

# 太田川洪水の流下特性と河道被災形態に関する研究 ON CHARACTERISTICS OF CHANNEL FLOW, BED VARIATION AND VEGETATION DESTRUCTION BY OTA RIVER FLOODS

土木工学専攻 20号 後藤 岳久  
GOTO Takahisa

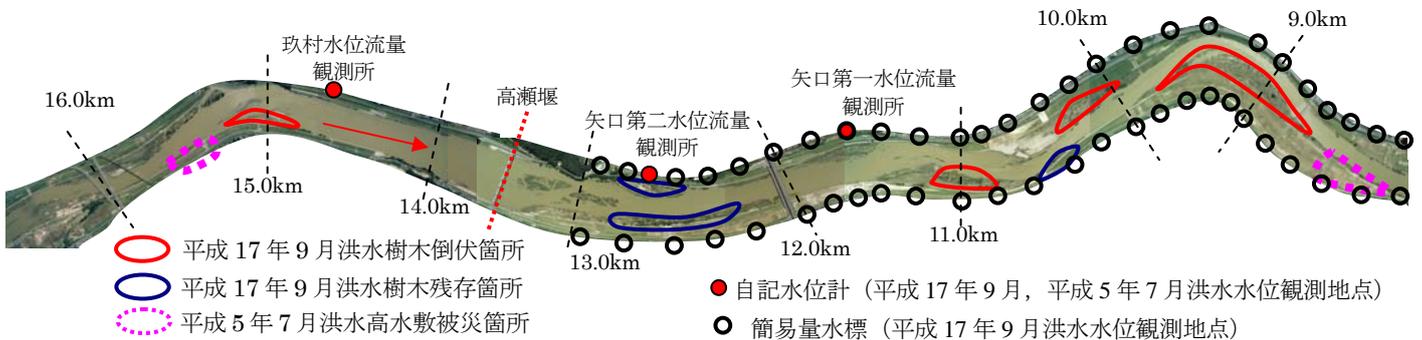


図-1 研究対象区間と河道内被災箇所

## 1. はじめに

我が国の多くの河川は低水路と高水敷を有する複断面蛇行河川であるため、複断面蛇行河川における洪水流の挙動と河道内で生じる被災形態について把握することは河川管理上重要である。複断面蛇行河川における洪水流・河床変動については、福岡・渡邊ら、B.B.Willetsらが複断面蛇行流れの三次元構造を明らかにしている<sup>1)</sup>。岡田・福岡らは複断面蛇行河川特有の複断面的蛇行流れの発生は、河道の平面形状と相対水深に支配されることを示し、さらに、複断面蛇行河川における河床変動特性を明らかにしている<sup>12)</sup>。しかし、洪水規模と河道の平面形状によって、河道の被災形態にどのような違いを及ぼすのかについての検討は十分行われていない。

太田川では、平成5年7月に1回/4~5年程度の洪水が発生し、図-1に示すように外岸高水敷が洗掘を受けた。平成17年9月には既往最大洪水を更新する大規模な洪水が発生し、内岸砂州が洗掘を受け、その上の樹木が大規模に倒伏した。本研究では、平成5年7月洪水と平成17年9月洪水を対象として、大規模洪水と中規模洪水における洪水流下特性と被災形態について検討した。さらに、大洪水時には、内岸砂州上の樹木群は流れに対し、大きな抵抗要素となることから、平成17年9月洪水で生じた樹木倒伏の機構について検討した。

## 2. 太田川の特徴と河道被災

太田川は、昭和18年9月、昭和47年7月、平成17年9月とほぼ30年周期で、計画洪水に匹敵する約7000(m<sup>3</sup>/s)の洪水が発生し、この間に、約4000(m<sup>3</sup>/s)の洪水が4,5年に一回発生している。研究対象とした8.0~16.0kmでは、平成年代から河道内の砂州上の樹林化が著しくなり、河道の流下能力が低下している。

平成5年7月に洪水ピーク流量が約4000(m<sup>3</sup>/s)の洪水が発生し、15.6km右岸、8.2km右岸の外岸高水敷が洗掘を受けた。平成17年9月には、洪水ピーク流量7200(m<sup>3</sup>/s)と既往最大洪水を更新する大洪水が発生した。その結果、内岸砂州上に繁茂していた樹木群が大規模に倒伏し、外岸側に繁茂する樹木群は残存した。図-2は矢口第一水位流量観測所

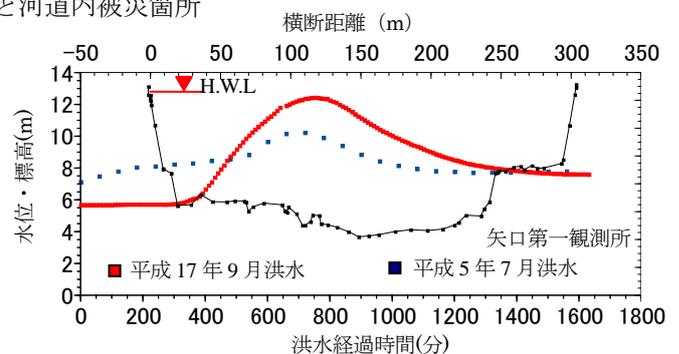


図-2 平成5年7月、平成17年9月水位ハイドログラフ

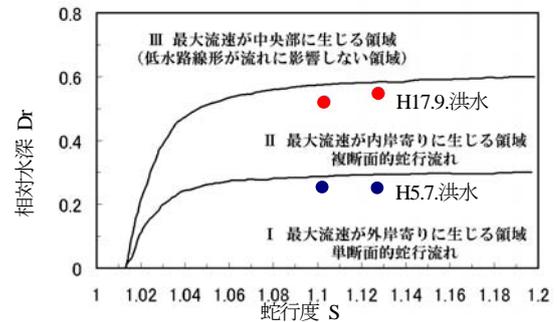


図-3 相対水深と蛇行度の関係<sup>12)</sup>

における平成5年7月洪水及び平成17年9月洪水水位ハイドログラフを示す。検討対象区間の主な蛇行部の蛇行度と洪水ピーク時における相対水深の値を岡田・福岡らによる相対水深と蛇行度の関係<sup>12)</sup>にプロットすると図-3になる。平成5年7月洪水は外岸寄りを主流が走る単断面的蛇行流れとなり、平成17年9月洪水は内岸寄りを主流が走る複断面的蛇行流れを呈していたと考えられる。洪水流の流下特性の違いが被災箇所・形態の違いを引き起こしたと思われる。一般に、蛇行河川では外岸側に護岸等が施工されており、低水路満杯を超える程度の水位のときが一番危険な流れとなる<sup>1)</sup>。一方、内岸側には固定砂州が形成され、その上に樹木が繁茂していることが多い。平成17年9月洪水では、内岸寄りを主流が走ることにより大規模な樹木倒伏が生じた。しかし、樹木倒伏が生じなければ洪水流の主流を妨げ、樹木群は大きな抵抗要素となる。そこで、平成17年9月洪水による内岸砂州上の樹木倒伏の機構を明らかに

するため、洪水流挙動と洪水時の河床変動の把握を行った。

### 3. 大規模出水による内岸砂州上の樹木倒伏

#### 3.1. 洪水観測と樹木倒伏・残存

研究対象区間における水位・流量観測地点を図-1に示す。観測データは、国土交通省太田川河川事務所よりお借りした。

平成17年9月洪水では、樹木の繁茂が顕著であった高瀬堰の下流13.0km~8.0kmの区間を研究対象とした。ここでは、洪水時の樹木の挙動を観測し、樹木管理に資することを目的とした水面形時間変化の観測が行われた。矢口第一水位観測所・矢口第二水位観測所における自記水位計に加え、簡易量水標により200m間隔で観測され、観測水面形の時間変化のデータが得られている。浮子による流量観測は、矢口第一水位流量観測所で行われた。

太田川では、樹木管理の一環として平成15年に詳細な樹木調査が行われている。調査範囲内の樹木に関して、平面座標及び樹種・密度・樹高・枝下高を観測し、平成17年9月洪水前の樹木データが得られている。

平成17年9月洪水は内岸寄りを主流が走る複断面的蛇行流れを呈していたため、図-1に示すように内岸砂州上で大規模な樹木群の倒伏・破壊が生じた。写真-1(a)(b)は洪水前後の内岸砂州を示す。洪水ピーク時に砂州上を主流が走ったため、内岸砂州上の河床は洗掘を受けている。内岸砂州上で生じた洗掘が、樹木倒伏に大きな影響を及ぼしたものと考えられる。一方、外岸側には写真-1(a)に示すように根固めブロックが施工され、河床洗掘を抑えている。そのため、大きな流速が生じていてもブロック群は移動せず、その上の樹木群は流失することなく残存している。このことは、蛇行・湾曲した外岸水際の作り方に重要な知見を与えている。福岡からは米代川で樹木群水製の現地試験を行い、水制が有効に働くためには河岸・河床が洗掘を受けないことと結論づけている<sup>1)</sup>。太田川の10.6kmにおける樹木群の残存は、河床が洗掘を受けないことが必要であることを裏付けている。

#### 3.2. 観測水面形の時間変化と樹木倒伏

福岡は、水面形の時間変化には河道形状・地状況、河床変動等の河道特性の影響が現れるとし、水面形時間変化の観測値を用いた河川管理技術の必要性を提案している<sup>13)</sup>。

図-4(a)は水位上昇期における観測水面形、図-4(b)は水位下降期における観測水面形を示す。平成17年9月洪水は計画高水位に達する洪水であったため、水位が簡易量水標の設置高さを超える箇所があった。このため、数箇所水位ピーク付近のデータが欠損している。図-4(a)(b)を比較すると、水位上昇期と下降期では水面形が大きく異なる。水位上昇期における水面形は、樹木が繁茂している区間で水位が堰上げられ、樹木群の上流側で水面形が緩やかになり、樹木群の直下流で急になっている。一方、水位下降期における水面形は全体として滑らかになっている。これは、水位上昇期では樹木群の影響が水面形に現れているものの、水位下降期では多くの樹木群が倒伏または倒伏に近い状態にあるためと考えられる。



写真-1(a) 9.2km 付近洪水前

写真-1(b) 9.2km 付近洪水後

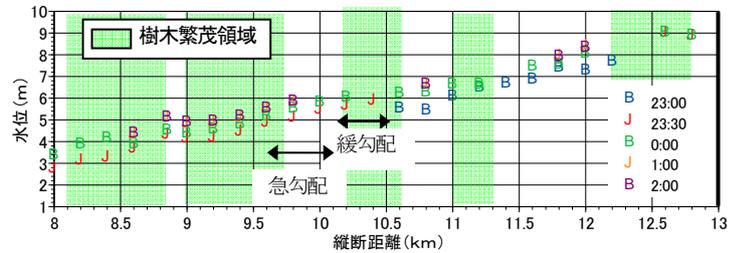


図-4(a) 水位上昇期における観測水面形

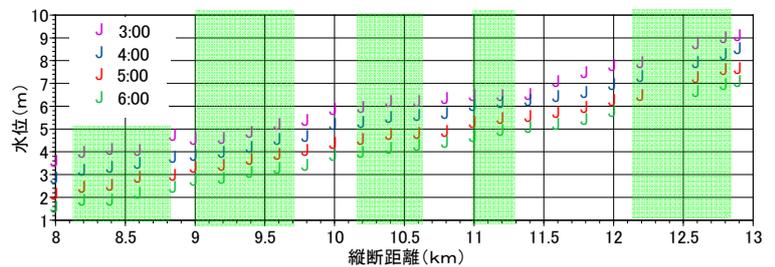


図-4(b) 水位期における観測水面形

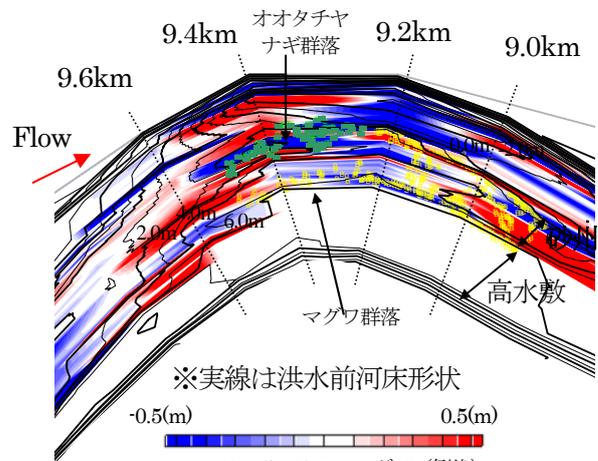


図-5 9.4km 付近河床変動コンター

#### 3.3. 洪水流による内岸砂州の洗掘と樹木倒伏

図-5は9.4km付近における洪水前後に行われた測量結果から描いた河床変動コンターを示し、その上に平成17年9月洪水による樹木倒伏・残存状況を示す。図-6は9.4kmにおける洪水前後の横断図を示す。平成15年に行われた樹木調査の結果より、検討対象区間では、砂州高と滞筋河床との比高差の小さい砂州の前縁付近にアカメヤナギやオオタチヤナギといったヤナギが繁茂し、砂州高と滞筋河床との比高差の大きい砂州上にマグワが繁茂していた。

平成17年9月洪水は内岸寄りを主流が走る複断面的蛇行流れを呈していたため、内岸砂州が洗掘を受けている。特に9.4kmでは内岸砂州の前縁付近が約2mもの洗掘を受けている。内岸砂州前縁に繁茂していたオオタチヤナギは複断

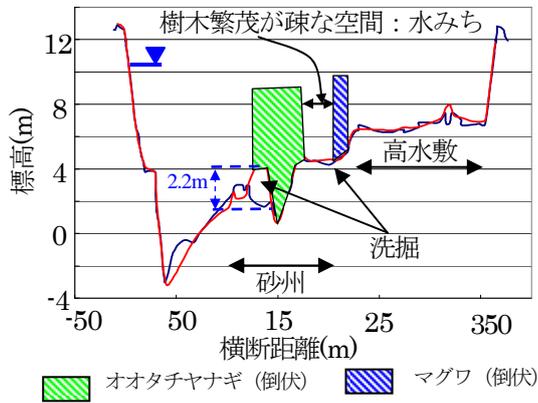


図-6 9.4km 横断形状と水みちの位置

面的蛇行流れによって洗掘を受け、写真-1(b)に示すように流失したものと考えられる。高水敷寄りに位置し、比高差の大きい内岸砂州上で倒伏したマグワの周辺も 30(cm)程度の洗掘を受けている。これは、マグワ群落とオオタチヤナギ群落の間に樹木が疎に生えている空間が存在し、この空間を内岸砂州に乗り上げた主流が水みちとして走ったことにより、砂州高と濬筋河床との比高差の大きい砂州上で洗掘を生じさせ、樹木群の倒伏が生じたものと思われる。

### 3.4. 非定常平面二次元洪水流・河床変動解析

#### 3.4. (a) 解析方法

川口・福岡らは、観測水面形の時間変化を解として洪水流と河床変動解析を一体的に行うことで、洪水時の流れ場と河床変動を再現する解析法を提案している<sup>4)</sup>。樹木の倒伏は河床洗掘と密接に関係していることから、洪水時の河床変動を再現し、樹木群の倒伏と洪水流、河床変動の関係について検討する。

解析は、福岡・渡邊らによる非定常平面二次元解析法<sup>5)</sup>を河床変動解析を含めて拡張している<sup>4)</sup>。河床変動については一般的な河床変動解析法を用いた。洪水解析の基礎式は、樹木群を考慮した非定常平面二次元解析の式であるので、ここでは、摩擦抵抗と樹木群抵抗を示す。

$$(\tau_{0\xi}, \tau_{0\eta}) = \left( \frac{gn^2}{h^{1/3}} + \frac{gh_{nee}}{K^2} \right) \sqrt{u^2 + v^2} (\tilde{U}, \tilde{V}) \quad (1)$$

ここで、 $(\tau_{0\xi}, \tau_{0\eta})$  : 反変 $\xi, \eta$ 方向せん断力,  $h_{nee}$  : 樹高,  $K$  : 樹木群透過係数,  $n$  : 粗度係数,  $h$  : 水深,  $g$  : 重力加速度,  $(\tilde{U}, \tilde{V})$  : 反変 $\xi, \eta$ 方向流速,  $(u, v)$  :  $x, y$ 方向流速である。樹木が大規模に倒伏し、樹木の抵抗力が変化したため観測された水面形の時間変化には樹木倒伏の影響が顕著に現れている。前述のように樹木倒伏はピーク水位を過ぎた時点で生じたことから、樹木群の抵抗力を評価する樹木群透過係数は、水位上昇期と下降期で異なる値を用いる。樹木群透過係数は樹木群の繁茂状況により、特徴的な区間ごとにブロック分けし、観測された水面形の時間変化を再現するように与えた。第3.3節で示した通り、9.4km付近の内岸砂州には水みちとなる場所が存在し、それが洗掘と樹木倒伏に密接に関係していることから、9.6~9.2kmに20mの幅で樹木群が無い領域を設けた。水みちを含む区間の樹木群透過係数は、水みちでの流速増大による樹木群内の流れと主流との混合による流れの付加抵抗を考慮した。水位下降期では、洪水後の砂州の洗掘が大きかったことか

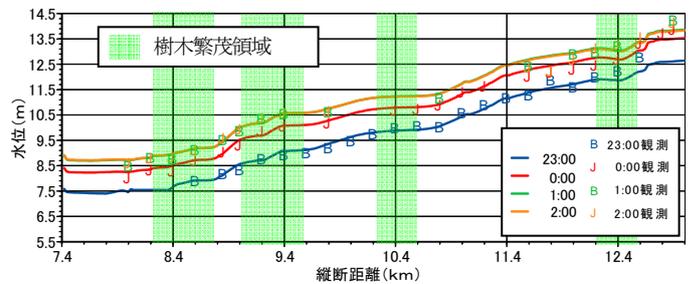


図-7 水位上昇期における解析水面形と観測水面形

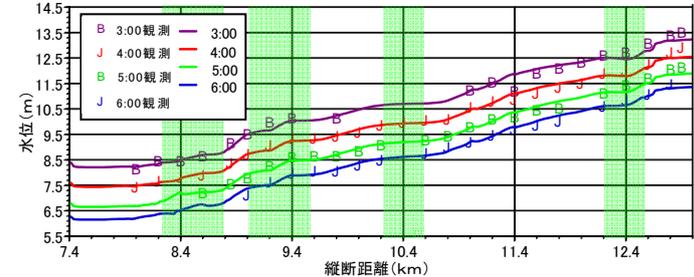


図-8 水位下降期における解析水面形と観測水面形

ら、水位ピーク付近で樹木群が流失したとし、水みちでの樹木群透過係数を無限大として解析を行った。マニングの粗度係数は河床形状、河床材料から判断して決定した。

表-1 樹木群透過係数及び粗度係数

位置	樹木群透過係数 K(m/s)		
	10:00~2:00 (水位上昇期)	2:00~3:00 (水位ピーク時)	3:00~7:00 (水位下降期)
8.0~9.6km 右岸	40	50	60
9.6~9.2km 右岸(水みち)	30	40	∞
10.4~10.8km 右岸	50	55	60
10.8~11.4km 右岸	40	50	60
8.0~8.8km 左岸	50	55	60
9.6~10.8km 左岸	50	55	60
粗度係数 $n(m^{-1/3}\cdot s)$			
低水路(8.0~13.0km)	0.025		
高水敷(8.0~13.0km)	0.035		

#### (b) 解析結果

図-7、図-8は、水位上昇期及び下降期における水面形の解析結果と観測値の比較を示す。水面形の解析結果は、水位上昇期及び水位下降期ともに観測結果を再現している。表-1は解析に用いた樹木群透過係数及び粗度係数を示す。9.4km付近の蛇行部は、内岸砂州上に樹木が密に生えていたため樹木群の抵抗が大きい。水みちのある区間では、水位上昇期には他の区間より小さな樹木群透過係数(K=30)を用いており、樹木群の流れに及ぼす抵抗を大きくしている。図-9は9.4km付近における流速分布と最大流速線、図-10は水位コンターと河床変動コンターの解析結果を示す。解析では、観測結果に見られた9.4km付近で樹木群の存在により水位が堰上げられ、樹木群の直下流で水面形が急になる現象が再現されている。内岸砂州上に乗り上げた主流は、樹木群の存在により外岸側に大きく曲げられ、内岸砂州前縁付近の流速が大きくなっている。内岸砂州上に乗り上げた主流の一部は、水みちを走り、水みち内の流速は3.0(m/s)以上ある。このため、図-10に示すように、9.4km~9.0km付近では内岸砂州前縁から濬筋にかけて洗掘を受けており、観測結果と概ね一致している。9.4km~9.0kmに生えていた樹木群は水位ピーク時付近において河床洗掘を受け、倒伏

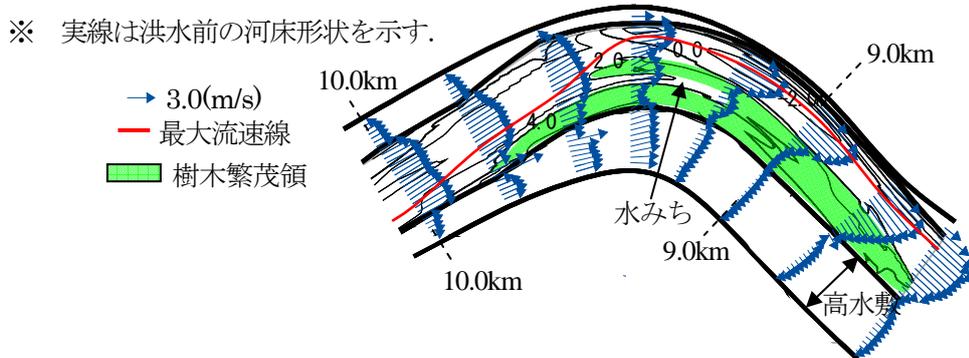


図-9 9.4km 蛇行部における水位ピーク時(午前 2:00)の流速分布と最大流速線

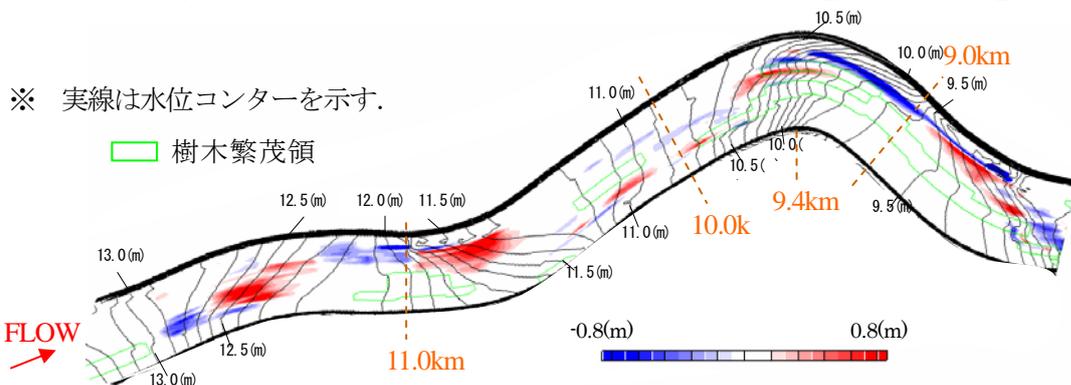


図-10 水位ピーク時(2:00)における河床変動コンターと水位コンター

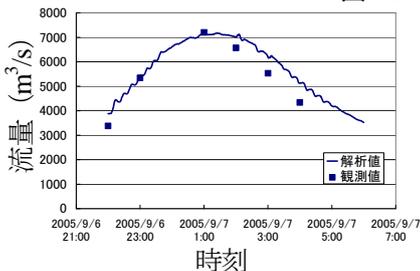


図-11 流量ハイドログラフの解析結果と観測値の比較

している。他の区間では、樹木群透過係数は倒伏した樹木群が抵抗となっているため、水位下降期では樹木の影響が相対的に小さくなる値を用いている。

河床形状の解析結果は、2m もの局所洗掘を受けていた 9.4km 地点の砂州の洗掘深を十分再現できなかつた。11.0km 付近は、内岸砂州前縁が洗掘を受けアカメヤナギが大量に倒伏していたものの、解析結果は 11.0km 付近の内岸砂州上の洗掘を十分再現できていない。これには以下に示す二つの理由が考えられる。第一に 9.4km 付近の砂州は 5~7(cm) の粗礫で構成され、10(cm)以上の粗石も多く存在する。11.0km 付近の砂州は、主に粒径 15(cm)を超える粗石で構成されている。このように大礫・石からなる河道の河床変動解析については河床材料が砂礫を中心とする慣用的な解析法では十分説明できないためと思われる。第二に樹木群透過係数は平均的な樹木群抵抗及び流れを表すもので、個々の樹木による局所流れや抵抗を表現するものではないことに関係している。

図-11 は流量ハイドログラフの解析値と観測値の比較を示す。解析結果は観測水面形の時間変化を再現し、洪水後の河床形状を概ね再現できていることから、得られた流量ハイドログラフ及び洪水中の河床変動は比較的精度の良い

したものと考えられる。そこで、9.4km~9.0km の砂州前縁では、この洗掘により樹木群が流失したとし、3:00 以降の樹木群透過係数を無限大と

ものであると考えられる。従って、観測された水面形時間変化を解として洪水流・河床変動解析を行うことにより、内岸砂州上の樹木群は、砂州前縁が洗掘を受けることで倒伏したことを明らかにした。太田川の検討対象区間では、洪水前の樹木繁茂状況であれば概ね 7000(m<sup>3</sup>/s)の洪水で樹木倒伏が生じることが分かった。

#### 4. まとめ

- 1) 太田川の複断面蛇行区間で生じる単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れによる河道の被災形態の違いを示した。異なる規模ごとに洪水流と被災状況のデータを観測し、比較検討し、河道管理に生かすことの重要性を示した。
- 2) 河川蛇行部、水衝部の河床洗掘対策と河川景観の視点から、護床ブロックと柳等を一体的に用いる河岸保護工法が有効であることを示した。
- 3) 観測水面形の時系列データを用いた洪水流・河床変動解析法を太田川洪水に適用することで、洪水中の河床変動と流れ場の再現を行い、本解析法の現地河川への適用性を検討した。その結果、いつ・どの程度の洪水流量規模で樹木が倒伏したのかといった樹木の倒伏機構を明らかにした。河床変動解析については、粗礫や粗石で構成された砂州河床の洗掘は、慣用的な河床変動解析法では、再現できていないため、石礫床の河床変動を表現するモデルが必要であることを示した。

参考文献 1)福岡捷二：洪水の水利と河道の設計法，森北出版，2005. 2)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，No.754/II-66，pp.19-31，2004. 3)福岡捷二：洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術，河川技術論文集，第12巻，pp.1-6，2005. 4)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の解析，水工学論文集，第53巻，2009. 5)福岡捷二，渡邊明英，原俊彦，秋山正人：水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算，土木学会論文集，No.761/II-67，pp.45-56，2004.