

II-289

浮遊泥濃度の3次元画像計測法

神戸大学大学院 学生員 岩見 収二 神戸大学工学部 正 員 神田 徹
 神戸大学工学部 正 員 宮本 仁志 神戸大学大学院 学生員 東野 誠

1. はじめに

筆者らは画像情報を用いた浮遊泥濃度の計測法について検討している¹⁾²⁾。浮遊泥濃度は、画像処理システムによって得られる輝度を用いて算出する。本研究のように濃度場を介して計測する場合、光の散乱減衰による効果が無視できないため、輝度-濃度間の線形関係は成立しない。そこで、本研究では光の減衰理論を取り入れた輝度-濃度の関係式を用い、輝度の3次元データから濃度分布を算出し、本計測法の適用性を検討した。

2. 計測方法

図1に画像計測システムを示す。実験では20×20×30(cm)の亚克力樹脂製水槽を使用し、浮遊泥としてカオリンナイト懸濁液を用いる。懸濁液の濃度は、水槽内で一様に調整し、多重散乱の影響が比較的小さい0.5g/l以下とした。レーザーシートにより複数の計測断面を可視化し、CCDカメラを用いて撮影する。今回は、計測断面を $z=1, 5, 10, 15, 19$ cmの鉛直5断面とした。得られた画像は画像メモリーボード(DITECT)搭載のパソコンに512×512画素、256階調の輝度データとして保存する。

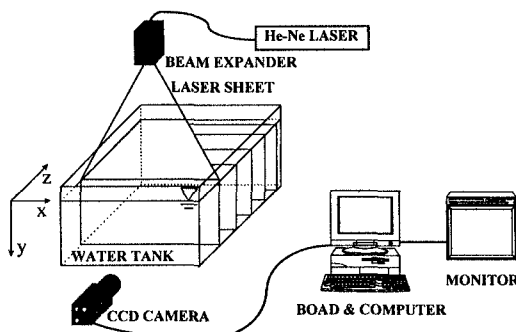


図1 計測システム

3. 光の減衰を考慮に入れた輝度-濃度の関係式

濃度 c の懸濁液中を光が微小距離 $d\xi$ だけ進む間に、散乱によって生じる光強度変化 dI はLambert-Beerの法則により次式で表される。ただし、多重散乱の効果は無視している。

$$dI = -\alpha c I d\xi \quad (1)$$

ここに、 α は散乱係数、 I は入射光強度である。距離 ξ_0 だけ離れた2点 P_1, P_2 への入射光強度 $I(P_1), I(P_2)$ の比を光の減衰 $E(P_1P_2)$ と定義すれば、この $E(P_1P_2)$ は式(1)から次式のように表される。

$$E(P_1P_2) \equiv \frac{I(P_2)}{I(P_1)} = \exp \left\{ - \int_0^{\xi_0} \alpha c(\xi) d\xi \right\} \quad (2)$$

図2のようにレーザーシートを断面QSに照射するとき、点Pの輝度 $L(P)$ は光路QPR間の光の散乱減衰効果とレーザーシートが扇形に広がる効果を考慮すると、次式で表される。

$$L(P) = K \frac{r_Q}{r_P} E(QP) E(PR) \alpha c(P) \quad (3)$$

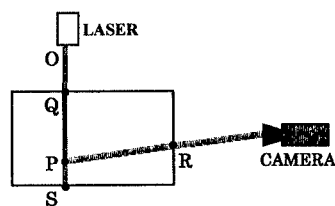


図2 光路図

ここに、 K は定数、 r_P, r_Q はそれぞれOP, OQ間の距離、 $c(P)$ は点P

の濃度である。係数 α は濃度既知の懸濁液において、カオリンナイト粒子の沈降を考慮に入れ、異なる計測断面での同水深の輝度の比から決定した。定数 K は実測値に合うようにカーブフィットを行い決定した。

式(3)の関係を用いて輝度から濃度を求める際に、撮影方向の濃度が一定と仮定し、単一断面の輝度データのみを用いて計算する場合と、複数断面の輝度データを用いて3次元計算する場合の2通りの方法について

キーワード：計測，画像，濃度，輝度，減衰

〒657 神戸市灘区六甲台町1-1 TEL 078-881-1212 FAX 078-803-1050

検討を行った。

単一断面の輝度データを用いた場合の計算式は次式のようなである。各座標軸は図1に示す通りである。

$$L(x, y) = K \frac{D}{D_y} \exp\left(-\alpha \sum_{j=0}^{y-1} c(x, j) \Delta y\right) \exp(-\alpha c(x, y) r) \alpha c(x, y) \quad (4)$$

$$c(x, 0) = 0$$

ここに、 Δy は1画素の実長、 D は光源と水面間の距離、 D_y は光源と計測点間の距離、 r は水槽前面と計測断面間の距離である。 $c(x, 0) = 0$ は水面で光の減衰の影響がないことを示す。

一方、複数断面の輝度データを用いた3次元計算式を次式に示す。

$$L(x, y, z) = K \frac{D}{D_y} \exp\left(-\alpha \sum_{j=0}^{y-1} c(x, j, z) \Delta y\right) \exp\left(-\alpha \sum_{k=0}^{z-1} c(x, y, k) \Delta z\right) \alpha c(x, y, z) \quad (5)$$

$$c(x, 0, z) = c(x, y, 0) = 0$$

Δz は撮影断面間隔である。また、 $c(x, 0, z) = c(x, y, 0) = 0$ は水面および水槽前面において光の減衰の影響がないことを示す。計算順序は、まず光の減衰の影響のない水槽前面の水面の濃度 $c(x, 0, 0)$ を求め、この濃度を用いて前面より順次計測断面ごとの濃度を計算する。計算には移動平均を施した輝度データを用いた。

4. 計算結果

各計測断面中央における移動平均を施した輝度の鉛直分布（実験時の調整濃度 0.5g/l）を図3に示す。この輝度から式(4)、式(5)を用いて計算した結果を図4、図5に示す。図3より輝度は計測断面ごとに全く異なる値を示している。図4では減衰を考慮した変換により調整濃度 0.5g/l 付近に近づく傾向を示しているが、十分な精度が得られていない。一方、図5は一樣な濃度分布を示しており、3次元計算を行う方が有効な計算手法といえる。そこで、実験時の調整濃度 0、0.25g/l の輝度データから3次元計算手法（式(5)）を用いて算出した濃度分布を図6、図7に示す。図5～図7より算出した濃度は概ね調整濃度を示しており、本計

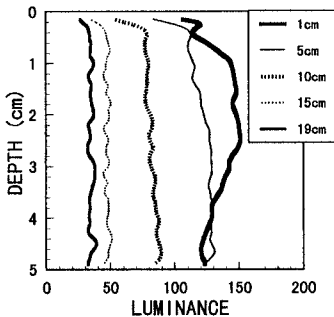


図3 輝度の鉛直分布

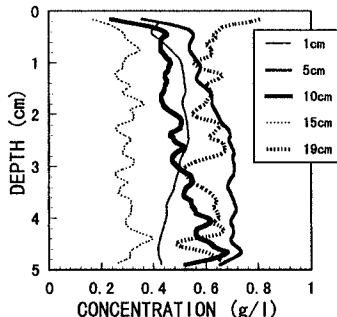


図4 式(4)による濃度分布

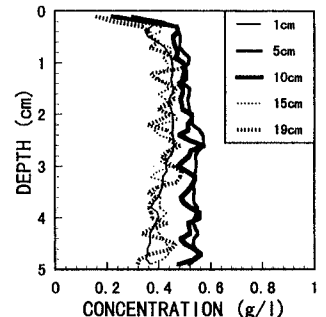


図5 式(5)による濃度分布

測法の有効性が確認できる。また、今回は比較的低濃度の場合を対象としたが、光の多重散乱の影響が大きい高濃度場では本計測法の精度は低くなると思われる。

<参考文献>1)岩見,他:底泥の巻き上げの面的計測に関する基礎的検討,土木学会年講,1996. 2)神田,他:浮遊泥濃度の画像計測法,土木学会関西支部年講,1997.

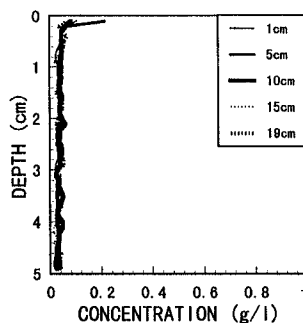


図6 濃度 0 g/l 結果

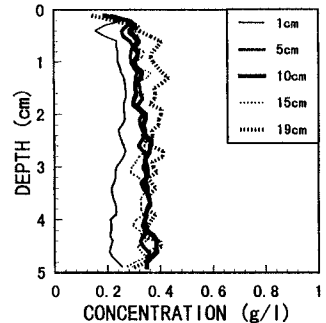


図7 濃度 0.25g/l 結果