高解像度地理情報を用いた室蘭市輪西地区の内水氾濫解析

Analysis of Inundation of Inner Basin in Wanishi Area in Muroran City Using High-Resolution Geographical Information

室蘭工業大学大学院	○学生員	井上 峻志	(Takashi Inoue)
室蘭工業大学大学院	正 員	中津川 誠	(Makoto Nakatsugawa)

1. はじめに

近年,地球規模の気候変動の影響とみられる集中豪雨 が増加傾向にあり¹⁾,また,日本各地では,過去に経験 したことの無いような豪雨による被害が多発している. 北海道においても2012年9月には,岩見沢市で局地的に 激しい雨が降り,河川の氾濫により町が冠水し,約7,900 人に避難勧告が出されるといった被害も発生している. このことからも,今後,日本全国で大雨による被害の頻 発,増大が懸念される.

このような中,室蘭市輪西地区が2008年7月23日, 2010年8月12日と相次いで記録的な大雨に見舞われ, 内水氾濫によって冠水した.この際広い範囲で冠水した ため道路の通行止めや床上浸水等で地域住民の日常生活 に多大な影響を及ぼした.

本研究は、室蘭市輪西地区の氾濫想定を行い、今後の 対策に生かすことを目的とする.そのために、冠水の被 害が大きかった地点に近い排水路に水位計およびその付 近に雨量計を設置し、排水路の下流端にも水位計を設置 し、回収したデータから集水域内の降雨・流出関係を調 べた.また、国土地理院が公開している数値標高データ (5m メッシュ)²⁾といった、高解像度の地理情報を用い、 過去の内水氾濫解析をフリーソフト NILIM2.0³⁾を用いて 行い、過去の冠水状況の再現を試みた⁴⁾.

2. 対象地域

本研究の対象地域は,図-1の赤線で示す室蘭市輪西地 区である. 室蘭市輪西地区は、北海道の南西部に位置す る人口 3,741 人 (平成 24 年 11 月現在), 集水面積 3.37km² の地域 5,6)であり、図-1 に示す通り南側が山で囲まれて おり,北側には埋立地である工場敷地が広がっている. このことから輪西地区の中心部に位置する市街地は、背 後が山であることから雨水が流れ込みやすく、さらに、 正面が埋立地であり、地形勾配が緩いことによる雨水排 水のしにくさから、冠水しやすい条件下にある. また、 対象地域に河川はなく、道路側溝、排水路により雨水等 を排水しており、排水路の一部で逆勾配となっている箇 所や、泥の堆積等がみられ、道路側溝の一部でも泥や土 砂の堆積等が見受けられた.また,輪西地区の排水路の 下流端の水位は海に近いため潮汐の影響を受ける.以上 のことから、降雨と潮位の二つの影響が共に作用した複 雑な氾濫が起こる地域であると考えられる.

本研究における内水氾濫計算の対象となるのは図-1 の橙線で囲まれた最も冠水被害の多かった地域が含まれ る集水区域(集水面積 0.99km)である.排水路の下流部 は民間(工場)の敷地で立ち入ることができないため,



図-1 輪西地区の集水域図

水位計を設置することのできる排水路の下流部を集水区 域の下流端と設定した.

3. 過去の氾濫事例

3.1 室蘭市の過去の降雨

室蘭地方気象台で観測された過去 32 年間の年最大時 間雨量を図-2 に示す.室蘭市で冠水被害が起きたのは 2008年7月23日,2010年8月12日である.図-2を見 ると2008年,2010年の年最大時間雨量が例年以上に大 きくなり,冠水した可能性が高いと見られる.2000年の 年最大時間雨量も40.5mm となっているが,大きな降雨 はこの1時間のみであるため,冠水には至らなかったと 考えられる.

3.2 2008年の氾濫事例

台風7号崩れの低気圧の影響で2008年7月23日,室 蘭地方は記録的な大雨に見舞われ,輪西地区の広い範囲 で冠水した.図-3に室蘭地方気象台で観測されたハイエ トグラフを示す.雨量の降り始めは22日23時で,23日 の日雨量は130mm,最大1時間雨量は46.0mmとなった. この大雨により輪西駅前を中心とした市道輪西東町通り では一面が水深20~30cm程度の大きな池状態となり, 通行止め措置が取られた.冠水がちょうど通勤時間帯と 重なっていたため,迂回させられた車が国道36号などに 集中し大渋滞となった.また,80 戸以上が床上,床下浸 水の被害に遭うなど,大きな被害が発生した.





図-4 2010 年 8 月豪雨時のハイエトグラフ(室蘭) (2010/8/11 0:00~2010/8/12 24:00)



写真-1 冠水時の最大被害箇所の様子 (左;2012年8月平常時,右;2010年8月12日冠水時⁷⁾)

3.3 2010 年8月の事例

雷 10

台風4号の接近により前線が活発になった影響で,室 蘭地方は8月11日から12日にかけて記録的な大雨に見 舞われた. 図-4 に室蘭地方気象台により観測されたハ イエトグラフを示す.8月11日の室蘭の日雨量は115mm に達し、最大1時間雨量 39mm で、8 月としては過去最 高を記録した. 市内では冠水や土砂崩れが多発し,一部 住民は避難した. 幹線道路には大きな水たまりができ, 朝の通勤に大きな影響が出た.写真-1は冠水個所の写真 と平常時の写真の比較を示したものである.

4. 内水氾濫解析

2008年7月,2010年8月当時の冠水状況を再現するこ とを目的とし, NILIM2.0 による内水氾濫解析を行う. 以 下にモデルの基礎式と計算条件を示す.

4.1 NILIM2.0モデル

モデルは、二次元不定流による地表面氾濫モデルと Diffusion Wave による管路モデル、オリフィス式から上 端流量を算定する溢水量・流入量算定モデルからなる.

二次元不定流による地表面氾濫モデルでは次式⁸⁾を用 いて計算する.

(連続式)

 $\frac{\partial h}{\partial h} + \frac{\partial M}{\partial h} + \frac{\partial N}{\partial h} = 0$ (1) $\partial t \quad \partial x \quad \partial y$ (運動方程式) $\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial u M}{\partial x} + \frac{\partial v M}{\partial y} + gh\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\tau_x(b) = 0$ (2) $\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial u N}{\partial x} + \frac{\partial v N}{\partial y} + gh\frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho}\tau_{y}(b) = 0$

ここで,Hは水位(m),hは水深(m),uおよびvはx方向, v 方向の流速 (m/s), g は重力加速度 (m/s²), ρ は水の密度, MおよびNはx方向およびy方向の流量フ ラックス (m^2/s) , $\tau_x(b)$ および $\tau_y(b)$ は x, y 方向のせん断 力 (N/m²) である.

Diffusion Wave による管路モデルでは次式⁸⁾を用いて 計算する.

(連続式)

開水路流れ:
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{in}$$
 (3)
圧力流れ: $\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{C^2}{g} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{C^2}{gA_0} q_{in}$ (4)
 $A_0 = \frac{\pi D^2}{4}$ (円管) $A_0 = BH$ (矩形管)

4

(運動方程式)

$$\frac{\partial h}{\partial x} = S_0 - S_f = S_0 - \left(\frac{n^2}{R^{\frac{4}{3}}} + \frac{k}{2gL}\right)\frac{Q^2}{A^2} = 0 \qquad (5)$$

ここで、Aは流水断面積 (m²)、Qは流量 (m³/s)、 q_{in} は 横流入量 (m³/s/m), n はマニングの粗度係数, R は径深 (m), S₀ は水路床勾配, B は水面幅 (m), H は水位 (m), *h* は水深(m), *A*。は管路断面積(m²), *L* は管路長さ(m), Cは圧力波速度(このモデルでは 20m/s), Srは摩擦損失勾 配, k は局所損失係数を表している.境界条件は潮位か ら相関をとって推定した排水路下流端の水位、水深を与 える.

また,図-5に模式的に示すように人孔からの溢水量お よび流入量は、次式の連続式とオリフィスの式から計算 する.

 $Q_{in} = Q_{vol} + Q_{out}$ (溢水時 Qvol>0, 流入時 Qvol<0) (6) (運動方程式)

$$Q_{vol} = CA\sqrt{2g\Delta h} \qquad (7)$$

ここで, Q_{in}は流入量 (m³/s), Q_{out} は上端流入量 (m³/s),

 Q_{vol} は溢水量および流入量(m^3/s), Cは水理模型実験か ら得られた流量係数(溢水:0.510,流入:0.341), Aは溢水 量(m^3/s), Δh は地表面湛水位と管路ピエゾ水頭平均と の差(m)を表している.なお、当該地域の実際の排水 路は人孔ではなく開口部で雨水の流出入がある.それを 仮想的に φ =1000mmの人孔とみなして計算条件を設定し た.

4.2 計算に必要なデータ

計算に必要となるデータを表-1に示す.

氾濫原モデルの構築については,10m×10mの計算格子 とし,地盤高は国土地理院が公開している高解像度地盤 高情報である数値標高データ(5mメッシュ)²⁾を使用し, 建物占有率,地表面の底面粗度係数については Google Earth から計算格子毎に目視により読み取った.降雨はア メダスデータ(室蘭,10分雨量)を使用した.

下水道モデルの構築については,輪西大雨資料全体図⁹⁾から道路側溝位置および流向方向を,現況施設データ⁶⁾および直接現地で調査した結果から,道路側溝断面を 判読して行った.

4.3 排水路下流端水位の推定

下水道モデル構築において,排水路下流端の水位デー タが必要となる.本研究の解析対象流域(図-1, 橙線) の下流端水位は観測結果から潮位の影響があることが分 かった.2010年および2008年氾濫時に排水路の水位観 測は行われておらず,当時の内水氾濫解析を行うために は、当時の水位を再現する必要がある.

そこで、昨年度から観測を開始した解析対象集水区域の下流端の水位と室蘭港の実測潮位データおよび観測降 雨データのそれぞれ 2011 年 8,9月分の相関より回帰式 を求め、当時の水位を再現することとした.

(1) 潮位と下流端水位の相関

降雨による水位上昇を考えず,潮位の影響のみを受け た下流端水位変動を再現するため,無降雨期間の下流端 水位と室蘭港の潮位との相関から回帰式を求め,室蘭港 の潮位から潮位の影響による排水路の水位変動を算出で きるようにした.



図−5 溢水・流入の模式図 表−1 計算に必要となるデータ

データ項目	構築データ	元となる資料	
氾濫原	氾濫原地盤高	数値標高データ 5mメッシュ ²⁾	
	地表面の底面祖度係数、建物占有率	Google Earth	
	降雨データ	アメダスデータ 10分雨量	
下水道	管路規模諸元	輪西大雨資料全体図 ⁹⁾ 現況施設データ ⁶⁾ 現地調査より	
	人孔諸元		
	下流端水位データ	観測データより推定	

(2) 降雨による水位上昇と実効雨量の相関

排水路下流端水位は、潮位以外にも降雨により水位が 上昇する.上記(1)の潮位の影響のみを受けた無降雨 時の水位をベースとし、降雨時の観測水位との水位差が 降雨による水位上昇分となる.そこで、降雨による流出 変動を考慮できる実効雨量と、この水位上昇との相関か ら回帰式を求め、降雨量も考慮して排水路下流端の水位 上昇を算出できるようにした.ここで、実効雨量とは、 過去の降雨状況を考慮したもので、新しい雨ほど影響が 強く、過去の雨には減少係数をかけて影響を減少させた ものであり、次式¹⁰により求めた.

$$R_t = r_t + \sum_{n=1}^m \alpha_n r_{t-n} \qquad (8)$$

 $\alpha_n = 0.5^{n/T} \qquad (9)$

ここで、 R_t は時刻 t の実効雨量 (mm), r_t は時刻 t の 10 分雨量 (mm/10min), m は実効雨量の推算に際し最大限 さかのぼって考慮した時間 (=360min), a_n は減少係数, Tは半減期 (min) であり, T=90min として与えた.

具体的には,以下に示す式(10)の様に(1)による ベース水位 H₀に(2)による水位上昇分 ΔH を加え,排 水路下流端水位 H を推定する.

$$H = H_0 + \Delta H \tag{10}$$

2011 年 8,9月の計算水位の再現性が図-6のとおり確認 されたことから、この方法で2008年および2010年氾濫 時の下流端水位を再現した.紙面の都合上、2010年氾濫 時の再現結果のみを図-7に示す.



5. 解析結果

2008 年 7 月 23 日および 2010 年 8 月 12 日の内水氾濫 解析による再現結果を図-8,9 に示す.標高の低い道路 に沿って冠水が見られ,前述したように,市道沿いの大 きな冠水を再現できている.また,図-10 には 2010 年冠 水時において,地面から何 cm 程度の浸水であったかと いう住民へのアンケート調査結果¹¹⁾を示した.

図-9 と**図-10** を比較すると 2010 年の解析結果は,おおむね良好に再現している.

2008 年冠水時は、定量的な記録が無いため、解析結果 を同様に評価することができない.しかし、2008 年と 2010 年の解析結果を比較すると、2008 年の方が全体的に 10cm 程度冠水深が大きい.最大 24 時間雨量を見ると、 2008 年、2010 年の事例はそれぞれ、136.5mm、182.5mm となり 2008 年の方が小さいが、最大時間雨量を見ると、 2010 年では 39mm と 10 年確率程度の降雨だったのに対 し 2008 年では 46mm と 30 年確率程度の降雨であり、2008 年の方が短時間に強い降雨であった(**表-2**).このこと から、輪西地区は短時間でも強い雨が降ることで冠水の 恐れがある地域であると考えられる.

6. まとめ

高解像度地理情報を用いて,過去の排水路の下流端水 位を潮位や降雨量との相関性に基づいて再現し,過去の 内水氾濫を再現した.当時の冠水状況と比較し,良好に 再現できたと考えられる.今後は,本研究の成果を様々 な潮位や降雨条件による冠水リスクの推定,および貯留 施設等による冠水低減対策の効果を定量的に把握するな どの対策立案に生かしていきたいと考える.

謝辞

本研究は、平成24年度室蘭市受託研究「室蘭市輪西地 区大雨災害対策に関わる研究」により行っているもので ある.本研究を行うに当たって、室蘭市役所土木課、北 海道開発局室蘭開発建設部の関係各位、室蘭工業大学博 士前期課程に在学中の加賀浩行氏に資料提供、助言を頂 いた.ここに記して感謝の意を示します.

参考文献

- 1) 国土交通省:平成 23 年度国土交通白書,第Ⅱ部 第 6章, 2011年.
- 国土交通省国土地理院:基盤地図情報サイト url:http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html
- 3) 国土技術政策総合研究所水害研究室, NILIM2.0, 2008年7月.
- 加賀浩之、中津川誠、北岡崇浩:室蘭市輪西地区の 内水氾濫解析について、土木学会北海道支部論文報 告集、第68号、B-55、2011年.
- 5) 室蘭市:室蘭市住民基本台帳, 2012年11月.
- 6) 室蘭市:平成 11 年度輪西幹線排水路実施設計委託全体計画案基本検討書,2000年.
- 7) わくわく工房☆muroran: url:http://blogs.yahoo.co.jp/qnwmx716/51124425.html
- 8) 国土技術政策総合研究所水害研究室: NILIM2.0 都市

域氾濫解析モデルマニュアル, 2008年7月.

- 9) 室蘭市:輪西大雨資料全体図, 2011年9月.
- 10) 土木学会水工学委員会 平成15年台風10号北海道 豪雨災害調査団:平成15年台風10号北海道豪雨災 害調査報告書,2003.
- 11) 室蘭市:緊急雇用創出推進事業補助金交付要綱に基 づく大雨状況調査業務委託,2011年12月.
- 12) 北海道:北海道の大雨資料(第12編), 2011年4月.



図-8 2008 年最大冠水深図



図-9 2010 年最大冠水深図



図-10 2010年冠水時の浸水状況アンケート調査結果

表-2 室蘭市の確率雨量¹²⁾

確率年	5年	10年	30年	50年	100年
1時間雨量(mm/h)	31	37	45	49	54
24時間雨量(mm/24h)	110	126	149	160	175
	* 4+=1 + 1+ 1000 +			aaaa左@aa左朋	

*統計年は1923年~2008年の86年間