

音更川における洪水波形の違いが及ぼす中規模河床波の形成と蛇行流路の発達への影響

桑村 貴志¹・渡邊 康玄²・米元 光明³・坂井 純⁴

¹正会員 北海道開発局 帯広開発建設部 治水課 (〒080-8585 北海道帯広市西4条南8丁目)
(現 北海道開発局 札幌開発建設部 千歳川河川事務所)

E-mail:kuwamura-t22aa@mlit.go.jp

²正会員 北見工業大学 工学部 社会環境工学領域 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)

E-mail:y-watanb@mail.kitami-it.ac.jp

³非会員 北海道開発局 帯広開発建設部 治水課 (〒080-8585 北海道帯広市西4条南8丁目)

E-mail:yonemoto-m22aa@mlit.go.jp

⁴非会員 株式会社ドーコン 河川部 (〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)

E-mail:js1652@docon.jp

北海道東部の音更川では、平成23年9月および平成28年9月の出水において堤防の流出や大規模な河岸浸食が生じた。洪水後の調査により大規模な河岸浸食の多くは蛇行流路の発達によるものと推定され、蛇行流路の発達には砂州と呼ばれる中規模河床波の形成が大きく関わっているものと考えられるものの、実河川における出水時の中規模河床波の形成過程に関する知見はその複雑性ゆえに未だ十分ではない。

よって本研究では、音更川の既往の4つの主要出水を対象として非定常流下における線形安定解析を適用し、出水中における単列砂州と複列砂州の増幅率の関係から中規模河床波の発達特性を示したほか、蛇行流路の発達は中規模河床波の形態に大きく影響を受けていることを示した。

Key Words: meandering channel, sand bars, bar formation, unsteady flow, stability analysis

1. はじめに

北海道東部の急流河川である十勝川水系音更川では、平成23年9月の豪雨により各所で大規模な河岸浸食が生じ、その中流部では堤防の一部が流出する被害が発生した。その後の調査によって、河岸浸食を伴う蛇行流路の発達が堤防にまで達して生じたことが堤防流出の直接的な原因であることが明らかになり、北海道開発局は河岸浸食対策の計画立案を行っている¹⁾。この計画は、図-1に示すように、蛇行形状の横断方向の発達または蛇行流路の位相が下流側へずれていく過程で河岸浸食が多く発生していることに着目し、今後の蛇行発達による河岸浸食範囲を出水前後の蛇行流路の波長と振幅の増加量および下流方向への蛇行の位相のずれの計測値から推定し、護岸の配置計画を策定したものである。

その後、本計画に基づき対策を進めてきたところであったが、その整備途上であった平成28年9月に平成23年9月出水を大きく上回る出水が発生し、対策の未完箇所等において大規模な河岸浸食が発生した。この出水の原因分析を行った山口ら²⁾は、河道区間における土砂動

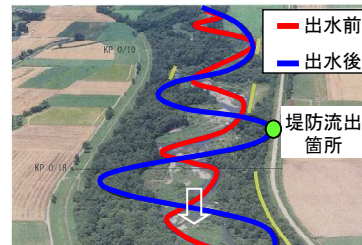


図-1 平成23年9月出水前後の蛇行流路の変化

態と流路変動の関係から、平成23年9月出水とは原因が異なり出水中に急激に拡大した堆積域(砂州)によって流路の湾曲が誘発されて河岸浸食が大規模化したものと指摘している。音更川の河岸浸食対策は、平成23年9月出水の砂州に起因する蛇行流路の変化量を過去の実績を基に推定した結果を用いて立案を行っているが、出水時の流量や河道条件によって砂州の形成や蛇行流路の発達に違いが生じる可能性があることから、平成28年9月出水を含めた複数の出水を対象として、音更川の蛇行発達の特性を水理的に検証しておく必要がある。

蛇行流路の形成機構の先駆的な研究として、木下³⁾が河道内に形成される交互砂州によって河岸浸食を伴う流

水の蛇行が生じ蛇行流路が形成されることを指摘しているほか、Blondeaux&Seminara⁴⁾が河道の平面不安定により蛇行が形成されるとの観点から安定解析手法を用いて蛇行の発達過程を論じ、池田ら⁵⁾が蛇行発達における卓越波長や位相速度についての見解を示している。その後、渡邊・桑村⁶⁾が砂州形成実験と安定解析により複列砂州からモード減少が生じ単列砂州へ移行する変化過程に対して増幅率が大きく寄与することを示し、島田・清水ら⁷⁾が側岸浸食を伴う安定解析を行い波長の短い交互砂州から長い波長を持つ平面不安定蛇行への移行を理論的に示した。また、流路変動の数値予測としては、清水ら⁸⁾、竹林ら⁹⁾の系統的な研究が進められているほか、山口ら¹⁰⁾は、実河川スケールの直線水路を対象として砂州性蛇行流路の変動の特性を論じている。

これらの研究結果から、砂州と称される中規模河床波は蛇行流路の発達に大きな影響を及ぼしていることが明らかであるが、実際の同一の河川において出水時の水理条件や流路形状がその後の蛇行発達に与える影響についての研究事例は少なく、現象の理解や検証が十分であるとはいえない。そこで本研究では、対象を音更川に限定し、この河川で生じた4つの主要出水の洪水波形の違いが及ぼす中規模河床波の形成と蛇行流路の発達への影響を明らかにするため、時間的に水深が変化する効果を取り入れた渡邊ら¹¹⁾の砂州の安定解析手法を用いて考察を行うものである。

2. 各出水における蛇行流路形状の変化

音更川は一級水系十勝川の支川であり、上流の山間部を縫流した後、狭隘な谷底平野を1/130~1/200の急勾配で流下する礫床の急流河川である。一般に、このような急流河川では砂州が発達しやすく、砂州の形成が蛇行流路の発達に大きく影響していると考えられる。

音更川における既往第1位から第4位となる出水は、本研究の契機となった平成23年出水と平成28年出水のほか、昭和56年出水と平成15年出水である。これらのうち平成23年出水ではKP18.2左岸で約150m、平成28年出水ではKP21.2左岸で約230mの堤防決壊が発生しているなど大きな流路変動が見られた。これら4つの出水は、洪水波形、出水時の河岸浸食状況、蛇行流路形状等に違いが見られることから比較検討の対象として適しており、各出水における流量、流路の状況、蛇行形状の特徴について以下に述べる。

音更水位流量観測所(KP 9.1)における各出水の流量ハイドログラフを図-2に示す。平成28年出水が最もピーク流量が大きく、他の3出水のピーク流量は同程度の規模である。また、平成15年出水は流量変化が急であり他の出水に比べると総流出量が少ないという特徴がある。

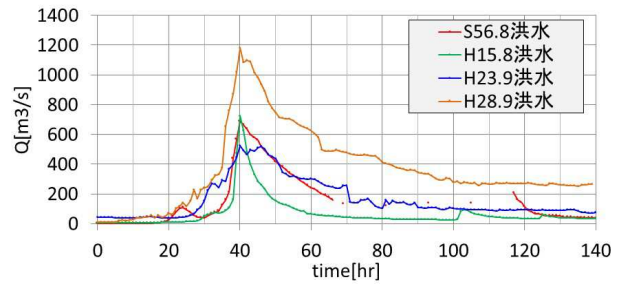


図-2 4つの主要出水の流量ハイドログラフ (音更地点)

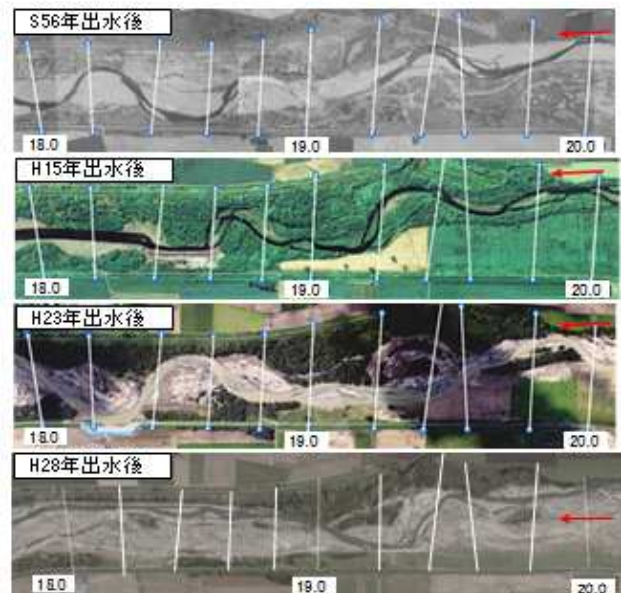


図-3 4つの主要出水における出水発生後の流路の状況

図-3は、各出水の出水発生後に撮影された中流部(KP 18~20)の航空写真である。出水前に撮影された航空写真¹⁾との比較による流路変動の特徴を述べる。

昭和56年出水は、出水前の低水路が河道掘削によって直線水路となっており、出水後の写真からは低水河岸における大規模な浸食は確認できないが、低水路内に大きく蛇行する1本の流路が出現している。平成15年出水は、出水前後で流路形状に大きな変化はなく、河岸浸食の発生規模は4つの出水の中で最も小さい。平成23年出水は、河岸浸食を伴いながら蛇行が発達し、蛇行流路の振幅と波長が増大している。また、出水後の写真からは、大きく蛇行した主流路のほか、複数の流路や流路跡が見られる。平成28年出水は、大規模な河岸浸食が生じているが、流路の蛇行は左右の堤防間の河道内に収まっている。また、出水後の流路は低水護岸に沿って流下する直線状の流路や蛇行した流路が見られるほか、複列もしくは網状の流路跡が全体的に残っている。

直轄管理区間(KP0.6~30.2)を対象として、主流路の全蛇行箇所を蛇行振幅を計測し、出水前後の蛇行振幅の違いを頻度図で示したものが図-4である。蛇行振幅は、岡田・福岡の研究¹²⁾を参考に蛇行流路の中心線がSine-generated curveで近似できるとしたうえで、全蛇行箇所

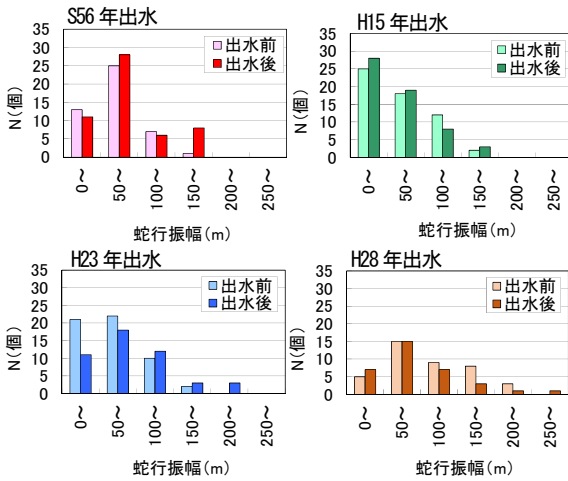


図-4 出水前後の蛇行振幅の頻度図

蛇行形状の振幅を計測している。昭和 56 年出水は出水前には 100m 未満の振幅のみであったが出水後には 150m 以上の振幅が多数出現した。平成 15 年出水は出水前後で大きな変化はない。平成 23 年出水は出水後に 100m 未満の振幅箇所数が減少した反面、100m 以上の振幅は 12 箇所から 18 箇所に増加した。平成 28 年出水は 250m 以上の大規模な振幅箇所が出現しているが、100m 以上の振幅の総数は 20 箇所から 12 箇所に減少している。昭和 56 年、平成 23 年、平成 28 年の各出水は蛇行が発達したという共通点を持つものの、出水後の流路形状は昭和 56 年は明瞭な単列蛇行流路であることに對し、平成 23 年と平成 28 年出水では単列の蛇行流路のほか複列あるいは網状の流路が見られたという違いがある。

3. 蛇行流路の発達過程の分析

平成 23 年出水後の調査¹⁾では、音更川の出水時における蛇行発達の大きさは、ピーク流量の大小だけではなく、出水前の流路形状の蛇行度や洪水継続時間を含めた洪水波形も大きな要因であると推察している。しかしながら、今後のより効率的な河川管理のためには、実際の出水時の水理条件や河道条件の違いがどのように蛇行特性に影響を与えているかについて更に水理学的な考察と検証を行う必要があり、洪水波形を考慮した渡邊ら¹¹⁾の安定解析を用いて、4 つの主要出水を対象に比較検討を行うことで蛇行流路の発達特性を明らかにする。

線形安定解析手法は、河床に微小な振幅をもつ攪乱を与え、その増幅率を比較することで卓越する河床波を求めるものであり、非線形である実現現象や出水時の川幅の時間的な変化を十分に表現できない部分があり、厳密にはこれらを考慮した解析が必要となる。このように、渡邊ら¹¹⁾の洪水波形を考慮した中規模河床波の線形安定解析を音更川の過去の 4 出水に適用させることは、大胆な仮定を設けることになるが、この仮定の存在を踏まえて、

低水路内の砂州の発達に伴う蛇行流路への影響の概略の把握を試みた。

(1) 線形安定解析の概要¹¹⁾

渡邊らの手法は、直線水路における拡散項を省略した 2 次元浅水流式と連続の式および掃流砂を対象とした流砂連続式の線形化を行い、河床波に関する微小攪乱を摂動量として与え、微小攪乱が増幅するか減衰するかを示す増幅率を求め、ある水理条件下において最も増幅しようとする河床振幅の形態を求めるものである。

非定常流下の河床高の摂動量の振幅の時間変化 $\hat{\eta}_1$ は (1) 式で表される。式中の指数部は、摂動量が時間的にどのように変化していくかを表すものである。

$$\hat{\eta}_1 = \zeta \exp \left[\int_0^t G dt' \right] \quad (1)$$

ここで G : 摂動量の増幅率 $G(\bar{d}_{s0}, \bar{\beta}_0, \bar{\nu}_0, D_0, \lambda)$, \bar{d}_{s0} : 無次元粒径 ($= \bar{d}_s / \bar{D}_0$), $\bar{\beta}_0$: 川幅水深比 ($= \bar{B} / \bar{D}_0$), $\bar{\nu}_0$: 時刻 t_0 における無次元掃流力, D_0 : 無次元水深 ($= \bar{D} / \bar{D}_0$), λ : 砂州波数 ($= 2\pi \bar{B} / \bar{L}$), \bar{B} : 1/2 川幅, \bar{L} : 砂州波長, \bar{D} : 水深, \bar{D}_0 : 初期水深である。なお、 \sim は次元を有することを表す記号である。

一般に、定常流の場合の摂動量の振幅の時間変化は、増幅率を Ω_s とすると、(2) 式で表される。

$$\hat{\eta}_1 = \zeta \exp[\Omega_s t] \quad (2)$$

両者を比較すると、定常流における増幅率と意味は若干異なるが、非定常流の増幅率を Ω_u として表現すると、 Ω_u は、(3) 式で表される。

$$\Omega_u = \int_0^t G dt' \quad (3)$$

増幅率が正の値のとき砂州は発達し、負の値の時は減衰する。増幅率の最大値を示す λ が、その時刻において最も発達する波数となる。非定常流とした解析では、あらゆる値の λ がそれぞれの増幅率をもって各時刻において存在し、最も増幅率の大きな λ を卓越波数として時間的に変化しているものと想定している。

なお、各モードの相互干渉によって砂州の発達過程においてモード減少が生じるため、複列砂州の現象を理解するためには単列砂州 (モード 1) と複列砂州 (モード 2) 等の微小攪乱の相互干渉を考慮する必要があるが、本研究の解析モデルではそれらを考慮していない。しかしながら、水理実験について実施した検証では、このモデルで砂州形態の変化をある程度把握できることが確認されている⁶⁾。

(2) 計算条件

検討対象区間は平成 23 年出水および平成 28 年出水の堤防流出箇所を含む KP19~KP23 の区間とした。各出水

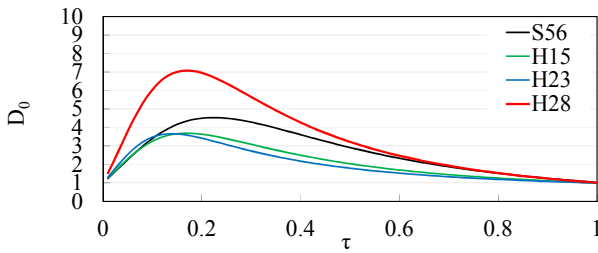


図-5 主要出水の無次元水深と無次元時間

表-1 ハイドログラフ近似式および計算に用いた諸量

	S56出水	H15出水	H23出水	H28出水
δ_f	1.74	1.38	1.37	2.67
α_f	0.40	0.26	0.19	0.26
β_f	0.09	0.04	0.03	0.04
γ_f	2.11	1.09	0.90	3.04
洪水継続時間(hr)	96	63	144	104
河床勾配(1/i)	162	163	163	163
川幅(m)	107.06	109.4	136.89	171
河床材料粒径(m)	0.051	0.047	0.05	0.044
基底水深(m)	0.65	0.87	0.76	0.62
無次元最大水深	4.54	3.67	3.65	7.02
無次元川幅水深比	36.28	34.26	49.35	39.29
最大水深時の τ	0.22	0.17	0.14	0.17

時の音更観測所地点の水深を基底流量時の水深で除した無次元水深 D_0 と経過時間を洪水継続時間で除した無次元時間 τ の関係を式(4)の関数で近似し、図-5 に示すハイドログラフを作成して解析に用いた。なお、洪水開始時と終了時は限界掃流力相当の水深としている。

$$D_0 = \left[\frac{\delta_f(\tau + \alpha_f)^2}{\tau^2 + \beta_f} - \gamma_f \right]^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

ここで、 $\alpha_f, \beta_f, \delta_f, \gamma_f$; 水位の時間変化を式(4)で表現した場合の定数、 τ : 無次元時間である。

計算条件として与える川幅は、各出水後に実施した測量で得られている横断面において概ね平均年最大流量が流下するときの幅であり、水面勾配は痕跡水位から算出した勾配、代表粒径は出水後の河床材料調査の結果を用いた。また、摩擦係数 C_f 、掃流砂量 ϕ の具体的な関数形として、Engelund らによる摩擦係数¹³⁾、Meyer Peter-Müller の流砂関数¹⁴⁾を用いた。なお、計算に用いた諸量を表-1 に示す。

(3) 4つの主要出水における蛇行特性の比較

音更川における4つの主要出水時における水理条件と河道条件を用いて単列砂州と複列砂州の発達について安定解析を行い、蛇行流路の発達特性について考察を行う。

図-6 と図-7 は、4つの主要出水における単列砂州(モード1)の増幅率 Ω_{u1} と複列砂州(モード2)の増幅率 Ω_{u2} の2つのモードの時間変化を表したものである。ここで Ω_{u1} および Ω_{u2} は、あらゆる値の λ の中で各時刻において最も大きくなる増幅率を示している。全ての出水において Ω_{u1} は出水開始から増加を続けるが、平成15年出水を除くと概ね $\tau=0.8$ 以降は増加は抑制されている。 Ω_{u2} は各出水で傾向が異なり、昭和56年と平成15年の

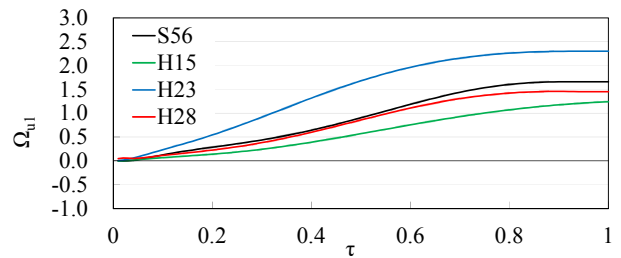


図-6 単列砂州(モード1)の増幅率 Ω_{u1} の変化

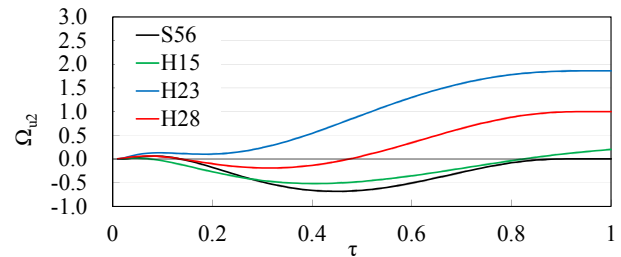


図-7 複列砂州(モード2)の増幅率 Ω_{u2} の変化

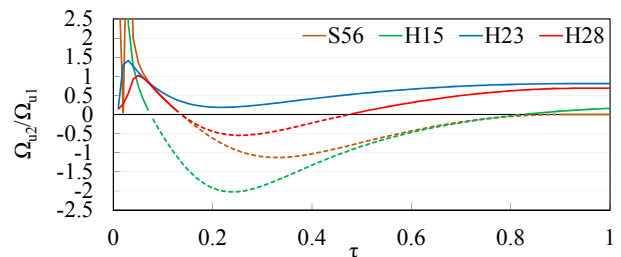


図-8 複列砂州と単列砂州の増幅率の比の変化

出水の Ω_{u2} は出水直後から $\tau=0.4$ 付近まで減少が続き、その後増加に転じるものの洪水終了時までほぼ負の値をとっていることから出水を通して複列砂州が形成されない条件となる。また、平成23年出水と平成28年出水は水位ピークを経て水位が低下してからの Ω_{u2} が増加し、洪水終了時には+1.0~1.9の大きな値を示す。

図-8 は Ω_{u2} と Ω_{u1} の増幅率比の時間変化を示したものであり、値が1以上のときに複列砂州の形成が優勢となり、逆に値が1以下のときに単列砂州の形成が優勢となり、それぞれの中規模河床波が形成されることを意味する。また、点線部は、 Ω_{u2} が負の値となり複列砂州の成分が存在しないことを示す。増幅率比は、全ての出水において、出水直後の時間帯以外は1以下の値であり全体的に単列砂州が優勢であるが、平成23年と平成28年出水は出水後半に1に近い値となっていることから2つのモードの砂州が共存する条件になっていると考えられる。

以上のことから、平成23年と平成28年出水は、出水前半($\tau=0\sim0.8$)に単列砂州が発達し、出水後半には複列砂州も発達する。2つのモードの砂州は減衰することなく発達し、実際の河道においても図-3の出水後写真には単列あるいは複列の流路が形成され、出水を通して蛇行振幅が拡大していることから、蛇行流路の発達の過程で大きな河岸浸食が発生していたと推測される。

また、昭和56年出水と平成15年出水は、出水前半

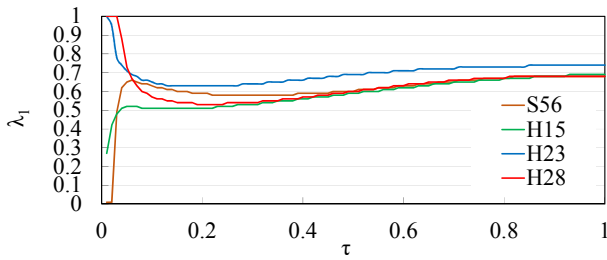


図-9 単列砂州の卓越波数 λ_1 の変化

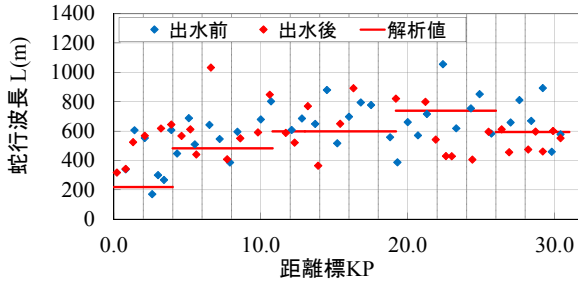


図-10 平成 28 年出水前後の観測波長 L と解析波長

($\tau=0\sim 0.8$) に単列砂州が発達するものの、複列砂州は水位下降期を通して大きく減衰し、その後も砂州が大きく発達する条件にない。そのため、出水後半の砂州発達 は全体的に抑制され、河岸浸食を伴いながら蛇行振幅が 大きく拡大するような蛇行流路の発達が少なかったもの と考えられる。このことは、実際の河川における図-3 の出水後写真には明瞭な複列砂州が確認できないこと、 図-4 の蛇行振幅に示す頻度図において出水をとおして 蛇行振幅が拡大していなかったことと一致している。

次に、解析によって求められた単列砂州の卓越波数 λ_1 の時間変化を図-9に示す。4つの出水の λ_1 は出水前半 ではそれぞれの値に差があるものの、出水終了時には $\lambda_1=0.7$ 前後の値に収束していく。同様に、平成28年 出水について他の区間 (KP0~4, KP4~10, KP10~13, KP13~19, KP23~26, KP26~31) の λ_1 を求め、波長 $L (= 2\pi B / \lambda_1)$ に換算した解析値と、出水前後に観測 された蛇行波長と比較したところ、図-10に示すように解 析値はおおむね出水後の実測波長と一致しており、破堤 が生じたKP18.2, KP21.2付近では大きな波長の砂州が形 成されやすい条件にあることを理論的に示した。

(4) 川幅の変化に関する検討

砂州の発生領域は川幅水深比に大きな影響を受けてい ると考えられるが、(3)の安定解析では各出水後の横断 測量断面において概ね平均年最大流量が流下するときの 水面幅を川幅として用いており、出水中の川幅変化が考 慮されていない。実際の出水では河岸浸食を伴いながら 蛇行が発達するときには、川幅も時間的に変化していく 場合があるが、ここでは計算条件としての初期川幅を変 化させ、平成 28 年出水を対象に砂州の発生特性の感度 分析を試みた。分析には平成 28 年出水における出水中 の水面幅の変化を知る必要があるものの観測がされてい

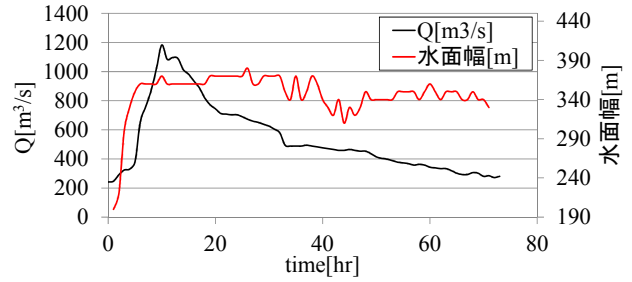


図-11 KP22.0 地点の流量 Q と水面幅の時間変化

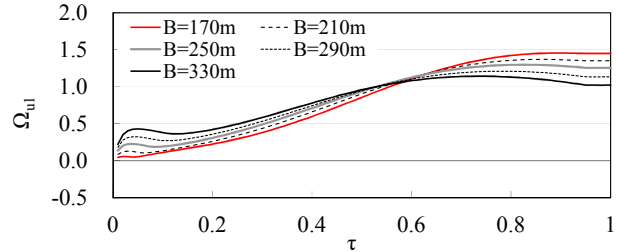


図-12 単列砂州の増幅率 Ω_{u1} の川幅の違いによる変化

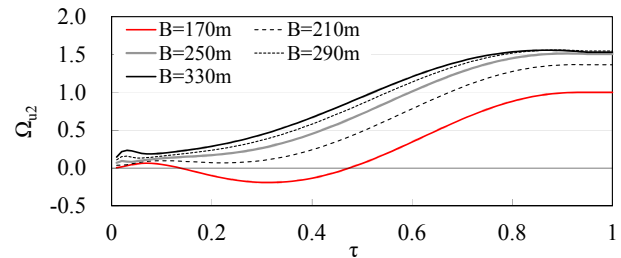


図-13 複列砂州の増幅率 Ω_{u2} の川幅の違いによる変化

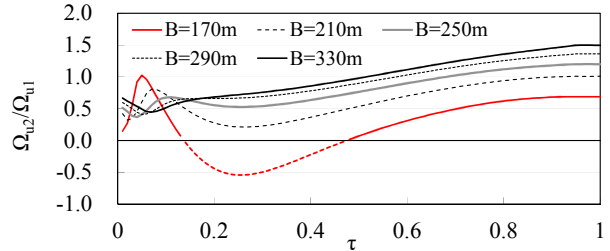


図-14 川幅に応じた単列砂州と複列砂州の増幅率の比

ないため、iRIC2.1(<http://i-RIC.org/ja/>)の Nays2D を用いた平 面二次元河床変動計算を行って出水中の水面幅を算出 した。計算では、実際には水面部分ではない計算格子 上に微小な水深が発生するため、計算水深 3cm 以上の 範囲を水面幅とした。図-11 の計算結果を見てみると、 水位上昇期には水面が拡大し、水位ピークを過ぎた後 は若干の変動を生じつつも大きく変化せず出水終了時 の水面幅は約 330m であった。このことを参考として、 川幅が 170m~330m となる範囲の安定解析を行った。 図-12 と 図-13 は、川幅に応じた単列砂州の増幅率と複列砂州の 増幅率である。 Ω_{u1} は $\tau=0\sim 0.6$ では川幅が広いほど 大きな値となるが、 $\tau=0.6$ 以上では逆の傾向を示す。 一方、 Ω_{u2} は、出水を通して川幅が広いほど値が大 きい。図-14 に示す増幅率比の値は、いずれのケースでも $\tau=0.2$ 以降に上昇し出水後半に複列砂州が優勢になっ ているほか、川幅が広いほど全体的に大きな値を示して おり、川幅は増幅率に影響を与えていると考えられる。

4. まとめ

音更川の4つの主要出水を対象とした安定解析結果は出水後に確認された実際の河川の砂州形態の変化と概ね一致しており、実際の河川においても安定解析手法が砂州形態の推定に有効であることが確認された。また、洪水波形や河道形状が蛇行流路の発達に与えた影響について、解析結果から得られた事項を以下に列挙する。

- a) 河岸浸食を伴う蛇行流路の発達が生じた平成23年出水と平成28年出水では、出水前半から単列砂州が発達し、出水後半は複列砂州も発達する条件にあった。そのため、出水をとおして砂州が発達し蛇行流路も大きく変動したものと推察される。
- b) 大規模な流路の変動が少なかった昭和56年出水と平成15年出水では、出水前半に単列砂州が発達するものの、複列砂州は取水前半に大きく減衰し、砂州が十分成長しない条件となっていた。そのため、蛇行が大きく拡大するような流路変動が少なかったものと推察される。
- c) 昭和56年、平成15年、平成28年出水の水位ピーク時の川幅水深比は34~39と近い値を示しているが、平成28年出水の砂州発達過程は他の2つの出水と大きく異なっていた。そのため、川幅のみならず水位波形も砂州形態の変動に大きな影響を与えていると推察される。

以上のように、実際の河川における砂州の発生形態および流路変動の変化過程について非定常流を考慮した安定解析による説明の可能性を示した。また、平成23年出水と平成28年出水では、水位ピーク以降も単列砂州と複列砂州の増幅率が増加し続ける傾向を示した。砂州の発達により河岸浸食を伴う蛇行流が発生することを鑑みると、実際の河川においても水位ピーク以降の水位低下期において十分な監視が必要となることが理論的に示された。

しかしながら、出水中の川幅変化や、積分された増幅率の大きさが洪水時間にも依存することが反映できておらず、このことについては更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 桑村貴志, 永多朋紀, 旭一岳: 出水時における音更川の流路変動特性と堤防防護の対策について, 北海道開発局技術研究発表会論文集, 国土交通省, 2012.
- 2) 山口里美, 久加朋子, 清水康行, 泉典洋, 渡邊康玄, 岩崎理樹: 河道内の土砂動態と流路変動の関係, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol.74, 2018.
- 3) 木下良作: 石狩川河道変遷調査, 科学技術庁資源局資料 No36, 1961.
- 4) Blondeaux, P.Seminara, G.A unfinned bar-bend theory of river meanders. J.Fluid mech.157, 1985.
- 5) 池田駿介, G.Parker, 澤井健二: 河川の蛇行に関する統一見解, 第24回水理講演会論文集, 1980.
- 6) 渡邊康玄, 桑村貴志: 砂州のモード減少過程水理実験への安定解析の適用, 水工学論文集第49巻, 2005.
- 7) 島田龍一, 清水康行, 長谷川和義, 伊賀久晃: 砂州性蛇行の形成に関する線形安定解析, 水工学論文集B1 Vol69, 2013.
- 8) 清水康行, 平野道夫, 渡邊康玄: 河岸浸食と自由蛇行の数値計算, 水工学論文集第40巻, 1996.
- 9) 竹林洋史, 江頭進治, 岡部建士: 網状流路の時空間的な変動特性. 水工学論文集第46巻, 2002.
- 10) 山口里美, 伊藤丹: 側岸浸食性河道における砂州性蛇行流路の発達特性とその数値実験, 水工学論文集B1 Vol70, 2014.
- 11) 渡邊康玄, Tubino M, Zolezzi G: 非定常流における交互砂州の安定解析, 第56回年次学術講演会概要集第2部, 2001.
- 12) 岡田将治, 福岡捷二: 複断面河道における洪水流特性と流砂量・河床変動の研究, 土木学会論文集No754, 2004.
- 13) Engelund, A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams, Copenhagen, Danish Technical Press, 1967.
- 14) Meyer Peter and Müller, R: Formulas for Bed-Load Transport, Proc. IAHR Meeting, Stockholm, 1948.

(2018. 5. 31 受付)

INFLUENCE OF BAR FORMATION AND DEVELOPEMENT OF A MEANDER CHANNELS BY THE DIFFERENCE IN FLOOD SHAPE OF OTOFUKE RIVER

Takashi KUWAMURA, Yasuharu WATANABE, Mitsuaki YONEMOTO and Jun SAKAI

Four large-scale floods (1981-Flood, 2003-Flood, 2011-Flood and 2016-Flood) have attacked the Otofuke River in these 40 years. By each flood, the responses of the river channel differed greatly. It was assumed that the difference of responses were caused by the difference of bar formation during floods. In this study, linear stability analysis on bar formation under unsteady flow conditions using the data at 4 floods. The results of analysis are reproducing the situation of the 4 floods. As a result, it became clear that the river management fully needs to understand the bar formation process at the descending period of floods.