

琉球大学工学部 正員 河野 二夫  
学生員 宮城 敏明  
学生員 和 宇 慶 務

(1) 緒言

海洋構造物に作用する波力に関する研究は多くなされている。それらの研究の大部分は波力に対する質量係数や抗力係数を明らかにすることであった。例えば、Sarpkaya (1976, 1977) はこれらの係数が K-C 数, Re 数および Roughness 係数の関数であることを示した。Keulegan - Carpenter (1958) は限られた Re 数の範囲に対し Period - Parameter (K-C 数) によって示されることを示した。以上の様な研究は物理的にも大変興味のあることである。他方、Melvilles and Priest (1962) は海洋構造物と実際に設計する立場からすれば、これらの係数を議論するよりも、直接波力を評価する方がより大切であると述べている。

本論文は合成波力についての考え方を提案したものである。

(2) 理論と結果

Morison らによって提示された円柱に作用する波力の式は Stokes 波の第 2 次近似までを考えると次式で示される。

$$\bar{P} = \frac{P}{P_m} = C_m \frac{\cosh \frac{Ks}{\lambda}}{\sinh \frac{K\lambda}{\lambda}} \{ -\sin \theta - 2\delta \sin 2\theta \pm \varphi (\cos \theta + \delta \cos 2\theta)^2 \} \quad (1)$$
$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi^3 D^3 H \frac{dz}{T^2} ; \quad \varphi = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{C_D}{C_m} \cdot KC = \frac{H}{D\pi} \frac{C_D}{C_m} \frac{\cosh Ks}{\sinh K\lambda} = \frac{\text{抗力}}{\text{質量力}}$$

上式で、 $\theta$  は波の位相角、 $C_m$ ,  $C_D$  は質量係数と抗力係数、 $KC$  は K-C 数であり、その他の記号は普通用いられているので説明を省略する。なお(1)式の±は  $\cos \theta + \delta \cos 2\theta > 0$  のとき正の符号を取る。また、 $\delta$  は Stokes 波の水平方向の水粒子速度の第 2 次と第 1 次の最大値の比率 ( $\delta = |u_2|/|u_1|$ ) である。

式(1)の右辺第 3 項を Fourier 級数に展開すると、その係数は次式になる。

$$a_n = \frac{2}{\pi} \{ F(n, \theta) \}_{\theta_2}^{\theta_1} + \frac{1}{\pi} \{ F(n, \theta) \}_0^{2\pi}$$
$$F(n, \theta) = \frac{1+\delta^2}{2n} \sin n\theta + \frac{1}{4} \left\{ \frac{\sin(2+n)\theta}{2+n} + \frac{\sin(2-n)\theta}{2-n} \right\} + \frac{\delta}{2} \left\{ \frac{\sin(3+n)\theta}{3+n} + \frac{\sin(3-n)\theta}{3-n} + \frac{\sin(1+n)\theta}{1+n} + \frac{\sin(1-n)\theta}{1-n} \right\} + \frac{\delta^2}{4} \left\{ \frac{\sin(4+n)\theta}{4+n} + \frac{\sin(4-n)\theta}{4-n} \right\}$$

$b_n = 0 ; \quad \theta_2 = 2\pi - \theta_1$

3 倍周波数の範囲内での Fourier 級数の係数は次表のようになる。

| Table I: Coefficients of Fourier Series for Resultant Wave Forces |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| $\alpha$                                                          | 0     | 0.05  | 0.10  | 0.15  | 0.20  | 0.25  | 0.30  | 0.40   | 0.60  | 0.80  | 1.0   |
| $\theta_1$                                                        | 1.571 | 1.521 | 1.473 | 1.426 | 1.384 | 1.344 | 1.308 | 1.247  | 1.155 | 1.092 | 1.047 |
| $a_0 \cdot \pi$                                                   | 0     | 0.133 | 0.265 | 0.496 | 0.523 | 0.647 | 0.767 | 0.991  | 1.370 | 1.640 | 1.793 |
| $a_1 \cdot \pi$                                                   | 8/3   | 2.671 | 2.685 | 2.713 | 2.741 | 2.782 | 2.832 | 2.958  | 3.313 | 3.796 | 4.387 |
| $a_2 \cdot \pi$                                                   | 0     | 0.187 | 0.375 | 0.546 | 0.779 | 0.953 | 1.152 | 1.567  | 2.715 | 3.449 | 4.533 |
| $a_3 \cdot \pi$                                                   | 8/15  | 0.534 | 0.535 | 0.538 | 0.542 | 0.549 | 0.554 | -0.582 | 0.675 | 0.831 | 1.063 |

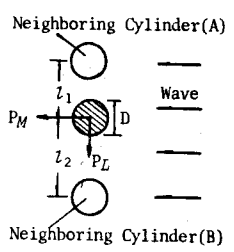
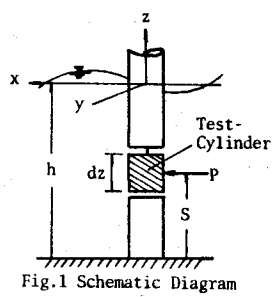


Fig.2: Model Type (1)

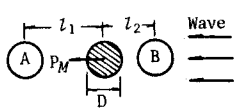


Fig.3 Model Type (2)

倍振動数の範囲内では無次元合成波力  $\bar{P}$  は次式になる。

$$\bar{P} = C_n \frac{\cosh kS}{\sinh kH} \left\{ \frac{D_0}{2} \cdot \varphi + \sqrt{1 + \cos^2 r_1} \cdot \cos(\theta + r_1) + \sqrt{1 + \cos^2 r_2} \cdot \cos(2\theta + r_2) \right\} \quad (2)$$

上式で、 $\cos r_1 = a_1 \cdot \varphi$ 、 $\cos r_2 = a_2 \cdot \varphi / 2\alpha$

図・4 は任意の  $\varphi$  と  $\alpha$  に対し式(2)により無次元合成波力を計算した結果が波形(略図)と比較して示してある。

合成波力を求める場合、 $\alpha$  は計算で与えられるが  $\varphi$  は実験的にしか得られない。図・2 および図・3 に示す様な複数鉛直円柱が接近しておかれた場合の Test Cylinder に作用する合成波力を測定し、式(2)によって  $\varphi$  と逆算した結果を図・5 と図・6 に示した。

勿論、質量係数  $C_n$  は Potential 理論による計算値が用いられた。

$C_n$  の値は次の様になる。<sup>(1,2)</sup>

Model Type(1) に対し、

$$C_n = 2 \left\{ 1 + \left( \frac{D}{2L_1} \right)^2 + \left( \frac{D}{2L_2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2L_1} \right)^4 + \left( \frac{D}{2L_2} \right)^4 + \dots \right\}$$

場力  $P_L$  に対する場力係数を  $C_L$  とすると、

$$C_L = \frac{3}{4} \pi \left( \frac{D}{L_1} \right)^3 \left[ 1 - \left( \frac{D}{L_1} \right)^3 + \frac{1}{4} \left( \frac{D}{L_2} \right)^3 \left\{ 1 - \left( \frac{D}{L_1} \right)^5 \right\} \right]$$

また、Model Type(2) に対しては、

$$C_n = 2 \left\{ 1 - \left( \frac{D}{2L_1} \right)^2 - \left( \frac{D}{2L_2} \right)^2 + \left( \frac{D}{2L_1} \right)^4 + \left( \frac{D}{2L_2} \right)^4 + \dots \right\}$$

図・5 および図・6 で横軸の PP は K-C 数に対応するが、速度は Stokes の第 2 次近似までと考えたときの波の各位相角に対するものが用いられている。

### [3] 結論

円柱に作用する波力の評価方法として一般には質量力が卓越するものとして微小振幅理論に基づく考察がなされた様に思われる。図・4 からわかる様に、 $\alpha$  や  $\varphi$  の変動に対する合成波力について検討が必要と思われる。また、図・5 と図・6 に示した  $\varphi$  の実験値によるとばらつきも大きく、資料も少ないが、全体的には統一した傾向を示している。

### [4] 参考文献

- 1) 河野二夫：海岸水理学，森北出版 KK，1980。
- 2) T. KONO : Interference of Progressive Wave with Vertical Cylinders, Proc. 5th Conf. on Ocean Engineering in Republic of China, Oct, 1981.

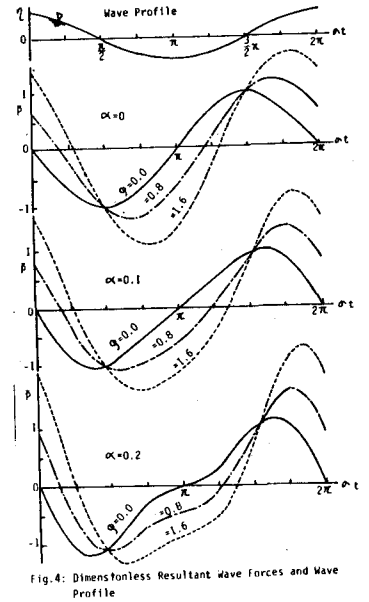


Fig.4: Dimensionless Resultant Wave Forces and Wave Profile

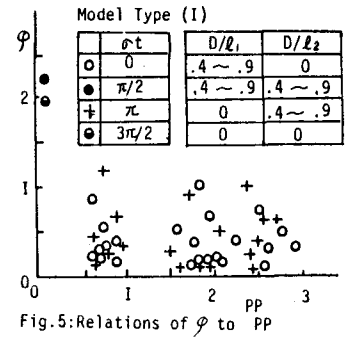


Fig.5: Relations of  $\varphi$  to PP

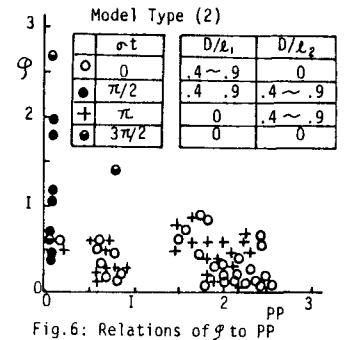


Fig.6: Relations of  $\varphi$  to PP