## 平面二次元氾濫計算に基づく車中死発生時の洪水氾濫・車両流失状況の検討

東京理科大学大学院 学生会員 〇遊佐望海 東京理科大学 正会員 二瓶泰雄

## 1. はじめに

2019年台風 19 号は浸水面積約 807km<sup>2</sup>,被災建物棟数約 9.9 万棟と記録的被害となった(国交省統計). 甚大な人 的被害の特徴は、「建物内での被災」と「車で移動中の被害(車中死)」がある.前者では適切な垂直・水平避難の 実施が必要である一方,後者では通勤等の用事で外出するケースや避難所等への避難途中であったことが考えられ る.車中死防止には不要不急の外出を控えることや早めの水平避難が重要である.これに加え自宅周辺の浸水状況 のモニタリングや車で移動することの危険エリアの抽出が必要となる.これまで車中死につながる洪水流中の車挙 動や流失条件の研究は主に実験で行われているが<sup>1),2)</sup>,実被災例の洪水氾濫・車通行状況の検討は少ない.本研究 では、2019年台風 19 号による栃木県旗川流域の車中死発生時の洪水氾濫状況や車両流失条件を解明することを目 的とする.そのため、氾濫状況を再現するために、現地調査と平面二次元氾濫シミュレーションを実施した.また、 解析結果を元に洪水氾濫時の車両流失危険度マップを作成した.

## 2. 研究方法

(1) 車中死発生状況の概要:本研究対象の旗川は、利根川水系渡良瀬川の左支川であり、流域面積 146km<sup>2</sup>,流路延長 32.5km の一級河川である(図-1). 源流は氷室山であり、栃木県佐野市・足利市を流れ、途中出流(いずる)川 と合流し、渡良瀬川の 26.5kp に流入する. 2019 年台風 19 号では、図-2 のように、時間雨量は 10/12 16 時から 22 時まで 20mm 以上を記録し、ピーク時は 34mm(20 時)であった. これを受けて気象庁は同日 15 時 30 分に栃木県

に大雨特別警報を発令した.この大雨により旗川・高田橋 の水位は、同日 17 時頃より急上昇し、22 時にピーク水位 (=27.5T.P.m)となった.車中死の事故現場は図-1 中の三 角印の水田脇の道路であり、旗川と出流川に囲まれた扇状 地に位置する.被災車両のドライブレコーダーより、事故 現場の農道を直進中に側方から洪水流を受け車両が流さ れ、水田内に漂着した.同現場には計3台の車両が漂着し、 1名が死亡した.

(2) 現地調査: 今次災害による旗川の氾濫状況を把握する ため, 2019/12/12, 2020/9/29 に洪水痕跡調査を行った. 測 量には RTK-GNSS (R10, Trimble 製)を用い, 旗川の越水 発生地点の痕跡水位・水深や堤防高等を調べた.

(3) 氾濫計算: 氾濫状況を再現するために, 平面二次元モデルに基づく氾濫シミュレーションを行った. ソルバーには iRIC Nays 2DFloodを用いた.計算範囲は図-1 右側の黒枠 で示す範囲であり,計算格子には一般曲線座標系を採用 し,格子数は700×320 個,格子間隔は約5m×5mと設定し た.長尾ら<sup>3)</sup>と現地調査結果より,稲岡橋付近(渡良瀬川 合流点から5.5km)の右岸から越水氾濫が主であったため, 同地点の氾濫流量を痕跡水深(堤防高上50cm)と高田橋水 位,本間の越流公式より与えた(図-2 中赤線). これより, 越水が10/12 19時に始まったので,氾濫計算期間は2019 年10月12日19~24時とした.

(4) 車両流失評価指標: 今回の車中死を対象として, 車体側 方からの流体力 D と抵抗力(車両と路面間の摩擦力) F の 差を「車両流失評価指標(=D-F)」とする.ここで, 流体力 D と摩擦力 F は次式で表される.

$$D = \rho A C_D \frac{v^2}{2}, \quad F = \mu (W - B) \tag{1}$$

ここで, *p*:密度, *A*:投影面積, *v*: 流速, *µ*: 車両の静止摩擦 係数(=0.5,実験値), *W*, *B*: 車両の重力と浮力を表し,抵 抗係数 *C*<sub>*p*</sub>は戸田ら<sup>1)</sup>より水深 *h* と車高 *k* を用いて次式の



橋)及び氾濫解析に与えた氾濫流量の時間変化

キーワード:車中死,令和元年台風 19 号,氾濫流,流体力,旗川 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 4069)

(2)

ように与える.

$C_{D} = 2.66 - 3.33 * h/k$	
-----------------------------	--

氾濫解析結果と式(1),(2)を用いて,車両流失評価指標を算 出した.なお,対象車両は被災車両と同じ小型車(ヴィッ ツ,トヨタ自動車㈱)とする.

## 3. 結果と考察

(1) 洪水氾濫状況の推移: 今次水害における洪水氾濫状況の 推移を把握するために,水深コンターと流速ベクトルを図-3 に示す.ここでは,氾濫開始から1時間後の20:00と20:30, 21:00 の3 つの時刻を選定している.また,流速ベクトルは 図化の関係上間引いて表示している.これより,氾濫水は越 水地点から南西方向に出流川と旗川の間の低地を流れ, 20:00 時点では約1km南下した.その後,20:30 の時点では, 洪水フロントは引き続き南下し,フロント付近の流速が大き くなっていることが分かる.これは,越水地点の氾濫水量の 増加と対応している.さらに,21:00 には洪水フロントはJR 両毛線に到達している.両毛線は一部盛土されているため, 周囲より標高が高いことから洪水流がせき止められて,両毛 線北側で浸水深が急上昇する地点が見受けられる.

(2) 車中死発生地点の流況と車両に作用する力:これらの氾 濫シミュレーション結果に基づいて,車中死発生地点におけ る流況(水深・流速)と車両に作用する力(流体力 D と車両 流失評価指標 D-F)の時間変化を図-4 に示す.ここで,流体 力 D と比べて摩擦力 F が大きいため, D-F は右側の縦軸目 盛を使用していることに注意されたい.これより,当該地点 は洪水フロントが到達した 20:40 から冠水し始め,水深の上 昇とともに急激に流速が大きくなり、最大値は 20:48 に 1.01m/s となった. このように、当該地点では洪水フロント 到達時に大きな流速が発生している様子が図-3(b)と一致す る結果である.この時の流体力Dは、冠水開始からの水深・ 流速の増加に伴って急増し、20:54 にピーク値となった.これ に伴って、車両流失評価指標 D-F も負から正に変化してお り, D-F=0 となるのは 20:59 となった. これは、上記の流体 力 D の増加に加えて、水深増加に伴う浮力上昇が水中重量 や摩擦力 F の減少し,結果として車両流失評価指標 D-F の 正負が入れ替わった.また,被害車両のドライビングレコー ダーより当日 20:44 に流失したことが確認されているが、本 解析の流失推定時刻(20:59)と15分の誤差がある.限られ た水位情報から氾濫流量を設定していることを考慮すると, このような解析と実際の誤差は解析上の許容範囲であると 考えられる.

(3) 車両流失危険度マップの作成:氾濫解析結果に基づいて, 氾濫域の道路上における車両流失評価指標 D-F を算出し,D-F=0 となる時間帯を 30 分ごとにまとめた結果を図-5 に示 す.ここでは,多くの道路上における車両流失評価指標(=D-F)を求め, D-F=0 となる時刻をカラーマップで表示してい る.また,図中には,洪水フロント位置も赤点線で図示して いる.これより,大局的には,洪水フロントの南下と共に, D-F=0 となる道路範囲も南下している.ただ詳細に見ると, 被害地点(図中△)周辺では,20:30~21:00までに流失危険 となったのは被害地点を通る東西方向の道路のみであり,流



**図-3** 洪水氾濫状況の推移(浸水深コンターと流速 ベクトル)



**図-4** 車中死発生地点における水深・流速(上) と車両への作用力(流体力 *D* と *D*-*F*)(下)の時 間変化



**図-5** 車両流失危険度マップと洪水フロントの 関係(図中矢印:被害車両の移動経路,三角印: 被害地点)

失危険度が場所により大きく異なっている.これは,道路標高や,流向と道路法線方向の関係が影響していると推定される.また,被害車両の移動経路(図中矢印)より,被害車両は流失危険の無い道路から,被害地点を含む流失危険の道路に進んでおり,最も危険な通行ルートの一つであったと言える.

参考文献:1)押川英夫、大島崇史,小松利光:河川技術論文集,Vol.17, pp.461-466,2011.2) 戸田圭一,石垣 泰輔,尾崎平,西田知洋,高垣裕彦:河川技術論文集,Vol.18, pp.499-504,2012.3) 長尾昌朋,上岡充男:土木 学会全国大会第75回年次学術講演会,Ⅱ-217,2020.