

令和元年東日本台風による千曲川氾濫における流失家屋の空間分布特性

東京理科大学大学院 学生会員 ○鈴木聡佑, 窪田利久, 鎌田直樹, 吉井祥真
東京理科大学 正会員 柏田仁, 二瓶泰雄

1. はじめに

近年の豪雨の激甚化に伴う洪水氾濫では、多くの家屋被害が見られた。洪水流がもたらす家屋被害は、①家屋の流失・倒壊や壁面破壊などの家屋自体の被害、②浸水長期化に伴うカビ発生などの居住環境の悪化や復旧への影響、③浸水による家財道具等の損失などが挙げられる。このうち①の家屋被害形態によっては、居住者のとるべき避難行動が変化し、人的被害リスクにも大きな影響が及ぼされる。これまでの建築物の設計では、一般に、外力として地震、火災、風は考慮されるが、洪水流は取り入れられていない。しかしながら、気候変動の進展による豪雨災害の頻発化や流域治水プロジェクトの展開を考えると、建築物の耐水設計・技術を確立することは社会的に強く求められる。そのためには、家屋被害の発生に繋がる洪水氾濫流の水利特性や家屋構造との関連性を明らかにする必要があるが、これらの知見は限定的である。本研究では、令和元年東日本台風・千曲川破堤氾濫において特徴的に見られた带状の家屋流失被害の要因解明を目的とする。そのため、決壊地点周辺の流況を精度良く再現するべく、千曲川とその周辺における河川流・氾濫流一体解析を行った。

2. 研究方法

(1) **対象洪水の概要**：令和元年東日本台風における信濃川水系千曲川の降雨・水位の概況を示す。生田観測所（108kp）では、2019/10/12 0 時頃から降雨が始まり、同日 16-19 時にかけ 20[mm/h]を超えるピークとなり、22 時にはほぼ止んだ。この降雨に伴って、千曲川の杭瀬下（82.5kp）、立ヶ花（51.5kp）観測所等では観測史上第 1 位の水位を記録し、千曲川では 13 箇所で越水、1 箇所で決壊（左岸 57.5kp、決壊幅 70m）が発生した¹⁾。この決壊地点周辺では大規模な洪水氾濫が発生し（氾濫面積：9.5km²）¹⁾、決壊地点付近では流失 7 棟、損壊大 22 棟、損壊小 73 棟という家屋被害が確認された（図 1）²⁾。決壊地点周辺では、氾濫流は主に三方向に分かれたが³⁾、その内の中央に带状の家屋流失が集中し、带状の先端部から決壊地点の長さは 300m に達した（図 1）。

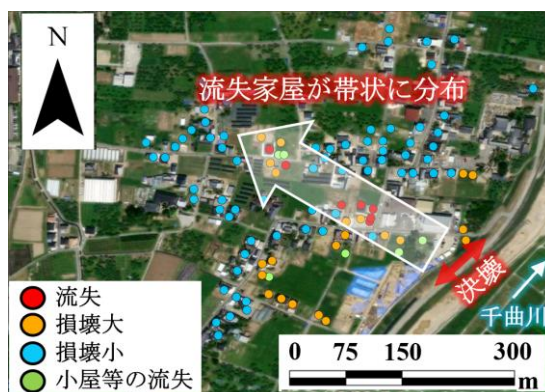


図 1 決壊地点付近の家屋被害状況²⁾

(2) **河川流・氾濫流一体解析の概要**：本解析は、河道のみの Step1 と河道と氾濫域を対象とする Step2 の 2 段階からなる（図 2）。Step1 では決壊地点を含む杭瀬下から立ヶ花間（82.5kp～51.5kp）とし、上流端では観測流量、下流端では観測水位を与え、得られた結果を Step2 の境界条件に用いた。Step2 では、決壊地点を含む河道（60.5kp～53.0kp）と実績の氾濫域全体を含むように設定した。使用モデルは、直交曲線座標系の 2D-3D hybrid 流動 model⁴⁾の中の平面 2 次元流動モデルである。計算格子は縦断、横断方向に各々 20m、10m とした。地盤高データについて、河道内は定期横断測量データ（500m 間隔）を縦断方向に内挿し、氾濫原は DEM（5m 解像度）のデータを用いた。粗度係数 n は Step1 の 82.5-51.5kp では 0.0425[m^{-1/3}s]、60.5-51.5kp では 0.055[m^{-1/3}s]とした。Step2 においては、河道では Step1 と同じであり、氾濫原では家屋占有率に応じて次式を用いた⁵⁾。



図 2 Step1, 2 の計算領域

$$n = \sqrt{n_0^2 + \frac{C_D}{2gk} \times \frac{\theta}{100 - \theta} \times h^{4/3}} \quad (1)$$

ここで、 n_0 は底面粗度（=0.05[m^{-1/3}s]）、 h は水深、 k は家屋幅（= $\sqrt{A}$ 、 A は格子に占める家屋の平面面積）、 θ は格子内の家屋占有率、 C_D は抵抗係数（=2.0）である。計算対象期間は Step1、Step2 とともに、2019/10/12 6:00 から 10/13 6:00 とした。また、10/13 AM4 時頃に決壊したと仮定し³⁾、決壊幅を一時間前の AM3 時に半分の幅（=40m）⁶⁾、AM4 時に 80m を与えた。なお、格子解像度が縦断方向に 20m のため、実際の決壊幅（=70m）と異なる。また、

キーワード：洪水氾濫、家屋被害、豪雨災害、千曲川、流失

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 5 号館 3 階水理研究室 TEL：04-7124-1501（内線 4072）

流失被害の帯状分布の要因解明のために、決壊地点付近の家屋流失により遠くの家屋の流体力が増加すると想定し、家屋分布パターンとして流失家屋・小屋を含む(Case1)と流失家屋・小屋を除いた(Case2)の2ケース実施した。

3. 結果と考察

(1) ピーク水位縦断分布の再現性：図3は、解析ピーク水位と実測痕跡水位の縦断分布を示す。痕跡水位に合致するよう粗度係数 n を調整した結果、解析ピーク水位は実測痕跡水位と類似し、両者の差のRMSEは0.31mだった。痕跡水位誤差(約0.5m)を踏まえると本解析は十分に水位縦断分布を再現できた。

(2) 決壊地点付近の流況：堤防決壊地点周辺の流況を把握するために、現況(Case1)の最大流体力指標コンターを図4(a)に示す。ここでは、流体力の指標として U^2h (U ：水深平均流速の絶対値、 h ：水深)とし、各格子の流体力最大値を表示する。また、比較用に図1と同じ家屋被害マップも図示する。これより、最大流体力指標は、決壊地点周辺では全体に3方向に分岐し、既往研究結果と類似した。また流失家屋位置と流体力指標を比べると、決壊地点付近では流失家屋は高い流体力となるが、決壊地点から離れた帯状分布の先端付近(図中○印)では流体力指標は $10\text{m}^3/\text{s}^2$ 以下と小さくなっている。そこで、流失家屋・小屋の家屋占有率を無くしたCase2の最大流体力指標コンター(図4(b))を見ると、流失家屋が帯状に分布する所では大きな流体力指標の範囲が広がり、決壊地点から離れる方向に伸びている。このように、決壊地点近くの家屋が流失すると、その分の抵抗が無くなるため、流速や流体力指標が増加し、帯状の家屋流失の引き金になることが示唆された。ただし、帯状分布の先端付近(図中○印)では流体力指標の増加は限定的であった。

(3) 家屋被害と水理量の関係：決壊地点付近における家屋被害と水理量の関係を取りまとめたものを図5に示す。ここでは、水理量として浸水深と流速を選定し、単位幅流量が最大時の結果を採用している。また、現況のCase1の全結果と、流失家屋のみCase2の結果を図示する。また、図中には新・旧耐震基準の倒壊限界及び滑動限界⁹⁾も示す。これより、Case1に関しては、流失は高流速・大水深に分布し、損壊小は逆に低流速・小水深に多い。損壊大は幅広い浸水深・流速に存在している。流失家屋のうち4棟は旧耐震基準の倒壊限界を上回っているが、残りの3棟が下回り、それには帯状分布の先端(図4○印)に含まれる。そこで、Case2の結果(図5中×印)に着目すると、流速はやや増加するが倒壊限界を上回るには至っていない。この主要因は、本解析の格子解像度が縦断・横断方向に20、10mと粗く、建物間や道路上の高速流を十分に再現できていないことが挙げられる。また、決壊地点付近の家屋が流失後に漂着・衝突した可能性も考えられる。これらは今後の検討課題である。

謝辞：本研究の一部は(一財)大成学術財団により実施された。河道横断測量データは、国交省北陸地方整備局よりご提供頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献：1) 千曲川堤防調査委員会，千曲川堤防調査委員会報告書，2020。2) 八木ら，河川技術論文集，Vol.26巻，2020。3) Priyambodohら，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.76，No.2，2020。4) 二瓶ら，土木学会論文集，No.803，2005。4) 油屋・今村，海岸工学論文集，Vol.49，2002。5) 国土交通省水管理・国土保全局：洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)，2017。

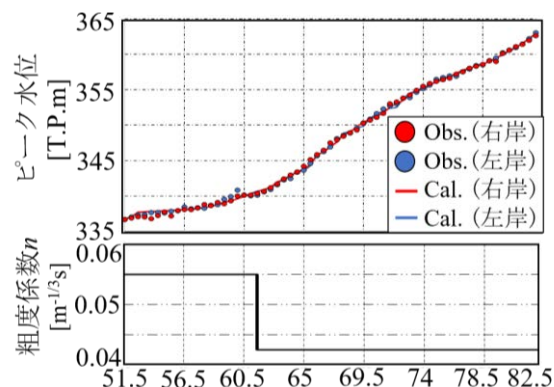


図3 解析ピーク水位と実測痕跡水位， n の縦断分布

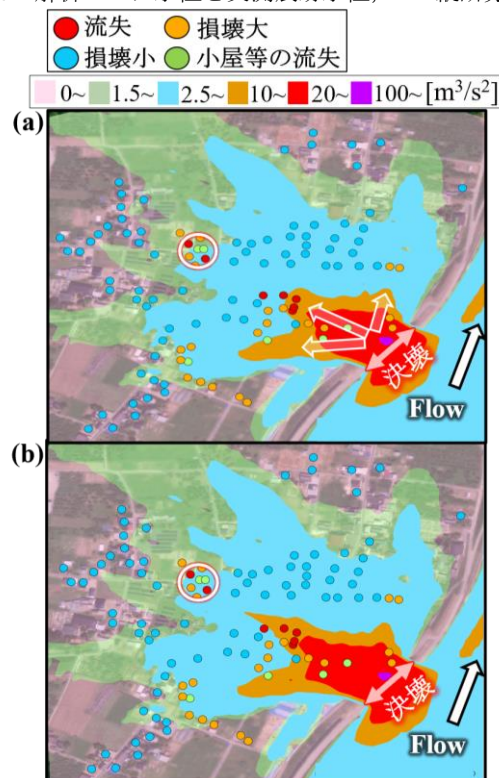


図4 決壊地点付近の最大流体力指標コンター (Case1(a)，Case2(b))

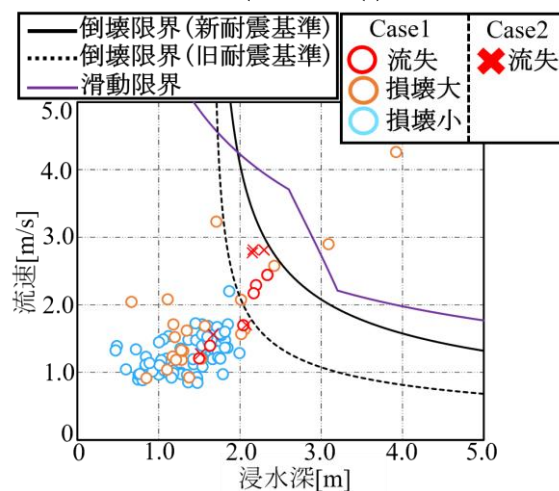


図5 水理量と家屋被害の関係(最大単位幅流量時)