

抵抗減少技術の管内流への応用について

中 尾 農 一*

1. はじめに

1970年代の石油ショック以来、省エネルギー技術に関する多くの研究開発が行われてきた^{1,2)}。特に、実用上問題となる乱流における乱流摩擦抵抗の低減は、大きな課題であったといえる。その結果、いくつかの有望な技術が開発されたが、現時点においても、それらの実用化は必ずしも容易ではない。例えば、大きな摩擦抵抗の減少を示す BLADES (boundary layer alternation devices)³⁾ は、系全体としての抵抗減少は極めて小さいし、高分子溶液を用いる方法も、実用化に関しては公害という問題を克服しなければならない。

これらの研究開発の多くは、航空機、船舶等を対象としているが、ここでは、これらの技術の産業界、特に流体の管路輸送への適用を試みる。流体の管路輸送は、パイプラインだけでなく、あらゆる産業分野において使用されており、管路輸送におけるエネルギー消費の節約、主に流体を圧送するためのポンプパワーの節約は、省エネルギーにとって極めて大きな意味を持っている。ここでは、管内流に適用した二つの技術についての実験結果、及び検討結果について簡単に述べる。

(1) しなやかな壁

これは、イルカの表皮をモデル化した Kramer の実験⁴⁾から注目を浴びたものである。その後、多くの研究者によって追実験、理論的解析、数値計算等が行われているが、抵抗減少の可能性を示すにとどまっている^{5,6,7)}。最近のレビューによれば²⁾、この方法による抵抗減少の実用化に疑問が

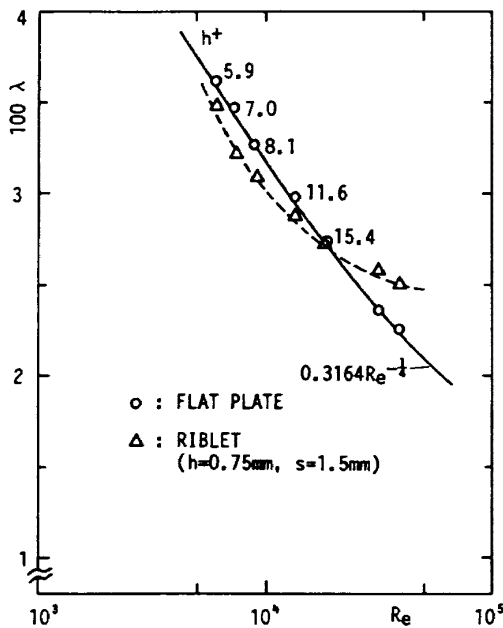
出されているが、この方法の難しさは、極めて多くのパラメータを適切に制御しなければならない点にある。ちなみにこの方法を十分発達した管内乱流に適用し、その効果を調べた実験は著者の知る限りない。

実験は、直径 51mm、厚さ 0.05mm のテフロン製チューブを用いて行われた。乱流が十分発達したことが確認されたパイプの下流にこのチューブを接続し通常のパイプと比較された。①軸方向の静圧分布、②X型熱線流速計による半径方向の流れの諸量の計測、③渦電流式の変位計によるチューブの振動数及び変位量等が測定された。実験は、二つのレイノルズ数について行われたが、 $Re = 10^4$ においては、抵抗が増加した。その原因は、チューブの取り付け時に生じた周方向の応力不均衡による壁面の歪みによるものと思われる。その歪が、極めて小さい $Re = 3 \times 10^4$ の時には、圧力勾配のデータは、約 2% の抵抗減少を示した。しかしながら、この変化は、チューブの直径が、0.25mm 増加する事によって生じる量であり、今回の実験からは、明確な抵抗減少を確認することは出来なかった。チューブの断面積、振動数等の制御を含んだ適切な条件のもとでの実験が望まれる。

(2) リブレット

これは、NASA の Walsh によって報告されたもの⁸⁾で、壁の表面に適当な大きさの縦溝をつけることによって表面の摩擦抵抗を低減できるというものである。その後、多くの研究者によって同様の実験が行われ、ほぼ同じ結果が得られており、試験的とはいえ、ボート、航空機等に使用されている。これまでの結果をまとめると、①縦溝の

*計量研究所



形状は、V または、U 字型、②溝の大きさは、 $h^+ = 8 \sim 12$, $s^+ = 10 \sim 20$, (h は、溝の高さ、 s は、山と山の間の距離)。③抵抗減少の大きさは、最大8~10%。抵抗減少の機構については、いくつかのモデルが提案されている。それらをまとめると、①縦溝構造は、壁近くのストリークを形成する縦渦の振動、横方向の運動を抑制する。②バーストの数が40%程度少ない。③溝の中の運動量の小さな流体部分とストリークの縦渦との干渉が重要である。などがあげられる^{9,10,11)}。

このリブレットも管内流に適用された例はほとんどない。図に示されるように、ある範囲にわたって摩擦抵抗係数 λ が、最大で約8%小さくなっていることが分かる。抵抗減少のおこる h^+ , s^+ の値が、平板のそれよりも広がっているのは興味がある。しかしながら、実用化にあたっては、コストを含め解決されなければならない問題がいくつか残されている。

参 考 文 献

- 1) G. R. Hough, "Viscous Flow Drag Reduction", Progress in Astro. and Aero., vol. 72, 1980
- 2) S. P. Wilkinson, J. B. Lazos and D. M. Bushnell, "Turbulent Drag Reduction Re-

search at NASA Langley : Progress and Plans", Int. J. Heat and Fluid Flow, vol. 9, pp. 266-277, 1988

- 3) Y. G. Guezennec and H. M. Nagib, "Mechanisms Leading to Net Drag Reduction in Manipulated Turbulent Boundary Layers", AIAA. J, vol. 28, pp. 245-252, 1990 (及び、その参考文献)
- 4) M. O. Kramer, "Boundary Layer Stabilization by Distributed Damping", J. Aerospace Sci., vol. 24, pp. 459-560, 1957
- 5) R. L. Ash, "On the Theory of Compliant Wall Drag Reduction in Turbulent Boundary Layers", NASA CR-2387, 1974
- 6) D. M. Bushnell, J. N. Hefner and R. L. Ash, "Effect of Compliant Wall Motion on Turbulent Boundary Layer", Phy. of Fluids, vol. 20, pp. S31-S48, 1977(レビュー)
- 7) S. Nakao, "A Numerical Study of Drag Reduction by Compliant Walls", Trans. Japan Society for Aero. and Space Sci., vol. 27, pp. 195-205, 1985 (及び、その参考文献)
- 8) M. J. Walsh, "Turbulent Boundary Layer Drag Reduction Using Riblets", AIAA-82-0169, 1982 (関連して、AIAA paper 78-1161, 84-0347等)
- 9) E. V. Bacher and C. R. Smith, "A Combined Visualization-Anemometry Study of the Turbulent Drag Reducing Mechanisms of Triangular Micro-Groove Surface Modifications", AIAA-85-0548, 1985
- 10) C. J. A. Pulles, K. K. Prasad and F. T. M. Nieuwstadt, "Turbulence Measurements over Longitudinal Micro-Grooved Surfaces", Appl. Sci. Res., vol. 46, pp. 197-208, 1989
- 11) 中尾, 「抵抗減少をもたらすリブレット上の乱流境界層」, 第39回応力連合講演会予稿集 pp. 301-302, 1989