

## H27年東北豪雨に伴う渋井川の洪水氾濫計算\*

東北大学工学部 杉井伸之  
 東北大学災害科学国際研究所 呉 修一  
 東北大学災害科学国際研究所 有働恵子

### 1. はじめに

H27年9月9日から11日にかけて、台風17号、18号の豪雨の影響で鳴瀬川水系渋井川の堤防決壊に伴う洪水氾濫が大崎市古川西荒井地区で生じ、住宅の床上・床下浸水や農地の冠水などの大きな被害が生じた。土木学会の平成27年9月鳴瀬川水系渋井川豪雨災害調査報告<sup>1)</sup>によると、渋井川と多田川の合流部の背水効果により、渋井川の水位が上昇し堤防が浸透破壊したものと推測されている<sup>1)</sup>。本洪水氾濫による建物の大破や流出等の甚大な被害は生じなかった。しかし今後本洪水よりも大きい洪水が起り、氾濫による被害が出る可能性を検討する事は極めて重要である。

本研究では渋井川の洪水再現計算を実施することで洪水氾濫メカニズムを評価するとともに、可能最大洪水を評価することを目的とする。

### 2. 研究手法

鳴瀬川は宮城県の中北部に位置しており、本研究の対象流域は鳴瀬川(下中の目～三本木橋)、多田川、渋井川、名蓋川、渋川である。渋井川、名蓋川、渋川は一級河川鳴瀬川水系多田川の支流であり、流域面積はそれぞれ約16.1 km<sup>2</sup>、20.5 km<sup>2</sup>、32.4 km<sup>2</sup>である。西荒井地区は水田、建物用地が土地利用の大部分を占め、勾配がほとんど無い平坦な地区である。渋井川洪水によって生じた破堤地点は3ヶ所あり渋井川多田川合流部よりそれぞれ200 m、600 m、1400 mであり決壊幅は40 m、15 m、17 mであった。

可能最大洪水とは物理的に起こり得る最大流量の洪水の事である。可能最大洪水の算定については角屋・永井<sup>2)</sup>による手法を利用する。これは、過去の降水データに基づいて、地点雨量の継続時間別の最大値であるDD式や、集水面積の大きさや降雨分布を踏まえたDAD式を整理し、その包絡線をもとに、合理式と関係付け、ピーク流量の式形を誘導し、観測値を利用して係数を決定したものである。



図-1 対象流域

\*Flood Inundation Simulation of Shibui River on September, 2015, Nobuyuki Sugii, Shuichi Kure, and Keiko Udo

本手法は気候変動の影響を考慮できてはいないが、可能最大洪水を容易に算定できる利点を持つため、本研究で用いる事にした。

本研究で試用する角屋・永井（1979）による最大洪水比流量包絡式を以下に示す。

$$q = KA^{-0.06} \exp(-0.04A^{0.45}) \quad (1)$$

ここに、 $q$ ：洪水比流量[m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>]、 $A$ ：流域面積[km<sup>2</sup>]、 $K$ ：地域係数である。ここで、対象流域における地域係数は 26 である。

### 3. 降雨流出・洪水氾濫モデルと本論文で使用したデータ

本研究で使用する洪水氾濫計算には、降雨流出計算、河道部の洪水追跡計算、氾濫域における洪水氾濫計算の 3 つのモジュールが存在する。対象出水は、2011 年 9 月 20 日から 23 日までの出水データを用いキャリブレーションを行い、2015 年 9 月 10 日から 13 日までの洪水に適用する。これは 2015 年の出水データには渋井川観測水位データが存在しないため、モデルの流域パラメータを 2011 年出水データでキャリブレーションする必要があったためである。

#### (1) 降雨流出計算

降雨流出計算は流域雨量を入力値とし、Kinematic Wave<sup>3)</sup> 法に基づき降雨流出量を算定した。運動則(1)と連続式(2)を単位幅流量について整理し、相似則を用いると流出高に関する常微分方程式(3)が導出できる。

$$v = \alpha h^m, \quad q = \alpha h^{m+1} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r(t) \quad (3)$$

$$\frac{dq_*(t)}{dt} = a_0 q_*(t)^\beta (r(t) - q_*(t)) \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{k_s i}{D^{\gamma-1} w^\gamma} \quad (5), \quad \beta = \frac{m}{m+1} \quad (6), \quad a = (m+1)\alpha^{\frac{1}{m+1}} \quad (7), \quad a_0 = (m+1)\alpha^{\frac{1}{m+1}} L^{\frac{-1}{m+1}} \quad (8)$$

ここに、 $v$ ：断面平均流速[mm/h]、 $h$ ：水深[mm]、 $q$ ：単位幅流量[mm<sup>2</sup>/h]、 $r$ ：有効降雨強度[mm/h]、 $q_*$ ：流出高[mm/h]、 $\alpha$ 、 $m$ ：流出パラメータ、 $D$ ：表層土層厚[mm]、 $k_s$ ：飽和透水係数[cm/s]、 $L$ ：斜面長[m]、 $w$ ：有効空隙率、 $\gamma$ ：土壤の透水性を表す無次元パラメータ、 $i$ ：斜面勾配である。

入力降雨は気象庁解析雨量を用いる。

#### (2) 河道部の洪水追跡計算

降雨流出量を各河川への横流入量とし、一次元不定流計算を行い、水位、流量を算定した。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_1 \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial t} = gA \frac{\partial(h+z)}{\partial x} - \frac{gn^2 |Q|Q}{R^{4/3} A} \quad (10)$$

ここに,  $A$  :断面積,  $g$  :重力加速度,  $Q$ :流量,  $n$ :河道部のマニングの粗度係数,  $q_I$ :横流入量,  $u$ :流速,  $R$ :径深,  $h$ :水深である. この計算においては, 河川横断面は渋井川, 多田川, 鳴瀬川を用い, 初期条件として全河川水深 0.005 m, 境界条件として渋井川, 名蓋川, 渋川での降雨流出量, 觀測水位を多田川上流端, 鳴瀬川上下流端に与えた.

### (3)洪水氾濫計算

二次元不定流計算を行い, 堤内地における氾濫流の流速や水深を算定した.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 - h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 - h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] = 0 \quad (13)$$

ここに,  $\tau$ :底面せん断応力,  $p$ :流量フラックス,  $C$ :粗度係数,  $\rho$ :水の密度,  $\zeta$ :水位,  $h$ :水深である. この計算では 10m×10m の計算格子を設定し, 対象流域付近の 10m メッシュ標高データを与えた. 算定した流速, 水深から氾濫流が家屋に与える力である流体力を(14)式で算定する.

$$F = \frac{1}{2} C_D u^2 h \quad (14)$$

ここで,  $F$ :単位幅抗力 [kg/s<sup>2</sup>],  $C_D$ :抗力係数 1.0,  $\rho$ :水の密度 [1000kg/m<sup>3</sup>],  $u$ :流速 [m/s],  $d$ :水深 [m] である.

## 4. 計算結果

### (1)2011 年洪水イベントの計算結果

2011 年降雨流出・洪水追跡計算結果を図-2 に示す. 図-2 は 2011 年イベントの渋井川若木橋地点における渋井川解析雨量と計算流量の時系列である. 降雨のピーク時間は 21 日 21 時ころでありそれに伴って流量もピークに達している. 降雨流出計算を渋井川, 名蓋川, 渋川においてそれぞれ行い, 得られる流出量を境界条件として洪水追跡計算に組み込んで計算を実行している. 本

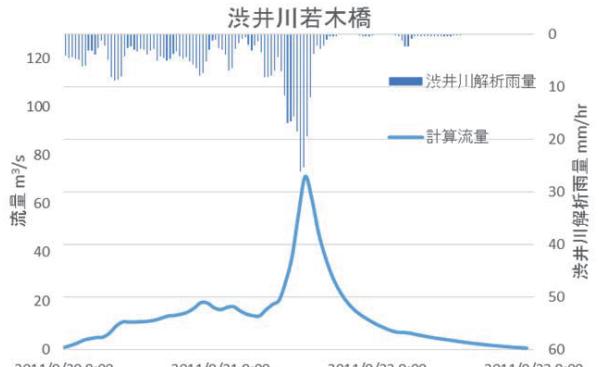


図-2 2011 年時の渋井川若木橋地点における渋井川解析雨量と計算流量の時間変化

計算に用いた流域パラメータを 2015 年時の洪水氾濫計算に適用させた。

### (2) 2015 年洪水イベントの計算結果

2015 年降雨流出計算・洪水追跡計算結果を図-3 に示す。図-3 は 2015 年イベントの渋井川若木橋地点における渋井川解析雨量と計算流量の時間変化である。降雨は 11 日 0 時ころから強くなり、午前 3 時ころにピークをむかえた。流出量のピーク時間は 11 日午前 3 時、ピーク流量は  $114 \text{ m}^3/\text{s}$

となり計算流量が大きく算定されている。これはモデルキャリブレーションが不十分なことを示唆しており今後大きく改善する必要がある。

### (3) 洪水氾濫計算

2015 年 9 月 10 日 6:00 から 12 日 12:00 までの計算を行い各格子の最大値を抽出したものが、図-4 であり、渋井川周辺の洪水氾濫における最大流速、最大水深、最大流体力の計算結果を示している。流速に関して、0 から  $0.3 \text{ m/s}$  の値が、水深は 0 から  $1.5 \text{ m}$  の値が、流体力は 0 から  $50 \text{ N/m}$  が広く分布する計算結果となった。越村、萱場<sup>4)</sup>によると、家屋壁面に作用する単位幅あたりの抗

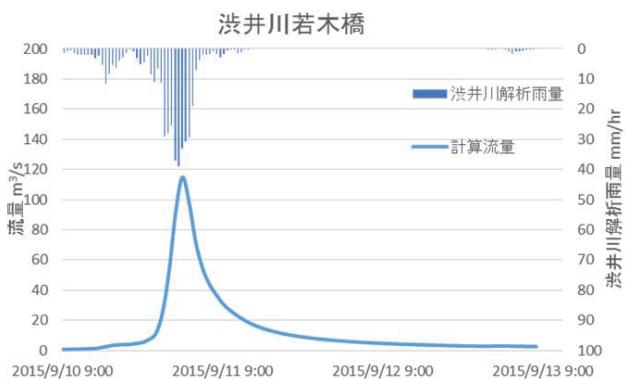


図-3 2015 年時の渋井川若木橋地点における渋井川  
解析雨量と計算流量の時間変化

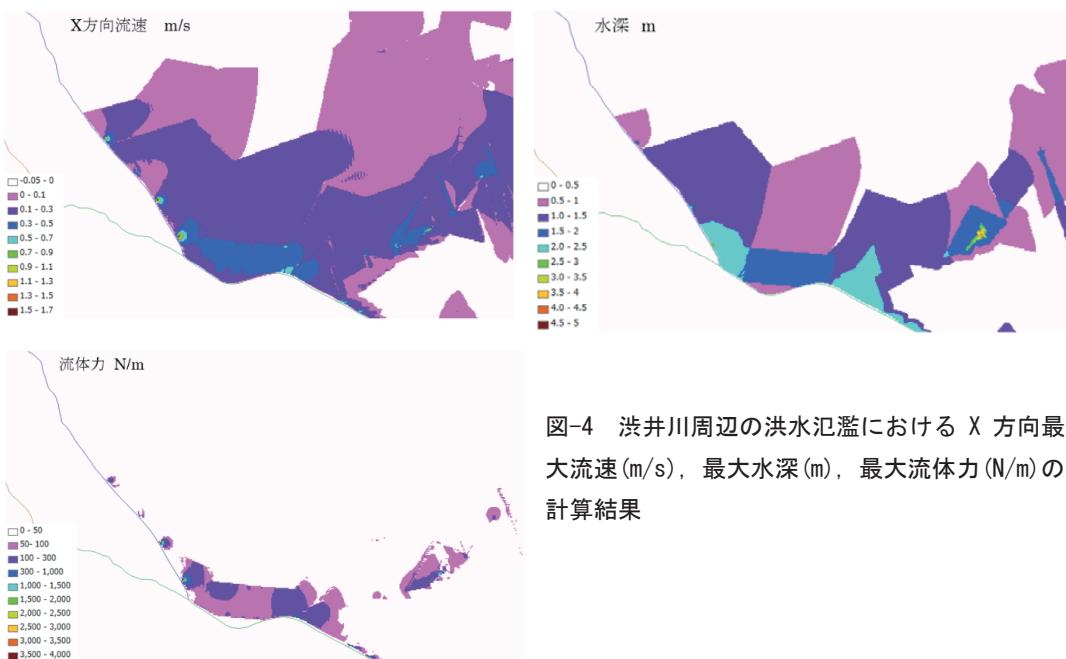


図-4 渋井川周辺の洪水氾濫における X 方向最大流速 ( $\text{m}/\text{s}$ )、最大水深 ( $\text{m}$ )、最大流体力 ( $\text{N}/\text{m}$ ) の計算結果

力は  $20 \text{ kN/m}$  が大破以上の閾値になるとされており、本計算での流体力の最大値は破堤地点付近で  $4 \text{ kN/m}$  と閾値よりも小さい結果となつたことから、再現計算では家屋の流出が生じるほどの流体力は発生していないことが確認できた。

#### (4) 可能最大洪水

図-5 は可能最大洪水の計算結果である。各河川のピーク流量は渋井川  $308 \text{ m}^3/\text{s}$ 、名蓋川  $380 \text{ m}^3/\text{s}$ 、渋川  $564 \text{ m}^3/\text{s}$ 、多田川  $1722 \text{ m}^3/\text{s}$  であり、図-5 は可能最大洪水における渋井川若木橋地点における水位の時間変化の図である。計算水位が堤防高を越えていることから、可能最大洪水の場合は越流してしまうという結果となった。しかしながらキャリブレーションが不十分なモデルを使用しても検証であり、今後更なる検証が必要不可欠である。

## 5. まとめ

以下、本論文より得られた主要な結論を列挙する。

- 1) 2015 年渋井川洪水に降雨流出・洪水氾濫モデルを適用することで洪水再現計算を行うことが出来た。
- 2) 洪水氾濫流の流体力最大値は破堤地点付近で  $4 \text{ kN/m}$  と既往研究で示された閾値よりも小さい結果となつたことから、再現計算の状況では家屋の流出が見られないことが確認できた。
- 3) 渋井川流域における可能最大洪水を算定した。洪水追跡計算で得られた水位が堤防高を越えており、可能最大洪水の場合では越流するという結果が得られた。

しかしながら上記結果は未だにモデルパラメータのキャリブレーションと検証が不十分な状況で計算されており今後改善し検証の上、再度検討する必要がある点に注意されたい。

## 謝辞 :

本研究は、科学研究費助成事業（若手研究(B)、課題番号：15K18120）の助成を受け実施された。本豪雨災害に関して、大崎市、宮城県、国土交通省東北地方整備局、土木学会水工学委員会水害対策小委員会、土木学会水害調査団（団長：田中仁教授）に大変多くの貴重な情報を頂いた。東北大災害科学国際研究所災害ポテンシャル研究分野真野明名譽教授、佐藤幸氏には、堤防決壊メカニズムに関して多くの助言を頂くとともに、数値計算補助やデータの整理等でご尽力頂いた。末尾ながらここに記して謝意を表する。

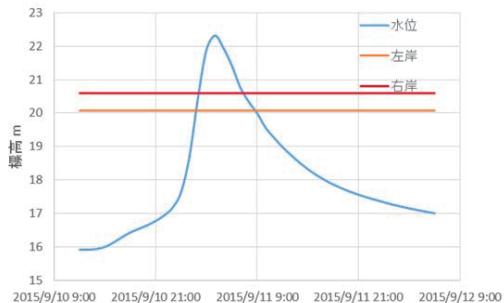


図-5 可能最大洪水の計算結果

**参考文献 :**

- 1)呉・森口・馬淵・堀合・小森・渡辺・松林 平成 27 年 9 月渋井川・渋川・名蓋川・大江川豪雨災害調査報告（第 2 報），2015 年 11 月 8 日  
[http://donko.civil.tohoku.ac.jp/FieldSurvey20150910/PDF/ShibuiRiver\\_ver2.pdf](http://donko.civil.tohoku.ac.jp/FieldSurvey20150910/PDF/ShibuiRiver_ver2.pdf)
- 2)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
- 3)呉・山田 表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究  
土木学会論文集, 第 49 卷, 2005 年 2 月
- 4)越村・萱場 1993 年北海道南西地区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 第 10 卷, 第 3 号, 2010