

振動流中の円柱に作用する流体力

Forces on Cylinders in a Sinusoidally Oscillating Fluid; Part 2

山口大学工学部 正 員 斎 藤 隆

山口大学工学部 正 員 羽 田 野 袈 裟 義

山口大学工学部 正 員 蒲 地 政 文

1. は じ め に

波動場に設置される海洋構造物に作用する波力の機構などを解明することを目的として、振動流中の物体に作用する流体力について、従来数多くの研究がなされてきている（従来の研究については、本・羽田野・斎藤¹⁾、本²⁾、Saitou・Moto・Hadano³⁾の参考文献を参照の事）。しかしながら、現象の複雑さのために、最も単純な円柱に対してさえ流体力の的確な値が得られているとは言い難い。振動流中に設置された円柱に作用する流体力には、流れの進行方向の力（直方向力または抗力）と、これに直交する方向の揚力とがある。最近の研究では、揚力と剝離渦との関係を中心にして現象の解明がなされてきている。しかしながら、剝離渦の強さなど定量的な把握は、未だ十分とは言い難い。また、波圧算定に必要な直方向力と揚力の和である合成流体力の直接測定も行われていない。そのため、本研究では、円柱に貼られた、ひずみゲージにより、直方向力と揚力を同時計測して、合成流体力を求めた。

第2節では、実験装置および実験方法について概説する。第3節では、直方向力、揚力、合成流体力の測定結果について考察する。最後に第4節を結びとする。

2. 実験装置および実験方法

実験は、幅が56 cm、長さ100 cm、深さ4 cmの平行平板間に、重錘により振動流を起す装置を用いて行なった。実験装置の概略図（平面図、立面図）を、図-1に示す。テストセクションの底面は、ペンキ塗布上をコンパウンドとワックスで磨いた、厚さ9 mmの鉄板で、上面は10 mmのガラス板張りにしてある。実験円柱は直径が5 cmで厚さが19.8 cmのアクリル円板である。この円板は長さ4 cm、直径4 mmのしんちゅう棒によって、テストセクションの中央部に固定されている。流体の粘性および襟巻状渦の影響を軽減させる為に、図-2に示すように、平行平板間の上面、床面から1 cmずつダミーの円板を設置し、振動流主流の一樣流速域で測定を行なった。平行平板間の深さ方向の主流の流速分布を図-3に示す。流速は、ビトー管により測定された。図中、縦軸は、流速を平均最大流速で規格化してある。横軸は深さの半分の値で規格化してあり、0～0.5がダミー円板、1.0が水槽中心である。

円柱に作用する流体力の測定は、図-3下部に示してあるように、円柱を固定しているしんちゅう棒

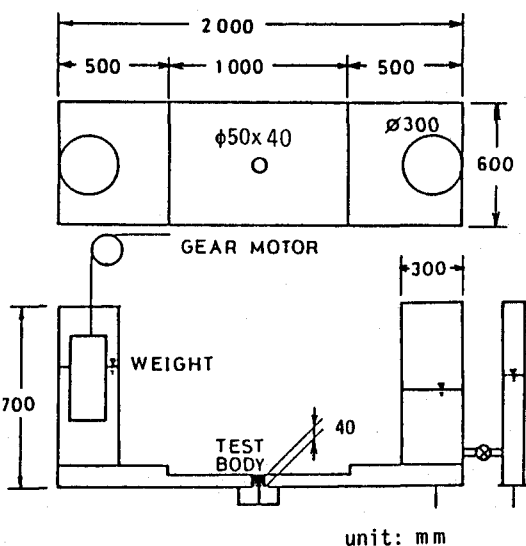


図-1 実験装置

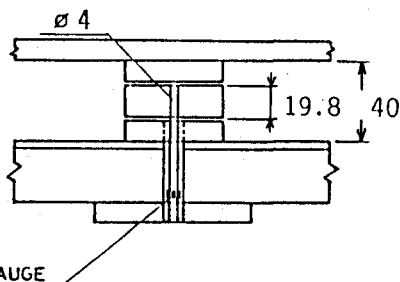


図-2 流体力測定部

に、主流の流れ方向とそれに直交する方向とに4枚のひずみゲージを貼り付けて用いた。その結果、直方向力と揚力の同時計測を行なった。

振動流の流速変化は、強制振動用の重錘が入っていない方の直径30cmの円筒水槽内の水位変化を測定する方法で行なった。

実験条件は、主流の振動周期 T が $3.3 \sim 6.7$ S、振動流最大流速 U_m が $9.4 \sim 39$ cm S^{-1} 、 KC 数 ($KC = U_m T / D$) が $6 \sim 53$ である。ここで、 D は円柱直径である。

2. 実験結果および考察

直方向力の算定式として、従来 Morison 式⁴⁾

$$F_x = \frac{\rho}{2} C_d D L U |U| + \frac{\rho}{4} C_m \pi D^2 L \frac{dU}{dt}, \quad (1)$$

が提案されてきた。ここで、 ρ は流体の密度、 C_d は抗力係数、 L は円柱の長さ、 C_m は質量係数、 U は振動流主流の流速、そして t は時間である。図-4 は、本実験で得られた $100 \sim 200$ 周期のデータをフーリエ平均して、抗力係数と質量係数を算出し、それらを上式に代入して得られる直方向力の算定値と測定値を比較したものである。図中、破線が上式による算定値、一点鎖線が実測値、実線が両者の差を表している。図中、横軸は主流の周期で規格化した無次元時間であり、主流の流速が零の時点から一周りにわたって示してある。縦軸は、その周期内の測定値の最大値で規格化してある。 KC 数が比較的大きい場合には、算定値と測定値はほぼ一致し、その差は最大値の10%程度である。しかしながら、 KC 数が小さい場合にはその差は80%にも達する。これは、算定値に用いた抗力質量係数に起因するものと考えられる。

上述の事を確かめるため、各周期における両係数を算出し、それらを KC 数に対して示したものが、図-5、6 である。両図の縦軸は、それぞれ抗力係数、質量係数であり、横軸は KC 数である。両図中の実線は Sarpkaya⁵⁾ の実験結果を表している。両図中の描点は $100 \sim 200$ 周期の間の実験値のアンサンブル平均を表し、各描点からのびた縦の線分は存在範囲を示す。両図において、平均値は実線とおおよそ一致しているが、散乱範囲は KC 数が小さいほど広い傾向がある。

次に、図-7 に三周期分の合成流体力の作用方向特性の KC 数による変化を示す。図中の円は、三周期内の最大合成力を示し、円中心と描点を結ぶ線分は作用方向及び合成流体力の大きさを示す。 KC 数が大きい場合は直方向力が支配的となり描点は横軸方向に分布する。 KC 数が小さい場合には、描点は縦軸方向にも分布するようであり揚力が卓越する場合があることを示している。

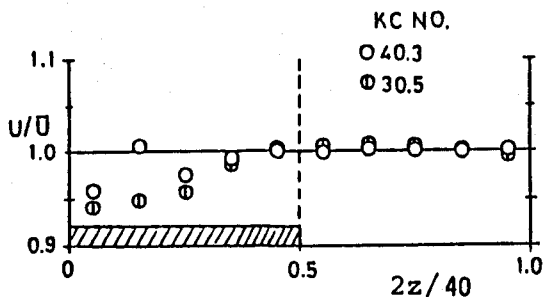


図-3 試験断面内の流速分布

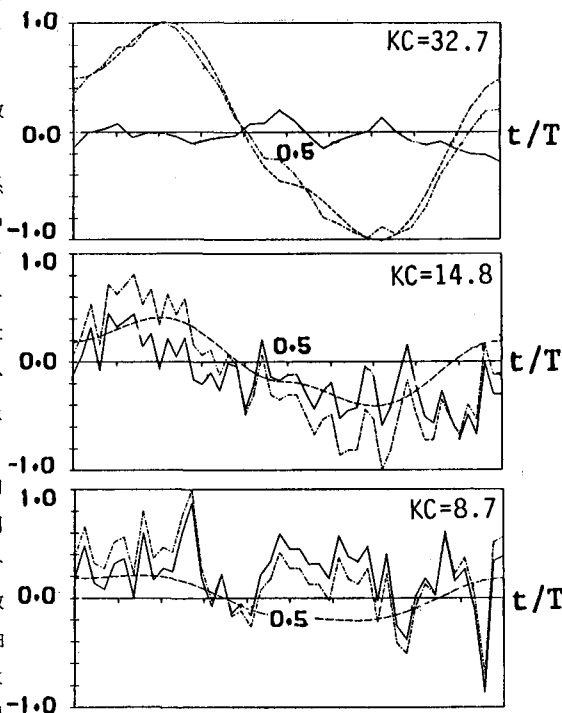


図-4 直方向力の算定値と実測側の比較

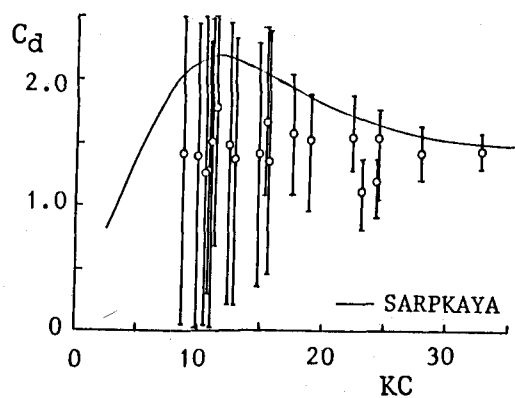


図-5 抗力係数とKC数

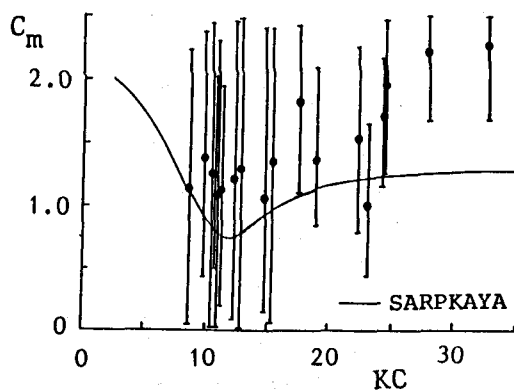


図-6 質量係数とKC数

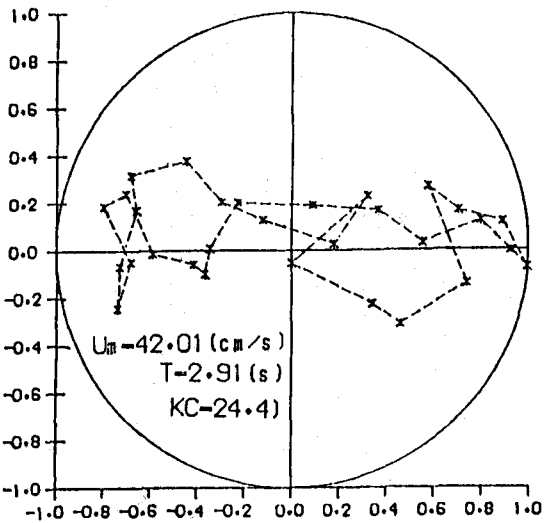
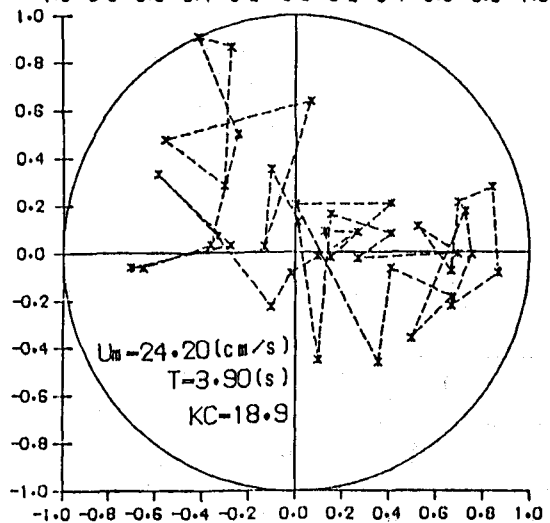
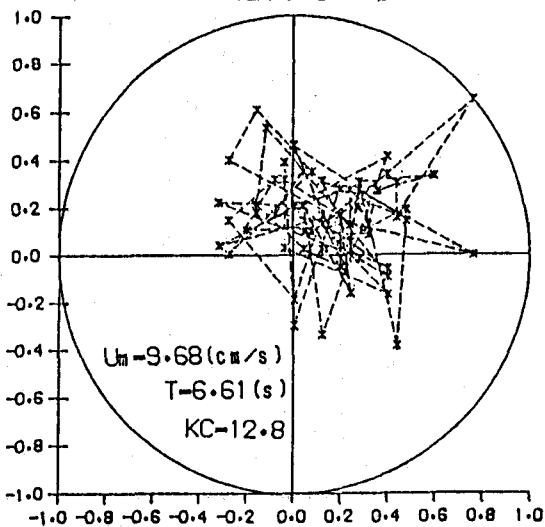
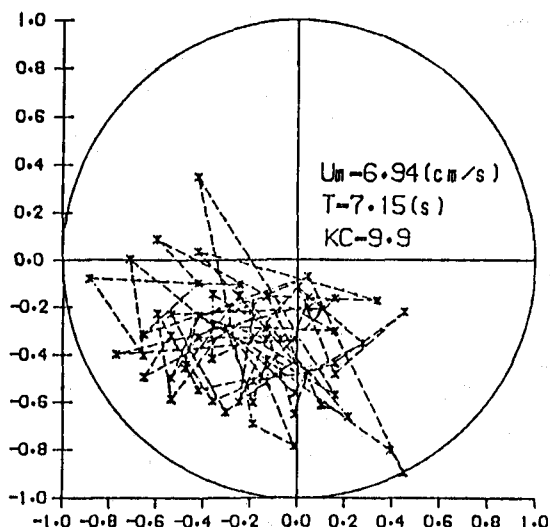


図-7 合成流体力の作用方向特性のKC数による変化

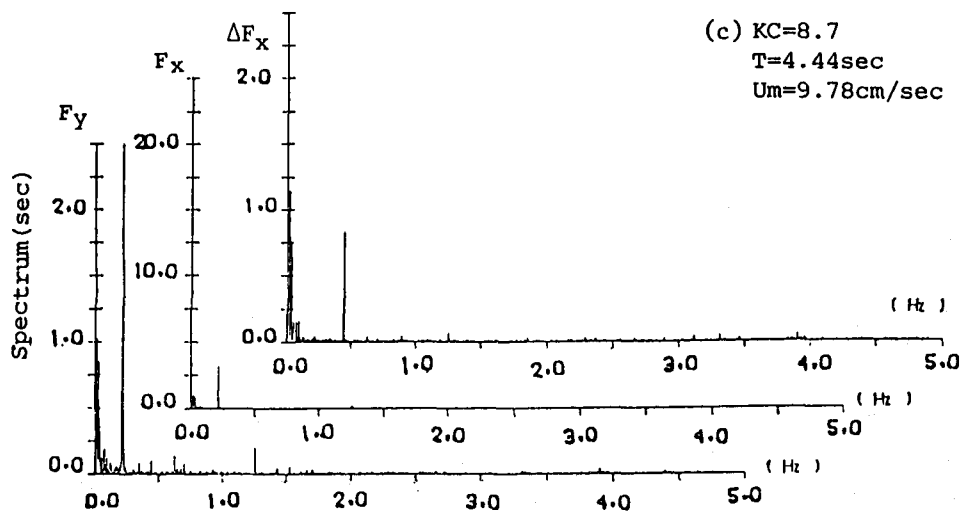
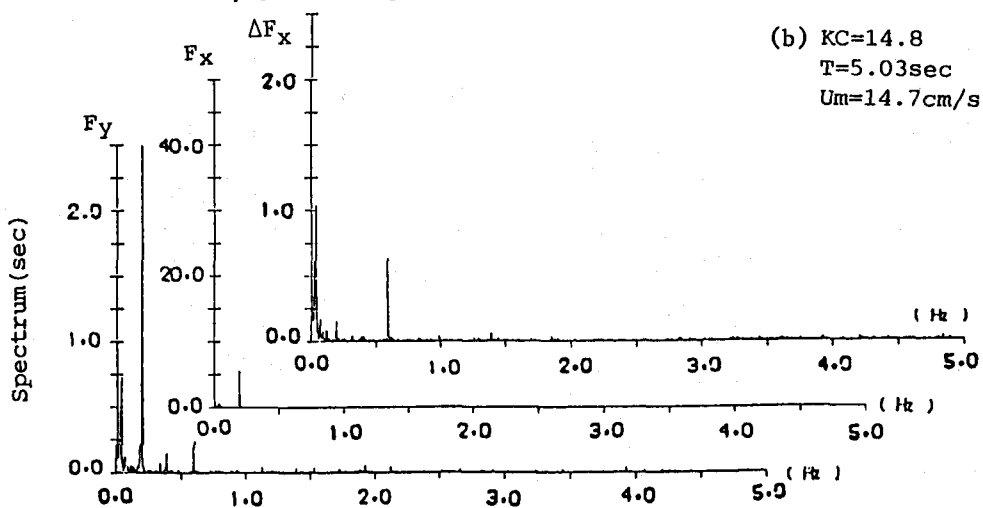
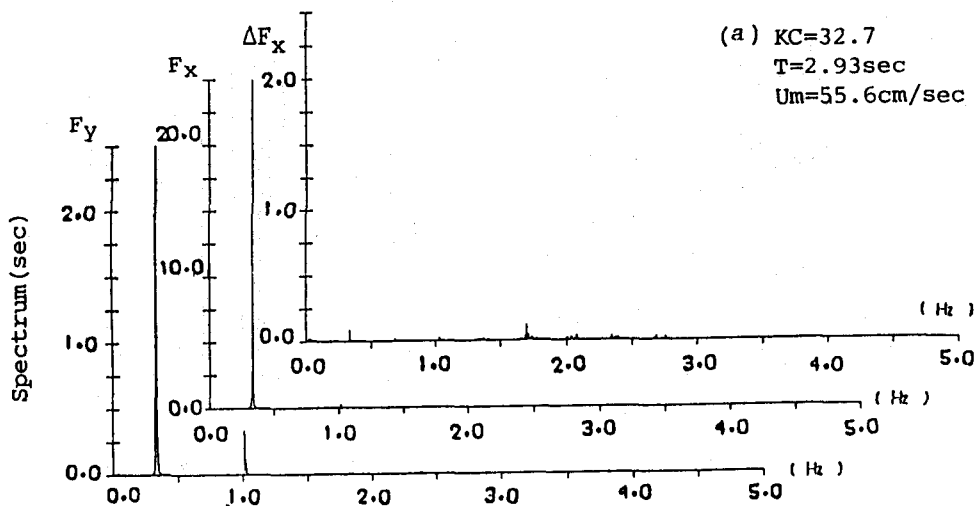


図-8 スペクトル解析

図-8は、直方向力の最大値で規格化された直方向力の測定値 F_x 、算定値と測定値との差 ΔF_x 、および最大値で規格化された揚力 F_y を、高速フーリエ変換を用いてスペクトル解析を行なった結果である。今回行なった23通りのKC数についての実験結果を総合すると以下の事が示される。 F_y のピーク周波数は振動流主流の基本周波数 f_M に一致する。KC数が14, 5より小さい場合は、 F_y のスペクトルは $f < f_M$ に多く分布している。KC数が15より大きい場合には、 $f = 3 f_M$ に F_y のピークがもう1つ存在する。このことはKC数が14, 5よりも小さい場合には、円柱回りの剝離渦が振動流主流の周期よりも長い周期で移動して、揚力が発生していることを示している。またKC数が15より大きい場合には、主流の1周期の間に剝離渦が3回程発生して揚力として作用していることを示唆している。またKC数が12, 3より小さい場合には、 ΔF_x のピーク周波数は $2 f_M$ に一致し、KC数が15～25程度のときには f_M の2, 3, 又は4倍に一致する。更にKC数が12, 3よりも小さい場合には、 ΔF_x のスペクトルは $f < f_M$ に多く分布している。このことは、主流の1周期以上の時間にわたって剝離渦が発生または移動することによって、抗力の測定値が算定値と異なることを示している。

4. 結 び

本研究では、直方向力と揚力の同時測定を行なった。その測定値を用いて、Morison式の妥当性、抗力係数と質量係数のKC数依存性、合成流体力の作用方向特性のKC数による変化、スペクトル解析を行ない、以下の事が明らかとなった。

- 1) KC数が大きい場合には、Morison式による取り扱いがある程度可能であるが、KC数が小さいときには、剝離渦の影響が大きく、直方向力の評価に何らかの形で取り入れることが必要である。
- 2) 直方向力の算定における質量係数、抗力係数の散乱は、各周期の直方向力の変動に起因し、両者の散乱の程度はほぼ等しい。また、その散乱の程度はKC数が小さい程大きく、場合によってはオーダーが1桁異なる。
- 3) KC数が30を越える場合、合成流体力の作用方向は主流の方向から±30度の範囲内にあり、波力算定には揚力の影響を考慮する必要は殆んどないと考えられる。しかしながら、KC数が小さくなるに従って揚力の直方向力に対する割合は大きくなる。
- 4) スペクトル解析の結果から、剝離渦に起因するものと考えられる、直方向力、算定値と測定値の差、および揚力の周波数特性が明らかとなった。

本研究の遂行にあたり、実験ならびにデータ解析に協力して頂いた故本憲一郎、雑喉順司、松田邦泰、保田和典の各氏に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 本 憲一郎、羽田野袈裟義、斎藤 隆；振動流中の円柱に作用する流体力、第27回水理講演会論文集、pp. 615～620, 1983.
- 2) 本 憲一郎；振動流中の円柱に作用する流体力に関する研究、山口大学工学研究科修士論文、1984.
- 3) Saitou, T., Moto, K., and Hadano, K.; Experiments of Fluid Forces Acting on a Cylinder in a Sinusoidally Oscillating Flow, Proc. 4th Congress of APD of IAHR, Chiang Mai, Thailand, vol. I, pp. 387～401, 1984.
- 4) Morison, J. R., O'Brien, M. P., Johnson, J. W., and Schaaf, S. A.; The Forces Exerted by Surface Waves on Piles, Petroleum Trans. AIME, vol. 189, pp. 149～157, 1950.
- 5) Sarpkaya, T.; Forces on Cylinders and Spheres in a Sinusoidally Oscillating Fluid, J. Appl. Mech., ASME, vol. 42, pp. 32～37, 1975.