

(財)建設技術研究所 ○鬼木幹男

建設省土木研究所 水山高久

神奈川県土木部砂防課 清水卓三

(財)砂防・地すべり技術センター 下杉春男

神奈川県小田原土木事務所 八木下義久

はじめに

崩壊土砂が斜面や流路を土石流や泥流として流下する機構は複雑で、これに対する砂防計画を机上のみでの検討は困難で、模型実験で確認されるのが望ましい。しかし、その実験手法は、まだ確立されていない。そこで、降雨終了後に発生した比較的大きい規模の地すべり性崩壊土砂の流下、堆積範囲の推定とその対策施設に関する模型実験を例として、模型実験における泥流の材料と含水比の選択方法を検討した。

1. 泥流材料と含水比に対する基礎的検討

泥流の流速は、泥流が流下する場の地形条件と泥流の性質(粘性、構成物質、含水比等)によって変化する。そこで、泥流材料として、砂とベントナイトの混合物を用いて、その混合比と含水比が泥流の特性に与える影響について調べた。本検討に用いたベントナイトは市販の粉末状のもので、粒径およびコンシステンシー指数は、表-1に示すとおりである。

表-1 ベントナイトの粒径およびコンシステンシー

粒 径 (μ)		コンシステンシー (%)	
d <sub>50</sub>	d <sub>m</sub>	d <sub>84</sub>	d <sub>max</sub>
15.5	36.5	47	74
液性限界LL	塑性限界PL	塑性指数IP	
249	64	185	

1.1 泥流材料の含水比と流速係数の関係

ベントナイト(W<sub>b</sub>)と砂(W<sub>s</sub>)の重量比W<sub>b</sub>/W<sub>s</sub>と含水比による流速係数 $\psi = U_m / U_s$  (U<sub>m</sub>; 平均流速、U<sub>s</sub>; 摩擦速度)の変化を図-1に示す。流速係数は含水比の増加とともに大きくなる。しかし、含水比が小さくても、W<sub>b</sub>/W<sub>s</sub>が少なければ、含水比が小さくても流速係数は大きくなる。

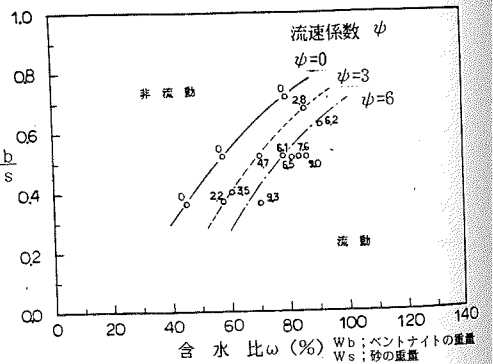


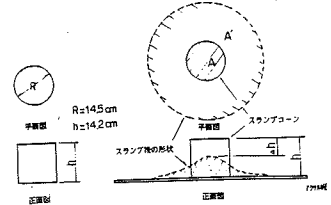
図-1 W<sub>b</sub>/W<sub>s</sub>と含水比ωの関係

1.2 泥流材料の含水比とスランプ比および拡散比の関係

前節と同じ材料で、図-2に示すスランプコーンを用いてコンクリートのスランプ試験に準じてスランプを調べた。

スランプコーンの高さ(h)に対するスランプ(Δh)の比Δh/h (以後、スランプ比と呼ぶ。)と含水比についてまとめたのが図-3である。図より同一材料の場合、スランプ比は、含水比がある値から生じ、含水比の増加によって急激に増加し、その後一定となる傾向がある。この一定となるスランプ比は、W<sub>b</sub>/W<sub>s</sub>が大きいほど、小さくなる傾向がある。これは図-2 スランプコーンとスランプ比および拡散比の関係

Δh/h: スランプ比  
 Δh: スランプ  
 h: スランプコーンの高さ  
 A/A': 拡散比  
 A: スランプコーンの面積 (=165.1cm<sup>2</sup>)  
 A': 試験後の材料拡散面積



試験前後での泥流の面的な広がりの変化を拡散比  $A'/A$  (図-2 参照) と定義し、これとスランプ比の関係をもとめたのが図-4 である。図より、拡散比は、スランプ比の増加により大きくなり、スランプ比が 0.75 近辺で増加率が急になる。ここで用いている材料の性質を示すために、スランプ比と  $\Delta h/h$  の JIS 規格のスランプコーンで求めたスランプ比との関係を図-5 に示す。

以上から泥流材料を決めるには、泥流構成物質を現地で調べ、流動特性たとえば流速、堆積範囲、堆積深等を過去の災害記録から検討して選択することになる。すなわち、まず流動構成物質および含水比を現地の粒度分布と過去の災害記録によって得られた流速係数とから求め、次に、この流速係数に対して図-1 より得られる  $W_b/W_s$  と含水比の組合せから、現地状況と一致する  $W_b/W_s$

と含水比を決定する。この決定された  $W_b/W_s$  と含水比による材料を用いて、模型実験を実施すればよいことになる。

## 2. 崩壊土砂の泥流化の例(神奈川県早川支川須沢)

### 2.1 災害の概要(図-6 参照)

須沢は、箱根早雲山(1,137m)を源流として流域面積1.43km<sup>2</sup>、流路延長約2.4km、平均勾配1/4.0の小溪流である。昭和28年7月に、早雲山の爆裂火口の一隅に、継続雨量431.7mmの降雨によって、山腹斜面が飽和し、降雨の3日後に大規模な地すべりが発生した。この崩壊土砂は、長さ200m、幅100m、厚さ20mの規模で平均7m/s(上流では20m/s程度)の泥流(総土砂量; 78万m<sup>3</sup>)となって須沢を流下した。泥流材料は、温泉余土化した火山性粘土と巨大な岩石塊が混在していたとされている<sup>2)3)</sup>

### 2.2 模型実験

#### 2.2.1 模型の概要

模型は、縦横とも縮尺1/70とし、取り入れ範囲は、昭和28年災害の土砂氾濫範囲を考慮して神明堰堤~箱根登山鉄道用地獄沢橋下流砂防ダムの約1.54km区間(模型長22.1m)で平均幅

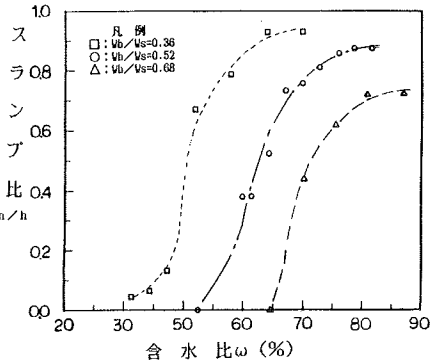


図-3 泥流材料の含水比とスランプ比の関係

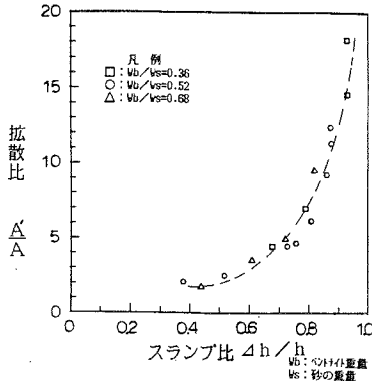


図-4 スランプ比と拡散比の関係

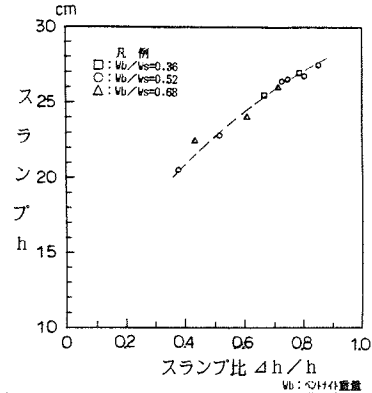


図-5 スランプ比とスランプ試験結果の関係

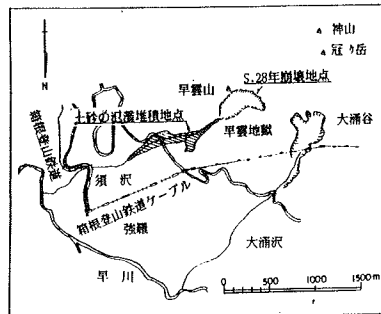


図-6 昭和28年災害の概要図

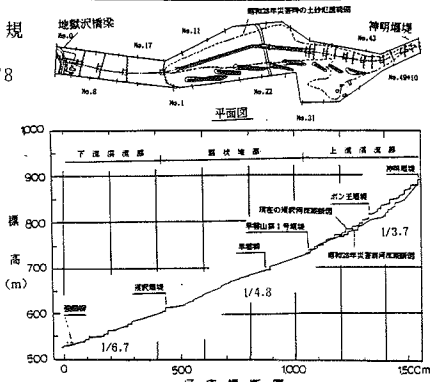


図-7 模型取り入れ範囲と河床縦断形状

150m (模型幅 2.2m) とした (図-7)。また、模型の地形は、昭和28年災害前の状況になるべく一致させるため、①上流溪流部を当時の測量資料の最深河床とする。②その横方向の形状は、現在の地形とする。③扇状地部より下流を、現在の測量結果から災害後に施工された砂防施設を取り除くことにする。等の状態でモルタルにより固定して製作した。

実験は、水、砂およびベントナイトの混合物を貯水槽から流下させて、二次元水路を経て模型内へ供給し、VTRカメラ等により流速、泥流の堆積範囲の時間的変化を記録した。ここで得られた流量、流速、水深は、フルード相似則により現地換算した。

## 2.2.2 実験条件

### (1) 泥流構成物質

現地の河床材料調査結果とほぼ一致するように数種類のフルイ分け砂を混合して実験砂を作り、さら細粒度としてベントナイトを混ぜて泥流構成物とした (図-8)。ここでは、ベントナイトと砂の重量比  $W_b/W_s$  は、0.52 とした。

### (2) ピーク流量の想定

災害当時の泥流氾濫高は、昭和29年4月の航空写真の解析結果から、現在の神明堰堤付近で10m程度であった (図-9参照)。また泥流は、上流溪流部で20m/s程度とされている<sup>2)</sup>これからピーク流量は  $3,300\text{m}^3/\text{s}$  となる。一方、総流出土砂 (QT) に対するピーク流量 ( $Q_p$ ) の関係は、椿らの桜島野尻川の資料から、 $Q_p = 0.2 \times 10^{-2} QT$  と表わせることからピーク流量を求めると  $1,560\text{m}^3/\text{s}$  となる。したがって、災害時のピーク流量は、 $1,560\text{m}^3/\text{s} \sim 3,300\text{m}^3/\text{s}$  と想定される。

### (3) 泥流の流下速度と含水比

(1)の材料について、含水比と流下速度の関係をまとめたものが図-10である。図より、流速20m/sを得るには、含水比が75~80%必要となる。一方、昭和28年災害時の泥流到達位置を実験上で一致させるには、含水比が、予備実験の結果75~80%となり、その時の段波高は2.0~3.0mで平均2.8m、流下速度は10~20m/sで平均16m/s、ピーク流量は  $1,600\text{m}^3/\text{s}$  程度で、流速係数4.1~6.7となり図-1の関係とも一致する。また、このピーク流量は想定した流量の範囲にある。

## 2.3 実験結果

### 2.3.1 昭和28年災害の再現

表-2および図-11は、昭和28年災害の再現実験結果を当時の災害記録と比較したものである。図-11から土砂氾濫の平面形状は、ほぼ一致しているといえるが、微地形の影響 (当時と地形形状が異なっている) によって災害当時に比べ左岸側にずれている。

表-2の自動車専用道路での土砂堆積は、実験では早雲山橋

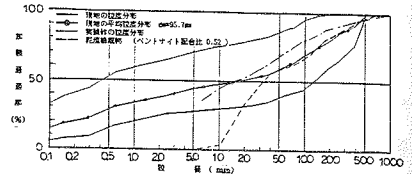


図-8 粒度分布

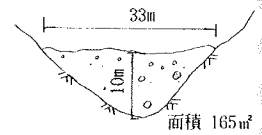


図-9 土砂氾濫高の推定

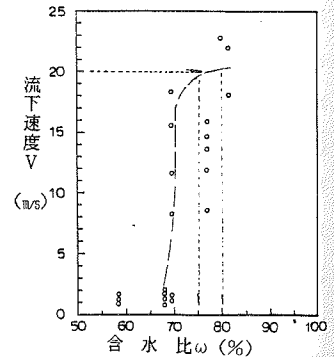


図-10 泥流材料の含水比と流下速度の関係

表-2 昭和28年災害の被災状況と再現実験結果

項目	昭和28年災害の被災状況	再現実験結果
掘出土砂の貯留位置	掘削現場 (No. 0地点) まで堆積した。	物置場まで堆積した。土砂の母とんどは、No. 13付近までに堆積した。
扇状地での土砂堆積	約30m	約20~30m
土石流の氾濫範囲 (上流部)	新幹線、39~44の左岸崖面を崩り越え、富士特別院を破壊し埋没。	ほぼ左記と同し形状となる
土石流の氾濫範囲 (中流部)	物置公園付近の台地に氾濫し約6.9haを埋没。	左記に比べ左寄り氾濫。
自動車専用道路への土砂堆積	自動車専用道路で高さ140mにわたり堆積土高9mに及ぶ。	土砂堆積長さ190m 平均高で堆積高7m (平均堆積高3.5m)
土石流速	No28より上流 20m/s程度 No38より下流 7m/s程度	14~23m/s 8~15m/s

で7m程度であるが、この橋梁部で災害時に比べ1m程度上がっていることから堆積高は8mとなり当時の9mとほとんど一致する。

以上、前節で設定した泥流材料を用いた場合、災害当時の状況が模型実験でうまく再現された。

#### 2.4.2 施設配置の検討

昭和28年災害時と同規模の泥流が発生した場合について、現況の施設、施設計画Ⅰ案および施設計画Ⅱ案の実験結果を図-12に示す。

現況の施設では、保全対象地への土砂の氾濫を生じることから、何らかの砂防施設が必要であることがわかった(図-12・a)。

扇状地上流部に駒状の減勢工と下流部にスリットを設け、須沢堰堤を高上げた施設計画Ⅰ案では、①扇頂部で、泥流のフロントが、地形の低い流路工内を主に流下し、泥流を分散させ、流速を減速させる等の効果が得られなかった。②扇状地下流部では、スリットにより土砂の堆積が多くなり、須沢堰堤を5m高上げたことにより、下流への土砂の氾濫は、ほとんどなくなった(図-12・b)。扇状地に5基の砂防ダムを設けた施設計画Ⅱ案では、須沢堰堤を高上げすることなく扇状地内で土砂を堆積させることができた。

#### 3. まとめ

泥流材料に関する基礎的な検討と、模型実験例により、ベントナイトと砂の混合物を使用し、災害記録から流速が与えられれば、図-1を用いて実験の含水比が決まり、これによって模型実験で、災害の再現、対策施設の規模、配置が検討できることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 池谷 浩：土石流の分類、土木技術資料、Vol.20、No.3
- 2) 神奈川県：昭和59年度通常砂防工事（公共荒廃）調査報告書早川支川須沢、昭和60年 3月
- 3) 神奈川県：箱根早雲山地すべり砂防工事記録、1958
- 4) 芦田和男編：扇状地の土砂災害＝発生機構と防止軽減＝、古今書院、P84～87、1985

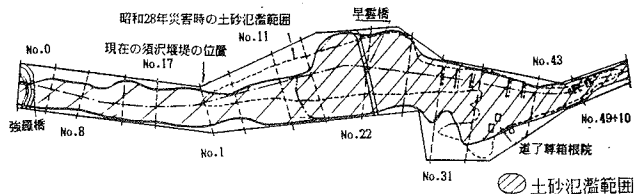
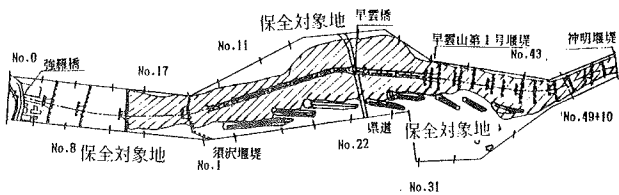
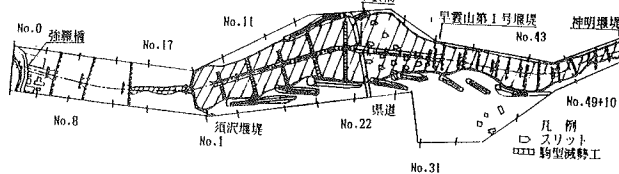


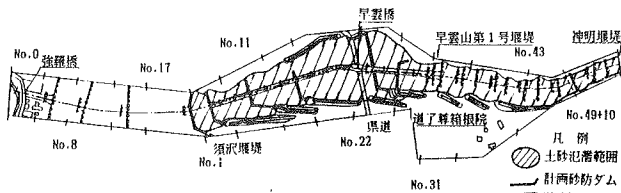
図-11 昭和28年再現実験結果平面図



a. 現況の施設での実験結果



b. 施設計画Ⅰ案での実験結果



c. 施設計画Ⅱ案での実験結果

図-12 各施設配置における実験結果平面図