

矩形断面の静的空力特性に与えるカルマン渦の影響について

京都大学大学院 学生会員 ○川島 由紀
 京都大学大学院 正会員 八木 知己
 京都大学大学院 学生会員 堀 高太郎

京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 京都大学大学院 学生会員 李 再炯
 京都大学大学院 学生会員 橋本 三智雄

1. 序論

流れに対して Bluff な断面周りの空力特性を決定付ける主要因として、カルマン渦放出による影響が挙げられる。さらに、最近の研究[1]においては、カルマン渦を除いた空力特性も Bluff body 周りの流れ (Bluff body flow) に何らかの影響を与えていることが確認されている。そこで本研究では、カルマン渦を除いた主な流れとして剥離剪断層に注目し、カルマン渦が前縁からの剥離剪断層に及ぼす影響について考察を行い、Bluff body の空力特性を明らかにする。

2. 実験概要

一様流中、矩形断面において、迎角 α (頭上げ正, deg) を $-10^\circ \sim 10^\circ$ まで変化させ、静的空力係数を測定した。また、カルマン渦の放出を抑制するため、断面後流にスプリッタープレート(S.P.)を設置し、同様の実験を行った。なお、S.P.は断面中心に合わせ水平に設置した。さらに、断面後縁端を面取りした断面 (Fig.1) (以後、面取り断面と呼ぶ) についても同様の実験を行い、剥離剪断層の形状に及ぼす影響を調べた。

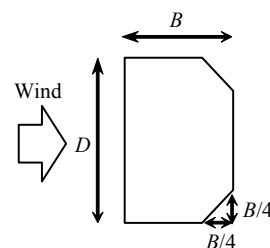


Fig.1 面取り断面

3. 静的空力係数

$$C_D = \frac{F_D}{0.5\rho U^2 D l}, \quad C_L = \frac{F_L}{0.5\rho U^2 B l}, \quad C_M = \frac{F_M}{0.5\rho U^2 B^2 l}, \quad S_t = \frac{f_s D}{U}, \quad C_L' = \frac{F_L(t)_{r.m.s}}{0.5\rho U^2 B l}$$

ただし、 C_D : 抗力係数, C_L : 揚力係数, C_M : ピッチングモーメント係数, S_t : ストローハル数, C_L' : 変動揚力係数,

F_D : 抗力(N), F_L : 揚力(N), F_M : ピッチングモーメント(Nm) (時間平均値),

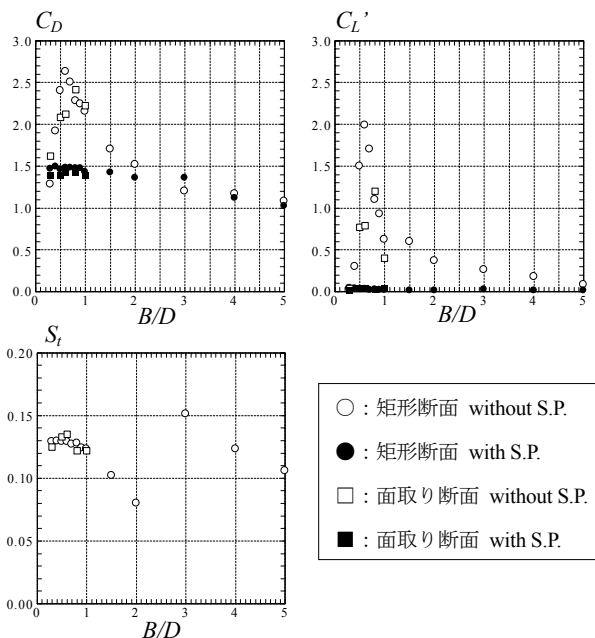
B : 流れ方向の断面長(m), D : 流れ直角方向の断面長(m), ρ : 空気密度(kg/m^3), U : 風速(m/sec),

l : 断面のスパン方向の長さ(m), f_s : カルマン渦の放出周波数(Hz)

4. 静的空力特性に及ぼすカルマン渦の影響

一様流中、矩形断面において、カルマン渦放出を抑制している状態 (S.P.有) では、S.P.無しでみられる $B/D=0.6$ 付近での C_D , C_L' のピークが消えていることから、これらのピークはカルマン渦放出によるものであると確認できる (Fig.2)。また、辺長比が大きくなるにつれ、S.P.有無による C_D , C_L' の値の差が小さくなっているのは、カルマン渦放出が空力特性に及ぼす影響が小さくなるからであると考えられる。一方 $dC_L/d\alpha$ の値は、カルマン渦が放出している状態 (S.P.無) では $B/D=0.8\sim 2.0$ で負になっているのに対し、カルマン渦を抑制している状態 (S.P.有) では $B/D=0.6\sim 4.0$ で負となり、より広範囲でギャロッピングに対して不安定になっているといえる (Fig.3)。以上より、カルマン渦はギャロッピングの発生を抑制する効果があると考えられる。

次に、カルマン渦が放出している状態 (S.P.無) において、断面後縁端を面取りすることによる効果を検討する。 S_t に大きな差異が見られないことから、カルマン渦の放出特性にはほとんど変化が小さいと考えられる。一方 C_D , C_L' は、矩形断面で確認された $B/D=0.6$ でのピークが、面取り断面では $B/D=0.8$ に移動していることがわかる (Fig.2)。また $dC_L/d\alpha$ の正負の境界、つまりギャロッピングに対して不安定にな

Fig.2 矩形断面および面取り断面の静的空力係数, S_t 数

はほとんど変化が小さいと考えられる。一方 C_D , C_L' は、矩形断面で確認された $B/D=0.6$ でのピークが、面取り断面では $B/D=0.8$ に移動していることがわかる (Fig.2)。また $dC_L/d\alpha$ の正負の境界、つまりギャロッピングに対して不安定にな

キーワード カルマン渦, 剥離剪断層, 静的空力係数, ギャロッピング

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5093

る境界が、矩形断面では $B/D=0.7\sim0.8$ であるのに対し、面取り断面では $B/D=0.8\sim1.0$ と、辺長比が大きいほうに移動している(Fig.4). このように、断面後縁端を面取りすると、カルマン渦放出特性に変化がないにも関わらず、 C_D や C_L 、 $dC_L/d\alpha$ などの静的空気力特性に大きな差異が見られることから、Bluff body 周りの流れにおいて、前縁からの剥離剪断層が断面後縁端の影響を強く受けていると考えられる。また、静的空気力特性の傾向がいずれも辺長比の大きい方に移動していることから、面取りすることにより見かけの断面辺長比が小さくなる、というような効果が見られる。つまり、前縁からの剥離剪断層の形状も断面に近づくように変形し、剥離剪断層の曲率が大きくなっていると考えられる。以上の結果から同定される流れ場の模式図をFig.5に示す。

ここで前縁からの剥離剪断層に着目し、一様流中における矩形断面の $dC_L/d\alpha$ 特性について再考する(Fig.3). $B/D=3.0, 4.0$ に注目すると、カルマン渦放出を抑制することで $dC_L/d\alpha$ が負、つまりギャロッピングに対して不安定になっていることが分かる。既往の研究[2]において、一般に矩形断面周りの流れ場は、 $B/D=2.8\sim6.0$ では前縁からの剥離流れが時間平均的に断面側面に再付着することが明らかになっている。よって、これらの辺長比での $dC_L/d\alpha$ の正負の差は、剥離剪断層の再付着に深く関係しているということが出来る。つまり、時間平均的に再付着していた流れ場が、S.P.設置によりカルマン渦放出が抑制されることで、再付着しなくなったと考えられる。同様に他の辺長比に対しても、カルマン渦放出による影響を $dC_L/d\alpha$ から推定される剥離剪断層の形状と関連付けると、「カルマン渦を抑制することにより剥離剪断層が伸び、カルマン渦が放出していた状態よりも剥離剪断層の曲率が小さくなる」と言い換えることができると考えられる(Fig.6). すなわち、カルマン渦は前縁からの剥離剪断層の曲率を大きくしているといえる。

以上の結果より、前縁からの剥離剪断層と断面後縁端との距離、また剥離剪断層の曲率が極めて重要な役割を果たしていると考えられる。すなわち、Bluff body flowの空力特性を決定する要因は、カルマン渦放出による影響とカルマン渦を除いた空力特性、すなわち前縁からの剥離剪断層の形状・曲率であると考えられる。また、先述したカルマン渦のギャロッピングに対する抑制効果も同様に説明することができる。

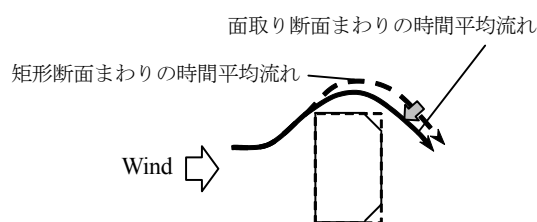


Fig.5 面取りによる流れ場の変化 (Illustration)

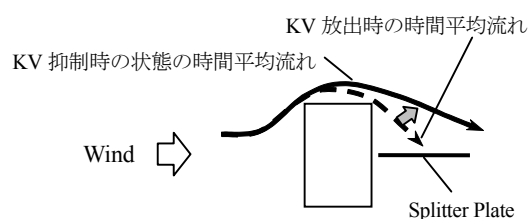


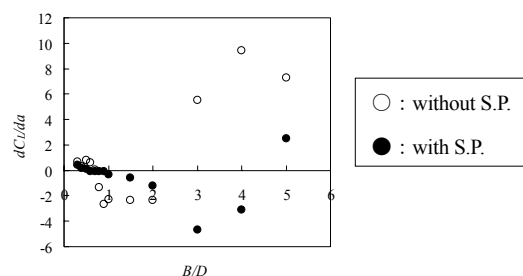
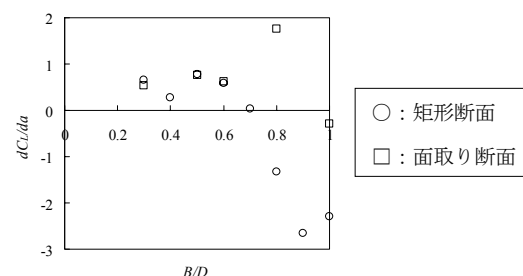
Fig.6 カルマン渦(KV)放出による流れ場の変化 (Illustration)

5. 結論

- ・ カルマン渦は背圧として抗力に影響を与え、また変動揚力にも影響を与える。
- ・ Bluff Bodyの空力特性において、前縁からの剥離剪断層と断面後縁端との距離が影響し、前縁からの剥離剪断層の曲率が極めて重要な役割を果たしている。
- ・ カルマン渦はカルマン渦を抑制している状態に対して、剥離剪断層の曲率を大きくしている。

参考文献

- [1] M. Matsumoto, T.Yagi, H. Tamaki, T. Tsubota: "Vortex-induced Vibration and its Effect on Torsional Flutter Instability - The Case of $B/D=4$ Rectangular Cylinder", Bluff body Aerodynamics, 2004.
- [2] K. Washizu, A.Ohya, Y.Otsuki and K.Fujii: "Aeroelastic instability of rectangular cylinders in a heaving mode", *Journal of Sound and Vibration*, 59(2), pp.195-210, 1978.

Fig.3 矩形断面の $dC_L/d\alpha$ 特性Fig.4 面取りによる $dC_L/d\alpha$ 特性の比較 (without S.P.)