

数値計算結果に基づく 除石による砂防ダムの機能回復の評価

ESTIMATION OF SEDIMENT RUNOFF CONTROL USING CHECK DAMS
AFTER REMOVING DEBRIS BASED ON NUMERICAL SIMULATION

本田尚正¹・奥村武信²

Naomasa HONDA and Takenobu OKUMURA

¹正会員 博(工) 鳥取大学助教授 農学部生物資源環境学科 (〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101)

²正会員 農博 鳥取大学教授 農学部生物資源環境学科 (〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101)

We discuss the estimation of sediment runoff control using check dams based on the results of the numerical analysis of a model torrent and an actual one. A one-dimensional numerical simulation is conducted in order to investigate variations in debris flow characteristics along a river reach with check dams. In the calculation, the check storage area is either filled with sediment or emptied by removing debris. The analytical results show that check dams are effective for reducing sediment transport when the initial bed slope of the deposition area at the upstream region of the dam is milder than that of equilibrium slope of debris flow, even if the area is filled with sediment. Removing debris from the check storage is much more effective for controlling debris flow, but the priorities for removing works for a number of check dams must be carefully determined when considering the sediment runoff process and characteristics throughout the torrent.

Keywords: check dam, removing debris, one-dimensional numerical simulation, sediment runoff control

1. はじめに

砂防ダムは、満砂であってもダム上流の堆砂勾配の変化によって土砂流出調節効果を発揮するものの、基本的には貯砂容量によって土砂流出をコントロールする構造物である。したがって、建設後、大きな土砂流出イベントの発生あるいは平時の土砂流出によって満砂した砂防ダムの機能回復にあたっては、当然、ダム堆砂域の除石を行って貯砂容量を再び確保することが必要となる。

一方、ダム堆砂域の除石は、工事中進入路の確保、工事ヤードの確保、除石材料の処分地または再利用地の確保、以上列挙したような工事空間の確保による近隣の生活環境への影響、といった事業実施上の困難性から、従来、積極的に実施されることは少なかった。こうして、これまで満砂した砂防ダムの機能は、新たな砂防ダムを別途に建設することによって永らく代替されてきた。

しかし今日、新規砂防ダムの適地は地形・地質的に限られており、自然環境保全に対する市民の関心の高まりや既存社会資本ストックの有効活用といった観点からも、今後、砂防ダムは積極的に除石を行うことによってその土砂流出の調節機能の回復を図る時期に来ている¹⁾²⁾。

さらに、砂防ダムによる土砂流出調節効果の量質は、単にその貯砂容量の大小だけでなく、渓床勾配、堆砂域の幅、流下土砂量、流砂を構成する材料の粒度分布等の諸要素によってもおのずと異なる。ましてや、長い年月を経て堆砂状態の異なった複数の砂防ダムを有する溪流では、砂防ダムによる土砂流出調節効果は個々のダムに

よる調節効果の単純総和とはならず、その場合には、時々刻々と変化する土砂流出状況に対して砂防ダム群としての一群の効果をもって総合的に評価する必要がある。

以上の観点から、本研究では、土石流の発生域・流下域・堆積域の別に砂防ダムの除石に関するシナリオを想定し、複数の砂防ダムを有するモデル溪流および実溪流を対象に土石流の流動シミュレーションを行い、除石による砂防ダムの機能回復について評価する。

2. 砂防ダムの除石に関するシナリオ

図-1のような満砂の砂防ダム（満砂時の貯砂量 V ）における渓床勾配 θ 、土石流の流入濃度 c 、堆砂勾配による貯砂量 V_e の三者の関係は、定性的には、

が同じ場合、 c が大きい（平衡勾配 θ_e が大きい）ほど V_e は大きく、
 c が同じ（ θ_e が同じ）場合、 θ が小さいほど V_e は大きい。

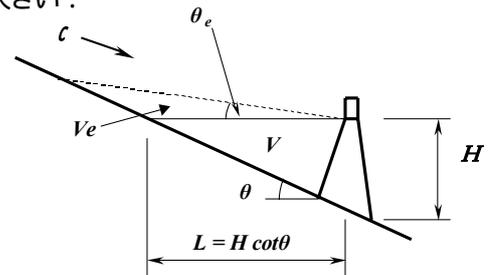


図 - 1 満砂の砂防ダムの模式図

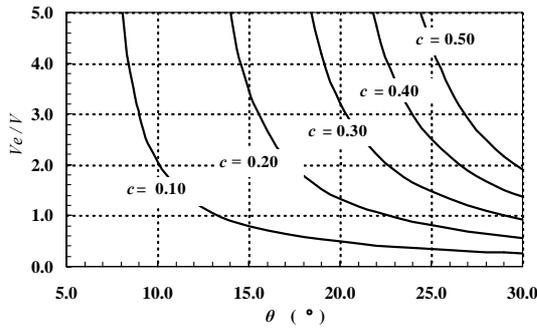


図-2 $c, V_e/V$ の関係 (流路幅一定の場合)

今、図-1において流路幅を一定とすると、堆砂勾配が水平の時の V と V_e との関係は次式で表される。

$$\frac{V_e}{V} = \frac{\cos \theta \sin \theta_e}{\sin(\theta - \theta_e)} \quad (1)$$

$$\theta_e = \tan^{-1} \left\{ \frac{(\sigma/\rho - 1)c}{(\sigma/\rho - 1)c + 1} \tan \phi_s \right\} \quad (2)$$

ここに、 ρ_s は砂礫粒子の密度、 ρ は泥水の密度、 ϕ_s は砂礫粒子の内部摩擦角である。図-2は横軸を θ として式(1)を図示したものである。実溪流では流動幅や堆砂域の幅が不規則に変化しており、一概にはいえないが、同図は $c, V_e/V$ の三者の関係を端的に示している。

図-2と、溪流の土石流発生域・流下域・堆積域の土砂流出特性を勘案すれば、各区域に存在する満砂の砂防ダムの除石に関して表-1のようなシナリオが想定できる。

3. 土石流の流動シミュレーションに基づく評価

表-1に対して、実際の土砂移動現象は非常に複雑である。そこで、複数の砂防ダムを有する溪流を対象に土石流の流動シミュレーションを行い、除石による砂防ダムの機能回復について評価する。なお、ここでは全区間にわたって流動幅が一定であり、砂防ダムの機能が流動幅の変化による影響を受けないモデル溪流と、流動幅が不規則に変化する実溪流の2つの溪流を対象に数値計算を実施する。

(1) 土石流の一次元支配方程式

山地河道における土石流の流動過程を江頭・芦田らによる土石流の一次元支配方程式^{3,4)}によって追跡する場合、解析に必要な諸式は次のとおりである。

(質量保存則)

$$\text{水と砂礫の混合物} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Bvh}{\partial x} = \frac{E}{c_*} \quad (3)$$

$$\text{砂礫のみの場合} \quad \frac{\partial \varepsilon ch}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial \varepsilon c Bvh}{\partial x} = E \quad (4)$$

(運動量保存則)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = g \sin \theta - \frac{1}{\rho_m h} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{vE}{c_* h} - \frac{\tau_b}{\rho_m h} \quad (5)$$

(河床位方程式)

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} = - \frac{E}{c_* \cos \theta} \quad (6)$$

(侵食速度式)

$$\frac{E}{v} = c_* \tan(\theta - \theta_e) \quad (7)$$

ここに、 t は時間、 x は最上流端を原点とする流れに沿った座標、 B は流動幅、 h は流動深、 v は断面平均流速、 E は侵食速度であり、 $E < 0$ の場合には堆積を示す。 c は土砂体積濃度 (断面平均濃度)、 ε は形状係数⁵⁾で、 $c_i = \varepsilon c$ (c_i : 輸送濃度) である。 c_* は砂礫の静止堆積濃度、 g は重力加速度、 θ は溪床勾配、 ρ_m は水と砂礫の混合物の密度、 τ_b は河床せん断力、 Z_b は河床高、 θ_e は砂礫濃度 c に対する平衡勾配である。なお、式(3)~(7)が閉じるためには τ_b を与える必要があるが、ここでは、それは江頭・宮本・伊藤の土石流の構成則⁶⁾による。

(2) モデル溪流を対象とした検討および考察

モデル溪流は、図-3のとおり、流路延長 $L=900\text{m}$ で、溪床勾配は最上流端から300mごとに $18^\circ, 12^\circ, 6^\circ$ である。溪床勾配が変化するNo.1~No.3には砂防ダムがあり、ダム高はNo.1ダムが3.0m、No.2ダムが4.0m、No.3ダムが5.0mであるが、すべて堆砂勾配 3° で満砂状態である。流路幅は全延長にわたって $B=20\text{m}$ であり、溪床は全延長にわたって $D=2.0\text{m}$ の厚さの堆積物で覆われている。

このモデル溪流に $Q_m=0.10\text{m}^3/\text{sec}$ 、 $c_m=5\%$ の水を最上流端から定常的に与え、溪床堆積物の侵食によって発生する土石流を一次元流動シミュレーションにより追跡した。なお、その他の計算条件は、後述する実溪流を対象とした検討の場合と同じとし、表-2のとおりとした。

図-4は、通水開始300秒経過後の砂防ダム上下流の河床縦断形状を示している。とくにNo.1ダムとNo.2ダムでは、満砂ダムの上流で堆砂勾配の変化によって貯砂が進行している状況がよく表現されている。

表-1 砂防ダムの除石に関するシナリオ

区域区分	土石流発生域(概ね溪流の上流域)	土石流流下域(概ね溪流の中流域)	土石流堆積域(概ね溪流の下流域)
区域特性	<ul style="list-style-type: none"> 元来、砂防ダムの貯砂規模は小さく、除石の費用は割高となる。 土石流が高濃度の場合には、堆砂勾配による貯砂が期待できる。 貯砂に伴い、越流水によって砂防ダム直下流の溪床が侵食される可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 主目的は土石流の捕捉と減勢にある。流下過程での土石流の大規模化を防ぐ。 土石流の濃度が小さくなると、堆砂勾配による貯砂量は少なくなる。 堆砂域の掘削形状(掘削勾配等)は、下流への土砂流出に影響を及ぼす。 	<ul style="list-style-type: none"> 流下域で減勢された土石流を停止、堆積させ、あるいは流路を固定して安定的に下流に流下させる。 堆積域において、大規模砂防ダムの新設による貯砂は、自然環境保全および生活環境保全の両面から困難な現状にある。
除石方針	<ul style="list-style-type: none"> 積極的な除石よりも満砂状態を許容し、貯砂機能よりも縦侵食防止や溪岸侵食防止の効果を期待する。 	<ul style="list-style-type: none"> 除石の実行と方法については、土砂流出の時間的変化の状況によって慎重に判断する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 積極的に除石を行って、空容量を確保する。 堆砂域の空容量の確保とともに、遊砂地や流路工との適切な組合せに留意する。

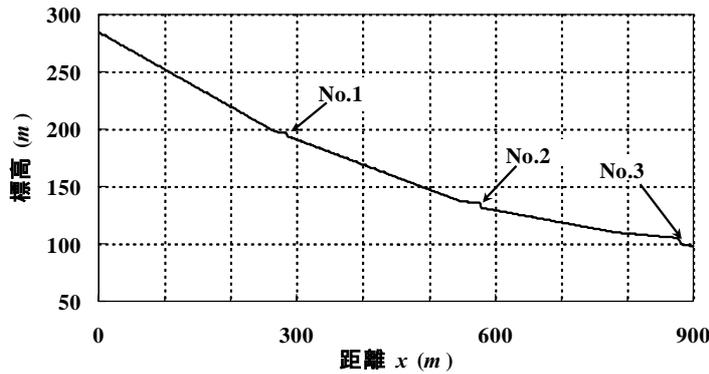


図 - 3 モデル溪流の河床縦断形状

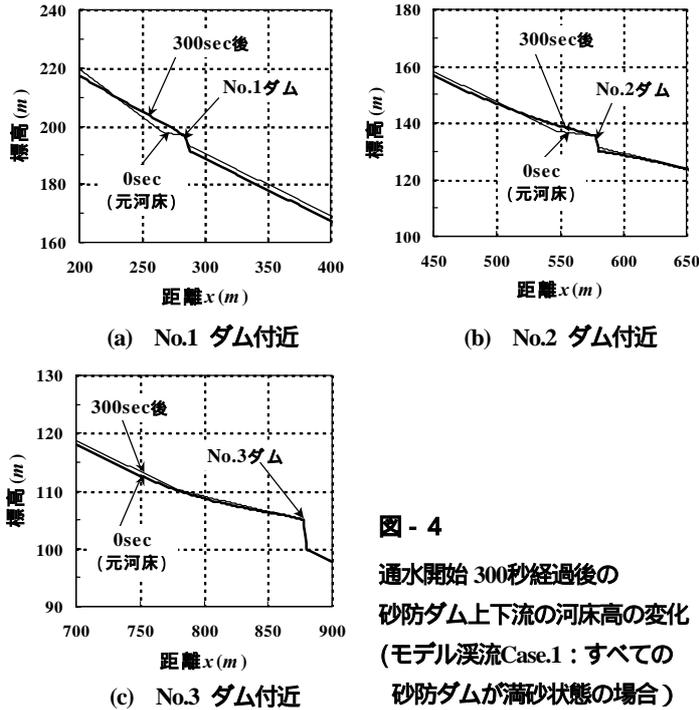
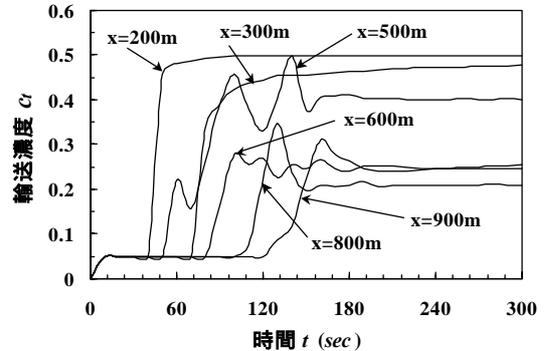


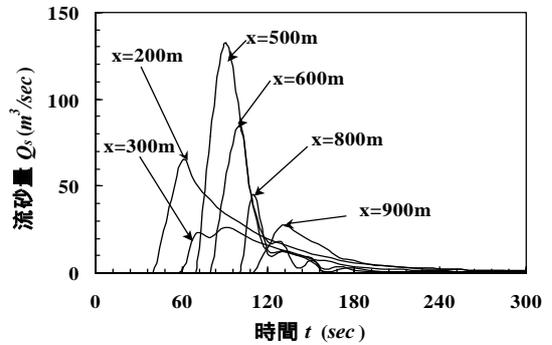
図 - 4 通水開始 300秒経過後の砂防ダム上下流の河床高の変化 (モデル溪流Case.1: すべての砂防ダムが満砂状態の場合)

表 2 数値計算の条件

泥水の密度 (微細砂濃度10%)	$\rho = 1.17 \text{ g/cm}^3$
砂礫粒子の密度	$\sigma = 2.70 \text{ g/cm}^3$
砂礫粒子の内部摩擦角	$\phi_s = 39.0^\circ$
堆積物の静止堆積濃度	$c_s = 0.50$
堆積物の代表粒径	$d = 5.0 \text{ cm}$
差分条件	leap-frog 法, $\Delta t = 0.025 \text{ sec}$, $\Delta x = 5.0 \text{ m}$



(a) 輸送濃度の時間変化



(b) 流砂量の時間変化

図 - 5 土石流特性値の時間変化 (モデル溪流Case.1: すべての砂防ダムが満砂状態の場合)

図-5は、砂防ダム上下流地点での輸送濃度 c_t および流砂量 Q_s の時間変化を示している。同図において、ダム上下流地点 (たとえば、No.1ダムの場合、 $x=200\text{m}$ および $x=300\text{m}$) での c_t および Q_s のピーク値の差 (ピークカット量) から個々の砂防ダムの土砂流出調節効果が、最下流端 $x=900\text{m}$ での c_{max} 、 Q_{smax} および総流砂量 Q_s から砂防ダム群による効果がそれぞれ評価できる。

そこで、ダムの堆砂条件を変化させて数値計算を行い、土砂流出調節効果を比較すると、表-3 となる。なお、同表において、ダム堆砂域の条件である「満砂 (状態)」および「除石 (された状態)」とは、それぞれ、図-6のように定義した。

同表中、No.1ダムを除石するCase.5~8では、流出土砂を土石流発生域で捕捉・貯砂して、結果的に最下流端での Q_s は小さい。その一方、No.1ダム上下流で Q_s のピークカット量がマイナスとなっているのは、ダム下流で越流水による溪床の再侵食が発生しているためである。

No.2ダムを除石するケースでは、No.2ダムを単独に除石するCase.3の方が、No.2ダムが満砂であるCase.1よりも

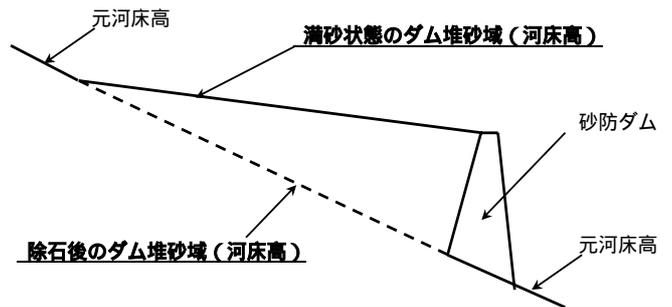


図 - 6 ダム堆砂域の数値計算上での取り扱い (模式図)

Q_s は大きい (同表の評価欄 印)。また、No.3ダムとNo.2ダムを除石するCase.4の方がNo.3ダムのみを除石するCase.2よりも Q_s が大きい。それらは、図-6のように掘削・除石を行った結果、No.2ダムの堆砂域が急勾配となり、逆に溪床侵食が進行して流砂量が増大し、砂防ダム群としての土砂流出調節効果が低下したことによる。表-3の評価欄には、 Q_s が小さい順に順位を記している。このように、すべての砂防ダムの堆砂域を除石するCase.8よりも、土石流流下域のNo.2ダムの除石を行わ

表 3 モデル渓流における砂防ダムの土砂流出調節効果 (流砂量 Q_s の場合)

Case.	ダム堆砂域の条件 (: 満砂, : 除石)			個々の砂防ダムの土砂流出調節効果									砂防ダム群としての土砂流出調節効果					
	No.1	No.2	No.3	No.1ダム (x=285m)			No.2ダム (x=578m)			No.3ダム (x=878m)			Qs max (m ³ /s) (x=500m)	最下流端 (x=900m)			評価	
				上流 (x=200m)	下流 (x=300m)	ピーク カット量 (m ³ /sec)	上流 (x=500m)	下流 (x=600m)	ピーク カット量 (m ³ /sec)	上流 (x=800m)	下流 (x=900m)	ピーク カット量 (m ³ /sec)		Qsmax (m ³ /sec)	ΣQ_s (m ³)			
1				65.08	26.52	38.56	132.60	84.18	48.43	45.41	27.85	17.56	132.60	27.85	1430.23	1.00		
2			96.72				20.05	76.67	96.72	20.05	76.67	96.72	20.05	76.67	20.05	965.97	0.68	
3			128.51				82.08	46.43	48.44	27.76	20.68	128.51	27.76	20.68	128.51	27.76	1496.26	1.05
4			88.15				26.74	61.40	88.15	26.74	61.40	88.15	26.74	61.40	26.74	1174.12	0.82	
5			59.35				20.95	38.40	59.35	20.95	38.40	59.35	20.95	38.40	131.44	20.95	1040.40	0.73
6			101.97				13.14	88.82	101.97	13.14	88.82	101.97	13.14	88.82	13.14	594.55	0.42	
7			41.39				22.98	18.41	41.39	22.98	18.41	41.39	22.98	18.41	124.95	22.98	1025.73	0.72
8			85.50				11.51	73.99	85.50	11.51	73.99	85.50	11.51	73.99	11.51	662.89	0.46	

ないCase.6の方が最下流端の総流砂量 Q_s が最も小さくなるという数値計算結果は、前出の表-1における土石流流下域の除石方針「除石の実行と方法については、土砂流出の時間的変化の状況によって慎重に判断する必要がある。」に照らして砂防ダム群としての土石流調節効果を評価する上で、非常に興味深い。また、事業投資面（経済性および工事の実現性）では、最下流（土石流堆積域）のNo.3ダムの堆砂域を除石するのが最も効率的といえる。

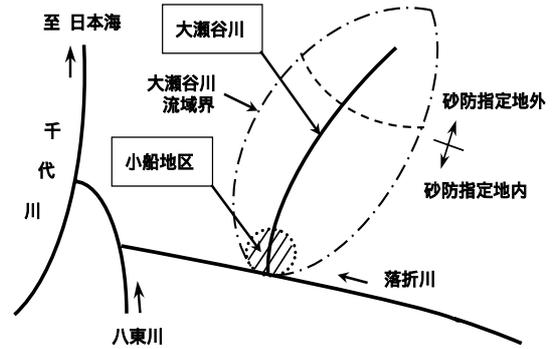


図-7 大瀬谷川 流域概要図

(3) 実渓流を対象とした検討および考察

(a) 計算対象渓流の概要

大瀬谷川は、鳥取県下の三大水系の一つ、一級河川千代川水系の八東川支川落折川の右支渓で、鳥取県東部の若桜町内に位置し、流域面積約3.2km²、流路延長約4.1km（砂防指定地内では約2.5km）、平均河床勾配10.8°の土石流危険渓流である（図-7～図-9）。

大瀬谷川の最近の大きな災害は、昭和36年9月の第二室戸台風による土石流災害である。この時、若桜町内では時間最大雨量58.0mm、総雨量295mmを記録し、家屋や田畑の流出埋没や冠水等の甚大な被害が発生した。大瀬谷川でも土石流が発生し、流出土砂は最下流の落折川合流点にまで到達した。しかし、下流部に整備されていた砂防堰堤（図-8中のNo.3ダム、堰堤高5.5m、幅53.0m）と流路工（流路幅6.0m）の働きによって、谷出口付近の小船集落では土石流の氾濫被害を免れた⁷⁾。

その後、大瀬谷川には治山ダム（図-8中のNo.1ダム、堰堤高5.2m、幅25.0m）と砂防ダム（同図中のNo.2ダム、堰堤高8.8m、幅42.0m）が整備され、現在に至っている。なお、鳥取県は、土石流危険渓流に関する調査結果⁸⁾から、同渓流の現状を「砂防ダムは空容量に余裕があるが、計画流出土砂量を補っていない。崩壊箇所等は見当たらないが、今後も監視が必要である。」としている。

(b) 数値計算の条件

ここでは、河幅が不規則に変化する実渓流を対象に、計3基の治山・砂防ダム（以下、単に砂防ダムと呼称する）の堆砂域がすべて満砂状態（堆砂勾配3°）であると仮定した時に、

第二室戸台風時と同規模の土石流が発生した場合、を想定し、モデル渓流の検討と同様にダム堆砂域の除石条件を種々変化させて土石流の流動シミュレーション

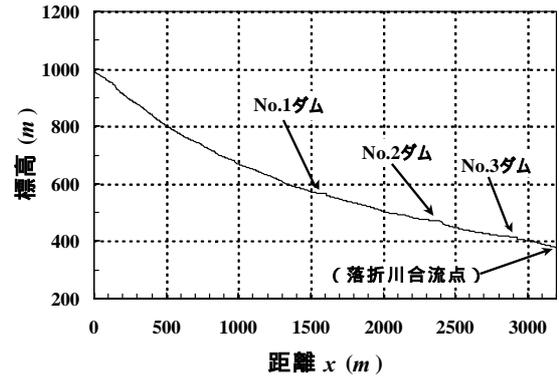


図-8 大瀬谷川の河床縦断形状（計算対象区間内）

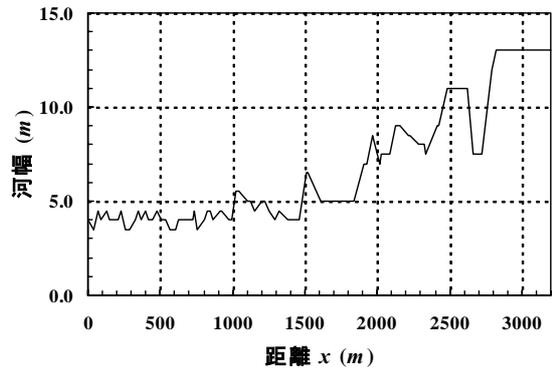


図-9 大瀬谷川の河幅の縦断分布（計算対象区間内）

ンを行い、それぞれの土砂流出調節効果を比較する。数値計算の条件は次のとおりである。

- 計算開始地点：上流域で河床勾配が急変する標高990mをx=0mとする（計算対象区間長：3,200m）。
- 初期河床縦断形状：図-8のとおりとする。

土石流の流動幅：図-9のとおりとする。ただし、流路工区間では、流路工の幅 ($B=6.0\text{m}$) を用いる。
元河床の侵食条件：第二室戸台風による大瀬谷川土石流の規模を推定した著者らの研究成果⁹⁾より、河床勾配が 22° よりも緩い所に堆積厚 (= 限界侵食深) 2.5m の溪床堆積物が分布するものとする。
水の供給条件：同上の研究成果で推定された流入流量 $0.50\text{m}^3/\text{sec}$ を $x=0\text{m}$ から定常給水し、その時の

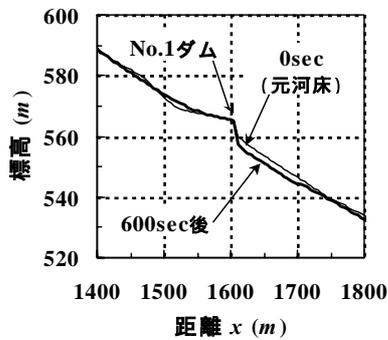
流入濃度は流れの抵抗評価の煩雑さを避けるため、便宜上 5% とする。水の供給時間は土石流のピーク規模に着目することから 10分間 (600sec)とする。
その他の条件：前出の表-2のとおりとする。同表中、砂礫の密度、内部摩擦角、および溪床堆積物の代表粒径 d は、現状の溪床材料に対して土質実験を行って求めた。また、泥水の密度は、泥水中の微細砂濃度を 10% と仮定して算出した。

表 4 実溪流における砂防ダムの土砂流出調節効果
(a) 輸送濃度 c_t の場合

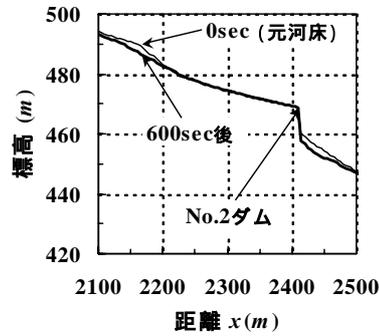
Case.	ダム堆砂域の条件 (:満砂, :除石)			個々の砂防ダムの土砂流出調節効果									砂防ダム群としての土砂流出調節効果		
	No.1	No.2	No.3	No.1ダム ($x=1,605\text{m}$)			No.2ダム ($x=2,410\text{m}$)			No.3ダム ($x=2,925\text{m}$)			Ctmax	最下流端 ($x=3,200\text{m}$)	評価
				上流 ($x=1,500\text{m}$)	下流 ($x=1,700\text{m}$)	ピーク カット量	上流 ($x=2,300\text{m}$)	下流 ($x=2,500\text{m}$)	ピーク カット量	上流 ($x=2,800\text{m}$)	下流 ($x=3,100\text{m}$)	ピーク カット量			
1							0.21	0.07	0.14	0.08	0.17	-0.09	0.44	0.13	
2				0.16	0.11		0.09	0.16	-0.07	0.09	0.16	-0.07		0.13	
3								0.29	0.23	0.06	0.17	0.15		0.02	0.13
4									0.22	0.12	0.10	0.09			
5				0.21	0.06		0.17	0.04	0.13	0.05	0.14	-0.09		0.13	
6								0.08	0.15	-0.07	0.08	0.15		-0.07	0.13
7							0.09	0.14	-0.05	0.09	0.14	-0.05		0.12	
8						0.18	0.12	0.06	0.19	0.08	0.11	0.05			

(b) 流砂量 Q_s の場合

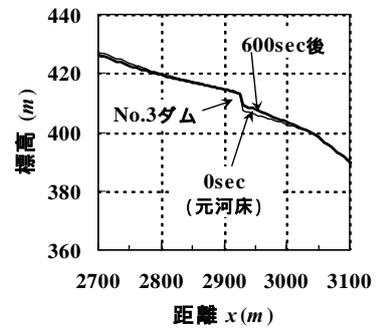
Case.	ダム堆砂域の条件 (:満砂, :除石)			個々の砂防ダムの土砂流出調節効果									砂防ダム群としての土砂流出調節効果			
	No.1	No.2	No.3	No.1ダム ($x=1,605\text{m}$)			No.2ダム ($x=2,410\text{m}$)			No.3ダム ($x=2,925\text{m}$)			Qs max (m^3/s)	最下流端 ($x=3,200\text{m}$)		評価
				上流 ($x=1,500\text{m}$)	下流 ($x=1,700\text{m}$)	ピーク カット量 (m^3/sec)	上流 ($x=2,300\text{m}$)	下流 ($x=2,500\text{m}$)	ピーク カット量 (m^3/sec)	上流 ($x=2,800\text{m}$)	下流 ($x=3,100\text{m}$)	ピーク カット量 (m^3/sec)		Qsmax (m^3/sec)	ΣQ_s (m^3)	
1							58.91	200.74	-141.83	65.20	23.20	42.00	200.74	20.68	1742.46	1.00
2				44.34	57.53					109.14	14.42	94.72	($x=2,500\text{m}$)	10.82	891.16	0.51
3								77.94	81.85	-3.91	24.83	5.23	19.60	101.87	5.13	675.38
4				101.87						38.76	2.54	36.22	($x=1,500\text{m}$)	1.99	226.59	0.13
5								32.49	49.05	-16.56	48.91	12.82	36.09	101.87	11.64	1060.16
6				64.92	36.95					81.45	6.30	75.15	($x=1,500\text{m}$)	5.47	460.87	0.26
7								64.13	57.48	6.65	10.95	2.15	8.80	2.06	238.76	0.14
8										15.73	0.91	14.82	0.77	78.81	0.05	



(a) No.1 ダム付近

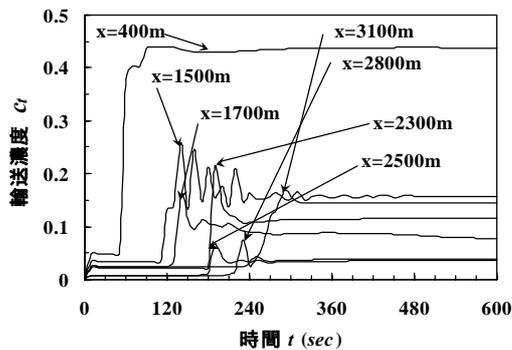


(b) No.2 ダム付近

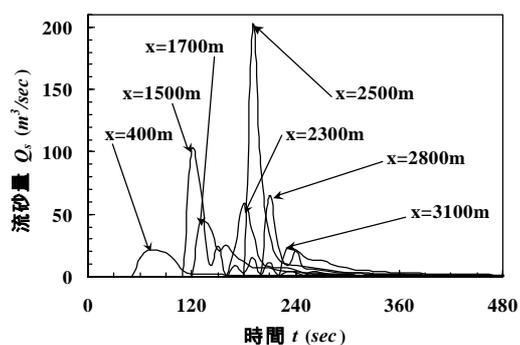


(c) No.3 ダム付近

図 - 10 通水開始 600秒経過後の砂防ダム上下流の河床高の変化 (実溪流Case.1: すべての砂防ダムが満砂状態の場合)



(a) 輸送濃度の時間変化



(b) 流砂量の時間変化

図 - 11 土石流特性値の時間変化 (実溪流Case.1: すべての砂防ダムが満砂状態の場合)

(c) 計算結果および考察

表-4に計算結果を示す。また、図-10はすべての砂防ダムの堆砂域が満砂状態の場合(表-4中のCase.1)における通水開始600秒経過後のダム上下流の河床縦断形状を示し、図-11は同じく c_t および Q_s の時間変化を示している。これらの図表をもとに、除石による砂防ダムの土砂流出調節機能の回復について、以下に考察する。

まず、すべての砂防ダムが満砂の場合(Case.1)では、図-10より、No.1ダムでは堆砂域に土砂の堆積・貯砂が確認できるが、No.2ダムおよびNo.3ダムでは堆砂域が若干侵食を受けている。しかし、表-4(a)より、No.2ダム下流では輸送濃度 c_t が低減されている。これは、No.2ダムでは満砂でも堆砂域の幅の広さによって流れの性質を変化させたことによる。一方、No.3ダム下流では輸送濃度 c_t が上昇しているが、これは図-10より、ダム下流の流路工内で土砂堆積が発生していることによる。

次に、ダム堆砂域を単独に除石する場合(Case.2, 3, 5)において、それぞれの最下流端における Q_{smax} および Q_s を比較すると、表-4(b)より、No.2ダムを除石するCase.3の値が Q_{smax} 、 Q_s とともに最も小さい。これは、No.2ダムの貯砂容量が全3基中で最も大きいことに加えて、表-4(b)より、Case.1において土石流のピーク流砂量はNo.2ダム上下流で発生しており、その減勢には、No.2ダムの堆砂域を除石するのが最も効果的だからである。

なお、No.3ダムを単独に除石するCase.2では、表-4(b)より、砂防ダム上下流で $94.72\text{m}^3/\text{sec}$ の流砂量をピークカットしている。このことから、除石後のNo.3ダムは、土石流流下域で発生したピーク流砂量を低減する機能を有していることがわかる。一方、No.1ダムを単独に除石するCase.5では、表-4(a)(b)より、砂防ダム上下流でのピークカット量は、輸送濃度、流砂量ともに除石後の方が小さくなっている。これは、図-10からも推定されるように、No.1ダムでは除石・再貯砂に伴って越流水によるダム下流溪床の再侵食が発生しているためである。

次に、2基のダム堆砂域を同時に除石する場合(Case.4, 6, 7)において、それぞれの最下流端における Q_{smax} および Q_s を比較すると、表-4(b)より、 Q_{smax} 、 Q_s とともに、No.2ダムを除石するCase.4とCase.7の値はほぼ等しく、No.2ダムを除石しないCase.6の値の2分の1程度またはそれ以下となっている。このこともまた、除石による機能回復の効果が全3基の中で最も高いのがNo.2ダムであることを示している。

最後に、表-4の評価欄には、No.2ダムを含んで複数のダム堆砂域を同時に除石する場合(Case.4, 7, 8)、 c_{tmax} 、 Q_{smax} および Q_s の小さい順に順位を記している。それによれば、すべての砂防ダムの堆砂域を除石するCase.8が除石による機能回復の効果が最も高いことになる。しかし、上述のとおり、No.1ダムは満砂であっても貯砂機能が期待できること、除石・再貯砂に伴って越流水によるダム下流溪床の再侵食の可能性があるので、前出の表-1で述べたとおり、積極的な除石より

も満砂状態を許容し、貯砂機能よりも縦侵食防止や溪岸侵食防止の効果を期待するのが良いと思われる。

以上の検討より、大瀬谷川の砂防ダム群がすべて満砂状態である場合、第二室戸台風時と同規模の土石流に対処するためには、No.2ダムとNo.3ダムを同時に除石するのが、砂防ダムの土砂流出調節機能の回復を図る上で最も効率的であるといえる。

4. おわりに

本研究では、複数の満砂の砂防ダムを有する溪流において堆砂域の除石を計画するにあたり、流動幅や溪床勾配が不規則に変化する実溪流でも適用が可能な土石流の流動シミュレーションを援用することによって、除石による砂防ダムの機能回復を土砂流出の時間的変化を考慮した形で数値的に評価した。その結果、除石の優先順位の決定にあたっては、溪流全体を通じての土砂流出過程および土砂流出特性を十分に考慮して決定することの重要性が強く示された。ダム堆砂域の除石を実施する上での社会的な困難性はそれとして、少なくとも現代では大型建設機械による大規模施工が十分に可能であり、今後の土砂管理上、除石の計画的な実施による砂防ダムの機能回復が強く望まれる。

謝辞: 立命館大学理工学部 江頭進治教授には、土石流の数値解析に関して日頃より貴重なご助言を賜っている。また、本研究の遂行にあたり、鳥取県八頭地方県土整備局には、同局管内の災害関連資料や土石流危険溪流に関する貴重な調査資料を快くご提供いただいた。ここに記して心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 水山高久: わかりやすい砂防技術(5)「砂防計画」, 砂防と治水, Vol. 36. No.4, pp.75-76, 2003.
- 2) 水山高久: わかりやすい砂防技術(6)「砂防堰堤」, 砂防と治水, Vol. 36. No.5, pp.93-94, 2003.
- 3) 江頭進治: 土石流の停止・堆積のメカニズム(1), 新砂防, Vol. 46. No.1, pp.45-49, 1993.
- 4) 江頭進治: 土石流の停止・堆積のメカニズム(2), 新砂防, Vol. 46. No.2, pp.51-56, 1993.
- 5) 江頭進治・本田尚正・高濱淳一郎・伊藤隆郭・有村真一: 土石流の再現および構造物等による土石流調節について, 平成11年度科学研究補助金(特別研究促進費(1), 研究代表者福岡捷二, 研究課題番号11800010) 研究成果報告書, pp.83-102, 2000.
- 6) 江頭進治・宮本邦明・伊藤隆郭: 掃流砂量の力学的解釈, 水工学論文集, 第41巻, pp.789-795, 1997.
- 7) 鳥取県土木部砂防課: 鳥取県の砂防, 1963.
- 8) 鳥取県八頭地方県土整備局: 土石流危険溪流に関する調査資料を種々ご提供いただいた。
- 9) 本田尚正・奥村武信: 数値シミュレーションによる砂防施設の土石流調節効果の検証, 水工学論文集, 第49巻, pp.1057-1062, 2005.

(2005.9.30)