

3 次元浮遊砂濃度分布の可視化計測法の開発及び浮遊砂輸送量の算定への応用

東北大学工学部 学生会員 ○今田 遥介

東北大学大学院工学研究科 正会員 三戸部 佑太

東北大学大学院工学研究科 フェロー会員 田中 仁

1. はじめに

海岸において発生する砕波は、多くの土砂を巻き上げ輸送することで沿岸域における地形変化を支配する¹⁾。しかしながら、砕波下において発生する複雑かつ3次元的な乱流下における土砂の挙動を調べることは困難であり、その輸送メカニズムはいまだ明らかにされていない。そこで、この数十年間、輸送メカニズム解明のため水理実験における浮遊砂濃度の画像計測がいくつか行われてきている。画像計測法は、水中における浮遊砂濃度に依存する散乱光強度分布によって決定される撮影画像の輝度分布に基づいて浮遊砂濃度分布を特定する計測法である²⁾が、従来の画像計測法は水槽側壁近傍の2次元的な濃度分布を計測するものであり、3次元かつ複雑な砕波下の流れ場における浮遊砂輸送過程を十分に説明することができていない。そこで本研究では浮遊砂の3次元的な濃度分布を計測する新たな画像計測法を開発する。

2. 計測アルゴリズム・画像処理

本研究ではデジタルカメラおよびプロジェクタを用いて浮遊砂濃度を計測する³⁾。カメラに対する奥行き方向に色合いを変化させた照明（カラーパターン照明）をプロジェクタから照射し、浮遊砂による散乱光をデジタルカメラで撮影する。これにより撮影される浮遊砂の散乱光の色はカメラとの距離に応じて変化するため、撮影画像から抽出した各色の輝度分布からそれぞれの色の層内での輝度ピークを砂粒子として検出し、その個数と位置から2次元的な浮遊砂数密度分布を決定できる。各色に対応する奥行き方向座標を予め取得し、それをもとに合成することで1枚のカラー画像から瞬時の3次元的な数密度分布分布を取得する。

なお、高浮遊砂濃度の領域の背後ではカメラ撮影ま

たはプロジェクタからのカラー照明の陰となり、濃度を過小評価してしまうため、カウントされた浮遊砂の個数から計測不可能な領域の体積を算出し数密度の補正を行う。

3. 計測実験

本計測法の実用性を評価するため、1辺10cmの透明アクリル製の水槽を用いて試験計測を行った。粒径0.34mmの珪砂および水を水槽に投入し、マグネチックスターラーを用いて水槽中央を攪拌した。その際巻き上がった浮遊砂にプロジェクタからカラーパターンを照射し、その散乱光を高速カメラにより撮影した(図-1)。

また、本計測方法の精度を評価するため、中立粒子を用いて精度検証実験を行った。珪砂の代わりに、予め定めた個数の粒径2mmの中立粒子を水槽に投入し、画像内での大きさが砂粒子の場合と同じになるように撮影を行った。珪砂同様の手順で画像解析することに

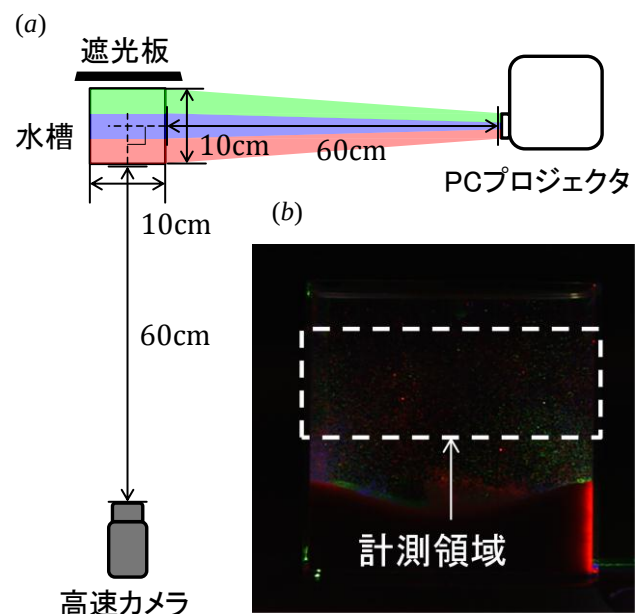


図-1 実験装置配置(a)と撮影画像例(b)

キーワード ; 浮遊砂, 画像計測, 3次元計測, 輸送量算定

連絡先〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 環境水理学研究室 Tel 022-795-7453 Fax 022-795-7453

より水槽内の粒子数を取得し、陰の影響も考慮して数量の補正をした。画像解析より得られた水槽内の粒子数と、実際の使用個数とを比較することで、浮遊砂濃度分布計測の精度検証を行った。

4. 結果と考察

図-2 はカメラ手前から赤・青・緑の 3 色のカラーパターンを用いた場合の撮影画像と、格子間隔を 1cm 間隔に設定して求めた浮遊砂の数密度分布を示している。本研究で開発する計測法ではこのように 1 枚の撮影画像から各色の輝度分布に対応する各層での浮遊砂数密度分布を取得できる。

浮遊砂輸送量の空間分布については、連続する時刻の数密度分布から、次の砂粒子に関する連続性を離散化して粒子の移動速度 u , v , w について求め、それらに数密度 ρ を掛けることで取得することができる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

図-3 は中立粒子の連続画像について、各画像での粒子の個数を画像解析により算出したものである。28 個（硅砂の場合の 8 個/cm³に相当）の場合、検出個数は平均 25.7 個であるが、陰を考慮した個数の補正を行うことで、平均 28.3 個となった。個々の画像での検出結果については、粒子が他の粒子の陰となることや、画像内で隣接する粒子による輝度ピークを 1 個の粒子として検出することにより過小評価傾向があり、陰を考慮した補正を行うことで真値に近い値に修正されている。70 個（硅砂の場合の 20 個/cm³に相当）の場合、平均検出数 56.0 個、補正後の平均値は 62.2 個でどちらも真値に対して過小評価されており、高濃度での計測においては粒子の検出や数密度の補正について課題があることが分かった。

5. まとめ

本研究では、カラーパターン照明を用いて瞬時の 3 次元的な浮遊砂濃度分布を得る新たな画像計測法を開発した。将来的には本計測法を造波水槽での計測に適用させていく。

参考文献

1) 灘岡和夫・上野成三・五十嵐竜行： 砕波帯内の

三次元的大規模渦構造と浮遊砂の現地観測，第 34 回海岸工学講演会論文集，pp.21-25，1987

2) 佐藤慎司・久保田洋次： ビデオ画像を用いた砕波点付近の浮遊砂現象の解析，第 38 回海岸工学論文集，pp.251-255，1991

3) 今田遥介・三戸部佑太・田中仁： 3 次元浮遊砂濃度分布の可視化計測法の開発，日本流体力学会年会 2014，099，pp.1-5，2014

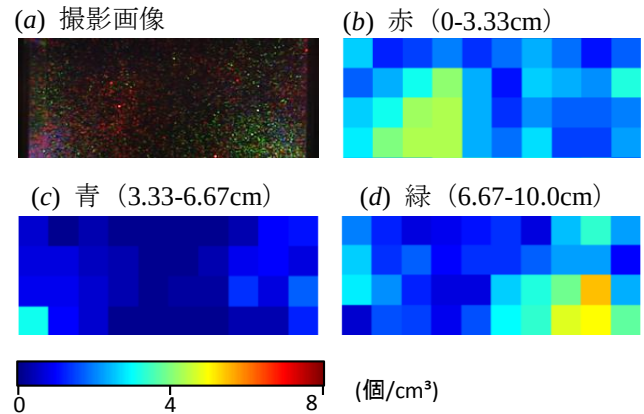
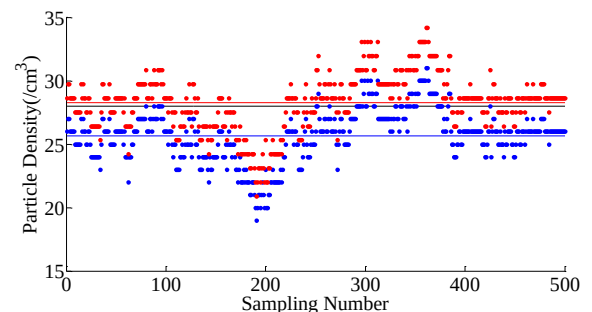


図-2 撮影画像(a)と数密度分布(b)～(f)

(a) 28 個



(b) 70 個

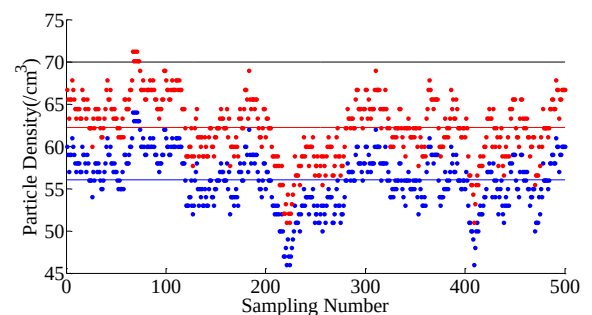


図-3 中立粒子検出結果（青：補正前，赤：補正後，黒：真値，点は個々のデータ，実線は平均値を表す）