

名古屋大学工学部 正会員 岩田好一郎

名古屋大学大学院 学生員 ○水谷 法美

1. はじめに：構造物に作用する波力の研究のうち、円柱を対象としたものは、非常に多くの研究者によって行われている。しかし、球体に作用する波力の研究は非常に少なく、振動流中における球体に作用する流体力の研究がいくつかなされている程度である。本研究は、波動中におかれた球体に作用する波力の特性を水理実験により明らかにしようとしたものであり、また、従来波力算定式としてよく用いられている Morison 式¹⁾にも若干の考察を加えたので、その結果の一部を報告することとする。

2. 水理実験：実験は、片面ガラス張りの二次元鋼製水槽（長さ25m×幅0.7m×高さ0.95m）で行われた。実験条件は、表-1に示すように、水深を2種類、波の周期を3種類、球の設置位置を5～6種類変化させ、各条件に対し波高を2～3種類変化させた。それぞれのケースに対し、x, y, z 方向の波力 F_x , F_y , F_z , 流速 u , w , および水位を計測した。使用した球は、直径6.35cmの合成樹脂製であり、Cantilever によりモーメントから力を逆算した。

3. 解析方法：実験で得られた水位、流速、波力の時間波形を、すべてサンプリングタイム $\Delta t = 0.05$ 秒で離散化し、無次元最大波力などの無次元量を計算した。なお、流速は、実測の流速のほかに、Airy理論、Stokes理論（2次、3次）の流速も用いたが、実測の流速と Airy理論の流速の時間波形は、よく合っていることが確かめられたため、解析は主に Airy理論の流速を使った。また、Morison式の流体力係数は以下のようにして求めた。

球体に作用する波力ベクトル $\mathbf{F}$ に、Morison 式が適用できるとすれば、(1)式のようになる。

$$\mathbf{F} = \frac{1}{8} C_D \rho \pi D^2 \mathbf{v} |\mathbf{v}| + \frac{1}{6} C_M \rho \pi D^3 \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1)$$

ここに、 C_D ；抗力係数、 C_M ；慣性力係数、 ρ ；水の密度、 D ；球の直径、 $\mathbf{v}$ ；流速ベクトル、である。

(1)式より、 F_x , F_z をそれぞれ(2)式、(3)式で表すことが可能である。

$$F_x = \frac{1}{8} C_{Dx} \rho \pi D^2 u \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_{Mx} \rho \pi D^3 \frac{du}{dt} \quad (2)$$

$$F_z = \frac{1}{8} C_{Dz} \rho \pi D^2 w \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_{Mz} \rho \pi D^3 \frac{dw}{dt} \quad (3)$$

ここに、 C_{Dx} , C_{Dz} は抗力係数、 C_{Mx} , C_{Mz} は慣性力係数である。(2)式、(3)式中の流体力係数を、右辺で計算される波力の時間波形が、実測の波力の時間波形に最もよく合うように、最小自乗法によって計算した。

4. 実験結果および考察：

(1) 波力時間波形：本研究で得られた波力の時間波形は、図-1に示すように大きく3つに大別できる。(a) 正弦波型(S型)波形、(b) 双峰型(T型)波形、(c) 不規則波型(R型)波形の3つである。今回最も多く観測されたのは、S型波形であり、 F_x はすべてS型波形であった。また、 F_z , F_y でもS型波形は多く観測された。T型波形は、 F_z , F_y で観測された。その発生状況は、静水面近傍、底面近傍で多く発生するようである。このタイプは、揚力の影響が大きい波形であると考えられる。したがって、 F_x にくらべ F_z は揚力の影響が大きいことが指摘できる。なお、R型波形はすべて F_y で観測された。

(2) 無次元最大波力：図-2に無次元最大波力 ($F_{\max}/\rho u_m^2 D^2$) と K.C数 ($u_m D/T$) の関係を示す。同図より、 D/gT^2 , D/z , D/h に関係なく無次元最大波力は $(K.C)^{-1}$ に比例して減少していることが認められる。慣性力のみを考える場合、

表-1 実験条件

水深 (cm)	40	56
球の設置位置 (cm)	-5, -10 -20, -30 -35,	-5, -10 -20, -30 -40, -50
周期 (s)	0.8, 1.0, 1.45	
波高 (cm)	2.8 ~ 10.6	

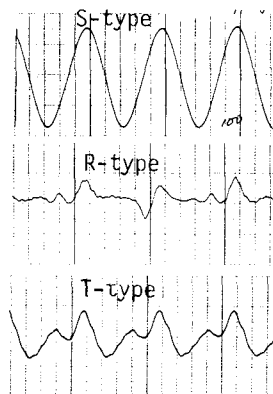


図-1 波力時間波形例

波力の最大値，すなわち慣性力の最大値について，同様の傾向が得られることから，本実験の範囲内においては，抗力より慣性力が卓越していることが考えられる。この点については，後述する流体力係数を使って，抗力，慣性力の最大値の比を計算した結果，慣性力が若干抗力より大きくなることから確認できた。なお，ここでは F_X のみ図示したが， F_Z に関しても同様な傾向が得られた。したがって， F_X と F_Z については，揚力は波力の時間波形には影響をおよぼすものの，最大波力に対しては大きな影響をおよぼさないことが推測できる。

(3) 流体力係数：図-3に抗力係数(C_{DX})とK.C数，図-4に慣性力係数(C_{MX})とK.C数の関係を示す。抗力係数は，無次元最大波力と同様に $(K.C)^{-1}$ に比例して減少していることが認められる。ここには図示していないが， C_{DZ} も多少ばらついていたものの，全体的には C_{DX} と同様に $(K.C)^{-1}$ に比例して減少する傾向が認められた。一方，慣性力係数は，K.C数の変化に関係なく一定値2.0~3.0をとるようであり， C_{MZ} についても同様の結果が得られた。

また，これらの流体力係数を使って，(2)式，(3)式で波力の時間波形を計算した。その結果，S型波形は，実測の波力時間波形と充分一致していることが認められた。しかし，T型波形については，工学的に重要であると考えられる最大値は一致していたものの，波力の時間波形を充分表現しているとはみなせなかった。したがって，最大波力に着目すれば，球体に作用する波力の一算定式として，Morison式の適用性が認められよう。しかし，波力の時間波形を正確に表現するためには，(2)式，(3)式の表現では不充分であり，揚力などを加えた形で修正していかなければならない。

5. あとがき：以上，球体に作用する波力の特性について， F_X ， F_Z を中心に述べてきたが，今回の実験範囲は非常に限られており，今回の実験範囲のみで球体に作用する波力の特性を評価するのは，問題の残るところである。今後，更に広範囲の実験を行い検討を加えていく所存である。

参考文献

1) Morison J.R. et al. : The Force Exerted by Surface Wave on Piles, Petroleum Trans. AIME Vol. 42, pp. 149-157, 1950.

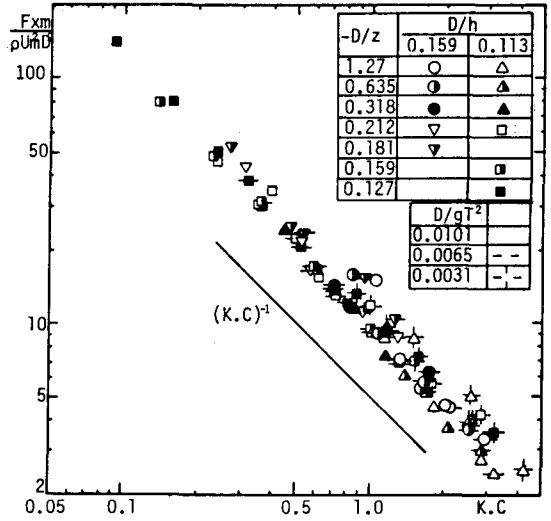


図-2 $F_{xm} / \rho u_m^2 D^2 \sim K.C$ 数

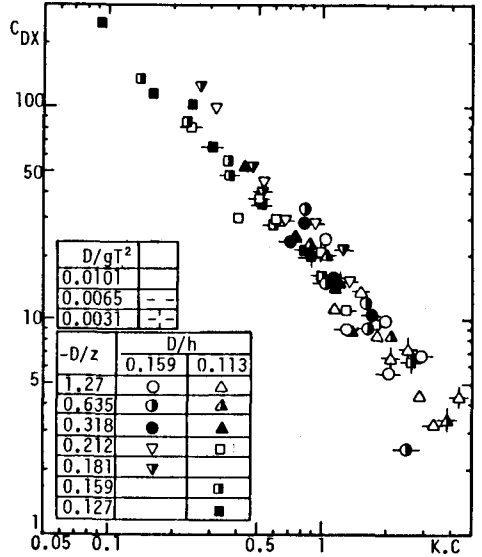


図-3 $C_{DX} \sim K.C$ 数

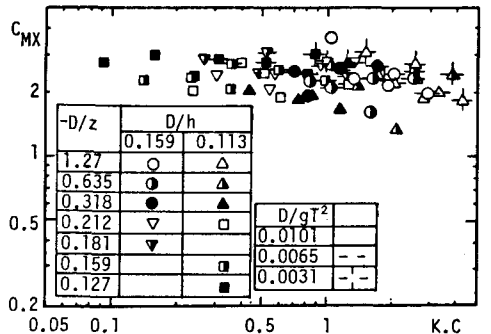


図-4 $C_{MX} \sim K.C$ 数