

鯉は風を泳ぐ

佐藤 浩、斉藤博之助、中村 宏（ながれ研究集団）

Carps swim in the wind

H.Sato, H.Saito and H.Nakamura

Institute of Flow Research

ABSTRACT

Kites are the most popular toy in the world. In Japan people enjoy carps swimming in the fragrant May wind. They belong to the same family from the fluidynamical view point. We have made wind-tunnel experiments on the performance of carp model. As a simplified model we chose straight round hollow cylinders of various size and weight. If a model is light enough, it floats in the flow by a single support thread attached to the mouth. Obviously, the lift force acting on the cylinder support the model. If a model is heavy, it starts violent oscillations. The reason for the oscillation seems to be due to the stall of cylinder wing. Models of carps suspended in the wind tunnel show similar performance. The best way in realizing a stable swimming is the choice of connecting carps to a rod.

1. はしがき

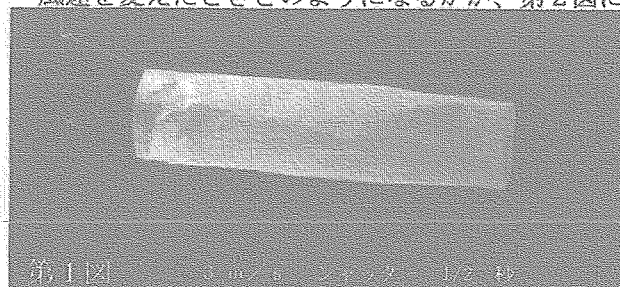
風は人類の最も古いおもちゃで、世界中で楽しんでいます。日本では鯉幟が5月の薫風の中を泳ぎます。この二つは流れという観点からは同じグループに属します。揚力が重力より大きいのが風で、逆なのが幟です。

我々は幟に重点を置いて風洞実験をしました。小さな模型を風洞の中に入れて、泳ぎ方の写真を撮り、流れを調べるために熱線風速計を使いました。風洞の測定部の断面は25 cm X 25 cm で、風速は1 - 4.5 m/s の範囲です。

2. 筒幟

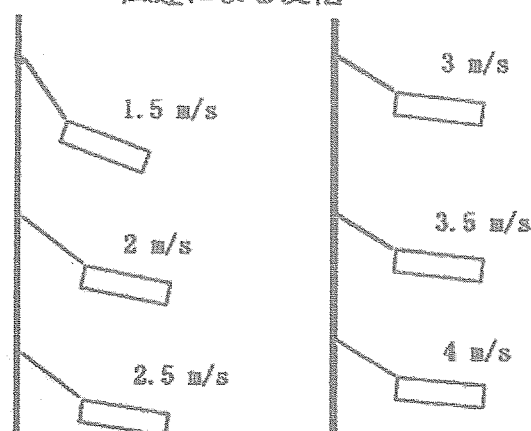
鯉の形は複雑なので、話を簡単にするために、薄肉の中空円筒の幟の実験から始めました。これを筒幟と称します。1本の糸で吊られた一番軽い幟の写真が第1図です。この幟は薄い和紙で出来た、重さ0.7 g のものです。吊糸は下に垂れていて、重力が揚力を上回っていることを示しています。幟は少しの迎角で風に向かっていています。

風速を変えたときどのようなようになるかが、第2図に



第1図

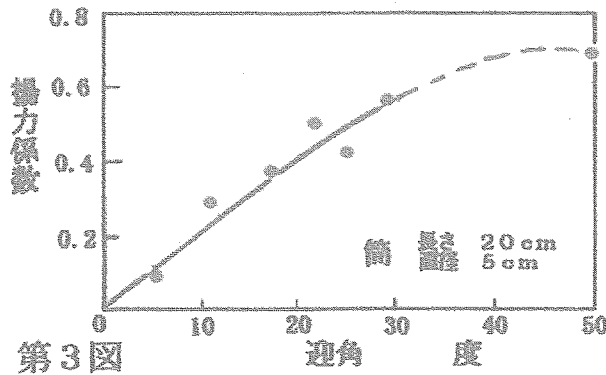
風速による変化



第2図

示されています。吊られ方が段々水平に近づき、迎角が段々小さくなっています。

これらは軽い幟の特性です。もう少し重いと風速が上がるにつれて吊糸が水平になります。吊り糸がもっと上がると、それは風の状態です。吊糸が水平の時は吊糸は揚力に寄与しないで、揚力と重力が釣り合います。そこで揚力係数を計算することが出来ます。ここでは面積として管の直径と長さの積を使います。重さを色々に変えて、吊られ方が水平になる風速を求めて、揚力係数を計算したのが第3図です。迎角が30度になるまで揚力が増加しています。2次元の翼に比べれば揚力が小さいことが分かります。迎え角が50度のデータはやや怪しいので、点線にしておきました。揚力が分ると抗力も分るわけ



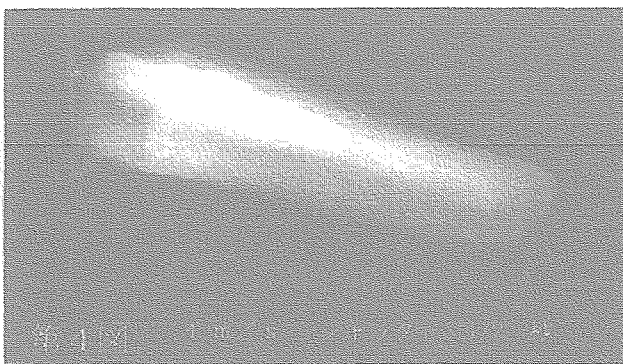
ですが、やってみると誤差が大きくなりますので、今回は省略しました。

機がもっと重いと、振動が始まります。その代表的な写真が第4図です。シャッターは1/2秒で、それが開いている間に機が揺れるので、像がぼやけています。それによって揺れの振幅の見当を付けることが出来ます。

これよりももっと重いものはもっと烈しく揺れ、暴れるという表現が適当になります。しかし風速が大きくなると、揺れが段々小さくなります。

機が揺れるのは風の中に乱れがあるからだと思われていますが、それは正確ではありません。我々の風洞は乱れのかなり少ないものですが、それでも揺れます。その理由を考えてみましょう。

筒機には3つの揺れモードがあります。



1つは上下方向の揺れです。高さの変動と、迎え角の変動です。飛行機ではピッチングです。

2つめは横方向の揺れです。いわゆるヨウ振動です。

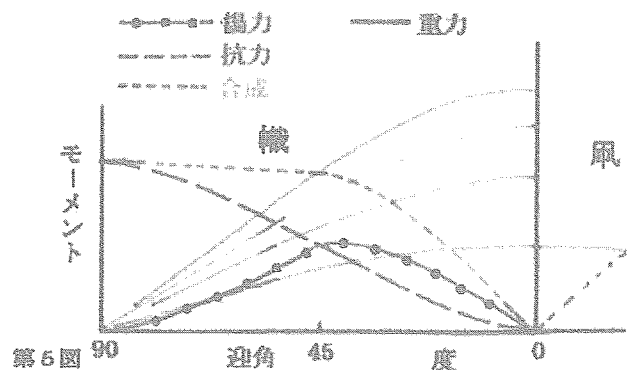
3つめは吊り糸を中心とする、糸の回りのねじれ振動、いわゆるロール振動です。

これらは連成することがあり、位相が適当な関係になると、大規模な振動になります。これらの揺れには再現性が無く、また時にはヒステシスが認められます。即ち風速を上げていく時と、下げていくときに揺れ方に違いが見られることがあります。

機が段々と上がっていくのは最初は機にかかる抗力によっています。揚力を発生するには迎え角が大きすぎるからです。機が上がって行くにつれて、揚力

の寄与が始まります。このあたりの関係を示したのが第5図です。縦軸は吊糸が機にとりついた点の回りのモーメントです。重力については4つの場合が示されています。点線で表わされた合成モーメントと重力の交点が実現条件です。重力が小さいときは交点に相当する迎え角は10度くらいの小さい角度ですが、重力が大きいと、この角はどんどん大きくなります。例えば最大の重力の時には相当する迎え角は45度にも達します。これは常識としての失速角を超えています。失速すれば色々な形の振動が励起されることは常識で、機が烈しく揺れるのも理解できます。飛行機にはこれらの振動を抑えるために尾翼や上半角が準備されていますが、機にはそんなものはありません。揺れ放題、暴れ放題です。

釣合条件

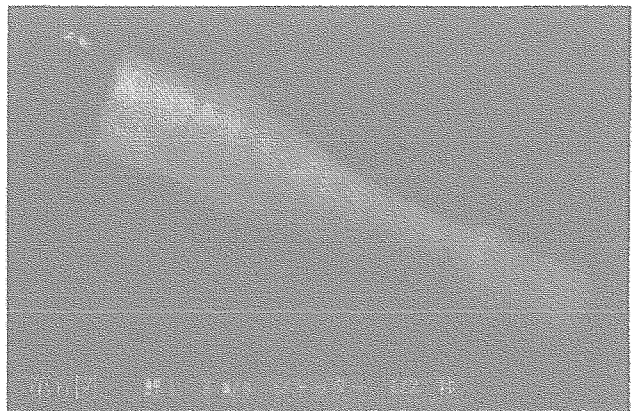


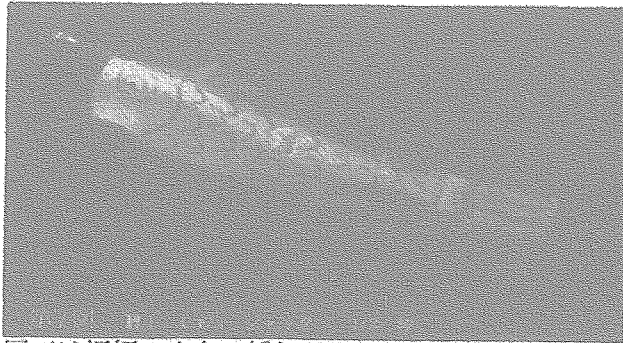
風速が大きくなると必要な迎え角が小さくなり、失速を免れます。振動が止まるのは当然です。また軽ければ迎え角が大きくなる必要がありませんから、揺れないのです。

3. 鯉機

3つの鯉機を準備しました。重さを変えてあります。重い筒機は暴れることが分かっているので、それを鯉でも調べるためです。

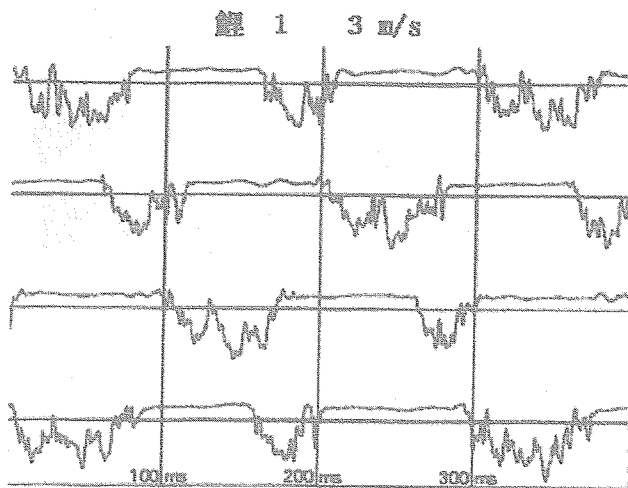
第6図は一番軽い(0.6g)鯉1の長時間露出の写真です。風速は3m/sです。鯉は筒に比べて揺れが烈しいので、すべて2本の糸で吊りました。





図では振幅の小さい揺れが見られます。

ところが風速が 4 m/s になった第7図では殆ど揺れが見られません。このことを詳しく見ましょう。熱線風速計を使って鯉の後の速度変動の波形を記録しました。風速が 3 m/s のときのものが第8図です。波形が乱流的な部分と、平らな部分から成り立っています。乱流的なのは熱線が鯉の後流に入っていることを物語っており、平らな部分は鯉

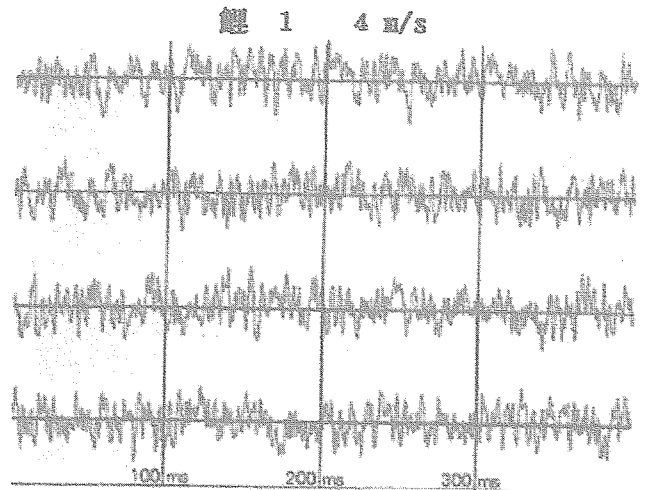


第8図

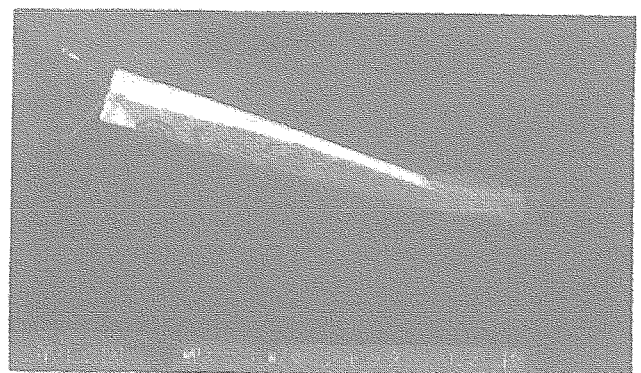
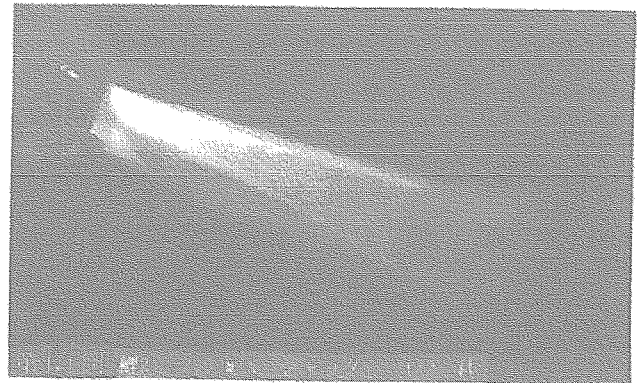
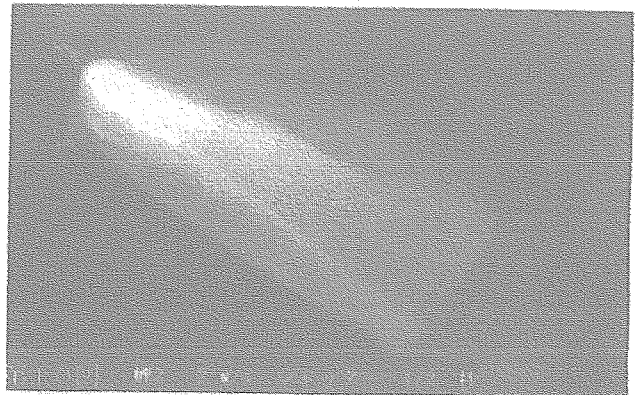
の揺れのために、熱線が後流からそれていることを現しています。揺れの周期はほぼ 150 msec と読み取れます。FFTでスペクトルを作ってみると、その周期に相当するところに高い山が見られます。

それに反して、風速が 4 m/s の第9図では波形は連続的な乱流波形です。これは揺れが収まって、熱線が常時、後流の中に止まっていることを示しています。この鯉は両方の風速の間で失速から逃れたのです。

鯉2は重さが 2.1 g です。風速を変えて写真を撮りました。第10図は風速 2 m/s で、烈しく揺れています。風速 2.5 m/s の第11図でも揺れは収まりませんが、第10図よりは揺れは少なくなっています。風速が 3 m/s まで上がった写真が第12図です。尾の部分を除いては揺れはありません。

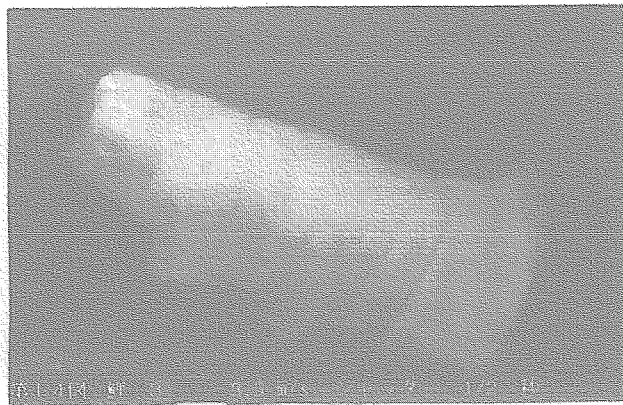
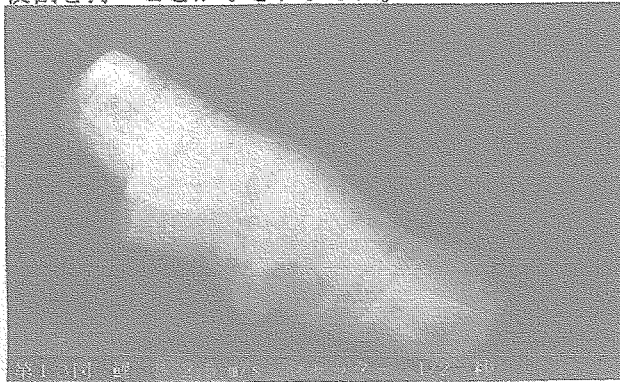


第9図



鯉3は更に重く、 4.5 g です。第13図を見ると風速 2.5 m/s で烈しく揺れています。風速を上げて 3.5 m/s の第14図ではもっと烈しく揺れています。この揺れは風速 4.5 m/s でもおさ

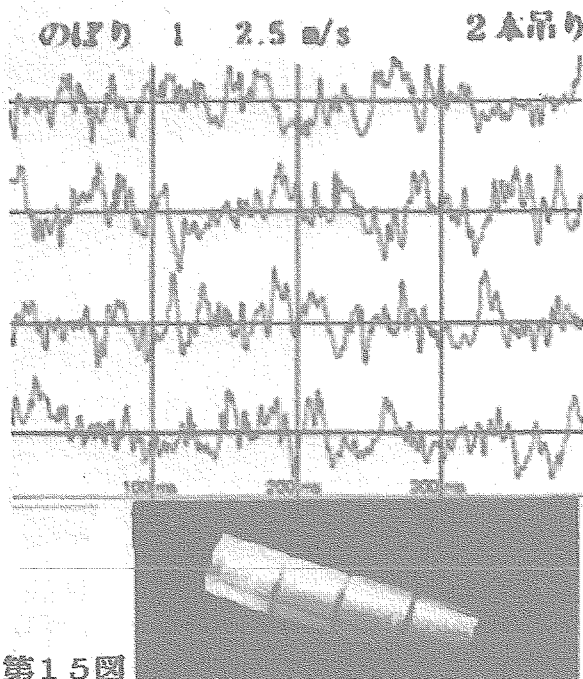
まりません。筒幟と同じく、重さが揺れに決定的な役割を持つことが示されました。



4. 吊糸と裾

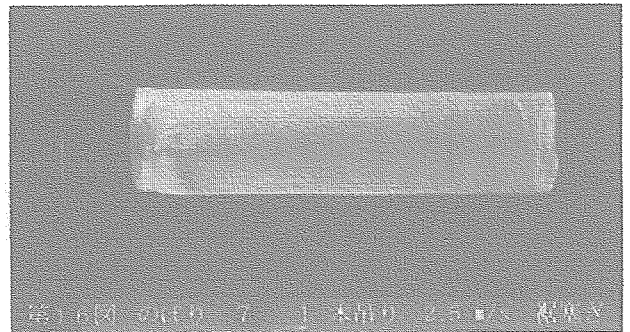
一本の糸で吊ると、動きの自由度が多くて、鯉は落ち着きません。そこで自由度を減らした実験を行いました。

まず2本吊りです。口の上としたから2本の糸を出して、別々に竿に結びます。これによって上下方向の揺れを抑えることが出来ます。第15図は1本

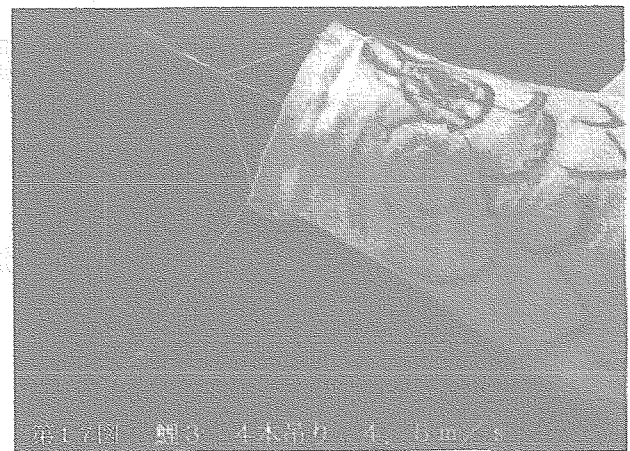


第15図

吊りでは揺れた筒幟が見事に静かになったものです。写真でも、変動波形でもそのことがわかります。

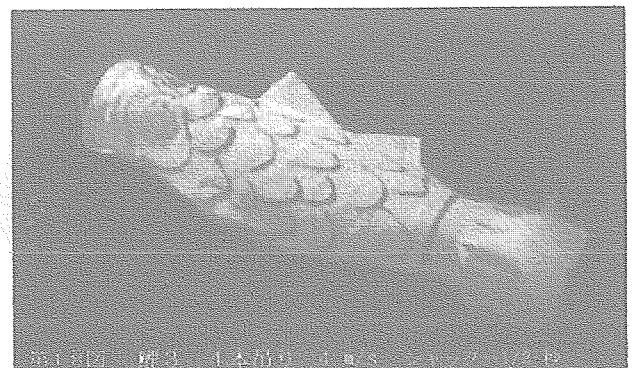


第16図は軽い筒幟の裾を詰めて、中の流れが無いようにしたものです。殆ど揺れはなくて、静かに止まっています。



更に同じ筒幟の口も閉じて、幟の中には全く空気が入らないようにしてみました。その時も大人しく止まっています。

重い鯉3の揺れを止めることが出来るかどうかを試みました。吊り糸を第17図に示したような4本吊りにしました。これで口の部分は殆ど動くことが出来ません。風を吹かした結果が第18図です。揺れは見事に止まっています。実はこの吊り方は市販の鯉幟に使われているものです。昔から鯉幟職人達は風洞も何も使わないで、このやり方に到達したのです。大したものです。



第18図 鯉3 4本吊り 4 m/s 1/20