

神戸市 正員 ○今里 均
神戸大学工学部 正員 松梨 順三郎

1. はじめに

Wall Turbulence における大スケール乱れについては、Theodorsen (1961) によって馬蹄型渦モデルが示唆されて以来、可視化手法を用いた多くの実験的研究がなされてきた。その結果、スケールの大きな乱れは必ずしも無秩序なものではなくある特定の幾何学的な構造をしており、流れの場におけるその時間的・空間的配置は一定の規則に従っていると推測されてきている。また、それらの研究をふまえて、Kline²⁾ (1967, 1975)、Laufer³⁾ (1975)、宇氏・上野⁴⁾ (1976) はせん断乱流場のモデル化を試みているが、これらのモデルはいずれも馬蹄型渦を基本とするものである。本研究では、馬蹄型渦の存在を確証することを目的として水素気泡法による可視化実験を行なった。

2. 実験結果および考察

実験は、幅30cm、長さ6mの矩型断面滑面水路で行ない、水理条件は流量226 l/sec、水深6.72cm、断面平均流速11.32 cm/sec、摩擦速度0.68 cm/sec、レイノルズ数4400である。

図-1は、スプレー式油性塗料を用いて2mm間隔に絶縁した直径0.65μmの水素気泡発生用白金線を水路底に平行、流れ方向に垂直に張り、10Hzのパルス電圧を加えることによって、ブロック状の水素気泡を発生させ、それを1秒間に4コマの連続撮影を行なった写真のうちの一例である。この写真から、発生した気泡が流れ方向に垂直な横方向の速度成分によって、Kline⁵⁾が報告したいわゆるlow-speed streakが観察される領域へ集められてくる様子が見られる。このとき、白金線の高さは水路底から0.5mm ($y^+ = 2.8$)であった。図-2は、上述のようにして撮影した写真のそれぞれについて、白金線のすぐ下流に見られるブロック状水素気泡の頂点と、それより1回前のパルス電圧によって生じたブロック状水素気泡における対応する頂点とを矢線で結んだものである。この矢線は厳密にはオイラー的流速でもラグランジュ的流速でもないが、各位置におけるある種の瞬間流速とみなすことができるであろう。なお、写真からlow-speed streakが見られる領域では流れ方向の流速が小さいばかりでなく、両側にある気泡がその領域に集められること、また、このような条件を満足していても必ずし



図-1 ブロック状水素気泡

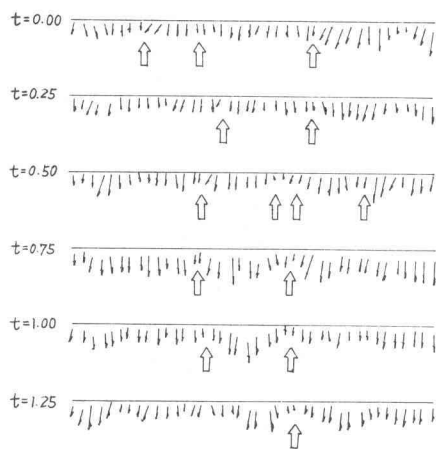


図-2 瞬間流速とstreakとの関係

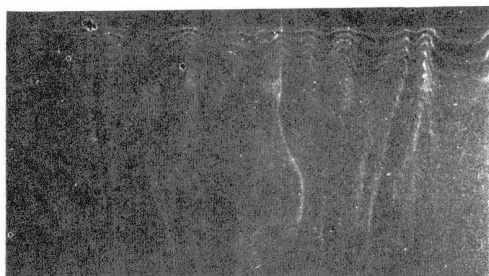


図-3

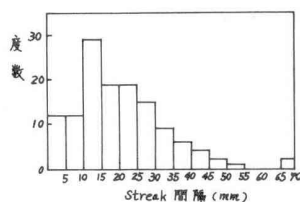


図-4 Streak 間隔の
度数分布

も明確な streak として可視化されないこと、などが指摘できる。ただし、streak が可視化されないことについては、実験の際における lighting などさらにも検討する必要があるかもしれない。

図-3は絶縁していない白金線を用いて図1と同様な方法で撮影した写真である。このとき、白金線の高さは水路底から 1.0 mm ($\delta^* = 5.7$) であった。これらの一連の写真から読み取った水路横断方向についての low-speed streak の間隔入の度数分布は図-4に表わされている。平均間隔入は 20.8 mm で、その無次元量 $\bar{\lambda}_* \equiv \bar{\lambda} U_* / \nu = 120$ は Kline らが報告している $\bar{\lambda}_* \approx 100$ とほぼ一致する。ところで、図-3を詳細に観察すると左方に低速の領域を占めていた streak が見られる。この現象は他の写真においてもしばしば見られたもので、Wall Turbulence の一つの特徴であると思われる。このことは馬蹄型渦モデルと次のように関連づけることができる。馬蹄型渦モデルでは渦の脚部が流れの方向に対して並んでいるが、対になった渦のまわりの流れはポテンシャル理論によって図-5のように描かれる。もちろん、いま考えているのは粘性の影響が大きい壁面付近であるから、図-5に描かれた流れのパターンがそのまま実際の流れに当てはまるとは考えられないけれども、おおよそ傾向はさほど変わらないと思われる。さて、図-5の破線で示された位置に白金線を張るとすれば、発生した水素気泡は水路底に平行で流れ方向に垂直な速度成分によって2つの渦にはさまれた領域に集められてくるであろう。そして、その領域の中央部よりもむしろ両端の渦のすぐ内側の方が水素気泡は稠密となるであろう。図-3に見られる対になった streak はこのような稠密な水素気泡が可視化されたものと考えられる。逆に、対になった streak が観察されたことが馬蹄型渦の実在性についての可能性を示すものであるといえよう。

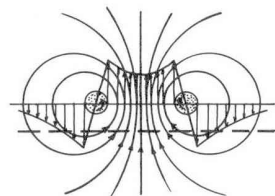


図-5 一對の渦のまわりの流れ

したがって、streak の間隔を読み取ってそれに統計的処理をほどこすだけでは、たとえ前述のように $\bar{\lambda}_* \approx 100$ の普遍性が見出だされるにしてもそれだけでは不十分であって、モデルとの有機的な対応づけを考慮していく必要がある。しかしながら、観察される streak のすべてが対になっているわけではなく、また、白金線を固定しておいても馬蹄型渦との位置関係は図-5に描かれたままの状態であるだけでなく時々刻々と変化するため、さまざまなパターンの streak が現われ、モデルとの対応を目的とした適切な量の評価はいまのところ困難である。今後、観察される streak のパターンを馬蹄型渦と白金線との相対的な位置関係から説明するという試みが必要であると思われる。

参考文献

- 1) Kline, S. J 他 : J. Fluid Mech, Vol 30, part 4, 1967
- 3) Laufer, J : Ann. Rev. Fluid Mech, Vol 7, 1975

- 2) Kline, S. J 他 : J. Fluid Mech, Vol 70, part 2, 1975
- 4) 宇民・上野 : 土木学会年報, 1976