

第 I 部門

楕円形状の浮力体に作用する粘性減衰力の同定に関する強制動揺実験

京都大学工学部

学生員 ○南森 憲二

京都大学工学研究科

フェロー 渡邊 英一

京都大学工学研究科

正会員 宇都宮 智昭

1. 研究背景並びに研究内容

セミサブ形状の浮力体を用いるとき、強制波力を小さくできるという特徴があるが流体の粘性に起因する流体力を無視できない場合がある。特に共振応答時には減衰力の影響は大きく、粘性減衰力を考慮しないとポテンシャル理論で予測される理論値が実験値よりかなり過大となる場合がある。粘性減衰力はポテンシャル理論で求めることができないので実験的に粘性減衰力を同定する必要がある。

2. 強制動揺実験

2.1 供試体

縮尺を想定実機の 1/40 としている。供試体の断面を図 1 に示す。塩化ビニル(比重:1.4)で製作し厚さは 1.8cm として内部は空洞である。奥行き(長さ)は 78.0cm、喫水は 28.75cm である。また喫水調整のため、直径 2.0cm の鉄棒を底辺より 3.0cm の位置を中心として通した。

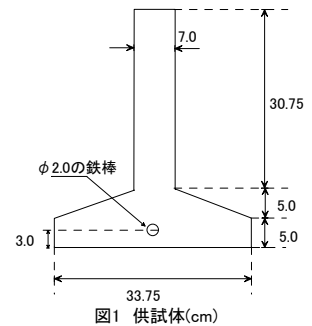


図1 供試体(cm)

2.2 実験方法

実験は二次元長水路(幅:80cm, 長さ:30m, 水深:50cm)で行った。強制動揺装置により鉛直方向に上下動させ、変位は強制動揺装置で、力は装置と模型の間に取り付けられたロードセルによって、発散波の波高は供試体から左右 2.0m の位置に設置した波高計によって測定した。ロードセルと模型とを取り付ける治具は厚さ 1.2cm のアルミ板を用いている。

実験条件は無次元値である $\omega^2/g \cdot x_a = 3.00, 6.00$ となるように周期と振幅を変えてそれぞれ 11 の条件で実験を行った。ただし、 ω :加振周波数(rad/s), g :重力加速度(m/s^2), x_a :動揺振幅(m)である。

2.3 実験解析方法 [1]

ロードセルで得られた上下力を次式のように仮定する。

$$F = -(m + \Delta m)\ddot{x} - N\dot{x} - \frac{1}{2}\rho C_d A |\dot{x}| \dot{x} - \rho g A_w x \quad (1)$$

m :浮体の質量、 Δm :付加質量、 N :造波減衰係数、 ρ :流体の密度、 C_d :抗力係数、 A :底面積、 A_w :水線面積、 $\ddot{x}$ 、 $\dot{x}$ 、 x は上下揺れの加速度、速度、変位である。

(1) 式の第三項(造波減衰力項: F_d)を等価線形化する。

$$F_d = \frac{1}{2}\rho C_d A |\dot{x}| \dot{x} \approx \frac{4\omega}{3\pi}\rho C_d A x_a \dot{x} \quad (2)$$

上下揺れの変位の振幅を x_a として、 $x = x_a \cos \omega t$ とする。これを式(1)に代入すると

$$F = \left\{ \omega^2 (m + \Delta m) - \rho g A_w \right\} x_a \cos \omega t + \omega \left(N + \frac{4\omega}{3\pi} \rho C_d A x_a \right) x_a \sin \omega t \quad (3)$$

また、ロードセルで得られた上下力をフーリエ級数で表されるものとして

$$F = a_0 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \dots + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + \dots \quad (4)$$

(2) 式と (3) 式とを比べることにより

$$\left\{ \omega^2 (m + \Delta m) - \rho g A_w \right\} x_a = a_1 \quad \omega \left(N + \frac{4\omega}{3\pi} \rho C_d A x_a \right) x_a = b_1 \quad (5)$$

以上の式より、付加質量 Δm 、抗力係数 C_d を求めることができる。

造波減衰係数 N については発散波が持ち去るエネルギーの時間平均、すなわち仕事率と浮体が流体に対してなす仕事率とが等しくなる条件から以下のように表される。

$$N = \frac{2\rho g}{\omega^2} \left(\frac{\zeta_a}{x_a} \right)^2 \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2\kappa d}{\sinh 2\kappa d} \right) \quad (6)$$

ここで、 ζ_a : 発散波の振幅、 c : 進行波の位相速度、 κ : 波数、 d : 水深 である。

3. 実験結果

付加質量および造波減衰係数と境界要素法によって求められた理論値との比較を図2および図3に示す。抗力係数に関しては、周波数を横軸にしたグラフと抗力係数に影響を与えると言われるKeulegan-Carpenter 数(以下 KC 数: $KC = U_m T/D$, U_m : 最大速度, T : 周期, D : 代表長さ)を横軸にしたグラフを図4に示す。また抗力係数に関しては喫水を1.0cm上げた29.75cmで行った結果もあるのでそれについても合わせてグラフに載せておく。

付加質量、造波減衰係数ともにほぼ理論値と一致した良好な結果が得られた。抗力係数に関しては周波数による依存性はあまり見られなかったが KC 数による影響が見られた。KC 数が低い範囲ではばらつきが見られたが $KC \leq 0.4$ では KC 数の増加につれて抗力係数が低くなっており、 $KC \geq 0.4$ では KC 数の値に関係なくおよそ5~6で一定値をとっている。ただし、今回の実験では水槽壁との間にそれぞれ1.0cmの隙間があり、そこで発生しているであろう渦による減衰の影響があるためこの値はやや高めの値であると考えられる。

4. 結論および今後の課題

今回の櫛型形状の浮力体を用いた強制動揺実験により以下のことが分かった。

- (1) 抗力係数が KC 数に依存するという結果が得られた。特に KC 数が0.4以下の値に対しては KC 数が低くなるにつれて抗力係数が大きくなるということが分かった。
- (2) 現在粘性による減衰を考えた場合には抗力係数を2と設定して解析をする場合が多いが、今回の実験ではおよそ5~6という結果が得られたので、抗力係数を2とする解析は十分に安全側であると言える。

今後の課題として、隙間に起こる減水力などの影響を考慮した実験、解析を行うこと、様々な形状について精度良く抗力係数を求めることなどが挙げられる。それによってより合理的・経済的な浮体の設計が可能になると思われる。

なお本研究は沿岸技術研究センターからの受託研究としておこなわれた。記して謝意を表する。

(参考文献)

- [1] 石油公団技術部編：海洋工学ハンドブック，1999.2
- [2] 小山建夫，藤野正隆，前田久明著，元良誠三監修：船体と海洋構造物の運動力学，成山堂書店，昭和57年

