

河岸浸食に及ぼす河床形状の影響

INFLUENCE OF BAR FORMATION TO BANK EROSION

渡邊 康玄¹・福岡 将太²
Yasuharu WATANABE, Shota FUKUOKA

¹ 正会員 工博 北見工業大学教授 社会環境工学科 (〒 090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

² 正会員 工修 株式会社リブテック (〒 065-0018 北海道札幌市東区北 18 条東 1 丁目 3 番 3 号)

In the recent years, rivers at valley plains often flood because of increasing local downpours all over Japan, giving a lot of damage to the houses, roads, and bridges. A sandbar formed on river bed makes a meandering flow and causes a local scoured parts and deposition parts. The bar formation is closely related to a river disaster. In this research, to grasp the relation between a bar formation and bank erosion is tried for two floods which caused serious bank erosion. Wave number analysis of bed configuration and linear stability analysis under unsteady flow condition were conducted. Although the investigation on the erosion process of a river channel will be necessary, correspondence with bar formation and the bank erosion part has been grasped.

Key Words : *flood flow, unsteady flow, alternate bar, stability analysis, riverbed morphology*

1. はじめに

河床に形成される砂州は、流れを蛇行させ水衝部や局所的な水深規模の深掘れや堆積を生じさせるため、発生形態は災害と密接に関係してくる。

2011 年 9 月に生じた北海道十勝地方の十勝川支川の音更川における出水では、多数の河岸浸食が生じている。その中の 1 つにおいて、河岸浸食に伴う破堤が生じた。出水後の水みちは大きく蛇行しており、蛇行の発達により河岸が浸食を受けたものと判断されるが、蛇行の発達の原因は低水路全体に形成されている砂州との関係も重要であると考えられる。一方、2010 年 8 月 24 日に生じた北海道川上地方の石狩川支川の忠別川における出水でも河岸浸食により道路崩壊が生じ、人命が失われている。出水後の河床には、明確な単列砂州が形成されており、河岸浸食箇所は砂州による淵にあたる個所に河岸浸食箇所が位置していた。

本研究では河岸浸食の原因の 1 つと考えられる出水中の砂州の発達に焦点をあて、河岸浸食と砂州との関係を上記の出水において生じた実際の現象を用いて考察する。具体的には、河道平面形状の解析では得られる情報が限定的であるため、立体地形形状から解析を行うこととし、河道地形に対して二重フーリエ級数解析を行い、出水前後の流路形状の違いを比較し検討を行った。また、砂州が明瞭に形成されていることから非定常流における砂州形成について線形安定解析を用いて検討を行い、被災と砂州の関係について考察を行った。

2. 洪水の概要¹⁾²⁾

音更川は、上士幌町・士幌町・音更町を通過し、広大な畑作地帯を流下して帯広市街部で十勝川に合流する急流河川であり、流域面積 740.3km²、流路延長 93.5km、河床勾配約 1/150~1/200 の北海道十勝地方にある一級河川である。2011 年 9 月 1 日に北上した台風 12 号や低気圧周辺の暖湿気の流入により、前線が活発化し、道内各地に記録的な大雨を降らせた。これに伴い、十勝川・音更川・札内川などにおいて流量が増加し、音更川では堤防の一部流出や河岸浸食が発生し、各地で内水被害が発生した。図-1 は、河口から 18.2km 付近における河岸浸食による堤防流出後の写真である。

忠別川は、白雲岳や旭岳から支流を集め、非常に急峻な溪流河川を上流に支川として有し、石狩川へ合流する河川である。流域面積 290.7km²、流路延長 59.2km、河床勾配約 1/50~1/70 の北海道上川地方にある一級河川である。2010 年 8 月 23 日から 24 日にかけて、北海道の大雪山西側に流れを発する忠別川および美瑛川流域を中心に記録的な集中豪雨が発生した。局所的で短時間に集中した豪雨によって河川水位は急激に上昇、橋梁や河岸道路の崩落によって 4 名が死傷するとともに、上流の天人峡温泉では 300 名が孤立する事態となった。短時間の集中豪雨によって河川水位は急上昇し、忠別川と美瑛川の下流部では内水氾濫が発生するとともに、忠別川上流部では橋梁や河岸道路の崩落や図-2 に示される河岸浸食などが発生した。



図-1 河岸浸食による堤防流出



図-2 忠別川上流部における道路崩壊

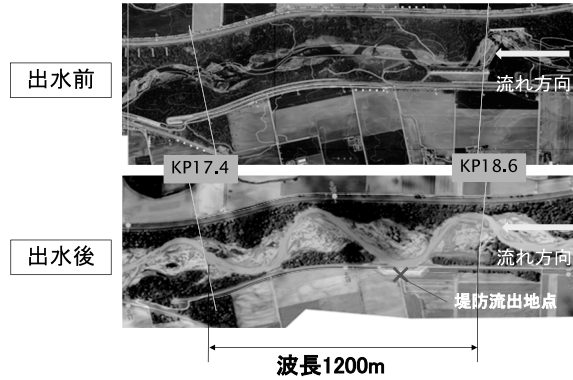


図-3 音更川の解析範囲

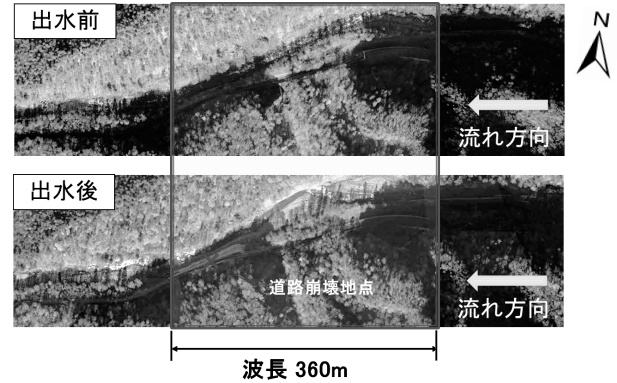


図-4 忠別川の解析範囲

3. 出水前後の河道形状

音更川では、対象出水前における地形のレーザープロファイルデータと出水後の横断測量データが得られている。また、忠別川上流部では、対象出水前後における地形のレーザープロファイルデータが得られている。音更川と忠別川において、今回の出水前後でどのような地形変化が生じ、どのように災害に結びついたのかを検討するため、長谷川ら³⁾が砂州形状の把握に用いた二重フーリエ解析を用いて出水前後の地形形状の解析を行った。

(1) 二重フーリエ解析³⁾

二重フーリエ解析は河床形状を (1) 式で表した時の α_{ij} を求めるものである。

$$z = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \alpha_{ij} \sin \left\{ i \frac{2\pi}{2B_v} n - \frac{\pi}{2} \frac{1 + (-1)^i}{2} \right\} \cos \left\{ j \frac{2\pi}{L} (s - \sigma_{ij}) \right\} \quad (1)$$

ここで B_v は氾濫幅、 i は砂州列数、 j は単列砂州の卓越波長を基本波長とした時の波数、 α_{ij} は砂州列 i 、縦断方向波数 j の波の振幅、 σ_{ij} は $i=1, j=1$ の波に対する位相、 L は基本波長である。今回、音更川では複列砂州、忠別川では交互砂州が卓越していると考えられたことから、忠別川では交互砂州波長、音更川では複列砂州波長の 2 倍の長さを設定した。なお、複列砂州

波長とせず、その 2 倍の値とした理由は、複列砂州は時間の経過とともに統合され、単列砂州へと移行するためである。

(2) 解析範囲

音更川では、出水前における地形のレーザープロファイルデータと出水後の横断測量データが得られていることから、標高データを用いて、出水前後の地形形状を作成した。今回の解析範囲は図-3 に示すように、堤防流出地点を含む、蛇行 2 波長分を取って KP17.4~KP18.6 とした。蛇行 2 波長分を取った理由として、河岸侵食が進行していることを踏まえ、複列砂州前縁に沿う水みちの片側が減水期に主流路となり、蛇行流路を形成した可能性もあることを考慮したためである。出水前後の地形図には堤防流出地点および河岸侵食の発生した場所と解析範囲を薄い青色で示した。出水前の地形作成には横断方向 5m、縦断方向には 10m のメッシュデータを作成した。出水後の地形作成には横断測量データを基に作成したが、横断測量断面は解析範囲に 7 断面しか含まれていないため、断面間を内挿して 50m 間隔のデータとした。出水前後のデータ密度が大きく異なるため、データ密度により解析結果に影響すると思われるが、データ間隔に比して十分規模の大きな砂州形状を対象としていることから、問題はないと判断した。

忠別川上流部では、出水前後における地形のレーザープロファイルデータが得られていることから、標高デー

表-1 音更川の波数解析結果

平均水深			1.2m		
基本波長			1200m		
出水前の地形			出水後の地形		
波数		振幅	波数		振幅
横断	縦断		横断	縦断	
2	0	0.753	2	2	0.429
1	0	0.405	2	0	0.414
3	0	0.253	1	1	0.326

表-2 忠別川の波数解析結果

平均水深			2.03m		
基本波長			360m		
出水前の地形			出水後の地形		
波数		振幅	波数		振幅
横断	縦断		横断	縦断	
2	0	0.758	1	1	0.231
4	0	0.301	2	0	0.227
1	1	0.164	1	0	0.226

タを用いて、出水前後の地形形状を作成した。今回の解析範囲は図-4 に示すように、道路崩壊地点を含む、赤い枠で囲った範囲である。この範囲から、波長 360m の蛇行 1 波長分を取り解析を行った。出水前後の地形作成には横断方向 1m、縦断方向には 10m のメッシュデータを作成した。また、出水後の地形図には道路崩壊地点を示した。

(3) 解析結果

a) 音更川の解析結果

解析結果を表-1 に示す。出水前は、かまぼこ型の形状を表す (2,0) (横断方向波数 2、縦断方向波数 0) の波が卓越している。出水後は複列砂州の形状を示す (2,2) の波が (2,0) の波よりも大きくなり、複列砂州状の地形が発達していることを示している。また、単列砂州の形状を表す (1,1) の波の振幅もある程度の値を示している。出水前は、できていなかった複列砂州状の地形が出水後に形成されていることから、今回の出水による堤防流出および河岸浸食は、複列砂州あるいは単列砂州前縁に形成される局所洗掘が、砂州の成長に伴って生じたものとも考えられる。しかしながら、洪水後の蛇行 2 波長分を解析対象範囲としていることから、単純に複列砂州あるいは単列砂州の形状がそのまま蛇行流路に結びついたものとは断定できない。今後さらに、洪水減水期の流路変動を正確に把握することが必要である。

b) 忠別川の解析結果

解析結果を表-2 に示す。出水前は、かまぼこ型の形状を表す (2,0) の波が卓越し、単列砂州の形状を示す

(1,1) の波が 3 番目に位置している。しかし、出水後は (1,1) の波が (2,0) の波よりも大きくなり、単列砂州状の地形が発達していることを示している。出水前は、できていなかった単列砂州状の地形が出水後に形成されていることから、今回の出水による道路崩壊は、砂州の前縁線の位置が変化したことにより、砂州の前縁線に接する道路に洗掘が生じたものとも考えられる。

4. 非定常流における砂州発達状況

前章において出水中に砂州状の地形が発達していたことを受け、ここでは中規模河床波の出水中の発達について検討を行う。今回の出水は、短時間に大流量が流下したことから、定常流を基にした既往の中規模河床形態の知見をそのまま当てはまることはできない。このことから、渡邊ら⁴⁾が検討を行った非定常流における砂州の発達過程を対象とした手法を利用し、今回の出水における砂州の発達過程を考察することとした。

(1) 非定常線形安定解析の概要⁴⁾

ここでは簡単に、非定常流流下時の砂州の発達過程を対象とした安定解析の概要を述べることにする。川幅 $2B^*$ の直線水路における非定常 2 次元浅水方程式と連続式および掃流砂の発生を対象とした流砂連続式を $(U, V) = (U^*, V^*)/\bar{U}_0^*$, $D = D^*/\bar{D}_0^*$, $H = H^*/(\bar{F}_0^2 \bar{D}_0^*)$, $(x, y) = (x^*, y^*)/B^*$, $(\tau, t) = t^*/(1/\sigma^*, B^*/\bar{U}_0^*)$, $(\tau_x, \tau_y) = (\tau_x^*, \tau_y^*)/\rho^* \bar{U}_0^{*2}$, $(Q_{bx}, Q_{by}) = (Q_{bx}^*, Q_{by}^*)/(\Delta g^* d_s^{*3})^{1/2}$ で無次元化すると、(2)~(5) 式になる。

$$\sigma \frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial x} + \bar{\beta}_0 \frac{\tau_x}{D} = 0 \quad (2)$$

$$\sigma \frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial H}{\partial y} + \bar{\beta}_0 \frac{\tau_y}{D} = 0 \quad (3)$$

$$\sigma \frac{\partial D}{\partial \tau} + \frac{\partial (UD)}{\partial x} + \frac{\partial (VD)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial (\bar{F}_0^2 H - D)}{\partial t} + \bar{Q}_0 \left(\frac{\partial Q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial Q_{by}}{\partial y} \right) = 0 \quad (5)$$

ここで、 t^* ; 時間、 x^*, y^* ; 縦横断方向座標軸、 U^*, V^* ; x^*, y^* 軸方向の流速、 H^* ; 水位、 D^* ; 水深、 η^* ; 河床高 ($= H^* - D^*$)、 τ_x^*, τ_y^* ; x^*, y^* 軸方向のせん断力、 Q_{bx}^*, Q_{by}^* ; x^*, y^* 軸方向の掃流砂量、 ρ^* ; 水の密度、 g^* ; 重力加速度、 $1/\sigma^*$; 出水継続時間、 $\bar{F}_0^2 = \bar{D}_0^*/(g^* \bar{D}_0^*)^{1/2}$, $\bar{\beta}_0 = B^*/\bar{D}_0^*$, $\sigma = \sigma^* B^*/\bar{U}_0^*$, $\Delta = (\rho_s^* - \rho^*)/\rho^*$, $Q_0 = (\Delta g^* d_s^{*3})^{1/2}/[(1-P)\bar{U}_0^* \bar{D}_0^*]$, ρ_s^*, P, d_s^{*3} ; 河床材料の単位体積重量・空隙率・粒径である。 $\bar{U}_0^*, \bar{H}_0^*, \bar{D}_0^*$; 基底流の流速・水位・水深である。なお、* の付いた記号は有次元量を示し、付いていないものは無次元量を表す。

次に各諸量を出水波形によって決定されるものと、河床変化に伴う摂動量に分け $H = H_0 + \varepsilon H_1$, $D =$

$D_0 + \varepsilon D_1$, $C_f = C_{f0} + \varepsilon C_{f1}$, $\vartheta = \vartheta_0 + \varepsilon \vartheta_1$, $\phi = \phi_0 + \varepsilon \phi_1$, 等で表現する. また, ϑ ; 無次元掃流力, ϕ ; 単位幅流砂量を $(\Delta g^* d_s^{*3})^{1/2}$ で無次元化した掃流砂関数, C_f ; 河床摩擦係数, ε ; 摂動パラメータである.

河床波の波長は一般に出水波の波長に比べ十分に小さいため, 定点では時間的に出水波の挙動すなわち水位の上昇下降等の挙動を示すが, 出水波によって決定される水深や流速の変化は時間のみに依存し, 水面勾配は時間的に変化しない状態を扱うこととすると, 波形によって決定される U_0, V_0, H_0, D_0 等は時間 t のみの関数であり, x, y については一定値となる. 水面側壁において横断方向流速 0 となる条件を考慮し, 砂州形成に伴う摂動量 U_1, V_1, H_1, D_1 について, (6) 式で表現する.

$$\{U_1, V_1, H_1, D_1\} = \begin{cases} \exp(\Omega t)(S_1 \hat{U}_1, C_1 \hat{V}_1, S_1 \hat{H}_1, S_1 \hat{D}_1) E_1 \\ \quad + c.c.; \quad \text{mode} = 1 \\ \exp(\Omega t)(C_2 \hat{U}_2, S_2 \hat{V}_2, C_2 \hat{H}_2, C_2 \hat{D}_2) E_2 \\ \quad + c.c.; \quad \text{mode} = 2 \end{cases} \quad (6)$$

ここで, $(S_m, C_m, E_m) = (\sin(\pi m y / 2), \cos(\pi m y / 2), \exp[m i (\lambda x - \omega t)])$, mode とは砂州の列数を示し, $\text{mode}=1(m=1)$ は単列砂州を, $\text{mode}=2(m=2)$ は複列砂州を示している. λ ; 砂州の波数, ω ; 角速度, Ω ; 摂動量の増幅率, i ; 虚数単位, $c.c.$; 共役複素数, λ ; 縦断方向砂州波数 ($\lambda = 2\pi B^* / L^*$, L^* ; 砂州波長) である.

通常 $\sigma \ll 1$ であり慣性項を省略するとともに, $\hat{U}_1, \hat{V}_1, \hat{H}_1$ を $\hat{D}_1$ で表し整理すると (7) 式が得られる.

$$\frac{\partial \hat{D}_1}{\partial t} + G(\bar{d}_{s0}, \bar{\beta}_0, \bar{\vartheta}_0, D_0, \lambda) \hat{D}_1 = 0 \quad (7)$$

ここで, $d_{s0} = d_s^* / \bar{D}_0^*$, $\bar{\vartheta}_0$; 基底流の無次元掃流力である.

(7) 式の解は, $G(\bar{d}_{s0}, \bar{\beta}_0, \bar{\vartheta}_0, D_0, \lambda)$ が t に独立である場合, すなわち流れが定常状態の場合には, (8) 式となる.

$$\hat{D}_1 = \exp[-Gt] \text{const} \quad (8)$$

流れが非定常流の場合は D_0 が時間の関数であり $G(\bar{d}_{s0}, \bar{\beta}_0, \bar{\vartheta}_0, D_0, \lambda)$ が t の関数となる. したがって (7) 式の解は, (9) 式ようになる.

$$\hat{D}_1 = \exp \left[- \int_{t_0}^t G dt' \right] \text{const} \quad (9)$$

ここで t_0 ; 出水開始時間である. (8), (9) 式の指数部は, 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り, つまり砂州の時間に関する摂動量の増幅率 Ω である. 定常流の場合の増幅率を Ω_s として, (10) 式になる.

$$\Omega_s = -G \quad (10)$$



図-5 音更観測所の水位

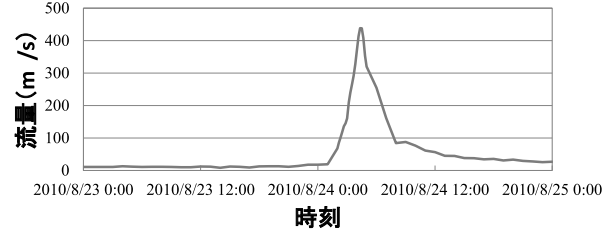


図-6 忠別川上流観測所の推定流量

一方, 非定常流の場合 Ω_u として, (11) 式で表す.

$$\Omega_u = - \int_{t_0}^t G dt' \quad (11)$$

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. また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.

(2) 対象河川の計算条件

用いる水深の時間変化は, 無次元掃流力が限界無次元掃流力である 0.05 を超える期間を対象として, 限界無次元掃流力となる時点での水深で無次元表示した (12) 式で表される水深を用いた⁵⁾.

$$D_0(\tau) = \left[\frac{\alpha(\tau + \beta)^2}{\tau^2 + \gamma} - \delta \right]^{3/2} \quad (12)$$

(13) 式~(16) 式から, 未知数 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ を求める.

$$D_{0(0)} = 1, \tau = 0 \quad (13)$$

$$D_{0(1)} = 1, \tau = 1 \quad (14)$$

$$D_{0(\tau_p)} = D_{0p}, \tau = \tau_p \quad (15)$$

$$\frac{\partial D_{0(\tau_p)}}{\partial \tau} = 0, \tau = \tau_p \quad (16)$$

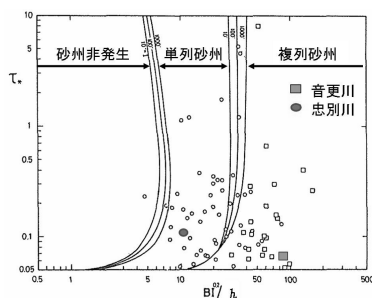
ここで, $\tau=0$ が解析対象開始時刻であり, $\tau=1$ が解析対象終了時刻となる. また, D_{0p} ; ピーク時の無次元水深, τ_p ; ピーク時の時間とする. 図-5 は, 今回の出水時の十勝川合流点から上流 9.1km に位置する音更での水位変化を示したものである. 図-6 は, 忠別ダム流入量から, 忠別川上流の流量を推定したものである. 音更観測所の水位, 忠別川上流観測所の推定流量を基に,

表-3 音更川の計算条件

川幅 (2B)	初期水深	ピーク水深	勾配	河床材料
275 m	1.0 m	1.2 m	1/156	0.069 m
ピーク時刻			出水継続時間	
2011/9/6 7:00			184 hr	

表-4 忠別川の計算条件

川幅 (2B)	初期水深	ピーク水深	勾配	河床材料
51.7 m	0.91 m	2.03 m	1/51	0.215 m
ピーク時刻			出水継続時間	
2010/8/24 4:20			12 hr	

図-7 中規模河床形態の領域区分 (黒木・岸⁶⁾の加筆)

(13) 式～(16) 式を用いて $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ を求めると (17) 式, (18) 式ようになる.

$$D_0(\tau) = \left[\frac{-0.249(\tau - 0.0761)^2}{\tau^2 + 0.00683} + 1.211 \right]^{3/2} \quad (17)$$

$$D_0(\tau) = \left[\frac{0.707(\tau + 0.318)^2}{\tau^2 + 0.0619} - 0.157 \right]^{3/2} \quad (18)$$

計算条件を表-3,4 にまとめて示す. ピーク時の水理量を用いて砂州領域区分に表したものが図-7であるが, 音更川のピーク時は複列砂州領域, 忠別川のピーク時は単列砂州領域にあることが判断できる. 流砂の移動について, 掃流砂と浮遊砂の発生条件の境界判定図を図-8に示しているが, ピーク時の水理量をプロットすると, 音更川・忠別川とも掃流砂が支配的な流れの条件に位置する.

今回の非定常流による線形安定解析は, 忠別川では単列砂州, 音更川では複列砂州と単列砂州の両方で計算を行った. また, 流砂の移動については掃流砂の影響のみを考慮することとした.

(3) 音更川の計算結果

図-9 は増幅率 Ω_u と無次元水深 D_0 の時間変化を示したものである. Ω_u 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おり, 無次元水深 D_0 の時間変化も示した. また, 増幅率 Ω_u が 0 以下の値の場合, 砂州が発生しない. 出水初期は単列砂州より複列砂州の方が若干増幅率が大きく, その後, 単

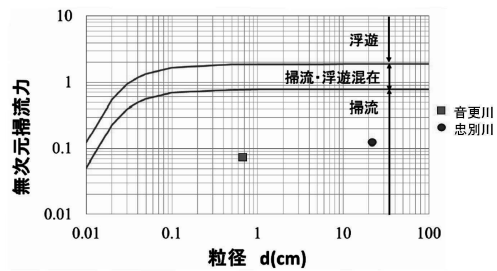


図-8 掃流・浮遊境界判定図

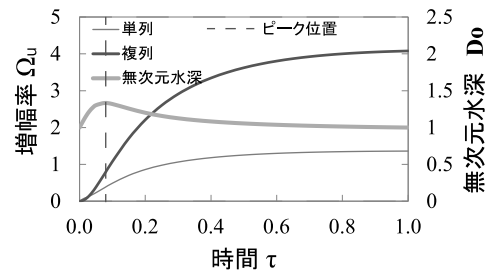


図-9 増幅率の時間変化

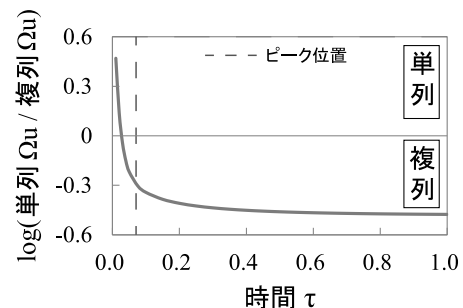


図-10 単列, 複列砂州の増幅率の比

列砂州に比較して複列砂州の増幅率が大きくなっている. なお, 水深の変化に追従せず, 増幅率が増加し続けていることは, 今回の出水における水理量が解析対象期間中砂州形成領域を維持していたことを示すものと解釈される.

図-10 は単列/複列砂州の比の対数をとった時間変化を示している. この値が正の値を示すと単列砂州の領域, 負の値を示すと複列砂州の領域であることを意味する. 出水初期は複列砂州領域に入っており, ピーク後も複列砂州の領域に入っている. しかし, 出水後半が極めて長い時間であったため, 複列砂州から単列砂州への移行⁷⁾があった可能性も考えられる.

図-11 は各出水継続時間において, 増幅率 Ω_u が最も大きくなる時の無次元波数 λ の時間変化を示す. 単列砂州の場合は, 出水ピーク前までは λ が 1.0～0.85 へと時間とともに減少し, その後も λ は減少している. 複列砂州では, λ は大きく変化せずほぼ 0.80～0.85 の値で推移している.

図-12 は砂州波長の時間変化を示す. ピーク時の単列砂州および複列砂州波長は, 約 1050m である. 2 重フーリエ解析から求められた砂州波長は約 1200m であ

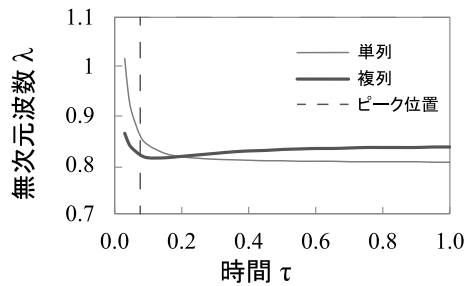


図-11 波数の時間変化

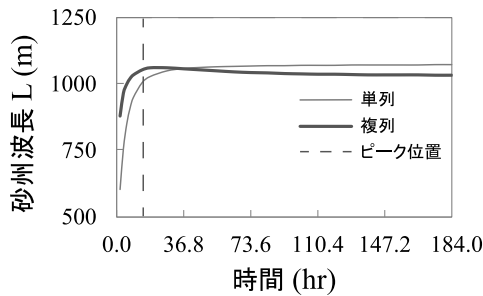


図-12 砂州波長の時間変化

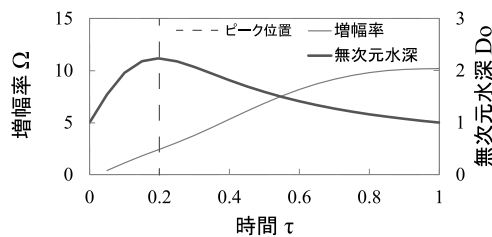


図-13 増幅率の時間変化

り、この値と概ね近い結果であることが得られた。しかしながら、主流路の蛇行 2 波長との関係は不明であり、今後さらなる検討が必要である。

(4) 忠別川の計算結果

図-13 は図-9 と同様に、増幅率 Ω_u と無次元水深 D_0 の時間変化を示したものである。 $\tau=0.2$ のピーク時に、すでに単列砂州が形成されていると考えられ、出水減衰期にも砂州が発達し続けることを示している。

図-14 は図-10 と同様に、増幅率 Ω_u が最も大きくなる時の無次元波数 λ の時間変化を示す。 λ は大きく変化せずほぼ 0.50～0.60 の値で推移している。

図-15 は砂州波長の時間変化を示す。単列砂州は、ピーク時の砂州波長は約 320m である。2 重フーリエ解析から求められた砂州波長は約 360m であり、河岸侵食が砂州の発達を受けて生じた可能性のあることを示唆している。

5. 結論

出水前後の河床形状の解析及びその結果を受けて行った出水時の砂州発達過程に関する解析の結果から、以

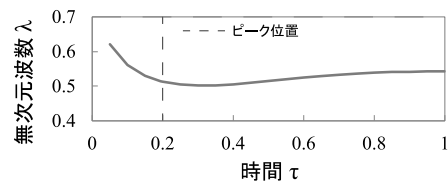


図-14 波数の時間変化

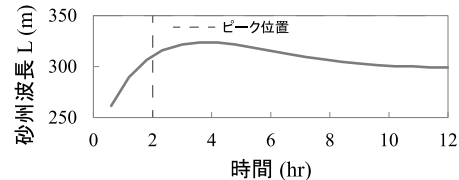


図-15 砂州波長の時間変化

下の結論を得た。

- 今回の音更川出水による堤防流出および河岸侵食は、複列砂州あるいは単列砂州前縁に形成される局所洗掘が、砂州の成長に伴って生じた可能性が示されたが、洪水減水期での河岸侵食について更なる検討が必要である。
- 今回の忠別川出水による道路崩壊は、砂州の発達と前縁線の位置が変化したことにより、砂州の前縁線に接する道路に洗掘が生じたものと考えられる。
- 出水前後のみ把握可能な河床形状に対して、出水中の砂州発達過程に関する解析の結果はほぼ一致しており、砂州の形成機構の解析手法を、豪雨による洪水流の予測や防災対策手法の策定へ応用していくことの可能性を示した。

謝辞：本研究を行うにあたり、北海道開発局網走開発建設部、帯広開発建設部には資料の提供等の御尽力を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 音更川の LP データ (H21) 及び資料：帯広開発建設部治水課
- 忠別川の LP データ (H21・H22) 及び資料：旭川開発建設部治水課
- 長谷川和義，山岡勲：発達した交互砂州の性状に関する実験と解析，土木学会，水理講演会論文集第 26 巻，pp.31-38，1982 年 2 月。
- 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，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集第 2 部，pp172-173，2001。
- 大山 史晃，渡邊康玄：洪水時に発生した低水路の土砂堆積及び高水敷の河床洗掘と砂州形成との関係，水工学論文集第 46 巻，pp713-718，2002 年 2 月。
- 黒木幹男，岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究，土木学会論文報告集第 342 号，1984。
- 渡邊康玄，桑村貴志：複列砂州のモード減少過程に関する水理実験，水工学論文集第 48 巻，pp.997-1002，2004 年 2 月

(2012. 4. 5 受付)