

II-313

一方向流中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

防衛大学校土木工学教室 正 員○林建二郎
海上自衛隊舞鶴総監部施設課 赤木俊仁
防衛大学校土木工学教室 正 員 藤間功司
" " 正 員 重村利幸

1. はじめに 本研究は、河川構造物や河道内樹木の作用流体力に対する応答振動問題を調べることを目的として、一方向流中に鉛直設置された円柱（直円柱）が作用揚力に対して応答振動（渦励振動）している場合の揚力評価を行ったものである。

2. 実験装置および方法

実験には、還流装置付き2次元造波水槽（長さ40m、幅0.8m、高さ1m）を使用した。試験円柱には、外径 $D=19.05\text{mm}$ 、長さ 985mm のステンレス管を使用した（図-1参照）。試験円柱の上端は水路方向と直角な両方向に糸とバネを用いて弾性的に支持されている。その下端は水路方向両端をピボットの的に水槽床の上に置いた円柱支持板（ $200 \times 50 \times 6\text{mm}$ ）に接続されている。従って、試験円柱は水路方向と直角な方向にのみ倒立振動する。円柱振動量はバネの伸縮量に比例する力を歪ゲージを用いて計測した。水表面位置における円柱振動量を代表振動量 y_h とする。

試験円柱の構造減衰定数 ζ_s を変化させるために、アルミ板製の導電板と棒磁石より構成される減衰器を試験円柱上端に設けた。本減衰器による付加減衰力の大きさは、アルミ板と棒磁石の間隔 δ を変えることにより調整可能である。主流速の計測にはレーザー流速計を用いた。

水表面から水深 d の20%の点の流速を代表主流速度 U とした。

表-1に実験条件を示す。実験水深は $d=40, 60, 80\text{cm}$ の3種類とした。それぞれの水深で最大渦励振動量が生じる主流速度（ $U \approx 15\text{cm/s.}$ ）のもとでの、構造減衰定数 ζ_s と渦励振動量との関係を調べた。表中の f_{nw} は、試験円柱の水中固有振動数、 ζ_w 、 ζ_s は、水中および空中における減衰定数である。 $m_e/(\rho D^2)$ はMass Ratio値（ ρ ：流体密度）、 m_e は(1)式で定義される試験円柱の換算単位長質量である。 $m_e/(\rho D^2)$ と ζ_s を組み合わせた K_s 値（ $=2m_e(2\pi\zeta_s)/(\rho D^2)$ ）はReduced Damping値と呼ばれ、渦励振動量を支配する重要なパラメータである¹⁾。

3. 振動方程式

試験円柱の代表振動量として静水面位置の振動量 y_h を取る。円柱下部のピボット点におけるモーメントの釣合を考慮すると、(1)式の振動方程式が得られる。式中、 M_{nt} は円柱体の換算質量項（水中付加質量をも含む）である。 K_{nt}

は、換算バネ係数である。FLMは、作用揚力によるピボット点まわりの曲げモーメントである。(2)式の線形解より試験円柱の共振振動量 y_h は(3)式で示される。式中、FLM(n)はフーリエ級数近似されたFLMの共振周

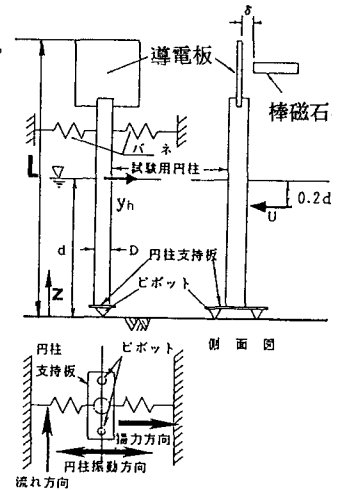


図-1 実験装置の概略

$$m_e = \int_0^L m(z) \phi^2(z) dz / \int_0^d \phi^2(z) dz \quad \text{----(1)}$$

$m(z)$ ：底面より z の位置における試験円柱の単位長さ当りの質量（水中部においては、水中付加質量を含む）
 $\phi(z)$ ：倒立振動する本円柱の振動形を示す関数。 $\phi(z)=z/d$

$$\ddot{y}_h + 2\pi \cdot f_{nw} \cdot \zeta_w \cdot \dot{y}_h + K_{nt}/M_{nt} \cdot y_h = FLM/M_{nt} \quad \text{----(2)}$$

$$y_h = FLM(n)/K_{nt} / (2 \cdot \zeta_w) \quad \text{----(3)}$$

$$FLM(n) \approx 1/2 \cdot C_L \cdot \rho \cdot D \cdot U^2 \cdot d \cdot (d/2) \quad \text{----(4)}$$

表-1 実験条件

CAS	d(cm)	U(cm/s.)	f_{nw}	ζ_w	ζ_s	$m_e/(\rho D^2)$	K_s 値
A	40	15	1.41	0.0020~0.022	0.001~0.024	126.8	1.59~38.2
B	80	15	1.40	0.0030~0.024	0.001~0.024	35.6	0.48~11.6
C	80	15	1.39	0.0046~0.026	0.001~0.024	16.5	0.21~5.0

波数 (f_{nw}) 成分であり、その大きさを(4)式で表現する。但し、流速分布および揚力係数 C_L は、水深方向に様であるとは仮定している。

4. 実験結果および考察

試験円柱の空中および静水中 ($d=80\text{cm}$) における自由減衰振動の時間記録例を図-2のa)、b)にそれぞれ示す。静水中における減衰は流体減衰力が付加される結果、空中における減衰より早いことが認められる。これら記録より、図中に示す各半振幅値 Y_h に対する減衰定数 ζ_s (空中)、 ζ_w (水中) を対数減衰法を用いて算定した。

得られた ζ_s 、 ζ_w と Y_h/D との関係は棒磁石とアルミ板との間隔 δ をパラメータとして図-3のa)、b)に示す。 ζ_s は、間隔 δ が狭くなるに従い減衰器により付加される減衰力が増加する結果、大きくなっている。 ζ_s は Y_h/D の変化に対してほぼ一定である。 ζ_w は $Y_h/D < 0.2$ の範囲では一定であるが、 $Y_h/D > 0.2$ の範囲では、 Y_h/D の増加に伴い大きくなっている。これは、円柱振動量 Y_h が増加するに伴い、円柱後流渦が形成される結果、円柱に作用する流体力が急増するためと考えられる。 ζ_w と ζ_s との差は、流体力による減衰定数を示す。表-1に示されている ζ_w の値は $Y_h/D=0.2$ の場合の ζ_w の値である。

振動量 y_h のRms値 (自乗平均平方根=実行値) を代表振動量 Y_{hr} とする。(3)、(4)式中の Y_h 、 $\zeta_w U$ に、実測の代表振動量 Y_{hr} 、減衰定数 ζ_w 、主流速度 U の時間平均値をそれぞれ代入して、未知量である渦励振動している円柱に作用する揚力係数 C_L を評価した。 C_L と Y_{hr}/D との関係を水深 d をパラメータとして図-4に示す。図中には、円柱固定時の揚力係数の実測値をも各水深別に示している ($\Delta d=40\text{cm}$, $\bigcirc d=60\text{cm}$, $\bullet d=80\text{cm}$)。以下のことが認められる。

1) $Y_{hr}/D < 0.3 \sim 0.4$ の範囲においては、 Y_{hr}/D の増加に伴い C_L は増加する。その最大値は、固定円柱時の C_L 値の3~4倍となっている。一方、2) $0.3 \sim 0.4 < Y_{hr}/D$ の範囲においては、 Y_{hr}/D の増加に伴い C_L 値は減少している。

1)の現象は、円柱振動の増加に伴い円柱後流渦の発生強さが励起されると同時に円柱後流渦の円柱軸上の相関性が向上した結果によるものと考えられる。2)の現象は円柱振動量が大きくなりすぎると、後流渦の組織性が壊される結果によるものと考えられる。

参考文献

- 1) Blevins: Flow-induced vibration, Van Nostrand Reinhold, pp.31~32, (1977).
- 2) 林等: 海岸工学論文集39巻, pp.736~740, (1992).

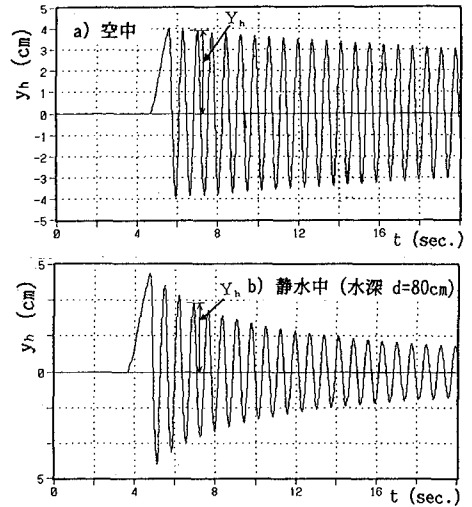


図-2 自由減衰振動記録例

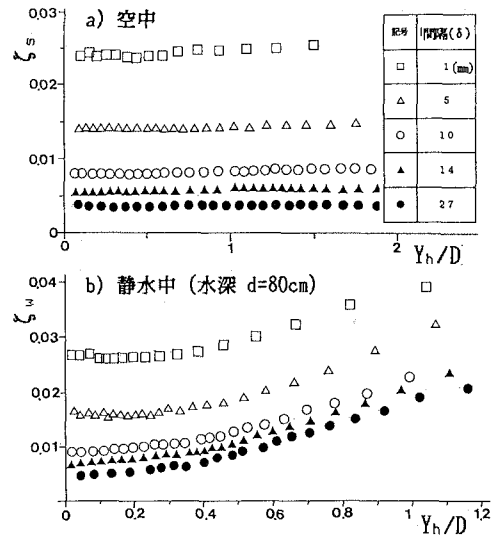


図-3 ζ_s 、 ζ_w と Y_h/D との関係

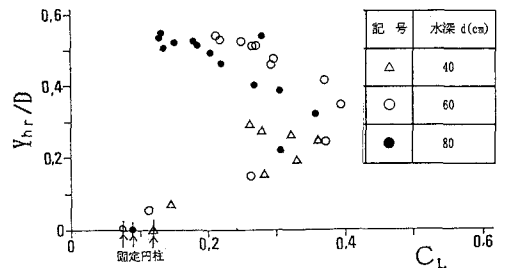


図-4 C_L と Y_{hr}/D との関係