

P I Vを用いた平板後流域における渦構造の可視化実験

金沢大学工学部 正会員○斎藤武久・石田 啓
金沢大学工学部 大学院 中林 学

1. はじめに 波動場に設置された柱体の波向き方向の長さが波長に比べて比較的短い場合、柱体に作用する流体力としては、剥離渦の発生に伴う抗力の影響が無視できなくなる。この抗力の発生機構は、後流渦の挙動と密接に関係するため、後流渦の挙動を正確に把握することが柱体に作用する流体力の解明には不可欠となる。この後流渦の挙動の把握には、後流域の任意点における流速の時間変化および流速場の空間分布を捉えることが必要であり、前者については、LDV(Laser Doppler Velocimeter)に代表されるの定点計測型の流速計を用いて、任意点の正確な流速の時間変化の測定が可能となる。ところが、後者については、定点計測型の流速計では、測定結果から流速の空間分布を捉えるには、膨大な計測点が必要となることなどから、計測が非常に困難とされてきていた。しかしながら、近年、可視化画像を用いた流速場の計測法が開発され、様々な研究分野に応用されるとともに、その有効性が認められてきている¹⁾。本研究では、任意時間における流速の空間分布の計測が可能なPIV(Particle Image Velocimetry)を用い、波動場に設置された側方からの剥離を伴う平板周辺の水平断面および鉛直断面を対象に流速場の計測を行い、平板周辺に形成される後流渦の特性を明らかにする。具体的には、水平断面内における後流渦の時間的な変化、水平断面の違いによる後流渦の規模の違い、後流渦の発生に伴う鉛直断面内における流速分布の変化などを明らかにする。

2. 実験方法 図-1に実験装置を示す。実験には両端に吸収式造波装置を有する、長さ14m高さ1m幅0.8mの両面ガラス張りの2次元水槽を用いた。平板は長さ4.5mm、幅12cmの鋼製の板を用い、水深を45cmとした。なお、平板の固定は、平板下部が挿入可能な溝を有する厚さ15mmの亚克力板の台座と水槽上部の2箇所で行い、観測窓を通してカメラの撮影およびレーザーシートの照射が可能となるようにした。使用したPIV(TSI/Aerometrics社製)の主構成はダブルパルスのYAGレーザー(12mj×2)、CCDカメラ(1008×1018画素)およびタイミング制御装置からなる(図-1参照)。本研究では、ダブルパルスレーザーシートの先発および後発の照射時間の遅れを3msとし、それぞれのレーザーシートの照射に合わせて2枚の画像データをCCDカメラで撮影し、さらに、これらの画像データの相互相関から流速の空間分布を算定する。計測時間は、レーザーの発光間隔を7.5Hzとした約2秒間で、画像データは一つの実験ケースにつき、16組32枚を取得した。また、計測の開始は、平板と水槽側面の間に設置した波高計の記録がゼロアツする点からとし、入射波は、波高Hが2.0cm～10.0cm、周期Tが1.0s～2.0sの規則波とした。なお、トレーサには中央粒径が0.086mm、比重1.02のナilon粒子を用いたが、レーザーパワーが大きくなり、CCDカメラの解像度が高いことから、撮影範囲を最大40cm程度としても比較的良好な画像データが獲得できた。

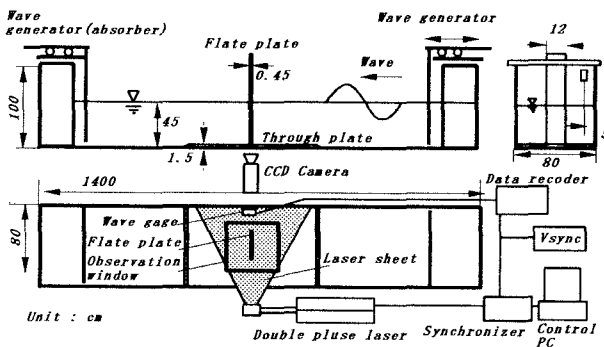


図-1 実験装置

3. 実験結果および考察 本研究で対象とした水平断面、鉛直断面の位置および画像データ撮影時における入射波の位相を図-2および図-3に示す。図-4に入射波の波高H=7.1cm、周期T=1.0sの場合で、静水面下8cmの水平断面における平板周りの流速分布を示す。平板の位置で波谷から波峰の位相に変わる静水面付近の位相(位相①)よりも、波峰から波谷の位相に変わる静水面付近の位相(位相⑤)において、平板周辺に形成される渦対の径が大きく、また、

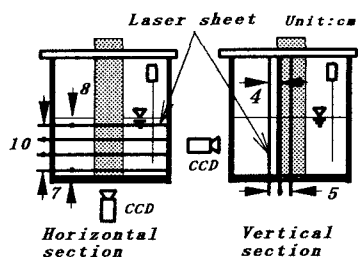


図-2 レーザシート的位置

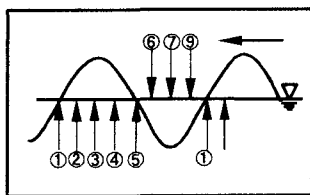


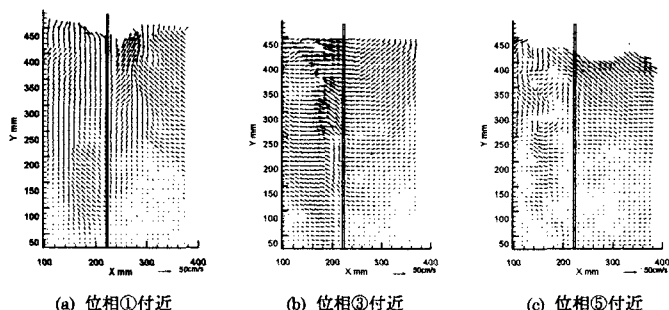
図-3 画像撮影時における入射波の位相

渦は平板側端の外側へ広がっている。この現象は、目視により観察された水表面の後流渦の径および挙動と同じ傾向を示していた。なお、計測された流速の空間分布および目視により観察された水表面の後流渦の挙動ともに、波峰の位相(位相①～位相⑤)では波谷の位相(位相⑥～位相⑨)で形成された渦を伴って次の渦が成長しているのに対して、波谷の位相(位相⑥～位相⑨)ではそれ以前の位相で形成された渦の連行は認められなかった。図-5に同様の入射波で、水平断面の鉛直位置を静水面下18cm, 28cmおよび38cmと変化させた場合の結果を示す。鉛直位置が底面に近づくにつれ、渦対の径は小さくなっていることがわかる。なお、それぞれの鉛直位置で、位相①よりも位相⑤で形成されていた渦対の径は大きかった。以上に挙げた現象は、波峰および波谷の位相における水表面付近の水粒子速度の違いに起因するものと考えられるが、メカニズムの詳細については、さらに詳細な実験により現在検討中である。図-6に位相①、位相③および位相⑤の場合で、平板側端から4cm離れた鉛直断面の流速分布を示す。位相①の場合に比べ、位相⑤において渦の下部における流体場の乱れが大きくなり、その広がりは水深の1/2程度にまで達している。なお、渦の位置は図-4(a)および(b)の渦中心から読み取った。また、位相③と位相⑤との比較から、流体場の乱れは、波峰頂部よりも静水面の位相で大きくなっていることがわかる。

4. まとめ PIVを用いて計測した水平および鉛直断面における速度の空間分布により、側方からの剥離を伴う平板周辺の後流渦の挙動の把握を試みた。現在まで、波谷の位相に比べ、波峰の位相で形成される渦対の径が大きく、水表面から離れても同様の傾向が見られること、さらに渦の下部において、顕著な流速場の乱れが生じていることが明らかになっている。

参考文献

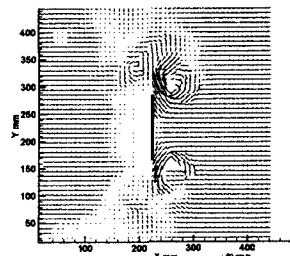
1) 例えば Ronald J. Adrian: *Annu. Rev. Fluid Mech.* Vol. 23, pp. 261-304, 1991.



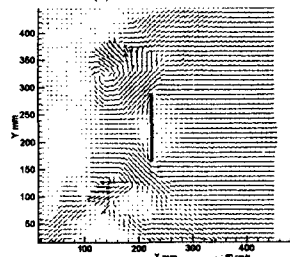
(a) 位相①付近

(b) 位相③付近

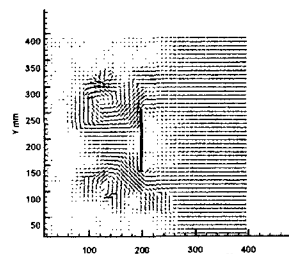
(c) 位相⑤付近

図-6 鉛直断面内における流速分布($H=7.1$ cm, $T=1.0$ s)

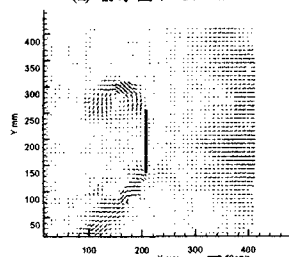
(a) 位相①付近



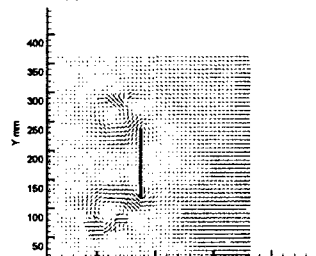
(b) 位相⑤付近

図-4 位相の違いによる渦径の違い ($H=7.1$ cm, $T=1.0$ s, 静水面下 8 cm)

(a) 静水面下 18 cm



(b) 静水面下 28 cm



(c) 静水面下 38 cm

図-5 水平断面の鉛直位置の違いによる渦径の違い($H=7.1$ cm, $T=1.0$ s, 位相⑤付近)