

群馬大学大学院 学生員 今野 和茂

群馬大学工学部 正会員 江崎 一博

1. はじめに

固定床水路における流砂の問題は、ダム埋没対策の1つとしてのバイパストンネルによる排砂に関連して、最近ますます重要性をましてきている。バイパストンネルによる排砂計画で最も注意すべきことは、トンネル内の土砂堆積を極力避けることである。したがってある流量を流した時にトンネル内に堆積せず最大でどれくらいの流砂量を流しうるか、いいかえれば堆積限界掃流砂量の推定が重要になる。

本研究では、まず砂礫が存在する流れ場の抵抗に関するモデルによって、従来の実験で認められている流砂量の増加に伴う流速の変化状況について、移動砂礫の個数の影響を加味した対数流速分布式を導く。次に移動砂礫の個数と移動速度との関係を示す式を導き、検証実験を行い、その妥当性を確かめた。さらに移動砂礫の個数を含む掃流砂量式を導き、様々な条件について数値計算を行った。

2. 固定床水路における掃流砂礫の運動機構のモデル

水路床を単位面積当たり n 個の砂礫が移動している時には水路床に作用する掃流力は次の式で表わされる。

$$\tau_0 = \rho u_*'^2 = \rho g R i \quad (\rho : \text{水の密度}, R : \text{径深}, i : \text{水路床勾配}, u_*' : \text{摩擦速度})$$

これが砂礫に作用する力 nF と水の流れの乱れによる力 $\rho u_*'^2$ とに分けられるものとする。さらに流れを2つの層に分け、近似的に掃流層 ($0 \leq y \leq d$, d : 粒径) の流れは u_*' で規定され、掃流層外層 ($d \leq y \leq h$, h : 水深) の流れは u_* で規定されるものとする。

このように考えると、水路床における作用力の平衡条件は次のようになる。

$$\rho u_*'^2 = nF + \rho u_*'^2 \quad (1)$$

ここで1個の砂礫に作用する力 F は水路床の動摩擦係数を μ' 、砂礫の単位重量を σg (σ : 砂礫の密度) とすると次のように表わされる。

$$F = \mu'(\sigma - \rho)g \frac{\pi}{6} d^3 \cos \theta \quad (2)$$

上式において $\cos \theta = 1$ とすると (1) 式は次のようになる。

$$u_*'^2 = n\mu'sg \frac{\pi}{6} d^3 + u_*'^2 \quad (3)$$

($s = (\sigma - \rho) / \rho$: 砂礫の水中比重)

ここで流速分布として次のような滑面对数分布則を仮定する。

$$\frac{u}{u_*} = 5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{u_*' y}{\nu} \quad (0 \leq y \leq d) \quad (4)$$

$$\frac{u}{u_*} = 5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{u_*' y}{\nu} \quad (d \leq y \leq h) \quad (\nu : \text{動粘性係数}) \quad (5)$$

(3) 式より次の式が成り立つ。

$$\frac{u'}{u_*} = \sqrt{1 - n\mu' sg \frac{\pi d^3}{6 u_*}} \quad (6)$$

$y = d$ における流速 u_d が (4) 式、(5) 式で等しいことを考慮し、さらに (6) 式を考慮すると、(4) 式、(5) 式は次のようになる。

$$\frac{u}{u_*} = \sqrt{1 - X} \left(5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{\sqrt{1 - X}}{\nu} u_* y \right) \quad (0 \leq y \leq d) \quad (7)$$

$$\frac{u}{u_*} = \sqrt{1 - X} \left(5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{\sqrt{1 - X}}{\nu} u_* y \right) + 5.75 \log_{10} \frac{y}{d} \quad (d \leq y \leq h) \quad (8)$$

ここで $X = n\mu' sg \frac{\pi d^3}{6 u_*^2}$ である

砂礫の移動速度を v_s として、砂礫を直径 d の球体で近似すれば単位時間、単位幅当たりの掃流砂量 q_B は次の式で与えられる。

$$q_B = n \frac{\pi}{6} d^3 v_s \quad (9)$$

一方、移動している 1 個の砂礫に作用する抗力と動摩擦抵抗力との釣り合いの式は次のようになる。

$$\frac{\rho}{2} C_D (u_d - v_s)^2 \frac{\pi}{4} d^2 = \mu' \frac{\pi}{6} d^3 (\sigma - \rho) g \quad (u_d : y=d \text{ における流速, } C_D : \text{抗力係数}) \quad (10)$$

ここで (10) 式を変形すると次のようになる。

$$v_s = u_d - \sqrt{\frac{4}{3} d \frac{\mu'}{C_D} sg} \quad (11)$$

u_d は $u_d = u_* \sqrt{1 - X} \left(5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{u_* d}{\nu} \sqrt{1 - X} \right)$ であるから (11) 式、(8) 式を考慮すると (9) 式は

$$q_B = \frac{u_*^2}{\mu' sg} X \left[\left\{ 5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{u_* d}{\nu} + 5.75 \log_{10} \sqrt{1 - X} \right\} u_* \sqrt{1 - X} - \sqrt{\frac{4}{3} d \frac{\mu'}{C_D} sg} \right] \quad (12) \text{ となる。}$$

図 1 は X による q_B の変化を示したものであるが、 q_B には最大値が存在することがわかる。図 2 は柏井の実験結果¹⁾ でえられた最大流砂量の実験値と本モデルによる計算値とを比較したものであるが、計算値は実験値にかなり近い値を示している。

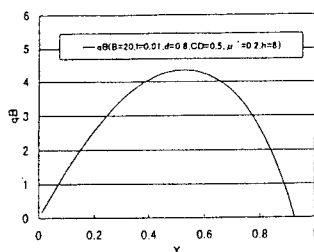


図 1

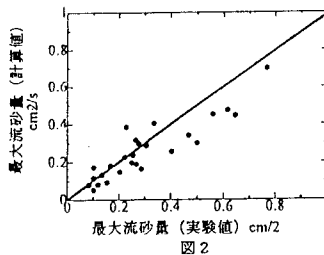


図 2

(参考文献) 柏井, 外崎, 川口 滑面固定床抵抗と流砂量 土木技術資料 vol.31No.5 p.348~p.353 1989 年