

円柱周辺の渦構造に関する検討

西日本工業大学 学生員 坪郷 浩一

西日本工業大学 正会員 石川 誠

西日本工業大学 正会員 赤司 信義

1. はじめに

橋脚周辺の流れを明らかにすることは、橋脚の安全性を考える上で非常に重要である。これまでも、橋脚周辺の流れに関する研究は、流れの遮蔽性と抵抗との関連や橋脚周辺の河床洗掘など大変多くなされている。本研究は、河床洗掘との関わりを検討するための資料となるよう、流れの可視化と数値解析によって橋脚周辺の渦構造を明らかにしようとしたものである。可視化には、デジタルカメラを使用し、蛍光染料注入方を用いて平面視、横断面視の可視化を行った。

2. 実験装置及び実験方法

実験装置は、長さ 8m、幅 80cm、高さ 10cm の透明アクリル製の実験水路である。この水路上流から 5m の位置に直径 101mm、高さ 20cm の真鍮性の円柱を設置した。円柱表面の粗度による違いを見るため、滑面円柱と砂を貼り付けた粗面円柱を用いた。

水平断面の可視化では、円柱から 1.5m 離れた位置に 8cm × 8cm の鏡を傾き 45° に設置し、水面真上からレーザーライトシートを照射し、上流から蛍光染料を流したときの円柱周辺の渦形状を円柱真上から撮影した。撮影断面は、水深の中央、水面下 5mm、底面上 5mm の水平断面とした。

横断面の可視化では、レーザーライトシートを水面真上から照射し、円柱から 1.5m 離れた位置に 8cm × 8cm の鏡を傾き 45° に設置し、その上方からビデオカメラにより撮影を行った。撮影断面は、円柱下流端から 0cm、2.5cm、5cm、10cm、20cm、40cm の横断面とした。

蛍光染料はフルオレセインナトリウム水溶液 (2%) を 40 倍に水で薄めたものを使用した。

3. 実験結果とその考察

3-1. 水平断面視 写真 1 は、滑面円柱での平面視で水深の 1/2 の深さで下流から鏡を通して水平にレーザーライトシートを照射して撮影した映像である。円柱表面の両側から剥離した流れは交互に渦を形成し、円柱の後流は左右に激しく振動し、円柱を取り巻くような流れができる。写真を見ると、円柱の付け根からはく離れた小さな渦が、円柱から離れるにつれて少しずつ大きくなり、大きなスケールのカルマン渦の中に組み込まれていく様子がよく分かる。円柱から離れると、円柱表面からはく離渦は複雑に重なり合って、はっきりとしなくなっていて大小様々な渦を形成している。

3-2. 横断面視 写真 2 は、滑面円柱で円柱下端より 2.5cm ($x=7.5\text{cm}$) の位置で撮影した横断面視である。円柱の両側には、小さな渦が円柱の側面に沿って現れている。これらの小さな渦は、写真 1 で見たように円柱後方に流れていくにしたがって崩壊し、カルマン渦に吸収される。底面付近には、円柱側面に沿って上昇するような渦が見られ、河床の砂のまきあげに影響するものと思われる。

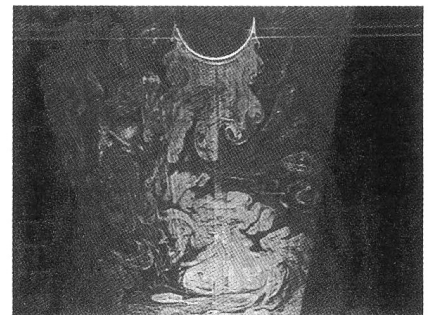


写真 1 滑面円柱での水平断面視 (1/2水深)

写真 2 滑面円柱での横断面視 ($x=7.5\text{cm}$)

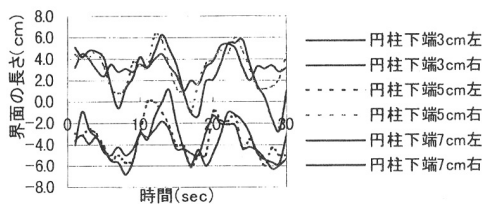


図-1 粗面円柱の中央の界面の長さの比較

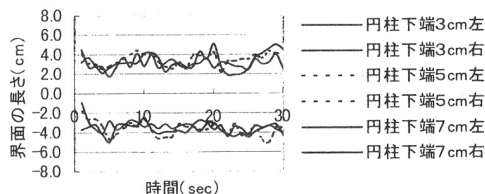


図-2 滑面円柱の中央の界面の長さの比較

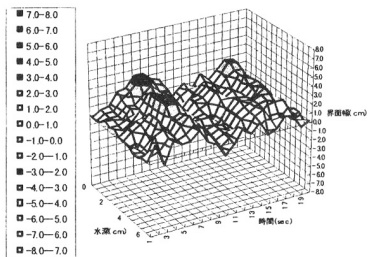


図-3 界面の位置の3-Dグラフ

3-3. 水平断面視での界面の位置 図-1 は、粗面円柱で 1/2 水深の水平断面視から読み取った界面の位置を示したものである。ほぼ 10 秒周期で振動が見られ、円柱から離れるにつれて振幅が大きくなっていることが分かる。円柱下端のどの場所においても一定の周期で振動しながら左右に移動していて、円柱から離れるにつれて上流からの振動と重なり合うため振幅が大きくなるものと考えられる。滑面円柱と粗面円柱とでは、粗面円柱の界面の変動の方が大きく、周期もはっきり読み取れる。滑面円柱と粗面円柱の周期は、ともにほぼ 10 秒となっている。界面の変動が大きいと上流からの円柱に衝突する流れに乱されて、円柱下流に拡散され、渦のスケールは大きくなると考えられる。

3-4. 横断面視での界面の位置 図-2 は、円柱の左岸側の水深方向の界面位置を、時間ごとに読み取って 3-D グラフ化したものである。滑面円柱の場合で、円柱後方 5cm の界面の位置の結果を示している、円柱の後流は、図 1 にも見られたようにほぼ 10 秒の周期で左右に激しく振動していることが分かる。

3-5. 数値解析による検討 図 4 は、 $Re=100$ の場合の有限要素法による解析結果を基に、流線図を示したものである。円柱下流の流線の曲がりの大きい範囲はほぼ円柱径程度となっていて、実験結果とほぼ一致している。円柱背後の界面位置を流線の傾きの正負で判定するため、 $x = 8$ の横断面の位置で流線の傾きを計算時間毎に読み取って、流線の傾きがスパン方向にどのように時間的に変化しているかを示したものが図 5 である。流線の傾きで界面位置を判定すると、円柱径の 2 倍程度となっていて、およそ円柱の後流域に相当するものと考えられる。

4. おわりに 滑面、粗面円柱での水平面、横断面の可視化を行った結果、水平面視においては、円柱後方に渦形象が鮮明に確認され、それが流下するにつれてカルマン渦に組み込まれていくことが認められた。横断面視では、円柱側面に沿って渦形象が明瞭に確認された。今後、円柱表面の粗さの違いによる渦形成の違いや可視化による後流域の界面位置に関する可視化結果と計算結果との対応等についてさらに検討する必要がある。最後に、実験及び計算を行って頂いた緒方、上村、西村君に謝意を表する。

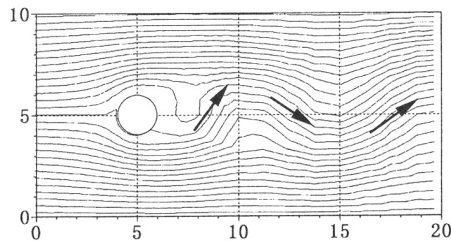


図 4 流線図

基準とした流量のとき計算時間による流向の変化

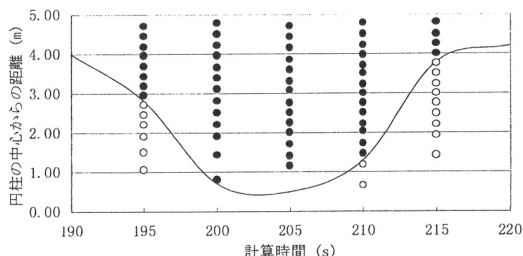


図 5 後流域の時間的变化