

## II-184 連続ウェーブレット変換を用いた開水路凹部における大規模組織渦の特性抽出

神戸大学工学部 正 員 宮本仁志  
 神戸大学工学部 正 員 神田 徹  
 島根県 正 員 横野 渉

## 1. はじめに

近年の河川整備においては、水域の生態環境を保全するために河道形状を変化させて多様な流況を創造する、いわゆる「多自然型川づくり」が主流となっている。本研究では、そのような流れの水理学的特性を調べることを目的に、開水路凹部の混合層を対象にして連続ウェーブレット変換を用いた流れの解析を行い、主流-凹部境界に発生・発達する大規模組織渦の特性抽出を行った。

## 2. 連続ウェーブレット変換

関数  $f(x)$  の連続ウェーブレット変換(一次元)は次式で定義される。

$$\hat{f}(l, x') = \langle \psi_{l, x'} | f \rangle = \int_{\mathbb{R}} f(x) \psi_{l, x'}(x) dx = \int_{\mathbb{R}} f(x) l^{-1/2} \psi\left(\frac{x-x'}{l}\right) dx \quad (1)$$

ここで、 $\hat{f}(l, x')$  はウェーブレット係数、 $l, x'$  はそれぞれウェーブレットの幅と位置に対応するスケールパラメータ、トランスレートパラメータである。 $l, x'$  を連続的に変化させることによりマザーウェーブレット  $\psi$  を拡大・縮小、移動させ、 $\psi_{l, x'}$  と  $f$  との内積により関数の局所的な変動特性を抽出する<sup>1)</sup>。本研究では、次式で定義されるメキシカンハットをマザーウェーブレット  $\psi$  として用いた。

$$\psi(x) = (1 - 2x^2) \exp(-x^2)$$

図-1 に物理空間におけるメキシカンハットの分布  $\psi(x)$  およびそのフーリエ空間における分布  $\tilde{\psi}(k)$  を示す。

## 3. 対象とする流れ場

図-2 に示す開水路の主流-凹部境界において、画像計測法(PIV)により得た  $z$  方向流速変動成分  $w$  (約 33 秒間) を用いて解析を行った。 $w$  の  $x$  方向分布の例を図-3 に示す。

## 4. 流速成分の空間-波数平面への展開

連続ウェーブレット変換(式(1))を用いて、瞬時の流速変動成分  $w(x)$  を空間  $x$ -波数  $k$  平面に展開した。ここで、式(1)中のパラメータ  $l, x'$  は、それぞれ  $1/k, x$  となる。

図-4 に、図-3 の流速分布を用いた場合のウェーブレット解析の結果を示す。主流-凹部境界の各位置において、 $w(x)$  がもつ波数特性が明快に抽出されているのが確認できる。図中のウェーブレット係数  $\hat{w}(k, x)$  の極大値に着目すると、 $x$  方向に関しては、凹部の上流側で約 2~3(cm) ごとに極大値が現れ、下流側にいくにしたがってその間隔が大きくなる傾向がある。また、波数  $k$  に関しては、 $k$  が 0.156~0.625(1/cm) の

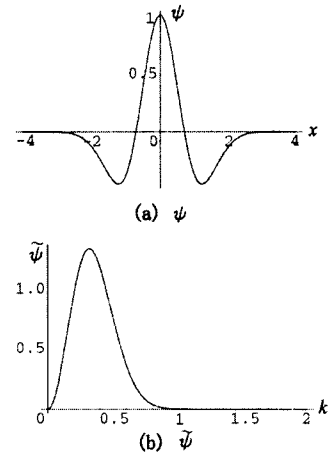


図-1 マザーウェーブレット (メキシカンハット)

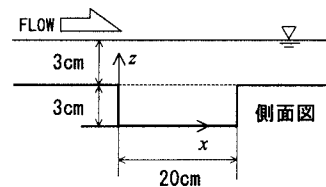


図-2 対象とする開水路凹部

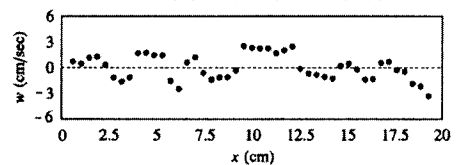


図-3 主流-凹部境界における  $z$  方向流速変動成分  $w$  の  $x$  方向分布の例

キーワード：開水路、凹部、ウェーブレット変換、大規模組織渦

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

間に極大値があり、下流側にいくにしたがってその値は小さくなる。換言すれば、流下に伴って  $w(x)$  のもつ特徴的な流れのスケール  $1/k$  が、およそ 1.6 から 6.4(cm) へ増大していることを示唆していると言える。この流れのスケールは、PIV の可視化画像で見られる主流-凹部境界に発生・発達する大規模組織渦と同一オーダーであることから、図-4 に示す空間-波数平面の極大値はそれらの流れの組織構造を抽出していると推察できる。

### 5. 大規模組織渦の特性抽出

そこで、空間-波数平面の極大値の中心位置  $x$  と中心スケール  $1/k$  を各瞬間ごとに抽出し、時空間で大規模組織渦がどのような挙動を示すのかを、次に考察した。図-5 に解析結果の一部を示す。これより、ウェーブレット係数の極大値を介して抽出された大規模組織渦の挙動特性が明示されているのが確認できる。大規模組織渦のスケールは流下に伴い増大しており、流れの組織構造が発達しているのが確認できる。また、極大値の分布の傾きから、組織渦の移流速度は、およそ 5~8(cm/sec) の値をとり、流下に伴って移流速度が増大する傾向にあることがわかる。さらに、大規模渦の移流を表すと考えられる極大値の帯が、全計測時間約 33 秒の間に、図から約 50 個確認されており、それより推測される渦の発生周期はおおよそ 0.6~0.7(sec) となる。

次に、連続ウェーブレット変換を主流-凹部境界の各位置における時系列に適用し、同一の流れ場を時間-周波数平面という観点から解析することにより、大規模組織渦の周波数特性を抽出した。本稿では、その結果を用いて、大規模組織渦が有する周期とスケールの間の関係を考察する。図-6 は、解析結果を用いて、大規模組織渦がもつ周期  $1/f$ (sec) とスケール  $1/k$ (cm) を、確率密度分布  $p(1/f, 1/k)$  として表わしたものである。これより、大規模組織渦の周期とスケールの間には正の相関があることが確認できる。これは、渦のスケールが増大するにしたがい渦の周期が長くなっていくという物理的なイメージに一致する結果である。

ウェーブレット変換は、図-1 に示すような物理空間とフーリエ空間の両方で局在化した関数を用いることにより、このような組織渦の特性を明確に抽出できる解析手法であると考えられる。

<参考文献> 1) M. Farge : Wavelet transform and their application to turbulence, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, Vol. 24, pp. 395-457, 1992.

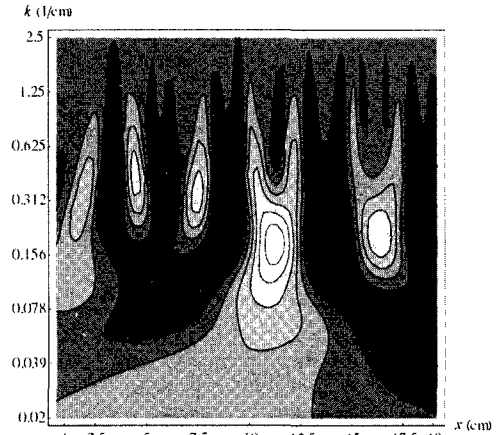


図-4  $w(x)$  の連続ウェーブレット変換の結果 (メキシカンハット)

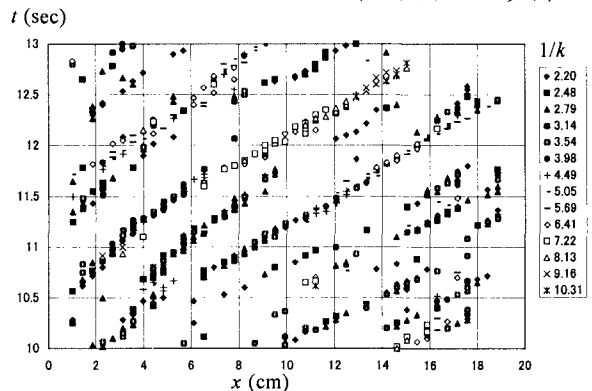


図-5 時空間平面におけるウェーブレット係数の極大値の分布 ( $t=10.0 \sim 13.0$ (sec))

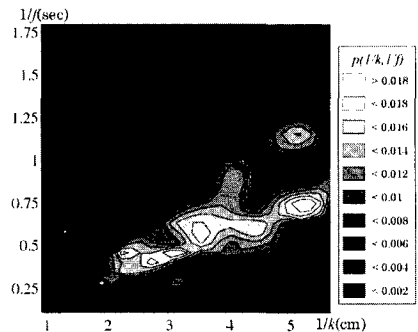


図-6 大規模組織渦のスケール-周期特性