

所外発表論文等概要

<運動性能部>

斜め追波中の船の転覆について

(第1報 転覆機構に関する模型実験)

Capsizing of a Ship in Quartering Seas (Part 1. Model Experiments on Mechanism of Capsizing)

菅 信, 猿田俊彦, 田口晴邦, 安野三樹雄

平成2年5月

日本造船学会 日本造船学会論文集167号

船の転覆現象の中で最も基本となるのは完全な状態の船が波の中を航行中に発生する転覆である。そのような転覆を考えた場合、真の追波を含む斜め追波中を高速で航行する時が危険であることが従来から指摘されているものの転覆のメカニズムについては解明されていない。著者等も先に完全自航のコンテナ船模型を使った転覆実験により、真の追波や横波中では転覆は発生せず転覆の発生は斜め追波中に限られ、また中低速では転覆が発生しなくなるという結果を得た。しかしその実験では模型船の寸法の制限からオートパイロット装置を搭載できず目標方位の保持を手動操舵で行わざるを得なかったため方位に関する精度が悪く単に斜め追波中で転覆が発生しやすいということを確認したにとどまった。今回著者等が行った約770航走に及ぶ実験では、転覆に影響を与えないような甲板上の高い

位置に設置した水密箱の中に方位ジャイロを積んでオートパイロット装置を搭載することができたため、方位に関する実験精度が格段に上がり危険な出会角範囲を $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 程度と特定することができた。また速度を細かく変えた実験により転覆に対する限界速度の存在も把握することができた。更に転覆が100%波下側に発生することなども判り、斜め追波中の転覆現象がかなり詳細に把握でき、転覆のメカニズムを解明する手掛りが得られた。次にこの転覆のメカニズムを考察し、基本的には波による転覆モーメントが追波中で減少した復原力より大きくなる単純な静的転覆として説明できる可能性があること、あるいはそこまで単純ではないまでも両者が非常に接近した状態での動的な転覆として説明できる可能性があることを示した。また高速で波下側に転覆が発生することについても、波乗り現象との関連で説明ができることを示した。更に転覆の形態として、カオスの前段現象である周期分岐現象を伴う転覆という新しい形態の転覆現象がありうることを実験データと若干の考察によって示した。

小型船の横波中転覆機構に関する模型実験

Model Experiment on the Mechanism of
Capsizing of a Small Ship in Beam Seas

石田茂資, 安野三樹雄, 高石敬史

平成2年5月

日本造船学会論文集 第167号

艀度の大きい1, 2 発の大波を突然横から受けて転覆するパターンが, 小型船の典型的な海難のひとつになっている。このような転覆過程の研究は古くから行なわれているが, 対象とする船型や波に限られているため, 横波中の転覆機構が十分に明らかになったとは言えない。特に, 転覆事故の多い小型船は軽量浅喫水でブルワークが大きいという特徴があり, 他の船型とは異なった転覆機構を持つ可能性がある。安全運航の観点からも転覆機構の解明が急がれるところである。そこで, そのような船型の代表として小型漁船の模型を用いて水槽実験を行った。重心高さ, 波の特性, 波との出会い位置等をパラメータとして転覆する条件を調べるとともに, シミュレーション等を利用して転覆のメカニズムを検討した。

転覆条件については, (1)初期傾斜がない場合, いわゆる一発大波に近い波形よりも連続した2つの大波の方が転覆しやすいこと, (2)初期傾斜がない場合, 砕波による衝撃力を受けることが転覆する必要条件になっていること, (3)波下側に初期傾斜のついた時, 波高がやや低い砕波のない波の方が転覆を起しやすいうちがあること等の新しい知見が得られた。

また, 初期傾斜や転覆方向とにより4つの転覆パターンが観測されたが, いずれも従来の研究に見られるような大きな衝撃モーメントによる一瞬の転覆ではなかった。転覆の主原因は, 連続する2つの波によって励起された大きな横揺れ運動の結果として, 船の傾斜角が復原力消失角を越えたことであった。

衝撃は砕波との遭遇時ばかりでなく, 船に対する相対波傾斜が大きい瞬間にも観測された。砕波による衝撃モーメントは船の動復原力に比べて大きなものではなかったが, 次の波に遭遇する条件を微妙に変えて横揺れの発達に影響を与えるなど, 間接的な意味で重要な働きをすることが明らかとなった。

自由落下式救命艇の落下運動の数値

シミュレーションとその応用 (第1報)

Numerical Simulation and its Application on the
Falling Motion of Freefall Lifeboats (1st report)

小川陽弘, 田崎 亮

(日本造船振興財団筑波研究所)

月野良久 (同)

平成2年5月

日本造船学会論文集 第167号

自由落下式救命システムは, 従来の救命システムよりも安全・確実・迅速に本船から離脱できることを目的に, これまでの考え方・法規に捉われない全天候型の救命システムとして, 1970年代にノルウエーを中心として開発された。既に国際法規でも認められて, 船舶・海洋構造物用として広く採用されている。

この形式の救命システムでは, 法規で, 着水時に受ける衝撃が過大でないこと, 着水後の艇が確実に本船から離脱できること等が求められている。これらは安全上極めて重要であるが, これを具体的に調べるには, 艇の着水時の静的及び動的姿勢, 特にそれらの落下条件との関係を明らかにして置かなければならない。しかしながら, 従来のこの救命システムの開発に際して模型・実機試験が行われたことは報告されているが, 艇の姿勢について具体的な計測値が示されている例は非常に少なく, しかも艇及び滑台の諸要素を含む落下条件との着水時の艇の姿勢との関係について, 理論的あるいは実験的に研究されたものは見当たらない。

着水時の姿勢は, 基本的には(本船の運動, 波浪等の影響を除けば)艇の慣動半径・重心位置, 滑台の傾斜・滑り出し位置, 滑台と艇の間の摩擦係数, 落下高さ等の諸要素によって定まる。水面突入以後の艇の挙動は流体力学の対象であるが, 滑降から着水までは純力学的問題で, 理論的解析が有効である。

著者らはこれらの点に着目して, 自由落下式救命艇の滑降から着水までの運動を数値シミュレーションにより計算し, 簡単な実験と比較して, 本方法によれば模型実験等を行わなくても水面衝撃の推定に必要な着水時の艇の姿勢を十分な精度で求められることを確認した。これを用いて, 艇及び滑台の諸要素・条件と着水時の姿勢との関係を明らかにし, その結果幾つかの有用な興味ある知見が得られた。更にその応用として安全着水限界の評価法を提案した。

Manoeuvring Motion of a Ship in Waves

波浪中での船舶の操縦運動

野中晃二

平成2年6月

VARSIM & ICSM 90 Proceeding of
MARSIM & ICSM 90

波浪中での船の操縦運動は、一般に、波漂流力を取り込んだ低周波の操縦運動に、波浪強制力による船体動揺が足し合わされたものとして、近似される事が多い。外乱がなければ静止している、係留浮体のような場合については、低周波運動と高周波運動の線形足し合わせで近似出来る事が、TriantafyllouやOgilvieにより示されているが、変針や旋回などを行っている通常の操船運動のように、船がある程度の速度で走りまわっている場合については、理論的検討はまだ十分には行われていない。

そのため、実際に運動を推定する場合に問題となる、波漂流力を低周波の操縦運動方程式に取り込む際の、出会い周期や船速の影響、高周波の船体動揺に対する境界条件の与え方、回頭による非定常性の影響、足し合わせ近似の限界等について、理論上の明確な指針は与えられていない。

本論文は、Triantafyllouによる多重時間スケールの手法を、船速がある場合に適用し、波浪中での操船運動について、低周波運動と高周波運動の重畳運動として近似する手法の、満足すべき条件や仮定を明確にする事により、一般的に用いられている、波浪中での操船運動の推定法の、基本的立場、性格を明らかにしたものである。

主な結論は、次のとおりである。

波浪中での船の操縦運動は、本文に示された仮定のもとにおいては、3次のオーダーの誤差の範囲で、低周波運動と高周波運動の重畳運動として近似出来る。

運動推定に用いる波漂流力としては、1次のオーダーの船体及び流体運動の高周波成分の、非線形関数として表わされる圧力成分の時間的平均値と、境界条件において、高周波成分の影響を受ける2次のオーダーの速度ポテンシャルによる流体力を求めればよい。

On the Slewing Motion of a Towed Barge

曳船バージのふれまわり運動について

野中晃二, 原口富博, 二村 正

平成2年7月

Pacific Congress on Marine SCIENCE AND
Technology Proceedings of P.C.M.S.T.

海洋構造物の大型バージのような大きな物体を、曳船で曳航する場合、最もさげねばならないのがふれるり運動である。ふれまわり運動は、曳航索に衝撃張力を発生させ、曳航索切断の主要原因の一つとなると共に、蛇行及び抵抗増加により、船速低下、燃費の増加をもたらす、曳航における安全性上、経済性との重要な問題となっている。

本論文は、推定計算と模型実験により、曳航に関する、運動推定上の問題点とふれまわり運動の特徴を調べたもので、得られた主な知見は、次のとおりである。

ふれまわり運動は、線形解析の針路安定性判別式において、針路不安定な場合に生じると、通常は判断されているが、例え針路安定でも、大きな攪乱を受けるとふれまわり運動を発生する場合もあるし、針路不安定でも、実質的にはふりまわり運動を起こさない場合もある。ふれまわり運動は、複雑な非線形現象であり、ふれまわり運動の発生の可能性を調べるには、線形解析による針路安定性判別だけでは、必ずしも十分ではなく、種々の攪乱に対し、推定計算や模型実験を行う事が望ましい。

曳航における模型実験や推定計算では、簡単のため、曳船は一定速度で直進すると仮定される場合があるが、そのような条件下での運動と曳航索張力は、曳船が自由に運動出来る実際の曳航状態の場合とでは、大きな差を生じる事がある。差を生じる主な原因は、曳航索張力の変化に対応した、曳船のサージ運動の有無にある。被曳航体に比べて相対的に小さな曳船は、一種のオート・テンション・ウインチとして働き、ふれまわり運動による曳航索の衝撃張力を、大きく弱める事にある。そのため、曳航運動の推定においては、曳船には、少なくとも自由なサージ運動を許す事が必要である。

<構造強度部>

PC鋼より線の応力腐食および腐食疲労強度特性

Stress corrosion cracking and corrosion
fatigue strength of prestressing strand

小林祐規, 田中義久

平成2年6月

(社)日本造船研究協会, 海洋コンクリート構造物
の設計・建造に関するシンポジウム

各国のコンクリート製海洋構造物等の設計基準では、補強鋼材の腐食対策として、かぶり厚さおよびひびわれ幅等が規定され、また防水性のシースにグラウトが施工されることを前提に、空気中の疲労強度が採用されている。しかし、PC鋼より線は、ひびわれ、不完全なグラウト部、定着部および構造物相互の継手部において、海水等の腐食環境に遭遇することが想定される。

著者らは、プレストレストコンクリート製海洋構造物に使用される腐食強度設計資料を求めため、実海水の塩分濃度に近い3%NaCl試験液におけるPC鋼より線の応力腐食割れおよび腐食疲労強度特性について調査した。応力腐食割れでは、低歪速度試験法および定荷重法による試験のほかアノード分極による促進試験により、割れ感受性および機械的性質について検討した。疲労強度では、空気中および食塩水中の疲労強度設計線図を提案した。さらに、コンクリートのひびわれを想定し、PC鋼より線をモルタルで被覆した場合の応力腐食割れおよび腐食疲労強度特性について調査した。本稿は、これらの試験結果について報告したものであり、概略次のことが言える。

低歪速度試験および定荷重法による応力腐食割れ試験では、伸びの低下がみられるものの応力腐食割れは生じない。 $-450 \sim -400 \text{mV vs. SCE}$ のアノード分極下では、著しい局部腐食となるため、活性径路腐食型の応力腐食割れが生じることがある。腐食電位と破断時間とは直線関係にあり、腐食電位が貴となれば短時間に破断する。ストランドがモルタルで被覆されると、ひびわれ幅が、0.5mm以下の場合破断時間が著しく向上する。

疲労強度については、破壊確率5%のS-N線図を提案し、任意の平均荷重に対する 2×10^6 回強度を示している。さらに、腐食疲労では 10^7 回までの強度を推定した。モルタル被覆ストランドは、ひび割れがある場合、疲労寿命の伸びはわずかであるが、陰極防食により寿命を著しく向上させることができる。

(574)

<機関動力部>

ら旋細線などを挿入した管内における
環状液膜流の研究(蒸発伝熱の改善を目的とする
エントレインメント抑制について)

Investigation of Annular Liquid Film Flow in
Tubes with Helical Ribs and Wires

(Suppression of Droplet Entrainment with the
Aim of Improvement of Evaporative Heat Transfer)

波江貞弘, 汐崎浩毅

平成元年11月

日本機械学会論文集B編56巻524号

貫流ボイラや原子炉の蒸気発生器、ヒートポンプやコジェネレーションシステムの蒸発器などの貫流蒸気発生装置の小型高性能化を図るうえで、高蒸気乾き度域での蒸発管中心部への多量の液滴発生(エントレインメント)は、管壁に沿う液膜流のドライ・アウトを早め伝熱性能を劣化させると同時に、蒸気乾き度の向上を阻害する要因となる。このエントレインメントの抑制を目的として、壁面上にリブや細線をら旋状に挿入した円管について、ら旋溝構造物や気液流量を変化させた場合の環状噴霧流の流動状況への影響を実験的に検討したものである。また、液膜流の界面形状についても計測して、蒸気のエントレインメントとの関係を調べている。

液滴量の総液流量に対する比(エントレインメント) E は、リブや細線などら旋構造物の高さ d 、ら旋ピッチ p 、ら旋状数 η 、空気流速 U_g 、液流量 W_l によって影響される。

また、液膜表面に存在する通常「じょう乱波」と称される界面波の形状、高さ δ も影響されることを述べている。

そして、結論としてつぎの事項を指摘している。

- 1) ら旋溝構造物管内ではエントレインメントが抑制され、平滑管における値 E_s と比較すると、最大40%程度にまで低減される。
- 2) ら旋溝構造物管では、平滑管に比べじょう乱波の数が減少し、液膜表面が平坦化される。また、その波形状も通常の環状から三次元的な波に変形している。これらの変化がエントレインメント抑制の原因になっていると考えられる。
- 3) 液膜流の平坦化によるエントレインメント抑制効果は E/E_s 、 d/s および $n^1 (\pi D/p)^1$ の三つの無次元数で整理できる。Dは管径であり、 i, j の値はさらに系統が必要である。
- 4) ら旋溝構造物管の二相流圧力損失は管の水力直径以外に他の要因が影響している。

ディフューザ内剝離流の熱伝達
(非対称ディフューザの実験)

Heat Transfer of Separation Flow in Diffuser
(Experiments through Unsymmetrical Diffuser)

浦坂伸明

平成2年5月

第27回日本伝熱シンポジウム講演論文集

ディフューザの流路内に剝離流が発生する時の強制対流熱伝達の基礎的諸特性を調べるために実験的研究を積み重ねて来たが、今までは間歇剝離流域およびそこから完全剝離流域に至る剝離泡の前半分を主な対象としていた。この領域が現象的にも実用面からも興味ある対象と考えられたからである。また従来は実験上の利便から片開きディフューザのみを用いて来た。

しかしながらディフューザ内剝離流れを伝熱工学上活用しようという観点からは、色々なディフューザの形態とその内部流れに対して熱伝達特性を知っておく事が求められる。よって剝離泡の後半部分や非剝離流となっている領域での特性を把握する必要がある。

そこで本報では、空気流に対して二次元非対象ディフューザを用い、拡大比を大きく取って剝離泡の後半部に相当する逆流渦を咽部直下流より一方の壁面上に発生させ熱伝達特性を調べると共に、非剝離流を非対象拡がりのもう一方の壁面に生ぜしめ、同じく熱伝達特性を調べた。実験の方法と装置の構成は従来の一連の研究のものと同様とし、測定精度も同一程度のものとした。

その結果、非剝離流側の熱伝達率は完全剝離の大きな逆流渦域のそれよりも可成り大きい事が示されたが、これは応用上極めて有利な実験的事実と言える。また従来剝離流の熱伝達特性とされる関係が、むしろこの非剝離流側の熱伝達に現われている事が明らかとなった。一方剝離した逆流渦の側ではその熱伝達率が流れ方向の位置に依らずほぼ一定で、かつその大きさは管内乱流の熱伝達率と比べても、流れ方向全域の平均値としてはほぼ同程度であり、剝離流域といえども必ずしも熱伝達上有利とは言えない事を示した。

ガスタービン・高温燃料電池複合
サイクル機関の性能解析(続報)

An Analysis of Cycle Performance of
a Combined Gas Turbine and Solid Oxide
Fuel Cell (2nd Report)

野村雅宣, 熊倉孝尚, 波江貞弘,
青木修一, 汐崎浩毅, 川越陽一

平成2年6月

日本ガスタービン学会,

第18回ガスタービン定期講演会講演論文集

ガスタービンとジルコニア個体電解質燃料電池(SOFC)との複合サイクル機関について、SOFCの作動温度 T_{FC} と燃料利用率 ϵ を変化させた場合の性能解析を行った。この解析では、ある電流密度 i を得るに必要な水素流量の $1/\epsilon$ 倍を燃料電池入口で与える。空気流量は上記の水素が空気中の酸素と当量比1の反応をするだけ与えればよい筈であるが、 T_{FC} を一定に保つため、冷却用として余分の空気を流す必要がある。従って、総空気流量をここでは空気過剰率 λ で表わす。

圧力比 R_c 、 T_{FC} 、 ϵ 一定の条件下で i を上昇させるとSOFCのエネルギー変換効率 η_{FC} は低下し、出力密度 L_{FC} は増加して最大値に達する。ガスタービンの熱効率 η_{GT} と λ は i の低い領域で急激に増加し、 i が大の領域では i に比例した増加となる。 R_c を増加させると η_{FC} 、 L_{FC} はエントロピーの減少によって僅少だが増加の傾向となり、ガスタービンの性能は明らかに上昇する。 i の低い領域では T_{FC} を上げて η_{FC} 、 L_{FC} はあまり変化しない。これは可逆電位の減少と過電圧の減少量が同程度であることに基づく。 i の大きな領域では可逆電位の減少よりも過電圧の減少量が上回り、 T_{FC} を上げると η_{GT} 、 L_{GT} は温度上昇に伴って増加するから、総合性能は良くなる。

ϵ の低下は燃料電池の未反応水素量の増大を意味する。従って、 ϵ が減ると当量比1の反応を仮定しているのでSOFCの性能は一定であるが、ガスタービン用燃焼器出口およびタービン入口温度が上昇すること、また、燃料電池の温度制御に必要な空気流量がふえることにより、 η_{GT} 、 L_{GT} が増加する、等の結論を得た。

燃焼火炎の可視化

Laser Aided Visualization of Combustion Flame

佐藤誠四郎

平成2年7月

可視化情報学会可視化情報10巻38号

燃焼研究にとって可視化の重要性は論をまたない。例えば対象とする現象等の詳細な計測や解析を行なう前に、あるいはこれと並行してなんらかの方法で対象場を可視化し、全体的なイメージを把握することによって理解や指針等を得るのが一般的な研究手法と思われる。

内外の燃焼シンポジウムなどの報告では、このための可視化の手法として従来からシュリーレン法が最も多く用いられている。最近では、レーザや撮像管などの電子機器およびデータ処理技術等の進歩を背景として、シート状にしたレーザビームを照射して得られる断面像やレーザ分光法による温度、濃度などの画像計測さらにはいくつかの手法を組合わせた同時複合計測が用いられている。これら断面像や分光画像の多くは、データの数学的な変換等が不要であり、そのままで理解しやすく現象を直感的に把握できること、また一点の計測法を強力に補間する方法として有力視されている。

以上のように燃焼の可視化の重点は、現象を二次元的に把握することにあるが、最終的には非正常現象中での諸量の瞬時状態などの三次元的な現象の理解が必要なことは言うまでもない。

本稿では、瞬時の三次元空間分布の測定が可能なレーザ干渉法とコンピュータ断層撮影法(CT)による火炎の温度分布の可視化を中心に、原理、適用例およびレーザ分光法によるイメージ計測として、平面レーザ誘起蛍光法、ラマン散乱法、これらを組み合わせた複合計測法など、レーザを用いた燃焼計測法の概要について述べたものである。

Combustion Characteristics of Stoichiometric Hydrogen and Oxygen Mixture in Water (2nd Report)

水中における酸水素理論混合気の燃焼特性(第2報)

熊倉孝尚, 森下輝夫, 菅 進,

平岡克英, 井亀 優

平成2年7月

Proceedings the 8th World Hydrogen Energy
Conference 22-27 July 1990 3巻

筆者らが水素の熱機関への利用として研究を進めている内熱式蒸気タービン機関では、水中および蒸気中で量論比の酸水素を燃焼させ、熱を直接作動流体に与えて蒸気を発生させることを特徴としている。本研究の目的は、燃焼が最も困難とみられる水中における量論比の酸水素燃焼の特性を把握することである。第1報では、溶断トーチ用ノズルを用いた予備実験を行い、量論比の予混合酸水素の水中燃焼が可能なことを報告した。しかし水中における燃焼は不安定であり、突然失火したり、ノズル内部に逆火を起こしたりすることが観察された。

本論では、この不安定燃焼の解明を行い、安定燃焼範囲を明らかにするため、フード付き単孔ノズルを用いて、ノズルおよびフードの寸法が燃焼の安定性および燃焼特性に与える影響を調べた。実験は円筒形の水容器(内径600mm)の中で燃焼を行ったが、この際水面上でバーナノズルに着火させた後、所定の水深まで沈めた。燃焼の安定性は所定の水深において一定の燃焼時間の持続回数から判定した。また失火や逆火現象についてはノズル内の圧力変動およびイオン電流を検出して解明を試みた。水素の燃焼効率も燃焼により生じた水蒸気中の残存水素および残存酸素ガス濃度を測定して求めた。

室温付近の低温水中の燃焼の実験結果、次のことを明らかにした。安定燃焼を確保するためには、フード長さ/内径比が2.5以上必要である。当量比が0.9~1.1(水素希薄~水素過濃)の範囲において燃焼が維持される場合には、水素の燃焼効率はその理論値のほぼ100%に達し、ノズルやフードの寸法あるいはガス流量にほとんど影響されない。また、ノズル内のイオン電流の挙動から、逆火が起らなくても火炎はしばしばノズル内に入ることが明らかとなった。

**Energy analysis and CO₂ emission
evaluation of a hydrogen energy system
for the transportation system in Japan**

日本の運輸交通機関用酸素エネルギーシステムの
エネルギー解析とCO₂排出の評価

平岡克英, 渡辺健次, 森下輝夫, 野村雅宣,
菅 進, 井亀 優, 千田哲也

平成2年7月

World Hydrogen Energy Conference#8

近年化石エネルギー, 特に石油エネルギーの将来における枯渇や, 地球規模的環境汚染, 特に大気中CO₂濃度増加による地球温暖化が全世界で取り組むべき大きな問題となっている。わが国においては, 国内石油エネルギー消費量の約30%は運輸交通機関で使用しており, 特に大都市においては自動車から排気ガスによる大気汚染が大きな問題となっている。これら石油資源枯渇問題, 地球規模的あるいは地球的環境問題に対処するためには太陽エネルギー等の再生可能で環境を汚染する物質を排出しないエネルギーを利用することが重要であり, わが国の運輸交通機関においても石油系燃料を再生可能なエネルギーで代替することができればその効果は非常に大きい。そこで, 本報告では, わが国の運輸交通機関が現在使用している燃料をすべて太陽エネルギーを利用して製造した水素で代替する水素エネルギーシステムを提案した。すなわち, 運輸交通機関が使用している約 69×10^6 KJ/yの石油系燃料を 2.49×10^7 ton/yの液化水素で代替する。液化水素は南太平洋上に総面積約6000Km²の筏群を浮かべそこで太陽光発電を行い, その電力で製造する。液化水素は270隻の12.5万m³液化水素タンカーで日本に輸入する。本水素エネルギーシステムは, 現在の技術水準では水素製造設備などの設備製造に化石エネルギーを投入するため1現状のシステムより多い化石エネルギーを必要とする。しかし, 今後筏本体や液化水素製造プラントへの投入エネルギーが技術開発により改善されれば水素による石油代替エネルギーシステムがエネルギー収支上可能である。すなわち本システムでは, 運輸交通機関の消費する石油燃料を水素化することにより化石エネルギーを78%削減し, CO₂発生量を81%低減できる。また, CO₂発生量は現状技術においてもCO₂発生量の小さいコンクリートを筏製造に使用した場合低減できる。

<材料加工部>

数種の材料における弾性応力下の超音波減衰について

Ultrasonic Attenuation on Various Materials
under Elastic Stress

勝又健一

平成2年3月

日本非破壊検査協会 非破壊検査39巻3号

超音波減衰の応力依存性について, 鉄鋼以外の報告例は少ない。特に, 弾性圧縮応力との関係は見あたらない。本報告は鋼は言うに及ばず, 導電体の銅, アルミ, ステンレス及び非導電体のアクリルにおける引張り及び圧縮時の超音波減衰量の変化を調べたものである。鋼は強磁性体であることから, 時壁の振動損失の項が超音波減衰の中に含まれ, 特に応力依存が大と思われる。そこで, 鋼のみは磁場を加えた状態でも減衰量を調べた。

超音波を応力方向に対して直交する方向に伝搬させ, 横波の振動方向は応力の方向と直交する方向の2通りである。試験片には引張りと圧縮の応力を連続的に加えた。その結果, 鋼ではヒステリシスが顕著であった。ところが, ステンレス, 銅およびアクリルでは認められなかった。また, 鋼において, 横波超音波の振動方向による効果は大きい。すなわち, 応力方向の振動の場合, 超音波は引張り及び圧縮のいずれの応力でも通り易くなること。一方, 応力と直交した振動では引張り応力状態で超音波が通り易くなるものの, 圧縮応力状態では通り難くなることである。この現象の現れ方は鋼種によって量的には異なったが, 変化量をパターン解析した結果, 実験した全ての鋼のパターンが類似していることが認められた。

鋼及びアクリルでは, 振動方向に拘らず, 引張りあるいは圧縮応力が加わると超音波が通り難くなる。その減衰量の変化は両応力方向共ほぼ等しい。ステンレスでは引張り側で減衰量が減少, 圧縮側では増大した。

鋼に磁場を加えた場合, 超音波減衰は弾性範囲内の応力で変化するが, ヒステリシスが磁場なしの場合と同様に生ずる。ただし, 磁場をあたえることでヒステリシスの上下の範囲は磁場なしに較べて小さくなる傾向である。

SM41B鋼の引張圧縮疲労における
超音波遷移温度と余寿命との相関

Correlation of Ultrasonic Transition
Temperature with Remanent Life in Fatigue
Process of SM41B Steel under Completely
Reversed Tension and Compression

野間口道義, 後藤英信

平成2年4月

日本金属学会講演概要1990年春季(第106回)大会

マクロ疲労亀裂発生に至るまでの鋼構造部材の或る時点の疲労余寿命を超音波減衰法によって予測する方法を研究した。そのため超音波減衰の遷移温度と疲労破壊に至るまでの余寿命との相関を調べた。SM41B鋼に引張圧縮疲労過程の或る時点まで繰返しの応力と周波数を種々に変えて一時疲労損傷を与え、その時点の超音波遷移温度、 T_c (遷移領域の上限) を測定した。その時点以後の余寿命は繰返しの応力および周波数をそれぞれ $\pm 0.9\sigma_y$, 0.2Hzとし、室温での二次疲労試験によって得られる疲労寿命とした。

SM41B鋼の引張圧縮疲労過程における或る時点の超音波遷移温度と余寿命との間には、その時点までの疲労履歴から独立に、直線的な相関があることが明らかとなった。従って、この場合には、疲労過程の或る時点において、その時点までの繰返しの応力、周波数、および回数が異なった疲労損傷状態であっても、超音波遷移温度が同じであれば、それらの疲労損傷状態は余寿命に関して等価である。この研究の一部は科学技術庁振興調査費研究の一環として行ったものである。

7075アルミニウム合金の高温圧縮変形と加工軟化

Hot compression of flow softening
of 7075 aluminum alloy

飯野千織, 酒井 拓

平成2年5月

軽金属学会軽金属40巻5号

7075アルミニウム合金の高温変形を、温度範囲723 K~803K, 真ひずみ速度範囲 $5.4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \sim 7.8 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ の条件下で圧縮試験により研究した。その変形特性は試験温度に依らず変形応力によって3種類のタイプに分類され、L, M, Hの3種の試験領域ごとにそれらを解析した。降伏応力および定常状態応力の変形方程式は各領域ごとに異なるがべき乗則によって近似することができた。変形応力が30MPa以上となる領域Hでは、高温降伏現象が現れた。また降伏応力と定常状態応力はひずみ速度に対してほとんど同じ依存性を示した。これらの事実は領域Hでの変形が、本合金中に含まれるMgやCuの溶質雰囲気を引きずる転位の粘性運動によって支配されることを示唆する。変形応力が15MPaから30MPaの領域Mでは、高温降伏現象とは異なり高ひずみまで続く緩やかで大きな加工軟化現象が現れた。この応力軟化は昇温または低ひずみ速度にすることをしつが明瞭となる。領域HとMの臨界変形応力30MPaは不溶性分散粒子により生ずるオローワン応力に等しかった。しかし温度の上昇またはひずみ速度の減少にともなって転位の上昇による粒子の乗り越え効果のため、変形応力はオローワン応力の約50%まで次第に減少する。変形応力が15MPa以下となる領域Lでは、上記の応力軟化がさらに明瞭に現れ、ピーク応力に対する加工軟化量の割合は約0.75とほぼ一定値に達した。このとき変形応力は結晶粒径に敏感に依存した。これらの事実は粒界すべりが変形中に支配的に生ずることを示唆する。30MPa以下の応力を生ずる領域では、変形とともに圧縮軸方向に伸びたパンケーキ状結晶粒が部分的に折れ曲がり、粒界すべりの起きやすい組織に変化する。すなわち領域LとMにおける加工軟化現象は、変形にともなう見かけ上の結晶粒微細化と粒界すべりが支配的に生ずることに起因して起こるものと結論される。

FRP軸における弾性波の伝搬速度について
Measurements of Elastic Wave Velocity
in C/G FRP Tubes

勝又健一, 後藤英信, 高井元弘
平成2年5月

日本複合材料学会1990年度 研究発表講演集

FRP材料の超音波検査は高周波の超音波が通り難く、繊維および層による反射のため、欠陥の評価が難しい。また、軸材では曲率があるため音の入射音圧が弱い。このような材料の超音波検査には減衰の少ない低周波を使う必要がある。低周波においては波長が長くなるために軸方向の音の伝搬を考えた場合、Bar Velocityに近いと思われる。また、繊維の方向による速度変化も考えられる。これら音速変化の因子は、欠陥の位置決定に影響するため調べておかなければならない。

ここでは基本的なFRP中空軸における弾性波の特性、C/G FRP軸の繊維配向角と伝搬速度との関係を調べた。試験片はC/G FRP製で外径40mm、肉厚5mm、長さ10および500mmの2種類、繊維配向角はそれぞれ ± 10 , 30, 45および 60° とした。長さ10mmの試験片は5MHzの超音波による縦波・横波の固有音速の計測のものである。長さ500mmの試験片はハンマーの衝撃によって発生させる弾性波を、AEおよび自作磁気音響センサーで受信し、伝搬速度を調べた。また、低周波透過法も行った。

材料固有の音速値は繊維配向角によって異なった。特に、縦波速度は繊維配向角の影響が大で、配向角が小さくなるに従って速く、CFRPはGFRPよりも速い。ただし、配向角が 60° あたりではほぼ等しい速度となった。

長さ500mmの試験片における弾性波の伝搬速度も高周波による材料固有の計測値と同様に繊維配向角の効果が現れた。配向角が大きくなると見掛けの繊維長さが長くなり、結果として軸方向の伝搬速度が低下すると考えられた。弾性波による伝搬速度は低周波透過法によるものよりも遅い。この差の原因は前者では中間媒体の使用による遅延時間の効果があること、後者は試験片のみであることから遅延時間は影響しないことである。また、軸を伝搬する波は周波数に依存して速度分散を生じた。衝撃による弾性波の周波数は低周波透過法よりも低く、この影響が伝搬速度に表れたのではないかと思われる。

鋼の超音波減衰における磁場依存性について
(第2報) 弾性応力および予ひずみの影響

Study of Ultrasonic Attenuation of Steel
Materials in a Magnetic Field - Part 2 :
Effects of elastic stresses and pre-strain
勝又健一

平成2年5月

日本非破壊検査協会 非破壊検査39巻5号

鋼に磁場を加えると超音波の減衰量が変化することが知られている。その変化量は磁場の強さ、超音波の伝搬距離および、波長等に関係することを第1報で述べた。本報告では弾性応力および予ひずみの影響について調べたものである。

材料は引張り強さ40kg/mm級の鋼である。磁界中の超音波減衰量の測定は所定の応力を保持した状態で行った。超音波は周波数5MHzの横波である。磁界中の超音波減衰量は磁界がある場合とない場合の超音波の音圧比で表し、超音波磁気感度(MEAS)と定義した。そして、MEASを所定の磁化電流まで積分(値U)することも合わせて提唱した。MEASとその積分値の違いは前者が任意の磁場における超音波音圧比であるのに対し、後者は所定の磁場までの超音波音圧比変化の総量である。

ここで用いた材料では積分値(U)は応力を加えない場合、正の値である。引張り応力の場合、積分値Uは応力が増加するにしたがって、減少する。この時、横波の振動方向によって僅かな差が生ずるが、現象的に同じであった。一方、圧縮では横波の振動方向によって、特異な現象であった。振動方向が応力と直交の場合、Uは圧縮応力の増加によって上昇してピークを示し、その後低下する。この場合、積分値は正の領域内の変化であった。しかし、振動方向が応力と平行な場合は、圧縮応力の増加にしたがって減少する。そして、前述のピークを示した応力値で零となり、さらに応力が増すと負の値で減少することが分かった。Uが負であることは磁場によって、超音波が通り難くなることを意味する。

引張り試験によって、鋼に永久ひずみを与えた試験片では、MEASには負の領域がある。これは、振動方向が与えたひずみ方向に平行な時に顕著であった。無ひずみの試験片(パーজন材)は磁場によって音を通り易いのに対して、予ひずみ材では逆に通り難くなることが明白であった。

鋼の超音波減衰における磁場依存性について
(第1報) 伝搬方向および距離の影響

Study of Ultrasonic Attenuation of Steel
Materials in a Magnetic Field - Part 1 :
Effects of propagation distance and direction

勝又健一

平成2年5月

日本非破壊検査協会 非破壊検査39巻4号

鋼の損傷(材質変化)を非破壊的に評価することは重要であるにも拘らず、未だ確立されていない。その利用手段は放射線、弾性波、磁気及び電流等があるが、いずれの場合でも損傷部と健全部との区別が難しいと言われている。本報告はこれらの利用手段の内、鋼の材質変化に対して最も敏感と考えられている超音波の減衰を取り上げたものである。ただし、減衰の計測のみでは試験片表面の影響等により、再現性が悪いので磁場をパラメータとした相対測定によって、値の安定化及び再現性の向上を図った。ここで述べるのは鋼の超音波減衰における磁場依存性に及ぼす、超音波の伝搬長さ及び伝搬方向の効果である。

材料は引張り強さ40-50kg/mm²の一般構造用鋼である。超音波は縦波及び横波の2種類を使用した。これらの超音波は試験片内の磁場領域内で伝搬距離及び伝搬方向、さらに横波では振動方向を変えた。試験片の磁化は外部磁石を用い、磁石の励磁は直流電流である。磁界中の超音波減衰量は試験片に磁場を加えた場合と加えない場合の超音波受信音圧の比で表した。これを超音波磁気感度(MEAS)と定義した。また、MEASを所定の電流までの積分値(IMEAS)データの整理法も提唱した。

MEASは超音波の伝搬距離が長い程、値が大きくなる。これはIMEASでも同様である。ただし、これらの測定値は超音波の伝搬距離が遠距離音場から近距離音場に変化しても直線性がある。波長はMEASに影響する。すなわち、磁界中超音波減衰量は高周波数ほど大きくなることである。

本実験結果において、一般的な実用周波数範囲(2-10MHz)であれば用いた鋼材で十分な感度が得られた。MEASおよびIMEASは超音波の伝搬方向および横波の振動方向に非常に敏感である。それは、伝搬方向あるいは振動方向が磁界と直交した場合は、平行のときに較べて値が大きくなることである。

フィラメント・ワインディング
製動力伝達軸の弾性係数について

Elastic Constants of Filament Wound
Composite Tubes

高井元弘, 勝又健一

平成2年5月

材料学会第39期講演会講演集

フィラメント・ワインディング法(FW法)は、作業が自動化出来ることや、強化繊維の高含有率化が可能であること、また他の成形法に比べ欠陥の発生を少なくすることが出来ることなどから、繊維強化プラスチックを用いた高強度で信頼性の高い部材の成形が可能である。

FW法により船舶の推進軸のような大型の動力伝達軸が成形された例は未だほとんど無い。そこで、先進複合材料によりFW法で成形した動力伝達軸の強度特性を明らかにするため、各種の強化繊維を用い、FW法により小型中空試験片を成形し、まず軸の曲げ、ねじり剛性を推定するための各種弾性係数を測定した。

使用した強化組織は、CF(炭素繊維)、AF(アラミド繊維)、GF(Eガラス繊維)であり、マトリックス用樹脂は150℃硬化形のエポキシ樹脂である。試験片外形は25mm、肉厚は1.0mm、3.0mmの2種類とし、ヘリカル巻きとした。3種類の繊維について、それぞれ積層角度を±20度、±45度、±60度に変えた試験片のほか、CFRPについては、半径方向で積層角度の異なる二層構造の試験片及びCFRPとAFRP、CFRPとGFRPのハイブリッド試験片も製作した。

弾性係数の測定は、歪ゲージ法により、軸方向ヤング係数及びポアソン比は引張試験により、せん断弾性係数はねじり試験により求めた。

得られた結果は以下のようにまとめられる。

① 積層配向角と弾性係数の関係は肉厚による違いは少なかった。二次元応力状態(平面ひずみ、平面応力条件)として、一方向強化材の機械的特性値を基に積層理論により推定した値は、単一配向角の場合、いずれの複合材軸においても実験値とその絶対値、変化の傾向とも比較的良好に一致した。

② 二層構造軸、ハイブリッド軸では推定値と実験値にズレが見られ、各層でのカップリング項などを考慮した推定法を検討する必要がある。

レーザー処理したアルミナ溶射被膜の構造

Structure of Laser Treated

Alumina Coatings

千田哲也, 飯野千織, 天田重庚, 植松 進

平成2年5月

日本セラミックス協会1990年年会

プラズマ溶射によるセラミックス被膜の表面改質の一つの方法として、レーザーを照射して再溶融することにより気孔のない表面を得る試みがなされている。ここでは、アルミナ溶射皮膜のレーザー溶融処理の基礎として、処理した皮膜の構造の解明を行うとともにレーザー処理のパラメーターと構造の変化の関係について検討した。

炭酸ガスレーザーを用いて、プラズマ溶射したアルミナ皮膜の表面処理を行い、皮膜の構造の変化を、表面および断面のSEMと光学顕微鏡による観察、X線回折分析等により調べた。レーザー照射を行ったアルミナ皮膜の走査方向に直角の断面光学顕微鏡観察によると、レーザーにより溶融再凝固したとみられる表面層には、表面に垂直方向のクラックがみられるが、もとの溶射皮膜にあった気孔は消滅している。この溶融部の周囲にはもとの皮膜より気孔率が高くなった領域が存在する。X線回折によれば、もとの皮膜は γ -アルミナが主相であったが、気孔率の高い部分は α 相に変化していた。 γ 相は1100°Cから1200°C程度で α 相に体積減少を伴いつつ変化するといわれることから、この相変化はレーザー照射の熱影響によるもので、気孔率の増加は相変化と関係があると考えられる。また、レーザー出力、走査速度、ビーム径等のパラメーターと皮膜の構造との関係を調べるため、これらのパラメーターを変化させて1パスだけの処理を行い、皮膜の表面および断面の観察を行った。その結果、走査速度が速いほど、同じ入熱量でも熱影響部の体積が大きくなり、溶融部の結晶粒径は小さくなること等がわかった。

減圧下でのプラズマ流による

セラミック粒子の加熱挙動

Heating Behaviors of a Ceramic Particle
in Plasma Jets under Reduced Pressure

天田重庚, 千田哲也, 植松 進, 飯野千織

平成2年6月

日本溶射協会第51回学術講演大会

減圧されたチャンパーのなかでのプラズマ溶射を行うことにより、プラズマジェットの温度・速度場を広い範囲で制御することができるようになったが、雰囲気気圧力が溶射される粒子の加熱にどのような影響があるかは、経験的に知られるのみで定量的な評価はあてられていない。本研究は、雰囲気気圧力の粒子加熱への影響について、特に粒子の溶射トーチ出口における初速度に着目して、熱伝導方程式の数値計算により検討したものである。

過去の文献にある減圧下でのプラズマジェットの温度等の実験データを用いて、まず粒子速度の変化を計算し、つぎに粒子への熱伝達計算を行い、最後に粒子温度の時間変化を求めた。

粒子速度は、トーチ出口から1~3cm程度までは増大し、その後減少する。最大値をとる位置は、雰囲気気圧力が低くなるほど出口から遠くなる。また、圧力が大気圧に近いほど、速度の減少の割合は急激である。粒子速度をもとに計算された熱伝達係数は、大気圧の場合、トーチ出口では200Torrの低圧にくらべ1ケタ大きい、その後急激に小さくなる。200Torrでは、出口から10cm下流でも出口での値の約半分である。

最終的に計算される粒子温度は、大気圧ではトーチ出口から約0.5cmのところまで最大となり以降は低下する。一方、400Torr以下の低圧では、出口から50cm程度まで単調に粒子温度は上昇する。トーチ出口での粒子速度(初速度)をパラメーターにして、初速度を0からジェットの出口速度と等しい値までの間で変化させた場合について、計算で得られる粒子の最高温度を比較すると、初速度が0の場合が最も温度が高くなるという結果が得られた。

<装 備 部>

ベンチレーションによるタンク内残液の除去

Removal of residue from cargo tanks
by ventilation procedures

上田浩一

平成2年5月

日本船用機関学会学会誌25巻5号

ケミカルタンカーの貨物の蒸気圧が20℃で5 kPa以上の物質は、貨物荷揚げ後ベンチレーションによりタンク内を乾燥すれば、タンク内に注水した水の海洋への排出は認められているが、5 kPa未満の物質については海洋汚染防止条約によって認められていない。しかしながら最近タンクのウエル部の残液量が1リットル程度以下にできるストリップング装置を設置した船も現れており、5 kPa以下の物質についてもベンチレーションによりタンク内の残液を除去できれば、運航、海洋汚染防止上有効であると考えられ、その可能性について、模型タンク実験および実船実験の結果を基に検討した。タンク内を通風により乾燥する場合、その方法に二つに分けて考える。その一つはウエル部の溜りの部分、もう一つはタンク内壁の薄く付着している部分の乾燥である。ウエル部の乾燥については伝熱における衝突噴流による冷却と同様の考え方で、シャウド数とレイノルズ数とで整理して検討した。噴流による冷却の式、H. J. A. Schuurmans & J. G. M. Schilderによって提案されている式、タンク内乾燥中は危険で途中でチェックできないためのバラッキの多いデータではあるが、回帰計算によって求めた実験式により検討を行い、ほぼ乾燥できることがわかった。壁面の乾燥については流れの中に置かれた平板からの蒸発と考えて、平板としてタンクの長さの1/2の地点を、平均的な流れとして送風量をタンク断面積で除した流速を使用して、壁面の蒸発量を計算した。タンク壁面はこの計算よりやや早く乾燥している。したがってウエル部の残液量が1リットル程度以下であり、かつ20℃で0.8kPa程度以上あり、ウエル部への吹き出し速度がウエル部の中心速度で10m/s程度以上であれば、ウエル部の残液は通風乾燥によって除去できると考えられる。ウエル部以外の場所に残液が溜らなければ、壁面についても乾燥できる。

タンク洗浄機の操作について

On the operation of the tank washing machine

上田浩一

平成2年5月

日本船用機関学会第46回学術講演会前刷

ケミカルタンカーのタンク洗浄は洗浄水中の残留物の濃度が定められた規定値に達するまで続けなければならない。測定濃度によって決定される予備洗浄は、適当な濃度測定装置がないので一般に実行不可能に近い。したがって実際に行われる洗浄は基準に従って行われている。タンク内の実際の貨物残留量に関して使用すべき洗浄水量の最低量は定められていない。洗浄水量が法外な量になると処理等に莫大な費用を必要とするし、また極端に洗浄水量が少なく十分に洗浄できなくては、予備洗浄が海洋汚染防止の意図を満足しないような状況に陥ることが懸念されている。また水量を直ちに法令化するとかえって技術を固定し、少量水による高度の洗浄技術の進歩を防げるおそれもある。そこでタンク洗浄方法が理想的な混合に近いと仮定した計算を基に、タンクを洗浄しながら洗浄水を排出する連続洗浄と、洗浄水を繰り返し使用する循環洗浄について検討を行った。タンク内のウエル部の残液量が1リットル程度以下になると、タンク内貨物残液量は主にタンク内付着残液量になるため、タンク内の付着量についても正確に把握する必要がある。そこで模型タンクによる付着試験結果から、タンク内付着残液量を推定した。また洗浄機のノズル口径を細くすることにより、洗浄中にタンク内に滞留する水量を減少できるため、ある濃度まで洗浄する時の洗浄水量を減少できると考えられる。そこで細いノズルでタンク洗浄中タンク内に滞留する量、必要洗浄水量について推定を行い検討し、また細いノズルでの走査による洗浄除去状況について調べた。水噴流でタンク洗浄を行う場合、初期においては排出しながら洗浄の方が濃い液が初期に排出され、タンク内残液と洗浄水が均一に混合しているとして、排出水の濃度と洗浄水量の関係を求めると比較的合っている。後半には循環洗浄の方が確実に均一に混合できるためによい。その時はできるだけ少量の水で繰り返し行った方が効果的である。

**Present Situation and Problems
Related to Marine Oily-Water
Separating Techniques**

船用油水分離技術の現状と問題点
渡辺和夫, 山之内博, 植田靖夫, 長田 修
平成2年7月
第15回国際水質汚濁研究会議京都会議

船舶で使用される油水分離器は、船舶の区分等に応じ国際海事機構 (IMO) の性能試験基準 A・393(X) に適合した、排水中の油分濃度「15ppm 用」及び「100ppm 用」に限られている。

しかしながら、船上でのこれらの実働性能は必ずしも十分な性能に限られない事例が外国等で報告され、IMO を中心に国際的な対策検討が進められている。筆者らは我が国における現行船用油水分離器の機能を阻害する要因を実験的に調査するとともに、重力分離機構と異なる新規の油水分離技術の船用への適用研究を行い、総合的見地から今後の船用油水分離技術のあり方を考察した。

本報は、実船機関室ビルジ水に必然的に含有される懸濁性固形物 (SS) に焦点を絞って、15ppm 用の実機分離器による実験で、SS がフィルター内蔵の重力分離機構に及ぼす実態、ならびに油凝集剤による微細油分及び SS のフロック化とそれを空気泡により効果的に浮上させる方式に基づいて開発した小型・高性能船用油水分離器について述べている。

この実験研究から得られた主な知見は次のごとくである。

(1) 実船機関室ビルジ水には微細な SS その他が混入しているが常で、現行油水分離器が多層平行板または細管の集合体とフィルター状コアレッサーから成る重力分離機構のみに依存する限り、常時、排水中の油分濃度を 15ppm 以下に処理することは困難である。

(2) 油凝集・空気回合に基づく油水分離機構は、現行の重力分離機構では処理困難の 10 μ m を下回る微細油粒と SS を含む油水 (ビルジ水) に対して実効を示し、15ppm 用として期待できる。

以上

大型膨張救命いかだの開発について
A Newly Developed Inflatable Life
Raft of a Large Size

長田 修
平成2年7月
造船研究 (H2.7)22巻2号

カーフェリーや旅客船用の膨張式救命いかだの搭載数は多いため、本船格納スペースと、いかだごとに必要な限定救命艇手の不足が懸念される。また、新しい SOLAS 条約の発効にともない、いかだの定員、重量の制限がなくなったため、定員 50 人の大型膨張式救命いかだが開発され、その性能調査研究が (社) 日本船舶品質管理協会にて、昭和 63 年度により 2 年計画で実施された。

既存の 4 社により開発されたいかだはいずれも床面が長円形状の安定水のうタイプである。これらのいかだにより膨張試験、投下試験、安定性試験などが実施された。安定性試験では乗員 1~2 人の実物いかだをシー・ステート 5 の実海域に漂流させ、いかだの状態が調査された。また、シミュレーションにより安定性が検討され、各社のいかだは同程度の性能を持ち、厳しい風浪下において転覆しないことが再確認された。

これらのうち、M 社のものは既に型式承認され、ジェットfoil “ながさき” に搭載されている。大型客船やカーフェリー用のいかだには 25 人用から 50 人用に移行するものと予想されるが、在来の定員 25 人以下の膨張式救命いかだに認められていた限定救命艇手の減員許可が、50 人用には当分の間認められないことになった。

25 人用のいかだ本船搭載時とその半数の 50 人用の場合の人命救助に対する有効性は、いかだの数、性能の差異の他に、本船甲板スペース、いかだの操作性、支援艇・救命艇手の数などが関連する。そのため、いかだ等の要素と乗員とのマンマシンシステムを本船脱出から救助にいたる時系列でとらえ、その有効性を検討する必要がある。

<システム技術部>

**船舶航行自動化システムの開発および
評価に有効なシミュレーションシステム**

The Simulation System Effective for
Development and Evaluation of Automatic
Navigation Systems of Ship

金湖富士夫, 沼野正義

平成2年3月

日本シミュレーション学会シミュレーション8巻4号

各方面で、船舶航行の自動化システムの研究・開発が進行しているが、それらの開発および評価に使用されるシミュレーションシステムSISANAM(Simulation System for Automatic Navigation and Vessel Traffic Management)を構築した。SISANAMにおいては、船舶、船舶搭載機器、風・潮流等の外乱、海岸線・水深等の地形等の、船舶の航行における実世界の要素をその独自性をも含めて詳細にモデル化することが必要である。また、自動化システムの評価には、画像を用いた専門家による評価が重要であり、このためにはリアルタイムでシミュレーションを行うことも必要である。以上の理由により、要素の独自性を考慮してSISANAMのモデリングを行い、リアルタイム性、環境設定の容易さ、自動化システムの組み込みの容易さ等のSISANAMに課された種々の要件を満足する工夫を施し、かつ既存のプログラムの利用の便等を考慮してFORTRANによりSISANAMを構築した。

要素の独自性を実現するために、シミュレーションで発生している船舶および船舶搭載機器にそれぞれ独自のメモリ領域を割当て、また船舶には各々独自の行動方法を指定した船舶属性を付属させ、その値によってそれぞれの行動方法を実現するプログラムを駆動するようにした。また、リアルタイム性を実現するため、船舶の航行における種々の作業毎にプロセスを生成し、シミュレーションにおける1ステップの処理時間の異なるプロセスのグループ毎に、それぞれ独自の時間間隔で処理の起動をかけるスケジューラを作成した。

本論文では、こうしたSISANAMによるシミュレーションの現状、リアルタイムシミュレータとしてのSISANAMの位置付け等について考察した。

**Computer Simulation of ship Navigation
in Realistic Marine Traffic Flow**

現実的な交通流における船舶の航行シミュレーション

金湖富士夫, 桐谷伸夫, 沼野正義

平成2年6月

MARSIM & ICSM 90 Proceedings
of MARSIM & ICSM 90

現在、各方面で、船舶航行の自動化システムの研究・開発が進行しているが、それらの評価のためにはシミュレーションが必要とされる。そのようなシミュレーションでは、自動化システムを搭載した船舶(知能化船)に対して、交通環境、自然環境等の環境の模擬が十分になされていなければならない。交通環境の模擬においては、現実的な船舶の交通流を発生させるだけでなく、それらの船舶の運動、操船等の行動が現実と同様であることが大切である。したがって、マクロシミュレーション、およびマイクロシミュレーションの両方の特性を備えたシミュレーション方式が要求される。しかし、評価のためには、すべての船舶の行動を詳細に模擬する必要はなく、また、そのことは、CPU等のコンピュータの資源の浪費となる。そのため、目的に応じて交通流を構成する船舶の行動の模擬の精度を変化させる手法を開発し、シミュレーションシステムSISANAM(Simulation System for Automatic Navigation and Vessel Traffic Management)に組み入れた。この手法はSISANAMの1つのプロセス(動的シミュレーション管理プロセス)で実現されている。

ここでは、同手法の概略の説明を行い、その有効性をSISANAMを使用したシミュレーションで確認した。その結果、交通流をなす船舶で、知能化船の近傍の複数の船舶が互いに避航する場合の知能化船の航行パターンが、他船の航行に変化がない場合のパターンと大幅に異なり、むしろ前者のパターンがより悪くなる場合の生じ得ることが示された。このことは、自動化システムの評価のためのシミュレーションにおいて、現実的な交通環境の模擬の重要性を示唆するものである。

また、同手法は特定の海域内の船舶の行動の模擬精度を向上させることも可能であり、海上交通管理の有効性を評価するためのシミュレーションにも有効である。

Concepts and Safety Evaluation of Intelligent Systems in Future Ship Navigation

未来の船舶航行における知能化
システムの概念とその安全性評価
沼野正義, 奥住恵子, 不破 健
平成2年6月

MARSIM & ICSM 90 Proceedings of
MARSIM & ICSM 90

現在開発中の輻輳海域における船舶の自動航行システムは、知能化システムの船舶航行への応用の一つと言える。人工知能技術の発達につれて、未来の船舶航行においては、更に多種多様な知能化システムが実現されるであろう。そこで、船舶の航行をひとつの大きなシステムと考え、その構造を階層的に整理し、将来船舶航行の分野で使用されるであろう人工知能技術の要素とその応用についても整理した。

知能化システムでは、コンピュータが人間のオペレーターに代わるかまたは彼らを支援して、重要な仕事を行うので、システムが行っていることを人間に理解させ、彼らの信頼を得なくてはならない。そのためには、知能化システムは、十分な信頼性とロバストネスを持っているだけでなく、優れたマンマシンインターフェイスを備えることが必要である。すなわち、システムが行っていることをモニターする機能とそこに人間のオペレータが介入できるような機能が要求される。ここでは、避航システムを例にとり、知能化システムの構造及び要件について論じている。

さらに知能化システムの安全性評価にコンピュータシミュレーション手法を提案し、避航システムに適用した例を示している。船舶航行の知能化システムの安全性は、既存の航行システムと同様、個々の航行結果が単に安全か否かではなく、安全の閾値からの余裕で評価できる。シミュレーションから得られた各項目ごとの指標値を安全の余裕として評価し、項目、指標値間の重みづけに階層分析法を適用した。階層分析法は、マンマシンインターフェイスの評価を考慮に入れることによって、コンピュータシミュレーションによる知能化システムの安全性評価にも有効であることが確認できた。また、コンピュータシミュレーションは、適切なシナリオを用いることによって、知能化システムに含まれる機能の開発にも有効である。

A Proposal of a Practical Ship Maneuverability Test

実用的な船舶操縦性試験の提案
福戸淳司, 不破 健
平成2年6月

A Proposal of MARSIM & ICSM 90

近年、航行環境の輻輳化、通行船舶の大型化・専用船化に伴い、船舶の操船の困難度が増加している。これに対して、船自体の操船性能の改善と航行に必要とされる操船性能の指標の検討という2つの方向で研究が進められている。

こうした研究の中で、船舶の操縦性能を表す様々な操縦性能試験が提案され、実行されている。しかし、こうした操縦性試験のうち、実際の航行状態に即したものは非常に少ない。

本研究では、実際の航行状態に即した操縦性能試験法として、平行移動操船試験を提案し、シミュレーションによりこの試験法の有効性について検討した。

一般に、船舶が航行している場合の操船は、大別して変針と現在の航路からしる横変位を得る平行移動操船に分けられる。前者の変針の操船については、新進路試験により、新進路角と新進路距離の形で、その特性が表現されている。この時の操船法は、転舵発令進路と新進路角の関係でチャートに整理されている。そこで、平行移動操船についての試験法を新進路試験の拡張として定義する。

平行移動操船は下記の操船により実現される。

- ①直進航行状態から変針のための一定操船を行う。
- ②転舵発令進路になった時に、転舵する。
- ③操舵終了進路になった時に、舵中央にする。
- ④運動が静定したときに平行移動操船が実現される。

ただし転舵指令進路および操舵終了進路の組み合わせを適切にしなければ、操舵後元の航路と平行な航路を得ることはできない。このため、新進路試験と同様に転舵指令進路および操舵終了進路と平行移動量の関係をチャートとして整理した。これらの資料は、実際の航行に直接役立つほか、この要素操船の操船時の操舵量の積分値等を比較することにより、船舶の操船性能が評価できる。

超音速船の衝突における乗員の安全性の評価について

Safety Evaluation for an Occupants on Board in a Collision of a High-Speed Boat

染谷 実

平成2年6月

第20回安全工学シンポジウム講演会予稿集

各種プロジェクトの進行により、近い将来、増加するものと見込まれる超高速船が、万一、衝突事故を起こした場合の乗員の安全性について、実際の船を用いた実験の代わりに人体を力学的にモデル化して衝突事故をシミュレーションする評価手法を用いて検討した。

人体の力学モデルは、自動車関連で研究実績のあるものを参考にした。このモデルは、5つの剛体からなり、これらをつなぐ関節部には抵抗モーメントが仮定されている7自由度のものである。

衝突の態様は、百トン余りの大きさの超高速船が、数十ノットの速さで直進してきて、停止中の六万トンクラスの鉱石運搬船の真横に衝突する場合を想定し、衝突により、被衝突船の船側の隣あった2本のトランスリングが共に塑性関節を生じて破壊していく場合（ケース1）並びに衝突船の船体中心がちょうど被衝突船の横隔壁部分に衝突し、衝突船の船首がくさび状に横隔壁に喰い込んでいく場合（ケース2）の二通りに分けて検討した。

人体の支持装置としては、条件の最も厳しい場合を除いてはラップベルトだけを着けているものとした。

また、着席中の乗員の頭部が前の座席のシートバックに衝突するという二次衝突のケースについても検討してみた。乗員が被る傷害の部位や態様は様々なものが考えられるが、本研究では最も重要な頭部についてアメリカの連邦自動車基準に採用されているHIC (Head Injury Criterion)により、衝突時の乗員の安全性の評価を行った。

シミュレーションの結果、ケース1では衝突速度が30ノット以上になると、かなり危険であると評価されたが、ショルダーベルトも装着するとラップベルトしか着用しない場合に比べてHIC がかなり低下することが確認された。ケース2では衝撃力は小さいが、被衝突船の内部への突入量が大きいと破口が船室まで達することによる危険の方が問題となろう。

高速船の安全航行について一考察（第2報）

Safety Navigation of High Speed Vessel (2nd)

田中邦彦, 沼野正義, 福戸淳司, 村山雄二郎

平成2年7月

計測自動制御学会

本報告では、先報の実験から得られた知見をもとに高速船の衝突問題を、船舶の遭遇とその避航処理に分けて考えて、高速船の安全性を評価する方法について考察を行った。

衝突確率は次式から得られると考えられる。

(船舶の衝突確率) = $\frac{s}{2}$, (s 隻遭遇の発生確率) × (避航処理に失敗する確率)

2隻遭遇の確率は高いが、その避航処理は比較的容易である。また、s が3隻以上の場合には、遭遇確率は低くなるが、その避航処理の失敗確率は大きくなる。そのため、2隻遭遇の場合が船舶衝突確率に反映するのは、遭遇頻度の高い場合である。遭遇頻度の低い場合には、避航処理の難しい遭遇隻数 s が大きい場合が支配的となる。遭遇問題を操船の現実的な問題として考えると、複数船遭遇問題は、2隻遭遇の連鎖と考えるのが妥当であり、この考えにたてば、船舶航行をモデル化してシミュレーション実験することができ、航行の安全に関する諸要因の評価が可能となる。

高速船対高速船（1隻）の避航操船実験を行い、出会い角度、相手船速度が避航限界距離へ与える影響を求めた。また、相手船が2隻の場合の避航操船実験を行った。

高速船の安全性を評価する要素として、船舶の衝突発生メカニズムに基づいた衝突確率を求める方法を提案した。実際の遭遇問題に対しては、これを2隻遭遇の連鎖して捉えることで避航の解が得られる。一般的には、他船に関する情報が正確に得られるとすれば、速度の余裕があること、高速船同志は航路を交差させない等の施策により、航行の安全を確保することが可能である。更に、現実的な遭遇問題を分析することによって、高速船の衝突問題を、船舶遭遇頻度や諸要因から評価することができ、これを基に高速船の安全に関する議論が可能となる。

<原子力技術部>

Monte Carlo Simulation to Construct the
Optimum Shielding Arrangement

最適遮蔽配列を構築するための
モンテカルロシミュレーション
植木紘太郎, 波戸芳仁
平成2年3月

Proceedings of Supercomputing in
Nuclear Applications

最適遮蔽配列を見出すことは遮蔽工学の分野にとって最も興味深い問題である。そのため、多くの研究者がこの最適遮蔽研究に挑戦してきたが、今もって一般解は得られていないし、これからも得られないであろう。しかしながら、過度の遮蔽施工はすでに時代の産物であり、多くの遮蔽対象で合理的設計が求められている。

合理的遮蔽設計対象の1つとして使用済燃料輸送容器の鉄-ポリエチレン体系を取り上げる。この鉄-ポリエチレン平板体系については、すでに著者らが中性子と二次ガンマ線の両方を考慮し、全線量率を最小にする最適遮蔽配列を見出すための実験が²⁵²Cf中性子源を用いて行われている。

本研究は、鉄-ポリエチレン平板体系の最適遮蔽配列実験を連続エネルギーモンテカルロコードMCNPを用いてシミュレーション計算を行い、また、高レベル廃棄物輸送容器を想定した鉄-ポリプロピレン円筒体系についてもシミュレーション計算によって最適遮蔽体系を求めた。モンテカルロシミュレーション固有の分散を低減するためには、MCNPコード用に開発したNESXE(Next Event Surface Crossing

Estimator)を用い、粒子の検出への寄与を計算した。その結果、FSD(fractional standard deviation)は中性子線量状に対して0.05以内、二次ガンマ線線量率では0.1以内に低減し、信頼性の高いシミュレーション計算結果が得られた。実験との比較では中性子線量率分布については測定値を十分良くシミュレーションすることが出来たが、二次ガンマ線に対しては、特に鉄がポリエチレンの外側(検出器側)にある場合、過少評価する傾向を示したので、この原因を解明する必要がある。一方、高レベル廃棄物輸送容器の円筒体系でもポリプロピレンを円筒の外側に配置することによって、平板体系と同じように中性子線量率が最小になる最適紙幣配列があることが明らかになった。使用したコンピュータは東大のHITAC 680Hで、計算時間は鉄-ポリエチレン平板体系が15分、高レベル廃棄物輸送容器体系が45分以内であった。

ねじりテープ挿入管のサブクール沸騰限界熱流束
CRITICAL HEAT FLUX OF SUBCOOLED
FLOW BOILING IN TUBES WITH
INTERNAL TWISTED TAPE

稲坂富士夫, 成合英樹, 藤崎 亘, 石黒 博
平成2年5月

日本伝熱研究会, 第27回
日本伝熱シンポジウム講演論文集2巻

現在、将来の核融合炉開発を目指した実験研究が精力的に行われているが、これらの高熱流束機器では10~100mw/m²の熱流束を定常的に受けることが想定されており、除熱限界を定める限界熱流束(CHF)が最も重要な課題の1つとなっている。現在のところ、管内にねじりテープを挿入した施回流とサブクール沸騰との組み合わせが最もCHF特性に優れているものと考えられている。ねじりテープ挿入管の水のサブクール沸騰CHFについては、GambillやDriziusが既に実験研究を発表しているが、彼らの提案した施回流CHF実験式は施回流に対してのみ適用可能であり、ストレート流CHFとの関連等、テープのねじり比の影響を系統的に明らかにしていると言い難い。本報告では、管内にねじりテープを挿入した場合の水のサブクール文頭実験結果を基に、テープねじり比のCHFへの影響、および施回流CHFとストレートCHFの比を与える実験式について報告する。

実験に用いた加熱管はステンレス管で、管内径6mm、加熱管長100mmである。管を直接通電加熱するため、管内に挿入するテープはジルコニア製で、肉厚約1.2mm、幅約5.4mm、ねじり比 y (180度ねじりピッチ/管内径)は、2.7, 4.3, 8.7 ∞ の4通りが選ばれた。実験は管出口圧力0.1MPa, 入口水温40℃, 質量速度6.4~11.2Mg/(m²s)の条件について実施し、次のことを明らかにした。

(1)ねじり比 y が7以下では、その施回流CHFは y^{-1} の1/3乗に比例して増大する。(2)ねじりテープによって発生する半径方向の慣性力が加熱面への液の供給を促進するためにそのCHFを高めるものと仮定し、半径方向の液の無次元加速度をパラメータとした施回流CHFを与える実験式を提案した。(3)上記実験式が、本実験データ、およびGambillの圧力1MPa以下の施回流CHFデータを、ほぼ±20%以内で予測可能なことを示した。

**Wind, Waves and Currents at the Test
Field of Floating Platform "POSEIDON"**

浮遊式海洋構造物POSEIDON号の

実験海域における風、波及び流れについて

大松重雄，加藤俊司，高井隆三，関田欣治，小宮治彦
平成2年2月

9th International Conference on Offshore Mechanics
and Arctic Engineering 同上のProceeding

実海域実験用浮遊式海洋構造物POSEIDON号の実験海域における自然環境条件のうち、海洋構造物の運動にとって主要な外乱要因となる風、波及び流れについて、データ解析の結果得られたそれらの特性を述べたものである。すなわち、それぞれについて、年間を通しての四季の変化の特徴、変動成分のスペクトル形状各種統計量間の相関等を示したものである。

風については、得られたデータの解析により、海上風の新しい変動スペクトルの表示式を提案している。また観測時間及び評価時間による突風率（ガストファクター＝最大風速／平均風速）の変化についても示している。

波については、有義波高対最大波高等、各種統計量間の相関や低気圧の通過に伴う波スペクトル形状の変化について述べるとともに、特に波高と波周期の結合確率密度及び波の連なりについて、既存の理論値、経験式と実測値の比較を行い、適合性を検討している。

流れについても平均流向、流速の解析とともに、スペクトル解析を行い、特に顕著な変動成分がないことを示している。

実海域にける浮遊式海洋構造物の定常変位

A Study of Drift on Semi-Submersibles due
to Wind and Current

矢後清和，大川 豊，安藤定雄

平成2年5月

'90日本沿岸域会議研究討論会講演概要集3号

当所では、海洋空間の有効利用をめざし、大規模浮遊式海洋構造物を設計・建造するのに必要な基礎技術の開発研究に取り組んできている。

特に、昭和60年度からは、これまで水槽試験、数値計算を用いて蓄積された研究成果を総合的に検証する目的で、プロトタイプ浮遊式海洋構造物による実海域実験を山形県鶴岡市由良沖で実施している。

浮遊式海洋構造物ということから、動揺、位置保持性能などが研究テーマの1つとなっているが、本報告では自然環境下における風、流れ、波などの定常外力成分による構造物の定常変位について取り扱う。

実海域実験では、超音波式位置測定装置により、1日4回、各35分間の浮体位置の計測が行われている。この時、風向・風速、流向・流速、波高などが同時観測されている。これらのデータから、それぞれの外力による浮体位置の変化の様子が判った。

次に定常変位を数値計算を用いて推定することにした。定常外力は浮体の静的復原力および係留力と釣り合うものとして計算を行った。定常外力の推定については、これまでの研究成果を適用した。風の力については大松重雄等の実験結果を用いた。潮流力については、生物付着影響を考察することとし、元良等の研究を参考にした。波漂流力については実験構造物に関する加藤俊司の研究があるので、その結果を用いた。

推定結果は実測値と良い一致をしめし、これまでの外力推定手法が定常変位、係留力の評価に有効であることが確かめられた。

浮遊式海洋構造物の実海域実験その1,
実験海域における風の特性

At-sea Experiment of a Floating Offshore Structure

1. Wind Characteristics at the Test Field

加藤俊司, 安藤定雄, 佐藤 宏, 元良勇太郎

平成2年5月

日本造船学会論文集167号

山形県由良沖でポセイドン号による実海域実験が開始されて満3.5年となる。この間、構造物に関するデータ（構造強度、動揺、係留力）と共に、風、波および流れなどの自然環境を把握するためのデータも種々取得され、蓄積されてきた。本論は、ポセイドン号上で計測された平均風速の特性ならびに強風時の風の変動性について調べたものである。強風といっても台風の場合と季節風の場合とでは、風の変動性が異なるが本論は、空間的に一樣に近い冬の季節風による強風を対象に調べた。風速計は、ポ号測風塔の水面より19.5mの位置に設置され、1986年9月から1988年5月まではVortex型風向風速計を使用し、1988年6月以降は3軸超音波式風速計を使用している。海上風と沿岸風との違いを調べるため、ポ号で計測された平均風向・風速と酒田北港で計測された平均風向風速との比較も行っている。風の変動性を調べるために使用したデータは、計測精度の点ですぐれている3軸超音波風速計によって計測されたデータである。また、スペクトル解析には、良く用いられるB-T法の他にA-R法も用いた。本論の主な結果は次の通りである。

(1) 海上における平均風速を予測するため既存の沿岸風のデータを使用する場合、風向を考慮して補正を行う必要がある。

(2) 平均流方向の変動風スペクトルの新しい式を提案した。この式には、スペクトルピーク周波数とパワーの2つのパラメータを含んでいるが、これらのパラメータは、海面との摩擦係数に大きく依存している。また、海面と大気の摩擦係数は、海面の粗度高さと一対一に対応する。従って、スペクトル形は、平均風速が与えられると海面の粗度高さによって決まると言える。

(3) ある時間内の最大瞬間風速を予測する場合、平均風速にガストファクターと呼ばれる係数をかける方法が用いられる。この係数は、線形統計理論（ロングットヒギンズの理論）とスペクトルから予測可能である。

Wave Energy Absorption of Air Chamber
Made by Large Circular Pile for Use of
Light Beacon and Shallow Water Effect

大直径円筒杭を利用した灯標用空気室

のエネルギー吸収と浅水影響

北村文俊, 井上令作, 岩井勝美

平成2年7月

Pacific Congress on Marine Science and
Technology—PACON 90 Proceedings
of PACON 90

航路標識用として暗礁等に設置される灯標では電源の確保が困難であり、波浪発電装置の利用は有効な手段と言える。著者らは振動水柱型波浪発電装置をこれまでに開発してきた。この発電装置を既存の灯標等に併設する場合、安価でかつ建設容易と言う観点から、直径の大きな鋼管を利用した空気室を2種類考察し、水槽実験を行なった。ひとつは杭型と呼ぶもので、鋼管の一部に波エネルギー取り入れ口としての切り欠きを設けたもの、もう一つは支柱型と呼ぶ上下を逆にしたタンブラーを支柱で支えた形をしたものである。実験の結果、杭型の最大効率は50%で波の入射角が正面に対して45°まではほとんど効率の低下は見られないが、入射角90°以上では急激に低下し、効率は最大でも25%程度になる、一方支柱型では最大効率が25%程度小さいが波向きの影響を受けない、ということが判った。

また一般に灯標が設置される岩礁付近は浅瀬になっており、浅水影響による波の減衰が問題になる。二次元水槽に仮底を設けて行なった波高減衰実験では、浅水域における波高の減衰と波の変形が理論とほぼ一致することが確認され、また波浪エネルギー吸収実験では、水深が波長の10%より小さくなると空気室により吸収されるエネルギーが急激に低下し、5%になるとほとんど零になることが判った。

以上のことにより適切に設計・建設されれば鋼管を用いた空気室は十分実用になるが、水深が浅い場合には吸収波エネルギーの低下を考慮する必要があるとの結論を得た。

<水海技術部>

**海水の電波反射率における周波数特性
の検討—多層構造モデルの解析—**

Study on Frequency Dependence of Electro
Magnetic Wave—Albedo for Sea Ice —Analysis
by Multi—Layer Model —

山越寿夫, 高島逸男, 前田利雄, 桜井昭雄

平成2年7月

国立極地所 Proceedings of the 13th NIPR
Symposium on Polar Meteorology and Gsaciology,
July. (1990)

氷海域航行船舶にとって周辺海域の海水の広がり, 動き, 厚さの分布, 海水強度分布についてのデータは可航々路を決定する際の重要な参考情報となり得る。ところで, 電波による海水のリモートセンシング技術のうちで海水の広がり探知技術は実用段階に至っているが, 海水の厚さ, 海水強度の探知技術は未だ開発が緒に就いた段階であり, 多くの研究課題の解決が今後に残されている。

今回は発表では, それらのうちでも本質的に重要と思われる下記で課題に対し, 理論的検討により, 課題解決への知見を得たので紹介した。

(1) 海水電波反射率と水中塩分濃度との関係の解明。

(2) 海水内電波通過時間を用いた氷厚探知法に代る手法の検討。特に課題(2)の背景には, 海水と海水との境界で電波の反射が弱く, 電波通過時間を用いる在来手法が海水厚測定では有効ではなくなると言う事情がある。

課題(1)に対しては, 深海に浮ぶ海水が互に異なる厚さと塩分濃度を持つ氷の積層から成るとした多層モデルを設定し, 各層境界での電磁界成分の境界条件を考慮しつつ電波の波動解を求めることにより, 海水表面における電波反射率(電力アルベドで表現)を各層の塩分濃度に依存する複素誘電率と厚さ, 電波の入射角, 入射周波数の関数として記述する方程式を導いた。

この式から, 海水と海水各層の誘電率の相異が反射率に影響を及ぼし, 各層の水層・塩分濃度に依存する明確な干渉模様, 1~数10MHzの範囲で反射率周波数特性に現れることが明らかとなった。

以上の結果から, 上記課題(2)については, この干渉パターンに基づく氷厚・塩分濃度分布の新探知手法は, 海水に対して原理的に有効であると結論を得た。

この新手法の実用化の為には, 海水中の塩分濃度に依存した海水誘電率データの定量的評価及びデータベースの整備が今後に残された重要課題であるとの問題提起も併せて行なった。

(590)

<大阪支所>

**FRP材の非破壊試験法
(超音波等弾性波の利用について)**

Non—Destructive Testing Method of FRP
(On The Utilization of Elastic Wave
Including Ultrasonic)

吹上紀夫

平成2年2月

テック出版株式会社 ジョイテック6巻3号

FRP材は耐食性が優れているだけではなく比強度も大きい, 船舶, 自動車及び航空機等多くの分野で軽量化に最適の材料として利用されている。しかし, FRP材は, 材料自身(成形)と構造形状(製品)が同時に作られることから, 出来上がった構造物についての信頼性を向上させるためには強度特性及び欠陥を非破壊で検出することが必要である。そして, 検出内容は, 強度特性の要素として繊維の配向及び含有率があり, 欠陥としては内部に混在する気泡及び層間剝離がある。

これらを検出する非破壊試験法として, 超音波等弾性波を利用した超音波探傷法, 弾性波伝播法, 固有振動法及びコインタッピング法を選び, その原理, 可能性及び検出能力をこれまで研究してきた資料及び文献を参考に解説した。

超音波探傷法では, GFRP材について, 超音波の周波数と板厚測定限界及び内部空洞の検出限界を, CFRP材について画像探傷結果を述べた。弾性波伝播法では, GFRP製平板試験材及びハット型補強材のついた構造材について, 弾性波の伝播距離と減衰特性から層間剝離及び補強材の取付け状態の検出能力を, CFRP材については強度特性, 板厚等の検出能力を, CFRP材については強度特性, 板厚等の検出結果を述べた。固有振動法ではCFRP製パイプ及びCFRP板の固有振動特性から弾性係数及び積層の配向角の検出等について述べ, コインタッピング法では国内で販売されているタッピング装置と外国文献で紹介されているものの原理と検出能力について述べた。

制御発破によるFRP船の解体実験 (第3報)

Breaking Test of FRP Boats by Controlled

Bleasting (3rd Rep.)

吹上紀夫, 津島聡, 小野正夫

旭化成工業(株), 有田武巧, 佐藤俊一, 富山紀光

平成2年5月

工業火薬協会春季研究発表会

超音波画像によるコンクリートの欠陥探査

Flaw Detection in Concrete by Ultrasonic

Image Processing

吹上紀夫, 津島 聡

平成2年6月

(社)日本造船研究協会

海洋コンクリート構造物の設計,

建造に関するシンポジウム

FRP廃船の再利用方法として人工魚礁にすることを考え、これまで究明してきた裏面が空気の場合の切断能力に対し、船体が海上に浮いた状態で、船内から水中に向かって穿孔する場合について、その切断能力を検討した。

試験材はこれまでのものと同様、FRP船体に使用されているマット状およびクロス状のガラス繊維を交互に積層したFRP材で、板厚が約4.5, 8, 16および21mmの4種類のものを使用し、爆薬もこれまでのものと同じベンスリト系シート爆薬を用いた。

実験は、試験材を浮体のついた支持台に乗せ、水面に浮いた状態で穿孔する方法と、箱型容器に試験材を取り付け深さ約1mに水没させた状態で穿孔する2つの方法を行った。水中への衝撃圧力は爆発面から1, 2, 4mの位置にセットした圧力計で計測した。

実験結果として、水面に向かって穿孔する場合の爆薬量とFRP材厚さの関係は、これまで実施してきた陸上(両面が空気の場合)の場合とほとんど等しく、陸上で得た結果から得た実験式①ではほぼ表すことが出来た。

$$W_1 = A_1 \cdot t^{1.3} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

但し、 W_1 : 爆薬量 g

A_1 : 切断係数: 0.52

t : 板厚 cm

水中への衝撃圧 P [bar] は、式②で表すことが出来た。

$$P = K \cdot (R/W^{1/3})^{-1.38} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

但し、 K : 定数: 590

R : 爆発面からの距離 m

W : 爆薬量 kg

コンクリートに対する超音波探傷の利用は、内部に於ける超音波の散乱による減衰が大きいため殆ど使用されていなかったが、これまで行ってきたFRP複合材料に対する超音波探傷技術を応用して、コンクリートの超音波探傷を行い、更に、超音波による画像化を試みた。

画像化する手順として、コンクリートに対する超音波の伝播状況を把握し、最高周波数の選定と底面エコー、欠陥エコーおよび散乱エコーの相関関係を求め、得られたデータをもとにBスコープ(走査断面画像)探傷を行った。

試験体は一般に使用されているモルタルおよびコンクリートで、内部に円形平面空洞、横穴および鉄筋等の欠陥を挿入したものである。

画像化装置の構成は、Bスキャナー、走査信号処理器、超音波探傷器、画像処理装置および画像処理ソフトからなる。この中で、Bスキャナーは軽量小型にし、コンクリート表面の走査が容易に出来るように設計した。探触子は、超音波探傷器の信号処理能力が高いため、1MHzの広帯域型を用いた。また、超音波探傷器は画像処理を目的に新しく開発された市販品で、欠陥エコー追従機能を持っている。

基礎試験における散乱エコーと横穴からの欠陥エコーの相関関係から、モルタルでは、深さ27mmにある径5mmの横穴または鉄筋の検出が限界で、コンクリートでは、粗骨材によって底面エコーと散乱エコーの差が小さくなり、かぶり深さ25mmで径15mmの横穴が限界であった。

画像探傷においてもほぼ同様の探傷限界を示した。

PC鋼棒の応力による超音波伝播特性の変化

Ultrasonic Propagation Characteristics Change in
Prestressing Bar by stress

津島 聰, 吹上紀夫

平成2年6月

(社)日本造船研究協会

海洋コンクリート構造物の設計,
建造に関するシンポジウム

ハイブリッド海洋構造物は、構造的強度を向上させるために、プレストレストコンクリート(PC)の使用が望ましいが、有効プレストレスカは、PC鋼棒の応力緩和、コンクリートの収縮、クリープなどにより減少していくことが想定される。このため、構造物の信頼性を向上させるために、PC鋼棒の緊張力を監視する手段が必要である。この手段として、超音波を使った二通りの非破壊検査法を試みた。第一は、縦波を使って緊張力と超音波減衰率との関係から緊張力を推定する方法であり、第二は、緊張力と表面波速度との関係から緊張力を推定する方法である。

供試体PC鋼棒はJIS G 3109 D種1号に準じた丸棒鋼D種及びB種である。また、比較のためにS45CとSS41を使用した。

実験はアムスラー型引張試験機により引張荷重を加えた状態で行った。荷重は降伏点を越えない範囲とし、各荷重における縦波超音波(周波数10, 5及び2MHz)の減衰率を求めた。また表面波速度の変化は、各荷重レベルにおける引張方向の表面波の伝播時間の変化を超音波探傷器(設定条件: 200ns/div)で測定し、応力0のときの速度との相対速度変化率を求めた。

その結果、縦波超音波の相対減衰率によるPC鋼棒の応力は初期状態のエコー高さを測定しておくことにより推定可能であることがわかった。なお、超音波の周波数を高くすることにより、応力に対する相対減衰率の感度は増加するが、伝播距離が減少するため、鋼棒の長さにより周波数を選択する必要がある。

表面波速度の変化によるPC鋼棒のD種の応力は推定可能であるが、PC鋼棒B種、S45C及びSS41のように表面波速度の減少率が小さい鋼棒については市販の超音波探傷器により簡便に測定することは精度的に難しく、電場時間の変化量を更に精度よく想定する必要がある。

A FEM Analysis for Weight Reduction of Marine Valves

軽量化のための船用バルブのFEM解析

伊飼通明, 綾 威雄, 天田重庚

平成2年6月

Proceeding of PACOMS 90

船用バルブのISO規格導入に伴い、JIS規格の船用バルブの設計見直しが進められている。本研究は船用鋳鉄仕切弁の弁箱部分についてFEM解析を行い、リップの効果、軽量化の可能性、FEMによるバルブの設計法の検討を行った。リップの効果についてはPN10-350型のバルブを用いて、縦リップと横リップの変形に対する効果を調べた。バルブの軽量化についてはバルブは必要以上の強度に作られていることから、PN10-200型を用い弁箱胴の肉厚と縦リップの肉厚について調べた。弁箱胴については、最も強度の弱いと思われる部分を基準に安全率が8の値に近くなるまで弁箱胴の肉厚を薄くして解析を行った。その後、バルブの漏れに関係のある弁座部分の変形量を増加させないためにボンネットフランジの設計変更の解析を行った。

主な結論として、

1. バルブの縦リップと横リップを入れることにより、バルブの変形を約60%小さくすることが可能である。
2. バルブは強度的に弁箱胴の肉厚を14mmから11mmまで落とせる。これによって約10%の軽量化が可能である。軽量化によって増加した変形はボンネットフランジの形状を変更することにより、元の変形量に減少できる。

超音波画像化によるコンクリート内部の欠陥検出

Flaw Detection in Concrete by Ultrasonic
Image Processing

津島 聡, 吹上紀夫

平成2年7月

日本コンクリート工学協会
コンクリート工学論文集1巻2号

鉄筋コンクリートやPC材を使った海洋構造物および沿岸構造物等において、打設硬化時の亀裂、内部空洞、塩害等による亀裂損傷は鉄筋の腐食など強度維持に必要な材料の破壊につながる。このような欠陥は構造物の信頼性を向上させるためにも、非破壊検査で検出するのが望ましい。そこで、コンクリートの超音波探傷の基礎試験とこれらのデータを基にBスコープによる画像化を試みた。

基礎試験では、モルタル及びコンクリート試験体を用いて、底面エコー、欠陥エコー及び骨材からの散乱エコーの距離振幅特性曲線を求めた。探触子は広帯域探触子と二振動子(狭帯域型)探触子の2種類を用いて比較検討した。なお、周波数は試験体の大きさ等を考慮して1MHzを用いた。その結果、横穴エコー高さ散乱エコー高さとの差で比較すると、6dB程度広帯域探触子を使用した場合が探傷能力が高いことがわかった。また、縦波が横穴に入射した場合の散乱分布を求め、理論式と比較した。その結果後方散乱波については、モード変換を考慮した反射率より計算した値と比較的良く一致することがわかった。

画像化では、円形平面欠陥、横穴及び鉄筋のBスコープ画像化を行った。方法としては通常探傷、複数探傷及びAスコープ探傷の3通りのパターンを用いた。通常探傷ではゲート内の最初のエコー高さ(EH)とエコー深さ(ED)の1単位信号で処理し、複数探傷では7単位信号を用いて画像化した。また、Aスコープ探傷は欠陥エコー、散乱エコー、底面エコー及びゲートレベル等、画像化に必要な条件設定を決めた元の探傷波形を保存するために用いた。なお、スキャナーは軽量小型にし、手で任意の表面の走査が出来るように設計した。その結果、ゲート長さやエコーレベル等画像化に敵する定数設定を行ない、ゲート内のエコー高さを色分けして判定することにより、コンクリート等の複合材料の画像探傷が可能であることがわかった。

タンク内へ注入される水蒸気の帯電

Electrification of Steam Injected
into Tank-Hold

吉田紘二郎, 山根健次, 綾 威雄, 上田浩一

平成2年7月

(社)電子情報通信学会技術研究報告
〔安全性〕S90-4

タンカーの荷役作業時において、貨物に帯電した静電気の放電による爆発火災の危険が存在する事が知られている。その中で、荷揚げ後に行われるタンククリーニングに伴って静電気的な危険が予想されるものに水蒸気を用いる洗浄作業がある。これはタンク内の温度を上昇させて、タンク壁面に付着した高粘性貨物を洗い落とししたり、タンク底に溜まるスラジを希釈するなど、効果的かつ能力的な清掃法であるが、貨物が可燃性物質の場合、槽内に着火性雰囲気か形成される可能性がある。また、高圧で噴出する蒸気は一般に大量の静電気を発生するために、帯電蒸気雲からの気中放電、あるいは絶縁された導体などからの放電着火の危険が考えられる。

そこでタンク内へ注入する水蒸気の帯電について、ボイラーおよび配管を大地から電氣的に絶縁するなど静電気計測に配慮した蒸気帯電実験装置を製作して検討を開始した。

その結果、蒸気の電荷密度に対しては蒸気の過熱度と湿度の、また注入後の電界緩和時間は雰囲気の影響が非常に大きいことが分かった。

タンクに送り込まれる蒸気の電荷密度は資料から $10^{-8}\text{C}/\text{m}^3$ 程度と予想されたが、計測値は、 $10^{-5}\text{C}/\text{m}^3$ を越えることがあった。

この電荷がすべてタンク内の電界形成に寄与するわけではないが、詳細については未解明である。

注入蒸気の電荷密度からタンク内の最大電位あるいは電界を計算する場合、タンク内の気体の流れ分布や電荷移動度を考慮することで、従来より現実に近い値が得られた。しかし電荷移動度と雰囲気温度その他の因子とのかわりは複雑で、今後なお検討していく必要がある。

実際のタンク洗浄作業において蒸気を使用する場合は、タンクの規模や蒸気性状などにより危険性は変化するが、基本的に蒸気が $10^{-5}\text{C}/\text{m}^3$ を越える電荷密度を持つ可能性のある事を常に考慮しなければならない。

<東海支所>

**Development of Synchrotron
Radiation Dosimetry Techniques and
its Applications**

シンクロトロン放射光測定技術の開発とその応用
中島 宏, 田中俊一, 吉澤道夫 (原研), 平山英夫,
伴 孝一 (高エネ研), 成山展照 (船研)

平成2年1月24日

第2回原子力先端研究国際シンポジウム要旨集

シンクロトロン放射光は一種の低エネルギーX線であるが極めて高い輝度, 指向性が紫外領域まで得られる点に大きな特長を有している。反面こうした特長は放射光の強度測定等を困難にする原因ともなっている。そこで放射光測定技術の向上を図り, 人体に対する放射光の挙動を評価するため高エネルギー物理学研究所内にある2.5GeV放射光実験施設において各種の実験を行なった。

第一に放射光の絶対強度を測定するため全吸収熱量計も標準測定器としてに位置付け, 施設のビームモニターとしてもちいられている平行平板自由空気電離箱との相互比較を行なった。熱量計は50KeV 光子が 1.25×10^9 /秒の強度で入射した場合に吸収される $10 \mu\text{W}$ のエネルギーを数%の精度で測定した。電離箱で測定した絶対強度は電離電流・印加電圧間の関係を用いてイオン再結合の補正を行なった結果, 熱量計と1~2%の差で一致したので標準絶対強度測定器として熱量計とビームモニターとしての電離箱の単一エネルギー放射光に対する適用性が確認された。この電離箱のモニターのもと, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ TLDとアラニン線量計のエネルギー応答性, 直線性を7~50KeV の放射光を用いて測定した。

第二に人体軟組を模擬した30cm立方のファントム内に $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ TLDを多数配置し, 10, 30KeV放射光入射時の体内での吸収線量分布を測定した。また同時に電磁カスケードモンテカルロコードEGS4を用いた計算も行ったところ, 結果は実験値と良く一致した。このことからEGS4を値エネルギー領域における光子-電子の挙動を予測する手段として利用できることが確認された。