

水底ヒンジ固定構造物に働く波力と波浪応答

鹿児島大学工学部 正員 吉原 達○多嘉良 寿
 鹿児島大学工学部 学生 田中 穰 山王 達也
 鹿児島大学大学院 学生員 峯松 麻成 Venkataraman

1. 予えがき

海洋構造物の波浪による動的応答に関する研究の一貫として、円柱構造物に作用する波力を取り上げる。今回用いた構造物は、円柱が水底でヒンジ支持されただけのもので、拘束の度合いも小さく水中で大きく運動しうるのである。このように水中で大きく運動する構造物の周りの水は、表面波や渦の発生などのために、極めて複雑な運動をする。このような水の動きを解析的にとらえることは困難であるので、筆者らが従来から行っているような構造物の挙動からそれらを間接的に評価しようとする方法が、今回の場合にも適用できるかと検討しようとしたものである。すなわち波浪中で運動する構造物に作用する力は、構造物の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表わされると考えて、それぞれの力はモリソン式も流用して慣性項と抵抗力の和であるとする。そして実験から構造物の運動を詳細に解析し、その結果を用いて各項の係数を決定しようとするものである。

以下、上記構造物の運動方程式と実験方法の説明と結果について報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験に用いたモデルをFig-1に示す。円柱は外径6.0cmの塩化ビニル製のパイプで、下部において一方方向の振動のみを生ずるようにヒンジを加えた。円柱に対しては、下部以外において拘束するところはなく円柱自身は浮力により直立している。実験に当っては、円柱の固有周期と実験水槽で使用可能な波浪の同期範囲内に収まるように約1.8秒とした。実験は、長さ30m、幅1m、高さ1.2mの2次元造波水路にて、一樣水深部の水深を75cmとして行った。

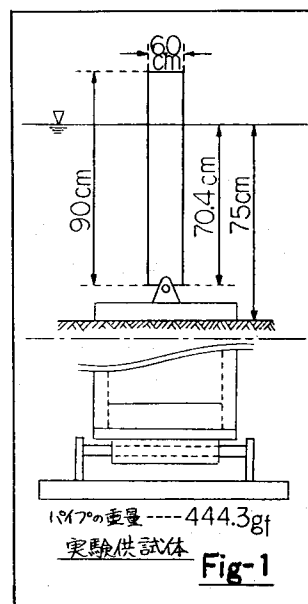
実験方法は、2次元造波水路のほぼ中央に設置した円柱モデルにフラット式造波機により波を与え、その時の円柱の運動と波形を記録する。この際、構造物の運動を妨げないように、16mmカメラを用いて記録した。

実験は、まず静水中にて自由振動実験を行う。これは円柱の固有周期と減衰定数も決定するためのもので、初期変位が5cmと15cmの2ケースについて行った。次に規則波と不規則波による水中強制振動実験を行う。規則波による振動実験では円柱の固有周期と波浪の周期も考慮して規則波の周期は0.83秒~2.5秒を用い波高も4cmと6cmの2ケースについて行った。不規則波による振動実験では、1/3周期が円柱の固有周期に近い1.8秒を用いて行った。尚、規則波実験では、水路長が短すぎても十分に消波工の効果が少ないためか反射波の影響があって、場合によっては完全に定常状態になる前に記録を取らざるを得ないこともあった。

3. 運動方程式

円柱の運動性状を方程式化するにあたり、次の仮定をおく。

- (i) 円柱は剛体であり、曲げは生じない。
- (ii) 円柱の下部は摩擦の無いヒンジで水底に固定されている。
- (iii) 波力 F はモリソン式で表わす。
- (iv) 流体抵抗力 R はモリソン式も参考に次式で表わす。



固有周期(秒)	1.83
減衰定数	0.10

表 1

$$dF = C_m \frac{W}{g} \frac{\pi D^3}{4} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dy + C_d \frac{W}{g} \frac{D}{2} |u| |u| dy$$

$$dR = C_m \frac{W}{g} \frac{\pi D^3}{4} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} dy + C_d \frac{W}{g} \frac{D}{2} \frac{\partial x}{\partial t} \left| \frac{\partial x}{\partial t} \right| dy$$

ここに、 C_m, C_d : 質量係数、抗力係数 C_m, C_d : 付加質量係数、付加抗力係数 D : 円柱の外径(cm)
 W : 水の単位体積重量(g/cm^3) u : 波による水粒子速度(cm/sec) x : 円柱の変位量(cm)

運動方程式の組立てには、変分形式によってスカラーなエネルギー量で考えるハミルトンの方法を用いる。方程式に用いる座標変数および定数をFig-2に示す。ここで構造物の振動は微小であり、波は微小振幅規則波として運動方程式を組立てると次式になる。

$$\left(\frac{W}{3g} + C_m \frac{W}{g} \frac{\pi D^3}{4} \frac{R^2}{2L} \right) \ddot{x}_t + C_d \frac{W}{g} \frac{D}{2} \frac{R^2}{2L} \dot{x}_t |\dot{x}_t| + \left(\frac{B(h+y)}{2L^2} - \frac{W}{2L} \right) x_t = C_m \frac{W}{2} \frac{\pi D^3}{4} \frac{H}{L} \alpha(k) e^{i\omega t} + C_d \frac{W}{2} \frac{D}{2} \frac{H^3}{4L} \alpha_s(k) e^{i\omega t}$$

ここに、 $\alpha(k) = R \tanh kh - \frac{1}{k}$, $\alpha_s(k) = R - \frac{1}{2k \tanh 2kh} + \frac{R^2}{\sinh 2kh}$,

H : 波高(cm) k : 規則波の波数

運動方程式より求める構造物の固有周期 T の式を次式に示す。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{W}{3g} + C_m \frac{W}{g} \frac{\pi D^3}{4} \frac{R^2}{2L}}{\frac{B(h+y)}{2L^2} - \frac{W}{2L}}} \quad \text{①} \quad \text{ここに、} W: \text{円柱の重量(重)} \\ B: \text{浮力(重)}$$

4. 実験結果と考察

水中自由振動実験結果より得られた円柱の固有周期と減衰定数を表1に示す。自由振動実験の結果は、初期変位の小さい時はスムーズな減衰振動を行うが、初期変位の大きい時は振端に減衰し振動することなく止まる。たゞのと見させる状態であった。このように初期変位によ、減衰の状態が大きく違うのは、構造物の初期変位が大きい場合は構造物の周りの水が表面波や渦を発生するために大きな減衰を生じ初期変位が小さい場合はそれらの影響は小さく水の粘性のみによる減衰効果しかないと示しているものと思われる。実験より得られた円柱の固有周期と①式を用いて付加質量係数 C_m と求めると約0.5の値となった。これはポテンシャル理論を用いて計算した場合の付加質量係数 C_m の値が0.45であるので実際の水の中での値としては、ほぼ妥当な値だと思われる。ただし今回用いた固有周期は初期変位の小さい場合のものであり、円柱の変位が大きい場合、実験から固有周期が確立できずなので付加質量係数 C_m の値はわからない。しかし、付加質量係数 C_m の場合は、減衰の場合ほど大きくは変わらないものと推定できる。次に規則波外力による強制振動実験結果より得られた波高4cmと6cmの共振曲線と位相曲線もそれぞれFig-3とFig-4に示す。これより円柱は一自由度線型振動系であることがわかる。これらの結果より波力の項である質量係数 C_m と抗力係数 C_d を決定し運動方程式を完成させ、その妥当性を検討するために不規則波による水中強制振動実験の結果と比較するわけだが、その結果の詳細は講演時に譲る。

