

II-504

振動流中における渦励振動円柱まわりの流れの循環について

防衛大学校土木工学教室 正 員 〇林建二郎

" " 学 生 田中賢一

" " 正 員 藤間功司

" " 正 員 重村利幸

1. はじめに

本研究は、波動場における柱状海洋構造物の作用揚力に対する応答振動(渦励振動)問題において重要な流れと物体との相互作用現象を明らかにすることを目的として、一様振動流中で渦励振動している円柱(渦励振動円柱)、および静止している円柱(静止円柱)周辺の流速計測を行い、それぞれの円柱まわりに生じる流れの循環の評価を試みたものである。また、得られた循環を基にこれらそれぞれの円柱に作用する揚力の評価をも試みた。

2. 実験装置および方法

実験は、水平方向に正弦振動する振動台に固定したガラス張り水槽を用いて行った(振動流発生装置)。装置の概略および用いた座標系を図-1、2に示す。

バネ及び支柱を用いて水槽内に水平設置された試験円柱(外径 $D=19\text{mm}$ 、長さ 48cm)は、水槽の振動方向と直角な方向(揚力方向)にのみ振動可能である(振動円柱)。水槽の振動に伴って生じる水槽内自由水表面の動揺を防ぐために、水槽上面にはアクリル板製上蓋を設けた。試験円柱の両端は、上蓋内の両側面に設けられたスリット孔を通る2枚のアクリル板製端板(幅

$=25\text{cm}$ 、高さ $=35\text{cm}$ 、厚さ $=3\text{mm}$)で支持されている。端板と側壁ガラス面との間隙は 7mm である。試験円柱の揚力方向の振動変位 y の測定には、光学式変位計を用いた。試験円柱を静止的に設置(静止円柱)する場合には、バネおよび支柱が取り外された端板上部を水槽の真上に固定されている3分力計に接続した。

実験に用いた振動流の周期 T は 1.78秒 、最大主流速度 U_m は 10.7cm/秒 である。従って、この場合の KC 数($=U_m \cdot T/D$)は 10 、 β 値($=\text{Re数}/KC$ 数)は 203 である。 $KC=10$ の場合、振動流の半周期ごとに非対称性の強い後流渦が再現性良く形成され、振動流周波数の2倍なる周波数を有する揚力の時間変動が長時間規則的に生じるとされている¹⁾。流れの可視化および揚力計測を行った結果、本実験においてもこの現象を確認できた。静水中における減衰自由振動実験より得られた試験円柱の水中固有周期 T_{nw} は 0.89秒 であった。従って、試験円柱はこの振動流中では共振状態で振動している。循環の計測に用いた閉曲線、および流速測定点を図-2に示す。閉曲線の取り方は循環評価において重要である。今回用いた閉曲線は Y 方向に生じる円柱の振動変位($\pm$ 約 8mm)を考慮したものである。閉曲線上の各測定点における流速の接線方向成分をレーザー・ドップラー流速計を用いて計測した。サンプリング周波数および個数は 50Hz と 2000 個である。

3. 結果および考察

位相 $t/T=0.3$ および $t/T=0.7$ における閉曲線上の接線方向流速成分の大きさと方向を図-3 a)、b)に示す。左側は静止円柱、右側は振動円柱の場合である。これら流速値は水槽振動変位信号を基にした位相平均法による値である。 X 軸正方向の主流速度 U が最大となる位相を $t/T=0$ とする。図中に記入している十字印は、円柱が静止している場合の円柱中心を示す。 $t/T=0.3$ では、どちらも時計

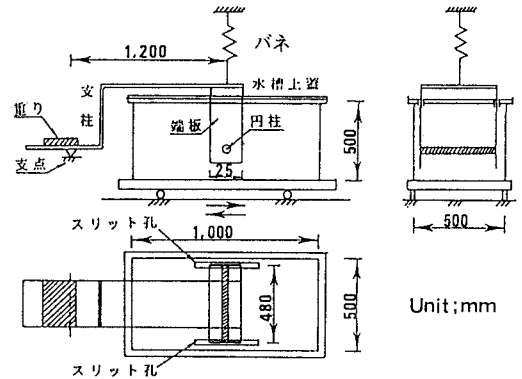


図-1 実験装置の概略

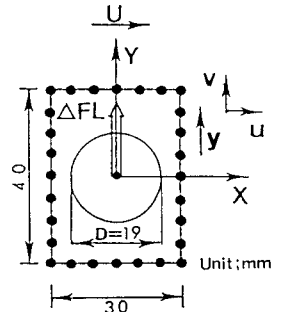


図-2 座標系

方向の強い循環流れが認められ顕著な差異は認められない。
一方、 $t/T=0.7$ では、静止円柱と振動円柱の場合では循環流れは場所的に大きく異なっていることが認められる。

主流速 U および振動円柱時の円柱振動量 y の位相変化を図-5a)に示す。閉曲線上の接線方向流速成分を閉曲線に沿って積分して得られた循環 Γ の位相変化を図-5b)に示す。図中の、○印は静止円柱時の循環 Γ_s 、●印は振動円柱時の循環 Γ_v を示す。ただし、時計方向の回転を循環の正值とする。上記（図-3b）参照）の $t/T=0.7$ の位相近傍においては、 Γ_s と Γ_v は大きく異なっていることが認められる。

有限個数の任意強さを有する渦糸を円柱周辺に、またそれらの円柱鏡像渦糸を円柱内にそれぞれ分布させ円柱まわりの流れ場を評価する渦糸モデルを用いると、円柱まわりの閉曲線上の循環は、閉曲線外に存在する渦度の集積強さを示す（図-4参照、図中、 Γ_k 、 $-\Gamma_k$ ： k 番目の渦糸とその鏡像渦糸の循環、 $z=x+iy$ 、 z_k ： k 番目の渦糸の位置、 $z_k=x_k+iy_k$ 、 a ：半径）。従って、今回の流速計測から評価された循環 Γ_s と Γ_v は、閉曲線の外側に存在する渦度の集積を示すと考えられる。

円柱まわりの流れ場を渦糸モデルで評価すると、円柱に作用する揚力評価式は非定常流の場合におけるBlasius 公式により求められる。その評価式は、各渦糸の強さ、その時間変化（渦度の減衰・発達）および移動速度等の評価を必要とし複雑であるが、大胆な仮定を行いKutta-Joukowski式の形で近似できるとすると、円柱単位長さ当りに作用する揚力 ΔFL は次式で与えられる²⁾⁻⁵⁾。

$$\Delta FL = \rho \cdot U \cdot \Gamma \quad \text{---(1)}$$

式中、 ρ は流体の密度である。(1)式に図-5a、b)に示す各位相での主流速度 U と循環 (Γ_s 、 Γ_v) を代入して得られた揚力を ΔFL_s (静止円柱の場合)、 ΔFL_v (振動円柱の場合) とし、その位相変化を図-5c)に示す。図中には、三分力計で計測された静止円柱に作用する揚力の実測値の単位長さ当りの大きさ ΔFL_m を実線で示す。大胆な仮定による近似式にもかかわらず、(1)式による計算値 ΔFL_s は、実測値 ΔFL_m の位相変化特性を大体評価していることは興味深い。他のKC数 ($KC=17.5$ 、 26.2) での結果を、講演時に示す予定である。

参考文献

- 1)池田、中村、山本；第27回海講論文集、pp.383-386、1980。
- 2)沢本、菊池；第28回海講論文集、pp.429-433、1979。
- 3)浅野、山田、岩垣；第31回海講論文集、pp.615-619、1984。
- 4)Obasaju, et al., J.F.M., Vol.196, pp.467-494, 1988。
- 5)Hayashi et al., Proc. 21st Coastal Eng. ASCE, pp.914-928, 1988。

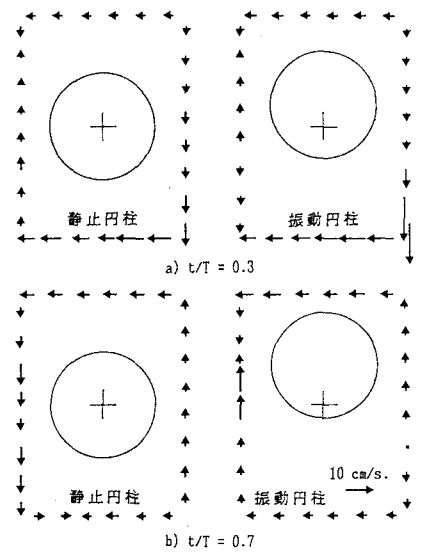


図-3 閉曲線上の流速分布

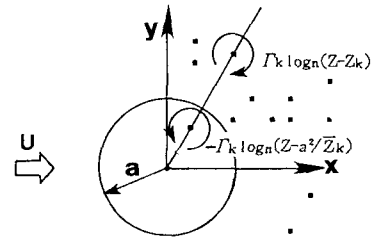


図-4 渦糸モデルの概略

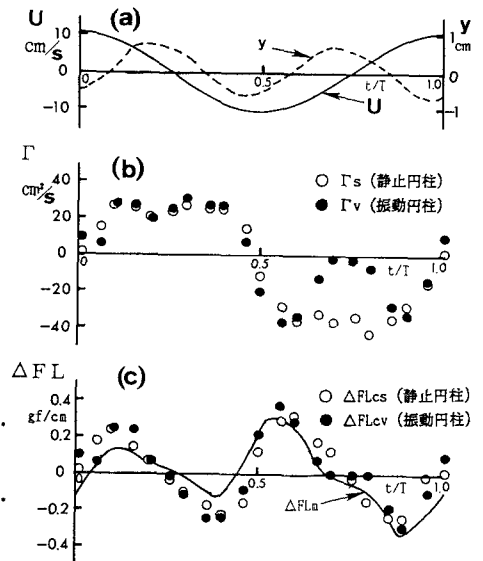


図-5 循環及び揚力の位相変化