

## 身近に潜む水路の危険

～氾濫やバックウォーター現象はどのように発生するのか～

和泉市立和泉中学校 2年 西 孝輔

### 1. 要旨、概要

近年地球温暖化の影響により豪雨災害が多発しており、2020年7月九州豪雨では、球磨川の支流がバックウォーター現象によって氾濫した。このような災害は、河川だけでなく用水路などでも発生する可能性があり、水路の近くに住む我々にとっては、考えておかなければいけない問題である。今回、水路の本流の増水によって支流にどの程度被害が発生するのか、支流幅や水深がどの程度影響するのかを、水路模型を作成し実験した。実験から、本流の水量が少ない時は、支流から水が流れ込むことができるが、本流の増水に伴い支流から流入することが出来なくなるため、支流でバックウォーター現象が起き、氾濫が発生する。支流の水深よりも、本流の水位が上回る場合に、支流で氾濫が発生し、支流幅が狭い時ほど発生しやすいということが分かった。また、水量が少ない時に比べ、多い時の方が、氾濫発生までの時間が短くなることも分かった。氾濫は水量が多く、支流幅が狭い時に起きやすいが、どの水路でも発生する危険性はあるため、身近な河川や水路の水深を事前に確認しておき、豪雨の際には防災情報等で水位を確認し、氾濫が発生する前に早期避難を行うことが重要である。防災情報に載らない水路に関してどう評価するのかは課題であるが、急激に増水することがあるため、安易に現場に確認しに行くことは避けた方がよい。

### 2. 問題提起・研究目的

#### (1) 背景・動機

近年地球温暖化による影響で、記録的短時間大雨警報や特別警報などが発令される豪雨災害が毎年のように発生している。それに伴う河川の氾濫によって多くの人的、物的被害が発生しているのは言うまでもない。2020年7月の九州豪雨では、球磨川の支流の水位がバックウォーター現象\*の影響で5メートル近く高まり、氾濫につながったという報告がされている<sup>1)</sup>。また、ハザードマップには反映されない場所でバックウォーター現象の発生があったという報告もされている<sup>2)</sup>。このような災害は、河川だけでなく用水路などでも発生する可能性があり、水路の近くに住む我々にとっては、考えておかなければいけない問題である。そこで、水路の本流の増水によって支流にどの程度被害が発生するのか、支流幅や水深がどの程度影響するのかを検討してみたいと思った。

#### (2) 目的

水路本流の増水が与える支流への影響について検証すること。

\*バックウォーター現象：大雨で本流が増水し、支流の流れが合流点でせき止められたり逆流したりする現象のこと。

### 3. 研究の方法

#### (1) 使用機器(図-1)

本流と支流が60°で合流する模型水路を作成した。水路は、雨樋用パイプ(硬質塩化ビニル樹脂製)を針金と養生テープで固定し、段差が出ないように変性シリコンコーキングで固めた。本流幅は10cm(水深4.5cm)、支流幅は幅広として10cm(水深4.5cm)、幅中として7.5cm(水深3.5cm)、幅狭として4cm(水深2.0cm)の3本を作成し、本流の勾配は5度、支流の勾配は10度とした。また、水量を調節するために、下流下端に1Lのペットボトルを取り付けた。

支流からの水の流れが分かりやすいように支流から流す水は白い絵の具で着色した。

#### (2) 撮影と分析

三脚(Velbon EX-440)、カメラ(iPad、スマートフォンの2台で全体像と近傍を撮影した)、PC(Windows Media Playerで、コマ送り再生し分析)

(3) 方法(図-2)

本流上流と支流上流から水を流し、本流と支流の合流点から 10 cm 下流地点にて水位 1 cm になった時に、支流の上流 20cm の地点から白い絵の具を混ぜた水を流し始め、本流と支流の合流点から 5 cm 上流の場所での、本流と支流の経時的な水位の変化を調べた。

本流の時間当たりの流量を、少、中、多の 3 通り、支流幅は幅広、幅中、幅狭の 3 通りの計 9 通りの実験を行った。支流 1 本ごとに検討するため、その間残りの支流は水が流入しないように養生テープで封鎖した。また、各実験は誤差を少なくするため 3 回実施し、グラフは 3 回の平均値から作成した。

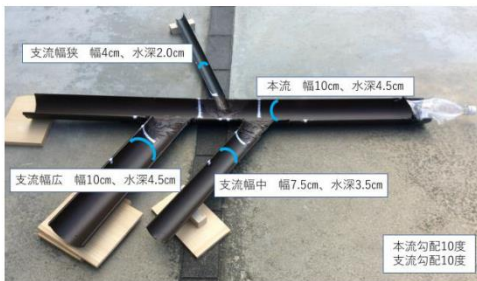


図-1 模型水路

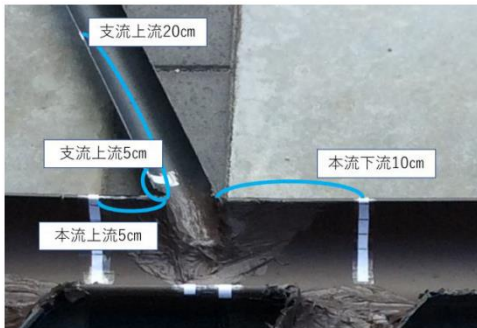


図-2 実験方法

4. 結果

4.1 支流幅広

(1) 支流幅広 水量少

緩やかに水位が上昇していき、約 40 秒で一定の水位となった。本流下流 10 cm 地点の最高水位は 3.1 cm、本流上流 5 cm 地点の最高水位は 1.9 cm、支流の本流、上流 5 cm 地点の最高水位は 2.1 cm であった。本流、支流共に氾濫は発生しなかった (図-3)。

\*支流氾濫水位=支流水深

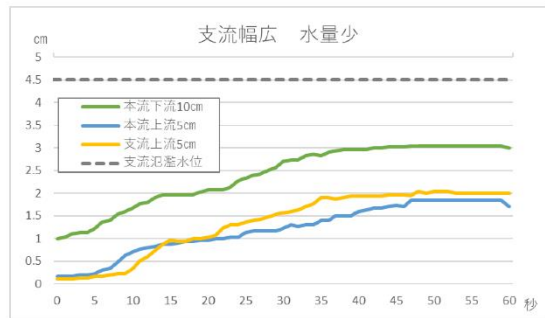


図-3 支流幅広 水量少の経時的水位グラフ

(2) 支流幅広 水量中

緩やかに水位が上昇していき、約 18 秒で一定の水位となった。本流下流 10 cm 地点の最高水位は 3.1 cm、本流上流 5 cm 地点の最高水位は 1.9 cm、支流の本流、上流 5 cm 地点の最高水位は 2.1 cm であった。本流、支流共に氾濫は発生しなかった (図-4)。

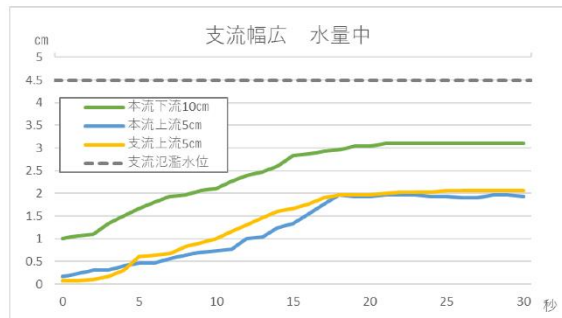


図-4 支流幅広 水量中の経時的水位グラフ

(3) 支流幅広 水量多

実験開始直後から急激に水位が上昇していき、本流下流 10 cm 地点の水位は約 7 秒、本流上流 5 cm、支流上流 5 cm の水位は約 10 秒で一定の水位となった。本流下流 10 cm 地点の最高水位は 3.2 cm、本流上流 5 cm 地点の最高水位は 2.7 cm、支流の本流、上流 5 cm 地点の最高水位は 2.1 cm であった。本流、支流共に氾濫は発生しなかった (図-5)。

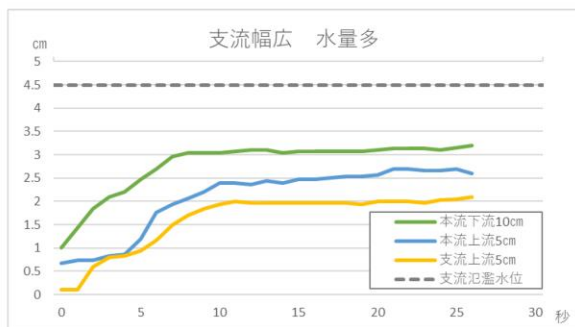


図-5 支流幅広 水量多の経時的水位グラフ

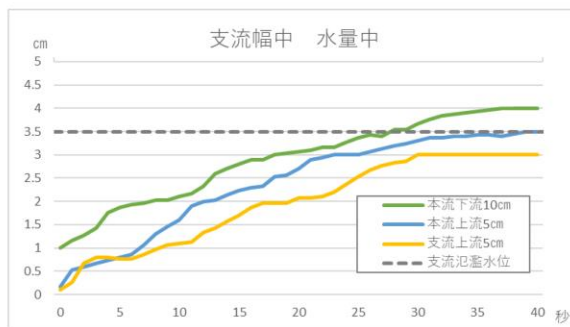


図-7 支流幅中 水量中の経時的水位グラフ

## 4.2 支流幅中

### (1) 支流幅中 水量少

緩やかに水位が上昇していき、約 30 秒で一定の水位となった。本流下流 10 cm地点の最高水位は 3.3 cm、本流上流 5 cm地点の最高水位は 3.1 cm、支流の本流、上流 5 cm地点の最大水位は 2.5 cmであった。本流、支流共に氾濫は発生しなかった (図-6)。

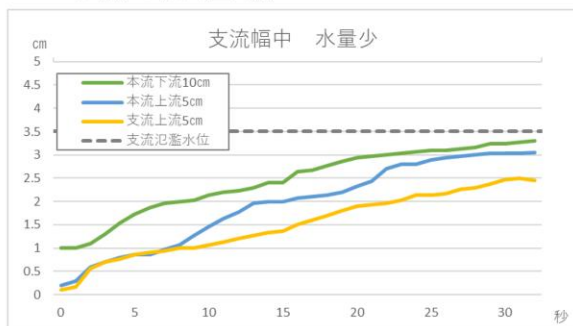


図-6 支流幅中 水量少の経時的水位グラフ

### (2) 支流幅中 水量中

緩やかに水位が上昇していき、本流下流 10 cm地点の水位は約 37 秒、本流上流 5 cm、支流上流 5 cmの水位は約 30 秒で一定の水位となった。本流下流 10 cm地点の最高水位は 4.0 cm、本流上流 5 cm地点の最高水位は 3.5 cm、支流の本流、上流 5 cm地点の最高水位は 3.0 cmであった。本流、支流共に氾濫は発生しなかった (図-7)。

### (3) 支流幅中 水量多

実験開始直後から急激に水位が上昇していき、約 14 秒で一定の水位となった。本流下流 10 cm地点の最高水位は 4.4 cm、本流上流 5 cm地点の最高水位は 3.8 cm、支流上流 5 cm地点の最高水位は 3.5 cmであった。14 秒から支流の氾濫が発生した (図-8)。

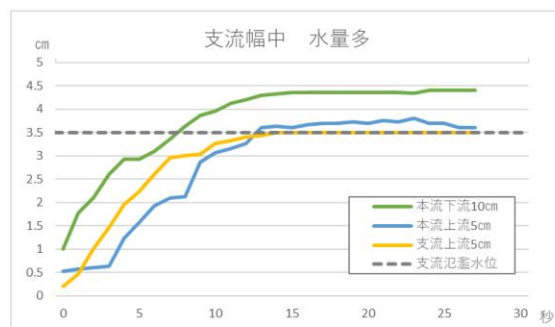


図-8 支流幅中 水量多の経時的水位グラフ

## 4.3 支流幅狭

### (1) 支流幅狭 水量少

実験開始直後から本流の水位は急激に上昇していき、実験終了時点まで水位が一定になることはなかった。支流の水位は緩やかに上昇していき約 37 秒で氾濫が発生した。本流下流 10 cm地点の最高水位は 3.7 cm、本流上流 5 cm地点の最高水位は 3.2 cm、支流上流 5 cm地点の最高水位は 2.0 cmであった (図-9)。

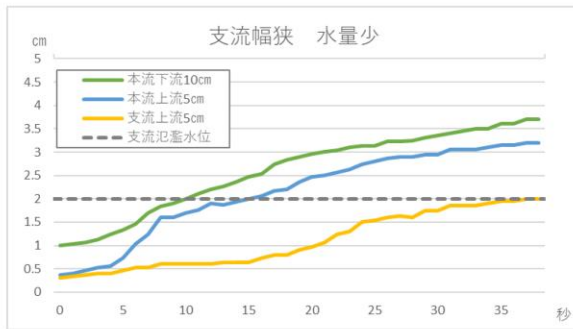


図-9 支流幅狭 水量少の経時的水位グラフ

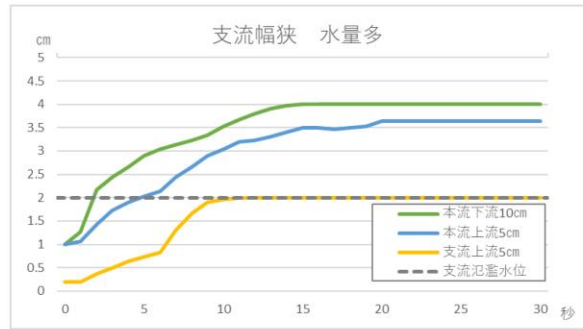


図-11 支流幅狭 水量多の経時的水位グラフ

## (2) 支流幅狭 水量中

実験開始直後から本流の水位は急激に上昇していき、実験終了時点まで水位が一定なることはなかった。支流の水位は緩やかに上昇していき約25秒で氾濫が発生した。本流下流10cm地点の最高水位は3.8cm、本流上流5cm地点の最高水位は3.4cm、支流上流5cm地点の最高水位は2.0cmであった(図-10)。

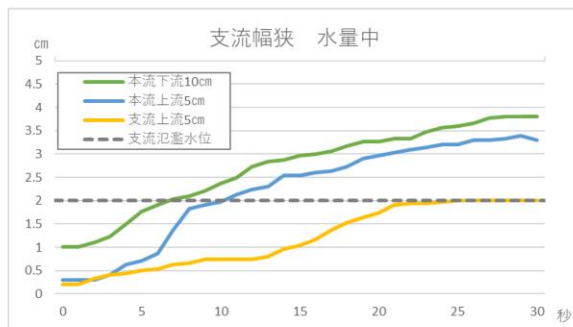


図-10 支流幅狭 水量中の経時的水位グラフ

## (3) 支流幅狭 水量多

実験開始直後から本流の水位は急激に上昇していき、約15秒で一定になった。支流の水位も急激に上昇していき約11秒で氾濫が発生した。本流下流10cm地点の最高水位は4.0cm、本流上流5cm地点の最高水位は3.6cm、支流上流5cm地点の最高水位は2.0cmであった(図-11)。

## 4.4 全実験からわかったこと

本流の水量が多くなるほど支流水位の上昇時間が早いということがわかった。これは支流幅広、中、狭全てで同じ結果となった。また、水量が多くなると、本流、支流共に急激に水位が上昇することがあり、氾濫までの時間が短いということもわかった。

支流幅が狭くなるほど、氾濫やバックウォーター現象が発生する可能性が高いことがわかった。バックウォーター現象が発生した場合は本流の水位が下がらない限り、流入することができず、支流上流まで水が戻ってくるということもわかった。

今回の実験で氾濫したのは、支流幅中の水量多と支流幅狭の水量少、中、多の計4つであった。他の実験と違ったところは、本流下流5cm、本流上流5cmの両方で、支流氾濫水位(支流水深)を上回っているということであった。

## 4.5 氾濫した水の行方

支流狭の氾濫の時には、まずは本流と支流の合流地点の右岸側(本流下流側)から氾濫が発生した(図-12)。その後、しばらくして左岸側からも氾濫が発生した(図-13)。溢れた水の量は右岸側からのほうが多いことが写真から読み取れる。

支流中の氾濫の時には、まずは本流と支流の合流地点の左岸側(本流下流側)から氾濫が発生した(図-14)。その後、しばらくして右岸側からも氾濫が発生した(図-15)。溢れた水の量は左岸側からのほうが多いことが写真から読み取れる。

この結果から、本流と支流の合流点に近く、支流の中でも本流下流側の方が浸水の被害の大き

ということがわかった。



図-12 支流幅狭 右岸側からの氾濫



図-13 支流幅狭 左岸側からも氾濫



図-14 支流幅中 左岸側からの氾濫



図-15 支流幅中 右岸側からも氾濫

## 5. 考察

### (1) 支流から本流に流入後、本流上流側にも流れ込んだ原因

いくつかの実験で、支流から本流に流入後、本流上流側にも白い水が流れ込んだ。本流の流量が少ない時、支流から流れ込んだ水は、下流側にも上流側にも流れ込むことができる（図-16）。ただし、本流の勾配があるため、下流側への量が多い。その後、本流上流側から流れてくる水によって、白い水の流れる方向が変わっていき（図-17）、最終的に本流下流側に全て流れていくと考えた（図-18）。

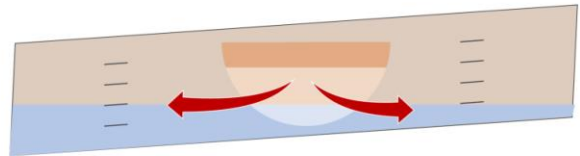


図-16 支流から上流および下流への流入する様子

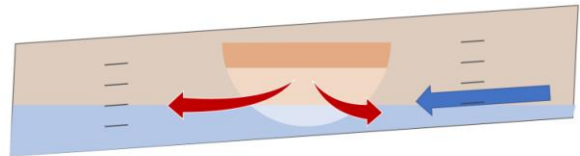


図-17 本流上流から水が流れてくる様子

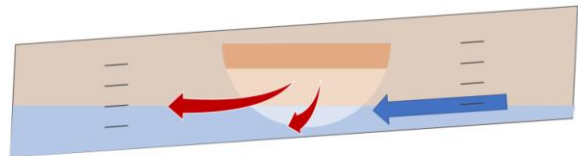


図-18 支流からの水の流れる変化の様子

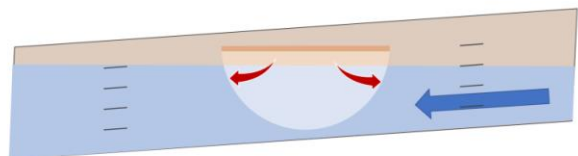


図-19 支流から本流に流れる様子

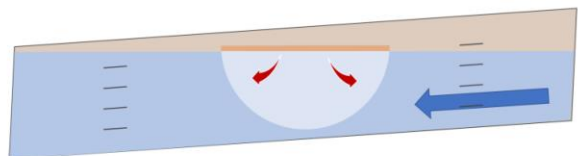


図-20 本流が増水する様子

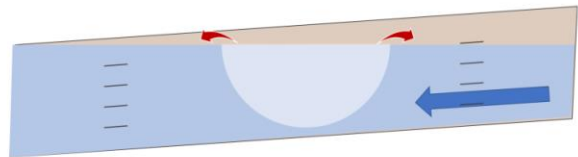


図-21 本流が支流氾濫水位を上回り支流が氾濫する様子

(2) なぜ本流の水位が、支流氾濫水位(支流水深)を上回った場合のみ氾濫したのか

本流水位が支流氾濫水位(支流水深)を下回っている場合は、本流に流れ込むスペースがあるため、支流から本流に流れ込むことができる(図-19)。しかし、本流の水位が上昇し、支流氾濫水位(支流水深)に近づいた場合には、支流から本流に流れ込むスペースが無くなり(図-20)、最終的に氾濫が発生するのではないかと考えた(図-21)。支流の幅が狭い場合にも、同じように最初は支流から本流に流れ込むスペースがあるが(図-22)、すぐに本流水位が支流氾濫水位(支流水深)を上回ってしまうため、氾濫までの時間が短くなる(図-23)。この現象が、氾濫が発生した4つの実験全てで起こったからだと考えられる。ただし、この現象はどの水路でも発生する可能性があり、今回の実験では4つのみで発生しただけで、長時間実験を続けると他の支流の場合でも、氾濫が発生したのかもしれない。

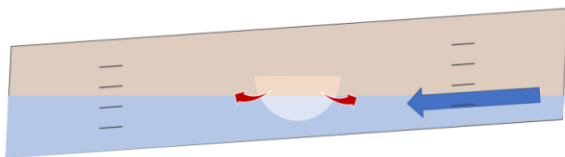


図-22 支流から本流に流れる様子

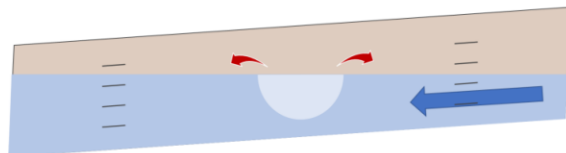


図-23 本流が支流氾濫水位を上回り支流が氾濫する様子

(3) 氾濫した水の行方

支流から流れてきた水は本流に流入する(図-24)。流れてきた水は、合流地点で本流にぶつかる(図-25)。本流の流量が多い場合、支流は合流地点でぶつかった後、本流の流れに沿う形でカーブを描くように、支流の流れが変化する(図-26)。流れが変化した後、逆戻りするようになり支流に戻っていくため、本流と支流の合流点に近く、支流の中でも本流下流側の方で最初に氾濫が発生する(図-27)。その後、支流の本流下流側の被害は広がり、更に行き場を失った水が支流の本流上流側にも溢れ氾濫が発生する

(図-28)。これが本流と支流の合流点に近く、支流の中でも本流下流側の方が浸水の被害の大きい理由だと考えた。

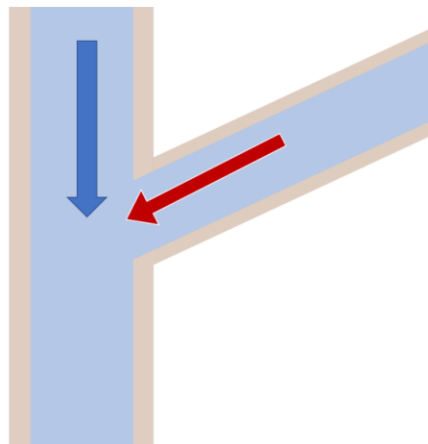


図-24 支流から本流に流れる様子

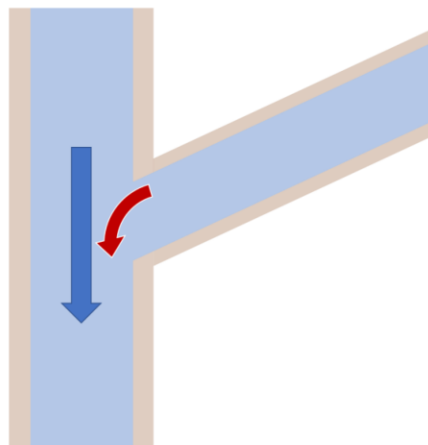


図-25 支流が本流にぶつかる様子

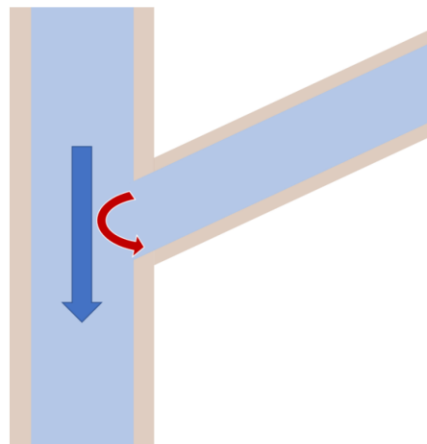


図-26 支流の流れが変化

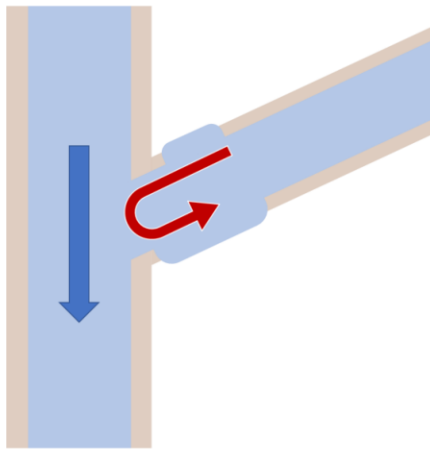


図-27 支流の本流下流側で氾濫が発生

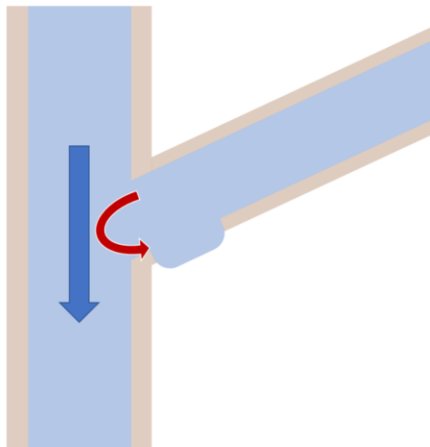


図-28 支流の本流上流側でも氾濫が発生

## 6. 結論

水路の本流の増水によって支流にどの程度被害が発生するのか、支流幅や水深がどの程度影響するのかを、水路模型を作成し実験した。本流の水量が少ない時は、支流の水位が上昇しても水が流れ込むことができるため、バックウォーター現象や氾濫は発生しない。しかし、本流が増水することによって支流から流入することが出来なくなるため、バックウォーター現象が起き、氾濫が発生する。支流の水深よりも、本流の水位が上回る場合に、本流に流入することができず、支流で氾濫が発生する。支流幅が狭くなればなるほど、氾濫が発生しやすいということが分かった。また、水量が多い時の方が、氾濫発生までの時間が短くなることも分かった。水量が多く、支流幅が狭い場合に起きやすいというだけであり、どの河川でも氾濫が発生する危

険性はある。また、河川以外にも用水路など増水によるバックウォーター現象が発生する場所は多く存在する。事前に身近な河川や水路の水深を確認しておき、豪雨の時には川の防災情報(図-29)等で水位を定期的に確認することが重要である。一方、防災情報等に水位が載らない河川や用水路の水位を確認する方法は見に行き確認するしかないため、今後の課題である。しかし、水量の増加に伴い、急激に増水することがあるため、安易に現地に確認しに行くことは避けた方がよいと思った。いずれにせよ氾濫発生する前に早期避難を行うことが重要である。

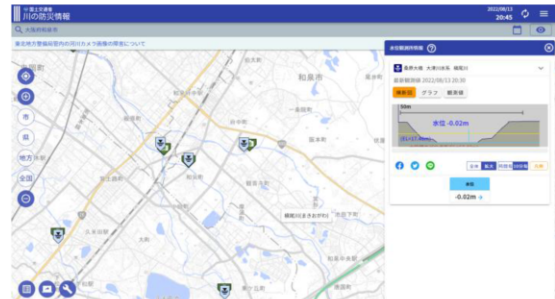


図-29 国土交通省 川の防災情報ホームページ(横尾川)

## 7. 今後の展望

今回の実験から、バックウォーター現象による氾濫の原理を理解することができ、どういった場合、どの場所に被害が大きくなるのかもわかった。まずは、地域の住民、特に高齢者や避難に時間のかかる人たちにこの現象を理解してもらいたい。そして、市町村の方々には、ハザードマップ上にバックウォーター現象が起りそうな場所(図-30)を明記し啓発を行ってもらいたい。今後は、事前対策としてどのようにすれば被害を減らすことができるか、発災時にはどう対応すべきかを実験を通じて検討していきたい。

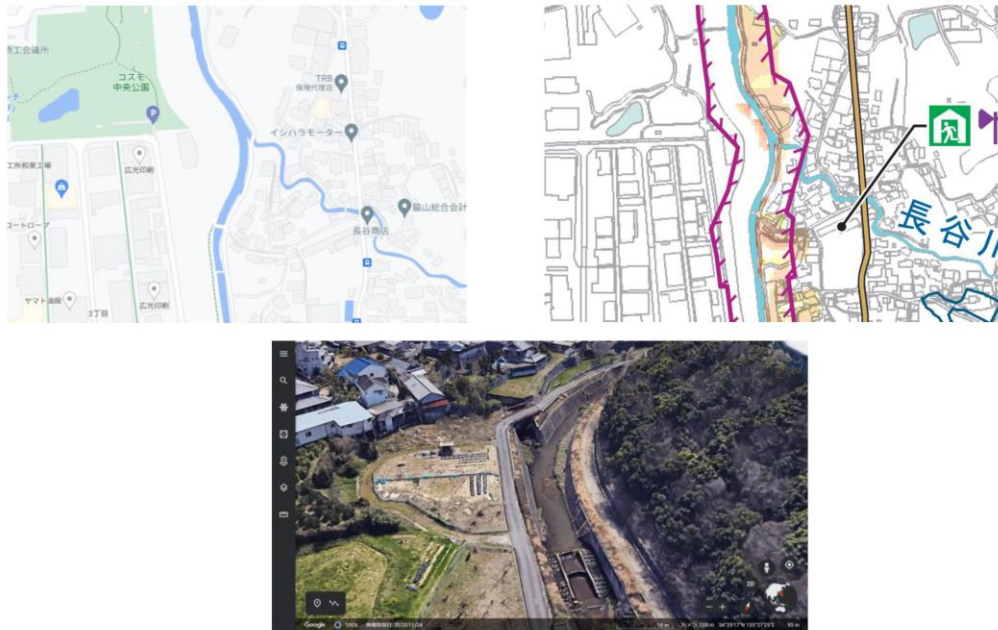


図-30 バックウォーター現象が起こりそうな場所 和泉市久井町周辺  
 (左上:Google マップ画像、右上:現在のハザードマップ、下:Google Earth 画像)

《参考文献》

- 1) 赤松 良久:令和2年7月豪雨における球磨川上流部の河川氾濫の実態解明家屋の破壊過程を考慮した土石流の数値シミュレーション、  
<http://glocal.civil.yamaguchi-u.ac.jp/pdf/210419/20210419akamatsu.pdf>、  
 (閲覧日:2022年8月11日)
- 2) 内山 庄一郎、檀上 徹:令和2年7月豪雨による熊本県人吉市および球磨村渡地区の洪水被害の特徴—2020年7月9日調査速報 第1版—、  
 防災科学技術研究所 調査速報、2020年7月14日
- 3) 島田 友典、渡邊 康玄、深澤 アダム、前田 俊一、横山 洋:背水影響が堤防決壊拡幅現象に与える影響、土木学会論文集 B1(水工学)Vol.75、  
 No.2、I\_1405-I\_1410、2019
- 4) はげ 峰生、細江 良太、若園 陽司、川島 正史、加藤 沙椰、加藤 剛:浸水解析によるバックウォーター現象の評価について、技術フォーラム2020 Web 技術発表会、  
[https://www.zenchiren.or.jp/forum/pdf/2020/2020\\_016.pdf](https://www.zenchiren.or.jp/forum/pdf/2020/2020_016.pdf)、(閲覧日:2022年8月11日)
- 5) 坂田 拓朗、前田 大介、中谷 加奈、水山 高久、里深 好文:支川からの土石流が本川との合流点に及ぼす影響、  
<http://www.jsece.or.jp/event/conf/abstract/2012/pdf/Pb-17.pdf>、(閲覧日:2022年8月11日)