

# 令和2年7月球磨川水害における中洲および橋梁が洪水流に与えた影響-

大本 照憲\*

\* 熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター

## 要 旨

本研究では、令和2年7月4日に発生した人吉市における球磨川水害の実態を明らかにすると共に模型実験を通して中川原公園および橋梁が異常洪水流に与える影響について検討した。得られた知見は、以下の通りである。中川原公園は、大橋近傍より上流において急激に水位を上昇させることが流量 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $8,000\text{m}^3/\text{s}$ および $10,000\text{m}^3/\text{s}$ の全て条件において認められた。特に、今次流量規模の $8,000\text{m}^3/\text{s}$ では橋梁が無い場合には中川原公園のみの影響で大橋上流で2.08m程度の水位上昇、更に橋桁が水没する場合には橋梁が無い場合に較べて、大橋直上位置で1.28m、水の手橋直上位置で2.0mであることが明らかにされた。

## 1. はじめに

気象庁は令和2年7月九州豪雨災害が線状降水帯による記録的大雨によることを報告した。7月の九州における線状降水帯の発生件数は9事象であったが、特に7月4日の線状降水帯は最大級で、梅雨前線の南側に大量の水蒸気を含む大気の流れ(大気の川)を伴い、球磨川流域の上空では東西方向に長さ276km、滞留時間13時間であることが指摘された<sup>1)</sup>。

総務省消防庁<sup>2)</sup>によれば今次の人的被害(2021年2月26日付)は、全国では死者84名、行方不明者2名、熊本県では死者65名、行方不明者2名であった。熊本県では、死者・行方不明者は、全体の78%を占め、特に球磨川では河川災害による死者が50名に達した。その内訳は、人吉・球磨盆地で36名、中流域の山間狭窄部で14名であった。本研究が対象とした人吉市での溺死者は、20名であり、その場所は球磨川本川沿いおよび右支川の山田川および万江川の合流点近傍である。球磨川右岸の人吉市においては、越流氾濫による浸水の上昇速度が極めて急激であったとの目撃情報があった。

本報告では、球磨川河口から61.2km~62km区間に存在する人吉市管理の中川原公園および人吉橋・大橋・水ノ手橋の3橋梁が令和2年7月九州豪雨災害における球磨川の流れに与える影響について検討する。

なお、既往研究では洪水や津波による橋梁構造物の被害を評価し、被害を最小限に抑える方法が検討され、橋桁が流れに対する障害物となり被害を拡大

することについては余り議論されていない<sup>3,4)</sup>。

## 2. 人吉・球磨盆地の人的・物的被害

### 2.1 人的被害

図-1は、令和2年7月の人吉・球磨盆地の人的被害36名と浸水深の状況を示す。人吉地区では、20人の人的被害が発生している。その中で人吉市では地表高の低い右岸側堤内地で浸水の範囲が広く、球磨川と山田川の合流点付近で浸水深が大きくなっていることが分かる<sup>1~3)</sup>。

球磨川右岸に沿って多くの人的被害が発生したのは、中川原公園および水の手橋、大橋、人吉橋の橋桁の表面流阻害による水位の急激な上昇、その結果として2mを超える越流水深が発生したことが主因と考えられる。この件については、今後の対策を含めた詳細な検討が必要である。また、万江川と球磨川の合流点付近も同じように浸水深が大きい。

球磨村・渡地区では、16人の人的被害が発生している。そのうち14名は介護老人施設の千寿園の入所者となっている。支川である小川からの氾濫流が主因であるが、この場所では小規模な土石流も発生した。

図-2は、遥拝堰から球磨村渡の間の山間狭窄部では、氾濫流によって溺死として14名の内の13名が犠牲になった場所を示す。球磨川沿いの芦北町簾瀬地区でも1名が溺死で亡くなった。谷底平野では、水位が大幅に増水したため河道の一部となり、浸水深および氾濫流速とも極めて大きく、川沿いの住家の多

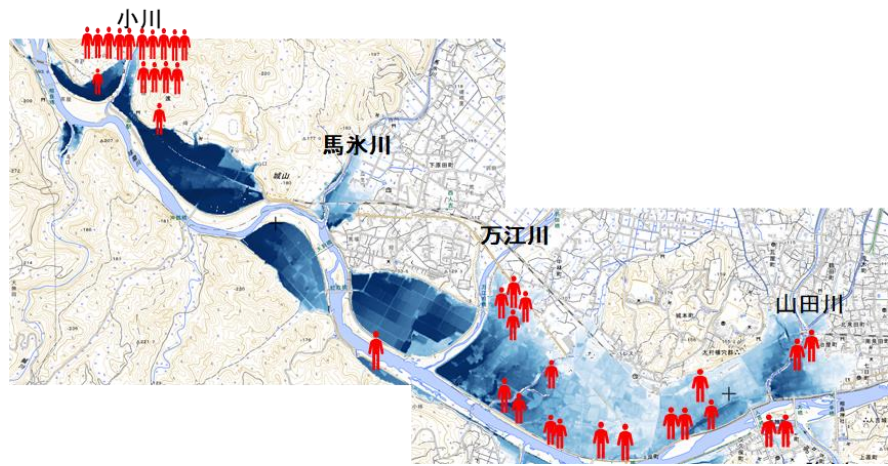


図-1 人吉・球磨盆地における人的被害場所（出典国土地理院および朝日新聞）

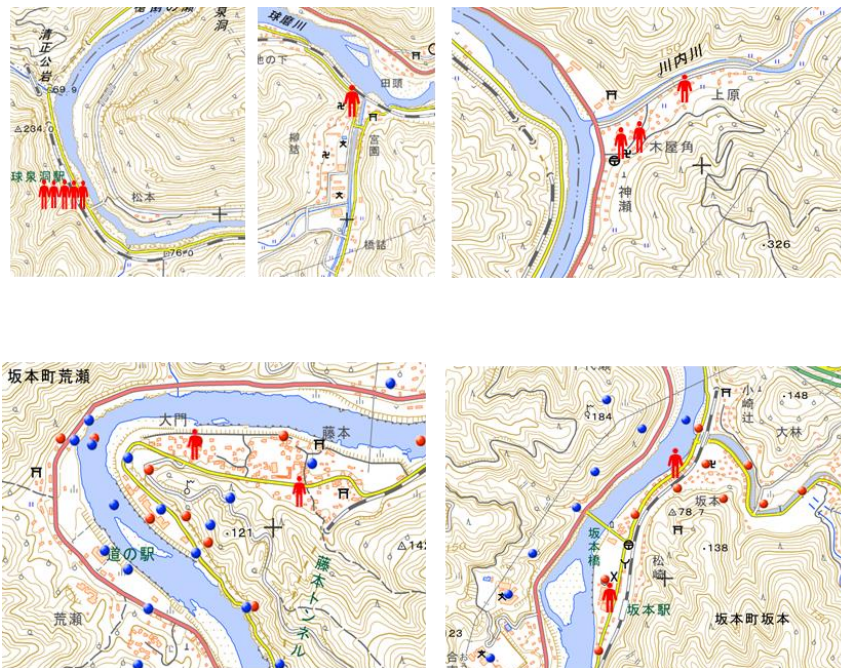


図-2 球磨川・山間狭窄部における人的被害場所

くは基礎工を残すのみで流失した。

犠牲者の年齢構成は、50歳代4名、60歳代7名、70歳代10名、80歳代22名、90歳代7名であった。70歳を超えた割合は78%であり、高齢者の方々の犠牲割合が高いことが分かる。

## 2.2 住家被害

球磨川の氾濫状況を象徴する箇所は、1)球磨川と山田川の合流部で地表高の低い青井阿蘇神社の近傍、2)万江川合流部の左岸側堤内地、3)万江川合流点から球磨村渡地区までの区間で連続した蛇行部および4)八代市坂本地区の家屋流失である。

図-3は、青井阿蘇神社境内の楼門が1.5mであったことを示す。人吉市史によれば寛文9年（1669年）8月に青井阿蘇神社の楼門が3尺(0.9m)余り浸水したことを示す。記録上、351年間の中で今次水害が最大の

浸水深であったことが分かる。境内の地表高は周辺の道路より2.8m高い位置にあり、道路標識には昭和40年の浸水深2.3mに対して今次の令和2年水害では4.3mに達し、2mも浸水深が大きい。なお、同一場所では昭和57年水害では1.3mの浸水深であった。

図-4は、万江川合流部近傍で球磨川に近い堤内地の洪水痕跡を示す。家屋の流失は発生していないが、道路上では大量の土砂が堆積した。浸水深は、4mに達し、いずれも昭和57年水害の浸水深1.2mを大幅に上回った。

図-5は、人吉・球磨盆地の出口である球磨村・渡地区の被害状況を示す。渡地区では、浸水深が6mを超えると同時に家屋の流失が顕著であり、基礎型枠のみが残る住家被害が目視された。また、家屋は全壊で屋根瓦の多くが剥がれているのが分かる。また、小川が球磨川に合流する地点では流木が住家の屋根

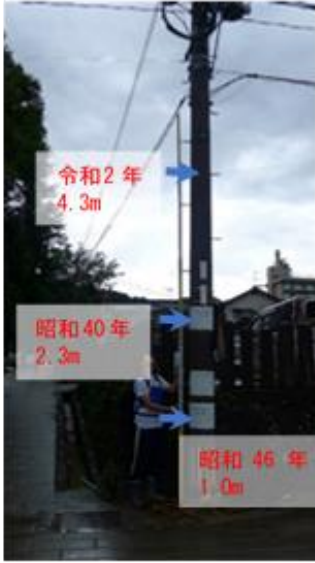
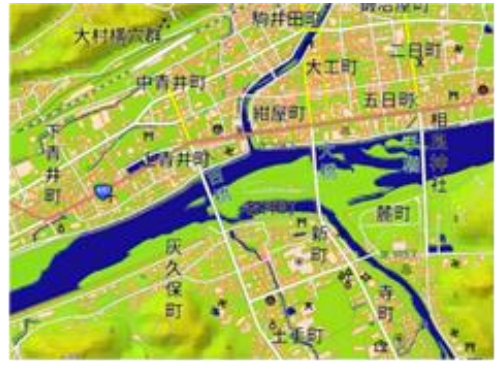


図-3 青井阿蘇神社周辺の浸水状況

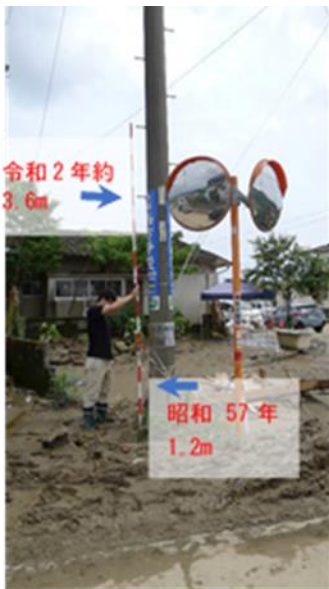


図-4 万江川合流部近傍で球磨川に近い堤内地の洪水痕跡

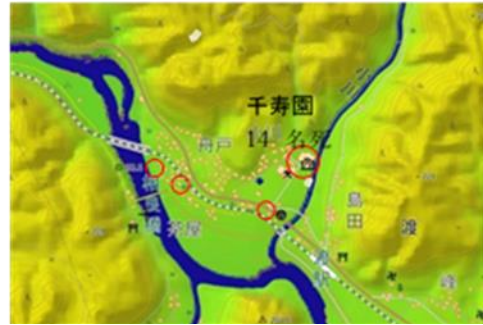


図-5 球磨村・渡地区における氾濫被害



図-6 万江川合流部近傍で球磨川に近い堤内地の洪水痕跡

や道路上に散在し、家屋は大破していた。灌木や雑草による洪水痕跡から浸水深は6.2mであった。

図-6は、渡地区上流の蛇行部に沿った堤内地の被害状況を示す。沖鶴橋付近の国道219号では電線の洪水痕跡から浸水深は、6m近くに達していることが分かる。また、電柱や道路標識も転倒していることが分かる。なお、球磨川に近い沿道では電柱や道路標識は転倒していないことから219号線は氾濫流が短絡したことが考えられる<sup>5,6)</sup>。

万江川合流点から球磨村渡地区までの区間では、連続した蛇行が続き、蛇行度Sは、下流から上流に向けて1.20,1.26,1.61であり、蛇行区間の堤内地の浸水深は何れも6mを超えた。災害時における河道部の代表水深が13～15.5mの範囲にあることから、相対水深は0.39～0.46の範囲にあり、相対水深が0.3を超えると複断面蛇行流れの流況を示す(福岡ら)。即ち、堤内地の浸水が低い場合には単断面蛇行流れとなるが、浸水深が大きくなれば堤内地から河道部への流れ込みによる影響が大きく河道部の二次流は堤内地の流れ込みにより支配され、更に、堤内地の氾濫流は直進性が高まり高速化されたことが予想される。

### 3. 中川原公園周辺の浸水および河道

#### 3.1 中川原公園周辺の浸水情報

図-7は、2020年11月19日にドローンを用いて撮影した人吉市中川原公園および上流の水の手橋、大橋、人吉橋を示す。また、右支川の山田川および左支川の胸川が球磨川に合流する。

図-8は、山田川が球磨川に合流する近傍で4名が溺死した地点の浸水状況を示す。

河川管理用道路が人吉橋に交差する地点では、橋桁下から道路までの高さ1.6m、特殊堤の高さ0.9mである。そのため、特殊堤天端から橋桁までの高さは僅か0.7mしかないと分かる。橋桁の高さ1.6m、高欄1.0mであり、ゴミが高欄に引掛かれれば高さ2.6m長さ200m相当の横断構造物として表面流の障害物となったことが予想される。大橋および水の手橋にも高欄にゴミが引掛かっていることが確認された。

人吉橋の直上流の右支川である山田川では、午前8時頃にはバックウォーターにより球磨川から山田川上流に遡上する流れ、10時頃には道路橋および鉄道橋が水没していることが熊本県の監視カメラの録画(球磨川鉄道橋地点)により確認出来た。

特に、大橋では高欄が漂流物により破壊されていること、また、水の手橋の直上流の右岸近傍に住み、被害を受けた方々からの聞き取り調査では水の手橋の主桁に流木が当たり始めたころから急激に特殊堤から越流氾濫が発生したとの証言を得た。

#### 3.2 水位ハイドログラフ

図-9は人吉観測点(61km/137)、球磨川と川辺川の合流点近傍の柳瀬観測点(66km/400)および人吉大橋に設置されている国土交通省の危機管理型水位計(61km/512)における水位時系列を示す。柳瀬観測点では7月4日9時においてピーク水位8.07m、人吉大橋危機管理水位計では同日9時50分にピーク水位7.25mを記録した。また、7時30分から8時00分までの30分で0.9mの急激な水位上昇が発生している。越流氾濫は、13時10分頃に終えていることが分かる。なお、大橋地点における最高水位は、107.78mであり、ゼロ点調整高は100.49mである。

図-10は、球磨川の大橋地点および熊本県により球磨川合流点近傍の山田川に設置された熊本県の危機管理型水位計を基にした越流水深である。なお、堤防高さは、計画堤防高を基準としているため実際の越流水深とは若干異なることが考えられる。

山田川の水位は、7月4日午前7時30分までは球磨川の水位より若干高い値を示し、7時50分～8時40分の間ではほぼ一定の値1.2mを示し、その後11時まで欠測となり、12時過ぎから急激に低下し、13時20分には越流氾濫が止まっていることが分かる。記録上、人吉観測地点における最高水位は昭和40年7月2日に5.05mであったが令和2年7月4日では7.25mに達し、2.2m上回ったことが分かる。

#### 3.3 人吉・球磨盆地の河道形状

図-11は、人吉・球磨盆地における平均河床高および堤防天端の縦断分布を示す。図-12は、河道満水状態における水深の縦断分布を示す。渡地区から柳瀬地区の間で平均河床勾配は、1/550であることが分かる。なお、人吉・球磨盆地では、JR橋梁の球磨川第二橋梁、第三橋梁、第四橋梁の流出3本、道路橋では相良橋、沖鶴橋、天狗橋、西瀬橋の流出4本であった。JR橋梁は何れも十分なクリアランスが無かったこと、道路橋もクリアランス不足であると同時に下流域に集中している。

平均河床高から堤防天端までの水深は、52km/600～71km/00の間では縦断方向の平均値は9.64mであるが、河口から上流61km～62kmでは5.9m～7.2m程度であり、河道満水状態の水深が3m近く小さくなることが分かる。この区間には、中川原公園が存在する区間では橋梁や支川合流により流下能力が低下することが予想される。

図-13は、2020年7月豪雨災害の前後における人吉橋～水の手橋の間における河床横断形状を示す。中川原公園を横断する河道断面61km/400、61km/600であり、61km/400における滞筋部は右岸側で97.0m、左



図-7 中川原公園および水の手橋・大橋・人吉橋



図-8 球磨川と山田川の合流部近傍

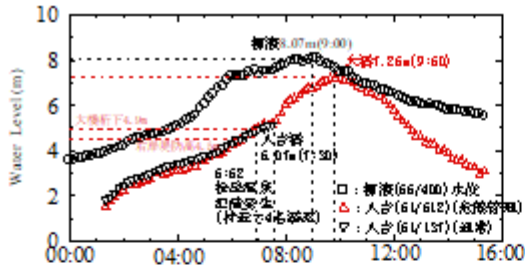


図-9 人吉における水位ハイドログラフ

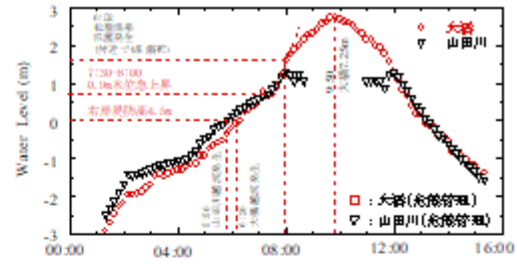


図-10 堤防高を基準とした水位の時系列

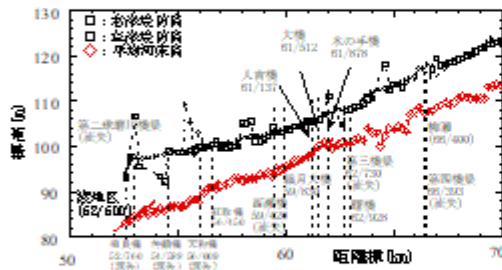


図-11 平均河床高の縦断変化

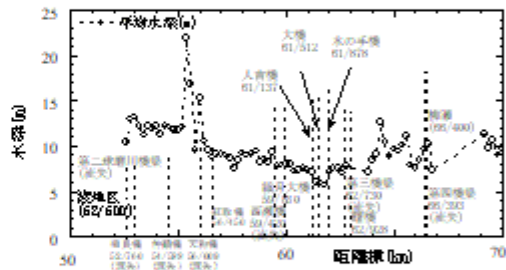


図-12 河道満水状態における水

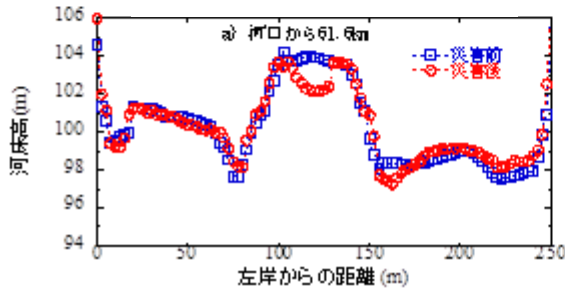
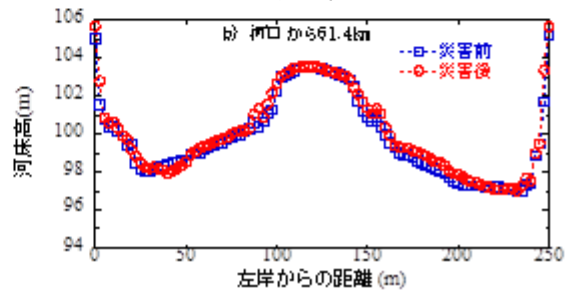


図-13 大橋 (61.512km) 近傍における球磨川の横断形状



岸側で98.2mの高さ、中川原公園の地表高は最大で103.6mあることから平均的標高差は6.0m、61km/600においても標高差は6.0mであり、水深相当の高低差がある。また、災害前後の河床変動は、大橋下流における平均河床高は、61km/200では0.22m上昇、61km/400でも0.22m上昇した。

一方、大橋上流における平均河床高は、61km/600では0.03m上昇、61km/800でも0.07m低下した。

人吉橋～大橋の間では、若干河床上昇する傾向があり、大橋上流では顕著な河床変動は無いことが分かる。局所的には、河岸付近で1.6m程度土砂の堆積が見られ、大橋直上流の61km/600では中川原公園において1.8m程度の洗堀が生じたことが分かる。

#### 4. 中川原公園および橋梁が洪水流に与える影響

##### 4.1 中川原公園および橋梁の模型

中川原公園は、ドローンを用いた地形測量によって得られた地表高(図-14)を基に3Dプリンターにより模型を作成した。中川原公園を除いた河床地形は、マンギングの計画粗度係数 $n=0.03$ のみを再現した平坦河床としている。また、3つの橋梁は現地調査により橋長、橋脚、橋桁、高欄を1/400で再現している。

特に、中川原公園を横断する大橋では、川幅245mに対して橋脚は5本あり、中央の橋脚の支間長は約45mであり大橋地点では2径間の92mが中川原公園に

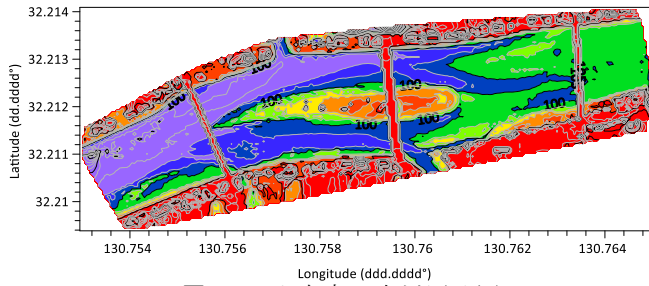


図-14 人吉市・中川原公園の

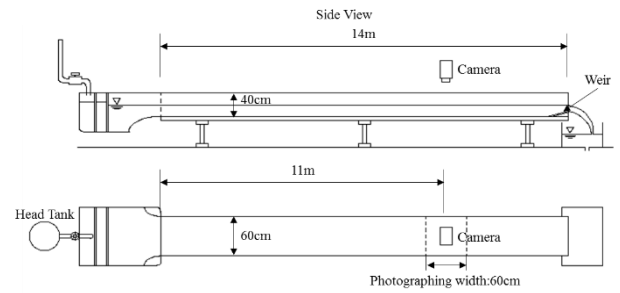


図-15 実験水路

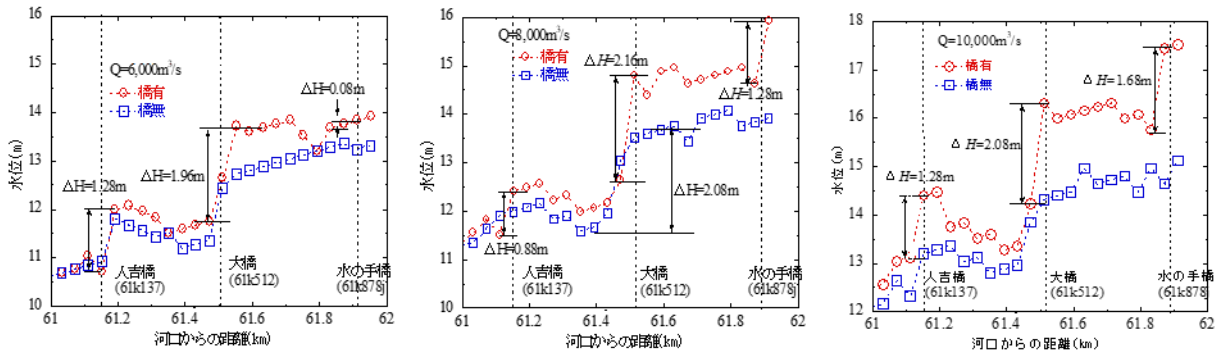


図-16 水位の縦断方向変化

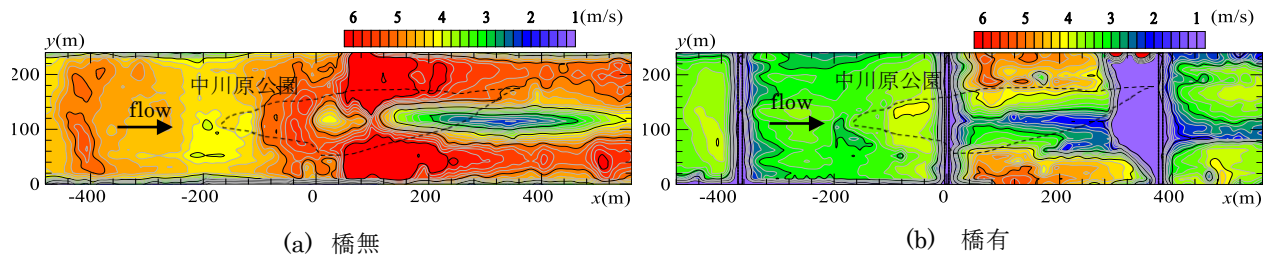


図-17 主流速Uのコンター(8,000 m³/s)

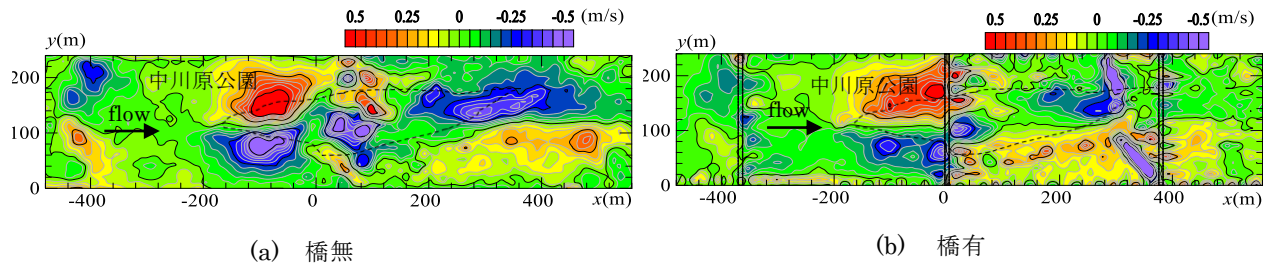


図-18 二次流Vのコンター(8,000 m³/s)

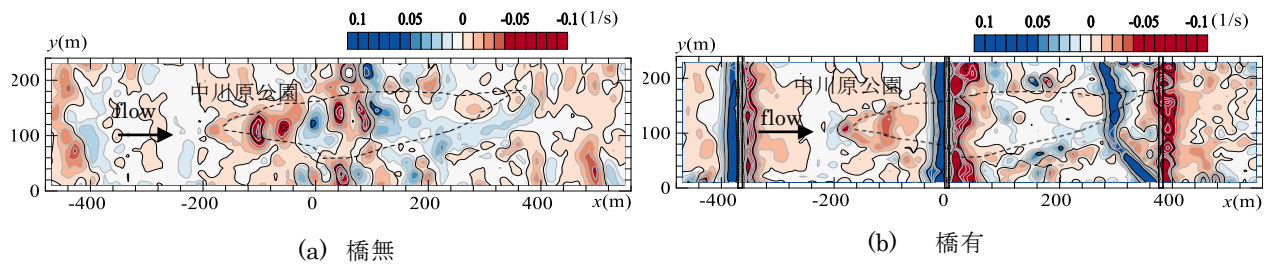



図-19  $\partial w / \partial z = -(\partial U / \partial x + \partial V / \partial y)$  (8,000 m³/s)

より塞がられていた。このため、6径間の内の約2径間では流下能力を失うことになり、大橋地点では治水弱点となることが予想される。

## 4.2 実験装置および方法

実験に使用した水路は、の様長に長さ15m、幅60cm、高さ40cmの可変勾配型の循環式直線水路である。なお、模型スケールは1/400とした。国土交通省九州地方整備局によれば人吉地点上流での氾濫がなく、さらに市房ダムのピーク流量のカットによって推定されたピーク流量は、7,400 $\text{m}^3/\text{s}$ であることが報告されている。

本実験では上記流量を参照して設定流量8,000 $\text{m}^3/\text{s}$ 、参考流量として6,000 $\text{m}^3/\text{s}$ 、10,000 $\text{m}^3/\text{s}$ の3種類を対象とした。流れは、常流であることから下流端の堰により人吉橋下流の200m位置において所定の流量に対する等流水深に設定した。


流速の計測には、非接触型の代表的な画像処理法であるPIV(Particle-Image Velocimetry)法を用いた。可視化画像は、250fps(frame per second)、1024×1024(pixel)のモノクロビデオ画像としてコンピューターのハードディスクに記録され、PIV法により画像処理を行った。表面流速のトレーサーとして粒径100 $\mu\text{m}$ 、比重1.02のナイロン粒子を注入した。また、水面下の主流方向、横断方向および鉛直方向の流速は、I型およびL型のセンサーを用いた電磁流速計により計測した。水位は、ポイントゲージを用いて計測した。

座標系は、大橋地点における右岸の河床を原点とし、流下方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直上方にz軸を取る。室内実験ではx軸は大橋の位置を原点にとり、y軸は右岸を原点とした。

水位は、大橋を基準に上流480m、下流560mの区間において40mおきに26測点を取り計測した。また、水面下における流速の計測断面は、中川原公園の先端部 $x=-200\text{m}$ 、頂部 $x=80\text{m}$ 、末端部 $x=400\text{m}$ に、 $x=-60\text{m}$ 、 $x=240\text{m}$ の2計測線を加えた計5計測断面とした。各断面の計測位置は、横断方向には20mおきに11点、鉛直方向には河床から $z=4\text{m}$ 、 $6\text{m}$ 、 $8\text{m}$ である。

## 5. 実験結果とその考察

### 5.1 水位に与える影響

は、各種流量における縦断方向の水位変化を示す。橋梁の水位への影響は、流量6,000 $\text{m}^3/\text{s}$ では、表面流が橋桁に衝突していないことから橋脚のみの影響に対して、流量8,000 $\text{m}^3/\text{s}$ および10,000 $\text{m}^3/\text{s}$ では、表面流は全ての橋桁に衝突した。

流量6,000 $\text{m}^3/\text{s}$ では、橋梁が無い場合には人吉橋61km/137から61km/400の区間では水位の変化は若干



低下傾向を示すが顕著な変化は無いが、61km/400より上流方向に急激な水位上昇が見られ61.4km から61.6kmの200m間で、1.6m程度の上昇が読み取れる。橋梁が有る場合には、橋梁が無い場合に較べて人吉橋～大橋の区間では局所流により中洲に対して逆位相の形状を取り、大橋より上流では顕著な水位上昇が見られ、水の手橋より直上流では、橋脚の影響により1.28m高くなることが認められる。

流量8,000 $\text{m}^3/\text{s}$ の水位は、橋梁が無い場合には流量6,000 $\text{m}^3/\text{s}$ の水位とは類似の変化傾向を持ち、人吉橋～大橋の区間では中洲に対して逆位相の形状を取り、大橋付近で上流方向に顕著な水位上昇が見られ、61.4km から61.6kmの200m間で、2.08m程度の上昇が読み取れる。橋梁が有る場合には、橋梁が無い場合に較べて水位が人吉橋～大橋の区間では約0.4m高くなり、大橋より上流では大橋直上位置で1.28m、水の手橋直上位置で2.0mであることから、人吉橋、大橋および水の手橋の3橋梁により最大で2m近く水位を高め、特に大橋より上流でその影響は大きいことが分かる。

流量10,000 $\text{m}^3/\text{s}$ の水位は、橋梁が無い場合には流量6,000 $\text{m}^3/\text{s}$ および8,000 $\text{m}^3/\text{s}$ の水位形状が類似し、中川原公園の縦断形状に対して逆位相の関係を持ち、人吉橋～大橋の区間では人吉橋近傍61.23km地点で最大値13.36m、61.35km地点で最小値12.80mを示し、大橋より上流61.63kmで最大値14.96m、これより上流では大きな変化は無いことが分かる。橋梁が有る場合には、橋梁が無い場合に較べて水位が人吉橋～大橋の区間では約0.4m～0.8m高くなり、大橋直上流では61.63km位置で2.08m高く、水の手橋直上流61.91km位置で2.4m高くなる。

中川原公園は、大橋近傍より上流において急激に水位を上昇させることが流量6,000 $\text{m}^3/\text{s}$ 、8,000 $\text{m}^3/\text{s}$ および10,000 $\text{m}^3/\text{s}$ の全てにおいて認められた。特に、今次流量規模の8,000 $\text{m}^3/\text{s}$ では橋梁が無い場合には大橋上流で2.08m程度の水位上昇、更に橋桁が水没する場合には橋梁が無い場合に較べて、大橋直上位置で1.28m、水の手橋直上位置で2.0mであることが明らかにされた。なお、本実験では越流氾濫が無い条件下での結果であり、実際より大きくなる傾向がある。

### 5.2 表面流速に与える影響

粒子画像流速計測法PIVから得られた流量8000 $\text{m}^3/\text{s}$ における河道内の主流速U および二次流の横断方向成分V のカラー・コンターを、各々、およびに示す。

主流速U は橋梁がない場合には、いずれの流量でも $x=40\text{m}$ ～200mまでの区間で流速が6m/sを超える流速が現れている。この区間は中川原公園によって河



道が狭くなっている区間でありこの区間で加速域になっていると考えられる。また、流量 $6000\text{m}^3/\text{s}$  および $8000\text{m}^3/\text{s}$  では、中川原公園上の $120\text{m}<x<520\text{m}$ 、 $80\text{m}<y<140\text{m}$ の領域で流速が $1\text{m}/\text{s}$ から $3\text{m}/\text{s}$ の低速の領域が見られる。流量 $10000\text{m}^3/\text{s}$ では $6000\text{m}^3/\text{s}$ や $8000\text{m}^3/\text{s}$ ほど顕著な低速域は見られないが、 $200\text{m}<x<480\text{m}$ の比較的狭い範囲で流速が $2\text{m}/\text{s}$ から $3\text{m}/\text{s}$ の低速域が存在している。

橋梁がある場合では、橋梁がない場合に比べて流速が小さくなるが、 $40\text{m}<x<360\text{m}$ の区間において滞筋部で高速域が形成されている。また、橋梁がない場合と同じ領域で低速域も形成されている。橋梁がある場合は、トレーサーが橋脚や欄干にたまりデータの信頼性が低い区間がある。

なお、流量 $8,000\text{m}^3/\text{s}$ の水位は、橋梁の存在は大橋直上流において約 $1.2\text{m}$ 高める。大橋上流での代表流速が $5\text{m}/\text{s}$ であれば、その運動エネルギーは $1.28\text{m}$ であることから大橋の橋桁によって、その大半が位置エネルギーに変換されたことが示唆される。

二次流の横断方向成分 $V$  では、いずれの流量においても橋梁がある場合とない場合にかかわらず、中川原公園上流側である $-200\text{m}<x<0\text{m}$ の区間で右岸では右岸方向の流速が現れ、左岸では左岸方向の流速が現れている。このことからこの区間では $y$ が $100\text{m}$ から $120\text{m}$ 付近で発散するような流れが生じていることが考えられる。一方、中川原公園下流側である $200\text{m}<x<520\text{m}$ の区間では、 $0\text{m}<y<100\text{m}$ において左岸方向の流速が現れ、 $100\text{m}<y<200\text{m}$ において右岸方向の流速が発生している。このことからこの区間では $100\text{m}<x<140\text{m}$ の区間で収束するような流れが生じていることが考えられる。

### 5.3 表面流の解析による上昇・下降流の同定

表面流における連続条件から、

$$\frac{\partial W}{\partial z} = -(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y}) \quad (1)$$

となる。水表面で $W = 0$ を仮定すれば、

$$\frac{\partial W}{\partial z} > 0 \quad \text{下降流} \quad (2)$$

$$\frac{\partial W}{\partial z} < 0 \quad \text{上昇流} \quad (3)$$

図-19は、表面流速の主流方向成分 $U$  および横断方向成分 $V$ の空間勾配から得られる式(1)の右辺を表している。表面流の解析によって得られた上昇流位置は暖色で下降流位置は寒色で表現されている。橋梁がない場合には、上昇流が顕著な場所は、 $-200\text{m}<x<100\text{m}$ 、 $50\text{m}<y<150\text{m}$ に当たる中川原公園の上流側、および $400\text{m}<x<520\text{m}$ の区間では $0\text{m}<y<100\text{m}$ および $140\text{m}<y<240\text{m}$ に当たる河岸付近である。一方、下降流は $160\text{m}<x<400\text{m}$ 、 $80\text{m}<y<180\text{m}$

に当たる中川原公園の下流側である。

橋脚がある場合には、上昇流が顕著な場所は、 $-200\text{m}<x<40\text{m}$ 、 $50\text{m}<y<150\text{m}$ に当たる中川原公園の上流側であることが分かる。

## 6. まとめ

本研究では、令和2年7月4日に発生した人吉市における球磨川水害の実態を明らかにすると共に、模型実験を通して中川原公園および橋梁が異常洪水流に与える影響について検討した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 令和2年7月球磨川水害では、人吉・球磨盆地の人的被害36名、遥拝堰から球磨村渡の間の山間狭窄部では、氾濫流によって溺死とした14名の場所を特定し、氾濫状況との関係を検討した。
- 2) 球磨川の氾濫状況を象徴する、1)球磨川と山田川の合流部で地表高の低い青井阿蘇神社の近傍、2)万江川合流部の左岸側堤内地、3)万江川合流点から球磨村渡地区までの区間で連続した蛇行部および4)八代市坂本地区における住家被害を考察した。
- 3) 中川原公園は、大橋近傍より上流において急激に水位を上昇させることが流量 $6,000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $8,000\text{m}^3/\text{s}$  および $10,000\text{m}^3/\text{s}$ の全てにおいて認められた。特に、今次流量規模の $8,000\text{m}^3/\text{s}$ では橋梁が無い場合には大橋上流で $2.08\text{m}$ 程度の水位上昇、更に橋桁が水没する場合には橋梁が無い場合に比べて、大橋直上位置で $1.28\text{m}$ 、水の手橋直上位置で $2.0\text{m}$ であることが明らかにされた。なお、本実験では越流氾濫が無い条件下での結果であり、実際より大きくなる傾向がある。
- 4) 今次災害を参考にした流量 $8,000\text{m}^3/\text{s}$ において主流速は、橋梁が無い場合には中川原公園上で $1\text{m}/\text{s}$ ～ $3\text{m}/\text{s}$ の低速領域、滞筋部では $6\text{m}/\text{s}$ を超える高速域を形成することが認められた。橋梁が有る場合には、橋梁の上流域で流速は大幅に低減する。
- 5) 二次流の横断方向成分から、表面流は $-200\text{m}<x<0\text{m}$ に当たる大橋上流の中川原公園上では発散域、 $200\text{m}<x<400\text{m}$ に当たる大橋下流の中川原公園上では収束域となることが認められた。
- 6) 表面流の解析によって得られた上昇流位置は橋梁がない場合には、 $-200\text{m}<x<100\text{m}$ 、 $50\text{m}<y<150\text{m}$ に当たる中川原公園の上流側、一方、下降流は $160\text{m}<x<400\text{m}$ 、 $80\text{m}<y<180\text{m}$ に当たる中川原公園の下流側である。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州整備

局八代河川国道事務所，熊本県土木部河川課から多大なご協力を頂いた．ここに記して深甚なる感謝の意を表します．

### 参考文献

- 1) 気象研究所：報道発表令和2年7月豪雨における九州の記録的大雨の要因を調査-小低気圧による極めて多量の水蒸気流入で球磨川流域の線状降水帯が発生-」，2020.
- 2)内閣府：令和2年7月豪雨による被害状況について（令和3年1月7日）
- 3)土木学会 地震工学委員会：橋梁の対津波・対洪水設計に関する研究小委員会・活動報告書2020.11,
- 4)幸左賢二，秋吉秀一，二井伸一，木村吉郎：津波による橋梁への水平作用力に関する実験的検討，構造工学論文集，Vol.57A, pp.442-453, 2011 .3
- 5)石垣泰輔，武藤裕則，Koji SHIONO：複断面河道流れの構造と抵抗予測，ながれ 29(2010)177 - 186
- 6)福岡捷二・小俣 篤・加村大輔・平生昭二・岡田将治：複断面蛇行河道における洪水流と河床変動，土木学会論文集，621/II-47 (1999)11-22.