

42 砂防ダム堆砂勾配に関する事例研究

京都府立大学農学部 ○日浦 啓全・四方幸伸・大手桂二

はじめに この報告では堆砂勾配の推移からみた砂防ダムの土砂調節機能について考察している。既往の資料の解析およびそれを補完するために現地調査も実施したのでそれらの結果について述べる。調査の対象地域は京都府相楽郡を中心とする南山城地区である。

1. 対象流域の概要 この地区は京都府の東南部に位置する(図-1)。木津川が伊賀盆地を出て西流し、木津の地で北方に方向を転じるが、この木津川の北岸を中心とする地区が対象地域である。この地区は古くから木津川を利用した舟運によって開けた。周辺の土地の利用も奈良朝以前にまでさかのぼることができる。また、近年には昭和28年8月のいわゆる「南山城災害」、さらに昭和47年7月の豪雨による崩壊災害、昭和61年7月の集中豪雨による局地的な土石流災害を主なものとして幾多の豪雨のために度々被災している。「南山城災害」時には南山城村、和束町、笠置町を中心に河川の氾濫と山地の荒廃が著しかったが、それ以後の災害は道路沿い斜面の崩落による国道163号線の遮断のような道路災害が主なものであった。これを山地の免疫性という観点から見ると、南山城村、和束町、笠置町の山地は昭和28年に免疫性を獲得したと思われる。その結果、流出すべき土砂はすでに出てしまったため、その後わずかに崩壊の発生はみられるにしても山地からの土砂流出が少なかったことが、砂防ダムの堆砂に影響を及ぼしたと思われる調査結果が得られた。勿論、これに対する京都府林務部による復旧治山事業を看過することはできない¹⁾。

地質(図-1)は、流域の基盤岩である秩父古生層が調査流域の東北部の和束町付近に分布し、ついで山城町、笠置町、南山城村、和束町南西部の付近に黒雲母花崗岩が広く分布している。これは深層風化が進んでおり、この地域の土砂災害に最も関連の深い岩種である。さらに花崗岩の貫入にともない変成作用を受けて生成された片麻岩及び領家帯の変成岩類が両方の岩種の間に分布している。

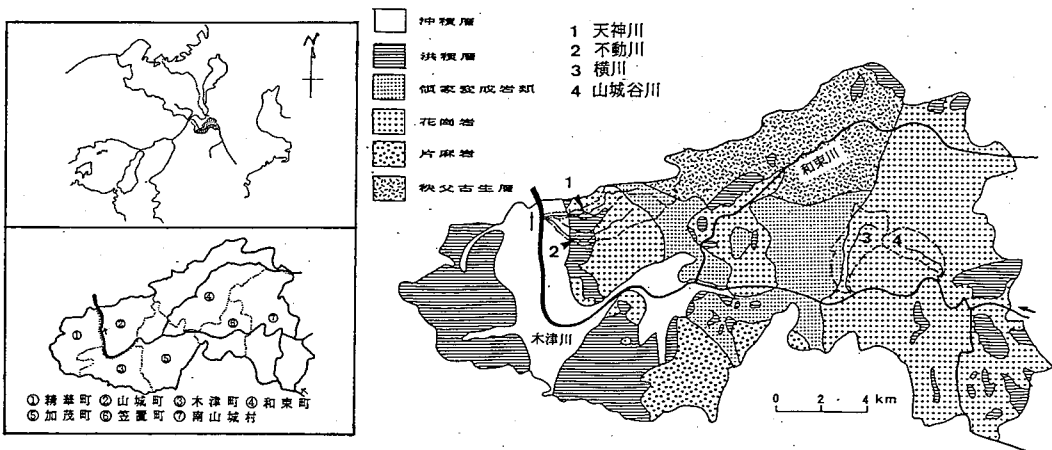


図-1 調査流域の位置、地質および現地調査を実施した溪流

この流域は明治 8年に、ヨハネス・デレーケの指導により不動川を始めとした溪流に砂防、治山工事の試験施工が行われ、わが国近代砂防の先駆となった。その後砂防、治山事業は営々と続けられ現在に至っている。この流域には昭和28年以後に始められ48年までに、砂防ダムだけで 102基が築設されている。既往資料として昭和48年と昭和62年に調査された堆砂状況についての調査結果があるのでそれを用い、さらにその補完のために本年度内に現況調査を行い、その結果にもとづいて解析を行った。なお、本研究を進めるための資料の提供や調査に対しては京都府砂防課ならびに木津土木工事事務所の関係各位の協力を得たことをここに記して感謝する。

2. 堆砂状況の変遷について 既往資料の解析の結果より流域各河川の砂防ダムの貯砂率の推移状況は次の3つのパターン：貯砂率に①変動が無い、②増大した、③減少したに分けられる。そして流域全体では②のパターンで推移するダムの数が全体の70%であった（③は考察からは除外した）。また、年平均堆砂量の総計についてみると、昭和 28-48年までは46,350 m³/年であり昭和 48-62年は6,440 m³/年である。昭和 48-62年の期間の総計が昭和 28-48年までのそのわずか14%でしかないことから、昭和28年に免疫性を獲得したことに加え昭和48年以後大きな土砂の流出が無かったと推論した。

3. 現地調査による砂防ダムの堆砂状況 現地調査を行った溪流の諸元を表-1に示す。砂防ダムの設置地点の地形的な概況は以下の2様に区分できる(図-2)。①最上流部の谷の開けた部分に設置された貯砂容量の多いダムで、天神川と不動川の最上流にあり、ダムサイトは山頂までの起伏量も数10 m程度となだらかな山腹の開けた地形で荒廃もほとんど見られず、未満砂状態であった。②①の下流から谷の出口までの、谷が深く切り込まれた廊下状の地形のところにおいて一定の間隔をおいて貯砂容量の少ないダム群が設置されている。このようなダム群は今回調査した4つの河川に共通しているが、特に縦侵食が激しい山城谷川や横川のような河川では侵食抑制、山脚の固定の効果を発揮している様子が十分観察できた。

調査の結果、堆砂しているダムは32基中25基で満砂しているものはそのうちの16基であった。堆砂勾配はいずれのダムも満砂・未満砂によらず1°程度であった。このことより、南山城地区では計画堆砂勾配は必ずしも元河床勾配の 1/2とはならなかったことが認められた。

4. 土砂調節機能とアーマーリング 砂防ダムの調節機能は一種のアーミング効果と考えられる。この状態にある河床の条件を流れの持つ力で表現することを考える²⁾。アーマーコートが形成されているような状態（平衡河床状態）では洪水時に比較して水深も小さく、近似的に等流であると仮定し、Manningの抵抗則を用いると、掃流力は摩擦速度によって(1)式で表される。

$$U_*^2 = g(nQ/B)^{3/5} I_s^{7/10} \dots\dots\dots (1)$$

次に、Egiazaroffが実験的に展開した混合砂礫の限界掃流理論によって、ある粒度特性を持つ河床の限界掃流力を同じく摩擦速度で表わすと(2)式を得る。

$$U_r^2 / (\sigma / \rho - 1) g \cdot d_{90} = 0.1 / (\log 19 \cdot d_{90} / d_m)^2 \quad \dots (2)$$

両式が意味するものはある粒度状態の混合砂礫を動かすのに必要な力である。そこで(1),(2)式を等値し I_s について解くと、静的安定勾配、すなわち堆砂勾配をあらわす算定式((3)式)を得る。ここで $n=0.04$ 、 $\sigma=2.7g/cm^3$ とし、他のパラメータは現地で計測した。

$$I_s^{7/10} = 0.717 \times \frac{B^{3/5} \cdot d_m^2}{Q^{3/5} \cdot d_{90}} \quad \dots (3)$$

(3)式からは堆砂勾配 I_s が元河床勾配の1/2になるべき理由はでてこないで、堆砂地の d_{90} 、 d_m 、河床幅、により取り得べき I_s の範囲が決められ、その後 Q の増減によりその勾配の範囲内を堆砂勾配は増減することになる。したがって、ある砂防ダムで洪水勾配状態にあるとすれば、その堆砂地の d_{90} 、 d_m 、河床幅により I_s が計算される。そこで I_s の考え方として、実測値 $>$ 計算値(I_s)であればそのダムはすでに調節作用を行っておりアーミングが進行していると考え、逆に実測値 $<$ 計算値の場合にはまだ調節作用を行ってない状態であり実測値 $=$ 計算値までは堆砂が進み、その段階になって初めて調節作用が行えると考えられる。

図-3には山城谷川の縦断図、計算結果とそれを図化したものを図-4に示す。山城谷川ではNo.51, 56, 58が $I > I_s$ 、No.53, 55が $I < I_s$ 。そして $I = I_s$ が No.50, 52, 57、と No.54を除く全てのダムが堆砂を完了しており、調節可能な状態または平衡状態である。No.51, 56, 58 では今後さらに堆砂は進むことが考えられるが、山地の状態が良好であることから今後急激な堆砂の変動は生じないと思われる。

5. 残留していた砂礫堆の存在と調節作用について 現地調査のときに、砂防ダムの堆砂地に現在の河床とほぼ同じ勾配で過去の大出水時に生成された砂礫堆が見られたところが何ヶ所もあった。そして、砂礫堆と現在の水みち部分の勾配はほぼ同じであった。そこでこれを調節作用の一種とみなし(3)式を用いて考察してみた。この場合、調節作用が起きているとみなしたダムの過程を図-5のように推測した。①豪雨により崩壊土砂を含んだ洪水流が流下して袖部を越流し堆砂面が水通し面より上の部分で土砂が堆砂する。②その後平年出水により袖部の押えが効かない水通し部のところから、水みちによってまず縦方向に水通し面まで侵食され計算値まで調節される。③種々の出水で横方向に侵食が進み調節作用が終了する。その結果、現在の堆砂地の水みちの勾配の計算値と砂礫堆の堆積勾配は一致することが確かめられた。したがって砂礫堆が形成された後、現在の水みちまで低下するまでは勾配がほぼ同じのまま推移していくことが推察できた。

このように $I < I_s$ のダムが調査を行った全25基中5基しかないが、それもわずかに I_s が大きいくだけであった。今回の調査流域のような風化花崗岩類で河床材料の粒径の小さな場合には、形成される堆砂勾配がほぼ1°前後となることが実測、理論の両面からある程度確かめられた。しかも、大出水によって砂礫堆が形成される場合にも、いわゆる相対的に勾配の大きな洪水勾配というよりは現在とほぼ同じ勾配で堆砂することも認められた。

参考および引用文献

- 1) 日浦啓全他(1986)：崩壊に関する一考察，昭和61年度砂防学会研究発表会概要集 P.192~P.196
- 2) 日浦啓全他(1980)：砂防ダムの堆砂勾配と粒度特性について 日本林学会関西支部 第31回大会講演集 P.315~P.319

表-1 現地調査をおこなった溪流の諸元

河川名	流域面積	ダム数
天神川	2.10km ²	6基
不動川	4.46km ²	5基
横川	6.83km ²	12基
山城谷川	3.71km ²	9基
計		32基

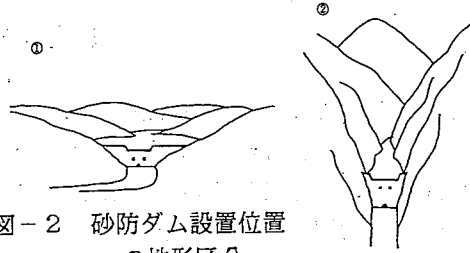


図-2 砂防ダム設置位置の地形区分

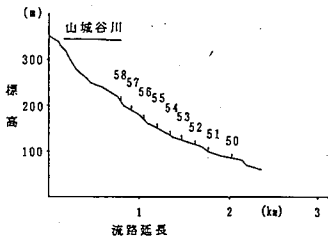


図-3 山城谷川の縦断形状

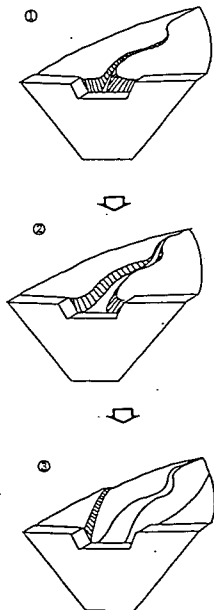


図-5 調節作用のプロセスの模式図

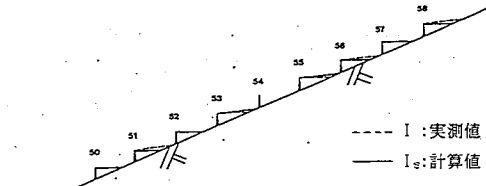


図-4 山城谷川の堆砂状況の実測値、計算値の比較

表-2 堆砂勾配の実測値、計算値の比較 (山城谷川の例)

番号	流域面積 km ²	雨量 mm/h	流量 m ³ /s	河床幅 (m)	90% 粒径 (cm)	平均 粒径 (cm)	水みち 勾配 計算値	堆砂 勾配 計算値	堆砂 勾配 実測値
33	6.83	5.0	8.5	2.0	32.0	3.0	0.0292	0.0414	0.0222
		10.0	17.1				0.0161	0.0354	
		15.0	25.6				0.0114	0.0310	
36	5.77	5.0	7.2	2.0	52.0	5.0	0.0727	0.0469	0.0267
		10.0	14.4				0.0401	0.0401	
		15.0	21.6				0.0283	0.0351	
51	3.67	5.0	4.8	2.0	22.0	2.0	0.0267	0.0312	0.0222
		10.0	9.2				0.0147	0.0267	
		15.0	13.8				0.0104	0.0234	
52	2.09	5.0	2.6	2.0	10.0	1.0	0.0184	0.0152	0.0133
		10.0	5.2				0.0102	0.0130	
		15.0	7.8				0.0072	0.0114	
53	2.05	5.0	2.6	2.0	3.0	0.5	0.0144	0.0083	0.0111
		10.0	5.1				0.0080	0.0080	
		15.0	7.7				0.0056	0.0070	
55	1.85	5.0	2.3	2.0	15.0	1.5	0.0365	0.0333	0.0444
		10.0	4.6				0.0201	0.0285	
		15.0	6.9				0.0142	0.0250	
57	1.54	5.0	1.9	2.0	5.0	1.0	0.0644	0.0229	0.0222
		10.0	3.9				0.0356	0.0196	
		15.0	5.8				0.0251	0.0172	

注) 水みち勾配計算値は、大出水で川幅全面に堆砂した土砂がその後の中小洪水により砂防ダムの水通し部分を通って流下する調節過程で生成される勾配; 8の項で述べた②のプロセスに相当する計算