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の算出(その2)

~傾斜角度の違いによる影響~

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治

> 学生会員 〇西村 治久 平賀 有輝 田辺 稔史

1.研究背景

我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。これらの土砂災害の予知・予測は難 しく,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面から流出土砂の挙動を把握 することを目的とし、模型水路を用いて、土石流材料の粒度分布など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¹⁾.本報では、その結果のうち傾斜角度θの違いによる影響について述べる.

2.実験方法

実験装置の概略を図-1 に示す.実験には幅 120mm, 高さ 200mm のアク リル製の矩形固定床水路を用いた. そこに貯めた土砂を流す. 水路下流端 から上流側 2800mm をシャッターで仕切り、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60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.

実験手順はシャッターより上流側に土砂と水を充填する.その際、あら かじめ土砂に少量の水を加えて混ぜ合わせ、更なる加水での土砂と水の一 体化を図った、その後空気圧により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.

実験材料として用いた河床砂礫の粒径加積曲線を図-2に、実験条件を表 -1 に示す. 土砂質量は 10kg, 流下距離を 2800mm, 平均粒径 D₅₀=14.43, 5.77, 1.84, 水と土砂の重量比 W/S を 0.5 とし, 水路の傾斜角度 θ を 22.5°, 26.5°, 30°と変化させ水路流下中の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Enp は式(1)のように初期位置エネルギー MgLtan θ [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 $-\Sigma m_{lig}(L-l)$ tan θ [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 $\sum m_2(t) m^2(t)/2 [J]$ の差とし求められる.式中の記号の詳細は表-2 に示す. ここで、シャッター内に貯めた土砂の初期位置エネルギーの算出 は飽和土砂と上部の水の部分の質量と重心位置を計算し、それを用いて初 期位置エネルギーを計算している.

 $E_{DP} = MgL \tan \theta - \left\{ \sum_{i} m_{ij} g(L-l_j) \tan \theta + \frac{1}{2} \sum_{i} m_2(t_i) v_0^2(t_i) \right\} \qquad \dots (1)$ $v_0(t_i) =$ $x(t_i)$ $\sqrt{z(1+\cos 2\theta)-x\sin 2\theta}$





表-1 実験条件

	Ms[kg]	1[mm]	W/S	Uc	Uc'	D50	$\theta[deg]$
case1-1	10	2800	0.5	4.25	1.03	14.43	22.5
case1-2	10	2800	0.5	4.22	0.94	5.77	22.5
case1-3	10	2800	0.5	4.26	1.01	1.84	22.5
case2-1	10	2800	0.5	4.25	1.03	14.43	26.5
case2-2	10	2800	0.5	4.22	0.94	5.77	26.5
case2-3	10	2800	0.5	4.26	1.01	1.84	26.5
case3-1	10	2800	0.5	4.25	1.03	14.43	30.0
case3-2	10	2800	0.5	4.22	0.94	5.77	30.0
case3-3	10	2800	0.5	4.26	1.01	1.84	30.0



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 土砂の流速 $v_0(t_i)$ は水路側面から $\Delta t=1/60$ 秒で撮影した画像より,水路下流端から放出される土砂が,そこから z(=100mm 一定) だけ下方の位置を通過する時の水平距離 $x(t_i)$ を計測することで任意の時間 t_i における土砂の流 出速度 $v_0(t_i)$ を式(2)により連続的に計算する.この $v_0(t_i)$ と電子天秤で測定した土砂質量 $m_2(t_i)$,水路小区間(20cm) ごとに測定した残存質量 m_{1i} (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.

4.結果と考察

 図-3 は流出土砂質量の時刻歴を示したものである.これより、D₅₀の違いによらず傾斜角度θが小さいほど流れきるまでの時間が遅いことが見て取れる.
 図-4 は流速の時刻歴を示したものである.これより、 θが大きいほど、D₅₀が大きいほど初期の流速が早く、 流速が遅くなるまでの時間が短いことが見て取れ、
 図-3の傾向と一致していることがわかる.

図-5 は初期の位置エネルギーを 100%として, 各エ ネルギー割合を示したものである.これより, θ =30°の場合が全体に占める損失エネルギーの割合 が最も小さく,運動エネルギーの割合が大きいこと が見て取れる.また,どの角度においても D_{50} が大

きいほど損失エネルギーの割合が小さいことがわかる. さらに, θが 小さくなるほど水路内に堆積している土砂量がわずかではあるが多い ことがわかる.

ところで、単位質量 1kg の土砂が単位水平距離 1m を流れる間の損 失エネルギー e_{DP} は、式(3)のように表すことができる.図-6 は、式(3) より水平距離 1m 当り、質量 1kg 当りで算出した損失エネルギー e_{DP} の 値とその区間での重力エネルギー $g \tan \theta$ [J/m/kg]の比をあらわしたグ ラフである.同図中には同一条件で2回づつ行った実験で求めた値と その平均を載せており、データのバラツキは小さいと言える.この比 の大小により土砂の流動性が決定されるといえるが、 θ が大きいほど また D₅₀ が大きいほど比の値が小さくなっており、土砂の流動性が増 す傾向にあることがわかる.

$$\int_{DP} [J/m/kg] = \frac{M g L \tan \theta - \sum_{j} m_{1j} g (L - l_j) \tan \theta - \frac{1}{2} \sum_{i} m_2 (t_i) v_0^2}{\sum_{i} m_{1j} l_j + L \sum_{i} m_2 (t_i)} \dots ... (3)$$



限られた条件の範囲ではあるが、今回の模型水路流下実験(その1、その2)により以下のことがわかった.

- ・ 土砂の損失エネルギーと重力エネルギーの比の値は傾斜角度θが大きくなるほど、また水と土砂の重量比 W/S
 が大きくなり、平均粒径 D₅₀が大きくなるほど小さくなる。
- したがって、このような条件になるほど土石流の流動距離が増え、残留運動エネルギー(重力エネルギー−損失 エネルギー)が増加する傾向が明らかになった.

謝辞;今回の調査は文部科学省科学技術振興調整費による委託研究開発(活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの 構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案,研究代表者:小長井一男)の一環として実施したものである.末筆ながら 関係各位に感謝の意を表します.

[参考文献] 1) 國生剛治,平賀有輝: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, Geo-kanto2007 講演概要集



