

所 外 発 表 論 文 等 概 要

〈運動性能部〉

On descending attitude of a compact deep-sea monitoring robot system

深海モニター用小型ロボットシステムの

降下時の挙動について

上野道雄

平成12年11月

テクノオーシャン2000国際シンポジウム論文集

本研究で想定している小型ロボットシステムは潜水艇と中継器が一体となったものであり、システムを深海に投入して目的地点に到達させた後、潜水艇が中継機から離脱して中継機との通信をおこないながらあるいは自律航行に必要な使命を果たすようなシステムである。潜水艇が中継機との通信をおこないながら十分に活動するためには潜水艇・中継機のシステムをできるだけ目的地点近くに正確に投入する必要がある。中継機は目的地点に到達するための舵とひれを備えているものとする。

本報告は上記のようなロボットシステム投入時の挙動をシステム全体の浮心および重心位置とひれおよび舵の関係を仮定して準定常的な解析によって明らかにしたものである。まず海中における移動物体の6自由度運動方程式を水平方向の運動が微小であるとの仮定に基づいて線形化をおこない、定常状態を考えるため加速度に関する項を省略し、降下中位置補正時の定常釣合方程式を導出した。さらに形状の対称性等を考慮して舵やひれの力や付加質量等に関連する流体力係数を推定し、釣合方程式を解くことによって本システム降下中の位置補正時の姿勢と運動状態を求め、これによって水平方向の移動可能距離の推定をおこなった。

ひれの大きさや舵の効果、重心位置と浮心位置の関係、あるいは直交する2つの水平方向へ同時に移動した場合と1方向のみの場合等について、これらが位置補正時の姿勢や補正可能距離あるいは降下時間に与える影響を定性的および定量的に明らかにした。計算の結果、重心および浮心位置とひれおよび舵の効果の関係で、まったく移動できない状態が発生したり、あるいは意図した方向とは逆の方向へ移動してしまうような状態が存在することが確認された。本検討結果は効果的な位置補正を可能とするためのシステム設計にとって流体力学的に重要な資料を与えるものと考えられる。

実船の操縦性能の簡易推定法

A Simplified Estimation Method of Ship

Manoeuvrability

原口富博

平成12年11月

西部造船会会報第99号

1993年11月に国際海事機関 (IMO) の第18回総会で操縦性能暫定基準 (A.751 (18)) [1] が採択されてから、実船の操縦性能推定法開発の重要性が増している。操縦性能推定法としては、いわゆる数学モデルによる推定法が一般的であるが、多くの操縦微係数を精度良く推定する必要がある。操縦性能暫定基準で定められた指標を、船の主要寸法等からさらに簡単に推定できれば便利である。この種の試みには、船型要素を用いて回帰方程式を表した小瀬の方法があるのみだが、必ずしも十分な結果を得ていない。ここで述べる方法は、井上の操縦微係数等を用いて回帰方程式のパラメータを表し、回帰方程式の係数は実船の操縦性能試験結果を用いて決定する方法である。この方法については著者が既に発表しているが、前報ではZ試験のオーバーシュート角等を推定する際、舵の影響を考慮しなかった。これは、舵力を舵面積とそのアスペクト比で表現した場合、SR221シリーズの模型船では舵面積が同じため、模型試験結果の定性的な傾向を表現できなかったためである。その結果、10° Z操縦試験でのファーストオーバーシュート角が大きい場合推定精度がかなり悪かった。これらの点を改善するために、操縦運動の影響を含む舵力の項を導入した推定法について検討を行った。

この結果、10° Z操縦試験でのファーストオーバーシュート角が大きい場合の推定精度がかなり改善され、SR221シリーズの模型試験結果を含む実船の試験結果をほぼ推定できることが解った。

操縦性データベースと実船の操縦性能簡易推定法
On the Manoeuvring Performance Database and the
Simplified Estimation Method of Ship Manoeuvrability

原口富博

平成12年12月

日本造船学会

試験水槽委員会シンポジウム－操縦性および
復原性基準に関する研究の動向－テキスト

国際海事機関 (IMO) では多くの海難事故を背景に、船舶の操縦性能の重要性を認識し、1990年のIMO第33回設計設備小委員会 (DE) 以降、人命安全、海洋環境保全の観点から航行の安全性をとらえ操縦性基準の検討を行った。その結果、1993年11月のIMO第18回総会で操縦性暫定基準 (A.751 (18)) が採択されたが、その5年後に見直しを行うことになっていた。このため我が国では、運輸省が造船会社49社の協力を得て操縦性試験データの収集を行った。この収集された各船舶固有のデータは、その性質上機密保持の必要があるため、国の機関である当所で操縦性能データベースの構築を行うこととなった。

操縦性暫定基準には、主に次の3つの課題がある。

- (1) 10° Z操縦試験のセカンドオーバーシュート角と20° Zのファーストオーバーシュート角の合理性
- (2) 乾貨物船のようにバラスト状態で試運転を行う船の基準適合性の確認方法
- (3) 試運転時の風、波浪などの外乱の修正法
- (4) 停止性能基準値の再検討

本報では、このデータベースの現状について報告するとともに、(1)、(2)に関連してデータベースの解析例、および(4)に関連してIMOに提案されている日本案を紹介する。また、(2)とも関連して、操縦性能暫定基準の指標となっている操縦性能を、主要目等から直接推定する簡便な一方法について紹介する。

満載喫水線基準とその改正の動向

Current Researches on Revision of Load Regulations

渡辺 巖、小川剛孝

平成12年12月

平成12年日本造船学会試験水槽委員会シンポジウム
「操縦性および復原性基準に関する研究の動向」

このシンポジウムでは船舶の操縦性及び耐航性・復原性についてIMOにおける国際基準策定における我が国の取り組みと造船所での対応、またこれらの理論的研究が関連する安全に関する国際条約や規則の見直しにどう関係するかについて産官学でこれらに従事する担当者が動向及び理論的背景について講演を行うものである。

著者らはその中で満載喫水線に関連する技術的事項の検討について解説を行った。内容は次のような構成を取る。まず国際の動きを紹介し次に国内の動きの紹介に移る。国際の動向については、乾舷規定の歴史的沿革に触れ、この規定がいかなる観点からの安全規定になっているか、また最近の見直し作業の背景、議論の概要について紹介する。中でも船首乾舷の見直し作業を中心に耐航性能推定がどのように活用されているかを紹介する。また英国船Derbyshire号事故がこの議論にもたらした影響についても触れる。次に国内規則の改正の問題を扱う。これについては、RR45において当所を中心として取り組んできた限定近海船の乾舷設定法に関する研究、乾舷設定の重要な指標となる海水打ち込みに関する研究の動向、また、これらの検討を進めていく上で検討が必要となる技術的課題について紹介する。

〈構造強度部〉

The Behavior of a VLFS and an Airplane During
Takeoff/Landing Run in Wave Condition

波浪中のVLFS (超大型浮体構造物) 上で飛行機が
離着陸する場合のVLFSおよび飛行機の挙動

遠藤久芳

平成12年10月

Marine Structures (Vol.13)

本論文は、VLF'99 (The 3rd Internl. Workshop on VLFS) にて発表した論文の中から特に雑誌Marine Structures用にセレクトされたものであり、VLFS'99にて発表した論文“The Behavior of an Airplane Taking off from and Landing on a VLFS in Rough Sea Condition”を若干改訂したものである。

大型浮体構造物 (VLFS) 上の滑走路に飛行機が離着陸する場合を想定して、浮体および飛行機の過渡応答について、シミュレーション計算を実施した結果を報告した。対象としたVLFSは、メガフロートプロトタイプとして建造された300m長のMF-300である。重量3トンの軽飛行機がMF-300 (L×B×D=300×60×2) の滑走路上で離着陸する場合を想定した。MF-300は、平水中にあり浮体の動揺が無い場合、および規則波を受けて弾性振動している場合を採り上げ、飛行機の離着陸荷重のみによる応答および波との連成影響を検討した。シミュレーション解析の結果、以下結論が得られた。

1. 離陸滑走時に飛行機は自重により弾性変形した滑走時のV型谷の底付近に位置しており、このV型谷を引きずりながら滑走する。小さな弾性波がこの谷から前後の丘に伝播していく。ただし、このV型谷の深さは0.07cm程度であり離陸走行に影響を及ぼす程大きくはない。
2. 波長30m、波高1m規則波による滑走路の上下変位は最大6cm程度であり、飛行機の自重による変形より2桁大きい。波長30mの入射波は浮体上では、4.6倍の波長および速度を有する浮体波となって伝播する。
3. 規則波を受ける浮体の滑走路を走行する飛行機は、高速の浮体波に乗り上下運動する。追い波の場合には波乗り状態が現れることがある。
4. ただし、波高1mの規則波中の滑走路の上下方向変動の大きさは飛行機の運動に影響するほど大きいものではなく、加速度値で0.06~0.32m/sec²程度である。また、滑走路の傾斜に起因する飛行機の走行抵抗 (Drag) は最大でも自重の0.002倍程度であり小さい。

〈機関動力部〉

ON-BOARD DOSE MEASUREMENT AND ITS MONTE CARLO
ANALYSIS IN A LLW SHIPPING VESSEL

LLW 輸送船における実船線量測定と

モンテカルロ解析

大橋厚人、植木紘太郎

平成12年2月

International Journal of Radioactive Materials Transport
Vol. 11 No. 4 2000

日本国内の原子力発電所で発生する低レベル放射性廃棄物 (LLW) を青森県六ヶ所村まで海上輸送するため、LLW専用運搬船「青栄丸」が、1992年より稼働している。1回の輸送により、コンテナ384個 (200リットルドラム缶を3,072本) まで輸送することができ、巨大な体積放射線源を船倉内に保持することとなる。船体表面、船内居住区において、それぞれ2mSv/h、1.8μSv/hの放射線線量制限がある。

本研究では、2回のLLW輸送航海中に、船倉ハッチカバー上、居住区等で放射線線量を測定した。居住区などの測定結果は、規制値である1.8μSv/hを大きく下回り、また、ハッチカバー上でさえその値を超えるものはなかった。したがって、2回の航海における放射線安全に関する確認ができた。

また、提供されたLLWコンテナごとの線源データを利用して、ハッチカバー上の線量測定値の解析を連続エネルギーモンテカルロコードMCNP 4Bを用いて行った。この解析では、2種類のモデルを採用した。ひとつ目は、詳細モデルであり、ドラム缶、コンテナなどの形状をできるだけ正確に入力データに組み込むとともに、コンテナごとに異なる線源強度を与えた。詳細モデルの計算結果は、測定結果の分布と定性的傾向が一致したが、平均で2.8倍過大評価した。この主な原因は、提供された線源データが安全側の値であったためと考えている。もうひとつは、従来安全審査などにおいて、QADのようなpoint kernel codeで採用されてきた簡易モデルであり、船倉内のコンテナとドラム缶部分を均一媒質化し、この媒質を均一な体積線源とした。詳細モデルと簡易モデルを比較すると、簡易モデルは2倍の過大評価となった。

超大型浮体式海洋構造物の上載構築物の風荷重
Wind Loads Acting on Superstructure of Very Large
Floating Structures

北村文俊、佐藤 宏

平成12年11月

テクノ・オーシャン2000国際シンポジウム

超大型浮体式海洋構造物 (VLFS) に作用する風荷重は波や潮流による荷重と同じオーダーであり、構造物全体の荷重の推定や係留系の設計などにきわめて重要である。空港などを想定した超大型浮体式海洋構造物の浮体そのものに対する風荷重は、今までの研究でおおむね明らかにされてきたように風上側端部の圧力荷重と、表面の摩擦荷重とからなる。また通常、超大型浮体式海洋構造物上にはたとえばターミナルビルや整備施設等の上載構築物が搭載されることになり、浮体の風荷重推定の際にはこれらの上載構築物が受ける風荷重も考慮する必要がある。

本論文では、まず上載構築物に対する風荷重の基本的な性質を風洞実験等から明らかにし、それをを用いて5 km 級の超大型浮体式海洋構造物の風荷重を推定した。さらに、変動風荷重の推定計算を行った。

上載構築物の風荷重は、浮体の端部から離れた場所では、基本的に地上における建築物と同様である。超大型浮体式海洋構造物特有の性質として浮体端部の影響がある。浮体の風上側端部においては気流が増速しているため、上載構築物は通常よりも大きな風荷重を受けるが、やや下流では端部から発生するはく離渦の影響を受けて、風荷重は小さくなる。さらに下流側でははく離渦の再付着が起り、風荷重は徐々に増加していき、通常値に落ち着いていく。

上載構築物の形状の影響としては、角を斜めにカットした形状や丸くした形状は、風荷重の低減に効果があることが明らかになった。また飛行機の離発着に影響を与える構築物の発生する後流の影響については、構築物の高さより20倍程度以上離れば、特に問題ないことが解った。

これらの実験結果を基にした全長5 km 級の超大型浮体式海洋構造物の風荷重の推定計算では、上載構築物の風荷重が全体の風荷重の大部分を占め、上載構築物の風荷重の低減が全体の荷重低減に効果的である事が解った。さらに変動風荷重の推定計算では、上載構築物が存在する場合でも、変動風の影響は小さいことが明らかになった。

メタンハイドレート船舶輸送システムの概念設計
Conceptual Design of Methane Hydrate Shipping
System

中島康晴、川越陽一

平成12年12月

日本機械学会第9回交通・物流部門大会講演論文集

近年、従来の液化天然ガス (LNG) に代わって、メタンハイドレートによる天然ガス輸送方式の開発が模索されている。この方式では、常圧下においてLNGよりも遙かに常温に近い、 -15°C 以上での輸送が可能になると予想され、天然ガスの輸送コストを引き下げるとともに、初期投資額の大きさがネックとなって従来開発されていなかった中小ガス田の利用を促進する可能性がある。本報では、メタンハイドレート輸送システムの基本的形式を明らかにすることを目的として、まずメタンハイドレートの利用システムの概略を想定し、輸送に関連する主要な要素技術の概要を検討した。さらに、各要素を組み合わせた輸送システムのうち、比較的有望と見られる方式を選定した。

これまでに考案されているメタンハイドレートの船舶輸送方式としては、合成されたハイドレートをバルクのまま輸送する方式、適当なスラリー液と混合してスラリー化して輸送する方式、ブロック化して保冷能力を有する専用のコンテナに入れて輸送する方式が検討されている。また、荷役方式としては、バルク状ハイドレートでは自然落下で積荷し、ガス化して揚荷する方式が考えられる。一方、スラリーでは通常の液体貨物と同様に、ブロック化した物は通常のコンテナと同様に荷役することが可能と考えられる。バルク輸送では、積載量は大きくなるが揚荷時のガス化速度の制御等が問題となる。これに対して、スラリーやコンテナでは、通常の貨物とほぼ同様な方法で荷役できるものの、正味の積載量が小さくなる点がネックである。

さらに、これらの要素技術を組合せ、工程数の少なさや輸送時の正味の積載量が大きいことなどを条件として実現可能性を検討した結果、1) バルクとして積荷・輸送し、ガス化して揚荷する方式、2) スラリーとして積荷し、バルク形態で輸送し、ガス化して揚荷する方式、ならびに3) ブロック化して専用のコンテナで荷役・輸送を行う方式の3つが比較的有望として選定された。今後の研究開発により、さらに方式を絞り込むことができるが、陸上での貯蔵方式との組合せを含めて、さらなる検討が必要であろう。

〈材料加工部〉

Sand Erosion of Ceramics at Elevated Temperatures

セラミックスの高温サンドエロージョン

千田哲也、新井和吉、佐々木康裕

松原暁雄、安嶋賢哲

平成13年1月

The American Ceramic Society, 25th Annual Cocoa Beach Conference on Composites, Advanced Ceramics, Materials and Structures

アルミナと窒化ケイ素のサンドエロージョン試験を、室温から900°Cの範囲で行った。平均粒径360 μ mのアルミナ粒子を衝突速度で65m/sで衝突角度を30°から90°の範囲で試験した。衝突粒子1g当りの体積減少量を体積損傷速度と定義し、エロージョン特性の評価に用いた。いずれのセラミックスでも、体積損傷速度は温度の上昇とともに増大した。それぞれの温度で、一般に衝突角度が大きいほど体積損傷速度が増大する傾向があり、塑性変形と掘り起こしメカニズムよりは、むしろ脆性的破壊が主な損傷メカニズムであることが示唆された。アルミナに関しては、とくに衝突角度が高い場合、900°Cレベルで損傷速度が著しく増大したが、これは、粒界相の軟化によると考えられている曲げ強度の高温における低下と対応する変化であった。このときのエロージョン損傷面は、低い温度と比較して規模の大きな粒界破壊がみられた。窒化ケイ素では、800°Cを超えると損傷速度が増大したが、これは高温酸化がエロージョン損傷を加速したためと考えられる。

Fatigue Strength of Titanium for Ship Structure

船舶構造材用チタンの疲労強度

岩田知明、松岡一祥

平成12年10月

International Titanium Association

Preprint of the 16th annual meeting of ITA

現在、チタンは海洋分野において注目されている。日本では数隻の漁船がチタン圧延材を用いて作られた。チタン船の利点は、海洋環境において腐食の影響を受けないこと、及び軽量化による燃費の改善などである。けれども、溶接製チタン構造材の適切な強度基準や設計推奨が無い。特に隅肉溶接の強度データは非常に限られている。本研究では、チタン船開発を促進するため、溶接製チタン薄板構造の基礎資料整備として、突合せ溶接継手・横隅肉溶接継手の疲労試験を行った。各試験は、応力比0、周波数5HZで行った。溶接法は手動TIG溶接で、使用した溶接棒はJIS YTB35 ϕ =1.6mmである。背面シールドガスとしてArを使用した。

鋼材の設計疲労強度曲線と比較した。鋼材の場合、疲労等級FATは、突合せ溶接継手は100、荷重非伝達型横隅肉継手は80である。FAT値は200万回の疲労強度で示される。最小自乗法によりS/N特性曲線を求めた。突合せ溶接において溶接部から破断したデータは分離した。寿命分布が正規分布を取ると仮定し、2倍の標準偏差を用いて、95%生存確率のS/N特性曲線を求めた。この分類から、実験結果は比較的狭い範囲に分布していることがわかる。それゆえ、突合せ溶接及び横隅肉溶接の疲労強度は、圧延方向の影響を受けないことが明らかである。生存線の下限值より、チタン材のFAT値はそれぞれ、突合せ128等級、溶接部で破断した突合せ114等級、横隅肉108等級となる。よって、今回のテスト範囲で、チタンの疲労強度は鋼材の設計疲労強度を上回った。

本試験では、板厚が2mmと薄いため残留応力が小さいと考えられること、及びTIG溶接で止端半径が大きく局所的応力集中が小さいことから、鋼材の場合とS/N曲線の勾配が異なっていると思われる。よって、今後は、更に厚い板の試験および角回し溶接継手のように構造的応力集中のある試験片での試験が必要である。現在、縦隅肉溶接継手および厚板の疲労試験が準備中である。

2軸繰り返し荷重下における角回し溶接継手の 疲労挙動 (第2報)

— 2軸荷重レンジ比および横方向繰り返し 圧縮荷重の影響 —

Fatigue behavior of a box-welded joint under biaxial
cyclic loads (2nd report)

-Effects of biaxial load range ratio and cyclic
compressive loads in the lateral direction-

高橋一比古、高田篤志、秋山 繁

牛嶋通雄、前中 浩

平成12年11月

日本造船学会論文集, 第188号

船体構造には、重力、波浪外力、慣性力等、様々な外力が様々な方向から複合的に作用する。また、板骨構造の取合部等、応力状態が3次元的になる部位も数多く存在する。従って、船体構造部材の疲労強度や疲労寿命を論じる場合、これら複合荷重条件や多軸応力状態の影響を明らかにしておく必要がある。前報では、位相差 π の2軸繰り返し引張荷重を受ける角回し溶接継手の疲労挙動について検討し、横方向の繰り返し引張荷重はポアソン効果により止端部の応力レンジを増大させ、疲労被害度を増大させること、また、その度合いは1軸試験における応力レンジの増大がもたらすものとほぼ同等であることを報告した。今回は、2軸荷重レンジ比および横方向繰り返し圧縮荷重の影響について検討し、得られた結果について報告した。供試材は溶接構造用鋼SM400B (板厚12mm) で、試験体は主板の中央部・表裏面にスティフナーを2枚、CO₂半自動の角回し溶接により接合したものである。疲労試験には複合荷重試験装置を用い、中点不動制御の2軸疲労試験を実施した。まず、位相差 π の2軸引張繰り返し荷重試験において、2軸荷重レンジ比 R_{xy} が0.56を下回る荷重条件では、リブ長手方向中央における隅肉溶接止端部のy-方向応力レンジが角回し溶接止端部のx-方向応力レンジを上回り、試験体はx-方向き裂により破断した。そこで、き裂伝播方向と直角方向の応用レンジを参照応力レンジ $\Delta\sigma_s$ として破断寿命を整理したところ、x-方向き裂により破断した2軸データは、y-方向き裂により破断した1軸および2軸データよりも短寿命側となった。これは、リブ長手方向では角回し部よりも溶接線が長く、引張残留応力や応力集中係数の大きい領域が広いため、き裂伝播が加速されたためであると考えられる。一方、x-方向繰り返し引張荷重と同意相のy-方向繰り返し圧縮荷重は、ポアソン効果により角回し溶接止端部のx-方向応力レンジ $\Delta\sigma_s$ を増大させ、疲労被害度を増大させる。またこのとき、疲労被害度が増大する度合いは、1軸試験における $\Delta\sigma_s$ の増大がもたらすものとほぼ同等であった。

最後に、FE解析と1軸データにより、2軸試験体の疲労寿命を推定したところ、荷重条件によらず、ほぼ妥当な評価が得られた。但し、2軸試験では、 R_{xy} の大小によって破壊形態が変わるので、参照応力のとり方および1軸データの選び方に注意する必要がある。

Restraint of fatigue crack growth by wedge effects of fine particles

微細粒のくさび効果による疲労き裂進展抑制

高橋一比古、高橋千織、古谷典子

平成12年11月

欧州構造健全性学会

Fatigue & Fracture of Engineering Materials &
Structures, Vol. 23, No. 10

アルミナ粒子等の微細粒を油で溶いてペースト状にし、これを疲労き裂の発生・伝播が予想される部位に塗布すると、き裂の開閉によるポンプ作用および毛細管現象によって微細粒がき裂先端近くまで自動的に輸送され、き裂内に「詰まる」ことにより、いわゆる「くさび効果」が発現する。本研究では、このくさび効果による疲労き裂の進展抑制効果およびそのメカニズムを、き裂進展試験および破面解析により実験的に検証した。特に、破壊力学的見地から考察を加えるため、約1,000倍のCCDマイクロスコープを用いて疲労き裂の「その場観察」を行い、き裂長さおよび裂閉口変位(COD)を測定した。供試材はA1-Mg合金A5083P-0を用い、板厚5mmの平板試験片の中央部に人工切欠きを加工した。微細粒としては、磁粉探傷用の磁粉および平均粒径の異なる2種類のアルミナ粒子を用い、これを油で溶いてペースト状にし、切欠き部および予想き裂進展経路に塗布した。その場観察を行う試験片については、観察の前後にペーストの除去・再塗布を行った。疲労試験中は適当な間隔で荷重振幅を減少させ、破面にピーチマークを導入した。試験終了後、微細粒によるき裂進展抑制メカニズムをよりミクロな見地から検討するため、CCDマイクロスコープ、SEM、EPMA等、種々の観察機器を用いて破面観察・破面解析を行った。

まず、磁粉および平均粒径 $15.2\mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いた場合について、微細粒のくさび効果による疲労き裂進展抑制作用が確認された。特に後者の場合は効果が大きく、破断寿命が143~350%延びた。

次に、アルミナペーストの疲労き裂進展抑制作用は、ペーストの再塗布を行わない場合、き裂発生後、伝播過程のごく初期の段階において顕著であり、疲労き裂長さが2mmを超えるとその効果は殆どみられなくなった。また、破面解析の結果、切欠き底近傍の破面には、くさびとして作用したアルミナ粉が圧着し、顕著な表層を形成していることが確認された。一方、き裂のその場観察結果および破壊力学的考察から、き裂長さが約0.4mm(COD= $2.6\mu\text{m}$)に達すると、アルミナ粒子によるくさび効果が発現してき裂進展速度が激減し、以後、ペーストの再塗布を行うことにより、き裂進展のほぼ全過程にわたってき裂進展抑制作用が持続することが判明した。

船舶構造部材料用チタンの疲労強度

Fatigue Strength of Titanium Alloys for Ship Structure

岩田知明、松岡一祥

平成13年1月

日本チタン協会

チタン2001年1月号 (Vol. 49 No. 1)

チタンの、高い耐食性による維持コスト削減、高比強度による燃費向上などの、環境・経済効果が船舶分野で近年注目されて来ており、検査基準の緩い漁船においては、既に構造部材に使われ始めている。しかし、検査基準の厳しい客船・貨物船においては、実績が乏しく、設計、製造及び検査方法が確立されていないため、規準化のための基礎資料整備が望まれている。特に船舶では、船体構造特有の隅肉溶接箇所が多く、これらのデータ不足が適用の妨げになっている。本研究では、チタン船開発を促進するため、溶接製チタン薄板構造の基礎資料整備として、突合せ溶接継手・横隅肉溶接継手の疲労試験を行った。各試験は、応力比0、周波数5Hzで行った。溶接法は手動TIG溶接で、使用した溶接棒はJIS YTB35 $\phi=1.6\text{mm}$ である。背面シールドガスはArを使用した。

鋼材の設計疲労強度曲線と比較した。鋼材の場合、疲労等級FATは、突合せ溶接継手は100、荷重非伝達型横隅肉継手は80である。FAT値は200万回の疲労強度で示される。最小自乗法によりS/N特性曲線を求めた。突合せ溶接において溶接部から破断したデータは除外した。寿命分布が正規分布を取ると仮定し、標準偏差の2倍を用いて、95%生存確立のS/N特性曲線を求めた。この分類から、実験結果は比較的狭い範囲に分布していることがわかる。それゆえ、突合せ溶接及び横隅肉溶接の疲労強度は、圧延方向の影響を受けないことが明らかである。生存線の下限值より、チタン材のFAT値はそれぞれ、突合せ128等級、溶接部で破断した突合せ114等級、横隅肉108等級となる。よって、今回のテスト範囲では、チタンの疲労強度は鋼材の設計疲労強度を上回った。

母材の疲労強度が圧延方向の影響を受けるのに対し突合せ溶接継手・横隅肉溶接継手の疲労強度はその圧延方向の影響を受けない。チタンの疲労強度は、本試験の範囲では、突合せ溶接継手、横隅肉溶接継手共に、鋼材の設計用疲労強度を上回った。ただし、S/N曲線の勾配が異なった。その理由としては溶接残留応力や応力集中の違いが考えられる。これらについては更に試験が必要である。

〈装備部〉

海上での流出オイルセンサー開発及びフィールド実験

Development of a spilled-oil sensor and field
observation on board ship

山口良隆、田口 昇、山之内博
柴田俊明、樋富和夫、山岸 進

平成12年12月

日本分析化学会 学会論文誌「分析化学」42巻12号

ナホトカ号の事故では流出オイル防除対策にはリアルタイムでオイル群の挙動を把握する必要があった。そのために船舶や飛行機に搭載できて、小型かつ現場で使用できるセンサーが必要なことがわかった。我々は今までにレーザーを使用したリモートセンシングシステム（ライダー）の研究を行い、その技術と蛍光分析法を利用して海上での流出オイル検出システムを作製し、検証実験を行っている。実験室では蛍光強度分析よりオイル種を相対的に区別ができた。さらにフィールドでは、ライダーを船舶に搭載し実船実験を行った。海上のオイルは見つからなかったが、海洋への紫外光を照射すると蛍光を含んだその場検出ができた。この起源は海洋微生物であると考えている。今回の研究での新たな展開として、オイルや化学物質流出事故後の環境回復についても計測できる可能性がわかった。

事故後の残留オイルの浄化及び環境回復度をモニタリングするために、その指標となる通常の海域の環境計測ではライダー検出限界以下の汚染分布の必要があることがわかった。そのためオイルを主とした海洋微量汚染成分の計測装置の作製を行っている。またライダーデータとの比較を行えるように、本装置も蛍光分析法を用いている。微量分析装置も船舶に搭載して、船上でその場観測をできるものである。また将来的に微量成分の発ガン性物質や環境ホルモンなど詳細に化学物質として分類をする必要がある。蛍光分析法ではこの分類は、非常に難しいので、新たな手法開発の検討についても述べている。

〈システム技術部〉

海上物流の現状と将来

Present and Future Transportation of Cargo in Sea

勝原光治郎、五十嵐元彦

平成11年5月

TECHNO MARINE (日本造船学会誌) 5 1999

テクノマリン平成11年5月号での海運・物流特集では、「1 物流と造船業」において、(1) 海上物流の現状と将来、(2) ニーズ指向の研究開発、(3) 物流ネットワークシミュレーション、(4) 物流シミュレーションによる船舶設計、(5) 物流システム分析の試み—いくつかのケーススタディが掲載される。本論はその(1)に当てられる。中でも、1. 我が国物流と外航内航の現状、2. 物流変革と造船業の未来展望について述べる。

まず、1. 我が国物流と外航内航の現状について述べる。最初に我が国の物流の歴史を大括りに解説した。1973年には第1次エネルギー危機、そして1979年には第2次エネルギー危機のため原油をはじめとするエネルギー価格が高騰し、輸送量も押さえられた。1985年プラザ合意による内需拡大経済路線によって当初円高によって景気が低迷したが、その後急速にバブル景気を引き起こし輸送量は急上昇する。そして、海外への産業移転により物流の流れも変わった。しかし、バブルの崩壊とともに輸送量が減少し、現在に至っている。

現在、物流分野にサードパーティロジスティクス、サプライチェーンマネジメントなど新システムが次々に提案されている。単に物を運ぶだけのキャリアーでは付加価値を上げることはできない状況である。

日本経済の高コスト構造を物流面で取り除くために規制緩和が必要である。トラック事業は規制緩和で2倍の参入スピードとなり、運賃は低下し、業界全体の輸送トンキロは着実に伸張してきた。

次に、外航海運については定期船についてみると、世界の海上コンテナの動きは北米、欧州、アジアの3極に代表される。特にアジアをめぐる荷動きの変化が著しい。75年のアジア通貨危機後の荷動きや貿易のインバランスや空コンテナ輸送問題を述べた。大型合併を含む経営機能の合理化や各種コスト削減などを行う一方、他船社とはコンソーシアム（海運同盟）を結び、寄港地を増やし、便数を増やす等のサービス向上や経費削減を行っている。

次に、内航海運は小規模な事業者が多い。また日本が土建国家から脱却し低成長高齢化社会に移行することによって将来的にも輸送量の低下は免れない。内航2法の下で昭和41年から設備調整カルテルである船腹調整事業が行われてきたが、零細な企業を温存し、経営の近代化が進まなかったというデメリットがあっ

た。共同配船・協同組合化などの提案もあるが、経営の近代化・コスト削減のための合併・複合一貫輸送への進出・自己資本比率の向上などの構造改善が急務であろう。

次に、2. 物流改革と造船業の未来展望について述べる。まず、海上物流のみを捉えるのではなく物流全分野で現在どのような変革が行われているか、その変革を迫る要因を挙げ、次に、造船業の取り組み姿勢について、他の業界と同じく「時代適合性の確保」「競争優位性の追求」が必要であるという企業経営理念を示した。

「いかなる船をいかに造るか」の前に「市場における可能性はなにか」を考えねばならない。今日、サービスまでも含めたソフトの多角化が進んでいる中で、造船というハードにこだわらない事業コンセプトを造船業が作り出し、時代に適合していかなければならない。そして最後に、造船業界の新しい仕組みを考える必要を述べた。造船所が厳しい経営に直面している中で、造船所を取り巻く機関・団体が同じ危機意識を共有しているか疑問であり、共に時代に適合しようと新たな産官学のあり方を考えるべきである。

物流システム分析の試み—いくつかのケーススタディ

Logistic System Analysis - Some Case Studies

勝原光治郎、伊藤泰義、岡崎忠胤、李 永雨

平成11年5月

TECHNO MARINE (日本造船学会誌) 5 1999

テクノマリン平成11年5月号での海運・物流特集では、「1 物流と造船業」において、(1) 海上物流の現状と将来、(2) ニーズ指向の研究開発、(3) 物流ネットワークシミュレーション、(4) 物流シミュレーションによる船舶設計、(5) 物流システム分析の試み—いくつかのケーススタディが掲載される。本論はその(5)に当てられる。

まず、物流情報解析システム (TDAS) について説明する。複雑な物流現象に対応して、データ・ツールなどを多数取り扱わねばならないが、これまでの経験ではコンピュータ上に多数のファイルが作成され混乱を繰り返すことがしばしばであった。そこで多数の情報と多数の解法および作成ファイルを系統的に管理するシステムを作成することとした。このことによって、研究作業上生成されたデータやツールなどのファイルを必要に応じて再利用できるようにするものである。これは物流研究のインフラに相当するものである。物流の知識管理装置である。並行して物流解析を行い、このTDASに作成ファイルを格納しつつある。TDASを用いた物流解析のいくつかを紹介する。

まず、物流シミュレーションとして、重油をモデルとする海上輸送をシミュレーションした。注文の量と頻度を変えて必要な船腹量を求めた。注文量の変動があると必要船腹量は増えることがわかった。荷役制限の影響を調べた。夜間および土日の荷役禁止の場合必要船腹量は大幅に増えている。

次に、長距離フェリーへのモーダルシフトの条件を求める解析を示した。ネットワークモデル・犠牲量モデルを用いて計算した結果、フェリー運賃の値下げが最も効果的であることがわかった。

さらに、海上における地球温暖化問題の解析例として、回帰分析による将来予測手法や世界の海洋で排出されているCO₂の量の統計処理や船舶のエネルギー消費関数を示した。

最後に、外資コンテナのフィーダー輸送は現状では陸路が多く取られているが、モーダルシフトによって海上において現状の3倍のビジネスを作り出せることを解析した。

Effective Procedure for Improvement of Light Aids to Navigation through Simulator Experiments

操船シミュレータを用いた航行援助施設の
効果的な改善手法

宮崎恵子、沼野正義、田中邦彦、室原陽二
岡崎忠胤、福戸淳司、丹羽康之、高橋将人
平成12年5月

Proceedings of International conference on marine
simulation and ship maneuvering

夜間における海上交通の安全性を確保するためには、航路を示す灯浮標や灯台が操船者に適切に提示され、認識されなくてはならない。これら灯浮標および灯台の配置、灯質（光の色、光度、点滅のリズム等）を操船シミュレータを用いて効率的に検討する手順について開発した。本手順では、熟練した操船者とともに、海域の航行環境と、当該海域を航行する時の目標物やそれをどのように視認するといったことを含む航行方法の特徴抽出をおこないモデル化を実施する。さらに、操船シミュレータ上で航行環境を概略完成した後、複数回の現地調査を実施し、航行環境を完成させていくという点が、本手順の特徴である。本手順は、東京湾の夜間航行シミュレーションに適用してその有効性を確認した。

さらに、コンピュータシミュレーションのアーキテクチャについても提案し、当所の操船シミュレータ上で実現した。UDP (User Datagram Protocol) を用いて、複数のパソコンによるマルチプロセスを実現し、データドリブン形式を採用して、シミュレーション中もデータが改良可能など、効率的なシミュレーションを実現した。また、コンピュータグラフィックスの一般的なポリゴンで灯浮標等の灯火や市街地等の背景光を適切に表現するために改良型Level-of-detail手法や市販の電子海図をデータソースとして用いる手法等、手法の開発もおこなった。

以上のような手順、アーキテクチャおよび手法を用いて、当所の操船シミュレータで、伊勢湾四日市港の灯浮標の灯質の検討をおこなう操船シミュレータ実験を実施している。検討結果については、本会議にて発表する。

ヒューマンファクターを考慮に入れた船舶での 避難行動シミュレーション

Simulation of Human Escape on Board Considering
Human Factors

勝原光治郎

平成11年12月

安全工学協会 安全工学 第38巻第6号

災害時の人間の避難行動を記述するとき最大の問題は経路の選択がどう行われるかである。たとえ同一施設であっても人々の心理状態によって避難経路は異なる。例えば、船内の他の甲板に知人達がいるとか、前日パーティーで乗客同士の交流があったとか、あそこは採光がなく少し陰気であるとか、リーダーシップを発揮する性格の人の部屋がどこそこにあるとか、現場には種々の心理的要因の発生する可能性がある。従来の避難シミュレーションのほとんどは同一施設であれば、同一の避難結果を与えている。それは心理を無視して待ち時間最小とか、最短経路選択とかで人間の行動を扱っているためである。避難行動の多様性を表現するため心理的なヒューマンファクターを考慮に入れたモデルを作った。

そこで多様性の原因である人間の心理をモデルに組み込んだ。避難行動における人間の心理を集団心理とみてモデル化しシミュレーションを行った。個々人は避難場所に早く着きたいという強い欲求をもっており、一方その目的遂行の上で必要な遠近・混雑などの入手情報は限られている。入手できない情報に関しては人々は想像活動をし、この想像内容が集団で共有されている、あるいはされているに等しい行動をするというモデルである。

実船実験を行い、その結果をシミュレーションで再現することができた。とくに夜間に相当する初期居室配置では全員が同一集団心理グループとして計算した結果と実験がよく一致した。昼間に相当する初期集中配置の場合は、集団心理グループが2つになると思われること、また人々が一個所の階段などに集中するとき、実験では人々は予見して行動するが本シミュレーションは現状では予見行動はプログラム化されてなく計算と実験に若干の乖離があった。

最後に、このシミュレーションプログラムを使って、避難時間が最小となる最適避難経路を求める方法と、その逆の避難時間が最大になる最悪避難ケースを知る方法を示した。あらゆる心理状態を考慮すると、一般に避難行動はこの最適と最悪の間に位置するので、船舶の避難安全目標としてはこの最適ケースと最悪ケースの2つを考えるとよい。

Development of fire risk assessment method caused by earthquake

地震誘起火災の確率論的安全評価手法の開発
三友信夫、松岡 猛、松倉洋史、鈴木一貴

Proceedings of the International Conference on
Probabilistic Safety Assessment Management
(確率論的安全評価と管理に関する国際会議論文集)

原子力プラント等の大規模システムのリスク評価として内的事象に起因するリスク以外に地震、火災等の外的事象に起因するリスクも評価する必要がある。平成7年の兵庫県南部地震の例に見られる様に地震によって起こされた火災による二次的災害でも大きな被害をもたらされている。機器耐力を大幅には上回らない地震でも、地震誘起の火災による安全システムの機能喪失により原子炉事故に発展する可能性も無視できないと考えられる。そこで、地震等により誘起される同時多発の火災リスクの評価手法を確立する必要がある。そのため確率論的安全評価手法 (PSA) を用いて地震、火災等のリスク評価手法に関する研究を実施しており、本報告では、その一環として開発した地震時機器損傷解析コード、火災進展解析コードについて報告している。

第一に地震時機器損傷確率評価コードの整備を行い、起因事象の発生頻度算出を可能とした。このコードは、日本原子力研究所で開発したSECOM2を参考にしたものであり、地震動の結果火災発生及び発火事象をもたらす確率を評価できる。

次に起因事象から火災進展状況を評価できる解析コードを開発した。この解析コードは、汎用の流体解析ソフトであるPhoenixを用いて作成したものであり、複数の区画を対象とした区画間の火災伝播解析を可能とし、火災事象をより現実に近いモデルで解析できる。また、このコードで解析対象のレイアウト等解析条件を容易に作成できる。さらに、このコードのインターフェースの主要操作は上記機器損傷確率評価コードと共通のものとなっており、2つのコードの操作性を向上した。今後火災進展解析コード精度の向上のために火災実験を行い有効性の検討を行う予定である。

An analysis of Titanic accident by probabilistic approach

確率論的安全評価手法の海洋分野への応用
(タイタニック号の事件を例として)

三友信夫、松岡 猛、松倉洋史

平成12年12月

Proceedings of the International Conference on
Probabilistic Safety Assessment Management
(確率論的安全評価と管理に関する国際会議論文集)

現在、原子力発電プラントに代表される複雑システムにおいては、その安全評価のために確率論的安全性評価手法 (Probabilistic Safety Assessment, PSA) が導入されている。この手法を海洋分野へと応用するための第一歩として、タイタニック号事件の解析をイベントツリーを用いることにより行った。

本報告においては、まずタイタニック号の事故の経緯について収集したデータをもとに述べ、さらに各種条件、数値の設定などを行い、イベントツリーを作成した。この作成したイベントツリーに確率値を与え、解析を行った。この結果と被害者数の推定値から、この事故に関する結果の検討を行った。

解析結果は、実際に起こってしまったタイタニック号の事故はおよそ42航海に1回という大きな確率で発生してしまうというものである。また、90%の信頼幅で考えると、およそ29~71航海に1回となる結果であった。しかしながら、この結果はタイタニック号という特定の船舶が辿った特有な環境下における事故の発生確率を示したものである。

以上の結果に加え比較のために、さらに1978~1995年の間における旅客船・フェリーの事故遭遇確率を調査し、これらを表中に示した。このタイタニック号の事故を契機に、旅客船に対して各種安全対策が施され安全性がはるかに高められている。

本論により、海洋分野でのイベントツリーを用いた安全性評価の有効性が示され、タイタニックに限らず各種の事故解析、事故原因究明の有効な手法となり得ると思われる。本方法を広く各種システムの事故解析に適用する事により、同種の事故の再発を防ぎ安全性向上に寄与できると考えている。

船用機器の信頼性に関する統計的考察と安全管理
 -船舶信頼性情報データベースによる
 主機システム機器故障の信頼性評価-
 Statistical Study on Reliability of Ship Equipment and
 Safety Management
 -Reliability Estimation for Failures on Main Engine
 System by Ship Reliability Database System-
 桐谷伸夫
 平成12年12月
 日本船用機関学会誌 (VOL. 35 No. 12 2000)

信頼性データの最終更新を終えた船舶信頼性情報データベース (SRIC Database System) は、船用機器の故障・警報発生に関する膨大なフィールド・データを集積したシステムとなり、船用機器の信頼性についての貴重な情報源となっている。また、ひとつのRDBシステムとして注目するならば、汎用データベース・エンジンを搭載し、パーソナル・コンピュータをハードウェアとした使い勝手の良いシステムとして構築されるに至った。本論は、このようなSRICの持つ多くの故障情報と優れた解析機能を活用して、特に主機廻りの機器及び主機システムを対象として信頼性評価を実施したものである。

故障発生に関する経年情報により見るならば、主機ディーゼル本体故障の発生 (故障率) は1980年代から90年代にかけて減少傾向を示しているが、故障修復のための仕事量 (修復作業工数) は微増傾向を示しており、この修復作業工数の増加による重故障化や故障発生による運航への影響時間の増加による不安全状態の重大化が顕在するようになってきていることが明らかとなった。またディーゼル主機システムを構成する代表的な8機器に注目してクラスター解析を実施した結果、これらの機器故障の特徴によって3つのクラスターが形成される結果が得られた。ここで、それぞれのクラスターの特性を整理するならば、第一のクラスターは [動力伝達装置] 故障に代表される修復作業工数や運航への影響が大きき故障であり、第二のクラスターは [FO清浄機] 故障に代表される修復作業工数は比較的小さいが故障発生数が多いものがある。また、[燃焼室廻り機器] 故障は配員指数が大である特性のクラスターに分類されることが確認された。更に、機器要素単位までの故障状況の解析から、多発するFO清浄機故障の50%は弁シリンダやノズルの関わるものであることが明らかとなった。従って、これらの機器の高信頼度化の取り組みがシステムとしての船舶の信頼性向上に大きく寄与することが考えられる。

船用機器の信頼性に関する統計的考察と安全管理
 -電気電子系機器故障の特性と評価-
 Statistical Study on Reliability of Ship Equipment and
 Safety Management
 -Failure Properties and Reliability Estimation on Marine
 Electric and Electric and Electric Equipment-
 桐谷伸夫
 平成13年1月
 日本船用機関学会誌 (VOL. 36 No. 1 2001)

近年の船舶における近代化や自動化の実現は、ひとつには搭載機器の高度化や電子化などによるものと指摘されるものである。その結果、船舶の安全な運航の実現には搭載電気電子系機器の信頼性向上が不可欠な要素となっている。本論は、船舶信頼性情報データベース (SRIC Database System) の持つ多くの故障情報と優れた解析機能を活用して、特に電気電子系船用機器を対象として信頼性評価を実施したものである。

SRICにおいて調査対象とした船用機器を電気電子系機器と機械系機器に大別して判別解析を実施した結果、電気電子系機器故障が固有の特性を持つことが明らかとなった。なお、電気電子系機器故障は全発生故障の約28%を占めるものであり、全期間平均の故障率は2.117 [件/1000時間] である。また多変量解析を実施した結果、これらの故障は「質」と「量」を主因子として整理できることが確認された。

多発する故障としては、データロガーやモニター、自動燃焼制御装置、電気器具そして電動機に関わるものが多いが、近年ではコンピュータやリモコン装置の故障が顕著となっている。「船用電気電子系機器は船舶の中核的な機能を果たす」ことから、船舶をひとつのシステムとして捉えるならば、安全な運航の実現には電気電子系の冗長度の確立が保全性や支援性向上の取り組みと同時に重要であり、自動化が進められた船舶においては特に考慮すべき点である。また、電子系機器の導入においてはソフトウェアに対する信頼性確保の検討や保全を考えることも必要な要件と考えられる。

〈海洋開発工学部〉

超大型浮体式構造物に働く変動漂流力の推定法
—その2：短波頂波中模型実験—

Estimation method of slowly varying wave drift force
acting on very large floating structures
—2nd Report Model tests in short crested
irregular waves—

難波康広、加藤俊司、齋藤昌勝

平成12年5月

日本造船学会論文集 (第187号)

超大型浮体式海洋構造物は、近年海洋空間の有効利用の手段として注目されている。その形状や係留方法としては、例えばポンツーン型浅喫水浮体をドルフィン係留することが想定されているわけであるが、このような海洋構造物—係留系の水平方向動揺の固有周期との同調現象のために、係留浮体に作用する長周期変動漂流力がしばしば問題となる。従って超大型浮体式海洋構造物システムの安全性確保の為には、浮体に作用する長周期変動漂流力の推定法を開発することは重要な課題である。

超大型浮体式構造物に作用する長周期変動漂流力を推定する場合には、従来の推定法に加えて超大型浮体の特徴である弾性挙動も考慮に入れる必要がある。著者らが前報で既に示しているように、長周期変動漂流力はポンツーン型浅喫水浮体の場合、弾性変形により浮体底面が傾くことによって生ずる項と浮体周囲の相対水位に起因する項との和によって表現できる。著者らは前報において相対水位に起因する項のみにより、すなわち相対水位の2乗を浮体端部に沿って周積分することによって長周期変動漂流力を評価する方法を提案し、長波頂不規則波中での模型実験によってその検証を行った。その結果我々の提案した評価法により求められた長周期変動漂流力は、模型にとりつけた検力計から得られた値と良く一致することが確認できた。

本論文では我々の提案した評価法の適用可能範囲を実験条件範囲のみに限らずより広範囲で調べる為に行った数値計算の結果、及び本評価法が多方向不規則波中でも適用可能であることを示す為に行った、短波頂波中模型実験による検証結果について報告した。

本論文では次のような結論が得られた。

1. 今回行った現実的な計算条件の範囲では、浮体底面の変形による漂流力は無視しても差し支えなく、我々の長周期変動漂流力評価法の数値計算的裏づけがとれた。
2. 我々の提案する長周期変動漂流力の簡易算定法が、今回行った多方向不規則波中模型実験においても有効であることを確認した。
3. これにより本評価法が実海域においても有効であることが期待できる。

4. 相対水位計の設置密度と変動漂流力推定精度の関係を調べた結果、相対水位計の設置本数が少ない状況で相対水位の2乗の周積分を行う際には、単純に台形則を用いた方が、被積分関数B-スプライン補間してから積分するよりも精度良く変動漂流力を推定できる。

超大型浮体式構造物に働く変動漂流力の推定法
 —その3：実海域実験—

Estimation method of slowly varying wave drift force
 acting on very large floating Structures
 —3rd Report Model tests in the sea—

難波康広、加藤俊司、佐藤 宏、居駒知樹、前田克弥
 平成12年11月
 日本造船学会論文集（第188号）

超大型浮体式海洋構造物は、近年海洋空間の有効利用の手段として注目されている。その形状や係留方法としては、例えばポンツーン型浅喫水浮体をドルフィン係留することが想定されているわけであるが、このような海洋構造物—係留系の水平方向動揺の固有周期との同調現象のために、係留浮体に作用する長周期変動漂流力がしばしば問題となる。従って超大型浮体式海洋構造物システムの安全性確保の為には、浮体に作用する長周期変動漂流力の推定法を開発することは重要な問題である。

超大型浮体式構造物に作用する長周期変動漂流力を推定する場合には、従来の推定法に加えて超大型浮体の特徴である弾性挙動も考慮に入れる必要がある。著者らが前報及び前々報で既に示しているように、長周期変動漂流力はポンツーン型浅喫水浮体の場合、弾性変形により浮体底面が傾くことによって生ずる項と浮体周囲の相対水位に起因する項との和によって表現できる。著者らは前々報において相対水位に起因する項のみにより、すなわち相対水位の2乗を浮体端部に沿って周積分することによって長周期変動漂流力を評価する方法を提案し、長波頂不規則波中での模型実験によってその検証を行った。また前報では、我々の提案した評価法の適用可能範囲を実験条件範囲のみに限らずより広範囲で調べる為に行った数値計算の結果、及び本評価法が多方向不規則波中でも適用可能であることを示す為に行った、短波頂波中模型実験による検証結果について報告した。前報、前々報いずれにおいても、我々の提案した評価法により、長周期変動漂流力を評価できることが確認できた。

本論文では、メガフロートフェーズIIモデルを用いた実海域実験により、本評価法の検証を試みた。その際、相対水位そのものではなく、モデル側面上での圧力を測定し、それを相対水位に変換して長周期変動漂流力の評価に用いるという手法を採った。

本論文の結果をまとめると次のようになる。

1. 圧力から相対水位への変換については問題なく行うことができた。
2. 長周期変動漂流力を、浮体周囲の変動圧測定値から推定した結果と、浮体動揺から推定した結果とを比較したところ、統計量に関しては良く

一致した。しかしながら、両者をスペクトルで比較した場合には、差が見られる結果となった。また、試みとして、相対水位の周波数応答関数を数値計算により求め、その結果と変動圧計測結果から、入射波の推算を行い、その結果についても報告した。

〈大阪支所〉

Experiments on the Ocean Sequestration of Fossil Fuel CO₂: pH Measurement and Hydrate Formation

化石燃料起因二酸化炭素の海洋隔離実験:

pH計測ハイドレート生成

綾 威雄、山根健次

P. G. Brewer, E. T. Peltzer, G. Friederich

平成12年12月

Special Issue of "Marine Chemistry"

大気中のCO₂濃度の急上昇に伴う海洋中のCO₂濃度の際だった変化については、海洋化学者の強い関心を集めてきたが、21世紀前半に深刻化するであろう温暖化を緩和させる目的で回収CO₂を直接海洋に投入することによる海洋とCO₂濃度に関する問題には、海洋化学者の関心は必ずしも高くはない。大気中温室効果ガスの上昇を抑制させる最初の国際的試みと位置づけられる「第3回気候変動枠組み条約締約国会議」の京都議定書は、人類の活動が気候システムに危険を及ぼさないレベルにまで、大気中温室効果ガスの濃度を安定させるという、大きな目標を掲げている。その議定書は、植林による森林成長をCO₂の吸収源として初めて公式に認めているが、CO₂隔離のためのあらゆる手段についての研究を勇気づけるものでもあり、CO₂海洋処理も有望な手段の一つである。

以上のような背景の下、著者らは、化石燃料起源CO₂を個体のハイドレートとして海洋に貯留するシナリオを評価する目的で、CO₂ハイドレート (CO₂・5.75H₂O)の生成を調べる一連の実海域実験を行った。実験は、米国カリフォルニア州モンテレー湾の深度619mの海底で、ROV (Remotely Operated Vehicle) を使って行われた。ハイドレート-海水界面近傍のpH計測値は、注入法と生成ハイドレートの界面積密度に依存して、大きく変動した。即ち、この深度では液体CO₂の方が海水より軽い為、上下逆さまにした4リットルのビーカーにCO₂を勢いよく注入すると、白い羊毛のようなハイドレートの塊ができ、界面から数 cm の初期PHは4.5まで低下した。その後、ハイドレートと塊から溶解したCO₂リッチの海水がビーカーから排出されるに伴い、1~2時間かけてゆっくりとこの深度における通常値まで回復した。一方、液体CO₂をゆっくりと注入すると、CO₂と海水は2層に分かれ、フラットな界面が出現した。この場合、界面は薄いハイドレート膜で覆われているが、膜近傍のpHは、実海域のバックグラウンドである7.6と区別できなかった。そして、本実海域実験及び、当初で行った高圧ループによる陸上実験の結果から、羊毛状ハイドレート塊の溶解速度は、遅いものの有限値であることが確認できた。

A Field Study of the Effect of CO₂ Ocean Disposal on Mobile Deep-Sea Animals

活動性深海生物に及ぼす二酸化炭素海洋処理の影響に関するフィールド実験

綾 威雄、山根健次、Mario N. Tamburri

E. T. Peltzer, G. Friederich, P. G. Brewer

平成12年12月

Special Issue of "Marine Chemistry"

海洋は人為起源二酸化炭素の最大の潜在的吸収源と考えられている。そのため、これまでに、地球温暖化を緩和させる工学的方法として、二酸化炭素を海洋中に隔離する方法が提案されている。しかしながら、二酸化炭素の直接的な海洋処理は、それによる生態系への影響が大気中への排出による悪影響より遙かに小さいときだけに許されるものである。これまでに、放出の深度と形態 (ガス、液体、固体、ハイドレート) の違いにより幾つかの処理方法が提案されているが、海洋生態系への影響については、低pH水中に置かれた浅海動物と清水動物の既存死亡率データに基づく毒性モデルを使った生態系への影響についての考察があるものの、深海生物への影響についてはほとんど解明がなされていない。

そこで、高濃度二酸化炭素溶解海水の生態系への潜在的影響を明らかにする第一歩として、深度625mの深海底から解け出す二酸化炭素ハイドレートに対する活動性生物 (魚類) の応答を調べた。実海域実験は、深度1000m対応のROVを使い、米国カリフォルニア州モンテレー海底峡谷で行われた。

臭いえさに引き寄せられた脊椎魚類と無脊椎魚類はいずれも、急速に溶解する羊毛状ハイドレートを避けることができなかった (感知能力がない)。さらに低PHの明らかな短期効果はみられなかったが、活動性生物は、ハイドレートに接近した際、CO₂分圧の増加による呼吸困難に陥るよう見えた。このことから、二酸化炭素の深海処理による高等生物の損失は、これまでの毒性モデルから予測されるよりも広範囲に及ぶ可能性が考えられる。しかしながら、処理海域近傍の海水の化学的変化の程度、つまり生態系への影響は、高速放出か低速放出かといった二酸化炭素の放出方法や、羊毛状か膜状かといった生成ハイドレートの形態にも大きく依存することも明らかであり、今後の研究が急がれる。