

II-209

土石流による河床材料の侵食限界

大阪府立工業高等専門学校 正会員 ○本田 尚正*

立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治**

立命館大学大学院 学生員 伊藤 隆邦**

1. はじめに 本研究は、土石流を構成する砂礫の粒径と河床を構成する砂礫の粒径とが異なる場合に着目して、河床材料の粒径を種々変化させて実験を行い、それに基づいて土石流による河床材料の取り込みを議論しようとするものである。すなわち、水路下流端における土石流の土砂輸送濃度の時間的変化等に関する実験結果をもとに、土石流の侵食速度に対する河床材料の粒径の影響や河床侵食限界について考察する。

2. 実験の概要 実験には図-1に示す長さ6.0m、幅10.0cmの矩形断面水路を用い、路床勾配は 12° とした。水路は上流側において所定の土石流を形成させる区間(長さ4.0m)と、下流側において河床材料の侵食を調べる区間(長さ2.0m)からなり、これらは堰板(高さ10.0cm)によって分割されている。上流側では供給土石流の定常性確保のため、河床は給砂材料を用いて供給土石流の平衡勾配に設定されている。下流側では、下流端に高さ10.0cmの堰板が設置され、2枚の堰板間に砂礫を敷き詰めて、土石流による侵食を調べるための河床が形成されている。水路上流端より定常給水(単位幅当り $q_{in}=80.0\text{cm}^3/\text{sec}$)し、同時にホッパーより給砂して、定常状態の土石流を形成させた。供給土石流は平均粒径 $d_0=0.218\text{cm}$ の均一な砂(内部摩擦角 $\phi=38.7^\circ$ 、静止堆積濃度 $c_s=0.55$ 、砂礫の比重 $\sigma/\rho=2.62$)で構成され、上流からの土石流の流入濃度(輸送濃度) c_{in} は、0.05および0.10の2種類、下流側侵食区間の河床材料には、平均粒径 $d=0.218\text{cm}$ 、 0.438cm 、 0.8cm 、 1.1cm の4種類を用いた(以下では、給砂材料の平均粒径には d_0 の記号を、河床材料の平均粒径には d の記号をそれぞれ用いる)。測定項目は水路下流端における総流出流量(水+土砂) Q_{out} の時間変化、河床侵食区間における河床最終形状、河床侵食区間の定点における河床高 z_b および水深 h の時間変化である。 Q_{out} はバケツを用いて2秒間隔で1回あたり2秒間採取し(15回/60sec)、炉乾燥後、流出上砂を供給土石流の材料と河床材料とに分類した。これに基づいて単位幅当たりの流出流量(水+土砂) q_{out} 、全流砂および粒径別の単位幅当たりの流砂量(上砂のみ) q_{sout} および輸送濃度 c_i を算出した。

3. 実験結果 図-2に、 $d=0.218\text{cm}$ および 0.8cm の水路下流端輸送濃度 c_i の時間変化を示す。図において、 $d_0=d=0.218\text{cm}$ で示すデータは、供給土石流材料と同じ河床材料による輸送濃度 c_i であり、 d_0 で示すデータは、供給土石流材料の c_i であり、 d で示すデータは、侵食された河床材料の c_i であり、 d_0+d で示すデータは、全砂礫の c_i である。

図-2より、河床勾配が初期設定値から顕著に変化しない時間領域、すなわち、土石流の下流端到達後0~30秒の時間帯に着目すると、全流砂および河床材料の c_i は、粒径が大きいほど小さくなる。すなわち、河床侵食が抑制されていることがわかる。次に c_{in} の違い、すなわち、図-2の(a)と(b)の結果、特に河床材料の c_i をみると、 c_{in} の大きい(b)において河床侵食が抑制されていることがわかる。これは、土石流の土砂侵食能力が、 c_{in} が大きい分だけ小さくなっていることによる。以上述べた傾向は、 $d=0.438\text{cm}$ および 1.1cm の場合の実験結果においても同様にみられた。

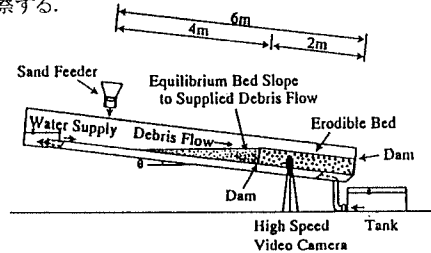
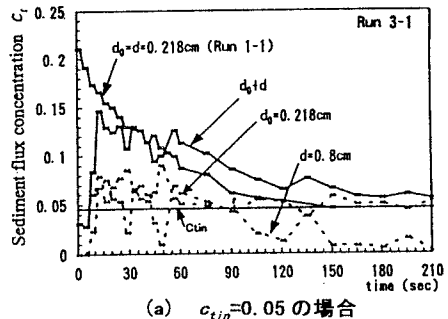
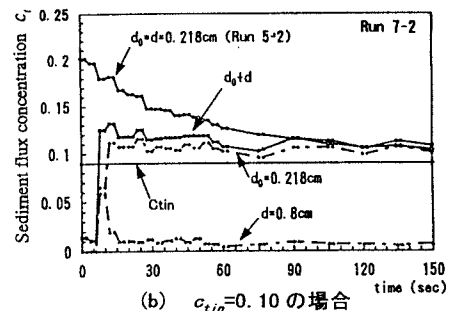


図-1 実験装置

(a) $c_{in}=0.05$ の場合(b) $c_{in}=0.10$ の場合図-2 下流端輸送濃度の時間変化の一例
($d=0.218\text{cm}$ および 0.8cm の場合)

Keywords: debris flow, erosion velocity, entrainment of bed sediment, critical erosion rate

* 〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町26-12 Tel. 0720(20)8585 Fax. 0720(21)0134

** 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 Tel. 0775(61)2732 Fax. 0775(61)2667

図-3は、図-2に基づいて、各実験における侵食速度 E を求め¹⁾、 $d=d_0=0.218\text{cm}$ の場合の侵食速度 E_0 で無次元化して、これと d/d_0 との関係を見たものである。この図では、どのケースにおいても d/d_0 が大きくなると E/E_0 は減少している。また、 E/E_0 は c_{im} の小さい 0.05 のケースにおいて、0.10 のものよりも若干大きくなっており、 E/E_0 が 0 となる河床材料の粒径、すなわち、土石流による河床材料の侵食限界について、 c_{im} により差異がみられる。 c_{im} の影響は E_0 に含まれており、無次元量 E/E_0 に対する c_{im} の影響は当初は現れないものと考えていたが、図-3 のようなデータ整理によれば、図示の程度の影響がみられる。

4. 河床材料の侵食限界 図-4 は、粒径 d_0 で構成される土石流が粒径 $d(d>d_0)$ で構成される河床上を流れているときの模式図である。 E/E_0 が 0 となる河床材料の粒径 d_i すなわち、河床材料の侵食限界粒径は、全せん断力 τ_b が降伏応力 τ_y と等しくなる深さ δ と密接に関係するものと考えられる。すなわち、 δ/d がある値よりも小さければ河床材料は侵食されないものと推察される。なお、 τ_b は、江頭・宮本・伊藤²⁾によれば、次式で表される。

$$\tau_b = \tau_y + \tau_\delta + \tau_\epsilon \quad \dots\dots(1)$$

ここに τ_y は粒子間摩擦による降伏応力、 τ_δ は粒子間の非弾性衝突に伴う散逸応力、 τ_ϵ は間隙流体の変形に伴う散逸応力である。

ところで、 δ/d を用いて、その限界値を議論するよりも、流動応力 ($\tau_b - \tau_y$) を長さの次元 L で表し、 L/d を用いた方が容易である。

図-4 および式(1)を参照すると、 L は次式のように定義できる。

$$L = (\tau_b - \tau_y) / (\sigma - \rho)g \quad \dots\dots(2)$$

式(2)と d を用いれば、一般の流砂における無次元掃流力に類似のパラメータとして、次式が得られる。

$$L/d = (\tau_b - \tau_y) / (\sigma - \rho)gd \quad \dots\dots(3)$$

図-3(a)、(b)において、 $E/E_0=0$ となる河床材料の粒径を外挿すると、それぞれ、(a)の場合には $d/d_0=6\sim 8$ 程度、(b)の場合には $d/d_0=4\sim 6$ 程度となる。さらに、 $E/E_0=0$ のときの河床勾配 θ および水深 h として、実験終了時の最終河床形状における勾配 ($c_{im}=0.05$ のとき $\theta=8.7\sim 9.1^\circ$ 、 $c_{im}=0.10$ のとき $\theta=11.0\sim 12.0^\circ$) と水深 ($c_{im}=0.05$ のとき $h=1.3\sim 1.4\text{cm}$ 、 $c_{im}=0.10$ のとき $h=1.0\sim 1.2\text{cm}$) を与え、 c_{im} と q_{in} を用いて L/d を算定すると、図-5 のようになる。

この図において、 L/d は 0.06～0.12 となっている。一方、この図において、 $c=0.00$ は清水流の場合に相当し、その場合、 L/d は概ね 0.05～0.06 程度であることから、本実験結果による L/d の値は、清水流の場合とほぼ変わらないオーダーであることがわかる。

5. おわりに 河床材料の粒径を種々変化させて実験を行い、その結果に基づいて、全せん断力から降伏応力を差し引いた流動応力と粒径を用いて得られる無次元量によって、土石流による河床材料の侵食限界が表示できることを示した。これらの結果は、実際の土石流堆積物に含まれる巨礫の粒径をかなり合理的に説明できるものと思われる。今後、水路実験および現地データに基づいて、図-5 の関係を検証する必要がある。

参考文献：1) 江頭・本田・伊藤・有村：土石流による河床侵食に関する実験的研究，水工学論文集 No.43，pp.641-646，1999。

2) 江頭・宮本・伊藤：掃流砂量に関する力学的解釈，水工学論文集 No.41，pp.789-794，1997。

3) たとえば、江頭進治：土石流の停止・堆積のメカニズム(2)，新砂防，第46巻第2号，pp.51-56，1993。

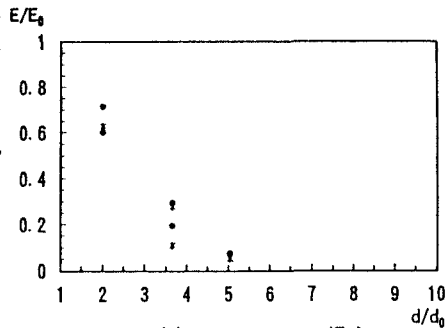
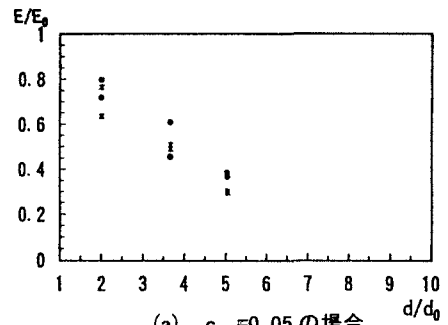


図-3 無次元侵食速度

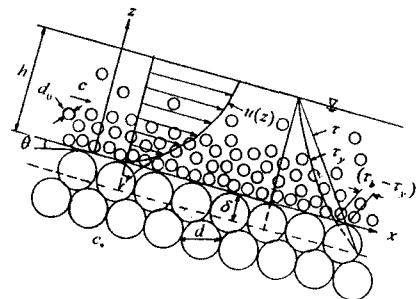


図-4 流れの模式図

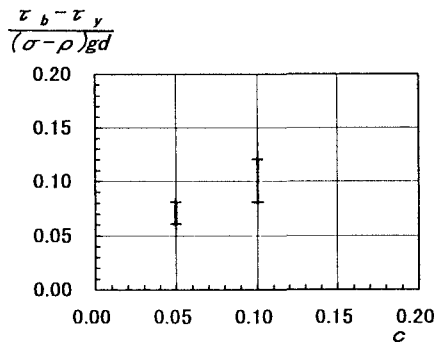


図-5 河床材料の侵食限界