

Control of Turbulent Separated Flow over a Backward-facing Step

by Periodic Forcing

(周期的外乱の導入によるバックステップ乱流の制御)

吉岡修哉

論文の内容の要旨

流れにはく離が発生すると、抵抗の増大や圧力回復の低下などが起こり、流体機器の性能が低下する。従って、はく離の抑制、あるいは一度はく離した流れの再付着を促進する事が必要となる。本研究の目的は、周期的な外乱を導入する事により、はく離流れの再付着を促進することである。この手法は、翼や鈍頭物体を過ぎる流れなどに対してこれまでに研究されている。それらは共通して、外乱には再付着が最も促進される最適周波数帯域が存在する事を報告している。しかし、なぜ外乱周波数の変化に伴い制御効果が変わるのか、またなぜ最適周波数が存在するのかについては明らかでない。本研究では、与えた外乱が再付着を促進するメカニズムを詳細に検討することで上記を明らかにする事、及びこの最適周波数の予測を可能とするスケール則を導くことを目的とする。テストケースには、はく離点が固定された典型的なはく離再付着流れであるバックステップ流れを採用し、これに周期的な吹き出しと吸い込みを外乱としてステップ端部から与えた。本研究では、再付着の促進機構が、外乱によりせん断層内に広く導入される大規模な渦運動に深く関係しているとの見通しの元に、この渦運動をとらえるための計測法として、速度場の面計測が可能な2次元粒子画像流速計(PIV)を採用した。

まず振幅一定の条件にて、外乱周波数と再付着距離の関係を調査した結果、バックステップ流れにおいても、他のはく離流れと同様に再付着距離は外乱周波数に依存し、最適周波数帯域が存在することを確認した。次に、再付着距離と運動量輸送、すなわちレイノルズ応力分布の関係を明らかにするために、最適周波数及びその前後の周波数においてレイノルズ応力の測定を行った。その結果、上記いずれの周波数の場合もせん断層内においてレイノルズ応力が増加するが、その領域は周波数により異なる事が明らかになった。すなわち、最適周波数の場合には、再循環領域から再付着領域にかけて顕著なレイノルズ応力の増加が見られるのに対し、低い周波数の場合には、その領域は再付着点より下流へ移動する事、一方高い周波数の場合には、ステップ直後で増加が見られるのみで、再付着領域から下流では増加はほとんど無くなる事が明らかとなった。このことから、再付着の促進には、単に全般的にレイノルズ応力を増加させるのではなく、再付着点より上流の再循環領域で重点的にレイノルズ応力を増加させるような条件が必要であることが明らかとなった。またこのレイノルズ応力を、外乱と同一周期の変動成分による寄与(直接効果)と、それ以外の変動成分

による寄与(間接効果)に分離して評価した結果、前者は再付着の促進には直接関与せず、それから生まれる乱流変動による運動量輸送である後者が間接的に再付着促進に寄与することが明らかとなった。

次に、なぜ特定の周波数の場合に再付着促進のための上記の条件が実現されるかについて、渦構造の観点から検討した。外乱周期に同期した位相平均の速度場及び渦度場を検討した結果、せん断層内には、スパン方向に軸を持ち同方向に回転する大規模な渦構造が外乱により新たに導入されることが明らかになった。位相平均渦度分布と位相平均レイノルズ応力分布を比較した結果、レイノルズ応力の増加は、せん断層内を流下する2つの渦に挟まれた領域において顕著に見られることが明らかとなった。これが、渦構造によって新たに生み出されるレイノルズ応力で、間接効果に相当する。外乱周波数毎にこの渦構造の配置について検討した結果、最適周波数時には、再循環領域内に常に2つの渦構造が存在するが、低い周波数の場合には、渦構造の大きさが大きくなり、再循環領域内に存在する渦構造の個数が減少する事、また高い周波数の場合には、より多くの渦構造が導入されるものの、それはステップ直後において急速に減衰する事が明らかとなった。このことから、再付着点より上流においてレイノルズ応力を増加させるためには、その領域に強い渦構造を数多く導入することが必要であることが示された。

最後に、再付着促進に関するスケール則を検討した。再付着の促進には、外乱によって導入された渦構造が大きな役割を果たすことから、最適周波数はこの渦構造の持つ長さスケール及び速度スケールを用いて表現されるべきであると考え、ストロハル数をはく離泡高さと、渦構造の移流速度を用いて定義した。このストロハル数を用いて、本実験と従来報告されているバックステップ流れの実験結果を再整理した結果、最適周波数を拡大比、入口流入条件、レイノルズ数によらずほぼ一定値で示せることが明らかになった。

以上