

所 外 発 表 論 文 等 概 要

<推 進 性 能 部>

特殊船型研究の将来

Future Scope of High Performance Ships

田中 拓
昭和60年10月
日本造船学会誌

造船学会誌の連載解説「抵抗推進研究の話題(第4話)」の企画によって標題の小論を執筆した。

船型の研究には、古くから特殊船型に関する課題があるが、一つの学問的な体系を得て定着した形にはなっていない。しかし船型研究そのものが越え難い壁を正面に見ているとき、特殊船型研究の体系化を図ることは、突破口としての意味をもっている。

特殊船型の分類は、通常船型のもつ3要素(1)排水量型船型(2)主要目比(3)有効抗揚比、の各条件の逆を考えることによって下記のように考えられる。

(S1) 非排水量型船型

(S2) 通常船型では原理的に得ることのできない性能または性質をもつ船型

(S3) 評価基準が特殊な船型

この内(S1)は、特殊船型の特徴を最もよく示す分類法として古典的なものであるが、今日では最も重要性の高いのは、(S2)の分類による特殊船型の体系化である。一方(S3)は、軍用、漁船、作業船など、特殊船型と言うより特殊用途船型であるから総論的取扱いが不可能で、本論から除外している。

(S2)の分類に沿って考えると、船型の発達を評価する指数は推進性能(省エネ性能)の改善ではない。これは、船型の発達を歴史的に調べることによって、船型研究とは、省エネ性能を改善しているのではなく、船型設計に自由度を拡大する努力であることが理解できる。

この意味で、米国海軍が中心になって研究した高性能船舶(High Performance Ship)の考え方は、重要である。例えば半潜水船(SWATH)の概念の開発に、15年の時間を要したが、この新しい船型が拡大した自由度は、船型研究に大きな影響を与えた。

船型に拡大される自由度と経済性の意味が今後の研究の重要テーマで、ここに内航海上輸送に新しいパラダイムの確立が急がわれている。

Computation of 3-D Incompressible Navier-Stokes Equations for Flow around a Ship Hull Using an Implicit Factored Method

Implicit Factored Methodを用いた船体まわり流れに関する三次元ナビエ・ストークス方程式の数値解法

児玉良明

昭和60年10月

Osaka International Colloquium on Ship Viscous Flow

三次元非圧縮ナビエ・ストークス方程式を Implicit Factored Method (以下 IFM) を用いて Wigley model まわりの流れについて数値計算した。支配方程式を物体適合座標系を用いて座標変更し、境界条件の適用を容易にした。レイノルズ数 $Re=10^4$ と 10^6 の2種の流れについて計算した。 $Re=10^4$ では流れは層流であった。得られた流れは定性的に妥当なものであったが、圧力分布に強い振動がみられた。これは写像の特異点の処理に原因しているものと思われる。

次に、 $Re=10^6$ の流れを計算した。高レイノルズ数流れをシミュレートするために Baldmin Lomax の渦粘性モデルを導入した。得られた流れを実験値と比較したところ、定量的にもかなり良い一致がみられ、本計算手法が将来性のあるものであることを示した。

レーザ流速計による船用プロペラまわりの流場計測システムについて

Measurement of Flow Field around a Marine Propeller by Laser Doppler Velocimeter

角川 明

昭和60年12月

第2回流れの動的計測シンポジウム

最近レーザ・ドップラ流速計 (LDV: Laser Doppler Velocimeter) による流れの計測技術の進歩は目覚ましく、空気中の流れの計測だけでなく水中の流れの計測に LDV を応用した研究も多くなっている。しかし、回転しているプロペラの翼端渦近くのように流速変動のきわめて大きい所においては、流速の変動を平均した計測値では情報量が不十分である。

そこで、作動中の船用模型プロペラまわりの流速分布を、精密に計測するための LDV 回転同期流場計測システムを開発した。それにより翼端渦近傍の急激な流速変動も含めて、作動状態における船用プロペラまわりの流場を、瞬間的に計測したと同様な流速分布を得ることに成功した。

翼位置に対応した流速分布を得るには以下のようにすれば可能である。プロペラ軸中心から計測点までの距離を r とすると、空間に固定された計測点は、回転するプロペラから見て r を半径とする円周上の各翼位置を通過することになる。

その計測点から得られた流速の時系列データと、プロペラの翼が計測点を通過する位相を合わせることで、計測点を含むプロペラ軸上に垂直な計測断面内の半径位置 r におけるプロペラ翼位置に対応した流速分布が得られる。

本報告における LDV 流場計測システムでは、1回転に1000個のプロペラ翼位置信号が入力されるので、5翼のプロペラならば各翼間を200点の流速データとして解析可能である。

今後、プロペラの前方に船体がある不均一流中、あるいは翼表面の乱流境界層内においても、流場構造を精度良く計測するため、LDV 流場計測システムを改良していく予定である。

〈運動性能部〉

レーザ流速計

LDV

武井幸雄

昭和60年12月

回流水槽セミナー

LDVの特長はピトー管のように流体内にプローブを入れることなしに、間接的に流速を計測できることである。しかし、光を利用しているため光を通過させるための観測窓が必要となる。回流水槽では一般に大きい観測窓をもっているため、LDVを応用するうえで好都合である。

差動型LDVの原理は、レーザ光を半透明鏡と反射鏡で等しい強度をもつ平行光線にわけて、レンズでその2光線を交差させる。この交差部分を計測ボリュームと言い、LDVのプローブになる。その交差点ではレーザ光が干渉してフリンジ(干渉縞)ができる。このフリンジの中を光を散乱させる微粒子が通過するとフリンジの明暗にしたがって散乱光の強度が時間的に変化をくり返す。その変化を光電子増倍管などにより電気信号に変換する。その信号の周波数は微粒子の速度、すなわち流速に比例している。このままでは流速の方向が区別できないので、ブラッグセルを応用して流速の方向の正負を信号の周波数の大小に対応させる。信号を流速に変換する信号処理器として、トラッカー方式とカウンター方式が広く用いられている。光学系は計測直前に調整を行う。トラバースに関しては光の屈折を考慮する必要がある。また、シーディングは過剰にならぬようにする。

ピトー管と同時に計測した結果、LDVとピトー管による計測値の相違は1%内外であった。また、角度特性は5孔管に比較して非常にすぐれている。

プロペラの近傍の流れを2次元的に計測した結果をベクトルで表わし、プロペラ翼から流れでる渦のまわりの流れ場が精度よくとらえることができた。このような計測が可能であるのはLDVが高い空間分解能をもつこと、レスポンスが早い、角度特性にすぐれていることによる。

レーザ光はエネルギー密度が非常に大きいので、その取り扱いには十分安全に留意する必要がある。

自動航行に関する一考察

Fundamental Study on Automatic Navigation System

不破 健・田中邦彦

昭和60年5月

日本航海学会論文集73号

船舶の自動航行は、目標航路を設定し、それを自動操船系で追従することにより実現される。このような自動航行を行うシステムの基礎研究として簡単なモデルを用いたシミュレーションを行った。目標航路は変針点を結ぶ折線として与え、操船系は、船首方位と目標航路からの位置偏差をフィードバックするオートパイロットとし、最適レギュレータとして設計した。操縦運動は応答モデルで表わした。また、他船と遭遇すると、安全距離を保つため、必要に応じ避航を行う。ここでは、航法上の規定を考慮した避航動作を選定する簡単なアルゴリズムを検討した。

以上のモデルによる折線航路に沿う保針・変針および避航を含む自動航行が実現できることが確認された。また、避航のタイミング、原航路への復帰法、衝突危険の評価法について考察した。さらに、コンピュータ・グラフィックスを含むシミュレーション技術についても検討を行った。

二方向不規則波中の船体縦曲げモーメントにおよぼす
弾性応答の影響

Effects of elastic responses to the longitudinal
bending moment in bi-directional irregular waves

渡辺 巖・沢田博史

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

全荒天波浪中を航行する船舶の主船体に作用する波浪荷重を考える上で出会波成分だけでなく、波浪衝撃とそれに伴う過渡的な弾性振動の影響を正確に見積るようにすることが最近関心を集めている。特に波浪衝撃現象には非線形性が強く関与しているので、これまでの線形予測法では扱えず、早急に適切な理論的予想法を開発する必要がある。そのためには現象そのものを水槽実験により再現して、統計的モデルの構成を図ることが第一歩と思われるが、また別の手法として計算機を用いた数値シミュレーションの手法が有効であると考えられる。

本論文では、最近開発された非線形船体応答計算法(SRSLAM)により二方向不規則波中の船体応答のシミュレーション計算を行い、不規則波中非線形応答の統計的性質を調べた。とりわけ Slamming や Whipping が船体縦曲げモーメントに及ぼす影響を明らかにすることを旨とし、大型撤積船の弾性模型を用いてこれに対比しうる水槽実験を種々の載荷状態について行い、上記計算の推定精度あるいは OSM 計算との関係を検計した。

その結果、次の事項が明らかになった。

1. SRSLAM は様々な波浪中での非線形性を含む船体応答の短期予測を行う手法として有効である。
特に Slamming や Whipping 等の非線形現象が発生している時の船体縦荷重の予測手法として十分な力をもっている。
2. Slamming, Whipping が発生すると船体の縦曲げモーメントの有義値はかなり大きくなる。また、振幅分布は Whipping による影響で、極値の増大や小さな極値が増すため Rayleigh 分布から外れる傾向を持つ。
3. 載荷状態によって縦曲げモーメントの態様にはかなりの差が生ずる。今回の実験ケースによれば、船首喫水の浅いバラスト状態が一番大きな振幅値が生じている。

(58)

反対称運動への細長体理論の適用について

On the application of slender body theory to
antisymmetric motions

野中晃二

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

船体程度の細長さを持つ物体に、細長体理論を適用する場合、近場でのみ成り立つ解よりも、遠場も含めて全領域で成り立つ composite solution が、よりよい近似を与える事が知られている。

composite solution を構成する場合、遠場においては、長軸方向への断面積変化を表わす。長軸上の source 分布による対称流場成分が1次のオーダーとなり、長軸上の横向きの doublet 分布による反対称流場成分が2次のオーダーの項として出て来る。そのため、遠場と近場の解のマッチングにおいては、遠場の解として、1次のオーダーの source 分布による対称流場成分のみが取りあげられている。

ところで、斜航や回頭のような反対称運動において、横方向の付加質量や揚力等の反対称流場が支配的影響を持つ量を考える場合は、遠場の解にも、反対称流場成分を含ませた方が、よりよい近似解が期待出来るであろう。更に、遠場における対称流場成分は、式の上では確かに1次のオーダーであるが、船体前半部の source と船体後半部の sink により一種の doublet となっており、実質上は doublet による反対称流場成分とのオーダー的な差は、小さい事が予想される。

以上の観点により、遠場における解に、2次のオーダーとして出て来る反対称流場成分を含ませる事により、反対称運動により有効に適用出来ると思われる細長体理論における新しい composite solution の構成を試みた。

**Analytical Expansion of Hydrodynamic
Impact Pressure by Matched Asymptotic
Expansion Technique**

漸次接続法を用いた衝撃水圧波形の解析的表現

渡辺 巖

昭和60年11月

西部造船会講演会

船体が水面に衝突する時に発生する衝撃水圧は船体構造強度を研究する上で重要な要素である。これの推定法の理論的根拠としては Wagner の二次元理論が良く知られており、空気巻込みを伴わない二次元的衝撃については良い推定値を与えるときれている。しかし、この理論には流体力的立場から観ると、いくつかの問題点がある。一つは理論の与える水圧をそのまま積分すると運動量理論から出てくる衝撃力を矛盾する結果を与えることであり、もう一つは衝撃の発生する領域は彼の理論の基本仮定である線形性の仮定が崩れるところであるという矛盾である。

本論文において著者は Wagner の理論の批判的検討を行い、衝撃の発生する領域 (Splash region) を別に扱う必要があることを指摘する。すなわち、Splash region を着目するところには、二次元滑走体の淀み点付近に近い流場が存在することを明らかにする。そして、等角写像に基づいた非線形の滑走体流場の解析的表現から Splash region に適当な解を導びく。この解はそれ以外の領域で成立する線形解と Matched Asymptotic Expansion の手法により漸近的に滑らかに接続するように未定部分が決められる。この結果、衝撃水圧として、流場全体に妥当する解析解が導びかれる。

解析解は、Wagner の式あるいは実験値との比較を通して、その有効性が示される。

輻輳域における操縦性能

**Ship Maneuverability and Safe Navigation
in Mating Traffics**

不破 健・今津隼馬

昭和60年12月

第2回運動性能シンポジウム

安全運航を確保する上で、船の操縦性はきわめて重要な要素であり、近年ますます詳細な検討が行われるようになった。しかし、造船の分野における操縦性能向上に関する研究や検討は、完成された船の特性を調べ、その特性をいかに表現するか、そして、それが実績船に比して著しく劣る場合にどのような改善策を講ずるかに主眼があったといえる。近年、設計の初期の段階から各種の図表や実績データを用いて性能を推定することも多くなり、必要に応じて模型試験を実施し、運動推定計算を行う一連の検討手法も定着した。また、船型、船走、水深の影響を考察するための理論的・実験的な基礎研究も行われている。しかしながら、他船や海上交通との係りあいについての検討あるいはその中で操縦性能の必要条件を考える視点は希薄であった。

一方、操船関係の分野では、いかなる船でもあらゆる状況において安全で効率良く運航するための方策が考えられてきた。特に、輻輳海域における操船の問題は重要で、いまま精力的な研究が行われている。

本論は、海上交通と各船の操縦性能との関係を、航行システムと構成要素の特性との関係として捉え検討したものである。これは上記の関係をシステム工学の手法にもとづき解析し、信頼性工学の手法により評価することにより、真に必要な状況下における必要な特性を明らかにすることである。また、航行システムの目的である安全で効率的な航行を追求すると、いわゆる海陸一体のシステムに到達する。現在、知能化船の開発プロジェクトで考えられている自動航行システムも、このように位置づけられるものである。

以上のような論点から、既存の研究を概観し、今後の方向を採った。

〈船体構造部〉

曲げ角度を有する軟鋼線材の引張疲労強度

Pulsating Fatigue Strength of Low Carbon Steel Wires with Weave Angle

小林佑規・青木元也

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

フェロセメントは、金網などを積層した補強材とモルタルから成る薄板の複合材料である。複合材料の強度特性は、一般に補強材の強度特性に依存するものである。そのため、本報告は、フェロセメントの疲労強度を調査するに先立ち、補強材として用いられる織金網の強度特性を把握するため、引張および疲労試験を行い、検討したものである。また、比較のため、織金網素様に与歪を与えた予歪材および織金網に加工される前の伸線材について試験した。供試線材は、線径1mmの軟鋼線材であり、網目間隔6、8および10mmの織金網から採取している。試験結果から、フェロセメントの疲労強度設計等に適用できる次の結論が得られた。

織金網素様の屈曲部には、軸力とともに曲げモーメントが作用する。そのため、公称応力範囲に基づくS-N線図は、一本の直線とならず複雑な曲線となった。降伏点に近い応力レベルでは、屈曲部が直線状に伸ばされるため、疲労強度は著しく改善されるが、中応力レベルでは、破断寿命が 10^4 サイクルオーダーの最も短い寿命となった。この短寿命となる応力範囲は、屈曲部の仮想弾性応力が最大値となるときである。

このようにS-N線図は、任意の繰返し数に対する時間強度が定まらず、設計に用いるには難点である。このため、屈曲部における歪を全塑性モーメントに対する軸力の影響を考慮した仮想弾性応力から算出し、 ϵ -N線図を作成した。 ϵ -N線図は、全ての供試線材に対して ϵ -N $^{0.148}$ =0.0206で与えられたので、設計等への利用は容易であると考えられる。

この式によると、 2×10^6 サイクルのときの歪は0.0024となり、伸線材の疲労限度である0.2%耐力に近い値となる。また、織金網素様の 2×10^6 回強度は、最大引張強度の22%であるが、予歪材の疲労限度は、降伏点近くまで向上する。

波浪衝撃荷重と船体の応答に関する実船計測(第1報)

Full-scale measurements of wave impact forces and hull responses of a ship in waves (1st report)

竹本博安・橋爪 豊・岡 修二

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

波浪中を航行する船舶にとってスラミングによる衝撃荷重は、船首船底部や船首フレア部の局所の局部損傷の原因となるばかりでなく、場合によっては船体を危くすることすらある。

スラミングに関する研究は従来から多く行われているが、まだ残された問題も多い。

本論文では、「異常海難防止システムの総合研究開発」の一環として、海上保安庁と共同で実施した巡視船による波浪衝撃荷重と船体の応答に関する実船計測の概要と解析結果について報告する。

供試船は1000TON型巡視船「しきね」である。試験海域は伊豆諸島西方海上で、計測実施時の海象は波高4~7m、波長40~60mであった。波に対し出会い角、船速を種々に変えて航走し、その間の衝撃水圧、船体運動、船体応力等を計測記録している。

これらのデータの解析の結果を以下に示す。

- (1) 本船の場合、スラミングにより発生する縦曲げ応力は、ボトムスラミングよりバウフレアスラミングによるものの方が大きく、これにはバウフレア部の衝撃水圧が強く関与している。
- (2) 船体運動の計測データから出会い波浪を推定し、バウフレア部の衝撃水圧を推定したところ、計測データとよく合う結果を得た。また、バウフレア部の衝撃水圧の推定に前進速度を無視できないことが示された。
- (3) ホイッピング状態の船体の各種計測値についてスペクトル解析を行った結果、船体の応答は場合によって異なるが、2~4節の振動成分まで考慮すればよいことが示された。
- (4) ホイッピングにおける2節振動成分の減衰は、ホイッピングの初めの数回は非常に大きく、そのパラツキも大きいことが示された。また、後半の減衰率は比較的到低いが、それでも熊井の式の2倍程度であることが分かった。

船首部に作用する衝撃荷重について (第2報)

A Study of Impact Load on Ship Bow

宮本 武・谷澤克治

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

スラミング時の衝撃圧の中で、船底と波面の間に空気層が挟み込まれて発生する、いわゆる Bagnold 型の衝撃圧についてはその実態が明らかでなく、実用的な計算法や推定法を得るまでに至っていない。

本研究では、二次元模型を用いた水面衝撃実験を行ない、空気圧の影響があらわれるといわれている Dead rise angle $\beta < 3^\circ$ のうち $\beta = 2^\circ, 1^\circ$ 及び 0° について種々検討した。また、 $\beta = 0^\circ$ の場合については、高速度カメラによる写真撮影を行い、衝撃圧発生時の空気層厚等を観察した。更に、前報における空気圧の計算モデルを Modify して計算及び実験結果を比較した。

先ず、実験結果については、 $\beta = 2^\circ$ では空気流の影響はなく、計測波形も Wagner 型の衝撃圧波形であり、その最大値もほぼ Wagner の理論値に近いことがわかった。 $\beta = 1^\circ$ では落下速度が $v_0 < 0.4\text{m/s}$ の遅い範囲では Wagner 型であるが、それ以上の範囲では Bognold 型であった。従って、将来 $\beta \leq 3^\circ$ といわれている空気圧の影響は $\beta = 2^\circ$ であることが確認された。

次に、 $\beta = 0^\circ$ の場合の高速度写真撮影 (2000fr/s) の結果、将来考えていた端部の着水現象は明確なものではなく、水面と模型が近づくと端部から吹き出す空気流により、端部で盛り上がった水面が吹き飛ばされ、空気と水の混合領域を形成し、これが空気を閉じ込めると考えた方が合理的であること、また、衝撃時の付加質量はこれまで模型巾を B として $\frac{1}{8} \rho \pi B^2$ としていたが、写真の観察及び圧力分布等から考えて有効幅の考え方を導入した方が合理的であることが分かった。

ここでは、上の考察から着水後の衝撃圧の計算モデルで空気の洩れ係数 C 、付加質量有効巾 b 、空気層厚さ h_0 、落下速度 v_0 をパラメータとして、非線形振動方程式の Simulation 計算を実施し、計算結果と実験結果とを対比させた。その結果、本実験では $C = 6 \times 10^{-6}$ 、 $b = (0.7 \sim 0.8)B$ 、 $h_0 \approx 8\text{mm}$ 程度となっていることが分かった。これは写真の観察結果ともほぼ一致した。

座礁事故時の船体圧壊強度 (第1報)

— 攔座型座礁についての検討 —

Strength of Ship Bottom in Grounding

(1st Report)

— An Investigation into the Case of

a Ship Stranded on a Rock —

有田喜久雄・青木元也

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

危険物運搬船の増加にともない、衝突・座礁・転覆などの海難事故を防止し、万一事故が発生した場合にも、その災害が周辺環境におよぼす影響を最小限に食い止めることの必要性が増大してきている。本研究では、これら海難事故のうちの座礁事故について、二重底の構造強度の検討を行った。

座礁形態としては、船舶が岩礁上に攔座し、岩礁が二重底に突入してくる場合の攔座型座礁を対象にし、実験および解析を行った。また、船舶が岩礁上に擦過し、二重底が岩礁に切り裂かれるような衝突型座礁についても模型による破壊実験を行った。そして、攔座型座礁について、岩礁が内底板に達しないために必要な二重底の最小高さの算出を試みた。

本研究で得られた結果をまとめると次のとおりになる。

- (1) 塑性、大撓み、亀裂の発生、荷重点の変動等の非線形性の著しい二重底圧壊挙動について、汎用有限要素法プログラムを用いた解析方法を検討し、それによって実験値にほぼ対応する計算結果が得られた。ただし、非常に大きな変形状態まで解析する場合には、ここで用いたよりも広い範囲の計算構造対象が必要である。
- (2) 岩礁が内底板に達するところまでの荷重—突入量曲線を、桁の格子点による荷重上昇を考えた簡易計算式によっても検討した。その結果、実験値は格子点の有効な桁幅を Faulkner の式の0.75倍から求めた計算値に近い値になっていた。
- (3) 潮位差、岩礁形状、船体構造、座礁位置が与えられた場合に、必要な二重底高さを求める算定式を近似計算によって導き、その計算結果を実船例と比較して、その妥当性を確かめた。

疲労き裂面の超音波反射特性と画像表示法による
検出について

Ultrasonic Echo Characteristics of Fatigue
Crack Surface and its Detection using
Ultrasonic Imaging Technique

島田道男・榊 昌英・神尾 昭・勝又健一
昭和60年10月
非破壊検査34巻9A号

原子炉圧力容器は定期的な供用中検査において超音波探傷試験を実施しその安全性を確認しているが、鋼板内部の疲労き裂を対象とした場合にはまだ検出感度の点で問題を残していると考えられる。疲労き裂のような平面状欠陥は反射超音波の指向性が鋭いため、発振探触子に戻る超音波エコーは極めて低く検出困難な事が多い。その解決法として発振用及び受信用の2つの探触子を用いる方法もあるが、探触子の走査方法が複雑になるうえ、欠陥に傾きがある時には検出が困難である事などから、実際には利用されていない。

以上の状況から、効果的な内部疲労き裂の検査法が必要と考えた。ここで原子炉圧力容器で想定される低サイクル疲労を考えると、その破面には細かい凹凸がたくさんあり、しかも伝播速度の大きい破面では凹凸も大きくなるので、超音波乱反射が増すと考えられる。この場合、探触子法で乱反射エコーを検出でき、また乱反射エコーを基に画像表示によって疲労き裂の像を得ることができる。画像表示法によれば、ノイズエコーと欠陥エコーの区別が比較的容易になる利点がある。

今回、実際に原子炉圧力容器で想定される伝播速度の疲労破面を作り、数種の探触子を用いて疲労破面のエコー特性を調べ、また疲労割れの検出特性を検討した。

実験に用いた探触子はすべて5MHz 屈折角45度で、横波の標準型、広帯域型、焦点型及び縦波型の4種である。疲労破面のエコー高さは鋼中のパルス幅の大きい探触子ほど高い傾向があったが、欠陥像の見やすさは逆に鋼中パルス幅の小さいほど良い傾向があった。疲労破面の検出度は4つの探触子の間で大きな差はなかったが、総合的には標準型探触子が使いやすいと考えられた。疲労き裂の検出限界は $0.5 \sim 1.0 \times 10^{-3}$ mmサイクルであった。今後、探傷条件を変えた実験を行い、さらに検出度の向上を図る予定である。

(62)

鋼材の動的破壊靱性における温度および歪速度の
影響の検討

Effects of Temperature and Strain Rate on
Dynamic Fracture Toughness of Steel

藤井英輔・大熊 勇・川口喜昭・塚本雅敏
昭和60年11月
日本造船学会論文集

構造用鋼材の動的破壊靱性特性に関連して、種々の試験片による試験が実施されているが、引張速度、変形速度等にもとづく試験片切欠先端の歪速度の影響については余り明らかにされていない。また、標準的な試験法についても確立されていないのが現状である。

本研究では、鋼材の動的破壊靱性におよぼす歪速度影響を明らかにする目的で、板厚125mmの圧力容器用鋼板から採取したCT試験片を用いて、歪速度が 10^{-2} ないし 10^4 ($1/5$)の広範囲にわたる破壊靱性試験を実施して検討した。

破壊靱性値 K_{Ia} および限界開口変位 δ_{ca} は負荷速度に対応した応力拡大係数増加速度 \dot{K}_I 、切欠先端開口変位速度 $\dot{\delta}$ に依存し、これらが増大するほど K_{Ia} 、 δ_{ca} は減少した。しかし、 \dot{K}_I および $\dot{\delta}$ が一定値以上では影響を及ぼさなくなることが分かった。

鋼材の降伏点は温度および歪速度に依存し、その影響は互いに等価の関係にある。そこで、まず供試材の降伏点と温度・歪速度効果指数 R の関係を求めた。次で破壊靱性試験における切欠先端の歪速度および試験温度から、同じく R を用いて動的破壊靱性値との関係を考察した。その結果、適用可能な歪速度の範囲に上限があるが、 R を歪速度の関数によって補正した修正温度・歪速度効果指数 R_M を用いることによって、静的試験を含めて、負荷速度の異なる動的試験による K_{Ia} 、 δ_{ca} の温度および歪速度の影響を統一的に説明できることを明らかにした。したがって、負荷速度が1条件のみの試験によって鋼材の破壊靱性特性を把握し得ることを指摘した。

弾塑性破壊挙動を呈する場合の切欠先端の温度上昇、破壊靱性値におよぼす試験片寸法効果について若干の考察を行った。

〈機 関 開 発 部〉

中空回転円板の動的応力解析

Dynamic Stress Analysis of Rotating
Hollow Discs

天田重庚

昭和60年9月

日本機械学会論文集 A 編51巻469号

回転体が急激な変動回転を行う場合、発生する動的応力を精度良く把握することは回転体の設計や信頼性を評価しうる上で重要である。中空回転円板の動的挙動を調べるため、内周上を剛体軸に固定された円板が、剛体軸より任意の負荷変動を受けて回転する場合、内部に生ずる半径方向の変位と応力、周方向応力について動的解析を行い、一般解を導いた。半径方向と周方向応力、 $\bar{\sigma}_r$ 、 $\bar{\sigma}_\theta$ については次式にて与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_r &= F_r(\nu, \bar{a}, \lambda_n, \bar{r}) \\ \bar{\sigma}_\theta &= F_\theta(\nu, \bar{a}, \lambda_n, \bar{r}) \end{aligned} \right\} \int_0^{\bar{t}} \bar{\omega}^2(\bar{t}-\xi) \sin(\lambda_n \xi) d\xi$$

ここで、 F_r 、 F_θ はポアソン比 ν 、内外径比 $\bar{a}=a/b$ 、固有値 λ_n 、無次元半径 \bar{r} の関数であり、 $\bar{\omega}$ は無次元の角速度、 \bar{t} は時間である。動的回転過程としてランプ状回転変動、

$$\bar{\omega}(\bar{t}) = \begin{cases} (\bar{\omega}_0/\bar{T}_c)t : 0 \leq \bar{t} \leq \bar{T}_c \\ \bar{\omega}_0 : \bar{t} > \bar{T}_c \end{cases}$$

の場合について数値計算を行った。ここで、 $\bar{\omega}_0$ と \bar{T}_c は定数であり、 \bar{T}_c をパラメータとして採用し、特に \bar{T}_c の動的応力に及ぼす影響に着目した。 $\bar{T}_c \rightarrow 0$ の極限として、 $\bar{\omega}(\bar{t}) = \bar{\omega}_0 H(\bar{t})$ の場合についても調べた。ただし、 $H(\bar{t})$ はヘビサイド関数である。遠心力のみを考慮した準静的応力 $\bar{\sigma}_r$ 、 $\bar{\sigma}_\theta$ と動的応力の一定回転過程 ($\bar{t} > \bar{T}_c$) における周期変動の振幅 $\Delta \bar{\sigma}_r$ 、 $\Delta \bar{\sigma}_\theta$ との比 η 、

$$\eta = \frac{\Delta \bar{\sigma}_r}{\bar{\sigma}_r^q} = \frac{\Delta \bar{\sigma}_\theta}{\bar{\sigma}_\theta^q} \Big|_{r=a}$$

は、近似的に次式にて与えられる。

$$\eta = 0.294 \times 10^{-4} / T_c \quad \text{for } (1/T_c) < 3.4 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$$

$$\eta = 1 \quad \text{for } (1/T_c) \geq 3.4 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$$

一定回転での周期変動の周期は $0.822 \times 10^{-4} \text{ s}$ であり、振動数では $7.624 \times 10^4 \text{ rad/s}$ に相当する。これは、回転円板の面内の1次の固有振動数に近い値であることが判った。

ディーゼル機関へのセラミック部品の適用

Application of Ceramic parts for Diesel Engine

宮城靖夫・天田重庚・故 町田明正

三井ドイツディーゼル・小田柿秋津

四宮靖三・平野元幹

昭和60年10月

日本船用機関学会第37回学術講演会

小型ディーゼル機関にセラミック部品を組み込み、セラミックスの耐久性とエンジン性能の変化を調べた結果を報告する。

供試ディーゼル機関は強制空冷方式の4サイクル、2気筒エンジンで、ミリング径100φ、ストローク120mm、最大出力31ps/2300rpmの直接噴射機関である。

セラミック部品はピストンを一体型の窒化珪素常圧焼結品、シリングスリーブはPSZ(部分安定化ジルコニア)を焼ばめ、給排気バルブシートもPSZを焼ばめ、シリングヘッドと給排気バルブの燃焼室面はPSZコーティングとし、ピストンが上死点付近になった時に燃焼室内壁部分を全てセラミック部品で覆うようにしてある。

セラミック部品の耐久性は一体型窒化珪素ピストンについては現在まで延430時間以上異常がない。PSZ製部品は初期に熱安定性に劣り不具合があったが、改善されたPSZでは現在まで延230時間以上異常なく運転している。PSZコーティングは著しい剥落は無いが、亀甲状のクラックが発生している。

エンジン性能は標準仕様エンジンの燃費が2000rpm以下ではほぼ一定であるのに対し、セラミック化エンジンでは低速になるほど良くなり、更に冷却用ファンの回転数を落した冷却低減エンジンでは高速域でもファン駆動動力の減少分燃費が良くなり、最大出力で標準仕様の4%、1500rpm・1/4負荷では12%の改善となった。

セラミック化することにより燃焼室内の温度が上がり、燃焼状況が変化していることも燃焼解析、温度計測、排ガス分析などによりうかがえる。このため燃料噴射時期を変更して特性の変化を調べたが、標準仕様とくらべ余り差異はみられなかった。しかし熱発生率からは明らかにセラミック化エンジンの方が着火が早く、最大値が減少していることが計測されている。

側壁型 ACV の抵抗特性と動力評価

Performance Evaluation of Sidewall ACV

井亀 優・佐藤 義

昭和60年10月

第23回飛行機シンポジウム講演集

側壁型 ACV の動力性能を明らかにするため、船舶技術研究所で行ってきた水槽実験結果を基礎に、単純なモデルを考えて計算を行った。計算モデルは矩形クッション、くさび形側壁を持つ側壁浮力分担率の小さい側壁型 ACV で、静水中を最適トリムで航行とした。また推進系、浮揚系の性能は推進効率、ダクト効率、ファン効率、伝達効率等で代表させた。そして抵抗特性に大きな影響を及ぼすクッション圧力、クッションアスペクト比を与えて水槽実験結果に基づいて抵抗を求め、前述の仮定を基に動力性能を計算した。

計算結果を次のような観点から比較、検討した。有効抗揚比 全動力/(重力加速度×総質量×速力)の最小値と速力の関係及びその時のクッション圧力、クッションアスペクト比と速力の関係はどうか、またこれらの関係が実機の値に対応しているか。実用化されている各種交通機関の有効抗揚比と比べてどの領域に位置付けられるか。これらの比較、検討の結果、次のような結論を得た。

1) 側壁型 ACV は総質量、速力に対してクッションの最適条件があり、高フルード数で航行するもの程、 hc/lc (ホバー時のクッションによる水面のくぼみの深さとクッション長の比)、 bc/lc (クッションアスペクト比) が大きくなる傾向を持つ。これは hc/lc 、 bc/lc の造波抵抗、側壁摩擦抵抗を通じての推進動力及び浮揚動力への影響によることが明らかになった。2) 最小有効抗揚比及びその時の ha/lc とフルード数の関係は、定量性の面で問題は残されているものの、ほぼ実機の傾向を表しており、本計算手法が一次オーダの動力評価に使えることが確められた。3) 計算による側壁型 ACV の有効抗揚比を実用化されている各種交通機関のそれと比較した結果、1000t 級の側壁型 ACV は 15~30m/s (約30~60kt) の領域において、海上交通の分野に陸上交通機関 (自動車) 並の性能をもたらすものと位置付けられた。

衝撃的な回転を受けるはりの動的応答

Dynamic response of a beam subjected to impulsive-like rotations

天田重庚

昭和60年10月

日本機械学会論文集、C 編51巻470号

タービンの起動や停止時、ブレードの折損事故などによって回転が急激に変動する場合のブレードの動的挙動は定常振動と著しく異なることが推察される。本報告は一次元のはりモデルを用いて、これが衝撃的回轉變動を受ける場合の動的挙動を明らかにした。はりは Euler-Bernoulli 仮定に従い、Hamilton の原理を用いて基礎式を導入した。回転するはりのたわみの運動方程式を差分化し、数値解析により解を求めた。時間と共に指数関数的に一定回転まで上昇する変動回転過程について数値計算を行った。

はりが角速度 $\Omega(t)$

$$\Omega(t) = \Omega_0 [1 - \exp(-ct)], \quad \Omega_0, c: \text{定数} \quad (1)$$

にて、はりのたわみの動的応答を求めた結果、次のような結論を得た。

- (1) 周期変動するはり先端のたわみの平均値は、時間と共に零に漸近的に近づく。この傾向は式(1)の c の増大と共に著しくなる。
- (2) たわみ振動の振巾と周期は時間と共に減少し、 c が大きくなるにつれて此の減少は早くなる。
- (3) Southwell 係数 $\phi = 1.173$ を用いた固有円振動数

$$\omega^2 = \omega_0^2 + \phi \Omega^2, \quad \omega_0: \text{非回転はり} \quad (2)$$

による周期の計算値と比較すると、本計算結果は近似的に一致する。

- (4) 式(1)の C とはり先端の振動振巾 Δw との関係は、回転開始時に

$$\Delta w_0 = 1.382c$$

一定回転に達した時点にて

$$\Delta w_s = 0.706c$$

のような線形関係となる。

タービン内再熱水素燃焼ガスタービンの
サイクル論的検討

Thermodynamic Performance of Hydrogen
Fueled Internal Reheat Gas Turbine

平岡克英・森下輝夫・菅 進

昭和60年11月

日本ガスタービン学会鹿児島地区講演会講演論文集

水素は反応が早く、多量の熱エネルギーを発生することなど燃料として多くの利点を有し、比熱と熱伝導度が大いという熱特性を有する。水素のこのような特性を生かして、タービン翼を水素で冷却し、その後タービン内で燃焼させるタービン内再熱方式を提案し、このタービン内再熱ガスタービンの可能性の実証を試みているところである。タービン内再熱が可能となれば、多段再熱を行うことが可能となる。しかし、タービンの冷却に必要なガス量が増大するのでその対応策と高温の排気ガスの熱エネルギーの効果的な回収が課題になる。

本報では、冷却ガスの対応策として、排気ガスで蒸気を発生し、タービン翼・ケーシングの冷却を行い、排熱の回収については、(1)蒸気を圧縮機吐出口に注入する。(2)蒸気タービンとの複合サイクルにする。(3)排気ガスで燃料水素の予熱をすることを考慮して、熱力学的性能の検討を行った。

検討の結果、次の結論を得た。(1)多段再熱により、熱効率、比出力が増大する。(2)蒸気注入、複合サイクルとすることで大幅に熱効率が改善される。熱効率は複合サイクルが高く、比出力は蒸気注入サイクルが大きい。(3)再生器の温度効率が高いほど再熱の熱効率に与える効果大きい。冷却した場合、タービン入口温度が高く温度効率も大きいと再熱回数が制限される。温度効率が低い場合、再熱の効果はなく熱効率は低下する。(4)冷却した場合、ガスタービンの熱効率は冷却蒸気の仕仕事のために無冷却に比してあまり低下しない。しかし、蒸気注入サイクル、複合サイクルでは供給可能な蒸気量が減少するために熱効率は大きく低下する。(5)燃料水素による排熱回収は全てのサイクルの熱効率の改善に効果的である。

<機 関 性 能 部>

燃料性状および運転条件と粒状排出物との関連性

Influence of Fuel Properties and Operating
Conditions on Particulate Emissions

辻 歌男・塩出敬二郎

昭和60年 5 月

日本機械学会、RC-61ディーゼル機関の炭素微粒子
研究分科会、研究成果報告会、資料集

船用C重油は高粘度化、高比重化および二次分解装置から生産される低質な重油基材の重油への調合割合の高比率化が進んでいる。これに伴って燃料の着火性、燃料性が低下して船用機関の故障が多発している。

船用機関の故障のうち、燃焼不良により生成されるすすが原因となって起きるものは多いが、しかし、燃料の性状および機関運転条件がすすの排出量とどのような関連性を持っているのか、また、すすの排出量が機関故障とどのように関連しているかについての資料がほとんどない。そこで、船用低質重油の性状および運転条件がすすの排出特性、燃焼室周りのデポジット付着量、ピストンリング摩耗量、潤滑油の劣化などにどのような影響を与えるかを、小形ディーゼル機関による実験によって調べた。機関の運転条件としては、給気温度、回転数、燃料噴射時期、燃料噴射弁の噴孔数、噴孔径、噴霧角などを変化させた。また燃料性状の影響を調べるためには、性状の異なる9種類の燃料について実験を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。低負荷時に給気温度を高くするとすす濃度、スモーク濃度を低下させることができるが、高負荷時には、空気過剰率が低下するためにすす濃度、スモーク濃度は逆に高くなる。高粘度低質重油では、低回転時には噴射圧力が十分に上がらないため霧化が悪くなりすす濃度、スモーク濃度などが高くなる。A/Cブレンド油では、A重油の調合割合が多くなれば燃焼が改善されて、スモーク濃度、デポジット付着量、ピストンリング摩耗量などは減少する。低質重油では、すす濃度は燃料中の残留炭素分や硫黄分などが多くなると高くなる。ピストンリング摩耗量は、残留炭素分、灰分、水分などが多くなると増加する。潤滑油中のn-ペンタン不溶解分は、残留炭素分、水分などが多くなると増加する。

Pulse Laser Raman Diagnostics Applied to Hydrocarbon Flames

パルスレーザラマン診断法の炭化水素炎への応用

山岸 進

昭和60年 8 月

Proceedings of IEA Task Leaders Meeting 7 卷

スポンチニアスレーザラマン法は機器構成が比較的単純で、同時に多数の分子を観測できるという非常に有利な点を持っているが、信号が微弱であるため、従来、適用範囲が輝度の低い水炎に限られていた。

本報では高輝度炎でもこのラマン法を使用するため、パルスレーザと受光部にゲート操作を取り入れたラマン測光システムを作り炭化水素炎の温度・濃度分布を測定した結果を述べる。

実験では、窒素のストークス光を用いてラインフィッティングにより温度を求めると同時に、燃料濃度も測定した。使用したラマンシフトは、 C_2H_2 1973.5 cm^{-1} (ν_2), C_2H_4 1622.6 cm^{-1} (ν_2), 1342.4 cm^{-1} (ν_3), O_2 1554.7 cm^{-1} , N_2 2330.7 cm^{-1} であった。光源はパルス YAG レーザで、最大出力 120mj/pulse (THG), 繰返し 2~20HZ, パルス巾 5~6nsec であった。

この波長域は自発光の弱い領域であり、かつエネルギー的にも 532nm の光より約 5 倍有利である。受光部には MCP (多チャンネルプレート) を使い、露光時間約 18nsec に設定し、この間にレーザ光 (5~6nsec) を入射しその散乱光を観測した。この方法は SNR (信号雑音比) の向上に極めて有効であり、 C_2H_2/air , C_2H_4/air の高輝度内炎を測定することができた。

このデータから局所的な温度と空燃比を同時に観測することができた、さらに、 C_2H_2/air 炎についてはシミュレーションモデル (二成分系) の値と比較を行った結果、温度及び酸素濃度については良く一致していた。

以上、パルスレーザ光源を使い、受光部にゲート操作を施しシステムの同期を図ることによって背景光や蛍光の影響を除くことができ、SNR の改善に有効であり高輝度の内炎においても温度・濃度の同時計測が可能である事が分かった。実際の炎では、浮遊粒子にレーザが集光してブレイクダウンが生ずるためレーザ強度をこの限界内に抑えなければならない。

スイングパッドジャーナル軸受の特性

Characteristics of a Swing Pad Journal Bearing

前橋正雄

昭和60年10月

日本潤滑学会創立30周年記念全国大会

スイングパッド軸受は、テイルテングパッド軸受のように分割された揺動可能な軸受面で構成された軸受であり、その構造的特徴は鋼板と高弾性板を同心円弧状でサンドイッチに積層したパッド台にすべり面となるパッド部を装備した形状にある。一定の軸受圧力を受けた状態で回転が起こると、回転体の起動で誘起されたせん断力により、パッド面がスイングして回転面に対してくさび状を形成して、油膜のくさび効果を高める。その結果、摩擦係数の減少、負荷能力の増大、自動調心性の向上等軸受性能が従来型のものより向上するといわれている。このように低速運転時において油膜形成が良好となり、自動調心性もある軸受は船舶の推進軸系用軸受としても有望であると考えられる。

しかし、ジャーナル軸受についての実証例はみあたらない。そこで、軸受寸法 150D×200B, パッド数片面 5 個の 2 分割形のスイングパッドジャーナル軸受を試作し、低速回転域に重点をおいて、軸受摩擦特性、パッドのスイング状況、沈み込み量を調べ、また、従来型の 2 溝付真円軸受についても摩擦特性を調べ比較検討した。その結果次のようなことがわかった。

従来型軸受の場合、境界潤滑領域に入ると軸受特性値の減少に伴い摩擦係数は急激に増大し、局部的メタル接触などにより一回転間の摩擦トルク変動も大きくなっている。スイングパッドジャーナル軸受では軸受特性値の減少に伴う摩擦係数の立ち上がりは、従来型軸受よりゆるやかで、一回転間の摩擦トルクの変動も小さい。また、スイングパッド軸受はパッドスイングと軸受面の沈み込みの相互作用により、自動調心性の向上が期待できる。

〈機 装 部〉

ガス切断材の残留応力について

The Residual Stress induced in Gas
Cut Steel Plates

林 慎也・永松徳二

昭和60年10月

日本溶接学会秋期全国大会前刷集

鋼材を熱切断すると切断部は熱履歴を受け、熱変形による引張応力及びマルテンサイト変態による圧縮応力とが発生する。本報告では、幅160mm、長170mm、厚20mmのSM41とHT80を大気中及び水中でガス切断(予熱ガスLPガス)し、切断材に残留する応力の分布状態について検討した。

切断位置はHT80の場合は長さ方向40mmの位置で、SM41については長さ方向40mmに切断後さらに切断部から40mmの位置で切断した。切断後、ゲージ長0.2mm(ベース長2mm×2mm)のひずみゲージ及びX線応力測定装置(X線照射面積2mm×4mm)を使用して切断材の残留応力を計測した。測定点の大きさが2mmと比較的大きいために、応力の局所的変化は調べることが出来なかったが、マクロ的な傾向は把握出来た。また、X線強度分布の半価幅値と既報の硬さとの対応を調べた。得られた主な結果は次の通りである。

- ① 切断部には引張側の応力が残留する。即ち、今回の切断材の残留応力には、マルテンサイト変態より熱変形の方が寄与した。切断部の残留応力の大きさは10~20kg/mm²であった。
- ② ガス切断されていない端部にも引張残留応力が存在した。熱変形の際に生じたものと考えられる。
- ③ 切断環境の残留応力分布への影響はなかった。
- ④ 切断材の火口側(上縁)の応力分布と裏側(下縁)のそれとに大きい差は認められない。
- ⑤ X線強度の半価幅値と硬さとの間に良い対応が見られた。

船舶の自動航行シミュレーションについて

Simulation of automatic navigation system

田中邦彦・沼野正義・不破 健

昭和60年10月

日本シミュレーション学会

第6回研究発表会講演集

船舶の航行の安全と信頼性を高めるため、自動航行システムの研究を行っている。操縦特性、航路の状態航行支援装置、交通の輻輳度の現状を勘案すると、船舶の操縦制御における人間の役割は航空機、鉄道、自動車と比較にならないほど重要である。現在、船長や水先人の高度な専門的技量に依存している操船判断過程の自動化が緊急の課題である。そこで、今回、自動航行システムの基礎研究の一環として、操船・航行機能から操船判断機能を分離して扱う手法を用いて自動航行シミュレーションを行った。

シミュレーションには2台のコンピュータを用い、標準バスGP-IBで接続しデータ通信を行うマルチプロセスシミュレーションの手法を検討した。1台のコンピュータは船体運動や航法計算等を行う航行部分である。他のコンピュータは操船判断部分であり、意志決定を行い、航行部分に指令を発する。操船判断部分は将来エキスパートシステムへの発展を考えLISPで記述した。

自動航行のアルゴリズムは、航路航行部分と操船判断部分とで構成した。航路航行は、目標航路を折れ線と与え、船の操縦運動モデルは応答モデルを用い、目標航路からの横変位をフィードバックに含む操舵系を最適化の手法を用いて設計することで実現できる。操船判断は、相対位置、相対速度から推定される衝突危険度に基づいて行われ、設定した安全航過距離を維持するための変針、変速の指令を与える。また、衝突危険が去り安全が確認されるともとの目標航路への復帰を指令する。

2船間の避航問題をシミュレーションを実施して検討した。その結果、相手船の視認、衝突危険の評価、避航行動の決定、避航操船、安全の確認、復帰という一連の動作が確認できた。今後は、衝突危険の評価法、損失の少ない行動の選定方法を検討して判断モデルの充実を計ると共に、より実際の局面における検討を行う予定である。

最適航路モデルによる航行シミュレーションについて

Simulation Study on a Marine Traffic Control
by means of an Optimal Route Setting Method

金湖富士夫

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

現在、多数の船で輻輳する海域内を航行する場合、衝突危険が存在しない限り目的地までの最短経路を航行し、衝突危険が発生する度毎に避航操船を行っている。しかしこのような航行は局所的な最適化であって、大局的に見れば安全性、効率性の面でさらに最適な航行が存在し得る。大局的な最適航行を実現するには、海域内全船の位置、速度、および意志の把握が必要であるが、これらのことは船のみでは不可能であり、管制が必要となる。そのような管制に有効な方法が石谷等により提案されている。その方法の核となるものは所定の海域内全船の現在位置、運動状態および目的地が把握された場合に各船の目的地までの安全かつ効率的な最適航路を、経路最適化問題として定式化し求解する手法である。

本研究ではその手法を拡張し、乗揚げ回避、および航法における右側通航の原則を取込み、実海域に適用可能な最適航路設定モデルを作成した。そのモデルの効果は例題により確認された。さらにそのモデルを東京湾に適用し、まず他船の影響のない基本的な場合の最適航路（基本航路）について検討した。次に、時々刻々湾口、および港から湾内に入船する船の管制をそのモデルを用いて行うことを想定した航行シミュレーションを行い、得られた航跡と基本航路との差異等につき考察を行った。その際、管制センターは湾内に船が入船する度毎に湾内の全船の最適航路を計算し直し、全船に通知することになる。なお、そのシミュレーションにおいては船の運動特性を考慮せず、そのモデルより得られた各船の最適航路をそれぞれの船が忠実に航行すると仮定している。

FRP 船の廃船処理法

The Breaking Method of Waste FRP Boats

林 慎也・竹鼻三雄

昭和60年12月

日本複合材料学会誌11巻6号

耐久性・経済性等の面で非常に優れた性質を有するFRPを構造材料としたFRP船は、現在、小型漁船、レジャー用ボート等の主流を占めている。FRP船が実用化されて以来、既に20年以上経過した。その物理的耐用年数からそろそろ代替時期を迎えFRP船の廃船が大量に出てくるのが十分予想される。FRP船の廃棄処理を行う時には不朽性といった船体材料としての利点が処理を困難にしており、経済合理性のあるFRP船廃船の解体・処理システムは種々研究・検討されているが未だに確立されていないのが現状である。

船舶技術研究所においては環境庁の国立機関公害防止等試験研究費により、通産省工業技術院四国工業試験所との共同研究として昭和60年度から4年計画で「FRP船廃船処理技術に関する研究」を実施し、既存の技術をFRP船廃船処理に応用するための研究を行い、二次公害の無い、低コストで、かつ作業性の良い実用的処理システムの確立を目指している。即ち、廃船解体技術としては溶断法(ガス切断、プラズマ切断)、と石切断法、制御爆破法、並びに低温破壊法の可能性を調べる。また、廃材処理技術として、流動床炉による焼却および低温・常温破砕法について検討する。

本報告では、船舶技術研究所における研究の紹介を中心に、現在の段階でFRP船の解体・処理に利用し得る技術の概要について解説する。目次は次のとおり。

1. まえがき
2. FRP船の現状
3. 廃船の現状と処理対策
4. 廃棄処理技術の現状
5. 船舶技術研究所の研究概要
 - (1) FRP船廃船解体技術の研究
 - (2) FRP廃材の処理技術の研究
6. あとがき
7. 参考文献

〈原子力船部〉

**Simple Formula for Expression of Dose Rate
Distribution Around Spent Fuel Shipping Cask**

使用済核燃料輸送容器周辺線量率分布に対する
簡単な表示式

山越寿夫

昭和60年9月

Atomic Energy Society of Japan

Jour. Nucl. Sci. Tech., 1985 Vol. 22 No. 9

輸送容器長軸中央に座標原点を置き、任意の位置における線量率を簡潔に記述する解析式を導びいた。輸送容器表面からの放射線角度分布は Cosine 法則に従うものとし、容器表面上の線源強度は容器長軸方向に関して一様であると仮定している。

乾式・湿式容器のまわりの線量率分布測定値と計算値との比較から計算式の妥当性を検証した。

計算式は単純であるが計算結果の信頼性は極めて高い。従来の2次元・3次元計算法に代わる容器周辺線量率分布計算法として、輸送容器積載船内の線量率分布や容器間に狭まれた空間の線量率分布の計算に有効に役立てることができる。

応用上必要な計算定数も併せて記載した。

**解析関数表示式の応用によるキャスク運搬船内
線量率分布の解析**

**Analysis of radiation dose rate distributions
in a ship loaded with many casks by application
of analytical expression of radiation dose
rate around a cask.**

山越寿夫

昭和60年10月

日本原子力学会秋の分科会

キャスク周辺の線量率分布の解析関数表示式¹⁾、キャスク運搬船内線量率分布計算に適用し、実測値と計算値との比較検討した。この結果、解析関数表示式が計算式として妥当なこと、この式は複数個のキャスクから成る体系の放射線々量率空間分布計算において有効な手段であることを実証することができた。

特に、計算式が単純であり、計算手順、計算時間も非常に短かくて済むので、この計算式をパソコンに組み込むことができること、キャスク発送前検査で得られるキャスク表面線量率データにもとずき船内キャスク予想積載配置に対応した船内放射線空間分布の詳細が高い信頼性で予測できることが明らかとなった点が成果の主な特徴である。

1) H. Yamakoshi, Jour. Nucl. Sci. Tech., Vol. 22, No. 9 (1985)

コールドレグ流動振動における凝縮形態の多様性とヒステリシス

Diversity and Hysteresis Appeared between Regimes of Steam Condensation at Cold-Leg Flow Oscillation

綾 威雄・成合英樹

昭和60年10月

日本原子力学会昭和60年秋の分科会

加圧水型原子炉の冷却材喪失事故時にはコールドレグより非常用炉心冷却水が注入される。その際、蒸気凝縮に起因した流動振動の生ずる可能性のあることが従来より指摘されている。筆者らは、小型装置による模擬実験を行い、その流動振動が蒸気流量や注水量・注水温度にどのように依存するかを調べてきた。このような振動現象にはさまざまなタイプのヒステリシスが現れる。本研究は、冷水注入口近傍での蒸気凝縮の形態と振動現象のヒステリシスの係りを明らかにするために行った実験結果を考察したものである。

注入口から噴出される冷水ジェットの形状は次の4種類に分類できる。

- (a) 冷水はほとんど噴霧しないため、ジェット部の凝縮速度は他の形態より小さく、界面は上下流に大きく振動し、その周期は長い（本装置では $2H_2$ 前後）。
- (b) 冷水は大きく広がった噴霧状態とあまり噴霧していない状態を交互に繰り返す。ジェット部の凝縮力は大きく、その変動も大きい。そのため界面の変動巾は小さく、周期は中程度（ $\approx 10H_2$ ）。
- (c) ジェット部はよく噴霧した状態が持続するが、噴霧形状の微小変動に伴って周期の短い圧力振動（ $100\sim 200H_2$ ）が生じる。ジェット部の凝縮力は大きく、界面はほとんど変動しない。
- (d) 上流部に蒸気ボイドが形成され、その崩壊とともに Waterhammer が生じる。Waterhammer による圧力ピークの持続時間は非常に短い（ 10^{-3} 秒以下）。

以上のようにジェット部の凝縮形態は多様性を有するが、同一の実験条件でも蒸気流量の増加時と減少時とで異なった形態が現れる場合がある。凝縮形態(a)と(c)の間のヒステリシスは、蒸気流量を減少させる時に(a)が生じ易く、逆に増加させるときには(c)の生じる範囲が広がる。また、(a)、(b)と安定界面の3者間にもヒステリシスが現れる場合があり、この場合は、蒸気流量増加時に圧力変動振巾の大きい(a)が生じ易くなる。

(70)

Boundaries between Regimes of Pressure Oscillation Induced by Steam Condensation in Pressure Suppression Containment

圧力抑制型格納容器内の蒸気凝縮時に生じる
圧力振動の様式間の境界

綾 威雄・成合英樹

昭和60年10月

ANS, ASME, AICHE 3rd Int, Topical Mtg. on Nuclear Thermal hydraulics

蒸気をベント管を通してサブクール（未飽和温度）水中で凝縮させる際には、サブクール度と蒸気流量に依存してベント管系に種々の圧力振動が生じる。この現象は、沸騰水型原子炉の冷却材喪失事故時に圧力抑制型格納容器が受ける荷重の問題として、ここ10年間関心が持たれてきた。大規模装置によるデータの収集や小規模実験によるメカニズムの解明が続けられており、現象の全体的な様相は次第に明らかになりつつある。しかし、いまだ不明な点も残されており、サブクール度と蒸気流量で表わされる振動様式マップに現れる様式間の境界についての理論的な考察は皆無に近い。

本研究は、この振動様式間の境界に理論的な意味付けをするとともに、その境界を表わす式を導くことを目的としている。境界は、その特徴から二つの温度限界と二つの蒸気流量限界から成っており、それぞれの境界は以下のようにして求められる。

サブクール度の高い（ $20\sim 30K$ ）境界は圧力振動の内高周波成分の発生限界で、サブクール度の低い（ほぼ $5K$ ）境界は低周波成分の発生限界である。これらは、それぞれ、蒸気泡およびヘッダーを含めた蒸気空間をコントロール容積とする振動であって、ともに界面の微小変動に対する線形安定論より解析的に求められ、気泡形状の蒸気流量依存性を考慮すれば実験値とはほぼ一致する。

蒸気流量の低い境界は、プール水のベント管内への逆流を伴うチャギング現象の発生限界であり、界面がサブクール水中へ出た際の負圧によるプール水の吸い上げ効果と、供給蒸気による界面押し下げ効果が釣合った点として解析的に示すことができる。

蒸気流量の高い境界は、小チャギング時に高周波成分に重畳して現れる低周波成分を支配しているヘッダー内の圧力変動がベント管出口の圧力変動と周期しくくなる点であり、2点間の圧力変動の周期性を示す指標である Hodgson 数（系の時定数/変動周期）によりうまく説明できる。

GO-FLOW 手法による信頼性解析 (2)
船用炉非常用炉心冷却系の信頼性解析

Reliability Analysis by the GO-FLOW Method (2)
Reliability Analysis of the Emergency Core
Cooling Systems of Marine Reactor

小林道幸・松岡 猛

昭和60年10月

日本原子力学会秋の分科会

複雑な動作モードを持つ系の信頼性解析，時間経過に伴う故障率の算出等が容易に実施可能な信頼性解析手法として，船研では GO-FLOW 手法の開発を行っているが，本報告では，船用炉非常用炉心冷却系の解析実施例を紹介し，本手法による Phased Mission Problem への適用の有効性を示した。

解析対象としたシステムは，高圧注水系 (HPCI) 及び低圧注水系 (LPCI) 各 2 系統と再循環冷却系が 1 系統で構成されており，高圧注水系，低圧注水系は各 2 系統のうちそれぞれ 1 系統の作動を，また，再循環冷却系は，3 台の再循環ポンプのうち 2 台の運転が要求されるものとした。なお，本解においては電源及び水源は常に確保されているものとし，また，各系統は独立と考え，共通の配管部分の存在及び格納容器スプレ-系の寄与は考慮していない。

各系統の炉心冷却への寄与は，LOCA の様態，規模によって異なってくるが，ここでは，作動モードを次のように設定した。LOCA 発生信号により，HPCI と LPCI が同時に起動されるが，炉心への注水は専ら HPCI によるもので，LPCI は実質的に寄与しない期間 (Phase 1, 0~0.5時間)。HPCI が終了し，LPCI に期待する期間 (Phase 2, 0.5~1時間)。但し，Phase 2では，再循環冷却系が LPCI のバック・アップ機能を持つものとした。次に，再循環冷却系による長期冷却を行う期間 (Phase 3, 1~36時間)。

これらの各 Phase の開始，作動中及び終了時点に対応してタイム・ポイントを設定して解析を実施し，船用炉非常用炉心冷却系に要求される作動モードの失敗確率の時間経過に伴う推移が得られることを示した。

GO-FLOW 手法による信頼性解析 (3)
Time Dependent Unavailability Analysis

Reliability Analysis by the GO-FLOW Method (3)
Time Dependent Unavailability Analysis

松岡 猛・小林道幸

昭和60年10月

日本原子力学会秋の分科会

信頼性解析手法の一つとして，船研において GO-FLOW 手法を開発して来たが，本報告では，Time Dependent Unavailability Analysis が GO-FLOW 手法により実施可能である事を示した。

解析対象としては，WASH-1400レポート中の Auxiliary Feed Water 系を単純化した系を選んだ。系はディーゼル発電機 2 台，ポンプ 1 台，バルブ 2 個より構成されている。バルブ，ポンプの定期試験間隔は 30 日。ディーゼル発電機の定期試験間隔は 60 日で，1 台ずつ 30 日毎に交互に実施し，バルブ，ポンプの試験時期との間にも 15 日のずれを置く。試験に要する平均時間は 1.5 時間。補修に要する平均時間はバルブ，ポンプ，ディーゼル発電機をそれぞれ 7，19，21 時間とした。試験中，バルブ，ポンプは作動不能とし，ディーゼル発電機は 90% の確率で作動可能とした。

対象とする系は 4 種類のオペレータを用い，GO-FLOW チャートに表現される。系の動作可能は GO-FLOW チャート中の最終信号線 (信号線 No. 15) の出力の有無によりあらわされる。75 日間の試験，補修の実施に対応して 30 個のタイム・ポイントを設定した。

解析の結果，各タイム・ポイントにおける信号線 No. 15 の存在確率が得られ，時間経過に伴う系のアンアベイラビリティが求まった。

更に，試験実施に伴い，一定確率で故障が発生する場合及び故障検出確率が 100% より低い場合も取り扱いが可能であった。

GO-FLOW 手法により，Time Dependent Unavailability Analysis が一度の計算で実施できる事が示され，確率論的信頼性解析において有用な手法である事が確認された。

船用炉非常炉心注入系の GO-FLOW 手法による
信頼性解析

Reliability Analysis of the Emergency Core
Cooling Systems of Marine Reactor
by the GO-FLOW Method

松岡 猛・小林道幸

昭和60年11月

PRA の理論と応用に関する短期研究会

原子力プラントに代表される大規模システムの信頼性解析手法としては、イベント・ツリー解析、フォールト・ツリー解析及び GO 手法がよく知られている。しかし、フォールト・ツリー解析では頂上事象として一つのシステムの不作動だけしか選定できない事、フォールト・ツリーの作成には熟練を要し、作成されたフォールト・ツリーに論理的な欠陥がない事を確認する事が難しい等の問題点がある。

GO 手法は、上記の問題点を解決した有用な解析手法であるが、この GO 手法の配管系である原子力船の非常用崩壊熱除去系の信頼性解析に適用した結果、複雑な動作モードを持つ系への適用、時間経過に伴う故障等の算出等が困難である事が判明した。そこで、著者らは GO 手法を基本とし、その特徴を生かしたまま GO 手法における限界を克服するため GO-FLOW 手法を開発した。

本報告は、GO-FLOW 手法の概要と GO-FLOW 手法による船用炉非常炉心注入系の信頼性解析例を記述したものである。

船用炉非常炉心注入系は、独立 2 系統の高圧注入系 (HPCI)、ポンプ出口がタイラインで接続された 2 系統の低圧注入系 (LPCI) 及び再循環冷却系 1 系統で構成されている。システムが完全に整備されてから 30 日後に LOCA が発生し、ディーゼル発電機 3 台、HPCI 及び LPCI 各 2 系統が同時に自動起動される。電源は、ディーゼル発電機 1 台で供給可能とする。まず、LOCA 発生から 30 分間 HPCI 2 系統のうち 1 系統の作動が要求される Phase 1、それに続く 30 分間 HPCI、LPCI 合計 4 系統のうち 2 系統の作動が要求される Phase 2、続いて、再循環系を手動起動して長期冷却 (35 時間) を行う Phase 3 の 3 つの作動モードを設定し、解析を行い、各 Phase において要求される動作の失敗確率の時間経過に伴う推移が一度の計算で得られることを示した。

(72)

蒸気のプール水中凝縮時に生ずる圧力振動の
発生限界

Occurrence Threshold of Pressure
Oscillations Induced by Steam
Condensation into Pool Water

綾 威雄・成合英樹

昭和60年11月

日本機械学会論文集51巻471号B編

蒸気をプール水中で凝縮させる際、蒸気流量とプール水温に依存してベント管系に圧力および流体の振動が発生する。この現象は、沸騰水型原子炉の圧力抑制型格納容器が冷却材喪失事故時および余剰蒸気排出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おり、これまで米国をはじめわが国や西独において、安全評価のためのデータを得る目的の実規模試験が行われてきた。一方、振動現象のメカニズム解明のための小規模実験が多く行われてきたが、いまだ統一した説明がなされていない。本研究は、これまでに明らかにされていない事柄の内、プール水温を上昇させていったときに、まず高周波成分の振動発生限界が現われ、続いて飽和温度近くで低周波成分の振動発生限界が現れる理由を明らかにすることを目的としている。

ベント管出口で凝縮しつつ膨張と収縮をくり返す蒸気泡の運動に対する基礎式を細形化し、界面の平衡位置からの微小変動が発散するかどうかの限界を線形安定論より求め、振動発生限界の実験値と比較し以下の結果を得た。

- (1) 蒸気泡をコントロール容積とする高周波圧力振動と、ヘッダーを含む大きなコントロール容積に対する低周波圧力振動は、ともにプール水のサブクール度がある値以上のとき生じ、高周波成分の方が大きなサブクール度を必要とすることを解析的に示した。
- (2) 振動発生限界におけるプール水サブクール度の値は、低周波振動成分については解析と実験値とはほぼ一致している。また、高周波振動成分の限界値もオーダ的には両者は一致しているが、蒸気流量に対する影響には違いが見られる。しかし、この違いは、蒸気流量の増加とともに気泡の形状が球状から円柱状へと移行することと、これら形状の違いによる解析値の差から説明することができた。

〈海洋開発工学部〉

オイルフェンスの波浪中動揺特性に関する研究

On the Motion Characteristics of an Oil Boom in Waves

原 正一・伊飼通明・波江貞弘

昭和60年9月

関西造船協会誌198号

著者らは、これまで気泡噴流型のオイルフェンスと在来型のオイルフェンスを併用する形式について調査し、主に気泡噴流型のオイルフェンスの波浪及び潮流中の基本性能を明らかにしてきた。本報告では、在来型の浮体式のオイルフェンスについてその動揺特性の観点から論じることを試みた。オイルフェンスの動揺計算において、これまでの研究ではその形状を円柱あるいは平板でモデル化しており、実際の形状とは幾分違ったものであるといえる。そこでこれらのモデル化の妥当性を検討するため、特異点分布法により計算を行い実験値との比較を試みた。また、Milgramと同様な計算方法によっても実施して、特異点分布法との比較を行った。さらに、ボトムテンションを想定してその際の流体力係数を、ある傾きを持ったオイルフェンスと平板についても特異点分布法により比較した。

以上の結果より、オイルフェンスの波浪中の動揺特性に関して次のことが明らかになった。

- (1) オイルフェンスのスカート部のように非常に細長い形状を特異点分布法で計算する場合、平板の半幅喫水比は1/30程度で計算するのが適当である。なお、本計算では、特異点の数を50として行ったが平板の厳密解と良い精度で近似できた。
- (2) オイルフェンスの運動の推定に関して、上下揺が計算と比較して短波長領域で低くなった。このことは波面との相対運動の大小が漏油と密接に関連するため、オイルフェンスの乾舷の決定に重要な意味をもっている。また、左右揺については、平板の計算値で実験値と良く合っており代用できると思われる。
- (3) 浮体式のオイルフェンスが潮流などの定常外力により傾斜して釣り合っている場合、波浪中では浮体部の影響が大きくであるため、オイルフェンスを平板で置換して計算すると上下揺の誤差が大きくなると思われる。

不規則波中における係留浮体の水平面内の長周期運動の統計的予測法について

On the statistical Prediction of Horizontal Motions of Moored Floating Structures in Random Waves

加藤俊司・安藤定雄

昭和60年11月

日本造船学会論文集158号

弛緩状態で係留された浮遊式海洋構造物は、風や波等の不規則な外乱が作用することによって水平面内において長周期で大振幅の運動（いわゆる長周期運動）が励起され、この運動によって係留ラインに過大な張力が働くことがある。この運動に関する研究の手法は、1) 数値シミュレーションに基づく決定論的手法と 2) 確率過程論に基づく非決定論的手法に大別できる。本論では、後者の手法を採用した。まず Neal, Vinje が示した変動漂流力を含む波強制力の確率分布の厳密解を係留浮体の水平面内の運動に応用し、その厳密解と Dalzell が示した2次の応答関数との関係を明らかにするとともに、以前著者らが示した Gram-charlier 展開による近似解との関係を明確化した。これらの結果から、有限項の Gram-charlier 展開と厳密解との漸近解とをマッチングさせて求める新しい水平面内の運動の確率分布の推定手法を開発した。続いて、この手法を極値分布さらには極値の最大値予測に応用した。その結果、次のような結論が得られた。

- (1) 係留浮体の水平面内の運動は、係留系が線形であっても浮体が波によって流される方向に据が広い非対称分布となる。この分布を支配する統計量は分散と歪度であるが、これらの値は浮体の周波数応答関数 G_1 , G_2 によって推定可能である。
- (2) 水平面内の運動 X の確率分布を近似的に求める手法として有限項による Gram-charlier 展開と $|x| \rightarrow \infty$ における確率分布の厳密解とをマッチングさせて求める手法を提案した。その手法による推定結果と実測値とを比較した結果は良好な一致を示した。
- (3) 極大値の最大値予測に関して、従来良く用いられる Longuet Higgins の手法により求めた最大期待値は、長周期運動を含む水平面内の運動に関してはアンダーエスティメイトで、今回提示した手法で求めた最大期待値はオーバーエスティメイトであることが判明した。

〈共通工学部〉

長い峰をもつ3次元重力波について

On the long crested 3-dimensional gravity waves

富田 宏

昭和60年10月

日本海洋学会

海洋における風波の振舞いと、その船舶、海洋構造物等への影響を調べるに当って、欠くことの出来ない要件は、波の場の3次元構造成である。特に陸岸から遠く離れた大洋中においては、風の方向に定まった傾向がなく、また、遠方において生成された波の系がうねりとなって伝播して来るために、一定の方向に進む2次元波列が見られることは珍らしく、現場において卓越している波の連なりといえどもその峰の方向に著しい変動を示すことが稀ではない。

この様な3次元波の性質を理論或は室内実験によって調べることは一般には困難であるが、ここでは、この様な3次元波列の最も簡単なモデルとして所謂「峰の短い波」を採り上げ、その分散特性を中心に理論的考察を行った。数学的に言えば、「峰の短い波」は、同一周期同一振幅を持つ2つの波列が角度 2θ で交差したもとして定義される。2つの波が共に Stokes 波である場合、その合成である波の系は両者の真中の方向へ形を変えずに伝播する事が、Chapellear によって証明されている。その際、波の非線形分散関係は、振幅のみならず、交差角に依っても変わり、その依存性は関数 $F(\theta)$ で与えられる。そこで今回は先ず2つの波系間の非線形相互作用の理論を採り上げ、これを用いて $F(\theta)$ を定める事を試みた。Longuet-Higgins 等による相互作用理論にわずかの修正を加えた後、 F を正しく求める事に成功した。次に、この F の値と、3次元相互作用を表わす最も一般的な Zakharov 方程式の積分核との間の関係を導いた。最後に峰の長い場合の極限 ($\theta \rightarrow 0$) について、漸近摂動理論に依って解析を行ない、楕円関数を含む解に依ってこの場合の接続を矛盾なく遂行出来ることを確認した。

〈東海支所〉

遮蔽欠損部の γ 線挙動に関する実験的研究(II)
複数個ダクトExperimental Study of gamma-ray Streaming
in Shield Irregularity (II)
Plural Ducts Experiment

山路昭雄・斉藤鉄夫

昭和60年10月

日本原子力学会昭和60年秋の分科会

船用炉等の原子力施設の遮蔽壁においては、放射線漏洩を少なくする目的で、線源から離れた遮蔽壁のコーナー部等に遮蔽欠損部を配置し、ここに複数個のダクト等を近接して設ける形状がしばしば見られる。この配置における放射線漏洩の評価は、ダクト等が近接していることによる影響を考慮に入れて行わなければならない。このような問題に役立せるため、本研究では複数個のダクトが近接して配置された遮蔽壁の背面における γ 線の挙動を実験的に明らかにし、これを一回散乱コード G-33 で解析することによりその適用性を示す。実験は JRR-4 散乱実験室にて実験孔からの γ 線ビームを用いて行った。遮蔽壁は長さ 1 m のコンクリートである。 γ 線ビームの遮蔽壁への入射角度 θ は、遮蔽壁を水平面上で回転させることにより、 $0^\circ, 7^\circ, 14^\circ, 20^\circ$ と変化させた。ダクトの直径は 8.9 cm である。実験は、ダクトの無い形状(実験 1)、単一のダクト(ダクト a)のみがある形状(実験 2)、ダクト a の中心を通る水平線上に a を中心として3個のダクトがある形状(実験 3、各ダクト中心間の距離 8.9 cm)、実験 3 のダクト配置に a の上下方向にもそれぞれ1個のダクトを配置し計5個のダクトとした形状(実験 4)について行った。 γ 線量率の測定は遮蔽壁背面から 20 cm 離れたダクト a の中心を通る水平線上で行った。ダクト a の中心上において、 $\theta = 0^\circ$ の配置では複数ダクト形状とダクト a のみの形状の線量率の比は 1.04~1.07 であり、a 以外のダクトの影響は僅かである。しかし、 $\theta = 14^\circ, 20^\circ$ 配置での線量率比は 1.5~1.8 となり、a 以外のダクトによる影響が大きく現われている。測定ライン上では a の上下方向にあるダクトの影響は僅かであり、実験 4 と 3 の線量率比は 1.1 以下である。G-33 計算による複数ダクト形状とダクト a のみの形状のダクト a 中心軸上の線量率比は、 $\theta = 14^\circ, 20^\circ$ 配置では 1.8~2.7 となり、複数ダクトの影響は実験値より大きく現われている。

遮蔽欠損部の γ 線挙動に関する実験的研究(1)
 附加遮蔽体実験

Experimental Study of Gamma-ray Streaming
 in Shield Irregularity, (I)
 Additional Shield Experiment

山路昭雄・沼田茂生・斉藤鉄夫

昭和60年10月

日本原子力学会昭和60年秋の分科会

船用炉二次遮蔽, ホットラボセル壁等においては, コンクリート遮蔽壁の厚さを一定に保ってダクト等の遮蔽欠損部を設け, かつ欠損部の遮蔽性能はバルク部と同程度の値を要求される場合がある。このような遮蔽壁に対しては, 壁内にコンクリートよりも遮蔽性能の良い物質 (以下, 附加遮蔽体) をはめ込み, 欠損部における遮蔽性能の低下を相殺しなければならない。欠損部を2回屈曲中空ダクトとした場合の附加遮蔽体については DIN 規格がある。本研究では, 直ダクトを対象として, 線源がダクト出口を直視しない配置における附加遮蔽体形状とその有効性を示す。附加遮蔽体の材質は鉄, 鉛等が考えられるが, 本研究では鉄とした。入射 γ 線は遮蔽壁の法線と角度 θ を有するとする。附加遮蔽体の厚さ U は, 遮蔽壁の厚さを T , ダクトの直径を d , コンクリートと鉄の密度をそれぞれ ρ_{con} , ρ_{Fe} とすると,

$$U = \rho_{\text{con}} \left\{ \frac{d}{\tan \theta} - (1 - \cos \theta) T \right\} / (\rho_{\text{Fe}} - \rho_{\text{con}})$$

で与えられるとする。実験は JRR-4 散乱実験室で行い, 遮蔽壁の厚さは 1 m, ダクトの直径は 8.9 cm とした。附加遮蔽付の遮蔽壁は $\theta = 7^\circ, 14^\circ, 20^\circ$ に対するものを用意した。実験は, 附加遮蔽付の遮蔽壁, ダクトはあるが附加遮蔽のない遮蔽壁およびバルク部遮蔽壁について行い, それぞれ壁後面から 20 cm 離れた水平線上の γ 線量率を測定した。遮蔽壁背面において, 附加遮蔽のある形状での線量率とバルク部形状の $\theta = 0^\circ$ 配置の γ 線ビーム軸上の線量率との比は, θ が大きくなるにつれて 1 に近づき, 附加遮蔽付遮蔽壁 $\theta = 20^\circ$ 配置の場合, ダクト中心軸上での線量率の比は 1.17 である。この配置では, ダクト中心軸から 4 cm 以上離れた領域での線量率の比は 1 以下となる。したがって, 壁からさらに離れたダクト中心軸上における線量率の比はさらに 1 に近い値になると考えられる。