

静岡大学大学院農学研究科 ○山本 亨
 岐阜大学大学院連合農学研究科 今泉文寿
 静岡大学農学部 土屋 智・逢坂興宏



図-1 調査対象流域

1. はじめに

豪雨洪水時に河川を流下する浮遊砂 (Suspended Sediment : S.S.), 掃流砂 (Bed Load : B.L.) の流送現象のメカニズムについては、これまで多くの研究者がその課題に取り組み、さまざまな研究成果が得られてきた。しかしこれらは環境の整った実験水路や緩流河川における実験や観測によるものが多く、土砂生産源に近く勾配が急な山地河川での実測例の蓄積に乏しいのが現状である。そこで本研究では土砂生産源に近い河川で、洪水時に流下する浮遊砂・掃流砂の直接サンプリングによる観測を行い、得られた観測結果と既往の流出土砂量式とを比較検討し考察を行った。

2. 調査流域概要および観測方法

本研究の調査対象地は、静岡市の南東に位置する有度丘陵の南斜面を流下する柳沢川である (図-1)。流域内の地質は上・中流部は久能山礫層, 下流部は根古屋泥層である。流域の最上部には海食による急勾配の礫層の崖があり、黄褐色の久能山礫層が露出している。この礫層は砂質土壌のため極端な下方侵食や崩壊が多くの個所で生じており、土砂生産が活発である。A地点より上流域を調査流域とし、A地点において洪水時に流量および浮遊砂、掃流砂の観測を行った。B地点に自記雨量計を設置し降雨量を測定した。

浮遊砂量は MLSS 濁度計によって得られた値と、採水のデータをキャリブレーションし求め、掃流

砂量はサンプリングによって求めた。また浮遊砂は採水によって得られた粒径 $d=1.03\text{mm}$ 以下の土砂とし、掃流砂はサンプリングの精度より $d=2.00\text{mm}$ 以上のものとした。

3. 流砂量観測結果

観測例として図-2に2000年9月11日のハイエト・ハイドログラフを示す。このようにして得られたデータより、流量と浮遊砂・掃流砂量の関係を示したのが図-3である。また一般的に浮遊砂の推定に用いられる $L-Q$ 式を近似式として合わせて示した。 $L-Q$ 式は次式で表される。

$$L = aQ^b \dots (1)$$

ここで、 L : 流砂量 (kg), Q : 流量 (m^3/s), a, b : パラメータである。その結果浮遊砂・掃流砂ともにばらつきはみられるが相関係数は比較的高いといえ、浮遊砂量の推定に使われる式 (1) が、掃流砂量と流量の関係を表す表現方法の一つとして適用できることが確認された。しかしこの式は経験式であることから多量のサンプリングを必要とする。サンプリングの比較的容易な浮遊砂においては一般河川でも適用しうが、掃流砂のサンプリングは課題が多く一般河川において用いることは困難である。また流域の大きな河川においては浮遊砂においてもばらつきが大きく相関係数が低くなり、実用に適さないという指摘もある (倉茂, 1996)。そこで一般河川で用いられる理論式と観測値を比較し、その適合性に関する評価を行った。

4. 既往の流出土砂量式との比較

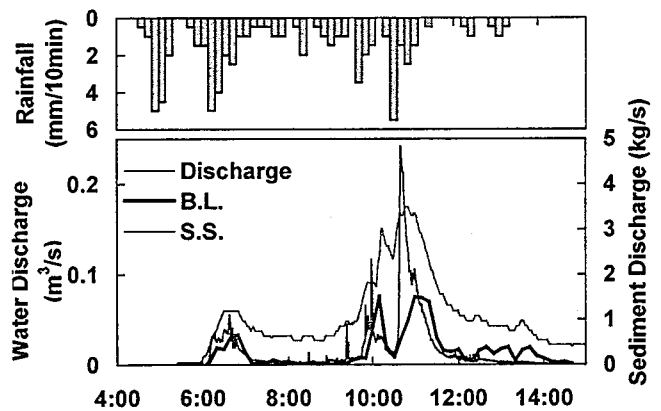


図-2 ハイエトハイドログラフ(2000/9/11)

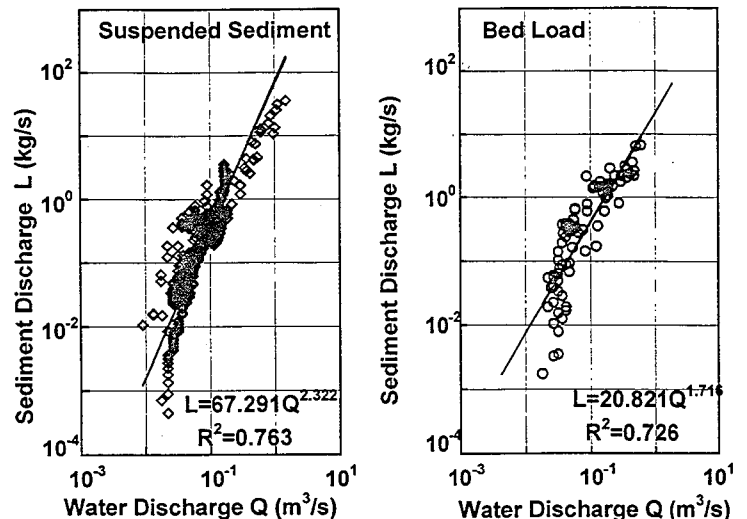


図-3 流量と浮遊砂・掃流砂流出量の関係

1) Meyer Peter & Müller 式

本研究対象流域のような実際河川は混合砂礫河床である。しかし実際河川における掃流砂量の推定においては、河床の平均粒径を用いて均一粒径砂量式がよく用いられる(鈴木, 1999)。そこでまず均一粒径砂量式と観測値の比較を行った。均一粒径砂量式はこれまでに Du Boys に始まり種々のタイプのものが提案されているが、ここでは式型が最も単純で 芦田・道上の式や Einstein の式とほぼ同じ流砂量を与えるために、実際河川でよく用いられる Meyer Peter & Müller の流砂量式 (MPM 式) を用いた。MPM 式は次式で表される。

$$q_{s*} = 8(\tau_{*c} - 0.047)^{3/2} \dots (2)$$

ここで、 $q_{s*} (=q_s / \sqrt{sgd^3})$: 無次元流砂量, q_s : 単位幅流砂量, τ_{*c} : 有効無次元掃流力, s : 水中比重 ($=\rho/\rho_w - 1$) ρ : 砂礫の密度, ρ : 水の密度, g : 重力加速度, d : 河床表層砂の平均粒径である。

図-4 は、観測された無次元掃流力と無次元流砂量の関係を表しており、あわせて MPM 式による理論曲線も示してある。観測値と理論曲線を比較するとおおむね一致している。しかし無次元掃流力が小さいときに観測値は理論値より低くなる傾向がある。この原因としては粒度分布が幅広い対象河川に、均一粒径砂量式である MPM 式を用いたためであると考えられる。そこで混合砂礫河床の限界掃流力式と観測値の比較を行った。

2) 限界掃流力式と観測値の比較

混合砂礫の限界掃流力式としては、Egiazaroff が 1965 年に提案した粒径別限界掃流力式がよく用いられている。これは完全粗面上の対数則流速分布に従って、粒径別に作用する流速が異なることを考慮したときの限界掃流力次式のように表したものである。

$$\frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*cm}} = \left[\frac{\log 19}{\log 19(d_i/d_m)} \right]^2 \dots (3)$$

ここで、 d_m : 河床表層砂の平均粒径, d_i : 任意の粒径, τ_{*ci} : d_i 砂にはたらく限界掃流力 ($=u_{*ci}^2 / sgd_i$), τ_{*cm} : 河床の平均限界掃流力 ($=u_{*cm}^2 / sgd_m = 0.06$), u_{*cm} : 河床の平均摩擦速度, u_{*ci} : 粒径 d_i 砂の限界摩擦速度である。

式(3)の妥当性はある程度実験的に認められている。しかし実際の河川においての妥当性についての議論はあまり行われていない(鈴木, 1999)。そこで粒径別限界掃流力の理論式と観測値との比較を行った。観測値を適用するにあたり限界掃流力 τ_{*ci} によって運ばれた粒子(粒径 d_i 砂)を、ある時間の河川の掃流力 τ_0 で運ばれた掃流砂の最大粒径 d_{max} 砂と置き換えた。河川の掃流力 τ_0 は次式で表される。

$$\tau_0 = \rho g R i \dots (4)$$

ただし、 R : 径深 ($=A/s$), A : 流水断面積, s : 潤辺, i : 河床勾配, である。

図-5 は観測した τ_{*ci} / τ_{*cm} と d_i/d_m の関係を示したものであり、合わせて Egiazaroff の式による理論曲線も示してある。理論曲線と観測値を比較すると、全体的に観測値のほうが理論値よりも高くなる傾向がみられる。これは採取した掃流土砂中の最大粒径を用いて限界掃流力 τ_{*ci} を評価したためと考えられる。しかし観測値は全体的に理論値と同様な推移を示しており、適合性は良好であった。よって MPM 式の値が理論値と異なった原因として、MPM 式は限界掃流力を一様とし、粒径毎に評価しなかったためと考えられる。

5. おわりに

荒廃小流域を対象として得られた観測値と MPM 式を比較した結果、無次元掃流力が小さい時に MPM 式の理論値よりも観測値の無次元流砂量が低くなった。これは限界掃流力の評価が原因だと考えられた。そこで混合砂礫河床の限界掃流力式である Egiazaroff 式と観測値の比較を行ったところ、その適合性は良好であった。よって本研究対象河川のような粒度分布が広い河川において掃流砂量式を用いるには、限界掃流力を粒径毎に評価する必要があると考えられる。

引用文献

- 倉茂好匡 (1996) 河川の浮流土砂研究における最近の動向, 北海道大学地球物理学研究報告, 59 : 1-13
- 鈴木幸一ら (1999) 各粒径砂礫への掃流力と限界掃流力の補正を考慮した粒径別掃流砂量の推定, 土木学会論文集, 621 : 91-99

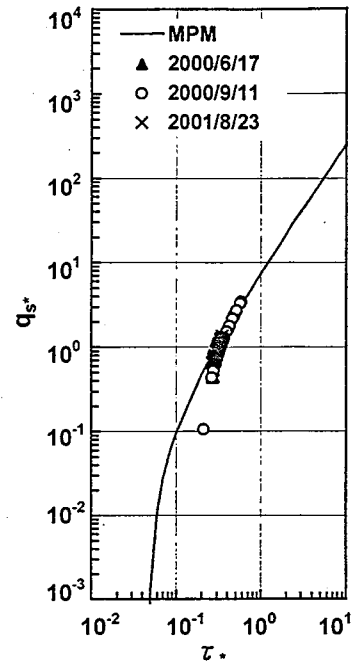


図-4 MPM 式と観測値の比較

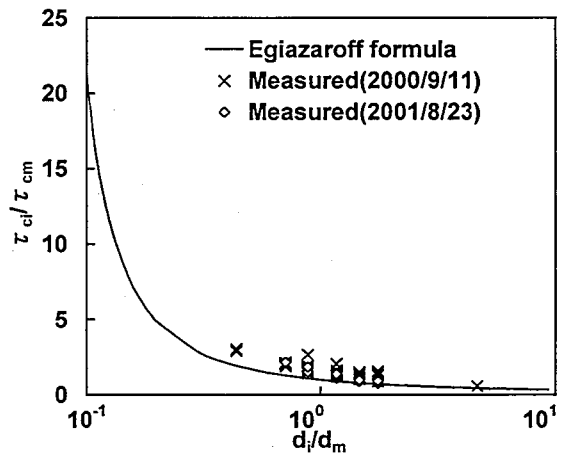


図-5 粒径別限界掃流力