

1. はじめに

筆者等は、波動場に設置された小口径直円柱の作用揚力に対する応答振動特性（渦励振動）に関する基礎的研究を行って来た¹⁾。この種の研究において、作用揚力の特性を適確に把握することは重要な課題である。しかし、複雑な流れ場（例えば、a.流速の水深方向変化、b.自由表面の存在等）を有する波動場中に鉛直に設置された小口径円柱（直円柱）に作用する揚力の特性はまだ十分に把握されていないようである。

本研究は、直円柱に作用する揚力の水深方向変化特性を明らかにすることを目的として、まず、直円柱に作用する全揚力と、波動流れ場の水深方向変化特性を示す重要なパラメーターである kd 値（ k :波動 $=2\pi/L$ 、 L :波長、 d :水深）との関係を調べたものである。

2. 実験装置及び方法

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った。使用した円柱体の概略を図-1に示す。試験円柱（外径 $D=19$ mm、長さ $=985$ mm、ステンレス管製）の上下両端は、心軸円柱（径10mm、長さ1090mm、アルミ製）とフランジを用いて接続されている。心軸円柱の下端は支持板（ $200 \times 50 \times 6$ mm）に接続されている。作用波方向への試験円柱の振動を防ぐために支持板の水路方向両端は、ピボットの様に水槽床部におかれている。

心軸円柱の上端は、2本の片持ばりとwireを用いて揚力方向に支持されている。ピボット点における作用揚力モーメント FL_m を測定するために、2本の片持ばりの表裏にはヒズミゲージが貼られている。wireは張力のみ伝達可能であるので、2本のwireには初期張力 FL をそれぞれ導入している。

本実験で用いた実験条件を表-1に示す。実験波には、静止水深 $d=80$ cmを有する規則波を用いた。静水中（ $d=80$ cm）における円柱体の固有振動数は約12Hzである。

3. 揚力係数の算定法

ピボット点における揚力モーメント FL_m は、揚力式を用いると、 $FL_m(t) = 1/2 \cdot \rho \cdot D \int_0^{d+\eta} CL(z, t) \cdot U^2 \cdot Z \cdot dz$ (1) 式で示される。円柱軸上の各点 Z （図-1参照）における揚力係数 $CL(z, t)$ の評価は困難である。そこで、換算揚力係数(CLe) $CLe(t) = \int_0^{d+\eta} CL(z, t) \cdot U^2(z, t) \cdot Z \cdot dz / \int_0^{d+\eta} U_m^2(z) \cdot Z \cdot dz$ (2) 式を(2)式のように定義する。式中、 U, U_m は Z 点における波水平水粒子速度及び、その周期内最大値である。規則波中においても、 $\eta = H/2 \cdot \sin 2\pi/T$ H :波高、 T :周期 (3) CLe は不規則に時間変動することが知られている。したがって、以下に示す2種類の代表 CLe 値と FL_m の変動係数(= CLe の変動係数)を算定した。サンプリング時間は作用波周期 T の50~100倍とした。

a)最大換算揚力係数 CLe_{max}

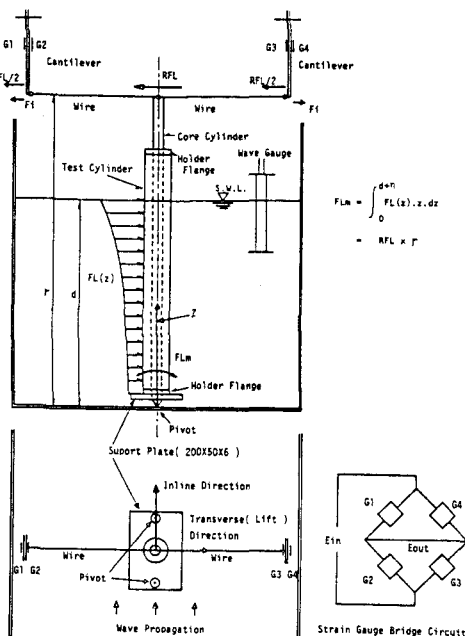


図-1 実験装置

表-1 実験条件

CASE	H/gT^2	d/gT^2	kd	CKC	CRe
AS-1	0.0004 - 0.0047	0.008 - 0.051	0.57 - 2.09	about 12 (10 - 15)	1450 - 3973
AS-2	0.0019 - 0.0085	0.020 - 0.051	0.95 - 2.05	about 20 (19 - 24)	3280 - 6680
AS-3	0.0006 - 0.0018	0.012	0.735	8.5 - 34.9	1202 - 4650
AS-4	0.0007 - 0.0042	0.02	1.01	6.9 - 37	1225 - 6580
AS-5	0.0029 - 0.0115	0.046	1.79	9.3 - 34.3	2440 - 9020

$$CL_{max} = (\text{FLmの時間最大半振幅値}) / \int_0^{d+H/2} 1/2 \rho \cdot D \cdot U_m^2 \cdot Z \cdot dz$$

b) 平均換算揚力係数 $\overline{CL_e}$

$$\overline{CL_e} = (\text{FLmの時間平均半振幅値}) / \int_0^{d+H/2} 1/2 \rho \cdot D \cdot U_m^2 \cdot Z \cdot dz$$

c) FLmの変動係数 CVL

$$CVL = (\text{FLmの半振幅値の標準偏差値}) / (\text{FLmの時間平均振幅値})$$

4. 実験結果及び考察

図-2、図-3は、 CL_{max} 及び $\overline{CL_e}$ と、静水平面におけるKC数（ $KC = U_{ms} \cdot T/D$ ， U_{ms} ：静水面点における波水平水粒子速度の最大値）の関係をkd値をパラメーターとしてそれぞれ示したものである。図-3には、Isaacson等²⁾によって得られた、rms.CL値と表面KC数（SKC）との関係をもkd値をパラメーターにして同時に記入している。これら図より以下のことが明らかである。

a) CL_{max} 、 $\overline{CL_e}$ のKC数に対する変化傾向は、各kd値の場合ともほぼ同様であり、KC数が約10から16の範囲で大きな値を示している。

b) CL_{max} 、 $\overline{CL_e}$ の最大値はkd値によって異なっている。

図-4は、KC数が約11から15の範囲内である CL_{max} 、 $\overline{CL_e}$ ならびにCVLの各値が、kd値に対してどのように変化するかを示したものである。SKCを約11と固定した場合の、rms.CL値とkd値との関係調べたIsaacson等²⁾の結果も同時に記入している。これら図より以下のことが明らかである。

a) CL_{max} 、 $\overline{CL_e}$ のkd値に対する変動は著しく、kd=0.8で明確なピーク値を示す。kd=1.25、kd=1.6においても弱い第二、第三ピーク値を示しているようである。

b) kd値が約1.1以下の場合には、CVL値は0.15以下であるが、kd値が約1.2を越えるとCVL値は急激に増大している。

CVL値のkd<1.1における減少は、kdの減少に伴い水粒子速度Uの水深方向変化が減少し、円柱軸に沿って相関性の強い円柱後流渦が形成され、その結果規則的な揚力が出現したためと考えられる。円柱後流渦の円柱軸方向の相関性が増大すると、揚力係数も増加すると考えられる。しかし、揚力係数 CL_{max} 、 $\overline{CL_e}$ は、kd=0.8でピーク値を示し、その後はkd値の減少に伴い減少している。この理由の一つとして、kd値の減少に伴い波動の非線形性が増すことが考えられる。

5. おわりに

本報告は、kd値が直円柱に作用する揚力特性を支配する重要なパラメーターの一つであることを示したものである。今後は、kd値と直円柱後流渦の水深方向変化特性との関係をも調べて研究を進めて行きたい。

参考文献

- 1) 林、J.R.Chaplin: 波動で渦励振動している直円柱に作用する揚力評価について、第33回海岸工学論文集、pp.511-513、1986。
- 2) Isaacson and Maul: Transverse Forces on Vertical Cylinder in Waves, ASCE, WW1, pp.49-60、1976。

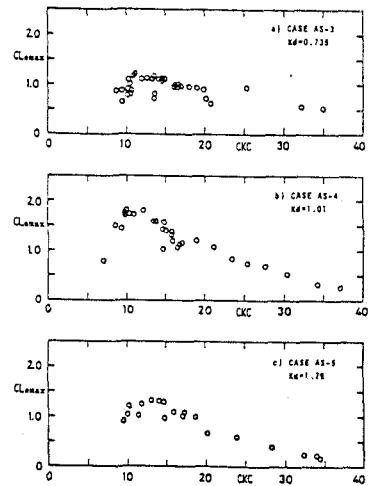


図-2 CL_{max} とKC数の関係

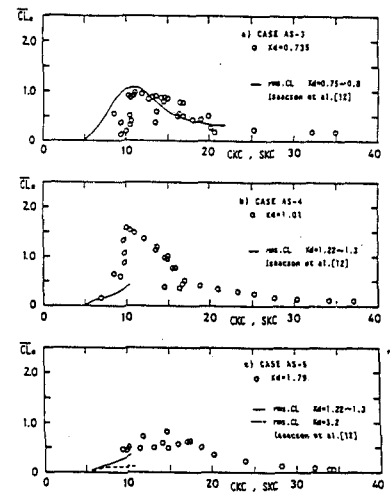


図-3 $\overline{CL_e}$ とKC数の関係

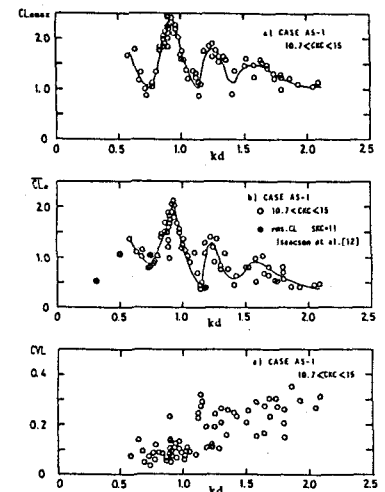


図-4 CL_{max} 、 $\overline{CL_e}$ とkd値の関係