

神戸大学工学部 正員 筧 源亮
神戸大学大学院 学生員 〇木佐幸佳

1. まえがき

段落ち部下流の流れについての研究は、従来、はく離領域内が対象とされている例が多い。再付着点の下流では段落ちによる自由乱流と底面せん断の影響により複雑な流れ挙動を示している。また、再付着後の底面付近の流れが通常の境界層流れに回復するまでには相当の距離を要することが知られている¹⁾。本研究では、再付着点下流の乱れ構造を調べるとともに、底面せん断応力の分布を求め、両者の関係について考察を行なった。

2. 実験

段落ち部のモデルとして図-1のような底面を用いた。このモデルを高さ 50cm、幅 50cm の風洞内に設置し、流れとして風速 9.59m/s をあたえた。乱れ測定には熱線流速計を用い、サンプリング周波数 $f_s = 2000\text{Hz}$ 、データ数 $N = 200$ 、同一実験例の繰返し数 $N_R = 5$ とした。測定点は Point 4, 6, 8, 10, 12, 15 であり、この数字は段落ち部からの距離と段高の比であらわす。高さ方向には底面からの距離と段高の比 $z/h = 0.1, 0.33, 1$ の 3 種類とした。底面せん断応力の測定には油膜法を用いた。油膜法として、二酸化チタン、オレイン酸、パラフィンに適当な割合で混合し、これをモデルに刷毛でうすく塗装する。この時、モデルは風洞内で鉛直に立てて設置する。塗装されたモデルには、風による底面せん断応力と重力によって縞があらわれる。この様子を写真-1 に示す。この縞の水平成分を求めることによって底面せん断応力が測定される。

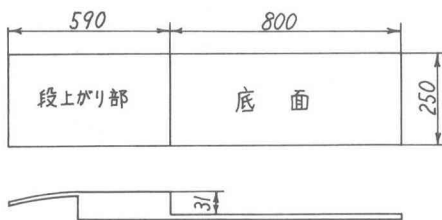


図-1 段落ち部のモデル
(単位 mm)

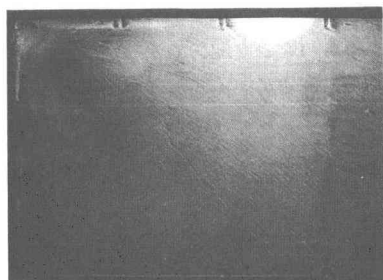


写真-1 油膜法による縞

3. 実験結果と考察

(a) 底面せん断応力

測定された底面せん断応力分布を図-2 に示す。図の縦軸は最大底面せん断応力を基準にしてノルマライズしたものである。この図から、Point 4 が付着点であり、その直下流で底面せん断応力が急遽に大きくなり、Point 8 あたりで一定値に達するのがわかる。これまでの研究よりはく離領域が小さいのは上流側の段上がり部の長さ、段の横方向からの吹きこみ等による影響と思われる。図中の曲線は石川の式を再付着点が一致するように上流側へ平行移動したものである。実験値と曲線はよくあっているといえる。

(b) 自己相関係数

測定された自己相関係数から、乱れによる渦スケール L を次式から求める。なお、式中の L^* は相関係数がはじめて 0 になる遅れ時間をあらわす。

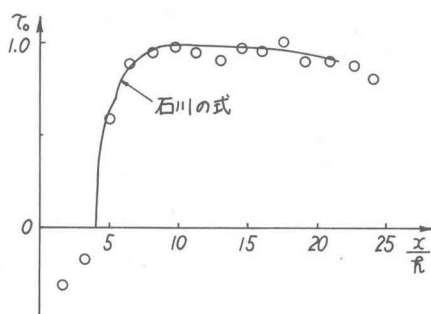


図-2 底面せん断応力

$$L = \int_0^{2\pi} R(\tau) d\tau$$

得られた L を図-3 に示す。この図より、底面付近 ($z/R = 0.1$) では Point 4 (再付着点) で乱れのスケールが小さいが、その直後で急速に大きくなっている。しかし、段高レベルでは、逆に乱れスケールはしだいに小さくなっており、段落ちによる自由乱流的な性質が小さくなっていることがわかる。 $z/R = 0.33$ では中間的な性質を示し、乱れスケールがほぼ同じになっている。

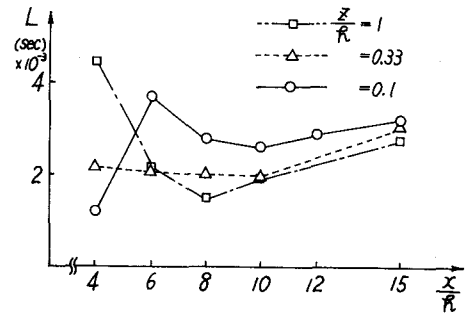


図-3 乱れスケール

高さ方向を調べると、Point 4 では高さ方向に乱れスケールが大きくなっているが、それより下流では底面付近の乱れスケールが大きくなっている。また、下流にいくにつれて乱れスケールの差が小さくなっており、乱れが高さ方向に一樣になってきたと思われる。

(c) スペクトル

流れ方向のスペクトルを図-4 に示す。底面付近では Point 4 で高周波領域の渦が支配的であるが、それより下流では低周波領域の渦が支配的になる。また、スペクトルの形状も一致してくる。段高レベルでは逆に Point 4 で低周波領域の渦が支配的であり、下流にいくにつれて高周波領域の渦が支配的となる。各点におけるスペクトルは $-5/3$ 乗則が成立する慣性領域、 -3 乗則が成立する粘性領域で一致しているのがわかる。

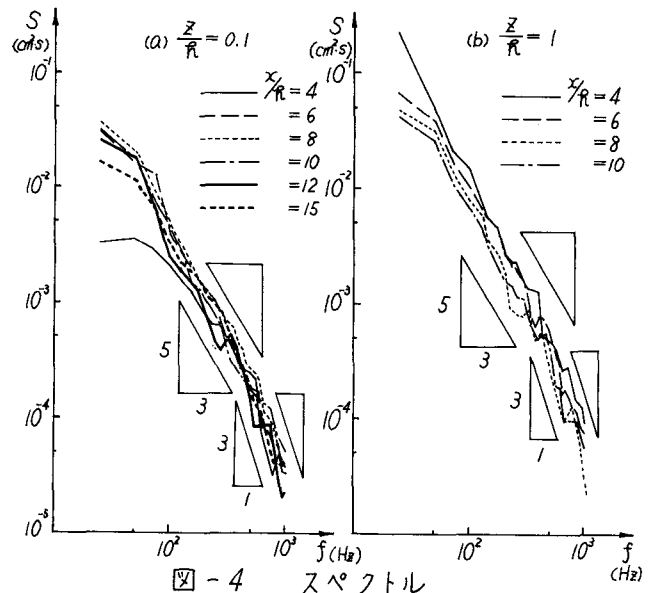


図-4 スペクトル

(d) 乱れ強度

乱れ強度を図-5 に示す。この図からも底面付近の Point 4 から 6 にかけての乱れの急変、段高レベルの乱れの減衰がわかる。Point 8 より下流の底面付近では乱れが小さくなっており、段落ちによる底面付近の乱れの緩和領域ではないかと思われる。今後より詳細な実験が必要である。

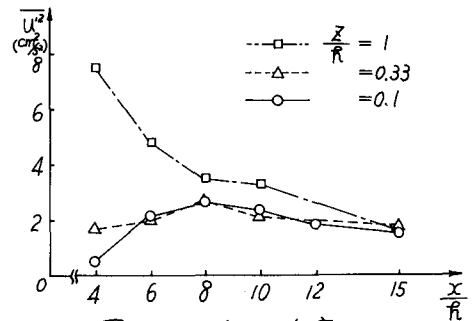


図-5 乱れ強度

4. 結論

再付着点下流部における底面付近では再付着点からその直後にかけて乱れ構造に大きな変化があり、Point 8~12 ではほぼ同様な性質になっているのがみとめられた。底面せん断応力とこの乱れ構造を比較すると、いずれも Point 4~6 に大きな変化があり、密接な関係があることがわかった。また、段高レベルでは底面付近とは逆に乱れが減衰する構造があらわれた。

参考文献

- Bradshaw, P., Wong, F. Y. F: *The Reattachment and Relaxation of a Turbulent Shear Layer*, J.F.M., 1972
- 石川忠晴: 断面急変に伴う離れ領域の下流部の流れと底面せん断応力について, 土木学会論文集, 第257号, 1977