

信濃川一次支川五十嵐川下流の蛇行部内岸堤防と内岸高水敷の損傷要因の検討

内岸堤防破堤 内岸高水敷損傷 複断面的蛇行流れ

中央大学理工学部 学生会員 ○佐藤海輝
中央大学研究開発機構 正会員 後藤岳久
中央大学研究開発機構 フェロー 福岡捷二

1. 序論

信濃川的一次支川である五十嵐川では平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨では、**図-1** に示すように、複断面河道の蛇行部 3.3km 内岸側 3.3km 堤防の破堤が生じた。また、平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨では、**図-2** に示すように、1.1km における蛇行部内岸側の高水敷の洗掘により低水護岸の変形・崩落被災が生じた。このような内岸側の河道被害の原因の 1 つに、複断面蛇行河川における水位上昇に伴う内岸側の流速増大の影響が考えられる。規則正しい複断面蛇行河川では、低水路と高水敷の相対水深 Dr が 0.3 を超える大きな洪水となると、高水敷からの遅い流れが低水路蛇行の外岸側より流入し、低水路の速い流れが混ざり合うことで、湾曲部で生じる通常の二次流(第 1 種二次流)とは逆向きの二次流が発生と、それに伴い内岸寄りに早い流れが発生する(複断面的蛇行流れ¹⁾²⁾³⁾。このような複断面蛇行河川の流れの発生は、内岸側の破堤、高水敷の洗掘、低水路護岸被災等の原因となり得ることから、このような洪水水位の高いときに起こる事象が、河道の設計や管理で持つ意味を考える必要がある。五十嵐川下流部は、洪水流量の大きい割には河道の幅が狭く、橋梁などの河川構造物も多い河道であり、さらに、信濃川にほぼ直角に合流する特徴を有する。

本研究では、このような特性を持つ河道において精度の高い解析を行うため非静水圧準三次元洪水流・河床変動解析法(Q3D-FEBS 法⁶⁾)を用い、平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨の破堤点周辺や平成 23 年洪水で高水敷・低水護岸が被災を受けた箇所周辺を含む複断面蛇行河川の洪水流の 3 次元構造、河床変動を明らかにし、これらと河道被災との関係を考察し、五十嵐川の今後の安全な川づくりに活かす。

2. 検討区間と解析方法、解析条件

図-3 は、検討対象区間を示している。検討範囲は島潟(7.7km)から信濃川との合流点(0.2km)であり、平成 16 年洪水時の破堤点は 3.3km、平成 23 年洪水時の高水敷・低水護岸被災箇所は 1.1km に位置し、いずれも複断面蛇行河道の内岸側に位置している。

解析方法は、非静水圧準三次元洪水流・河床変動解析法(Q3D-FEBS 法)を用いた。また、複数設置されている橋梁の橋脚を考慮するため、橋脚形状を考慮できるように詳細な解析格子を作成している。上流端境界条件については、島潟観測所の平成 16 年洪水時の観測水位ハイドログラフ、下流端境界条件には合流点下流にある信濃川の荒町観測所の水位ハイドログラフの値を河床勾配を考慮して五十嵐川の下流端境界条件地点 0.2km 地点で与えた。河床材料は、平成 12 年に計測された粒度分布を与えた。その他の解析条件は**表-1** に示す。



図-1 平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨における破堤点⁴⁾



図-2 H23 年洪水時 内岸側高水敷・低水護岸被災状況(1.1km)⁵⁾



図-3 検討対象範囲

3. 水位ハイドログラフと水面形の実測値と解析結果

表-1 解析条件

データ名	解析条件
地形形状	0.2km~1.1km:横断測量データ(H11) 1.2km~8.1km:横断測量データ(S55) 一部 LP グラウンドデータ(H30)を使用
上流端境界条件	島潟水位観測所(7.7km)
粗度係数	高水敷: $0.027m^{-\frac{1}{3}} \cdot s$ 低水路: $0.023m^{-\frac{1}{3}} \cdot s$ 氾濫域: $0.03m^{-\frac{1}{3}} \cdot s$
メッシュ数	915×56=51240

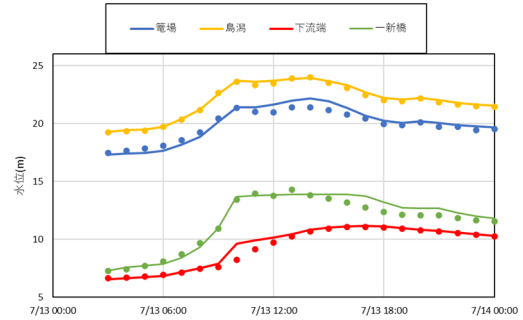


図-4 実測と解析の水位ハイドログラフ

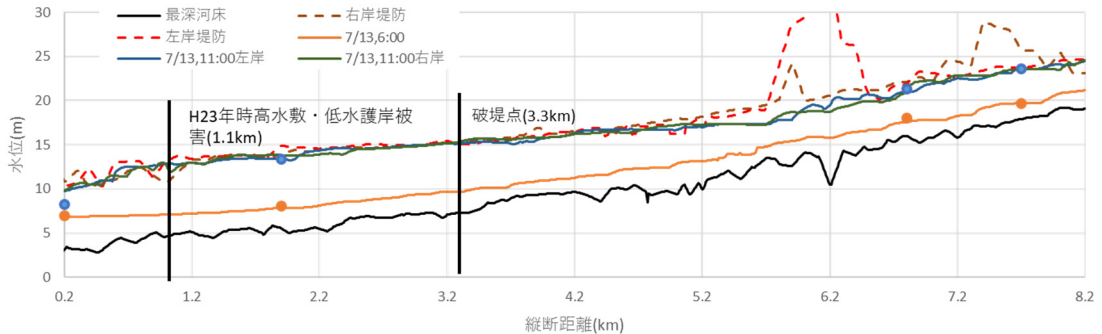


図-5 実測と解析の水位縦断分布の時間変化の比較

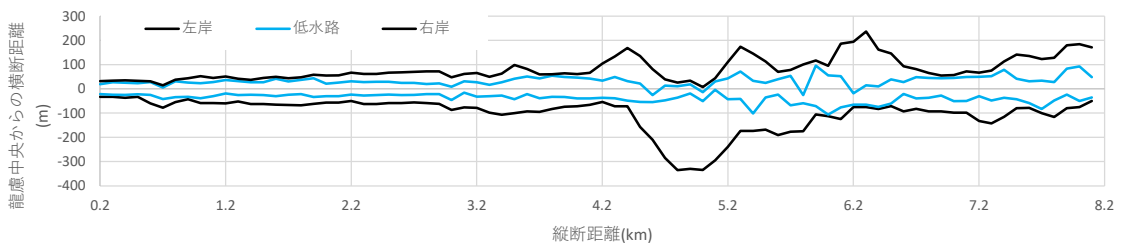


図-6 堤間幅及び低水路幅の縦断分布

図-4 は水位ハイドログラフの実測値と解析結果を示し、図-5 は実測と解析の水位縦断分布の時間変化の比較を示す。また、図-6 は堤間幅及び低水路幅の縦断分布を示す。図-4,5 より、解析結果は各水位観測所の観測水位ハイドログラフおよび観測水面形時系列をほぼ再現している。図-6 より、4km より下流では川幅が小さくなっており、破堤点(3.3km)では、破堤時刻(7月13日13時頃)の約2時間前から堤防満杯程度で洪水が流下している(図-5)。図-7 は観測水面形時系列を再現するように計算した破堤点(3.3km)の流量ハイドログラフの解析結果を示し、本解析の破堤点でのピーク流量は約2,200(m³/s)となっている。

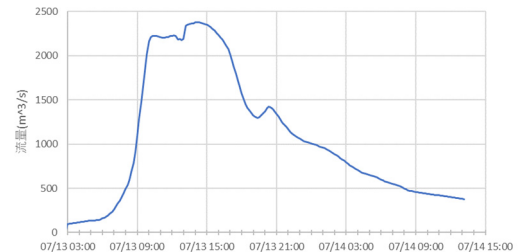


図-7 破堤点(3.3km)の解析流量ハイドログラフ

4. 平成16年7月新潟・福島豪雨において破堤が生じた3.3km付近の流れと河床変動の解析結果

図-8 は、平成16年洪水で破堤が生じた3.3km周辺での水深平均流速のコンターを示し、図-9 は3.3km、3.6km地点の主流速横断分布と二次流分布を示す。破堤点(3.3km)では、増水期である7/13 9:00とピーク時で越水が生じている7/13 11:00において、主流の高流速は外岸側に発生し、二次流の向きも通常の湾曲二次流と同様の向きとなっている。これは、破堤点3.3kmでは、低水路と堤防の線形関係が同心円的な河道湾曲部の特性を有していることから、越水時付近においても主流速が内岸側に寄る複断面的蛇行流れの現象は確認できなかった。図-10 は破堤が生じた3.3km断面での洪水前後の横断形状の変化を示す。内岸側である左岸の高水敷や低水路は河床変動が殆どないものの、外岸側の右岸の低水路の部分では流速の増大により、最大約1.2m程度の洗掘が生じている。これは、前述のように、低水路と堤防線形が同位相で同心円的な湾曲部形状のため、通常の湾曲部と同様の二次流が発生し外岸側の流速が速くなっており、この断面では内岸側の洗掘と複断面的蛇行流れの関係性は弱いものと考えられる。一方、破堤点より300mほど上流の3.6km地点では、内岸側に4.5(m/s)の速い流速が発生している。これは4.3km付近の蛇行部から高水敷上の流れが流入し、低水路と高水敷上の流れが混合することによって主流速の高流速域が内岸側に発生し、複断面的蛇行流れ様相を呈しているものと

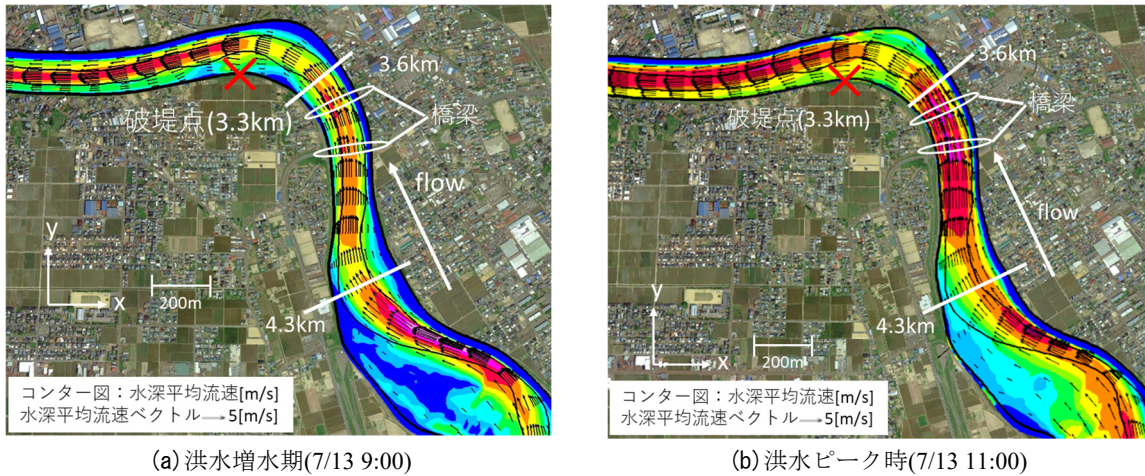


図-8 破堤点(3.3km)周辺での水深平均流速分布

考えられる。また、3.6km 地点では上流の橋脚を迂回する流れの影響を受け、内岸高水敷上の高流速を助長していることが分かる。

5. 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨に高水敷・低水護岸が被災した箇所付近の平成 16 年洪水時の流れと河床変動

平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨において、五十嵐川下流の 1.1km 地点では内岸側の高水敷や低水護岸が大規模な洗掘被害を受けた。図-11 は、その地点付近における平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨時の水深平均流速分布を示し、図-12 は主流速の横断分布と二次流分布を示す。図-12 に示すように、1.1km 地点では、二次流の逆転は発生していないが、水位の増大に伴い、主流速の高流速の発生位置が徐々に内岸側に寄っていることが確認できる。さらに、その周辺には橋脚が存在することから、橋脚を迂回する流れによって、内岸側の高流速が助長されている。この内岸寄りの高流速が発生した結果、図-13 の洪水前後の河床変動コンターおよび図-14 の洪水前後の横断面図(1.1km)に示すように、平成 23 年洪水時に高水敷・低水護岸が被災を受けた箇所(1.1km 右岸内岸側)が大規模に洗掘されており、その洗掘深は最大で 40cm である。これらのことから、平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨時においても 1.1km 付近は、蛇行部内岸側の高水敷および河岸・低水護岸等が洗掘被害を受けていた可能性があり、この付近の内岸側は洗掘被害を受け易い箇所であることを示した。

6. 結論

平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨時に破堤した 3.3 km 地点では複断面的蛇行流れの特徴である主流速が内岸側に発生する現象及び二次流の逆転現象は確認できず、内岸側の洗掘・破堤と複断面的蛇行流れの関係性は弱いものと考えられる。その要因として、堤防線形と低水路線形が同心円的な形状をしており、

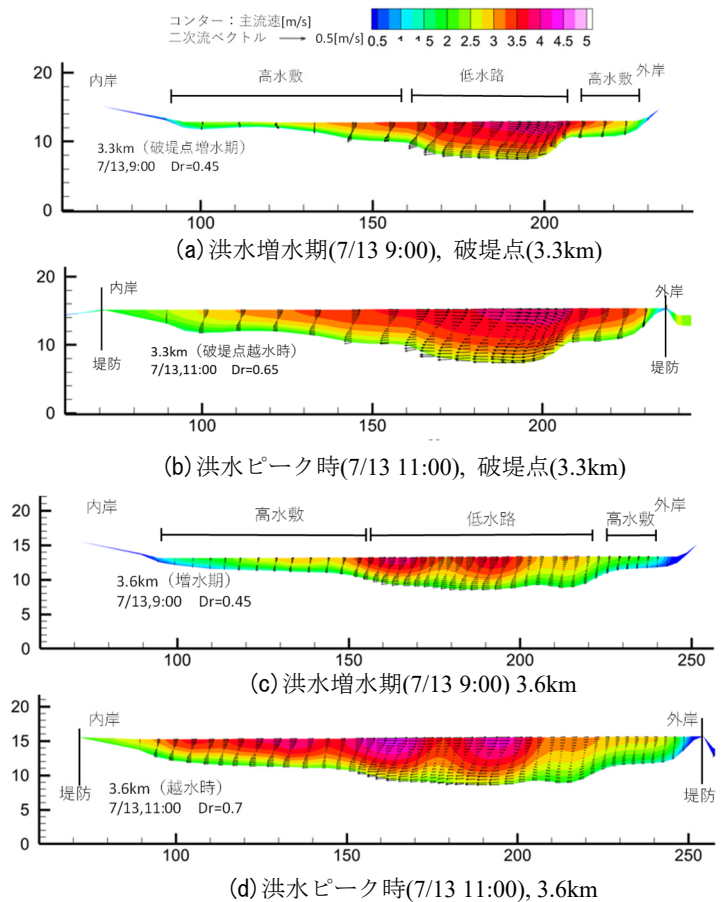


図-9 破堤点(3.3km)及び 3.6km における主流速分布と二次流分布

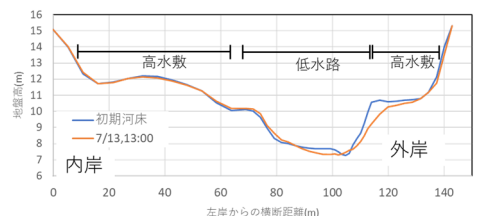


図-10 破堤点(3.3km)の洪水前後の横断面図

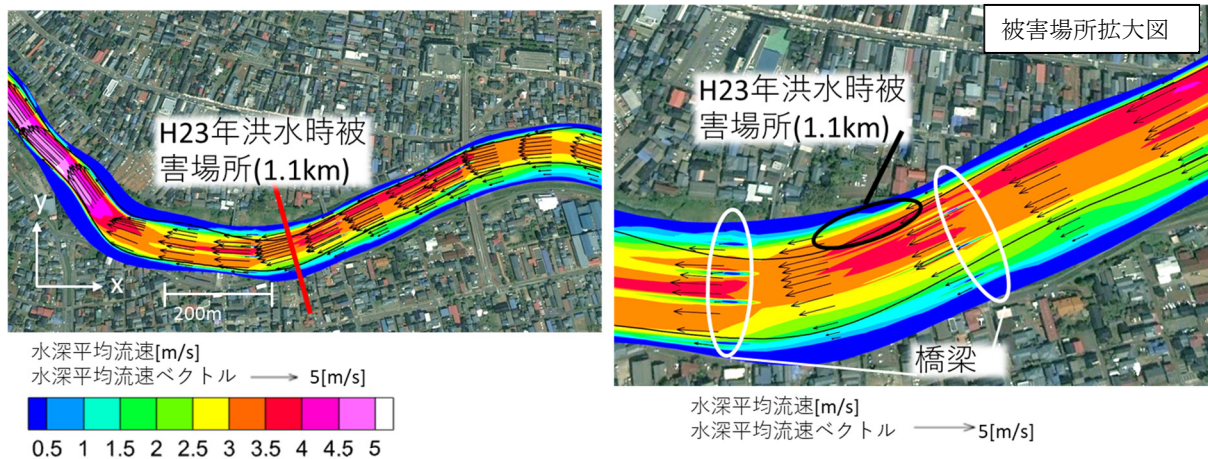


図-11 1.1kmにおける水深平均流速分布

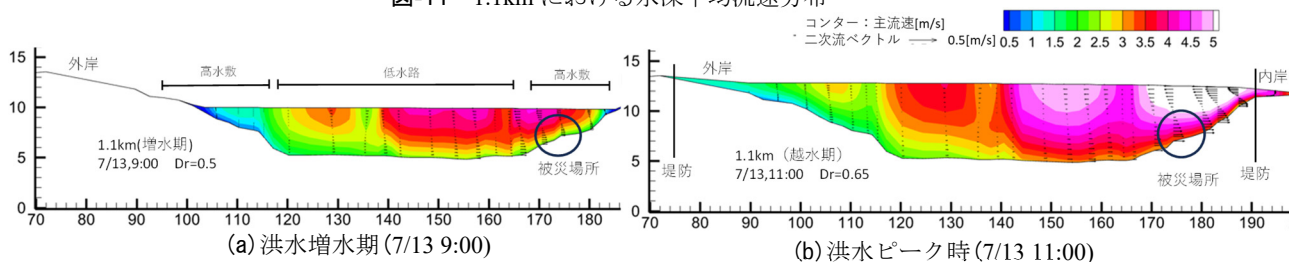


図-12 1.1kmにおける主流速分布と二次流分布

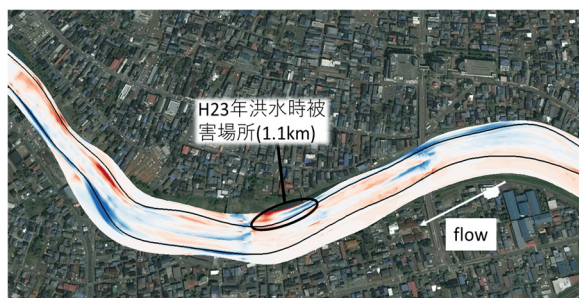


図-13 1.1km付近における河床変動コンター図

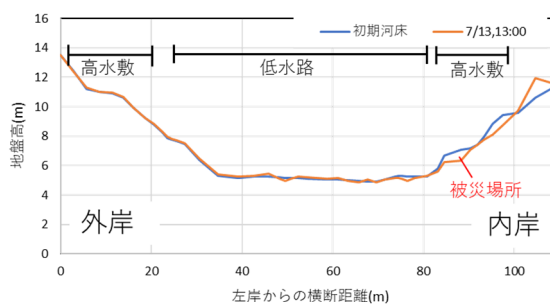


図-14 1.1kmの洪水前後の横断面図

高水敷の遅い流れと低水路の流れとの混合が少なかったためことが挙げられる。一方、3.6 km地点では上流の4.3km付近の蛇行部高水敷上の流れが低水路に流入しているため、主流速が内岸側に寄る複断面的蛇行流れが発生していたことを示した。

平成23年7月新潟・福島豪雨時に内岸高水敷・低水護岸が被害を受けた1.1km付近では、平成16年洪水時においても高流速が内岸寄りに発生し、内岸側の高水敷・低水護岸周辺が洗掘されていた。このことから、平成16年洪水時でも平成23年洪水時のような洗掘被害が発生していた可能性があり、この付近の内岸側は洗掘被害が受け易い箇所であったことを示した。

五十嵐川河道は、序論に示した制約を有する河川であることから今後、河道沿いに水位計を増設して洪水時の水位時空間分布を詳細に観測し、洪水中に五十嵐川で生じている洪水河床変動現象を調べ、平成16年、平成23年の大規模災害の再検討を踏まえた、近年の降雨量増大に伴う流量増大に備えた河道改修に反映させていく必要がある。

参考文献

- 1) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，森北出版，2005.
- 2) 岡田将治，福岡捷二，貞宗早織：複断面蛇行河道の平面形状特性と蛇行度，相対水深を用いた洪水流の領域区分，水工学論文集，第46巻，761-766，2002.
- 3) 後藤岳久，長谷部夏希，向田清峻，福岡捷二：蛇行する低水路を有する複断面河道における洪水流の流下機構と河道内被災の分析と対策—令和2年7月球磨川洪水を例として—，河川技術論文集，第29巻，pp.341-346，2023.
- 4) 7/13新潟豪雨洪水災害調査委員会：第1回委員会配布資料，新潟県，2004.
- 5) 平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会：平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会資料，新潟県，2011.
- 6) 竹村吉晴，福岡捷二：波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面（水面・底面）上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析（Q3D-FEBS），土木学会論文集B1(水工学)，Vol.75，No.1，pp.61-80，2019.