

京大工教養 正 員 野田英明
京大大学院 学生員 ○日野峻榮

1. まえかき 一般に、波動中にある物体は二つの力を受ける。一つは *drag force* であり、他の一つは *inertia force* である。波のような非定常流の場合には、波の特性、物体の性質、水深などによってこの二つの力の大きさの割合が種々変化する。本研究においては、これらの二つの力の係数かどのような要素によって定められるかと検討するものである。

2. 実験装置 実験は、長さ 24 m、巾 0.5 m、および深さ 1.0 m の両面ガラス張り水槽を用い、水深を 0.6 m として行なった。実験方法は図-1 に示すように、直径 5.7 cm および長さ 100 cm のアクリル製円柱の支柱 G 点に *strain-gage* をはりつけ、円柱に作用する力の G 点のモーメント（ひずみ）を電磁オシログラフに自記させた。まず最初に、静水中で円柱を周期 1.7~2.5 sec、また振幅 10~20 cm の範囲で水平方向に往復運動をさせ、静水中において運動する円柱が受ける力について実験を行ない、そのつぎに、円柱を固定して水槽の一端に設けた *flutter* 造波機で波を起し、波高計を円柱と同じ位置に設置して、G 点のモーメントと波形を同時に記録した。実験に用いた波の周期は 1.20~1.86 sec であり、波高は 4.2~11.7 cm であった。

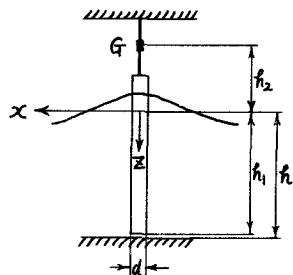


図-1

3. 実験結果とその考察 水中におかれた円柱の微小部分に働く力は Morison によると、

$$dF = \left(\frac{1}{2} \rho C_D d |u| u + \rho C_M \frac{\pi d^2}{4} \frac{\partial u}{\partial t} \right) dz \quad (1)$$

と表わされ、図-1 に示す G 点のまわりのモーメント M は、

$$M = \int_0^{h_1} (h_2 + z) dF \quad (2)$$

となる。ここに、 C_D は抵抗係数、 C_M は仮想質量係数、 ρ は水の密度であり、 d は円柱の直径である。

まず、静水中において円柱を水平方向に運動させた場合、(2) 式で表わされるモーメント M は、

$$M = \left(\frac{1}{2} \rho C_D d |u| u + \rho C_M \frac{\pi d^2}{4} \frac{\partial u}{\partial t} \right) \left(h_2 + \frac{h_1}{2} \right) h_1 \quad (3)$$

となる。ここに、 $u = U \sin \omega t$ で、 $U = \omega a$ 、 $\omega = 2\pi/T$ 、 T は周期であり、 a は振幅である。いま、水深方向に速度の変化がないこと、および C_D は Reynolds 数の関数であることを考慮し、Reynolds 数が時間的に変化する場合にも定常流れにおける抵抗係数の値を用いることができると仮定する。また、仮想質量係数は Lamb によると $C_M = 1$ となるから

、これらの値を用いて計算したモーメントと実測のモーメントを比較すると図-2のようになる。図-2から、計算値と実測値はかなりよく一致しているが、実測結果における微小な振動は円柱の固有振動であると考えられる。この振動は、円柱の剛性とか長さに影響されると考えられ、さらに詳細な研究が必要であろう。しかし、上の二つの力の係数 C_D と C_M についての仮定は妥当であると考えられる。

つぎに、波動中に固定した円柱のモーメントについて考えよう。本年の土木学会年次学術講演会において発表したように、水深方向に流速分布がある場合には局部抵抗係数が水深方向に変化する。波の場合にもこれを考慮して、 G 点のまわりのモーメントを(1)および(2)式から求めると、

$$M = h_1^2 \left(\frac{1}{2} \rho M_D d U^2 |\sin \omega t| \sin \omega t + \rho \frac{\pi d^2}{4} M_M \omega U \cos \omega t \right) \quad (4)$$

ここに、波は浅海波と仮定すると、水粒子の最大速度は $U = (\pi H \cosh 2\pi h/L) / T \sinh 2\pi h/L$ であり、

$$M_D = \frac{1}{h_1^2} \int_0^{h_1} (h_2 + z) \frac{\cosh^2 2\pi(h-z)/L}{\cosh^2 2\pi h/L} C_D dz \quad (5)$$

$$M_M = \frac{1}{h_1^2} \int_0^{h_1} (h_2 + z) \frac{\cosh 2\pi(h-z)/L}{\cosh 2\pi h/L} C_M dz \quad (6)$$

である。一方、円柱に作用する全波力 F は、

$$F = \frac{1}{2} \rho d h_1 C_D U^2 |\sin \omega t| \sin \omega t + \rho \frac{\pi d^2}{4} C_M U \omega h_1 \cos \omega t$$

となり、上式における C_{Du} と C_{Mu} は、

$$C_{Du} = \frac{1}{h_1} \int_0^{h_1} C_D \frac{\cosh^2 2\pi(h-z)/L}{\cosh^2 2\pi h/L} dz, \quad C_{Mu} = \frac{1}{h_1} \int_0^{h_1} C_M \frac{\cosh 2\pi(h-z)/L}{\cosh 2\pi h/L} dz$$

とする。ここに C_D は定常流れにおける抵抗係数である。 C_{Du} は R と h/L の関数であり、 C_{Mu} も h/L と C_M との関数であると考えられるが、 C_{Du} 、 C_{Mu} の値を直接上の式から、または実験的にも求めることはできない。しかし、 G 点のまわりのモーメント M を測定し、 $\omega t=0$ あるいは $\omega t=\pi$ における M_M 、 M_D の値を計算し、これらの値を用いて C_{Du} 、 C_{Mu} の値と推定することができる。まず C_{Mu} の値について考えよう。

(4)式において $\omega t=0$ とすると、実験結果から M_M を求めることができ、さらに(6)式において、 C_M を一定と仮定すると M_M/C_M の値が計算できる。図-3は縦軸に M_M および M_M/C_M を、横軸に h/L をとって図示したものである。この図から C_M は一定であることがわかる。したがって、 C_M は h/L に関係なく一定で、(4)、(6)式から C_M を計算すると表-1のようになり、Lamb

の理論結果と同様に $C_M=2$ となる。さらに、Reynolds数によってもほとんど変化していないことは樋口の実験結果とも同様である。 C_{Du} についても同様の方法でその値を求めることができるが、現在実験と続行中であり、詳細については講演時に発表する予定である。

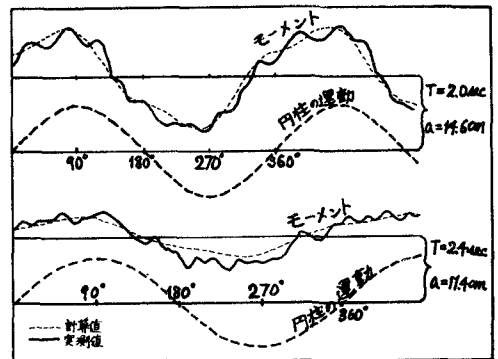


図-2

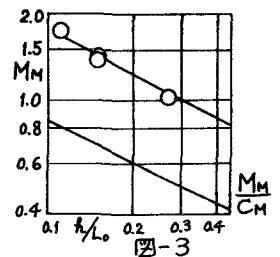


図-3

h/L	Ud/ν	C_M
0.11	5.50×10^3	2.18
0.15	8.40	1.90
0.27	1.85	1.98
0.15	1.10	2.00

表-1