

室蘭市輪西地区の内水氾濫対策に関する研究

Research on Measures for Inundation of the Inner Basin in Wanishi Area in Muroran City

室蘭工業大学 ○学生員 池内 祐太 (Yuta Ikeuchi)

室蘭工業大学 正 員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)

1. はじめに

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。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や局地的なゲリラ豪雨による被害が多発している。今後も日本全国で大雨による被害の頻発、増大が懸念される。

本研究は、室蘭市輪西地区の氾濫想定を行い、今後の対策を考えることを目的とする。国土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、これまで、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、過去の冠水状況の再現を試みてきた^{4),5)}。本稿ではそのようなシミュレーションを通して浸水を軽減する対策を検討した結果を示す。

2. 対象地域

本研究の対象地域は、**図-1**の赤線で示す北海道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^{6),7)}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。これは、海岸線の埋め立てによりできた土地である。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が多かった地域が含まれる集水区域(集水面積0.99km²)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



図-1 輪西地区の集水域図



写真-1 冠水時の最大被害箇所の様子⁸⁾

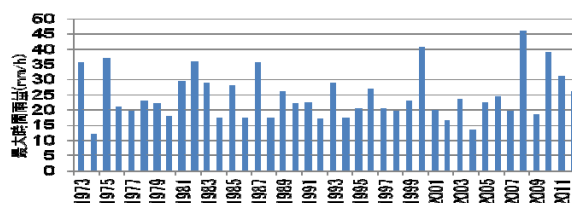


図-2 最近40年(1973~2012)の年最大時間雨量(室蘭)

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40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。

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。これより、最近多発する短時間に集中する豪雨が冠水の要因とみなされる。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。

3.3 2010年8月の事例

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。これより、2010年の冠水時は継続的な雨により冠水が起きたことがわかる。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。**写真-1**は冠水箇所の写真と平常時の写真の比較を示したものである。

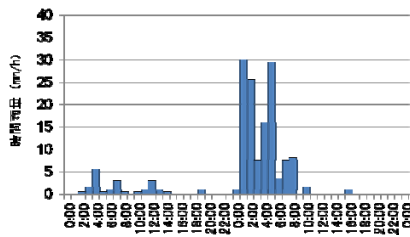


図-3 2008年7月豪雨時の
ハイトグラフ(室蘭)

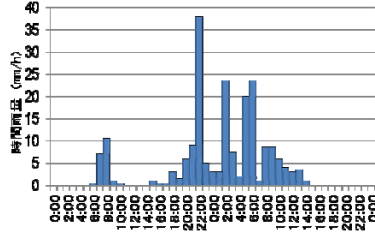


図-4 2010年8月豪雨時の
ハイトグラフ(室蘭)

表-1 計算に必要なとなるデータ

データ項目	観測データ
氾濫原	氾濫原地盤高
	地表面の底面粗度係数, 建物占有率
	降雨データ
下水道	管路規模諸元
	人孔諸元
	下流増水位データ

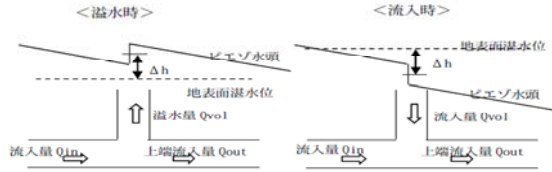


図-5 溢水・流入の模式図

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し, 対策を考える事を目的とし, NILIM2.0による内水氾濫解析を行う。

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⁹⁾を用いて計算する。

(連続式)

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

(運動方程式)

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x(b) &= 0 \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y(b) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで, H は水位 (m), h は水深 (m), u および v は x 方向, y 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 (m²/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を用いて計算する。

(連続式)

$$\text{開水路流れ: } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{in} \quad (3)$$

$$\text{圧力流れ: } \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{C^2}{g} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{C^2}{gA_0} q_{in} \quad (4)$$

$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4} (\text{円管}) \quad A_0 = BH (\text{矩形管})$$

(運動方程式)

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

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 はマンニングの粗度係数, R は径深 (m), S_0 は水路床勾配, B は水面幅 (m), H は水位 (m), h は水深 (m), A_0 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), S_f 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。

(連続式)

$$Q_{in} = Q_{vol} + Q_{out} \quad (\text{溢水時 } Q_{vol} > 0, \text{ 流入時 } Q_{vol} < 0) \quad (6)$$

(運動方程式)

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

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 (m³/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 (m³/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 $\phi=1000\text{mm}$ 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

計算に必要なデータを表-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は井上ら⁵⁾ が使用したデータを使用した。降雨はアメダスデータ (室蘭, 10分雨量) を使用した。

下水道モデルについては, 輪西大雨資料全体図¹⁰⁾ から道路側溝位置および流向方向を, 現況施設データ⁷⁾ から, 道路側溝断面を使用した。

5. 解析結果

5.1 2008年, 2010年, 10年確率降雨の解析結果

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-6, 7 に示す。標高の低い道路に沿って冠水がみられ, 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。さらに, 10年確率降雨について解析を行った。

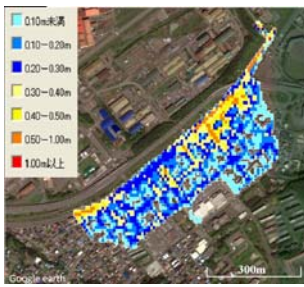


図-6 2008 年最大冠水深図

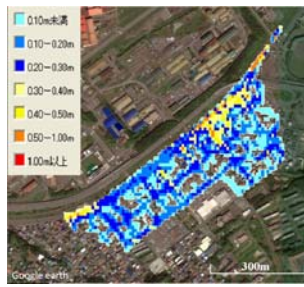


図-7 2010 年最大冠水深図

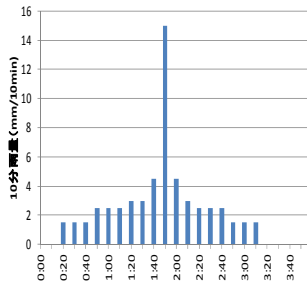
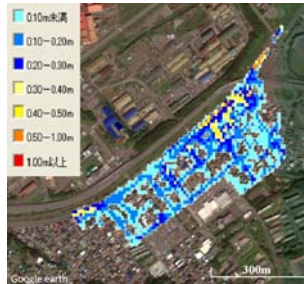
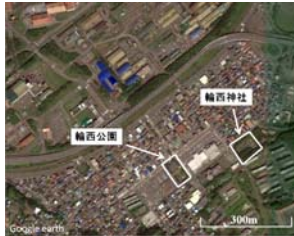
図-8 解析に使用する
10 年確率降雨図-9 10 年確率降雨の
最大冠水深図(ケース 0)

図-10 輪西公園及び輪西神社の配置図

計算条件について、降雨データに関しては、北海道の大気資料より室蘭市における 10 分雨量、30 分雨量、1 時間雨量、2 時間雨量、3 時間雨量が 10 年確率降雨となるように図-8 のような降雨を設定した。井上らによると、同じ降雨条件でも潮位の影響が大きいので、潮位に関しては、安全側で考えるため、2011 年 10 月～2012 年 10 月の最高潮位(潮位+85cm(TP))を与えた。10 年確率降雨の内水氾濫解析による最大冠水深図を図-9 に示す。

表-2 に示される 2008 年降雨の確率年を見ると、ほとんどの時間単位毎の雨量で 10 年確率降雨を上回っていることがわかる¹¹⁾。

5.2 冠水被害低減対策の検討

本研究では、対策案として①流域内貯留、②幹線排水路拡幅、③幹線排水路勾配是正+ポンプ排水の 3 つを提案し、検証した。計算条件の降雨データとして、5.1 で述べた 10 年確率降雨を用い、潮位に関しては、安全側で考えるため、2011 年 10 月～2012 年 10 月の最高潮位(潮位+85cm(TP))を与えた。各検証にケース番号を振り、表-3 のように示す。各ケースの解析結果を表-4 にまとめた。

(1) 流域内貯留の検証(ケース 1)

公共・公益施設への貯留による対策案についての検証を行う。本研究では、輪西地区における公共・公益施設である輪西公園及び輪西神社(図-10 参照)の地盤を深く掘り下げ、雨水を貯め込める流域内貯留対策についての検証を行う。

表-2 2008 年氾濫時の雨量と確率年

	時間	10分	30分	60分	1時間	2時間	3時間
2008	雨量 (mm)	16.5	37	46	30	55.5	63
	確率 年	20	70~100	30	7	20	20
10年確率降雨	雨量 (mm)	15	24	37	33	48	57

表-3 対策案の検証ケース

検証ケース名	設定内容
0	現況管路
1	1-1 輪西公園に貯留
	1-2 輪西公園及び輪西神社に貯留
2	2-1 管路①の管路断面を管路②と同断面とした
	2-2 管路①の管路断面を管路②と同断面とし、管路①～管路④の管幅を2倍
	2-3 管路①の管路断面を管路②と同断面とし、管路①～管路④の管幅を4倍
	2-4 管路①の管路断面を管路②と同断面とし、管路①～管路④の管幅を8倍
3	幹線排水路勾配是正(水平)及びポンプによる排水

表-4 解析結果のまとめ

検証ケース	条件				結果	
	継続時間 (hr)	総雨量 (mm)	最大時間雨量 (mm/h)	最大10分雨量 (mm/10min)	最大氾濫ボリューム (m ³)	最大冠水面積 (ha)
2008年氾濫時	18	129	30	16.5	34,307	17.3
2010年氾濫時	36	202	38	15	25,813	14.9
0	4	58	33	15	13,864	12.3
1	1-1	4	58	33	7,250	8.6
	1-2	4	58	33	5,110	8.0
2	2-1	4	58	33	12,653	11.9
	2-2	4	58	33	6,879	9.2
	2-3	4	58	33	6,907	8.9
	2-4	4	58	33	87	0.3
3	4	58	33	15	6,578	8.3

計算条件は輪西公園(平均標高 2.5m(TP)、面積 3052m²)及び輪西神社(平均標高 3.8m(TP)、面積 3278m²)の地盤を標高 1m(TP)まで掘り下げ、管路を新設し南東部の急傾斜地からの雨水は全てこの管路から輪西公園及び輪西神社へ貯留されるように設定した。

図-11 に輪西公園へ貯留したケースの最大冠水深図を示す。これを見ると、輪西公園に貯留できている様子が確認でき、また現況管路での冠水深図である図-9 と比較すると、輪西公園より西側の冠水を大きく低減できている結果となった。

図-12 に輪西公園及び輪西神社へ貯留したケースの最大冠水深図を示す。これを見ると、輪西公園と共に輪西神社でも貯留できている様子が確認できた。また、輪西公園のみへ貯留したケースの最大冠水深図である図-11 と比較すると、多少は冠水を低減できてはいるが、大きな改善効果は見られなかった。

(2) 幹線排水路拡幅の検証(ケース 2)

幹線排水路管幅拡大による冠水低減対策案は、大きく冠水した市道沿いの雨水を一時的に貯留させるため、幹線排水路の管幅を大きくすることを考えた。

管路断面に関して、図-13 に示す幹線排水路は管路①は円形断面、管路②～⑤は矩形断面というように、断面の異なる管路から成り立っている。そこで、ケース 2-1～ケース 2-4 に関しては管路①と管路②を同断面として解析を行った。さらに、管路①～④の管幅を 2 倍、4 倍、8 倍としたケースの検証を行った。

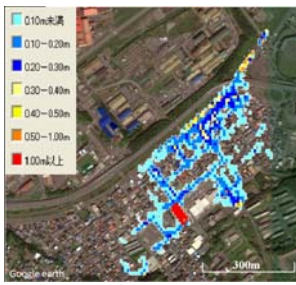


図-11 最大冠水深図
(ケース 1-1)

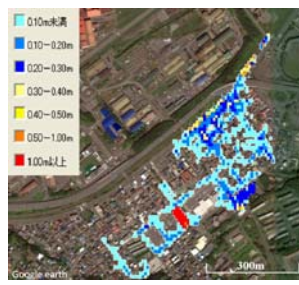


図-12 最大冠水深図
(ケース 1-2)

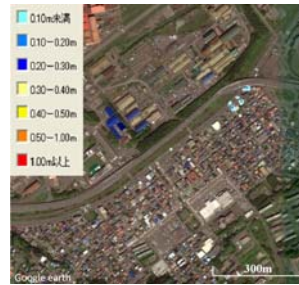


図-14 最大冠水深図
(ケース 2-4)

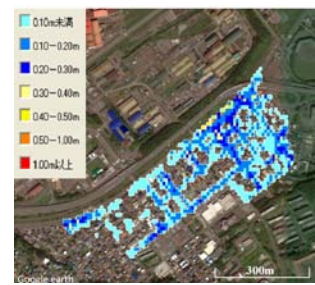


図-15 最大冠水深図
(ケース 3)



図-13 幹線排水路
(紫線：幹線排水路，青線：道路側溝)

管幅を 8 倍にした最大冠水深図を図-14 に示す。これを見ると、管幅を 8 倍にすることでほぼ冠水を起こさなくなることを確認した。

(3) 幹線排水路勾配是正+ポンプ排水の検証 (ケース 3)

室蘭市輪西地区は、2 で述べたように、排水路の一部で逆勾配となっている箇所 (図-13 の管路③) が存在する。そこで、逆勾配となっている管路を水平にすることで流れを良くし、さらに、図-1 で示した水路下流端部にポンプを設置することでさらに排水しやすくなるように設定し、検証した。

計算条件は、逆勾配となっている管路③ (図-13 参照) の上流部と下流部の管底高を同じにし、水路下流端部に $10\text{m}^3/\text{s}$ の排水能力をもつポンプを設置した。また、逆流防止用の水門を敷設することとしている。

最大冠水深図を図-15 に示す。これを見ると、冠水が低減されているものの、ケース 2-4 のような大きな低減は見られなかった。図-16 に時間経過ごとの氾濫ボリュームを示す。これを見ると、排水が速いものの、排水が降雨に追いついていないことがわかる。これより、冠水を防ぐには、さらに貯留施設の増強を図り、流域内貯留対策と組み合わせることも必要であることがわかる。

6. まとめ

NILIM2.0 を用いて内水氾濫解析を行い、2008 年と 2010 年氾濫時の冠水状況を再現し、冠水当時の様子を撮影した写真と比較し、当時の冠水状況を良好に再現できていることが確認できた。

冠水低減対策案として①流域内貯留の検証、②幹線排水路拡幅の検証、③幹線排水路勾配是正+ポンプ排水の検証を行った。その結果、①は、輪西公園より西側の冠水を大きく低減できているものの、全域の冠水を防ぐこ

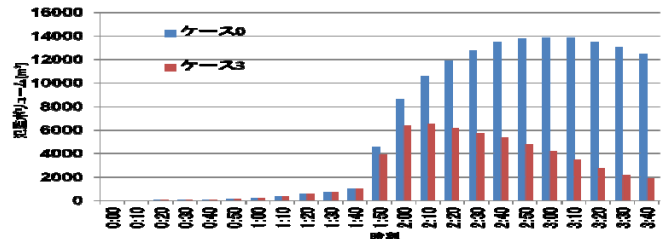


図-16 時間経過ごとの氾濫ボリューム

とは難しかった。②は、管幅を 8 倍まで拡幅することでほぼ冠水を起こさないという結果が得られた。③は、排水は速やかに行われるものの、それが降雨に追いついていないことがわかった。

これらより、短時間集中豪雨では貯留効果が重要であること、貯留施設の増強もしくは貯留施設と排水ポンプとの組み合わせなどが必要であることがわかった。

謝辞

本研究を行うに当たり、室蘭市役所土木課、室蘭工業大学大学院の林下直樹氏及び東京都庁の井上峻志氏には資料提供、助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

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。
- 2) 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。
- 4) 加我浩行，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 2 月。
- 5) 井上峻志，中津川誠，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，土木学会北海道支部論文報告集，第 69 号，B-31，2013 年 2 月。
- 6) 室蘭市，室蘭市住民基本台帳，2012 年 11 月。
- 7) 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
- 8) わくわく工房☆muroran，
url: <http://blogs.yahoo.co.jp/qnwmx716/51124425.html>
- 9) 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。
- 10) 室蘭市，輪西大雨資料全体図，2011 年 9 月。
- 11) 北海道，北海道の大雨資料(第 12 編)，2011 年 4 月。