

平成27年9月関東・東北豪雨による北上川水系 二次支川三迫川での災害発生状況の考察

STUDY OF DISASTER OCCURRENCE SITUATION IN SANHASAMA RIVER
BY THE SEPTEMBER 2015 KANTO AND TOHOKU HEAVY RAINFALL

高橋 範仁¹・菊池 祐二¹・風間 聡²
Norihito TAKAHASHI, Yuji KIKUCHI, So KAZAMA

¹正会員 株式会社 建設技術研究所 東北支社 (〒980-0014 仙台市青葉区本町2-15-1)

²正会員 博(工) 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

A large number of houses have been damaged and eight people have been affected by the September 2015 Kanto and Tohoku heavy rainfall disaster. Two of them were suffered in Sanhasama River. One has fallen into the river while driving through a collapsing bridge. The detail situation of the other has not been specified. Therefore, this study evaluated the disaster situation by three perspectives, the external factors (rainfall, water level), the terrain factors and the flood flow regime. In each perspective, some factors were identified that people had been believed them as secured in misunderstanding ways. It seems to have resulted in the lack of disaster awareness and a higher risk of severe disasters.

Key Words : *flood disaster, flood simulation, Stabilized Finite Element Method, X-Band MP radar*

1. はじめに

平成27年9月関東・東北豪雨では、住宅被害が全壊・半壊・床上浸水等、約1万棟に上り、8名の犠牲者が発生した¹⁾。本研究対象である北上川水系二次支川三迫川を含む北上川水系一次迫川水系でも、複数の箇所破堤や浸水等の被害が生じている²⁾。また、犠牲者8名のうち、2名の犠牲者は、迫川水系で被災しており、東北地方での犠牲者は、迫川水系だけである。

この迫川水系での2名の犠牲者は、異なる場所ではあるが、いずれも自動車運転中に被災している。

1人は二次支川熊川において被災している。報道によれば、落橋した橋を、日の出前の午前4時頃に通過し、車ごと川に落下し、電話で救助を求めたが、救助隊が到着した際には更に下流に流され、溺死している。災害発生の翌々日の筆者らの現地調査では、洪水痕跡から、当時の被災地点周辺は浸水しており、道路上也冠水していることが確認された。このため、日の出前の暗がりであることから落橋を運転者が認識することは困難だったと考えられる。また、落橋は洪水流による基礎の洗掘と見られ、橋脚基礎が狭窄部を形成しており、その下流側は、河道改修によって拡幅され、上流部は下流に比べて流下能力が小さい河道断面であった。

もう1人は二次支川三迫川において被災している。被災者は、午前7時頃の朝の通勤時、自動車運転中に被災した事が分かっているが、被災者から救助を求める連絡や被災時の目撃情報はなく、詳細は不明である。災害発生の翌々日の筆者らの現地調査から、被災者は、浸水箇所を横断する県道から外れた脇道を自動車で行く際に、車ごと氾濫流に流され、氾濫原の深みで溺死したものと推測した。

そこで本研究では、今後の防災・減災活動に資することを目的とし、三迫川における災害発生状況の考察を行った。

2. 検討方法

始めに、被災時の外的要因を把握するため、降雨状況として、被災地点近傍の気象庁アメダスの時間雨量とXバンドMPレーダによる詳細な降雨分布を整理した。また、河道状況として、被災地点近傍の水位観測所における河道水位を整理した。次に、地形的要因として、国土地理院 基盤地図情報の5mメッシュ標高データを用いて被災地点近傍の地形状況を確認した。最後に、国土地理院 基盤地図情報の5mメッシュ標高データを用いて、河道と氾濫原を一体的にモデル化した平面2次元の流況シ

ミュレーションにより氾濫流況を再現した。

これらの外的要因，地形的要因，氾濫流況を基に，災害発生状況の考察を行った。図-1に，被災地点および雨量観測所，水位観測所の位置図を示す。

3. 検討結果

(1) 降雨状況

図-2は，被災地点から約7km西に位置する最近傍の気象庁アメダス観測所（鶯沢）の時間雨量である。9月10日20時頃から降雨が見られ，深夜1時頃に降雨のピークとなり，翌朝の7時頃には降雨が完全に止んでいる。

この鶯沢観測所では，1時間降水量の観測史上1位を更新すると共に，平成27年9月関東・東北豪雨において，全国のアメダス観測地点の1時間降水量のトップ20となっており，ピーク時の降雨は激しいものであったことが伺える⁴⁾。

次に，三迫川は流域面積が約1,000km²と比較的小規模な流域のため，地上雨量観測所が限られており，面的な降雨状況が把握し難い。そこで，詳細な降雨状況が把握可能なXバンドMPレーダ（解像度：250mメッシュ，観

測間隔：1分間隔）を活用し，降雨状況を整理した。

図-3は，1分間隔のXバンドMPレーダを日雨量に累加した降雨分布を示している。台第18号発生の日9月7日から図化した。9月9日～11日にかけて日雨量が100mm/dayを超える非常に強い雨が見られ，特に東北地方を東西に2分する脊梁山脈である奥羽山脈の東側において，線状の降水帯が，福島県から宮城県にかけて発達している。三迫川流域では，10日～11日にだけ降雨が集中している。

図-4は，三迫川流域をクローズアップし，1分間隔のXバンドMPレーダを時間雨量に累加した降雨分布を示している。9月10日の深夜22時頃から時間雨量10mm程度の降雨が見られ，深夜0時頃に時間雨量60mmを超える激しい降雨が発生し，3時頃まで継続している。しかし，11日の翌朝6時には，三迫川流域から雨域はなくなり，降雨は完全に止んでいることが確認された。降雨パターンの傾向は，最近傍の気象庁アメダス観測所（鶯沢）と概ね同様であった。

以上のことから，就寝時である深夜に降雨が発生し，翌朝には降雨は完全に止んでいるため，被災者は，深夜に激しい降雨が発生していたことを体感できていない可能性があり，その場合には防災意識の観点において希薄になっていたものと推測される。

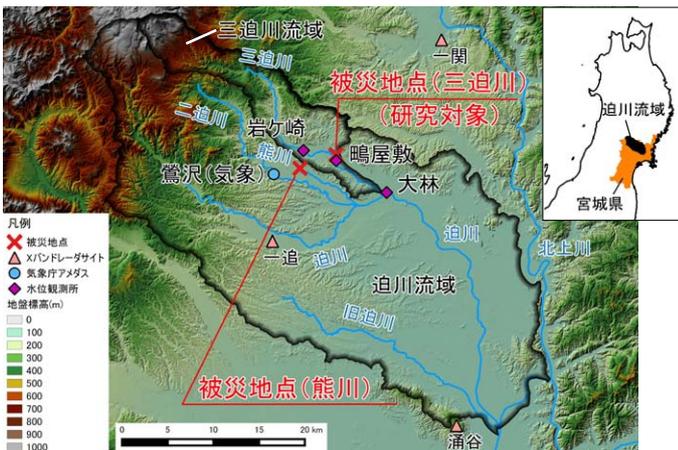


図-1 被災地点および観測所の位置図

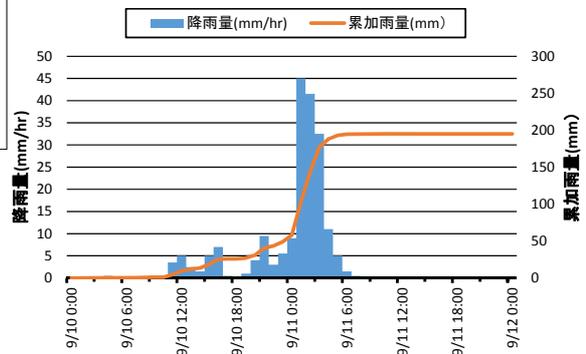


図-2 気象庁アメダス観測所（鶯沢）の時間雨量

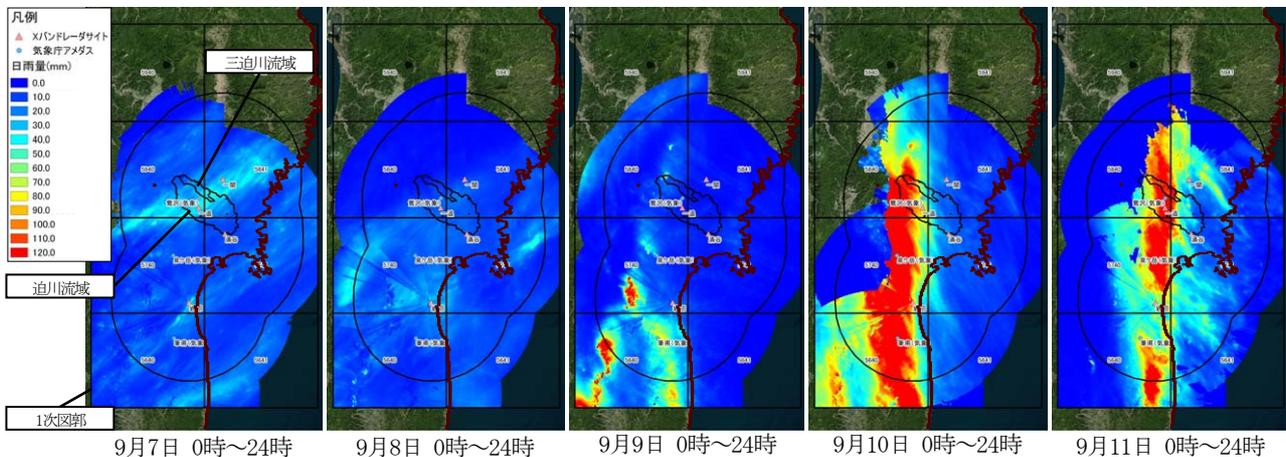


図-3 XバンドMPレーダによる日雨量の降雨分布

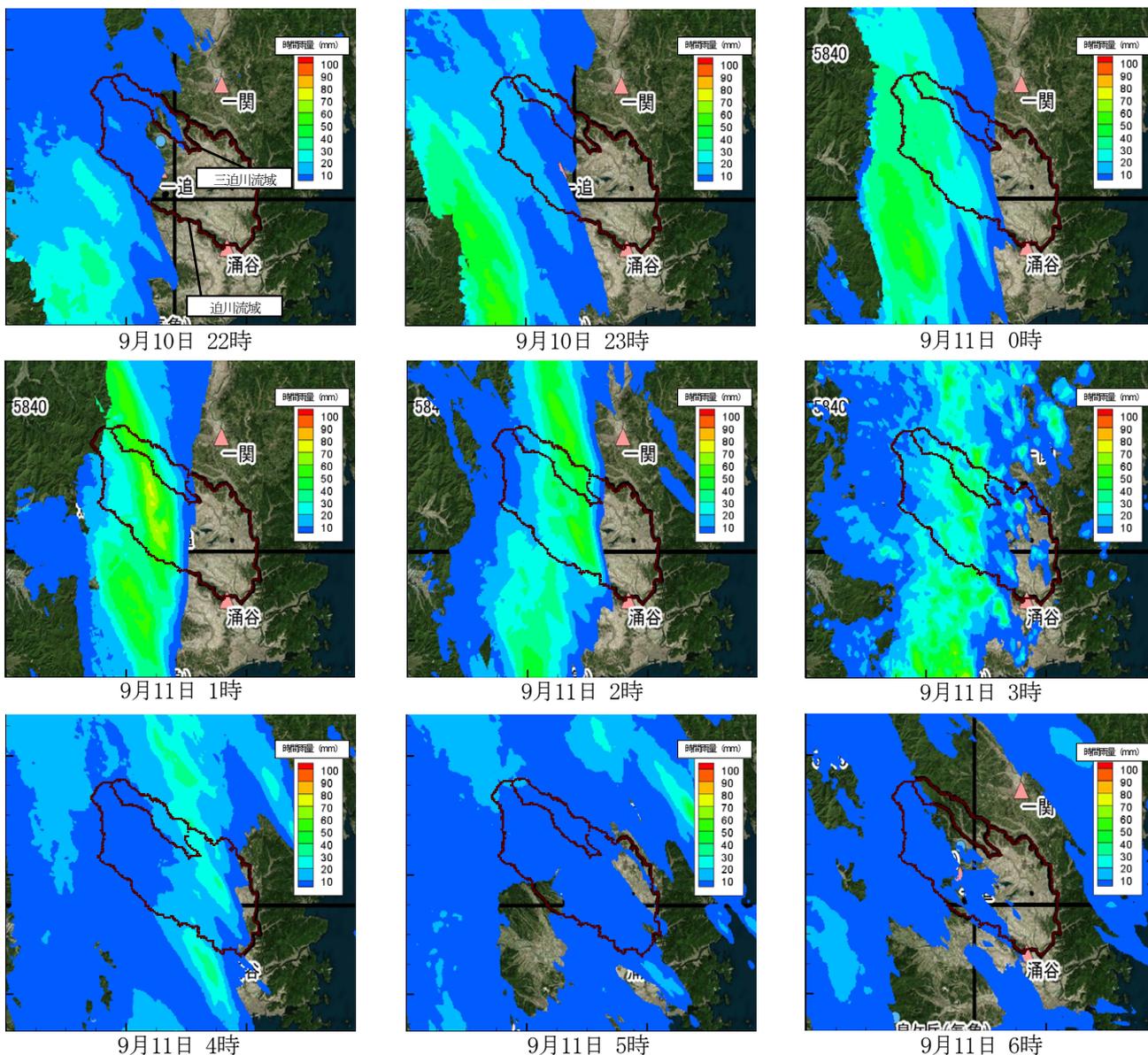


図-4 XバンドMPレーダによる時間雨量の降雨分布（追川流域をクローズアップ）

(2) 河道水位

図-5は、被災地点近傍の水位観測所における河道水位である。三迫川の流路延長約38kmの内、岩ヶ崎観測所は最上流から25km地点、鳴屋敷観測所は最上流から28km地点に位置しており、三迫川流域では下流側に位置する水位観測所である。また、大林観測所は、鳴屋敷観測所の更に7km程下流の観測所となっている。水位観測所の位置関係は、図-1および図-7に示している。

被災地点の最近傍（約500m下流）の鳴屋敷観測所の河道水位を見ると、11日の午前6時～8時に河道水位が継続して高い状態になっている。ピーク水位は午前6時30分に発生し、同一の観測値が午前7時までの30分間続いている。

このことから、被災者の朝の通勤時間帯において、浸水範囲や氾濫流量が最も多くなっていることが想定され、災害発生の高危険性が高い状況となっていたと考えられる。

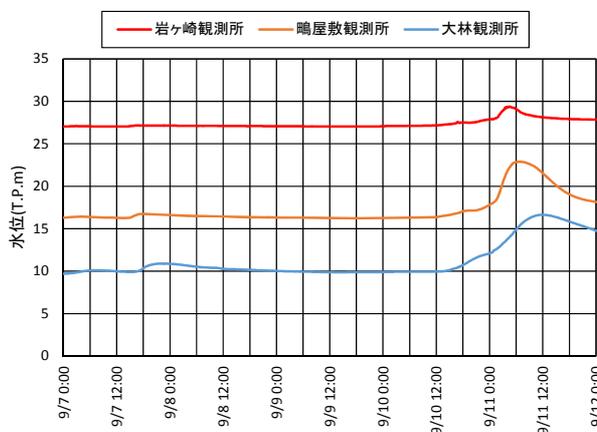


図-5 被災地点近傍の水位観測所の河道水位

また、前項で整理したXバンドMPレーダによる降雨分布状況では、深夜0時～3時に激しい降雨が集中しているが、鴨屋敷地点の河道水位を見ると、激しい降雨が発生した深夜0時頃の直後から急激に水位が急上昇しており、降雨ピークの僅か約5時間後には水位はピークに達している。降雨開始前の水位と比較すると、水位は約6m上昇し、この間の水位上昇量の最大はそれぞれ、10分で0.29m、30分で0.84m、1時間で1.6mとなっている。

平成18年8月、酒匂川では、30分で0.64mの急激な水位上昇により、釣り人ら25名が川の中に取り残され、犠牲者2名となる水難事故が発生しているが⁹⁾、三迫川の水位上昇量は、これよりも大きく、避難のためのリードタイムは非常に短い。

これら急激な水位上昇の要因として、前項で整理した被災地点最近傍の気象庁アメダスで、非常に強い短時間雨量が観測されていただけでなく、三迫川の中上流域は、山地となっており、岩ヶ崎観測所より上流の河床勾配は1/60程度、岩ヶ崎観測所から鴨屋敷観測所の区間でも1/500程度とかなりの急勾配のため、これらの地形的要因が影響しているものと考えられる。

(3) 地形状況

図-6は、被災地点近傍の地形状況であり、国土地理院基盤地図情報の5mメッシュ標高データを用いた。

筆者らが現地でも実施した地域住民からの聞き取り調査では、被災地点は、三迫川の旧河道蛇行部にあり、本地域では、旧栗駒町と旧金成町の境界が旧河道に沿って形成され、現在の住所表記も旧河道を境にしていることが分かった。旧河道部分では、少なくとも1m以上は湛水していたことが洪水痕跡から確認できていたが、旧河道部分の地盤は、周辺よりも2～3m程低い窪地を形成しており、これら旧河道部の窪地に湛水してこといたものと考えられる。また、当該地点は、大雨の際には度々浸水する箇所であり、地域住民は、浸水を避けるために周辺よりも地盤の高いところに居住していることが分かった。

被災者が通行した県道から外れた脇道入り口の浸水深は、洪水痕跡から20cm程度であり、脇道は周辺より地盤の高いところにあるため、浸水深はそれ程深くないことが推定される。また、被災者は、県道から外れて意図的に脇道を通行しているため、ある程度土地勘があったものと推定される。

このことから、被災者が、脇道の地盤が高いことや、旧河道部が度々浸水することを知っていた場合には、脇道入り口の浸水深も浅いため、安全を過信して脇道に侵入してしまう恐れあると考えられる。

また、前項で整理したXバンドMPレーダによる降雨状況では、11日の翌朝6時には、降雨は完全に止んでいるため、被災者が、洪水が収まり出したと判断する場合や、深夜の激しい降雨を体感できていない場合も想定され、これらの要因が、安全への過信を更に後押ししてい

ることも考えられる。

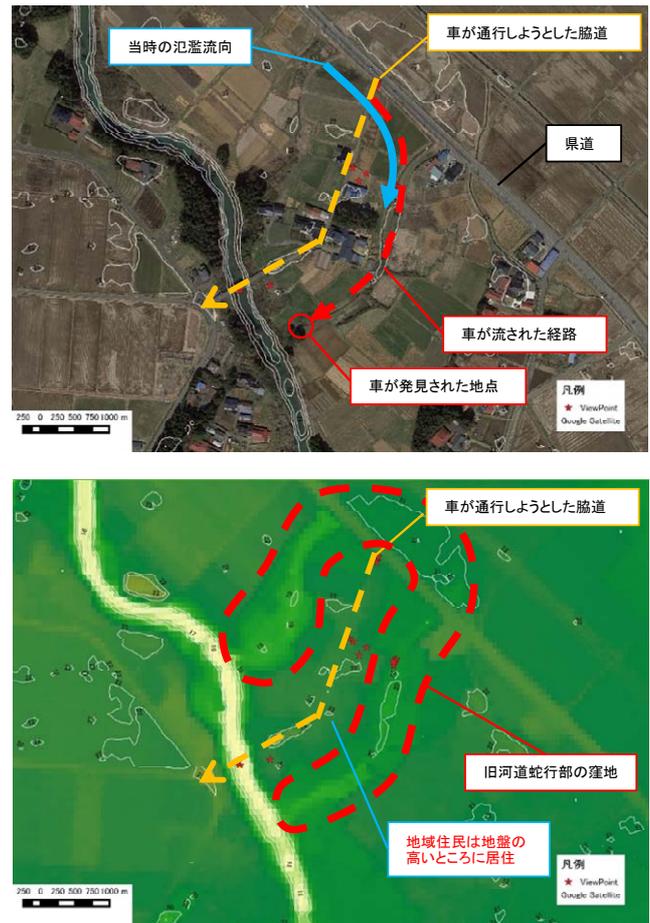


図-6 被災地点の地形状況

(4) 氾濫流況の再現

a) 計算条件

氾濫流況の再現のシミュレーションは、以下に示す浅水方程式を用い、平面2次元の流況解析を行っている。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + g \frac{\partial (h + Z_b)}{\partial x_i} = -ghS_{fi} \quad (i = j = 1, 2) \quad (1)$$

$$S_{fi} = n^2 u_i (u_j u_j)^{1/2} / h^3 \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (u_i h)}{\partial x_i} = 0 \quad (i = 1, 2) \quad (3)$$

ここに、 h ：水深[m]、 u_i ：流速[m/s]、 t ：時間[s]、 g ：重力加速度[m/s²]、 S_{fi} ：底面せん断応力、 Z_b ：地盤高[m]、 n ：マンニングの粗度係数をそれぞれ表す。

解法は、空間方向の離散化として、SUPG法による安定化有限要素法、時間方向の離散化として、クランク・ニコルソン法の2次近似を適用している。形状関数は、三角形1次要素を採用し、非線形である移流項は、係数行列解法の反復処理を回避し計算速度を向上するため、Adams-Bashforth法により線形化した。

通常、一般座標系等による格子で離散化した解析モデ

ルでは、格子を構成する4つの節点の地盤標高の平均値が解析に用いられるが、本解析モデルは、三角形要素を構成する各節点の地盤標高をそのまま解析に用いるため、微地形や道路などの形状を考慮し易い。また、解析モデルの地盤高は、国土地理院 基盤地図情報の5mメッシュ標高データを用いており、浸水範囲の全貌が不明であるため、河道と氾濫原を一体的にモデル化した。

なお、当該メッシュ標高データは、河道の水面下が計測されていないため、解析上、河道内の水深が浅くなり、流速が過小に評価されることが考えられるが、被災地点は、河道内から溢水し、氾濫原に湛水した場所であるた

め、これらの影響は無視し得るものと考えられる。

図-7に示す解析領域は、東西方向3.7km、南北方向1.2kmであり、観測水位を河道の上流端と下流端の境界条件として与えるように領域を区切った。要素数は、約31万メッシュであり、1辺の長さが5mの2等辺三角形要素により均等分割した。河道の上流端と下流端の境界条件は、10分間隔の観測水位を、解析の時間増分量で内挿して水位境界として与え、流速は水位と河床勾配と粗度係数から Manning式により仮定した。なお、河道粗度は、山道河道として0.04を与え、流域粗度は0.06とした。

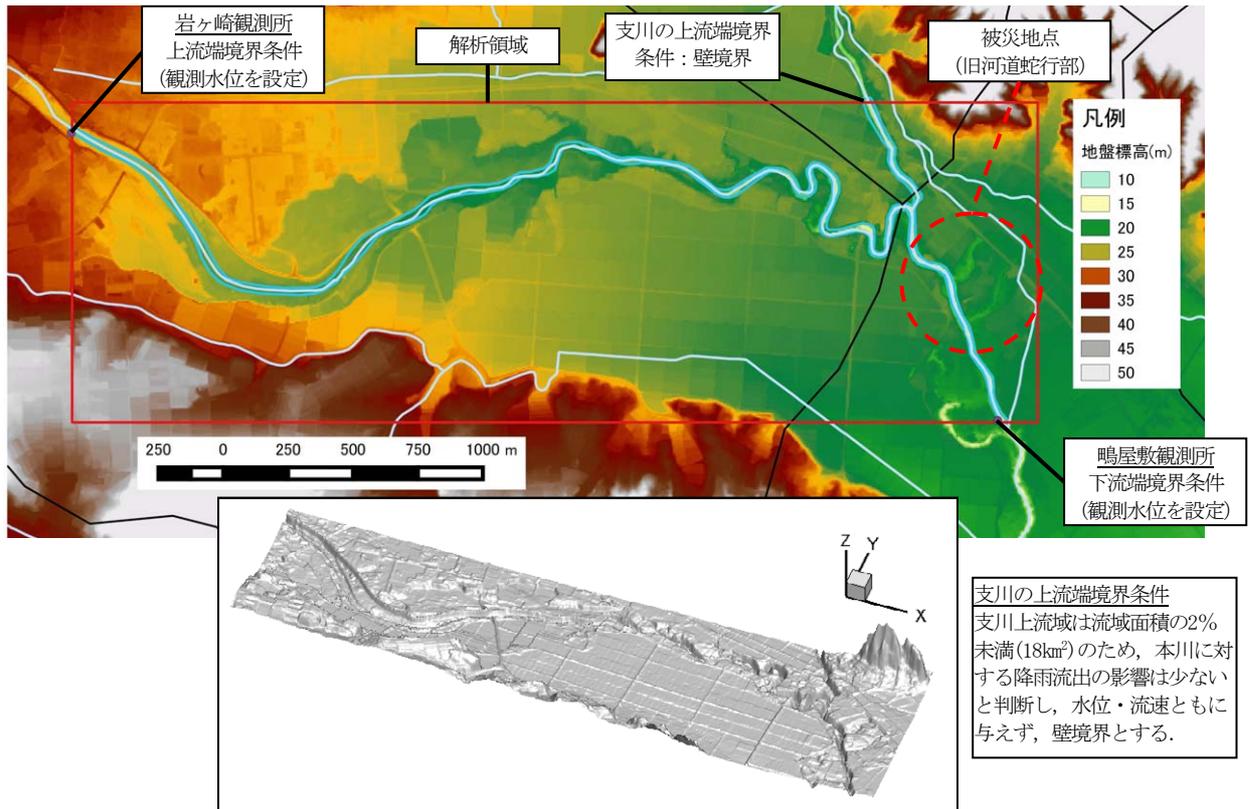


図-7 解析領域と解析モデル鳥瞰図

b) 解析結果

図-8に、被災者の通勤時間帯である朝7時頃の氾濫流況の再現結果を示す。これを見ると、現地調査した洪水痕跡を良く再現しており、概ね妥当な氾濫流況の再現結果であると考えられる。

氾濫流況の再現結果は、次の通りである。河道水位が上昇すると、旧河道蛇行部の窪地に河道から溢水し、湛水が始まる。さらに河道水位が上昇すると、窪地の湛水範囲は広がり、浸水深は増加する。その後、上流側の窪地が氾濫流で一杯になると、氾濫流は、被災地点である脇道の入り口付近の道路を乗り越え、下流側の窪地に流れ込む流れが発生する。

また、再現結果の浸水深と流速を見ると、旧河道蛇行部の窪地では、水深は1m以上、深いところでは3m程度あるが、氾濫流は窪地に湛水して流速が殆ど出ていない

状況となっている。一方で、被災地点の脇道の道路の上では、水深は概ね20cm程度、脇道入り口付近坂路の一部深いところで50cm程度であるが、流速は2m/sを超過している。

このようなことから、被災地点の湛水箇所では浸水深は深いが流速が殆どなく、浸水箇所を横断する脇道の道路上の水深も概ね20cm程度と浅いことを勘案すると、被災者は、浸水箇所を横断する脇道を安全と判断し、通行した可能性が推測される。

なお、戸田らが行った氾濫時の車の漂流に関する模型実験⁹⁾では、車内の空隙による浮力の影響や静止摩擦速度等のパラメータにより、車が流れ始める漂流限界が変化することが示されているが、セダン型では流速2m/s以上かつ水深0.5m以上で明らかに漂流するとしており、被災地点の解析結果とも良く整合している。なお、被災

者は軽自動車を運転しており⁷⁾、セダン型より更に漂流しやすく危険性が高い状況にあった。また、実験では、漂流速度は流れ場の平均流速の6~7割としており、被災者が車ごと流され始めた時点で、漂流速度は1m/s以上あったと推測され、車から脱出する等の危険回避も難しい状況であったと考えられる。

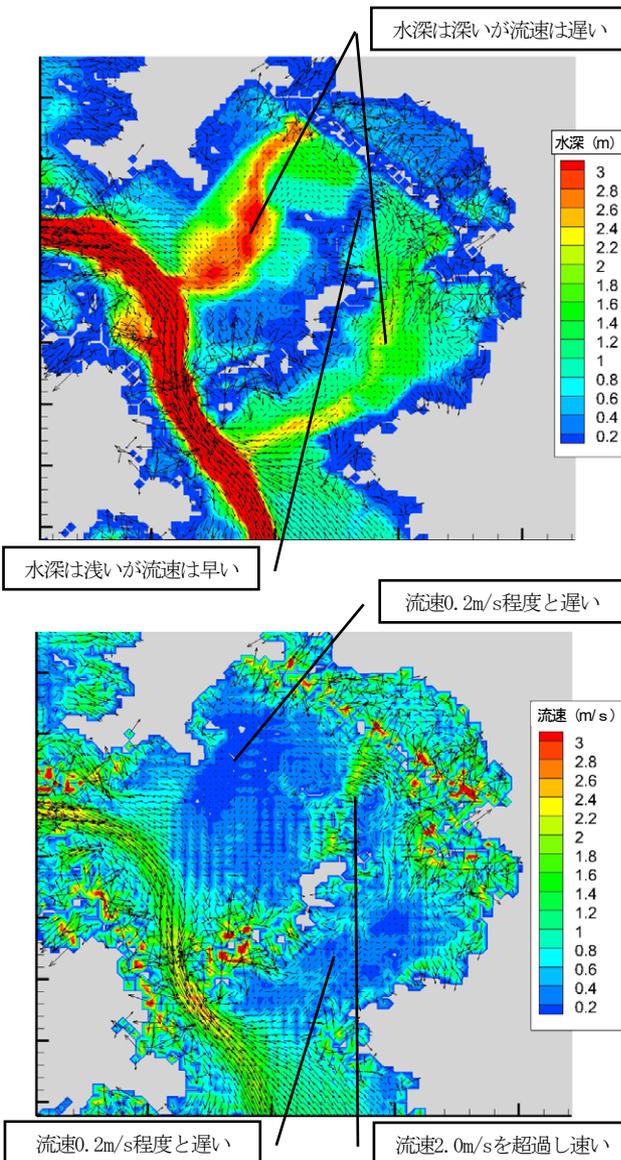


図-8 氾濫流況の再現結果

4. おわりに

本研究では、三迫川での災害発生状況を、外的要因、地形的要因、氾濫流況の3つの視点から考察した。いずれにおいても、被災者が安全と誤解するような事象が確認され、防災意識の観点において希薄になっていた可能性があると共に、災害発生の危険性が高い状況であったことが確認された。これらの要因が合わさり、災害発生に至ったものと考えられる。

氾濫流況の再現結果からは、局所的に流速が増大する箇所が確認され、車の漂流限界を超過していた。この局所的な流速の増大は、三迫川に限ったものではなく、地形的要因で発生する。また、車が漂流した場合には、2次的な災害を引き起こすことも考えられる。このため、洪水ハザードマップ等で危険箇所として住民に周知する必要があると考えられる。

また、夜間に発生した豪雨の危険性をどのように情報伝達するのかという課題も浮き彫りとなり、河道水位の変動状況や氾濫流況等のハザード情報を、リアルタイムで適切に地域住民に提供することが重要と考えられる。

併せて、自治体等による日頃からの防災訓練や啓蒙活動により防災意識を向上し、防災・減災を推進していくことが望まれる。

謝辞：宮城県土木部河川課には水位データの提供を受けた。本研究は土木学会水工学委員会水害対策小委員会ならびに土木学会東北支部、建設工学研究振興会から調査費の補助を受けた。併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成27年9月関東・東北豪雨に係る被害及び復旧状況等について 平成27年10月, 2015.
- 2) 牛山素行：平成27年9月関東・東北豪雨による犠牲者の特徴, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol.72, No.4, pp. I_1297- I_1302, 2016.
- 3) 風間聡, 高橋範仁, 菊池祐二：平成27年9月東北豪雨における迫川水系の被害, 平成27年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, II-109, 2016.
- 4) 気象庁：平成27年9月関東・東北豪雨について 平成27年9月, 2015.
- 5) 国土交通省：中小河川における水難事故防止策検討WG 平成21年1月, 2009.
- 6) 戸田圭一ら：氾濫時の車の漂流に関する模型実験, 京都大学防災研究所年報 第55号B 平成24年6月, 2012.
- 7) 総務省消防庁：平成27年台風第18号による大雨等に係る被害状況等について (第37報) 平成28年2月, 2016.

(2016. 4. 4受付)