

流域条件と土砂・水質成分の流出特性について

RESEARCH ON RUNOFF CHARACTERISTICS OF SEDIMENT AND WATER QUALITY SUBSTANCES RELATED TO BASIN CONDITIONS

村上 泰啓¹・中津川 誠²・高田 賢一³

Yasuhiro MURAKAMI, Ken-ichi TAKADA and Makoto NAKATSUGAWA

¹正会員 北海道開発土木研究所 環境研究室 主任研究員 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

²正会員 工博 北海道開発土木研究所 環境研究室 室長 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³正会員 北海道開発土木研究所 環境研究室 研究員 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

The behavior of sediment and other substances in the entire basin is an important factor in maintaining the river channel as well as conserving the aquatic ecosystem at these places. It is especially important to understand transport during flooding, when large amounts of substances are transported. The most recent large-scale flood in Hokkaido, Japan, occurred in August 2003. It struck Hidaka district, causing many injuries and fatalities. The sediment runoff from that flood is still of concern, and examination on its potential effects is awaited. We surveyed dam basins in Hokkaido to study the relationship between the volumes of sediment and water quality components and the geological and vegetation conditions. Sediment transport during flooding is known to have significant impacts on the water environment. To analyze the flood-related runoff characteristics of sediment, the Saru River basin was chosen for its large sediment runoff. This paper summarizes the substance balance of the basin and analyzes the causal relationship between that balance and the conditions of a basin that tends to experience particularly severe damages.

Key Words : sedimentation, field survey, water quality, load factor, land use

1. はじめに

流域スケールの土砂を含む物質動態は、河道や海岸、構造物の維持さらには水域の生態系を保全する上で考慮すべき重要な要素である。国の河川審議会では総合的土砂管理¹⁾の必要性を報告している。総合土砂管理の一環として土砂量収支を求めた例としては、姫川、天竜川の事例が報告^{2,3)}されている。

一方、現在までに多くのダムや堰などの横断工作物が建設され、生態系や海浜保全などの観点から排砂を行う事例も見受けられるようになってきた。ダムは大量の土砂も堆積させるため、下流側の環境を保全する為には適切な量と質の土砂を下流に供給する必要がある。こうしたダム堆砂・濁水問題に関する研究と今後の課題については土木学会のレビュー⁴⁾に詳しい。一方、洪水環境下での掃流砂・浮遊砂観測は困難を伴いがちであるが、角ら⁵⁾は浮遊砂の観測機器の開発を進めており、実用化が期待されるところである。

本研究では、まず北海道のダム流域を対象として、平水時の土砂および水質成分の発生量と地質条件や植生条件との関連を調べた。ただし、これは平水時の調査結果

から一般的傾向を見いだしたものであり、水環境へのインパクトの大きい洪水時の動向については、土砂流出の盛んな沙流川の二風谷ダムを土砂のコントロールポイントとして解析を進めた。はからずも、2003年8月9日～10日にかけ、停滞前線及び台風10号が北海道太平洋沿岸に多大な被害をもたらした⁶⁾。その際に得られた現地観測データに既往の観測結果を加え、流域の物質量を求める関係式を観測所毎に推定した。それらを用いて二風谷ダ

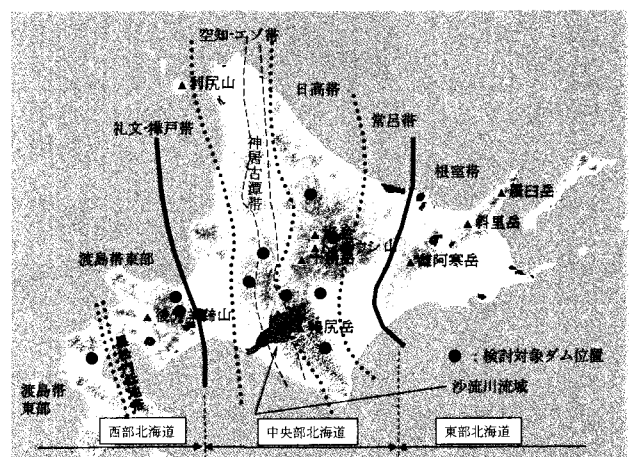


図-1 北海道地質区分及び沙流川位置図

ム貯水池の土砂収支を検証するとともに、洪水時の土砂濃度の推移から、2003年の出水前後で急激に拡大した崩壊地面積との関連について考察した。

2. 対象ダム流域の特徴

(1) 北海道の地質特性⁷⁾

北海道は図-1に示す様に西部、中央部、東部の大きく3つの地質区に分けられる。西部北海道は礼文・樺戸帯から西の部分で、新第三紀及び第四紀の火山岩類、堆積岩類から形成されている。新第三紀の地質は古くからグリーンタフ地域として知られている。

中央部北海道は日高造山運動の母体となった二疊紀から白亜紀初期にわたる堆積物が広く分布している。特に、日高造山運動でマントルから押し上げられたかんらん岩及び風化し易い蛇紋岩などの深成岩、変成岩が中央部に広く分布している。東部北海道は火山活動が盛んだった地域で、新第三紀の堆積岩や火山岩類の上に第四紀の火山岩類が分布し、その周辺は第四紀火砕堆積物が広く分布する。また、この地域の南東部には白亜紀～古第三紀の堆積岩が分布する。

図-1に示す様に、北海道内に建設された直轄の多目的ダムは、中央部北海道、西部北海道に建設されている。

国土地理院よりダウンロードした地質データ(G01-56M)(<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>)を用い、ダム貯水池の流域で地質毎の面積を求め、図-2にダム流域毎の地質割合を示した。これによれば、ダム流域毎に地質構成が異なっている状況が分かる。

(2) 道内の主なダム流域の植生

環境省よりダウンロードした植生調査3次メッシュデータ(http://www.biodic.go.jp/dload/mesh_vg.html)を用い、ダム流域界で分離して植生分類毎に集計した結果を図-3に示す。ダム毎に様々な植生区分が混合する状況といえる。ただし、例外として美利河ダム、鹿ノ子ダムのようにほぼ全域が針葉樹林域や木本・草本混合域で優占している流域もある。

(3) 道内の主な貯水池の土砂堆積傾向

表-1は国土交通省で管理している北海道内の主なダムの堆砂状況を示し、右列にダム完成時からの堆砂量を流域面積と経過年数で除した値(比堆砂量)を示している。これによれば、ダム毎に比堆砂量が異なり、流域により生産土砂量に大きな差があることが分かる。比堆砂量が最も多い二風谷(にぶたに)ダムは、図-1に示した地質区分の中央部北海道に属し、日高山脈の西側に位置している。二風谷ダムの堆砂量が多い事実は地質上の背景に由来するものと推定されるが、2003年8月に生じた出水事例(河口でのピーク比流量 $3.4\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)直後に撮影された航空垂直写真読み取りにより、沙流川流域各所で新たな土砂崩壊が多数発生した事が確認されている。この

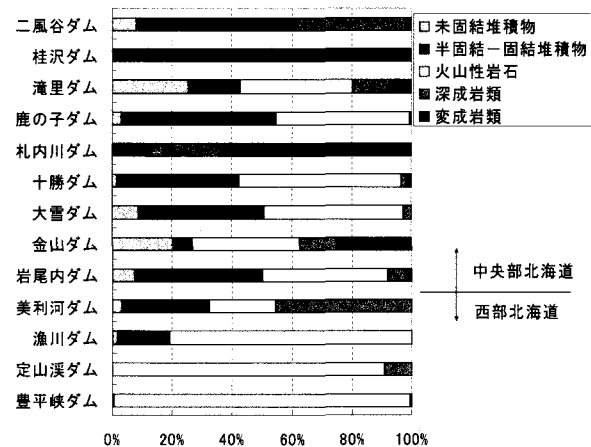


図-2 北海道の主なダム流域における地質割合

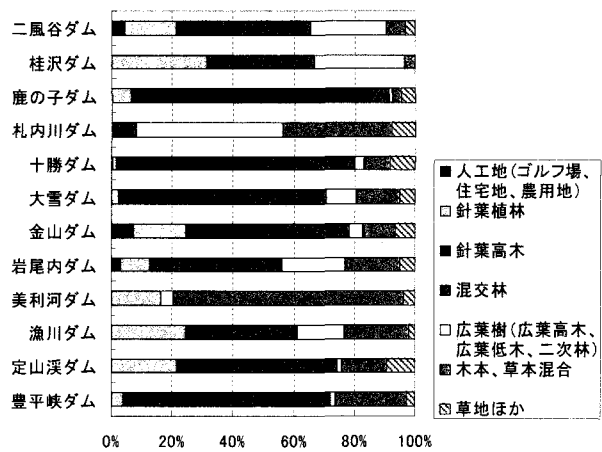


図-3 北海道の主なダム流域における土地利用割合

表-1 北海道の主なダム貯水池における堆砂量

ダム名称	完成	流域面積	経過	堆砂量	堆砂量/面積/年
	西暦	a	b	c	c/a/b
		km ²	年	千m ³	m ³ /km ² /年
二風谷ダム	1997	1,215.0	4	4,730.0	973
桂沢ダム	1956	151.2	45	2,630.6	387
滝里ダム	1998	1,661.9	4	2,085.6	314
鹿の子ダム	1983	124.0	18	262.0	117
札内川ダム	1997	117.7	6	563.0	797
十勝ダム	1984	592.0	17	3,669.0	365
大雪ダム	1974	291.6	28	1,846.0	226
金山ダム	1967	470.0	35	1,124.0	68
岩尾内ダム	1970	331.4	32	1,869.0	176
美利河	1989	115.0	12	420.2	304
漁川ダム	1980	113.3	21	912.9	384
定山溪ダム	1989	104.0	13	260.7	193
豊平峡ダム	1972	134.0	30	1,042.2	259

堆砂量等のデータは参考値を含む(北海道開発局より提供)

表-2 北海道の主なダム貯水池における回転率

ダム名称	完成	総貯水容量	年間総流入量の資料期間	年間総流入量平均	平均回転率
	西暦	a		b	b/a
		千m ³		千m ³	回/年
二風谷ダム	1996	31,500	H10-H13	1,563,500	49.6
桂沢ダム	1956	92,700	S35-H12	340,374	3.7
滝里ダム	1998	108,000	H11-H14	1,864,329	17.3
鹿の子ダム	1983	39,800	S59-H13	64,903	1.6
札内川ダム	1997	54,000	H10-H14	294,563	5.5
十勝ダム	1984	112,000	S60-H13	322,363	2.9
大雪ダム	1974	66,000	S50-H14	407,135	6.2
金山ダム	1967	150,450	S43-H13	560,118	3.7
岩尾内ダム	1970	107,700	S47-H13	463,176	4.3
美利河ダム	1989	18,000	H4-H13	257,571	14.3
漁川ダム	1980	15,300	S56-H13	159,270	10.4
定山溪ダム	1989	82,300	H2-H13	174,664	2.1
豊平峡ダム	1972	47,100	S48-H13	272,242	5.8

総流入量のデータは参考値を含む(北海道開発局より提供)

ような崩壊が河川への土砂供給源となっている可能性が高いと考えられる。

(4) 回転率、年間総流入量

表-2は北海道内の直轄ダムにおける回転率（年間総流入量の平均値/総貯水量）を求めたものである。二風谷ダムは比較的流域面積が大きいこともあり、回転率は年間50程度ある。二風谷ダム管理所で実施している深度方向の定期水質観測結果では、水温が最も上昇する夏季で、しかも水深が最も深いダムサイト付近でも湖底における溶存酸素量は8.0mg/l程度あり、現在までのところ、深刻な水質上の問題は発生していない。

3. 流域特性と物質生産量について

(1) SSほか水質原単位の推定方法

ここでは表-1に示したダム流域の流入支川で定期的に行われている平水時流量観測、水質観測結果を用い、土地利用別、地質別の負荷量原単位の推定を試みた。まず、既往の水文・水質調査結果から観測所毎に流量と負荷量の関係式（ L - Q 式）を導き、年間の流量時系列資料を与えて年間の負荷量 L_n を求める。次に2. (1), (2)で取りまとめた地質状況、植生状況、負荷量 L を次式にあてはめ、最小二乗法を用い負荷量原単位 X を求める太田ら⁸⁾の方法で推定を行った。

$$L_n = AX \quad (1)$$

$$L_n = \begin{pmatrix} L_{1n} \\ L_{2n} \\ \vdots \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} A_{1w} & A_{1f} & A_{1r} \\ A_{2w} & A_{2f} & A_{2r} \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} X_w \\ X_f \\ X_r \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、 A は各土地利用別の面積(km^2)、添字の数字は流域、 w, f, r は例えば森林、畑、水田などの土地利用や地質構成を示す。 X は土地利用別の原単位ベクトル($\text{t}/\text{km}^2/\text{年}$)、 L_n は負荷量($\text{t}/\text{年}$)である。

(1), (2)式を解くことにより、分類項目別に年間どの程度の物質が流出するか、といった指標が得られる。

(2) 土地利用別（植生別）の負荷量原単位計算

入手した現存植生図の植生区分は50種類あり、未知数が多すぎるため、人工地、針葉植林、針葉樹、混交林、広葉樹、木本・草本混合、草地ほかの7種に整理して面積を求めた。更に、各々のダム流入河川において定期観測によって求められた負荷量を(1), (2)式に代入して原単位を求め、結果を表-3に示した。また、各々のダム流入河川において流量と負荷量の関係式（ L - Q 式）を決定し、2000年の流量資料を与えて年間の負荷量を求め、原単位から推定した結果と比較したものを図-4に示す。これらによれば、SSの発生は森林域で抑制されていることがわかる。また、推定した原単位は既往文献値⁹⁾とも概ね適

表-3 土地利用区分からの原単位推定結果

単位: ($\text{t}/\text{km}^2/\text{年}$)				
土地利用分類	COD	SS	T-P	T-N
人工地（ゴルフ場、住宅地、農用地）	6.0	10.0	0.020	0.25
針葉植林	3.0	5.0	0.015	0.15
針葉高木	4.8	5.5	0.030	0.35
混交林	5.0	4.5	0.010	0.28
広葉樹（広葉高木、広葉低木、二次林）	3.5	4.0	0.008	0.26
木本、草本混合	8.5	25.0	0.035	0.09
草地ほか	9.2	26.0	0.040	0.50

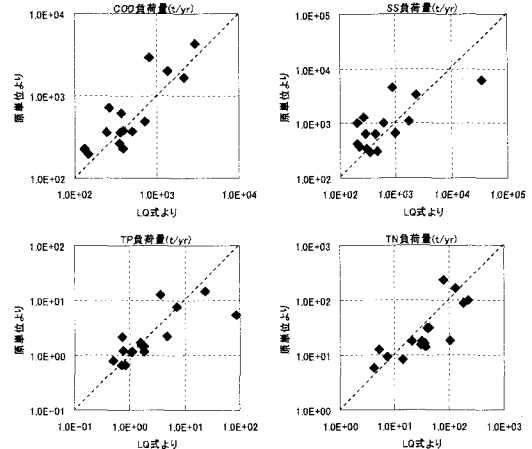


図-4 ダム流域毎の L - Q 式と原単位から推定した負荷量の検証（土地利用区分）

表-4 地質区分からの原単位推定結果

単位: ($\text{t}/\text{km}^2/\text{年}$)				
地質分類	COD	SS	T-P	T-N
未固結堆積物	12.1	6.0	0.010	1.40
半固結—固結堆積物	2.3	6.2	0.013	0.09
火山性岩石	1.1	4.0	0.015	0.46
深成岩類	4.9	19.2	0.061	0.03
変成岩類	3.2	21.9	0.030	1.70

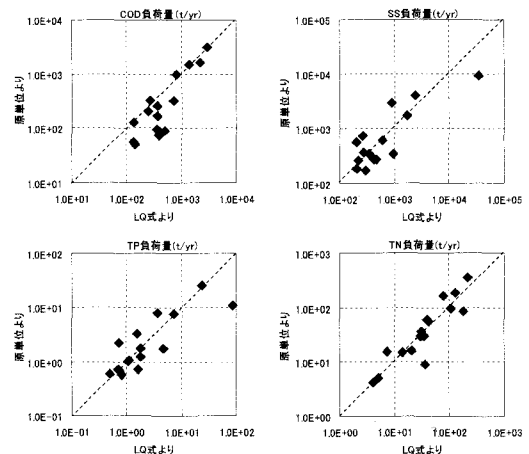


図-5 ダム流域毎の L - Q 式と原単位から推定した負荷量の検証（地質区分）

合している。

(3) 地質別負荷量原単位計算

入手した国土数値情報の地質データ(G01-56M)を、ダム

流域界で切り出し、ダム流域毎に地質を整理し、(2)と同様に L - Q 式及び原単位を求め、結果を表-4、図-5に示す。これらによれば、SSは深成岩類、変成岩類からの生産が高いという結果となった。

これまでに求めた水質の生産特性は平時に観測された資料により求められたものであるため、洪水時に大量に土砂が移動する現象を説明するには限界がある。このため、表-1で示された北海道内で最も堆砂量の多い沙流川で、洪水時の物質動態を解析してみることにした。

4. 沙流川の土砂生産特性

著者らは、沙流川において洪水時の流量、水質の同時観測を行い、二風谷ダムでの土砂収支をモニタリングしている。特に本年8月の台風10号による降雨量は二風谷ダム流域平均で334mmとなり、1962年にダム下流の平取観測所において観測された48時間流域平均雨量221mmの約1.5倍という記録的なものとなった⁶⁾。著者らは、本出水において、二風谷ダム上下流の観測所、主要な支川において洪水の連続観測を行った。

二風谷ダム貯水池では、1996.1～2002.11(6年11ヶ月、1996.7.1供用開始)までの実績の堆砂量の平均値が84万 m^3 /年程度ある。出水現象が堆砂に大きく関与している可能性が高いため、今回の出水事例を含む既往の洪水調査結果、既往の流域の崩壊状況調査、流域の水文環境の変遷に着目し、沙流川流域の土砂生産環境についての考察を行った。

(1) 貯水池内の土砂堆積の現状

二風谷ダム管理所では1996年の完成より、毎年貯水池堆砂測量を実施している。測量結果を基に距離あたり堆砂量を計算し、図-6に示す。これによれば、毎年、堆砂が進行しているが、特に本年8月に生じた出水直後に行った堆砂測量の結果、堆砂が大幅に進んだことが分かる。2001年2月に実施された堆砂ボーリング調査¹¹⁾において把握された堆積土砂の粒径を図-7に示す。堆積土砂の表層は元河床の粒径分布とは異なり、0.1mm程度のものが卓越し、粒度はダム堤体に近づくほど細粒分が多くなる傾向を示している。これはダム湖内に流入した土砂成分の内、細かいものがダム堤体近くまで運搬され、堆積したことを示唆しているものといえる。

(2) 洪水時の現地観測及び負荷量式係数の同定

著者らは、2001年より図-8に示す沙流川のダム上流支川から河口までの区間において、洪水時の流量観測、水質観測を行っている。特に、本年8月の台風10号による出水事例は最下流の富川観測所(沙流川橋)の計画高水流量(3,500 m^3/s)を超える4,556 m^3/s という規模となった。

ここで、1997年出水時の清水ら¹⁰⁾の調査結果に加え、2003年度8月までの洪水時の連続観測データのうち、SSと流量の関係を図-9にプロットし、(3)式に示される負荷

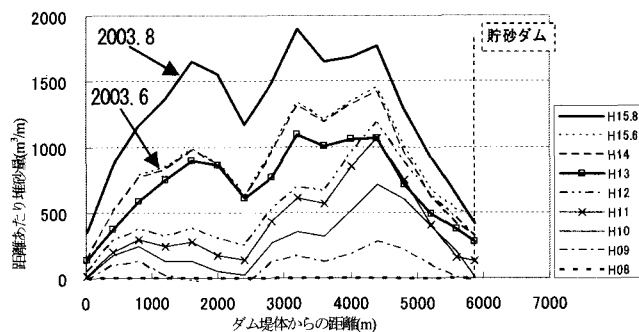


図-6 二風谷ダム距離あたり堆砂量経年比較

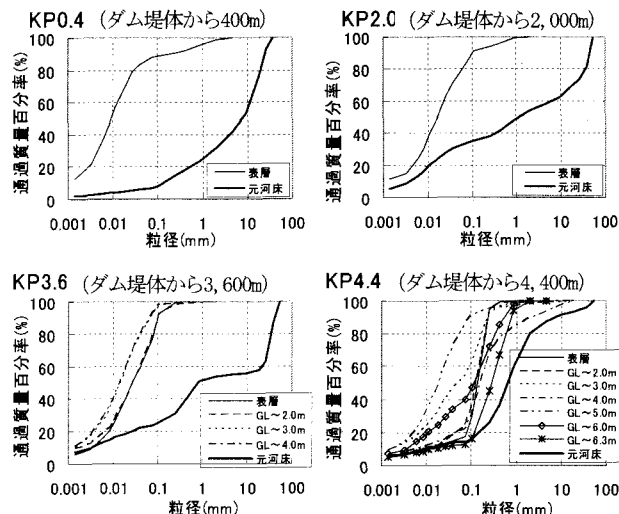


図-7 二風谷ダム貯水池内の堆積土砂の粒度分布

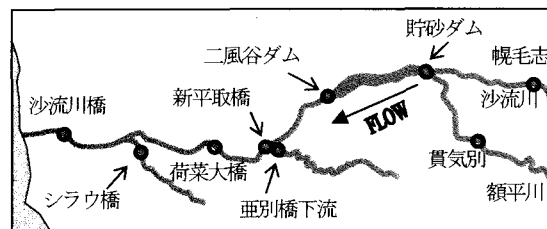


図-8 沙流川における洪水時の観測地点

量式の係数を求めた結果を表-5に示す。負荷量が流量規模で変化しているため、便宜上、2本の負荷量式を設定し、閾値を境に負荷量式を変えて係数の同定を行った。

$$L=aQ^b \quad (3)$$

ここで、 L : 負荷量(kg/s)、 Q : 流量(m^3/s)、 a, b は係数である。

(3) ダム完成から現在までのダム貯水池土砂収支

北海道開発局より提供を受けた水文・ダム諸量資料の1998年から本年8月出水後までの時刻流量データを用い、(3)式に表-5の係数を適用して各々の地点でのSS負荷量の総量を算出し、ダム貯水池における土砂収支を計算した。

ここでは、堆砂測量から得られた土砂量と L - Q 式で計算された土砂量の体積を比較するため、次の(4)、(5)式によって土砂の体積を求めた。堆積土砂の重量含水率 λ (%)と体積 V が既知の場合の土砂の体積 V_s (m^3)は(4)式で表わ

される。

$$V_s = \frac{\left(1 - \frac{\lambda}{100}\right)V}{1 + \frac{\lambda}{100}(\rho_s - 1)} \quad (4)$$

一方、流入土砂の重量 L_{ss} はSSと流量の関係式 (L - Q 式) に流量時系列資料を代入することで求めることができるので、土砂の体積 V_{ss} は(5)式で計算できる。

$$V_{ss} = L_{ss} / \rho_s \quad (5)$$

ここで、 V :土砂の湿潤体積(m^3)、 L_{ss} :土砂の重量(t)、 λ :重量含水率(水重量/湿潤試料重量、%)、 ρ_s :土砂の単位体積重量(tf/m^3)である。

図-10に、実績堆砂量に含水率を加味して求めた土砂体積 V_s と、SSの L - Q 式から求めたダム貯水池における土砂体積 V_{ss} の経年比較を示す。 V_{ss} は貯砂ダムから流入したSSの土砂体積からダム放流分のSS土砂体積の差し引きで求めた。ここで、 ρ_s を2.65、 λ を実測値¹¹⁾を基に40%とした。1998年以降、実績の堆砂量から求めた土砂体積と L - Q 式によって求めた土砂体積は概ね適合していることが分かる。なお、本年8月出水後の実績と計算の土砂体積に差が見られるのは、堆砂測量が洪水直後であり、土砂が十分締固っていないこと、採水だけで捉えきれない掃流砂があったこと、などが考えられる。

図-11は1997年～2002年までのダム貯水池における水収支の平均値と、同期間の流量資料を L - Q 式に代入して求めたSSの重量を(5)式で土砂体積 V_{ss} に変換し、収支を求めた結果を示す。ダム貯水池には1,522百万 m^3 /年の流入量がある一方、SSは487千 m^3 /年が流入し、205千 m^3 /年が流出、差し引き282千 m^3 /年が堆積する結果となった。また、1997～2002年までの実績の平均堆砂量837千 m^3 を(4)式で土砂体積に換算すると303千 m^3 となり、 L - Q 式による方法でもダム貯水池の堆積土砂量を概ね再現可能であるといえる。

なお、洪水時のT-N、T-Pについての挙動について筆者らが報告している例¹²⁾では、総窒素の大半が貯水池を通り、懸濁物に付着している総リンの約半量がダム貯水池に堆積するという収支が推算されている。

(4) 沙流川流域における崩壊地面積の変遷

1955年(米軍)、1989年、1993年の3年次における沙流川流域の崩壊地読み取り結果¹³⁾に加え、本年8月出水直後に計測された額平川の崩壊地面積を図-12に示す。額平川に着目すると1955年から1989年にかけて崩壊地面積の増加は少ないが、1993年に前年の出水の影響による崩壊地の増加が見られ、2003年8月出水後には崩壊地面積が突出する結果となった。1992年8月出水における土砂生産量の

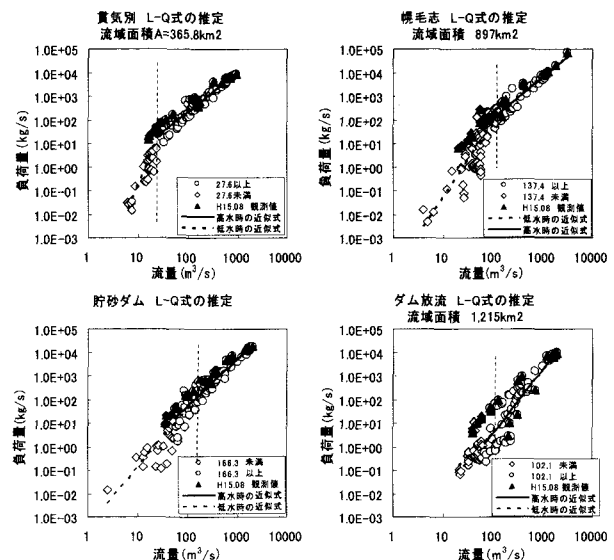


図-9 二風谷ダム貯水池前後における負荷量式

表-5 負荷量式の係数

地点名	流量 閾値	低水流量時		高水流量時	
	m³/s	a	b	a	b
貫気別	27.6	2.01E-06	4.92	0.085	1.71
幌毛志	128.5	3.85E-05	3.14	0.029	1.78
貯砂ダム	166.3	3.86E-04	2.53	6.03E-03	1.99
放流口	102.1	3.56E-04	1.99	9.51E-06	2.78
平取	133.7	2.30E-05	2.82	1.85E-04	2.39
富川	175.0	2.40E-06	3.4	6.40E-03	1.84

ここで、 a, b は負荷量式 $L=aQ^b$ の係数、 L は負荷量(kg/s)、 Q は流量(m^3/s)。

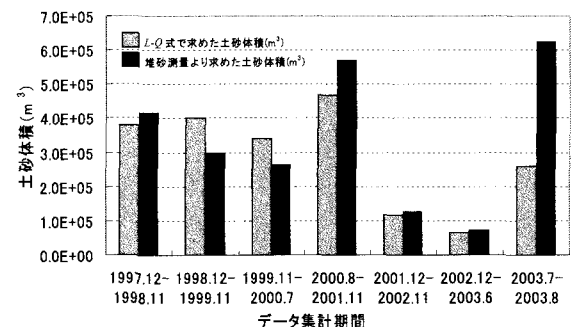


図-10 実績と L - Q 式で推定した土砂体積比較

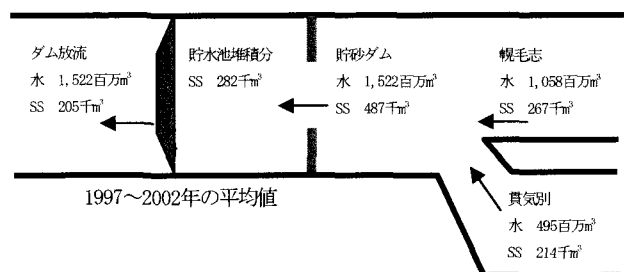


図-11 年間の水収支及びSS収支 (1997-2002の平均)

推定値と崩壊地面積を表-6に示す。2003年8月の出水時の流量資料を用い、表-5の係数を用いて土砂量を(3)式及び(5)式で計算すると、SSの土砂体積は幌毛志で482千 m^3 、貫気別で397千 m^3 となる。ピーク流量も幌毛志で1,567 m^3/s 、貫気別で2,423 m^3/s と、1992年のイベントを大きく上回っ

た。

図-13に示す様に本年8月と1997年8月の出水において観測された比流量とSS濃度の関係は反時計回りの関係を示した。これは2001年のやや小さめの出水例とは逆の傾向であり、出水による土砂供給源の拡大、例えば斜面崩壊や溪畔侵食、新たな堆積物からの土砂流出を示唆するものと考えられ、今後も継続してデータを収集し、検証していきたい。

5. 結論

得られた結果を以下に示す。

- 1) ダムに流入する小支川のデータ、各種データベースを活用し、北海道におけるダム流域の植生、地質に関する水質原単位を推定し、ダム流域の土地利用、地質条件の水質への影響が明らかになった。
- 2) 洪水時の連続観測結果を用いた $L-Q$ 式により、二風谷ダム貯水池の土砂収支を比較的精度良く推定することができた。ここで紹介した手法はダム貯水池の土砂収支を見積もる上で、有効な手段と言える。
- 3) 2003年8月の出水後は崩壊地が急増していたことが確認された。また、洪水時の比流量-SS濃度曲線のループは土砂生産源の拡大を示すものとして注目でき、崩壊地拡大との関連が推測される。

3)については、2003年8月出水直後の航空垂直写真や、人工衛星写真（IKONOS）を用い、沙流川における洪水前後の崩壊地の変遷を調査中であるほか、流域の地質、斜面特性、降雨分布特性などから崩壊地の発生要因や崩壊土砂量、流木収支について明らかにしていきたい。

謝辞：本研究は国土交通省北海道開発局の受託業務による補助を受けて行ったものである。また、北海道開発局河川管理課、二風谷ダム管理所、沙流川ダム建設事業所、室蘭開発建設部治水課からは貴重なデータの提供を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 流砂系の総合的な土砂管理に向けて、河川審議会総合土砂管理小委員会報告, Oct, 1998.
- 2) 中村良光: 富士川における流域一貫した土砂管理の取組み、一上流部を中心として、土木技術58巻8号, pp29-34, Aug, 2003.
- 3) 上原信司: 姫川における流域一貫した土砂管理の取組み、土木技術58巻8号, pp40-46, Aug, 2003.
- 4) 社) 土木学会エネルギー小委員会, ダム貯水池堆砂・濁水問題への取り組みと課題, Jul, 2001.
- 5) 角哲也ほか, 差圧測定による浮遊砂濃度計測システムの開発, ダム工学, Vol.11 No.3, 2001.
- 6) 室蘭開発建設部, 台風10号による出水について（速報第2報）, <http://www.mr.hkd.mlit.go.jp/>
- 7) 三田地利之, 池浦勲: 北海道の土質工学的特長, 土と基

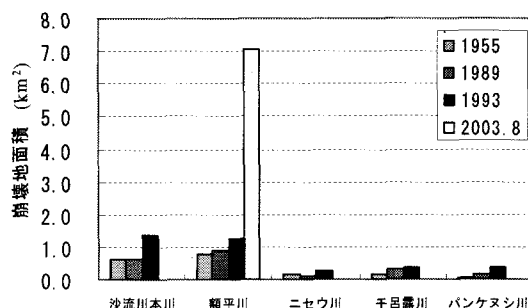


図-12 沙流川流域崩壊地面積経年比較

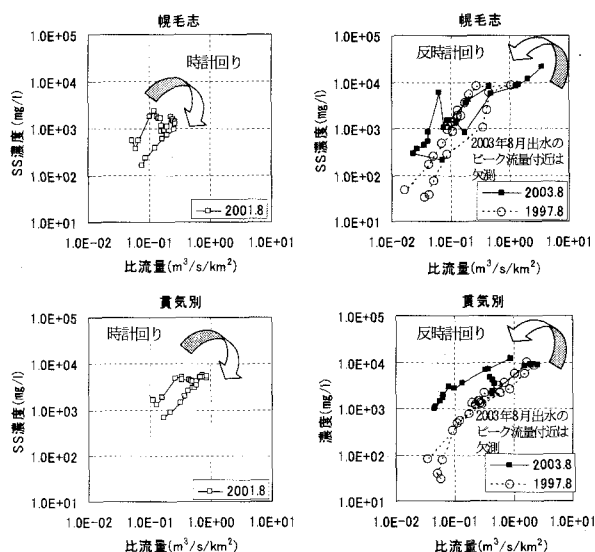


図-13 SS濃度-比流量の関係

表-6 1992年8月出水における土砂量の計算と崩壊地

	幌毛志 (振内 ²⁾)	貴賀別
ピーク流量 m^3/s	1,114	1,567
ピーク流量生起時刻	1992/8/9 19:00	1992/8/9 20:00
期間中総流入量 km^3	102,583	58,283
土砂量 ¹⁾ km^3	180	150
崩壊地面積 ²⁾ km^2	1.36	1.24
流域面積 km^2	897.0	365.8

注1) 1992/8/9 10:00～1992/8/12 04:00までの流量資料を $L-Q$ 式に適用してSS重量を求め、重量(tf)/単位堆積重量(tf/m³)で土砂体積を計算。

注2) 1993年の航空垂直写真読み取り

注3) 1992年は振内観測所のデータを使用

礎, Vol.37.No.9, pp3-6, 1989

- 8) 太田陽子, 中津川誠: 出水時を含む水質成分負荷量と流域土地利用との関係について, 水工学論文集, 第46巻, pp887-892, 2002.3.
- 9) 和田安彦: ノンポイント汚染源のモデル解析, 技報堂出版, pp77-86, Jul, 1990.
- 10) 坊野聡子, 清水康行, 斉藤大作: 沙流川の流砂について, 平成10年度土木学会北海道支部年次学術講演会, 論文報告集(II, IV, VII部門), pp278-283, Feb. 1999.
- 11) 平成12年度二風谷ダム直轄堰堤維持の内流域土砂挙動調査業務報告書, 室蘭開発建設部, Mar. 2001.
- 12) 村上泰啓, 中津川誠, 高田賢一: 沙流川における洪水時負荷量観測とダムへの水環境の影響について, 河川技術論文集, pp511-514, Jun. 2003.
- 13) 室蘭開発建設部, 平成14年度沙流川総合開発事業の内沙流川土砂生産調査検討業務, pp3-114, Mar. 2003.

(2003.9.30受付)