

微細土砂の流出解析法とその適用に関する研究

An Analytical Method on the Prediction of Wash Load and its Application

京都大学 防災研究所 正会員 ○江頭進治

京都大学 防災研究所 正会員 芦田和男

建設省 計画局 正会員 金屋敷忠儀

1. 緒言

自然湖や人工のダム貯水池に流入する土砂は、その粒径と水流の輸送能力とに応じて、湖底に堆積したり、あるいは流水とともに下流へ流出する。このうち、とくに細かい土砂は、湖底や河床へ堆積した場合にはヘドロの主成分となり、また、流水中に長期間滞留したときには濁水現象を引き起こすなど、堆砂現象のみならず水質現象とも密接な関係があつて、その挙動の解明は、水理学における重要な課題の一つである。

これらの問題を扱う場合には、まず第一に、湖や貯水池へ流入する微細土砂の量およびその時間的な分布を的確に把握することが必要である。微細土砂濃度は、流域の土砂生産の特性、生産土砂の粒度分布ならびに流水の土砂輸送能力などにより規定されるが、従来、これに関して村本・道上・下島およびWilliams²⁾の研究がある程度であつて、ほとんどの場合、観測資料に基づく経験式が与えられているに過ぎない。しかもこうした経験式には、流域の特性が導入されておらず、流水濃度の予測式として適用することは困難である。出水時における河道流水の微細土砂濃度の予測法に関する研究は、現在、このような段階にある。著者らは、先に、土砂の生産・流出機構や降雨流出機構などの知見に基づいて、山地流域における微細土砂の流出機構について考察を進めるとともに、微細土砂濃度を算定するための数理モデルを提案した。そこで、本論文においては、主として、微細土砂の生産場などに関してその後得られた知見について述べるとともに、十津川上流の川原樋川流域における本モデルの適用例および数理モデルの特性について考察を行う。

2. 微細土砂およびその生産場

表-1. wash load の粒径範囲

2.1 微細土砂の粒径範囲

流水の作用下にある土砂粒子は、流体力とこれに対する粒子の抵抗特性とによって、静止、掃流および浮遊の運動形態をとり、これらは、着目

Investigator	d_{max}	Notation
Einstein-Anderson-Johnson ⁵⁾	0.351	Enoree River
Heidel ⁶⁾	0.062	Bighorn River
Einstein-Ning Chien ⁷⁾	0.06~0.1	Flume Experiment
Muramoto-Michiue-Shimajima ¹⁾	0.2	Daido River
Rendon-Herrero ⁸⁾	0.1	Bixler Run Watershed
Jansen et al ⁹⁾	0.05~0.07	
Kanayashiki-Ashida-Egashira ³⁾	0.1	Totsu River

する土砂粒子の掃流限界および浮遊限界によって規定される。いま、掃流および浮遊限界摩擦速度をそれぞれ、 U_{*c} 、 U_{*s} とすると、 $U_{*c} < U_{*s}$ の範囲にある土砂粒子は、その運動過程において、作用する流体力に応じ、静止⇌掃流⇌浮遊 といった遷移を経ながら運動し、逆に、 $U_{*c} > U_{*s}$ の粒子は、静止⇌浮遊 の遷移形態をとる。このように、土砂粒子に働く外力条件が変化するとき、これがどのような遷移過程をとるかは、 $U_{*c} = U_{*s}$ となる粒子を限界にして定まる。その限界となる粒子径は、流体の物性などによっても変化するが、種々の研究成果を参考にすると、0.1mm 程度である⁴⁾。

上述の限界粒径と wash load の粒径とは密接な関係があることが推察される。そこで、wash load に関する調査研究において、その粒径がどのような範囲にあるかをみると、表-1 のようである。ここに、 d_{max} は wash load の最大径である。なお、Heidel および Rendon-Herrero の最大径は、彼らの調査資料を参考にし、著者らがこれを定めたものである。さて、本表が示すように、wash load の粒径はそれぞれ異なっていて、これは、土砂生産場の粒度分布特性、河道および水理条件によって定まることが推察されるが、上述の限界粒径より小さい範囲の土砂は、山地部河道において、殆んどの場合 wash load として挙動することが考えられる。そこで、本論では、山地河道における土砂水理学上の問題を、できるだけ簡単に扱うため、上述の限界粒径より小さい範囲の土砂を微細土砂と呼び、以下、これを対象に議論する。

いま、微細土砂が裸地のみから流出するものとし、裸地の年平均侵食深 d_e 、空隙率 λ_b 、微細土砂の含有率 p_{fb} 、さらに、微細土砂の貯水池年平均比堆砂量 V_f 、その空隙率 λ_r 、ダム上流域の裸地および流域面積をそれぞれ S_b 、 S とすれば、裸地の年平均侵食深はつぎのように表示される。

ここで、天ヶ瀬ダム¹⁰⁾ および鳩ヶ谷ダム¹¹⁾ における堆砂資料を用い、上式より年平均侵食深を算定すると、

天ヶ瀬流域: $d_s \div (0.17 \sim 0.66) / p_{fb}$ (" ; " , ")

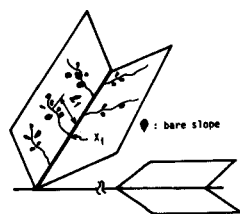
化によるものである。さて、天ヶ瀬流域、琵琶湖流域、十津川、北山川および那賀川流域に分布する裸地の微細土砂含有率を、先に提案した水洗い法³⁾によって調べた結果によると、 $p_{fb} = 0.1 \sim 0.2$ 程度であって、この値を上述の d_e に代入すると、裸地の年平均侵食深は、鳩ヶ谷および天ヶ瀬流域でそれぞれ、 $3.6 \sim 7.2$ cm および $0.85 \sim 6.6$ cm 程度になる。

河道堆積物は、微細土砂の主要な生産場の一つであることが示されたが、これは、さらに、過去における流水の作用の程度と微細土砂含有率の大小との関連性によって、含有率の大きい溪岸堆積物とそれが小さい河床堆積物とに分類される。さらに、河床堆積物からの微細土砂の生産・流出は、無視できて、結局、山地流域における微細土砂の主要な生産場は、つぎようになる。³⁾

- 1) 裸地, 2) 溪岸堆積物

前述したように、先の研究において、微細土砂濃度の推定法は、すでに提示されているが、後述の議論のため、その概要を示すと以下のようである。

降雨出水に伴う微細土砂濃度を算定するための数理モデルは、生産場に働く外力を推定するための降雨流出機構、ならびに生産場における土砂侵食機構を適当



にモデル化することによって考案されたものである。まず、対象とする流域は、図-1。単位流域のモデル村本らと同様、図-1のような河道の両側に平行四辺形の斜面をもつ単位流域のいくつかを結合することによって、モデル化された。ついで、一つの単位流域において、その斜面部に分布する裸地の侵食ならびに河道部に分布する溪岸堆積物の侵食による微細土砂の生産・流出機構^{14), 15)}が論じられ、単位流域の河道部における微細土砂濃度に関する次式が提案された。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{1}{A} \left\{ f_c(x) \frac{\rho_s}{\rho} p_{fs} q_s - c q_s \sin \theta_3 + \delta(x - x_i) \sum_{j=1}^{n_i} G_{w_{t,j}}(t - t_d) / \rho \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 c ：流水濃度、 t ：時間、 x ：河道上流端からの距離、 Q ：河道流量、 A ：流水断面積である。

流域内における降雨分布、裸地および河道における生産場の条件を与えると、上式より河道の任意断面における微細土砂濃度が算定される。このとき、河道流量は、高樟¹⁶⁾の方法によって推定され、裸地におけるガリ流量⁸⁾は、ガリの支配幅の概念を用いて推定される。以下、上式の右边各項について説明する。

$$(I) = f_c(x) \rho_s / \rho \cdot p_{fs} q_s \dots\dots\dots (3)$$

この項は、溪岸堆積物の側方侵食による微細土砂の流出を表示したものであって、¹⁵⁾上式の記号は、それぞれつぎのようである。 ρ_s, ρ ：微細土砂および流水の密度、 p_{fs} ：溪岸堆積物の微細土砂含有率、 $f_c(x)$ ：単位河道長当りの堆積物の存在密度であって、 $0 \leq f_c(x) \leq 1$ の範囲にあり、左右岸に堆積物が存在するとき、 $f_c(x) = 1.0$ である。 q_s は側岸侵食量で、アーマ・コートが破壊されるまでは侵食が起らないという観測事実を踏まえ、村本・田中・藤田¹⁷⁾の式を若干修正した次式が用いられる。

$$q_s = \begin{cases} 0 & , (h \leq h_c) \\ (h - h_c) / h \cdot N_1 (\tau_{*s} - \tau_{*c}) u_{*s} d_m & , (h > h_c) \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 h ：水深、 h_c ：アーマ・コートの破壊水深、 N_1 ：係数、 τ_{*c} ：無次元限界掃流力、 τ_{*s} 、 u_{*s} ：側岸近傍の無次元掃流力および摩擦速度である。

$$(II) = c q_3 \sin \theta_3 \dots\dots\dots (5)$$

この項は、山腹斜面から流出する表面流および中間流による流水濃度の希釈効果を表示したものであって、 $q_3 \sin \theta_3$ は、単位河道長当りの横流入量である。

$$(III) = \delta(x - x_i) \sum_{j=1}^{n_i} G_{wt,j}(t - t_d) / \rho \dots\dots\dots (5)$$

山腹斜面に分布する裸地から、ガリ侵食によって河道へ流入する微細土砂量を表示する項である。¹⁴⁾図-1に示すように、平行四辺形にモデル化された斜面部には、小溪流が含まれていて、裸地で生産された微細土砂は、その溪流を流下し、 $x = x_i$ 地点において河道へ流入する。したがって、ある溪流の流域に n_i 個の裸地があると、一個の裸地における単位時間当りの微細土砂生産量を $G_{wt,j}$ として、 $\sum_{j=1}^{n_i} G_{wt,j}(t - t_d)$ の微細土砂が河道へ供給される。(5)式は、このようなことを示すものであって、 $\delta(x - x_i)$ はデルタ関数($x = x_i$, $\delta = 1$; $x \neq x_i$, $\delta = 0$)、 t_d は、 n_i 個の裸地の重心から河道部までの流下時間である。また、 $G_{wt,j}$ に関しては、裸地を幅 b_j 、長さ a_j の長方形に置き換え、そこに N_j 本のガリが形成されているものとし、さらに、ガリの支配幅 b'_j の概念によってガリ流量を推定するとともにガリの侵食機構などに関する研究成果を適用することによって導かれた次式が用いられる。

$$G_{wt,j} = \frac{3}{5} \rho_s (1 - \lambda_b) p_{fb} E_{1*} \alpha^{\frac{2}{3}} \left(\frac{g \sin \theta_b}{\varphi} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{b_j \{ Q_{g0} + b'_j a_j (\tau - f_b) \cos \theta_b \}^{\frac{5}{3}} - Q_{g0}^{\frac{5}{3}}}{b'_j (\tau - f_b) \cos \theta_b} \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 E_{1*} ：無次元侵食速度、 α ：ガリ幅 B とガリ流量 Q_g との関係を与えるレジーム係数で $\alpha = B / Q_g^{\frac{1}{2}}$ (≈ 5)、 g ：重力加速度、 θ_b ：裸地斜面の角度、 Q_{g0} ：ガリ上流端流量で、一般に $Q_{g0} = 0$ 、 τ ：雨量強度、 f_b ：浸透能である。なお、(6)式の誘導過程において、ガリの支配幅 b'_j とガリ数との関係、 $b'_j = b_j / N_j$ およびガリ流量 $Q_g = Q_{g0} + (\tau - f_b) b'_j \xi$ (ξ ：ガリの流下座標)などの関係式が用いられている。

4. 実流域における調査と数理モデルの適用例

4.1 十津川上流川原樋川流域における調査の概要と調査結果の一例 前述の数理モデルを用いて出水時の微細土砂濃度を推定するには、対象となる流域のモデル化、裸地および河道堆積物に関連する生産場のモデル化が必要である。そのため、以下のような調査が実施された。

(1) 流域モデル化のための調査 図-1のような単位流域をいくつか組み合わせて流域全体を表示するための重要な点は、単位流域の規模をいかに設定するかであって、単位流域の斜面部に河道勾配15度以下の比較的大きな溪流が含まれないようにすること、および、河道部に15度以上の土石流発生領域の河道ができるだけ存在しないようにすることである。このような基準にしたがって、1：25000の地形図より、大小さま

ざまな支川の河道勾配および河道位数が調べられ、それに基づいて流域のモデル化が行われた。図-2には、単位流域の区分および河道が位数別に示されている。この流域において、位数3の河道は、ほとんど、勾配15度以上になっており、単位流域を図-1のようにモデル化するとき、河道部の最上流端は4次河道の上流端に選ばれている。このような単位流域を組み合わせると、川原樋川全体は、図-3のようにモデル化される。また、それぞれの単位流域の特性量は、表-2のように与えられる。ここに、 A_s ：単位流域斜面部の面積で、上段は左岸、下段は右岸の斜面面積、 L_s ：河道部からの斜面長、 θ_s ：斜面の傾斜角、および θ_g ：河道に対する斜面流の流入角度である。

(2)生産場の調査 裸地に関する調査項目は、面積・個数分布、形状、勾配、ガリの形成状況、粒度分布および受食性などである。このうち、面積・個数分布および形状は、1976年国土庁撮影の1：10000の空中写真、勾配は地形図を用いて調べ

られた。この調査により、川原樋川流域には1509個の裸地が確認され、その5%に当る73箇所の裸地において、勾配、ガリ数、ガリ断面などのガリ特性および粒度分布の調査が実施された。さらに、赤谷流域においては、4箇所の裸地において、ガリ無次元侵食速度や流水の抵抗則を検討するための現地実験が行われた。一方、河道および河道堆積物については、赤谷川を中心として、縦横断測量、河道堆積物の分布および粒度分布調査が実施された。川原樋川本川沿いでは、赤谷川の調査結果を参考にして、より重要と思われる領域について赤谷川同様の調査が、その他の領域では、空中写真の解析と踏査を行った。また、他の支川においては、空中写真、地形図、および種々の補完法によって、解析に必要な資料を得た。

このような調査および資料解析より多くの知見ならびに微細土砂の流出解析のために必要な資料を得た。これらのうち、現地実験の結果や代表的な調査結果の一部は、すでに発表している^{3),14)}ので、これ以外の資料の一例として、川原樋川本川沿いの溪岸堆積物の分布および河道部特性量をそれぞれ図-4、表-3に示す。図-4において、 ΣL_{sl} 、 ΣL_{sr} ：左・右岸の溪岸崩壊およびまき出し土砂の累加距離、 ΣL_{tl} 、 ΣL_{tr} ：左・右岸の段丘堆積物の累加距離である。表-3において、 L_c ：単位流域における河道長、 θ_c ：河道の傾斜角、 d_{90} ：河床材料の90%粒径、 K_3 、 β_3 ：運動方程式の係数、 A ：流水断面積、 Q ：流量である。

(3)降雨出水時の観測調査

1979年6月の梅

表-3. 河道部特性量

雨出水を対象として、図-2に示す観測点において、雨量、流水濃度、流水中の微細土砂の粒度分布、流量および水温が適当な時間間隔で測定さ

CA NO	L_c (km)	θ_c (deg)	d_{90} (cm)	$A=K_3 Q^{\beta_3}$		
				K_3	β_3	
1	9.37	1.10	10	1.18	0.63	
2	4.58	2.49	15	0.78	0.64	
3	6.74	0.73	9	1.43	0.62	
4	4.87	3.37	25	0.77	0.63	
5	6.68	0.64	10	1.57	0.62	
6	8.65	1.91	18	0.92	0.63	
7	9.85	0.87	15	1.62	0.61	
8	3.78	1.79	22	1.16	0.62	
9	5.86	2.29	22	0.92	0.62	
10	3.72	0.62	11	2.07	0.62	
11	10.0	3.58	20	0.89	0.62	
12	2.83	0.61	12	1.99	0.61	

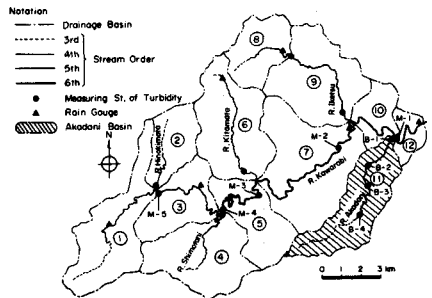


図-2. 川原樋川流域の概要と観測点

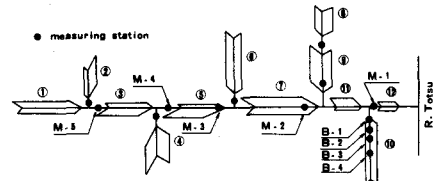


図-3. 川原樋川の流域モデル

表-2. 流域特性量

CA NO	A_s (km ²)	L_s (km)	θ_s (deg)	θ_g (deg)
1	10.11 8.51	2.14 1.35	22 23	30 42
2	6.16 2.54	2.75 0.70	23 25	29 52
3	4.20 7.84	1.14 2.46	29 24	33 28
4	8.18 10.18	3.64 2.44	29 25	27 59
5	3.05 10.38	1.12 4.07	30 29	24 23
6	9.68 10.32	1.45 1.66	25 27	51 46
7	14.67 13.25	3.07 2.03	31 29	29 41
8	6.56 3.66	1.91 1.54	23 20	66 39
9	8.59 10.90	1.69 2.52	27 28	60 48
10	4.98 1.70	1.85 0.83	28 35	46 34
11	7.15 9.91	0.95 1.21	33 29	49 55
12	1.64 2.38	1.02 1.13	35 32	35 48

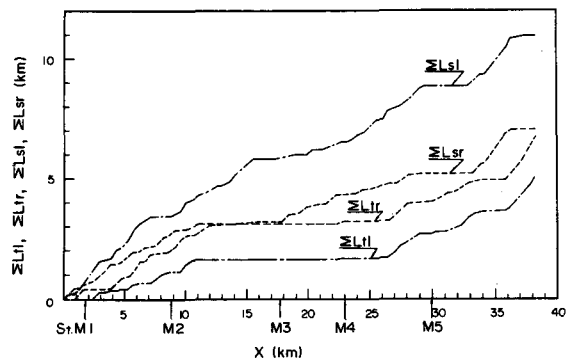


図-4. 川原樋川本川における溪岸堆積物の分布

れた。さらに、1974年～1979年の間の大股地点における降雨流出資料に基づいて、初期損失雨量および流量の通減特性が調べられている。

4.2 数理モデルの適用例 前述の数理モデルを用いた流出微細土砂濃度の解析法によると、流域および生産場の条件と降雨の時間的・場所的分布より、河道の任意の地点における流水濃度が知れる。そこで、4.1の調査から得られた資料を用い、1979年6月の梅雨出水を対象として、この方法により算定される流水中の微細土砂濃度や流出微細土砂量と観測値との比較、ならびに数理モデルの特徴について検討する。

図-5(a)～(e)は、川原樋川本川沿いの5つの観測点(M-5～M-1)において、流水濃度に関する計算値と観測値を、上流域から順に示したものである。これらの図において、裸地斜面からの微細土砂の流出と溪岸堆積物からのそれとを区別できるように、ガリの無次元侵食速度に関して、現地実験より得られた値 $E_{1*} = 3 \times 10^{-4}$ と $E_{1*} = 0$ の場合についての計算例が示されている。なお、斜面部に表面流が形成されない降雨条件のもとでは、ガリ侵食に伴う微細土砂の河道流出はない。次頁の図-6(a),(b)は、本川M-4およびM-2地点における濃度と流量の関係について、 $E_{1*} = 3 \times 10^{-4}$ の条件下で算定されたものと観測値とを比較したものである。また、表-4には、赤谷川最下流点(B-1)および本川の各観測点における出水中の微細土砂の総流出量に関する計算値($E_{1*} = 3 \times 10^{-4}$)と観測値が比較されている。

まず、図-5(a)～(e)の結果についてみると、計算値および観測値とも流水濃度は、流量の増減にほぼ対応した変化を示している。両者を比較すると、計算によって十分推定できないデータもみられるが、観測精度の面を考慮すると、計算値は、観測値をかなりよく説明しているものと思われる。これらの図の結果に図-9(a),(b)の結果を加えて、流水濃度の立上りについてみると、観測値においては、M-5～M-1地点において、流量がそれぞれ、 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、20、20～30、20～50および30～60 m^3/sec 程度になると、流水濃度が上昇し始めている。一方、計算値においては、以上の各点において、それぞれ、 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、20、20～30、

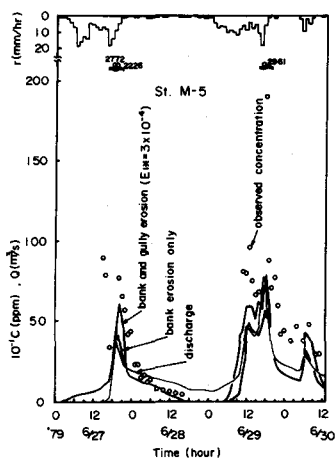


図-5(a) 流水の微細土砂濃度に関する計算値と観測値

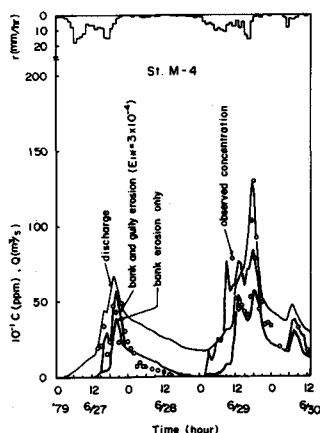


図-5(b)

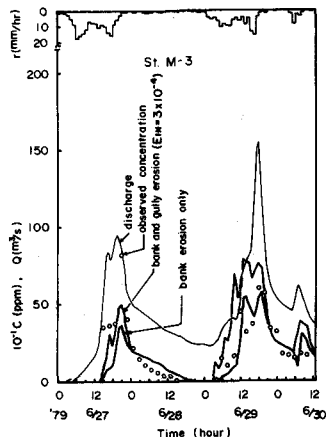


図-5(c)

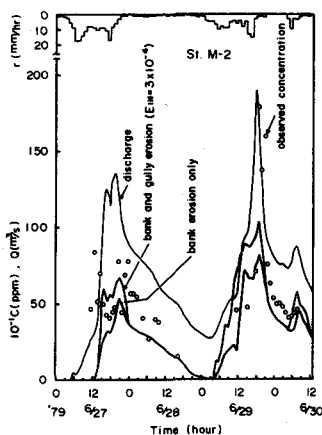


図-5(d)

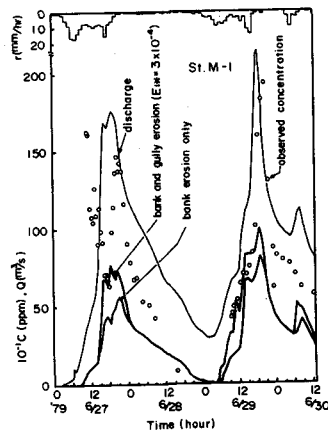


図-5(e)

20～30および25～30 m³/sec 程度の流量から流水濃度は上昇している、これは、観測値とかなりよく対応している。本計算法によると、溪岸侵食あるいは裸地侵食が始まると、まもなく、流水濃度は上昇し始める。図-5における無次元侵食速度に関する2つの計算例の比較より明かなように、川原樋川流域においては、河床のアーマ・コートが破壊され、溪岸侵食が始まると流水濃度が上昇している。ちなみに、M-5～M-1地点におけるアーマ・コートの破壊限界の流量を示すと、それぞれ、12.5 m³/sec, 22.3, 22.3, 37.0 および54.5 程度になっていて、上述の観測値とかなりよく一致する。

つぎに、流量-濃度のヒステリシス特性をみよう。流量と濃度が一対一に対応しないことは、多くの観測結果の示すところである。その原因として、(1)降雨の時間・場所的分布、(2)出水特性、(3)生産場の特性量の分布、(4)生産場の受食性の変化、および(5)水粒子速度と洪水波の伝播速度の差などが考えられる。これらのうち、(4)については、未解明なところが多く、今後の土砂水理学の課題であって、この解析法においては、考慮されていない。この点を念頭において、図-6(a),(b)をみてみよう。従来、いくつかの流域において出水の上昇期に濃度が高く、減水期に低いという観測結果が得られている。この流域においては、このような傾向を示す

のは、出水初期期であって、それ以後は、数字の“8”の筆順を画くループがあったりして、かなり複雑なヒステリシス特性がみられる。これには、降雨分布、出水特性、微細土砂生産場の分布などが複雑に影響しているものと推察される。いま、計算値に着目すると、これは観測値とかなりよく適合していて、流量と濃度

の関係に与える種々の要因が、かなり適切に算定されているものと思われる。ここで、出水特性の影響をみてみよう。6月27日～28日の出水と29～30日の出水において、流量-濃度に関する計算値には、とくに流量の小さい領域でかなり異なった特性が見られる。すなわち、前者の出水においては、流量の上昇期と下降期における濃度の差が明瞭でないが、後者の出水においては、流量の上昇期に濃度が高く、下降期に低くなっている。二つの出水におけるこのような特性は、図-5(b),(d)にも見られるが、これは、前者の出水において、初期損失雨量が大きいので、裸地からの微細土砂の供給が少く、流水中の微細土砂の大部分は、溪岸侵食によって供給されたものであるのに対し、後者の出水においては、裸地からの微細土砂の供給も活発になることに起因するものである。

最後に、表-4に示す微細土砂の流出量に関する結果について、生産場の分布との関連性より検討してみよう。各測定区間の流出微細土砂量の増分は、その区間に存在する生産場の規模と密接な関係がある。そこで、

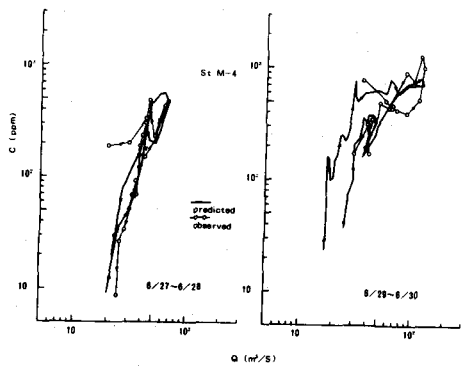


図-6(a) 流量-微細土砂濃度 (M-4)

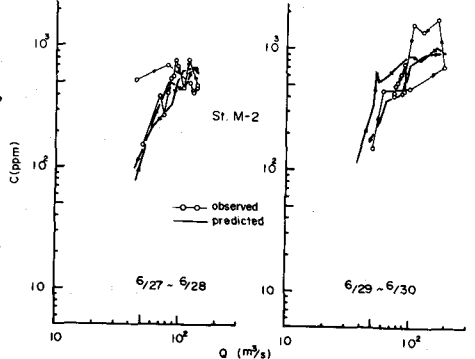


図-6(b) 流量-微細土砂濃度 (M-2)

表-4. 流出微細土砂の総量に関する実測値と観測値との比較

Station	June 27-28, 1979		June 29-30, 1979		A _b /A (%)
	Predicted (ton) (%)	Observed (ton)	Predicted (ton) (%)	Observed (ton)	
B-1	1906 (26)	1171	284 (0)	153	0.619
M-5	302 (17)	987	1377 (22)	2730	0.363
M-4	745 (16)	675	2804 (34)	2480	0.445
M-3	1146 (29)	1420	3499 (31)	2260	0.415
M-2	3350 (23)	3885	6029 (20)	5419	0.553
M-1	4991 (21)	8810	7029 (17)	11060	0.553

() : 総流出量に対する裸地からの流出成分

表-5. 測定区間における生産場の条件

	ΔA (km ²)	ΔA _D /ΔA (%)	ΔL (km)	Δf _C
～M-5	25.3	0.36	13.9	0.38
M-5～M-4	27.2	0.52	11.6	0.18
M-4～M-3	11.7	0.28	6.7	0.14
M-3～M-2	42.2	0.76	18.6	0.20
M-2～M-1	47.1	0.56	23.4	0.33

これを示したのが表-5である。ここに、 ΔA ：流域面積の増分， ΔL ：各測定区間の河道長とその区間に流入する単位流域の河道部の長さの合計， $\Delta A_b/\Delta A$ ：測定区間の崩壊面積率， Δf_c ：河道長 ΔL における溪岸堆積物の存在密度（3）式参照）であって、それぞれの区間における微細土砂の生産場の規模は、裸地について、 $\Delta A_b/\Delta A \cdot \Delta A$ および河道堆積物について $\Delta f_c \cdot \Delta L$ とすればわかる。したがって、この流域においては、M-5 地点よりも上流域と、M-3 地点より下流域において、微細土砂の生産場の規模が大きいと言える。この点を考慮して、まず、表-4の観測値をみると、二つの出水とも、微細土砂の流出量は、M-5 地点で多く、M-4 および M-3 地点では少く、再び M-2 および M-1 地点で増加しており、生産場の規模との対応がよい。なお、26～27日の出水における M-4 地点、29～30日の出水における M-4、M-3 地点における流出量は、その上流の観測点のものより減少しているが、この原因として、観測精度の問題、また、輸送過程における河床への捕獲¹⁵⁾などの要因が考えられる。つぎに、計算値をみると、観測点間における生産場の規模から予想されるように、M-3 地点までの流出微細土砂量の増加は小さく、M-2 地点で急激に増加しており、観測値の傾向と一致している。しかし、M-2～M-1 区間においては、図-4、表-5および観測値から期待されるような流出量の大きい増加はみられず、二つの出水において、それぞれ 1600 および 1000 ton 程度しか増加していない。この増加分は、B-1（流域№⑪）および流域№⑧、⑨（図-1、2 参照）からの流入量程度のものであって、溪岸堆積物の多い本川筋からの流出が殆んどなかったことを意味している。そこで、M-2 から M-1 区間のアーマ・コートの破壊流量をみると、約 50 m³/sec となっており、これが過大に設定されているため、この区間で観測値との差が大きくなったものと思われる。

5. 結言

本論文では、まず、微細土砂の生産場としての溪岸堆積物の重要性を述べた。ついで、降雨出水を対象として考察された山地流域河道における微細土砂濃度の推定法について若干の説明を行い、川原樋川流域における適用例を示しながらこの解析法の特徴などについて考察を加えた。4.2 で示す計算値と観測値との比較からも明らかなように、土砂水理学的知見より考案されたこの解析法は、ほぼ妥当なものであることが推察される。以上、本研究においては、種々の興味ある結果が得られたが、これをさらに発展させるには、他の流域への適用を計りつつ、必要があれば、改良を加えなければならない。また、本解析法において、中心的な役割を担っているのは、生産場に働く外力の推定および生産場の侵食機構などに関連する問題であって、今後、こういった問題の解明がさらに必要であるとともに、生産場に関する種々の特性量に関する非定常性を考慮した解析法も必要である。最後に、本研究を遂行するに当たり、数値計算や種々の面で御協力いただいた、新日本技術コンサルタント株式会社、古川整治氏ならびに観測などで御協力いただいた方々に感謝します。

参考文献

- 1) 村本・道上・下島；京大防災研究所年報，16号，1973，pp.433～447.
- 2) Williams；Water Resources Research, Vol. 14, 1978, pp. 659～664.
- 3) 金屋敷・芦田・江頭；第24回水講演文集，1980，pp. 143～151.
- 4) Ashida；International Symposium on River Sedimentation, 1980, Beijing, China, pp.D11～D27.
- 5) Einstein・Anderson・Johnson；Trans. A. G. U., 1940, pp. 628～633.
- 6) Heidel；Trans. A. G. U., Vol. 37, 1956, pp. 56～66.
- 7) Einstein・Ning Chien；Trans. A. G. U., Vol. 36, 1953, pp. 876～882.
- 8) Rendon - Herrero；Proc. ASCE, Vol. 100, HY 7, 1974, pp. 835～848.
- 9) Jansen, et al；Principles of River Engineering, 1979, p. 90.
- 10) 防災研究協会；大総調 78-6001, 1979, pp. 6～47.
- 11) 芦田・奥村；京大防災研究所年報，17号 B, 1974, pp. 555～570.
- 12) 建設省；天ヶ瀬ダム堆砂試料採取作業報告，1979.
- 13) 福嶋；第86回日本林学会，1975, pp. 408～409.
- 14) 芦田・江頭・金屋敷；第24回水講演文集，1980, pp. 135～141.
- 15) 芦田・江頭・金屋敷・小川；京大防災研究所年報，23号 B-2, 1980, pp. 413～431.
- 16) 高棹；京大防災研究所年報，6号，1968, pp. 166～180.
- 17) 村本・田中・藤田；京大防災研究所年報，15号 B, 1972, pp. 385～404.