

河床材料の岩質組成の縦断変化に着目した 笛吹川の小流域別土砂供給量の推定

ESTIMATION OF SEDIMENT SUPPLY FROM EACH SUB-CATCHMENT OF THE FUEFUKI RIVER
BY ANALYZING LONGITUDINAL CHANGE IN LITHOLOGIC COMPOSITION OF RIBER BED MATERIAL

平林 桂

Katsura HIRABAYASHI

正会員 株式会社サンポー(〒400-0111 山梨県中巨摩郡竜王町竜王新町2277-15 赤坂ソフトパーク)

Abstract

River catchment can be divided into a lot of sub-catchments. Prediction of sediment supply from each sub-catchment is very important for the planning of sediment control and river regulation works.

In general, longitudinal changes in lithologic composition of bed material are often observed, because each sub-catchment has unique characteristics in sediment supply.

The author focused this fact and proposed a method for the prediction of sediment supply from each sub-catchment by analyzing the change in lithologic composition of river bed material.

This method was applied for the upper area of the Fuefuki river catchment, containing two large tributaries the Tokuwa river and the Koto river. Through this observation, some knowledge was obtained;

-The amount of sediment supply changes according to the change of grain size. And this tendency in each sub-catchment is different from others.

-The topographical and geological nature in a sub-catchment effects on the amount of sediment supply from the sub-catchment.

Keywords: geological population of river bed material, sediment supply, sub-catchment, field observation

1. 概要

河川の流域は大小様々な小流域を集めて成っている。各小流域からは、その地形・地質特性に応じた土砂供給がなされると考えられる。それぞれの小流域からの土砂供給量を推定することが出来れば、河床変動の予測精度の向上はもちろんのこと、砂防計画や横断工作物の設置計画立案等に際しても極めて有用な情報となる。

これまで、流域を構成するそれぞれの小流域からの土砂供給量を推定する様々な試みがなされてきた。これらは主として数値モデルによるものと現地観測によるものに分類される。

数値モデルによる方法の多くは、流域全体に疑似河道を設け、生産土砂量を土砂生産モデルにより予測し、一

次元河床変動計算により疑似河道内の土砂動態を表現するものである¹⁾。この方法は、流域の地形情報があれば一応モデル構築可能であること、洪水規模に応じた土砂動態が推定できること、とりわけ流域土砂動態のうち重要な素過程である土砂貯留効果を再現できること等の利点がある。しかしその反面、土砂の生産～流下のプロセスを構成する素過程に関する各モデルの精度に対しての検証が未だ十分とは言えない。特に山地河道は川幅・河床勾配ともに縦断方向の変化が激しいので、一次元河床変動計算手法に基づく手法、すなわちせん断力を求め流砂量式で土砂移動量を求める方法でのモデル構築には大きな困難が伴うと考えられる。

一方、現地観測によるものとしては、対象をウオッシュロード・浮遊砂に絞って洪水時に採水調査を行ったもの

があり、洪水時の土砂動態に関する多くの知見を得ている²⁾³⁾⁴⁾。しかし、採水による調査では掃流砂を捉えることができないので、例えば研究の対象河川が急流で河床材料の主体が掃流砂として移動するような場合には適用できない。掃流砂採取器を開発し掃流砂を捉える試みもなされてはいるが⁵⁾、観測装置が大規模になり、掃流砂の土砂動態に関する素過程を調べるには適しているものの、流域スケールで土砂動態を把握する目的に対しては実用的ではない。

そこで今回提案するのが河床材料の岩質分布の縦断変化を現地調査し、各小流域からの土砂供給量を推定する方法である。これは、小流域ごとに生産される土砂の岩質分布に明確な差異がある場合に適用可能である。この方法は、①数値モデルのように土砂生産、運搬、河道内貯留といった過程を介さず流域土砂動態の最終結果である河床材料を直接測定する点、②出水の規模により各小流域からの供給土砂の量・質は異なると推定されるが、本方法は様々な出水の影響を積分して捉えていることになる点、③粒径別に土砂供給量を把握可能な点、で際だった特徴を有しており、長期的な河床変動予測のみならず、河道地形の形成論⁶⁾等に対しても有益な情報を提供できるものと期待される。

本論では、富士川の最大の支川である笛吹川を対象に、笛吹川に注ぐ支川徳和川・琴川および小流域から供給される土砂量を本法により推定し、この結果をもとに描いた粒径別供給土砂マップを示す。また、この結果から明らかとされた土砂供給特性に関する知見を述べる。さらには、土砂供給量と小流域の規模・地形・地質との関係について考察した結果を示す。

2. 調査内容

(1) 調査地点の概要

図-1に調査区間の平面図を示す。調査対象としたのは、富士川の最大の支川である笛吹川の上流域およびその有力支川の徳和川と琴川である(図-1参照)。

図-2に調査区間の縦断図を示す。調査対象区間は山地河道部であり、対象区間よりも下流で甲府盆地上に扇状地を形成する。笛吹川の河床勾配はおおむね1/25である。川幅は最大で30m程度である。支川琴川は調査区間で最大の支川であり、河床勾配は流域を通じてほぼ一定で1/15程度である。典型的な溪流であり、川幅を求めるのは困難であるが、洪水時に最大で10m程度と考えられる(写真-1参照)。支川徳和川は調査流域第二の規模の支川であり、河床勾配は琴川よりも急峻で1/12程度、川幅は琴川よりも若干狭い(写真-2参照)。両河川とも河床材料に粒径1mを越えるものを多数含む荒廃溪流河川であり、洪水時には少なからぬ土砂を笛吹川に供給するものと推定される。

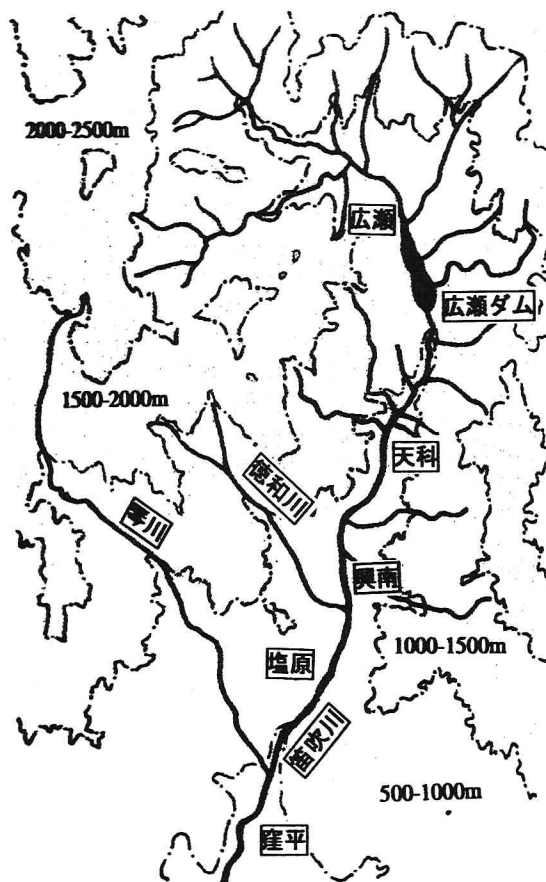


図-1 調査区間の平面図

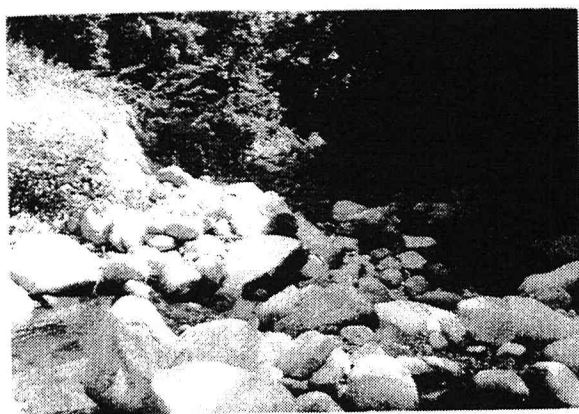


写真-1 徳和川の状態



写真-2 琴川の状態

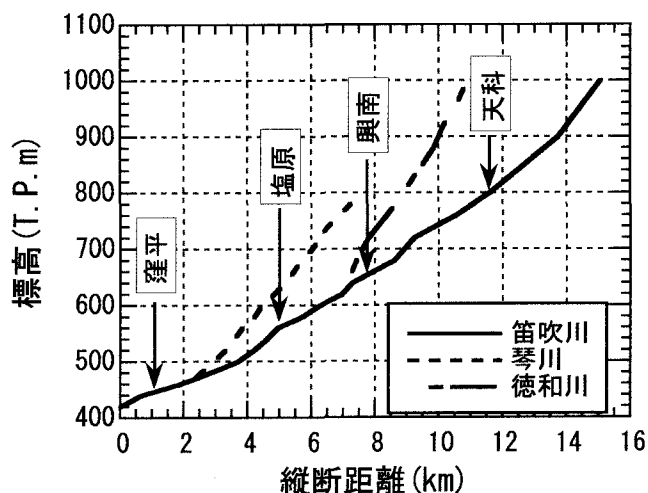


図-2 調査区間の縦断面図

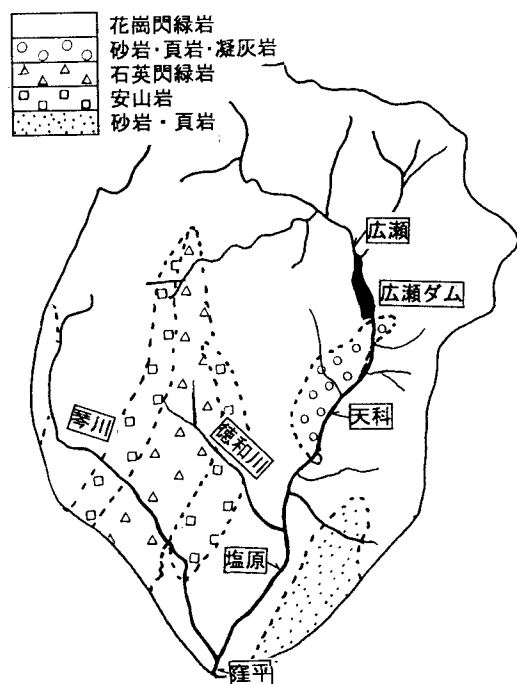


図-3 笛吹川上流域の地質分布

流域の地質分布を図-3に示す。笛吹川の流域は主として花崗岩類（石英閃緑岩・花崗閃緑岩等）により成る。これ以外の岩質が生産される主な小流域は、①広瀬ダム下流の右岸（砂岩・凝灰岩・頁岩等の堆積岩）②徳和川・琴川流域（安山岩）、③調査地点最下流部の左岸側（砂岩・頁岩）、の3ヶ所である。

今回の調査地点は、こうした岩質分布に留意し、広瀬ダム上流、天科、興南、塩原、窪平、徳和川下流、琴川下流、雷沢の8箇所を選定した。

(2) 調査方法

調査方法は以下のとおりである。

①河床上の適当な地点において、適当な大きさの方形枠を定め、その中で表面に存在し、かつ求める粒径階層に属するもの全てを採取する。方形枠の大きさは、採取しようとする河床材料粒径に応じて変化させる。なお、河床材料の採取数は100個以上を一応の目安とした。これは、正規分布が成立する母集団の区間推定において信頼度95%で抽出誤差を0.1程度におさえる抽出数を目安に設定した目安であるが、組成が複雑で各岩質ごとの個数が少なくなる場合には採取数を増やすよう留意した。

②採取した石を、粒径により階層分けする。階層は原則として、1~2cm、2~4cm、4~8cm、8~16cm、16~32cmの5段階に区分した。

③各階層ごとに、岩質分布を求める。岩質は粒子の大きさ、構成物質等を目視により判断した。表面が風化して評価の難しいものについては、シュミットハンマーで石を砕き、ルーペで破砕面を観察して判断した。ルーペを用いた観察による岩質の判断基準は、概ね次の通りである。

■石英閃緑岩（花崗岩）

石英・長石・角閃石（雲母）の結晶粒が集合したもの。石英閃緑岩と花崗岩の判別は難しいので、ここでは両者を合わせて花崗岩類とした。

■安山岩

強固で石基上に斑晶がある形態をもつもの。石基に気泡を有するもの。安山岩の中には石基が幾分結晶状を呈しており、砂岩と類似するものがあるが、石基の成分が単一であるもの、石基中に気泡があるものを安山岩、結晶が丸みを帯びているもの、泥粒を含んでいるものを砂岩とした。

■砂岩

砂粒で構成されているもの。泥粒を含むもの、結晶が摩耗しているもの。

■凝灰岩

細かな粒からなるもの。多様な材質・粒径の粒から構成されているので堆積岩と差別化することができる。なお、白色および緑色の粒子からなり花崗岩類と類似するものがあるが、粒子の小さいものを凝灰岩とした。

■頁岩

微小な粒からなる茶〜黒色の堆積岩。均質で泥岩よりガラス質を帯び強固である。

なお、標本の粒径が小さくなるほど岩質の判定は難しく、精度は低くなっているものと推定される。

(3) 調査結果

調査結果を表-1~3に示す。

なお、広瀬地点での岩質組成は、ほとんどが花崗岩類で、頁岩がまれに混入する程度という状態であったので、実際には調査を実施せず、100%花崗岩類とした。

表－１ 調査結果一覧（１）

地点	粒径範囲 (cm)	Gr	An	Tu	Sa	Sh
天 科	1-2	92 (57.5)	14 (8.8)	45 (28.1)	7 (4.4)	2 (1.3)
	2-4	75 (54.0)	13 (9.4)	38 (17.3)	7 (5.0)	6 (4.3)
	4-8	59 (59.6)	10 (10.1)	24 (24.3)	4 (4.0)	2 (2.0)
	8-16	57 (64.0)	11 (12.4)	20 (22.5)	0 (0)	1 (1.1)
	16-32	54 (74.0)	7 (7.9)	12 (13.8)	0 (0)	0 (0)
興 南	1-2	70 (52.6)	7 (5.3)	45 (33.8)	8 (6.0)	1 (0.8)
	2-4	62 (58.5)	10 (9.4)	26 (24.5)	6 (5.7)	2 (1.9)
	4-8	63 (66.3)	19 (20.0)	6 (6.3)	7 (7.4)	0 (0)
	8-16	62 (76.5)	11 (13.6)	3 (3.7)	5 (6.2)	0 (0)
	16-32	71 (84.5)	11 (13.1)	0 (0)	2 (2.4)	0 (0)
塩 原	1-2	73 (57.9)	12 (9.5)	38 (30.1)	2 (1.6)	1 (0.8)
	2-4	50 (52.1)	9 (9.4)	31 (32.3)	5 (5.2)	1 (1.0)
	4-8	53 (65.4)	13 (16.0)	13 (16.0)	2 (2.5)	0 (0)
	8-16	50 (71.4)	10 (14.3)	7 (10.0)	3 (4.3)	0 (0)
	16-32	56 (82.4)	6 (8.8)	4 (5.9)	2 (2.9)	0 (0)
窪 平	1-2	56 (55.4)	19 (18.8)	12 (11.9)	14 (13.9)	0 (0)
	2-4	46 (58.2)	11 (13.9)	11 (13.9)	9 (11.4)	2 (2.5)
	4-8	29 (58.0)	9 (18.0)	9 (18.0)	3 (6.0)	0 (0)
	8-16	37 (61.7)	16 (26.7)	3 (5.0)	4 (6.7)	0 (0)
	16-32	58 (67.4)	9 (10.5)	7 (8.1)	11 (12.8)	1 (1.2)

表－２ 調査結果一覧（２）

粒径範囲 (cm)	地点	Gr	An	地点	Gr	An
1-2	徳 和 川	108 (64.7)	59 (35.3)	琴 川	55 (75.3)	18 (24.7)
2-4		64 (77.1)	19 (22.9)		28 (62.2)	17 (37.7)
4-8		75 (83.3)	15 (16.7)		23 (60.5)	15 (39.5)
8-16		37 (84.1)	7 (15.9)		18 (64.3)	10 (35.7)
16-32		30 (85.7)	5 (14.3)		14 (66.7)	7 (33.3)

表－３ 調査結果一覧（３）

地点	粒径範囲 (cm)	Gr	An	Ot
雷沢 (小流域B)	1-2	58 (58.0)	1 (1.0)	41 (41.0)
	2-4	53 (64.6)	2 (2.4)	27 (32.9)

上段は個数を、下段は%を表す。 Gr：花崗岩類、An：安山岩、Tu：凝灰岩、Sa：砂岩、Sh：頁岩、Ot：その他

3. 解析

ここでは、調査結果から明らかになった以下の3事項について報告する。

- (1) 岩質別に見た河床材料の摩耗特性
- (2) 粒径別土砂供給量
- (3) 岩質別に見た土砂供給特性

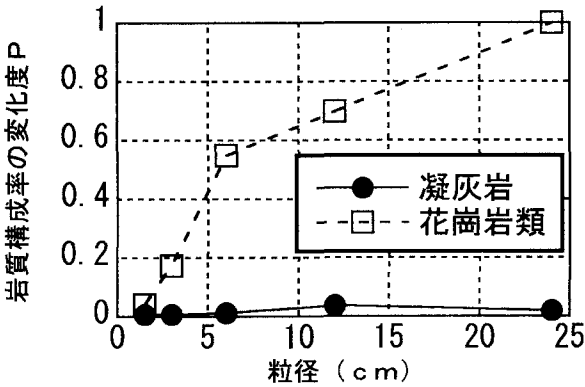
(1) 岩質別に見た河床材料の摩耗特性

表－１において天科～興南間の岩質別構成率の変化に着目すると、凝灰岩に限り粒径の大きなものが減少していることがわかる。いま、岩質別構成率の変化特性を表す指標として、岩質構成率の変化度Pを、

$$P = \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1} \right)^2$$

ここに、P₁、P₂はそれぞれ天科、興南の岩質構成率

と表し、Pの粒径別変化を図－４に示す。この図には、参考として構成率の最も高い花崗岩類のPについてもプロットされている。これより、花崗岩のPが粒径別にほとんど変化がないのに対し、凝灰岩のPは粒径の増大とともに減少していることがわかる。このような傾向を示すためには、①凝灰岩が流下とともに摩耗して粒径を減じた、②途中で小粒径のみ凝灰岩が、また大粒径のみ花崗岩類が供給された、のいずれかの事象が必要であるが、明らかに②は不合理であるので、①の理由が支持される。なお、文献7)によれば、当該地域の凝灰岩の強度は70kg/cm2程度であるのに対し、花崗岩類のそれは600kg/cm2程度であり、この結果と傾向的に一致している。



図－４ 天科～興南間での凝灰岩の岩質構成率の変化

(2) 粒径別土砂供給量の推定

a. 基本的考え方

図－５に示すモデル系において、ある粒径階層の土砂供給量とその岩質構成との関係について考えてみる。①河床変動がないこと、②各地点における岩質別流砂量の比と、河床材料の岩質構成比は一致する、の2つの仮定

を設けると岩質別土砂収支から次式が成立する。

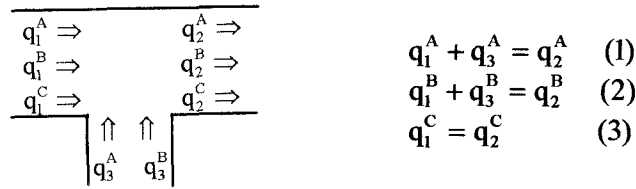


図-5 モデル系

また、河床材料の岩質調査から、岩質Aを1とした場合の他の岩質構成率

$$\begin{aligned} \frac{q_1^B}{q_1^A} &= a_1 & (4) & \quad \frac{q_1^C}{q_1^A} = a_2 & (5) \\ \frac{q_2^B}{q_2^A} &= b_1 & (6) & \quad \frac{q_2^C}{q_2^A} = b_2 & (7) & \quad \frac{q_3^B}{q_3^A} = c & (8) \end{aligned}$$

がわかる。ここで、例えば式(1)(2)(4)(6)(8)を連立させて解けば、 q_1^A を1としたときの他の流砂量を求めることができる。なお、これとは独立に式(3)(5)(7)を連立して解いても同様の解を得ることができるが、どちらの方法を選択するかは関係地点の岩質分布を見ながら決める。というのは、このような解析方法のもとでは各地点の岩質分布にはっきりとした違いがあるほうが高精度が期待できるからである。

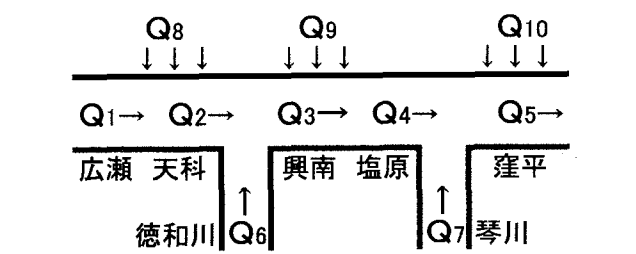


図-6 記号の定義

b. 解析結果

調査対象区間の河道内各地点、支川、あるいは各小流域からの粒径別土砂供給量を図-6のように $Q_1 \sim Q_{10}$ で表す。対象区間を、(1)広瀬～小流域A～天科、(2)天科～小流域B～興南、(3)興南～徳和川～塩原、(4)塩原～琴川～小流域C～窪平、の4つに分割し、それぞれに

において適当と思われる岩質に着目し、上記a. に示した方法によって解析を行った。解析は粒径別に実施し、最終的には広瀬からの粒径別土砂供給量 Q_1 を1としたときの各地点の粒径別土砂供給量、

$$Q_1^* = Q_1, \quad Q_2^* = Q_2/Q_1, \dots, \quad Q_{10}^* = Q_{10}/Q_1$$

を求めた。なお、各区間において考慮した土砂収支を以下に列挙しておく。

■広瀬～小流域A～天科

$$q_1^{Gr} = Q_1 = q_2^{Gr}, \quad q_8^{Ot} = Q_7 = q_2^{Ot}, \quad Q_2 = q_2^{Gr} + q_2^{Ot}$$

■天科～小流域B～興南

$$q_2^{Gr} + q_9^{Gr} = q_3^{Gr}, \quad q_2^{An} + q_9^{An} = q_3^{An}$$

$$Q_2 = q_2^{Gr} + q_2^{An} + q_2^{Ot}, \quad Q_3 = q_3^{Gr} + q_3^{An} + q_3^{Ot}, \quad Q_9 = q_9^{Gr} + q_9^{An}$$

■興南～徳和川～塩原

$$q_3^{Gr} + q_6^{Gr} = q_4^{Gr}, \quad q_3^{An} + q_6^{An} = q_4^{An}$$

$$Q_3 = q_3^{Gr} + q_3^{An} + q_3^{Ot}, \quad Q_4 = q_4^{Gr} + q_4^{An} + q_4^{Ot}, \quad Q_6 = q_6^{Gr} + q_6^{An}$$

■塩原～小流域C～琴川～窪平

$$q_4^{Gr} + q_7^{Gr} = q_5^{Gr}, \quad q_4^{An} + q_7^{An} = q_5^{An}, \quad q_4^{Sa} + q_{10}^{Sa} = q_5^{Sa}$$

$$Q_4 = q_4^{Gr} + q_4^{An} + q_4^{Ot} + q_4^{Sa}, \quad Q_5 = q_5^{Gr} + q_5^{An} + q_5^{Ot} + q_5^{Sa},$$

$$Q_7 = q_7^{Gr} + q_7^{An}, \quad Q_{10} = q_{10}^{Sa}$$

ここに、上付きのサフィクスは、Gr：花崗岩類、An：安山岩、Sa：砂岩、Ot：その他を、下付きのサフィクスは地点を表す。

なお、徳和川および小流域Bの4 cm以上の粒径階層については、①上下流地点の岩質分布に明確な差異が見られないこと、②掃流力の面からこれ以上の粒径を大量に運搬するのは難しいと考えられること、の2つの理由により土砂供給量をゼロとしている。

得られた結果をもとに作成した粒径別土砂供給マップの例として、粒径階層2 cm～4 cmのものおよび16 cm～32 cmのものを図-7に示す。この図では、各小流域からの土砂供給量を、広瀬からの土砂供給量を1としたときの円の面積比で表現している。両者を比較すると、徳和川、小流域A&Bで粒径が大きくなると土砂供給量が減少するものの、琴川&小流域Cでは特に変化がないことがわかる。

c. 粒径階層ごとに見た土砂供給特性の違い

図-8は、最上流の広瀬からの土砂供給量を1とした場合の各地点の無次元土砂供給量と粒径階層との関係を示したものである。これによれば、流域ごとに土砂供給量にかなりの差異があること、徳和川・小流域A・小流域Bは粒径が大きくなるにつれて土砂供給量が減少する傾向にある。後者の原因については定性的ではあるが、次のように推定することができる。

- ①徳和川については笛吹川合流点近くに多くの落差工を有しており河道に発生する掃流力が大きな粒径の河床材料を運び得ない。
- ②小流域Bについては主要な土砂供給経路である沢に満砂に至っていない砂防ダムがあるので、出水時に浮遊あるいは跳躍するような粒径のものしか供給されない。
- ③小流域Aについては供給される河床材料の岩質が凝

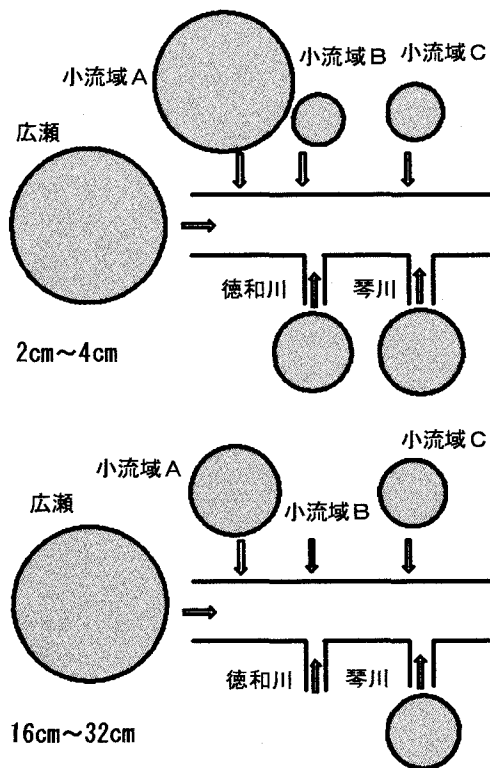


図-7 土砂供給量マップの例

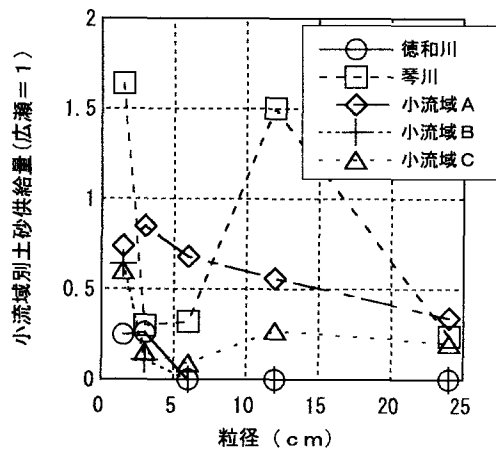


図-8 各小流域からの粒径別土砂供給量

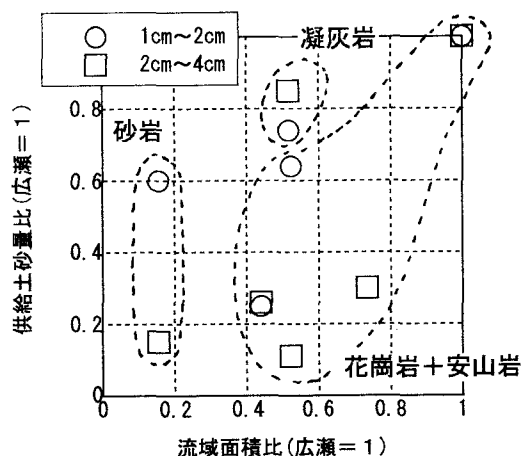


図-9 岩質別に見た土砂供給量と流域面積の関係

灰岩中心であり、流下の途中で摩耗し粒径を減じている可能性がある。

(3) 岩質別に見た土砂供給特性

上記の検討により、土砂供給量は流域面積の大小、および地形の急峻さに加え、岩質特性にも関連することが推定される。そこで、土砂供給量と流域面積、および流域の岩質との関係について調べることにする。

図-9に小流域の流域面積、地質と土砂供給量との関係を示す。同図では、各小流域からの土砂供給量および流域面積を、調査区間の最大の小流域である広瀬からの土砂供給量および流域面積を1とした無次元量で表示している。なお、この図の作成に際しては、各流域の土砂運搬能力の違いの影響を極力除去するために、小出水でも確実に運搬され则认为される4cm以下の粒径階層のデータを用いている。

図-9から次のことが読みとれる。すなわち、凝灰岩・砂岩流域では相対的に土砂供給量が多く、逆に花崗岩類・安山岩流域では土砂供給量が少ない。この原因としては、岩石の強度の違いが挙げられる。先にも述べたとおり、文献7)によれば、当該地域の凝灰岩の強度は70kg/cm²程度、花崗岩類のそれは600kg/cm²程度である。

謝辞 株式会社新日本エンジニアリングの深沢徳明氏には、岩質の判定法を御指導いただくとともに、岩質によって河床材料が生産された小流域を特定でき得るという示唆をいただいた。また、建設省土木研究所の平館治氏には、笛吹川の河道特性に関する貴重な資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献 1)例えば、砂田憲吾・塩沢みゆき・加藤克夫(1996):大規模土砂生産による流域水系河床変動の伝搬特性について、水工学論文集、Vol.40、pp.843-848。 2)久保田稔・高木不折・河村三郎(1985):出水時における土砂の浮遊実態—長良川を例として—、土木学会論文集、第357号、II-3、pp.35-44。 3)水山高久(1980):山地河川の浮遊砂観測、土木技術資料、22-5、pp.46-51。 4)平林桂ほか(1998):洪水時広域採水観測による濁川水系の土砂動態モニタリング、水工学論文集、第42巻。 5)澤田豊明ほか:山地流域における出水と土砂流出、京都大学防災研究所年報。 6)藤田光一・宇多高明・服部敦(1995):水系土砂収支解析のための「有効粒径集団」の考え方の提案、土木技術資料、vol.37、No.12、pp.34-39。 7)西宮克彦:山梨県防災地質図

(1999.9.30受付)