

日本大学工学部 正員 木村 喜代治
同 正員 ○ 高橋 迪夫

はしがき : 山地河川において発生する土砂の集合流動に関して、前年の年次講演会¹⁾においては、流動部分を水と土砂との混合物の塑性体として取扱ひ、これが2つの流動層よりなるものとして、流動部の速度分布、流動土砂量に対する提案式を求め、いくつかの実験結果との比較検討がなされり。

しかしながら、この提案式中に用いられている諸因子に対する検討が十分になされなかつたため、提案式と実験結果とがかならずしも十分に対応していないようであつた。

本報においては、この提案式が一部修正されるとともに、式中に用いられている流動土砂の密度、土砂の内部摩擦角、および粘性係数についての検討が加えられ、流動土砂量の計算値と実測値との比較が試みられている。

提案式の修正 : 前報の提案式中の剪断降伏値 τ_{cy} は下記のようなになる。

$$\tau_{cy} = \{ (Y'_s - Y) \bar{r} + (Y_s - Y) (\delta - y) \} \cos \theta \tan \varphi \quad \text{..... (1)}$$

$\delta > K$, Y'_s , Y_s , Y : 流動上、下層の混合物、および水の単位体積重量; $\bar{r}$, δ : 上、下層の厚さ; θ : 水路勾配; φ : 土砂の内部摩擦角; y : 固定層を原点とする流れに垂直な方向の距離。

したがって、速度分布 U_s , 流動土砂量 Q_t に対する式は、それぞれ次のように表わされる。

$$U_s = \frac{1}{\mu_s} \left[m (\delta y - \frac{1}{2} y^2) + n \bar{r} y \right] \quad \text{..... (2)}$$

$$Q_t = \frac{1}{\mu_s} \left[\frac{(1-\lambda)}{6} (2m\delta + 3n\bar{r}) \delta^2 + \frac{(1-\lambda)}{2} (m\delta + 2n\bar{r}) \bar{r} \delta \right] \quad \text{..... (3)}$$

ただし、 $m = \{ Y_s \tan \theta - (Y_s - Y) \tan \varphi \} \cos \theta$, $n = \{ Y'_s \tan \theta - (Y'_s - Y) \tan \varphi \} \cos \theta$, $\mu_s =$ 粘性係数, λ , $\lambda =$ 上、下層の空隙率。

流動土砂単位体積重量 : 千鳥に配置した内径 13 mm の試験管により採取した流動土砂の先端部付近の単位体積重量 Y_s の y 方向の分布と水路勾配との関係の一例が、供給水量 $Q = 12.03 \text{ cm}^3/\text{sec}$ に対して図-1に示されている。他の供給水量に対してもほぼ同様な傾向が認められている。この図より、 Y_s はいずれの水路勾配においても y 方向には直線的に減少しており、また、勾配の増加に伴って、その減少率は小さくなり層内の Y_s の分布が均一になっていくということが見られる。そこで、 Y_s の y 方向の減少率 $\alpha (= Y_s/y)$ と水路勾配との関係を表わしてみると、図-2のようになる。これより、流動層内の単位体積重量の分布は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} Y_s &= -\alpha y + 1.83 \\ \log \alpha &= -13.3 \tan \theta + (-0.068 + 3.59) \end{aligned} \right\} \quad \text{..... (4)}$$

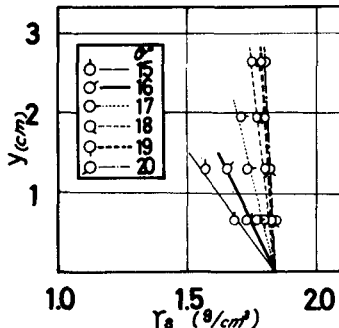


図-1

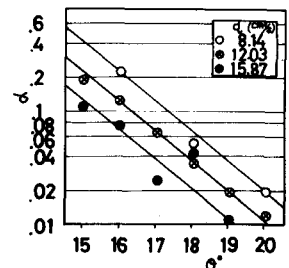


図-2

土砂の内部摩擦角：(1)式に用いられる流動土砂の内部摩擦角は常に一定ではなく、流動の条件、すなわち、供給水量、水路勾配、土砂の単位重量、等によって変化するものと思われる。そこで、流動の限界、すなわち、 $y=0$ で $-\left[\frac{\partial c}{\partial y}\right]_{y=0}=0$ の条件における限界の流動土砂内部摩擦角 φ_c を求めてみると、

$$\varphi_c = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_s' R/\sigma + \gamma_s}{(\gamma_s' - \gamma) R/\sigma + (\gamma_s - \gamma)} \tan \theta \right] \dots\dots (5)$$

が得られる。(5)式に諸量を入れて計算されたものが図-3である。これより、 φ_c はほぼ、本実験で使用された土砂に対する水中安息角の実験より得られた動摩擦角 32.9° と静摩擦角 40.2° の間で変化することが認められる。

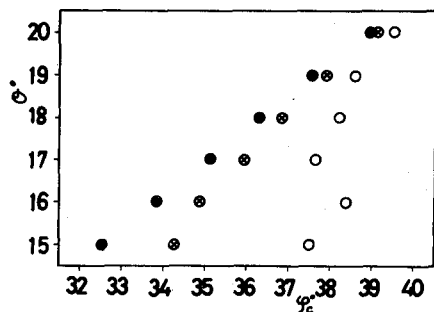


図-3

粘性係数：流動速度の実測値と(2)式の $y=\sigma$ における速度とから求められた粘性係数 M_s と水路勾配との

関係が、図-4に示されている。勾配によってかなりのばらつきが認められるが、各供給水量に対しての M_s の平均値 M_{sm} を求めてみると、 $\theta = 8.14, 12.03, 15.87 \text{ cm/s}$ に対して、それぞれ、 4.05×10^{-3} , 1.15×10^{-3} , 4.95×10^{-4} ($\theta \cdot \text{sec/cm}^2$) が得られ、 M_s/M_{sm} と水路勾配との関係が図-5に示されている。

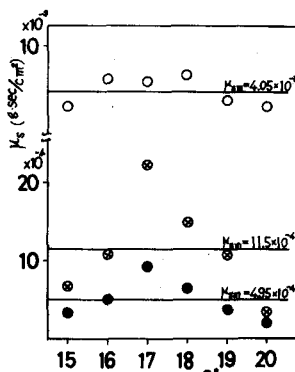


図-4

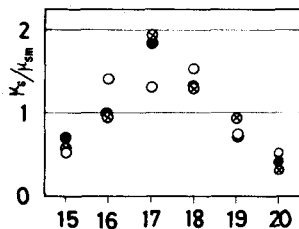


図-5

流動土砂量：単位供給水量当りの、(3)式より得られる流動土砂の計算値と実測値との関係を示したのが図-6である。

なお、図-4, 5において、 M_s は $\theta = 17^\circ$ 付近で最大になるとが認められるが、現在までのところでは、その特性が明確でないので、 θ における計算には M_{sm} の値が用いられている。

本報告における土砂の内部摩擦角および粘性係数に対しては、今後さらに検討する必要があると思われる。

謝 辞：本報告をまとめるに当っては、本学大学院の長林久夫氏に多大な甚力を得た。記して感謝の意を表する。

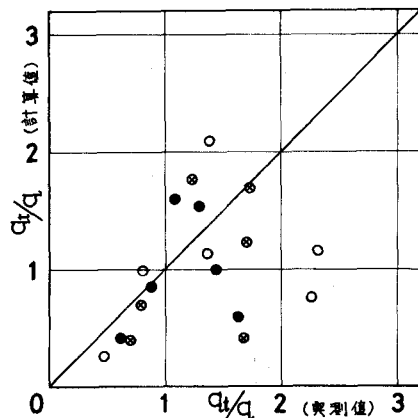


図-6

<参考文献>

- 1) 木村喜代治・高橋迪夫：土砂の集合流動に関する一考察，第29回土木学会年次講演会講演集，1974.10.