

アユ産卵場の保全と創出を目指した 河道掘削断面の選択手法の提案

EVALUATION OF SUITABLE CROSS SECTION OF RIVER CONSIDERING
FLOOD CONTROL AND SPAWNING OF AYU WITH PHABSIM

永矢貴之¹・筈瀬明日香²・白石芳樹³・鬼東幸樹⁴・東野誠⁵・高見徹⁵・東均⁶・
秋山壽一郎⁷

Takayuki NAGAYA, Asuka UKESE, Yoshiki SHIRAIISHI, Kouki ONITSUKA, Makoto
HIGASHINO, Tohru TAKAMI, Hitoshi HIGASHI and Juichiro AKIYAMA

¹正会員 修(工) (株)建設技術研究所 東京本社河川部 (〒330-0071 さいたま市浦和区上木崎1-14-6)
九州工業大学大学院 工学研究科建設社会工学専攻博士後期課程

²正会員 修(工) (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)

³正会員 修(工) (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)

⁴正会員 博(工) 九州工業大学准教授 工学部建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

⁵正会員 博(工) 大分工業高等専門学校准教授 都市システム工学科 (〒870-0152 大分市大字牧1666)

⁶正会員 国土交通省九州地方整備局延岡河川国道事務所所長 (〒882-0803 延岡市大貫町1-2889)

⁷フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科

Before river improvement work, it is necessary to conduct the environmental assessment. One of the most famous environmental methods is PHABSIM. A lot of researchers used this model to evaluate the habitat suitability of fish in the present river. There are little studies which investigate on whether a new habitat area can be made or not. In this study, a numerical simulation using a horizontal 2-D model was carried out with changing shape of cross section in Gokasegawa River. The suitability of spawning for ayu is predicted. As a result, it was conform that a new spawning beds are made in some cases. The most suitable cross section is chosen with considering both of flood control and suitability of spawning for ayu.

Key Words : Ayu, spawning, PHABSIM, suitability index, 2-D numerical simulation

1. はじめに

魚類の生息環境評価法の例としてIFIMが挙げられ、その1つのモジュールであるPHABSIMが近年注目を浴びている。PHABSIMは1978年に米国で公開され²⁾、我が国には1990年半ば頃に中村³⁾によって紹介された。

金・玉井⁴⁾は矢作川支流の乙川に生息する数魚種の生息調査を行うと共に、流速、水深、底質、水温およびカバの状態を計測した。生息調査結果とPHABSIMによる予測値を比較し、PHABSIMの有用性を確認した。同様に現地調査に基づきPHABSIMの有用性を示した研究として、山口市の古甲川に生息するオイカワを対象とした川本ら⁵⁾の研究、多摩川に生息する数魚種を対象とした知花ら⁶⁾の研究、鳥取県の千代川に生息する32魚種を対象とした須藤ら⁷⁾の研究などが挙げられる。

続いて、水理計算で得られた水深や流速をPHABSIM

の入力に用いる研究も開始された。砂田ら⁸⁾は1次元定常不等流計算およびPHABSIMを用いて富士川本川におけるウグイの生息適正を求め、現況の生息適正を再現できることを確認した。知花・玉井⁹⁾は1次元不等流計算結果で得られた流速を横断面内に配分し、平面的にウグイの生息環境を評価した。

平面2次元計算結果をPHABSIMの入力に用いる研究も行われている。辻本・永禮¹⁰⁾は石川県の森下川の流況を平面2次元解析し、遊泳魚と底生魚のそれぞれ3魚種の生息適正を求めた。辻本・永禮¹¹⁾は同様の手法を用いて、季節に伴う流量変化に応じて魚類の生息場所が変化することを示した。須藤ら¹²⁾は鳥取県の千代川を平面2次元流況解析し、流量変化に伴うウグイおよびシマヨシノボリの生息適正を求めた。永矢・松尾¹³⁾もアユ、オイカワ、ムギツクを対象として須藤ら¹²⁾と同様な解析を行った。

近年では、PHABSIMに改良が加えられつつある。辻本ら¹⁴⁾は普段魚が定位する場を中心に摂餌、休憩、逃避

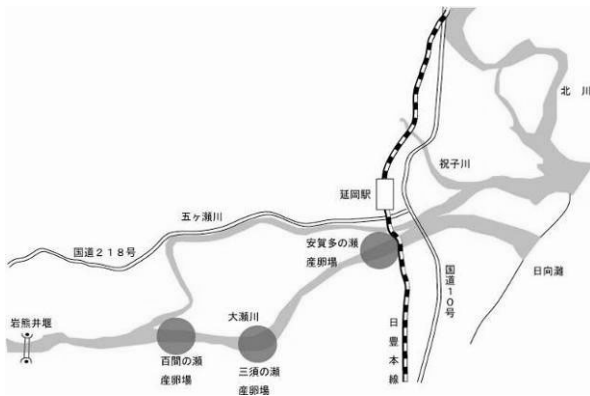


図-1 五ヶ瀬川流域概要および大瀬川におけるアユ産卵床

産卵を行う空間に対するアクセス性の概念と取り入れ、田代ら¹⁵⁾はさらに時間の概念を取り入れた。北村ら¹⁶⁾は河床の攪乱頻度が河川環境に与える重要性を指摘した。傳田ら¹⁷⁾はGIS情報を利用する手法を提案した。

以上のようにPHABSIMを用いた現況河道の生息環境の評価は多数行われている。一方で、河道計画を行う場合、治水効果を保証するためには局所的に魚類の生息場を縮小せざるを得ない場合もある。こうした場合、代替地を用意すること、すなわち、新たな生息場の創出が望まれる。これまで生息場の創出を目指した生息環境評価はほとんど行われていない。

本研究は、宮崎県延岡市に河口を有する五ヶ瀬川派川の大瀬川を対象として、仮想的な掘削断面をいくつか想定し、平面2次元解析を用いて流況解析を行い、河道の安定性を評価するとともに、アユの産卵場の保全あるいは新たな産卵場の創出を目指した最適な河道断面を提案したものである。

2. 平面2次元解析および生息環境評価モデル

(1) 平面2次元解析モデル

長田¹⁸⁾の一般座標平面2次元モデルを採用した。

(2) 生息環境評価モデル

アユは瀬の浮き石で産卵するといわれている¹⁹⁾。浮き石状態とは礫間に細砂が充填されておらず、外力が僅かに加わっただけで礫が掃流しはじめる状態である。瀬は一般に水深が低く高流速である。そのため、アユの産卵適正值 CSI は次式で算出可能と考えられる。

$$CSI = SI(h) \times SI(v) \times SI(s) \quad (1)$$

ここに、 $SI(h)$ 、 $SI(v)$ 、 $SI(s)$ は、それぞれ、水深 h 、流速 v および底質 s に対する選好値である。これらの選好値は次式で与えられる^{20,21)}。

$$\begin{aligned} SI(h) &= 33.3h \quad (0 \leq h(\text{m}) < 0.03) \\ SI(h) &= 1 \quad (0.03 \leq h(\text{m})) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} SI(v) &= 0 \quad (0 \leq U_m(\text{m/s}) < 0.3) \\ SI(v) &= 3.3U_m - 1 \quad (0.3 \leq U_m(\text{m/s}) < 0.6) \\ SI(v) &= 1 \quad (0.6 \leq U_m(\text{m/s}) < 1.0) \\ SI(v) &= -1.4U_m + 2.4 \quad (1.0 \leq U_m(\text{m/s}) < 1.7) \\ SI(v) &= 0 \quad (1.7 \leq U_m(\text{m/s})) \\ SI(s) &= 0 \quad (0.05 > U_*(\text{m/s}), 0.12 \leq U_*(\text{m/s})) \\ SI(s) &= 1 \quad (0.05 \leq U_*(\text{m/s}) < 0.12) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\quad (4)$$

3. 対象河道の特性および解析条件

(1) 対象河道の特性および代表魚種

五ヶ瀬川は流路延長106km、流域面積1,820km²の一級河川であり、図-1に示すように宮崎県延岡市に河口を有する。河口から9.1kmで五ヶ瀬川と大瀬川に分派するが、五ヶ瀬川の平水時流量は大瀬川の流量と比較すると微小である。大瀬川には河口堰はなく、3.8kmの三ツ瀬流量観測所よりも上流域では潮位の影響は通常受けない。

五ヶ瀬川にはアユが生息しており、地域経済の一端を担っている。そのため、地域住民からはその他の魚種よりも特に保全が望まれている。アユは春頃に海洋から河川に遡上し、上流から下流の広範囲に生息域を広げる。秋に一斉に降下し、汽水域よりも上流の河口に近い瀬で産卵する。そのため、アユの産卵床の縦断方向範囲は狭く、大瀬川においては3つの産卵床、百間の瀬、三須の瀬および安賀多の瀬が存在するが、それぞれ河口から約8, 6, 4km付近に位置し、僅か4kmの区間に密集している。そのため、アユを保全する上で産卵床を保護することが特に必要である。

(2) 解析条件および解析条件

a) 検討対象領域

河口から11.5km地点に岩熊井堰で水位が不連続となりその上流にはアユの産卵床がないこと、五ヶ瀬川への流量が微小であること、河口堰がなく感潮河川であることから、本研究では大瀬川の河口から11.5kmまでを検討対象領域とした。

b) 想定される掘削断面

河道掘削を行う場合、アユの産卵床を保全することが望ましいが、局所的に保全が困難な場合は「産卵場の創出」を行い、代替地を確保することも1つの手段である。アユの産卵に適した河道掘削断面を決定するには、まず、現実的な河道掘削断面を複数想定し、それぞれの治水効果および産卵環境への負荷を予測する。さらに、河道の安定性を考慮し、総合的に最適な掘削断面を選択する。

河積確保の方策として河床掘削、低水路拡幅、高水数切り下げ等が挙げられるが^{22,23)}、河川環境への配慮から河床掘削以外の方策を採用することが多い。そのため、

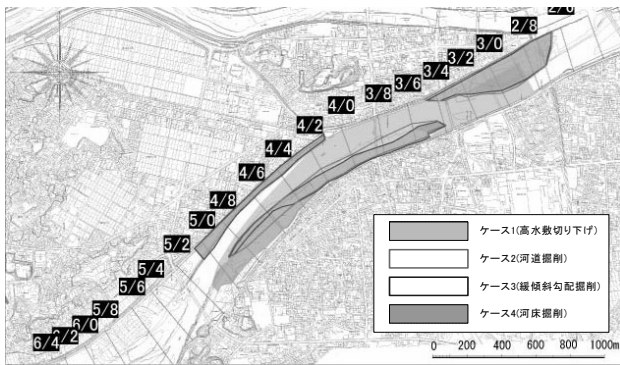


図-2(a) 各ケースの掘削範囲

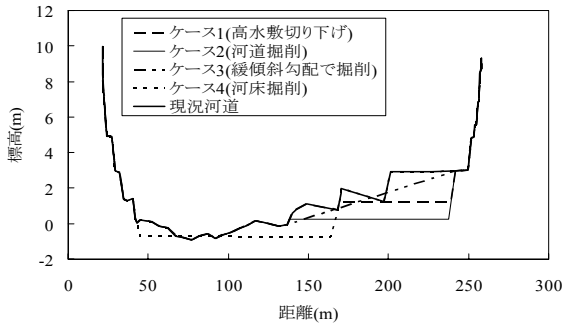


図-2(b) 仮想的な掘削断面ケース

掘削区間については、大瀬川に存在する3つの産卵床のうち、安賀多の瀬に代表される良好なアユの産卵域および産卵場が点在する3.0km～5.0kmの区間とした。図-2(a)に各ケースの掘削範囲を、図-2(b)に3.8kmにおける横断面形状を示した。

c) 平面2次元解析条件

洪水時の治水効果と平水時のアユ産卵環境を評価するために、河川整備計画目標流量 $4,400\text{m}^3/\text{s}$ および平水～豊水時の流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ を計算領域最上端に与えた。両者とも河口における水位を朔望平均満潮位とし、粗度係数を $0.033\text{s}/\text{m}^{1/3}$ 、計算時間間隔を 0.1s とし、流れが定常になるまで繰り返し計算を行った。

4. 解析結果および考察

(1) 治水効果の比較

洪水時における各ケースの水位縦断変化を図-3に示す。いずれのケースにおける水位も現況河道より低下し、HWL(計画高水位)を満足している。

(2) 河道の安定性

河道の安定性の検討は、元来、時系列で示される計画高水を上流からの流量として計算領域に与え、そのときの上流からの土砂供給や河床材料との交換および土砂移動を考えるべきである。ただし、このような検討は現時点では極めて困難である。そのため、整備後の河床の安定性を確認する方法として、「平均年最大流量時の摩

表-1 掘削方法

a) 現況河道	2002年の測量に基づいた地形
b) ケース1: 高水敷切り下げ	平常時には主として低水路に流水させる掘削方法であり、現況河道に類似した流況が期待
c) ケース2: 河道掘削	大規模な河床掘削が実施できない場合に拡幅で対応する方法であり、拡幅により流水断面積が増加
d) ケース3: 緩傾斜勾配で河道掘削	高水敷の掘削断面の傾斜を緩やかにした掘削方法であり、c)と同様に流水断面積が増加
e) ケース4: 河床掘削	河積確保上やむを得ない場合に採用される方法

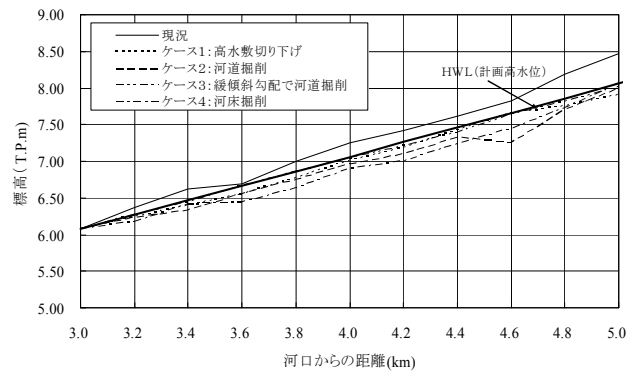


図-3 各ケースの水位縦断図(対象流量: $4,400\text{m}^3/\text{s}$)

擦速度を算出し、現況からの変化が $\pm 15\%$ 以内であれば、整備後の河床は安定すると判断する」という福岡²³⁾によって提案された基準が挙げられる。そこで、平均年最大流量($1,900\text{m}^3/\text{s}$)流下時の摩擦速度変化率を算出し、図-4に示した。これより、ケース1(高水敷切り下げ)およびケース2(河道掘削)においては、掘削等による河道断面の増大に伴う流速の低下により、低水路において摩擦速度が 15% 以上減少する箇所が多く存在することが認められる。つまり、低水路において土砂の堆積が懸念される。一方、ケース3(緩傾斜掘削)およびケース4(河床掘削)は、ケース1,2と比較して、摩擦速度が 15% 以上増加する箇所も若干存在するが、全体的に 15% 以上減少する箇所が低減しており、多くの領域で福岡の基準²³⁾を満たしている。

(3) アユの産卵適正予測比較

a) 流況の変化

図-5に現況河道および各ケースの流速コンターを示す。ここでは、計算区間の約11kmのうち、掘削区間付近の2.8km～5.6kmを示した。現況河道に着目すると、3.2～4.2kmおよび5.4～5.6km付近で高流速が認められる。この領域はそれぞれ安賀多の瀬および三須の瀬の領域と一致しており、検討区間の流れを概ね表現している。

次に、仮想断面の各ケースの結果に着目すると、ケース1(高水敷切り下げ)では3.8km付近のカット部分の高水敷が若干冠水し、そこでの流速が $0.2\text{m}/\text{s}$ 程度となっているが、低水路部分の流速は現況河道の値とほぼ同様である。ケース2(河道掘削)では、3.4～4.2kmの広範囲において低水路で大幅な減速が観察される。これは、この領域の右岸側に水域部分が発生したことで生じたものと考え

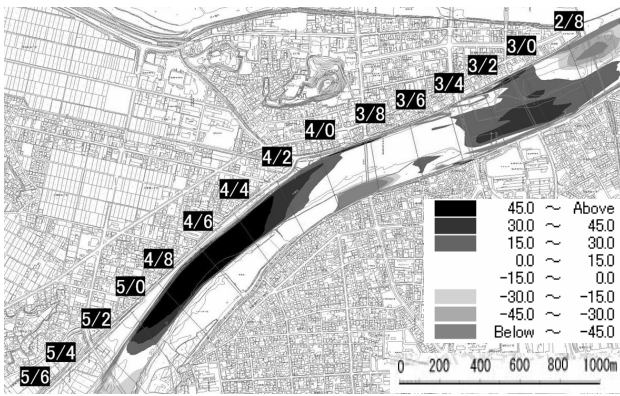


図-4(a) u^* 変化率コンター図(ケース1:高水敷切り下げ)

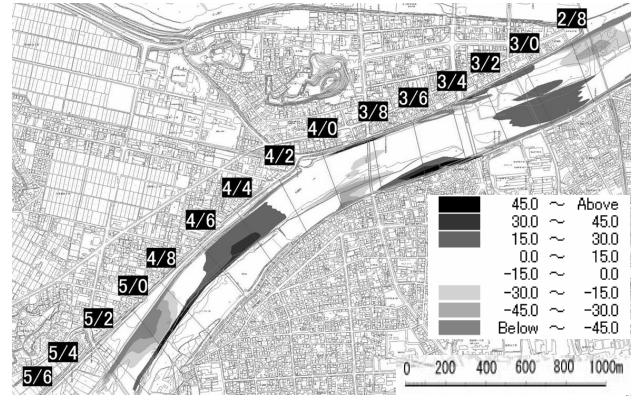


図-4(c) u^* 変化率コンター図(ケース3:緩傾斜掘削)

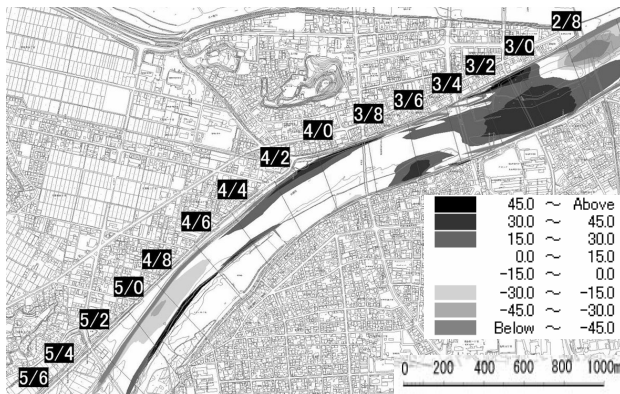


図-4(b) u^* 変化率コンター図(ケース2:河道掘削)

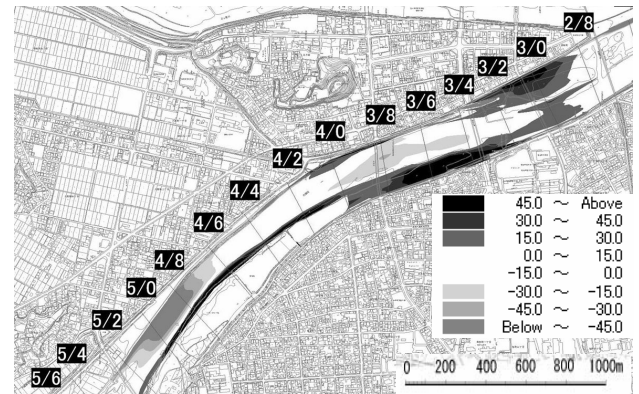


図-4(d) u^* 変化率コンター図(ケース4:河床掘削)

られる。ケース3(緩傾斜掘削)では、3.4~4.4km付近の右側を流下方向に一樣な形状でカットしたため抵抗が減少したことによる。ケース4(河床掘削)では、3.2km~4.2km付近の安賀多の瀬の区間の流速が大幅に減速している。これは、河床掘削によって瀬を形成していた中州がなくなったことから、流速と水位が低下することにより生じたものと考えられる。一方、5.0km付近の流速は現況河道と比較して速くなっている。これは、安賀多の瀬の領域の水位が低下することで背水低下となり、上流に位置する5.0kmの水位が低下したことによる。いずれのケースにおいても掘削区間と重なる安賀多の瀬における流況は変化するものの、上流域の三須の瀬の流速はほとんど変化が見られなかった。

b) アユの産卵適正值の変化

式(1)~(4)を用いてアユの産卵適正值 CSI を算出し、図-6に示した。現況河道の結果に着目すると、流速が速い安賀多の瀬(3.2km~4.2km)および三須の瀬(5.0km~5.6km)では、 CSI が高くなっており、現況を良く表現している。次に、仮想断面の各ケースの結果に着目する。ケース1(高水敷切り下げ)では、安賀多の瀬(3.2km~4.2km)付近に CSI の大きな領域が拡大し、また、その値も高くなっている。ケース2(河道掘削)では、縦断的に産卵適正領域延長され、4.6~5.0km付近の左岸側では現況河道の CSI がゼロであったが、本ケースでは0.4未満の

領域が発生している。すなわち、新たな産卵場が創出されたことを意味する。ただし、安賀多の瀬(3.2km~4.2km)付近の CSI は若干減少する。これは、河積の拡大に伴い流速が減少するが、式(3)に見られるように流速が0.6m/s以下では $SI(v)$ が1.0より減少することが原因である。ケース3(緩傾斜勾配で河道掘削)は、安賀多の瀬(3.2km~4.2km)付近で産卵適正領域が下流および右岸方向に拡大している。また、現況河道では安賀多の瀬の産卵適正領域が上下流に2つに分離していたが、本ケースではその間の領域でも産卵適正が増加している。ケース4(河床掘削)は、安賀多の瀬(3.2km~4.2km)の産卵適正領域が大幅に減少している。また、安賀多の瀬付近に新たな産卵場は創出されていない。

また、いずれのケースにおいても上流に位置する三須の瀬(5.0km~5.6km)における産卵適正值は現況のものとは大幅には変わらない。

c) アユの産卵可能面積の変化

CSI を面積 A で積分することで、利用可能産卵場面積 WUA (Weighted Usable Area) が求められる。

$$WUA = \int_A (CSI) dA \quad (5)$$

図-7に利用可能生息場面積 WUA のケース変化を示す。これより、ケース4(河床掘削)を除くすべてのケースで現況河道よりも WUA が増加している。最も産卵適正值が増加したのはケース3(緩傾斜勾配掘削)の7%増であり、

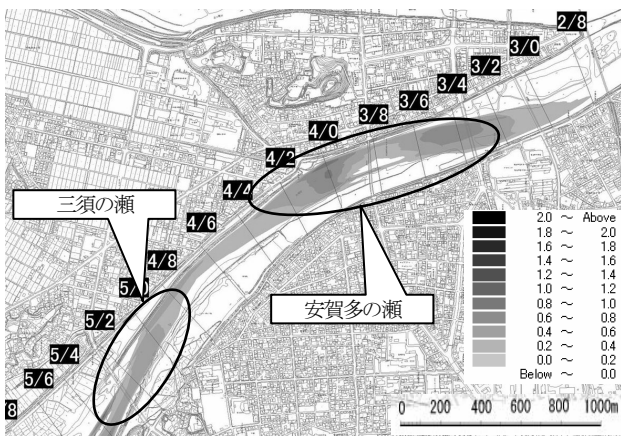


図-5(a) 流速コンター図(現況河道)

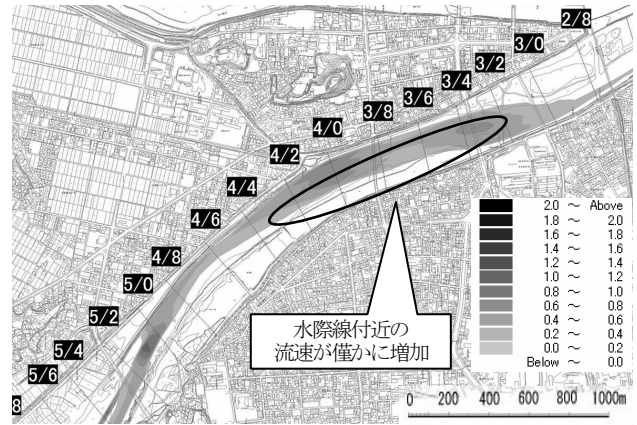


図-5(d) 流速コンター図(ケース3:緩傾斜勾配掘削)

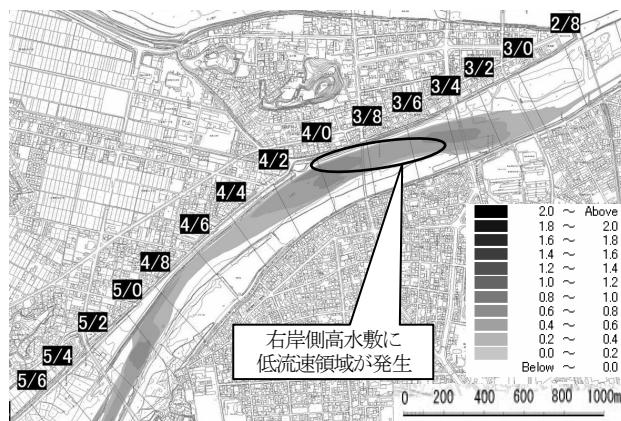


図-5(b) 流速コンター図(ケース1:高水敷切り下げ)

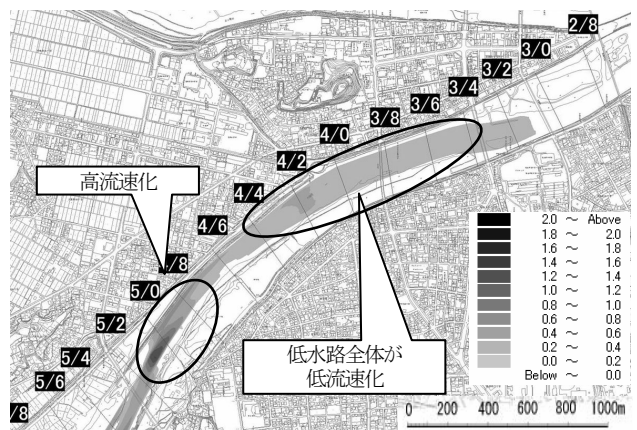


図-5(e) 流速コンター図(ケース4:河床掘削)

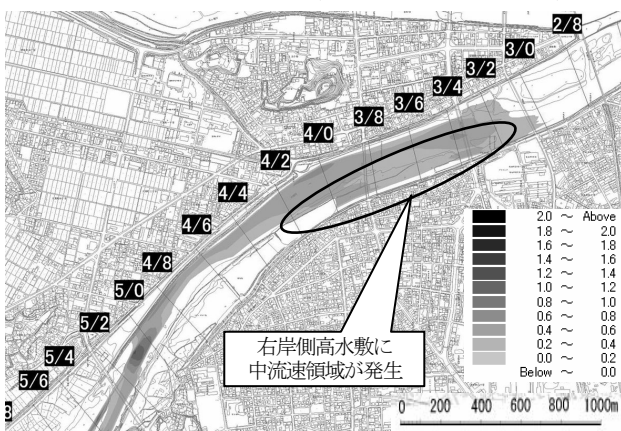


図-5(c) 流速コンター図(ケース2:河道掘削)

次いでケース2(3%増), ケース1(2%増)の順となった。次に、産卵適正の最も高いCSI=1.0の領域のみを取り出した結果をみると、ケース3(緩傾斜勾配掘削)の27%増であり、次いでケース1(26%増)となった。一方、ケース2は全体では3%増となるものの、CSI=1.0の領域は89%減となることがわかった。

5. 総括

以上のことから、今回採用した4ケースの結果より、

いずれのケースにおいても治水および河道の安定性に問題がないこと、三須の瀬(5.0km~5.6km)の産卵場は維持されるが、安賀多の瀬(3.2km~4.2km)付近の産卵適正に変化が生じることが明らかとなった。そこで、安賀多の瀬周辺の変化を総括する。

- (1) ケース1(高水敷切り下げ)では、安賀多の瀬の産卵適正値が維持された状態で産卵可能域が周囲に広がり、新たな産卵場が創出される。ただし、増加率は2%である。
- (2) ケース2(河道掘削)では、安賀多の瀬と三須の瀬との間に新たな産卵場が創出されることが示された。ただし、安賀多の瀬の産卵適正値が減少し、トータルとしては産卵場は3%しか増加しない。
- (3) ケース3(緩傾斜勾配掘削)では、安賀多の瀬の産卵適正値が維持された状態で産卵可能域が周囲に広がり、新たな産卵場が創出される。また、増加率は7%となり、今回検討したケース内では最高値である。
- (4) ケース4(河床掘削)では、安賀多の瀬の産卵場がほぼ消失し、また、新たな産卵場の創出も期待できない。以上のことより、ケース3(緩傾斜勾配掘削)を採用することを提案する。

6. おわりに

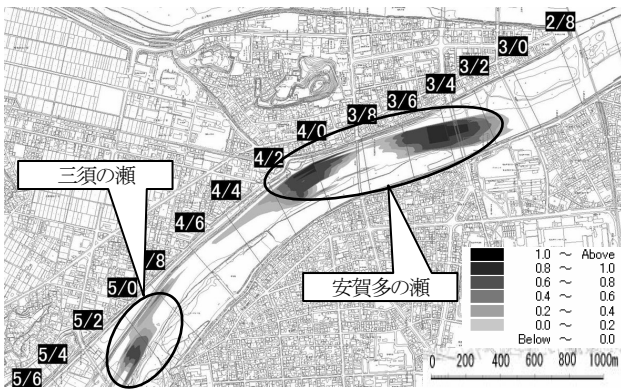


図-6(a) CSIコンター図(現況河道)

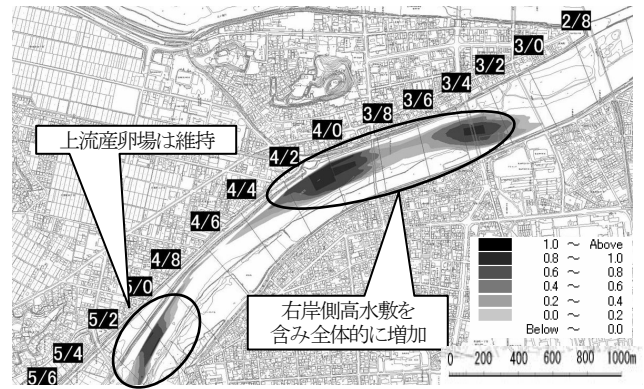


図-6(d) CSIコンター図(ケース3:緩傾斜勾配掘削)

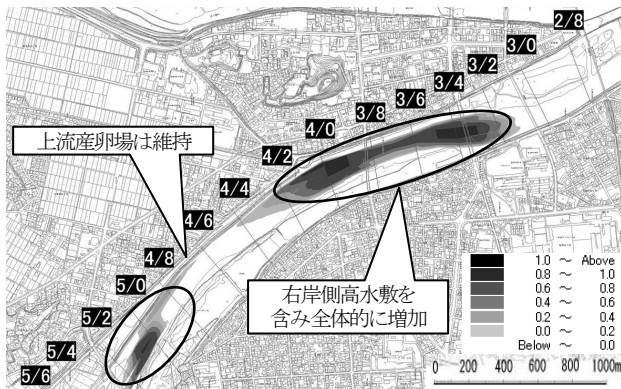


図-6(b) CSIコンター図(ケース1:高水敷切り下げ)

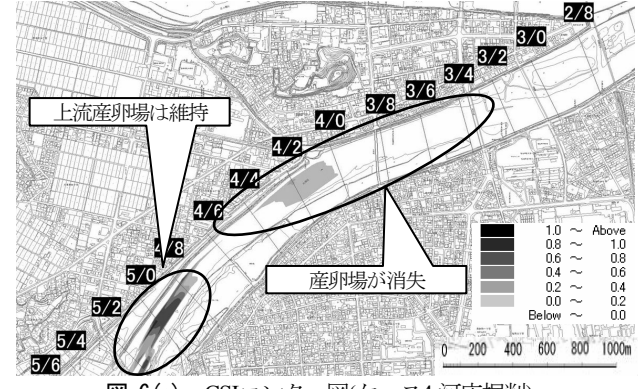


図-6(e) CSIコンター図(ケース4:河床掘削)

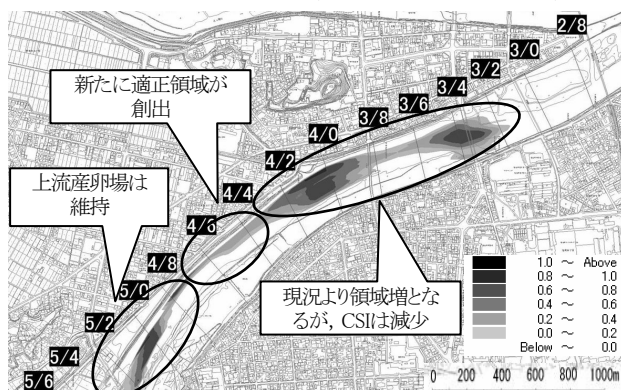


図-6(c) CSIコンター図(ケース2:河道掘削)

アユの産卵床が確認されている五ヶ瀬川派川の大瀬川を対象とし、仮想的な掘削断面を4ケース想定し、平面2次元解析モデルを用いて流況解析を行うと共にPHABSIMを適用してアユの産卵適正領域を算出した。算出結果に基づくと、ケース3(緩傾斜勾配掘削)が最適断面と判断した。

以上のように、PHABSIMを用いてアユの産卵床の新たな創出が可能な河道断面形状を決定したが、このような魚類の生息場に関する「創出」を検討した例はほとんどないと考えられる。今後は、さらに多くの掘削断面について検討し、アユの産卵を創出する掘削手法を確立したい。

参考文献

1) 多自然型川づくりレビュー委員会:多自然川づくりへの展開, 2006.
2) アメリカ合衆国内務省・国立生物研究庁原著, 中村俊六・テリー

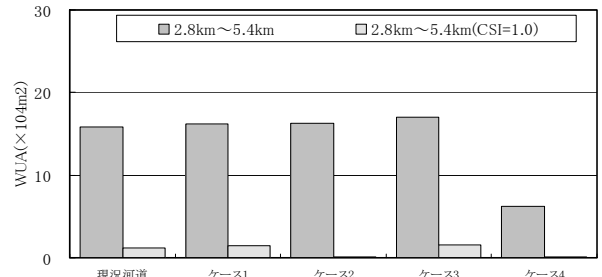


図-7 利用可能生息場面積WUAのケース毎の比較

・ワドゥル訳: IFIM入門, リバーフロント整備センター, 1999.
3) 中村, 石川, 築坂, 東, 中村, 第2回河道の水理と河川環境シンポジウム, pp.127-134, 1995.
4) 金, 玉井, 環境システム研究, Vol.24, pp.77-82, 1996.
5) 川本, 関根, 楊, 今井, 浮田, 環境システム研究, Vol.26, pp.447-452, 1998.
6) 知花, 松崎, 玉井, 第4回河道の水理と河川環境シンポジウム, pp.201-206, 1998.
7) 須藤, 道上, 檜谷, 水工学論文集, 第43巻, pp.1127-1132, 1999.
8) 砂田, 熊木, 川村, 水工学論文集, 第47巻, pp.1123-1128, 2003.
9) 知花, 玉井, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.161-166, 2000.
10) 辻本, 永禮, 第4回河道の水理と河川環境シンポジウム, pp.207-212, 1998.
11) 辻本, 永禮, 水工学論文集, 第43巻, pp.947-952, 1999.
12) 須藤, 永瀬, 道上, 檜谷, 水工学論文集, 第44巻, pp.1203-1208, 2000.
13) 永矢, 松尾, 河川技術論文集, 第8巻, pp.73-78, 2002.
14) 辻本, 田代, 伊藤, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.167-172, 2000.
15) 田代, 伊藤, 辻本, 河川技術論文集, 第8巻, pp.277-282, 2002.
16) 北村, 田代, 辻本, 河川技術に関する論文集, 第7巻, pp.297-302, 2001.
17) 傳田, 天野, 辻本, 土木学会論文集G, Vol.62, No.3, pp.340-358, 2006.
18) 長田, 水工学における計算機利用の講習会講義集, 土木学会水理委員会基礎水理部会, pp.61-76, 1999.
19) 石田, 三, アニマ, No.43, pp.12-20, 1976.
20) 鬼束, 永矢, 東野, 高見, 大塚, 秋山, 尾関, 白石, 河川技術論文集, No.11, pp.483-488, 2005.
21) 鬼束, 永矢, 白石, 東野, 高見, 的場, 秋山, 尾関, 畑中, 中川, 環境工学研究論文集, pp.59-66, 2007.
22) (財)国土技術研究センター編:河川生態管理の手引き, 山海堂, 2002.
23) 福岡捷二:洪水の水理と河道の改善法, 森北出版, 2005.