第Ⅱ部門 **浮遊泥濃度の画像計測法(その2)**

神戸大学工学部	IE.	員	神田	徹	神戸大学工学部	IE.	員	宮本	仁志
大分高専	Æ	員	東野	誠	神戸大学大学院	学生	E員	○岩見	収二

(1)

1.はじめに 筆者らは画像の輝度情報を用いた浮遊泥濃度の計測法について検討を行っている.ここで対象とするような比較的高濃度場を光が伝播するとき,画像輝度は濃度場における光の減衰,多重散乱の 影響を反映したものとなる¹⁾.本研究では,それらの光の伝播特性を表す放射伝達方程式より輝度と濃度の 関係を定式化し,式中に含まれる未知係数の同定を行った.さらに,本計測法を用いて一様に調整した濃度 場を計測し,その適用性を検討した.

2. 輝度 - 濃度関係式 濃度 c の懸濁水中を光が微小距離 ds だけ伝播する 間に生じる光強度変化 dI は、放射伝達方程式により式(1)で表される.

 $dI = -\alpha c I ds + j c ds$

ここに、 α は散乱係数、Iは入射光強度、jは射出係数である. 図1で示される 光路上での点 Pにおける輝度 L_P と濃度 c_P の関係は、光路 QPR に式(1)を適用 することにより、次式のようになる.

 $L_{\rm P} = K \exp\left(-\int_{\rm Q}^{\rm P} \alpha \, c(s) ds\right) \exp\left(-\int_{\rm P}^{\rm R} \alpha \, c(s) ds\right) c_{\rm P} + \beta \tag{2}$

式(2)の右辺第一項は光路 QP, PR 間における光の散乱による減衰の影響を,第二項の β は全光路上での多重散乱の影響をそれぞれ表す.式中の係数 K,散乱係数 α ,多重散乱項 β を同定することにより,輝度 L_P から濃度 c_P が推定できる.

3. 実験方法および画像輝度分布 式(2)の各係数を、図2に示す画 像計測システムを用いて実験的に同定する:水槽内のカオリナイト懸濁 水濃度をマグネチックスターラーによって一様に調整(調整濃度 c₀)し、

 $Ar^+ \nu - \psi - \psi - \epsilon c_s \circ \tau$ 可視化断面を作成する.高速度ビデオカメラにより撮影された可視化断面は、画像処理ボード搭載のパソコンに 256 階調の輝度データとして保存する. 懸濁水の調整濃度 c_0 は 0.3, 0.2, 0.1g/ℓ の 3 ケースとし、計測断面は水槽前面から奥行き方向へ 1cm ごとに 0~5cm の 6 断面とした.また、懸濁 水の瞬間画像はスターラーを用いた攪拌による濃度分布のむらを反映したものとなるため、約 4.5 秒間の画像を平均することにより、一様濃度 c_0 に対応する画像を得た.得られた輝度の鉛直分布の一例を次頁の図 9 に示す. 多重散乱の影響で、輝度は水深方向に単調減少ではなく、極大値を有する分布となる.

4. 未知係数の同定 実験により得られた画像輝度を用いて式(2)の未知係数を同定する.

まず,係数 K の同定を行う.水槽最前面の水面 (y=z=0 cm)において,光の減衰,多重散乱の影響が 無視できると見なせば,式(2)は次式のようになる.

L = K c

(3)

200

150

100

50

0

O

相関係数

0.994

0 1

L = Kc = 588c

0.3

0. 2

 $c(g/\ell)$

図3 輝度 L と濃度 c の関係

輝度 – 濃度関係の一例は図3に示すようであり,式(3)が成立していることが 確かめられた.この関係により係数Kが同定できる.

次に, 散乱係数αの同定を行う. 水面において多重散乱の影響が無視できる と仮定すると, 輝度-濃度関係式は光の減衰の影響のみを考慮して, 式(4)の ように表すことができる.

 $L = K \exp(-\alpha c z \cdot \Delta z) c$

(4)

図4に示す水面の輝度から、式(4)を用いて最小二乗法によりαを同定した.

Tohru KANDA, Hitoshi MIYAMOTO, Makoto HIGASHINO, Shuji IWAMI





図4には、 aの同定値(a=0.384)を用いた近似曲線を併示している. 同定した Κ, αを用いて, 式(2)より多重散乱項βを算出した. 調整濃 度 co=0.3, 0.1g/lにおける多重散乱項βの鉛直分布を図5に示す. これよ り、多重散乱項*β*は濃度が高いほど大きな値を示しているのがわかる. また,調整濃度 co=0.3g/ℓの場合(図5(a)),水深方向に極大値が存在 する分布となっている. 調整濃度 co=0.1g/ℓの場合(図5(b))は、多重 散乱の影響はほとんど現れていない.このように多重散乱項Bは濃度 c

によって変化するため、両者の関係を規定する必 要がある.図6に β と cの関係を、図7に β と cの 各点 (y,z)における相関係数をそれぞれ示す.こ れより、水面近傍を除き、βと c の間には非常に 強い正の相関があることがわかる.そこで、式(5) のようにBと c の関係を線形近似し、最小二乗法 によって係数 β_a , β_b を同定した.





(cm) 2

400 B

(a) β_a

3

5

0

-20

(b) β_h

200

150

50

n

₩100

 $\alpha = 0.384$

2 3 4

図4 水面における輝度分布

c (g/l)

. 0.2

5 z(cm)

z(cm

-40 B

0.3

A 0.1



6. 一様濃度場への適用結果

同定した各係数を用いて, 一様濃 度場 (co=0.3g/l) を対象に画像計 測を行った.輝度分布の例を図9に、 対応する濃度計測結果を図 10 にそ れぞれ示す. 画像輝度は空間的に分 布を持つが,対応する濃度は調整濃 度値に近いほぼ一様な分布が得られ ている.x軸方向の両端部において、 濃度が低く算出されているが、これ はレーザー光が両端部で弱いことに 起因するものと考えられる. 濃度計 測値の標準偏差は 0.012g/ℓであり, 良好な結果が得られた.

<参考文献> 1)神田, 宮本, 東野, 岩見: 画像の輝度情報を用いた浮遊泥濃度の計測, 水工学論文集, 第 42 巻, pp.553-558, 1998.



