

II-137 土砂の集合流動に関する一考察

日本大学工学部 正員 木村 喜代治
同 正員 高橋 迪夫

山地河川において発生する土砂の集合流動に関する理論的な取扱いは、既に、矢野¹⁾、芦田²⁾、大同³⁾、椿等⁴⁾によって報告されているが、水と土砂との混合体としての流動特性は非常に複雑であり、通常の河川の流況に比べて不確定要素が多いために、未だ十分にその運動形態が解明し尽くされとは言えないようである。

そこで本報ではこの土砂の集合流動に関して、著者の一人木村が既に報告した考え方に従い、流動部分を水と土砂との混合物の塑性体として取扱い、これが上層、下層の2つの流動層よりなるものという考えのもとに、下層における運動方程式を導き、更に、幾つかの仮定を用いることによりこれを上層に適用して、流動部の流速、流動土砂量等を求め、実験結果との比較検討を試みる。

流動部を図-1のように上層、下層の2層に分け、下層内の微小部分のx方向の釣合いを考えると、

$$\rho_s u_s \frac{\partial u_s}{\partial x} = \frac{\partial \tau}{\partial y} - \frac{\partial p_s}{\partial x} + \rho_s g \sin \theta \quad (1)$$

となる。ここで、下層内の圧力を静圧分布とすると、(1)式より、下層内の剪断力は次のようになる。

$$\frac{\partial \tau}{\partial y} = \rho_s' g \cos \theta \frac{dh}{dx} - \rho_s g \sin \theta + \rho_s g \cos \theta \frac{d\delta}{dx} + \frac{\rho_s}{2} \frac{\partial u_s^2}{\partial x} \quad (2)$$

ここで、 ρ_s' , ρ_s は上、下層の混合物の密度、 h , δ は上、下層の厚さ、 u_s は下層の混合物の速度、 θ は水路勾配である。ここで、下層内の流動を等流のような流れ方をすると、(2)式は簡単に、

$$\frac{d\tau}{dy} = -\rho_s g \sin \theta \quad (3)$$

となる。今、下層内の速度分布を求めるために、下層の各点の土砂の剪断力を、

$$\tau - \tau_{cy} = f(\mu_s) \frac{du_s}{dy} \quad (4)$$

で表わす。ここで、 $f(\mu_s)$ は粘性係数の関数、また、 τ_{cy} は剪断降伏値であり、クーロンの式によって表わされるとし、

$$\tau_{cy} = \{(\rho_s' - \rho \cos \theta)h + (\rho_s - \rho \cos \theta)(\delta - y)\} g \cos \theta \tan \varphi \quad (5)$$

とおく。ここで、 ρ は水の密度であり、また、 φ は土砂の流動中の摩擦角とし、下層内での平均的な値を取る。

次に、(3)式を $y = \delta$ から $y = \delta$ まで積分すると、

$$\int_{\tau}^{\tau_0} d\tau = - \int_{\delta}^{\delta} \rho_s g \sin \theta dy \quad \therefore \tau = \tau_0 + \rho_s g (\delta - y) \sin \theta \quad (6)$$

ここで、

$$\tau_0 = \rho_s' g h \sin \theta \quad (7)$$

と表わし、(5),(6),(7)式を(4)式に代入して整理すると、

$$\frac{du_s}{dy} = \frac{1}{f(\mu_s)} m (\delta - y) + \frac{1}{f(\mu_s)} n h \quad \left. \right\}$$

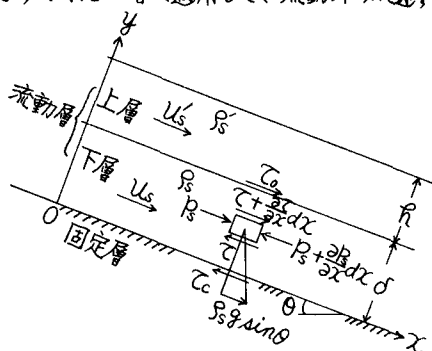


図-1

$$\left. \begin{aligned} k \geq 1, \quad m &= \{ \rho_s \tan \theta - (\rho_s - \rho \cos \theta) \tan \varphi \} g \cos \theta \\ n &= \{ \rho'_s \tan \theta - (\rho'_s - \rho \cos \theta) \tan \varphi \} g \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

これを積分して、 $y=0$ で $u_s=0$ とすると下層内の速度分布は、

$$u_s = \frac{1}{f(\mu_s)} m \left(\delta y - \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{1}{f(\mu_s)} n h y \dots \dots \dots (9)$$

となる。今、上層の速度： u'_s が、 $y=\delta$ における下層の速度に等しく、かつ、 y 方向に一樣な速度をもっていると仮定すると、上層の速度は、

$$u'_s = |u_s|_{y=\delta} = \frac{1}{2f(\mu_s)} m \delta^2 + \frac{1}{f(\mu_s)} n h \delta \dots \dots \dots (10)$$

によって表わされる。

次に、単位幅当りの流動土砂量： g_t は、 g'_s, g_s を各々、上層、下層部の流動土砂量とすると、次式で表わすことができる。

$$g_t = g_s + g'_s = (1-\lambda) \int_0^\delta u_s dy + (1-\lambda') h u'_s \dots \dots \dots (11)$$

>>に、 λ, λ' は上、下層における空隙率である。(11)式に(9)、(10)式を代入して解くと、

$$g_t = \frac{(1-\lambda)}{6f(\mu_s)} (2m\delta + 3nh) \delta^2 + \frac{(1-\lambda')}{2f(\mu_s)} (m\delta + 2nh) h \delta \dots \dots \dots (12)$$

を得る。今、 $\lambda = \lambda', \rho_s = \rho'_s$ として計算した g_t と、実験結果より求めた g_t とを比較してみると図-2のようになり、計算値の g_t の方がやや小さい値を示している。

更に、集合流動の限界勾配を求めるために、(3)式を

$y=0$ から $y=\delta$ まで積分すると、

$$\begin{aligned} \int_{\tau_c}^0 d\tau &= - \int_0^\delta \rho_s g \sin \theta dy \\ \therefore \sin \theta &= \frac{1}{\rho_s g \delta} (\tau_c - \tau_0) \dots \dots \dots (13) \end{aligned}$$

>>で、 $\tau_c = |\tau_{cy}|_{y=0}$ と表わすことができるから、

$$\tau_c = \{ (\rho'_s - \rho \cos \theta) h + (\rho_s - \rho \cos \theta) \delta \} g \cos \theta \tan \varphi \dots \dots \dots (14)$$

となり、(7)、(14)式を(13)式に代入すると、

$$\tan \theta = \left\{ \frac{(\rho'_s - \rho \cos \theta) \rho_s + (\rho_s - \rho \cos \theta) \rho_s (\delta/h)}{(\delta/h) + (\rho'_s/\rho_s)} \right\} \tan \varphi$$

となり、限界勾配： θ_c においては $\delta=0$ と考えると、集合流動の限界勾配は簡単に次式によって求められる。

$$\tan \theta_c = \left(\frac{\rho'_s - \rho \cos \theta}{\rho'_s} \right) \tan \varphi \dots \dots \dots (15)$$

(15)式は、矢野・大同等の求めた式と同じものである。

<参考文献>

- 1) 矢野勝正・大同淳・角野稔：土石流の発生限界に関する実験，京都大学防災研究所年報，12号B，1969.3.
- 2) 芦田和男・大同淳・高橋保・水山高久：急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究，同上，16号B，1973.4.
- 3) 大同淳：急勾配上の多量の砂れきを含む流れの流動特性，第18回水理講演会講演集，1974.2.
- 4) 橋本一郎・平野宗夫・田中耕一：浅谷堆積土砂の流動について，第8回自然災害科学シンポジウム論文集，1971.10.
- 5) 木村喜代治：河川の安定勾配について，第14回年次講演会講演集，1959.5.

