

II-125

開水路中における樹木の振動特性について

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による流水抵抗を評価する場合、樹木の振動および動揺等の影響をも考慮することは重要である。本研究は、まず単一樹木の流水中における振動特性および抵抗特性を明らかにすることを目的として、その最も簡単なモデルとして開水路中に鉛直に設置された円柱に作用する流体力の特性および流水中の振動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、還流装置付き二次元造波水槽（長さ40m、幅80cm、高さ100cm）を用いた。水槽の他端には、消波用斜面を利用した整流装置が取り付けられている。図-1に示すように三分力計に取り付けられたアクリル製円柱（外形 $D=1.0\text{cm}$ 、長さ $=84.7\text{cm}$ ）および真ちゅう製円柱（外形 $D=1.0\text{cm}$ 、長さ $=85\text{cm}$ ）を水路中央に設置し、それぞれの円柱に作用する流れ方向の力 F_x およびその直角方向の力 F_y を計測した。アクリル円柱は流水中において振動が顕著に生じるものとして使用した。真ちゅう製円柱の剛性はアクリル円柱のそれに比べて十分大きく、流水中において振動が生じないものとして使用した。主流速の計測にはレーザー流速計を使用した。これら円柱の下端と水槽床部との間隙 δ は、 $2\text{mm}-3\text{mm}$ とした。水深 d は 70cm とした。

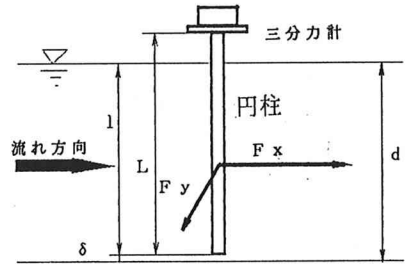


図-1 実験装置の概略



写真-1 松の小枝および試験円柱

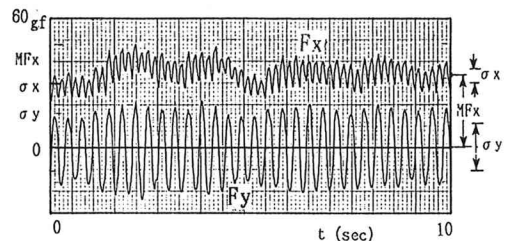
実験に先立ち、それぞれの円柱の振動諸元を調べるために、静水中における減衰自由振動実験を行った。

アクリル円柱の静水中における固有振動数 f_{nw} は 2.4Hz 、減衰定数 h_w は約 0.13 であった。真ちゅう円柱の f_{nw} は 6.2Hz 、 h_w は約 0.06 であった。還流パイプ内に設けられている軸流ポンプの回転数を変えることにより、主流速度 u を変化させた。水槽床部より 50cm 上の点における u の値を代表主流速度 U とした。使用した U の範囲は $3-23\text{cm/s}$ である。

次に、簡単な実樹木の一例として、松の小枝（幹の径 $=1-1.4\text{cm}$ 、幹の長さ $=77\text{cm}$ ）を三分力計に設置し、 F_x 、 F_y の計測を行った。水深 d は 60cm とした。この場合の水中固有振動数 f_{nw} は 5Hz 、減衰定数 h_w は約 0.13 であった。写真-1に、使用した松の小枝をアクリル円柱および真ちゅう円柱と共に示す。

3. 結果および考察

アクリル円柱に作用する力 F_x 、 F_y の記録例を図-2に示す。図中に示す MF_x 、 σ_x 、 σ_y は、 F_x の時間平均値と標準偏差、ならびに F_y の標準偏差である。この図は、主流速度が $U=22.8\text{cm/s}$ の場合であり、アクリル円柱は振動している場合である。 F_x の振動幅は F_y のそれに比

図-2 F_x および F_y の記録例

べて小さいが、その振動周波数 f_y は、 F_x の振動周波数 f_x の2倍となっていることが認められる。また、 F_y の変動幅が小さくなる時間領域においては、 F_x の平均値および F_y の変動幅がともに小さくなっていることも認められる。

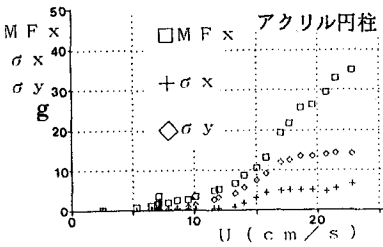


図-3 MF_x , σ_x , σ_y と U の関係

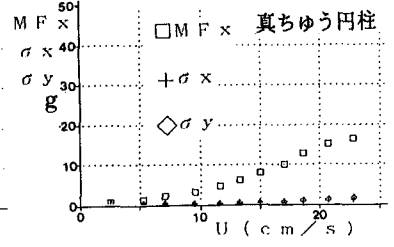


図-4 MF_x , σ_x , σ_y と U の関係

MF_x , σ_x , σ_y の主流速度 U に対する変化特性を図-3、図-4に示す。図-3はアクリル円柱の場合、図-4は真ちゅう円柱の場合である。主流速度が大きくなると($U > 15 \text{ cm/s}$)アクリル円柱の MF_x , σ_x , σ_y は、真ちゅう円柱の場合より顕著に増加している。 $U > 15 \text{ cm/s}$ においては円柱振動が明確に認められ、円柱下端での振動の片幅振幅 Y_c は $0.5 < Y_c/D < 1$ であった。従って、アクリル円柱における σ_x , σ_y の増加は、円柱振動による作用流体の増加および円柱振動による慣性力によるものと考えられる。

次式で定義される抗力係数 CD および揚力係数 CL とレイノルズ数($Re = U \cdot D / \nu$)との関係を図-5、図-6に示す。

$$CD = MF_x / (0.5 \cdot \rho \cdot D \cdot U^2) \quad \text{----- (1)}$$

$$CL = \sigma_y / (0.5 \cdot \rho \cdot D \cdot U^2) \quad \text{----- (2)}$$

真ちゅう円柱の CD 値は、この Re 数範囲における静止円柱の既存値($CD=1$)と同程度である。振動現象が生じている場合のアクリル円柱の CD , CL は、振動がない真ちゅう円柱の場合に比べて約2倍、および約10倍も増大している。この増大は、三分力計で検出される力(樹木の地中支持部におけるセン断力に相当する)の増大によるものであり、作用流体力の正味の増大を示すものではない。

無次元周波数 f_y/f_{nw} と主流の相対速度 $U/(f_{nw} \cdot D)$ の関係を図-7に示す。真ちゅう円柱における f_y と U の関係は、図中に示すストローハル数 $St=0.2$ とした場合の関係式($f_y = St \cdot U/D$)と良く一致している。アクリル円柱の場合には、相対速度が5以上になると U の増加にともなう f_y の増加は生じず、 f_y は f_{nw} と等しくなるlocking-on現象が生じている。

実樹木(松の小枝)の場合における MF_x , σ_x , σ_y と主流速度 U の関係を図-8に示す。還流ポンプの容量上、Locking-on現象が生じまで主流速度を上げることは出来なかったが、図-3に示すアクリル円柱の場合と同様に主流速度が大きくなる($U > 25 \text{ cm/s}$)と、小枝の幹部に振動現象が生じ、その結果 σ_x , σ_y が増大していることが認められる。

今後は、モーメント計測および振動量の計測をも併せて行ないより詳細な検討を行う予定である。

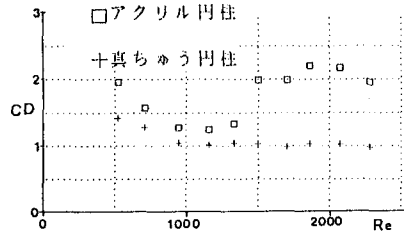


図-5 CD と Re 数の関係

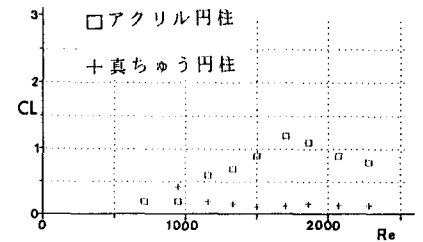


図-6 CL と Re 数の関係

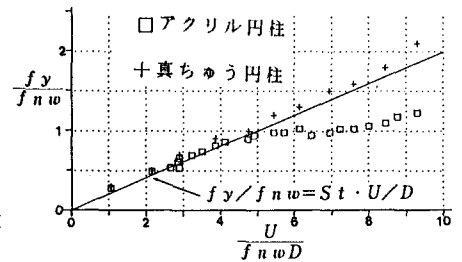


図-7 f_y/f_{nw} と $U/(f_{nw} \cdot D)$ の関係

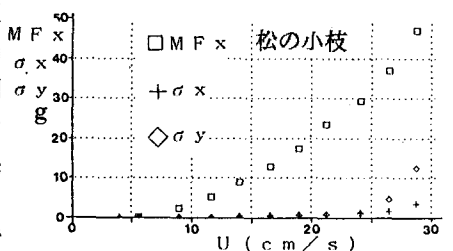


図-8 MF_x , σ_x , σ_y と U の関係