

## II-34 定山溪ダム流域における模擬河道網を用いた土砂流出解析

北海道大学工学部 学生員 川村 力  
 北海道大学工学部 正 員 藤田 睦博  
 北海道大学工学部 正 員 清水 康行

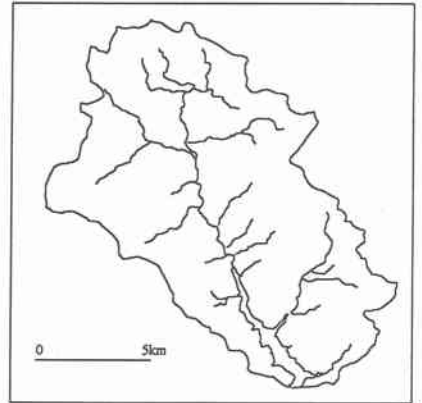
### 1. はじめに

流域から流出する土砂量を定量的に把握することは防災計画上重要である。このモデルを考える場合、集中定数系モデルでは入力から出力までがブラックボックスとなりその過程を調べることは不可能といえる。したがって流域中の斜面や河道で土砂がどのように生産され、輸送されるのかを知ることはできない。そこで流域を河道と斜面に細かく分割し、それぞれの物理的機構を調べる必要がある。

本論文は、模擬河道網を用いて分布定数系モデルの開発を行なった。模擬河道網を用いることによって流域を河道と斜面に分離することができる。さらに閾値を変化させることによってその分離の仕方を、細かく分割した場合や、荒く分割した場合など分割法を変えることが可能となる。このモデルを今回は定山溪ダム流域に適用し、流量及び流砂量計算を行ないその計算結果に与える影響について検討した。

### 2. 対象流域

今回解析を行なうにあたり、石狩川水系豊平川上流に位置する流域面積約104km<sup>2</sup>の定山溪ダム流域(図1)を対象流域とした。現在、定山溪ダム流域の小樽内川において北海道大学と北海道開発局の共同研究により春の融雪時、及び夏から秋にかけての洪水時における流量、浮遊砂、掃流砂量の観測がなされている。また、今回の解析で使用した実測データは平成4年9月11日のものである。

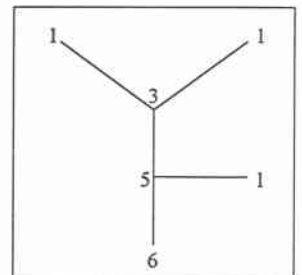


図一 定山溪ダム流域

### 3. 模擬河道網の作成

国土数値情報から模擬河道網を発生させる手法<sup>1)</sup>を以下に簡単に述べる。

- 1) 国土数値情報から10mメッシュの標高データファイルを作成する。
- 2) 1)で作成した10mメッシュの標高データを50mメッシュの標高データに変換する。(10mメッシュのままではデータの量が膨大で扱いにくいいため50mに変換して用いた)
- 3) メッシュ点において周囲8方向の点との勾配を計算し、その最大勾配の方向に雨水が流れ落ちるとした方向データファイルを作成する。
- 4) 流域中の各河道の河道長、集水面積、勾配などすべての情報を1つのリンクファイルとして作成する。



図二 閾値の与え方

こうして出来たのが閾値1の模擬河道網である。閾値の与え方は図2に示す。図2において閾値5の模擬河道網とは、閾値が4以下の河道を斜面とみなし全て切り捨てた河道網のことである。

## 4. 流出計算

### 4. 1 流量の計算

流出計算は、河道部分をkinematic wave法により計算し、斜面部分を星ら<sup>2)</sup>が提案しているkinematic wave法を集中化した総合貯留関数法モデルを用いる。本来なら斜面部もkinematic wave法で計算すべきところを貯留関数法を用いることで計算時間を大幅に軽減できる。

#### 4.1.1 斜面部分

貯留関数法の基礎方程式を以下に示す。

$$\frac{dS}{dt} = r_e - Q \quad (1) \quad S = KQ^p \quad (2)$$

S:貯留高(mm)、t:時間(hr)、 $r_e$ :有効降雨強度(mm/hr)、Q:流出高(mm/hr)、K:貯留係数  
有効降雨強度は、流出率を実測値より水平分割で計算し、初期流量とその時の流出率の関係を調べる(図3)。これによりあらゆる初期流量での流出率を計算できる。これにより計算された流出率を降雨に乗じて有効降雨強度とした。また、斜面の流れはManning則に従うものとし $p=0.6$ とした。これにより計算された流量を単位幅流量に換算し横流入量(後述(5)式の $q_L$ )とする。貯留係数については星らによる総合貯留関数モデルを参考に次式で求める。

$$K = 0.0728 \left( N / \sqrt{i} \right)^{0.6} L^{0.6} \quad (3) \quad N = 530 L_m^{-1.08} \quad L_m: \text{斜面長のモード(m)} \quad (4)$$

L:斜面長(m)、i:斜面勾配、N:斜面の等価粗度( $m^{1/3} \text{sec}$ )、ここでNの値は角屋の半経験式<sup>3)</sup>より次式で求める。斜面長のモードとは河道長をbとした時、 $b * L_m$ が斜面面積の1/2になるような長さのことである。本モデルでは斜面を矩形としているので $L_m = L/2$ となる。(L:斜面長)

#### 4.1.2 河道部分

kinematic wave法の基礎方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial HB}{\partial t} + \frac{\partial Bq}{\partial x} = q_L \quad (5) \quad q = \alpha H^m \quad (6)$$

Bは河幅(m)である。河幅の与え方は、流域下流端でBの最大値を与えて、上流むかつて集水面積の比で各河道に河幅を与える。このとき、集水面積が小さい河道ほど河幅が狭くなるが、1本の河道内では河幅は変化しない。また、河道の断面は矩形断面である。

また、Heyの式

$$\frac{U}{u_*} = 5.75 \text{Log} \left( \frac{ah}{3.5d_{84}} \right) \quad (7) \quad \frac{U}{u_*} = 5.75 \text{Log} \left( \frac{ah}{d_{84}} \right) \quad (8)$$

U:平均流速、 $u_*$ :摩擦速度、 $d_{84}$ :84%粒径、aは流路の断面形状に由来する定数で矩形の場合はおおよそ $a=11$ となる。また、(7)式対数の中の係数3.5は形状抵抗に由来し、射流が連続するような場合は形状抵抗が減ることが長谷川ら<sup>4)</sup>により指摘されており、(8)式がよく合う。本論文では山地河川の洪水時の流出解析を論じるので(8)式を平均流速式として用いて支障がない。(8)式をManning・Strickler式に従って、次式のように近似する。

$$\frac{U}{u_*} = 6.5 \left( \frac{h}{d_{84}} \right)^{1/4} \quad (9)$$

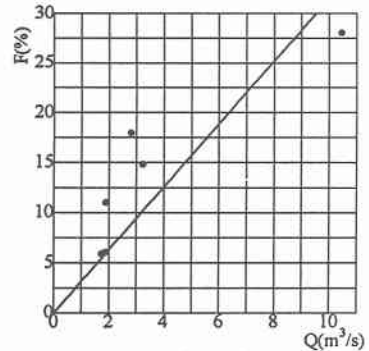


図-3 初期流量と流出率の関係

(9)式より(6)式において、 $\alpha = \left( \frac{6.5\sqrt{gi}}{d_{84}^{1/4}} \right)$ 、 $m=7/4$ となる。

#### 4.2 流砂量の計算

流砂は、斜面で生産された土砂が河道に供給され、掃流砂として河道を流下するものとする。また、計算は一様粒径で行ない、粒径は平均粒径を用いた。

##### 4.2.1 斜面部分

斜面で生産される土砂<sup>5)</sup>を次式で計算する。

$$V = \beta I^2 s r^2 \quad (11)$$

V:単位面積当たり土砂生産量( $m^3/km^2/hr$ )、Is:斜面勾配、r:雨量強度( $mm/hr$ )、係数 $\beta$ については、平成4年の1年間の雨(ただし、降雪時期を除いた5月から11月のもの)を定山溪ダム流域に降らせて年土砂生産量を計算し、ダムの年堆砂量と比較して妥当な値を逆算した。

##### 4.2.2 河道部分

掃流砂量式はMeyerPeter-Müller式を用いる。

$$q_b = 8\sqrt{Sgd^3}(\tau_{*c} - 0.05)^{1.5} \quad (12)$$

S:水中比重(=1.65)、d:平均粒径(m)、 $\tau_{*c}$ は有効河床剪断力であり、

$$\tau_{*c} = \frac{u_{*c}^2}{Sgd} \quad (13) \quad u_{*c} = \left( \frac{n_b}{n} \right)^{3/4} u_* \quad (14)$$

となる。 $n_b$ は砂粒抵抗を表わす粗度係数であり、次式で与える。

$$n_b = 0.0192d_{90}^{1/6} \quad (d_{90}:cm単位) \quad (15)$$

流砂連続式を以下に示す。

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial q_b}{\partial x} = \frac{q_s}{B} \quad (16) \quad q_s = \frac{VA}{3600L} \quad (17)$$

Z:河床高(m)、 $q_b$ :単位幅掃流砂量( $m^2/s$ )、 $q_s$ は斜面からの単位河道延長当たりの横流入土砂量( $m^2/s$ )であり、A:斜面面積( $km^2$ )、L:斜面長(m)である。

##### 4.2.3 粒径について

平成7年7月25日に小樽内川において河床材料調査を行なった。河床材料調査は、流域下流端に位置するつつじ橋から上流に向かって1m線格子法により300点(図4)とり、さらに3箇所河床の上層部と下層部をそれぞれサンプリングした。図4から $d_{84}$   $d_{90}$ をとり、 $d_{84}$ 以上は母集団が違うものと考え、それ以下のものとサンプリングしたものを重ね合わせた。その粒度分布(図5)から $d_{50}$ を採用した。ここで図4は個数百分率であり図5は重量百分率で表わしている。

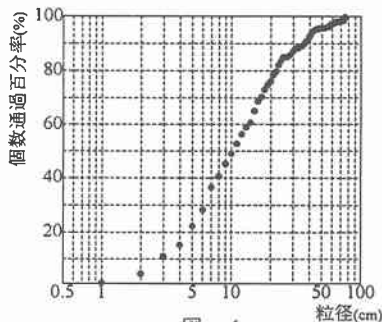


図-4

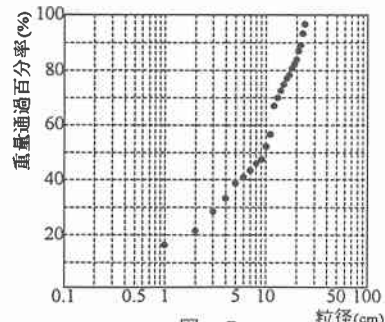


図-5

ここで、閾値500(図7)の模擬河道網において本流の各河における道マグニチュードと集水面積の関係を調べたものを図6に示す。図中の $A_{in}$ とは内部リンクの平均集水面積で $A_{out}$ は外部リンクのものであり $M$ はマグニチュードである。この図によれば定山溪ダム流域を一樣な流域として計算を行なってもさしつかえない。

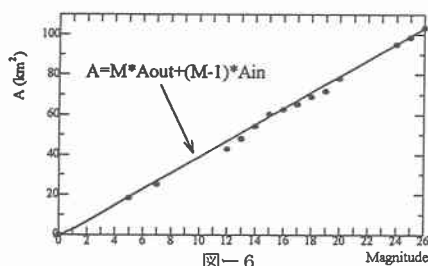


図-6

## 5. 計算結果

### 5. 1 流量計算結果

定山溪ダム流域における閾値500と2000の模擬河道網(図7, 8)について、実測降雨を用いて流量計算を行なった結果を図9から10に示す。結果をみると、閾値を変えても流量計算の結果にあまり変化がみられない。

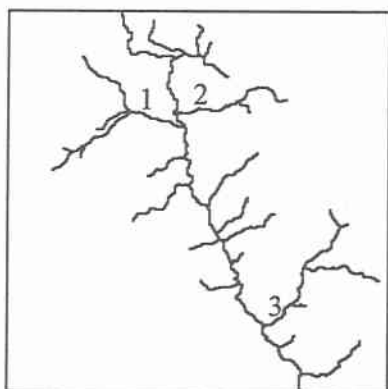


図-7 閾値 500

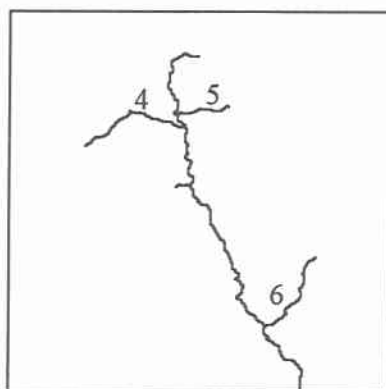


図-8 閾値 2000

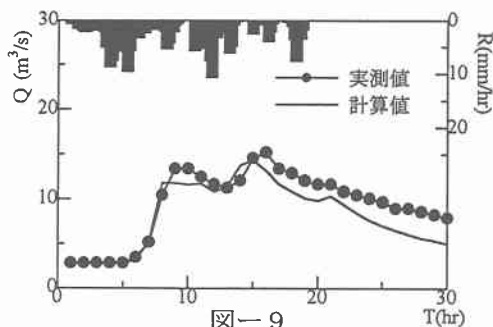


図-9

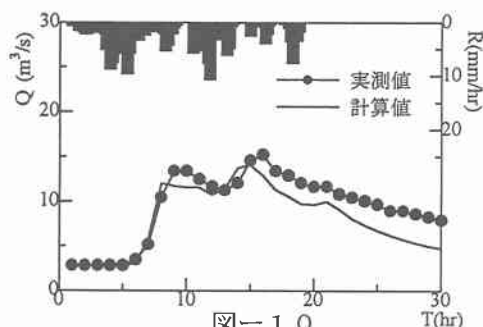
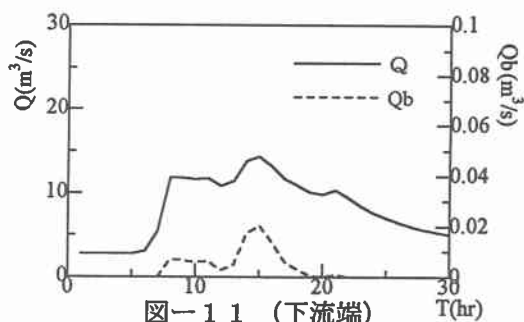


図-10

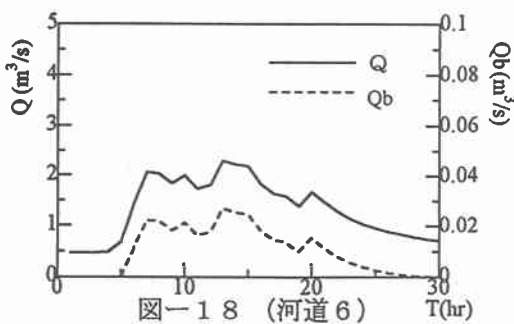
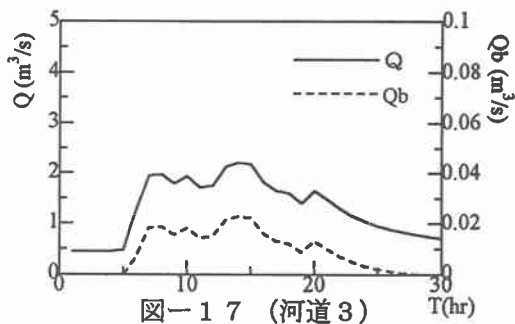
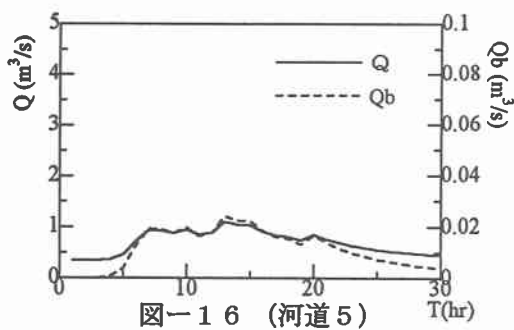
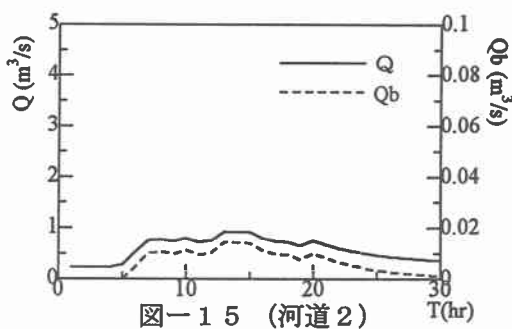
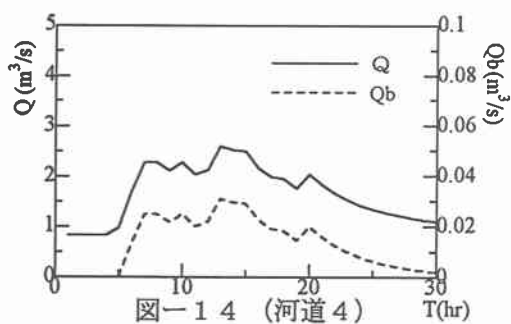
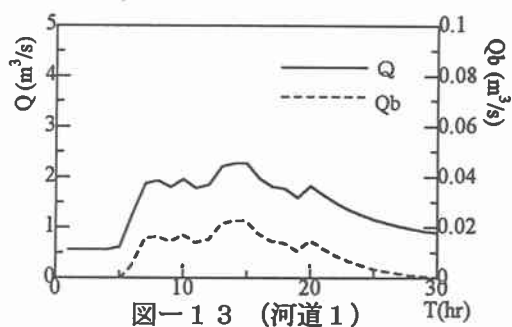
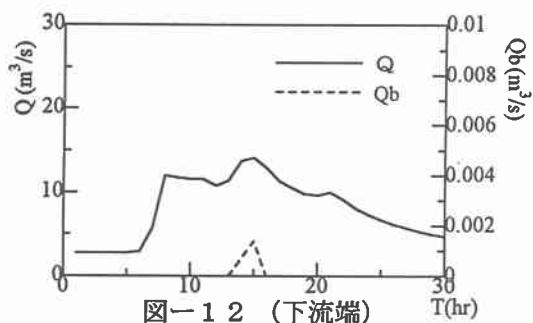
### 5. 2 流砂量計算結果

流量の計算と同様に閾値500と2000の模擬河道網について掃流砂量計算を行なった結果を図11から18に示す。図11, 13, 15, 17は図7の河道網の流域下流端及び河道番号(1, 2, 3)のそれぞれ下流端における流量(実線)と掃流砂量(破線)の計算結果であり、図12, 14, 16, 18は図8の河道網の流域下流端と河道番号(4, 5, 6)の下流端における計算結果である。流量計算ではほとんど変化が見られなかったが、掃流砂量にはかなりの違いが見られる。

閾値 500



閾値 2000



## 6. 考察

図13から18を見ると閾値が500の河道網より閾値2000の河道網のほうが掃流砂が多く出ている、これは閾値が大きくなると外部リンクとなる支流の河道長が短くなり、斜面部が多くなるため斜面で生産された土砂が河道に貯留されず本流に流出するためと思われる。又、図11, 12を見ると、逆に閾値500の河道網のほうが掃流砂量が多くなっている、これは閾値500の河道網の本流の各河道の河道勾配が閾値2000の河道網よりも急になっているためと思われる。

このように、本研究で用いたモデルによれば、流域の形状や、斜面及び河道の特徴を反映した土砂流出計算が可能となる。

今回の定山溪ダム流域にをける計算の結果、閾値を変えても流量計算の結果には大きな影響を与えなかったが、掃流砂量は閾値によって違う結果が得られた。しかしながら、掃流砂量の実測データが得られなかったため実現と比較検討することはできなかった。したがって今後は現地観測により実測データを入手することが重要となる。

## 参考文献

- 1) 道口敏幸、藤田睦博：国土数値情報による模擬河道網発生手法について、土木学会北海道支部論文報告集、pp275-280、1989
- 2) 星 清、山岡 勲：雨水流法と貯留閾数法との相互関係、第26回水理講演会論文集、pp273-278、1982
- 3) 角屋 睦ら：丘陵山地流域モデルと洪水流出モデル、京都大学防災研究所年報第21号B-2、pp219-233、1978
- 4) 長谷川 和義：山地河川の形態と流れ、水工学シリーズ 88-A-8、1988
- 5) 砂田 憲吾、長谷川 登：国土数値情報に基づき山地河川水系全体における土砂動態のモデル化の試み、土木学会論文集 No.485/II-26、pp37-44、1994