

筑波大学 構造工学系 正員 椎貝博美  
 ○筑波大学 理工学研究科 学生員 関口定男

## 1. 概説

水中の球体に働く波力に関する研究は古くから行なわれており、例えば、椎貝・河野の他、Sarpkaya、萩原、山口等の研究など数多くある。

球の波動に対する抵抗係数の値はほぼ確かめられているが、本研究では主として海洋波における応答の特性を新しい方式の測定装置によって調べた。

## 2. 目的

本研究の目的は次のようである。

i) 図-1に示すように、球の外部の板バネとは別に内部にも板バネに銲を付けた振子を取り付けて、この二種類の測定装置によって得られた変位を比較する。この地震計に似た内部振子による振動測定の利点は、ストレインゲージの防水の必要がないこと、球を支持するものがどのような形式のものでもかまわないという点などである。なお内部振子は加速度計として設計した。

ii) 正弦波による振動の応用として海洋波をシミュレートした不規則波による振動実験を行ない考察した。なおこの不規則波による実験は建設省土木研究所の装置を利用して頂いた。同所の港湾研究長橋本、同研究員山口氏に深甚なる謝意を表する。

iii) 椎貝・河野の論文に示された理論式や実験結果について上記の装置、実験条件で再検討を行なう。

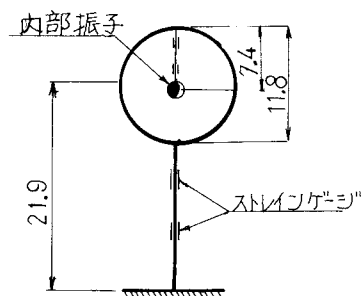


図-1 実験装置

## 3. 実験装置および実験結果

### i) 実験装置

球体は直径11.8mmのプラスチック球を用いた。外部および内部の板バネは焼青銅を用いた。板バネには4カ所にストレインゲージが取り付けられており、2カ所の曲げモーメントを測定することによって力を求めることができる。(図-1) この装置を水路底に設置し、正弦波又は不規則波を与えて、波形と球の応答とを記録した。

### ii) 実験結果

図-2に波の進行方向(X方向)の無次元化された球の変位と正弦波の周波数との関係を示す。図中の理論値は次の理論式により求めたもので、外力 $P(t)$ としては波動による圧力勾配によるものとし、球の中心位置における水圧を球の全表面積について積分した値が球に作用するとした。

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{1}{m+m'} \{P(t)\} - \varepsilon(\dot{x} - u)|\dot{x} - u| \quad (1)$$

$$P(t) = \frac{1}{3} \rho \pi a^3 \frac{H}{T^2} \frac{\cosh \frac{2\pi}{L}(h+z)}{\sinh \frac{2\pi}{L} h} \cos \omega t \quad (2) \quad \varepsilon = \frac{C_D \rho a^2 \pi}{8(m+m')} \quad (3)$$

$\varepsilon=0$ の場合の解は(4)式ようになる。

$$X=A_0 \cos(\omega t + \alpha)$$

$$A_0 = \frac{P\pi H d^3 (\frac{\omega}{\omega_0})^2}{12(m+m')(\sqrt{1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}})^2 + (\frac{C\omega}{\omega_0^2 m+m'})} \frac{\cosh \frac{2\pi}{L}(h+z)}{\sinh \frac{2\pi}{L}h} \quad (4)$$

$$\tan \alpha = \frac{C\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)(m+m')}$$

$$\bar{A} = \frac{A_0}{\frac{H \cosh \frac{2\pi}{L}(h+z)}{3 \sinh \frac{2\pi}{L}h}} = \frac{P\pi d^3 (\frac{\omega}{\omega_0})^2}{4(m+m')(\sqrt{1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}})^2 + (\frac{C\omega}{\omega_0^2 m+m'})} \quad (5)$$

ここで、 $m$ : 球の質量、 $m'$ : 付加質量 (付加質量係数  $C_m$  は平均して 0.5)、 $2g=C/(m+m')$ 、 $C$ : 減衰係数 (600g/sec)、 $\omega_0$ : 球の固有角振動数、 $\omega_0^2=g/(m+m')$ 、 $h$ : バネ定数、 $P(t)$ : 波による外力、 $\omega$ : 波の角振動数、 $T$ : 波の周期、 $L$ : 波長、 $h$ : 水深、 $z$ : 鉛直上向きに座標で静水面を 0 とする。  
 $d$ : 球径、 $\rho$ : 水の密度、 $C_0$ : 抵抗係数である。

図によると二種類の測定値はある程度一致していることがわかる。ピーク付近で理論値が測定値より大きくなっているのは、非線形抵抗を省略した誤差によるものかもしれない。しかし全体としては線形解でも両者の傾向はほぼ一致している。

図-3 に不規則波による球の変位を示す。これによると、波のスペクトル密度のピークの位置と変位のピークの位置はほぼ一致していることがわかる。また振動数の高い方および低い方、いずれの測定値も波形をフーリエ級数であらわした理論値よりも大きな変位を示している。低い方のずれは実験で用いた水路長が 400 m あり、流れが生じていたためではないかと推定される。

#### 4. 結 論

- i) 球の内部振子によっても振動状態が把握できる。これは防水性などの点で有利である。
- ii) 海洋波をシミュレートした不規則波による振動にも、正弦波の場合の理論式を成分とした、フーリエ級数による外力を用いた線形の近似が、この装置程度の大きさではかなり適用できる。
- iii) 正弦波による球の振動は波動に伴う圧力勾配による外力を想定し、この外力を用いた理論式は線形の減衰係数を用いることによってよく表現できる。これは論文(i)の指摘の妥当性を示す。

#### 5. 参考文献

i) 権貝博美・河野二夫: 波動による球の振動, 第15回海岸工学講演会講演集 (1968)

ii) Sarpkaya, T.: Forces on cylinders and spheres in a sinusoidally oscillating fluid, J. Appl. Mech., Trans. of ASME, vol. 42, 1975, pp32 - 37.

iii) Keulegan, G.H. and L.H. Carpenter, : Forces on cylinders and plates in an oscillating fluid, Jour. of Res., NBS, vol. 60, 1958, pp423-440. 等

図-2 振幅と外力周期の関係

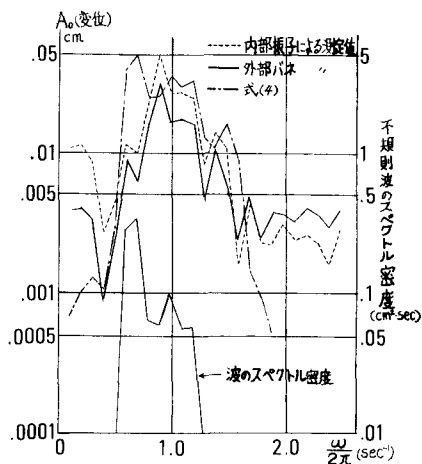
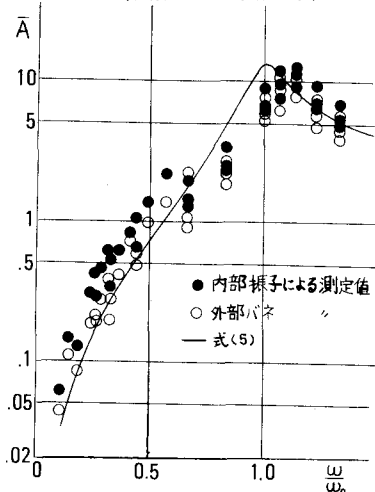


図-3 不規則波による実験の一例