

河川の弱点部となる蛇行区間における治水と環境 に配慮した河道断面設計法に関する研究

Cross-section Design Considering Flood Controls and Environments in Meandering Channel Reaches Liable to Suffer from Disasters

都市環境学専攻 笹木 拓真
Takuma SASAKI

Key Words : longitudinal and cross-sectional form, bank erosion, gently sloped bank, numerical model

1. 序論

我が国の大河川の河道断面形は、一般に複断面形であるが、低水路と高水敷の比高差の増大、滯筋の固定化、河道内の樹林化等の複断面河道がもたらす治水・環境問題が顕在化しており、治水と環境の両面から望ましい河道断面形が求められている。福岡は治水と環境の調和した河道断面形は船底形断面形が望ましいとの考えを示しており、実際に船底形河道への改修が行われた遠賀川では、洪水時の流況が改善され、河床変動量が減少することが示されている¹⁾。しかし、検討対象とされた船底河道区間は、湾曲区間や蛇行区間を含んでいなかった。湾曲区間や蛇行区間では、直線区間とは異なった流れや河床洗掘・河岸浸食が生じることから、安定して管理しやすい河道はどのような断面形が望ましいのか、船底形河道は有効な手段になり得るのかについてさらに検討が必要となった。福岡・山坂らが行った外岸浸食を許す自由湾曲流れの検討から、緩やかな外岸斜面を有する安定な河道断面形が形成された²⁾。このことは、河道湾曲部でも外岸に緩やかな斜面を有する河道は、維持しやすい有効な河道であると考えられる。緩やかな外岸斜面を有する河道を設計するにあたっては、流れ構造や河床変動、河岸浸食の面から、外岸斜面付近の流速分布、河床変動、河岸浸食を評価できる計算モデルも求められる。

本研究は二つの目的を持っている。第一には、河道設計への応用が期待される内田、福岡の底面流速解析法³⁾(以下BVC法)を一様湾曲水路内における外岸の自由な浸食を許す実験²⁾と外岸に緩傾斜河岸を有する実験⁴⁾に適用し、湾曲水路における安定な河道断面形の形成と、緩傾斜斜面付近の流れと河床変動の計算に有効適用できることを示す。第二に、遠賀川の蛇行区間の外岸を緩勾配化し、洪水に対してこの縦横断面形状が維持可能かについてBVC法を用いて検討する。そして、上記の検討から得られた知見より、治水と河川景観、親水性から望ましい河道断面形の設計法を提示する。

2. 底面流速解析法の湾曲部の側岸浸食実験²⁾と外岸緩傾斜河岸を有する実験⁴⁾への適用

(1) 実験条件と計算方法

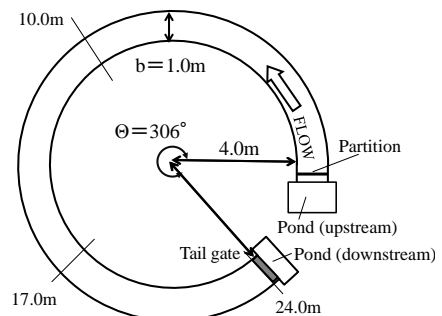


図-1 実験水路平面図

表-1 実験条件

項目	福岡・山坂ら	福岡・西村・三宮
流量	2ℓ (2.0 × 10 ⁻³ /s)	18ℓ (1.8 × 10 ⁻² /s)
河床勾配	1/400	1/500
平均粒径	0.72mm	0.8mm
流路中心曲率半径	4.35m	4.50m
初期の側岸の角度	30度	1V:2H, 1V:3H

側岸浸食実験及び外岸に緩傾斜河岸を有する湾曲水路の実験は、図-1に示す一様湾曲水路で行われた。実験条件は表-1に示す通りであり、詳しくは文献を参照されたい^{2,4)}。流れの計算には両実験ともBVC法²⁾を適用し、河床変動は、二次元河床変動計算で検討している。BVC法は底面と連続する斜面部の底面流速を高精度で計算できることから、河岸は底面を連続する緩やかな斜面として河床、河岸を一体的に扱い、流路の変動計算を行う。

(2) 計算結果とその考察

図-2に側岸浸食実験における水面形と平均河床高の時間変化と計算結果の比較を示す。流路の拡大に伴って浸食土砂が河道に堆積するため、平均河床高は上昇し、それに伴い計算で求められた水位はやや上昇する。平均河床高は実験値を概ね再現できている。図-3は通水開始位置から16.5m地点の横断面形の時間変化を示している。実験結果から、拡幅が進行するのに従って、外岸付近で緩やかな斜面を形成しながら、浅く、幅の広い断面形へと変化していく様子が分かる。これは外岸の浸食土砂が内岸へと輸送されることで、水路中央での河床上昇を引き起こすためである。計算結果は時間が経過し浸食が進むほど拡幅が大きく評価されているが、実験結果を概ね再現出来ている。以上の結果から、底

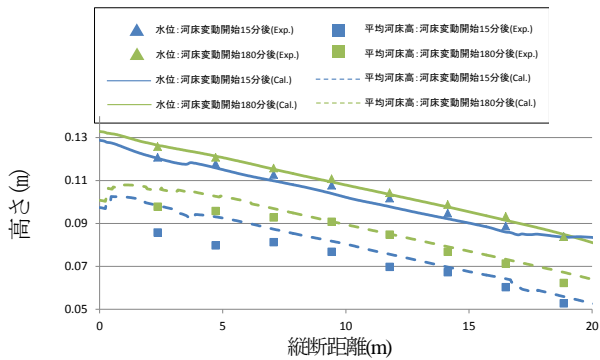


図-2 縦断水面形と平均河床高の比較

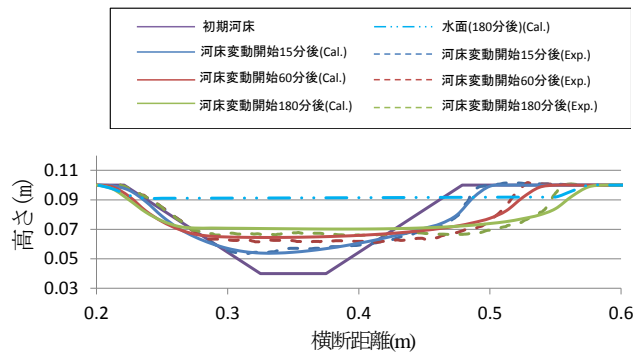


図-3 断面形の時間変化

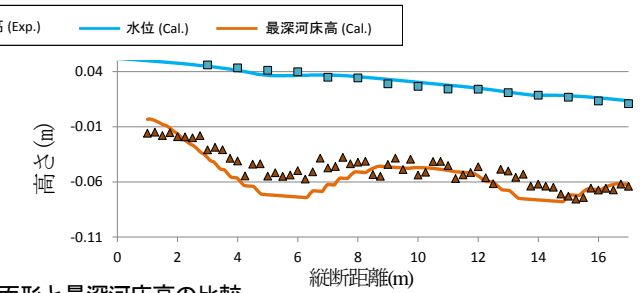
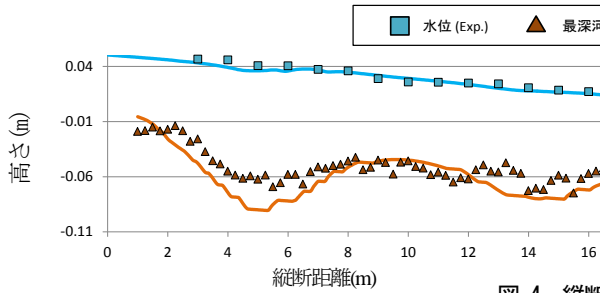


図-4 縦断水面形と最深河床高の比較

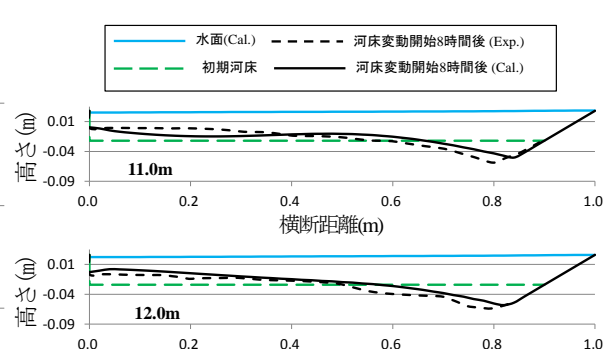
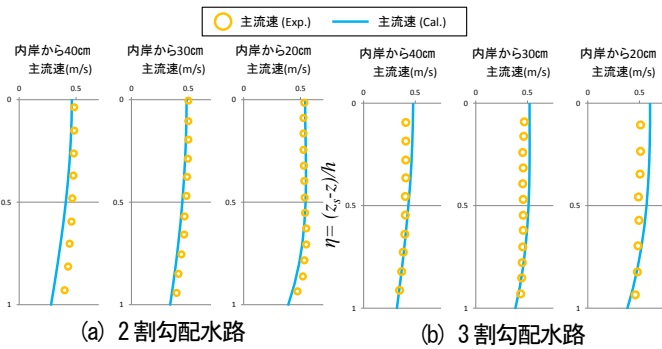


図-5 主流速の鉛直分布の比較

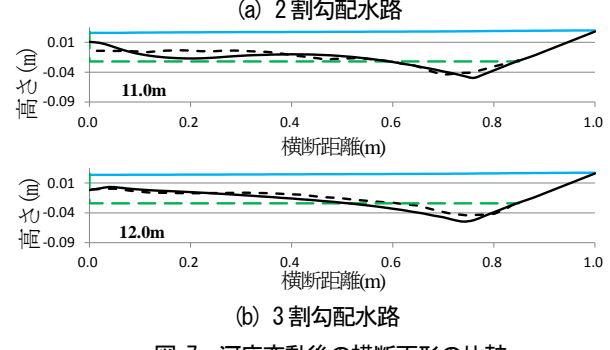
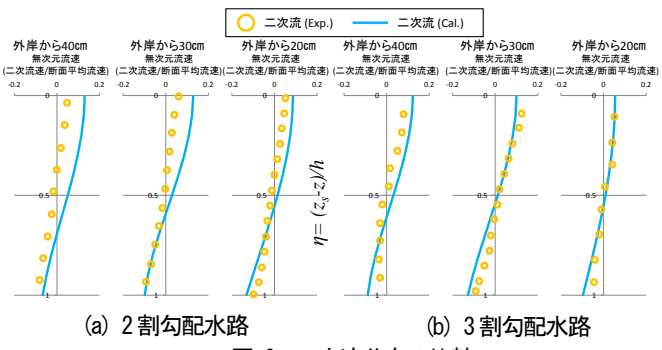


図-6 二次流分布の比較

図-7 河床変動後の横断面形の比較

面流速解析法は、自由な河岸浸食を許す場合における断面形の形成過程を必要な精度で計算できることが明らかになった。次に緩勾配化した固定外岸を有する湾曲水路の実験⁴⁾と計算結果を比較する。福岡、西村ら⁴⁾が行った緩傾斜化した外岸の勾配は2割, 3割勾配である。図-4は縦断水面形と最深河床高の計算結果と実験値の比較を示す。2割, 3割勾配ともに水面形の計算結果は、実験結果を概ね説明している。一方、最深河床高の計算結果は上流付近で大きく計算されている。これは、図-1に示すように実験水路の上流端に仕切り板が挿入されており、上流端境界では、流入時の流れと土砂移動が複雑化し計算ではこれを再現出来ないためである。し

かし、流速分布等が計測された9m~14m付近では実験値に近い値を示している。図-5に主流速の鉛直分布について、実験結果と計算結果の比較を示す。外岸付近では運動量の輸送により、流速分布が一様化している。本解析法はその傾向を再現出来ており、計算結果は2割, 3割勾配とも実験の主流速分布をよく再現出来ている。図-6は断面平均流速で無次元化した二次流分布の実験結果と計算結果の比較である。計算結果は内岸側で実験値との対応はよくない。これは後述するように内岸での河床変動計算の再現性と関係している。しかし、主流部である外岸付近の二次流分布をよく再現出来ていることが分かる。図-7に横断形状の実験値と計算結果の

比較を示す。実験では、外岸を緩勾配化することにより、最大洗掘深は減少し、洗掘位置は水路中央へと寄っている。計算結果は、内岸の形状が実験と整合しない部分が見られるが、外岸の緩勾配化による実験の河床形状を概ね再現できている。以上のことから底面流速解析法は緩傾斜河岸を有する湾曲水路の縦断的な流況、河床変動の変化を説明できることから、船底形河道断面の設計に活用できると考えられる。

3. 遠賀川蛇行区間における安定な河道縦横断面形の検討

(1) 検討方法

本章では、現地河川蛇行区間の外岸を緩傾斜した場合の、安定な河道形状についてBVC法を用いて検討する。対象とする蛇行区間は、図-8に示す遠賀川の27.0km～29.0kmとした。本検討では最初に、現況河道に対し、平成22年洪水を対象とした洪水流・河床変動計算を行い、計算結果と無次元流量-無次元河幅・水深の関係を分析し、流れと河床変動の課題を整理する。次にこれらの課題を踏まえた、外岸を緩勾配化した河道断面形を設定し、洪水流・河床変動計算から河道の安定性について検討する。

(2) 現況河道における無次元流量-河幅・水深の関係

図-9に、現況河道の洪水流河床変動計算から得られた、低水路満杯流量時における無次元流量と無次元河幅の関係を示す。福岡は安定な河道の無次元流量と無次元河幅の関係は、図中の式(1)に示す曲線式にプロットされることを多くの河川データから明らかにしている¹⁾。現況河道における無次元流量と低水路満杯時の河幅の関係(四角プロット)は、全ての地点で下限曲線を下回っている。特に27.0km, 27.6km, 27.8km地点では、下限曲線式を大きく下回っており、改修が必要なが分かる。そのため、縦横断的に望ましい河道に改修するためには、式(1)を満たすように低水路幅を拡幅することを考える。

(3) 改修案

図-10は断面設計の考え方を示す。本検討の制約条件として、平水位を下げないようにするため、外岸の護岸を残したまま、平水位より高い位置の高水敷を緩傾斜化する。現況河道では、河幅が図-9中の式(1)を満たしていないことから、Case1として、式(1)を満たすように低水路満杯時の河幅を広げ、外岸の緩勾配化を行った河道を設定した(図-9丸プロット)。Case2では、高速流が発生する蛇行頂部下流(27.0km～27.2km, 27.6km～27.8km)は危険箇所となるため、河幅を他の地点よりも大きく設定した(図-9三角プロット)。これらの設定した河道と同じ外力条件を用いた洪水流・河床変動計算法を適用し、河道の安定性、外岸の緩勾配化の効果について検討する。

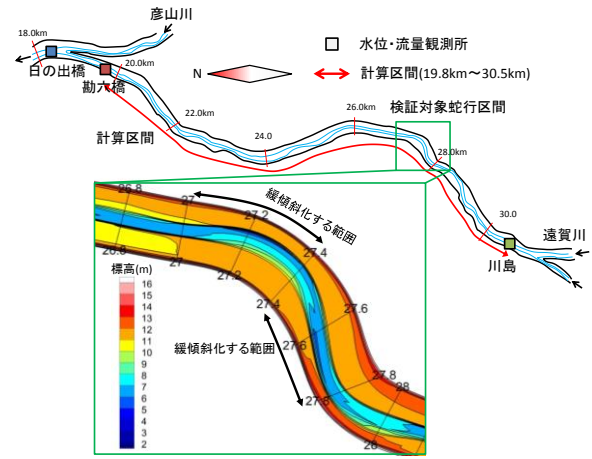


図-8 対象区間平面図

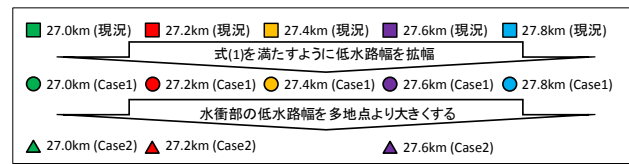


図-9 無次元流量-無次元河幅・水深の関係

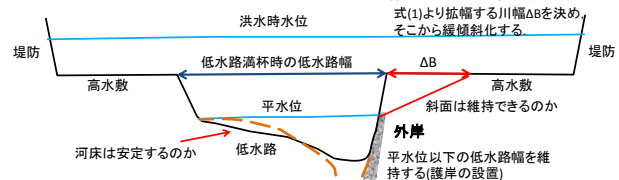


図-10 断面設計の考え方

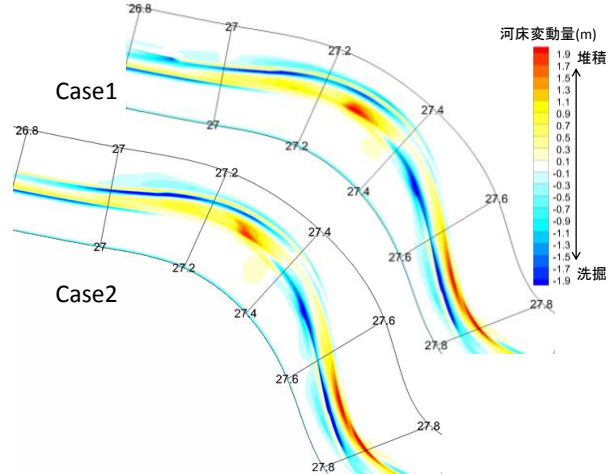


図-11 改修河道における洪水終了後河床変動量カウンター図

(4) 設定した河道 (Case1, Case2) の検証

図-11はCase1,2における洪水終了後の河床変動量コンター図を示す。27.1km付近と27.6km付近では、1.5m以上の局所洗掘が発生しており、低水路河幅をできるだけ広げたCase2においても改善されていない。図-12はCase2における洪水前後の横断面形の比較を示す。外岸の斜面部については、大きな変動は見られず、斜面部の形状を維持することが出来ている。しかし、護岸付近の斜面部は数十cm程浸食され、低水路河床は護岸付近で大きく洗掘されている。図-13に底面流速のコンター図を示す。図-11において局所洗掘が発生していた27.1m, 27.5km付近の低水路際では、Case1,2とも流速分布が偏り、高流速が発生しているため、局所洗掘の改善に至らなかったと考えられる。本検討で行った数値計算から、流れが直線部と大きく異なる蛇行区間では、斜面部と低水路河床を接続する護岸付近で、局所洗掘、浸食の問題が生じることから、護岸を有する河道の設計には注意を要することが分かった。

(5) 治水と環境の両面から望ましい河道断面設計法

Case1,2の検討から護岸を残したまま、外岸を緩勾配化した河道では、護岸付近で大きな局所洗掘問題が生じることが明らかとなった。そこで、本節では、蛇行区間での河道断面形をどのように改修すべきかについて、検討する。図-14に現況河道の護岸を取り除き、洪水流・河床変動計算を行った際の洪水前後の断面形の変化(途中経過)を示す。護岸が設置されていた外岸は大きく浸食され、緩やかな斜面を有する船底形の断面形へと変形しており、外岸の局所洗掘も発生していない。護岸が設置されていた箇所が緩やかな傾斜となることと、Case1,2の検討から、護岸を設置したまま、船底形縦横断面形状を維持することは困難であると考えられる。そのため、現況河道の護岸を取り除き、自由な浸食によって形成される断面形を洪水流・河床変動計算から求め、これを設計外力に対する安定な河道断面形と考える。さらに、設計外力を超える洪水に対して、高水敷利用、堤防保護等の観点から護岸設置が必要な場合には、河川景観や親水性を考慮して、石積みの護岸を設置する。このような低水路河床、斜面部を有する断面形の河道は、洪水流に対して望ましい断面形となると考えている。

4. 結論と今後の課題

湾曲水路における側岸侵食実験と外岸に緩傾斜河岸を有する水路の実験にBVC法を適用し、本解析法が外岸浸食過程、緩傾斜付近の流速分布、河床変動が再現可能であり、船底形河道の断面の設計に活用できることを示した。さらに、遠賀川の複断面蛇行区間において平水位が変化しないように低水路護岸を残したまま外岸を緩傾斜化すると、河道断面形状が維持できるかど

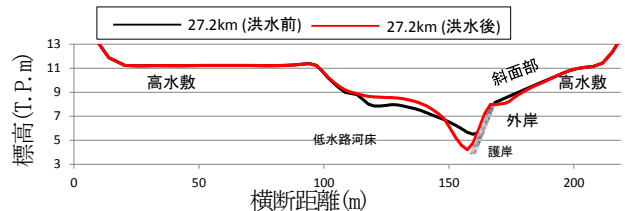


図-12 洪水前後の横断面形の比較

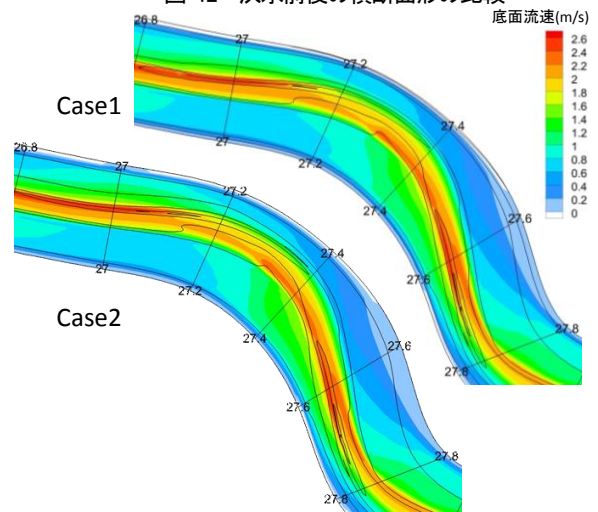


図-13 改修河道における底面流速コンター図

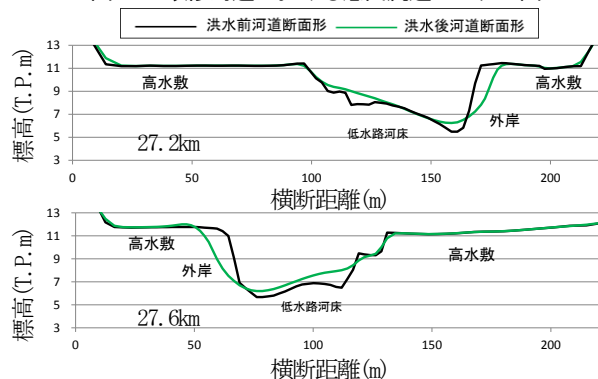


図-14 護岸を取り除いた場合の断面形の変化

うかについてBVC法を用いて検討を行った。その結果、外岸斜面部と低水路河床を横断方向に接続する護岸付近には、河床洗掘と斜面部の浸食が発生することを示した。このため、複断面形から船底形河道への改修にあたっては、低水護岸を取り除き検討した河道断面に対して、治水と環境に配慮した石積み護岸等で設計外力を超える大洪水に対しても、斜面部を安定に維持できる本研究で示した川づくりが求められる。

参考文献

- 1) 福岡捷二：大規模洪水に適応可能な河道の設計・管理技術，第50回水工学に関する夏季研修会講義集 A-7, pp.1-20, 2014.
- 2) 福岡捷二，山坂昌成，竹内聡，古屋晃，永納栄一：湾曲流路の側岸侵食，第27回水理講演会論文集，pp.721-726, 1983.
- 3) 内田龍彦，福岡捷二：底面流速解析法による連続する水没水生群を有する流れと河床変動の解析，土木学会論文集 B1, Vol.67, No.1, pp.16-29, 2011.
- 4) 福岡捷二，西村達也，三宮武，藤原剛：緩傾斜河岸を設置した河道湾曲部の流れと河床形状：土木学会論文集，No.509/II-30, pp.155-167, 1995.