

## II-127

## 土石流における微細土砂の役割

九州大学大学院 学生員 福富 章

九州大学工学部 正 員 平野 宗夫

九州大学工学部 正 員 橋本 晴行

九州大学大学院 学生員 パルー・ムハマド・サレー

## 1. はじめに

微細土砂を多く含有する土石流は、従来、水と微細土砂があたかも高密度流体のように挙動するため、比較的多くの砂礫を輸送しようと言われてきた。しかしながら、そのメカニズムについては解明されていないのが現状である。前報<sup>1)</sup>では、微細砂を高濃度に含有する泥水を砂礫床の上に流入させて土石流を発生させ、その特性を実験的に検討した。本研究は、微細砂の粒径の影響についてさらに実験を行うとともに、泥水流の流体力を測定して泥水中における砂礫の移動限界について考察を加えたものである。

## 2. 実験方法

泥水流による砂礫の輸送特性を調べる実験と泥水流の流体力を測定する2種類の実験を行った。使用した水路は共に長さ12m、幅12.5cmの可変勾配水路である(図-1)。

前者の実験では、水路上流側に微細砂を、下流側に平均粒径 $d_{cs}=1.9\text{mm}$ 、比重 $\sigma_{cs}/\rho=2.61$ の砂礫をそれぞれ敷き詰めた。上流端から単位幅流量 $q_0 \approx 100\text{cm}^2/\text{s}$ の水を急激に供給すると、泥水流が発生して流下し、砂礫を取り込みながら土石流に変化していく。下流端ではその土石流を採取して、土砂と水を合わせた全流量 $q_t$ 、微細砂及び砂礫の流砂量 $q_{fs}$ 、 $q_{cs}$ などをそれぞれ計測した。以下においては、純水による土石流に関する諸量に添字 $w$ 、泥水による土石流に関する諸量に添字 $M$ をそれぞれ付けて区別することにする。

後者の実験では、同様の水路において下流側5mの部分で滑面固定床にした後、上流側7mの部分に微細砂を敷き、上流端から $q_0 \approx 100\text{cm}^2/\text{s}$ の水を供給して泥水流を発生させた。下流端から1mの地点の水路中央部に直径8mmのアルミ製円柱棒を設置し、この棒に張ったひずみゲージによって泥水流の流体力を測定した。また、この水路にその泥水流量と同流量の水のみを流して、水流の流体力も別個に測定した。

## 3. 実験結果

## (1) 泥水流による砂礫の輸送特性

図-2は、微細砂として $d_{fs}=0.17\text{mm}$ の材料を用いて、泥水により形成された土石流と純水により形成された土石流との比較を行ったものである。 $\theta'$ 以上の水路勾配において、泥水により形成された土石流は、純水によるものと比べて水量が約0.8倍と少なく、またその泥水量は純水による土石流中の水量と同程度であるにもかかわらず、砂礫の輸送能力は1.4倍程度大きくなっている。

次に、どの程度の大きさの微細砂までが砂礫の輸送量の増大に寄与するかを調べるため、上流側微細砂材料を種々変えて検討したのが図-3である。微細砂の粒径が大きくなるに従い、砂礫の輸送量が減少することが分かる。特に、約0.3mm以上の微細砂では純水の場合に比較

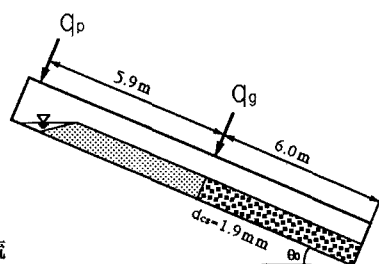


図-1 実験水路

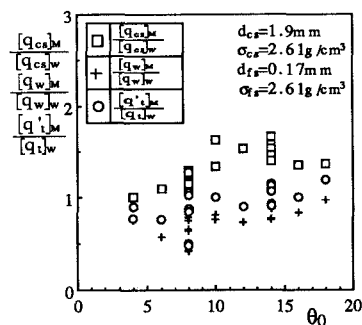


図-2 泥水による土石流と純水による土石流の比較

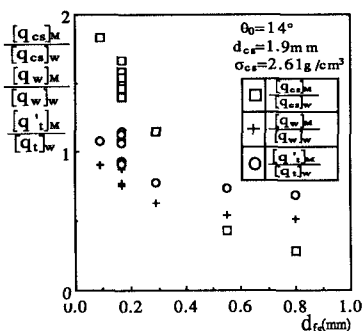


図-3 土砂及び水の流出流量と微細砂粒径との関係

して砂礫の輸送量が増加しない。

## (2) 泥水流の流体力

直径 $d_L$ の円柱において単位長さ当りに作用する泥水流の流体力 $D$ を、水流相の流体力と微細土砂から成る固相部分の衝突・接触力との線形和であると仮定すると、

$$D = \frac{\rho}{2} (1 - C_{fs}) u^2 C_{DW} d_{cs} + \frac{\sigma}{2} C_{fs} u^2 C_{DP} d_{cs} \quad (1)$$

となる。ここに $C_{DW}$ 、 $C_{DP}$ は、それぞれ水流相の流体力及び固相の衝突・接触力の抗力係数、 $C_{fs}$ は微細土砂の濃度である。従って、密度 $\rho' = \sigma C_{fs} + \rho (1 - C_{fs})$ の泥水流の抗力係数は、

$$C_D = \frac{D}{\frac{\rho'}{2} u^2 d_{cs}} = \frac{\rho (1 - C_{fs}) C_{DW} + \sigma C_{fs} C_{DP}}{\rho (1 - C_{fs}) + \sigma C_{fs}} \quad (2)$$

によって与えられる。図-4は、式(2)に実験値 $D$ 、 $\rho'$ 、 $u$ 、 $C_{fs}$ 及び $C_{DW}$ を代入して求めた $C_{DP}/C_{DW}$ と $C_D/C_{DW}$ を示したものである。

$C_D$ 、 $C_{DP}$ は共に微細土砂の粒径が粗くなるに従い大きくなっている。

これは、泥水を構成する粒子が粗くなると泥水流の流体力における衝突・接触力の寄与が大きくなっていることを意味している。一方、注目すべきことに、微細土砂の粒径が0.1mm付近まで小さくなると、抗力係数は両者共に水流のそれに近づく。

## 4. 泥水流による砂礫の移動限界に関する考察

泥水を構成する微細砂が粗くなると砂礫の輸送量が減少する。これを説明するために以下の考察を行った。

泥水流が粒径 $d_{cs}$ の砂礫層上に流入した際、泥水中において移動限界状態による河床砂礫に作用する力には重力、抗力、浮力、揚力、そして摩擦力がある。揚力の寄与は小さいと仮定して無視し、流れ方向についてこれらの力の釣合を考え、移動限界流速 $u_b$ を求めると

$$u_b^2 = \frac{4}{3} \frac{\sigma_{cs} - \alpha \rho'}{\rho'} g d_{cs} \frac{\mu \cos \theta_0 - \frac{\sigma_{cs}}{C_D} \cos \theta_0}{C_D} \quad (3)$$

ここに、 $\alpha$ は浮力に関する補正係数、 $\mu$ は摩擦係数、 $C_D$ は抗力係数で砂礫粒子に働く流体力を、

$$D = \frac{\rho}{2} (1 - C_{fs}) u^2 C_{DW} \pi \left( \frac{d_{cs}}{2} \right)^2 + \frac{\sigma}{2} C_{fs} u^2 C_{DP} \pi \left( \frac{d_{cs}}{2} \right)^2 \quad (4)$$

と仮定すると、 $C_D$ は式(2)の右辺で与えられる。ただし、 $C_{DP}/C_{DW}$ として図-4の値を便宜的に使用し、 $C_{DW}=0.47$ とおいた。また、

平野ら<sup>2)</sup>によって実験的に求められた泥水流の流速分布を用いて、

砂礫の粒子頂点 $z=d_{cs}$ での泥水流速 $u_b$ を決定し、 $u_c^2/u_b^2$ を求

めた結果が図-5である。 $C_D$ 、浮力、摩擦係数の評価などになお問題が残るが、微細土砂の粒径が大きくなるに従い、 $u_c^2/u_b^2$ の値も大きくなっている。これは、泥水流を構成する微細土砂の材料が粗くなれば、砂礫の輸送量が減少する実験結果と対応している。このような特性は主として微細土砂の粒径が大きくなると速度勾配が比較的急になり粒子頂点での泥水流速 $u_b$ が小さくなるためであると考えられる。

## 5. 結語

泥水を構成する微細砂の粒径が小さくなるほど砂礫の輸送量が増加することが分かった。なお、流体力の測定については、データ数が少ない上に、 $C_D$ への $Re$ 数の影響の評価などに問題があり、さらに検討を行う必要がある。

参考文献 1)平野・橋本・峯ら、泥流によって形成された土石流、土木学会第44回年次学術講演会、1989。

2)平野・橋本・田崎ら、泥流の特性に関する実験的研究、土木学会第44回年次学術講演会、1989。

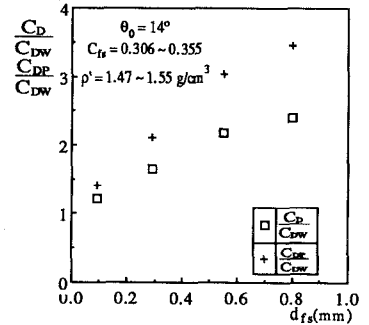


図-4 泥水流による円柱の抗力係数

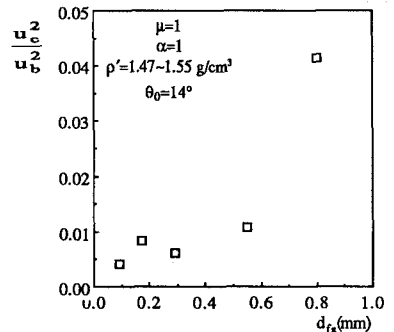


図-5 泥水中における砂礫の移動限界流速