

II-57

土石流における転波列の流動特性

鹿児島工業高等専門学校 正員 足田 誠
 九州大学工学部 正員 藤田知夫
 九州大学大学院 ○学生員 船地博文
 九州大学工学部 学生員 松枝修治

1. 予言 急斜面の薄層流においては転波列が発生する場合があり、岩垣¹⁾によって理論的研究がなされている。一方、樹島の流路工においても土石流に顕著な転波列の発生がみられ、流路工の越波や転波の衝撃にともなう流路工破壊が問題となっている。高橋²⁾は土石流の転波列が水流のものに近いという研究成果を報告している。本報告では、樹島長谷川の流路工土石流にみられる転波列資料³⁾をもとにして、室内における土石流の転波列実験を行い、その流動特性を明らかにしようとするものである。

2. 実験結果 Fig-1は、幅10cm、長さ12mの可変水路における転波列の波列を示したもので、水路床は、ベニヤ板を敷いた滑面と、ほぼ均一な平均粒径 $d = 4.4\text{mm}$ の玉石を区間7mに敷いた粗面の2通りを用い、水のみの場合と同じ玉石を用いた土石流(流下可能な最大濃度 $\eta = 2$)の場合で実験した。これより、粗度が小さくなるにつれ、土石流の転波列形状は水流のものに近くなること分かる。さらに

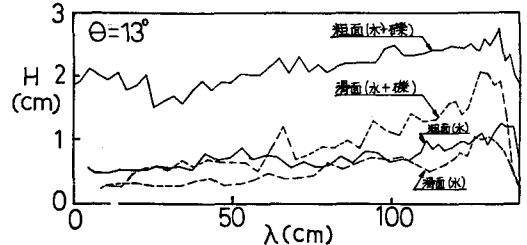


Fig-1 転波列の波形

峯の水深 h_b と等流水深 h_0 の比を Froude 数 $Fr = u_0 / \sqrt{g h_0 \cos \theta}$ (u_0 : 平均流速, h_0 : 等流水深, θ : 水路勾配) でプロットすると、Fig-2 のようになる。これから、岩垣の理論曲線とは異なって、 Fr 数と h_b/h_0 は必ずしも比例関係にない傾向にあることがわかる。また、転波列の波速 C 、周期 T 、波長 $\lambda = CT$ の値を示せば、Fig-3, 4, 5 のようになる。(図中説明のない記号は Fig-10 参照。)

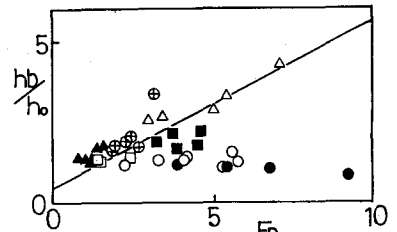


Fig-2 転波列の峯の水深

3. 転波列の流速分布 Fig-6は、土石流の等流状態での流速分布を示したもので、粗面(a)と異なり、滑面(b)では水路床に明確な slip velocity u_b が存在している。また、滑面における転波列の峯と谷の流速分布(c)も(b)と同様の傾向にあることが分かる。

いま、土石流を dilatant 流体と対し、定常状態における流れ方向の力の釣り合い式をたてると、

$$K d^2 \left(\frac{du}{dy} \right)^2 = g(h-y) \sin \theta \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 K : 土砂濃度の係数、 d : 粒径、 u : 水路床より垂直方向 y における流速、 g : 重力加速度、 h :

水深、 θ : 水路床勾配

である。さらに、 $\eta =$

y/h , $\zeta = 1 - \eta$, $u_b =$

$\sqrt{g h \sin \theta}$: 摩擦速度

とおき、境界条件 $y =$

h で $u = u_s$: 表面流速

のもとに式(1)を積分す

ると、

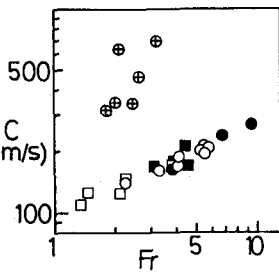


Fig-3 転波列の波速

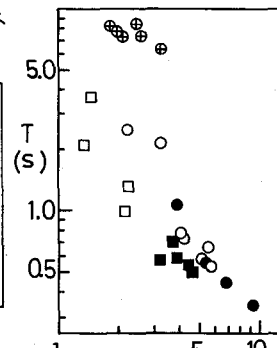


Fig-4 転波列の周期

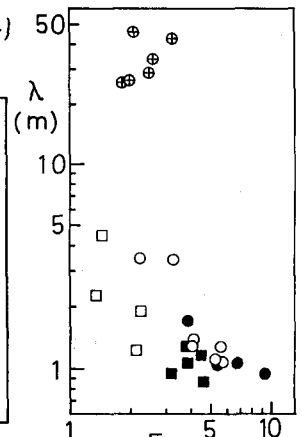


Fig-5 転波列の波長

$$\frac{U_s - U}{U_s} = \frac{R}{Kd} \cdot \frac{2}{3} \cdot \zeta^{\frac{1}{2}} \quad \dots \quad (2)$$

$$\text{平均流速 } U_m = \int U dy / R$$

$$U_m = \frac{U_s R}{Kd} \cdot \frac{4}{15} + U_s \quad \dots \quad (3)$$

$$\text{式(2),(3)より, } \frac{U_s - U}{U_s - U_m} = \frac{5}{2} \zeta^{\frac{1}{2}} \quad \dots \quad (4)$$

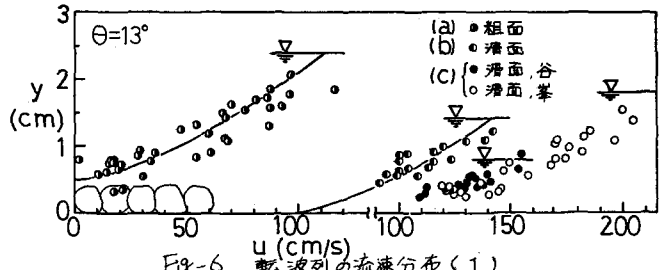


Fig-6の実験結果に対して, この左辺を計算しプロットすると, Fig-7となり, ほぼ, 式(4)を満足し, dilatant流体となっていることがわかる。さらに水路床 \$\gamma = 0\$ で \$U = U_b\$ とおくと, 運動量補正係数 \$\alpha = \int U^2 dy / U_m^2 R\$ は,

$$\alpha = 1 + 0.25(1 - U_b/U_m)^2 \quad \dots \quad (5)$$

となる。\$U_b = 0\$ では, 通常の土石流の dilatant 流体の値 \$\alpha = 1.25\$ の値となる。一方, \$U_b\$ が \$U_m\$ に近づくとき, Fig-8に示すように, \$\alpha\$ は 1 に近づく純水の場合の値に近くなることが理解できる。さらに流速係数 \$\varphi = U_m/U_s\$ は,

$$\varphi = (2/5K) \cdot (R_0/d) \quad \dots \quad (6)$$

となる。即ち, Fig-9における室内実験の値では \$\alpha\$ は一定で \$R_0\$ の増大とともに, \$\varphi\$ は減少している。一方, 岩島の流路工では, 均一粒径でなく火山灰や巨礫が混在して流下し, \$R_0 \propto d\$ の関係になる。従って, \$\varphi\$ は一定とおおむねよいことが考えられる。

4. 乾波列の発生限界 流速 \$C\$ を第 \$i\$ 時の単位幅流量 \$Q_i\$

\$= Q_i\$ を \$Q_i\$ とおくと, \$C = C/(198 \cdot \cos \Theta)^{1/2} \quad \dots \quad (7)\$

一方, 岩垣によれば,

$$C' = \frac{\alpha - (1/\sqrt{\alpha})}{\alpha - \sqrt{\alpha(\alpha-1)} + (1/\sqrt{\alpha})} \cdot Fr^{\frac{3}{2}} \quad \dots \quad (8)$$

となる。Fig-10は式(7)による実験値と, 式(8)による計算曲線および \$\varphi\$ は一定の場合の乾波列の発生限界式 \$C' \leq \frac{2}{3} Fr^{\frac{3}{2}}\$ (9)を示している。これから, 岩垣らの水流の実験値では, 式(9)の条件は満足するが, 土石流では式(6)に示すように \$\varphi\$ は \$K\$ 即ち土砂濃度と \$R_0/d\$ の関数となり, 必ずしも適合しておらず, 今後の検討課題となっている。

謝辞 本研究をすすめるにあたっては九州大学工学部 水工土木学教室 橋本一郎教授より御教示を頂き, 同教室の応用水理学研究室各位には色々とお世話になった。ここに厚く謝辞を表す次第である。

参考文献 1) 岩垣・岩佐: 土木学会誌 40-1, pp 5-12, (1955), 2) 高橋・長谷川: 第35回土木学会年輪, pp 354-355, (1980), 3) 北田・橋本・平野・里島: 鹿児島高専研究報告 18, (1984) 掲載予定

