



〈連載(310)〉

超省エネ客船のための船底空気循環槽の開発 — 摩擦抵抗の大幅低減が可能に —



大阪府立大学21世紀科学研究センター
特認教授 池田 良穂

261回目の本コラムに船の摩擦抵抗の低減法について紹介し、その中で筆者の研究室で造船会社9社との共同研究で開発中の、船底の凹みに空気を溜めて循環させて摩擦を削減させるシステムについても言及した。このシステムは船底空気循環槽と名付けられ、研究室での研究レベルではあるが、なんとか成功裏に開発することができた。幅広船型に適用すると、なんと約36%の摩擦抵抗低減が可能になるというのがその結論。さらに同システムに相応しい船型にすれば、さらなる抵抗低減が可能となる。今年の初夢としてお聞き願いたい。

空気で船底表面を覆って、水との接触面を減らすというアイデアは、150年も昔の1880年代には考案されて、特許もとられているという。しかし、実用化はなかなかなされなかった。すなわち、社会のニーズがそれほどはなかったということと、実用化には技術的な高い壁があったことであろう。

1960年代には、当時のソビエトで研究が進み、気泡を船底に注入する方法、薄い

空気膜で覆う方法、船底に空気槽を設けて空気を溜める方法などの開発が行われ、河川用船舶での実船実験も幅広く行われた。

また、日本でも、1990年代半ばから、大学、研究所、大手造船等で、空気を使った摩擦抵抗低減法についての可能性の調査研究が行われた。この研究では、小さな気泡を船底から噴出させて船底を覆って摩擦抵抗を低減する空気潤滑法が、最も有望な方法として着目され、今では、実用化レベルにまで達しており、実船による実績で3～10%のエネルギー削減が報告されている。最近では、大型のクルーズ客船でも採用され、省エネだけでなく、荒天時の衝撃を和らげて乗り心地がよくなるといった報告もある。

さて、筆者らが開発に取り組んだ船底空気循環槽は、船底の2重底部分に空気を溜める凹みを設けて、船底を流れる水流で槽内の空気を循環させることで船底に働く摩擦力をなくするもので、船底から空気の泡を噴出する装置に比べて大幅な摩擦抵抗の低減が可能で、連続的な空気噴出のための

エネルギーも必要がない。

そして摩擦抵抗の低減量を自由にコントロールさせることができるのが最大の特徴だ。船体中央部断面で単純化して説明すると、船幅と喫水の比が決まれば、船底に設置する空気循環槽の面積が決まり、浸水表面積の減少分が確定する。すなわち、50%だけ浸水表面積を減らしたければ、喫水を幅の半分にすればよく、摩擦抵抗を1/3にしたければ喫水を幅の1/4にすればよい。

すなわち、幅広浅喫水の船型にすればするほど浸水表面積は減少して、摩擦抵抗を低減することができることとなる。ただし、船底空気循環槽の効率(摩擦抵抗低減率÷浸水表面積低減率)は1にはできないことが理論的にも分かっており、0.7程度となるので、船底空気循環槽の設置によって浸水表面積を半分にすると、摩擦抵抗の低減は7掛けの35%となる。

こうした夢のような摩擦抵抗低減法だが、150年以上前に特許もだされているというのに実用化はされていない。前述したようにロシアでは河川用のバージ等で実船実験も行われており、欧州でも研究開発が行われているとの情報もあるが、実用化にはまでは至っていないのが現状のようだ。

その理由は、実際に共同研究で模型実験を行ってみて思い知らされた。それは2重底内に設置しようとする船底空気循環槽の深さが浅くなり、内部の空気がなかなか循環してくれずに、外部の水流の摩擦力によって漏れてしまうことだ。ある程度の深さがあると空気流出もなくなるが、浅くなると一気に漏れてしまう。

そこで空気循環槽を縦方向にいくつかの区画に分割してみたが、空気流出で槽内の空気が少なくなると、そこに船底水流が入り込み、分割のための仕切りのためのバンク(壁)に当たって大きな抵抗を発生する。いろいろな分割数、いろいろな形状のバンクを試してみたが全くうまくいかない。2年間ほど、ひたすら実験を繰り返したが空気漏れのない循環槽を開発することはできなかった。

もう半分あきらめかかった頃、実験と並行して実施していたCFD(コンピュータによって流体を解析する手法)によって、船底空気循環槽の流れの解析ができるようになった。CFDでは、空気が流出していく様子まで再現ができ、その時の流れの様子、摩擦力の分布、圧力など、実験では知ることが難しい様々な情報を「見える化」することができた。そこで分かったことは、船底空気循環槽の最後端部のガイド付近に、外部流による非常に大きな摩擦力が働いていて、それが空気を後方に流しているということだった。

そこで、この後端の形状を摩擦力が減るように改良した所、空気流出がほとんどなくなった。そして大きな抵抗低減がCFD計算結果でも、また回流水槽と曳航水槽の模型実験でも確認することができた。

模型実験で得られた結論は、船体の浸水表面積を40%程度減らす船底空気循環槽で、フルード数が0.15くらいまでは20%前後の抵抗低減が可能で、0.18程度までは抵抗低減効果が得られることであった。船底空気循環槽の効率としては50%程度となった。

造船の世界では、試験水槽における模型実験で、建造前にその性能を確認するのが一般的だ。建造した船が海上試運転で契約上の所定のスピードがでないとペナルティを課されたり、場合によっては引き取り拒否といった最悪の事態もあるからだ。

模型船の試験法は100年以上の長い歴史の中で確立されたが、その中でとても大事なのが尺度影響と呼ばれる模型船と実船との間の流れの違いに伴う抵抗の差である。単純に、 $1/100$ の縮尺模型で、抵抗は $1/100^3$ とはいかないのである。

そこで、開発した船底空気循環槽での尺度影響をCFDを使って簡易的に調査した。その結果、船首からの流れが船底空気循環槽に入るところで、境界層が実船の方が相対的に薄くなり、船体付近の流れが大きなエネルギーを保持して槽内の空気を押し上げる効果があることがわかった。この違いが、船底空気循環槽の抵抗低減効果にどのように影響するかが問題となる。CFD計算の結果では、実船の方が抵抗低減効果が高く、計算上は36%もの抵抗低減となることがわかった。これで船底空気循環槽自体の効率は70%程度となり、ほぼ理想的な抵抗低減効果が得られることとなった。

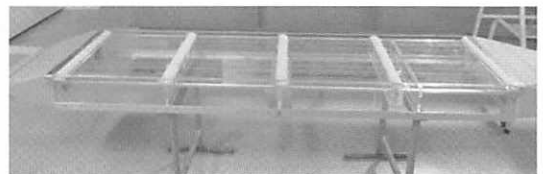
このように船底空気循環槽の抵抗低減効果を実験及びCFD計算で確認することができたが、今後は実用化に向けての様々な課題の解決が必要となる。トリムがついたときの抵抗低減効果の維持法、荒天時の空気流出の防止法、空気が抜けた時の槽内への的確な空気注入法などと共に、2重底内への設置方法も考えなくてはならない。前後、左右に槽内を分割すると、その分、骨

が多くなって強度保持はやりやすくなり、横揺れやトリムに伴う空気流出も防止できる。この槽内のたくさんの骨で座礁時の損傷が回避できるとなれば、2重底の内底板を船底とすることができて、実質的にはシングルハルにすることができて、重量低減には寄与できそうだが、これには構造規則自体の変更が必要となりそうだ。

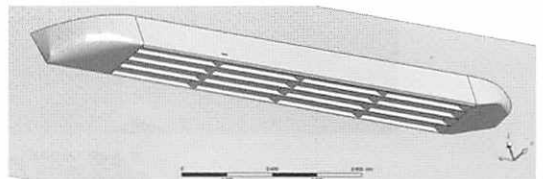
このように学術的には面白い研究開発ができたが、その実用化への道は結構長そうだ。

この船底空気循環槽は、低速なほど、そして幅広浅喫型なほど抵抗低減効果が大きいので、バージ船型にはうってつけである。また、幅広にすると復原力が大きくなって、船の高さを高くできるので、クルーズ客船にも適用ができる。

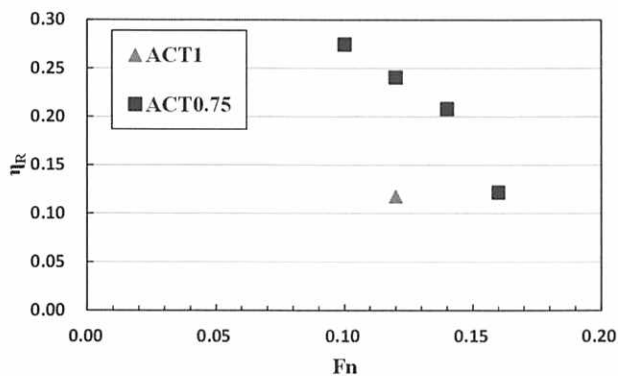
かつて、原油価格が100ドルを超えていた頃、フェリー会社の経営者の方から、「抵抗が0の船を造ってください!!」と真顔で言われてたじたじとしたが、摩擦抵抗は大幅に低減することが、船底空気循環槽だとできることが科学的には立証することができた。



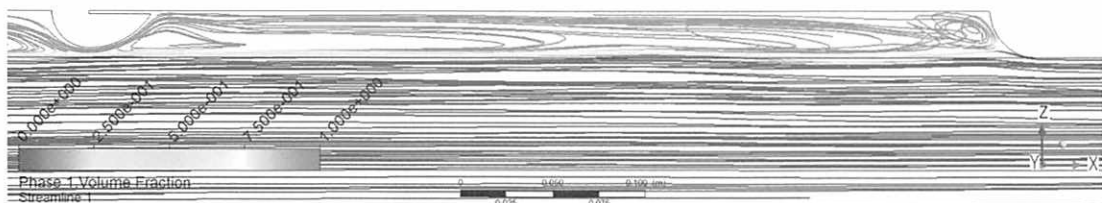
船底空気循環槽を設置した模型船(上下反転しており、船底が上を向いている)



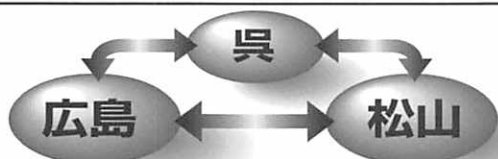
CFDで計算した船底空気循環槽を設置した模型船の船底形状(船の右舷半分のみを表示)



模型で得られた抵抗低減率(■が改良型、▲がオリジナル)



CFDで計算した船底空気循環槽内の空気と、船底の水流の様子(1区画目の様子で、流れは右から左)



瀬戸内海汽船

本 社 / 〒734-0011 広島市南区宇品海岸一丁目13番13号
TEL (082) 253-1212