

II-333 静水中で自由振動している円柱に作用する流体減衰力について

防衛大学校 土木工学教室 正 林 建二郎

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種々の摩擦による振動を止めようとする減衰力(Damping Force)が働く。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。従って構造物の動的応答量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力、②.構造物部材相互や支点などにおける粘性抵抗力、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はく離渦野の存在による流体抵抗力によって構成されると考えられる。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。従って、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ったものである。

2.実験装置および方法

実験は、長さ18cm、幅0.75m、高さ1mの二次元造波水槽を用いて行った。実験に使用した試験円柱体の概略を図-1に示す。試験円柱は外形径 $D=19.05\text{mm}$ 、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っ張りバネを用いて支持され、その下端は試験円柱支持板(200X50X6mm)に接続されている。試験円柱支持板の水路方向両端は、ピボットの的に実験水槽床部に置かれている。2組の引っ張りバネはそれぞれステンレス製の板バネ(100X10X3mm)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ひずみゲージが貼られている。これらひずみゲージは心軸円柱上端の揚力方向振動量に対応する信号を得るためにホイストブリッジ回路に組み込まれている。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い、円柱体の振動振幅の時間減衰をラビユダを用いて記録した。設定水深 $d$ は0cm(空中),20,40,50,60,70,80,90cmの8ケースである。試験円柱の固有振動数は、空中で1.52Hz,水深80cmで1.46Hzである。

3.実験結果および考察

図-1に自由減衰振動の記録例を示す。自由減衰振動が線形振動方程式で表せるなら1周期間ごと

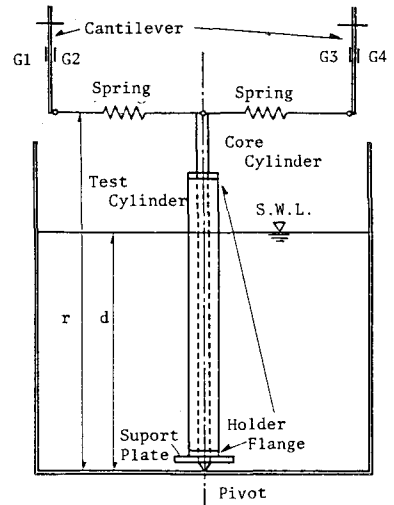
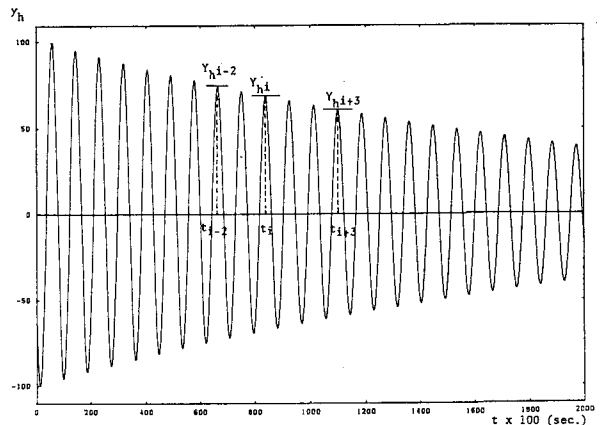


図-1 試験円柱体の概略



$$\zeta_{toi}, \zeta_{twi} = 1/2\pi \cdot \ln(Y_{hi-1}/Y_{hi}) \quad \dots (1)$$

図-2 自由減衰振動の記録例

の振幅は等比級数的に減じる。しかし、流体減衰力の比非線形性のために振幅は等比級数的に減少しない。このことを確認するために、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( $\zeta_{tai}$ (空中)、 $\zeta_{twi}$ (静水中))を各1周期間では減衰定数は一定であるという仮定のもとに、式(1)を用いて算定した。これら減衰定数( $\zeta_{tai}$ ,  $\zeta_{twi}$ )と無次元振動振幅量 $Y_{hi}/D$ の関係を水深 $d$ をパラメータとして図-2に示す。 $\zeta_{twi}$ と $\zeta_{tai}(d=0\text{cm})$ の差は流体減衰定数 $\zeta_{fi}$ を示す。図-3より以下の現象が明らかである。

- (I) 水深 $d$ の増加とともに流体減衰定数 $\zeta_{fi}$ は増加する。
  - (II)  $Y_{hi}/D < \text{約} 0.2$ では $\zeta_{fi}$ は一定値を示す。
  - (III)  $Y_{hi}/D > \text{約} 0.2$ では $\zeta_{fi}$ は $Y_{hi}/D$ の増加と共に増加する(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 $\zeta_{fi}$ を抗力係数  $CD$  を用いて評価する。抗力係数  $CD$  は自由減衰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、 $\zeta_{fi}$ と $CD$ の関係は(1)式で示される。  $\zeta_{fi} = CD \cdot \rho \cdot D^2 \cdot SKC \cdot d^3 / (12\pi^2 \cdot M0 \cdot l) \dots\dots(2)$  [式中  $\rho$  = 水の密度,  $M0$  = ピボット点回りの全質量慣性2次モーメント (註: 水中における円柱付加質量を含む)  $SKC = (Y_{hi}/D) \cdot 2\pi \cdot d/l \dots\dots(3)$  表面 $KC$ 数 (任意水深 $d$ における水表面でのKeulegan-Carpenter数であり(2)式で示される)]。 (2), (3)式へ測定値と $\zeta_{fi}$ ,  $Y_{hi}/D$ ,  $M0$ を代入し得られた $CD$ 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等を考慮した式(4)で示される $CD$ とKeulegan-Carpenter数( $KC$ 数)の関係を示す理論値 $1)$ を実線で記入している。また、一様振動流中に設定された円柱に作用する力より得られた $CD$ と $KC$ 数との関係を調べたSarpkaya<sup>2)</sup>とBearman<sup>3)</sup>等の結果もそれぞれ $Re$ 数と $KC$ 数の比 $\beta$  ( $\beta = Re/KC$ )をパラメータとしてプロットしている。  $CD = 3\pi^{5/2} / (2KC\sqrt{\beta}) \dots\dots(4)$  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 $CD$ は減少し理論値(式(4))との一致は良好である。一方、 $SKC > \text{約} 2.5$ では、 $CD$ は $SKC$ の増加とともに増加し理論値(4)との差は大きくなる。 $KC$ 数が2~3以上になるとはく離渦が発生することが認められている。従って、 $SKC > \text{約} 2.5$ 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) Bearman et al., 'Forces on Cylinder in Viscous oscillatory flow at low Keulegan-Carpenter numbers', J.Fluid Mech.vol.154, pp.337-356, 1985.
- (2) Sarpkaya, T., 'Vortex Shedding and Resistance in Harmonic Flow about Smooth and Rough Circular Cylinders at High Reynolds Numbers', Technical Report NO.NPS-59SL 76021, Naval postgraduate School; U.S.A, 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.

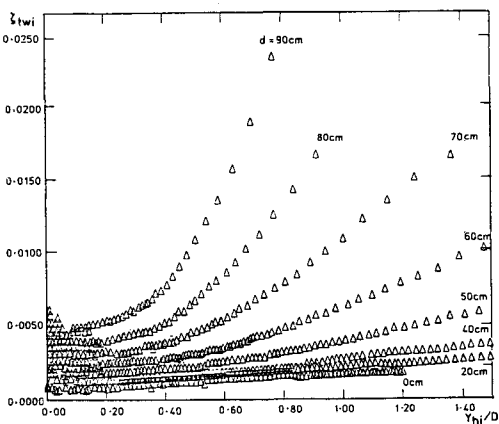


図-3 減衰定数( $\zeta_{twi}$ ,  $\zeta_{tai}$ )と $Y_{hi}/D$ の関係

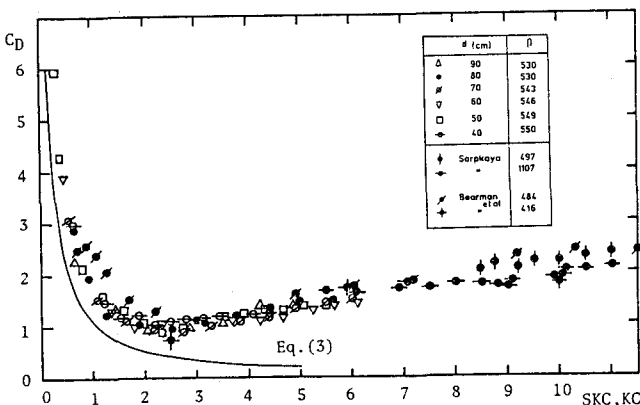


図-4 抗力係数( $CD$ )とKeulegan-Carpenterとの関係