

I-223 高風速でのギャロッピング(スプリッタ板つき正方形柱について)

九州大学応用力学研究所 正会員 平田勝哉、中村泰治、深町信尊

●はじめに 著者らは、現在までにブラフボディの後流中にスプリッタ板を挿入した際にも発生するギャロッピングを研究してきた。一方、一般にギャロッピングの予測には流れの遅れを無視する準定常理論の適用が有効である。すなわち各瞬間の相対迎角に応じて、振動に関係する流体力がほぼ決定されるのである。準定常の考えは、理想的には無次元風速 $\bar{U}$ ($=U/(f \times h)$: U , 主流流速; f , 振動数; h , 代表長) が $+\infty$ の非常にゆっくりとした振動において成り立つ。したがって、スプリッタ板のない正方形柱では、無次元風速 $\bar{U}$ の増大とともに揚力(あるいは側面上の圧力)の変位との位相差は 90° に漸近する(文献1)。しかし、スプリッタ板を挿入した場合は、迎角だけでなく、振動に伴うスプリッタ板の物体中心位置からのズレも流れに大きな影響を与えることに気がつく。そこで無次元風速 $\bar{U}$ がかなり高い領域での相対位置の効果(変位効果)と迎角効果とのギャロッピングへの寄与の大小を論じるため、風洞実験を行った。

●高風速でのギャロッピング(スプリッタ板のある時)

今、流れに直角方向の振動を考慮して、物体の変位(上方:正、図1を参照)を

$$y(t) = \text{Imaginary part of } [y_0 e^{i2\pi ft}] \quad (1)$$

とするならば、ギャロッピングを直接支配する変動圧力の物体振動数成分は、

$$P_y(t) = \text{Imaginary part of } \left[\frac{1}{2} \rho U^2 C_{py} e^{i\phi} e^{i2\pi ft} \right] \quad (2)$$

とあらわせる。ここでは、正方形柱の下側面の圧力を考えることにする。まず、非常にゆっくりとした振動を考慮して流れの遅れを無視する準定常状態を仮定をするならば、スプリッタ板のある場合、一般に流れは各瞬間ごとの物体変位 $y(t)$ と迎角 $\dot{y}(t)/U$ ($\propto \dot{y}(t)/\bar{U}$) とにより決まるので、

$$P_y(t) = \text{Imaginary part of } \left[\frac{1}{2} \rho U^2 \left(-\alpha + \frac{\beta}{\bar{U}} i \right) e^{i2\pi ft} \right] \quad (\alpha, \beta: \text{定数}) \quad (3)$$

と近似できる。流れの遅れ(後流変動の影響)を考慮するならば、

$$P_y(t) = \text{Imaginary part of } \left[\frac{1}{2} \rho U^2 A e^{-i\gamma} \left(-\alpha + \frac{\beta}{\bar{U}} i \right) e^{i2\pi ft} \right] \quad (4)$$

(A と γ は $\bar{U}$ の関数、 $A > 0$ 、 $\gamma \geq 0$ 、 $\bar{U} \rightarrow +\infty$ で $A \rightarrow 1$ かつ $\gamma \rightarrow 0$)

このとき、ギャロッピングの減衰・発生に寄与するのは、変位に直交する成分である。すなわち、

$$\text{Imaginary part of } [C_{py} e^{i\phi}] = A \left(\alpha \sin \gamma + \frac{\beta}{\bar{U}} \cos \gamma \right) \quad (5)$$

●実験結果 図2は、 $\bar{U}$ が50~1500の範囲での、長さ(L)が60hのスプリッタ板を有する正方形柱の下側面中央での圧力測定の結果である。この風洞実験に用いた風洞の測定部の寸法は、縦×横×長さ=3m×0.7m×2mであり、そこに一辺(h)が0.03mの正方形柱と厚さが0.1hのスプリッタ板を設置した(図1を参照)。正方形柱のスパン長さは22hで、その両端には直径8hの円盤状の端板をとりつけた。正方形柱とスプリッタ板との間隙は0.05hとし、スプリッタ板は風洞壁に固定する一方で、正方形柱は流れに直角方向に振幅0.1hで振動をおこなう。図2(a)の縦軸(C_{py})は、変動圧力の物体振動数成分(P_y)の振幅を動圧($0.5 \rho U^2$)で除した無次元圧力振幅であり、図2(b)の縦軸(ϕ)は、変位(y)との位相差である。ここで、 $0^\circ < \phi < 180^\circ$ のときは下側面の変動圧によってなされる仕事は正であり、 $-180^\circ < \phi < 0^\circ$ のときは負である。 $\bar{U}$ の増大とともに、 C_{py} は低下して0.022の値に漸近する一方、 ϕ は増加して 180° に漸近する。この結果から、スプリッタ板を有する振動物体の表面圧力には変位効果を無視できないことがわかる。

●考察 今、 $\bar{U} \geq 100$ の高風速を考察の対象とする。この高風速では、流れの遅れの影響が小さい($A \approx 1$ かつ $\gamma \approx 0$)と考えられる。表1には、この仮定により $A = 1$ とおいて(4)式を使い、 $100 \leq \bar{U} \leq 300$ の範囲の圧力測定結果をもとに概算した値を示した。ここで、 α には C_{py} の漸近値0.022を用いた。表1を見ると、 γ の値の小ささ($7^\circ \sim 22^\circ$)と β のバラツキの小ささ(5.4~6.1)が採用した仮定が妥当であることを示している。また、表1で示した $100 \leq \bar{U} \leq 300$ の範囲では、 $\alpha \sin \gamma \ll (\beta/\bar{U}) \cos \gamma$ であり、変位効果よりも迎角効果がギャロッピングの発生に大きく影響していることがわかる。

$U < 100$ では、流れの遅れの影響も大きくなり定量的評価はできないが、 $U = 100$ で $\gamma (=22^\circ) \approx 0$ かつ $\beta/U (=0.06) \gg \alpha (=0.022)$ なる結果を考えあわせると、 U を100から下げていっても、かなりの低風速までギャロッピングの発生には迎角効果の影響が卓越していると推定できる。

$U > 300$ の範囲については、 $\alpha \approx C_{py}$ となるために誤差が大きくなり、変位効果と迎角効果のどちらが優勢か今回の計測精度からは判断できなかった。さらに、高い無次元風速 U では $\gamma \approx 0$ かつ $\gamma \propto U^{-1}$ であり、(5)式の右辺の2項とも U^{-1} に比例していて、一般に評価が困難であり、今後の研究に期待される。

●結論

◆ $U = 100 \sim 300$ では、流れの遅れの影響が小さくかつ変動圧力振幅もある程度の大きさなので定量的評価は比較的確にでき、ギャロッピングには迎角効果が支配的であることがわかった。

◆ $U < 100$ でも、流れの遅れの影響が大きいため定量的評価はできなかったが、迎角効果が支配的である。

◆ $U > 300$ では、どちらが優勢か今回の実験からは判断できず、今後の研究に期待される。

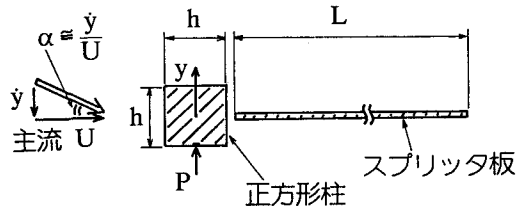


図1 模型断面とスプリット板

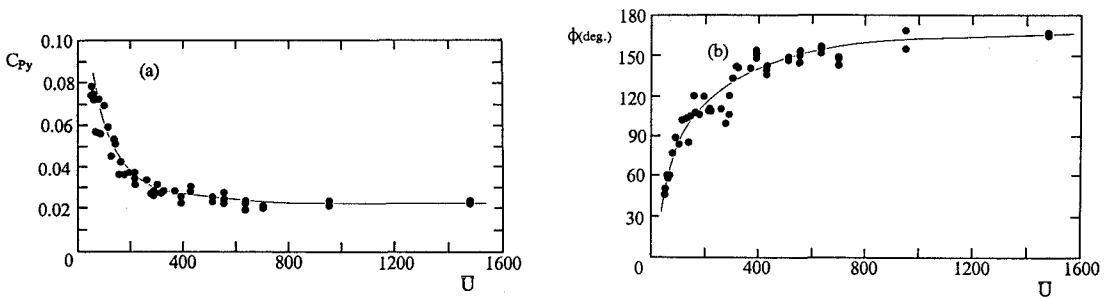


図2 高風速での長大スプリット板(60h)つき正方形柱の変動圧力

ただし変動圧力のうちでも物体振動数成分のみ。測定点は側面中央。レイノルズ数=10,000。

(a),変動振幅；(b),変位との位相差($0^\circ \sim 180^\circ$ は励振力を、 $0^\circ \sim 180^\circ$ は減衰力をしめす。)

表1 変位に直交する成分（減衰・負減衰成分）への寄与

U	C_{py} (図2より)	ϕ (図2より)	α (図2より)	β	γ	$\alpha \sin \gamma$	$\frac{\beta}{U} \cos \gamma$
100	0.06	90°	0.022	5.6	22°	0.008	0.052
150	0.045	100°	同上	5.9	19°	0.007	0.037
200	0.04	110°	同上	5.4	10°	0.003	0.027
300	0.03	125°	同上	6.1	7°	0.003	0.020

●参考文献

1 : Nakamura & Mizota, J. Engng Mech. Div. ASCE 1975 Vol.101 No.EM6, 2 : 平田, 占部, 渡辺, 中村, 第11回風工学シンポジウム論文集, 1990, 3 : Nakamura & Hirata, JFS 1991 Vol. 5 No. 2.