

土砂供給に伴うアユ産卵環境の変化予測

鈴木崇正*・角 哲也・竹門康弘・中島佳奈**

* 東邦ガス

** 情報学研究科

要 旨

静岡県に流れる天竜川では、土砂吸引バイパスによる佐久間ダムから下流域への土砂供給が計画されている。本研究では、土砂供給がアユの産卵環境にどのような影響をもたらすのか予測することを目的とした。まず、既往研究と現地調査により、礫底で比較的最近に土砂が堆積した瀬がアユの産卵に適していることが明らかとなった。次に、平面 2 次元河床変動計算によるアユ産卵適地の予測手法について検討を行った。上流ダムからの土砂供給無しの現状の条件では、本流部の瀬ではなく、増水時に砂州上に形成される副流部と本流部が合流する地点に産卵適地が形成された。また、土砂供給に関しては、砂分のみでは不十分であり、産卵適地となり得る河道区間上流に礫を直接供給することが有効と考えられる。

キーワード: アユ, 産卵床, 土砂供給, 河床軟度, 2次元河床変動計算, 天竜川

1. はじめに

天竜川で行われている「ダム再編事業」は、佐久間ダムの堆砂問題を解決し、遮断されていた流砂を下流域に供給することで河川から海岸域までの流砂系の総合的な土砂管理を実現するものであり、今後の河川管理のあり方に大きな転換をもたらすものと期待されている。これまでに、佐久間ダムからの土砂排出方法の検討や、将来の土砂供給による影響を先行的に評価するための置き土砂手法を用いた検討などが実施されてきている（例えば、岡野ら(2005)）。しかし、これら土砂供給による結果としての河川環境への影響予測や劣化した自然を再生するための手法は十分に確立されていない。

そこで、本研究では、天竜川を代表する魚種であるアユの産卵床を評価対象とし、ダムからの土砂供給による影響の評価および適切な土砂管理のあり方について考察を行った。

2. 既往の研究

2.1 アユの産卵にとっての最適条件

一般には、アユは流速の速く水深が浅い瀬で産卵するといわれる。しかし、天竜川では現在、浅瀬の環境悪化により、アユが水深 1 m 以深に多く産卵することが知られている。また、アユの産卵床における流速と水深については必ずしも特定の値が選好されているわけではない (Fig. 1)。

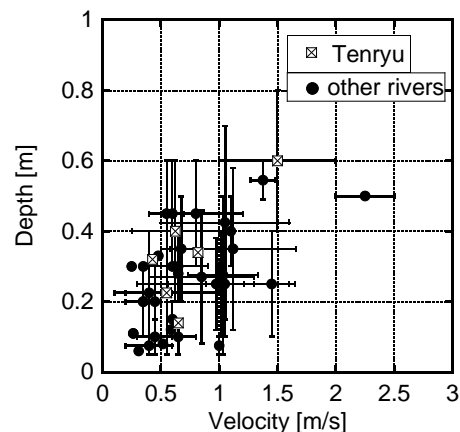


Fig. 1 Suitable range of the flow depth and velocity for spawning of Ayu

一方、河床環境に着目すると、アユにとって掘り起こししやすい状態で、かつ、卵が埋まった状態でも隙間ができるような砂利や礫で構成されていることが重要であることが知られている。これは、卵を増水や天敵から守るために、アユが表層部の砂利を掘り起こして卵を産む習性があるためである。

ここで、アユの産卵場を評価する際、河床環境に着目する事が有効である事がわかった。また、天竜川において、現状では深瀬が主な産卵場となっているが、河床環境を改善すれば、多くのアユが浅瀬にて産卵すると期待できる。本研究では、河床の軟らかさを「河

床軟度」と定義し、河床軟度が高い礫底の瀬をアユの産卵にとって最適な河床環境であるとした。

3. 現地調査

天竜川漁協組合の協力のもと、河床環境に関する現地調査を行った。調査項目は、アユ産卵環境の変遷と現状に関する漁協へのヒアリングと、瀬における水深・流速、河床の粒度分布及び河床軟度の測定である。

3.1 漁協へのヒアリング調査

アユ産卵環境は、ダム建設後の土砂供給の減少により、河床軟度の高い場所が減ってきており、実際にアユの数も年々減少しているという。こういった現象を改善するために土砂対策が必要であり、漁協も強く希望していた。河川管理者と漁協が連携することにより、適切な土砂管理方策を模索することが必要である。

3.2 河床調査

天竜川のアユの産卵範囲である下流部（河口から概ね 20km までの区間）において、調査可能な瀬を選び（Fig. 2）、河床材料の粒度分布と河床軟度の測定を行った。河床材料は表層部の礫を除いて採取し、ふるい分け試験を行った。河床軟度の測定は、長谷川式貫入試験機にて表層 50cm 程度の河床軟度をロッドの貫入抵抗で評価した。Fig.3 に調査地 101 の結果を示す。瀬の上流側(101-1)では、深さ 10cm 以深に急激にロッドが貫入する軟らかい層があることがわかる。一方、土砂の粒径には大きな差はみられない（Fig.4）。瀬の上流部で河床軟度が高い傾向は、さらに下流の調査地 304 でも同様であった（Fig. 5）。

このように瀬の上流部の河床軟度が高くなる理由として、砂州が冠水するような増水時には、淵で堆積物がえぐられ、それらが直下流の早瀬の上流付近にマウンド状に堆積する。減水後は、これらの石礫が、少しづつ早瀬の下流部に流れ、恒常的に河床軟度が高い場所が形成されると考えられる。

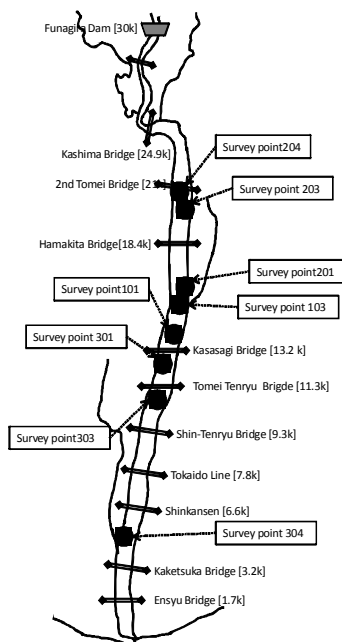


Fig. 2 Survey Area

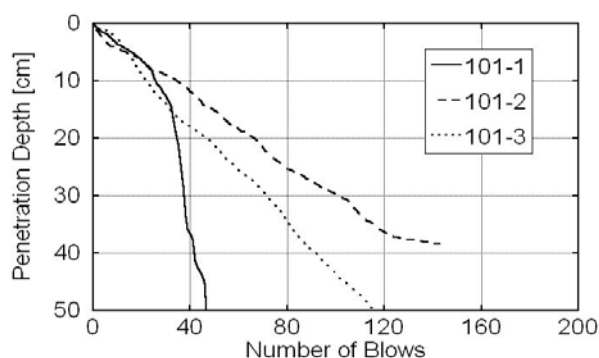


Fig. 3 Bed-softness
(upstream 101-1 ⇔ 101-3 downstream)

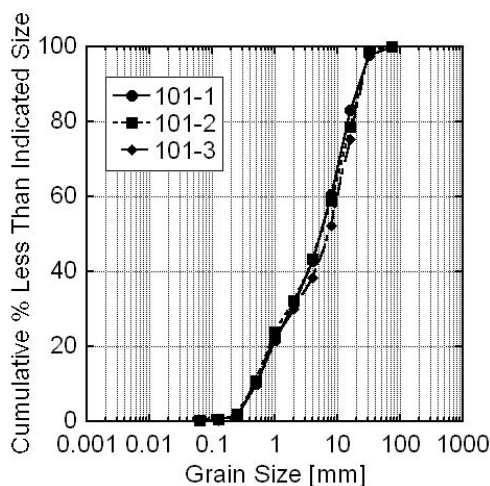


Fig. 4 Grain size distribution

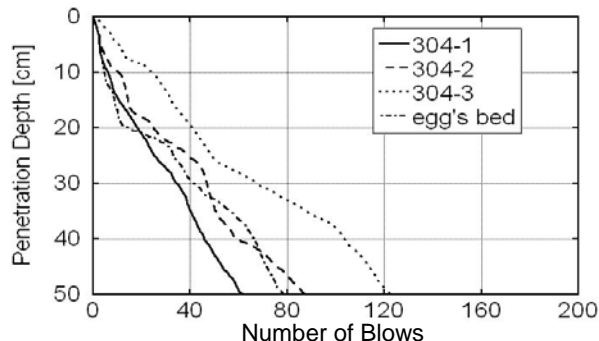


Fig. 5 Bed-softness
(upstream 304-1 ⇔ 304-3 downstream)

調査時期がアユの産卵時期（11月）であったため、アユの卵の有無調査を同時に調査した。その結果、最下流部（河口から 3.4km 地点）にて、アユの卵を実際に確認することができた。産卵が確認された場所での河床軟度は、表層の 20cm 以浅の軟度も非常に高い状態であった（Fig. 5）。

河床軟度が高いためには、河床が礫や砂利で構成され、かつそれが比較的最近に堆積したことが重要である。最適なアユの産卵床を増加させるためには、このような新鮮な堆積部がどういった場所に形成され、かつ土砂供給条件によってどのように変化するかを予測することが重要である。そこで、このような河床軟度に着目した予測計算を、平面 2 次元河床変動モデルを用いて検討を行った結果を次節で示す。

4. 平面 2 次元河床変動計算 (CCHE2D)

4.1 支配方程式

ここでは、米国ミシシッピ大学にて開発された CCHE2D モデルを用いて検討を行った。2次元河床変動計算には、他に以下の 1)~3) の iRIC (International River Interface Cooperative) に含まれるモデルも利用可能である。iRIC は、USGS (アメリカ地質調査所) で開発してきた MD_SWMS と (財) 北海道河川防災研究センターで開発してきた RIC-Nays の機能を統合した河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアである。これに対して、CCHE2D モデルは、計算メッシュを作成する CCHE-MESH は GUI が使いやすく、また河床データの内挿機能が充実している。また CCHE2D は、有限要素法にて離散化し計算を行い、計算安定性が他のソフトに比べて高く、汎用性が高い。また、上流からの供給土砂の粒径を指定することができることから、本研究に適していると考え、これを用いることにした。

- 1) FaSTMECH [Flow and Sediment Transport with Mechanical Evolution of Channel] (iRIC)
- 2) Nays (iRIC)
- 3) Morpho (iRIC)
- 4) CCHE2D

CCHE2D における基礎式を以下に示す。

・水の連続式

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

ここに、 x, y は水平方向の座標系、 u, v [m/s] は x, y 方向の水深平均流速、 h [m] は水深である。

・運動量保存則

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \quad (3)$$

ここに、 η [m] は水位、 $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{xy}, \tau_{yx}$ [N/m²] は x - y 座標系の水深平均レイノルズ応力、 τ_{bx}, τ_{by} [N/m²] は底面せん断応力である。

$$\tau_{xx} = 2\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = \nu_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (5)$$

$$\tau_{yy} = 2\nu_t \frac{\partial v}{\partial y} \quad (6)$$

$$\tau_{yx} = \nu_t \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (7)$$

ここに、 ν_t [m²/s] は渦動粘性係数である。

$$\nu_t = \bar{l}^2 \sqrt{2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2} \quad (8)$$

$$l = \frac{1}{h} \int_{\kappa z} \sqrt{\left(1 - \frac{z}{h}\right)} dz = \kappa h \int_0^1 \zeta \sqrt{(1-\zeta)} d\zeta \approx 0.267 \kappa h \quad (9)$$

ここに、 l [m] は混合距離、 κ はカルマン係数 (ここでは 0.41 とする)、 ζ は相対水深である。 $\frac{\partial U}{\partial z}$ は鉛直方向の流速勾配を水深平均したものであり、以下のようにして求める。

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{1}{h} \int \frac{\partial U}{\partial z} dz = \frac{u_*}{h\kappa} \int_0^1 \frac{1}{z} dz = C_m \frac{u_*}{h\kappa} \quad (10)$$

ここに、 U [m/s] は流速の絶対値、 u_* [m/s] は摩擦速度の絶対値、 C_m は係数 (=2.34375) である。

$$\tau_{bx} = h^{-1/3} \rho_w g n^2 u U \quad (11)$$

$$\tau_{by} = h^{-1/3} \rho_w g n^2 v U \quad (12)$$

$$u_*^2 = \frac{\tau}{\rho_w} = \frac{1}{\rho_w} \sqrt{\tau_{bx}^2 + \tau_{by}^2} \quad (13)$$

ここで、 ρ_w [kg/m³] は水の密度、 g [m/s²] は重力加速度、 n [m^{-1/3}/s] はマニング係数である。

$$n = d^{1/6} / A \quad (14)$$

ここで d [m] は 50% 粒径、 $A=20$ としている (Wu 2004)。

・掃流砂の輸送方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{q_{bk}}{U} \right) + \frac{\partial(\alpha_{bx} q_{bk})}{\partial x} + \frac{\partial(\alpha_{by} q_{bk})}{\partial y} + \frac{1}{L} (q_{bk} - q_{b^*k}) = 0 \quad (15)$$

ここで、 q_{bk} [m²/s] は粒径階の k 単位幅掃流砂量、 q_{b^*k} は粒径階 k の平衡掃流砂量、 α_{bx}, α_{by} は流砂の方向余弦、 L [m] は緩和距離スケールである。

・掃流砂の平衡流砂量式 (Wu, Wang and Jia の式)

$$\phi_{bk} = 0.0053 \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \frac{\tau_b}{\tau_{ck}} - 1 \right]^{2.2} \quad (16)$$

$$\phi_{bk} = q_{b^*k} / \left[p_{bk} \sqrt{sgd_k^3} \right] \quad (17)$$

$$n' = d_{50}^{1/6} / 20 \quad (18)$$

ここで、 $\phi_{bk} = q_{b^*k} / \left[p_{bk} \sqrt{sgd_k^3} \right]$ は無次元掃流砂量、 p_{bk} は粒径階 k の交換層における含有率、 τ_{ck} [N/m²] は粒径階 k の限界掃流力、 s は土粒子の比重、 d_{50} は交換層における 50% 粒径である。

・限界底面せん断応力の式 (Wu 2007)

$$\frac{\tau_{ck}}{(\rho_s - \rho)gd_k} = \Theta_c \left(\frac{p_{ck}}{p_{hk}} \right)^{-m} \quad (19)$$

$$p_{hk} = \sum_{j=1}^N p_{bj} \frac{d_j}{d_k + d_j} \quad (20)$$

$$p_{ek} = \sum_{j=1}^N p_{bj} \frac{d_k}{d_k + d_j} \quad (21)$$

ここで、 $m=0.6$ 、 $\Theta_c=0.03$ (シールズ数)、 p_{hk} 及び p_{ek} は粒径階 k の遮蔽確率及び露出確率である。

・浮遊砂の輸送方程式

$$\frac{\partial(hC_k)}{\partial t} + \frac{\partial(uhC_k)}{\partial x} + \frac{\partial(vhC_k)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_s h \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_s h \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) + \alpha \omega_s (C_k - C_k^*) \quad (22)$$

ここで、 C_k は粒径階 k の浮遊砂濃度を水深平均したものの、 C_k^* は粒径階 k の平衡浮遊砂濃度、 ε_s [m²/s] は渦度拡散係数、 α は係数である。

・浮遊砂の平衡流砂量式

$$\phi_{sk} = 0.0000262 \left[\left(\frac{\tau}{\tau_{ck}} - 1 \right) \frac{U}{w_{sk}} \right]^{1.74} \quad (23)$$

$$\phi_{sk} = q_{s*k} / \left[p_{bk} \sqrt{sgd_k^3} \right] \quad (24)$$

ここで、 q_{s*k} [m²/s] は単位時間・単位幅当たりの浮遊砂通過量である。粒径階 k の土粒子の沈降速度 w_{sk} [m/s] である。

・沈降速度 (Zhang の式)

$$w_{sk} = \sqrt{\left(13.95 \frac{\nu}{d_k} \right)^2 + 1.09 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) gd_k} - 13.95 \frac{\nu}{d_k} \quad (25)$$

ここで、 ν [m²/s] は水の動粘性係数、 d_k [m] は粒径階 k の粒径、 ρ [kg/m³] は水と土粒子の混合密度、 ρ_s [kg/m³] は土粒子の密度である。

・流砂の連続式

$$(1 - p') \frac{\partial z_{bk}}{\partial t} = \alpha w_{sk} (C_k - C_k^*) + (q_{bk} - q_{b*k}) / L \quad (26)$$

ここで、 $\partial z_b / \partial t = \sum \partial z_{bk} / \partial t$ 、 δ_m [m] は交換層厚、 p_{bk} は交換層内における粒径階 k の含有率である (Fig. 6 を参照)

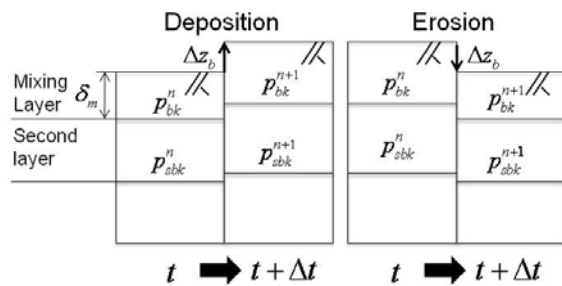


Fig. 6 Concept of Mixing layer

・粒度分布の変化

$$\frac{\partial(\delta_m p_{bk})}{\partial t} = \frac{\partial z_{bk}}{\partial t} + p_{bk}^* \left(\frac{\partial \delta_m}{\partial t} - \frac{\partial z_b}{\partial t} \right) \quad (27)$$

$$p_{bk}^* = \begin{cases} p_{bk} & : \partial \delta_m / \partial t - \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ p_{sbk} & : \partial \delta_m / \partial t - \partial z_b / \partial t > 0 \end{cases} \quad (28)$$

ここで、 p_{sbk} は交換層の一つ下の第2層 (Second Layer) 内における粒径階 k の含有率である。

4.2 再現計算 (流れの計算)

流れの計算結果は、「浜北大橋 (18.4km)」と「かささぎ大橋 (13.2km)」 (Fig. 2 を参照) にて、現地調査で測定した横断方向の流速分布を用いて評価を行った。現地観測は、橋の上から水面下 0.5m にプロペラ流速計を降ろして、10 秒平均の計測を 3 回行い平均値を求めた。また、同時に橋直下の水面をビデオで撮影し、後日 LSPIV (Large-Scale Particle Image Velocimetry) を用いて、画像解析により流速解析を行った。

計算条件は Table. 1 に示している。流量条件は、河口から 29km 地点における各日時の観測データから時間平均流量を利用し一定流量を与えた。

Table. 1 Simulation Conditions

Survey area		13 km - 19 km
Initial bed elevation		Cross section data measured in 2010.5
Initial bed material		Grain size distribution measured in 2007
Mesh	Longitudinal	20 m
	Lateral (Flood)	15~25 m
	Lateral (Channel)	10 m
Turbidity model		Mixing layer model
Time step		100 s
Upstream	Discharge	Kasasagi : 150.9 m ³ /s Hamakita : 122.78 m ³ /s
Downstream	Water Level	1-D simulation results
Roughness		Wu-Wang Formula

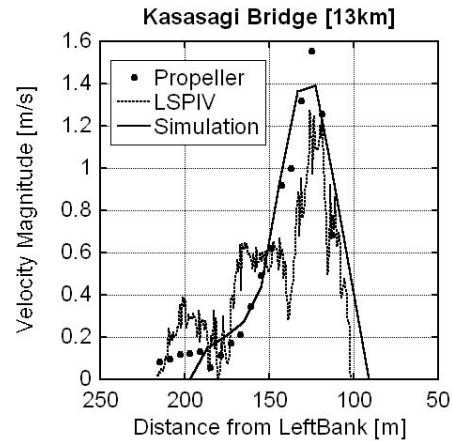


Fig. 7 Results [Kasasagi Bridge]

Fig. 7 及び Fig. 8 に測定結果及び計算結果を示す。かささぎ大橋の結果 (Fig. 7) では、LSPIV による結果に比べ、プロペラ流速計の結果の方が計算結果とほぼ一致している。また、浜北大橋の結果 (Fig. 8) において、数値計算結果の方が、現地測量結果に比べて川幅が大きい、数値はほぼ一致しており、再現できているといえる。

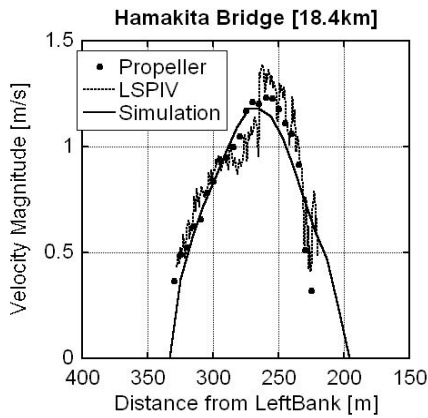


Fig. 8 Results [Hamakita Bridge]

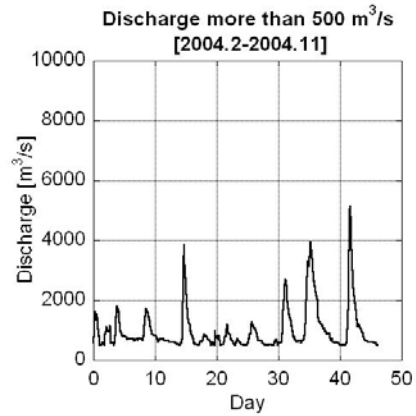


Fig. 10 Hydrograph picked up more than 500 m³/s

4.3 再現計算 (河床変動計算)

河床変動計算の結果には、2003年～2004年の一年間における河床変動量の実測データを用いて評価を行った。ここで、実測データは浜松河川国道事務所が実施した航空3次元レーザプロファイラ計測から得られたものである。

計算条件をTable. 2に示す。上流端での流量条件は2004年2月～2004年11月の流量データ (Fig. 9) のうち500 m³/s以上を対象としている (Fig. 10)。

Table. 2 Simulation Conditions

Survey area		17 km - 21 km
Initial bed elevation		Cross section data measured in 2004.2
Initial bed material		Grain size distribution measured in 2007
Mesh	Longitudinal	20 m
	Lateral (Flood)	15~25 m
	Lateral (Channel)	10 m
Turbidity model		Mixing layer model
Time step		36 s
Upstream	Discharge	More than 500 m³/s
	Inflow Sediment	Nothing
Downstream	Water Level	1-D simulation results
Roughness		Wu-Wang Formula
Mixing Layer		0.1 m
Porosity		0.4

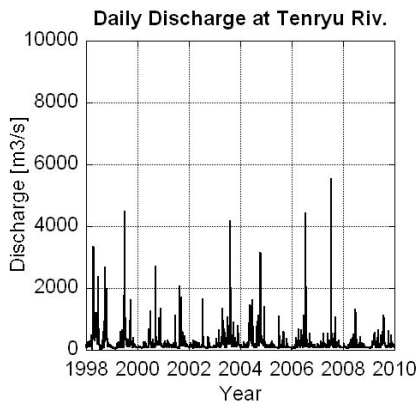


Fig. 9 Hydrograph at Tenryu

Fig. 11に解析結果(左)及び実測結果(右)を示す。上流端付近を除き、堆積部と侵食部の再現はよくできている。次より、本研究で用いるパラメータは再現計算に基づき設定する。また、上流端付近において、掃流砂の供給不足により過剰に侵食がおきるため、土砂の供給区間を上流に2km設けることにした。

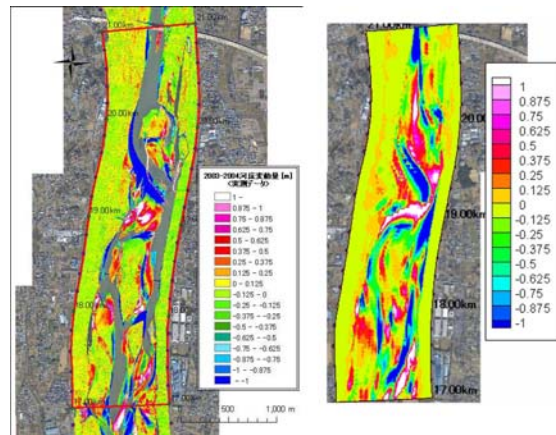


Fig. 11 Simulation(Left) & Measurement Results(Right)

5 シナリオ計算

土砂の流入条件の違いによって河床環境にどのような変化をもたらすか解析を行った。ここでは、天竜川の主要な河床構成材料である砂分と礫分を区分し、Fig. 12のようにシナリオを作成した。また、洪水流量は、産卵場に効果的であると推定された6000m³/sとした。

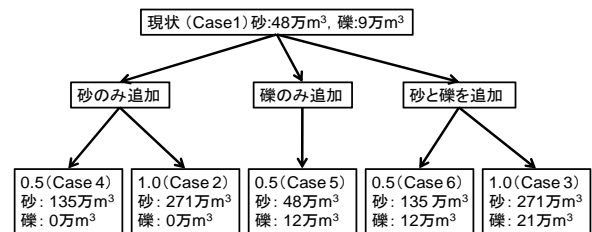


Fig. 12 Simulation Scenarios

上流の佐久間ダムからの土砂排出を行わない現状 (Case No.1) のケースでは、現在の河川管理条件下で

の一次元河床変動計算の再現結果をもとに、計算区間の上流端から必要最小限の土砂を供給させている。一方、土砂供給するケースでは、佐久間ダムに流入する土砂を下流に全量供給する（1.0（全供給））、半量供給する（0.5（部分供給））の2通りとし、砂分と礫分の両者の組み合わせとして検討ケースを設定した。

5.1 計算領域

計算領域は河口から13km-17kmとした。また、助走区間として上流部に2km離れたところから計算を行っている。

Fig. 13 は計算結果の評価対象領域を示している。

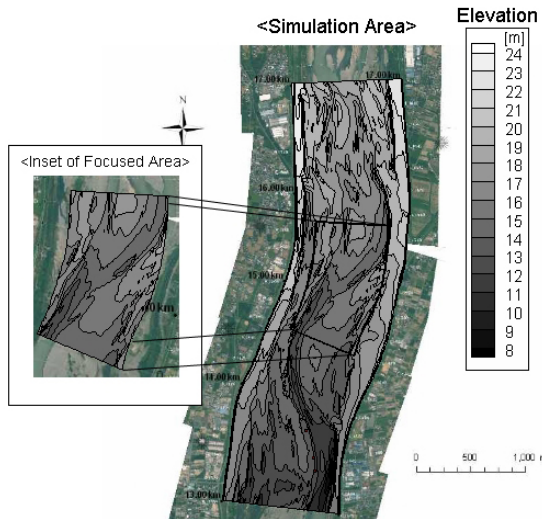


Fig. 13 Simulation Area and Focused Area

河床高は、国土交通省から提供を受けた2009年2月測量の200m間隔横断測量データを利用し、初期の河床材料は2007年調査の粒度分布データを使用した。これらを用いて、約1年間の河床変動の助走計算を行ったのちに、種々の土砂供給シナリオに基づく計算を行った。

Table. 3 Simulation Conditions

Simulation area		13km-17km from sea
Initial bed elevation		Cross section data measured in 2009.2
Initial bed material		Grain size distribution measured in 2007
Mesh	Longitudinal	20 [m]
	Lateral (Flood)	15~30 [m]
	Lateral (Channel)	10 [m]
Turbidity model		Mixing layer model
Time step		36 [s]
Upstream	Discharge	Model wave (Fig. 14)
	Inflow sediment	As suspended sediment
Downstream	Water level	1-D simulation results
Roughness		Wu-Wang Formula
Mixing Layer		0.1 m
Porosity		0.4

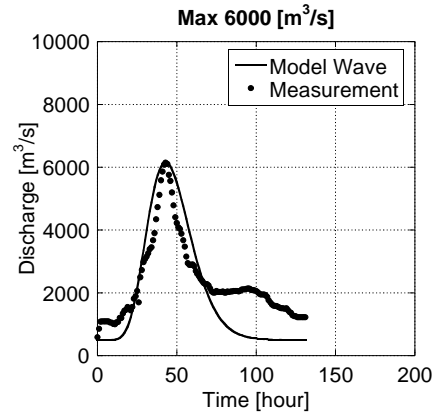


Fig. 14 Model wave (6,000m³/s)

5.2 計算結果

Fig.14に示す6,000m³/sの洪水時における洪水ピーク後の河床変動量及び洪水後の平均粒径によって河床軟度の高い礫底の瀬を抽出して評価した。土砂供給しない現状（Case No.1）で、Fig. 15は洪水ピーク後の河床変動量を、Fig. 16は河床の平均粒径を、Fig. 17は流速をそれぞれ示している。これらの3つの条件から、粒径より礫底の場所を、河床変動量から河床軟度の高い場所を、流速より瀬の区間をそれぞれ抽出し、これらの重なりが期待される場所を産卵適地として抽出した（Fig. 18）。

これより、産卵床としての適地は、現状では副流路と本流との合流点に産卵適地ができると推定できた。また、礫を河川上流部から供給した場合（Case No.5）、一回の6,000m³/sの洪水で下流に2km程度しか移動しないことが明らかとなった。中下流部の産卵床の適地まで供給した礫を届かせるためには、長い期間と何回もの洪水イベントが必要であり、上流からの礫分供給だけでは即効性が欠けると考えられる。よって、上流からの土砂供給に加え、産卵領域の近傍に置き礫を直接行う事が望ましい。その際、産卵適地の評価予測により、予め産卵適地を予測して最適な場所に置くべきである。また、礫の補給と同等な効果が期待される方法として、砂州上に副流路を誘導するように、水路を予め形成しておくことが考えられ、これらの方法によりアユの産卵適地を増やすことが可能になると考えられる。

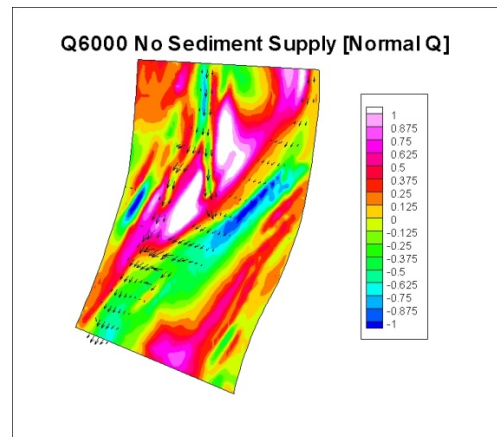


Fig. 15 Bed change from flood peak [m] (Case No.1)

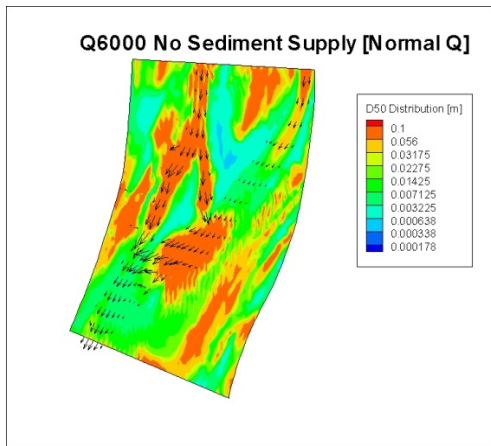


Fig. 16 D50 [m] (Case No.1)

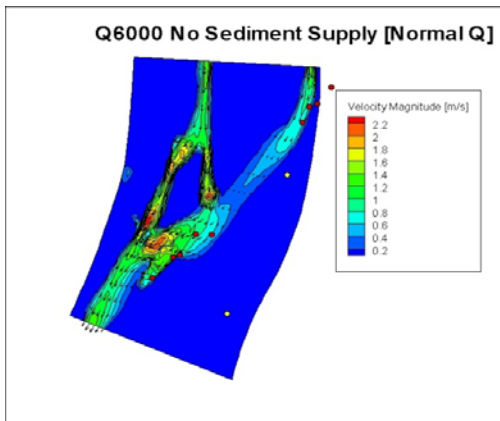


Fig. 17 Velocity distribution (Case No.1)

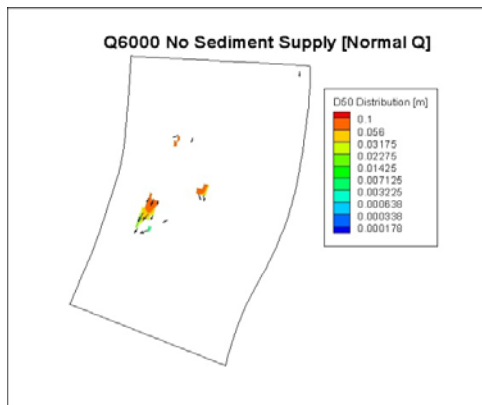


Fig. 18 Suitable area for Ayu spawning (Case No.1)

6 まとめ

本研究では、土砂供給がアユの産卵環境にどのような影響をもたらすのか予測するために、既往研究のレビューと天竜川を対象とした現地調査を行った結果、礫底で比較的最近に土砂が堆積した瀬がアユの産卵に適していることが明らかとなった。次に、平面2次元河床変動計算によるアユ産卵適地の予測手法について検討を行った結果、上流ダムからの土砂供給無しの場合では、本流部の瀬ではなく、増水時に砂州上に形成される副流部と本流部が合流する地点に産卵適地

が形成されることが確認された。また、土砂供給に関しては、砂分のみでは不十分であり、産卵適地となり得る河道区間上流に礫を直接供給することが有効と考えられる。

今後の課題として、置き礫の場所条件について河床軟度の高い場所が増えるかどうか数値計算にて予測する必要がある。また、本研究で検討した砂州上の副流路の形成と河床軟度の関係について、より詳細な検討を行って、土砂供給と洪水流量の相互作用からアユ産卵適地の予測評価を行うことが必要である。

謝辞

天竜川における現地調査に関して、天竜川漁協組合の方々との協力を得た。また、平面2次元河床変動計算に用いるデータに関して、国土交通省浜松国道河川事務所の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 石田力三 (1961) : アユの産卵生態-II. 産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ, 日本水産学会誌, vol. 27, pp. 1052-1057.
- 岡野眞久, 菊井幹男, 石田裕哉, 角哲也 (2005) : 貯水池堆積土砂の掘削管理とその下流河川還元に関する研究, ダム工学, vol. 15, pp. 200-215.
- 鬼束幸樹, 東野誠, 高見徹, 永矢貴之, 大塚法晴, 秋山壽一郎, 松本和也 (2004) : アユの産卵に必要なパラメータの選定と産卵密度の予測, 水工学論文集, vol. 48, pp. 1549-1554.
- 鬼束幸樹, 東野誠, 高見徹, 永矢貴之, 大塚法晴, 秋山壽一郎, 松本和也 (2004) : アユの産卵に必要な水理環境に関する研究, 河川技術論文集, vol. 10, pp. 447-452.
- 清水康行 (2003) : 河道平面形状の形成における河床・河岸の変動特性の相互関係について, 土木学会水工学論文集, vol. 47, pp. 643-648.
- 高橋勇夫, 東健作 (2006) : ここまでわかったアユの本, 築地書館.
- 高橋勇夫, 天然アユが育つ川: 築地書館, 2009.
- 天竜川漁業協同組合, たかはし河川生物調査事務所 (2009) : 平成18-平成20年度 天竜川アユ資源保全調査報告書.
- 竹林洋史, 江頭進治, 岡部健士 (2003) : 混合砂河床における網状流路の数値解析, 土木学会水工学論文集, vol. 47, pp. 631-636.
- 中島佳奈 (2011) : アユの産卵に適した河床形態に関する研究, 京都大学工学部地球工学科卒業論文.
- I. Fujita, M. Muste, A. Kruger (1998) : Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, Journal of Hydraulic Research, vol. 36, pp. 397 - 414.
- Y. Jia, S. S. Y. Wang (2001) : "CCHE2D: Two-dimensional hydrodynamic and sediment transport model for unsteady open channel flows over loose bed," NCCHE Technical Report, NCCHE-TR-2001-012001.
- S. Kantoush, A. Schleiss (2009) : Large-scale PIV surface flow measurements in shallow basins with different geometries, Journal of Visualization, vol. 12, pp. 361-373.
- T. Nagaya, Y. Shiraiishi, K. Onitsuka, Higashino, T. Takami, N. Otsuka, J. Akiyama (2008) : Evaluation of suitable

- hydraulic conditions for spawning of ayu with horizontal 2D numerical simulation and PHABSIM, Ecological Modelling, vol. 215, pp. 133-143.
- W. Weiming (2001) : "CCHE2D Sediment Transport Model (Version 2.1), "National Center for Computational Hydroscience and Engineering, The University of Mississippi. NCCHE-TR-2001-3.
- W. Wu (2004) : Depth-Averaged Two-Dimensional Numerical Modeling of Unsteady Flow and Nonuniform Sediment Transport in Open Channels, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 130, pp. 1013-1024.
- W. Wu (2007) : Computational river dynamics: CRC.

Influence of Sediment Supply on River-bed Environment for Ayu-fish Spawning

Takamasa SUZUKI*, Tetsuya SUMI, Yasuhiro TAKEMON and Kana NAKAJIMA**

* Toho Gas Co., Ltd.

** Graduate School of Informatics

Synopsis

Reduction of the Ayu-fish production has been recognized as an influence of dam constructions by decreasing sediment supply in the Tenryu River. Recently, comprehensive sediment management by introducing sediment bypass technique at Sakuma dam has been planned in order to recover this sediment routing system in the river basin. The present study focuses on the effect of sediment supply on the spawning redds conditions for Ayu-fish. Through the field survey, we found out that riffles with newly deposited gravel bed are soft enough for spawning. Based on the results, we have studied 2D flow and sediment transport model (CCHE2D) by simulating flow velocity, grain size distribution and bed softness, to predict high potential areas for Ayu-fish spawning redds. The results showed that riffles with newly deposited gravel bed suitable for the spawning are created at the confluence point of a main channel and a secondary channel running from the sand bar. In order to increase suitable riffles for Ayu-fish spawning redds, gravel replenishment with frequent high flow discharge is recommended by accelerating the gravel transport by cutting secondary channel near the confluence.

Keywords: Ayu-fish, spawning redds, sediment supply, river-bed softness, 2D Flow and Sediment Transport modeling, Tenryu river