

1 はじめに 小口径円柱に作用する、波の進行方向全波力 (F_x) をモリソン式を用いて算定する場合、通常は式中の抗力係数 (C_D)、質量係数 (C_M) は、水深方向に一定として取り扱っている。しかし、波力算定精度の向上、およびモリソン式の妥当性を検討するには、円柱に作用する波力の水深方向分布特性を明らかにし、 C_D 、 C_M の水深方向変化特性についても検討する必要がある。このため、微小長さの局部円柱に作用する波力の測定を、静水面下 (z) の異なる位置で行ない、それぞれの位置で C_D 、 C_M を算出し、各種波動パラメータ (主に $K \cdot C$ 数、 Re 数) との関係を探る実験が、従来多く行なわれている。

図-1 は、これら実験結果の一例として、岩垣、石田の結果、Chakrabarti 等の結果、および筆者らの結果を示したものである。又、図中には、一様振動流における Sarpkaya 等の結果も記入している。Chakrabarti 等は、波動場においては一様振動流中での結果と多少異なること、および、図中に示されている、 C_D 、 C_M と

$K \cdot C$ 数との関係式を用いたモリソン式による全波力の計算値と実測値を比較した結果、その差は 10% 以内であったと報告している。岩垣、石田は、 $K \cdot C$ 数と Re 数を考慮した検討を報告している。又、筆者らの結果は、むしろ Sarpkaya 等の結果に近いことが認められるようである。しかし、これらの結果は、実験条件、方法、および、 C_D 、 C_M の算定方法の違い等を考慮してもそのバラツキが多く、今後十分な実験を行う必要がある。

本報告は、上記のことを目的として、まず、波力の水深方向分布特性を示すパラメーターの一つである、円柱に作用する全波力 F_x 合力作用点位置 (P_0) の実測を試みたものである。

2 実験方法、 P_0 算定方法

実験は、長さ 39.6m、幅 0.6m、高さ 0.8m の二次元造波水槽を用いて行なった。水深 h は 30cm、40cm、50cm、波高 H は 10cm ~ 13cm、周期 T は 0.7 ~ 2.0 秒の波浪諸元を有する規則波を実験波として使用した。使用した円柱径 D は 3cm と 1.4cm ($h = 40$ cm の場合のみ) の二種類である。全波力 F_x 、および全波力モーメント M_x の測定には、市販の三分力計を使用した。図-2 に測定装置の概略、および座標系を示す。

F_x 合力作用点の静水面からの距離の実測値 P_0 は次式より求まる。

$$P_0(t) = \frac{M_x(t)}{F_x(t)} - f \quad \text{---(1)} \quad \begin{array}{l} \text{f: 三分力計のモーメント測定} \\ \text{点と静水面との距離} \end{array}$$

波力算定式としてモリソン式を用いると、計算値による F_x 合力作用点と静水面との距離 P_C は次式で示される。

$$P_C(t) = \frac{\int_{-h}^0 C_D(t,y) \frac{p}{2} D \cdot u(t,y) |u(t,y)| dy + \int_{-h}^0 C_M(t,y) \frac{p}{4} \pi D^2 \dot{u}(t,y) dy}{\int_{-h}^0 C_D(t,y) \frac{p}{2} D \cdot u(t,y) |u(t,y)| dy + \int_{-h}^0 C_M(t,y) \frac{p}{4} \pi D^2 \dot{u}(t,y) dy} \quad \text{---(2)}$$

式中 p : 水の密度、 u , $\dot{u}$: 水平水粒子速度、加速度

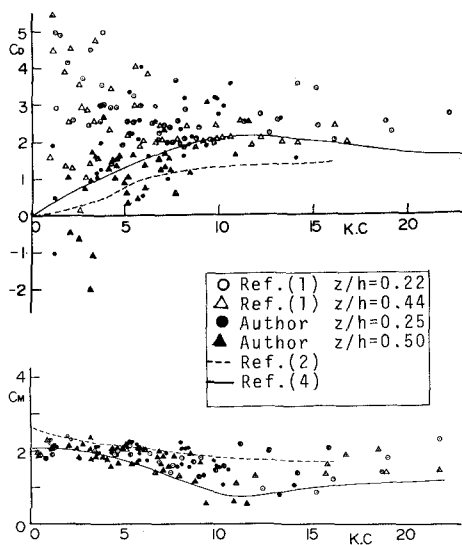


図-1 $C_D, C_M \sim K \cdot C$

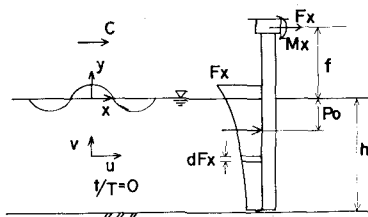


図-2 測定装置、座標系

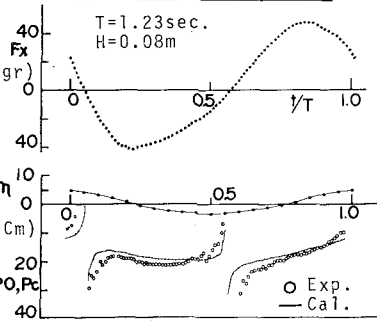


図-3 測定値および計算値例

u, $\dot{u}$ の算定式: ストークス波第3近似解

C_D , C_M の周期内時間変化, 及び水深方向変化を無視すると,

$$PC(t) = \frac{C_D \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{2} \rho D u(t,y) |u(t,y)| dy + C_M \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{4} \rho \pi b^2 \dot{u}(t,y) dy}{C_D \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{2} \rho D u(t,y) |u(t,y)| dy + C_M \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{4} \rho \pi b^2 \dot{u}(t,y) dy} \quad (3)$$

3 実験結果および考察

図-3は、(1)式による F_x 合力作用点の実測値 P_0 と、(3)式による計算値 PC の周期内時間変化 (t/T) の一例を示したものである。図中には、水位および F_x 実測値の η/h による変化も同時に記入している。(3)式中の C_D , C_M の値には、最少二乗法による方法を用いて決定した値を用いている。 P_0 と PC の時間変化傾向は大体一致していることが認められる。位相 t/T が 0.05, 0.57 付近では、 P_0 , PC とともに極値をとる傾向が認められるが、これらの位相においては、図に示すように F_x が 0 に近づく (したがって M_x も同様) ために、測定誤差の影響、および数値積分精度等を考慮する必要がある。

図-4は、 F_x の極大値が出現する位相での P_0 の無次元値 $P_0/\eta+h$ と、水深 h/L との関係を示したものである。図-4(a)は、 $0 < t/T < 0.5$ の間に F_x の極大値が出現するもののものを (ケース a)、図-4(b)は、 $0.5 < t/T < 1.0$ の場合のものを示している。図-4(a)に示している曲線は、波動理論式として微小振幅波理論式を使用したモリソン式中の抗力項 ($\int_{-h}^{\eta} \frac{1}{2} \rho D u(t,y) |u(t,y)| dy$) が 0 となる位相 ($t/T = 0.25, 0.75$) での計算値 $PC/(\eta+h)$ (η は 0 である) と、 h/L の関係を示したものである。ケース a の位相では抗力項が大体 0 であり、図中に示している計算値と同様な傾向を実測値は示している。ケース b の場合は、ケース a に比べてバラツキが大きいことが認められる。図-5は、ケース a, b における実測値 P_0 と、(3)式による計算値 PC との関係を実深 h 別に示したものである。これらの図より、1) P_0 と PC の誤差は水深 h の 10% 以内であること、2) 水深 $h = 30\text{cm}, 50\text{cm}$ の場合では、ケース b の位相において実測値 P_0 の方が計算値 PC より大きな値を示す傾向が認められる。

4 おわりに 以上は、水平水粒子速度 u の水深方向分布の代表値として、r.m.s 値 ($\sqrt{\int_{-h}^{\eta} u_{rms}^2(y) dy} / (\eta+h)$) を用いた K 数、 Re 数による C_D , C_M の評価が可能とされている領域 ($h/L < 0.5$) での、 F_x 合力作用点の実測を試みたものである。その結果、この領域では、 F_x 合力作用点は、 C_D, C_M の水深方向変化を無視したモリソン式で大体算定できようである。したがって、波力の水深方向分布もこの式を用いて大体算定できるものと思われる。しづし、より詳細な検討は、図-1に示されている部分円柱における C_D, C_M の結果と合わせて行う必要がある。又、揚力についても同様な実測、検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 岩垣, 石田, 佐藤: 土木学会年誌, PP 99~100, 1977.
- 2) Chakrabarti, et al.: J. of ASCE, WJ 2, PP 203~201, 1976.
- 3) 林, 竹内: 土木学会, 海議, PP 362~366, 1978.
- 4) Sarpkaya: Jour. of Applied Mechanics, Vol. 42, Series E, No. 1, PP. 32~39, 1975.
- 5) Goda: Port and Harbour Tech. Res. Inst., NO. 8, PP 1~14, 1964.
- 6) 中村: 大阪大学博士学位論文, PP 1~297, 1977.

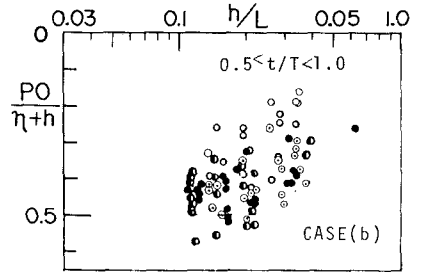
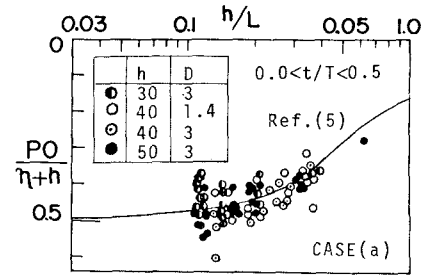


図-4 $P_0/(\eta+h) \sim h/L$

