

太田川放水路と旧太田川への 洪水流量配分及び感潮域の河床変動

EVALUATING RATIO OF FLOOD DISCHARGE WITH BRANCHED SECTION
OF THE KYU OTA RIVER AND THE OTA RIVER FLOODWAY
AND BED VARIATION IN THE ESTUARY

後藤岳久¹・福岡捷二²・阿部 徹³
Takahisa GOTOH, Shoji FUKUOKA and Touru ABE

¹学生会員 修士(工学) 中央大学大学院 理工学研究科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²フェロー 工博 Ph.D. 中央大学理工学部特任教授, 中央大学研究開発機構教授
(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³正会員 国土交通省 中国地方整備局 太田川河川事務所 所長 (〒730-0013 広島市中区八丁堀3番20号)

The evaluation of bed variations during a flood is important for the understanding to the management of physical and ecological environment in river estuary. In the Ota River estuary, tidal level changes affect flood flow and bed variation with the branched section of the Kyu Ota River and the Ota River Floodway. The Ota River Floodway has the tidal flats on the river side which are habitats of the aquatic life in the brackish river. The bed variations in the Ota River Floodway is related to bifurcated flood discharge. So, we investigate temporal changes in bed topography due to floods and apply the quasi-three dimensional flow and bed variation analysis using observed temporal changes water surface profiles in Sep.2005's flood to estimate variation of bed topography during floods. The present analysis is found to provide fairly good estimated for bed variation.

Key Words : *Ota River floodway, brackish river, river bifurcation, bed variation, unsteady quasi three dimensional flood flow analysis*

1. 序論

河川感潮域における洪水流下特性や河床変動特性を把握することは、汽水域の河川管理と物理環境・生態環境を把握する上で重要である。これまで河口域における洪水時の河床変動については、一般に洪水痕跡水位の縦断分布が洪水のピーク時についてのもので洪水流解析を行い、洪水後の横断形状を用いた検討が行われてきた¹⁾。しかし、潮位変動の大きい河川感潮域の痕跡水位は、必ずしも洪水ピーク時についてのものではないため、これを用いた解析では洪水中に生じた現象を正しく評価することが出来ない。福岡は洪水流の水面形時間変化の観測値を用いた河川管理技術の提案を行っており²⁾、この視点に立って洪水流の解析的検討とその実河川管理への応用が数多く行われるようになった³⁾⁴⁾⁵⁾。さらに非定常流中の河床変動に関して、川口・福岡ら⁶⁾は水面形時間変化を用いた洪水流と河床変動の一体解析を行い、実験水路

における交互砂州の発達・減衰過程から、解析法の有効性を検討している。一方、実河川の感潮域においては、Suzuki, Fukuoka⁷⁾らにより筑後川洪水の観測水面形の時間変化を用い、洪水流と河床変動の一体解析による河床高と土砂移動の研究が行われ、実管理に用いられている。

太田川は潮位変動の大きい瀬戸内海に面しているため、河口部での潮位差が最大4mの大きさである。潮位変動は、河口から9.4km地点に位置する旧太田川と太田川放水路との分派点上流にまで及ぶ。太田川放水路は広島市内の洪水防御を目的として昭和42年に竣工した。放水路には干潟が形成され、汽水域特有の動植物が生息・生育している。そのため、放水路における洪水流と河床変動の把握は、放水路の治水機能評価と汽水域に生息する生物の物理環境を把握する上で重要である。太田川放水路と旧太田川における河床変動には、太田川放水路と旧太田川の流量配分が密接に関係する。平成19年には太田川放水路における計画高水流量の改訂が行われ、異なる流量配分となっている。また、分派点上流には土砂が堆積

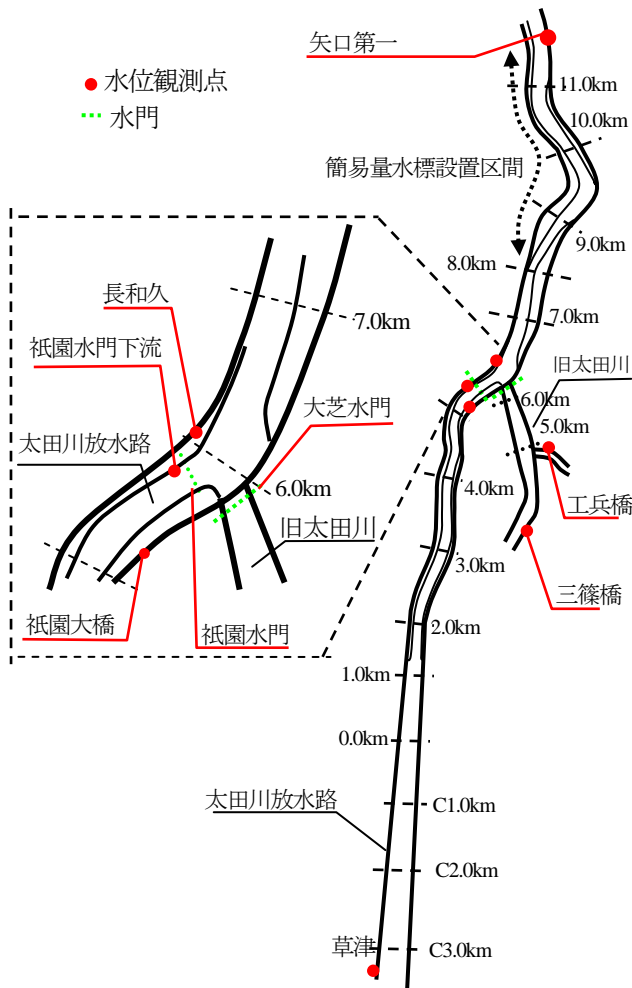


図-1 対象区間平面図

する等、流量配分の変更が確実に実行可能か検討する必要がある。

分派点の河道線形は二次流を発達させ、その上下流で特徴的な大きな河床変動をもたらす⁸⁾⁹⁾。太田川に分派点には堰が設置され、洪水時は複雑な曲線流れを呈している。内田・福岡は、このような流れ場に適用可能な非定常準三次元洪水解析モデルを構築している。これは、浅水流方程式に加え、水深平均した渦度方程式を解くことにより鉛直方向の流速分布を求めるものである¹⁰⁾。そこで本研究では、内田・福岡による非定常準三次元洪水解析モデル¹⁰⁾と二次元河床変動解析モデルを観測水面形時系列データを再現するように一体的に解くことにより、分派点を含む太田川感潮域における洪水時の河床変動を明らかにし、分派点における洪水流量配分を推算することを目的とする。

2. 対象区間概要

図-1は、研究対象区間の平面図を示す。太田川は、昭和23年決定の工事実施基本計画に基づき計画高水流量 $6000(\text{m}^3/\text{s})$ を放水路に $4000(\text{m}^3/\text{s})$ 、旧太田川に $2000(\text{m}^3/\text{s})$ 分派させるように分派構造を決めている¹¹⁾。設計にあたっては、土木研究所において1/50の固定床大型模型実

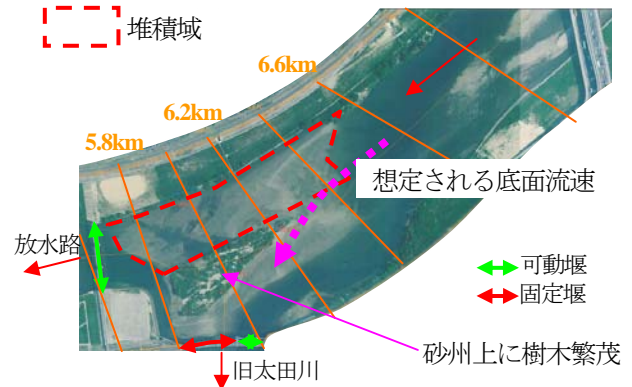


図-2 分派点における航空写真(平成15年撮影)

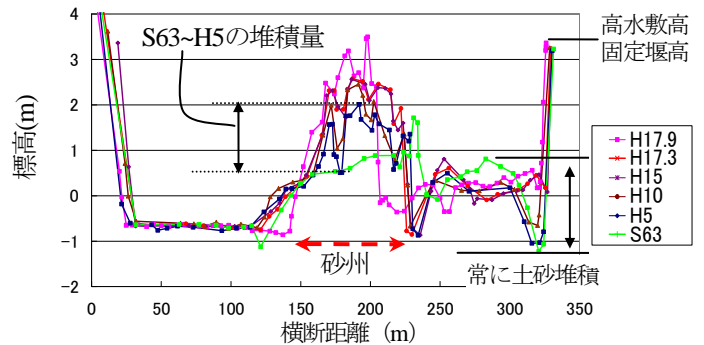


図-3 6.0kmにおける低水路横断形状の経年変化

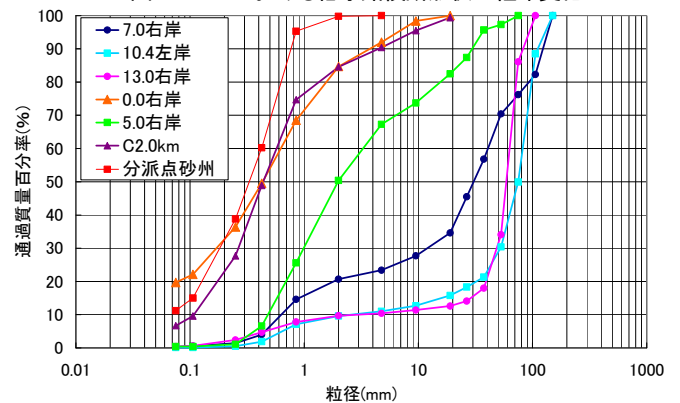


図-4 対象区間における河床材料分布

験を用い、種々の形状について比較検討が行われた¹²⁾。現在は、計画高水流量 $8000(\text{m}^3/\text{s})$ を放水路に $4500(\text{m}^3/\text{s})$ 、旧太田川に $3500(\text{m}^3/\text{s})$ を分派させるように計画が改訂されたため、設計当時と異なる分派率となっており、計画高水流量規模における分派構造の検討が必要となっている。

旧太田川には、固定堰と3門の可動堰で構成された大芝水門が設置され、放水路には低水路に3門の可動堰を有する祇園水門が設置されている。祇園水門は、平水時に右岸寄りの堰を $30(\text{cm})$ 開き維持流量を放水路へ流している。洪水時は3門の堰を全開にする。

太田川放水路は分派点から 1.0km 地点までは複断面河道であり、 1.0km から河口の区間は単断面河道である。

太田川では、近年 $4,000(\text{m}^3/\text{s})$ 規模の中規模洪水が平成5年7月、平成11年6月、平成11年9月に発生し、平成17年9月にはピーク流量(矢口第一観測所) $7,200(\text{m}^3/\text{s})$ の計画規模の大洪水が発生した。

対象区間における水位観測は、矢口第一観測所、長和

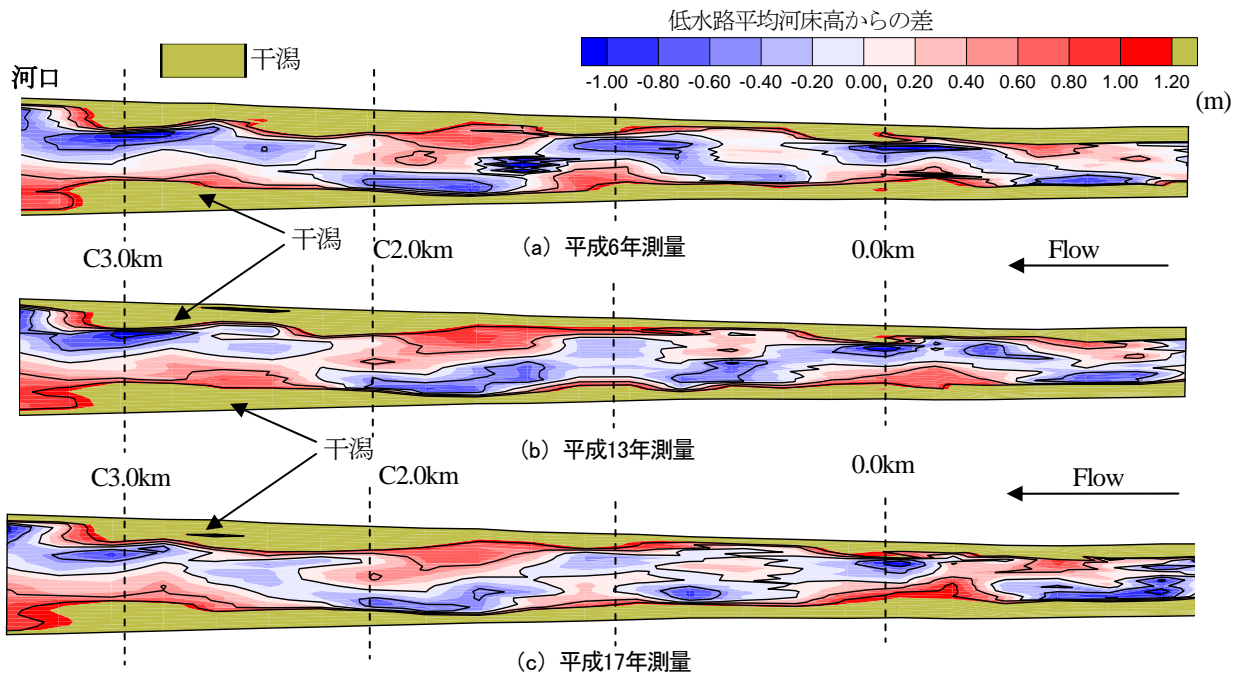


図-5 放水路(1.0-C3.4km)における実測河床形状コンター

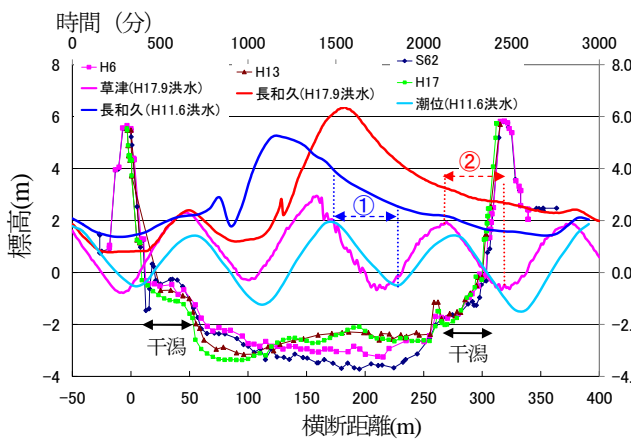


図-6 C0.8kmにおける横断形状の経年変化と水位ハイドログラフ

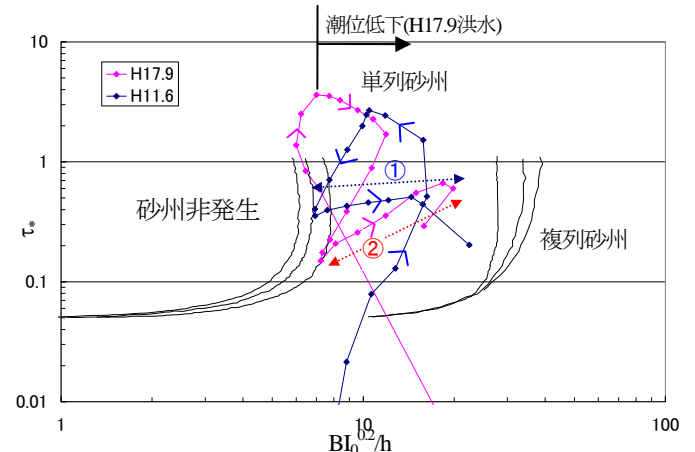


図-7 交互砂州形成領域区分図¹⁵⁾

久観測所、祇園水門観測所、祇園大橋観測所、草津観測所に設置された自記水位計により行われ、分派点を含む区間の水面形時系列観測値が得られている。平成17年9月洪水では、洪水時の樹木の挙動を観測し、樹木管理に資するために樹木繁茂が顕著であった8.0~13.0kmにおいて簡易量水標により200m間隔で水位観測が行われた¹³⁾。また、浮子による流量観測は、矢口第一観測所で行われた。

以下では、実測による河床形状の経年変化を考察し、観測水面形時系列データを用いた本解析法により平成17年9月洪水における洪水時の河床変動、及び太田川放水路と旧太田川の流量分派率等について検討する。

3. 河床形状の経年変化

(1) 分派点における河床形状の経年変化

図-2は平成15年に撮影された分派点付近の航空写真、図-3は分派点の低水路横断形状(6.0km)の経年変化を示す。分派点直上流には土砂の堆積により砂州が形成され、その上には樹木が繁茂している。昭和63年から砂州

上に樹木群が繁茂しており、そのため昭和63年から平成5年の間の土砂堆積量が大きくなっている。この間に4000(m³/s)規模の中規模洪水(平成5年7月洪水)を受けており、この洪水により土砂堆積が生じたものと考えられる。平成5年以降は、中規模洪水を二回(平成11年6月、平成11年9月)と大規模洪水(平成17年9月洪水)を受けているが、砂州形状に大きな変化は見られない。これは、土砂が固定堰や高水敷の高さまで堆積した後、砂州河床が安定したものと考えられる。また、図-2において赤破線で囲った低水路濤筋では、常に土砂の堆積が見られる。これは従来の研究⁸⁾⁹⁾でも示されている底面流速、すなわち、図-2の破線に示すような底面流速が影響していると考えられる。分派点を含む区間の河床変動解析を行うためには底面流速の評価が重要であることを示している。

図-4は対象区間における河床材料粒度分布を示す。河床材料は、河床勾配とともに縦断的に変化している(以下、河床勾配は図-8の平均河床高を参照)。11.0km付近では河床勾配が約1/600であり、石や礫が多くなっている。放水路は河床勾配が約1/3300と緩く、砂河川となっている。また、分派点では砂州上で河床材料調査が行わ

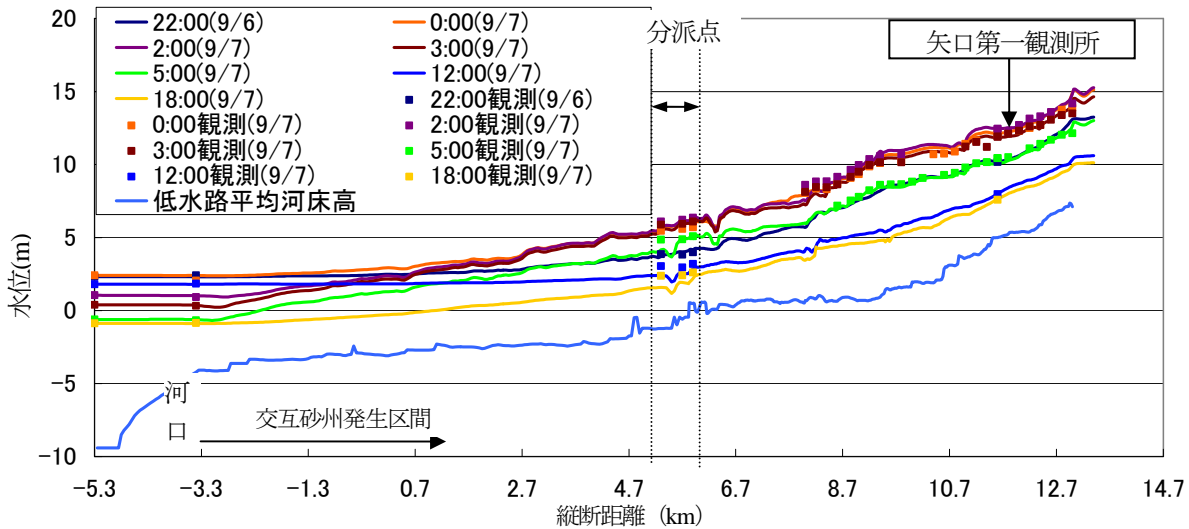


図-8 水面形時間変化の解析結果と観測値の比較

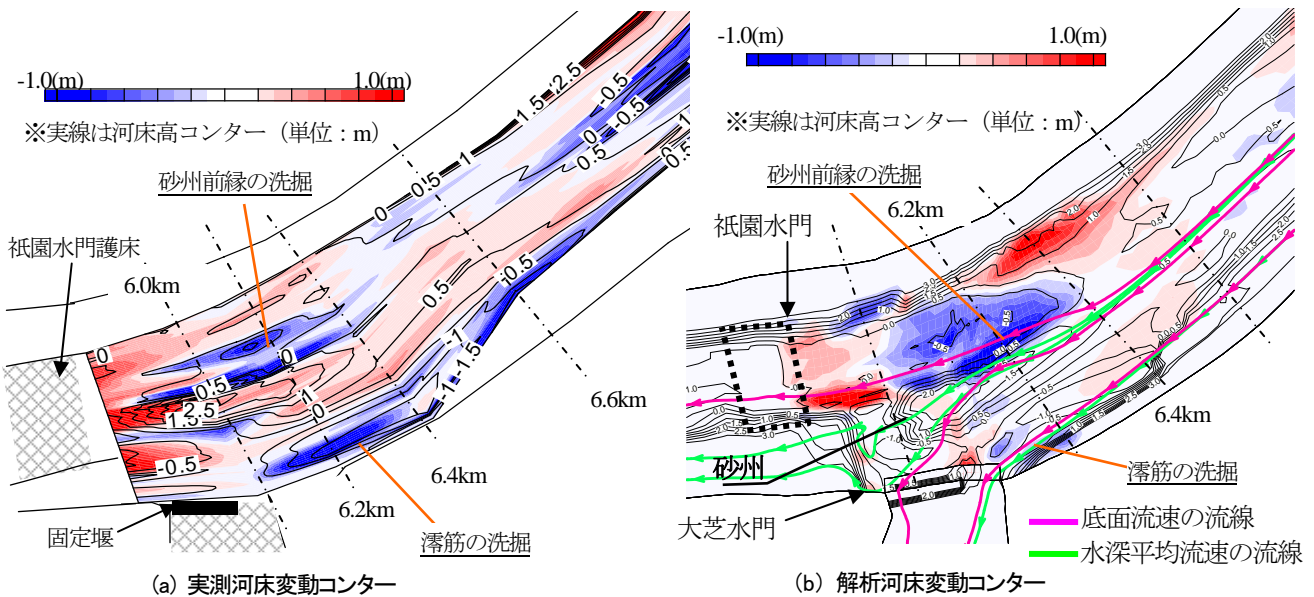


図-9 分派点における河床変動コンターの解析結果と観測結果の比較

れており、堆積土砂は放水路下流と同質の砂となっている。

(2) 太田川放水路における河床形状の経年変化

図-5は、太田川放水路のC3.0km~1.0kmにおける平成6年から平成17年までの河床形状コンターを示し、図-6はC0.8kmにおける横断形状の経年変化と平成17年9月洪水と平成11年6月洪水における長和久（6.0km右岸）及び草津観測所（C3.4km）における水位ハイドログラフを示す。河床形状コンターは、各断面の平成13年における低水路平均河床高との差を用いて描いている。この区間では、放水路建設の際に河道中央部の掘削・浚渫が行われたが¹¹⁾、河岸際には干潟が残されている。図-5、図-6より干潟と低水路漣筋部との横断比高差は約1~2m程度である。干潟の形状は藤田ら¹⁴⁾の示すように、経年的に大きな変化は生じていない。低水路の中央部は、約1kmの波長の交互砂州が形成されていることが分かる。砂州の横断比高差は、図-6より約1mであり、経年的に安定した交互砂州形状となっている。

図-7は黒木・岸らによる交互砂州の形成領域区分¹⁵⁾に平成17年9月洪水及び平成11年6月洪水時の水量から求めた値をプロットしている。使用した水量には後述する解析結果を用いている。洪水前には放水路の祇園水門が閉められているため、せん断力が小さい。平成11年6月洪水では、洪水ピークと干潮の時間帯がほぼ一致しているが、平成17年9月洪水では満潮の約2時間後に洪水ピークを迎えている。そのため、図-7の曲線はそれぞれ異なるループを描いているが、図から洪水時は交互砂州が形成されていると推定される。特に、平成17年9月洪水では、洪水ピーク付近からの潮位低下に伴い、川幅水深比が大きくなり、交互砂州の領域に移動してきている。また、中規模洪水（平成11年6月）、大規模洪水（平成17年9月）においても洪水の減水期は長く、その間に潮位が低下するとせん断力が大きくなり交互砂州の領域に位置する時間帯が比較的長くなることが分かる（図-6、図-7の①、②の時間帯に相当）。このように、洪水ピーク付近の河床変動に加え、洪水減水期においても潮位低下による河床変動が生じ、交互砂州が明瞭になったもの

と考えられる。

4. 洪水中の河床変動

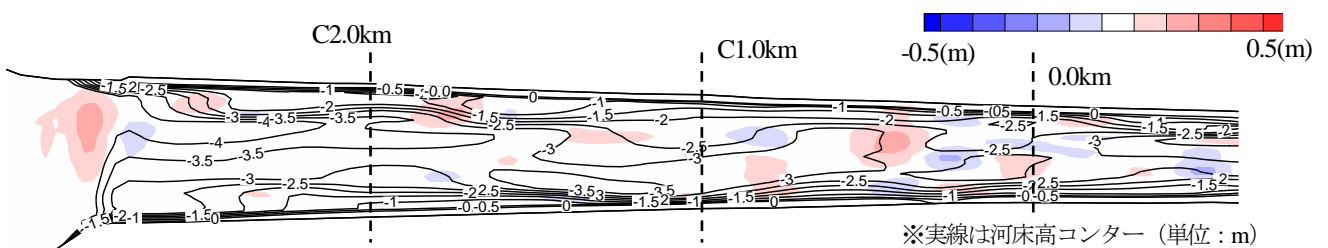
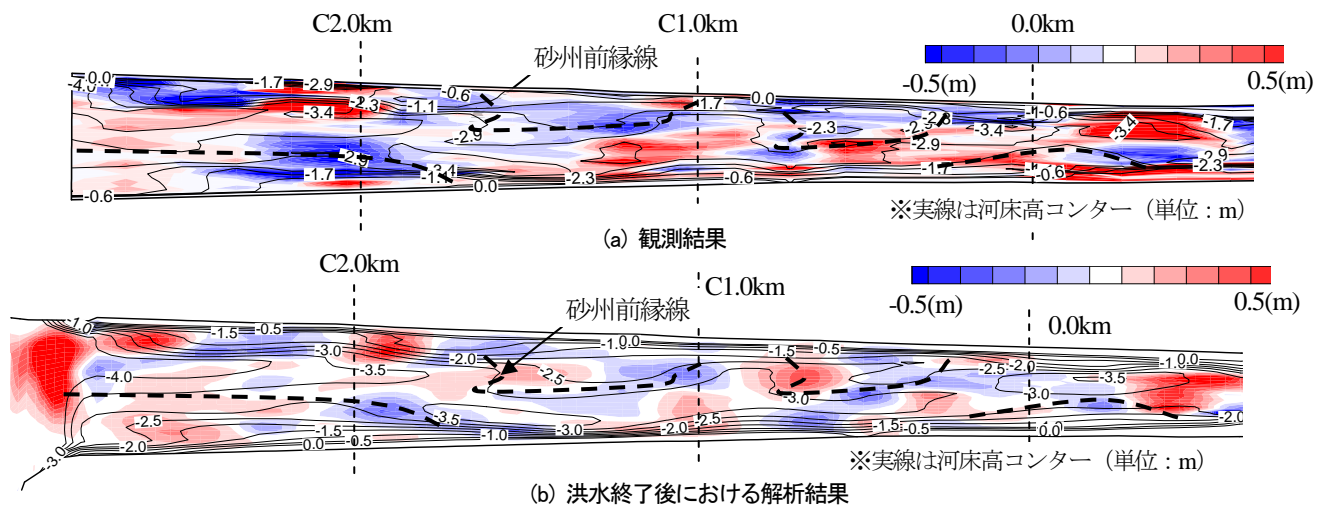
(1) 解析方法及び解析条件

水面形の時間変化には、河道内で時々刻々生じる河床変動や河道線形・樹木繁茂等の河道特性の影響が現れている⁹⁾。Suzuki,Fukuokaら⁷⁾は、筑後川河口域の水面形時系列観測値を用い、洪水時の流れと河床の変動を合理的に解いている。ここでは、水面形時間変化の観測値に追従するように非定常平面二次元洪水流・河床変動解析を一体的に行うことにより、時々刻々の流れと河床変動を解析している。前述のように、太田川の分派点付近では流れが複雑な曲線流れとなるため、二次流の河床変動に及ぼす影響が大きい。このため、流速分布を渦度方程式から求める内田・福岡の解析法¹⁰⁾により底面の流れを評価し、これと河床変動を一体的に解くことにより分派点を含む区間における流量配分と河床変動を明らかにする。本解析における浅水流方程式は、水平応力項に水深平均流速からの偏差流速成分の二次相関項が付加されている¹⁰⁾。河床変動の基礎式¹⁶⁾は、流砂の連続式、粒径別連続式、芦田・道上による粒径別平衡流砂量式を用いた。粒径別の限界掃流力は、芦田・道上によって修正されたEgiazaroffの式¹⁶⁾を用い、限界掃流力は岩垣の式¹⁶⁾を用いた。

(2) 解析結果

図-8は水面形の解析結果と観測値の比較を示し、図-9、図-10はそれぞれ分派点及び放水路における河床変動コ

ンターの解析結果と観測値の比較を示す。図-9(b)に示す解析結果には、水位ピーク付近における底面流速の流線及び水深平均流速の流線を重ねている。図-8より水面形の解析結果は、洪水減水期において観測値よりやや低くなっているが、分派点を含む区間の観測水面形の時間変化を概ね再現できている。分派点における河床変動は、図-9(a)に示す実測の河床変動コンターの特徴は、6.2km付近の砂州前縁や左岸側の滞筋で洗掘が生じ、祇園水門上流で土砂堆積が生じていることにある。解析結果は図-9(b)より、湾曲の影響や派川方向に流れが引き込まれることにより、この付近で二次流が発達し、底面流速と水深平均流速との間に差が生じている。このように流れの三次元性を考慮した解析法の適用により、解析結果は、観測結果に見られるような6.2km付近の砂州前縁や左岸滞筋付近で洗掘を受ける傾向を捉えることが出来ている。6.4km付近の右岸側では、解析結果が観測結果より多く土砂堆積が生じている。これは以下に示すことが考えられる。粒度分布は、図-4に示すように分派点の上流から下流にかけて粒度分布が徐々に変化している。解析では、粒度分布を除々に変化するように与えているが、十分に実河川の河床材料粒度分布を評価できていない可能性がある。放水路における河床変動は、図-10(a)に示す実測値より、砂州の前縁から滞筋にかけて洗掘が生じている。解析では砂州前縁で洗掘がやや小さめである。しかし、解析結果は観測結果に示したような砂州前縁で洗掘が生じ、その下流で堆積している現象をほぼ表現できている。一方、解析結果は土砂の堆積量が実測よりも全体的に少ない。これは実際の洪水現象は、洪水流に浮遊砂を多く含んでおり、これが土砂堆積に影響を及ぼしていると考えられる。しかし、本解析では掃流砂のみを考慮した



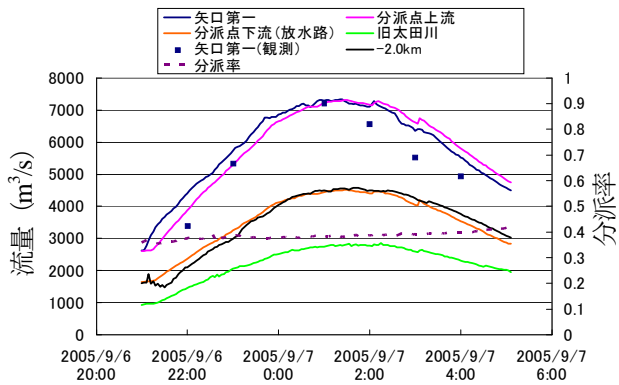


図-12 流量ハイドログラフと分派率

河床変動解析を行っているためである。感潮河道における生態系を議論するためには、浮遊砂を考慮した河床の微細構造まで考えることが必要であり、これについては今後の課題とする。

以上に示したように解析結果は、観測時系列水面形及び実測による洪水前後の河床変動を概ね説明することが出来ている。

図-11は洪水ピーク付近における河床変動コンターを示す。放水路では、洪水ピーク時にはほとんど河床変動が生じていない。これより、潮位の低下する洪水減水期に主な河床変動が生じたと推定される。従って、潮位変動の大きい河川では、最大の河床変動量の発生時刻は、必ずしも洪水ピーク付近となるものではなく、上げ潮や下げ潮時等、洪水流が流下するタイミングが重要な要素となる。

図-12は、流量ハイドログラフの解析結果と観測結果及び旧太田川への分派率を示す。解析結果は、水面形の時間変化と洪水前後の河床変動を概ね説明できることから、得られた流量ハイドログラフ及び分派流量は妥当な値と考えられる。これより、平成17年9月洪水のピーク流量は約7200(m³/s)であり、そのうち約41%は旧太田川へ分派していることを示した。模型実験では、二つの可動堰を全開にした場合、本川流量6000(m³/s)を2570(m³/s)(42.8%)旧太田川へ分派することとなっている¹⁷⁾。また、計画流量配分は8000(m³/s)を3500(m³/s)分派させる計画となっており、これらと比べて本洪水では放水路へ若干多く流入している。この流量配分の違いは、分派点付近における砂州の形成の影響が考えられる。

5. 結論と課題

本研究では、太田川分派点における流量配分と太田川感潮域における流れと河床変動について検討した。以下に主な結論と課題を示す。

1) 観測水面形時系列データを用いた非定常準三次元洪水解析と二次元河床変動解析を一体的に解くことにより、潮位変動を受ける河道区間及び二次流の発達の大い分派点における洪水流と河床変動を適切に説明し、分

派点の流量配分の推算を可能にした。

2) 太田川放水路の1.0km~C3.4kmには、約1kmの波長の交互砂州があることを実測により示した。放水路の交互砂州は、潮位変動の影響を受け、洪水の減水期に明瞭な形をとることが分かった。

3) 放水路における生態系の議論には、浮遊砂を考慮した解析による河床形状の微細構造を検討しなければならない。

参考文献

- 1) 福岡捷二：河川の技術課題解明を促す水工学研究とは-河川技術との新たな結びつきを、水工学講演会招待講演，2009。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 福岡捷二，渡邊明英，田端幸輔，風間 聡，牛腸 宏：利根川・江戸川分派点を含む区間における流量ハイドログラフと粗度係数・樹木群透過係数の評価，水工学論文集，第50巻，pp.1165-1171, 2006。
- 5) 福岡捷二，佐藤宏明，出口桂輔：洪水流の非定常準二次元解析法の研究，土木学会論文集B，Vol.65，No.2，pp.95-105, 2009。
- 6) 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，pp.751-756, 2009。
- 7) Suzuki K., Fukuoka S. and Matsuo K. : Bed material structure and sand transport by flood flows in the estuary of the Chikugo River, *Proceedings of the Third international conference on estuaries and coasts*, Volume 1, pp.101-108, 2009。
- 8) 室田 明：開水路分水工の研究，土木学会論文集，第70号，別冊(1-1)，1960。
- 9) 芦田和男，川合 茂：分岐部周辺における流れの水理特性について，京都大学防災研究所年報，第22号，B-2，pp.491-506, 1979。
- 10) 内田龍彦，福岡捷二：浅水流方程式と渦度方程式を連立した準三次元モデルの提案と開水路合流部への適用，水工学論文集，第53巻，pp.1081-1086, 2009。
- 11) 太田川改修30年史—計画編—：太田川改修30年史編集委員会，1963。
- 12) 吉川秀夫，高見昌信：河川の分流に関する研究(7)—太田川分流の機能設計—，土木研究所報告，第105号の1，1959。
- 13) 後藤岳久，福岡捷二：太田川洪水流による砂州の洗掘と樹木倒伏機構に関する研究，水工学論文集，第53巻，pp.787-792, 2009。
- 14) 太田川放水路における生態工学研究—太田川生態工学研究会中間とりまとめ—，太田川生態工学研究会，2009。
- 15) 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，土木学会報告集，第342巻，pp.87-96, 1984。
- 16) 水理公式集〔平成11年版〕：土木学会水理委員会，丸善，1999。
- 17) 水田充喜，坂本治夫，神谷隆太郎，斎藤尚久：太田川水門操作模型実験について，太田川本川分水堰と放水路可動堰，建設省中国地方建設局太田川工事事務所，1968。

(2009. 9. 30受付)