

# P T V 法による全断面魚道の水理特性の検討

## STUDY ON THE HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF THE WHOLE SECTION TYPE FISHWAY BY USING THE PARTICLE TRACKING VELOCIMETRY

前野詩朗<sup>1</sup>・名合宏之<sup>2</sup>・野村修治<sup>3</sup>  
Shiro MAENO, Hiroshi NAGO, Syuji NOMURA

<sup>1</sup>正会員 工博 岡山大学講師 環境理工学部環境デザイン工学科 (〒700 岡山市津島中2-1-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 岡山大学教授 環境理工学部環境デザイン工学科 (〒700 岡山市津島中2-1-1)

<sup>3</sup>ランデス株式会社 製品企画開発部 (〒719-31 真庭郡落合町開田630-1)

In this paper, basic hydraulic characteristics of the whole section fishway composed of some concrete blocks with artificial ruggedness on its surface have been investigated experimentally. Because of the complexity of the flow characteristics over uneven fishway, it is very difficult to use the common velocity measuring instruments such as a pitot tube or a propeller. In this study, we adopted the Particle Tracking Velocimetry (PTV) method to obtain the instantaneous velocity components at many points. It is quite difficult to identify the polystyrene beads used as tracking particles because the image taken by high speed camera had a noticeable contrast between light and shade parts. The technique of the best image processing method is proposed to improve the contrast of the image. In conclusion, the proposed image processing method is applicable for such experiment, and the basic hydraulic characteristics of several types of the whole section fishway are clarified.

**Key Words :** whole section fishway, PTV(Particle Tracking Velocimetry),  
image processing, concrete block, artificial ruggedness

### 1. はじめに

近年、河川を横断する堰やダム等の人工の構造物により魚類の遡上が阻害され、河川の生態系に影響を与えていることが大きな環境問題となっている。このような状況下で、魚類の遡上路として様々なタイプの魚道が設置されている。これらの魚道の殆どは、河川の一部に魚類のための水路を設けたものであり、魚類はその部分からのみ遡上することが可能である。このような水路タイプの魚道の場合、障害物周辺で魚類が迷ってしまうことがあり、魚類を魚道設置位置まで誘導するための何らかの方策が必要とされる<sup>1),2)</sup>。このため魚類を誘導するための呼び水水路を設けたり、水を魚道入口付近に落下させ、落下音を利用して魚を誘導するなどの方法が実施されているが、全ての遡上魚が迷わないようにすることはできないと考えられる。この他にも、水路式の魚道の場合、渇水期の流量不足、また、河床低下により入口に段差ができたり、逆に堆積により入口が埋没する等の問題があり、堰などの人工工作物が多く存在する河川では累積効果により魚種の減少につながる可能性がある。

このような水路式魚道の有する問題点を考慮すると、自然河川が有する早瀬の状態に近いような魚道を設置することが最も望ましいと考えられる。すなわち、早瀬には流量の大小に拘わらず様々な水深・流速場が混在する。したがって、魚類が早瀬を遡上する際には、自分の遊泳力にあった部分を巧みに選んで遡上することが可能であり、また、魚類が迷うようなこともないと考えられる。

以上のようなことを考慮して、全断面で遡上可能な魚道として粗石付き斜路<sup>1),2)</sup>やコンクリートブロックによる緩傾斜落差工タイプ<sup>3)</sup>の魚道が提案されている。本研究は、より自然の早瀬の形状に近い魚道を提案することを目的として、自然の玉石形状に近い適度な凹凸を持ったコンクリートブロックを組み合わせることによりできる全断面魚道の基礎的な水理特性を検討するものである。水理特性を検討する際には魚道の流速分布を知る必要があるが、本研究では、流速場のトレーサー粒子をビデオ画像解析により追跡することにより、一度に多くの点で流速測定可能な PTV(Particle Tracking Velocimetry) 法を採用した。その際、高速度カメラで撮影された画像には水表面の乱反射や魚道の凹凸による明暗が多

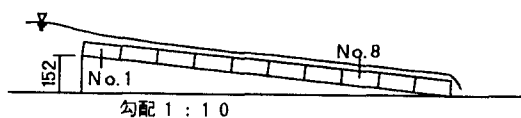


図-1 実験装置

表-1 実験条件

| Case | ブロック | 流量 ( $\ell/s$ ) |
|------|------|-----------------|
| 1-1  | A    | 0.19            |
| 1-2  |      | 0.40            |
| 1-3  |      | 0.59            |
| 2-1  | B    | 0.20            |
| 2-2  |      | 0.40            |
| 2-3  |      | 0.60            |
| 3-1  | C    | 0.20            |
| 3-2  |      | 0.41            |
| 3-3  |      | 0.60            |
| 4-1  | D    | 0.20            |
| 4-2  |      | 0.40            |
| 4-3  |      | 0.61            |
| 5-1  | 合板   | 0.20            |
| 5-2  |      | 0.40            |
| 5-3  |      | 0.60            |

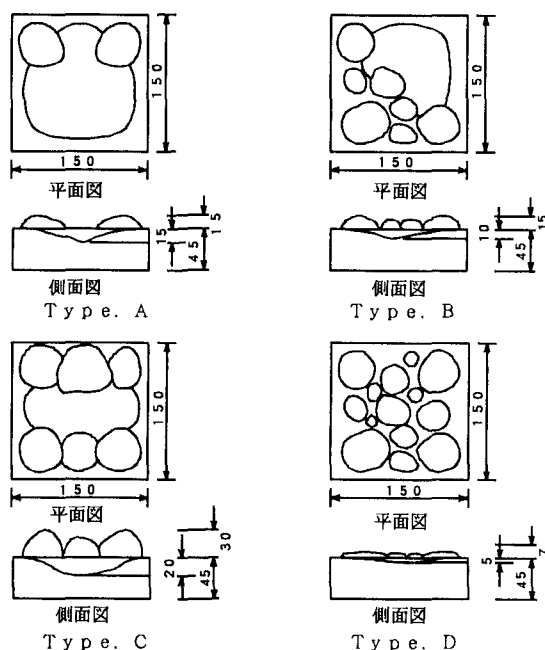


図-2 ブロックの形状 (単位:mm)

くあったため、その画像処理方法についても新たな提案を行った。

## 2. 実験方法および解析方法

### (1) 実験装置および実験条件

実験は、長さ 16.0m、幅 0.6m の水路の上流端から 9.0m の位置に図-1 に示すような勾配 1/10 の傾斜面を設置し、その上に 15cm 角のモルタル製のブロック（実物の 1/10 縮尺模型を想定）を縦一列に 10 個並べた。ブロックは図-2 に示す 4 種類の形状のブロックを用いた。これらの 4 種類のブロックは目的別に以下のように分類される。TypeA は上流側に大きな二つの突起を有し中央に凹部がある。このブロックは中央に流れの速い部分を形成する役割を果たす。TypeB はブロックを斜めに分断するように大小の突起部を設けており、流れを斜めの方向に変える役割を果たす。TypeC はブロックの上下流端に大きな突起を設けるとともに中央部の凹みも大きくして、プールの役割を果たす。TypeD はブロック全体に大小の突起を多く設け流れの多様性を形成する役割を果たす。本研究では、それぞれのブロックの持つ基本的な水理特性を検討する目的から、それぞれのブロックを縦一列に並べて実験を行った。

表-1 は実験条件を示している。Case1, 2, 3 および 4 はそれぞれ TypeA, B, C および D のブロックを用いた場合である。また、Case5 は、比較のために平坦な板を敷いた場合である。それぞれのケースについて流量を 0.2  $\ell/s$ 、0.4  $\ell/s$ 、0.6  $\ell/s$  の 3 段階に変化させて実験を行った。これらの流量は、平成 2 年の小田川（岡山県小田郡矢掛町矢掛）の流量年報よりフルードの相似により算出したものであり、それぞれ、低水、平水、豊水流量にほぼ対応している。

魚道の水理特性を検討するため、図-1 に示す No.1 および No.8 のブロックで流速分布および水深を、その他のブロックについては中央部の水深を計測した。ただし、計測ポイントが突起部分に当たる場合には、その付近の凹部で計測を行った。流速分布の計測は、ブロック自体にかなりの凹凸があり、しかも水深が小さく非常に乱れた流れであったため、水理実験の際に通常用いられるピトー管やプロベラ式流速計等を用いて多点で計測することが困難であった。そこで本研究では、ビデオ画像解析により、一度に多点で流速計測可能な方法を適用することにした。画像解析法には大きく分けて二つあり、画像中のトレーサー粒子を個別に追跡することにより速度場を得る PTV 法と、画像の濃淡を利用し、濃度相関をとることにより速度場を得る PIV(Particle Image Velocimetry)法とがある。本研究で対象とした魚道ブロックの表面にはかなりの凹凸があり、流れは非常に乱れた状況であった。また、撮影された画像には照明による自由表面の乱反射等もかなり含まれた状況であったため後者の PIV 法を適用することは困難であると判断された。そこで本研究では、前者の PTV 法を適用することにした。

トレーサー粒子としては、赤坂ら<sup>4)</sup>の研究を参考にして直径 2mm の発泡スチロールビーズを用いた。高速度ビデオカメラを用い 1 コマ 1/240 秒、シャッター速度 1/1000 秒で撮影した。発泡スチロールビーズは白色であったため照明による水面の乱反射と見分けがつかなくなりトレーサーとしての役割を果たさなかったため、検討した結果、魚道ブロックを白く、逆に発泡スチロールビーズを黒く着色することにより殆どのトレーサーを含んだ画像が得られることが分かった。

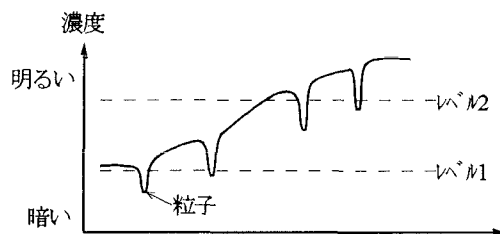


図-3 濃淡レベルの変動の大きい画像

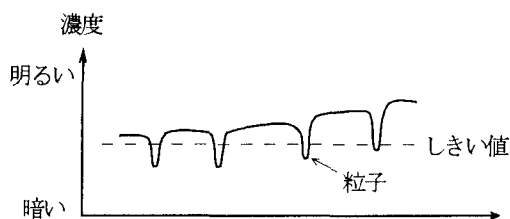


図-4 濃淡レベルの変動の小さい画像

## (2) 画像処理法

トレーサー粒子の色や照明方法等をかなり工夫して撮影したにもかかわらず、水表面の乱反射や魚道表面の凹凸の影響により得られた画像にはかなりの濃淡レベルの変動が含まれていた。図-3 は実験により得られた濃淡レベルの変動が存在する画像を模式化したものである。この図に示すように、レベル1で2値化すると明るい部分のトレーサー粒子を抽出できず、逆にレベル2で2値化すると暗い部分の粒子を抽出できなくなる<sup>9)</sup>。したがって、画像中の粒子を抽出するには、得られた画像を処理して図-4に示すように濃淡レベルの変動の少ない画像にする必要がある。実験により得られた画像に対して平滑化フィルタやガンマ補正などの処理を施したが濃淡レベルの変動が大きく図-4に示すようには画像中の粒子を抽出できなかった。そこで、動的しきい値処理により画像の濃淡のレベル変動を小さくすることにした。動的しきい値処理の方法としては、移動平均法（ある画素の濃淡レベルと近傍の  $n \times n$  画素の平均値との比較によって、考えている画素の濃淡レベルを決定する方法）や部分画像分割法（全画面を複数の部分画像に分割し、それぞれで最適しきい値を自動決定し、それらをなだらかにつないだ「しきい面」によって画像の濃淡レベルを決定する方法）などがある<sup>9)</sup>が、本研究では、試行錯誤の結果、以下のような移動平均法を改良した方法が最適であることが分かった。以下に、本研究で採用した移動平均法を改良した方法について述べる。

図-5に示すように考えている画素を中心とした  $n \times n$  画素のうち、中心部分  $m \times m$  画素を除いた周辺部（斜線部）の濃淡レベルの平均値をとり、中心画素の濃度値からその平均値を差し引いた値をある基準濃度に加えることにより中心画素の濃度値を設定する方法を採用した。 $n \times n$  画素全部の平均値をとるよりも、この方法の方が粒子中心部分の濃度値の平均化を避けることができ、図-4に示すような良

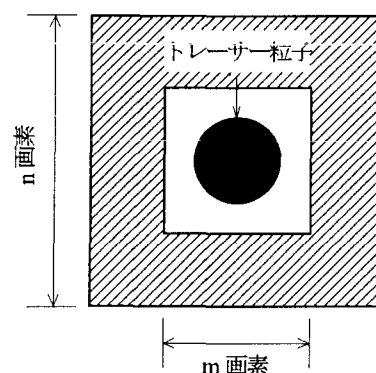


図-5 動的処理の方法

好な平均化が可能となった。試行錯誤の結果、 $m$  の値は画像上の粒子の直径（画素数）よりやや大きくとり、 $n$  の値は  $m+10$  程度が最適であることが分かった。撮影された画像中の平均的な粒子の直径は6画素程度であったため、本研究では  $n=21$ ,  $m=11$  を採用した。また、基準濃度の値は200（白黒画像の濃度を256階調で表し、0が黒、255が白としている）とした。このようにして得られた画像をしきい値140程度（実験条件により異なる）で2値化することにより殆どの粒子の重心位置を認識できるようになり、この方法が濃淡レベルの変動の大きい画像に対して極めて有効であることが分かった。

## (3) 粒子の追跡方法

PTV法では異なる時刻に撮影された同一粒子の重心位置を追跡する必要がある。PTVのための様々な手法が各研究者により提案されているが、本研究では、連続した4時刻の粒子をトレースし、誤追跡が少ないことを示している棚津ら<sup>9)</sup>が提案した方法を参考にしてトレーサー粒子を追跡することにした。これは、図-6に示すように1時刻目の粒子  $P_1$  から予測円  $r_{12,min}$  と  $r_{12,max}$  内の2時刻目の粒子  $P_2$  を選び、 $P_1$  と  $P_2$  の延長線上に  $P_1$  と  $P_2$  の距離に等しい予測点  $C_3$  を考え、 $C_3$  を中心として予測円  $r_{23}$  の円内でしかも線分  $P_2C_3$  とのなす角度が  $\theta_{23}$  以内の粒子を選び、同様に4番目の粒子を選ぶものである。

本研究で対象とした全断面魚道の流れは非常に乱れた状況であったため、迷走する粒子もかなり存在した。また、移動しない粒子もあったため  $P_2$  を選ぶ際の  $r_{12,min}$  を本研究では0とした。さらに、棚津らが粒子の予測範囲を決める際に用いた予測角度を用いると、同一粒子であっても追跡できなくなる粒子が多く出てきた。そこで、本研究では、図-7に示すように予測角度を用いなくて予測半径のみにより粒子を抽出することにした。ただし、予測半径としては、本研究では、様々なケースに対して最も最適であった、 $r_{23}$  として線分  $P_1P_2$  の長さの  $2/3$  を、また、 $r_{34}$  として線分  $P_2P_3$  の  $2/3$  の長さを設定した。しかし、この条件のみでは線分  $P_1P_2$  や線分  $P_2P_3$  の長さが極端に短い場合には予測半径内に粒子が入らなくなる可能性が多くなり粒子を追跡できなくなる。

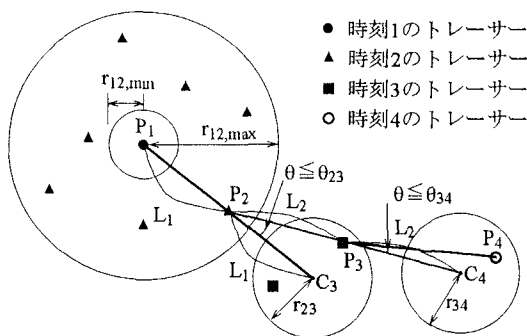
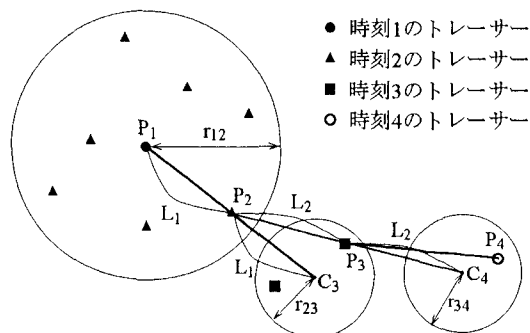


図-6 棚津<sup>6)</sup>らによる粒子追跡アルゴリズム



$r_{23}=(2/3)L_1$ , 但し  $r_{23}<r_{min}$  のとき  $r_{23}=r_{min}$ ,  $r_{23}>r_{max}$  のとき  $r_{23}=r_{max}$   
 $r_{34}=(2/3)L_2$ , 但し  $r_{34}<r_{min}$  のとき  $r_{34}=r_{min}$ ,  $r_{34}>r_{max}$  のとき  $r_{34}=r_{max}$

図-7 本研究で用いた粒子追跡アルゴリズム

逆に、極端に長いと、誤粒子を追跡する可能性が大きくなる。これらのことを考慮して、本研究では、予測半径があらかじめ設定してある最小値  $r_{min}$  を下回る場合は予測半径として  $r_{min}$  を用い、最大値  $r_{max}$  を上回る場合は予測半径として  $r_{max}$  を用いることにした。以上のようなアルゴリズムを経てもなお、同一の点を共有するベクトルが存在する場合には、予想位置  $C_3$  あるいは  $C_4$  と粒子との距離が最小となるベクトルを最適ベクトルとした。結局、粒子の誤追跡は理論上はゼロにはできないが、予備実験の段階では、誤追跡は殆ど無かった。

粒子追跡の際に必要な3つのパラメータ  $r_{12}$ ,  $r_{min}$ ,  $r_{max}$  の値は、誤追跡が最小となるように流量条件・ブロック条件により変えた。本研究では以下のような範囲の値をパラメータ値として用いた。

$r_{12}=3.0\sim 8.0\text{mm}$ ,  $r_{min}=1.0\sim 3.0\text{mm}$ ,  $r_{max}=2.0\sim 5.0\text{mm}$

流速ベクトルは、一つの粒子に対して、4 時刻間の最初と 2 番目、2 番目と 3 番目、3 番目と 4 番目のそれぞれの粒子間距離から 3 つの速度ベクトルを求めた。以上によって求めた流速ベクトルは任意点におけるものであり、格子点での流速ベクトルに補間した。補間方法としては、重み付き平均を用いており、重みとしては補間する格子点との距離の 2 乗の逆数を用いた。本実験においては、1 回粒子を流すことにより、4 時刻の画像を時刻をずらして 2 セット分取り込み、各セットごとに前述の粒子追跡により流速ベクトルを求め、これを 3 回繰り返し、

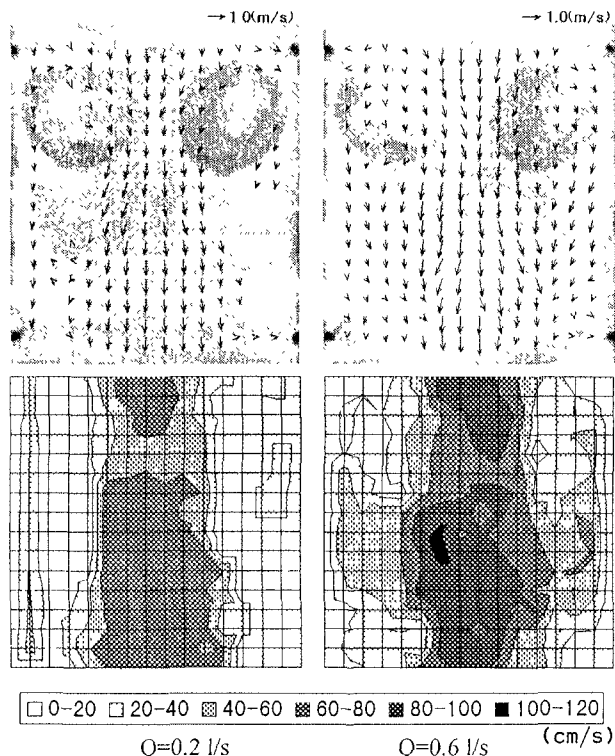


図-8 流速分布および等流速線図 (No. 8)

重ね合わせることににより一つのブロックの流速分布を求めることを標準とした。ただし、実験条件によっては、画面上に存在する粒子数が十分でないこともあったため、その場合には、4 回あるいは 5 回実験を繰り返すことにした。なお、予備実験の段階でプロベラ式流速計が設置可能な点で、画像解析により得られた流速と実測値とを比較した結果、両者の流速はほぼ一致した。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 表面が平坦なときの流況 (Case5)

魚道の特性を検討するために、まず、表面が平坦な場合の結果について検討しておく。表面が平坦な場合、斜面縦断方向について No.1 と No.8 の最大流速を比較すると、Case5-1 では  $67\text{cm/s}$  から  $113\text{cm/s}$ , Case5-1 では  $74\text{cm/s}$  から  $140\text{cm/s}$ , Case5-1 では  $79\text{cm/s}$  から  $160\text{cm/s}$  といずれの場合も No.8 の方が 2 倍程度大きくなった。横断方向の流速分布についてみると、No.1 では、ほぼ一様であるが、No.8 では中央部の流速が両岸部の流速よりも大きくなった。水深は、No.1 については Case5-1 で  $0.37\text{cm}$ 、Case5-2 で  $0.59\text{cm}$ 、Case5-3 で  $0.75\text{cm}$  であるが、下流に向かうにしたがい徐々に水深が小さくなり、No.5 程度まで流下したあたりでほぼ一定となり、No.5～No.10 の平均水深は Case5-1 では  $0.25\text{cm}$ 、Case5-2 では  $0.30\text{cm}$ 、Case5-3 では  $0.40\text{cm}$  であった。

#### (2) タイプ A のブロックの流況 (Case1)

図-8 はタイプ A のブロックについて、流量が

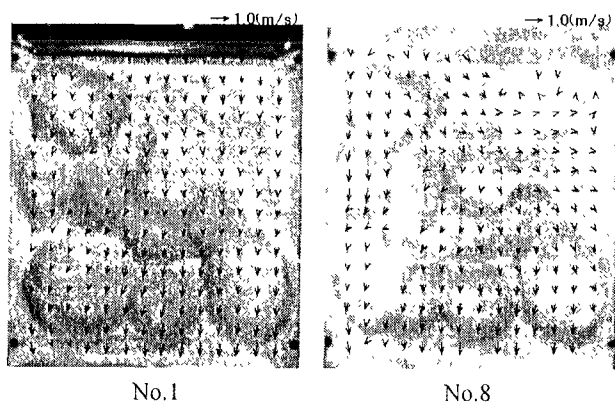


図-9 流速分布( $Q=0.6 \ell/s$ )

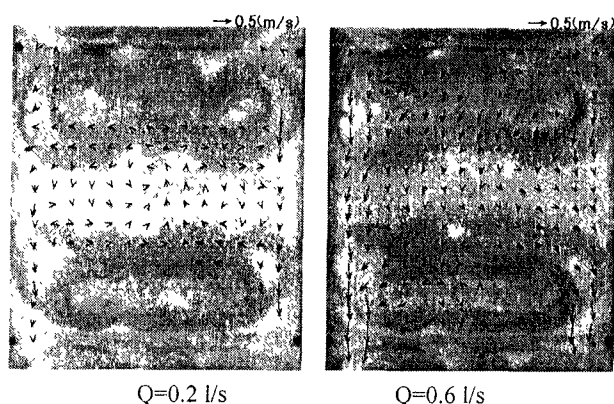


図-10 流速分布(ブロック No. 8)

$0.2 \ell/s$  と  $0.6 \ell/s$  の場合のブロック No.8 における流速分布を示している。まず、流量が  $0.2 \ell/s$  の場合、ブロック中央部における流速は  $60 \sim 80 \text{ cm/s}$  程度となっているが、二つの突起の下流部には水の流れない部分もある。水深の小さい部分および側壁部では  $40 \text{ cm/s}$  以下の比較的小さい流速範囲が存在している。このとき中央部の水深は  $1 \text{ cm}$  程度であった。つぎに流量が  $0.6 \ell/s$  の場合、中央部では  $80 \sim 100 \text{ cm/s}$  程度の流速が現れているが、左右両岸付近では  $40 \text{ cm/s}$  以下の部分も見られる。このとき中央部の水深は  $1.5 \text{ cm}$  程度となっている。また、図には掲載していないが No.1 と No.8 の比較では、平坦な場合と同様に No.8 の方が中央部の流速が大きくなった。以上のことより、タイプ A のブロックを用いることで、流量の大小にかかわらず様々な流速が現れ、魚はそれぞれの遊泳力に適した経路を選ぶことができると思われる。しかし、流速の面から見ると中央部の流速は流量が多いときには実物換算の最大流速が  $220 \text{ cm/s}$  程度あり、遊泳力の小さい魚種の遊泳には適さないようであり、逆に水深の面から見ると流量が  $0.2 \ell/s$  の場合、中央水深が実物換算で  $10 \text{ cm}$  程度しかなく、大きな魚種の遊泳には適さないものと考えられる。

### (3) タイプ B のブロックの流況 (Case2)

図-9 はタイプ B のブロックについて、流量が  $0.6$

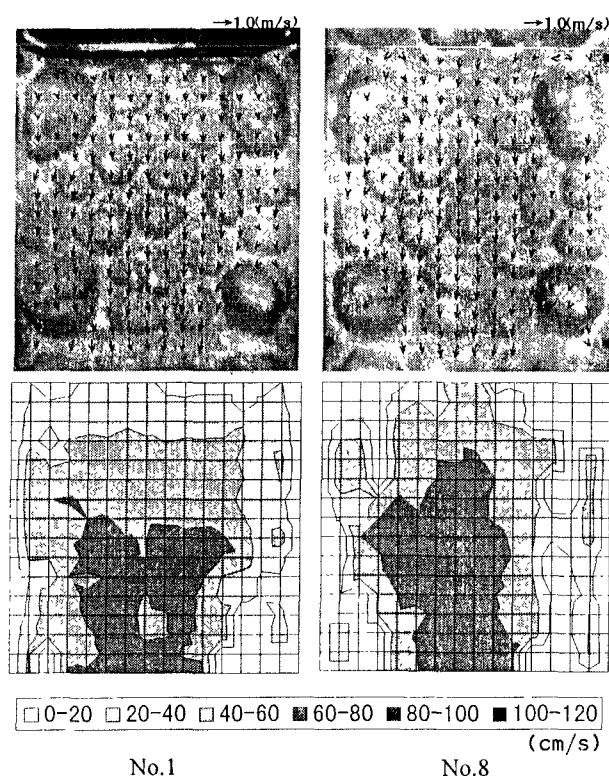


図-11 流速分布および等流速線図( $Q=0.6 \ell/s$ )

$\ell/s$  の場合のブロック No.1 と No.8 での流速分布を示している。まず、No.1 では、ほぼ一様に下流に向かって流れていることが分かる。しかし、No.8 では右岸上流部から左岸下流部へ向かう斜めの流れも見られる。また、左岸側上流部において渦が見られ、その部分の流速は  $20 \text{ cm/s}$  以下である。この部分にたまった流れは主に左岸側壁部および大小の突起の合間を縫うように流下する。No.1 では突起の部分も横断方向全体ではほぼ一様に流下するが、No.8 の場合には主に突起の合間を流下する。いずれの場合も最大流速は  $60 \text{ cm/s}$  程度以下である。これらの流況の示す傾向は流量が小さい場合もほぼ同様であった。中央部の水深は、No.1, No.8 ともに  $3 \text{ cm}$  程度ある。以上のことより、タイプ B のブロックを用いることにより、水深が大きく流れの弱い静穏域を作ることができ、この部分は、遡上途中の魚の休息場所になると思われる。なお、今回の実験は 1 列で行ったため、ブロック左岸側にある側壁の影響が強くなり循環流が生じたと考えられ、側壁が無い場合には、これとは違った流況が現れる可能性がある。

### (4) タイプ C のブロックの流況 (Case3)

図-10 はタイプ C のブロックについて、流量が  $0.2 \ell/s$  と  $0.6 \ell/s$  の場合のブロック No.8 における流速分布を示している。両流量ともに、左右両端では下流方向に向かう流速が生じているが、中央部では流速はほとんど生じておらず弱い渦が見られる。また、中央部の平均水深は  $0.2 \ell/s$  では  $3.2 \text{ cm}$ 、 $0.6 \ell/s$  では  $4.9 \text{ cm}$  にもなっている。流量による違いを見る

表-2 各ブロックの等価粗度係数 (Manning)

| 流量 $l/s$ | ブロックA | ブロックB | ブロックC | ブロックD | 平坦    |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.2      | 0.108 | 0.354 | 0.602 | 0.073 | 0.010 |
| 0.4      | 0.085 | 0.229 | 0.466 | 0.057 | 0.007 |
| 0.6      | 0.064 | 0.179 | 0.373 | 0.059 | 0.008 |
| 平均       | 0.086 | 0.254 | 0.480 | 0.063 | 0.008 |

と、流量が少ない場合には No.1 と No.8 の流況はほぼ同じであったが、流量が多い  $0.6 l/s$  の場合には、No.1 のブロックの中央部分の突起からも流下し始めたため、その部分での流況が No.1 と No.8 とでやや異なった。以上のことより、タイプ C のブロックを用いることによって、ブロック中央部に実物換算で  $30 \sim 50 \text{cm}$  の深い静穏域を作り出すことができ、この部分は、実河川においても遡上途中の魚の休息場所になるものと考えられる。

#### (5) タイプ D のブロックの流況 (Case4)

図-11 はタイプ D のブロックについて、流量が  $0.6 l/s$  の場合のブロック No.1 と No.8 での流速分布を示している。このブロックでは、No.1, No.8 とともに左右両岸付近では  $40 \text{cm/s}$  以下、中央部では  $60 \sim 80 \text{cm/s}$  の流速が見られる。また、No.1 と No.8 を比べたとき、No.8 の方が中央付近の流速がやや大きくなるものの流速分布はあまり変化が見られない。ブロック中央部の水深はともに  $1.4 \text{cm}$  程度であった。これらの流速分布の傾向は他の小さな流量においてもほぼ同様であった。表面が平坦な場合の同一流量条件の場合の最大流速が No.1 では  $79 \text{cm/s}$ 、No.8 では  $160 \text{cm/s}$  と 2 倍近くにもなり、しかも水深は No.1 で  $0.7 \text{cm}$ 、No.8 で  $0.4 \text{cm}$  と非常に小さかったことを考慮すると、タイプ D のブロックを用いることによって、流速をかなり低減する効果が期待できることがわかる。

#### (6) 各ブロックの粗度係数の検討

これまで、各ブロックの形状による流況を検討し、それぞれのブロックが有する特徴を明らかにしてきた。今後、これらのブロックを組み合わせる全断面魚道を設計する必要があるが、その際、各ブロックの粗度係数がどの程度であるかを知っておく必要がある。表-2 は、本実験で得られた No.5～No.9 のブロック中央部の平均水深の等流状態を仮定して等価な Manning の粗度係数を算出したものである。この表より、平坦な斜面に比べて本研究で対象とした魚道ブロックの粗度は 1 オーダーから 2 オーダー程度とかなり大きくなり、ブロック D, A, B, C の順で大きくなることが分かった。

### 3. 結 論

本研究により得られた主要な結論は以下のようである。

(1) 表面にかなりの凹凸がある場合の全断面魚道の画像処理による流速計測法の検討を行い、画像処理法並びに粒子追跡法を新たに提案しその有効性を示した。

(2) 形状の異なる 4 種類のブロックを用いた実験を行い、それぞれのブロックの水理特性について以下のような点を明らかにした。

a) タイプ A のブロックを用いることによって、流量の大小にかかわらず様々な流速が現れ、魚はそれぞれの遊泳力に適した流速を選び遡上可能であると判断される。

b) タイプ B は、流れの向きを斜めに変えることができ、しかも、流れの緩やかな場所が確保される。

c) タイプ C は、ブロック中央部にかなり大きなプールが形成され、魚類が休息するのに好都合である。

d) 流れの場全体に大小の突起を配置したタイプ D には、流れ場全体の流速を抑制する効果がある。

本研究では、全断面魚道の水理特性を明らかにするための第一歩として、提案した 4 つの形状のブロックの水理特性をそれぞれ明らかにした。今後は、流れの乱れの特性やブロックの組み合わせによる効果を検討し、魚類にとって遡上しやすい魚道を提案していく予定である。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、水理実験並びに資料整理に協力された松尾斉史氏（現：三井共同建設コンサルタント）、佐藤昌治君（大学院生）並びに岡山大学技官の里本公明氏に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 廣瀬利雄, 中村中六: 魚道の設計, 山海堂, 1993.
- 2) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六: 河川生態環境工学, 東京大学出版会, 1993.
- 3) 濱谷武治, 増田広利: 全断面魚道床止め工法について, 土木学会第46回中国支部年講, pp.164-165, 1994.
- 4) 赤坂祥孝, 河野茂樹, 柿沼忠男: 全断面魚道の流況に関する実験的研究, 土木学会第50回年講, pp.258-259, 1995.
- 5) 高木幹雄, 下田陽久: 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 1995.
- 6) 瀬津家久, 阿部 崇, 志村拓也, 中山忠暢: PTV法による複断面開水路流れの時空間相関解析, 土木学会論文集, No.539, II-35, pp.89-98, 1996.

(1997. 9. 30受付)