

T15 急勾配移動床水路における種々の流砂形態に対する統合的流砂量式について

九州大学大学院工学研究院
九州大学大学院工学研究院
九州大学大学院工学府

○橋本 晴行
朴 崎 瑛
田崎 信忠

1. はじめに

掃流砂と土石流との中間的な流砂形態に掃流状集合流動があるが、一方、浮流砂と泥流との間にも中間的な流砂形態として高濃度の浮流砂流の存在が知られている。この流砂形態については、従来、泥流に対して提唱されている2層構造モデル¹⁾ (図-1) が適用され、流砂量や抵抗則の評価式が理論的に誘導されている²⁾。このモデルは土石流や掃流状集合流動をも包含したモデルであるため広範な適用の可能性をもっており実用上の観点からも注目すべきものがあるが、その適用範囲については明らかではない。本研究は、2層構造モデルをもとに高濃度浮流砂流・泥流の領域に対して導かれた流砂量式²⁾について広範な条件下の実験データや他の流砂量式とも比較しながら、その流砂量式の適用範囲について調べたものである。

2. 2層構造モデル

高濃度流の運動方程式における各項のオーダー比較を行い、慣性項と粒子間衝突応力項との比をとると流れを規定する無次元パラメータ $L_d \sqrt{\frac{\rho_t}{\sigma F(C)}}$ が得られる。ここにLは代表長さスケールである。濃度・速度分布を考える時、代表長さスケールLとして底面からの高さzを選ぶと、無次元高さ $\frac{z}{d} \sqrt{\frac{\rho_t}{\sigma F(C)}}$ を導入することができる。その結果、底面近傍には粒子間力の卓越した粒子間力層が、その上には慣性力の卓越した慣性力層の存在が考えられる (図-1)。この2層構造モデル¹⁾をもとに流砂量や抵抗則の評価式が誘導され²⁾、流砂量については次式が提案されている。

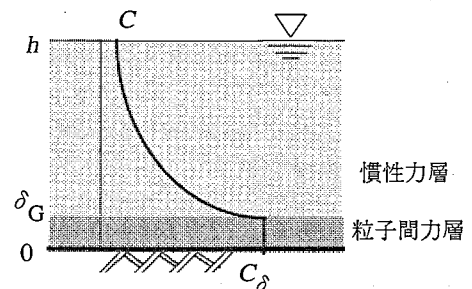


図-1 流れの構造と濃度分布に関する模式図

$$\frac{q_s}{\sqrt{sgd^3}} = \frac{\bar{u}s}{u_*} \tau_*^{3/2} (1 - \frac{\tau_*}{\tau_*^c}) \frac{1}{\tau_* (\alpha - \tan \theta_0) \cos \theta_0} G(\tan \theta_0, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*}) \quad (1)$$

ここに $G(\tan \theta_0, h/d, w_0/u_*)$ は $\tan \theta_0, h/d, w_0/u_*$ の関数で、土砂が粗粒化し $w_0/u_* \rightarrow \infty$ となると $G \rightarrow 1$ となり、式 (1) は橋本・平野により提案された掃流状集合流動の流砂量式³⁾に一致することとなる。

3. 平野・橋本・多川の流砂量式²⁾と実験との比較

理論との比較には、可変勾配水路において、河床材料として粒子密度 $\sigma = 2.59 \sim 2.65 \text{ g/cm}^3$ の、微細砂から中れきまでの種々の粒径の材料を用いて得られた土石流・流砂に関する実験データを用いた。

図-2は無次元流砂量 $q_s/\sqrt{sgd^3}$ を無次元掃流力 τ_* に対して表したものである。ここにパラメータとして相対水深 h/d 、無次元沈降速度 w_0/u_* を用いている。相対水深が大きいほど、無次元沈降速度は小さいほど無次元流砂量は大きくなるのが分かる。図中の曲線は理論式 (1) の簡便式である。大部分の実験値が理論とよく適合していることが分かる。図は省略しているが、相対水深 h/d のもっとも大きな領域と比較的小きな領域について、輸送濃度 C_T をパラメータとして実験値と理論式とを比較すると、 $h/d > 200$ では理論式が若干過大となる。また $15 < h/d < 35$ では $C_T > 0.5$ のデータが一部、理論と合わないことが分かる。前者は河床材料が微細砂の場合の実験データであり、後者は典型的な土石流のデータである。後者については、 C_T が 0.5 以上になり最密充填濃度 $C_c = 0.6$ に近くなると C_T の増加が頭打ちの傾向を示すようになることに起因するものと考えられる。

4. 他の流砂量式^{4),5),6)}と実験との比較

図-3, 4, 5は、土石流における高橋⁴⁾の土砂輸送濃度式、掃流状集合流動に対する江頭ら⁵⁾の流砂量式、芦田・高橋・水山⁶⁾の掃流砂量式をそれぞれ用いて、実験と比較したものである。当然、各流砂量式には適用限界があり、高橋⁴⁾の土石流濃度式は無次元掃流力 $\tau_* < 1$ の掃流砂流領域で実験値に合わなくなる。江頭ら⁵⁾の式は、式の構造から約10度の急勾配になると計算不能に陥る。芦田らの式は一部の実験データと適合しているにすぎない。いづれ

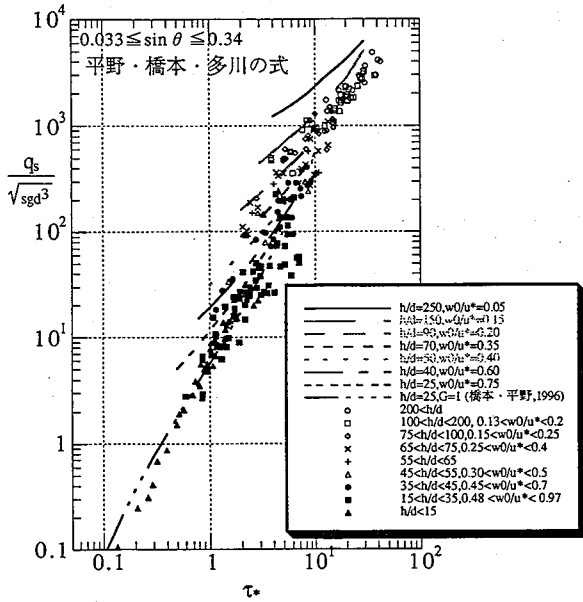


図-2 相対水深と無次元沈降速度をパラメータとした時の無次元流砂量と無次元掃流力との関係

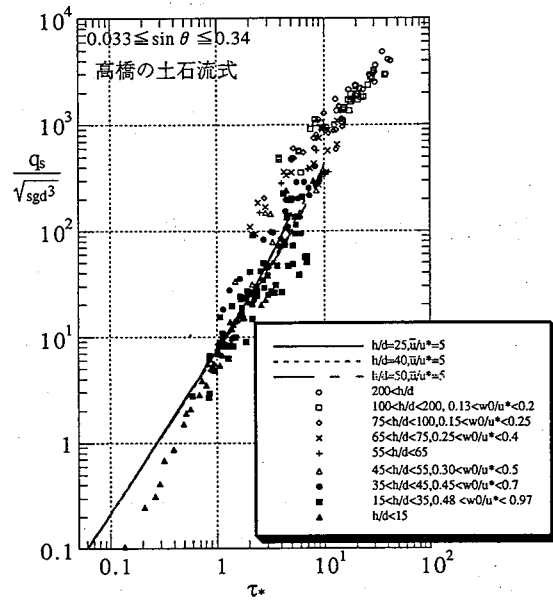


図-3 高橋の土石流濃度式と実験との比較

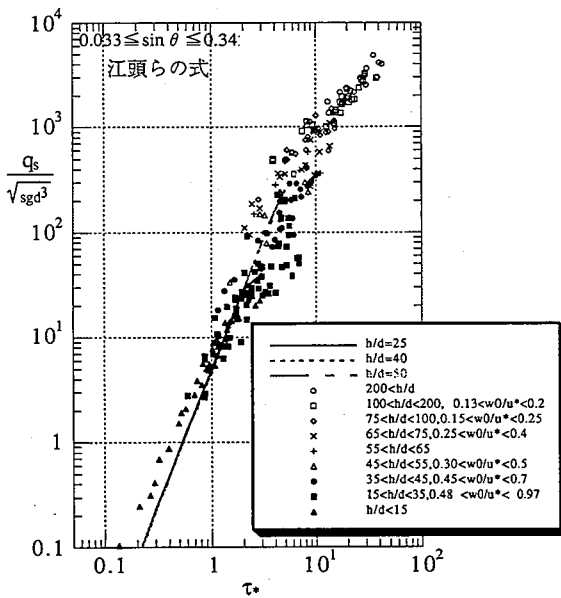


図-4 江頭・芦田・高浜・田野中⁵⁾の流砂量式と実験との比較

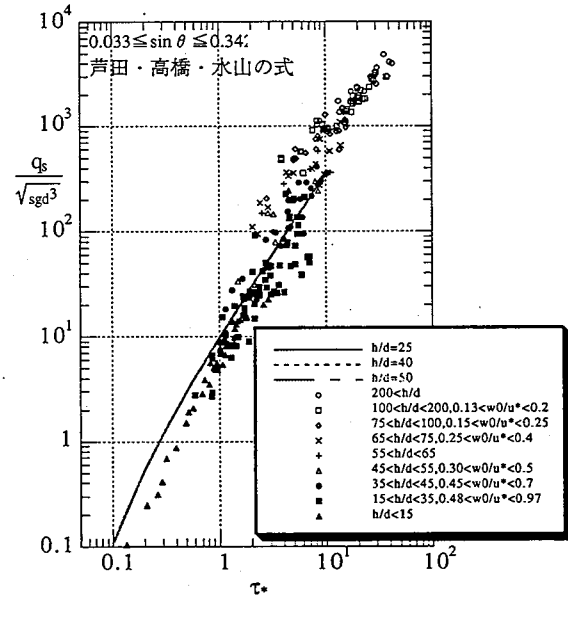


図-5 芦田・高橋・水山⁶⁾の流砂量式と実験との比較

の式も相対水深 $h/d > 55$ の高濃度浮流砂流・泥流領域や $C_T > 0.5$ の土石流領域では実験値に合わなくなる。

5. おわりに

以上、急勾配移動床水路に対して提案されている種々の流砂量式について、広範な条件下で行われた実験結果と比較し、それらの適用範囲を調べた。平野・橋本らの高濃度浮流砂流に対する流砂量式は、他の流砂量式に比べてより広範な適用性があることが明らかになった。最後に、本研究は、一部、平成13年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2) (代表 九大 橋本晴行) の補助を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 橋本・平野, 水工学論文集, 第39巻, 1995. 2) 平野・橋本・多川, 水工学論文集, 第42巻, 1998.

3) 橋本・平野, 土木学会論文集, No545, 1996. 4) 高橋, 京大防災研年報, 20号B-2, 1977. 5) 江頭・芦田・高浜・田野中, 水工学論文集, 第35巻, 1991. 6) 芦田・高橋・水山, 砂防学会誌107号, 1978.