所外発表論文等概要

＜推進性能部＞

ナビエ・ストークス解による流体力学的形状最適化

Fluid Dynamic Shape Optimization
by Navier-Stokes Solutions

日野孝則

平成９年12月
第11回数値流体力学シンポジウム講演論文集

流体力学的形状最適化は、いくつかの設計変数で表現される形状について、ある制約条件の下でその流体力学的な性能（目的関数）が最適になるような設計変数の組み合わせを探索する手続きである。

CFDを用いた形状最適化では、流れ場は非線形のナビエ・ストークス方程式に支配されているので、目的関数は設計変数の非線形関数となり、最適化手法としては非線形計画法を用いる必要がある。

最適化の中の要素技術にはNSソルバーと格子生成、およびCFD解の感度解析技術などのCFD関連技術と、設計変数と物体形状を結び付ける形状表現および形状変更などCADと関連が深い技術がある。さらに、これらを結び付けて実際の最適化を行なう部分として非線形計画法がある。ここでは、高効率のNSソルバーと反復法による Adjoint Equation 解法を逐次2次計画法（SQP）と組合せることで、３次元流体力学的形状最適化システムを構築した。

３次元最適化システムの動作確認のために水線面形状と肋骨線形状がそれぞれ多項式で表される数式船型を対象として、粘性抵抗を最小化する最適化問題に適用した。設計変数は水線面形状を表す多項式の係数（５個）とし、制約条件として、排水量一定の条件と船体中央部の水線幅が非負という条件を課して最適化を行った。その結果、前後対称の放物線で水線面が構成される初期船型と比べて約５％の粘性抵抗低減となる最終船型を得た。

今後はスプライン関数を用いた形状表現を取り込み、実用船型まわりの最適化システムとしての機能を充実させるとともに、自由表面対応のNSソルバーを用いることで造波抵抗を含む抵抗最小化を可能にする予定である。

３次元非圧縮NS方程式の高速解法

Fast Solution Algorithm for Three-Dimensional
Incompressible NS Equations

日野孝則、平田信行

平成９年12月
第11回数値流体力学シンポジウム講演論文集

この十数年で数値流体力学（CFD）は飛躍的に発達し、現在では高い解像度を持つ３次元 Navier-Stokes（NS）ソルバーを複雑形状まわりの実際的な流れ問題に適用するまでになってきた。しかし、工学的な高レイノルズ数流れ（10^9のオーダー）を解析するためには、計算格子の間隔を非常に小さくする必要があり、格子セルのアスペクト比が極端に大きくなる。このような格子を用いると、従来の収束計算では計算効率が急激に悪化し、多大な計算コストを要することが多い。そこで、NSソルバーを工学設計ツールとして用いるために、高精度で広い範囲の問題に適用でき、かつ、ワークステーションでも実行可能な高効率の計算法を開発する。

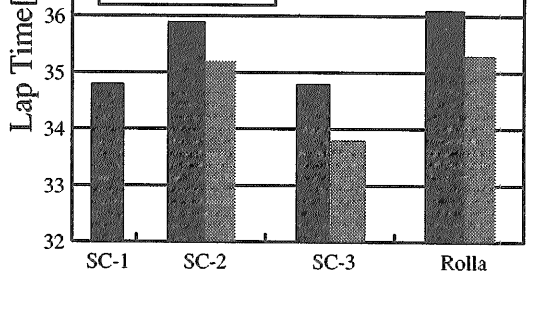
開発した計算手法は、時間積分に Euler Implicit 法を、空間離散化には有限体積法を用いている。また、空間精度は非粘性項については、３次精度の風上差分、粘性項は２次中心差分をそれぞれ用いている。連立方程式解法は、対称 Gauss-Seidel 法であり、収束加速のために多重格子法および局所時間刻みを適用した。

タンカーまわりの自由表面のない流に対して、既存の計算手法と計算精度および収束性の比較を行なった。その結果、本手法によれば粘性抵抗に関し既存の計算手法とほぼ同程度の精度を維持しながら、収束までの計算時間を大幅に短縮できることが分かった。

Design of Supercavitating Propeller for a Racing Boat
競艇用プロペラへの
スーパーキャビテーティング・プロペラの応用
工藤達郎、右近良孝
平成10年4月
Proceedings of Third International Symposium on Cavitation

著者等は従来に比べて格段に高性能なスーパーキャビテーティング・プロペラ（以下、SCPという）の設計法を最近開発した。しかしながら、設計の検証は模型試験でしか行われていなかったので、本論文では実機への応用及び実艇による検証試験を試みた。競艇では新たに大型化、高速化を目指したボートを開発中であり、本論文ではその競艇ボート用のSCPを２個設計した。１ヶ目のSCP（SC-2）は実艇試験の結果、従来のチャート式設計法で設計されたプロペラ（SC－1）と同程度の性能にとどまり、加速性がとりわけ悪かった。２ヶ目のSCP（SC-3）は、より最適直径に近づく様にプロペラ直径を大きくする等、設計条件の見直しを行い、最高速度だけではなく加速性も考慮した設計を行った。翼根部での性能と強度を増強するため、翼根部はエアロフォイル型、翼端部はSRJNなる船研で開発したSC翼断面を採用するハイブリッド型を採用した。また、各半径位置で断面翼型の揚抗比が最大となる様に翼弦長分布を決定した。実艇試験の結果、従来設計法で設計されたプロペラばかりでなく、世界的に有名な“Rolla”プロペラよりも格段に高性能であることを確かめた。SC-3は競艇場一周（300m間隔のブイ）を34.7秒で周回航走し、Rollaプロペラより1.4秒も早かった。

今後、より低速のプロペラに応用できる様、理論ならびにプログラムを開発する必要がある。



＜運動性能部＞
ヒール時の主船体に働く操縦流体力の推定
Estimation of heel effect on sway force and yaw moment acting on a ship hull
野中晃二
平成10年５月
西部造船会会報　第96号

船舶の操縦運動の研究においては、船体運動は本平面内のsway、yaw、surgeの連成運動として扱われることが多いが、GMの小さいRORO船や高速のコンテナ船等では操縦運動時のヒール角が大きくなり、ヒールの操縦性能に与える影響が無視出来なくなる。操縦性能へのヒールの影響については、平野、Eda、孫、Oltmann、貴島らにより研究が進められてきたが、数学モデルを用いて数値シミュレーションにより操縦性能を評価しようとする場合、船体に働く操縦流体力へのヒールの影響の推定が必要になる。

ヒールをしていない主船体に働く操縦流体力については、貴島の推定式をはじめとして種々の推定方法が提案されているが、ヒール時の操縦流体力については今のところ有効な推定計算方法は発表されておらず、模型実験に頼らざるを得ない。著者は左右対称な形状の主船体に働く操縦流体力について、船体主要目の影響に加えてフレームラインの影響も一応評価できる細長体理論を用いた近似推定方法を前に提案したが、今回この方法をヒールしている船体、つまり左右非対称な船体に適用できるよう拡張し、操縦流体力の実験値と推定計算値とを比較し本方法の有効性を検討した。

その結果、本推定法は定量的には不十分な点もあるが、ヒールによる操縦流体力の変化をよく推定しており、操縦性能へのヒールの影響の簡単なチェックに十分利用できると考えられる。

なお、本推定法で用いる流場及び流体力の式は2nd orderまで理論上精度が保証されている事を考えると、推定精度向上のためには、流場現象の的確な把握に基づく剥離の扱い方等流れのモデルに関する更なる検討とその改良が今後の課題となる。

On the Critical Significant Wave Height for Capsizing of a Damaged RO-RO Passenger Ship

損傷したRO-RO客船の転覆限界有義波高について

原口富博、石田茂資、村重　淳

平成10年９月
PROCEEDINGS OF 4th INTERNATIONAL WORKSHOP ON STABILITY AND OPERATIONAL SAFETY OF SHIPS

近年の北欧におけるRO-RO客船エストニア号の転覆海難事故（1994）を契機に、国際海事機関（IMO）でRO-RO客船の安全性を高める対策が検討され、1995年11月に海上人命安全条約（SOLAS）が改正された。この後も、英国を中心に衝突等で損傷したRO-RO客船の安全性を高めるための提案がなされ、IMOで検討が行われた。こうした背景から現在も波浪中で損傷したRO-RO客船の復原性についての研究が続けられている。この問題は複雑で多くのファクターの影響を受けるため、研究は様々な条件下について行われている。今回の研究では、日本で建造され船の特徴を持つ模型船を新たに作り、この模型を用いて日本の周辺海域の特徴を考慮した横波中での模型試験を行った。ここでは主に、RO-RO船の甲板上の滞留水面高さと限界有義波高の関係およびこれらに対する波スペクトラムのピーク周期の影響について述べている。

今回の実験結果から得られた主な結論は次の通りである。

(1) 初期傾斜が無い場合船は転覆しないが、わずか2°の初期傾斜があると転覆する危険がある。
(2) 転覆限界有義波高は、波スペクトラムのピーク周期の影響を受ける。ピーク周期が長くなるにつれて転覆限界有義波高は高くなる。
(3) 英国提案の限界滞留水面高さと限界有義波高と関係は、短波長では良く一致している。しかし、世界の様々な海域を考える場合、広範なピーク周期に適用できることが望ましい。

＜構造強度部＞

造船用鋼突合せ溶接継手の人口海水中疲労強度

Corrosion Fatigue Strength of Butt Welded Joint of a Ship Structural Steel in Synthetic Seawater

小林佑規、田中義久、後藤英信、松岡一祥、本橋嘉信

平成10年８月
溶接学会論文集、第16巻、第３号

船舶や海洋構造物は、常時海水に曝されており、海水による腐食や腐食疲労から免れない。船体の腐食衰耗は、船齢８年頃から顕著となり、船齢が増すごとにその損傷割合が大きくなることが示されている。腐食の要因には塗装の経年劣化が挙げられる。腐食は部材板厚を減少させ、激しい腐食にあっては溶接箇所を分離するようにも進行する。さらに、板厚の減少した部材や溶接部では疲労き裂が発生し易くなる。この結果、船体は、強度や寿命の低下を余儀なくされ、ひいては重大損傷をも引き起こしかねない状態となる。

本稿は、50キロ級TMCP鋼板MAG突合せ溶接継手の大気中および人工海水中疲労試験を行い、余盛止端に発生する疲労き裂の観察結果、公称応力範囲とき裂発生寿命に基づくS-N線図、余盛止端に接着した歪ゲージから求めた止端の応力集中係数、溶接止端の応力範囲とき裂発生寿命との関係について検討したものである。以下、得られた結論を示す。

(1) 海水中試験における公称応力範囲とき裂発生寿命の$\varDelta Sn/Nc$関係は、直線で表される。大気中試験のき裂発生寿命は、負荷応力が高応力範囲のとき、海水中試験のそれにほぼ等しい。大気中試験における最も安全側のき裂発生寿命としては、海水中試験の$\varDelta Sn/Nc$関係が適用できる。
(2) 大気中試験では、余盛止端にき裂が存在していても、繰返し数1×10^7回で破断しない負荷応力範囲が存在する。大気中試験で止端に停留しているき裂は、海水中試験ではき裂先端が腐食溶解し、進展する。
(3) 歪みゲージから求めた余盛止端の応力集中係数K_{t2}は、き裂発生箇所の二次元断面から計算される局所的応力集中係数K_{t1}より小さく、バラツキが小さい。軸力の引張応力に溶接角変形の曲げ応力が重畳した溶接止端の$\varDelta St/Nc$関係は、$\varDelta St=K_{t2}*\varDelta Sn$として求められる。
(4) き裂発生寿命と破断寿命との比Nc/Nfは、大気中試験が0.84程度であり、海水中試験が0.91程度である。これらの相違は、き裂進展速度に及ぼす環境の影響による。
(5) 疲労き裂は、余盛止端のボンド部に発生し、荷重方向と直角に進展する。

<機関動力部>

モノエタノールアミン水溶液を用いた充てん塔式CO_2分離装置を持つガスタービンの性能

Parformance Analysis of Gas Turbine with Packde column CO_2 Separator Using Aqueous Monoethanolamine Solution

井亀　優、管　　進、平岡克英、熊倉孝尚

平成10年9月
日本ガスタービン学会学会誌、26巻、102号

本報告では、モノエタノールアミン水溶液を吸収液とする化学吸収式CO_2分離装置を取り付けたガスタービンを想定し、CO_2回収がエンジンシステムの総出力及びCO_2回収装置の体積に及ぼす影響を、計算によって検討した結果を述べる。

本ガスタービンシステムは、充てん塔式の吸収塔と再生塔で構成されるCO_2分離装置を持つ。吸収液は、吸収塔で排気中のCO_2を吸収した後再生塔に送られ、スチームストリッピングによってCO_2を放散して再生され、再び吸収塔に送られる。この過程によって排気中のCO_2が連続的に分離回収される。CO_2分離にはスチームストリッピング用の水蒸気発生のため熱エネルギーを必要とするが、これにはガスタービンの排熱の一部を当てる。余った排熱を利用して蒸気タービンを駆動し、コンバインドサイクルを構成する。

このCO_2回収型ガスタービンの性能を計算するため、反応モデル、物質移動モデル及び各種物性値等の物理的、化学的な基礎データに基づく化学吸収式CO_2分離装置の性能計算プログラムを作った。この計算プログラムの有効性は、実験用CO_2分離装置の実験結果によって確認した。この計算プログラムを用いて、目的のCO_2回収率を達成するのに必要なCO_2分離装置の気液の供給条件、充てん層の大きさ、吸収液の再生に必要な熱量を求め、蒸気タービン出力、CO_2液化までに要する動力等を計算し、種々のパラメータがシステム総出力、CO_2回収率、充てん層総体積に及ぼす影響を検討した。

CO_2移動計算モデルを用いた検討の結果、次の結論が得られた。

1）ガスタービンシステムの排熱を吸収液の再生の熱源に利用することは、CO_2回収に伴うシステム総出力の低下を抑制する上で有効である。

2）CO_2回収に伴うシステム総出力の低下は、再生用水蒸気の排気ガスに対するモル流量比が小さいほど少なくてすむ。一方、この比を小さくし過ぎると達成可能なCO_2回収率が低くなる。

3）排気ガス再循環は、CO_2回収装置を小さくする上で有効であり、40％の排気ガス再循環を行うことにより、排気ガス中のCO_2を80％回収した上で43％の正味の熱効率が見込まれる。

<材料加工部>

レーザ・パルスを用いた溶射皮膜の熱衝撃強度

Thermal Shock Resistance of Thermal Sprayed Coatings by Laser Pulse

秋山　繁、高橋千織、斉祝民、天田重庚

平成10年6月
日本溶射協会　協会誌　「溶射」第35巻、第2号

セラミックスは、耐熱性に優れているため、金属基材上にコーティングし、表面改質した機械部品は、高温環境下の熱機関等に利用されつつある。このような応用においては、セラミックスの耐熱衝撃抵抗が重要な特性となる。溶射皮膜の熱衝撃強度の評価には、試料を繰り返し加熱・冷却し、皮膜が基材から剥離するまでの繰り返し数を測定する反復急冷法が、JIS規格において規定されている。また、バルクセラミックスの熱衝撃強度は、試料を加熱・急冷し、その残存強度の変化によって評価するクエンチング法が、JIS規格に規定されている。しかし、クエンチング法では、試料の急冷中に熱伝達係数が変動することにより、正しい熱衝撃強度が得られないことが指摘された。そのため、近年、レーザパルス照射による熱衝撃強度の評価法が提案され、各種セラミックスに適用された。このレーザパルス照射法は、溶射皮膜にも適用されたが、定性的な検討に留まっている。

本研究は、溶射皮膜の熱衝撃強度評価法として、反復加熱・急冷法に代わるレーザパルス照射法と有限要素法を併用した熱衝撃強度評価法を提案した。構造用鋼基材上にプラズマ溶射によって皮膜厚さの異なるアルミナ（Al_2O_3）皮膜を作製した試料を用いて、レーザパルス照射熱衝撃実験を行い、有限要素法による熱応力解析による検討を行った。

その結果、皮膜破壊時のレーザ出力密度は、レーザビーム径の増加と共に漸近的に一定値に収束することがわかった。この一定値P_{co}を熱衝撃強度の指標とすると、アルミナ溶射皮膜のP_{co}は、0.46～0.97W/㎟となり、バルクアルミナのP_{co}=2.2W/㎟の約半分以下となった。また、アルミナ溶射皮膜の熱衝撃強度は、皮膜厚さの増加と共に低下した。最後に、有限要素法による熱応力解析から求めた理論臨界破壊曲線と実験値の比較により、圧縮によりアルミナ溶射皮膜が破壊したと結論した。

Plastic Deformation in the Sliding Wear Surfaces of Alumina at Various Temperatures

アルミナのいろいろな温度でのすべり摩擦面における塑性変形

千田哲也、矢野不二夫、John Drennan 、安田榮一

平成10年9月
Proceedings of the 2nd International Symposium on the Science of Engineering Ceramics

アルミナの摩耗については、これまでに多くの研究が行われている。硬い粒子によるアブレシブ摩耗については、摩耗面の観察と弾塑性力学解析に基づいた脆性破壊モデルが提案されている。一方、アルミナ同士のすべり摩耗については、高温（1000℃）摩擦面に形成される微細粒子からなる表面層とこの表面層近傍の微細組織の観察から、動的再結晶を伴う塑性変形のメカニズムが提案されている。しかし、このような塑性変形による機構が発現しない温度域（600℃以下）でのすべり摩耗のメカニズムは明らかではない。そこで、600℃以下の摩擦面付近の詳細な観察と摩耗粉の分析により、すべり摩擦現象の解明を試みた。

室温から600℃でのアルミナ摩擦面には摩耗粉の堆積層が存在するが、その下には粒界破面が観察される。この摩擦面近傍を透過電子顕微鏡（TEM）で観察したところ、1000℃の摩擦面とは異なり、転位は粒界近傍にわずかに観察されるのみで、粒内にはほとんど観察されなかった。しかし、室温から600℃の摩耗試験で回収された摩耗粉のX線回折の回折線幅から推定すると、摩耗粉にはかなりの格子ひずみが存在し結晶子サイズも小さくなっていることがわかった。これらの結果は、表面のごく近傍では局所的な高い接触圧力により塑性変形が起きてはいるが、摩耗を引き起こす粒界き裂はより深いマクロには弾性変形の領域で起きることを示唆している。

また、温度が高いほど、ひずみは減少し結晶子サイズは大きかったが、これは摩耗粉がアニールされるためと推測される。

Influence of maximum stresss on fatigue crack initiation life of welded steel joints and notched steel plate

溶接継手および切欠試験片の疲労き裂発生寿命に及ぼす最大応力の影響

松岡一祥、小林佑規

平成10年9月
国際溶接学会、IIW Document XIII-1706-98

溶接継手の疲労強度には、応力比、残留応力などの影響があることは認められている。しかし、その確立した定量的評価法は定まっていない。その理由としては、短寿命域ではその影響が飽和してしまうことと、長寿命域では疲労試験結果のばらつきが大きいことがあげられる。

本論文は、応力比、残留応力などの影響を明らかにするために、溶接継手に併せて母材切欠試験片を取り上げて、MIL-HDBK-5の最大応力と応力範囲を考慮した等価応力を修正して用い、この影響を評価した。得られた主な結論を以下に示す。

1）修正等価応力法により、船体用鋼材全般に適用できる材料定数を定めることが出来た。
2）溶接継手では、最大応力が降伏応力で制限されるため、最大応力の影響は切欠母材に比べて顕著ではない。
3）上述にもかかわらず、修正等価応力を用いると、今まで明らかではなかった溶接継手の疲労限が設定できる。
4）切欠母材の大気中試験の疲労限は繰り返し載荷による応力-ひずみ線図の包絡曲線の折れ曲がり点の応力を最大応力とする等価応力として設定できる。
5）切欠母材の人工海水中疲労試験結果は、等価応力と疲労き裂発生寿命の両対数線図で2本の直線となる。この2直線の交点は、最大応力が下降伏点となる等価応力と一致する。

Fatigue strength improvement by using newly developed low transformation temperature welding material

新低変態点溶接材料を用いた疲労強度の改善

太田昭彦、渡辺　修、松岡一祥、志賀千晃、西島　敏、
前田芳夫、鈴木直之、久保高宏

平成10年９月
国際溶接学会　IIW Document XIII-1706-98

溶接構造物の疲労強度は、引張の残留応力により、母材よりもはるかに弱い。現在使用されている材料では、溶接後の熱収縮による引張の残留応力は避け難く、実構造ではその大きさは降伏応力程度である。この溶接残留応力を低下させることにより、疲労強度を改善する方法について実験的に検討した。

10％ニッケルと10％クロムを含む低変態点溶接材料を用いてHT780鋼板の角回し溶接継手を作成した。この溶接材料のマルテンサイト変態開始温度は180℃であり、室温で変態が終了する。この変態中に溶接金属は膨張する。この膨張により、溶接部には圧縮の残留応力が生じた。

通常の溶接材料を用いた溶接継手と、この溶接材料による溶接継手の疲労強度を比較した。通常の溶接材料を用いた場合、疲労限は65MPaであったのに対し、この溶接材料による溶接継手の疲労限は130MPaと二倍になった。

炭化クロムセラミックスのレーザ熱衝撃強度に関する研究

Estimation of Thermal Shock Strength of Cr_3C_2 Ceramics by Laser Irradiation

秋山　繁、千田哲也、古谷典亍、天田重庚

平成10年10月
日本機械学会、第76期全国大会講演論文集（Ｉ）

海洋・宇宙の分野における原子力の利用は、施設の重量・スペースの制約が厳しく、信頼性、経済性の面からも放射線遮蔽性能だけでなく機械的強度、耐熱性等にも優れた新しい多機能遮蔽材料の開発が望まれる。そのため、原子炉中性子遮蔽材料として、中性子遮蔽特性だけでなく機械的強度や熱的強度等にも優れた多機能遮蔽材料の熱衝撃強度特性について研究してきた。検討された材料の一つの炭化クロムセラミックス（Cr_3C_2）は、原子炉中性子遮蔽材料として優れた特性を持っており、ホウ化チタン（TiB_2）よりも中性子吸収機能が優れている。今回、炭酸ガス（CO_2）レーザ照射による炭化クロムセラミックスの熱衝撃強度特性評価試験を行い、炭化クロムセラミックスのレーザ熱衝撃強度を求めた。また、有限要素法による熱応力解析結果から導かれた、レーザスポット径の大きさに依存しない、最小破壊レーザ出力密度で表されるレーザ熱衝撃強度特性値P_L[W/㎟]と試験結果との比較検討を行い、熱衝撃強度に及ぼす形状効果についても検討した。その結果、レーザ照射により生じた引張応力が、炭化クロムセラミックスの引張強さを超える時、炭化クロムセラミックスが破壊すると仮定して、最大引張応力とレーザビームのスポット径の関係より熱衝撃破壊臨界曲線が得られた。また、スポット径の大きな領域では、レーザ熱衝撃強度試験と有限要素法解析より得られた破壊臨界レーザ出力密度が、ほぼ一致したので、炭化クロムセラミックスは，レーザ熱衝撃試験において生じた引張応力が引張強さに達したとき、き裂が生じたと結論した。さらに、用いた炭化クロムセラミックスのレーザ熱衝撃強度特性値P_Lは、解析結果より3.4W/㎟となり、アルミナセラミックスのP_L=2.9W/㎟の約1.2倍、ホウ化チタンセラミックスのP_L=16.5W/㎟の約0.2倍であることがわかった。

アルミナセラミックスの高温サンドエロージョン

Sand Erosion of Alumina Ceramics at Elevated Temperatures

安嶋賢哲、新井和吉、高橋千織、千田哲也

平成10年10月
日本機械学会　第76期全国大会

セラミックスは高温構造材料として期待されるが、舶用機関の高温燃焼ガス流路等に応用する場合には、固体粒子衝突によるエロージョン損傷が問題となる。セラミックスの耐エロージョン性については、室温でのデータを除いてほとんど報告がない。そこで、1000℃レベルまで固体粒子衝突損傷を評価できるサンド・エロージョン装置を製作して、アルミナ・セラミックスの耐エロージョン性評価試験を行った。

電気炉中におかれた試験片に、加熱した圧縮空気とアルミナ粒子の混相流を噴射する装置を製作した。粒子の衝突速度は65m/sで一定とし、衝突角度を30°から90°まで、試験温度を室温から919℃までそれぞれ変えて試験を行い、重量減少量を衝突粒子の重量で除した「損傷速度」により耐エロージョン性を評価した。損傷速度の衝突角度依存性と損傷面の観察から、損傷メカニズムを考察した。

損傷速度は、衝突角度30°及び90°のいずれの場合も、試験温度の上昇とともに増加した。特に90°では、最高温度の919℃で損傷速度の増加が大きかった。いずれの温度でも、損傷速度は衝突角度の増加とともに増加する傾向を示し、脆性的な破壊がおもな損傷メカニズムであることが示唆された。損傷面を走査電子顕微鏡で観察したところ、結晶粒界に沿った亀裂が支配的であり、高温では複数の結晶が一体となって失われている場合があった。これらから、高温では、粒界強度の低下により、粒界破壊による損傷が増大することが推測された。

規準疲労強度の問題点

Some problems in recommended fatigue strength

松岡一祥

平成10年10月
溶接学会全国大会講演概要　第63集

溶接構造物の疲労設計に現在用いられている規準疲労強度の適用性を検討するために、修正MIL-HDBK-5法の等価応力で横すみ肉溶接継手、つき合わせ溶接継手および切欠母材の疲労試験結果を整理した。その結果、船舶等の溶接構造物に用いられる範囲の鋼材について、等価応力に寄与する最大応力の割合、等価応力-疲労き裂発生寿命関係の勾配などの材料定数を定めた。その結果に基づき、ホットスポット応力法、公称応力法およびピーク応力法に用いられている規準疲労強度について以下の問題点を指摘した。

1) ホットスポット応力法に用いる規準疲労強度（S-N関係）には以下の2つの問題点がある。
   a) 一般に1/4乗則による板厚補正を行っているが、これは合理的でなく、板厚40㎜程度までは十分な安全余裕が保証されないのに対し、100㎜以上では過剰安全側になる。
   b) 高い引張の溶接残留応力の存在する実構造では、疲労強度は降伏応力の影響を受けるが、現行規準疲労強度にはこれが反映されていない。
2) 公称応力法に用いる構造詳細毎の規準疲労強度については、上述に加えて構造詳細の間に整合性のないものがある。
3) ピーク応力法はホットスポット応力法に比べて利便性が劣る。

析出硬化型ステンレス鋼の脆性破壊

Brittle Fracture of a Precipitation-Hardening Stainless Steel

千田哲也、松岡一祥、林　慎也、高橋千織、古谷典子
北村　茂、渡邊　巖、間島隆博、西森　勇

平成10年10月
日本舶用機関学会誌　33巻、10号

析出硬化型ステンレスSUS630は、熱処理により微量元素を析出させて引張強度を1000MPaレベルまで向上させた高強度材料である。このSUS 630で製作された搭載艇吊下げ用ランチ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え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擬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、帯状または粒子状にクロム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。材料の低靭性化の原因としては，クロム等の偏析による低靭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工程を調べると、固溶化熱処理は鍛造時の加熱により行われていたことがわかった。低靭性相の析出は、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なかったためと考えられる。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。

アルミニウム合金 6NO1-T5つき合わせ溶接継手の耐力

Proof strength of aluminium alloy 6NO1-T5 butt welded joints

松岡一祥、北村　茂

平成10年10月
溶接学会全国大会講演概要　第63集

Mg_2Siの微細な析出物によって強化される6NO1合金は、溶接入熱によりMg_2SiがAlに溶出、軟化する。その後、自然時効により強度は若干回復するものの、船舶等の溶接構造物では軟化した溶接継手の耐力が設計上重要である。本報は、軟化部を含む溶接継手の耐力を取り上げ、施工および合金成分の影響について調査した結果を報告するものである。

22種類の6NO1-T5合金の100シリーズの突き合わせ溶接継手の引張試験結果を要因解析し､以下の結論を得た。

1）入熱量Q、板厚Tおよび標点間距離GLの継手耐力に及ぼす影響はQ/（T-GL）で整理できる。

2）Q/（T-GL）が大きくなるほど継手耐力は小さくなるが、2500（J/m）/㎟以上では一定になる。Q/（T-GL）＞2500（J/m）/㎟では標点位置の最高到達温度が370℃以上となり、完全軟化域の耐力を求めたことになる。

3）合金成分の影響では過剰Siの焼き入れ効果による継手耐力の増加が大きい。過剰Si量0.3％程度で40MPa以上の増大が期待できる。しかし、0.3％を超えるとこの効果は減少して行く。

4）Cuは0.18％以下で継手耐力を低下させる。

5）Mnが0.16％以上ではMn量の増加と共に継手耐力は低下する。Mn量は0.1ないし0.15％以下であることが望ましい。

6）Mg_2Si量は継手耐力に影響を及ぼさない。

7）Znは極力少なくすることが継手耐力の向上の観点から望ましい。しかし、0.1％以上の場合についてはさらに検討が必要である。

<装備部>

VR技術を用いた船舶避難シュミレータの開発（第１報）

Development of an Evacuation Simulator at Maritime Accident

池本義範、金湖富士夫、福元正明

平成９年９月
日本バーチャルリアリティ学会第２回大会論文集　Vol.2

海難事故時の乗客の挙動は海難審判庁裁決録などの事故調査結果や関係者へのインタビューから推測する以外に手だてがないのが現状である。船が静止した状態で乗客が避難行動を行う実験が過去に試みられているが、より現実に近い状態で避難する実験は事実上不可能である。一方、今日では計算機の処理能力の向上により被験者に十分なリアリティを持たせるに足る仮想現実感生成が可能になってきている。こうした仮想現実感技術は被験者を物理的な危険に曝すことなく海難事故時の船内環境を提示することができ、避難実験に適していると言える。

そこで、船舶技術研究所では海難事故における船内の環境を再現し、被験者の判断・行動モデルを構築するため仮想現実感技術を応用した避難実験用シミュレータ（避難シミュレータ）を開発している。

試作した避難シミュレータは主計算機、画像生成用計算機、仮想歩行装置、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）、共有メモリより構成されている。避難シミュレータでは時々刻々と状態変化する遭難時のシミュレーションをリアルタイムで実現するために、主計算機と画像生成用計算機が高速な共有メモリ装置で相互に接続されている。また、被験者と仮想空間上の船舶とのインターフェイスとして筑波大学で開発された仮想歩行装置を用いることとした。

試作した避難シミュレータの動作を確認するために、２層のデッキより構成される船舶の画像データを作成して、HMDを付けた被験者が船舶内を歩き回る場面を設定した。同船舶では他の避難者20名が各自の経路で避難場所まで歩いて行く画像を作成した。この仕組みは次の通りである。

①画像生成用計算機に接続された仮想歩行装置より被験者の（x,y）座標を得る。
②画像生成用計算機は共有メモリー経由で主計算機にその座標を得る。
③主計算機は転送された被験者の（x,y）座標から高さ座標zを船舶の構造データを利用して求め、画像生成用計算機へ共有メモリー経由で転送する。主計算機はまた、他の避難者の座標を同様に画像生成用計算機に転送する。
④画像生成用計算機は主計算機からのデータに基づき、被験者の視点からの景観を作成し、HMD内のディスプレイに表示する。⑤以上を繰り返す。

避難シミュレータの試行結果は良好で、被験者は歩行動作をすることで船内をスムーズに移動することができるようになった。これにより、初期の目的を実現する避難シミュレータの開発の見込みを得た。

霧化液滴流による洗浄

Washing with droplet flow

上田浩一、山之内博

平成10年８月
日本機械学会、流体工学部門講演会、講演論文集

ケミカルタンカーのタンク洗浄廃水は有害性に応じて、陸揚げ処理したり、有害性の少ない洗浄廃水は規定の条件下で海洋に排出する。洗浄廃水が多量に発生すると、船舶の運航上大きな負担になる。また洗浄廃水の陸上処理は焼却によるため、多くの燃料を必要とする。そこで洗浄廃水を少なくする必要がある。そのためには洗浄機のノズルの口径を小さくすることが有効であることが今までの研究でわかった。今回はノズルの口径を細くし、しかも比較的射程距離が長くなった場合の、洗浄について実験的に調べた。内航ケミカルタンカーのタンクの大きさは150㎥程度の容積のものが多く、その射程距離は５m程度となる。そこで５mの射程距離で、水溶性の付着液の洗浄実験を撮影により調べ検討を行った。水噴流の射程距離が長くなるにつれて、霧化液滴流れの状態になるが、洗浄水量を低減するにはこの霧化液滴流による洗浄の最適な走査間隔を求める必要がある。ノズルの口径を2.5㎜にし、水圧250kPaの墳流の場合の液滴の分布と、供試液として着色グリセリン、着色エチレングリコール、着色水を用いて洗浄状況を調べた。いずれの供試液も１秒程度の洗浄時間で、霧化噴流が当たっている範囲は洗浄され、粘性により洗浄状況の差異は小さい。霧化液滴流による洗浄ではその衝突面が同時に洗浄されるが、射程距離が短い場合、噴流が衝突してから壁面にそった液膜流によって洗浄され、中心から時間の経過とともに洗浄される面積が広がっていく。したがってノズル口径2.5㎜、射程距離５m程度の霧化液滴流による水溶性物質の付着液の洗浄では短時間に液滴流が当たっている範囲が洗浄されるので洗浄効果は良い。霧化液滴流による洗浄では洗浄された面が広がっていく時の洗浄の中心より、液滴墳流の中心が上にある。霧化液滴流の当たっている面は１秒程度で洗浄されており、水溶性の場合には１㎠当たり0.25㎤の水量で洗浄されている。この結果からノズル口径2.5㎜の洗浄機でタンク洗浄を行うことにより、洗浄水量を低減できると考えられる。

Spectral and Time Resolved Measurements of Marine Oil Pollution by YAG Laser Fluorosensor

YAGレーザ蛍光センサーを用いた
海洋油汚染のスペクトル時間分解計測

山岸　進、樋富和夫、山之内博

平成10年９月
SPIE ; International Society for Optical Engineering
Proceedings of SPIE Vol 3504 ; Optical Remote Sensing for Industry and Environmental Monitoring

ナホトカ号海難事故の経験から、流出油防除作業を支援する監視技術の重要性が再認識された。本報は、汚染画像を実時間表示する小型蛍光ライダーの成分同定と油膜厚さ測定に関するフィジビリティスタディの報告である。

提案したシステムは、紫外線レーザによって生ずる蛍光をバンドパスフィルターと高速ゲート操作付きイメージインテンシファイアとCCDを用いて観測し、汚染画像を実時間で周囲画像と同時に表示するものである。YAGレーザの３倍波（THG）を励起に用いた成分同定に関する実験では、軽油、A重油、C重油などの蛍光強度を、減衰時間と波長を縦横軸にとって表示すると、油種を明瞭に区別できることを示した。スペクトル毎の減衰時定数にも特徴があり、例示した軽油の場合、時定数は大きく２種類に分かれ、短波長測では小さく、長波長測は倍以上大きい約25nsecあることが分かった。また、高速ゲート操作は、背景光雑音の除去にとって非常に有効であり、昼間でも蛍光観測ができることを確認した。

一方、油膜厚さ測定については、水のラマン光の減光度合いから求めることを検討し、計測に必要な油膜の消散係数（光エネルギの減衰度合いを示す係数）を実験的に求めた。これを、厚さ既知の油膜で覆った水のラマン光強度と画像上の光路長から算出した。本システムによれば光路長を画像上で測ることができ、現場で消散係数を測る方法としても活用できることを示した。

<システム技術部>

音声を用いた内航船用航海支援システムの評価

Evaluation of Integrated Navigation System with Speech Communication

福戸淳司、伊藤泰義、沼野正義

平成10年６月
日本航海学会　ナビゲーション1998年６月号

現在、内航海運の業界は、いわゆる３Kの職場で若年労働者から敬遠されている状況のため、人手不足と高齢化が進み、常に慢性的な労働者不足の状態にある。このことは、我が国の内航海運による海上輸送が、現状の輸送能力と安全性を確保するための大きな問題となってきている。

こうした状況の改善のため、船舶技術研究所（船研）と全国内航タンカー海運組合（内タン）は、共同で内航タンカーを対象とした、航海支援システムの開発研究を実施した。

開発の目標は、若年労働者からは、魅力ある職場として認められるように、また、積み荷の危険性のため社会からは、厳しく一層の安全性の向上を求められていることを認識し、安全性の確保を最優先の課題として、一人当直（いわゆるOMBO）で船橋業務を十分に余裕を持って、操作も容易に出来るような、航海支援システム（以下、システムという）の開発である。このシステムの特色は、音声の全面的採用である。操船者は、航行中見張りに専念しながら音声により情報を入手し、かつ音声で、変針等の指令を発することが出来る。

本稿では、１名当直を前提とした”新ぷろぱん丸”に搭載した航海支援システムについて、その有用性および安全性について評価を行ったので、評価の方法と幾つかの評価例について簡単に紹介する。

An Application of the GO-FLOW methodology -Evaluation of Component Cooling Water System for New Type Marine Reactor-

GO-FLOW手法の応用

-新型式舶用炉の機器冷却系の評価-

松岡　猛、三友信夫、星　蔦雄

平成10年９月

International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management（PSAM-4）

大規模複雑なシステムの安全管理のためには確率論的安全評価（PSA）が有用な手法として用いられている。本会議は主に原子力分野におけるPSAに関する国際会議であり、本報告においては船舶技術研究所により開発したシステム信頼性解析手法GO-FLOWについての適用例として新型式舶用炉の機器冷却系を取り上げ、その信頼性解析を実施した結果について述べている。

日本原子力研究所において設計検討されている改良舶用炉（MRX：Marine Reactor X）の機器冷却系について信頼性解析を実施した。機器冷却系MRX炉本体のほぼ全ての主要機器の冷却をするために使用されており、本系の作動が停止してしまうと主要機器の継続運転は不可能となり、すぐに原子炉停止をしなくてはならなくなる。さらに、故障した機器の修理が完了しないと炉心損傷に至る可能性もある重要な系統である。

機器冷却系の冷却水は海水との熱交換により除熱しており、３台備えられたポンプのうち２台が常時冷却水を循環させている。一台のポンプが故障した場合は待機していたポンプが起動されて冷却を継続する。その間に故障したポンプの修理を実施する。解析条件としては常時２台のポンプの作動が必要で、故障したポンプは24時間以内に修理が完了するとした。また、ポンプ以外の機器は修理の効果は考慮せず、故障率データは原子力分野におけるデータを用いた。

上記運転条件、設備条件をモデル化したGO-FLOWチャートの説明を詳しく述べ、補修効果を考慮した待機冗長系の取り扱いが容易であることを示した。

Evaluation of the Core Damage Frequency of the Marine Reactor X

改良舶用炉MRXの炉心損傷頻度の評価

松岡　猛、三友信夫、山路昭雄、福原彬文、石田紀久

平成10年９月

International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM-4)

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

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

解析の結果得られた主要事故シーケンスは、サンプリング系、体積制御系、余熱除去系の格納容器内配管破断に起因するものが上位３シーケンスを占めていた。内的事象による炉心損傷頻度を算出した結果約$9.1x10^{-8}$／炉・年と評価された。この値は過酷事故解析（アメリカにおける評価）で検討されたSurry, Sequoyah, Zionの加圧水型原子力プラントの炉心損傷頻度と比較して２～３桁以上小さな値であった。

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

Development of Simulation and Visualization System for Understanding the Physical Phenomena of Accident Sequences in PSA

PSAにおける事故シーケンスの物理的事象理解のためのシュミレーションおよび視覚化システムの開発

松岡　猛

平成10年９月
Proceedings of the International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management(PSAM4)

プラント等の確率論的安全評価（PSA）では、システム信頼性解析に基づき、主要事故シーケンスを同定する事が重要となるが、それを行うためには、それぞれの事故シーケンスに対応する事象を理解し、その妥当性を確認することが不可欠である。本報告は、事故シーケンスの同定、事故進展のシミュレーション解析、事故進展状況の表示までを一貫して実施するPSA支援環境の開発について述べている。

イベント・ツリーのヘディンク分岐確率にGO-FLOWの解析結果を直接的に使用できる様に、イベント・ツリーに時間の要素を与えた動的イベント・ツリーを開発した。この、動的イベント・ツリーには以下の機能を与え従来のイベント・ツリーより進んだ機能を持った解析方法とした。(1) GO-FLOW解析結果との結合、(2) タイム・ポイントの導入、(3) イベント・ツリー中の複数箇所への同一事象の設置、(4) ヘディングのタイム・ポイント順の並び換え機能、(5) ヘッディング間の従属性の設定機能。

動的イベント・ツリーで同定された事故シーケンスに沿ったシミユレーション解析を実施するための入力データを自動生成し、それに基づいて事故解析を実行し、さらにその解析結果をアニメーション表示することが可能である。

この開発においてはエキスパートシステムG2および事故解析コードMARCH2を利用している。また、解析の対象としては、日本原子力研究所において設計検討されている改良舶用炉（MRX:Marine Reactor X）を選定している。

シミユレーション解析実施の部分の主要機能には (1) イベント・ツリー管理機能、(2) 入力データ自動生成機能、(3) 事故解析機能、(4) アニメーション機能がある。なお、会議期間中コンピュータ・デモンストレーションを実施する予定である。

プラントシステムの信頼性解析手法GO-FLOW

A System Reliability Analysis Methodology GO-FLOW for Plant Systems

松岡　猛、田村一雄、大矢正男

平成10年10月
安全工学協会　安全工学　第37巻5号

航空宇宙分野、原子力産業分野等の万一の事故時の影響が大きい分野では、確率論的安全評価法（PSA：Probabilistic Safety Assessmnet）によりその安全性を事前に評価することが実施され始めています。本論はPSAにおいて主要な役割を果たしているシステム信頼性解析手法の一つであるGO-FLOW手法についての解説である。

従来PSAにおいてはフォールト・ツリー解析が主として用いられてきたが、近年動的な挙動を示すシステム解析のため様々な手法が提案されている。GO-FLOW手法は著者により開発されたシステム信頼性解析手法で、時間依存性の解析、複雑な動作モードを持つシステムの解析、動的システムの解析等フォールト・ツリー解析にはない優れた機能を持っている。

まず、GO-FLOW手法の概要、信号の意味、タイム・ポイント、オペレータ機能、信号の強度の説明を与え、GO-FLOW手法について基本的な部分を詳細に説明した。さらに、サンプル問題をGO-FLOWにより解く手順及び解析結果の説明も詳しく述べられている。その中で、信号線間に従属関係が存在する場合の取り扱い方法も述べられている。

大規模システムの解析を実施する際には、一般に多大な労力が必要となってくるが、これらの作業を軽減し、実用性・使用性に優れたシステム信頼性解析体系とするためGO-FLOW解析支援システムが開発されている。この支援システムの構成・機能についても言及されている。また、より進んだ解析機能として、不確実さ解析機能、共通原因故障解析機能、共通原因故障を考慮した不確実さ解析機能も備えられていることも述べられている。

AN ADVANCED NAVIGATION SUPPORT SYSTEM FOR A COASTAL TANKER AIMING AT ONE-MAN BRIDGE OPERATION

一名当直を目的とした内航タンカー用航海支援システム

沼野正義、宮崎恵子、伊藤泰義、
村山雄二郎、松田和生、下野雅生

平成10年10月
IFAC(International Federation of Automatic Control)
WORKSHOP on Control Applications in Marine Systems
CAMS '98

内航船における人材不足への対応と航行の安全確保の両立を目的とした、一名当直を前提とした航海支援システムの開発を行った。この開発にあたっては、輻輳海域及び通常の海域での操船シミュレータ実験や現役船員からのインタビューを行い、１名で当直する際、必要な要件を抽出し、システム全体の設計製作を行った。１名当直で必要な支援機能としては、自動航行を含む操船作業のサポート、他船との衝突や座礁に対する情報支援及び警報、迅速で信頼性のあるマン・マシン・インターフェース、計器を見ることなく操作できるアイフリー操作、航行上の注意点の指摘、雑作業の自動化、操船者の機能不全時対応（居眠り、卒倒等）が挙げられた。

これらの要求を満たすべく、本航海支援システムでは、電子海図、トラックパイロット等多くの航海に関する自動機能及び支援機能が搭載されている他、それらの全ての機能を音声入出力で使用出来るようになっている。これにより、昼夜を問わず１名で見張りに専念したまま、高度な航海支援機能を使用出来るようになった。

本システムを搭載した第一船は、1997年9月にサービスを開始し、約半年の間の使用後、航海支援システムの有効性の評価を行った。本報告では、一名当直に必要な要件とそれに基づく航海支援システムの機能を示した後に、システム全体の利用状況及びおよびシステムに対する評価結果について報告する。

<原子力技術部>

異機種ワークステイションクラスターを用いたMCNPコードの並列処理

Parallel processing of MCNP code in heterogeneous workstation clusters

大橋厚人、植木紘太郎

平成10年３月
日本原子力学会「1998年春の年会」要旨集

遮蔽安全評価の詳細解析コードとして信頼性が高い連続エネルギーモンテカルロコードMCNP 4Bは、計算時間が非常に長くかかる問題点がある。ワークステイションやパーソナルコンピュータのスピードが向上し、MCNPをこれらのコンピュータで実行できるようになった反面、計算体系が大きく複雑になるなど計算の負荷も増大し、結局、より多くのCPUパワーが望まれている。本報告では、ネットワークに接続されているUNIXワークステイションにPVM（Parallel Virtual Machine）ライブラリーをインストールし、これら異機種のワークステイションクラスターを用いたMCNPの並列処理に関して述べる。

PVMは、ネットワークによってつなげられたコンピュータを一つのパラレルコンピュータとして使うためのソフトウエアパッケージであり、詳細は、http://www.wpm.ornl.gov/pvm/で公開されている。今回は、バージョン3.4Beta Release 4を上記のwebサイトよりダウンロードし、発表者が管理している異なるメーカーの2台のワークステイションにインストールした。PVWの動作を確認後、MCNP標準のインストーラーでPVMの使用とPVM関係のライブラリーの位置を指定し、2台のワークステイションそれぞれにてロードモジュールを作成した。

コバルト60線源からのスカイシャイン線量の計算に関して、単独処理と並列処理の結果を比較したところ、FSD内で一致した。したがって、異機種ワークステイションクラスターにてMCNP計算の並列処理ができることが確認できた。今後PVMに用いるワークステイションを増やし、どの程度計算スピードの向上が可能か調査し、報告する予定である。

連続エネルギーモンテカルロコード MCNP4Bコードの利用技術

Utilizing Techniques for the Continuous Energy Monte Carlo Code MCNP4B

植木紘太郎

平成10年4月

高度情報科学技術研究機構　RISTニュース No.25(1998)

モンテカルロ法は広範囲の放射線輸送問題を解く有力な手法である。その特徴は、ボルツマン輸送方程式をほぼ近似なしに解くことが出来るのでディスクリート・オーディネイトSnに代表される決定論的手法に比べ取り扱う体系の複雑さがほとんど問題にならないこと、そして、ストリーミング問題も難なく解析出来ることである。しかし、モンテカルロ計算には必然的に統計誤差が伴うので、計算結果の信頼性はこの統計誤差の大小によって判定される。したがって、モンテカルロ計算を行う際にまず留意する点は、いかにしてこの統計誤差を低減するかであり、計算コード云々ではない。

今日、モンテカルロ計算を取り巻く環境は日増し良くなっている。高速で大容量のワークステイションあり、並列化あるいはベクトル化がある。そのため、ややもすると、モンテカルロ計算の統計誤差はヒストリー数さえ多く取れば低減できるものと錯覚し、「計算時間依存型モンテカルロ法」になる傾向が見られる。

米国ロスアラモス国立研究所で研究され開発されて来た連続エネルギーモンテカルロコードMCNPは、現在、MCNP4Bとして公開されており、我が国でも多くの人に利用されている。そして、MCNPコードは次のバージョンアップも計画されており、利用者はこれからも益々多くなるものと予想される。連続エネルギーモンテカルロコードとしては、英国ではMCBENDコード、仏国ではTRIPOLIコードがあるが両者は非公開であり、どのようなモンテカルロ手法が使われているのか具体的には分からない。

そこで、本報告はモンテカルロコードMCNP4Bを用いた遮蔽計算において「計算時間依存型モンテカルロ法」ではなく「計算技術尊重型モンテカルロ法」を念頭に、特に、統計誤差を低減するためのモンテカルロ計算技術について具体的に解説している。

まず、基本となるボルツマン輸送方程式について述べ、次いで、MCNP4Bで使われている中性子断面積ライブラリーを紹介している。それから、相対標準偏差（FSD:Fractional Standard Deviation）を低減するためのインポータンスサンプリング法について触れている。そして、MCNP4Bのインポータンスサンプリング法であるウエイトウインドウインポータンスを大阪大学のOCTAVIANNで行われたダクトストリーミングベンチマーク実験解析に適用し、その有効性を実証した。DEC ALPHA STATION500/500ワークステイションで30分計算し、各計算結果に対する最も大きなFSDでも0.0695であり、信頼性があると判定されるところのFSD≦0.1を十分クリアすることが出来た。最後に、MCNP4Bになって新しく追加された計算機能に摂動（Perturbation）があるので、その解説をしている。

Distinguishable Void Size and Neutron Dose-Equivalent-Rate Increasing due to a Void in a Cask Shield

識別可能なボイドの大きさとキャスク中のボイドによる中性子線量当量率の増加

植木紘太郎、成山展照、大橋厚人、永山哲、藤田忠

平成10年5月

PATRAM'98 Proceedings of the 12 International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials

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というエポキシ樹脂が我が国で使用されている。このNS-4-FRは常温で主剤と硬化剤をミキシングして固化するので、この固化の過程でまれに小さなボイドが出来ることがある。ボイドは遮蔽欠損であり、中性子に対する遮蔽能力が低下することになる。

本研究では、NS-4-FR中に生じたボイドを模擬するため、人工的に作ったボイドを入れた7個のプラグを用意した。このプラグをNS-4-FRの中心に代わる代わる差し込み、この遮蔽体系を透過した中性子線量当量率を減速型中性子サーベイメータで測定した。中性子源は^{252}Cfで、線源強度は実験当時5.02×10^7n/sであった。ボイドの大きさは、最小が0.3$^{\Phi}\times$0.3cmで、最大は5$^{\Phi}\times$5cmである。NS-4-FR平板の厚さは5cmである。本研究ではこのボイド効果を評価するため、3配列について評価実験を行った。配列1はボイドのあるNS-4-FR平板1枚であり、配列2はボイドのあるNS-4-FR平板をボイドの無い健全な平板でサンドイッチしたものであり、配列3はボイドのあるNS-4-FR平板の線源側に厚さ25cmのステンレス鋼（SS304）を配置した。この配列3が実際の使用済燃料輸送容器の構造を模擬したものである。実験はモンテカルロ法によって解析し、ボイドの大きさの関数として中性子線量当量率の増加の割合を表示した。

配列1では、サーベイメータによってボイドの大きさが1$^{\Phi}\times$1cm以上になると、中性子線量当量率の増加が観測された。そして、5$^{\Phi}\times$5cmのボイドではボイドの無いNS-4-FRに比べ、およそ25%の増加が観測された。一方、配列3では厚さ25cmのSS304ステンレス鋼がボイドのあるNS-4-FRの線源側に置かれているので、このサーベイメータではボイドの大きさが2$_{\Phi}\times$2cm以上で線量当量率の増加が観測された。そして、5$_{\Phi}\times$5cmのボイドの増加率はおよそ17.5%であった。SS304ステンレス鋼を線源側に置くことにより、ボイドのあるNS-4-FR平板に入射する大部分の中性子は高速中性子ではなく、多重散乱をした中速中性子である。中速中性子の線量当量率変換係数は高速中性子よりも小さい。したがって、配列3の中性子線量当量率の増加の割合は配列1よりも小さくなる。

NESXE（Next Event Surface Crossing Estimator）を用いたモンテカルロ計算と実験とを比較したところ、配列1では良い一致を示したものの、配列3では実験値を過大評価した。

<海洋開発工学部>

波と流の共存場に置かれた円筒構造物の渦励振について

Flow-Induced Vibration of Circular Cylinder Structure in Wave-Current Coexisting Fields

星野邦弘

平成10年5月
西部造船会会報　第96号

海底石油生産システムのFPSO（Floating Production, Storage and Offloading System）の一点係留システム、航路標識用のライトビーコンや自動給餌塔等に用いられるArticulated Columnは、力学的にみれば海底にヒンジで結合された円筒構造物と見なすことができる。また、着底式海洋構造物のSEP（Self-Elevating Platform）やライザー管等は径の小さい円筒構造物である。これらの円筒構造物の設計には、波浪による運動応答や流れによる定常傾斜の他に流れによる渦励振も考慮する必要がある。

流れと波の共存場や流れ方向に微少に円筒構造物が振動する場合は、波の存在や構造物の振動により流れに微少な周期変動が重畳することになり、カルマン渦の発生周期が流れ単独の場合とは異なることが予想される. 本論では、これまで検討される事のなかった波と流れの共存場における円筒構造物の渦励振について、流れの中で振動する円筒構造物に作用する流体力の計測、および、ばねで係留された円筒構造物模型の振動計測とから波と流れの共存場における円筒海洋構造物の渦励振の発生条件を明らかにした。

本研究により得られた主な結果を以下に示す。

(1) 波と流れの共存場に置かれた円筒構造物の流れと直角方向の振動は、通常の渦励振発生条件以外に波周波数の1/2倍の周波数で円筒構造物が微少に振動する場合にも発生することが分かった。

(2) 流れ方向に円筒構造物を微少に加振して流れと直角方向の流体力（揚力）を計測した結果から、揚力の変動周波数は加振周波数に支配され、流れの中で円柱を振動させた場合の揚力の分数調波共振現象と類似の現象が現れることが分かった。

(3) 定常流単独では、流れの剥離が生じないため変動揚力が現れない低速流れにおいても、流れに微少な周期変動が重畳することで大きな変動揚力が生じ得ることを示した。

流の中で横振動する円柱に作用する揚力の分数調波共振

Subharmonic Resonance of Lift Forces on Circular Cylinder due to Transverse Motion in a Uniform Flow

星野邦弘

平成10年5月
西部造船会会報　第96号

流れによる振動現象の多くは、構造物の背後に交互に生じるカルマン渦に起因して流れと直角方向に発生する揚力が起振力となるために生じる。TLP海洋構造物の係留装置や着底海洋構造物の一種であるSEP（Self Elevating Platform）の脚等は、その構造自体が細長い円筒であるため、流れによる振動も考慮する必要がある。

カルマン渦による構造物の振動は、一般に渦の発生周期と構造物の固有周期が合致した共振状態にある。通常の渦励振発生条件の他に、Bishopらは円柱の振動周波数の1/2倍の周波数でも揚力変動が安定化することを報告している。また、風工学の分野では、高速域渦励振と呼ばれる通常のカルマン渦による渦励振発生風速の3倍の風速で渦励振と類似の振動現象が現れることが知られている。本研究は、円筒構造物の渦励振を引き起こす流体力学的励振力の中で、その発生条件やメカニズム等について十分な研究がなされていない、分数調波共振によると思われる揚力の安定化および増大化現象に着目して研究を行ったものである。

本研究により得られた主な結果を以下に示す。

(1) Bishopらの実験で報告された振動周波数fnの1/2倍の周波数で揚力変動が安定化する現象の他に、fnの1/3倍の周波数でも揚力変動が安定化し、大きな揚力が発生することが明らかになった。この時の揚力の変動振幅は、定常流による抗力の約5倍の大きさとなる。

(2) この現象は、風工学分野で知られている高速域渦励振の渦放出周波数と振動周波数の関係と全く逆の関係が成り立っている。高速域渦励振発生の物理的解釈と同様に、流れによる渦放出周波数の3倍周波数で円柱が微少に振動する場合に円柱表面からの渦放出と円柱の微少振動とが同期し、円柱表面で生成された渦が効率良く一つの渦領域に集中し渦の循環が大きくなるために揚力変動の安定化と増大化が生じるものと考えられる。

波と流れの共存場におけるArticulated Columnの渦励振について

Flow-Induced Vibration of Articulated Column Structure in Wave-Current Coexisting Fields

星野邦弘

平成10年7月
可視化情報　18-Suppl. No.1

海底石油生産システムの一点係留システム、航路標識用のライトビーコン等に用いられるArticulated Columnは、力学的にみれば海底にヒンジで結合された円筒構造物と見なすことができる。円筒構造物の設計には、波浪による運動応答や流れによる定常傾斜の他に流れによる渦励振も考慮する必要がある。一般に円筒構造物の渦励振は、静止円柱のカルマン渦の発生周期と構造物の固有振動周期が合致した共振状態にあるため、この状態を避けて構造物の基本設計が行われる。波と流れの共存場においては、波の存在や構造物の振動により流れに微少な周期変動が重畳するため、カルマン渦の発生周期が流れ単独の場合とは異なってくる。本論では波と流れの共存場における円筒構造物の渦励振の発生条件を、流れの中で振動するArticulated Columnまわりの流れの可視化とPTV（Particle Tracking Velocimetry）による流場観測などから明らかにした。

本研究により得られた主な結果を以下に示す。

(1) 波浪により微少に振動するArticulated Columnに流れが作用した場合の流れと直角方向の振動周波数fは、流れの速度Uと静止円柱のストローハル数Stおよび波周波数fwを用いて次式により推定することができる。

$$f=n/2$$

$$n=StU/f_wD$$ （n:放出される渦の個数、整数個1,2,3・・・）

(2) 波周波数fwが静止円柱の渦放出周波数の2倍となった時に、振動振幅は非常に大きくなる。この条件で計測された、振動は一定振幅で極めて安定的に変動する。

(3) 流の中で振動するArticulated Columnまわりの流れの可視化とPTVによる流場観測結果から、1/2倍のfwの振動発生時には、Articulated Columnは流れと同一方向に波周波数fwで振動し、流れ方向に2揺れする間に円柱まわりに一対の大きな渦が発生することが分かった。この渦により、流れと直角方向に1/2倍のfwで変動する振動を励起する流体力が発生するものと考えられる。

Failure Probabilities of Multiple Mooring Dolphin System of a Very Large Floating Structures in waves

超大型浮体構造物多点係留システムの波浪中破壊確率

加藤俊司、斎藤昌勝

平成10年8月
Proceedings of 4th International Conference on Stochastic Structural Dynamics

現在、新たな海面空間の利用法として注目されているメガフロート（超大型浮体式海洋構造物）は、主に海上空港、港湾施設等の重要社会基盤としての用途が期待されている。従って、その実現には十分な安全性の検討がなされ、社会的にメガフロートの安全性が認知されることが不可欠である。安全性を評価する手法として、従来より許容応力法が用いられているが、この手法では安全性は0か100%かのいずれかであり、より客観的に安全性を定量化するためには、安全性の表裏一体である破壊確率を用いる必要がある。係留系の破壊確率を求めるためには、破壊モードの抽出、それぞれの破壊モードに対する破壊確率の算定を、自然環境条件パラメータの不確定性や係留装置の耐力の不確定性を考慮して行わなければならない。多点係留ドルフィンシステムと箱形超大型浮体構造物からなるメガフロートシステムの場合特に重要な破壊モードは、漂流である。漂流は、耐力以上の荷重がある係留装置に作用し、係留装置の初期破壊後、時間とともに係留系が逐次的に崩壊して生じるが、こうした事象を理論的に取り扱うことは非常に難しい。例えば、メガフロートシステムの場合、係留耐力はヒステリシスを有しかつ強非線形であること、風荷重や波力といった異なる時間スケールを持つ外力が作用すること、及び係留装置の初期破壊後に浮体に過渡応答が生じるからである。

本論文では、そうした複雑かつ非線形過渡応答である漂流現象の物理モデルの構築に成功し、その物理モデルに基づくシミュレート法を開発するとともに、simulation based破壊確率算定法を開発した。そして、本法を試設計された1000m規模のメガフロートシステムに大型異常台風が直撃した場合の浮体の漂流確率算定に適用した。

その結果、大阪湾に1000m規模のメガフロートを設置した場合、大型台風に対し浮体が漂流する確率は、せいぜい2×10^{-7}であり、0.9999998の漂流しない信頼度が得られることが判明した。

＜氷海技術部＞

Computation of Incompressible Turbulent Flow around DTMB4119 Propeller

DTMB4119プロペラまわりの非圧縮性乱流計算

宇都正太郎

平成10年4月
22nd ITTC Propulsion Committee Propeller RANS/Panel Method Workshop

船用プロペラの性能計算法としてRANS法及びパネル法の応用が近年、盛んになりつつある。そこで第22期国際試験水槽会議（22nd ITTC）推進性能委員会ではRANS法及びパネル法を用いたプロペラ性能計算のワークショップを開催し、各国の研究成果を集め、計算結果の比較を行うとともに、その現状分析と将来の開発動向を探ることを目的とした。特にRANS法はパネル法を含む従来の計算手法　ー流体を非粘性流れとして取り扱うー　と異なり、流体の粘性を含めた流場をCFD手法を用いて解く最新の手法であり、コンピュータの発達とともに近年、急速に発展しつつある。我が国では著者が開発したRANS法によるプロペラ性能計算手法が唯一のものであり、本計算手法を用いたDTMB4119プロペラまわりの定常流れの計算結果について発表を行う。なお、本ワークショップでは本論文を含めて10編の計算結果が発表される予定であり、参加国（論文数）は、日本、中国、フランス、ドイツ、イギリス、フィンランドから各1件、アメリカと韓国から各2件である。

本計算手法は、ナビエ・ストークス方程式及び擬似圧縮性を導入した連続の式を支配方程式とし、非粘性項の離散化には流束差分離を用いた高次風上差分を、粘性項の離散化には二次精度中心差分を用いている。物理量を計算格子の中心で定義するCell－centered配置を用い、計算領域全体で運動量及び流量を厳密に保存するように、有限体積法で離散化されている。またプロペラまわりの計算格子は幾何的方法を用いて生成した。計算対象はDTMB4119プロペラであり、LDV（レーザ式流速計）を用いた詳細な流場計測が行われている。本プロペラを対象とした一連の計算を行い、スラスト、トルク、翼面上の圧力分布、プロペラ上下流の流速分布の計算結果を実験結果と比較した。

塗膜の腐食疲労特性

Corrosion fatigue characteristics of paint films

北村　茂、高島逸男、田村兼吉、前田利雄、在田正義、永井昌憲、田辺弘往

平成10年8月
腐食防食協会　第45回　材料と環境

海洋環境は内陸環境と異なり、非常に苛酷な環境にある。この厳しい環境にさらされる海洋鋼構造物は、近年ますます大型化し、多様化する傾向にあり、一般の船舶のように定期的に入渠することもなく、しかも耐用期間は超長期にわたるものが多い。従って定期補修が困難な、これらの海洋鋼構造物に対しては建造時において、長期間の耐久性を有する防食対策が必要である。防食法のうち塗膜による方法は、一般に使用され比較的安価に適用できる方法として用いられており、保守・管理を考慮した塗装設計がなされている。

防食塗膜を厚くすることにより、鋼材の耐用年数を延長し、メンテナンスフリーを指向することが、厳しい腐食環境にある海洋鋼構造物を中心に求められている。塗膜の厚膜化に適した塗料の進歩もあり、膜厚を考慮した構造物の強度設計が必要になってきた。

低温の人工海水中で、鋼板に塗装した4種類の塗膜について、繰返し平面曲げ荷重を付与し疲労試験を行ない、塗装鋼板の塗膜劣化によるき裂の発生ならびに塗膜と鋼板の剥離による塗膜下腐食の有無について調べている。塗膜上に人工的に欠陥を付与した塗膜傷が腐食疲労に及ぼす影響についても検討している。さらに、塗膜の疲労が鋼板の腐食疲労に及ぼす防食効果について調べている。

ひずみゲージを塗膜及び鋼板上に貼付し、ひずみ分布及びひずみの値の比較を行った。疲労試験中に塗膜で消費される消費エネルギについても検討している。人工海水中での塗膜のき裂の発生を検出する方法として、絶縁抵抗の電圧変化から求められた。

塗膜の腐食疲労特性は鋼板の疲労特性に大きく依存し、塗膜の性能、塗膜の膜厚の影響は比較的少なかった。

塗装鋼板の腐食疲労特性

Corrosion fatigue characteristics of paint-coated steel plates

北村　茂、高島逸男、田村兼吉、前田利雄、柴田俊明、
松岡一祥、小林佑規、在田正義、永井昌憲、田辺弘往

平成10年11月
西部造船会　平成10年度秋季講演会　論文梗概　No.97

海洋鋼構造物は、厳しい腐食環境にさらされているが、一般船舶に比べて定期的な入渠・補修が困難な場合が多く、耐用年数の延長やメンテナンスフリーといった要求が高まっている。こうした要求に応える一つの方法として、最近、海洋鋼構造物への重防食超厚膜塗装の採用が注目を集めている。超厚膜塗装を採用した場合、防食性が改善される一方で、塗膜自身の疲労特性がこれまでより重要となる。例えば曲げ荷重の場合、塗膜表面と鋼板接着面での変形量は大きく異なるため、塗膜の疲労が通常と異なる可能性がある。

今回、厚膜塗装での腐食疲労試験を行ったので報告する。試験では人工海水中で厚膜塗装を施した試験片に繰返し曲げ荷重を付与し疲労試験を行ない、塗装鋼板の塗膜劣化によるき裂の発生ならびに塗膜と鋼板の剥離による塗膜下腐食の有無について調べている。塗膜上に人工的に欠陥を付与した塗膜傷が腐食疲労に及ぼす影響についても検討している。

ひずみゲージを塗膜及び鋼板上に貼付し、超厚膜2680μmのウレタンエラストマー系塗料、厚膜430μmのタールエポキシ系塗料、厚膜1260μmのガラスフレーク系塗料について、疲労試験中のヒステリシスループを描かせた。そこで消費されるエネルギは膜厚が厚いほど大きいが、き裂の発生にまでは至らなかった。き裂の発生を検出する方法として、人工海水中での塗膜の絶縁抵抗の電圧変化から求める方法を用いた。

疲労試験後の試験片の破断箇所以外には塗膜上にき裂の発生、伝播したような状況は認められず、鋼板の破断位置で塗膜が破断していた。

比較的応力レベルの高い今回の実験では、いずれの塗膜についても、塗膜は腐食疲労試験において鋼板の疲労特性に依存した。

FRPクライオスタット用断熱支持体

Adiabatic Supports for FRP Cryostat

櫻井昭男、前田利雄

平成10年10月
（社）強化プラスチック協会
強化プラスチックス　第44巻第10号

超電導電磁推進船に搭載する舶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、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型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平板型断熱構造模型による試験の結果、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多かった。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有していることを示した。

①実機を模擬した真空断熱構造のカロリーメーターによる評価試験の結果、断熱層内の対流、放射による影響が少なくなり、多重円筒殻構造体の有効性がさらに明白になった。

Enhancement of Subcooled Flow Boiling CHF for Water in Tubes with Internal Twisted Tape under One-Sided-Heating Condition

片側加熱条件下の旋回流管に対する水の限界熱流束促進

稲坂冨士夫、成合英樹

平成９年４月
4th Intrenational Symposium on Fusion Nuclear Technology.
Fusion Engineering and Design Vol.39,No40

核融合炉のプラズマ対向機器の除熱法として、ねじりテープを挿入した旋回流管内に水を流す強制冷却法が有望視されている。しかしながら、プラズマ対向機器の場合、プラズマからの熱は一般に片側から入射してくるので、冷却材は円周方向に非均一加熱されることになる。最近のビーム照射装置を用いたこれらの機器の除熱限界テスト実験によれば、冷却限界値である限界熱流束（CHF）が、予測値よりもかなり高くなることが報告されており、円周方向に非均一加熱を受ける場合の旋回流管に対するCHFの促進メカニズムの解明が大きな課題となっている。

本研究は、著者らがこれまでに蓄積してきた直接加熱による旋回流管のCHF特性に関する知見を踏まえ、ビーム照射テストによる旋回流管のCHF促進メカニズムを明らかにしようとするものである。本報告では、これまでに報告されている29点の片側加熱による旋回流管のテストデータを基に、管内冷却材加熱面における熱流束分布qwを、2次元の非定常熱伝導方程式を解くことによって求め、正味蒸気発生開始熱流束q_{NVG}と比較した。q_{NVG}は、これ以上の熱流束では実質的にボイド率が増え始める条件を与えるものであるが、解析した全データに対し、熱流束分布の最小値$q_{w,MIN}$がq_{NVG}より小さくなっており、ねじりテープによって流体が回転するうちに気泡がつぶれ、気泡境界層が消滅してしまうためにそのCHFを高めるであろうことが確かめられた。また、CHFの促進率を示す増倍計数Φは、$qw > q_{NVG}$領域のqwの平均値$q_{H,AVG}$に密接な関係を持つことを明らかにし、q_{UNIF}を均一加熱時のCHFとすると、Φが非均一加熱因子$\gamma = 1 + (q_{H,AVG} - q_{UNIF})/q_{NVG}$によってうまく関係づけられることを示した。

改良舶用炉MRXの中性子検出器案内管部遮蔽解析

Shielding Analysis of Neutron Detector Guide Tubes of Advanced Marine Reactor MRX

三浦俊正、石田紀久、平尾好弘

平成10年８月
日本原子力研究所研究報告書
JAERI-Tech 98-030

改良舶用炉MRXでは原子炉の計測制御系統の1つとして、炉外核計装を原子炉容器周辺に設ける。すなわち、炉心中性子束レベルを監視できる中性子検出器を格納容器外側から原子炉容器周辺の所定の位置まで挿入できるように中性子検出器案内管を炉心中心に対して45度間隔で8本配置する。中性子源領域測定系として2本、中間、出力領域測定系として4本、及び予備が2本である。このため、これらの中性子検出器を格納容器外側から原子炉容器周辺の所定の位置まで挿入できるように中性子検出器案内管を配置する。遮蔽の観点から、これらの案内管は遮蔽欠損部であり、そこをよぎる透過放射線に対する遮蔽効果が減少するとともに配管に沿った放射線ストリーミングが生じるため、格納容器外側の線量率を高める原因となる。そこで、改良舶用炉MRXの中性子検出器案内管の最適構造設計に資することを目的として、中性子検出器案内管の遮蔽効果に関する計算を行った。計算を行った案内管は直円筒管で直径6cm、長さ623cmであり、案内管の中性子ストリーミングと半径方向へのガンマ線に関する遮蔽欠損効果を計算対象とした。計算には2次元輸送計算コードDOT3.5とモンテカルロ計算コードMCNP4Bの接続計算手法を用いた。ストリーミングに関してはモンテカルロ計算の計算効率を高くするため計算体系を案内管の近傍に限定した。これらの計算法の信頼性はJRR-4におけるストリーミング実験を解析することにより評価した。計算と実験の比較では、高速中性子については最大で4倍程度過大評価し、またエネルギーの低い中性子については2倍程度の過大評価であったが、比較的よい結果が得られた。MRXの案内管の解析結果は格納容器外側の案内管出口で約5.4μSv/hとなり、格納容器外側の設計基準値である10μSv/hに近い値であった。従って、案内管は出口から線源部分が直視できないように湾曲させることが必要であると考えられる。一方、半径方向へのガンマ線遮蔽欠損効果を補償するには厚さ約6cmの鉄製遮蔽体が必要であることが明らかとなった。