

第I部門 各種矩形断面の非定常空力特性に与えるカルマン渦の影響に関する基礎的研究

京都大学工学部 学生員 ○橋本 三智雄 京都大学大学院工学研究科 フェロー 松本 勝
 京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己 京都大学大学院工学研究科 学生員 李 再炯
 京都大学大学院工学研究科 学生員 堀 高太郎 京都大学大学院工学研究科 学生員 川島 由紀

1.はじめに

構造基本断面に生じる空力振動現象は、一般に渦励振、ギャロッピング、フラッター等に分類されている。これらの空力特性は、主に辺長比に代表される物体の幾何形状によって、前縁から剥離した流れが定常的あるいは非定常的に物体に再付着するかどうかで大きく支配される。また、カルマン渦がカルマン渦励振以外の空力振動に影響する現象などが観察されていることから[1]、Bluff bodyの空力特性は、カルマン渦の放出とカルマン渦を除いた空力特性に分類されると考えられる。しかしながら、カルマン渦の特性及び他の空力振動に対する影響は未解明な点が多い。そこで本研究では、スプリッタープレート(以下 S.P.)によってカルマン渦放出を抑制し、その影響が非定常空気力係数に及ぼす影響を調査する。

2.実験概要

$B/D=0.3\sim 15.0$ 矩形断面において、強制加振振幅 $2\eta_0=10, 20[\text{mm}]$ 、強制加振振動数 $f_f=0.5\sim 2.5[\text{Hz}]$ で非定常空気力係数を測定した。なお、S.P.は振動中心での断面図心に合わせ、断面後流に水平に設置した。

3. 非定常空気力係数

Scanlan[2]により提案された非定常揚力 L 、非定常モーメント M を8個の非定常空気力係数 H_i^* 、 A_i^* ($i=1\sim 4$)を用いると、式(1)のように表現される。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) U^2 \left\{ kH_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kH_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\}, \quad M = \frac{1}{2} \rho (2b^2) U^2 \left\{ kA_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kA_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\} \quad (1)$$

ただし、 L ：単位スパン当たりの揚力（下向き正，N/m），

M ：単位スパン当たりのモーメント（頭上げ正，弦長中央点まわり，Nm/m），

η ：たわみ変位（下向き正）， ϕ ：ねじれ変位（頭上げ正）， $(\cdot)$ ：時間微分，

ρ ：空気密度(kg/m^3)， b ：半弦長(m)， k ：換算振動数($=b\omega/U$)， ω ：円振動数(rad/sec)， U ：風速(m/sec)，

H_i^* ， A_i^* ($i=1\sim 4$)：非定常空気力係数

4. スプリッタープレートの影響評価

本研究では、模型後流にS.P.を挿入することで、カルマン渦放出を抑制している。ここで、設置位置はたわみ振動における振動中心での模型図心に固定されているため、模型振動時にはS.P.の模型に対する相対位置が断面図心からずれることとなる。この時、模型とS.P.を含めた系は非対称となり、揚力とモーメントが発生する。

本研究においては、この非対称性に起因する空気が、振動時においても準定常的に作用していると仮定し、静的空気力測定により求めた空気を非定常空気力から差し引くことで系の非対称性を考慮している。(Fig.1)

5.非定常空気力特性に与えるカルマン渦の影響

実験結果をFig.2, 3に示す。S.P.を設置することにより、カルマン渦による急激な空気力係数の変化が緩和されるだけでなく、カルマン渦の共振無次元風速域でも影響を受けていることが確認できる。また、風速に対して滑らかに変化し、辺長比に対しても、滑らかに変化している。このことから、非定常空気力係数は、カルマン渦共振無次元風速域に限らず、広範囲の無次元風速域に渡って、カルマン渦に影響されており、Bluff body周りの流れ場からカルマン渦の影響を除いた空力特性の存在が確認される。S.P.無しの状態において、 $B/D=0.8\sim 2.0$ では高風速域で H_1^* が正であり、ギャロッピングの発現が示されている。一方、S.P.有りの状態においては、 $B/D=0.3\sim 4.0$ では高風速域で H_1^* が正である。S.P.無しの状態において、 $B/D=2.0$ と3.0の間の高風速域での H_1^* の符号の変化は剥離剪断層の再付着に関係していると考えられることから、このカルマン渦を除いた空力特性は前縁からの剥離剪断層であり、この剥離剪断層が断面の空気力特性を大きく支配していると考えられる。つまり、カルマン渦は剥離剪断層

Michio HASHIMOTO, Masaru MATSUMOTO, Tomomi YAGI, JaeHyung LEE, Kotaro HORI, Yuki KAWASHIMA

に影響を及ぼし、曲率を大きくすることにより矩形断面の空力特性が複雑になっていると考えられる。(Fig.4)

次に、 H_4^* を見ると、S.P.有りの状態では B/D の増加に対して平板の理論解であるTheodorsen関数ではないところへ収束している。この原因としては、断面中心とS.P.の相対位置がずれ、系が非対称となり、この非対称性に起因する空気が働くことが考えられる。この非対称性の影響は、先述した手法で考慮されているが、非対称性による影響を準定常力と仮定しているため、ここでは H_4^* のみが補正される。(Fig.5)

この結果、補正した H_4^* は B/D の増加に対してTheodorsen関数に近づく傾向が見られる。よって、S.P.を挿入することで、 H_4^* の特性は、S.P.と模型の相対位置の断面中心からのずれによる、非対称性によって生ずる付加的な空気を準定常的に評価することで補正することができる。しかしながら、変位に比例する項である H_4^* を補正することはできたが、S.P.が模型図心からずれることによって、他の非定常空気力係数も影響を受けるはずであり、これらの影響に対する補正は別に行う必要がある。

6.結論

以下に、本研究で得られた結論を述べる。

- ・ 2次元矩形断面の非定常空気力特性は、カルマン渦を抑制すると風速に対して滑らかに変化し、辺長比に対しても連続的に変化する。
- ・ カルマン渦を抑制することにより、剥離剪断層の曲率は小さくなる。つまり、カルマン渦は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 Torsionai Flutter Instability – The Case of $B/D=4$ Rectangular Cylinder,Fifth International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics & Applications,2004
- [2] Scanlan, R.H., Belveau, J.G., Budlong, K.S.(1974) : Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, Jour. Eng. Mech. Division, Proc. ASCE., Vol.100, EM4.

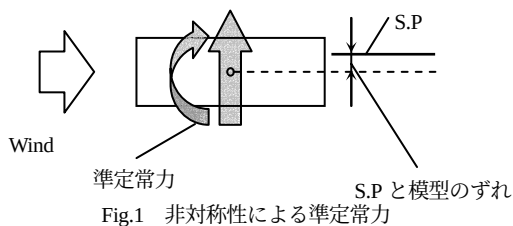


Fig.1 非対称性による準定常力

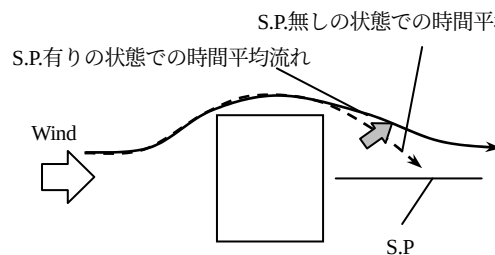


Fig.4 S.P.による流れ場の変化(Illustration)

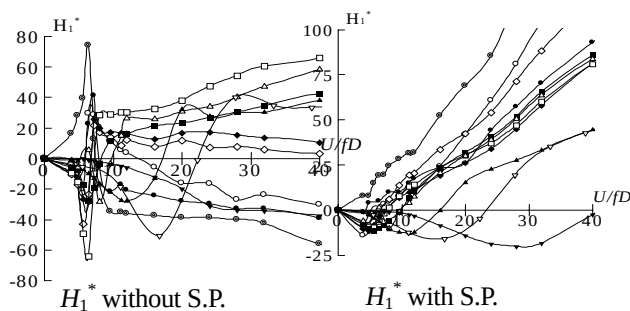


Fig.2 $B/D = 0.3- 3.0$ 矩形断面の H_1^* における S.P 有無の比較

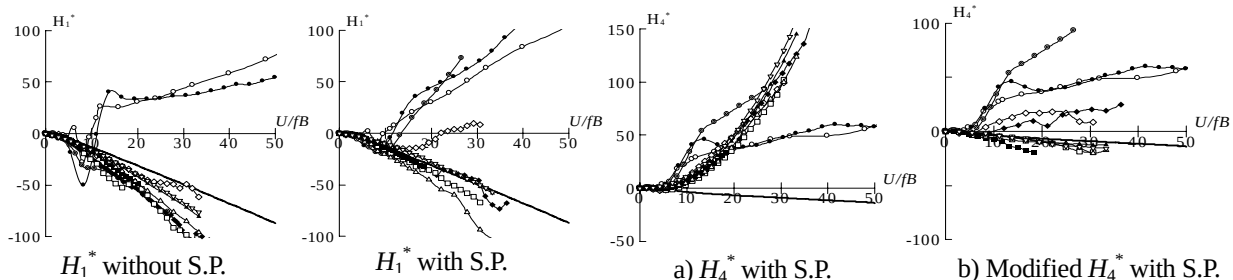


Fig.3 $B/D = 1.0- 15.0$ 矩形断面の H_1^* における S.P 有無の比較

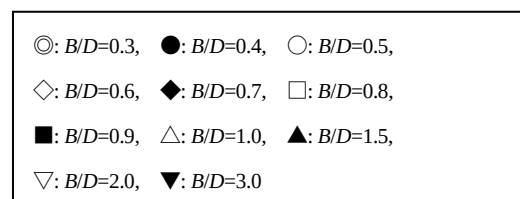


Fig.5 S.P 有りにおける準定常力による非対称性の補正