

# アユの産卵に適した浮き石状態の発生条件

鬼東 幸樹<sup>1\*</sup>・永矢 貴之<sup>2</sup>・白石 芳樹<sup>2</sup>・東野 誠<sup>3</sup>・高見 徹<sup>3</sup>・  
的場 眞二<sup>4</sup>・秋山 壽一郎<sup>1</sup>・尾関 弘明<sup>5</sup>・畑中 弘憲<sup>6</sup>・中川 由美子<sup>7</sup>

<sup>1</sup>九州工業大学工学部建設社会工学科（〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1）

<sup>2</sup>（株）建設技術研究所 九州支社河川部（〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12）

<sup>3</sup>大分工業高等専門学校都市システム工学科（〒870-0152 大分県大分市大字牧1666）

<sup>4</sup>国土交通省九州地方整備局延岡河川国道事務所（〒882-0803 宮崎県延岡市大貫町1-2889）

<sup>5</sup>（株）トヨタプロダクションエンジニアリング（〒810-0073 福岡市中央区舞鶴3-2-1）

<sup>6</sup>（株）アクティス（〒101-0042 東京都千代田区神田東松下町47-1）

<sup>7</sup>みやこ町役場（〒824-0821 福岡県京都郡みやこ町勝山上田960）

\* E-mail: onitsuka@civil.kyutech.ac.jp

アユは秋頃に河川下流域の「浮き石状態」になっている瀬に産卵する。浮き石状態とは「足で河床を踏むとザクザクした状態」あるいは「足踏みをすると足の周囲から河床材料が流れ出す状態」と漁師によって定義されている。一方、河床材料が比較的固定されており、足で河床を踏んでも河床材料が流れ出さない状態は「沈み石状態」と呼ばれている。以上のように、浮き石状態が発生する条件は定性的には漁師によって知られているものの、定量的な把握はなされていないのが現状である。本研究は、まず河川において浮き石状態が発生する条件を定量的に解明した。続いて、浮き石状態となっている河床材料を実験室に持ち帰り、系統的に水深および流速を変化させ、河床内部および流水中の流速を計測することで浮き石状態の詳細な水理学的条件を解明した。

**Key Words :** *ayu, spawning bed, soft bed, field survey*

## 1. はじめに

アユは内水面においてサケに並ぶ漁獲高を誇る魚である。アユの漁法には、チャップン掛け漁、チョン掛け漁、瀬がけ漁、刺網漁、アユ梁、鶺鴒飼、柴ぜき漁など数え切れないほどの種類がある<sup>1)</sup>。宮崎県延岡市を貫流する五ヶ瀬川派川の大瀬川において、アユの産卵期の主な漁法は「瀬がけ漁」である。これは、瀬に産卵に来たアユを針に引っかけて釣り上げる漁法である。大瀬川では漁協によって瀬が流下方向 15m、横断方向 10.5m の区画に分割されており、漁師は自分の区画内でしか漁をできない。そのため、多くのアユを自分の区画内に呼び寄せる工夫、すなわち、アユの産卵に適した流れ場を作り出すことが必要となる。流れ場を構成するものとして、水深、流速、勾配、河床材料などがあるが、延岡五ヶ瀬川漁協および北川漁協にヒアリング調査した結果、水深はほとんど産卵適正に影響しないという。また、流速に関して

は「底ばやり」といって底面付近の流速が速い状態が適しているという。これは、同じ水深でも水深平均流速が速いほど速度勾配の急な領域が底面近傍に集中するため、底面から多少離れた領域の局所流速が増加することを意味すると考えられる。一方、河床状態に関しては、「浮き石状態」<sup>2)</sup>がアユの産卵に適していると述べている<sup>29)</sup>。これは、人が何度か足踏みしたときに足の周囲から石が流れ出す状態をいい、河床を踏んだときにザクザクした感触か固い感触かで判断している。一方、人が歩いてても石が動かない状態は「沈み石状態」<sup>2)</sup>と呼ばれている。

浮き石状態の定量的定義はほとんどなされていない<sup>9)</sup>。近年、矢部・中津川<sup>7)</sup>は 10cm×10cm の枠内で採取した最大粒径の石の色や付着藻類の付き方から 4段階の浮き石率を定義しているが、主観的にしか求めることが出来ない。本研究は、現地調査によって浮き石状態の定義を行い、さらに、室内実験によって浮き石状態の発生条件を解明したものである。

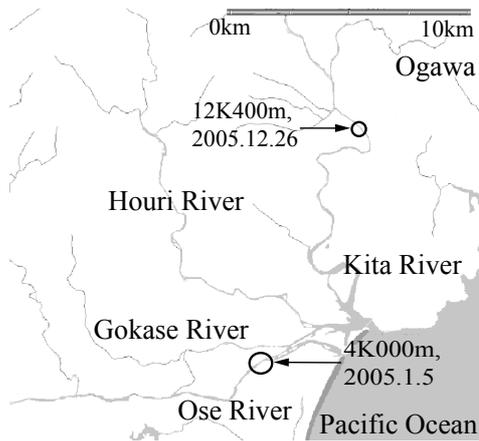


図-1 計測ポイントの位置関係



写真-1 おぐら下の瀬

## 2. 現地調査による浮き石状態の定量評価

### (1) 調査対象場所および調査方法

宮崎県延岡市を貫流する五ヶ瀬川水系を対象フィールドとした。五ヶ瀬川水系は図-1に示すように五ヶ瀬川、祝子川および北川で構成され、さらに、五ヶ瀬川の下流域では大瀬川が分流している。大瀬川、祝子川および北川ではアユの産卵床が確認されているが、大瀬川が分流した後の五ヶ瀬川ではアユの産卵床は確認されていない。そのため、大瀬川および北川を計測地点として選んだ。大瀬川には大規模な人工産卵床が3カ所ある。その1つの安賀多の瀬（通称、おぐら下の瀬）を写真-1に示す。大瀬川河口より4K000mに位置する安賀多の瀬は流下方向15m、横断方向10.5mの区画に分割され、合計16の領域で構成されている。漁師はくじで当たった自分の区画内でしかアユ漁をできない。そのため、漁師は多くのアユを自分の区画内に呼び寄せるために、区画内の大きな石を除去し、適した大きさの石を入れるなどの工夫をしている。一方、北川には人工産卵床はなく、産卵床のすべてが自然産卵床である。

図-1に示す大瀬川河口より4K000mの地点で2005年1月5日に、北川河口より12K400mの地点で2005年12月26日にそれぞれアユの産卵床のある瀬において調査を

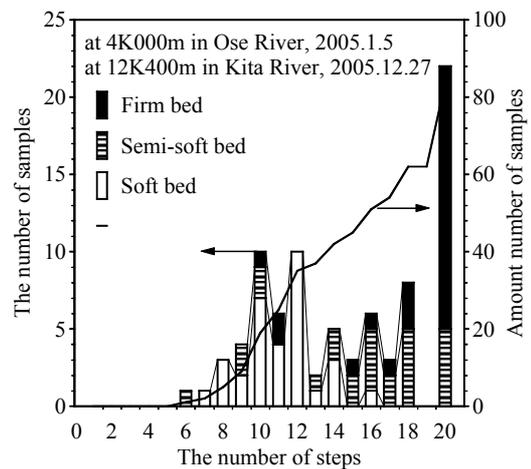


図-2(a) 足踏み回数と河床状態

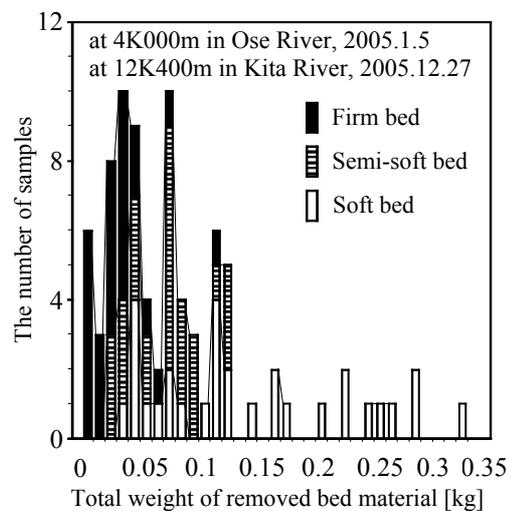


図-2(b) 掃流された河床材料の総質量

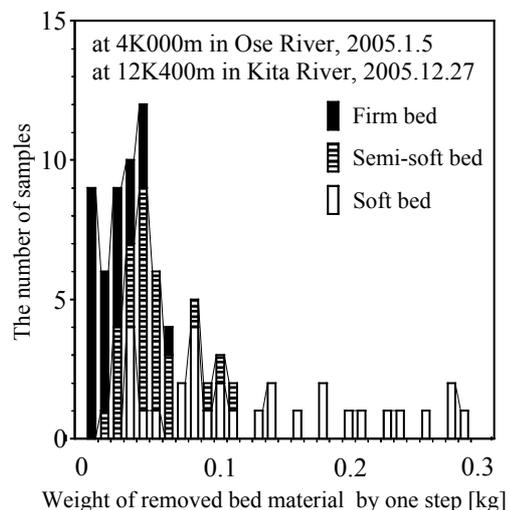


図-2(c) 足踏み1回当たり掃流質量

行った。産卵床のある瀬では全領域に産卵床が存在するのではなく、瀬の所々にパッチ状に存在している。そこで、産卵床の存在する箇所および存在しない箇所を調査対象地点とした。予備調査を行った結果、定点で足踏みを20回以上行っても浮き石と感じない場合は、それ以

上に足踏み回数を増やしてもほぼ沈み石と感ずることから、最大足踏み回数を 20 回とした。定点で足踏みを行い、浮き石状態と感ずたら足踏みを停止し、そのときの足踏み回数をカウントした。もし、浮き石状態と感ずない場合は足踏みを 20 回行った時点で停止した。ところで、測定者によって足踏みの方法が異なると、個人誤差が生じる可能性がある。そのため、ほぼ同様な足踏み方法になるように、膝の高さはほぼ地面と平行になる程度の高さとし、足踏み速度は 20 回/15s を目安とした。全ての計測点において 4 人が別々に足踏み調査を行ったところ、ほぼ同様な結果となった。上記のような足踏み計測によって各測定ポイントの状態を、浮き石(soft bed condition)、半浮き石(semi-soft bed condition)および沈み石(firm bed condition)の 3 つに区別した。また、足踏みを行う測定者の下流側に 1mm メッシュのタモを設置し、足踏みによって掃流する流砂を捕捉した。以上のような調査を合計 84 ポイントで行った。さらに、すべての調査ポイントおよび淵において河床材料を採取し、乾燥した後に分けを行った。

足踏み調査を行った 84 ポイントにおいて、3 次元電磁流速計(東京計測 SF-3013)を用いた流速計測を行った。鉛直方向の計測点数は 12~25 点で、測定時間は 1 点あたり 51.2s で測定間隔は 0.05s とした。また、各流速計測点において約 10cm 深さまでの河床材料を採取した。これはアユの卵が 6~10cm の深さに生み付けられることに基づいている<sup>8)</sup>。なお、水深は 0.15~0.67m、水深平均流速は 0.30~1.19m/s であった。水深および水深平均流速の相違による河床の状態(浮き石状態あるいは沈み石状態)の分類を試みたが、明確な差異は見られなかった。

## (2) 計測結果および考察

### a) 河床の状態と掃流砂量との関係

図-2(a)に河床の状態が浮き石状態か、沈み石状態か、あるいは半浮き石状態かを判定したときの足踏み回数と河床の状態との関係を示す。足踏み回数が 20 回の場合は沈み石と判定する比率が多い。また、足踏み回数が少ないほど浮き石状態と判定するケースが多く、足踏み回数が多いほど沈み石状態と判定する傾向があるが、両者が混在している足踏み回数の範囲が広く、両者を明確に分離できない。

図-2(b)に足踏みを行うことによって掃流した総流砂質量と河床状態との関係を示す。比較的総流砂質量が大きいほど浮き石状態と感ずているが、掃流砂質量が小さくても浮き石状態と判定しているものもある。これは、比較的少ない足踏み回数で浮き石状態と判定した場合に相当する。そこで、掃流砂質量を足踏み回数で除したもの、すなわち、足踏み 1 回当たりの流砂質量と河床状態との

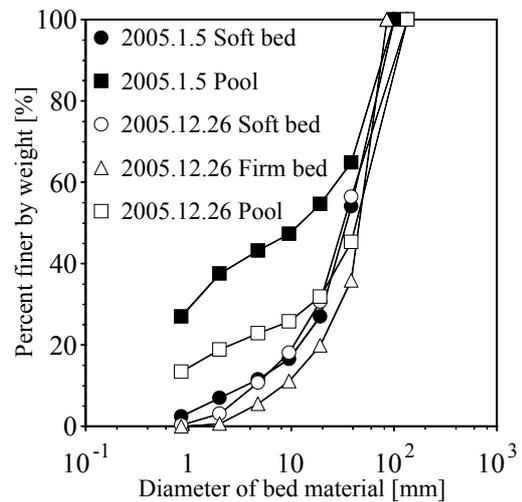


図-3 計測で得られた粒度分布

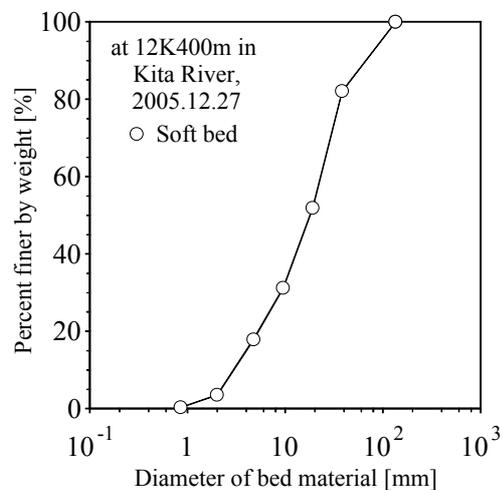


図-4 足踏みによって流出した河床材料の粒度分布

関係を図-2(c)に示す。足踏み 1 回当たりの流砂質量が約 0.1kg 以下では、浮き石状態と判定している場合も見られるが、ほとんどは沈み石状態あるいは半浮き石状態と判定されている。また、足踏み 1 回当たりの流砂質量が約 0.1kg 以上であれば、ほぼ浮き石状態と判定している。そのため、「浮き石状態」を「足踏み 1 回当たりの流砂質量が約 0.1kg 以上の状態」と定量評価できた。

### b) 粒度分布

2005 年 1 月 5 日の浮き石状態の瀬、淵、2005 年 12 月 26 日の浮き石状態および沈み石状態の瀬、淵で得られた粒度分布を図-3 に示す。瀬と淵の粒度分布は明らかに異なる。しかし、浮き石状態の瀬と沈み石状態の瀬の粒度分布はかなり類似しており、差違は微小である。したがって、浮き石状態か沈み石状態を決定している要因は粒度分布ではないと推測される。

図-4 に足踏みによって流出した河床材料の粒度分布を示す。図-3 と比較すると、様々な粒度を有する河床材料の中で、比較的粒径の小さな材料が足踏みすることによって掃流されていると判断される。

### 3. 室内実験による浮き石状態の発生条件の調査

現地計測によって浮き石状態が、「足踏み1回当たりの流砂質量が約 0.1kg 以上の状態」と定義された。しかし、浮き石状態を発生させる水深や流速といった水理条件は解明されていない。そこで、本章では室内実験に基づき、浮き石状態を発生させる水理条件の解明を試みた。

#### (1) 実験方法および実験条件

実験に用いた水路は長さ 8m、水路幅 0.3m の可変勾配水路である。現地調査で複数の地点における浮き石状態の河床材料を採取したが、粒度分布がほぼ同様であったため、それらを混合し、水路内に厚さ 0.2m に一様に敷き詰めた。水路の側壁および底面は木製であるが、以下に示す流速計測断面の片側の側壁は流下方向 1m に亘ってアクリル製である。

表-1 に示すように水深を 0.1, 0.15, 0.2 および 0.25m にそれぞれ固定し、流量および水路床勾配  $I$  を変化させた。ケース名をそれぞれ H10, H15, H20 および H25 とする。流れの設定に当たっては、水路内で足踏みをしながら浮き石状態と感ずるように調整した。また、流れの設定が終了した後、現地調査で行った方法と同様な足踏み計測および流砂の採取をそれぞれ 20 回行った。一方、水深を 0.1m に固定して流量および水路床勾配を変化させ、沈み石状態(H10-F)および半浮き石状態(H10-S)および足踏みをしなくても常に流砂が流れている流砂状態(H10-M)も作成した。

計測項目は河床内流速計測および河床上流速計測である。側壁の影響を受けていない水路中央部において両者の計測を行うことが理想的であるが、水路中央における河床内流速を計測することは極めて困難である。一方、図-3 に示されたように、中央粒径が 50mm 程度の砂礫中の流れは滑面である側壁の影響よりも粒径による影響が支配的になると考えられるため、今回は河床内流速計測は側壁において行った。すなわち、水路上流端から 7m に位置する側壁付近の河床内に 10mm 間隔に穴の開いた外径 3mm のアルミパイプを挿入し、穴から流下する染料の挙動をデジタルビデオカメラで各ケース 50 回撮影した。したがって、得られる流速は「見かけ上の流速」ではなく「真の流速」である<sup>9,10)</sup>。撮影後、コマ送りして移流していく染料の先端をトレースすることで河床内の流速を得た。続いて、3 次元電磁流速計を用いて 3 つの横断位置( $z/B=0.25, 0.5, 0.75$ )の鉛直方向 15 点において、河床上の流速  $\tilde{u}=U+u$  および  $\tilde{v}=V+v$  を計測した。ここに、 $x$  は流下方向の座標、 $y$  は  $x$  軸に直角上向きの座標、 $z$  は横断方向の座標で、 $\tilde{u}$  および  $\tilde{v}$

表-1 実験条件

case name	bed condition	$h$ (m)	$I$	discharge ( $\ell/s$ )
H10-M	Movable bed	0.10	1/60	30
H10	Soft bed	0.10	1/70	27
H15		0.15	1/100	40
H20		0.20	1/140	55
H25		0.25	1/170	65
H10-S	Semi-soft bed	0.10	1/80	26
H10-F	Firm bed	0.10	1/600	10

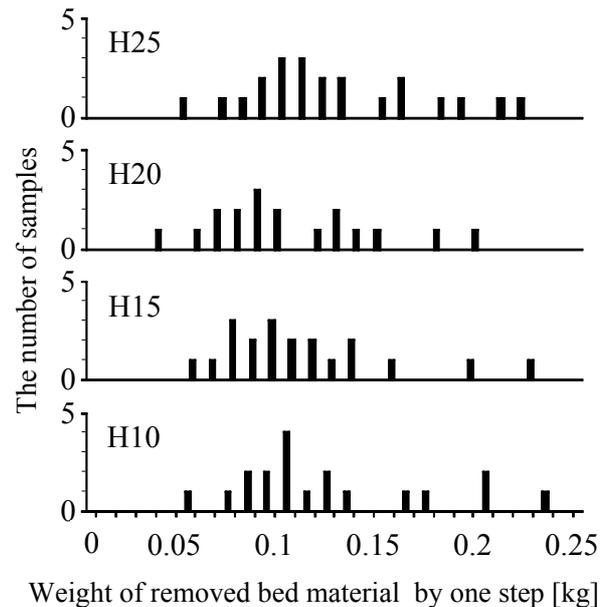


図-5 室内実験における足踏み1回当たりの掃流砂質量

はそれぞれ  $x$  および  $y$  方向の瞬間流速で、大文字は時間平均、小文字は変動成分を示している。 $B$  は水路幅である。

#### (2) 計測結果および考察

##### a) 河床の状態

図-5 に各ケースにおける足踏み1回当たりの掃流砂質量を示す。1 回当たりの掃流砂質量が 0.1kg 以上のケースが多くを占め、図-2(c)で得られた現地計測結果と類似するため、ほぼ浮き石状態を再現しているものと考えられる。

##### b) 河床内流速分布

図-6 に H20 における河床内瞬間流速  $\tilde{u}$  のヒストグラムの鉛直方向変化を示す。 $u'$  は  $x$  方向流速の乱れ強度であり、相当粗度  $k_s$  は次式<sup>11)</sup>から算出した。

$$k_s = d_{65} \quad (1)$$

ここに、 $d_{65}$  は 65%通過粒径である。同図には正規分布も示している。

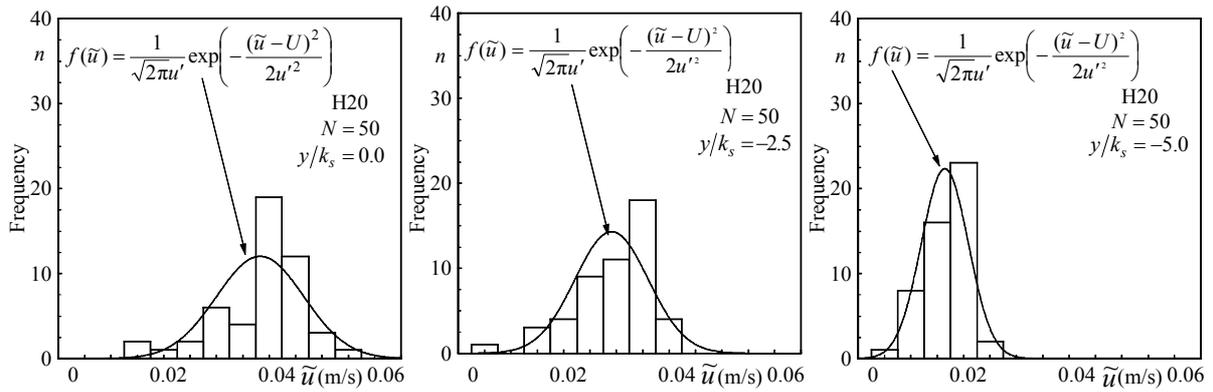


図6 ケース H20 における河床内瞬間流速  $\tilde{u}$  のヒストグラムの鉛直方向変化

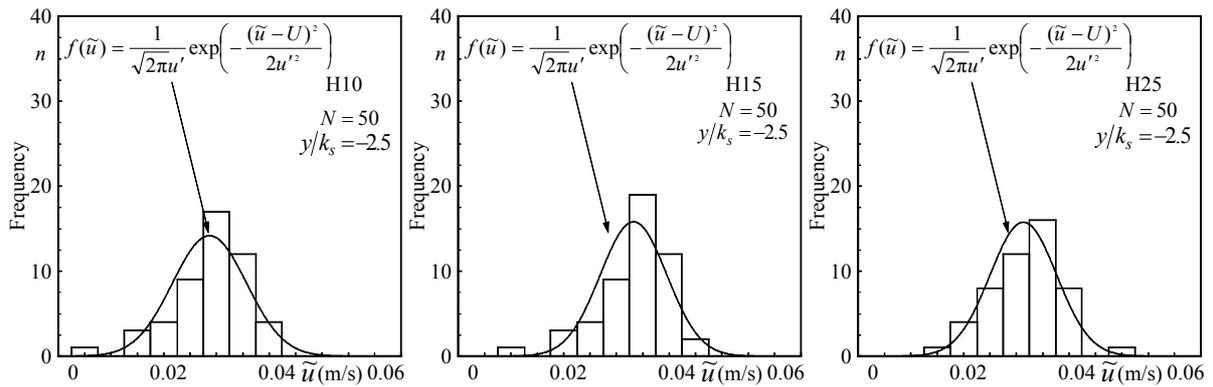


図7 同一高さにおける異なるケースの  $\tilde{u}$  のヒストグラム

$$f(\tilde{u}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}u'} \exp\left(-\frac{(\tilde{u}-U)^2}{2u'^2}\right) \quad (2)$$

河床から深い所と比べ河床 ( $y=0$ ) 付近では流速が速くヒストグラムのばらつきも大きい。これは、河床上で発生する sweep が河床内に進入していることが一因と考えられる<sup>12)</sup>。今後、可視化実験<sup>13)</sup>で検討したい。

図7に同一高さ ( $y/k_s = -2.5$ ) における異なるケースの  $\tilde{u}$  のヒストグラムを示す。ヒストグラムの平均値およびばらつきはどのケースもほぼ同様である。したがって、水深が異なっても浮き石状態であれば、河床内の流速特性はほぼ同様と判断される。そこで、H10、H15、H20およびH25で得られた河床内流速を平均化した。

図8に平均化された浮き石状態の河床内流速分布および沈み石状態(H10-F)、半浮き石状態(H10-S)および流砂状態(H10-M)における河床内流速分布を示した。浮き石状態と比べると、沈み石状態の流速は小さく、流砂状態の流速は大きくなっている。ただし、いずれのケースも河床から深くなるにつれて流速が徐々に減少しており、形状は類似している。河床内流速分布は山田・川端<sup>9,10)</sup>が理論に基づいたモデルを提案しているが、実験的に求めることが困難な係数を複数含んでいるため、次式のような山田・川端モデルを単純化したモデルを用いる。

$$U = U_s + U_0 \exp(\alpha y) \quad (3)$$

ここに、 $U_s$  は河床上のシア어의影響が及ばない領域の

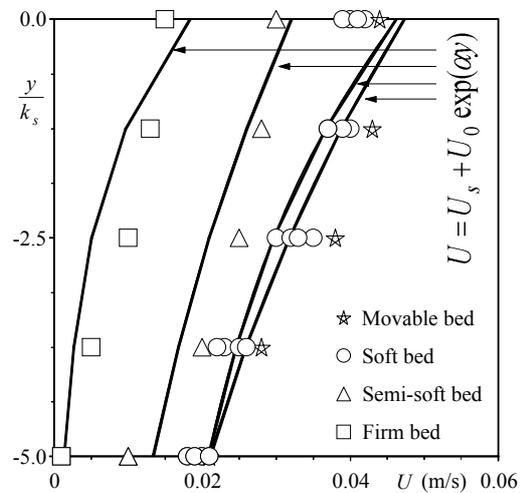


図8 河床内流速分布

流速、 $U_0$  は河床流速から  $U_s$  を引いたもの、 $\alpha$  は係数である。得られた流速分布が式(3)にベストフィットするように各係数を求めた。図8中に式(3)を示すが、河床内流速分布が式(3)によって良好に再現されていることがわかる。

### c) 浮き石状態の予測

係数  $\alpha$  は粒径、空隙率、水深、流速などの関数と考えられる。ただし、浮き石状態では図3に示すように粒径はほぼ同様である。また、足踏みするとザクザクした状態のため、空隙率も類似していると考えられる。さ

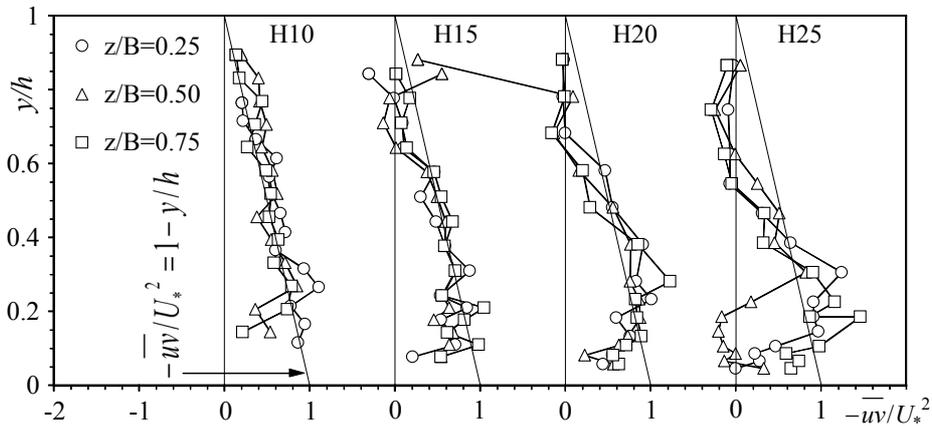


図-9 レイノルズ応力分布

らに、水深が変化しても河床から同一の距離における流速が同様であることが図-7 から求められた。そのため、係数 $\alpha$ は摩擦速度 $U_*$ の一価関数になると判断される。開水路流の摩擦速度はしばしば対数則から算出される<sup>14)</sup>。ただし、積分定数は水理条件によって変化し、原点補正量も混合粒径の場合は未解明である<sup>14)</sup>。また、本研究では相当粗度を式(1)から求めたが、その精度は検証されていない。したがって、対数則以外の方法から摩擦速度 $U_*$ を算出することが望ましい。摩擦速度はエネルギー勾配およびレイノルズ応力分布からも算出可能であるが、エネルギー勾配から摩擦速度を求めるには極めて高精度な測量が必要となるため、ここでは後者を用いる。

$$-\overline{uv}/U_*^2 = 1 - y/h \quad (4)$$

図-9 に H10, H15, H20 および H25 で得られたレイノルズ応力分布を示すと共に、式(4)を併示した。いずれのケースにおいても底面近傍ではレイノルズ応力の欠損が認められる。これは vortex shedding の影響である<sup>15)</sup>。水面付近に着目すると、水深の増加に従いレイノルズ応力が減少している。Nezu & Rodi<sup>16)</sup>および Nezu et al.<sup>17)</sup>によって側壁から水深の2倍以上離れた領域では2次流の影響を受けることが解明されている<sup>18)</sup>。したがって、水面付近におけるレイノルズ応力の減少の原因は、2次流と考えられる。そこで、底面近傍を除いた $y/h \leq 0.4$ の領域において、レイノルズ応力分布が式(4)とフィットするように摩擦速度 $U_*$ を算出した。なお、今回計測した $z/B = 0.25, 0.5, 0.75$ における摩擦速度の差は10%程度であった。滑面乱流では摩擦速度が横断方向に大きく変化することが知られているが、本研究のように側壁が木製で底面に大きな粗度がある場合は側壁によるシアよりも底面によるシアの方が支配的になる。そのため、 $z/B = 0.25$ で得られた摩擦速度を利用して以下の解析を行った。

表-2 および図-10 に室内実験で得られた浮き石状態、沈み石状態および流砂状態の係数 $\alpha$ と摩擦速度 $U_*$ との関係および2005年1月5日に現地で得られた浮き石状

表-2 係数 $\alpha$ と摩擦速度 $U_*$ の関係

	$U_*$ (m/s)	$\alpha$
Firm bed	0.04	0.51
Semi-soft bed	0.11	0.15
Soft bed	0.12	0.26
Movable bed	0.13	0.15
Field data at pool	0.02	-
Range of field data at rapid	0.05-0.12	-

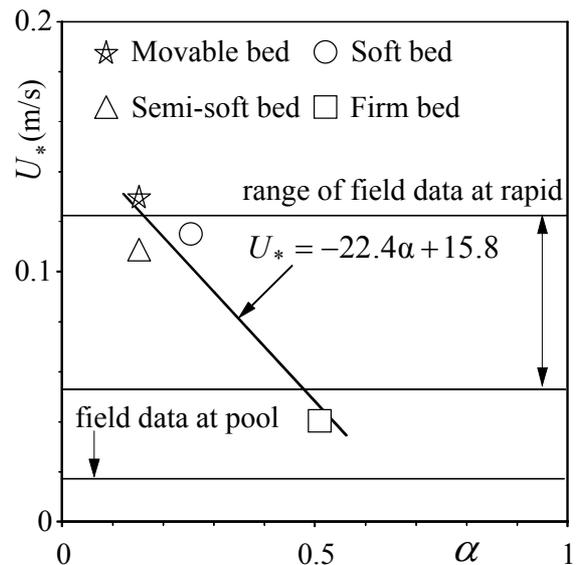


図-10 係数 $\alpha$ と摩擦速度 $U_*$ の関係

態における摩擦速度の範囲(0.05m/s~0.12m/s)と淵で得られた摩擦速度の値を示している。現地計測で得られた摩擦速度の範囲内に室内実験の浮き石状態の摩擦速度が位置している。そのため、室内実験の水理条件は現地の水理条件を満たしていたと判断される。そこで、室内実験で得られた係数 $\alpha$ と摩擦速度 $U_*$ との関係を線形式で求めた。

$$U_* = -22.4\alpha + 15.8 \quad (5)$$

ただし、3. (2)の c)で述べたように、係数 $\alpha$ は浮き石状態では摩擦速度のみの関数と考えられるが、沈み石状態

および流砂状態ではその他のパラメータに依存するため、式(5)に含まれるパラメータが摩擦速度のみということは適切ではない。しかし、図-10より今回計測した沈み石状態および流砂状態は、現地で浮き石状態と判断された摩擦速度の範囲(0.05m/s~0.12m/s)を僅かにはずれる程度である。一方、これまで浮き石状態の定量評価が全くされてこなかった背景があることから、今回は厳密性に欠けるものの式(5)を提案した。精度は高くないと考えられるが、表-2および図-10より、摩擦速度が0.05~0.12m/s程度であれば浮き石状態になる可能性が高いと考えられる。ただし、現地計測の結果、上記の摩擦速度の範囲であれば必ずしも浮き石状態になっているわけではなく、沈み石状態も存在することが判明している。したがって、上記の摩擦速度の範囲は浮き石状態となる必要十分条件ではなく、十分条件にすぎない。

#### 4. おわりに

本研究ではアユの産卵に適した浮き石状態を定量的に定義することおよびその発生条件を解明するために現地計測および室内実験を行った。結論を以下に示す。

- (1) 浮き石状態とは足踏み1回当たりに0.1kg以上の河床材料が掃流される状態であり、沈み石状態はこれ以下の河床材料しか掃流されない状態である。
- (2) 浮き石状態の場合、河床内部に多くの空隙が存在し、沈み石状態では間隙が小さいこと、そのため、浮き石状態の方が河床内の流速が速いことが示唆された。
- (3) 水深および水深平均流速が異なっても浮き石状態であれば河床内の流速分布はほぼ一致する。山田・川端のモデルに基づいた式(3)で河床内の流速分布を表したとき、浮き石状態では摩擦速度が0.05~0.12 m/s程度であることが解明された。ただし、現地計測の結果、上記の摩擦速度の範囲であれば必ずしも浮き石状態になっているわけではなく、沈み石状態も存在することが判明している。したがって、上記の摩擦速度の範囲は浮き石状態となる必要十分条件ではなく、十分条件にすぎない。

謝辞：本研究を行うに当たり、北川漁協の長瀬一己組合長およびその他の組合員の皆様および延岡五ヶ瀬川漁協の須田政道組合長、工藤平寿郎理事、甲斐勝組合員、土田栄組合員およびその他の組合員の皆様には河床材料の採取を快く許可いただいた。延岡河川国道事務所の高尾秀敏副所長、甲斐浩幸課長、川越邦俊専門員、青木繁技

官の諸氏には現地調査を行う上で調整をしていただいた。また、現地計測の際には当時九州工業大学学部生の飯國洋平氏(九州工業大学大学院)の協力を頂いた。上記の皆様に対し、ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 北川漁協協同組合：漁協50周年記念誌~北川~, 2001.
- 2) 石田力三：瀬付き, アユの産卵行動をさぐる, アニマ, No.43, pp.12-20, 1976.
- 3) 全国内水面漁業協同組合連合会：アユの産卵場づくりの手引き—魚類再生産技術開発調査報告書—, 1994.
- 4) 川那部浩哉, 桜井淳史：アユの博物誌, 平凡社, 1982.
- 5) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六：河川生態環境工学—魚類生態と河川計画, 東京大学出版会, 1993.
- 6) 山本亮介, 本田晴朗：短期的な流況変動に起因するアユ産卵環境の変動予測, 水工学論文集, 第49巻, pp.1483-1488, 2005.
- 7) 矢部浩規, 中津川誠：河川環境改善のための底質動物生息の物理, 餌環境要因分析, 水工学論文集, 第49巻, pp.1459-1464, 2005.
- 8) 石田力三：アユの産卵生態-I, 産卵群の構造と産卵行動, *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, Vol.25, No.4, pp.259-268, 1959.
- 9) 山田正, 川端規之：浸透層上の流れの抵抗則に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第325号, pp.69-80, 1982.
- 10) 山田正, 川端規之：浸透層上の流れの抵抗則に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第325号, pp.81-91, 1982.
- 11) 川村三郎, 小沢功一：山地河川における河床材料のサンプリング方法と粒度分布, 土木学会誌, 第55号, pp.53-58, 1970.
- 12) 禰津家久, 鬼束幸樹, 倉田昌明：平坦河床上に発生するbursting現象に及ぼす掃流砂の影響, 土木学会論文集, No.621/II-47, pp.77-89, 1999.
- 13) 大本照憲, 柿原ゆり, 崔志英：相対粗度の大きい開水路流れの乱流特性について, 水工学論文集, 第49巻, pp.511-516, 2005.
- 14) Nezu, I. and Nakagawa, H.: *Turbulence in Open-Channel Flows*, IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, 1993.
- 15) 中川博次, 辻本哲郎, 清水義彦：粗度近傍の組織的流速変動場が相対水深の小さな流れの乱流構造に及ぼす影響, 第33回水理講演会論文集, pp.487-492, 1989.
- 16) Nezu, I. and Rodi, W.: Experimental study on secondary currents in open channel flow, *Proc. of 21st Congress of IAHR*, Melbourne, Vol.2, pp.115-119, 1985.
- 17) Nezu, I., Nakagawa, H. and Tominaga, A.: Secondary currents in a straight channel flow and the relation to its aspect ratio, *Turbulent Shear Flow 4*, Springer-Verlag, pp.246-260, 1985.
- 18) Nezu, I. and Onitsuka, K.: 3D-measurements of secondary currents and momentum transfer in an open-channel flow with two sets of LDAs, *Turbulence, Heat and Mass Transfer 3*, Aichi shuppan, Tokyo, pp.249-256, 2000.
- 19) 椿東一郎：水理学I, 森北出版, 1991.

(2007. 5. 25 受付)

## Study on Suitable River Bed Condition for Spawning of Ayu

Kouki ONITSUKA<sup>1</sup>, Takayuki NAGAYA<sup>2</sup>, Yoshiki SHIRAISHI<sup>2</sup>, Makoto HIGASHINO<sup>3</sup>, Tohru TAKAMI<sup>3</sup>, Shinji MATOBA<sup>4</sup>, Juichiro AKIYAMA<sup>1</sup>, Hiroaki OZEKI<sup>5</sup>, Hironori HATANAKA<sup>6</sup> and Yumiko NAKAGAWA<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Eng., Kyushu Institute of Technology

<sup>2</sup>CTI Engineering Co., Ltd

<sup>3</sup>Dept. of Civil Eng., Oita Nat. College of Technology

<sup>4</sup>Kyusyu Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

<sup>5</sup>Toyota Production Engineering Corporation

<sup>6</sup>ACTIS Corporation

<sup>7</sup>Miyako Town

The ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, spawns at the rapid in the lower reach of the rivers, because the velocity is high and also the bed condition is “soft bed”. The soft bed condition is defined by fishermen as that the bed materials move if someone walks on the spawning bed. Fishermen make their efforts to keep soft bed condition during the spawning season. However, it is quite difficult to keep soft bed condition, because they do not know how to make soft bed condition in detail. In this study, the soft bed condition is investigated quantitatively by the field survey. It was found that the soft bed condition is satisfied if the weight of the removed bed material by one step is larger than 0.1kg when someone walks on the river bed. Velocity measurements both in the water and under the bed in the flume were conducted. It was found that the soft bed condition is similar to the critical condition of sediment movement and also that the thickness of the mixing layer between the fixed bed material and moving one increase when the soft bed condition is satisfied.