

神戸大学工学部

フェロー 神田 徹

神戸大学工学部

正会員 宮本 仁志

神戸大学工学部

学生員 ○山中 大輔

1. はじめに

筆者らは、開水路凹部流れにおいて、主流-凹部境界のせん断混合層での組織運動をウェーブレット変換を用いて解析している。前報¹⁾では、PIV 計測による流速値に多重解像度解析を施し、二次元連続ウェーブレット変換を適用することで組織運動の走時挙動を調べた。本研究では、多重解像度解析によって得られた各周波数帯の流速変動成分と凹部における流れの構造との関係について検討を行う。

2. 対象とする開水路凹部流れ

図-1 に示す開水路凹部において、PIV により計測した時々刻々の流速値 $\mathbf{v}(x, z, t) = (u(x, z, t), w(x, z, t))$ を解析対象とする。実験条件は、レイノルズ数 $Re = U_0 H_0 / \nu = 7700$ 、フルード数 $Fr = U_0 / (g H_0)^{1/2} = 0.22$ (U_0 : 流入部の断面平均流速, H_0 : 流入部の水深, 凹部形状比 $L/D = 4.0$ である。図-2 に、瞬間流速ベクトルの一例を示す。

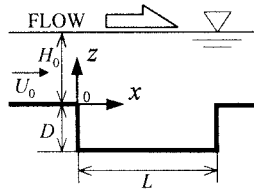


図-1 開水路凹部

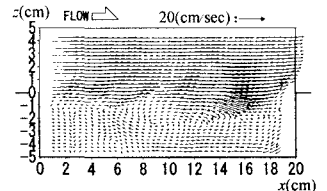


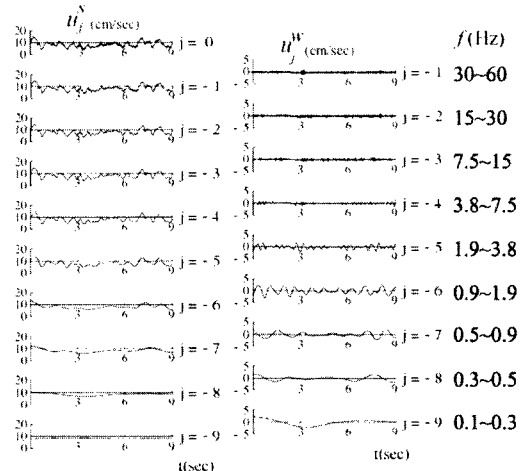
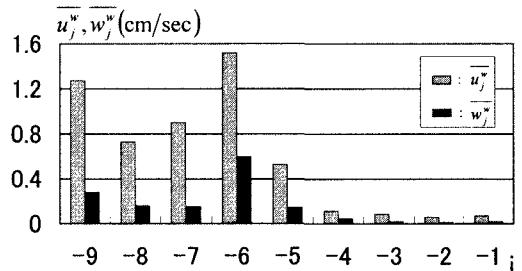
図-2 瞬間流速ベクトルの例

3. 多重解像度解析による流速時系列の分解

多重解像度解析により、凹部の各点 (x, z) における流速時系列 $\mathbf{v}(t)$ を、各レベル j における近似流速成分 $\mathbf{v}_j^s(t) = (u_j^s(t), w_j^s(t))$ と流速変動成分 $\mathbf{v}_j^w(t) = (u_j^w(t), w_j^w(t))$ に分解する。ここで、基底関数は、Daubechies の正規直交ウェーブレット ψ_n およびスケーリング関数 ϕ_n ($n = 10$) を用いた。

図-3 に、多重解像度解析の結果を示す ($x = 9.89\text{cm}$, $z = -0.15\text{cm}$)。レベル j が下がるにしたがって、高周波数の流速変動成分 $u_j^w(t)$ が近似流速成分 $u_j^s(t)$ から分離され、時系列 $u(t)$ の変動が段階的に除去されていく。また、レベル $j = -5, -6$ (周波数帯: $0.9 \sim 3.8\text{ Hz}$) の流速変動成分 $u_j^w(t)$ において、周期的な流速変動が認められる。図-4 に、レベル j の流速変動成分の変動強度 $\overline{u_j^w}, \overline{w_j^w}$ を示す。これより、 $\overline{u_j^w}, \overline{w_j^w}$ はレベル $j = -6$ (周波数帯: $0.9 \sim 1.9\text{ Hz}$) で卓越しており、この周波数帯の成分が主流-凹部境界における組織運動を表していると推察できる。また、 $j = -9$ (周波数帯: $0.1 \sim 0.3\text{ Hz}$) の $\overline{u_j^w}$ が大きな値をとっているが、低周波の変動成分であることから、凹部形状に起因する主流の変動と考えられる。

次に、主流-凹部境界における各周波数帯 (レベル j) の変動強度 $\overline{w_j^w}$ の流下方向変化 ($z = -0.15\text{cm}$) を、図-5 に示す。変動強度 $\overline{w_j^w}$ は、凹部の上流側においては、すべてのレベル j で小さい値をとるが、凹部の中央部

図-3 流速時系列 u の多重解像度解析 ($x = 9.89\text{cm}$, $z = -0.15\text{cm}$)図-4 レベル j の変動強度

分($x=3\sim 17\text{cm}$)では、図-4と同様に $j=-6$ (周波数帯: $0.9\sim 1.9\text{ Hz}$)の成分が最も卓越する成分である。また、レベル $j=-1\sim -4$ (周波数帯: $3.8\sim 60\text{ Hz}$)での変動強度 $\overline{w_j''}$ は、凹部全体で小さい値をとっている。これらのことより、 $j=-6$ を中心とするレベル $j=-5\sim -7$ を組織運動の流速変動成分 $v'(x, z, t)$ と考え、レベル $j=-1\sim -4$ を変動強度の小さい高周波数帯域の変動成分 $v''(x, z, t)$ 、レベル $j=-8\sim -9$ を低周波数帯域の変動成分 $\overline{v}(x, z, t)$ とした。

4. 各周波数帯域における流速変動成分の空間分布特性

図-6 は、各周波数帯域の流速変動成分の空間分布である。図-6(a)の低周波数帯域の変動成分 $\overline{v}$ は、凹部中央から下流側において卓越しており、その空間スケールは凹部深さ D 程度となっている。これより、低周波数帯域の変動成分 $\overline{v}$ は、凹部の段上がり部において変動する主流の変動を表していると推察できる。図-6(b)(レベル $j=-5\sim -7$)の流速変動成分 v' は主流-凹部境界において卓越しており、各周波数帯における変動強度をもとに抽出したこの周波数帯域の変動成分が組織運動を表していることが確認できる。また、図-6(c)に示すように、高周波数帯域(レベル $j=-1\sim -4$)の変動成分 v'' は他の周波数帯域の成分に比べて値が小さい。

図-7 に各周波数帯域における x 方向変動強度を示す。図-7(a)の低周波数成分 $\overline{u}$ は凹部中央から下流側段上がり部で値が卓越し、図-7(b)では主流-凹部境界のせん断混合層で大きな値をとっており、図-6の結果と対応している。一方、図-7(c)の高周波数成分 u'' は、凹部流入部の主流-凹部境界で極大値をとっている。これは、流入部直下流における流れのせん断不安定性を表していると考えられる。

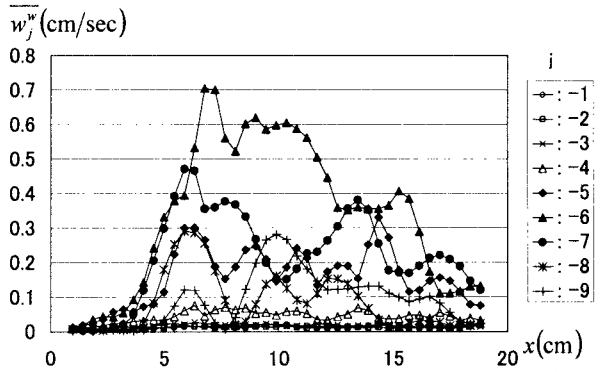


図-5 レベル j の変動強度の流下方向変化

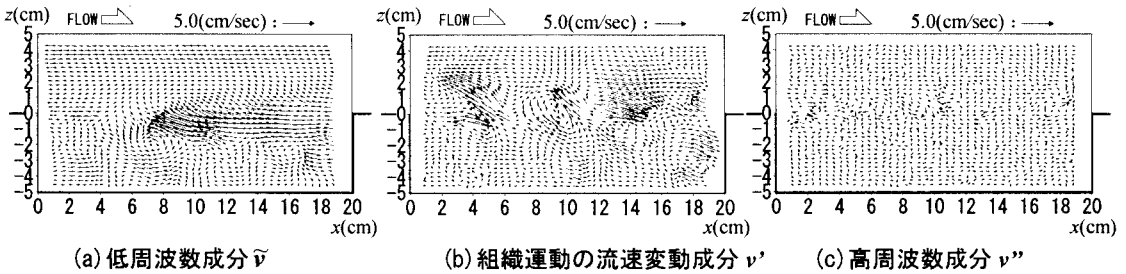


図-6 各周波数帯域の流速ベクトル

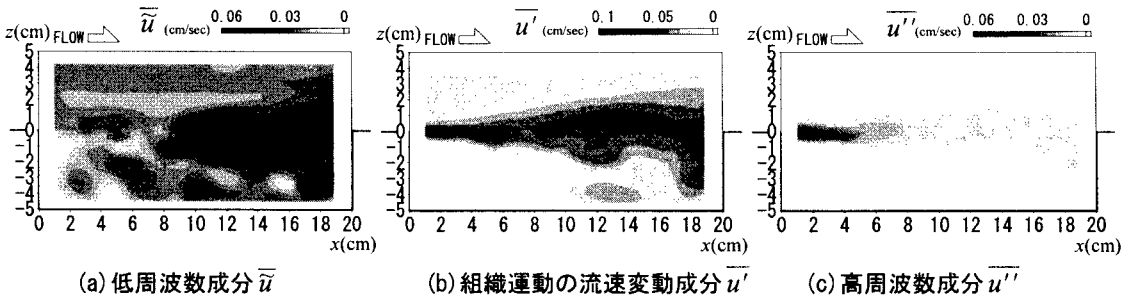


図-7 x 方向変動強度の空間分布

<参考文献> 1) 神田 徹, 宮本仁志: 開水路凹部における流れの組織運動の二次元ウェーブレット解析, 水工学論文集, 第45巻, pp. 499-504, 2001.