

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04362

研究課題名（和文）複列砂州河川の河相変質とその自律的回復を促す河道管理技術の構築

研究課題名（英文）Study on the development process of a single meandering channel in double-low bars and its contribution to river management

研究代表者

清水 義彦（Shimizu, Yoshihiko）

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：70178995

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、複列砂州河川の河相変質を生む要因とその機構解明を目的として、とくに、複列砂州河道での河岸被災をもたらす単列蛇行化現象に着目して検討した。その結果、複列砂州の河岸砂州の一方が拡大し、中央砂州と一体化することで平面形状の非対称性が生じ、単列化が進むことを明らかにした。また、単列化が顕著に進む外部条件として、土砂供給の影響と植生の侵入による影響を抽出した。前者は河岸侵食による供給土砂による流路が堆積傾向になることで、後者が砂州の樹林化が砂州・低水路の固定化を生むことで単列化が促進される。こうした知見のもとに複列砂州河道の河道管理について有用な知見を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複列砂州を伴う河道では、洪水時の流路変動が活発で川の自律的な変化が維持できる河道とされている。しかしながら、近年こうした河道特性が崩れ、砂州の固定化と河道内樹林化、単列蛇行流形成がもたらす水衝部固定など、河道のダイナミズムが消失している。こうした傾向は複列砂州維持の自律性を崩し、非可逆的な単列化傾向となって河道の二極化を生むことから治水的にも河川環境的にも好ましくなく、複列砂州の維持・自律的回復の手立てが喫緊の河道管理の課題である。本研究は、複列砂州河川の河相変質を生む要因とその機構についての理解を進め、単列化を強調する条件を明らかにして河道管理について有用な知見を提示するものである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to elucidate the factors that cause the degeneration of double-row bar bed rivers and its mechanism. We focused on appearance of a single meandering channel that often causes riverbank erosion. As a result, it was clarified that one of the riverbank sandbars in the double-row sandbar expanded and integrated with the central sandbar, resulting in asymmetry of the planar shape and the progress of single meandering channel formation. In addition, the effects of bank erosion and of vegetation invasion were extracted as external conditions to cause remarkable development of a single meandering channel. In the former case, bed aggradation due to the lateral supply of sediment and in the latter case, the forestation of sandbars which causes the fixation of sandbars, both are important roles to promote a single meandering channel. Based on these results, we presented useful findings on the river channel management in the double-row sandbar channel.

研究分野：水工学 河川工学

キーワード：複列砂州 低水路蛇行 単列化 水衝部 河岸侵食 河道内樹林化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

複列砂州河道は河道中央部の流れの集中と両河岸に向かう流れの分散と言った流路平面形の対称性が特徴であるが、川幅・水深比の大きな水理条件が複列砂州の形成条件となるために流路横断方向の変動の自由度が上がり、その対称性は崩れやすいものと考えられる。しかしながら、洪水により非対称的な流路平面形が一時的に生じて、その後の洪水を経験することで複列砂州河道への自律的な回復が見られることが実際にあるし、一方で、流路平面形の非対称性が進み、顕著な単列蛇行形状になると（本研究ではこれを単列化とよぶ）、もはや複列砂州に回復できないことも実際には生じている。こうした複列砂州の可逆的、非可逆的な変化を引き起こす要因とメカニズムについて現在の移動床水理学では十分な理解を得てはいない。単列化が生じると、砂州・低水路の比高が大きくなり、砂州の固定化と砂州上の樹木繁茂を引き起こして安定域が拡大する一方、低水路幅は狭まり溝型となって、ここに洪水流量が集中、洪水営力の強度が増大して治水上の問題を生むことが予想される。こうした特徴は河道の二極化と言われ、これが今日の多くの複列砂州で見られる河相変質となっている。本研究では、複列砂州の可逆的、非可逆的な形態変化は複列砂州がもつ固有で本質的な流路変動であるとの考えから、その機構解明なくしては複列砂州河道の有効な管理技術の構築はできないものと考えた。

2. 研究の目的

本研究は、複列砂州河川の河相変質を生む要因とその機構解明を目的とする。とくに、複列砂州河道での河岸被災をもたらす単列蛇行化現象に着目し（単列化）、複列砂州に内在する単列砂州モードの卓越化現象と、河床条件（例えば流路横断面内の比高差や上流側土砂供給の減少に依存した縦断方向河床低下の度合い）、河岸条件（例えば侵食性河岸と護岸設置による非侵食性河岸のちがひ）、そして砂州への植生の侵入等の、これら外部条件が砂州の単列化に及ぼす影響を解明する。そして、その理解のもとに、砂州・低水路の河床河岸管理から複列砂州河道の河道管理技術の基礎となる知見を提示する。

3. 研究の方法

本研究は、まず、複列砂州河川の河相変質を生む要因とその機構について、検討対象河川からその変質を探り、単列化を促す外部条件の推論のもとに移動床水理実験と河岸侵食、植生動態を取り込んだ河床変動解析からその機構解明を目的とする。そして、その理解のもとに、砂州・低水路の河床河岸管理から複列砂州河道の河道管理の基礎となる知見を提示する。

4. 研究成果

(1) 移動床水理実験および数値解析の概要

① 水理実験の概要

実験には、縦断長 14m、水路勾配 1/100、全幅 2m の直線水路を使用した。実験水路全体にわたり、水路中央に一定幅、一定高さの低水路を成形し（河岸侵食をさせない場合は固定壁を設置）、これを初期河床とし、河床材料には 4 号珪砂（60% 粒径 0.60mm、標準偏差 0.02mm）を使用した。流量条件は複列砂州形成からその変形過程を観察することを主眼とした場合は一定流量で、その後、洪水低減期における状況を見る場合は流量を減少させて行った。この場合、低水路幅 1.0m 低水路河岸高さ 0.03m として、低水路満杯として流量 4L/s を 100 分間通水し、その後流量を下げ 2L/s を 30 分間通水した。4L/s は、黒木らの砂州形成領域区分（図-1）によると複列砂州領域にある。下流端条件は一定水深（等流水深）とし、上流からの給砂はなしとした。なお、移動床実験では同一水理条件における実験を複数回行ってその流路形成過程を検討した。

② 数値解析の概要

流れの基礎式は平面 2 次元流解析とし、流れの境界条件として上流端で実験と同様の流量を与え、下流端には一定水深を設定した。流砂量は、掃流砂のみとし、掃流砂量式には流下方向に芦田・道上式、流下方向に直行する方向に長谷川式を用い、実験と同様に上流端からの供給土砂をなしとした。また、関根の斜面崩落モデルによる河岸侵食を取り込んだモデルとし、安息角を 20° とした。また、砂州を発生させるトリガーとして、初期河床のみにランダムに粒径の 3 倍程度以下の凹凸をつけることで微小擾乱を与えた。

(2) 複列砂州の変形による単列蛇行流の形成

実験では始めに複列砂州を形成させ、その後の変形過程を調べた。図-2 において、通水時間 30 分において明瞭な複列砂州が形成された（①は上空から、②は下流から上流に向かって撮影した写真）。ただし、①を見ると、写真中央の右岸砂州が左岸砂州に比べて拡大しており、平面

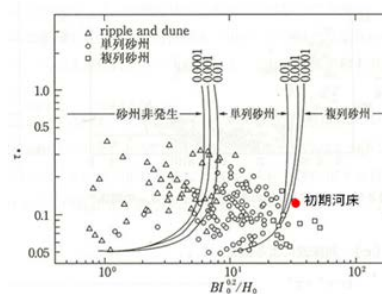


図-1 砂州形成領域区分図

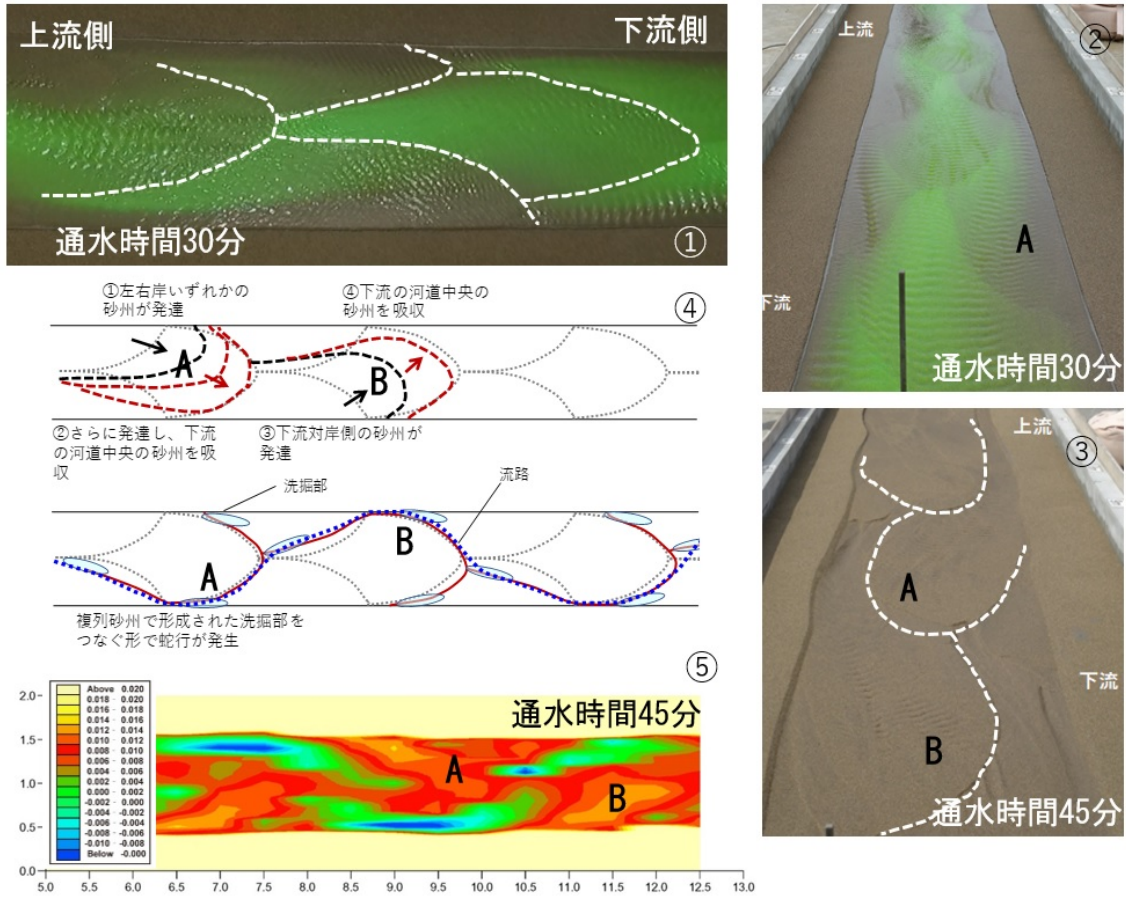


図-2 複列砂州の変形による単列化の形成過程

(①, ② : 通水 30 分, ③ : 通水 45 分での写真, ④ 変形過程の模式図, ⑤ は 45 分の河床形状)

形状の非対称性が現れ始めている。③は通水時間 45 分の状況であり、河岸砂州 A, B の対岸側への張り出し傾向が認められた。複列砂州の変形過程を観察した模式図を④に示す。まず、何らかの要因で複列砂州の河岸砂州の一方が拡大し、対岸側へ張り出していく(④)。この時点では複列砂州の中央砂州も存在するが、その後、河岸砂州の対岸での張り出しの際に中央砂州もその砂州の一部として取り込まれ、中央砂州は次第に不明瞭になって行く。河岸砂州の対岸への張り出しにより、対岸河岸に深掘れ部が形成される。そしてこの深掘れ部をつなぐように単列の蛇行流路が形成される。45 分での河床形状が⑤となり、この図からも単列蛇行流路の形成が明瞭に読み取れる。すなわち、複列砂州に見られる 2 本の蛇行流路が 1 本に集約される単列化は一定流量の通水における複列砂州の変形過程として捉えることができる(流量の非定常性によるものではない)。

(3) 土砂供給の影響が流路形成に及ぼす影響に関する考察

近年の河道特性変化を生む要因として、上流側からの土砂供給の減少とそれに伴う河床低下傾向が挙げられる。複列砂州河道が見られる鬼怒川セグメント 1 区間においてもそうした傾向が顕著である。実験でも上流側からの給砂なしの条件で行っており、土砂供給の条件が複列砂州の変形の外部条件になり得るか検討した。ここでは、(2)の検討と同様な条件のもとに実験した。

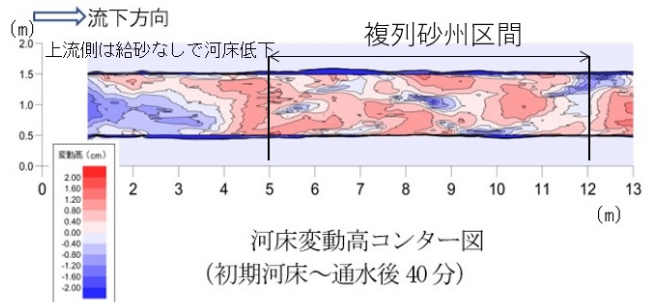


図-3 複列砂州形成時の河床高コンター(実験値)

図-3 は、実験による複列砂州形成時の河床変動高のコンター図である。水路上流端では給砂していないため、河床低下(コンターで青色)が顕著に生じている。しかしながら、水路 5m より下流側では複列砂州の形成が認められる。図-4 は各々の経過時間前後の河床変動のコンター図で、水路 A-B 区間で 20 分経過後では複列砂州の形成が見られ、40 分後にはその発達が見られる。そして 100 分後には A-B 区間で交互の河岸砂州の形成(コンターで赤色)から複列砂州の単列化、それに伴う顕著な河岸侵食の発生が確認された。なお、区間 A-B の上流側 C-A では新たな複列砂州の形成もされた。こうした一連の過程を数値解析から検討した。図-5 は河床変動と流速値のコンターを示したもので、上流側河床低下区間を除けば、通水 30 分では複列砂州の形

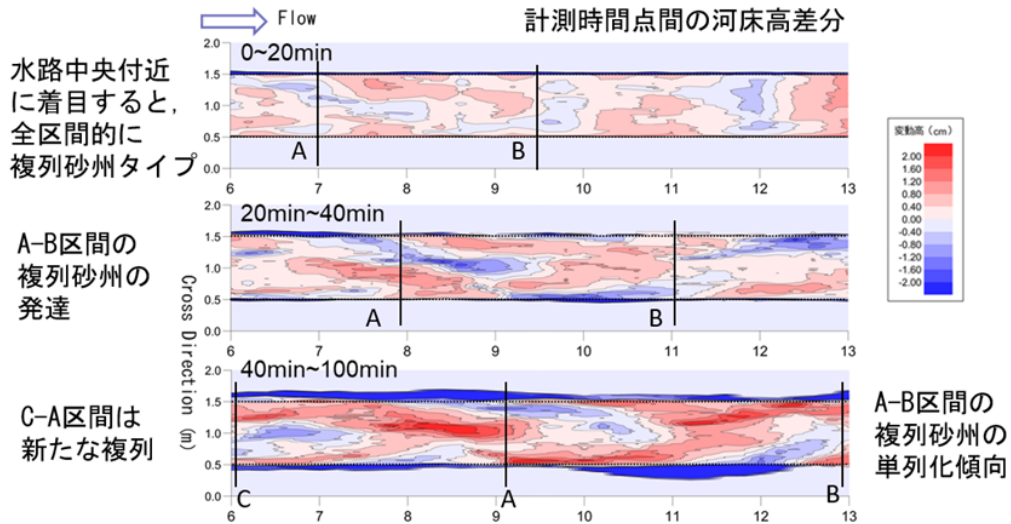


図-4 複列砂州形成から単列化と河岸侵食の発生過程 (実験による河床高差分のコンター)

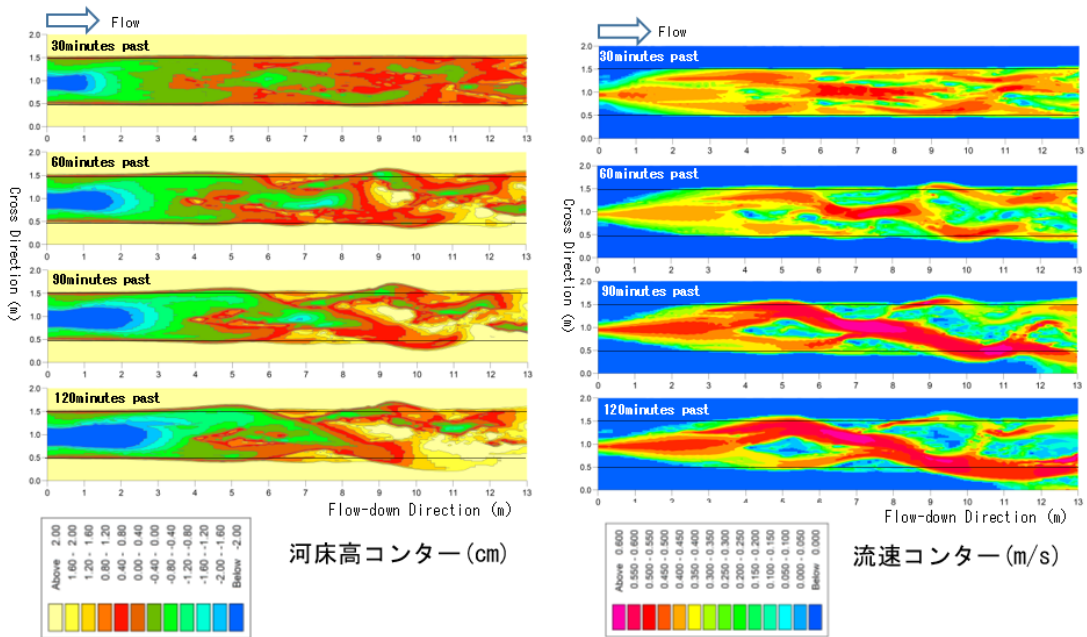


図-5 数値計算による河床高コンターと流速コンター図 (上流側の給砂なし)

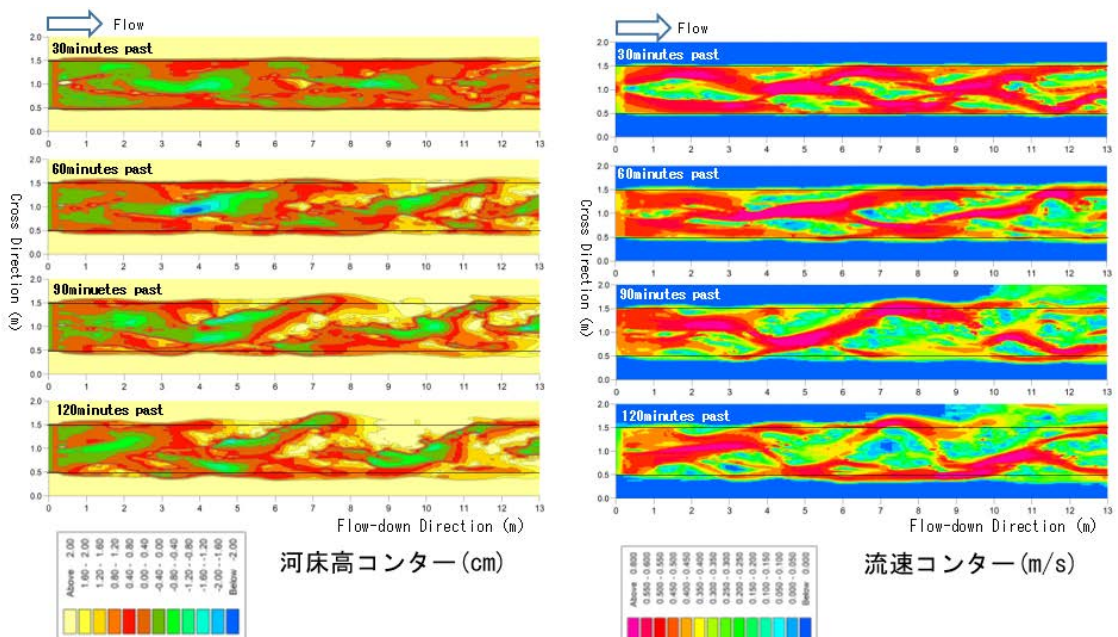


図-6 数値計算による河床高コンターと流速コンター図 (上流側の給砂あり)

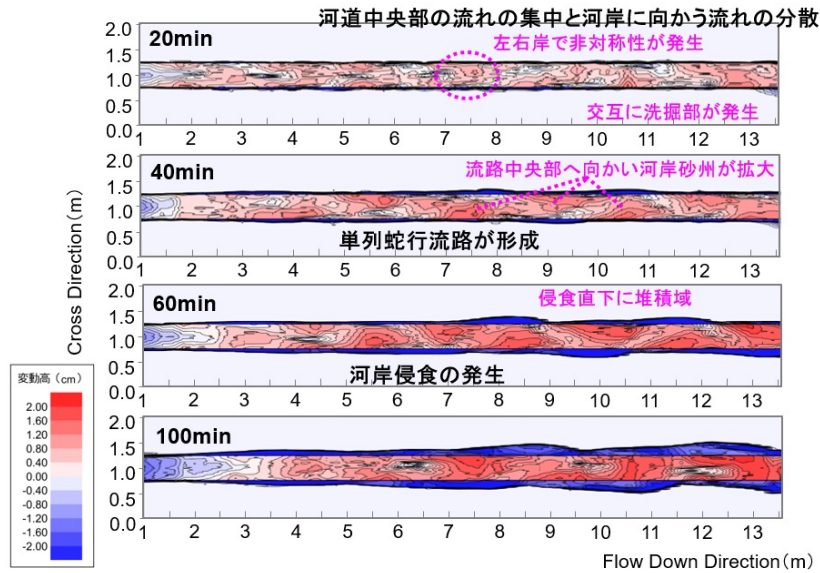


図-7 低水路幅 0.5m とした複列砂州の変形に伴う河床変動コンター図 (実験)

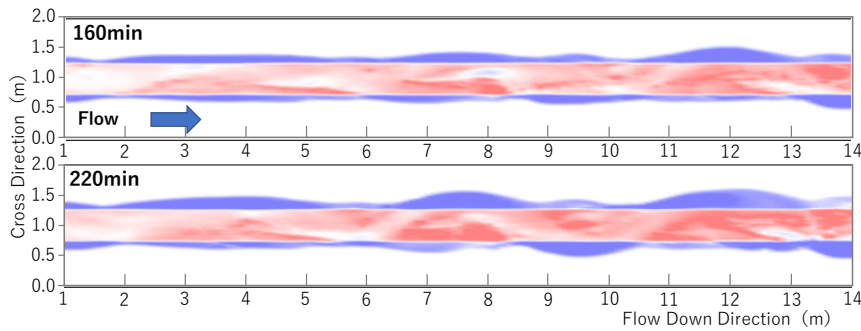


図-8 低水路幅 0.5m とした複列砂州の変形に伴う河床変動コンター図 (数値計算)

成が見られ、その後、水路中央部の深掘れを挟む両河岸砂州の片側、左岸砂州の下流への流下、拡大(対岸への張り出し)から単列化蛇行が形成される過程が見られる。120分では蛇行波長の長い単列蛇行流路の形成が認められる。実験では行っていないが、上流側からの給砂(平衡流砂)を行った数値計算結果を図-6に示す。同様に、30分後には複列砂州が水路全体で形成され、60分では水路7m-8m付近の中央砂州が90分ではその上流の右岸砂州の流下に伴い一体化したものと考えられ、単列蛇行流路が形成されている。ただし、図-6の120分では7-8m左岸の大きな河岸侵食によって発生した供給土砂がその下流左岸砂州の比高を上げ、その結果、図-5に比べると蛇行波長の短い流路の形成が確認された。以上から単列化は土砂供給の有り無しに関わらず発生するが、給砂なしの場合、河床低下傾向が無くなった下流から複列砂州の変形過程として生じている。

(4) 河岸侵食と植生が流路形成過程に及ぼす影響に関する考察

ここでは河岸侵食の影響を見るために、低水路幅 0.5mとして側岸供給土砂の影響を顕著にすることでその影響を調べた。実験結果の河床変動コンター(図-7)より、通水20分後に複列砂州が形成され、40分では片側砂州の拡大に伴う単列化がこれまでの実験同様に生じている。単列蛇行による河岸侵食が進む60分では河岸侵食発生箇所の下流側に砂州が形成されることで単列化の流下方向への周期性がますます増し、また、河岸砂州の流下に依りて河岸侵食域も下流に広がる。実験の再現計算を試みたものが図-9であり、同様な流路変動特性が計算からも確認できる。ただし、計算結果の時系列を見ると、160分で流下距離12mの左岸洗掘部は220分では上流側にも拡大し、流路変動としては上流側に伝播するような傾向が見られたが、これについては今後の課題としたい。なお、植生の侵入による影響を考慮した河床変動計算を行った結果、河岸砂州の樹林化により砂州の固定化が生じた河岸侵食の大きく生じた蛇行振幅の大きな単列蛇行流路の形成が見られた。

(5) まとめ

複列砂州のもつ平面形状の対称性の崩れから単列化が生じることが明らかになった。これは複列砂州固有の不安定性に起因するものと考えられる。一方、河岸侵食、植生の効果はこの単列化を強める傾向をもたらすことが求められた。こうした知見は複列砂州河道の河道管理の視点として有用なものであると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 加藤千恵・清水義彦・岩見収二・大西史哲・加藤翔吾・村越重紀	4. 巻 74
2. 論文標題 複列砂州の単列蛇行流路形成に及ぼす土砂供給の影響に関する考察	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 I_997-I_1002
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 加藤千恵, 岩見収二, 清水 義彦	4. 巻 76
2. 論文標題 砂州河道における単列蛇行流路形成に及ぼす 河岸侵食と植生の影響に関する考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 I_1201-I_1206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加藤千恵
2. 発表標題 複列砂州の単列蛇行流路形成に及ぼす土砂供給の影響に関する考察
3. 学会等名 土木学会水工学講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小菅 文也
2. 発表標題 複列砂州の形成過程に関する水理実験
3. 学会等名 第46回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠見 幸大
2. 発表標題 河岸侵食による複列砂州の変形過程に関する水理実験
3. 学会等名 第46回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤千恵
2. 発表標題 砂州河道における単列蛇行流路形成に及ぼす 河岸侵食と植生の影響に関する考察
3. 学会等名 土木学会水工学講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	加藤 千恵 (Kato Chie)		
研究協力者	岩見 収二 (Iwami Shuji)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------