

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈推進性能部〉

**変形格子を使った有限体積法による
タンデム水中翼のシミュレーション**
Simulation of Tandem Hydrofoils by Finite
Volume Method with Moving Grid System
川島英幹、宮田秀明
平成8年5月
日本造船学会 日本造船学会論文集第179巻

ナビエ・ストークス方程式の直接解法による流体計算 (CFD) を水中翼船の運動シミュレーションに応用する方法を開発した。

水中翼船の運動予測は、翼単独の実験、計算で得られた性能を基に行なわれている。しかしその流体力学的特性は、水中翼同士、あるいは自由表面との干渉のため複雑である。また運動中の水中翼の過渡特性は、完全には明らかになってはいない。そのため、その運動の予測は大変難しい問題となっている。

そこで CFD により得られた流体力を用いて、水中翼船の運動方程式を時間刻み毎に解くことにより、運動シミュレーションを行なう方法を開発した。

この運動シミュレーション法の中で流体力を計算する数値流体計算法は、以下のような特徴を持つ。

- (1) 格子移動を考慮した ALE 型非圧縮性 Navier-Stokes の方程式と連続の式を用い、有限体積法によって離散化する。
- (2) MAC 法のアルゴリズムにより時間発展的な非定常問題を取り扱う。
- (3) 時間変化する、物体および自由表面に境界適合させた変形格子を用いる。
- (4) ベクトル成分をデカルト座標で定義する。
- (5) 圧力定義点を速度定義点が囲むスタッガード配置とする。
- (6) 圧力解法には SOR 法を用いる。
- (7) 乱流モデルとして Baldwin-Lomax モデルを用い、高 Reynolds 数の粘性流に対応させる。

このようにして得られた水中翼に加わる流体力を用い、以下の(1)から(5)の過程を経ることにより運動シミュレーションを行なう。

- (1) CFD により水中翼周りの流れを解く
- (2) (1)により得られた流体力により、水中翼船についての運動方程式を解き、変位を求める。
- (3) (2)により得られた変位に基づき、水中翼船を移動させる。
- (4) 水中翼の移動にあわせて、格子を変形させる。
- (5) (1)に戻り、各時間ステップ毎に、これらの手順を繰り返す。

本論文では、以下のような結論を得た。

- (1) 変形格子法を用いた有限体積法を非定常タンデム水中翼問題に適用し、その有用性を示した。
- (2) タンデム水中翼の制御問題に CFD と運動方程式を結合した方法を適用し、運動シミュレーションの新しい技術の可能性を示した。
- (3) 造波、放出渦、伴流等の翼干渉を考慮したシミュレーションがタンデム翼の特性理解に有用であることが示された。

**Dynamic SGS モデルを用いた
チャンネル流れの LES**
LES of Turbulent Channel Flow
using Dynamic SGS Model

日夏宗彦
平成8年5月
関西造船協会 関西造船協会誌

流体抵抗低減法の一つとして LEBU (Large Eddy Break Up Devices) と呼ばれる装置が提案されている。実験的な研究から、境界層内の渦の干渉により抵抗低減が実現されているといわれているが、LEBU 等の装置が抵抗低減に有効に働くメカニズムを解明するためには、より詳細な流場に対する知識が必要である。これを実験的に行おうとすると、かなりの困難を伴う。一方、近年発達した CFD を用いた数値解析による乱流解析が盛んに行われつつあり、乱流場の詳細な理解が進みつつある。CFD による乱流解析手法のうち、LES (Large Eddy Simulation) は工学的な実用性を有する手法であり、これを用いて LEBU 等の有効性を理解することは重要な課題である。

本研究は以上のような背景のもとに LES による乱流場の解析コードを開発し、計算法の妥当性を確かめた。乱流モデルには実用性が高いと思われる Dynamic SGS (Sub Grid Scale) を用いた。Dynamic SGS モデルは、乱流現象でよく観測される普遍的なエネルギーカスケードの理論を背景にしたもので、二つの異なった空間分割域でモデルの相似性を仮定するものである。このためモデル係数は解の一部として得られ、その結果、壁付近の乱流場から伴流域の乱流場に至るまで、数値計算上特別な工夫をすることなく良好な結果が得られることが期待される。

計算の対象としては実験データが整備され、他の研究者による計算例も多いチャンネル流れを取り上げた。今回得られた結果では、平均流速分布が実験データとよく一致していることが確かめられた。壁近傍の乱流強度分布は実験値と比べて小さく得られた。特に壁面に垂直方向に働く乱れ成分は過少評価であり、Dynamic SGS モデルの係数評価の数値計算の精度を向上させる必要があることがわかった。

しかし、乱流場の把握には十分な情報を与えることから、今回の手法を LEBU まわりの流れの解析にも十分利用しうる手法であると評価できる。

〈材料加工部〉

アルミニウム合金押出材構造の座屈強度

Axial Buckling Strength of Stiffened Panel
Structures with Aluminium Extrusions

松岡一祥、富田康光、田中義照

平成8年5月

軽金属溶接構造協会 平成8年度研究発表会講演集

アルミニウム合金船の外板構造には、5083S-H112による π -セクションが一般的である。しかし、近年、軽量化を目的として、6N01S-T5による薄肉幅広押出材、5083P-H321外板に5083S-H112バルブプレートを溶接して出荷する防撓パネル（プレリブドプレート）などが用いられるようになってきている。そこで、 π -セクション（5083S-H112）、プレリブドプレート（5083P-H321/S-H112）、中空押出材（6N01S-T5）を用いた外板構造モデルを製作し、その強度と軽量化効果について実験的に検討した。

実験結果を比較検討して、以下の結論を得た。

- (1) 5083S-H112による π -セクションと6N01S-T5による中空押出材を用いた一般的な外板構造の座屈強度は130MPa程度であり、110MPaの設計強度は適切である。
- (2) 上述の中で6N01S-T5による中空押出材を用いた外板構造は横部材との溶接部の補強を片側ブラケットで行っていた。その場合、ブラケットの取り付けられていない側の溶接軟化部に模型全般にわたる塑性関節が形成されていた。この塑性関節の形成を妨げるために、横部材の両側にブラケットを配置したところ、座屈強度は170MPa以上となった。6N01S-T5中空押出材により構造重量の軽減を図る場合には、溶接軟化域を補強するための詳細構造の検討が必要である。
- (3) 5083P-H321と5083S-H112によるプレリブドプレートの座屈強度はここで試験した断面では190MPaと大きかった。
- (4) 上述(2)および(3)の結果から外板構造の座屈の設計強度は、溶接軟化部に配慮した6N01S-T5中空押出材では145MPa、5083P-H321と5083S-H112によるプレリブドプレートでは170MPaと考えられる。しかし、この2つの構造に関しては試験した断面形状が限られているため、弾性座屈計算に対するジョンソン式による修正でこれらの数値を用いることを推奨する。

ホウ化チタンの高温酸化挙動

Oxidation Behavior of Titanium Boride
at Elevated Temperatures

千田哲也

平成8年8月

日本セラミックス協会学術論文誌 第104巻第8号

ホウ化チタンは高融点、高硬度の材料であり高温での耐摩耗性材料として有望である。ホウ化チタンの1000℃までの摩擦試験では、400℃付近で摩擦係数の上昇が、800℃以上で減少がみられた。前者は粘性の高い酸化物による凝着の増加によるもので、後者は酸化物の粘性の低下による潤滑効果と推定された。ホウ化チタンの酸化は高温摩擦摩耗特性に重要な影響を与えるが、酸化挙動は示差熱分析結果や摩擦面のX線回折結果から推定されているものの必ずしも明確ではない。そこで、ホウ化チタン粉末の高温X線回折と加熱条件を変えた場合の示差熱、熱天秤分析を行った結果から、高温酸化挙動について考察した。

示差熱分析では、10℃/minの昇温速度の場合には400℃以上で3つの発熱ピークしたが、2℃/minでは第1と第2のピークの区別がなくなりピークは2つになった。一方、重量変化はほぼ発熱ピークに対応して重量増加がみられた。高温X線回折では10℃/minで加熱して400℃から850℃の範囲で計測した。490℃以上で二酸化チタン（アナターゼ）が同定されたが、500℃付近ではピークはいずれも小さくなり550℃ですべてのピークが消滅した。さらに加熱するとホウ化チタンのピークはなくなり、二酸化チタン（ルチル）が現れ、アナターゼは800℃でみられなくなった。

450℃付近から550℃にかけての変化はホウ化チタンの酸化によるアナターゼの生成であり、昇温速度が高速の場合、急激な酸化による発熱のために一時的な温度上昇があり、そのために酸化が加速されて鋭い発熱ピークが生じるものと推定される。X線回折の550℃におけるピークの消失は、熱分析の発熱ピークの谷間に対応し、試料が粘性の高い酸化ホウ素融液に覆われたものとみられる。これは、この温度で保持したときに酸化速度が低くなることでも確かめられた。さらに加熱されると、酸化ホウ素の粘性が低下して表面コーティングの効が失われ酸化反応が再び起き、アナターゼからルチルへの相転移も同時に起きる。厳密な検証のためには酸化ホウ素の粘性に関するデータが必要であるが、酸化物によるコーティングの効果を想定した解釈は摩擦試験における酸化の影響の解釈ともよく対応する。

**Plastic Deformation during the Sliding Wear
of Alumina at Elevated Temperatures**

Tetsuya Senda, Hanning Xiao, John Drennan

アルミナの高温すべり摩耗における塑性変形

平成8年9月

Proceedings of International Tribology
Conference Yokohama 1995

高温での耐摩耗性材料として期待されるアルミナ(Al_2O_3)について、800°C以上で摩擦係数と摩耗量が低くなり、平滑な摩擦面が形成されていることが報告されている。このとき摩擦面には、もとの微構造とは異なる微細粒子の表面層が形成されていることが観察されており、本報告では、この表面層の形成プロセスと摩擦摩耗における役割を調べるために、すべり摩擦摩耗試験を行い表面層の微構造の観察を行った。

1000°Cでの摩擦試験で形成された摩擦面近傍を透過電子顕微鏡(TEM)で観察した。表面は粒径0.1 μm の α -アルミナ結晶からなっており、その直下には高密度の転位と双晶のある変形結晶粒子が存在した。転位のネットワークはセル状の構造を形成しており、セルの大きさは表面微細粒子の粒径と同等の0.1 μm であった。変形のないもとの構造との間には、さらに低密度の転位を有する結晶がみられた。

このような微細構造は金属の摩擦面の構造と似ており、変形粒子の上に微細粒子層が形成されているという特徴は、変形中に転位のネットワークがサブグレインを形成するという動的再結晶が起きていることを示唆している。変形粒子中のセル状構造の存在も、動的再結晶の裏付けと考えられる。試験温度を800°Cから1200°C、すべり速度を0.002m/sから0.2m/s、接触面圧を0.4MPaから1.2MPaの範囲で変えて摩擦試験を行った試料の表面の微細粒子径を測定した。動的再結晶のkineticsを支配するZener-Hollomonパラメータ(Z)と粒径との関係を両対数でプロットすると、Zが増加すると粒径が減少するという負の直線関係があり、その傾きは-0.21であった。これらの結果は、金属の高温加工でみられる動的再結晶組織の特徴とも一致し、摩擦面で動的再結晶が起きているという仮説を裏付けるものであった。表面の微細粒子層は粒界すべりなどによる変形抵抗が小さく、摩擦面のせん断応力を緩和して、摩耗量の低減がもたらされるものと考えられる。

〈システム技術部〉

**オブジェクト指向のツールによる
船舶航行シミュレーションシステムの構築**

Development of ship navigation simulation
system using a object oriented
system development tool

福戸淳司、今津隼馬

平成7年5月

日本航海学会 論文集93号

現在、外航船では混乗化が一般化しており、内航船においても、船員の高齢化と後継者不足の問題から、少人数化が進んでいる。このため、いろいろな航行支援装置が、実用化を目指して提案・開発されている。これらの航行支援機器の安全性の評価には、従来、操船シミュレータを用いたシナリオベースでの評価が行われてきた。しかし、操船シミュレータは、評価する上で操船者を必要とし、実時間でしかシミュレータ実験を行うことができないため、少量の限られた状況の評価しかできない。従って、今後有効な安全性評価をするためには、操船者のモデルを持つ構成船舶からなる船舶航行シミュレーションが必要となる。

このシミュレーションにおいては、1)船舶の運動や自然環境条件、交通環境等をモデル化して表現する機能表現のフレキシビリティ、2)船舶や操船者及び航行援助装置が持つ、いろいろなグレードの機能を階層的に表現する機能、3)評価に必要な状態量等を任意の時間に容易に引き出せる機能等の機能が要求される。

本発表では、安全性評価に必要な船舶航行シミュレーションシステムの基礎部分を、オブジェクト指向システム開発ツール"G2"を用いて開発したので、その概要を示すとともに、来島海峡についてのシミュレーション結果を紹介する。

シミュレーションの構成要素は、船舶、自然環境、交通環境が挙げられ、各要素について要素の洗い出しを行った。船舶は、船舶自体、操船者、航行援助装置から構成され、情報の収集、行動判断、操船等の機能を階層的にモジュール化して表現している。自然環境及び交通環境も同様に必要な要素は、モデル化して持ち、実際に近い状況を模擬できる。

このシステムを用いて、来島海峡におけるシミュレーションを行った。このシミュレーションでは、架橋工事のため1時間程度の通行禁止の影響を調べた。通行禁止については、周知徹底されているものとし、各船が時間調整して、対処するとした場合の影響についての結果を得た。

今後は、機能のブラッシュアップを図り、船舶の機能の面から評価が可能なシステムにする予定である。

安全について（内航タンカー近代化船特集）

Safety on Navigation
for Advanced Coastal Tanker

伊藤泰義

平成8年1月

(株)日本造船学会 日本造船学会誌第799号

近代化船の目標の一つは、自動化システムによって乗組員の作業負担を減らし、安全性と経済性を向上することである。しかし、ただ乗組員の作業を自動化機器に置き換えただけの自動化システムでは、必ずしも安全性は向上しない。近代化船は、人間と機械が協力する人間・機械システムとして見て、その安全性を評価し、改善していかねばならない。船舶の安全性の評価は、システム構成要素である乗組員や機械に過誤があっても、システムである船舶は、航行時、着離散時、荷役時等のそれぞれのモードで、船舶の機能を損なう外乱に対して、これらの影響が船舶に及ばないようなシステムとなっているかを検討することである。近代化船は、人間の知的作業を自動化システムで置き換えてたりして機械側の能力を高めた結果、乗組員一人の役割が相対的に高まり、その一動作が船舶の運命を容易に左右しかねないシステムとなっている。人間の役割が非常に重要となっている人間・機械系の安全性を保つには、マン・マシン・インターフェースを含めた機械側の過誤については、冗長系を構成することで動作の信頼性を上げたり、人間側が機械側の過誤を検知してその対応策をとれるようにすることで、安全性を確保する。しかし、人間側の冗長系を構成できない（複数の乗組員での当直体制が取れない）ほど人数の少ない乗組員で運航される近代化船は、乗組員のヒューマンエラーの影響を軽減し、補完するため対策を講じる必要がある。そうした対策として、近代化船の自動化システムは、乗組員の一連の運転作業である①検出（監視等情報収集）、②判断（状態判断、避航判断、対策等情報加工と行動決定）、③操作（操舵等情報伝達記録）の各作業において、余裕を生み、安全性を増すことが満足にできるよう支援する機能を持つように、たとえば乗組員がエラーをしても、それを修正し、補完し、エラーが起きていることを報知する機能をも合わせ持つように設計されることが必要となる。

この自動化システムの設計において、考えるエラーを

- a) 人間側が主とした原因となるヒューマンエラー
- b) 人間側と機械側との接点の原因となるヒューマンエラー
 - b1) 機械側が人間側に情報をわたす際に発生するヒューマンエラー
 - b2) 人間側が機械側に情報をわたす際に発生するヒューマンエラー
- c) 機械側が主とした原因となるヒューマンエラーという、エラー発生の原因や場所で分類して対処策を考えることが必要である。

高速船と一般船の見合い実験

－実船実験とシミュレータ実験－

Encounter Experiment between High Speed
Craft and Ordinary Speed Ship

－Onboard Experiment and Ship

Handling Simulator one－

宮崎恵子、沼野正義、田中邦彦、伊藤泰義

平成8年5月

The Japan Institute of Navigation

The Proceedings of the 94th Conference
of the Japan Institute of Navigation

テクノスーパーライナー技術協同組合が実施する実海域実験船（以下、TSL 飛翔という）を用いた総合実験が平成7年に実施された。この総合実験の一環として、船舶技術研究所は、TSL 飛翔と一般船との見合い実船実験を行い、一般船との遭遇による避航開始距離、航過距離等を実測した。また、TSL 飛翔の避航操船行動に対する一般船からの視認性を調べるための実験も行った。これらの実船実験に先立って、船舶技術研究所にある操船シミュレータを用いて、TSL 飛翔と一般船との見合いシミュレータ実験を行い、実船実験のためのシナリオ作成や結果の比較、安全な航行方法の検討等を行った。一般船としては、北斗丸、淡路丸、銀河丸、深江丸に実船実験とシミュレータ実験の両方にご協力いただいた。

実船実験に先立って、状況の理解および慣熟、さらに実船実験のシナリオの検討、修正と決定のために船舶技術研究所にある操船シミュレータを用いて、TSL 飛翔と一般船との見合いシミュレータ実験を行った。各実験中と終了後にインタビューを実施して、シナリオの検討と安全な航行方法の検討を進めた。安全な航行方法の検討のためには、各実験終了後に、操船者にはアンケート調査票に答えていただいた。実船実験においても、同様のアンケートを実施した。また、TSL 飛翔の避航操船行動に対する一般船からの視認性を調べるための実験を実施した。

シミュレータ実験において、実船実験に備えての、目的と状況の理解、実施要領の理解が、一般船とTSL 飛翔の両方とも効果的に行うことができた。また、シナリオの検討、修正、決定においても大きな役割を果たした。しかし、高速船の高速航行には、相手船の向き等の遠方の情報を必要とする。現状のシミュレータ実験では限界があり、操船シミュレータの景観画像に表示する相手船自体のサイズを、ある関数に沿って変化させるなどの対策をとることを検討している。さらに、高速船が一般船の船尾を航過するという避航動作が、一般船からの視認性には優れていることが明らかになり、実船実験において、このことが確認された。さらに、高速船の避航開始距離と高速船に対して一般船が感じる最大脅威のレベルとの関係等が求められた。これにより、高速船の安全な航行方法について検討し、モデル化へと進めることができた。

〈原子力技術部〉

**An Analysis of a Dynamic System
by the GO-FLOW Methodology**

GO-FLOW 手法による動的システムの解析
松岡 猛、小林道幸
平成8年6月

Proc. of Int. Conf. on Probabilistic Safety
Assessment and Management (PSAM-III)

船舶技術研究所で開発を進めている GO-FLOW システム信頼性解析手法により動的システムの信頼性解析が容易に実施できる事についての発表である。

論文においては、まず動的システムの解析の必要性、重要性について述べ、次に動的システムとは何かの定義を与えている。

動的システムのサンプル問題としては、Aldemir (オハイオ大学) により取り上げられたホールドアップタンクがあり、動的システム解析の多数の研究者により解析が実施されている。本論文でもこの問題を対象に解析を実施した。システムは2台のポンプと一個の弁より構成されている(図参照)。通常はポンプ1台により水を供給し、流出配管から同量の水を弁を通して排出し、タンクの中の水位を一定に保っている。故障の発生に対応して、補助ポンプの起動、弁の開閉操作等を行い水位を一定に保つことを目標とする。時間経過に伴い、水位が保持される確率、溢れる確率、空になる確率を求める事が与えられた課題となる。

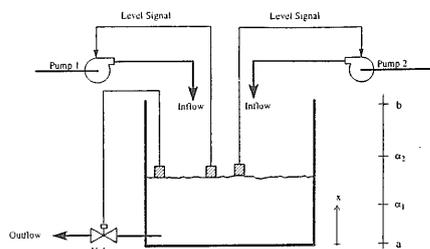
故障状態としてはポンプの故障停止、故障による暴走運転、弁の開固着、閉固着を考慮。故障率としてはポンプ1の運転中の故障を0.004562/h、ポンプ2の運転中の故障を0.005714/h、待機中の故障を0.000571/h、弁の故障率を0.003125/hとした。また、ポンプ2の供給量はポンプ1の半分とした。

このシステムに対応した GO-FLOW チャートを与え、ポンプ、弁のモデル化の方法を詳しく述べている。タンクの水位をプロセス量として取り上げ、水位の変化に要する時間を GO-FLOW チャートの中でモデル化するため遅延オペレータを導入した。ポンプ2については運転中の故障と待機中の故障を考慮してある。弁の開固着の場合はポンプ1、2共停止させる。ポンプ1の故障停止の場合は弁を閉じる、ポンプ2を起動させる等の対応操作も GO-FLOW チャート中にモデル化され、表現されている。

タンクの水位の状態、及び機器の動作状態の組み合わせによりシステム状態を10に分類し、最終信号線として表現した。各最終信号線は機器の故障状態の組み合わせの複数組により構成されている。

解析結果として、0-115時間の間における各システム状態の出現確率のグラフを与えてある。

本論文により GO-FLOW が動的システムの解析も容易に実施できることが示され、PSA におけるシステム解析の手法として有用な手法であることがわかった。



**On-Board Experiment and Monte Carlo
Analysis of Dose Equivalent Rate Distribution
in the LLW Shipping Vessel "Seiei Maru"**

低レベル放射性廃棄物運搬船“青栄丸”による
線量当量率分布の実船実験とそのモンテカルロ解析
植木紘太郎、大橋厚人、笹尾正士、
讃井敏光、布施卓嘉
平成7年12月

PATRAM'95 Proc. of the 11th Int.
of the Packaging and Transportation
of Radioactive Materials

本報告は低レベル廃棄物(LLW)運搬船“青栄丸”による実船実験によって船内外のガンマ線線量当量率を測定し、モンテカルロコード MCNP 4A で解析したものである。線量当量率の測定はまた“青栄丸”がむつ小川原港に入港時に岸壁において行っており、これによってスカイシャインの寄与を調べた。

“青栄丸”は7つの船倉があり、合計384個のコンテナが積載でき、3,072本のLLWドラム缶を輸送することができる。

線量当量率の測定はアロカ社のシンチレーションサーベイメータを用い、ハッチカバー上を中心に、居住区についても実施した。ハッチカバー上のモンテカルロ法による解析は2通りについて行った。1つはモンテカルロ法の特長を十分引き出すため、1船倉に積載される60個のLLWコンテナについてそれぞれ1個のコンテナに収納される8本のLLWドラム缶を4本ずつ2ブロックに束ね、線源強度は各コンテナ毎に与えた非均質モデルであり、もう1つは船倉に積載される60個のLLWコンテナ領域を空間も含め一様にした均質モデルによる計算である。この均質モデルは従来から用いられる点減衰核コード QAD やディスクオーディネイトコード ANISN や DOT 3.5 によっても計算することができるが、非均質モデルについてはモンテカルロ法によってのみ可能である。

本研究によって次のような結論を得ることができた。

1. LLW 積載領域を非均質化したモデルをモンテカルロ法で解析することにより、実験値と比較し良い一致が得られたが、均質モデルによるモンテカルロ解析では測定値に対し5倍程度過大評価になった。
2. 本研究からハッチカバー表面上における最大線量当量率は $2.5 \mu\text{Sv/h}$ を越えないものと推定される。規則上の制限値は $2,000 \mu\text{Sv/h}$ であり、安全ファクターは800である。また、“青栄丸”から50m離れた岸壁上における最大線量当量率は $0.05 \mu\text{Sv/h}$ であり、年間でも 0.438mSv/y である。したがって、本船の公衆に対する放射線被曝は十分安全である。
3. 岸壁上の測定からスカイシャインの寄与を判別することが困難であったので、その寄与を MCNP 4A コードで計算し、推定した。その結果、岸壁上でのスカイシャインの寄与は本船のハッチカバー開の状態でおおよそ11%であると推定された。

Monte Carlo Analysis for On-Board
Experiment of the LLW Shipping
Vessel Seiei Maru

低レベル放射性廃棄物運搬船“青栄丸”
による実船実験のモンテカルロ解析
植木紘太郎、大橋厚人、成山展照、
笹尾正士、讃井敏光、布施卓嘉
平成8年4月

Proc. of the Topical Meeting on
Radiation Protection and Shielding

本報告は低レベル廃棄物（LLW）運搬船“青栄丸”
による実船実験を行い、船内のガンマ線量当量率分布
を測定し、その結果をモンテカルロ法で解析したも
のである。また、スカイシャインの寄与を調べるため、
青栄丸がむつ小川原港に入港した際、岸壁で線量当量
率を測定している。

実船実験の解析には NESX (next event surface
crossing) エスティメータを使った連続エネルギー
モンテカルロコード MCNP 4A を用いた。解析は、モン
テカルロ法の特長を十分引き出すため、1 船倉に積
載された 60 個の LLW コンテナについて、1 個の
コンテナに収納された 8 本の LLW ドラム缶を 4 本
ずつ 2 つのブロックに束ね、線源強度を各コンテナ
毎に与えるところの非均質モデルと、1 船倉に積載さ
れた 60 個の LLW コンテナ領域を空間も含め一様
にした均質モデルによるものと、2 通り行い、その結
果を比較検討した。

本研究から次のような結論が得られた。

1. LLW 線源領域の非均質モデルによるモンテカル
ロ解析はハッチカバー上の測定値と比較し良い一致
を示した。一方、均質モデルを使った解析は測定値
を 2.25~7.5 倍過大評価になった。
2. 本研究から推算すると、ハッチカバー上の最高線
量当量率は $2.5 \mu\text{Sv/h}$ を超えることはない。一方、
その点における規制値は $2,000 \mu\text{Sv/h}$ である。し
たがって、安全ファクターは 800 以上になる。また、
青栄丸から 50m 離れた岸壁上の線量当量率は 0.05
 $\mu\text{Sv/h}$ を超えないので、年間にしても 0.438mSv
 $/\text{y}$ である。したがって、本船の放射線安全性は十
分担保されている。
3. 岸壁における本船からのスカイシャインの寄与は
測定では明らかにならなかったため、モンテカルロ
計算によって推定した。その結果、ハッチカバー開
の状態でのスカイシャインの寄与はおおよそ 11% で
あると推定された。

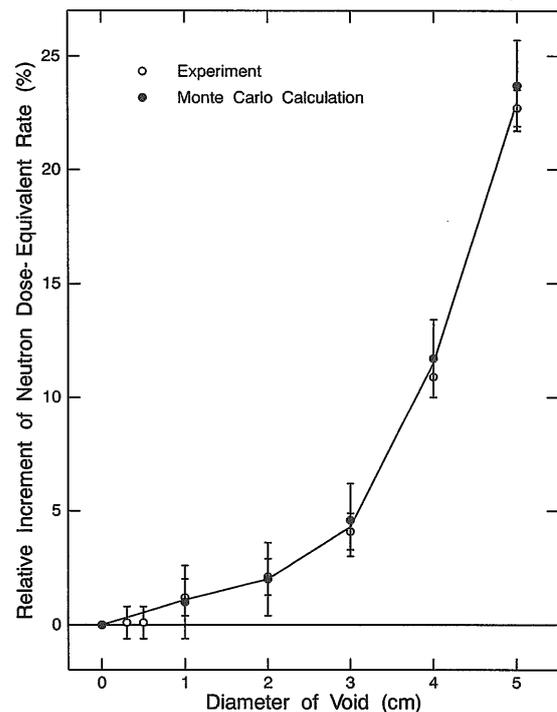
中性子遮蔽体中に存在する
ボイドの検出とその線量評価

Detection of Void in a Neutron Shielding
Material and Its Effect to Neutron
Dose-Equivalent Rate
植木紘太郎、大橋厚人、永山 哲、藤田 忠
平成8年6月
日本非破壊検査協会 放射線分科会予稿集

高燃焼度使用済燃料輸送容器の中性子遮蔽材として
NS-4-FR というエポキシ系レジンが我が国で使用さ
れることになった。この NS-4-FR は主剤と硬化剤を
ミキシングして常温で固化するので、僅かではあるが
固化した NS-4-FR 中にボイドが存在することがある。
本研究は輸送容器の放射線安全性の観点から人工的に
ボイドを模擬したプラグを作製し、これを健全な NS-
4-FR の中心部に差し込み、ボイドの大きさを変えな
がら遮蔽体系を透過した中性子線量当量率を測定した。

実験の解析には、連続エネルギーモンテカルロコ
ード MCNP 4A を用いた。その結果、NS-4-FR 1 枚
(5 cm 厚) の場合、ボイドの大きさが $1 \text{ cm}^{\phi} \times 1 \text{ cm}$
以上あれば健全な部位より線量当量率の増加が検出でき
ることが明らかになった。また、ボイドの大きさが 5
 $\text{ cm}^{\phi} \times 5 \text{ cm}$ では 25% 程度の増加になることが分った。

下図は NS-4-FR 単独使用の場合のボイドの大きさと
中性子線量当量率の相対的増加との関係を示したも
ので、実験とモンテカルロ計算を比較している。



NS-4-FR 単独使用の場合のボイドの大きさと中性子線量当量率
相対的増加との関係

〈海洋開発工学部〉

**Critical Heat Flux of Subcooled
Flow Boiling in Swirl Tubes
Relevant to High Heat
Flux Components**

高熱流速機器に対する旋回流管の
サブクール沸騰限界熱流速
稲坂富士夫、成合英樹
平成8年7月

American Nuclear Society,
FUSION TECHNOLOGY,
Vol.29, No.4, July, 1996

**Response Statistics of Moored Floating
Structures subjected to General
Nonlinear Random Wave Forces**

一般の非線形不規則波力を受ける浮体の応答統計
加藤俊司、岡崎 卓

平成8年8月

Proceedings of the 7th Specialty Conference
on Probabilistic Mechanics
and Structural Reliability ASCE

核融合炉のプラズマ対向機器は、従来の工業機器と比べ数十倍の定常的高熱負荷を受けることが想定されており、強制冷却が必要不可欠となる。しかもこの熱は、片側から入射してくるので、冷却材は非均一に加熱されることになり、非均一加熱条件下の高熱負荷に対する除熱限界を明らかにすることが、研究開発において最も重要な課題の1つとなっている。本研究は、除熱法の1つとして有望視されている水を用いた場合のねじりテープ挿入管に対する除熱限界、およびそのメカニズムを解明することを目的としたもので、核融合炉機器を代表とする高熱流速機器の非均一加熱に対する除熱設計指針を与えるものである。

冷却材流路内にねじりテープを挿入した旋回流管を用いた場合の除熱限界促進効果は、均一加熱条件では低圧では顕著であるが、圧力が1.0MPa以上になるとほとんど消滅してしまうのに対し、非均一加熱条件では圧力2.0MPa近傍までは保たれることを示した。また、非均一加熱条件の除熱限界増倍率は、非均一加熱の度合いが大きくなるほど大きくなるため、除熱限界を予測するには、新たに増倍因子を考慮する必要があることを示した。旋回流管内では、冷却材はねじりテープに沿って旋回して流れるため、非均一加熱の度合いが大きい場合には、増倍因子として低熱流速領域での気泡境界層の消滅が考えられることを明らかにした。

また、冷却管として円管、矩形管の形状を変えた場合の入射熱流速に対する冷却材加熱面の熱流速分布を数値計算し、その非均一加熱度を求めることにより除熱限界を求め、より大きい除熱限界が得られる冷却構造の熱的設計指針を与えた。

一般に係留浮体に作用する波力は、自由表面及び物体表面の非線形性により、非線形となる。代表的な非線形波力は2次の波力である。2次の波力とは、波高の2乗に比例する波力であり、この力は、2成分波の差の周波数成分を持つ波力と和の周波数成分を持つ波力に分けられる。前者は、弛緩係留浮体の水平面内低周波数同調現象である長周期運動の原因になり、後者は、TLP(鋼管で海底から緊張状態で係留された構造物)の高周波数同調現象であるスプリング現象の起振源となることが知られている。また、最近問題となっているTLPあるいは重力式構造物のリング現象(バースト現象を伴う高周波数同調現象)は3次の波力によるものではないかと言われている。こうした高次非線形波力を受ける係留浮体の不規則波中応答を予測することは、構造物の安全性評価の面から重要であるが、現在のところほとんど研究されていない。というのは、研究の中心がそうした非線形波力の発生メカニズムや力学モデルの確立にあり、その先の確率応答や安全性評価の点で重要な動的信頼性の予測に至っては全く手法がないことが主な理由のようである。本論は、そうした一般の非線形外力の特性がわかった場合を想定し、一般の非線形外力を受ける係留浮体の安全性評価法を示したものである。その方法とは、一般化フォッカープラנק方程式を繰り込み摂動近似で解く方法である。最大極値の超過確率(未超過確率が動的信頼性の確率になる)を求めることは、応答の定常性を仮定すれば、応答変位と応答速度の結合確率密度を求めることに他ならない。非線形外力が白色雑音から生成されるとすれば、この結合確率密度の時間推移は、変位、速度および外力を変数とする非線形拡散方程式(フォッカープラנק方程式)で表されるが、これを射影演算子を用いると変位と速度のみの支配方程式(一般化フォッカープラנק方程式)に変換することができる。この方程式を解析的に解く為に、本論では特異摂動法(一種である繰り込み摂動法(非ガウス性を表す外力の高次モーメントを低次(2次)モーメントに繰り込む))を用いた。この方法を具体的に非ガウス外力である2次波力を受ける浮体係留システムの最大極値の超過確率推定に応用した。その結果、2次波力を受ける場合は、応答の確率密度はガウス型ではなくピアソンIV型で表される事また同一超過確率の条件下において線形な波力のみと仮定したものよりも応答変位にして倍大きくなること等が判った。さらに、運動方程式の減衰力が大きくなればなるほど2次の波力を受ける場合の超過確率は線形な波力のみと仮定したものよりも裾が広がるが、減衰力を小さくするかあるいは係留復原力を大きくすると線形波力のみと仮定した超過確率に漸近する。こうした結果は、すでにNaessによって数値的に調べられていたが、本法は解析的にその結果を検証したことになり、任意の非線形外力に対しても本法が適用できる可能性がある。

大波高時の波浪の統計的性質について
 - 方向分散性の影響 -

On Statistical Properties of Wave Amplitudes
 in Stormy Sea-Effect of Shortcrestedness-

吉元博文

平成 8 年 5 月

日本造船学会 日本造船学会論文集 178 号

実際の海域で船舶あるいは海洋構造物が遭遇する海洋波は極めて不規則な変動をする。その特性の解明は、海洋波を線形確率過程として扱うことによって飛躍的に進展してきた。しかしながら、これは微小振幅波理論を基礎とするものであり、海洋波の非線形性が無視できない場合、例えば、大波高の波が発生するような厳しい海象状態に対しては適用することができない。本論文は、こうした海洋波の非線形性が無視できない場合の確率論的予測法の開発を目的とするものであり、第13回海洋工学シンポジウム（平成7年）で発表した論文の続報である。

前線では、海洋波を長波頂不規則波としてモデル化して、海洋波の2次までの非線形性を厳密に取り入れた予測法を示した。そして、これを実海域で計測された波浪データに適用し、大波高時の波浪の統計的性質をほぼ説明しうることを示したが、海洋波のモデルに関する問題が残された。すなわち、予測に用いた海洋波のモデルと実際の海域で観測される海洋波の相違である。周知のように、実際の海域で観測される海洋波は長波頂波ではなく波峰線が短く切れた短波頂波であり、これはさまざまな方向からの成分波が重なり合うこと（海洋波の方向分散性）によって生じるものと解釈されている。従って、海洋波の統計的性質の予測法を確立するうえにおいて、方向分散性が海洋波の統計的性質にどのような影響を及ぼすかを明らかにすることは避けて通ることのできない問題である。本論文は、こうした方向分散性の影響に言及したものであり、前報の手法を拡張し、海洋波の方向分散性の影響並びに2次の非線形性を厳密に取り入れた手法を示している。それを基に、シミュレーション並びに実海域で取得された波浪データをもとに検討を行った。その結果、2次の成分波そのものは方向分散性の影響をうけるが、全体としては長波頂不規則波の場合とさほどかわらないことが判明した。検討の結果の一例を図-1に示す。

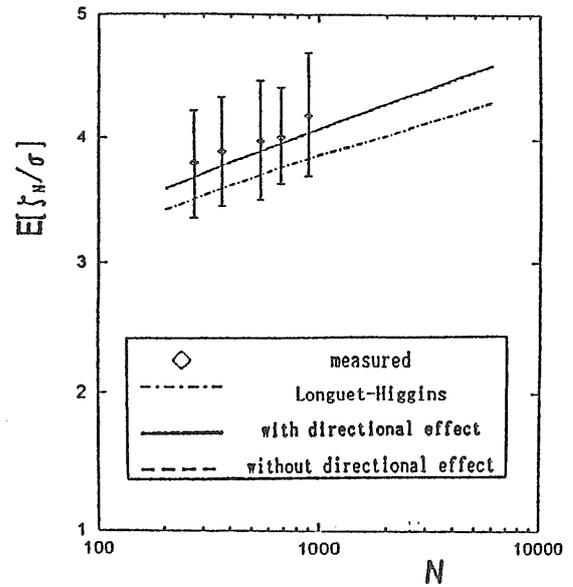


図-1 山側の振幅のN波中の最大期待値 (◇: 観測値、---: 線形理論、—: 非線形理論 (短波頂不規則波)、- · - ·: 非線形理論 (長波頂不規則波))

〈水海技術部〉

流出油の回収技術に関する研究

Recovery of Spilled Oil

上田浩一

平成8年5月

日本船用機関学会 第56回学術講演会・講演予稿集

流出油の回収は現象が複雑で、流出油回収船の厳密な相似則に基づく模型試験方法により実際の回収船の回収性能を評価することは難しい。回収部の模型により回収性能を把握するには双胴船型の流出油の回収部の模型幅の縮尺及び回収部の油の堰止め部の喫水の影響を把握しておく必要がある。回収部に滞留する油の基本的なパラメータとしては油の密度、流出量、流速があげられる。模型実験を行う場合、これらのパラメータを無次元化した油層フルード数で、ある程度双胴船型の流出油回収部の油層の状況の相似性を表すことができる。

そこで流出油回収部の模型の幅の影響、回収部の油層堰止め部の喫水の影響、堰止められた滞留油層の状態について今まで得た実験結果を基に検討した。その結果以下のことがわかった。流出油回収部の縮尺については流出油の粘度が100cst程度までは、双胴船型の回収部のコの字型部分の幅を約30cm程度まで縮尺しても縮尺の影響は少なく、回収部の堰の喫水の深さについても、その深さが堰の前方の油層に与える影響は小さい。堰止められて滞留した油層の状況については油層フルード数と無次元油層長さで比較的良く表すことができる。この油層フルード数が0.8前後で漏油の現象が現れる。この油層フルード数で回収部の油層の状態を表せばよい。

付着回収方式については、表層油の流れはベルトの動きによる微妙な流れの影響を受けるため、油層の流れ同一方向にベルトを動かせること、油が付着する面は水に接触させないように回収する。ベルト式回収機で回収する場合、油の粘度が大きくなると回収量は増加するが、回収部へ表層油が流れ難くなるため、動粘性係数 $\nu=10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度の油が付着回収に適している。また、ベルトによる単位幅当たりの推定回収量を示した。

さらに高粘性油について検討していく必要があるため、水と油の密度比を変えないで、油の粘度のみを変えるため、温度を変えて行った油層の形状及び回流水槽での粘性の高い油の流れの状況について示した。

ケミカルタンカーのタンク洗浄システム

Tank Washing System of Chemical Tanker

上田浩一

平成8年7月

日本機械学会 第6回環境工学総合シンポジウム '96

ケミカルタンカーで液体化学物質を輸送後、次に異なる物質を輸送する場合、タンク洗浄が行われる。この洗浄廃水の海洋への排出は海洋汚染防止のため規制されている。有害性の高い物質は洗浄排水中の残液濃度が定められた濃度になるまで陸上に揚げて処理し、その濃度以下の洗浄廃水については定められた条件下で海洋への排出が認められている。そこで実船により洗浄排水中の残液濃度と洗浄水量の関係及びタンク・配管内の残液について調査した。その結果と、国際海事機関(IMO)の推定式による必要洗浄水量と比較検討し、残液濃度が0.1%まで洗浄するのに必要な洗浄水量はIMOの算定式より少量で洗浄できることを確認した。これは主にタンク・配管内の残液量の低減化がなされたことによる。洗浄水と残液が均一に混合しているとしたモデルを、実験結果から得た係数を用いて修正し、タンクの大きさ毎の必要洗浄水量を推定し、IMOの推定式と比較した。ケミカルタンカーに数個のタンクがあり、ポンプ配管が2系統ある場合、同じ配管系統で、配管内が洗浄された後の2番目以後と最初のタンクの場合を分けて考え、2番目以後のタンクは最初のタンクより約30%程度少量の洗浄水で洗浄できることを示した。

さらにタンク洗浄水量を減らすために、各タンクを独立ポンプ・配管にした場合の必要洗浄水量の推定、及び洗浄機のノズル口径を細くした少量型の洗浄機にした場合の必要洗浄水量について検討した。

枝管やストレーナー等の淀み域をなくする独立ポンプ配管方式及びノズル口径を $\phi 4\text{mm}$ および $\phi 2.5\text{mm}$ にすることによりさらに洗浄水量が低減できることを示した。

巡視船による1996年2月のオホーツク海
氷況観測結果について

Observation of Sea Ice Situations in the Sea
of Okhotsk on Patrol Vessel, in February 1996

下田春人、宇都正太郎

平成8年7月

国立極地研究所 第19回極域気水圏シンポジウム
プログラム・講演要旨

砕氷型巡視船「てしお」他が参加したオホーツク海実船実験が1996年2月23日から28日にかけて宗谷岬の東40～80マイルの海域で行われた。船舶技術研究所の氷況観測の項目としては、氷厚、氷盤密接度、積雪厚（以上、VTR及び目視）、計測時船位（GPS）、氷温度、氷塩分濃度（以上、氷塊採取後厚さ方向に5～10cm間隔で計測）、氷塊採取位置（GPS）がある。本論では氷厚分布特性について考察した。

計測海域の氷況は密接度が9～10/10で大氷盤、巨氷盤と呼ばれる径数km以上の氷盤が中心であった。これらの氷況を表面状態から、一様に平坦な表面を持つ水域（Type A）、一様に数10cmオーダーの凹凸を持つ水域（C）、及びそれ以外の水域（B）、の3種類に分類した。氷況観測及び氷厚計測結果から、Type Aは平均氷厚20cm程度で、現場海域近くで結氷した板状軟水、Type Bは氷厚面に積雪によると思われる層構造が見られたり、いかだ氷による2層構造や氷丘の形成が部分的に認められて、全体的にはType Aがさらに成長発達したもの、Type Cは氷丘化が全体的に及んだ水域であった。

今回の実験で得られた全ての氷厚データから求めた確率密度関数から、氷厚分布は氷厚40cm以上の領域で近似的に次式の指数分布で与えられることがわかった。

$$p(h) \Delta h = \alpha \exp(-\beta h) \Delta h$$

そこで上述した3種類の水域毎に氷厚分布の確率密度を求めた。その結果Type Aの確率密度は正規分布に近く、氷丘化が進んだType Cは氷厚50cm以上での確率密度が指数分布に最も良く当てはまった。このことから氷丘化の程度が指数関数的な分布特性を生み出すパラメーターの一つと考えられる。

「船のメンテナンス技術」

第6章 海洋構造物の保守管理

Chapter 6 Maintenance of Offshore Structure
out of "Maintenance Technology of Ships"

在田正義

平成8年7月

成山堂書店

船舶のメンテナンスの実際に関心を持つ船研、東大、三菱重工、石川島播磨重工の学者、研究者、技術者が「メンテナンス研究会」に集まり、船舶のメンテナンスの向上について検討を重ねてきたが、その成果をまとめて「船のメンテナンス技術」（仮称）という本を刊行することになった。「海洋構造物の保守管理」はその第6章として書いたものである。全体構成は、海洋構造物の保守管理の特徴、事故例、保守管理システム、検査手法の実際、修理、保守管理費、保守管理に関する研究とその成果から成っている。

海洋構造物の保守管理は、ドックに入れない、長期の安定した防食が必要、付着生物対策が必要、潜水夫による作業が多いことである。海洋構造物の事故に関しては、事故の特徴を述べた後、アレキサンダー・キーランド号、パイパー・アルファ号事故の例を示し、いずれも保守管理のミスが増大原因であることを指摘した。

保守管理システムについては、保守すべき海洋構造物の構成が、井戸口、パイプライン、ライザー管、リグ本体等、種々の構造の部分から成り立っていることと各部分の保守管理の特徴を示した。また、保守管理の方式として、海洋構造物上に勤務する者だけによる方式と、適宜他からの応援を求める方式があり、それぞれの特徴があることを述べた。また、検査の実際では、船舶の検査で用いられる外観、X線検査以外に、潜水夫による検査があり、その方法を示した。

修理は、現地修理とドックでの修理があり、それぞれの特徴を示した。また保守管理費に関しては、文献から、稼働に必要な経費の相当の割合を占めることを述べた。また、具体的な例として上五島石油備蓄基地の場合を取り上げ、実際にどんな施設が必要であるのかを示した。

保守管理に関する研究としては、防食、寿命評価、保守管理システム等に関する内外の研究と将来方向を示した。さらに、船研で行ったポセイドン号による保守管理実験の概要、得られた成果を示し、良好な保守管理を行うためには、保守管理を考えた設計、建造、検査（初期値の計測）が必要なことを強調した。