C-4 簡易画像処理装置を用いた流動現象の統計的解析

中国工試 岡田三郎[○], 今出政明, 住本哲宏

Statistical analysis of diffusive flow pattern using a simple image processor.

by Saburo OKADA*, Masaaki IMADE*, Tetsuhiro SUMIMOTO*

In order to clarify the diffusive flow pattern in a hydraulic model quantitatively, a simple method determining dye concentration in dispersion study has been developed using a simple image processor for photographic color films. For correcting the non-uniform illumination of the experimental channel bed in the film, a method using semi-transparent sheets was developed and then applied to evaluate the strip roughness effect on dispersion in the longitudinal and transverse direction in dye patch experiments.

1. 緒言

水理実験あるいは各種槽内における物質の流動拡散状況を調べる手法として、高濃度の染料溶液を少量、瞬間的に投入し、流れによって雲のように拡がる染料を一定時間間隔で写真撮影し、染料雲の面積の時間変化から拡散状況を定量化する点源拡散実験手法¹⁾²⁾が用いられる。しかし、従来の解析法では、撮影した写真フィルムを紙面上に投影し、染料雲の境界線を目視によって描いているので、境界線上の染料濃度を一定値に保つことが難しく、正確な面積を求めることができない¹⁾。さらに、流れの方向が変化する場合や、流れの中に抵抗物を入れた場合、各方向の拡散係数をそれぞれ求める必要があり、そのためには、染料雲内の濃度分布を測定し、各点の濃度値をもとにして統計的解析を行わなければならないが、従来の方法では解析に時間と労力がかかるため、短時間に効率よく解析の行える手法の開発が望まれている。

本報告は、上記した従来の方法の欠点を改善し、写真フィルムから短時間に槽内の拡散状況を定量的に明らかにするため、簡易型の画像処理装置を用いて、染料雲を撮影したカラーリバーサルフィルムの写真濃度の解析を行い、染料雲の面積と各点の濃度値から、拡散に関する統計的諸量を求める手法を導く。次いで、その適用の一例として、矩形水槽において、粗度棒が物質拡散に及ぼす影響度を定量的に明らかにしたので、実験方法及び解析手法、結果について報告する。

2. 実験方法と解析手法

カラーリバーサルフィルムに撮影した染料雲の濃度解析には、Fig. 1に示す簡易画像処理装置³⁾を用いた。画像の入力には、幾何歪の小さいCCD白黒カメラを使用した。画像メモリーは縦横240X256画素、16レベルの階調をもつ。画像処理はマイクロコンピュータ(シャープMZ-80C, NEC PC8801)で行い、大容量のRAMボード(256KB 2枚)を外入出力ポートに接続することによって、最大16枚までのフィルムの濃度解析を同時に効率よく行えるようにした。本装置は、前記したように簡易型であるので、画素数、階調数とも汎用の画像処理

* Government Industrial Research Institute, Chugoku, Hiro 15000, Kure, 737-01 Japan

2. 1. 2 写真濃度から染料濃度への定量化

染料雲の濃度分布を得るためには、写真濃度を染料濃度に置換する必要がある。本実験では、既知の濃度の染料水を入れた容器を水槽横に並べて写真に撮影し、各容器の写真濃度を読取って校正曲線を作った。Fig. 5にその一例を示す。換算精度を向上させるため、写真ごとに染料雲の最大濃度を15レベルに、染料のないところを0レベルに合わせて濃度の変換を行った。

2. 2 濃度の解析手法

前節に示した手法により染料雲の濃度分布が得られることがわかった。この濃度分布から染料の拡散状況を定量的に評価するためには、各点の濃度値から次に示す統計的諸量を計算しなければならない。いま、Fig. 2において、流れ方向にX軸、これと直角方向にY軸をとり時間tにおける各点の濃度値を $C(x, y, t)$ とすると、

$$\text{染料の総量 } M_0 \text{ は } M_0(y, t) = \int_{-\infty}^{\infty} C(x, y, t) dx = \sum_i C_i \quad (1)$$

$$\text{染料雲の重心 } \mu_{1x}(y, t) \text{ は } \mu_{1x}(y, t) = 1/M_0(y, t) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x C(x, y, t) dx = 1/M_0 \sum_i x_i C_i \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{染料雲の分散値 } \sigma_{x^2}(y, t) \text{ は } \sigma_{x^2}(y, t) &= 1/M_0(y, t) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_{1x})^2 C(x, y, t) dx \\ &= 1/M_0 \sum_i (x_i - \mu_{1x})^2 C_i \end{aligned} \quad (3)$$

であたえられ、x, y 軸方向の拡散係数は次式から求められる。

$$K_x = d\sigma_{x^2}/2dt \quad K_y = d\sigma_{y^2}/2dt \quad (4)$$

プログラムはBASIC言語を用いて作成し、画像データの転送、処理は機械語とBASICコンパイラを用いて行い処理時間の短縮を図った。⁵⁾(LIST参照)

3. 解析結果

流れの中に抵抗体を入れると流れが乱され拡散が促進する。よって水理実験では粗度棒と呼ばれる抵抗体がよく用いられる。しかし、粗度棒が拡散に及ぼす影響度は定量的に示されていない。ここではFig. 2に示す粗度棒の配置の場合について実験検討する。粗度棒は直径2cm高さ10cmの塩ビパイプである。また水槽内には周期60秒最大流速14cm/sの往復流を発生している。染料投入後の染料雲の拡りをFig. 6に示し、60秒と120秒の濃度分布図から計算した値をTable. 1に示す。同表から、粗度棒を設置した場合、流れ方向の拡散は

Fig.6 Distribution of photographic density using a simple image processor.

設置しない場合に比べ約1/3に抑制されるが、流れに直角方向の拡散は、約5倍促進されることがわかった。

4. 結 言

各種槽内における物質の流動拡散現象を調べるため、簡易画像処理装置を用いて染料の拡がり撮影したフィルムから染料濃度を求め、拡散に関する統計的諸量を計算する手法を導いた。解析の精度の向上を図るため、画像入力時に半透明シートと分光フィルターを用いる照度むら補正法と写真濃度から染料濃度の定量化法を提案した。上記手法にもとづいて、往復流中において点源拡散実験を行い、粗度棒の拡散に及ぼす効果を定量的に示した。

5. 参考文献

- 1) 湯浅一郎、早川典生：中国工試所報, No. 10, p. 19 (1980)
- 2) 上嶋英機、早川典生他：中国工試所報, No. 14, p. 49 (1981)
- 3) 岡田三郎、住本哲宏、今出政明：中国工試所報, No. 20, p. 41 (1983)
- 4) 今出政明、岡田三郎、住本哲宏：中国工試所報, No. 23, p. 23 (1984)
- 5) 森本吉春：画像処理 (培風館) p. 114 (1984)

	without r/o	with r/o
σ_x 60s	1265	621
(cm^2) 120s	2955	1159
K_x (cm^2/s)	14.1	4.5
σ_y 60s	60	147
(cm^2) 120s	101	335
K_y (cm^2/s)	0.34	1.6

Table.1 Analytical results of σ and K .

```

100 PRINT CHR$(22)
110 CLEAR &HAB00
120 POKE &HAB02,0:POKE &HAB03,64
130 CLS:PRINT:PRINT
140 PRINT "(1) DISK-- IMAGE MEMORY = 1"
150 PRINT "(1) ETRAM--IMAGE MEMORY = 0"
155 INPUT A1
160 IF A1=0 GOTO 540
170 IF A1=1 GOTO 190
180 GOTO 130
190 PRINT "IMAGE DATA SAVE TO DISK =1"
200 PRINT "IMAGE DATA LOAD FROM DISK =0"
205 INPUT A
210 IF A=0 GOTO 410
220 IF A<>1 GOTO 190
230 RESTORE 270
240 FOR I=0 TO 27
250 READ A1:POKE 43792!+I,A
260 NEXT I
270 DATA 17,0,176,42,0,171,14,172,237,105
280 DATA 12,237,97,12,237,120,35,18,19,122
290 DATA 254,208,40,3,195,22,171,201
300 PRINT "DISK HI DATA 0 SHIMAU"
310 INPUT "FILE NAME "B$":I=1
315 B$="1:"&B$&B$+"1"
320 POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,64
325 CALL 43792!
330 SAVE A$, &HAB00, &HAB01, &B$+"2"
340 POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,96:CALL 43792!
350 SAVE A$, &HAB00, &HAB01, &B$+"3"
360 POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,128:CALL 43792!
370 SAVE A$, &HAB00, &HAB01, &B$+"4"
380 POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,160:CALL 43792!
390 SAVE A$, &HAB00, &HAB01, &B$+"5"
400 GOTO 130
410 PRINT "DISK KARA DATA 0 YOMIKOMU"
420 RESTORE 460
430 FOR I=0 TO 27
440 READ A1:POKE 43792!+I,A
450 NEXT I
455 FILES "1:
460 DATA 17,0,176,42,0,171,14,172,237,105
470 DATA 12,237,97,12,26,237,121,35,19,122
480 DATA 254,208,40,3,195,22,171,201
485 INPUT "FILE NAME "B$":I=1:"&B$&B$+"1"
490 LOADM A$, &HAB00,0:POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,64
495 CALL 43792!&B$&B$+"2"
500 LOADM A$, &HAB00,0:POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,96
505 CALL 43792!&B$&B$+"3"
510 LOADM A$, &HAB00,0:POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,128
515 CALL 43792!&B$&B$+"4"

```

```

520 LOADM A$, &HAB00,0:POKE &HAB00,0:POKE &HAB01,160
525 CALL 43792!
530 GOTO 130
540 PRINT:PRINT:PRINT
550 PRINT "IMAGE DATA SAVE TO ETRAM =1"
560 PRINT "IMAGE DATA LOAD FROM ETRAM =0"
565 INPUT A
570 IF A=1 GOTO 600
580 IF A=0 GOTO 800
590 GOTO 550
600 PRINT "IMAGE DATA SAVE TO ERAM"
610 PRINT
620 PRINT "ERAM NUMBER 1--16":INPUT B
630 IF B>16 GOTO 620
640 RESTORE 680
650 FOR I=0 TO 43
660 READ A1:POKE 43792!+I,A
670 NEXT I
680 DATA 237,91,4,171,33,0,64,14,172,237
690 DATA 105,12,237,97,12,237,64,35,14,232
700 DATA 237,89,12,237,81,12,58,6,171,237
710 DATA 121,12,237,65,19,124,254,192,40,3
720 DATA 195,23,171,201
730 IF B<9 GOTO 750
740 POKE 43811!,236:B=B-8
750 B1=INT((B-1)/2):POKE &HAB06,B1
760 IF B-2=INT(B/2)=0 THEN B2=128 ELSE B2=0
770 POKE &HAB04,0:POKE &HAB05,B2
780 CALL 43792!
790 GOTO 130
800 PRINT "IMAGE DATA LOAD FROM ERAM"
810 PRINT "ERAM FLAME = 1--16":INPUT B
815 IF B>16 GOTO 810
820 RESTORE 860
830 FOR I=0 TO 43
840 READ A1:POKE 43792!+I,A
850 NEXT I
860 DATA 237,91,4,171,33,0,64,14,232,237
870 DATA 89,12,237,81,12,58,6,171,237,121
880 DATA 12,237,64,19,14,172,237,105,12,237
890 DATA 97,12,237,65,35,124,254,192,40,3
900 DATA 195,23,171,201
910 REM DATA LOAD
920 IF B<9 GOTO 940
930 POKE 43800!,236:B=B-8
940 B1=INT((B-1)/2):POKE &HAB06,B1
950 IF B-2=INT(B/2)=0 THEN B2=128 ELSE B2=0
960 POKE &HAB04,0:POKE &HAB05,B2
970 CALL 43792!
980 GOTO 130

```