

(1) 緒言

図-1に示した様に複数の円柱がその軸方向を平行に、かつ波の進行方向に対し直角水平方向に固定しておかれた場合円柱の接近に伴う波力の干渉について理論的・実験的に検討した。この研究の目的はTest-cylinderの部材要素に作用する合成波力および合成波力係数(仮称)についてその特性を明らかにすることである。

(2) 理論的考察

2-A: 1本の円柱に作用する合成波力

Stokes波の第2次近似解までを考えるとMorisonの波力公式は次式で与えられる。

$$\bar{P} = \frac{P_h}{P_m} = C_m \frac{\cosh kh_s}{\cosh kh} \left\{ \frac{a_s}{2} \varphi + \sqrt{1 + \cot^2 \gamma_1} \cdot \cos(\theta + \gamma_1) + 2\alpha \sqrt{1 + \cot^2 \gamma_2} \cdot \cos(2\theta + \gamma_2) \right\} \quad (1)$$

$$\text{ここで、 } P_m = \frac{1}{2} \rho \pi^2 D^2 \frac{H}{T^2} dy; \quad \theta = kx - \omega t; \quad \alpha = U_1/U_2;$$

$$\varphi = \frac{1}{\pi} \frac{T U_1 C_a}{D C_m}; \quad \cot \gamma_1 = a_s \varphi; \quad \cot \gamma_2 = a_2 \varphi / 2\alpha.$$

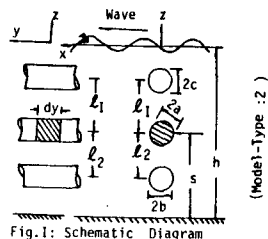
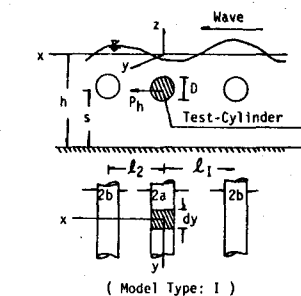


Fig. 1: Schematic Diagram

上式で、 U_1 と U_2 はStokes波の第1次、第2次の水粒子水平速度の最大値であり、 a_s 、 a_1 、 a_2 は抗力をFourié級数に展開したときの係数、 θ は波の位相角である。

2-B: 質量係数(C_m)および揚力係数(C_a)について

図-1に示したModel-Type:1の場合はポテンシャル理論により次式で示される。

$$C_m = 2 \left\{ 1 - \left(\frac{D}{2l_1} \right)^2 - \left(\frac{D}{2l_2} \right)^2 + \left(\frac{D}{2l_1} \right)^4 + \left(\frac{D}{2l_2} \right)^4 + \dots \right\} \quad (2)$$

図-1に示したModel-Type:2の場合はTest-cylinder近傍の速度ポテンシャルは(3)式になる。ただし、 r_a は円柱要素の中心と任意点Qの距離を示す。

$$\phi = -U_0 \left(\frac{a^2}{r_a} + \frac{r_a a^2 b^2}{l^4} \right) \cos \theta_a - U_0 \left\{ \frac{b^2 r_a \cos \theta_a}{l^4} (l^2 - r_a^2 + 2l r_a \sin \theta_a + 4r_a^2 \sin^2 \theta_a) + \frac{a^2 b^2}{l^4} \frac{\cos \theta_a}{r_a} (l^2 - 3a^2 + 4l a \sin \theta_a + 12a^2 \sin^2 \theta_a) \right\} - (U_0 - U_a) r_a \cos \theta_a - U_0 r_a \cos \theta_a \quad (3)$$

上式では当然Bottom Boundaryの鏡像効果を考えるべきだが、本文では無視した。

円柱に作用する流体力を P_h 、 P_v とすると次式を計算される。ただし $\dot{\phi}$ は時間に対する微分である。

$$P_h = \rho a \int_0^{2\pi} \left\{ F(t) - \dot{\phi} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_a} \frac{\partial \phi}{\partial \theta_a} \right) \right\}_{r_a=a} \cdot \cos \theta_a \cdot d\theta_a \cdot dy = 2 \rho \pi a^2 \dot{U}_0 \left\{ 1 + \dot{U}_1/\dot{U}_0 \times \left(\frac{b}{l} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{a b}{l^2} \right)^2 \right\} dy + \rho \pi a^2 \dot{U}_0 \left\{ \dot{U}_b/\dot{U}_0 - 1 \right\} dy \quad (4)$$

$$P_v = -\rho a \int_0^{2\pi} \left\{ F(t) - \dot{\phi} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_a} \frac{\partial \phi}{\partial \theta_a} \right) \right\}_{r_a=a} \cdot \sin \theta_a \cdot d\theta_a \cdot dy = \frac{6}{l^2} \rho \pi a^2 b^2 U_0 \dot{U}_0 \left(1 + \frac{U_1}{U_0} \frac{b^2}{l^2} \right) dy \quad (5)$$

以上の式で $F(t)$ は任意常数である。

以上の結果と Morrison 式を比較すると、質量係数 C_M と揚力係数 C_L が得られる。

本論文では3本に対する場合であるので、対称性を考えて理論の結果を拡張する(図・1で $l_1 \rightarrow l_2$ に対応)と次の様な結果が得られる。

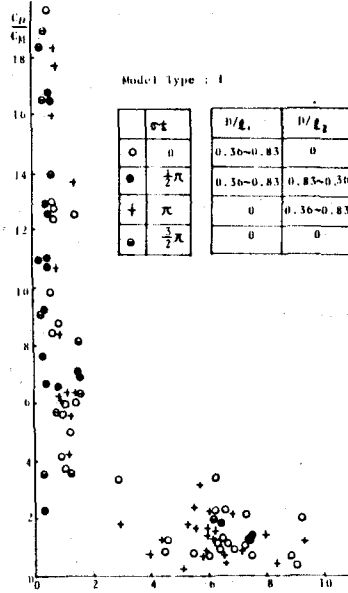


Fig. 2 : Relations of C_M/C_H to PP

$$C_M = 2 \left\{ \frac{1}{\cosh k S} \left\{ \left(\frac{1}{2} + \frac{b^2}{L_1^2} \right) \cosh k(S - l_2) + \left(\frac{1}{2} + \frac{c^2}{L_2^2} \right) \cosh k(S + l_1) \right\} + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{-ac}{L_1^2} \right)^2 + \left(\frac{ab}{L_1^2} \right)^2 \right\} \right\} \quad (6)$$

$$C_L = \frac{3}{8} \pi \left(\frac{D}{L_1} \right)^3 \left\{ \left\{ \frac{\cosh k(S + l_1)}{\cosh k S} + \left(\frac{\cosh k(S + l_2)}{\cosh k S} \right)^2 \right\} \times \left\{ 1 + \frac{2a^2}{L_1^2} \frac{\cosh k(S + l_1)}{\cosh k S + \cosh k(S + l_1)} \right\} - \left(\frac{L}{L_1} \right)^2 \left\{ \right\} \right\} \quad (7)$$

(3) 実験結果の概要

式(6)を式(1)に代入し、合成波力係数(仮称) C_D/C_M を逆算した結果を図2・図3に示した。横軸のPPは $K \cdot C$ 数に対応するが、速度は $S=0.62$ の第2近似値までを考えたときの波の各位相角に対応する。波形と合成波力の位相差が合成波力の大きさを決定する重要な要素であることが式(1)から判明するが、この位相角差(γ)について示したものが図4である。図中の理論曲線は $\alpha=0$ の場合を示してある。最後に合成波力を無次元で示した式(1)と実験値の比較を図5に示した。理論値は $\gamma=1.1$ と仮定してある。

この実験に使用した逆波水路は長さ22m、幅0.8m、高さ1mのもので $D=5$ cm、 $S=31$ cmである。波力の測定には板ばねの変位を直流増幅器によってジグザグに記録させた。

(4) 結論

従来、構造物に作用する波力の研究では C_H や C_D の特性を明らかにすることであつたと思われるが、合成波力を評価するためには合成波力係数(仮称)の性質を明らかにすることが大切ではないと思われる。

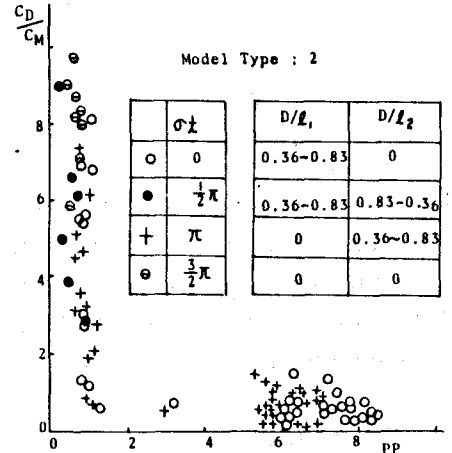


Fig. 3 : Relation of C_D/C_M to PP

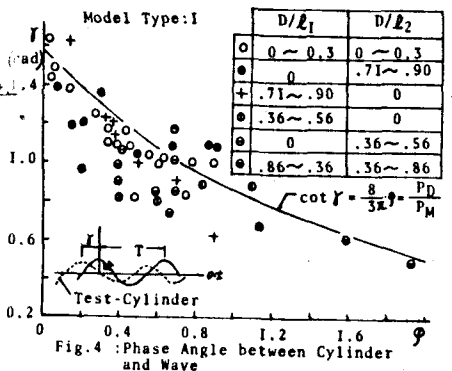


Fig. 4 : Phase Angle between Cylinder and Wave

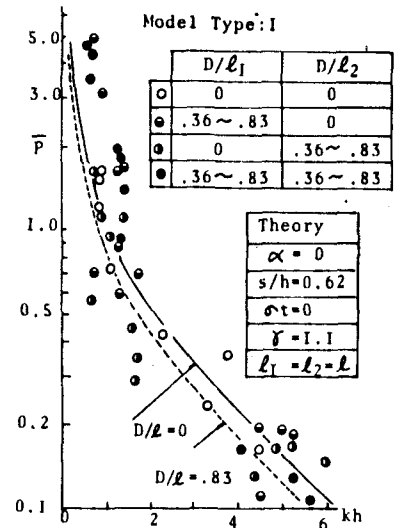


Fig. 5 : Computed Curves and Experimental Results