

所外発表論文等概要

〈推進性能部〉

船体周りの流れの計算法

Calculation Methods of Flows around Practical Ship Hulls –Reviews on CFD Techniques, Their Applications and Their Future–

日夏宗彦、日野孝則

平成5年4月

日本造船学会

「船体まわりの流れと船型開発に関するシンポジウム」

本論文は、船体まわりの流れの計算法（特にCFD (Computational Fluid Dynamics)）についてのレビューであり、現在のCFDの船型設計現場での利用状

況と今後CFDがどのように利用されるのかについても言及している。

ここでは、ポテンシャル理論に基づく自由表面流れの計算法としてRankine Source法を、非圧縮粘性流場の計算法として、MAC法、擬似圧縮近似に基づく手法、有限要素法を取り上げ、それぞれの手法の簡単な紹介を行った。また、CFDにおけるValidationや、現時点での問題点についても言及した。

CFDによる船体まわりの流れやプロペラまわりの流れ等の実際の計算例をいくつか示し、CFDの現状を紹介した。また、現在の設計現場におけるCFDの利用例について述べ、CFDの将来展望についても述べた。

なお、付録にCFDを理解する上で必要と思われる基礎知識をまとめ、読者の便を図った。

〈運動性能部〉

斜め追波中の船の転覆について
(第5報、転覆機構に関する比較模型実験)

Capsizing of a Ship in Quartering Seas
(Part5 Comparative Model Experiments on
Mechanism of Capsizing)

菅信、猿田俊彦、田口晴邦
平成5年5月

日本造船学会論文集 第173号

第1報においてコンテナ船模型(G船型)による転覆実験の結果、波との危険な出会い角が 20° ~ 40° 程度にあり、高速ではこれが 0° ~ 50° 程度に広がること、また船の速度が遅くなると転覆が発生しなくなること、更に転覆は100%波下側に発生することなどを明らかにし、このような転覆のメカニズムを説明する仮説を提案した。しかしG船型は波浪中での復原力変動が現われにくい船型として設計され、船体中央部においても垂直舷側を持たずV型に傾斜した船型であるため旋回時の定常傾斜が通常の船のように外方傾斜とならず逆の内方傾斜になる特殊な性質をもった船型である。このような特殊な船型による実験結果を一般化することは適当ではなく、他の一般的な船型を用いた再調査が必要と考えられた。そこで今回は別のコンテナ船模型(F船型)を用いて第1報と同規模の転覆実験を行なった。このF船型はG船型と反対に波浪中での復原力変動が現われやすい船型として設計されたが、船体中央部に垂直舷側を持ち旋回時の定常傾斜が外方傾斜となる通常の船型と考えてよい船型である。F船型による再実験の結果はG船型の結果と基本的には同じ傾向になることが判り、第1報で明らかにした転覆の特徴はどのような船型についても成り立つ一般的な性質と考えてよいことが明らかになった。また第1報では周期分岐現象を伴う転覆という新しい転覆形態が観測され、周期分岐現象がカオスの前段現象と考えられたことから、転覆とカオスの関係を調べる必要があることを指摘し、第2報~第4報でこれらの関係について調べ、周期分岐現象あるいはカオス現象が非対称型の転覆方程式に現われることや、これらを転覆の前兆と見なすべきこと等を明らかにした。このような周期分岐を伴う転覆が今回のF船型の実験でも観測され、第1報で述べた内容が船型によらず一般性を持つものであることが確認できた。

(318)

〈構造強度部〉

タンカーからの油流出防止に対する二重船殻
および負圧方式の有効性

Effectiveness of Double Bottom and Vacuum
System for Prevention of Oil Spills form Tankers

有田喜久雄、長田修、山口勝治、青木元也
平成5年3月

電子情報通信学会技術研究報告 (1993)

1993年1月スマトラ島沖で起った事故など、大型タンカーからの油流出による海洋汚染が世間の注目を集め、社会問題になっている。これより前、1989年3月にアラスカ沖で起きたExxon Valdez号の座礁による油流出事故を契機としてタンカーデザインの再検討が決まり、それ以後IMO(国際海事機関)の場で審議が進められ、1992年3月ロンドンで開催された第32回海洋環境保護委員会で油タンカーの二重船殻化が決まった。

本論文は、IMOの場に資料を提出するために我が国が行った研究の一部をなすもので、タンカーの座礁事故時の油流出低減のために船体を二重船殻化すること、あるいは負圧方式をタンクに採用した時の有効性を検討したものである。

船体の二重船殻化の問題については、座礁事故時の船体損傷の実態をみるために我が国に関連した船舶の事故例を調査し、座礁の形態、船体損傷の把握を行った。それによると、二重底構造にすることにより貨物油の流出を防げたであろうと推察できたケースは事故例の80%以上にのぼった。次に、座礁時の厳しい条件として、船舶が船首から岩礁に衝突する座礁形態について船体損傷長さおよび油流出量の計算を行った。その結果、損傷深さが内底板を超える座礁の場合であっても二重底構造は単底構造より油の流出量が減少し、二重船殻構造の有効なことが明らかになった。

負圧方式は、油タンカーの貨物油タンクに設置される弁の負圧設定値を従来よりも更に低くすることにより、座礁時の船底からの油流出量を低減化しようとするものであるが、これについては模型実験を含めた検討を行った。実験結果によると、負圧方式を採用した時タンク内の油面の低下はほとんどみられず、油流出低減効果が顕著であることがわかった。また、負圧設定時の船体強度についても検討を行い、発生応力は許容応力以下であり、負圧方式が実用的なものであることがわかった。

Influence of Residual Stress on Fatigue Strength of
Non-Load-Carrying Fillet Welded Joints

荷重非伝達すみ肉溶接継手の疲労強度に及ぼす
残留応力の影響

松岡一祥、高橋一比古、吉井徳治、藤井英輔
平成5年4月

Transaction of the Japan Welding Society, Vol.24,
No.1

荷重非伝達すみ肉溶接継手の疲労強度に及ぼす板厚
の影響を、溶接残留応力に注目して、実験的、解析的
に取り扱った。

厚さ、20および40mmのTMCP鋼板を用い、すみ肉
十字継手を製作した。試験片の幅により溶接線方向の
溶接残留応力を制御し、1パス当たりの入熱量により
溶接線直角方向残留応力を制御した。これらの試験片
の溶接残留応力を計測し、試験片の幅は溶接線方向の
残留応力には大きな影響を与えるが、溶接線直角方向
残留応力にはあまり影響しないことがわかった。一方、
入熱量と板厚は、溶接線直角方向の残留応力に影響し、
1パス当たりの入熱量が小さいほど、板厚が大きいほど、
高い引張残留応力となった。

次に、これらの試験片を用いて疲労試験を行った。
試験片の幅は疲労強度に影響を与えなかったが、板厚
及び入熱量は大きな影響を与えた。そこで疲労強度に
溶接線直角方向残留応力が影響することがわかった。

疲労強度に及ぼす溶接線直角方向残留応力の影響に
ついて検討し、残留応力を考慮した平均応力による評
価を行った。板厚10~80mmの荷重非伝達溶接継手の
疲労試験結果に対し、溶接線直角方向残留応力を{板
厚・(降伏応力/入熱量)^{1/2}}の無次元量から求め、
残留応力を考慮した平均応力と疲労強度の関係を調べた。
溶接まま継手では疲労強度はこの平均応力の増加
と共に線形に減少した。グラインダによる止端加工を
行った場合には、2つのグループに分けられた。1つ
は、溶接ままより少し疲労強度の高いもので、このグ
ループも残留応力を考慮した平均応力の増加と共に、
疲労強度が減少する。もう1つは、残留応力を考慮し
た最大応力が降伏応力に達しているもので、このグ
ループの疲労強度は応力集中係数の影響を強く受けてい
た。

<機関動力部>

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水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4年

International Journal of Energy Environment
Economics Vol.2 No.2

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。我国においては、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の排気ガスによ
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域的環境問題に対
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、我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といえる。

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
×10⁶kl/yの石油燃料を2.49×10⁷ton/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
ンカーで日本に輸送する。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80%低減できる。また、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現状技術に
おいてもCO₂発生量を低減できる。

Reduction of NO_x and Smoke by Emulsified Fuel on Ceramified Diesel Engine

エマルジョンとセラミック・ディーゼル機関による
NO_x、スモークの低減

塩出敬二郎、宮城靖夫、西川和美

平成5年5月

国際燃焼機関会議 大会論文集 D45

小型、高速、空冷ディーゼル機関の燃焼室壁面をセラミック材料で断熱化した。断熱化することによりシリンダ内ガス温度が上昇し、着火遅れなどは改善されるが、NO_xの排出量は増加する。大気環境を保全する必要から、断熱ディーゼル機関の長所を利用して低NO_x化を図るために、エマルジョン燃料を使用することを試みた。従来の金属燃焼室のディーゼル機関では、エマルジョン燃料のようなセタン価の低い燃料を使用するとNO_xの排出量は低減するが、着火遅れが大きくなり、COやスモークが増加する。また、エマルジョン中の水の量が多くなると機関の運転が失火のために不安定になる。断熱ディーゼル機関では、シリンダ内ガス温度及び燃焼室壁面温度が金属燃焼室ディーゼル機関に較べて高いために、着火遅れは改善され、燃焼室壁面近辺でも燃焼が可能となるために、COやスモークの排出量が低減できる。また、エマルジョン燃料は噴霧のモーメントムが増加するために純石油燃料に較べて空気との混合が促進されるし、燃焼時には水の気化潜熱により燃焼最高温度が抑制されるので、サーマルNO_xの排出量を抑制することができる。エマルジョン燃料中の水の割合を50%（水1容に対して軽油1容）にした時には、NO_xの排出量は軽油に較べて約85%低減できたし、スモークも大幅に低減した。COについては、水の割合が30%程度までは減少するが、それ以上になると増加する傾向を示す。この研究によって、エマルジョン燃料とセラミックディーゼル機関を組み合わせることによって、NO_xとスモークを大幅に低減できることが明らかになった。

干渉・CTによる燃焼温度の空間分布計測

Interferometric Tomography Measurement
of Spatial Temperature Profiles in
Combustion Flame

佐藤誠四郎

平成5年5月

可視化情報学会 講習会教材
レーザを利用した可視化技術

本稿は、可視化情報学会主催の講習会教材としてまとめたものである。レーザ干渉法による計測の特徴は、対象物体の情報が二次元的に一度に得られること、干渉縞という形で直接目で見るので、全体的な情報の把握に適していることである。さらに干渉法と計算機トモグラフィ (Computed Tomography, CT) を組合わせた燃焼温度の測定では、瞬時の三次元分布状態が非接触で得られるので、二次元計測法の補間法として、また燃焼現象の解明や数値解析などで得られる結果の評価やモデルの検証、構築などに有力な手法になると考えられる。

本稿では、レーザ干渉法と計算機トモグラフィを用いた火炎温度の三次元空間分布測定法について、測定原理、撮影光学系、干渉縞測定の自動化、測定例などを紹介したものである。

まず、干渉・CT法の適用に必要な多数の干渉像を撮影する多方向干渉計について、これまで提案されているいくつかの方法をまとめ、それぞれ問題点を述べている。干渉縞から火炎温度を求める計算式の導入や、ガス組成の取扱いにふれ、適用例として温度の分布形状が対称性などが無い非対称火炎やバーナからの層流火炎、乱流火炎の測定結果および本測定法のネックである干渉縞のデータ処理の自動化などについて述べた。

まとめに、測定法としての干渉・CT法の問題点、今後の研究の方向や可能性について述べている。

〈材料加工部〉

CFRP板の超音波探傷 — 繊維方向と音速 —

Ultrasonic Testing of CFRP Plate
— Velocity and Fiber Direction —

勝又 健一

平成5年5月

日本複合材料学会

1993年度 研究発表概要集

CFRP板の超音波検査は垂直探傷が一般的であるが、厚さ方向の剝離を検出する目的で斜め入射による検査を検討している。斜め入射では繊維方向によって音速が異なるので、その特性を調べる必要がある。

実験に用いた試験体は厚さ20mmの単一配向 (Vf60%)、大きさは200×300mmのCFRP材である。探触子は広帯域型で、直接接触ではB-2C15N、水浸法では焦点型B-2C15I-F50である。音速の計測は(a)平板斜め入射水浸、(b)サイコロ状垂直水浸、(c)サイコロ状垂直直接法の3種類で行った。(a)では所定の波形が最大振幅になる探触子の入射角(受信角も同様)を調べて音速を求めた。サイコロ状とは繊維方向を変えて作成した数個の小試料のことである。

サイコロ状試験体において波形は二つ出現し、先頭波の音速は、伝搬角度(繊維方向と超音波進行方向とのなす角度)が0度で約9000となり、角度が大きくなるにつれて低下し、90度では3000m/sであった。第2波は極端に遅い。これらは、直接接触および水浸法とも全く同特性であった。平板の斜め入射(繊維方向に平行、すなわち水平角が0度の場合)では、先頭波において、伝搬角0度付近、90度ではサイコロ状と同速であるが、その間の速度が異なった。また、第2波の速度はサイコロ状のものと同速で伝搬角度依存性が異なり、40度以下で速くなった。

サイコロ状試験体では先頭波、第2波の速度が棒あるいは薄板の速度分散の特性と似ている。すなわち、本CFRP材は層状であり、薄板の積層なことから層に沿ったラム波伝搬と考えられる。平板では、送信点から受信点へは斜め伝搬となるので、層に沿う波が捕え難いために速度分散が計測上に表れなかったと考える。水平角が90度の斜め入射の場合は、繊維は単なる材料内の混在物と同様な扱いとなり、速度は伝搬角度の影響を受けなかった。

Grain Growth of ZnO and of ZnO in ZnO-Bi₂O₃
and ZnO-Sb₂O₃ Ceramics

ZnOおよびBi₂O₃またはSb₂O₃を添加したZnOにおける
結晶粒成長

千田哲也、R.C.Bradt

平成5年6月

Transactions of the Materials Research Society of
Japan. Vol. 12 Symposium on Advanced Ceramics

酸化亜鉛(ZnO)の焼結時における結晶粒成長に関して、無添加ZnO、およびBi₂O₃とSb₂O₃をそれぞれ添加したセラミックスの場合についての研究のレビューを行った。結晶粒成長は、アレニウス型の速度式で記述され、その成長指数(n値)および活性化エネルギーに関する分析により、添加物の効果と律速過程の変化の考察を行った。

無添加のZnOでは、粒成長指数は3、活性化エネルギーは224kJ/molであり、これにより亜鉛イオンの体積拡散が粒成長の律速過程であると結論された。Bi₂O₃を少量添加すると液相を形成し、粒成長指数は5に増加するが活性化エネルギーは150kJ/molに低下した。粒径や活性化エネルギーが添加量に依存せず一定であることから、液相とZnOの反応が粒成長を律速するものと考えられる。Bi₂O₃の添加量を10wt%以上に増加すると活性化エネルギーは逆に270kJ/molに増大した。粒径が添加量に依存することから液相内の拡散が律速過程になると推測された。

Sb₂O₃を添加すると、ZnOと反応してスピネル構造のZn₇Sb₂O₁₂粒子を形成し、それらの第2相固体粒子が粒界移動をピン止めすることにより粒成長は強く抑制された。粒成長指数は6に増大し、活性化エネルギーは約600kJ/molに増加した。Sb₂O₃の添加は同時にZnO結晶の(0001)面における反転双晶を形成する。焼結初期過程におけるSb₂O₃添加の効果の考察から導かれる双晶の形成メカニズムを提案し、そのメカニズムが、双晶境界が各粒子に1つづつほぼ結晶粒子の中央に存在する理由を説明できることを示した。

〈装備部〉

二重船殻構造モデルタンクよりの油流出

Oil Spills from Model Tank with Double Hull

山口勝治、山之内博

平成5年3月

日本航海学会論文集 第88号

1989年3月に起こった、タンカーエクソン・バルデイズ号座礁事故により、広い範囲の海洋および海岸が油によって汚染された。これが契機となって、タンカー事故をより少なくする方策が検討されるとともに、万一事故が起こっても、事故時に生じる船体破孔からの大量油流出が防止できるタンカー構造が目されるようになった。

1992年3月、国際海事機関 (IMO) の海洋環境保護委員会 (MEPC) は、このような将来のタンカーの一つとして、ダブル・ハル船体構造の採用を義務付けることを決定した。これが実施されることにより、タンカー事故の際の海洋汚染が減少するものと期待されている。しかしこれまでのところ、事故中、ダブル・ハル船体構造からの油流出現象の詳細が分かっておらず、精度よくダブル・ハルタンカーの油流出防止に関する評価ができない。ダブル・ハルタンカーからの事故中の油流出量を予測するためには、油流出現象や流出機構に関する基礎情報が必要とされている。

本研究は座礁および衝突事故時でのダブル・ハルタンカーの油流出防止性能を把握し、評価するに必要な資料を得るために実施したものである。

試験は20万トン級ダブル・ハルタンカーの中央部断面を模擬した、内板および外板に破孔の設けられた縮尺1/50のモデルタンクを用い、事故条件、積荷条件およびタンク構造・寸法を変え、静水試験水槽中で行われた。その結果、油流出の機構と各実験パラメータに対するタンクからの流出油量の傾向と影響の大きさが明らかとなった。

本研究で得られた結果は、モデル化されたケースにおけるダブル・ハルタンカーの油流出防止性能を把握し、評価するために有用な資料となるばかりでなく、より現実的な事故状況に対する基礎情報になるものと思われる。

〈システム技術部〉

複雑なシステムにおける共通原因故障の評価

The Evaluation of Common Cause Failures in a Large Complex System

松岡 猛

平成4年12月

電子情報通信学会 第6回安全科学研究会研究報告

システムの信頼度を向上させるためには、個々の構成機器自体の信頼性を向上させる他に、同一機能を持った機器・系統を多重化して冗長性を持たせる方法が、大規模システムでは広く実施されている。しかしながら、共通原因故障によりこの冗長性が破られる場合には、独立故障のみが発生すると仮定した場合に比較して、格段にシステムの信頼度が低下してしまう恐れがある。

本論文においては、まず機器の故障発生には何らかの意味で故障原因が存在するという立場から、共通原因故障について議論し、ランダム故障、地震・火災等の外的事象も含めた統一的な分類を示した。

次に、共通原因故障のシステム信頼性解析における解析手順を示し、手順に沿った各項目の説明を行った。第一段階はシステム論理モデルの作成であり、要求されるシステムの機能・動作等をモデル化する。その際、機器の故障モードの段階まで分解して表現する必要がある。第二段階において、定性的スクリーニングを行い共通原因故障の発生する可能性のある機器群を同定する。第三段階において、定量的スクリーニングを行う。共通原因故障の発生確率をおおよそ見積もり、システムの信頼度低下への影響が小である事象を除外する。第四段階において、共通原因故障をモデル化する。モデル化には、フォールト・ツリー、イベント・ツリー等を用いて直接的に表示する明示的な方法と、故障原因や、故障連鎖が不明確な場合に用いるパラメトリックな方法がある。パラメトリックな方法において使用される β ファクタ法、MGL法、 α ファクタ法、BFR法についての説明を与えた。第五段階において共通原因故障のデータ解析をおこない、共通原因故障発生率(確率)、故障モデルにおけるパラメータ値を推定する。本論文に β ファクタ値の代表的な値の表を示した。最後にシステム定量解析を実施し、結果の解釈・活用についての考察を行う。

The GO-FLOW Methodology : A Reliability
Analysis of the Emergency Core Cooling System
of A Marine Reactor under Accident Conditions

GO-FLOW手法：各種事故条件下における船用炉
非常用炉心冷却系の信頼性解析

松岡 猛

平成5年3月

日口原子力船セミナー発表論文集

船舶技術研究所で開発を進めているGO-FLOW手法により原子力タンカーの工学的安全系の信頼性解析を実施した。

報告においては、まずGO-FLOW手法の概要を説明。次に解析対象として設定した原子力タンカー及び、非常用炉心冷却系について述べた。原子力タンカーの船体構造・配置、機器・系統の構成・配置は造研NSR-7、RR-26の研究成果、「むつ」等を参考として決めた。非常用炉心冷却系、余熱除去系は原子炉区画の二次遮蔽外側の左右両舷に各1系統づつ分離して設置し、工学的安全施設関連系統の補機冷却系、主発電機と補助発電機は機関室に、非常用発電機は船橋甲板に配置した。

事故条件としては、座礁、衝突、船内火災を取り挙げた。衝突・座礁による系統・機能の直接的な損傷は無く、区画内への浸水により機能喪失すると仮定した火災条件としては、火災発生後10分で区画内の全ての機器の機能が喪失し、60分後に0.04の確率で隣接区画へ転移し、更にその10分後に消化失敗のため0.4の確率で転移先の区画内の機器の機能が失われるものとした。

工学的安全系の評価のため、事故発生と同時に100mmφ破断のLOCAが発生すると仮定し、炉心冷却モードとして三段階のフェーズを設定した。

機器総数90以上という比較的大規模なシステムの信頼性解析がGO-FLOW手法により容易に実施できる事が示された。火災事故のばあいは、火災の転移が起る場合と起らない場合両方を含んだ事故条件が一枚のGO-FLOWチャートに表現できる。また、フェーズド・ミッション問題となっている事故の進展に伴う状況の変化も一枚のGO-FLOWチャート、及び一度の計算で解析できる。

GO-FLOW手法は複雑な動作をする大規模システムの信頼性解析にとり有用な手法である事が示された。

原子力用人工知能を具備した原子力施設のシステム
評価研究(3)知的マン・マシン・インターフェースに
関する研究

Research on Artificial Intelligence Systems
for Nuclear Installations
(3) Research on Man-Machine Interface System

松岡 猛、沼野正義、福戸淳司、宮崎恵子、

染谷実、菅澤忍、原木信夫、多賀謙治

平成5年3月

日本原子力学会1993年年会要旨集

原子力基盤技術総合的研究の一環として船舶技術研究所においては自律型プラントにおけるマン・マシン・インターフェースの研究を進めている。本報告は、現在までに実施した研究内容及び今後の予定について述べたものである。

自律型プラントにおいても人間(運転管理者)は常にプラント状態を透明性を持って監視し、必要とあらば容易にプラント運転に介入できる必要がある。

その様なプラントにおけるMMI内部にプラント状態についての機能モデルをもっており、そのモデル自体も自律的に修正/拡張がなされるものとした。

自律型プラントの動作を模擬する目的でエキスパート・システムG2によるPWR簡易シミュレータを開発し、現在までに基本機能を完成させた。

プラント機能モデルについては、表現方法の検討を行い、Common LISPを用いたモデルをワークステーション上に構築中である。プラント状態表示の重要な機能の一つである三次元画像表示機能の開発をAVSを用いておこない、現在までにプラント構成機器の三次元表示を実現し、機器の半透過表示、内部断面表示、水位表示の各機能を与え、プラント・ウォーク・スルーが行える様にした。更に、専用インターフェースを用意した使いやすい表示操作を実現している。

今後、簡易シミュレータには自律機能の整備を行う。画像表示機能には状態量の表示機能を与え、シミュレータ、機能モデルからの情報に基づきリアル・タイムで表示できる様にする。

最後に、各要素技術間の結合を図り、総合的な機能評価実験を実施する予定である。

GO-FLOW手法による信頼性解析(13)
 -共通原因故障解析機能の整備-

Reliability Analysis by the GO-FLOW
 Methodology (13) -Development of the Function of
 Common Cause Failure Analysis-

松岡 猛

平成5年3月

日本原子力学会1993年年会要旨集

船舶技術研究所で開発を進めているGO-FLOW手法において共通原因故障を直接的に取り扱う機能を整備した内容についての報告である。

共通原因故障のモデルとしては、パラメトリックなモデルを用いている。共通原因故障機器群を指定し、選定モデル・関連パラメータ値を与えるだけで解析が実施できる。

解析対象のシステムにおいては一般に複数の共通原因が存在するが、個々の共通原因による頂上事象への寄与を求め、加え合わせる事により共通原因故障を考慮したシステム全体の機能喪失確率を求める。共通原因故障のパラメトリックモデルとしては、 β ファクター法、BFR (Binomial Failure Rate) 法、MGL (Multiple Greek Letter) 法、 α ファクター法が用意されている。

解析対象とし、加圧水型原子炉補助給水系 (AFWS) を取り上げた。系には3台のポンプが備えられており、2台はそれぞれ個別の電動機により駆動される電動ポンプ、1台はタービン駆動ポンプである。このAFWSにより、4基の蒸気発生器のうちの2基への給水に成功すれば、この系の機能は満足されるものとした。要求される機能継続時間は24時間とした。共通原因故障機器群としては、ポンプ駆動用の2台の電動機 (起動失敗)、3台のポンプ (起動失敗) の2群を取り上げた。

独立故障のみを考慮した場合は、動作開始後24時間において 8.7×10^{-6} の故障確率であったのが、共通原因故障を考慮すると 8.8×10^{-4} (β ファクター法) となった。

本報告に示した様に、GO-FLOW手法の種々の特長を活かしたまま、容易に共通原因故障の解析が実施できるようになった。

安全評価のための操船シミュレータの構築

Construction of a Ship Maneuvering Simulator
 for Safety Assessment

宮崎恵子

平成5年4月

日本設計工学会誌「設計工学」平成5年4号

現在船舶の分野でも、操船シミュレータの利用が大きな役割を果たしている。著者らは、船舶航行における安全評価法の研究の一環として、安全評価のための操船シミュレータを構築しつつある。本稿では、コンピュータを用いたシミュレータ類の設計に興味を持っている方々に、この安全評価用操船シミュレータの構築について解説した。

まず、操船シミュレータの歴史について触れ、安全評価用操船シミュレータの構築にあたって基本の考えとなる、操船とその安全および安全評価法についてまとめた。操船および船舶航行の安全は、結果的に衝突を回避できたかどうかではなく、衝突回避の過程において潜在的危険が顕在化したときに、その危険を回避できるかどうかで評価されるべきものである。この考えに基づいて、操船シミュレータを用いた安全評価の手法を確立しつつ、そのような安全評価を可能とする操船シミュレータを構築している。

安全評価用操船シミュレータは、操船者が、シナリオによって設定された状況の中で、操船するのに十分な情報を得て違和感なく操船し、その結果の安全評価を行うための出力を得られることが望まれる。安全評価用操船シミュレータが備えるべき要件としては、①船舶の運動性能の表現②船舶に十分な情報の提示③違和感を感じさせない操船操作④操船操作の反映、これら①～④をリアルタイムで実現できること、⑤シナリオの作成⑥操船結果の評価というようにまとめられる。

安全評価用操船シミュレータは「船体運動計算機能」「操船情報提示および操船操作機能」「シナリオ作成および評価機能」から構成されている。上記に示した要件の実現について各機能ごとに整理し、使用している技術に関して解説した。

自律型プラントにおけるMan-Machine Interfaceの研究

—原子力プラントの三次元画像表示機能の作成—

Research on Man-Machine Interface System
for Autonomous Nuclear Power Plant
—Development of Three-Dimensional
Color Graphic Monitoring System—

宮崎恵子

平成5年4月

第2回AVSユーザー会セミナー資料

現在、船舶技術研究所では、原子力基盤技術総合的研究の一環として、自律型原子力プラントにおけるMan-Machine Interfaceの研究を行っている。「原子力プラントの三次元画像表示機能」は、この将来型のMan-Machine Interfaceにおける重要な一機能であり、三次元描画ソフトウェアAVSを活用して開発している。本発表では、AVSのユーザーに対して、具体的な活用事例として本機能の作成について紹介した。

自律型プラントにおいては、通常時および設計基準に盛り込まれている異常時は、プラント自身により自律的に運転がなされる。しかし、同プラントは無人ではなく、運転員は常にプラントの状態を把握し、必要に応じて容易に運転・保守に介入できる必要がある。そこで、自律型プラントにおいても重要なMan-Machine Interfaceについて、要素技術としていくつかの項目に分けて研究を進めている。「原子力プラントの三次元画像表示機能」は、プラント状態の情報提示部分の一つに位置する。

本機能は、プラント状態の情報を運転員が理解し易い形で提示することを目的としている。わかりやすい表示方法として、温度などの状態量の表示をメーターなどではなく、機器の形状にそって立体的にカラー表示する方法をとった。さらに、プラント内を歩き回って監視するような、視点の移動、機器を切断して内部状態を見るような表示など、プラントそのものに触れるような形での情報提示を実現している。表示方法を操作するために、統合化されたメニュー画面を用意し、各機器に対してマウス操作を中心としたオペレーションを共通化することで達成している。

〈原子力技術部〉

Continuous Energy Monte Carlo Analysis of
Neutron Shielding Benchmark Experiments
with Cross Sections in JENDL-3

JENDL-3断面積を用いた中性子ベンチマーク実験の
連続エネルギーモンテカルロ解析

植木紘太郎、大橋厚人、川合将義

平成5年4月

日本原子力学会

Journal of Nuclear Science and Technology

日本の核データファイルJENDL-3の鉄、炭素、およびベリリウム断面積について一連の中性子遮蔽ベンチマーク実験を連続エネルギーモンテカルロ解析することによりテストした。鉄断面積については核分裂中性子源を用いたORNL研究所およびWINFRITH研究所の実験、さらにD-T中性子源を用いたLLNL研究所の実験を解析することによってテストした。炭素およびベリリウム断面積についてはD-T中性子源を使用したJAERI-FNS TOF実験装置を使った実験によってテストした。

連続エネルギーモンテカルロコードMCNPにおいて、サブルーチンTALLYDの改訂およびモンテカルロ法パラメータWeight-Windowの適切な指定を行った。その結果それぞれのエネルギービンのFSD (Fractional Standard Deviation) は中性子エネルギースペクトルに対するモンテカルロ計算結果が信頼に値すると判断できるくらいまで低減した。

JENDL-3を用いたモンテカルロ計算は、全体としては、広いエネルギー範囲でベンチマーク実験と良い一致を示している。特に、WINFRITHの鉄の実験では、JENDL-3を用いた結果は24keVウィンドウのすぐ下のエネルギースペクトルにおいて、米国の核データファイルENDF/B-IVより良い一致を示している。JAERI-FNS TOFのグラフィット実験では、JENDL-3を用いて計算した角度束は、D-T線源中性子の非弾性散乱によって生ずるいくつかの山や谷において、ENDF/B-IVよりも実験に近い一致を示している。

しかしながら、JENDL-3を用いて計算したエネルギースペクトルは核分裂中性子源を使った二つの鉄に関する実験において、0.8~3.0MeVの間で明確な過少評価になっている。

二酸化炭素クラスレートの高圧水中における安定性

Stability of Clathrate-Hydrate of Carbon
Dioxide in Highly Pressurized Water

綾威雄、山根健次、山田信夫

平成5年4月

日本機械学会論文集 B編 第59巻第560号

発電所などから回収された後のCO₂を深海に貯溜する方法の内、クラスレート化法の実現性検討のため、3,000m級深海の圧力と温度が模擬できる「高圧回流水槽」を使用し、CO₂クラスレートの安定性を調べる基礎実験を行った。

CO₂は、4.5MPa以上の圧力では、10°C以下の温度で水と反応して結晶構造のクラスレートとなる。この条件下で生成されるクラスレートは液体CO₂と水の界面のみに現れることが、先に行った予備実験から判明していた。そこで、圧力を30MPaに保ちつつ、3°C（クラスレート領域）と15°C（非クラスレート領域）の静止水中に置かれた単一CO₂液泡の溶解速度を長時間のビデオ観察により調べた。その結果、CO₂液泡を被うクラスレート膜は、CO₂の溶出速度を抑制するが、その抑制効果は溶解時間を2倍強に引き伸ばす程度で、直径3cmのCO₂液泡はクラスレート生成領域であっても20時間以内に完全に溶解することが明らかとなった。

本実験を行う前は、外側の水分子がクラスレート膜を通過することによりクラスレートの結晶が液泡内部に向かって成長するのではないかと、クラスレート膜が成長しなくとも、金属の酸化皮膜のように内部のCO₂液泡を保護してくれるのではないかと期待していた。ところが、この期待は見事に外れてしまった。

クラスレートの不安定性はCO₂が高圧水によく溶けるという性質に関係があるようであるが、クラスレート生成条件下におけるCO₂溶出現象のメカニズムは不明である。しかし、本実験から明らかになったクラスレートの不安定性は、深海環境への悪影響（高濃度のCO₂溶解水は強酸を呈する）や2千年程度と言われる深海水の循環によるCO₂の大気への逆流などをもたらす可能性を示唆するものであり、クラスレートの安定性を前提に行われているCO₂の深海処理に関連した研究に一石を投ずる事実であると考えられる。

〈海洋開発工学部〉

Motion Responses in Directional Waves of Prototype Floating Platform'POSEIDON'

浮遊式海洋構造物POSEIDON号の
方向波中における動揺応答

大松重雄、大川豊、杉岡寛、山口正記

平成4年6月

11th International Conference on Offshore
Mechanics and Arctic Engineering

浮遊式海洋構造物の波浪中動揺応答を精度よく予測することは非常に重要であり、多くの理論的、実験的研究がなされている。従来、これらの研究の多くは海洋波を長波頂の一方方向不規則波とみなして行われて来たが、近年、海洋波を現実の短波頂不規則波として取り扱った研究が盛んに行われるようになった。しかしこれらの研究は理論計算および模型実験によるものであり、実機実験によって検証された例はないようである。

そこで本論文では、浮遊式海洋構造物「POSEIDON号」の実海域実験データを利用し、短波頂不規則波中の実測値から応答関数を推算することを試みた。

本実海域実験では、入射波を船首側前方約180mに設置した3台の海底設置型超音波式波高計で計測し、得られた3個の時系列より最尤法（MLM）で入射波の方向スペクトルを求めた。動揺は、浮体上の加速度計及びジャイロで計測した。これらのデータより動揺の方向周波数応答関数を推算し、理論計算及び模型実験による応答関数と比較した結果、以下のことがわかった。

- 1) 風や流れ等の外乱のある実海域での実測データからでも方向周波数応答関数を推算することができる。しかし、実用上十分な精度の応答関数を得るにはできるだけ広い範囲からの入射波を数多く用いる必要がある。
- 2) 逆に、こうして求めた応答関数と波方向スペクトルから、約10%程度の誤差で動揺応答のスペクトルを推算することができる。

曳航時の索張力に関する研究
(その1：平水中における挙動)

Study on the Towline Tension During Towing
(1st report : Behavior in Still Water)

原正一、山川賢次、星野邦弘
平成4年11月
関西造船協会誌 第219号

海洋構造物の事故統計によれば、その事故は海上輸送時が極めて多く、全海難事故数の54.4%にもものぼることが報告されている。なかでも、索の切断などによる構造物の漂流が13.6%になっている。これは、石油掘削船などの構造物が稼働時の性能を中心に設計され移動時の性能にはあまり考慮が払われていないのが原因と思われる。

構造物の曳航時における最も重要な課題は、ふれまわり運動であり、保針性劣化や曳航索の衝撃力発生の原因となる。そのなかでも、曳航索に働く衝撃力は、索切断の事故につながる重要な課題である。そこで、このふれまわり運動時の索張力の実態を解明するために、一般的なsingle towingの場合について代表的な構造物であるバージ型とセミサブ型の2種類の海洋構造物模型を用い、第一段階として、平水中曳航時の索張力について検討を行い、以下のような結論を得た。

- (1)今回提示した索張力係数 C_{t1} を用いると、比較的広範囲の試験状態に対して一義的に表現することができるとともに、衝撃的な張力も推定できることから曳航時における索張力を評価する基準となり得る。
- (2)曳船による曳航の場合のふれまわり運動時には、索張力係数 C_{t1} は曳航索の水平角振幅 θ_{ra} に関係なく一定値をとり、曳航速度が決定されると索張力 T_{isp} を推定することが可能である。また、最大索張力は、大きくふれまわった場合でも最大で T_{isp} の2倍程度であり、曳引台車で曳航した場合の最大索張力の1/5程度である。
- (3)バージはスケグにより、平水中曳航時の保針性の向上が図られるとともに衝撃的張力の発生を軽減できる。
- (4)セミサブ型の海洋構造物を曳航する場合、ブレースが没水するか否かで曳航抵抗に大きな影響を与える。
- (5)流れによる索張力の増加は可想反力法によって推定が可能である。

At-Sea Experiment of a Floating
offshore Structure
-Wind characteristics at a Test Field-

浮遊式海洋構造物の実海域実験
-実験海域における風の特性-
加藤俊司、佐藤宏
平成5年5月

Naval Architecture and Ocean Engineering

本論は、ポセイドン上で計測された強風時の平均流方向の変動風について述べたものである。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は異なるが本論は、空間的に様に近い冬の季節風による強風を対象に調べた。風速計は、ポセイドン号測風塔の水面より19.5mの位置に設置され、使用された風速計のタイプは3軸超音波式風速計である。強風時に計測された長時間にわたる臨時計測データを用いてスペクトル解析及び統計解析を行った。スペクトル解析には、高安定なスペクトルが得られるARモデル(自己回帰モデル)法を使用した。主要な結論は次の通りである。

- (1)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分散の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する。
- (2)海面と大気との摩擦係数は海面の粗度高さと一対一に対応する。いままで海洋物理学者によってその係数を推定する努力がなされてきたが、本論では、この係数の推定式を新たに提案した。この結果と(1)で提案した新しいスペクトル形を用いて推定した変動風のスペクトルと実測結果及び今までに提案されてきている変動風スペクトル形との比較を行ったところ本提案法が最も良く実測結果を表し、次に良く実測結果と一致したのがOchi-Shinが提案したスペクトル形であった。また、実測スペクトルは、広く用いられているDavenportスペクトルとはまったく異なる結果となった。
- (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、線形統計理論と変動風のスペクトルから予測可能である。

Free Decaying Test and Simulation of Slav Drift
Motion of Proto-type Floating Structure
"POSEIDON"

浮遊式海洋構造物「POSEIDON号」の自由動揺試験
と長周期運動のシミュレーション

齊藤昌勝、加藤俊司、大川豊
平成5年6月

International Society of Offshore and Polar
Engineers Proceedings of third ISOPE conference

浮体式海洋構造物は不規則波中において長周期運動と呼ばれる大振幅かつ長周期の水平面内の運動を生じるとされている。この運動の予測は係留系を設計するにあたって重要な事であり、多くの理論的、実験的研究がなされてきたが、実際の海域での観測例は報告されていない。

本論では、ポセイドン号の実海域実験で得られた長周期運動のデータを用いて、スペクトル解析や統計解析によってその特性を紹介すると共に、実際の海域で得られた海象データを用いた長周期運動の数値シミュレーションを試みた。数値シミュレーションを行うにあたって最も不確定な要素は流体の粘性影響であるが、これに実機の自由動揺試験結果と模型の強制動揺試験結果をそれぞれ用いて比較を行った。その結果は次の通りである。

- 1) 長周期運動は波だけではなく風の影響も受けているが、海上風の変動成分の等方性により、平均風向と直角な方向にも風による運動が生じ、これは無視できない大きさである。
- 2) 波によって生じる長周期運動は非線形性を有し、線形理論ではその統計予測を行う事ができない。
- 3) 生物が付着した実機の粘性抗力係数は高Kc数域では模型を用いた実験値にほぼ等しく、低Kc数域で大きくなる。この様な、実機及び模型の抗力係数をシミュレーションに用いた場合両者の計算結果には大きな違いはなく、長周期運動の予測のために粘性抗力係数は模型の実験値を用いる事ができる。

〈氷海技術部〉

織布積層複合材の低温域における異方性について

A Study on Anisotropy of Woven cloth Laminates
at Low Temperatures

前田利雄、桜井昭男、高島逸男、山越寿夫
平成5年3月

日本材料学会 材料 第42巻 第474号

長繊維型の積層複合材はアルミ合金等比べて熱的寸法安定性がよく、軽量、高強度であることから、船舶・航空機部品等の構造部材に広く使用されている。最近では、極低温容器や宇宙構造物等の大きな温度変化を受ける構造物への利用が検討されており、これに伴って、従来にも増して高い寸法精度が要求されるようになってきた。しかしながら、一般に使用される織布積層複合材は典型的な直交異方性を持つとともに、極低温域においては熱・機械的特性とも温度依存性が高くなる。このため、FRPの極低温域での使用にあたっては、その異方性を十分把握しておく必要がある。本報告ではFRPの極低温域における異方性を解析するため、織布積層複合材の斜向角度を変化させて熱収縮及び曲げ特性を調べた。また、所定の角度で織布を積層した斜交積層FRP及びハイブリッドFRPについても調べ、熱収縮及び曲げ特性の異方性低減について検討した。

得られた結果の主なものはおの次のとおりである。

- (1) 直交積層材の熱収縮率と斜向角度の関係は、GFRP、CFRP、AFRPのいずれも試験片主軸と繊維方向とのずれが最大となる45°Cにおいて熱収縮率が最大となり、特にAFRPは異方性が顕著である。
- (2) 曲げ強度は斜向角度により2～3割減少し、なかでもGFRPは異方性が大きく現れた。一方、曲げ弾性率はCFRPが優れた値を示したが、異方性が大きく設計に注意が必要である。
- (3) 異方性を改善するため、織布の方向を変化させて斜交積層としたCFRP及びAFRPは、直交積層材に比べて全体的に熱収縮率が低下するとともに、異方性を小さくする効果が顕著に現れた。
- (4) 熱収縮率の異方性が強いAFRPと比較的少ないGFRPあるいはCFRPとのハイブリッド積層することにより低温域での熱収縮率の異方性をかなり低減できることがわかった。

FRPクライオスタット用断熱支持体の検討

Study on Adiabatic Supports for FRP Cryostat

前田利雄、桜井昭男、高島逸男、山越寿夫

平成5年3月

日本材料学会

第22回FRPシンポジウム講演論文集

超電導電磁推進船に搭載する船用クライオスタットの真空断熱層内に設けられる支持体は、強大な電磁力を支える機械的強度と、外界から超電導コイルへの熱侵入を防ぐ高い断熱性能とが要求される。一般に、支持力を大きくするためには太くて短い支持体が必要であり、熱侵入を少なくするためには断面積が小さく長い支持体が必要となる。この矛盾する要求をとともに解決するための断熱支持体として、ガラスマイクロバルーンを混入した複合材（シンタクティックフォーム）の円柱、並びに高強度FRP製円筒殻をとりあげ、低温環境下における熱的特性並びに強度特性について検討した。

供試断熱支持体のシンタクティックフォームの円柱は、低温靱性に富むビニルエステル樹脂にガラスマイクロバルーンを充填材として混入した注塑板より所定の寸法に機械加工したものである。また、一重円筒殻はガラスロービングクロスを基材として内径23mm、外径25mmの円筒状にハンドレイアップ成形したFRPパイプを切断して使用した。多重円筒殻は上述のFRPパイプを機械加工して所定の寸法に仕上げた円筒殻を組み合わせて接着接合したものである。

得られた結果の主なものは次のとおりである。

(1) 供試した断熱支持体の貫流熱量は、伝熱面積の最も大きいシンタクティックフォームが比較的大きかった。一方、円筒殻では多重化が進むほど貫流熱量が少なくなり、多重円筒殻が有効に機能することがわかった。

(2) 円筒殻の熱収縮率はシンタクティックフォームに比べて小さく、また、熱収縮率には多重化がほとんど影響しないことがわかった。

(3) 本研究で使用したFRP製の円筒殻は極低温用金属に匹敵する比降伏応力を持ち、かつ熱伝導率はアルミ合金より3桁程度小さく、断熱支持体として優れた特性を持っていることを示した。

Computation of Incompressible Viscous Flow
around a Marine Propeller

— 2nd Report : Turbulent Flow Simulation —

船用プロペラまわり非圧縮性粘性流の数値計算

第2報 乱流計算

宇都 正太郎

平成5年5月

日本造船学会論文集 第173号

計算流体力学 (CFD) 手法を用いて船用プロペラまわりの非圧縮性乱流のシミュレーション計算を実施した。支配方程式はNavier-Stokes方程式及び擬似圧縮性項を付加した連続の式であり、乱流モデルとしてBaldwin-Lomaxゼロ方程式モデルを採用した。これらを有限体積法及びIAF法に基づいて離散化した。非粘性項の離散化には3次精度風上差分を、粘性項は2次精度中心差分をそれぞれ用いて離散化し、1次精度の陰解法を用いて時間積分を行った。プロペラまわりの計算格子は幾何的な方法を用い、直交性、平滑性、最小格子間隔の設定等の幾何的条件を満足するように初期格子からの反復計算によって生成した。

計算は2種類の供試プロペラについて、一樣流中を単独で作動する定常状態を仮定して実施した。計算結果から導かれた結論は以下の通りである。

1) 翼面圧力分布は翼前縁部及びボス影響の大きい翼根部近傍を除いて実験データと定性的、定量的に良い一致を示した。

2) スラスト、トルク係数値は実験値に対して10~20%程度の過大評価となったが、プロペラ効率は定量的に良く一致した。

3) プロペラ後流渦系の構造をLDVによる実験結果と比較し、翼端渦の形成及び渦層の巻き込み等の現象を定性的に良く再現していることを示した。

4) プロペラ単独性能及び翼面圧力分布に関する模型と実機間の尺度影響について考察した。尺度影響は圧力と摩擦成分の微妙な増減に基づく現象であり、定量的な解明を図るためにはスキームの信頼性に関する検討を進める必要があることが明らかになった。

〈大阪支所〉

ラム波によるCFRP板の非破壊検査

Nondestructive Testing of CFRP Plate by
Lamb Waves

津島 聡、吹上紀夫、小野正夫

平成 5 年 3 月

日本材料学会「材料」第42巻 第474号

CFRPはカーボン繊維の特性を利用した高性能な材料であり、自動車や航空機など軽量化を要求する構造材に多く使用され始めた。

将来、超高速船にもCFRPが使用されることを想定して、大型構造物の探傷に有利と思われる低周波の弾性波を用いて非破壊検査を試みた。

CFRP試験板はプリプレグ材を用い、積層構成は繊維を全層一方向に揃えたものと、上下対称に1層ずつ交互に積層したものである。また、繊維体積含有率が25,40,60%と変化させた試験体も用いた。

弾性波はハンマーの打撃で発生させ、受信は圧電型加速度計を用いた。

実験の結果、板厚方向の打撃により、 A_0 モードのラム波が発生し、エッジワイズ方向の打撃では S_0 モードのラム波が発生することがわかった。 A_0 波の位相速度 C は波長に対して、板厚 H が小さい場合、板厚と周波数 f の積 $f \cdot H$ に依存する。 S_0 波速度は、板の長さ L を半波長とする定常波を用い、 $2L \cdot f$ により求まる。これらの結果から、 A_0 、 S_0 波を用いて次のことがわかった。

(1) A_0 波の位相速度 $C(f)$ と周波数 f を測定することにより、その分散特性から板厚や層間剝離の検査が可能である。

(2) 一方向積層板の場合、繊維と直角方向に伝播する A_0 波の位相速度はエポキシ単体の板の位相速度と等しく、波の伝播方向に直角な繊維は速度変化に寄与しない。

(3) 繊維含有率は S_0 波の定常波から計算した弾性波速度により推定でき、繊維含有率 V_f の直交積層板では $0.5V_f$ の一方向積層板の速度とほぼ等しい。

(4) 一方向積層板での S_0 波速度は伝播方向と繊維方向の角度が小さい場合は引張試験のヤング率、大きい場合は圧縮試験のヤング率から推定できる。

音響波法によるFRP材の非破壊評価

Evaluation of FRP by Elastic Wave Method

吹上紀夫

平成 5 年 3 月

(社)日本非破壊検査協会 非破壊検査第42巻第3号

音響波法とは、ハンマー等でたたいた時の音を聴いて判断するという古くから行われてきたコインタッピング法のことである。近年は測定機器の発達により、このような打音(音響波)の波形や周波数が容易に測定・解析できるため、これまで熟練した聴覚で判断していたのが、測定器で定量的に判断できるようになった。また、音響波は可聴音域に属する低周波で、減衰が少ないため、長距離伝播し広範囲の探傷ができるという長所を持っている。現在、音響波を使った非破壊試験を実施しているところは少ないが、今後、多方面で利用されることが予測されるため、筆者らが行った研究結果や文献をもとに、音響波法の代表的な3手法を紹介した。

(1) 弾性波伝播法：筆者らが研究している方法で、FRPのように薄い材料に、ハンマー等で単発の衝撃を与えると、周波数が20KHz以下の A_0 モードのラム波(板波)が発生する。この板波は補強材取付け部や層間剝離部で極端な減衰や位相速度の変化がみられるため、補強材の取付け状態や内部欠陥が検出できる。

(2) 固有振動法：棒状、板状等の材料はその形状と材料特性から固有の振動を起こす。この現象を用いてCFRP製FWパイプの品質管理を行った結果、内部剝離のあるもの、繊維の一部が切断しているもの、繊維含有率の低いものなどが容易に選別できた。また、この方法では非接触で振動の起振、受信ができるため、オンラインでの利用も可能である。

(3) メカニカルインピーダンス(MI)法：材料を局部的に加振あるいは打撃し、その時の加振力と速度あるいは反発力の波形とその周波数分布から欠陥を検出する方法で、健全部での波形を基準とし、各部における波形とを比較して欠陥を検出する方法である。

この方法は、検査する部分をたたくだけであるため船舶や航空機のような大型構造物を広範囲に探傷する場合に有効である。

FRP船の新しい成形方法について

On The New Molding Method of FRP Boat

吹上紀夫

平成5年3月

日本小型船舶検査機構 JCI通信 第219号

「新しい成形法」とは、新技術による画期的な成形法と言うことではなく、以前から考えられていたが、これまでは、FRP造船所側に新しい材料に対応できる設備が無かったためにできなかった成形法のことである。近年、新しい材料や設備などができることにより幾つかの問題が解決され、これまでにない成形方法が行われるようになった。これらの中から代表的な成形法として、次の二つの成形法を取上げ解説する。

(1) 中温型プリプレグ材を使った真空成形法

(2) RIV (樹脂注入吸引式) 成形法

(1)は昨年5月に行われたアメリカンズカップヨットレースで知られるCFRP製ヨット (AC艇) の成形に取り入れられた成形法で、繊維に樹脂を含浸させた未硬化のFRP (プリプレグ材) を型に張付け、加熱、加圧 (真空引き) して硬化させる方法である。市販品では、繊維としてカーボンやアラミドが、樹脂としてエポキシが用いられている。従来のハンドレイアップ法に比べ、繊維含有率が上がるため、強度特性が向上し、船体をより軽量化することができ、レーシングヨットやモーターボートの成形に用いられている。

(2)は3Kといわれ、成形作業不足で悩んでいるFRP成形工場の作業環境を改善することと成形作業工数を低減することを目的に開発された成形法で、凸型および凹型製作し、内部に強化繊維を挿入し、両型を閉じて樹脂を注入して硬化させる方法である。

この成形法は、両型の製作と樹脂の注入方法が難しく、これまで実用化されなかったが、最近、FRP造船所と樹脂注入機メーカーがタイアップして実用化された。また、この成形法は、労働安全衛生法で定められている“FRP成形工場のスチレンガス規制”をクリアすることができ、ハンドレイアップ法にはどうしてもついていけないロボット成形に代わる方法として今後大いに期待される成形方法である。

ラム波によるFRPの非破壊検査

Nondestructive Testing of FRP by Lamb Wave

津島 聡、吹上紀夫、小野正夫

平成5年5月

FRP漁船研究会「FRP漁船」第155号

GFRPやCFRP構造体の信頼性向上のためには板厚、繊維含有率および内部の剥離などの非破壊検査を行う必要がある。一般に、小型の試験材に対しては軟X線や超音波が使われるが、本報告では大型構造物の探傷に有利と思われる低周波の弾性波 (ラム波) を用いて非破壊検査を試みた。

GFRP試験板は単板、層間剥離のある試験板およびハット型補強材を有する構造材を用いた。

CFRP試験板はプリプレグ材を用い、一方向積層板と直交積層板とした。また、繊維体積含有率を25, 40および60%と変化させた試験体も用いた。

弾性波はハンマーの打撃で発生させ、受信は圧電型加速度計を用いた。

実験の結果、板厚方向の打撃により、 A_0 モードのラム波が発生し、エッジワイズ方向の打撃では S_0 モードのラム波が発生することがわかった。 A_0 波の位相速度 C は、波長に対して板厚 H が小さい場合、板厚と周波数 f の積 $f \cdot H$ に依存する。 S_0 波速度は、板の長さ L を半波長とする定常波を用い、 $2L \cdot f$ により求める。これらの結果から、 A_0 、 S_0 波を用いて次のことがわかった。

(1) GFRP板を伝わる A_0 波の加速度振幅は対数表示によると伝播距離とともに直線的に減衰するが、ハット型補強材が存在すると振幅は急激に減衰する。

(2) GFRPおよびCFRP板とも A_0 波の位相速度と周波数を測定することにより、その分散特性から板厚や層間剥離の検査が可能である。

(3) CFRP板の繊維含有率は S_0 波の定常波から計算した弾性波速度により推定でき、繊維含有率 V_f の直交積層板では $0.5V_f$ の一方向積層板の速度とほぼ等しい。