

蛇行流の底面流況 (2)

徳山高専	正員	渡辺勝利
徳山高専	正員	大成博文
徳山高専	正員	佐賀孝徳
山口大学	正員	斎藤 隆

1. はじめに

著者らは、蛇行流の底壁面近傍の染料の輸送経路と呼ばれる大規模組織構造の存在とその諸特性のいくつか明らかにしている¹⁾。本研究では、これまでの研究結果を踏まえ、染料の輸送経路の形成位置と底壁近傍の流速分布および粘性底層の厚さとの対応が検討され、いくつかの興味深い知見が得られた。

2. 実験方法および実験条件

実験には長さ8m、幅25cm、高さ10cmの総アクリル樹脂製蛇行水路が使用された。蛇行線形には1波長 200 cm, 最大偏角 20° のsine-generated curve が採用された。実験条件は水路勾配 1/1000, 水深 H を6.8cmとして、レイノルズ数 $Re (=U_m \cdot H / \nu)$ (U_m :断面平均流速, ν :動粘性係数)は2700, 5000が設定された。流速計測および流れの可視化実験は、流れが十分発達したと思われる上流より4mから5mまでの 1/2波長において行われた。流速測定には直径3mmのプロペラ流速計が使用された。計測断面には、21, 23, 25, 27, 29, 31断面までの 6 断面 (図-2 参照) が選ばれた。各断面において、横断方向には水路中央から左右へ2cm間隔、水深方向には10点が計測点として選ばれた。流れの可視化には蛍光染料注入法と水素気泡法が用いられた。水素気泡法による流れの可視化は、22断面から31断面にわたる各断面の底壁近傍 (1mmから4mmまで0.5mm 間隔) において行われ、その可視化画像から底壁近傍の流速分布が求められた。

3. 実験結果および考察

図-1には、蛇行流の底面流況の一例が示されている。図中の黒い部分は底壁面、白い帯状の部分は蛍光染料の輸送経路に相当している。凸岸頂部に注入された染料は、注入された側の側壁隅角部に沿って流下し、さらに、変曲点付近から対岸へ移動することにより、図のような形象が形成される。これは、時間、空間的にほぼ固定されていることが明らかにされている²⁾。染料は低速領域に滞留することから、輸送経路上あるいはその近傍では、比較的低流速になることが推察される。また、輸送経路上では低速渦 (Δ 印) が顕著に観察され、それらの間隔や移動速度が、形象の各部分で異なることが認められた。

図-2には、プロペラ流速計による底壁近傍 ($Y=2.6\text{mm}$) の流速計測の結果の一例が示されている。各断面の流速は、断面平均流速で無次元化され、横断方向にその大きさが比較されている。流路内の破線は染料の輸送経路の前・後縁を示している。以下、流速分布の特性と輸送経路との対応を考慮しながら考察を進める。21断面では凹岸付近がやや低速であるが、横断方向には全体的に平坦な流速分布を呈している。23断面では凸岸側が加速され横断方向に不均一な流速分布が形成されている。これらの断面の流速分布に及ぼ

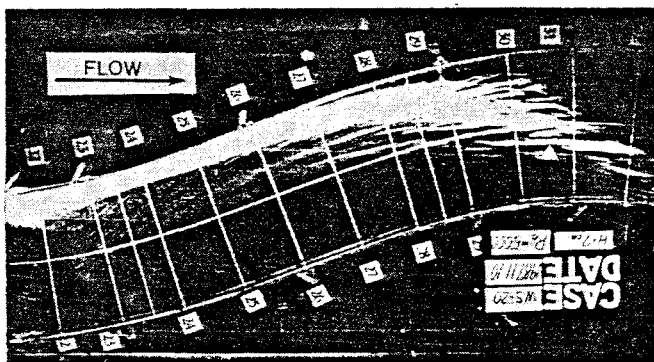


図-1 染料の輸送経路の一例 ($Re=5000$)

す染料の輸送経路の影響は、直接的には現れていない。これは、この領域が比較的高速であるため粘性底層の厚さが薄くなり、計測点にその影響が及ばないためと思われる。25, 27断面では、高速域が水路中央に移動していることが認められる。また、右岸隅角部付近では、流線の間隔が狭まるため、やや加速されているように思われる。染料の輸送経路上

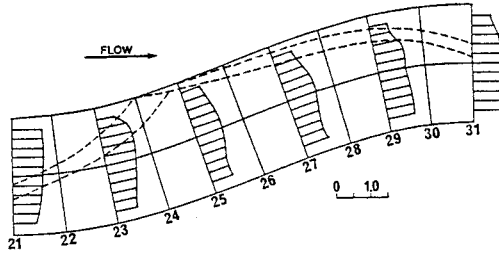


図-2 底壁近傍の流速の横断方向分布 (Re=5000)

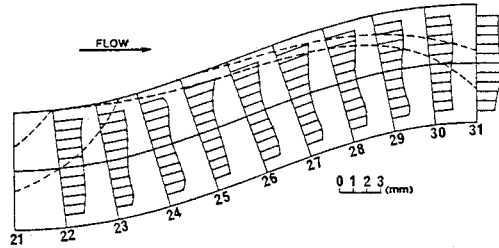


図-4 粘性底層厚さの横断方向分布 (Re=2700)

に相当する27断面の左端の流速は、断面内で最小であることが認められる。29, 30断面では、染料の輸送経路上に相当する領域はそれ以外の領域と比較して、低速であることが明らかである。

図-3には、21断面における各点の流速の鉛直方向分布が示されている。縦軸には、計測点の壁からの高さを水深で無次元化した値が示されており、横軸には各点の流速を断面平均流速で無次元化した値が示されている。図中の左上の数字は、横断方向の計測点の位置を示すものであり、 n を水路中央からの距離、 b を水路の半幅として無次元表示されている。各値の正の表示は左岸側、零は水路中央、負の表示は右岸側をそれぞれ示している。また、この断面の平均流速分布が図中の実線によって示されている。これらの流速分布の特徴は、最大流速点が水表面近くにあるような通常の流速分布と異なり、最大流速点が半水深位置や底壁近くに現れることである。底壁近くに最大流速点が生ずる傾向は右岸側において顕著であり、その傾向が強まる境界 ($n/b = -0.16$) と染料の輸送経路の後縁の位置が対応しているように思われる。また、横断方向の流速分布の不均一性が、水表面に近づくにつれて強調されていることも認められる。

図-4には、レイノルズ数が2700の条件における、各断面の粘性底層の厚さが示されている。粘性底層の厚さは、 $y^+ (=u_\tau \cdot y / \nu)$ (u_τ : 摩擦速度) が5に相当する壁面からの高さとして定義されている。図中には、図-2と同様に、染料の輸送経路の前・後縁が破線で示されている。粘性底層の厚さは、染料の輸送経路に近づくにつれて増加する傾向が、どの断面においても認められる。このことから、染料の輸送経路は、各断面における粘性底層の比較的大きな領域に沿って存在していることが明らかである。

参考文献

- 1) 渡辺勝利, 大成博文, 佐賀孝徳, 斎藤 隆: 蛇行流における秩序構造の可視化, 流れの可視化, vol. 8, No. 30, pp. 7-12, 1988.
- 2) 渡辺勝利, 大成博文, 佐賀孝徳, 斎藤 隆: 蛇行流の秩序構造に関する研究, 第20回乱流シンポジウム講演論文集, vol. 7, pp. 302-307, 1988.



図-3 主流速の鉛直方向分布 (Re=5000)