浮力制御方式バラストフリー船の海水交換性能に関する 洋上模型実験について

正会員 荒井 誠*
菊池 知彦***

若林 康太*
下出 信次***

Study on the Water-exchange Performance of Buoyancy-control Type Ballast-free Ship by Model Tests at Sea

by Makoto Arai, *Member* Kota Wakabayashi
Tomohiko Kikuchi Shinji Shimode

Summary

To cope with the problems in the marine ecosystem caused by the ballast water from ships, the IMO adopted the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments in 2004. In response to this legislation, ballast water treatment systems are being developed worldwide. The ballast-free ship concept proposed by Yokohama National University is aimed at solving this ballast water problem from a completely different standpoint. In the proposed system, seawater continuously passes through the buoyancy control tank to keep the contents of the water inside the tank the same as that outside the ship. A series of studies on this new concept has been carried out by the authors, including the analysis of seawater circulating performance inside the buoyancy control tanks, an examination of the increase in resistance caused by adding small appendages such as intake and exit gates on the ship bottom, a study of structural integrity of the system, and related work. In the present study, we used a scale model of an actual double bottom tank and carried out an experiment to examine the water exchange performance of the proposed system on the open sea. In the model experiment, the water inside the tank was set as fresh water initially, and as time passed, the water inside the tank changed to the seawater outside the tank. The water locality ratio inside the tank was evaluated based on the salinity change of the water inside the tank and the change of the numbers of phytoplankton cells inside the tank. Numerical results and experimental results were compared to examine the performance of the proposed ballast-free system.

1. 結 言

船舶のバラスト水は波浪中での安定性確保や十分な喫水の維持によってプロペラレーシングを防ぐ等の目的で搭載されるもので、船舶の運航には不可欠である。現在、世界中で年間約 100 億トンのバラスト水が移動していると言われているが、バラスト水を着地で排出する際にバラスト水中の海洋生物も同時に放出し生態系を破壊する問題が新しい海洋環境問題として注目を集めている。以下、この問題を「バラスト水問題」と呼ぶ(Fig.1 参照)。2004 年には国際海事機関(IMO)においてバラスト水問題の解決を目指したバラスト水管理条約(International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments) が採択された^{1),2)}。現在、同条約の D-2 基準(バラスト水の水质に関する基準)を満たすべく様々なバラスト水処理装置の開発が進行中である^{3),4)}。

バラスト水処理装置は、海水中の生物を捕獲または殺滅することによりバラスト排水中の海洋生物を減らし、環境破壊問題を緩和することを狙っている。しかしながら、バラスト水処理装置の搭載には新たな経費としての処理装置購入費だけでなく、貨物倉容積の減少、メンテナンス費用の発生、発電機の増強等のマイナス面が存在する。また、条約が発効されれば、2017 年には新造船だけでなく既存船に対してもバラスト水管理条約が適用されることになり、建造時に処理装置搭載を想定していない既存船の対策が大きな問題となる。

著者らは、船舶のバラスト水問題を根源的に解決する方法として、浮力制御方式バラストフリー船を提案し、その性能を研究してきた⁵⁾⁻¹⁹⁾。提案した方法では、海水流入口と流出口をもつ浮力制御タンクを船舶に設置し、船舶の前進速度を利用することによって浮力制御タンク内を海水が循環する。これによってタンク内の海水が速やかに航海海域の海水と同じ成分を持つようになる。従って、船舶が目的地に到着する際は、浮力制御タンク内は着地の海水で満たされるため、地域を越えた海洋生物の移動を確実に防ぐことができる。

* 横浜国立大学大学院工学研究院

** (独)国際協力機構(研究当時横浜国立大学大学院工学府)

*** 横浜国立大学大学院環境情報研究院

著者らはこれまで、数値計算と実験室内の模型実験を中心に研究を進め、提案した方法が優れた基本性能をもつことを確認してきた⁵⁾⁻¹⁹⁾。本研究では浮力制御タンク内のプランクトン等海洋微小生物の交換が実際の海域でも効果的に行われることを確認するため、実船の二重底タンクを模擬したタンク構造を搭載した大型模型船を製作して、洋上での模型実験により海水の交換性能を調べたので、その成果を報告する。

Fig. 1 Ballast water problem.

2. バラストフリー船について

2.1 提案するシステム

著者らが提案するバラストフリー船は、開閉可能な流入口と流出口が設置された浮力制御用タンクを備えた新形式の船舶である(Fig.2(a)参照)。この方法を既存船に適用する場合は、軽微な改造を船体構造に施すことで通常のバラストタンクを浮力制御タンクに改造可能である。以下に提案する方法の概要を説明する¹⁶⁾。

1. 軽荷航海の開始にあたり、ポンプシステムを用いて浮力制御タンクに海水を注入する。この時、浮力制御タンクの流入口(intake gate)と流出口(exit gate)は閉じ、空気抜き管は開いておく。浮力制御タンクに海水が入ることにより船舶は浮力の一部を失い、航海に必要な喫水を確保できる。
2. 軽荷状態で航行する際には、空気抜き管を閉じ、流入口と流出口を開く(Fig.2(a)参照)。このとき、流入口と流出口の形状を工夫することにより、船舶の前進速度を利用して両者に圧力差を生じさせ、浮力制御タンク内の海水に流れを誘起する(Fig.2(b)参照)。浮力制御タンク内には常に航海海域の海水が取り込まれタンク内の海水と置き換わるため、タンク内の海水は航海海域の海水と同一成分を持つことになる。この方式の船舶が目的地に到着する際には、タンク内の海水は目的地周辺の海水に置き換わっているため、出発地の海水が目的地に運ばれることを根源的に防ぐことができる。
3. 満載状態では流入口と流出口を閉じ、タンク内を空にする。従って、通常の船舶と同様に浮力を確保して航行する

ことができる。

著者らは流入口、流出口の形状と海水同化性能の関係や開口部に起因する流体抵抗増について研究を行い、その結果を報告した¹⁵⁾。また、バラストフリー船の満載状態及び軽荷状態での復原性についても研究を行った¹⁹⁾。さらに、浮力制御タンクの構造強度についても検討を行った¹⁰⁾。

Fig. 2 Proposed ballast-free system (Ref.16).

2.2 海水同化性能について

Fig. 3 Example of computed water locality ratio distribution in the double-bottom tank.

本研究では、航海前のタンク内の海水がどの程度船体外の海水に置き換えられたかを示す指標として「海水同化性能 (R)」を定義する。バラストフリー船の性能としては R の値が高いほど望ましく、例えば R=1 のとき、航海前にタンク内に存在した海水が全て船体外の海水に交換されたことを示す。参考文献⁶⁾⁻¹⁴⁾では、数値解析結果の精度検証のために実施した本学回流水槽を用いた模型実験結果を報告しており、実験結果と数値解析の結果がよく一致することを確認している。一例として二重底を浮力制御タンクに用いる際の数値解析結果を Fig.3 に示す。タンク内の構造部材の配置によって海水交換が進みやすい区画と進みにくい区画が存

在するが、タンク内の海水は時間の経過とともに着実に交換される。また、マンホール位置の変更等によって海水交換が困難な区画の海水交換性能を大幅に改善できる¹⁷⁾。

3. 洋上模型実験

前章 2.2 項で述べた回流水槽実験では、模型タンク内の水に着色して水交換の進行とともに変化する色濃度で海水同化の進行状況を調べた。また、模型タンク内の水に塩分を加えて塩分濃度の変化を計測する方法も試み、海水同化性能の評価に塩分濃度計測が有用であることを示した。しかしながら、実験室内の研究ではプランクトンを含んでいる海水を用いた検討が困難であるため、本研究では大型模型を用いた洋上実験を実施し、提案したシステムにおける実際の稼働時の海洋プランクトンの挙動を調べた。

3.1 模型船および実験方法

本研究では、大型肥大船の二重底タンクとほぼ相似な形状をもつ実験タンク (Fig.4) を備えた模型船 (Fig.5) を製作した。洋上実験に際しては本学の実習船「たちばな」により模型船を曳航した (Fig.6 参照)。実験海域は神奈川県真鶴半島沿岸域である。実験時は穏やかな晴天で波浪がほとんどないべた風状態であった。また、模型船はロープを用いて母船の船側に拘束したため船体動揺は小さかった。

Note: Int. = Internal dimension

Ext. = External dimension

Tank model material: 10mm thick polyvinyl chloride, PVC

Fig.4 Buoyancy-control tank model.

実験に用いた模型船は、Fig.4 に示す塩化ビニル製の実験タンクと、Fig.5 に示すアルミ製の骨組みとアルミ外板で構成される船体から成り立っている。浮力制御タンク模型は長手方向に 4 区画、幅方向に 3 区画に分かれており、タンクの

右舷側最前部区画に海水流入口、左舷側最後部区画に流出口を対角状に配置した。タンク底には各区画にそれぞれ 2 本ずつの縦通材を設置した。縦通材は参考にした実船の縦通材寸法を実験タンク寸法に合わせて縮小した。タンク内を 12 の小区画に分けているフロアとガーダには Fig.4 に示すような開口が設けられており、区画間の海水の通り道となっている。

Hull material: Aluminum

(a) Model ship arrangement

(b) Side-view

Fig.5 Model ship.

Fig.6 Model test at sea.

実験開始前は開口部をゴム栓で閉じておき、タンク内には水道水を入れた。実験開始とともにゴム栓を開けてタンク内の海水循環を開始して外部の海水との交換状況を観察した。実験タンクの天井は開放してあるため模型タンク内の水は

自由表面をもつ。模型タンク内の水位は実験時の模型船の安定を考慮して模型船の喫水と同一の 21cm とした。ただし、流入口と流出口のある区画ではタンク外海水の吸込みと排出が行われるため、区画内の水面位置は他の区画に比べ若干上下した。また、模型船には喫水とトリムを調整するためのバラストタンクを 4 箇所にした (Fig.5(a)参照)。

Fig.7 Intake and exit gates (Material: 10mm thick PVC).

流入口、流出口の形は Fig.7 に示すようなスロープ形とした。スロープ形は船体の抵抗増をもたすが、吸込みおよび排水性能が良いため今回のような限られた航海距離での実験には効果的である¹⁵⁾。流入口、流出口の開口部分の形状および寸法は同一とした。ただし、予備実験の結果、流入口の吸込み性能が流出口の排水性能を上回り、実験タンク内の海水量が実験の進行とともに徐々に増加することが確認された。このため、実験速度に達した時に流入口の吸込み性能と流出口の排水性能がバランスするように流入を制限した。具体的にはスロープ内の一部を充填剤で埋め、流入口前面の開口面積を減らした。Fig.7 の斜線部分が充填剤で埋めた範囲を示している。

Table 1 Experimental condition.

	1 st test	2 nd test
Ship speed [knot]	2.00	3.00
Ship speed [m/s]	1.03	1.54
Type of intake gate	Slope [17mm]	Slope [17mm]
Type of exit gate	Slope [50mm]	Slope [50mm]
Salinity of sea water [%]	2.84 (at 2400m)	3.15 (at 1560m)
Temperature of sea water [°C]	19.6	18.6
Temperature of tap water [°C]	13.5	13.5
Draft [cm]	21	18.5
Experimental distance [m]	2400	1560
Interval of salinity measurement [s]	20	20
Number of plankton sampling	6 times (at 150, 300, 450, 700, 1600, 2400m)	1time (at 1560m)

Table 1 に実験時の状態を示す。上述のように今回の実験では実験開始前に実験タンク内に水道水を入れ、航海が進むにつれてタンク内の水道水がタンク外の海水に置き換わる。実験は Table 1 に示すように 2 回実施した。1 回目の実験では予め設定しておいた地点(150m, 300m, 450m, 700m, 1600m,

2400m)において停船してプランクトン採取用のサンプル水を採水し、タンク内のプランクトン数の変化を計測した。海水サンプルの採取区画は Fig.8(a)の S3, C3 および P1 である。停船時には、プランクトンの計数に最小限必要な海水量として 2 リットルずつを上記の 3 区画から採取した。ただし、この方法では停船時の採水によって減少した分の海水が流入口と流出口からタンク内に入るため、停船中にもわずかに海水交換が進んでしまう。この点に関しては、3.2.1 項で詳述する。第 2 回目の実験では、途中で停船せず実験終了時のみプランクトンの採取を行った。なお、両実験においてデジタル式塩分濃度計を用いた塩分濃度変化の計測も行った。塩分濃度計設置位置を Fig.8(b)に示す。

(a) Positions of plankton sampling (S3, C3 and P1)

(b) Positions of salinity measurement (S3 and P1)

Fig.8 Positions of plankton sampling and salinity measurement.

3.2 実験結果と考察

3.2.1 塩分濃度の変化

塩分濃度の計測は、Fig.8(b)に示す実験タンク内 2 カ所で行った。使用した塩分濃度計はデジタル式の東亜ディーケーケー社製 CM-31P 型である。塩分濃度計はセンサー部分が常に水面下になるように下向きに固定し、センサー先端はタンク底より 45mm の位置にした。実験開始前のタンク内は水道水で満ちているが、海水交換が進行するに従いタンク内の水道水が船体外の海水と入れ替り、塩分濃度が変化する。塩分濃度計の設置位置は、実験タンク内で比較的海水同化が早く進むと考えられる区画(S3)と、海水同化が遅いと考えられる区画(P1)を選んだ。

本研究では実験海域の海水塩分濃度 (実験 1 回目では

2.84%, 実験 2 回目では 3.15%) に対する実験タンク内の水の塩分濃度の割合を計算し, その値を塩分濃度計設置区画の局所的海水同化率と定義した. 実験前の実験タンク内の水も若干の塩分を含むため, 海水同化率は以下の式を用いて算出した.

$$A(\%) = \frac{B(\%) - D(\%)}{C(\%) - D(\%)} \times 100 \quad (1)$$

ここで, A は海水同化率, B は塩分濃度計の示す塩分濃度, C は実験海域の海水塩分濃度, D は実験タンク内の水の初期塩分濃度である.

なお, 初期状態ではタンク内に水道水が入っているためタンク内の水と船体外の海水には若干の密度差がある. 一方, 本研究の数値計算では, タンク内の水と船体外の水の密度は同一として取り扱っており, 密度差の影響は考慮できていない. しかしながら, 両者の密度差は小さく, また今回の実験では流入口, 流出口の寸法が大きいためタンク内に強い流れが生じたので, 交換性能に対する密度差の影響は流れによる影響に比べて相対的に小さく, ほとんど無視できると考えられる. また, 式(1)の C として今回は最終地点の塩分濃度を使ったが, 陸水の影響で実験海域の塩分濃度が空間的に変化していた可能性がある. ただし, タンク内海水の塩分濃度にはそれまで航行した全ての地点の塩分濃度の影響が累積しているため, 仮に式(1)の C に各地点の塩分濃度を使ったとしても厳密に海水同化率を計算したことにはならない. したがって, 本研究では塩分濃度は空間的に均一と仮定した簡易な取り扱い方を採用した. この点に関しては今後検討の余地がある.

Fig.9 は実験 1 回目の塩分濃度計測値を ANSYS-FLOTTRAN を用いた海水同化率の数値計算結果と比較したものである. ここで, 数値解析ではタンク内の海水とタンク外の海水を別の流体と定義して, タンク内計算点における二種類の流体の混合の割合を計算することにより海水同化率を直接求めた. なお, 先に述べたように実験航海中に 5 回停船したため, Fig.9 の横軸は時間ではなく航海距離で整理してある. 数値計算法については, 著者らの既発表論文 (例えば文献 15) を参照願いたい. 計測結果と数値計算結果の傾向は一致しているが, 実験途中で停船したこと, 停船時に実験タンク内から採水したことが原因となり実験の方が海水同化が速く進む (すなわち塩分濃度の増加が早い). Fig.9 の計測値には停船して海水を採取した地点 (150m, 300m, 450m, 700m, 1600m) で計測データに明らかな段がついており, 上述の停船と海水採取の影響を示している. この影響は累積するので, 停船と海水採取を繰り返すたびに誤差は増大することになる. 一方, 数値計算では停船と海水採取の影響を考慮していないため, 上述の段差は生じない. Fig.9 の結果を解釈するためにはこのような実験条件と数値解析条件の相違を考慮に入れる必要があるが, 両者はおおむね妥当な対応をしており, 数値計算によってタンク内塩分濃度の変化を予測可能と

考える.

次に第 2 回目の実験結果を検討する. 第 2 回目の実験では航海中にプランクトン採取を行わなかったため, 実験データに停船と海水採取の影響は入らない. しかしながら, 第 2 回目の実験では模型船のバラスト積載量を減らして喫水を小さくした状態で計測を行ったため, 右舷の流入口からの海水流入と左舷流出口からの排水の影響で船体姿勢のバランスが崩れ, 実験開始とともに模型船が右舷側に 2 度程度横傾斜した. 仮に実験タンクが天井をもち海水面がタンク天井まで達していればこのような現象は起きなかったと考えられるが, 今回の実験ではタンク内の海水が自由表面をもつことから上記の現象が生じた. 喫水を深くとした第 1 回目の実験ではこの現象は目立たなかったが, 第 2 回目の実験ではバラスト量を少なくしたため横傾斜が顕著に出てしまった. そこで第 2 回目の実験に対応した数値解析においては, 実験時に生じた模型船の横傾斜分だけ左右舷のタンク内水位を調整して数値計算を行った. Fig.10 にはその様な調整を行った後の数値解析結果を示している. 実験, 計算共に第 1 回目の実験値に比べ S3 と P1 の差が大きくなっている. この理由は上述の横傾斜によって左舷側のタンク内水位が下がり, 自由表面が区画を仕切る壁の穴を横切る位置まで低下して, 左舷側では海水が穴を通過しにくくなったためである.

Fig.9 Relation between numerical and experimental results (1st experiment).

Fig.10 Relation between numerical and experimental results (2nd experiment).

3.2.2 タンク内プランクトン数の変化

海水中の微小な生物の移動を防ぐことが本研究の目的であることから、実際に海水中に棲息しているプランクトンの浮力制御タンク内での挙動を調べるのが重要である。そこで本研究では、実験タンク内に流入する海水中の植物プランクトンの細胞数を計数し、その時間的変化を調べた。Table 1 に示すように、第 1 回目の実験では実験開始地点から 150m, 300m, 450m, 700m, 1600m, 2400m の地点において、Fig.8 の区画 S3, C3, P1 の海水を採取し、それぞれの区画中の海水に含まれる植物プランクトンの細胞数を計った。プランクトン細胞数によりタンク内各区画の海水同化率を評価する場合は、塩分濃度による場合と同様の下記の式を用いることとした。

$$A(\%) = \frac{E(\%) - G(\%)}{F(\%) - G(\%)} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 A は海水同化率、 E は各計測地点で各区画から採取された海水中のプランクトン細胞数、 F は実験海域のプランクトン細胞数、 G は実験開始時のタンク内プランクトン細胞数である。 G は基本的にはゼロであるが、1 回目の実験では実験開始前に流入口から若干の海水流入があったため、次式による補正を行った。

$$G = F \times \left(\frac{\text{実験開始直前のタンク内塩分濃度}}{\text{実験海域の塩分濃度}} \right) \quad (3)$$

また、 F の値は実験海域の場所毎に変動すると考えられるが本研究では計測終了時（第 1 回目では 2,400m 地点、第 2 回目では 1,560m 地点）に測定した値を用いた。この取扱いによって生ずる問題点については本項の後半で考察する。

Fig.11 Flow chart of phytoplankton analysis.

次に、プランクトン計測を行うために用いた実験手順を説明する。タンク内各点の海水は柄杓を用いて S3, C3 および P1 の区画からそれぞれ 2 リットルずつ採取した。採取した海水サンプルは 100μm メッシュのプランクトンネットで濃縮し、船上でただちに中性ホルマリンで固定した。これによって、試料を長期間安定保存できるので、後日実験室におい

てプランクトン計数作業を実施した。Fig.11 にプランクトン計数作業のフローチャートを示す。

使用したプランクトンネットで採取出来る植物プランクトンは 100μm のメッシュに留まったもので、比較的大型の珪藻類と渦鞭毛藻類^{20), 21), 22)}である。

サンプルを調べたところ、採取した植物プランクトンは主にキートケロス属（珪藻類：*Chaetoceros* spp.）、ケラチウム属（渦鞭毛藻類：*Ceratium* spp.）、コシノディスカス属（珪藻類：*Coscinodiscus* spp.）の 3 属であった（Fig.12 参照）。これらのプランクトンは全ての計測点における全ての計測区画のサンプルから確認された。なかでも、キートケロス属（Fig.12(a)）がどのサンプルでも群を抜いて多く観察されたため、今回の研究ではキートケロス属の数を基準として実験タンク内の植物プランクトンの細胞密度（以下、「プランクトン密度」と記す）を調べることにした。海水中に存在した植物プランクトンの計測数をまとめて Table 2 に示す。

Fig.13 に、実験 1 回目の塩分濃度計測値から求めた海水同化率と比較して各区画のプランクトンのデータを示す。同図の右側のスケールは、式(2)を使ってプランクトン数から求めた海水同化率を示す。この図から、プランクトンの計数データが大きくバラついていることが確認できる。これは洋上においてプランクトンが不均一に分布していることが主たる要因と考えられる。また、同図からタンク内各区画におけるプランクトン密度の大小関係も変動していることが観察される。Fig.12(a)に示されているように、キートケロス属では多数の個体（細胞）が帯状に連結し群体を形成している。プランクトン数の計数では細胞を 1 ヶずつカウントするため、群体を形成せず個々の細胞がばらばらに存在するタイプのプランクトンと比較すると、キートケロス属では計数値が不安定になる傾向がある。今回は各区画からの採水量を 2 リットルとしたが、データを安定させるためには、採水量を更に多くしたり実験回数を増やしたりする必要があると考えられる。また本研究では、実験終了地点（2,400m）での船体外海水中のプランクトン数を式(2)の F の値として使ったが、船体外海水中のプランクトン密度が場所毎に異なっているとすれば、 F の値としては本来それぞれの採水地点での船体外海水サンプル中のプランクトン数を用いる必要があるかもしれない。以上述べたように、プランクトンの細胞数を用いて海水同化率を評価する作業は塩分濃度から海水同化率を推定する場合に比べて複雑な要素を考慮する必要があることが分かった。この点については今後さらなる検討を要する。また、Fig.13 のプランクトン数のデータからは、実験開始後 700m の地点までタンク内のプランクトンが増加する傾向が読み取れる。その後、各区画のプランクトン数が減少するが、これはプランクトン密度の低い海域に進出したためと考えられる。すなわち、プランクトン密度の高い海域で取り込まれたプランクトンが、プランクトン密度の低い海域で船体外に排出されたため、タンク内のプランクトン密度が低下したと推察される。ただし、今回の実験では船体外の海水

プランクトン密度の計測を行わなかったため推測の域を出
ておらず、再試験を行って確認したい。

(a) *Chaetoceros* spp.

(b) *Ceratium* spp.

(c) *Coscinodiscus* spp.

Fig.12 Examples of measured phytoplankton cells.

Table 2 Number of measured phytoplankton (cells/l).

	Exp.1											
	150m			300m			450m			700m		
	P-1	C-3	S-3	P-1	C-3	S-3	P-1	C-3	S-3	P-1	C-3	S-3
<i>Chaetoceros</i> spp.	89	83	94	70	108	80	136.5	208	124	258	201	178.5
<i>Ceratium</i> spp.	35	17.5	54	22	23.5	22.5	38	17	34	31.5	25.5	22.5
<i>Coscinodiscus</i> spp.	3	12	4.5	6	11.5	2	2.5	1	3	10.5	5	3

1600m			2400m			Surrounding sea
P-1	C-3	S-3	P-1	C-3	S-3	
108.5	130	164	124.5	202.5	144	
13.5	15.5	17	25	25	17.5	
4	10	1	5	10.5	9	8

	Exp.2			
	1560m			
	P1	C3	S3	Surrounding sea
<i>Chaetoceros</i> spp.	203.5	169	217.5	221.5
<i>Ceratium</i> spp.	10.5	16	31.5	19
<i>Coscinodiscus</i> spp.	1.5	2	12	5

Fig.13 Water locality ratio vs. Navigation distance (1st experiment).

第2回目の実験では、最終地点でのみ各区画の海水を採取したので航海中のプランクトン数の変化を調べることはできない。このため、最終地点(1,560m)での各区画のプランクトン数を同じく最終地点の船体外海水中のプランクトン数と比較して Fig.14 に示す。若干のばらつきはあるが、各区画のプランクトン数は船体外海水中のプランクトン数に近い値を示しており、海水の同化が順調に進んだことが示されている。

Fig.14 Number of *Chaetoceros* spp. measured at 1,560m (2nd experiment).

4. 結 言

本論文では、本学が提案している浮力制御方式バラストフリー船の洋上模型実験を行い、実際の海域での提案システムの性能評価を試みた。模型実験結果の検討から以下の知見を得た。

1) 実験タンク内の2点で塩分濃度計測を行い浮力制御タンク内の海水同化が着実に進行することを確認した。また、数値計算で求めた海水同化率の値と塩分濃度計の出力から求めた海水同化率の値がよく一致することを確認した。塩分濃度は提案するシステムにおける海水同化の進行を評価するための指標として有効である。

2) 実験タンク内の大型植物プランクトン数の変化からもタンク内の海水同化の進行を観察することができた。ただし、プランクトンの分布は実験海域で均一でないこと、また群体を形成するプランクトンの計数値が不安定なことなどから、海水同化率の定量的な評価にプランクトン計測値を用いるには計測法およびデータ解析手法に更なる工夫が必要と考えられる。

謝 辞

本研究の実験に際し、(株)真鶴小沢造船の小澤一男社長に種々の御支援を頂きました。模型船製作にあたっては、(株)IHI 技術研究所の長谷川政和氏に貴重なアドバイスを頂きました。ここに記して感謝の意を表します。また、実験実施やプランクトン計数にご協力頂いた横浜国立大学荒井研究室および同菊池研究室の大学院生諸氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) International Maritime Organization: Ballast Water Management Conventions, ISBN 92-801-0033-5, Electronic edition, 2005.
- 2) GloBallast Partnership: Global Ballast Water Management Programme, <http://globallast.imo.org/>.
- 3) Lloyd's register: Ballast water treatment technology - Current Status, 2007.
- 4) バラスト水規制とバラスト水処理装置の開発事例, (株)エヌ・ディー・エス, 2008.
- 5) Kora, K. and Arai, M., Study of a new non-ballast ship, 21st Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, Yokohama Japan, pp. 127-133, 2007.
- 6) Arai, M. and Kora, K.: Ballast-free ships: a new concept for resolving the ballast water management problem, 10th International Marine Design Conference, Trondheim, Norway, pp. 138-147, 2009.
- 7) Arai, M. et al.: A ballast-free ship concept to protect the global marine environment, GreenTech: Marine Science and Technology for Green Shipping, Glasgow, UK, pp.78-87, 2009.
- 8) Arai, M. and Suzuki, K.: Experimental and numerical study of the performance of a buoyancy control-type ballast-free ship, International Symposium on Ship Design and Construction 2009 - The Environmentally Friendly Ship, Tokyo, Japan, 2009.
- 9) Arai, M. et al.: Proposal for a ballast-free ship and studies of its performance, 13th Congress of International Marine Association of Mediterranean, Istanbul, Turkey, pp.799-805, 2009.
- 10) Arai, M. and Suzuki, S.: Study on Structural Strength of Buoyancy Control Tanks for Ballast-free Ships, TEAM 2009, Kaohsiung, Taiwan, pp.486-492, 2009.
- 11) 田中優, 鈴木和夫, 荒井誠: 画像処理ソフトを用いたタンク内着色水濃度変化の測定法-船舶のバラスト水交換模型実験の要素技術として-, 可視化情報, Vol.29, Suppl., No.2, pp.273-276, 2009.
- 12) 荒井誠, 鈴木慎哉, 田中優, 鈴木和夫: バラスト水管理問題解決への新しい提案-浮力制御方式バラスト・フリー船-, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 11 号, pp.303-306, 2010.
- 13) 鈴木慎哉, 荒井誠: 浮力制御方式バラストフリー船の船底開口部形状の設計に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 11 号, pp.299-301, 2010.
- 14) 田中優, 荒井誠, 鈴木慎哉, 鈴木和夫: 浮力制御方式バラストフリー船に基づくタンク内水循環の実験的研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 11 号, pp.307-310, 2010.
- 15) 鈴木慎哉, 荒井誠: 浮力制御方式バラストフリー船の船底開口部形状の設計に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 12 号, pp.229-236, 2010.
- 16) 荒井誠, 鈴木和夫, 鈴木慎哉, 田中優: バラスト・フリー船のコンセプトとその基本性能について, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 13 号, pp. 257-266, 2011.
- 17) Wakabayashi, K. and Arai, M.: A Study on the Improvement of Seawater Circulating Performance in Tanks of Ballast-free Ships, TEAM 2011, Incheon, Korea, pp.225-232, 2011.
- 18) Arai, M. and Suzuki, S.: A performance study of the buoyancy-control type ballast-free ship, 14th Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranean, IMAM 2011, Genoa, Italy, pp.461-468, 2011.
- 19) Arai, M., Wakabayashi, K. and Nakahara, S. : A Study on the Stability of Buoyancy-control Type Ballast-freeing Ship, TEAM 2012, Fukuoka, Japan, pp.89-94, 2012.
- 20) 千原 光雄, 村野 正昭: 日本産海洋プランクトン検索図説, 東海大学出版会, 1997.
- 21) 小久保清治: 浮遊珪藻類, 恒星社厚生閣, 1960.
- 22) 山路勇: 日本海洋プランクトン図鑑, 保育社, 1983.