

京都大学防災研究所 正員 高橋 保
 京都大学防災研究所 正員 里深 好文
 日本建設コンサルタント 正員 劉 富山

1. はじめに 河床変動を予測するのは、河川整備、ダム建設など河道計画を立てたり、河川改修をする時いつも重要な課題となっている。近年、コンピュータの普及と計算技術の発展によって、数値解析方法が進んでおり、コンピュータによる河床変動の数値解析は、河床変動を予測するのは重要な手段となっている。中国ではこの面について遅れているため、特に浮遊砂を対象とする適当な浮遊砂の連続性を満たす河床変動方程式がまだ開発されていない。そのため、本研究は中国黄河の小浪底観測点での実測データを用いて、日本の板倉式に基づいて、極めて高濃度の浮遊砂による河床変動の数値解析を行った。同時に、中国でよく使われている経験式を用いた計算結果とを比較することにより、板倉式は黄河への適用性を検討した。

2. 流れに関する基礎方程式 流れの計算においては式①と②に示すような浅水流一次元方程式を用いる。そして、流れの方程式を差分化する。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad \text{①}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad \text{②}$$

3. 河床変動に関する基礎方程式 河床変動の方程式については、ここに板倉の浮上量式による河床変動方程式と中国の経験式による河床変動式二つがある。

$$\frac{1}{B} \frac{\partial (u h B) C}{\partial x} = q_{su} - \omega_f C_b \quad \text{③}$$

$$\frac{\Delta Z}{\Delta t} = -\frac{1}{1-\lambda} (q_{su} - \omega_f C_b) \quad \text{④}$$

式③は式④の各計算断面での濃度を求める為の浮遊砂濃度の連続式である。

$$C = K \left(\frac{\gamma_m}{(\gamma_s - \gamma_m) g h \omega_f} u^3 \right)^m \quad \text{⑤}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{1}{B} \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad \text{⑥}$$

式⑤は式⑥での流砂量 q_s を求める為の挟砂力式である。図-1に浮遊砂濃度の連続関係を示す。河床からの浮上量と上流断面からの流入量の和は下流断面からの流出量と河床に沈降する量の和と等しいと式③を得る。図-2と図-3には、それぞれ板倉式による河床変動に関する方程式と中国の経験式による河床変動に関する方程式を示す。

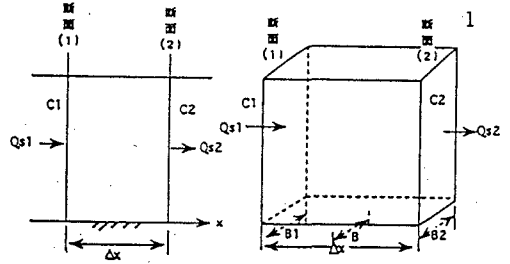


図-1 浮遊砂濃度の連続式

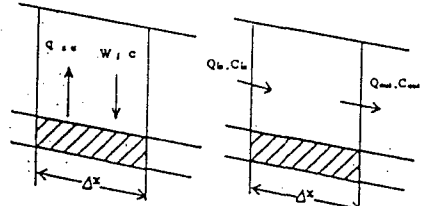


図-2 浮上量式による河床変動の連続式

図-3 挟砂力式による河床変動の連続式

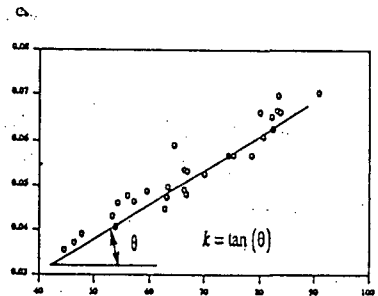


図-4 k の計算

$$(Q/Q_0) = \left(\frac{C_b - p}{p_f - p} \frac{p_f}{C_b \omega_f} Q - 1 \right)$$

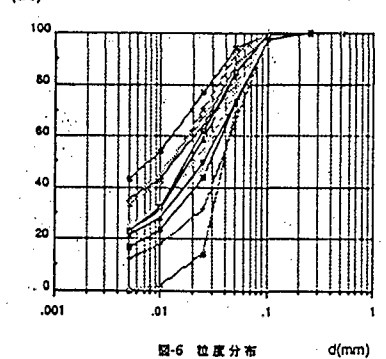


図-6 粒度分布

4. 黄河への適用 板倉式中の係数は実験による与えたものである。黄河への適用するとき、黄河の浮遊砂濃度、粒径の大小や基準点の高さなど実験条件と異なるので、板倉式中の係数 k を修正することが必要となる。ここは、黄河での実測データを用いて、板倉の河床付近濃度式中の k は未知数として、逆算すると k が与えられる。計算結果は図-4に示す。計算の境界条件については、上流端では流量と土砂濃度の変化を近似三角形で与えて、下流端境界条件としての水位過程は洪水時の同時水位観測値を近似三角形で与える。これらの境界条件は図-5に示す。粒径は実測値による粒度分布図-6により中央粒径 $d_{50}=0.025\text{mm}$ を用いる。計算断面は等間隔 $\Delta x=100\text{m}$ で32個設定された。計算断面で実測データがない場合、近接実測断面の内挿したものを計算値として与える。上記の条件の下で流れの計算モデルと河床変動の計算モデルを用いて、河床変動の計算結果は図-7～図-9に示す。図-7は板倉の浮上量式を用いる河床変動方程式による計算した結果である。図によると計算結果は実際の河床変動特性をよく再現している。それに対して、図-8に示している中国の経験式による計算結果を見るとあまり実際の河床変動特性を反映していない。その良くない結果は式⑤に浮遊砂濃度の連続性を満たしていない原因にある。中国の経験式については、長期間においてある部分河道の侵食と堆積の概算するには有効であるが、数値解析の計算するときには微小時間 Δt 内の濃度の連続性を考えずに河床変動計算するのはあまり正しいとは言えない。図-9には板倉式による計算結果と中国の経験式による計算結果の比較を示す。

5. おわりに 黄河を対象とした極めて高濃度の浮遊砂による河床変動の計算について、板倉の浮上量式による河床変動の計算モデルと中国の経験式による河床変動の計算モデルに基づいて、黄河での河床変動の計算を行った。計算結果によると、現象の再現性や河床変動の理論的な根拠などの面では前者が優れている。将来、黄河の河床変動の解析計算においては、板倉式のような浮上量式を用いる浮遊砂濃度の連続性を満たしている河床変動に関する基礎方程式を導入すべきと思われる。今後の研究方向としては、黄河現場の砂を使って、水理実験を行い、黄河の実測結果に適合するように板倉式中の各係数修正する事が必要となっている。

参考文献 1)清水康行・荒井信行：現場のための水理学、開発土木研究所月報、No. 414 1987年

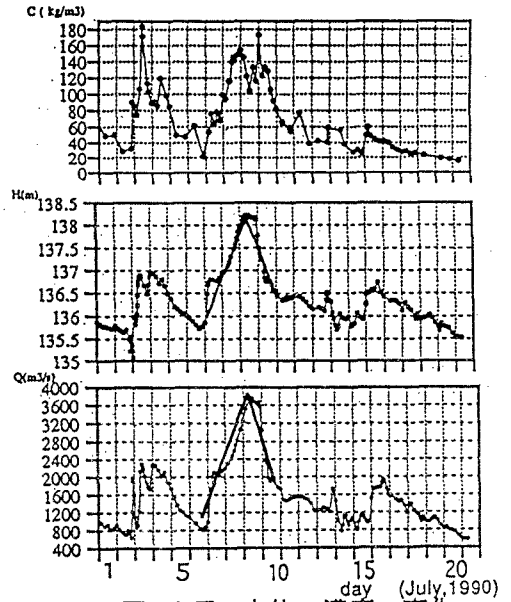


図-4 流量 水位 濃度 変化

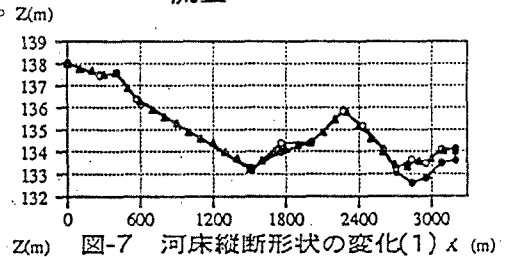


図-7 河床縦断形状の変化(1) X (m)

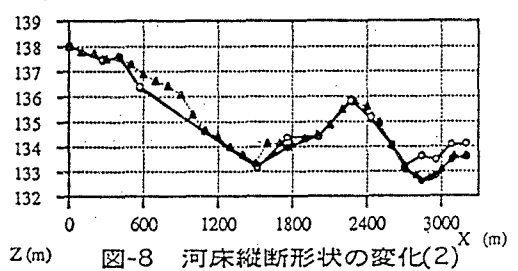


図-8 河床縦断形状の変化(2) X (m)

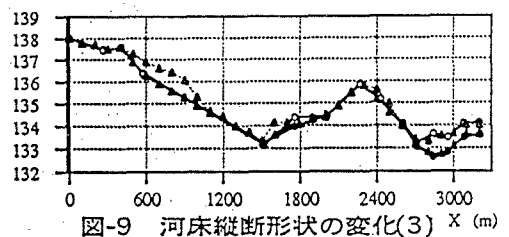


図-9 河床縦断形状の変化(3) X (m)