

II-153

段落ち流れによる再付着点近傍の渦構造の可視化

西日本工業大学 正員 石川 誠
西日本工業大学 正員 赤司 信義
山口大学工学部 正員 斎藤 隆

1. はじめに

著者らは、これまでに壁面噴流による段落ち下流の流れを可視化して検討してきたが、渦の発生要因がいくつも組み合って非常に複雑な構造になっていて、十分に考察できなかった。そこで、一様流による段落ち下流の流れの渦構造を可視化し、段落ち下流で発生するスパン方向に軸を持つ渦（横渦と呼ぶ）の発達に伴って上層・下層に縦渦が配置された2層構造になる場合があることを観察した。¹⁾

本研究は、三次元的な可視化を行って段落ち下流で発生する横渦が次第に馬蹄型渦へと変形し、馬蹄型渦の足と思われる部分で縦渦が形成されることや、馬蹄型渦の重なりによって縦渦の2層構造が観察されること等を示したものである。

2. 実験装置と実験方法

実験に用いた水路は、長さ 3m、高さ 0.3m、幅 0.3m のアクリル製開水路で、その上流端には整水槽として長さ 2m、高さ 0.5m、幅 0.6m の鋼枠製水槽が接続されている。水路流入部より下流側 60cm の位置に 3cm の段落ちを設け、下流端には水位調節用堰板が設置された。又、段落ち部より上流側 12.5cm の位置と水路流入部上流側 80cm の位置にハニカムがそれぞれ設置された。実験は、流量 Q を $196 \sim 713 \text{ cm}^3/\text{s}$ ($Re=550 \sim 2029$) の範囲内で変化させ、下流水深を一定として行われた。撮影方法を図1に概略的に示している。流れ方向に平行で鉛直な断面での可視化を縦断面視と呼び、流れ方向に直角な断面での可視化を横断面視と呼ぶことにする。又、水路斜め上方の上流側から渦の立体像について行われた。これを立体視と呼ぶことにする。縦断面視と横断面視の場合、可視化には、最大出力 2W のアルゴンレーザーを使用した。立体視の場合は、スタンドライトを使用し、横断面視と併用して界面が明瞭に見えるような方法で行った。蛍光染料には比重 1.002 のフルオレセインナトリウム水溶液を用いた。撮影には、ビデオカメラを使用した。

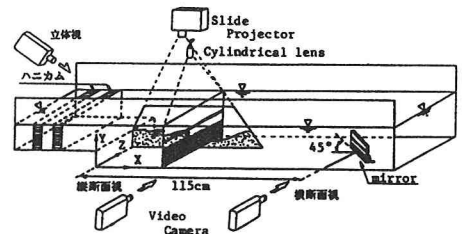


図1 撮影方法の概略

3. 実験結果とその考察

写真1は、 Re 数が 531 の場合の縦断面視を示したものである。写真の $X=0\text{cm}$ の位置が段落ち部である。その左端の記号は水表面（印）と底面（印）を示している。横渦は、段落ち部から 14cm の位置で発生し、その後水面と底面に

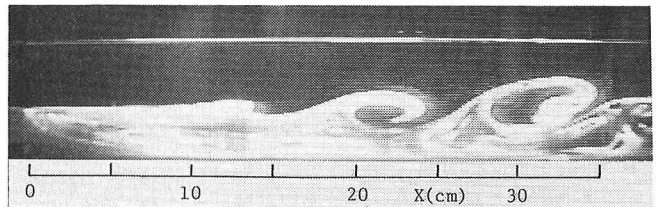


写真1 縦断面視 ($Re=552$)

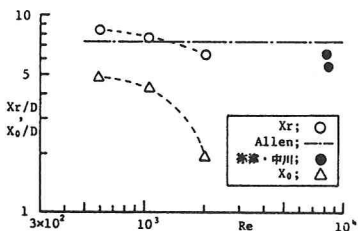


図2 再付着点位置及び渦の発生位置

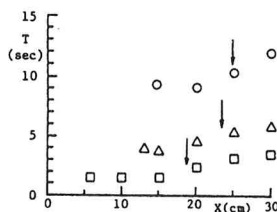


図3 渦の発生周期及び通過周期

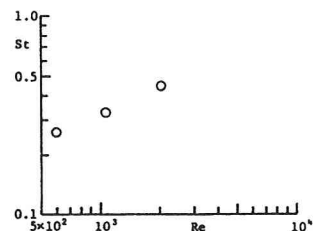


図4 Re 数と St 数の関係

よって制約を受けながら流下方向に引き伸ばされたような形で次第に発達していく様子が分かる。その発達過程は、横渦の上昇角度（流れ方向と流下するそれぞれの横渦の頭部を連ねた線の角度）も約 5° と緩やかであった。

図2は、再付着点位置 X_r 、渦の発生位置 X_o を縦断面視の画像から読み取ったもので、その平均値を段落ち高さ D で無次元化して Re 数に対して示したものである。渦の発生位置 X_o は Re 数が大きくなるにつれて段落ち部に近づいていくことが分かる。再付着点位置 X_r は、これまでも Allen²⁾ や 祢津・中川ら³⁾ によって調べられていて、図中に示すように再付着点位置は両者の結果とほぼ一致している。

図3は、段落ち下流で発生する渦の周期（発生周期）及び各断面を通過する渦の周期（通過周期）について Re 数をパラメーターにして示したものである。図中の矢印は再付着点位置を示している。渦の通過周期は再付着点上流ではあまり変化は見られないが、再付着点下流になると若干増加していく傾向がある。これは再付着点近傍で渦の合体等によって通過周期が長くなるものと考えられる。また、 Re 数が小さいほど周期も長くなっていることが分かる。

図4は、渦の発生周期を用いて、段落ち部の平均流速、水深に基づくストローハル数と、 Re 数の関係を示したものである。 Re 数が大きくなるとストローハル数も増加する傾向にある。

写真2は、 Re 数 552 の場合の水路斜め上方の上流側からの立体視を示したものである。流れの向きは下から上に向かって

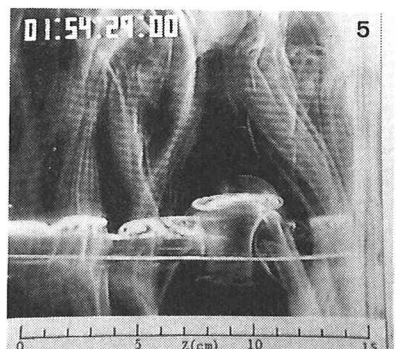
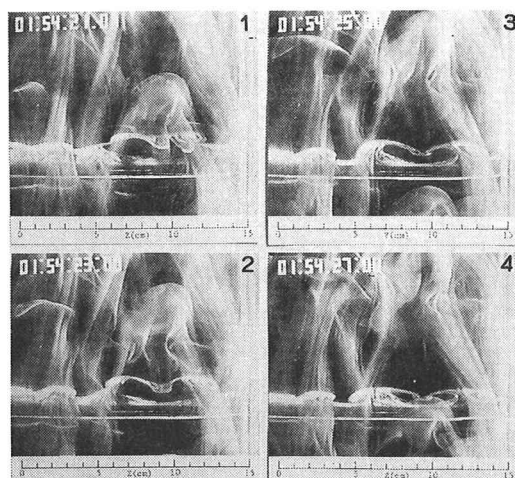


写真2 水路斜め上方の上流側からの立体視

流れている。写真のそれぞれの水平の筋は横断面視のためのレーザースリットで、段落ち部からの距離が 21cm の位置である。又、それぞれの写真の右肩の数字は $t=2\text{sec}$ 毎に撮影された順序である。この一連の写真から明瞭に馬蹄型渦が発達していく様子が見られ

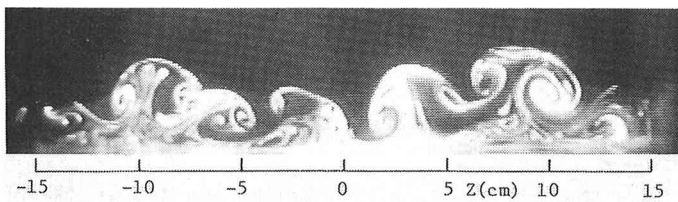


写真3 横断面視 ($Re=552$)

る。馬蹄型渦が横断面を通過する様子を見ると、馬蹄型渦の両端には互いに内側から外側に回転をする渦と馬蹄型渦の頭部の中央背後で急激な凹部ができて外側から内側に回転する渦で形成されていて、さらに、馬蹄型渦の後部になるに連れて互いに反回転方向の渦対になり明瞭な流れ方向に軸を持つ縦渦対が左右に配置されていくのが認められた。写真3は、 $X=28\text{cm}$ の横断面視である。この写真中の $Z=1\sim 12\text{cm}$ で見られる縦渦対は写真2の縦渦対の配置とよく似ている。写真2の4の中の横断面視を見ると縦渦対が底面上に形成され、その水面付近には新たな馬蹄型渦が近づいていることが認められる。写真2の5の横断面視を注目すると、馬蹄型渦の頭部に縦渦構造が形成され、馬蹄型渦の上層・下層での重なりによって縦渦の2層構造を形成するものと考えられる。

参考文献 1) 石川誠・赤司信義・斎藤隆：土木学会西部支部講演概要集、pp.280-281, 1993.

2) 土木学会：水理公式集、pp.41, 1985.

3) 祢津・中川ら：第31回水理講演会論文集、pp.413-418, 1987.