

II-114 複数円柱に作用する規則波の揚力について

宮崎大学 工学部 正会員 河野ニ夫
学生員 仲座栄三

1. 緒言

波の進行方向に対し2箇の鉛直円柱を並列に置いた場合の揚力の干渉効果に関する実験を行ない、とくに揚力係数について検討したものである。複数円柱構造物が進行波動中に接近して置かれている場合は単円柱の場合に比較して隣接円柱による波力の干渉効果が存在する。このような干渉効果に関する研究は従来からも多くなされている。しかしながら、いつれの研究も実験条件、手法、評価方法などが異なることもあって十分に解明されたとは言えない。とくに揚力に関しては後流渦の作用が大きく影響するため、問題を複雑にしている。

本論文は揚力係数を実験によって算出することにより、その結果とポテンシャル流体場を仮定することにより算出される係数との比較により、逆に非ポテンシャル的流体の場合揚力に及ぼす効果を調べようとしたものである。結果的には15の種類の実験組合せの中から、揚力の規則的な振動波形7個について取り纏めたにすぎず、さらに、これらに対する結果も十分に解明するまでには到らなかった。

2. 実験装置と実験方法

図-1に示すように、進流水槽の中央付近に鉛直円柱を波の進行と直交水平方向(並列)に固定し、進行波を作用させた場合にテスト円柱(中央の円柱)に作用する揚力を計測した。波力度圧部は長さ5cm、直径D=4cmで上部円柱の下端に薄青銅板はねで固定され、波力による変位を直交増幅器で増幅し、ビズグラフに水波形と同時に記録した。図でS=32.5cm、水路水深h=50cmである。注流水路は長さ15m、幅0.6m、高さ1mの鋼製水路を使用し、円柱には強化ビニール製面を用いた。板はねの水中固有振動数は114 rad/secであった。実験波は周期0.6秒~3秒、波高H=4~8cmの範囲である。

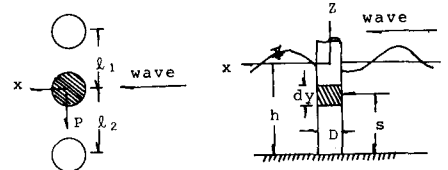


図-1. 説明図

図でS=32.5cm、水路水深h=50cmである。注流水路は長さ15m、幅0.6m、高さ1mの鋼製水路を使用し、円柱には強化ビニール製面を用いた。板はねの水中固有振動数は114 rad/secであった。実験波は周期0.6秒~3秒、波高H=4~8cmの範囲である。

3. 理論的考察

図-2に示すように、2箇の近接円柱のまわりの速度ポテンシャルφは円柱表面の境界条件と直接満足させる手法¹⁾により、次式になる。

$$\phi = -U_A \cos \theta_A - U_A^2 \left\{ \left(1 + \frac{b^2}{l^2} + \frac{a^2 b^2}{l^4}\right) \frac{\cos \theta_A}{\gamma_A} + \frac{2ab^2}{l^3} \frac{\sin 2\theta_A}{\gamma_A} - \frac{3a^2 b^2}{l^4} \frac{\cos 3\theta_A}{\gamma_A} \right\} - \frac{U_B^2}{l^2} \left\{ \left(1 + \frac{a^2}{l^2}\right) \gamma_A \cos \theta_A + \frac{\gamma_A^2}{l^2} \sin 2\theta_A - \frac{\gamma_A^3}{l^2} \cos 3\theta_A \right\}$$

上式で、aとbは円柱AとBの半径である。円柱表面上の水圧強度pは、

$$p = \rho \left[F(t) - \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{1}{\gamma_A} \frac{\partial \phi}{\partial \theta_A} \right)^2 \right\} \right]_{\gamma_A = a}$$

ρ: 水の密度, F(t): 時間の任意関数である。以上の式から揚力Pは次式のように得られる。

$$P = - \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} p \cdot a \cdot \sin \theta_A \cdot d\theta_A \cdot dz = \frac{6}{l^3} \rho \pi a^2 b^2 \left(1 + \frac{b^2}{l^2} + \frac{a^2 b^2}{l^4} \right) \cdot \Delta z$$

図-1に示すように2本の近接円柱のある場合は、対称性から判断すると近似的には、 $a = b = D/2$ として、

$$P = \frac{3}{8l^3} \rho \pi D^4 U^2 \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2l} \right)^2 - \left(\frac{D}{2l} \right)^3 - \left(\frac{D}{2l} \right)^3 \left(\frac{D}{2l} \right)^2 + \left(\frac{D}{2l} \right)^4 - \left(\frac{D}{2l} \right)^3 \left(\frac{D}{2l} \right)^4 \right\} \cdot \Delta z$$

揚力係数C_Lを用いた揚力の一般の表示方法と上式のPを比較するとC_Lは次式になる。

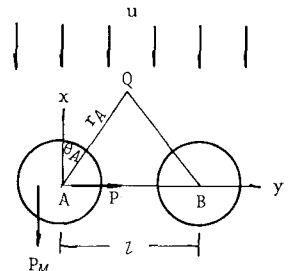


Fig.2: Interference Effects for One Neighboring Cylinder

$$C_L = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{l_2} \right)^2 \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2l_2} \right)^2 - \left(\frac{D}{l_1} \right)^2 - \left(\frac{D}{l_1} \right)^2 \left(\frac{D}{2l_2} \right)^2 + \dots \right\}$$

上式はポテンシャル的揚力(円柱の近接効果)に対する揚力係数である。実際には渦の発生による揚力も作用する。1本の円柱の場合は従来から研究されているように、例えば榎木ら²⁾によると、

$$C_L = 0.245 \{ 1 + (KC \text{ 数}) \}.$$

複数円柱の場合は渦の発生機構も異なると思われるので更に検討の必要があるが、本文ではポテンシャル的考察の C_L の値に榎木らの上式の結果を加えて複数円柱の場合の揚力を調べることにした。

4. 実験結果と考察

A. 揚力の振動周期(T_s)と波の周期の関係

沢本によると³⁾, $KC > 5$ で倍振動する($T = 2T_s$)が図-3では $KC < 5$ でも倍振動している。

B. 揚力係数 C_L

図-4と図-5に揚力係数と D/l の値、あるいは KC 数との関係を示した。図-4の中の実線はポテンシヤル理論から求めた C_L の値(2本の円柱)と榎木らによる C_L の値の和を示したものである。

以上の結果によると、十分ではないが、 C_L の値は概

一的な整理が出来る可能性を示している。

図-5 C_L と KC の関係($D/l_1=0, l_2=l$)

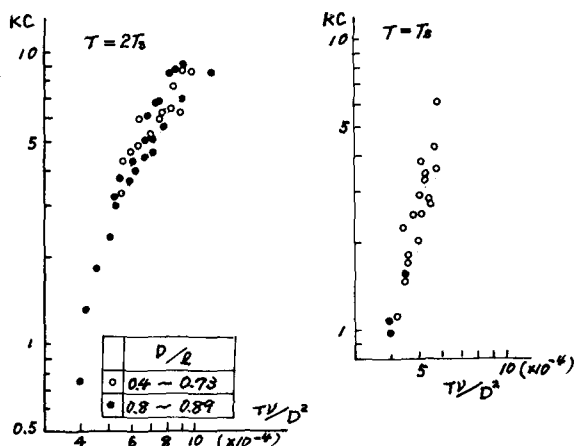


図-3 揚力の振動周期(T_s)と波の周期(T)。

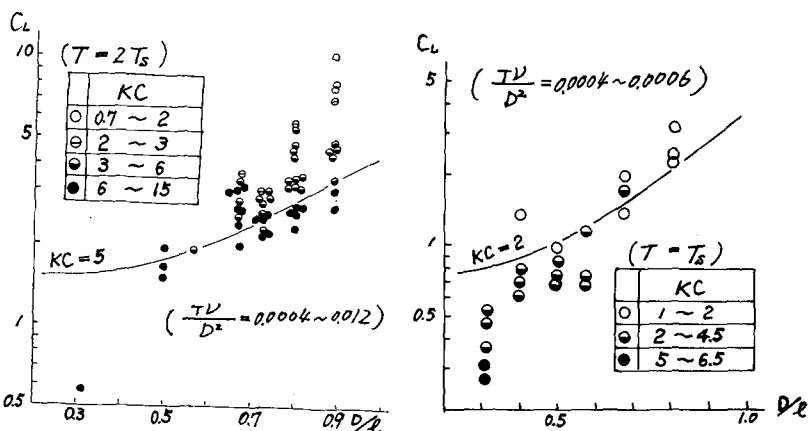
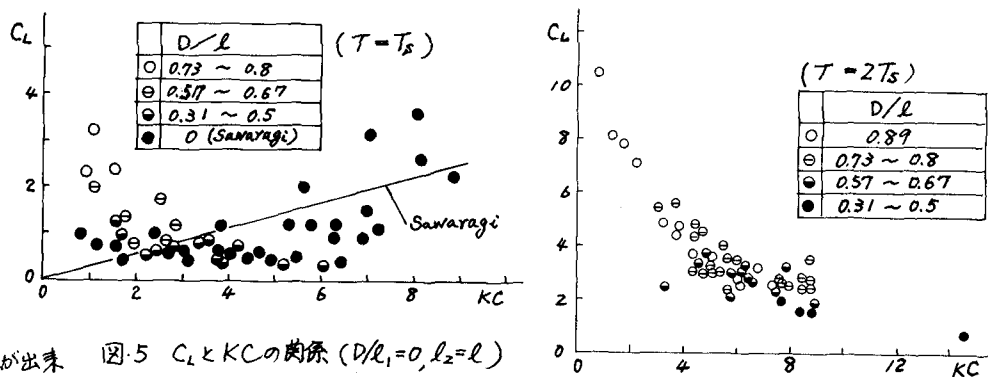


図-4 揚力係数 C_L と D/l の関係($D/l_1=0, l_2=l$)



参考文献 (1). 河野=夫: 海岸水理学, 森北出版, PP.257~259, 1980.

(2). 榎木 享他: 第22回海岸工学講演会論文集, PP.525~530, 1975.

(3). 沢本・菊地: 第26回海岸工学講演会論文集, P.430, 1979.