

円柱に作用する揚力変動と波動との同調現象について

京都大学工学部 岩垣 雄一, ○ 茂野 敏之, 大阪市 永井 文博

1. はじめに 波と流れの共存場の現象の解明は、波動のみ、あるいは流れのみといった単独の場の物理機構を見直す意義を持っている。特に両者の特性がまったく異なる現象は、両者をつなぐ遷移場である共存場を調べることにその解明への有力な手段と考えられる。流れの中に置かれた円柱の背後に発生する後流渦の発生周期は、揚力の変動周期と一致すると考えられるが、定常流中においては渦の離脱の周波数 $f_d$ は、流れの流速 $U$ と円柱径 $D$ によって決定され、流れの流速 $U$ が増加すると $f_d$ は連続的に増加する。しかし波動中においては、図-1に示すように波の周波数 $f_w$ で除した $f_d/f_w$ は、K.C.数の増加とともにステップ状に変化する。したがって波高を増加することにより水粒子速度を大きくしても、あるK.C.数の範囲内では $f_d$ は増加せず一定のままである。ここではこれを波動による渦の離脱周波数、あるいは揚力変動周波数への同調現象と呼ぶ。本研究は共存場での同調現象とはどのようなものであるか、流れを波に対してどの程度大きくした時に、この現象が消滅するかについて考察したものである。

2. 共存場の揚力変動について 実験装置について

は共存場における直方向力特性を調べたものと同じであり省略する。まず渦の離脱周波数 $f_d$ と、揚力変動周波数 $f_L$ は全く一致することが可視化実験で確認されたので、以後は $f_L$ を用いて議論する。実験は主として直径30mmと60mmの2種類の円柱を用い、 $f_w = 0.5 \sim 0.8 \text{ Hz}$ ,  $U = 0 \sim -25 \text{ cm/sec}$ の範囲内で全176

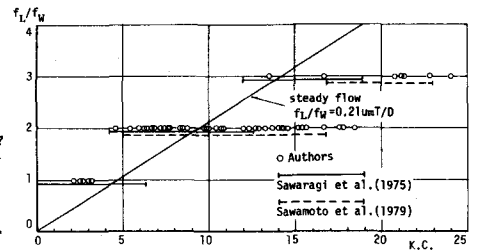


図-1 揚力変動周波数 $f_L$ と波動周波数 $f_w$ の比(=波動のみ)

ケース行った。その結果の一部を表-1に示す。図-2は測定された揚力変動と水位変動の1例を示したものである。図-2(a)は波動のみの場合である。揚力変動は外力が同じでも、一般に規則的な変動は示さず、うなりを伴ったり $f_L/f_w$ の値が時間的に変化したりするが、この場合のよ

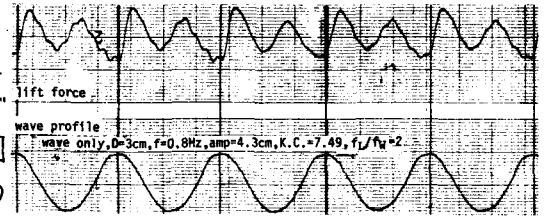


図-2 (a)

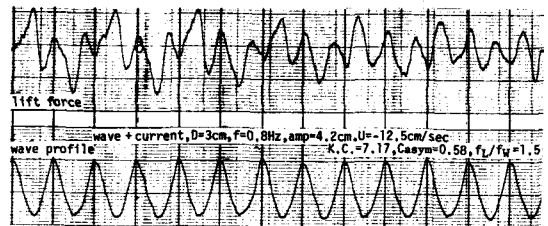


図-2 (b)

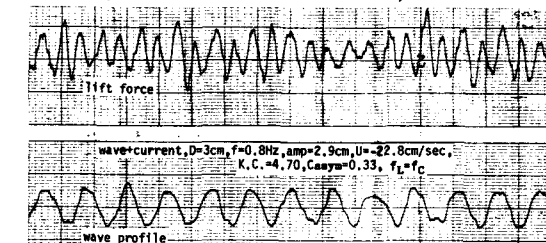


図-2 (c)

水位変動と揚力変動の測定記録の1例

Yuichi IWAGAKI, Toshiyuki ASANO, Fumihiro NAGAI

うに安定となる場合も多い。図から彼の1周期の間に2周期の揚力変動があることがわかる。図-2(b)は共存場の場合で、図を詳細に見ると彼の2周期で揚力変動がくり返されていることがわかる。このケースでは $f_L/f_w = 1.5$ である。共存場においてはこの他に $f_L/f_w = 0.5$ や $2.5, 3.5$ となる場合があり、これは共存場特有の性質である。波動場では $f_L/f_w = 1, 2, 3 \dots$ の整数であるが、共存場では $2f_L/f_w$ が整数となり、ここでは同調現象を $2f_L/f_w$ が整数になる場合に拡張して解釈する。図-2(c)は流れが波に比較して大きい実験ケースであり、揚力変動は図-2(a)や(b)のように水位変動とともに、定まったパターンの変化を示さず、またこの時の $f_L$ は同じ流速を持つ流れだけの場合の $f_L$ と一致することから、波動による同調現象が消滅したと考えられる。しかし一般に $f_L/f_w$ が3より大きくなると、揚力変動の周期性が弱くなるので、 $f_L$ が流れだけの場合の $f_L$ に一致したかどうかの判定が難しくなる場合もある。この同調現象が消滅するためには、かなり流れを大きくする必要があり、流れの流速 $U$ と波の水粒子速度の振幅 $u_m$ の比 $U/u_m$ が4近くとなっても、同調現象を示すケースがあった。

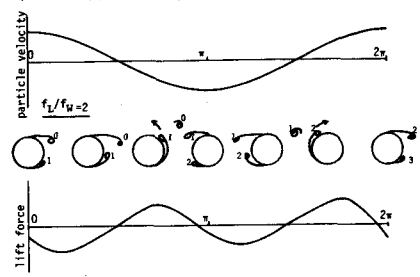


図-3(a) 渦の離脱と揚力変動の説明図(波動場)

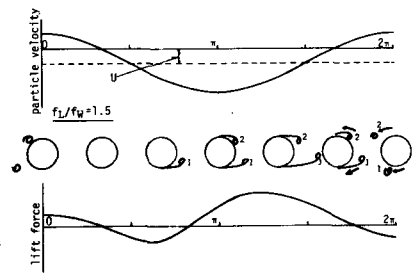


図-3(b) 渦の離脱と揚力変動の説明図(共存場)

3. 同調現象の力学的機構の考察 図3は円柱設置点での水粒子運動と、渦の離脱および揚力変動の説明図である。後流渦が円柱に近接している方向に揚力が働くと考えれば、揚力変動が理解されよう。図-3(a)(b)とも後流渦が1周期内に2個放出されるが、渦発生と流れの逆転との位相関係により、波動場の(a)では $f_L/f_w = 2$ となり、共存場の(b)では $f_L/f_w = 1.5$ となる。図-3(b)では円柱下半面から渦が最初に放出されているが、次の周期では上半面から放出される。いま共存場において、彼の1周期間に移動する距離 $s$ から新たなK.C.数、

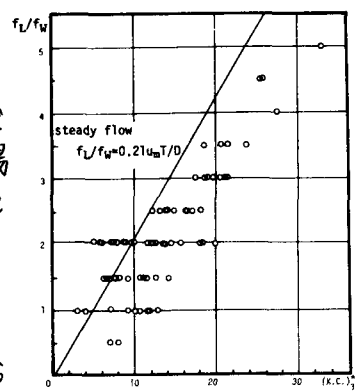


図-4  $f_L/f_w$ と $(K.C.)_3^*$ との関係

$(K.C.)_3^*$ を定義する。  

$$(K.C.)_3^* = \frac{\pi s}{D} = \frac{\pi \int_0^T |u_m \cos \omega t + U| dt}{D}$$
 図4は $f_L/f_w$ の実験値と $(K.C.)_3^*$ との関係を示したもので、 $f_L/f_w$ は $(K.C.)_3^*$ の増加に対し段階的ではあるが、ほぼ比例して増加していることがわかる。この研究は文部省科学研究費(特定研究I)代表者元良誠三教授)による研究の一部であることを付記して謝意を表する。

	U (cm/sec)	T <sub>c</sub> (sec)	f (Hz)	amp (cm)	K.C. (K.C.) <sub>1</sub> <sup>*</sup> (K.C.) <sub>2</sub> <sup>*</sup> Casym			T <sub>w</sub> (sec)	T <sub>L</sub> (sec)	T <sub>w</sub> /T <sub>L</sub> = f <sub>L</sub> /f <sub>w</sub>	
C1-W1	0.0	—	0.5	2.1	6.32	6.32	6.32	1.00	2.03	1.01	2
C1-W2	0.0	—	0.8	4.3	7.49	7.49	7.49	1.00	1.26	0.63	2
C2-W1	-5.3	—	0.5	2.0	5.99	9.52	12.62	0.63	2.04	1.36	1.5
C2-W2	-5.3	—	0.8	4.3	7.37	9.58	11.18	0.77	1.26	0.62	2
C3-W1	-12.5	1.09	0.5	2.3	6.96	15.27	26.12	0.46	2.03	0.96	2
C3-W2	-12.5	1.09	0.8	4.2	7.17	12.37	17.31	0.58	1.26	0.82	1.5
C4-W1	-15.1	0.79	0.5	2.3	6.94	17.02	31.67	0.41	2.01	1.01	2
C4-W2	-15.1	0.79	0.8	5.1	8.50	14.80	20.86	0.57	1.26	0.86	1.5
C5-W1	-19.1	0.67	0.5	2.3	6.91	19.66	40.05	0.35	2.03	0.98	2
C5-W2	-19.1	0.67	0.8	4.6	7.63	15.59	25.03	0.49	1.27	0.63	2
C6-W1	-22.8	0.56	0.5	1.8	5.44	20.60	47.65	0.26	2.04	0.57	*
C6-W2	-22.8	0.56	0.8	5.1	8.32	17.80	29.78	0.47	1.26	0.57	*

表-1 実験結果の1例