

II-14

粒径分布を考慮した河床変動モデルと江合川の河床低下について

東北大学工学部 学生員 ○北野 雅幸

東北大学工学部 正 員 泉 典洋

1. はじめに

大規模な土砂採取や土木事業は従来の土砂収支のバランスを崩し、時に海岸侵食や河床低下を引き起こす。北上川の支流江合川でも、その中流域から下流域にかけて河床低下が生じており、原因究明と対策が重要となっている。

図 2, 3 に示したように、江合川は、中流域に河床勾配と河床材料の粒径に急変点を有している。このような特徴を有する河川が世界中いたるところで見られることが近年明らかとなってきたが、その成因について詳細を明らかにすることが上記問題解決のためには必要不可欠となる。本研究では、その端緒として供給土砂の粒径分布を考慮した河床変動モデルを提案する。

2. 現地調査

モデルを作成するにあたって、まず江合川の現地調査を行った。調査は旧北上川との合流点から上流約 50km の区間でほぼ等間隔で 19 の調査地点を定め、河床砂、れきを採取した。これらをふるいわけおよび粒度分析機を用いて粒度分析を行った。

 3. モデル¹⁾

3-1. 土砂の保存式

局所的な河床勾配 $S(x, t)$ をあらわす式は

$$S(x, t) = -\frac{\partial}{\partial x}(\eta + L_a) \quad (1)$$

である。ここで η , L_a は図 1 に示すとおりである。特に L_a は交換層と呼ばれ、掃流によって土砂が運ばれる際、主として土砂の交換が行われている場所である。また粒径をあらわす次のパラメータを導入する。

$$D = 2^{-\phi} \quad (2)$$

河床上の掃流砂量中に含まれるある粒径の存在確率を $p(\phi, x, t)$ とし、河床構成土砂中の高さ z における粒径 ϕ の存在確率を $f'(\phi, x, z, t)$ とする。そして、この存在確率は交換層とその下の堆積層で次のようにあらわすことにする。

$$f' = F(\phi, x, t) \quad \eta < z < \eta + L_a \quad (3)$$

$$f' = f(\phi, x, z) \quad z < \eta \quad (4)$$

土砂の保存式は次のような式となる。ただし、 B は川幅、 q_T は掃流砂の総量である。

$$B \frac{\partial}{\partial t} \left[\int_0^{\eta+L_a} f' dz \right] = -\frac{\partial}{\partial x} (B q_T p) \quad (5)$$

これをすべての粒径に関して積分すると、次のような式になる。ただし、 λ は間隙率である。

$$(1-\lambda) \frac{\partial}{\partial t} (\eta + L_a) = -\frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x} (B q_T) \quad (6)$$

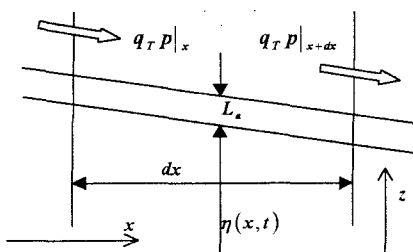


図 1 変数の定義

3-2. 粒径を考慮した掃流砂量式

さまざまな粒径の土砂を考慮するため、掃流砂量式も各粒径ごとに計算する。総掃流砂量 q_T に存在確率 p を乗じた $q_T p$ が各粒径の掃流砂量となる。 $q_T p$ は次のような式で求めることができる。ただし、 τ は河床せん断力、 R は砂粒子の水中比重、 D は土砂の粒径、 D_{sg} は河床表面の平均粒径である。

$$q_T p = 0.00218 G \left(\frac{\tau}{0.0386 \rho R g D_{sg}} \left(\frac{D}{D_{sg}} \right)^{-0.0951} \right) \left(\frac{\tau}{\rho} \right)^{3/2} \frac{F}{R g} \quad (7)$$

ここで、 G は次のような関数である。

$$\begin{aligned} G(\xi) &= 5474 \left(1 - \frac{0.853}{\xi} \right)^{4.5} & \xi > 1.59 \\ G(\xi) &= \exp \left[4.2(\xi - 1) - 9.28(\xi - 1)^2 \right] & 1 \leq \xi \leq 1.59 \\ G(\xi) &= \xi^{14.2} & \xi < 1 \end{aligned} \quad (8)$$

交換層内の各粒径の存在確率 F は時間によって変化するが、これは次の式で表される。ただし、 f_i は交換層とその下の層の境界上での f を表している。

$$\frac{\partial F}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda)L_a} \left(\frac{\partial q_T p}{\partial x} - f_I \frac{\partial q_T}{\partial x} \right) \quad (9)$$

3-3. 計算方法

土砂の保存式を差分化して数値計算を行う。掃流砂量、河床変動量はともに各粒径ごとに前述の式を用いて求め、その合計を全掃流砂量、全河床変動量とする。

上流端における単位幅掃流砂量は $1.0 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ で、7種類の粒径を用いた。対象区間上流端での供給土砂中に含まれる各粒径の割合は表1のとおりである。単位幅流量は $0.5 \text{m}^3/\text{s}$ 、マンニングの粗度係数は0.035とする。江合川流域ではこの70年ほどの間に年平均2~4mmの地盤の沈降が生じていることが知られている。よって、ここでは全流域で地盤が3mm/yearで一様に沈下していると仮定し、ほぼ平衡状態に達した後の解を求める。

表1 供給土砂中の各粒径の割合

	れき					砂	
粒径(mm)	200.00	63.25	20.00	6.33	2.00	1.10	0.42
確率 p	0.03	0.08	0.11	0.08	0.03	0.33	0.33

4. 結果と考察

上の条件で計算した結果を図2, 4で示す。実際の地形では、対象区間上流端から約17km付近で勾配が急変しているが、計算値でもその付近で勾配の急変部が再現することができた。粒径分布を調べてみるとこのポイントを境にして河床構成土砂がれきから砂へと変わるのわかる。これは大きな粒径の土砂は大きな掃流力が必要であり、勾配が緩いとそれ以上流れることはなく、小さな粒径の土砂だけが下流に運ばれるためである。

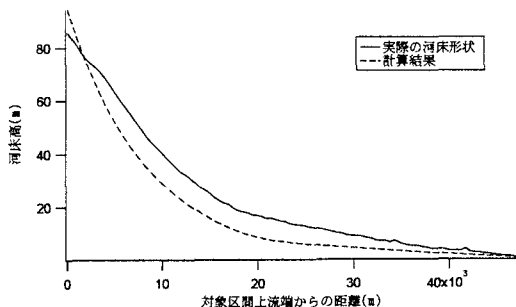


図2 実際の河床形状と計算値との比較

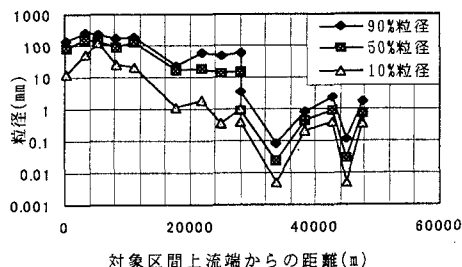


図3 実測値による粒径変化

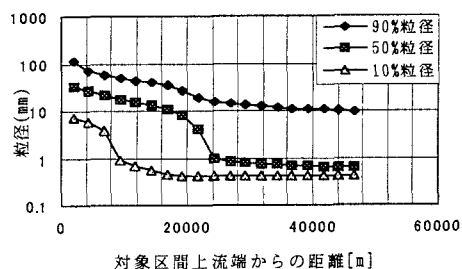


図4 数値計算による粒径変化

5. 結論と今後の課題

本モデルによって河床勾配及び河床材料の粒径が急変するという現象を数値的に表すことができた。しかし定量的には未だ不十分である。この原因としては次のようなことが考えられる。まず本モデルでは流量を時間的・空間的に一定として計算しているが、実際は時間的に大きく変化し、空間的にも流下方向に増加するはずである。また土砂が流下するにしたがって磨耗によって粒径が小さくなることも考慮されていない。さらに実際の河川は土砂を谷全体に堆積させるため一次元のモデルでは正確に表すことができない等の問題も残されている。これらを考慮に入れ、実際の河床形状と定量的にも一致するようなモデルを構築し、流況や土砂供給量の変化による河床形状への影響を明らかにすることが今後の課題である。

謝辞：本研究は建設省北上川下流工事事務所との河川懇談会共同研究として行われ、同事務所に多大な援助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献：1) Gary Parker: Selective Sorting and Abrasion of River Gravel. I: Theory, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.117, No.2, pp.131-149, 1991.