

(Ⅱ - 21) 開水路中における直円柱の渦励振動および作用流体力について

防衛大学校土木工学教室 学 生○赤木俊仁

〃 〃 正 員 林建二郎

〃 〃 正 員 藤間功司

〃 〃 正 員 重村利幸

1. はじめに

河道内に存在する樹木振動の流水抵抗におよぼす影響を調べるための基礎的な実験として、本研究は、開水路中に鉛直設置された円柱（直円柱）の作用揚力に対する応答振動（渦励振動）特性および渦励振動時の直円柱に作用する揚力の増加特性を調べたものである。

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。水槽の他端には、消波用斜面を利用した整流装置を取り付けた。試験円柱の概略を図-1に示す。試験円柱には、外径 $D=19.05\text{mm}$ 、長さ $=985\text{mm}$ のステンレス管を使用した。試験円柱の上端は水路方向と直角な両方向にそれぞれ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電圧変換し計測した。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 を調整するために、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。アルミ板が棒磁石より発生する磁界を横切る時にアルミ板上に渦電流が生じる結果、減衰力が付加される。この減衰力は、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。

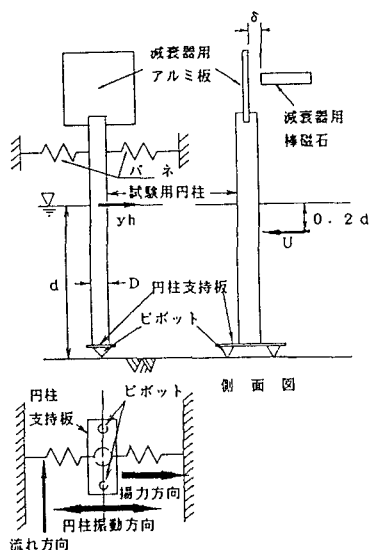


図-1 実験装置の概略

主流速の計測にはレーザー流速計を使用し、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。表中、 f_{nw} は試験円柱の水中固有振動数、 ζ_w 、 ζ_s は円柱の水中における減衰定数、空中における減衰定数（構造減衰定数）である。 $m_c/(\rho D^2)$ はMass Ratio値（ m_c ：水中における円柱の換算単位長質量、 ρ ：流体密度）、 $K_s (=2m_c(2\pi\zeta_s)/(\rho D^2))$ はReduced Damping値¹⁾である。

CASE-A、B、Cは、主流速度 U の変化に対する円柱の渦励振動変化特性を、水深 $d=40\text{cm}$ 、 60cm 、 80cm のそれぞれで調べたものである。CASE-Dでは、CASE-Bと同様な実験を減衰器を用いて変化させた種々の構造減衰定数 ζ_s のもとでおこなった。CASE-E、F、Gでは ζ_s の変化に対する渦励振動変化特性を、水深 $d=40\text{cm}$ 、 60cm 、 80cm のそれぞれで最大振幅が生じる主流速度（ U ：約 15cm/s 、図-2参照）のもとで調べた。

3. 実験結果および考察

振動量 y_h のRms値（実効値）を代表振幅値 Y_{hr} とする。円柱の振動周波数を f_y とする。

CASE-A、B、Cの実験で得られた振動円柱の無次元周波数（ f_y/f_{nw} ）と無次元振幅（ Y_{hr}/D ）の相対

表-1 実験条件

CASE	d (cm)	U (cm/s)	f_{nw}	ζ_w	ζ_s	$\left(\frac{m_c}{\rho D^2}\right)$	$K_s = \frac{2m_c(2\pi\zeta_s)}{\rho D^2}$
A	40	5 ~ 25	1.41	0.0020	0.001	126.76	1.59
B	60	5 ~ 26	1.40	0.0030	0.001	38.58	0.48
C	80	8 ~ 20	1.39	0.0046	0.001	16.53	0.21
D	60	5 ~ 26	1.40	0.0030 ~ 0.024	0.001 ~ 0.015	38.58	0.48 ~ 7.50
E	40	15	1.41	0.0020 ~ 0.022	0.001 ~ 0.024	126.76	1.59 ~ 38.20
F	60	15	1.40	0.0030 ~ 0.024	0.001 ~ 0.024	38.58	0.48 ~ 11.63
G	80	15	1.39	0.0046 ~ 0.026	0.001 ~ 0.024	16.53	0.21 ~ 4.98

速度 $U/(f_{nw} \cdot D)$ に対する変化特性を図-2 a), b)に水深 d をパラメータとしてそれぞれ示す。図中a)には、振動が生じないように固定された本円柱(固定円柱)に作用する揚力周波数(Strouhal周波数) f_{yr} と相対速度との関係をも示している。 f_{yr}/f_{nw} と $U/(f_{nw} \cdot D)$ との関係は同図中に示すStrouhal数 $S_t=0.2$ の場合の関係式($f_{yr}/f_{nw}=S_t \cdot U/D/f_{nw}$)とほぼ一致している。振動円柱の場合には、すでに相対速度が4以上で相対速度の増加に伴う f_y の増加は生じず f_y が f_{nw} と等しくなるLocking-on現象を生じている。どの水深の場合においても、相対速度が約4以上になると振動現象が認められ、相対速度が5~5.5の領域で Y_{hr}/D は最大値を示している。 Y_{hr}/D の最大値およびそれとほぼ等しい Y_{hr}/D 値が生じる相対速度の領域は、水深 d が増加する(K_s 値の減少)と大きくなっている。

CASE-Dの実験で得られた、 Y_{hr}/D と相対速度 $U/(f_{nw} \cdot D)$ との関係をReduced Damping値(K_s)をパラメータとして図-3に示す。どの K_s 値においても、相対速度が約4以上になると振動現象が認められる。 Y_{hr}/D の最大値およびそれとほぼ等しい Y_{hr}/D 値が生じる相対速度の領域は、 K_s 値の減少に伴い大きくなっていることが認められる。

CASE-E、F、Gの実験より得られた、 Y_{hm}/D と K_s の関係を水深 d をパラメータとして図-4に示す。ここで、 Y_{hm} は y_h の平均振動振幅である($Y_{hm} \approx 1.41 Y_{hr}$)。図中には、本実験と同様に倒立振動する円柱の渦励振動特性を調べたVickeryやHartlen (after Blevins²⁾)らの実験結果も示している。 K_s の増加に伴い Y_{hm}/D は減少し、 $K_s < 1$ の領域では一定の値に収束することが認められる。これらの関係におよぼす水深 d の影響は認められない。本実験結果は、VickeryやHartlenらの実験結果より若干低めである。

本振動現象を線形な振動方程式で近似し、その解に振動量 Y_{hr}/D および減衰定数 ζ_w を代入し、振動円柱に作用する揚力および揚力係数 CL を評価した¹⁾。CASE-E、F、Gの実験より得られた、 Y_{hr}/D と CL の関係を水深 d をパラメータとして図-5に示す。図中には、それぞれの水深における固定円柱の揚力係数 CL の実測値を記号(Δ $d=40\text{cm}$, $\bigcirc$ $d=60\text{cm}$, $\bullet$ $d=80\text{cm}$)で示している。 $Y_{hr}/D \approx 0.3$ までは、振動量の増加にともない CL は増加するが、その後は、振動量の増加にともない減少する傾向が認められる。

参考文献

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

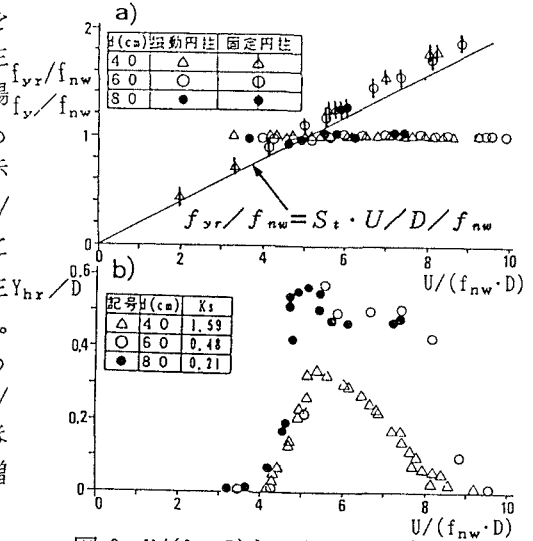


図-2 $U/(f_{nw} \cdot D)$ と f_y/f_{nw} , Y_{hr}/D の関係

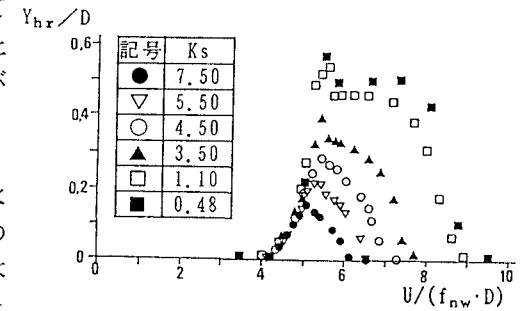


図-3 $U/(f_{nw} \cdot D)$ と Y_{hr}/D の関係

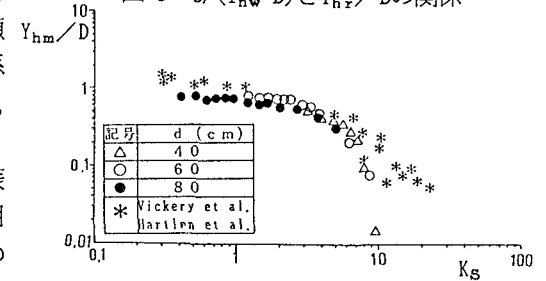


図-4 K_s と Y_{hm}/D の関係

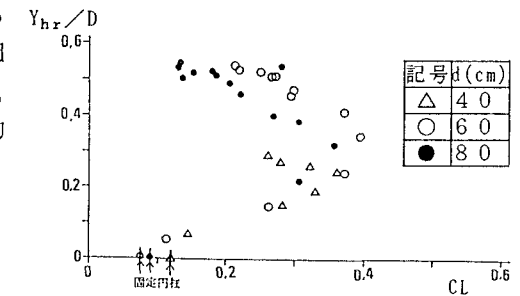


図-5 CL と Y_{hr}/D の関係