2010年奄美豪雨の氾濫解析と 氾濫発生要因の検討

NUMERICAL ANALYSIS OF INUNDATION FLOW DUE TO HEAVY RAINFALL IN AMAMI OSHIMA ISLAND

橋本彰博¹・川井一輝²・田井明³

Akihiro HASHIMOTO, Kazuki KAWAI and Akira TAI

¹正会員 博士（工） 九州大学特任助教 大学院工学研究院環境社会部門（〒819-0394 福岡市西区元岡744）

²非会員 修士（工） 西日本電信電話株式会社（〒540-8511 大阪府大阪市中央区馬場町3-15）

³正会員 博士（工） 九州大学助教 高等研究院（〒819-0394 福岡市西区元岡744）

On October 20, 2010, a heavy rainfall event occurred in Amami region. A record-breaking heavy rainfall amount was observed and it caused overflow in the Sumiyo River. In this study, in order to clarify the characteristics of flood flows in the Sumiyo River Basin where observation data are insufficient, a field survey and numerical analysis were conducted. According to numerical analysis, the direction of inundation flow obtained from hearing investigations and flood level mark recorded in the Nishi-nakama district were reproduced by numerical results. These results suggest that numerical analysis using only rainfall dataset can reproduce inundation processes in the Sumiyo River basin in Amami Oshima Island on October 20, 2010. Furthermore, levee failure on the left hand side of the Hiya River accelerated the starting time of the water level rise in the Nishi-Nakama area. In addition, mangrove forests at the river mouth did not affect water level rise in the upper reach of the Sumiyo River.

Key Words : Heavy rainfall, inundation flow analysis, insufficient field data sets, Sumiyo River, Amami Oshima Island

1. はじめに

近年、気候変動によると考えられる集中豪雨が原因で引き起こされる災害が毎年発生している。特に、最近の水・土砂災害は上流部の比較的狭い流域に多量の雨が短時間に降ったことが要因となるケースが多く見られる。こうした流域の河川は主に地方自治体が管理する二級河川が多いため、災害発生時のデータが十分に整備されていないことが多い。災害の発生要因やメカニズムの解明には、現地調査に加えて詳細な検討ができる数値解析が適用される^{1), 2), 3)}。数値解析を実施するために必要となるのは、災害時の(1)河川水位データ、(2)河川流量データ、(3)降雨量データ、(4)河川横断面データ、(5)堤内地の地形データ、(6)土地利用状況等であるが、二級河川流域では特に(1)、(2)、(4)に不備が多く、また、(5)と(6)は解析に必要な解像度で整備されているとは限らないため、数値解析の実施が困難となっている。

2010年10月に発生した奄美豪雨災害は、近年気候変動によって増加が懸念されている異常降雨ならびに高齢者

図-1 奄美市住用町（西仲間地区・石原地区）

図-2 奄美市住用支所における1時間雨量

など災害弱者が多く居住する地域という、将来の我が国で発生頻度が増加すると予想される災害の特徴を有していると考えられる。よって、今回の奄美豪雨災害の特徴を詳細に調べることは災害適応策を講じる上で極めて重要である。本豪雨災害に関しては、現在までに聞き取り調査により多くの知見が得られている^{4), 5)}。しかしながら、二級河川でありかつ離島であることから氾濫解析に必要なデータが揃っていないため、定量的な解析は十分に実施されておらず、詳細な浸水過程などは不明なままである。そこで本研究では、様々なデータが不足している流域として奄美大島の住用川流域(図-1)を取り上げ、前述の聞き取り調査の結果⁴⁾を生かすことにより2010年10月の豪雨による洪水氾濫特性を解明することを目的に現地調査と数値シミュレーションを実施した。

2. 平成22年10月奄美豪雨による被害状況

(1) 奄美大島地区における被害概要

2010年10月20日、鹿児島県奄美大島で起きた集中豪雨は、降り始めからの累積降雨量が島内の4箇所(奄美市大熊、奄美市住用町、龍郷町長雲、龍郷町大勝)で800mmを超える記録的な大雨となった。特に住用川流域の奄美市住用町(図-1)では、130mmを超える1時間降雨量が11:00から13:00まで2時間継続されるという記録的な大雨であった(図-2)。その結果、奄美大島にある2級河川33河川中30河川が氾濫し、死者3名、床上浸水119棟、床下浸水767棟という甚大な被害を引き起こした。死者3名の内、1名は土砂崩れによるもの、残り2名は洪水によるものである。死者はいずれも高齢者で、特に洪水で死亡した2名はグループホームの入所者であった。

(2) 奄美市住用町西仲間地区における浸水過程と特徴

以下に2名の死者を出した住用川流域の住用町西仲間地区における浸水状況をまとめる(図-3)。

a) 浸水開始時

まず、冷川の北側において「泥水が山から流れてきた。」「道路が川のようにになっていた。」等の証言から、

図-3 聞き取り調査で得られた浸水過程(矢印は流れの向き、赤数字は家屋の浸水深(m)を表す)

猛烈な雨であったため(図-2)、土石流となって濁水が流れ込んだり、雨水が山地から直接流出して国道58号線に集まり流下してきたことが分かる。「11:00頃に自宅前の道路(冷川より北側)に水が流れてきて、11:30には水位がくるぶし程度の高さとなって、11:40には水位は腰程度の高さとなって家の中が浸水し始めた。」等の証言が多数あり、11:00~12:00の時間帯で、冷川より北側の多くの場所で床上浸水が起り始めたと考えられる。一方、冷川の南側では「国道を渡る時、流れがすごく速くて一人で歩くのは困難だった。」等の証言より、主に国道から流れ込んできた水によりまず浸水が始まったと考えられる。

b) 水位の急激な上昇

「12:00頃、建物の犬走りまで水が迫っていた。」、「12:25頃、一気に床上浸水した」というグループホーム職員の証言⁶⁾、「弁当を食べているとあつという間に水が増えた。」という住用支所職員、「12:30頃に室内の端末を移動させていたら一気に水が入ってきた。」との郵便局職員の証言、さらに、「12:30頃、水位が腰程度の高さから一気に水が増えた。」、「12:30頃に一気に水が押し寄せた。危機感を感じた。」という冷川より南側にいた人の証言から、12:30前後に冷川の南側で急激な水位の上昇があったことが分かる。ここで、冷川河口部(住用川合流部)の左岸側において破堤(破堤幅約20m)が確認されている。破堤の時間帯は不明であるが、上記の状況を考え合わせると12:30よりも前に破堤して河川水が堤内地に流入し、急激な水位上昇が起きたと考えられる。

図-4 計算領域の地盤高

図-5 土地利用と粗度係数（西仲間地区・石原地区）

3. 解析手法

対象とした住用川流域には水位計による河川水位の観測データが一切存在しない。そのため、計算結果の検証に必要な豪雨当日における住用川の流量および水位は不明である。また地形データについて、基盤地図情報（国土地理院）では堤内地の地盤高の特徴（道路（路地）や荒地、畑）が表現出来なかったため、独自に測量を実施して堤内地の地形データを取得するとともに土地利用状況を調査した。そして、総合支所に設置された雨量計のデータをもとに流出解析を行って河川上流端の流量を求め、これを境界条件として一次元不定流解析、平面二次元氾濫解析を実施し、住居の浸水痕跡高、住民からの聞き取り調査から得られた浸水過程を検証データとして結果の妥当性を検証した。

(1) 現地観測概要

現地調査は2010年12月23～24日、2011年1月21～24日、3月26～27日、12月17～20日、2012年2月6～7日の計5回実施した。調査内容は聞き取り調査、水位計測、地盤高の測量および土地利用調査である。調査領域は住用町西仲間地区および石原地区である。堤内地の地形データは数値解析の解像度を考慮し、10m程度の分解能で水準測量もしくはRTK-GPSを用いた標高の測量を行った。また、対象地域においてたんかん畑などの農地や荒地が所々に数多く存在するため、農地と荒地の詳細な土地利用状況を調べた。さらに、家屋に残っていた浸水痕跡高を一軒ずつ計測した。

(2) 数値シミュレーション概要

流出解析および一次元不定流解析にはMIKE11、平面二次元氾濫解析にはMIKE21を使用し、両者のカップリングにMIKEFLOODを用いた。

一次元不定流解析では、鹿児島県により被災後に実施された河道断面データを使用した。そのため、河床変動

の影響は考慮されていない。MIKE11では断面データを入力することにより水深と径深および断面積の関係が自動的に計算される。また、支川も同時に解析可能であり、ここでは流入河川として支流の冷川を考慮した。上流端の境界条件は住用川では河口から4.5km地点より上流域の流出解析から求められた河川流量を、下流端は奄美市小湊における潮位データをそれぞれ与えた。冷川も同様に上流域で流出解析を行って流入流量を求めた。

MIKE11では流出解析として複数のモデルが利用可能だが、ここでは流域面積が大きいこと（住用川流域で48.5km²）から、単位流量図法を選択した。流出係数は住用川0.75、冷川0.85とし、ラグタイムは1時間とした。さらに、住用川下流域にはマングローブ林が群生しており、これが洪水時に水位上昇を助長したのではないかと意見もあるため、マングローブ林の影響をマンニングの粗度係数に反映させることで計算に組み込んだ。

平面二次元氾濫解析について、本研究で対象とした住用川下流域は比較的小領域であり、市街化されているわけではなく、主に農地（たんかん畑）が占める過疎化した山間地であるため、直交格子を採用した。計算領域は発電所（35km上流地点）から石原地区までの1.6km×3.2kmの領域とし、計算格子幅は10mとした。地盤高のデータは現地で実施した測量結果を使用した。また、建物について、ここでは単純に周囲よりも地盤高を4m高くし、不透過として取り扱った。粗度係数についても現地で土地利用状況を確認し、道路：0.047、農地と建物：0.06、山と荒地：0.05とした。堤外地から堤内地への流入は越水と破堤を考慮した。越水による流入は本間の越流公式を用いて算出した。破堤の取り扱いについて、既往の研究⁷⁾により河川からの越水を考慮しない場合、グループホームにおいて浸水深が0.5mに達するのは破堤後約20分、郵便局では約35分後であることが示されている。ここでは直接聞き取り調査をした郵便局員の証言から破堤時刻を11:55に設定した。破堤に至る過程は不明のため、計算では破堤時刻に合わせて破堤箇所のメッ

シュを隣接する堤内地と同じ地盤高となるように設定した。破堤流量は一次元解析により得られた冷川水位から越流公式により計算された。また、山地から直接流入した雨水が初期の浸水(11:00頃)の要因と考えられることから、計算領域に図-2に示される時間雨量を与えた。

4. 結果と考察

(1) 西仲間地区の地形的特徴

地盤高測量および土地利用調査の結果をそれぞれ図-4、図-5に示す。冷川右岸側は東側の山地と国道(標高7m)に挟まれる形で、標高の低い所に住宅地が存在し、そこに水が溜まりやすい地形となっている。一方、総合支所などの公共施設が存在する冷川左岸側は、全体的に標高が冷川右岸側よりも低く、郵便局付近から住用川本川に沿って南東方向に水が流れる地形である。

(2) 一次元解析におけるパラメータの検討

住用川における最大水位の計算結果と50m毎に測定された水位痕跡高(鹿児島県提供)を併せて図-6に示す。マンニングの粗度係数を変化させて計算を行った結果、マンガロブ域(河口～1.15km)：0.045，1.2～2.4km地点区間：0.03，2.45～3.75km地点区間：0.04，3.8～4.5km地点区間：0.035とした時(各区間の間は線形補間)に最も良好な結果となった。

(3) 2010年10月奄美豪雨の再現計算

本研究では、家屋が多く存在し、被害が大きかった住用町西仲間地区の浸水状況について考察を行う。まず、現地調査から得られた痕跡水深(図-3参照)と計算結果の最大水深を比較した結果を図-7に示す。冷川の北側および南側において計算により得られた浸水深は痕跡水深とほぼ一致していることがわかる。

次に、浸水過程について考察する。氾濫解析により得られた浸水深のコンターを流速ベクトルと併せて図-8に示す。まず、1時間降雨量が最大(130mm)であった11:00～12:00では、多量の雨水が山地から直接流れ込み、冷川右岸側の水が溜まりやすい住宅地で浸水深が1mとなる箇所が発生し、床上浸水が起こり始める(図-8(a))。11:30になると冷川の左岸側で越水が生じて河川水が国道に流れ込み、総合支所付近で大きな流速が発生している(図-8(b))。避難勧告が発令された11:50では、グループホーム付近の浸水深は15cm程度であり、この時点ではまだ冷川左岸側の浸水被害はそれほど大きくない(図-8(c))。その後、破堤が生じると、冷川・住用川合流部付近の破堤地点から多量の河川水が一気に流入し始める一方、冷川右岸からも越水が始まる(図-8(d))。そして破堤後わずか30分の間に、郵便局やグループホーム付近で浸水深が1.0m以上となり、水位が短時間で急激に

図-6 一次元解析の計算結果(最大水位)と痕跡水位の比較(最大流量 $Q_p = 1063 \text{ m}^3/\text{s}$)

図-7 氾濫解析の計算結果(最大水深)と痕跡水深の比較

上昇していることがわかる(図-8(e))。13:30頃になると、グループホームや郵便局付近で浸水深が2mを越えている(図-8(f))。以上の結果を上述した聞き取り調査の結果(図-3)と比較すると、国道58号線から雨水が直接流入する現象は再現できていないものの、山の斜面から雨水が直接流出してくる初期の浸水過程、住用川および冷川からの越水と破堤が主要因となってからの水位上昇の時間帯や浸水方向は聞き取り調査結果を良好に再現している。

5. 洪水氾濫影響要因の検討

(1) 堤内地の急激な水位上昇

堤内地における急激な水位上昇の要因が破堤によるものであるか検討するために、破堤が生じない場合の氾濫解析を行った。その結果を図-9に示す。4.(3)で述べたように、破堤した場合は郵便局やグループホームにおいて破堤から30分の間に急激な水位上昇が起きているが、破堤を考慮しない場合には同時刻におけるグループホーム付近での浸水深は50cm程度であり、この時点ではまだ急激な水位上昇は起きていない(図-9(a))。2名の死者を出したグループホームにおいて、破堤が生じた場合と生じていない場合で浸水深の時系列変化を比較した結果

(a) 冷川右岸側で家屋が浸水 (11:00)

(b) 支所付近の国道58号で大きな流速 (11:30)

(c) 避難勧告発令時(11:50)

(d) 破堤直後(12:00)

(e) 水位が急激に上昇(12:30)

(f) 浸水深が2mを越える (13:30)

図-8 氾濫解析による再現計算結果（浸水深をコンター、流速をベクトルで示す。図中のUndefined Valueは水深0mを意味する。）

(a) 12:30の浸水状況（図-8(e)と同時刻）

(e) 浸水深が2mを越える (13:30)

図-9 破堤が生じない場合の計算結果（浸水深をコンター、流速をベクトルで示す。図中のUndefined Valueは水深0mを意味する。）

を図-10に示す。破堤する場合は破堤後30分（12:30）で浸水深が1mに達しているのに対して、破堤が生じない場合には住用川からの越水が起こる12:50までは大きな水位上昇は見られない。しかしながら、その後13:00頃になると住用川左岸から越水が生じて急激に水位が上昇し、13:30頃には浸水深が2mを越えて、最大浸水深は破堤した場合と同様の結果となった(図-9(b))。以上の結果から、最終的な浸水深は同じとなったが、急激な水位上昇が始まる時間が破堤によって早まったと推察される。グループホーム職員の報告⁶⁾によると、12:00頃に自主避難の防災無線を受けて河川の異変を確認していること、ホームからの避難準備を始めたのは12:15頃であることより、破堤しなければ約30分程度の時間の余裕が生まれた可能性がある。

(2) マングローブ林の影響

住用川下流域に群生しているマングローブ林が洪水時の水位上昇に及ぼした影響を調べた。この計算ではマングローブ林区間の粗度係数を河道と同じ0.03とすることでマングローブ林がない場合を再現した。計算結果を図-11に示す。この結果より、マングローブ林の影響は下流側のみに限られており、住宅地がある西仲間地区(1.75～2.4km区間)ではほとんど影響を及ぼしていないことがわかる。マングローブ林が群生している区間では河道幅が非常に広がるため、抵抗が大きくなってもそれ程水位上昇には影響を及ぼさないと考えられる。したがって、今回の水害においてマングローブ林は水位上昇には影響を及ぼしていなかったと推察される。

6. おわりに

本研究では、聞き取り調査の結果を生かすことで、様々なデータが不足している地域での氾濫特性を解明することを目的に現地調査と数値解析を実施した。その結果、河床変動、破堤の取り扱い等、今後検討すべき点はあるものの、雨水が山の斜面から直接流出する浸水初期や住用川からの越水と破堤が主要因となってからの浸水過程など、計算結果は定性的ではあるが聞き取り調査の結果が再現されており、水位痕跡高も概ね再現されていた。また、洪水氾濫要因を検討した結果、急激な水位上昇が破堤により約30分程度早まったこと、マングローブ林は河川上流側への水位上昇には影響を及ぼさないことが示唆された。

謝辞：本研究は、平成24年度環境研究総合推進費「S-8-2(2) 亜熱帯化先進地九州における水・土砂災害適応策の研究」の支援により実施された。ここに記して感謝の意を表します。

図-10 グループホームにおける浸水深の時間変化の比較

図-11 マングローブ林が水位上昇に及ぼす影響

参考文献

- 1) 川池健司, 中川一, 市川温, 丸山寛起: 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, 水工学論文集, 第51巻, pp.535-540, 2007.
- 2) 秋山壽一郎, 重枝末玲: 河道・氾濫原包括解析による氾濫流量の評価と市街地破堤氾濫解析, 土木学会論文集B, vol.63, No.3, pp.224-237, 2007.
- 3) 藤田一郎, 伊藤崇博: 平成21年8月兵庫県佐用町河川災害における氾濫解析と避難行動判断基準に関する研究, 河川技術論文集, vol.17, pp.431-436, 2011.
- 4) 田井明, 橋本彰博, 押川英夫, 小松利光: 2010年10月奄美大島豪雨時の住用川流域の洪水と住民行動に関する調査, 河川技術論文集, vol.17, pp.437-478, 2011.
- 5) 安永文香, 林博徳, 大槻順朗, 佐藤辰郎, 立道大伸, 島谷幸宏: 2010年10月奄美大島豪雨時の氾濫特性と住民行動, 河川技術論文集, vol.18, pp.511-516, 2012.
- 6) 徳州会グループホームページ: http://www.tokushukai.or.jp/syakai_kouken/calamity/result/domestic/amami2010/wadatsumi01.html
- 7) A. Hashimoto, A. Tai, K. Kawai and T. Toshimitsu: Characteristics of Aamami Oshima Island heavy rainfall disaster in October 2010, Proceedings of 2013 IAHR World Congress, A11921 (USB), 2013.

(2014. 9. 30受付)