

II-71

円柱脚に作用する流体抵抗力

鹿児島大学 正会員 吉原 進

同上 〇正会員 多嘉良 斉

学 生 松木 祥二

1. はじめに

海底で固定された海洋構造物の波浪に対する動的応答に関する研究の一貫として、円柱構造物を取り上げる。円柱に作用する波力の算定式にモリソン式があるが、これは円柱がたわまない——という仮定を含んでおり、実際にたわむ円柱に対しては即さない。筆者らは、波浪中でたわみ振動を行う構造物に作用する力を構造物のたわみ振動に起因する力と波による水粒子の運動に起因する力の和であると考え、一連の実験を行っている。^{*}

本文では、円柱がたわみ振動を行うことによって生じる水粒子から受ける力を流体抵抗力と称して、構造物の運動方程式、調和波外力による水中強制振動実験、不規則波力による構造物の応答実験等の説明と経過を報告する。

2. 運動方程式の組立て

円柱の運動性状を方程式化するにあたり次の5つの仮定をおいた。

- (i) 円柱の質量は無視する。
- (ii) 円柱の下部は、水槽の底面に固定されているものとする。
- (iii) 円柱のたわみは、柱頭での静的集中荷重による次式のたわみ曲線で表わされるものとする。

$$\frac{x}{X_t} = \frac{1}{2} \left(\frac{y}{l} \right)^2 \left(3 - \frac{y}{l} \right) \quad \text{ここに、} X_t: \text{柱頭の最大変位}$$

- (iv) 構造物は1自由度線型振動系とする。
- (v) 流体抵抗力 dR は、以下の式で表現する。

$$dR = C_m \frac{\omega}{g} \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} dy + C_d \frac{\omega}{g} \frac{D}{2} \frac{\partial x}{\partial t} \left| \frac{\partial x}{\partial t} \right| dy$$

ここに、 C_m : 付加質量係数、 C_d : 付加抗力係数、 ω : 水の単位体積重量、 D : 外径
以上の仮定に基づき運動方程式を組立てると次式になる。

$$\left(m + \frac{1}{4} C_m \frac{\omega}{g} \frac{\pi D^2}{4} h \alpha(1) \right) \ddot{x} + C \dot{x} + \frac{1}{8} C_d \frac{\omega}{g} \frac{D}{2} h \alpha(2) \dot{x} |\dot{x}| + \left(\frac{3EI}{l^2} - \frac{6mg}{5l} \right) x = F(t) \quad \text{-----(1)}$$

ただし、 C : 構造物の内部減衰係数 $\alpha = \frac{h}{l}$

$\alpha(1) = \frac{1}{2} \alpha^4 (3 - \alpha) \left(\frac{9}{2} - \alpha + \frac{\alpha^2}{2} \right)$ m : 質量

$\alpha(2) = \frac{1}{4} \alpha^6 (3 - \alpha) \left(\frac{27}{2} - \frac{27\alpha}{8} + \alpha^2 - \frac{\alpha^3}{16} \right)$ h : 水深

3. C_m, C_d の求め方

第1の方法としては、(1)式より得られる固有振動数と構造物の自由振動時の振動数を等置することによって C_m を、自由振動時の減衰曲線を用いて C_d を求めることができる。しかしこの方法では、幅広い振動数領域に適用するのに多少無理がある。そこで第2の方法として、強制振動実験による方法も主として採用した。

外力 $F(t) = P e^{i\omega t}$ 、柱頭の変位振幅 X 、柱頭変位の外力からの位相差を ϕ とし、 $x = X e^{i(\omega t - \phi)}$ を(1)式に代入して、複素関数の恒等式を解くと C_m, C_d を求める式が得られる。

$$C_m = \frac{-P \cos \phi + (\omega_{00}^2 - \omega^2) m X}{\omega^2 X \left(\frac{1}{4} \frac{\omega}{g} \frac{\pi D^2}{4} h \alpha(1) \right)}, \quad C_d = \frac{P \sin \phi - 2 C \omega_{00} \omega m X}{\frac{\omega X^2 \omega}{3\pi} \frac{\omega}{g} \frac{D}{2} h \alpha(2)} \quad \text{------(2)}$$

ただし、 ω_{00}, C : 空中における固有角振動数及び減衰定数、 ω : 外力の角振動数

4. 実験の概要

上記の第2の方法を実施するためには、波浪の振動数に近い低い振動数で所定の力を発生させることのできる起振器が必要となる。不平衡質量型では、低振動数領域で完全な規則波を発生させることが困難である上、不規則波の発生は不可能である。そこで次に述べる電磁式の起振器を用いることにした。

実験装置を図-1に示す。円柱脚は塩化ビニルパイプを用いた。円柱に作用させる外力は、円筒状の励磁コイルに直流電流を通じ一定磁界を生じさせ、その磁界内で同心円状に配置された円筒コイル(駆動コイル)に低周波発振器からの電気信号を与え、その周期と出力電圧に応じた力を起こす起振器を製作して用いた。起振器は、水槽に固定した模型頂部に外側の励磁コイルを木枠により取り付け一方、内側の駆動コイルは励磁コイルに触れない状態で水槽の側壁上面に固定した。起振器によって生じる力は、ひずみと電圧、ひずみと荷重(力)の関係から、電圧と荷重の関係式(図-2)を導き出して駆動コイル両端の電圧から求める。

実験方法は、静水において起振器により柱頭に力を加えて振動させその応答を柱頭に設置したサーボ型加速度計を使ってカセットレコーダーとペンオンプログラムに記録する。

実験はまず、空中と水中において自由振動実験を行い各々における構造物の固有振動数と減衰定数を求めた。次に流体抵抗力の特性を調べるため円柱の外径 D (4.8cm, 6.0cm)、おもり M (4996g, 6715g, 8840g, 10160g)を各々変えて計8ケースの調和波外力による水中強制振動実験を行った。調和波外力の振動数は、実際の海洋構造物が問題にする波力の振動数に近付け $f = 0.4\text{ Hz} \sim 2.0\text{ Hz}$ を用いた。今回の実験より得られた応答加速度の共振曲線と位相曲線を図-3と図-4に示す。これによると使用した円柱構造物の模型は、1自由度線型振動系とみなすことができる。これから求めた変位振幅 X と位相差 ϕ を(2)に代入することにより、 C_m , C_d を決定できる。これらを(1)式に適用すれば、不規則波外力に対する応答が求められる。

以上の結果の詳細は、講演時に譲る。

*) 吉原 他; 円柱脚に作用する波力: 本年度西部支部研究発表会

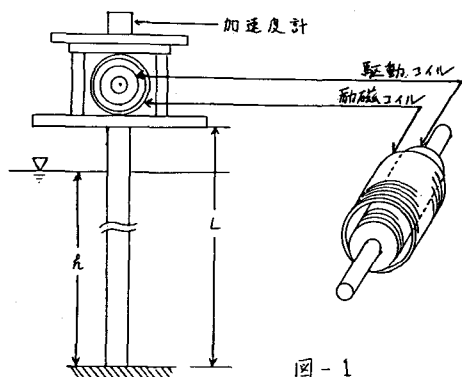


図-1

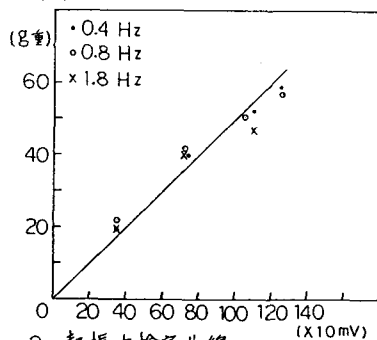


図-2 起振力検定曲線

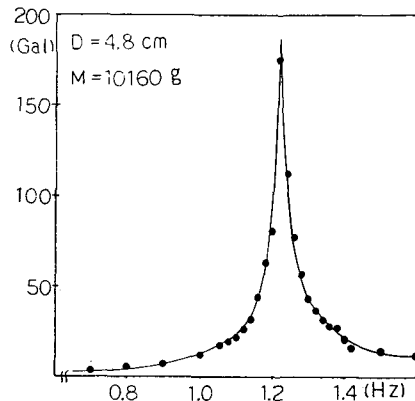


図-3 応答加速度共振曲線

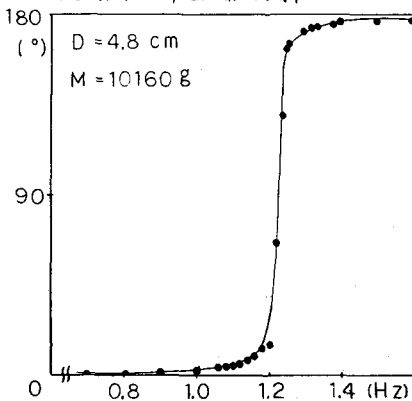


図-4 位相曲線