33 水路内照度差による計測断面の切断について

神戸大学 篠 源 亮

Dividing measuring sections by using illuminance of tracer

Motoaki Yano*

The instantaneous transverse position of the tracer particles in water channel is classified by the quantity of the illuminance of the particles.

The distance decay of the illuminance and the distance decay of the absolute value of the optical transfer function concerning with the image of the particles are mainly utilized to the measurement of the position of the particles.

The two-dimensional velocity distribution in each dividing section is calculated by the application of image processing.

1. まえがき

単位時間前後に撮影される 2 枚のトレーサ粒子の凍結画像を計算処理することにより
(1)
流れの 2 次元流速分布が求められる。

この流速測定法では、スリット照明光を用いて測定しようとする流れの一断面を照明する。

もし、照明として、水路を横断するような透過光を用いて、上記の処理を行えば、水路横断方向に平均化された形の流速分布が得られることとなる。

照明光は距離減衰特性を有しているため、トレーサ照度ごとに分類すれば、水路横断方向に計測断面を切断出来るのではないかと考えられる。

この場合に計測されるトレーサ照度に関係するものには、

- (i) 照明系
- (ii) 撮影系 (レンズ・

記録系) 光源 拡散板 偏光板 水路 偏光板レンズ 記録面
の照度に関する事項があげられよう。

以下これらについて検討するため、図-1 に示すような計測光学系をもととした実験を行った。

図-1 計測光学系

2. 照明系

計測を行う複数以上の任意断面において、一様な照明が得られるように照明系を構成することは、非常に困難なことである。レンズを用いた例えば幻灯機、写真引伸機のよ

* Kobe University Rokko-Dai, Nada, Kobe

うなものでも、一様な照明は得難い上、光量も不足しがちである。レンズを用いた照明系は別途考えることとして、ここでは良質な拡散板を用いた照明系を用いることとした。

完全拡散面光源による任意計測断面の照度は、境界積分定理を用いると簡単に求めることが出来る。

正四角形の拡散面光源の場合について、この光源面（図-2）に平行な任意断面における照度を求めてみると、図-3のようになり、光源面上では一様な照度であっても任意距離はなれた所の平行断面上では一様な照度とならない。ただ近似的に面中

図-2 拡散面光源下
照度計算図

図-3 通加距離断面照度

図-4 通加距離断面照度

図-5
通加距離
光軸上照
度減衰

心光軸付近の断面上では一様な照度とみなせる。

拡散面光源からの通加距離が増加した場合について、上記の断面照度を求めてみると図-4に示すようになり、距離との関係はほとんど距離の2乗に逆比例することとなる。（図-5）それと同時に光軸付近の断面上で一様な照度とみなせる領域が広がる。

従って、拡散面光源としては、計測断面より大きいものを適当に離れた距離において用いればよいこととなる。

3. 撮影系

レンズを通した記録面上の照度 E は

$$E = \frac{\pi L}{4} \frac{(1/F)^2}{(1 + \sin \theta / \sin \theta')^2} \quad (1)$$

で与えられる。ただし、ここで L はレンズの透過率、 F はレンズ口径比（縮値）、

$\beta = \sin \theta / \sin \theta'$ は像倍率である。

レンズ縮値をある値に定めると、記録面上の照度は像倍率（撮影物体とレンズ間の距離に関係）により図-6のように変化する。

実際に白紙を近接各距離において撮影した場合の照度をプロットすると同図に示すように理論と一致する。(本文中の計測に使用したビジコンの特性は $\gamma = 1$ のもの故光電変換は 1:1 となっている。)

原像の照度分布関数を $0(X)$ で表わし、記録された像のものを $I(X)$ とすると、

$$I(X) = \int_{-\infty}^{\infty} 0(X) h(X-X) dx \quad (2)$$

図-6 像倍率と照度

の関係が成立する。ここで h は特性関数である。空間座標 (x, y) を空間周波数 (s, t) にドメイン変換した場合の特性関数、 $H(s, t) = I(s, t) / 0(s, t)$ はレスポンス関数 (OTF) であり、 h あるいは H を求めれば、原像と記録像の間の照度の関係が明確となる。

OTF 関数の計算法は種々提案されているものの、これを求めることはそれほど簡単でないため、実験上から求めることとする。ただしとりあえず必要とするのは、 OTF 関数そのものでなく、その絶対値だけである。

原像は水路内に任意に分布したトレーサ粒子であるけれども、まずビジコン等の解像度のテストによく用いられる図-7に示す AR (振巾変調度) テストパターンを用いて、その記録像を求めてみると図-8のような結果を得た。

図-7 AR用テストパターン

図-8 図-7を用いたビジコン AR 特性

この結果の振巾値の変化と、メーカーによるビジコン変調度特性とを比較するとよく一致した。(図-9)

トレーサ粒子に関する実験については、具体的な計測法を考慮して次節に述べるように行った。

4・撮影系の総合特性

具体的に計測方法を考えると図-1を参照して、レンズ焦点は水路のどこかに固定しなければならない。

トレーサ粒子の照度減衰を利用することから、レンズより離れた側、言い換えれば光源に近い側の水路壁面上に焦点を合せることが良好と考えられる。

図-9 ビジコン変調度特性

このような計測系では撮影されるトレーサ粒子像の照度変化に関係する量として照明系を別とすれば、レンズ縮値、像倍率、焦点ボケを含めたレスポンス関数が考えられる。

これら撮影系の総合特性を実験上から求めるため、均一な照明下にトレーサ粒子を散布し、レンズ縮値、焦点距離を固定して、前記同様の実験をトレーサ粒子とレンズ間の距離を連続しながら各距離について行った。

この結果トレーサ粒子間の距離が粒子径以上ある場合には、図-9に示すような変調低下について考慮する必要のないことが明らかとなったため、この場合について撮影系の総合特性をとりまとめてみると図-10に示すようになる。

照明系をも含めた計測系全体の総合照度特性は図-5と10の結果を合成すると図-11に示すような近似直線関係が得られる。

従ってトレーサ粒子像の照度に従って分類を行えば、水路横断方向に計測断面を分割したことになり、結果として各断面ごとの流速分布が求められる。その一例を図-12に示す。

5. あとがき

実際の計測では交叉した2枚の偏光板を用い光源の直接光を遮断している。レンズ側の偏光板はPLZTを用い、これをシャッタに併用している。

トレーサ粒子にはポリスチロール粒子を用い粒径をそろえると($0.5^{\mu\text{m}}$)、個々の粒子ごとの照度差はほとんどなかった。

大気と水路内の光の屈折率の差は光路距離補整のみ行っており、断面補整は計測棒を用いた実測に基づいて補整している。

検定方法は完全でなく、これは粒子を水路内任意位置に固定する完全な方法を見出せないためであるが、照明方法の改善と共に今後研究を継続する。

参考文献

- (1) 筧 源亮 流れの可視化 Vol.3, No.10, p.189, Vol.2, Sup., p.51.