

風洞の閉塞効果に関する基礎的研究

九州工業大学 学生員 小口忠史

〃 正員 久保喜延

〃 学生員 森川謙一

1. まえがき 構造物の耐風特性を把握しようとする場合、現象の複雑さもあって理論的解析が困難であるために、風洞実験に頼っているのが現状である。その場合、検出される量の精度を上げようすると、模型断面を大きくする必要がある。しかしながら、模型断面を大きくすることは、それだけ風洞の測定断面横に対する比を大きくすることになり、物体周囲流れは無限境界中のものとは異なったものとなる。その結果当然のことながら検出される量も真のものとは異なったものとなる。すなわち模型による閉塞効果の問題が生じる。これに対して、本州四国連絡橋耐風設計指針案では、閉塞率は5%以内にするよう規定している。この数値を守りかつ精度を上げるためには、かなり大きな測定断面を有する風洞を作るか、あるいは測定された量の修正を行なう修正式が必要となる。修正式についてはかなり古くから多くの研究者によって提案されている。その中でも運動量保存の関係より導出されている Maskell の式がよく用いられているが、Modi が指摘しているように閉塞率が大きい場合には充分ではない。特に非流線形物体(Bluff Body)の風洞実験を行なう場合、模型の剛性を上げるためにも模型を大きくする必要がある。そこで小さい風洞でも大きな模型を使用して充分な精度を得る手法を案出しなければならない。すなわち閉塞効果の出ない風洞の製作である。その方法として、Parkinson が提案しているスロット壁(Slotted Wall)方式で、どの程度閉塞効果の改善が可能であるかを、種々のスロット壁について、流れに垂直に置いた平板に作用する抗力を比較することによって検討したので、報告する。

2. 実験方法 実験は、九州工業大学開発土木工学科付属の正方形測定断面 $1070 \times 1070 \times 8200(\text{mm})$ を有する吹き出し型風洞で行なわれた。模型は Fig. 1 に示すもので、厚さ 12mm のベニヤ板製で下流側角を鋭く落としている。長さ $L=1000\text{mm}$ で幅 b を $50, 100, 150, 200\text{mm}$ と変化した4個の模型を使用した。実験はまず上下面の風洞壁を持った場合、すなわち通常の風洞の場合の閉塞効果を検討するための実験を行なった。なお流れの2次元性を保持するための端板はそれに作用する抗力を平板に作用する抗力と分離するために、 $700\text{mm} \times 500\text{mm}$ の端板を風洞壁に取り付け、端板と風洞壁との間に存在する空気力検出用のピックアップには、風が直接触れないように流線形のカバーを設けた。(Fig. 2) さらに、閉塞効果を考慮する必要の無い風洞とするために、Fig. 3 に示すように上下面のスロット壁を有する風洞とした実験を行なった。この場合、壁面の充塞率 A/S (S :スロット壁の長さ, A :総スロット間隙長)と、模型からスロット壁上流端までの長さ S_1 、模型の大きさ b を変化させることにより、最適な $S_1, A/S$ を実験的に求めることにした。この場合の平板近傍の圧力場を測定するために、圧力孔を設けた平板を流れに平行に置き各点の平均圧力を求め、圧力係数の分布を測定した。しかしながら圧力用板の背後には測定用ビニールチューブが露出しているため、この側の流体は乱され、抗力を大きくする働きをするため、抗力測定時には圧力用板は取り除いた。

3. 実験結果と考察 Fig. 4.5 は、風洞の閉塞率を変化させた時の抗力係数を示したものである。閉塞率が10%

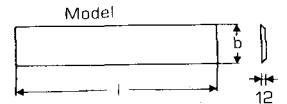


Fig. 1 抗力測定用平板模型

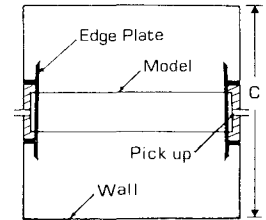


Fig. 2 模型の設置状況

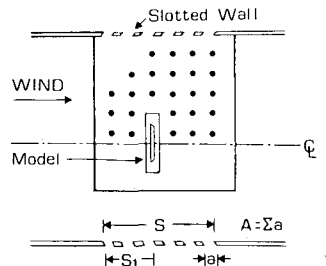


Fig. 3 スロット壁と圧力測定板

付近までは、抗力係数がほぼ一定の値2.3となっているが、閉塞率が10%を超えると閉塞率の増加に伴い、抗力係数が増加し、閉塞率が抗力係数にかなり影響を与えるものと考えられる。閉塞率が10%以下の領域での抗力係数の値2.3は、M Modi の理論値2.13 や通常の平板抗力係数2に比較すると、少し大きい値となっている。この原因については、測定洞内の境界層の発達に伴う圧力勾配の発生、模型のアスペクト比による影響等が考えられ、これらは閉塞率10%を超える領域についても影響を与えていると思われる。

Fig. 6 は、圧力測定板を用いて模型下流10cm、上方45cmの点における圧力係数と閉塞率との関係を示したものである。閉塞率の増加に伴い、圧力係数の値は減少する傾向が見られ、測定点圧力の減少・流速の増加が生じていると考えられる。他の圧力測定点での測定結果もほぼ同様な傾向が見られ、閉塞率の影響は抗力のみならず、かなり広い領域にわたり流れの場にも影響を与えている。このような閉塞効果の影響を改善するために、風洞の上下面にスロット壁を用いた実験を行なった。Fig. 6には壁面充実率(A/S)を変化させた時の圧力係数の変化を示している。これによるとスロット壁の採用により圧力係数への閉塞率の影響はかなり小さくなる。A/S=50%と33%では、特に大きな違いは見られなかった。抗力係数も圧力係数とほぼ同様な傾向が表われており、スロット壁が閉塞効果に対してかなり有効な手法であることがわかる。この場合同じ壁面充実率でもA、S、 S_1 により状況はかなり異なるものと思われる。

Fig. 7には、A/S=50%、 $Q=5\text{cm}$ のスロット壁を用いて、 S_1 を-20から50まで変化させた時の抗力係数の変化を示している。抗力係数は、 S_1 を小さくしてスロット壁の上流端を上流側に移動するとやや小さくなる傾向が見られるが、 S_1 がこの範囲では抗力係数に対してはほとんど影響を与えないと考えられる。これは閉塞率を変化させた時にも同様の結果となっており、閉塞効果に対してはスロット壁の上流端を更に上流側に移動しないと効果が発揮しないと考えられる。抗力に関しては、スロット壁による流れのコントロールは模型の上流部で行なうのが下流部で行なうより効果が大きいと思われる。

4. 結論 通常の固定壁を有する風洞については、閉塞率が10%以上になると、抗力・圧力場にかんがりの影響が生じる。この影響を改善するための手法としてのスロット壁の利用は、Bluff-Bodyにおいてもかなりの効果が期待できそうであるが、効果的な位置・長さ、充実率については未だ不明な点が多く、実用には更に実験を行なう必要があると思われる。

5. 謝辞 本実験を遂行するにあたり、御多忙にもかかわらず本実験に関する文献の検索をしていただき、実験についての数多くの貴重な御助言をいただいた、九州大学応用化学研究所助手溝田武人氏に、深く感謝すると共にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

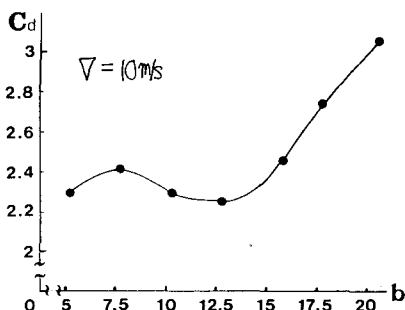


Fig. 4 閉そく率-抗力係数

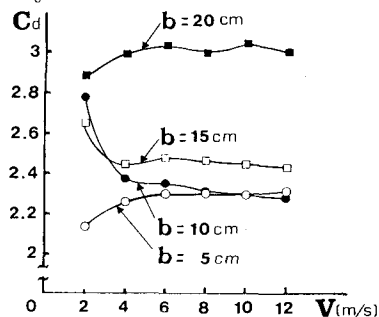


Fig. 5 風速-抗力係数

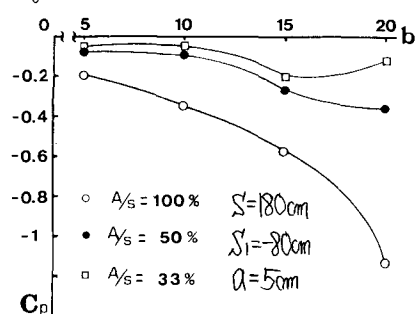


Fig. 6 閉そく率-圧力係数

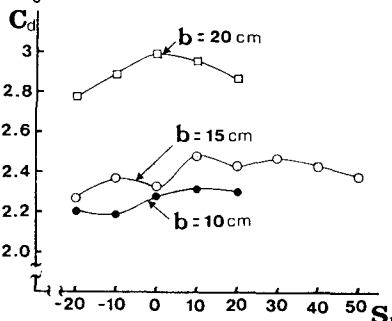


Fig. 7 スロット壁の上流端位置-抗力係数