

II-17

石狩川流域における土砂輸送関数の推定

北海学園大学工学部 正会員 山口 甲
 (株)北開水工コンサルタント 正会員 三田村 一弘
 北海学園大学工学部 ○学生員 伊藤 和人

1. はじめに

河川が輸送する土砂量の推定は、河川工学上、治水、利水、河川・海域環境の保全等を検討する上で重要である。特に洪水時の土砂による災害は、我々の生活の場が河川氾濫区域に集中しているため、非常に大きなものになっている。しかし、現在土砂輸送量を推定する有効な手法は確立されていない。

本研究は、各河道基準点において山地流域で発生した流入土砂量と基準点に到達した流出土砂量との関係から、土砂輸送関数を推定し、その再現性を検討することを目的としている。

検討方法は、石狩川水系の上流部にあたる伊納大橋と下流部にあたる石狩大橋のそれぞれの基準点について、図-1に示すフロー図のような方法で行っている。

その方法について簡単に述べると、土砂生産量算定の基本項となる時間有効雨量を雨量資料から算出し、式(1)の掃流砂モデルより流入土砂量を算定する。次に、式(4)の濁度関数を用いて、流出土砂量を算定する。その流入土砂量と流出土砂量から土砂輸送関数を推定し、再現の良否を確認した。なお、研究対象流域は石狩川水系とし、その区分流域図を図-2に示す。また、検討対象洪水は表-1に示した6洪水例である。

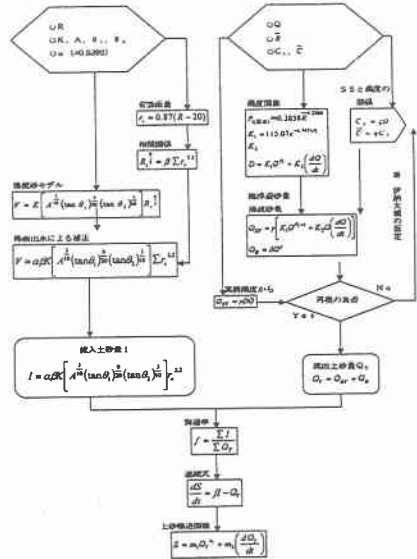


図-1 土砂輸送関数推定フロー図

表-1 検討対象洪水

No	洪水期間	ピーク流量(m ³ /s)	
		伊納大橋	石狩大橋
1	H01.08.21~25	1,363	1,443
2	H01.09.01~06	543	2,569
3	S54.10.17~25	655	3,139
4	S63.08.24~28	1,007	5,759
5	S50.08.21~26	3,884	7,289
6	S56.08.03~09	4,025	11,330

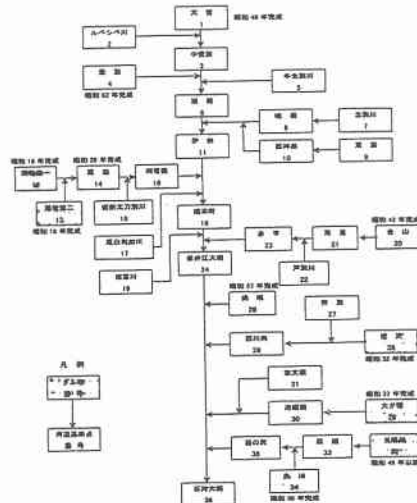


図-2 石狩川区分流域図

Estimate of Sediment Transported Function in the ISHIKARI River
 by Hajime YAMAGUCHI, Kazuhiro MITAMURA and Kazuhiro ITOU

2. 流入土砂量

山口¹⁾は、年間流入土砂量を用いて式(1)の係数を同定している。

$$V = \alpha K \left[A^{\frac{3}{10}} (\tan \theta_1)^{\frac{9}{20}} (\tan \theta_2)^{\frac{3}{10}} \right] R_e^{\frac{9}{5}} \quad (1)$$

ここに、 V ：土砂生産量 (m^3/day)、 α ：夏水比 (=0.5392)、 K ：土砂生産係数、 A ：流域面積 (km^2)、 θ_1 ：斜面勾配 (度)、 θ_2 ：河道勾配 (度)、 R_e ：日有効雨量 (mm/day)

ところで年間流入土砂量には融雪出水に起因する土砂量が含まれているので、降雨による流入土砂量を計算するには K 値の補正を要する。その補正方法について本研究では、既に石狩川で計算された年間輸送量に占める降雨による土砂量の割合を夏水比 α として式(1)を用いる。式(1)では日有効雨量 R_e を用いているが、一時間毎の流入土砂量 I を算定し時間変動を表現するために、時間有効雨量 r_e を適用することを試みる。そこで、掃流砂モデルにおいて先の研究で日有効雨量 R_e は有意であることが明らかになっているので、 $R_e^{0.95}$ と相関性の良い $r_e^{2.2}$ の関係を検討した。その結果、 $n=2.2$ が相関性が良いことがわかった。従って、式(2)の $R_e^{0.95}$ を式(1)に置き換え、式(3)を導いた。なお、検討過程の例として図-3を示す。

$$R_e^{0.95} = \beta \Sigma r_e^{2.2} \quad (2)$$

β ：各洪水期間、河道基準点によって異なる係数
 Σ ：24時間の累計値

式(1)、(2)より

$$v = \alpha \beta K \left[A^{\frac{3}{10}} (\tan \theta_1)^{\frac{9}{20}} (\tan \theta_2)^{\frac{3}{10}} \right] \Sigma r_e^{2.2} \quad (3)$$

v ：土砂発生量 ($m^3/h r$)

各河道基準点の日有効雨量 R_e を用いた土砂生産量 $V_{(R_e^{0.95})}$ と、時間有効雨量 r_e を用いた土砂生産量 $V_{(r_e^{2.2})}$ の関係を図-4に示す。相関性が良いことが確認されたので、 $r_e^{2.2}$ を用いて土砂発生量 $V_{(r_e^{2.2})}$ から毎時の流入土砂量 I (m^3/s)を算定する。

3. 流出土砂量

伊納大橋並びに石狩大橋流域について、流出土砂量 Q_T を既に提唱されている濁度関数を用いて算定する^{2) 3)}。

$$D = K_1 Q^{p_1} + K_2 \left(\frac{dQ}{dt} \right) \quad (4)$$

Q ：流量 (m^3/s)、 D ：濁度 (度)、 Q_{ST} ：総浮遊砂量 (m^3/s)、 Q_B ：掃流砂量 (m^3/s)、 Q_T ：流出土砂量 (m^3/s)

$$Q_{ST} = \gamma \left(K_1 Q^{p_1+1} + K_2 Q \left(\frac{dQ}{dt} \right) \right) \quad (5)$$

ただし、係数 γ は濁度とSSの換算係数、河岸SSと断面平均SSの相関係数及び、土砂比重で構成される値である。

$$Q_B = \delta Q^e \quad (6)$$

流出土砂量 Q_T の検討過程において、係数 K_2 は支配因子が定か

$$Q_T = Q_{ST} + Q_B \quad (7)$$

ではないので観測データの平均値を用いた。

石狩川では伊納大橋、奈井江大橋、石狩大橋の3ヶ所の河岸で、水質自動監視装置による連続観測が行われていて、石狩大橋・伊納大橋ともに実測時間濁度⁴⁾を得ることができた。この実測データと式(5)、(6)、(7)の濁度関数から求めた流出土砂量 Q_{TD} と比較検討し図-5、図-6に示す。検討の結果、濁度関数による流出土砂量 Q_T の再現は十分に良い精度が得られた。

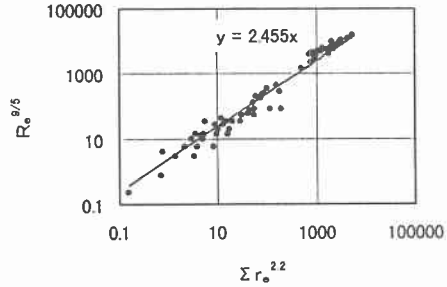


図-3 $\Sigma r_e^{2.2} - R_e^{0.95}$ (No. 6)

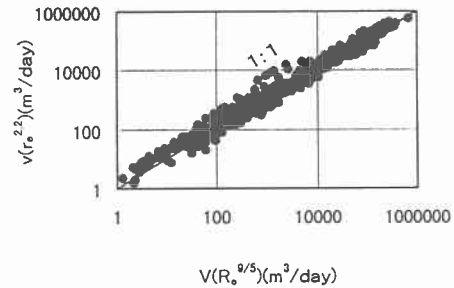


図-4 $V(R_e^{0.95}) - V(r_e^{2.2})$

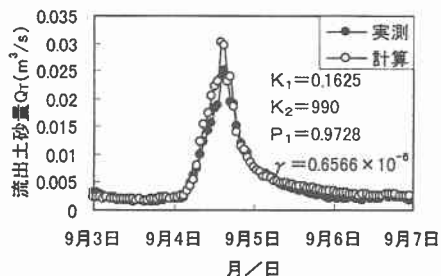


図-5 $Q_T - Q_{T,cal}$ (伊納大橋 No.2)

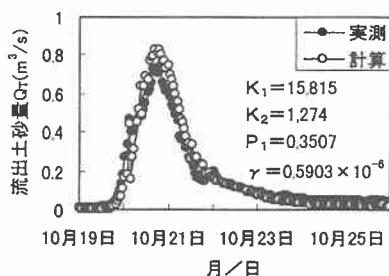


図-6 $Q_T - Q_{T,cal}$ (石狩大橋 No.3)

4. 土砂輸送関数の推定

土砂輸送関数の検討には次の基礎式を用いる。

$$\text{連続式} \quad S' = \frac{dS}{dt}, \quad \frac{dS}{dt} = fI - Q_T \quad (8)$$

ここに、 f : 到達率 (%), I : 流入土砂量 (m^3/s),

$$\text{輸送関数} \quad S' = m_1 Q_T^{n_1} + m_2 \left(\frac{dQ_T}{dt} \right) \quad (9)$$

Q_T : 流出土砂量 (m^3/s), dt : 単位時間 (1h r),

S : 貯砂量 (m^3), m_1, m_2, n_1 : 係数

$$f = \frac{\sum Q_T}{\sum I} \quad (10)$$

式 (3)、(7) より得られた流入土砂量 I と流出土砂量 Q_T の二因子から算定した到達率 f を表-2 に示す。

表-2 伊納大橋・石狩大橋における到達率 f

No	洪水期間	伊納大橋			石狩大橋		
		土砂輸送量(m^3)	土砂生産量(m^3)	到達率 f (%)	土砂輸送量(m^3)	土砂生産量(m^3)	到達率 f (%)
1	H01.08.21~25	6,600	267,880	2	15,174	597,719	3
2	H01.09.01~06	2,318	46,538	5	69,915	414,640	17
3	S54.10.17~25	3,728	42,368	9	102,737	350,827	29
4	S63.08.24~28	3,882	210,580	2	245,782	3,317,942	7
5	S50.08.21~26	65,343	616,940	11	844,973	2,450,759	35
6	S56.08.03~09	150,396	751,571	20	3,016,897	4,359,264	69

到達率 f は検討を行った結果、石狩大橋、伊納大橋それぞれに共通して、流域平均有効雨量 \bar{R}_e と相関性があり、流域平均有効雨量 \bar{R}_e の増加に伴い到達率 f も増加する傾向が見られる。以上の条件より式 (8) から任意の時間における貯砂量 S' が求められる。この貯砂量 S' を用いて式 (9) を仮定し土砂輸送関数を検討する。検討は石狩大橋と伊納大橋について行う。検討過程として、図-7、8を示す。

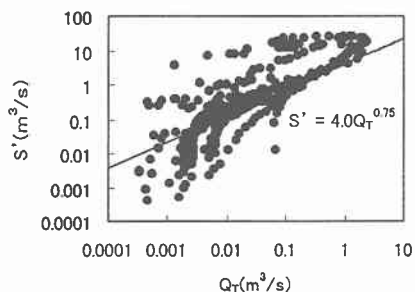


図-7 $Q_T - S'$ (伊納大橋)

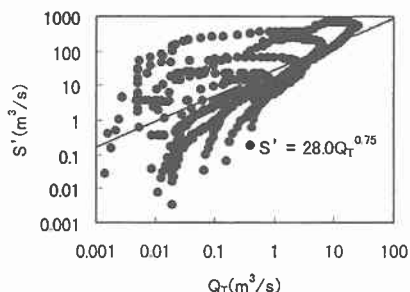


図-8 $Q_T - S'$ (石狩大橋)

図-7、8は流出土砂量 Q_T と貯砂量 S' の関係について6洪水をまとめ示したものである。図より、石狩大橋、伊納大橋ともに減水期に点が重複して見られるので、減水期に注目して図中の式を算定し第一項とした。

表-3 土砂輸送関数における諸係数

	同定値		
	m_1	m_2	n_1
伊納大橋	4	1.62×10^5	0.75
石狩大橋	28	1.08×10^6	0.75

第二項の係数 m_2 は、良い再現結果が得られる値を求めた。
6 洪水に最適な係数を表-3に示す。

同定した係数を用いて、石狩大橋、伊納大橋ともに土砂輸送量を再現計算し、結果の一例を図-9、10に示す。

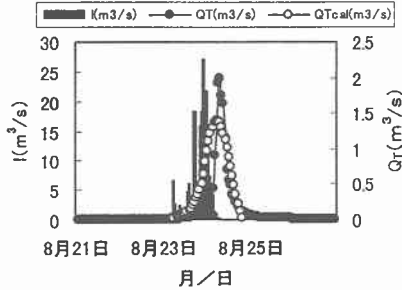


図-9 伊納大橋 (No.5)

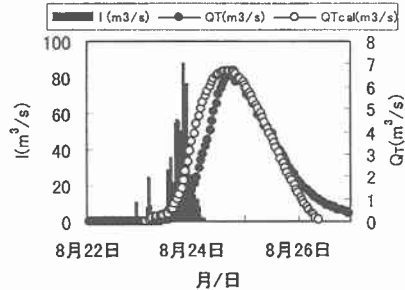


図-10 石狩大橋 (No.5)

また、両者の洪水期間中の濁度関数から得られた流出土砂量 Q_T と土砂輸送関数を用いて計算した流出土砂量 Q_{Tcal} を総土量で検討すると、図-11、12に示すように量的に良い再現結果が得られた。更に今後は洪水個々について式(9)の第二項について検討し、再現の精度を上げることが課題となる。

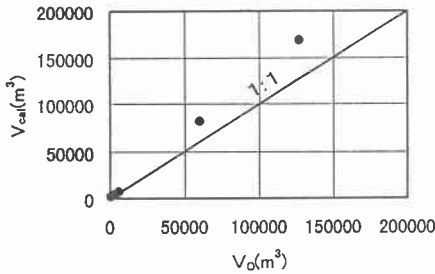


図-11 土量の再現精度 (伊納大橋)

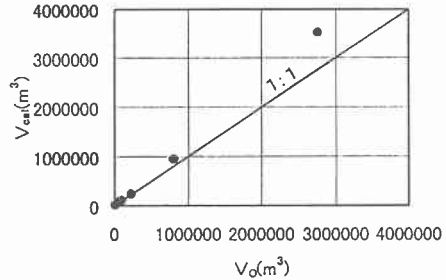


図-12 土量の再現精度 (石狩大橋)

5. まとめ

本研究は、石狩川水系の上流部及び下流部の基準点において時間有効雨量から流入土砂量を求め、また濁度関数を用いて流出土砂量を算出し、流入土砂量と流出土砂量の関係から土砂輸送関数の推定を行い、その再現を行ったものである。その結果、時間有効雨量から土砂輸送量の推定が可能となったと考える。今後は、流入土砂量推定時における個々の洪水について雨量特性の検討、土砂輸送関数における諸係数についての検討等を行い、更に精度の高い推定を行うことが必要となる。

参考文献

- 1) 山口 甲：山地河川の土砂生産に関する研究，北海学園大学工学部研究報告第23号，平成8年2月。
- 2) 渡辺浩司，山口 甲：濁度関数の支配因子に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集55号 (B)，pp. 298~301，1999。
- 3) 山口 甲，三田村一弘：土砂物質の移送に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集55号 (B)，pp. 290~293，1999。
- 4) 石狩川開発建設部：流量・濁度観測資料，平成10年5月。