

人工魚巢開口部における乱流剪断層の水理特性

誌名	九州大学大学院農学研究院学芸雑誌
ISSN	13470159
著者	中島, 央晶 森, 健 井上, 英二 ほか1名,
巻/号	57巻1号
掲載ページ	p. 53-58
発行年月	2002年10月

人工魚巢開口部における乱流剪断層の水理特性

中 島 央 晶*・森 健**
井 上 英 二・原 口 智 和

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産環境情報学講座生産環境情報学研究室

(2002年6月28日受付, 2002年7月12日受理)

Hydraulic Characteristics of Turbulent Shearing Layer at Pass-through of Artificial Block for Fish Nest

Hisaaki NAKASHIMA*, Ken MORI**,
Eiji INOUE and Tomokazu HARAGUCHI

Laboratory of Bioproduction and Environment Information Sciences,
Division of Bioproduction and Environment Information Sciences,
Department of Bioproduction Environmental Science,
Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

緒 言

近年、河川の護岸工事が進む中で、多自然型、近多自然型水路作りの気運が高まり、そのひとつとして人工魚巢(魚巢ブロック)もその有効性を認められるようになってきた。人工魚巢とは、内部に空間を持ったコンクリートブロックのことである。河川護岸工事の際、コンクリート張り一辺倒ではなく、この人工魚巢を設置することにより、その内部空間は魚や多様な生物が生活できるようになり、従来の護岸の機能を有しつつ、河川生態系の保全親水護岸としての機能も確保できるようになる。また、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、そこには植物が生息し、河川の自然保護に一役買っているといえる。

人工魚巢は、これまでに大河川、農業用水路など様々な場所で施工されてきているが、これに関する水理学的な研究はほとんどなされていないのが現状であり、そのため、土砂に埋没するなど有効とはいえない設置

があるなど手探り状態の施工が続いている。また、実際に魚が内部に巣くうかどうかという問題もある。特定の種類の魚に占拠されないように人工魚巢の開口部の形状には様々な工夫が施されている。しかし、設置された人工魚巢の内部に生物学的に希少価値の低い魚しか生息していない河川や、魚自体が住んでいないような河川もある。また、人工魚巢が河川の流水に与える影響も無視できないと考えられる。したがって、人工魚巢を設置する場合には水理学的、生物学的など様々な角度からの検討や、明確な維持管理の在り方についても検討する必要があると考えられる。

人工魚巢の水理特性を明らかにすることは、有用な人工魚巢の設計、設置計画、施工につながる。また、人工魚巢周辺の流れは、剪断層の発達、剥離渦の発生、発達、崩壊、あるいは逆流域、死水域の存在といったような複雑な乱流場を形成し水理学的に非常に興味深い局所流となる。人工魚巢に要求される基本的機能として流水の減勢、内部空間の確保、魚巢内外の物質交

* 九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻生産環境情報学講座生産環境情報学研究室

* Laboratory of Bioproduction and Environment Information Sciences, Division of Bioproduction and Environment Information Sciences, Department of Bioproduction and Bioenvironmental Science, Graduate School of Bioresource and Environmental Sciences, Kyushu University

** Corresponding author (E-mail: moriken@brs.kyushu-u.ac.jp)

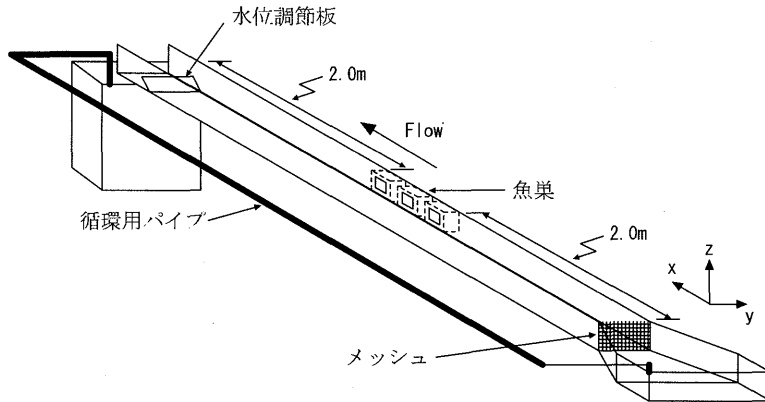


図1 実験水路

表1 撮影条件

周波数 (Hz)	60
総フレーム数	1088
総カップル数	1087
観測点	約1000

表2 実験条件 (流れの可視化)

RUN	Q (l/s)	H (cm)	U (cm/s)	Fr	Re
1-1	3.1	11	11.3	0.11	6610
1-2	3.1	7	17.7	0.21	7947
1-3	3.1	5	24.8	0.35	8853

換が挙げられる。牧平 (2000), 山本 (2001) はこのうち, 物質交換に着目し, 魚巢内外の流れの把握および人工魚巢開口部における剪断層の特性に関して研究している。

この物質交換には開口部上流端から発生する剥離渦が大きな影響を与えており, また, このときの乱れ強度や, レイノルズ応力などの乱流量の特性には Fr (フルード) 数が密接に関係することが報告されている。本研究では Fr 数をパラメータとして魚巢開口部周辺における流速変動時系列の測定実験を行い, その結果に基づき, 河川と人工魚巢との境界に形成される乱流剪断層に発生する渦の特性について検討した。

なお, 本研究を行うにあたり, 便宜を図って頂いた九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座水環境学研究室に謝意をここに表す。

水 理 実 験

実験は全長 5 m, 幅 25 cm のアクリル製循環型水路を用いて行った (図 1)。魚巢模型として, 高さ 13.0 cm, 横 10.5 cm, 縦 18.5 cm のアクリル製のボックスを用い, これを 3 つ並べた。魚巢開口部の大きさは横 10.0 cm, 縦 7.5 cm で水路床からの高さは 3 cm にしてある。各ボックスは直径 5.0 cm, 長さ 6.5 cm のアクリル製パイプで連結しており, 開口部の間隔は 15.0

cm である。これらにより実際に河川に設置してある魚巢周辺の環境を再現した。なお, 作業流体には水道水を用いている。

実験は可視化実験 (実験 1) 及び乱流計測実験 (実験 2) を行った。実験 1 は魚巢開口部周辺の流れの可視化による画像データ取得である。魚巢内外の物質交換の概略を把握するとともに, 魚巢開口部に形成される組織渦のスケーリングを行った。また実験 2 においては魚巢開口部周辺の流速分布と開口部剪断層の乱流構造の解析を行った。以降, 魚巢開口部の長さを L , 水路幅を B とし, x, y 座標値の無次元表示を $x/L, y/B$ と表記する。

実験 1 では, 人工魚巢の側面から幅 5 mm のスリット光を当て, 上方から魚巢開口部周辺の水平断面を撮影した。トレーサーとしてはアルミ粉末を用いている。撮影には, 高速度カメラ (PHOTORON FASTCAM-PCI) を使用した。撮影条件を表 1 に, 水理実験条件を表 2 にそれぞれ示す。表 2 において, 流量 Q , 水深 H , 主流平均流速 U , フルード数 $Fr (=U/\sqrt{gH})$, レイノルズ数 $Re (=UR/\nu)$ (R : 径心, ν : 動粘性係数) である。得られた画像データから, 開口部乱流剪断層の剥離渦のスケーリングを行った。また, 流体画像解析ソフトウェア「Flow-Vec32」(株式会社 ライブラリー製) で解析を行った。

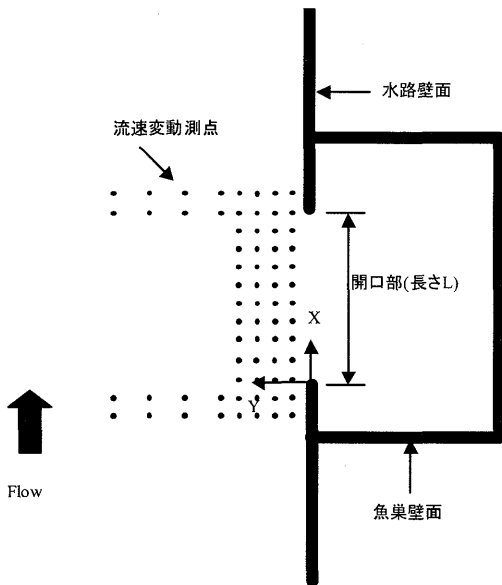


図2 流速変動測点

実験2では図2に示すように魚巢開口部上流端を原点にした $x-y$ 平面において、流速分布については、 $(x/L, y/B) = (-0.1, 0.04)$ から $(x/L, y/B) = (0, 0.32)$ まで測定を行った。 $y/B = 0.04 \sim 0.1$ については 0.5cm 間隔で、それ以降の点については 1cm 間隔で測定を行っている。また、 $(x/L, y/B) = (1.0, 0.04) \sim (x/L, y/B) = (1.0, 0.32)$ についても同様の間隔で測定を行っている。

開口部乱流剪断層の流速変動については、 $(x/L, y/B) = (0.1, 0.04) \sim (x/L, y/B) = (0.9, 0.1)$ まで測定を行い、 $y/B = 0.04 \sim 0.1$ について 0.5cm 間隔で4ラインについて流速変動を測定した。実験条件を表3に示す。

流速変動の測定には、X型ホットフィルム流速計 (IFA300 Thermal Pro) を用いた。なお、1測点における測定はサンプリング周波数 100Hz で20秒間測定し、各点につき2048個のデータを得た。

結果と考察

1. 渦の発生周期と渦径

人工魚巢の開口部始端において剥離渦が発生し、開口部では乱流剪断層が形成され発達していく。これが魚巢内外の物質交換に影響を及ぼしていることが実験1の流れの可視化で確認された。また、渦の発生周期、渦径には Fr 数が関係していることが推察された。そ

表3 実験条件 (流速変動測定)

RUN	$Q(\text{l/s})$	$H(\text{cm})$	$U(\text{cm/s})$	Fr	Re
2-1	3.3	7	18.9	0.23	8481
2-2	3.3	5	26.4	0.38	9429

表4 渦の発生周期と渦径

RUN	水深 $H(\text{cm})$	平均渦径 (cm)	発生周期 (s)
1-1	11	1.76	1.5
1-2	7	2.36	1.07
1-3	5	2.98	0.53

ここで、剥離渦の発生周期と渦径とについて画像データから得た結果を表4に示す。これによると、 Fr 数が増加することで段階的に渦径は大きくなっているが、周期に関しては、RUN1-1~RUN1-2よりもRUN1-2~RUN1-3の方が飛躍的な増加が認められる。これに関しては、実験2で得られた結果との比較から検討したい。

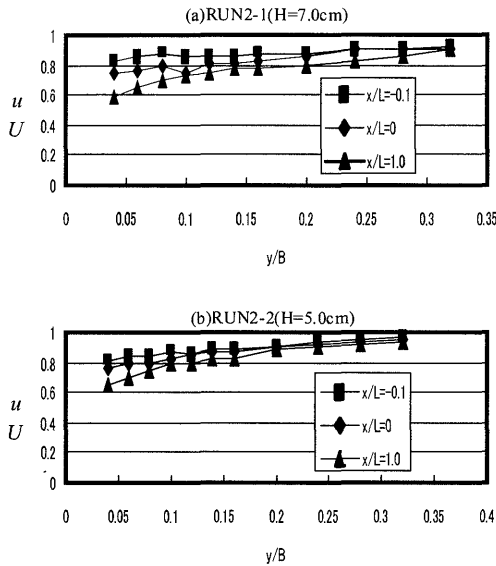
2. 魚巢開口部始端及び終端の流速分布

図2に示す $x = -1.0, 0, 1.0\text{cm}$ の各測点において得られた平均流速成分 \bar{u} , \bar{v} , 乱れ成分 u' , v' レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の y 方向分布のうち平均流速成分 \bar{u} を図3(a), (b) に示す。図3(a), (b) はそれぞれ RUN2-1, RUN2-2の結果である。 $x/L = 0$ 及び $x/L = 1.0$ における流速分布形状からわかるように、開口部始端で形成された乱流剪断層の厚さは、開口部終端近傍に至るまで流下とともに増大するが、これに対して開口部における流速は、流下とともに減衰することを示している。開口部に近い $y/B = 0.04$ での開口部終端の流速は開口部に比べて25%程度小さくなる。しかし、 $x/L = -0.1$ では $x/L = 0$ における流速分布形状にほぼ等しいと言える。

つまり、開口部における流れの構造は、その始端から終端に至るまでに変化するが、終端から次の魚巢開口部始端に至るまでに、流れ構造がほぼ元の流れ構造に回復しているものと推察される。

3. 開口部乱流剪断層の時間平均流速

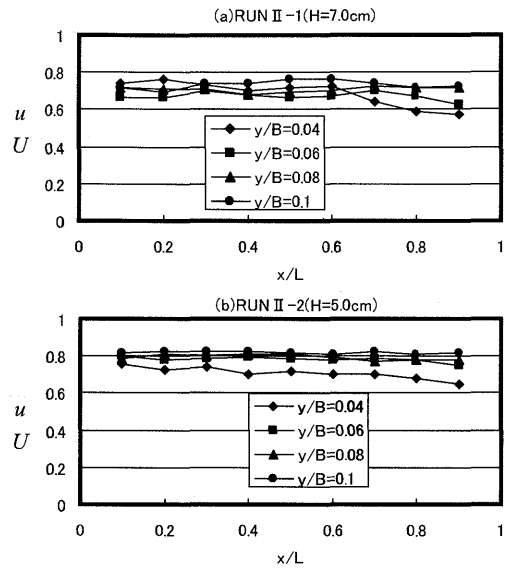
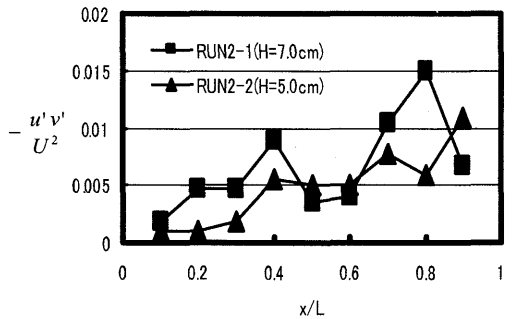
図4及び図5は開口部乱流剪断層の時間平均速度成分 \bar{u} , レイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ の x 方向分布についてそれぞれ示したものである。開口部始端における時間

図3 時間平均速度成分 \bar{u} の y 方向分布

平均流速は主流平均流速の、 Fr 数及び Re 数の大きさによって多少の誤差があるが 7 ~ 8 割程度の大きさの値を有することがわかる。また、測点 $y/B=0.04 \sim 0.06$ における時間平均流速 \bar{u} は開口部始端で発生した剥離渦に基づく、開口部乱流剪断層の形成、発達に伴い、次第に減衰し、開口部終端近傍では主流平均流速 U の 6 割程度の値になる。これについても Fr 数および Re 数の影響を受け、 Fr 数 (Re 数) が小さい場合は Fr 数 (Re 数) の大きい場合に比べて減衰率が小さい。これは、開口部剪断層の乱流構造に依存するものと推察される。

測点 $y/B=0.08, 0.1$ については、RUN2-1、RUN2-2のいずれの場合も開口部始端から終端までほとんど変化が見られないのは開口部乱流剪断層外、すなわち主流に位置するためと考えられる。図5から、剥離渦の流下に伴う開口部乱流剪断層の発達により、レイノルズ応力は開口部始端から終端に至るまで増加の傾向にあることがわかる。これは開口部における魚巢内部と主流の間の流体交換は、開口部始端より次第に増加し、終端近傍で最も大きくなることを示している。

ここで、図5に示されているように、 $x/L=0.4 \sim 0.6$ の間で一時的にレイノルズ応力が小さくなる傾向が見られる。これは、開口部乱流剪断層における組織渦の進行に伴い、開口部を通しての魚巢と主流の間の流体交換の位相が交互に反転することから発生する魚

図4 時間平均速度成分 \bar{u} の流下方向変化図5 レイノルズ応力の流下方向変化 ($y/B=0.04$)

巢内の水面振動、すなわち基本モードのセイシュと密接に関係しているものと推察される。

4. 開口部乱流剪断層の平均渦径

ここでは乱流計測で得た流速変動時系列から乱流剪断層の平均渦径について検討する。 x, y 方向の平均渦径 l_x, l_y は (1) 式を用いて算出する。

$$\left. \begin{aligned} l_x &= \bar{u}^* t_{**} \\ l_y &= \bar{v}^* t_{**} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 t_{**}, t_{**} は渦の平均寿命時間、 \bar{u}, \bar{v} は x, y 方向の時間平均流速成分であり、 t_{**}, t_{**} は流速変動 u', v' の自己相関係数 $R_u(\tau), R_v(\tau)$ を用い、(2) 式から求めた。

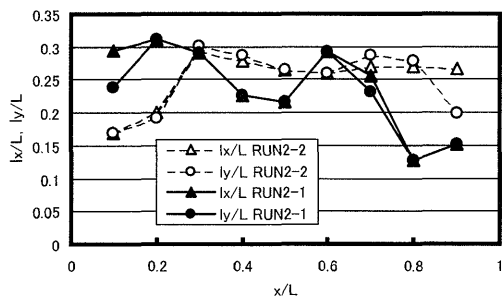
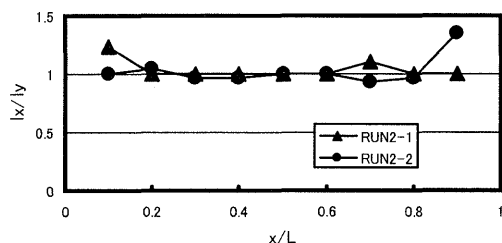
図6 乱流剪断層の渦径 ($y/B=0.04$)

図7 渦の形状

$$\left. \begin{aligned} t_{*x} &= \int_0^{\tau_0} R_u(\tau) d\tau \\ t_{*y} &= \int_0^{\tau_0} R_v(\tau) d\tau \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 τ はずらし時間、 τ_0 は自己相関係数が最初に0になるまでのずらし時間である。

図6は、開口部における渦径の変化を示している。図6から開口部付近で発生した渦は、そのスケールを増しながら、つまり、発達しながら流下していくこと

がわかる。また、開口部終端では壁面への衝突により渦は崩壊していることがわかる。図7は、開口部における l_x/l_y の変化について示したものである。 l_x/l_y の値は開口部始端及び終端近傍を除いてほぼ1である。これは開口部乱流剪断層における渦の平面形状は、ほぼ円形に近いことを表している。

要 約

本研究では人工魚巢開口部に形成される乱流剪断層の水理特性に関して、特に剥離渦の特性について、水理実験に基づき検討を行った。得られた結果をまとめると以下のようなものである。

開口部始端で発生した剥離渦は、 Fr 数が大きくなるほどその渦径は大きくなり、発生周期は短くなる。また、その渦は流下とともにその渦径を増し発達する。しかし、発達した渦は開口部終端近傍で壁面への衝突により崩壊する。渦の平面形状は崩壊する直前まではほぼ円形をしている。水路側壁面近傍の流速分布については人工魚巢開口部乱流剪断層を流下する際に減衰するが、開口部終端から、次の人工魚巢の開口部始端に至るまでにほぼ回復する。また、魚巢開口部乱流剪断層のレイノルズ応力は流下とともに増加することがわかった。

文 献

- 牧平朋大 2000 人工魚巢の水理環境. 九州大学農学部卒業論文
山本貴則 2001 人工魚巢開口部における剪断層の乱流構造. 九州大学農学部卒業論文

Summary

Recently, bank protection works are undertaken construction in many rivers. People try to keep rivers in a natural environment as much as possible. Under such circumstances, artificial block for fish nest comes to be considered available. To put it at bank serves as not only bank protection but also ecosystem preservation.

We studied having an interest in exchanging fluid between main stream of river and inside of the block, which is one of main functions of the block.

When main stream of river flow by the block, turbulent shearing layer becomes at pass-through of the block. Many vortexes arise in the layer. From previous reports, those vortexes cause exchanging fluid. We analyzed this system by two experiments, one is visualization for stream, another is measurement of flow velocity.

The vortexes arising from the leader of pass-through move to downstream with flow. Then the size of them increases with flow. When they get to near the end of pass-through, they brush against the sidewall of channel and they are broken. At the same instant, the width of turbulent shearing layer is increasing with flow, too. In such hydraulic phenomenon, the size of vortexes, the width of turbulent shearing layer and other turbulent quantities depend on the value of Froude number.