

開水路凹部流れの二次元ウェーブレット解析

神戸大学大学院 学生員 ○山中 大輔
 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

1. はじめに

筆者らは、水路底面に凹部をもつ開水路流れについて検討を行っている．前報¹⁾では、主流 - 凹部境界のせん断混合層(凹部混合層)における組織運動を対象に、ウェーブレット変換(多重解像度解析(MRA)・二次元連続ウェーブレット変換(2D-CWT))による流れの解析を行い、組織運動の非定常挙動に対する同変換(MRA - 2D-CWT)の有効性を確認した．本稿では、MRA による変動流速成分の(統計的な)空間分布について考察するとともに、2D-CWT で抽出された組織運動の挙動を検討する．

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 計測で得られた流速値 $\mathbf{v}(x,z,t) = (u(x,z,t), w(x,z,t))$ を解析対象とする．瞬間流速ベクトルの例を図-2 に示す．実験条件は、レイノルズ数 $Re = U_0 H_0 / \nu = 7700$ ，フルード数 $Fr = U_0 / (g H_0)^{1/2} = 0.22$ ，凹部形状比 $L/D = 4.0$ である (U_0 : 流入部の断面平均流速, H_0 : 流入部の水深, L : 凹部長さ, D : 凹部深さ)．

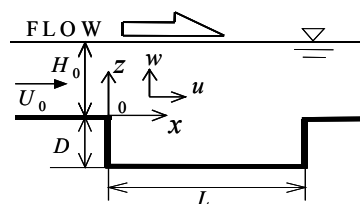


図-1 対象とする開水路凹部

3. MRA による各周波数帯の変動流速成分

MRA(基底関数: Daubechies のウェーブレット $N\psi$ ・スケーリング関数 $N\phi$ ($n=10$))¹⁾を用いて、凹部各点 (x,z) での流速時系列 $\mathbf{v}(x,z,t)$ を、低周波数帯(周波数 $f: 0.1 \sim 0.5\text{Hz}$)の変動流速成分 $\mathbf{v}'^L(x,z,t)$ ，中周波数帯($f: 0.5 \sim 3.8\text{Hz}$)の成分 $\mathbf{v}'^M(x,z,t)$ ，および高周波数帯($f: 3.8 \sim 60\text{Hz}$)の成分 $\mathbf{v}'^H(x,z,t)$ に分解した．図-3 に各周波数帯における変動成分の瞬間流速ベクトルを示す．図-3(a)における $\mathbf{v}'^L$ は、凹部中央から下流側まで比較的大きな空間スケールで卓越しており、下流側段上がり部での流水断面急縮に伴う主流の変動を表していると考えられる．一方、

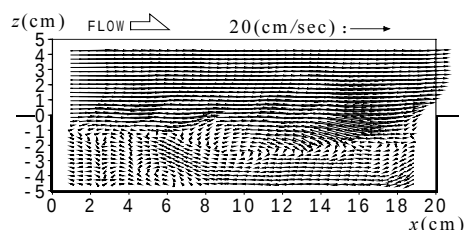


図-2 瞬間流速ベクトルの例

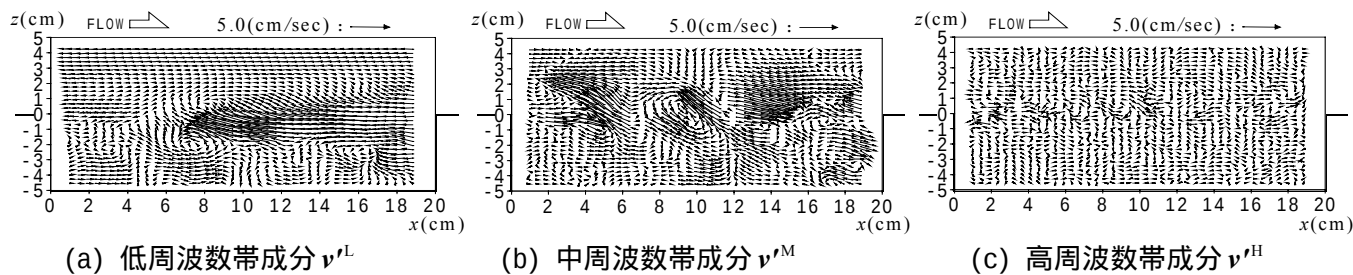


図-3 各周波数帯での瞬間流速ベクトル

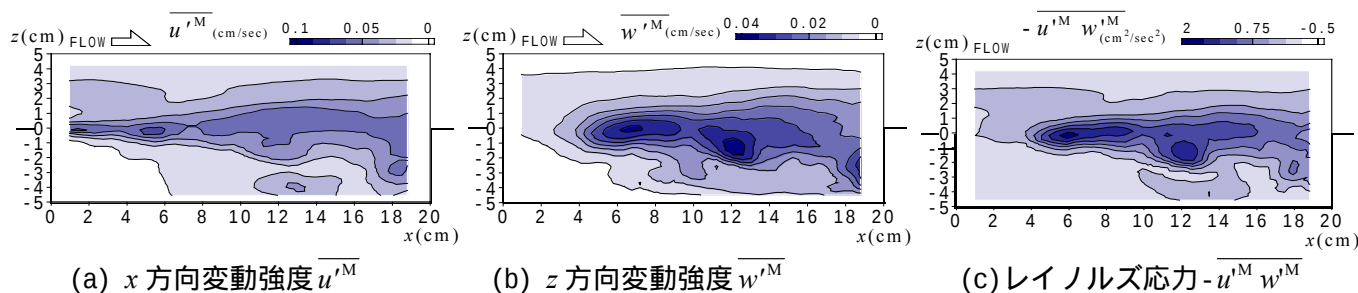


図-4 中周波数帯成分の空間分布

キーワード：ウェーブレット解析，開水路，凹部，混合層，組織運動

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-6069

図-3(b)での v'^M は、主流 - 凹部境界で局所的に大きな値をとっており、凹部混合層での組織運動に関する変動成分となることが推察できる。また、図-3(c)に示す v'^H は他の周波数帯の変動成分に比べて小さい値をとる。

図-4に、中周波数帯の変動流速成分 $v'^M(x, z, t)$ の x 方向変動強度 $\overline{u'^M}$ 、 z 方向変動強度 $\overline{w'^M}$ およびレイノルズ応力 $-\overline{u'^M w'^M}$ の空間分布を示す。これらの統計量は主流 - 凹部境界において大きな値をとっており、図-3(b)に示す $v'^M(x, z, t)$ が凹部混合層における組織運動を表していることが確認できる。

4. 2D-CWT による組織運動の挙動解析

次に、組織運動を表す変動流速成分 $v'^M(x, z, t)$ を用いて、その瞬間レイノルズ応力 $-\overline{u'^M w'^M}$ の空間分布に2D-CWT(マザーウェーブレット：ガウス分布の高次オーダーラプラシアン)¹⁾を適用することによりウェーブレット係数極大値の位置とその空間スケールを算出した。図-6に、瞬間レイノルズ応力 $-\overline{u'^M w'^M}$ の空間分布および対応する2D-CWTの適用結果(○印)を示す。ウェーブレット係数極大値の位置と空間スケールにより、 $-\overline{u'^M w'^M}$ の卓越部が的確に抽出できている。図-7は、空間 x -時間 t 平面におけるそれらウェーブレット係数極大値の分布である(プロットの色は対応する空間スケール l を示す)。 x - t 平面においてウェーブレット係数極大値のプロットは流下方向に連なっており、これより、凹部混合層における組織運動の走時挙動が明確に得られているのがわかる。これら連なるプロットの傾きより算出した組織運動の移流速度は約7.9cm/secであり、流入部の断面平均流速 U_0 (=15.4cm/sec)の約半分の値となる。

ウェーブレット係数極大値を介して抽出された $-\overline{u'^M w'^M}$ 卓越部の値が流下方向にどのように変化するかを検討するために、空間スケール l を直径とする円領域 c における $-\overline{u'^M w'^M}$ の空間平均値を算出し、流下方向1cmごとにその統計平均 $\overline{-\overline{u'^M w'^M}}$ を計算した。図-8に $\overline{-\overline{u'^M w'^M}}$ の流下方向変化を示す。 $\overline{-\overline{u'^M w'^M}}$ の値は、凹部上流側($x = 6$ cm付近まで)で流下方向に急激に大きくなっており組織運動が発生・発達していることが、また、凹部中央($x = 6 \sim 14$ cm付近)においてはほぼ一定値をとっており発達した組織運動が移流していることが推察できる。

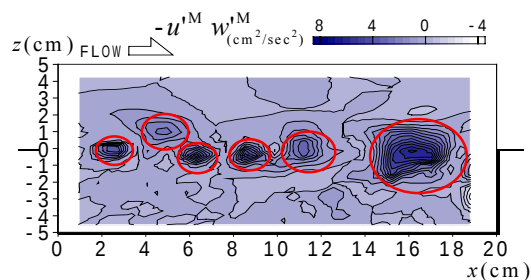


図-6 瞬間レイノルズ応力とウェーブレット係数極大値の位置とスケールの空間分布

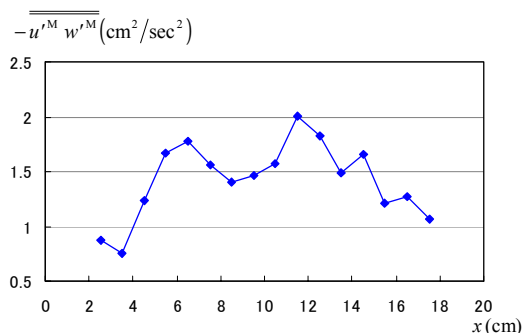


図-8 $-\overline{u'^M w'^M}$ の流下方向変化

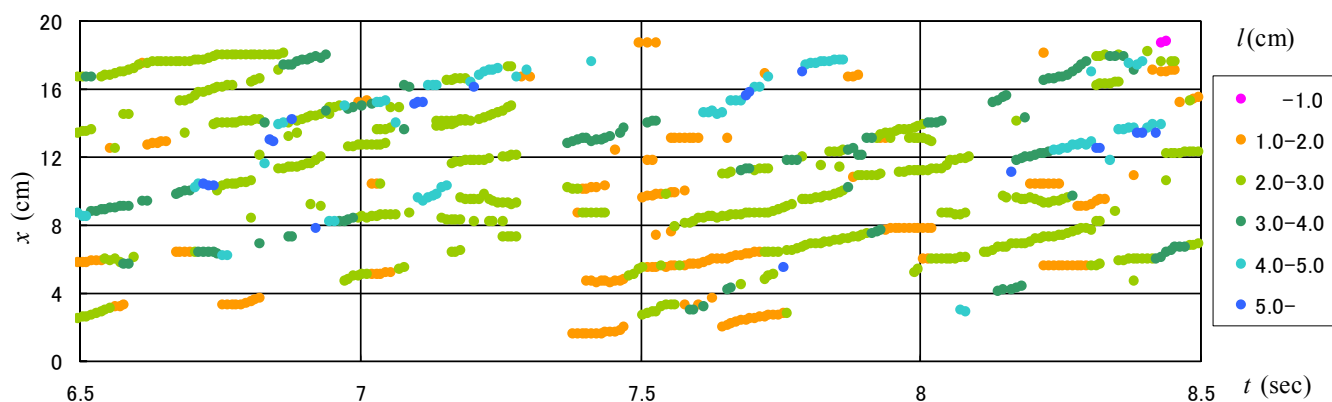


図-7 x - t 平面におけるウェーブレット係数極大値の分布

<参考文献> 1) 宮本仁志, 神田 徹: 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.