

筑波大学 ○学生員 佐野 忍
 “ 正会員 藤野 陽三
 “ 白山 和久

1. 目的

海洋構造物の建設が活発化し始めている昨今、その動的挙動を明らかにすることが急務となっている。波力に対する動的挙動の研究は多くあるが、地震力に対する動的挙動の研究は現在のところあまり多くなく、それらのほとんどが Morison-O'Brien の式をベースにして行なわれている。この式は外力としての流体力の中に、流体と構造物の相対速度の2乗に比例して作用する抵抗力を含んでいる。しかし、工学的にはある程度満足しているものの、不正確な点であるため、この式をベースとして研究のほとんどは整合性のある定量的結果を得るまでには至っていない。

本研究は Morison-O'Brien の式によって、海底に固定された構造物が地震時における流体抵抗力を表わし得るのかを、円柱体模型の自由振動、強制振動実験を通して確認することを目的としている。

2-1 流体抵抗力

水中に固定された構造物に対する流体力は従来 Morison-O'Brien によって、慣性力と抵抗力との和として次のように表わされてきた。また、この時 C_M , C_D は通常、工学的におよそ 1.0, 1.5 といった値が取られている。

$$\text{流体抵抗力 } F_L = C_M \rho V \ddot{x} + \frac{1}{2} C_D \rho S |\dot{x}| \dot{x} \quad \text{ここに } \begin{cases} \rho: \text{水の密度, } V: \text{体積, } S: \text{流速と直角方向の投影面積} \\ x: \text{流体と構造物との相対変位} \end{cases} \quad (1)$$

しかしながら上式は、構造物が静止している状態で求められにのみであり、構造物が振動している時も、これを解析、設計に適用できるかは疑問である。よってここで流体力を表わす(1)式をやや一般化し(2)式のようにおく。

$$F_L = C_M \rho V \ddot{x} + f(\dot{x}) \quad (2)$$

(2)式の $f(\dot{x})$ を(3)式のように展開し、各項の係数 C_{D_i} を実験によって求めることとする。

$$f(\dot{x}) = \frac{|\dot{x}|}{\dot{x}} \sum_{i=1}^n C_{D_i} |\dot{x}|^{\frac{i}{2}} \quad (3)$$

2-2 運動方程式

地震時の構造物を一質点系と考えれば、その運動方程式は次式によって表わし得る。

$$\bar{M} \ddot{x} + C \dot{x} + f(\dot{x}) + kx = C \ddot{y} + k y \quad (4)$$

x : 質点の絶対変位 y : 地盤の絶対変位 C : 減衰係数(空中)

k : バネ定数 $\bar{M}$: みかけの質量($= m + C_M \rho V$) m : 質点の質量

ここで解析し易いように、 $x = A \sin \omega t$ と仮定し、 $C \dot{x} + f(\dot{x})$ を等価線形化法を用いて線形化し $\bar{C} \dot{x}$ とすると、 $\bar{C}$ は(5)式のように表わすことができる。

$$\bar{C} = C + \sum_{i=1}^n \alpha_i C_{D_i} (\omega A)^{\frac{i}{2}-1} \quad (5)$$

$\bar{C}$ を用いると(4)式は(6)式ようになる。

$$\bar{M} \ddot{x} + \bar{C} \dot{x} + kx = C \ddot{y} + k y \quad (6)$$

2-3 K-C 数

本実験においては振幅のパラメーターとして K-C 数 (Keulegan-Carpenter no.) を用いることにする。

$$K-C \text{ 数} = U_m T / D \quad U_m: \text{最大速度} \quad T: \text{周期} \quad D: \text{直径} \quad (7)$$

ここで、 $x = A \sin \omega t$ という仮定から

$$(K-C) = \omega A \cdot 2\pi / \omega D = 2\pi A / D \quad (8)$$

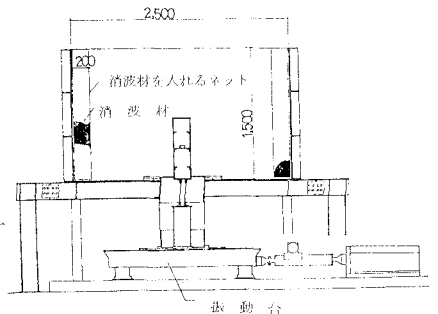
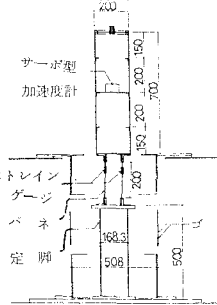
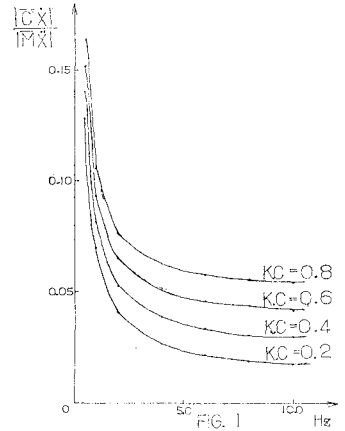
Fig. 1は、 $f(\omega)$ が Morison-O'Brien の抵抗力の形で表わし得るとして時の抵抗力と慣性力の大きさの比をとったものである。

2-4 付加質量についての取り扱い

完全流体中を速度 U で動く物体にかかる抵抗力 F' は、ポテンシャル理論より $F' = \rho a^2 \pi \cdot \partial U / \partial t = M' \cdot \partial U / \partial t$ として与えられる。よって円柱がどんな加速度をもっても M' は一定であると考えられる。通常 M' は空中と水中の固有周期の比より求められ、固有周期と付加質量には比例関係があるという報告があるので、強制振動周期と付加質量にも比例関係があると推定できる。しかし本実験においては、この付加質量の周期依存性はみかけ上のもので、抵抗力の影響によるものとし、上述のように M' は一定として取り扱う。

2-5 実験装置

Fig. 2に示す円形水槽の中央部に、Fig. 3に示す円柱試験体を取り付け、下の振動台を動かすことによって試験体に横方向振動を与える。試験体内部と振動台には変位と加速度とが測定できるサーボ形加速度計を取り付け、2枚の板バネにはストレインゲージを完全防水して貼り付けてある。また、円形水槽内側には水槽壁面からの反射波を防ぐため、厚さ20cm程度の消波材層を設けている。



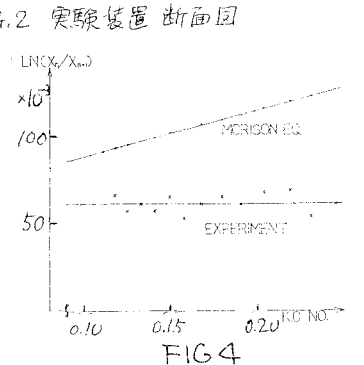
2-6 解析手法

i) 入出力の振幅倍率法：自由振動時にあける減衰定数の値を各振幅に応じて求め、(9)式(10)式に代入して $\bar{C}$ の振幅依存性より(5)式の各係数を決定する。

$$\ln(x_n/x_{n+1}) = 2\pi h / \sqrt{1-h^2} \quad (9)$$

$$\bar{C} = 2M\omega_n h \quad (10)$$

ii) 運動方程式直接代入法：強制振動時の加速度計、ストレインゲージの出力、およびその積分値より、 $\ddot{x}$ 、 y 、 $\dot{x}$ 、 $\dot{y}$ を求めて(6)式の運動方程式に代入し $\bar{C}$ を求め、その振動数、振幅依存性から(5)式の各係数を決定する。



3. 実験結果の一例

Fig. 4は $\bar{\omega}/\bar{\omega}_N = 1.02$ ($\bar{\omega}_N = 18.47 \text{ rad/sec.}$)において解析手法i)を用いて、実験値と Morison 式から等価線形にして求めた値をアロットしたものである。これを見ると、 $K-C$ 数 0.10 ~ 0.25 付近では従来言われてきた速度の2乗に比例するという項は無視してもさしつかえなく、速度の1乗の項のいわゆる減衰係数が増加するだけといえる。その他実験結果の詳細については講演会当日の発表にゆずる。

参考文献

- ・田中 紀男 他：振動する二次元柱体に働く粘性流体力の計測、関西造船協会誌、179号、本研究は文部省科学研究費によるものである。