

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：23201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18120

研究課題名(和文) 領域気象・洪水統合モデルを用いた可能最大洪水氾濫の推定 - 新しい洪水リスク評価 -

研究課題名(英文) Evaluation of Probable Maximum Hydrodynamic Force of Flood Inundation Based on Hydro-climate Model

研究代表者

呉 修一 (Kure, Shuichi)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：00646995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、平成27年関東・東北豪雨で甚大な被害が生じた鳴瀬川水系渋井川を対象として可能最大洪水の浸水深、流速、流体力を算定した。可能最大洪水の推定には、1) 領域気象モデルのシフティング技術、2) 再解析雨量のシフティング技術、3) 過去の実績洪水比流量の援用、3つの手法を用いて河川流量を算定した。更に洪水氾濫計算条件として、堤防決壊箇所、決壊幅、決壊時間等に複数シナリオを想定するとともに氾濫域の地表面粗度係数も複数パターンで計算を実施した。上記より得られる浸水深、流速、流体力の最大値を可能最大洪水氾濫として算出し、最悪の状態を想定した新しい洪水ハザードマップとして、可能最大流体力を示した。

研究成果の概要(英文)：A heavy rainfall on September 11, 2015 resulted in flooding and landslides in Miyagi Prefecture of Tohoku Region, Japan. Especially, flood inundation damages caused in the Shibui River, one of the tributary of Naruse River, was severe. In this study a rainfall runoff and flood inundation model was applied to the Shibui River in order to reproduce the flood situation in the river. In addition, probable maximum flood and hydrodynamic force of flood inundation were evaluated based on numerical experiments under the several scenarios. Numerical simulation results showed that the probable maximum hydrodynamic forces of flood inundation at the target area were not so larger as to result in sever damages of around houses under the considered conditions in the study. However, maximum inundation depths larger than 2.4 m were computed in some areas, and those areas are need to be considered as high risk zones.

研究分野：水工学

キーワード：可能最大降水量 可能最大流量 可能最大洪水氾濫 流体力 洪水氾濫モデル 領域気象モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 背景

地球温暖化などに伴う気候変動により、洪水や濁水などの極端現象の増加が現実問題として進行している。近年日本では2013年の山形豪雨、島根・山口豪雨や伊豆大島の土砂災害が生じ、2014年8月の広島豪雨による土砂災害が大きな衝撃として記憶に新しい。山形では、2014年7月にも最上川水系吉野川で豪雨災害が生じ、2年連続の洪水氾濫が発生した。しかしながら、申請者らが実施した現地調査では、過去にこのような洪水被害が生じた事例は無いと、多くの住民が驚かされていた。また、2013年島根・山口豪雨では、既存のハザードマップの浸水深を大きく超える浸水が生じるなど、『想定外』の洪水被害が生じている。

このような想定外という言葉は、東北地方太平洋沖地震津波被害の後に多用された言葉であり、現在の津波防災では、リスクの過小評価をしないよう、多くの要素を複合的に考慮した最大リスクの想定や、対応策等が検討されている。このような想定規模・設計規模を超える水災害の解析・評価は、津波のみならず豪雨・洪水事象に対しても重要な課題である事は、上記した近年の豪雨災害事例より明らかである。また、昨今の洪水氾濫では避難所等への水平避難よりも、屋内待機や2階への垂直避難のほうが危険は少ない可能性が指摘されており、どの程度の洪水で家屋の全壊や流出が生じるか等、災害の種別や規模に応じた避難行動の整理が求められている。よって、洪水規模に応じて、浸水深のみならず氾濫水の流速や家屋に働く流体力・抗力等も算定することが重要となり、生じえる最大規模の洪水氾濫を算定する事はこの観点からも極めて重要である。

(2) 既往研究

水工学・気象学の分野では、流域に降り得る可能最大降水量(PMP:Probably Maximum Precipitation)を算定する試みが従来から多くなされている。例えば、申請者(Ohara・Kavvas・Kureら、2011)らは、領域気象モデルを用い過去の気象事例の外力を空間的にシフトする『シフティング技術』を用いることで、地形性降雨や水蒸気の流入の空間的な変化で生じる流域のPMPを算定し、PMPには流域の上限値が存在する事を明らかにしている。荒川・寶(2013)は、レーダ雨量データを用いたDAD解析から主要洪水の包絡線を作成する事で、熊野川流域の可能最大降水量および可能最大洪水流量(PMF:Probably Maximum Flood)を算出している。

このようにPMP、PMFを算定するための取り組みがなされているが、既往研究の多くはPMPの算定のみであり、PMFが算定された事例は少なく、可能最大洪水氾濫(PMFI:Probably Maximum Flood Inundation)は全く算定されていない。

2. 研究の目的

上記した背景のもと研究が進められた後、水防法の改正が2015年5月20日に公布、11月19日に完全施行され、現行の洪水に係る浸水想定区域について、想定し得る最大規模の洪水に係る区域に拡充して公表することとなった。更に2015年9月関東・東北豪雨では鬼怒川の決壊など極めて多くの洪水氾濫が生じた。

このような想定外の事象を事前に想定するため、過去の豪雨事例からPMP、PMFおよび可能最大洪水氾濫(PMFI)を算定する事は非常に重要かつ喫緊の問題である。よって本研究は、領域気象モデルを用い気象場を動的にダウンスケーリングするとともに、外力(初期・境界条件)を空間的に変化させる『シフティング技術』を適用する事で、PMPの算定を行う。算定されたPMPを入力値として降

雨流出・洪水氾濫モデルを適用し、PMF と PMFI を算定する事を本研究の目的としている。

対象流域は、2015 年 9 月関東・東北豪雨で洪水氾濫被害が生じた、鳴瀬川水系多田川支川の渋井川（流域面積：18.6 km²）である。

3. 研究の方法

(1) 対象流域

渋井川は鳴瀬川水系多田川の支川で、流路延長 7.88 km、流域面積約 18.6 km² の県管理河川である。図-1 に渋井川、多田川、鳴瀬川の位置関係および 2015 年 9 月洪水時の堤防決壊箇所を示す。



図-1 渋井川、多田川、鳴瀬川の位置（国土地理院画像(2015)に加筆）

渋井川では、9 月 10 日から 11 日にかけて線状降水帯に起因する強降雨により、3 箇所堤防決壊が生じた。渋井川の決壊に伴い 2,100 ha の浸水が生じ床上浸水 399 棟、床下浸水 150 棟の被害が生じ、176 人がヘリコプターやボートで救助された（呉ら、2016）。

堤防の決壊は現地調査および数値計算より浸透破壊と結論づけられている。また、渋井川の水位上昇は合流部背水効果に伴い多田川、さらには鳴瀬川の水位上昇の影響を強く受けていた。

(2) 降雨流出・洪水氾濫モデルの概要

降雨流出モデルは、呉ら(2016)の土壌・地形

特性に基づく降雨流出計算手法を適用している。本モデルはサブ分布型の降雨流出モデルであり、河道部の洪水追跡には 1 次元不定流計算が用いられる。河川横断面形状は宮城県河川課および国土交通省東北地方整備局から提供されたものを使用している。

降雨流出モデルから算出される流域からの流出量を横流入量として河川・洪水氾濫が計算される。洪水氾濫計算は以下の式(1)-(3)を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 - h^2} \\ - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 - h^2} \\ - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 τ : 底面せん断応力、 p : x 方向流量フラックス、 q : y 方向流量フラックス、 C : 粗度係数、 ρ_w : 水の密度、 ζ : 水位、 h : 水深、 g : 重力加速度である。

堤内地の標高データは、国土地理院の 5 m メッシュ標高データを使用するとともに、マニングの粗度係数は家屋域が 0.06、田・その他を 0.04 として計算している。

洪水氾濫流の流体力は以下の式(4)を用いて算定している。

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho u^2 h \quad (4)$$

ここに、 F : 単位幅抗力 [kg/s²]、 C_D : 抗力係数、 ρ : 水の密度 (1000 kg/m³)、 u : 流速 [m/s]、 h : 水深 [m] である。抗力係数は可能最大流体力の算定が本研究の目的であるため、1.0 の値を用いた。

4. 研究成果

(1) 可能最大洪水の算定

可能最大降水量の推定には、1) 領域気象モデルのシフティング技術、2) 再解析雨量のシフティング技術の2つの手法を適用した。しかしながら、1)、2)の気象場のシフティングを実施した適用結果では、対象洪水イベントでは降水量の差異が流域平均雨量で50mm程度しか生じなかった。これは、対象洪水イベントが線状降水帯による豪雨イベントであったため、既に対象領域で局地的に大きな降水が観測されていたためと考えられる。よって本研究ではPMFを椿ら(2016)にならい、角屋・永井(1979)の最大洪水比流量包絡式(5)を用いて算定することにした。

$$q = KA^{-0.06} \exp(-0.04A^{0.45}) \quad (5)$$

ここに、 q : 洪水比流量[m³/sec/km²]、 A : 流域面積[km²]、 K : 地域係数である。対象流域(東北地方)における地域係数は26.0である。これにより既往最大の洪水流量が算定可能となる。

式(5)は、複数流域のDD式やDAD式を整理し、その包絡線と合理式を関係付けることでピーク流量の式形が導出されている。係数は過去の多くの出水情報から決定されている。本式を用いることで東北地方河川の流域面積から最大クラスの洪水流量を算定することが出来る。

(5)式を用い渋井川および周辺河川のPMFを算定した結果、ピーク流量は渋井川308m³/s、名蓋川380m³/s、渋川564m³/s、多田川1722m³/sと算定された。このピーク流量を2015年洪水時の各河川流量の時系列と関連づけることで、PMFの時系列を作成した。本ハイドログラフ群を用い河道部における洪水追跡計算を行った結果を図-2に示す。洪水氾濫計算は行っていない点に注意されたい。図-2はPMF時および2015年9月洪水時の渋井川若木橋地点(多田川合流部から1km

上流地点)における水位の時系列である。計算水位が堤防高を越えていることから、2015年9月洪水では堤防越流が生じなかったが、PMF時には水位が堤防高を超過するという結果となった。

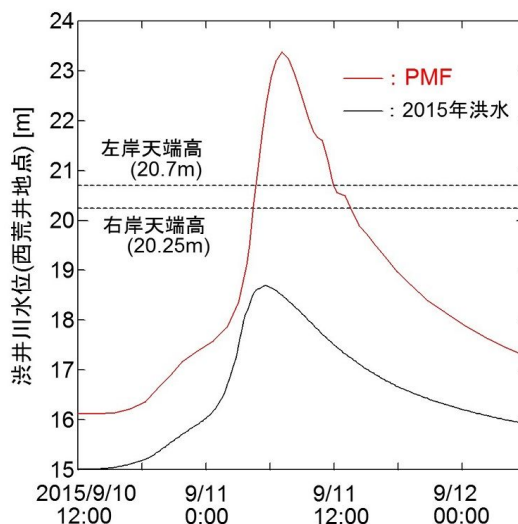


図-2 渋井川西新井地点におけるPMFおよび2015年洪水時の水位時系列

(2) 可能最大流体力の算定

PMF時に起こりえるPMHFを算定することで家屋の大破・流失等が生じる可能性を検討する。これにより、事前の水平避難が必要か、事前避難できなかった場合は垂直避難で対応可能かの検討において有益な知見が提供可能となる。

本研究ではPMHFを算定するため、12Caseのシナリオを用意し各シナリオの最大値を各計算グリッドで抽出した。Caseおよび計算条件の詳細に関しては呉ら(2016)を参照されたい。

本研究は渋井川を対象としているため、水位上昇時に浸透破壊が生じ堤防決壊が逐次拡大していくという状況を想定している。よって、上流側での溢水や右岸側での堤防決壊は想定していない。左岸側の浸透破壊が生じた堤防決壊箇所にも可能最大洪水流量が集中して洪水氾濫を増大させるという状況を想

定している。

再現計算で使用した堤防決壊条件を基準 (Case 1) とし、3 決壊地点の決壊幅を 2 倍、3 倍、4 倍とした Case (Case 2 - 4)、堤防決壊速度を 2 倍、3 倍、4 倍とした Case (Case 5 - 7)、決壊箇所数を 1 - 3 箇所追加した Case (Case 8 - 10) および基準 Case (Case 1) の氾濫域のマニングの粗度係数を 0.5 倍および 1.5 倍した Case (Case 11, 12) でシナリオは構成されている。全 12 Case の計算を行い最大の流体力を抽出した。

図-3 に可能最大流体力の分布を示す。越村・萱場(2010)によると、家屋流失の基準となる流体力は 20 kN/m である。図-3 に示すよう 20 kN/m の流体力は堤防決壊付近でしか生じていないことがわかる。これは渋井川の流域面積が小さく流量が小さいことと、平坦な地形に伴い大きい流速が出にくい状況に起因する。よって、渋井川を対象とした場合、計画規模を大きく超過する可能最大洪水クラスの洪水が生じても家屋流失・大破が生じるような可能性は小さいといえる。

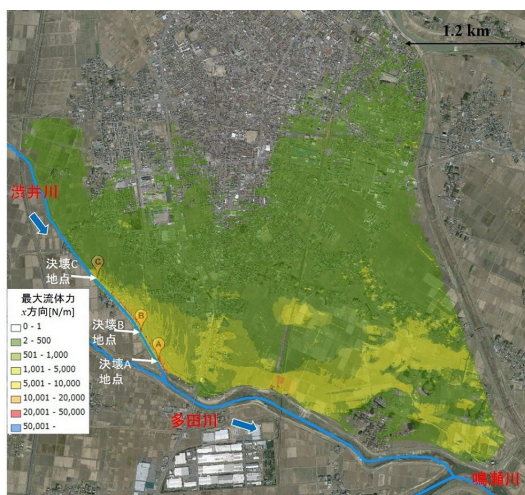


図-3 可能最大流体力(x 方向)の空間分布 (A,B,C は決壊地点)

しかしながら、図-4 に 2015 年 9 月の実際の浸水深と今回算定した最大浸水深の分布を示す。佐藤ら(1989)によると、浸水深 2.4 m 以上から家屋に浮力の作用が生じ流失しや

すくなること、平屋建てでは 2.4 m で水没してしまう可能性が高いことが指摘されている。よって、図-5 中で水深 2.4 m 以上の浸水が見込まれる家屋周辺は危険度の高い地域と考えられる。

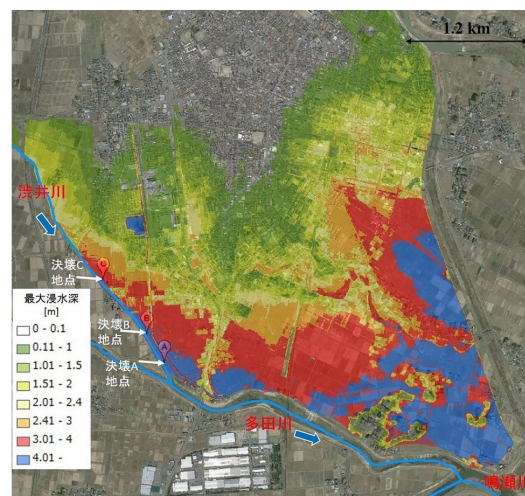
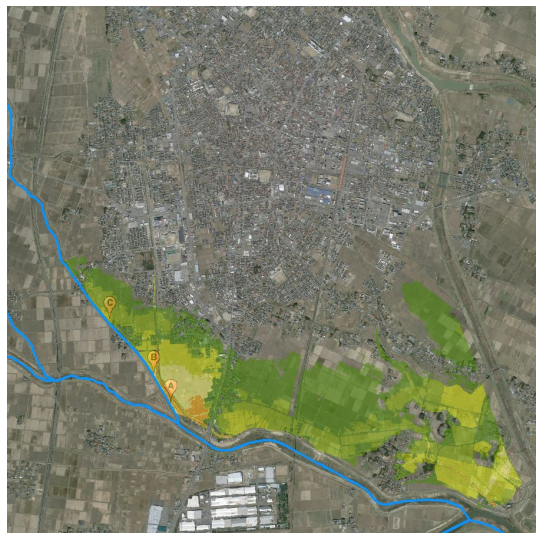


図-4 2015 年 9 月関東・東北豪雨時の最大浸水深分布 (上図) および可能最大浸水深の空間分布 (下図) (A,B,C は決壊地点)

(3) まとめ

本研究は、2015 年 9 月に発生した渋井川洪水氾濫を降雨流出・洪水氾濫モデルを用い再現するとともに、可能最大洪水・流体力を算定したものである。

渋井川の今回の洪水では堤防越流は生じなかったが、可能最大クラスの洪水が発生した場合、堤防を越流する可能性が高いことが

明らかとなった。本研究で設定した条件の範囲では、可能最大洪水氾濫が生じた場合でも可能最大流体力は堤防決壊付近以外では低い値を示し、家屋の全壊・流失が生じる可能性は小さい。しかしながら、家屋周辺で浸水深 2.4 m を超える箇所は浮力の作用等も考えられ事前の水平避難が必要不可欠であることが確認された。

以上、本研究では可能最大洪水氾濫・流体力という新しい観点を導入することで、事前の水平・垂直避難の判断に有益な知見を与えるための一連の流れを示すことが出来た。

「引用文献」

荒川英誠，寶 馨：レーダー・アメダス解析雨量を用いた地域別最大雨量の評価，河川技術論文集，Vol. 14, pp.181-186, 2008.

Ohara, N., Kavvas, M.L., Kure, S., Chen, Z.Q., Jang, S. and Tan, E.: Physically Based Estimation of Maximum Precipitation over American River Watershed, California, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.16, No.4, pp.351-361, 2011.

国土地理院：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の情報，(渋井川)9月12日に撮影した空中写真の概要

<http://www.gsi.go.jp/common/000107326.pdf>

(2017年6月8日アクセス)

呉修一，林晃大，森口周二，堀合孝博，田中仁，2015年9月渋井川洪水氾濫を対象とした可能最大流体力の算定，河川技術論文集，Vol.22, pp. 297-302, 2016.

椿 涼太，河原能久，塚井誠人：中山間地域における計画規模を越えた降雨による洪水氾濫被害特性，土木学会論文集B1（水工学），Vol.72, No.1, pp.11-25, 2016.

角屋 睦，永井明博：洪水比流量曲線へのアプローチ，京都大学防災研究所年報，Vol. 22B-2, pp. 1-14, 1979.

越村俊一，萱場真太郎：1993年北海道南西沖地震津波の家屋被害の再考 - 津波被害関

数の構築に向けて - ，日本地震工学会論文集，Vol. 10, No.3, pp.87-101, 2010.

佐藤 智，今村文彦，首藤伸夫：洪水氾濫の数値計算および家屋被害について -8610号台風による吉田川の場合-，水理講演会論文集，Vol.33, pp.331-336, 1989.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

呉修一，林晃大，森口周二，堀合孝博，田中仁，2015年9月渋井川洪水氾濫を対象とした可能最大流体力の算定，河川技術論文集，Vol.22, pp. 297-302, 2016. (査読有)

呉修一，森口周二，佐藤翔輔，有働恵子，地引泰人，近年の東北地方豪雨災害の概要と減災に向けた今後の取り組み，東北地域災害論文集，Vol.53, pp.199-204, 2017. (査読無)

杉井伸之，**呉修一**，有働恵子，H27年東北豪雨に伴う渋井川の洪水氾濫計算，東北地域災害論文集，Vol.52, pp.55-60, 2016. (査読無)

〔学会発表〕(計2件)

呉修一：中小河川を対象とした可能最大洪水氾濫の推定とその不確実性，平成28年度土木学会全国大会，II-122，東北大学キャンパス，9月7日-9日2016.

杉井伸之，**呉修一**，有働恵子：H27年東北豪雨に伴う渋井川の洪水氾濫計算と氾濫流の流体力評価，土木学会平成27年度東北支部技術研究発表会，-110，2016.

6. 研究組織

(1)研究代表者

呉修一 (KURE, Shuichi)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：00646995