

鉄建建設(株)

山下良範

神戸大学工学部

正員

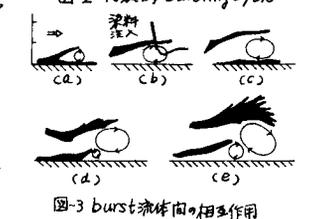
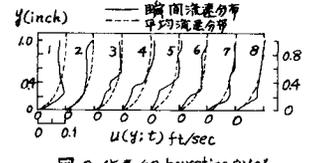
藤 信明

神戸大学工学部

正員

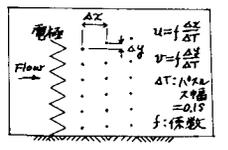
松梨 潤一郎

I まえがき Kim, Kline は 1967年から71年にかけ、平板境界層における乱流生成の特性と水素気泡を用いた可視化手法により研究した。金属細線を図-1のようにy方向とz方向に張ることにし、z方向の細線から生じる気泡群が低速のしほ模様(低速, streak)の存在を明らかにし、その位置における鉛直方向の瞬間流速分布の一定の周期性と明らかにした。(図-2参照) エタニ-2のフローセスは壁面近傍での流れの構造が相対的に静止した状態から同様のランダムに無秩序な状態に移行する一連の過程であるとし、このプロセスのすばとをbursting processと定義した。さらにOffen, Kline は上述の準サイクリック的過程を示す壁面近傍の流れのパターンについて図-3のようなモデルを提案した。流体は三次元的なパターンであるが、このモデルでは鉛直の金属細線による水素気泡のシムレーションとz方向の渦とを静止状態での準サイクリックの模様と見なしている。またGrass は約1mm間隔の絶縁された水素気泡発生用金属細線と鉛直方向に張る、それらに電圧を加えることにより「ロケット」状の水素気泡をつくり、その頂角と底を二つにすることで瞬間流速分布を測定し、つぎの代表的な流れのパターンと見なしている。すなわち、uの最小値かひの最大値と対応しているパターン{ejection ( $u' < 0, v' > 0$ ) とよばれる}と、uの最大値かひの最小値と対応しているパターン{sweep ( $u' > 0, v' < 0$ ) またはinrush とよばれる}と、可視的には図-2の(1)または図-3の(e)の状態がejection、また文献(1)ではbreak upとよばれる状態に相当し、図-2の(2)または図-3の(a)の状態がsweepの状態に相当していると考えられる。本研究では次第の異なるヤング型の金属細線電極を用い、Grassの手法と同様に、瞬間的流速分布を測定し、bursting processの特徴的な流れパターンについて実験的検証を試みた。



II 可視化実験 幅30cm、深さ15cm、長さ6.16mの長方形断面滑面水路と使用し、レーザーと水素気泡を用いた。ピッチ3.5mmの2個の電極の間と白金細線(φ=60μm)を包むヤング型陰電極とした。これは水路中央に鉛直に張り、陽極は銅板を用いた。100V電圧を印加し、上下2個の列外と絶縁照明(図-4)の異なる形状のシムレーションの列と得た。高速カメラ(16mm、24コマ/sec)の撮映し、投影したフィルム上の数値を読み取りから1コマ上で10英吋(φH=0.05~0.5, H=72cm水深、0.05秒)での瞬間流速を求めた。

III 実験結果 可視実験に用いたシムレーション数(フィルムコマ数)200組の瞬間流速分布 $u(y), v(y)$ とえた。その処理として、Grassと同様の条件サンプリング法を用いた。すなわち、底面位置と $Y_i$ ( $i=1\sim7$ )の位置と指定し、200組のデータ24組(1秒間)から8組の群に分け、各群ごとに24組と比較し、1)  $Y_i$ に $u_{max}$ が現れるときの $u(y), v(y)$ 、2)  $Y_i$ に $u_{min}$ が現れるときの $u(y), v(y)$ 、と選ぶ。1), 2)のそれぞれについて分布の平均をとつた。図-5は二つに示された流速分布 $u(y), v(y)$ と示す。 $Y_2, Y_3, Y_4$ に注目すると、uの最小値かひの最大値あるいはピッチの部分と一致している。 $Y_5, Y_6$ のように多少ずれながらもみられるが、全体としてこのことはGrassの指摘の通り、壁面付近の一極の傾向と考えられる。壁面付近で低速のstreakがみられるが、いわゆるejection ( $u' < 0, v' > 0$ )に対応しているわけである。またuの最大値は $Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6$ において、それぞれひの最小値あるいはピッチ部分とほぼ一致している。このことは低速streakを一掃する、いわゆるsweep ( $u' > 0, v' < 0$ )に対応していると考えられる。また $Y_7$ においては上述の顕著な特徴は特にならず、Grassの実験結果などと照らすと、本実験でのこの位置、 $Y_7=0.35$ より上部の領域では、ejection, sweepと1つに壁面近くの特徴的な現象が平均流に押し流され、明らかに形成されないので考えられる。なお $Y_i$ における速度分布は上述の特徴と明確には一致しないが、この領域では流速がおおく、流れが複雑で、気泡のランダムな位置と投影図



上で正確にとらえることができなかったことが主要な原因と考えられる。図-6は条件サンプリング法による速度変動  $u'(y)$ ,  $u''(y)$  とを用い、各点平均と乱れレベルの分布がある。図-6(a)は  $U_{max}$ , すなわち sweep の状態に対応し、同図(b)は  $U_{min}$ , すなわち ejection の状態に対応している。一つの  $Y_i$  と指定すると、その近傍では bursting process とし、ejection の状態、sweep 状態を交互にくりかえしているわけであるが、いずれの状態でも、水層のかなり領域

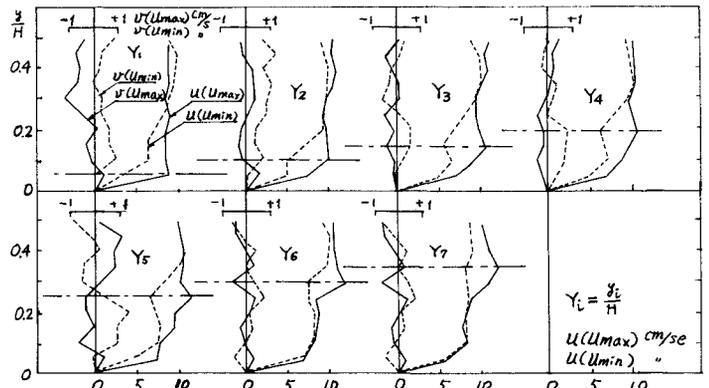


図-5 条件サンプリングによる平均流速分布

にわたって局所的にレイノルズ応力に大きい正の寄与を生じており、 $Y_i$  の位置付近で一つのピークをもっていることがわかる。Grass によると sweep は ejection に比較し、より壁面近くで正の寄与が大きいとしているが、本実験結果ではあり、明確に現われていない。図-7は bursting 時間間隔のヒストグラムである。これは bursting 間隔は 16mm 高速撮映において、フィルムに最大の湾曲が生じているコマから次に最大の湾曲が生じてくるコマまでのコマ数と時間とをえとそれと比。この図によると、bursting 間隔の平均は 1.12 秒である。つまり図-8は上記の可視化実験と同一の物理条件下、Hot-Film 流速計を使用した場合の実験結果であり、壁面近傍  $y/H = 0.0694$ ,  $y = 5\text{mm}$  における変動流速  $u'$  の自己相関係数である。この図によると、 $u'$  のランダム性に内在する周期性は  $T = 1.03$  秒であり、図-7の可視化による実験結果と一致する。このことより、bursting 現象はほぼ一定の時間間隔で準規則的に生じていることがわかる。

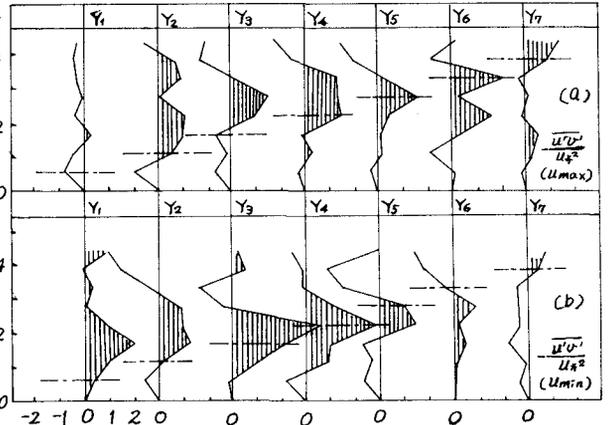


図-6 条件サンプリングによるレイノルズ応力分布

IV 結論 本実験では可視化手法によるデータの条件付きサンプリングにより、Kline らの提案した bursting モデルと特性がずらす ejection, sweep などの準規則的な流体運動の存在を確かめた。さらに、sweep, ejection などのが局所レイノルズ応力に対して大きい正の寄与を生ずることを明らかにした。また bursting 間隔の一次的計測およびラランジュエ的計測をとおしてその周期性を明らかにした。しかし、データ処理および可視化手法などには精度上の問題もあり、今後の改善が必要である。

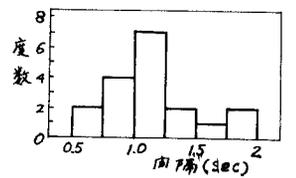


図-7 burst 間隔のヒストグラム

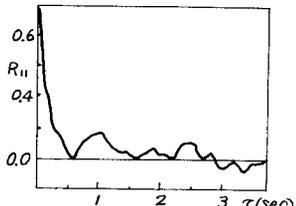


図-8  $u'$  の自己相関係数

参考文献

- 1) Kim, H. T., Kline S. J., Reynolds W. C.: The production of turbulence near a smooth wall in a turbulent boundary layer, J. Fluid Mech. 1971, vol. 50, part 1, pp 133-160.
- 2) Offen G. R., Kline S. J.: A proposed model of the bursting process in turbulent boundary layers, J. Fluid Mech. 1975, vol. 70, part 2, pp 209-228.
- 3) Grass A. J.: Structural features of turbulent flow over smooth and rough boundaries, J. Fluid Mech. 1971, vol. 50, part 2, pp 233-255