

京都大学大学院工学研究科修士課程

学生員

○矢野勝士

京都大学大学院工学研究科

フェロー会員

瀬津家久

京都大学工学部地球工学科

学生員

光成洋二

1. はじめに

河川あるいは河川周辺の景観は人間に限らず多くの生態系にとって重要な空間であり、川づくりは治水・利水・環境あるいは親水といった三つの柱のもとに進められるようになってきている。その一環としてワンドの設置事業がある。合理的なワンド設計指針を確立するには周辺流況を把握する必要がある。現地で観察されるワンド群は連続的に形成されているものが多く、上流側に形成されたワンドが下流側ワンドに及ぼす影響について検討する必要がある。そこで、本研究では流下方向に連続的に配置したワンドのうち、上流側に配置したワンドのアスペクト比およびワンドの設置間隔を系統的に変化させた条件下で PIV を用いた実験を行った。

2. 実験装置および実験条件

図-1 に実験水路を示す。本研究ではワンド奥行き長さ $B_w = 4.0\text{ cm}$ 、水深 $H = 4.0\text{ cm}$ 、流量 $Q = 2.2\text{ l/s}$ および下流ワンドのアスペクト比 $\alpha_d = 2.0$ に固定した条件で、上流側ワンドのアスペクト比 α_u を系統的に変化させた全 12 ケースに加え、検証用の単体ワンドも実験を行った。アルゴンイオンレーザービームを厚さ 2mm のスリット状に変換し、水路側壁から半水深位置での水平断面を照射した。可視化画像は水路下部に設置した CCD カメラによって 70 秒間計測してレーザーディスクに録画した。この画像をもとに、相関法を用いて下流側ワンドの瞬間流速分布を算出した。ここで、以下に示すケース名について記したのが表-1 である。ここで、 $\beta \approx 0$ はワンド設置間隔がほとんどゼロに近いケースであることを示している。

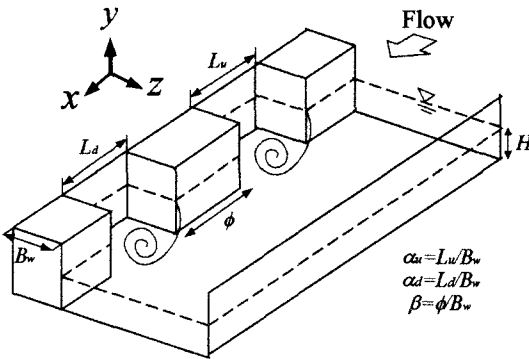


図-1 実験水路

表-1 ケース名

case name	α_u	α_d	β
$\alpha102\beta0$	10	2	0
$\alpha52\beta0$	5	2	0
$\alpha22\beta0$	2	2	0
$\alpha2$	-	2	0

3. 実験結果および考察

(1) 時間空間周波数解析

本解析では以下の式で定義されるウェーブレット変換を用いて流れの組織構造について解析を行った。

$$(W_\psi v)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \tag{1}$$

ここで、 ψ ：マザーウェーブレット関数、 a, b ：関数の伸縮および移動程度を表すパラメータ、 $x(t)$ ：元信号を示し、ここでは流速変動時系列である。ウェーブレット変換によって分割される周波数帯はサンプリング周波数をもとに、2 分割されている。こうして得られた各周波数帯での流速変動を、本研究では $f < 0.5$ 、 $0.5 < f < 3.8$ および $f > 3.8\text{ Hz}$ 成分の周波数帯に再合成した。図-2 に周波数分割した流速変動成分を示す。染料を用いた可視化計測やスペクトル分布等より得られた結果から、 $0.5 < f < 3.8$ の周波数帯が組織乱流構成成分とわかった。

(2) 各周波数帯での乱れエネルギー分布

上述の方法で得られた各周波数帯の流速変動成分をもとに、

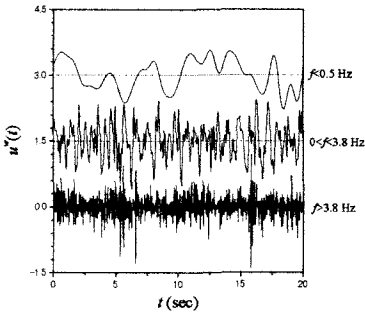


図-2 周波数分割された流速変動成分

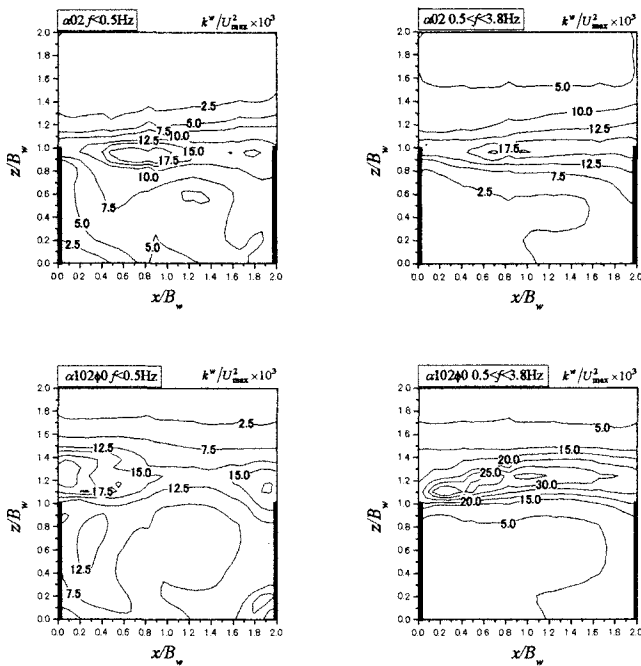


図-3 各周波数帯での乱れエネルギー分布

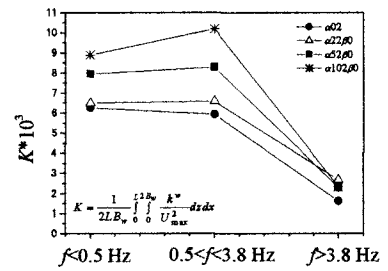


図-4 全乱れエネルギー K

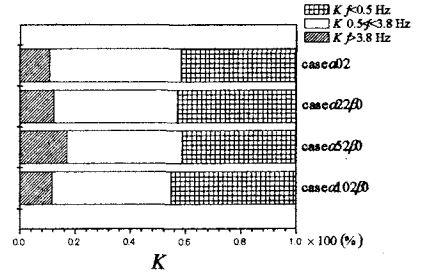


図-5 各周波数帯における K の寄与率

乱れエネルギー k'' を求めた。ここで、 k'' を算出する際に用いた流速変動成分は異なるものの、定義は文献¹⁾と同様である。図-3に $f < 0.5$ と $0.5 < f < 3.8$ の周波数帯における乱れエネルギー等値線図を示す。ここでは、水路中央での最大主流速 $U_{\max}$ を用いて無次元化を行い、1000 倍した値を図示している。ここで、case $\alpha 02$ は単体ワンド、case $\alpha 102 \beta 0$ が上流ワンドのアスペクト比が 10.0 のケースである。 $0.5 < f < 3.8$ Hz の周波数帯での分布は α_u が増加するほど最大値をとる位置は上流側、また主流部側へ変化する。上流からの水はね効果に起因している現象と考えられる。一方、 $f < 0.5$ Hz の低周波成分に着目すると、凹部内部での分布値が一方の周波数帯と比して増加している。これは凹部内部での循環渦により発生したエネルギーである。リターンフローが発生している位置で値が増加していることがそのことを示唆している。case $\alpha 102 \beta 0$ に着目すると、主流部上流側で最大値をとっている。これは上流側に配置した凹部から定常的に低周波流れが流入しているからであり、本文には掲載していないが、時空間相関解析より得られた結果と一致する。

ここで、各ケース間における包括的な乱れエネルギー比較を行うため、凹部周辺領域において以下の式に定義した積分値を算出した。

$$K \equiv \frac{1}{2LB_w} \int_0^{L/2} \int_0^{B_w} \frac{k''}{U_{\max}^2} dz dx \quad (2)$$

図-4 に各ケース各周波数帯での分布を示す。いずれにおいても全体的に K が増加していることが分かる。case $\alpha 102 \beta 0$ における結果がもっとも顕著である。一方で、図5に示した各周波数帯の K への寄与率を見ると、 α_u が大きくなると低周波成分からの寄与率が若干増加するものの全体的傾向としてはさほど変化しない。各ケース間での分布値に着目すればエネルギーは変化するが、全体的エネルギーはほとんど変化しないことが分かった。

4. まとめ

開水路連続ワンド周辺流れにおいて、上流ワンドのアスペクト比およびワンド設置間隔を変化させて PIV 法を用いて乱流計測を行った。これから得られたデータをもとにウェーブレット変換を用いた周波数解析を行った。これより以下のことが解明された。上流ワンドから発生する水はね効果により主流部における流向が著しく変化することによって、組織乱流成分の乱流諸量の分布はワンド内部と主流部との境界部から主流部側へと移動する。また、低周波成分では上流ワンドで発生した乱れ成分が移流することにより、全体的な乱れエネルギーは増加する。

参考文献

- 1) Rockwell, D. and Knisely, C.: The organized nature of flow impingement upon a corner, *J. Fluid Mech.*, vol.93, pp.413-432, 1979.
- 2) 宮本仁志：画像情報に基づく浮遊物質濃度計測と開水路凹部流れの時空間構造解析，神戸大学学位論文，2002.
- 3) 瀬澤家久，鬼東幸樹，高橋俊介，土木学会論文集，No.684/II-56，pp.11-20，2001.