

防衛大学校土木工学教室 正員○林建二郎

防 衛 庁

岩崎 守

防衛大学校土木工学教室 正員 重村利幸

1. はじめに

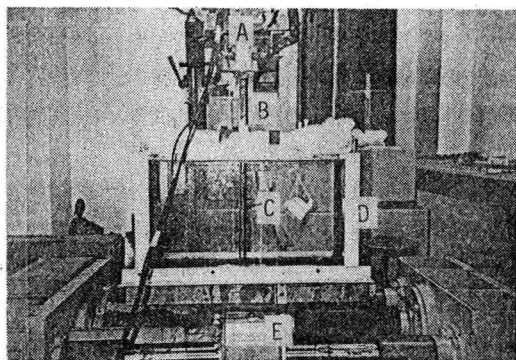
柱状海洋構造物は、波の進行方向に作用する進行波力と、その直角方向に作用する揚力を受ける。進行波力の卓越周波数は作用波周波数 f_w と同じであるが、揚力の卓越周波数 f_l は f_w の整数倍であり、その倍数は、Keulegan-Carpenter数 (KC数) で規定されている。したがって、柱状海洋構造物の揚力に対する動的応答 (渦励振動) 特性は十分に検討される必要がある。しかし、主流速度が時間的に振動し、かつその大きさは水深方向に変化する等の複雑な流れ場特性を有する波動場における柱状構造物の渦励振動特性はまだ十分に把握されていないようである。

本研究は、波動場における円柱構造物の渦励振動現象を解明することを目的として、まず波動場特性をより簡単に表現している一様振動流場での円柱の渦励振動特性を調べたものである。

2. 実験装置および方法

振動流発生装置としては、管内の流体をピストン等を用いて強制的に振動させる方法が良く用いられているが、この場合、管内で円柱を振動させることは困難である。そこで、以下の方法を考案し実験を行った。

実験は、防衛大学校土木工学教室に設置されている不規則波造波装置内の振動シリンダー上に、鉄製枠のガラス張り水槽 (長さ=60cm、幅=30cm、高さ=35cm) を固定して行った (写真-1 参照)。水槽上に設置された多分力計に、板バネを介して試験円柱 (外径 $D=2$ cm、長さ=33cm) を鉛直に設置した。振動シリンダー共に振動する水槽内に自由表面波が発生することを防ぐために、水槽上部は、アクリル板 (厚さ=5mm) で覆われている。板バネ (アルミ製) の水路方向長さは 2 cm、その直角方向厚さは 2mm である。従って試験円柱は水槽振動方向と直角方向 (揚力方向) にのみ振動する。往復振動するアクリル上蓋と板バネとの接触を防ぐために、アクリル上蓋中央に振動方向に長さ 30cm、幅 5mm のスリットが設けられている。水槽内に生じる一様振動流による円柱作用揚力 F_l を市販の多分力計 (日章電気製) を用いて計測した。



A-多分力計、B-板バネ、C-試験円柱
D-試験水槽、E-振動シリンダー

写真-1 実験装置

実験に先立ち、試験円柱の水中自由振動実験を行い、水中での固有振動数 f_{nw} 、減衰定数 ζ をそれぞれ求めた。減衰定数の算定には、対数減衰法を用いた。表-1にこれら結果をしめす。実験では、KC数 ($=\pi \cdot A_m / D$, A_m : 水槽振動量 (全振幅量)) を10に固定し、振動周波数 f_w を変化させた ($0.95\text{Hz} < f_w < 1.65\text{Hz}$)。

つぎに、板バネの剛性を高め静的に試験円柱を多分力計に取り付けた場合に円柱 (静止円柱) に作用す

表-1 実験条件

固有振動数	$f_{nw}=2.7\text{Hz}$
減衰定数	$\zeta t=0.07$
換算単位質量	$m_e=0.045 \text{ gf} \cdot \text{s}^2 / \text{cm}^2$
mass ratio	$m_e / \rho D$
reduced Damping	$2m_e \cdot (2\pi \zeta t) / \rho D^2=4.75$

る揚力 F_L をも測定した（ KC 数=10, $0.3\text{Hz} < f_w < 1.2\text{Hz}$ ）。

3. 結果および考察

実験においては、試験円柱に作用する揚力 F_L は測定しているが、円柱自由端での振動変位量 y_h の直接測定は行なわれていない。しかし、1)板バネ部の長さは円柱部の長さに比べて十分に短いので、円柱はロッキング運動している、2)円柱軸に沿って一様な揚力が作用していると仮定すると、振動変位量 y_h は、多分力計によって測定された揚力 F_L より推定できる。

上記1), 2)の仮定の基に、試験円柱の換算単位質量 m_e 、およびバネ定数を算定した。それら結果を mass ratio 値 $= m_e / \rho D^2$ 、並びに reduced damping 値 $= 2m_e \cdot (2\pi \zeta t) / \rho D^2$ と一緒に表-1に示す。

図-1に、 y_h の平均片幅振幅値 Y_h の無次元値 Y_h/D と f_w の無次元値 f_w/f_{nw} の関係を示す。図より、 $KC=10$ の場合、円柱に作用する揚力 F_L の周波数 f_l は f_w の2倍であるので、共振点は $f_w/f_{nw}=0.5$ 付近で生じている事、並びに共振領域が広がっている事が認められる。

円柱が振動している場合、多分力計に検出された揚力 F_L は見かけの揚力であり、真に円柱に作用する揚力 F_{Lr} では無い。今、試験円柱の振動系が自由度 1の強制振動方程式で表されると仮定すると、見かけ揚力 F_L の平均片幅振幅値 F_L と真の揚力 F_{Lr} の平均片幅振幅値 F_{Lr} の関係は次式で表される。

$$F_{Lr} = F_L \cdot \{(1 - (f_l/f_{nw})^2)^2 + (2\zeta t \cdot f_l/f_{nw})^2\}^{1/2} \quad (1)$$

測定結果 F_L を(1)式へ代入して求めた F_{Lr} と f_w/f_{nw} との関係を図-2に示す。図中には、静止円柱に作用する揚力 F_L の平均片幅値 F_L と f_w/f_{nw} との関係も一緒に示されている。図より、 F_{Lr} は共振点両サイドで著しく増幅されていることが認められる。

図-3は、定常流中に設置された円柱の無次元片幅振幅量 $(Y_h/D)/\gamma$ 、 γ ：換算係数（本試験円柱の場合 $\gamma=1.29$ ）、と reduced-damping 値に類する $2m_e \cdot (2\pi \zeta t) / \rho D^2 / \pi^2$ との関係を示した図¹⁾に、本実験で得られた共振点での値をプロットしたものである。本実験結果は、定常流中の場合とほぼ同じ点にプロットされている。

参考文献

- 1) Blevins, R.D., Flow-Induced Vibration, Van Nostrand Reinhold, 1977.

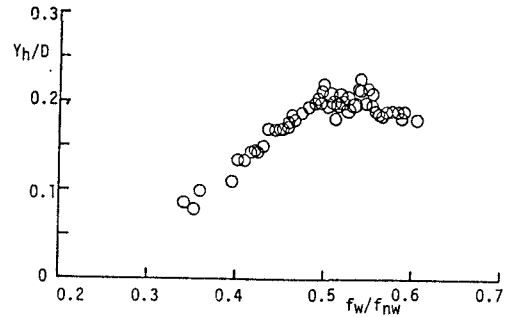


図-1 円柱振動特性

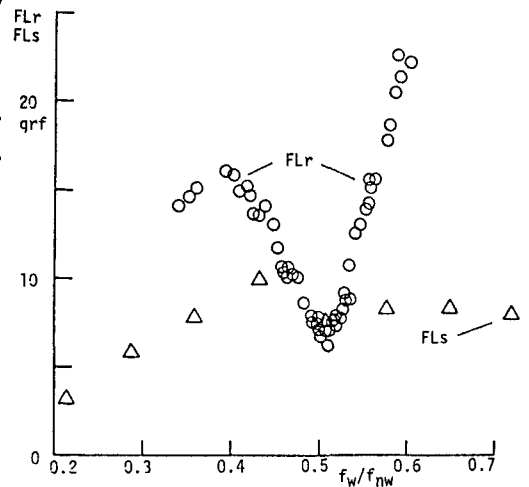


図-2 円柱に作用する揚力

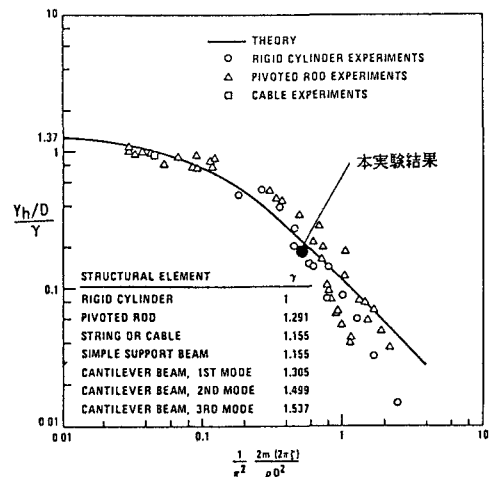


図-3 円柱の振動振幅