

中小河川における水辺再生を前提とした 河道計画手法に関する一考察

A study on river channel design method

aiming riverfront restoration as one of the proposes for medium and small rivers

研究第一部 研 究 員 瀧 健太郎
研究第一部 次 長 勢田 昌功
研究第一部 主任研究員 森 洋
(株)建設技術研究所 竹内 義幸

多自然型川づくりや河川での自然再生の分野では、川のシステムの健全化を目指した先進的な事例が次々と生みだされる中、一方では、川の個性を重視せず、安易な工法選定での河川整備にとどまっている事例も未だに見受けられる。特に中小河川では、直轄管理の大河川に比べ予算規模の制約が大きく、さらに治水安全度の確保が十分に達成されていないため、河川環境の保全・再生のための検討が十分できることが少ない。そのため、最新の研究事例で得られた成果について、本質を損ねることなくできるだけ使いやすい方法に変換し、現場技術者に提供することが必要となっている。

そこで本研究では、中小河川でも比較的容易に取り扱える水理諸元（平均年最大流量、掃流力、川幅水深比など）をもちいて、治水安全度の確保だけでなく、自然の営力により、瀬・淵、砂州、多様な水際など、それぞれの河川が有すべき固有の河川環境を形成・維持できる河道計画の立案手法を提案した。さらに、提案した手法を琵琶湖流入河川に適用し、河道計画の試案を作成した。

キーワード：多自然型川づくり、自然再生、治水安全度、中小河川、河道計画、琵琶湖流入河川

In the fields of nature-oriented river works and river restoration, various advanced projects aiming to restore the soundness of rivers are being carried out, but there are also projects that try to achieve river improvement goals by using carelessly chosen methods without paying careful attention to the personality of the river under consideration. Medium and small rivers are usually accompanied by more stringent budgetary constraints than large rivers managed directly by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. In addition, for medium or small rivers, it is usually not possible to conduct a thorough study on the conservation and restoration of the river environment because a sufficient level of flood safety has not been achieved. It is therefore necessary to convert the results of the latest studies to methods that are as easy to use as possible without losing their essence and provide those methods to field engineers.

This study proposes a river channel design method that makes it possible to create and maintain a river environment with not only the required level of flood safety but also attributes characteristic of each river, such as shallows and pools, sandbars and diverse water edges, by using hydraulic parameters (e.g., mean maximum annual discharge, tractive force, width to depth ratio) that are relatively easy to use even for medium and small rivers. This study also draws up a channel design by applying the proposed method to a Lake Biwa tributary.

Key words : nature-oriented river works, nature restoration, flood safety, medium and small rivers, channel plan, Lake tributary

1. はじめに

近年では、河川環境の再生技術の進展に伴い、水辺再生を前提とした河道計画立案のための知見は、十分ではないもののある程度は蓄積されつつある。直轄管理河川では、河川環境に関する綿密な調査や検討を経て河川整備が実施されている。一方で、予算規模の小さい都道府県管理の中小河川では同レベルの検討は到底できない。また、現場技術者の理解も十分には追従しておらず、誤った理解に陥っている場面さえしばしば見受けられる。

しかしながら、人々の生活の身近にあって、人為的行為の影響を敏感に受けてきた中小河川においてこそ、再生が強く望まれているという現実もある。

そこで本研究では、滋賀県に流れる琵琶湖流入河川を対象として、これまでに蓄積された河川環境の再生のための知見を最大限活用しつつ、「治水」と「河川環境の保全・再生」の区別のない適用しやすく、かつ具体的な河道計画の手法の開発を試みた。以下に、研究の概要を述べる。

2. 「淡海の川」の現状 ～河川環境を中心に～

昭和30～40年代、滋賀県下に流れる川の多くは、周辺地盤に対して河床高が高い天井川の様相を呈し、堤外は砂礫河原が広がり、水際は多様で流れには瀬・淵が見られた。これは、川と人との関わりの中で連綿と築かれてきた2次的自然(里川の自然)であり、この中で琵琶湖集水域に特有の生物相と生活文化が育まれてきた。

しかしながら、近年、急速に進む流域開発やそれに伴う水資源開発や河川改修、治山事業の進展等により、各河川の流況や土砂動態が変わり、河川環境が大きく変化してきた。特に、これまでの河川整備は、社会的ニーズに応えようと治水安全度を向上させ、洪水災害の頻度を減少させた一方で、河道内の物理環境を直接的に改変し、川に関わる生物相の劣化を招く一因となっていることが認識されるようになった。

河道の掘削や拡幅は、流況の変化や土砂供給量の減少とあいまって、川の営力を低下させ、砂礫河原や瀬と淵を減少させた。また均一な護岸整備は、多様な水際を減少させ、河岸から緩やかな水陸移行帯を奪わざるを得なかった。

琵琶湖河口付近では、破堤時に壊滅的な被害をもたらす天井川を解消することを目的とした河床掘削が優先的に進められた。これにより、琵琶湖水位の影響を受ける背水区間が拡大し、河口部での堆積傾向が強まることで、琵琶湖への土砂供給量が減少しているとの

指摘もなされている。この河口部での応答は、河積拡大による新たな堆積空間で堆砂が進行し、掘削前の川幅・河床高に戻ろうとする傾向(堆積傾向)となることが要因であると考えられる。さらに、このような琵琶湖への土砂供給の減少は、琵琶湖の水位管理(冬期の高い水位管理)との相乗効果もあって、湖辺域の基盤流失(浜欠け)を促進していると考えられている。

さらに、経済的な発展の中で人々のライフスタイルが変化し、このような河川環境の変化とともに、川と深い関わりをもつ生活文化や人々の川への関心は急速に失われている。

このような現象の結果として、2次的自然状態の河川環境にハビタットを持つ生物相の劣化や琵琶湖固有の景観の喪失が不可逆的かつ急速に進行し続けている。

3. 河道計画手法の提案 ～横断形状に着目して～

3-1 めざすべき姿の設定

これまでに述べた状況を踏まえて、河道計画の際に目指すべき姿として、“流域の特性に適切な治水安全度を確保すること”とあわせて“かつての2次的自然状態の河川環境が有していた機能を確保すること”とした。これをより具体的に言い換えれば、“計画高水流量をより安全に流下させる河積”をもち“自然の営力により、それぞれの川が本来有すべき河原、瀬・淵、多様な水際などの河相が持続的に形成・維持”できる河道を形成することとなる。

特に、河口部で河床掘削や低水路拡幅を実施して背水区間を新たに生じさせた場合は、その後のレスポンスとして想定される土砂堆積・河床上昇(河口砂州の成長)や湖辺域の基盤流失を抑制するため、河口テラス部に堆積する土砂を掘削し、周辺湖辺で養浜するなどの対策を恒久的に実施し続けなければならない。したがって、このような状況をできるだけ回避するため、琵琶湖水位の影響を受ける背水区間では、“琵琶湖への土砂供給が維持される河道”をめざすべき姿とした。

3-2 自己流区間の河道計画

(1) 目標値の設定

先に述べたように、背水区間以外の部分、すなわち琵琶湖背水の影響を受けない自己流区間では、“自然の営力により、それぞれの川が本来有すべき河原、瀬・淵、多様な水際が持続的に形成・維持される河道”をあるべき姿とした。

この河川環境を実現するためには、以下の条件を満足する必要があると考えられる。

【条件①】植物の進入を防ぐ程度に、砂州が定期的に攪乱されること

【条件②】自然の営力で砂州が形成されること（瀬・淵、多様な水際が自然に形成されること）

河道計画の検討手順に適用することを念頭に、条件①及び②を満足する具体的な水理条件について整理した。その内容を以下に詳述する。

① **植物の侵入を防ぐ程度に、砂州が定期的に攪乱される条件**

裸地域が維持されるためには、2、3年に1回程度は裸地部分が攪乱される状況にある必要がある、と既往調査^{1) 2)}で報告されている。

また、平均的な河床材料が動く無次元掃流力 τ_* を0.06と考えると、平均年最大流量 Q_m (年超過確率1/2~1/3) に対応する無次元掃流力 τ_* が0.06を上回るか否かで、裸地が維持されるかどうかを評価することができる。さらに、無次元掃流力 τ_* が0.10を上回ると河床材料の最大粒径程度まで動く。この場合、一年草程度の植生が侵入しても、ほとんどの土砂が動き植生も同時に攪乱されることから、砂州の樹林化の拡大を防ぐことができると考えられる^{1) 2) 3) 4)}。ただし、一旦樹林化が進んだ場合は、 τ_* が0.10を上回っている場合でも破壊される可能性は少ないと考えられ、その場合は人為的な関与が必要となる。

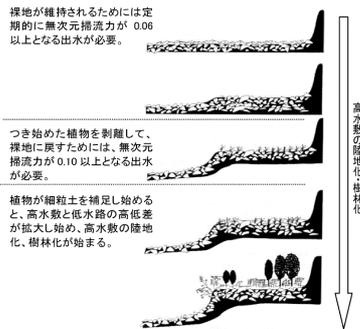


図-1 砂地の陸地化・樹林化^{1) 2)}

したがって、本研究では、植物の侵入を防ぐ程度に河床が攪乱される条件を平均年最大流量 Q_m に対応する無次元掃流力 $\tau_* > 0.1$ とした。

② **自然の営力で砂州が形成される条件**

既往研究成果 (A 水理実験値、B 理論値、C 実河川の統計値) とあわせて、平均年最大流量 Q_m に対応する川幅水深比 B/H_L が30を越えれば砂州が形成されるものとした。既往研究成果を整理すると、砂州形成の閾値は川幅水深比 B/H_L が10~30程度と幅を持った値となっているが、確実に砂州を形成するため、本研究では砂州形成条件を $B/H_L > 30$ とした。

A 水理実験値⁵⁾ 図-2は、水路実験結果と実河川を川幅水深比 B/H_L 、水深粒径比 H_L/d_r で整理した結果から得られたものであり、勾配の違いによる影響は小さいとされている。無次元掃流力 $\tau_* < 0.6$ の条件下では、砂州の形成限界を $B/H_L = 10$ としている。

B 理論値⁶⁾ 砂州の発生・非発生領域については、二次元浅水流と流砂モデルを用いた弱非線形解析によっても議論され、その結果は図-3のように与えられ、縦軸を無次元掃流力 τ_* 、横軸を川幅水深比の B/H_L ではなく、河床勾配 I_b と組み合わせ、 $BI_b^{0.2}/H_L$ をとって区分線を示している。 $\tau_* > 0.1$ では簡略化することができ、図-3から $I_b = 0.010$ のとき $BI_b^{0.2}/H_L = 8$ で、この式に I_b 値 (=0.010) を代入すれば、 $B/H_L = 28$ と簡略化できる。また、 $I_b = 0.001$ のときは、同様に $BI_b^{0.2}/H_L = 7$ となり、 $B/H_L = 20$ である。砂州発生領域の閾値は、 B/H_L で20~28程度となる。また、 $0.06 < \tau_* < 0.1$ の範囲では、 B/H_L の閾値は小さくなる。

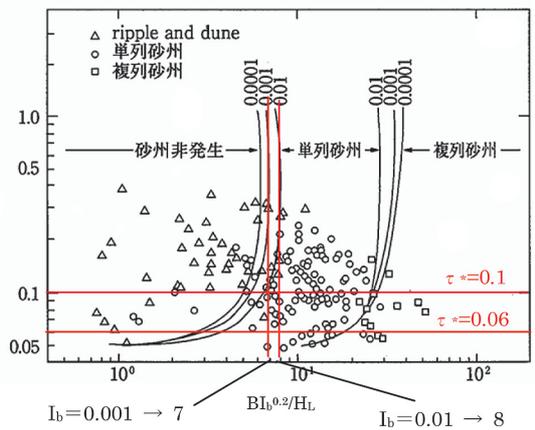
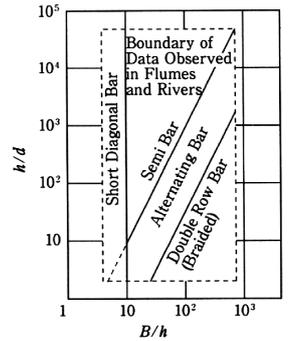


図-2 中規模河床形態の領域区分^{5) 7)} (上段)
図-3 交互砂州の形成領域区分^{5) 7)} (下段)

C 実河川の統計値⁸⁾ 図-4は、主に直轄管理河川での平均年最大流量時 (ほぼ低水路満杯流量) の水理量を使い、中規模河床波での砂州形態を区分している。これより、川幅水深比 B/H_L が $20 \leq B/H_L \leq 70$ で交互砂州、 $70 \leq B/H_L \leq 140$ で交互或いは複列砂州、 $140 \leq B/H_L$ で多列砂州が形成されることが分かる。

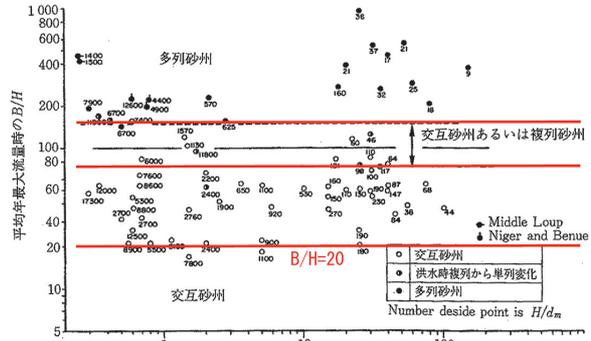


図-4 砂州の形成区分⁸⁾

(2) 低水路横断形状の設定

自己流区間での要求条件である「無次元掃流力 $\tau_* > 0.10$ 、かつ川幅水深比 $B/H_L > 30$ 」を満たす低水路横断形状の設定方法を以下に述べる。

0) step.0 現況の確認

現況断面で、無次元掃流力 τ_* 及び川幅水深比 B/H_L を確認する。「 $\tau_* > 0.1$ かつ $B/H_L > 30$ 」が成立していれば現況の低水路形状を踏襲する。不成立の場合ややむを得ず低水路形状を改変する場合はstep.1に進む。

1) step.1 低水路水位 H_L の算定

τ_* の目標値を定めれば、次式から低水路水位 H_L の値を一意的に決めることができる。

$$\tau_* = u_*^2 / (s \cdot g \cdot d_R) = g \cdot H_L \cdot I_e / (s \cdot g \cdot d_R)$$

$$= H_L \cdot I_e / 1.65 d_R$$

⇔ $H_L = 1.65 \cdot \tau_* \cdot (d_R / I_e)$ (d_R 及び I_e ($\equiv I_b$) は既知)

ここに、 u_* : 摩擦速度 (m/s)、 s : 河床材料の水中比重 (=1.65)、 g : 重力加速度 (9.8m/s²)、 d_R : 河床材料の代表粒径 (m)、 I_e : エネルギー勾配、 I_b : 河床勾配。

2) step.2 低水路水面幅 B の算定

平均年最大流量 Q_m 及び低水路水位 H_L が決まるため、低水路の法勾配を与えると、不等流計算 (または等流計算) により一意的に低水路水面幅 B を定めることができる。低水路の法勾配は河川環境上緩い方が望ましい場合が多いが、補助河川の事業認可時には法勾配 1:2.0 と指導されることが多い。

3) step.3 川幅水深比の確認

1) 及び 2) で得られた H_L と B との比が砂州形成条件である $B/H_L > 30$ を満たしているかどうか確認する。満たしていない場合は、 τ_* を 0.06 から 0.10 の範囲内で小さく設定し、step.1 に戻り砂州形成条件が満たされるまで繰り返す。

最終的に、必要条件を満たせなかった場合は、自然の営力によって砂州や瀬・淵を再生することが難しく、人為的に湾曲を造ったり構造物を設置したりなどで、砂州や瀬・淵に造りだす工夫が必要となる。

(3) 横断形状の設定

次に、目標とする流下能力を満足する横断形状 (堤防高、高水敷幅等) を設定する。

洪水防御および河川環境、周辺地下水を含む水循環系の保全の観点から、第一次案として河床掘削をせず現状のみお筋を保全しつつ、引堤のみで目標流量を流下させる方法を検討する。その際、破堤による壊滅的被害のリスクを低減するため、計画高水位が現況河道の可能最高水位 (堤防満杯水位) を超えないように設定する必要がある。とはいうものの、第一次案は、従

来の完全掘り込みを理想とする河道計画と比べると、河床掘削をできるだけ避ける方針であるため、相対的に出水時の水位が高くなり破堤リスクが残るということを理解しておく必要がある。

また、用地の制約がある場合は、以下を条件に横断形状を修正する。

① 現況河道の最高水位 (堤防満杯水位) より計画高水位が下回ること

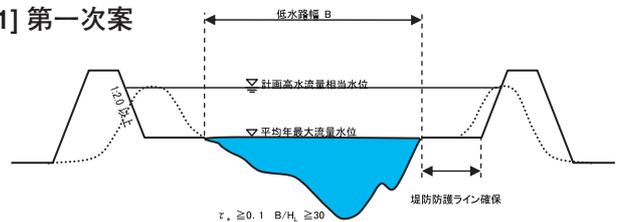
② (自然の営力により本来有すべき河相を形成・維持できる) 低水路横断形状を保持すること

(4) 横断形状の工夫例

以下に用地制約等に応じた横断形状の工夫例を列挙する。

なお、図中の低水路は、施工後数年経ち、自然に砂州が形成された状態を想定して作図している。

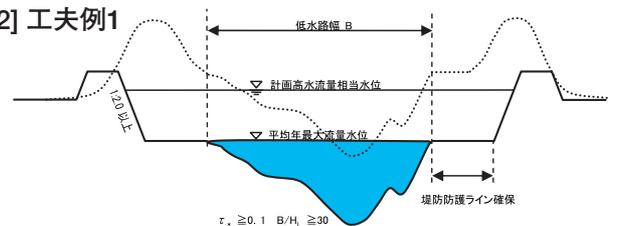
[1] 第一次案



[1] 基本形 (第一次案) の設定

- ・引堤で流下能力を確保することとし、堤防防護ラインを確保しつつ、高水敷高は平均年最大洪水水位付近に設定する。

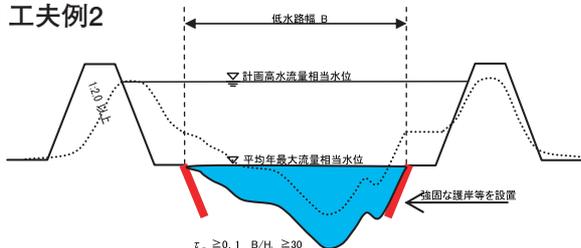
[2] 工夫例1



[2] 第一次案の横断形状を保持しつつ、全体を掘削

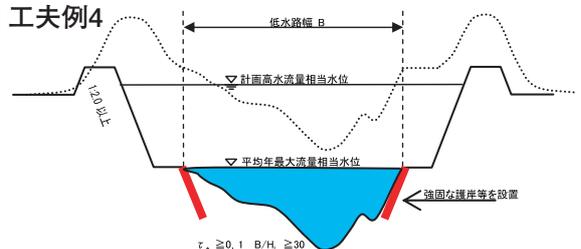
- ・高水敷幅を狭めずに、河道全体を掘り下げる。
- ・高水敷幅は、堤防防護ライン (1 洪水による高水敷被災幅) を確保する。
- ・低水路部は、現況のみお筋幅を参考に低々水路を設置する等の工夫をする。

[3] 工夫例2



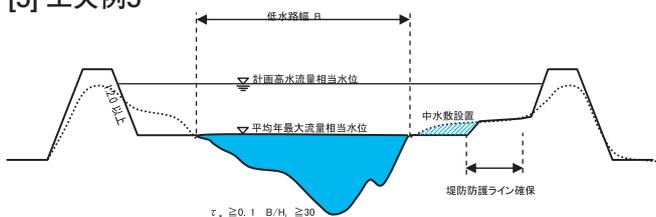
- [3] 高水敷幅を狭め（単断面化）、築堤
- ・高水敷幅を狭めつつ築堤により流下能力を確保する。
 - ・低水路形状を保持しつつ、計画高水位が現況堤防満杯水位以下になるまで、全体を最低限下げる。
 - ・堤防防護ラインを侵して高水敷を掘削する場合、強固な護岸を設置する。

[4] 工夫例4



- [4] 全体を掘削しつつ、単断面化
- ・[2]～[3]の場合よりさらに用地制約がある場合、[2][3]を組み合わせ、流下能力を確保する。(最終的には、完全掘込単断面となる。)
 - ・堤防防護ラインを侵して高水敷を掘削する場合、強固な護岸を設置する。
 - ・低水路部は、現況のみお筋幅を参考に低水々路を設置する等の工夫をする。

[5] 工夫例5



- [5] 高水敷掘削（中水敷の設置）
- ・もともと幅広い高水敷を有する区間で、平均年最大流量時の水位よりも高い位置に高水敷がある河道で適用を考える。
 - ・平均年最大流量時の水位を目安に中水敷高を設定し、高水敷掘削で流下能力を確保する。
 - ・中水敷では、2～3年に1回程度の冠水環境は維持され、できるだけ樹林化の進行を抑制する。

3-3 背水区間の河道計画

(1) 目標値の設定

背水区間を生じさせる場合には、維持管理のための恒久的な河床掘削・浚渫をできるだけ少なくするため、「平均年最大流量程度で主要な河床材料を流下できる状態」を最低限確保すべき目標とした。水理量を用いてこの状態を表現すると、「限界掃流力 $u_{*c}^2 < \text{掃流力 } u_*^2$ 」となる。

(2) 低水路横断形状の設定

背水区間での必要条件「限界掃流力 $u_{*c}^2 < \text{掃流力 } u_*^2$ 」を満たす低水路横断形状の設定方法を述べる。

0) step.0 現況の確認

現況断面で、 u_* 及び u_{*c} を確認する。 $u_{*c} < u_*$ が成立していれば現況の低水路形状を踏襲する。不成立の場合ややむを得ず低水路形状を変更する場合はstep.1に進む。

1) step.1 低水路水位 H_L の算定

河床材料の代表粒径 d_R から岩垣公式を適用し、限界掃流力 u_{*c}^2 を算定すれば、次式から低水路水位 H_L の値を一意的に決めることができる。

$$u_*^2 = g \cdot H_L \cdot I_e$$

$$\Leftrightarrow H_L = u_*^2 / g \cdot I_e$$

(u_*^2 に u_{*c}^2 の算定値を、 I_e に I_b の値を代入)

ここに、 u_*^2 : 摩擦速度 (m/s)、 g : 重力加速度 (9.8m/s²)、 d_R : 河床材料の代表粒径 (m)、 I_e : エネルギー勾配、 I_b : 河床勾配)。

2) step.2 低水路水面幅 B の算定

平均年最大流量 Q_m 及び低水路水位 H_L が決まるため、低水路の法勾配を与えると、不等流計算により一意的に低水路水面幅 B を定めることができる。その際の出発水位は、琵琶湖平均水位B.S.L.+0m (=T.P.+ 84.371m)とする。

3) step.3 掃流力 u_*^2 の算定

次式から掃流力を算定し、「 $u_{*c}^2 < u_*^2$ 」を満たすか確認する。掃流力算定の際には、 I_e 値はstep.2の不等流計算で得られた値を採用する。満たさない場合step.1に戻る。

$$u_*^2 = g \cdot H_L \cdot I_e$$

(3) 横断形状の設定

琵琶湖への土砂供給を維持できる低水路横断形を設定したうえで、目標とする流下能力を満足する横断形状（堤防高、高水敷幅等）を設定する。

洪水防御および河川環境、周辺地下水を含む水循環系の保全の観点から、第一次案（河道計画として最も望ましい案）は自己流区間と同様に引堤を基本とする。

また、用地の制約がある場合は、以下を条件に横断

形状を修正する。

- ①現況河道の最高水位（堤防満杯水位）より計画高水位が下回ること
- ②（琵琶湖への土砂供給を維持できる）低水路横断形状を保持すること
- (4) 横断形状の工夫例

背水区間であっても、基本的には自己流区間の河道形状の工夫例（[2] [3] [4]）に準じて、必要な低水路形状を保持しつつ、河積を確保できる横断形を設定する。

ただし背水区間においては、河床高を下げると、琵琶湖水位が河川水に与える影響が大きくなる（相対的に出発水位が高くなる）ため、河床が高い河道に比べて土砂の掃流力が小さくなる。したがって、河床高の変更を伴う修正をする場合は、掘削深に応じて低水路横断形を再設定する必要がある。

- (5) ヨシ帯を活かした低水路形状の再設定

琵琶湖湖辺域や流入河川の河口部には、ヨシ群落が多く見られ、琵琶湖流域の固有の生態系を育むとともに、特徴的な景観を織り成している。ヨシは流れに対して比較的強い高茎草本であり、直立状態ではほぼ死水域として働き、倒伏状態では河積を侵さない。この特徴を利用して低水路横断形状を再設定することができる。例えば、ヨシ帯が倒伏状態となる水位が平均年最大流量相当水位と計画高水位との間にある場合、ヨシ帯部は平均年最大流量時には倒伏せずにほぼ死水域として働き、計画高水流量時には倒伏状態となりほとんど河積を侵さない。

このような条件を満足した場合、ヨシ帯が生育可能な基盤高の範囲で低水路を拡幅しても平均年最大流量時の摩擦速度 u_* を維持することができる。そのような河道計画を実現するためには、低水路を拡幅した部分で以下の条件を満たす必要がある。

- ①ヨシ帯の生育条件（基盤高・勾配・底質条件）を満たしていること
- ②ヨシ帯が、平均年最大流量相当水位では直立状態を保ち、計画高水位では倒伏すること

- (6) ヨシ帯を活かした低水路形状の再設定例

条件①～②を満たした低水路拡幅を行えば、河床掘削を伴わずに河積を拡大でき、用地幅を小さくすることができる。また、ヨシ帯はコイ科魚類等のハビタットとしての機能を有することから、背水区間化した河道を水陸移行帯として活かすことができる。

ヨシ帯の生育条件 ヨシ帯の生育条件は、表-1に示すように、滋賀県河港課が琵琶湖湖辺域でヨシ帯を再生する際に設定する基盤条件を採用する。一般に、

ヨシの成育状況と冠水頻度には密接な関係があることが知られている。また、琵琶湖流入河川の河口部背水区間と湖辺域では、概ね基盤高別の冠水頻度は類似した傾向がある。そのため、本研究では、河口部背水区間におけるヨシ帯の生育基盤の条件について、琵琶湖湖辺域の調査結果に基づいた数値を適用している。しかし厳密には、湖沼と河川では流水による影響の差があるため、冠水頻度ごとに群落構造を河川ごとに整理するなどして、河道特性に応じた基盤条件を検討する方が望ましい。

表-1 ヨシ帯の生育基盤の条件

基盤高	B.S.L. -0.8 ~ +0.2m 程度
勾配	平均1/50（最大1/20）
底質	砂質土（初期条件はd50粒径で1.0m）

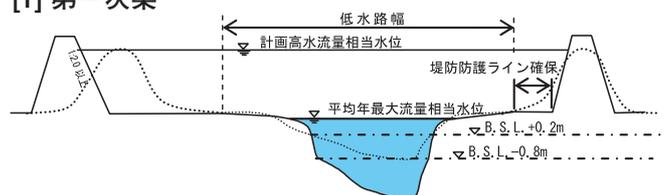
ヨシ帯の倒伏条件 河川の中下流部の高水敷、河岸、中州に見られるヨシ群落、オギ群落（平均草丈1.5m以上、平均茎径0.5cm以上）は、平均年最大流量時に倒伏しないと粗度係数は $n=0.109$ ）、倒伏すると $n=0.05\sim 0.069$ ）となるとの実験データがある。すなわち、平均年最大流量時にヨシ帯が倒伏しなければ大きな抵抗力が働き、流水が低水路部に集中し、流路の掃流力を高める効果が期待できる。一方、計画高水流量時にヨシ帯が倒伏すれば、流水の支障にならない。既往の研究成果では、ヨシ帯の倒伏条件の閾値は表-2のように提案されており、本研究でもこの数値を採用する。

表-2 ヨシ帯の倒伏条件⁹⁾

直立状態	$< u_* \leq 12\text{cm/s}$
たわみ状態	$12\text{cm/s} < u_* \leq 22\text{cm/s}$
倒伏状態	$22\text{cm/s} < u_*$

以下に、背水区間でのヨシ帯を用いた横断形状の工夫例を列挙する。

[1] 第一次案



[1] 第一次案の設定
 ・河積は引堤で確保することとし堤防防護ラインを確保しつつ、高水敷高は平均年最大高水位付近に設定する。

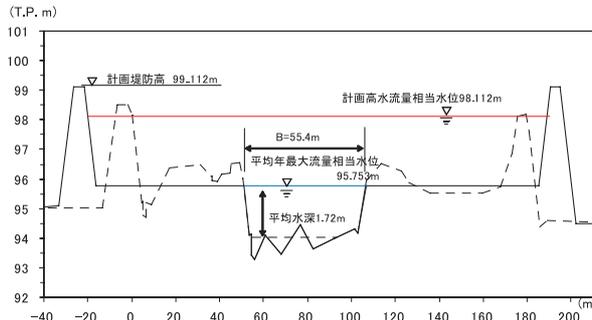
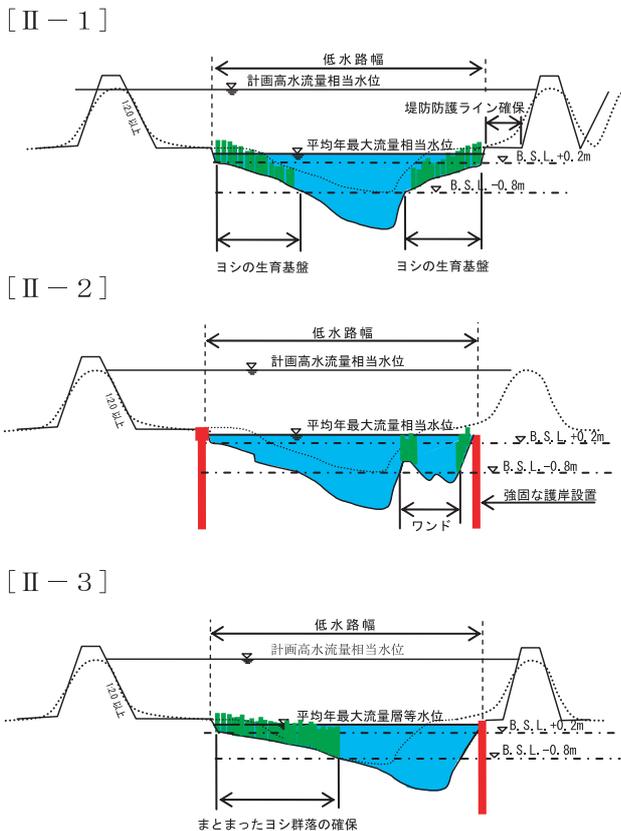


図-5 A川 (5.4k付近) 計画河道 (第一次案)

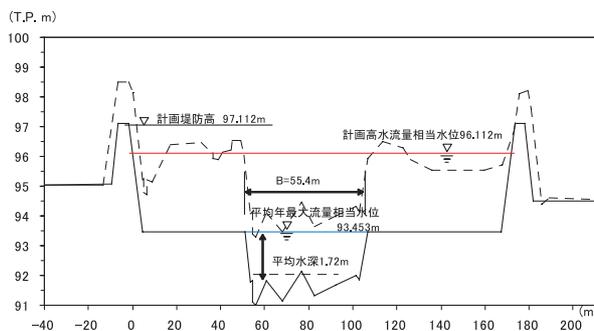


図-6 A川 (5.4k付近) 計画河道 (工夫例 [4])

表-3 計算に用いた計画河道の低水路諸元

平均年最大流量 Q (m ³ /s)	水面幅 B (m)	平均水深 HL (m)	河床勾配 I _b	代表粒径 d ₆₀ (mm)
207	55.4	1.72	1/293	30

[II] ヨシ植栽と低水路の拡幅

- ・ヨシ帯が生育できる基盤高が浅で低水路を拡幅する。さらに拡幅した箇所にヨシ帯を整備して、平均年最大流量時の低水路部での掃流力 u_*^2 が第一次案と比較して低下しないようにする。
- ・ヨシ帯が倒伏状態となる水位が、平均年最大流量相当水位と計画高水位との間にある場合、ヨシ帯部は、平均年最大流量時は倒伏せずにはほぼ死水域として働き、洪水流をヨシ前面の低水路部に集中させる。計画高水流量時には、倒伏状態となることで、ヨシ帯部での流水断面を確保する。

4. モデル河川での適用

4-1 自己流区間の河道計画

琵琶湖流入河川であるA川 (5.4k付近) をモデルに、自己流区間の試案を示す。試案を検討するための暫定的な値として、計画高水流量を1,900m³/s、平均年最大流量207m³/sとして計画断面を設定した。(現在A川の高水計画は検討中であり、本研究で用いた値は正值ではない。)

本稿では紙面の都合上、第一次案と工夫例 [4] のみを紹介する。第一次案、工夫例 [4] とともに、平均年最大流量時の無次元掃流力 τ_* と川幅水深比 B/H_L は、 $\tau_* = 0.12$ 及び $B/H_L = 32$ となり、砂州及び瀬・淵が形成される条件 ($\tau_* > 0.1$ 、 $B/H_L > 30$) を満足している。さらに用地幅については、第一次案と比較して、工夫例 [4] では約45.5m狭く設定することができた。

4-2 背水区間の河道計画

琵琶湖流入河川であるB川 (0.1k付近) をモデルに背水区間での河道計画の試案を示す。暫定的な値として、仮に計画高水流量を1,400m³/s、平均年最大流量を486m³/sとした。(現在B川の高水計画は検討中であり、本研究で用いた値は正值ではない。)

本稿では紙面の都合上、第一次案と工夫例 [II-3] のみ試案を紹介する。平均年最大流量時に発生する掃流力 u_*^2 (m²/s²) については、第一次案では0.030m²/s²、工夫例 [II-3] では0.021m²/s²となっており、ともに限界掃流力0.016m²/s² ($d_r = 20$ mmの条件で岩垣公式から算定) を越えている。

工夫例 [II-3] では、ヨシ帯部の平均基盤高を表-1で示したヨシ帯の生育条件 (B.S.L. -0.8~+0.2m) の上限であるB.S.L.+0.2mと設定した。この状態でヨシ帯基盤で生じる摩擦速度 u_* (m/s) は、平均年最大流量時に12m/s、計画高水流量時に22m/sとなり、表-2で示したヨシ帯の倒伏条件を満足している。さらに用地幅では、第一次案と比較して、約20m狭く設定することができた。

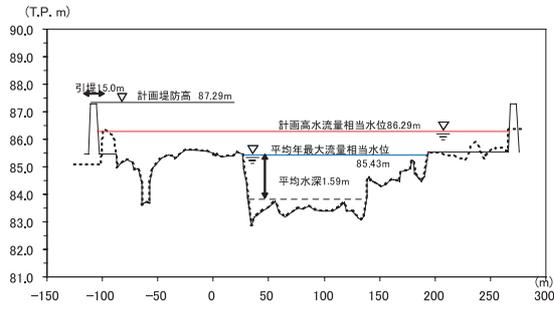


図-7 B川 (0.1k付近) 河道計画 (第一次案)

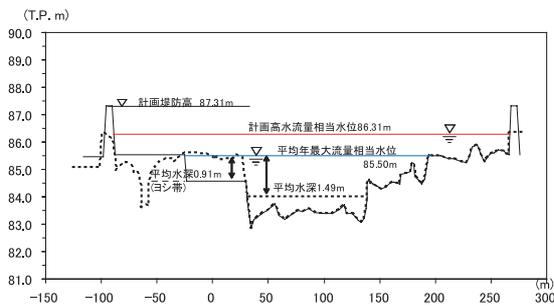


図-8 B川 (0.1k) 河道計画 (工夫例 [II-3])

表-4 ヨシ帯部分の水理諸元 (工夫例 [II-3])

	流速V (m/s)	摩擦速度u* (cm/s)	粗度係数n	備考
平均年最大流量時 486 (m ³ /s)	0.39	12	0.10	ヨシ直立
計画高水流量時 1400 (m ³ /s)	2.52	22	0.05	ヨシ倒伏

5. 今後の課題

本研究で示した河道計画の手法は、滋賀県内の河川に適用することを念頭におきながら、全国の事例や既往研究の成果等を踏まえて提案したものである。

しかしながら、この中に示されている判断基準となる各数値は、琵琶湖流入河川の河道データに基づいて設定・キャリブレーションされたものではない。すなわち、本稿で示す手法を用いて河道計画を行なったとしても、想定通りの結果にならない場合もあると考えられる。したがって今後は、平常時の水位・流量や、施工前後での河道内の物理特性、動植物の分布の応答(レスポンス)を各河川で十分モニタリングして、その結果を順応的にフィードバックしつつ、事業実施段階においても河道計画を逐次見直すことが必要となる。

6. おわりに

本稿で紹介した手法は、具体的な留意事項等も加えて、「河道計画・設計の手引き(案)」として取りまとめられた。試験運用の後、滋賀県設計便覧(河川編)に記載していく予定である。これは、従来の多自然型

川づくり等に関する提言や任意の手引書という形ではなく、設計の基礎となる「設計便覧」に記載することで、実質的に現場を変えたいとの考えに基づいている。

本研究成果が、試験運用の結果を踏まえて改善され、中小河川でのより本質的な多自然型川づくりや自然再生の推進に寄与することを願ってやまない。

7. 謝辞

淡海の川づくり検討委員会の江頭進治委員長(立命館大学理工学部教授)、遊磨正秀委員(龍谷大学理工学部教授)には、それぞれのご専門の立場から労を惜しまず温かなご指導を頂きました。また、滋賀県土木交通部河港課の植田河港課長、辻主査をはじめスタッフの方々には、このような研究の機会を与えてくださり、あらゆる場面で陰に陽にと支えて頂きました。この場をお借りして、皆さまに心からの感謝の意を捧げます。

<参考文献>

- 1) 瀬崎, 服部, 近藤, 徳田, 藤田, 吉田:礫州上草本植生の流出機構に関する現地観測と考察, 水工学論文集, 第44巻, pp.825-830, 2000.
- 2) 服部, 瀬崎, 伊藤, 末次:河床変動の観点で捉えた河原を支える仕組みの復元-多摩川永田地区を事例として-, 河川技術論文集, 第9巻, pp.85-90, 2003.
- 3) 鎌田, 小島, 岡部:河川砂州上に侵入したシナダレスズメガヤを除去するに必要な洪水管力, 応用生態工学論文集, Vol.8, pp.97-98, 2004.
- 4) 福田, 鎌田:洪水によるシナダレスズメガヤの除去効果及びそれに対するヤナギ群落の阻害効果, 応用生態工学論文集, Vol.8-2, pp.187-190, 2005.
- 5) 村本嘉雄・藤田裕一郎:中規模河床形態の分類と形成条件, 第22回水理講演会論文集 pp.375-382, 1978.
- 6) 黒木幹男・岸力:中規模河川形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第342号, pp.87-96, 1984.
- 7) 土木学会:水理公式集 平成11年版, 丸善(株), pp.184-185, 1999.
- 8) 山本晃一:沖積河川学, 山海堂, pp.453-458, 1994.
- 9) 福岡捷二:洪水の水理と河道の設計法, 森北出版(株), pp.333-340, 2005.11.
- 10) 財団法人国土技術研究センター編:河道計画検討の手引き, 山海堂, pp.116-118, 2002.2.
- 11) 高茎草本の洪水時の挙動 狩野, 森:リバーフロント研究所報告第15号, 2004.9