

II-174 円管内振動流の乱流遷移について

東京工業大学 正員 日野 幹雄
東京工業大学 正員 ○ 沢本 正樹

1. はじめに

円管内の定常流の乱流構造に関しては、Laufer (1955) の詳しい実験などがあり、その概要はよく知られている。しかし、さらに流れの中の乱れの発生とか、乱れの energy の輸送の機構などに関しては、まだ十分には解明されていない。本研究は、単純な空気振動流を用いて、乱れの発生、発生、乱れの energy の輸送などの、乱流の基本的なメカニズムをさぐろうとするものである。

非定常な流れの乱流は、例えば、サージタンクの減衰や、浅海波の底面での抵抗など、工学的に重要な問題と密接に結びついており、いくつかの研究も行なわれているが、まだ、はっきりした考え方が確立されていないのが現状である。従来の研究は、抵抗や、質量輸送に関する、根浦 (1964, 1968) のモデル、堀川・渡辺 (1968, 1970)、堀川・水口 (1973)、野田 (1970)、安川 (1972) などの研究、安定性に関する、Li (1954)、Kalkanis (1977)、Kerczek・Davis (1974) などの研究があるが、直接に乱れを測定して問題としているものは、日野・大西 (1971) の研究にみられるにすぎない。

2. 実験の概略

実験装置は、風胴、ピストン、動力の三部分よりなる。風胴部は内径 30 mm、15 mm、長さ 4 m の 2 種の透明アクリル管である。この管のほぼ中央に小孔をあけ、そこから熱線流速計を挿入して、断面内の流速測定を行なった。この管の一端は、ベルマウスを通じて直接大気中に放出され、他端はピストン部へ接続されている。ピストン部は至 78 mm で漸変部を通じて、風胴部に接続されている。動力は 25 c/sec のサーボモーターを用い、数種の減速ギア、アームを組合わせることにより、Reynolds 数 $\frac{\bar{U}d}{\nu}$ ($\bar{U}$: 平均流速の振幅)、無次元振動数 $\lambda = \sqrt{\frac{\omega}{\nu}} \cdot \frac{d}{2}$ を変えて実験を行なうことができる。

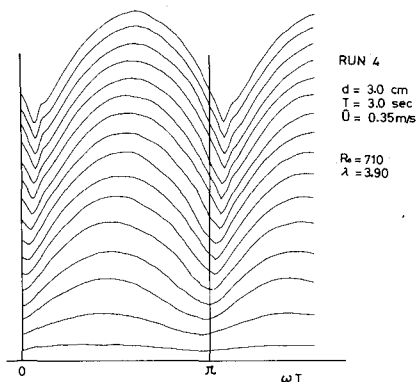


図-1 流速の測定例

3. 実験結果

○図-1に、 $Re = 710$, $\lambda = 3.90$ の場合の測定結果を示す。図は、管の中央から壁面まで 15 等分した点における、流速の絶対値の各測定記録を位相をあわせてならべたものである (同時測定ではない)。図からわかるように管内の全断面、全位相にわたって乱れと呼ぶようなものは存在しない。管内振動流は層流の場合には、解析的に解が得られるが、このように低 Reynolds 数の場合には、測定結果は層流解とよく一致する。ただ、管の中央付近で、流れが逆転した直後に流速が層流解よりも大きくでている。これは、断面中央で流速が極小値をとる位相にほぼ一致している。

○図-2は、図-1と同じ振動数で、 $Re = 2130$ の場合である。この場合、流速が最大値をとる位相近くで全断面にわたって微小な乱れが見られる。その他に流れが逆転した直後の加速時に、管の中央

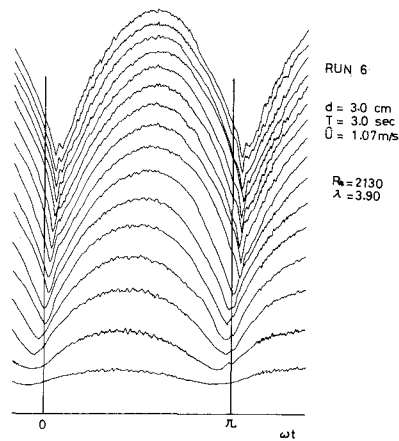


図-2 流速の測定例

付近に顕著な乱れが認められる。後者の乱れはほぼ $\frac{\partial U}{\partial r} > 0$ となる位相、場所に一致しており振動流に特有のものである。この乱れにより、流れが逆転した直後、管の中央付近では多少流れが一様化している。しかし、全体としてみた場合、流速分布、流速の振幅、半径方向の位相差など、比較的層流解とよく一致している。

・図-3, 4は、さらに Reynolds 数も高くなった場合である。Reynolds 数が大きい場合、流速が増すにつれて、10 数 Hz あるいは、数 10 Hz の乱れが全断面にわたって発達する。そして減速にうつると急に 100 Hz 以上の高周波の乱れがあらわれる。この乱れがあらわれると、半径方向に激しい運動量の交換がひきおこされ、結果として、管の中央付近では流速が急激に減少し、壁面近くでは流速が急激に増加する。この乱れは、主流が小さくなると急速に減衰し、流れが逆転する頃にはほとんどなくなり、その後の加速時には流れは層流となる。加速時の層流は、層流解と比較的一致しているようにみえるが、よくみると、減速時の半径方向の混合が強いため、半径方向の位相差ははっきりした傾向は認められず一様化している。

4. 結論

以上より、次のような結論が得られる。

① Reynolds 数が小さい場合には、当然のことながら層流解とよく一致する。

② 層流解からのずれは、まず振動数の高い場合の加速時にあらわれる。これは、半径方向の流速分布が逆勾配 ($\frac{\partial U}{\partial r} > 0$) となる位相、場所にほぼ一致する。この乱れにより、断面の中央付近で流れの一様化が進む。

③ ②で述べた乱れは定常流の限界 Reynolds 数よりも小さな Reynolds 数で発生する(図-5)。しかし、この乱れは、完全な乱れに発達することはない。

④ Reynolds 数を大きくしていくと、流速が最大となる位相近くで数 10 Hz の速度変動がみられる。この場合でも、加速時、減速時には、主流の流速分布は、層流解と比較的よく一致する。特に、壁面近くでの一致がよい。

⑤ さらに Reynolds 数を大きくしていくと、④で述べた数 10 Hz の乱れにひき続いて 100 Hz 以上の高周波の乱れがあらわれ、減速の途中持続する。この乱れにより管の半径方向に激しい混合が起こり、流速分布は急激に変化する。

⑥ 十分に高い Reynolds 数で、⑤に述べたような完全な乱れが観察される場合であっても、流れは全位相にわたって乱流になるわけではなく、加速時には明瞭な層流が観察される。

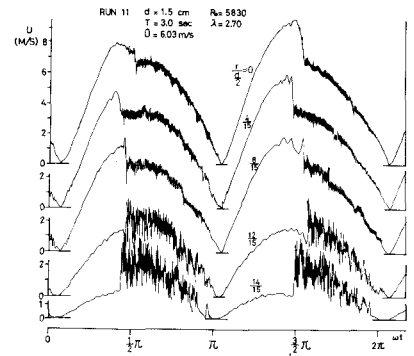


図-3 流速の測定例

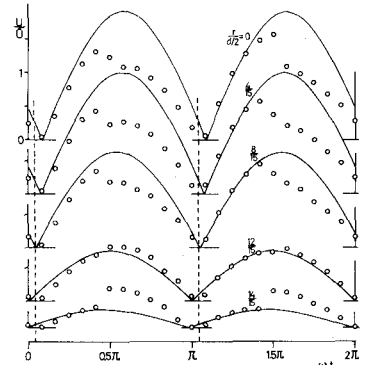


図-4 層流解との比較

実線：層流解 ○：実測

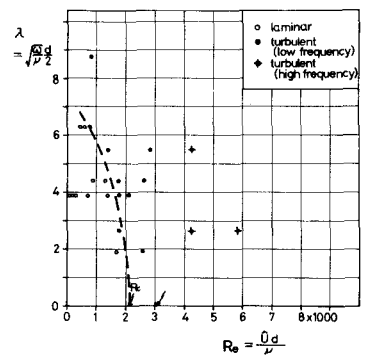


図-5 Re, λ による乱れの境界の変化