

1. はじめに

振動している物体には、空気、液体の粘性やその他の種々の摩擦による振動を止めようとする力が働く。この力は減衰力 (Damping Force) と定義されている。外力の作用による構造物の振動 (強制振動) は減衰力によって抑制される。したがって構造物の動的応答を検討する場合には、構造物に作用する減衰力の特性を十分に考慮する必要がある。海洋構造物のような水中で振動している構造物に作用する減衰力は一般に下記の成分によって構成される。① 構造物部材の内部粘性による粘性抵抗、② 構造物部材相互や支点などにおける粘性抵抗、③ 構造物に働く流体力 (流体減衰力)。

流体減衰力は流体と構造物の表面に働く粘性せん断力と構造物表面からのはく離渦の存在による流体抵抗によって構成されるだろう。しかし、構造物の振動を引き起こす流体外力もまた上記と同様な流体力によって構成される。したがって、流体減衰力の算定は困難でありまだ明確な評価法も確立されていない。

本研究は、この流体減衰力の特性を明確に評価可能な算定法を得ることを目的として、まず静水中で自由振動している円柱に作用する流体減衰力の特性を実験的に調べるとともに若干の理論的考察を行なったものである。

2. 実験装置および方法

実験は長さ 18m, 幅 0.75m, 高さ 1m, の 2 次元造波水槽を用いて行なった。実験に使用した試験円柱体の概略を図-1 に示す。試験円柱は外径 $D=19.05\text{mm}$, 肉厚 $t=0.536\text{mm}$, 長さ 985mm のステンレス管製である。試験円柱の両端 (上下) は径 10mm , 長さ 985mm の心軸円柱 (アルミ製) に接続されている。心軸円柱の上端は水路方向に対して直角方向に引張りバネを用いて支持され、その下端は試験円柱支持板 ($200 \times 50 \times 6\text{mm}$) に接続されている。試験円柱支持板の水路方向両端は、ピボット的に実験水槽床部に置かれている。2 組の引張りバネはそれぞれステンレス製の板バネ ($100 \times 10 \times 3\text{mm}$) で支持されている。板バネの表裏には板バネの下端に作用するバネの伸張力による曲げモーメントを測定するためにヒズミゲージが貼られている。これらヒズミゲージは心軸円柱上端の撓力方向振動量に対応する信号を得るためにボインストブリッジ回路に組み込まれている。

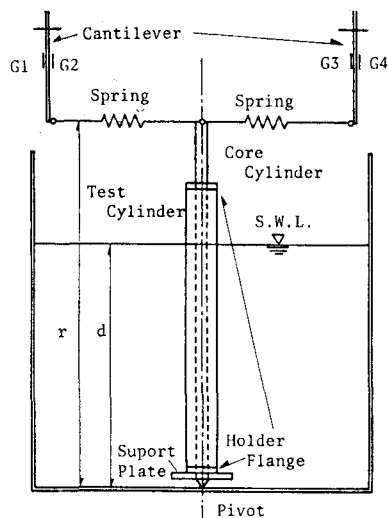


図-1 試験円柱体の概略

空中および任意水深 d を有する静水中での自由振動実験を行ない、円柱体の振動振幅の時間減衰をラピコダを用いて記録した。設定水深 d は 0cm (空中), $20, 40, 50, 60, 70, 80, 90\text{cm}$ の 8 ケースである。空中での固有振動数は 1.52Hz , 水深 80cm での固有振動数は 1.46Hz である。

3. 実験結果および考察

空中および静水中での自由振動実験で得られた円柱体の振動振幅減衰記録より、ピボット点上方 $l=80\text{cm}$ の点での円柱振動振幅量 Y_{hi} に対する減衰定数 ζ_{tai} (空中), ζ_{twi} (静水中) を算定した。

これら減衰定数 (ζ_{tai} , ζ_{twi}) と無次元振動振幅量 Y_{hi}/D の関係を水深 d をパラメーターとして図-2 に示す。 ζ_{twi} と ζ_{tai} ($d=0\text{cm}$) の差は流体減衰定数 ζ_{fi} を示す (定義する)。 ζ_{fi} と Y_{hi}/D の関係を水深 d をパラメーターとして図-3 に示す。これら 2 つの図より以下の現象が明らかである。

(1) 水深 d の増加とともに流体減衰定数 ζ_{fi} は増加する。

- (2) $Y_{hi}/D < \text{約} 0.2$ では δ_{fi} は一定値を示す。
 (3) $Y_{hi}/D > \text{約} 0.2$ では δ_{fi} は Y_{hi}/D の関数である。(水深 d の増加につれて顕著である)

次に、流体減衰力と円柱体変位量との関係を調べる一手法として、流体減衰定数 δ_{fi} を抗力係数 C_D を用いて評価する。抗力係数 C_D は自由振動の一周期間および円柱軸にそって一定であると仮定すると、 δ_{fi} と C_D の関係は(1)式で示される。

$$\delta_{fi} = \rho \cdot D^2 \cdot SKC / D \cdot \pi \cdot M_L \quad (1)$$

式中 ρ = 水の密度

M_L = ピボット点まわりの全質量慣性2次モーメント

(註、水中における円柱付加質量を含む)

SKC = 表面KC数(任意水深における水表面での Keulegan-Carpenter 数であり(2)式で示される)。

$$SKC = (Y_{hi}/D) \cdot 2\pi d / \ell \quad (2)$$

(1), (2)式へ測定値 δ_{fi} , Y_{hi}/D , M_L を代入し得られた C_D と SKC の関係を水深 d をパラメータとして図-4に示す。図中には円柱に作用する流体粘性力を考慮した式(3)で示される C_D と Keulegan-Carpenter 数の関係を実線で記入している。又、一様振動流中に設置された円柱に作用する力より得られた C_D と Keulegan-Carpenter 数(KC数)との関係を調べた。Sarpkaya²⁾ と Bearman³⁾等の結果もそれぞれプロットしている。

$$C_D = 3\pi^{5/2} / (2KC\sqrt{3}) \quad (3)$$

$3 = Re / KC$, $Re = \text{Raynolds 数}$

本実験結果と一様振動流中での実験結果との一致は良好である。 $SKC < \text{約} 2.5$ では SKC の増加とともに C_D は減少し、式(3)で示される理論値との一致は良好である。一方、 $SKC > \text{約} 2.5$ では、 C_D は SKC の増加とともに増加している。これは $SKC > \text{約} 2.5$ では、流体減衰力は、円柱表面より発生するはく離渦の存在による流体抵抗力によって支配されていることを示している。

参考文献

- (1) Kenjiro Hayashi, 'The Non-Linear Vortex-Excited Vibration of a Vertical Cylinder in Waves', Ph.D. Thesis, The University of Liverpool, Dec. 1984.
- (2) Sarpkaya, T., 'Vortex Shedding and Resistance in Harmonic Flow about Smooth and Rough Circular Cylinders at High Raynolds Numbers', Technical Report No. NPS-57SL7602, Naval postgraduate School USA, 1976.
- (3) Bearman P.W. et al., 'The Role of Vortices in Oscillatory Flow about Bluff Cylinder', International Symposium on Hydrodynamics in Ocean Engineering, The Norwegian Institute of Technology, 1981

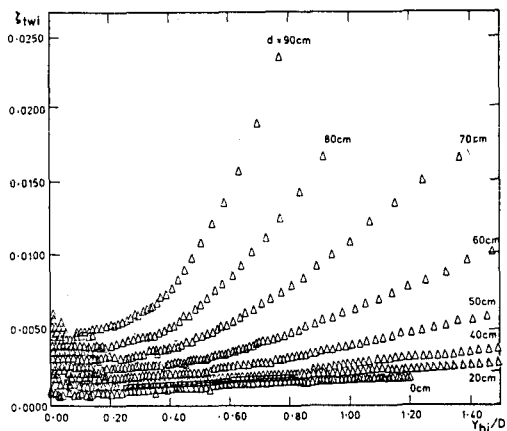


図-2 減衰定数(δ_{fi})と Y_{hi}/D の関係

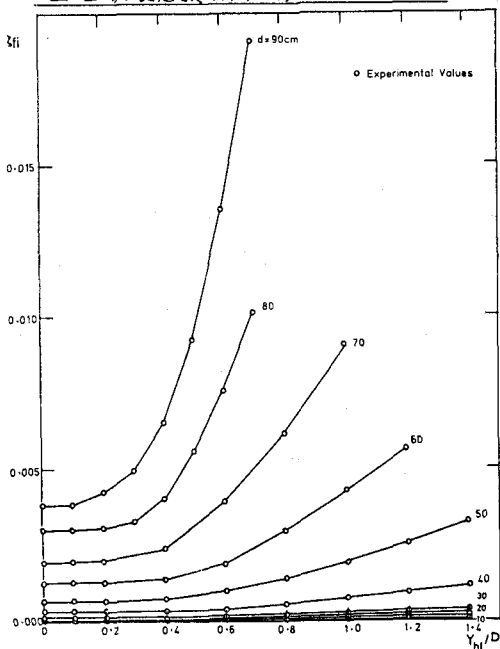


図-3 流体減衰定数(δ_{fi})と Y_{hi}/D の関係

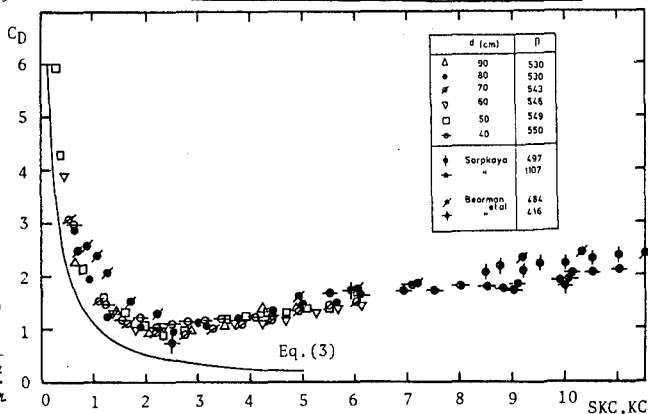


図-4 抗力係数(C_D)と Keulegan-Carpenter 数との関係