

鳥取大学工学部 正員 道上正規
日本水道コンサルタント 正員 平井真砂郎
建設省北陸地方建設局 正員 中川哲志

1. はじめに 河口部、河道内の淤塞箇所あるいは貯水池などにおける河床変動は、掃流砂のみならず浮遊砂を考慮する必要がある。しかし、浮遊砂に関しては、掃流砂と同じような平衡状態の流砂量公式をそのまま適用して計算することはできず、非平衡性を考慮しなければならぬ。なぜならば、掃流砂の場合は水理量が変化しても比較的速やかにその水理量に対応した平衡状態の流砂状態となるが、浮遊砂は水理量に対応した平衡状態の流砂状態に達するまでにかなりの距離を必要とするからである。また、実河川の河床材料は混合砂により構成されており、各粒径によりその挙動は異なる。そこで、本研究では浮遊砂の非平衡性と混合砂の効果を同時に考慮し、浮遊砂を伴う河床変動を実験的および理論的に考察した。

2. 実験的考察 本研究では、図-1に示すような水路で、上流端より粒度の広がりのある経砂を一定量づつ供給し、下流部に生ずる堆積現象を解析した。通水後1時間ごとに堆砂形状、水面形、流速分布、濃度分布を測定し、これを4時間継続する。実験終了後、河床砂の粒度分析をU-tube法により実施した。図-2にその堆砂形状の一例を示す。これによれば、勾配の急変する地点を境に上流側では河床隆の発生が著しく、掃流砂が卓越していることが理解され、またその下流側では比較的凹凸のないなだらかな堆砂形状となっており、浮遊砂の支配的な領域であることを示している。図-3には図-2に示したケースの通水後240分の河床砂の粒度分布を示しており、図中の破線は給砂の粒度分布を表わしている。これをみると河床砂の粒度は上述した2つの領域において顕著に相違していることがわかる。

3. 数値シミュレーションの基礎式 一般に2次元定常状態の浮遊砂濃度に関する基礎方程式は、

$$u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial c}{\partial z} \right) + w_0 \frac{\partial c}{\partial z} \quad (1)$$

で表わされる。ここに、 u は流下方向の流速、 c は浮遊砂濃度、 ε は土砂拡散係数、 w_0 は浮遊砂の沈降速度および、 z はそれぞれ流下方向および鉛直方向の座標軸である。本研究ではこの基礎式をCrank-Nicholson型の差分スキームでimplicit差分式に変換し、上流端、水面、河床面での境界条件を与えて濃度を算定する。そして濃度と流速の積を河床面から水面まで積分して浮遊砂量を求める。また、流砂の連続式、粒度の連続式はそれぞれ、次式で与えられる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -1/(1-\alpha) \cdot \frac{\partial \tau}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \frac{1}{Ba(1-\alpha)} \left[\frac{\partial (\tau_0 B)}{\partial x} - b_0 \frac{\partial (\tau B)}{\partial x} \right] = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial b}{\partial t} + \frac{1}{Ba(1-\alpha)} \left[\frac{\partial (\tau_0 B)}{\partial x} - b_0 \frac{\partial (\tau B)}{\partial x} \right] = 0 \quad (4)$$

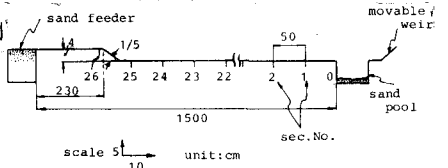


図-1

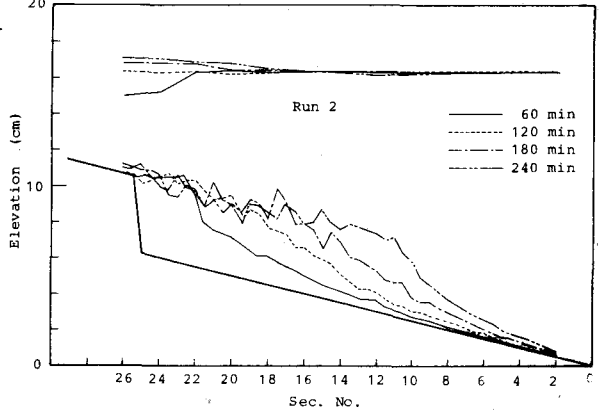


図-2

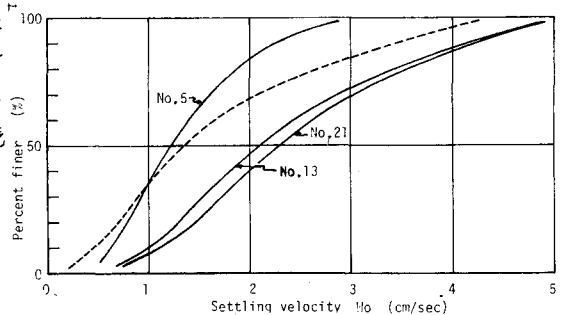


図-3

ニニ、 α : 交換層厚さ, q_T : 単位幅全流砂量, q_{Si} : 粒径別の単位幅流砂量, λ : 空隙率, $l_{b,0}$: どれどれ交換層中、交換層直下の河床中のある粒径の占める割合である。計算方法は水流の運動方程式より水面形を決定し、浮遊砂量および掃流砂量を求めたのち、(2)~(4)を連立させて河床変動を計算し、これを微小時間ごとに繰返す。なお、平衡状態の河床付近濃度 C_s は板倉らの研究を参考にし、浮遊限界は $C_s = 0$ とする摩擦速度とした。また粒径別の掃流砂量は芦田道土式より算定し、交換層厚さ α としては、平均河床波高の $1/2$ 程度とする。

4. 計算結果の考察 図-4 は浮遊砂濃度を求める際の河床条件の相違による堆砂形状の比較を示す。図中の破線において示されるような河床からの浮上量とこの地点の水理量に対応した平衡状態の河床付近濃度 C_s を用いた場合 ($\varepsilon \partial C_s / \partial z = -W_0 C_s$) 河床からの浮上のある領域では、計算に堆砂高が実測のものより小さくなり、浮遊限界点付近に段丘が隆起する。これは、平衡状態の河床付近濃度 C_s の誤差に起因していると考えられる。また、図中の一点鎖線は、浮遊砂の堆積する領域において河床からの浮上がまったくないという条件 ($\varepsilon \partial C_s / \partial z = 0$) を用いた場合であるが、この場合の計算による堆砂形状は、流入端下部に顕著な段丘が隆起し、下部の堆砂高も実測のものより小さくなっている。以上より河床からの浮上量を補正する係数を考え、河床条件を

$$\varepsilon \partial C_s / \partial z = -\lambda W_0 C_s \quad (5)$$

とし、 λ の値としては板倉らの研究を参考にし、次式を用いた。

$$\lambda = (U_{\text{in}} - U_{\text{SCR}}) / (U_{\text{in}} - U_{\text{SCR}}) \quad (6)$$

ニニに、 U_{in} は流入端の摩擦速度、 U_{SCR} は浮遊限界摩擦速度である。この条件で計算した結果、計算値と実測値は比較的良好に一致する。図-5、図-6 は濃度分布について、計算値と実測値を比較しているが、流入端では両者は比較的良好に一致しているものの、下部部すなわち断面 No.13 あたりでは、計算値は実測値よりも小さく、つまり、計算上浮遊砂が急速に沈降することを示している。また、図-7 は河床砂粒度の計算値と実測値であるが、これによれば、上流部、すなわち断面 No.2 は比較的良好に一致している。一方、断面 No.5 の下部部の浮遊砂堆積領域では、計算による粒度は実測のものに比較して細粒化しており、両者の一致はあまりよくない。

5. おわりに 本研究では河床からの浮上量を補正する係数を導入することにより、堆砂形状は比較的良好に計算値と一致させることができたが、濃度分布および粒度分布についてはかなりの誤差が生じ、河床付近濃度あるいは細粒径砂の掃流砂量等の検討が必要であろう。参考文献 1) Itakura et al: Proc. ASCE, Vol. 106, No. HY. 8, 1980. 2) 岡部, 他: 21 回水講, 1977

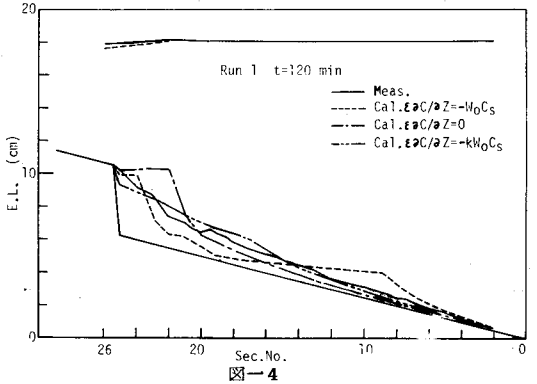


図-4

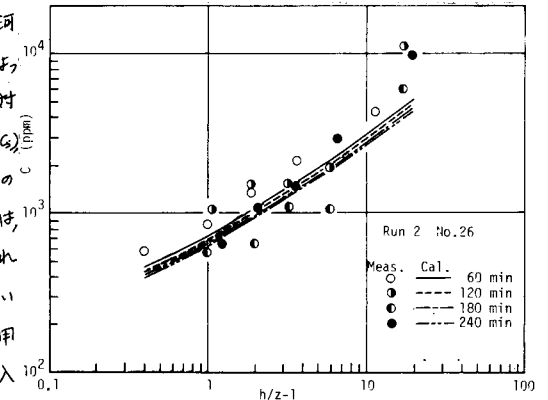


図-5

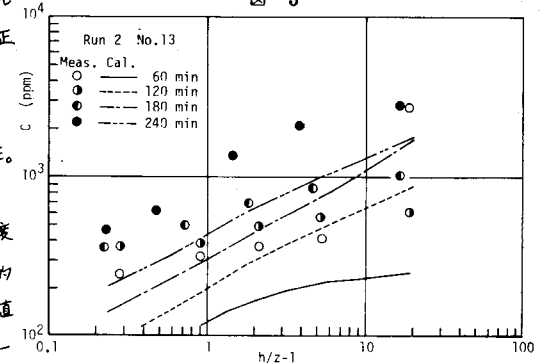


図-6

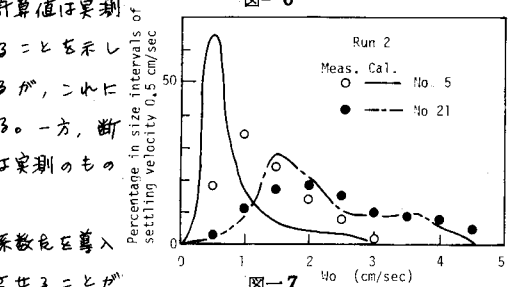


図-7