

80 乾燥粒子流の流下・堆積実験

建設省 土木研究所 ○寺田秀樹

中村良光

工藤賢二

1. まえがき

急傾斜地や沿道斜面等での斜面崩壊対策において、危険範囲の予測や対策工事を合理的なものにするためには、斜面崩壊の発生機構を明らかにするだけでなく、崩壊土砂の流動機構を明かにし、その堆積機構についても検討する必要がある。

今回は乾燥粒子流の流下実験を行い、速度分布に影響を及ぼすと考えられる流下時の濃度の計測を試みるとともに、堆積時の挙動を検討するために、乾燥砂の堆積実験を実施したので報告する。

2. 実験概要

2. 1 流下実験

図-1に示す斜面に採取器を取り付け、採取器の設置高さを順次変えることにより設置高さより下層の部分の粒子を採取箱に落下させ、その重量を計測した(図-2)。

採取時期は、ホッパーより落下された粒子流が定常状態となった期間について採取箱を採取器の下に移動し、約2秒程度採取した後、採取箱を引き戻した。その間の時間をストップ・ウォッチで計測した。同時に採取器の斜面上方約30cmで、側面から流動中の流れを高速ビデオ装置で撮影し、流動深、流速分布を計測した。

実験条件は、表-1に示した。プラスチック球と乾燥砂を用い、プラスチック球の場合は勾配を3種類に変化させて行った。

2. 2 堆積実験

図-1の斜面下端に長さ2mの緩斜面を接続して行った。中央粒径2.86mm(以下3mm砂)、0.93mm(以下1mm砂)の2種類のほぼ均一な資料砂を用い、ホッパーから、300~500kg程度流下させ、下流側の緩斜面への堆積状況を高速ビデオにより撮影した。堆積終了後、堆積範囲、高さについてメジャーで計測するとともに、円筒のサンプラーを堆積砂に挿入し、堆積深と重量から堆積濃度を算定した。

斜面の勾配の組合せは、上流側34.1°と下流側21.5°、同じく36.0°と16.5°および39.5°と10.0°の3種類である。また、実験は下流の緩斜面に側壁を設けた1次元実験と下流側の緩斜面を平板に

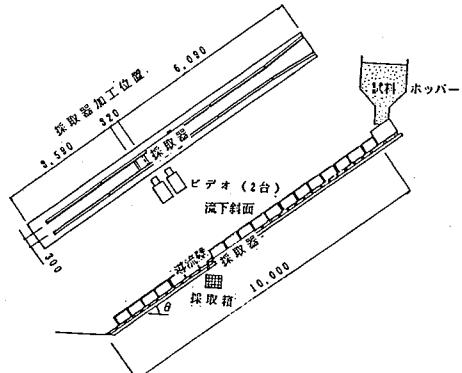


図-1 実験斜面

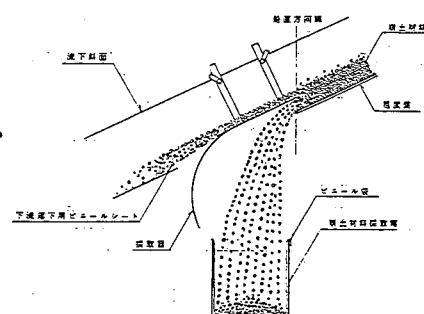


図-2 実験概要

して平面的な堆積状況を調べる実験の2種類を行った。実験条件を表-2に示した。

3. 実験結果および考察

3.1 流下実験

①輸送量の高さ分布 採取高さの相対高さと時間当たり採取重量との関係を図-3に示した。図には、プラスチック球と砂を合わせて表示したが、ほぼ同一の傾向を示しており、相対深が0.5程度までは採取量の10%程度であるがそれ以降急激に増大する。また、流動深が上部ほど採取量の増大割合も大きい傾向がある。

図-4に、流速比と採取比の高さ分布を示した。これらから、採取量は、流速の分布とほぼ同様の傾向を示し、採取量が増大する原因是、速度勾配が大きくなる深度に相当している。

流速分布を概観すると、下層部の上に凸な速度分布と上層部の下に凸な速度分布を有する流れが見られ、この上下層部の各粒子は層状に流れている。速度勾配が増大するのは、この上下層の境界付近に相当することから、流量の多くは上層の流れによって輸送されていることになる。

②流下濃度 全層の平均濃度について検討した。濃度の目安としては、容器に充填した際の体積濃度や堆積時の濃度より小さいことが考えられる。別に計測した両者の値は、充填時が砂で0.60、プラスチック球で0.59、また堆積実験で求められた堆積直後の値は砂で0.44～0.49であった。

体積濃度Cは、平均流速をU、流動深をH、流路幅をB、粒子の時間当たり採取量をW、粒子の密度をσとすると $C = (W/\sigma) / (U \times H \times B)$ として求められることになる。実験結果から求められた全層採取時のW、全層平均流速のU、流動深を用いて濃度を求めるとプラスチック球、砂の場合とも、充填時の濃度を上回ることになった。

これは、求められた流速が側板沿いのものであることから、側板の影響を受けているためと考えられ、今後は流路内の横断方向等の速度分布

表-1 流下実験条件

No	崩土材料	斜面勾配	採取高さ	崩土質量
1 ～ 16	3mm砂	34.1	1.0, 1.5, 2.0 2.5, 3.0, 4.0 5.0, 6.0	430Kg
17 ～ 28	プラスチック球	21.0	2.0, 3.0, 4.0 6.0, 8.0, 10.0	200Kg
29 ～ 40	"	25.0	2.0, 3.0, 4.0 5.0, 6.0, 8.0	200Kg
41 ～ 52	"	27.0	2.0, 3.0, 4.0 5.0, 6.0, 7.0	200Kg

表-2 堆積実験条件

No	堆積条件	上流勾配	下流勾配	崩土材料	崩土重量
1	綻断	34.1	21.5	3mm	436Kg
2	"	"	"	"	434Kg
3	"	"	"	1mm	301Kg
4	"	"	"	"	300Kg
5	平面	34.1	21.5	3mm	426Kg
6	"	"	"	"	437Kg
7	"	36.0	16.5	"	419Kg
8	"	"	"	"	419Kg
9	"	39.5	10.0	"	251Kg
10	"	"	"	"	244Kg
11	"	36.0	16.5	1mm	243Kg
12	"	"	"	"	243Kg

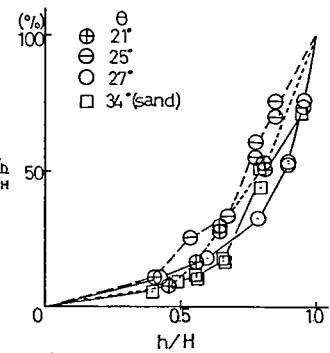


図-3 採取高さと採取量

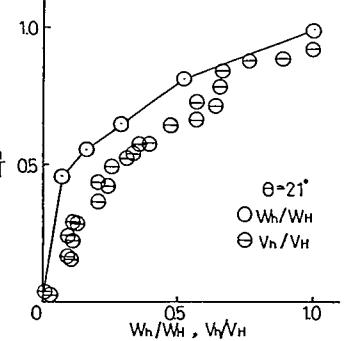


図-4 流速と採取量比の高さ分布

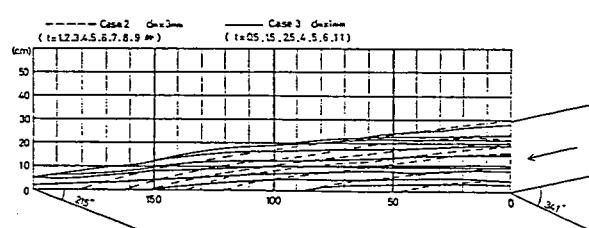


図-5 堆積進行状況（縦断）

を無視できるような実験方法への改良が必要である。

3.2 堆積実験

①粒径と到達距離 図-5に1mm砂と3mm砂の堆積の進行状況を示した。図から1mm砂の方が薄く早く堆積が進行しているのがわかる。資料の全流下量は1mm砂の方が5割程度少ないが、3mm砂は斜面内で堆積が終了し、1mm砂の方は下端から流出した。

勾配変換点上流側での流動深はビデオから見ると3mm砂で3~4cm程度、1mm砂で2~3cm程度であったことから、それぞれの相対流動深は前者で10~15程度、後者で20~30

程度となり、相対流動深が大きい方が到達距離は長くなっている。図-6 下流勾配と到達距離

②斜面勾配と到達距離 勾配の組合せと到達距離の関係を図-6に示した。なお、この際の実験結果は、流下量は上流側勾配34°の場合が他のケースに対して5割程度多い。そこで、34°については最終到達長とともに、流下量の少ない2ケースの堆積終了時間である9秒時点での到達長を合わせて示した。図から、下流側斜面勾配が急なほど、あるいは上・下流での勾配変化が小さい程到達距離が長くなっている。

上流側の斜面勾配が急で下流側が緩い組合せほど到達距離が小さくなっていることから、崩土の到達距離には下流側勾配の影響が大きいと考えられる。

また、流下した崩土は勾配の変換点で下流側斜面に衝突することにより、ジャンプするが、この傾向は39°と9.6°の組合せの場合が最も顕著であることから、勾配の急変は崩土に衝力を及ぼし、到達距離を減じていると考えられる。

③堆積範囲の拡大過程 流下した崩土は、緩斜面に到達後、順次前方と側面に広がり、既に堆積している範囲の全面を覆う様に広がって堆積面を拡大する。当初は流下方向への拡大が大きいが、先にその進行は終了し、後は側方への拡大だけになる(図-7)。これは、上流からの供給砂量の減少等によるものと考えられる。

ただし、39°と10°の組合せでは、先頭部は勾配の変換点でジャンプし、薄く広く堆積するが、その後は勾配変換点から急激に堆積が遡上し、流下方向へは先頭が到達した範囲までは達しなかった。さらに遡上堆積が進行すると一度堆積

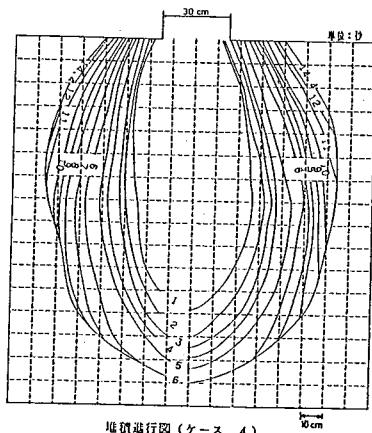
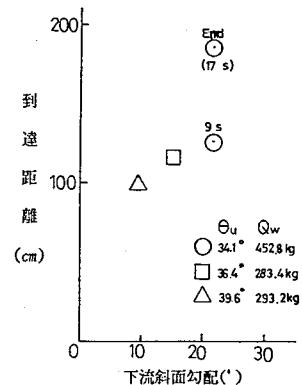


図-7 堆積進行状況(平面)

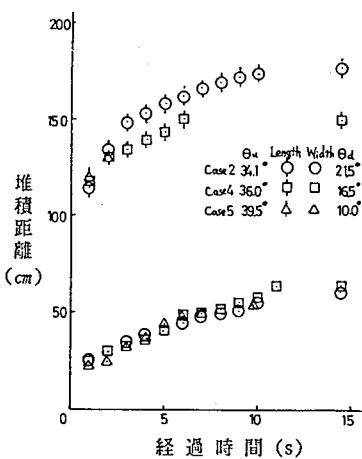


図-8 経過時間と堆積範囲

した崩土が再移動することにより、勾配変換点下流側の主に横方向へ拡大する。

また、上流側の流路幅の延長範囲内に部分的な堆積が生じると、後続の流れはそれを避けて堆積し、結果的には凹部と凸部の位置が交互に繰り返して生じた。しかし、その軸方向が流下方向と平行しているため、横方向への拡大への寄与は大きくない。

勾配の組合せ別に、流下方向と横方向への堆積範囲の拡大状況を上流流路出口への到達時刻からの経過時間との関係で見ると（図-8）、横方向への拡大は勾配条件にもかかわらず、ほぼ同様の傾向を示した。また、同一の勾配条件で1mm砂と3mm砂を比較した場合でも、流下方向へは異なった傾向を示す

が、横方向へは粒径の違いにもかかわらず、ほぼ同様の傾向を示した。

そこで、両者の最大堆積幅の形成位置での堆積横断図を見ると（図-9）、両者はほぼ相似形を呈している。また、堆積横断形は3mm砂の各条件でも、ほぼ同様の形状を呈しており、堆積物側端での堆積勾配は $27^\circ \sim 29^\circ$ 程度であった。

④堆積勾配と堆積濃度 各条件について、堆積前面の勾配を調べた。図-10に下流側勾配との関係で示したが、斜面勾配との関係は特に見られないが、分布範囲で見ると静止摩擦角の小さい1mm砂の方が若干小さい角度の範囲に分布している。

また、堆積終了直後に円筒サンプラーを、流心上で堆積深が15cm程度となる位置に差込み、その重量とサンプラー挿入前の堆積深とから、全層の平均堆積濃度を算出した。粒径、斜面の勾配条件によって顕著な傾向は見られず、0.44～0.49の範囲となった（図-11）。また、参考のため一部について、サンプラー挿入後の堆積高さを用いて濃度を算出すると、0.57～0.59となった。

4. 今後の問題点

乾燥砂について、流下時の濃度分布を測定するには、流路の横断方向の速度差を無視できるような実験方法に改良する必要がある。

また、今後はこれらの実験結果に基づいて、これまで検討してきた連続体のモデル¹⁾を通じた抵抗則に基づいた数值シミュレーション手法を検討していく予定である。

参考文献 1)藤沢他：乾燥粒子流の抵抗則、平成2年度砂防学会研究発表会概要集

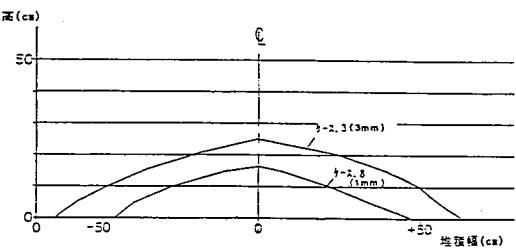


図-9 堆積横断図

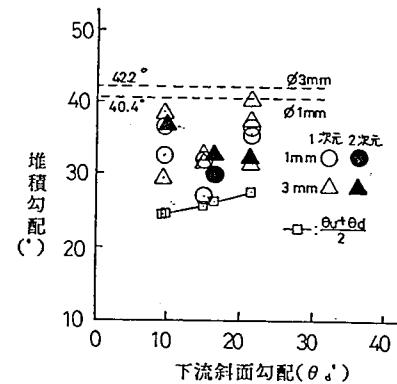


図-10 堆積前面勾配

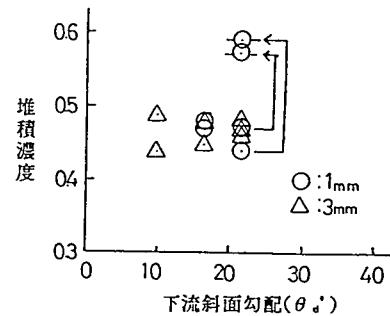


図-11 堆積濃度