

実測表面流速データと数値解析を組み合わせた3次元流速分布推定法の基礎的研究

近畿大学 学生員 中井 和樹 近畿大学 正員 竹原 幸生
 大阪府 中井 亮 神戸大学 正員 中山 昭彦
 近畿大学 正員 江藤 剛治 近畿大学 正員 高野 保英
 関西電力株式会社 正員 久末 信幸, 中村 敏昭

1. はじめに

実河川の3次元な流れを把握することは、洪水や河川防災上の観点ばかりでなく、河川環境の観点から最も重要となる。実河川の2次元な流れを把握する方法として、数値計算による方法と現地計測や水理模型による計測の2つに大別できる。現地計測として、ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler: 超音波流速計)や電磁流速計などの計測機器を用いた計測があげられる。しかし、これらの計測機器を用いた計測では、一度に広範囲の流速場を計測するのは困難である。

最近、水表面流れの計測では、バルーンやヘリコプターを用いたローカルリモートセンシング技術が活発に研究開発されている。上空から撮影された画像にPTV(Particle Tracking Velocimetry: 粒子追跡流速計測法)を用いることで詳細な河川表面の2次元分布を求めることができるようになってきた。一方、数値解析手法と電子機器の急速な発達に伴い、パーソナルコンピュータを十分に活用できるようになった。

本研究では、PTVによる詳細な水表面流速データに数値シミュレーションを組み合わせることで、実河川におけるより現実に近い3次元な流れ場を推定する手法の開発を行う。本報告では、まず第1段階として実測によって得られた水表面流速データを境界条件として数値計算に組み込む手法について検討した。

2. 表面流計測と数値計算の組み合わせ法

本研究で、実測の表面流データと数値計算を組み合わせる流れを図1に示す。具体的には以下のような操作を行った。

PTVによって得られる計測ベクトルは、2枚の画像上にあるトレーサーの動きを追跡することで求められる。トレーサーが存在しない位置では、計測ベクトルを得ることができない。得られる流速ベクトルは空間的にランダムな位置となる。数値計算で入力する際には、計算格子上に表面流速を与えなければならないので、ランダムな点での表面流速を計算格子に変換する必要がある。本研究では、ガウシアン重み付き平均により変換したガウシアン重み付き変換では、計算格子と同等なサイズになるように分散値を設定した。

計算格子内にPTVによる流速計測値がない場合は、その点の流速データはないものとして扱う。表面流データの inputs は、各々の計算ステップごとに入力する。通常、計測時間と計算時間が違っているので、計算ステップごとの表面流データを求める必要がある。本研究では、計算ステップの前後における既知の表面流データを使って、線形補間により内挿した。既知のデータの値がない

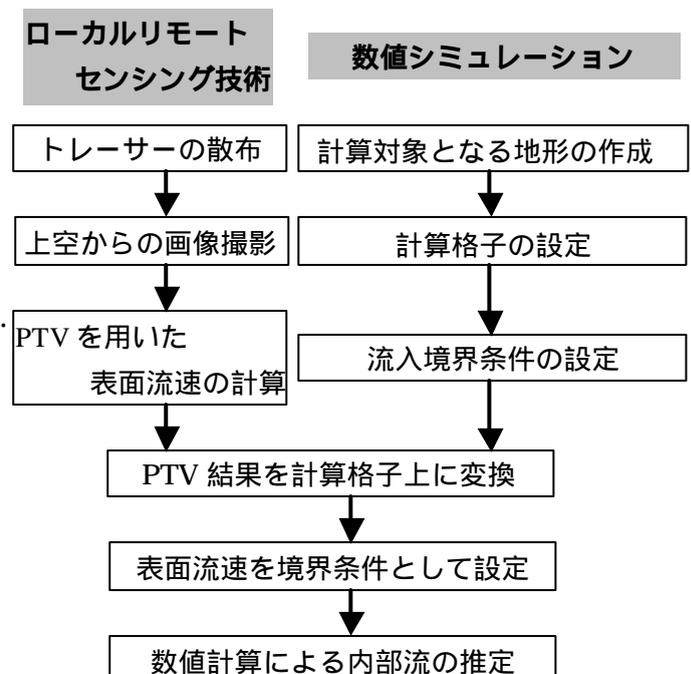


図1 本手法のフローチャート

キーワード 水表面流速データ, 内部流, LES, PTV

連絡先 〒577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1 TEL06-6721-2332 FAX06-6730-1320

場合、該当する計算ステップの値もないものとした。これらの操作で得られた計算ステップごとの表面流データを境界条件として数値解析に組み込んだ。

3. 解析対象

今回は 1/200 スケールの現地水理模型を計算対象とした。水理模型の概略図を図 2 に示す。表面流計測は実河川の 1/200 のサイズの現地水理模型を用いた。実験を行った水理模型は、河川の横断方向に 10.8(m)、縦断方向に 20.6(m) で、モルタル製である。水理模型は、循環式で循環ポンプをコンピューターにより制御し、実験時の流量を 0.02(m³/s) の一定とした。この流量は実スケール 12000(m³/s) であり、正常時の流量である。上流部よりトレーサーを流し、水表面の流れを CCD カメラで撮影した。撮影間隔は 1/15 秒で 900 枚の撮影を行った。

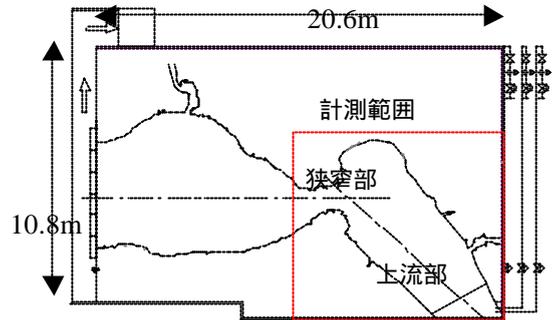


図 2 水理模型概略図

表面流速計測には、2 台の CCD ビデオカメラを用いた。2 台のカメラを無線で同期させて上流部と狭窄部で分割撮影を行うことにより、同一時刻における広範囲の表面流を計測した。水理模型の斜め上から上流部全体を撮影し、もう 1 台のカメラで狭窄部を真上から拡大撮影した。トレーサーはパラフィン(形状は扁平楕円形、平均寸法 12.99mm、平均厚さ 2.07mm)を用いた。撮影された画像に PTV を用いて得られた水表面流速ベクトル結果を図 3 に示す。PTV 結果はトレーサー粒子のばらつきにより、空間的にランダムな位置となるので、ガウシアン加重平均により変換した。

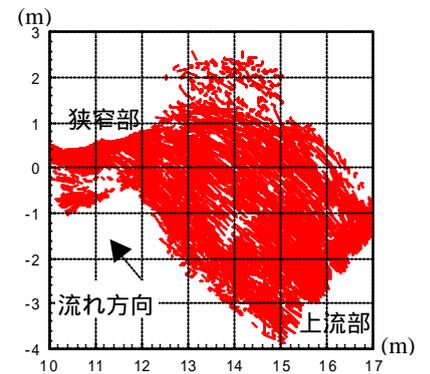


図 3 PTV による表面流結果

4. 計算手法

数値解析手法としては、時間的な変動を再現できる LES(Large eddy simulation)を用いた。水表面の境界条件は、上空からの画像計測による水表面流速データ、及び表面流速を与えない slip 条件の 2 ケースについて解析を行った。流入部の境界条件には ADCP を用いる現地計測断面流速データを与えた。河床・壁面境界条件は non-slip 条件とした。計算格子にはデカルト座標格子を用いた。格子条件を表 1 に示す。

表 1 格子条件

	X	Y	Z
間隔(m)	0.1	0.1	0.01
格子数	167	188	30

5. 解析結果及び考察

図 4 は水理模型狭窄部(水深 0.02m)における流速分布を示している。計算時間は実時間にして約 2 秒後の解析結果である。水表面流速データを与えなかった場合、流速結果はどの位置においても ADCP や電磁流速計を用いた実計測結果よりも遅くなっている。一方、水表面流速データを与えた場合、実計測結果により近い流速分布を示していることがわかる。特に、左岸側に比べて右岸側の流速が速くなっている様子が顕著に表されている。また、水表面の流速分布と水深 0.02m の流速分布の様子が非常に近いことから、内部流が水表面流速データの影響を受けていることがわかる。これは水表面流速結果の影響が内部流に反映しているためだと考えられる。しかし、水深の深い所までその影響を確認することはできなかった。

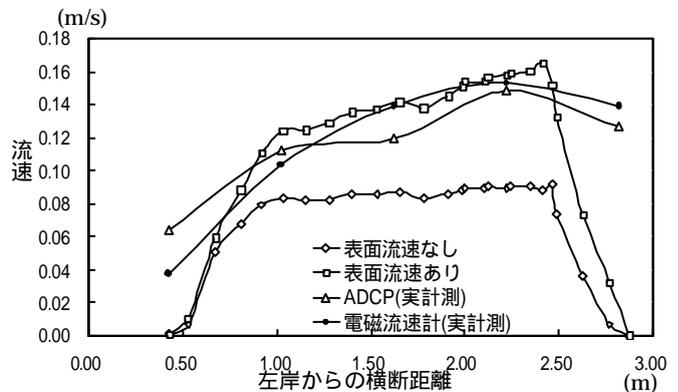


図 4 狭窄部における解析結果

現段階では解析時間が短いので、計算格子幅を調節し、効率よく解析を進める必要がある。また、河床・壁面の境界条件の設定法などに関して、今後検討していく必要がある。