

II-31

市街地における洪水氾濫解析
—登別市幌別地区の事例解析—

室蘭工業大学 ○学生員 逢坂 真由子
室蘭工業大学 正会員 藤間 聡

1. はじめに

近年、治水施設の整備により洪水災害は減少し、それに伴い洪水に対する住民の危機意識は低下している。一方、計画規模をはるかに越えた豪雨により甚大な被害が各地で生じている。このように構造物だけでは対処できない水害への対策として、建設省は、浸水予想区域、避難経路、避難場所等を記載した「洪水ハザードマップ」を作成して積極的に情報公開し、人的・物的な洪水被害の軽減を図っている。しかし、その対策は主に一級河川流域が対象であり、中小河川流域における対応は遅れているのが現状である。

本研究は、小河川流域における市街地を対象とした洪水ハザードマップ作成を目標とし、微細な地形や土地利用を考慮して、氾濫水の流向や流速、時間毎の浸水域等を克明に予測し、洪水災害の軽減・防止対策に供するものである。

2. 解析対象地域

解析対象地域は、二級河川来馬川流域の登別市幌別地区とする。同地区は来馬川沿川に商店街が形成され、住宅街が隣接している。幌別地区の水文・地質的特徴は以下の通りである。

- 1) 幌別地区は北海道の豪雨地帯にあり、年間降水量は2000mmに達する。
- 2) 来馬川最下流部では標高差が小さいため、氾濫水が長時間滞留する可能性が大きい。
- 3) 家屋密集地帯を来馬川が貫流する。

以上より、この地域は洪水発生危険性が十分認められ、災害発生時には公共施設や住宅等に多大な被害が及ぶものと予想される。解析領域は図-1に示す河口から北東1.5km、海岸線から北西1.0kmの範囲とする。

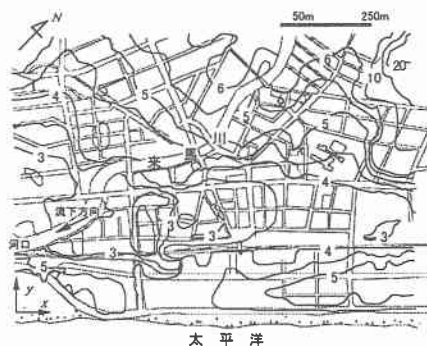


図-1 解析地域(登別市幌別地区)

3. 氾濫流の数値解析

市街地における氾濫水は二次元平面流れとして取り扱うこととし、連続式および運動量式の差分式を以下に示す。既知量の差分式は偏微分形のまま表記する。なお、計算はStaggered格子を用いたLeap-frog法¹⁾によって行う。

$$\frac{h_{i,j} - h_{i,j}}{\Delta t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{q_{x,i+\frac{1}{2},j} - q_{x,i+\frac{1}{2},j}}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2}{h^3} \cdot \frac{1}{2} (q_{x,i+\frac{1}{2},j} + q_{x,i+\frac{1}{2},j}) \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \quad (2)$$

A Study on Inundation Flow in Urban Area, Case Study in Horobetsu, Noboribetsu by Mayuko AISAKA, Satoshi TOHMA.

$$\frac{q_{y,i,j+\frac{1}{2}} - q_{y,i,j-\frac{1}{2}}}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^3} \cdot \frac{1}{2} (q_{y,i,j+\frac{1}{2}} + q_{y,i,j-\frac{1}{2}}) \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \quad (3)$$

ここに、 Δt は時間ステップ間隔、 h は水深、 q_x 、 q_y はそれぞれ x 、 y 方向の流量フラックス、 g は重力加速度、 H は水位、 n はマンニングの粗度係数である。ただし、下付き ij 等は空間格子位置である。移流項は一次の風上差分、摩擦項は常数項となるため計算上の安定性を考慮して陰的に取り扱っている。

4. 計算条件

1) 標高および土地利用データ

標高は、1/2500 の登別市都市計画図から図-1 に示す x 、 y 方向それぞれ 12.5m の直交正方格子に分割し、格子点上の標高を読み取った。土地利用状況は一格子内で宅地や道路等が混在する場合、その占める割合が最も大きなものをその代表値として読み取った。計算では、それぞれの土地利用状況に対応した所与の粗度係数を与えるものとする。

2) ピーク流量の算定

来馬川では洪水流量データが観測されていないため、岩井法による 30 年確率日雨量 276mm/day および洪水到達時間 1.4hr から物部式により平均雨量強度を算出し、合理式によりピーク流量 356m³/sec を得た。本研究では、この流量に基づき不等流計算を行い河川水位および氾濫位置を設定する。

3) 河川水位の算定

不等流計算の結果、河川水位は解析地区の全領域において堤防高を上まわる。従って、河川水位と堤防高との差が最も大きい地点の左岸側への氾濫を解析する。氾濫はその地点のみで発生するものとし、河川水位は計算で得られた 6.6m を与える。また、氾濫点以外の溢水深を 0m とした。河川水位は計算時間内全てにおいて不変とする。

4) 氾濫流量算定

氾濫点における河川から堤内地への流量フラックスの算定には、次に示す公式を用いる。図-2 に示すように、河川水位を H_r 、氾濫点と隣り合う堤内地の水位を H_l 、堤防

高を H_d とし、 $H_r > H_l$ のとき $h_r = H_r - H_d$ 、 $h_l = H_l - H_d$ とおくと、

$$h_l/h_r \leq 2/3 \text{ のとき} \quad q_{x,y} = \mu h_r \sqrt{2gh_r} \quad (4)$$

$$h_l/h_r > 2/3 \text{ のとき} \quad q_{x,y} = \mu' h_l \sqrt{2g(h_l - h_r)} \quad (5)$$

ここで $q_{x,y}$ は、式(1)から式(3)の q_x および q_y に相当する。また、完全氾濫流量係数 μ および潜り氾濫流量係数 μ' はそれぞれ 0.35 および 0.91 とする。来馬川は掘り込み式河川であるため、 H_d は氾濫点と隣り合う堤内地の地盤高を用いる。一方、 $H_r > H_l$ の場合に生じる堤内地から河道内に戻る流れについては上式を考慮せず、逆氾濫の方向に応じて $q_{x,y}$ を 0 とする。

5) 初期条件

降雨などによる内水は無いものとし、水深および流量フラックスは全て 0 とする。

6) 先端条件

水深が基準値 0.001m 以下である格子から流出する流量フラックスは 0 とし、計算される水深が負となる場合これを 0 とする²⁾。

7) 外側境界条件

x および y 方向それぞれ一つ手前の格子と同じ流量フラックスを与える。

8) 計算格子間隔および時間間隔

$\Delta x = \Delta y = 12.5\text{m}$ 、 $\Delta t = 0.5$ 秒とする。

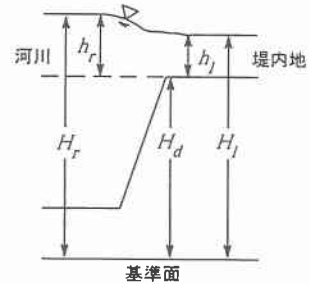


図-2 氾濫流量説明図

5. 計算結果

図-3および図-4は、それぞれ氾濫開始5分後および10分後における氾濫水の流速ベクトル図である。図中の①から⑥の実線は、氾濫水が集中し流れが卓越している部分を表しており、この実線周辺の流れについて考察する。氾濫開始5分後では、氾濫点付近に大きな流速が見られる。①から③のいずれの場合も氾濫水は標高の低い方へ流下しているが、勾配の最も急な②部分に氾濫水が周辺から集まっている。氾濫開始10分後においても氾濫開始5分後と同様に、氾濫点付近に大きな流速が見られる。また、④から⑥のいずれの場合も氾濫水は低標高方向へ流下しているが、勾配の最も急な⑤部分に氾濫水集中している。標高差の小さい下流部分では、最急勾配の⑤を通過して流下した氾濫水と、④を通過して流下した氾濫水とが合流し、さらに図の左下の低部へ向かう流れが見られる。また、⑥を通過して流下した流れが、図の右下の方へ進んでいる。これらの理由から、地形勾配による流れが支配的であると考えられる。一方、④と⑥の中流部以下の部分では、周辺の流れとは異なる流向、すなわち道路に沿った流れが見られ、流速はその周辺のものよりも速いことが図から判断される。

図-5は時間毎の氾濫水の到達区域を示している。氾濫水は、氾濫開始5分以内に氾濫点から直線距離が100mにある図書館に到達し、およそ5分で300mにある市役所、10分以内に350mにある小学校、15分以内に500mにあるJR幌別駅にまで達し、短時間の内に公共施設の大半が浸水してしまう。

ここで流速と水深の関係について検討を行う。文献³⁾によれば、膝下の水深(0.3m)では、歩行者は流速が最大0.8m/secまで普通に歩くことができるが、水深が膝(0.5m)まで達すると流速が0.6m/secで歩行時に圧迫を感じるようになる。さらに膝上の水深では、流速が0.4m/secで強い圧迫感を感じ、通常に歩行できなくなるとされている。氾濫10分後、浸水域のほぼ中央に位置する登別市役所付近における流速は1m/sec前後であり、浸水深は0.5m前後であることから、大人であれば歩行することは不可能ではないが、子供やお年寄りでは、移動できないと考えられる。

6. 結論

洪水到達時間の短い小河川流域では、事前に被害予想区域を広く住民に周知し、避難活動や水害に強い街作りに活かすことが重要である。信頼性のある洪水ハザードマップを作成するため、本研究では、市街地の詳細な標高と土地利用を考慮した洪水氾濫解析を行った。30年確率日雨量と同程度の豪雨が生じ、来馬川が氾濫すると想定した結果、氾濫水は極めて短時間の内に市街地に進入し、重要な公共施設の大半に浸水が及ぶことを示した。また、氾濫水の流れは、地形勾配による流れが支配的であると考えられるが、一部で道路に影響された流れも認められた。流速と水深の関係について検討を行った結果、安全に歩行できない場合があることがわかった。

従って、浸水後における避難は困難であると予想されることから、河川の洪水流出解析により河川水位を予測し、堤内地に氾濫水が溢水する以前に的確な避難情報を住民に伝達することが必要である。さらに、避難経路、避難場所の設定および住民の確認徹底や、洪水発生時に対応を行う行政施設の移転等、水害に強い街作りの推進が重要である。

今後は予測モデルの再検討とともに、洪水災害の軽減・防止に関する防災情報の提供に関する研究を行う所存である。

謝辞

北海道室蘭土木現業所治水課より貴重な資料等を提供して頂いた。ここに記して関係各位に感謝の意を表します。また膨大な地図データの作成にご協力頂いた室蘭工業大学建設システム工学科河海研究室の院生並びに4年目学生に感謝いたします。



図-3 流速ベクトル図
(溢水より5分後)



図-4 流速ベクトル図
(溢水より10分後)



図-5 氾濫水到達時間図

参考文献

- 1) 後藤智明・小川由信：Leap-frog法を用いた津波の数値解析法，pp. 1-13, 1982.
- 2) 岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文：氾濫水の水利の解析法，京大防災研究所年報第23号B-2, 1980.
- 3) 福岡捷二・川島幹雄・松永宣夫・前内永敏：密集市街地の氾濫流に関する研究，土木学会論文集 No. 491/II-27, pp. 51-60, 1994.