一様な流れの中に置かれたL型断面構造物の流体抵抗

Profile Drag of Structure Elements with L Type Cross Section placed in a Uniform Flow

○正 鈴木良幸(東京高専), 正 円能寺久行(東海大学), 正 飯島敏雄(東海大学)
正 鈴木久夫(木更津高専)

Yoshiyuki Suzuki, Tokyo National College of Technology, 1220-2 Kunugida-machi, Hachioji-shi, Tokyo, 193-0997

Hisayuki Ennoji, Toshio Iijima, Tokai University, Hisao Suzuki, Kisarazu National College of Technology.

Key Words: L type cross-section, Drag and lift coefficients, Body position, Reynolds number

1. はじめに

建物の高層化, 密集化および高低の変化に伴い構造物をめぐる風の流れは予期しがたい複雑な流れを伴う。構造物をめぐる流れは周期的に渦を放出し, 構造物に振動を誘起して不安定な流体力を発生させる。構造物が流れに対して種々の姿勢をとる場合, 姿勢によって構造物に働く流体力が著しく異なるので¹⁾, 工業上姿勢と流体力の評価が重要な課題となっている。

本研究では構造物の部材として広く用いられるL型断面物体をとりあげ, 一様な流れの中に置かれた物体に働く抵抗や揚力に及ぼす姿勢および物体まわり流れのレイノルズ数の影響を実験と数値シミュレーションによって調べた。

2. 抵抗係数と揚力係数

流れの中に置かれた一般構造物の流体抵抗や揚力は構造物まわりの流れのレイノルズ数, 形状, 姿勢, 表面粗さなどによって支配される。一般に流体抵抗 D や揚力 L は, 抵抗係数 C_D および揚力係数 C_L によって評価される。抵抗係数 C_D および揚力係数 C_L は次の式(1), (2)で与えられる。

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 S} \quad (1) \quad C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2 S} \quad (2)$$

ただし, U_∞ : 物体の影響を受けない一様流速[m/s],
 ρ : 流体密度[kg/m³], S : 主流方向被測定物の投影面積[m²]

3. 供試体

供試体は図1に示すように「等辺のL型」: A, 「直角二等辺三角形」: B, 「四分円付きL型」: Cの3種で, 辺の長さはすべて等しい。供試体 A, B, C の主流方向投影面積はいずれの θ においても相等しい。切削加工されたアルミ材供試体の表面粗さは算術平均粗さ R_a で $0.17 \sim 0.2 [\mu\text{m}]$ 程度であるので, 滑らかな物体として扱うことができる。

Fig. 1 Dimensions and geometric configurations of test body A, B, C.

供試体の姿勢は図2に示すように供試体の直角二等分線を基準軸とし, 一様な流れの速度 U_∞ の方向と基準軸とのなす角度 θ で規定されている。

4. 実験装置及び実験方法

図3の実験装置の風洞は $300 [\text{mm}] \times 400 [\text{mm}]$ の吹出し断

Fig. 2 Body position θ and coordinate

面で最大風速 $20 [\text{m/s}]$ の小型のエッフェル型風洞である。風洞からの風速の分布状態や乱れ度は最大風速でそれぞれ 1.4% , 0.018% で流体力測定に影響を及ぼす値ではない。測定スパン $300 [\text{mm}]$ の供試体は透明アクリルの両側板を貫いて抵抗および揚力測定用ひずみゲージ式多分力検出に取付けられている。供試体とアクリル板の隙間は $2.0 [\text{mm}]$ 程度で隙間からの流れの出入りは微小で風速の測定精度への影響はない。 U_∞ の測定には JIS ピトー管 ($6 [\text{mm}]$) を用いた。姿勢 θ は図2のように時計方向を正として扱われ, 揚力は鉛直上向きを正としている。供試体を受ける流体抵抗 D および揚力 L は, 供試体まわり流れの種々のレイノルズ数 Re に対し, 多分力検出器から増幅器を経てペン書き記録計にリアルタイムで示される。これを $\theta = 0^\circ$ から 180° まで 15° 刻みで変化させて測定を行う。

Fig. 3 Experimental Apparatus

5. 実験結果及び考察

5.1 C_D および C_L に及ぼすレイノルズ数 Re の影響

図4に姿勢 $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ をパラメータとして C_D と $Re = U_\infty H / \nu$ (H : 代表寸法(図2), ν : 動粘度) の関係を示す。 C_D はいずれの供試体も Re に対してほぼ一定な値を示し, Re の影響をほとんど受けていないことが分かる。図5は $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ における C_L と Re の関係を示す。 C_L も C_D と同様 Re の影響をほとんど受けない。 C_D および C_L はその他の θ においても本実験における $Re = 1.5 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^4$ の範囲では同様に Re 影響を受けないことが確認された。

5.2 C_D および C_L に及ぼす姿勢 θ の影響

図4において, 供試体の投影面積が最大となる $\theta = 0^\circ$ で

C_D はA, B, Cともに最も高い値を示す。 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 180^\circ$ の姿勢では投影面積は等しいが、 $\theta = 180^\circ$ では物体をめぐる流れによどみが生じないため C_D は姿勢 $\theta = 0^\circ$ より低下する。 投影面積が最小となる $\theta = 90^\circ$ の C_D がA, B, Cともに他の θ に比べ低い。 図5における C_L は投影面積が最小となる $\theta = 90^\circ$ においてA, B, Cともに他の θ に比べ最も高い。 また C_L は供試体の形状による影響よりも姿勢 θ による影響が大きい。 図6, 図7および図8に Re をパラメータに揚抗比 C_L/C_D との関係を示す。 C_L/C_D の実験結果は θ で支配され、ほとんど Re の影響を受けない。

5.3 数値シミュレーション

C_D および C_L は Re にほとんど関与しないことが確認されたことから、 $Re=2.6 \times 10^4$ 一定の下で実験と同様 $\theta=0^\circ$ から 15° 刻みで 180° まで数値シミュレーションを実施した。 シミュレーションにはCFD2000(Adaptive Research社)を用いた。 非圧縮性粘性流体、二次元定常流れの流れ場として、基礎方程式を有限体積法で離散化した。 図6, 図7および図8に C_L/C_D と θ の関係をシミュレーションした結果と実験値の比較を示す。 図に示すように実験値とかなり一致した結果が得られた。 $\theta = 90^\circ$ ですべての供試体で C_D が最小で、 C_L が最大となることから C_L/C_D はピークを示す。 C_L が正の最大値を示した $\theta = 90^\circ$ における供試体まわり速度ベクトルを図9に示す。 供試体A, B, Cとも下部端をめぐる流れは変わらないのに対し、Aの上部端の剥離がB, Cより激しく現れており、 C_L が増大したと考えられる。

Fig.4 Drag coefficient for test body A, B, C.

Fig.5 Lift coefficient for test body A, B, C.

6. まとめ

等辺L型、直角二等辺三角形および四分円付きL型の断面物体の抵抗係数 C_D 、揚力係数 C_L に及ぼす姿勢 θ とレイノルズ数 Re の影響が検討され、次の事柄が明らかとなった。

- (1) C_D および C_L は θ によって支配され、 $Re=1.5 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^4$ の範囲では Re の影響をほとんど受けない。
- (2) C_D の最大値は投影面積が最大となる $\theta = 0^\circ$ で生じ、 C_L の最大値は投影面積が最小の $\theta = 90^\circ$ で生じる。

Fig. 6 The relationship between lift to drag ratio C_L/C_D and body position θ for test body A.

Fig. 7 The relationship between lift to drag ratio C_L/C_D and body position θ for test body B.

Fig.8 The relationship between lift to drag ratio C_L/C_D and body position θ for test body C.

Fig.9 Velocity vectors around test body A, B, C at $\theta = 90^\circ$, $Re=2.6 \times 10^4$

- (3) CFD2000を用いて $Re=2.6 \times 10^4$ における数値シミュレーションを試みた。 C_D , C_L の計算値は供試体Aの $\theta = 90^\circ$ の姿勢を除いて実験値とほぼ一致する結果を得た。

参考文献 1)I.Grant and F. H. Barnes, The Vortex Shedding and associated with Structural Elements, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 115-122, (1981)