

乱流境界層中における閉塞効果について

徳島大学工学部 正会員 宇都宮英彦
徳島大学工学部 正会員 長尾 文明

徳島大学大学院 学生会員 ○野田 稔
積水ハウス株式会社 中西 修一

1. はじめに 近年の構造物の大型化、複雑化は構造物周辺の風環境の変化や構造物自体に作用する風荷重などの予測を難しくしており、現在のところ風洞実験によってこれらの予測を行うことが主流となっている。風洞実験では、流れの再現性が最も重要なことであるが、風洞実験のように壁に囲まれた閉断面中では、模型周辺の流れが壁によって拘束されるために生じる影響、いわゆる閉塞効果が発生する。従来の閉塞効果に関する研究は一様流中の2次元模型に対する閉塞効果の研究が多く、乱流境界層中の3次元模型に対する閉塞効果の研究例は、数少ない。乱流境界層に対する閉塞効果の研究については、村上¹⁾は限界値として1~2%、Hunt²⁾はすんぐりした模型であれば10%程度までとしているように、定説が確立されていないのが現状である。そこで、今回、風洞中に大気乱流境界層を模擬し、数種類の大きさの立方体を設置して、立方体に作用する空気力特性を実験的に調査し、閉塞効果についての考察を行った。

2. 風洞実験概要 実験には、徳島大学の押し込み式エッフェル型風洞(1.5m×1.5m×5.0m)を使用した。実験に使用した乱流境界層は、Irwinの方法³⁾で設計した三角形スパイヤーとマットを用い、市街地風を想定したべき乗数1/5を目標として、境界層厚 δ の違う3種類($\delta=15, 30, 60$ cm)のものを用意した。図1に乱流境界層の平均風速と乱れの強さの鉛直分布特性を示す。模型は、立方体で背面に図2に示すような3つの圧力孔($\phi 1.0$ mm)を配置し、表1に示すような組み合わせで模型を作成した。境界層外風速は、根本の1/3乗則⁴⁾を用いて各境界層で相似性を保つようにした。

3. 結果および考察 紙面の都合上、ここでは圧力孔②についてのみ報告する。乱流境界層高さ(δ)に対する模型の高さ(h)の比と定義した侵入度 h/δ と背圧係数 C_{pb} の関係を図3に閉塞率(風洞断面積 A_w に対する模型投影面積 A の比 A/A_w)と背圧係数 C_{pb} との関係を図4に示す。背圧係数は、図3の(a)は境界層外の風速で背圧を基準化しており、(b)は圧力孔の高さの平均風速で基準化している。この2つの図を比較すると(a)に対して(b)では、境界層ごとではほぼ一定の背圧係数となっており侵入度の影響がほぼ取り除かれていると考えられる。図4は上記の(b)に示した方法で背圧係数を求めている。この結果では、各境界層において背圧係数の相違がみられるが、これはそれぞれの境界層が完全な相似気流となっていない

Casc	δ (cm)	h (cm)	A/A_w
A	15	3.0	0.039
	30	6.0	0.157
	60	12.0	0.627
B	15	4.5	0.088
	30	9.0	0.353
	60	18.0	1.411
C	15	6.0	0.157
	30	12.0	0.627
	60	24.0	2.508
D	15	7.5	0.245
	30	15.0	0.980
	60	30.0	3.919
E	15	9.0	0.353
	30	18.0	1.411
	60	36.0	5.643
F	15	10.5	0.480
	30	21.0	1.920
	60	42.0	7.681
G	15	12.0	0.627
	30	24.0	2.508
	60	48.0	10.032

表1 模型寸法および閉塞率

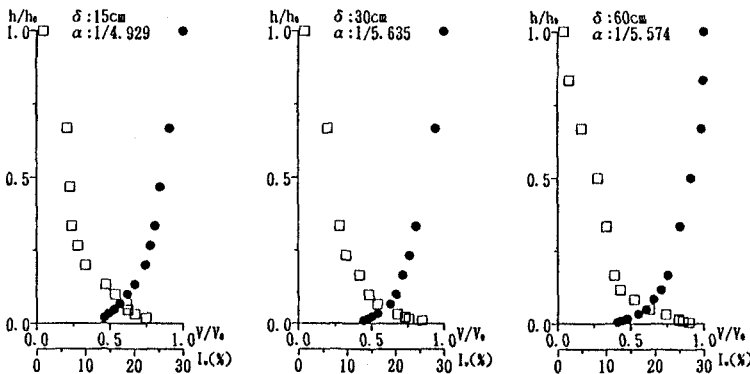


図1 平均風速および乱れの強さの鉛直分布特性(●:平均風速 □:乱れの強さ)

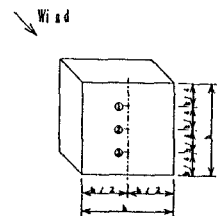
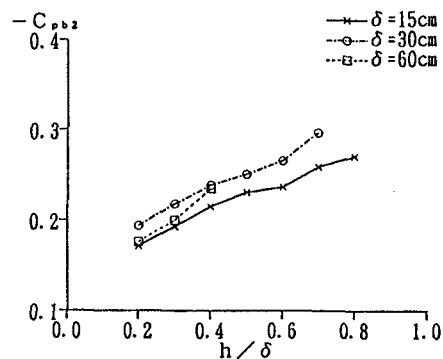
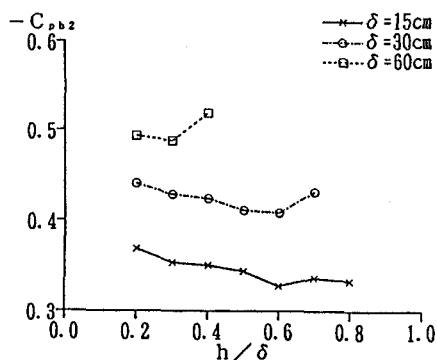


図2 圧力孔配置図

めと推測できる。従って、各境界層における背圧係数の変化から閉塞効果の影響を判断することは可能であると考えられる。各境界層における背圧係数の変化に注目すると、閉塞率1%あたりで背圧係数が増加する傾向に転じていることがわかる。このことから閉塞率1%付近から閉塞効果が発生していると判断することができる。次に、一様流中の立方体模型に関する閉塞率と背圧係数の関係を図5に示す。この結果によると常に背圧係数は増加の傾向を示しており、どの程度の閉塞率から閉塞効果が生じているのか判断できない。閉塞率が小さいにもかかわらず背圧係数が増加の傾向を示していることは、風洞床面に存在する境界層の影響を受けて背圧係数が小さくなっていることも一因と判断でき、基準化の方法を見直す必要がある。



(a) 境界層外風速による基準化



(b) 圧力孔の高さの平均風速による基準化

図3 侵入度の背圧係数に対する影響

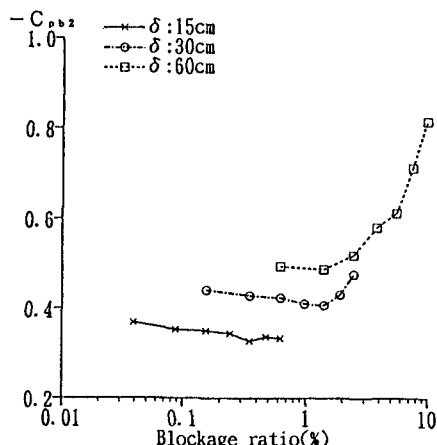


図4 乱流境界層中における閉塞率の背圧係数に対する影響

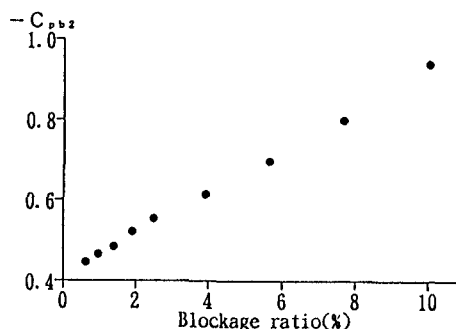


図5 一様流中における閉塞率の背圧係数に対する影響

4. あとがき 以上の実験結果は立方体を例にとった事例報告に過ぎない。しかし、今回の結果では、かなり小さい閉塞率でも閉塞効果が発生していると考えられ、模型表面圧力の変化や模型周辺の流れの場の変化などを詳細に調査し、閉塞効果の影響やその補正方法について検討する必要がある。

<参考文献>

- 1) 勝田、村上、上原：建物周辺気流に関する風洞実験の測定器、模型寸法、及び再現性について、日本建築学会論文報告集 第232号 昭和50年6月。
- 2) Hunt, A. : Wind-tunnel measurements of surface pressures on cubic building models at several scales, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.10.
- 3) H.P.A.H Irwin : Design and Use of spires for Natural Wind Simulation, Laboratory Technical Report LTR-LA-233, National Research Council Canada.
- 4) 根本：自然風を対象とした風洞実験の相似則，日本宇宙学会誌，vol.11.No.46,1963.