

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

神戸大学大学院 学生員

○岩見 収二

1. はじめに

筆者らは画像計測法を用いた浮遊泥濃度の計測法について検討している¹⁾。画像計測法を用いた浮遊泥濃度は、画像処理システムによって得られる輝度を基に算出する。濃度と輝度は線形関係にあると考えられるが、濃度場においては光の散乱減衰による効果が無視できず、これを補正しなければ線形関係は成り立たない。そこで、光の減衰理論を取り入れた輝度と濃度の関係式を用い、式中の係数の決定を行った。さらに、一様な濃度の懸濁液に対して適用を試みた。

2. 減衰を考慮に入れた輝度と濃度の関係式

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量変化 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。したがって、2点 P, R 間での光の減衰は次式のようになる。

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

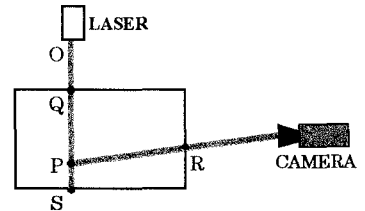


図1 光路図

図1のように断面 QS がレーザー光シートに照射されているとき、点 P の計測される輝度 $L(P)$ は光路 QPR 間での散乱減衰とスリット光が扇形に広がる効果を考慮すると次式で表される。

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

ここに、 K は定数、 r_P , r_Q はそれぞれ OQ, OP 間の距離、 $c(P)$ は点 P の濃度である。したがって、上式中の係数 α と K を決定すれば計測値 $L(P)$ から濃度 $c(P)$ を算出することができる。

3. 係数の決定

係数を決定するために以下の実験を行った。20×20×30(cm)の水槽にカオリナイト懸濁液を入れ、上方から He-Ne レーザーを照射する。撮影は CCD カメラを用いて行い、画像メモリーボード(DITECT)搭載のパソコンで 256 階調の輝度データとして保存する(図2)。懸濁液の濃度は 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0g/l の 5 ケースとし、それぞれの濃度について水槽の前面から $r_X = 5, 10, 15, 19$ cm の 4 断面について輝度を計測した。

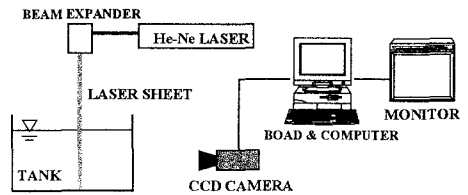


図2 画像計測システム

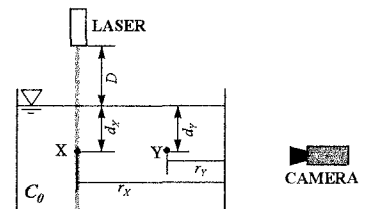
図3に示す2点 X, Y の輝度の比から次式によって α を決定できる。

$$\frac{L(Y)}{L(X)} = \frac{D_Y}{D_X} \exp\{-\alpha c_0 (l_X - l_Y)\} \quad (4)$$

ここに、 $l_X = d_X + r_X$, $D_X = D + d_X$ である。したがって、

$$\alpha = \frac{1}{c_0 (l_Y - l_X)} \ln \frac{D_X L(X)}{D_Y L(Y)} \quad (5)$$

である。

図3 係数 α の決定

カオリナイト懸濁液では粒子の沈降するため同水深の2点X, Yの輝度より係数 α を算出した。計測された輝度と撮影方向の光の減衰を補正した輝度の一例を図4-a, 図4-bに示す。計測された輝度は撮影断面が遠いほど小さくなっているが補正後は断面によらずほぼ同じように線形性を示しており、ここで決定した α を用いて光の減衰を補正することができる。また係数 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。

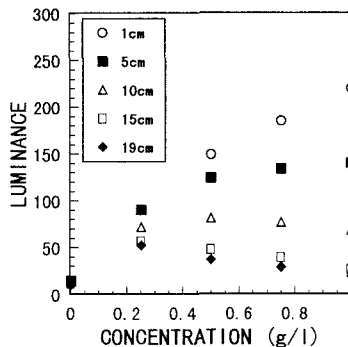


図4-a 計測された輝度

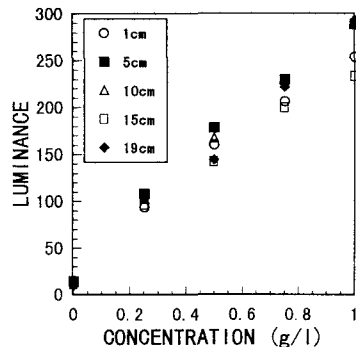


図4-b 補正された輝度

4. 輝度から濃度への変換

決定した係数を用い撮影方向に一樣であると仮定した濃度分布について、式(3)を基に輝度から濃度に変換するに際し、次式によって計算を行った。

$$L_n = K \frac{D}{D_p} \exp(-\alpha c_n r) \exp\left(-\alpha \sum_{i=1}^{n-1} c_i \Delta z\right) \alpha c_n \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (6)$$

$$c_0 = 0$$

ここに、 Δz は1画素の実長である。また $c_0 = 0$ は水面において光の減衰が0であることを示す。計算は計測された輝度のデータに移動平均を掛けたものについて行った。図5-aに移動平均された輝度のデータ、図5-bにそのデータから算出した濃度を示す。データは各断面における水槽中央の鉛直分布である。計測は0.25g/lに調整した一樣濃度の懸濁液を対象としている。輝度の値は計測断面によってそれぞれ異なった値を示しているが、濃度の計算結果はほぼ一樣な濃度分布であり、0.2~0.3g/lの値をとっている。計測対象である懸濁液の濃度が0.25g/lであることから、今回用いた計算方法によって光の減衰による効果を補正できることがわかった。そこで、この手法を用いた濃度0.25g/l、計測断面10cmでの等値線図を図6に示す。この図では水平方向の濃度分布が現れており、水平方向にも何らかの補正を加える必要がある。

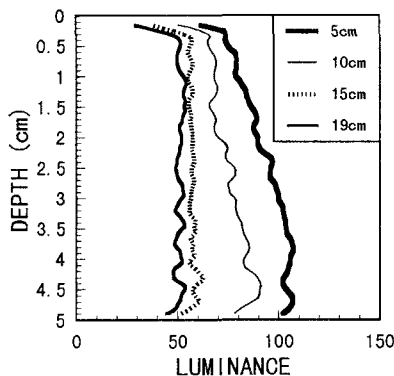


図5-a 輝度移動平均値

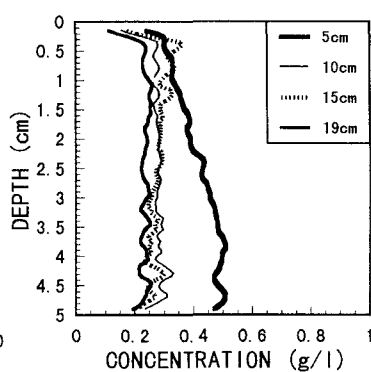


図5-b 濃度計算結果

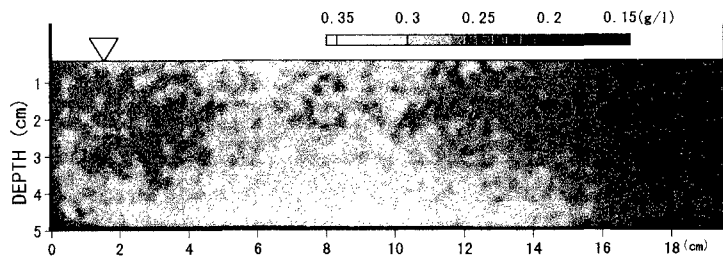


図6 断面内の濃度分布 (濃度0.25g/l、計測断面10cm)

す。この図では水平方向の濃度分布が現れており、水平方向にも何らかの補正を加える必要がある。
<参考文献>1) 神田, 東野, 岩見: 土木学会第51回年講, pp.164-165, 1996.