

単独水制下流部に発達する大規模組織渦の瞬間的移流構造に関する研究

愛媛大学大学院 学生員 ○ 小島英司

愛媛大学大学院 正会員 門田章宏

愛媛大学大学院 フェロー 鈴木幸一

1. はじめに

河川の境界に存在する水制構造物は様々な役割を持ち、ヨーロッパ諸国では主に貨物船等の航行に必要な航路の確保に水制が使われている。その他、日本の河川では護岸や水生生物にとっての環境改善の目的でも用いられている。また、日本の主な気象・河川特性として挙げられるのは、降雨量の季節的変動が大きく、流路が短く急峻であることである。近年観察される様々な自然現象は、温暖化による影響と併せて、突発的な豪雨・洪水が多く、水制等の河川構造物周辺の流れは瞬間的に大きなエネルギーを持つ流れが支配的となり、従来研究が行われている洗掘等の物質輸送現象の解明の基本情報となった平均流的な流れとは大きく異なる。以上の様な背景により、本研究では河川構造物周辺の流れの中でも、組織的でかつ瞬間的な流れの局所的な場に及ぼす影響がむしろ重要であるという観点から、河川水制周辺の二次元浅水流の瞬間的に発生する組織的流れの構造を浅水流可視化実験により解明した。

2. 実験方法および条件

本研究では、ドイツ・カールスルーエ大学水力学研究所に設置された水路幅 5.5m、水路長 13.5m の広幅開水路を用い、水制周りの浅水流を発生させ可視化実験を行った。また水路周辺には画像撮影用のデジタルカメラ(PhotonfocusMV-D 1024K-28CL)とカメラを移動させるトラバース装置、トレーサ粒子供給装置とハロゲン光源を設置した。トレーサ粒子についてはポリプロピレン(粒径 2-3mm, 密度 0.9g/cm³)を粒子どうしの吸着を防ぐために黒色ラッカーによるコーティングを施したものを使用した。水制模型については、愛媛県にある一級河川肱川に 17 世紀頃から存在する護岸目的の水制(写真-1)を対象とした。水路の大きさを考慮し約 1/40 のスケールモデル(長さ 70cm, 高さ 7cm, 底部幅 40cm)を作成した。実験条件については、現地付近の水位観測所のデータから、周辺の流速差が最大となる非越流状態の水深 6cm の条件で撮影を行った。また流量については流量制御装置と可視化計測における制約を考慮して 50liter/sec とした。一方、画像取得システムについては、画像取得ソフトウェア(Heurisko と Silicon Software Micro enable I)を使用した。画像取得サイズは 1 台のカメラについて 1024×768pixel, 測定周波数は 10Hz である。このデジタルカメラについては、水制先端から発達する渦が 1 台のカメラの撮影サイズ(幅 1.60m)よりも下流側に大きく発達する現象が見られたため 2 台同時撮影による撮影領域拡張を試みた。撮影の際には 2 台のカメラの撮影領域を 0.25m 分だけオーバーラップ(図-1)するようにして、下流方向の撮影サイズを 2.95m まで拡張した。また、さらに 2 台のカメラを下流側にも移動させ同様な方法で撮影した。

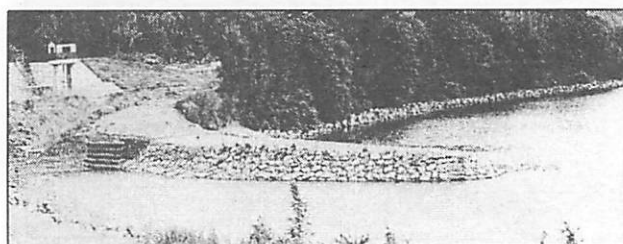


写真-1 愛媛県肱川にある不透水水制

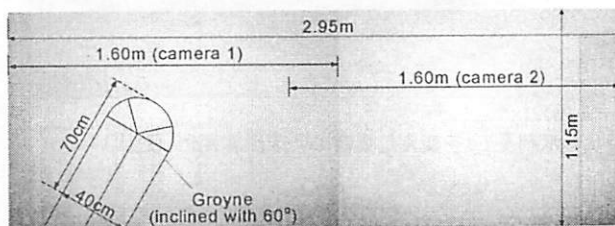


図-1 2台のカメラ画像をオーバーラップさせた撮影領域

3. 解析方法

本可視化画像解析では、従来から PTV 法で用いられている FFT 相互相関法と直接相互相関法のそれぞれの利点を組み合わせ、それぞれの欠点を補う手法を考え開発した。図-2にこれらの手順を示している。これによって得られた瞬間流速ベクトルを等間隔メッシュ上に補間した。また、客観的に乱流の組織構造を抽出するための方法として用いられている正規直交分解法(POD 法)をこの補間した瞬間変動流速データに適用した。さらに、POD 解析によって抽出された組織的な乱れ変動パターンの移流過程を観察する手法として、以下の条件付きサンプリング手法(CST 法)を採用した。CST 法では、POD 解析から抽出された組織的乱れ変動パターンを示す領域のスペクトル解析を行うことで発生周期を求め、これを条件として与えることで水制周辺の組織的乱れ変動パターンの移流過程を捉えることに成功した。

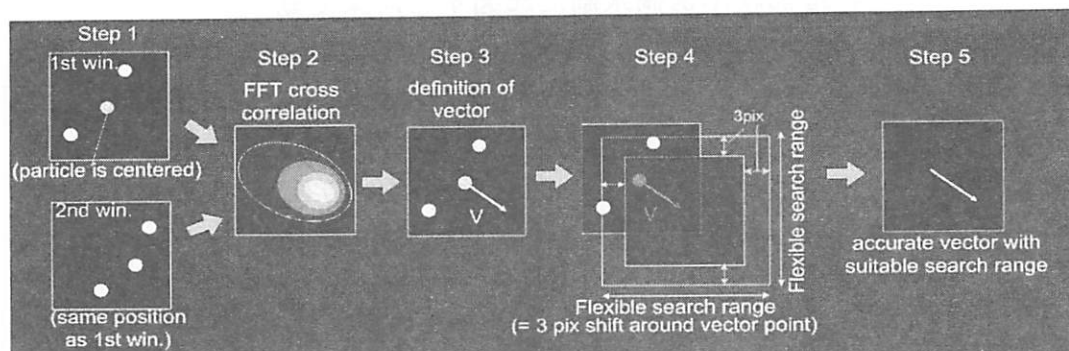


図-2 FFT 相互相関法と直接相互相関法を組み合わせた PTV 法

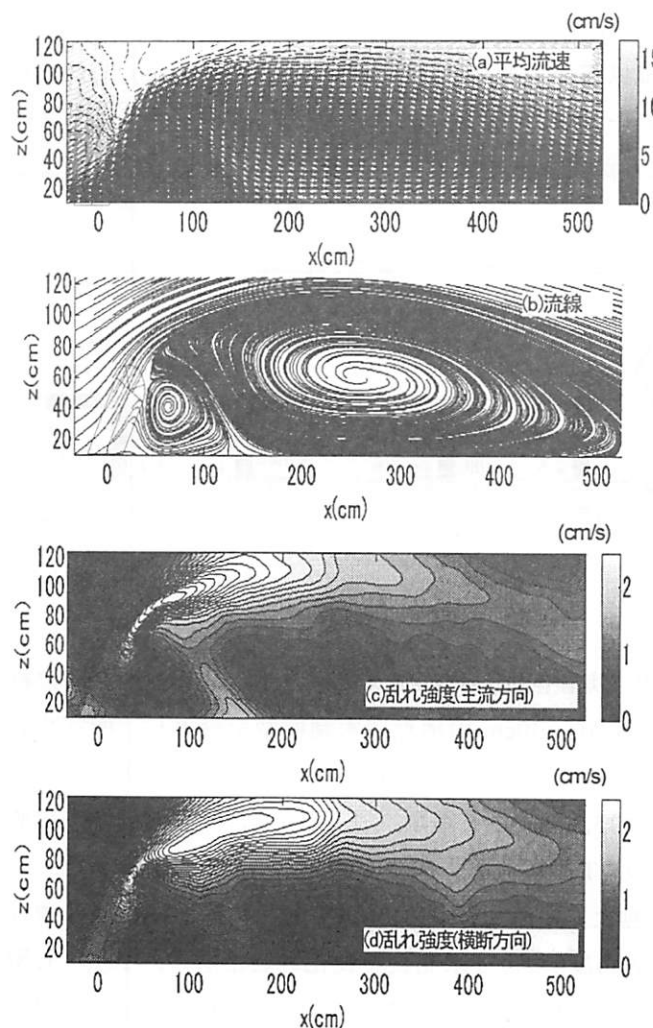


図-3 水制周辺の平均流特性

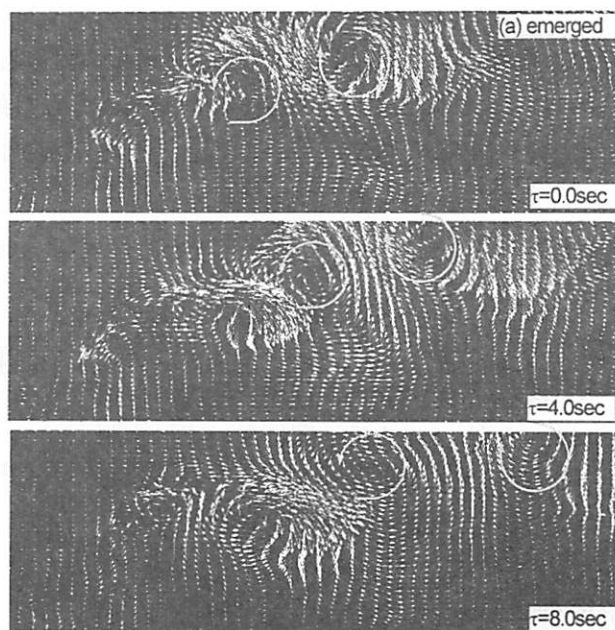


図-4 水制周辺の乱れ変動パターンと移流過程

4. 解析結果

図-3 は主な平均流特性を、図-4 は POD 解析から得られた乱れ変動の中で最も強いエネルギーをもつ組織的パターンの移流特性を条件付きサンプリング手法(CST 法)によって求め示したものである。せん断層に沿って水制先端から流れ方向に発達する乱れ変動パターンとその移流過程が観察できる。この大きな乱れ変動が発生する領域では、流砂などの大きな物質輸送が起き、局所洗掘や河床波発生の大きな原因となると考えられ、今後この様な局所的で組織的

な乱れ変動と物質輸送との相互作用を考える必要がある。

5. おわりに

本研究では、水制周辺の瞬間的・組織的構造の変化に着目し、浅水流可視化実験や広範囲な流速に対応できる画像粒子追跡法(PTV 法)を適用し瞬間流速を評価した。また、これらの瞬間流速データを POD 法や CST 法を適用することで、水制周辺に発生する特徴的な組織渦構造を抽出し移流過程を明らかにした。これらの結果は、卓越するエネルギーを持つ乱れ変動場が局所的に起き、どの様に移流するかを明らかにすることができる。瞬間的で局所的で乱れ変動の組織的な構造が、全体的な流れ場への影響だけでなく物質拡散現象などへの影響についても考慮できると考えられる。

本研究は、科学研究補助金・若手研究 (B)によって助成を受け行われたものである。ここに謝意を表する。