

開水路凹部流れにおける組織運動と平均流構造について

神戸大学大学院 学生員 ○山中 大輔
 神戸大学工学部 正会員 宮本 仁志
 神戸大学工学部 フェロー 神田 徹

1. はじめに

筆者らは、ウェーブレット変換を用いることによって、開水路凹部流れにおける乱流構造について検討している。前報¹⁾では、多重解像度解析(MRA)と二次元連続ウェーブレット変換(2D-CWT))により主流 - 凹部境界のせん断混合層での組織運動を抽出し、移流速度、空間スケール、強度など組織運動の特性を明らかにするとともにフルード数の依存性を調べた。本稿では、得られた組織運動と平均的な流れの構造について検討を行った。

2. 対象とする開水路凹部流れ

図-1 に対象とする開水路凹部を、表-1 に実験条件を示す。ここで、 D :凹部深さ、 H_0 :流入部の水深、 L :凹部長さ、凹部形状比 L/D 、 Q :流量、 U_0 :流入部の断面平均流速、レイノルズ数 $Re=U_0 H_0 / \nu$ 、フルード数 $Fr=U_0 / (g H_0)^{1/2}$ 、である。実験条件は、 L/D と Re を一定とし、 Fr を 0.22 ~ 0.63 の範囲で変化させている。図-2 に示すような PIV 計測で得られ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。

3. ウェーブレット変換(MRA, 2D-CWT)による組織運動の抽出

MRA と 2D-CWT により、PIV 計測値から組織運動の抽出を行う¹⁾。

まず、PIV 計測により得られた各点 (x,z) での流速時系列 $\mathbf{v}(x,z,t)$ に MRA を適用し、それら流速時系列を凹部混合層の組織運動を表す成分を含む三つの周波数帯階層に分類・再合成する。ここで、得られた三階層の成分を、() 低周波数の変動を含む「準平均流」成分、() 混合層の組織運動を含む「組織乱流」成分、() 高周波数で空間スケールの小さい「非組織乱流」成分、と定義する。図-3 に準平均流成分 $\mathbf{v}_L(x,z,t)$ 、組織乱流成分 $\mathbf{v}_c(x,z,t)$ の空間分布の一例(CASE2, 図-2 の瞬間に対応)を示す。図-3(a) の $\mathbf{v}_L$ は凹部内での時間平均的な循環流を表す成分、図-3(b) の $\mathbf{v}_c$ は主流 - 凹部境界で局所的に大きな値をとっており混合層での組織的な乱れを表す成分と考えられる。次に、組織乱流成分 $\mathbf{v}_c$ の瞬間レイノルズ応力 - $u_c w_c / U_0^2(x,z,t)$ の空間分布に

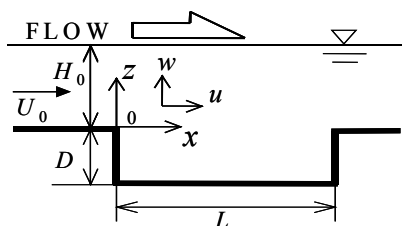


図-1 対象とする開水路凹部

表-1 実験条件

CASE	凹部形状				水理条件			
	D (cm)	H_0 (cm)	L (cm)	L/D	Q (cm ³ /sec)	U_0 (cm/sec)	Re	Fr
1	5.0	5.0	20.0	4.0	1540	15.4	7700	0.22
2	4.0	4.0	16.0		1560	19.5	7800	0.31
3	3.0	3.0	12.0		1540	25.7	7700	0.47
4	2.5	2.5	10.0		1550	31.0	7750	0.63

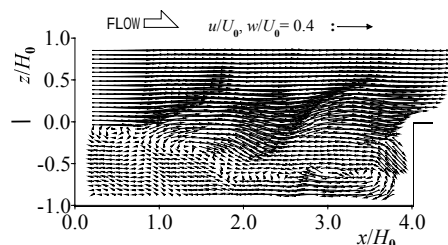
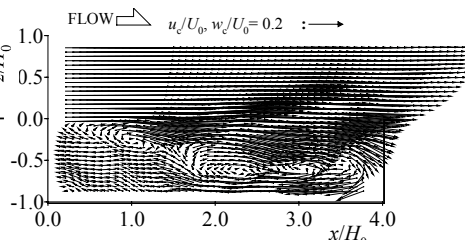
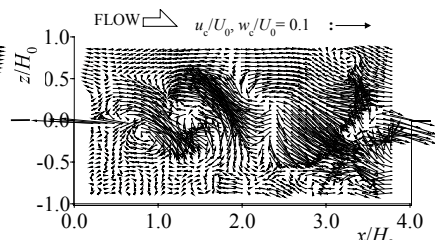
図-2 瞬間流速ベクトルの例
(CASE2)(a) 準平均流成分 $\mathbf{v}_L(x, z, t)$
($f \cong 0.9$ Hz 以下)(b) 組織乱流成分 $\mathbf{v}_c(x, z, t)$
($f \cong 0.9 \sim 7.5$ Hz)

図-3 各階層の流速成分(CASE2, 図-2 に対応)

キーワード：ウェーブレット解析，組織運動，平均流構造，開水路流れ，凹部

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

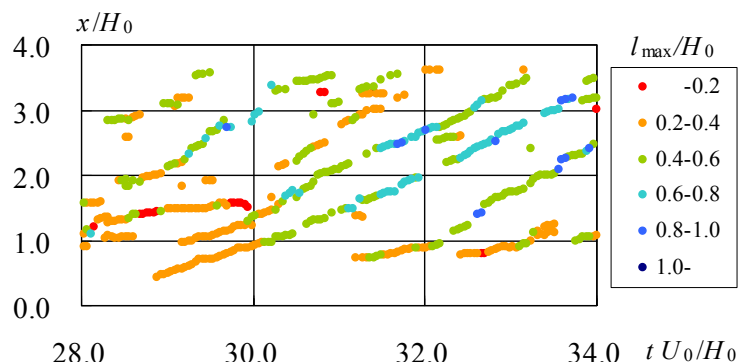


図-4 $x-t$ 平面におけるウェーブレット係数極大値の分布(CASE2)

2D-CWT を適用することにより, $-u_c w_c / U_0^2$ の卓越部の位置とその空間スケールを算出した. 図-4 は, 得られた $-u_c w_c / U_0^2$ 卓越部の空間 x -時間 t 平面上へのプロット(CASE2)である. これより, 2D-CWT によって組織運動の流下方向への挙動特性が明確に検出されることがわかる.

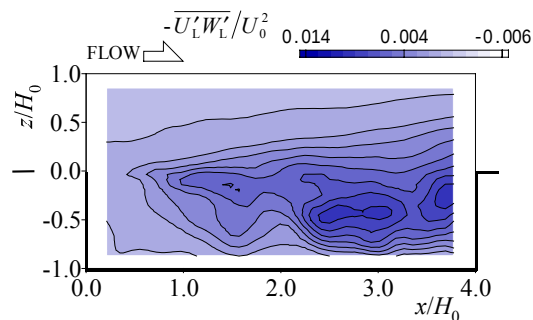
これらウェーブレット解析により得られた結果を用いて, 次に, 組織運動と準平均流について検討を行う.

4. 組織運動と準平均流との関係

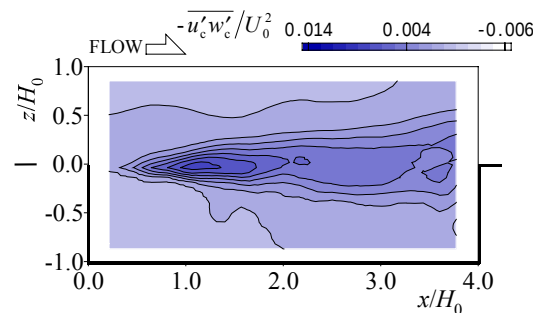
図-5 に準平均流成分 u_L と組織乱流成分 u_c の共分散 $-\overline{u_L' w_L'} / U_0^2$, $-\overline{u_c' w_c'} / U_0^2$ の空間分布(CASE2)を示す. 図-5(a)に示す $-\overline{u_L' w_L'} / U_0^2$ は凹部内下流側において, 一方, 図-5(b)の $-\overline{u_c' w_c'} / U_0^2$ は主流-凹部境界で大きな値をとっており, 時間平均的な循環流に起因する乱れと組織運動による乱れが u_L , u_c にそれぞれ分解されていることがわかる. 次に, 2D-CWT により抽出された組織運動の強さが $-\overline{u_c' w_c'} / U_0^2$ に比べてどの程度大きいのかを調べるために, 図-4 での瞬間レイノルズ応力卓越部の空間平均値 $-\overline{u_c w_c} / U_0^2$ と $-\overline{u_c' w_c'} / U_0^2$ との比 $r_c = (-\overline{u_c w_c} / U_0^2) / (-\overline{u_c' w_c'} / U_0^2)$ を調べた. 図-6 は各 CASE における r_c の流下方向分布である. r_c は, $x/H_0 < 1.0$ の上流部において大きな値をとるが, $x/H_0 > 1.0$ ではほぼ一定の値($r_c \approx 2.0$)となる. また, 全ての CASE において, r_c は Fr の影響を受けずほぼ同一の分布となっている.

組織運動と準平均流との関係を調べるため, 準平均流の流速せん断 $\gamma_L = \partial W_L / \partial x + \partial U_L / \partial z$ と組織運動の空間平均値 $-\overline{u_c w_c} / U_0^2$ の同時分布 p を算出した. 図-7 に結果(CASE2)の例を示す. これより, 無次元流速せん断 $\gamma_L H_0 / U_0$ と $-\overline{u_c w_c} / U_0^2$ の間には弱いながらも正の相関が認められ, 準平均流の流速せん断が大きくなるに伴って組織運動が強くなることが推察される.

<参考文献> 1) 宮本仁志, 神田 徹, 山中大輔: 二次元ウェーブレット変換を用いた開水路凹部流れにおける組織乱流の挙動解析, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.511-516, 2002.



(a) 準平均流成分 $-\overline{u_L' w_L'} / U_0^2$



(b) 組織乱流成分 $-\overline{u_c' w_c'} / U_0^2$

図-5 各階層における流速成分の共分散(CASE2)

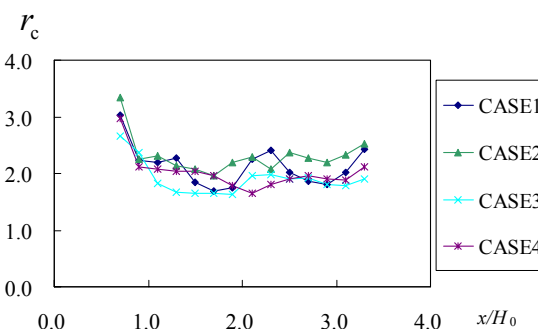


図-6 瞬間レイノルズ応力卓越部の空間平均値と組織乱流の共分散との比 r_c の流下方向変化

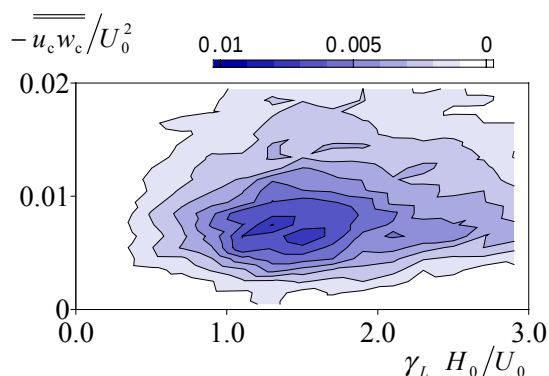


図-7 準平均流の流速せん断と組織運動の空間平均値の同時分布(CASE2)