

帯状側線付き円柱での双安定流れ

山口大院 学 ○多和芳雄 赤松利之
山口大工 正 斎藤 隆

1. まえがき 円柱表面あるいは円柱の近傍に極く小さい柱状体を設置し、円柱周りの流れを制御することで円柱に作用する流体力と円柱の振動を制御することが行われている。円柱表面に帯状の側線が接合された場合、二つの流況が間欠的に転換する双安定流れがみられ、流体力が階段状に変化する現象は非常に興味を持たれる。

本研究は、一本の帯状側線を接合した円柱に作用する流体力を測定し、側線の接合位置によって円柱に作用する流体力の違いを側線の前・後端での流れの剝離と再付着による円柱表面で予測される圧力の変化との関連で検討したものである。

2. 実験装置と実験方法 実験は、測定部が高さ10cm、幅100cm、長さ100cmの貫流式風洞で行った。実験円柱は直径50mmで流体力測定部高さが60mmである。使用した帯状側線の形状は図-1の三種類である。抗力・揚力は片持梁方式で同時に測定した。測定系の固有振動数は1.5kHzである。

3. 実験結果とその検討 側線厚と円柱径の比が $d/D = 0.014$ の場合の側線接合位置と揚力係数との関係を描点したのが図-2である。縦線で結ばれている描点は、図-3のType Cの様に間欠的に揚力が階段状に変化している場合で、平均揚力が一定している期間で揚力係数を求めたものである。図-2において、接合位置による抗力、揚力係数の変化は流況と対比して5領域に大別できる。すなわち、

1) $\theta < 45^\circ$: この範囲では側線の後端の円柱表面に安定した剝離領域が形成されるため（図-4(I)）、 θ の増大に伴い抗力係数は小さくなり、揚力係数の絶対値が大きくなっている。

2) $45^\circ < \theta < 55^\circ$: 抗力係数の絶対値が最大をとり、 θ の増大により絶対値が減少するところで、側線厚さが薄い場合にだけみられ、側線後端の円柱表面に形成される剝離領域が不安定で双安定流れとなり（同(II)）Type Cの変動波形がみられる。側線厚さが厚い場合には、円柱表面への再付着がなく、 θ の増大により後流領域が後退するため、揚力係数の絶対値が減少する。

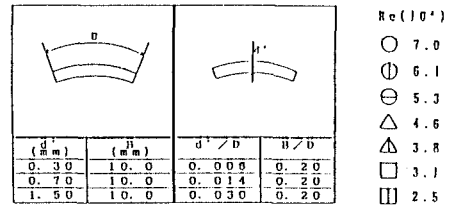


図-1 側線形状と描点の説明

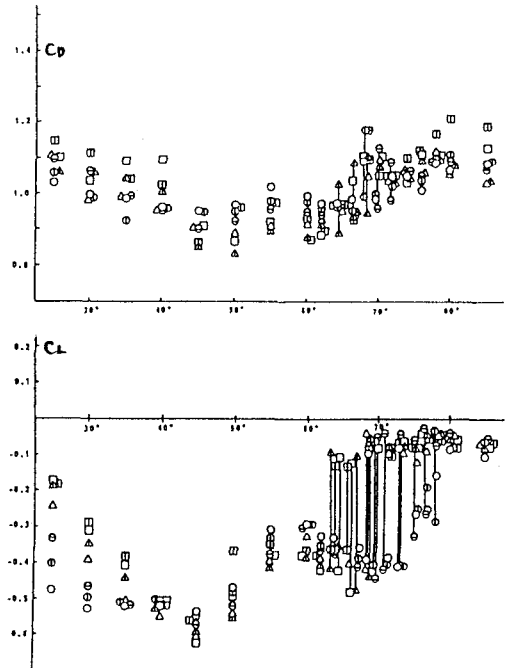


図-2 抗力係数・揚力係数

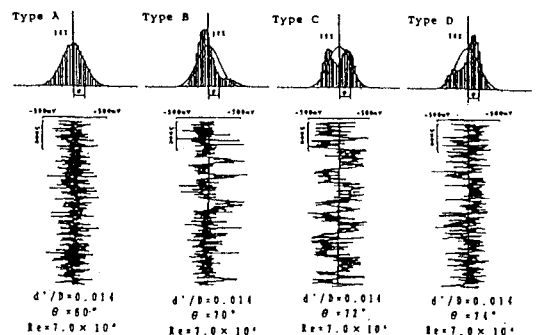


図-3 揚力の変動波形と頻度分布

3) $55^\circ < \theta < 62^\circ$: 側線後端から後流域が形成され、 θ の増大により後流領域が後退するため、揚力係数の絶対値が減少して、極小値を採るようになる。

4) $62^\circ < \theta < 78^\circ$: 側線面上に形成されている剝離領域が不安定となり、側線の前・後端から後流域が形成される二つの流れが間欠的に転換される双安定流れの状態となる(同(IV))。

5) $\theta > 80^\circ$: 側線の前端から後流域が形成され、抗力・揚力の両係数とも単円柱の値と一致してくる。

紙面の都合で割愛したが、側線の厚さが異なる場合と比較すると、抗力・揚力の両係数の側線接合位置による変化の様子は上述の通りであるが、変化の度合いが最も大きいのは図-2に示した $d/D = 0.014$ の場合である。側線厚さをを用いた Re 数は図-1に示した実験 Re 数に d/D を乗じた値で、この Re 数によって側線部での剝離領域の規模と安定性(固定渦の有無)が変わる。側線厚さが薄いと側線下流部での剝離領域が安定性が強いので、 $\theta = 50^\circ$ 付近で双安定流れが生じる。この様に、側線の接合位置による平均流体力と変動流体力の変化は側線面上と側線下流部とに形成される剝離領域とその両者の安定性の度合いが重要な役割を持つことが明かである。

間欠的に流体力が階段状に変化する双安定流れがみられる条件を量的に評価するため、円柱からの渦放出の2~3倍の時間での移動平均値を解析波形として、解析波形の歪度、尖度の側線接合位置による変化を調べた。Type Cの変動波形では、流体力の生起密度分布から、歪度は $\sigma = 0$ で、尖度は $\varepsilon < 3$ となる。Type B Type Cの生起密度分布の形を参考にして、双安定流れが出現する条件を調べた結果が図-5である。側線の厚さが最も薄い場合には、先に予測したように双安定流れは二箇所で見られる。側線厚さが厚くなると、双安定流れは一箇所だけでみられ、側線厚さが厚いほど双安定流れがみられる接合位置は上流側になっている。

4. まとめ 帯状側線付き円柱に作用する流体力を測定し、検討した結果を要約すると、次の通りである。

1) 側線の結合位置による平均流体力と変動流体力の違いは側線の面上と下流部に形成される剝離領域によって円柱表面で予測される表面圧力分布の変化で矛盾することなく説明することが出来る。

2) 適当な時間での移動平均で変換した揚力波形の統計処理で双安定流れの出現条件を明らかにした。

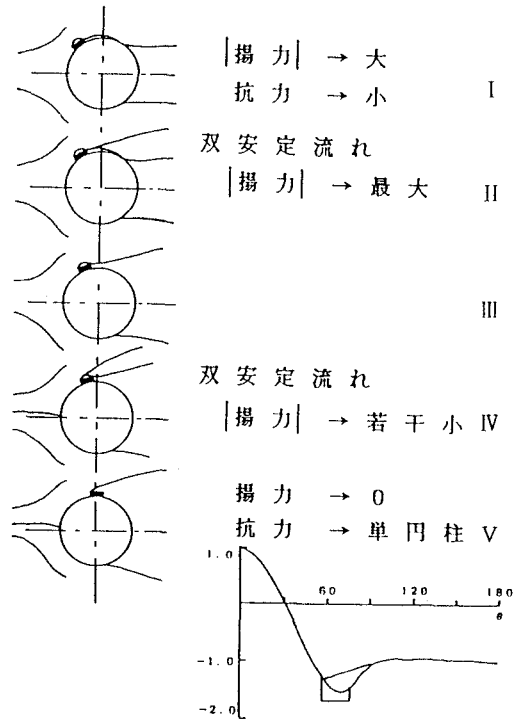


図-4 流況と流体力との関係の説明図

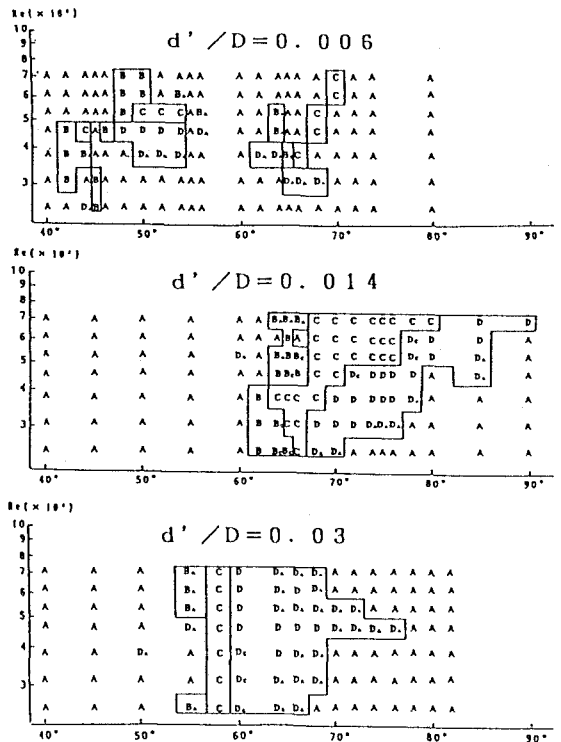


図-5 揚力に特異変動波形が生起する条件