

2015年関東・東北豪雨における 鬼怒川氾濫による常総市の洪水氾濫状況

FIELD SURVEY AND SIMULATION FOR FLOOD DISASTER IN JOSO CITY
BY THE KINU-GAWA RIVER FLOODING ON SEPTEMBER, 2015

大槻順朗¹・二瓶泰雄²・M.A.C Niroshinie³
Kazuaki OHTSUKI, Yasuo NIHEI and M.A.C Niroshinie

¹正会員 博(工) 国立研究開発法人土木研究所 自然共生研究センター (〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地) (元 東京理科大学理工学部 助教)

²正会員 博(工) 東京理科大学理工学部 教授 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

³正会員 博(工) 東京理科大学理工学部 PD研究員 (同上)

A significantly severe flood disaster in the Kinugawa basin was occurred due to an unprecedented rainfall on Sep. 10, 2015. A bank failure and overflows at several points along the Kinu River occurred and inundated around 40km² area of the flood plain in Joso city, Ibaraki Pref., particularly Mitsukaido district. In this study, we applied 1D-2D coupled hydrodynamic model to simulate the flood and to evaluate the effects of a drainage canal called Hachikenbori gawa located on the center of the flood plain for the inundations. As a result, we found that the flood overtopped and flowed into the canal and it caused earlier inundations in the downstream Mitsukaido area along the canal than the main flood.

Key Words: Flood disaster, Flood simulation, Earlier Inundation, Inundation survey, Kinugawa River, Joso City

1. はじめに

2015年9月9日に発生した「平成27年9月関東・東北豪雨」では、9/9 10時過ぎに愛知県知多半島に上陸した台風18号および台風から変わった低気圧の影響により、関東北部から東北にかけて記録的な大雨となった。特に、鬼怒川では流域上流部を中心に猛烈な降雨が発生、河川が著しく増水し、一部では計画高水位を超過するなどした結果、若宮戸地区(25.35k及び24.57k)では広範囲の溢水、三坂町地区(21.0k左岸)では堤防決壊が生じたことが要因となり、鬼怒川と小貝川に挟まれた平地部の約40km²にわたって大規模浸水被害が生じた¹⁾。今回の被災状況に関して特徴的なことの一つは、溢水・決壊地点近傍のみならず、10km近く離れた常総市水海道地区においても顕著な氾濫被害がもたらされたことである。これにより水海道地区を含む多数の住民が逃げ遅れ、茨城県全体では1,339名がヘリコプターにより救助される状況となった²⁾。

溢水・決壊地点から離れた場所で多数の救助要請者が



図-1 2015/9/10の初動調査で得られた被災地の様子。(a) 水海道地区の初期浸水、(b)八間堀川

出たことの一つの要因として、水海道地区においては、大規模氾濫に至る数時間前に小規模な浸水(図-1(a))が生じ、そのため住民が浸水程度の目測を誤り、避難所に避難することなく自宅に留まる選択をしたためではな

いか、とする見方がある。氾濫域の中央には、幹線排水路である「八間堀川」（図-1 (b)及び図-2）が南北に走っている。八間堀川は寛永年間の新田開発に伴い開削、築堤され、旧来は現在旧八間堀川と呼ばれている流路より小貝川に流入していたが、元禄年間に鬼怒川に付け替えられ（新八間堀川と呼ばれる）、ほぼ現在の姿となっている³⁾。また、氾濫当時においては、新八間堀川に接続する排水樋管が閉じられていなかったとの証言もある。八間堀川には溢水・決壊による氾濫水が大量に流入したと見られ、洪水が八間堀川という水路を経由して高速で下流に伝搬し早期の浸水を引き起こした可能性が強く示唆される。水路を通じた氾濫の高速伝播については水路ネットワークの発達する都市部において、近年、危険性が懸念されているところである⁴⁾。

このような背景より、本研究では、常総市水海道地区の浸水状況に対する八間堀川の影響を明らかにすることを目的とする。まず、浸水深測定等の現地調査結果より、本水害における氾濫の様子を示す。次に、氾濫域の水路の影響を考慮可能な1次元+2次元カップリングシミュレーションモデルを本災害浸水域に適用した結果を示す。

2. 浸水被害の概況

洪水の概況把握と浸水被害調査のため、2015/9/10に初動調査、9/15、9/16、10/14に浸水深・浸水位調査を実施した。詳細については、二瓶ら⁵⁾を参照されたい。初動調査では、氾濫範囲の踏査を行い、前述の水海道地区における初期浸水を確認した。浸水深・浸水位調査では、家屋や樹木等残存する洪水痕跡（痕跡水深）を探索し、スタッフを用いて地面からの高さを計測するとともに、一部の箇所ではVRS方式RTK-GNSS（Trimble社 R4 および R6）を用いて現場標高を求め、痕跡水位を求めた。また、筆者らの調査結果に加えて、佐山ら⁶⁾による同様の調査結果と合わせ、計測点は307点（うち、標高計測133点）となった。さらに、水海道地区においては、地域住民にヒアリングを実施、被災当日の写真を収集し、後日、写真位置での水位をRTK-GNSSを用いて計測することで被災当時の堤内地下水水位情報を得た。

図-2には、現地調査によって得られた痕跡浸水深の分布を浸水深のランク別に示す。浸水域は溢水が生じた若宮戸地区から水海道地区にかけて広範にわたっており、浸水深は、溢水地点の若宮戸地区周辺では0.5～2.0m程度、決壊地点の三坂町地区周辺では決壊地点のごく近傍を除き～1.0m程度となっている。一方、氾濫水が南側へ流下し滞留した結果、これらから数km離れた氾濫域の南側の水海道地区や平町地区において、黄や赤で示される2.0m以上の浸水深となった。また、氾濫域中央部の三坂新田地区周辺でも浸水深が大きく、八間堀川の左岸側に比べて右岸側の方が比較的浸水深が大きくなっている

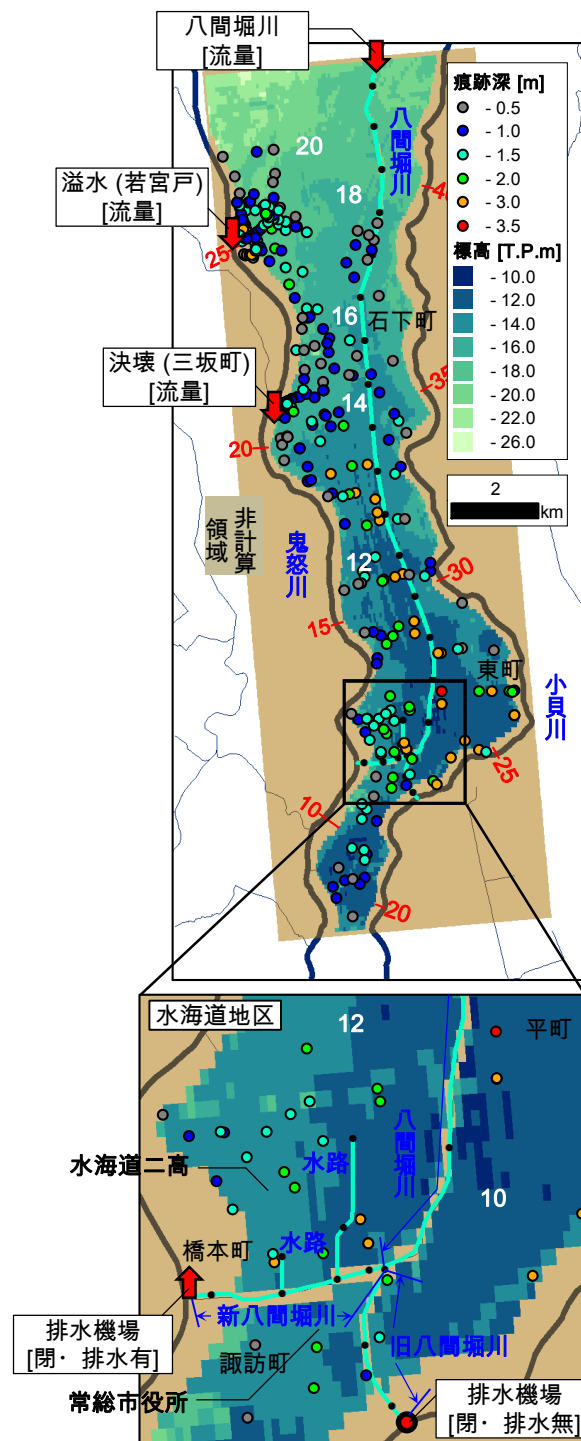


図-2 計算対象位置と境界条件および痕跡浸水深分布

ことが分かる。

3. 数値シミュレーション

(1) 計算手法

本研究における氾濫シミュレーションでは、氾濫挙動に対する八間堀川の影響を考慮するため、八間堀川河道部を対象とする1次元計算と氾濫部の2次元計算をカップリングした計算を行った。計算対象期間は、9/10 5:00

～ 9/11 8:00である。この計算では、1次元用計算メッシュと2次元用計算メッシュを空間位置に基づき予めリンクさせ、それぞれの時々刻々の計算水位と堤防高により、越流公式に基づいて1次元・2次元モデル相互に流量をやり取りする。本計算では、汎用水理モデルMIKE by DHI ver.2014に含まれる、1次元計算のMIKE11と2次元氾濫計算のMIKE 21および結合モジュールMIKE FLOODを用いて計算を実施した。計算ケースとしては、八間堀川等の水路を1次元計算により考慮したものと、考慮せず2次元氾濫計算のみを行った2つのケースを実施した。

計算対象範囲は図-2に示すように、実績氾濫域を包含するように南北方向に設定した。2次元計算では、南北方向に100m、東西方向に50mの計算格子を設定した。この計算格子の洪水地点および決壊地点において、境界条件として、図-3に示す想定氾濫流量を与えた。なお、本計算で用いる想定氾濫流量は、鬼怒川鎌庭地点(27.3k)の水位ハイドロを洪水、決壊地点の痕跡水位に適合するよう引き伸ばした水位ハイドロに基づいており、その総量は約4,400万 m^3 であり、佐山ら⁶⁾の検討結果(約3,800万 m^3)よりもやや大きい。この想定氾濫流量は、氾濫域の浸水深の計算値が観測値に適合するように調整された。しかしながらこの流量の妥当性については、別途議論が必要であることに注意されたい。洪水は実際には25.35kと24.75k地点の2箇所が発生したが、ここでは25kにまとめて設定した。地盤高には、国土地理院の5mDEMを元に、その計算メッシュ内平均値を与え、幹線道路部および鉄道部については盛土を考慮し、メッシュ内の最大値から40cm減じた値を入力した。降雨については下妻で9/10 5:00～6:00に20mm/hour弱確認された程度であり、影響は小さいとみなし計算に考慮しなかった。粗度係数については、市街地部とその他に分けそれぞれ0.12、0.08 [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]を与えた。

1次元計算では、図-2に示す八間堀川、旧八間堀川、および新八間堀川に接続する水路2本を考慮した。境界条件としては、上流端に簡易流出解析値を参考に20 [m^3/sec]の流量を与え、新・旧八間堀川それぞれの下流端を閉条件とし、新八間堀川下流端については、国土交通省資料¹⁾による八間堀川排水機場の稼働時刻情報と排水能力を元に、図-4に示すように排水量を与えた。当資料によると、9/10 2時から稼働開始し、鬼怒川の水位上昇により13時～22時30分の間は停止を余儀なくされている。なお、計算期間外となるが、9/11 8時より八間堀川下流端は開放されている。

計算入力断面における河床高・左右岸の高さについては、VRS方式RTK-GNSSを用いた現地調査(2016/1/6実施)によって取得した標高データに基づいて図-5に示すように入力した。八間堀川の堤防高は、新八間堀川部分を含む鬼怒川合流点から7kmまでは概ね14[T.P.m]であり、そこから緩やかに高くなるが、石下市街地付近では一部低い箇所もある。旧八間堀川の堤防高は新八間堀川より

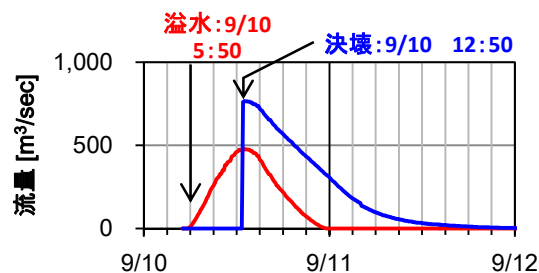


図-3 洪水地点・決壊地点における想定氾濫流量

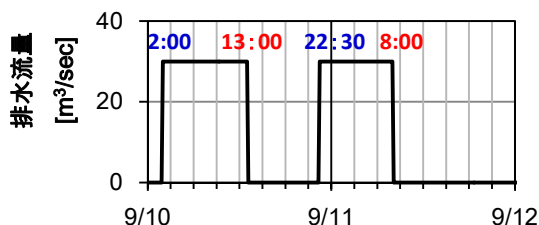


図-4 八間堀川排水機場における排水量の設定値

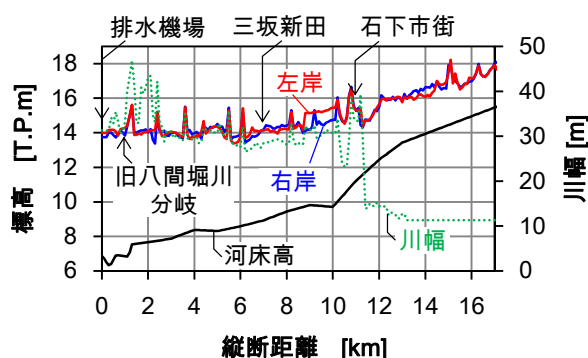


図-5 八間堀川の堤防高と河床高、川幅

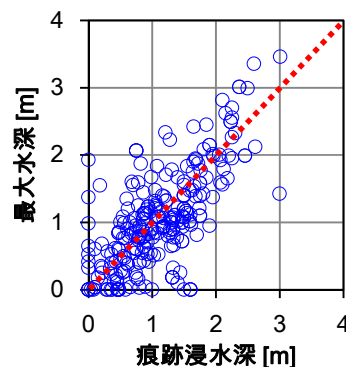


図-6 痕跡浸水深と計算最大水深の比較

低く概ね13 [T.P.m]となっている(図面省略)。粗度係数には、一律に0.035 [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]を与えた。新八間堀川と他水路の接続について、聞き取り調査の結果を踏まえ、旧八間堀川、水路とも水門・樋管を開条件とし、2本の水路については、現地調査の結果を元に、設置高さ9 [T.P.m]、寸法1.5m*1.5mのオリフィスを介して接続した。水路の左右岸高は、接続先の地盤高と同じになるようにし、概ね12.5[T.P.m]程度の値を入力した。

(2) 氾濫域の進行の推移

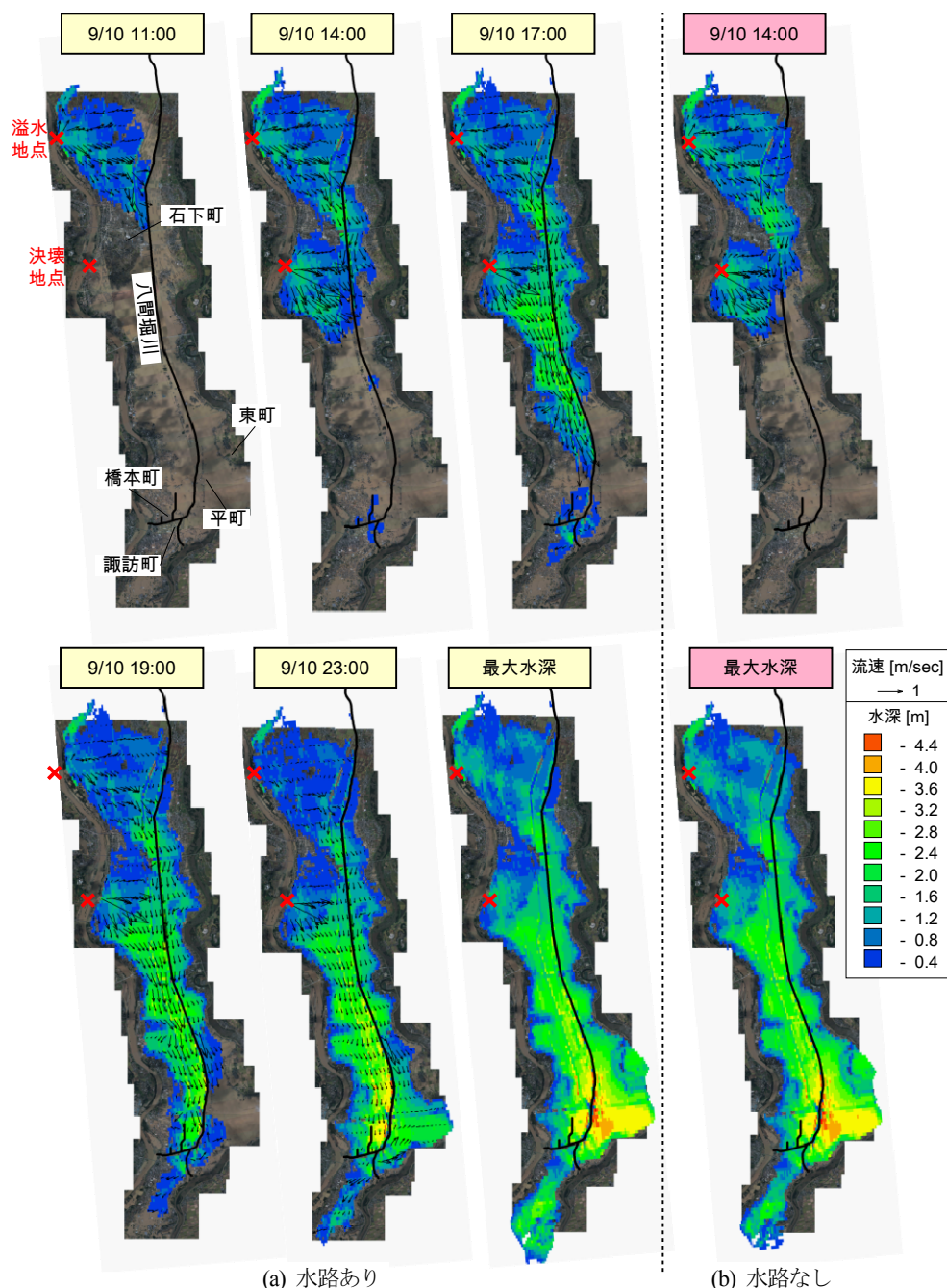


図-7 浸水深分布の解析結果 (a) 水路を考慮した場合、(b) 水路を考慮しない場合

図-6に解析結果による最大水深と実測された痕跡浸水深の比較を示す。計算格子のサイズが比較的大きいこともあり、実測値と計算値に多少のばらつきが見られるが、両者の差のRMSは0.29cmであり、良好な再現性が得られているものと考えられる。

図-7に解析結果による水深、流速の空間分布を示す。まず、図-7 (a)の水路を考慮する場合について、左上の9/10 11:00の段階を見ると、若宮戸からの溢水が、石下市街の自然堤防の縁辺に沿うように流下、八間堀川右岸に到達し、八間堀川への流入が開始されようとしていることが分かる。次に、同日14:00の段階では、決壊部からの氾濫流も八間堀川右岸に到達し、若宮戸からの氾濫流と合流する様子が見える。また、若宮戸からの氾濫流

は八間堀川に流入、さらに左岸側に越水している。一方、南の水海道地区を見ると、新八間堀川に接続した水路や旧八間堀川から僅かに浸水が生じている。この段階で洪水本体は到達しておらず、八間堀川を介した早期の浸水現象が発生したことが示唆される。続いて、17:00の段階では、洪水本体が八間堀川右岸側の堤防に沿うように流下している。八間堀川の左岸側・右岸側で浸水深が大きく異なっていることから、八間堀川の堤防により氾濫域における氾濫形態も大きく影響を受けていることが分かる。水海道市街地においては、浸水域が緩やかに拡大している。19:00においては、洪水本体が水海道市街地にほぼ到達している。この段階では依然として八間堀川右岸側のほうが左岸側より水深が大きく、最大浸水深を

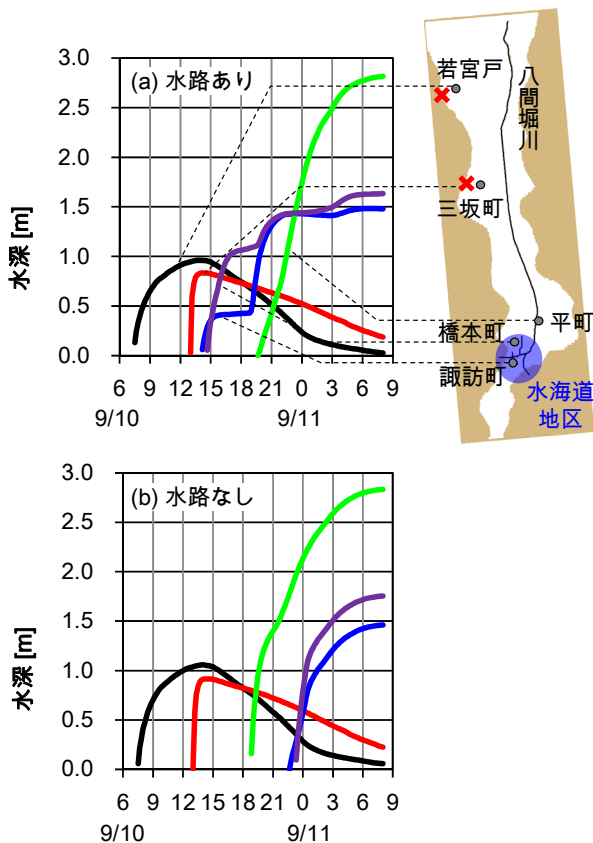


図-8 2次元計算領域における解析水深の時系列変化
(a)水路を考慮した場合、(b)考慮しない場合

記録した平町付近（図-2）では、北側からと、旧八間堀川経由の南側からも氾濫が迫っている様子が伺える。23:00の段階では、平町付近一帯が浸水している。一方、自然堤防上の東町では、この段階でも浸水していない。同図右下の最終的な最大浸水深分布を見ると、観測された痕跡浸水深分布（図-2）と対応し、八間堀川右岸側で浸水深が大きく、左岸で小さい傾向が示される。

これに対し、八間堀川等水路の影響を考慮せず、2次元計算のみで算出された結果（図-7 (b)）を見ると、最大浸水深については顕著な差異は見られないが、前述の水海道地区における初期浸水は再現されなかった。

図-8には、2次元氾濫計算領域における水深の時系列変化を水路の考慮有・無それぞれの場合について地点別に示す。図-7 (a)でも確認された水海道地区における初期浸水が現れており（橋本町、諏訪町、それぞれ青、紫線）、14時頃から浸水が開始し、一旦急激に上昇した後、水深の増加が緩やかになっている。一方、水路を考慮しない場合には、それは現れていない。その後、洪水本体の到達とともに、さらに水深が増加している。平町（緑線）においては、浸水時刻が水海道地区に比べて遅れ、9/11未明から明け方にかけて水深が増大しており、現地での住民の証言と一致した。一方、水路を考慮しない場合には、より氾濫発生地点近い平町で浸水が先に生じ、水海道地区ではそれより遅れており、八間堀川が存在が氾濫到達時間に大きく影響したことが示唆される。

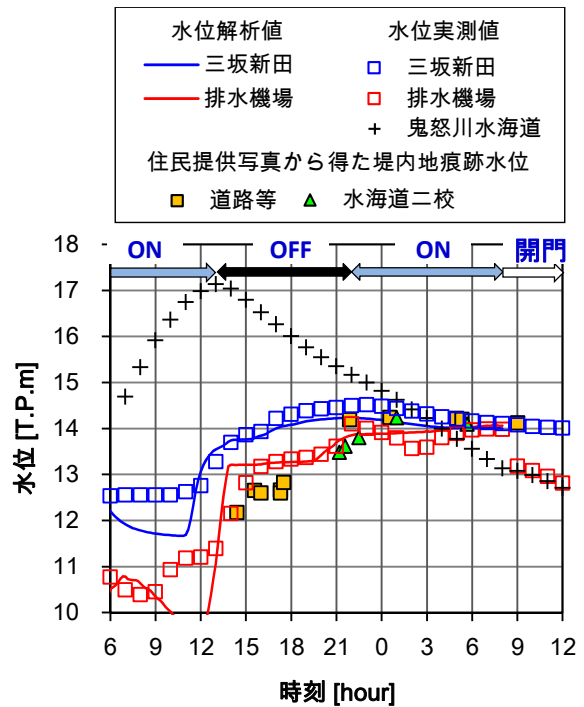


図-9 八間堀川（三坂新田・排水機場）と鬼怒川、水海道市街地（水海道二校）における実測・痕跡水位および計算水位

(3) 八間堀川および水海道地区における水位変化

図-9には、八間堀川（三坂新田、排水機場）、鬼怒川（水海道）および水海道市街地（水海道二校周辺）における実測・痕跡水位と八間堀川における計算水位を示す。それぞれマークが実測・痕跡水位を、実線が計算水位を示している。黄色および緑のマークで示しているものは、地域住民撮影写真から得た堤内地の推定水位である。また、八間堀川排水機場のポンプ稼働のON-OFFおよび開門のタイミングを上部に付記している。

まず八間堀川における実測水位より、八間堀川における洪水動態を確認する。鬼怒川合流点から約6.9kmにある三坂新田では9/10 10時50分、下流端の排水機場では12時00分ごろから水位が急激に上昇した。この時間帯は排水機場で排水停止した時間（13時）の直前であるが、氾濫計算結果に示されるように、氾濫水が八間堀川へ到達し、八間堀川への流入が開始された時間と一致しており、上流で生じた急激な水位上昇が高速で伝搬したことを示している。その後、15時ごろでは、排水機場での水位上昇が緩やかになる。旧八間堀川为天端高が概ね13[T.P.m]であることから、旧八間堀川や排水樋管からの溢水によるものであると考えられる。その後、19時ごろより、排水機場の水位が大きく上昇する。これは、洪水本体が水海道市街地に到達し、八間堀川右岸側から八間堀川へ流入したためであると考えられる。その後、ポンプの操作再開に伴い、水位が低下し、8時の開門と同時に一気に水位が低下し鬼怒川との水位差が無くなっているが、上流の三坂新田にはその影響がすぐには届いていない。

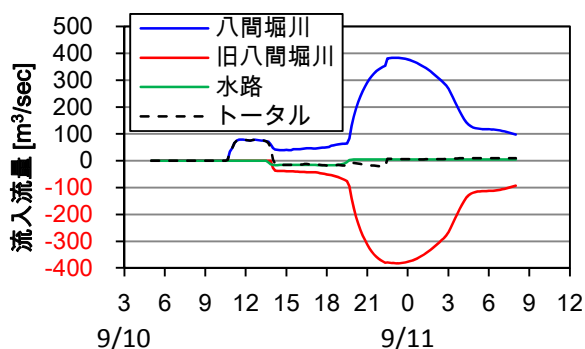


図-10 八間堀川・旧八間堀川・水路への洪水流入流量の時系列変化

次に、堤内地側の痕跡水位（黄，緑マーカー）の河川水位との相対関係を確認する。13時～15時ごろの増水期では、河川水位と共に堤内地水位も上昇するが、河川水位より堤内地水位が低い。このことから、旧八間堀川や排水樋管では、河川から堤内地の浸水が起こっていたものと考えられる。一方で、洪水ピーク付近の22時以降では、堤内地の水位が八間堀川の水位より高い。この段階では、堤内地から右岸堤防を越えて新八間堀川へ流入していたと考えられる。さらに、新八間堀川下流端の水門が開門された8時以降も堤内地水位が高い状態が継続している。このようなことから、新八間堀川の堤防の存在が洪水をせき止め、浸水被害状況に大きな影響をもたらしたものと考えられる。

(4) 水路と氾濫域間の洪水ボリュームの収支

図-10には、八間堀川（新八間堀川も含む）、旧八間堀川、2本の接続水路での水収支の時間変化を流量の単位で示している。ここでは、氾濫域から各河道への流入を正、各河道から氾濫域への流出を負として示している。時間を追って挙動を確認すると、11時ごろから15時まで、八間堀川へ約70 [m³/sec]でほぼ一定量の流入がある。この量は、八間堀川排水機場の排水能力30 [m³/sec]と比較し大きい。その後、15時ごろになると、旧八間堀川や水路より堤内地への流入が生じるため、八間堀川への正味の流入流量は減少する。その後、氾濫域の拡大に伴い、八間堀川への流入量が緩やかに増加するが、19時ごろから急激に増加している。これは、洪水本体の襲来により堤防の広範囲で越流が生じ、八間堀川に流入したためであると考えられる。

4. 結論

本研究により明らかとなった事柄を列挙する。

1) 水路構造を考慮した氾濫計算において、氾濫流は八間堀川の堤防を越流して流入し、八間堀川の水深が急激に増加させ、洪水が高速で下流に伝搬した。その結果、水海道地区に洪水本体が到達する前に、旧八間堀川や樋

管を通じ早期氾濫を引き起こした。一方、水路を考慮しない場合には、そのような早期氾濫は再現されなかった。

2) 八間堀川の堤防により氾濫流が阻まれたことで、八間堀川右岸側と左岸側で洪水の到達時刻が大きく異なった。また、堤防により洪水が堰上がることで、浸水深を増大させた可能性がある。

3) 氾濫水が八間堀川に流入した際の単位時間あたりの洪水ボリューム（流量）は、氾濫初期においても八間堀川排水機場の排水能より大きく、氾濫本体が水海道地区に襲来した9/10夜間～未明にかけては、広域で越流が生じ、それを大きく上回る量となった。

本研究対象地では、氾濫域に比較的単純に水路が配置されている状況であったが、氾濫現象に大きな影響を与え複雑化している。今後の水害避難の効率化やリスク低減に向け、中小河川や排水路、道路などの線上構造物の影響を十分に考慮した氾濫現象の検討が求められると考えられる。

謝辞：国土交通省，茨城県，NHK，地域住民の方々には、情報提供，現地調査等においてご協力いただきました。本調査研究を推進するにあたり（公社）土木学会，（公社）地盤工学会，（公財）河川財団河川整備基金から援助を頂いた。現地調査においては、東京理科大学理学部土木工学科永野博之助教ならびに水理研究室学生諸氏に尽力いただいた。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨に係る被害及び復旧状況等について（平成 28 年 1 月 29 日），2016.
- 2) 茨城県：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による本県の被害及び対応について（10 月 21 日 16 時現在），<https://www.pref.ibaraki.jp/1saigai/201509/documents/20151021.pdf>.
- 3) 茨城県：いばらきの川紹介_八間堀川（第 25 回），<http://www.pref.ibaraki.jp/doboku/kasen/keikaku/kasenska/column025-hac-hikennbori.html>.
- 4) 関根正人，池田遼：東京東部低平地を対象とした浸水・氾濫の数値予測，土木学会論文集B1（水工学），Vol.70, No. 4, 1_1429-1434, 2014.
- 5) 二瓶泰雄，大槻順朗，永野博之，服部泰士，桜庭拓也，倉上由貴，田中昌宏，富田邦裕：2015年関東・東北豪雨における鬼怒川の洪水氾濫・家屋被害・堤防被災状況，河川技術論文集，Vol.22, 2016（投稿中）.
- 6) 佐山敬洋，大槻順朗，永野博之，二瓶泰雄：京都大学防災研究所 平成27年関東・東北水害 鬼怒川氾濫による常総市周辺の浸水深分布調査（第二報），http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/saigai/20151027_hanran.pdf.

（2016. 4. 4受付）