

II-4

金山ダム流域の土砂生産特性に関する研究

北海道大学工学部 学生員 堀江 克也
 佐藤工業株式会社 正会員 山本 徹
 北海道大学工学部 フェロ-会員 黒木 幹男
 北海道大学工学部 フェロ-会員 板倉 忠興

1. はじめに

流域内の土砂生産特性を的確に予測することは河川にとってだけでなくダム、砂防など水と流砂に関する多くの問題にとって非常に重要な意義をもつにもかかわらず、今日なお困難な問題であり充分解明されているとはいえない。著者らは、河道の安定形状縦断形の理論^①に河道網を組み入れ、恣意的だった支川の扱い方を明確にし、豊平川、豊平峡流域への適用を行った^②。しかし本理論では、土砂の横流入を考慮していないため、単位河道内の流砂量増加を認めず、流砂量は支川合流（外部リンク数）のみに依存していたこととなる。

本研究では、新たに土砂の横流入を考慮した河道網理論を構築^③し、流域の土砂生産特性を国土数値情報と地質図（縮尺5万分の1）を併用しながら推定する方法について論じている。貯水池内の堆砂土砂の地質区分データの存在する金山ダム流域を対象に検討を行った。

2. 土砂の横流入を考慮した河道網理論基礎式

以下の説明に必要な範囲で、著者らが用いた河道網理論^④の基礎式を記述する。流れの抵抗則式、平衡河床掃流式、流砂の連続式、流砂量式から河床勾配を流量 $Q(x)$ と流砂量 $Q_B(x)$ の関数として表わせる。

$$\frac{dz}{dx} = -C \left(\frac{Q_B(x)}{Q(x)} \right)^{\frac{6}{7}} \quad (1) \quad \text{ただし、} C = \left[\frac{8\sqrt{sg}(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{1}{2}}}{6.9\sqrt{g}(s\tau_*)^{\frac{2}{3}}} \right], \quad z: \text{基準面から測つ}$$

た河床高、 x ：流下方向にとった距離、 dz/dx ：河床勾配、 s ：河床砂礫の水中比重、 τ_* ：平衡河床掃流力（ $= 1.23 \tau_{*c} = 1.23 \times 0.05$ ）。河床勾配＝エネルギー勾配の近似が成り立つ場合、流量と流砂量の縦断分布が与えられれば式(1)を積分して、単位河道の安定縦断形を求めることが出来る。

河道網の表現にはリンク・マグニチュード方式を採用する。マグニチュード i および j の河道が合流して、 $i+j$ の河道となる場合を考えると、流砂、流量の連続式はそれぞれ以下のように表わせる。

$$[Q_{BU}]_{i+j} = [Q_{BD}]_i + [Q_{BD}]_j \quad (2) \quad [Q_U]_{i+j} = [Q_D]_i + [Q_D]_j \quad (3)$$

ただし、 $[Q_{BU}]_i$ 、 $[Q_{BD}]_i$ ：河道 i の上、下流端の流砂量、 $[Q_U]_i$ 、 $[Q_D]_i$ ：河道 i の上、下流端の流量
 単位河道という流域のなかでもきわめて限定的な範囲の河道の流量、流砂量の空間的な増加を1次式で以下のように与える。

Characteristics of the Sediment Production in Kanayama Dam Basin

by Katsuya HORIE, Toru YAMAMOTO, Mikio KUROKI and Tadaoki ITAKURA

$$[Q_{BD}]_i = [Q_{BU}]_i + q_s x \quad (4) \quad [Q_D] = [Q_U]_i + q x \quad (5)$$

ただし、 q_s 、 q ：定数

例えば、マグニチュード i において、河道長 $m \times \ell$ 、 i 番目上流端までの外部リンクの和を a 、河道総延長を $n \times \ell$ とするとこの河道の上流端から距離 x の地点の流砂量、流量は以下ようになる。

$$[Q_{BX}] = a[Q_{BU}]_1 + q_s n \ell + q x \quad (6) \quad [Q_X] = a[Q_U]_1 + q n \ell + q x \quad (7)$$

式(6)、(7)の関係を式(1)に代入すると式(8)が得られ、また、外部リンク流入流砂量、横流入流砂量との比 q_s' 、外部リンク流入量、横流入流量との比 q' の関係を表すと式(9)が得られる。

$$\frac{d(z/\ell)}{d(x/\ell)} = -C \left(\frac{[Q_{BU}]_1}{[Q_U]_1} \right)^{2/7} \left(\frac{a + nq_s' + q_s'(x/\ell)}{a + nq' + q'(x/\ell)} \right)^{2/7} \quad (8) \quad \frac{q_s'}{q'} = \left(\frac{dz/dx}{C} \right)^{7/2} \frac{[Q_U]_1}{[Q_{BU}]_1} \quad (9)$$

ただし、 $q_s' = \frac{q_s \ell}{[Q_{BU}]_1}$ 、 $q' = \frac{q \ell}{[Q_U]_1}$ 、 ℓ ：河道の1ユニット長さ（本研究では国土数値情報3次メッシュの1メッシュ長さに相当する。）、 $(m \geq x / \ell \geq 0)$

よって、式(8)を無次元表示して積分し、 q' 、 q_s' を適当にあたえると、マグニチュード i の縦断が求められる。さらに、河道網形状が定まると、各マグニチュードにおける河道長 $m \times \ell$ 、外部リンクの和 a と上流端までの河道総延長 $n \times \ell$ がきまるので無次元河床標高差がマグニチュードごとに求められ、河道網の河床高縦断形も求められる。

3. 金山ダム流域への適用

実流域にモデルを適用するためには、河道網のパターンを確定する必要がある。それには、図-1 に示すような国土数値情報の3次メッシュに対応して、各メッシュに一本の河道を配するように調整した河道網図⁽⁴⁾を用いることにする。金山ダム流域面積は 469 km^2 である。これに対して、河道網図のメッシュ数は 498 個、1メッシュあたりの面積は 0.9417 km^2 であり、外部リンク数は 190、河道数は 497 である。流域の下流端には昭和 49 年竣工の金山ダムがある。また、国土数値情報の利用により、解析に必要な河道に沿った河床高さを知ることができる。

本解析では、少なくともマグニチュード1でメッシュ数3以上、又はマグニチュード2以上の河道が必要である。そこで、金山ダム流域を図-2 に示すような 28 個の支川に分割し、そのすべてを対象に解析を行った。なお、28 の支川の合計メッシュ数は 442 個であり、金山ダムの総メッシュ数 498 個の約 89% を網羅している。

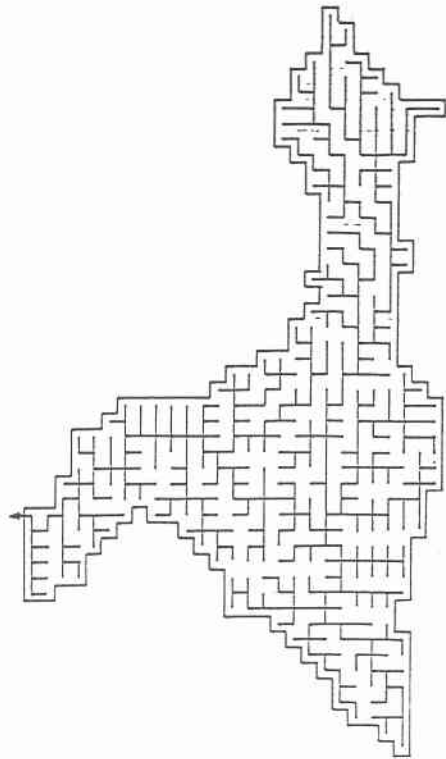


図-1 金山ダム流域河道網図

4. 河床高縦断形

河道網の各マグニチュードごとに(8)式を適用し、実際の縦断形に理論形状が最も適合するように横流入量と外部リング流入量の比 q' 、 q_s' を定めることとした。図-3~図-7に9つの支川の河床高縦断形を示す。横軸は河道長で縦軸は上下流端の高低差で無次元化した高さを表す。図中の実線は本解析による理論値、黒丸印は国土数値情報による実資料値である。また、全28支川の q' 、 q_s' の解析結果及びメッシュ数、下流端流量式、平均勾配を表-1に示した。各支川において流量のばらつきがあるのは、上流部分勾配が関与している。

図-2 支川流域図

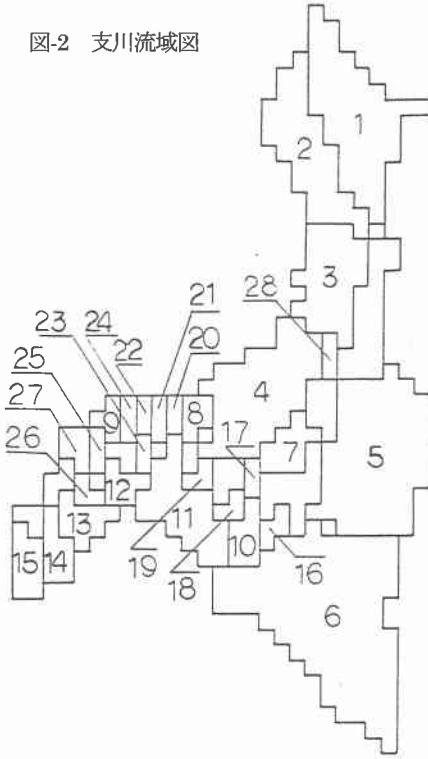


表-1 解析結果

支川NO	メッシュ数	q'	q_s'	下流端流量式	平均勾配
1	49	500	0.1	13QB _{u1} +48q _{sL}	0.057
2	35	40	0.1	9QB _{u1} +34q _{sL}	0.032
3	27	0.5	0.1	7QB _{u1} +26q _{sL}	0.038
4	43	5	0.1	16QB _{u1} +42q _{sL}	0.025
5	63	40	0.1	27QB _{u1} +62q _{sL}	0.019
6	99	300	0.1	41QB _{u1} +98q _{sL}	0.035
7	10	100	0.1	5QB _{u1} + 9q _{sL}	0.040
8	5	1	0.1	2QB _{u1} + 4q _{sL}	0.038
9	4	4	0.1	2QB _{u1} + 3q _{sL}	0.110
10	8	10	0.1	3QB _{u1} + 7q _{sL}	0.104
11	25	500	0.1	12QB _{u1} +24q _{sL}	0.051
12	6	10	0.1	3QB _{u1} + 5q _{sL}	0.112
13	9	5	0.1	4QB _{u1} + 8q _{sL}	0.098
14	8	3	0.1	3QB _{u1} + 7q _{sL}	0.081
15	9	0.1	0.1	4QB _{u1} + 8q _{sL}	0.036
16	4	1	0.1	QB _{u1} + 3q _{sL}	0.105
17	3	0.2	1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.084
18	3	1	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.102
19	3	0.1	0.3	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.064
20	3	2	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.108
21	3	1	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.139
22	3	7	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.143
23	3	2	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.148
24	3	20	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.115
25	3	6	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.076
26	3	15	0.1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.069
27	5	4	0.1	2QB _{u1} + 4q _{sL}	0.109
28	3	0.1	1	QB _{u1} + 2q _{sL}	0.036

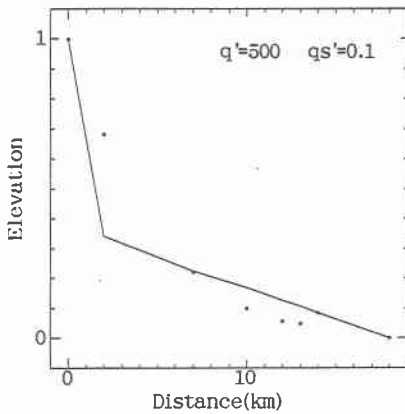


図-3 支川1断面図

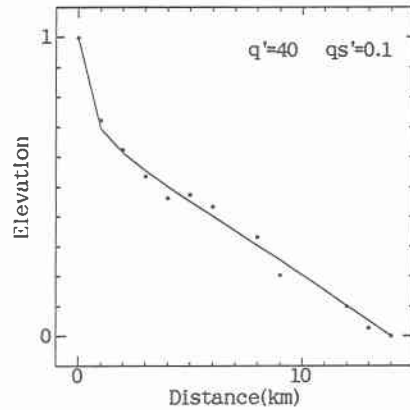


図-4 支川5断面図

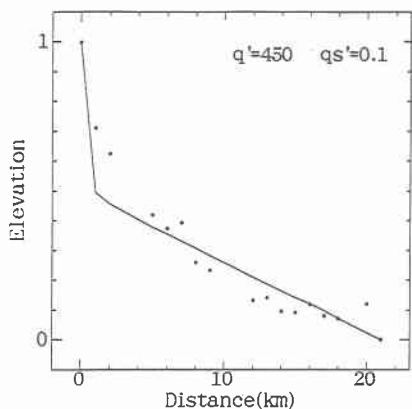


図-5 支川6断面図

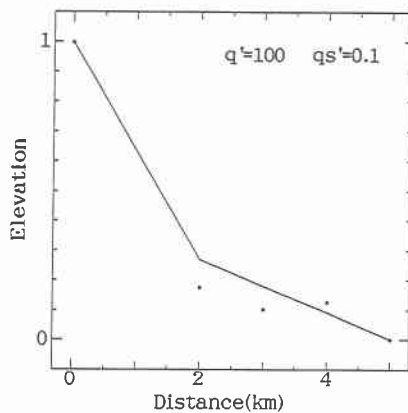


図-6 支川7断面図

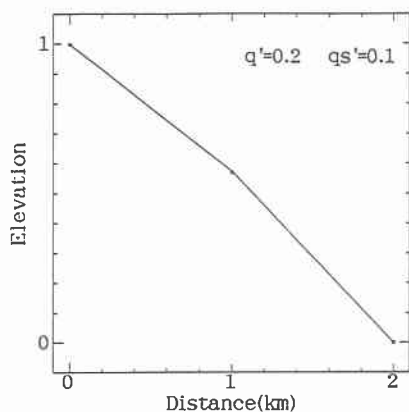


図-7 支川17断面図

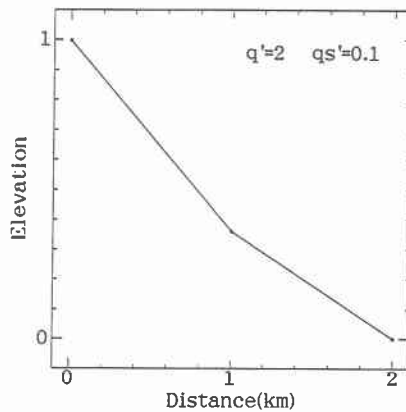


図-8 支川23断面図

5. 流域の土砂生産特性

金山ダム流域の地質を図-9 でしめす。大別すると、北半部分に分布する火山噴出岩類、南半部分は東側から深成岩類、変成岩類、貫入岩類、古期堆積岩類と順次分布し、その他河岸に発達する新期堆積岩類に分けられる。分類名と構成岩石名の対比を表-2 に示す。

表-2 岩種分類対比表

深成岩類	貫入岩類	変成岩類	噴出岩類	古期堆積岩類	新期堆積岩類
花崗岩 片麻岩	緑色岩 輝緑岩	ホルンフェルス	安山岩 流紋岩質凝灰岩 玄武岩	砂岩、粘板岩 輝緑凝灰岩 チャート、石灰岩	砂、礫、粘土

各支川ごとの流砂量を調べることで金山ダム流域の流砂分布を求めることができる。各支川の流砂量は表-2の q_s' と外部リンクの流入流砂量 $[Q_{u}]_1$ で表すことができる。さらに(9)式の関係を代入すると、流砂量は外部リンク流入流砂量 $[Q_{u}]_1$ と河道勾配 dz/dx であらわせる。本研究では各支川の $[Q_{u}]_1$ を一定と仮定し、 dz/dx は各支川の平均勾配を使用することとする。そのことにより各支川の流砂量を $[Q_{u}]_1$ で表現でき支川間の比較が可能となる。表-3には支川ごとの岩質面積比を上段に、岩質別流砂量を下段にあわせて示した。

表-3 支川流砂量及び岩質別流砂量

支川	流砂量	深成岩	貫入岩	変成岩	噴出岩	古期堆積岩	新期堆積岩
1	8837.26	0	0	0	0.51	0	0.49
2	299.91	0	0	0	4507.00	0	4330.25
3	3.34	0	0	0	0.69	0	0.31
4	49.73	0	0	0	205.44	0	94.17
5	503.37	0.19	0	0.27	1.00	0	0
6	14892.76	95.64	0	135.91	3.34	0	0
7	431.25	0.50	0.01	0.24	0.88	0	0.02
8	1.69	0	0	0	43.96	0	1.14
9	16.07	0	0	0	207.89	0	39.77
10	61.40	0	0	0.63	0	0.14	0.11
11	6497.99	0	0.08	0.32	0	2099.88	1653.10
12	61.96	0	519.84	2079.36	0	0	0
13	37.81	0	0	0	0.20	0.80	0
14	14.85	0	0	0	86.25	345.00	0
15	0.32	0	0	0	0.20	0.40	0
16	2.18	0	0	0	0.34	0.67	0
17	0.08	0	0	0	0	0	0.50
18	1.97	0	0	0	0	0	8.04
19	0.06	0	0	0	0.63	0	0.38
20	4.13	0	0	0	38.38	0	23.03
21	2.56	0	0.33	0.33	0	0.16	0.44
22	18.38	0	0.03	0.03	0	1039.88	2859.11
23	5.41	0	0	0	0	0.67	0.33
24	43.56	0	0	0	0	41.33	20.83
25	9.11	0	0	0	0	1.00	0
26	21.09	0	0	0	0	37.81	0
27	16.64	0	0	0	0	1.00	0
28	0.02	0	0	0	0	14.85	0
合計	31835	7467.5	676.8	5952.8	5313.3	3291.8	9093.3

×
[Q_u]₁

上段 : 面積比
下段 : 流砂量

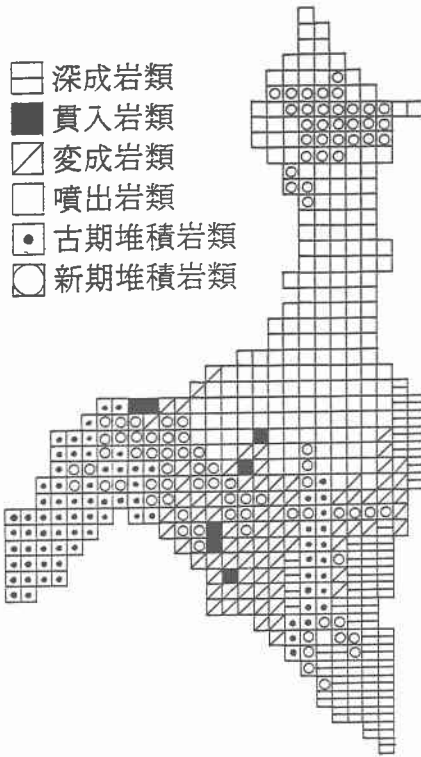


図-9 地質図

表-3によると、各支川の流砂量は $0.02 \times [Q_{u}]_1$ から $14892.76 \times [Q_{u}]_1$ までと大きなばらつきがある。また、流砂量の多いところは支川1、6、11であり支川15、17、19、28では特に流砂量は少ない。この結果を、金山ダム貯水池の堆積資料⁽⁵⁾と照合してみる。図-10は金山ダム流域の表層地質の岩質別の面積比と資料から得た貯水池内の堆積土砂の岩質比及び本研究で算出した岩質別流砂量比を比較したものである。面積比と堆積土砂の岩質構成比を比べると貫入岩(緑色岩、輝緑岩)と変成岩(ホルンヘルス)が面積比に比べて際立って多いことと、逆に噴出岩(安山岩、玄武岩、流紋岩質凝灰岩)が少ないことがこの流域の特徴である。一方、本研究の解析結果と堆積土砂の岩質構成比と比較すると、変成岩、噴出岩、古期堆積岩では適合度は良好である

が、深成岩貫入岩にはやや不一致がある。

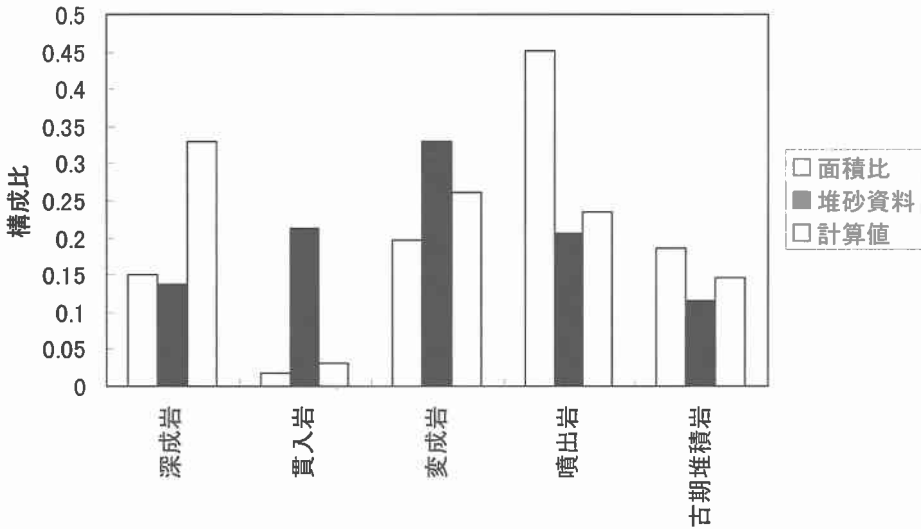


図-10 構成比比較グラフ

6. おわりに

土砂の横流入を考慮した河道網理論により、金山ダム流域中で解析可能なマグニチュード1でメッシュ数3以上又はマグニチュード2以上の28支川の流砂分布と岩質別流砂分布を調べた。貯水池堆砂岩質資料で検証を行ったところおおよその妥当性が確認された。特定の流域、特定の岩質から多く流出しているため単純に面積比では説明つかない事がわかった。

参考文献

- (1) 黒木幹男・板倉忠興：安定河道縦断形状に関する研究、水工学論文集第39巻、pp641-646,1995
- (2) 黒木幹男・山本徹・板倉忠興：河道網を考慮した流域土砂生産の評価、土木学会北海道支部論報告集、1996
- (3) 山本徹・黒木幹男・板倉忠興：土砂の横流入を考慮した河道網理論、土木学会北海道支部論文報告集、1997（投稿中）
- (4) 寒地河川研究会：土砂移動問題研究部会資料、1995
- (5) 北海道開発局石狩川開発建設部：直轄えん提維持の内金山ダム堆砂活用調査外2連報告書、1979.11