

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

Trajectory of bubbles under a ship hull  
and Scale effects

船底を流れる気泡の軌跡と尺度影響

Frederique Larrarte、児玉良明

平成8年11月

関西造船協会秋季講演会 関西造船協会誌第227号

船舶の粘性抵抗の低減は、省エネルギーの観点から重要である。前進する船体のまわりには、粘性により壁近くに遅い流れの領域である境界層が存在するが、境界層内に微小気泡を注入すると粘性抵抗が顕著に低減することが、多くの研究によって確かめられている。しかし、その殆どは平板を用いた小規模な実験であり、船舶のような立体的な形のまわりの流れにおける気泡の軌跡の問題や尺度影響については分からない。

当研究所においては、船舶の抵抗低減に関する研究において、様々な抵抗低減デバイスの中でこの微小気泡に注目し、実船への適用を目指して研究を行っている。実船を用いた微小気泡実験は殆ど不可能であるため、曳航水槽において模型船を用いて、船体中央部船底から気泡を吹き出すことによって微小気泡実験を行った。船体まわりの気泡の軌跡をテレビカメラ観察によって計測し、気泡の吹き出しの有無による船体抵抗の変化を計測した。また、形は相似な長さが4mと7mの2種類の模型船を用いて実験を行い、気泡の軌跡に及ぼす船の寸法の影響すなわち尺度影響について調べた。

これと平行して、当研究所において開発された船体まわり流れの数値計算プログラムであるNICEコードを用いて船体まわりの流れを計算し、得られた流場を用いて気泡の軌跡を計算した。気泡の軌跡の計算では、気泡の付加質量、圧力勾配、重力影響、粘性抗力が考慮された。粘性抗力は、抗力係数 $C_D$ の形で、様々な実験式が与えられ、実験によって得られた軌跡と比較することによって、それらの妥当性が検討された。流場の計算は長さ7mの模型船と長さ240mの実船について行い、それぞれの流場について気泡の軌跡を計算し、気泡の軌跡における尺度影響を検討した。

微小気泡を実船に適用する場合の問題点の1つは気泡のプロペラへの流入である。船底を流れる気泡が船尾でプロペラに流入すると、プロペラの推力低下と振動が発生するため、気泡のプロペラへの流入は避けなければならないが、今回は、実験と計算のいずれにおいても、気泡がプロペラ位置に達することはなかった。ただし、本実験及び計算ではプロペラの吸い込み影響は考慮されておらず、また、気泡の存在が流場に及ぼす影響も考慮されていないので、さらなる検討が必要である。

〈運動性能部〉

海水打ち込みによる甲板水量及び甲板荷重に関する  
実験的研究

Experimental study on shipping water volume  
and its load on deck

小川剛孝、田口晴邦、石田茂資

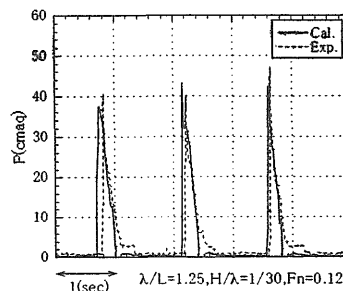
平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

満載喫水線基準は、1966年に国際満載喫水線条約として、国内的には内航船に関する基準も含めて1968年に満載喫水線規則として規定されている。しかしながら、これらの基準は経験則に基づくものが多く、工学的手法を用いた合理化を国内外から求められており、近年条約及び国内規則の見直し作業が行われつつある。

満載喫水線基準を合理的に規定するためには、基準が担保している安全性を定量的に評価する必要があると考えられる。海水打ち込みはよく知られているように、船体及び甲板上構造物への損傷や作業性の低下を引き起こす可能性がある。このため、海水打ち込みに関する安全性を評価するためには、甲板水位及び甲板荷重を定量的に求める必要があるが、打ち込み水の挙動は複雑であり、これに関連する諸量を精度よく求めることは難しい。これまでも海水打ち込みに関する研究は数多く行われており、打ち込み現象に相対水位変動や船速の影響が大きいこと、甲板荷重は甲板水位に強い相関があること等数多く調べられている。しかしながら甲板水圧や甲板水量に関する簡易推定式や甲板水の挙動に関する数値計算はあるものの精度のよい実用的推定手法が確立されているとは言い難く、現状では相対水位変動と乾舷の大小関係により海水打ち込みの有無を判別する程度にしか研究成果が活用されていない。近年めざましい発達を遂げている数値流体力学も現状では打ち込み現象を説明するには至っていない。

今回、筆者らは、合理的な満載喫水線基準を検討するためのツールとして甲板水や甲板荷重といった打ち込み水に関連する甲板上の諸量を推定する実用的な手法を開発することを目的に、内航タンカー船型を用いて船体運動、船首相対水位、甲板水位分布及び甲板荷重等の計測を行い、これらの定量的な関係を調べるとともに甲板水の挙動に関して洪水流の理論を用いて甲板水の挙動のモデル化を行った。そして、このモデルを用いて甲板水位、甲板荷重等を精度よく推定できる事が分かった。



海水打ち込みによる甲板水圧

〈構造強度部〉

造船用鋼板切欠き材の腐食疲労強度

Corrosion Fatigue Strength of Notched  
Specimens of a Ship Structural Steel

小林佑規、田中義久、後藤英信、松岡一祥、本橋嘉信

平成9年11月

日本造船学会論文集 Vol.182 1997

経年船の増加に伴い、船舶の寿命・予寿命評価が課題となっている。バラストタンク、バラスト兼用タンクでは海水腐食から逃れることはできず、腐食の進行度合いによって船舶の寿命が決定されると言っても過言ではない。このため、船舶の腐食や腐食疲労に関する研究が要望されている。

本研究では、造船用50キロ級 TMCP 鋼板を供試材とする4種類の切欠き材における大気中および人工海水中疲労試験から、公称応力範囲とき裂発生寿命に基づくS-N線図、き裂発生寿命と破断寿命の関係および疲労き裂発生に関する電子顕微鏡観察結果について報告した。また、切欠き応力集中係数が疲労強度に及ぼす影響、および切欠き応力集中部の応力解析から切欠き底に作用する最大応力を推定し、最大応力効果を考慮した等価応力とき裂発生寿命との関係について検討し、以下の結論が得られた。

(1) S-N線図の材料定数と応力集中係数  $K_t$  とは、 $K_t$  が3以下のとき、直線関係にあることから、この範囲の任意の応力集中係数のS-N線図が推定できる。ただし、腐食疲労の適用範囲は、応力範囲が100MPa以下に限定される。

(2) 大気中疲れ限度は、 $K_t < 3.1$  のとき、応力集中係数と直線関係にあることから、この範囲の任意の応力集中係数に対する疲れ限度が推定できる。 $K_t$  が3.1を超えると疲れ限度はほぼ一定である。また、大気中疲れ限度は、切欠き底の最大応力が砂時計試験片の上降伏点となる等価応力と推定される。

(3) 切欠き底に作用する最大応力とき裂発生寿命との関係において、き裂発生挙動は、切欠き底の最大応力が①上降伏点以上の場合、②上降伏点と降伏点の間の場合、③降伏点以下の3つに分けて考えることができる。

①の領域では、大気中および人工海水中疲労の勾配がほぼ等しく、またこの勾配は溶接継手の勾配にもほぼ等しい。この領域でのき裂発生機構は、大気中と海水中試験で大きく相違しないが、き裂深さ1mmをもってき裂発生寿命とする場合、海水環境のき裂伝播速度等が及ぼす影響により、海水中では寿命が短くなる。

②の領域では、大気中ではき裂が停留しており、海水中ではき裂先端が溶解して腐食疲労破壊となる。

③の領域では、疲労き裂の発生が腐食ピットの成長になる。

Effects of Stress Concentration Factors on  
Corrosion Fatigue Strength of a Steel Plate  
for Ship Structures

船体構造用鋼板の腐食疲労強度に及ぼす

応力集中係数の影響

小林佑規、田中義久、後藤英信、松岡一祥、本橋嘉信

平成9年12月

Fracture and Strength of Solids, Part2: Behavior of  
Materials and Structure Key Engineering Materials  
Vol.145-149

TRANS TECH PUBLICATIONS

船舶をはじめとする海洋構造物は、常に海水の腐食環境にさらされている。船舶の腐食は、船齢8年頃から目立ちはじめ、船齢が増す毎に著しくなると言われている。腐食要因は塗装劣化によるところが大きい。腐食による板厚減少は、船体構造強度を低下させ、波浪による繰返し荷重に対して疲労寿命の低下を招くことになる。船舶の寿命予測には、長期間の腐食疲労試験データが必要である。しかし、海水中の腐食疲労試験には加速試験法が見出されておらず、長期間にわたる試験は極めて困難である。したがって、短寿命試験から長寿命を予測することが必要となる。

本稿は、海水中における切欠き材の短寿命腐食疲労試験結果について報告するものであり、公称応力範囲とき裂発生寿命に基づくS-N線図から、腐食疲労強度の推定法を検討した。また、応力集中係数による寿命の相違を切欠き底の最大応力で評価した。以下、主な結果を示す。

(1) 大気中試験の結果によれば、応力集中係数  $K_t$  が3.1より小さいとき、 $K_t$  との疲れ限度とは直線関係が成立する。この結果、任意の  $K_t$  に対する疲れ限度が推定できる。また、 $K_t > 3.1$  の疲れ限度は一定値を与える。

(2)  $K_t$  と片対数表示のS-N線図の定数とは、 $K_t < 3.1$  のとき直線関係となることから、S-N線図の傾斜が推定できる。

(3) 腐食疲労には疲れ限度は存在しない。しかし、低応力レベルの負荷において、腐食衰耗が支配的となる応力範囲が存在する。この応力範囲は、現在までの実験結果では、60MPa以下と推定される。

(4) 疲労寿命は応力集中係数により異なる。このため、切欠き底に作用する最大応力を考慮した等価応力により疲労強度を検討した。この結果、応力集中係数によって異なる寿命は、大気中と海水中の環境条件毎に集約することができることを示した。

<機関動力部>

乳化燃料による船用ディーゼル機関の排気特性  
に及ぼす燃料噴射系の影響

Influence of the Fuel Injection System on the  
Emission Characteristics of Marine Diesel Engine  
with Emulsified Fuel

山谷周二、西尾澄人、石村恵以子、中島康晴

桑原孫四郎、菊地正晃、張 潔

平成9年10月

日本船用機関学会第59回学術講演会 講演予稿集

IMOによる船舶に対する排ガス規制は2000年からの発効を目的として最終調整の段階にあり、関連して船用ディーゼル機関に対する各種NO<sub>x</sub>低減対策が関係各方面で研究されている。NO<sub>x</sub>抑制の一方式である乳化燃料運転の有効性は古くから認識されていて、実用化に向けた研究も進みつつあるが、未だ乳化燃料の使用に関わる最適化技術の知識については不明な部分が多い。乳化燃料による効果の拡大を図るには、加水率(燃料に対して混合調整する水の体積比率)に応じて、燃料ポンプの噴射特性及び燃料弁の噴霧特性を適合させる必要がある。

本稿では、乳化燃料運転に最適な燃料噴射系の把握を目的として、実験用の4サイクル・ディーゼル機関を使用し、燃料ポンプ、燃料カム及び燃料弁を変更して運転データの比較分析を行い、NO<sub>x</sub>を低減効率及び燃焼改善効果について考察するとともに、改良した燃料噴射系を利用して高加水率の乳化燃料運転を達成し、その排気ガス特性を基に有効性について検証した。実験結果から得られた乳化燃料運転に対する燃料噴射系の適合性について下記に要約する。

(1)標準装備の型式に比べて噴射量を増加させた燃料ポンプでは一般的にNO<sub>x</sub>濃度が上昇するが、燃料カムを変更してプランジャー速度を調整することにより噴射特性を変更し、NO<sub>x</sub>濃度の抑制が可能であることを確認した。今後、乳化燃料によるNO<sub>x</sub>低減効果を向上させる技術として、さらに発展性が期待できる。

(2)乳化燃料を使用しない場合は、NO<sub>x</sub>濃度及び燃料消費率の比較の上で小口径多孔形状の燃料噴射弁の優位性が確認されたが、乳化燃料を使用した場合は、排気ガス特性の観点から標準型の方が優れていた。燃料弁の噴孔形状が噴霧燃料の微粒子化及び混合気形成に及ぼす影響に加えて、噴孔断面積の相違による燃料噴射率の大小がNO<sub>x</sub>発生率に影響すると考えられ、乳化燃料に対する適正な燃料弁の選択が重要と思われる。

(3)負荷率100%における加水率60%(含水率38%)の乳化燃料運転では、他の有害排ガス成分を増加させることなく、60%を超えるNO<sub>x</sub>低減効果が確認された。低負荷域を除けば、高加水率の乳化燃料運転は極めて有効なNO<sub>x</sub>低減対策と考えられる。

<材料加工部>

船の腐食・防食技術について

Corrosion in Ships and Rust Prevention Technology

松岡一祥

平成9年8月

日本機械学会、航空機構造の長寿命化対策研究会報告書

日本機械学会材料力学部門の研究活動の一環として、平成5年7月に発足した「航空機の長寿命化対策研究会」が3年の活動期間を終え、活動報告書を取りまとめた。報告書の中で、3.3 他分野の構造健全性の考え方、3.3.1 船舶・海洋構造物の項の一部として担当したものである。以下に概要を述べる。

構造物の腐食・防食はその耐久性および経済性、稼働期間中の安全の確保などから重要である。しかし、腐食・防食問題は、環境、オペレーション、材料などの組み合わせにより多様であり、工学的には未解決な部分が残っている。ここでは、鋼およびアルミニウム合金製構造物を取り上げ、海洋環境におけるそれらの腐食と防食について解説している。

まず鋼構造物の防食について、腐食環境、船舶の防食例、防食の効果(防食塗装の耐用期間)などについて示し、今後の課題として、防食塗装の検査の制度化、新たな防食方法の開発についてふれている。

次にアルミニウム合金船について、A5083合金の異常腐食、A6N01合金の合金組成と耐食性、防食方法について概説し、耐海水性合金の開発と規格化などの課題について述べている。

最後に、「おおよそ100年の経験を持つ鋼製船舶に対し、航空機は50年、我が国の鋼製港湾施設は30年程度の経験である。この3つの分野がちょうど時期を同じくして腐食が問題となることに興味を深く感じている。」として稿を終えている。

超臨界水応用ケミカルリサイクル・発電システム  
Supercritical Water Applied to Recycle & Power  
Generation System

林 慎也、奥澤 務、石丸 等  
石垣幸雄、野間口兼政  
平成9年9月  
日本機械学会茨城講演会前刷集

小型船舶の構造材料として主流を占めるガラス繊維強化プラスチック（FRP）のリサイクルは、技術的な問題以上に経済的なバランスが成り立ちにくい軌道に乗っていないのが現状である。

超臨界状態の水（22.5 MP、374.1℃）がプラスチック（樹脂）を分解して原料などにリサイクルできることはすでに実験的に確かめられている。しかしながら、超臨界水の生成に多量の燃料が必要であるなど多大な経費を要することもあり、工業的に実用化されていないのが現状である。当報告では、FRPの樹脂部分を超臨界水分解により原料などにリサイクルすることを主体とするリサイクルシステムを提案し、熱収支計算より経済的に十分収支が合うことを示した。

提案するシステムは以下の二つから構成されている。

- (1) FRPの樹脂部分を超臨界水により分解して高価値原料にケミカルリサイクルするFRPリサイクル部。
- (2) 廃プラスチックの熱分解ガスを燃料として超臨界水を生成し、FRPを分解した残りの超臨界水により発電し、自給/売電する廃プラスチック発電部。  
発電方法は蒸気タービンによる発電及びコンバインドサイクルによる発電の2種類。

当システムの熱収支の試算の結果、廃プラスチック10t/hを燃料として廃FRP 1t/hを処理・リサイクルした場合、少なくとも電力7000～8000kwが余剰電力として得られることが明らかになった。この余剰電力を売電する事により、経済的な面をカバーする事ができる。

レーザー照射によるセラミックスの熱衝撃疲労強度  
に関する研究

Thermal Shock Fatigue Strength of Ceramics  
by Laser Irradiation  
秋山 繁、島田道男、千田哲也  
古谷典子、天田重庚  
平成9年10月  
(社)日本機械学会論文集 63巻614号

一般に、セラミックス材料は、高温特性に優れているため、大きな熱流束を受ける過酷な環境で使用されることが多い。このような環境では、セラミックス材料は、繰り返し急激な温度変化にさらされるため、熱応力により破壊される危険性がある。そのため、セラミックス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。

そこで筆者らは、従来より、炭酸ガス（CO<sub>2</sub>）レーザーを用いて、レーザーを1回照射することによって材料に亀裂が発生する破壊臨界レーザー出力密度（エネルギー密度）でセラミックス材料の熱衝撃強度特性を評価してきた。しかし、実環境では、セラミックス材料は、繰り返し熱衝撃を受けると考えられるので、レーザー単発照射による熱衝撃強度特性よりもむしろ、熱衝撃疲労強度特性について検討しておく必要がある。今回、以前にレーザー単発照射による熱衝撃強度特性を評価したセラミックス材料（商品名：マコール、石原薬品(株)製、主成分：SiO<sub>2</sub>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）を用いて、1秒レーザー照射、60秒自然空冷の条件を繰り返すレーザー熱衝撃疲労試験を行い、次の結果を得た。

(1) マコール試験片のレーザー熱衝撃疲労による破壊臨界レーザー出力密度 $P_{fc}$  (W/mm<sup>2</sup>)と亀裂が発生するまでのレーザー照射回数 $N_f$  (cycle)の関係は、両対数軸表示で直線関係となり、マコールの熱衝撃疲労寿命線図を得た。

(2) セラミックス材料の熱衝撃強度の指標として、レーザースポット径に依存しない最小破壊臨界レーザー出力密度であるレーザー熱衝撃疲労強度特性値 $P_{L,F}$  (W/mm<sup>2</sup>)を提唱し、マコールの $P_{L,F}$ として0.20W/mm<sup>2</sup>を得た。

(3) マコールのレーザー熱衝撃疲労強度は、レーザー単発照射試験結果の約70%に低下した。

(4) セラミックス部材の使用設計にあたっては、レーザー単発照射ではなく、レーザー繰り返し照射による熱衝撃疲労強度特性評価を行う必要がある。

析出硬化型ステンレス鋼の脆性破壊

Brittle Fracture of a Precipitation-Hardening  
Stainless Steel

松岡一祥、林 慎也、千田哲也、高橋千織  
古谷典子、矢野不二夫、北村 茂  
渡邊 巖、間島隆博、西森 勇  
平成9年10月

第59回 日本船用機関学会学術講演会 講演予稿集

析出硬化型ステンレス SUS 630 は、熱処理により微量元素を析出させて引張強度を1000 MPa レベルまで向上させた高強度材料である。この SUS 630 で製作された塔載艇吊下げ用ランニングストロープのフックが破断する事故が発生したため、これを材料の高性能化に伴う重大な問題と考へて原因調査を行った。破断フックの外観では、巨視的な変形はほとんどなかった。破面は梨地状でシェブロンパターンが観察され、その頂点方向に初期き裂と考えられる腐食変色部があった。走査電子顕微鏡観察では、脆性破壊で生じる破面の一種である疑へき開破面がみられた。これらの観察結果は、もともと存在した初期き裂を起点とする脆性的な破壊であることを示す。

ビッカース硬さは熱処理条件から想定される値より高く、シャルピ衝撃エネルギーは正常な材料の1/3程度に低下していた。電子プローブ・マイクロアナライザで元素の微視的な分布を調べたところ、クロムに帯状または粒子状に濃度の高い領域があり、そこではニッケルと銅の濃度が低く、これらの元素が偏析していることがわかった。濃度分布のパターンから、この偏析は型鍛造加工時に形成されたものと推定される。

鋼材の脆性破壊は、切欠きなどの応力集中部のある材料が低温で高速の変形(衝撃的な荷重)を受ける場合に起きる。硬さ測定とシャルピ衝撃試験結果から、材料自身が脆化していることが明らかになっている。材料の低靱性化の原因としては、クロム等の偏析による低靱性相の形成が強く示唆される。SUS 630 は固溶化(1020~1060℃)と析出硬化(470~630℃)の2段の熱処理により性質が調製される。フックが製造された手順を調べると、固溶化熱処理は鍛造時の加熱により行われており、鍛造温度が低すぎたり鍛造加工速度が速すぎたため所要の熱処理条件が満たされず、均質な固溶化組織が得られず低靱性相を析出させたものと考えられる。同様の事故を防ぐためには、鍛造開始と終了時の温度を規定し、鍛造後再度固溶化熱処理を行うことが推奨される。

溶接順序の影響を考慮した溶接構造物の残留応力分布  
および疲労寿命推定法について

Estimation method of residual stress distribution  
and fatigue life taking the effect of welding  
procedure sequence into consideration in welded  
build-up structures

豊貞雅宏、後藤浩二、山口喜久次  
中島 到、松岡一祥  
平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

近年、高強度鋼使用の船舶の溶接部に疲労損傷の多発が見られる。この現象は、高強度鋼の使用による静的強度の増大に比べ、疲労強度が増大しないことに原因がある。溶接部の疲労強度には、応力集中と溶接残留応力が影響する。特に残留応力についてはその実態が把握されていないため、降伏応力程度の大きな値を設定して疲労設計を行おうとする動きがある。しかし、複数の溶接が複雑に影響し合う実構造では、適切な溶接施工方法を選択し、残留応力を低減させ、疲労強度を改善することが可能であると考えられる。

本論文は、inner bottom plate と stool の取り合い部を模擬した溶接順序が異なる2種類の試験体を用いて、溶接順序が残留応力および疲労強度に及ぼす影響を調査したものである。また、ガス線加熱による残留応力変化と疲労強度改善効果についても検討した。同時に、固有応力法に基づく弾性有限要素法解析による残留応力推定法、および、残留応力を考慮した疲労寿命推定法についても検討を行った。得られた主な結論を以下に示す。

(1)構造要素の溶接残留応力は、固有応力法に基づく弾性有限要素法解析でほぼ評価できる。また、ガス線加熱後の残留応力も同様に解析できる。

(2)複数の溶接による残留応力は、当該パスの溶接条件により直前までの溶接による残留応力の寄与率を定め、たし合わせて行くことで計算できる。

(3)上述(1)、(2)の方法で、溶接順序による残留応力の差異を、有限要素法などの数値解析手法で計算できる。

(4)上述(3)の方法により、疲労き裂発生位置の残留応力を低減する溶接施工方法を事前に選択することができる。

(5)疲労き裂発生位置の構造的応力集中係数、溶接残留応力、応力振幅により、修正 MIL-HDBK-5法を用いて、基礎継手の疲労試験結果を整理した基本 SN 関係から構造要素の疲労寿命をある程度推定することができる。

## 固有応力法の線形破壊力学への応用

Application of inherent stress methodology  
to linear fracture mechanics

豊貞雅宏、松岡一祥、丹羽敏男

平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

線形破壊力学は、弾性体中のき裂先端近傍の応力状態などを応力拡大係数の概念を用い、記述する強力な方法であるが、弾性論に基づいているため、先端に塑性域が存在する実際のき裂への適用には限界がある。

溶接残留応力を弾性論で算定する方法の一つに固有応力法がある。その中では、仮想外力及び仮想体積力の概念がオペレータとして用いられる。この2つのオペレータは、基本的には、溶接変形を記述・計算するために用いられるが、塑性変形を弾性論で記述するにも有効である。

塑性変形を仮想外力と仮想体積力を用いた弾性論で表現すると、線形重ね合わせが可能となり、線形破壊力学の適用範囲が大規模降伏状態にまで拡大される。

本論文はこの考え方を Dugdale モデルに適用した場合を取り扱っている。以下に主な結論を示す。

(1) 仮想き裂部には、き裂線から離れた位置にき裂を開口しようとする仮想体積力が、き裂面にはき裂を閉口させようとする仮想外力が働く。それらは物体内で平衡している。また、仮想き裂面では、仮想外力により生じる応力と固有応力は絶対値が等しく符号が逆であり、仮想き裂面での作用応力は結合力による降伏応力と等しい。

(2) き裂線に垂直な面内で、仮想体積力と仮想外力が常に釣り合っているとすると第1近似により、仮想体積力が作用する位置が決定され、両者によるK値と等価なK値を生じさせる固有応力が仮想き裂面に働くとする結合力モデルを構築した。

(3) 一様外力を受ける中央貫通き裂に対して、上記の手法を適用し、き裂開口変位の計算に対する有効性を確認した。

(4) Dugdale モデルは上記(1)、(2)のモデルの仮想体積力と仮想外力の着地点が一致した場合に対応している。このことは、厚さのない塑性域を想定していることとなるため、大規模降伏状態では誤差が大きくなる。

## 水浸超音波法による腐食部材の評価

Immersion Ultrasonic Evaluation of  
Corroded Steel Plate

島田道男、吉井徳治、菅沢 忍

平成9年11月

日本非破壊検査学会

平成9年度秋期大会講演概要集

海洋環境で運行される船舶は、種々の防錆対策が講じられているが、腐食衰耗によって経年的に劣化する。そのため、船体構造部材の超音波厚さ測定が船舶検査の重要な項目となっている。腐食が進んだ鋼板の表面には激しい凹凸があり、超音波板厚計測も容易ではない。通常、グラインダがけして表面を滑らかにした後、測定を行うが、それでも0.5mmを越えるバラツキは普通に生じる。

船舶検査では、板厚測定が最も手間がかかる作業であって、そのため十分な板厚管理ができない場合も多い。簡便な測定法が望まれる。

そこで、超音波厚さ測定法改善の基礎資料を得る目的で、腐食試片と表面に機械加工による凹凸を有する試片を対象として水浸超音波計測を実施し、腐食部材の超音波特性を検討した。

表面荒さが大きく超音波周波数が高いほど、表面エコーと底面エコー高さの低下が大きかったが、前者に比べ後者は表面荒さの増加とともにエコー高さが比較的単調に低下した。また、表面エコー高さ、底面エコー高さ、第2底面エコー高さはともに相関があったが、前者より後者に高い相関が認められ、板厚測定の精度も後者が良かった。これらの現象は、超音波が水中から鋼板に入射するときの散乱が大きく、鋼板に入射した後の多重反射の状態では散乱減衰が少ないことを示していると考えられた。

<装備部>

船室の天井の実用的防振対策  
 Practical Method to Reduce Vibration of  
 Cabin Ceiling  
 原野勝博、今里元信  
 平成9年9月  
 (社)日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集

この度、航海訓練所で建造中の新鋭練習船「青雲丸」に新方式防振内装法の効果を試す機会が与えられ、細部の設計を関係者と協議してきた。この方式は、本質的に防振の困難な、軽量で剛性の小さいパネル部には防振ゴムなどの鋼板との連結部を有しないことを原則としているが、実際に施工する際には天井面は剛性が小さい為、防振ゴムを介した吊り金具(防振ハンガー又はハンガーと記す)で中央部を上甲板から支持することが必要になった。そのため、実際に使用される天井パネルやハンガーを使って船室モデルによる振動実験を行い、ハンガー取付時の影響を調べると共に、その対策として天井パネルのダンピング性能を増加する方法を採り、その効果を調べた。その後「青雲丸」の防振内装室の内装工事が完了した段階でタッピングマシンによる振動実験を行い、天井面の防振効果を調べ以下の結果を得た。

新方式の防振内装法で施工した船室モデルの天井面を防振ゴムを使った従来通りの吊り金具(ハンガー)で吊ると、ハンガー部で共振と思われる800Hzの帯域で大幅に振動レベルが増大した。

天井パネル制振シートを貼りダンピングを増すことでその悪影響を大幅に減らせることを実験により確認した。制振シートを付加した質量増加によりハンガー部で生じていた共振と見られる現象が回避されたこと及びハンガーから振動が伝達しても、減衰が大きいためパネルの平均振動レベルが低減することが効果の大きい理由と考えられる。

自由落下式救命艇模型の落下試験  
 Drop Test of Free-Fall Lifeboat Model  
 原野勝博、今里元信、金湖富士夫  
 池本義範、岡正義、平方勝  
 橋爪豊、宮本武、長田修  
 平成9年10月  
 (社)日本舶用機関学会  
 第59回(平成9年秋季)学術講演会 講演予稿集

自由落下式救命艇は、乗員の避難・脱出を安全かつ短時間に行うために開発された救命システムで、船舶の海難時に本船の船尾部に設置された滑り台上から密閉型の救命艇を海面に自由落下させ、艇が持っていた位置エネルギーを往き足に変えて本船から離れる方式である。現在、このシステムを採用する船舶が増加しているが、定期的な落下訓練が要求されていることから、何回もの訓練から生じる艇体強度の劣化の検討と、訓練後の回収作業の困難さの解消が問題となっている。これらの課題を解決するために、日本造船研究協会を中心に「新自由落下式救命システムの研究」が実施されることになり、その一環として当所では表記の実験を担当した。自由落下式救命艇については既にならりの数の模型・実艇による落下実験が行われているが、本模型実験の目的は、水面突入時の衝撃加速度推定計算法の精度の検証、FRP複合材料の船体応力解析および計測法の検討、艇体の運動観測及びヒール角がある状態での艇体の運動観測と降下装置の検討である。本報告では、そのうちの加速度波形と衝撃水圧・衝撃荷重の計測結果について実験結果をまとめたものである。

得られた主な結果は以下の通りである。

- 精度のよい加速度波形が計測できた。
- ヒール角がある場合の落下試験の特性がつかめた。
- サイドローラーに加わる衝撃荷重の大きさがわかった。
- 模型実験におけるケーブルの影響の程度がつかめた。
- 最大衝撃圧の発生による概略の範囲が把握された。
- 加速度と衝撃圧の相関が強いことが確認された。

実験により得られたデータは構造解析を実施することにより、大型模型船の設計製作、強度評価に反映できる。艇体の運動計測データの解析が終われば、加速度波形の各種の特性をより正確に説明できよう。シミュレーション計算値との比較を含め今後の課題である。

<システム技術部>

人に優しい航海支援システムの提案

Proposal of Human Friendly Navigation  
Support System

沼野正義

平成8年12月

(株)日本機械学会 第5回交通・物流部門大会講演集

海運は、内航、外航を問わず産業・経済活動の重要な一翼を担っている。現在、輸送コストの低減のために、特に内航において、安全かつ効率的な運航を可能とする近代化船の開発が進められている。すなわち、各種の自動化システムや支援機器の導入によって、少人数での運航を目指している。しかし、近代化船が、安全かつ効率的な運航を実現するためには、ヒューマンエラーの防止の観点から、乗組員の作業環境における快適性の担保が不可欠である。

船橋における従来の人員での役割分担をモデル化し、近代化船において導入される自動化機器や支援装置が人間と共同作業を行って、使命を果たすことができるように全体システムを構築する必要がある。

本報では、航海支援機器に着目し、同機器が操船者と音声による会話によってコンセンサスを取りつつそれぞれの役割分担を果たすものと考え、果たすべき機能を明らかにするとともに、会話による意思の疎通の基本となる音声入出力の要件と適用例を示す。

東京湾を例とした輻輳海域の高速航行シミュレータ実験  
Simulator Experiment on High Speed Navigation  
in Tokyo Bay as Example of Congested Sea Area

沼野正義

平成8年12月

(株)日本航海学会 論文集第95号

テクノ・スーパー・ライナー等の大型高速貨物船の開発が進められており、国内の物流に対して、陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトが現実のものとなりつつある。高速海上輸送システムを効率よく実現するためには、高速の巡航速度を維持するだけでなく、陸上との接点である出入港、離着棧や港湾荷役についても迅速性が要求される。このうち、出入港等に際して通過する必要のある輻輳海域の航行に注目し、高速航行の安全性を検討するため、東京湾を例として輻輳海域における高速航行のシミュレータ実験を行った。

輻輳海域における高速航行の安全性評価のためのシミュレータ実験を可能とするために、船舶交通の実態調査を基にした交通流シミュレーションを実時間で実施し、航行シミュレータ実験の交通環境として用いる手法を開発し、これを用いて東京湾を例とした輻輳海域の高速航行シミュレータ実験を実施した。船速、および整流の影響を明らかにするために、これらをパラメータとしたシミュレータ実験を行い、東京湾の最も船舶数の多い時間帯においても、50ノット程度の船速での航行が高速船側の余裕および一般船側からみた脅威の観点から可能であることがわかった。今回は実験ケースが限られていたため、実船への適用については、さらにシナリオ等を吟味したシミュレータ実験を行って安全性の確認を行う必要がある。くわえて、当直体制や操業漁船群との遭遇等の高速航行に大きく影響を与える事象への対応策を事前に検討し、これらを規定した運航マニュアルを整備することが必要である。これらを実施した上で、実船での検証を経ることにより段階的に安全な航行が実現できると考える。

今回開発された手法は、実海域を模擬した交通流中の航行シミュレータ実験を可能とするものであり、一般船同士の避航操船等を含む実航海のシミュレータ実験への拡張性を考慮している。



## 〈海洋開発工学部〉

## Slamming Load Acting on a Very Large Floating Structure

超大型浮体式海洋構造物に作用するスラミング荷重について

吉元博文、大松重雄、星野邦宏、池淵哲朗  
平成9年4月Proceedings of 16<sup>th</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering

## Slamming Load on a Very Large Floating Structure with Shallow Drifaf

超大型浅喫水箱型浮体に作用するスラミング荷重について

吉元博文、大松重雄、星野邦宏、池淵哲朗  
平成9年9月

日本造船学会

Journal of Marine Science and Technology

メガフロート技術研究組合の海上空港のコンセプトに代表されるように箱型浮体を利用した海洋空間利用のコンセプトが見受けられる。こうした箱型浮体は、構造的に喫水が非常に浅く、大波高が発生するような厳しい海象状態において、スラミング、即ち船底が露出して、それにより大きな衝撃荷重が発生することが危惧されている。従って、設計においては、設計海象下におけるスラミング発生の有無及びそれによる衝撃荷重を予め予測し、予測結果を設計に反映させることが必要となる。本論文は、こうした超大型浮体式海洋構造物のスラミングの発生条件及び発生した場合の衝撃荷重の推定法について検討を行ったものである。

本論文では、まず、超大型浮体式海洋構造物の端部模型を用いた波浪中実験結果について述べている。実験では、剛性の異なる2種類の模型を使用し、模型の波下側を固定して、入射波による模型の弾性挙動、船底での圧力分布及び船首相対水位変動を計測した。これらのデータの解析の結果、スラミングの発生する状態でも、線型成分(入射波に相当する周波数成分)については線型理論と一致すること、スラミングの発生は船底露出長と船首相対水位の上昇速度に規定されること、衝撃圧の大きさは船首相対水位の上昇速度の2乗に比例することなどがわかった。つまり、スラミングは船底露出と船首相対水位の速度がわかれば予測できることになる。そこで、船底露出の条件、即ち、船底での入射波による変動圧が船底での静水圧より大きくなった場合に船底露出が起きるとして、船底露出長を求め実験結果と比較した。両者はよく一致しており、本論文で導入した船底露出の条件が妥当であることがわかった。さらに、船首相対水位の速度は線型理論から予測することができ、結果的に、超大型浮体式海洋構造物のスラミングは、線型理論の枠組みの中で予測できることになる。最後に、以上の結果をもとに、水深20mの海域に設置された5000mクラスの超大型浮体式海洋構造物(喫水1m)を対象として、スラミング発生、それによる衝撃圧の大きさを推定した結果について述べている。

本論文は、規則波中における超大型浅喫水箱型浮体の波浪中試験をもとに、超大型浅喫水箱型浮体のスラミングの発生条件及び発生した場合の衝撃荷重の推定法について検討を行ったものである。

実験では、超大型浅喫水箱型浮体の端部をモデル化した剛性の異なる2種類の模型を製作し、模型の波下側を固定して、入射波による模型の弾性挙動、船底での圧力分布及び相対水位変動を計測した。その実験結果から次の事項が判明した。即ち、スラミング現象は模型の剛性によって大きく変化し、模型の剛性が低い場合は、剛性が高い場合に比べ船底露出は小さいが相対水位の上昇速度が大きくなり、スラミングによる衝撃圧が発生するようになる。しかしながら、剛性が高い場合には船底露出が大きい、船底に空気を巻き込みやすくスラミング発生の際巻き込んだ空気がクッションとなるために、剛性の低い場合に比べ衝撃圧の最大値が小さくなる傾向にある。また、スラミングの発生は船底露出長と相対水位の上昇速度に規定されること、衝撃圧の大きさは相対水位の上昇速度の2乗に比例することなどがわかった。よって、超大型浅喫水箱型浮体のスラミングは船底露出長と船首相対水位の速度がわかれば予測できることになる。

船底露出長については、入射波によって船底に生じる変動圧の振幅が船底での静水圧より大きくなった場合に船底露出が生じるという『船底露出の条件』を導入し、その仮定に基づき線形理論による変動圧の計算結果から船底露出長を求めることができることを示した。計算結果と実験結果との比較から両者はよく一致しており、本論文で導入した船底露出の条件が妥当であることがわかった。船首相対水位の速度は線型理論から求めることができ、結果的に超大型浅喫水箱型浮体のスラミングは線形理論の枠組みの中で予測できることになる。

以上の結果をもとに、長さ5000mの超大型浅喫水箱型浮体(喫水1m)が水深20mの海域に設置された場合を想定して、そのスラミング発生条件、それによる衝撃圧の大きさを推定した結果について述べた。

海水によるワイヤロープの腐食劣化の研究  
その2 実海域における暴露試験

Study on Corrosion Degradation of Wire Rope  
in Sea Water Part 2. At-Sea Exposure Test

山川賢次、國分健太郎、坂本洋志、岡畑成樹、井上新也、  
木津和富夫、早崎清志、鯖江俊彦、守谷敏之、円句幸作  
平成9年9月

平成9年度資源・素材関係学協会合同秋季大会  
企画発表(D)資料(資源開発技術)

海洋構造物や船舶では、係留索をはじめ広範囲の用途でワイヤロープが使用されており、不可欠の材料である。しかし、海洋環境で使用されるワイヤロープは腐食による劣化が著しく、このような材料は、的確な検査を行うことにより安全性が確保されるが、検査に必要なワイヤロープの腐食による劣化に関する資料は非常に乏しい現状である。したがって、海洋構造物等の維持管理技術の要素の一つとして資料を充実させる必要があると考えられる。このような観点から、製索会社4社と共同研究で実海水を用いて実験室内でワイヤロープの海水浸漬試験を開始してから約3年を経過したところである。さらに、この暴露試験は、実海域における腐食の進行状態と比較するデータを得るために、1997年1月から1年間の予定で実海域での暴露試験を開始した。試験場所は、メガフロート技術研究組合が実証実験を実施中の大型浮体構造物で、その係留用ドルフィンに試料を取付けて実施中である。

暴露試験の試料は、ワイヤロープ8種類、銅線3種類である。暴露条件が異なる空气中、干満帯、海中中の三段階となるため、試料の長さは5mとした。約1年間の暴露期間に3ヶ月毎の変化を調査するために、各試料6組作製して、1組から暴露試験前のデータ(基準値)を求め、もう1組を室内実験と比較するため実験室内の試験水に浸漬した。

試験の結果は、4月に回収した暴露期間3ヶ月の試料についての解析結果を示したものである。試料の暴露環境は、空气中・干満帯・海中中および試料ロープの外層線・中層線・下層線・心線について諸特性の変化を調べた。その結果、めっきロープに関しては、めっき付着量およびねじり回数に変化が表れている。また、めっきなしロープでは、外層線ほどねじり回数が減少しており、素線断面の顕微鏡写真では腐食による円形断面の欠落状態が観察された。

この暴露試験では、空气中・干満帯・海中中と環境条件の異なるデータが得られることや室内での浸漬試験に比べて腐食の進行が速いため変化に富んだデータが得られる。今後さらに3ヶ月毎にデータが得られるので、室内実験と併せてワイヤロープの腐食劣化の資料として蓄積したいと考えている。

不規則波中における超大型浅喫水箱型浮体の  
スラミングの予測

Slamming Load on a Very Large Pontoon-type  
Structure with Shallow Draft in Irregular Waves

and its Stochastic Prediction  
吉元博文、大松重雄、池淵哲朗  
平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

前報(Journal of Marine Science and Technology、日本造船学会)では、著者らは規則波中での超大型浅喫水箱型浮体(以下、VLFS)に作用するスラミング荷重の予測法について考察してきた。本論はその続報であり、不規則波中でのVLFSの予測法について検討を行うものである。不規則波中でのスラミングは、浮体の相対水位及び相対速度に対してある閾値を設定し、これを越えた場合にスラミングが発生するとして予測される。従ってスラミングの発生は閾値に大きく支配されることになる。例えば船のスラミングに対してOchiは相対速度の閾値を船長の関数として与えているが、弾性応答の卓越するVLFSでは主要寸法が同じであっても閾値が剛性により変化するために、Ochiの方法ではVLFSのスラミング現象を予測できない。

そこで閾値を設定することなくVLFSのスラミング発生確率、衝撃圧の大きさ及びその作用するエリアを予測できるような予測法について考察した。本論ではスラミングの発生を『船底が露出した状態』と定義する。これによりスラミングの発生確率は船底露出が起こる確率として求めることができる。前報で提案した『船底露出の条件』をもとに船底露出長の確率密度関数を導いた。さらに、スラミング衝撃圧の確率密度関数を求め、入射波によって生じる変動圧成分の確率密度関数との畳み込み積分を行うことで、衝撃圧の影響を考慮した変動圧の振幅の確率密度関数を求めた。これより衝撃圧の影響を考慮した変動圧の振幅の超過確率を算定し、スラミングの発生確率を乗じることでスラミングによる衝撃圧の発生確率を算定することができる。一例として、長さ5000mのVLFSを想定し、浮体の喫水をパラメータとして不規則波中でのスラミングの発生確率、それによる衝撃圧の発生確率及びスラミングによる衝撃圧が作用するエリアとして船底露出長の超過確率を求めた。その結果、浮体の喫水の深さは浮体の線形応答に対してはほとんど影響を与えないが、スラミング発生に与える影響は極めて大きいことが判明した。

超大型ポンツーン型浮体の波浪中弾性応答計算  
Numerical Calculation of Hydroelastic Responses  
of Pontoon type VLFS

大松重雄

平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

近年、超大型浮体式海洋構造物実現の気運の高まりとともに、波浪中における超大型浮体の弾性応答についての実用的推定法の開発が急務となっている。超大型構造物は水平方向の長さがkmのオーダーであるのに対して高さ方向の寸法は高々数mであり、波浪中の弾性挙動が浮体に要求される機能及び安全の確保の点から無視できないからである。

この弾性応答は計算機の記憶容量や計算速度さえ十分であるならば、原理的に通常の浮体の応答解析理論で解くことができる。しかしながら、浮体の水平方向の長さには比べると実海域の波長は非常に短く、例えば周期5秒(波長 $\lambda=40\text{m}$ )の波が長さ $L=5000\text{m}$ の浮体に入射する場合、 $L/\lambda=125$ となり、通常の計算法(特異点分布法等)では膨大なメッシュ数と計算時間が必要となる。現在、この難点を克服すべく多くの研究者がさまざまな工夫をこらした計算法を開発中であるが、いまだ5000m級浮体に対する実用的計算法は完成されていないようである。

そこでここでは、浮体をできるだけ単純化し、できるだけ簡便に(しかし設けた仮定の範囲では厳密に)弾性応答を予測する計算法を開発することにした。計算法としては、流体力の計算には3次元領域分割法、弾性挙動の表現にはモード展開法を用いているが、流体力係数の計算において、「長方形区域における Helmholtz 方程式の Dirichlet 問題の解」の表現を用い、圧力分布の積分をある程度解析的に行うことにより計算時間の短縮を図っている点に特徴がある。この計算法により $L/\lambda=100$ 程度でも比較的短時間で高精度の計算が可能となった。

本論文では、上記による計算法を示すとともに、計算結果を当所およびメガフロート技術研究組合で実施された模型実験結果(実機300mおよび1200mを想定)と比較し計算法の妥当性を検証している。また、本法による計算結果に基づいて、超大型浮体の弾性挙動の特徴、それに及ぼす浮体長さ、波周期、水深、浮体剛性の影響について論じている。

浅喫水箱形浮体の波浪中弾性応答について  
(その2 5000m規模の浮体を想定した水槽試験)

On the Hydroelastic Response of Box-Shaped  
Floating Structure with Shallow Draft.

(2nd Report. Tank Test with assumed 5km long VLFS)

矢後清和、大松重雄、遠藤久芳

平成9年11月

日本造船学会論文集 第182号

現在主力である埋め立て工法に適した水深20m以下の海域は、来世紀初頭にはほぼ飽和すると言われている。埋め立て工法に代わるものとして、長大な鋼鉄製の箱型浮体により広大な海洋空間を創生しようとする構想が、マリンプロート推進機構などから発見され、これを受ける形でメガフロート技術研究組合を中心に技術開発が進められている。構想にあげられている長大構造物は、海上空港に用いる事を前提に、長さ約5000mクラスの浮体が考えられている。こうした浮体構造物は、長さ、幅は大きいものの厚さは数mと相対的に薄く、全体的には非常に柔軟な構造物である。従って、波力を受けたときには弾性体としての挙動(弾性挙動)を示し、その量および特性を推定する事が空港に要求される機能保証の確認、構造強度・安全性などの面から求められている。本研究では、模型実験により5000m規模の超大型浮体の弾性挙動特性を調べる事にした。模型は、長さ50m×幅5m×厚4.4cm、総質量2.5ton、縮尺1/100であり、メガフロート技術組合が提案している「メガフロートI型」を想定実機として、浮体の曲げ剛性を決めている。試験は、当所の三鷹第三船舶試験水槽(長さ150m、幅7.5m、水深0~3.5m)において、実機相当6~15秒の周期の波を与えた時の弾性挙動を計測した。その結果、30~40秒を持つ周期の弾性振動の数節の比較的低い周期を持った振動が重畳する事がわかった。簡易的な方法で数値シミュレーションを行った結果、低次の振動は水槽側壁によるものであり、場合によっては低次の振動を増幅させる事がわかった。よって、水槽側壁を防波堤とみなした場合、同様の現象が起こる可能性があり、防波堤設置について十分な検討が必要である事を指摘した。

<氷海技術部>

Model-Ship Comparison of Propulsive Performance of Icebreaker "PM TESHIO" in Continuous Icebreaking Mode

巡視船「てしお」連続砕氷航行時の推進性能に関する  
 模型-実船実験結果の比較  
 宇都正太郎、下田春人、泉山 耕  
 平成9年4月

Proceedings of the 16th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering

「てしお」は平成7年10月に海上保安庁に引き渡された、現役では2隻目の砕氷能力を有する巡視船である。本船の実船実験は平成8年2月にオホーツク海において実施され、水中直進連続砕氷性能、ラミング砕氷性能、停船性能、操縦性能等に関する各種計測が行われた。また本船の設計及び建造に並行して船舶技術研究所では水中及び平水中の模型実験を実施した。

本論文では連続砕氷航行時の巡視船「てしお」の推進性能に関する実船実験結果と模型実験結果との比較を行った。はじめに平坦水中直進連続砕氷性能に関する実船実験結果の概要について報告した。次に模型実験の手法及び結果について報告した。水中推進性能の実船-模型相関を解析するために推進係数をプロペラ単独性能、プロペラが大荷重で作動する影響、氷とプロペラの干渉の影響、の3つの項に分解した。本論文では特に最後の項に着目し、プロペラと氷の接触頻度及び所要馬力を実船実験と模型実験結果で比較し、その尺度影響について考察した。

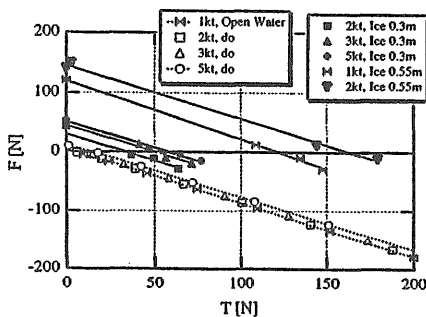


Fig.13 F-T Diagram of Propulsion Tests in Ice and in Open Water

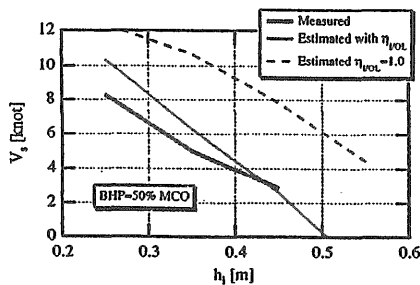


Fig.19 Comparison of Ship Speed vs. Ice Thickness

<大阪支所>

Material Damping Property of Mild Steel SS400B  
 軟鋼 SS400B の内部減衰特性

千秋貞仁、田中義照、大沢直樹、橋本聖史  
 平成9年4月

Proceedings of the 16th International Conference on OMAE

軟鋼の振動減衰特性を表す理論式あるいは実験式は確立されておらず、構造物についてはもっぱら模型試験に依存している。模型試験から減衰特性を得た場合でもいわゆるスケール・イフェクトが問題となり、実構造物の特性を推定するのは非常に困難である。構造物の減衰特性は大別すると次の3つより形成される。

1. 材料の内部減衰
2. 部材接合部での減衰
3. 周りの流体による減衰

これらの中で1の内部減衰は構成材料に固有で最も基本的な特性であり、これを先ず明らかにすることが合理的である。

過去いくらかの研究が成されており、Lazan B.J. は軟鋼を含む様々な物質の内部減衰を測定しているが、研究が古く、計測装置及び方法について何ら述べられておらず、内部減衰を正確に計測したとは考えにくい。

共著者の一人は軟鋼性丸棒試験片を用いて一軸繰返し引張り圧縮試験を行い、繰返し応力-歪特性を表しうる粘弾塑性構成式を導出し、疲労限と遷移点の応力との関係を明らかにしている。しかし、試験は低周波数で行われ、主に応力依存性が解明されたに留まり、その周波数特性は特に高周波数域において不明である。

本研究においては軟鋼片持ち梁試験片を真空中で共振させ、周波数と応力振幅を変化させ内部減衰を出来る限り正確に測定した。結果として主に以下の2つの結論が得られた。

- (1)低応力振幅下においては軟鋼の内部減衰特性は近似的に応力振幅に依存せず、線形粘弾性的である。
- (2)いわゆる繰返し遷移限以上の高応力振幅下においてはその特性は応力振幅のべき乗に比例して急速に増大する。

Water Absorption and Strength Properties of  
Polypropylene Composites at Frozen Sea

氷海環境におけるポリプロピレン複合材の吸水

及び強度特性

櫻井昭男

平成9年10月

5th Japan International SAMPE  
Symposium & Exhibition (JISSE-5)  
JISSE-5 Proceedings

F RTP (熱可塑性樹脂複合材) はマテリアルリサイクルが比較的容易であり、また、靱性、量産性、原料の保存安定性等に優れた特徴を有している。このため、大型海洋構造物においても FRP 構造部材を FRTP に置き換えることが注目されているが、海洋環境下で長期間使用するための材料特性データはまだ十分ではなく、特に氷海構造物に適用するための低温データはほとんど得られていない。本報告では、熱可塑性樹脂の中でも機械的強度、耐摩耗性に優れ、価格の面でも競争力のあるポリプロピレンをマトリックスとし、一方向ガラス繊維あるいは長繊維ガラスマットで強化した複合材について、氷海環境を模擬した条件での吸水特性、並びに機械的特性に及ぼす吸水及び低温の影響を検討した。

はじめに吸水特性を調べた結果、ポリプロピレン樹脂単体はほとんど吸水しないが、複合材は浸漬開始直後に顕著に吸水し、その後吸水率の増加は徐々に緩やかになって飽和吸水率に近づいた。複合材試験片の側面は機械加工により繊維-樹脂界面が露出しているため、吸水の大部分は繊維と樹脂との界面に毛細管現象で取り込まれているものと考えられる。また、環境条件を変化させて試験した結果、吸水時の圧力を海面下30m相当とした場合、常圧時と同じ吸水率に達する時間は  $1/3 \sim 1/4$  になり、飽和吸水率も大きくなった。一方、温度を海水の結氷温度に近い  $2^{\circ}\text{C}$  に下げると、吸水に要する時間は常温時の  $1.3 \sim 1.5$  倍になることがわかった。

強度特性では、一方向繊維で強化した積層材の引張強度はガラスマットを用いた積層材の4倍以上の値を示し、吸水による強度低下も少なく、高引張応力下での使用に有用なことがわかった。曲げ強度については、温度の低下に伴い強度が直線的に増加するのは引張強度の場合と同様であるが、吸水に伴い強度がほぼ  $1/2$  に減少した。試験後の破壊状況を観察してみると、いずれの試験片も圧縮側が座屈変形していた。これは繊維-樹脂界面に侵入した水分がその接着力を減少させたことによるものと考えられる。したがって、実機において曲げあるいは圧縮応力が作用する環境で使用する場合には防水施工に注意を払う必要があることがわかった。

## FRP 経年船の残存強度 (静的強度)

Investigation into the Safety Margin of  
an Aged FRP Boat (static strength)

千秋貞仁、櫻井昭男、吹上紀夫

平成9年11月

関西造船協会誌 230号

現存する小型船舶の多く(特に漁船はそのほとんど)がFRP製である。また、FRP船はその使用目的上年間運行時間が長く、使用される条件も比較的きびしいものが多いため、経年後の強度低下を把握しておくことは極めて重要である。鋼材の場合は、その疲労及び腐食などの特性が盛んに研究され、船体に加わる波浪外力の推定とあわせて、経年後の安全運行をふまえた設計、保守、検査、防食の実用化が進んでいる。これに比べ、FRP船については専ら設計段階において十分な安全率を採っているにとどまっている。この原因の一つとしては、船体構造用FRP材は、鋼材に比べて成形過程におけるいろいろな要因により、強度上のばらつきが大きいことが考えられる。また、複合材はその材料特性を記述する上で考慮すべきパラメータが多く、さらにその損傷、疲労、破壊、劣化の形態が多様であるため、これらの解明及び予測法は研究段階にあり、実用化に向けての今後の研究が待たれる。

本研究においては、FRPの多くの微視的な材料応答について個々に言及するのではなく、それらの時間積分された結果、すなわち経年後の残存強度を直接測定し、現在鋼船に対して用いられている手法をあてはめて予測される最大波浪荷重に対する応答計算値との比較を行った。その結果、船体中央断面での最大曲げ応力については、経年後も十分な強度を保持していることがわかった。しかし、現実には起こり得ると考えられる全ての条件を危険側にとって、最も厳しい条件下で計算したスラミング衝撃荷重に対しては、船底が受ける曲げ応力に起因して局所的に破損が生じる可能性があることがわかった。以上の結果より、経年後においても、通常の運行状態であれば十分な強度を有しているものと思われる。

## ＜東海支所＞

複雑形状部遮蔽設計における  
放射線ストリーミング簡易計算法  
Approximate Design Calculation Methods  
for Radiation Streaming in Shield Irregularities  
三浦俊正、平尾好弘、頼経 勉  
平成9年10月  
日本原子力研究所研究報告書  
JEARI-Tech 97-052

複雑形状部遮蔽設計において放射線ストリーミング計算に使用される簡易計算式の調査と評価を行った。調査は(1)線源の扱い、(2)ストリーミング放射線の漏洩経路による成分分類法、(3)ストリーミング放射線の計算法、(4)各種の複雑形状部に対する計算式、(5)補償遮蔽設計法、(6)計算式の適用における問題点、(7)簡易計算コード、(8)アルベドデータについて行った。線源については線源角度分布の表示式や角度束と線束の関係等が示されている。漏洩経路については直接線、漏洩線、アルベド線等を3成分あるいは4成分に分ける方法について述べてある。ストリーミングの計算法では直視法、アルベド計算法やray-analysis法についてまとめられてある。簡易式は直及び屈曲の円筒ダクト、円環ダクト、スリット、オフセット、ヘリカルダクト、スクリュウダクト等に対して与えられている。補償遮蔽設計法については基本的な考え方がまとめられている。また、簡易式の問題点がまとめられている。例えば、実際的な入射条件である斜め入射の効果が式の中に取り込まれていない。そこで斜め入射の扱いに関する提案がなされている。簡易式のパラメータの選択についてはいくつかの適用例を参考にその問題点をあげている。また、屈曲部、オフセット等の扱いが十分でないこと等が明らかとされている。さらに、空隙部斜め後方の線量評価や配管相互の影響評価について提案されている。簡易計算コードについては2つの代表的なコードについてまとめられている。以上のような調査と評価の結果、各種の複雑形状部に対応できる計算式の数自体が不足していること、計算式の精度、適用範囲が明らかでないものが多いことが明らかとされた。また、これらの理由により設計においては過度の裕度をもたせた計算を行うため、ストリーミング計算の信頼性を極めて悪くしている。これらの問題を解決し、複雑形状部遮蔽設計の精度を向上させるためには、系統的な実験的研究を行い、既存の簡易式の精度を検証すると共に、斜め入射等の実験的な条件を考慮した、より精度の良い計算式を開発することが必要であることが示されている。