

# 水文資料が乏しい地域での流出解析

野口 正人\*・米倉 広幸\*\*  
菅 浩一\*\*\*

## A Study on the Determination of Runoff with no Referring to the Sufficient Hydrologic Data

by

Masato NOGUCHI\*, Hiroyuki YONEKURA\*\* and Kouichi SUGA\*\*\*

The present paper is concerned with the runoff analyses at a watershed with almost non existing hydrologic data.

The surface runoff is estimated by means of a kinematic wave method, and the subsurface runoff is calculated by a tank model. Even if there is no hydrologic datum, we can take informations on topography, geology and vegetation. Then, through studying about an infiltration rate and an interflow velocity with respect to their characteristics, hydrographs will reasonably be predicted by this models.

Lastly, we apply the model to the Nagasaki flood disaster by heavy rainfall.

### 1. 緒 言

河川を管理するにあたって、流出解析が重要となることは言を俟たない。従来、単位図法、流量配分図法、流出関数法、貯留関数法、タンクモデル、雨水流法…等々、多数のモデルが提案されてきたことが、何よりの証左である。その結果、大河川等においては、かなりの精度で流出解析を行うことが可能となり、河川計画に役立てられてきた。しかしながら、流出解析結果の妥当性について議論されることも稀ではない<sup>1)</sup>。これは、集中定数型モデルのパラメーター選定、ないしは、分布定数型モデルにおける流出機構の普遍化に困難を伴うためである。さらに、問題が顕在化する洪水時の流量観測が難しいことも、妥当性検定の妨げになっている。

以上のことから、本論では、降雨一流出系システムの

パラメーター同定を行うに必要な水文観測資料が乏しい流域を取り挙げ、そこでの流出解析に関して検討する。

### 2. 長崎豪雨と出水流量

まず、問題点を明らかにするため、昭和57年7月長崎豪雨を対象にした流出解析について述べる。

上述の豪雨では、長崎市内を流れる中島川・浦上川等の河川はいずれも溢水・氾濫した。今後の河川管理を行う場合、既往洪水の一つとして、今回の出水流量を明らかにすることは重要である。我々も、地元大学に籍を置くものとして、その責務を果たすべく、災害の調査・研究に携わってきたが、その一貫として、前述河川で流出解析を行った。もっとも、長崎市がこれまでに豪雨災害を経験したのは、江戸時代に遡るため、

昭和59年10月1日受理

\*土木工学科 (Department of Civil Engineering)

\*\*土木工学専攻修士課程 (Graduate Student, Department of Civil Engineering)

\*\*\*日本道路公団 (Japan Highway Public Corporation)

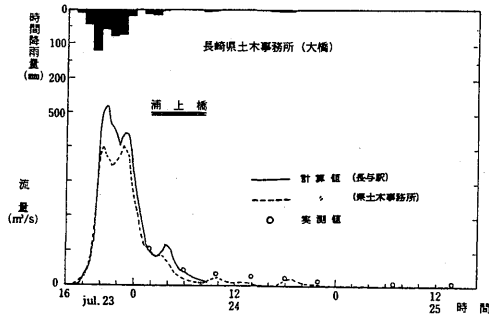


Fig. 1 Hydrographs for Urakami River basin

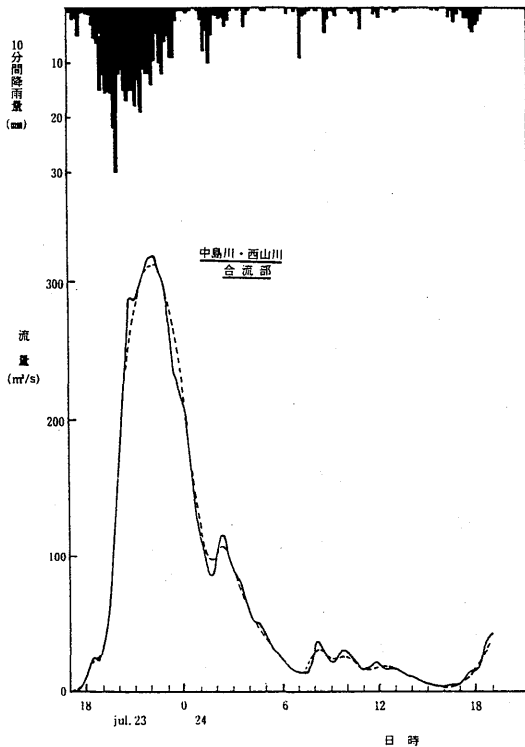


Fig. 2 Hydrograph for Nakashima River basin

災害への備えは必ずしも十分ではなかった。そのため、水位観測もされておらず、各種流出解析法の適用を困難にしている。通常、このように資料の乏しい流域で流出解析を行う場合、総合単位図法や総合貯留関数法等に依らざるを得ない<sup>2)</sup>。Fig. 1 および Fig. 2 は、前者の方法により求められた浦上川（大井手地点）および中島川（出来大工地点）での流出解析結果である<sup>3)</sup>。もちろん、これらの方法では、対象流域の降雨一流出システムを表すパラメーターの同定に際し、観測資料は用いられていない。したがって計算結果の精度は必ずしも高くなく、その妥当性については常に検討を要

する。そのため、浦上川の計算に対しては、基準地点直上流にある浦上水源地での水位記録、および、直下流の浦上橋での水位観測により求められた出水流量を使って、増水期ならびに減水期の結果の妥当性が検討された。一方、中島川では、たまたま他の研究目的で洪水直前の観測が行われており、7月20日に降った100 mmの雨を対象にして単位図の適否が調べられた。前述されたように、長崎豪雨災害は大きな社会問題であり、災害復旧にも関連して、その出水流量を明らかにせねばならず、行政機関によっても流出解析が行われた。その結果、浦上川についてはほぼ同様の結果が得られたが、中島川については、結果に幾らかのくい違いが見られた。もちろん、最終的に河川の基本高水、計画高水流量を決めることは、行政機関に課せられた任務であるが、既往洪水の実態がどうであったかは、科学的に調べられなければならない。とは言え、十分な水文観測資料が無い段階では、それも難しく、そのようなケースに対する流出解析法が必要とされる所以である。

### 3. 変形雨水流法

#### 3. 1 流出解析モデル

前節までに述べられたように、水文資料が乏しい地域でさえ、しばしば、流出解析をせねばならない。とくに、流出解析結果の精度を高めようとすれば、分布定数型モデルが適しているが、流域システムをあまりに細分化することは、実用上好ましくない。したがって、以下に示すモデルでは、表面流を雨水流法で表現するとともに、土中への浸透量を考慮し、洪水流量に関与するその他の成分をタンクモデルで表した(Fig.3

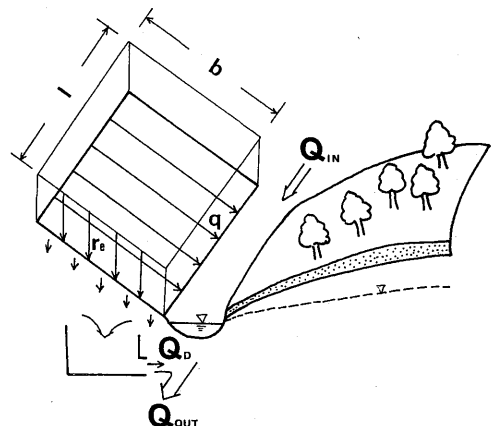


Fig. 3 Schematic view of watershed

参照)。すなわち、急傾斜地流域における表面流出成分は、つぎの基礎方程式で表現される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r - i \quad (1)$$

$$h = kq^p \quad (2)$$

ここに、 $h$ ：表面流の水深、 $q$ ：単位幅流量、 $r$ ：有効降雨強度、 $i$ ：浸透量である。通常、上式中の浸透量は、Horton ないしは Philip の浸透能式で評価される。しかし、初期浸透能や最終浸透能が、流域の湿润状態あるいは地形・地質・植性等の流域特性量により変化するため、それらとの関連で定量化し、基礎式に組み込むことが難しい。そのため、ここでは、浸透量を簡単に次式で表す。

$$i = ch \quad (3)$$

もちろん、浸透量を上式のように表現し得るかどうかは問題があるが、係数  $c$  を変数と見做して、流域諸量より評価することとする。

つぎに、洪水流出に直接関与する中間流出成分を求めるため、前述の浸透量をタンクへの入力として取り扱う。一般に、洪水流出量をタンクモデルで求める場合、3～4段のタンクが用いられるが、水文資料が整っていない段階では、流出孔ならびに浸透孔の乗数を決めることができない。もっとも、ここで示されたモデルでは、表面流出成分は別に扱われているので、第1次近似として1段タンクを用いることも、さほど無理ではないものと思われる<sup>4)</sup>。タンクの底に1個の流出孔だけを有する線形タンクでは、流出孔乗数を  $\nu$  とし、応答関数は次式で表される。

$$K(t) = \nu e^{-\nu t} \quad (4)$$

ここに、乗数  $\nu$  は流量減衰曲線より求められる。

### 3. 2 計算手法

計算は、斜面流ならびに河道流のそれぞれについて行い、土中への浸透は山腹斜面のみで考慮することとした。このとき、河道流は雨水流法で計算することができ、斜面流についても、基礎方程式を特性曲線法により解くことができる。すなわち、(1)式を書き改めれば、つぎのようになる。

$$dx = \frac{dt}{dh/dq} = \frac{dq}{r-i} \quad (5)$$

(2)、(3)式を考慮すれば、結局、次式を得る。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{pkq^{p-1}} \quad (6)$$

$$(r - ckq^p)dt = pkq^{p-1}dq \quad (7)$$

したがって、特性曲線の位置ならびにその上での流量

は、以下のように差分表示される。

イ)  $r_j - ckq_{j-1}^p \neq 0$  のとき

$$q_j = \left[ \frac{r_j - (r_j - ckq_{j-1}^p)e^{-c \cdot \Delta t}}{ck} \right]^{\frac{1}{p}} \quad (8)$$

$$\approx \left[ q_{j-1}^p + \frac{r_j - ckq_{j-1}^p}{k} \Delta t \right]^{\frac{1}{p}} \quad (8)$$

$$\Delta x_j = \frac{q_j - q_{j-1}}{r_j - ckq_{j-1}^p} \quad (9)$$

ロ)  $r_j - ckq_{j-1}^p = 0$  のとき

$$q_j = q_{j-1} \quad (10)$$

$$\Delta x_j = \frac{1}{pkq_{j-1}^{p-1}} \Delta t \quad (11)$$

ただし、上式中の  $\Delta t$  は計算時間間隔であり、添字の  $j$  は、初期時刻より  $j\Delta t$  時間後の値であることを示している。

以上の諸式により演算を進める場合、流れが下流端に到達する端数時間の計算や、特性曲線が他の特性曲線を追い抜く際の処理等が必要であるが、雨水流法の場合と同様にして取り扱うので、説明を省略する<sup>5)</sup>。

つぎに、斜面流の浸透成分はタンクモデルを使って計算されるが、タンクは1段線形のものであるため、遅れ時間が考慮されない。そのため、対象小流域の流路長ならびに中間流の流速より遅れ時間を求めることとした。なお、タンクモデルからの流出量を取り扱う方法としては、流出量を斜面流の途中で考慮する方法と、河道へ横流入量として考慮する方法の2種類が考えられる。前者の方法で合理的に計算を行うためには、対象流域の水みちを詳細に調査することが必要であり、実用的流出解析法としては馴染まない。そのため、ここでは、タンクモデルからの流出量を、対象小流域に接する河道への横流入量とした。

上述されたように、流出計算は、基準地点での流域を小流域に分割して行われるが、ダムが存在する場合には、貯水量を次式で計算する。

$$\frac{dV}{dt} = Q_u + (q_l + q_r) \cdot l + rA - Q_d \quad (12)$$

ここに、 $V$ ：貯水池水量、 $A$ ：貯水池水平面積、 $l$ ：貯水池長さ、 $r$ ：降雨強度、 $Q_u$ 、 $Q_d$ ：それぞれ、上・下流端の流量、 $q_l$ 、 $q_r$ ：それぞれ、左右岸から貯水池への単位幅流入量、である。なお、上式中の  $Q_d$  は、放流工の形状がわかれば、越流水深を使って求められる。

### 4. モデルの適用例

前節で示された変形雨水流法が、水文資料の乏しい地域の流出解析法として、どの程度有効であるかを調べるため、長崎市内河川の浦上川を取り挙げて検討する。

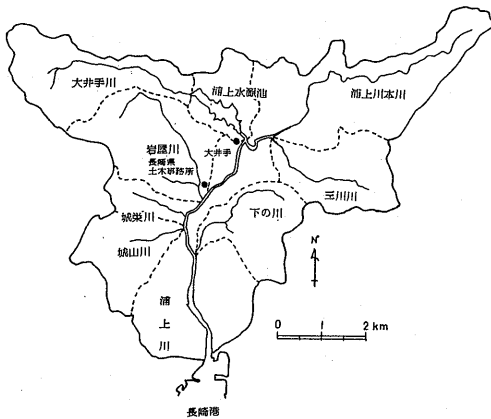


Fig. 4 Sketch of Urakami River basin

#### 4. 1 浦上川の概要

浦上川は、Fig. 4 に示されたように、多良見町に近い畦別当付近より発し、長崎港に注いでおり、全流域面積：38.1km<sup>2</sup>、流路延長：13.3kmの2級河川である。この川は、長崎市ならびに周辺町村の河川の中にあつて、流域面積、流路延長ともに最も大きく、長崎市にとって重要な都市河川である。とくに、浦上川の支川である大井手川が本川と合流する地点には、長崎市民の水がめの一つである浦上貯水池があるが、今回の災害を契機として、利水専用から一部治水用に振り替えることが計画されている。また、前述されたように、これまで浦上川では水位観測がなされていないが、今回の豪雨災害に関連して防災研究を進める便宜上、大井手地点の学舎橋において、昭和58年6月より長崎大学の手で水位観測が行われている。さらに、今年度(昭和59年度)は、三川川の支川上流域(兵底)で試験流域を設け、詳細な水文観測が実施されている。ここでは、災害復旧に関連した河川改修工事が本格化する前の観測値を用いて、モデルの検討を行うこととする。その後の観測結果に基づく浸透量の評価等については、つぎの機会に報告する。

#### 4. 2 計算結果と考察

ここでは、変形雨水流法により大井手地点での流出量を求め、結果の妥当性について検討する。一般に、流出計算をする場合、対象流域をどの程度まで小さく分割するかを決めなければならない。これは、その地点の降雨が降雨観測点のもので代表される場の尺度や、流域地形によって変わってくるものと思われる。ただ、われわれが他の河川で流出解析を行ったときの経験が

Table 1 Values of watershed characteristics at Urakami River basin

		面積 (km <sup>2</sup> ) 流路長 (km)	平均勾配	市街化率
浦上川上流	右流域	3.13	0.472	12.0
	左流域	4.85	0.377	5.7
	河道	7.80	0.032	
三川川	右流域	2.13	0.426	15.3
	左流域	1.11	0.557	40.4
	河道	3.47	0.071	
大井手川	右流域	3.28	0.378	48.2
	左流域	1.72	0.289	65.7
	河道	4.55	0.027	
浦上水源池	右流域	0.28	0.378	48.2
	左流域	2.11	0.289	65.7
	野水池	1.43	0.047	

ら言えば、後者については、さほど局所的な地形の違いを考慮しなくても良いようである。以上のことから、支川流域ごとに流出計算を行うこととし、流域を浦上川上流、三川川、大井手川、ならびに浦上水源地の各ブロックに分割した。計算は、各ブロックの右流域、左流域、河道、もしくは貯水池に対して行うものとする。各要素の諸元は、Table 1 にまとめられている。

つぎに、変形雨水流法で計算を行うためには、各種のパラメーターを決定しなければならない。表面流については、流れの抵抗則を Manning 型で表現することとすれば、 $p=0.6$ 、 $k=(N/\sqrt{I})^p$  となる。ただし、 $N$ ：等価粗度係数、 $I$ ：斜面こう配、である。一方、タンクの乗数について調べるため、昭和58年梅雨期の観測資料を用いて、流量減衰曲線を片対数紙上に表せば、Fig. 5 のようである。これより、減衰係数  $\nu$  は  $0.005 \sim 0.03 \text{ min}^{-1}$  となり、若干の幅がある。これは、7月5日の降雨に対する流出は、それ以前に暫く雨が降っていないことによる影響を受けたのに対し、7月16、17日のものは、そうでないことによっている。そのように考えれば、詳細な流出解析に対しては、1段タンクは適当でないようにも思える。参考までに、本明川・裏山地点における同種の図を、Fig. 6 として示した。この図では、浦上川の場合とは反対に、減衰係数がほぼ一定になっているが、その理由は上述されたことから明らかである。したがって、3.1にも述べられたように、第1次近似として、1段タンクを用いることは妥当であろう。

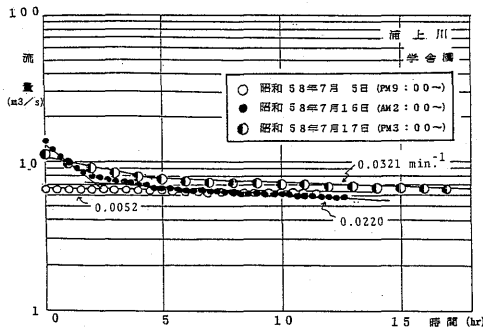


Fig. 5 Semilogarithmic plotting of hydrographs (Urakami River)

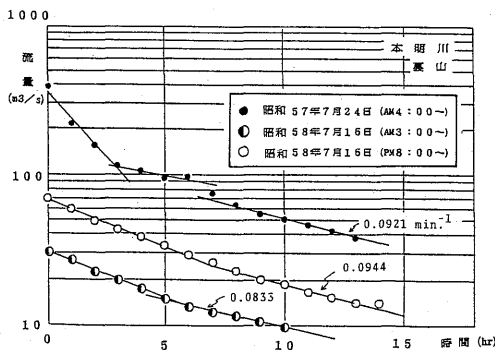


Fig. 6 Semilogarithmic plotting of hydrographs (Honmyo River)

以上のようにして求められた、昭和57年7月23~24日ならびに昭和58年7月15~17日のハイドログラフが、Fig. 7, Fig. 8に示されている。流域特性量の違いによる $c$ の変化については、現在調査中であり、この計算では $c$ の値を一定とした。なお、図中には、実測値とともに、中安の総合単位図法による結果も示されている。

Fig. 8において、 $c=0.25$ とした変形雨水流法の結果を実測値と比較すれば、減水期における流出がよく表現されていることがわかる。ところが、ピーク付近で計算値は実測値をかなり下まわっている。これは、一つには、実測流量と称するものが、水位-流量曲線を使って実測水位より求められた流量であること、さらには、前述されたことから、 $c$ の妥当性に検討の余地を残していることによるものと思われる。一方、単位図法による結果は、上述のものと反対の傾向にあるが、これは変形雨水流法で $c$ を小さくした結果とよく似ている。すなわち、単位図法により計算される流出解析結果は、表面流出成分に着目して求められたものである。したがって、河川計画を行う場合のように、

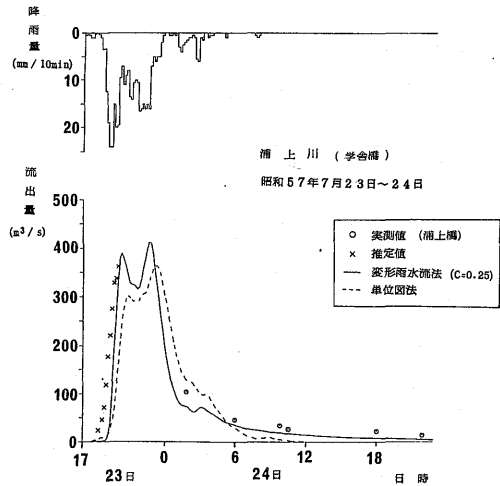


Fig. 7 Hydrographs at the point of Manabiya Bridge (July 23-24, 1982)

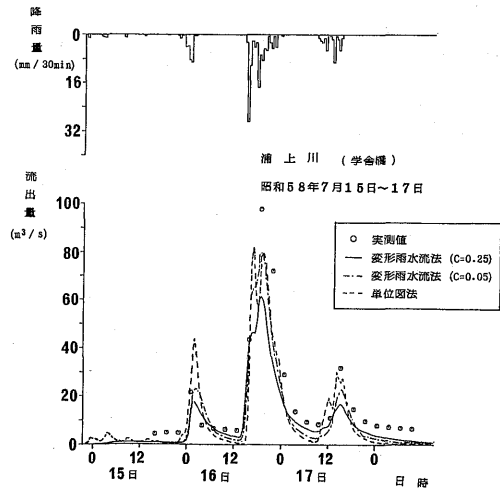


Fig. 8 Hydrographs at the point of Manabiya Bridge (July 15-17, 1983)

大洪水を対象にして流出解析を行うときには、適当にパラメーターを選びさえすれば、流出解析法として一応評価しうるものであることがわかる。

つぎに、パラメーターを上述のものと同じにして求められた、昭和57年の結果を見れば(Fig. 7), 変形雨水流法はほぼ妥当な値を与えているように思われる。もっとも、豪雨に伴って $c$ の値が減少すれば、ピーク流量は幾分増加するが、この点からも、降雨時における土中浸透量を測定せねばならない。

以上述べられたことから明かなように、変形雨水流法は、短期・長期の別なく、流出解析に供せられる。もちろん、長期流出解析を行う場合には、最低2段のタンクを用意するとともに、蒸発量についても考慮せ

ねばならないことは当然である。また、上述の計算では、中間流の速度を一定にしているが、これについても、土中浸透量の評価とともに、今後、調査・研究がなされねばならない。

## 5. 結 言

本論文では、水文資料が乏しい地域で流出解析を行う方法として、変形雨水流法を提案した。この方法は、対象流域で十分な水文観測資料がないときにも、地形・地質・植性等の違いを考慮して、流出計算をしようの利点を持っている。もちろん、そのためには、土中の浸透量を表す係数 $c$ や、中間流の速度等について更に検討せねばならないが、それらの成果は容易に流出計算に取り入れることができ、流出解析法として実用的でもある。

最後に、本論で検討された方法は、水文資料が乏しい地域で如何にして流出解析を行うかを示したものであり、水文観測の必要性を否定しているものでないことは言うまでもない。上述のモデルを使用する場合にも、前段階として、各種流域での水文観測結果は重要

であり、地道に水文観測業務を続けておられる多数の方々に敬意を表したい。同時に、長崎市内河川においても、行政機関により一刻も早く水文観測体制が組み立てられ、豪雨災害を防止する水防災監視システムが完成することを願っている。

## 参考文献

- 1) 観光資源保護財団；長崎・中島川と石橋群，その2，昭和59年
- 2) 建設省河川局，日本河川協会；建設省河川砂防技術基準(案)，調査編，山海堂，昭和51年
- 3) 野口正人・中村武弘・平山康志・武田篤；長崎市街地の河川氾濫，昭和57年7月長崎豪雨による災害の調査報告書，昭和57年
- 4) 野口正人・小林高昌・山本隆洋；流出タンクモデルの同定に関する研究，長崎大学工学部研究報告，第17号，昭和56年
- 5) 角屋睦；講座 流出解析手法，農業土木学会誌，第47巻10号～第49巻6号，昭和54～56年