

福知山市街地における内水氾濫時の安全避難に関する検討

関西大学大学院理工学研究科 学生員 ○若山 侑未

関西大学先端科学技術推進機構 正会員 川中 龍児

関西大学環境都市工学部 正会員 石垣 泰輔

1. はじめに

近年、短時間集中豪雨の増加や市街化の進展による都市内の保水力の低下により各地で内水氾濫が発生している。福知山市は外水氾濫常襲地であるが、2014年と2018年には市街地を中心に集中豪雨による内水被害が発生した。このような水害に対して、ハード対策だけでなくソフト対策も強化して災害に対する安全性を高めることが重要とされている。従来の研究として、大西ら¹⁾は流体力と水深を同時に考慮した単位幅比力を新たな避難困難度指標として提案している。また川中ら²⁾は、福知山市における外水氾濫特性と避難困難度を考慮したハザードマップについて検討している。以上のように、福知山市の外水氾濫特性や安全避難の検討はなされてきているが、内水氾濫の検討はなされていない。また、一般的なハザードマップは浸水深を示すのみで降雨量の違いや氾濫水の流速が考慮されていない。そこで本研究では、京都府福知山市を対象として内水氾濫解析を行い、外水氾濫常襲地の内水氾濫特性について外水氾濫特性との比較検討を行った。また、内水氾濫時の避難所の安全性を検討した。

2. 氾濫解析法および結果

構造格子モデルを用いて平面2次元不定流解析を行った。浸水計算は以下の連続式と運動量式を用いている。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q_r \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

ここに、 η : 水位(m), t : 時間(s), M : x 方向の流量フラックス($M=uD$), N : y 方向の流量フラックス($N=vD$), u : x 方向の流速(m/s), v : y 方向の流速(m/s), q_r : 降雨量(mm/s), D : 水深(m), g : 重力加速度(m/s^2)である。対象とする検討範囲は、先行研究²⁾と同様(図1)とした。地形モデルは国土地理院発行の5m格子の標高を用い、データ欠損部は50m格子のデータで補間した。和久川の下を流れる弘法川や高架等で実状と異なる箇所は修正を行った。2014年豪雨災害の再現計算により、有効降雨0.9、粗度係数0.06と同定した。降雨条件は当時の32時間実績降雨(図2)を用い、下水道については先行降雨で満水となり流入もないと仮定したため考慮していない。検討範囲における再現精度は、MAE=0.24, RMSE=0.32である。この誤差については、下水道を考慮していないことが一つの要因と考えられる。再現水害の最大時間雨量は約50mm/hrであるが、これを2倍、3倍(100mm/hr, 150mm/hr)にし、それぞれ排水ポンプが稼動、停止の全6ケースで検討を行った。一例として、150mm/hrで排水ポンプが停止している場合の最大浸水深を図3に示す。浸水の経過としては、降雨開始8時間頃から浸水し始め、市街地の北部と南部それぞれから氾濫水が広がるという結果が得られた。市街地のほぼ全域において3m以上(2階が浸水する程度)の浸水可能性がある。全ケースにおいて、氾濫水は市街地北部と南部それぞれから広がる。これは降雨量や排水ポンプの有無に関わらず同様で、法川西部の地盤高が他より高くなっているため、氾濫水がとどまるという結果になったと考えられる。外水氾濫時と内水氾濫時の解析結果を比較すると、内水氾濫の浸水域は市街地南部で破堤した場合の結果と同様であるが、その浸水過程は異なるということが明らかになった。

キーワード 内水氾濫, 集中豪雨, 安全避難, 地方都市, 氾濫解析

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 関西大学 TEL 06-6368-1121

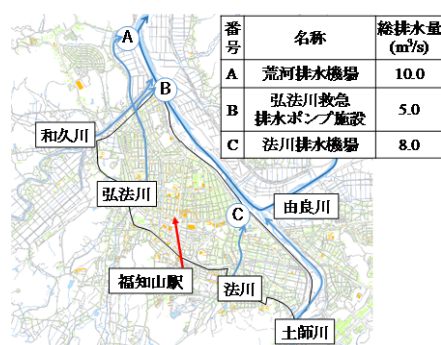


図1 対象地域

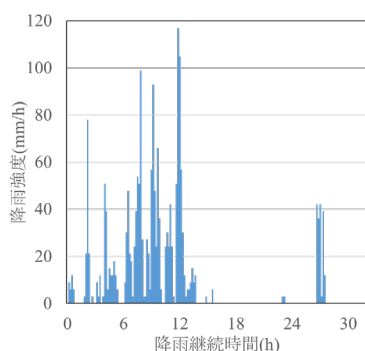


図2 2014年豪雨災害時の降雨

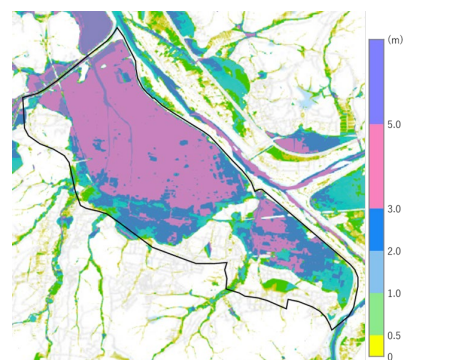
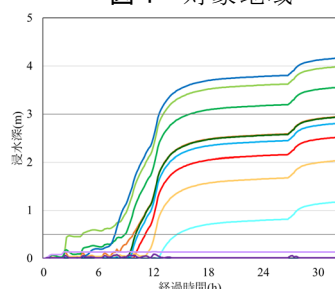
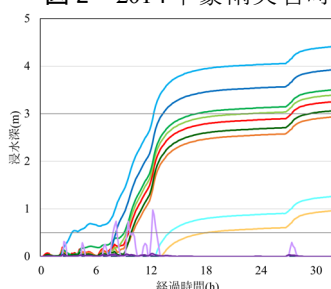


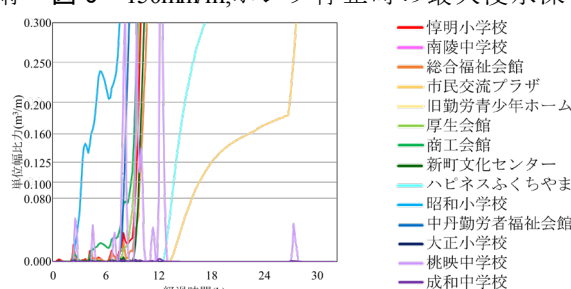
図3 150mm/hr,ポンプ停止時の最大浸水深



(a) 避難所の浸水深



(b) 前面道路の浸水深



(c) 前面道路の単位幅比力

図4 降雨 150mm/hr, ポンプ停止時の避難所の安全性

3. 安全避難に関する検討

本研究では、氾濫計算で得られた結果をもとに浸水時の危険度評価を行い、その結果から対象地域内における避難困難度を示した。さらに、避難困難度を考慮して避難所の安全性に関して検討を行った。避難困難度の評価には以下の式によって表される単位幅比力 M_0 を用いた。

$$M_0 = u^2 h / g + h^2 / 2 \quad (4)$$

ここに、 u ：流速(m/s)、 h ：水深(m)、 g ：重力加速度(m/s²)である。右辺の第1項は流体力、第2項は水圧を表している。避難困難度の評価には浅井ら³⁾による避難困難度指標を用いた。自力避難が最も困難である高齢女性が自力避難困難となるのは0.080m³/m、自力避難限界となるのは0.160m³/mである。

単位幅比力を用いた避難困難度の評価を行った結果、降雨量や排水ポンプの稼働状況に関わらず、南部が最も早く、次に北部や福知山駅南側で自力避難限界になることが示された。また、福知山市の一次広域避難所を対象とし、避難所の安全性を検討した。降雨 150mm/hr で排水ポンプが停止時の各避難所の浸水深と、避難所の前面道路の浸水深および単位幅比力の時間変化を図4に示す。桃映中学校は避難所の浸水は大きくはみられないが、前面の道路が自力避難限界に達するため、避難経路には十分注意する必要がある。解析結果より、福知山市における内水氾濫時には、南陵中学校、旧勤労青少年ホーム、大正小学校、成和中学校は浸水もなく、前面道路も安全であるため、避難所に適しているということが示された。

4. おわりに

本研究では、外水氾濫常襲地である福知山市を対象として内水氾濫解析を行った。降雨量や排水ポンプの稼働状況を考慮した全6ケースで解析を行い、対象地における避難所の安全性を検討した。この結果より、今後は下水道を考慮したより精度の高い氾濫解析や、外水氾濫が同時に発生した場合の検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 大西良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：地下空間浸水時の避難困難度指標とその適用，水工学論文集，第52巻，pp841-846，2008。
- 2) 川中龍児・石垣泰輔：避難困難度指標及び避難開始時期を考慮した洪水ハザードマップの検討，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68，No.4，I_1081-I_1086，2012。
- 3) 浅井良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：高齢者を含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関する検討，水工学論文集，第53巻，p859-864，2009。