

II-35

降雨法による土砂生産量の予測

北海学園大学 院生 丸山 浩 司
正員 山口 甲
北海道開発局 長平 英雄

まえがき

北海道地域の各ダムでは土砂の堆砂が進み、その堆砂対策が重要視されている。その土砂の堆積は特に昭和56年洪水以来顕著であって、この大きな堆砂土砂量がいつまで続くのかなど将来の堆砂量の予測法の確立が望まれている。本研究は土砂生産が雨水流で発生し、洪水流によってダム貯水池に掃流形態で輸送されるモデルを構築して、堆砂量の経年値を再現することを試み、幾つかのダム貯水池の堆砂量の経年変化を再現計算した結果を報告する。

1. 土砂輸送モデル(掃流モデル)

ダム貯水池に堆積する土砂の発生源は山腹斜面の表面侵食や崩壊地からの局所的な土砂生産が主体をなし、それらの生産土砂は溪流や河道空間を通じて貯水池に到達する。この土砂の生産及び輸送過程に次の仮定をおく。

- 1) 土砂の生産は山腹斜面の雨水流の掃流力で発生して河道に流達する。
- 2) 山腹斜面からの土砂を伴った雨水流は河道の横流入量として河道を流下してダム貯水池に到達する。この時洪水で生産された土砂はすべて貯水池に堆積するものと考え、河道での堆積・洗掘量を無いものと仮定する。
- 3) 土砂生産の場及び土砂輸送の経年的変化はすべて崩壊地の変化で表わされるものとする。

これらの仮定の上で流域を図-1に示す矩形流域にモデル化して考え、Kinematic Wave法で降雨量 r で発生する雨水流は次式で表わす。

(連続式)

$$\text{山腹斜面系} \quad \frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \quad (1)$$

$$\text{河道系} \quad \frac{\partial h_2}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2)$$

ここに h_1 : 斜面雨水流の水深, q : 斜面流量, x : 尾根及び河道末端からの距離,
 r : 流域平均有効雨量, h_2 : 河道の水深, Q : 河道流量

(流れの運動式)

山腹斜面及び河道の流れの運動式にマンニング式を適用する。

$$\text{山腹斜面系} \quad q = \frac{1}{n} h_1^{5/3} (\tan \theta_1)^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{河道系} \quad Q = \frac{k}{N} A^P (\tan \theta_2)^{1/2} \quad (P = 3/2) \quad (4)$$

式(1)~(4)から降雨量 r による河道末端(ダム貯水池)における雨水の流入量 Q のHydrographが計算できる。

Forecast of Sediment Yields by Rainfall and Other Parameters

by Koji MARUYAMA, Hajime YAMAGUCHI and Hideo NAGAHIRA.

河道末端部に当たる貯水池への流入量 Q によって貯水池に輸送される土砂量として掃流砂量は佐藤・吉川・芦田式、河道形状は矩形断面と考え運動式にマンニング式を用いる。

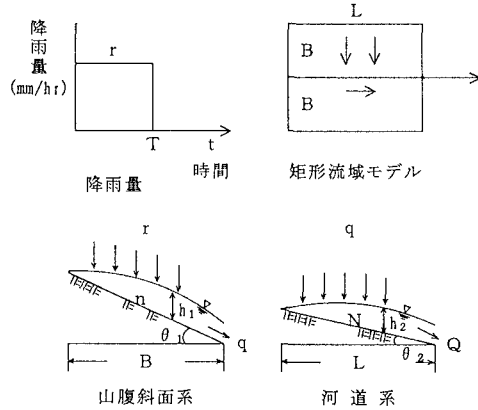


図-1 降雨・流域モデル

(掃流砂量)

$$Q_B = b \frac{U_*^3}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) d} \phi \cdot F \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} \right) = \alpha \cdot b \cdot h_2^{3/2} (\tan \theta_2)^{3/2}$$

$$\alpha = \frac{g^{3/2} \cdot \phi \cdot F \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} \right)}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) d} \quad (5)$$

(運動の式)

$$h_2 = \left(\frac{Q N}{b (\tan \theta_2)^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (6)$$

ここに α : 佐藤・吉川・芦田式の各因子, b : 河道幅, $\tan \theta_2$: 河道勾配,

h_2 : 河道水深, N : 河道粗度係数, Q : 流量

Kinematic Wave法で得られたHydrograph Q と式(5), (6)から降雨量 r によって掃流形態で輸送される堆砂量が計算できる。Kinematic Wave法による Q_{max} は、山口は次のような数値計算結果を導いている。¹⁾

$$Q_{max} = (2 B \cdot L) (r) \phi_{max}, \quad r = \frac{R}{T}$$

$$\phi_{max} = \gamma \tau_s^{5/3} \cdot \tau_r$$

$$\tau_s = [T r^{2/5}] \left[\frac{(\tan \theta_1)^{1/2}}{n \cdot B} \right]^{3/5}$$

$$\tau_r = [T r^{1/3}] \left[\frac{B^{1/3} \{k (\tan \theta_2)^{1/2}\}^{2/3}}{(N L)^{2/3}} \right] \quad (7)$$

ここに $2 B$: 流域幅, L : 流域長, R : 総雨量, T : 降雨継続時間, γ : 定数とする,

$\tan \theta_1$: 斜面勾配, n : 斜面相当粗度, N : 河道粗度, k : 定数 ($Q = \frac{k}{N} A^{1.5} (\tan \theta_2)^{1/2}$),

$\tan \theta_2$: 河道勾配

式(5), (6)及び(7)を用いて、流域面積 $A (= 2 B \cdot L)$, 斜面勾配 $\tan \theta_1$, 河道勾配 $\tan \theta_2$, 総雨量 R 以外は、流域毎には定数と考えると Q_{max} は次式で表わされる。

$$Q_{Bmax} = m(A^{\frac{3}{10}} \cdot (\tan \theta_1)^{\frac{3}{2}} \cdot (\tan \theta_2)^{\frac{3}{10}} R^{\frac{9}{5}}) \quad (8)$$

$$m: \text{定数}, \quad m = \alpha \cdot \gamma^{\frac{9}{10}} \cdot b^{\frac{1}{10}} \cdot n^{-\frac{9}{10}} \cdot N^{\frac{3}{10}} \cdot T^{\frac{3}{5}} \cdot k^{\frac{3}{5}}$$

ここで計算の簡便化を考える。総雨量RでもたらされるHydrographの大きさは最大流量 Q_{max} を代表値として表わされ、それは比例関係にあると近似する。同様にHydrographでもたらされる総掃流砂量 ΣQ_B は Q_{Bmax} と比例関係で近似できるとすると、掃流砂として堆積したダム貯水池の堆砂量は式(8)から次のように表わすことができる。

$$V = \sum_{i=1}^N K [A^{\frac{3}{10}} \cdot (\tan \theta_1)^{\frac{3}{2}} \cdot (\tan \theta_2)^{\frac{3}{10}} \sum_{i=1}^n R_i^{\frac{9}{5}}] \quad (9)$$

N: 観測年数, n: 1年間に発生した降雨数, K: 定数(式(8)のmを定数と考える)

ここに、定数Kを土砂生産係数, $[A^{\frac{3}{10}} \cdot (\tan \theta_1)^{\frac{3}{2}} \cdot (\tan \theta_2)^{\frac{3}{10}} R_i^{\frac{9}{5}}]$ を土砂生産因子と称する。

2. 分析結果

北海道地域のダム貯水池で昭和56年洪水の前後で堆砂量調査を実施している流域の中から12流域について地形因子の分析と式(9)に示す土砂生産係数Kを洪水前と後に分けて求める。土砂生産因子の θ_1 , θ_2 は国土数値情報の3次メッシュ値を流域平均して与えるが、 θ_1 についてはより実際に近い値を得るため3次メッシュの1/4メッシュの方位別勾配値を基本値として流域全体の平均値を算定する。また降雨量Rは洪水流が生ずる降雨を対象とし $R > 30\text{mm}$ を解析対象降雨とした。

生産土砂因子とダム堆砂量Vから土砂生産係数Kを求めると図-2とおりで、年比堆砂量 v_y ($\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{年}$)と一定の関係が見られる。この関係から、比堆砂量 v_y の調査実績があればK値が同定できるので、土砂生産因子から各年の堆砂量 v_y が予測可能となる。流域No.3・4について堆砂量調査期間の平均比堆砂量 v_y からKを同定して再現計算すると図-3の計算Iである。全期間の平均比堆砂量 v_y ($\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{年}$)をもとにK値を求めているので当然乍ら洪水前で堆砂量が大きく計算されているが最終年次の堆砂量は正確に計算できる。

しかし、実測堆砂量は昭和56年洪水後において2流域共増大しているので、K値以外の原因が考えられる。そこで洪水前と後では崩壊面積が拡大していることに着目して、崩壊面積 A_F と生産土砂係数Kとの関係を図-4に示した。2流域の結果からK値は崩壊面積の増加と共に大きくなっていることから、図-4を用いて崩壊面積 A_F からK値に求めて再現計算すると図-3の計算IIであってより実測に近い結果を得ることができる。

表-1 地形因子及びK値

No.	流域面積 A (km^2)	斜面角度 θ_1 (度)	河道角度 θ_2 (度)	K 値	
				洪水前	洪水後
1	487.8	26	0.100	6.54	52.05
2	109.7	26	0.287	33.52	18.29
3	433.0	34	0.631	16.41	113.40
4	151.2	32	0.734	4.04	24.96
5	54.9	38	0.583	1.50	0.43
6	291.6	33	1.218	6.62	8.57
7	387.8	33	1.333	20.76	1.55
8	553.0	30	0.749	11.41	2.92
9	331.4	36	0.989	7.52	0.27
10	134.0	30	1.082	6.69	4.90
11	202.5	20	0.243	25.82	4.27
12	113.3	30	1.652	—	3.04

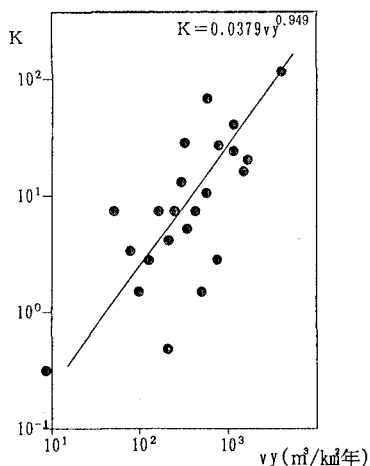


図-2 $vy \sim K$

3. 考 察

貯水池の堆砂現象など山地河川が輸送してきた生産土砂は洪水時の突然現象とする見方が多く、毎年定常的に発生するとした研究は多くない。本文では崩壊面積 A_F 等で代表して表わされる土砂生産係数 K と土砂生産因子を用いて、崩壊面積 A_F と降雨量 R を変数としながら土砂生産量を定常的に予測する方法を提唱しており、その要点は次のとおりである。

- 1) 土砂輸送モデルにKinematic Wave法に基づく河川流量と佐藤・吉川・芦田の掃流砂式を用いて降雨量から流入土砂量を計算することを可能とする。なお本文では洪水の最大流量に着目した簡便法を採用している。
- 2) 堆砂量は流域面積 A ，斜面勾配 $\tan \theta_1$ ，河道勾配 $\tan \theta_2$ ，降雨量 R を素因子とする土砂生産因子と土砂生産係数 K で計算できる。

- 3) K 値は年比堆砂量 vy ($m^3/km^2 \cdot year$)と一定の関係を導いた。また流域の状態が変わった場合の因子として崩壊面積 A_F を考え、 A_F の変化によって K 値が変化することを導いている。

このモデルは地形・崩壊面積・降雨量等のデータが与えうる期間の年堆砂量や総堆砂量の計算を可能とする。またダム貯水池計画における総堆砂量の予測計算や砂防ダム計画における貯砂ダム容量の年次の計画等に有効に活用できる。

あとがき

本文はダム貯水池の堆砂量を予測する手法を開発するため実施した業務と山地河川における土砂生産量の研究の一部である。この研究を推行するに当たって、石狩川開発建設部，北海道河川防災研究センター等多くの機関の方々にご協力を戴いた、ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山口 甲 モデル流出系における総合単位図の基礎的研究 土木試験所報告第58号 昭和47年3月

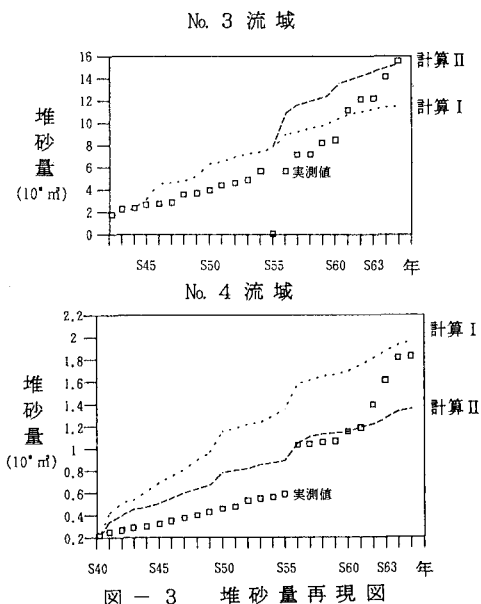


図-3 堆砂量再現図

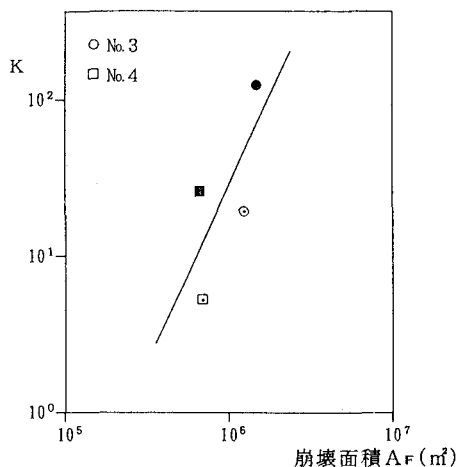


図-4 $A_F \sim K$ (白：洪水前，黒：洪水後)