

徳島大学大学院 学生員 野田 稔

徳島大学工学部 正 員 長尾 文明

徳島大学工学部 正 員 宇都宮英彦

徳島県

河井 進治

1. まえがき 21世紀を間近に控えた現在、風洞実験による検討を必要とするような大規模で複雑な形状を有する構造物が数多く計画ないしは建設されている。地上構造物を対象とした風洞実験では境界層乱流を多く用いているが境界層乱流の特性が構造物の空力特性に対して与える影響は明らかではない。しかし、風洞実験の結果を実構造物に適用する以上、模型の空力特性に影響する諸要因について、それらの影響を明らかにしていかなければならない。そこで、本研究では境界層厚さやべき乗数が模型の空力特性に及ぼす影響に注目し、数種類の境界層乱流を生成して、異なる特性を持つ境界層乱流中で模型の表面圧力分布や作用空気力がどのように変化するかを検討した。

2. 実験概要 実験は徳島大学の大型風洞(1.5m×1.5m×5.0m, 押込式エッフェル型)を使用して行った。使用した模型は正方形断面($h=6.0\text{cm}$)を有しており、構造軸が風軸に直交するように風洞床面に設置した。模型のспан中央部の上下流面及び屋根面に圧力孔(内径1mm)を配置して模型表面圧力を測定し、模型に作用する抗力や揚力は模型表面圧力より算出した。このため、抗力は上流面と下流面に作用する抗力に分離できることから、以後、上下流面に作用する抗力を部分抗力と呼び、上流面および下流面の部分抗力係数をそれぞれ C_{Du} , C_{Dd} と表す。また、これと区別するため、模型全体に作用する空気力を全体抗力と呼ぶことにする。空気力係数を算定する際の基準風速は、べき乗則より求められる模型高さにおける平均風速を用いた。使用した境界層乱流はスパイヤーと粗度マットおよび粗度ブロックを用いて生成し、表1に示す境界層厚さ(δ)およびべき乗数(α)の異なる6種類を用意した。使用した境界層乱流の平均風速および乱れの強さの鉛直分布特性を図1に示す。

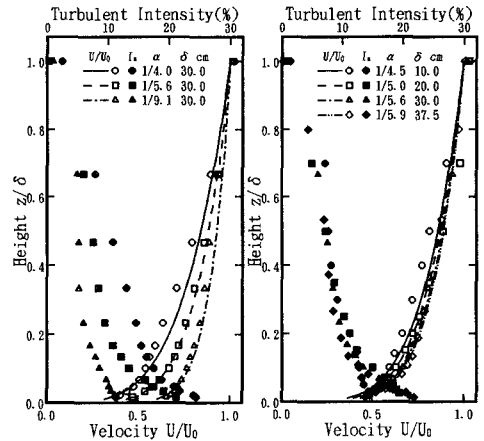


図1 平均風速、乱れの強さの鉛直分布

表1 境界層乱流一覧

Case	1	2	3	4	5	6
α	1/4	1/8	1/5	1/5	1/5	1/5
$\delta(\text{cm})$	30.0	30.0	10.0	20.0	30.0	37.5

3. 実験結果および検討

3.1 表面圧力分布 境界層厚さを一定にして($\alpha=30\text{cm}$)、べき乗数を変化させた場合($\alpha=1/4, 1/5, 1/8$)の表面圧力分布の変化の様子を図2に示す。屋根面の圧力分布形状に注目すると、べき乗数が大きくなるにつれて、下流側の圧力が回復しており、再付着型の形状になっていくことがわかる。また、屋根面および下流面の表面圧力の絶対値は増加しており、ウェイク内圧力が強まっているものと判断できる。次にべき乗数を一定

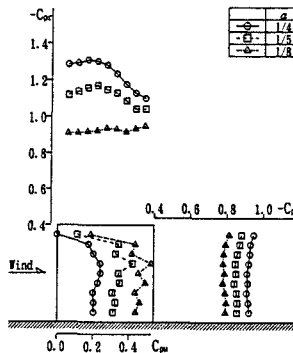


図2 べき乗数の変化による表面圧力分布の変化

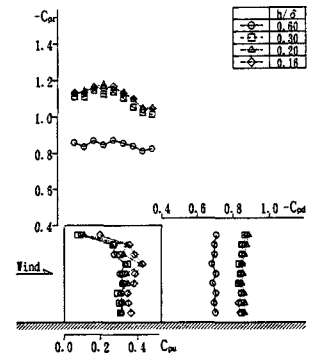


図3 侵入度の変化による表面圧力分布の変化

にして($\alpha=1/5$)、境界層厚さを変化させた場合($\delta=10, 20, 30, 37.5\text{cm}$)の表面圧力分布の変化の様子を図3に示す。ここで、境界層厚さに対する模型高さの比(h/δ)を侵入度と定義すると、侵入度が0.6の場合とそれ以

外の場合で屋根面の分布形状と表面圧力の絶対値が異なっており、侵入度が0.6以外の場合、屋根面の圧力分布形状は再付着型の形状になっている。また、侵入度が小さくなるにつれて屋根面と下流面の表面圧力の絶対値は増加しており、ウェイク内圧力が増加しているものと判断できる。

3.2 空気力係数 べき乗数を変化させた場合

この結果によると全体抗力係数はべき乗数の増加とともに減少傾向を示しているが、ウェイク内圧力に支配される下流面部分抗力係数や揚力係数は大きく増加している。次に、侵入度を変化させた場合の各空気力係数の変化の様子を図5に示す。この結果から、侵入度の増加とともに全体抗力係数、揚力係数および下流面部分抗力係数は減少傾向を示している。図6(a),(b)に示すように、べき乗数を変化させた場合と侵入度を変化させた場合の揚力係数および下流面部分抗力係数の変化は、乱れの強さが大きくなっているにも関わらず増加しており、一様乱流中の場合と反対の結果となっている。このことから境界層乱流中では乱れによる影響よりも平均風速鉛直プロファイルの影響の方が大きいものと考えられる。そこで、次式で表される模型高さにおける無次元速度勾配 γ と揚力係数、下流面部分抗力係数との関係を図7(a),(b)に示す。

$\gamma = (d\bar{U}_z/dz)_{(h/\delta)} \quad \bar{U}_z = U_z/U_G, \quad z = z/\delta \quad (1)$

この結果から、両者の間により線形関係がみられ、ウェイク内圧力に支配される空気力係数は平均風速鉛直プロファイルの特性に大きく支配されていると考えることができる。また、この結果からある既知の特性を持った境界層乱流中で空気力係数を求めることで任意の特性を持った乱流境界層中における空気力係数を予測することも可能であると考えられる。

$$\gamma = (d\bar{U}_z/dz)_{(h/\delta)} \quad \bar{U}_z = U_z/U_G, \quad z = z/\delta \quad (1)$$

この結果から、両者の間により線形関係がみられ、ウェイク内圧力に支配される空気力係数は平均風速鉛直プロファイルの特性に大きく支配されていると考えることができる。また、この結果からある既知の特性を持った境界層乱流中で空気力係数を求めることで任意の特性を持った乱流境界層中における空気力係数を予測することも可能であると考えられる。

4. あとがき

本研究の結果、境界層乱流の特性のひとつである平均風速鉛直プロファイルの影響が乱れの影響に比べて大きいことが明らかとなった。しかし、実際の風洞実験では3次元模型が多く用いられることから、今回の結果だけでは完全であるとは言えない。今後、模型側面の剝離のみを対象とした実験や3次元模型による実験も行った上で、結論付ける必要があると考えられる。

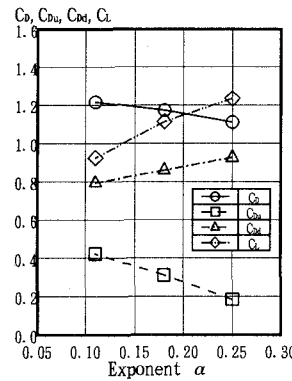


図4 べき乗数と空気力係数の関係

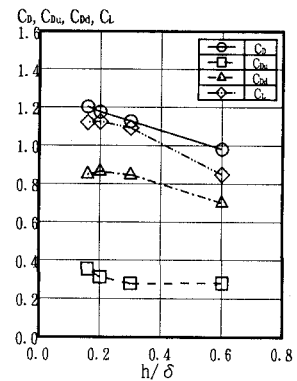
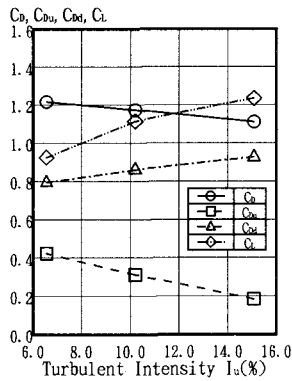
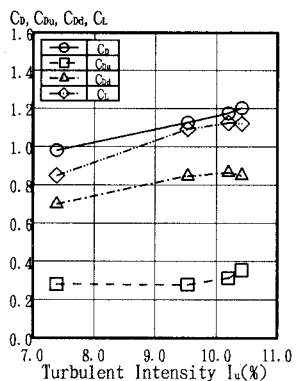


図5 侵入度と空気力係数の関係

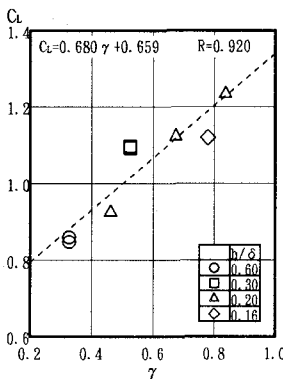


(a) べき乗数が増えた場合

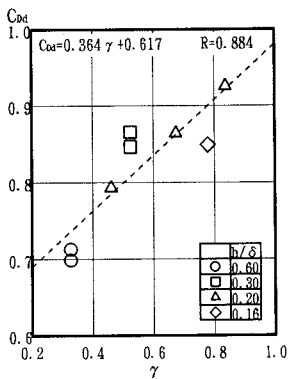


(b) 侵入度が増えた場合

図6 模型高さにおける乱れの強さと空気力係数の関係



(a) 揚力係数



(b) 下流面部分抗力係数

図7 無次元速度勾配と空気力係数の関係