



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## 胆振幌別川流域における豪雨流出過程に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 藤間, 聡, 中田, 満洋 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3715">http://hdl.handle.net/10258/3715</a>

# 胆振幌別川流域における豪雨流出過程に関する研究

藤 間 聡・中 田 満 洋\*

## Heavy Rainfall Runoff Process in the Iburi-Horobetsu River Basin

Satoshi Tohma, Mitsuhiro Nakata

### Abstract

Horobetsu is located at the down stream of Iburi-Horobetsu river basin and is one of the heavy rainfall areas in Hokkaido.

Heavy rainfall usually brings disastrous damages on the places along the river. For example, Horobetsu was struck by Typhoon (No. 17) in September 13, 1976, and suffered severe disaster from flood caused by heavy rainfall of 268mm.

This paper discusses the runoff process and flooding process on the basis of the results of runoff analysis. The tank model was used to calculate the hydrographs associated with heavy rainfall in Horobetsu river basin. It fitted the flood peak and time. Flood forecasting based on the results of calculation coincides with the inundated area in Horobetsu.

### 1. ま え が き

胆振南西部に位置する登別地方は、北海道で有数の豪雨地域であり、現在に至るまで出水氾濫災害が多発している。最近の災害では、昭和 51 年 9 月 13 日の台風 17 号の同地方通過時の豪雨（13, 14 両日で 268mm）により生じたもので、登別市幌別町を中心にして重軽傷者 3 名の人的被害、床上浸水 68 戸、床下浸水 844 戸の家屋被害に及んだ。

幌別町は胆振幌別川流域の最下流の幌別川と来馬川との合流部にあり、市街を貫流する来馬川の疎通能力が小さく、かつ市街の雨水を集める排水路の大部分が来馬川に接続しているため集中豪雨による内水氾濫災害の危険度は高いと言える。

本研究は、胆振幌別川流域内で現在まで得られている降雨量、流出量に関する観測資料を用いて山地部、平地部の短期流出過程を推定し、幌別町の内水氾濫の発生過程を巨視的に把握して災害対策の基礎資料に供しようとするものである。

---

\* 現 北海道開発局旭川開発建設部治水課勤務

2. 胆振幌別川流域の特性

(1) 流域の概要

胆振幌別川（以下幌別川と記す。）流域は図-1に示すように平均標高700mの尾根に囲まれた南北15km、東西11kmのほぼ扇状形流域である。同流域の雨水を受ける幌別川は上流部において3川合流の放射状を呈し、中流部の工業用水池を経て幌別市街に入り来馬川と合流して太平洋に流下する延長17.6kmの二級河川である。

流域の90%は山地部が占め、この部分は山林地で地質は古期安山岩とみられ、残りの平坦地は市街地及び畑地から成り地質は吉岡・福山層といわれる<sup>1)</sup>。

幌別川流域に関する諸元をまとめると、次の通りである。

流域面積：	幌別川	山地	73.2km <sup>2</sup>	平地	6.5km <sup>2</sup>	計	79.7km <sup>2</sup>
	来馬川	山地	22.2km <sup>2</sup>	平地	2.8km <sup>2</sup>	計	25.0km <sup>2</sup>
	計	山地	95.4km <sup>2</sup>	平地	9.3km <sup>2</sup>		104.7km <sup>2</sup>
流路延長：	幌別川	17.6km	平均高度：	325m			
	来馬川	13.4km	中位高度：	310m			

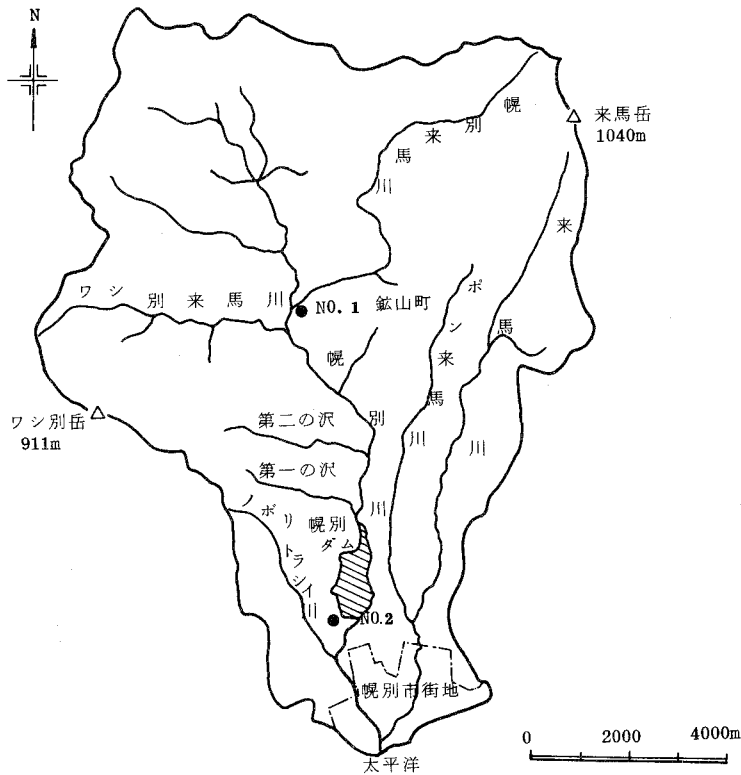


図-1 胆振幌別川流域

但し、平均高度、中位高度は格子法を用いて算出した値で、5万分の1の地形図上に東西・南北に500m間隔で格子を組み、格子上の総累計高度を格子数421で除した値を平均高度とし、20m高度毎に区分して面積の50%に相当する値を中位高度とした。

(2) 降雨特性

幌別川流域の流出解析に使用した降雨量の資料は、図-1に示すNo.1地点の標高350mにある鉱山町観測所、並びにNo.2地点の標高40mにある室蘭地区工業用水道管理事務所内の観測所で収集されたものであり、また幌別川のハイドログラフは、No.2地点で得られたものである。

両雨量観測所で得られた一回連続降雨の相関を調べるため、観測開始の昭和43年から昭和53年までの10年間から20個の大雨記録を抽出し、相関係数 $r_{xy}$ を求め有意水準1%、自由度18で検定したところ、 $r_{xy}=0.269 < r_{0.01}=0.561$ となりNo.1とNo.2観測所で得られた降雨は無相関であると考えられる。この結果を考慮して、幌別ダムに流入する山地部の流出量については、No.1地点の観測資料を、幌別市街地からの平地部流出量を算定するためにはNo.2地点の観測資料を使用することにした。

なお登別地方の降雨特性を調べるため、来馬岳から東南約4kmの札内地区にある幌別苗畑事業所による昭和5年から昭和52年(但し昭12~16, 25~26年欠測)までの42年間の最大日雨量を用いて、岩井法、積率法及びトーマス法<sup>2)</sup>にて確率日雨量を求め、その結果を表-1並びに図-2に示す。岩井法と積率法との結果を比較するとほぼ一致しているが、トーマス法で算出した確率日雨量は

表-1 登別地方の確率最大日雨量

確率年	岩井法	積率法	Thomas法
200年	410 <sup>mm</sup>	405 <sup>mm</sup>	440 <sup>mm</sup>
100	364	360	385
75	346	342	365
50	320	317	340
30	289	287	308
20	264	265	280
10	224	223	240
7	203	202	215
5	183	183	187
3	153	153	157
2	128	128	130

(観測年 昭和5~52年)

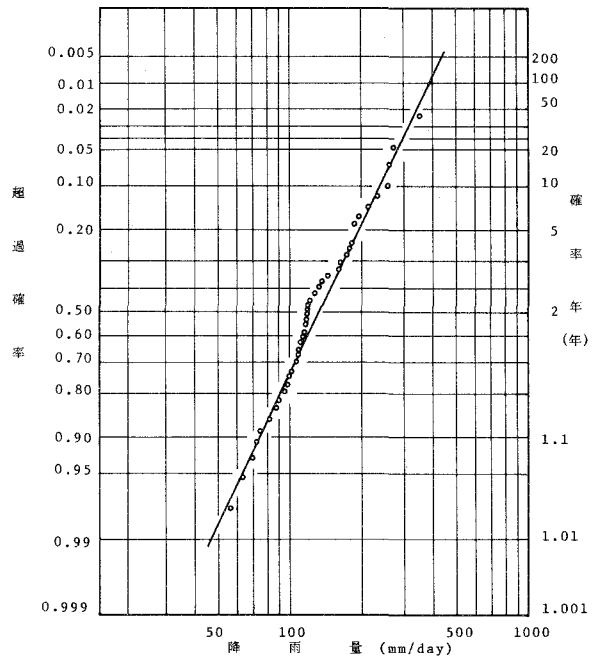


図-2 トーマス法による登別地方の確率最大日雨量

他の二法によるものより 10%程度大きめの値を示す。登別地方の確率日雨量は表-1、図-2 から判断されるように非常に大きく、北海道に限ると第1位に位置する豪雨地帯である<sup>3)</sup>。

3. タンクモデル法による山地部流出解析

(1) タンクモデル法の概要<sup>4),5)</sup>

流出解析を行う場合、解析法としては合理式法<sup>6)</sup>、単位図法<sup>7)</sup>、貯留関数法<sup>8)</sup>、タンクモデル法、kinematic wave 法<sup>9)</sup>等がある。本解析においては、入手した資料が降雨及び流出量観測記録に限られており、また流域内山地部の地質が比較的浸透性に富み非線型流出過程が推察されることからタンクモデル法によって流出解析を行うことにする。

流出現象は降雨から流出への変換過程であり、本解析で使用したタンクモデル法は、複雑な流域の諸条件及び降雨条件を巨視的に把え、簡便な物理モデルによって流出系を表現するものである。

タンクモデル法は、図-3 に示すような模型タンクを数個組合せて流域内の流出過程を表すものである。いま同図中の最下段タンクを用いて基本計算式を導びくことにする。

上からの供給雨水がない  $z_3(t) = 0$  の場合を考えると、右下の孔からの流出  $y_5(t)$  は水深  $R_4(t)$  に比例する。

$$y_5(t) = \alpha_5 \cdot R_4 \tag{3.1}$$

ここで、 $\alpha_5$  は流出孔定数で単位は 1/時である。

タンク内で連続の式を考えると次式が与えられる。

$$-y_5 = \frac{dR_4}{dt} \tag{3.2}$$

(3.1) 式と (3.2) 式とを連立して、時刻  $t = 0$  のときの流出を  $y_0$  とすると、

$$y_5 = y_0 e^{-\alpha_5 t} \tag{3.3}$$

が得られる。

次にタンクに連続的に供給雨水  $z_3(t) \neq 0$  が作用する場合には、

$$z_3 - y_5 = \frac{dR_4}{dt} \tag{3.4}$$

となり、解は最終的に次式で与えられる。

$$y_5 = \int_0^\infty z_3(t - \tau) \alpha_5 e^{-\alpha_5 \tau} d\tau \tag{3.5}$$

上式からタンクの孔からの流出は指数遞減することがわか

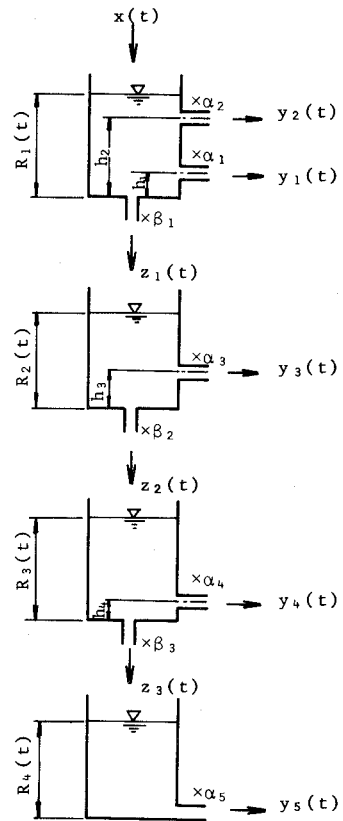


図-3 直列4段タンクモデル

る。

タンクモデル法を解析対象流域に適用する場合、タンク個数、流出孔数、流出孔位置及び流出孔定数をそれぞれ決定しなければならない。本解析においては、直列4段タンクモデルを考え、基本式を導びくことにする。

(i) 1段目タンクの貯留高が  $0 < R_1 < h_1$  の場合

$$y_1 = y_2 = 0, \quad z_1 = \frac{\beta_1}{s + \beta_1} x \quad (3.6)$$

$$y_3 = \frac{\alpha_3}{s + \beta_2 + \alpha_3} z_1 - \frac{\beta_2 \alpha_3 h_3}{\beta_2 + \alpha_3}, \quad z_2 = \frac{\beta_2}{s + \beta_2 + \alpha_3} z_1 + \frac{\beta_2 \alpha_3 h_3}{\beta_2 + \alpha_3} \quad (3.7)$$

$$y_4 = \frac{\alpha_4}{s + \beta_3 + \alpha_4} z_2 - \frac{\beta_3 \alpha_4 h_4}{\beta_3 + \alpha_4}, \quad z_3 = \frac{\beta_3}{s + \beta_3 + \alpha_4} z_2 + \frac{\beta_3 \alpha_4 h_4}{\beta_3 + \alpha_4} \quad (3.8)$$

$$y_5 = \frac{\alpha_5}{s + \alpha_5} z_3 \quad (3.9)$$

(ii) 1段目タンクの貯留高が  $h_1 < R_1 < h_2$  の場合

$$y_1 = \frac{\alpha_1}{s + \alpha_1 + \beta_1} x - \frac{\alpha_1 \beta_1 h_1}{\alpha_1 + \beta_1}, \quad y_2 = 0, \quad z_1 = \frac{\beta_1}{s + \alpha_1 + \beta_1} x + \frac{\alpha_1 \beta_1 h_1}{\alpha_1 + \beta_1} \quad (3.10)$$

$y_3, y_4, y_5, z_2, z_3$  は(3.6)式の  $z_1$  の代りに(3.10)式の  $z_1$  を用いることにより(i)の場合と同一式で表現できる。

(iii) 1段目タンクの貯留高が  $R_1 > h_2$  の場合

$$y_1 + y_2 = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)x}{s + \beta_1 + \alpha_1 + \alpha_2} - \frac{\beta_1(\alpha_1 h_1 + \alpha_2 h_2)}{\beta_1 + \alpha_1 + \alpha_2}, \quad z_1 = \frac{\beta_1 x}{s + \beta_1 + \alpha_1 + \alpha_2} + \frac{\beta_1(\alpha_1 h_1 + \alpha_2 h_2)}{\beta_1 + \alpha_1 + \alpha_2} \quad (3.11)$$

$y_3, y_4, y_5, z_2, z_3$  に関しては前述の(i)の場合と同一式である。

ここで、 $s = \frac{d}{dt}$ ,  $y_1 \sim y_5$ : 流出孔からの流出高 (mm),  $x$ : 供給雨水 (mm),  $z_1 \sim z_3$ : 浸透孔からの浸透高 (mm),  $R_1 \sim R_5$ : 貯留高 (mm),  $h_1 \sim h_4$ : 各タンクの底から各流出孔までの高さ (mm) を示す。

以上を要約すると、流域からの全流出量  $Y$  は  $Y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5$  で与えられ、各  $y_i$  は各タンクの貯留高  $R_i$  と流出孔定数  $\alpha_i, \beta_i$  及び流出孔位置  $h_i$  により算出することができることになる。

幌別川流域に適用するタンクモデルを決定するため、流出孔位置、流出孔定数に初期値を割り当て、電子計算機を使用して試算を繰り返して値の修正を行い実測ハイドログラフに最も適合するものを採用した。結果は以下の通りである。

第1段タンク:  $\alpha_1 = 0.03 h r^{-1}$ ,  $\alpha_2 = 0.10 h r^{-1}$ ,  $\beta_1 = 0.30 h r^{-1}$ ,  $h_1 = 2.50 mm$ ,  $h_2 = 20.00 mm$

第2段タンク:  $\alpha_2=0.08h_r^{-1}, \beta_2=0.17h_r^{-1}, h_3=4.00mm$

第3段タンク:  $\alpha_3=0.08h_r^{-1}, \beta_3=0.12h_r^{-1}, h_4=4.50mm$

第4段タンク:  $\alpha_4=0.05h_r^{-1},$

但し第2, 3段目の  $z_2, z_3$  の流出孔は, 底部よりそれぞれ 4.00 mm, 3.00 mm 嵩上げし流域地層の保水量に割り当てた。

決定されたタンクモデルを適用して幌別川流域の流量ハイドログラフを推定した結果の例を図-4,5,6,7に示す。これらの図から計算値と実測値とは全体の形状が同じ傾向にあり, 図-6を除いてピーク流量もほぼ一致していることが認められる。詳細に見るとピーク時刻に関しては両者に差が生じているが, 地形的・地質的状态及び降雨特性の影響を受ける上昇期の傾向は, 実測値と計算値においてほぼ同一と考えられ, また流域からの水の引き方を示す逓減部は, 実測値の変動を十分に表わしてはいないが同じ傾向にあると考えられ, タンクモデルの適用が妥当であると思われる。

#### 4. 平地部における洪水予測

前章においてタンクモデル法による流出ハイドログラフは実測値を十分推測できることが明らかになった。この流出モデルを適用して得られた流量を用い不等流計算を行い, 幌別・

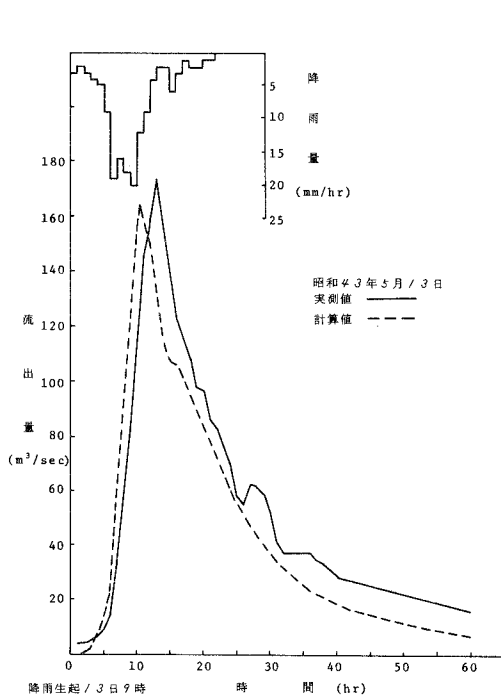


図-4 幌別川ハイドログラフ

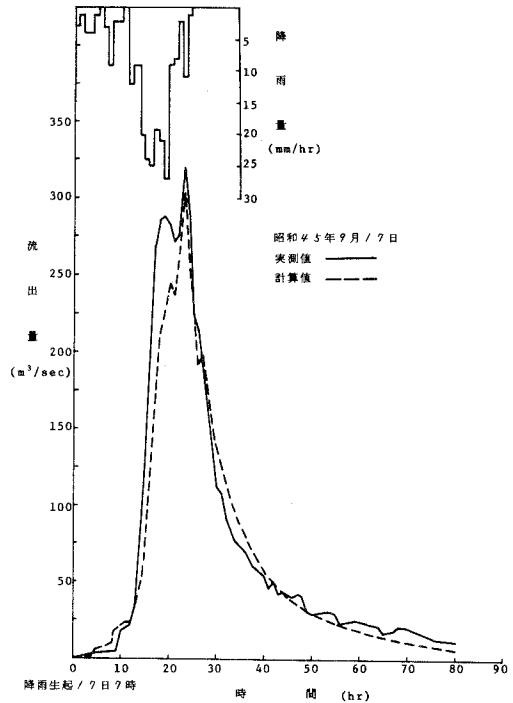


図-5 幌別川ハイドログラフ

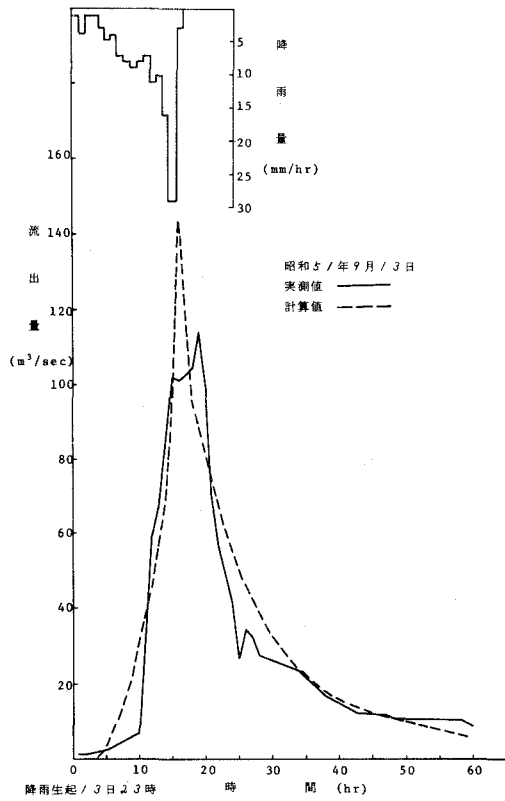


図-6 幌別川ハイドログラフ

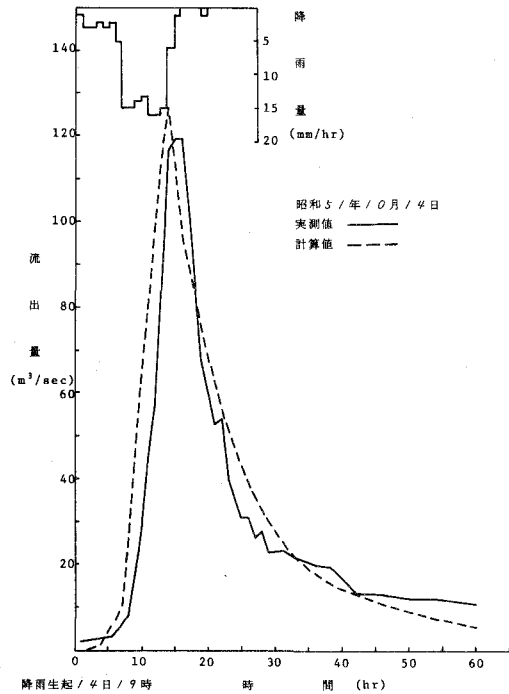


図-7 幌別川ハイドログラフ

来馬両河川の水位を決定する。

(1) 幌別市街地の内水処理

幌別市街地における雨水の排水渠は図-8に示すように幌別川、来馬川に接続しており、洪水時には河川水位がH・W・Lを越えた時点で排水口に付設されている手動ゲートを閉じる操作を行う。排水渠は自然流下式で平地部なため水路勾配が1/500以下と緩く、また排水量の大部分が流入する来馬川の疎通能力が小さいため豪雨時には内水排除不良となりやすい。

同町の内水量を算定するため、図-8のように10分間等流達時間線で市街地を16地区に細分し、一分割流域内の内水は一本の排水渠で流下するものと仮定し、流出量は次の合理式を用いてピーク流量を計算する。

$$Q = \frac{1}{3.6} f r A_i \tag{4.1}$$

ここで、f：流出率、r：降雨量 (mm/hr)、 $A_i$ ：分割流域面積 (km<sup>2</sup>) を示し、降雨量は、No. 2 地点の観測資料を用い、流出率は宅地・畑地の区分により値<sup>10)</sup>を与えることにした。

なお、各分割流域に関する諸元は表-2に示すとおりで、表中の基準点とは図-8の幌別橋を



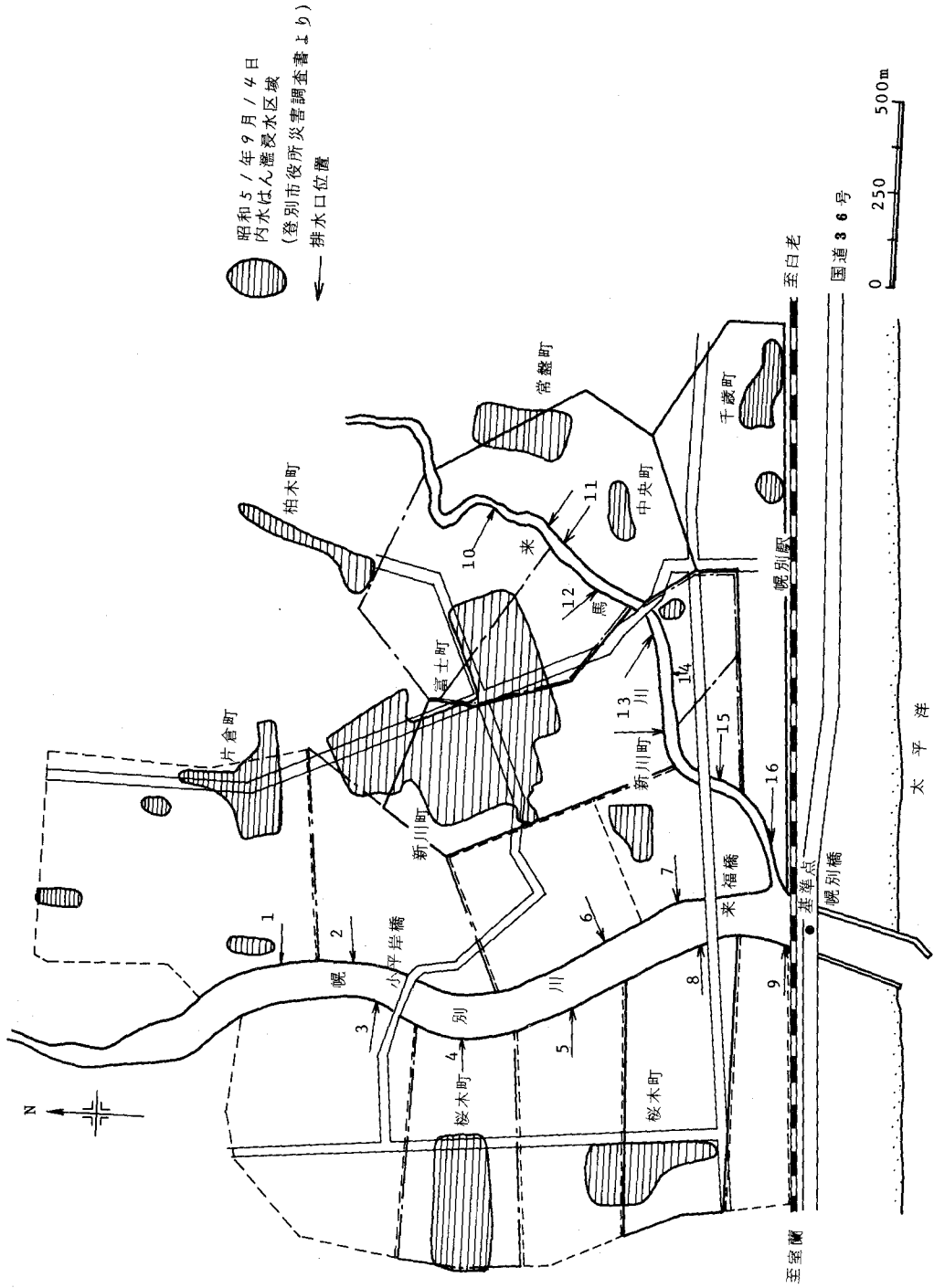


図-8 幌別町分割流域及び氾濫地域説明図

示す。

幌別町における内水氾濫の生起は、(4.1)式による流出量を幌別・来馬両川の流量に加え、不等流計算を行って水位を推定し排水口高と比較を行い検討することにした。

(2) 幌別川及び来馬川の水位計算

水位計算を行うに当り検討データの不足により次の仮定を用いた。

(i) 幌別、来馬両川の流出過程は同一である。

(ii) 幌別工業用水池での洪水調節量は無視できる。

第1の仮定については降雨量分布及び地質は幌別川流域全域にわたって同一であるとは考えられないが、雨量・流量観測所が1ヵ所であるため、この観測値をそのまま適用し流量を求める。次に第2の仮定については幌別工業用水池は制限水位方式の洪水調節法を採っており満水位 E.L=27.4m になると流入量はすべて下流に放流する。同池の容量は690万m<sup>3</sup>と小さいため豪雨の出水時の調節量は少ないと考えられる。

不等流計算を行って水位を求める際に基準となる境界条件は最下流部の河口水位である。幌別川においては、河口床高及び朔望平均満潮位はそれぞれ E.L=-1.75 m, 0.5 m であり、この結果水深は 2.25 m と与えられる。また同川は感潮河川であることから、潮位による水位上昇量 5 cm を加え、同降雨の出水ピーク時 14 日 19 時が満潮時 14 日 17 時 44 分とほぼ一致するため常時一定水深 2.30m の極端な条件を採用して不等流計算を行った。次に河道断面形状に関しては、幌別川では基準点から上流の小平岸橋の約 1,000 m 区間で河川幅 100 m, 高さ 6 m, 河床勾配 1/350 であり、一方来馬川は河口 200 m 上流地点で幌別川にほぼ直角に合流し、排水口 No. 10 まで河川幅 30 m, 高さ 3 m, 河床勾配 1/300 である。

両河川の水位計算には井田による方法<sup>11)</sup>を使用して行った。河道に沿って任意の二断面を考えベルヌーイの定理を適用し、上流側水理諸元を添字 a, 下流側を b で表わすと次式が与えられる。

$$z_b + h_b + \frac{\alpha Q^2}{2gA_b^2} + \frac{l}{2} \frac{n_b^2 Q^2}{R_b^{4/3} A_b^2} = z_a + h_a + \frac{\alpha Q^2}{2gA_a^2} + \frac{l}{2} \frac{n_a^2 Q^2}{R_a^{4/3} A_a^2} \quad (4.2)$$

ここに、z：基準面からの河床高，h：水深，α：流速分布補正值，A：断面積，Q：流量，

表-2 等流達時間線による分割流域諸元

河川名	分割流域番号	分割流域面積 km <sup>2</sup>	基準点からの距離 m	河床から排水口までの高さ m
幌別川	9	0.148	70	1.88
	8	0.175	200	1.60
	7	0.106	280	1.60
	6	0.141	510	0.91
	5	0.165	660	0.75
	4	0.155	940	0.40
	3	0.240	1075	0.99
	2	0.153	1200	0.35
	1	0.353	1410	0.60
来馬川	16	0.232	250	0.58
	15	0.031	490	0.58
	14	0.048	620	0.60
	13	0.222	820	0.60
	12	0.083	1070	0.60
	11	0.180	1270	0.60
	10	0.132	1470	0.60

$g$  : 重力加速度,  $l$  : 二点間の距離,  $R$  : 径深,  $n$  : マンニングの粗度係数。

いま, 左辺を  $\phi$  右辺を  $\psi$  で定義すると,

$$\phi_b = \psi_a \quad (4.3)$$

が得られる。この結果, 最下流部の  $b$  断面における水深流量等の水理量が既知であるならば上流断面  $a$  の水深が試行法により求められる。この操作を順次上流側に進めて行くことにより河川全長にわたり水深が算定できる。

本解析においては, 幌別・来馬両河川を各排水渠流出口毎に区間分割し, タンクモデル法及び合理式で得られた流量を一時間毎に与え, 各流出口地点の水深を求めた。

### (3) 幌別町における氾濫域の予測

幌別町の氾濫域予測には, 実際に災害が生じた昭和 51 年 9 月 13 日の台風 17 号による豪雨記録を用いて流出量, 水位を前述の方法により求めた。この豪雨流出状況の中でピーク時の 9 月 14 日午後 7 時における幌別市街地における河川水位を示したものが表-3 である。この結果, 来馬川では水位がすべての排水口位置より高く内水排除が不可能な状態にあることが認められる。幌別川・来馬川の水位が H. W. L (それぞれ E. L=4.10 m, 1.77 m) に達した場合ゲートは閉ざされるが, 計算水位がいまだ, H. W. L に達していない時点で河川水の逆流のおそれが生じている。また, この時点でゲートが閉ざされた場合には, 内水の排水不能による氾濫が生ずる危険度が高い。

河川水位が排水口に達した時点でゲートを閉じた場合, 9 月 13, 14 両日の排水不能量を算定すると, 来馬川沿いの地域では No.14, 15 (図-8 参照) を除いて No.10~13 及び 16 地域で約 10~55m<sup>3</sup> の容量に達する。幌別川では No.8 地域において約 42m<sup>3</sup> が排水不能となる。

図-8 においては同豪雨による幌別町内水氾濫域<sup>12)</sup>を示してあるが, 特に富士町 (浸水家屋 223 戸), 桜木町 (同 176 戸) の被害が甚大であった。同図には計算結果による推定氾濫域を併示しており, 内水 20 m<sup>3</sup> 以上の排水不能地域を太線, それ以下を一点鎖線及び安全域を破線で区分してある。この結果痕跡調査の状況とかなり合致しており氾濫状況をよく再現していると考えられる。

本研究で解析を行った例は最大 24 時間雨量 (51 年 9 月 13 日 23 時~14 日 16 時) 268mm の豪雨による出水氾濫であり, これは登別における 20 年確率相当の豪雨と考えられ, 幌別町に限らず他の地域においてもこの程度の豪雨に見舞われたならば災害の発生は十分に考えられる。

表-3 計算水位と排水口高との比較例

河川名	排水口番号	排水口の水位 m	排水口の高さ m
幌別川 79.92 (m <sup>3</sup> /s)	9	2.11	1.88
	8	1.75	1.60
	7	1.54	1.60
	6	1.01	0.91
	5	0.81	0.75
	4	0.78	0.40
	3	0.78	0.99
	2	0.78	0.35
	1	0.78	0.60
来馬川 34.20 (m <sup>3</sup> /s)	16	1.56	0.58
	15	1.03	0.58
	14	0.90	0.60
	13	0.90	0.60
	12	0.90	0.60
	11	0.90	0.60
	10	0.90	0.60

幌別町において、この豪雨によってもたらされた災害は、解析結果から排水不良に基因する内水氾濫であり、排水渠の流出口の位置及び疎通能力を著しく低下する幌別・米馬両川の直角に近い合流部の形状を改修することにより、今後発生の可能性のある同程度の豪雨による出水氾濫を防止し被害を軽減することができると思われる。

## 5. 結 語

胆振幌別川流域を山地部、平地部に分割して巨視的に流出過程、氾濫現象を把え考察を加えた。山地部においてはタンクモデル法により流量ハイドログラフの良好な推定値がえられることを示し、平地部においては、流域を簡単なモデルで置換し内水排除不能量を推定した後、内水氾濫危険地域の子測を行い現実の氾濫状況を説明しうることを示した。

本解析に用いたデータは、登別地方における20年確率降雨に相当する豪雨であったが、内水氾濫の要因となった排水口低位置及び不整合流部の改修により被害は軽減できると思われる。現段階においては、精度的に高い洪水子測は行えないが、本流域に対するモデルの設定の有用性が検証され相応の結果が得られたと考えている。

本研究を行うに当り、貴重な資料の入手に便宜を与えられた室蘭地区工業水道管理事務所、室蘭土木現業所登別出張所河川課並びに登別市役所下水道部の関係各位に深く謝意を表すものである。最後に本研究での数値計算はすべて室蘭工業大学情報処理教育センター COSMO 700 II を使用したことを付記する。

## 参 考 文 献

- 1) 北海道地下資源調査所編：北海道地質図(1/80万)
- 2) 岩井重久・石黒政儀：応用水文統計学，森北出版，pp.73~86，1970
- 3) 北海道土木部河川課監修：北海道の大雨資料，第6編のII(確率雨量編)，pp. 35，1979
- 4) 菅原正巳：流出解析法，水文学講座7，共立出版，1972
- 5) 木下武雄：各種流出モデルの比較，1972年度水工学に関する夏期研修会講義集Aコース，pp.2-1~2-13，1972
- 6) 前出5)
- 7) 前出5)
- 8) 前出5)
- 9) 金丸昭治・高棹琢馬：水文学，朝倉土木工学講座4，朝倉出版，pp.107，1975
- 10) 前出2)，pp.281
- 11) 土木学会編：水理公式集，河川編，pp.175，1971
- 12) 登別市役所：昭和51年9月14日災害調査，1976