

数値風洞による構造基本断面の空力特性の検討

九州工業大学 工学部 学生員 落田健太郎
九州工業大学 工学部 正 員 久保 喜延
九州工業大学 工学部 学生員 佐々木 誠

1. はじめに 現在、橋梁の耐風設計を行うにあたってその空力特性の検討は、縮尺模型を用いた2次元あるいは3次元の風洞実験に頼っている。その際、相似則の一致をもって模型実験と原型を関連づけている。しかし、相似則の中でもレイノルズ数(Re数)の一致は、空気の粘性が一定であることから最も困難な条件とされている。また、断面形状によってはRe数の違いにより空力特性が異なることが観測されており(文献1)、Re数の取り扱いが模型実験を行う際に注意すべき点であると思われる。そこで、構造基本断面の空力特性の検討をRe数の違いに着目して行った風洞実験と比較する目的で、より理想的な条件で系統的な検討ができる数値計算による実験を行った。一般的に剥離点が明確な構造基本断面はRe数の影響を受けにくいとされているが、将来複雑な形状の断面を検討するにあたっての予備実験という位置付けで本計算を行う。そして空力特性を評価する上で様々なパラメータがあるが、ここではおもにRe数とストローハル数(Si数)との関係について検討を進めていく。

2. 計算方法 計算手法は古くから広く利用されているSOLAアルゴリズムに基づいて行う。この手法は、流速と圧力を異なる点に配置するスタッガードメッシュ系を採用し、基礎式であるNavier-Stokes方程式の時間積分をEulerの1次陽的解法、空間差分を対流項に中心差分と1次風上差分の中間的な存在のもの、他の項を中心差分で離散化している。圧力の計算は、Poisson方程式を解くかわりに、発散より得られる誤差を圧力の補正值として用い、その圧力の変化によって生じる流速の変化を連続の式を満足するように反復計算をして決定していくものである。境界条件は物体表面に滑りなしの条件、流入境界は一樣流を与え、上下境界は滑り壁の条件、流出境界は自由流出とした。計算の対象となる構造基本断面は断面比 $B/D=1, 2, 4$ の矩形柱で、それぞれの断面比でRe数をいくつか変えて計算を行った。格子間隔は代表高さ D の $1/10$ である。格子は等間隔のものと不等間隔のものをを用いた。その際、物体近傍の格子間隔と基礎式の離散化は等間隔格子の場合と同じであるが、格子間隔が変化するところでは流速について補間を行った。

3. 計算結果

(1) $B/D=1$ の場合 図2(a)に $Re=100$ で、等間隔格子による計算の揚力変動を示す。これを見ると、無次元時間 $T=80$ 付近から定常な振動になっているのがわかる。この定常振動の卓越周波数からSi数を求めると $Si=0.18$ であった。図2(c)は、Re数とSi数の関係を実験値と比較したものである。低いRe数での実験値はないが、文献2)による $Si=0.14$ より大きな値となっている。また、不等間隔格子による計算では $Si=0.14$ で実験値とよく一致している。さらに、 $Re=500$ で、等間隔格子による計算では $Si=0.16$ を得た。流れの様子は、初め物体後流に双子渦を形成し、次第に崩れて周期的にカルマン渦を形成していた。また、前縁での剥離渦は物体に再付着することなく進んでいた。図2(b)に $T=144.7$ の時の流線図を示す。

(2) $B/D=2$ の場合 図3(a)に $Re=100$ で、等間隔格子による計算の揚力変動を示す。 $Si=0.16$ で、図3(c)の実験値と比較すると高い周波数成分のSi数に近い値となっている。ただし、この計算結果からは低い周波数成分は確認できなかった。図3(b)の流線図より物体の表面に付着した渦があることがわかる。この渦は時間経過とともに表面上を流れて後縁から剥がれていった。

(3) $B/D=4$ の場合 図4(a)に $Re=500$ で、不等間隔格子による計算の揚力変動を示す。 $T=200$ まで二つの振動数成分を持った流れのように見えたが、計算を続けていくと低い方の周波数成分が消えた。このとき、 $Si=0.14$ で図4(c)の実験値とよく一致している。図4(b)の流線図をみると、不等間隔格子を用いたことによる精度の悪化で、物体表面上に目立った付着渦が見られない。

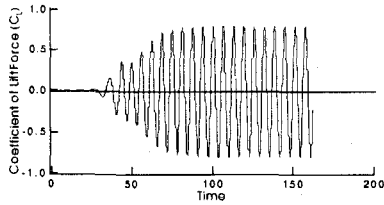


図 2 (a) $B/D=1$ 、 $Re=100$ の揚力係数の時間変化

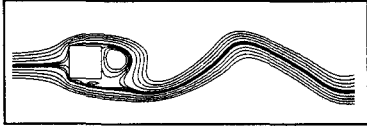


図 2 (b) $B/D=1$ 、 $Re=100$ 、 $T=144.7$ の流線図

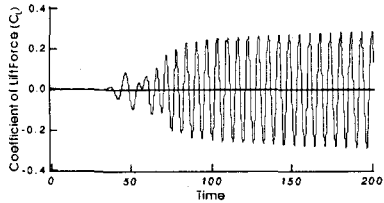


図 3 (a) $B/D=2$ 、 $Re=100$ の揚力係数の時間変化

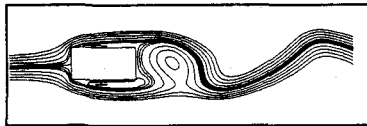


図 3 (b) $B/D=2$ 、 $Re=100$ 、 $T=194.7$ の流線図

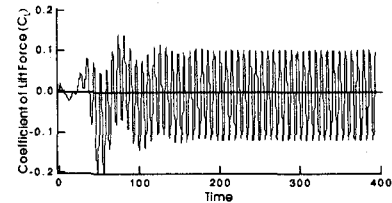


図 4 (a) $B/D=4$ 、 $Re=500$ の揚力係数の時間変化

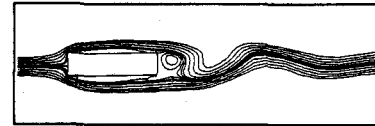


図 4 (b) $B/D=4$ 、 $Re=500$ 、 $T=312.1$ の流線図

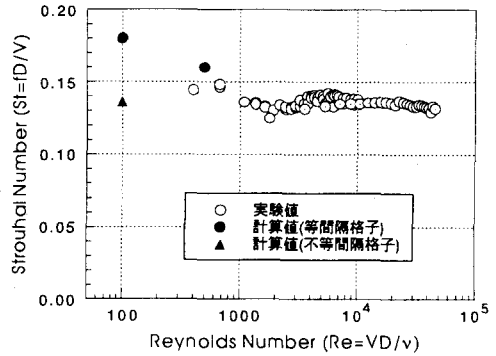


図 2 (c) $B/D=1$ のレイノルズ数とストローハル数の関係

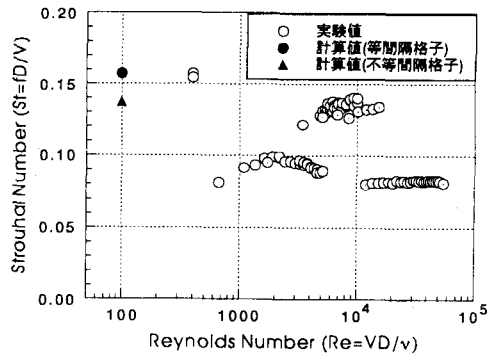


図 3 (c) $B/D=2$ のレイノルズ数とストローハル数の関係

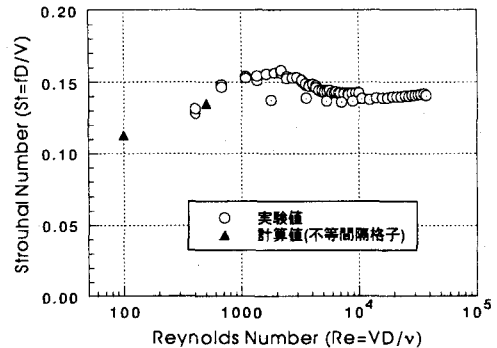


図 4 (c) $B/D=4$ のレイノルズ数とストローハル数の関係

4. おわりに 今回は、比較的短時間で簡単に物体周りの流れの様子を観察できるSOLA法による計算実験を行った。以下まとめると、(1)SOLAアルゴリズムによって計算された構造基本断面柱のSt数は、低いRe数域では実験値とよい一致を見た。(2)不等間隔格子を用いた計算では、計算精度の悪化があるにもかかわらずSt数が実験値と一致している。この点に関して、定量的な評価をするために、もっと精度を上げた計算を行い検討を進めて行くつもりである。

参考文献

- 1)久保,野上,落田:PC斜張橋断面の空力応答特性に与えるレイノルズ数の影響:日本風工学会誌(No.47)
- 2)岡島,六郷,上野:差分法による角柱まわりの層流流れの数値計算プログラム:金沢大学工学部紀要(1987)
- 3)周,久保,落田,前田:矩形断面柱の空力特性とレイノルズ数との関係について:土木学会西部支部研究発表会講演概要集(1993)