



摩擦抵抗は減らせるか

田中一朗*

Can We Reduce Frictional Resistance?

Key Words : Frictional resistance, Viscous fluid dynamics

筆者の専攻は、広領域的にいえば船舶海洋工学、造船学であるが、専門は船舶粘性流体力学であり、近年はそれに基づく船舶・海洋構造物の最適設計問題にも若干携わっている。本小文は前者の分野における筆者の研究の一部と、その関連領域における最近の研究動向の一端についてご紹介するものである。

工学における流体力学においては摩擦抵抗は常に最も重要な事項の一つであった。今更述べるまでもなく、物体が流体中を動くとき、あるいは逆に流体が境界面に沿って流れる場合、摩擦抵抗は工学的、技術的に、物の実用性能を定める極めて重要な量であり、船舶をはじめ航空機、管路の流れ等工学の広い分野にかかわるものである。船の場合、摩擦抵抗はその性能向上のためにも、燃料節約を通じての省エネルギーのためにも小さいほど望ましい。船の抵抗は粘性抵抗と造波抵抗の二成分に分けるのが通常であり、粘性抵抗は船体表面の流体摩擦に基づく摩擦抵抗が大部分で、それにごく僅かの粘性圧力抵抗が加わる。しかし詳細にこだわらなければ、摩擦抵抗と造波抵抗の二成分が全抵抗であるといっても良い。以下、ここでは表面摩擦による抵抗をとりあげる。

昔から摩擦抵抗を減少させる手段を見いだすべく多くの研究者が研究を続けてきた。その代表的なものは、物体形状を変化させて最小抵抗の形状を求める方法で、具体例としてすぐ頭に浮かぶものは先の大戦中に開発されたいわゆる層流翼型である。これは周知のように、摩擦抵抗の大きい乱流境界層の発生を遅らせ、翼面上

で極力層流領域を広げようとする試みであり、現実に成果を挙げた。

これに対して別のアプローチも研究されている。それは境界層の性質を形状変化ではなく他の方法で制御して、層流から乱流に移行する遷移を遅らせるという考え方で、これは層流制御といわれている。これにも具体的方法として多くの考え方が提案されているが、一つの方法は境界層吸込み法と言われるもので、翼表面にあけた小さな穴あるいは間隙から、表面に発達する境界層を翼内に吸込むことにより境界層の発達を押さえ、翼面上の層流領域をできる限り広く保つという方法である。低速船の場合摩擦抵抗は全抵抗の9割以上を占めるため、その低減化は大変重要である。しかし船のレイノルズ数 R は極めて大きく 10^9 にも達するため層流制御は極めて難しいことはいわば常識である。これに比べて航空機の場合、主翼の R は一桁低い 10^8 程度で、その点困難さも若干少ない。そのため、航空の分野では層流制御は古くから盛んに研究されており、現在もアメリカでは翼表面に直径 1 mm 以下の小孔を無数にあって境界層を吸込む方法等が真剣に検討されており、近い将来このような航空機が飛ぶことも十分予想される。

筆者は以前から、船舶に対する応用を含め、この問題に関心を抱いていたが、数年前翼面上のスリットから境界層を吸込む層流制御の可能性について基礎的検討を行った。詳細は引用文献¹⁾に示すとおりであるが、結論としては、理想状態では層流制御は船でも可能であること、しかし現実問題としては船のように R が極めて大きい場合それは大変困難であろうということになった。この結論は当初からある程度予想されるものではあったが、その際、使用条件、環境条件の重要性とその影響について種々の分

*Ichiro TANAKA

1931年9月12日生

昭和28年大阪大学工学部造船学科卒業

現在、大阪大学工学部船舶海洋工学科、教授、

工学博士、船舶海洋工学、粘性流体力学、

TEL 06-877-5111 (内線4526)

析を行い得たのが一つの成果であった。その一つは粗度の重要性である。翼面あるいは船体表面に粗度が存在すると、それが乱動を発生する。元来乱流状態が自然であるような領域であるにもかかわらず、吸込み制御により何とか層流を保っている状態にしているのであるから、若干でも乱動が加わればそれは層流から乱流へ直ちに遷移させる大きな要因になる。翼においては、表面の穴あるいはスリットから吸込みを行う場合、流体が空気であるので表面の平滑化とその保守は容易であり、粗度が発生するということがないから好都合である。しかし船体の場合は、流体が海水であるため、海藻、カキ、フジツボ等の生物学的粗度の発生、生長がさけられない。またその除去も困難である。このため層流制御は、理想状態はともかく、現実問題としては大変難しくなってくる。船の場合最も大きい問題はこの点であり、これを解決しない限り層流制御の実現は不可能になるが、今後チャレンジする目標が明確になったという点の一つの進歩と考えている。

粗度といえば、近年やはり摩擦抵抗の分野でリブレット (Riblet) といわれる微小突起のある表面の摩擦抵抗について議論が盛んである。リブレットは表面の流線方向に多数の田の畝状に並んだ突起をいい、縦列突起、縦溝などとも言われている。NASA では10年位前から精力的にこのような表面上の粘性流を研究しており、摩擦抵抗が平滑な平板より10%弱減少するという驚くべき結論を出している。突起の高さは0.1mm位のオーダーで、手でさわってもほとんどわからぬ程であるが、それにしても突起であるから粗度の類に入るにもかかわらず、抵抗が減少するというのは大変なことである。このような現象が起こる理由として、表面構造に基因して乱動のバーストの起こり方が規制され、その結果として境界層底部の乱動構造が変化するためと今のところ理解されている。もっとも、この辺は必ずしも十分に解明されたとはいいがたく、今後更に詳細な乱流の物理的研究が必要である。筆者のところでも風洞で平板にリブレットをはり、簡単な実験を行ったことがあるが、広範な研究は行っていないので、ここではこれ

以上詳細には立ち入らないことにする。ただ、この研究テーマについては有名な話があり、1987年のアメリカ杯ヨットレースでアメリカカチームのヨットにリブレット加工を施した結果抵抗が減少し、オーストラリアにはじめて奪われたアメリカ杯を取り戻すことができたといわれている。優勝の勝因がすべてこれに帰するか否かは必ずしも明確ではないが、摩擦抵抗の低減化という長年の夢を実現する一つの科学技術の成果として大いに賞されるべきものであると思う。

しかしこの話も実は人間が自然から教えられたものであることを最後に述べなければならない。魚にはいろいろあるが、鮫という獰猛な魚の表皮には鱗の上に高さ0.1mm程度の細かい突起が、間隔0.1mmのオーダーで整然と流線方向に並んでおり、その写真なども発表されている²⁾。この不思議な鱗の構造が実は抵抗を減少させるものであるらしいということが鱗の表面構造を模擬した表面の抵抗試験からほぼ明らかになりつつある。先述のリブレットも実はこれからヒントを得たものと考えられる。鮫の鱗にこういう構造があるのは鮫が餌を襲うために必要なのであろうか。このように考えて来ると、その延長として、通常の粗度でもそれが極めて小さい場合に類似の現象があるのではなかろうかという想像が湧く。日本の流体力学の大御所であられた谷一郎先生は砂粗度でも抵抗減少が存在することを、古いNikuradseのデータを再整理して示されている³⁾。

以上摩擦抵抗は減らせるかという命題で述べた。夢はばら色というコラムのレベルには内容的に若干距離があるが、夢であることには違いないのでご紹介した次第である。

参 考 文 献

- 1) 田中一朗他：日本造船学会論文集，第163号，(1988)。
- 2) A. Dinkelacker et. al. : IUTAM Symposium, Bangalore, India 1987, Springer (1988)。
- 3) I. Tani : Proc. Japan Acad, 64, Ser. B, (1988)。