

高水敷に耕作地と樹木群を有する 蛇行河川における洪水流と河床変動

FLOOD FLOWS AND BED VARIATION IN A COMPOUND MEANDERING CHANNEL WITH CULTIVATED LANDS AND THE TREES

飯島直己
Naoki IJIMA

The sediments tend to deposit on the river bed due to decrease of velocity caused by effects of tree along meandering low water channel. Therefore, it is required to make clear the effects of tree and plan shape on flood flows and bed variation. In the Tokoro River, sediments deposit in the low water channel by these effects of 2006 flood. So, it is important to estimate rate of sediment deposition in meandering channel with tree for flood control measure. The objective of this paper is to clarify effects of tree along meandering low water channel and of field erosion on sedimentation, by observed data and unsteady two-dimensional river bed variation analysis. As the result, we showed that trees along low water channels makes flow velocity decrease, and led to the soil deposition which was supplied from cultivated lands.

Key Words : *trees, meandering low water channels, field erosion, flood flow, bed variation, unsteady two-dimensional river bed variation analysis*

1. 序論

北海道北東部を流れる常呂川は、低水路が大きく蛇行し、その河岸際には樹木が繁茂している。また、広い高水敷の大部分は耕作地として利用されており、洪水時は上流山地域からの土砂流出と相まって、濁水となり流下する。H18年洪水時には、大量の土砂流出に伴い(写真-1)、低水路河床に縦断的に土砂が堆積した。また、H13年洪水時には多量の土砂が海域に流出し、河口沿岸で養殖を行っているホタテ貝に甚大な被害が生じている。これらは、治水上、そして河川環境上の問題となっており、その原因と対策を把握することが河川管理上の課題となっている。

河道内に繁茂する樹木群は、洪水の流下断面を狭め、水位上昇等の治水上の問題を引き起こすことが知られている。蛇行低水路沿いに樹木が繁茂すると、樹木内の遅い流れが低水路内に流入することで流速が低下し、低水路河床に土砂が堆積し易くなることが考えられる。よって、河道線形と樹木群繁茂の位置関係が洪水流と河床変動に与える影響を明らかにすることが求められる。福岡ら^{1),2)}は、江の川を対象に水害防備林が流れや河岸侵食、河床変動に及ぼす影響を検討し、水防林を伐採すると、洪水流況が変化し、河岸段丘上に侵食を引き起こす傾向があることを示している。さらに、複断面の蛇行低水路沿いに連続的に樹木を設置した実験を行い、樹木群内流れと低水路流れの干渉により、低水路内流量が少なくな

り、水位上昇を引き起こすこと、高水敷幅が狭いと最大流速が堤防近傍に現れること等を示している。樹木群が洪水流に及ぼす影響は、樹木群幅や高水敷幅、低水路幅などの断面緒言によって変化することが知られており³⁾、様々な実河道において、洪水流と樹木群抵抗の関係を検討する必要がある。しかし、実河道を対象とした検討事例は未だ少なく、今後の河川維持管理を考えていく上で、より検討例を増やすことが求められる。

一方で、海域への土砂流出特性に関しては、未だ不明確な点が多い。長谷川ら⁴⁾は石狩川下流部を対象に洪水中の濁度観測を行い、様々な洪水流に対し、洪水時の浮



写真-1 海域への土砂流出状況(H18年10月洪水)

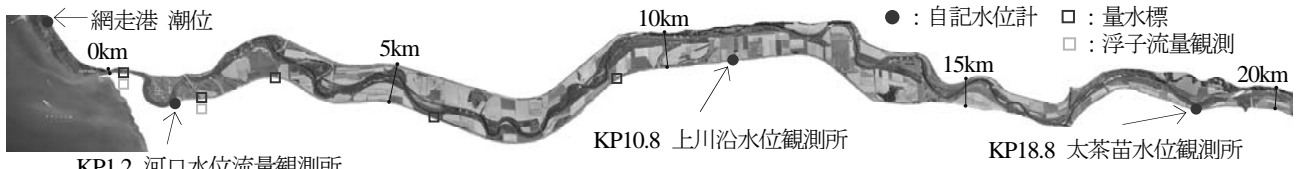


図-1 H19年9月時の航空写真

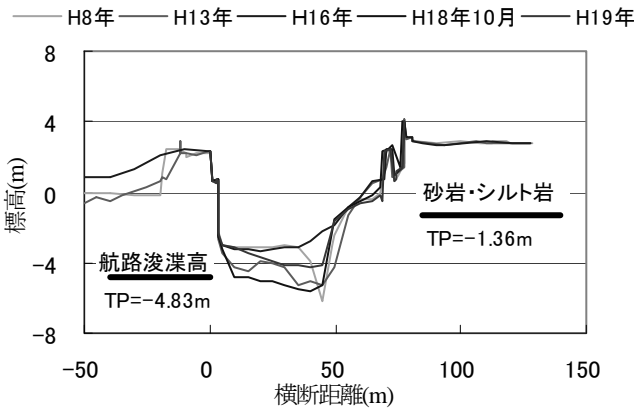


図-2 0.0km地点における横断面の経年変化とボーリング調査結果

遊砂濃度ハイドログラフについて考察を行っている。また、黒田ら⁵⁾は常呂川においてH14年洪水及びH15年洪水を対象に濁度観測を行っており、その結果、海域に流出する浮遊砂濃度は洪水発生時期により異なるものの、10月の出水では二山の波形を有する観測結果を得ている。これらは、洪水時の濁度観測を基にした貴重な研究であるが、解析的な検討にまでは至っていない。

本研究では、複雑な河道特性を有する常呂川を対象に、実測データと浮遊砂を考慮した非定常平面二次元河床変動解析法を用いて、洪水流と河床変動の関係を検討する。そして、上流山地域及び高水敷耕作地からの土砂供給が縦断的な土砂堆積に及ぼす影響を検討し、蛇行低水路沿いの樹木群が洪水流と河床変動に与える影響について明らかにすること、海域への土砂流出特性を把握することを目的とする。

2. 対象区間・対象洪水の概要

検討対象区間は常呂川の0.0km～20.0kmとした。図-1はH19年9月時の航空写真に観測所の位置を併せて示している。約10kmピッチで水位観測所があり、9.0kmより下流区間では、量水標を用いた水位観測が洪水ピーク付近の約8時間行われている。また、0.2km、1.5km地点では浮子による流量観測が行われている。河口には大きな蛇行狭窄部を有しており、ボーリング調査により河岸は露岩していることが分かっている。図-2に0.0km地点における横断面の経年変化と河岸におけるボーリング調査結果を併せて示す。航路確保のためTP=-4.83mまで掘削が行われており、この掘削高以上は河床洗掘がさほど

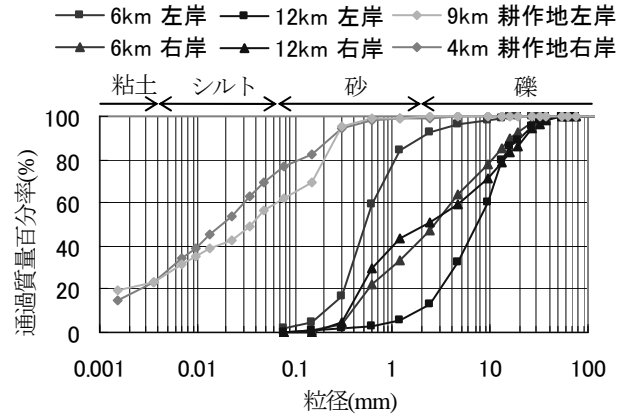


図-3 河床材料粒度分布

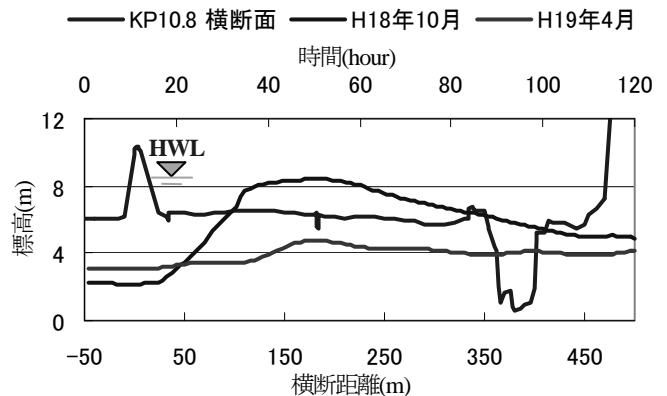


図-4 横断面形状と水位ハイドログラフ

生じていないことが分かる。0.2km、0.4kmにおいても同様の傾向を確認しており、この蛇行狭窄部では河岸だけでなく河床にも岩が露出していると考えられる。河床材料粒度分布に関しては、H15年に1.0kmピッチで低水路左右岸、H21年に4.0km左岸・9.0km右岸高水敷耕作地において調査が行われた。図-3に対象区間内の代表地点における河床材料粒度分布を示す(調査位置は図-10に示す)。低水路は主に砂礫、耕作地はシルト・粘土で構成されている。

常呂川は北海道の河川であるため、図-4に示すような低水路満杯程度の水位で流れる融雪出水が毎年発生している。同図に示しているH18年10月洪水は、上川沿観測所において計画高水位近くまで水位が上昇した大規模な洪水である。本研究では、H18年10月洪水を対象に洪水流と河床変動の検討を行う。

3. 低水路の土砂堆積と耕作地の浸食

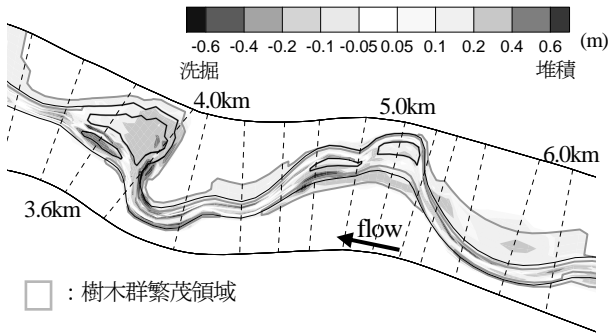


図-5 低水路における実測河床変動コンター

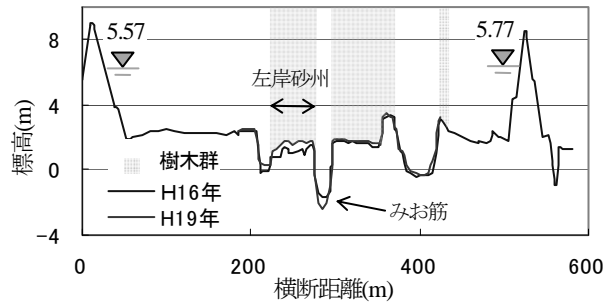


図-6 3.6km地点の横断面と左右岸痕跡水位



写真-2 H19年6月時 3.6km地点左岸砂州の土砂堆積



写真-3 15.5km地点右岸における耕作地の侵食

図-5に4.0km付近の低水路における洪水前後での実測河床変動コンター、図-6に3.6km地点の横断面と左右岸痕跡水位を示す。蛇行低水路に沿って樹木が繁茂している3.8km, 5.4km付近において、顕著に土砂が堆積していることが分かる。痕跡水位を基に相対水深を求めると約0.4~0.5程度となり、流れは複断面的蛇行流れとなる。すなわち、洪水流は堤防線形に沿って、直線的に流れていたと考えられる⁶⁾。3.8km, 5.4km付近では、蛇行低水路沿いの樹木群により流速が低減し、土砂堆積が生じたものと推察できる。写真-2は3.6km地点左岸砂州(横断距離=250m付近)における土砂の堆積状況を示している。砂州を形成している河床材料は砂礫であり、その上にシルト・粘土質の材料が堆積している様子が分かる。

図-7に洪水後に高水敷測量が行われた12.0km地点の横断面を示す。洪水の作用により、左岸高水敷において0.3m~0.4m程度の洗掘が生じていることが推測される。

写真-3はH18年洪水による15.5km地点右岸における耕作地の侵食状況である。河床に凸凹が生じており、耕作地の表土が流出している様子が分かる。

以上のことから、洪水時はシルト・粘土質の材料で構成される耕作地が洗掘され、その細粒土砂が3.6km地点を含めて縦断的に堆積していると考えられる。

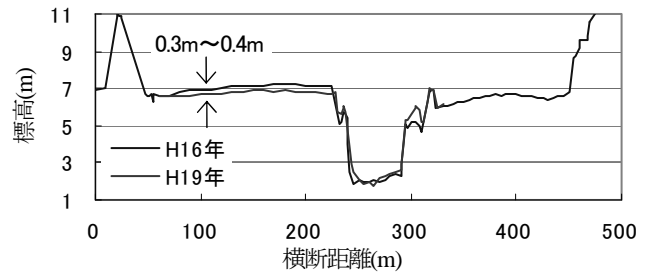


図-7 12.0km地点の横断面

報が現れているとの考えから、水面形の時間変化を解とした非定常平面二次元解析法を提案している⁷⁾。この解析法の特徴は、観測精度の高い水位ハイドログラフを上下流側の境界条件として与え、粗度係数は河道自身が持つ一定の抵抗値と考え、樹木群透過係数を観測水面形と解析水面形が全体的に合うような値を用いることで⁸⁾、高精度に洪水流と河床変動の検討が出来る点にある⁹⁾。

非定常平面二次元方程式は、蛇行度が大きい個所では十分に二次流を表現でき得ない。しかし、常呂川は広い高水敷、狭い低水路を有する河道であり、水位が高いときは複断面的蛇行流れとなることから、本解析法を適用し、高水敷の耕作地と蛇行低水路沿いに繁茂する樹木群が河床変動に与える影響について考察する。樹木群抵抗は式(1)に示す樹木群透過係数を用いて評価する。

$$(\tau_{k\xi}, \tau_{k\eta}) = \left(\frac{gh_{tree}}{K^2} \right) \sqrt{u^2 + v^2} (U, V) \quad (1)$$

ここで、 K : 樹木群透過係数, h_{tree} : 樹高, g : 重力加速度, $(u, v) \cdot (U, V) : (x, y) \cdot (\xi, \eta)$ 方向流速

4. 非定常平面二次元河床変動解析

(1) 解析方法と解析条件

福岡は洪水時の水面形の時間変化に洪水流の全ての情

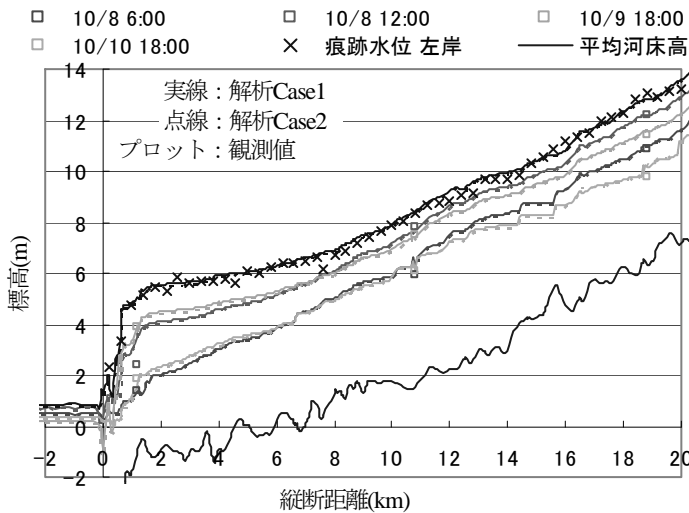


図-8 痕跡水位と解析最大水位の縦断分布及び観測水位と解析水面形の比較

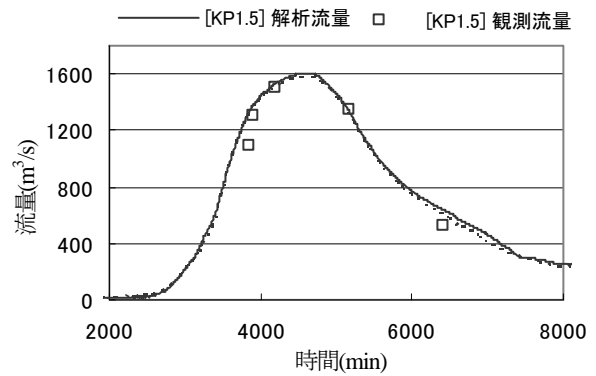


図-9 流量ハイドログラフの比較

表-1 解析に用いた粗度係数と樹木群透過係数

粗度係数($m^{1/3}s$)		樹木群透過係数(m/s)	
低水路	0.020~0.015	密な樹木群	10~15
高水敷	0.035	疎な樹木群	35~60

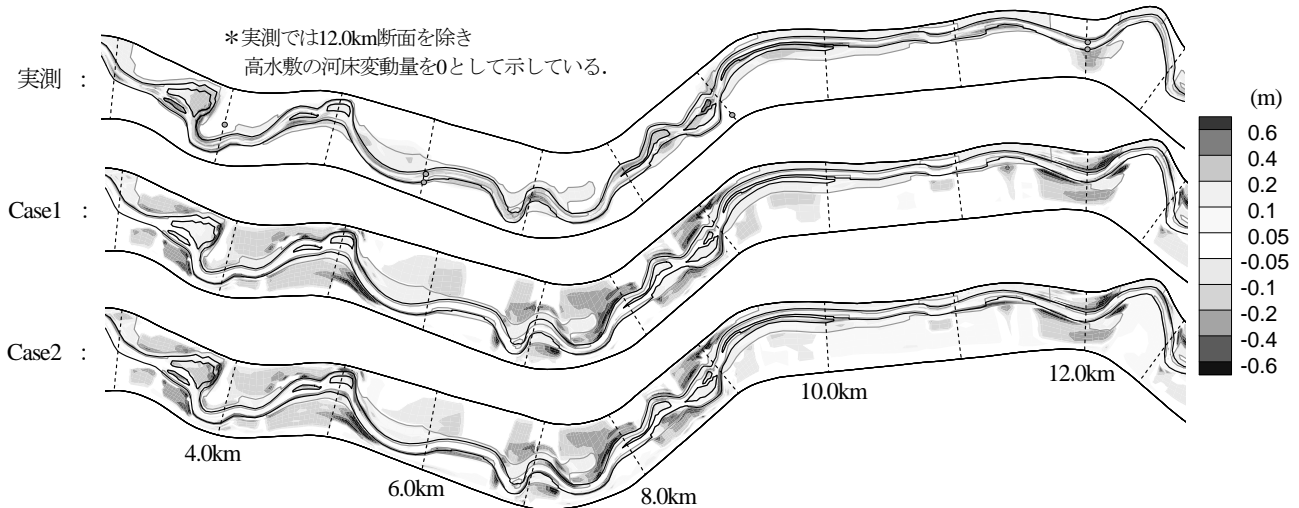


図-10 実測低水路河床変動コンターと解析河床変動コンターの比較

成分である。

従来までの洪水解析⁸⁾では、水面形の時間変化や流量ハイドログラフの算出を目的とし、樹木群抵抗はある区間の平均的な抵抗値として考えてきた。しかし、樹木群内の土砂堆積を表現するには、より詳細に抵抗分布を考慮する必要がある。ここで、一メッシュ毎に抵抗値を変化させることは実用的ではない。よって、本解析では、航空写真を用いて密に繁茂している樹木群には大きな抵抗値を与えることで、樹木群内の土砂堆積を再現する。

河床変動解析では、縦断及び横断方向流砂量式に芦田・道上式¹⁰⁾、長谷川の式¹¹⁾を用いた。また、沈降速度はRubeyの式、鉛直濃度分布式はLane-Kalinskeの式、浮上量は板倉・岸の式を用いている¹²⁾。流れの境界条件は、上流側に18.8km太茶苗観測所水位、下流側に網走港潮位を与えている。土砂の境界条件に関しては、掃流砂は上流端の断面において動的平衡状態を仮定しており、浮

遊砂は上流山地域から流入する土砂の影響を考慮するため、上流端に与える境界条件を2パターン用意している。解析Case1では検討領域上流に設けた助走区間で浮遊砂濃度を発達させ、その濃度を与えている。解析Case2では、実測値で示される縦断的な堆積土砂量を再現するように、助走区間で浮上量を増大させ求めた濃度を与える。

(2) 解析結果

図-8に痕跡水位と解析最大水位の縦断分布の比較及び解析水面形に対する観測水位の比較を示す。図-9に実測流量に対する流量ハイドログラフの比較を示す。それぞれ、実線が解析Case1、点線が解析Case2である。表-1は解析に用いた粗度係数と樹木群透過係数を示している。密に繁茂している樹木群には10m/s~15m/s、疎に繁茂している樹木群には、福岡らのこれまでの研究を基に35m/s~60m/sの値を用いた⁸⁾。図-8より、1.2km地点の水

位上昇期において解析値と観測値の対応が低い。これは初期地形にH16年河床形状を用いており、H18年は8月にも洪水が発生しているため、その河床変動を考慮していないこと、また、河口付近は露岩しており、複雑な地形と粗度分布を持つことが原因と考えられる。しかし、解析Case1及び解析Case2共に他の時間帯及び痕跡水位と解析最大水位の縦断分布は概ね一致しており、流量ハイドログラフも実測値をほぼ捉えている。

図-10に実測低水路河床変動コンターと解析河床変動コンターの比較を示す。実測では、洪水後の高水敷測量が行われている12.0km断面のみ示している。解析河床変動コンターより、低水路河床や樹木群内には縦断的に土砂が堆積しており、耕作地は洗掘傾向にある。実測値と比較すると、4.0km付近の低水路内や樹木群内における土砂堆積の傾向、12.0km地点における左岸耕作地の浸食が再現されている。しかし、解析Case1では縦断的な堆積土砂量が少ない。3.6km地点において、実測値では0.2m程度の堆積が生じているが、解析Case1では0.05m程度しか生じていない。一方で、解析Case2では解析Case1に比べ縦断的な堆積土砂量が多く、3.6km地点でも、実測値と同程度の0.2m程度の堆積が生じている。このように、浮遊砂による河道内土砂堆積を検討するには、上流域から流入する土砂量を考慮に入れることが重要であると分かる。以下では、解析Case2を用いて考察を進める。

(3) 蛇行低水路の土砂堆積に及ぼす樹木群と耕作地の影響

図-11に4.0km付近の水位ピーク時における流速ベクトルと河床変動コンターを示す。みお筋に比べて幅の広い高水敷において高流速が発生し、樹木群内で流速が低下している。低水路が蛇行している5.0km付近では、樹木群内の遅い流れが流入することで、低水路内において大きな流速低減(1m/s程度)が生じている。河床に関しては、低水路から高水敷に流れが乗り上がる個所において局所的に大きな洗掘が生じ、耕作地が平均的に0.05m~0.1m程度洗掘されている。また、蛇行低水路沿いの樹木群の影響で流速が低減する個所において、顕著な土砂堆積が生じている。

常呂川では、年平均 $200\text{m}^3/\text{s}$ (低水路満杯流)程度の融雪出水が生じていることから、洪水流に伴う堆積土砂も融雪出水の作用により、流送されることが考えられる⁹⁾。そこで、H18年洪水解析後の河床形状・粒度構成を用いて、融雪出水による河床変動解析を行った。図-12に5.0km地点における実測低水路右岸の粒度分布と解析により求めた粒度分布の変化を示す(図-11に調査位置を示す)。平水時の低水路河床に存在する材料は砂礫であるが、夏の洪水により低水路河床には土砂が堆積し、その粒度分布はシルトであることが分かる。その後、融雪出

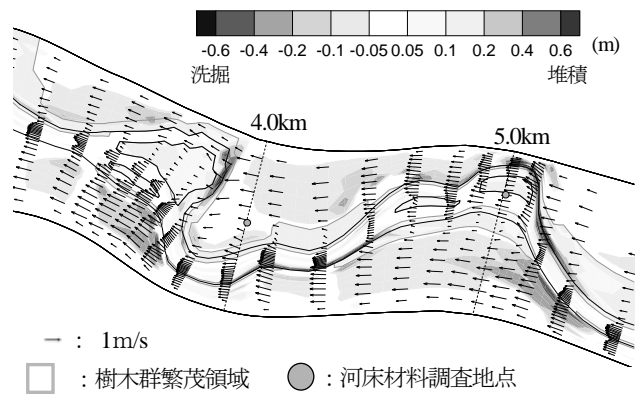


図-11 流速ベクトルと河床変動コンター

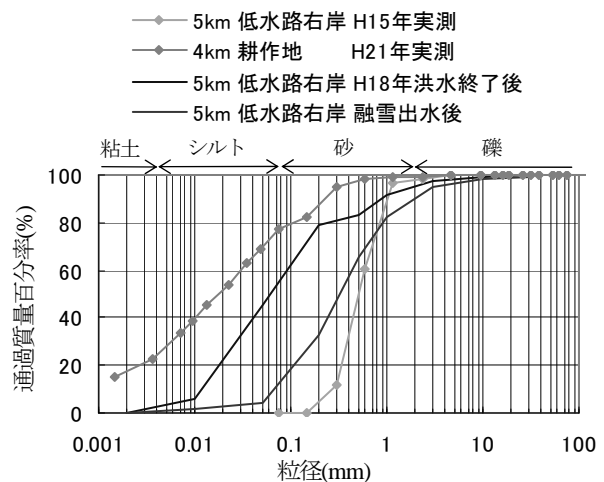


図-12 解析により求めた粒度分布の変化

水を解くと、低水路に堆積していた細粒土砂は流送され、本来河床に存在していた粒径に近づく。すなわち、低水路河床形状は融雪出水の作用により維持されていると言える。

(4) 海域への土砂流出特性

図-13に縦断的な流量及び浮遊砂濃度ハイドログラフの変形を示す。実線が浮遊砂濃度、点線が流量である。青線が上流域から流入する浮遊砂濃度、赤線が海へ流出する浮遊砂濃度を示している。上流域から流入する浮遊砂濃度は単調な波形であるのに対し、流下に伴い徐々に波形が変形し、海域に流出する浮遊砂濃度は二山の波形となる。図-14に粒径別の浮遊砂濃度ハイドログラフを示す。流下に従い $d=0.01\text{mm}$ 以下の浮遊砂濃度は増大していくのに対し、 $d=0.05\text{mm}$ 以上の浮遊砂濃度は低減していくことが分かる。 $d=0.01\text{mm}$ 以下の浮遊砂は沈降しづらく、流水に乗り素早く流れ出るため、上昇期に多く流出している。一方、 $d=0.05\text{mm}$ 以上の浮遊砂は浮上・沈降を繰り返し河床と交換しながら流れるため、下降期に多く流出している。このことは、流下に伴い浮遊土砂の分級が生じていることを示しており、その結果、海域に流出する浮遊砂濃度ハイドログラフは二山の波形を形

成する。

5. 結論

本研究では、実測データから洪水流と土砂堆積の関係を検討した。また、非定常平面二次元河床変動解析を常呂川下流部に適用し、上流山地域や高水敷耕作地から土砂供給が生じる河道において、蛇行低水路の土砂堆積に与える樹木群の影響及び海域への土砂流出特性を明らかにした。以下にその主な内容をまとめる。

- (1) 浮遊砂による河道内土砂堆積を検討するには、上流山地域から河川に流入する浮遊土砂量を考慮に入れる重要性を示した。
- (2) 蛇行低水路沿いに繁茂する樹木群は低水路内流速を低減させ、土砂を堆積させる。その堆積土砂は上流山地域及び高水敷耕作地から流送されるシルトであることを示した。
- (3) 毎年発生する融雪出水により、洪水時に堆積した細粒土砂は流送され、元来河床に存在した砂礫が河床表層に現れる。このことから、出水期には大きな河床材料の状態で洪水を迎えていることが分かった。
- (4) 広い粒度構成を持つ常呂川では、洪水時に浮遊土砂の分級が生じ、水位上昇期に比較的細かな粒径、水位下降期には比較的粗い粒径の土砂が海域へ流出し、浮遊砂濃度は洪水時に二山の波形を形成することを示した。

参考文献

- 1) 福岡捷二, 川岡秀和, 平林由希子: 水害防備林と低水路線形が洪水流に与える影響, 水工学論文集, 第42巻, pp.967-972, 1998.
- 2) 福岡捷二, 五十嵐崇博, 高橋宏尚: 江の川水防林の特性と治水効果, 水工学論文集, 第39巻, pp.501-506, 1995.
- 3) 福岡捷二, 藤田光一: 洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響, 土木試験所報告, 第180号の3, pp.42-50, 1990.
- 4) 長谷川和義, 大串弘哉, 道口敏幸: 洪水時における浮遊砂濃度の時間変化に関する実験研究, 年次学術講演会, II-244, pp.586-587, 1993.
- 5) 黒田保孝, 加納浩夫, 奥山昌幸: 常呂川水系常呂川における土砂流出調査に関する報告, 河川技術論文集, 第10巻, pp.167-172, 2004.
- 6) 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,

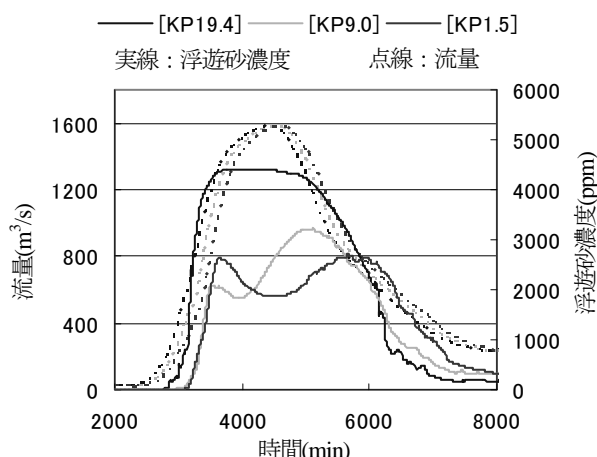


図-13 流量及び浮遊砂濃度ハイドログラフの変形

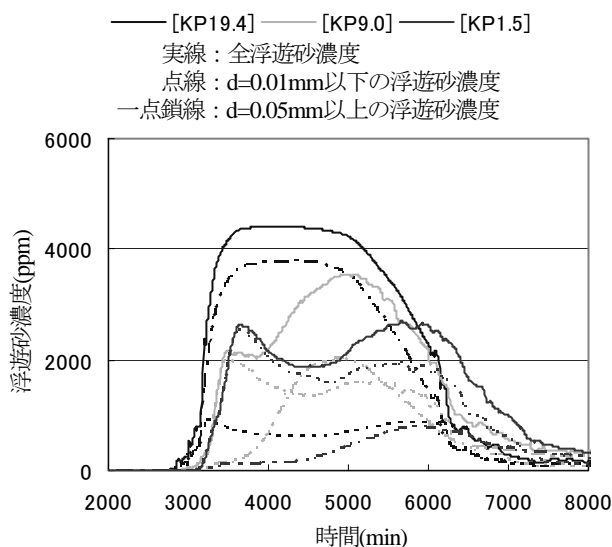


図-14 粒径別の浮遊砂濃度ハイドログラフ

No.754/II-66, pp.19-31, 2004.

- 7) 福岡捷二: 招待論文, 洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川維持管理技術, 河川技術論文集, 第12巻, pp.1-6, 2006.
- 8) 福岡捷二, 藤澤寛, 大沼史佳: 利根川河道の樹木群透過係数と高水敷粗度係数, 河川技術論文集, 第13巻, pp.333-338, 2007.
- 9) 川口広司, 藤堂正樹, 福岡捷二: 水面形時系列データに基づく交互砂州平均河床高の時間変化及び流量ハイドログラフ, 水工学論文集, 第53巻, pp.751-756, 2009.
- 10) 芦田和男・道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 11) 長谷川和義: 沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究, 北海道大学学位論文, 1983.
- 12) 清水康行, 板倉忠興: 浮遊砂を考慮した河床変動計算手法, 土木試験所月報第396号, 1986.