

九州大学 工学部 正員 平野 宗夫
 " " 正員 岩元 賢
 " " 学生員 猿渡 裕明
 " " 〇学生員 依横田 弘文

I. まえがき

近年、土石流に関する研究が進んできたが、未だ不解明な点も少なくない。特に土石流先端部の礫の挙動（巨礫の先端集中化など）についてはあまり解明されていない。それは土石流現象が短時間しか観測できないことが大きな障害となっていたためと考えられる。そこで、著者らは、水路床が移動することにより、段波先端部が静止するベルトコンベア式水路を作製し、土石流段波先端部の形状と挙動に関する実験を行なったので、ここに結果を報告する。

II. 実験装置

実験に用いた水路（図-1）は全長約3mで、幅10.2cm、高さ20.0cm、長さ200cmの両面アクリライト製の開水路の底面にベルトコンベアを密着させて通したもので、勾配は0~0.5、ベルトの移動速度は0~200%の範囲で変化させることができる。

実験に際しては、ベルトを移動させながら上流端から水を供給してベルト上に段波を発生させ、ベルト速度と供給水量を調節して段波を静止させるものである。ベルトの速度、水路勾配および供給水量を適当に組み合わせると、段波の先端は、水流の乱れや縞目などによるベルトの不uniform性のため、上下流に各10cm程度周期的に変動するが、平均位置は一定に保たれ、静止した段波とみなすことができる。（写真-1）そして、この場合、水深も時間平均的に変化しないので、上流端における供給水量と流出水量が釣り合い、水路の各点で流量は0（したがって平均流速も0）になる。

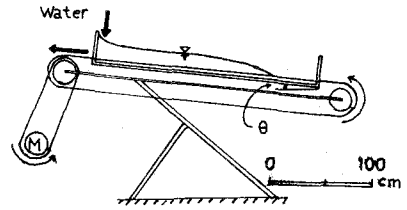
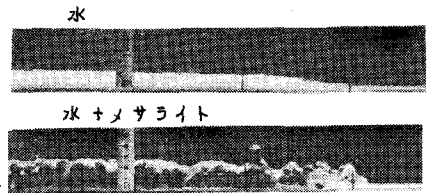


図-1 実験水路



$\sin \theta = 0.182 \quad V_B = 141.6$

写真-1 段波先端部

III. 実験方法および実験結果

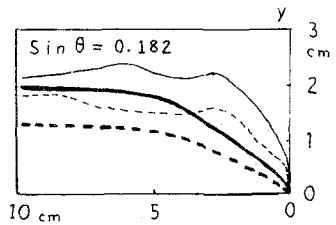
実験は上記の要領で段波を静止させ、水だけを流した場合、水にメサライト（比重1.46、中央粒径0.8mm）を混入した土石流の場合の段波の先端部の形状を16mmシネカメラおよびV.T.R.で撮影した。その例を図-2に示す。

1). 水だけを流した場合

一般に水深が大きくなるに従って、ベルト速度が大きくなり、ベルト直傍におけるせん断力が増大するため立ちあがり急になる。

2). 水+メサライトの場合

水だけの場合と同じ傾向をもつが、空気の巻き込みが激しく、水だけの場合よりも、その先端部はさらに急になり、かつ水深も大きくなる。



	V_B	227.9	141.6
水		——	----
水+メサライト		——	----

図-2 段波先端部の形状

IV. 段波先端部の形状に関する考察

実験によると、段波先端部の速度と形状は、時間的場所的に変化せず、定常な状態に固定される。そこで、このような段波に対して、流れを図-3に示すようにモデル化し、運動の式および連続の式を適用すると、次のよ

うである。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g \sin \theta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad \text{-----(1)}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cos \theta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \quad \text{-----(2)}$$

および $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \text{-----(3)}$

ここに、 u と v はそれぞれ流速の x および y 軸方向の成分、 P は圧力、 τ はせん断力、 ρ は流れの密度、 h は水深である。ここで流れ関数を

$$\psi = u_0 h F(\eta), \quad \eta = y/h \quad \text{-----(4)}$$

と仮定すると流速の成分 u と v はそれぞれ次式のようなになる。

$$u = u_0 F', \quad v = u_0 \frac{dh}{dx} (\eta F - F) \quad \text{-----(5)}$$

ただし、 u_0 は表面流速で、場所的に変化しないものとする。

これらの関係を表式(1)に代入して積分すると、圧力 P は、

$$\frac{P}{\rho g h} = \left(1 - \frac{y}{h}\right) \cos \theta + \frac{u_0^2}{g} \frac{d^2 h}{dx^2} \int_{\eta}^1 F'(\eta F - F) d\eta - \frac{u_0^2}{g h} \left(\frac{dh}{dx}\right)^2 \int_{\eta}^1 \eta F F' d\eta \quad \text{-----(6)}$$

またせん断力では、プラントルの混合距離論を適用すると、

$$\tau = \rho l^2 \left(\frac{du}{dy}\right)^2 = \rho l^2 \frac{F''}{h^2} u_0^2 \quad \text{-----(7)}$$

ここに、 l は混合距離である。 l が h に比例するとして $l = kh$ (k は定数)とすると、

$$\tau = \rho k^2 F'' u_0^2 \quad \text{-----(8)}$$

したがって、底面のせん断力では、 x に無関係に一定値となる。そこで、 $\tau = \rho g h_0 \sin \theta$ とし、圧力が静水圧分布に従うものとして簡略し、式(1)を積分して、 $x=0$ で $h=0$ とすると、次式の解析解が得られる。

$$\frac{x}{h_0} \tan \theta = \frac{h}{h_0} + \left(1 - \frac{F_0 A}{\cos \theta}\right) \ln \left(1 - \frac{h}{h_0}\right) \quad \text{-----(9)}$$

流速分布に2次式を仮定して、式(6)を数値積分した結果と、式(9)による値とは、ほとんど完全に一致する。したがって、段波中における水圧は静水圧分布をなすと考えられる。

次に、式(9)による段波形状の計算値と実測値を比較すると、図-4のようであり、 $A = -0.03$ とすると両者はよく一致する。

V. 礫に作用する圧力

図-3に示すように、段波中を粒径 d なる礫が移動している場合、礫の前後の圧力差は $-\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) \cdot d$ に比例し、その作用面積は d に比例する。したがって、 ΔP_x は比例定数を K_1 として、近似的に次式で表わされる。

$$\Delta P_x = -K_1 d^3 \frac{\partial P}{\partial x} \quad \text{-----(10)}$$

段波の先端部では $\frac{\partial P}{\partial x} < 0$ であるので、 ΔP_x は下流向きとなり、粒子を加速する力として作用する。そこで、 ΔP_x の大きさを評価するために、静水圧分布として計算し、 ΔP_x と重力の比を求めてプロットすると、図-5に示すようになる。図より、段波の先端部に近づくにつれて圧力差と重力の比は次第に増大し、圧力の効果が顕著になっている。したがって、土石流における巨礫の先端部への集中過程については、この圧力差も幾分かの影響をなすものと考えられる。

参考文献 1) 平野、岩元、猿渡：土石流の流下過程について、第14回災害シンポ，1977

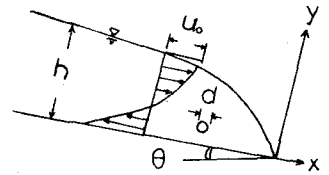


図-3 段波先端部のモデル化

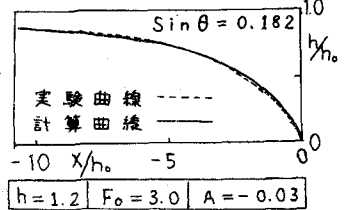


図-4 段波形状の計算曲線と実験曲線の比較

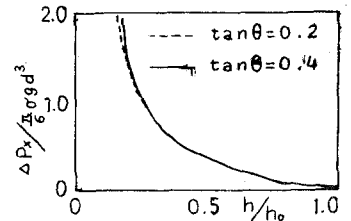


図-5 球に作用する圧力