

後 流 う ず 巻 IV

水 谷 正 和*

The Wake Vortices IV

Masakazu MIZUTANI*

(Received March 27, 1980)

The wake vortex loops of an ellipsoidal body, a triangular prism and a sphere are studied experimentally by means of the flow-visualization technique. Our concerns in this report are the direction of loops, and the effects of the free-surface and the side wall on them. The distances between the wall or the surface and the test body are from about 5cm to 20cm. The Reynolds numbers are less than 2.5×10^3 . The vortex loops are generated at the top, bottom, left and right sides of an ellipsoidal body, and at random sides for a triangular prism with respect to its axis. The wall-effects for an ellipsoidal body appear when the distance of the wall and the body is less than 7.5cm. The effects of the free-surface for an ellipsoidal body and a sphere appear when the distance of the surface and body is less than 7.5cm. The directions of the vortex loops are determined by the form of the dead water region and they are generated when $500 < R_e < 2200$ for an ellipsoidal body and $500 < R_e < 1300$ for a triangular prism.

1. 緒 言

前報¹⁻³⁾に引き続き軸対称性をもたない物体の後流うずを観察することにした。軸対称性をもたない物体例、すなわち正三角すいと正三角柱については、一部を除いて軸対称物体と同様のうず loop が見出された。とくに目立つことは、これらのうず loop は水表面上から見て、すべて物体後方でUの字をえがくように下方へたれ下がる姿勢しか示していないことである。少なくとも球、軸対称物体については、軸まわりにいずれの方向にもうず loop が形成されてもよいはずである。そこで、その原因を調べる手始めとして楕円体と三角柱を用い、うず loop の形成が試供体の形によって方向性を持つか否か、またそれとともに側壁の影響の如何をも調べることにした。さらに前述した三角すい、三角柱において除外された一部とは、両者ともに試供体側面の一つが水表面に向

い合った場合であることから、水表面の影響を受けるものか否かを調べるため、安定したうず loop が発生しやすい物体、すなわち球と楕円体を用いてこれを観察した結果をも合わせて報告する。今回の研究で楕円体、正三角柱ともに軸まわりに90度回転させるとうず loop 発生の方向が異なることを明らかにした。

2. 実験装置

本実験に用いた実験装置は、前報(第1図)³⁾に示したと同一の静水槽である。その概略を記しておくと、静水槽の大きさは、長さ640cm、幅60cm、高さ45cmで、水槽の上縁に設けられた水平なレールの上を模型曳引車が0~100cm/secの速度で走行可能である。模型曳引車は、試供体を取り付けて、試供体ともども走行する。楕円体を用いて側壁の影響を観察する場合は、静水槽内にサイドボードを設けることにした。水表面の影響を観察する場合は、試供体の中心軸から水表面までの距離を設定するために、水槽内の水を増減することによって調整する。模型曳引車の走行、試供体の取り付け方法、カ

*機械・生産機械工学科

(Department of Mechanical Engineering)

メラまたは8ミリ撮影機での観察等は、前報⁹⁾と同様である。

3. 試供体

本実験に使用した試供体は、球と楕円体と三角柱であって、球の大きさは直径5.08cmであり、楕円体の大きさは流れに直角な最大断面楕円の長径が4.5cm、短径が3.0cmで前後の長さが7.5cmである。三角柱の大きさは、断面の一边が4.3cmの正三角形で、前後両端面の距離は8.0cmである。

4. 実験方法

本実験は前報(第1図)⁹⁾に示した静水槽を用い、流れの可視化は色素法によって行った。まず、うず loop 発生の方向性を観察する場合は、模型曳引車の支持棒に楕円体、または三角柱を前報⁹⁾同様取り付け付けた位置から楕円体、または三角柱を軸回りに90度回転させ、流れ方向に平行である様に設定する。水槽内の流体が静止するのを待って、模型曳引車を走行させ、色素導入管によって試供体前端から色水を導入して、試供体後方に形成されるうず loop を水槽側面と水表面上から、カメラまたは8ミリ撮影機によって連続撮影した。側壁の影響を観察する場合には、静水槽内に透明なサイドボードを設けて、これから試供体中心軸までの距離を、水槽の幅を1としたとき $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{6}$ および $\frac{1}{6}$ のこの3段階について、カメラまたは8ミリ撮影機によって観察した。水表面の影響を観察する場合は、試供体中心軸から水表面までの距離 h を20, 10, 7.5および5cmの4段階に変え、水槽の側壁と水表面からカメラまたは8ミリ撮影機によって観察した。流速は、一定区間を模型曳引車が走行する時間をストップウォッチで測定して求めた。今回の実験範囲は、代表長さ l を試供体の長さとしたレイノルズ数 R で $R < 2500$ である。

5. 実験結果

5.1. うず loop 発生の方向性

楕円体と三角柱のうず loop 発生の方向性観察は、前報⁹⁾の写真4と写真3に示した配置に対して、それぞれその軸まわりに90度回転させた場合について実験を行った。まず楕円体については、前報⁹⁾に見られる様な loop 形成を示す場合もあるが、楕円体後方から見て上下左右不規則な loop 形成を示す。loop が形成される経過は、試供体壁に沿って流れた色水が試供体後端で内側に巻きこんでまず色塊を形成する。この色塊の形成が試供体後方から見て、上下左右いずれかにやや傾いて生長し、これによって定まるそれぞれの方向に各 loop は形成される様であって、色塊位置は非常に不安定であるために、走行ごとに不規則性がこれによって原因するようであ

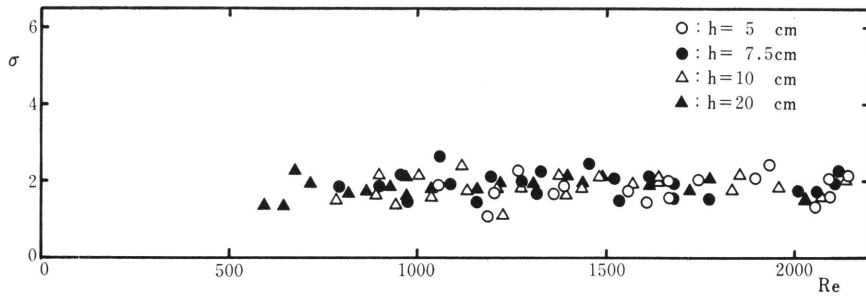
る。loopの形成は、塊を包む様に試供体壁から次々に後方へ流れる色水が、離れ下る色水と塊の中へ入りこむものとの2通りに分れる。離れ下る色水は後進するとともに二対のうず対となって更に後方へ流れるけれども、塊の中に入りこんだ色水は塊の中に充満するとともに、試供体後方から見て、塊の下部から一対のうず対を形成し、このうず対が先に形成した二対のうず対を吸収してただ一対のうず対だけとなって後方へ流れ下るようである。三角柱については、前報⁹⁾に示した三角柱(a)、(b)と同様の色素導入方法を用いて、三面に色水が導びかれる様にする。三面に沿って流れた色水は、試供体後端からそれぞれ離れ、試供体後方 $l/2$ (l : 試供体の長さ)の付近から内側に巻きこんだ試供体後端まで逆流し、細長い色塊の死水域を形成する。この死水域から生ずるうず loop の発生方向は定まらず、試供体後方から見て360度いずれの方向にも無差別に発生する様で、詳細は今後の詳しい観察に待たねばならない。

5.2. 側壁の影響

側壁の影響は、前報⁹⁾の楕円体(a)を用いて実験を行った。側壁と試供体との距離は、側壁として透明なサイドボードを設けてその壁面と試供体中心軸の距離を取ることとした。実験した距離は、水槽の幅を1としたとき、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{6}$ 、 $\frac{1}{6}$ の3段階である。 $\frac{1}{4}$ の場合は、前報⁹⁾で示したと同様のうず loop 形成を示し側壁の影響は見られなかった。 $\frac{1}{6}$ の場合は、壁に近い側の試供体壁から流れ下る色水がやや壁の存在の影響をうけて、試供体後方から見てUの字のうず loop を形成するに際して、壁に引き寄せられるごとくに多少の傾きを示す。壁を通過した後は、平常のうず loop にもどる。 $\frac{1}{6}$ の場合は、壁にさしかかった位置、すなわち壁の先端でコーナうず⁴⁾の発生と見られる振舞がまず生ずる。壁に近い試供体壁からの色水は、壁にはり付いた様に後進する。壁に遠い試供体壁からの色水は、試供体からはく離れた後、壁に引き寄せられながら後進して、そこでもやはりうず loop は等間隔に形成されるが、そのうず loop の形は、Uの字の下部分が壁に付着した形をしていて、壁の影響を顕著に示している。試供体が壁を通過した直後では、うず loop を形成している壁に近い部分がふくらみはじめて若干不安定になるが、すぐにもとの安定した平常の loop をつくり始める。

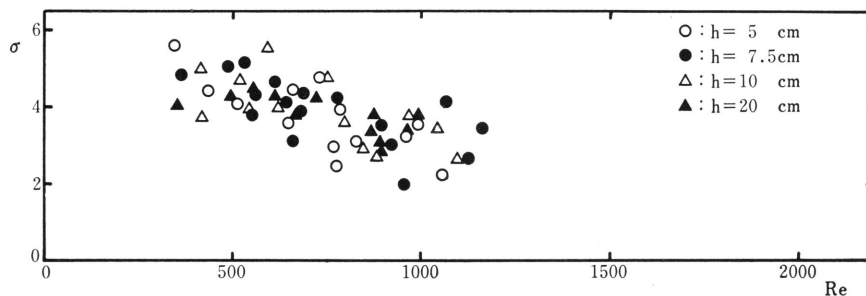
5.3. 水表面の影響

水表面の影響は、前報⁹⁾の球と楕円体(a)を用いて実験を行った。水表面と試供体との距離は、静水槽内の水を増減することによって行い、その距離 h は20, 10, 7.5および5cmの4段階であった。このときの loop 発生間



σ : loop の発生間隔, Re : レイノルズ数, h : 水面から試供体中心軸までの距離

第1図 loop の発生間隔とレイノルズ数の関係 (楕円体)



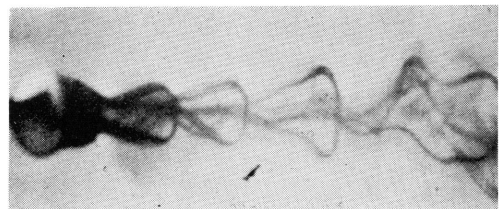
σ : loop の発生間隔, Re : レイノルズ数, h : 水面から試供体中心軸までの距離

第2図 loop の発生間隔とレイノルズ数の関係 (球)

隔 σ (ここで σ は一つ目の loop と二つ目の loop の距離を試供体長さでわった無次元量である。)とレイノルズ数との関係を、楕円体の場合を第1図、球の場合を第2図に示す。この図を見る限りでは、双方とも水面の影響を判別することはできないが、楕円体の場合に安定したうず loop を確認できる Re 数の下限は、水面に近づくに従って大きくなっているのが見られる。これは、水面に近づくにつれて、はっきりしたうず loop の発生

が遅れることを示すものと思われる。この安定したうず loop 発生範囲を楕円体と球について示したのが 第1表である。この表から見られる様に、安定したうず loop 発生間隔は、楕円体の場合いずれも $\sigma=1\sim3$ の範囲であるが、球の場合は $\sigma=2\sim6$ の幅を示している。そして安定した loop 発生はしているものの、後方に流れ下った loop は、水面に近い場合にその響影を顕著に表わしてくる。その場合の代表例として写真1を示す。これは

写真1 うず loop に与える水面の影響



楕円体 $h=5\text{cm}$, $u=1.8\text{cm/sec}$, $Re=1300$

楕円体後方上部からの撮影であって、うず loop が形成され、それが後方に流れ下って左右に拡がるのがわかる。このとき $h=5\text{cm}$ で、流速 $u=1.8\text{cm/sec}$, $Re=1390$, $\sigma=1.88$ である。今回の楕円体の実験範囲は $Re=500\sim2500$ である。 $h=7.5\text{cm}$ の場合にも、上述ほどで

第1表 水面下における安定した loop 形成範囲

(上段が楕円体, 下段が球)

h : 水面と試供体中心軸の距離 [cm]

h	Re	σ
5	1050 ~ 2200	1 ~ 3
	300 ~ 1050	2 ~ 6
7.5	800 ~ 2200	1 ~ 3
	300 ~ 1200	2 ~ 5
10	800 ~ 2200	1 ~ 3
	400 ~ 1100	2 ~ 6
20	600 ~ 2000	1 ~ 3
	300 ~ 1000	3 ~ 4.5

(ただし, σ は loop 間隔の距離を試供体長さでわった無次元量)

はないが、若干の影響が見られた。 $h=10\text{cm}$ および 20cm の場合は、安定したうず loop を形成し、その範囲はそれぞれ第1表に示す通りであって、うず loop に与える水表面の影響は見られなかった。

球の場合は、 $h=5\text{cm}$ での水表面の影響は楕円体よりも顕著で、うず loop の発生方向が定まらない場合が見られ、また安定したうず loop が形成されても時間の経過に伴って、楕円体に比べて、乱れがはやく起こる。 $h=7.5\text{cm}$ では、楕円体と同様に若干の影響が見られた。 $h=10\text{cm}$ および 20cm では安定したうず loop ができて、水表面の影響は見られなかった。今回の実験範囲は $R_e=250\sim 1300$ である。

楕円体は R_e 数が 2200 以上、球は 1300 以上になると 5.1 で示したと同様に、うず loop 発生の方向性が定まらなくなる。また、楕円体では R_e 数が 500 以下、球では 300 以下になると色水は直線的に後方に流れ下るだけでうず loop の発生しないことをも確認した。

6. 結 言

今回は、球、楕円体および三角柱を取り上げ後流うず loop 発生の方向性、側壁の影響、および水表面の影響を主題として、色素法によって観察した結果、次の結論を得た。

(1) 楕円体について、軸まわりに90度回転してみると上下左右4方向にわたって不規則に発生する様である。これは、楕円体後端で色塊を形成するとき後方から見て4方向のいずれかに傾むいて形成するためと思われる。また、三角柱については、軸まわりに90度回転させると、うず loop 発生の方向性は定まらず、360度いずれの方向にも発生する。

(2) うず loop の発生の仕方は、楕円体後端死水域に色塊を形成した後、その塊を包むようにして次々にはく離し流れ下った色水によってできるものと見られていたが、色塊に入り込んだ色水が塊の下部から一対のうず対を形成し、これが主となって、前にはく離してできただけで合体して形成されるようである。

(3) 側壁の影響は、静水槽の幅を1としたとき $1/8$ (今

回の実験では 7.5cm に相当) でうず loop が側壁に引き寄せられる、という様に若干の影響を示した。 $1/8$ になると壁から近い試供体壁からの色水は、壁に張り付いた様に後進し遠い色水は、試供体からはく離した後、壁に引き寄せられる様に後進してうず loop もやはり形成され、壁の影響は顕著である。

(4) 水表面の影響は、楕円体、球ともに $h=7.5\text{cm}$ で影響が見られたが、うず loop 形成を判断できない程ではなかった。しかし球の場合には、うず loop 発生の方向が定まらないことが見出された。

(5) R_e 数が楕円体では 2200 以上、球では 1300 以上になるとうず loop の方向性が定まらないこと、また R_e 数が楕円体では 500 以下、球では 300 以下、の場合に色水は直線的に後方に流れ下るだけで、うず loop は発生しないこと、等を見出すことができた。

以上のようにして、本実験に用いた球および楕円体の後流うず loop は、色塊の形成の仕方によって方向性が決定されること、 R_e 数 500 以下ではうず loop の発生は見られないこと、 R_e 数楕円体では 2200 以上、球では 1300 以上ではうず loop の方向性が定まらないこと、等がわかった。

軸対称性をもたない物体 (今回は三角柱) では、うず loop 発生の方向性が定まらなかったが、確かなことは数をそろえた今後の詳しい観察に待たねばならない。

7. 謝 辞

本研究は昭和54年度本学奨励研究費の交付により行なわれたことを付記し、関係者各位に深く感謝申し上げます。また本研究を遂行するにあたりご指導下さった山田彦児教授に心からの感謝を申し上げる。また実験に協力された本学機械工学科卒業研究学生伊藤謙治、加藤武彦、北原高次の諸君に心から御礼を述べたい。

文 献

- 1) 水谷、中尾、飯坂、中部工業大学紀要、12-A (昭51—12)、27.
- 2) 水谷、中部工業大学紀要、14-A (昭53—12)、9.
- 3) 水谷、中部工業大学紀要、15-A (昭54—12)、9.
- 4) Honji, H., J. Fluid Mech., 169-2 (1975—3), 229.