

神大 工学部 正員 松梨順三郎
(株)建設技術研究所 正員 ○須田 文夫

まえがき

河川の河床変動の問題は、河道計画、あるいは河川構造物設計上重要な問題である。これを定量的に解析することに対する実務面からの要請も大きい。この課題に対する主な問題点は次の通りである。① 流砂関数、および補給土砂の問題。② 流域内の不連続点（セキ、落差工、床固め等）や、支配断面の問題。③ 河床に生じる Sand Wave による粗度係数の変化の問題。④ 河川の蛇行、河幅変化効果の問題。⑤ 数値解析の手法、精度の問題、等である。本研究は河幅の変化に伴う河床変動の動向を探ることと目的として、簡単な河幅変化をもつ水路を設定し、計算モデルによって④、⑤に対して検討しようとするものである。

1 基礎式と特性曲線法

図-1のように、流れ方向にx軸、その鉛直方向にz軸をとる。水路は矩形断面とし、川幅Bはxのみの関数で、 $x=0$ の点で、河床は固定床とする。未知量として、平均流速 u 、平均水深 h 、平均河床高 Z の3つをとる。計算モデルに対する基礎式は、水の運動方程式および連続式として、

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial Z}{\partial x} = g \left(i_0 - \frac{u^2}{C^2 R} \right) (=gI) \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{u}{B} \frac{\partial B}{\partial x} (=W) \quad (2)$$

ここで、 g は重力加速度、 i_0 は平均河床勾配 ($i_0 = \sin \theta$)、 C はChézyの係数、 R は径深、 $u/C R$ は摩擦勾配である。

流砂の運動方程式および連続式は

$$\frac{\partial B}{\partial t} = Q_s \left\{ \frac{u^2}{(2P-1)g d} \right\}^P \quad (3) \quad \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial (B Q_s)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

ここで、 Q_s 、 P は定数 (Brown公式によると、 $Q_s = 10$ 、 $P = 2$)、 ρ は、砂れうの密度、 d は、砂れうの平均粒径、 ρ は水の密度、 g は、単位幅当りの流砂量、(体積)、 u は、摩擦速度、 λ は、砂の空隙率である。Manningの抵抗法則を用いて整理し、未知量 u 、 h 、 Z の全微分の関係を用いると未知量の6つの微分係数に関する6つの関係式をうる。

$$\begin{bmatrix} 1 & du & 0 & g & 0 & g \\ 0 & h & 1 & u & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 & -m_1 & 1 & 0 \\ dt & dx & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & dt & dx & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & dt & dx \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial t} \\ \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial h}{\partial t} \\ \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial Z}{\partial t} \\ \frac{\partial Z}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} gI \\ W \\ m_2 \\ du \\ dh \\ dZ \end{bmatrix} \quad (5)$$

ここに、 $X = (2P+1)Kd^{1-P}C^{2P-1}u^{2P}/(1-\lambda)$ 、 $K = Q_s \sqrt{g}/(Cg-1)^P$ 、 $m_1 = K(2P+1)R^{2P}d^{1-P}C^{2P-2}u^{2P+1}/6g^2n(1-\lambda)$ 、 $m_2 = Kd^{1-P}C^{2P-1}u^{2P+1}\{R(2P+1)/3B-1\}(\partial B/\partial x)/B(1-\lambda)$ 、未知量の微小変動の伝播方向はこの式の特性方向であるが、その方向とその上で成立す

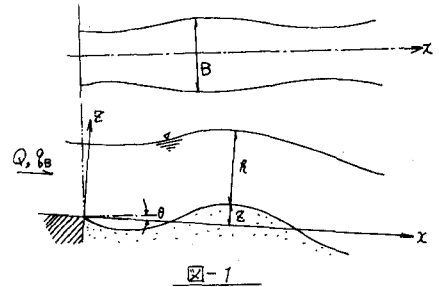
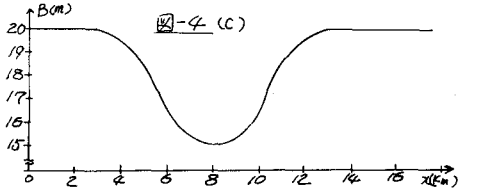
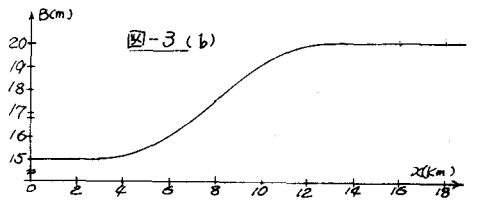
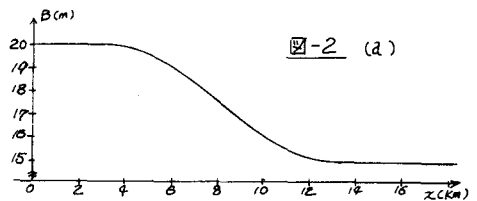


表-1

砂の平均粒径 ; 0.5mm	$\tau = 27 \text{ dyn/cm}^2$; 0.027
砂の密度 ; 2.65	平均河床勾配 ; 1/1000
砂の空隙率 ; 0.45	



る関係式はそれぞれつぎのようにえられる。

$$r^2 - 2\alpha r^2 - (gh - u^2 + gx)r + g(Xu + m_1 r) = 0 \quad (6)$$

$$\{r(u-r)/g\} du + (m_1 - r) dr + (u-r) dz \\ = \{I r(u-r) + (u-r)m_2 + (m_1 - r)W\} dt \quad (7)$$

ここに、 $r = dx/dt$ である。この(6)(7)式を差分化して数値計算を実施した。

2 計算モデルとその結果の考察

幅の変わる水路として、図2～4の3タイプを設定した。又、河床の各データを表-1に示す。次に、上流端($X=0$)においては、河床は固定床として上流からの砂の補給は常にあるものとする。以上の条件のもとに、インプット流入量としては、洪水流と、流量一定との二通りの場合について計算を行なった。図5～7に、流量一定の場合の河床変動の推移を、図8～10に、 $\partial z/\partial x$ と X との関係を示す。

(a)の場合、7km付近まで堆積し、11km～12km付近で、せん張のピークをむかえ、以後は、ほぼ、 $Z=0$ に近づき、わずかにあるが堆積されるという結果が得られた。

(b)の場合、河床は4km付近で、最もせん張され、11km付近で堆積がピークとなり、時間とともに、下流へ移行することがわかる。

(c)の場合、これは、 $X=8$ km付近で狭くなる、いわゆるベンチリフルームの様な水路を、設定したものである。予想されたように、8km付近で最も河床がせん張される結果となった。図-10に示す様に、無次元掃流砂量は $X=10$ km付近で最大を示し、時間の経過とともに、そのピークは上流へ移行し、絶対値も小さくなる。

上記はいずれも流量一定の場合であるが、図2～4の3つのタイプを用い、ピーク流量90.2%の単峰性の洪水流に対しても計算を行なった。計算結果は既述の図5～10の結果と定量的にも定性的にもほぼ類似している。しかし同程度の洗掘深または堆積厚になるまでの経過時間を比較すると、後者は前者よりも長い時間を必要とし、計算例では約1.5倍であった。なお河幅を一定にして、他の条件を変えない場合の計算も行なった。この場合は一般に河床変動量がオーガー的に非常に小さい。これは流入水量の変化による影響よりも、河幅の変化が与える影響が支配的であることによると思われる。

全体の計算結果を通じて、定量的には、疑問視せざるをえない面もあるが、定性的には、ほぼ河床変動の動向をとらえていると思われる。今後の課題としては、詳しい水理実験を行ない、その結果と本研究との比較であると考えらる。

- 1) 須賀 寛三「特性曲線法による河床変動の解析」13回水理研1969
- 2) M. de Vries; "Considerations about Non-Steady Bed-Load Transport in Open Channels" Proc. 11th Congress of the I.A.H.R., 1965

