

II-301

一方向流中における直円柱の渦励振動および樹木の振動量について

防衛大学校土木工学教室 正 員○林建二郎

" " 学 生 赤木俊仁

" " 正 員 藤間功司

" " 正 員 重村利幸

1. はじめに 本研究は、河道内樹木の流水抵抗に寄与する樹木振動の影響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）の作用揚力に対する応答振動（渦励振動）特性を調べ、得られた結果より実樹木の渦励振動量の推定を試みたものである。

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。実験装置の概略を図-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（ $200*50*6\text{mm}$ ）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。付加減衰力は、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。

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 は水中および空中における減衰定数（ ζ_s ：構造減衰定数）である。 $m_e/(\rho D^2)$ はMass Ratio値（ ρ ：流体密度）、 $K_s=2m_s(2\pi\zeta_s)/(\rho D^2)$ はReduced Damping値¹⁾である。 m_s は、(1)式で定義される試験円柱の換算単位長質量である。

CASE-A、B、Cでは、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。CASE-Dでは、CASE-Bと同様な実験を減衰器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、 $d=40\text{cm}$ 、 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} 、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

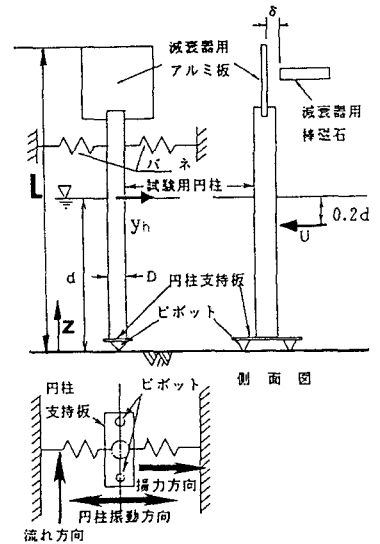


図-1 実験装置の概略

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

$m(z)$ ：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）

$\phi(z)$ ：振動形を示す関数。

倒立振動する本円柱の場合 $\phi(z)=y_h \cdot z/d$ 、 d ：水深

表-1 実験条件

CASE	d (cm)	U (cm/s)	f_{nw}	ζ_w	ζ_s	$\left(\frac{m_e}{\rho D^2}\right)$	$K_s = \frac{2m_s(2\pi\zeta_s)}{\rho D^2}$
A	40	6 ~ 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

無次元周波数(f_y/f_{nw})と無次元振幅(Y_{hr}/D)の相対速度 $U/(f_{nw} \cdot D)$ 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 f_{yr} （Strouhal周波数）と相対速度との関係をも示している。 f_{yr}/D と $U/(f_{nw} \cdot D)$ との関係は同図中に示すStrouhal数 $St=0.2$ の場合の関係式 ($f_{yr}/f_{nw}=St \cdot U/D/f_{nw}$) 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。

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 の関係は水深 d をパラメータとして図-4に示す。 Y_{hm} は y_h の最大値である。図中には、倒立振動する円柱の渦励振動特性を調べた、Vickery等やHartlen等 (after Blebins²⁾) の実験結果（最大値）も示している。 Y_{hm}/D は K_s の増加に伴い減少するが、 $K_s < 1$ の領域では一定の値に収束することが認められる。この関係に対する水深 d の影響 ($=m_0/(\rho D^2)$) の影響は認められない。本実験結果は、Vickery等やHartlen等の実験値より若干低めである。

河道内における樹木振動の一例として、図-4中に示す様な単一樹木（高さ約6m、幹部の平均直径約10cm、樹種：銀杏、学内生育）が水深1.5mの河道内に生育し、幹部の下部が流水抵抗を受ける場合を取り上げる。この場合、枝部や葉部が浸水していないので樹木の振動モードはシンプルであり、水表面の位置における代表振動振幅 Y_h は、図-5に示されている Y_{hm} と K_s 値の関係を用いて推定可能と思われる。本樹木の $m_0/(\rho D^2)$ 値($=45.9$)および ζ_s ($=0.025$)を実測し K_s 値($=14.4$)を算定した。図-4より、本樹木の K_s 値($=14.4$)に対応する Y_{hm}/D の値は約0.1である。従って、本樹木が水深1.5mの流水中に生育していると仮定すると、水表面の位置での揚力方向最大振幅 Y_{hm} は樹木径の約1割であると推定できる。

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)。

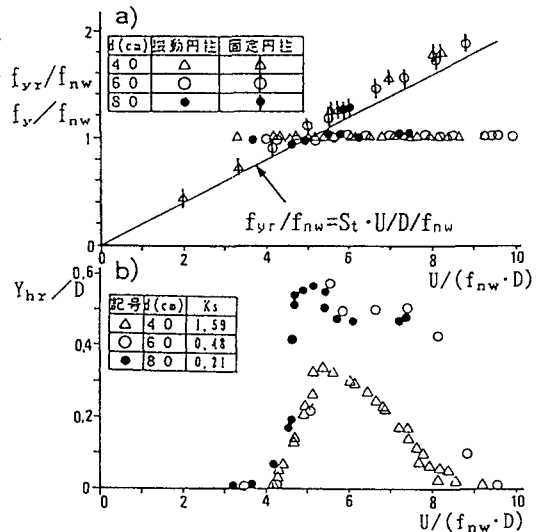


図-2 $U/(f_{nw} \cdot D)$ と f_y/f_{nw} 、 Y_{hr}/D の関係

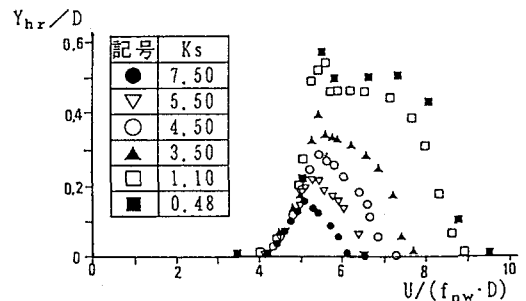


図-3 $U/(f_{nw} \cdot D)$ と Y_{hr}/D の関係

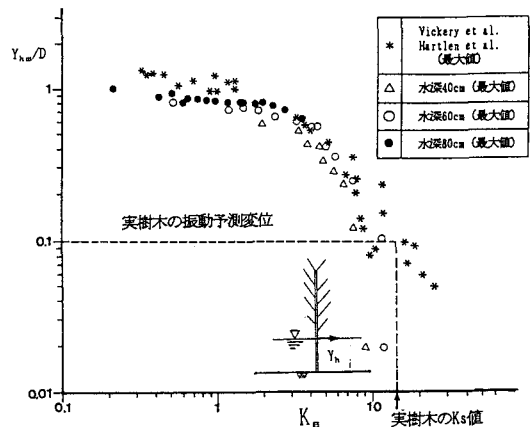


図-4 K_s 値と Y_{hm}/D の関係