

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

中央大学理工学部 正会員 國生剛治

学生会員 ○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地震時の斜面崩壊によって土石流が発生している。これらの土砂災害の予知・予測は難しく、地形条件や気象条件からも高い頻度で大きな人的被害を及ぼしてきた。従来、土石流は一見流体に近い挙動を示すため、流体力学的に扱われることが多かった。しかし、一方で粒状体としての性質も流出土砂の実態を把握するために重要であると考えられる。そこで、本研究では土石流の粒状体の側面に主に着目し、土石流発生渓流における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いる。

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。実験には勾配を $\theta = 20^\circ$ に固定し、表面を防水ペイントした幅 120 mm、高さ 200 mm の木製の矩形固定床水路を用いて実験を行った。水路下流端から流出した土砂の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前に、あらかじめ一定量の水を加えて土砂の充填による分級がなるべく起きないように混ぜ合わせた。

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それぞれ図-2に示し、実験条件を表-1に示す。土砂質量 10kg、流下距離 2800mm とし、本実験の再現性の確認、水と土砂の重量比 W/S の違いによる損失エネルギーの比較検討と平均粒径を 1.84, 0.88, 0.49 と変化させた相似粒度における損失エネルギーの比較検討を行った。

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 m_1gh_1 [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 $m_2(t_i)v_0^2(t_i)/2$ [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。

土砂の流速 $v_0(t_i)$ を水路側面から撮影した画像から算出する計算方法は式(2)の通りである。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

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

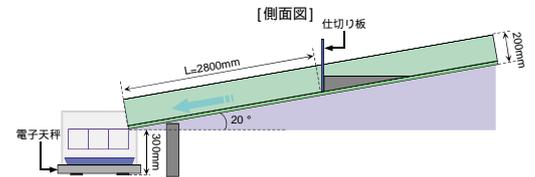


図 1 模型水路概略図

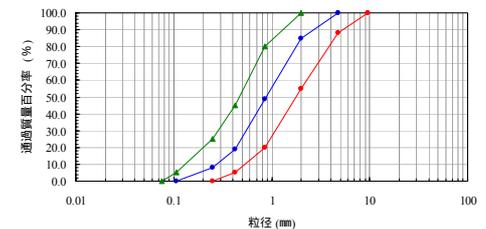


図 2 粒径加積曲線

表 1 実験条件

	M[kg]	L[mm]	W/S	Uc	Uc'	D ₅₀	Fc[%]	θ(deg)
case1-1-1	10	2800	0.5	4.26	1.01	1.84	0.0	20
case1-2-1	10	2800	0.35	4.26	1.01	1.84	0.0	20
case1-3-1	10	2800	1.0	4.26	1.01	1.84	0.0	20
case1-1-2	10	2800	0.5	4.26	1.00	0.88	0.0	20
case1-2-2	10	2800	0.35	4.26	1.00	0.88	0.0	20
case1-1-3	10	2800	0.5	4.26	1.00	0.49	0.0	20
case1-2-3	10	2800	0.35	4.26	1.00	0.49	0.0	20

表 2 式中記号の詳細

E_{DP}	[J]	損失エネルギー
M	[kg]	全質量(土砂+水)
H	[m]	土砂流下前の平均高さ
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

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 $t=1/30$ 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} を用いて , 式(1)から損失エネルギー E_{DP} を算定する . 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

ここで , case1-2-3 については土砂がほとんど流出しなかったため , 比較対象から除外した .

本実験における再現性を確認するために case1-1-1 , case1-2-1 の条件下で各ケース 2 回ずつ (A,B) 実験を行った . 損失エネルギー E_{DP} および運動エネルギー , 残存位置エネルギー それぞれの割合を図-3 に示す . これより水土比 W/S が 0.5 ,

0.35 の両ケースともに , 各エネルギーの割合はほぼ同じとなり , 本実験の再現性は良いと考えられる .

流速の時間変化をそれぞれ図-4 に示す . 流速は実験ケースごとにほぼ同様な時間変化を示しており , 今回用いた測定法に信頼性があると考えられる . さらに詳細に見ると , 流速について , $W/S=0.5$ の方が $W/S=0.35$ より初期段階での流速が明らかに大きいことがわかる . また , W/S が同じケースで比較すると , 平均粒径 D_{50} が小さいものほど流速が早いということがわかる .

流出土砂質量の時間変化をそれぞれ図-5 に示す . これより , 全流出土砂質量の大部分が初期の段階で流出しており , また , $W/S=0.5$ の方が $W/S=0.35$ よりも最終的な流出土砂質量の値が大きいことがわかる . W/S が同じケースで比較すると , D_{50} が大きいものほど初期の段階で全流出土砂質量の多くが流出しているが , 最終的な流出土砂質量は , D_{50} によらずほとんど差がないことがわかる . ただし , 詳細に見れば , case1-1-3 については初期の段階で一気に土砂が流出しているわけではなく , 時間をかけて流出していることがわかる . また , 最終的な流出土砂質量も case1-1-1 , case1-1-2 に比べ若干低くなっており , 水路に多く残っていることがわかる .

図-6 は $W/S=0.5$ と 0.35 の条件で $D_{50}=1.84, 0.88, 0.49$ に変化させたケースのエネルギーの割合を比較している . これより , 当然ながら W/S が大きいほうが損失エネルギーの割合が小さくなることがわかる . また , W/S が同じケースで比較すると , 平均粒径 D_{50} が小さくなるほどわずかながら損失エネルギーの割合が小さくなる傾向が見られることがわかった .

5 . まとめ

- ・ 水土比 W/S の値が大きいほど損失エネルギーの割合は小さくなる傾向が見られた .
- ・ 水土比 W/S が同じケースで比較すると , 平均粒径 D_{50} が小さくなるほどわずかながら損失エネルギーの割合が小さくなる傾向が見られることがわかった .

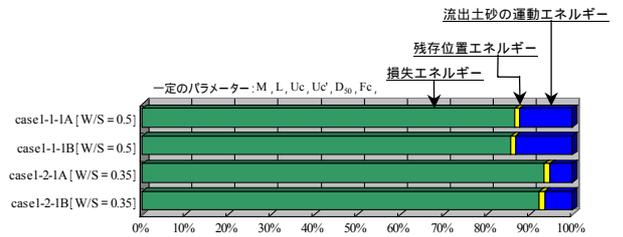


図 3 各エネルギーの割合

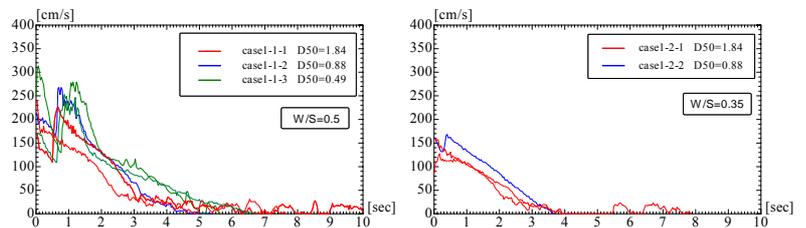


図 4 流速の時刻歴 (W/S=0.5,0.35)

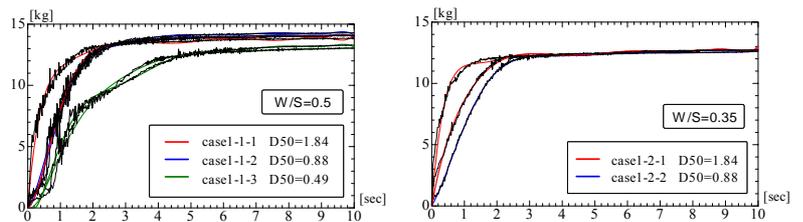


図 5 累積土砂流出質量の時刻歴 (W/S=0.5,0.35)

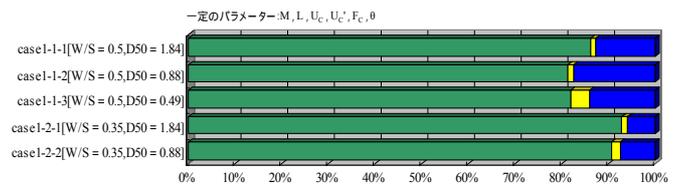


図 6 各エネルギーの割合