

防衛大学校 土木工学教室 正員 〇 林 建二 郎

" " " 重村 利 幸

1. はじめに

小口径円柱に作用する波力の算定式としてはモリソン式がよく用いられ、式中の抗力係数 C_D 、質量係数 C_M の特性を調べる実験的研究が多く行なわれている。ただし、これらの研究は直円柱および水平円板を対象としたものが多く、斜め円柱の場合の研究はあまり見^{1), 2)}られない。そこで筆者らは、斜め円柱に作用する波力算定式としてモリソン式の適用を検討してきた。本報告は、その後実験を追加し³⁾解析・検討を加えたものである。

2. 実験装置および方法

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。付設の造波機はBallistic Pendulum型である。波力の測定は、Fig-1に示すような、ストレンゲージを接着した銅材(6mm×25mm)に、直径 ϕ 30mmのアクリル製円柱パイプを取り付けたものを、造波機の前³⁾方24.6mに設置して行なった。なお、この装置は静水面に対して、波の進行方向に任意の角度 θ を持ってパイプを設置できるようになっている。今回の実験は、Fig-1に示す θ を、 $\pm 15^\circ$ 、 $\pm 32^\circ$ に変えて行なった。波力測定系の水における固有振動数は8Hz～11Hzであった。波浪諸元の測定は、容量式波高計を円柱の真横ならびに、円柱の前方1mの位置に設置して行なった。実験には、水深 h を0.4mに保ち、周期 $T=0.7\sim 1.6$ 秒、波高 $H=2\sim 12$ cm、波形勾配 $H/L=0.01\sim 0.10$ の諸元を有する12種類の波を使用した。実験におけるrms.k.c数の範囲は3.1～15、rms.Re数の範囲は2000～8000であった。実験記録は全てパソコンを用いて行ない、アナログ図形デジタル変換装置を用いて、0.02T間隔で1周期内のデータをデジタル化した。

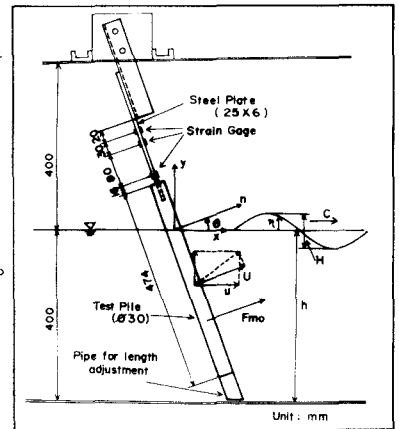


Fig-1. Test Pile Arrangement

3. 波力算定式および解析方法

傾斜角 θ で設置した円柱軸の法線方向に作用する変動外力(静水面の状態を規準とする)の実測値を F_{mo} とする。これに対応する計算波力 F_c を(1)式に示すように、モリソン⁴⁾の示した抗力 $C_D F_b$ 、慣性力 $C_M F_i$ と、浮力の変動項 F_B (静水面の状態を規準とする)の和として表わす。この F_B については検討する必要があるが、今回は、近似的に η なる静水面の変化により生ずる浮力変化の円柱軸の法線方向成分と考へ(4)式で表わす。

$$F_c(t) = C_D F_b(t) + C_M F_i(t) + F_B(t) \quad (1) \quad \text{式中 } x = -y \tan \theta \quad \rho: \text{水の密度} \quad \eta: \text{水深}$$

$$F_b(t) = \int_{-R}^{R} \frac{1}{2} \rho D U(x, y, t) |U(x, y, t)| dy / \cos \theta \quad (2) \quad \eta: \text{波面の水位} \quad D: \text{円柱の径}$$

$$F_i(t) = \int_{-R}^{R} \frac{1}{4} \rho \pi D^2 \dot{U}(x, y, t) dy / \cos \theta \quad (3) \quad U: \text{円柱軸の法線方向の水粒子速度成分}$$

$$F_B(t) = \frac{1}{4} \rho \pi D^2 \eta \tan \theta \quad (4) \quad \dot{U}: \text{水粒子加速度成分}$$

U および $\dot{U}$ の算定には、ストークスの第3近似解を使用した。

C_D 、 C_M は、円柱軸方向に変化せず、周期内では一定と仮定し、実測波力 F_{mo} と、計算波力 F_c が、周期内でもっともよく一致するように、最小自乗法を用いて(5)、(6)式より算出する。その値を C_{D3} 、 C_{M3} とする。

$$C_{D3} = \left| \frac{\sum_{i=1}^N F_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i F_b} \right| \left| \frac{\sum_{i=1}^N F_i (F_{mo} - F_b)}{\sum_{i=1}^N F_i F_b} \right| \quad (5) \quad C_{M3} = \left| \frac{\sum_{i=1}^N F_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i F_b} \right| \left| \frac{\sum_{i=1}^N F_i (F_{mo} - F_b)}{\sum_{i=1}^N F_i F_b} \right| \quad (6)$$

ただし、 $N = T / \Delta t$ 、 $\Delta t = 0.02 T$ である。

3. 実験結果および解析結果

Fig-2 は、円柱を $\theta = \pm 32^\circ$ 傾けた場合の実測波力と計算波力の比較の一例を示したものである。図中の丸印は実測波力 F_{mo} を、黒丸印は実測波力 F_{mo} から (4) 式で示される浮力の変動項 F_B を引いた波力 F_{m1} を示す。点線は式 (5), (6) で求めた C_{D3} , C_{M3} の値を用いて計算した、(1) 式中の抗力および慣性力の和である。又、実線は、抗力項 F_D , 質量力項 F_z が 0 となるそれぞれの位相 $\pi/4$ で求めた C_D , C_M の値を用いて計算した (1) 式中の抗力および慣性力の和である。

Fig-3, 4 は、抗力係数 C_{D3} , および質量係数 C_{M3} と $rms.K \cdot C$ 数との関係を、傾斜角 θ をパラメーターにして示したものである。図中の実線は、 $\theta = 0^\circ$ に設置した場合の解析結果である。なお、これらの図には、一様振動流中に円柱を設置した場合の Sarpkaya 等の解析結果を点線で、直円柱の一部分に作用する波力を検出した Chakrabarti 等の解析結果を二点鎖線で示している。

Fig-3 に示している C_{D3} は、バラツキが大きく傾斜角 θ の影響がはっきりとは認められない。Fig-4 に示している C_{M3} は、直円柱の場合とほぼ同様な $rms.K \cdot C$ 数との関係を示しているが、設置方向により C_{M3} の値が異なってくる。この傾向は θ が大きくなる程、顕著に認められるようである。これは、流れ場の乱れ方が、円柱の設置角度により異なるためと思われるが、浮力の変動項 F_B の算定方法にも問題があるので、この点と合わせて検討を行う必要がある。

4. 終わりに

斜め円柱に作用する波力の算定式として、浮力の変動を考慮したモリソン式が使えるようである。しかし、式中の C_D , C_M については、より広範囲な実験を行ない、 $rms.K \cdot C$ 数以外のパラメーターに対する変化特性も調べる必要がある。

参考文献

- 1) Bursnall, W.J. et al. : NACA Technical Note 2463, 1951.
- 2) Al-kazily, M.F. : Univ. of California Hydraulic Eng. Laboratory, Technical Report HEL 9-21, 1972.
- 3) 林 重村 竹内 : 海岸工学講演会論文集 No24, PP337~341 1977.
- 4) Sarpkaya, T. : Jour. of Applied Mechanics, Vol. 42, Series E, No. 1, PP32~37, 1975.
- 5) Chakrabarti, S.K. et al. : Journal of ASCE, WW2 PP203 ~221, 1976.

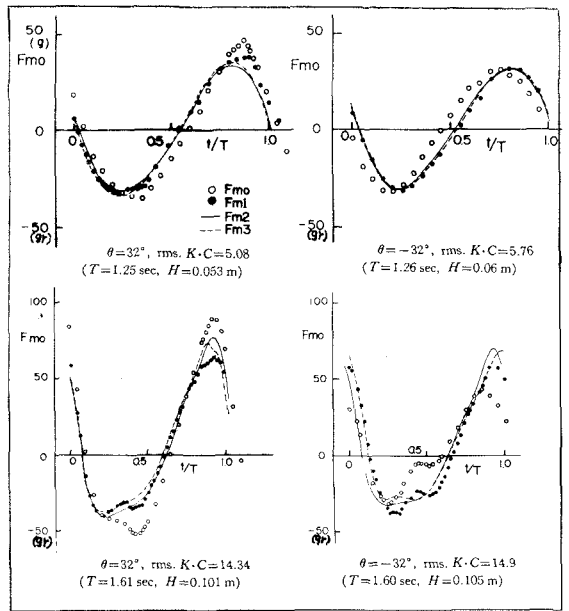


Fig-2 $F_{mo} \sim F_c$

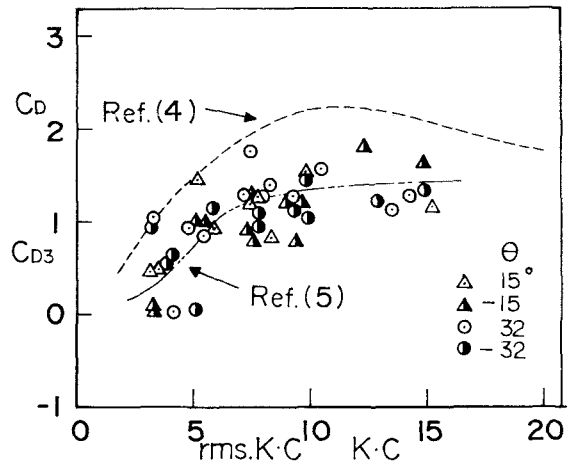


Fig.3 $C_{D3} \sim rms.K \cdot C$

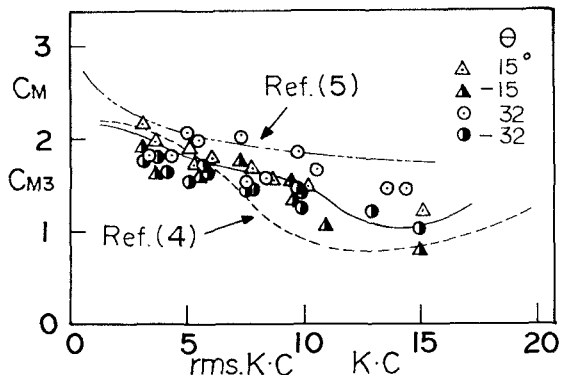


Fig.4 $C_{M3} \sim rms.K \cdot C$