

# 平成 30 年 7 月豪雨における広島県内の 河川の災害事例と課題

## DAMAGE IN RIVERS IN HIROSHIMA PREFECTURE CAUSED BY THE HEAVY RAIN IN JULY 2018 AND FUTURE ISSUES

内田龍彦<sup>1</sup>

Tatsuhiko UCHIDA

<sup>1</sup> 広島大学大学院工学研究科社会基盤環境工学専攻 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

### 1. はじめに

2018 年 6 月 28 日から 7 月 8 日にかけて西日本を中心に豪雨が発生し、7 月 5 日から 7 日の間に広島県の南部から東部にかけての広範囲において、局所的に線状降水帯を伴う激しい降雨が発生した。広島県では、多くの地点で 24 時間、48 時間、72 時間最大降水量が観測史上最大を記録し、大雨警報が 7 月 5 日 8 時 8 分に廿日市市、大雨特別警報が 7 月 6 日 19 時 40 分に広島市や呉市を含む広い範囲で発令されている<sup>2)</sup>。気象場は、大局的には梅雨前線が日本列島を縦断するように位置し、日本列島に向かって南と南西方向から暖かく湿った空気が流れ込む状況であった<sup>3)</sup>。期間内に線状降水帯は複数観測された。広島湾上空からの積乱雲が複数連なる線状降水帯では、新しいセルが進行方向と逆側に発生しており、特に、7 月 6 日 18 時 5 分に広島地点でピークをもたらした線状降水帯はバックビルディング型であることが報告されている<sup>3)</sup>。

この結果、県内の多くの河川、とりわけ中小河川において、計画規模かそれを超える降雨となり、河川の氾濫や土砂災害、交通遮断等が同時多発的に発生し、被害が時空間的に相乗的に広がる相乗型豪雨災害<sup>4)</sup>を引き起こし、死者・行方不明者 138 名の過去 50 年で最大の人的被害となった<sup>5)</sup>。本稿では、広島県内の河川災害の特徴と課題について報告する。

### 2. 広島県内の河川災害の特徴<sup>4)</sup>

図-1 に示すように、広島県の基準水位設定の 61 河川のうち、氾濫危険水位を超過した河川は 46 河川、避難判断水位を超過した河川が 6 河川に上り、避難判断水位以下

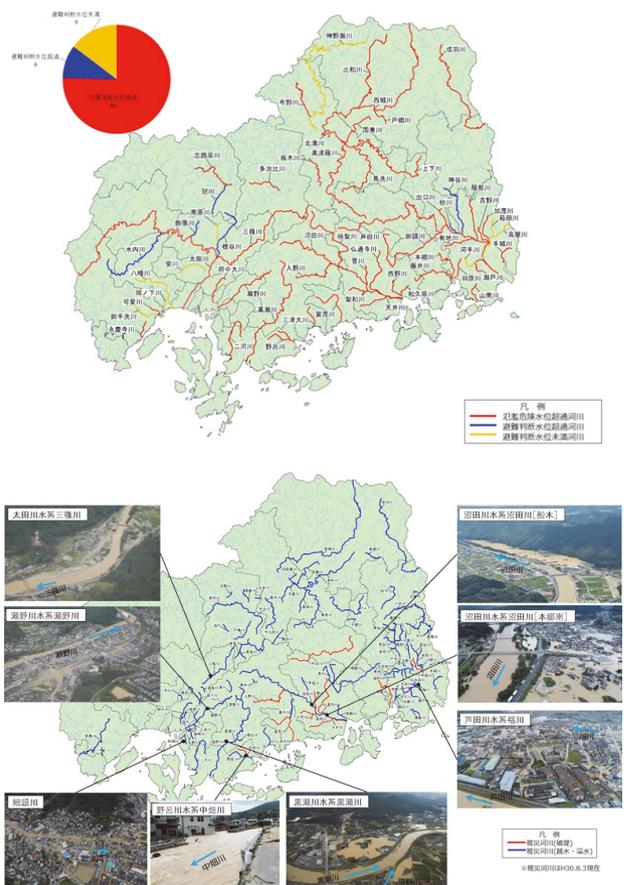


図-1 西日本豪雨時の広島県の河川水位と被災状況<sup>6)</sup>

の河川はわずか 9 河川のみであった。また、県の管理する 499 河川のうち、破堤した河川が 12 河川、越水・溢水した河川が 82 河川であった<sup>6)</sup>。

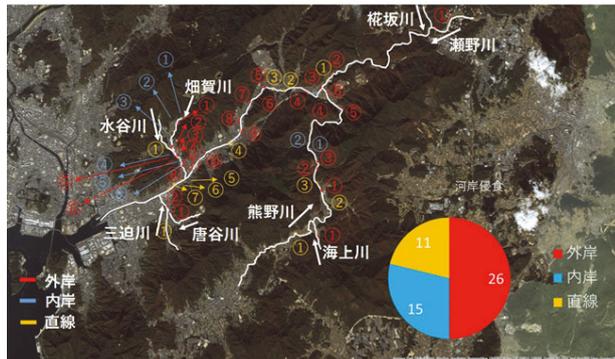
これらの河川被害の特徴のひとつは支川からの氾濫被害が多く発生したことである。その要因として 3 点を指摘できる。1 点目は、支川の破堤であり、特に、沼田川下流



(a) 沼田川



(c) 太田川水系三篠川



(b) 瀬野川



(d) 太田川水系根谷川

図-2 西日本豪雨時の広島県の河川の護岸被災状況

部の主な支川すべてが決壊した(菅川4箇所、梨和川・三次川4箇所、仏通寺川1箇所、天井川1箇所)。このうち、仏通寺川、天井川の破堤箇所以外は、合流点の直上流であり、越流破堤と言えない箇所が含まれるものの、本川水位あるいは合流点での水位の上昇が破堤の危険性を増大させたと考えられる。また、菅川で見られたように、支川が破堤することによって、ハザードマップに示されていない氾濫域が生じた。2点目は、本川が水位上昇したことによる排水不良による内水氾濫であり、太田川流域、芦田川流域を含め、各地で見られた。特に、福川のように外水位の方が高くなり、排水ポンプに頼らざるを得ない低平地においてはポンプ整備だけでなく、運転方針、維持管理において検討すべき課題が多い。3点目は、土石流の流入による支川での土砂堆積である。土石流は、道路あるいは河川に沿って流れるために、このような被害は県内全域で発生し、土砂洪水氾濫と呼ばれた。その中には、瀬野川の右岸支川である榎ノ山川、畑賀川、野呂川の左岸支川である中畑川が含まれる。土砂堆積による氾濫の例として、7月10日に発生した、みくまり峡からの土石流を受けた榎川や甚大な土砂災害を受けた坂町の総頭川等が挙げられる。土砂災害の多い広島県においては過去の災害においても同様の事例が見られる。計画規模の強い豪雨時には、河道に土砂や流木が多く流れ、洪水流を阻害し、河道の通水能を著しく低下させるなど、洪水流の挙動を大きく変えるため、これらを河道設計に対してどう位置づけるのかが重要にな

る。

洪水では多くの道路橋、鉄道橋が流木や流下草本類を集積し、水位を堰上げる問題も生じた。さらにその結果、橋梁被害も多く見られた。洗掘による橋梁被害もあったが、多くの被害は橋桁まで水位が堰上がることによる流体力の増加が原因と考えられた。河川管理施設等構造令第60条では、橋梁は計画高水位以下の水位に対して安全かつ、橋脚・橋台は流水の妨げにならないこととある。このことは、計画高水位を基準にして設計される上述の堤防についても同様であり、超過外力、即ち計画水位を超えた場合についても検討し、何が起こるのかを想定することが重要と考えられる。

本洪水によって県内全域の多くの護岸で被害を受け、隣接する主要道路、鉄道が寸断された。図-2は、今回の出水で被害を受けた広島県内の河川の主な護岸被災箇所の分布である。いずれの河川においても河川上流部の山地部においてかなりの箇所で河岸侵食被害が生じていることが分かる。河岸侵食の多くは湾曲部外岸で生じており、上流の蛇行部では外岸部が連続して被害を受けている。なお、湾曲部内岸は、蛇行入口の流速が大きくなる箇所に多く、また直線部の一部は上流の湾曲部外岸の下流部となる箇所が含まれている。例えば沼田水系椋梨川のダム下流では、ダム操作規則に基づく放流量に対して、多くの箇所が被災を受けている。この護岸被害が示すことは、流下能力を考える際に断面の大きさだけでなく河川の強度も必要であ

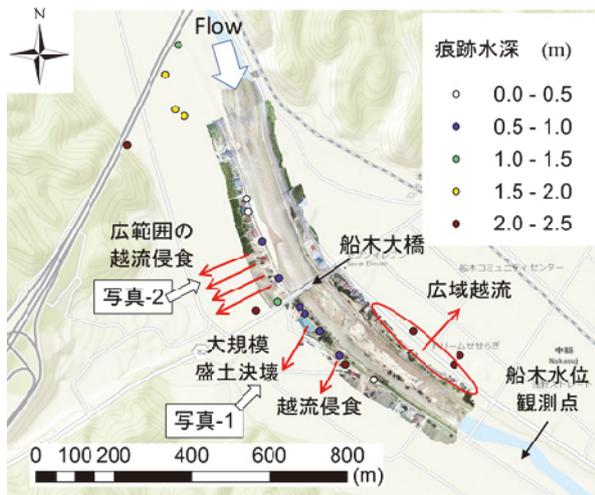


図-3 沼田川船木大橋上下流における氾濫の概要<sup>7)</sup>

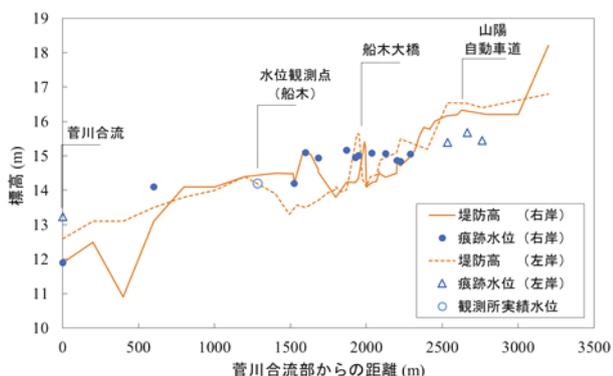


図-4 沼田川船木地区周辺の痕跡水位<sup>7)</sup>

ることである。橋梁被害や土石流被害と併せて、避難路や復旧のための交通ネットワークがいたるところで遮断し、被害を時空間的に拡大させる相乗型豪雨災害を引き起こした<sup>4)</sup>。

### 3. 計画規模流量による洪水被害例 (沼田川<sup>4),7)</sup>

#### (1) 船木地区の被害概要

沼田川本川の船木地区では、破堤は免れたものの、越流によって堤体は大きく侵食し、船木大橋付近の堤内地では両岸ともに大きな浸水被害を受けた。船木地区の被害と堤内地の浸水深を図-3、痕跡水位縦断面図を図-4に示す。船木大橋付近では、右岸堤防を越流する流れにより、広範囲の堤防の侵食被害と堤内地の浸水、土砂被害を生じさせた。船木大橋下流の右岸では、堤防の越流侵食と大規模な盛土決壊が発生した(写真-1)。これらの侵食土砂が、堤内地に広く堆積した。船木大橋上流の右岸堤防の越流侵食箇所では、越流破堤は免れたものの、堤防の河川側の堤防天端付近において、縦断的に広範囲に亘って侵食被害を受けている。堤体は主として砂で構成されており、堤内地の宅地用の盛土が併せて侵食された(写真-2)。左岸では低平地が広がり、2 m以上の浸水域が広がった(図-3)。さらに、左岸側では、船木大橋下流で流入する支川の菅川で、右岸



写真-1 船木大橋下流右岸の道路盛土崩壊の様子<sup>7)</sup>



写真-2 船木大橋上流右岸の侵食被害の様子<sup>7)</sup>

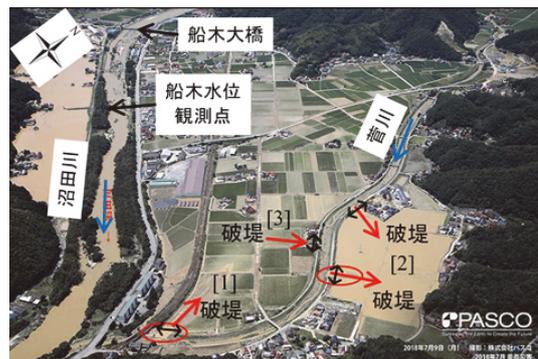


図-5 菅川の氾濫の概要(写真撮影<sup>8)</sup>)<sup>7)</sup>

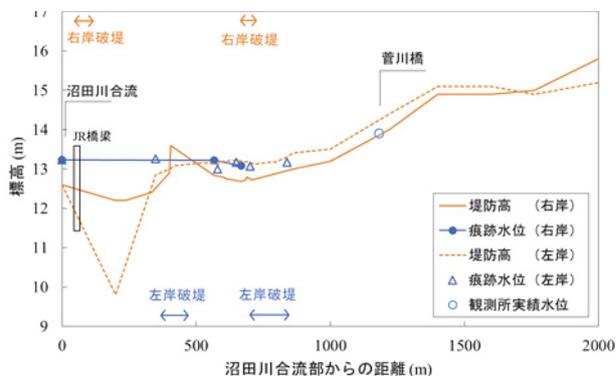


図-6 菅川の痕跡水位縦断面図<sup>7)</sup>

2箇所、左岸2箇所で破堤した(図-5)。痕跡水位縦断面図を図-6に示す。沼田川合流部付近では菅川堤防はかなり低く、沼田川本川との合流点付近の高い水位の影響を受けた。沼田川合流部付近の左岸側は堤防がないが、山に挟ま

れ氾濫域がほとんどないため、菅川の洪水流は合流部付近の右岸から多量に越水していたと考えられる。ヒアリング調査によると、まず沼田川合流部付近の右岸堤防[1]が破堤し、菅川右岸氾濫域が浸水した。その後、7日夜が明けてから左岸堤防[2]が破堤したとのことである。このとき、河道水位の低下に伴って、菅川右岸の氾濫域の氾濫水が河道に戻り、その時の堤内地から河道方向への流れによって民家の塀やパラペット堤防が河道によって倒伏した。このとき、破堤した堤防[3]の堤内地側の樹木付近は越流した割には侵食や土砂堆積はほとんど見られず、河道への戻り流れにより破堤が生じたことが確認される。左岸破堤箇所では、越流する流れが生じて、落堀と多量の土砂堆積が生じていた。

## (2) 流出解析による検討

流出解析モデルには、水文、河川データの少ない河川にも適用しやすいRRI (Rainfall Runoff Inundation)モデル<sup>9)</sup><sup>10)</sup>を用いた。RRIモデルは流域全体をグリッドセルに分割し、連続式により各点の水量の時間変化を計算する分布型モデルである。地表面流と河道の流れは、拡散波近似を仮定して、水面勾配から Manning 公式により求められる。地中の浸透流は流域斜面を山地部と平野部に分け、山地部では側方浸透流をダルシー則、平野部では鉛直浸透流を Green-Ampt の浸透能式を用いて計算する。

計算期間は助走期間を含めて、7月3日0時から7月9日0時までの144時間とした。地盤データには、国土地理院が公開している50mメッシュの標高データを用いた。解析に用いる各グリッドセルは、150mの格子間隔とした。土地被覆は、JAXAの高解像度土地被覆図を用いた。雨量データには、XRAIN\_GISの時間雨量を用いた。河道断面は、矩形断面で与え、河道形状についてのパラメータは、河川整備計画の河川横断面図と比較し、河道幅が等しくなるように決定した。しかし、河道断面の詳細は不明であり、河道からの溢水量を適切に解析することや破堤氾濫流量を評価することが困難であったことから、外水氾濫は考慮せず、水位変動が最も大きかった船木地点を含め河道からの氾濫が生じないように、河道を全体的に10m深く掘り下げて計算した。したがって、本稿で計算される流量は実際に河道を通過する洪水流量より大きめに見積もられている。下流端の境界条件は、沼田川の下流部に位置する七宝で観測された水位データとした。また、福富ダムと椋梨ダムの直下で、観測された放流量を河川流量として与えたが、上流部に位置する福富ダムと椋梨ダムへの流入量データは以下のようにパラメータのキャリブレーションに用いた。

船木地点における解析流量と流量構成比を図-7に示す。この内、福富ダムと椋梨ダムの放流量は実績値を与えてい

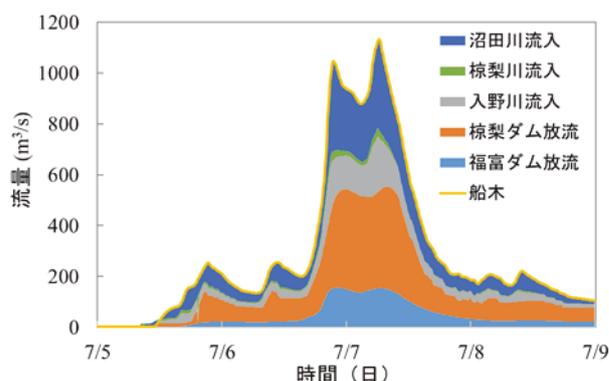


図-7 船木地点の流量ハイドログラフと流量構成<sup>7)</sup>

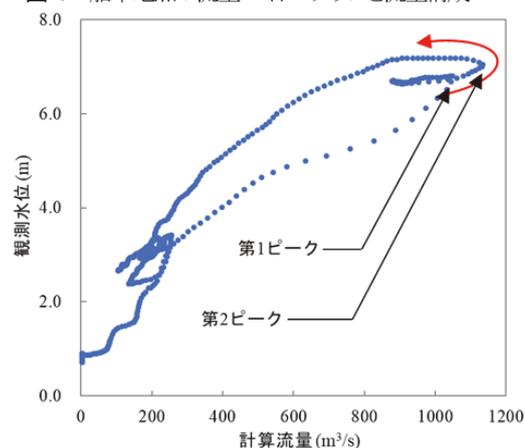


図-8 船木地点における計算流量と観測水位<sup>7)</sup>

る。本解析では、一番目のピーク流量は1,006 m<sup>3</sup>/s、二番目のピーク流量は1,115 m<sup>3</sup>/sであった。このうち、ダム放流量は船木地点の流量の54.8%である。船木地点の河川整備計画流量は1,140 m<sup>3</sup>/s<sup>6)</sup>であり、本出水では整備計画流量規模の流量で発生したと言える。図-8に船木地点の観測水位と解析流量のループを示す。曲線は反時計回りのループを描いており、第2ピーク後の減水期には流量が低下しても、水位が高い状態が継続していた。これは、河道内の流れの抵抗と非定常特性による減衰期の水面勾配の低下と合わせて、氾濫水が河道へ戻った影響も考えられ、詳細については今後の課題である。

本出水では異常洪水時防災操作には至らず、操作規則に沿って放流が行われた<sup>9)</sup>。現操作規則では不可能であるが、下流の被災状況を勘案したダム貯水容量を有効活用する特別防災操作も考えられる。今回の出水では、下流で浸水被害を受けていたため、椋梨ダムにおいて、流入量の第2ピーク後にダム貯水位をサーチャージ水位まで貯水し、その後流入量と放流量を等しくして水位を一定に保つという理想的な操作が行われた場合の効果と合わせて検証する。ダム貯水位、放流量の観測値と比較を図-9に示す。図-10は船木地点における各種流量ハイドログラフの比較である。椋梨ダムがない場合の流量は、第1ピークは1,156 m<sup>3</sup>/s、第2ピークが1,193 m<sup>3</sup>/sと推定され、整備計画流量を上回ったと考えられ、椋梨ダムによって、

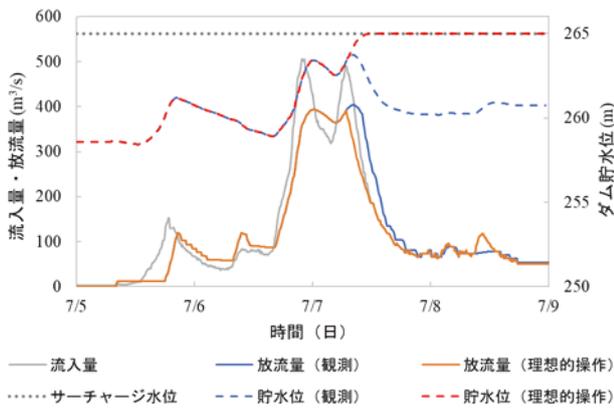


図-9 椋梨ダムの放流量・流入量と貯水位<sup>6)</sup>

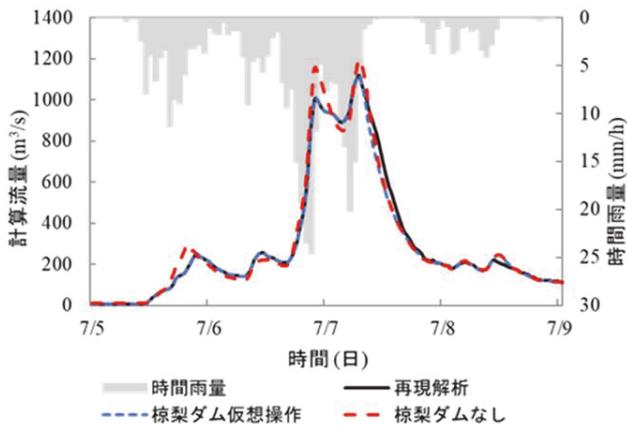


図-10 船木地点流量ハイドログラフに対する椋梨ダムの影響<sup>6)</sup>

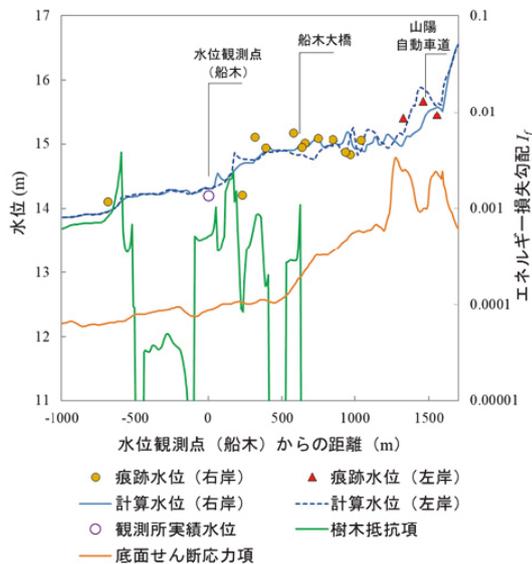


図-11 船木大橋周辺の水位縦断面図と樹木抵抗<sup>6)</sup>

流量をかなりの程度低減したことが分かる。一方、下流の被害状況を考慮してダム貯水位を満水に保つ理想的な操作をしたとしても流量は第2ピーク後において、わずかに低下するのに留まることがわかる。第2ピーク付近は大雨特別警報が発令中であり、満水に保つ危険性の割に、その効果はかなり限定的であったと考えられる。このことから、沼田川洪水の被災の主な原因は、現状の治水施設と河道の

流下能力を超過する洪水流量となったことと言える。このような洪水外力に対して、今後被害をどのように軽減するかはさらに検討する必要がある。

### (3) 洪水解析による検討

船木地区における洪水流の流況を把握するために、平面二次元解析を行った。基礎方程式には、物理成分で表示された一般座標系に変換された浅水流方程式<sup>11),12)</sup>を用いた。計算範囲を船木地区の湾曲部を含む菅川合流部から上流約3 km までの区間とした。境界条件として、上流端に流量、下流端に水位ハイドログラフを与えた。上流端の流量には降雨流出解析によって求めた船木地点における解析流量を用いた。降雨流出解析では、氾濫しない条件で計算しているため、実際に河道を通過する洪水流量より大きめに見積もられている。また本研究では、洪水ピーク時の河道内の流れに及ぼす樹木の影響に着目するため、計算を単純化し、氾濫による流量低下の影響は考慮しないことにした。下流端の水位は、下流端からやや上流で観測された船木地点における観測水位を解析水位が再現するように与えた<sup>12)</sup>。底面の粗度は現地の河床材料から、相当粗度  $k_s=3$  cm とした。また、樹木の影響を評価するために、基礎方程式には、樹木群透過係数<sup>11)</sup>を用いて樹木抵抗項を付加した。

図-11に示すように、解析結果は、山陽自動車道、船木大橋付近では河道湾曲により、外岸側の水位が上昇し、また、船木水位観測点の上流で水位が上昇する観測水位の特徴を再現している。図-11にはピーク水位時刻の単位面積当たりの樹木抵抗項(式(1))と底面せん断応力項を幅積分して求めたそれぞれのエネルギー損失勾配も示している。船木大橋より下流では、底面せん断応力に対して、樹木抵抗が支配的であり、水面勾配が急で水位が上昇している箇所と樹木によるエネルギー損失勾配が大きい箇所が対応しており、船木大橋付近の洪水流には船木大橋下流の樹木の繁茂の影響を受けていることが分かる。ただし、本解析では、樹木倒木、土砂堆積による河道変化や堤防越流の影響が考慮されていないなどの課題があり、定量的な評価には、さらに検討する必要がある。

## 4. 土砂・洪水氾濫による相乗型豪雨災害例

本洪水では、土石流による多量の土砂の河川への流入は主に上流域の小河川において土砂・降水氾濫を引き起こし、被害を拡大させた<sup>46)</sup>。さらに、土砂・洪水氾濫によって山陽本線が遮断され、被害が時空間的に広がる相乗型豪雨災害<sup>4)</sup>を引き起こした。JR 瀬野駅では瀬野川支川の榎山川の土砂・洪水氾濫により、大きな被害を受けた。SNS 上では、7月6日19時30分には、榎ノ山川のJR橋梁直上流



図-12 JR 瀬野駅周辺の浸水状況

で、反砂堆のような激しい水位の堰上げと氾濫が始まっている様子が撮影され、投稿されている。地域住民のヒアリングでは、榎ノ山の氾濫は、7月6日21時過ぎ頃から始まり、7月7日5時過ぎには床上浸水が始まったと報告されている<sup>4)</sup>。図-12の調査結果から、土砂により榎ノ山川の河川断面が埋塞し、国道を横切る流れが発生して浸水が広がったことが分かっている。また、JR線に沿って瀬野駅側への流れも確認されている。このことから、榎ノ山の埋塞がきっかけとなった土砂・洪水氾濫である。流れによる土砂輸送能力は一般にせん断応力で表され、水流が重力により得た運動量の一部を土砂に供給することで土砂が輸送される。河道断面の最大値は堤防天端に水位が到達した時であるため、このときの断面積で河道の土砂通砂能力が決定されると考えてよい。河道の土砂通過能力を一旦超えると、土砂堆積により河道断面積が小さくなり、通砂能力が低下するため、河道は埋塞する。土石流などによる土砂流入の多い県内小河川ではこの通砂能力を検討することが重要である。

## 5. おわりに

広島県における本災害から得られた教訓とそのために考えられる対策をまとめる。

### (1) 流下能力が不足している河道区間

・維持管理の実行可能性と河川環境を考慮した適切な河道断面と樹木管理

- ・本川背水区間等弱点箇所への堤防強化
- ・安全に洪水流量を流下させることのできる質的河川改修

### (2) 土砂堆積・流木集積による氾濫被害拡大

- ・砂防施設整備による土石流、流木の捕捉と河道流入土砂の量的・質的検討
- ・大規模洪水時に土砂堆積、流木集積が生じにくい河道整備・管理

### (3) 相乗型豪雨災害による被害の時空間的拡大

- ・主要な道路、橋梁に対する安全度の重み増加（高外力を想定、多重化等）
- ・広域大規模洪水時の土砂・洪水氾濫の挙動把握と避難・復旧計画の検討

- ・避難情報の細分化、ローカル化、具体化

## (4) 大規模洪水発生時の治水施設の限界

- ・大規模洪水時のダム操作時の情報交換、ダムの最適運用方法の検討
- ・内水排除のための排水機場の新設、排水能力の向上、適切な管理と操作ルールの検討

## 参考文献

- 1) Tokyo Climate Center, Japan Meteorological Agency: Primary factor behind the heavy rain event of July 2018 and the subsequent heatwave in Japan from mid-July onward, [https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press\\_20180822.pdf](https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/news/press_20180822.pdf) (2019年10月6日参照)
- 2) 広島気象台:平成30年7月3日から8日にかけての台風第7号と梅雨前線による大雨について, [https://www.jma-net.go.jp/hiroshima/siryo/20180709\\_sokuhou.pdf](https://www.jma-net.go.jp/hiroshima/siryo/20180709_sokuhou.pdf)(2019年10月6日参照)
- 3) 横江祐輝, 北真人, 内田龍彦, 河原能久:XRRAINからみた平成30年7月豪雨時における広島県内の降水システムの特徴, 土木学会論文集 B1(水工学), 印刷中, 2019.
- 4) 土木学会中国支部:2018年7月西日本豪雨災害調査報告書, 2018.
- 5) 広島県:平成30年7月豪雨災害からの復旧・復興プラン【発災から1年後 進捗状況報告書】, 2019.
- 6) 広島県:平成30年7月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会, 第1回検討会(平成30年8月9日), 配布資料, 2018. <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/arikatakento.html> (2019年10月6日参照)
- 7) 清水里都季, 内田龍彦, 河原能久:平成30年7月豪雨時の沼田川流域における洪水について, 土木学会論文集 B1(水工学), 印刷中, 2019.
- 8) 株式会社パスコ:災害撮影[事業活動と社会貢献]2018年7月豪雨災害, 2018. [https://www.pasco.co.jp/disaster\\_info/](https://www.pasco.co.jp/disaster_info/) (2019年10月6日参照)
- 9) Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S. and Fukami, K.: Rainfall-runoff-inundation analysis of Pakistan flood 2010 at the Kabul River basin, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 57, Issue 2, pp. 298-312, 2012.
- 10) International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM): Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) Model, ver. 1.4.2 Manual.pdf, pp. 1-124, [http://www.icharm.pwri.go.jp/research/rri/rri\\_top.html](http://www.icharm.pwri.go.jp/research/rri/rri_top.html) (2019年10月6日参照)
- 11) 渡邊明英, 福岡捷二, A. G. Mutasingwa, 太田勝:複断面蛇行河道におけるハイドログラフの変形と河道内貯留の非定非定常二次元解析, 水工学論文集, 第46巻, pp. 427-432, 2002.
- 12) Uchida, T., Fukuoka, S. and Ishikawa, T.: 2D numerical computation for flood flow in upper river basin with tributary inflows by using water level hydrographs observed at the main stream, *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 7, Issue 1, pp. 81-88, 2014. (2019. 10. 4 受付)