

河川砂防技術研究開発

【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属		役職
	原田守啓 (はらだもりひろ)	岐阜大学流域圏科学研究センター		准教授
②技術研究開発テーマ	名称	高水敷掘削後の再堆積過程に流送土砂の粒度組成と流況が与える影響		
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て.	平成29年度	平成30年度	平成31年度	総合計
	308万円	84万円	78万円	471万円
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名, 所属・役職を記入下さい. なお, 記入欄が足りない場合は適宜追加下さい.)			
氏名	所属機関・役職 (※平成 年3月31日現在)			
赤堀 良介	愛知工業大学 工学部 准教授			
⑤研究の目的・目標	(様式地河-1, 地河-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい.)			
<p>多くの直轄河川では, 計画規模の出水に対する安全度を確保するため, 河積確保のための河道掘削が計画・実施されており, セグメント 2 においては高水敷掘削により対応されている例が多く, 高水敷掘削によって氾濫原的な環境を創出しようとする試みもなされてきている.</p> <p>しかしながら, 掘削後の土砂再堆積速度は原生的な氾濫原における土砂堆積速度と比べて1オーダー程度大きいことも明らかになってきており, 掘削によって確保した河積は次第に減少していく. このプロセスに河川植生が細粒土砂を捕捉する効果が深く関与していることが議論されているが, 高水敷掘削後のレスポンスに水系・河川によって違いが生じる要因については未解明な点も多い.</p> <p>本研究は, 高水敷掘削後の掘削地への土砂の再堆積過程に流域特性の違いが与える影響を明らかにすることを目的とする. 流域特性のうち, 特に, 流域地質や流程に依存して異なる河床材料の粒度組成と, 河床材料 (とくにウォッシュロード) の輸送に関わる流況が異なる中部地域の2河川 (木曾川水系揖斐川・長良川) を対象として, 掘削後の再堆積過程にこれらの流域特性が与えている影響を明らかにする.</p>				

⑥研究成果

1. 対象河川及び調査地の概要

本研究の対象河川は、木曾川水系揖斐川・長良川である。これら2河川の流域は隣接しており、流域面積はそれぞれ1,196km²(揖斐川万石地点)、1,914km²(長良川墨俣地点)である。木曾三川流域の年平均降水量は約2,500mmと国内でも多雨地域にあたる。本研究は、隣り合った流域である揖斐川・長良川を対象に、河川ごとに高水敷掘削後の土砂再堆積傾向の違いを生じる要因の解明と、高水敷掘削後の土砂再堆積(粒度分布、堆積速度)の汎用的な予測技術の構築を目的とする。揖斐川と長良川における土砂再堆積傾向の違いが、両河川のウォッシュロードの輸送特性によるとの仮説を検証すべく、2018年と2019年の出水期の高水流量観測時の採水により得られたウォッシュロード濃度の計測結果を示す。また、計測結果を踏まえてウォッシュロードを中心とした細粒土砂の再堆積の予測手法の高度化を図った。さらに、これらの手法の他河川への適用性について議論したものである。

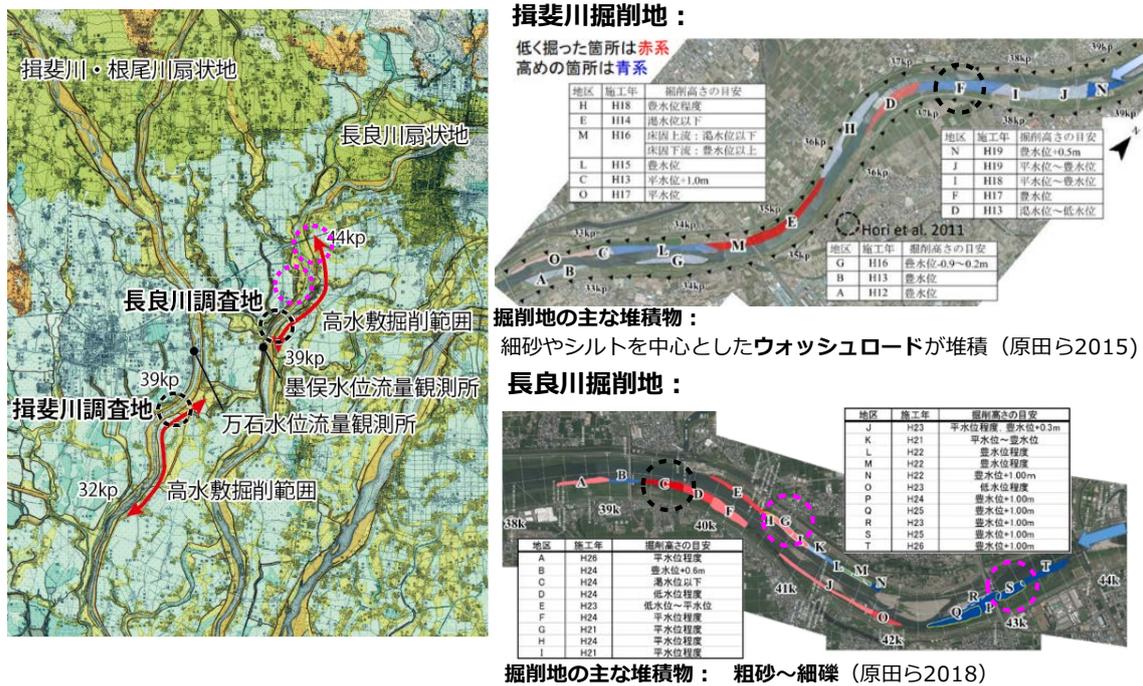


図-1 揖斐川・長良川掘削地の概要

2. 揖斐川・長良川掘削地の土砂堆積速度と粒度分布

(1) 土砂堆積速度

本研究では、両河川における各工区の土砂再堆積速度を定量的に評価するため、掘削工事図面及び定期横断測量成果を3次元点群データに変換し、ArcGIS 3D Analystによって生成したTINサーフェスの差分により得られる地形変化量(m³)を、各工区ごとに面積(m²)と年数で除して、各工区の平均的な土砂堆積速度(m/year)を算出する。揖斐川は全14工区、長良川は全20工区について、各工区の土砂堆積速度と掘削高さの関係について整理しなおした。

(2) 河床材料・堆積土砂の粒度分布の関係性

揖斐川D、O、F工区、長良川C、G、S工区における河床材料、堆積土砂の粒度分布を分析した結果、掘削地の再堆積土砂のうち、低水路河床由来の浮遊砂が堆積したものと、低水路河床には存在しない0.1mm以下の細粒土砂に分けることにより、ウォッシュロード由来の土砂が占める割合を分析した。

揖斐川においては、掘削地の堆積土砂に占めるウォッシュロードの割合が50～95%と高いのに対し、長良川ではわずかに0～20%であった。

3. 高水流量観測時の表面採水試料によるウォッシュロード濃度

(1) ウォッシュロード濃度を把握する意義について

流砂は一般的に、ベッドマテリアルロード（掃流砂と浮遊砂）とウォッシュロードに分けて現象の記述がなされてきた。ウォッシュロードは、河床材にはほとんど含まれない細粒成分とされ、運動特性の面からは、掃流限界を超えると掃流状態を経ずに浮遊状態に移行する概ね 0.1~0.2mm 以下の土砂を指す。自然堤防帯河道の低水路の河床にはみられない（あるいはわずかしかな存在しない）が、高水敷の堆積土砂にはウォッシュロードに相当する細粒土砂が多く含まれ、河道拡幅後の川幅縮小や高水敷掘削後の再堆積に、ウォッシュロードが占める役割は無視できない。流水中に輸送されるウォッシュロードの量は、流域の土砂供給源に依存しており、河道の水理的条件のみでは定まらない。

そこで本研究の2年目から3年目にかけて、現在の揖斐川と長良川における高水流量観測時に、流心部にて表面採水（2L）を行い、採水試料に含まれる土砂の質量を計測することによって、土砂濃度の把握を行った。本手法の妥当性については、原田ら（2020、登載決定）において論じている。

(2) 調査結果と2河川のQ-C式

2018年と2019年の出水期における高水流量観測時の観測流量 Q と、ほぼ同時刻の表面採水試料より得られた土砂体積濃度 C の関係を示す。揖斐川の土砂濃度（赤三角）は、長良川の土砂濃度（青丸）に対して全体的に高い傾向があり、「揖斐川掘削地におけるウォッシュロードの堆積は、揖斐川の土砂濃度が高いことによる」という仮説を裏付けるものではあったが、同じ流量であっても土砂濃度かなりの幅がみられた。これらの結果に基づき、ウォッシュロード堆積速度予測モデル（5.に後述）計算の与条件として用いるための Q - C 式を設定した。

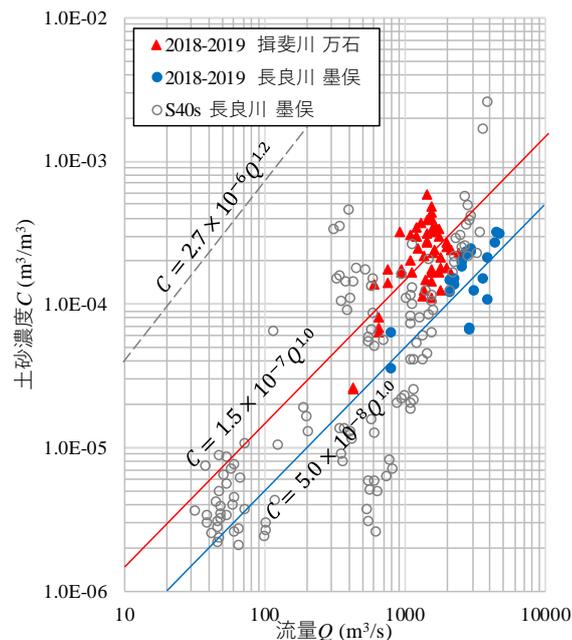


図-2 表面採水試料の土砂濃度（揖斐川・長良川）

4. ウォッシュロードの堆積速度予測モデルによる検討

(1) 簡易浮遊砂モデルの改良

本研究初年度に提案した簡易浮遊砂モデル（原田ら2018）は、高水敷掘削地を含む河川断面をかなり単純化し、低水路を流送されうる土砂フラックスのうち掘削地よりも高い部分を流下する分と、掘削地上を流送されうる土砂フラックスを比較して、その大小関係によって堆積を判定するという、非常に粗い仮定を置いて計算を簡略化する代わりに、年間の流量変動（水位変動）を時間頻度分布に変換し、最小水位から最高水位までの全ての流況における土砂堆積を扱うという利点を有する。3年目の最終年度は、簡易浮遊砂モデルの利点を踏襲しつつ、堆積判定の部分の計算方法を精査した上で、ウォッシュロードのみを対象とした堆積速度を算出することを目標にモデル修正を行った。

簡易浮遊砂モデルの基本的な計算手順は以下のとおりである。①計算対象とする断面における水位の頻度分布を設定する。本研究では、直近10年分の最寄の水位観測所における時刻水位より水位1cm刻みで頻度分布を作成する。②計算断面における $H-Q$ 式を設定する。計算水位と流量 Q を関係づけるためである。③計算対象粒径を設定する。④水位を1cm刻みで変化させながら、堆積速度 dz_b/dt (m/s)を求める。⑤各水位において計算した堆積速度に、計算水位の発生頻度に応じた時間を乗じて積分することにより、1年あたりの堆積速度(m/year)を得る。③～⑤の手順を計算対象粒径ごとに行うことにより、掘削地にどの粒径の土砂がどれくらい堆積しうるか、すなわち堆積土砂の粒度分布も想定することが可能である。

一般的な河床変動解析における浮遊砂の扱いでは、河床近傍の基準点高さ z_a における境界面を仮定して、境界面を通過する巻き上げと沈降の収支によって、流水中の浮遊砂の輸送方程式と河床変動方程式(1式)の間での土砂のやりとりが表現されている。

$$\frac{dz_b}{dt} = \frac{1}{1-\lambda} (w_0 C_b - q_{su}) \quad (1)$$

ここに、 z_b : 河床高 (m), λ : 空隙率, w_0 : 粒子沈降速度 (m/s), C_b : 基準面における土砂濃度 (m^3/m^3), q_{su} : 単位時間・単位面積に河床から巻き上げられる土砂体積 ($=w_0 \cdot C_a$, m/s), C_a : 平衡状態における基準面濃度である。左辺は河床高の変化速度, すなわち堆積速度 (m/s) となる。本研究では一般的な浮遊砂の取り扱いに準じ、掘削地において(1)式を計算して堆積速度を求めることとする。

ウォッシュロードのみを対象とした際の(1)式の取り扱いは、ウォッシュロード堆積による川幅縮小を論じた藤田ら⁶⁾の手法を一部参考とする。空隙率 λ は簡単のため0.40とする。掘削地における河床からの巻き上げ量 q_{su} は、Lane-Kalinske式(以下、L-K式)により基準面高さ $z_a=0.05h$ における基準面濃度 C_a を与える。粒子沈降速度 w_0 はRubey式により与える。

掘削地を流下するウォッシュロードの濃度 C は、河川ごとにあらかじめ設定した流量 Q との関係式($Q-C$ 式)により直接的に与えるものとし、本研究においては採水調査結果に基づく $Q-C$ 式を計算に用いる。また、掘削地の基準面 z_a における濃度 C_b は、粒径に応じた土砂濃度の鉛直分布を考慮して設定する必要がある。鉛直分布形状は各種の分布式により多少の違いはあるものの、粒径が小さければ鉛直分布はほぼ一様となる。例えば0.1mmに対してL-K式を計算すると、水面付近の相対土砂濃度 C/C_a は0.46となるが、0.05mmでは0.82, 0.01mmでは0.99となり、底面付近から水面付近までほぼ濃度は一様になる。表面採水で得られた土砂の粒度分布は揖斐川と長良川でほぼ同様で、その幅は $0.3\mu m \sim 0.2mm$ 程度であり、その80～90%が0.05mm以下であったことから、土砂濃度の鉛直分布はほぼ一様とみなし、 $C_b=C$ とおく。

L-K式に限らず、基準面濃度 C_a の計算式では沈降速度 w_0 と摩擦速度 u^* の比(ラウス数)が支配的な変数となる。摩擦速度 u^* は、掘削地における水深 h とエネルギー勾配 I_e を用いて $u^*=(ghI_e)^{1/2}$ として算出する。このとき用いる I_e の設定方法がモデルの結果に大きな影響を与えるため、本研究では、3通りの方法を検討した。1番目は掘削地の I_e を低水路の I_e と同じと仮定する方法、2番目は掘削地の河床勾配と同じ一定値と仮定する方法、3番目は掘削地の I_e エネルギー勾配が非常に小さい(≈ 0)と仮定し、巻き上げ量 q_{su} を考慮しない方法である。

(2) ウォッシュロード堆積速度のモデル計算結果

モデル計算結果として、掘削地におけるエネルギー勾配 I_e の設定方法3通りで計算した結果を図-9に示す。計算対象粒径は、表面採水試料の粒度分布の d_{50} に相当する0.013mmとしている。なお沈降速度 w_0 は、Rubey式により0.15mm/sである。ウォッシュロードのみに着目した堆積速度の計算結果と現地状況を比較するため、現地調査結果に基づく堆積土砂の粒度分布と各工区の堆積速度を組み合わせ、現地のウォッシュロードの堆積速度を試算した。

方法1, 2では、ウォッシュロードの堆積はほぼ生じないという結果になった。方法1では、全ての計算水位において堆積が生じないという結果であった。方法2では掘削地のエネルギー勾配が方法1よりも小さいために、堆積速度が正の値をとる(ウォッシュロード濃度が基準面濃度を上回る)領域が、高い水位の範囲に存在するが、高い水位の時間頻度は非常に少ないために、堆積量としてはほぼゼロと計算された。掘削地からの巻き上げ q_{su} をゼロとした方法3は、最も現地の値に近い堆積速度が得られた。とくに、揖斐川においては、堆積速度のオーダー、大小関係ともに現地状況に近い値が計算された。長良川においては、現地ではウォッシュロードの堆積がほぼ見られないのに対し、揖斐川よりは少ないものの、ウォッシュロード堆積が生

じることが計算された。

ウォッシュロードの沈降速度は非常に小さく、鉛直濃度分布はほぼ一様である。したがって、その堆積が生じるためには、河床面近傍を浮遊する粒子が非常に小さい沈降速度にも拘わらず沈降し着底する静穏な環境が必要である。別の見方をすれば、河床面のごく近傍のみ、流れが滞留した微環境があればよいことになり、このような条件を満たす場として、密な植生を有する流れ場が挙げられる。実際のところ揖斐川D,O,F工区には、イネ科、タデ科の草本類が密生している。長良川でわずかにウォッシュロード堆積がみられたG工区ではオギが繁茂しており、上記の考察を裏付けるものとなっている。

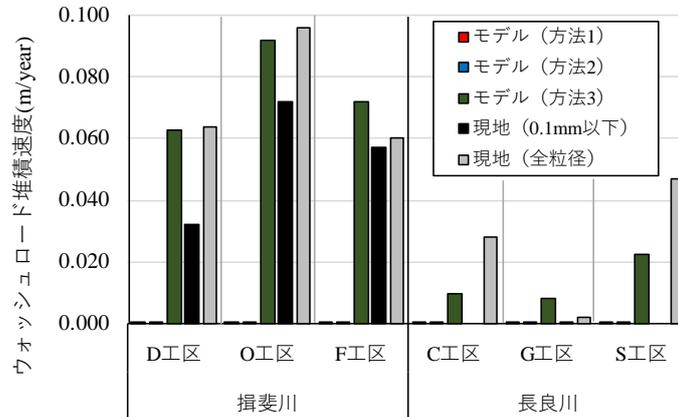


図-3 ウォッシュロード堆積速度のモデル計算結果

5. まとめ

揖斐川掘削地 14 工区、長良川掘削地 20 工区の土砂堆積速度の分析結果、2 河川各 3 工区における低水路河床と堆積土砂の粒度分布の分析結果、高水流量観測時の採水試料の分析結果より、以下のことが明らかとなった。

① 揖斐川は全 14 工区、長良川は全 20 工区における地形変化量から割り出した土砂堆積速度について、掘削高さとの関係に着目して整理した結果、揖斐川は濁水位程度で低く掘削した工区は堆積速度が小さくむしろ侵食傾向であるが、掘削地の比高が高めの工区は堆積速度が大きい傾向があった。3 期の測量成果の間の 2 期間における変化をみると、掘削後に堆積が進んでも堆積速度に頭打ちがみられないことが確認された。一方、長良川では掘削地の比高が低い工区は侵食傾向が明瞭で、堆積速度は全体的に小さかった。

② 揖斐川掘削地の堆積土砂の由来は、低水路に沿って形成された自然堤防状の微高地は、低水路河床由来の浮遊砂によるもの、後背湿地的な微高地はウォッシュロードの堆積によるものが粒度分布より確認された。一方、長良川掘削地にはウォッシュロードの堆積はほぼみられず、低水路河床由来の浮遊砂によるものと判断された。

③ 高水流量観測時に同時実施可能な採水分析方法を検討し、2 出水期に亘って洪水波形と土砂濃度波形を把握した。揖斐川の土砂濃度は、長良川の土砂濃度に対して全体的に高い傾向があり、「揖斐川掘削地におけるウォッシュロードの堆積は、揖斐川の土砂濃度が高いことによる」という仮説を裏付けるものではあったが、同じ流量であっても土砂濃度にかかなりの幅がみられた。観測結果に基づき、モデル計算のための Q-C 式を設定した。

④ 本課題で当初段階に提案した簡易浮遊砂モデルを改良し、年間の流量変動（水位変動）を時間頻度分布に変換し、最小水位から最高水位までの全ての流況における土砂堆積を扱いうるというモデルの利点を踏襲しながら、ウォッシュロードの堆積速度予測掘削地が冠水している間、常にウォッシュロードの堆積が生じるという仮定のもとで行った計算結果のみ現地の堆積速度を再現できた。このことは、掘削地にウォッシュロードの堆積が生じうる微環境（地表を覆う植物等）があれば、ごく微量ではあるが冠水している時間中常に土砂濃度に応じた堆積が生じていることを強く示唆する結果であった。本研究成果は、他河川にも適用可能な一般性を有しており、河川管理の高度化に資する。

以上

⑦研究成果の発表状況・予定

(本研究の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

- ・これまでに発表した代表的な論文
- ・著書(教科書, 学会抄録, 講演要旨は除く)
- ・国際会議, 学会等における発表状況
- ・主要雑誌・新聞等への成果発表
- ・学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・研究開発成果としての事業化, 製品化などの普及状況
- ・企業とのタイアップ状況
- ・特許など, 知的財産権の取得状況
- ・技術研究開発成果による受賞, 表彰等

【査読付き論文】 2件

1. 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, 173-178., 2018.
2. 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, 26, 2020. (登載決定)

【学会発表】 8件

1. 原田守啓, アマナトゥラサヴィトリ, 角田美佳 (2017) 自然堤防帯を流れる河川高水敷掘削後の土砂再堆積過程に流域特性が与える影響, ELR2017, 2017/9/22-25 (名古屋)
2. 角田美佳, 原田守啓, アマナトゥラサヴィトリ (2018) 自然堤防帯河道における高水敷掘削後の土砂再堆積プロセス, 土木学会中部支部, 2018/3/2 (名古屋)
3. 角田美佳, 原田守啓, 岩田奨平 (2018) 自然堤防帯河川の高水敷掘削後の土砂再堆積～揖斐川と長良川の比較検討～, 応用生態工学会, 2018年9月, 東京工業大学
4. 岩田奨平・原田守啓・角田美佳 (2019) 揖斐川と長良川のウォッシュロード濃度の違いが土砂再堆積に与える影響, 平成30年度土木学会中部支部研究発表会, 2019年3月, 愛知工業大学
5. 鈴木崇史・富田浩生・吉川敦希・原田守啓・永山滋也 (2019) 木曾三川扇状地区間の物理環境はどう違うのか?, 応用生態工学会, 2019年9月
6. 角田美佳・富田浩生・岩田奨平・原田守啓 (2019) 揖斐川・長良川の高水敷掘削後の土砂再堆積傾向の違いとその要因の分析, 応用生態工学会, 2019年9月
7. 富田浩生・原田守啓 (2020) 揖斐川・長良川の流域地質と礫の摩耗破碎特性が土砂堆積に及ぼす影響, 令和元年度土木学会中部支部研究発表会, 2020年3月, 長野工業高等専門学校 (要旨集のみ発行)
8. 角田美佳・原田守啓・富田浩生 (2020) 揖斐川・長良川の高水敷掘削後の土砂再堆積傾向の違いとその要因分析, 令和元年度土木学会中部支部研究発表会, 2020年3月, 長野工業高等専門学校 (要旨集のみ発行)

【国交省技術資料への反映】 1件

1. 多自然川づくり技術検討会編 (2019) 大河川における多自然川づくり-Q&A形式で理解を深める-, 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課, 分担執筆 (原田)

※Q5-2に本研究成果を一部紹介

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

【講演・シンポジウムなど】 10件

1. 河道管理における「土砂」に関する技術，土木学会水工学委員会河道管理研究小委員会 河道管理の最前線～現場と研究の接点を探る～ 土木学会講堂 2020年1月14日
2. 高敷掘削後の土砂再堆積にみられる 河川・流程毎の違いと対応策，国土交通省水管理国土保全局令和元年度全国多自然川づくり会議 さいたま新都心合同庁舎2号館 2019年12月16日
3. 流域からの土砂流出特性の違いが河道管理に及ぼす影響― 木曾三川を例にして―，玉野総合コンサルタント株式会社 第54回1 TOC セミナー 玉野総合コンサルタント本社 2019年7月3日
4. 揖斐川・長良川を流れる土砂の違いが高水敷掘削後の再堆積に及ぼす影響，木曾川上流河川事務所 木曾川上流河川事務所研究発表会 木曾川上流河川事務所 2019年6月28日
5. 自然堤防帯河道の高水敷掘削後の土砂堆積に流域特性が及ぼす影響（基調講演），応用生態工学会 第10回応用生態工学会全国フィールドシンポジウム in 浜松 浜松市地域情報センター 2018年11月14日
6. 自然堤防帯河道における高水敷掘削後の土砂堆積に流域特性が及ぼす影響，リバーフロント研究所 川の自然再生セミナー 月島社会教育会館 2018年11月6日
7. 濃尾平野の河川と地形―流域からの土砂と河川環境―，日本水環境学会ノンポイント汚染研究委員会 日本水環境学会ノンポイント汚染研究委員会 岐阜大学サテライトキャンパス 2018年8月19日
8. 自然堤防帯河川の高水敷掘削後の土砂堆積，第2回中部河川維持管理技術講習会，主催：国土交通省中部地方整備局河川部，2018/1/31，名古屋
9. 石礫床上の掃流砂量、自然堤防帯の高水敷掘削後の土砂堆積，東海水工学研究会，主催：東海水工学研究会，2017/12/14，名古屋
10. 木曾三川における中長期的な河川管理の課題，木曾川下流河川事務所勉強会，主催：木曾川下流河川事務所，2017/12/12，桑名

⑨表彰，受賞歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞，学会等の技術開発賞，優秀賞等を記入下さい。)

とくになし

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ，研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた，研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

2年目から3年目に実施した高水流量観測時の採水調査は，各河川のウォッシュロード輸送特性を把握する上で有効な手段であること，また，これを入力条件とした形で，ウォッシュロードの堆積速度が計算可能であることを示した。

ウォッシュロード堆積速度モデルの検討の過程で，浮遊砂全般を対象とした簡易浮遊砂モデルの改良の方向性も見出されたものの，各工区においてウォッシュロードから浮遊砂までを全て対象とした堆積速度の計算にはまだ至っていない。本研究課題終了後，さらに研究を続け，水系・河川毎に異なる掘削後のレスポンスを予測可能な手法の完成を目指す。

また，ウォッシュロード濃度観測手法と，Q-C式の設定方法には改良の余地がある。同一流量に対しても土砂濃度にはかなりのばらつきがあり，洪水波形と土砂濃度の関係性，これが土砂堆積に与える影響，河川ごとのウォッシュロード濃度の変動特性など，今後も引き続き観測を続け，知見の蓄積を図ることが望まれる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

流域特性の違いが高水敷掘削後のレスポンスにもたらす影響の一端が明らかになることにより、管理河川に応じた中長期的な維持管理の計画立案に資する。また、年間の流況や出水イベントの規模から土砂堆積量の予測を行うなど、順応的な管理プロセスを構成するための知見を提供する。

1) 水系・河川毎の河道特性の理解

河川・流域特性の違いが高水敷掘削後のレスポンスにもたらす影響の一端が明らかになることにより、対象河川に応じた中長期的な維持管理の計画立案に資する。

2) 計画的な維持管理(河積管理)への寄与

土砂の堆積は、河積を減少させ、治水安全度を低下させる要因となるものの、掘削の効果の持続性を予測することは現時点において困難である。本研究は、ある河川で、高水敷掘削工事を実施した後、何年程度その効果が持続するのか、どの程度の頻度で掘削工事を行う必要があるのか、といった、河道の維持管理における切実な課題に対して、計画的かつ順応的な管理プロセスを構成するための予測手法の構築に向けた知見を提供する。また、年間の流況や出水イベントの規模から土砂堆積量の予測を行うなど、順応的な管理を補助するツールとしての活用が考えられる。

3) ウォッシュロードの簡易計測手法の提案(最終年度成果)

本研究で提案した高水流量観測時の採水・分析手法は、他河川にも適用可能な一般性を有する。

4) ウォッシュロードの堆積速度(m/year)の汎用的な計算手法(最終年度成果)

本研究で提案したウォッシュロードの堆積速度予測は、既存のH-Q式に、採水試料に基づくQ-C式を組み合わせたものであり掘削高さの設定によって当該河川でウォッシュロード堆積が生じるか否かの簡易判定及び定量予測を行うことが可能である。