

登別市における洪水浸水域の予測と避難対策について

The prediction of the flooding area and the measure for evacuation in Noboribetsu

室蘭工業大学 学生員 磯谷英俊 (Hidetoshi Isoya)
 室蘭工業大学 正員 太田典幸 (Noriyuki Ohta)
 室蘭工業大学 フェロー 藤間 聡 (Satoshi Tohma)

1. はじめに

近年、集中豪雨の頻発や流域の都市化の進展に伴い、全国各地で甚大な洪水被害が発生している。特に、主要河川に比べ計画規模が小さく、河川整備水準が決して高くない中小河川は、ハード対策だけでは洪水被害を抑制することが難しくなっている。そのため、水防法が改正（平成17年7月施行）された今日では、中小河川における洪水ハザードマップ整備へ向けた取り組みが始まり、対象流域の自治体は急ピッチでその整備を進めている。中小河川流域内の地域住民の避難の確保は、災害時の重要課題の一つであり、洪水ハザードマップの地域住民レベルの活用や水防活動等のソフト対策が必須となる。

本研究は、河川が貫流する市街地において、河川水位上昇に伴う外水氾濫を想定した氾濫流の数値解析を行い、それに基づき洪水浸水域の算定と有効な避難対策についての検討と考察を行う。

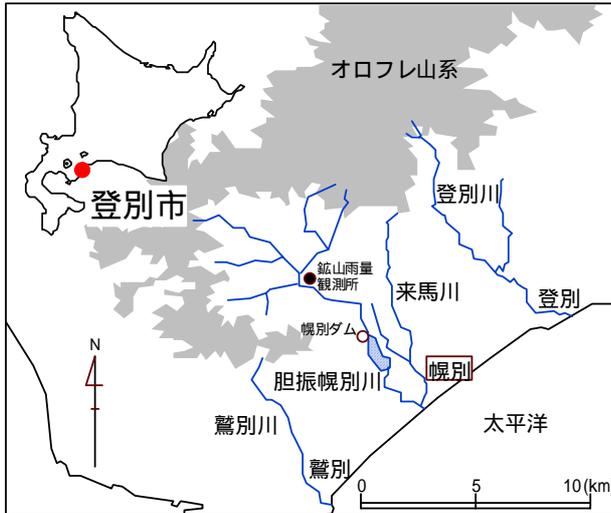


図 - 1 解析対象地域

2. 解析対象地域

図 - 1 に解析対象地域を示す。登別市は、北海道胆振南西部に位置し、市内の鷺別、幌別、登別地区には、それぞれ鷺別川、来馬川、登別川が流れ、太平洋に注ぐ。三河川とも流路延長が15km前後の二級河川で、流域面積の大部分を山地部が占める典型的な山地中小河川である。登別市は、年平均降水量が1,800mmに達する道内で有数の豪雨地帯として知られ、過去に多数の豪雨災害が発生している。この豪雨要因は、同市が1,000m級の峰々が連なるオロフレ山系の南東斜面の近傍に位置し、低気圧や台風の通過に伴う湿潤大気の進入により、山岳

性降雨が多発するためと推定される。また、この地域の地質に関しては、下層に凝灰岩が広く分布し、その上部に安山岩を主体とした透水性の大きな砂礫及び、火山灰層が薄く堆積しており、豪雨発生時には短時間で表層が飽和し、その後急激な表面流出を生じる特性を有している。以上のことから、登別市は、洪水発生危険性が高く、洪水時には、多大な被災を受ける可能性がある。

解析対象地域は、鷺別、幌別、登別の三地区とし、本研究では、主に幌別地区について検討した結果を以降述べる。幌別地区は、胆振幌別川と市街地を貫流する来馬川の合流部に在る。来馬川の左岸側の地域は、市役所や小学校などの重要公共施設が集中している。また、来馬川の右岸と胆振幌別川の左岸に挟まれた地域には、住宅街が形成されており、来馬川が氾濫した場合、広範囲にわたる甚大な被害を及ぼすことが予想される。そのため、本研究では、来馬川を解析対象河川とし検討を行う。

3. 氾濫流の数値解析

氾濫流の数値解析は、平面二次元流れとして扱い、支配方程式は、以下に示す連続式(1)式と運動方程式(2)、(3)式を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2}{h^{7/2}} M \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) \\ = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^{7/2}} N \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \tag{3}$$

ここに、 M 、 N は x 、 y 軸方向の流量フラックス(m^2/s)、 h は水深(m)、 H は水位(m)、 g は重力加速度(m/s^2)、 n はManningの粗度係数である。

(1)、(2)、(3)式の計算は、差分法を用いる。差分スキームは、空間的に Staggerd 格子、時間的に Leap-frog 法を適用する。

4. 解析条件

4.1 標高及び土地利用データの作成

氾濫流の数値解析を行うためには、計算格子に対して、

標高データ及び、土地利用データを入力する必要がある。そのため、本研究は、解析対象領域の標高及び道路・建物などの土地利用状況をデータ化する作業を行う。計算格子は、格子間隔 10m の直交正方格子とする。解析対象領域は、幌別地区市街地を網羅した x 方向に約 2km、 y 方向に約 1.7km の範囲である。

各データは、登別市提供の 1:2,500 登別市現況図より作成する。標高データは、格子間隔 50m の格子点上の標高を読み取り、格子間隔 10m に線形補間して作成する。土地利用データは、格子点を中心とする 10m 間隔格子の範囲内で占有率の高いものを代表値とし、土地利用状況に対応した所与の粗度係数¹⁾を与える。図 - 2 に、作成した登別市幌別地区の土地利用図を示す。



図 - 2 登別市幌別地区の土地利用図

4.2 洪水流量の算定

来馬川は、水文観測点が無いいため、先ず胆振幌別川の流出計算を行い、その計算結果に基づき来馬川の洪水流量を推定する。水文データは、図 - 1 に示す胆振幌別川流域に設置されている幌別ダム（図中の○印地点）の流入量とその上流部に位置する鉾山雨量観測所（図中の印地点）の降雨データを用いる。

(1) 再現期間 50 年の確率降雨の設定

洪水流量の算定を行うためには、来馬川の再現期間を検討し、確率計算により確率降雨を設定する必要がある。来馬川は再現期間 30 年を整備計画の目標値としているため、本研究では、二級河川基本方針の上限値である再現期間 50 年の確率降雨を採用し計算を行う。再現期間 50 年の 24 時間雨量は、確率紙を用いて、Gumbel 法より 367mm を得た。

(2) 洪水ハイドログラフの設定

洪水ハイドログラフは、以下に示す貯留関数法(4)、(5)式を用いて求める。

$$\frac{dS(t+T_L)}{dt} = r(t) - q(t+T_L) \quad (4)$$

$$S = k \cdot q^p \quad (5)$$

ここに、 S は貯留高(mm)、 q は流出高(mm/hr)、 r は雨量(mm/hr)、 k 、 p は定数、 t は時間(hr)、 T_L は遅滞時間(hr)である。

来馬川の 50 年確率降雨における洪水流量は、胆振幌別川の実績洪水事例を基準に最適同定した貯留関数法により、洪水流量を算定し、比流量で求める。実績洪水事例は、ピーク流量が 200 m^3/s 以上で、水文データが揃っている 11 洪水を抽出する。50 年確率降雨の波形は、実績を引き伸ばしたものをを用いる。

4.3 洪水時の河川水位

来馬川の洪水時の河川水位は、前節で求めた流量を用いて、下記の不等流計算より求め、それに基づき越流地点の検討を行う。

(1) 洪水時水位の算定

本研究は、来馬川の洪水時水位を算定するために不等流計算を行う。計算は、50 年確率降雨におけるピーク流量が最大で、洪水氾濫の危険度が高い昭和 56 年 8 月洪水を対象洪水とし、そのピーク流量 305 m^3/s を用いる。初期条件は、室蘭港既往最高潮位 1.92m（海上保安庁）と下流端の断面 S100 における限界水深を比較し、値が大きい限界水深 2.67m を同断面に用いる。河道断面データは、100m 間隔の測量データを使用する。図 - 3 は、河道断面位置と洪水時水位及び河岸高の結果を示す。ここで、図中の S に続く数字は、胆振幌別川と来馬川の合流点である水位基準点 S.B.P からの距離を示す。

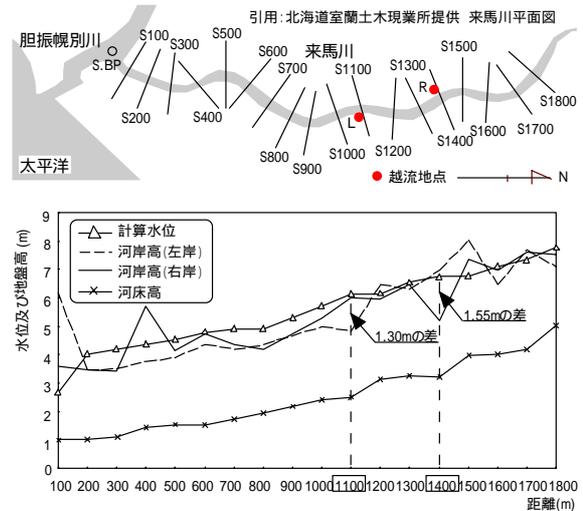


図 - 3 河道断面位置と洪水時水位及び河岸高

(2) 越流地点の設定

図 - 3 から、来馬川の河川水位の一部は河岸高を越える。そのため、想定する越流地点は、河川水位と河岸高の差が最大である断面 S1100 の右岸と、S1400 の左岸となり、それぞれを R、L 地点とする。両断面は、河道断面が小さく、河岸高が対岸の河岸高に比べ極端に低いため氾濫しやすい地点である。また、両地点は、市街地の上部に位置するため氾濫した場合、浸水域が広くなり、洪水被害が大きくなると予測される。

(3) 洪水時水位の検討

前述の R、L 地点における洪水時水位を推定するためには、越流時間を検討する必要がある。越流時間は、来馬

川の計画高水流量 230 m³/sとハイドログラフを比較して3時間とする。洪水時水位は、不等流計算で求めた河川水位をピーク水位 H_{max} とし、三角形分布で近似する。

図-4に、ピーク流量付近における再現期間50年の洪水ハイドログラフと水位時間曲線を示す。

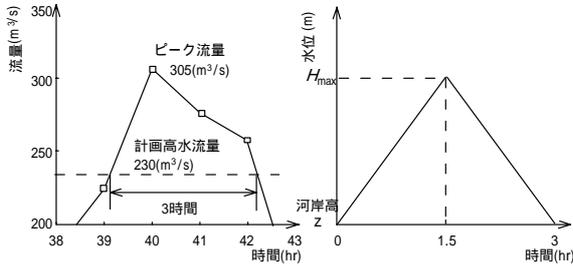


図-4 洪水ハイドログラフ及び水位時間曲線



図-5 幌別地区来馬川浸水想定区域

4.4 越流地点における流量の算定²⁾

越流地点の氾濫流量は、 x 、 y 軸方向の流量フラックス M 、 N を考え、以下(6)式に示す本間の越流公式を用いて算定する。

$$M \text{ or } N = 0.35h\sqrt{2gh} \quad (6)$$

ここに、 h は堤防上の越流水深(m)である。

4.5 初期条件

初期条件は、水深 h 及び x 、 y 軸方向の流量フラックス M 、 N を0とする。

4.6 氾濫流の先端条件²⁾

氾濫流の先端に位置する格子点の標高が周辺の格子点の水位よりも高く、その格子点の水深が水深の基準値 ($h^*=0.001\text{m}$) 以下の場合、流量フラックスの発散を防ぐため、この格子点に流入出する流量フラックスは0と置く。

4.7 その他の解析条件

計算時間間隔は $\Delta t = 0.5\text{s}$ とする。また、計算時間は、越流開始から9時間を最大計算時間とし、その過程で浸水域が最大面積となる時間まで解析を行う。

5. 解析結果

図-5は、デジタルデータ化した国土地理院発行の1:25,000地形図上に、本研究の解析結果に基づいた最大浸水区域、最大浸水深を記載した幌別地区の浸水想定区域である。表-1に浸水の深さの目安を示す。右岸側の地域においては、胆振幌別川と来馬川の合流部付近の住宅地域が、約2.0mの浸水があるため床下、床上浸水被害があり、左岸側においても、JR幌別駅前の商業地域から来馬川河口付近の住宅地域にかけて同様の被害となり、浸水面積は兩岸を合わせて約0.9km²にも及ぶ。同地区に氾濫水が集中する要因は、標高が低い来馬川下流部に位置することにより、氾濫水が滞留しやすいためであると推定できる。また、左岸側の想定浸水区域内には、市役所や小学校及び一部の避難所等も含まれ、これら重要施設においては浸水深に耐えうる構造や遮水設備の準備を行う必要があると考えられる。総務省平成12年度国勢調査結果⁴⁾を解析結果に照合すると、幌別地区は最大で1,530戸、3,800人余りの被災が推測される。

表-1 浸水の目安³⁾

ランク区分	浸水の目安
0~0.5m未満	大人の膝まで浸かる程度
0.5~1.0m未満	大人の腰まで浸かる程度
1.0~2.0m未満	一階の軒下まで浸水する程度
2.0~5.0m未満	二階の軒下まで浸水する程度

6. 避難対策

本研究では、幌別地区浸水想定区域内の地域住民が安全に避難行動を完了するための対策について検討する。

6.1 避難所までの移動時間の算出

幌別地区において、浸水が予測される各町の各丁目から管轄避難所までの移動時間を算出する。各丁目から避難所までの距離は、各町各丁目の平面形状の図心に最も近い道路上を避難開始地点とし、管轄避難所入口までの道路に沿った距離とする。丁目平面形状は、デジタルデータ化した1:2,500登別市現況図により形状を決定し、図心を算出した。避難開始地点から避難所までの避難経路の選択順位を、(1)浸水が無いこと、(2)距離が最短であること、(3)道路幅員が大きいこと、とした条件設定を行い、距離を測定した。避難所が図心上あるいはその近傍に位置している場合には、図心から丁目形状の距離最遠の道路上を避難開始地点とする。図心算出と距離の測定等に使用した1:2,500登別市現況図及び管轄避難所資料は登別市提供である。避難はすべて徒歩で行われ、移動速度は通常歩行を3.5km/hrに設定し、浸水後に避難を開始する際の移動速度は、成人膝下(水深30cm)では1.6km/hr、同膝上(水深50cm)では1.1km/hrとする⁵⁾。以上より、算出した左岸側の各避難開始地点から管轄避難所までの距離及び移動時間を表-2に示す。

6.2 避難行動について

図-6は来馬川左岸側の越流地点付近における浸水想定区域の時間による変化を示す。図から、越流地点付近に位置し避難開始までの時間が最も短い中央町5丁目では、越水開始から15分後には管轄避難所A及びBの位置まで浸水域が広がるため、同地区内にあるこれらの避難所は使用に適さない可能性がある。このため、避難開始地点から最遠に位置するが、管轄避難所のうちで最も

安全と思われる幌別小学校までの避難について、避難開始地点に浸水が及ぶのが概ね 10 分後であるが、同小学校までの移動時間が約 9 分間であることを考慮し、遅くとも越水開始から最大 9 分以内に避難を開始すると、危険に曝されること無く避難を完了できると推測する。また、浸水深さが 50cm に達した時点から避難を始める場合は約 30 分の間、流水中を移動しなければならず、流速が速い場合には歩行が困難になることが考えられ、避難開始が遅れた場合には極めて多くの危険を伴うと予測される。同様に他町各丁目についても検討を行った。

6.3 洪水情報収集・避難情報伝達についての考察

早期に避難情報を発令するため、豪雨が予想される状況下では常に河川水位をモニタリングする等の水位情報の収集に務め、河川水位が上昇し警戒水位を超える傾向がある場合には、越水開始前の避難指示を行える体制の整備が必要である。その上で、河川からの越水が始まる前に避難情報を確実に伝達するための組織作りをする。例えば町内会を人口あるいは戸数規模で細分化を行い、住民 10~20 人を一単位としたグループを構築し、市役所はその代表者に対して避難準備や避難勧告及び避難指示を随時 FAX や携帯電話メール等の手段を用いて一斉送信する。代表者はグループ全戸にその情報を伝達するというような、行政と住民との連携方法が考えられる。

図-6 から、越水開始から 40 分を経過すると、災害対策本部が置かれる市役所及び被災者の救助活動の拠点となる消防署が浸水区域内に入り、それ以降の避難情報の伝達や救援活動等に支障が生じる恐れがある。さらに、避難指示を伝達するための広報車は、浸水深が排気管上まで達する場合は走行が不能⁵⁾になり、洪水時にはその効果が発揮できない可能性がある。住民の安全かつ円滑な避難を確保するために、避難情報の伝達が困難な状況下においては、登別市が防災に関する協定を締結している地元トラック協会及びハイヤー共同組合の無線網及び輸送手段を有効に活用することが望ましい。

表 - 2 左岸側各丁目と避難所までの移動所要時間

町名・丁目	管轄避難所	距離(m)	移動時間(分)		
			通常	膝下	膝上
中央町1丁目	幌別小学校	403	7	15	22
	幌別小学校	830	14	31	45
2丁目	避難所 B	943	16	35	51
	避難所 A	777	13	29	42
	三寿園	549	9	21	30
3丁目	三寿園	623	11	23	34
4丁目	幌別小学校	817	14	31	45
	避難所 B	815	14	31	44
	避難所 A	498	9	19	27
	三寿園	732	13	27	40
5丁目	幌別小学校	518	9	19	28
	避難所 B	237	4	9	13
6丁目	避難所 A	112	2	4	6
	幌別小学校	480	8	18	26
	避難所 B	168	3	6	9
	避難所 A	426	7	16	23
7丁目	三寿園	594	10	22	32
	幌別小学校	665	11	25	36
常盤町1丁目	百寿の家	369	6	14	20
	婦人研修の家	369	6	14	20
	常盤の家	848	15	32	46
2丁目	百寿の家	452	8	17	25
	婦人研修の家	452	8	17	25
	常盤の家	727	12	27	40
千歳町1丁目	幌別中学校	970	17	36	53
	千歳の家	995	17	37	54
	福寿園	1,212	21	45	66



図 - 6 左岸側浸水想定区域の時間変化

7. おわりに

本研究は、登別市の三地区について氾濫流の数値解析を行い、幌別地区、鷺別地区の浸水想定区域図を作成した。図-7 に鷺別地区の浸水想定区域を示す。本研究では、登別地区において、50 年確率降雨における流量が登別川の現況河道を流下しても氾濫しないため検討を行っていない。また、越流地点付近に居住する住民の避難行動については、浸水域の広がりや避難所までの移動時間の関係により、避難を開始するまでの時間を導き、避難情報の伝達方法についての考察を行った。



図 - 7 鷺別地区鷺別川浸水想定区域

謝辞

本研究にあたり、貴重なデータを提供して頂いた室蘭土木現業所、登別市、北海道企業局室蘭地区工業水道管理事務所、財団法人室蘭テクノセンター、日本気象協会室蘭支店の関係者の各位に記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 逢坂真由子：都市洪水氾濫予測の高度化と防災情報システムの構築に関する研究、平成 11 年度室蘭工業大学建設システム工学専攻修士論文、1999。
- 2) 岩佐義朗、井上和也、水島雅文：氾濫水の水利の数値解析法、京都大学防災研究所年報、第 23 号 B-2、pp.305-317、1980。
- 3) 国土交通省河川局治水課：浸水想定区域図作成マニュアル、2005。
- 4) 平成 12 年度国勢調査結果：総務省統計局、2005。
- 5) 末次忠司：河川の減災マニュアル、山海堂、p.260、2004。