

模型水路を用いた土砂流下実験における損失エネルギー算出方法の検討 (その1)

~ 均等係数の違いによる影響 ~

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治

学生会員 ○河合 直紀 平賀 有輝 吉川 陽 机 慶人

1. 研究背景

わが国では毎年集中豪雨や台風に伴う強雨によって土石流が発生している。これらの土石流災害の予知・予測は難しく、地形条件や気象条件によっては高い頻度で大きな被害を及ぼしてきた。土石流は一見流体に近い挙動を示すために流体力学的に扱われることが多い。しかし、一方で流出土砂の実態を把握し適切な防災対策に繋げるためには、粒状体としての性質も重要であると考えられる。本研究では土石流を粒状体として扱い、エネルギーバランスの解明によって流出土砂の挙動を把握することを目的として、模型水路を用いて、特に土石流材料の粒度分布が流下中の損失エネルギーに与える影響に着目した実験を行っている。本報では、その第1報として均等係数  $U_c$  の違いによる影響について検討する。

2. 固定床模型水路を用いた土砂流下実験の方法および実験条件

2.1. 実験方法

実験装置の概略図を図-1 に示す。実験には表面を防水ペイントした幅 120mm、高さ 200mm の木製の矩形固定床水路を用いた。水路下流端から流出した土砂質量を自動計測するために設置した電子天秤の最大容量は 40kg、サンプリング速度は 50Hz である。また、水路出口部から自由落下する土砂の落下軌跡を側方から 1 秒間に 30 コマの速さでビデオ撮影することで、水路下流端通過時の土砂の流速の時刻歴を測定した。

実験手順としては、水路下流端から上流側 2800mm を板で仕切り、仕切り板上流側に土砂 10kg と水を充填し、手動で仕切り板を一気に引き上げることで土石流を発生させた。また、仕切り板より上流側に土砂を充填させる際に、あらかじめ土砂に少量の水を加えて混ぜ合わせ、さらなる加水での土砂と水の一体化を図った。

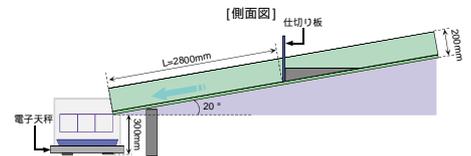


図-1 模型水路概略図

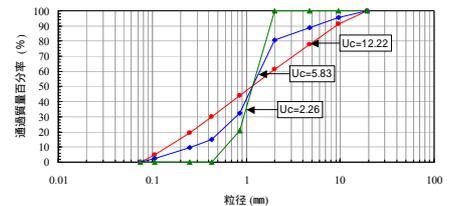


図-2 粒径加積曲線

2.2. 実験条件

実験材料として用いた利根川砂礫の粒径加積曲線を図-2 に示すが、平均粒径  $D_{50}$  が一定で均等係数  $U_c$  を 3 種類に変化させ、水土比  $W/S$  は 0.35, 0.5 と変化させて、損失エネルギーの比較検討を行った。土砂質量は 10kg、流下距離を 2800mm、傾斜勾配  $\theta=20^\circ$  とし、表-1 の条件で実験を行った。

表-1 実験条件

	M[kg]	L[mm]	W/S	$U_c$	$U_c'$	$D_{50}$	$\theta$ [deg]
case1-1	10	2800	0.5	12.22	0.61	1.24	20
case1-2	10	2800	0.35	12.22	0.61	1.24	20
case2-1	10	2800	0.5	5.83	1.60	1.27	20
case2-2	10	2800	0.35	5.83	1.60	1.27	20
case3-1	10	2800	0.5	2.26	1.08	1.27	20
case3-2	10	2800	0.35	2.26	1.08	1.27	20

3. 損失エネルギーの算出方法

土砂の水路内損失エネルギー  $E_{DP}$  は式(1)のように初期位置エネルギー  $MgH$  [J] から土砂流下後の水路内に堆積した砂の残存位置エネルギー  $\sum m_{1j}gh_j$  [J] および水路下流端から流出した土砂の運動エネルギー  $\sum m_2(t_i)v_0^2(t_i)/2$  [J] の差として求められる。ここで式(1)中の記号の詳細を表-2 に示す。

水路側面から撮影した画像から土砂の流速  $v_0(t_i)$  を、式(2)より算出する。すなわち水路下流端から放出される土砂が、そこから  $z$  ( $=100\text{mm}$  一定) だけ下方の位置を通過する時の水平距離  $x(t_i)$  を計測することにより、任意の時間  $t_i$  における

表-2 式中記号の詳細

記号	単位	説明
$E_{DP}$	[J]	損失エネルギー
$M$	[kg]	全質量(土砂+水)
$H$	[m]	土砂流下前の重心高さ
$L$	[m]	水平流下距離
$m_{1j}$	[kg]	水路上堆砂土砂質量
$h_j$	[m]	水路上堆砂土砂の平均高さ
$m_2(t_i)$	[kg]	水路より流出した土砂質量
$v_0(t_i)$	[m/sec]	流出土砂の流速

キーワード 土石流, エネルギー, 模型水路実験

連絡先 〒112-8551 文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 Tel 03-3817-1799

土砂の流出速度  $v_0(t_i)$  を連続的に計算する。このように  $t_i$  ごとに電子天秤で測定した流出土砂質量  $m_2(t_i)$ 、さらに式(2)で計算した  $v_0(t_i)$  の  $\Delta t=1/30$  秒ごとの値、また水路小区間 (20cm) ごとに測定した残存質量  $m_{1j}$  ( $j$  は小区間のナンバー) を用いて、式(1)から損失エネルギー  $E_{DP}$  を算出する。ただし土砂の流出速度  $v_0(t_i)$  と流出土砂質量  $m_2(t_i)$  の測定値の間に生ずるわずかな時間差は無視している。

$$E_{DP} = MgH - \left\{ \sum_j m_{1j}gh_j + \frac{1}{2} \sum_i m_2(t_i)v_0^2(t_i) \right\} \quad \dots(1) \quad v_0(t_i) = \sqrt{\frac{g}{z(1 + \cos 2\theta) - x \sin 2\theta}} x(t_i) \quad \dots(2)$$

4. 結果と考察

$Uc=2.26, W/S=0.35$  については土砂が仕切り板より上流側にほとんど堆積してしまい、流下しなかったため比較対象から除外する。

図-3 は流出土砂質量の時刻歴を、図-4 は流速の時刻歴を示したものである。図-3を見ると  $W/S$  の違いによらず  $Uc$  が小さいものほど流出開始から早い時間に多くが流出していることがわかる。さらに  $Uc$  が大きい方が最終的な流出土砂量が少なく、水路内に多く堆積したこともわかる。

次に、図-4を見ると  $W/S$  が 0.5, 0.35 とともに、 $Uc$  が大きいほど流下初期の流速が早い傾向にあり、土砂の流出終了時刻についても、 $Uc$  が大きいほど土砂流出の終了時刻が遅いことがわかる。この実験では、先に主に大きな粒径の土砂が流れ、後に小さな粒径の土砂が流れ出る傾向が実験中の観察により確認されており、分級作用が影響しているものと考えられる。

図-5 は各エネルギーの算出値を初期位置エネルギーに対する割合で示したものである。若干ではあるが、 $Uc$  が小さいほど損失エネルギーの割合は大きくなる傾向にある。また、 $W/S$  の違いで比較すると、 $W/S=0.5$  の方が  $W/S=0.35$  に比べ、損失エネルギーの割合が小さくなる傾向がある。

図-6 は距離 1m 当り質量 1kg 当りの損失エネルギーを示したもので、式(3)の重みつき平均式により算出した。若干ではあるが  $Uc$  が小さいほど 1m/kg 当りの損失エネルギーは大きくなる。また、 $W/S=0.5$  の方が  $W/S=0.35$  に比べ、1m/kg 当りの損失エネルギーがわずかに小さいことがわかる。

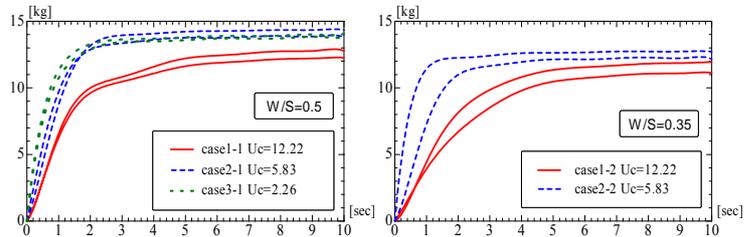


図-3 累積土砂流出質量の時刻歴 (W/S=0.5, 0.35)

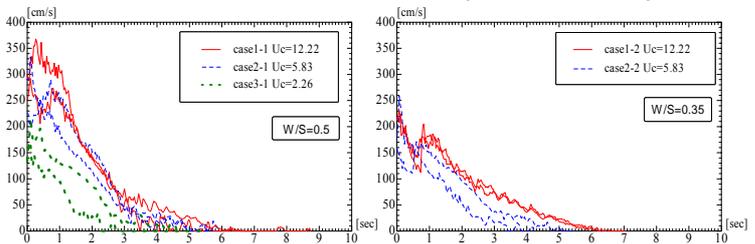


図-4 流速の時刻歴 (W/S = 0.5, 0.35)

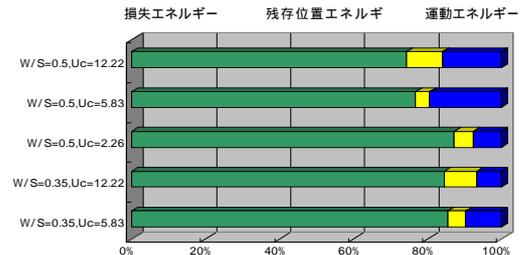


図-5 各エネルギーの割合

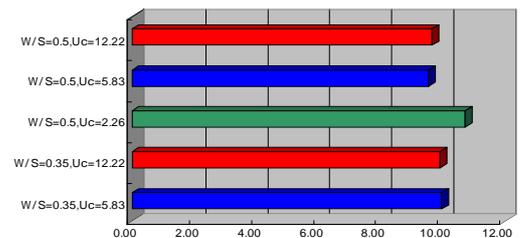


図-6 1m/kgあたりの損失エネルギー [J/m/kg]

$$(1m1kgあたりの損失エネルギー) [J/m/kg] = \frac{\sum_i [E_{DP}(t_i) / \{L \times m(t_i)\}] \times m(t_i)}{\sum_i m(t_i)} = \frac{\sum_i [E_{DP}(t_i) / L]}{\sum_i m(t_i)} \quad \dots(3)$$

5. まとめ

$Uc$  が小さいほど早い時間で土砂が流出し、最終的な流出土砂量は多くなる傾向にある。

$Uc$  が大きいほど流下初期の流速が早く、土砂流出の終了時刻は遅くなる傾向にある。

$Uc$  が小さいほど、また  $W/S$  が小さいほど損失エネルギーの割合および 1m/kg 当りの損失エネルギーは大きくなる傾向にあるが、その差は今回の結果から見る限り大きくはない。

[参考文献] 國生剛治,原忠,机慶人,吉川陽:模型水路を用いた土砂流下実験における損失エネルギー算出方法の検討,