

所 外 発 表 論 文 概 要

〈推進性能部〉

Propulsive Efficiency of Ship with Contrarotating Propellers

二重反転プロペラ船の推進効率

右近良孝, 佐々木紀幸, 中武一明
平成元年4月

船舶の抵抗推進に関するシンポジウム
ISRP-89 前刷集

本論文では簡単プロペラ理論に基づく二重反転プロペラに関する理論と実験が取り扱われている。この理論は二つの理論から成っており、一つはプロペラ単独性能計算に関するものであり、他方はプロペラと舵との干渉に関するものである。前者のプロペラ理論を用いて、通常型と二重反転プロペラにおける効率損失のメカニズムを明らかにした。干渉計算により計算された結果から、二重反転プロペラを装備した船の推進効

率に及ぼす舵の影響は通常型プロペラ船のそれと比べて、非常に大きいことが計算で得られた。上述の理論と船舶技術研究所で新たに開発された設計プログラムの有効性を検証するため、プロペラ単独性能、抵抗自船試験がタンカーとコンテナ船について行われた。

先づ、二重反転プロペラの単独性能に関して、本簡易プロペラ理論は実験結果と定量的一致を与える。今回、提案したプロペラと舵の干渉計算法により舵力を計算した結果、通常型プロペラばかりでなく、二重反転プロペラについても良好な一致が得られた。

一方、Lerbs-Morganの計算法を改良した、船舶技術研究所により新たに開発されたプログラムにより、二種類の二重反転プロペラを設計した結果、単独効率について所期の設計点を得たばかりでなく、推進効率についても通常型プロペラより7~11%の向上を得た。

又、今回の研究で得られた結果は展開面積比やボス比を安全側で設計していることもあり、更に効率の改善が可能であると考えられる。

ITTC Comparative Tests on Pressure Fluctuations

変動圧力に関する ITTC 比較試験

右近良孝, 笹島孝夫 (三菱重工)

平成元年 4 月

中国国立自然科学財団 IWC 前刷集

非定常プロペラキャビテーションにより誘起される変動圧力は船体振動の最も支配的要因の一つである。ITTC のキャビテーション技術委員会では継続的に理論的及び実験的予測法についてレビューを行ってきた。

本論文では上記の既存予測法の精度と模型試験結果に及ぼすパラメータの影響についての議論を行った。特にここでは、キャビテーション技術委員会によって企画された西独のコンテナ船「シドニー・エクスプレス」プロペラについての比較試験の結果について触れた。

変動圧力の理論予測法に関しては、キャビティ・ボリュームの時間変動により誘起される変動圧力を精度良く計算する方法が確立していないばかりでなく、キャビテーションの発生範囲やキャビティ・ボリュームの予測計算法におけるキャビテーションのモデル化に関して、研究の進捗が必要であることが強調されている。

一方、計測技術に関してもまだ不明な点が多く、このため同じプロペラを用いた比較計測が問題点を明らかにする上で最も有益である。この結果、各機関で行われた計測結果は大きなバラツキがあったばかりでなく、実船計測での対応も悪かった。これに対して、船舶技術研究所で行われた比較試験について述べられている。模型船を用いた計測と平板を用いた計測を行った。その結果、模型船による方法では実船計測とキャビテーションの発生範囲ばかりでなく変動圧力についても定量的にも非常に良い一致を得た。一方、キャビテーション水槽で通常用いられている平板を用いる方法では、計測系の固有振動数の影響が存在することが示された。

以上の様に、ITTC の変動圧力計測についての比較試験結果について述べると共に、最新の研究についてレビューを行った。

Computation of a Free Surface Flow around an Advancing Ship by the Navier-Stokes Equations

ナビエ・ストークス方程式による進行する船のまわりの自由表面流れの計算

日野孝則

平成元年 9 月

Fifth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics

ナビエ・ストークス方程式の差分解法に非線形の自由表面条件を取り込んだ手法を進行する船体のまわりの自由表面流れの解析に適用した。任意船型の船体を扱うため、物体適合座標系を導入した。この座標系は時間と共に動く自由表面に対しては適合していないので時間に対して固定されている。これにより、自由表面条件の取り扱いが複雑になるという欠点はあるものの、支配方程式は単純になり計算格子生成が一度でよいという利点を得られる。高レイノルズ数の流れを扱うため、Baldwin と Lomax によるゼロ方程式乱流モデルを導入した。計算時間低減のため物体境界において壁関数法を併用した。

ウィグレー船型とシリーズ60 ($C_b=0.6$) 船型を対象として計算を実施し、結果を計測例と比較した。計算条件はウィグレー船型については $Fn=0.25$, $Re=10^6$ であり、シリーズ60船型については $Fn=0.22$, $Re=10^6$ である。船側波形では、両船型ともに船首波から船尾波まで計算値と実験値は良く一致した。また、船体表面の圧力分布の比較においても計算値と実験値の間には良い一致が見られた。しかし計算された伴流分布は計測値よりも幅が厚く、また縦渦の位置の一致度も良くない。より正確な計算のためには、乱流モデルの検討など計算法の改良が必要である。

Modelling of Judgement and Decision-making for Ship Navigation

船舶の航行における判断と
意志決定機能のモデルについて

不破 健, 沼野正義
平成元年10月

Proc. of Beijing Inter. Conf. on System Simulation
and Scientific Computing

港湾付近の交通錯綜域における操船は、船長や水先人の高度な専門的な技量に依存している。自船や他船の位置、方位、船速の認識を迅速に行い、正確に判断することは操船の基本である。それらはセンサーシステムの問題であると同時に操船上の専門知識と深く結びついた問題でもある。すなわちあいまいな情報から総合的な判断を加味して、正確な情報を抽出することである。この部分がまさに、船の完全自動化を妨げている最大の原因といえよう。

最近、AI分野の発展により、このように十分に定式化されていない専門知識の表現処理も可能となってきた。周囲の状況がきわめて安全であれば監視を行うだけで行動の変化は必要がない。ひとたび衝突の危険が予測されると、適切な行動案が検討され、行動計画の変更は、針路と船速の変更として実現される。しかし、安全な行動が見い出せなかった場合には緊急停船が指令される。

船行判断を行うプロセスは、それぞれの状況に応じた比較的単純な行動アルゴリズムの組合せと、そのアルゴリズムの適用を検討する知識ベースとから成っている。この知識ベースシステムの機能によって、航行判断プロセス全体の適用性は通常のシステムより広いものになっている。

意志決定の過程では、多段決定の手法と、行動評価の手法とが適用されている。そしてこれらのシステムのパラメータも知識ベースにより、状況に適合するよう調整・選択されている。

東京湾における、航行のシミュレーションにより、このようなアルゴリズムは種々の状況に適用可能であり有効に機能することが示された。また、たとえそれがごく小規模なプロダクションシステムであっても、システム全体を大変柔軟にすることができる。今後改良を加えることにより、実際的な航行判断と意志決定のシステムを構築することができる。

A Hierarchical Structure of Simulation System for Ship Navigation and Marine Traffics

船舶の航行と海上交通のシミュレーション・システムの階層的なシステム構成について

不破 健, 桐谷伸夫
平成元年10月

Proc. of Beijing Inter. Conf. on System Simulation
and Scientific Computing

海上交通のマクロ的な性質が問題の中心であるときには、いわゆるネットワークシミュレーションが適当であり、そこでは比較的長い時間間隔で扱えば十分であるが、海域全体を扱う必要がある。

一方、遭遇状況における個々の船の挙動を解析するときには、ミクロ的なモデル化と検討が必要となる。階層化したマルチプロセスシステムで、状況に応じて動的にシステム管理を行うことにより、上記のミクロおよびマクロ的なシミュレーション手法を必要に応じて自動的に組み合わせることが可能になる。

ネットワークシミュレーションにおいては、GPSS-fortranのプログラミングを利用することにより、交通管制の効果が容易に扱える手法になっている。船は交通流におけるトランザクションであり、交通流の多い地域では、自然に減速することになるが、その効果はファシリティの待ちとしてモデル化されている。船舶の発生は、港湾統計に表れる各港での荷動きの統計量を基に出入港のデータを推定する手法に従っている。各港湾での荷動きは、地域の経済活動と直接関係するので、適切なモデルを利用することにより将来における動向を推定できるところにこの手法の利点がある。

精密な船の動きのモデルは、操船のモデルと船体運動のモデルとから成り立っている。操船のモデルにはいわゆる操船者用の知識ベースシステムが含まれている。

船体運動のモデルは、船体、プロペラ、舵の流体力学的な特性から組み立てられた精密な操縦運動のモデルで、水深の影響、風や潮流の影響なども正確に考慮できる。毎日平均700隻の船舶が航行する東京湾における航行のシミュレーションが実施された。

シミュレーションにより、このように階層化された構造をもつシミュレーションシステムが、有効に機能し、有限のコンピュータ資源の下でミクロ的なシミュレーションの実施が可能であることが示された。

Design of Contrarotating Propellers Based on A Simplified Propeller Theory

簡易プロペラ理論に基づく二重反転プロペラの設計

右近良孝, 佐々木紀幸, 中武一明

平成元年10月

第4回 PRADS 前刷集

本論文では簡易プロペラ理論に基づく二重反転プロペラの設計法が提案されている。本法の第一の特徴は前後の各プロペラの伴流分布に及ぼす舵の影響を考慮することができることである。本法のもう一つの特徴は、前後のプロペラの回転数を変えた二重反転プロペラの設計が可能なことである。このことにより、ギア・システムの設計上のフレキシビリティを増すばかりでなく、前後プロペラの主要目についても自由度を与えることができる様になる。

本法の第一の優位性を明らかにするため、20万トンタンカー船について二種類の二重反転プロペラを、船舶技術研究所で開発された既存の二重反転プロペラ設計法と今回開発された設計法とにより設計し、実験結果と比較した。

この他、プロペラ回転数、前後プロペラの間隔ならびに直径を種々に変化させて、本論文で開発された設計法により、二重反転プロペラと通常型プロペラを設計を行い、効率に及ぼす影響を調べた。

前方プロペラの最適直径は通常型プロペラの直径を求めると同じ方法で得られる。二重反転プロペラ及び通常型プロペラとも低回転大直径化をすることにより効率向上するが、前者の効率上の優位性は変わらないことが明らかにされた。

二つの設計法により設計されたプロペラについて、単独性能試験及び自航試験を行った結果、7～9%の効率向上が得られ、新しい設計法では船後でのトルク・バランスを除いて性能上の優位性が得られなかったが、これは、プロペラの翼幅が小さくなったことによる粘性の影響によるものと考えられる。

自動航行システムの安全評価について

(その1) 安全性の評価

(その2) シミュレーションシステム

A Study on Safety Evaluation Method for Automatic Navigation System

(Pt. 1) Conceptual Study (Pt. 2) Simulation System

不破 健

平成元年11月

日本造船学会論文集 166号

航行の安全には、船の性能、操船技術および航行の環境条件等多くの要素が関係する。大型化や専用船化に伴い操船が難しくなり安全性の維持向上のために種々の方策がとられている。航海衛星の利用、陸上の情報提供などの支援システムや船上の航海機器、操舵装置、航行支援装置、船体の状態監視装置などは高度化している。またコンピュータ利用技術の進歩により、従来困難であった判断や意志決定の過程まで含む自動化が可能となった。知能化システムや、種々の要素を統合化する海陸一体化システムが研究され、要素技術が開発されている。これらは運航体制、船員制度のあり方とも関連する波及効果の大きな新しい大規模システムであり、その実現には、一定の技術的水準を超えるだけでなく経済的、社会的な受容が不可欠である。そのため安全性を十分検討したその結果を分かりやすく説明することが大切となる。このような視点より自動航行システムの安全性を検討するための方法論と具体的な手段について、シミュレーション技術を活用する手法を示した。まず基本的な安全性の評価の考え方を述べ、シミュレーションシステム、シミュレーション結果、安全評価の具体化について論ずる。対象として船舶交通が錯綜する東京湾における自動航行システムを扱うが、手法としてはきわめて一般的なものである。(その1)では、最初に船の航行、海域および自動航行システムの安全性に関する考え方を整理する。次に、安全評価の手法として、システム評価の一般論、評価項目の選定、各項目間の重みづけと総合評価についてまとめる。さらに、そのような評価手法により具体的な自動航行システムの評価を実施する立場から、シミュレーションについて述べた。また、今後、知能化船や自動航行システムが実用化される際の、安全性基準と審査の手順についても言及した。(その2)では、安全評価を具体的するために構築した航行シミュレーションシステムの機能と特徴について紹介した。

Comparative Model Tests in Ice of a Canadian Coast Guard R-class Icebreaker

カナダ沿岸警備隊 R-クラス砕氷船模型による比較試験

北川弘光, J. C. Tatinclaux, J. Alekseyev,
E. Enkvist, 成田秀明, J. Schwarz, 武隈克義,
F. M. Williams

平成元年11月

Trans. of the Society of Naval Architects and Marine Engineers

氷水槽における模型試験については、模型氷の力学的性状、供試模型寸法、計測装置、試験方法等の差異のため、平坦水中の抵抗、自航試験においても氷水槽間で試験結果にかなりの差異が認められている。このため、国際試験水槽会議氷中性能技術委員会では、カナダより実際運航中であり実船試験データの存在する砕氷船資料の提供を受け、世界の主要氷水槽での同一模型船持ち回り試験を行うこととし、試験結果の比較検討を行った。模型船は、カナダ沿岸警備隊の R クラス砕氷船の 1/20 模型であり、試験期間の都合で同型模型 2 隻を用いて平坦水中の抵抗試験を行い、当所を含め一部の機関では自航試験を併せ実施した。

当所持ち回り試験に用いた模型船は、模型船表面の水摩擦係数が、実船の相当値に比して低すぎたため、水摩擦が氷中性能に及ぼす影響を勘案して、新たに水摩擦係数の大きな模型船を作成し、再度持ち回り試験を行い、水摩擦の影響についても検討することとした。厳密に言えば、水摩擦は、模型船表面の問題だけでなく、模型氷の性状にもよるが、これについては、模型船製作と同一時期に同一の方法で表面処理した平板を用いて各氷水槽で実効水摩擦係数を測定することとした。

合計 7 氷水槽での試験結果を取り纏め検討した。試験結果の取り纏めについては、本論文著者間で完全に意見が一致している訳ではないが、まずは、些か表面的なきらいはあるとしても、水中模型試験の現状の主要を把握することとした。

各氷水槽での平坦水中抵抗試験結果は総平均値の 25 % 以内にあることのほか、水中のスラスト係数およびトルク係数、推力減少率の様態、水摩擦の影響、試験方法の検討、実船試験結果との対応等について、有益な成果を得た。

滑らかな物体から剝離する渦層の挙動

Behaviour of vortex layer separated from smooth body

平田信行, 松村清重 (阪大)

平成元年11月

渦放出流に関するワーク・ショップテキスト

定常斜航する細長く滑らかな物体から剝離する渦層は、渦層を特異面としての渦面に置き換えた場合、渦面は物体の前方から後方へ向かって解き得る非線形の発展方程式に従う。このとき、次の解決すべき問題がある。第 1 点目は発展方程式の初期値、すなわち、解き始める断面での渦面の位置、及びその強さを明らかにすること。第 2 点目は剝離線から放出される新たな渦の強さを決定すること。第 3 点目は非線形方程式の安定な数値計算法を開発すること。

これらの内、2 点目は著者が粘性流体力学な渦度保存則にも矛盾しないクッタの条件を示し、すでに解決している。第 1 の問題は、デルタ翼や円錐のような自己相似物体まわりの流れでは渦面の支配方程式が発展方程式ではなくなるから、この意味では問題にならない。その代わり数値計算では収束計算を行うことになるから、できるだけ高精度の初期近似解を必要とし、問題が置き換えられている。

第 3 の問題には渦の特異性の処理、すなわち渦面の離散化(渦系近似他)、渦の巻き込み等の問題と、収束計算の場合にはそのアルゴリズムの問題がある。

本論は、このような問題の解決の糸口を捜す目的で、斜航円錐まわりで発生する 3 次元剝離について考察した。ここでは主に初期近似解の種々の考え方、剝離線近傍における渦面の挙動、この解を大局化するための反復法に適した積分方程式について述べる。

模型プロペラ翼面上に発生するキャビティ形状の計測

Measurement of Shape of Cavity on a Model Propeller Blade

工藤達郎, 右近良孝, 黒部雄三, 谷林英毅

平成元年11月

日本造船学会論文集 第166号

近年, 船舶の低振動化の要求がますます強くなってきている。エンジンと共に船体振動の主因をなすプロペラ起振力を高い精度で推定するためには, プロペラに発生する非定常キャビテーションのキャビティ・ボリュウムの2次の時間変化分を精度良く計算することが不可欠である。しかし, 現在の理論予測法の精度は充分ではなく, 実験によってキャビティ形状を計測する手法として, 現在までにステレオ写真法, ピン・ゲージ法, レーザ光散乱法などが提案されている。

今回著者らは既存のレーザ光散乱法と CCD カメラと画像処理技術を組み合わせることにより, 模型プロペラ翼面上に発生する非定常キャビティの形状を, 高速かつ高精度で計測する方法 (LASER-CCD 法) を開発した。

本方法を用いて, 運輸省航海訓練所の練習船「青雲丸」の模型プロペラに発生するキャビティの形状を計測し, レーザ光散乱法の計測結果等を比較した結果, 以下のような結論を得た。

- (1) 本計測法では $\pm 0.5\text{mm}$ 以内の精度で非定常キャビティの厚さ分布を計測することができる。
- (2) 本計測法では自動計測により多量なデータを短時間で得ることができるので, 各種の既存法より格段に実用的な計測法である。
- (3) ハイリー・スキュード・プロペラに発生するキャビティの厚さは通常型プロペラのそれより必ずしも小さくないが, 体積及びその2次の時間変化分はハイリー・スキュード・プロペラの方が小さいことを詳細な計測により確認した。

本計測法による詳細で高精度な計測データは, キャビテーションを伴うプロペラにより誘起される変動圧力の推定, 或は, キャビティ・ボリュウムの理論的推定法に対する検証データとして大きく寄与することが期待できる。

船体まわりの自由表面流れの数値シミュレーション

Numerical Simulation of a Free Surface Flow around a Ship Hull

日野孝則

平成元年12月

第3回数値流体力学シンポジウム講演論文集

水面上を航行する船舶のまわりの流れ場の特徴は自由表面の存在である。船体が進行すると自由表面において波が生成される。これによる抵抗は造波抵抗と呼ばれ, 船体の推進性能にとって, 粘性抵抗とともに重要な要素である。船体抵抗の予測のため, 従来は粘性抵抗と造波抵抗を分離して解析してきた。すなわち, 造波抵抗は非粘性を仮定して速度ポテンシャルによる解法によって求められ, 粘性抵抗の解析では自由表面を鏡像面でおきかえる, いわゆる2重模型モデルが用いられる。しかし, 粘性と造波の間には相互干渉が存在するので, 高精度の予測のためには両者を分離せずに同時に解析することが望ましい。ここでは, Navier-Stokes 方程式の有限差分解法に非線形の自由表面条件を組み込んだスキームによって, 一定速度で進行する船体まわりの自由表面粘性流れを解析した。また, 造波に対する粘性の影響を検討するため, Euler 方程式による解との比較を行なった。

計算対象はシリーズ60と呼ばれる基本的な船型であり $F_n=0.22$, $Re=10^6$ の粘性流れを計算し, 非粘性の Euler 解や実験値と比較した結果, 船尾波において, 粘性の影響が顕著であることが分かった。

今後, さらに計算法の改良, 高精度を進めて行く予定である。

Comparative Model Measurements on Piessure Fluctuations Induced by Propeller Cavitation

プロペラ・キャビテーションにより誘起される
変動圧力に関する模型比較計測

右近良孝, 黒部雄三, 工藤達郎, 斎藤 勇
平成元年12月

(ASME) Proc. of Symp. on Hull Pressure Fluctuations

近年, 実船での騒音及び振動の予測する上で, キャビテーション水槽においてプロペラ・キャビテーションにより誘起されるキャビテーション騒音及び変動圧力の計測法は高い精度が要求されている。本論文では実船計測データが公表されている西独の「シドニー・エクスプレス」プロペラに関して船尾変動圧力の比較計測を2種類の計測系を用いて行った。一つの方法は平板に圧力計を取り付けて行う方法であり, 他の方法は同じキャビテーション水槽において模型船を用いる方法である。後者の方法で行なった計測では試験を行うプロペラ回転数によって変動圧力計測値に影響は殆んどなかったが, 平板を用いる方法ではプロペラ回転数により大きな影響を受けるばかりでなく, 減衰バネを用いると更に大きな影響を受けることが明らかにされた。2つの計測系による計測値が異なるのはそれぞれの固有振動数の違いによるものと考えられた。特に, 平板を用いる計測系については固有振動数を可能な限り下げ, より高い周波数領域で計測を行うことを提案している。これは模型船による計測が固有振動数よりかなり高い周波数領域で行われていて, 実船計測とも極めて良い一致が得られていることに基づく。

又, 模型船とフローライナーを用いて, 実船推定伴流をシミュレートする方法の有効性も同時に示されている。

〈運動性能部〉

Effects of Bow Flare Shape to the Wave Loads of a Container Ship

コンテナ船における水面上船首部形状の
波浪荷重に及ぼす影響

渡辺 巖, 上野道雄, 沢田博史
平成元年11月

日本造船学会論文集 第166号

船首部フレア形状は予備浮力の源として波浪荷重に影響を与える。また船首部からの海水打込みの程度を支配する主要因子としても波浪衝撃荷重に関係する。水面より上方の形状の船体応答への寄与であるので, 従来の線形計算では評価できない。また最近使われるようになったシミュレーション計算法でも船首部近傍の流体運動が複雑に絡み合うため正確な計算法は確立されていない。そこで波浪荷重の非線形性と水面上形状がどの様に関係するか実験的に調べる目的で, 通常の船首部形状とフレア部形状をふくらませた形状の2種類のコンテナ船弾性模型で実験を行った。主要な計測項目は船体縦曲げモーメント, 相対水位と甲板水打込みである。波浪曲げ荷重については, 水面上形状が, 線形, 非線形成分に及ぼす影響を調べると共に, 前に示した非線形荷重の推定計算法が形状の影響を正しく推定できるかも同時に調べた。甲板水打込みの頻度についてはビデオ映像あるいはデッキ上水圧計および相対水位計の記録を利用して, 種々に求め, 水面上形状と打込みの関係について定量的な評価を加えた。

実験ならびに考察の結果, 船首フレア部の大小は波浪曲げモーメントの非対称性を生み出す主要因となっており, その強さを著者等が前に発表した計算法で良い精度で推定できることがわかった。

一方相対水位, 甲板上打込み水については, フレアの大小がやはり大きく関与している。具体的にはフレアの大きい模型の方が水位変動は大きいものの, デッキへの打込みは小さいことが実験結果から分かった。このようになった理由はフレアによる水位攪乱が関係しているためと思われる。上述の計算法はこのような現象は十分説明できないので, 更に検討が必要であることを結論としている。

〈構造強度部〉

可能性と確率

Possibility and Probability

松岡一祥

平成元年12月

日本造船学会誌 第726号

18世紀のベイズから現在に至る伝統的な確率論の問題点として、1)現象を独立した重複しない事象に分ける、2)それぞれの事象に事前確率を定める、などがある。今世紀なかば以降、これらの条件を緩和して、主観的な事象に対しても確率論に似た体系を打ち立てようとする努力が行われてきた。それらは現在、ファジイ(あいまい)測度論としてまとめられている。ここでは、それらの主観的な確率を可能性としてまとめ、わかりやすい例を示しながら解説している。取りあげたものは、デンプスターの(確率)理論およびザデの可能性分布である。

デンプスターの理論では、基本、下界および上界確率の関係が、色のついたカードを例にして説明される。さらに、基本確立の結合規則が示される。ザデの可能性分布については、これが、言明の成立する可能性であり、ファジイ集合の帰属度と一致することが示される。

デンプスターの結合規則とザデの可能性分布の適用例が示される。裁判における、裁判官の心証形成過程にデンプスターの結合規則をあてはめてみる。たいした証拠でなくても数多く集まれば心証が確固としたものになること、矛盾する証拠がいかに結合されるか、などが示される。可能性分布については、言明と証言から鋼板の降伏応力の可能性分布が形成されるさまを示す。確率論で言明に対応する試行(ここでは引張試験)による降伏応力の分布と可能性分布が比較される。

最後に、ここで示した主観的な確率(可能性)の適用性について、筆者の感想が述べられる。デンプスターの理論については、人工知能のルールが矛盾した時、その解消に有力な手段であることが指摘される。ザデの可能性分布については、試行から得られたデータをなんらかの確率密度関数に置き代える時、主観が入らざるをえないことが指摘される。

〈機関動力部〉

船積み石炭の自然発熱特性のモデル化と
支配因子の検討Investigations on a Theoretical Model and
Governing Factors of Spontaneous Heating of
Coals
on Sea Transportation

波江貞弘, 樋口澄志, 片谷孝孝, 渡辺 勉

平成2年2月

安全工学協会誌「安全工学」 第29巻1号

日本は現在、製鉄用の原料炭を中心に多品種の石炭を海外から多量に輸入しており、その量は世界の海上輸送量の約4強を占めている。これに伴って、石炭の自然発熱事故は最近に至るまでに少数例とはいえ、わが国の石炭輸送船において経験されている。本報告はこの自然発熱機構の解明を目的とするものであり、発熱のモデル化によるシミュレーションならびに関与する諸因子が結果に及ぼす効果について検討している。

石炭の自然発熱には種々の要因が影響するが、モデルでは基本的に石炭層内に含まれる空気中の酸素による石炭の緩慢な酸化反応ととらえている。そして、この反応による発熱と伝熱による放熱、酸素の供給と消費のそれぞれの釣合によって層内温度分布が決定されると仮定すると、層内の温度と酸素濃度は、熱、酸素ならびに石炭表面の活性に関する3つの保存式で表示される。その際の主要な影響因子は、石炭の発熱量、反応速度定数、活性化エネルギー、初期固体反応表面積、熱伝導率ならびに空気中の酸素の拡散係数などである。以上のモデルを前提としてシミュレーション計算を行い、上記主要因子の感度解析からつぎの結論を得ている。

- (1) 発熱量の増加につれ、石炭層内部の温度上昇幅はほぼ比例的に増加する。
- (2) 反応速度定数と活性化エネルギーは温度上昇速度に関与する。特に、活性化エネルギーは指数的に作用するため影響が大きい。
- (3) 固体反応表面積が減少するにつれ、酸素が残存していても反応が鈍化する。一方、初期固体反応表面積が充分大きい場合は、酸素が無くなるにつれ反応が停止する。その際、拡散係数が石炭層内への酸素の補給量を規定する。したがって、これらの2因子は温度上昇幅に大きく関与する。
- (4) 熱伝導率層内発熱の放散および外部からの流入など熱移動の度合を規定し、層内温度に影響する。

〈材料加工部〉

**Hot Salt Corrosion Tests Results
Report on interim findings**

溶融塩腐食試験 試験結果中間報告

宗像良幸, 千田哲也
平成元年11月

High Temperature Technology, Special issue

材料に関する国際共同研究プロジェクト Versailles Project on Advanced Materials and Standards のうち船用ガスタービン翼材の溶融塩腐食試験法を国際的に定めるためのランウドロビントテストを英国などと共に日本からは3機関が参加して実施した。

Ni 基超合金 IN738, Ren'e80 と前者に白金アルミニド, 後者に CoCrAlY コーティングを施したもの計4種, さらに参考材としてアルミナの各材料から作ったそれぞれ複数個の試験片について溶融塩腐食試験を行った。

低質油を海上で使用するという条件を想定して硫黄と Na を一定量含む燃焼ガス中(700, 900°C)に試験片を7時間を1サイクルとして15サイクル計105時間さらし, 溶融塩の付着量と損傷状態を各サイクル毎に調べた。

本報告は作業全体の終了報告ではなく, これまでに実施したこととの概要とこの間に得られた成果の一部のみについて記す。

溶融塩の付着状況とその量は温度と材質によって大きく異なり, 特に表面状態すなわち溶融塩と材料表面間の界面張力が大きな影響を及ぼすことがわかった。

材料表面温度が900°Cのときは700°Cの場合より付着量は少なく, 700°Cではアルミナを除いて900°Cの場合の3~4倍となる。それと同時にコーティングを施していない裸材は腐食によって表面が損傷し, 除々に細くなる。

溶融塩は普通は膜状に付着するが CoCrAlY コーティングの Ren'e80 では700°Cで粒状になって付着するなど他の材料には見られない現象を生じた。この場合, 粒状になり始める時間が早ければ早いほど全体の付着重量は大きく, 殆んど粒にならないものは付着重量も少なかった。これはコーティングで厚さなどが関係するものと考えられるが, 今のところ確証はない。

超音波を用いて熱応力を測る

**Measuring Thermal Stress using
by Ultrasonic Method**

天田重庚, 島田道男
平成元年12月

未踏科学技術協会 FGM ニュース 7号

固体中を伝播する超音波は, 固体のもっている固有の性質(物性)や置かれている物理的状态(温度等)によって微妙に変化する。この微妙な変化量をつかまえることで, 逆に固体の物性や温度等を推定する研究が脚光を浴びている。本報は, 超音波を用いて物体中の熱応力を評価する新しい手法の研究について述べたものである。

第一の方法は超音波の伝播速度とコンピュータ・トモグラフィの併用によるものである。物体を伝播する超音波の伝播速度は, 一般に温度の上昇を共に低下する。したがって, 伝播速度~温度の関係を求めておけば, 伝播速度から温度を推定できる。また, コンピュータ・トモグラフィの手法を用いれば温度分布を得ることができる。温度分布のデータより熱弾性方程式を用いて計算機により熱応力を評価する。

第二の方法は超音波の抜波を用いるものである。板の表裏に弾性率の変化が生ずると, 超音波の抜波の振巾に変化が生ずる。表裏の板波の最大振巾の比と, 弾性率の比との間に1対1対応の関係があり, 超音波の振巾を測定することにより弾性率の比を確定し, これより温度こう配を評価する。このデータを基に, 第一の方法と同様にして計算機により熱応力を推定する。

Grain Growth in Sintered ZnO and ZnO-Bi₂O₃ Ceramics

ZnO と ZnO-Bi₂O₃ セラミックスの結晶粒成長

千田哲也, Richard C. Bradt

平成 2 年 1 月

Journal of American Ceramic Society 73 巻 1 号

多結晶セラミックスの諸性質の多くは結晶粒径に依存するため、焼結時の結晶粒成長機構とその速度を知ることは、セラミックスを船用機関等に応用する上で重要である。一般に、温度 T (K) で t 時間焼成したときの結晶粒径 G は、初期粒径を G_0 とすると、

$$G^n - G_0^n = K_0 t \exp(-Q/RT)$$

で表わせる。ここで、結晶粒成長は、粒成長指数 n , K_0 , 活性化エネルギー Q をパラメーターとして特性づけることができる。本報告では、ZnO と、液相焼結のモデルとして ZnO-Bi₂O₃ セラミックスの結晶粒成長を調べ、粒成長のパラメーターについての定量的な検討により粒成長機構について考察した。

ZnO と ZnO に 0.5 から 4 % の Bi₂O₃ を添加した組成の材料を、900°C から 1400°C の温度範囲で焼成し、結晶粒径を測定した。純 ZnO では、粒成長指数 (n 値) は 3、活性化エネルギー Q は 224 kJ/mol であった。これらの値は、Zn イオンの格子拡散律速という Gupta と Coble の結論を支持するものである。Bi₂O₃ を添加すると、ZnO 粒子の周囲に形成される液相により粒成長は加速され、純 ZnO にくらべ平均粒径は大きくなった。一方、 n 値は 5 となり、活性化エネルギーは約 150 kJ/mol に低下した。 K_0 も含めてこれらのパラメーターは、0.5 から 4 % の範囲では Bi₂O₃ の添加量に依存しなかった。このことから、ZnO-Bi₂O₃ セラミックスにおける ZnO の結晶粒成長は、ZnO 粒子と Bi₂O₃-rich 液相の境界での溶出-再析出の反応に律速されるという結論を得た。

ZnO-Sb₂O₃ セラミックスの結晶粒成長

Grain Growth in ZnO-Sb₂O₃ Ceramics

千田哲也, R. C. ブラット

平成 2 年 1 月

第 28 回セラミックス基礎科学討論会

Sb₂O₃ の添加が ZnO 結晶粒成長に及ぼす影響について調べ、前に報告した ZnO と ZnO-Bi₂O₃ の粒成長の結果と比較して考察した。Sb₂O₃ を 0.31-2.56 vol % 添加した ZnO を、1106-1400°C で 0.5-16h の範囲で焼成し、顕微鏡写真上で粒径を測定した。添加量 (vol %) は前報の Bi₂O₃ と同じにした。

すべての焼結条件において、Sb₂O₃ を添加すると添加量の増加につれて ZnO の粒径は小さくなった。これは、Bi₂O₃ の添加が添加量の多少にかかわらず ZnO 粒成長を加速したのと対照的である。温度 T (K) で t 時間焼成したときの結晶粒径 G は、初期粒径 G_0 が小さい場合、

$$G^n = K_0 t \exp(-Q/RT)$$

で表わせるが、ZnO-Sb₂O₃ 系では、粒成長指数 n はおよそ 6 であり、ZnO の 3、および ZnO-Bi₂O₃ の 5 より大きかった。 $n = 6$ を用いて、 $\log(G^n/t)$ と $(1/T)$ の関係から活性化エネルギー Q を求めた。 Q は 563-698 kJ/mol で、ZnO の 224 kJ/mol や ZnO-Bi₂O₃ の約 150 kJ/mol より大きい。 K_0 も含め、粒成長パラメーターは Sb₂O₃ の添加量に本質的に依存しない。SEM と X 線回折により、粒界に Zn₇Sb₂O₁₂ スピネル粒子が存在することが確認された。観察された ZnO の結晶粒成長の抑制は、Zener らの考察した第 2 相固体粒子による粒界移動の抑制によるものと考えられる。

〈装備部〉

プロパン炎における CH_2O , H_2 , H_2O のレーザ計測
**Measurement of CH_2O , H_2 , H_2O in Propane/Air
 Flame by a Laser Spectroscopy**

山岸 進, 土屋正之

平成元年12月

第27回燃焼シンポジウム

ガスの微量成分検知のため、紫外域に多くある分子の振動吸収帯の共鳴効果を使用した高感度濃度測定法の応用が各所で試みられているが、ここでは YAG レーザの 3 倍波でホルムアルデヒド (CH_2O) を励起すると、LIF (Laser Induced Fluorescence) が生ずる事を示し、プロパン炎中で微量なこの分布を他の主要成分と同時に測ったことについて報告した。

ホルムアルデヒドは紫外域 (353-230nm) に強い吸収バンドを持つ事が知られている。この 353nm をヘッドにした垂直吸収バンドの回転線を調べると、一部が 355nm 近傍にも存在しており、YAG THG を共鳴吸収すると考えられる。 CH_2O は 6 個の基準振動を持つが、問題とする蛍光に関係するものは CH の V_2 振動、平面折れ曲がり V_4 振動のみである。

計測は既報の装置を使い、プロパン予混合火炎を使った。観測値は理論的に予想される蛍光プログRESSIONと対応することから、共鳴吸収による LIF スペクトルが観測されているものと考えられる。火炎中のスペクトルの形は常温のそれと類似している事が分かった。なお、本実験において、顕著な共鳴ラマンスペクトルは認められなかった。

分子間衝突によるエネルギー授受が問題となる大気圧下では蛍光強度の理論的計算に必要なデータが乏しいので、濃度既知の CH_2O と N_2 ラマンスペクトルを同時に観測しておき、実火炎でも N_2 を含む多成分 H_2 , H_2O を同時に観測して濃度を算出した。全体のパターンが捉えられているので、比較的弱い、 H_2 ピークも読むことが可能である。 CH_2O は火炎面の未燃焼側の比較的低温部において濃度ピークを持っている事が分かった。また、高温部ではアセチレンのラマンピークも観測された。

〈システム技術部〉

**Automatic Ship Navigation and Safety
 Evaluation by Computer Simulation**

コンピュータシミュレーションによる
 船舶の自動航行システムとその安全性評価

沼野正義, 奥住恵子

平成元年 8 月

Proceedings the International
 Conference of Safety

船舶の航行は、現在、船長やパイロットの熟練した操作に依存している。一方、人工知能技術などの要素技術の進歩により、船舶の自動航行システムが実現可能なものとなってきた。実用化の前には、様々な環境で、その機能と性能が十分であることの検証及び、安全性評価がなされなくてはならない。

船舶の航行について整理し、船舶の自動航行システムが満たすべき要件を得た。そして、管理システムと判断及び意志決定サブシステム、通信サブシステムなどのいくつかのサブシステムから構成されている、並列プロセスの自動航行システムを想定した。対象としている幅狭海域では、航行の安全を妨げる要素の中で、衝突の危険が大きな位置を占め、避航が、自動航行システムの最も重要な機能の一つとなる。しかし、避航能力は、航行環境、出会いに大きく影響される。そこで、コンピュータシミュレーションによる詳細な評価の前にシナリオの方向づけのための総合的な評価が必要である。本論文では、避航に着目した東京湾人港のシナリオを選択し、シミュレーションを行い、航跡図や自船状態量、衝突の危険を示す指標値等を得た。

自動航行システムの安全性は、個々の航行結果が単に安全か否かではなく、安全の閾値からの余裕で評価できる。シミュレーションによって得られた各項目の指標値は、この安全の余裕の評価に用いられる。この評価項目、指標値の重みづけに階層分析法を適用することにより、操船の専門家の主観的な表を取り込むことができる。

コンピュータシミュレーションは様々な航行環境を設定することが可能だが、精密さと自動航行システムの性能そのものの検証となる航行環境の数に、限界がある。そこで、効果的なシナリオの選択が重要である。階層分析法は、コンピュータシミュレーションによる安全性評価に有効かつ重要であることが確認できた。

横衝撃荷重を受ける変断面梁の応答

Response of Beams with Varying Cross-section
to Impulsive Load

多賀謙治

平成元年12月

第3回材料の衝撃問題シンポジウム 前刷集

性能向上という点からも構造物の最適設計が行われているが、実際の構造物においては動的な外力を考慮することは重要である。比較的大きな外力が短時間作用する場合の構造物について、最適化を行うための動的な外力に対する構造物の応答の評価を行った。

構造モデルとして主軸方向に断面積が変化する2次元梁モデルを考え、3点曲げ衝撃荷重が加えられた場合について、実験および有限要素法によるモデルを作成し時刻歴応答、およびモデルの妥当性を検討した。

厚さおよび支持点間の重量を一定条件として、中央部を大きく主軸方向に断面積が直線的に変化する対称な鋼製梁および真直な梁の中央に応力棒を衝突させ、変位、歪量、および応力棒の歪量を測定し、断面積を変化させた影響を調べた。

有限要素法によるモデル化は、Hamiltonの原理に基づく運動方程式を線形加速度法により解いた。実験に頼らざるをえないため減衰については考慮しなかった。計算に用いた外力は実験値を使用した。

最大変位が生じる梁の中央部で比較すると、断面積に変化をもたせた効果が現れたが、静的な外力を加えた時比較すると、試料間の変位量の差はやや小さく現れた。また計算によると最大変位量は実験値のほぼ80パーセントとなった。

応力応答は衝突直後に大きく立ち上がり、変位量がほぼ最大となる時最大値を示すが、衝突直後のピーク値については実験値と計算による変位量はほぼ一致した。最大値については、計算値の方に高次の振動モードが現れ実験値を定量的に近似出来なかった。高次モードを除去する必要があるが、今後の検討課題である。梁の主軸方向の応力分布は、真直梁と比較すると、断面積を変化させた梁では支持点に近い部分でも比較的大きな応力が生じており、変断面梁の効果が現れた。

GO-FLOW 信頼性解析支援システムの開発

Development of the GO-FLOW Reliability
Analysis Support System

松岡 猛, 小林道幸

平成元年12月

確率論的安全評価 (PSA) に関する国内シンポジウム

GO-FLOW 手法によるシステム信頼性解析は、解析対象をモデル化し GO-FLOW チャートとして表現する事から始まり、その GO-FLOW チャートをもとにした入力データの作成、メインフレーム計算機による計算の実行、得られた解析結果の整理・表示という手順により実施される。

解析対象とするシステムの規模が大きくなると、この一連の手順には多大なマンパワーが必要となってくる。そこで、これらの作業を支援するシステムをパーソナル・コンピュータ上に構築する研究開発を開始した。

本支援システムは、PC9801上に構築された各種プログラムより成り、GO-FLOW 解析本体の計算を行うメインフレームと PC とはイーサ・ネット で接続されている。CRT 画面上で GO-FLOW チャート作成プログラムの支援によりチャートの作成を行う。作成されたチャートのハード・コピーあるいはプロッターによる図化が可能であり、また、記憶装置中にデータ・ファイルとして保存しておける。GO-FLOW チャートから解析のための入力データを自動生成し、イーサ・ネット を通じ中央計算機へ転送する。PC からの指令により中央計算機上で、GO-FLOW 解析プログラムを実行させる。解析結果は LP 出力の他に、再びイーサ・ネット を通じて PC 側へ転送し、「図表」表示プログラムにより処理し、プロッター、プリンターによる出力が可能となる。

本報告では、現在までに完成した GO-FLOW チャート作成プログラムの詳細について述べている。

本チャート作成プログラムの完成により、チャートの作成・修正が従来に比較し数段容易となった。また一連の解析が手元の PC から操作できる事から、プラント・サイトにおいて手軽に信頼性解析が実施できる途が拓けた。

〈原子力技術部〉

MANYCASK コードを用いた使用済核燃料運搬船の
 γ 線線量率空間分布計算に於ける容器表面線量率の役割

**Role of Gamma-Ray Dose Rate at the Surface
of Spent Fuel
Shipping Cask in the Calculation of
Dose Rate Distribution
Throughout the Ship by using
MANYCASK Code**

山越寿夫

平成 2 年 1 月 30 日

日本原子力学会 日本原子力学会誌 32 巻 1 号

使用済核燃料運搬船の船内・船上におけるガンマ線
線量率分布を精度良く広範かつ詳細に、従来よりも短
い計算時間で算出するため、従来とは異なる原理に基
づく計算手法を開発し、手法の実用性を検証した。

この手法の特徴は、(1)容器周辺線量率の場を解析関
数で記述したこと、(2)ガンマ線の容器影空間分布を容
器形状と配置で記述する影分布関数の概念を導入した
こと、(3)容器表面上の線量率を用いて船内遮蔽壁背後
の線量率空間分布を計算する手法を導びいたことである。

上記(1)~(3)はどれも計算時間短縮化に有効である。
また(3)は、法律で義務付けられた容器発送前検査の測
定データをそのまま用いて、実際の船内線量率分布に
極めて近い分布を推算する手法であり、実用上、例を
見ない強力な手段となっている。

上記特徴をもつ新計算手法をコード名MANYCASK
として PC-9801 用に整備した。このコードでは、

(a)実測値と良く一致する計算結果が得られる。

(b)船全体にわたる線量率空間分布が、約 5 分
(PC9801)の計算時間で得られる。ちなみに、従来の
QAD コードの場合では、約 2 カ月の計算時間を要す
ると考えられる。

(c)算出分布の対数値 6 デカドを 6 色 30 本のカラー等
高線図で表現しており、船全体の線量率分布の具体的
把握が容易である。特に分布の微妙な振舞いが浮き彫
りとなり、分布詳細検討固処の摘出の有効手段となる。

(d)各容器が線量率空間分布にもたらず寄与の詳細な
内訳が出力できるので、計算時間の短かさと合いまっ
て、各容器の形状・表面線量率の相異、船内遮蔽構造
を考慮しつつ望ましい分布を達成する様な最適容器配
置を検討する際に極めて有効な手段となっている。

〈海洋開発工学部〉

**Statistical theory of total second order responses
of moored vessels in random seas**

不規則波中の係留船の 2 次の非線形応答を含む
全応答の統計理論

加藤俊司, 木下 健, 高瀬 悟

平成 2 年 1 月

Journal of Applied Ocean Research 12 巻 1 号

本論は、係留船の波に対する線形応答と長周期運動
(非線形な 2 次応答)を含む一般の全 2 次応答の確率
密度関数及び極値分布を求める方法を提示し、線形応
答と 2 次応答の統計的干渉影響を調べたものである。

本論で用いた手法は、数理統計学の分野で良く使用
される series expansion 法に基づき、2 次応答のみの
確率密度関数 (以後 P. d. f. と略す) 及び全 2 次応答の
P. d. f. を一般化されたラグール関数で展開する
Generalized Laguerre expansion method によっている。
解は、無限級数形で与えられるので、有限項近似
を行うとそれは近似解となるが、2 次応答のみの場合、
3 項までの近似 (即ち、1, 2, 3 次モーメントまで
厳密解と一致させる)を行えば、それは Naess の厳密
解と非常に良く一致する。また、級数展開法の場合、
一般に負の確率密度が生じる (Gram-charlier 展開の
場合それが起こりうる) が、本手法では、それが起こ
らない。

厳密解が見い出されていない全 2 次応答の P. d. f.
を本手法を用いて求め、線形応答と 2 次応答の統計的
干渉影響を浮体の減衰力係数及び復原力係数を変化さ
せて調べた。その結果、全 2 次応答の P. d. f. は減衰力
係数と復原力係数に強く依存することが判明した。例
えば、減衰力係数が大きくなると全 2 次応答の P. d. f.
はガウス P. d. f. から離れ、歪度が増加する。また、減
衰力係数と復原力係数を小さくすると全 2 次応答の
P. d. f. は、たとえ長周期運動が線形応答に比べて支
配的であってもガウス P. d. f. に近づく。しかしながら、
どちらの場合でも、極値分布は、応答が狭帯域ガウス
過程であるという仮定から得られるレーレ分布よりも
すそが長く、この傾向はあまり変わらない。即ち、レ
ーレ分布と仮定して、全 2 次応答の極値応答を予測
した結果は、過小評価を与える。

なお、本論文と内容的に近い論文をすでに日本造船
学会論文、OMAE シンポジウム、テクノオーシャンシ
ンポジウムに出しているが、これがオリジナルである。

【特集】自然エネルギーの現状を探る（7）波浪発電

Electricity Generation by Wave Power

北村文俊

平成2年1月

エネルギー・資源 第11巻1号

日本の海岸には年平均 3.6×10^7 kwの波のエネルギーが存在している。このエネルギーを利用しようというのが波浪発電である。歴史的には18世紀初めから様々なアイデアが特許等に現われるが、本格的な研究が始まったのは1973年の第一次石油ショックの頃からで、日本とヨーロッパを中心に研究が始まった。初期には様々な方式の波浪発電装置が提案されたが、機械式のものには運動の変換に問題が伴い、現在の主流は空気室とエアタービンを組み合わせた、振動水柱型と呼ばれているものである。その原理は、空の容器を伏せたような空気室に波が入射することによって生じる空気室内の水面の上下動を利用して、空気流を起し空気タービンを回して発電を行なうものである。空気流は往復流であるが、整流のための弁機構が不要のように往復流中でも一方向に回転するタービンも開発された。その中で代表的なものがウェルズタービンである。ウェルズタービンの特長は、構造が単純、可動部分がない、サイズが小さくてすむ、などである。

波浪発電の最大の問題点は波の変動性であろう。これに対しては他のシステムとのコンバインドが必要である。また変動と需要が一致するような用途、例えば日本海岸で融雪や地域暖房に使うと言った用途や水素製造、海水の淡水化と言った変動の影響を受けない用途も一つの方法である。

現在でも離島・僻地といったもともと電力コストが高くかつ自然条件に恵まれているところでは十分実用化が可能である。今後の発展はコストの低減がどの程度までできるかにかかっている。システムをユニット化して量産し、波浪条件、発電電力に応じて選択する、といったことができればかなりのコスト低減が可能であろう。また多目的ダムのように波浪発電でできた波のない海域を港湾、漁業、レジャー等の施設に利用すると言った海域総合利用を考えていけば波浪発電の用途はさらに広いものになるであろう。

〈氷海技術部〉

SYNERGETICAL FRACTURE
TOUGHNESS CONCEPT

シネルジェティカル破壊靱性概念

在田正義, V. S. Ivanova, S. A. Kunavin

平成元年11月

Proc. of International Conf. on EVALMAT

破壊現象は、熱力学的平衡とは掛け離れたところで生じる臨界値による現象であり、不平衡相変化と同じ特性をもっているとの立場から、破壊靱性概念を述べた。ここでは、エネルギーによる方法と自己相関理論（自己組織化散逸構造理論）を用いている。

共エネルギー（シネルジェティカル）的方法によると、破壊を次の3つの臨界点での相移行と考えることが出来る。すなわち、結晶相、準アモルファス相及び破壊相（結合破壊相）である。準アモルファス相の形成には、限界レベルを越えた変形エネルギーの蓄積が必要であり、破壊相ではこのエネルギーが限界速度を越えて解放されることが必要である。このことから、共エネルギー的手法が破壊現象の解明に適用出来ることがわかる。また現象中に生じるバイファーケーション（分岐点）は、限界値を知るためのスケールと考えることが出来る。

線形破壊力学概念、歪みエネルギー密度関数及び共エネルギー原理を用い、不安定破壊に関係する基本的な機械的性質相互間の関係を示した。すなわち、塑性変形抵抗 σ_y 、き裂変形抵抗 W_c 、及び、き裂伝播抵抗 K_{Ic} から、次の不変量を導出した。

$$P^{**} = \frac{(K_{Ic}\sigma_y)^2}{W_c}$$

この量が、腐食疲労でのき裂伝播を含む種々の荷重条件下で、損傷及びその機構を予測する基礎となるスケール係数を決定するための不変量となることを示した。またこの量は、荷重条件に対しても不変量となる。実験は、銅、チタン合金及びアルミ合金について行っている。

〈大阪支所〉

FRP 製円筒形地下タンクの試験・検査

**Tests and Inspections of Glass Fiber Reinforced
Plastics Underground Storage
Cylindrical Tanks**

小林佑規

平成2年1月

日本高圧力技術協会 FRP による地下タンクと
ガス容器の技術指針

わが国における給油所のガソリン等貯蔵タンクは、銅製タンクが使用されている。10年以上使用したタンクの検査によると、タンクまたは配管の腐食によりエア漏れするものが生じている。エア漏れの防止には、タンクの防食法改善またはタンクの材質を変更する必要がある。日本高圧力技術協会・新材料地下タンク委員会は、タンクの材質をFRPに代える方向で検討を行い、FRP製円筒形地下タンクの設計製作技術指針を作成した。本指針は、地下に直接埋設されるタンクで、容量が30kl以下、設計圧力が0.7kgf/cm²以下のタンクを対象としている。本稿は、本指針におけるタンクの試験・検査規定および試験方法等について概説したものである。

米国では、容量15～180klのFRP製タンクが地下に直埋設され、実用に供せられている。わが国では、2、3klタンクの試作経験しかないため、タンクの試験・検査規定はASTMおよびASME等を検討して作成された。タンクの試験は製作者に義務づけられており、FRP材質特性試験、設計・製作確認試験、品質管理試験、製品試験が実施される。また、検査は、使用者および製作者と独立した第三者によって実施される。

FRP材質特性試験は、引張り強さおよび曲げ強さ等積層品の試験、タンク特有の接合強度、配管、ノズルおよび吊り手強度等タンクの設計に用いられる強度特性値を求めるための試験である。設計・製作確認試験は、タンクの設計および製作手順の形式認定を得るため、外圧・内圧強度、内圧疲労、耐圧試験等が形式承認タンクに対して行われる。耐圧は、設計圧の2.5倍を見込んでいる。品質管理試験は、ガラス繊維含有率、容積膨張試験が製作段階の抜取り試験として行われ、板厚のバラツキチェックが全ての製作タンクに行われる。製品試験は、形式承認タンクと同形式の製品タンクに対し、主として気密性および液密性をチェックするため、漏洩試験が行われる。