

2018年西日本豪雨における 小田川の洪水氾濫プロセス

FLOOD PROCESS IN ODA RIVER DUE TO
THE 2018 WESTERN JAPAN HEAVY RAIN

篠原 麻太郎¹・二瓶 泰雄²
Asataro SHINOHARA and Yasuo NIHEI

¹正会員 修（工） 日本工営㈱（〒102-8539 東京都千代田区九段北1-14-6）

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

The western Japan heavy rain in 2018 caused huge flood in lower area of Oda River flowing near Mabi town, Kurashiki city, Okayama prefecture. This study aims to clarify the flood process in Oda River. For this, we conducted flood simulation using a coupled 1D and horizontally 2D hydraulic models for analyzing flows in rivers and flood plain, respectively. The results showed that high inundation depth and large rising-speed of the water level occurred due to a large amount of flooding water from breach points and the blockage effect of the levee in the tributaries of Oda River. It should be noted that the such a flood process affected the human damages in the flood disaster.

Key Words : 2018 Western Japan heavy rain, flood simulation, levee breach, Inundation, Oda River

1. はじめに

平成30年6月28日から7月8日にかけて、梅雨前線や台風7号の影響により、西日本を中心に広い範囲で記録的豪雨が発生した。この豪雨は気象庁により「平成30年7月豪雨」と名付けられたが¹⁾、一般には「西日本豪雨」と呼ばれることが多いため、本論文でも西日本豪雨と称する。この豪雨により、西日本を中心に被害が発生し、全国で死者237名、行方不明者8名の甚大な被害が発生した²⁾。この中でも、岡山県（死者・行方不明者69名）、広島県（同120名）、愛媛県（同31名）では突出した被害となった。

広島県や愛媛県では土砂災害による被害が主である一方、岡山県では、高梁川水系小田川の洪水氾濫が大きな被害をもたらした。その結果、岡山県倉敷市真備町を流れる高梁川水系小田川とその支川の複数箇所で堤防決壊が発生し、広範囲の大規模浸水被害が生じた。今次水害では5m以上の浸水深を記録すると共に、51名の死者が発生し³⁾、2000名以上の住民が孤立し、自衛隊等に救助された。洪水氾濫の大元である堤防決壊状況や要因は示されているが⁴⁾、洪水氾濫プロセスに関して不明である。

著者らは、小田川における洪水氾濫状況に関する詳細な現地調査を実施したが⁵⁾、観測結果のみでは最大の浸水深状況は把握できるものの、浸水プロセ



図-1 小田川と支川及び破堤地点マップ

スの時間的な推移は不明である。そこで本研究では、洪水氾濫シミュレーションに基づいて、今次水害における真備町における洪水氾濫過程の実態を明らかにすることを目的とする。ここでは、氾濫計算の効率化を図るために、河道部分と氾濫原部分を分けて取り扱うべく一次元計算と平面二次元計算を併用した氾濫解析モデルを用いる。この結果の妥当性を検証するために、浸水深などの観測値と計算値の比較を行う。また、得られた計算結果に基づいて、浸水域の時間的推移や浸水域における水位上昇速度を算出する。これらの結果に基づいて、真備町における死者51名という人的被害の要因の一端について検討する。

2. 小田川・支川の堤防被災状況について

研究対象サイトである小田川は高梁川の支川の一つであり、広島県神石高原町を発し、途中岡山県井原市、倉敷市等を東流し、高梁川の13km地点に合流している。流路延長は33km、流域面積は491km²である。図-1は、小田川とその支川の位置を示す。これより、小田川の支川としては、左岸側（北側）では末政川、高馬川、内山谷川、背谷川、大武谷川、右岸側（南側）では二万谷川、真谷川が存在している。同図中に示される堤防決壊箇所より、小田川の堤防決壊は2箇所（3.4kpと6.4kp）であり、いずれも左岸であること、さらに支川の合流点下流側であることが分かる（3.4kpは高馬川、6.4kpは内山谷川）。一方、支川に関しては、末政川3か所（0.4kp左岸、0.7kp左岸・右岸）、高馬川2か所（0.0kp左岸、0.1kp右岸）、真谷川1か所（0.5kp左岸）、大武谷川1か所（0.1kp右岸）であり、合計すると本川2か所、支川7か所であった。破堤幅は概ね50m前後であるが、末政川0.7kpでは左岸で110m、右岸で150mと突出している。なお、大武谷川は、高梁川水系小田川堤防調査委員会⁴⁾では決壊として扱われていないが、現地の堤防の侵食状況からここでは堤防決壊箇所に追加している。

堤防決壊の発生時刻⁹⁾としては、まず、最初に高馬川0.1kp右岸と末政川0.7kp右岸が7/7 0時頃に決壊した。その後、7/7 3時過ぎに小田川3.4kp左岸で決壊した。さらに、夜が明けた同日7時前後に末政川左岸側0.4kp、0.7kpが決壊した。このように、最初の堤防決壊から時間をかけて次々と堤防決壊すると共に、朝方にも決壊が発生した。

3. 氾濫シミュレーションの概要

小田川とその支川における氾濫状況を適切に考慮するために、小田川・支川の河道部を対象とする一

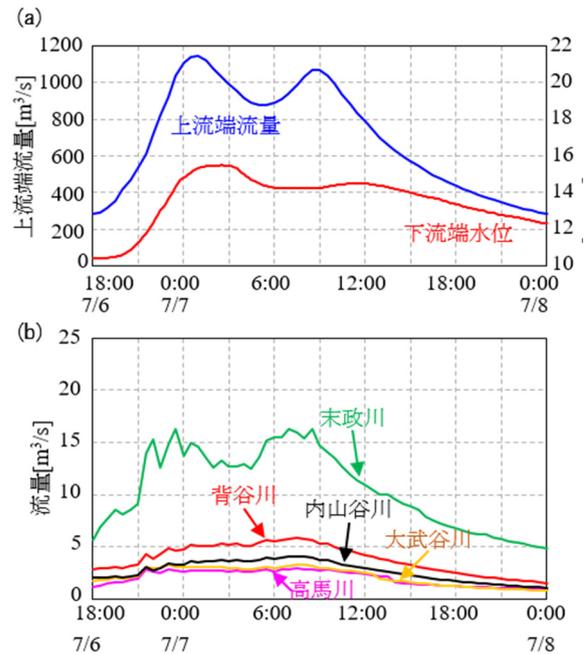


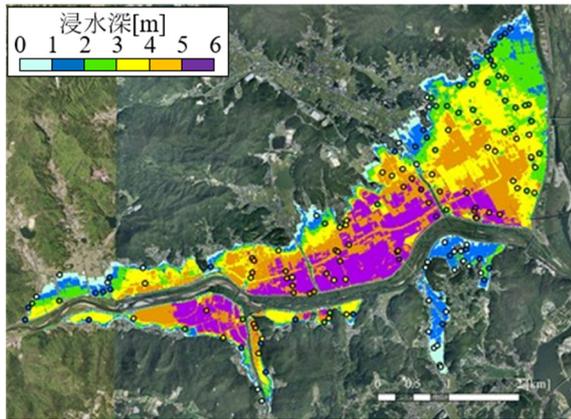
図-2 小田川(a)と支川(b)の境界条件の設定

次元計算と氾濫域の平面二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、2018/7/6 18:00～7/7 24:00である。本シミュレーションでは、汎用水理モデルMIKE by DHIに含まれる、一次元計算のMIKE11と二次元計算のMIKE 21および結合モジュールMIKE FLOODを用いた。

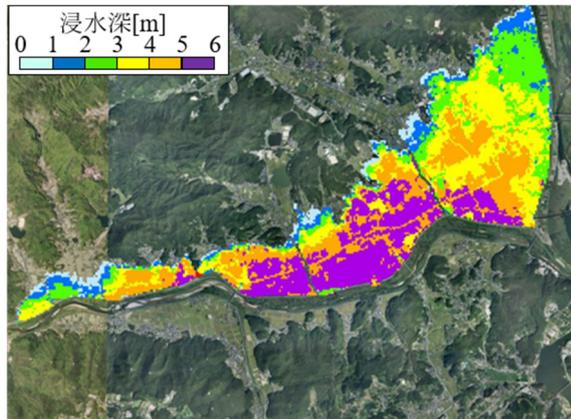
計算対象範囲は小田川左岸側の洪水氾濫範囲を含む東西9100m、南北6125mであり、平面二次元計算の格子間隔は南北・東西方向共に25mとした。また、一次元計算の対象領域は、小田川では高梁川合流点から0.8kp～9.6kp、支川として末政川（小田川合流点から0～3.3kp）、高馬川（同0～1.2k）、内山谷川（同0～1.0k）、背谷川（同0～0.8k）、大武谷川（同0～0.7k）である。氾濫域の地盤高と小田川断面データに関しては国土地理院の5mDEMを元に与えた。また、支川の断面データに関しては実測値を基に作成した。

表-1 小田川・支川における堤防決壊条件の設定

No	河川名	破堤地点	破堤幅 [m]	堤防高 [T.P.m]			
				2018/7/6 18:00	2018/7/7 0:00	2018/7/7 3:00	2018/7/7 6:30
1	小田川	3.4kp, 左岸	100	16.0	16.0	10.2	10.2
2	小田川	6.4kp, 左岸	50	17.2	15.5	12.0	12.0
3	末政川	0.4kp, 左岸	40	15.5	15.5	15.5	12.0
4	末政川	0.7kp, 左岸	110	15.4	15.4	15.4	12.0
5	末政川	0.7kp, 右岸	150	15.2	15.2	13.5	13.5
6	高馬川	0.0kp, 左岸	20	15.8	15.0	14.0	14.0
7	高馬川	0.1kp, 右岸	55	15.8	10.5	10.5	10.5
8	大武谷川	0.6kp, 右岸	30	16.9	15.0	15.0	15.0



(a) 観測値



(b) 計算値

図-3 最大浸水深の比較

図-2は小田川と支川において与えられた境界条件を示す。小田川では、下流端の水位は矢形橋における実測値を用いた。また、小田川上流端や支川の流量は、RRIモデル⁶⁾、⁷⁾により得られた解析結果を採用した。

氾濫解析において時々刻々の堤防決壊を簡便に表現するため、計算を一時停止し地形データを変化させ計算を再開する、という「ホットスタート」機能を用いた。具体的には、表-1に示すように、破堤推定時刻である7/7 0:00、3:00、6:30の計3回にわたり、堤防の地形（高さ）を変化させた。具体的には、小田川2箇所、末政川3箇所、高馬川2箇所、大武谷川1箇所にて与えた。これらの条件は、基本的に小田川堤防調査委員会⁴⁾を基にしており、破堤時刻に関しては著者らの取得データ⁵⁾より与えた。さらに、一部に関しては、後述の氾濫域の水位時間変化と一致するように、決壊幅や高さを設定した。

4. 結果と考察

(1) 本解析モデルの精度検証

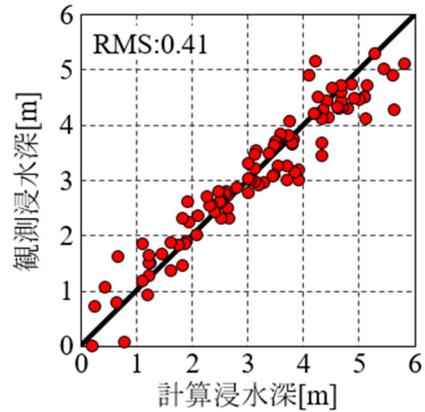


図-4 最大浸水深の観測値と計算値の相関図

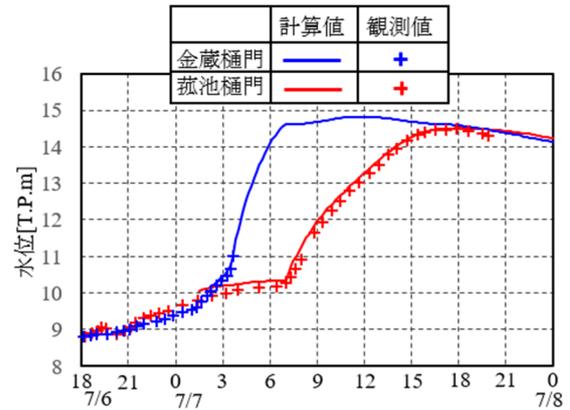


図-5 観測値と計算値の浸水位の時系列変化

本解析モデルにおける計算精度を検証するため、氾濫域における最大浸水深の観測値と計算値を図-3に示す。ここでの観測値は、RTK-GPSを用いて行った浸水深・浸水位調査（調査地点170点）を基に作成された最大浸水深のコンターである⁵⁾。これより、観測値に示されている小田川左岸における広範囲の浸水深パターンを、本シミュレーション結果は概ね再現している。浸水範囲のみならず、5mを超える大きな浸水深エリアも一致していることが分かる。これを定量的に比較するために、最大浸水深の観測値と計算値の相関図を図-4に示す。これより、水深に依らず多少のばらつきは見られるが、全体に最大浸水深の計算値は観測値と概ね一致している。これらの計算値と観測値の差のRMS値は0.41[m]であり、痕跡水位の計測精度を考慮すると、本シミュレーションは十分な計算精度を有していることが分かる。

次に、氾濫域における浸水位の時系列変化に関する観測値⁴⁾と計算値を図-5に示す。ここでは、末政川西側の金蔵樋門と同東側の菰池樋門（図-1）における結果を表示している。一部の観測値に欠測があることに注意されたい。これより、観測値と計算値の水位は、両地点とも一致しており、水位上昇のタイミングや水位ピーク値（菰池樋門のみ）に関して

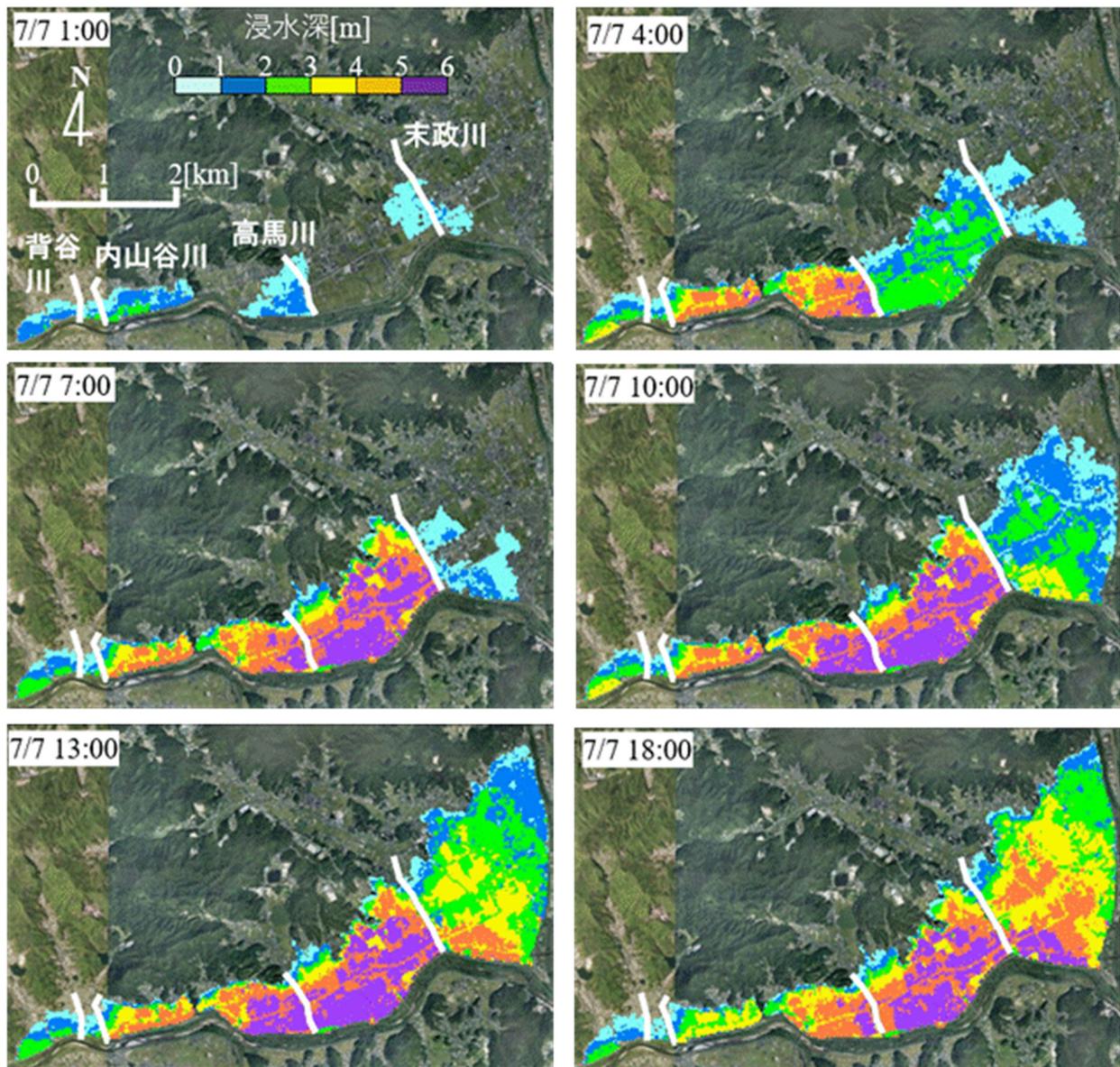


図-6 浸水深分布の時間的推移

は計算結果の再現性は良好であることが分かる。これより、本氾濫シミュレーションは概ね良好な計算精度であることが分かる。また、金蔵樋門と菰池樋門の観測水位に大きな差がある。すなわち、末政川西側の金蔵樋門では7/7 3時頃から水位が上昇し始めるのに対して、末政川東側の菰池樋門では約4時間遅れの7時頃から水位上昇が始まった。また、菰池樋門が位置する末政川以東では、水位のピークが7/7 17時頃に訪れていることが分かる。

(2) 浸水深分布の時間変化

本シミュレーション結果に基づく浸水深分布の時間変化を図-6に示す。まず、7/7 1時では、末政川や高馬川の周囲で浸水が始まるが、それらの浸水範囲はまだ決壊地点の周囲に限られ、浸水深も1m程度

である。また、小田川6.4k地点の決壊に伴い、対象範囲の西側で浸水が発生し、氾濫水は決壊地点から東側に進んでおり、一部で2mを超える浸水深となっている。

7/7 4時では高馬川西側で浸水深が5mを超えている。これは、小田川6.4kpからの氾濫水と高馬川0.1kp右岸からの氾濫水が合わさり、これらの氾濫水が高馬川堤防でブロックされ、高馬川西側で大きな浸水深となったものと考えられる。また、高馬川と末政川に挟まれた範囲が全域で浸水深し、浸水深が2mを越えている。これは、小田川3.4kpの決壊により浸水が始まった結果である。この時点では、末政川東側の浸水範囲は限定的である。

次に、7/7 7時では、高馬川と末政川に挟まれたエリアの浸水深が5mを越えており、短時間で水位が

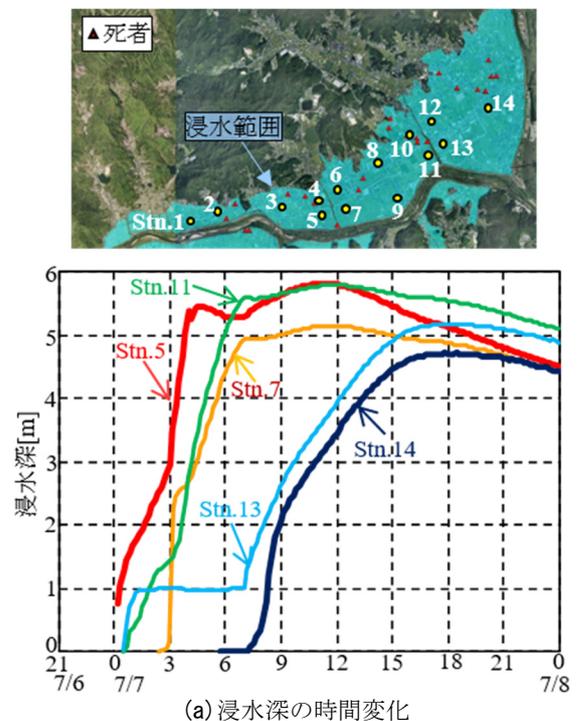
上昇したことが分かる。これは、小田川3.4kpからの氾濫水が両支川の堤防でブロックされて貯まった結果である。このように高馬川や末政川のような天井川からの氾濫では浸水深が大きくなるだけでなく、浸水深の上昇速度も非常に大きいことが伺える。また、この時刻では、末政川左岸2か所の堤防決壊の影響を受けて末政川東側にも氾濫水が広がっている。

その後の10時と13時では、高馬川西側や高馬川と末政川の間エリアでは浸水深が徐々に大きくなると共に、末政川東側では浸水範囲の広がりとともに、浸水深が大きくなっている。また、13時では、末政川東側における最終的な浸水範囲が概ね水没しており、最初の浸水（7/6 23時台）から約半日かけて全範囲が浸水したことになる。最後に、7/7 18時では、末政川東側では浸水深が増加し、末政川沿いでは5mを超えるエリアが見られる。また、末政川西側では、全体に浸水深は減少し始めている。この氾濫域の水位ピークは7/7の午後（13-18時）に現れた。

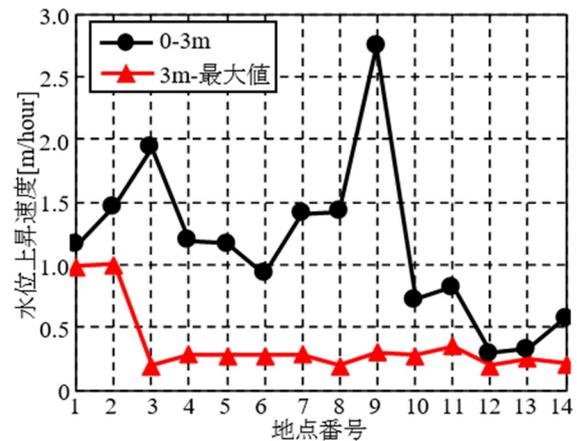
(3) 氾濫域の水位上昇速度

次に、氾濫域における水位の時間変動特性を検討するために、浸水深の時間変化を図-7(a)に示す。ここでは、同図上に示される地図上の地点のうち、高馬川西側(Stn.5)と高馬川～末政川の間(Stn.7, 11), 末政川東側(Stn.13, 14)の5地点にて得られた浸水深のシミュレーション結果を表示している。なお、ここでは、7/6 21時から7/8 0時までを図示しているが、対象地点の浸水は早くも7/7 0時から始まっている。これより、Stn.5では7/7 0時過ぎより浸水深が急激に増加しており、4時台には最初の水深ピーク(=5.44m)を迎えた。この0～3時の間では、末政川に近いStns.11や13においても末政川からの氾濫により浸水が始まっているが、水位上昇の傾きはStn.5と比べて小さい。次に、Stn.7に関しては、3時過ぎから本格的な浸水が始まり、6時までに水深は4.4mに達した。これは、末政川と高馬川に挟まれたエリアに、小田川左岸3.4kpにおける堤防決壊に伴う氾濫水が流れ込んだためである。また、Stns.13と14においては、7時過ぎから本格的な浸水深の上昇が始まっているが、そのタイミングは末政川に近いStn.13の方が相対的にStn.14よりも早い。このStns.13と14における水位上昇の傾きは他の3地点と比べて小さいなっている。これは、末政川東側の氾濫域の範囲が相対的に広いためである。

このように浸水深の時間変動状況が場所により異なる状況を定量的に比較するために、全14地点における水位上昇速度を算出した結果を図-7(b)に示す。ここでは、浸水深が「0-3m」と「3m-最大値」を対象とし、それぞれの水位差とその水位上昇にかかる時間の比より、水位上昇速度を求めている。また、



(a) 浸水深の時間変化



(b) 水位上昇速度

図-7 氾濫域における水位の時間変動特性

図中に地点の位置は、同図(a)に示すとおりである。まず、浸水深0-3mに関しては、末政川より西側(Stn.1-11)では0.73～2.74m/hour(平均1.36m/hour)、末政川東側(Stn.12-14)では0.30～0.57m/hour(平均0.40m/hour)であり、末政川西側の水位上昇速度は平均値で見ると東側の3.4倍の大きさとなっている。2015年の鬼怒川洪水時における同様な氾濫シミュレーションによると、水位上昇速度は最大で0.5m/hourであった⁸⁾。これより、水位上昇速度としては、末政川東側では鬼怒川洪水の最大値と同レベルであるが、末政川西側では最大では鬼怒川洪水の5倍以上の大きさとなっている。このように、今次水害における小田川の洪水氾濫の大きな特徴が、大きな浸水深であることに加えて、非常に大きな水位上昇速度であることが分かる。一方、3m-最大値における水位上昇速度は、地点の差が小さく、いずれも0.2～

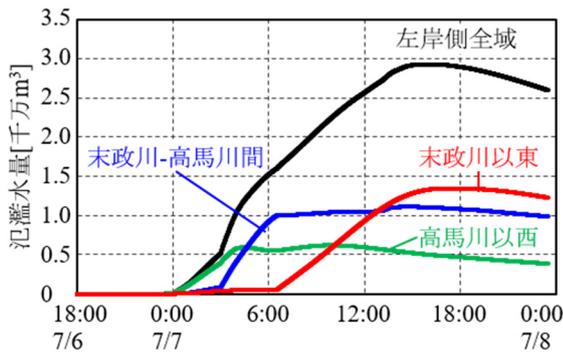


図-8 氾濫水量の時間変化

0.3m/hourである。建物1階の高さを3mとすると、今次水害では1階が水没するまでのスピードが非常に卓越していることになる。

小田川洪水氾濫による死者51名中43名が自宅で見つかり、うち42名が一階で発見された。42名のうち自宅が2階建てと1階建ては半々であったので³⁾、今回の水害では一階から二階への垂直避難すらできていないことになる。この大きな要因の一つとして、水位上昇速度が大きく一階から二階への避難もままならなかった可能性が考えられる。もう一つは、住民の高齢化が挙げられ、真備町の人口の年齢ピークは当時71才であったため、避難行動が困難であったものと推測される。

(4) 氾濫水量の収支

氾濫水の水収支を把握するために、氾濫水量の時系列変化を図-8に示す。ここでは、計算領域を、高馬川西側、高馬川～末政川、末政川東側と三分割し、それぞれ領域及びそれらの合計値の氾濫水量(体積)を表示している。これより、高馬川西側、高馬川～末政川、末政川東側の順に氾濫水量は増加しており、小田川の上流から下流に向けて氾濫水も移動している。一方、氾濫水量のピーク値は、末政川東側>高馬川～末政川>高馬川西側の大小関係となっていた。また、これらのピーク値と最大浸水深マップより算出された氾濫水量の観測値は概ね一致した(左岸側全域: 計算値2,926万 m^3 、観測値2,913万 m^3)。このような氾濫水量の増減には、破堤地点における氾濫水の流出だけでなく、氾濫域(堤内地)からの河道への流入も大きく影響している。特に、末政川右岸0.7kpの決壊地点では、流出量よりも流入量が大きく、その流入水は末政川東側へと氾濫していった。このように、今次水害では、本川小田川の決壊地点からの洪水氾濫に加えて、支川の堤防による氾濫水のブロックと決壊による洪水氾濫が、狭いエリアに大量の氾濫水をもたらし、急激な水位上昇を引き起こした。

5. おわりに

本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) 小田川からの洪水氾濫は、最初の浸水(7/6 23時台)から約半日かけて全範囲が浸水した。
- (2) 高馬川や末政川という支川の堤防により氾濫水がブロックされたため、5mを越える大きな浸水深が生じると共に、急激な水位上昇が発生した。
- (3) 水位上昇速度を求めた結果、最大で2015年鬼怒川洪水の5倍以上の大きさとなった。このような水位上昇速度は一階が水没する0-3mの範囲で顕著であった。
- (4) 今次水害における小田川の人的被害では、二階にすら避難できない事例が多く存在したが、その要因として、大きな水位上昇速度と住民の高齢化の可能性があることが指摘された。

謝辞: 本研究の一部は、公益財団法人 河川財団の河川基金助成事業及び、科学研究費補助金・基盤研究(A)(研究代表者: 二瓶泰雄)によって実施された。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁: 平成30年7月豪雨(前線及び台風第7号による大雨等), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/jyun_sokuji20180628-0708.pdf, 2018.
- 2) 内閣府: 平成30年7月豪雨による被害状況等について(平成31年1月9日現在), http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf (閲覧日: 平成31年4月1日)。
- 3) 岡山県「平成30年7月豪雨」災害検証委員会, <http://www.pref.okayama.jp/page/574750.html> (閲覧日: 平成31年4月1日)。
- 4) 国土交通省・高梁川水系小田川堤防調査委員会: <http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochosa.htm> (閲覧日: 平成31年4月1日)。
- 5) Y. Nihei, A. Shinohara, K. Ohta, S. Maeno, R. Akoh, Y. Akamatsu, T. Komuro, T. Kataoka, S. Onomura, R. Kaneko: Flood inundation in Oda River due to the western Japan heavy rain in 2018, *J. Disaster Research*, 2019(to be submitted).
- 6) 佐山敬洋, 岩見洋一: 降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用, 土木技術資料, Vol56, No6, pp.18-21, 2014.
- 7) 山崎大, 富樫冨佳, 竹島, 佐山敬洋: 日本全域高解像度の表面流向データ整備, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, pp.I_163-168, 2018.
K. Ohtsuki and Y. Nihei, "Evaluation of fast flood diffusion through a drainage channel: A flood disaster case study of Japan's Kinugawa River, September 10, 2015", *J. Water Resource and Protection*, Vol.9, pp.1063-1081, 2017. DOI: 10.4236/jwarp.2017.99070.

(2019. 4. 2受付)