

37 満砂したダムの堆砂勾配と粒径との関係について

広島大学総合科学部 ○海堀正博・栃木省二

同 大学院 城ヶ崎正人

はじめに 筆者らは、1988年7月21日の広島県北西部での土石流災害現場において、土砂の生産・移動・堆積の観点から調査を行ってきた。当地域にある砂防・治山ダムは、災害発生時に多くの流出土砂を捕捉し、下流への氾濫の防止・軽減に貢献したが、その堆砂勾配が、昨年度までのおおまかな調査から、元溪床勾配の1/2より小さいものが多いことがわかった。その原因として、(1)移動土砂の粒度が小さいこと、(2)土砂移動の頻度が小さいこと、などが考えられると報告した¹⁾。これとは別に、日浦らは京都府相楽郡南山城地区で調査を行い、ダムでの堆砂勾配は1°程度のところが多く、元河床勾配の1/2とはならないことを報告している²⁾。一方、天田らは全国の直轄砂防工事事務所管内の288基の砂防ダムの堆砂測量資料を整理し、元河床勾配の1/2～2/3の堆砂勾配を示すものが3割強もあり、1/1～2/5の範囲にすると7割強が含まれると報告している³⁾。筆者らが調査した溪流の場合、その流域面積はほとんどの場合1km²より小さかったのに対し、他の研究者らによる流域は数km²～数百km²とはるかに大きい。また、その溪床(河床)勾配についても、筆者らのものは1/7以上のものがほとんどであったのに対し、他の研究者らのものは1/7以下の緩いものが多かった。このような調査地域の基礎的な地形因子の値に差はあるものの、それらとは無関係にダムでの堆砂勾配を決定する何らかの要因がある可能性が考えられる。この要因を今回は粒度ではないかと考えて、ダム堆砂勾配を考察することにした。

1. 理論的考察 河床変動に与える流出土砂の影響を調べるために、多くの現地観測や水路実験およびそれらの結果に基づく数値解析・理論解析等がなされてきている。たとえば、Egiazaroffは混合粒径から成る土砂の移動について理論と実験からの解析を行い、アーサーコート⁴⁾の形成と破壊の条件、粒径項を用いた土砂移動に関する数値計算式を導き出した⁴⁾。このEgiazaroffの研究はその後多くの研究者に引き継がれ、深められている^{5) 6)}。そのうちのひとつ、ダムなどの施設を構築した際の堆砂についても応用例がある。日浦ら²⁾はManningの抵抗則を用いた掃流力と、Egiazaroffが導いた混合砂礫の限界掃流理論とを組み合わせ、次式を得た。

$$I_s = (0.717 \times (B/Q)^{3/5} \times d_m^2/d_{90})^{10/7} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

ただし、 I_s :堆砂勾配、 B :溪床幅(m)、 Q :流量(m³/s)、 d_m :平均粒径(cm)、 d_{90} :90%粒径(cm)であり、Manningの粗度係数 $n=0.04$ 、砂礫粒子の密度 $\rho=2.7\text{g/cm}^3$ と仮定している。この式の意味するところは、溪流のある地点において、溪床幅 B と流量 Q が定まっておれば、砂礫の粒径 d_m や d_{90} によって、堆砂勾配 I_s が決定されるということである。また、 I_s の傾向は、溪床幅・粒径が大きいほど大きく、流量が大きいほど小さくなる。粒度について見れば、一様粒径に近い場合ほど I_s は大きく、逆に種々の粒径のものが均等な割合で分布する場合ほど小さくなることなどがわかる。

粒径と堆砂勾配については、この式以外にも、多くの研究者^{5) 6)}によって研究されていて、どの場

合にも傾向としては、粒径が小さくなるほど堆砂勾配も小さくなるのであるが、小粒径のものの方が流水の乱れによって運搬されやすいからであろう。この傾向をうまく表現することは、Egiazaroffや吉川も述べているように、混合粒径の場合には簡単ではない。中小出水によるアーマーコート形成とその遮蔽効果により、大粒径のものの影響が強く現れることが多いからである。つまり、混合粒径から成る砂礫も、均質に混合している場合が少なく、ダムの堆砂地などの堆積の場の特に表面近辺においては、逆級化を示す場合が多い。多くの研究者によってすでに指摘されていることであるが、このような状態での砂礫の代表的な粒径を見いだすことはきわめて難しい。

2. 今回の調査・研究方法 昨年度まで、筆者らは災害時に既設であったダム28基について調査し、そのうち満砂状態のダム14基について元溪床勾配と堆砂勾配を比較した¹⁾。このうち、復旧工事などのために大部分の堆砂地は、もはや調査の続行が不可能となってしまったが、幸い地質・岩質の異なる中尾谷川（流域番号19、ダム番号19101）と蛇の谷川（流域番号30、ダム番号30102）で2基のダム堆砂地については、被災当時の状況が残されており、継続して調査を行うことができた。

中尾谷川は、流域面積が0.282km²、平均溪床勾配が21.6°、地質が花崗岩で、総崩壊土砂量と総侵食土砂量の和を流域面積で除した比生産土砂量は63311.3m³/km²である。被災時には今回調査した広島県の治山ダムが1基あったが、発生した土石流で満杯になり、あふれた土砂は下流に氾濫した。現在はこのダムの下流側に砂防ダム1基が建設されている。調査したダム堆砂地の特徴は、花崗岩の巨礫（長径1～3m）がゴロゴロしているところに、数十～数cmの中小礫がその間隙を埋めているような形態の表面を示していることである。堆砂勾配は3.0°の部分が多かった。巨礫は表面には多いが、地中では急に少なくなり、むしろ細礫～砂が多くなることが、掘削してみるとすぐにわかる。この堆砂地の表面の凹凸を測量して、平面図を作成し、さらに水みちに沿った測線上で縦断面図を描いた。また、ダム堆砂地の定性的な特徴を定量的にとらえるために、堆砂地内に6箇所のポイントを設定し、深さ方向に1～3段階ずつ、合計14の土砂礫をサンプリングし、粒度分析を行った。

一方、蛇の谷川は、流域面積が0.412km²、平均溪床勾配が20.1°、地質が泥質岩で、比生産土砂量は6084.2m³/km²である。被災時には、今回調査した砂防ダム1基と、その下流にも砂防ダムが1基あったが、いずれも発生した土石流で満杯になり、下流に土砂が氾濫した。現在は下流側の小規模なダムに代えて15m級の砂防ダムが建設されている。調査したダムの堆砂地の特徴は、中尾谷川の場合と異なり、表面にも巨礫が少なく、代わりに数十～数cmの中小礫が多く見られる点である。花崗岩の場合、大礫（→中小礫）→砂という変化が多いのに対し、泥質岩地帯では、大礫→中礫→小礫→細礫→砂と順々に変化するためであろう。堆砂勾配は2.5°の部分が多かった。この堆砂地でも表面の凹凸を平面図に、また水みちに沿った測線上の縦断面図に描いた（図1参照）。ここでもダム堆砂地の定性的な特徴を定量的にとらえるために、堆砂地内に5箇所のポイントを設定し、深さ方向に3～4段階ずつ、合計17の土砂礫をサンプリングし、粒度分析を行った。

3. 粒度分析の結果と考察 まず、中尾谷川のダム堆砂地での結果について見てみる。ダム近辺の右岸袖部A、水通し部B、左岸袖部C、堆砂地中央の流水部D、左岸堆砂部E、堆砂地上流の流水部F

の6ポイントにおいてサンプリングした土砂についての粒度分析を行った。ふだんの中小出水において洗い流されているためにシルト以下の細粒分の割合はいずれもかなり小さかった。予想に反して、深さの違いが粒径加積曲線の大きな差となって出ていないことがわかった。この結果、 $d_{50}=0.2\sim 0.9\text{cm}$ 、 $d_{90}=1.0\sim 15.0\text{cm}$ が得られた。

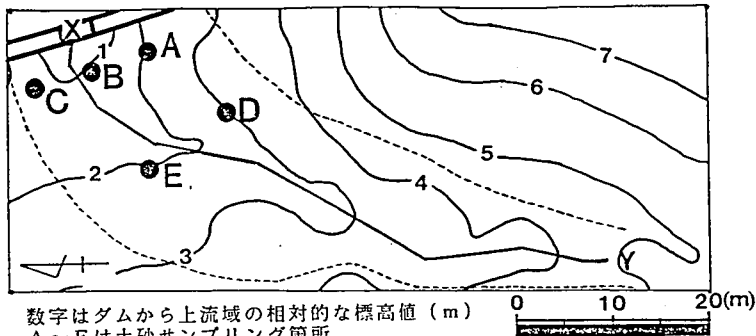
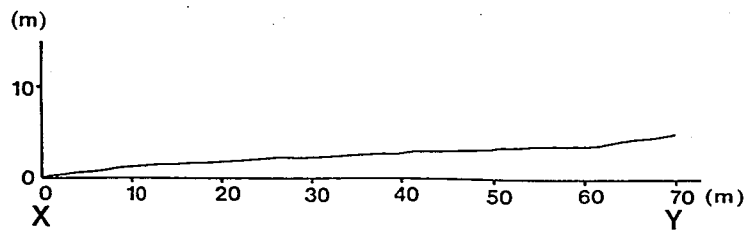
一方、蛇の谷川のダム堆砂地での結果について見てみる。図1に示すように、ダム近辺の右岸袖部A、水通し部B、左岸袖部C、堆砂地中央の右岸側D、流水部Eの5ポイントにおいてサンプリングした土砂についての粒度分析を行った。ここでのシルト以下の細粒分も含まれている割合が小さい。ただし、中尾谷川の場合とは違って、深さ方向の粒度分布にバラツキが見られた。右岸側A、Dのデータからは、表面近くの方が相対的に細かいこと、それに対し、ダム近辺のB、Cのデータからは、深いところに相対的に細かいものが多く分布していることなどがわかった。A、Dの表面付近では $d_{50}=0.4\sim 0.5\text{cm}$ 、 $d_{90}=3.0\sim 6.0\text{cm}$ であるのに対し、深いところでは $d_{50}=1.0\sim 4.0\text{cm}$ 、 $d_{90}=7.0\sim 8.0\text{cm}$ である。一方、B、Cでは表面付近で $d_{50}=1.2\sim 5.0\text{cm}$ 、 $d_{90}=6.0\sim 7.5\text{cm}$ であるのに対し、深いところでは $d_{50}=0.2\sim 1.2\text{cm}$ 、 $d_{90}=1.2\sim 5.6\text{cm}$ である。

これらの結果を①式に代入して、いろいろな溪床幅B、流量Q、 d_{50} に対する d_{90} の関係等を組み合わせると、かなりの幅で堆砂勾配を合わせることができるが、逆に取れば、どのような勾配でも算出できることもわかった。このことは、シミュレーション計算を行うにあたって、それぞれの代入値を選出することの難しさを示していることになる。

おわりに ダム堆砂地の土砂礫の粒度分析の結果と簡単な計算から、堆砂勾配が簡単に実際の値と合わせることができることがわかった。しかし、予測に使えるようなシミュレーション計算に用いるような値の抽出にはまだ困難な点が残されており、今後の課題である。最後に、現地調査とデータ整理にあたっては、広島大学総合科学部砂防学研究室の学生諸君に手伝っていただいた。また、現地調査に際し、広島県土木建築部砂防課および林務部の方々にはいろいろと便宜を図っていただいた。ここに記して心より感謝いたします。

引用文献

- 1) 海堀正博・栃木省二(1991):土砂災害防止に対する砂防施設の効果に関する研究. 新砂防, Vol. 1.43, No. 6, pp.26-32.
- 2) 日浦啓全・四方幸伸・大手桂二(1990):砂防ダム堆砂勾配に関する事例研究. 平成2年度砂防学会研究発表会概要集, pp.158-161.
- 3) 天田高白(1990):砂防ダム堆砂測量資料の解析. 平成元年度「砂防施設の土砂流出に与える機能の解明に関する研究」報告, pp. 6-11.
- 4) Egiazaroff, I. V. (1965): Calculation of nonuniform sediment concentrations. Proc. ASCE, HY4, Vol. 91, pp. 225-247.
- 5) 吉川秀夫編(1985):『流砂の水理学』より第4章, 芦田和男「流砂量の算定」pp. 113-153. および第12章, 土屋昭彦「河道計画」pp. 363-404.
- 6) 村野義郎(1962):砂防ダム堆砂面の縦断形について. 新砂防, Vol. 15, No. 3, pp. 21-28.



(註) 数字はダムから上流域の相対的な標高値 (m)
 A～Eは土砂サンプリング箇所
 点線内は堆砂域
 X-Yは平常時の流路および縦断面図作成位置

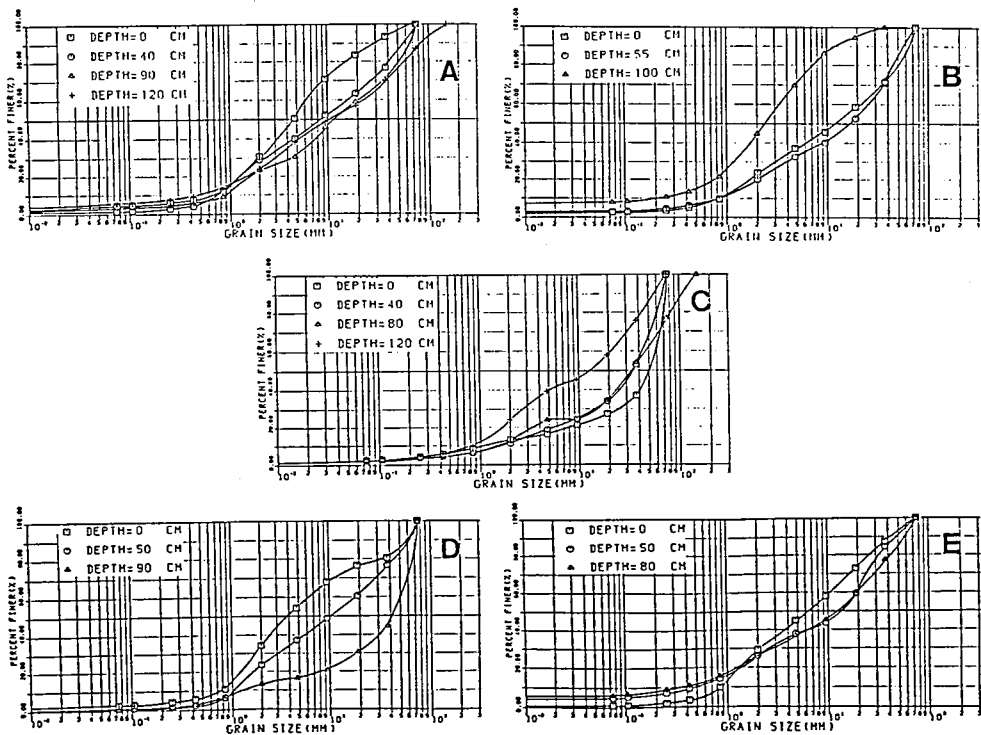


図1 ダム堆砂地の平面図・縦断面図および土砂の粒度分布 (蛇の谷川)