

河道特性分析に関する一考察 ～二極化対策による再度災害防止～

株式会社ドーコン 正会員 ○堀岡 和晃

1. はじめに

2019 年 10 月に起きた台風 19 号豪雨災害による直轄河川の堤防決壊について、国土地理院、地方整備局、国土交通省の配布資料を用いて要因の仮説立案を行い、11 月に現地視察を行い仮説を検証・見直しするとともに、これまでの堤防調査委員会の調査報告を含めて今回の洪水で得られた河道特性分析に關しての課題・教訓を検討した。ここでは特に、本来大出水では発生しないはずの二極化による被害の事例に着目し、課題に対応した解決策など、河道特性分析に關してのポイントや考え方を示す。

2. 今回の洪水から得られた課題・教訓

2-1. フルバンクの流れによる課題の浮彫り

個々の堤防決壊や外水氾濫の原因は、表-1 に示すように、堤防法線形の不備や堤防高不足、高水敷幅不足、河積不足、樹木・竹林繁茂などの河道計画上の問題箇所が 13 箇所中 10 箇所（全体の 77%）、うちそもそも堤防高が計画堤防高に達していない箇所が 9 箇所、支川処理および支川合流部の処理の問題が 3 箇所あった。これらは、河川整備が完了していなかった箇所に初めてフルバンク（堤防満杯）の流れを経験したことで、潜んでいた課題が浮き彫りになった。また、堤防決壊のその他の原因として、3 箇所（全体の 23%）で河道二極化が挙げられていた。

3. 二極化の発生状況の分析

3-1. 二極化の河道特性の分析方法

河道の二極化とは、流路の湾曲部で、中小出水毎に徐々に、水裏部側で土砂が堆積し、水衝部側で河岸が侵食・洗堀され、河道横断面内の高低差・比高が拡大し、河道地形が二極化に発展する現象をいう。二極化現象を抽出するには、二極化に伴う独自の河道特性を把握する必要がある。まず、近年の河道の空中写真や横断面図の比較分析を行う。護岸等の人為的改変箇所と年次、護岸等設置前後の蛇行の変化、

河道の侵食・堆積による流路の変化を把握し、護岸沿いの流路の固定・洗堀状況や対岸の砂州拡大状況から、護岸の崩壊、河岸侵食、砂州拡大・樹林化による河積阻害に至る二極化の進行度合いを推察する。二極化が発生したケース C、D、F とも、出水で大幅に河岸洗堀・侵食が進行し、堤防へ向かう流水の誘導が生じ、堤防決壊に至ったことがうかがえる。

表-1 直轄河川 堤防決壊要因と対策

CASE	堤防決壊要因	望ましい対策
A	橋梁高・取り付け道路高不足	橋梁改修
B	堤防法線形、堤々間不足	堤防法線修正
C	河道二極化、高水敷果樹栽培、	二極化対策 高水敷利用規制
D	河道二極化、高水敷幅不足	二極化対策 高水敷整備
E	河道内地山突出、堤防高不足	河積確保 堤防高確保
F	河道二極化、水撥ね、堤防高不足	二極化対策 堤防高確保
G	堤防法線形、堤防高不足	堤防法線修正 堤防高確保
H	竹林繁茂、堤防高不足	竹林伐採 堤防高確保
I	堤防高不足	堤防高確保
J	竹林繁茂、堤防高不足	竹林伐採 堤防高確保
K	背割堤上流の堤防高不足	堤防高確保
L	支川セミバック堤高不足	支川処理見直し
M	堤防高不足	堤防高確保

3-2. 長期降雨による二極化の進行

一般に二極化は、融雪出水など比較的継続時間の大きい中小出水が繰り返すことで、低水路内で洗堀・堆積が進行する傾向にあり、逆に継続時間の短い大出水では、一気に河道が攪乱されて低水路内の洗堀・堆積が軽減される傾向がある。しかし、ここ数年日本近海の海水温は、高温傾向にあり、広域かつ大規模な降雨が発生する危険性は高い。その際、洪水流量のピーク増大もさることながら、長期的な降雨による中規模出水の長時間化を

もたらし、河道の二極化を一気に進行させ、河岸の侵食や堤防へ向かう流れの誘導など、堤防決壊に繋がり、想定外の被害に及んだものと推察される。ちなみに3ケースとも、水防団待機水位から洪水ピークまでの水位上昇に8～10時間を要していた。

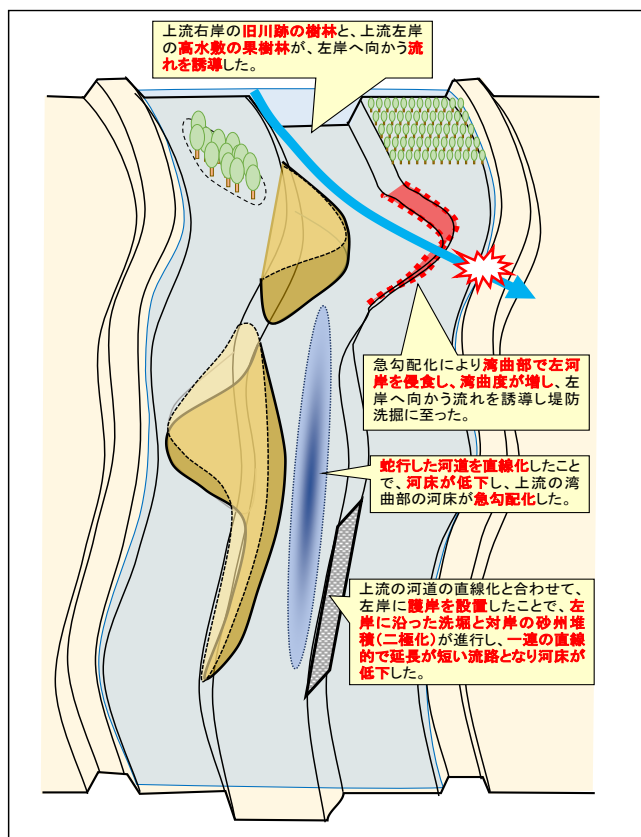


図-1 ケースCの河道特性 イメージ図

3-3. 河道別の二極化の河道特性の把握

ケースCでは、図-1に示すように、下流河道の水衝部に過去に護岸が配置され、護岸に沿った直線化・洗掘と対岸の堆積が進行しており、徐々に河床低下が上流に伝播していた。今回の出水前後の河道変化から、被災箇所周辺の河床の急勾配化により低水路の河岸侵食が急速に進行し、河岸侵食に沿う形で洪水流が誘導され左岸堤防へ向かったものと推察される。なお、上流高水敷の左岸の果樹園や右岸の旧川跡の樹林も左岸へ向かう流れを誘導していた。

ケースD, Fでは、近年改修された護岸や水制に沿った洗掘と対岸の土砂堆積が進行し、その下流で、水撥ね等により対岸に洪水流が誘導され、堤防決壊に至ったことが伺える。

4. 課題に対応した解決策 二極化の対策

二極化のメカニズムは、様々な河道変化や二極化

による被害状況の分析^{1) 2) 3)}、複数ケースの三次元流況解析の結果から、連続した護岸や侵食面などの平滑な水衝部に高速の主流ができると、並行して水裏側に遅い流れが発生するが、その際、緩急の複数の二次流セル（緩急並列流と呼ぶ）の関与が見られた。

また、高速流発生の原因は、以下のように河岸抵抗の急減によるものと推察した。既往研究によると、流水中の直径10cmの円柱の抵抗は、レイノルズ数によって変化し、層流から乱流に移行する臨界レイノルズ数よりも大きい範囲（ $Re=3 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6$ ：超臨界レイノルズ数領域）で、抗力係数が急減する現象がある⁴⁾。同様に、急流河川において、同じレイノルズ数領域となる中小出水時（流速約3m/s以上）に、水衝部の護岸表面の凹凸の抗力が急減しており、流路全体の換算粗度係数は、0.03程度から0.02程度まで低下した。中小出水時の高流速発生と抗力係数の急減との関係性は、私が初めて見出したもので、現状の二次元水理解析モデルにおいて、高速流は、現地観測結果から粗度係数を再設定しなければ再現できない。また、三次元解析においても、緩急並列流は再現できるが、高速の主流は、同様である。

二極化対策は、一般的な河道整正だけでは水衝部に予測解析を上回る高速流が作用し再発するため不適であり、河道整正に加え水衝部に適正な形状の凹凸を付加することで、高速流と緩急並列流が抑制でき、二極化を防ぐことができる（特許出願中）。

5. おわりに

日本近海の海水温は、長期的に上昇傾向にあり、広域かつ大規模な降雨が発生する危険性は高く、河道もこれに対応する必要がある。堤防決壊で河道の二極化が3件関与した事例を踏まえると、今後の河川整備計画に二極化対策も重要と考える。

参考文献

- 1) 堀岡和晃，長谷川覚也：積雪寒冷地の河川における低水路内の比高拡大の一考察，土木学会北海道支部論文報告集 No.73/B-41，2017.2
- 2) 堀岡和晃：低水路内の比高拡大・二極化の要因分析と対策の検討，土木学会第72回年次学術講演会集，2017.9
- 3) 堀岡和晃：2016年8月北海道豪雨災害における比高拡大・二極化に着目したリスク管理の検討，土木学会第73回年次学術講演会集，2018.9
- 4) 中山泰喜：流体の力学，p138,1998