

(財)建設技術研究所 ○坂東 高  
 建設省土木研究所 水山高久  
 (財)建設技術研究所 長井 喬

1. 緒言 土石流は、微細砂の混入によって比重の増加した濁水が相対的に比重の減じた礫・岩を輸送するため、勾配の緩急にかかわらず高濃度な流れとなると考えられる。この現象を模型実験で再現しようとした場合、現地と同種の材料では勾配が緩いと土砂濃度が小さくなり、土砂濃度を現地と模型とで一致させることができない。このような場合の模型実験手法として、総土砂量を現地と模型とで一致させるように実験時間を長くするか、あるいは現地の材料と比重の異なる材料を用いて土砂濃度を大きくするか等の方法が考えられる。そこで今回高濃度な状態で流下する土石流の堆積形状についての相似性を実験的に検討し、その実験手法について考察したので、ここに報告する。

2. 実験条件 実験は、河床勾配  $1/12.5$  (長さ  $2\text{m}$ ) と  $1/25$  (長さ  $3\text{m}$ ) で水路幅  $10\text{cm}$  の短形水路と幅  $50\text{cm}$  の河口部水路 (河床勾配  $1/2$ ) を用いて、模型縮尺 ( $\lambda$ )  $1/70, 1/100, 1/150$  , 単位幅流量 ( $q_{wo}$ )  $6.25, 12.5, 25.0 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$  を想定して行った。土砂の材料は、砂 (密度  $\rho=2.65$ )、石炭粉 ( $\rho=1.50$ )、メサライト ( $\rho=1.70$ ) および砂とフライアッシュ ( $\rho=2.13$ ) を混合した材料の4種類を用いた (表-1)。

表-1 実験条件

模型縮尺	$\lambda = 1/70, 1/100, 1/150$				
単位幅流量 ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )	$q_{wo} = 6.25, 12.5, 25.0$				
材料諸元 FA: フライアッシュ 砂+FA: FA混入 (30%)	平均粒径 (mm)				
	材料	比重	1/70	1/100	1/150
	砂	2.65	1.94	1.37	0.90
	砂+FA	FA:2.13	1.51	1.08	0.71
	石炭粉	1.50	6.40	4.50	3.00
メサライト	1.70	6.00	4.00	—	
流入土砂濃度 ( $C_{to} = q_{Bo}/q_{wo}$ ) 水中安息角 ( $\tan\phi$ )	$i = 1/25$ で流送しうる土砂濃度を与えた。				
	材料	土砂濃度 $C_{to}(\%)$	水中安息角 $\tan\phi$		
	$q_{wo}$	6.25	12.5	25.0	
	砂	2.3	2.9	3.4	0.55~0.62
	砂+FA	4.0	4.8	5.8	0.55~0.62
石炭粉	7.7	8.6	10.0	0.65~0.70	
メサライト	4.7	6.1	7.4	0.62~0.65	
堆積濃度 $C\#$	砂: 0.74, 石炭粉: 0.51, メサライト: 0.63				

3. 河床材料 (粒径) の相似則の考え方 流砂現象の相似にとって重要な要素は、移動限界付近の現象と浮遊砂による河床変動が挙げられる。河床材料の移動限界付近の現象は、その地点の掃流力  $\tau_*$  と限界掃流力  $\tau_{*c}$  の比 ( $\tau_*/\tau_{*c}$ ) が重要な指標であり、また浮遊している土砂の運動は、砂粒の沈降速度  $w_0$  と摩擦速度  $u_{*}$  との比 ( $w_0/u_{*}$ ) が重要な指標となる。したがって、これらの比を現地と模型とで一致させることが必要条件となる。ここで、原型値に P、模型値に m の添字を付け、模型縮尺を  $\lambda$  とすると、上記2つの比が同一となるためには (5) 式の条件が必要になる。

$$\tau_* = R \cdot I / sd \quad (1) \quad \tau_{*c} \propto I \quad (2) \quad \text{ここに、} R: \text{径深} \quad I: \text{勾配} \quad d: \text{粒径}$$

$$w_0 \propto \sqrt{s \cdot d} \quad (3) \quad u_* = \sqrt{g \cdot R \cdot I} \quad (4) \quad S = \sigma/\rho - 1, \quad \rho: \text{水の密度である。}$$

$\tau_*/\tau_{*c}, w_0/u_*$  を一致させるためには、 $R_m/R_p = R_r, S_m/S_p = S_r, d_m/d_p = d_r$  とおくと、 $S_r \cdot d_r = R_r = \lambda$  (5) が必要になる。たとえば、現地では  $\rho_p = 2.65, \rho_r = 1.0, d_p = 10\text{cm}$  とすると、模型 ( $\lambda = 1/50$  とする) では、 $\rho_m = 1.0$  であるので、 $\rho_m = 2.65$  の材料で  $d_m = 0.2\text{cm}$  となり、 $\rho_m = 1.50$  の材料で  $d_m = 0.66\text{cm}$  となる。

以上の考え方により、本実験では表-1に示すような粒径を選定した。なお、砂+フライアッシュの材料は、現地の微細砂の混入をフライアッシュ (FA) で代表させることにしたものである。

#### 4. 実験結果

図-1に土砂量20,000m<sup>3</sup>(空隙込み)での河口部における堆砂形状を示す。図より次のことがわかる。

- ①河口部の堆砂形状は、段丘肩が形成され、その下流の堆砂勾配は水中安息角にほぼ等しくなる。
- ②段丘肩の位置は、単位幅流量が大きい程、下流側へ進行し、水面からの距離が大きくなる。
- ③材料が砂の場合には、単位幅流量が同一であると、模型縮尺にかかわらず堆砂形状が一致している(相似性がある)。
- ④材料が石炭粉の場合、模型縮尺の大きいもの、すなわち粒径が大きい材料は、段丘肩の堆砂高が砂に比べて大きくなる。これは、粒径が大きいため河口流入部での局所的な影響を受け易くなったためと考えられる。

⑤材料がメサライトの場合、単位幅流量が6.25m<sup>3</sup>/s/mで模型縮尺の大きい材料(粒径大、d=6.0mm)は上流水路内に土砂の堆積を起している。これは、浸透堆積の結果によるためである。

⑥材料が(砂+FA)の場合には、堆砂が砂によって生じるため、③と同様の結果となる。しかし、砂の場合に比べて堆積高が若干低くなる傾向がある。

以上のことから、土石流の堆積形状を検討する実験では、石炭粉、メサライトが粒径によって堆砂形状が異なること、堆砂形状が水中安息角によって決定すること等を考慮すると、材料として砂を用いることが適当であると考えられる。この場合、流量によって堆砂形状が異なることが図-1より考えられるので、土砂濃度を小さくして総土砂量を合わせる(実験時間を長くする)手法では、適切な流量を決定することが必要である。流量の設定については、土砂混入流量、清水流量を現地と模型とで一致するように設定する方法が考えられる。

#### 5. 本実験手法の適用例

本実験手法を模型実験に適用し、現地の堆積状況と比較した。図-2は、桜島野尻川の現地の堆積状況と実験値を比較したものである。模型縮尺は1/70で、土砂材料として平均粒径2mm(現地の堆積土砂の粒径の1/70)の砂を用いている。流量条件は、土砂混入流量が現地と模型とで一致する流量とし、流入土砂濃度は、設定した流量で模型水路(i=1/13)で流し得る濃度として5%を与えた。図-2より堆砂形状は、現地と模型とでよく一致している。

6. 結語 実験砂として現地の堆積土砂の平均粒径を一致させた砂を用いて、土砂混入流量で流送可能な土砂濃度を与え、総土砂量を合わせるように実験時間を長くするという手法で土石流の堆積形状が表現されることがわかった。

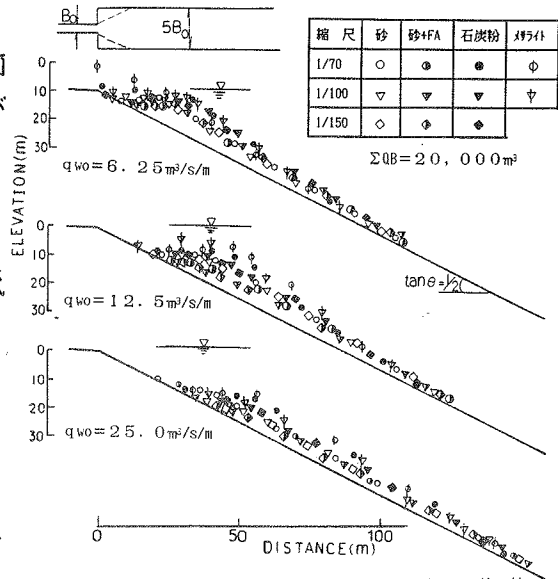


図-1 河口部の堆砂形状の比較

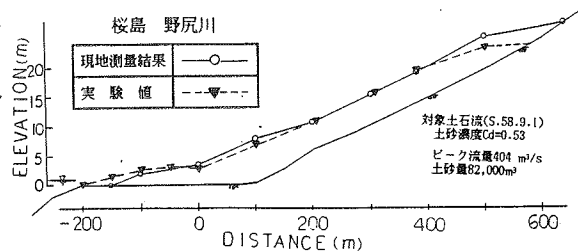


図-2 本実験手法の実験値と現地資料の堆積形状の比較