

所外発表論文等概要

〈推進性能部〉

トランスキャビテーション・プロペラの性能評価

Experimental Evaluation of Trans-Cavitating

Propellers

右近良孝、工藤達郎、藤沢純一、松田 登

平成11年11月

日本造船学会論文集第186号

An Interface Capturing Method for Free Surface
Flow Computations on Unstructured Grids

非構造格子による自由表面流計算のための界面捕獲法

日野孝則

平成11年11月

日本造船学会論文集第186号

現在、自動車輸送から船舶による海上輸送へのモーダルシフトの推進が国の重要な課題となっている。モーダルシフトの期待が大きい船種として内航高速フェリーがあげられるが、大幅な高速化と大型化の要求があるのに加えて、港湾等の制約から吃水が浅い船型となり、プロペラは浅没水高馬力高速船用として設計する必要がある。また、この種のフェリーは操船性の要求から可変ピッチプロペラ(CPP; Controllable Pitch Propeller)が用いられるが、プロペラ翼展開面積に上限があるので、設計船速によってはプロペラの翼面上の大半がキャビテーションによって覆われ、推力低下(Thrust Break-down)が避けられないトランスキャビテーション(Trans-Cavitation、以下TCという)状態でプロペラが使用される。

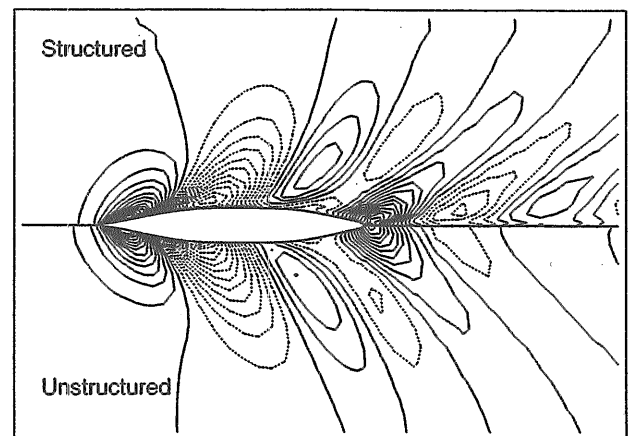
本論文では、高荷重底キャビテーション数の設計条件に対して従来型の設計法により設計された在来型プロペラ(以下、CPという)3個とTC状態で作動することを考慮した新型8個のプロペラについて、キャビテーション水槽で単独性能試験と船後性能試験の他、船後変動圧力、エロージョン試験等を行い、性能の比較評価を行った。この新型プロペラをトランスキャビテーション・プロペラ(以下、TCPと呼ぶ。これらのプロペラのうち、6個のプロペラは船速30.6ktで、残りの5個のプロペラは35.0ktの設計条件で設計した。

従来検討されていない推力低下を起こした状態で作動するプロペラの推進性能評価を可能とするため、キャビテーション水槽での船後プロペラ効率の決定法を提案した。この方法を用いて実験状態を設定し、従来設計が難しいため、設計が回避されていた作動領域で作動するプロペラの、設計結果を船後状態で評価するための広範な実験を行った。

本研究により、プロペラの設計に役立つ貴重なデータと新しい知見が得られたので報告する。

非構造格子を用いて自由表面流れを計算するために、level set関数を用いた界面捕獲(Interface Capturing)法を開発した。水と空気の界面は界面からの距離であるlevel set関数の移流方程式を解くことで追跡する。また、空気の領域に対して、水中のセルから流れ変数を外挿する手法により、水の部分だけを解くことが可能になった。水中翼まわりおよび船体まわりの自由表面流れに本法を適用した結果、従来の界面適合(Interface Fitting)法に比べ、数値拡散が強く働くことがわかった。

図はシリーズ60($C_b=0.6$)船型の波紋図の比較である。しかし、非構造格子法の特徴である局所的な格子細密化と併用することにより、複雑形状まわりの自由表面流れを解析する有力なツールとなることが期待される。



シリーズ60($C_b=0.6$)船型の波紋図(上:構造格子、界面適合法、下:非構造格子、界面捕獲法)

〈運動性能部〉

Effects of a sea bottom step on wave drift force

波漂流力に及ぼす水底段差の影響

谷澤克治、南真紀子、沢田博史

平成11年10月

第7回 非線形水面流れに関するシンポジウム

シンポジウム講演集 第7巻

本論文は現在海洋開発工学部が主体として実施している特別研究「荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究」の中項目「漂流運動の研究」の一部として本年8月に実施した水槽試験の結果を速報的にまとめたものである。水槽試験は海洋開発工学部の2次元水槽において実施したもので、水底にアルミ板とコンクリートブロックを用いてステップ状の段差を構築し、ルイスフォーム断面を有する2次元模型に作用する波漂流力を波高、波周波数、浮体の位置をパラメータして計測した。論文ではまず水底に段差がある場合の、入射波高、反射波高、透過波高間の関係式を明らかにし、またその時の漂流力を求める式を与えた。次いで、これらの関係式を用いて波漂流力を求めるのに必要な浮体周りの波浪場を解くための線形計算法について簡単に説明した。これらは、本論文で実験結果を比較する理論値の導出法を明らかにするための記述である。本論文の後半では、まず、浮体無しで段差だけの場合について、入射波高、反射波高、透過波高を測定した結果を示し、理論計算値と非常に良く一致することを示した。また段差そのものに作用する波漂流力の計算結果も図示した。次に、浮体が段差の真上にある場合について、水槽試験で計測した浮体の3自由度運動、浮体の波の反射・透過係数、浮体に作用する波漂流力を理論計算の結果と比較して示した。比較では運動に関しては理論値と計測値は非常に良く一致したものの、漂流力の一致度は比較的悪い結果となった。この原因は、計測精度にあるのか、理論の不備によるものか現在調査中であるが、とりあえず理論は正しいものとして、論文の最後には段差と浮体の相対位置により漂流力がどのように変化するかを計算で示した。浮体が段差を越えて水深の深い場所から浅い場所に来ると、ある周波数では波漂流力が振動を伴いながら急激に増加すること、また別の周波数ではほとんど変化しないことを示し、段差の影響は波周波数により大きく変化する可能性があることを示した。

On the Capsizing Mechanism of Small Craft in Beam Breaking Waves

横碎波中における小型船の転覆メカニズムについて

石田茂資、藤原敏文

平成12年2月

7th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles

上記会議の論文集

小型船に発生する転覆海難では、横方向からの碎波によるものがひとつの典型である。しかしながら、そのメカニズムがよくわかっていないため、現在の安全基準は中大型船のものも準用する形になっており、また現在ISOにおいて検討が行われている国際規格でもその考え方が踏襲される方向である。

著者等の研究から、碎波による衝撃的な傾斜モーメントは必ずしも大きくないこと、衝撃的な横力は大きいので横流れを引き起こすこと、横流れ時には粘性による非線形な傾斜モーメントが作用すること、その非線形モーメントは微妙な船型の違いによって変化すること、そのモーメントが転覆現象に密接に関連すること、等が明らかになっている。

本論文では、これらの知見をまとめるとともに、小型船の特徴を反映した復原性基準のあり方についての検討結果を示す。

Calculation of Hydrodynamic Forces Acting on a Ship in Manoeuvring Motion

操縦運動する船体に働く流体力の計算
野中晃二、宮崎英樹、二村 正、上野道雄、
日野孝則、児玉良明
平成12年5月

Proceedings of the International Conference on
Marine Simulation and Ship Manoeuvring

船舶の操縦性能を、操縦運動の数値シミュレーションにより評価しようとする場合、数値シミュレーションに用いる数学モデルを構成する操縦流体力を推定する事が必要となる。船体に働く操縦流体力を流体力学的計算により推定する方法としては、非粘性流体の仮定のもとに剥離渦層を持つ揚力体まわりの流れを、細長体理論を用いて近似的に求めるという方法がよく用いられてきたが、最近では高レイノルズ数の粘性流場問題を解く数値流体力学(CFD)も用いられるようになってきた。

日本で操縦流体力の推定に用いられているCFDの手法は、当所で開発されたNICE法と東京大学で開発されたWISDAM法の二つが代表的な手法である。両手法ともに多大の計算時間を必要とするが、NICE法は計算収束を早めるよう改良・修正が加えられ、より実用性の高いNEPTUNE法へと発展させられた。

当所では、操縦運動シミュレーションのための数学モデル作成に必要な操縦流体力を、NEPTUNE法を用いて推定する方法の開発を進めているが、この方法の有効性と可能性を調べるため、船体に働く操縦流体力と船尾流場について、模型実験結果と推定計算結果との比較を行った。

操縦流体力はタンカー船型とコンテナ船型について、船尾流場はタンカー船型について、斜航及び旋回運動時の模型実験計測値と計算値との比較検討を行った。操縦流体力については、肥えたタンカー船型について若干の不自然な計算値が出てきたが、全体として計算値と実験値はよくあっており、一応の実用域に達していることが確かめられた。船尾流場については、計算値は攪乱成分の拡散は大きいですが、流体力に直結する渦度分布の積分量である循環と渦度分布の中心位置は計算値と実験値でよくあっており、流場の特徴を正しく推定出来ていることが確認できた。

この比較検討の結果は、本操縦流体力推定法は現段階ではまだ満足できる状態ではないものの一応実用域に達しており、今後の研究により高度に実用的な方法へ発展する可能性の高いものであることを示している。

〈構造強度部〉

砕氷巡視船「てしお」の水中での構造応答に関する実船計測

Full-scale Measurement of Structural Responses to
Icebreaker PM “TESHIO” in Ice
岡 修二、瀧本忠教、宇都正太郎
平成12年2月

第15回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム

サハリン大陸棚の石油・天然ガス開発プロジェクト等により、南部オホーツク海域の海上交通が飛躍的に発展することが予想される。それにともない当該海域における船舶の流氷中航行安全性の向上を図ることが緊急の課題である。このため当所は海上保安庁装備技術部と共同研究を実施し、今後建造される砕氷型巡視船の設計・建造を目的とした基礎データ収集及び解析を実施している。

本研究の一部として、砕氷型巡視船の氷荷重による構造応答計測を主眼とした実船実験を実施した。実験は平成10年2月と平成11年2月に知床岬沖合の海域で行われた。計測項目は構造応答以外に、船体運動、推進性能および海水の状況など多岐にわたった。航走方法としては連続砕氷試験、ラミング砕氷試験および平水中航行試験の3種類を実施した。

本論文では連続砕氷試験時の構造応答計測について報告するとともに、構造応答の性質を考察した。主要な結論は以下の通りである。

- (1)氷の接触による外板パネルの応力状態はx方向(船の長さ方向)がy方向(深さ方向)の2倍の応力を計測した。
- (2)パネルの最大応力は船首先端(セクション1)が最も大きく後方に行く程小さくなる。
- (3)船首部先端は細かく砕かれた氷が接触していることから氷による応力が高く、その発生頻度も多い。
- (4)船首部先端における高応力高頻度は軸馬力との相関が強い。それに比べて船首肩部では軸馬力との相関はない。
- (5)パネル最大応力(x方向)の深さ方向の分布をみると、セクション2、4が高い位置で、セクション3が低い位置で発生している。
- (6)船首肩部(セクション4)の最大応力は降伏応力の約30%相当する。
- (7)船首肩部の最大応力発生メカニズムは船体の水平運動が関連しており、このことは1998年に発表したラミング試験結果と一致する。

〈機関動力部〉
高温空気中におけ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 in High-temperature Ambient

羽鳥和夫

平成12年4月

日本船用機関学会誌第35巻4号

近年、船用機関に使用される燃料油は高粘度化・高残炭化等により低質化する傾向にあり、これらに起因すると考えられる傷害が発生している。燃料油に起因する障害を予測するには、燃料油の燃焼過程を解明することが重要であり、これまでも単一液滴を用いた基礎研究が行われてきた¹⁻⁹⁾。しかし、船用燃料油は幅広い沸点成分を含む多成分燃料であることから、この燃焼過程を十分に解明するに至ってはいない。

筆者は、これまでに、船用燃料油が基本的に残渣油と軽質油の二成分混合燃料であるとの観点に立ち、これまでに両者の混合燃料油を用いて高温空気中に於ける単一液滴の燃焼過程を調べて来た¹⁰⁾。この結果、次のようなことが明らかになった。

液滴が高温空気中に入ると、最初、主に低沸点成分の軽質油が蒸発する。空気温度が高く、軽質油の燃料蒸気が十分であれば、液滴はこの燃料蒸気で着火する(ケースⅠ)。空気温度が低いか、または軽質油の燃料蒸気が少なければ、この燃料蒸気は着火に至る前に周囲に拡散する。この場合、液滴は後から蒸発する残渣油の燃料蒸気で着火する。この時、着火遅れは残渣油自体の着火遅れより大きくなる(ケースⅡ)。両者の境界に於いて、着火遅れは初期直径に対しステップ状に変化する。そして、着火遅れは初期直径が小さく軽質油が少ない範囲(ケースⅡ)で大きく、初期直径が大きく軽質油が十分ある範囲(ケースⅠ)で小さい値を示す。

本報告では、高温静止空気中に於ける実際の各種船用燃料油の単一液滴の着火過程を示すとともに、着火遅れに及ぼす初期直径と空気温度の影響を調べ、これまでに得られている二成分混合燃料での結果を基に考察を行った。さらに、燃料油の密度と動粘度が着火遅れに及ぼす影響を調べるとともに、単一液滴での着火遅れと実機ディーゼルエンジンでの着火遅れとを比較し、相関性を調べた。

この結果、船用燃料油の単一液滴の着火遅れは二成分混合燃料と同様の傾向を示すこと、および、燃料油の密度と動粘度からでは予測出来ないことを明らかにした。また、実機ディーゼルエンジンの着火遅れは本実験で得られた空気温度900Kに於ける着火遅れとほぼ同様の傾向を示す事実を明らかにした。

フィルター振動法による実船でのPM計測について
Practical Measurement on Vessel for Particulate
Matter by Tapered Element Oscillating
Microbalance(TEOM)

松崎範行、大橋厚人、中島康晴、高杉喜雄、西川和美
平成12年5月

日本船用機関学会 第64回マリンエンジニアリング
学術講演会 講演論文集

船舶からの粒子状物質(PM)の排出は地球環境に甚大な影響を与える恐れがあるとの認識はされているものの、その詳しい排出実態は把握されていない。実船でのデータ蓄積をすすめるため、比較的装置がコンパクトで瞬時に計測結果が得られるフィルター振動法(PMを集めるフィルターに振動を与え、その振動数の変化から捕集したPM重量を測定する)による測定器を採用し、「銀河丸」停泊中に発電機原動機においてPMの実船測定を行った。次に、当所の中型中速ディーゼル船用機関を用いて、フィルター振動法とISOが規定しているフィルター重量法の比較測定を行い、実船実験で得られた結果の意味に関して検討した。

「銀河丸」補助発電機用ディーゼル機関のPM排出に関しては、負荷0~30(%)まではPMの増加は小さく、その後負荷とともにPMが増加している。また、負荷一定での長時間測定ではPM排出量はおよそ4分周期の増減が見られた。この原因は、測定中にガバナにおけるロード・リミッターの目盛りが2.8から3.0の間を周期的に動いているためと、今のところ考えている。今後、原因を明らかにするためには、データの蓄積が必要である。同一出力でも、周期変動があることが船用ディーゼル機関の特性であるなら、フィルター重量法においても周期の整数分のサンプリング時間か、周期が無視できるだけ長い期間のサンプリング時間を確保することが必要となる。フィルター振動法によるPM測定は、測定装置の可搬性と速い応答性により、それ自体非常に多くの情報をもたらす、非常に有用であることがわかった。

フィルター重量法との比較においては、フィルター振動法はフィルター重量法に対して、色々な負荷で1/2~1/5の範囲で小さくなった。フィルター重量法と等価な値を算出することは、排ガスの導入などに長い配管が必要となるため、多くの問題を解決する必要があることがわかった。

今後、測定系の見直しや基礎データの蓄積を行い、特定の基準値と比較できる測定法を確立し、次の目的である主機(航海中)での計測ができるよう検討を加えていきたい。

〈材料加工部〉

実用アルミニウム合金の組織と耐海水性
 Influence of Microstructure on the Corrosion
 Resistance of Industrially Manufactured
 Aluminum Alloys in Synthetic Seawater
 高橋千織、松岡一祥、千田哲也、古谷典ゆき
 矢野不二夫
 平成11年5月
 軽金属溶接構造協会第29回研究発表会講演概要

船舶用の実用および実験室レベル試作された5000系と6000系アルミニウム合金について、人工海水浸漬試験を行った。本報告はその結果の一部として浸漬期間6ヶ月の結果を組織との関係から考察したものである。以前に報告された結果と同様、同じ規格の範囲内で製造された合金であっても、製造条件の違いにより組織、特にMgの分布状態に様々なパターンのあることが示された。試料表面には試験開始後のかなり初期の段階で腐食生成物が多く生じるものがあったが、この腐食生成物は主にAlとMgの水酸化物であった。また、試験終了後の試験片から酸化皮膜を除去して表面の観察を行った結果、Fe、Si系析出物の周囲が優先的に溶解してできたクレーター状の孔食が多数観察された。一部試料では粒界が連続的に腐食しているものも見られたが、深さとしてはまだ浅く、粒界の腐食がつながって結晶粒単位で脱落するというような現象は見られなかった。この粒界腐食が時間とともに進行するタイプのものであれば、粒子脱落が起こる可能性があり、実用的に問題である。よって、さらに長時間にわたる試験を行うとともに、析出物とその周囲近傍のマトリックスがどのような電気化学的關係になっているかを検討することが、6000系アルミニウム合金の腐食特性を考える上で重要である。

Brittle to Ductile Transition in Sliding Wear of Alumina

アルミナのすべり摩耗における脆性から延性への遷移
 千田哲也、矢野不二夫、John Drennan、安田榮一
 Richard C. Bradt
 平成11年12月
 The American Ceramic Society
 Ceramic Engineering and Science Proceedings,
 Vol. 20, Issue 3
 -23rd Annual Conference on Composites, Advanced
 Ceramics, Materials, and Structures : A-

船用機関の耐摩耗性高温構造材料として期待されるアルミナ・セラミックについて、すべり摩擦における摩耗メカニズムを、室温から1,000°Cまでの範囲で調べた。摩耗と温度の関係を詳細に調べると、700°Cから800°Cの間で摩耗量が大きく低下し、750°Cはその遷移領域にあたるということがわかった。走査電子顕微鏡で摩擦面を観察すると、600°Cでは粒界破壊の特徴を示すバルク表面に摩耗粉が堆積した構造であり、800°Cでは動的再結晶により微細化した結晶からなるち密な表面層が形成されていた。750°Cでは、それぞれの特徴を示す領域が分布しており、低温域での脆性的特徴と高温域での塑性変形の特徴を示す領域が、局所的な温度、応力等に依存して形成されたと考えられる。このような脆性から延性への遷移は試験温度では700°Cと800°Cの間であったが、摩擦発熱を考慮した表面の局所的な温度(フラッシュ温度)を計算すると、950°Cから1,030°Cの範囲で遷移が起きていると推定され、アルミナ単結晶について、1,030°Cから1,150°Cと報告されている曲げ強度試験における脆性-延性遷移温度と近い温度範囲であった。

一方、600°C付近の脆性破壊による摩耗が起きる温度領域の摩擦面を透過電子顕微鏡で詳細に調べると、バルクの表面では転位等の塑性変形は限られた部分にしか観察されなかった。しかし、摩耗粉のX線回折を行うと回折線の広がりがあり、大きく塑性変形していることが示唆された。回折線の広がりから格子歪みと結晶子サイズを求めて両者の関係を分析すると、摩耗粉はポリゴニゼーション構造を有することが推定された。これらの分析結果から遷移温度以下での摩耗メカニズムを考察すると、表面の接触部では局所的な高い接触圧力のため塑性変形が起きるが、生成した摩耗がバルクの局所的な応力分布を緩和するために、その後は塑性変形は主な破壊メカニズムにはならず、弾性範囲で微少き裂が形成されて摩耗が進行するというプロセスが考えられる。

ステップ励磁電流を用いた電磁誘導法による腐食鋼板の厚さ測定

Thickness Measurement of Corroded Steel Plates
by Electromagnetic Method Using a Step Exciting
current

成瀬 健、島田道男、吉井徳治
平成12年3月
非破壊検査

ステップ励磁電流を用いた電磁誘導法による鋼板の厚さ測定法に関して、その測定範囲および鋼板の表面状態が測定に与える影響を調査するとともに、測定法の電磁気モデルによる考察を行って、計測から得られる情報（パラメータ）と鋼板の厚さの関係について定式化を試みた。また、実際に腐食鋼板を用いた実験により本測定法の腐食鋼板への適用性を確認した。

本測定法は、励磁コイルにステップ電流を流し、試験片（鋼板）を挟んで励磁コイルと反対側に設置された検出コイルにより鋼板の電磁気応答を計測して、得られた検出コイル電圧の波形から鋼板の厚さを求めるものであり、二つのコイルの間に鋼板を位置させなければならないことから適用に制約はあるものの、非接触で鋼板の厚さを測定できること、コイルと鋼板との間隔（リフトオフ）の変化に測定が影響されにくいこと等の利点があり、腐食鋼板の新しい厚さ測定法としての可能性を有している。

本研究では、実験結果から、本測定法の基本的特性である測定範囲をおおむね直径150mm以内と推定するとともに、鋼板表面の凹凸およびスリットに対して本測定法は鈍感であると評価した。また、測定法の電磁気モデルによる考察から、鋼板の電磁気応答波形から得られる情報（パラメータ）の一つである「遅れ時間」は、コイルのリフトオフおよび励磁電流振幅の変化に影響されにくい性質があることに加えて、鋼板の厚さとの関係を定式化することが可能であり、厚さ測定に有効なパラメータであるとの結論を得た。さらに、実際の腐食鋼板を用いた実験から、本測定法は腐食鋼板に適用可能であることを確認した。

アルミニウム合金6N01/6005A 溶接継手の強度 Strength Welding Joint of Aluminum Alloy 6N01/6005A

岩田知明、松岡一祥
平成12年4月

溶接学会平成12年度春期全国大会講演概要

6N01合金は押出性のよい熱処理型の中強度アルミニウム合金であり、鉄道車両、船舶の上部構造等の溶接構造物に用いられてきた。しかし、6N01はJIS固有の合金でISOに含まれていないため、成分範囲が類似でISOに認められている6005A合金へのシフトが急がれている。6N01合金と6005A合金の主な差異はMn+Cr量にある。しかし、6N01/6005A合金はMg₂Siの析出強化型合金であるため、溶接部の熱影響軟化が著しく、国産実用材は、Mn+Cr量を極力少なくする方向で6N01合金の溶接継手性能の改良を行ってきた。本研究は、6N01/6005A合金の溶接継手耐力に及ぼすMn+Crの影響について検討するものである。5種類の合金を推奨し、板厚は3および6mm、各材料毎にTIG1条件、MIG2条件、都合3条件の溶接を行い、標点間距離50および100mmで引張試験を実施した。

6N01と6005Aの大きな違いは、Mn+Crの重量分率であり、6N01は0.12%以下が許されているのに対し、6005Aでは許されないことである。突き合せ溶接継手引張試験結果から、計測値とこれまでの実験結果より最小二乗法で得られている0.2%耐力予測式による推定値を比較した。ばらつきは大きいですが、試験結果が推定値より大きく下回るものは、Mn+Crが0.11および0.23%の合金である。Mn+Cr重量分率の0.2%耐力に及ぼす影響から、6005合金のMn+Crの範囲、0.12%以上では、溶接条件その他により115MPaを達成できない場合があることが判明した。安定して115MPaを達成するためには、6N01合金Mn+Crを0.05%以下に制限する方がよい。

6005AにおけるMn+Crの下限值0.12%は、母材強度に対して設けられていると考えられる。しかし、6N01/6005A合金は析出強化材であるため、この基準が溶接継手強度に対しては不利となる可能性がある。安定した溶接継手強度を保証するためには、この下限値基準を再評価する必要があるものと思われる。

船体用Al-5 Si-0.1 Fe-0.4 Mg合金鋳物の特性
Characteristics of Al-5 Si-0.1 Fe-0.4 Mg Cast Alloy
for Ship Hull

松岡一祥、清水満雄、吉井徳治、北村 茂
千田哲也、勝又健一、秋山 繁、牛嶋道雄
平成12年
軽金属溶接

アルミニウム合金鋳物の船体への適用は、1980年頃から増加し、現在、日本小型船舶検査機構に登録されているアルミニウム合金鋳物船は約270隻である。300隻に近い登録船舶の一部では、船底あるいは船側外板に亀裂が生じる事故が発生している。その原因としては、最大荷重、疲労、腐食あるいは応力腐食割れ等が考えられるが、定かではない。アルミニウム合金鋳物船には概ね真空鋳物型形成技術が用いられているが、使用する合金に対する制限は実質的には存在しない。そこで、船殻材料として実際に用いられているアルミニウム合金鋳物の基本的な材料特性を把握し、同材料を使用するに際しての留意点を抽出することを目的として、Al-5、Si-0.1、Fe-0.4 Mg合金を使用した6mアルミニウム合金鋳物船の実態調査を行い、試料を採取して材料試験を実施し、以下の結論を得た。

- (1)外観観察の結果、塗装および犠牲電極で防食した場合、上記材料を接水部に使用することに問題はない。しかし、犠牲電極が無く、鋼製ボルトが接触している条件では、孔食が著しいことから、異種金属との接触を避け、防食施工を施すことが、接水部への使用の条件となる。
- (2)Al-Si-Mg析出強化型合金である本材料では、鋳造後の冷却速度および熱処理条件の機械的性質に及ぼす影響が大きい。鋳型に砂を用いて試験片を作る砂型試験によるカタログ値は、鋳造まま材で0.2%耐力110 MPa、引張強さ170 MPa、伸び5%程度であるが、寸法の大きい実船では、砂型試験片に比べて冷却速度が小さいため、強度、伸び共にこれを大きく下回る。また、鋳造後の熱処理も不可能である。すなわち、砂あるいは金型を用いた試験片による強度試験結果を設計用材料強度として使用することは適切でない。
- (3)シャルピー衝撃試験結果は、室温で軟鋼の0.07倍程度である。一般に信じられているように、アルミニウム合金に低温脆性が無いとするなら、この値でも問題は生じない。しかし、載荷速度を1.5倍にすると、衝撃値は1/5程度となる。この速度依存性を低温脆性の特徴と解釈するなら、低温での使用には問題があり、今後検討を加えることが望しい。

(装備部)

船舶からのビスフェノールAの排出について
Bisphenol-A Flow Out from Ship

柴田俊明

平成12年3月

日本水環境学会第34回日本水環境学会年会講演集

本報告は材料の耐久性に関する研究として塗膜の劣化について試験研究を進める過程で、塗膜中の水溶性成分及び遊離成分の塗膜外への溶出について調べたものである。

ポリカーボネイトやエポキシ樹脂の原料であるビスフェノールAは、内分泌攪乱性化学物質(環境ホルモン)の疑いがもたれている。ポリカーボネイト製のほ乳瓶や食器、あるいは缶詰の内部ラッカーコーティングからの溶出が問題となっており、このことはエポキシ樹脂系の塗料を多く使用し、水環境に常に接している船舶においても無関心でいられる事ではない。

船舶に於いては船体や船倉、バラスタンクの防食塗料としてエポキシ樹脂系塗料が多く使われている。バラスタンクにおいては主にタールエポキシ樹脂塗料が塗装されるが、注水時に塗膜からのビスフェノールAの溶出が有った場合、排水により海中に排出されることになる。海洋は水環境の最下流に位置し、ビスフェノールAの環境影響を考えると、海水環境に於ける実態を知る必要がある。

本報告は塗膜からのビスフェノールAの溶出の可能性を探るため、塗料膜のみの試験片を試験液の蒸留水に浸漬して最長96時間の溶出試験を行い、試験液をGC-MSによる定量分析を行った結果について述べたものである。試験の結果0.01~0.03ppb(検出下限0.01ppb)の溶出が検出された。しかし、検出値も低く、溶出を完全に確認するには十分とは言えない。今後は海水による溶出試験などを行い、溶出を確認する必要がある。

船載型海水微量成分分析装置の開発

Development of Microunalysis System in Seawater
on board Sea trial

山口良隆、山之内博、樋富和夫、山岸 進

平成12年3月

日本化学会第78春期年回予稿集第1分冊

石油コンビナートからのリークオイルやタンカー事故などで未回収分の流失オイルは海洋環境へ取りこまれていく。これらのオイルは、劣化・拡散などの過程をたどり海洋中に溶存・分散していく。微量オイルは海洋での汚れの指標になるほかプランクトンや魚類などから生態系に入り生態濃縮され生態系上位の生物を汚染している可能性がある。このような汚染が指摘されながら、様々な海域での微量オイルの濃度はあまり研究が行われていない。また環境計測は採取した試料の汚染などの問題から「その場観察」が主流となりつつある。そこで我々はレーザー光での蛍光分析法を用いて、その場観察型オイル成分分析装置の開発を目的とし、今回はその第1歩としてA重油を中心としたオイル分の蛍光分析結果から船載型微量オイル成分分析システムの設計について述べていく。

オイル分析装置の測定波長を決めるために、オイル成分の蛍光波長範囲をストリークカメラで測定した。使用したオイルはA重油などである。レーザー源はYAG:THGで励起波長は355nmである。A重油を測定したところ、400から450nm付近にブロードなピークを持つスペクトルが得られた。A重油は、内航船の燃料として用いられているオイルである。得られたブロードピークの蛍光の波長を用いて、A重油換算の値がわかると考えられる。以上のデータを基礎にしてフロー型および高感度蛍光分析のオイル成分モニタリング装置のデザインをしている。開発しているシステムは船舶に搭載可能な微量分析装置であり、走行中に海水を取水口から取り入れ分析を行える。得られるデータはローカルなエリアだけではなく航路上の広域なオイル濃度である。本システムは広い領域を測定できる新しいモニタリング形態である。

〈システム技術部〉

強潮流下における弓削丸の操縦運動解析

Analysis of Strong Current on Maneuverability of
Yuge-Maru

丹羽康之、沼野正義、福戸淳司、室原陽二

平成11年10月

日本航海学会論文集第101号

来島海峡航行においては、強潮流の影響のため「順中逆西」という航法が採用されている。しかしながら「順中逆西」の見直しの動きもあり、そのためには強潮流が操船にどの程度影響を及ぼすのかを知った上、強潮流に左右されない操船方法を確立する必要がある。潮流の船体運動への影響については、様々な検討が行われているが、実航行時に遭遇する渦流といった局地的な影響については未解決である。

そこで弓削商船高等専門学校所有の練習船「弓削丸(総トン数:240トン、全長:35m)」で、来島海峡の中水道、西水道を延べ10回の航行を行い、潮流と船体運動の関係の調査のための観測を行った。弓削丸が装備している超音波ドップラー流速計で潮流を観測し、同時に船体運動収録装置により各種データを観測した。そして観測データに基づき、潮流と船体運動の関係の中で、特にX方向の船速の変化について着目して解析を行った。

1通航中では、CPPピッチを固定することにより、対水船速が一定になるように設定した。そして解析の結果、強潮流の時間帯においては、潮流の大きさがそのまま対地船速に反映されているが、転流時である潮流の比較的弱い時間帯においては、単純に潮流の大きさだけではなく、それ以上に推進性能が低下していることがわかった。このことは、転流時は潮流が定常かつ一様流ではなく、局所的な乱れが生じているためと考える。

今後、更に詳細な観測実験・解析を行うことにより、強潮流下における操船方法の確立を目指したい。

Development of 3D Tool for Tidal Current and Ship
Movement Analysis and Its Application to Real
Observations

潮流と船体運動解析用の3Dツールの開発と実観測
データへの適用

多田光男、丹羽康之、福戸淳司、室原陽二

沼野正義、緒方純俊

平成11年11月

Proceeding of ECM&SP '99

潮流の強い狭水道や海峡の航行時の安全性を確保するためには、操船への潮流影響を検討し、その潮流の流動構造を明確に調査しておく必要がある。そこで筆者らは、潮流と船体運動の関係を解析する上で、可視化3次元ツールを開発した。その特徴としては、潮流観測地域を鳥瞰図として表示し視点位置が任意に変更可能であり、ズームアップ等の拡大・縮小表示機能を備え、必要な各種情報をコンピュータ画面上にベクトル表示や数値情報として映し出すことができる。さらにサンプリング時間ごとの観測したデータをアニメーション画像として表示するなどの機能を備えているものである。

上記ツールを実際に来島海峡の観測データに適用し、解析を行った。弓削丸(総トン数:240トン、全長:35m)に搭載した超音波ドップラー流速計を用いて潮流を観測し、同時に船体運動収録装置により各種データを観測した。観測データをもとに潮流と船体運動の関係を解析し、次のような結果が得られた。来島海峡の潮流は島や半島などのいわゆる地形効果が顕著で、場所によって流向に大きな変化がある。来島海峡の潮流による船体運動への影響は地形効果による平面的な流れの影響が大きい。

また今回開発した3次元ツールを用いることにより、上述の観測結果を容易に理解することが可能であり、このツールの有効性が確認できた。今後はさらに使いやすいインターフェースに改良するつもりである。

Evaluation of the Core Damage Frequency of the
Marine Reactor X

改良船用炉MRXの炉心損傷頻度の評価

松岡 猛、三友信夫、山路昭雄、福原彬文

石田紀久

平成12年2月

海洋における原子力利用に関する国際ワークショップ;
N' ocean 2000 講演集

日本原子力研究所において設計検討されている改良船用炉(MRX:Marine Reactor X)について炉心損傷頻度の評価を実施した結果についての報告である。

改良船用炉MRXについて概要説明の後、解析手順に沿っての主要点を述べている。原子炉事故が発生する恐れのある起因事象として51項目について検討し、その中から14項目を起因事象として選定した。配管破断時の事故進展挙動は破断位置により異なってくる。それ故、格納容器水浄化系、体積制御設備系、余熱除去系、主給水係、主蒸気ライン、原子炉補機冷却系については配管破断箇所を複数設定し、それぞれの配管長を考慮した起因事象発生頻度を割り当て、それぞれについてイベント・ツリーを作成した。その結果、イベント・ツリー数は36個となった。

解析の結果得られた主要事故シーケンスは、サンプリング系、体積制御系、余熱除去系の格納容器内配管破断に起因するものが上位3シーケンスを占めていた。内的事象による炉心損傷頻度を算出した結果 9.1×10^{-8} /炉・年と評価された。この値は過酷事故解析(アメリカにおける評価)で検討されたSurry, Sequoyah, Zionの加圧水型原子カプラーントの炉心損傷頻度と比較して2~3桁以上小さな値であった。

陸上発電炉と異なり外部電源を持っていない船用炉であるにもかかわらず高い信頼度が得られたのは受動的な安全炉という設計と一体型炉による一次系大口徑破断事故を排除するという設計による所である。本解析によりMRX炉は非常に安全性を持つ船用炉であると評価された。

Safety during Sea Transport of Radioactive Materials

—Probabilistic Safety Analysis of Package for Sea Surface Fire Accident—

放射性物質の海上輸送時の安全性

—確立論的安全評価法による海面火災時の輸送容器の健全性評価—

松岡 猛、小原磯則、阿久津幸雄、有富正憲

平成12年2月

海洋における原子力利用に関する国際ワークショップ；
N'ocean 2000 講演集

わが国においては原子力発電の比重が増大してきており、それに伴い各種の原子燃料物質が国の内外間で海上輸送されている。特に、使用済燃料、高レベル放射性廃棄物等は国際的に定められた基準に則つて輸送されている。海上輸送中に遭遇する火災要件の妥当性の検討の一環として本研究を実施した。

原子燃料物質運搬船が油タンカーに衝突し、海面火災が発生。運搬船が火災領域からの脱出に失敗し、漲水装置、船倉冷却装置の作動にも失敗するというシナリオを考えイベント・ツリー解析により定量的な評価を実施した。

衝突発生頻度、非衝突船の船種、重大損傷発生確率、流出油の着火確率、火災現場からの脱出確率は海難事故統計のデータをもとに推定した。衝突時の減速成功確率は船長等の現場の意見を基とした工学的判断により設定した。油タンクの破損時破口面積はミノルスキー式を用いて算出し、油流出量、タンク破損確率はタンカーの構造モデルに基づき推定した。漲水装置、船倉冷却装置の作動成功確率はシステム解析により算出した。

イベント・ツリーの定量解析の結果、放射性物質の健全性に影響を及ぼすシーケンスとして4ケースが同定された。非衝突船がSingle Hullの大型船で外側油タンクの破損時、Single Hullの中・小型船で外側、内側タンクの破損時、Double Hullの大型船でタンク2槽破損時、Double Hullの中・小型船でタンク2槽破損時である。

これら4シーケンス発生頻度の合計は 2.94×10^{-9} 隻・航海であり、年に1隻あたり12回程度航海するとすると、 3.53×10^{-7} 隻・年となる。この値が種々の人間活動にともなう事故発生頻度は言うまでもなく、原子力発電所等の設備に想定されている事故発生頻度に比較しても十分小さな値になっている。

万一の海上火災時に発生すると考えられる輸送容器の健全性が損なわれる確率は十分小となっており、使用済核燃料の海上輸送時の安全性は十分高いと評価された。

タイタニック号事故は起こり得ない悲劇だったか？

—確率論的安全評価法による解析—

Was the Titanic Accident an Inevitable Tragedy?

—Analysis by the Probabilistic Safety Assessment—

松倉洋史、三友信夫、松岡 猛

平成12年3月

日本海難防止協会 海と安全 2000年3月号

大規模で複雑なシステムを設計・建設・運転する際には、そのシステムが公衆や運転員に被害を与える恐れが無い様、事前の十分な検討が要求される。特に、プラントや大規模交通システムなど多数の人員が関与するシステムにおいては、事故時の影響の大きさから万が一にも大事故を発生させるわけにはいかない状況にある。そのための安全評価法としては、決定論的安全評価手法に加えて、システムを構成する機器の故障・破損やシステムを取りまく状況の発生を確率的な事象と捉え、システムにとり不都合な事態（事故）が発生する確率を定量的に評価することのできる確率論的安全評価手法(PSA: Probabilistic Safety Assessment)が導入されてきている。本報告は、安全解析の専門家ではない一般の読者を対象として、船舶事故の確率論的安全評価法による解析をタイタニック号事故を例にして平易に紹介したものである。

報告では、まず確率論的安全評価手法の基本手法であるイベントツリー手法を簡単な例を用いて説明し、その後、タイタニック号事故を対象として事故の概要説明、分岐項目の選定、イベントツリーの作成、分岐確率の推定、被害の推定、計算・集計の順に説明を行った。求めた確率は、(当時の一般船舶の事故発生確率ではなく)タイタニック号という特定の船がその特有な環境下でどの程度の確率で事故に遭うかであるが、その結果、同事故と同等以上の海難事故の発生確率は 2.37×10^{-9} 回/航海であった。これは、およそ42航海に1回という大きな割合で同事故と同等以上の事故が起こることを示しており、90%信頼度幅での値ならば、事故の発生はおよそ29~71航海に1回という値であった。これらの値から、タイタニック号事故は非常にまれな事故ではなく、ある程度起こるべくして起こった事故であることを示し、同時に1978~95年の事故確率統計データと比較することで、現代の船旅の安全性を示した。

小型原子炉の安全性

Safety of Small Nuclear Reactors

松岡 猛

平成12年3月

電子情報通信学会技術研究報告

現在の原子力発電プラントは加圧水型、沸騰水型とも電気出力100~140万kw規模が基準となっている。このような大出力の発電プラントはスケールメリットによる高経済性が期待できるが、その保持するエネルギー量が大きいと、万一の事故時には重大な被害を及ぼす潜在的可能性もある。そのため、安全確保のために多重防護の思想に基づいて各種の工学的安全設備が備えられている。

それに対して、出力を小さく抑さえた小型原子炉では保持するエネルギー量が少であるという特長を生かし、安全設備を単純化し高信頼度を達成することができる。特に安全機能が外部からのエネルギーあるいは信号・操作なしに確保される受動的な安全システムを用いれば、非常に高い安全性が達成される原子炉を作ることができると考えられている。

本論では、まず受動安全を起動信号の有無、安全機能維持のための動力の必要性の有無及び自然力か外部動力かの組み合わせで分類し説明した。次に小型受動安全炉の例として、小型高温ガス炉MRS、超小型高速炉、密度ロックを使用したPIUS炉、崩壊熱除去が受動システムであるAP600、海洋原子炉MRX炉についてそれぞれの特長を説明した。さらに、MRX炉の特長、崩壊熱除去系の動作方法についてやや詳しく説明し、イベント・ツリー解析手法を適用し内的事象による炉心損傷頻度の算出過程を簡単に紹介した。解析の結果、加圧水型陸上発電炉の炉心損傷頻度の値に比較して約2~3桁高い信頼度を持っているという結果が得られた。

もしあなたがタイタニック号に乗っていたら

If you were on Titanic

松岡 猛

平成12年3月

柏崎刈羽原子力発電所 広報誌「安全文化」

現在の原子力発電プラントの安全性の評価においては確率論的安全評価方法が用いられ始めている。本紹介記事はこの確率論的安全評価法の理解を助けるために、イベント・ツリー解析手法を用いてタイタニック号事故を解析した結果について述べている。

まず、確率論的安全評価法について簡単に述べ、次にタイタニック号事故の概要を図を使い記述した。解析の手順、①情報収集、②分岐項目の選定、③イベントツリーの作成、④確率値の推定、⑤被害の推定、⑥発生確率の計算と集計、⑦結果の検討、⑧グラフの作成、に沿って解析方法を説明した。

タイタニック号事件の概要を基に作成したイベント・ツリーを掲載し考慮した項目及び実際にタイタニック号がたどった道筋を示した。

解析の結果は、あくまでもタイタニックという特定の船が特有な環境下においてどの程度の確率で事故に出会うかを示したものである。およそ42航海に一回という大きな確率で事故に出会うという結果が得られ、90%の信頼度幅ではおよそ29~71航海に1回という値であった。

解析結果のグラフ表示では、遭難者数と累積発生確率の関係が示されている。このグラフには併せて1978~1995年間における旅客船・フェリーの事故遭遇確率が記入されている。

タイタニック号事故を契機に各種の安全対策が旅客船に対して取られ現在では比較にならないほど安全性は高められている。

〈原子力技術部〉

Natural Circulation Characteristics of a Marine Reactor in Rolling Motion, and Heat Transfer in the Core

船用炉の横揺れ時自然循環特性及び炉心部熱伝達
村田裕幸、澤田健一、小林道幸
平成11年9月

Proceedings of the 63rd Eurotherm Seminar: Single and Two-Phase Natural Circulation

船用炉が自然循環によって炉心冷却を行う際に横揺れ運動が加わると、系内の不均一な温度分布により生ずる自然循環駆動力に加えて、横揺れ運動による加速度変動が一次冷却水に作用するため、その自然循環特性は複雑なものとなる。本研究では、船用炉の横揺れ時自然循環特性及び炉心部熱伝達を明らかにするため、船用炉を模擬した実験装置を用いて、2種類の分離効果試験（定傾斜自然循環実験、非加熱横揺れ実験）を実施した後、ヒーター出力、動揺周期、横揺れ振幅を変化させた横揺れ自然循環実験を実施した。

その結果、横揺れ自然循環におけるホットレグ、コールドレグ流量は横揺れ角に対応して周期的に変動し、流量変動の振幅は動揺周期が短くなるにつれて増大し、横揺れ角に対する位相遅れも増加することが明らかとなった。一方、炉心流量は時間的に変動しないが、その値は動揺周期、ヒーター出力、動揺振幅によって変化すること、その変化は動揺のレイノルズ数、レイリー数によって整理できることが分かった。また、一次元解析モデルによる計算結果と実験結果との比較により、炉心流量の変化は横揺れ運動による加速度変動によって直接生ずるのではなく、横揺れの加速度によって自然循環駆動力とループの一巡圧力損失が変化することにより間接的に起こることが明らかとなった。

一方、正立時の炉心部の熱伝達は、本研究と類似の体系で自然、強制、複合対流実験を実施したEl-Genkらの結果と比較したところ、彼らの自然対流の熱伝達整理式とよく一致することが明らかとなった。また、本実験の範囲では定傾斜の影響は殆どないことがわかった。さらに、炉心部の熱伝達は横揺れによって促進されること、その変化は動揺のレイノルズ数とグラスホフ数の比である動揺のリチャードソン数によって整理され、次の3つの領域に分類されることが明らかとなった。すなわち、(1)動揺のリチャードソン数が0.3より小さい場合には熱伝達は横揺れ運動のみに支配され、(2)動揺のリチャードソン数が0.3~0.2までの領域では熱伝達は横揺れ運動と自然対流の双方に支配され、(3)動揺のリチャードソン数が2より大きい場合には熱伝達は自然対流のみに支配される。

円柱列を過ぎる脈動流に関する基礎的研究
Research of the oscillating flow which passes an array of cylinders

澤田健一、村田裕幸、小林道幸
平成12年3月

日本原子力学会「2000年春の大会」要旨集

船用炉の安全性を考えるうえで、波浪等による船体運動が船用炉に与える影響は重要な要素の一つである。MRXに代表される一体型船用炉が事故などによって自然循環炉心冷却を行っているときに、船体運動、特にローリングの影響を受けると、冷却水の流れが脈動流になることが今までの実験によって明らかになっている。このため脈動流が船用炉の冷却性能に与える影響を評価することは船用炉の安全性にとって重要である。しかしながら、脈動流が熱伝達等に与える影響は、単一円柱周りの流れにおいては研究が行われているものの、船用炉の蒸気発生器部に見られるような複雑な流路における影響については殆ど行われていない。また、脈動流の脈動振幅・周期などが流れ場に及ぼす影響に関しても十分明らかにされていない。

そこで本研究では、蒸気発生器部のような複雑流路における脈動流の影響を調べるために、まず基礎的研究として蒸気発生器部を単純化した円柱列を挿入した二次元チャンネル流路を作成し、非加熱の可視化実験を行った。実験装置には回流式流水槽を用いた。測定部は、高さ $H=50\text{mm}$ 、幅 $W=400\text{mm}$ として流れの二次元性を保ち、長さ $L=4000\text{mm}$ として流れを十分に発達させるようにした。またチャンネル流路中に直径 15.4mm の円柱を流路高さ中心面上に流れに直交して配置した。流れの脈動は測定部上流に設置した可変ピストンによって制御した。その結果、流量 $Q=Q_1+Q_2\sin\alpha$ で表される周期的な脈動流を発生させた。流れの可視化には、直径 30ミクロン のナイロン粒子を流れ場に懸濁させ、スリット光を照射して流れ場をCCDカメラによって撮影する方法を採った。可視化画像は3時刻パターンマッチング法を用いたPTV(Particle Tracking Velocimetry)によって画像処理を施した。実験は、脈動周期・振幅などの脈動流のパラメーターを種々に変化させることで、これらがカルマン渦の生成や流れ場の特性に与える影響を明らかにした。

0.1-1. 0MeV光子照射された鉄あるいは鉛遮蔽体後方の皮ふ線量に対する2次電子の影響

Influence of secondary electrons skin dose behind iron or lead shield irradiated with 0.1-1.0 MeV photons

成山展照

平成12年3月

日本原子力学会2000年春の年会 予稿集

遮蔽設計においては、70 μ m線量当量は1cm線量当量の10倍を超えるおそれのある場合にのみ考慮される。自由空間中のファントムに対する光子照射に関しては、10keVを上回るエネルギーにおいてはこの条件は該当しない。しかし、光子の遮蔽体には高原子番号物質が用いられるため、こうした遮蔽体近傍においては発生する多数の2次電子により、70 μ m線量当量と1cm線量当量の比が自由空間中より大きくなることが考えられる。しかし、こうした影響の定量的評価についてはほとんど発表がなされていない。そこで、従来の原子力施設において主要なエネルギー領域である0.1~1.0MeV光子照射時の鉄または鉛遮蔽体後方における70 μ m線量当量と1cm線量当量の関係について、モンテカルロ輸送計算コードEGS4を用いて計算を行った。

計算は、遮蔽体後方に厚さ15cmのICRU4元素板状ファントムを配置し、平行光子ビームを入射させた時の深さ50-100 μ mの沈積エネルギーを求めた。用いた光子エネルギーは、1.0、0.5、0.2、0.1MeVであり、遮蔽体厚さは1、2、3mfpである。遮蔽体とファントム表面との距離は、0から200cmに変えた。1mfp厚さ鉄遮蔽体に対する計算結果によると、1、0.5MeVにおいてほとんど2次電子の影響は見られず、0.2、0.1MeVに関しても遮蔽体表面近くにおいてわずかにピークが現れるだけであった。それに対し鉛遮蔽体においては0.5、0.2MeVに対してそれぞれ80cm、60cmまで2次電子の影響が現れ、遮蔽体表面と遮蔽体より離れた場合の線量の比も、各々2.5、4.7と鉄に比べて大きくなった。こうした傾向は、2、3mfp厚さ遮蔽体についてもほとんど同じであった。ここで、鉛遮蔽体に接した場合についても、70 μ m線量当量が1cm線量当量の10倍を越えていないことを確認するため、1cm線量当量についてもEGS4を用いて計算した。その結果、両者の比は200keVの4.36倍が最大であり、10倍を越えることはないことが明らかになった。ところで、皮ふ線量は組織荷重係数0.01により実効線量に組み入れられている。しかし、その寄与は前後、後前、回転照射に関しては0.1MeV以上において高々1%程度であり、たとえば体の前面がすべて鉛遮蔽体に接していても、0.2MeVエネルギーの4.7の比から実効線量はわずかに4%ほど増加するだけであると考えられる。

(海洋開発工学部)

防波堤が存在する場合の超大型浮体式海洋構造物の係留系破壊確率推定法

Estimation Method of Failure Probability of Mooring System of a VLFS as a Breakwater Exists

齋藤昌勝、加藤俊司、大松重雄

平成11年5月

日本造船学会 日本造船学会論文集第185号

多点係留系の安全性は超大型浮体式海洋構造物の計画において重要な評価項目の一つである。係留系の安全性は「所定の耐用期間内に係留系の破壊による浮体の漂流が起こらない確率または破壊が起こらない確率」と定義することができる。超大型浮体式海洋構造物の係留系の安全性を非破壊確率で議論する場合、許容下限値が必要であるが、その設定法は未だ確率されていない。

現在広く検討の対象となっている5,000m級の超大型浮体式海洋構造物の係留系の破壊確率が果たしてどのくらいなのか、また、設計パラメータやモデル構築上・解析実行上の取り扱いによってどの程度変化するのかという情報は、非破壊確率の許容下限値の設定法を確立するためにも極めて有用なものであると思われる。

本論文では、防波堤を擁して東京湾に設置された5,000m級の箱型浮体の多点係留系が強風波浪中で破壊する確率の推定に用いるモデルを提案し、防波堤の有無及び係留装置数に対する破壊確率の変化の状況について報告する。

計算の結果、箱形の超大型浮体においては、稼働中の動揺を許容値以下に抑えるために防波堤が必要であるが、浮体の漂流に対しては防波堤は必要条件ではなく、十分条件であることがわかった。そこで、建設コストや潮流阻害影響等も考慮して、防波堤と係留系の最適な構成を検討する必要があると思われる。

防波堤が存在する場合のポンツーン型超大型浮体の
波浪中弾性応答計算法 その1 近似計算法
Numerical Calculation of Hydroelastic Response of
Pontoon type VLFS Close to a Breakwater
part 1. Approximate Calculation Method
大松重雄
平成11年5月
日本造船学会 日本造船学会論文集第185号

近年、海洋空間の有効利用を目的として、メガフロート技術研究組合を初め各研究機関で超大型浮体式海洋構造物の開発研究が活発に行われている。超大型浮体は設置海域の海象条件やその用途に応じては、周辺に防波堤が設置される場合がある。その場合の波浪中弾性応答を予測する手法を開発しておくことは、浮体に要求される機能及び安全確保の点で重要である。

本論では、著者が以前開発したopen sea中の弾性応答計算法をベースに、水深一定、浮体の平面形状は矩形、喫水は0とするなどの制限は設けるが、防波堤の影響を効率よく取り入れた弾性応答計算法を開発することとした。そのために、まず防波堤が存在する場合の回折波浪場の簡便かつ厳密な計算法を開発した。すなわち、防波堤の厚さが0になった極限を考え、ダブルレット分布で表現する方法である。この計算法は、防波堤の形状は任意かつ複数存在しても可能な方法であり、弾性浮体の応答計算のみならず、より一般の問題に適用できるものである。

次に、その中の弾性応答の近似計算法として、浮体と防波堤の相互干渉を無視した弾性応答計算法を考案した。これは著者が以前開発した弾性応答の計算法において、入射外乱として入射波の代わりに前記の防波堤による回折波浪場を入射外乱として解く方法である。したがって、浮体から散乱される波の防波堤による反射等は考慮されないが、防波堤内部の波浪場そのものが小さいので、応答のオーダーチェック等の実用計算には十分であろう。この場合、radiation流体力は防波堤が存在しないいわゆるopen sea中のものが使用され、計算時間も増加しない。

勿論、厳密には浮体の弾性応答と防波堤の相互干渉を取り入れるべきである。その際、前記のように防波堤はダブルレット分布で表現されるが、弾性応答の計算のためにはダブルレット分布の強さそのものを求める必要はない。その点を考慮すると、open sea中の計算に比べ、それほど未知数を増加させることなく、しかも相互干渉を厳密に取り入れた計算が可能である。この厳密計算法については次報で詳述する。

本報は、上記の防波堤による回折波浪場の計算法及びその中で弾性応答の近似計算法について述べるとともに、それによる計算結果を既存の結果と比較して示すものである。

〈水海技術部〉
On the Sea Ice Properties in the Southernmost Part
of the Sea of Okhotsk by the Ship-based
Observations

船上観測によるオホーツク海南部の海水特性について
下田春人、宇都正太郎
平成12年2月
オホーツク海・氷海研究グループ
第15回オホーツク海と流氷に関する
国際シンポジウム講演要旨集

当所では1991年以来、北海道沿岸オホーツク海南部海域において巡視船「そうや」、「てしお」を用いて海水観測、航行性能実験を実施している。船上海氷観測では主に、ビデオカメラによる海水厚の計測、氷塊採取による氷温度、氷塩分濃度の計測、そして氷丘化した氷盤上に降りての掘削を行い、氷厚、積雪深、セイル高さ等を計測している。これらの計測結果からオホーツク海南部の海水特性（氷厚、塩分濃度、曲げ強度、圧縮強度）について以下の知見が得られた。

- (1) 一様に平坦な氷盤の氷厚は0.4m以下であり、氷厚0.5m以上の氷は氷丘脈や氷丘化した変形氷に多く存在している。
- (2) 一様に平坦な氷盤の氷厚は0.3~0.4mが最も卓越している。
- (3) 氷厚がある一定以上の領域では氷厚分布の確率密度は氷厚に対して指数関数的に減少していて、この領域の海水は概ね変形氷である。
- (4) オホーツク海南部の海水塩分濃度は北極や南極の1年氷に比べて塩分濃度が低い。これは、海水温度が高いからと思われる。
- (5) 船上から採取した氷塊の平均氷温は -2.6°C であった。
- (6) 船上から採取した氷塊の水温と塩分濃度から、氷厚0.35m以上の氷盤の曲げ強度は0.34MPaと推定され、過去に行われた野外での片持ち梁曲げ試験結果と良く一致している。
- (7) 船上から採取した氷塊の氷温から、氷厚0.30m以上の氷盤の一軸圧縮強度は $2.19 \pm 0.73\text{MPa}$ と推定される。

氷による被膜材の摩擦・摩耗特性
 Friction-Wear Characteristics of Coating Materials
 at Sea Ice
 前田利雄
 平成12年3月
 日本材料学会 第29回FRPシンポジウム講演論文集

氷海域で使用される船舶や海洋構造物は海流、風、潮汐等により絶えず移動する氷による摩擦を受けている。これらが作用する被膜材の摩擦摩耗特性は船舶の航行性能や海洋構造物への氷荷重に影響を及ぼすとともに、安全性、耐久性にも影響する。このため氷海域で使用される被膜材は氷による摩擦摩耗挙動を十分把握しておく必要があるとともに、メンテナンスフリーの被膜材の開発が望まれている。そこで、塗膜、FRP、熱可塑性樹脂複合材(FRTP)等を氷海用被膜材として使用する場合の適合性を検討するため、回転式摩擦摩耗試験機による海水と各種被膜材との摩擦摩耗試験を行った。本研究で用いた被膜材は塗膜3種類(タールエポキシ、超厚膜エポキシ、ガラスフレック系塗料)FRP3種類(樹脂単体、ガラス繊維強化複合材、カーボン繊維強化複合材)熱可塑性樹脂複合材3種類(ポリプロピレン樹脂、スタンパブルシート、一方向プリプレック積層材)の9種類であり、摩擦材の氷にはオホーツク海で採取した海水を使用した。得られた結果は次の通りである。

- (1)摩擦特性では動摩擦係数が試験荷重及び試験速度にやや影響される。
- (2)摩耗量は摩擦係数及び供試材の硬さに依存し、摩擦係数の大きいものほど摩耗量が大きくなる。また、硬さの影響では総じて、硬さの大きいものほど摩耗量は小さくなる傾向が見られた。
- (3)材質による違いでは、FRPに比べて硬度の小さいポリプロピレン樹脂単体はFRPと同程度の優れた耐摩耗性を示すことがわかった。

(大阪支所)
 On the Transition of Secant Modulus of GFRP
 Laminate for Ship Structure During Fatigue Test
 船用GFRP積層板の疲労試験中の割線係数変化について
 千秋貞仁、櫻井昭男
 平成11年7月
 Proceedings of the 12th (1999)International
 Conference on Composite Materials

小型船舶用構造材料として使用されているGFRP積層板の経年後の疲労特性変化を確認するために、17年間運航した対象船の船底板より切り出した経年試験材により圧縮疲労試験を行い、破断寿命と試験中の割線係数の変化を測定した。この結果を、新材の疲労特性と比較したところ、以下の特長が確認された。

- (1)経年材と新材の割線係数変化を比較すると、経年材の方には疲労初期の低下が見られなかった。
- (2)破断直前の割線係数変化曲線の形状は、新材と経年材ではともに類似の傾向を示した。
- (3)試験結果によると、経年材の疲労強度は新材の約6割程度に低下していた。

また、著者らがこれまでに新材の船用GFRP複合材料の疲労強度予測に適用可能であることを確認した、いわゆる2P(2パラメーターモデル)により、経年材の疲労破断寿命線図の解析を試みた。その結果、試験結果よりモデルの定数を定めてS-N曲線をシミュレート出来たケースがあったものの、ほとんどの試験結果は2Pモデルではシミュレート出来なかった。この原因は、今回の解析では2PモデルでS-N曲線を回帰する際に静的破壊(繰返し数; N=1回での破壊)も含めたが、経年数ではほとんどのケースで静的破壊と疲労破壊の最終破壊モードが異なっていたために、モデルの定数を決定する計算が収束しなかったからではないかと考えている。

**On the Transitions of Secant Modulus of GFRP
Laminates for Ship Structure During Fatigue Test**
船用GFRP積層板の割線係数変化について

千秋貞仁、櫻井昭男
平成11年6月

Proceedings of the Ninth(1999)International
Offshore and Polar Engineering Conference

既存の小型船用構造材料として使用されているGFRP積層板の疲労強度特性を知るために、ハンドレイアップ法により作成された標準の積層構成と様々な板厚、及び繊維含有率を持つ積層板から試験片を切り出し、片側圧縮及び片側引っ張り繰り返し荷重による疲労試験を行った。それぞれの試験結果をS-N(応力-破断繰り返し数)線図にまとめて寿命評価を行うと共に、荷重と変位を試験中の所定の繰り返し数で測定して割線係数(弾性体の見かけのヤング率に相当)を算出し、その変化をグラフにまとめて各試験片の疲労蓄積過程の特徴をシリーズごとに比較した。以上の結果に基づき、疲労破断強度と疲労蓄積過程に与える繊維含有率と板厚の影響を検証した。まず、グラフの比較により以下の傾向を確認した。

- (1)MR積層板は引っ張り疲労強度に比べて圧縮疲労強度に優れている。この傾向は長寿命域において顕著に現れた。
- (2)引っ張り疲労においては繊維含有率が支配的で、特に短寿命域での疲労強度を決定する。一方、圧縮疲労においては明確な特徴は確認されなかった。
- (3)板厚の増加は疲労強度の低下をもたらす。この傾向は特に長寿命域で顕著であった。
- (4)全ての引っ張り疲労試験において、割線係数変化曲線に相似性がみられたことから、引っ張り疲労の蓄積過程は各板厚、繊維含有率、及び応力レベルにおいて同一であることを示唆しており、試験片内部の損傷蓄積が、主亀裂の進展などの単一機構によるものと推察される。
- (5)圧縮疲労の割線係数変化曲線は各シリーズにおいて概ね類似の傾向を示した。寿命初期の材料硬化とそれに続く安定域、及び寿命の約1割付近からの剛性低下と約9割付近からの急激な剛性低下が特徴的である。この傾向より、圧縮疲労では複数の微視的機構(例えば、樹脂の硬化、繊維界面や層間の剥離等)が相互に関連していることがうかがえる。また、最終破損形態は座屈による剛性低下であった。

以上の全体的傾向からMR積層板の引っ張り疲労寿命は繊維含有率を支配的なパラメータとし、板厚の増加によるいわゆる寸法効果に伴う強度低下を二次的な因子として、簡単なモデルで予測可能であると判断し、疲労残存強度が指数則に従う場合の寿命予測モデル(いわゆる2パラメーターモデル)による試験結果の

解析を行った。その結果、繊維含有率と寸法効果が疲労強度特性に与える影響をモデル中の定数により、定量的に表現可能であることがわかった。

**Nondestructive Evaluation of Adhesively-Bonded
Joints Using Ultrasonic Waves**

超音波による接着接合の非破壊評価

津島 聡、小野正夫
平成11年11月

第3回日中複合材料交流会講演集

接着層の境界面の非破壊評価は工場プラントや船舶等のような構造物の安全性や信頼性の維持及び向上のために非常に重要な課題の一つである。FRP船においても補強材の製作や取り付けに、1次及び2次接合が用いられるが、これらの接着層には微小ボイド接着材不足による剥離などが発生しやすい。このため、接合部は繰り返し荷重や衝撃により損傷を受けやすい。

広帯域の周波数分布を持つ超音波によって、接着層の特性を非破壊評価するために、同じ厚さの亚克力板をシアノアクリレート系の瞬間接着剤で接合した試験体を用いて、次の関係を求めた。

- (1)スプリングモデルに基づいて、接着層からのエコーの周波数と縦波及び横波の反射率との関係。なお、接着層の欠陥としてボイド率(1.6、7.0、及び13.8%)を変えた試験体を用いた。
- (2)1回反射と2回反射の底面エコーのFFT分析による接着層における縦波の通過率(試験体は(1)と同じ。)実験の結果、縦波及び横波とも接着層の反射率は周波数及びボイド率とともに増加した。

縦波と横波の反射率の比は0.49(ボイド率1.6%)~1.27(ボイド率7%)となり、ボイド率の減少とともに接着層の縦剛性と横剛性の比は小さくなる傾向にあった。

底面エコーのFFT分析による縦波の通過率の測定はボイド率13.8%の試験体においてのみ通過率の顕著な減少があった。この方法はFRPのような音波の散乱が大きく、接着層からのエコーが同定しにくい場合に有効と考えられる。

SMC製小型船舶船底材の強度評価
Strength Evaluation of Hull Material of SMC Craft

小野正夫、櫻井昭男、津島 聡

平成12年3月

第29回 FRPシンポジウム講演論文集

水上オートバイは、従来の小型船舶と違い非常に高速で走行することが可能で、水上レジャーとして特に若年層を中心に飛躍的な拡大をみせている。現在、水上オートバイの船体は、量産が可能なSMC形成法により製作されており、強度の確認については「水上オートバイ特殊基準」等に基づいた落下試験等を行うのみである。しかし、近年水上オートバイの性能は著しく向上しており、船体の強度等についても高速走行時における水上浮遊物との衝突や波浪衝撃等を考慮する必要がでてきた。そこで、新たにSMC材料を使用した小型船舶の検査・設計上の留意事項を策定するために、材料の静的強度試験、疲労及び衝撃などの動的強度試験等に関する基本的な強度特性の検討を行っている。本報告は、水上オートバイの船殻材料について、これまでに実施した組成調査並びに静的試験の結果をまとめたものである。

今回の試験では、国内水上オートバイメーカー2社で新規に形成された船殻材料を使用した。試験材の外観検査では、いずれもキズ、ひけ、変形等の欠陥は観察されなかった。また、試験材から採取した試験片の断面を顕微鏡で調べたが、ポイド等の欠陥はほとんど存在しなかった。試験材は、メーカー及び採取部位で板厚が異なるが、同一メーカーの試験材による比重及び繊維含有率等の組成の違いはほとんどなかった。

引張強度については、船底板の強度が船側板より大きく、さらに船幅方向の強度が船長方向よりも大きくなる傾向を示した。これらの理由については、プレス成形工程におけるSMCの型内流動が顕著で、繊維が流動方向に揃いやすいため、繊維の配向性による強度の方向依存性が現れた結果と考えられる。

圧縮強度については、船側板から採取した船長方向の試験片の強度が他のものよりも比較的小さい値を示した。これは繊維の方向性の影響に加えて、板厚が薄いためにバックリング変形が生じたためである。その他の試験材の圧縮強度は引張強度のおよそ2倍の値を示した。

曲げ強度についても、他の試験と同様に繊維の方向性の影響が現れた結果となった。特に、船幅方向の強度が船長方向より大きな値を示しており、その違いは圧縮強度特性の場合よりも顕著である。これは試験材の表面近傍における繊維の方向性が内部より大きいためであると考えられる。

〈東海支社〉

Intelligent Information Database of the Thermal-Hydraulic Characteristics for a Future Marine Water Reactor

次世代船用炉の熱流動特性に関する

知的情報データベースの開発

稲坂富士夫、成合英樹

平成12年2月

Proceedings of N'Ocean 2000

当所原子力技術部では一体型船用炉の熱流動特性に関する一連の実験的研究を実施してきた。

本研究は、上述した研究で得られた貴重な実験的知見を基に、船用炉の熱流動に関する知的情報データベース・プログラムを開発することを目的とする。本論文では、ヘリカルコイル式貫流型蒸気発生器を有する一体型船用炉の不安定流動を含めた沸騰流動特性、および船体動揺時の一次冷却水自然循環特性に関するデータ、知見情報を、Visual Basicを用いて構築したデータベース・プログラムについて報告する。

プログラムの持つ主な機能は次のとおりである。

- (1)任意の形状を有するヘリカルコイル式蒸気発生器の静特性解析と流動の安定判別、
- (2)実験データの解析と比較、
- (3)実験データの検索とグラフ表示、
- (4)解析方法、実験装置などの情報検索。

本プログラムは、Windowsアプリケーションとして一般に広く利用できるようになっているので、次世代一体型船用炉のみでなく、ヘリカルコイル式蒸気発生器を有する小型炉の設計にも有用であることが期待される。