

振動流中の円柱に作用する流体力と流体力係数について

建設省 正員 松田 邦 泰
 山口大学 正員 蒲 地 政 文
 山口大学 正員 羽田野 架 義
 山口大学 正員 齊 藤 隆

海洋構造物に作用する波力の正確な算定の為に、従来振動流中の物体に作用する流体力について多くの研究がなされてきている。本研究は、特に流体力の最大値に着目して考察したものである。

実験は開口U字型の振動流装置を用いて行なった。実験円柱は直径が5cmで厚さが19.8mmの亚克力製であり、テストセクション中央部に直径4mmのしんちゅう棒で固定されている。流体力は、しんちゅう棒に貼付された歪ゲージを用いて測定された。

従来、流体力、特に直方向力の算定式としてMorison 式

$$F_x = \frac{1}{2} \rho D L C_D U |U| + \rho A L C_M \frac{dU}{dt} \quad (1)$$

ここに、 $A = \pi D^2/4$ 、 D は円柱径、 L は長さ、 U は流速、 ρ は流体の密度、が提案されており、その係数が多くの研究によって評価されてきている。今回の実験で得られた係数の値をKC数($K = U_m T/D$) に対して描いたものが図1、2である。両図中には、Sarpkaya (1975) の実験結果(平均値)も示してある。両図とも、Sarpkaya (1975) の結果より係数の値は大きい。これは、高調波、すなわち細かい渦の影響を表しているものと思われる。また、両係数の散らばりは、KC数が小さくなるにつれて大きくなっている。これは従来云われている、1周期内に残存する剥離渦による揚力が卓越していると思われる。

さて、次にモリソン式から得られる最大直方向力について調べる。式(1)に $U = U_m \sin(\omega t)$ を代入して、符号に注意して最大値を求めると、

$$F_{x\max} = \rho A L C_M U_m \omega, \quad R_* \leq 1, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(\rho A L C_M U_m \omega)^2}{2 \rho U_m^2 D L C_D} \\ &+ \frac{1}{2} U_m D L C_D, \quad R_* \geq 1, \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、 $R_* = 2 C_D K / (\pi^2 C_M)$ 、(4)

であり、モリソン式の第1項と第2項の絶対値の比を表す。係数 C_D 、 C_M とKC数により直方向力の最大値は2通りある。上式を無次元化す

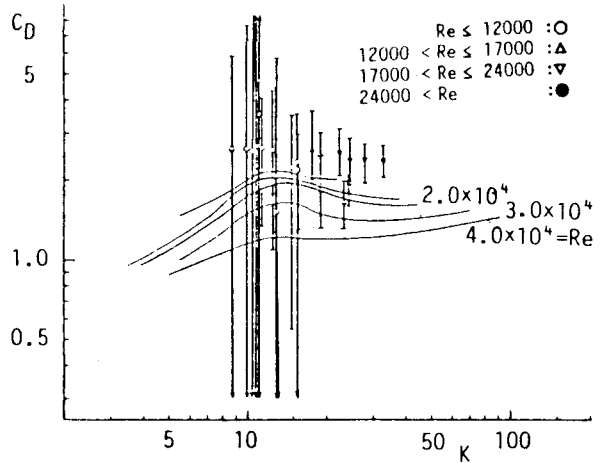


図1 抗力係数とKC数の関係

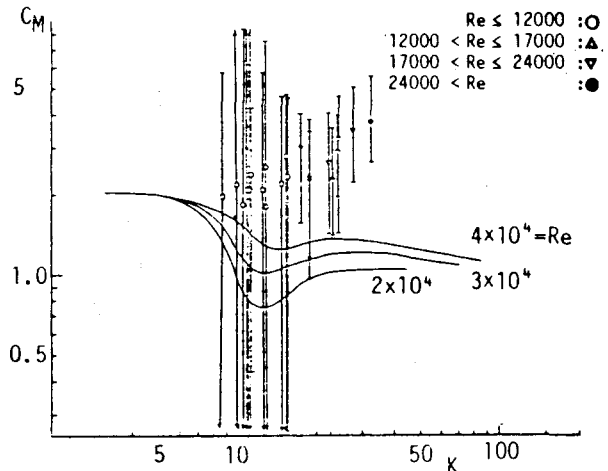


図2 質量係数とKC数の関係

ると、

$$F_{x\max}^* = F_{x\max} / \left(\frac{1}{2} \rho U_m^2 DL \right), \quad (5)$$

$$= \begin{cases} 2C_D/R_*, & R_* \leq 1, \\ C_D(1+1/R_*), & R_* \geq 1, \end{cases} \quad (6)$$

$$(7)$$

と求まる。すなわち直方向力は、最大値として上二式で評価すればよいと考えられる。しかしながら、上式には R_* の条件があるため、その適用について検討する必要がある。そのため、流速と直方向力の位相関係に着目してみる。データの1例を図3に示す。 u の最大値と F_x の最大値との位相差を ϵ とすると、流速の式とモリソン式から

$$\epsilon = \sin^{-1}(1/R_*), \quad (8)$$

と求まる。上式から、最大流速と最大直方向力との位相差は π 以下であることがわかる。これは、最大の正の流速のときに逆向きの最大の直方向力は発生しえないことを表している。さらに、上式から $R_* \geq 1$ でなければならない。従来直方向力の最大値には2つの値があることが報告されてきたが、この位相関係から、1つの値(式(7))しか存在しえないことがわかる。以上の事を調べるために、 R_* の実験値を KC 数に対してプロットしたものが図4である。図から、全ての実験値に対して $R_* \geq 1$ であることがわかる。なお、Sarakaya (1975) のデータから得られた描点との違いは、図1、2の C_D 、 C_M の値の違いによるものと考えられる。

最後に、式(7)と実験値から得られた最大直方向力と、合成流体力とを比較したものが図5である。 KC 数が、15以上の場合には、最大直方向力の値を流体力として評価すればよい。しかしながら、 KC 数が15以下の場合には、最大直方向力だけでは不十分である。

(参考文献)

Sarakaya (1975) : J. Appl. Mech., ASME, Vol.42, pp. 32~37.

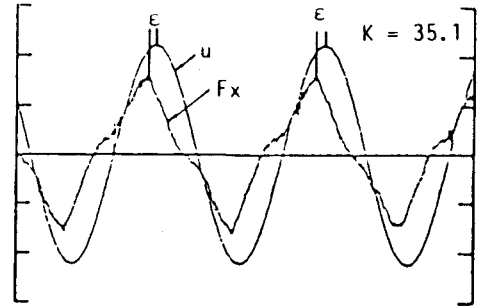


図3 直方向力と流速の位相差

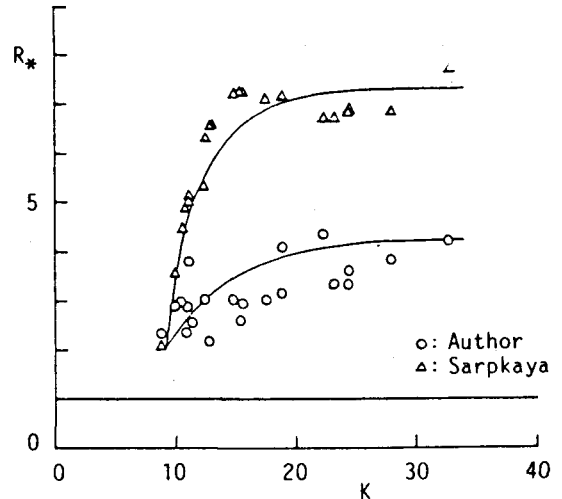


図4 R_* と KC 数の関係

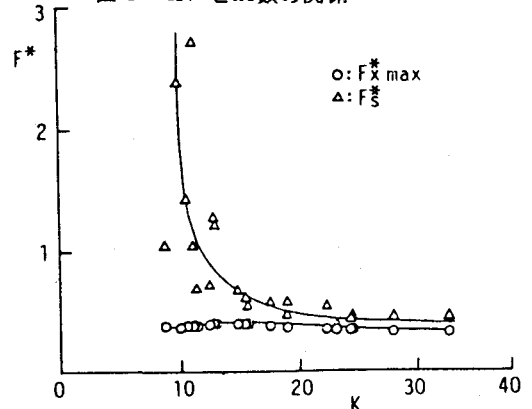


図5 最大直方向力、合成流体力と KC 数との関係