

開水路乱流における流脈パターンと瞬間速度ベクトルの同時抽出

徳山高専 正員 ○渡辺 勝利

正員 大成 博文

正員 佐賀 孝徳

山口大学 正員 斎藤 隆

1. はじめに

著者らは、これまでに可視化法を用いて開水路乱流の組織構造に関する系統的な究明を進めきた¹⁾。その結果、その時空間特性のいくつかが明らかにされたが、その本質的解明をさらに進めるには、組織運動の流脈パターンとそれを形成させる速度ベクトルの関係を明らかにすることが不可欠と考えられる。そこで、著者らは、その両方が同時に容易に得られるDP I V法(Dye-particle image velocimetry)を開発した²⁾。

本研究では、この手法を開水路乱流に適用することにより、そこに形成された組織運動の流脈パターンと瞬間速度ベクトルの対応関係が考察された。

2. 実験装置および方法

実験には、長さ10m、幅60cm、高さ15cmのアクリル樹脂製の開水路が使用された。可視化実験ではDP I V法を用いた縦断面視が採用されたが、その詳細については文献2)に記述されているためここでは省略する。実験条件は、水深が7.5cm、レイノルズ数が3700にそれぞれ設定された。

3. 実験結果および考察

図1には、DP I V法を用いて得られた流脈パターン、粒子流跡の写真がそれぞれ示されている。流脈パターンは比較的短い撮影時間(1/125sec)で撮影され、粒子流跡は、(a)とは相対的に長い撮影時間(1/8 sec)で撮影された。流れ方向は左から右であり、水表面および底壁面は△、▲によってそれぞれ示されている。この図より、流脈パターンは、長く流下方向に連なっており、その先端部には横渦構造(壁縦渦の先端)を示すパターンが明らかである。

図1から流脈パターンと速度ベクトルの関係を調べるために、流跡写真から各流跡の座標とその長さがデジタイザを用いて読み取られた。流跡の総数は1059である。それらを撮影時間で割ることによって瞬間速度ベクトルが得られた。図2は、水深を30分割しその各区間内にある瞬間速度ベクトルの平均値から求められた平均流

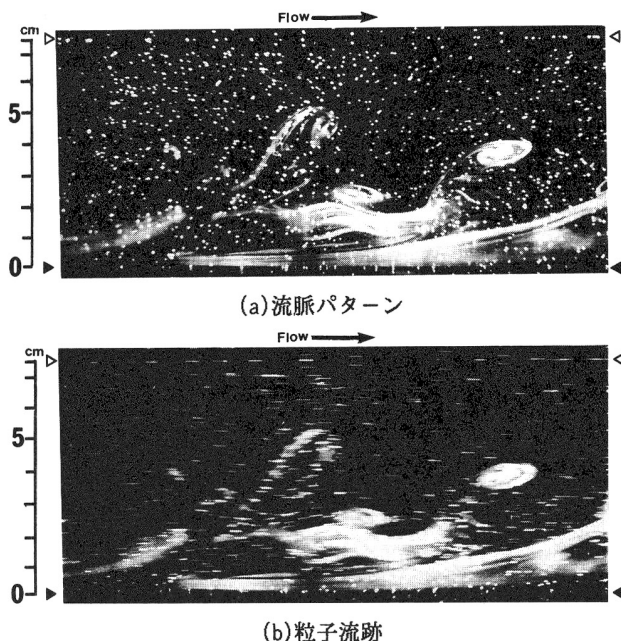


図1 DP I V法による縦断面視

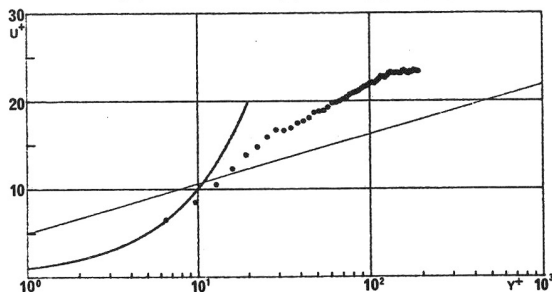


図2 平均流速分布

速分布である。本流速分布は、対数分布則に従っていないが、これは1枚の写真ではデータ数あるいは平均時間が不十分であることに起因している。写真に写っている流下方向距離を平均流速で割ると平均時間はわずか3秒であり、通常のプロープを用いた流速計測の平均時間と比較してかなり短いことが明らかである。

図3には、流脈パターンのスケッチと変動速度ベクトルを重ねたものが示されている。変動速度ベクトルは各点の瞬間速度ベクトルからその高さの平均流速を差し引くことによって求められた。この図より、流脈パターンの存在する領域およびその周辺において両者の対応が認められる。S①、②では、横渦構造を示す流脈パターンが描かれている。それらの周囲の変動速度ベクトルは横渦構造の形象に沿って時計方向を示している。S③では、S①、②の横渦構造によって誘起されたとされる sweep 型の大規模な下降流の形成が明らかである。S④にも横渦構造の流脈パターンが認められるが、ここでは横渦の下の部分で大きな変動速度ベクトルが認められる。

図4は、図3の変動速度ベクトルを格子上に置き換えることによって作成された。

そのために、流れ方向を21分割、水深方向を7分割して格子を作り、それぞれの格子内にある変動流速ベクトルを格子中心点からの距離に応じた重み付き平均を行い、その平均値の座標を格子中心に置き換えた。この平均操作は、格子を流れ方向、水深方向に1/3格子ずつ移動させながら行われた。この図より、上述の横渦構造の流脈パターンと変動速度ベクトルとの対応関係がより明瞭に認められる。図4から格子点の渦度が求められ、その等値線と流脈パターンの対応関係が図5に示されている。図中の濃い灰色、薄い灰色の領域はそれぞれ時計方向、反時計方向の比較的大きな渦度の領域を示している。両等値線とも最も外側の線が $0.8(\text{sec}^{-1})$ 、間隔も $0.8(\text{sec}^{-1})$ で描かれている。この図より、横渦構造の流脈パターンは時計方向の渦度の領域にほぼ対応していることが明らかである。また、横渦構造の下側ではそれに対を成すように反時計方向の渦度の領域と対応している。さらには、渦度は流脈パターンとほぼ同様に、時計方向と反時計方向成分が対を成して、流れ方向に傾斜して配置されるような構造的性を有しているように思われる。

4. おわりに

DP IV法を開水路乱流に適用することにより、組織運動の流脈パターンと渦度がほぼ対応するということが明らかとなった。今後はさらに、流下に伴う流脈パターンと瞬間速度ベクトルの対応関係の変化に関する検討を行う予定である。

参考文献1) 大成博文他：土木学会論文集，第363号(1985)135-144。

2) 渡辺勝利他：水工学論文集，第37巻(1993)829-832。

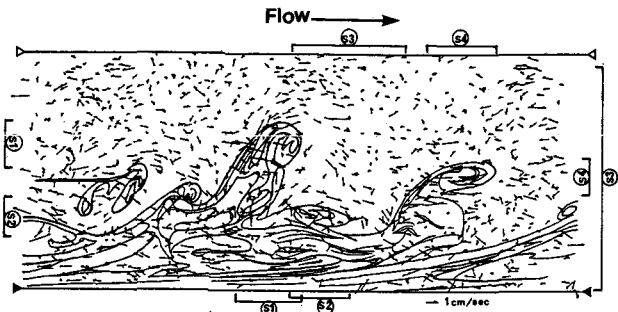


図3 流脈パターンと変動速度ベクトル

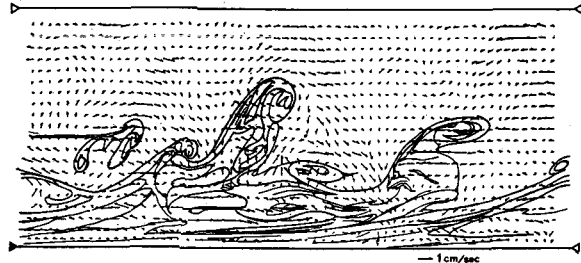


図4 流脈パターンと移動平均された変動速度ベクトル



図5 流脈パターンと渦度分布