

## スリット吸い込みによる層流制御について

田 中 一 朗\*

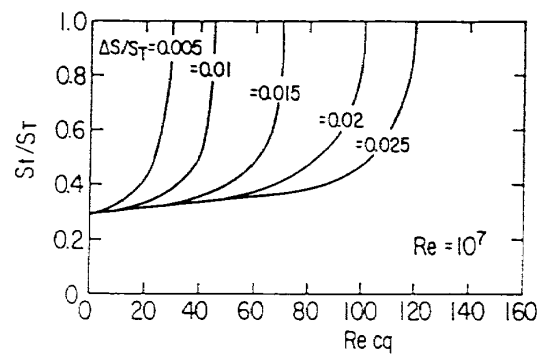
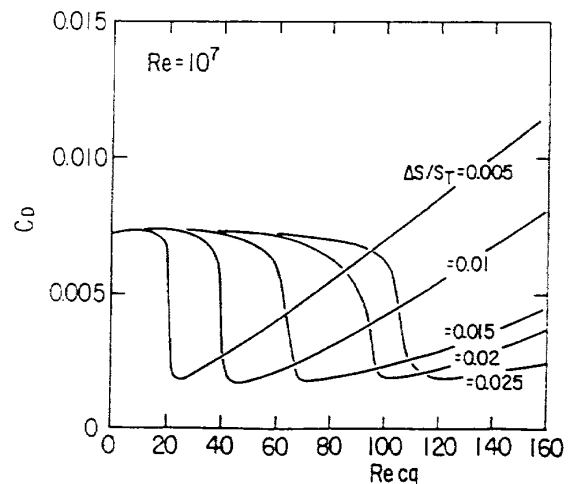
境界層吸い込みによる層流制御の研究は主として航空機を対象に行われているが<sup>1,2)</sup>、航空機の主翼よりもはるかにレイノルズ数 ( $R_e$ ) が大きい船舶では層流制御の可能性は全くないか否かを再検討することを主目的として、筆者らは文献<sup>3)</sup>でスリット吸い込みによる層流制御の問題を考察した。本講演はその概要を述べたものである。航空機でも船舶でも、マッハ数の影響が無視できるなら差は  $R_e$  だけであるから、 $R_e$  の大きい場合を含めた検討という意味でその結果を述べ、御参考に供したい。

境界層の吸い込み方法としては、細いスリットを適当な間隔で配置し、それから吸い込みを行う方法を採用した。この方式についてはLachmannが研究を行っており<sup>4)</sup>、ここではこの考え方になって、高い  $R_e$  での吸い込みによる層流制御の可能性について理論的に検討を行うとともに、大小2隻の翼型模型を製作して、 $R_e = 10^6 \sim 10^7$  における吸い込みの影響及び効果について実験値にも調査した。

翼形状は二次元翼 (NACA-0024 翼形状) とした。境界層の検討方法としては見通しの良い簡潔なものが望ましいので、通常積分法を採用した。翼面の曲率と主流の乱れが遷移特性に及ぼす影響は無視した。スリット吸い込みによる境界層への影響は、スリットの位置において吸い込み流量に相当する分だけ運動量厚さを減少させることにより表されるとするLachmannの仮定を採用した。前縁から遷移点までの層流域での計算はThwaitesの方法を、また不安定点の判定にはSchlichtingの判定曲線によりPohlhausenの形状

係数と排除厚さに基づくレイノルズ数を用いて定めた<sup>5)</sup>。また遷移点は、運動量厚さに基づくレイノルズ数の不安定点から遷移点までの増加量で整理したGranvilleのデータ<sup>6)</sup>を用いて判定した。

遷移点から下流の乱流域ではHeadの方法を採用し、補助方程式としてLudwig-Tillmannの関係式およびHeadのEntrainment方程式を用いた。また、抵抗も計算したが、Squire-Youngの式で示される項と、吸い込みによる運動量変化に基づく抵抗増加の項の2項の和で求めた。また

(a)  $\Delta S/S_T$  vs  $Re_{cq}$  with parameter  $\Delta S/S_T$ (b) Resist. vs  $Re_{cq}$  with parameter  $\Delta S/S_T$ Fig.1 Effect of suction on transition point and model resistance ( $R_e = 10^7$ )

スリットの位置は、吸い込みを行わない場合の不安定点と遷移点の中間点に第1スリットを置き、以下等間隔に配置した。

次に計算結果について述べる。Fig.1に $Re=10^7$ でスリット間隔 $\Delta S$ と翼面全長 $S_T$ の比をパラメータとして、吸い込み流速とスリット間隔に基づくレイノルズ数 $Re_{eq}$ と遷移点の位置 $S_t$ 及び抵抗係数 $C_D$ の関数を示す。翼の全域が層流となった状態で $C_D$ は極小値を示し、吸い込み流量が過大の時は抵抗がかえって増加することが示されている。このような計算を $Re=10^9$ まで実行し、その結果をまとめたのがFig.2である。ここでは $Re_{eq}$ をパラメータにして、翼の $Re$ と吸い込みによって後縁まで層流に保持できるスリット間隔 $\Delta S/S_T$ の関係を示す。吸い込みあるいはスリットの形状による攪乱も遷移に悪影響を及ぼす。中口によれば $Re_{eq}$ の限界値は100としている<sup>6)</sup>。この条件を考慮すると図中で実用可能な領域は $Re_{eq}$ が100程度以下の部分と考えられる。

また、表面粗度も遷移を早めることはよく知られている。ここでは、谷の詳細な研究<sup>7)</sup>を参考にして図中に許容粗度の上限値を粗度の高さ $k$ と翼弦長 $L_c$ の比で示した。

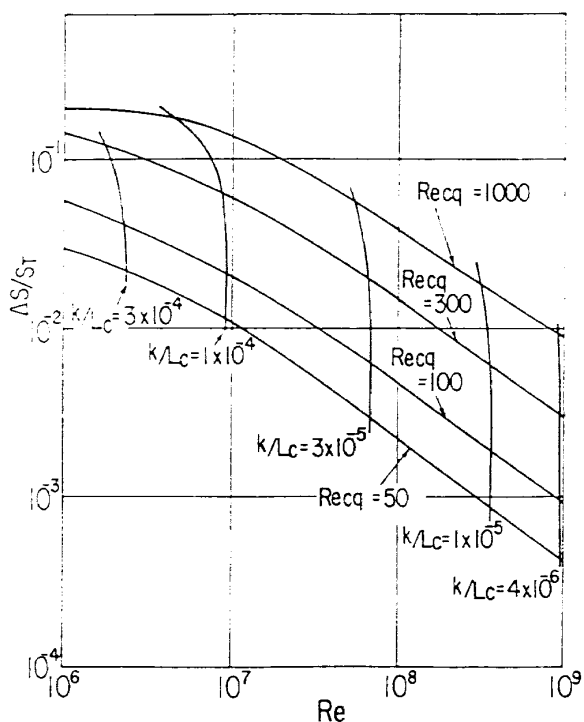


Fig.2 Relation between  $Re$ ,  $\Delta S/S_T$ ,  $Re_{eq}$  and  $k/L_c$ .

吸い込み効果を実験的に調査するため、NACA-0024翼断面を持つ2隻の模型による抵抗等の試験も行った。一つは全長1.25mの全没水模型で、これは回流水槽において吸い込みのある場合とない場合に対し全抵抗を計測し、両者を比較した。計算と実験の定性的特徴は似ているが、定量的には必ずしも満足すべきレベルにはないので今後なお検討の余地がある。その外熱膜流速計による境界層内の速度分布及び乱れの計測、可視化等も実施している。

もう一つの実験は全長6mの模型船によるもので、曳航水槽において吸い込みの有無に対応する抵抗を計測した。種々の実験上の制約から計測点数が少ないが、定性的には理論を支持するデータが得られている。

## 参考文献

- 1) Lachmann, G.V. (ed.): Boundary Layer and Flow Control, Vol. 1, Pergamon Press (1961).
- 2) 石田洋治: 層流制御について, 日本航空宇宙学会誌, 第31巻, 第356号, pp.475~484.
- 3) 田中一朗他: スリット吸い込み法による層流制御に関する基礎的研究, 日本造船学会論文集, 第163号, (1988), pp. 43~51.
- 4) Lachmann, G.V.: Laminarization through boundary-layer control, Aeronautical Engineering Review Vol. 13, No. 8, (1954), pp.37~51.
- 5) Schlichting, H.: Boundary Layer Theory (6th.ed), McGraw-Hill, (1968), pp.471~479.
- 6) 田中 博: Laminar flow control, 日本航空宇宙学会誌, 第10巻, 第107号, (1961), pp. 377~389.
- 7) 谷 一郎: 二次元および三次元粗さの層流に及ぼす影響, 東京大学航空工学研究所集報, 第1巻, 第5号 (1959), pp. 301~319.