

空気潤滑法の模型試験による検討及び 実船試験による効果確認

Experimental Study of Air Lubrication Method and
Verification of Its Effect by Means of Sea Trial



溝上 宗二^{*1}
Shuji Mizokami

川北 千春^{*2}
Chiharu Kawakita

小段 洋一郎^{*3}
Youichiro Kodan

高野 真一^{*3}
Shinichi Takano

日笠 靖司郎^{*1}
Seijiro Higasa

重永 亮介^{*3}
Ryosuke Shigenaga

本論文は、気泡を用いて船体の摩擦抵抗を減少させる空気潤滑法を世界で初めて新造船に搭載し、その効果を確認したものである。実船試験に先立ち、船底から空気を送り出す装置の機能確認のため、実機サイズのモックアップを製作し、水槽試験において空気の送り出し状況を確認した。また、実船の岸壁係留状態で空気を吹き出し、事前に予想したとおりに空気が送り込まれていることを確認した。実船試験の結果、予想通りの正味の省エネルギー効果が得られていることを確認し、本手法の有効性が示された。今後は VLCC やバルクキャリアなど一般太宗船への技術の展開を図っていく。

1. はじめに

中国を始めとする新興国の経済発展に伴い、原油等の原材料価格の高騰は今後進展し続けると予想される。海運を取り巻く環境としては、国際海運からの CO₂ 排出削減など運航コストや環境対策を背景として、船舶の省エネルギー技術開発への期待は大きく、今後船の省エネ化の推進が急務である。

空気潤滑法は船底に空気を送り込み船体と海水の間に気泡の層を作ることで船体の摩擦抵抗を減少させる技術である。特に、大型の低速肥大船は、全抵抗に対する摩擦抵抗の割合が大きくなり、この摩擦抵抗低減の有効な対策として空気潤滑法は以前より注目されていた。図1に空気潤滑法のイメージを示す。



図1 空気潤滑法のイメージ

船底に設けた空気吹き出し部から気泡を放出し、船底を気泡流で覆う。

*1 船舶・海洋事業本部船舶・海洋技術部主席技師
*3 技術本部長崎研究所

*2 技術本部長崎研究所主席研究員

船底に設けられた空気吹き出し部から送り込まれた空気は、周囲の流れによって引きちぎられ、気泡流となって船底部を覆いながら船尾方向に流れている。空気潤滑法の実用化に向けた取組みとしては、近年、児玉⁽¹⁾らによって全長 50m の平板模型船を用いて模型船に働く、全抵抗や船底の局所摩擦力が低下することが確認された。さらにこれまで空気潤滑法の実船試験は数例実施されているが、特に児玉⁽²⁾らが実施したセメント運搬船を用いた実船実験において約5%の省エネ効果が報告され空気潤滑法の実船における有効性に関心が集まっている。

本研究は、空気潤滑システムの本格的な実船搭載を視野に置き、平成 22 年4月に就航した日之出郵船(株)所有のモジュール運搬船に開発したプロトタイプ機を試験搭載し、海上運転時に省エネ効果を確認した。モジュール運搬船は、喫水が浅く幅広で船底に大きなフラット部を有する浅喫水船であり、空気潤滑法の効果を確認するのに最も相応しい船型である。本論文では、システムを開発する上で模型試験など種々の検討を行った結果と実船試験の結果について報告する。

2. モックアップ模型による水中空気吹き出し試験

2.1 モックアップ模型

図2に配管系統図を示す。ブロワから供給される空気は、一旦ヘッダタンクに貯められ、そこから空気を供給する配管を 15 本の枝管に分岐させ、船底部に設けた空気供給部に導管している。1本の空気供給管にそれぞれ一つのチャンバ(空気室)が接続され、そのチャンバ全体がリセスの中に納められている構成となっている。今回、このリセスとチャンバの実機サイズの模型を製作し、実際に空気を吹出して空気の放出状況を確認した。試験は当社長崎研究所耐航性能水槽で実施した。

図3にチャンバの概観写真を示す。チャンバの上部に空気供給管と接続する配管がチャンバ中心から 200mm オフセットした位置に設けられ、底部には空気を放出する 16 個の小孔が設けられている。

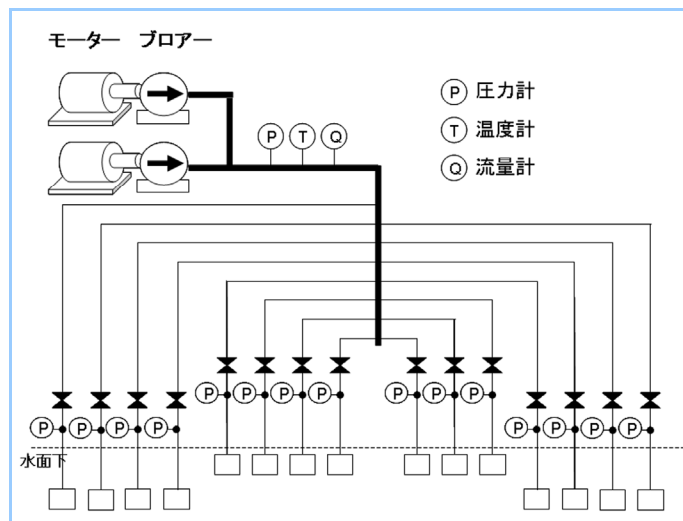


図2 空気潤滑システム配管系統図

2台のブロワ供給された空気は太い配管に集められ、その後 15 本の配管に分岐し、船底部のチャンバに空気が送り込まれる。

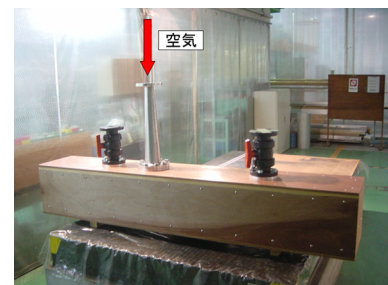


図3 チャンバ概観

チャンバ中心から200mm オフセットした位置に配管が設けられている。チャンバ底部には空気を放出する 16 個の小孔が設けられている。

2.2 計測結果

2.2.1 空気中流速分布確認試験

図3に示すようにチャンバへ取り付けられた空気供給配管は1本であるので、チャンバに設けた各小孔から送り出される空気流量に偏りが生じる。そこで、チャンバ内に邪魔板を設置して空気の流れの均一化を行った。

邪魔板有なしで流速分布を計測した結果を図4に示す。試験は空气中で実施され、流速計測にはカノマックス社製のクリモマスターMODL6531を使用した。邪魔板がない場合は、空気供給配管直後の小孔の流速にピークが生じており、この位置からほとんどの空気が吹き出されてしまい、流速分布は均等化されていない。邪魔板がある場合は、チャンバの長辺方向の流れが均等化されている様子が伺えることから、ここで採用した邪魔板はチャンバ内の流速分布の均等化に有効であることが分かった。

2.2.2 水中空気吹き出し状況確認試験

水槽に模型を設置し、底面の各小孔から空気が吹き出す状況を水中カメラで確認した。実験の状況を図5に示す。

チャンバが長辺方向に水平の状態において空気を吹き出したときの小孔の状況を水中カメラで撮影した写真を図6に示す。このとき、チャンバが完全に水平状態であると水中に放出した空気が模型底面に滞留するため、短辺方向に10度傾斜させて、空気を模型底面から逃がしている。これより、チャンバが長辺方向に対して水平状態にあるとき、16個の小孔すべてから均等に空気が放出されている様子が伺える。

次にチャンバを長辺方向に3度傾斜させたときの空気の放出状況を図7に示す。長辺方向に喫水の差が生じた場合、16個の小孔の内、喫水が浅い方から5～6個の小孔からしか空気が放出されていない。これより、小孔からの空気吹き出しは、船底の静水圧の違いからくるチャンバ内の横方向の圧力分布に大きな影響をうけることが分かった。実船の航海時は常時横傾斜したまま航海することではなく、さらに波浪による横揺れが生じた場合でも、船は水平状態と傾斜状態を繰り返すことから、船底が空気に覆われない状態が長く続くことはないと考えられる。

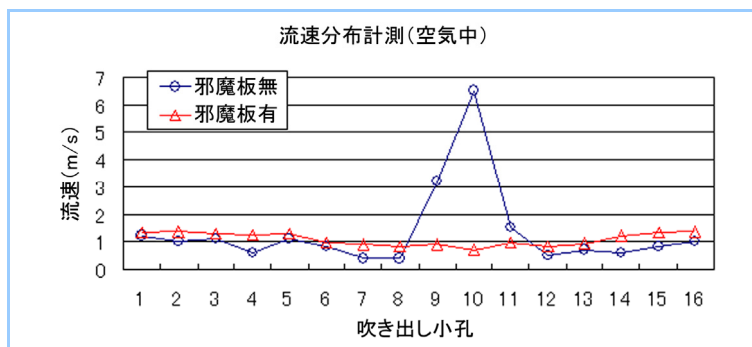


図4 チャンバの小孔から吹き出される流速分布の比較図

邪魔板がない場合は、9番から10番の小孔の流速にピークが生じているが、邪魔板有りの場合は、流速が均等化されている。

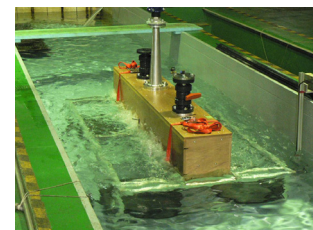


図5 空気の放出状況(水中)

チャンバを水中に設置し、空気を放出したときの状況写真

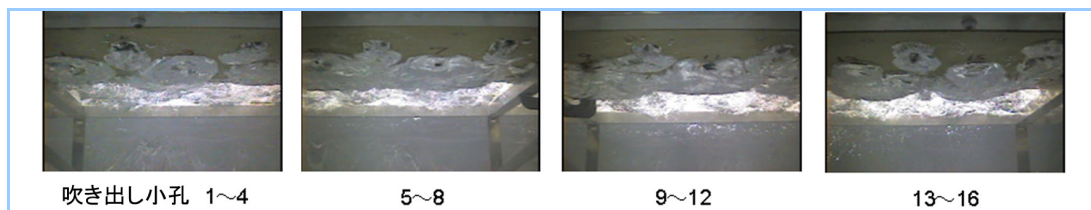


図6 小孔からの空気吹き出し状況写真(水平状態)

チャンバ底部の16個の小孔からの空気の吹き出し状況を示す。各小孔から均等に空気が吹き出されている。



図7 小孔からの空気吹き出し状況写真(傾斜状態)

傾斜時は、喫水の浅い方から5～6個の小孔からしか空気が放出されない。

3. 岸壁係留時の実船空気吹き出し実験

3.1 岸壁試験概要

岸壁に船を係船した状態で、ブロウを作動させ船底に空気を送り込み、船底の小孔からの空気の放出状況をダイバーによるカメラ観察で確認した。また、15 本に分岐した配管それぞれに空気が流れていることを確認した。

3.2 試験状態

岸壁試験は、喫水が 3.75m, 4.35m の2状態、横傾斜が 0 度(傾斜なし), 1.8 度(右舷)の状態で行った。

3.3 試験結果

3.3.1 バルブ開度の調整

バルブ開度と各チャンバに流れる空気の流量について確認した。図8はバルブの開度を変更したときの各配管の推定流量を示している。本船は分岐後のバタフライ弁背後とチャンバ間に流量計を取り付けていないため、代わりに計測した圧力から流量を推定している。ここで、バルブ開度はバルブ開度1からバルブ開度5に変更するにしたがって、バルブが閉められた状態になっている。

バルブ全開からバルブ開度3までは配管ごとの流量にバラツキが残っているが、バルブを閉めていくと流量が均一化されている。したがって、バルブを適当に絞って弁に圧損を与えてやれば、各配管に均一に空気が流れることが分かった。

次に図9に各バルブ開度におけるブロウインバータの消費電力を示す。バルブ開度を増加させる場合と減少させる場合において同一バルブ開度で消費電力が異なり、ヒステリシスを生じている。

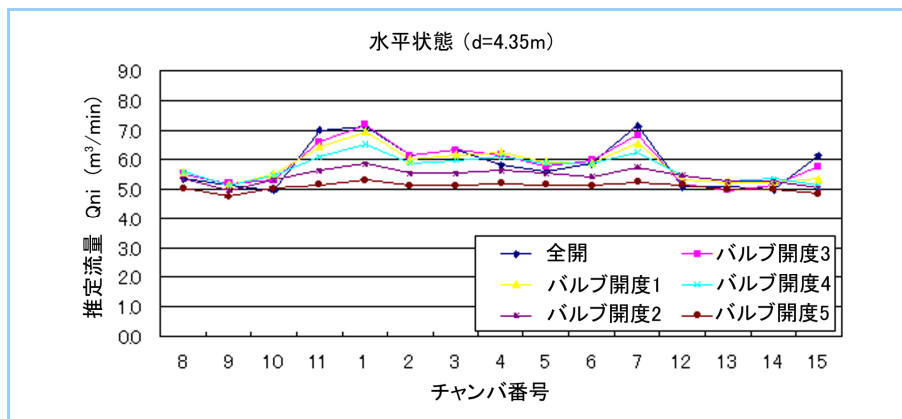


図8 バルブ開度と流量の比較

バルブ閉めていくと(バルブ開度1→5)流量が均等化されている。

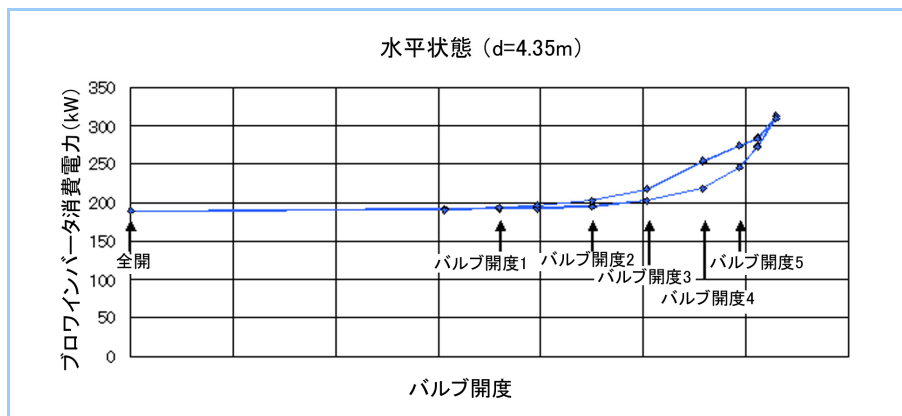


図9 バルブ開度とブロウ消費電力の比較

バルブを閉めていくとバルブ開度3を越えた付近から消費電力の増加量が大きくなっている。

バルブ全開からバルブ開度3付近までは、ほぼ一定の消費電力であるが、バルブを閉め圧損が大きくなるにしたがって、バルブ開度3を越えた付近から消費電力の増加量が大きくなっている。バルブ開度の調整においては、流量の均一性とブロワインバータの消費電力を勘案して適切なバルブ角度を設定する必要がある。

3.3.2 傾斜時流量確認

船体が傾斜しているとき(右舷 1.8 度)の 15 本の配管の流量を確認した。図10に2通りのバルブ開度に対する推定流量を比較して示す。バルブの開度が小さいAの方は、喫水が大きいQ12からQ15のチャンバの流量が他のチャンバに比べて小さくなっている。バルブ開度を大きくして弁を絞ると(B), すべてのチャンバでほぼ一定の流量となっている。これより、船体が傾斜している場合も適当なバルブ開度を与えることで、各チャンバに流れ込む空気流量を一定に保つことが可能であることが分かる。

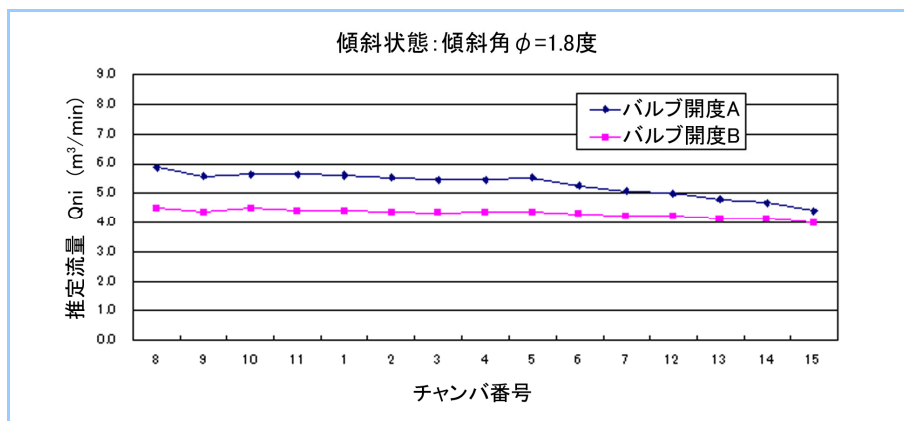


図10 バルブ開度と流量分布の比較

バルブを絞った方(バルブ開度B)がすべてのチャンバで空気量はほぼ一定に分配されている。

4. 海上実船試験

4.1 供試船の概要

実船試験に用いられたモジュール運搬船の概要を表1に記す。本船の特徴は大きな B/d を有する幅広、浅喫水船型であることで、広範囲の船底のフラット部を有している。主機は中速ディーゼル機関で2基2軸(CPP)の推進方式である。

空気で船底を覆うために船底に3箇所の空気吹き出し部を設け、補助機関室に設置した2台のブロワで空気を供給している。

4.2 船底カメラ映像による放出状況の確認

航行時の空気の吹き出し状況を確認するために船底に設置したカメラで撮影を行った。図11に空気放出状況の一例を示す。船底の吹き出し孔から放出された空気が船体周りの海水の流れで引きちぎられ気泡となって、船尾方向に流れている様子が分かる。

表1 実船試験供試船の主要目

船長	Loa	162 m
船幅	B	38 m
深さ	D	9.0 m
喫水	dmld	4.5 m / 6.34 m
載荷重量	-	10 201 t / 19 818 t
主機関	-	DAIHATSU 6DKM-36×2 Max.3 218 kW×2
プロペラ	-	CPP
計画速力	U	13.25 kt

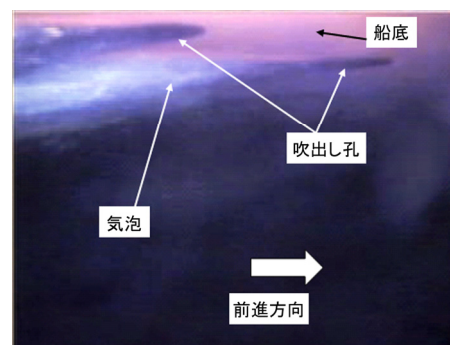


図11 実船試験時の空気吹き出し状況
吹き出し孔から空気が気泡となって流れていく様子が分かる。

4.3 省エネルギー効果の評価

空気を吹き出さない通常の速力確認試験に引き続き、空気を吹き出したときの省エネ効果を確認するために、同様の方法で速力確認試験を実施した。速力は風潮修正を施し、主機馬力はラック値の読みから算出した。また、試運転時にはトギノ式軸馬力を仮設して軸馬力を同時に計測した。試験時のバルブ開度は岸壁試験結果から判断して、ある一定の絞りを与えている。

速力試験は空気の吹き出し量を3通り変更して実施した。空供給量は(1)式で定義される相当空気厚さを 3mm, 5mm, 7mm として算出した。

$$t_b = \frac{Q_a}{B_a \cdot U} \quad (1)$$

ここに、 t_b は船底での相当空気厚さ、 Q_a は空気供給量、 B_a は気泡が覆う幅、 U は航海速度である。

図12に速力試験結果を示す。これより、本船の航海速力において、空気を吹き出したときの馬力の低減量に対してプロワの消費電力を差し引いた正味の省エネ効果を算出した。その結果を表2にまとめる。試運転における速力と馬力の確認の結果、空気を吹き出したときは、馬力が下がって、船速が上がる傾向が見受けられた。また、空気厚さの増加とともに省エネ効果も向上し、7mmの空気厚さで12%、5mmの空気厚さで10%、3mmの空気厚さで8%の正味省エネ効果が確認された。

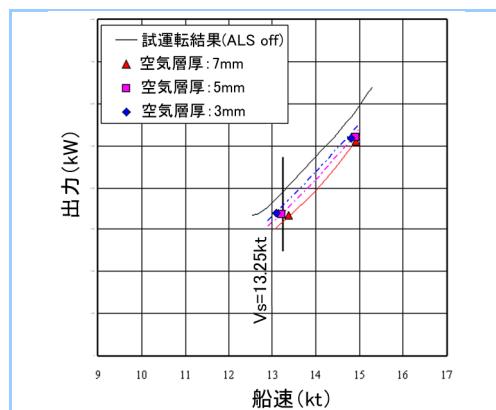


表2 空気潤滑法による省エネルギー効果の比較

	馬力低減量	プロワ消費電力	正味省エネ効果
7mm	680 kW	211 kW	469 kW (12%)
5mm	530 kW	143 kW	387 kW (10%)
3mm	380 kW	72 kW	308 kW (8%)

図12 速力試験結果

空気潤滑システムを使用した場合、船速が大きく、馬力が低減している。また空気厚さが大きいほど馬力低減は大きいことが分かる。

5. まとめ

大型浅喫水二軸船に空気潤滑法を適用するに当たり、事前にモックアップ試験や岸壁試験による空気吹き出し状況の確認を実施し、実船の海上運転において最大で12%の正味省エネ効果を確認することができた。本船は、空気潤滑法によって船体抵抗が減少しているため、プロペラ荷重度が小さくなりプロペラが軽くなっていると予想される。本船はCPPを搭載していることから、ピッチ角の再調整により更なる効率の向上を刈り取れる見込みがある。今後は、本船で得られた知見を踏まえ2010年11月引渡し予定の第2船に空気潤滑システムを本格搭載し、海上運転において各種実船計測を実施して、システムの有効性を確認するとともに、実海域における継続的な装置の検証、データ計測、省エネ効果向上のための調整・改良を行っていく予定である。また、本技術のVLCCやバルクキャリアなど一般太宗船への適用についても検討を行っていく予定である。

参考文献

- (1) Kodama, Y., Kakugawa, A., Takahashi, T., and Kawashima, H.: Experimental Study on Microbubbles and their Applicability to Ships for skin Friction Reduction, Int J. Heat Fluid Flow, 21
- (2) 児玉良明, 日夏宗彦, 他: 大型セメント運搬船を用いた空気潤滑法による省エネ実船実験(結果と解析), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第6号(2008) pp.163-166