

円管内乱流のアクティブ・フィードバック制御

Active Feedback Control of Turbulent Pipe Flow

笠木 伸英(東大工), 深淵 康二(産総研)

壁乱流制御がその威力を発揮する応用分野として天然ガスパイプラインや石油パイプラインの壁面摩擦抵抗低減が考えられるが、過去に行われた壁乱流制御の直接数値シミュレーション(DNS)は全て平行平板チャネルの流れに対して行われており、そこで得られた知見がそのままパイプラインのような円管流に当てはまるか否かは未確認であった。そこで本研究ではまず Choi ら(1994)によるアクティブ・キャンセレーション・アルゴリズム(図 1)を用いて円管内乱流のアクティブ・フィードバック制御の DNS を行い、その効果をチャネル流の場合と比較した。また、制御を一部区間のみ(図 2)に加える場合の DNS も行い、制御効果の残存性及び空間的变化について調査した。

円管では制御面積・体積比がチャネルとは異なるが、得られた時間平均抵抗低減率は図 3 に示すようにチャネルの場合と同等であった。また最大抵抗低減率は検知面位置を $y_d^+ \approx 15$ とした場合に得られたが、この場合制御に必要なエネルギーが非常に大きくなり、そのため制御システムの全効率を考慮した正味のエネルギー節約では $y_d^+ \approx 10$ の時に最大となった。

一部区間 $[0, L_c]$ のみに制御を加えた場合 ($Re_b = 5300$, $y_d^+ \approx 10$) には、抵抗低減率は制御面積に比例より若干大きい程度に留まった。これは図 4 に見るように制御区間終了直後の壁面摩擦抵抗の急回復が悪さをしているためである。また制御区間終了後、制御なしの場合の壁面摩擦係数まで戻るのに要する長さは、制御区間長さにあまり依存せず 2000 ~ 3000 粘性長さであった。壁面摩擦抵抗の急回復の原因としては、制御終了直後の壁近傍におけるレイノルズ応力の増大が観察されている。これを防ぐことのできるアルゴリズムの開発を今後の課題としたい。

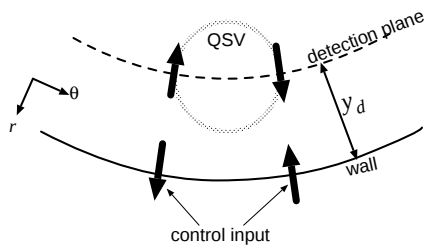


図 1 アクティブ・キャンセレーションの模式図

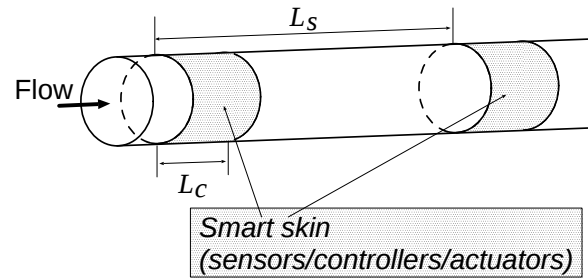


図 2 一部区間のみの制御

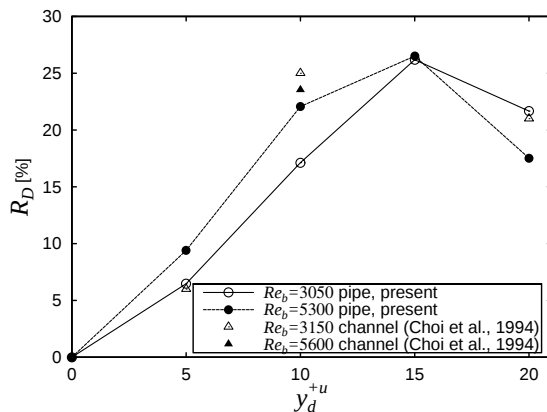


図 3 検知面位置と抵抗低減率の関係

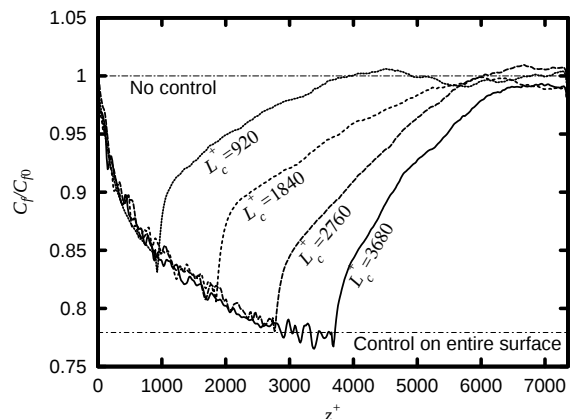


図 4 一部区間制御における流れ方向位置及び壁面摩擦係数の関係