

数値計算による人工魚巢の水理特性

黒川, 昇平
九州大学農学部生物資源環境学科生物資源生産科学コース生産環境情報学研究室

<https://hdl.handle.net/2324/1498279>

出版情報 : Kyushu University, 2002, 学士, 学士
バージョン :
権利関係 :

卒業論文

数値計算による人工魚巢の水理特性

九州大学 農学部 生物資源環境学科 生物資源生産科学コース

生産環境情報学研究室

黒川 昇平

2003年3月

目次

第 1 章	序論	1			
第 2 章	人工魚巢について				
2	1	人工魚巢施工の現状	2		
2	2	形状の特徴	3		
2	3	人工魚巢の水理学特性に関する既往の研究	4		
第 3 章	基礎方程式と解析方法				
3	1	基礎方程式	6		
3	2	基礎方程式の離散化	7		
3	3	計算条件			
	3	3	1	初期条件	9
	3	3	2	境界条件	
第 4 章	数値モデルの妥当性				
4	1	水路横断面での x 方向方向の時間平均流速分布による検証	10		
4	2	y 方向の流速変動による検証			
第 5 章	主流部および人工魚巢の水理特性				
5	1	水面変動	13		
5	2	流速変動スペクトル			
5	3	流速ベクトル	14		
5	4	流速分布の比較	23		
第 6 章	結論	26			
	参考文献	27			
	謝辞	28			

第1章 序論

これまでの河川および水路整備は、経済的・効率的な一定の水準が確保できるような、人工構造物を基調とした画一的施設整備が進められてきた。したがって、過去の河川および水路改修には、当時の時代を反映した功罪がみられる。当時主流であったコンクリート三面張りの単一的な河川改修は、洪水時の外力に対しては抵抗力が大きいですが、そのことによって河川の周辺にみられる多様な自然環境を損なわせ、歪んだ生態系を創出させ、単に水が流れるだけの水路へと川を変えてきた。治水・利水に重きを置かざるを得なかった結果、川の姿は大きく変化し本来の美しさや機能を奪う結果となってしまった。

しかし、最近では質の高い、自然機能を十分に活用した「水と緑の空間」の確保等、人々の生活に密着したやすらぎと潤いのある施設整備の時代へと移行している。このように近年、自然環境に対する関心が高まってきているが、その中でも河川を含めた水環境というものには特に関心が集まってきている。

この整備事業や河川改修に伴い、水路は機能を優先して開発されてきたが、多自然型水路が推進されるようになり、その一環として、魚にやさし、安らぎのある水路づくりに対する要望が高まってきた。そこで本来の整備目的を逸脱しないように、両方の機能を兼ね備えた「魚巣ブロック」の開発が望まれている。このため、各河川の特성에応じた水辺環境の保全・創出を図るために護覆土による緑化、自然石を利用した河床及び護岸工、多種魚類の生息しやすい魚巣ブロック等の採用など、自然環境や多様な生態系に配慮した多自然型川づくりを推進することが必要である。

このような自然環境に対する高まりの中で、多くの河川および水路にはすでに魚巣ブロックが設置されている。しかしながら、設置された魚巣ブロックが十分に機能しているかという点、必ずしもそうでは無いように思われる。その効果については不明な部分も多く、施工においても手探り状態にあるのが現状である。したがって、魚巣内の水理学特性や、主流と魚巣間の物質交換などを解明することは重要である。

人工魚巣内の流れは、水理学的にはキャピティー流れに類似しており、開水路主流と魚巣の間に形成されるせん断層および組織渦、あるいは魚巣内の循環流を形成するなど複雑な乱流場である。

本研究は、開水路主流と魚巣との境界、すなわち魚巣開口部周辺の流体振動現象について、開水路平面2次元流の基礎式を用いて、数値計算により検討したものである。

第2章 人工魚巢について

2 - 1 人工魚巢施工の現状

ここで、今回の実験の対象としている人工魚巢についての説明を行いたい。人工魚巢（魚巢ブロック）とは、魚や多様な生物が住めるように中を空洞化したブロックのことである。コンクリート張り一辺倒の河川護岸整備のために、豊かな自然環境を失った反省から、従来の護岸の機能を有しつつ、かつ河川生態系の保全親水護岸となる魚巢ブロックは近年その施工数、規模を増やしつつあり、規模の大きい河川から農業用水路まで、さまざまな場所で見ることができる。これから、実際の施工状態を例にとって見ていきたい。

実際の施工例を写真1, 2に示す。写真1は河川が直進している場所に施工している例で、急勾配で施工している例である。また、写真2のように魚巢の上方には植生ブロックが施工されていることが多く、そこに植物が生息し、河川の自然保護に一役買っているといえる。この2つの河川の全体としての特徴は、すべて規模が小さく人の手による整備が進んでいて変化に乏しい、ということが挙げられる。そういった所において魚巢は多様な生物環境を育める可能性を秘めていると言えよう。

しかし、中には写真3の左岸部のように施工後の魚巢に土砂が堆積し、魚巢が本来の機能を発揮できなくなっている、という事例も見られる。土砂の堆積しやすい場所



写真1 熊本県宮原川の施工例



写真2 魚巢ブロックと植生ブロック

にわざわざ施工している，というのもあるが，魚巢内の環境の解明のみならず，施工時の妥当性の水理学的な検証や，維持管理の方法を検討する必要があるだろう．



写真3 土砂の堆積した例

2 - 2 形状の特徴

実際の魚巢ブロックの形状を写真4，5に示す．このようなブロックを護岸の下に複数個並べることで生物生息に適した環境を作り出している．特定の種類の魚に占領されないよう，ブロックの空洞の形や大きさを変えるなどの工夫もしている．また，植物で覆う護岸などソフトなブロックや籠マットを施工して昆虫などのすむ川辺作りも考えられている．魚巢のタイプによっては，魚巢の中に自然石を入れて魚巢内に多様な間隙を作り出し，さまざまな生物の生息場を確保できるようにしたものもある．魚巢ブロックが有すべき機能として，流水の減勢や内部形状の複雑化による生物生息空間のできる限りの拡大，確保といったものもあるが，基本的機能として生物生息に耐えうる魚巢内外の物質交換というものがある．各ブロックの空孔部は連続して隣ブロックとの物質交換が可能となっているが，河川本流との物質交換の中心となるのはブロック正面の開口部であろうから，これからの実験によって解明していくことの中で最大の関心事となるのは開口部の流れ，ということになるだろう．またその形状などをもとにすると，魚巢内の物質停滞，土砂の堆積といったことも重要な問題となりうるため，魚巢内の循環流の解明も必要となつてこよう．

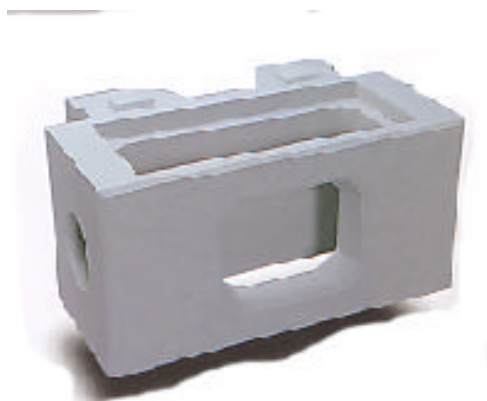


写真4 魚巢ブロック

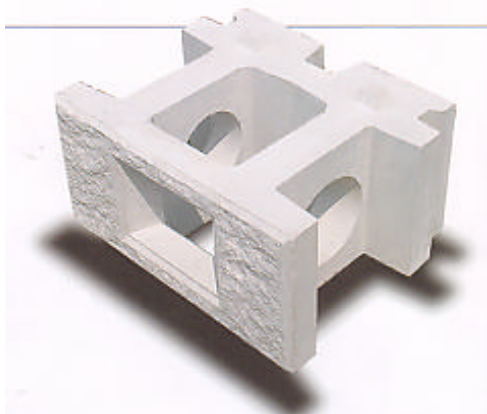


写真5 魚巢ブロック

2 - 3 人工魚巢の水理学特性に関する既往の研究

ここで、人工魚巢の水理学特性に関する既往の研究について考察する。

牧平（2000）は室内水理学実験により、魚巢内の大まかな流れの解明、開口部における物質交換のメカニズムの解明を行った。実験の内容としては流れの可視化により質量交換の速度を、魚巢内の水面変動と開口部の流速の測定と合わせることで、水面変動と剥離渦の相関関係を明らかにした。そして、フルード数が大きくなるほど魚巢開口部における水面変動の乱れ強度、渦のエネルギー、質量交換が増大する（ $Fr = 0.5 \sim 0.6$ がピーク）と報告した。さらに、剥離渦の発生周期が $0.8 \sim 0.9(s)$ との報告もある。

山本（2001）も同様の水理学実験を行い、開口部に形成されるせん断層の乱流構造、魚巢内の水面変動に関する研究を行った。実験で魚巢開口部周辺の詳細な流速変動、水面変動の測定を行っている。その結果、

- (1) 開口部せん断層はフルード数が大きくなるほど魚巢内部に侵入する。
- (2) 主流と魚巢の境界における平均流速は主流部における平均流速の $1/2$ 程度である。
- (3) 主流と魚巢との流体交換はフルード数の大きさに依存する。
- (4) フルード数の増加、流下距離の増加と共に乱れ強度が増幅される。
- (5) $Fr > 0.5$ では、主流と魚巢の境界面近傍における流速変動の卓越周期と魚巢内の水面変動の卓越周期はほぼ一致する。このことは剪断不安定による変動がセイシュと共鳴したことによる。
- (6) 魚巢内の水面変動はフルード数に依存し、 $Fr > 0.4$ ではセイシュの基本モード周期を持つ振動であり、 $Fr > 0.7$ ではモード2の振動がみられた。

ただし、(6)について、ワンドのような死水域の流れ実験では水面変動の周期がセイシュの理論周期の2倍と一致することが報告されているが、この報告とは一致していない。

中島（2002）は、フルード数をパラメータとして流速変動の時系列の測定を行い、河川と人工魚巢の境界に形成される乱流剪断層に発生する渦の特性を検証している。実験は流れの可視化に重点を置いている。その結果、

- (1) フルード数が大きくなるほど人工魚巢開口部周辺に発生する組織渦の渦径は大きくなり発生周期も早くなる。また、流下とともにその渦径は大きくなる。
- (2) 水路壁面近傍の流速は人工魚巢開口部周辺を流下する際に減衰するが、連結されている、次の人工魚巢に差し掛かるまでにその流速は回復されている。

- (3) 主流横断方向のレイノルズ応力は0付近の値を指し、乱れが小さいことを示す。
- (4) 魚巢開口部周辺の剪断層は流下とともにその乱れを増す。

以上のように既往の研究では、フルード数と流速変動や水面振動の特性および相関関係、開口部上流端で発生する剥離渦の発生周期、渦径などが明らかにされており、数値計算モデルの構築やその妥当性の検証に有用であると考えられる。

そこで、本研究では、まずこれらの実験結果を用いて、本研究における開水路2次元流れに基づく数値計算モデルの妥当性の検証を行い、次いでこのモデルを用いて、人工魚巢の水理特性、特に開口部近傍の非定常特性について検討を行った。

第3章 基礎方程式と解析方法

3 - 1 基礎方程式

本研究では，流れの場を開水路平面2次元として取り扱い，圧力に静水圧分布を仮定し，流線の湾曲による2次流を考慮しない基礎方程式を用いた．渦動粘性係数の評価には，局所的な摩擦速度と水深の積に比例すると仮定した，0-方程式モデルを用いた．

〔連続式〕

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

〔運動方程式〕

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{b}uM}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{b}vM}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial x} \\ = gh \sin \mathbf{q} - \frac{f}{2} u \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\partial(-\overline{u'^2}h)}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{u'v'}h)}{\partial y} + \mathbf{n} \left(\frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{b}uN}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{b}vN}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial y} \\ = -\frac{f}{2} v \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\partial(-\overline{u'v'}h)}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{v'^2}h)}{\partial y} + \mathbf{n} \left(\frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

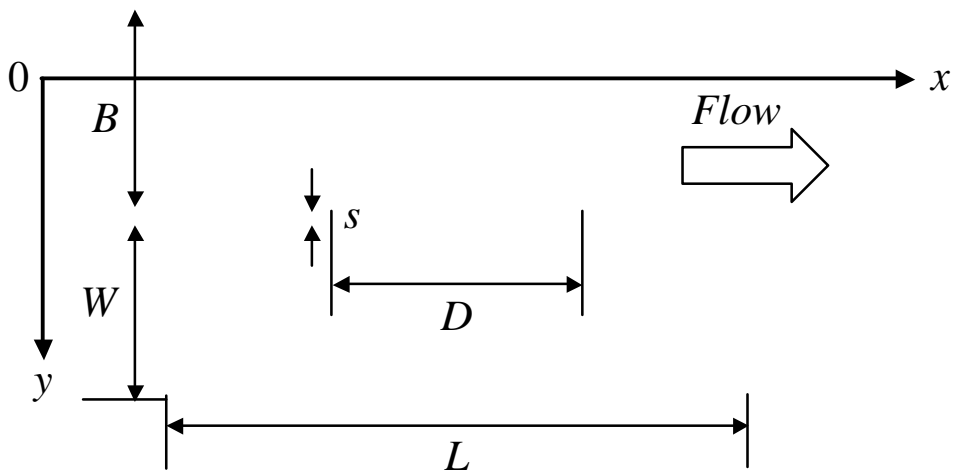


図 - 1 解析対象水域

数値実験モデルは、図 - 1 に示すように、水路右岸に W , L , 開口部 D のアクリル製 (厚さ s) の人工魚巣を設け、水路に沿って右向きに x 軸、鉛直下向きに y 軸をとり、現象を平面 2 次元とした。ここで、静水圧近似を仮定すると、図 - 1 に示すような座標軸において、基礎方程式は(1)~(3)のようになる。

ここで、 h : 水深、 (u, v) : 水深平均流速の (x, y) 成分、 (M, N) : 各々 $M = hu, N = hv$ で定義される流量フラックス、 $-\overline{u'_i u'_j}$: 水深平均されたレイノルズ応力テンソル (i, j はともに 1, 2 の値をとり、1 は x 方向、2 は y 方向を意味する。)、 \mathbf{n} : 動粘性係数、 \mathbf{q} : 水路床勾配、 f : 摩擦損失係数でレイノルズ数の関数、 \mathbf{b} : 運動量係数で層流の場合 1.2 であり、乱流の場合 1.0、 (x, y) : 空間座標、 t : 時間を表す。水深平均レイノルズ応力テンソル $-\overline{u'_i u'_j}$ は簡単に次のように表示される。

$$-\overline{u'_i u'_j} = D_h \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \mathbf{d}_{ij} \quad (4)$$

$$D_h = \mathbf{a} h u_* \quad (5)$$

u_* : 摩擦速度 $\left(= \sqrt{f(u^2 + v^2)/2} \right)$ 、 k : 水深平均乱れエネルギー、 \mathbf{a} : 定数である。

なお、乱れエネルギー k は局所的な u_* を用いて禰津の提案する実験式

$$\frac{k}{u_*^2} = 4.78 \exp\left(-2 \cdot \frac{z}{h}\right) \quad (6)$$

を水深積分して得られる $2.07 \cdot u_*^2$ で評価する。また、摩擦損失係数 f は局所的なレイノルズ数 R'_e の関数とし、その関係は次式で表される。

$$\sqrt{\frac{2}{f}} = A_s - \frac{1}{k} \left[1 - \ln \left(R'_e \sqrt{\frac{f}{2}} \right) \right] \quad (R'_e > 430) \quad (7)$$

ここで $k = 0.4, A_s = 5.5$ とした。

3 - 2 基礎方程式の離散化

図 - 2 に示すような *Staggered Mesh* を用いて未知量 u, v, h を配置した。そして、式(1)~(3)をコントロールボリューム法(荒川, 1994)を用いて離散化し、陽解法で時間方向に計算を

進めた。移流項には1次精度の風上差分を，その他の空間に関する微分項は中央差分を，時間積分には *Euler* 前進差分法を採用した。なお， M, N はそれぞれ， u, v と同じ位置に配置した。

連続式(1)の両辺を図 - 2 に示す計算格子上で，*Euler* 前進差分法を用いて離散化した。

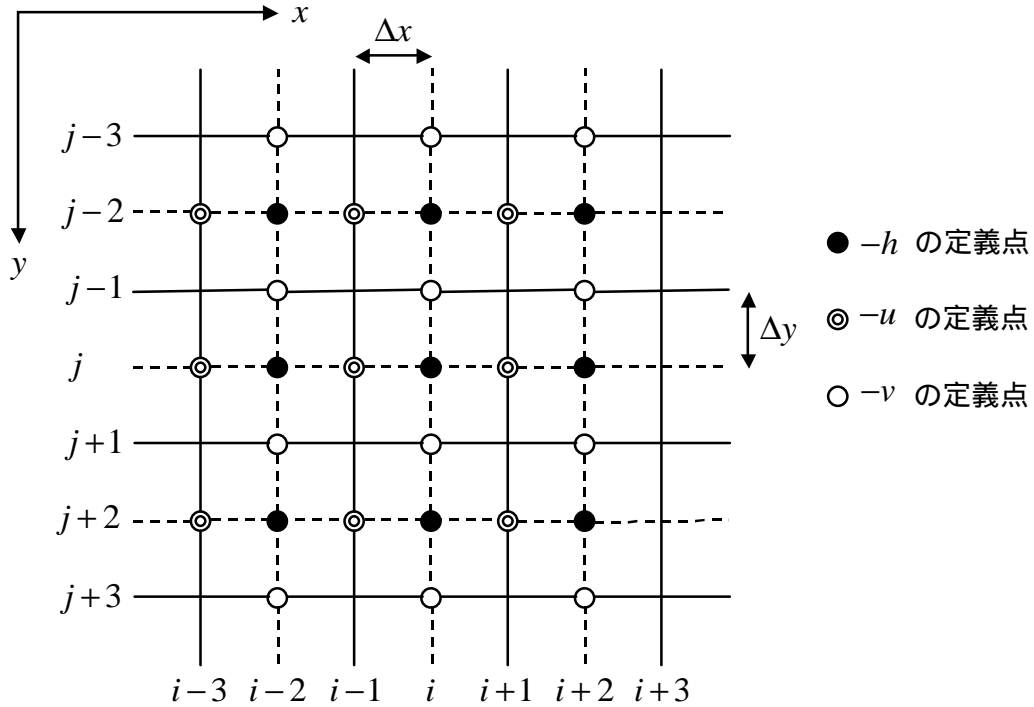


図-2 u, v, h の定義点 (*staggered mesh*)

運動方程式(2)の両辺を図 - 2 に示す計算格子上で，移流項に1次精度の風上差分，その他の空間に関する微分項は中央差分を用いて離散化した。連続の式(3)の両辺は同じく図 - 2 に示す計算格子上で，*Euler* 前進差分法を用いて離散化した。

3 - 3 計算条件

数値実験で使用した物理パラメータを表 - 1 に示す。ここで，レイノルズ数，フルード数をそれぞれ，

$$R_e \equiv \frac{M_0}{\nu} , \quad Fr \equiv \frac{M_0}{he\sqrt{ghe}} \quad \text{とした。}$$

表 - 1 数値実験に用いた物理パラメータ

単位幅流量	$M_0(cm^2/sec)$	136.2
主流水平方向平均速度	$U(cm/sec)$	22.7
下流端水深	$h_e(cm)$	6.0
動粘性係数	$\mathbf{n}(cm^2/sec)$	0.00917
時間ステップ	$\Delta t(sec)$	0.00005
格子幅 (x 軸)	$\Delta x(cm)$	0.1
格子幅 (y 軸)	$\Delta y(cm)$	0.1
定数	\mathbf{a}	0.3
レイノルズ数	Re	14852.78
フルード数	Fr	0.2959

3 - 3 - 1 初期条件

魚巣部

$$M = 0, N = 0, h = h_e$$

主流部

$$M = 0, N = 0, h = h_e$$

3 - 3 - 2 境界条件

主流部上流端

$$M = M_0, N = 0$$

主流部下流端

$$h = h_e, \frac{\partial M}{\partial x} = \frac{\partial N}{\partial x} = 0$$

壁面

水路左岸 ($y = 0$) : slip 条件

その他 : non-slip 条件

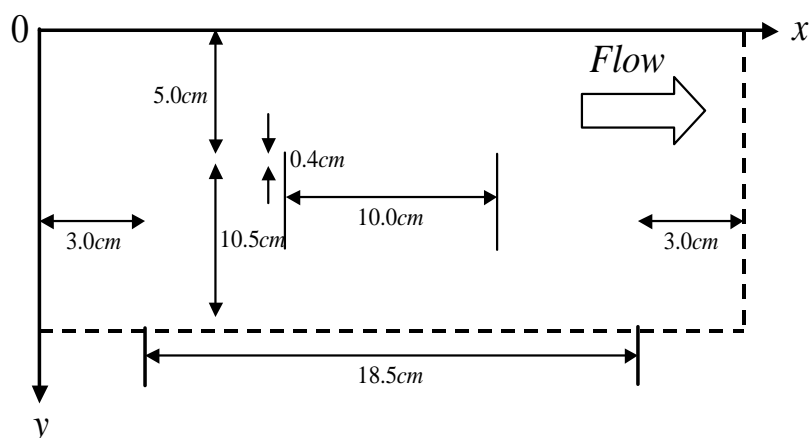


図 - 3 計算領域

ここで、計算領域を図 - 3 に示す。計算領域の左端は $x = 0.0cm$ 、右端は $x = 24.5cm$ 、上端は $y = 0.0cm$ 、下端は $y = 15.9cm$ で、アクリル板の厚さ： $s = 0.4cm$ も計算上で考慮した。

第4章 数値モデルの妥当性

本研究で求めた計算値と実測値を比較し、数値モデルの妥当性の検証を行う。ここで、実測値は、長さ5m、幅25cm、開口部長さ10cmの亚克力製長方形断面の循環式水路でRun1と同じ条件で行ったものである。

またここで、計算結果と実測結果の比較、および後の計算結果の考察のため、図-4に示すような魚巢開口部始端を0とした $X'-Y'$ 座標を配置する。

4-1 水路横断面での X' 方向方向の時間平均流速分布による検証

図-5は、Run1において図-4の $X'/a=0.2$ における水路横断面での X' 方向の時間平均流速分布を示したものである。計算値は実測値の主流部、せん断層から魚巢内の流速分布をほぼ再現していると考えられる。なお、ここで用いた U は主流水平方向平均速度を表し、 u は X' 方向の流速、 U は X' 方向の平均流速を表している。

4-2 X' 方向の流速変動による検証

次に、魚巢内開口部における流速変動特性について考察する。図-6はRun1のP点($X'=5cm, Y'=-1cm$)における主流方向の流速変動に関する実測および計算結果である。変動の卓越周期は計算値(1.2s)は実測値(1.35s)より若干短く、その振幅については計算値が実測値より若干大きくなっているが、計算結果は、実測結果をよく再現している。

以上により、本モデルが魚巢の水理特性把握に有用であることが示された。

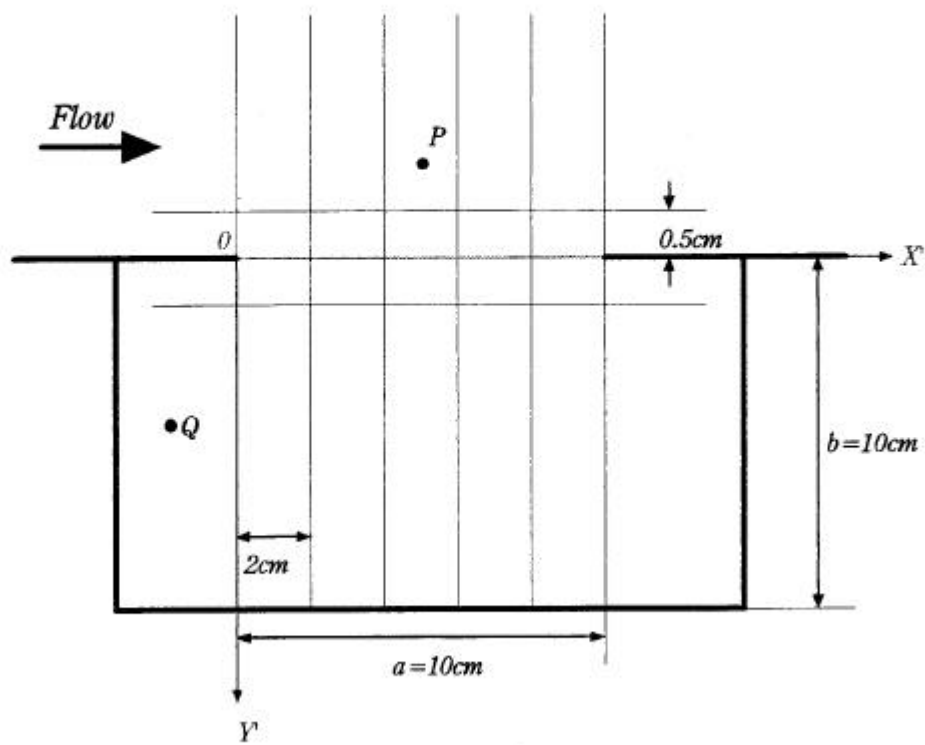


図-4 測定点

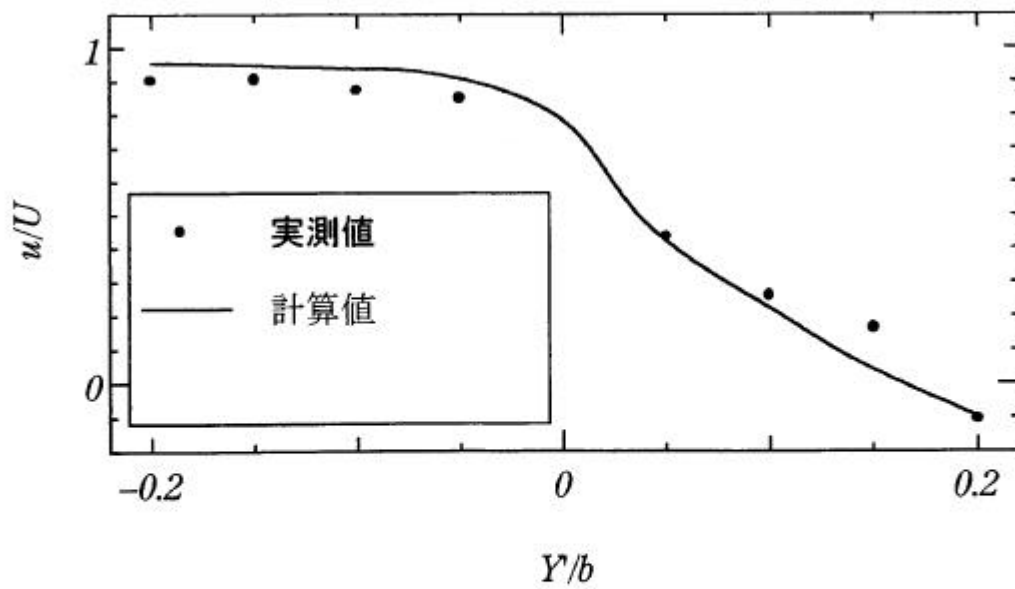
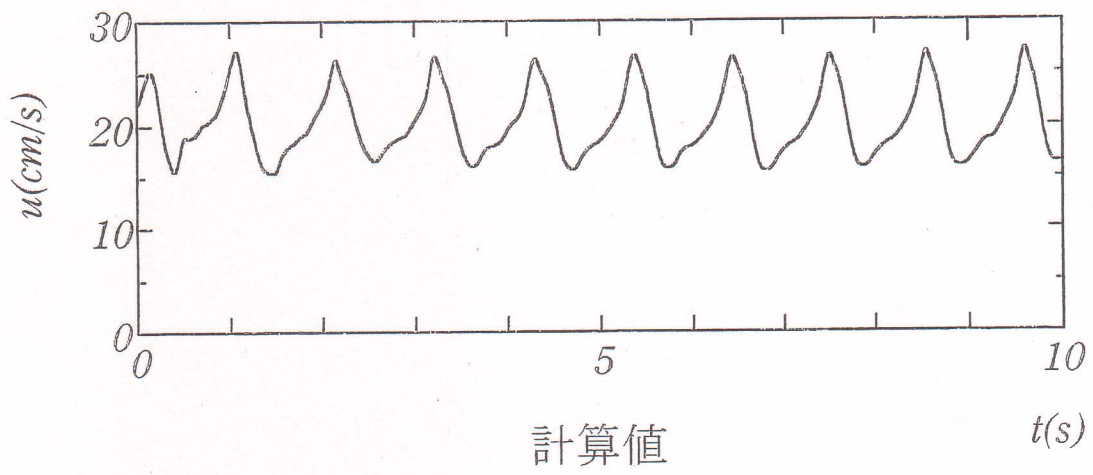
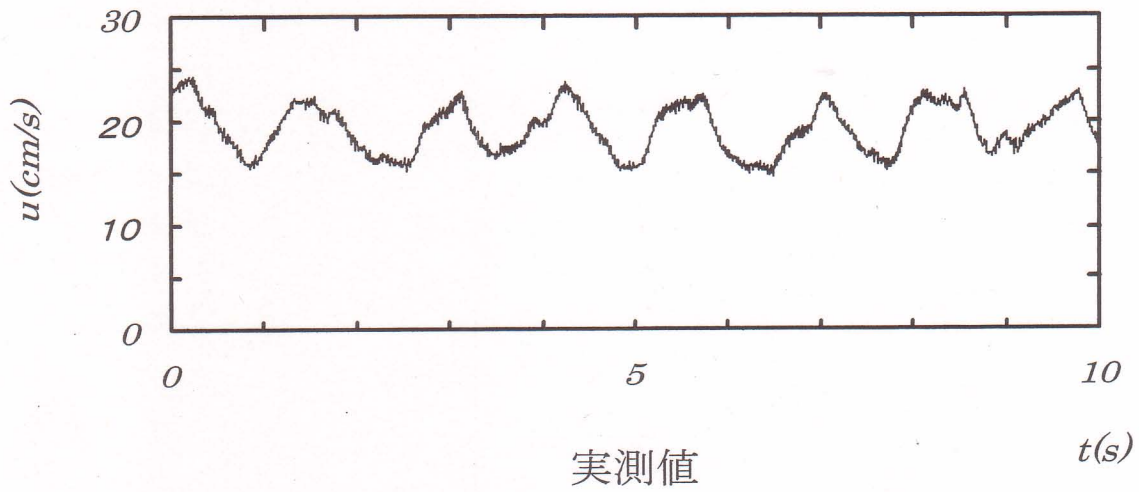


図-5 水路横断方向の流速分布($X/a=0.2$)



第5章 主流部および人工魚巢の水理特性

表 - 2 実験条件

数値実験条件を表 - 2 に示す．開口部長さ D を変化させて，開口部長さの違いによる開水路主流部および人工魚巢部の水理特性について，検討する．

Run1	$D = 10.0cm$
Run2	$D = 8.0cm$
Run3	$D = 18.0cm$

5 - 1 水面変動

図 - 7 は Run1 ~ Run3 における，開口部近傍（図 - 4 の点 $Q(X = 1cm, Y = 5cm)$ ）における水面変動 h' （初期水深： $h_e = 6.0cm$ からの変動）である．開口部が狭くなるにつれて水面変動の振幅が大きくなるのがわかり，卓越周期については，Run1,2 で $1.04(s)$ ，Run3 で $0.71(s)$ となっており，開口部幅が小さくなると周期が大きくなっている．また，振動の周期は開口部の流速変動の周期とほぼ一致している．

5 - 2 流速変動スペクトル

図 - 8 ~ 図 - 10 は，計算で得られた流速変動時系列から求めたスペクトル図である．図 - 8 (Run1) の A 点，I 点はそれぞれ開口部の上流端，下流端におけるスペクトルであり，B 点 ~ H 点は開口部上流端から $1.25cm$ 間隔で配置された計算点におけるスペクトルを示している．図 - 9 (Run2) の A 点，H 点はそれぞれ開口部の上流端，下流端におけるスペクトルであり，B 点 ~ G 点は $1.14cm$ 間隔で配置された計算点におけるスペクトルを示している．図 - 10 (Run3) の A 点，N 点はそれぞれ開口部の上流端，下流端におけるスペクトルであり，B 点 ~ M 点は開口部上流端から $1.25cm$ 間隔で配置された計算点のスペクトルを示している．

これらの図から，スペクトルの第 1 ピークは Run1，Run2 および Run3 において，それぞれ周期で $1.0s$ ， $1.0s$ および $0.75s$ (Run3 については開口部上流端近傍) である．これは図 - の水面振動の卓越周期と一致しており，流速変動と水面変動が相互に影響を及ぼしていることがわかる．

また，スペクトル図の第 2 ピークの位置は，Run1,2 および 3 いずれも周期で $0.45 \sim 0.50s$ にあり，これは $T_s = sL/\sqrt{gh}$ (L : 魚巢の長さ， h : 水深， g : 重力加速度) で算出される魚巢内のセイシュの周期 $0.47s$ とほぼ一致する．したがって，魚巢内の水面振動は開口部上流端で発生する剥離渦に基づく流速変動に依存していることがわかる．

5 - 3 流速ベクトル

図 - 11 は *Run1* ~ *Run3* における，主流部および魚巣部の時間平均速度ベクトルである．魚巣内の流れは，開口部長さによらず中央付近に主循環流と，その上流側，隅角部には副循環流が存在することがわかる．また，主循環流の中心位置は，開口部長さが小さくなると開口部に近づく傾向にある．

図 - 12 ~ 図 - 14 は *Run1* ~ *Run3* における主流部と魚巣部の流速ベクトルの時間変化を示したものである．図は計算開始の10秒後から1秒間を0.2秒間隔で描いたものである．

図 - 12 では，10.0秒後に開口部上流端から剥離渦が発生して成長しながら流下した後，開口部下流端に衝突して主流部と魚巣部に分離することが示されている．この一連の渦の挙動によって，主流部と魚巣内部との間に流体交換が行われているものと考えられる．循環流の発生周期は，ほぼ1.0(s)で水面変動の卓越周期と一致している．

図 - 13 では，10.0秒後ですでに渦が剥離しており，組織渦が形成され，10.8秒後には開口部上流端から渦が次の渦が剥離して次の組織渦を形成している．

図 - 14 でも，10.0秒後には剥離渦に基づく組織渦が発生している．流下した渦の開口部下流端での衝突現象は，*Run1*, *Run2* ほど規模の大きいものではないことがわかる．10.6秒後には開口部上流端から次の剥離渦が発生している．

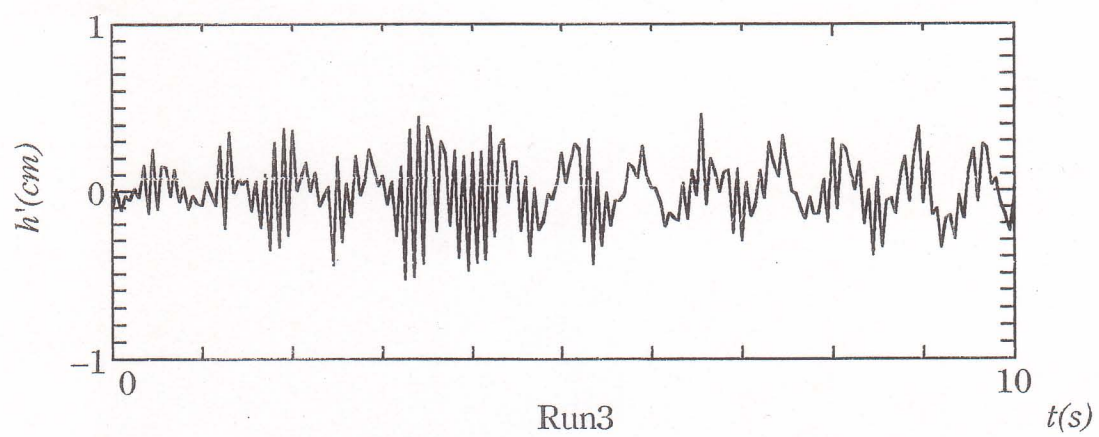
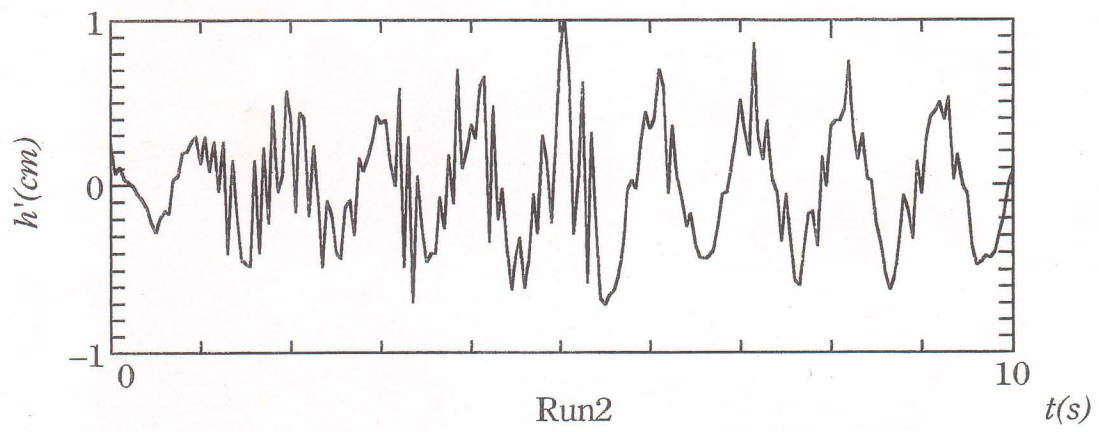
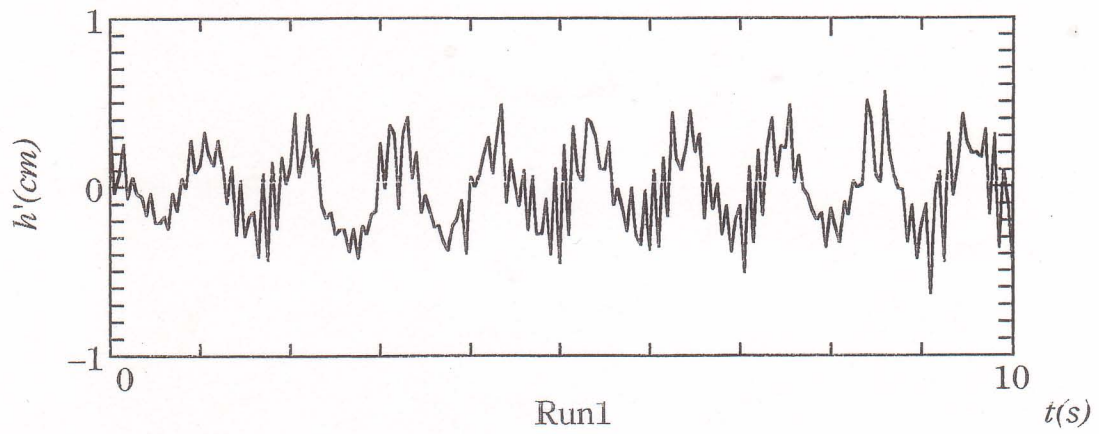


図-7 点Qでの水面変動

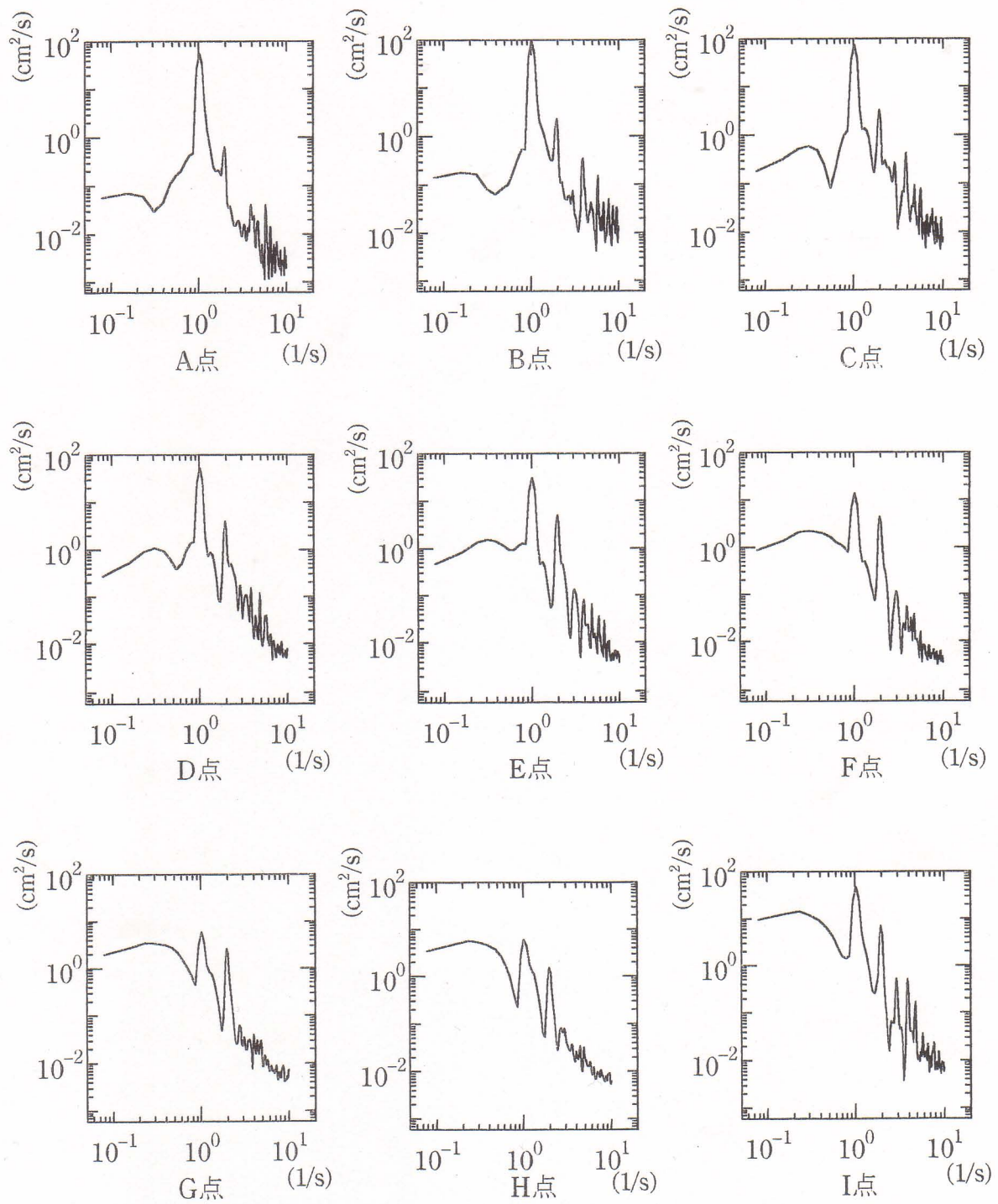


図-8 計算結果のスペクトル(Run1)

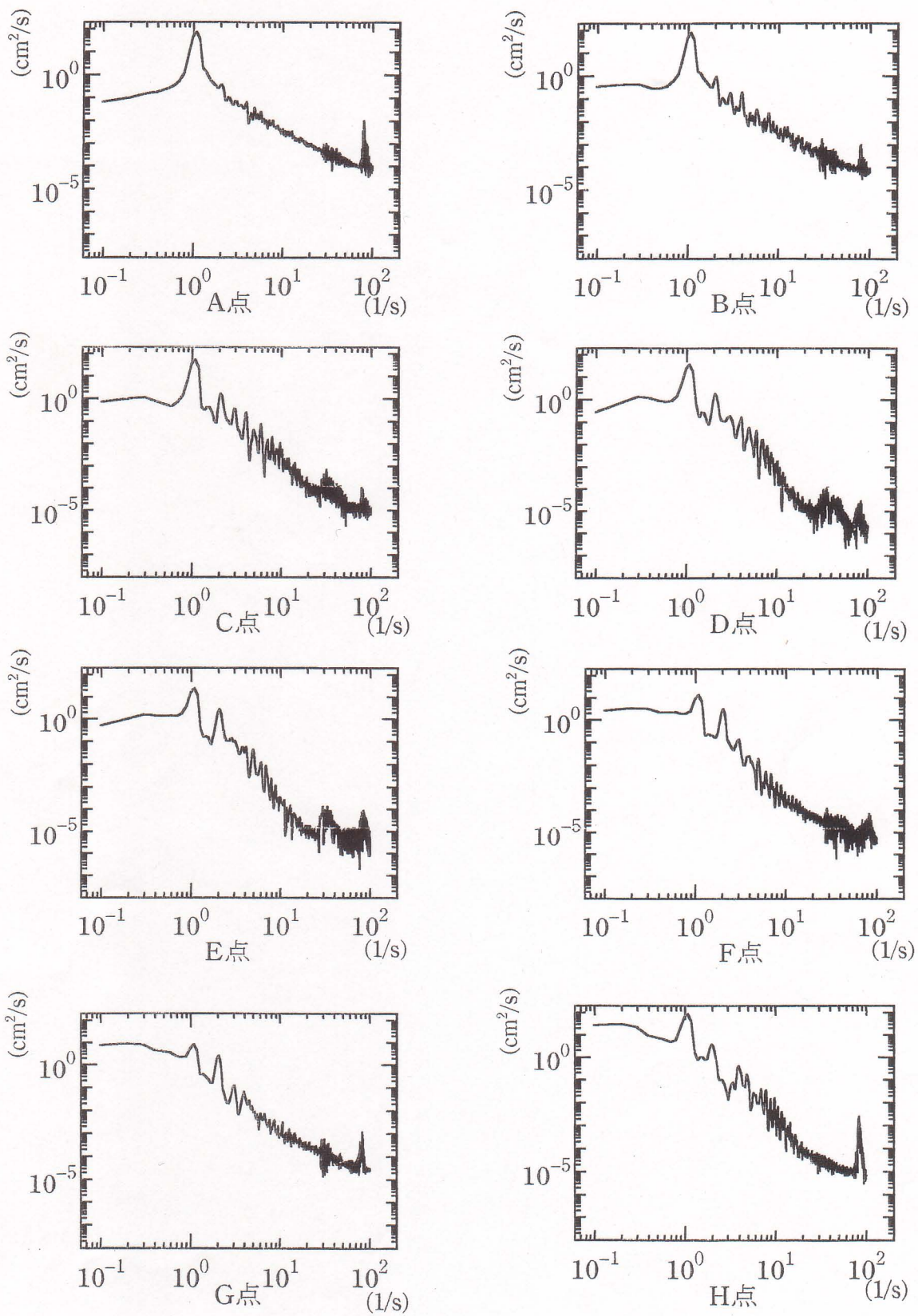


図-9 計算結果のスペクトル(Run2)

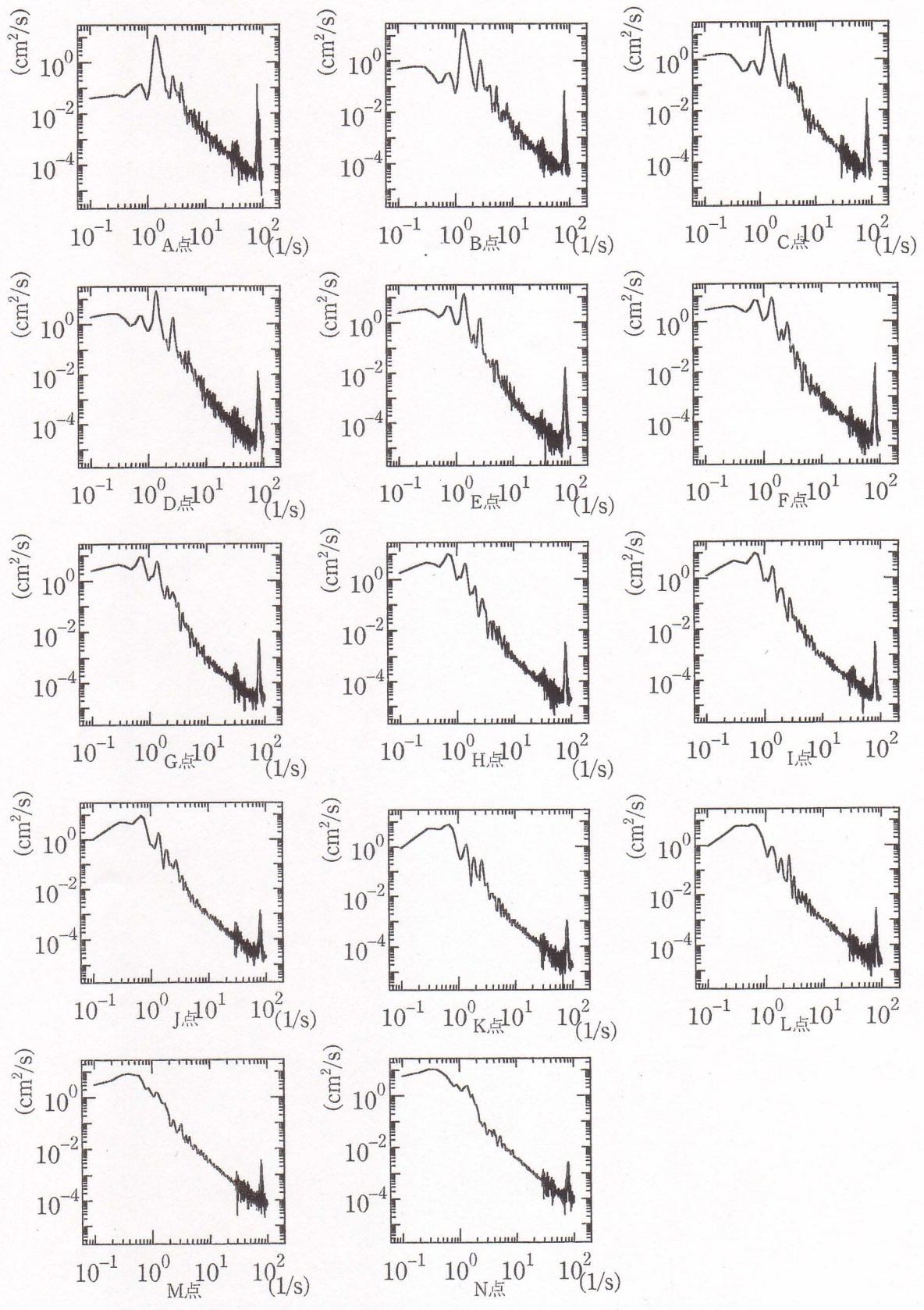
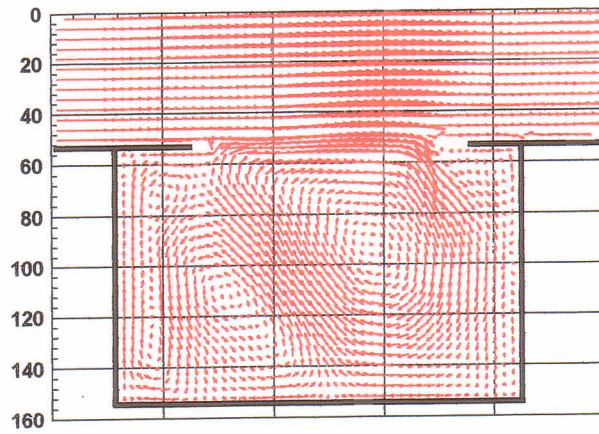
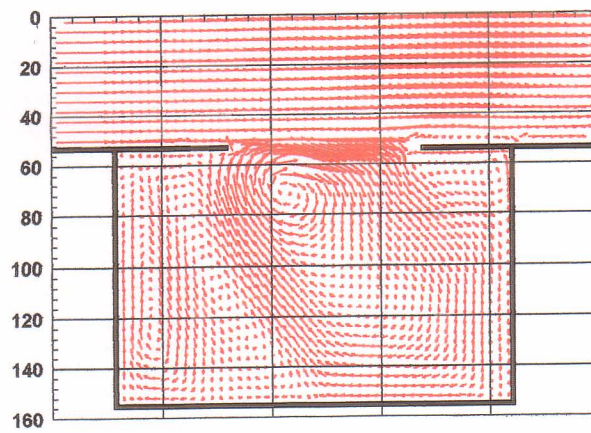


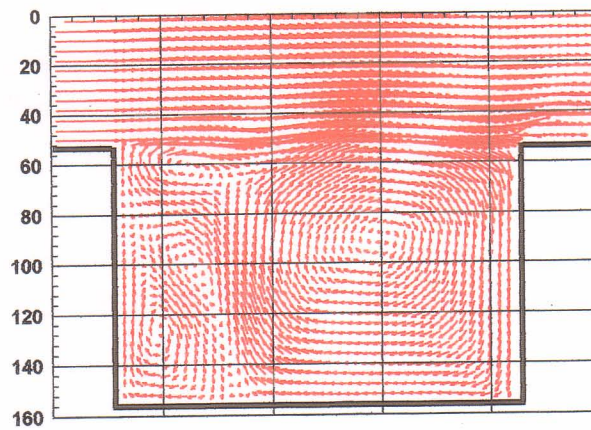
図-10 計算結果のスペクトル(Run3)



Run1

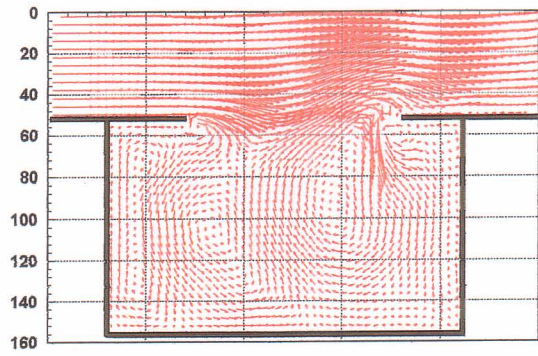


Run2

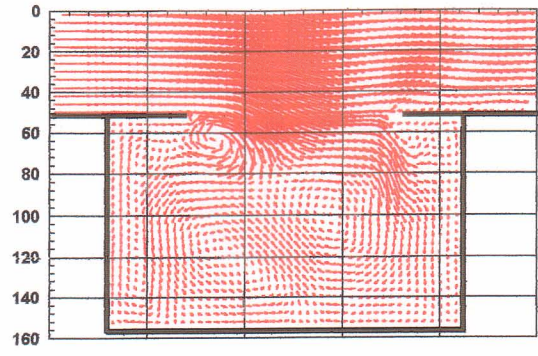


Run3

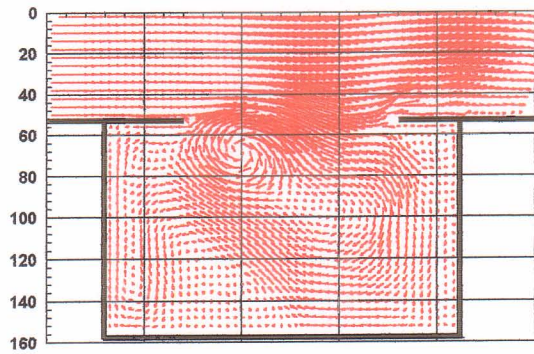
図-11 時間平均ベクトル



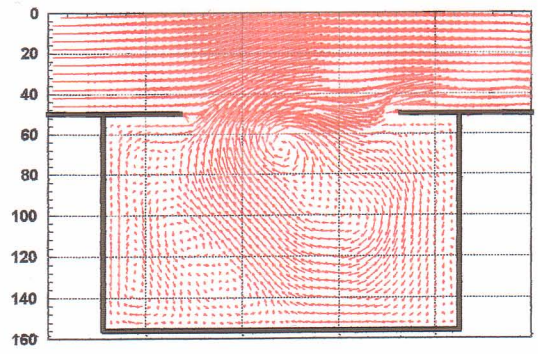
10.0(s)後



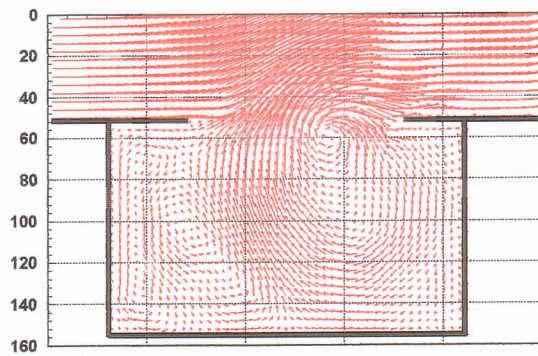
10.2(s)後



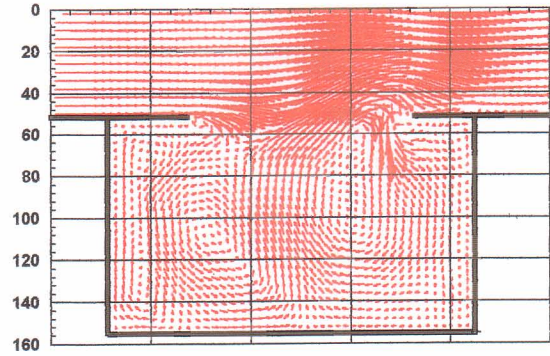
10.4(s)後



10.6(s)後

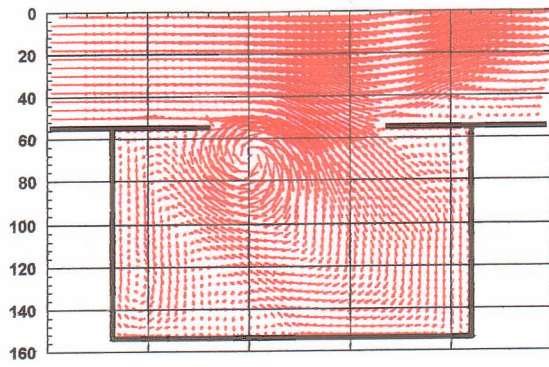


10.8(s)後

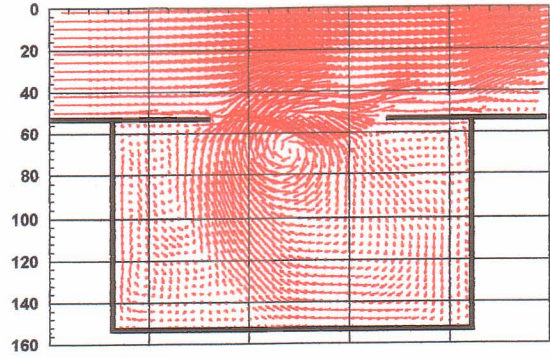


11.0(s)後

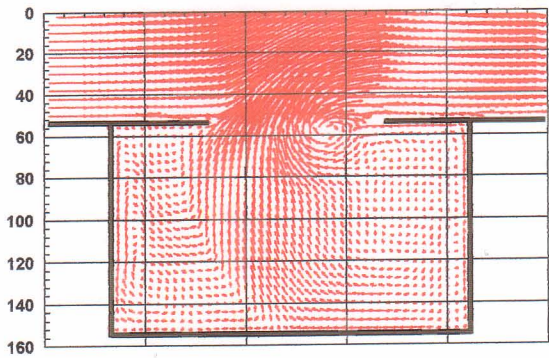
図-12 流速ベクトル(Run1)



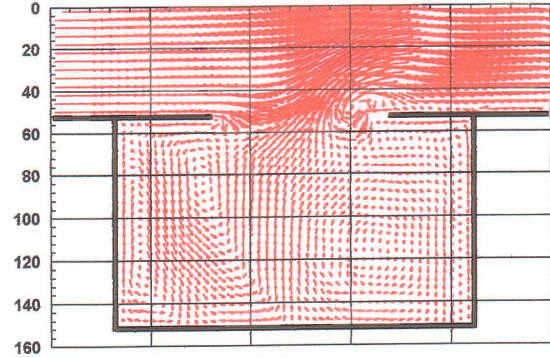
10.0(s)後



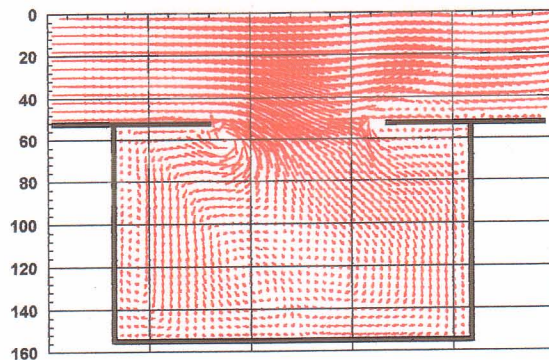
10.2(s)後



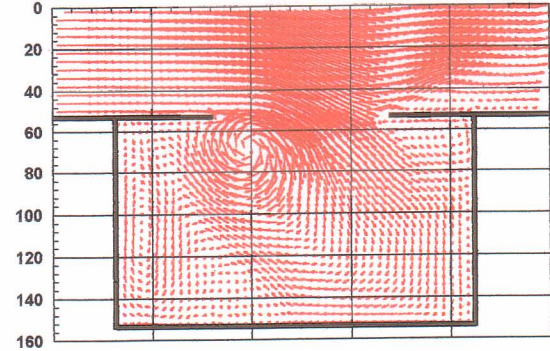
10.4(s)後



10.6(s)後

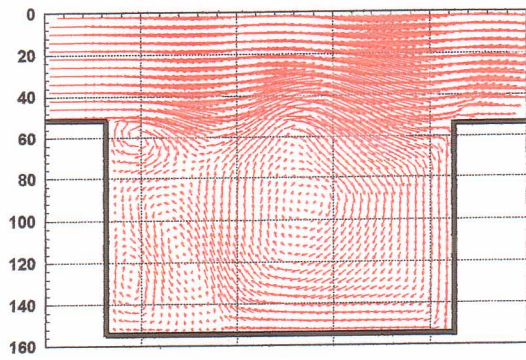


10.8(s)後

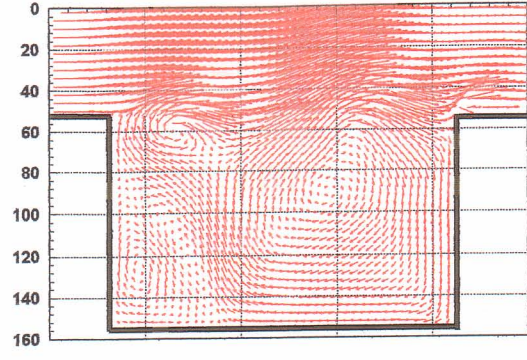


11.0(s)後

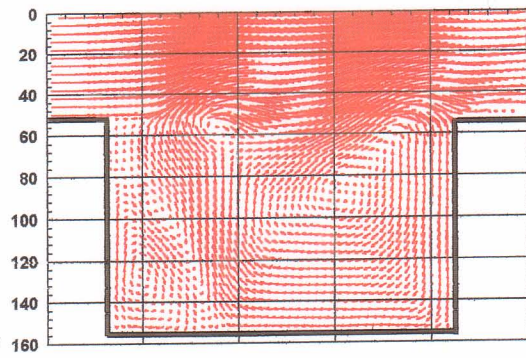
図-13 流速ベクトル(Run2)



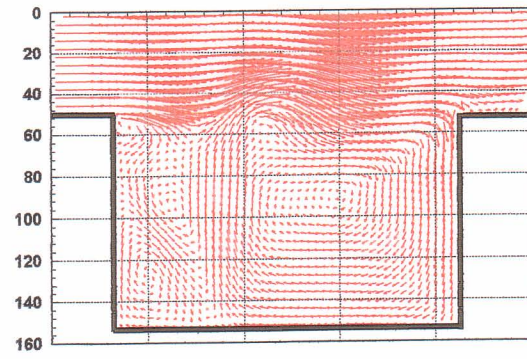
10.0(s)後



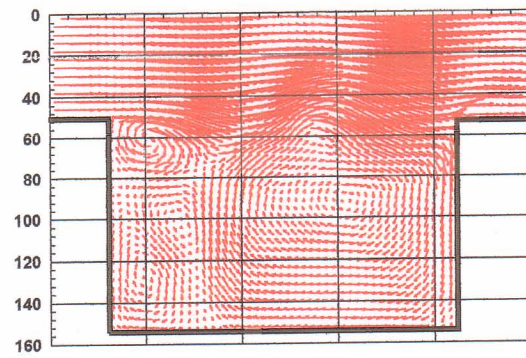
10.2(s)後



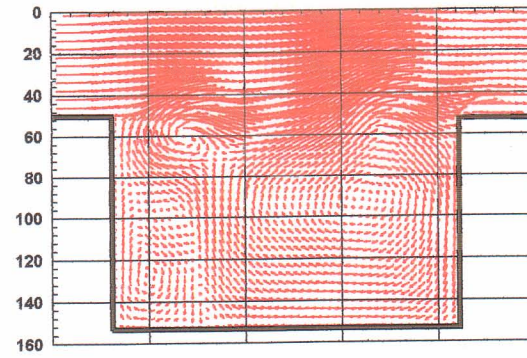
10.4(s)後



10.6(s)後



10.8(s)後



11.0(s)後

図-14 流速ベクトル(Run3)

5 - 4 流速分布の比較

図 - 15 は開口部における y 方向の流速成分の分布形状を示している。横軸，縦軸はそれぞれ開口幅 a ，水路平均流速 U を用いて無次元化している。 $Y/b = -0.05$ は界面付近の主流部側， $Y/b = 0.00$ は界面部， $Y/b = 0.05$ は界面付近の魚巢部側の計算結果である。これらの図より，剥離渦が発生する開口部上流端付近では，魚巢部から主流部へと流出する傾向があり，循環流が破壊される開口部下流端付近では，主流部から魚巢部へと流入する傾向があることがわかる。また，開口部下流端に衝突した組織渦は，破壊された後，主流部へ流出するより魚巢部へと流入する傾向が強いといえる。

また，実験条件ごとに考察すると，開口部長さが短いほど界面付近の水路横断方向の流速は大きくなり，すなわち，魚巢開口部における主流部と魚巢内との間の物質交換量は大きくなる傾向にあると考えられる。

図 - 16 は主流部，魚巢部における水路横断面での主流方向の平均流速 u の分布形状である。図において，横軸，縦軸はそれぞれ水路幅 b ，主流方向水路断面平均流速 U を用いて無次元化されている。図において， u/U の値が 0 以上 1 以下の範囲をせん断層厚さと定義すると，実験条件に関わらず，開口部の上流から下流にかけて，せん断層厚さは増大することがわかる。

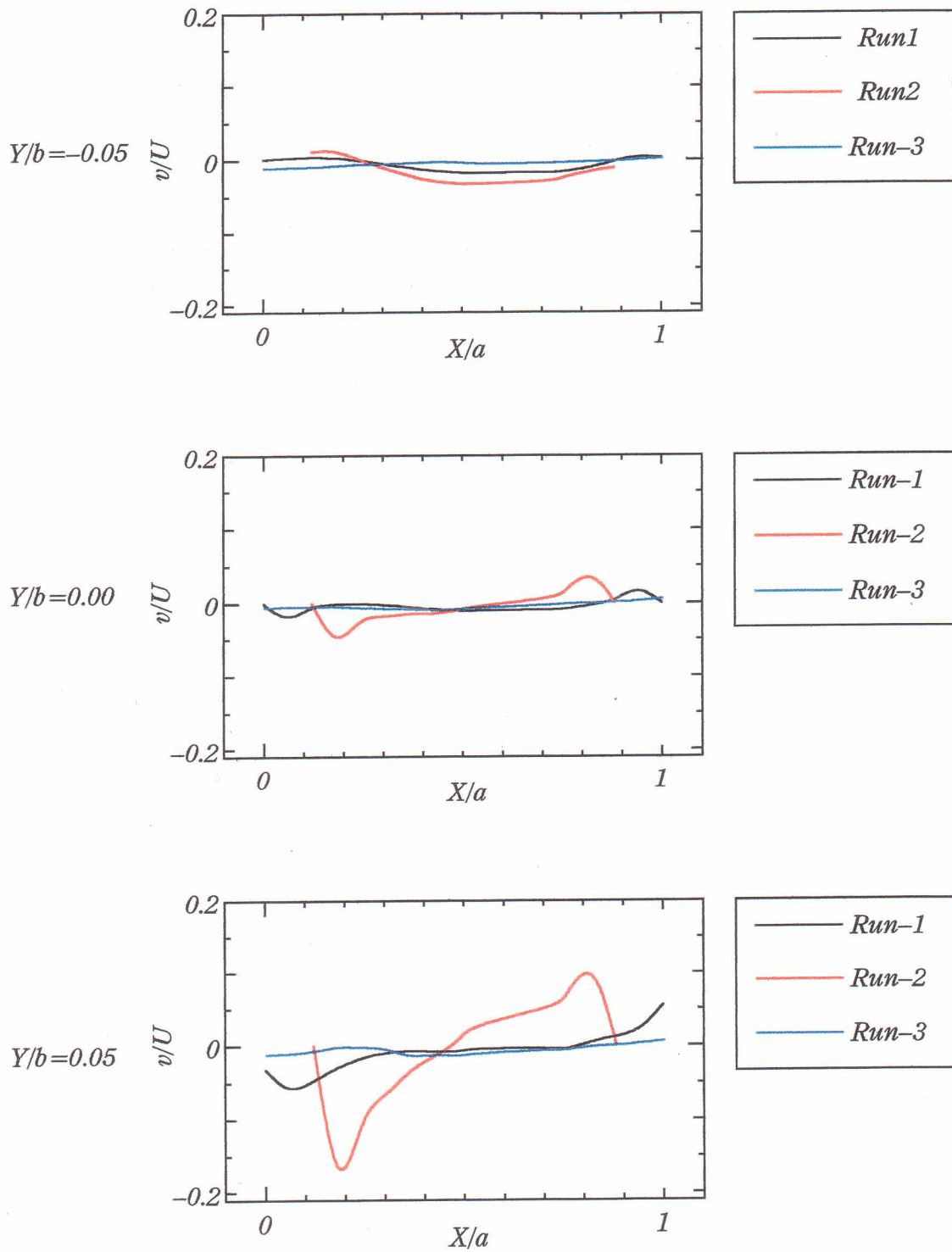


図-15 開口部付近の y 方向成分の分布

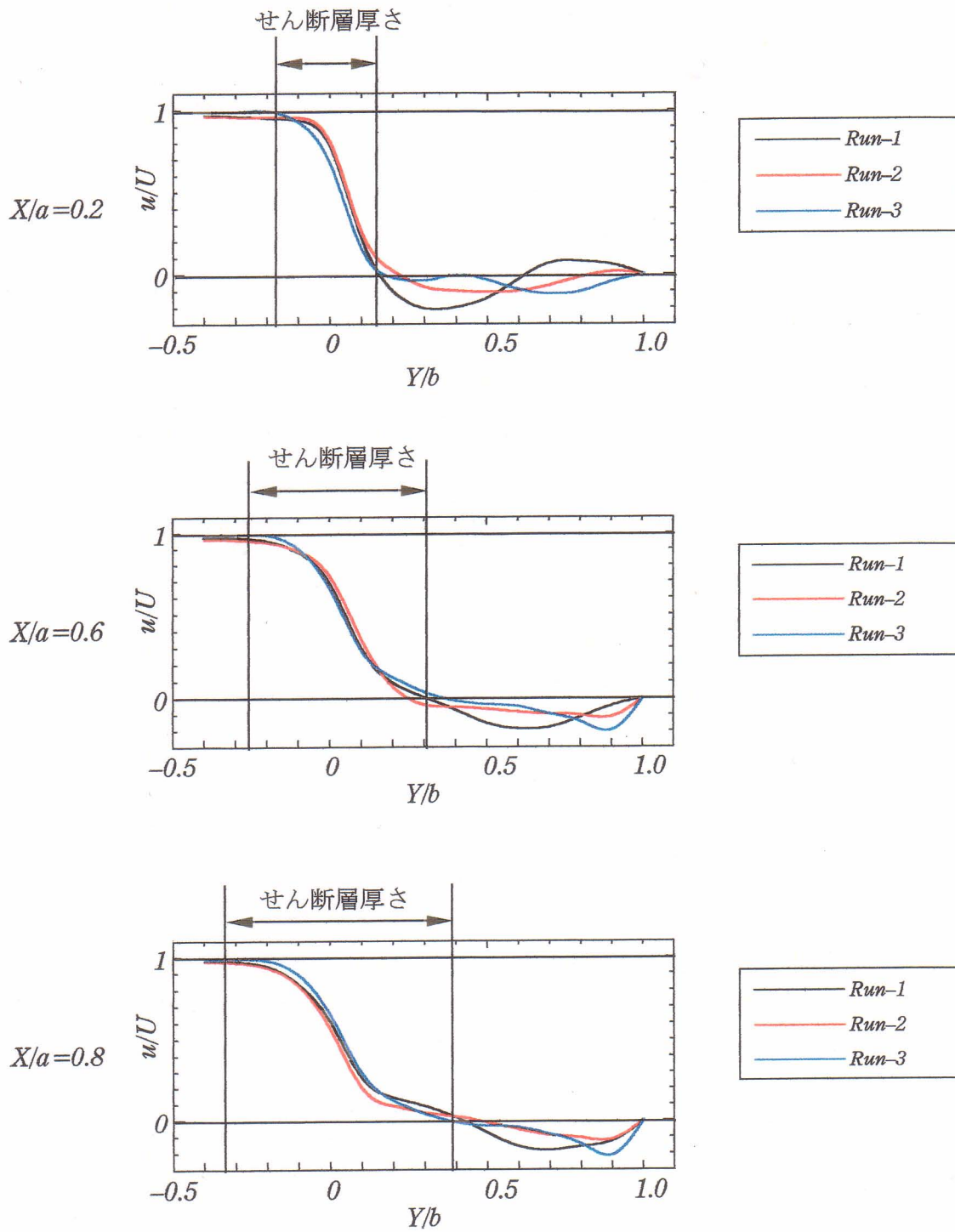


図-16 水路横断主流速分布

第6章 結論

本研究は、開水路平面 2 次元流の基礎式に基づいて数値実験を行い、人工魚巢の水理特性について、特に主流部と魚巢の境界、すなわち魚巢開口部近傍の流れの非定常特性について考慮したものである。3 種類の異なる開口部形状の魚巢を対象として計算した結果、次のような結論を得た。

1. 魚巢内の水面変動は、開口部上流端で発生する剥離渦に基づく流速変動に強く依存している。
2. 水面変動の振幅は魚巢開口部が狭くなるほど大きくなる。また、その周期は開口部長さが長くなるほど短くなる。
3. 主流部と魚巢との境界面付近における魚巢内外の物質交換速度は、開口部長さが短いほど大きくなる。
4. 開口部のせん断層厚さは、開口部上流端から下流方向へ増大する。

謝辞

本研究を作成するにあたり九州大学大学院農学研究院生産環境情報学研究室，森健教授，井上英二助教授，原口智和助手には懇切なご指導と有益な助言を賜りました．謹んで感謝の意を表します．さらに，同講座博士課程衛藤鑑氏には熱意あふれる御助言，御教示をいただき心より御礼申し上げます．また，多くの先輩，友人諸氏におかれましては，快いご協力を頂き記して感謝の意を表します．

参考文献

荒川忠一(1994)：数値流体力学，東京大学出版会

中島央晶(2002)：人工魚巢開口部における乱流剪断層の水理特性，九州大学農学部平成 14 年卒業論文

牧平朋大(2000)：人工魚巢の水理環境，九州大学農学部平成 12 年卒業論文

山本貴則(2001)：人工魚巢開口部における剪断層の乱流構造，九州大学農学部平成 13 年卒業論文