

苫小牧周辺河川の洪水流出モデルの構築

Development of a Flood runoff model for Tomakomai area

苫小牧工業高等専門学校専攻科 ○学生員 鹿戸晶太 (Shota SHIKATO)
苫小牧工業高等専門学校 正会員 八田茂実 (Shigemi HATTA)

1 はじめに

苫小牧市周辺の中小河川では、降雨に対する流出の応答が緩やかで、渇水流量が大きいといった特徴を有している。これは、流域の大半が、空隙が大きく透水性の高い軽石層や火山灰層から構成される第四紀火山噴出物を流域地質としていることにある¹⁾。これまで、水資源の有効利用を目的として、こうした地域の低水流出特性に着目した研究(例えば早川ら²⁾、北海道立地下資源調査所³⁾)は多くなされているが、洪水流出過程については、便宜的に従来型の洪水流出解析手法を適用した例はあるものの、流出過程までを含めた研究例は少ない。これまでに提案されている洪水流出解析手法は、その多くが流域が不透水性とみなしうる地盤上にあるものとし、表面流出や中間流出など地表面に近い流出成分を対象としたものである。このため、既往の洪水流出解析手法を流出過程が大きく異なることが予想される第四紀火山流域に単純に適用することは必ずしも妥当ではない。

八田らはこれまで、苫小牧地域の河川の調査を行い、この地域の河川の流出は大きく2つのタイプに分類されることを明らかにし^{5, 6, 7)}、そのうちの一つのタイプについて、洪水流出のモデル化を行っている⁸⁾。しかしながら、もう一つのタイプについてはいまだ有効なモデル化がなされておらず、この地域の洪水流量を推定する手法はいまだ確立していない。このような観点から、本研究では残るタイプの出水を再現するためのモデルを提案し、その妥当性を検討する。

2 小糸魚川流域の概要と流出特性

本研究で対象とした小糸魚川流域は、樽前山の南側山麓に位置し、流域面積8.97km²、流域内の標高分布が27~187mである。小糸魚川流域の概要を図-1に示す。苫小牧市水道部が行った河道周辺の調査によれば、地表面下2.5mの位置に厚さ1m程度の泥炭層が不連続に見られる他は、地表面下9.5mの位置の不透水層(溶結凝灰岩)まで軽石混じりの砂礫層や砂質土層(飽和透水係数: $1.0 \sim 4.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$)で覆われている。八田らは、2000年から2003年にかけて実施した小糸魚川流域の観測結果に基づき、小糸魚川の水文特性として以下の様な点を挙げている^{5, 6, 7)}。

- 総流出高が総降水量を大きく上回り、地形上の流域界を越えた地中水の移動が存在する。

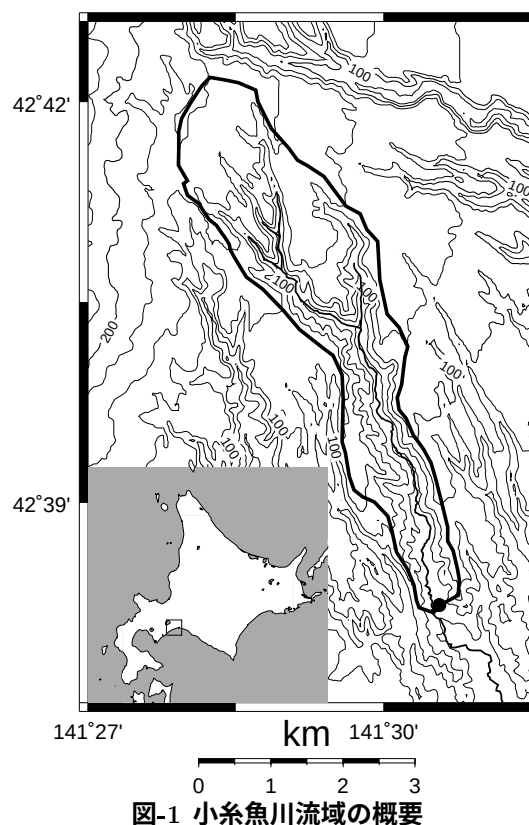


図-1 小糸魚川流域の概要

- 低水時の河道縦断方向の流量調査の結果から、集水面積に対する流量の増加量は、最上流付近で極端に大きく、下流部では周辺河川と同程度の増加率になっており、最上流部で流域が閉じていない可能性が高い。
- 洪水時には、1) 水源部の流量はほとんど変化せず、下流部の流出量が増加するタイプ(「I型」と呼ぶ)と2) 水源部の流量が増加し流域全体で水量が増加するタイプ(「II型」と呼ぶ)が存在する。
- E260をトレーサーとした流出成分の分離の結果と実効降雨を用いた流域湿潤度の比較から、I型の洪水は、河道周辺の地表面に近い比較的浅い層からの流出が主体である直接流出型の出水であること、II型出水はI型の出水に加え、最上流の湧水の増加により大きな出水になるもので、流域湿潤度が大きくなると発生する。

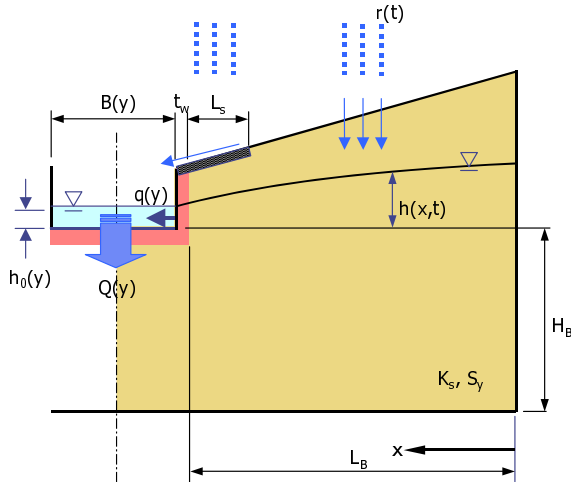


図-2 下流域の流出モデルの概念

3 洪水流出のモデル化

前節でも述べたように、小糸魚川流域では、通常は下流域が洪水流出の大部分を構成している I 型の洪水であるが、湿潤度が高まると上流域での湧水量が増加し II 型の出水となる。このため、対象流域を水源より上流の流域と、I 型の出水の生起場となる下流域に分けてモデル化を行う。

3.1 下流域の流出モデル概要

下流域の流出モデル (以降 Model-I と呼ぶ) は、八田ら⁷⁾によってすでに提案されている。Model-I の概要を図-2 に示す。このモデルは最上流部を除いた流域 5.77km^2 を対象とし、河床から H_B の深さまで飽和透水係数 K_s 、有効間隙率 S_y の透水層があるものとし、地上に到達した降水は、直ちに地下水面に到達し、飽和ダルシー則に従って地中水が移動する。移動した地中水は厚さ t_w の河床材料を通じて、斜面域から河道に流出または河道から斜面域に流入することになる。地下水流の基礎方程式は次式で表される。

$$S_y \frac{\partial h}{\partial t} - K_s \left\{ (H_B + h) \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 \right\} = r(t) \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 x は斜面頂部からの距離、 h は河床から測定した地下水水深、 $r(t)$ は時刻 t における雨量である。また、上流域からの流入量は、洪水期間中も一定であるという観測事実から、観測された一定流量を与えている。河道内の洪水は、マニング則に従う kinematic wave として計算を行う。図-3 は、下流域モデルを適用して計算された 2002 年 9 月 28 日から 10 月 6 日の計算結果を示している。計算に用いたモデルパラメータは表-1 に示す。図を見ると明らかなように、前半の I 型出水に関わる部分はよく再現されているが、後半部の出水に対しては I 型出水に相当する第一ピークはよく再現できているものの、II 型出水である 10 月 2 日午後以降の 2 つめのピークを構成する部分を再現できないことがわかる。

表- 1 下流域モデルの計算に用いた数値

K_s	S_y	K_w	t_w	L_s	H_B	n
cm/s		cm/s	m	m	m	$\text{m}^{-1/3}\text{s}$
0.015	0.3	1.0	0.2	8.0	10.0	0.05

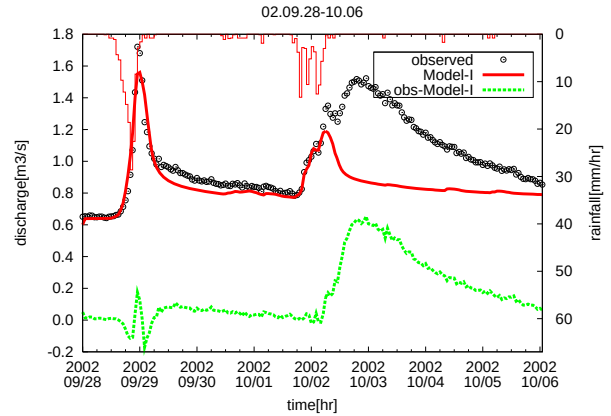


図-3 下流域の流出モデルを用いた流出計算結果 (図中の緑色の線は観測値から下流域モデルによる計算値を差し引いたもの)

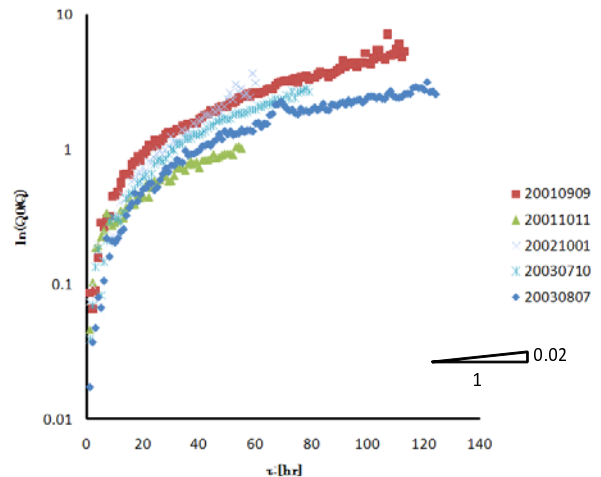


図-4 各洪水の減水係数

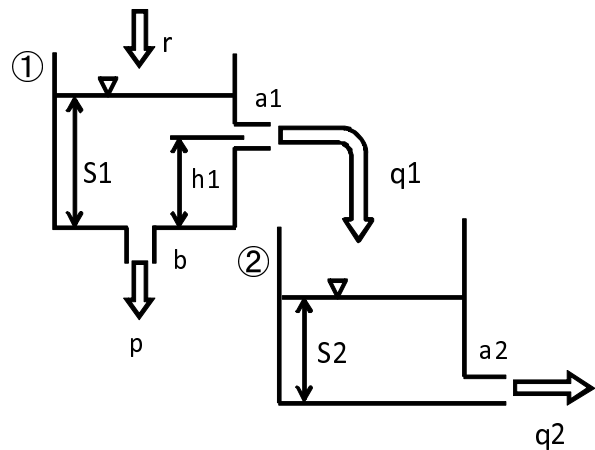


図-5 上流域モデルの概要

表- 2 上流域のモデルのパラメタ

a_1	b	$h_1(\text{mm})$	a_2
0.06	0.0126	55	0.02

3.2 上流域の流出のモデル化

II型の流出では、上流域の流量が大きく変動するため、上流からの流量を一定とする Model-I では再現することができない。図-3 中の緑色の線は観測値から Model-I による計算値を差し引いたものである。この差分は洪水流出でよく見られるハイドログラフの形状をしており、これが上流からの流入量と考えられる。図-4 は、他の II 型の洪水に対しても Model-I を適用し、同様の手順で上流からの流入量を求め、その減水係数を求めたものである。いずれの出水に対しても、2-3 本の直線で近似でき、第2変曲点以降の減水係数は 0.02 となった。このことは、上流の流出システムが同一のモデルで記述できることを示している。

以上の結果から、本研究では、上流域の流出モデル(以降 Model-II と呼ぶ)として、図-5 に示すような2段のタンク型のモデルを設定した。このモデルでは、タンク1段目の貯留量 S_1 、横孔流出量 q_1 、浸透量 p およびタンク2段目の貯留量 S_2 、横穴流出量 q_2 を次式より求めた。

$$\frac{dS_1}{dt} = r - (q_1 + p) \quad (2)$$

$$q_1 = a_1(S_1 - h_1) \quad (3)$$

$$p = b \cdot S_1 \quad (4)$$

$$\frac{dS_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (5)$$

$$q_2 = a_2 \cdot S_2 \quad (6)$$

ここで、 r はタンク1段目に入力される雨量、 a_1 、 a_2 、 b はタンクの流出孔および浸透孔係数、 h_1 はタンク1段目の流出孔の高さである。なお、上流域の流量増加は、ある一定の湿潤度に達すると発生するため、次式で示されるように、タンク1段目には閾値を設け、貯留量 S_1 が閾値 th_1 を上回るとタンク2段目に流出を開始し、貯留量 S_1 が閾値 th_2 を下回ると流出が止まるようにした。

$$q_1 = \begin{cases} 0 & (S_1 < th_1) \\ a_1(S_1 - h_1) & (S_1 \geq th_1) \end{cases} \quad (7)$$

$$q_2 = \begin{cases} 0 & (S_1 \leq th_2) \\ a_1(S_1 - h_1) & (S_1 > th_2) \end{cases} \quad (8)$$

今回の計算ではパラメタ a_1 、 a_2 、 b 、 h_1 を一定とし、タンク2段目の初期貯留量を 0 とおいた。採用したモデルパラメタを表-2 に示す。また、タンク1段目の初

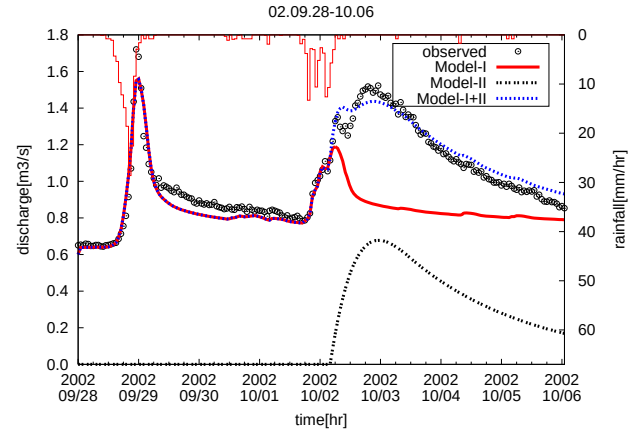


図-6 2つの流出モデルを組み合わせた計算結果:2002/09/28-10/06

($S_1(0) = 0\text{mm}$, $th_1 = 125\text{mm}$, $th_2 = 50\text{mm}$)

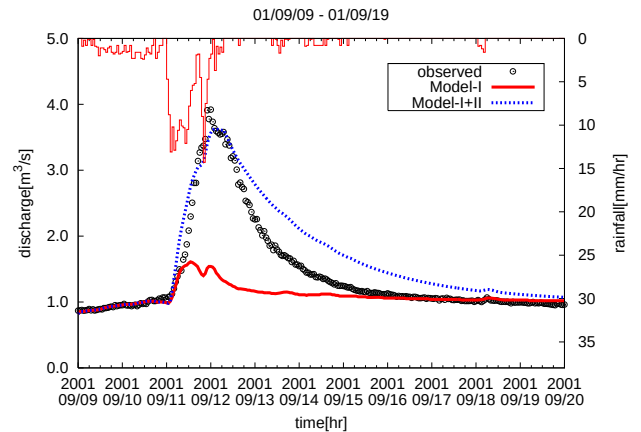


図-7 2つの流出モデルを組み合わせた計算結果:2001/09/09-09/19

($S_1(0) = 120\text{mm}$, $th_1 = 125\text{mm}$, $th_2 = 110\text{mm}$)

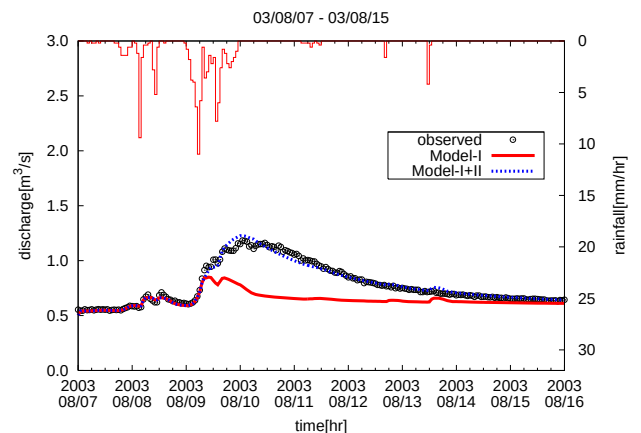


図-8 2つの流出モデルを組み合わせた計算結果:2003/08/07-08/15

($S_1(0) = 50\text{mm}$, $th_1 = 80\text{mm}$, $th_2 = 65\text{mm}$)

期貯留量 $S_1(0)$ と閾値 th_1, th_2 のみ, 対象とする降雨に合うように試行錯誤的に決定した。

図-6 は上記の Model-II で計算された流量 (図中の黒い線) をこれまで与えてきた一定流量に加え, 上流からの流入量として Model-I に与えて計算した結果を示している。この計算に用いた初期貯留量と閾値は図中のキャプションに示すとおりである。Model-I に Model-II を加えることによって, II 型の出水もよく再現できることが分かる。

II 型の流出である 2 つの洪水イベントに対して, 同様のモデルを適用した結果を図-7, 8 に示す。いずれも図中の赤色の線は Model-I で計算される流量, 青色の線が Model-II を上流流量として計算した結果を示しており, 実測流量をよく再現している。しかし, いずれの出水とも, 計算に用いた閾値は大きく異なっており, 更に初期貯留量も連続的に設定する必要がある。これらの貯留に関わるパラメタが一定にならないことは, 上流域で流域が閉じていないことに大きく関係していると考えられ, この点を解決することが今後の課題である。

4 おわりに

本研究では, 小糸魚川流域を対象に, 新たに上流域のモデルを設定し, 上流域モデルで計算された流量を下流域モデルへの流入量として与えることによって洪水流出を再現できるモデルを開発した。この結果, これまで再現することのできなかった II 型の出水を再現することが可能となった。しかし, 現在のところ洪水イベントごとに流域貯留に関連するパラメタを試行錯誤的に決定せざるを得ない。これは, 上流域で流域が閉じていないことに大きく関係していると考えられ, 今後, これらのパラメタをいかに合理的に決定するかが課題である。

参考文献

- 1) 高橋裕：河川水文学, 共立出版, 1987.
- 2) 早川福利・佐藤巖, 支笏湖東南地域の河川について, 北海道立地下資源調査所報告, 50, pp.109-132, 1978.
- 3) 北海道立地下資源調査所, 北海道の水資源, pp.29-46, 1985.
- 4) 山本莊毅：富士山の水文学的研究, 地理学評論, 43(5), pp.267-284, 1970.
- 5) 八田茂実, 秋野隆英, 藤井清志, 照井文哉：苫小牧周辺河川の流出特性, 土木学会北海道支部論文報告集, 58, pp.314-317, 2002.
- 6) 八田茂実, 秋野隆英, 藤井清志, 照井文哉：小糸井川流域の流出特性, 土木学会北海道支部論文報告集, 59, pp.392-395, 2003.
- 7) 八田茂実・秋野隆英・藤井清志：樽前火山流域の流出特性について, 水工学論文集, 48, pp.349-354, 2004.

- 8) 八田茂実・山梨光訓・藤井清志・菅原元気：樽前山麓流域の洪水流出特性に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 61(II-13), 2005.