

金沢大学工学部 正会員 石田 啓
金沢大学大学院 ○石川 浩司

1. 緒言 波浪場における大口径柱体に関する従来の研究は、波力特性に主眼が置かれてきており、振動特性を取り扱ったものは全く見られない。そこで本研究では、大口径柱体の振動特性を明らかにするため、特に柱体頂部の変位について計算と実験の両面から検討し、両者の比較を行う。

2. 計算方法および実験方法

波による円柱の横振動の方程式は、外力に MacCamy と Fuchs の提示した波力式を用いると、

$$(AP + KA\rho_w)\ddot{\xi}_{tt} + C\dot{\xi}_t + EI\xi_{zzzz} = \frac{4\rho g a}{\ell} \frac{A(\ell R)}{\cosh \ell R} \cos(\omega t - \delta)$$
 と表わすことができる。ここに、 $A(\ell R) = 1/\sqrt{J_1'^2(\ell R) + Y_1'^2(\ell R)}$ 、 $\delta = -\tan^{-1}\{Y_1'(\ell R)/J_1'(\ell R)\}$ であり、 t : 時間, z : 鉛直座標, ξ : 水平方向変位, A : 円柱の断面積, ρ : 円柱の密度, ρ_w : 水の密度, R : 円柱の半径, C : 減衰係数, EI : 円柱の曲げ剛性, g : 重力加速度, a : 波の振幅, ℓ : 波数, ℓ : 水深, ω : 波の角周波数, J_1' : 第1次ベッセル関数の導関数, Y_1' : 第1次ノイマン関数の導関数, δ : 位相角である。なお、計算は伝達マトリックス法を用いて行った。図1に実験装置の概要を示す。実験に用いた円柱は、長さ60cm、直径 $D=40$ cm、厚さ1mmの剛性であり、下端部の板バネの曲げ剛性は、 $EI=1.074 \times 10^6 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ である。円柱の水平方向変位の測定には接触型変位計を用いた。実験時の水深は、 $\ell=35$ cm であり、水中における円柱の固有振動周期は、 $T_n=0.56$ sec であった。

3. 結果および考察

図2(a)および(b)は、円柱頂部の変位の一周期内の最大値 ξ_{max} の周期特性を示したものである。図中、 $\pm$ は波高が $H=2.7\sim 3.3$ cm、 $H=4.5\sim 5.5$ cm の場合の実験値であり、波線、点線、二点鎖線および一点鎖線は、付加質量係数 K をそれぞれ $K=0, 0.2, 0.4, 1.0$ とした場合の計算値である。なお、計算には、実験に用いた波高の平均値である $H=3.0$ cm、 $H=5.0$ cm を用いた。実験値では、 $T_n=0.56$ sec および $2T_n=1.12$ sec 付近で共振が生じているが、計算では $2T_n$ 付近では生じていない。これは、計算に用いた波力式には波の角周波数の2倍成分が含まれていないためである。また、(b)で波高を大きくすると短周期の波は砕波してしまうため、 $T=0.5$ sec より小さい周期の波に対して実験値は得られない。静止した物体の付加質量係数は完

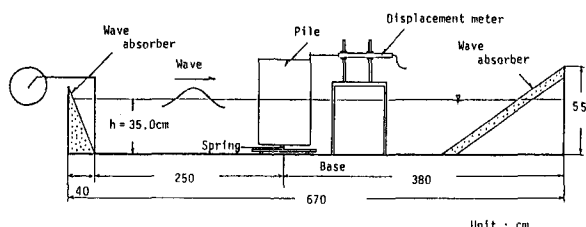


図1 実験装置概要

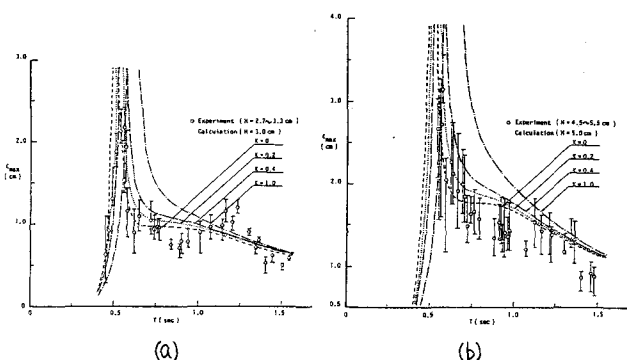


図2 振動変位の周期特性

全流体理論によると、 $K=1.0$ となるが、図からわかるように、 $K=1.0$ では計算値は実験値と一致していない。特に共振点付近では、 $K=0, 0.2$ とした場合の計算値は実験値と良く一致している。また、長周期の波に関しては、付加質量係数の相違による振動変位の相違はあまり見られなくなる。図3(a)から(e)は、振動変位の実験値と計算値の一周期内の時間変化を示したものである。図中、実線は実験値であり、破線、点線、二点鎖線および一点鎖線は、図2と同様に、各付加質量係数 K に対する実験値である。(a)から(c)は、波の周期 T が円柱の固有振動周期 $T_n=0.56\text{sec}$ にほぼ等しい場合である。共振点付近では、付加質量係数の見積り方によって計算値は大きく異なっている。これは図2からわかるように、付加質量の違いによって共振周波数が変動するという振動特性のためである。(a)では $K=0$ 、(b)および(c)では $K=0.4$ とした変位の計算値は非常に大きい。これは共振のためである。(b)および(c)では、位相および変位の大きさがほぼ一致する $K=0\sim 0.2$ の値が適当と言える。これは、図2の振動変位の周期特性から得られた結果と一致する。(d)は、周期が T_n よりわずかに大きい場合であるが、実験値は $K=0\sim 0.2$ の計算値とほぼ一致している。(e)は、周期が $2T_n$ よりわずかに小さい場合である。計算値は $K=0, 1.0$ の場合についてのみ示しているが、両者にはほぼ差異がなく、計算値は実験値と良く一致している。以上、大口径柱体の振動特性について考察を行ってきたが、今後の課題として、共振時に付加質量係数が減少する機構について検討する必要がある。また、円柱の固有振動周期の2倍周期の波による共振を取り扱うためには、非線型性を考慮した解析方法を確立することが必要と思われる。最後に、本研究を行うに際し、助力を惜しまなかった当時学部学生の鰐淵浩司君に深く謝意を表す。

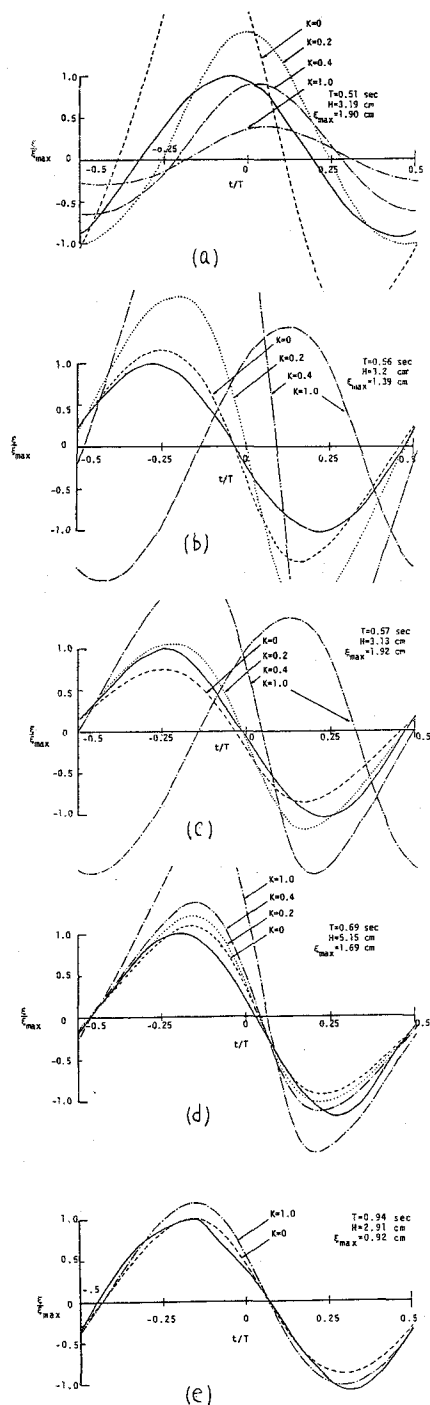


図3 振動変位の時間変化

《参考文献》

- 1) MacCamy, R.C. and Fuchs, R.A.: Wave forces on Piles: A diffraction theory, Beach Erosion Board, Tech. Memo, No. 69, pp 1-17, Dec., 1954.
- 2) 石田啓・渡辺公徳・松井輝峰: 柱状構造物の波浪振動解析に関する研究. 金沢大学工学部紀要, 第14巻, 第1号, 1981.