

所外発表論文等概要

<推進性能部>

Experimental Studies on Trailing Vortices of Ship

船体縦渦に関する実験的研究

田中 拓, 川上 善郎, 上田 隆康
高橋 桂一, 柳原 健

昭和58年10月

Second International Symposium on
Practical Design in Shipbuilding

船体の周りには、多数の渦系があることが知られているが、本報告は、船型設計に最も大きな関連をもつ、ビルジ剝離渦のX方向（船体の進行方向）の回転成分に関する研究で、これを便宜上、本報告では縦渦と呼んでいる。

本報告では、最初に、一軸と二軸各船型のプロペラ周りに発生する渦が全く異った種類のものであることを説明し、縦渦の研究対象として重要なのは主に一軸

肥大船型であることを述べた。次に、船尾流れの中では、伴流と縦渦による回転流とは対応させて考えるべきものであるが、伴流の nominal wake に対応する係数がないため縦渦の強さを表わす係数を提案し、circulation coefficient とした。この係数は従来からも用いられているが、計算法、係数の性質などが明確にされていなかったため、係数の意義を明かにした。実例によるとこの係数は、船速、喫水、模型船の大きさによって変化する割合が少く、船型と縦渦の強さの関係をよく示している。

縦渦は、船底に生じた Secondary flow が基で、ビルジ部分に流れの剝離が生じて回転流を形成したものである。当所、400m 水槽で近年計測されたプロペラ面内の渦度分布を解析し、上記の渦発生原因の考え方を基に、船型と縦渦の強さの関係、縦渦によって発生する伴流の推定に関して考察した。さらに設計者に役立つ形式で、船型と縦渦の強さがわかるデザイン・チャートを作成した。また、nominal wake 中で縦渦の発生に伴う伴流の割合を推定するに役立つ図表を示した。

〈運動性能部〉

斜船船体まわりの流場と流体力の計測

Measurement of Wake Flow and Hydrodynamic
Force Distribution on a Ship Model
with Drift Angle

野中 晃二, 不破 健, 二村 正

昭和 58 年 5 月

西部造船会会報 第 66 号

操縦運動の推定や操縦性能の評価を十分に行うためには、船体に働く流体力を精度よく求める必要があるが、流体力の発生機構をみると、操縦運動している船体まわりの流場は、剝離渦を伴う複雑なもので、その構造及び流体力との関係は、未だ十分明らかではない。

船体は非常に複雑な形状をしており、揚力体としては、小縦横比のうえに厚肉物体であり、理論的にも極めて扱いにくいものであり、船体に作用する流体力が、どのような要素に支配されどのような特性を持つかは、必ずしも明確ではない。

このような流場と流体力についての基礎的な研究は、流体力の発生機構解明のためにも、また、操縦運動方程式の構成や流体力の記述表現法、流体力と運動状態や船型要素との関係、流場制御による操縦性能の向上等を考察する上においても重要であり、操縦性の基本的研究課題の一つである。

以上の認識により、斜船状態の数式船型に関して、流れの可視化と渦度分布計測により、船体表面流線と剝離の様子、自由渦の挙動を通して、流場の全体的な構造の把握を行い、ついで、圧力分布、横力分布、全横力等の流体力の資料と比較、検討し、主として揚力体としての観点からの考察を行った。本研究の結果、船体が斜航する時の流場の構造と流体力との関係について、多くの知見を得る事が出来た。

〈機関開発部〉

変動回転を受ける円板の動的せん断応力解析

Dynamic Shear Stress Analysis of Discs
Subjected to Variable Rotations

天田 重庚

昭和 58 年 10 月

日本機械学会 第 61 期全国大会

回転機械の起重や停止時、あるいは高速回転中に何らかの事故にて急激に停止に至るような場合、回転体中に生ずる応力は、一定回転している場合に比較して大きな値を生ずることが考えられる。このような問題は遠心力を生じさせる加速度成分以外の成分を考慮した動的問題に帰着される。

Johnson (AIAA J., 17-9 (1977), 975) による FEM を用いた動的解析や、著者 (機講論, No. 820-12 (昭 57), 246) による Laplace 変換を用いた動的解析などによって半径方向の変位、応力と周方向の応力を求めると、回転円板の動的挙動は質量——バネの振動系の挙動と相似になることが判明した。この事実から類推すると、回転円板の周方向変位やせん断応力の動的挙動も前述の振動系と同じようになることが予想される。

本報告は、内周が剛体軸に固定された環状の円板が剛体軸より任意の回転負荷を受ける場合、内部に生ずる周方向変位とせん断応力について動的解析を行ったものである。

変位と応力は座標変数についての Bessel 関数、時間に対して円板の角加速度と sine 関数の convolution 積分にて表わせる。円板の角速度 ω が

$$\omega = \omega_0 [1 - \exp(-ct)], \quad \omega_0 \text{ と } c \text{ は定数,}$$

にて与えられる場合の数値計算を行い、次のような結果を得た。1) 内周上のせん断応力の時間変動は sine 状の周期変動し、時間の経過と共にその平均は減少し、ゼロに近づく。2) ほぼ一定回転に達した状態での応力変動の振巾 $|\Delta \tau_{\theta}|$ と係数 c との関係は近似的に

$$|\Delta \tau_{\theta}| = 0.1126 \times 10^{-8} c$$

にて与えられる。3) 応力振動の振巾である $|\Delta \tau_{\theta}|$ の時間的变化は、回転数の増加割合が大きい領域では減少し、一定回転に近づくにつれて漸的にある一定値に近づく。

船舶の騒音・振動と乗心地

Noise, Vibration and Ride-Quality on Ship

木原 洸

昭和 58 年 10 月

日本騒音制御工学会 騒音制御 5 巻 7 号

船舶における振動は構造物に対して強度面で重要な問題であるが、人間に対しても様々な影響を及ぼしている。本稿では対人間の問題に着目して、振動をその周波数範囲を以下の 3 つに分類して検討した。

- ① 数 10 Hz 以上 (音への変換——騒音)
- ② 1~数 10 Hz (人体への医学的影響——公害振動)
- ③ 1 Hz 以下 (動揺——乗心地)

船内騒音の要因はローカルな空調音等もあるが、大部分は主機関、発電機、プロペラによって発生する振動が固体伝搬された音である。これらの音はその回転数、気筒数、翼枚数等によって、発生する音の基本周波数を予測することが可能である。実際の音はそれらの基本周波数の高調波となって出現するが、その絶対値を予測することは難しい。理論的な騒音予測法として、SEA (Statistical Energy Analysis) 法が知られているが、複雑な計算を要するため現実に即せず、簡略化した理論や実験式等で予測することが多い。騒音対策としては、内装材に吸音材を用いる程度が多いが、一部浮床方式も注目されて来ている。しかし全生活空間を浮床にするにはコスト的に問題である。発電機を弾性支持しその効果が認められた例があるが、主機の弾性支持は技術的に困難な点が多い。プロペラにハイリイスキュードプロペラを用いて、その起振力を弱める実験も行なわれているが、強度面で問題がある。

1~数 10 Hz の振動については、その要因・対策は固体伝搬音とほぼ同一であり、規制値は公害振動と類似している。規制値について ISO で検討中であるが、未だ決定はされていない。

船舶の動揺は波浪面を航行する際は避けることができない。船員は「馴れ」で順化され、むしろ乗客の問題である。その評価法としては MSI (Motion Sickness Incidence) が知られている。対策としてはローリングに対しスタビライザーの装着が一部の沿海フェリーや水中翼船に行なわれている。

〈 機 装 部 〉

腐食防止技術

Corrosion Control

翁長 一彦

昭和 58 年 9 月

日本造船学会 第 9 回夏季講座「新しい造船学」

金属の腐食をいかに防止するかは常に古くて新しい問題である。これは材料の進歩 (塗装材料と金属自体の進歩) がある反面、構造物の使用条件もまた常に変化しているためである。

腐食のミクロ的な現象は金属学や電気工学で説明することが出来るが、実際の防食技術はかなり複雑である。これは材料自体の防食特性が明確でないこと、腐食の環境要因が推定し難いこと、塗装ではその施工条件 (金属表面の素地条件を含む) が性能に深く関係すること、等のためである。このため本文では船体の腐食防止に問題を絞り、マクロ的に見た環境要因と腐食との関係及びその防止技術について述べる。

船体外板の腐食は水綯部付近が最も著しい。これは海洋構造物の飛沫帯と同様に塩水で常に濡れていると同時に十分な酸素が供給されることによる。このような条件はバラストタンク内でも同様であり、さらに温度が高いという条件が加わり腐食速度は増加する。貨物艙ではバルク貨物の場合に腐食が著しく、これはバルク貨物による塗膜の損傷と、バルク中に含まれる腐食物質 (主に硫黄成分と考えられる) とによる。腐食物質による腐食の場合は海水による腐食の場合と同様に水分の存在が腐食量に大きな影響を与える。

このような腐食作用に対して、塗膜が強固で膜厚が大きい程防食効果は大きい。現状ではエポキシ塗料が最もよいとされている。しかし一般に完全無欠の塗膜はあり得ず、塗膜の欠陥部及び塗膜の劣化による欠陥の成長によって腐食が進行する。その進行程度の予測を誤った場合に異常腐食が生じる。電気防食は普通塗装による防食と併用して用いられるが、これは塗膜の欠陥部から発生する腐食を防止するのが主な効果と考えられる。しかし、この効果も飛沫帯等では低下する。現状では、実海域の腐食を再現する試験方法が確立されていないことも大きな問題である。

〈原子力船舶〉

Validity of the Monte Carlo Method for
Shielding Analysis of a Spent Fuel
Shipping Cask: Comparison with Experiment

キャスクの遮蔽解析におけるモンテカルロ法の
有効性: 実験との比較

植木紘太郎, 井上 正明, 満木 泰郎

昭和 58 年

American Nuclear Society,

Nuclear Science and Engineering, Vol. 84

キャスクの放射線遮蔽解析には三次元計算を行う必要があをにもかかわらず、現在は一次元計算が主で、一部二次元計算が実施されるにとどまっている。

現在、キャスクの遮蔽試験がカルフォルニウム-252 中性子源を使用して実施されており、すでに一部は解析に利用することができる。実験から得られたキャスク周辺の中性子線量率分布および二次ガンマ線量率分布は、キャスクそのものは二次元形状のように近似できるが、実験室の床や壁からの室内散乱線の影響を受けた三次元分布を示した。したがって、キャスクの遮蔽解析には、実際の使用済燃料を収納した状態にも、遮蔽実験を解析する上からも、信頼性のある三次元計算法の確立が望まれる。

本報告は上記のような状況を背景に、モンテカルロ法による三次元計算を実施し、実験との比較検討した。その結果、NESX (Next Event Surface Crossing) Estimation を採用したモンテカルロ計算は従来の Estimation に比べ、計算効率が大幅に改善され、有力な計算法にすることが実証された。

1. 中性子線量率はキャスク周辺の広い空間で測定値に対し十分満足する一致が得られた。fsd (fractional standard deviation) も一部、 ~ 0.4 と大きい値があるが、ほとんどの検出器に対し ~ 0.2 以内であった。
2. 二次ガンマ線量率についても、中性子と同様に実測値に対し十分良い一致が得られた。fsd も ~ 0.25 以内であり、十分信頼性のある結果が得られた。
3. さらに、中性子および二次ガンマ線のエネルギースペクトルを計算し、その特性を明らかにした。

(510)

Component Failure Model Dependent
on Time and Causes

原因とその作用時間に依存した機器故障のモデル

松岡 猛

昭和 58 年 4 月

Nuclear Engineering and Design, Vol. 75

本論文は、機器の故障が何らかの意味で故障原因の存在により引き起されると考えた場合の、故障確率を与えるモデルについて述べている。このモデルは、解析対象とする系が、各種の厳しい環境条件下に置かれた時に受ける影響及び共通原因故障の影響を取り扱う事を目的としている。

本モデルにおいては、故障確率は、それを引き起す原因の種類、その原因の程度、原因が作用している時間及び故障モードの関数となっている。原因の種類は、連続的に作用する種類、及び、衝撃的に作用する種類の二つの型に分類し、原因の程度は、通常の使用条件から最も厳しい条件までの五段階に分類した。故障モードは、Operating Type, Stand-by Type, Demand Type の三種類に分類した。

これら、原因の型と、故障モードの型の組合わせに対応して、それぞれ故障確率を与える基礎式を求めた。

この式と、実際の故障確率のデータとの比較を実施し、時間依存性が t^α の形の関数型で比較的良好にあらわせる事を示した。またこの場合、 α の値としては、故障モードの種類により、 $0 \sim 8$ の広い範囲の値が得られた。

水平管内蒸気流中への冷水注入時の圧力と
流体の振動（振動モードと振動周波数）

Pressure and Fluid Oscillations Induced by
Injection of Subcooled Water into Steam
Flow in Horizontal Pipe
(Oscillation Modes and its Frequency)

綾 威雄, 成合 英樹, 小沢 昇

昭和 58 年 9 月

日本原子力学会「昭和 58 年秋の分科会」

冷却水喪失事故時の非常用炉心冷却水注入に伴う圧力と流体振動現象を調べるため小型装置による模擬実験を行い、これまで振動のパターンや振動発生限界などについて明らかにしてきた。本報では、この様な振動の振動周波数について各実験パラメータの効果を明らかにすると共に、特に注水部下流での水プラグ振動に対し線形振動論に基づく解析を行って、実験結果との比較検討を行った。

蒸気と水の流量、注入水温、注水口下流側絞りや上流側絞りなどにより振動の発生限界等は異なるが、振動モードは典型的な 3 様式に分けることが出来る。低蒸気流量から流量を増すに従って、以下のような振動モードが現れる。様式 I-a は数回の Waterhammer の後 1 回のプラグ振動が発生する。様式 I-b では Waterhammer とプラグ振動が交互に発生する。様式 II ではプラグ振動のみとなり、様式 III にそるともはや振動は生ぜず、安定した蒸気-水界面が下流側に現れる。

プラグ振動では蒸気凝縮が連続的に変化することから、その振動周波数の解析には線形振動論を適用することができる。このようにして得られた振動数は、注水口上流側の蒸気体積 (V_s) に最も大きな影響を受け、 V_s の増加とともに振動数は減少することが判った。上流側に絞りを設けない場合の振動数は、 V_s としてヘッダー容積を含めた解析値とほぼ一致している。また、上流絞りを設けない場合の振動数は、蒸気流量の増加とともに V_s として絞りより下流側の容積を用いた解析値に近づき、注入水温の上昇とともに V_s としてヘッダーまで含めた容積を用いた解析値に漸近することが示された。上流絞りのこの効果は、蒸気流量の増加とともに絞り効果も大きくなりヘッダー容積が V_s に含まれにくくなること、また、注入水温の上昇につれて凝縮が鈍くなり絞りの効果が弱まるため V_s にヘッダー容積が含まれるようになること、から説明できる。

蒸気のプール水中凝縮時に生ずる圧力振動の
発生限界

Thresholds of Pressure Oscillations at Steam
Condensation into Pool Water

綾 威雄, 成合 英樹

昭和 58 年 9 月

日本原子力学会「昭和 58 年秋の分科会」

圧力抑制型格納容器において、冷却水喪失事故時にプール水中で蒸気が凝縮する際、チャギング現象や凝縮振動現象が生じる。これらの振動現象の発生範囲は、いくつかの模擬装置による実験から求められているが、その発生範囲についての解析はほとんど行われていない。チャギング発生限界については別に発表を行ったので、本報ではそれ以外の振動発生限界の解析および考察を行う。

蒸気流束 G_s を一定にしてプール水温を上昇させると、まず小規模装置では 100~200 Hz の高周波振動が見られなくなり、次に水温が飽和温度近くに達すると、一部の蒸気が凝縮せず水面より抜け出し、10 数 Hz 以下の低周波振動も生じなくなる。このような振動発生限界におけるプール水のサブクール度 $4T_{SL}$ は、円筒状気泡界面の微小変動に対して線形安定論を適用することにより求められる。その際、蒸気のコントロール容積として気泡のみを考えると高周波振動の発生限界が、またヘッダー容積までを含めると低周波振動の発生限界が得られる。このようにして得られた解析値と振動限界の実験値はほぼ一致していることが示された。

一方、 G_s を増加させていくと高周波のみが卓越する凝縮振動となるが、この場合に低周波振動がほとんど見られない理由を次のように考えた。

気泡圧力の変化が低周波振動を支配しているヘッダー圧力へ及ぼす影響の難易を表わす無次元量を、質量保存則やこれまでの研究による振動周期を表わす式などから導き、さらにその無次元量がパラメータ $(G_s^3 \cdot 4T_{SL}^2)^{-1}$ に比例することを示した。従って、このパラメータの値が一定という条件から凝縮振動の発生域が求められることになるが、そのパラメータは流動抵抗など装置固有の量に依存する。そこで、著者らおよび他の研究者による凝縮振動領域のデータと上述のパラメータとの対応について比較検討を行い、本報の手法の妥当性を示した。

蒸気のプール水中凝縮時に発生するチャギング
現象（流体振動の振幅と周期）

Chugging Phenomenon Induced by Steam
Condensation into Pool Water
(Amplitude and Frequency of Fluid Oscillations)
綾 威 雄, 成合 英樹

昭和 58 年 10 月

日本機械学会, 第 61 期全国大会講演会

蒸気がベント管を通してプール水中で凝縮する際、一定の条件下で、流体振動を伴う圧力振動がベント系に発生する。この現象は、圧力抑制型格納容器を持った原子炉の冷却材喪失事故時に格納容器が受ける動的荷重評価の問題として関心が持たれている。振動現象には、プール水のベント管内への逆流を伴うチャギング現象と、チャギングより周波数が高く、流体振動の小さな凝縮振動現象とがあるが、これらのメカニズムは十分には明らかでなく、荷重評価は実規模試験に基づき保守的な方法によりなされている。

チャギングにおいて蒸気-水界面がベント管内を運動している間は、蒸気凝縮がほとんど行われなため、ヘッダー（下端にベント管が設けられている）への供給蒸気によりヘッダー圧力は上昇し、界面を下方へ押し下げる。一種の強制項となるこの界面押し下げ効果は供給蒸気流量の増加とともに大きくなり、チャギングによる流体振動の振幅と周期に大きな影響を及ぼすものと予想される。本研究では、供給蒸気による強制項に着目した解析モデルを用いて、チャギング時の振幅と周期を解析するとともにチャギング発生の蒸気流束限界を求め、小規模実験装置による実験結果との比較を行い、以下の結果を得た。

- (1) 解析から求めたチャギング発生の蒸気質量流束限界は実験値とほぼ一致した。
- (2) チャギング時の流体振動の振幅と周期は、供給蒸気による界面押し下げ効果に強く支配され、蒸気質量流束増加とともにチャギングから凝縮振動へ遷移する過程を解析的に示すことができた。
- (3) 蒸気質量流束を増加させていくと、この振幅と周期は、供給蒸気による強制項のない場合の流体振動振幅を一定とする解析値にほぼ沿って変化する。
- (4) 界面がベント管内を下降する時間は上昇時間より短くなるという流体振動の非対称性も、供給蒸気による強制力により生ずる。

(512)

〈海洋開発工学部〉

鎖係留ラインの静的張力と変動張力特性について

On the Static and Dynamic Tensions Acting
on the Mooring Chains

安藤 定雄, 加藤 俊司

昭和 58 年 5 月

西部造船会・西部造船会々報 66 号

海洋空間等の有効利用に供する各種浮遊式海洋構造物を実現させるためには、長期に亘って海洋構造物を安全かつ経済的に係留させられる係留システムを設計することが重要課題となる。その場合、通常設計に用いられる係留ラインの静的張力特性はもとより浮遊式海洋構造物が厳しい自然環境条件に遭遇した場合の係留ラインに働く変動張力及び不規則に振動している状態における係留ラインに働く張力等を設計に取り入れる必要がある。

そこで、本論では、係留ラインの静的張力及び変動張力を実験及び Lumped Mass 法による数値計算とで調べると共に、係留ラインの静的張力及び変動張力特性を簡便に求める方法についても考察した。また、係留ラインを不規則に挙動させた場合の変動張力のスペクトラム、確率密度関数及び各種統計量について理論的及び実験的に究明すると共に、最大張力の予測法についても検討した。

その結果、以下の事が結論づけられた。

- i) 任意な係留ラインの静的張力特性を求める方法として Lumped Mass 法は有効な計算手法である。
- ii) 均一重量分布及び中間シンカー付係留ラインの静的特性を求める簡易な方法を提示した。
- iii) 鎖係留ラインを上下及び左右に強制振動させた場合、Lumped Mass 法及び簡易法で求めた計算結果は、実験結果を良く表わしている。また、不規則振動時のシュミレーションによる理論計算値は変動張力のスペクトラムピークを過大に見積る傾向が見られるが、実験から求めた変動張力のスペクトラムの形状は良く一致している。
- iv) 変動張力の振幅の分布関数はガウス分布と仮定しても大略良く、統計量及び振幅の極大値も Longuet-Higgins の近代式を用いるとある程度推定できることが判明した。

〈東海支所〉

**Analysis of Detailed Neutron Fluxes in PWR
Pressure Vessel by Two- and Three-
Dimensional PALLAS Transport Codes**

二次元および三次元 PALLAS 輸送コードによる
PWR 圧力容器の詳細な中性子束の解析

竹内 清, 笹本 宣雄

昭和 58 年 8 月

Nuclear Technology Vol. 62

加圧水型原子炉における圧力容器のベルトラインの中性子照射を求める際に実際の形状を計算で取り扱えるようにモデル化する。この計算モデル化が計算精度に及ぼす影響を調べるために、1,000MWe クラスの PWR を次のような種類の座標形状でモデル化した。すなわち、二次元 (R, θ) および (R, z) 形状、さらに三次元 (X, Y, Z) 形状と (R, θ) 形状との結合から成る形状である。三次元 PALLAS-XYZ コードによる計算は他の二次元 PALLAS-2DRT および -2DCY による計算の標準として使われた。二次元 (R, θ) による計算に適用される線源強度の規格化は全中性子源を実効炉心長で除することで首尾良く求められる。これは圧力容器ベルトライン上の 1.0 および 0.1 MeV 以上の積分中性子束、さらに dpa の値についてそれぞれ標準計算値と較べて良い一致をみたことから確められた。

二次元 (R, Z) 用モデルも炉心平面が直角形状をしてのものを 2 種類の半径の円柱炉心を仮定して計算を行い、どちらが積分中性子束や dpa を評価する際に過小評価にならないかを検討した、さらに二次元 (R, θ) による計算では炉心の軸方向への中性子束漏洩が無視される。このことが圧力容器のベルトラインの積分中性子束評価に及ぼす影響を調べた。その結果圧力容器外表面までは影響がほとんど及ばず、しかし外表面より外側位置ではかなりの影響を受けることがわかった。

圧力容器ベルトラインの方位角方向に炉心が直角形状をしているために中性子束がピークを持つが、これは 1.0 および 0.1 MeV 以上の積分中性子さらに dpa について炉心の角の方向 (40°) で炉心面の方向 (0°) よりもおおよそ 2.7 倍のピーキングになることがわかった。

以上の PALLAS 計算の精度を確認するために米国オークリッジ研究所での実験の解析やアーカンサス原子力発電炉 (PWR) での実測実験の解析を行い、それぞれ実験値と比較したところ、計算の精度は 20~30% であることがわかった。