

# 長岡市柿川流域における洪水危険性の研究

環境システム工学専攻

地球環境研究室

00583091

田中 順子

指導教官

早川 典生

## はじめに

長岡市は、大正時代の末期に全国でも7番目という早い時期に下水道事業に着手し、事業を推進してきた。その結果、下水道普及率は平成10年度末には90.6%にまで到達している。(図1参照) しかし、近年の急激な都市化にともなう市街地の拡大は、遊水機能を持つ田畑を減少させるとともに、宅地・道路等の舗装化により不透水面積を著しく増加させている。その結果、既存の管渠の能力以上の雨水の流入に対応しきれず、都市型水害が頻発するようになってきた。本研究では都市整備の進んだ現在の長岡市において、雨水管路網に対する流出モデルの作成を試みることで洪水危険性を検討した。

流路延長は約11km、流域面積約12.9km<sup>2</sup>で、人為的に作った河川ではなく、信濃川の影響を受けて自然に今の流路になった河川であり、近年は発生件数は比較的少ないが、過去に何度も水害のあった河川である。

## 雨量の統計解析

解析の準備段階として長岡市の雨量の統計的性質を知るために、図3に示す長岡市で観測された降雨データを用いて統計解析を行った(図4)。この結果から、長岡市での年毎の確率雨量を知ることができ、洪水危険性を知ることができる。例を挙げると長岡市で1/7年確率は時間最大42mm/hr、日最大114mm/hrということがわかる。今回この値を使って独自に計画降雨量(10分降雨強度)を算出した結果、59mm/hrとなった。

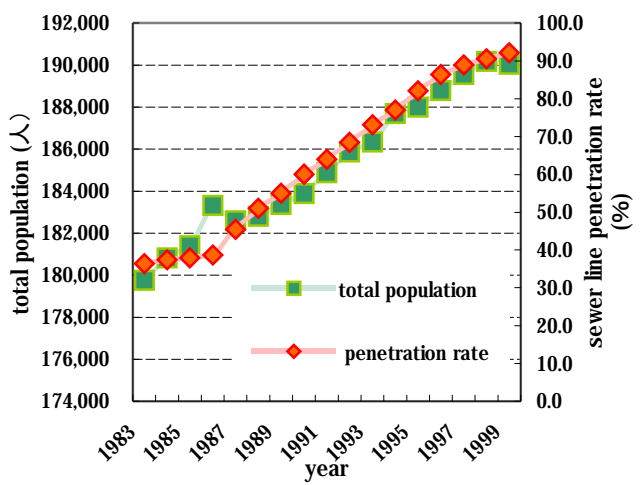


図1 下水道汚水普及率の推移

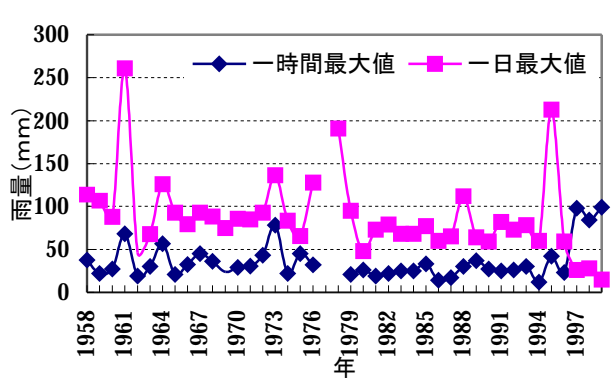


図3 長岡市の年毎の降雨最大値

## 対象流域

対象とした流域は、長岡市を流れる柿川流域である。(図2参照)

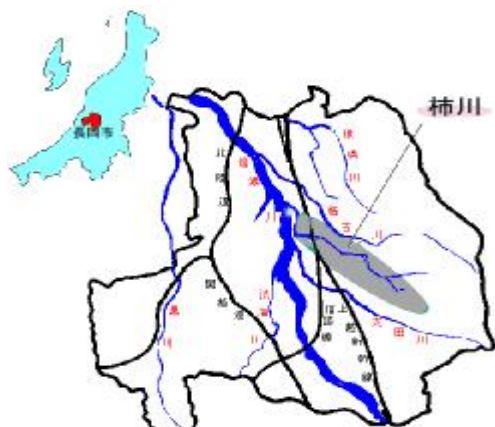


図2 柿川流域

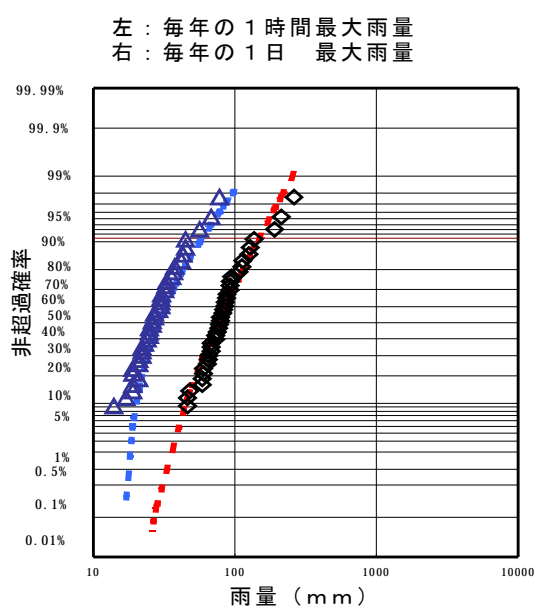


図4 雨量と非超過確率の関係

## 雨水流出モデル作成の試み

本研究で開発した雨水流出モデルは、下水道敷設区域において、管渠内の雨水流出を算出する管路網モデルと、下水道敷設区域外での貯留関数法を組み合わせたモデルである。計算結果として、管路内の流量のほかに、管路内流速、満管かどうかなどの状況も知ることができる。モデルの検証方法としては実測流量データが存在しないため、合理式、貯留関数法での計算も同時に行い、比較することとした。

解析の準備として、管路データをつくるために一つ一つの管渠データ（管路の管径、勾配、管渠の区間距離、管渠が受け持つ集水面積）を下水道台帳から抽出した。

次に管路網の計算手順を記す。

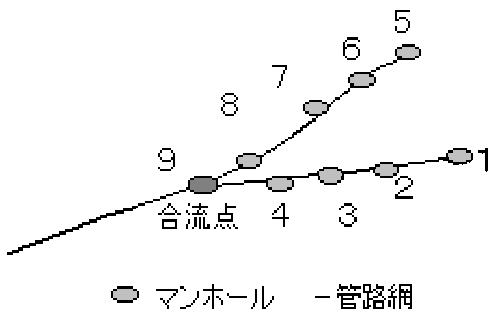


図5 雨水流出モデルの計算順番

図5で○印はマンホールを表し、雨水はここから管路内に流入すると考えた。

雨水はパルスの降雨強度  $r_0$ 、継続時間  $\Delta t_0$  で降ったとする。

- ① 上流端から各区間の伝達時間を計算し、 $\sum \Delta t \leq \Delta t_0$  ならばパルスをあわせる
- ② 合流点(この場合は9)での  $\sum \Delta t$  および  $\sum q$  を得る
- ③ 合流していない点から計算を続ける
- ④ ①～③を他の分岐でも行う
- ⑤ 合流点I(この場合は9)において  $Q(T_i)$  が各分岐において求まるので、合わせてソートする (このとき時間間隔が  $\Delta t_0$  以内のものは足しあわせる)

柿川については、河道追跡を行った。

## 雨水流出モデルの概要

- ・使用モデル…円管内の kinematic wave 法

水理学的な支配方程式をもとに流域内下水管路(図6)網中の雨水の流れを追跡する。

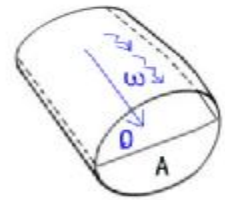


図6 下水管路基礎方程式(連続式とマンニングの平均流速公式)は以下ようになる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$Q = \frac{A}{n} \left( \frac{A}{P} \right)^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

また、円管中の無次元化した洪水の伝播速度  $w$  は以下の式で表すことができる。

$$\frac{nw}{i^{1/2}a} = \frac{5}{3} \frac{n}{i^{1/2}a^{8/3}} \frac{a^2}{A} \left[ 1 - \frac{2(A/a^2)}{10 \left\{ \cos^{-1} \left( 1 - \frac{h}{a} \right) \right\} \cdot \frac{h}{a} \left( 2 - \frac{h}{a} \right)} \right]$$

ここで、 $n$  : マニングの粗度係数、 $i$  : 勾配、 $h$  : 水深、 $a$  : 管の半径、 $A$  : 流水断面積、 $P$  : 潤辺、 $Q$  : 流量である。

この式をグラフ化すると以下ようになる。

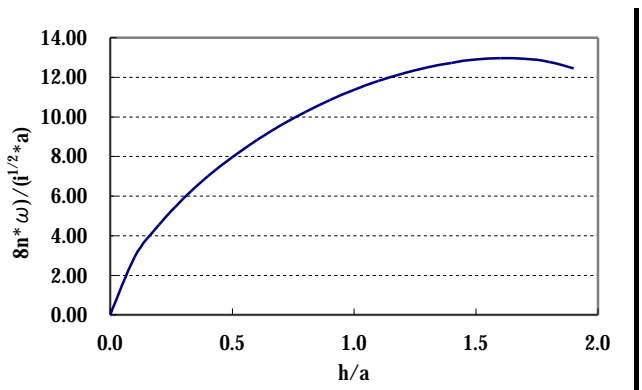


図7 無次元化した伝播速度と水深の関係

同じく無次元化した流量と水深の関係は図8となる

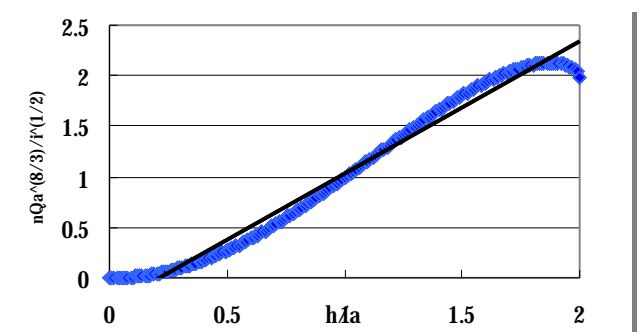


図8 無次元化した流量と水深の関係

## 実流域への適用

柿川を排水区域毎、図 9 に示すように分割する。また、雨水流出モデルは管路網モデルと貯留関数法を組み合わせたモデルであるため、計算法ごとに色分けした。白色の部分は下水道区域外のため貯留関数法を適用、塗りつぶした部分は下水道敷設区域であるから管路網モデルを適用し解析する。

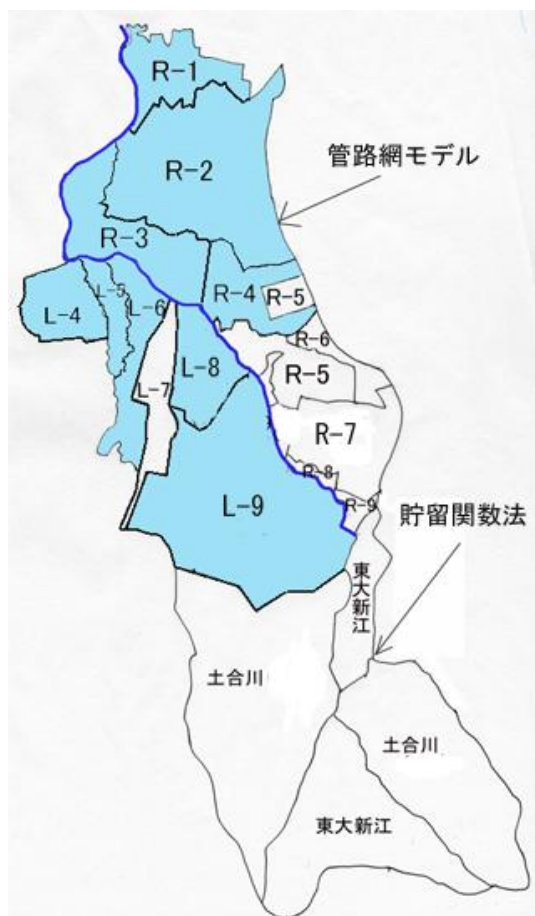


図 9 柿川流域分割図

### 計算条件

計算条件を以下に示す。

対象地区	柿川流域 12.9km <sup>2</sup>
降雨量	59mm/hr の雨がパルス的に降る
流出係数	各排水区ごとに定められたもの

流出係数は表 1 に示す

それぞれの流出係数は、下水道敷設区域内においては合理式の計算に用い、下水道敷設区域外においては貯留関数法の計算に用いた。

表1 各流域の諸元

ブロック	排水区域	面積(ha)	流出係数	計算法	
R-1	坂之上	42.96	0.8	管路網モデル	
R-2	坂之上	145.73	0.8	管路網モデル	
R-3	坂之上	57.46	0.8	管路網モデル	
R-4	坂之上	44.11	0.8	管路網モデル	
R-5	土合	49.44	0.6	貯留関数法	
R-6	土合	10.79	0.6	貯留関数法	
R-7	土合	67.88	0.6	貯留関数法	
R-8	土合	3.11	0.6	貯留関数法	
L-4	千手	35.85	0.2	貯留関数法	
L-5	千手	18.3	0.75	貯留関数法	
L-6	千手	38.05	0.75	管路網モデル	
L-7	JR	下水道区域外	34.66	0.75	貯留関数法
L-8	土合	分流域	39.07	0.6	管路網モデル
L-9	土合	分流域	202	0.6	管路網モデル
土合川	下水道区域外	340.5	0.2	貯留関数法	
東大新江	下水道区域外	153.65	0.2	貯留関数法	

### 雨水流出モデルの計算結果

雨水流出モデルを用いての計算結果を表 2 に示した。合理式とはモデル検証方法の一つとして算出した。

ブロックNo	備考	雨水流出モデル			合理式	貯留関数法
		流出量(m <sup>3</sup> /s)	3q	最終的な流出量(m <sup>3</sup> /s)	流出量(m <sup>3</sup> /s)	流出量(m <sup>3</sup> /s)
R-1	合流式	8.1	1.0	7.1	7.0	10.0
R-2	合流式	1.6	0.8	0.8	23.9	27.0
R-3	合流式	9.1	0.4	8.8	9.4	13.0
R-4		7.2		7.2	7.2	10.0
R-5	貯留関数	11.7		11.7	8.1	11.0
R-6	貯留関数	5.3		5.3	1.8	5.0
R-7	貯留関数	15.1		15.1	11.1	15.0
R-8	貯留関数	0.9		0.9	0.5	0.0
R-9	貯留関数	1.4		1.4	1.0	1.0
L-1,2,3	信濃川へ			0.0	22.6	26.0
L-4		5.7		5.7	5.9	9.0
L-5		3.0		3.0	3.0	6.0
L-6		6.2		6.2	6.2	6.0
L-7	貯留関数	9.2		9.2	5.7	9.0
L-8		5.5		5.5	6.2	16.0
L-9		12.0		12.0	32.6	40.0
土合川	貯留関数	56.2		56.2	55.8	56.0
東大新江	貯留関数	25.2		25.2	25.2	25.0

表 2 計算結果

また、管路網モデルでは流量だけではなく、どの場所のマンホールが満管になっているかなど、それぞれの管路の危険性を示すことができる。

例として今回の計算において各管路を解析した結果、R-3 地区の満管になった管渠場所を図化し、図 10 に示す。

このように、管路網モデルでは各管路 1 つ 1 つの情報を知ることができる。



図 10 満管になった場所 (R-3 地区)

各排水区から柿川への流入計算系統図と、算出した流入量を図 11 に示す。この結果を用いて柿川の流出計算を行う。

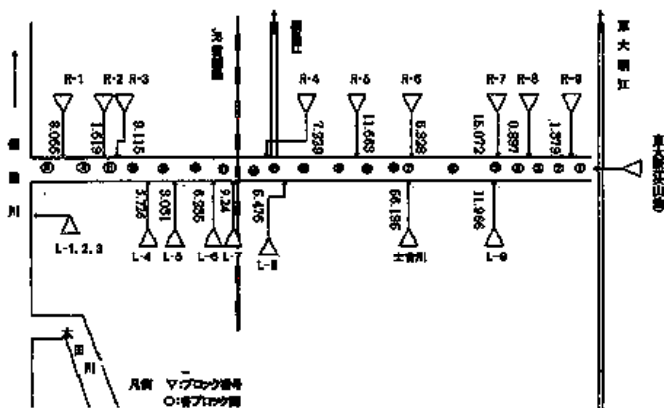


図 11 柿川系統図と流入量

### 柿川の流出計算

各排水区から柿川への流量を追跡して柿川流量の時間と流量曲線を求めた。その際の計算方法としては以下とした。

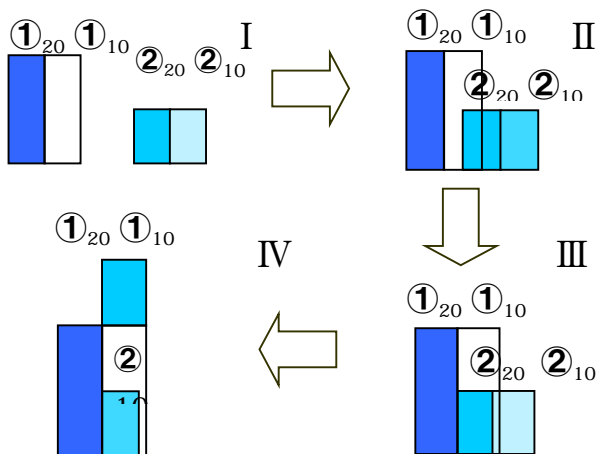


図 12 柿川流出計算の法則

ここでは降雨が 10 分間継続したものを 1 パルスとして、そのパルス単位で計算する。20 分間同一降雨強度の雨が降ったとする。区間①から最初の 10 分間に出てくる降雨流出を①<sub>10</sub> とし、次の 10 分間に出てくる降雨流出を①<sub>20</sub> とした。区間②についても同様である。図 12 に示すように流量②<sub>20</sub> が①<sub>10</sub> の流量に追いついてしまう。そのときの計算条件としては以下の式とする。

$$\begin{aligned}
 \text{I} &: \textcircled{1}_{10} + \textcircled{1}_{20} + \textcircled{2}_{10} + \textcircled{2}_{20} \\
 \text{II} &: \textcircled{1}_{10} + \textcircled{1}_{20} + \textcircled{2}_{10} + \textcircled{2}_{20} \\
 \text{III} &: \textcircled{1}_{20} + \{ \textcircled{1}_{10} + \textcircled{2}_{10} \} + \textcircled{2}_{20} \\
 \text{IV} &: \textcircled{1}_{20} + \{ \textcircled{1}_{10} + \textcircled{2}_{10} + \textcircled{2}_{20} \}
 \end{aligned}$$

10 分降雨の場合の柿川最下流点での流量の計算結果を図 13 に示す

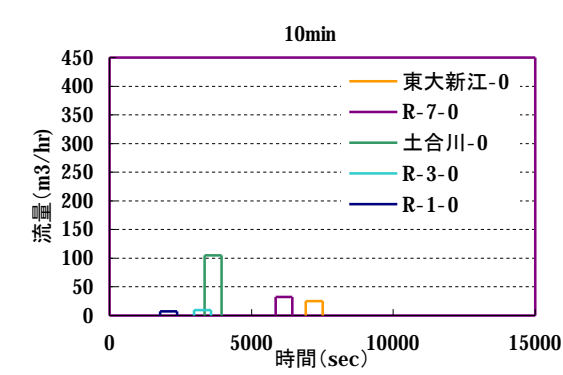


図 13 洪水到達時間と流量の関係

### まとめ

長岡市の洪水の記録、雨水の記録を解析し、洪水危険度を明らかにした。今回下水道式設区域に管路網モデルを適用した雨水流出モデルを構築し、柿川流域に適用、市街化区域の洪水シミュレーションを行った。これにより、流量および管路内での情報を得ることができ、洪水氾濫の危険箇所を指摘することができた。検証方法の一つである合理式での計算と比較しても、ほとんど値が変わらないという結果が得られた。

### 参考文献

早川典生：水工学の基礎と応用、彰国社、1994  
 水村和正：水圏水文学、山海堂、1998  
 長岡市都市雨水対策協議会資料、第 1 回～第 5 回  
 土木学会：水理公式集、1985 他