

平成18年7月豪雨による 松江市内の都市水害に関する数値解析的検討

NUMERICAL SIMULATION OF FLOOD DISASTER DUE TO HEAVY RAINFALL OF JULY 2006 IN MATSUE CITY

川池健司¹・中川 一²・市川 温³・丸山寛起⁴

Kenji KAWAIKE, Hajime NAKAGAWA, Yutaka ICHIKAWA and Hirotsu MARUYAMA

¹ 正会員 博(工) 京都大学助教授 防災研究所 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

² 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

³ 正会員 博(工) 京都大学大学院助手 地球環境学堂 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁴ 正会員 修(工) 国土交通省 宮崎河川国道事務所 (〒880-8523 宮崎市大工2丁目39)

In this paper, a flood disaster of inundation in the Matsue City area is reported. The major mechanisms of flooding are assumed to be inundation due to heavy rainfall and topographical condition, and backwater through sewerage system due to high water level of the Oohashi River. A comprehensive numerical simulation model, which includes a simple sewerage model, is proposed in this study and applied to the Matsue City area. The inundated area and inundated water depth can be reproduced well by this model. Finally, the effects of the water level of the Oohashi River on inundated area and inundated water volume are discussed and its influence are found to be so large.

Key Words : *inundation flow analysis, heavy rainfall, flood disaster, sewerage system, Matsue City*

1. はじめに

福岡豪雨災害や東海豪雨災害に代表されるように、わが国においても都市水害に対してまだまだ安全とはいえない状況にある。2005年には、特定都市河川浸水被害対策法が施行され、鶴見川、新川、寝屋川が特定都市河川として指定されるとともに、水防法が改正されて、事実上洪水ハザードマップの作成が義務づけられた。さらに、国土交通省から『総合的な豪雨災害対策の推進について(提言)』が発表され、すべてを同様に守るのではなく、守るべきものを効率よく守るといふ、減災に向けた取り組みが明確に打ち出された。

しかし、上記のような取り組みにもかかわらず、2006年の夏も梅雨前線が日本列島上空に停滞して猛威をふるい、各地に豪雨災害をもたらした。とくに大きな被害を受けたのは、九州地方南部、山陰地方、長野地方、そして朝鮮半島だった。今回の豪雨では、各地で土砂災害による被害が顕著であったために社会的関心がさらに集中する一方、34年ぶりの浸水被害に見舞われた都市があった。山陰の湖都・松江市である。市の玄関ともいえるJR松江駅周辺が浸水し、その映像はテレビなどでも報道された。松江では1972年(昭和47年)

以来の浸水被害であったが、災害発生直後から国土交通省、島根県などが連携して、河川水位や浸水域や各地点の浸水深等に関する詳細な調査を行った。

近年では、実際に発生した水害を詳細に調査し、数値解析や模型実験を用いてそれらの現象を検証する試みが活発になされている。例えば、秋山ら¹⁾は、2003年の飯塚市の水害について数値解析による再現計算を行い、国土交通省によって計画されている河川改修の効果について検討している。また、川口ら²⁾は2004年の刈谷田川の破堤氾濫を、大藪ら³⁾は2004年の円山川の氾濫を対象として、数値解析により破堤氾濫流と家屋流失との関係について検討している。一方、福留ら⁴⁾は、2004年刈谷田川の破堤箇所を対象として詳細な模型を作成し、氾濫流の挙動を再現している。これらの研究は、単なる現象の『再現』にとどまることなく、今後の水害対策のあり方を模索しているといえよう。

そこで本研究では、2006年の豪雨による松江市の災害について、関係諸機関から収集した資料と7月24日に行った現地調査結果に基づいた被害の概要と、簡易な下水道モデルを加えた統合型氾濫解析モデルを用いてその再現計算を行った結果を報告する。さらに松江市が面している宍道湖・大橋川の水位が低減されたと



図-1 斐伊川流域

仮定したときの被害の軽減具合を調べ、その水位上昇を抑えることがいかに重要であるかを確かめる。

2. 松江市の概要

島根県東部を流れる一級河川・斐伊川は、中国山地に源を発し、下流で流向を大きく転換して宍道湖へ流入する。宍道湖の水は大橋川を通して東の中海に注ぎ、さらに境水道を経て日本海へと注いでいる。図-1に斐伊川流域を示す。流域面積は、斐伊川上流域が920km²、宍道湖直接流入流域が400km²、中海直接流入流域が750km²、全体で2,070km²となっている。この流域内に、島根県の県庁所在地である松江市は位置しており、宍道湖から大橋川が流れ出す出口の低平地付近を中心に、大橋川の両岸に市街地が広がっている。人口は約19万人である。

宍道湖から日本海までの水面勾配は非常に緩やかで、宍道湖の水位がなかなか低下せず、この辺りは洪水が長期化しやすい地形になっている。また、二つの湖をつなぐ大橋川は河道断面が小さく疎通能力が小さい河川であり、宍道湖の洪水の排水がスムーズに行われないうために、かつて松江市は洪水氾濫の常襲地であった。幸いなことに、近年では1972年（昭和47年）以降、目立った水害は発生していなかった。今回の水害は、まさにこのとき以来、34年ぶりの災害となった。

3. 平成18年7月豪雨による松江市の被災状況

(1) 斐伊川流域での被害

斐伊川本川の4箇所の各基準観測所では、軒並み既往最高水位を更新した。とくに灘分地点では、計画高水位を0.67m超過する水位を記録した。

大橋川の松江地点では、1972年洪水時に次ぐ過去2番目の水位であったが、それでも特別警戒水位の1.40mを大幅に突破する1.96mを記録した。松江地点の水位

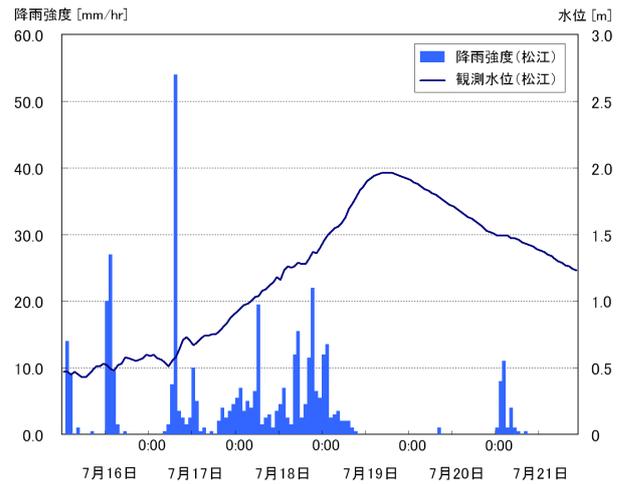


図-2 降雨強度と実測水位（7月16～21日，松江）

の時間変化を図-2に示す。

(2) 松江市内の被害

7月16日～21日に、松江市で観測された雨量を図-2に示す。最大時間雨量は54mm、6日間の総雨量は418mmであった。

松江市での浸水被害は、浸水面積204.7ha、浸水家屋は1,702戸に及んだ。図-3⁵⁾に、松江市中心部における浸水箇所を示す。とくに被害が大きかったのは、JR松江駅周辺（朝日町）、天神川の南（新雑賀（さいか）町）、松江城堀川周辺（黒田町）などである。

a) JR松江駅周辺（朝日町）

19日午前4時頃から、大橋川、天神川の水位上昇にともなって下水道からの水が溢れ始め、昼ごろには大人のひざぐらいの高さにまで達した。駅の北西にある商店街では、周囲よりも地盤が低いためにあっというまに水深が増加し、40～50cmに達した。1972年の水害を経験している店の人々は、地盤が低いことがわかっていたため、店のシャッターを下ろし低い棚にある商品を早めに高いところに避難させたようである。浸水はほぼ丸二日続き、20日の昼前になって水位が下がり始め、21日朝には完全に水は引いた。この辺りでは、床面から50cmほどの高さより低いところでは、棚から商品を取り出していたり、中には扇風機で棚を乾かしたりしている店もあった。ジュースやタバコの自動販売機の多くは浸水のため故障し、使用不能になっていた。銀行の前にはとくに大量の土嚢が積まれたあとが見られたが、これらは浸水被害に対する機械類の脆弱性を物語っている。

駅の南側では、20cm程度の浸水痕跡が見られた。駅前ロータリーまで浸水したが、駅構内までは浸水しなかった。

b) 天神川南側（新雑賀町）

30cm程度の浸水痕跡が多くの家屋で見られ、家の周りには土嚢が残されていた。場所によっては、家屋と道路の間に幅2mぐらいの水路があり、30cm程度浸

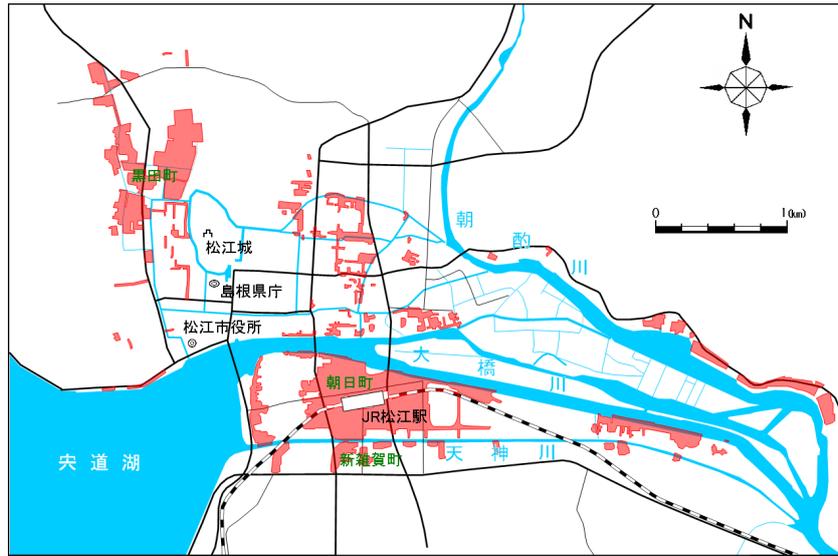


図-3 松江市内における浸水域

水した場合には道路と水路の区別がつかなくなって非常に危険な状態が想像される箇所もあった。天神川に面して雨水吐きが並んでおり、天神川の水位が上昇すれば下水道を通して必然的に市内が浸水する仕組みが理解できる。

c) 松江城堀川周辺 (黒田町)

18日夕方ごろから、堀川の水が溢れ始めた。19日朝になって水はいったん引いたものの、昼ごろになって再び上昇した⁶⁾。浸水深は30cm程度に達しており、痕跡も残されていた。このあたりはもともと沼地であったため、地盤が低く水害常襲地となっており、松江市の排水機場が設置されている。

(3) 浸水被害発生メカニズム

以上のことから、今回松江市内で発生した浸水箇所では、大橋川の洪水が直接越水氾濫した地域はごく限られた範囲であり、浸水被害発生メカニズムは次のように考えられる。すなわち、大橋川右岸側では、大橋川の水位上昇によって市内の水路網、さらには下水道内の水位が上昇して市内に逆流したものと予想される。また、大橋川左岸側では、ほとんどは降った雨が地形的にたまった内水氾濫が原因であり、黒田町付近の浸水は内水氾濫と大橋川の水位上昇に伴う市内の水路網からの溢水が原因であったと考えられる。

4. 再現計算

(1) 松江低平地のモデル化

本章では、松江市における上記水害の再現計算を試みる。用いた解析モデルは、低平地部分の平面二次元氾濫解析、隣接する斜面の流出解析、河川網の一次元不定流解析、河川網上流域での流出解析を統合した著者ら⁷⁾のモデルに、下水道からの逆流の影響を取り入



図-4 計算対象領域

れるため簡易な下水道モデルを加えたものである。それぞれの部分の対象領域は、図-4に示すとおりである。また図-5には、解析格子を市街地、道路、水路、水田・公園等に属性分けしたものを示す。

下水道は通常道路の地下に埋設されていることから、本研究で用いる下水道モデルは、地上の平面二次元氾濫解析モデルの解析格子のうち、道路格子の地下1mの深さにもう一層解析格子があると仮定したものになっている。すなわち、底面積を道路格子の20%、高さを1mとした長方形断面水路で下水道を仮定し、スロットモデルのような扱いはせずに開水路で流れるものとする。下水道内の流れは、地上の格子と同様の平面二次元氾濫解析の基礎式に基づく取り扱いとするが、粗度係数は0.015とし、大橋川、天神川などに排水する箇所ではそれらの川の水位を境界条件として与える。地上から下水道への流入は道路側溝を想定しているため、道路格子と他の属性の格子との境界に沿って、段落ち式

$$q = 0.544h\sqrt{gh} \quad (1)$$

にしたがって流入するものとする。ここに、 q は単位幅あたりの流量、 h は道路格子の水深である。ただし、下水道の水位が地上格子の水位よりも高いときは下水道には流入しないものとし、逆に地上への噴出しを考慮する。ここでは、相良ら⁸⁾にならい、越流公式によって単位幅あたりの噴出し流量 q_{up} を求める。すなわち、 $h_d = H_s - z$ として、

$h/h_d < 2/3$ (完全越流) のとき

$$q_{up} = \mu h_d \sqrt{2gh_d} \quad (2)$$

$h/h_d > 2/3$ (潜り越流) のとき

$$q_{up} = \mu' h \sqrt{2g(h_d - h)} \quad (3)$$

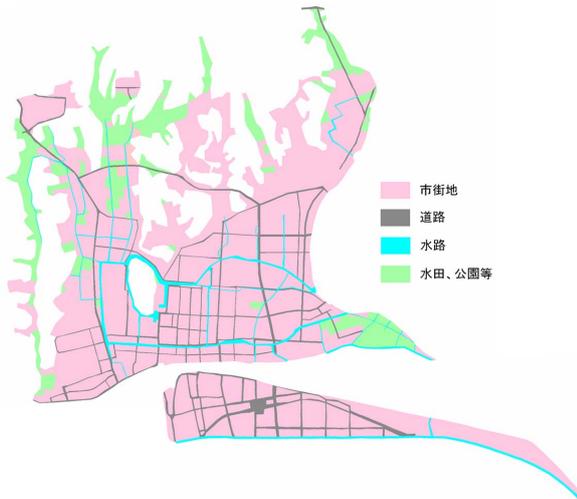


図-5 解析格子の属性

で求める。ここに、 H_s は下水道の水位、 z は道路格子の地盤高、 μ 、 μ' は流量係数で $\mu=0.35$ 、 $\mu'=0.91$ とする。

雨水排水に影響を及ぼすもう一つの要素として、松江城を中心として大橋川左岸側に発達した水路網の存在がある。これらは平面二次元汎濫解析の非構造格子の一部として格子属性を分類し、周囲の格子よりも地盤高を低くすることで長方形断面水路としてモデル化する。その他のモデルの詳細は、文献7)を参照されたい。なお、低平地部分の格子分割ならびに標高データの作成には2,500分の1都市計画図を用い、デローニー三角分割法⁹⁾により作成した解析格子を基本とした。

(2) 平成18年7月豪雨災害の再現計算

解析の条件は、図-2の松江での降雨を対象領域の全域に与え、宍道湖(松江地点)と中海の実測水位を河川網の上下流端境界条件とする。

解析の結果得られた水深0.1m以上の浸水域を図-6に示すとともに、同図には図-3の浸水実績を再掲して重ねている。両者を比較すると、解析結果は大橋川の左岸側、右岸側ともに浸水実績をよく再現していることがわかる。ただし、大橋川をはさんで、左岸側と右岸側で数値解析結果の傾向が明らかに異なっている。すなわち、左岸側では数値解析結果のほうが浸水域を過大に、右岸側では過小に評価している。これは、下水道を道路格子の地下のみと仮定したことが原因と考えられる。実際にはそれ以外の細かい道路からも雨水は排水される／噴出しが起こるが、本モデルではそこまで細かい下水道は考慮されていないために、内水汎

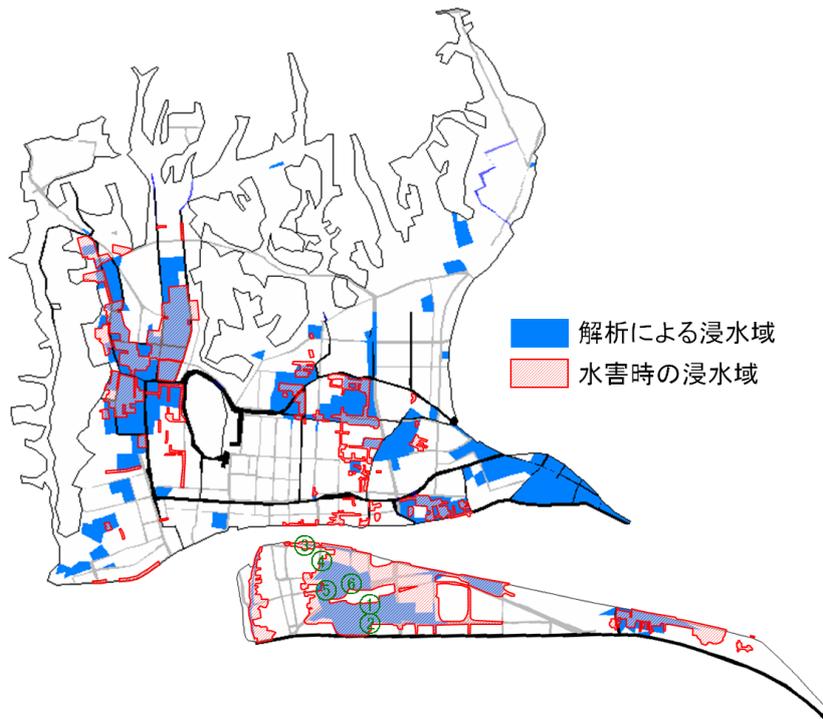


図-6 解析による浸水域と浸水実績との比較

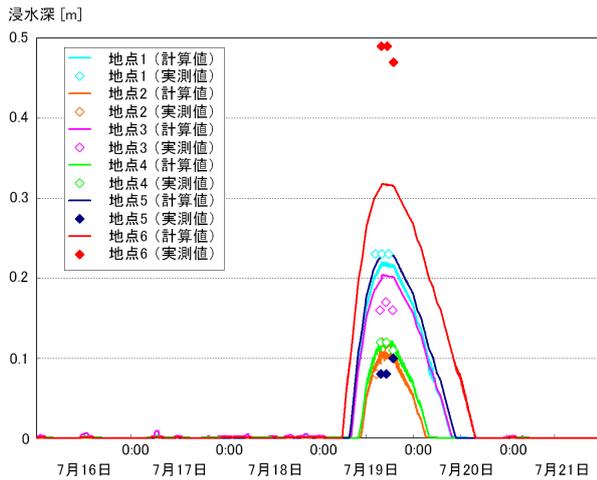


図-7 地点浸水深の時間変化

瀬が中心の左岸側では浸水域が大きく、また大橋川などからの噴出しが中心の右岸側では浸水域が小さく計算されたと考えられる。

また図-7は、図-6中の1～6で示した各地点で観測された浸水深の実測値と、解析によって得られた浸水深とを比較したものである。これによると、地点1～4は両者がよく一致しているものの、地点5～6は解析値が浸水深をうまく再現しているとはいえない。今回、標高データの根拠とした2,500分の1都市計画図には0.1m刻みの標高が記載されており、これらを内挿補間して各格子の標高としているが、とくに地点5～6では都市計画図に記載された交差点での標高と水深を計測した地点の実際の標高との間に0.1～0.2mの相違が生じていたと考えられる。また、内挿補間を行わずに、地盤高の再現性の向上を図るにはレーザー・プロファイラデータを用いるなどの精度向上が必要である。

図-8は、解析結果のうち、水深0.01m以上の面積、水深0.5m以上の面積、氾濫水量の時間変化を示している。この図を図-2と比較すると、氾濫面積は当然のことながら降雨の時刻に反応しているが、水深0.5m以上の面積や氾濫水量の時間変化は降雨強度の影響よりも大橋川の水位変動の影響を大きく受けていることがわかる。したがって、大橋川の水位上昇を防ぐことができれば、松江市の浸水被害を効果的に減少させることができるものと予想される。

(3) 大橋川水位による浸水状況の変化について

前節の考察より、大橋川の水位のピークが、今回の水害時のものと比較して0.1m、0.2m、…、0.7m低下させることができたときの氾濫面積や氾濫水量について検討することとし、それぞれを「ケース1」、「ケース2」、…、「ケース7」とする。なお、今回の水害時のもの(前節の解析ケース)を「ケース0」とよぶ。

図-9～11は、それぞれ各ケースの氾濫面積(水深0.01m以上)、氾濫面積(水深0.5m以上)、氾濫水量の時間変化を示した図である。いずれの図においても、

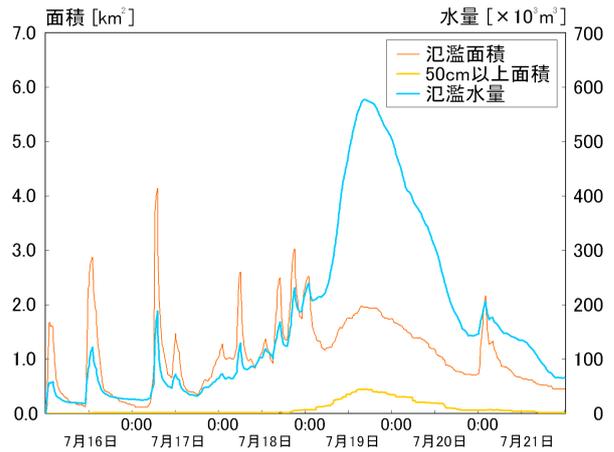


図-8 氾濫面積、氾濫水量の時間変化

今回の水害時(ケース0)と比較して、大橋川のピークが0.1m低減される(ケース1)だけでも大きく氾濫状況が改善しており、その傾向は0.3m程度低減するところ(ケース3)まで続いている。しかし、それ以上大橋川の水位を低減させても浸水状況の大きな変化は見られなくなる。

また、これらの図から降雨が観測された時間帯には全域に雨が降るので必然的に氾濫面積は大きくなるが、すぐに減少する。そして大橋川の極端な水位上昇が見られた時間帯では、ほとんど降雨は観測されていなかったため、大橋川の水位上昇のみによって氾濫面積が増加していることがわかる。同様に、床上/床下浸水の目安となる水深0.5m以上の氾濫面積に関しては、図の時間帯より、内水氾濫では見られずに大橋川の水位上昇によって発生したことがわかる。したがって、大橋川の水位低下は、床上浸水を意味する水深0.5m以上の氾濫面積の減少に直接的に影響している。

(4) 松江市の豪雨災害対策に関する検討

前節の検討により、大橋川の水位上昇が、松江市内の浸水被害に大きく影響を及ぼす要因であることがわかった。したがって、今回のような浸水被害を軽減させるには、まず大橋川の水位を上昇させないよう対策をとることが重要であると考えられる。現在国土交通省では、斐伊川上流域のダム建設により洪水流量を調節し、中流域の斐伊川放水路により洪水の約半分を隣の流域に放流し、さらに大橋川を拡幅して宍道湖の洪水を流下させるプロジェクトを進めている。これによって大橋川の水位上昇をくい止める計画であり、これらの施設が相互に有効に機能すれば大きな効果が期待される。またそれと同時に、市内の雨水排水機能を向上させることも重要と考えられる。とくに大橋川左岸側は低く平らな地形が続いているため、周囲とのわずかな高低差によって浸水が発生する。内水氾濫に対して脆弱な地域を見極め、雨水管渠の整備や局所的な各戸貯留や透水性舗装などの対策を進めていくことが必要であると考えられる。

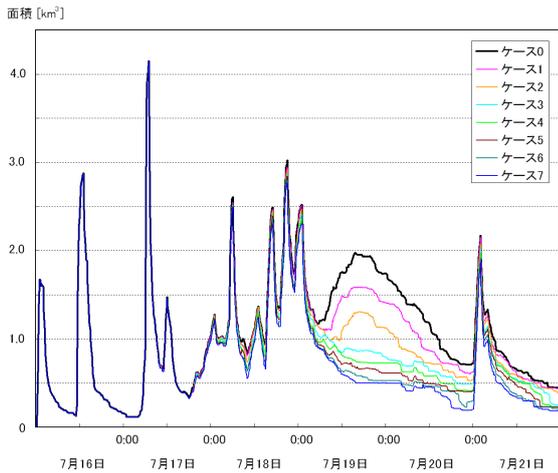


図-9 氾濫面積の時間変化

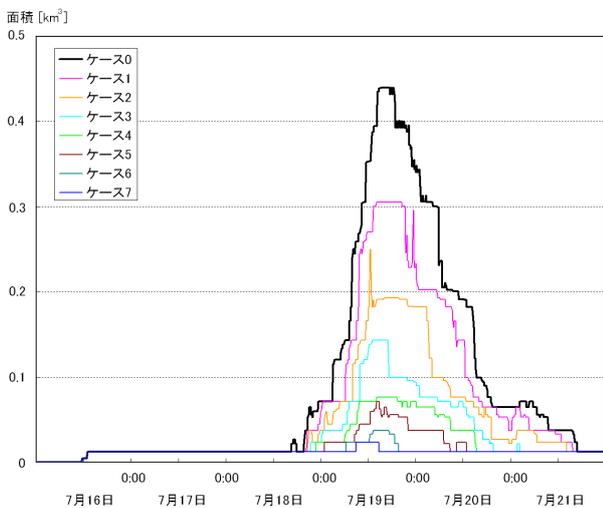


図-10 浸水深0.5m以上の氾濫面積の時間変化

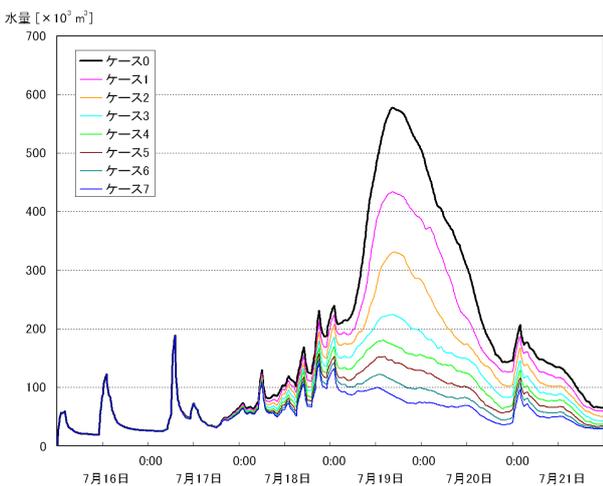


図-11 氾濫水量の時間変化

5. おわりに

本研究では、2006年7月に松江市で発生した浸水被害の概要を報告し、数値解析によるその再現計算を

試みた。その結果、大橋川の左岸側ではおもに内水氾濫、右岸側では大橋川の水位上昇による下水道を通じた噴出しが、松江市内の浸水被害発生 of 主要な要因と考えられ、著者らの数値モデルによってそれを精度よく再現することができた。さらに、浸水状況に大きく影響を与える要因として大橋川の水位が考えられるため、その水位をどの程度低下させれば被害がどの程度軽減されるのかを検討し、その影響が顕著なことから、松江地点でおおむね0.3m程度ピークを低減させることによって被害を大きく軽減することができることがわかった。都市域では、下水道による排水はもちろん、噴出しのような現象も起こる可能性があり、浸水被害と下水道とが深く関係していることから、今後は下水道によるさまざまな効果を詳細に精度よく検討していくことが重要であると考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、国土交通省出雲河川事務所ならびに島根県より斐伊川水系の出水状況および松江市の浸水実績データを快くご提供いただいた。また、京都大学防災研究所の戸田圭一教授と米山望助教授には現地調査にご参加、ご協力いただき、京都大学工学部学生の阿野 誠君には、データ作成を行うにあたり協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 秋山壽一郎, 重枝未玲: 飯塚市を中心とした都市域のダイナミック解析～2003年7月遠賀川豪雨災害を対象として～, 水工学論文集, 第49巻, pp.619-624, 2005.
- 2) 川口広司, 末次忠司, 福留康智: 2004年7月新潟県刈谷田川洪水・破堤氾濫流に関する研究, 水工学論文集, 第49巻, pp.577-582, 2005.
- 3) 大藪政志, 椿 涼太, 藤田一郎, 川谷 健: 2004年10月出石川氾濫を対象とした現地調査に基づく高解像度氾濫解析, 水工学論文集, 第50巻, pp.685-690, 2006.
- 4) 福留康智, 末次忠司, 菊森佳幹, 川口広司: 平成16年7月新潟・刈谷田川破堤氾濫流の再現実験と活動実態調査に関する研究, 河川技術論文集, Vol.12, pp.7-12, 2006.
- 5) 国土交通省 出雲河川事務所: 記者発表資料 (平成18年7月24日), 2006.
- 6) 山陰中央新報 (平成18年7月23日), <http://www.saninchuo.co.jp/index.php>, 2006.
- 7) 川池健司, 市川 温, 丸山寛起, 内藤正彦: 松江低平地における内水氾濫の危険性とその浸水被害軽減策に関する検討, 河川技術論文集, Vol.12, pp.103-108, 2006.
- 8) 相良亮輔, 錦織俊之, 井上和也, 戸田圭一: 枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析, 水工学論文集, 第48巻, pp.589-594, 2004.
- 9) 谷口健男: FEMのための要素自動分割 —デローニー三角分割法の利用—, 森北出版, pp.9-122, 1992.

(2006.9.30受付)