

角柱に作用する空気力のスパン方向変化について

呉工業高等専門学校 正会員 河村進一

1. はじめに

長大橋等の耐風性を評価する場合には、縮尺模型を用いた風洞実験が主として用いられてきているが、数値流体力学(CFD)の耐風工学への適用についても、精力的な研究が行われた結果、数値解析技術が普及し、風洞実験のシミュレートも可能になりつつある。CFDによる数値シミュレーションでは、物理諸量の分布や変動を数値として把握できることや、実験では再現が困難なパラメータの設定も可能であることから、風洞実験を補完し、構造物の耐風性の評価や空力現象のメカニズム解明のために活用できるツールであると考えられる。しかしながら、現段階では実務に適用できるまで細かい検討がなされていないのが現状である。そこで本研究では、角柱静止時の側面近傍の流れの三次元性について風洞実験結果と数値流体解析結果の両面から検討した。

2. 風洞実験および数値流体解析法

図1に示すような辺長 $B=100\text{mm}$ 、長さ $L=782\text{mm}$ の正方形角柱を供試模型として用い、角柱側表面から高さ $Y=3.5\text{mm}$ に、スパン方向に 20mm 間隔でタフトを配置して、風速 $V=1.3\sim 10\text{m/s}$ ($Re=8.5\times 10^3\sim 6.8\times 10^4$) の一様流中にてタフト法による流れの可視化を行った¹⁾。

数値流体解析では境界適合格子上で Navier-Stokes 方程式を差分法で離散化した。解析領域を半径 $30B$ の円形として、角柱をその中心に配置した。角柱の空力特性を数値解析でシミュレートする場合に、角柱の近傍での流れの変動を捉えることが重要であり、遠方の流れに対する数値解の精度は重要ではないと考えられる。そこで、角柱近傍には格子を密に、遠方では粗くなるようにし、角柱断面の周方向 129 点、径方向 65 点に分割した O 型格子を使用した。物体表面近傍の最小格子間隔は $0.0025B$ とし、角柱前面の境界層内に 3 点以上格子点が入るようにしている。

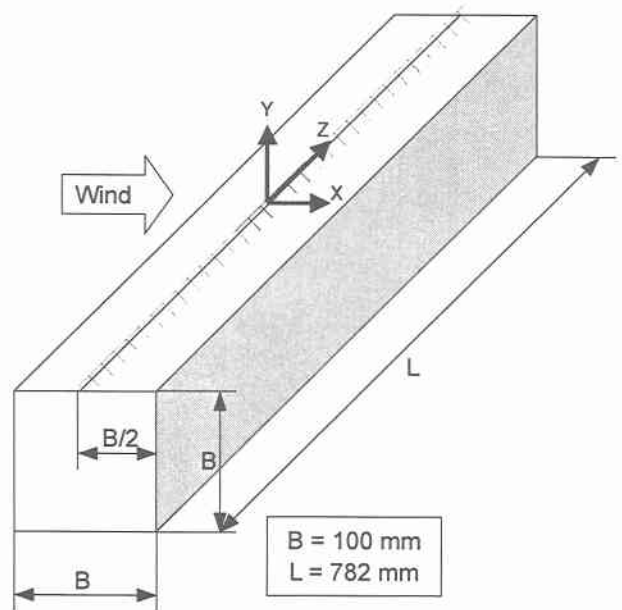


図1 風洞実験用模型

境界条件として、角柱表面に対して滑りなしの条件、表面の圧力に対しては勾配零の条件、遠方境界には一様流である。また、スパン方向 (Z 方向) 分割数 40、間隔 $0.05B$ 、スパン方向長さ $2B$ とし、スパン方向両端の境界には周期境界条件を課すことによって、無限長の二次元角柱であることを表現している。

3. 実験および数値流体解析による流れのスパン方向変化

図2にタフトの撮影方法を、図3に可視化実験結果を示す。この図はタフトの動きをビデオカメラで撮影し、8秒間の画像を重ね合わせたものである。図の上側が風上であり、左端のタフトが模型中央 ($Z/B=0$)、右端のタフトが端板付近 ($Z/B=3$) となっている。ある瞬間におけるタフトの向きはその位置における流速ベクトルの向きと一致すると考えられるので、この図におけるタフトの振れ幅の大きさは、流速のスパン方向成分の変化量であり、三次元性の強さの指標となると考えられる。

風速 $V\leq 2.5\text{m/s}$ では、タフトは風下側に向いたままでほとんど動かないが、風速が高くなるにつれてタフトの振れ幅は大きくなっていく。タフトの動きは流速ベクトルの向きと完全に一致していることが理想

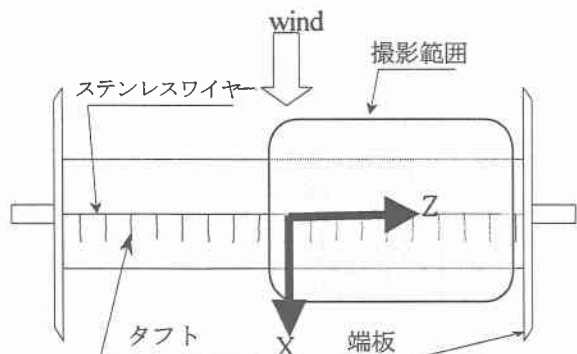


図2 タフトの設置位置と撮影範囲

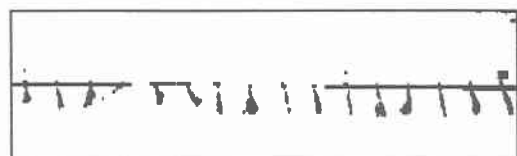
(a) $V=2.5\text{m/s}$ ($Re = 1.7 \times 10^4$)(b) $V=3.8\text{m/s}$ ($Re = 2.6 \times 10^4$)(c) $V=5.0\text{m/s}$ ($Re = 3.4 \times 10^4$)(d) $V=7.5\text{m/s}$ ($Re = 5.1 \times 10^4$)

図3 風速によるタフトの振れの変化

であるが、特に低風速では風速変動によってタフトに作用する力に比べてタフトの慣性力が卓越するため、タフトの向きと流速ベクトルの向きが完全には一致していないと考えられる。しかし、高風速になるほどタフトの振れ幅が増大し、 $V=7.5\text{m/s}$ では角柱周辺の流れ場には明確なスパン方向の変化が見られる。

数値流体解析結果による可視化例を図4、図5に示した。図4はタフト設置高さ ($Z/B=0.035$) 付近の瞬間の流速ベクトルを上側と上流側から見たもので、図5はそのときの瞬間圧力の等値面を示したものである。数値流体解析結果においてもタフト法による可視化実験結果と一致した傾向を持っていると言える。

4. まとめ

タフト法および数値流体解析による流れの可視化結果の両者から、角柱近傍の流れにスパン方向の流速変化があることを示した。本報告で示した結果では Re 数の違いや解析領域の違いがあるため定量的な評価をするには至らないが、今後、実験に近い条件での解析を行い検討を行う予定である。

【参考文献】1) 河村進一, 久保喜延, 山口栄輝: 前縁隅角部に曲率を有する断面の空力特性に関する風洞実験および数値流体解析, 土木学会論文集, No.619/I-47, pp.67-74, 1999.

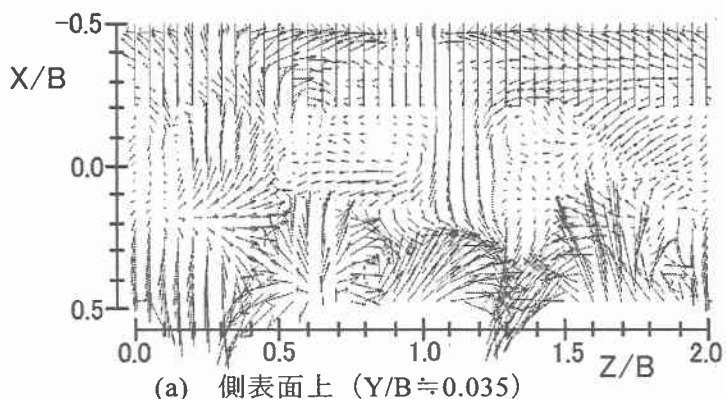
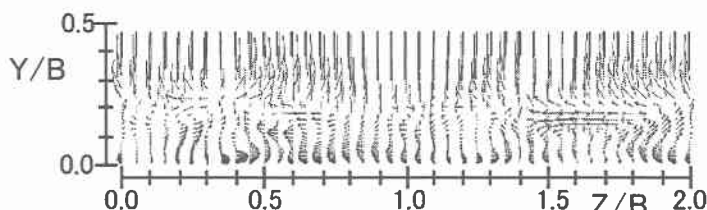
(a) 側表面上 ($Y/B \approx 0.035$)(b) 表面鉛直方向 ($X/B=0$)

図4 瞬間流速ベクトル(数値流体解析結果)

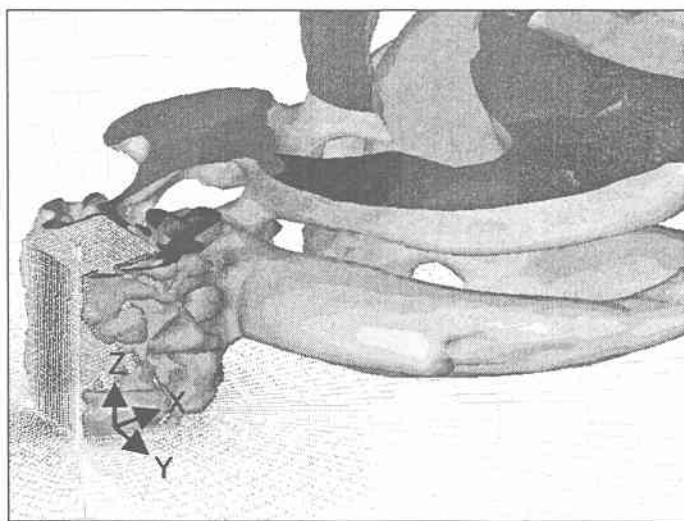


図5 瞬間圧力の等値面