

琉球大学・工学部・正会員 河野ニ夫

1. はじめに

海中構造物の築造に用いられる部材は一般に円柱状のものが多い。この様な部材に作用する波力を見積る方法として従来より種々の検討がなされている。その基本的な考え方はMorisonらが提案した様に質量力と抗力の和を波力算定式とし、その式の中に波動理論を導入して質量係数 C_M と抗力係数 C_D を実験値を用いて逆算し、それらの係数の特性を明らかにすることである。しかしながら実際問題として波力自体に注目すると、①これらの係数のバラツキ、②質量力と抗力を合成して実際の波力である合成波力を評価する場合に解決すべき課題が残されていると思われる。

この論文は合成波力係数(仮称)を定義し、合成波力を直接的に算出する一般式を提案し、その式の中の合成波力係数について実験的に考察したものです。

2 理論的考察

図・1に示す水平円柱の部材要素(dy)に作用する波の進行方向(x 軸方向)の合成波力 P を求めるものとする。Morisonらの式の中の水粒子水平速 U と加速度 $\dot{U}$ に対しStokes波の第2次近似値までを代入すると式(1)が得られる。

$$P = P_M [-\sin \alpha t - 2\alpha \sin 2\alpha t + \frac{1}{\pi^2} KC \cdot C_{DM} (\cos \alpha t + \alpha \cdot \sin 2\alpha t)^2] \quad (1)$$

$$P_M = \frac{1}{2} \rho \pi^3 C_M \cdot D^2 \frac{H}{T^2} \cdot \frac{\cosh ks}{\sinh kh} \cdot dy$$

上式の中で $(\cos \alpha t + \alpha \cdot \sin 2\alpha t) > 0$ のとき(±)の記号は+の値になるとして右辺第2項をフーリエ級数に展開すると、 $\cos$ 関数だけの係数(a_0, a_1, a_2)が α の関数として得られる。以上の式の中で、 T :波の周期、 H :波高、 k :波数、 α :波の角周数、 ρ :水の密度、 U_1 と U_2 はStokes波の水粒子水平速度の第1次と第2次の振幅であって $\alpha = U_2/U_1$ である。 KC はKeulegan-Carpenter数(TU_1/D)である。なお、 C_{DM} は本論文で定義した合成波力係数である。(1)式より無次元合成波力 $\bar{P}$ が得られる。

$$\bar{P} = \frac{P}{P_M} = \frac{a_0}{2} \phi + \sqrt{1 + \cot^2 \gamma_1} \cdot \cos(\alpha t + \gamma_1) + 2\alpha \sqrt{1 + \cot^2 \gamma_2} \cdot \cos(2\alpha t + \gamma_2) \quad (2)$$

式(2)で、 $\phi = KC \cdot C_{DM} / \pi^2$, $\cot \gamma_1 = a_1 / \phi$, $\cot \gamma_2 = a_2 \cdot \phi / 2\alpha$ である。波の条件から α は計算で求められるので、その α を用いて a_0, a_1, a_2 が計算される。故に ϕ の値(或は C_{DM})を適当に仮定すれば式(2)により P が求められる。 $\bar{P}$ の計算結果の1例を図・2に示した。本論文では図・1に示した水平円柱の部材要素に作用する合成波力の実験値を用いて式(2)により合成波力係数(仮称) C_{DM} を逆算し、その特性について検討した。

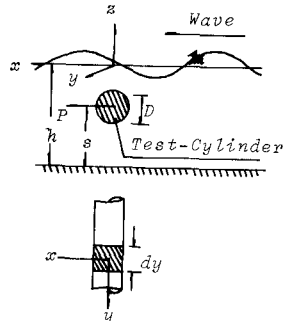


Fig.1 Definition sketch of wave forces on a horizontal cylinder.

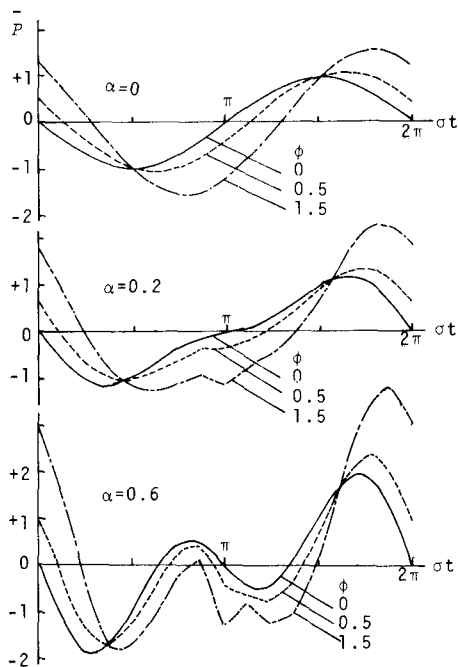


Fig.2 Dimensionless Resultant Wave Forces

3. 実験装置と実験方法

実験に使用した円柱は直径 $D=5\text{ cm}$, $d_y=5\text{ cm}$ のものでプラスチック製品である。造波水槽は長さ 22 m , 高さ 1 m , 水路幅 0.8 m のもので水深は $h=50\text{ cm}$ にした。円柱の中心軸の位置は水底より $S=31\text{ cm}$ に固定し、円柱部材要素に作用する水平波力は歪ゲージによるバネ系の手法によった。

4. 実験結果と考察

図-3は与えられた波の条件から計算される α の値と波力の実測値 (○印) に対し、実測波力を最もよく説明できると思われる ϕ の値を試算的に逆算した値を用いて式 (2) で計算された合成波力の理論曲線と実測波力の比較をしたものである。横軸の原点 ($t=0$) は波形の峯の位相に一致する。図によると ϕ の値は波の各位相角上でほぼ一致した値になると考えられる。つまり、合成波力係数は波の一周期に亘って一定値になる。

次に式 (1) の質量係数 C_m の値は図-2で合成波力が波の特定の位相角 ($t=\pi/2$, $t=3\pi/2$) 上で ϕ の値にかかわらず一定値になる事を利用して無次元合成波力 $\bar{P}$ の実測値から求めることが出来る。

その結果が Keulegan らの実験値と比較して図-4に示した。図によると、 C_m は近似的にはポテンシャル理論による計算値に一致すると考えられる。勿論、KC 数の大きな範囲について検討する必要がある。

図-5と図-6には図-3で求めたと同様の方法で算定した ϕ の値や合成波力係数 C_m の値が KC 数に対応させて示しある。

図中の ● は Keulegan らが水平円柱を Standing Wave の中に固定した場合の結果であり、波力をフーリエ級数に展開し、その各成分波毎の C_m と C_p を求め全体としてそれらの成分波に対する係数の和を質量係数と抗力係数としたもので、本文の定義とは若干異なる。図-6で KC 数の小さい範囲の実測値が少ないが、複数の鉛直円柱に関する結果によると (下説文献参照) KC 数の小さい範囲についても C_{DM} の値は KC 数に対して統一的に整理される。

5. 結び

合成波力を見積るのに合成波力係数 (仮称) を定義し、その特性を実験的に検討したところ、この係数は KC 数によって統一的に整理されることがわかった。

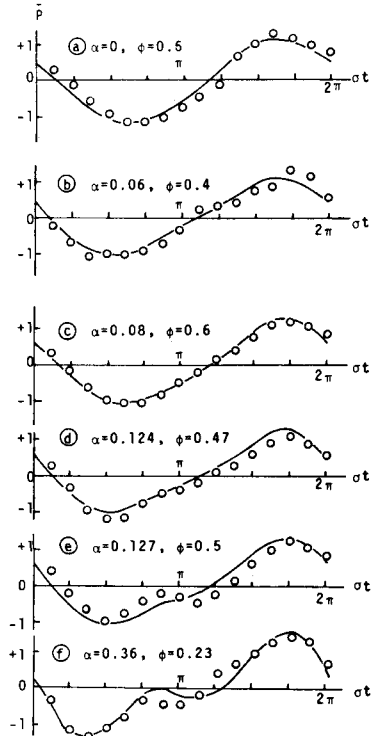


Fig.3 Comparison between calculated and measured Dimensionless Resultant Forces.

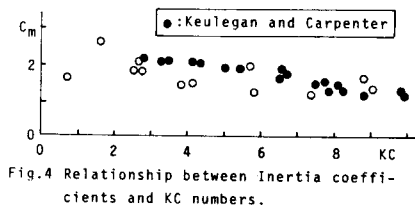


Fig.4 Relationship between Inertia coefficients and KC numbers.

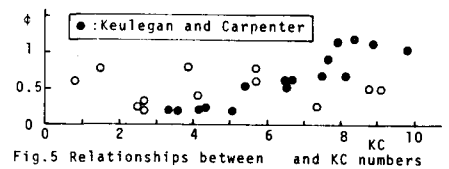


Fig.5 Relationships between phi and KC numbers

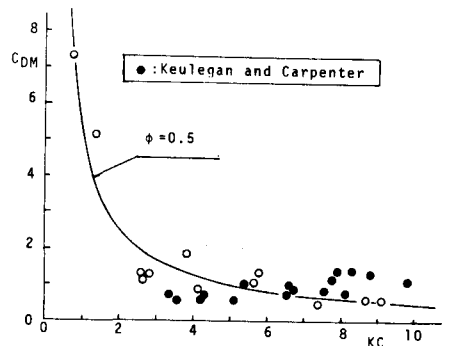


Fig.6 Relationships between C_{DM} and KC numbers

REFERENCE

- Kono, Tsugio.: Interference of Progressive Wave with Vertical Cylinders, Proc. 5th Conf. on Ocean Engineering in Republic of China, Oct. 1981.