

5 - 2 Question

高水敷掘削や切下げを行う際に、掘削の効果を長持ちさせながら、河川環境の改善に寄与するための留意点を教えてください。

■Question の意味と背景

河道掘削（高水敷掘削）は、河積を増大させ、流下能力を確保するための主要な河川整備メニューとして各地の河川で実施され、今後も継続が見込まれている。高水敷掘削や砂州・寄り洲等の切下げは、河道内の地盤の切下げによって相対的に高さの低い、より冠水しやすいエリアを創出する行為であることから、ワンドやたまりを含む氾濫原・湿地環境の形成、そこに依存する生物の保全に寄与することが期待されている。しかし、掘削後に土砂の再堆積や樹林化が発生した場合、治水面と環境面の両面の効果が低下することがあるほか、掘削高さの設定によって掘削後の経過が異なることも、各地の事例により明らかになってきている。また、高水敷利用が想定される区間においては、水辺利用や景観面への配慮についても留意が必要（Q6-1 参照）であり、対象区間の特性に合わせて掘削高さや掘削方法が検討されるべきである。主にセグメント2 河道における高水敷掘削、切下げを行う際のポイントについて示す。



図 1 河道掘削（高水敷掘削）のイメージ（長良川セグメント1 区間）

■関連する Question

- Q2-1 治水事業において、多自然川づくりで留意すべきポイントを教えてください。
- Q3-1 各セグメントにおける土砂動態の特徴を教えてください。
- Q6-1 人の利用という視点から、高水敷整備をどのように進めたらよいか、考え方や事例を教えてください。
- Q7-4 生物の多様性向上のために河道～水路～流域の環境をつなぐ有効な方法を教えてください。
- Q8-1 河川における樹木管理の基本的な考え方について教えてください。
- Q8-2 河道内樹林が再繁茂しにくい施工や維持管理の方法を教えてください。
- Q9-1 自然再生等の取組みを実施した際、その効果を計るためのモニタリング計画を考えるときのポイントを教えてください。

Answer

掘削高さによって、掘削後の土砂の再堆積や樹林化の進行に差が生じます。また、氾濫原的な環境の創出等の効果にも違いがあります。

■ Answer の概要と基本的考え方

高水敷掘削は、流下能力確保のためだけでなく、二極化・樹林化が進む河道において、重要な生息場を残しつつ“生息場の更新・若返り”を人為的に起こす手段として“適度に”活用することで、河川環境の多様性を保つ有効な手段となりうる。一方、高水敷掘削後に生じる土砂の再堆積と樹林化は、治水・環境両面の効果を低減させる主要な要因となる。高水敷を掘削した際には、高水敷を形成していた粒径集団の土砂が再堆積することが一般的であり、セグメントによって堆積する土砂の性質が異なる。堆積する土砂は出水時に輸送された土砂が掘削面上に堆積したものであるから、掘削高さが異なれば出水により受ける外力の規模・冠水する頻度も変化するために掘削後の経過にも違いが生じる。また、土砂の再堆積に伴い植物が侵入し、草本から木本へと遷移して再樹林化した事例、掘削後の裸地にヤナギ類が侵入・定着して樹林化した事例等も報告されている。植生は土砂の堆積を促進し、掘削の効果を短期間に低減させるため、掘削地における樹林化の抑制（Q8-2 参照）にも留意した計画とする必要がある。

セグメント 2-2 河道（Q3-1 参照）では高水敷掘削によって創出されたワンドやたまりを含む氾濫原的な湿地環境、そこに依存する生物の保全に資する効果も確認されている。掘削面に土砂が堆積する過程で生じるワンド・たまりといった氾濫原的な水域が、開発が進む以前の平野部に広く生息していた氾濫原的環境を生息場とする生物の貴重な生息場となる。しかしながら、これらのワンド・たまりの環境も次第に劣化していく場合があり、土砂堆積の進行や樹林化に伴う有機物の集積、冠水頻度の低下などがその要因と考えられている。

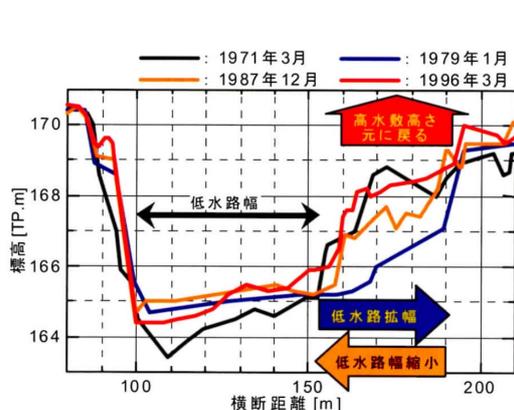


図 2 川内川における土砂再堆積²⁾

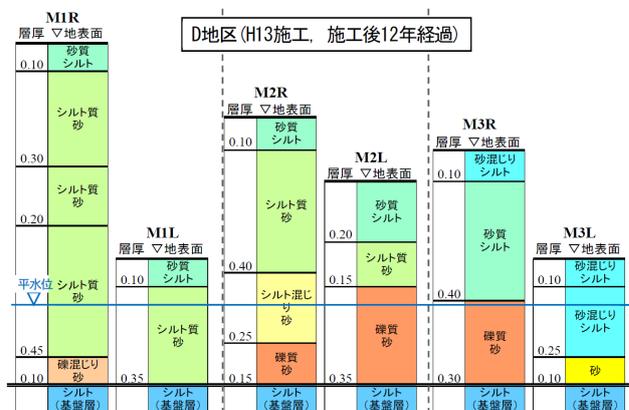


図 3 揖斐川掘削地における掘削後の堆積物³⁾

■Answer の詳細

(1) 土砂の再堆積と掘削高さ

1) セグメント2における高水敷掘削後の土砂再堆積

セグメント2において高水敷掘削を行った場合、再堆積する土砂の粒径は、低水路の河床にみられる土砂よりは1オーダー以上小さく、掘削前に高水敷を形成していた土砂と同クラスのもの堆積することが普通である(Q3-1参照)。一般的には、セグメント2-2河道では、ウォッシュロードや浮遊砂として輸送される細砂・シルト、セグメント2-1河道では浮遊砂や掃流砂として輸送される礫・砂が堆積する。

掘削地に堆積する土砂の粒径や堆積量は、出水時における土砂の輸送形態から考察すると理解しやすい。掃流砂は河床面に近いところを跳躍するように流下し、浮遊砂は河床面近傍で掃流砂と入れ替わりながら、河床面付近の濃度が高く河床面から離れるほど濃度が小さくなる鉛直分布をもって流下することから、流水中の高さによって流下している土砂の粒径と量が異なる。このため、低水路に面した掘削地に流入・流下する土砂は、河川水位に対する掘削地の比高(掘削高さ)の影響を大きく受けている。

平水位に対する比高が大きければ掘削地に再堆積する土砂はウォッシュロードや浮遊砂として輸送される細砂・シルトに限定され、その粒径も、より小さくなることが予想される。しかしながら、掘削地に堆積する土砂の量は、掘削地が冠水時に流水中を沈降する土砂と、底面から巻き上げられる土砂との量的なバランスで決まることから、実際の堆積量は掘削地上を流れる流れの状態の影響を強く受けることとなる。さらに、植生が存在すると植生周辺の流れは静穏になり、沈降速度が小さく堆積しにくい細粒土砂であっても堆積しやすい微環境を形成し、出水時により多くの土砂を堆積させる方向に作用する。したがって、掘削面の比高が高く冠水頻度が低いにも関わらず植生が繁茂している掘削地では細粒土砂の堆積量が多く、掘削面の比高が小さく植生が少ない掘削地の方がかえって土砂の再堆積が生じにくい、といったことが起こりうる。

2) セグメント2-2における土砂再堆積の事例

セグメント2-2における高水敷掘削後の土砂堆積の事例として、幾つかの河川の例を示す。揖斐川(河床勾配1/3,300)の事例では、掘削後10年程度の間堆積した土砂の大部分は、大規模出水ではなく中小出水によっても運搬されうる微細砂・シルトであった³⁾。また、米代川

(河床勾配 1/2,700) の事例でも、掘削後 40 年余りの間に堆積した土砂の 95%がシルト・粘土であった³⁾。これらの事例は、セグメント 2-2 における掘削地の堆積物の主成分が、ウォッシュロードとして輸送されるおおむね粒形が 0.1mm 以下の細粒土砂であることを示している。

ウォッシュロードは、沈降速度が非常に小さく、流水によって巻き上げられやすいため水深方向の濃度が一様に近い状態で流下する特性がある。出水時に川が濁っているのはウォッシュロードや粒状有機物が水面付近まで浮上して流下しているためである。川ごとに出水時に濁りやすい川とあまり濁らない川があることから類推されるように、洪水時の細粒土砂濃度には、河川ごとに違いがある。洪水時に輸送される土砂濃度が河川ごとに異なることは以前から把握されており⁴⁾、昭和 40 年代に旧建設省が各地の河川で行った流量-浮遊砂量の観測では、同じ洪水流量に対して 100 倍程度の土砂濃度の違いが計測されている(図 4)。このような河川ごとの土砂輸送特性の違いが、河川ごとに掘削後の土砂堆積の傾向が異なる大きな要因の一つとなっている^{5,6)}。実際には、同じ川で同じ流量が流れていても、土砂濃度は出水の履歴によって異なることが一般的であり、一つの洪水波形の間にも土砂濃度は大きく変動する。

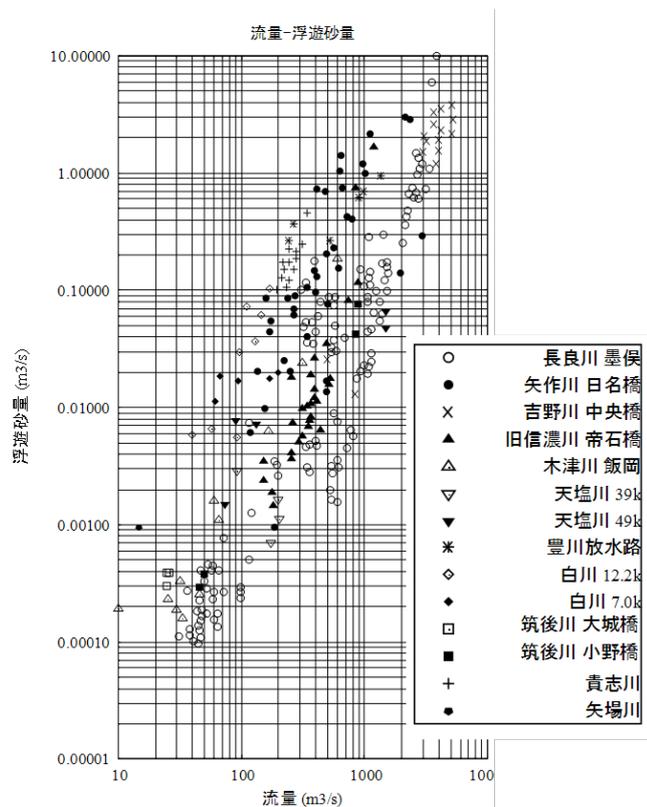


図 4 旧建設省による流量 (m³/s) と浮流砂量の測定結果⁴⁾より再作図

セグメント 2-2 において土砂堆積の主要因となるウォッシュロードは、中小出水時にも輸送されているため、高濃度で多量の土砂が輸送されるが頻度は低い大規模出水だけでなく、相対的に頻度が高い中小出水も土砂再堆積に影響している。図 5 は揖斐川掘削地において、水位（流量）と土砂が堆積しうる最大量をポテンシャルとして粒径別に検討した例⁵⁾である。

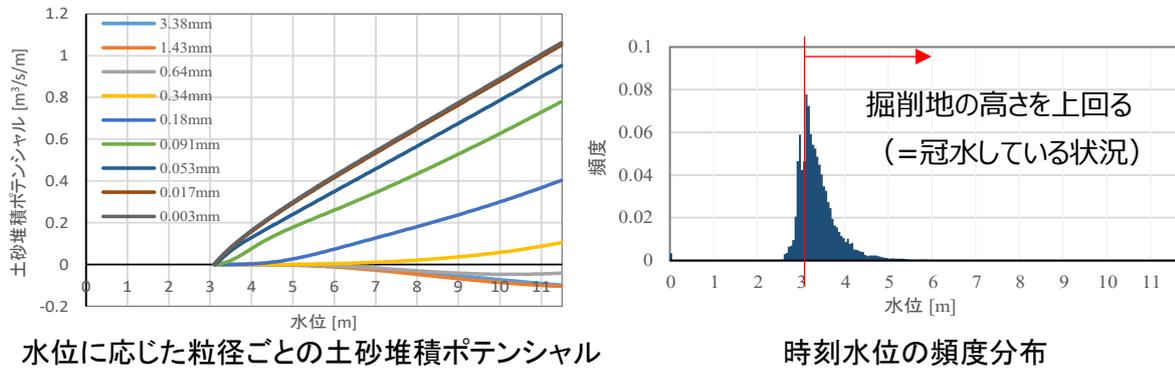


図 5 水位に応じた土砂堆積ポテンシャルと水位の時間頻度分布の例⁵⁾より再作図

水位が高い（流量が多い）ほど、流送される土砂濃度・量は上昇し、掘削地に堆積しうる状況になり、粒径が細かい土砂ではそれがより顕著になる（図 5 左）。しかしながら、掘削地は、掘削高さによっては、大規模な出水でなくても冠水し、低頻度な大規模出水よりも、高頻度な中小出水で冠水している時間帯の方が多い（図 5 右）。実際の土砂堆積は、これらの掛け合わせによるものであり、中小規模の出水がウォッシュロードや低水路河床由来の浮遊砂を堆積させる主要因となっている可能性が示唆される。加えて、ウォッシュロードの堆積量を予測するに当たっては、図 4 に示したとおり、河川ごとに洪水時の土砂濃度に違いがあることを考慮する必要がある。

濃尾平野を隣接して流れる揖斐川と長良川を対象に、掘削地における堆積土砂とそのポテンシャルを比較した事例⁵⁾では、揖斐川においてのみ顕著なウォッシュロードの堆積が観測されている。この原因として、長良川の流送土砂に含まれるウォッシュロードが少ない可能性が示唆された。そこで、揖斐川と長良川における高水流量観測時に採水を行い、採水試料に含まれる土砂濃度を比較した結果、長良川の出水時の土砂濃度は揖斐川よりもかなり低いことが確認された⁶⁾。これらの知見を踏まえ、中小出水も含む年間の水位・流量の時間頻度（図 5 右）と、河川ごとの流量－土砂濃度の関係性の両方を考慮したモデル計算を行うことによって、揖斐川と長良川の掘削地におけるウォッシュロード堆積量の再現が可能であることが示されている⁶⁾。加えて、沈降速度が極めて小さいウォッシュロードが盛んに堆積する条件として、ヤ

ナギ類が繁茂した樹林帯やヨシ・オギ等による密な高茎草本群落等により形成される流れの静穏域（いわゆる死水域）が深く関わっていることも確かめられている⁷⁾。

以上に示したように、セグメント 2-2 区間における高水敷掘削後の経過観察と分析の結果は、高水敷掘削後の土砂再堆積には河川ごとの違いがあり、河川ごとに異なる土砂流送特性や流況特性がその違いを生じる要因となっていることを示している。加えて、樹林化した状況は細粒土砂の再堆積を加速させる方向に作用することから、掘削地の樹林化を抑制することが、掘削の効果を長持ちさせるために最も重要な点であるといえる。

3) セグメント 2-1 における土砂再堆積の事例

セグメント 2-2 と比べて河床勾配と河床材料の粒径が大きいセグメント 2-1 では、掘削後に堆積する土砂は主に掃流砂・浮遊砂としてもたらされるために、掘削後の経過が異なる。一例として、岩木川（河床勾配 1/500、セグメント 2-1）における平水位を基準とした中洲の掘削では、掘削後の出水により砂礫が急速に堆積し、これらの砂礫は、主に掃流砂として輸送された低水路由来の土砂が掘削面上に堆積したものと考えられた。セグメント 2-1 における河床材料は砂礫が中心であり、したがって掘削後の土砂再堆積は主に掃流砂の形で掘削地に輸送されてきた土砂が堆積するものと考えられる。したがって、セグメント 2-1 における高水敷掘削の計画においては、掘削後の出水による低水路由来の掃流砂・浮遊砂の動態の予測が重要であり、これらを扱う平面二次元河床変動解析等の解析手法によって、土砂堆積に関する予測はある程度可能であると考えられる。

なお、河道計画のより所とされてきた河道計画検討の手引き（2002）⁸⁾の「第 7 章 河道の縦横断計画（河積確保）」では、河道掘削等による河道整備後の河床変化に対する簡便なチェック方法として、平均年最大流量時の摩擦速度 u^* を算出し、整備後の u^* が現況河道における u^* の 0.85～1.15 倍であれば整備後の河床は安定すると判断する方法が提示されている。河道掘削により、当該区間の出水時の摩擦速度が大幅に低下するような状況では、短期間に土砂の再堆積が進行し、掘削によって確保した河積は短期間に減少することが予想される。セグメント 1 における砂州の掘削においても同様の観点からのチェックが必要である。

4) セグメント 2 における掘削高さとの堆積速度の関係

高水敷掘削時の掘削高さの設定は、掘削地が冠水する頻度及び出水時に受ける外力並びに掘削地上を流れる土砂輸送に直接的に関係する要因であり、高水敷掘削を計画するに当たっ

て最も重要な検討事項である。

揖斐川のセグメント 2-2 区間における事例では、渇水位相当から豊水位相当の間で掘削高さを様々に設定した掘削が試験的に行われた。掘削高さによって土砂堆積の速度に違いがみられ、低く設定した工区の方において堆積速度が小さい傾向が認められた（図 6）⁵⁾。渇水位から豊水位の間に着目すれば、掘削高さが高いほど土砂の堆積速度が大きく、掘削工区ごとの平均で 5~12cm/year³⁾であった。土砂の堆積が進むにつれて比高は大きくなり、冠水頻度も減少して、図を左から右にみていくと土砂堆積速度の分布が次第に頭打ちになっていく傾向も認められる（図 6 左）。また、掘削地に形成される微地形に着目すると、低水路に面した掘削地の肩には自然堤防状の微高地が発達する。自然堤防状の微高地の堆積速度は、その後背地の堆積速度よりかなり大きい³⁾。また、自然堤防状の微高地を構成する土砂の粒径は低水路河床にも含まれる中砂を主体としていることから、低水路から浮遊砂として巻き上げられた土砂が堆積したものと考えられる。低水路の河岸に植生が繁茂している場合、低水路から巻き上げられる土砂の堆積速度は更に大きくなる⁹⁾。揖斐川では、掘削後の比較的早い時期に低水路の河岸にヤナギ類が定着したことが年輪調査等によって把握されており³⁾、低水路に沿った自然堤防状の微高地に浮遊砂がより多く捕捉・堆積する状況が生じたと考えられる。

長良川のセグメント 2-2 区間における事例では、揖斐川と同様に渇水位相当から豊水位、あるいはそれ以上の高さまでの間で掘削高さに幅を持たせた高水敷掘削が行われている。掘削後の土砂堆積速度を定期横断測量成果から分析した結果、長良川においては掘削後の出水によってむしろ掘削地が侵食を受けている工区も多く存在していること、掘削高さとの関係に着目すると、低めに掘削した工区の方が侵食傾向であることが確認できる（図 6 右）。

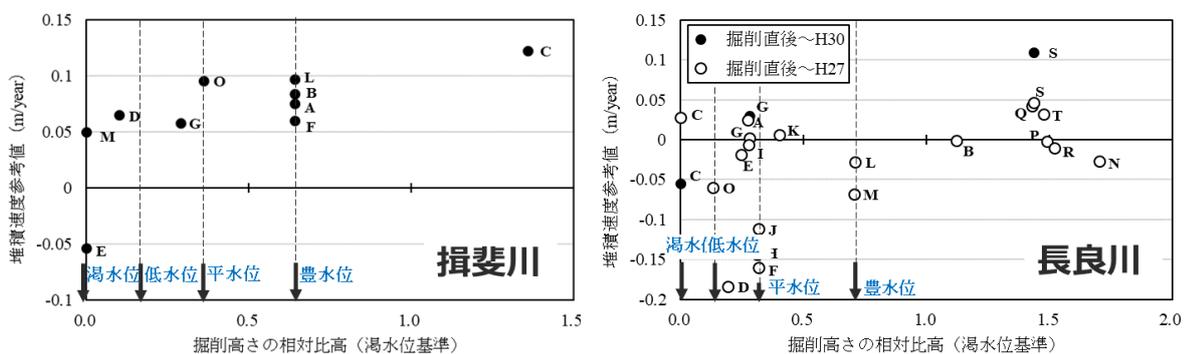


図 6 セグメント 2-2 における高水敷掘削高さと同堆積速度の例（揖斐川・長良川）⁵⁾

5) セグメント2における高水敷掘削の留意点

これらの事例が示唆することは、セグメント2-2においては、前に述べたとおり河川ごとの土砂流送特性の違いが掘削後の経過に大きく影響しており、すべての河川において適切な掘削高さの設定は存在しないものの、低めに掘削した方が掘削の効果が長持ちする傾向が認められる。これは、掘削後の出水時に掘削地に作用する流水の作用によるものと、植生が侵入・定着しにくいという2つの要因が関わっていることが推察される。しかしながら、低水路に沿った高水敷を深く掘削する行為は低水路拡幅に近い変化を河道に与えるものであり、出水時に低水路に作用する掃流力を全体的に低下させることにもつながる。低水路拡幅後に土砂の再堆積により河岸が形成され元の川幅に縮小する現象はよく知られている^{2,10)}。一部区間のみの低水路拡幅であっても、掃流力（あるいは摩擦速度）の縦断的な分布を変化させ、低水路への土砂堆積や河床形状の変化による新たな水衝部の形成といった好ましからざる変化を招く可能性もある⁸⁾。掘削高さの決定に当たっては縦断的・平面的な河道計画の観点をもって検討を行い、高水敷掘削が河道の安定に思わぬ悪影響を生じさせないための留意が必要である。

(2) 掘削地の樹林化

前節で述べたように、セグメント2における高水敷掘削後の土砂の再堆積には、掘削地における樹林化も大きく関係する。草本類は、流水中に浮遊して輸送されている細粒土砂を堆積させやすくする作用¹⁰⁾があり、掘削地における植物の存在は土砂の再堆積を助長する方向に作用する。下草が生えていなくともヤナギ類が密に繁茂した高水敷では出水時に冠水した高水敷が死水域的な環境となり細粒土砂の堆積が生じやすい⁷⁾。国内河川を対象とした分析の結果、高水敷掘削後の土砂の再堆積に伴い、植物が侵入し、草本群落から木本群落へと遷移して再樹林化した事例もある¹¹⁾。掘削後に草本群落を経ずヤナギ類により急速に樹林化した例も報告されている^{12,13)}。河道内の樹林化に関わる樹種は地域によって異なり、ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類が主なものとされている¹⁴⁾が、掘削後の再樹林化については、湿潤な環境に適応しており、様々な繁殖方法をもち成長が早いヤナギ類による例が多い¹¹⁾。

揖斐川の事例では、濁水位より低く掘削した工区を除き、掘削後に継続的な土砂堆積が生じ、10年ほどの間に裸地—草本—木本へと植生の遷移が生じた。揖斐川では、掘削後の再樹林化によって、掘削前よりも樹林面積の割合が増大してしまった。この理由の一つとして、高茎草本に覆われて樹木（特にヤナギ類）の侵入が抑制されていた場所を掘削したことで、ヤナギ類に適した土壌・水分条件を有する裸地が創出されたことが指摘されている¹³⁾。また、ヤナギ類

が種子散布する時期に裸地が水面程度の高さで露出しており、種子が漂着しやすい条件が整っていたことも一斉に樹林化した要因と分析されている¹³⁾。

さらに、中部・関東・東北7河川の掘削地の比高と土壌の含水率、優先的に繁茂している植物種との関係性を分析した結果、ヤナギ類、ヨシは比高が低く湿潤な掘削地に、オギ、セイタカアワダチソウ、ヨモギは比高が高く含水率が低い掘削地に優先すること¹⁵⁾、ヤナギ類が侵入した掘削地では掘削後5～10年後に急激に面積を拡大し75%程度まで被覆面積が拡大すること¹⁶⁾といった分析が示されている。

ヤナギ類は地上部だけを伐採した場合、切り株から萌芽再生し、多くの枝を伸長して流水抵抗がより大きい形態になること、風散布・水散布される種子からだけでなく、枝の一部からでも再生しうることなど、洪水攪乱や人為的な伐採に対して非常に打たれ強い生態を持つ。ヤナギ類により樹林化した場所を再度掘削するには、樹木の伐採除根、これらの処分費など大きなコストを伴うため、掘削地は草本群落や裸地として維持されることが一般的には望ましいと考えられ、掘削後に生じた裸地に、ヤナギ類を定着させない工夫、草本群落に誘導する工夫、樹木の繁茂を抑制する工法などが各地の河川で研究開発・試行されている（Q8-2を参照）。

（3）掘削高さと生息場

1) 高水敷掘削後に形成されたワンド・たまりにおける二枚貝生息環境とその寿命

セグメント2 河道における高水敷掘削後に形成されたワンドやたまりを含む氾濫原的な湿地環境、そこに依存する生物の保全に資する効果¹⁾について述べる。掘削後の土砂の再堆積や出水による河床変動の過程で、低水路河道と一部連結したワンド、低水路河道とは分離しているたまりなどの氾濫原的な水域が形成される³⁾。氾濫原生物の代表であるタナゴ類は、二枚貝の中に卵を産み付けることから二枚貝への依存度が高く、二枚貝がタナゴ類の生息を示す指標となる。

揖斐川における事例では、様々な高さで掘削した結果、掘削後に形成されたワンド・たまりの生物生息環境としての質、さらに、生息環境の劣化につながる土砂堆積の速度に違いがあった。濁水位～平水位程度の低い高さで掘削した場合（図7左）、二枚貝の生息量が多くなっており、自然に二枚貝類の生息に適したワンド・たまりが形成された（図7中）。これは、冠水頻度の比較的高い水域が二枚貝類の生息に適しているためと考えられる。また、そうした低い掘削高さの工区では、掘削後の土砂の堆積速度も小さかった（図7右）。これは、土砂堆積による冠水頻度の低下と水域の縮小、それに続く生息場の劣化が緩やかであり、より長く好適な

環境を維持できることを示す。ただし、濁水位よりも低い掘削工区では、土砂が堆積しないためにワンドやたまりも形成されず、本川の一部として存続した。

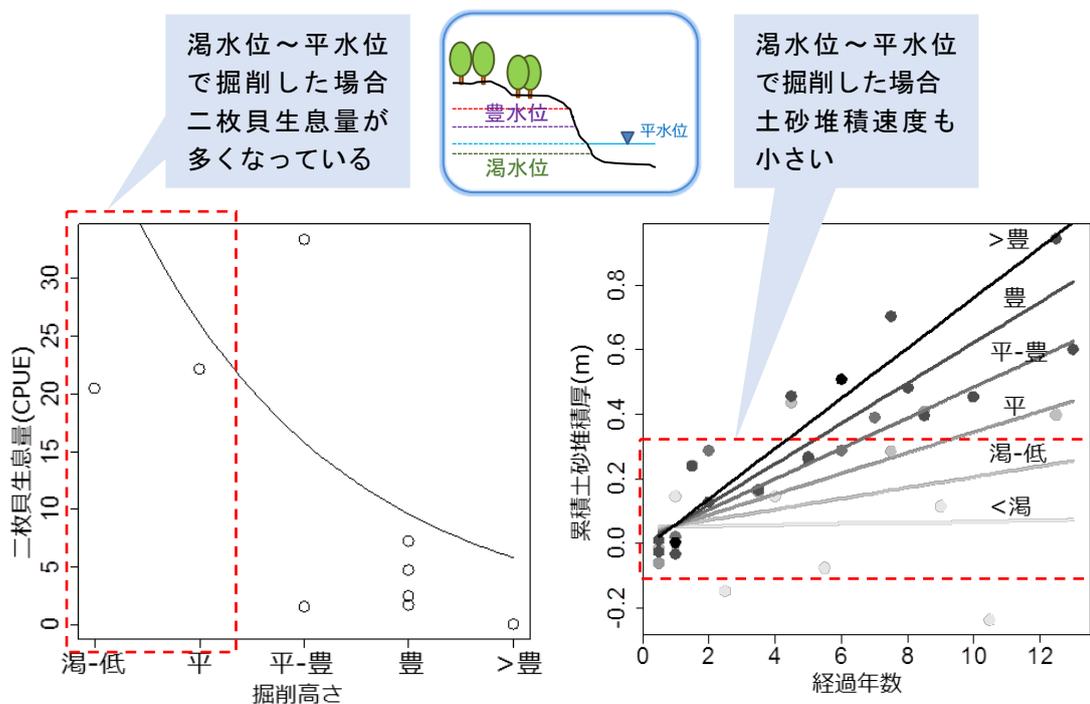


図 7 揖斐川における掘削高さと二枚貝、土砂堆積との関係¹⁷⁾

揖斐川の高水敷掘削後に形成されたワンド・たまりにおける二枚貝類の追跡調査の結果、イシガイ類の生息場となる水域の量は掘削後6～9年目に、また水域内におけるイシガイ類の生息量は掘削後5年目に最大となったが、その後減少に転じる傾向が確認された¹⁷⁾。揖斐川と同じ濃尾平野を流れ、河道内氾濫原のワンド・たまりに淡水二枚貝類が生息し、天然記念物イタセンパラが生息する木曾川における長期モニタリングの結果でも、人為的な再生を施したワンド・たまりの陸地化が進行し、冠水頻度の減少や枝葉の堆積等の要因によって二枚貝類の生息環境が劣化すること、出水によって自然に形成されたワンドでは新たな個体の定着がみられることなどが示された¹⁸⁾。これらの事例は、ワンドやたまりといった、氾濫原的な水域に生息場としての寿命があること、自然度が高い原生的な河川においては洪水による攪乱が生息場の更新や若返りを促しているが、改修が進んだ人工的な河道においては、伐採・掘削等の河川管理によって、生息場の若返りの役割が期待できることなどを示唆している¹⁸⁾。しかし、まとまった範囲を一度に伐採・掘削した際には、生息場に対する直接的な改変のインパクトによる負の影響の方が大きくなる可能性が高く、河川ごとに順応的な維持管理サイクルを見い

だしていく必要がある。

2) 生物多様性に寄与する高水敷掘削の考え方

ここまでに示したとおり、高水敷掘削による地盤の切下げや、これに伴う樹木伐採などは、河道内の物理的な環境に人為的なインパクトを与えるものであるが、これを河道内氾濫原や水域の環境再生に資するものとするためには、自然度が高い原生的な河川において河道内の生息場が形成・維持・更新される仕組みを理解することが重要である。

河道や河道に隣接する氾濫原には、洪水攪乱の影響を強く受けた自然裸地（河原）や一年生草本群落、相対的に安定的な多年生草本群落や木本群落など、様々な景観要素がみられ、このことが生息場の多様性を生んでいる。このような多様性は、自然度が高い河道では洪水に伴う土砂輸送と侵食・堆積作用により生じる流路変動によって、安定的な景観要素が破壊・更新されることによってもたらされている（このような仕組みは、シフティング・ハビタット・モザイクと呼ばれる）。しかしながら、自然営力による流路変動は、ときとして堤防の侵食にもつながる事象であることから、我が国の河川では、堤防—高水敷—低水路を明確に分け、護岸・根固め・水制等によって流路変動を制御してきたという実態もある。このように、自然営力による流路変動に伴う生息場の更新を期待しにくい河川においては、定期的な高水敷掘削等による“人為的な生息場の更新・若返り”が河道内景観の多様性を保つ上で有効な手段となりうる。

図 8 には、河川水辺の国勢調査や河川環境情報図における河道内景観の景観要素、群落・群集、種の関係性を示している¹⁹⁾。我が国の河道は全体的な傾向としては低水路の固定化と河床低下による二極化・樹林化が進行しており、樹木伐採と高水敷掘削を適度を実施することによって、洪水流下能力を確保しながら同時に河道内景観の多様性を保つことに寄与することも期待される。しかしながら、高水敷掘削によって元あった景観・群落、その場を利用していた生物の生息場は一旦破壊されることになることから、連続した高水敷の大部分を一斉に掘削することは、大きな負のインパクトを与えることに留意しなくてはならない。

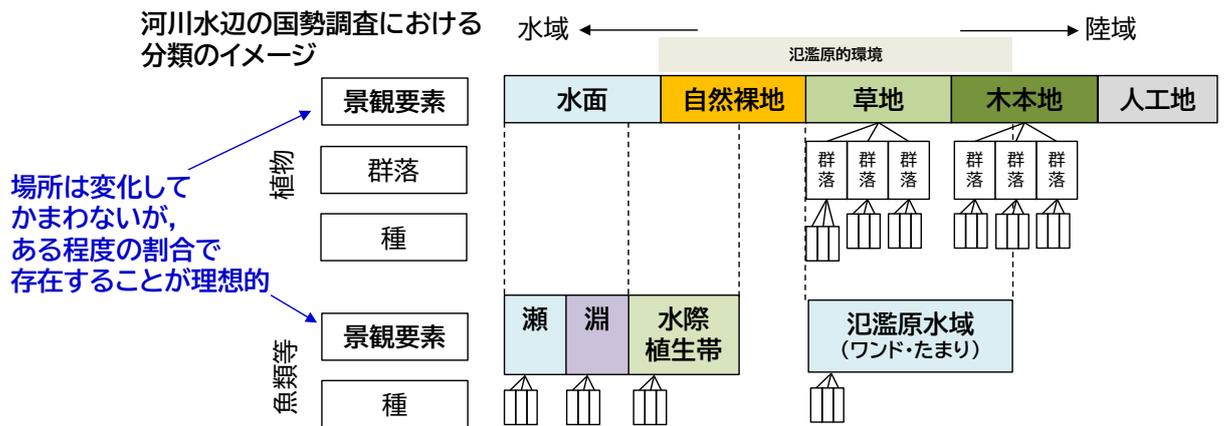


図 8 河道内の景観要素と群落・種の関係性 ¹⁹⁾より再作図

また、事例として示した揖斐川と岩木川の事例は、低い高さに掘削することで魚類又は貝類の生息場形成に寄与するものであるが、そのほかに、水位変動の影響を受けにくい場所で出現種数が増大する生物（例えば、両生類やトンボ類など）も存在する（図 9）。こうした本川流路の水面からの比高が大きいエリアを残すことは、河道掘削において生物多様性を保全するために大切な視点であり、河道掘削断面の設定に際しては、高比高域と低比高域のバランスを考えて計画・設計を行うことも重要である。

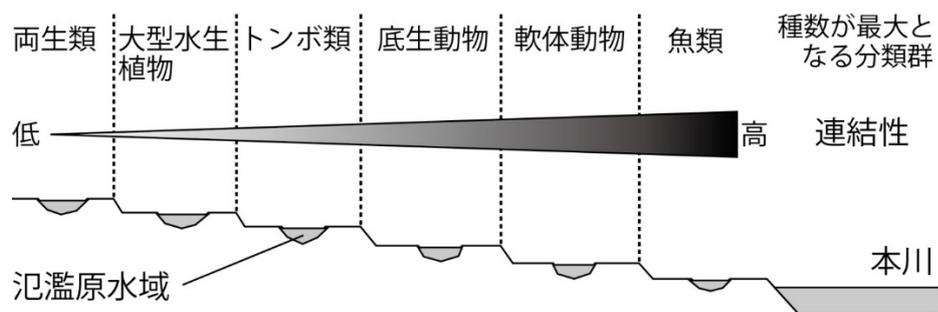


図 9 氾濫原水域と本川の連結性と種数が最大となる分類群の関係

高水敷を掘削する際に、掘削地に傾斜をつけて工事を実施した菊池川の事例では、掘削面を緩傾斜にしたことで氾濫原依存種の植物、魚類が増加したこと、水際部の入り組みも自然に形成されたことが報告されている ²⁰⁾。掘削形状や掘削高さに工夫を施した事例は全国各地で行われてきており、物理環境の変化と生物の応答に関するモニタリング調査の結果を集約しながら、各地の河川で応用可能な知見を蓄積・共有する取組が今後ますます期待される。

(4) セグメント1における砂州の掘削・切下げに関する留意点

石礫を中心とした河床材料により河川地形が構成され、砂州が河川地形の骨格となっていることが多いセグメント1河道（Q3-1参照）において、砂州の掘削を計画する際には、セグメント2河道とは異なる点に留意する必要がある。

過去に実施されてきた石礫床河道の砂州の掘削では、単に河積の増大を目的とした掘削以外にも、二極化・高水敷化した砂州上部を切下げ、平水時の流路との比高差を是正することによって、洪水による攪乱を受けやすくすることでいわゆる“礫河原”の再生に取り組む事例が多く報告されてきた。全国の河川で取り組まれてきた自然再生事業においても、セグメント1における礫河原再生を目的とした事業²¹⁾は多く、川らしい景観とそこに生息・生育する生物群集の保全に一定の成果を収めてきたといえる。河川における自然再生事業は、川のシステムの再生、より具体的には「川の攪乱と更新のシステム」、「物質の循環システム」などの本来の川のシステムを再生・健全化することを主目的としている²²⁾。二極化した砂州の切下げによる礫河原再生は、河積を増大しながら、川が有する攪乱と更新のシステムの再生を目論んだものであるといえる。

しかしながら、砂州上部の切下げを順次行い、平水時に河原として認識される砂州上部全体に及ぶほどの大規模な掘削は砂州を平坦化（砂州波高を減少）させ、砂州を骨格として成り立っていた瀬淵構造の劣化を招くおそれがある²³⁾。砂州河道における重要な生息場である早瀬と淵は、河道内に形成された砂州の前縁線を乗り越える位置に早瀬が、その下流側の砂州にせきあげられた流水が淵を形成している（図10）。図10下段は、滞筋に沿った縦断形を模式的に示しており、手前側と奥側の陸部は省略されている。非出水期に陸部となっている砂州上部を平坦に掘削した際には、出水期に流量が増加するにつれて水面幅は広く浅い流れとなる。掘削前と比べると平瀬-早瀬-淵の水面勾配が全体的に平滑化され、瀬淵のメリハリは減少する。

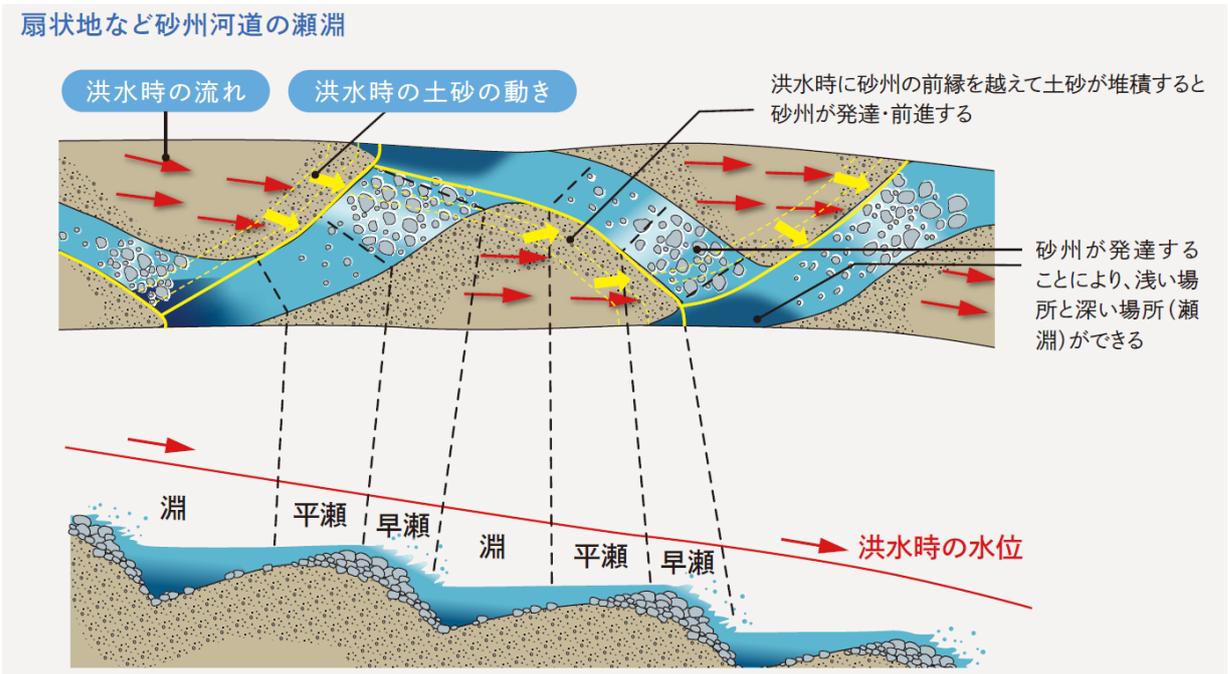


図 10 セグメント 1 の代表的な河川地形である「砂州」と瀬淵の関係性²⁴⁾

ただし、砂州上部を掘削し、砂州波高が減少したとしても、掘削後の出水によって掘削前と同等の粒径集団の土砂が大量に輸送されれば、砂州が元どおり発達（再堆積）すると想定される。しかしながら、国土交通省が 2002 年にまとめた「流砂系現況マップ」²⁵⁾ によれば、ダム建設・砂防事業の進展等による流域からの土砂供給の減少、過去の砂利採取等の影響もあいまって、中長期的には河床低下傾向にある河道が多い。

砂州河道への土砂供給量の減少は、河床低下とこれに伴う二極化をもたらす。実験による観察では、濡筋の河床低下とともに土砂が動きにくい浮き洲が形成され二極化するとともに、砂州の波長が大きくなる²⁶⁾。更に大きい流量下で全体の河床低下が進行する際には、砂州の発達抑制され、砂州の波長・波高ともに減少し、河床は平坦に近づき、一時的な砂州の消滅も起こることが報告されている²⁶⁾。すなわち、砂州を掘削した後に再び砂州が発達するか、より河床形状が平坦になる方向に変化してしまうかは、その河道に流入する土砂の量や洪水の規模等に依存している。

石礫床から成るセグメント 1 の砂州河道において土砂が活発に移動し砂州が発達するような出水の発生頻度はそれほど多くはないため、セグメント 2-1、2-2 と比べて掘削後の河床形状がより長期間残存しやすいという特徴がある。掘削直後の河床形状について、河川環境面や景観面からも留意した掘削計画とすべきであり、砂州の掘削後に生じる河床形状や河床環境の変化の傾向についても、出水規模に応じた変化を観察して管理対象とする河道区間の特性

について知見を蓄積することが望ましい。

加えて、掘削後に上流から流下してくる土砂は、小さい粒径のものほど動きやすく、長い距離を短い期間で通過していくのに対し、大きな粒径のものは動きにくく流下に時間を要するために、掘削後に流下・再堆積する土砂は、掘削により除去した河床材料の粒度分布よりも小さい粒径集団のものに置き換わることがある。低水路内の平均的な掃流力の低下によって、河床が全体的に砂利・砂に覆われ、河床環境が悪化することも懸念される。砂州の掘削による河床環境への影響を軽減する観点から、掘削時に玉石をふるい分け、掘削後の河床に残置する取組も幾つかの河川で試行的に行われている。

(5) 高水敷掘削・砂州切下げにおける工夫事例

1) 二段階の掘削によって樹林化を回避し草本群落へと誘導 (セグメント 2-2) ²⁷⁾

石狩川下流部 (セグメント 2-2) では、流下能力確保のために大規模な高水敷掘削が必要とされた。一方で、掘削後に出現する広い裸地にヤナギ類が一斉に定着・樹林化するおそれがあったことから、二段階の掘削によって、掘削地へのヤナギの定着を抑制しながらヨシ等の草本群落へと誘導した後、二次掘削により高水敷掘削を完成させるという方策がとられた。

昭和 56 年に掘削を実施し、現在もヨシ群落として維持されているリファレンスサイトを参考に、一次掘削では河岸を小堤状に残して「つぼ堀」し、工事による濁水の流出を防止しながら、春には融雪水が湛水した状態を維持することによってヤナギの定着を回避し、ヨシ等の生育に適した環境を創出する。ヨシが定着した段階で河岸に残した小堤を低く切下げ、掘削を完成させる。融雪水がたまる程度には河岸を残すことがヨシ群落を維持するための留意点である。

○美登位地区の河道掘削の設定

■掘削断面

- ・ 平水位 0.4m に対して EL=1.0m で掘削
- ・ 1 次施工で河岸部 (網場) を残して高水敷を掘削
- ・ 掘削面に浚渫残土の粘性土を敷設、融雪を湛水させ、ヤナギ種子の着床を抑制し湿生植物を回復
- ・ 草地在十分に育成した段階で河岸部 (網場) を撤去

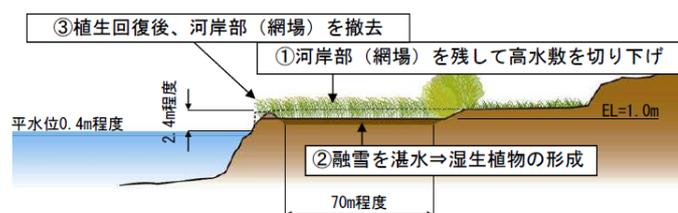


図 15 石狩川における河道掘削の模式図 ²⁷⁾



図 16 石狩川における河道掘削の模式図と施工後の経過写真²⁷⁾

2) 本川水際域の浅場におけるアユとウグイの産卵環境創出の例 (セグメント 2-1)

低水路の水際域における生物生息環境を創出する観点に立てば、常時、浅い水域が形成される低い高さでの掘削(低水路拡幅)も効果的であることが示されている。岩木川(河床勾配 1/500)の事例では、滞筋の河床低下により本川と陸域が二極化して失われていた砂州縁辺部の浅場(平水位-0.2~-0.4m)を掘削によって形成したことで、アユとウグイの産卵環境が再創出された(図 11)。さらに、掘削による発生土は、低下していた河床に還元して、横断形状を平滑化させた。これにより、増水時に働く掘削面の攪乱力を増大させ、浅場の砂礫環境維持を図った。

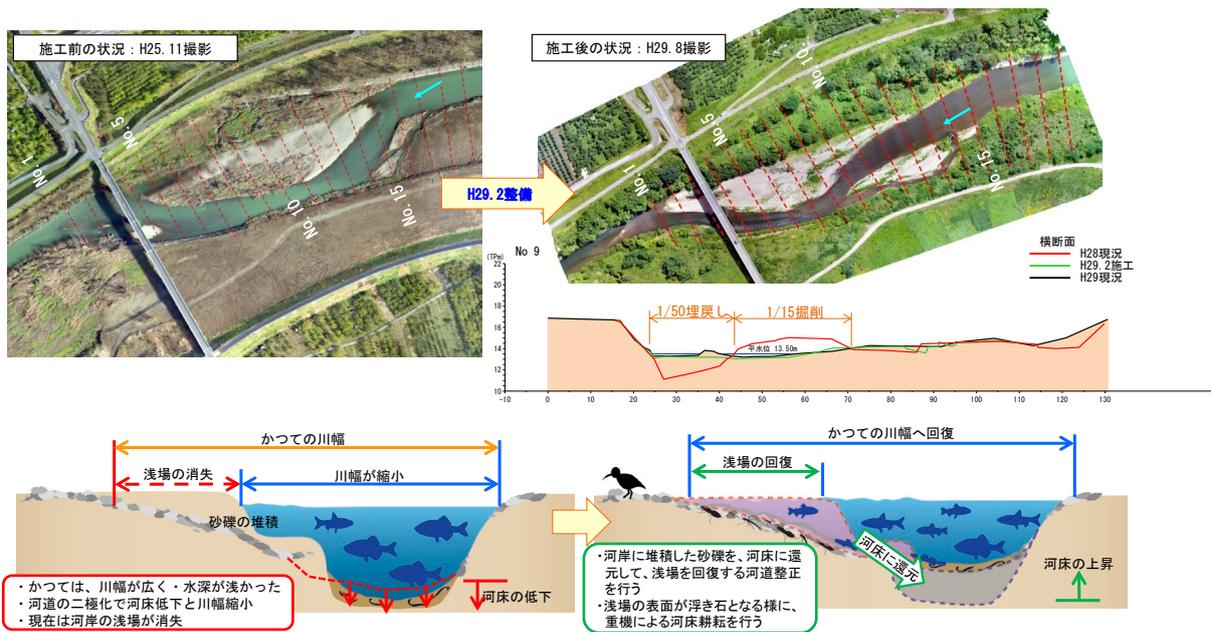


図 11 岩木川における浅場創出のイメージ

3) 樹林化抑制とアユ産卵環境創出の例 (セグメント 2-1) ²⁸⁾

高津川 (セグメント 2-1 区間) では、二極化・樹林化した砂州の切下げにおいて、年最大流量流下時に掘削地に作用する無次元掃流力を平面二次元解析により評価し、掘削高さ及び掘削形状が決定された。裸地が維持される指標として、平水位から比高差 1.0m 以下、代表粒径に対する無次元掃流力 0.13 以上が用いられた。

さらに、砂州の切下げた際の掘削土をふるい分けして瀬に投入し、アユの産卵場に適した瀬を、流速・水深・河床材料を指標とした適地評価モデルにより評価した上で、平成 25 年度に試験施工を行ってその妥当性を評価している。



図 12 高津川 エンコウの瀬における試験施工²⁸⁾

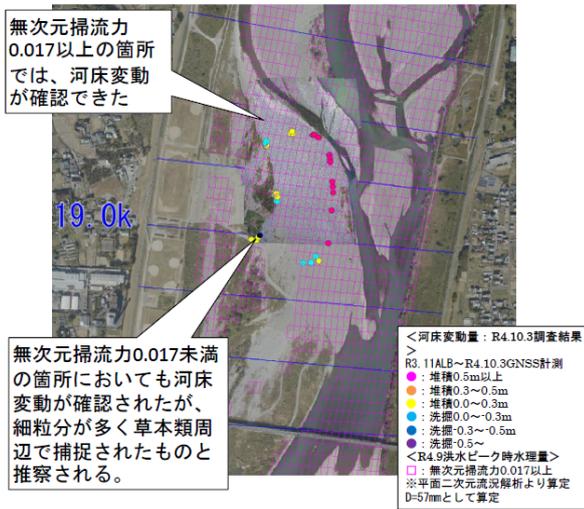
4) 自然営力によるヤナギ再繁茂抑制を狙った砂州の切下げ (セグメント 2-1)²⁹⁾

かつて複列砂州の網状流路であったのが河床低下に伴い、砂州の単列化や濬筋の固定化、樹林化が生じている天竜川 (セグメント 2-1 区間) において、洪水攪乱によってヤナギを幼木段階で流出させ、ヤナギ樹林化を自然営力によって抑制することを意図した掘削が行われた。

平成 21 年以降に樹木伐開を実施した箇所では裸地が維持されている箇所について、平面二次元解析によって掃流力を確認した結果を踏まえ、平均年最大流量 (4500m³/s) 流下時に無次元掃流力が 0.03 以上となることを指標に、樹木伐開及び切下げの検討が行われた。令和元年には試験施工を行い、その後 2 年間モニタリング調査を行い、令和 5 年度以降の樹木伐開工事の計画に反映する計画により、試験施工が進められた。

令和 2 年 7 月の出水前後に計測された ALB (グリーンレーザ測量) の分析から、伐開及び切下げを行った箇所では河床低下が生じており、その下流まで河床地形の攪乱の効果が及んでいることが確認され、自然営力によるヤナギ再繁茂抑制の狙いはひとまず達成されていると考えられた。モニタリングを経て、伐開及び切下げを検討する際の対象流量と無次元掃流力の閾値の見直し (図 13) が行われ、令和 5 年度以降の計画が進められている。

■R4.9洪水時の無次元掃流力分布と河床変動量の比較



■2,000m³/2流量流下時 樹木伐開の横断イメージ

- 無次元掃流力0.017を確保できる水深を算定
- 2,000m³/2流量流下時の目標とする水深を確保できる砂州の掘削高を算定
- 掘削による水位低下量を考慮

⇒切り下げ高さを決定し試験施工を実施
 モニタリングをし、効果を検証
 ⇒指標値として妥当か確認

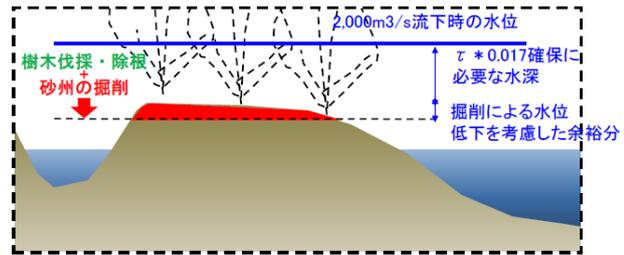


図 13 天竜川における樹木伐開・砂州切下げの指標²⁹⁾

5) 洪水による樹木の流出まで視野に入れた伐採・掘削計画 (セグメント 1)³⁰⁾

千曲川 (セグメント 1) では、ハリエンジュによる樹林化への対策がかねてより課題となっており、冠水頻度と出水時の無次元掃流力を指標とした礫河原再生に取り組みられてきた。令和元年東日本台風における豪雨災害により、河道内の樹林帯が流失し、礫河原の面積が増大したことを契機に、再樹林化のリスクも考慮した伐採・掘削計画へとアップデートが行われた。

樹木の再繁茂リスクは、従来指標としていた冠水頻度と無次元掃流力に加え、樹木に係る流体力の指標 BOI を、複数段階の流量を想定した平面二次元解析によって評価し、樹林化リスクマップとして整理した (図 14)。自然の営力により砂礫河原が再生・維持される可能性が高い箇所を後回しにし、樹林化リスクが高い箇所の樹林帯を優先的に伐採・掘削することにより、より事業効率の向上が見込まれる計画とすることができた。

$\tau_* < 0.06$ かつ $BOI < 1.0$ かつ 1/1非冠水 かつ 自然再生エリア内

河床変動による
樹木流失しづらい

流体力による
樹木破壊しづらい

冠水せずに
草本・樹木が生長しやすい

自然営力による維持が一定程度期待できる

■ 樹林化リスクマップの作成

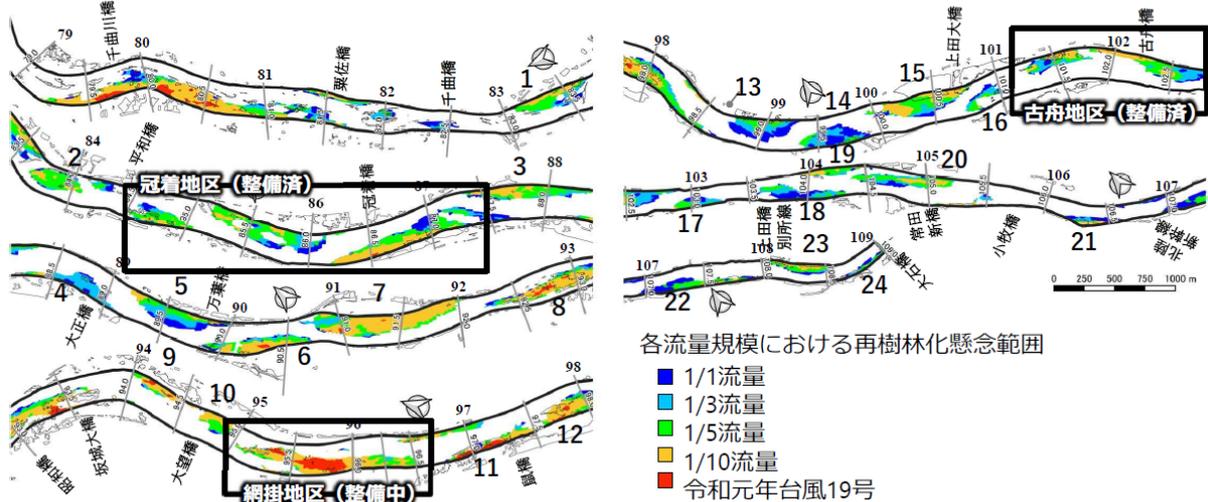


図 14 千曲川を対象に作成された樹林化リスクマップ³⁰⁾

■ 参考文献

- 1) 永山滋也, 原田守啓, 萱場祐一: 高水敷掘削による氾濫原の再生は可能か? ~ 自然堤防帯を例として~, 応用生態工学, 17, pp. 67-77, 2015.
- 2) 武内慶了, 服部敦, 藤田光一, 佐藤慶太: 細粒土砂堆積による高水敷形成現象を 1 次元河床変動計算に組み込んだ河積変化予測手法, 河川技術論文集, 17, pp. 161-166, 2011.
- 3) 原田守啓, 永山滋也, 大石哲也, 萱場祐一: 揖斐川高水敷掘削後の微地形形成過程, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 71, 4, pp. I_1171-1176, 2015.
- 4) 山本晃一編著: 総合土砂管理計画, 技報堂出版, pp. 193-213, 2014.
- 5) 原田守啓, 角田美佳, 赤堀良介, 永山滋也: 自然堤防帯河川の高水敷掘削後の土砂再堆積~ 揖斐川と長良川の相違点とその要因~, 河川技術論文集 24, pp. 173-178, 2018.
- 6) 原田守啓, 赤堀良介, 武田正太郎: 洪水時のウォッシュロード濃度の簡易計測に基づく土砂再堆積予測, 河川技術論文集, 第 26 巻, pp. 585-590, 2020.
- 7) 戸崎大介, 原田守啓: 自然堤防帯河川におけるウォッシュロード堆積モデルの検証, 土木学会論文集 B1 (水工学), 78(2), pp. I_1075-I_1080, 2022.
- 8) 国土技術研究センター編: 第 7 章 河道の縦横断計画 (河積確保), 河道計画検討の手引き, pp. 139-162, 山海堂, 2002.
- 9) 尾花まき子, 村上尚哉, 戸田祐嗣: 高水敷高さおよび植生の有無が高水敷への浮遊砂堆積に与える影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), 75(2), pp. I_331-I_336, 2019.
- 10) 藤田光一, John A. Moody, 宇多高明, 藤田政人: ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小, 土木学会論文集, No. 511/II-37, pp. 47-62, 1996.
- 11) 内藤太輔, 金縄健一, 福永和久, 今村史子, 萱場祐一: 全国の河川を対象とした河道内植生の分布特性と成立要因および河道掘削後の変化, 河川技術論文集, 22, pp. 469-474, 2016.
- 12) 大石哲也, 萱場祐一: 河川敷切下げに伴う初期条件の違いが植生変化に及ぼす影響に関する一考察. 環境システム研究論文発表会講演集 41: pp. 351-356, 2013.
- 13) 池田茂, 片桐浩司, 大石哲也, 對馬育夫, 萱場祐一: 河道掘削箇所におけるヤナギ類の過剰な繁茂に関する要因分析と抑制方策について, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), 73,

- 2, pp. 38-49, 2017.
- 14) 佐貫茂樹, 大石哲也, 三輪準二: 全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察, 河川技術論文集, 土木学会, vol. 14, pp. 145-150, 2010.
 - 15) 兼頭淳, 大石哲也, 萱場祐一: 高水敷切下げ後の樹林化抑制に向けた草本植物の早期植生回復に関する研究, 河川技術論文集, 24, pp. 179-184, 2018.
 - 16) 川尻啓太, 森照貴, 内藤太輔, 今村史子, 徳江義宏, 中村圭吾: 高水敷を掘削した後に見られる河道内樹林の拡大速度, 応用生態工学, 26(1), pp. 23-32, 2023.
 - 17) 永山滋也, 原田守啓, 佐川志朗, 萱場祐一: 揖斐川の高水敷掘削地におけるイシガイ類生息環境—掘削高さおよび経過年数との関係—, 応用生態工学, 19(2), pp. 131-142, 2017.
 - 18) Nagayama, S., Harada, M., Negishi, J. N., Kitamura, J. I., Mori, T., & Mori, S.: Habitat aging and degradation in terrestrialized floodplains: a need to rejuvenate processes for sustaining freshwater mussel populations. *Restoration Ecology*, [https://doi.org/10.1111/rec.14050.](https://doi.org/10.1111/rec.14050), 2023.
 - 19) 応用生態工学会: 第3章河道内氾濫原の保全と再生, 応用生態工学会テキスト河道内氾濫原の保全と再生, pp. 73-111, 2019.
 - 20) 上杉幸輔, 伊東麗子, 皆川朋子: 氾濫原依存種保全の観点からみた高水敷緩傾斜掘削の評価—菊池川を事例として, 河川技術論文集, 23, pp. 627-632, 2017.
 - 21) 土門晋, 伊藤将文, 佐合純造: 全国での川の自然再生の現状と分析, 平成18年度リバーフロント研究所報告, pp. 50-57, 2007.
 - 22) 国土交通省河川環境課: 自然再生事業 川本来の姿を蘇らせる川づくり～計画から実施までの考え方(案)～, 42pp, 2005.
 - 23) 原田守啓, 萱場祐一: 河道の限界-治水と環境が調和した持続可能な河道についての一考察. 河川技術論文集, 28, pp. 451-456, 2022.
 - 24) 中部地方整備局河川部河川環境課: 自然をいかした川そだて 中部地整の多自然川づくり 入門編, 2022. (https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/tashizen/data/kawa_sodate.pdf)
 - 25) 国土技術政策総合研究所環境研究部, (独)土木研究所水環境研究グループ自然共生センター: ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方, 国土技術政策総合研究所資料, 第521号, 土木研究所資料, 第4140号, pp. 3-14-3-15, 2009.
 - 26) 三輪浩, 大同淳之, 片山智仁: 交互砂州河床の変動に及ぼす流量・土砂供給条件の影響, 水工学論文集, 51, 1051-1056, 2007.
 - 27) 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部: 大規模な河道掘削等を通じた多自然川づくりの推進—石狩川美登位地区の樹林化抑制への配慮について—, 2021.
 - 28) 国土交通省 中国地方 整備局 浜田河川国道事務所 河川管理課: 高津川におけるアユの産卵状況に配慮した河床掘削(試験施工)とモニタリング結果について, 令和4年度全国多自然川づくり会議: 2022.
 - 29) 中部地方整備局 浜松河川国道事務所: 天竜川下流部における河道内樹木の再繁茂抑制対策検討, 令和4年度全国多自然川づくり会議: 2022.
 - 29) 国土交通省北陸地方整備局 千曲川河川事務所 調査課: 千曲川自然再生実施箇所における大規模洪水後の再樹林化リスク評価手法の立案, 令和3年度全国多自然川づくり会議: 2021.