate、以下、AHP）を、船底に配置し空気を吹き出し、水流により微小な気泡を発生させる方法である。過去の代表的な実験例、IHIおよび著者ら海技研の約50mの長尺模型船を用いた曳航実験において、船体中心線上の流れ方向の局所摩擦低減量分布は、船首船底に配置した気泡生成部の直後が最大で船尾に近づくにつれ徐々に低減率は0に近くなること、PPの方が、AHPより約2倍も摩擦低減効果が高いことが報告されている。しかし両者では各種計測条件が異なる。同一条件で計測を行い、低減効果の差を検証することができれば、摩擦抵抗低減メカニズム解明に資することも期待される。

今回は、長さ50m幅1mの平板船を用いて、吹き出し部のPPとAHP、さらにスリット板（以下、SP）も加え、合計3種類の吹き出し法について局所摩擦および全抵抗の低減効果を調べた。また、幅方向のせん断力計測も行った

結果は、局所摩擦低減効果は、PPがAPよりやはり2倍程度高くなった。しかし、幅方向の低減効果はほぼ等しく、船体全抵抗低減効果は、下図（横軸：吹き出し空気量パラメタ、縦軸：気泡状態と非気泡状態の全抵抗比）に示すとおり3種類ともに、ほとんど同じであった。

総合的なエネルギー収支を比較すると、SP、AHP、PPの順となった。

PPは圧力損失大きく実用化に不向きである。一方SPは実用化が期待できる。



波浪域における巡視船の曳航実験

Towing Experiment in Waves Using Patrol Boats

原正一、星野邦弘、湯川和浩、山川賢次

平成15年11月

関西造船協会論文集第24号

荒天下において遭難した船舶等を曳航する際、曳航索には曳船と被曳船の相対運動により動的な張力がかかり、索が切断して2次災害を引き起こす事故が多々発生している。曳航索張力を正確に推定するためには、曳航時の被曳船におこる不安定挙動（ふれまわり運動）を正確に予測する必要がある。そこで、著者らはこれまで船舶等の曳航時における索張力を計測するための模型実験、実機実験を実施し、数値解析との比較検討を行ってきた。

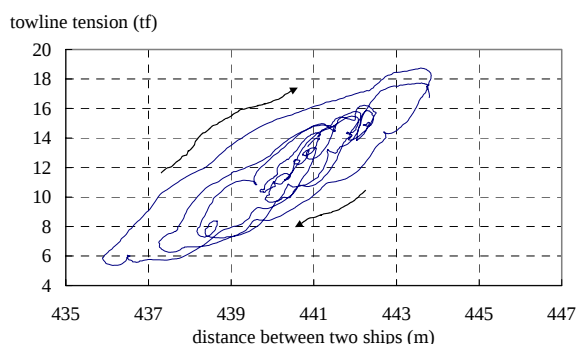
著者らは、過去に海上保安大学校の協力により、訓練船による曳航実験を実施した。実験海域が瀬戸内海であったために、海象は比較的穏やかな状態であった。今回、冬期の相模湾において巡視船を使用して、ムービングキネマティックGPSシステムにより曳船と被曳船の距離を精度良く計測し、曳航索張力と比較した。この他、曳航時の船体運動も同時に計測した。また、曳航索張力の数値計算と計測値を比較した。

索張力に関する静的な数値計算も行い、計測値と比較した。その結果、次の結論を得た。

(1) 波浪中における曳航時の曳航索のばね定数は、静水時のそれよりも4.6倍大きい値となる。

(2) 曳航索張力の曳航時の変動周期は、2自由度系の固有振動周期により求めることができる。

さらに、本研究では曳航実験と同時に巡視船の漂流試験を行い、漂流速度、漂流方向および船首方向を計測して、数値計算結果と比較し比較的良好一致を示した。



索張力と索の両端間距離の関係

Deck Wetness
海水打ち込み
小川剛孝

平成 15 年 12 月

2003 年日本造船学会試験水槽委員会シンポジウム

海水打ち込みを制限する基本的な安全基準として、満載喫水線条約(以下 ICLL66)が定められている。これは 1966 年に採択されて、現在まで適用されている。この条約は、そもそも際限のない荷物の積み付けを防止するために規定された基本的な規制であるが、船内浸水の防止や海水打ち込み荷重からの甲板機器の保護等がその役割として考えられている。現行条約の採択当時は、現在ほど耐航性理論が十分に発達していなかった事もあり、いくつかの要件は経験則に基づいて決定されている。

このことを背景として、条約改正のための見直し作業が IMO (国際海事機関)において段階的に行われており、2002 年の IMO/SLF45 (第 45 回復原性・満載喫水線・漁船安全小委員会)において第一次改正案がまとめられた。この結果、最小船首高さ式、船首部予備浮力及びハッチカバー荷重が見直された。これらの見直しに係る技術的検討のうち、重要な指標となったのは、海水打ち込みであった。

特に、ハッチカバー荷重の見直しの際に、海水打ち込みによる荷重の評価が議論の中心となった。現行基準のハッチカバー荷重は経験的に決定されていることから、見直し作業では、ハッチカバー荷重の定量的検討、つまり、この荷重の主要因となる海水打ち込み荷重についての定量的な検討が求められた。

このような背景から、ICLL66 の見直し作業では模型実験を中心とする検討が行われ、これらの検討結果をもとにハッチカバー荷重の改正案が作成された。著者は、模型実験とその結果を用いた解析的検討によりハッチカバー荷重を定量的に評価し、その結果は日本の提案文書に反映されている。

一方、1980 年代から近年にかけて、バルクキャリアの海難事故が多数発生したことを受けて、船級協会の国際組織である IACS(International Association of Classification Society)はバルクキャリアに関する要件の強化を図っている。この事は、ICLL66 見直し作業に大きく影響を及ぼしている。

本稿では、はじめにバルクキャリアの安全性強化と IMO において行なわれている ICLL66 の見直し作業の動向について解説する。次に、これらに関連する技術的検討のうち、重要な指標となった海水打ち込みの研究動向を解説した。最後に、今後の ICLL66 見直し作業のうち乾舷表の見直しにおいて必要となる技術的課題について検討した。

船舶分野における模型試験と CFD 技術の利用
Ship Model Tests and Utilization of CFD for Flow
Visualization in Naval Architecture

日夏宗彦

平成 16 年 1 月

可視化情報 Vol.24 No.92

可視化情報学会において特集「可視化と相似模型」が企画された。本稿はその一環として船舶工学分野における流れの可視化関連の研究例(実験及び CFD)を紹介した。ただし、可視化情報の読者が船舶関係以外の人も多いと思われるため、船のまわりの流れとはどのようなものか理解を深めてもらうことを念頭において記事をまとめた。このため、特殊な可視化技術を使わない単純な流れの観測写真も可視化例として紹介した。

まず水槽試験の簡単な歴史や水槽試験の目的等について簡単に述べた後、船舶工学分野における可視化例を示した。本稿で紹介した事項は、船が造る波、船首近傍の自由表面流れ、船首船底剥離渦、プロペラ作動時の船体まわりの流れ、船体まわりの限界流線とその画像解析による摩擦応力計測例、プロペラキャビテーション、風洞による水面上の船体まわりの流れ、それに海水打ち込み計測例である。

船が造る波では CFD による結果と実験結果の比較を示すとともに、船が造る波の特徴を述べた。船首近傍の自由表面流れでは、鈍い船首形状を持つ船体造る船首碎波の観察例を示し、現象の複雑さを紹介した。船首船底剥離渦の紹介では色素を流出させた方法により斜航するタンカー船型で観測される渦を例示し、船体を取り巻く様々な渦系の一端を示した。プロペラ作動時における船体まわり流れでは、CFD を用いてプロペラに流入する流れの軌跡を示し、それがプロペラによって旋回流を形成すること、さらに二重反転プロペラを作動させると旋回流が消滅することを示した。船体表面の摩擦応力分布を把握するのに重要な限界流線の観察例として、回流水槽で実験された化学反応による方法および CFD 結果を示した。さらに、限界流線を画像解析し船体まわりの摩擦応力の大きさを推定した研究例も新しい技術開発の例として示した。船舶流体力学関係ではプロペラキャビテーションが一つの大きなテーマである。この紹介として、キャビテーション水槽で観測される実験例および珍しい現象であるプロペラハルボルテックスキャビテーションを紹介した。さらに、キャビテーション自身が可視化のトレーサとなる例としてデルタ翼に発生する翼端渦の可視化例を紹介した。船舶の湾内等における操縦性能推定のための風洞試験では、煙法と油膜法を併用した可視化実験例を示した。最後に、船体への海水打ち込みの挙動を調べる際に実施された、PIV による流速分布計測例を示した。

パラメトリック横揺れ

Parametric Roll Resonance

梅田直哉（大阪大学）、田口晴邦

平成15年12月

実海域における船舶性能に関するシンポジウム

1998年に北太平洋上において、ポストパナマックスコンテナ船が向波中でのヒープツー状態で最大40度にもおよぶパラメトリック横揺れを起こし、多数のコンテナが流失あるいは損傷する事故が発生した。国際海事機関（IMO）では、この事故や大西洋での類似の事故等を背景として、非損傷時復原性コード及び操船ガイダンスの改正が審議されるようになった。

本稿では、パラメトリック横揺れに関するこれまでの研究をレビューし、IMOにおける審議に際し、重要であると考えられる研究成果について解説している。

まず、パラメトリック横揺れの発生原因である波浪中の復原力変動について、通常行なわれるFroude-Krylovの仮定に基づいた推定方法では、上下揺れや縦揺れによる動的影響により、向波中では復原力変動を過大評価する場合があることを説明している。

次に、パラメトリック横揺れを取り扱うための船体運動の数学モデルについて、これまで提案されてきた6自由度の連成モデルから1自由度モデルまでの概要を、相互の関係も含めて説明している。

そして、1自由度モデルによる運動解析について、復原力を線形として取り扱った場合、パラメトリック横揺れの発生条件に関しては、Mathieu方程式の安定性判別に帰着できるので取り扱い是非常に簡単になるが、現実的な有限振幅のパラメトリック横揺れや転覆を評価できないこと、復原力の非線形性を考慮した場合、解の競合、分岐、初期条件依存性等を考慮しなければならず、モデル方程式の単なる数値シミュレーションでは、現象の全体像を把握するためには不十分となるので、非線形力学系理論を適用した取り扱いが必要となること等の特徴を説明している。

また、向波中や横波中では、縦運動の動的な影響を考慮する必要があること、上下揺れまたは縦揺れの固有周波数が、出会い周波数に近く、かつ横揺れ固有周波数の2倍に近い場合が、最もパラメトリック横揺れの危険が大きいことを説明している。

更に、不規則波中のパラメトリック横揺れに関して、これまで実施されてきた研究を、研究目的別に、発生状況の把握、発生限界の推定、及び、発生後の横揺れ角の最大値、転覆確率の推定の3つに分類、整理して、概要を説明している。

最後に、これまでの研究の進展状況を考慮して、パラメトリック横揺れに関しては、非線形力学系理論に立脚して計画された模型実験により安全性を確認することが、現状では最も現実的な対応方法であると考えられることを紹介している。