

カルバートの流下阻害を考慮した想定氾濫区域の推定

～伊達市の事例～

Estimation of Flood Susceptible Area Considering Influence of Outflow Prevention by Calverts

～ Case Study in Date City～

室蘭工業大学	○学生員	北岡嵩浩	(Takahiro Kitaoka)
室蘭工業大学	正員	中津川誠	(Makoto Nakatsugawa)
室蘭工業大学	正員	太田典幸	(Noriyuki Ohta)

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響とみられる集中豪雨が全国的に増加傾向にあり、洪水被害が多発している。その中でも北海道は、本州に比べ降水量自体は少ないため、ひとたび大雨に見舞われると、洪水被害を受けやすい。また、近年では平成15年台風10号による記録的な集中豪雨が発生し、日高・十勝地方で甚大な被害が発生した。今後も各地でこのような洪水被害が多発する恐れがある。しかしながら、地方都市を貫流する中小河川は河川整備が十分ではない例も多く増大するリスクに対しては、ハード対策だけでは人命や財産を守ることが難しくなっている。また、このような中小河川のうち、地方部にある市町村が管理するものは、データが乏しく洪水予測や想定氾濫区域の設定といったソフト対策を講じるのも困難な事例もある。

本研究は、そのような事例として伊達市の市街地を貫流する紋別川、水車川、アヤマ川を対象とし、洪水に伴う外水氾濫を想定した氾濫流の数値解析を行うことで浸水域の推定を行うことを目的とする。また、流域に設置されている水車川・アヤマ川合流部カルバート地帯については数値解析に加え、模型実験により得られる結果との比較・検討も行うこととする。

2. 対象域の概要

2.1 伊達市及び解析対象河川

図-1に解析対象とした流域を示す。伊達市は北海道西部、札幌市と函館市のちょうど中間に位置し、室蘭市と隣接しており、総面積は444.3km²である。噴火湾（内浦湾）に面する伊達市域は、日本海から津軽海峡を通過する対馬暖流の影響を受けるため、四季を通じて温暖である。また降雪量も少ないことから、積雪による交通障害は本市においては極めて稀であり、厳しい冬の期間が長い北海道において、温暖な気象条件を有していることから「北の湘南」といわれている¹⁾。

対象河川である紋別川は流域面積12.5km²、流路延長7.9kmの2級河川気門別川の支流であり、河口から約4.3km上流で分流堰により分流され6割が気門別川へ4割が旧紋別川へ流れ込む（地点⑥）。なおこの分流後を旧紋別川と称する。旧紋別川は流域面積2.1km²、流路延長4.9kmで河口から約250m上流で水車川と合流（地点⑦）した後、気門別川と合流（地点⑧）する。同川は下流端

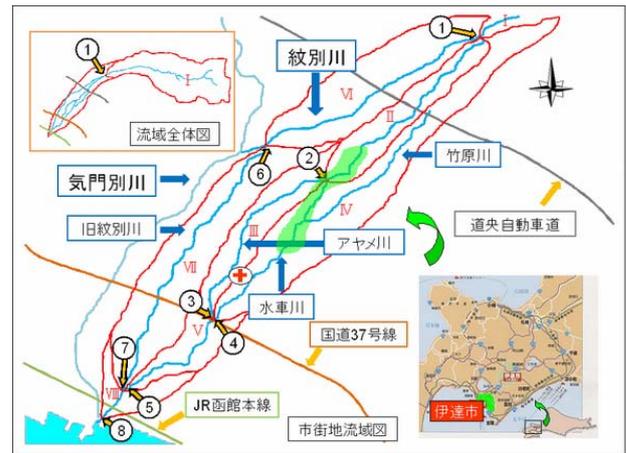


図-1 紋別川・水車川・アヤマ川流域

から約5.5km上流まで兩岸にコンクリート護岸を有する河道となっている。

水車川は流域面積1.7km²、流路延長7.4kmであり、最上流部で紋別川から水門で取水している（地点①）。同川は紋別川合流地点より約4.4km上流でアヤマ川と自然分流（地点②）した後、支流竹原川と合流し、国道37号線と交差する地点で再びアヤマ川と合流（地点④）し、旧紋別川に流れ込む。なお、同川は全区間が掘込河道である。また、同川は大雨発生時には水門によって紋別川からの流入を防いでいる。水車川流域では黄緑で示された部分に水車・アヤマ自然公園が設けられており、その公園内を自然河道の形態で流れている。水車・アヤマ自然公園下流の中流域では図-1の赤十字で示された地点に伊達赤十字病院があり、その両脇にコンクリート三面張矩形断面の水車川とアヤマ川が流れている。とくに図-1の流域Vでは市役所など重要施設が立ち並び市街地を貫流している。なお、計算に必要な流域分割を行い各小流域にI～VIIIの番号を付けることとする。

2.2 対象域におけるカルバート部

対象とした流域における、水車川流域、アヤマ川流域の一部において、ボックスカルバート、パイプカルバート等の河川の暗渠となるような構造物が設置されている。水車川の下流からSP300、SP350、SP410の地点にはボックスカルバートが配置されており、それらの諸量は図-2のようになっている。また、水車川とアヤマ川の合流部には水車川SP900、水車川SP910、アヤマ川

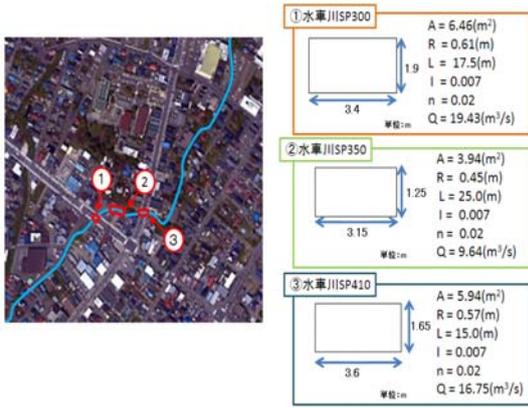


図-2 水車川・アヤメ川合流部より下流域のカルバート諸量

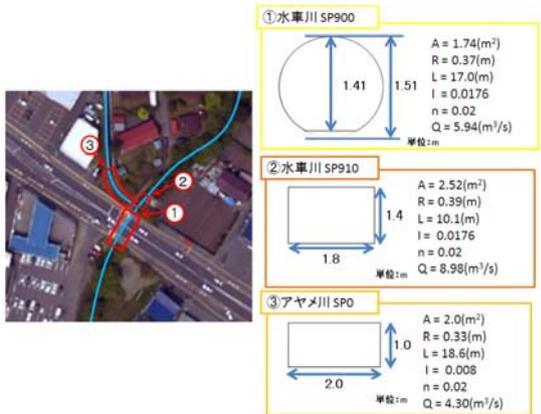


図-3 水車川・アヤメ川合流部のカルバート諸量

SP0 の3箇所のカルバートにより構成されているカルバート地帯がある。それぞれのカルバートの形状は、水車川 SP910 カルバート、アヤメ川 SP0 カルバートはボックスカルバートとなっているが、両河川の合流部は一部開口しており、河川合流後に水が流下する水車川 SP900 カルバートはパイプカルバートの形状をとっている。ただし、水車川 SP900 カルバートの流入口は水車川・アヤメ川の合流部の河床高より 0.1m 低い位置に配置されており、合流部のカルバートの流下能力を算出する際は、その位置関係も考慮に入れた。図-3 にこれらのカルバートの諸量を示す。ここに示したカルバートの諸量は現地測定の結果から得られた数値であり、ボックスカルバート口は矩形断面として流下能力を推算した。この図における A は流水面積, R は満管時の径心, L は流路長, I は河床勾配, n は Manning の粗度係数, Q は最大流下能力である。

3. 解析手法

3.1 50年確率雨量強度の推定

伊達市における洪水氾濫解析を行うに当たり、確率雨量強度の設定を行う。雨量の設定は別途行われた気門別川流出計算に準拠し、伊達市に隣接する室蘭市の雨量データ(統計年 1923~1989年)から確率雨量強度曲線を描き、キミジマ式より 50年確率雨量強度式を導き出した²⁾。

3.2 ピーク流量の推定

(1) ハイドログラフからピーク流量の推定

合理式以外の流出計算を用いる場合の計画降雨波形は、実績降雨波形の引伸し方式により決定することを基本とするが、本研究では降雨強度式からハイドログラフを作成する。本研究では氾濫計算にて越流時間と洪水越流高を必要とするため、洪水到達時間を時間間隔とする中央集中型のハイドログラフを作成し、合成合理式を用いてピーク流量を算出した³⁾。

(2) 流量の推定

対象河川流域内には、水文観測所がないため、合理式より各流域の流量を得た。流域Ⅲ, V, VII, VIIIと流域Ⅳの一部の流域面積は、市街地部分を下水道排水区面積とした。

(3) カルバート流下能力の推定

水車川 SP300, SP350, SP410, SP900, SP910 とアヤメ川 SP0 の6箇所の地点においてカルバートが配置されている。カルバート内の流れは管水路として取り扱い、以下の(1)式によりそれぞれのカルバートの最大流下能力を求めその結果に基づきカルバート地点ごとの流入量と流下能力の比較を行った。

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \quad (1)$$

ここに、Q は最大流下能力(m³/s), R は満管時の径深(m), I は河床勾配, A は流水面積(m²)であり, n は Manning の粗度係数として水路の材質や状態を考慮して 0.02 を与えた。なお、流下能力の計算に用いられる諸量については現地測量により得られた数値を使用することとする。

3.3 洪水時水位の算定

前節で求めたピーク流量に対し、各対象区間の水位を求めるため、限界水深と等流水深の比較によって常射流を判断し、100m 間隔で不等流計算を行うことで越流地点及び水位の決定を行った。

3.4 洪水氾濫流解析

(1) 外水氾濫流解析の基礎方程式

氾濫流の数値解析は、平面二次元流れとして扱い、計算法には差分法を用いる。基本方程式は以下に示す連続式(2)式と運動方程式(3)及び(4)式を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

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

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (4)$$

ここで、M, N は x, y 軸方向の流量フラックス (m²/s) で M=uh および N=vh, u, v は x, y 軸方向の流速 (m/s), h は水深 (m), H は水位 (=h+Z_b) (m), g は重力加速度 (m/s²), n は Manning の粗度係数, h は水深 (m), Z_b は地盤高 (m) である。

(2) 標高及び土地利用データの作成

氾濫流の解析を行うには、上記の(3)及び(4)式に示す地盤高 Z_b 及び粗度係数の n をメッシュデータ化する必要がある。この際の計算メッシュは、格子間隔

10m の直交正方格子とする．対象領域は，想定される氾濫域を網羅した x 方向に 1.32km, y 方向に約 1.83km とする（計算に用いたメッシュ数は 21,306）．標高データは 1mメッシュのレーザープロファイラデータを 10 mメッシュに加工して作成する．また，土地利用状況は，航空写真より標高データと同様のメッシュ内で建物や道路等の占有率の高いものを代表値として目視で判読し，道路を 0.020, 水域を 0.040, 建物（粗）を 0.040, 建物（密）を 0.100, 公園・空き地を 0.025, 山林を 0.100 としてメッシュごとに粗度係数を与えて作成した⁴⁾．

3.5 水車川・アヤマ川合流部模型実験について

(1) 模型実験の概要

上述した通り水車川・アヤマ川の合流部には水車川 SP900, 水車川 SP910, アヤマ川 SP0 の 3 箇所のカルバートにより構成されているカルバート地帯がある．洪水時，これらのカルバートへの流入水が全量流れきらないことにより起こる越流は，水車川と交差して通っている国道 37 号線に沿って流域に大きく広がることが予想されるため，このカルバート地帯での越流による被害は流域の住民にとって甚大なものとなる恐れがある．

本研究では，この水車川・アヤマ川合流部カルバートの流下能力を詳細に検証するため模型実験を行い，流域に洪水時の流量が流れた場合のそれぞれのカルバートにおける越流の挙動についての検討を行う．

(2) 模型の概要

本研究では模型の大きさを 1/35 の縮尺にし，現地の水の流れと同様の挙動を表すためにフルード相似に則った材質，形状を選択し水車川・アヤマ川流域を模擬した実験装置（写真-1）を作成する．

模型により再現した範囲は，図-4 に示すように水車川 SP900, 水車川 SP910, アヤマ川 SP0 の 3 箇所のカルバートを流域に含んだ 38.5m×48.3m の範囲（模型上で 1.38m×1.10m）であり，模型通水面の素材にはアクリルを採用し，越流・流下した水は貯水槽に設置されているポンプにより流域を循環する構造となっている．また，模型にはそれぞれのカルバートの両岸に集水枡が設けてあり，越流地点ごとに仕切りが設けてあるため，越流量はカルバートごとの計量が可能である．

(3) 越流量・流下量ハイドログラフの作成方法

水車川・アヤマ川合流部模型実験における水車川 SP900 カルバート地点での越流量，アヤマ川 SP0 カルバート地点での越流量，水車川 SP900 カルバートを流下した水量のハイドログラフの値は，図-5 に示すように，計算により得られた 50 年確率雨量強度における水車川・アヤマ川合流部流域へ流れ込む流量を示したハイドログラフより，経過時間 0.5h 毎の流量を定常的に模型に流すことにより得られた値により作成した．

4. 解析結果

(1) 越流量の与え方

想定氾濫区域図の作成において，越流量は，以下のよう

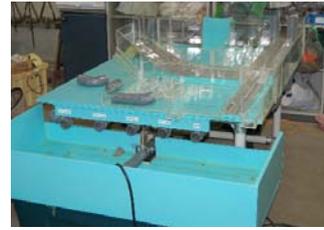
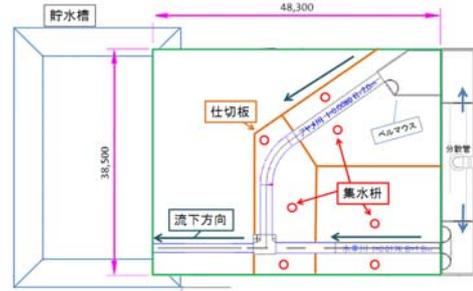


写真-1 水車川・アヤマ川合流部模型



縮尺1/35で再現した範囲（模型範囲1.38m×1.10m）

図-4 模型全体平面図

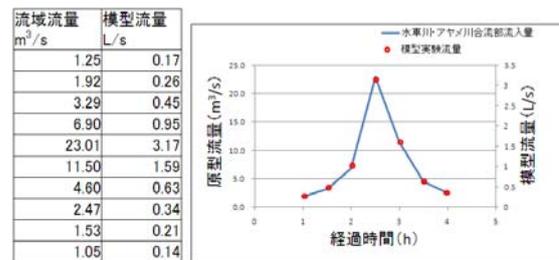


図-5 模型実験で検討した流量

- ① 洪水時の流れが河岸を越えることによる越流は，不等流計算により得られた越流水深を本間の越流公式に代入することで算出した⁴⁾．
- ② カルバートへの流入水が全量流れきらないことによる越流は (5)，(6) 式に示すように，流入量と流下能力の差分量と水位の関係から水位を逆算し，水位と地盤高の比較により分配することにより越流量を決定した．

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

$$Q_1 = KL(H - Z_1)^{3/2}, Q_2 = KL(H - Z_2)^{3/2} \quad (6)$$

ここで， Q は流入量と流下能力の差分量 (m³/s) で Q_1 および Q_2 は各々左岸越流量と右岸越流量 (m³/s)， H は河川水位 (m)， K は越流係数⁵⁾， L は越流幅 (m)， Z_1 および Z_2 は各々左岸地盤高と右岸地盤高 (m) である．

(2) カルバートの影響を考慮しない場合

図-6 にカルバートの影響を考慮しない場合の想定最大氾濫区域図を示す．計算結果から，氾濫域の総面積は 336,000m² (33.6ha) となることがわかった．また，水車川上流域の地域では，道路や空き地に沿って氾濫域が広がっている様子がみられるが，下流部では道道 982 号線沿いに商店街，道道 779 号線沿いに飲食店街や家屋が

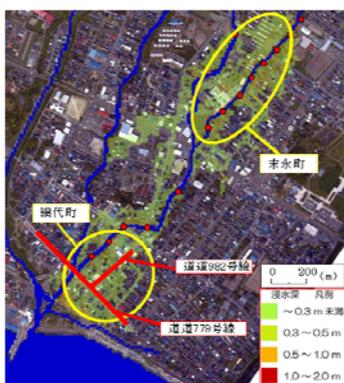


図-6 カルバートの影響を考慮しない場合の想定最大氾濫区域図

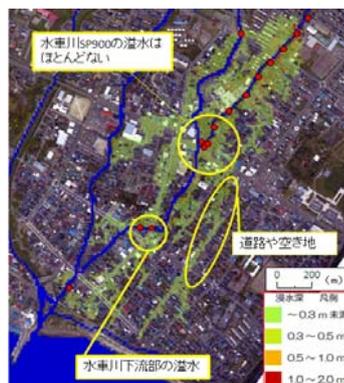


図-8 カルバートの影響を考慮した場合（模型実験）の想定最大氾濫区域図



図-7 カルバートの影響を考慮した場合（数値解析）の想定最大氾濫区域図

立ち並び、図中の網代町で氾濫域が広がることが予想される。

(3) カルバートの影響を考慮した場合（数値解析）

図-7 にカルバートの影響を数値解析により考慮した場合の想定氾濫区域図を示す。計算結果から、氾濫域の総面積は 494,600m² (49.4ha) となり、カルバートの影響を考慮しない場合に比べて約 1.5 倍の範囲に氾濫が広がることがわかった。上流域の地域ではカルバートの影響を考慮しない場合と同様に、道路や空き地に沿って氾濫が広がっている様子がみられるが、下流域では溢れた水が標高の影響をうけつつ、国道 37 号線に代表される道路に沿って広範囲に広がり、標高の低い地域では河川から離れた住宅地にまで被害が広がることが把握できる。数値解析における水車川・アヤマ川合流部への流入水の総量が 92,600 m³ であるのに対し、カルバートの影響による越流の総量が 40,700m³ であるということから、カルバート部の流域への影響は甚大であるということがわかった。

(4) カルバートの影響を考慮した場合（模型実験）

図-8 にカルバートの影響を模型実験により考慮した場合の想定氾濫区域図を示す。計算結果から、氾濫域の総面積は 299,400m² (29.9ha) となり、カルバートの影響を数値解析により考慮した場合と異なる結果となった。カルバートの影響を数値解析により考慮した場合と模型実験により考慮した場合を比較すると、カルバートの影響を数値解析により考慮した際、流域に甚大な被害を与

えると予想された水車川 SP900 地点カルバートでの越流が、模型実験ではほとんどなく、そのかわりにアヤマ川カルバート部の越流量と、水車川 SP900 より下流域への流下量が数値解析での検討より増加する結果となった。数値解析により検討した場合では水車川下流域での予想越流地点はないが、模型実験により考慮した場合は水車川下流域での越流が予想されるといった結果となった。模型実験におけるカルバート地帯の影響による越流の総量は 35,400m³ と、数値解析により検討した場合より 5300m³ 少ない値が得られた。

5. まとめ

以下に本研究の成果をまとめる。

- 1) 分合流する複雑な河川流域において、10m メッシュの緻密な地盤高データを用いることで、詳細な氾濫流の挙動を表現できた。
- 2) 対象河川に設置されているカルバート部での越流の検討を行うことで、カルバートを考慮しなかった場合との氾濫区域を比較し、それぞれの被害の差異について確認することができた。
- 3) カルバートによる流下阻害の他に河川の合流形状による流下阻害が作用し、流域における越流の仕方は数値解析と異なった形をとるということが実験により検証された。

6. 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建設管理部、伊達市建設部および水道部の関係各位に感謝の意を表わす。

参考文献

- 1) 伊達市ホームページ 伊達市の概況,
<http://www.city.date.hokkaido.jp>
- 2) 北海道土木河川課監修, 北海道の大雨資料, pp.79, 1989.
- 3) 国土交通省河川局河川課, 中小河川浸水想定区域図の作成の手引き, pp.30, 2005.
- 4) 宮本冬馬:データの少ない地方部河川の想定氾濫区域の推定～伊達市の事例～, 平成 21 年度土木学会北海道支部論文集, 2, 2010.
- 5) 水理公式集一昭和 60 年度版一, pp.293, 1985.