

河道掘削後の土砂堆積・植物繁茂に関する特性と 樹林化抑制に資する草地化工法の提案

溝口裕太・森 照貴・中村圭吾・萱場祐一

1. はじめに

近年は、豪雨災害が毎年のように頻発しており、昨年10月に関東・東北地方を中心に大きな被害をもたらした令和元年東日本台風は記憶に新しい。このような降雨の激甚化は、気候変動が一因と考えられている。気温2℃上昇（RCP2.6）相当における予測では、20世紀末と比べ21世紀末の年超過確率1/100の降雨量は約1.1倍、流量は約1.2倍、洪水発生頻度は約2倍と想定されており¹⁾、流下能力確保のため河道掘削と樹木伐採を中心とした河川整備を全国の河川で加速させる必要がある。しかし、河道掘削や樹木伐採で生じた裸地面にはヤナギ類を主要樹種とする樹林化の進行と、掘削地盤面への土砂の堆積により、河道断面が経年的に縮小することが課題となっている。したがって、流下能力の確保においては、維持管理段階での土砂堆積、植物繁茂を抑制し、環境保全にも繋がることを念頭に河道断面形状、樹木伐採方法を確立がすることが必要となる。

本稿では、その実現に向けて、セグメント2-1（低平な自然堤防帯区間を流れる河川であり、一般に勾配は1/400～1/5000、河床材料の代表粒径は3 cm～1 cm）を対象に、河道掘削後の地盤高と土砂堆積や植物繁茂との関係を整理することで、維持管理に有効な掘削断面形状を計画、設計するための基礎的な情報を提供する。さらに、河道掘削後の裸地面へのヤナギ類の侵入を抑制する「草地化工法」に焦点をあて、その考え方と具体的な方法を紹介する。

2. 河道掘削における断面形状

2.1 河道掘削プロセスの概略

河道掘削は、洪水時の水位を低下させる治水メニューの1つとして、直轄区間では広く採用されている。河道掘削は、河道地形を改変し、河道内

に生育・生息する動植物の一時的な消失を引き起こすため、重要な植物などは保全することが求められる。また、治水上の問題となる樹木であっても、生態的な観点から存置することが好ましい場合もある。他方、河道掘削後には裸地面が整正されるが、そこにはヤナギ類や外来植物が侵入しやすく、また、生育環境の変化もともなう、掘削前とは異なる植生が形成される可能性が高い。したがって、河道掘削後に成立する植物を予測し、それが治水、環境上の課題になると判断されれば、掘削断面形状の変更や、施工時の工夫によって維持管理しやすい植生に誘導するなど、対策を講じる必要があるだろう。

そこで、2.2節では、河道掘削における断面形状を設定する上での考え方を、その経年変化をもたらす土砂堆積と、植物繁茂に焦点をあて整理する。なお、植生管理を念頭においた河道掘削プロセスに関する詳細は、萱場ら（2014）²⁾を参照されたい。

2.2 河道掘削高さと河道・環境の応答

河道掘削では、水域への影響を回避するために、平水位以上の陸域を対象に高水敷の掘削（陸上掘削）が実施されることが多い（図-1）。陸上掘削では表層の材料を剥ぎ取るため、生育・生息する植物・動物は一旦消失する。しかし、掘削面と河川水面との比高は小さくなり、洪水による冠水の頻度・強度、土壌の湿潤状態が高まるため、長期的に見れば氾濫原に依存する動植物の再生に寄与する可能性がある。したがって、例えば、河道掘削後に重要な植物群落を再生する必要がある場合には、対象とする群落の生育に適した生育環境を、掘削高さをはじめ、断面形状の工夫により整えることで、それらの繁茂を促すことが考えられる。ただし、平水位程度で掘削を行うと土砂堆積が早く、ヤナギ類を主体とした樹林地が形成（樹林化）されやすいため、維持管理上の問題となる。

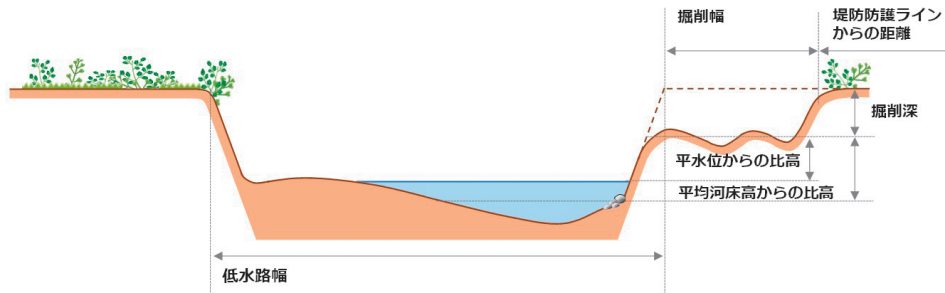


図-1 河道掘削断面の概念図（陸上掘削の例）

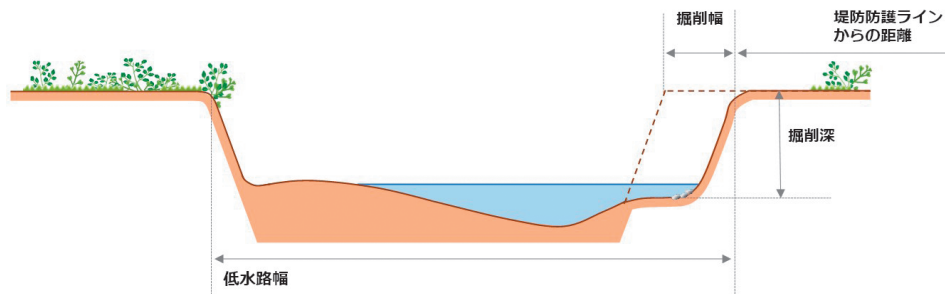


図-2 河道掘削断面の概念図（水中掘削の例）

表-1 セグメント2・1（自然堤防帯区間）における掘削高さと土砂堆積および植物繁茂との関係

掘削方法		水中掘削（低水路河床からの比高が小さい）	陸上掘削（低水路河床からの比高が大きい）
土砂堆積	一般的 な特徴	・ 高水敷に堆積する土砂は、低水路の河床材料よりも1オーダー程度小さい粒径（一般に、粘土から微細砂）である。 ・ その土砂は、洪水時にウォッシュロードもしくは、それに近い物理的な振る舞いをする。また、山間地の供給源から堆積域まで一気に輸送され则认为られている。 ・ 供給土砂量と、その質は、流域の地形および地質に依存することから、その特徴を理解することは重要である。	
	掘削 方法 との 関係	・ 掘削地盤高を渴水位から低水路河床高の範囲に切り下げると、粘土から微細砂は堆積しにくいと考えられる。 ・ 掘削断面における低水路幅の設定が大きすぎると、土砂堆積や植物繁茂により低水路幅が早期に縮小する可能性がある。 ・ 掘削後において、河床材料の流送量の変化にともなう河道地形（瀬淵構造）への影響が懸念される。	・ 洪水の規模や、頻度に依存するが、高水敷の土砂堆積速度は、比高（低水路平均標高と土砂堆積域平均標高の差）が大きいほど、小さくなると考えられる。 ・ 冠水深が大きいほど高水敷に土砂が厚く堆積する傾向にある。
植物繁茂	一般的 な特徴	・ 樹林化を招く植物はヤナギ類やタケ・ササ類が多い。ハリエンジュも樹林を形成するが、扇状地区間（セグメント1）で多く見られる。 ・ ヤナギ類は広範囲に飛散する種子を大量に生産し、生長も早いことから、新しい樹林地を数年のうちに作り出す。また、伐採したとしても残された切株から萌芽することに加え、落枝からも生長し、より密な樹林を形成する。	
	掘削 方法 との 関係	【共通】 ・ 保全対象である植物群落を存置するように掘削範囲を設定する。また、植物群落の存置が困難な場合には、その群落の生育に適した物理環境を掘削断面の形状を工夫することにより整える。もしくは、移植のための代替地を用意するなどの対応を図る。 ・ ヤナギ類の種子が散布される季節（地域によって異なるが4月～7月）に、掘削面が水面下（水中）にある場合には、ヤナギ類が定着する可能性は低い。ただし、掘削面と水面の比高がゼロに近いような状況では、種子から発芽・生長し、樹林化に至る可能性はある。	・ ヤナギ類が掘削範囲に生育していた場合、伐採後の切株について萌芽を抑制する手法を実施するとともに、落枝からの定着・生長を防ぐ必要がある。また、地表が乾燥していない限り、ヤナギ類の種子は定着・生長する可能性が高いため、草地化工法やブルドーザーによる踏み倒しなどの対策を検討する。

一方、土砂堆積と樹林化を抑制するために、掘削面積を減らし、環境への影響を最小限に留めることに主眼をおけば、例えば、高水敷を渴水位相当以下に切り下げる水中掘削（低水路拡幅）が有効である（図-2）³⁾。また、重要な植物群落に関

しては、まずは存置できるように水中掘削を採用し、高水敷の掘削幅を狭めることを検討するなど、掘削断面の計画、設計段階から配慮することが必要である。ただし、低水路幅の設定^{4),5),6)}が大き過ぎると土砂堆積や植物繁茂により低水路幅が縮

小する可能性がある他、河床材料の流送量の変化にともなう瀬淵構造や平水時の水深・流速の変化、これらの物理的な変化を介した生物への影響が懸念される。また、掘り下げることにより露岩層が出現し、底生性の生物に影響を及ぼす可能性がある。

このように、陸上掘削と水中掘削の双方とも、掘削直後は治水上の機能を満足するが、その後の土砂堆積や樹林化に至る可能性に違いがあり、掘削が環境に与える影響とその後の回復の程度も異なるため、現地の状況に鑑み最適な掘削高さを設定する必要がある。

2.3 掘削断面と土砂堆積および植物繁茂との関係

2.3.1 土砂堆積と植物繁茂の特徴

現地河川には、さまざまな制約条件があるものの、掘削断面を計画、設計する上での選択肢は多い。本項では、掘削地盤高の設定に際しての参考となるように、セグメント2-1での土砂堆積と植物繁茂に関する基本的な特徴をまとめ、2.3.2項、2.3.3項には、それらと掘削地盤高との関係を整理する(表-1)。

(1) 植物繁茂

セグメント2-1は、一般的に、河道断面に占める高水敷の割合が大きく、そこでの樹林化の要因はヤナギ類、タケ・ササ類であることが多い^{7), 8)}。これらの植物は生育範囲を急激に拡大させる特徴を持つため、河道植生を管理する上で、特に注意を要する植物である(「3. 草地化工法」を参照)。

(2) 土砂堆積

高水敷に堆積する土砂は、低水路の河床材料よりも1オーダー程度小さい粘土から微細砂であり、これらは洪水時にウォッシュロードもしくは、それに近い物理的な振る舞いをするため、山間地の供給源から堆積域まで一気に輸送されると考えられている^{9), 10)}。したがって、河道掘削によって地形が改変され、土砂が堆積しやすい環境が整うと、その輸送量の多さも相まって急激な地形変化が起こり、掘削された断面が短い期間で縮小する可能性がある⁹⁾。また、粒径成分が1オーダー程度の差がある低水路と高水敷での土砂堆積プロセスは、わけて考えることができる。そのため、2.3.2項では平水位より掘削地盤高が低い場合(水中掘削)と、それよりも高い場合(陸上掘削)にわけて説明する。この他、堆積域に供給される土砂量や、

その質は、流域の地形および地質によって大きく異なる。土砂堆積に関する一般的な知見の他に、それぞれの流域の特徴を理解することが不可欠である。

2.3.2 掘削高さと土砂堆積との関係

本稿では典型的な河道掘削断面として、陸上掘削(図-1)と水中掘削(図-2)を例示し、その特徴を整理する。

水中掘削では、低水路部の掘削面が水面以下となるため、高水敷の表層にみられる粒径成分は堆積しにくい^{9), 10)}。一方、それよりも1オーダー程度大きい、主に低水路の河床を構成する粒径成分が洪水時に掃流状態で移動し、地形変化が起こる⁹⁾。例えば、原田ら(2015)¹⁰⁾によると、掘削面が深い(標高が低い)ほど堆積速度が小さい傾向がみられ、濁水位相当に切り下げることの有用性が示唆されている。ただし、低水路幅を広げすぎると、急激な断面縮小が起きる可能性があるため留意が必要である⁹⁾。

陸上掘削後の堆積速度については、武内ら(2011)³⁾の報告で0.02~0.22m/year程度と見積もられている(図-3)。これは、我が国の4河川を対象に、10年以上にわたるデータが分析された結果である。また、土砂堆積速度と比高(低水路平均標高と土砂堆積域平均標高の差)との関係から、比高が1~6mの範囲では、それが大きいほど堆積速度は小さくなる傾向を示した。また、末次(2001)¹¹⁾は、高水敷の冠水深が大きいほど土砂が厚く堆積する傾向を報告している。これらより、陸上掘削後の土砂堆積速度は、洪水にともなう冠水頻度が高く、冠水深が大きいと想定される掘削

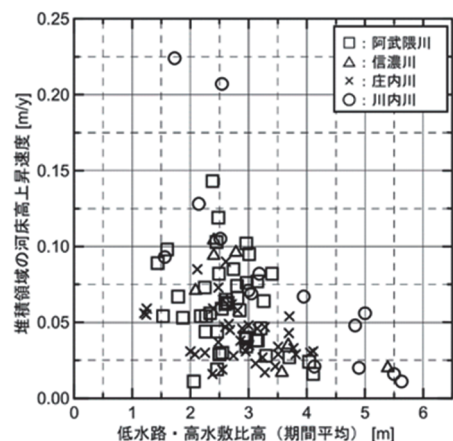


図-3 低水路・高水敷比高と堆積領域の河床高上昇速度との関係³⁾

高さが低い場合に、高まると言える。

以上から、掘削高さと堆積速度との関係を概念的にまとめると図-4のように整理される¹²⁾。これより、掘削地盤高が平水位相当における堆積速度が大きいと考えられる。なお、水中と陸上では、堆積する粒径成分や、そのプロセスが異なることは前述の通りである。

2.3.3 掘削高さと植物繁茂との関係

水中掘削により掘削面を渴水位程度に設定すると掘削面が年間を通じて水没するため植物は繁茂しにくい。一方、陸上掘削の場合は、掘削高さを低くすると平水位（掘削域での地下水位に相当する）との比高が小さくなり、掘削地盤面での湿潤状態は高まることから、これを好む植物が繁茂しやすくなる（図-4）¹²⁾。

河川管理の対象となりやすいヤナギ類やタケ・ササ類に注目すると、セグメント2-1では、比高（平水位と高水敷の差）が4m以下でヤナギ林（ヤナギ類が主体の樹林）の出現率が高く、比高が6m以上では竹林の出現率が高いことが示されている⁷⁾。そのため、陸上掘削により比高が低下することを考えると、掘削後により注意すべきはヤナギ類ということになる。大石ら（2013）¹³⁾は、揖斐川を対象に掘削高さの異なる裸地面での植物動態のモニタリングを実施した。その結果、掘削高さが渴水位相当であれば、5年程度が経過しても大部分が開放水面として維持されるが、より標高の高い掘削面ではヤナギ類の繁茂が確認されている。とりわけ、平水位相当の掘削高さにおいて、ヤナギ類の繁茂が顕著であることを示している（図-5）。

2.4 河道掘削断面の経年変化と管理イメージ

河道管理研究小委員会¹⁴⁾によって、河道管理の実施イメージが図-6のように提案されている。縦軸は対象となる事象の状態を表す指標であり、具体的には流下能力などが考えられる。上方ほど流下能力は低下し、管理水準に近づくことを意味する。また、横軸は時間である。ここでは、測量データなどにに基づき、判断に資する情報に加工することで、その指標の経年的な変化を捉え、管理水準に達する前に効果的に河道掘削などの対策を実施することの重要性が示されている。

河道掘削を行う場合には、掘削段階で生じる環境への影響を緩和させるとともに、掘削後の速や

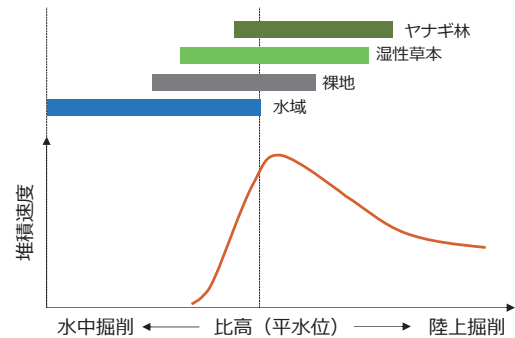


図-4 掘削面の高さと堆積速度および植物の生育環境との関係の概念図（着色されたバーは掘削面がヤナギ林、湿性草本、裸地、水域となる相対的な高さの関係を示している。）¹²⁾

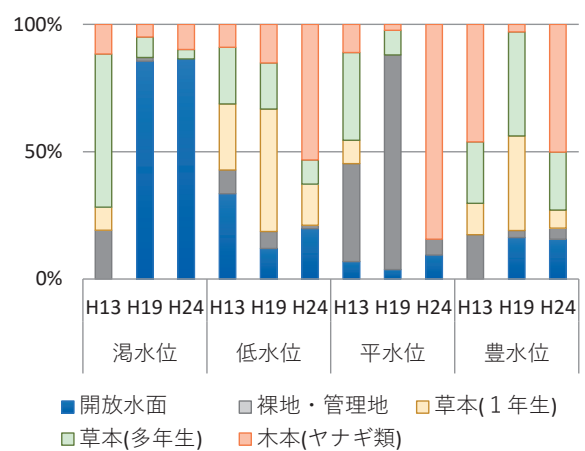


図-5 掘削後の地表面の標高と地被の経年変化（H13：施工前、H19：施工直後、H24：施工後5年以上であり、大石ら（2013）¹³⁾を参考に作成）

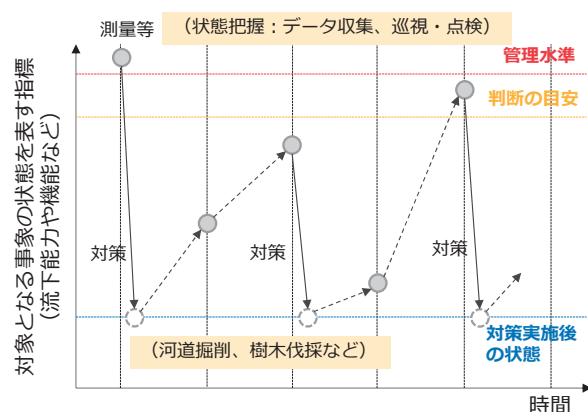


図-6 河道管理の実施イメージ（河道管理研究小委員会（2020）¹⁴⁾に基づき作成）

かな再生を促すことを念頭におく必要がある。そして、次の対策を行うまでの期間を可能な範囲で引き延ばすこと、対策の必要性を把握するためのモニタリングを適切な頻度・精度で実施することが重要になる。

対策を行うまでの期間を引き延ばすには、土砂堆積と植物繁茂、特に、ヤナギ類の拡大を抑制す

ることがポイントとなる。前述したように土砂堆積速度は掘削高さによって概ね図-4の実線のようなカーブを描くと考えられる。ただし、実際の土砂堆積速度は、流域から供給される土砂の粒径と量、河道法線形状の位置（湾曲部外岸・内岸区間、直線区間）、洪水の履歴などに依存すると考えられ、河道掘削が実施される区間や、時期によって異なることに留意する必要がある。一方、植物繁茂は、同一の高さでも異なる地被状態を示し、土壌水分が高い地盤面であれば湿性草本群落（例、ヨシ原）とヤナギ類にとっての好適な生育環境となる。したがって、河道掘削を行った際には当初の裸地面にヤナギ類が侵入しないような工夫が必要であり、河積の減少の抑制や、次の対策までの期間の延長が可能となる。この考え方と、具体的方法については3章で紹介する。

3. 草地化工法

掘削によって出現する新たな裸地面が、ヤナギ類の種子にとって定着・生長するのに適した環境を有することがある。そして、新規に加入した種子が実生へと生長し、数年のうちに樹林に至るといった報告もされている¹³⁾。これに対処するため、掘削後にヨシやオギなどの草本類を早期に回復させ、樹木の繁茂を遅らせる手法の有効性が確認され始めている¹⁵⁾。草本による樹林化抑制は、植物の生長に必要な光を制限することを狙いとしており、ヤナギ類への効果が実験的に確かめられつつある。ただし、ヤナギ類は含水率が低い乾燥した土壌では、種子が発芽・生長することが少ないため、掘削地盤高が高く河川水面との比高が十分にある場合は、種子からの再繁茂が生じる可能性は少ないものと考えられる。

ヤナギ類は陽樹であり、光に対する要求性が高いために、掘削後に生じた裸地面において旺盛な生長をする。しかし、ヨシやオギなどの草本類が密生することは、地表面に達する光を遮ることになる（遮光効果）。これまでに地表面の50%以上が植物に覆われ、地表に到達する光の70%ほどが遮られた場合、ヤナギ類の生長を防げる可能性が実験的に示されている（図-7）。ただし、この遮光による抑制は、種子から10cmほどの実生へと生長する段階においては効果的であったが、実生から稚樹へと生長する段階では、ほとんど効果が

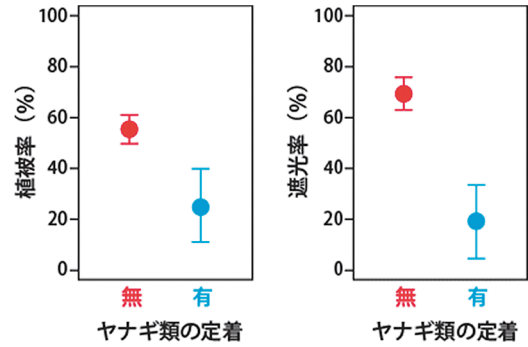


図-7 ヤナギ類の定着の有無による植被率および遮光率の違い

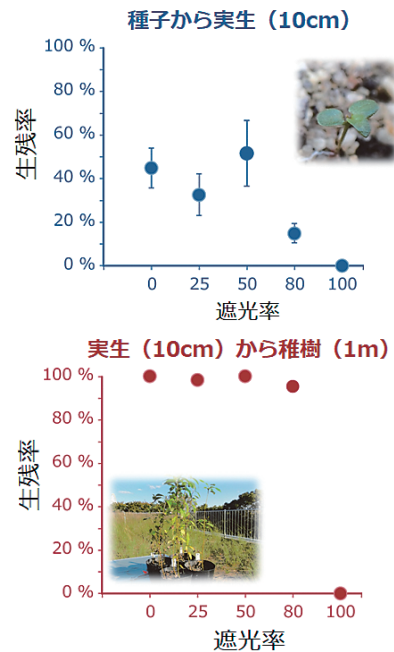


図-8 ヤナギ類の種子の生残率と遮光率との関係

なかった（図-8）。つまり、生長段階の「初期」に抑制することが重要であり、種子が散布される時期（春～初夏）には草本類が密に生えていることが望ましい。つまり、掘削後に「草本類の早期定着を促す」ことが重要であり、自然な植生遷移に任せる場合と表土の撒きだしによる草地化工法を用いる場合とにわけられるだろう。草地化工法とは、例えば、生長の速いオギやヨシなどを対象に、これらの植物（地下茎）を含む土壌を、裸地の表層に撒きだすことであり、自然な遷移よりも早く草地の回復が期待できる。

小椋（2012）¹⁶⁾によると、過去150年ほどの間に宅地化や森林整備、圃場整備などにより、国内の草地が顕著に減少していることが示されている。レッドデータブックでは植物の絶滅危惧要因に「自然遷移」や「草地開発」が多数挙げられてお

り、草地を利用する昆虫類の多くも絶滅危惧となっている。これら植物や昆虫類は、人の手によって維持されてきた草地（半自然草原）で多く見られたものである。近年では田圃の畦畔に残る半自然草原を「里草地」として、存在の重要性が指摘されている¹⁷⁾。したがって、草地を維持することは、治水面だけでなく植物や昆虫の多様性にも寄与すると考えられる。今後、河道内に成立する草本群落（「川草地」（かわくさち））の機能を明らかにすることが求められるだろう。

4. おわりに

人的・財政的な制約が大きい、昨今の我が国の実情を鑑みると、治水、環境面の機能の持続性に貢献する掘削断面形状を計画、設計することが求められる。そのためには、河道掘削後の掘削面における土砂堆積と、植物繁茂の特徴、それらと掘削地盤高との関係に基づく検討が不可欠である。とりわけ、流下阻害の一因である河道内の樹林化については、早期に草地へと誘導することが有効な抑制手法になり得る。他方、土砂堆積や、樹林化を完全に防ぐことは困難である。モニタリングによる状態把握に基づく、適切なタイミングでの河道掘削や樹木伐採の実施につなげる必要がある。

参考文献

- 1) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言、25p、2019
- 2) 萱場祐一、片桐浩司、傳田正利、田頭直樹、中西哲：河道掘削における環境配慮プロセスの提案、河川技術論文集、20、pp.157～162、2014
- 3) 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
- 4) 山本晃一：沖積河川 構造と動態、600p、技報堂出版、2010
- 5) 河川環境管理財団河川環境総合研究所：河川植生管理論 堤防植生を除く、河川環境総合研究所資料、31、440p、2012
- 6) 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、189p、山海堂、2002
- 7) 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
- 8) 佐貫方城、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、16、pp.241～246、2010
- 9) 藤田光一、MOODY, J. A.、宇多高明、藤井政人：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、551、pp.47～62、1996
- 10) 原田守啓、永山滋也、大石哲也、萱場祐一：掛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)、71、pp.I_1171～I_1176、2015
- 11) 末次忠司、服部敦、瀬崎智之：洪水攪乱に伴う植生の変化、水利科学、pp.33～47、2001
- 12) 応用生態工学会：河道内氾濫原の保全と再生、198p、技報堂出版、2019
- 13) 大石哲也、萱場祐一：河川敷切り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
- 14) 河道管理研究小委員会：河道管理における現場の課題と研究・技術開発の連携に向けて～河道管理研究小委員会における議論と論点～、河川技術論文集、26、pp.509～514、2020
- 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) 小椋純一：森と草原の歴史 日本の植生景観はどのように移り変わってきたのか、343p、古今書院、2012
- 17) 須賀丈、岡本透、丑丸敦史：草地と日本人 縄文人からつづく草地利用と生態系、280p、築地書館、2019

溝口裕太


土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 専門研究員、博士（工学）
Dr. MIZOGUCHI Yuta

森 照貴


土木研究所水環境研究グループ自然共生研究センター 主任研究員、博士（環境科学）
Dr. MORI Terutaka

中村圭吾


土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員、博士（工学）
Dr. NAKAMURA Keigo

萱場祐一


土木研究所水環境研究グループ長、博士（工学）
Dr. KAYABA Yuichi