

II-139 半球背後の剝離および組織的渦

東京大学土木工学科 正員 玉井 信行
 東京大学土木工学科 正員 浅枝 隆
 東京大学大学院 学生員 ○田中 規夫

1. はじめに

Ripple背後の流れは、流砂機構と密接な関連があり近年における重要な研究課題である。しかしながら、3次元の物体背後の剝離渦については、その渦構造および時間変動特性に関して不明の点が多い。そこで、本研究では、3次元の物体の代表として半球を選び、その背後における組織的な渦構造を可視化を通して定性的に解明することを試みた。また、渦の周期性について定量的な評価を試みた。

2. 実験装置および実験方法

全長 280cm、幅30cm、高さ30cm、水路勾配 1/600のポンプ環流型水路を使用した。導流部には、3次元ベルマウスおよび整流板を取りつけ、流れを整流した。半球は発泡スチロール製で、半径 $D=2\text{cm}$ 、 3.5cm の2種類を使用し、整流板から80cmの位置の水路中央に接着した。渦の断面構造の可視化には、トレーサーとしては、アルミ粉および塩ビ粉の2種類を使用した。また、3次元構造については、剝離域内にウォータブルーを注入し、放出される渦を可視化した。このような方法により、主流と剝離域から放出された流れとを区別して観察した。渦の周期性に関しては、可視化により渦が10個発生する時の秒数を5回計測し、その平均値より求めた。また一方で、渦の生成部および放出部において、レーザードップラー流速計により流速を計測し、サンプリング間隔10msecで2540個のデータをサンプリングし、流速変動に関するスペクトル解析を行ない、可視化により得られたものと比較した。

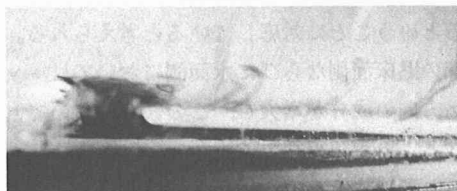


写真-1 3次元構造(Re=900)

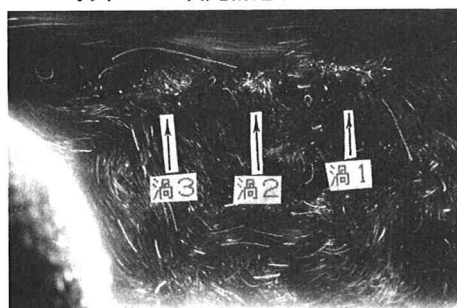


写真-2 断面構造(Re=5000) : 合体前

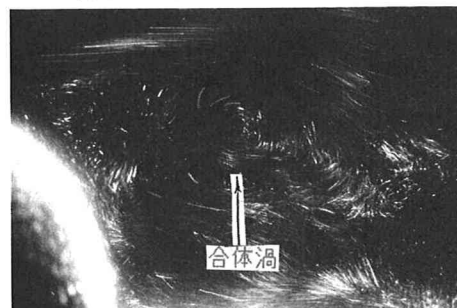


写真-3 断面構造(Re=5000) : 合体後

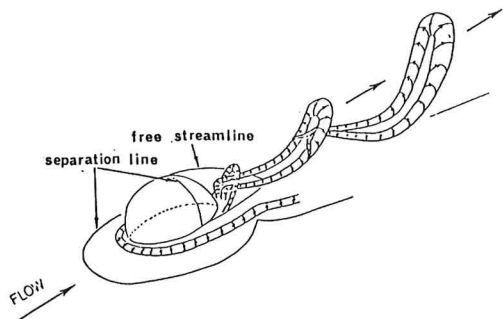


図-1 放出渦のモデル (1) : ($Re < 2000$)

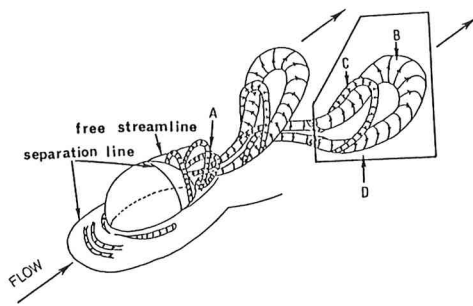


図-2 放出渦のモデル (2) : ($Re > 2000$)

3. 実験結果

(1) 渦構造の変化 Reynolds数は、 $Re=UD/\nu$ (U :断面平均流速、 D :半径、 ν :水の動粘性係数)で定義する。 $Re=200\sim 12000$ で実験を行なった結果、放出渦の構造は図-1,2で示されるようなものであることが明らかになった。図-1は $Re<2000$ の時のものである。生成される渦は、半球を取り囲む様にして半ドーナツ形状をしており、それが流下方向に対してほぼ1列となって放出される。放出渦の間隔は、 Re が大きくなるに従って狭くなっていく。写真-1は $Re=900$ の時に、上流から下流に向かって撮影したもので、半ドーナツ形状の渦が明瞭にとらえられている。図-2は $Re>2000$ の時のものである。生成される渦の間隔が狭くなり、剝離域の中に渦が2, 3個作られるようになると、放出部(A)で後ろの渦が前の渦に上から巻きつくように合体して、大きな渦(B)となって、剝離域から放出される。この過程を示したのが、写真-2,3($Re=5000$)である。さらに、それに付随して放出される渦(C) (これは、放出部で合体していない渦)によって、一つの塊としての渦(D)が構成される。渦(D)は、平面的には、2列左右交互に放出される。これは円柱背後のKarman渦に類似している。渦(D)を構成する渦の数は、3, 4個である。

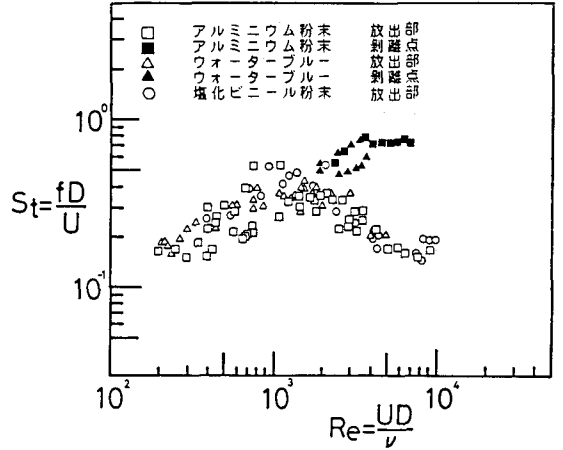


図-3 ReとStの関係

(2) 渦放出周波数の変化 図-3に、Strouhal数 $St=fD/U$ (f :渦放出周波数、 U :断面平均流速、 D :半径)の Re による変化を示す。この図によると、 $Re=2000$ くらいまでは生成される渦の St (St_a とする)および剝離域から放出される渦の St (St_b とする)は1対1で、かつ St は Re が大きくなるにつれて上昇する。これは、可視化により観察された渦の間隔が詰まるという事実に対応する。また、 $Re=2000$ を越えた付近から、 St_a は Re が大きくなるにつれて上昇するが、 St_b は減少する。 St_a/St_b は、3から4程度の値となる。これは、 $Re=2000$ 付近で渦の合体が起こること、および3, 4個の渦で一つの塊としての渦を構成するという可視化観察事実に対応している。最後に、図-4,5に、それぞれ図-1,2の領域におけるスペクトル解析の1例を示す。図-4のピーク値から、 St を計算すると、 $St=0.41$ となり、可視化観察と一致する。また、図-5のピーク値は、放出渦(D)の片側だけをとらえているから、2倍して St を求めると、 $St=0.25$ となり、これもほぼ観察結果と一致していることがわかる。

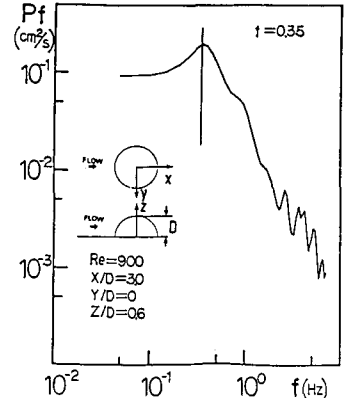


図-4 スペクトル:($Re=900$)

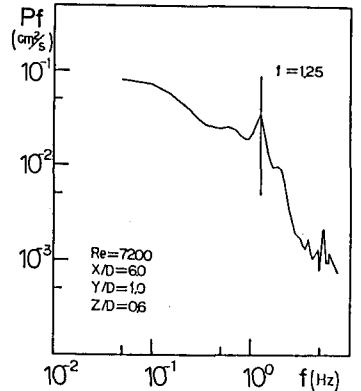


図-5 スペクトル:($Re=7200$)

4. おわりに

半球後方における組織的な渦構造を可視化を通して定性的に解明することを試みた。その結果、半球後方で生成される渦は半ドーナツ形状をしていること、および、剝離域から放出される渦の構造は、 $Re=2000$ 付近で渦の合体により変化することが明らかになった。

<参考文献> Okamoto S.;Turbulent Shear Flows2(1980),pp.246-256