

急勾配移動床水路における統合的流砂量式について

九州大学大学院工学研究院 正 員 ○橋本 晴行
九州大学大学院工学研究院 正 員 朴 埸 臻
九州大学大学院工学府 正 員 池松 伸也

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囲な適用の可能性をもち、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 $\frac{L}{d} \sqrt{\frac{\rho_l}{\sigma F(C)}}$ 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 $\frac{z}{d} \sqrt{\frac{\rho_l}{\sigma F(C)}}$ 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⁾

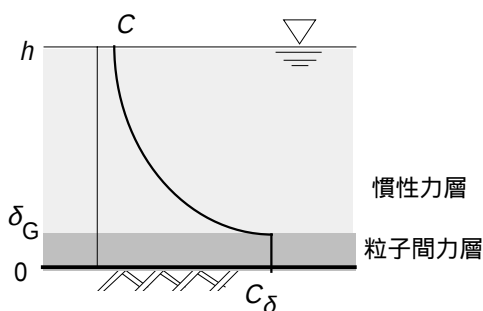


図-1 流れの構造と濃度分布に関する模式図

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。

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

3. 理論式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ことが分かる。図中の曲線は $\xi = 0.343$ としたときの理論式(1)の簡便式である。大部分の実験値が理論とうま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さな領域について、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。これらについては今後検討が必要である。

4. 他の流砂量式^{3),4),5)}との比較

図-3, 4, 5は、土石流における高橋³⁾の土砂輸送濃度式、掃流状集合流動に対する江頭・芦田・高浜・田野中⁴⁾の流砂量式、芦田・高橋・水山⁵⁾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³⁾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⁴⁾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。いずれの式も相対水深 $h/d > 55$ の高濃度浮流砂流・泥流領域では実験値に合わなくなる。

キーワード：流砂，掃流状集合流動，土石流，高濃度浮流砂流，泥流

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL 092-642-3288 FAX 092-642-3322

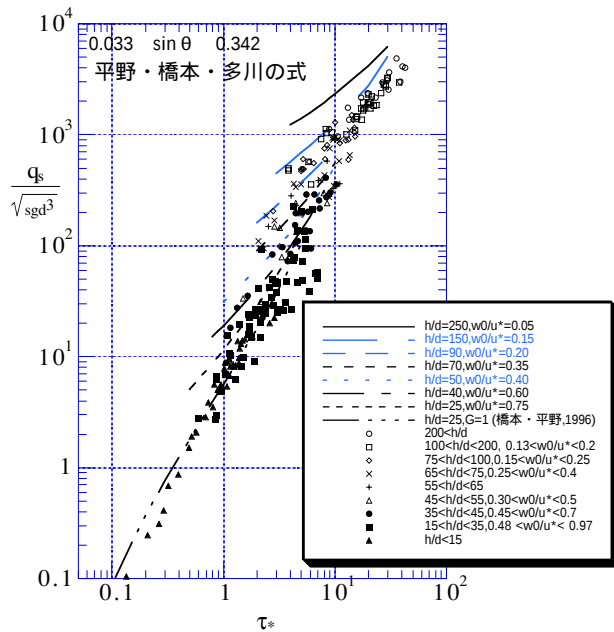


図-2 相対水深と無次元沈降速度をパラメータとした時の無次元流砂量と無次元掃流力との関係

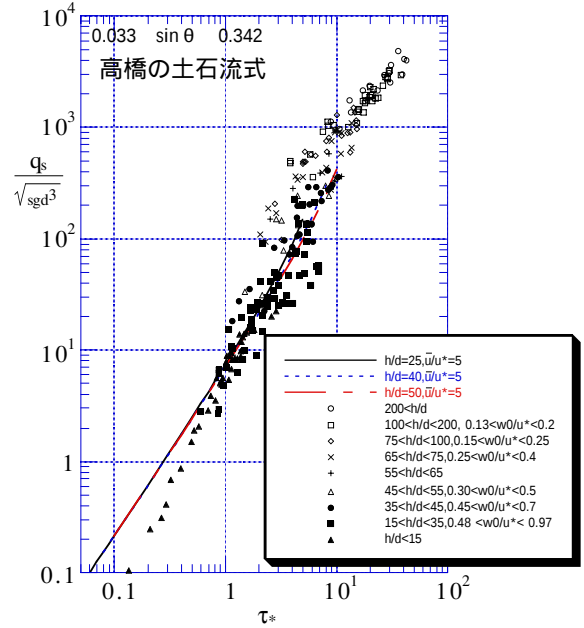


図-3 高橋³⁾の土石流濃度式と実験との比較

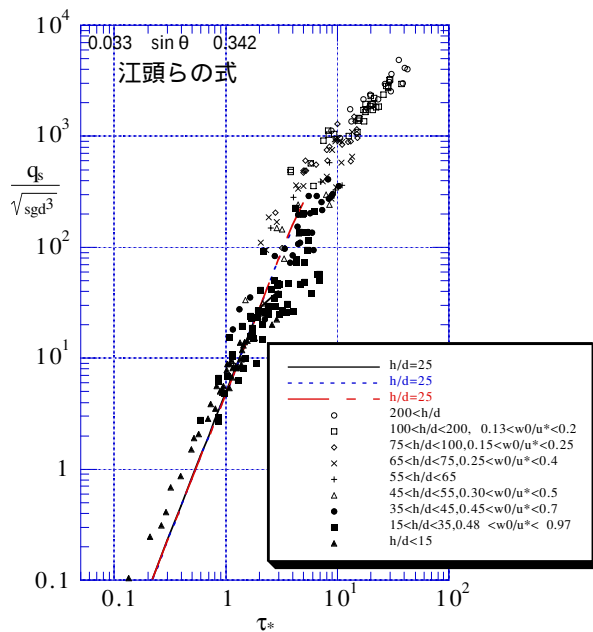


図-4 江頭・芦田・高浜・田野中⁴⁾の流砂量式と実験との比較

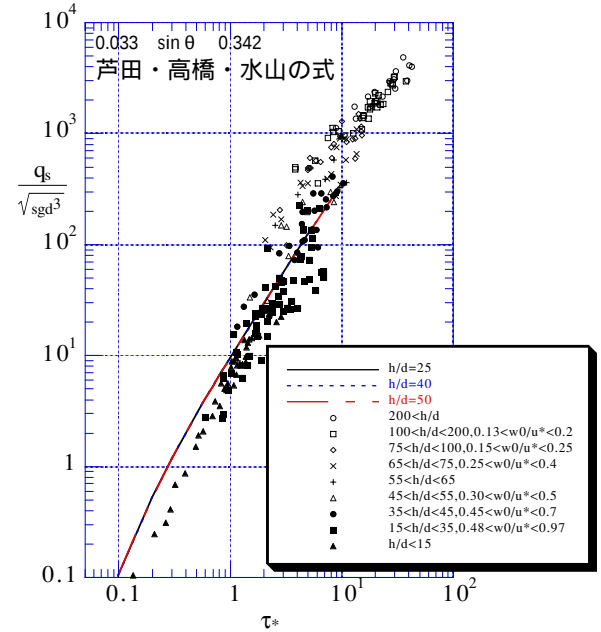


図-5 芦田・高橋・水山⁵⁾の流砂量式と実験との比較

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。本研究は、一部、科学研究費補助金基盤研究(C)(2)（代表 九大 橋本晴行）の補助を受けて行ったものである。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) 高橋，京大防災研年報，20号B-2，1977．
- 4) 江頭・芦田・高浜・田野中，水工学論文集，第35巻，1991．
- 5) 芦田・高橋・水山，砂防学会誌107号，1978．