

九州大学応用力学研究所 正員 平田勝哉, 中村泰治, 渡辺公彦, 杉谷賢一郎

はじめに 中村ら¹⁾は、流れの中に矩形柱(h , 流れに直角な面の幅; d , 流れ方向の面の幅)を置いた実験をおこない、断面比 d/h を0から増やしていくと、矩形柱の抵抗および負の背圧(背面中央の圧力)は、 $d/h \approx 0.6$ で極大値をとり、それ以後は小さくなっていくことを見つけた。ここでは、このような断面を臨界断面と呼ぶ。この臨界断面は、ギャロッピング(高風速)と関係があることが、中村ら²⁾によりしめされている。また、矩形柱が振動するときにも、臨界断面は現れる³⁾。

一方、矩形柱や円柱の後流中にスプリッタ板を置いたときにも、ギャロッピングが発生することが知られているが、スプリッタ板があるときには、 d/h を変えていっても臨界的变化は現れないとされてきた⁴⁾。しかし、その結果は、スプリッタ板の長さが不十分と考えられるので⁵⁾、今回、ずっと長いスプリッタ板を使って、風洞実験をおこない、負の背圧が臨界的变化をしめすかどうか調べてみた。(ただし、振動D型断面柱については、スプリッタ板があるときも、臨界断面が報告されている³⁾。)

実験の概要 風洞模型の概要を図1に示す。今回報告する実験は、(1)静止矩形柱の実験と(2)流れに直角に振動する矩形柱の実験の二つの部分からなる。(1)では、スプリッタ板の厚さは $0.18h$ 、端板は円形(直径は $8h$, $11.7h$)、アスペクト比は22である。(2)では、スプリッタ板の厚さは $0.05h$ 、端板は正方形(一辺は $3.5h$)アスペクト比は6.6である。矩形柱は、主流に直角方向に、振幅 $0.1h$ で、正弦振動させ、一方、スプリッタ板は、風洞壁に固定した。なお、計測した圧力は、動圧($0.5\rho U^2$)で除して、圧力係数 C_p に換算した。

結果と考察

(1)静止矩形柱: 図2は、流れのなかに置かれた矩形柱の、断面比 d/h を変えていったときの、 $-C_{pb}$ 、 $-C_{ps}$ 、 $-C_{pe}$ の変化をしめす。ここで、 $-C_{pb}$ 、 $-C_{ps}$ 、 $-C_{pe}$ は、それぞれ、矩形柱の背面中央、前縁ちかくの側面、後縁ちかくの側面での、時間平均圧力をあらわす。 $-C_{pe}$ は、 d/h の増加につれて、単調に増えるだけである。一方、 $-C_{pb}$ と $-C_{ps}$ とは、 $d/h = 2.0$ 付近で、傾向が変化している。特に $-C_{pe}$ は、明らかな極大値をしめしている。この $d/h = 2.0$ での $-C_{pb}$ と $-C_{ps}$ の変化は、矩形柱後縁と剥離剪断層との干渉に関係すると思われる。

図3は、矩形柱およびスプリッタ板表面での、時間平均圧力分布である。 $d/h = 0.27$ のときは、圧力分布形も単純であり、スプリッタ板上で剪断層の再付着が起こっているだけと思われる。ところが、 $d/h = 3.00$ のときは、矩形柱の後縁近くとスプリッタ板上とで、二回の圧力回復が現れている。矩形柱側面での圧力回復は、弱いので、矩形柱後縁と剥離剪断層との干渉によるものと考えられ、スプリッタ板上での圧力回復は、剪断層の再付着によるものと考えられる。 $d/h = 6.0$ では、圧力回復も十分強く、矩形柱側面で再付着が起こっていると思われる。

(2)流れに直角に振動する矩形柱: 図4(a)と(b)には、それぞれ $d/h = 0.6$ と $d/h = 1.00$ の矩形柱を流れに直角方向に一定振幅($0.1h$)で正弦振動させたときの、無次元風速 \bar{U} にたいする $-C_{pb}$ の変化を■でしめしている。ここで、 $\bar{U} = U / (f \times h)$ で定義し、 f は矩形柱の振動数である。 \bar{U} が小さいときには((a) $d/h = 0.6$ では、 $\bar{U} \leq 4$; (b) $d/h = 1.0$ では、 $\bar{U} \leq 6$)、 \bar{U} の低下とともに、 $-C_{pb}$ が急激に増加する。この増加は、スプリッタ板と矩形柱背面の隙間が狭いために生じる局所的流れに起因していると考えられる。図4には、風洞の流れを止めて、矩形柱だけを振動させたときの背圧を計測し、それぞれの \bar{U} に相当するような動圧で除して無次元化したものを、●でしめしてある。 \bar{U} が小さいときの $-C_{pb}$ (■)の変化は、絶対値は違うが、この●の変化とよく似ていることがわかる。 \bar{U} がもう少し大きくなって、この局所的な効果が小さくなる風速域をみると、 $-C_{pb}$ の極大値があらわれる((a) $d/h = 0.6$ では、 $\bar{U} \approx 7$; (b) $d/h = 1.0$ では、 $\bar{U} \approx 9$)。

図5(a)と(b)には、それぞれ $d/h = 0.6$ と $d/h = 1.00$ の矩形柱を流れに直角方向に一定振幅($0.1h$)で正弦振動させたときの、 \bar{U} にたいする、矩形柱側面のいくつかの点での位相差 ϕ の変化をしめしている⁵⁾。ここで、位相差 ϕ とは、変動圧のうちでも矩形柱振動数の成分と、矩形柱変位との位相差である。側面の圧力は、 $0 < \phi < 180^\circ$ では、曲げ振動にたいして励振力となり、 $-180 < \phi < 0^\circ$ では、減衰力となる。図5をみると、 \bar{U} が十分に大きいときには、 ϕ は、側面のどの点でも、ほぼ同じ値である。 \bar{U} が小さくなるにつれて、まず後縁に一番近い測定点((a)では■; (b)では◆)が、他の測定点の値から、ずれはじめる。このずれがはじまる \bar{U} は、 $-C_{pb}$ が極大値をしめす \bar{U} と、よく一致している。

図6は、図5などにあらわれた臨界断面($-C_{pb}$ の極大値)を、 $d/h - \bar{U}$ 平面上に、●でしめたものである。図6には、斜線で、ソフト・ギャロッピングの発生する領域⁵⁾も、一緒にしめしているが、 $\bar{U} \leq 10$ では、臨界断面が、ギャロッピングの発生境界に沿っていることがわかる。

まとめ スプリッタ板があるとき、矩形柱の臨界断面は、 $d/h \approx 2.0$ である。振動矩形柱の臨界断面と、変動圧の位相差およびギャロッピングとの関係を、実験的にしめた。

参考文献

- 1)中口博,橋本貴久裕,武藤真理:航空学会誌, Vol. 16, No. 168, 1968.
- 2)Nakamura, Y. & Tomonari, Y.: J. Sound & Vib., Vol. 52, No. 2, 1977.
- 3)Nakamura, Y. & Hirata, K.: JFM, Vol. 208, 1989.
- 4)Bearman, P. W. & Trueman, D. M.: Aero. Quarterly, Vol. 23, 1972.
- 5)Nakamura, Y., Hirata, K. & Urabe, T.: JFS, Vol. 5, 1991.

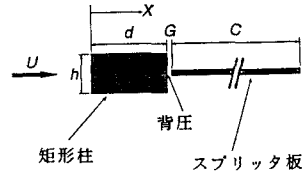


図1. 模型の概略図.

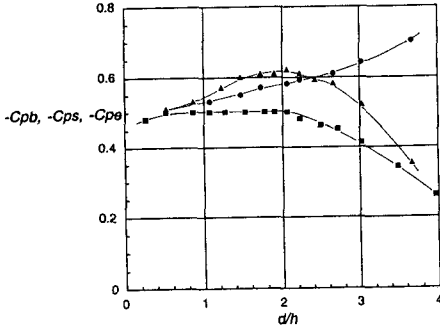


図2. スプリッタ板がある静止矩形柱の, d/h にたいする $-C_{pb}, -C_{ps}, -C_{pe}$ の変化.

$Re=11000, C=60h, G=0.$

■, $-C_{pb}$ (背面中心); ●, $-C_{ps}$ (前縁から $0.1h$ 下流側); ▲, $-C_{pe}$ (後縁から $0.1h$ 上流側).

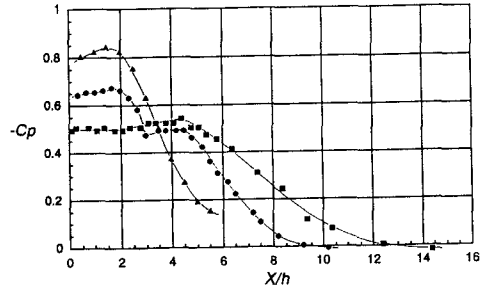


図3. 矩形柱およびスプリッタ板上の表面圧力分布.

$Re=8000, C=33h, G=0.1h.$

■, $d/h=0.27$; ●, 3.0 ; ▲, $6.0.$

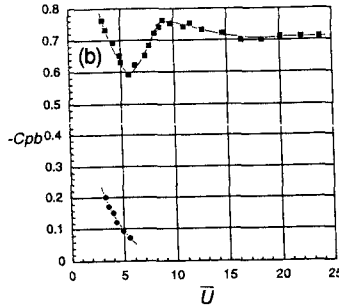
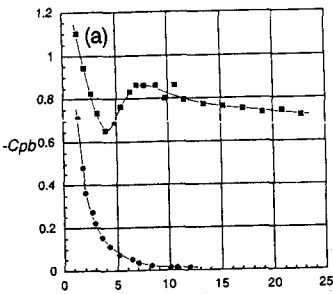


図4. スプリッタ板がある振動矩形柱の, \bar{U} にたいする $-C_{pb}$ の変化.

$Re=6000\sim 73000, C=16h, G=0.05h,$ 振動振幅 $0.1h.$

(a) $d/h=0.6,$ (b) $d/h=1.0.$ ■, $-C_{pb}$; ●, 静止空気中での $-C_{pb}.$

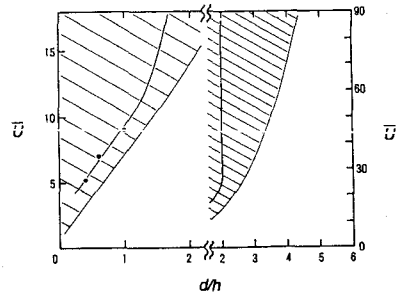


図6. スプリッタ板がある振動矩形柱の, ギャロッピングの境界と臨界断面.

斜線部, ギャロッピングの発生領域⁵⁾; ●, 臨界断面.

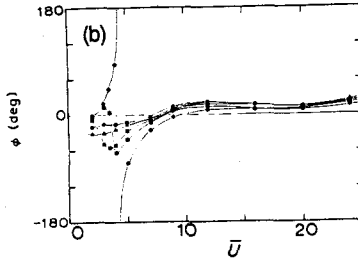
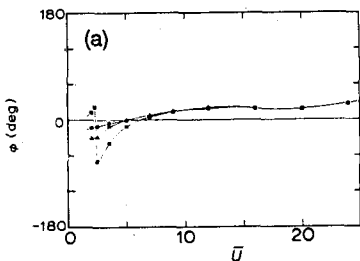


図5. スプリッタ板がある振動矩形柱の, \bar{U} にたいする位相差 ϕ の変化⁵⁾.

$Re=16000\sim 71000, C=15h, G=0.03h,$ 振動振幅 $0.1h.$

(a) $d/h=0.6$: ●, $X/d=0.06$; ▲, 0.50 ; ■, $0.94.$

(b) $d/h=1.0$: ●, $X/d=0.07$; ▲, 0.28 ; ■, 0.50 ; ●, 0.72 ; ◆, $0.93.$