

鹿児島建設 土木部 正 佐野 忍
 筑波大学 大学院 学 磯山 稔
 筑波大学 構造工学系 正 西岡 隆

1 まえがき

海洋構造物の耐震性を考える上で、水中で振動する物体に働く流体力を正しく算定する事が要求されている。構造物の設計にあたって、この流体力の算定には、静止物体に働く流体力を表わす式として考えられた Morison O'Brien の式が使われてきた。しかし、振動時におけるこの式の適合性は正しく評価されているとは言えない。そこで、本研究では、振動時の流体力を Morison O'Brien の式と比較検討しながら、円筒模型の振動実験を通じて解明しようとするものである。実験は、自由振動実験及び振動台を用いた強制振動実験を水没深さ、試験体、入力条件を変えて行なった。

2 実験方法

図1に示す円筒水槽の中央に、2枚の板バネを介して振動台に取り付けられた円筒試験体(図2)を設置し、水深を変えながら試験体を水平方向に振動させる。自由振動実験は、試験体を引っ張っているワイヤーを切断し、強制振動実験は正弦波形を入力として行なった。また水槽内壁には反射波を防止する為に厚さ約20 cmの消波材層を設けている。

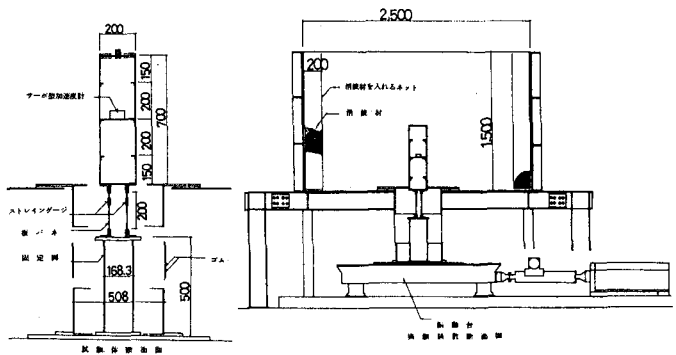


図2

図1

計測データは、振動台および試験体中央部に取り付けたサーボ型加速度計から得られる試験体の絶対加速度、地動加速度、そして板バネの上部に貼付したストレイン・ゲージから得られる板バネの水平変形である。この実験の規模から定められる諸定数は、 $Re=4000\sim40000$ (Reynolds number), $K\cdot C<0.3$ (Keulegan Carpenter number), $Fr<1$ (Froude number) である。

3 解析方法

静止した物体に働く流体力 F は、Morison O'Brien により、慣性力と抵抗力との和として次式で表わされている。

$$F = C_m \rho V \ddot{X} + \frac{1}{2} C_D \rho S |\dot{X}| \dot{X} \quad (1)$$

ここに、 ρ : 密度 V : 物体の体積 S : 物体の投影面積 $\dot{X}$: 物体と流体の相対速度

C_m : 質量係数 C_D : 抵抗力係数

これに対し(1)式右辺第2項を物体と流体の相対速度に関する項と考え、 $F_D(\dot{X})$ とおき、これをべき級数に展開する。

$$F(\dot{X}) = \frac{|\dot{X}|}{X} \sum_{i=1}^n C_{Di} |\dot{X}|^i \quad (2)$$

次に、等価線型化法を用いて線型化すると

$$F_D(\dot{X}) = C^* \dot{X} \quad (3)$$

$$C^* = 1.11 C_{D1} (\omega A)^{\frac{1}{2}} + C_{D2} + 0.916 C_{D3} (\omega A)^{\frac{1}{2}} + 0.848 C_{D4} (\omega A) + 0.796 C_{D5} (\omega A)^{\frac{3}{2}} + 0.750 C_{D6} (\omega A)^2 \quad (4)$$

C^* に含まれる各係数は、実験の結果から決定すれば良い。

最も簡単なモデルとして一質点系のモデルの運動方程式は、次のように書くことができる。

$$M\ddot{X} + \bar{C}\dot{X} + K(X-Y) = C\dot{Y} \quad (5)$$

ここで、 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 M : みかけの質量($m+C_n \rho V$) $\bar{C}$: みかけの減衰係数($C+C^*$)

自由振動実験では、振動の減衰波形から減衰定数 $\bar{C}$ を求め、強制振動実験においては、試験体および振動台の絶対加速度 $\ddot{X}$, $\ddot{Y}$ とバネの相対変位($X-Y$), みかけの質量 M , バネ定数 K , として、 $\dot{X}$ および $\dot{Y}$ を積分して得られる $\dot{X}$, $\dot{Y}$ を用いて(4)式から $\bar{C}$ が求まる。

④ 実験結果および考察

i) 付加質量

自由振動実験より、試験体の質量及び水没深さを変えて付加質量と振幅、振動数及び水没深さとの関係を求めた。結果を以下に示す。

- 1) 付加質量は振幅には依存しない。
- 2) 質量係数は水没深さが増すにつれて大きくなり、試験体が完没した後はポテンシャル理論に基づく値に収束する。

ii) 等価減衰係数 $\bar{C}$

図3は、水中における等価減衰係数 $\bar{C}$ と速度振幅 $A\dot{w}$ の関係を表している。この図より、水中においては速度振幅が大きくなると等価減衰係数 直線的に増大する傾向が見られ 空気中では等価減衰係数が速度振幅に依存しない事と対比される。次に Morison の式(鎖線)と比べると直線の傾きは10%程度の違いしかなく、等価減衰係数には、Morisonの式の抗力項で表わされる成分が含まれていると思われる。また定数項が0.0055大きい事より、振幅に依存しない定数項が存在していると考えられる。また、等価減衰定数と振動数との関係は、自由振動実験、強制振動実験の両方に於いて 振動数が増大すると等価減衰係数は減少する傾向を示している。

等価減衰係数 $\bar{C}$ と水没深さ H/L との関係を図4に示す。このグラフより、試験体が完没する迄は水没深さが増すにつれて等価減衰係数が水没の2乗に比例したような形で増大するが、完没すると同時に急激に減少し、以後はほぼ一定値を取る。試験体が完没してからは、表面波が観測されなかった事も考慮すると、並流抵抗が大きな要因であると考えられる。また、 $H/L=0$ の時に空気中の減衰定数と一致が見られるが、これは空気中で振動させた時に比べて、板バネが水没しているための影響である。

等価減衰係数は次のように表わされる。

$$\bar{C} = C + C' + C'' A \omega \quad (6)$$

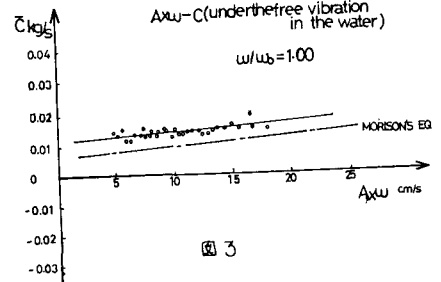
C : 空気中における減衰係数(構造減衰) C' : 並流抵抗などに生じる定数項

C'' : Morison-C'Brienの式の係数($\frac{1}{2} \rho S C_D$) A : 振幅 ω : 円振動数

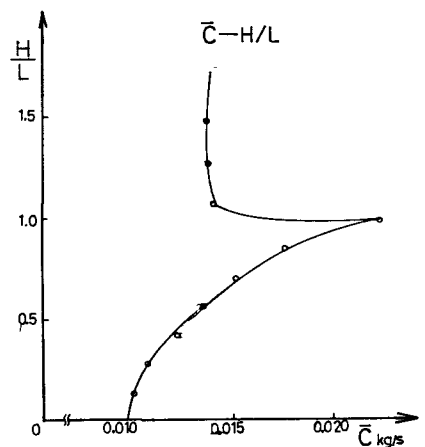
水と試験体の相対速度に関する抗力項は、相対速度の一乗と二乗に関する以外の項を無視しても、実用上十分な精度で現象を把握する事が出来る。

参考文献

- 1) 佐野忍 他 振動時の円柱構造物に働く流体力, 土木学会関東支部年次研究発表会概要集 昭和57年



等価減衰係数 $\bar{C}$ と速度振幅 $A\dot{w}$



等価減衰係数 $\bar{C}$ と水没深さ H/L