

二つの粗度により誘起される流れ

碓 井 次 郎*・本 橋 龍 郎*

Flow Induced by Two Roughness Elements

Jiro USUI and Tatsuo MOTOHASHI

Department of Aerospace

Engineering, Nihon University

ABSTRACT

The idea that the roughness element in the boundary layer accelerates transition process is widely acknowledged. Mechanism of the roughness-triggered transition, however, is still an open question. We deal with interaction of flows induced by two roughness elements to realize fundamental process of the transition. As a result of preliminary experiments, we observed a remarkable expansion of turbulent region at a specific spacing ratio of two roughness elements.

Key Words : boundary layer, roughness elements, flow control, transition

1. はじめに

境界層内に粗さを配置すると、層流から乱流への遷移が促進されることはよく知られている。粗さは通常、その形状や配置によって、二次元粗度（ワイヤ・フェンス）、三次元粗度（円柱・球・角柱）、分布粗度（円柱群・サンドペーパー）などに分類される¹。また、都心のビル群・山・ガスタンクなども地表上の境界層に含まれた粗度と考えることができる。

これまでに筆者等は、平板上の層流境界層内に微小円柱を三次元粗度として設置し、その周辺及び下流で誘起される流れについて詳細な測定を行ってきた。その結果、前縁からの渦度が粗度前面で集中し、その成分が粗度を包むように流れ方向に曲げられて生じる縦渦すなわち馬蹄形渦が存在する。その渦が乱れの生成に大きな役割を果たしていることなどを明らかにしてきた²。

しかし、工学的には粗度が単独で存在していることは稀であり、分布粗度が多く用いられている。分布粗度によって誘起される流れの基礎的なメカニズムを考えるた

めには、それぞれの粗度によって誘起される流れがどのようにに干渉するかを調べる必要がある。そこで本研究は、粗度を二つに限定し粗度間隔を変化させ、それぞれの粗度から誘起される流れの干渉を調べた。研究は現在も進行中である。今回は粗度をスパン方向にのみ変化させ、それぞれの間隔に於ける周辺及び下流に生成される流れ及び乱れの広がりについて、風洞実験によって調べられた結果を中心に報告する。加えて、スパン方向に長軸を持つ変形楕円柱を用い、二つの粗度により誘起される流れが干渉する場合と比較する。

2. 実験装置及び方法

実験は、吹き出し口が30cm×30cmの回流型小型風洞（一様流5m/sでの残留乱れ0.08%）を用いて行われた。この風洞測定部に前縁（8：1の楕円形状）から層流境界層が発達するように幅28cm、長さ1mの平板を設置した。粗度には、高さ（ k ）と直径（ d ）が共に2mmの二円柱を使用し、前縁から10cmのところでは境界層内に埋没するよ

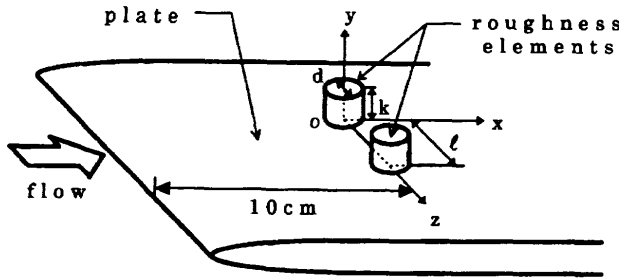


図1 粗度配置及び座標系

うに配置した（図1参照）。

速度及び乱れの計測には、定温度型熱線流速計（ $\phi 2.5 \mu\text{m}$ 白金線）を、流れ場の可視化には昇華法（溶液：樟脳＋アルコール）、スモークワイヤ法（ $\phi 0.05\text{mm}$ ニクロム線 $\times 2$ 本、流動パラフィン）を用いた。パラメータは、二円柱中心間距離 l を直径 d で無次元化した l/d 、一様流速 U と粗度高さ k で算出したレイノルズ数 Re とし、実験は $l/d=1.0 \sim 10.0$, $Re=460, 650, 900$ について行われた。

3. 結果及び考察

図2は $Re=650$ 一定で、横軸は l/d 、縦軸は粗度設置位置での境界層厚さ（ $\delta=2.75\text{mm}$ ）の約55%位置で乱れ度が1%以上になるスパン方向の長さを示している。この図から、各 x/d 断面で $l/d=1.2$ 付近の乱れの広がり大きさが分かる。そこで、下流で乱れの広がり大きくなる $l/d=2.0$ 以内に注目する。

図3にスモークワイヤ法による可視化写真と写真内の白丸の位置の速度変動スペクトルを示す。写真より、配置により馬蹄形渦の大きさ及び形状が異なること、さらに対応する速度変動スペクトルもそれぞれ異なることが分かる。 $l/d=1.0$ は、比較的安定して渦が出ている様子を示しており、 $l/d=1.2, 1.3$ では煙が左右に揺らいでおり、非常に不安定であることが分かる。スペクトルについては、特に $l/d=1.3$ で非常に鋭いラインスペクトルが観察された。

図4に流れと直交する $y-z$ 断面での等速度線図（左側）及び等乱れ度分布図（右側）を示す。ここでは、下流で大きな乱れの領域が観測された $l/d=1.2$ と粗度の間隙の流れが一方の円柱に偏る $l/d=1.5$ を取り上げる。なお、円柱の位置を $x/d=5.0$ での乱れ度分布図上に示す。等速度線図を見ると $l/d=1.2, 1.5$ 共に $x/d=5.0$ までは、スモークワイヤ法で観察されたように二つの粗度を包む一對の縦渦（馬蹄形渦）が生じていることが分かる。更に $x/d=0.75$ では、粗度間隙にも流れ込みがある。 $x/d=25.0$ までは粗度間隙への流れが粗度後流に大きく影響しているように思われる。次に乱れについて考える。ここに示

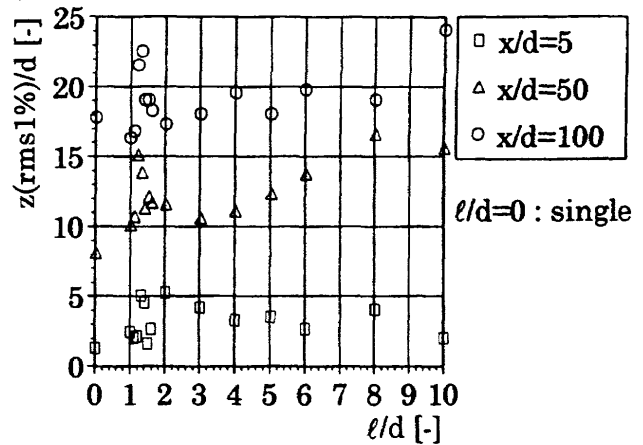


図2 乱れ度1%以上のスパン方向長さ

した等乱れ度分布図は、一様流に対する変動の大きさであり、濃くなるほど乱れが強いことを示す。この図からも $l/d=1.2$ が、粗度により近い位置で乱れが出始める様子が分かる。乱れの下流への広がり方は、まず粗度上方に強い乱れが現れる。そして粗度の外側に、更に底層部に強い乱れが集中していく。等速度線図と合わせてみると、低速流体が持ち上げられている部分、すなわち縦渦により吹き上げられた所と乱れの強い部分が一致することが分かる。これらの結果から、下流での乱れの生成及び発達には縦渦（馬蹄形渦）が大きな効果を発揮していることが分かる。

4. 変形楕円柱により誘起される流れ

図3に変形楕円柱のスモークワイヤ法による可視化写真及び速度変動スペクトルを示す。変形楕円柱とは、高さ2mm、長径4mm、短径2mmで、 $l/d=1.0$ の状態での二円柱の接合部の溝を平らに埋めたものである。可視化では、 $l/d=1.0$ と相似な馬蹄形渦が観察される。しかし、速度変動スペクトルは異なっている。今後は長径を流れ方向にとった場合を含め、下流での乱れの様子を調べ、二円柱の場合との比較検討を行う。

5. 一様流中の二次元円柱との比較

複数の二次元円柱を並列に設置した場合については、これまで多くの報告がなされている^{3)~6)}。二円柱間隙の様子としては、間隔の違いにより一方の円柱側へ流れが偏ること、その偏りが周期的に他方の円柱側へ入れ替わる、或は外乱が入らない限り安定しているなどの結果が観測されている。これらの流れに伴い円柱背後の渦放出周波数も間隔により異なった特性を示している。即ち、偏りが起きる、周波数が異なる等、定性的には三次元粗度と

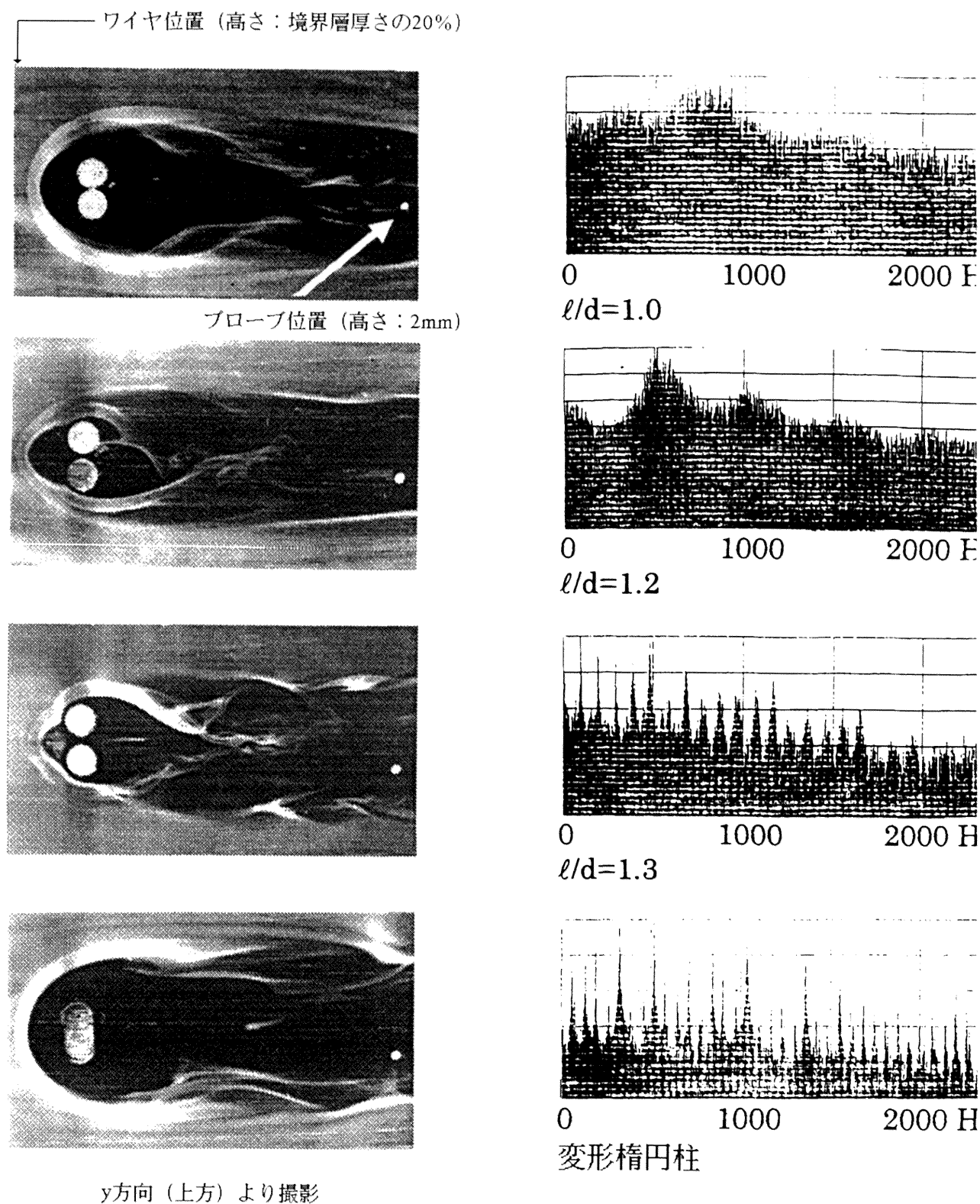


図3 スモークワイヤ法による可視化 (左側) 及び速度変動スペクトル (右側)

同じ流れ場になることが確認された。

6. まとめ

限られた Re 数ではあるが、粗度の配置が下流で生じる

乱れ領域の大きさに影響することが分かった。また、遷移を促進させるためには、 $l/d=1.2$ が最も効果的であることが判明した。しかし、そのメカニズムは、不明である。今後は、粗度間隙の流れが下流にどのように影響するかをより詳細に調べるため、

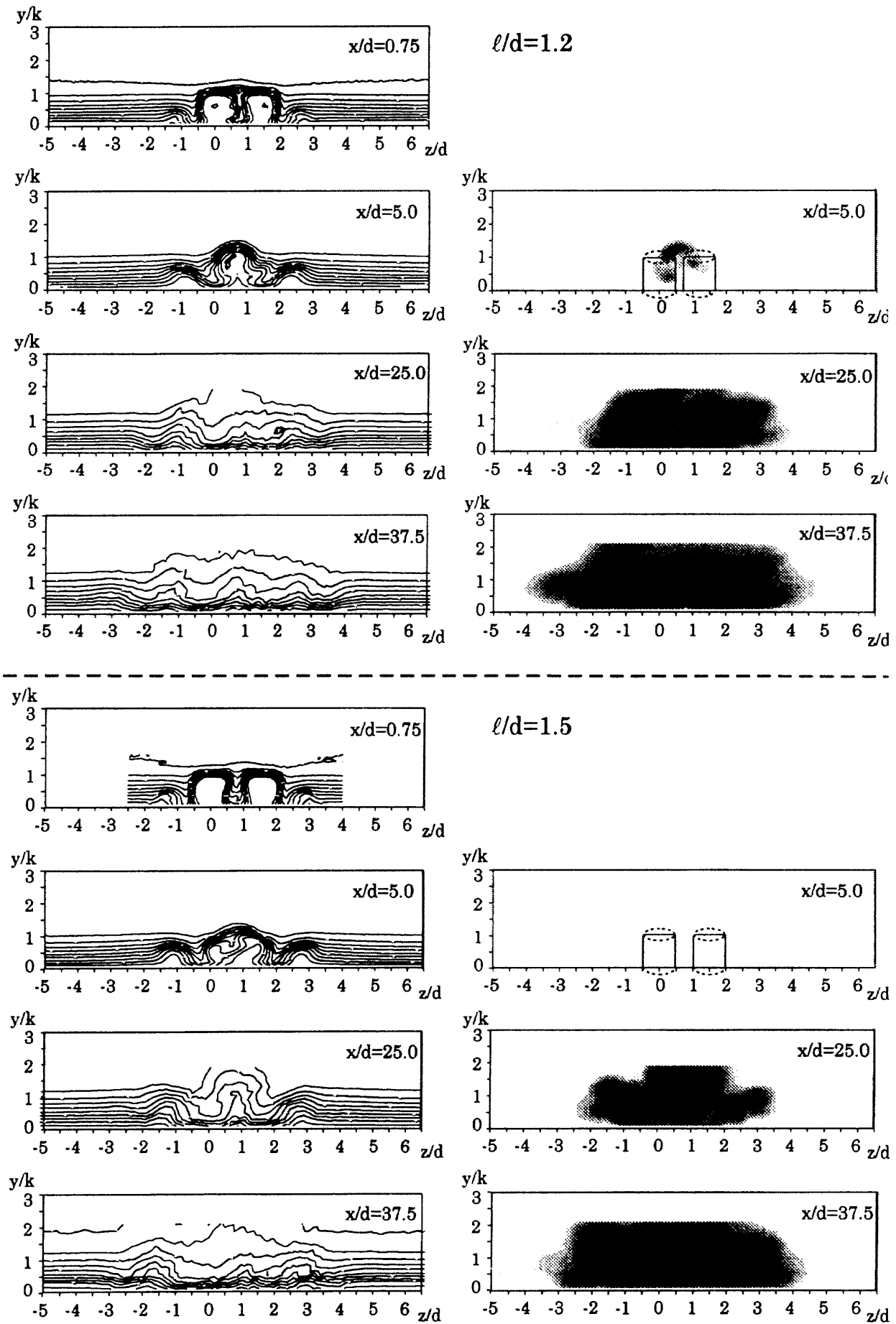


図4 等速度線図（左側）及び等乱れ度分布図（右側）

- (1) 変形楕円柱との比較を行う
 - (2) 一様流中の二次元円柱の結果から、粗度極近傍の様子を調べる
- などを含め、検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 本橋龍郎 “粗度の誘起する不安定性” 航空宇宙技術研究所特別資料SP-21 (1993) 91-92
- 2) 本橋龍郎 他 “孤立粗度の回復領域について (実験)” 第25回乱流シンポジウム講演論文集 (1993) 206-209
- 3) 小林敏雄 “近接する円柱群・正方形柱群に作用する流体力の研究” 日本機械学会論文集 (第2部) 42巻367号 (1976) 1452-1461
- 4) 熊田雅弥 他 “流れに直交する並列3本管まわりの流れの干渉” 日本機械学会論文集 (B編) 50巻455号 (1984-7) 1699-1707
- 5) 岡島厚 他 “高レイノルズ数における並列2円柱まわりの流れ” 日本機械学会論文集 (B編) 52巻480号 (1986-8) 2844-2850
- 6) 岡本史紀 他 “円柱群まわりの流れに及ぼす円柱間隔比の影響 (第1報, 並列1列配置)” 日本機械学会論文集 (B編) 60巻573号 (1994-5) 1568-1574