

I-208

粗面上の乱流境界層における人工擾乱の発達

九州大学大学院総理工 学生員 林 健一

九州大学応用力学研究所 正 員 大屋 裕二、同 中村 泰治

1. まえがき 乱流境界層は組織的運動とより小スケールの乱れで構成されている事が知られている¹⁾。Taneda^{2), 3)} は、フェンスでつくられた平板上の乱流境界層内で小さな2次元翼を回転させて流れに擾乱を与えると、擾乱の周波数の特定値で選択的に増幅される波動が境界層内に表れることを見出し、大規模運動の存在を確認した。様々な粗度状態を有する地面上に発達する大気境界層内においてもこのような大規模な組織運動が存在するのかが非常に興味深い。そこで本報告では、ラフネスブロックを配置してその上に発達する中立大気境界層をシミュレートし、これに人工的な2次元擾乱を加えて境界層の応答を調べた結果、粗面上の乱流境界層にもこのような大規模秩序運動が存在することが判明した。

2. 実験装置と方法 本実験は高さ2m×幅4m×長さ6mの測定部を有する大型風洞で行った。ラフネスブロックを用いた粗度面と人工擾乱発生装置の配置を図1に示す。乱流境界層の生成には、一辺が5cmの立方体のラフネスブロックを用いた。ブロック列は、主流方向に長さ約4mに渡り、18cm間隔で千鳥状に24列（1列は20個）を配置した。人工擾乱は、幅4cm×長さ2m×厚さ5mmの翼をブロック列の10cm上流の位置で回転させて発生させた。したがって、翼の回転数の2倍の周波数をもつ擾乱を境界層に加えることができる。この擾乱の境界層内の発達の状況を調べるために、境界層外縁で速度変動を計測し周波数解析を行った。また、スモークワイヤーを用いて流れ場の可視化を行った。風速 U_0 は3m/sである。

3. 実験結果 熱線流速計で測定された鉛直方向における平均流速分布を図2に、乱れの強さを図3に示す。図2(a)より、擾乱がない場合の境界層の厚さ δ は20~25cm、平均流速分布から求めた境界層の排除厚さ δ^* は、 $X=4$ mで6.9cm、 $X=5$ mで7.3cmであった（ただし、 X は吹出口からの距離）。排除厚さ δ^* で取ったレイノルズ数はそれぞれ 1.5×10^4 と 1.6×10^4 である。図2(b)と図3より、平均流速分布と乱れの強さは擾乱の周波数 N の影響をほとんど受けておらず、排除厚さ δ^* は変わらない。周波数 $N=0 \sim 10$ Hzの擾乱を加えたときの乱流境界層の変化を可視化したものを図4に、 $X=5$ m、 $Z=30$ cmの位置における速度変動 w 成分のパワースペクトルを図5に示す。図4、5より、擾乱を加えないときには、可視化写真にもパワースペクトルにも境界層内に一定の波長をもった大規模秩序運動の存在は認知し難い。しかし、擾乱を加えた場合には、その周波数によって乱流境界層における応答が著しく異なっている。図4、5より明かに、人工擾乱は $N=2$ Hzの場合にもっとも増幅されていることがわかる。より高周波の擾乱、例えば $N=10$ Hzでは $X=2 \sim 3$ mの上流で擾乱が減衰し（図4）、スペクトルにも卓越ピークが見られなくなる（図5）。Taneda^{2), 3)} は、平板上の乱流境界層に排除厚さ δ^* の20倍程度の波長をもつ大規模秩序運動が存在し、擾乱を最も増幅することを指摘した。

本実験においても、 $20\delta^* = 1.4 \sim 1.5$ mの波長を有する擾乱、すなわち風速 $U_0=3$ m/sでは約2Hzの擾乱がもっとも増幅されている。

4. まとめ ラフネスブロックを用いて生成した粗面上の乱流境界層においても、平板上と同様に、排除厚さの20倍程度の波長をもつ大規模秩序運動が存在し、対応する周波数の擾乱を与えると最も明確に出現することが明かとなった。

参考文献

- 1) 巽友正編：乱流現象の科学（1986）。
- 2) Taneda, S. : Phys. Fluids 26-10, (1983)。
- 3) 種子田定俊：ながれ Vol.1 (1982)。

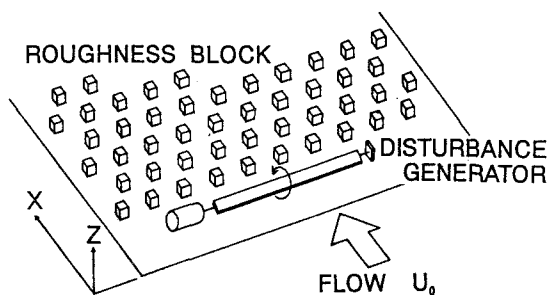
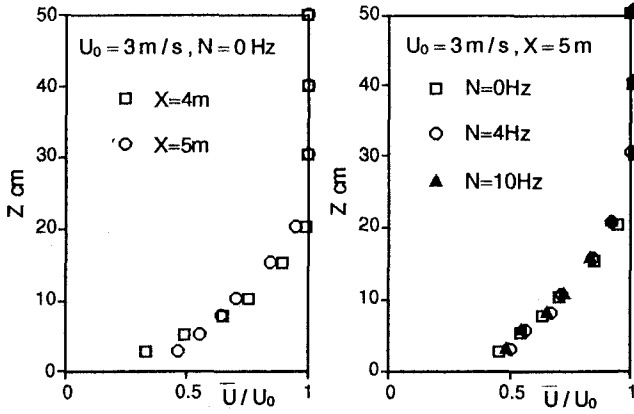


図1 ラフネスブロックを用いた粗度面及び人工擾乱発生装置



(a) 距離に対する変化 (b) 擾乱の周波数に対する変化
図2 鉛直方向の平均流速分布

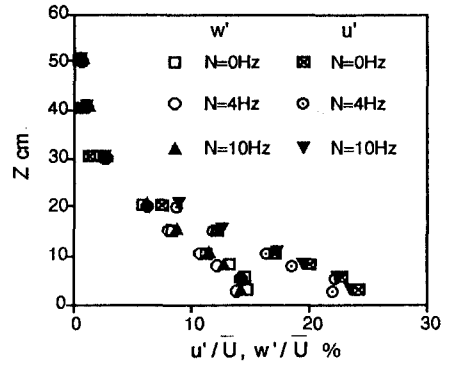


図3 鉛直方向の乱れ強さ分布, $X=5m$

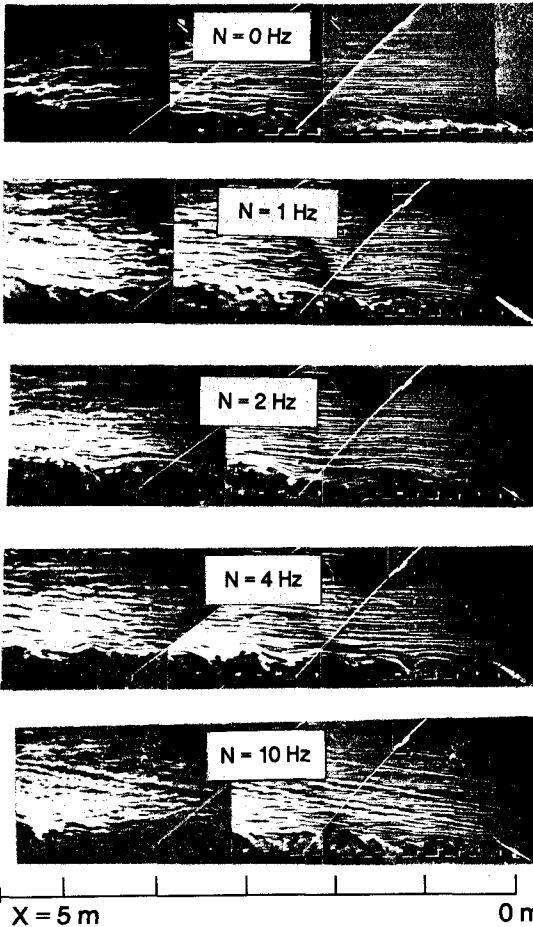


図4 乱流境界層の断面, $U_0=3m/s$

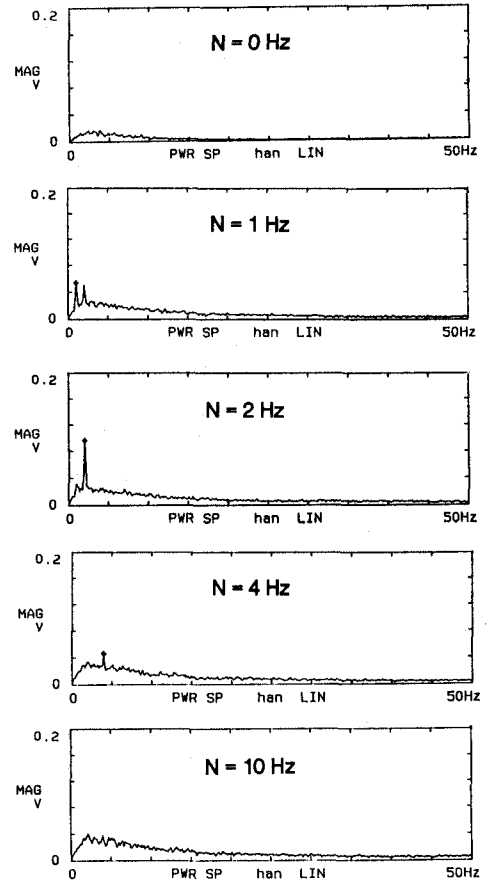


図5 乱流境界層外縁での速度変動 w 成分のパワースペクトル, $U_0=3m/s, X=5m, Z=30cm$