

II-1 小口径円柱に作用する波力について

防衛大学校 土木工学教室 正員 〇 林建二郎
 “ “ “ 真嶋恭雄

1 はじめに

小口径直立円柱(直柱)に作用する波力の算定には、モリソン式がよく用いられている。式中の抗力係数 C_D および、質量係数 C_M は、周期内の代表値を実験的に求め、 Re 数や KC 数などをパラメーターにして通常整理されている。しかしより精度を高めるには、周期内での波力の変化の様子を調べる必要があるように思われるがこの種の研究は少ないようである。この種のものとして、Keulegan and Carpenter¹⁾ や Al-Kazily²⁾ 等により、 C_D , C_M の周期内での変化を調べた結果が報告されている。これらの実験は、波の波頂に円柱を平行に設置した場合であるが、 C_D , C_M に Fig. 3 に示しているような傾向が見い出されている。

そこで本研究は、波力の周期内での変化をより詳しく算定することを目的とし、上記の研究と同様の方法を用いて、小口径直立円柱の C_D , C_M の周期内での変化を調べたものである。

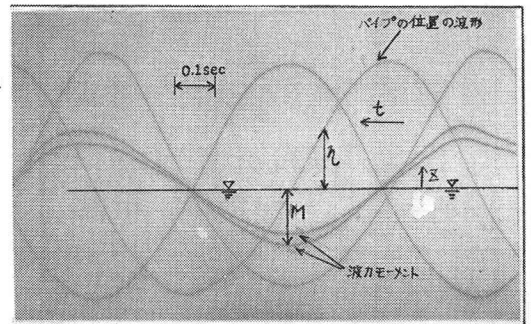
2 実験装置 および 実験方法

実験は、長さ 39m, 幅 0.6m, 高さ 0.8m, の二次元造波水槽を用いて行なった。全波力測定装置は、ストレーンゲージ4枚を裏表に接着した鋼材(断面二次モーメント = 198 mm⁴) よりなる波力測定アームに円柱を取り付けたもので、造波機より 22m の位置に設置した。容量式波高計をパイプの位置とその前後 1m の位置に設置して波形および、波速の測定を行なった。波形および波力モーメントの測定値は、Fig. 1 に示しているように電磁オシログラフに記録した(紙送り速度 20cm/sec)。

使用した実験波は、TAB. 1 に示している。水深 $h = 0.40m$, 周期 $T = 0.7 \sim 1.7$ 秒, 波高 $H = 0.02m \sim 0.08m$ の波である。用いた円柱の直径 D は、0.03 m と 0.05 m である。

3 抗力係数 C_D , 質量係数 C_M の算定方法

小口径直立円柱に作用する波力をモリソン式によって表わし、この波力により静水面上 l の位置における波力モーメント M は式(1)で示される。式中、抗力係数 C_D , 質量係数 C_M は水深方向には一定であるが周期内で時間的に変化すると仮定する。



$T = 0.956 \text{ sec}$ $H = 0.069 \text{ m}$ $h = 0.04 \text{ m}$

FIG. 1 SAMPL RECORD

$$M(t) = C_D(t) \cdot D(t) + C_M(t) \cdot I(t) \quad (1)$$

$$\text{ただし} \quad D(t) = \int_{-l}^{l} \frac{\rho}{2} D \cdot |u(t, z)| \cdot u(t, z) (l - z) dz \quad I(t) = \int_{-l}^{l} \frac{\rho}{4} \pi D^3 \dot{u}(t, z) (l - z) dz$$

時刻 t と $t + \Delta t$ の Δt 秒間では、抗力係数 C_D , 質量係数 C_M は一定と仮定し、 $C_D(t + \Delta t/2)$, $C_M(t + \Delta t/2)$ で示す。

$$M(t) = C_D(t + \Delta t/2) \cdot D(t) + C_M(t + \Delta t/2) \cdot I(t) \quad (2) \quad M(t + \Delta t) = C_D(t + \Delta t/2) \cdot D(t + \Delta t) + C_M(t + \Delta t/2) \cdot I(t + \Delta t) \quad (3)$$

$$\text{式(2), (3)より} \quad C_D(t + \Delta t/2) = \frac{\begin{vmatrix} M(t) & I(t) \\ M(t + \Delta t) & I(t + \Delta t) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} D(t) & I(t) \\ D(t + \Delta t) & I(t + \Delta t) \end{vmatrix}} \quad (4) \quad C_M(t + \Delta t/2) = \frac{\begin{vmatrix} D(t) & M(t) \\ D(t + \Delta t) & M(t + \Delta t) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} D(t) & I(t) \\ D(t + \Delta t) & I(t + \Delta t) \end{vmatrix}} \quad (5)$$

式中、 ρ : 水の密度、 $\eta(t)$: 静水面上の波高、 h : 水深、 $u(t, z)$: 水平水粒子速度、 $\dot{u}(t, z)$: 水平水粒子加速度、 D : 円柱の直径である。 $M(t)$ は、Fig. 1 に示されている波力モーメントを示す記録値を、アナログ図形デジタル変換器を用いて読み取った実験値である。読み取り時間間隔 Δt は0.01秒とした。

4. 実験結果および考察

Fig. 2は、波高 $H=0.069m$ 、周期 $T=0.956s$ 、 $D=0.05m$ の場合の、 η および、上記の方法で求めた C_M 、 C_D の位相 η による変化を図示したものである。 C_M の η による変化は小さく、1.8~3.0の範囲を変動している。 C_D の η による変化は大きく、 $\eta=1/4, 3/4$ でピークを生ずる傾向が認められる。TAB. 1に示している他の実験条件の場合も、 C_M の η による変化は小さく、 C_D も $\eta=1/4, 3/4$ でピークを生ずる傾向が認められた。しかし C_D はバラツキが大きく負の方にピークを生ずるケースもあった。これは実験および解析の精度によるものと思われるが今後検討する必要がある。

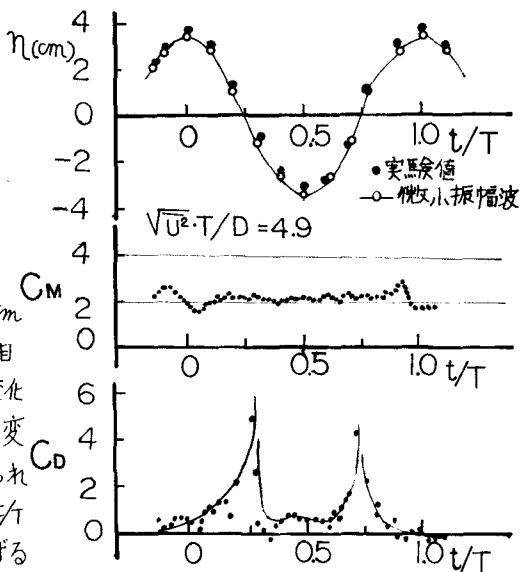
Fig-3は、Keulegan等による波頂に平行に円柱を設置した場合の C_D 、 C_M の η による変化の一例を示したものである。この場合 C_M は、一周期内に2回振動する傾向が認められるが、今回行った直柱の実験では認められなかった。 C_D は直柱の場合と同様に $\eta=1/4, 3/4$ 、つまり水平水粒子速度 $u=0$ となる位相で正のピークをもつ傾向が認められる。この事は、定常流における抗力係数の Re 数に対する変化と同じ傾向である。

5 おわりに

今回行った実験条件範囲内においては、直柱の場合も波頂に平行に円柱を設置した場合と同様な傾向が C_D 、 C_M の η による変化について認められるようである。直柱の場合は、①流速分布が水深方向に変化する。②直柱に対する流れの方向が変動する等の複雑な流れの場であるから、これらの影響を、波頂と平行に円柱を設置した場合、一様振動流中に円柱を設置した場合等の実験結果を考慮して調べてみたい。又、水粒子速度をより正確に推定するため有限振幅理論を用いて実験整理を行う必要がある。

参考文献

- 1) Keulegan and Carpenter: Jornal of Research National Bureau of Standards, Vol.60 1958
- 2) AL-Kazily: Univ. of California, Berkely. Hydraulic Eng. Laboratory, Technical Report, HEL 9-21 1972



$H=0.069m$ $T=0.956s$ $D=0.03m$

FIG. 2. $\eta, C_M, C_D \sim t/T$

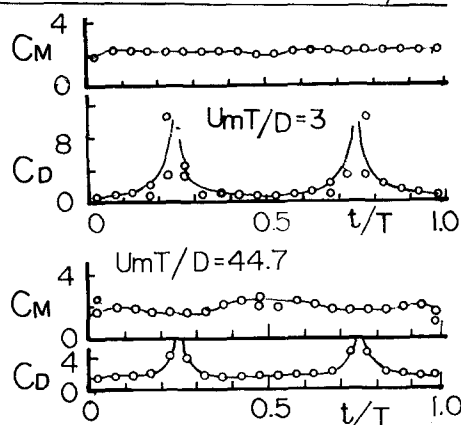


FIG. 3 $C_M, C_D \sim t/T$

TAB. I. WAVE CHARACTERISTICS

T (Sec)	H (m)	D (m)	C_M	KC. 数 $\sqrt{U^2} \cdot T/D$	Re 数 $\sqrt{U^2} \cdot D/\nu$
0.771	0.039	0.03	2.1	2.06	2000
1.329	0.067	0.03	2.05	6.75	3810
0.956	0.069	0.03	2.4	4.90	3850
1.60	0.052	0.03	2.0	6.41	3005
0.865	0.043	0.03	2.2	2.65	2297
0.763	0.038	0.05	2.4	1.21	3312
1.237	0.040	0.05	2.3	2.18	3667
1.65	0.069	0.05	1.9	5.38	6791
0.84	0.018	0.05	2.15	0.57	1408
1.59	0.033	0.05	2.4	2.34	3066
0.85	0.039	0.05	2.2	1.35	3312