

40 ガラスビーズを使用した土石流実験(I)

—先端部の速度・形状について—

京都大学農学部 中島皇 武居有恒 小橋澄治

はじめに

土石流の研究は近年、種々の方向からのアプローチがなされているが、従来から数多く行われている研究といえば、現地での観測・調査と水路実験による研究であろう。しかし、このうち水路実験の再現性について詳しく論じられているものは数少ない。本実験では再現性のある実験方法を確立することを目的とすると同時に、再現性の指標とした先端部の速度と縦断形状について詳しく調べた。

1. 実験方法

1.1 実験装置

実験水路は図1に示すような長さ7m、巾15cm、深さ15cmの鋼製、側面がアクリル板張りの水路で水路床には使用した試料と同じものを張りつけてある。試料はガラスビーズ、5mmφ、密度2.50(g/cm³)

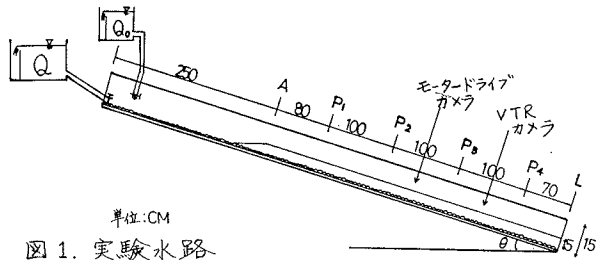


図1. 実験水路

のはほぼ球形のもので、容積濃度 $C_v = 0.6$ において内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ である。給水装置は水量が一定に保たれるように水路の上流部に定水位のタンクを設置した。

1.2 実験条件

飽和堆積層におけるせん断力とせん断抵抗力とのつり合いから求められた限界勾配の式¹⁾

$$\tan \theta = \frac{C_v(\sigma - P)}{C_v(\sigma - P) + P} \tan \phi$$

C_v ; 堆積層の粒子の容積濃度

ϕ ; 堆積層の内部摩擦角

σ ; 粒子の密度, P ; 水の密度

この式に上記の試料の諸定数を代入して $\theta = 15.3^\circ$ を得る。これより、水路勾配は $13^\circ, 15^\circ, 17^\circ, 19^\circ$ とした。堆積層の条件としては、飽和度 $0\%, 100\%$ とし、 100% の場合には各勾配に応じた浸透水 Q_0 ($176\% \sim 192\%$) を予め与えて堆積層

13° 0%					13° 100%				
条件 No.	PR	PR	PR	PL	条件 No.	PR	PR	PR	PL
31	20	19	18	18	41	44	59	52	44
32	19	20	19	17	42	44	56	50	49
33	20	19	20	19	43	43	56	54	50
34	19	20	19	19	44	45	52	54	49
35	19	20	20	17	45	46	50	55	50
71(%)	19	20	19	18	71(%)	44	54	53	47
0	0.49	0.49	0.75	0.87	0	1.02	3.20	1.77	2.12
15° 0%					15° 100%				
1	23	23	23	20	11	—	73	88	60
2	24	24	21	21	12	61	79	27	39
3	24	24	23	21	13	59	89	76	71
4	24	23	23	20	14	61	84	76	64
5	24	24	21	19	15	61	86	76	62
6	24	24	22	20	16	61	82	64	64
7	24	24	24	21	17	61	81	79	61
8	22	24	23	21	18	62	81	78	20
9	24	24	23	20	19	60	80	79	82
10	23	24	24	20	20	61	79	83	68
71(%)	24	24	23	20	71(%)	61	79	82	66
0	0.66	0.60	1.00	0.64	0	0.63	2.73	3.92	2.97
17° 0%					17° 100%				
1	23	23	21	20	91	69	80	78	83
2	23	24	21	17	92	74	82	83	87
3	22	24	21	20	93	61	91	80	80
4	21	24	23	18	94	70	74	84	74
5	21	25	21	19	95	64	73	79	74
6	22	24	20	21	96	68	81	71	75
7	23	24	20	19	97	68	73	87	65
8	22	23	25	17	98	65	78	88	81
9	24	23	23	18	99	73	78	83	67
10	25	23	23	20	100	—	83	83	81
71(%)	24	23	22	18	71(%)	68	79	83	69
0	1.20	0.64	1.54	1.30	0	3.74	5.22	5.33	7.01
19° 0%					19° 100%				
1	25	24	23	20	61	68	79	83	56
2	26	26	22	20	62	78	79	86	66
3	26	26	22	21	63	74	86	86	78
4	26	26	22	21	64	74	86	20	74
5	26	26	23	19	65	86	78	86	81
6	26	24	23	21	66	73	91	89	77
7	26	25	23	21	67	75	89	86	82
71(%)	26	25	23	21	71(%)	75	83	86	67
0	0.40	0.78	0.49	0.75	0	6.01	6.85	8.51	7.33

表1 平均流速

注1. $15^\circ 100\%$ No.13~16(斜線部)は P_2 P_3 間で堆積層が完全に飽和してしまつたため、平均する場合のデータからは省いた。
 2. $19^\circ 100\%$ は堆積層の飽和度が 100% に達するまえに動き出すため、表面近くに一粒径ほどの不飽和層がある条件である

を完全に飽和させておく。

1.3 発生方法

試料を図1のようにA点からL点までの間に5cmの厚さで敷きつめる。毎回の試料の総量をほぼ一定に保つために、決まった容器を使用してつめた容積濃度 C_v は0.60~0.63の範囲であった。これに上流から0%の場合は $Q(760\text{ml/s})$ のみを、100%の場合には $Q_0(176\text{ml/s} \sim 192\text{ml/s})$ で予め堆積層を完全に飽和させた後、 $Q(760\text{ml/s})$ を与えて土石流を発生させる。

1.4 測定方法

土石流の先端速度は先端の到達時刻を A, P_1, P_2, P_3, P_4, L の各点で記録し、それぞれの区間の平均速度を求めた。先端形状は P_2P_3, P_3P_4 間のそれぞれの中点でモータードライブカメラとVTRカメラ(60 f.p.s.)で側方から撮影し、画像を読み取り解析した。

2. 結果及び考察

2.1 先端速度

表1は各区間の平均速度をまとめたものである。各実験条件での平均速度の平均値をとってみると、どの条件でも P_2 から P_4 ではほぼ一定の速度に達しているとみなせよう。図2はVTRカメラを設置している区間(P_3P_4)と全区間(PL)との平均速度を比較したものである。0%では差がみられないが100%ではかなり差がでている。

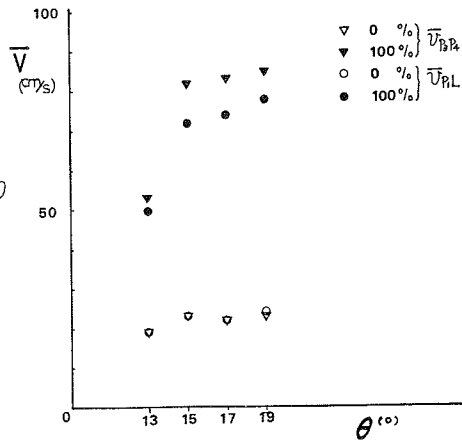


図2 平均速度の比較

表1では差がみられないが100%ではかなり差がでている。 $\bar{V}_{P_3P_4}$ について勾配の違いによる速度の大きさをみると、0%ではどの勾配でも約20cm/sであるが、100%では θ が 13° のときには約50cm/sであるのに対して、 $15^\circ, 17^\circ, 19^\circ$ になると約80cm/sとなっており、 13° と 15° の間で速度が大きく変化する傾向にあることがわかる。これは前述の飽和堆積層の限界勾配が約 15° であることによるものと考えられる。

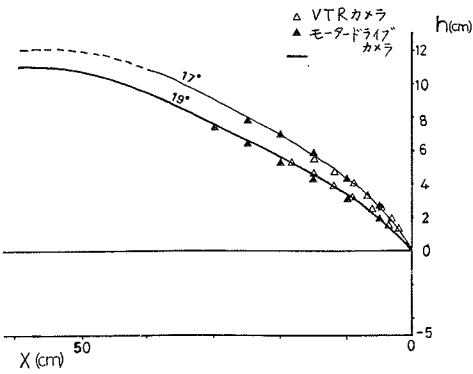


図3 先端部の縦断形の決定法

2.2 先端部の形状

2.2.1 先端部の形状の決定法

図3中の $\blacktriangle, \triangle$ はそれぞれモータードライブカメラ、VTRカメラから得られた先端形状の例であり、よく一致している。ここで2.1の結果も考慮すると P_2P_4 間では先端の速度及び形状はほぼ一定であるとみなして差し支えない。そこで、VTRカメラの画像からある点での波高の変位を読み取り、先端の速度と形状が変化しないものとして描くと実線のようになる。どちらもよく一致している。以上よりこの方法によって各実験の先端部の形状を求めることにした。

各々の実験条件での先端部形状を求めた例が図4である。速度の場合と同様、100%で勾配が大きいものほどばらばら傾向にあるがその大きさはあまり大きくなく、実験はよく再現されているといえる。

2.2.2 先端勾配

ここで先端勾配とは先端部が元河床となす角度をいうことにする。2.2.1 に述べた方法で各々の条件の先端部の形状を描いた(図5)。0%では元河床の勾配が大きくなるほど先端勾配は小さくなっていく。元河床の勾配と先端勾配を加えると約 30° となり、この試料の内部摩擦角にほぼ等しくなっている。これは後にも述べるように先端部に不飽和部分が存在しているためであろう。100%では0%とは逆に元河床の勾配が大きいかほど先端勾配も波高も大きくなっている。ただし、 19° の場合には、2でも述べたように堆積層が完全には飽和されないうえに先端部に不飽和部分が生じて角度が小さくなるものと考えられる。

2.2.3 土石流の流量

図5中の一点鎖線は1秒間の流量を示している。元河床部の動きを無視すると100%の場合は河床勾配が大きいかほど流量も多くなる。しかし、0%の場合には先端通過後の時間のとり方によって流量の多少が決定されるため河床勾配との関係はいちがいにはいえない。同じ河床勾配での0%と100%との比較は供給水量が異なっているため厳密な比較にはならないが、100%の場合の流量の方が多い傾向にある。

2.2.4 浸潤線

図6は0%の場合に先端部に現われる浸潤線を表わしたものである。河床勾配が大きくなると不飽和部分が大きくなっていることがはっきりわかる。浸潤線はどれも途中で屈曲点を持ち屈曲点より下は水平面に対して $70^\circ\sim 80^\circ$ ぐらいの勾配をもっている。浸潤線は先端とほぼ同じ速度(20~23%)で移動しており先端の速度が浸潤線の動きによって決まっているようにも思われるが、今後より詳しく調べる必要があろう。

3. まとめ

今回の実験により再現性のある実験が行なえる実験方法が一応確立した。その他には、土石流の先端速度・形状は河床の飽和度に大きく左右される。河床勾配の差はそれほど速度には影響しないが、限界勾配のような特別な勾配の前後では大きく影響する。飽和度0%の場合には先端部に不飽和部分が生じ、浸潤線は先端とほぼ同じ速度で動いている。以上のような点が明らかになった。今後、この実験方法を改良し、内部の粒子の動きを調べ、従来の研究とも比較しながら土石流の運動機構を明らかにする。

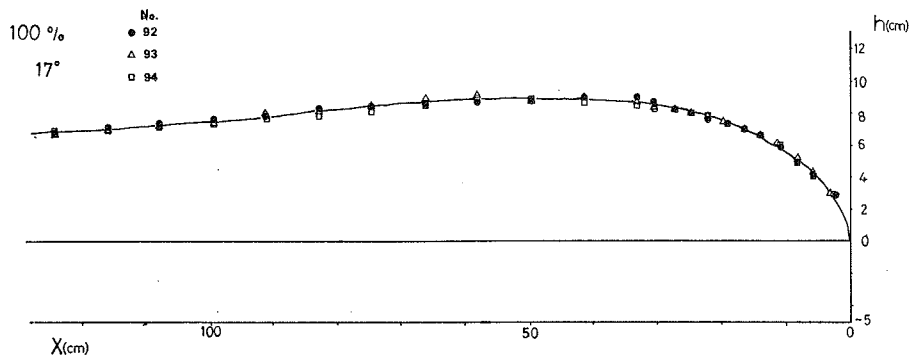


図4 縦断形のはらつき

かにしてゆきたいと考えている。

参考文献

1) 高橋保; 土石流の発生と流動に関する研究, 京都大学防災研究所年報 No.20 B-2 1977

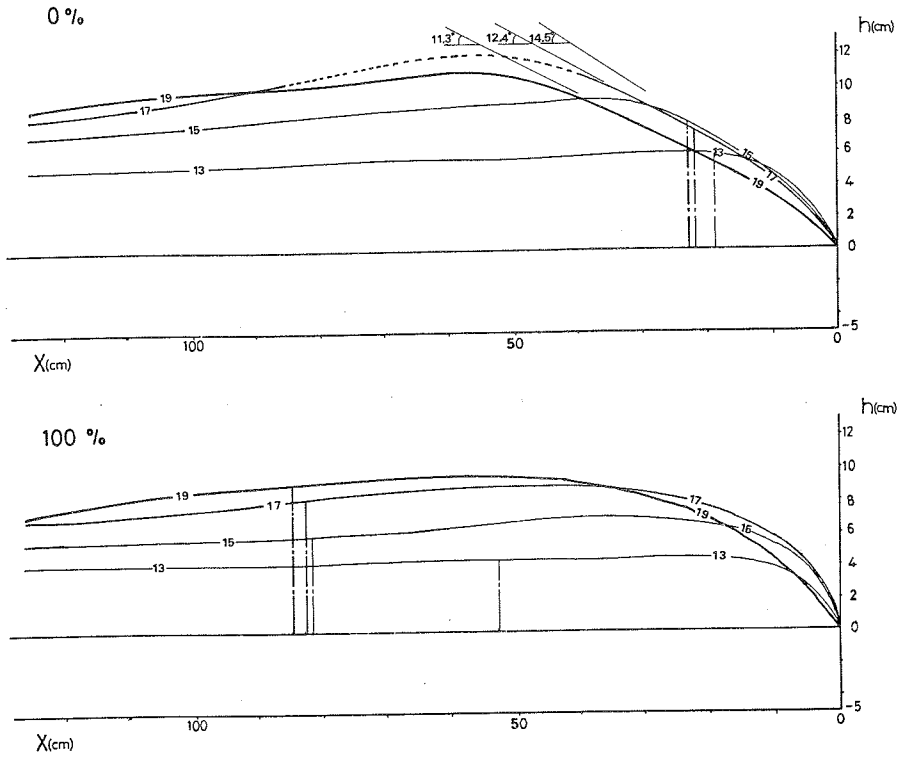


図5 縦断形の比較

注. 点線は測定できなかった部分

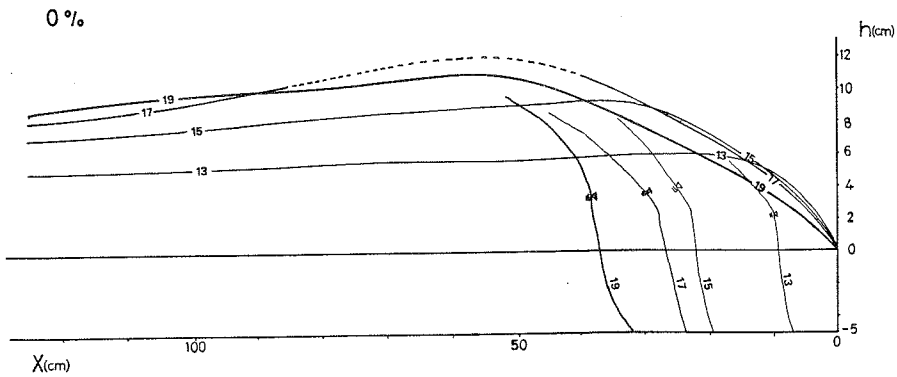


図6 先端部にみられる浸潤線と不飽和部分

注. 点線は測定できなかった部分