

堆積砂の粒度組成履歴を考慮した混合砂河床変動シミュレーション

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一
 愛媛大学大学院 学生員 鈴木 悟
 愛媛大学大学院 学生員 ○羽野敦之

1 はじめに 山地河川に見られるような広い粒度分布の河床をもつ急勾配河道に対して従来の河床変動計算モデルでは、河床低下の際に表層に現れる砂礫の粒度分布を便宜上元河床の粒度分布で与えているため、正確な河床粒度の推定がなされない。そこで、本研究では、混合砂礫河床に形成されたなだらかなマウンドが流下方向に移動して行く場合に一度上昇した河床の堆積砂が再び洗掘される場合の河床粒度特性を明らかにするとともに河床高変動のシミュレーションについて検討した。

2 混合砂礫河床変動の基礎式と問題点

2.1 基礎式 混合砂礫河床の一次元変動の基礎式は全粒径流砂の連続式および各粒径砂の連続式は図 1 の記号を用いてそれぞれ次式のように表される。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda')(1-Fr^2)} \frac{\partial q_s}{\partial h} \frac{\partial z_b}{\partial x} = \frac{1}{(1-\lambda')(1-Fr^2)} \frac{\partial q_s}{\partial h} \frac{u_*^2}{gR} - Fr^2 \frac{\partial q_s}{\partial h} h + (1-Fr^2) q_s \left[\frac{1}{B} \frac{\partial B}{\partial x} + \frac{1}{1-\lambda'} \delta \frac{\partial \lambda}{\partial t} + (\lambda-\lambda') \frac{\partial \delta}{\partial t} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} + \frac{f_i}{\delta(1-\lambda)} \frac{\partial i_b}{\partial x} = \frac{1}{\delta(1-\lambda)B} i_b' \frac{\partial (q_s \cdot B)}{\partial x} - i_b' \frac{\partial (f_i \cdot B)}{\partial x} - (i_b - i_b') \left[\frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial t} + \frac{1}{\delta} \frac{\partial \delta}{\partial t} \right] \quad (2)$$

ここに、 z_b :河床高、 λ, λ' :移動層における河床砂礫の空隙率、 $Fr(=u/\sqrt{gh})$:フルード数、 q_s :全流砂量、 h :水深、 u_* :摩擦速度、 g :重力加速度、 R :径深、 B :河幅、 δ :移動層の厚さ、 i_b :粒径 d_i の砂の河床表層に占める割合、 f_i :粒径別流砂量式で

河床上昇($\Delta z > 0$)の場合: $\lambda' = \lambda, i_b' = i_b$

河床低下($\Delta z < 0$)の場合: $\lambda' = \lambda_0, i_b' = i_{b0}$

である。ここに、 i_{b0} は河床表層下の存在率であり、 λ_0 は下層の砂の空隙率である。(1)式および(2)式より河床高 z_b の伝播速度 C_{z_b} および i_b の伝播速度 C_{i_b} はそれぞれ

$$C_{z_b} = 1 / \{ (1-\lambda) \cdot (1-Fr^2) \} \cdot \partial q_s / \partial h \quad (3)$$

$$C_{i_b} = f_i / \delta (1-\lambda) \quad (4)$$

で表される。

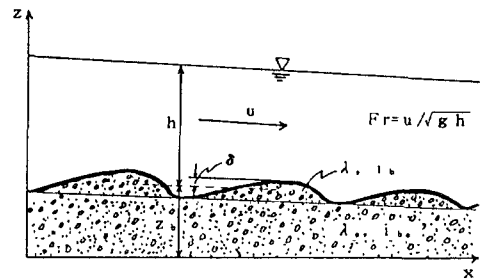


図 1 記号図

2.2 計算上の問題 (1)式および(2)式を用いて河床変動の数値シミュレーションを行う場合、粒径別流砂量式の問題の他には1)差分方向、差分間隔の取り方、2)混合砂の場合、空隙率 λ は粒度分布によってかなり異なるためその与え方、3)河床上昇と低下を繰り返す場合の下層砂の粒度組成 i_b の与え方、4)移動層厚 δ の与え方などの問題点を検討する必要がある。1)の差分方向については(3)式によれば河床高の伝播速度はフルード数 1 を境に正負の符号が異なる。したがって(1),(2)式は、距離に関して常流($Fr < 1$)で後退差分、射流($Fr > 1$)で前進差分としなければならない。また計算時間間隔: Δt 、計算距離間隔: Δx については(3),(4)式と C.F.L 条件より $0 < \Delta t / \Delta x \leq \min. |1/C_{z_b}, 1/C_{i_b}|$ が与えられる。2)の空隙率については空隙率が砂の粒度分布によってどのように変化するか実験的に検討を行った。実験により得られた結果と標準偏差の関係を図 2 に示す。この図によれば空隙率は粗砂が多く含まれると大きく変化してい

ることがわかる。3) の下層の粒度組成については、河床が一度上昇しまた低下すると上昇時の堆砂の粒度組成が i_b となるのでこれを十分考慮しないと i_b の計算に大きな誤差がでくる。4) の δ については掃流力によって大きく変化する。特に河床波が発生するとその評価は抵抗とともに考慮されなければならない。(図 3)

3 i_b の変化を考慮した河床変動シミュレーション 本シミュレーションでは上述の3)のみ注目し河床(堆積層)が一度上昇した後再び洗掘される場合砂粒径の変化履歴を考慮して行っている。すなわち i_b は河床上昇が生じると大きく変化していることがありこの変化した i_b を記憶しておき河床低下時にはこの i_b を用いる工夫をした。数値シミュレーションを行うにあたっての水利条件は、 $q=0.05\text{m}^2/\text{s}$ 、基本勾配 1/500 で初期河床形状には実験により与えられた元河床の実測値を用いた。数値シミュレーションの結果を図 4 に実測値とともに示す。(a)図には河床形状、(b)図には基準化した河床表層(移動層)の平均粒径を示している。河床形状に関しては、実測値のようにマウントの前縁部は明確に現れていないが、実測値とほぼ適合した計算結果が得られた。平均粒径に関しては、計算値で河床表層の細粒化している部分が顕著には現れていないが、マウント前縁部で細粒化し頂上よりやや上流で粗粒化する傾向は実測値の傾向と一致している。

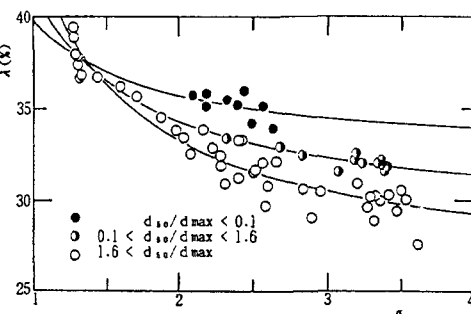


図 2 空隙率と標準偏差の関係

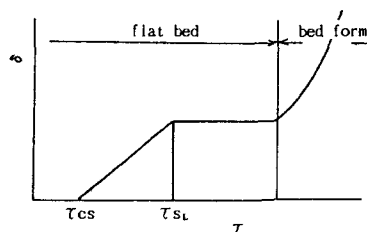
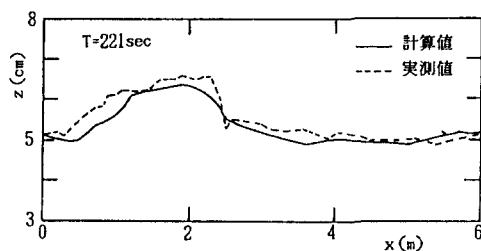
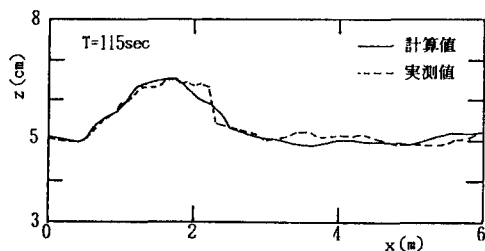
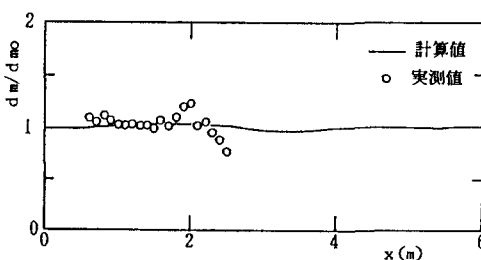
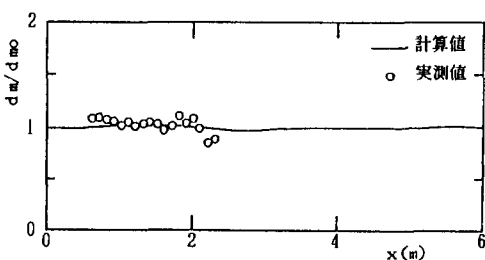


図 3 掃流力と移動層厚の関係



(a) 河床形状



(b) 河床表層の平均粒径

図 4 実測結果と計算結果の比較

4 おわりに 河床形状に関しては、ほぼ適合した結果を得られたが河床表層の平均粒径に関しては、必ずしも満足できる結果は得られていない。今後、問題点 2) や 4) の空隙率や移動床厚が変化するというようなこと等を検討していく必要がある。