

平成16年7月新潟・福島豪雨における五十嵐川の内岸堤防破堤、 内岸高水敷洗掘原因の検討

The causes of the inner levee breach and the erosion on the inner flood-channel bed at Ikarashi river against July 2004 Niigata-Fukushima heavy rainfall.

20D3102011C 佐藤 海輝 (河川工学研究室)

Kaiki SATO / River Engineering Lab.

Key Words : compound meandering channel flow, Ikarashi river flood, inner levee breach

1. 序論

信濃川一次支川の五十嵐川は新潟県三条市を流れる複断面蛇行河道である。五十嵐川では平成16年と平成23年に大規模な洪水が発生した。平成16年7月新潟・福島豪雨では図-1に示すように内岸側の堤防(3.3km)が破堤し、図-2で示すように破堤点对岸では土嚢を積み、水防活動が行われた。平成23年7月新潟・福島豪雨においては内岸高水敷と低水護岸(1.1km)が洗掘被害を受けた。7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会は平成16年洪水にて内岸堤防が破堤した主原因は越流であると結論づけた¹⁾。しかし令和2年7月球磨川洪水では、複断面蛇行区間において、水位の高い時間帯に、高水敷の遅い流れと低水路の速い流れが混合することで、最大流速が内岸側に生じ、二次流の向きが逆転する複断面的蛇行流れ²⁾の発生が明らかになり、河道の内岸側の各所で被災が生じた可能性が高い³⁾。この新しい知見を受けて、平成16年洪水時の五十嵐川でも同様の現象が発生していたか、内岸堤防や内岸高水敷の洗掘が破堤の原因となり得たかを考察することは今後の堤防設計にとって重要である。

本研究では、平成16年7月新潟・福島豪雨を対象に、複断面蛇行流れの解析によって3.3km地点の破堤や1.1km周辺の高水敷・低水護岸の被災原因が、複断面的蛇行流れと関係しているかを考察することを目的としている。

2. 対象区間, 解析方法, 解析条件

図-3は本解析における対象区間を示している。五十嵐川島潟水位観測所(7.7km)から、信濃川との合流点より200m上流までを解析区間としている。上流端では観測された水位ハイドログラフを境界条件として与えた。下流端は、合流点から400m下流にある信濃川本川の荒町水位観測所の観測水位ハイドログラフに対し河床勾配を考慮して与えた。流れは三次元的であることから解析には、非静水圧準三次元洪水流・河床変動解析法(Q3D-FEBS⁴⁾)を用いた。Q3D-FEBSの基礎式は次式で与えられる。



図-1 平成16年7月新潟・福島豪雨時における内岸堤防の破堤状況(3.3km)



図-2 平成16年7月新潟・福島豪雨時の破堤点対岸での土嚢を用いた水防活動の様子¹⁾

$$\frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}_i \bar{h}}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{U}_i \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}_i \bar{U}_j \bar{h}}{\partial x_j} = -g \bar{h} \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}'}{\partial x_i} - \frac{\bar{p}'_h}{\rho} \frac{\partial \bar{z}_b}{\partial x_i} - \frac{\bar{\tau}_{bi}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{h} \bar{T}_{ij}}{\partial x_j} - \frac{g \bar{h} \bar{U}_i \sqrt{\bar{U}_1^2 + \bar{U}_2^2}}{\rho K^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_{si}}{\partial t} + \bar{u}_{si} \frac{\partial \bar{u}_{si}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho h} \frac{\partial \bar{p}'}{\partial \eta} \bigg|_s \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} +$$

$$\frac{\bar{v}_{ts}}{\rho} \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial z^2} \bigg|_s - \frac{g \bar{h} \bar{u}_{si} \sqrt{\bar{u}_{s1}^2 + \bar{u}_{s2}^2}}{\rho K^2} \quad (3)$$



図-3 対象領域と被災場所の平面位置

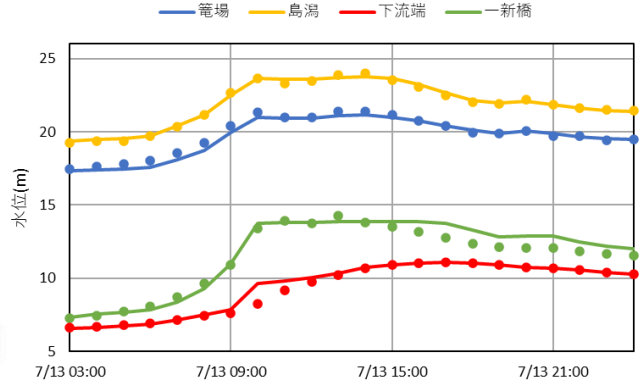


図-4 観測水位と解析水位ハイドログラフ

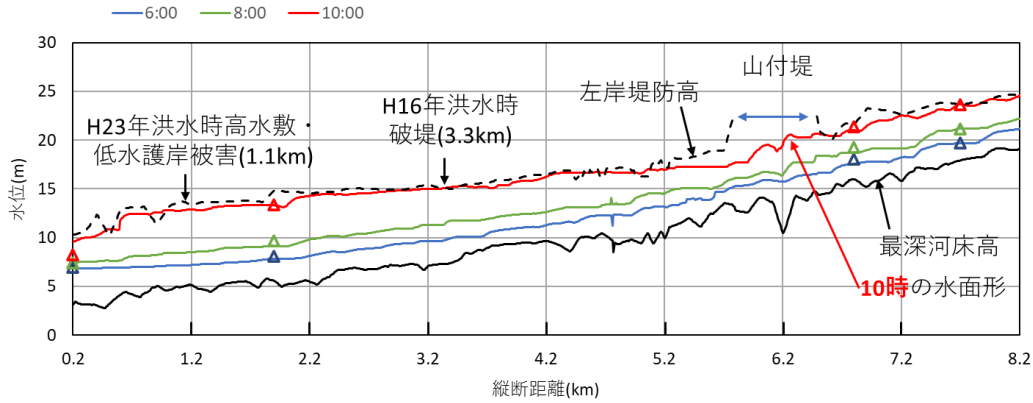


図-5 解析水面形の時間変化

$$\frac{\partial \bar{u}_{bi}}{\partial t} + \bar{u}_{bj} \frac{\partial \bar{u}_{bi}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial \bar{z}_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}_b}{\partial x_i} - \left. \frac{1}{\rho h} \frac{\partial \bar{p}'}{\partial \eta} \right|_b \frac{\partial \bar{z}_b}{\partial x_i} + \left. \frac{1}{\rho h} \frac{\partial \bar{\tau}_i}{\partial \eta} \right|_b + \frac{ghu_{bi}\sqrt{u_{b1}^2 + u_{b2}^2}}{\rho K^2} \quad (4)$$

$$\bar{u}_i(\eta) = \Delta \bar{u}_i(12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) - \delta \bar{u}_i(4\eta^3 - 3\eta^2) + \bar{U}_i \quad (5)$$

ここに、 $i, j: 1, 2$ (xy方向), t : 時間, h : 水深, g : 重力加速度, ρ : 水の密度, $\eta = (z_s - z)/h$, z_s : 水面, U_i : i 方向の水深平均流速, u_{si} : i 方向の水面流速, u_{bi} : i 方向の底面流速, $\Delta u_i = u_{si} - U_i$, $\delta u_i = u_{si} - u_{bi}$, p' : 圧力の非静水圧成分, p'_b : 底面圧力の非静水圧成分, ν_t : 渦動粘性係数, τ_i : i 方向のせん断力, $T_{i,j}$: 軸に垂直な面で j 方向に働く応力, K : 樹木群透過係数である。与えられた流れと河道条件に対して、水深積分した連続式(1)と水深積分した運動方程式(2)、水面での運動方程式(3)、底面での運動方程式(4)、境界条件から得られた流速鉛直分布の仮定式(5)を一体的に解くことで三次元的な解析を行っている。解析には破堤点上流や、高水敷・低水護岸被災場所周辺では橋梁が設置されていることから、橋脚を解像できる格子を用いた。河床材料は平成12年に測定された粒度分布を再現するように一様に与えた。

3. 水位ハイドログラフと水面形の解析結果と観測値の比較

図-4は各水位観測所で観測された水位と解析水位の時間変化を示し、図-5は観測された水位と解析水面形の時間変化を示す。図-4、図-5より解析水位と観測水位はおおむね一致しており、解析結果は実現象を説明していると考えられる。平成16年洪水時に破堤した3.3km左岸では、7/13,10:00には洪水流は堤防満杯で流れており、破堤が生じた13:00の少なくとも3時間前には堤防満杯で流下していたことがわかる。また、解析では信濃川との合流点付近で、洪水時の水位が急激に低下している。これは信濃川本川の水位がこの時刻では五十嵐川より低いことにより、信濃川の水位に引っ張られるように低下していると考えられる。

4. 平成16年洪水時における破堤点 (3.3km) 周辺の解析結果

図-6は3.3kmにおける低水路線形、堤防線形および水深平均流速分布を示し、図-7、図-8は3.3km、3.6kmにおける二次流分布と主流速の横断分布を示す。図-6より破堤点周辺の低水路線形と堤防線形は同心円的であり、外岸側の高水敷幅が狭い。図-6、図-8より、破堤点の上流である3.6kmでは増水期と越水時において複断面的蛇

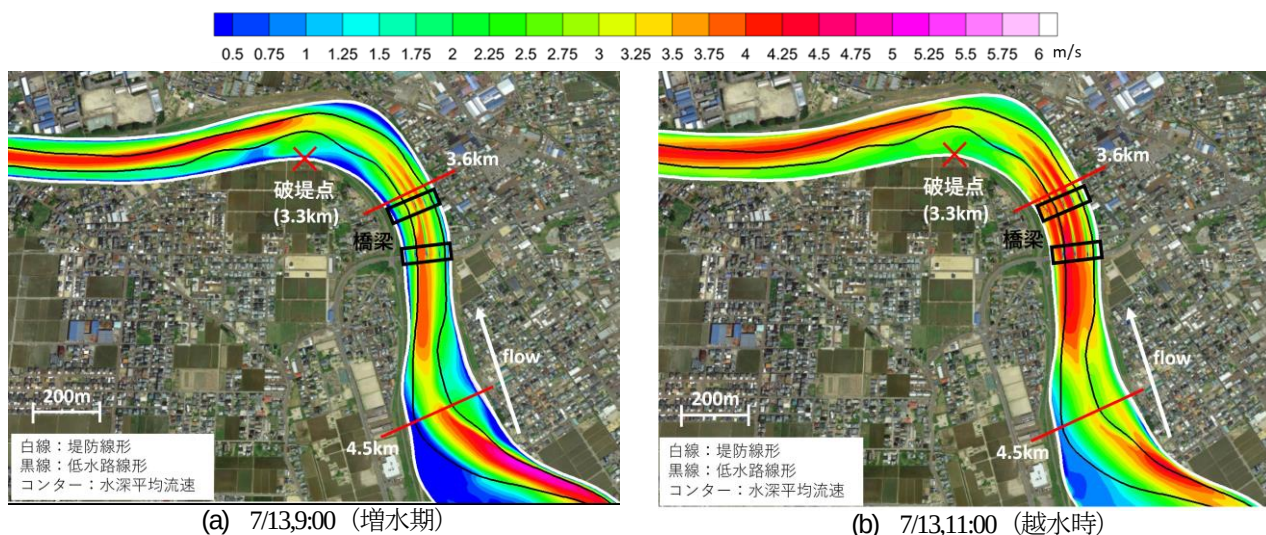


図-6 3.3km周辺の低水路線形および堤防線形、水深平均流速分布

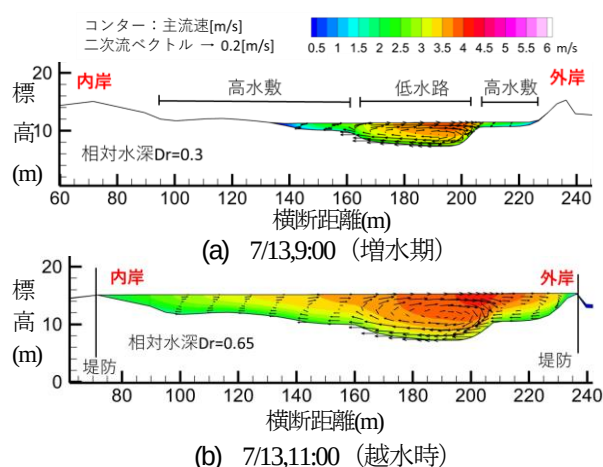


図-7 3.3kmの二次流分布、横断面流速分布

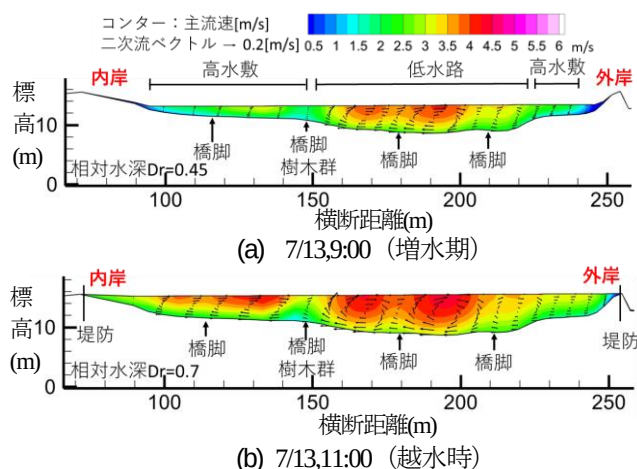


図-8 3.6kmの二次流分布、横断面流速分布

行流れが発生し、最大流速が内岸側に生じている。3.6kmにて内岸側に主流速が発生した理由は、4.5kmの蛇行部では広い高水敷を有し、複断面的蛇行流れが生じ、主流速が内岸に寄っており、そのまま直線的に速い流れが3.6kmの低水路に流入し、内岸側の流速が速くなったことが考えられる。また、3.6km断面では最大流速の発生位置が複数現れている。上流に橋脚や樹木群が存在することで発生したものである。一方、3.3kmでは水位上昇とともに最大流速の発生位置が外岸側に移動しており、増水期および越水時に単断面的蛇行流れのまま流下しており、内岸側の流速が外岸側と比較して小さいため、内岸寄り的高水敷や堤防が洗掘されなかったと考えられる。3.3kmで単断面的蛇行流れから複断面的蛇行流れに遷移しなかった理由は、低水路線形と堤防線形の間に位相差が殆ど見られず同心円的であり、その上、高水敷幅は狭い。これらにより、高水敷から低水路に流入する遅い流れが少なく、混合現象が少なかったために内岸側に主流速が寄らず、単断面的蛇行流れのままであったと思われる。

5. 平成23年洪水時に高水敷・低水護岸が被災した地点（1.1km）は平成16年洪水時には被災しなかったのか

図-9は1.1kmにおける低水路線形、堤防線形および水深平均流速分布を示し、図-10は1.1kmにおける二次流分布と主流速の横断分布を示し、図-11は平成23年7月新潟・福島豪雨時の高水敷・低水護岸の被害状況を示している。図-9、図-10から、平成23年洪水時に高水敷・低水護岸が被害を受けた場所では、水位上昇とともに最大流速の発生位置が内岸側に移動し、越水時には内岸よりの水深平均流速が約5m/sと速く、複断面的蛇行流れが発生している。この1.1kmも3.6kmと同様に最大流速が複数個所で発生しており、上流の橋脚の影響を受け、一時的に河積が小さくなり、流速増大を助長していると考えられる。内岸側高水敷は洗掘されており、解析上は最大で約60cm洗掘された。内岸側高水敷・低水護岸が被災した場所では、速い流速が発生し、洗掘されていると考えられ、平成16年洪水時も平成23年洪水時と同様の洗掘被害を受けていたと考えられる。

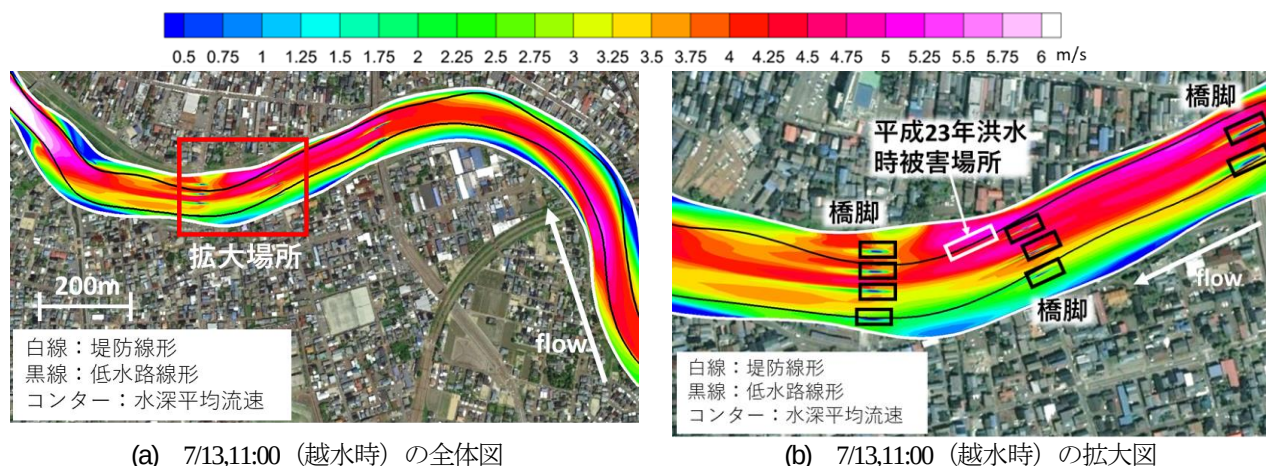


図-9 1.1km周辺の低水路線形および堤防線形，水深平均流速分布

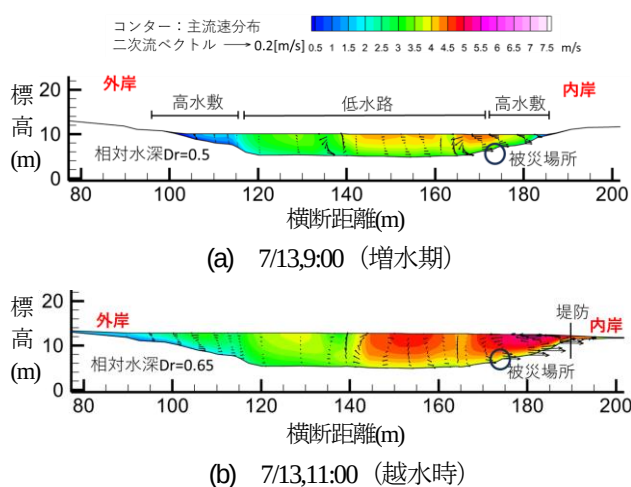


図-10 1.1kmの二次流分布，横断面流速分布



図-11 平成23年7月新潟・福島豪雨時における内岸高水敷・低水護岸の被害状況(1.1km)⁵⁾

6. まとめ

平成16年7月新潟・福島豪雨時の3.6kmは，上流の4.5kmで複断面的蛇行流れが発生し，直線的に高水敷の遅い流れが流入したために主流速が内岸側に現れた．一方，3.3kmでは，単断面的蛇行流れのまま流下したと考えられ，主流速が外岸側に発生していたため，内岸堤防の破堤と複断面的蛇行流れの関係は弱いものと考えられる．しかし，堤防天端越流時間が3時間以上続いており，破堤原因は越流とともに堤体天端付近の浸透による弱体化も影響したと思われる．3.3kmにおいて単断面的蛇行流れから複断面的蛇行流れに遷移しなかった理由は，低水路線形と堤防線形の間に位相差が殆どなく，同心円的な線形をしており，高水敷幅が狭いことと相まって，高水敷の流れと低水路の流れの混合が少なかったことによると考えられる．

平成23年洪水時に高水敷・低水護岸が洗掘被害を受けた場所では，平成16年洪水時にも水位上昇とともに最大流速の発生位置が内岸側に移動し，複断面的蛇行流れが発生したことで洗掘されたと考えられる．そのため

平成16年洪水時には，平成23年洪水時と同様の被害が生じていた可能性があり，この地点は洗掘被害を受けやすい場所であることを示した．

参考文献

- 1) 7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会：報告書，新潟県，2005.
- 2) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，pp21-39，森北出版，2004.
- 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，pp341-346，2023.
- 4) 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.
- 5) 平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会：第2回平成23年7月新潟・福島豪雨対策検討委員会資料，新潟県，2011.