

境界層乱流による自然風のシミュレーション

九州工業大学・工学部 学生員○本村超多郎

〃 正 員 久保喜延

〃 学生員 木谷博文

〃 正 員 加藤九州男

1. まえがき

構造物の耐風安定性に関する風洞実験では、一様流によるものが主であったが、乱流としての性質を持つ自然風中にある構造物の応答特性を知るには乱流中での実験が必要である。風洞内で乱流を発生させる方法としては、大きく分けて乱流格子を用いて一様乱流を発生させるものと、風洞床面に粗度を設けて境界層乱流を発生させるものがある。前者は、比較的短い風路を用いて行えるが、一様乱流であるために自然風が有している境界層乱流としての特性を全て有することはできない。それに比べて後者は、長い風路が必要となるが、自然風の特性をそのままシミュレートできる方法と言える。本研究では、風洞床面に設けた粗度の長さが境界層乱流の発生にどのように寄与するかを見、実構造物の乱流中での応答特性の検討を風洞実験で行なう場合の基礎資料を得ることを目的としている。

2. 実験装置と実験方法

使用した風洞は、九州工業大学工学部開発土木工学科所属の境界層型波浪風洞で、測定部は高さ1.8m、幅2.4m、長さ22mである。実験方法は、粗度を設ける方法として風洞の上流に10cm x 4.5cm x 4.5cmのブロックを風路長1mにつき115個、千鳥型に並べ、風速、測定場所及び粗度の長さの3点を変えた実験を行なった。

測定には、熱線流速計およびX型プローブを使い、測定位置の移動には断面横方向に200cm、鉛直方向に145cm可動のトラバース装置を使い、鉛直方向に2.5cmおきに移動させ、各測定点に付き5000点のデータを取り込み間隔1msでマイコンに取り込んだ。また、熱線流速計の信号は従来リニアライザーで直線化し、加減算器を通して風速のu, v成分に変換していたが、今回はこの方法を使わず、熱線流速計のキャリブレーション用データをマイコンに取り込んでスプライン関数で近似して時々刻々のデータを風速に変換する方法を取った。これによって、風速の測定精度を上げることができた。

なお、本研究で対象とした境界層乱流の特性を示すパラメータとしては、境界層内における風速の主流方向成分の鉛直分布および乱れの強さ、乱流のスケールである。鉛直分布を示すべき乗則および乱れの強さはそれぞれ次式で表される。

$$\frac{V}{V_0} = \left[\frac{Z}{Z_0} \right]^\alpha, \quad I_u = \frac{\sqrt{U'^2}}{U} \times 100 \quad (\%)$$

但し、V：高度Zの風速、V₀：基準高度Z₀の基準風速、

α：べき指数、I_u：乱れの強さ、 $\sqrt{U'^2}$ ：風速変動のR.M.S.

U：平均風速

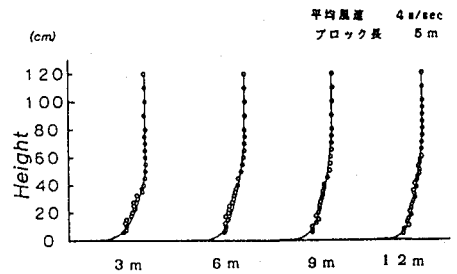


図1 平均風速の鉛直分布

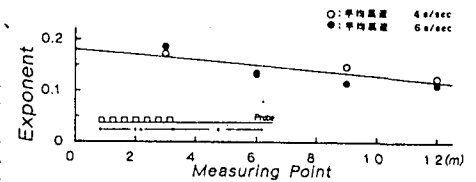


図2 測定位置-べき指数 α

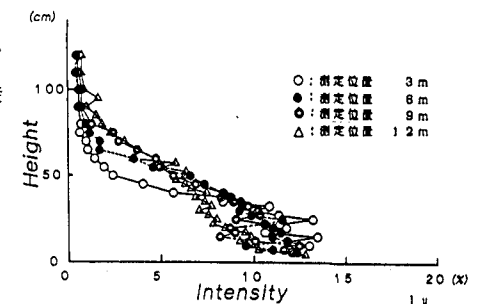


図3 乱れの強さ I_u

3. 実験結果及び考察

図1はブロック長5mで、風速4m/secにおいて測定場所を変えた場合の平均風速の鉛直分布を示している。ブロックに近い部分は、べき乗則にあまり合わず、ブロックから遠い部分ではべき乗則に合っており、境界層の発達過程を知ることができる。図2はブロック下流端からの距離とべき乗則におけるべき指数 α との関係を示している。下流側の測点ほど α は減少しており、境界層の発達による α の変化がわかる。図3は、乱れの強さ Iu を示したものであるが、どの測定場所も Iu の最大値は12~14%であり、変動の大きさは変わらない。その分布を見てみると、ブロック下流端から9mまでの Iu は高さ30cm以下ではほぼ等しくなっている。図4は、層流域を除いて直線で近似できる部分を一回帰に当てはめて求めた直線の勾配の測定場所に対する図である。これによると、 Iu の勾配は測定位置が下流側になるほど直線的に大きくなっている。このとき、床面近傍での Iu の値にはほとんど差がないことを考慮すると、境界層厚さも距離とともにほぼ直線的に大きくなっていることになる。

図5は測定場所をブロック下流端より12m、ブロック長5mに固定し、平均風速を変えた場合の平均風速に対するべき指数 α を示したものである。風速の増加に伴い、 α が直線的に増加すると思われる。先に述べた境界層の発達とべき指数 α の関係から境界層は低風速の方がより発達すると考えられる。図6は平均風速に対する乱れ強さの勾配を示したものであるが、その勾配は平均風速の変化に対してあまり変化していない。

図7は、風速4m/secにおいて粗度を形成するブロック上流端から17mの位置に測定場所を固定し、ブロック長を変えた場合のブロック長に対するべき指数 α を示したものである。これによれば、ブロック長に関係なく α はほぼ一定となっているから、粗度の長さによる境界層の発達程度に差がないといえる。図8はブロック長に対する乱れ強さ Iu の勾配を示している。ブロック長に対して勾配はあまり変化していないが、床面近傍の Iu はブロック長とともに大きくなっており、 Iu の鉛直分布形は相似であると言える。

4. まとめ

以上をまとめると、以下ようになる。

- ①平均風速の鉛直分布——べき乗則におけるべき指数 α は、境界層の発達に伴い減少し、平均風速の増加に伴い、直線的に増加する。しかし、ブロック長の変化に関係なく α はほぼ一定である。
- ②乱れ強さ——乱れ強さの勾配は、境界層の発達に伴い、直線的に大きくなっている。また、この勾配は平均風速に関係なく一定であり、ブロック長を変えても変化していない。

参考文献 1)岡内他：耐風構造，1977，丸善。 2)前田潤滋：等方性モデルによる強風時平均流方向変動風速の空間構造に関する研究，学位論文，1981年。

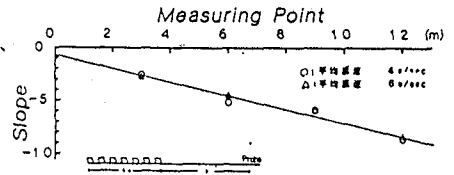


図4 測定位置—乱れの強さの勾配

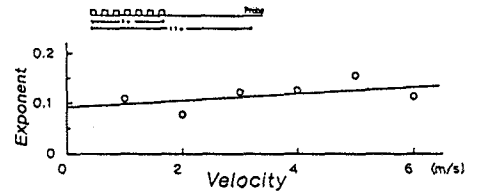


図5 平均風速—べき指数 α

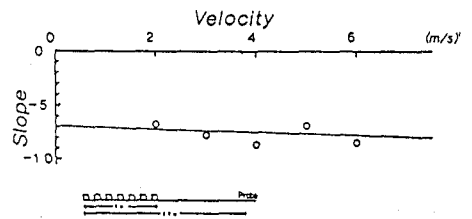


図6 平均風速—乱れの強さの勾配

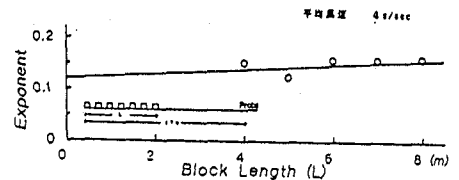


図7 ブロック長—べき指数 α

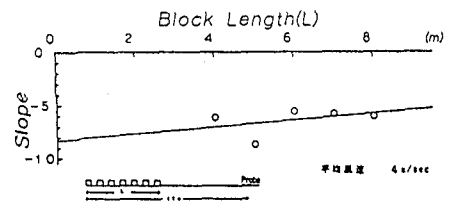


図8 ブロック長—乱れの強さの勾配