

音更川における滯筋部の 蛇行形状の発達と河岸侵食評価

EVALUATION OF MEANDERING DEVELOPMENT AND BANK EROSION IN OTOFUKE RIVER

旭 一岳¹・泉 典洋²・渡邊 康玄³・永多 朋紀⁴・桑村 貴志⁵・川村 治⁶
Kazutake ASAHI, Norihiro IZUMI, Yasuharu WATANABE, Tomonori NAGATA,
Takashi KUWAMURA and Osamu KAWAMURA

¹正会員 一般財団法人 北海道河川財団 (〒060-0807 札幌市北区北7西4 5-1)

²正会員 工博 北海道大学工学研究科 河川流域工学研究室 (〒060-0814 北海道札幌市北区北13西8)

³正会員 工博 北見工業大学 社会環境工学科 (〒090-0015 北海道北見市公園町165)

⁴正会員 (独)寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒062-0931 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

⁵非会員 北海道開発局帯広河川事務所 (〒089-0536 北海道中川郡幕別町札内西町73番地6)

⁶非会員 一般財団法人 北海道河川財団 (〒060-0807 札幌市北区北7西4 5-1)

Stream way of the Otofuke river had been changed drastically during the flood in September 2011. Though the peak discharge of the flood was not so high compare to the peak discharge of the Otofuke river plan, bank erosion has been occurred several places. Further a part of dike of KP18.2 has flowed out. Therefore, the countermeasure of dike protection is needed in the Otofuke river. In this study, a evaluation method of dike break has been investigated using Nays2D which can consider bank erosion as slope failure model. Calculation using Nays2D has been tested by applying to the flood at September 2011. The features of the flow and bed evolution during the flood can be confirmed by the calculation results. Also dangerous point for dike break can be evaluated using the deepest bed movement in each cross-section. Using those results dangerous point at next flood has been evaluated.

Key Words : *the Otofuke River, Nays2D, Evolution of meandering shape, Bank Erosion, Bed deformation, Evaluation of bank erosion*

1. 研究背景と目的

十勝川水系音更川では、平成23年9月に発生した出水(以下H23出水とする)により多地点で河岸侵食が生じ、それにもない河道内の滯筋形状が大きく変化し、特にKP18.2左岸付近の堤防では、堤体の一部が流出する事態となった。出水中のピーク流量は526m³/sであり、整備計画目標のピーク流量900m³/sに比べ小さく、水位も計画高水位以上となった地点はみられなかった。このことから、音更川では計画高水位以下の水位であったとしても、河岸侵食とともに滯筋形状が変化し、場合によっては破堤に至る被害が懸念されている。

そのため、音更川では全川の整備計画目標流量を流下させる断面を有しているものの、堤防・河岸保護対策が急務と考えられる。そこで、本研究ではそれら対策実

施に向け、優先的に対策すべき箇所(以下、危険箇所)の抽出に資することを目的として、音更川の河岸侵食及び滯筋形状の変化特性の評価をおこなった。評価は河岸侵食を考慮可能なモデルとして、iRICソフトウェア¹⁾のNays2D²⁾を用いておこなうとし、H23出水の再現計算を通じて河岸侵食や滯筋変化特性を踏まえ、危険箇所を評価する手法を確認し、それら評価手法を用いて、次に出水が生じた場合の危険箇所の評価をおこなった。

2. 音更川の河道特性

音更川は流域面積740km²、幹川流路延長94km、河床勾配約1/130~1/200の急勾配河川である。堤防幅は400m程度、平均年最大流量下の水面幅は100~150m程度(H23出水後の河道断面)であり、河床材料は代表粒径が50mm。



図-1 音更川管内図

表-1 音更川周辺の地形や河道整備状況に応じた区間分類

No	区間	周辺土地利用	堤防整備	護岸設置	断面形状
①	KP 0.6-KP 4.0	市街地区間	両岸堤防	両岸一連で設置	複断面
②	KP 4.0-KP10.8	市街地区間	右岸堤防・左岸一部段丘	高水敷利用箇所・堤防近傍	複断面
③	KP10.8-KP13.6	郊外	左岸堤防・右岸段丘	ほぼ設置なし	皿型形状
④	KP13.6-KP19.2	郊外	両岸堤防	水衝部・堤防近傍	皿型形状
⑤	KP19.2-KP26.0	郊外	左岸堤防・右岸段丘	水衝部・堤防近傍	皿型形状
⑥	KP26.0-KP30.2	郊外	両岸堤防	水衝部・堤防近傍	皿型形状

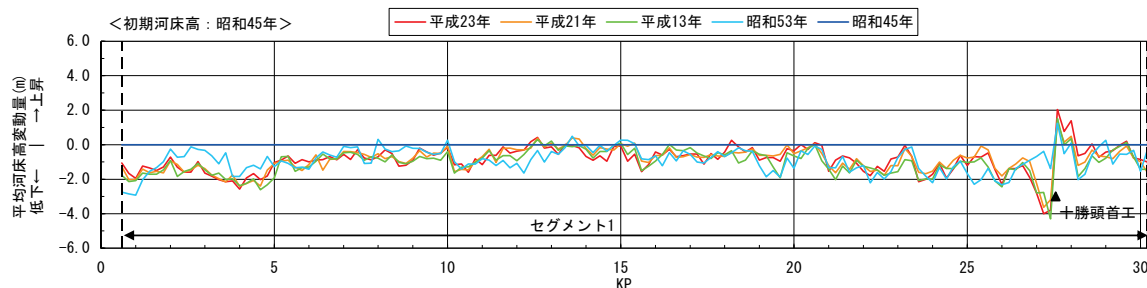


図-2 音更川の平均河床高の経年変化

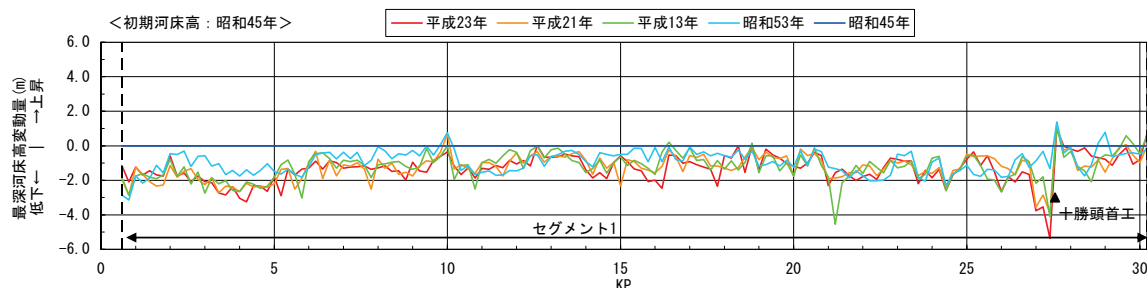


図-3 音更川のも最深河床高の経年変化

程度、平均粒径が30mm程度と全川の概ね同じである。

音更川には2箇所の水位流量観測所あり(図-1)、音更水位流量観測所では、観測が開始された昭和42年以降の平均値として、豊水流量は約10m³/s程度、平均年最大流量は約155m³/s程度であり、経年的に大きな変化傾向はない。また、積雪寒冷地の音更川では、融雪期流量が多くなる傾向があるものの、そのピーク流量は30m³/s程度(平成13年～平成22年平均)である。そのため、年最大流量は主に夏季出水によるもので、代表的な出水として、昭和56年(S56出水)、ピーク流量:687m³/s、平成15年(H15出水)、ピーク流量:725m³/s及び平成23年、ピーク流量:526m³/sが挙げらる。

(1) 河床高変化特性

音更川では河道掘削や高水敷造成の影響で、過去河床低下傾向にあったものの、近年、平均河床高は安定傾向にある(図-2)。また、最深河床高は十勝頭首工下流部をはじめ局所的な変化がみられる(図-3)。

音更観測所で平均粒径及び代表粒径に対する無次元掃流力を算定し、それぞれ無次元限界掃流力と比較したところ、平均粒径は約40m³/s以上、代表粒径は約110m³/s以上の流量で移動することが確認された。音更川の流況を踏まえると、図-2や図-3の河床高変化は主に夏季出水時に生じるものと推察される。

(2) 河道整備状況と区間分類

音更川は自然地形を活かし堤防が整備されており、両岸堤防区間と片岸堤防区間が混在している。また、高水

ピーク水位 (m)	S56.8出水	H15.8出水	H23.9出水
	74.05	73.78	73.17

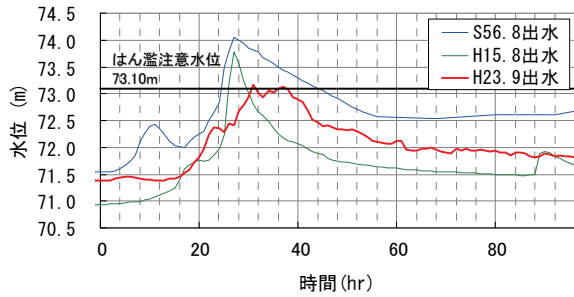


図-4 音更水位流量観測所における水位変化

ピーク流量 (m ³ /s)	S56.8出水	H15.8出水	H23.9出水
	690	725	526

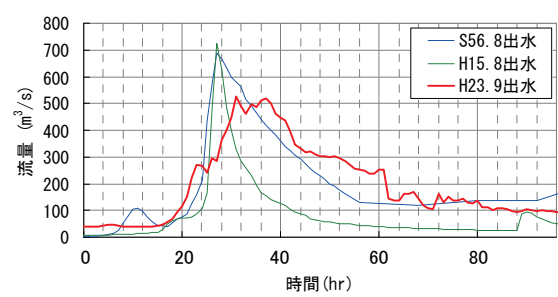


図-5 音更水位流量観測所における流量変化

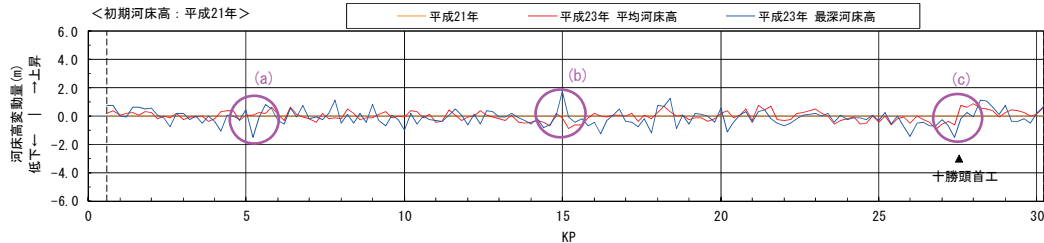


図-6 音更川の代表的な出水前後の河道状況

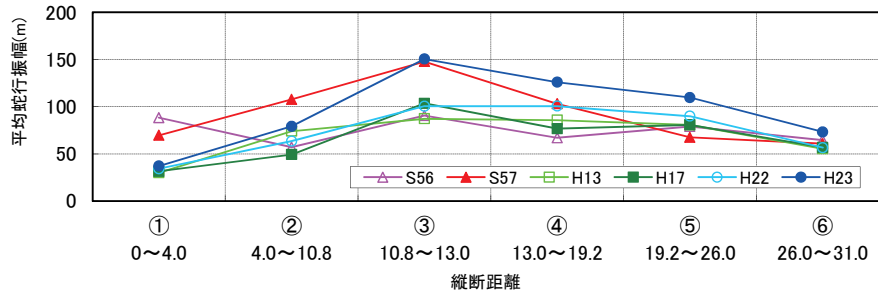


図-7 音更川の代表的な出水前後の河道状況

敷や周辺の土地利用状況に応じ、護岸が設置されており、下流市街地区間では、両岸に護岸が整備され、河道断面は複断面形状を有している。それに対し、上流の郊外区間では、水衝部及び堤防近傍に部分的に護岸が整備されており、断面形状は皿型である。本研究では、それら河道周辺地形や河道整備状況、特に護岸設置有無により、河床・滞筋形状の変化特性が異なると考え、音更川を6つの検討区間に分類した(表-1)。

3. H23出水について

(1) 出水時の流況

出水時に音更観測所で観測された水位及び流量の時間変化を図-4及び図-5に示す。各図中には、H23の特徴が確認できるよう音更川の代表的な出水時の流況も合わせて示した。各図から分かるように、H23出水は、S56出水やH15出水に比べ、ピーク流量が小さく、観測水位もはん濫注意水位程度であった。しかしながら、平均年最大流量：約155m³/s以上の流量継続時間は、S56出水やH15出水に比べ長時間であった。また、水位もH15出水より

高い状態が長時間継続した。なお、ピーク流量下における各断面の平均水深は1.5~2.0[m]程度であった。

(2) 出水前後の河床高変化

平均河床高は、十勝頭首工直下流で河床が低下傾向になっているものの、全川的には顕著な傾向はみられなかった。しかしながら、出水前後で滞筋形状が変化した箇所、特に直線形状から蛇行形状となった箇所(a)や滞筋位置が変化した箇所(b)、十勝頭首工の下流(c)では最深河床高が大きく変化した(図-6)。

(3) 出水前後の滞筋変化

航空写真から河道内の滞筋形状の振幅(以下、蛇行振幅)を計測し、代表的な出水前後の比較を区間ごとにおこなった(図-7)。堤防整備及び護岸整備とともに、河道整正がおこなわれたが、S56出水やH23出水の前後では、蛇行振幅が大きく変化している。特に皿型断面形状を有し、河岸が護岸によって拘束されていない区間③や区間④では顕著であった。

本研究では、音更川の河岸侵食及び滞筋形状の変化特性を踏まえた危険箇所評価をおこなうことを目的として、護岸等の影響が少なく、また、H23出水で堤防が流出した区間を含む区間③及び区間④を検討区間とした。

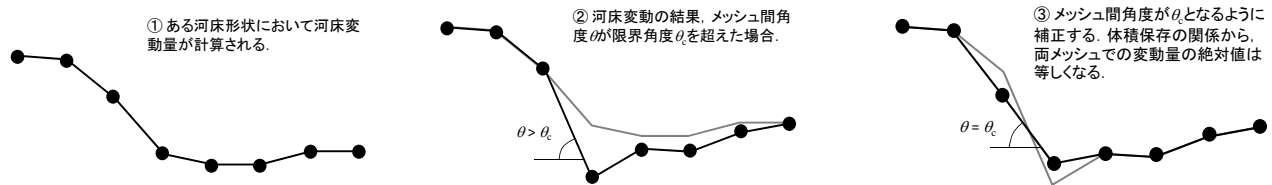


図-8 Nays2Dの河岸侵食モデルイメージ図

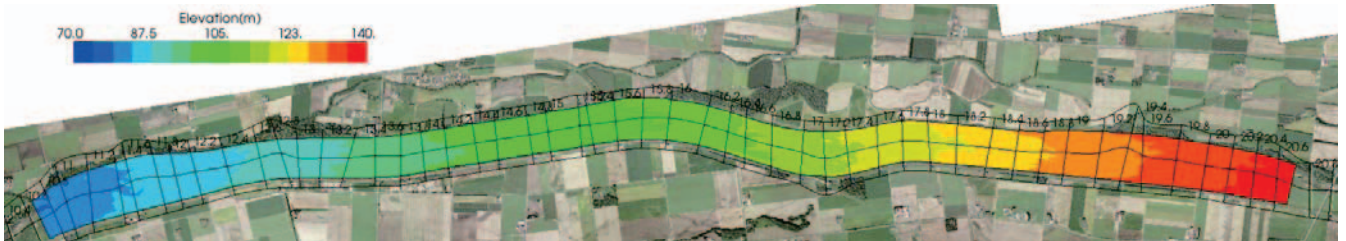


図-9 計算領域と河床高コンター図

4. H23出水の再現計算と考察

本研究では、次に出水が生じた場合の危険箇所評価に平面2次元河床変動解析を用いる。平面2次元河床変動解析には、河床及び河岸の変動を考慮可能なNays2Dを用いることとした²⁾。ここでは、Nays2Dの特徴を踏まえ音更川への適用性について検討し、危険箇所の評価方法について考察をおこなった。なお、適用性検討及び危険箇所の評価方法は、H23出水の再現計算を通じておこなった。

(1) Nays2Dについて

a) 流れ及び河床変動計算

Nays2Dの流れ計算には、非定常・平面2次元浅水流方程式が採用されており、洪水流を対象とした平面流況計算が可能である³⁾。河床変動計算には複数のオプションを選択することが可能であるが、音更川が急流河川であること、河床材料が全川のほぼ同等とみなせることを踏まえ、均一粒径・掃流砂のみを考慮して河床変動計算をおこなうこととした。なお、掃流砂量の算定式には、芦田・道上式を用いることとした。

b) 河岸侵食の計算

Nays2Dでは、砂礫の水中安息角 θ_c を判定基準値として、河岸侵食を考慮することが可能である⁴⁾。具体的には、河床変動の計算中に任意の計算点とそれに隣り合う計算点の河床勾配角 θ が、 θ_c 以上に急勾配になったとき、斜面が崩落するとして、任意の計算点及びそれに隣り合う計算点の河床高を変化させることで河岸が侵食されることをモデル化している(斜面崩落モデル)。なお、河床高を変化させる前後で、砂礫量は保存されるよう河床高を決定している(図-8)。

斜面崩落モデルでは、判定基準値 θ_c の値によって河岸の崩落しやすさを考慮することが可能であるが、河岸勾配が格子サイズに依存するため、垂直に近い河岸勾配は取り扱えない。

(2) 計算条件

a) 計算領域と境界条件

本研究では、河岸侵食による滞筋形状の変化を踏まえ危険箇所の評価をおこなうため、区間③及び区間④を計算領域として設定した。また、横断方向は堤間を対象し、全領域移動床として計算をおこなった(図-9)。

上流端境界は、H23出水前後で平均河床高及び最深河床高ともに大きな変化がみられなかったKP19付近とし、供給土砂量の条件には動的平衡を用いた。

下流端境界は、出水前の滞筋形状が比較的直線的な形状を有する箇所としてKP11付近を選定し、等流条件を仮定し、計算をおこなった。

b) 初期河床形状と計算格子

音更川は滞筋形状の変化が大きく、横断測量では測線間の変化を適切に表現することが困難である。一方、LP測量では、平時の水面以上の高さの河道内地形を詳細に把握することができる。音更川の流況特性から平時は河道内の河床がほとんど冠水していないのに対し、H23出水時にはほぼすべての河床が冠水したことを踏まえ、本研究では、初期河床をH18年に測量されたLPデータを用いて計算に用いる初期河床形状を作成した。

計算格子は、初期河床作成に用いたLPデータの測点間隔：約5[m]程度の精度及び河岸侵食モデルの特性を踏まえ、流下方向：分割数801、分割幅10[m]、横断方向：分割数53、分割幅5[m]程度の計算格子とした。

c) その他計算条件

河床材料は、区間③及び区間④の平均粒径：31.1[mm]、マニング粗度係数は粒径から算出した0.025とした⁵⁾。また、音更川では樹木が広範囲に繁茂していること、及び、Nays2Dでは樹木流出を考慮できないことを踏まえ、H23出水後の航空写真から樹木領域を設定し、H21年に実施された樹木調査結果から樹木抵抗係数は $C_r=0.7$ 、遮断面積は $a_s=0.03$ とした。斜面崩落モデルの判定基準値は、永多ら⁶⁾の報告を参考に 30° とした。

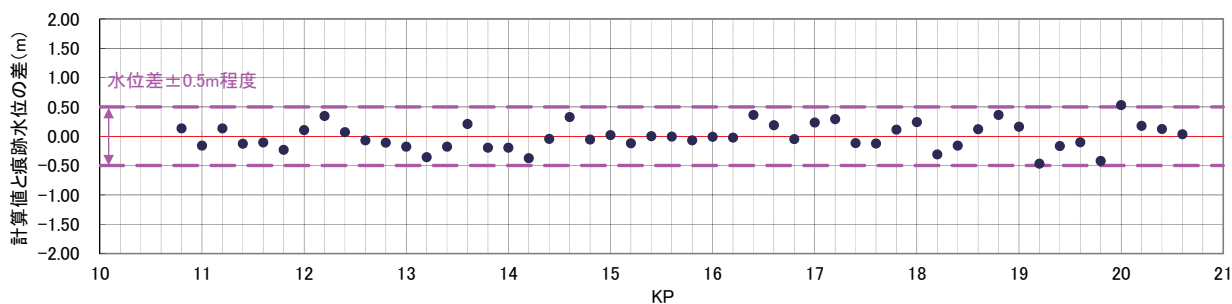


図-10 痕跡水位と計算中最大水位の比較 (=計算水位－痕跡水位)

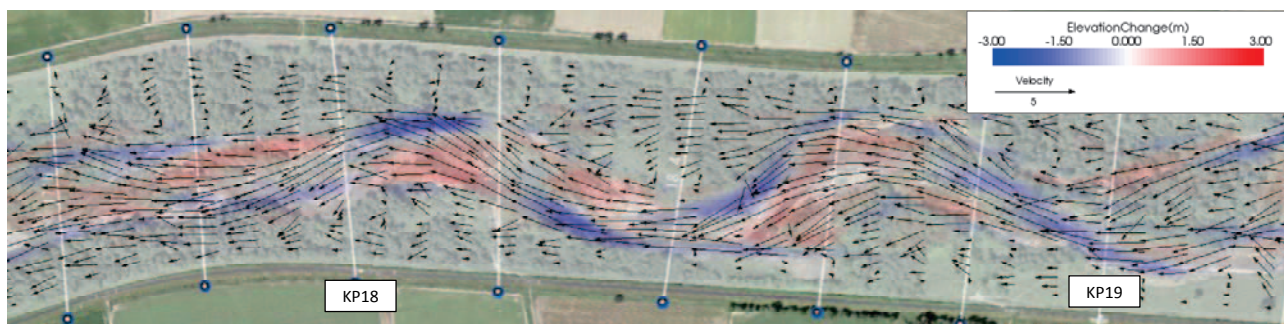


図-11 ピーク流量前 (流量: 391m³/s) の流速ベクトルと初期河床からの変化高

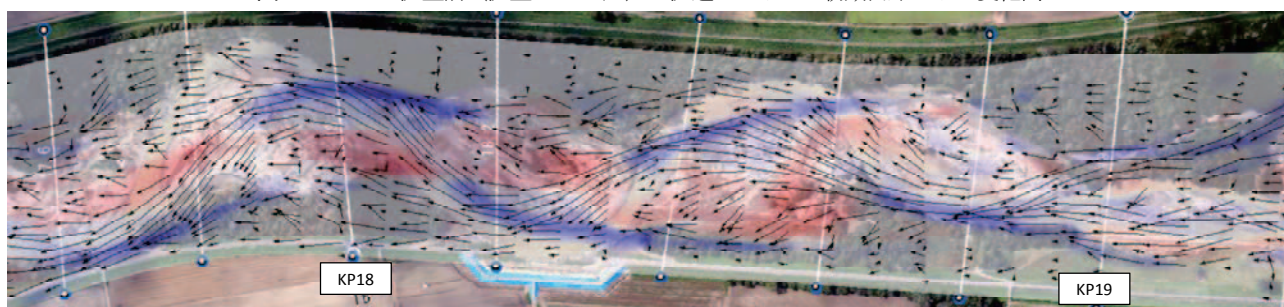


図-12 ピーク流量後 (流量: 394m³/s) の流速ベクトルと初期河床からの変化高

(3) 考察

a) 流況特性

計算中の最大水位と痕跡水位の比較したところ、差異は±50cm程度あった(図-10)。そのため本計算モデルにより、平均的な流況は概ね把握できると考えられる。局所的な差異について、航空写真や横断図から確認したところ、計算水位のほうが低い箇所では樹木の影響が、計算水位が高い箇所では、砂州の発達など河床形状が影響していると推察された。

b) 河床変動・河岸侵食・滞筋移動特性

堤防の一部が流出したKP18.2に着目し、出水ピーク流量前後の同流量下における流速ベクトルと初期河床高からの変化高を示す(図-11, 図-12)。図中の航空写真は、平成22年(図-11)とH23出水後撮影(図-12)に撮影したものである。ピーク流量前(図-11)は、出水前の滞筋部を中心とした流況となっている。また、河床は滞筋内で変化し、滞筋湾曲外岸で洗掘、内岸で堆積が生じている。ピーク流量後(図-12)は、ピーク流量前と比べ、滞筋形状の変化が確認できる。これは、滞筋外岸部の洗掘の進行にともない、滞筋部と高水敷部の比高が大きく

なり、当該箇所の河床勾配が急になることで、斜面崩壊が生じたためである。それら河床変動及び河岸侵食の結果形成された滞筋形状は、H23出水後の滞筋形状に近づいており、Nays2D及び本計算で設定した条件の妥当を示すものと考えられる。また、ピーク流量前後の流況を比較すると、ピーク流量後のほうが堤防近傍に高速流が発生しており、同流量であったとしてもピーク流量後のほうが危険になることが推察される。

c) 危険箇所の評価方法

滞筋部の移動が、出水前の滞筋湾曲部外岸の洗掘により生じることを踏まえ、H23出水中の最深河床高位置の移動に着目し、最深河床高が最も左右岸の堤防に近づいた位置とH23出水後に測量されたLPデータを用いて作成した各格子断面の最深河床高位置の比較をおこなった(図-13)。堤防から最深河床高までの距離が近いほど危険であるが、計算結果が過大に評価している箇所や堤防の一部流出が確認されたKP18.2左岸では過小評価となっていることを踏まえると、本評価は対策優先度を検討する上で、相対的な指標として用いることが妥当と考えられる。

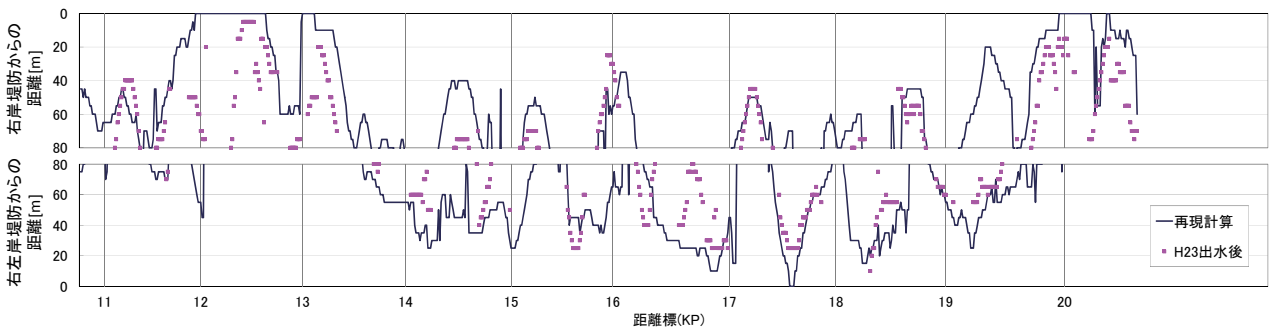


図-13 H23出水における左右岸堤防から最深河床高位置までの距離

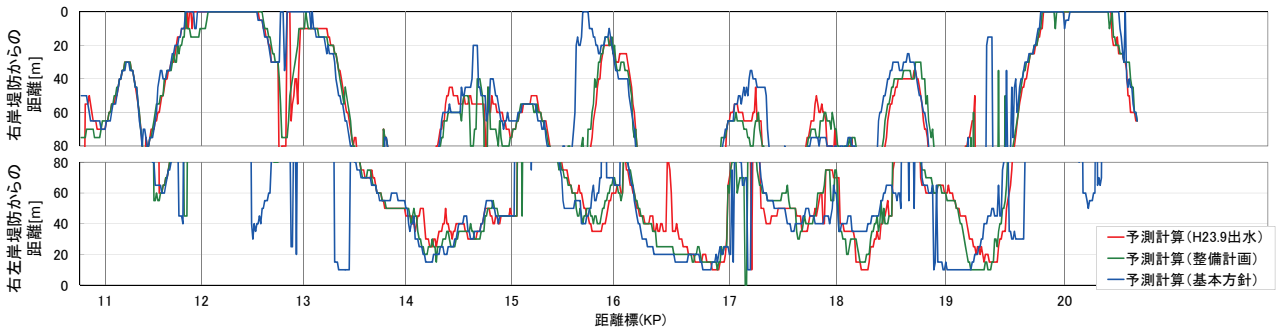


図-14 次の出水時の危険箇所評価

5. 危険箇所の予測評価

再現計算を通じて得られた評価手法を用いて、音更川で次に出水が生じた場合の危険箇所の評価をおこなった。危険箇所評価は、H23出水後の河床形状を初期河床とし、3種類のハイドロ（H23出水ハイドロ：ピーク流量 $526\text{m}^3/\text{s}$ 、整備計画目標ハイドロ：ピーク流量 $900\text{m}^3/\text{s}$ 、及び、基本高水ハイドロ：ピーク流量 $1700\text{m}^3/\text{s}$ ）を与えた将来予測計算の結果を用いておこなった。なお、樹木条件はH23出水後の分布とした（図-14）。

ピーク流量規模の増大に伴い、危険箇所が下流側にその範囲を広げることや新たな危険箇所の発生が確認できるものの、それら箇所が大きく変化しないことが確認できない。そのため、ピーク流量やハイドロパターンの異なる出水が生じたとしても、澁筋形状の変化により堤防等が危険となる箇所は概ね同じと考えることができる。

6. まとめ

本研究では、Nays2Dを用いて音更川のH23出水時の澁筋形状の変化特性の確認および危険箇所の評価方法の検討をおこなった。結果、出水中の澁筋形状の変化特性を概ね表現することができた。また、最深河床高位置に着目した評価手法により、出水で危険となる箇所を評価することができた。さらに、同評価手法を用いて音更川で次に出水が生じた場合に危険となる箇所の評価をおこ

なった。結果、H23出水後の河道では、ピーク流量等が異なる出水が生じたとしても、危険と評価される箇所は概ね同じであることが確認できた。

本論文で示した評価手法は、その特性上危険箇所を絶対的に特定できるものではないが、堤防保護対策等を検討する上で、対策の優先箇所評価に資することができると考えられる。

参考文献

- 1) iRIC研究会：http://i-ric.org/
- 2) Nays2D Soler Manual: http://i-ric.org/ja/download/get/Xozn8x
- 3) Jang, C. and Y. Shimizu：Numerical simulation of relatively wide, shallow channels with erodible banks, Journal of Hydraulic Engineering, 131(7), 565-575, DOI:10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:7(565).
- 4) 清水 康行：河道平面形状の形成における河床・河岸の変動特性の相互関係について、水工学論文集，第47巻，pp.643-648，2003年2月。
- 5) Toshiki Iwasaki, Yasuyuki Shimizu & Ichiro Kimura：Numerical simulation on bed evolution and channel migration in rivers,in Proceedings River Flow 2012.
- 6) 永多 朋紀・渡邊 康玄・安田 浩保・伊藤 丹：砂州地形に誘発された蛇行発達，土木学会論文集B1（水工学）Vol.69，No.4，I_1099-I_1104，2013。

(2013. 4. 4受付)