

豪雨による斜面崩壊で生産された土砂量の推定と 河道における動態

THE ESTIMATION OF THE SEDIMENT DISCHARGE OF SLOPE FAILURE TRIGGERED
BY THE TORRENTIAL RAIN AND ITS DYNAMICS IN THE RIVER CHANNEL

村上 泰啓¹・中津川 誠²・高田 賢一³

Yasuhiro MURAKAMI, Makoto NAKATSUGAWA and Ken-ichi TAKADA

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 engineering objective of this research is to understand the processes of sediment transport and its spatial and grain-size distribution for preventing flood disaster as well as conserving river environment. To address this concern, we are conducting field survey on Saru river basin since 1997 to measure discharge and various water quality items. In August 2003, Hidaka subprefecture was ravaged by torrential rains and this event triggered over 4,000 slope failure occurred in Nukabira river basin, a tributary of the Saru River (a Class-A river). The disaster of this flood, huge amount of driftwood and muddy flow inundated resident area and farmland, made strong social concern. This paper summarizes brief overview of this flood and investigation result using remote sensing data and field survey. Finally we found the followings: (1) 30% of the slope failure reaches stream and injected sediment. Sediments from slope failure was deposited on upper reaches and carried downstream by the flow as washload. (2) 90% of the newly deposited sediment at dam reservoir was washload which under 0.2mm grain size.

Key Words : Field survey, Sediment transport, Slope failure, grain size distribution

1. はじめに

山地流域における土砂動態の把握は総合的土砂管理¹⁾を進める上で極めて重要といえる。一般に、土砂は山腹斜面、溪岸、河岸から河川に入り、河道を移動して海に到達するといえる。しかし、豪雨時の斜面崩壊によって河道に流入した土砂は、その後の降雨による出水によって粒径や勾配に応じて堆積、再移動を繰り返す。このような流域全体の土砂移動を把握するためには、平常時及び大規模な出水時に流域全体を調査する必要があるが、特に出水時には表面採水で把握可能な浮遊土砂を除き、流域全体にわたる土砂移動量の把握は極めて困難といえる。現在、降雨の斜面流出を考慮した流域土砂動態推定^{2),3)}の試みもなされており、河川管理を考える上で、今後、降雨の時間・空間スケール、土砂の粒径分布、ダム構造物などを考慮した土砂動態予測モデルの開発が望まれる。

豪雨により流域で発生した崩壊地と崩壊土砂量及び河道での堆積量については、既往調査^{4),5)}で流域内の発生土砂量と河道での土砂収支を求める試みがなされているが、質(粒径)の空間的動態については明らかにされていない。

い。また、国土交通省では国内の一級河川で粒径別の土砂動態マップ⁶⁾を作成しているが、これは出水時の流砂観測を元にしたもので、大量に土砂が供給された後の河道での土砂動態までは明らかにされていない。

2003年8月、一級河川沙流川流域周辺では台風10号の影

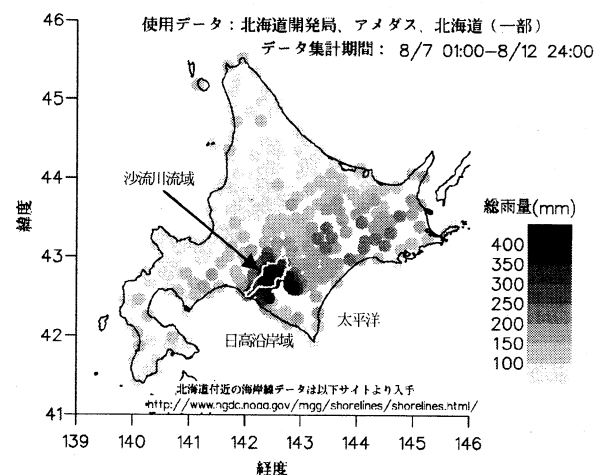


図-1 台風10号による全道降雨状況
(国土交通省、アメダスの降雨データ使用)

響により活発化した前線により豪雨がもたらされ、多くの橋梁や農地が被災し、人命が失われた。沙流川河口から上流約20kmに位置する二風谷（にぶたに）ダム貯水池では、5万 m^3 に及ぶ流木が堆積し、貯水池内には平年値⁷⁾の2年分に相当する土砂が堆積した。著者らは二風谷ダム貯水池直上流で合流する支川額平（ぬかびら）川（流域面積384 km^2 ）で崩壊地調査を行ったところ、新規崩壊地が4,000箇所を超えたことが判明⁷⁾した。

筆者らは既往報告⁷⁾において、額平川流域で発生した崩壊地の変遷と発生土砂・流木量の推定を行っており、ここでは崩壊地から発生した土砂が二風谷ダム貯水池に至るまでの量（土砂体積）と質（粒度分布）に着目した整理を行なった結果について報告する。

2. 既往調査で判明した崩壊土砂量・流木生産量

(1) 額平川流域で発生した崩壊地及び変遷

図-1には2003年8月7日1時から12日24時までの国土交通省管轄（北海道開発局、アメダス）の雨量観測所における総降雨分布を示す。沙流川流域周辺では300mmを超える豪雨（沙流川最下流の富川観測所における流域平均降雨量で324.1 mm ⁸⁾）がもたらされた。二風谷ダム直下流に位置する平取水流量観測所（ $A=1,253\text{km}^2$ ）では1962年観測以来最大の年最大48時間流域平均降雨量（306.2 mm ⁷⁾）を記録した。この際の最大ピーク流量は、1992年8月に観測された既往最大流量（1992年8月9日21:00における平取地点の流量3,308 m^3/s ）の約2倍の6,353 m^3/s （2003年8月10日01:50における二風谷ダム貯水池における最大流入量⁸⁾）を記録している。

出水後に額平川流域を含む沙流川中流域で撮影した航空写真から崩壊地読取を行なった結果、新規あるいは拡大した崩壊地は4,173箇所に達した。崩壊地分布を図-2に示す。図-3に1955年以降の額平川流域の崩壊地面積及び崩壊地面積率の変遷を示す。この図は、既往資料⁹⁾に、筆者らが実施した1998-1999年の林野庁撮影分、2001-2002年の人工衛星画像（IKONOS）、本イベント直後の崩壊地面積判読結果の計3世代分を加えたものである。これにより、本イベント後の崩壊地面積は直近年まで値の概ね3.6倍に達していたことが分かる。

(2) 崩壊地発生要因

崩壊地の発生要因について、筆者らが行なった多変量解析（数量化理論Ⅱ類）結果⁷⁾によれば、崩壊地は最大1時間雨量、地質、斜面角度、斜面方向、総雨量の順に寄与率が高い結果となった。従来より沙流川流域は土砂生産の多い河川と言われてきたが、特に日高山脈の最高峰幌尻岳を源頭部に持つ額平川流域は、図-4に示される様に白亜系¹⁰⁾から新第三系¹⁰⁾までの堆積物・変成岩類を含み、大まかに以下のように分類される。

1) 下流域：額平川下流域には新第三紀堆積岩類（N-S）が広く分布する。地形は段丘面となだらかな丘陵が発達している。

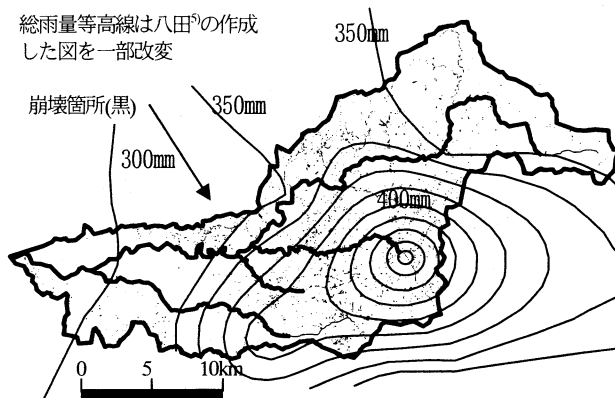


図-2 額平川流域の崩壊地及び総雨量分布⁵⁾

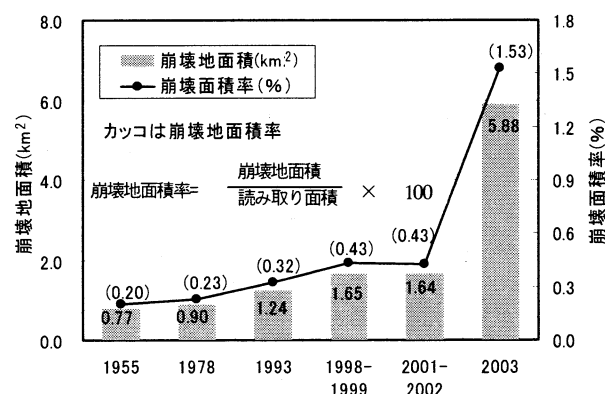
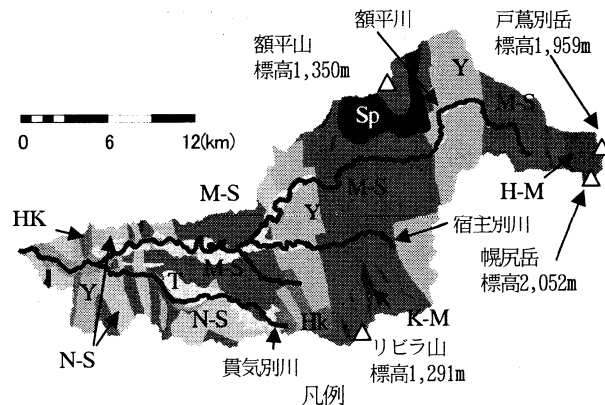


図-3 額平川流域の崩壊地面積の変遷⁵⁾



T	段丘崖錐:未固結の粘土、砂、礫
N-S	新第三紀堆積岩類:固結度の低い泥岩、砂岩
HK	函淵層群:固結度の高い砂岩、礫岩
Y	蝦夷層群:固結度の低い泥岩、砂岩
M-S	中生代-古第三紀堆積岩類:比較的固結度の高い泥岩、砂岩、凝灰岩、緑色岩
H-M	日高変成岩類、深成岩類:固結度の非常に高い超塩基性岩類（かんらん岩など）
K-M	カムイコタン変成岩及び異地性岩塊:固結度やや高い砂岩、粘板岩、凝灰岩、チャート
Sp	蛇紋岩

図-4 額平川地質分布図

2) 中～上流域：中生代-古第三紀の堆積岩類（M-S）、蝦夷層群（Y）、函淵層群（HK）、カムイコタン変成岩類（K-M）が南北方向の帯状に交互に分布し、これらの地層に不規則な形

- :2002年及び出水後(2003.11)河床材料調査地点(○数字で記載した箇所)
- :2003年8月出水前後河床材料調査地点(7月,11月)
- :2004年8月総主別川崩壊土砂河床材料調査地点(a,bの2地点)

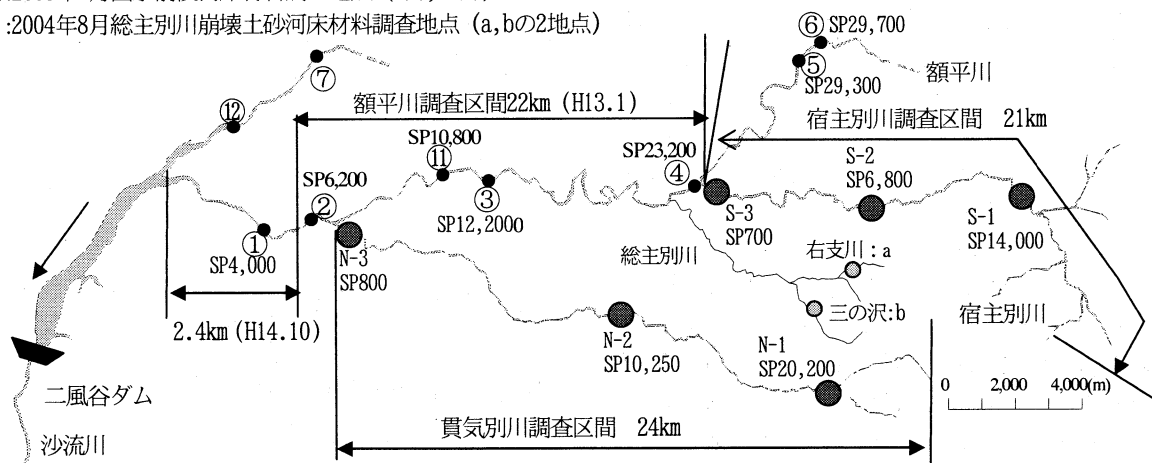


図-5 二風谷ダム上流部河道における現地踏査区間及び河床材料調査地点

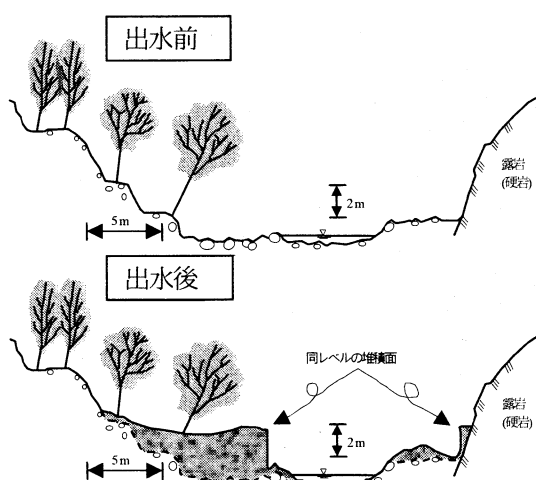


図-6 簡易横断面図による出水前後の河床形状比較例¹¹⁾

状で蛇紋岩が分布している。全体的に比較的急峻な山地地形を呈しているが、蝦夷層群分布域ではやや傾斜の緩い山地を形成している。

3) 源流域: 標高約1000m以上の源流域は比較的急峻な山地であり、日高変成岩類及び深成岩類が分布する。

(3) 額平川流域の土砂生産量の推定

崩壊土砂量の推定にあたっては、本来であれば崩壊地個々の崩壊深を調査する必要があるといえるが、4,000箇所を超える崩壊地の現地踏査は現実的とはいえないため、本イベント後の現地調査で得られた地質別の崩壊深¹¹⁾を乗じ、流域全体での崩壊土砂量を推定⁷⁾した。これによれば、額平川流域全体では約800万 m^3 の土砂量が発生し、この約3割に相当する250万 m^3 が河道に連なった崩壊地で発生したと推定された。

3. 河道の堆積浸食量

(1) 現地踏査による河道堆積・浸食量の推定

ここでは、額平川流域でも特に降雨量が多かった図-5に示す主要な2支川(宿主別川、貫気別川)の本イベント

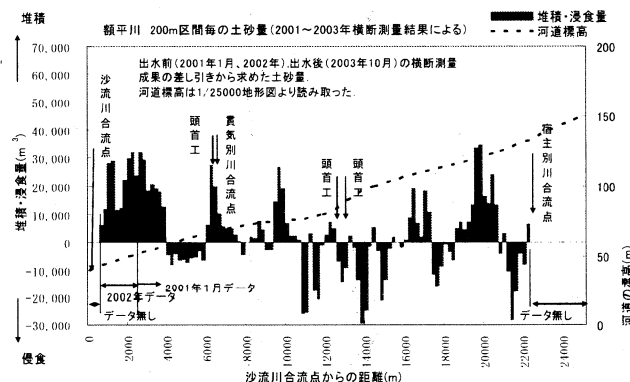
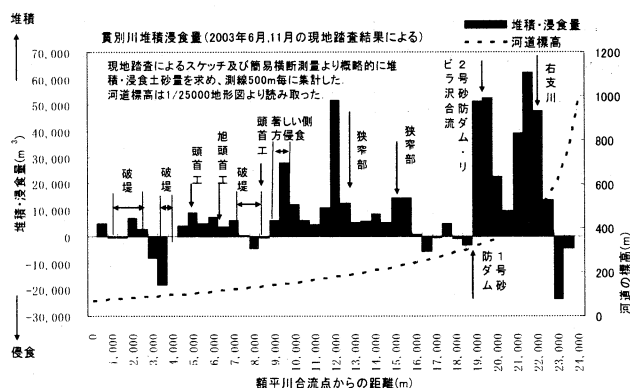
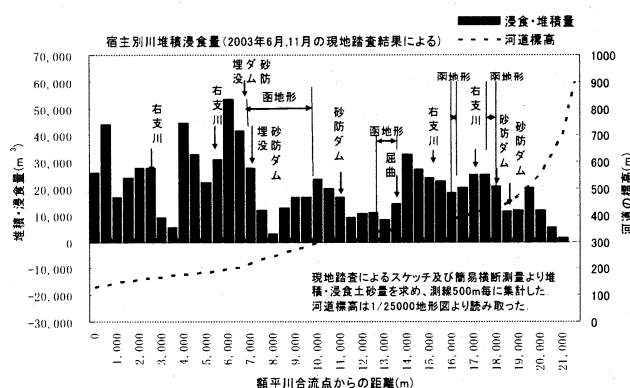


図-7 額平川及び主要支川の堆積・浸食縦断面図(正值が堆積、負値が浸食を表す)

前後(7月,11月)に北海道開発局室蘭開発建設部による調査資料¹¹⁾と額平川における出水前後(2001~2003年11

月)の横断測量資料等を元に、崩壊地から発生した土砂量、河道の堆積量の縦断分布を求めた。宿主別川と貫別川の堆積・浸食量の推定は、出水前後に行なった現地踏査時に作成された河道沿いの詳細なスケッチ及び簡易横断図(図-6)を元に、推定した。額平川の堆積・浸食量は横断図の比較により変化した断面積を求め、断面間の距離を乗じて求めた。以上の結果を整理し、図-7に示した。

表-1に各調査区間における堆積量・浸食量を示す。これによれば、宿主別川では全般的に河床が堆積傾向にあり、約74万 m^3 の河道堆積量と推定された。貫気別川では堆積量61万 m^3 に対し、浸食量が21万 m^3 、差し引き40万 m^3 の河道堆積量と推定された。額平川では堆積量が148万 m^3 に対し、浸食量が134万 m^3 、差し引き14万 m^3 の河道堆積量となった。なお、図-7などを見ても、今回の様なイベントでは全般的に堆積が起きていて、砂防ダムなど構造物の下流で特に浸食が卓越しているような傾向は認められなかった。

(2) 分割流域毎の崩壊土砂量の推定

現地踏査成果、横断測量成果の比較により、河道別に堆積・浸食量が求められた。次に、調査区間を参考に、図-8の様に流域を分割し、それぞれについて崩壊土砂量を整理し、河道堆積量とともに表-2のように整理した。これによれば、宿主別川・貫気別川流域では崩壊土砂量の約35%が河道に堆積し、額平川河道調査区間全体では全崩壊量800万 m^3 の約20%程度が堆積している結果になった。

(3) 河床材料粒度組成の出水前後での変化

図-5に示した宿主別川における3地点(S-1~S-3)、貫気別川における3地点(N-1~N-3)、額平川における①~⑫の7地点における、出水前後の河床材料調査資料の粒径加積曲線を用い、 $d \leq 0.2\text{mm}$ 、 $0.2\text{mm} < d \leq 10\text{mm}$ 、 $10\text{mm} < d$ の3区分の粒径範囲で河床材料の割合を整理したものが図-9である。吉川¹²⁾は0.1~0.2mm以下の粒径をウォッシュロードと扱って妥当であるとしており、ここでは0.2mm以下の

表-1 調査区間の堆積・浸食量の推定値

	堆積量	浸食量	差引
宿主別川	74	-	74
貫気別川	61	21	40
額平川	148	134	14

単位万 m^3

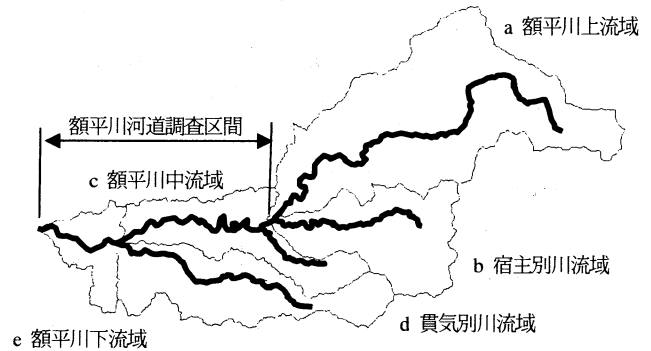


図-8 額平川流域分割図

表-2 調査区間における崩壊土砂量と河道堆積量

	1.崩壊土砂量(万 m^3)	2.河道堆積(万 m^3)	土砂貯留率* (%)
a 額平川上流域	340 (230)	未調査	-
b 宿主別川流域	210 (140)	74 (50)	35 ($=b_2/b_1$)
c 額平川中流域	120 (80)	2.2 (1.5)	11 ($=(b_2+c_2)/(a_1+b_1+c_1)$)
d 貫気別川流域	110 (75)	40 (27)	36 ($=d_2/d_1$)
e 額平川下流	20 (14)	35 (24)	-
f 合計	800 (540)	150 (100)	19 ($=f_2/f_1$)

※ 土砂貯留率は対象エリア上流域の支川の崩壊土砂量に対する河道堆積量の比率。数式の英文字は流域、サフィックスは崩壊土砂量と河道堆積量を表す。数値の下段括弧は土砂の実質体積^{※※)}。

※※ 実質土砂体積=土砂体積 $\times 1.8$ (t/ m^3) / 2.65 (t/ m^3)

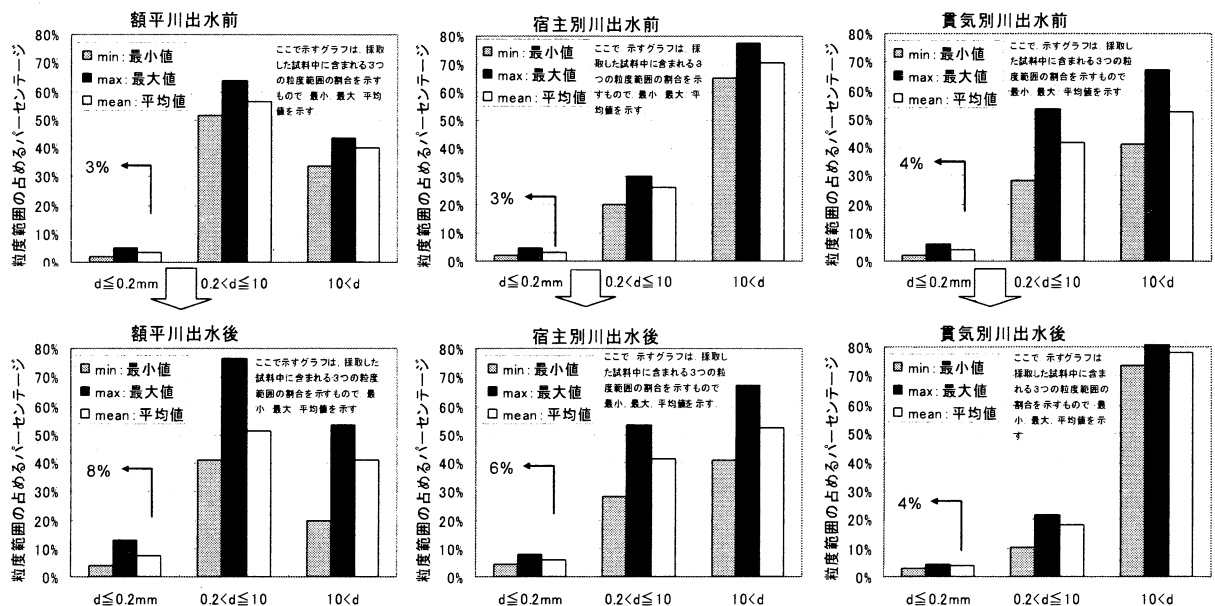


図-5に示した⑥⑤④③①②①の7地点の粒度分析結果を使用

図-5に示したS-1、S-2、S-3の3地点の粒度分析結果を使用

図-5に示したN-1、N-2、N-3の3地点の粒度分析結果を使用

図-9 額平川、宿主別川、貫気別川の出水前後における粒度組成の変化

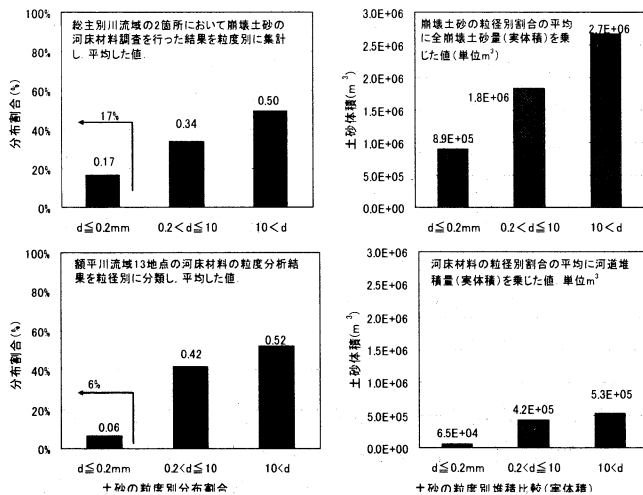


図-10 崩壊土砂の粒径別比率と実体積の量的比較

成分の割合が非常に低い点が共通している。本年、額平川流域の支川総主別川最上流部の崩壊地崖錐土砂の粒度分布を調査(図-5のa及びb地点)したところ、0.2mm以下の成分の割合が平均で17%(図-10)程度あることが判明した。河道沿いの調査地点における河床材料に0.2mm以下の成分が少ない(3~8%)のは、崩壊土砂の一部がウォッシュロードとして流下していることを示唆しているものと考えられる。このため、次に額平川下流部での浮遊砂量の推定を行ない、ウォッシュロードの流下量の推定を行った。

(4) L-Q式による額平川流域からのSS流下量の推定

著者らは1997年より沙流川中下流域における出水時の浮遊砂の負荷量調査を行っており、額平川下流部の貫気別水位流量観測所におけるSS-流量のL-Q式⁷⁾が得られている。このL-Q式に本イベントにおける流量時系列資料を逐次代入してSS負荷量の総量を算出し、貫気別地点およびダム貯水池周辺におけるSSの収支を計算した結果、貫気別観測所におけるSSの通過量は約48万 m^3 であると推定された。

(5) 二風谷ダム貯水池内の堆積土砂の粒度組成

二風谷ダム貯水池では、毎年秋季に堆砂測量が実施されているが、2003年には出水前の6月と出水後の9月に堆砂測量が実施され、ダム堆砂の河床材料調査も出水前後で実施⁴⁾された。これらの資料を用い、貯水池内に堆積した土砂の粒径別の内訳を分析し、図-11に示す。これによれば、堆積量の88%が0.2mm以下の成分で、12%が0.2mmより大きい粒径の成分であった。これは、崩壊土砂から供給された成分の一部が貯水池内で沈降堆積したのと考えられる。

4. 額平川流域における土砂動態の推定

以上、流域全体の崩壊土砂量、河道における堆砂量、ダム貯水池における堆砂量とこれらの粒度分布の関係を知り得た範囲で分析した結果、本イベントにおける額平川流域の土砂動態を次のように整理できる。

(1) 額平川流域の土砂動態

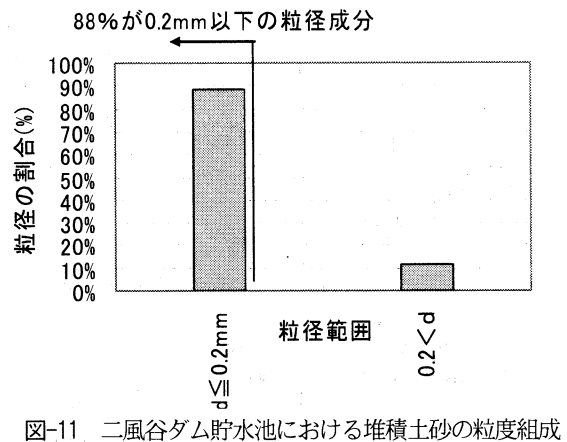


図-11 二風谷ダム貯水池における堆積土砂の粒度組成

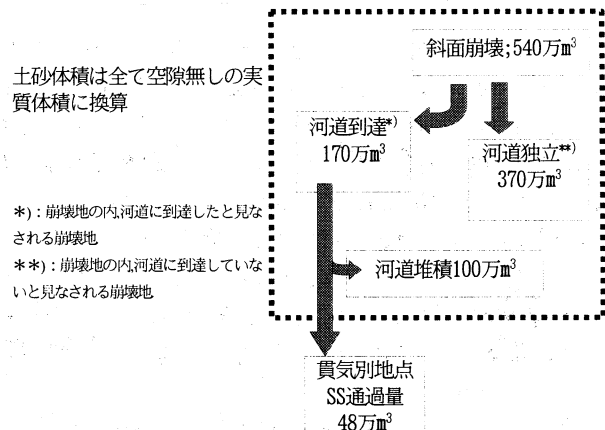


図-12 本イベントにおける額平川流域の土砂動態(推定)

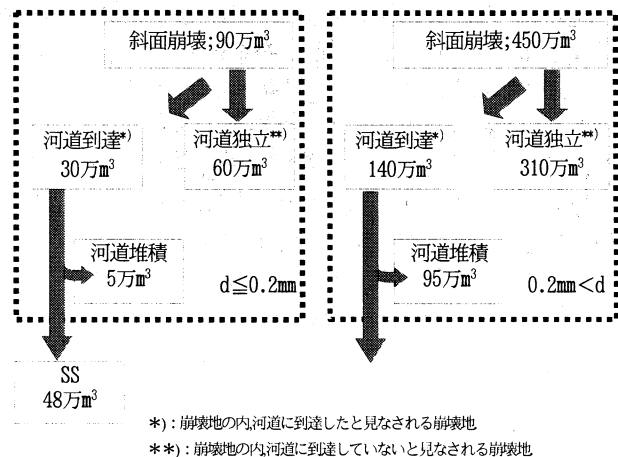


図-13 額平川流域の粒径別土砂収支図(推定)

斜面崩壊で発生した土砂量は空隙を含んでいるため、崩壊土砂体積に地山の単位体積重量 $1.8\text{t}/\text{m}^3$ ¹³⁾を乗じ、土粒子の単位体積重量 $2.65\text{t}/\text{m}^3$ で除することで、空隙無しの土砂の実質体積を求め、図-12に本イベントにおける額平川流域の土砂動態を整理した。まず、宿主別川、貫気別川流域の崩壊土砂量の約35%(表-2の土砂貯留率参照)が河道に堆積していた。額平川、宿主別川、貫気別川の河道調査区間には約100万 m^3 (実質体積)の土砂が堆積しており、貫気別観測所のSSの通過量約48万 m^3 と合わせると約150万 m^3 となり、河道にリンクした崩壊土砂量(実質体積170万 m^3)のほとんどが崩壊地から流出したといえる。

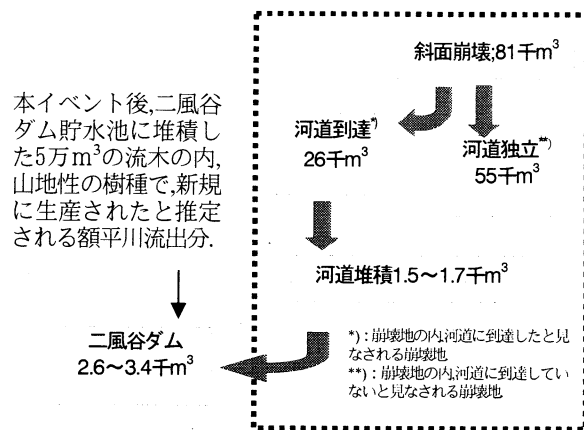


図-14 額平川流域の流木動態（推定）

図-13は図-12で明らかになった土砂収支を図-10で得られた粒径別の割合を適用し、0.2mm以下とそれ以上の土砂で流域での土砂収支を整理したものである。これによれば、0.2mm以下の土砂は河道到達した土砂量（30万m³）に比べ、流域外に流出した量（48万m³）の方が多く結果となった。これは0.2mm以下の土砂供給源として、氾濫や河岸決壊なども考慮する必要があるを示唆しているが、いずれにしても細かい粒径成分はほとんど流出し、それがダム貯水池に堆積した土砂の9割に達している事実によって裏付けられている。

今回のイベントでは、土砂とともに大量の流木が流出したことによる被害が深刻であったため、参考までに筆者らが推定⁷⁾した流木の収支を図-14に示す。これによれば、流域全体で発生した流木量は81千m³であり、崩壊地で発生して河道に到達した流木量はその約3割に相当する26千m³であった。崩壊地から発生して河道に到達した流木のうち、約1割が貯水池に流出したという結果が得られた。

なお、今回額平川流域で発生した流木量81千m³（空体積）を発生土砂量800万m³（地山）で除すと、約0.01となる。これは既往知見¹⁵⁾の生産流木量と生産土砂量の比を表す係数0.02とほぼ同様の傾向であると確認できた。

5. 結論

以下に結論を示す

- ・ 本イベントにより、額平川で発生した崩壊土砂量は実質体積で約540万m³と推定され、そのうち、河道に到達した崩壊地で発生した土砂量は3割であり、そのほぼ全量が河道堆積やSSの形で流出したと考えられる。
- ・ 出水後の現地調査で得られた河道の河床材料調査で得られた粒径分布のうち、0.2mm以下の細流分の割合は数パーセントであった。これは崩壊地直下で採取された崩壊土砂における細粒分の割合（17%）よりも少ない。これは0.2mm以下の土砂が出水時に下流に流下したことによるものと考えられる。
- ・ 本イベント後に実施された二風谷ダム貯水池の堆砂

測量結果、河床材料調査を用い、堆積土砂の粒径別割合を推定した結果、ダム貯水池に堆積した土砂の内、0.2mm以下のものが9割に達していたことが把握された。これは崩壊土砂と河道堆積土砂の粒径別収支からも裏付けられた。

- ・ 額平川流域からSSとして流出した量は約48万m³であるが、河道に到達した崩壊地に含まれる0.2mm以下の土砂量よりも多く、収支上は別な供給源を考慮する必要がある。

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) ウォンササニット, 清水康行, 村上泰啓: 2003年台風10号による北海道日高地方河川の洪水流出及び土砂動態特性について, 水工学論文集, 第48巻, pp. 1099-1104, 2004.
- 3) 高橋保, 井上基行, 中川一, 里深好文: 山岳流域における土砂流出の予測, 水工学論文集, 第44巻, pp. 717-722, 2000.
- 4) 河川, 社団法人日本河川協会, pp. 10, 1998. 11
- 5) 清水収, 土砂収支解析による流域土砂輸送の時空間特性に関する研究, 北海道大学農学部演習林研究報告, pp. 123-215, 1988
- 6) 流砂系における土砂移動実態に関する研究, 土木技術資料 45-3, pp. 26-31, 2003.
- 7) 平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書, 土木学会水工学委員会, pp. 55, 2004
- 8) 平成15年8月8日～10日洪水 鶴川・沙流川洪水報告書(速報), 国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部, 2003. 9.
- 9) 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, 4, 2003. 3.
- 10) 日本の地質北海道地方, 日本の地質『北海道地方』編集委員会編, 共立出版株式会社, pp. 16及びpp. 100, 1998. 6.
- 11) 室蘭開発建設部, 沙流川総合開発事業の内沙流川土砂生産調査検討業務, 2004. 3.
- 12) 吉川秀夫, 流砂の水理学, 丸善, pp. 142, 1985. 7
- 13) 新・斜面崩壊防止工事の設計と実例, 急傾斜地崩壊防止工事技術指針作成委員会編, 建設省河川局砂防部監修, 1996. 11
- 14) 平成15年度二風谷ダム湖内調査業務報告書, 北海道開発土木研究所河川研究室, 2004. 2.
- 15) 流木対策指針(案)計画編, 建設省河川局砂防部, pp. 9, H12. 7

(2004. 9. 30 受付)