

No.24

円形噴流中の軸対称渦と縦渦の干渉

豊田国昭, 森 隼人, 平元理峰 (北海道工大)

Interaction of axisymmetric and streamwise vortices in a circular jet

K.Toyoda, H.Mori and R.Hiramoto

Hokkaido Instistute of Technology, 7-5-4-1 Maeda, Teine-ku, Sapporo

ABSTRACT

The Interaction of axisymmetric and streamwise vortices in a circular jet was investigated by a flow visualization technique. The jet was excited by axial and azimuthal perturbations to stabilize and enhance axisymmetric and streamwise vortices. A laser fluorescent dye and a laser light sheet were used to visualize the jet. The three-dimensional views of vortical structures were constructed by applying the Taylor hypothesis to the jet cross-sectional images. The views reveal the details of the complicated structure. From the three-dimensional views, the interaction model of axisymmetric and streamwise vortices was suggested.

Key Words: jet, vortical structure, laser light sheet, visualization

1. まえがき

噴流は工学分野で広く利用されており、その混合・拡散、騒音などの諸特性は噴流中の渦の挙動に支配されている。したがって、噴流を効果的に利用するためには、噴流中に生成される渦構造の詳細を理解する必要がある。円形噴流中では噴出口近傍に生成された円形渦輪列が下流で合体し、縦渦の発生¹⁾²⁾を伴って三次元的に変形し崩壊することが示されているが、軸対称渦と縦渦の干渉模様の詳細については十分に理解されていない。

本研究では、円形噴流中の軸対称渦と縦渦の干渉を明らかにするため、Vortex Generator付円形ノズルからの噴流垂直断面可視化画像にTaylor仮説を用いて三次元渦の空間構造を構築し、軸対称渦と縦渦の干渉過程を考察した。

2. 実験装置および実験法

図1に本研究の可視化実験で用いた水槽を示す。水槽に供給する水には水道水を用い、供給量を一定にするため、水槽上流側にせきが設けられている。また水槽上流側に噴流を励起するための加振器が取り付けられ、渦の発達を促進することができる。図2に、本実験で用いたノズルを示す。円形噴流中に発生する周方向攪乱³⁾を促すために高さ5mmのVortex Generatorを6つ取り付けたノズルを用いた。ノズル内径は46mm、長さは40mmである。ノズル内径と噴出口中心速度(0.12m/s)に基づくレイノルズ数は、 3.8×10^3 である。励起条件は近傍せん断層初期不安定の自然周波数 f_0 (3.6Hz)の1/2とし、安定した軸対称渦輪列を発生させた。噴流の可視化には蛍光染料のウラニンを用い、光源としてAr-ionレーザーを使用した。水槽測定部の流体を蛍光染料で染色した後に、噴流を生じさせ、厚さ2mmのレーザーライトシートを噴流断面に照射し、鮮明な垂直断面可視化画像を得た。座標系は噴出口中心

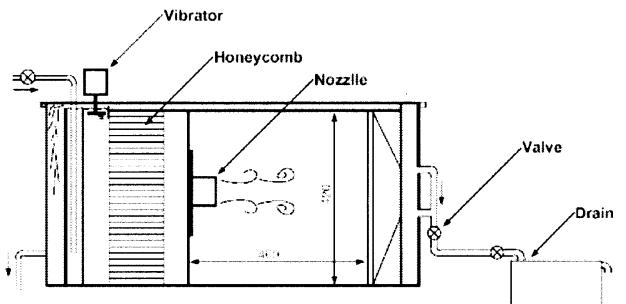


図1 水槽

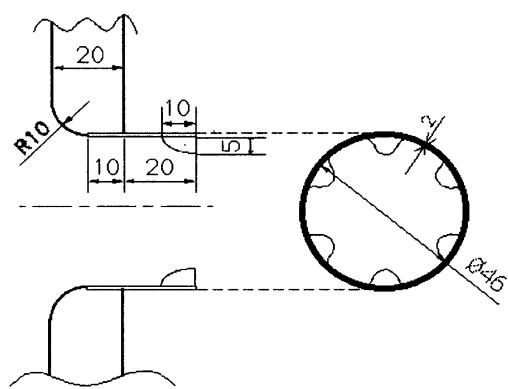


図2 ノズル

を原点とし、流れ方向をx軸とした。可視化された垂直断面画像は、水槽下流側に設置されたビデオカメラで記録した。

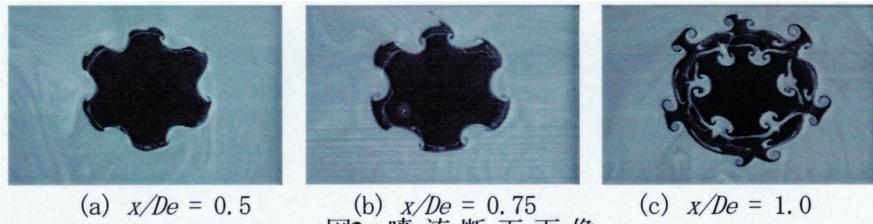


図3 噴流断面画像

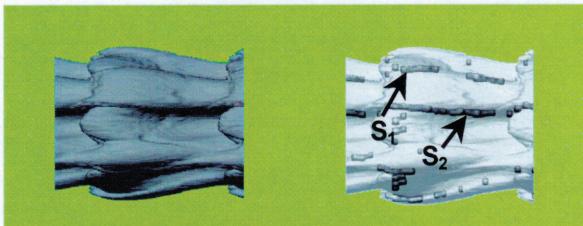
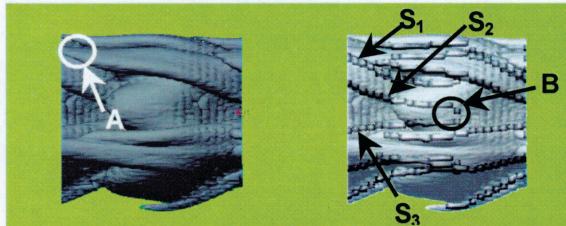
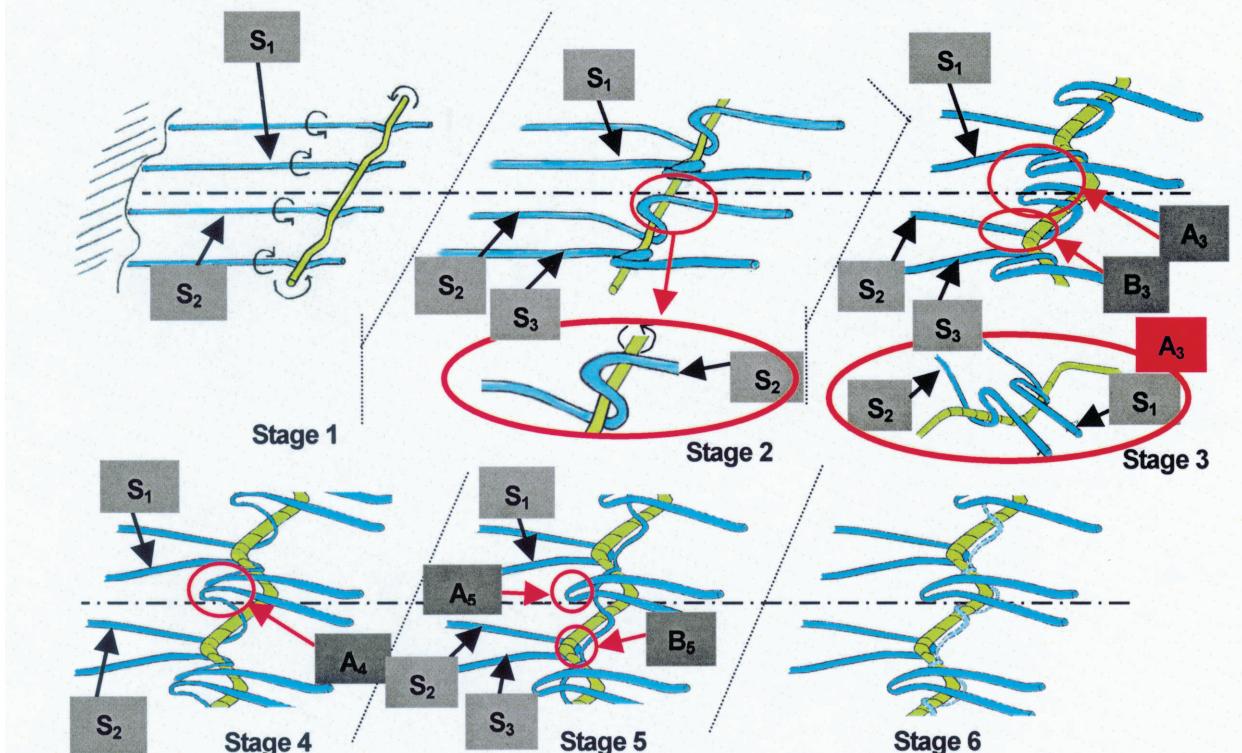
図4 噴流境界と縦渦 ($x/De=0.5$)図5 噴流境界と縦渦 ($x/De=1.0$)

図6 軸対称渦と縦渦の干渉モデル

3. 結果および考察

図3に噴流断面画像を示す。図は縦渦の発達過程を示している。噴流断面画像にTaylor仮説を適用して構築した噴流境界の三次元画像と縦渦構造を図4,5に示す。縦渦の位置はそれぞれの断面画像から決定した。縦渦は、発生初期($x/De=0.5$)ではほぼ平行になっているが、下流($x/De=1.0$)では、図中のBに示すように、軸対称渦の周囲で隣の縦渦に接続している。

図4,5から推測した干渉モデルを図6に示す。縦渦は、軸対称構造に巻きつく(stage2,3)ことにより発生する非一様曲率効果⁴⁾によりスパン方向に曲がり、隣の縦渦に接近し(stage4), 接触過程を経て切り繋ぎが生ずる(stage5)⁵⁾。切り離された渦部は軸対称渦に巻き込みつ

き干渉する(stage6)。

4. 結論

円形噴流中の軸対称渦と縦渦の干渉機構を可視化画像により解析し、縦渦は軸対称渦周りで発生する非一様曲率効果により変形し、渦の切り繋ぎが生ずることを示唆した。

参考文献

- 1) D.Liepmann, M.Gharib: J.Fluid Mech. 245,(1992), pp.643-668.
- 2) M.F.Reeder, M.Samimy: J.Fluid Mech. 311,(1996), pp.73-118.
- 3) K.Toyoda, H.Mori: J.Visualization, 4-3,(2001), pp.239-244.
- 4) 豊田, F.Hussain: 日本機械学会論文集, 55-514(1989), pp.1542-1545.
- 5) 平元, 豊田: 日本機械学会論文集, 63-605(1997), pp.101-105.