

網状流路を有する大井川を例とした 移動床河道の維持管理に向けた課題と展望

PROSPECTS FOR BOTH MAINTENANCE AND MANAGEMENT OF RIVER
CHANNEL TAKING THE OI RIVER AS EXAMPLE OF BRAIDED STREAMS

溝口 敦子

Atsuko MIZOGUCHI

¹正会員 博士(工) 名城大学教授 理工学部社会基盤デザイン工学科
(〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口1-501)

Physical environment should base on bar morphology which depends on river physical conditions. Complicated river morphology provides variation in hydraulics condition to river eco systems. In the downstream of the Oi River, braided channels give some problems to river management. For example, it is difficult to estimate how channels shift and where bank erosion occur. The characteristics of transformation of braided channels are important for river management because they are concerned with the problems of river management. Therefore, I grasped the change of braided channel after both big and small floods. Consequently, we realize that small flood also let channel shift cross-sectionally. And also I realized that the phenomena that channels frequently move keep riparian vegetation less, and so on. Additionally, in order to improve accuracy of sediment transport analysis, particle size distribution of bed material were investigated with field observation and image analysis.

Key Words : Braided channels, multiple bars, river management, vegetation

1. はじめに

河道管理にとって、地形と地被状態の変化の把握は重要である。河道内で徐々に変化する地形、地形変化時やその後の流水の影響を受けて変化する表層河床材料、表層材料と地形を基盤に消長する植生域等の地被状態は、治水機能にかかわる河積や粗度の変化につながる。また、地形と地被状態は、治水だけでなく河道内に生息する生物の生息環境にも深く関わるため、河川環境を考える際にも重要な要素となる。それ故に、河道を管理する際には、河道内で起こる地形の変化とそれに関連しておこる地被状態の変化の特徴を把握する必要がある。

しかし、中規模河床形態である交互砂州や複列砂州などの河道内地形は環境的な視点で意識されることがあっても、治水上の課題解決にその特性を直接考慮されることは少なく、河道管理に生かされるまでにいたっていない。土砂が活発に動く移動床河道で計画し想定した状態を自然に維持できることは少なく、河床高や地被状態などを適切な状態に保つには、河川の特徴にあった頻度で河道状況を把握すること、また、把握した状況によって対策を講じる必要がある。河道の状況は、基本的に大出

水時に大きく攪乱されたり創出されたりする地形が、年間複数回起こる中小出水を受け徐々に変化したり、平水時に植生が侵入したりして、ある程度幅を持って変化する。こうした特徴は、河道条件に大きく依存する。そのためにも、まず、河道管理上の課題に関連する河道の動的な特徴を調べ、課題解決のために必要な情報、手当てが必要となるだろう基準、それを把握するための頻度を検討しておくべきである。

具体的な例をもって河道管理のあり方を検討するために、本研究では、未だに変動が激しい網状流路を有する大井川下流域を対象とした。大井川下流域では、気候変動やダムなどの影響で出水の頻度・規模の減少が確認されている。これによって樹林化とそれに伴う河岸侵食が心配される区間や、支川からの土砂供給が多いため堆積傾向にある区間があり、一部区間で河積の確保が懸念されている。あわせて、流路変動が激しいため水位計測が安定してできず、流量観測が難しい状況にある。つまり、河川管理上の河道の動きに関わる課題を抱えている。一方、大井川の流域全体を考えると、上流部のダムでは堆砂問題から排砂を行いたい意向を持っており、海浜では川からの砂を欲している。そのために、土砂管

理計画が検討されている。しかし、土砂管理のためには、土砂を運ぶ河道に存在する網状流路の特徴およびその変化の特性を知り、土砂を流すための動く器である河道の動きとそれにかかわる問題をまず解決する必要がある。そのためにも、まず、河道の動き、状態の変化、その把握内容と方法等の検討が重要となる。

なお、網状流路に関する既往の研究には、形成機構や変化過程など基礎的な現象について論じた論文がいくつか存在する^{(例え(表))}。しかし、実際の河川の変動状況を詳細に調べた例はなく、実務に生かされるまでに至っていない。そこで、本論文では、現在の河床変動解析では追いきれない流路変動を大井川下流域にて調べた二年間の成果とその他の検討成果を用いて、河道維持管理の問題を解決するために認識すべき移動床現象と、それらを解決するための視点について論じる。

2. 大井川下流域の状況²⁾

大井川下流域の流況は、変化していないようで細かな変化がある。大井川の上流には、大井ダムをはじめとする電力ダム群、ならびに2000年に竣工された唯一治水を目的にもつ長島ダムが存在する。通常の場合、ダム下流域では、年最大流量の減少などかく乱頻度と規模の減少が問題となるが、大井川では年最大流量を見る限り確認できない。ただし、図-1に示す上流部の観測所の雨量データと図-2に示す日流量データを比較すると、渇水傾向となる年には、日流量が一年を通じて少なくなることが確認できる。特に、維持流量の供給が確保された1990年以降に日流量が一年を通じて少ない年が発生し、50m³/s以上ある日数が激減している。これは、渇水によるそもそもの河川流量の不足に加え、流量が不足している状況下で利水容量を確保することに起因すると考えられる。表-1に流況表を整理すると、1990年を境に最小流量が増加する一方で、豊、平水流量の減少が確認できる。

次に、河道特性について述べる。大井川下流域は、表-2に示す小セグメントに区分できる。昨年度の研究²⁾で、小セグメントの河道条件を用いて平均年最大流量時の等流状態を算出し、中規模河床形態の発生状況を調べると、モード3、4の多列砂州の形成条件下であることが分かった。さらに、卓越砂州モード数に相当した流路本数や河床の凹凸が存在していたため、大出水時に形成された多列砂州を基盤として、平水時にみられる網状流路が形成されていることを示した。あわせて、大井川下流域では、網状流路のみの冠水時の条件で河床変動が生じ流路内に交互砂州が形成されることを示した。

3. 大井川でみられた流路変動の特徴

ここでは、2015年に国土交通省静岡河川事務所によって取得された航空写真に加えて、2016年から著者が調査に入りUAVを用いて撮影・作成したオルソ画像を用いて流路変動状況を読み取る。調査対象区間は図-3に示す

14km付近 (Site2) , 7km付近 (Site1) の二か所である。それぞれ蛇行部と直線部に位置し、表-2の小セグメント区分では小セグメント3、4となる。両対象区間とも複列砂州の発達領域であり、それを基盤として網状流路が形成されている。両対象区間における調査日と周辺の流況を図-4に示す。資料が存在する2015年には3000m³/s近い出水、調査期間中の2017年10月23日には暫定値で4000m³/s近い出水が確認された。これに対し、2015年12月～2017年10月にかけては目立った出水がなく、特に2016年はすべて1000m³/s以下の出水であった。

流路変動過程を調べると、川幅が多少変化しても網状流路として分岐した状態のままピーク流量が1000m³/s以下の出水後にも、大きな流路変動が確認された。特に、図-5に示すように、Site02では、2015年12月の流路（透過させた赤色エリア）が左岸側の流れがメインであったのに対し、中小出水時を受けて上流側で右岸側流路へ流入するようになると徐々に右岸側の流路が発達した。また、そのような年間数回以上起こる中小出水を受け、網状流路の一部（透過させた黄色エリア）では明確な交互砂州が表れ、交互砂州が発達することによって流路が拡幅、横方向へ移動することが確認された。これに加え、図-6に示すように、Site01では1000m³/s以下の出水のみ

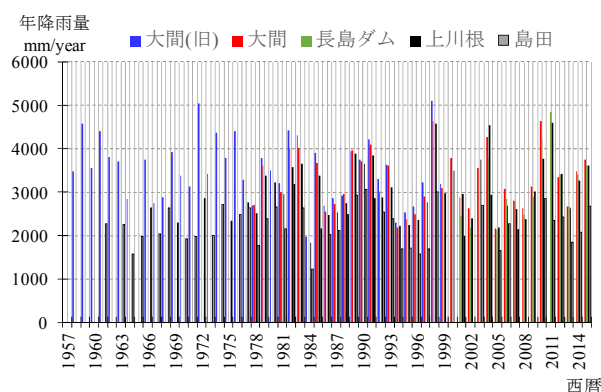


図-1 雨量データ（一部欠測）²⁾

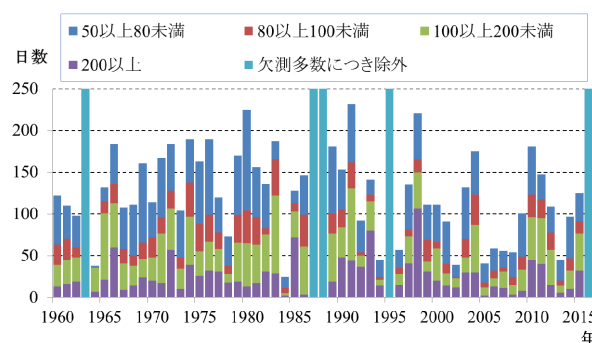


図-2 日流量から算出した各流量の年間日数（神座観測所）²⁾

表-1 流況の変化²⁾

	年最大流量	豊水	平水	低水	渇水	最小
1960-1989	2229.15	78.41	35.93	12.52	2.05	0.91
1990-2013	2663.09	72.19	29.13	13.28	5.97	4.60

表-2 大井川下流域における小セグメント区分²⁾

区間番号	1	2	3	4	5
区間(km)	-0.4~3.8	3.8~10.4	10.4~17.6	17.6~19.4	19.4~24.0
平均勾配	1/298	1/267	1/206	1/339	1/243
平均低水路幅(m)	850	650	780	440	410
平均粒径(mm)	26.42	23.46	26.2	24.52	29.42

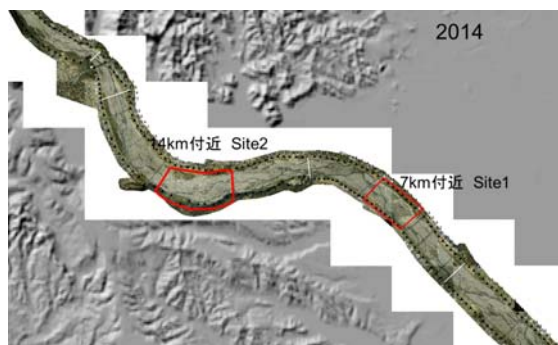


図-3 網状流路の様子 (2017/09/05)

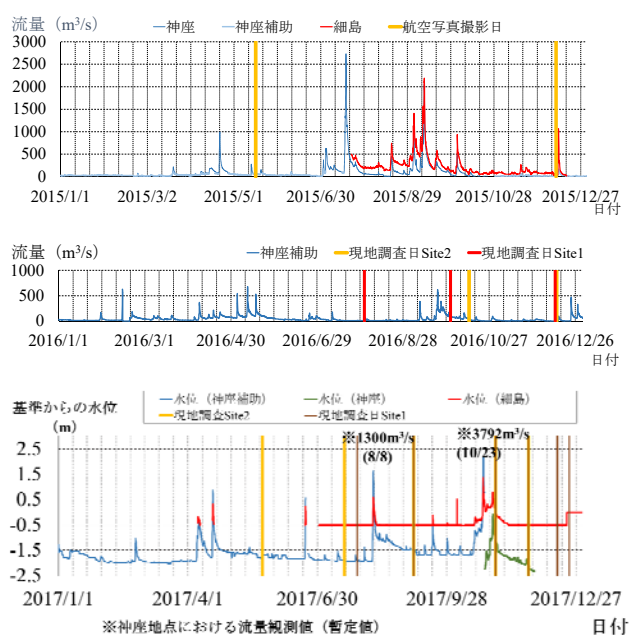


図-4 2015、2016年における流況（上・中図）と
2017年における水位変化状況（下図）（神座流量観測所）

となる2015/12から2017/10/02の期間に流路が集中し流路本数が減り、その後の2017/10/23の大出水を受け元の状態に回復する様子が見られた。

4. 流路変動と植生域拡大傾向

ここでは、天竜川と大井川の流路変動状況と植生域拡大について調べる。図-7から、両河川は以前、同様な網状流路であったこと、天竜川では樹林化が進んだことが分かる。ただし、近年、大井川でも樹木が多くなり樹林化が懸念されていることを踏まえ、GIS上で整理した航空写真の水域、植生域を把握し、それ以前に撮影された航空写真上の水域との重複状況を調べた水域残留率と、植生繁茂状況を1km区間の低水路内に限り調べて算出した植被率の変化を図-8～11に示す。これによると、以下のことがわかる。

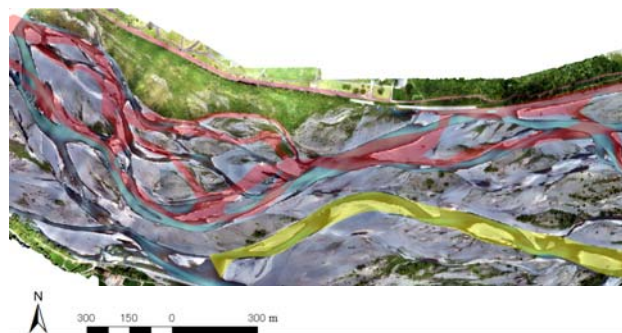


図-5 Site02における2017/09/05の状況

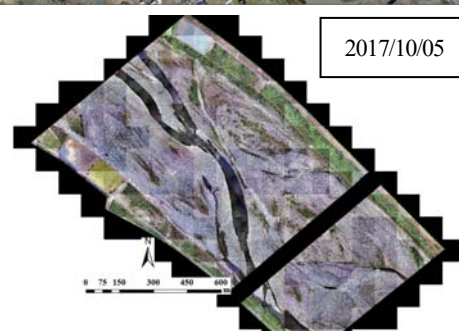


図-6 Site01の変動状況

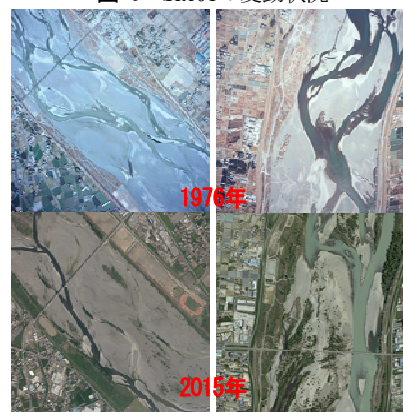


図-7 天竜川（右）と大井川（左）における
1976年から2015年にかけての河道の変化

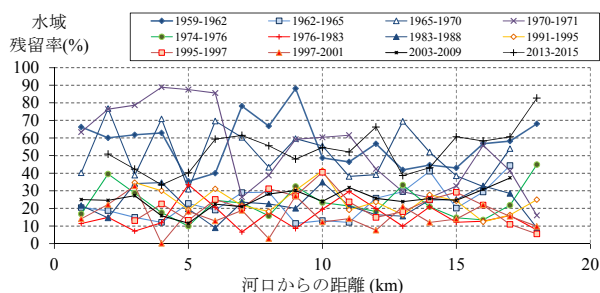


図-8 大井川（上図）における水域残留率の縦断変化

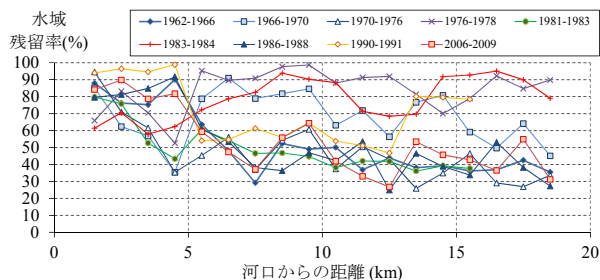


図-9 天竜川における水域残留率の縦断変化

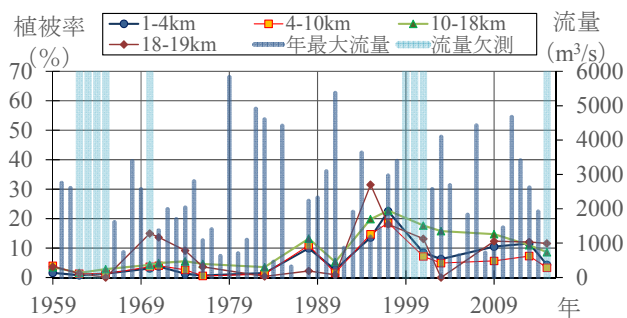


図-10 大井川における植被率の縦断変化

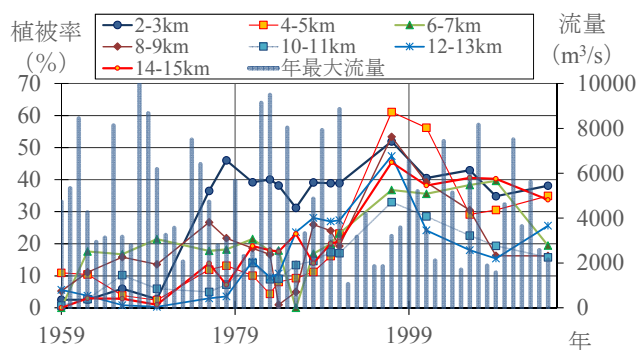


図-11 天竜川における植被率の縦断変化

・1960年代後半から1980年代に天竜川、大井川ともに水域残留率が算出区間全体で高い状況が見られた。ただし、それ以外の年で大井川が非常に低い値を示す一方、天竜川では50%程度の高い値を示す。特に、1980年代後半からはさらに下流側から上流に向けて増加が確認される。

・大井川において植被率が増加したタイミングで、天竜川では植被率が大幅に増加した。なお、もともとの植被率も天竜川の方が高い傾向にあった。

・天竜川では、水域残留率の増加から、少し遅れて植被率の増加が起きていた。

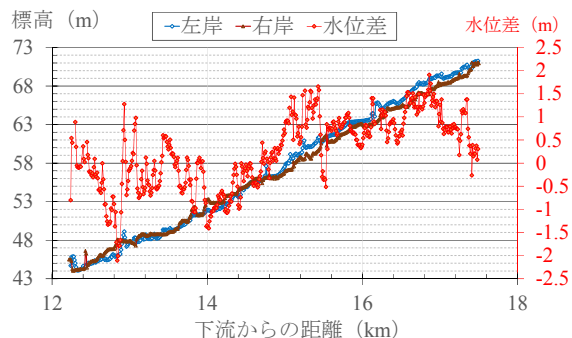
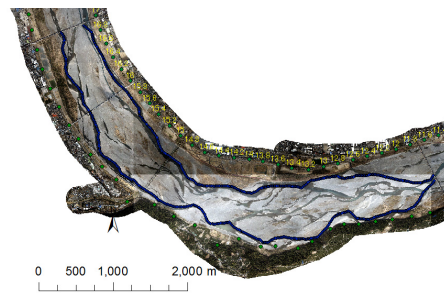


図-12 流路位置と水位差（14km付近）

なお、天竜川の河床勾配は1/500～1/1000に対し、大井川は1/250と急こう配である。さらに河床材料も含め河道条件が異なるため流路変動の起こりやすさ、植生域の拡大速度など両河川で差がある可能性がある。しかし、少なくとも流路変動が樹林化と深く関連していることは上述の両河川の比較から見えてくる。大井川では、一年で数回以上発生する規模の中小出水でも流路変動を起こしやすいが、ダム運用や気候変動による流況の変化によって流路変動状況が変化した場合、樹林化が進行する可能性が高く注意が必要となる。

5. 網状流路が創出する物理環境事例

ここでは、河川維持管理上の課題を意識しながら、網状流路が作り出す環境として、複数流路の存在、およびその中で起こる現象をまとめる。

(1) 網状流路を有する河道の水位・流量曲線

網状流路河道では一断面に複数本の流路が存在する。さらに低水路幅が広いことが重なり、平水時に左右岸の流路の水位に大きな差が現れる可能性が高い。そこで、国土交通省静岡河川事務所によって取得された2015年のLPデータから流路脇の河床高を各流路の水位として読み取る。結果として、図-12のような流路にそった水位変動状況が確認された。これによると、左右岸の流路における水位差は、湾曲部で2m程度、直線部では1m程度となることが分かった。

流量に対する水位差の変化を調べるため、名古屋大学で開発され著者が修正してきたNH2Dモデル³⁾を用いて検討した。その結果として各流量時の14km付近の断面の水位を図-13、14に示す。これより、流量が大きくなっても場所による水位差が解消されないと言える。

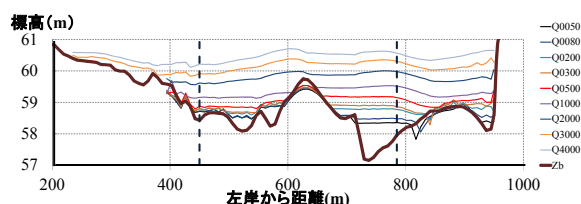


図-13 14.5km断面における各流量の水位 (計算値)

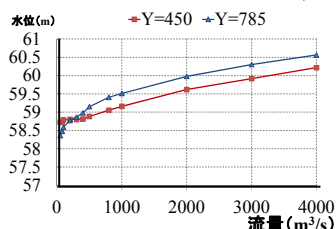


図-14 左岸からの距離Y=450m, 785mにおける流量-水位の関係 (14.5km断面)

(2) 河床材料粒度分布の平面的特徴

総合土砂管理計画策定に向けた検討では、粒度を細かく分けて流砂量を算定し河床変動解析を実施することが多い。ただし、実河川で流れている掃流砂量の把握は非常に難しく、精度の議論はできないなど課題が多い。その他の河川整備事業でも、最近では河床変動の検討に粒径別流砂量を用いることが多い。しかし、解析の初期条件として必要とされる粒度分布の条件、精度は詳細には行われていない。ここでは、3章で示した河床変動特性を踏まえ2017年に実施した各サイト2回ずつ実施された河床材料調査結果を整理する。そのデータを2015年に下流域で実施された粒度分布調査の区間平均値と比較しながら示すことで得られた特徴を記す。

- ・中小出水が続く、網状流路内での河床変動が活発に起きた交互砂州上では、平均的な粒度と比べると細かいものが多く存在する。また表層における河床材料粒度分布は場所的なばらつきが大きい。(図-15)

- ・大出水後の状況を見ると、流路際でなく比高の高い場所では、比較的平均的な粒度分布に近く、それに細粒分が加わった形を示す粒度分布が確認される。また、流路際の堆積域では細粒分が多い。一方、大出水時に洗堀を受けた領域では流路際であっても比較的粗い材料が多く確認された(図-16, 17)。

6. 網状流路を有する河道における維持管理上の課題解決に向けて必要な視点

(1) 網状流路を有する河道における断面内の水位差が及ぼす問題

大井川では、流路変動が激しく水面が確認できる地点が固定しないため水位流量観測所が欠測になることが多い。3章および5章で示したようにそもそも、流路変動が中小出水でも起こり、かつ流路によって水位が大きく異なる。そのため、水位観測を固定点のみで行うことは困難である。大井川では基準点観測所では同一断面内に補

助観測点を設けているが、これからも外れることがある。流路変動が激しいゆえに状況を抑えながら、かつ通常の河川とは異なる方法で水位観測を実施する必要がある。なお、上流部の河床変動により主流路が切り替わる可能性もあるため、注意深く流路の状態を把握しておく必要がある。問題解決には単に固定した水位計では把握しにくい。局所的なオルソ画像を用いた水域の把握と、状況に応じた地形計測と上部からの水位の把握など工夫しながら水位-流量観測を実施する必要があると考える。

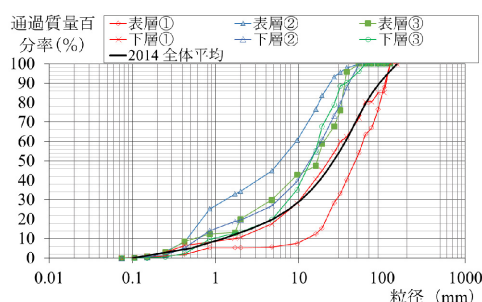
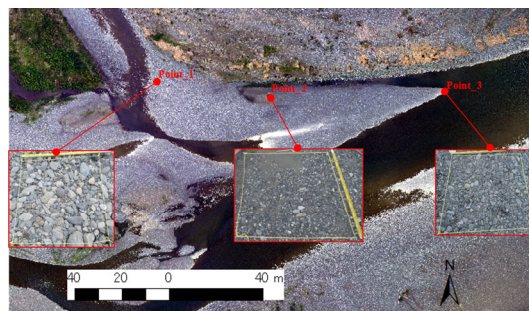


図-15 Site02における流路わきの粒度分布特性 (2017/07/19)

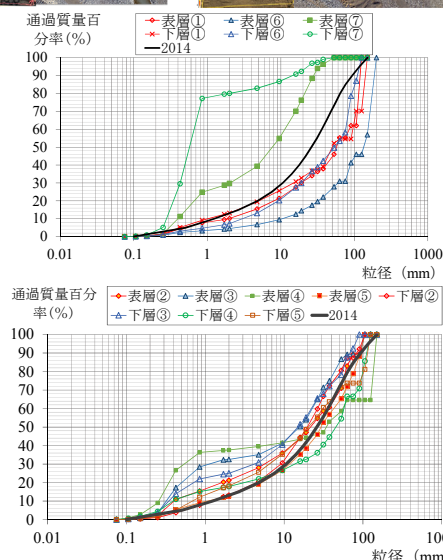
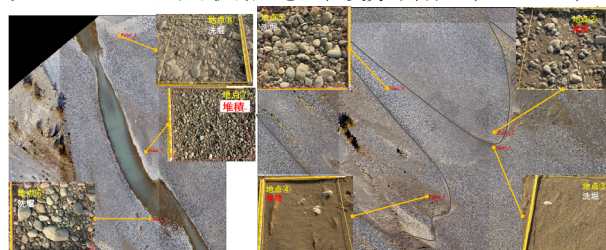
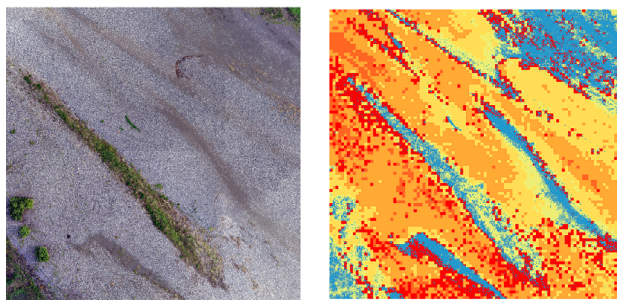


図-16 河床材料調査位置、表層状態(上部写真)と粒度分布(中図, 下図) (2017/12/22, 7km)



(オルソ画像)

(粒度解析結果)

図-17 表層粒度画像解析結果

青：細砂，赤：砂まじり礫，オレンジ：比較的粒度がそろった粒径（粗いほど濃いオレンジ）

また、近年では解析技術の進展や解析ツールのソフト化により、一次元や平面二次元流れの解析、混合粒径の河床変動解析が比較的簡単に使われている。しかし、大井川下流域では、同じ断面でも流路によって水位差が生じるために、一次元解析の適用性が低い流量が存在する。また、二次元解析も上流端境界条件として水位を一定とすると、各流路に入る流量が実際とは異なるため間違った解を導く可能性が高い。少なくとも現時点では解析の際に水位差がすくない断面を上流端境界とし、境界の影響を少なくするために広域での解析が必要になる。

(2) 樹林化抑制のための指標作成の重要性

4章で述べたように、流路変動状況と植被率は大きく関連する。そのため、治水上問題となる粗度の増加や河積阻害につながる樹林化について流路変動状況を監視しながら対策を実施する必要がある。

現在、大井川下流部では狭窄部周辺と河口域で局所的に樹林化が著しい領域が確認されている。あわせて出水前後の調査で側方浸食が樹木の消失に重要な要素となることが分かっている。今後、局所的な樹林化領域がどのように変化するのか、どの程度の領域なら樹林化領域に流路変動が影響を与えうるかを調査し、状況の把握方法と対策が必要となる状況を検討しておく必要がある。

(3) 総合土砂管理に向けて重要な視点

ここでは、混合粒径を用いた河床変動解析の現状について考える。現在、様々な検討に詳細な解析が実施されているが、初期粒度条件には、未だ1kmピッチで10年程度の周期で取得されたものを用いており、精度はない。また、河床変動解析では上流端からの供給粒度が支配的になるため、場合によっては上流端条件の応答を事前に調べておく必要がある。5章で示したように、中小出水時の流路内を流れる材料は区間全体を平均した河床材料より比較的細かいことなどが分かっており、粒度分布を考慮した解析にはこれまでの技術を単に用いるだけでなく精度向上に向けた検討が必要となる。なお、大井川では、総合土砂管理計画策定に向け動いており、現在は解析範囲の広大さから一次元解析を用いている。しかし、将来的に精度を上げていくためには網状流路における解

析の在り方を今一度検討する必要がある。

まず、粒度条件として、現在多数の研究者が検討している⁴⁾ように、画像解析を用いて表層の粒度環境を把握する試みが始まっている。画像解析では表層粒度のみの把握だが、現地踏査と合わせることで現在より河床材料粒度分布情報が蓄積される可能性がある。著者も、詳細画像を用いた輪郭解析や、輝度の標準偏差を用いた解析による粒度分布の把握方法を検討している。例えば、解像度を変化させた画像や統計領域を変化させ、標準偏差解析を実施することで、細粒分の分布を図-16の青色エリアのように把握することや赤色のような細砂混じり礫領域の把握も可能になる。ただし、把握できる精度に限界がある。今後は、河床変動解析を実施するうえで求められる粒度分布の程度、質と精度を確認しながら、新技術の利用について検討していく必要がある。

7. おわりに

本論文では、大井川の変動状況を調べた研究成果を述べるとともに、それらの結果を踏まえ河道の維持管理を考える際の課題と課題解決に必要な視点を整理した。近年の高度化した様々な観測技術によって各河川の河床変動特性を把握すれば、より多くの特徴が分かる。これまでは、流路変動や河床変動は認識されつつも維持管理に生かすことはなかった。しかし、現在は詳細を把握するツール、解析手法が存在するため、現象を踏まえ、把握すべき項目および必要な精度、対策等を検討し、河道の維持管理の高度化につなげていく必要がある。

謝辞：本論文の一部は、国土交通省河川砂防技術開発公募地域課題研究分野平成28年度採択研究課題「“多列砂州河道の特徴を踏まえた河道維持管理”に向けた検討」

(代表者・溝口敦子)の一環として実施された。実施に当たり、同省中部地方整備局静岡河川事務所および島田出張所の多大な支援があった。また、現地調査では西浩輝氏、岩佐直哉氏をはじめとする平成29年度名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科溝口研究室の学生の協力を得た。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 高橋 保，江頭進治，里深好文ほか：網状流路の形成過程に関する研究，京都大学防災研究所年報 (36B-2)，p451-464，1993。
- 2) 溝口敦子，赤堀良介：多列砂州を有する大井川の河床変動特性と流量時系列の変化が河床変動へ及ぼす影響，河川技術論文集，Vol. 23，土木学会，pp.537-542，2017。
- 3) A. Pomprommin, A. Teramoto, N. Izumi, T. Kitamura, T. Tsujimoto : Numerical simulation of bar formation in straight channels by the NHSED2D model, *J. Applied Mech.*, JSCE, pp. 629-938, 2002.
- 4) 寺田康人，藤田一郎，浅見佳世：UAVによる撮影画像を用いた洪水前後の砂州上粒度分布の計測，土木学会論文集B1 (水工学)，Vol.71，No.4，I_919-I_924，2015。

(2018. 4. 3受付)