

1. まえがき

本研究は、川の流れを擬似不等流と見なした場合と、不定流と見なした場合の河川急流部に設けられた傾リダムの上流側における河床変動計算を行なったものである。両者の結果について、比較・検討したものを報告する。

2. 計算方法及び条件

2-1 流砂量計算

流砂量公式を次のように与える。¹⁾

$$q_{ij} = 0.0053 \cdot \alpha_{ij} \cdot d_i \cdot f_{ij} \cdot U_{*j} \quad [\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}] \quad \text{-----}(1)$$

ここで、 q_{ij} : j 地点における流砂量

d_i : 粒径 [cm]

f_{ij} : j 地点における摩擦速度 [m/s]

α_{ij} : 流砂係数で、実河川資料によって定められるもので次式の様に表現されるものである。

$$\alpha_{ij} = \frac{0.02 \cdot \beta_i \cdot U_{*j}^2}{d_i} \cdot \left(\frac{U_{*j}}{U_{*cut}} \right) \cdot \left(1 - \frac{w_i}{U_{*j}} \right)^2 \left(1 + \frac{w_i}{U_{*j}} \right) \quad \text{-----}(2)$$

β_i : 粒径 d_i に対して、実河川資料によって定まる値で、ここではすべて0.5とした。

$$U_{*cut} = \frac{12.26 \sqrt{d_{max}}}{\log_{10} (21 \frac{d_{max}}{d_m} + 2)}, \quad w_i = \frac{12.26 \sqrt{d_i}}{\log_{10} (21 \frac{d_i}{d_m} + 2)}, \quad d_m: \text{平均粒径}, \quad d_{max}: \text{最大粒径}$$

(2)式において、 w_i (限界摩擦速度) $> U_{*j}$ (摩擦速度) の場合は、 $\alpha_{ij} = 0$ としている。

2-2 水位計算

(A) 擬似不等流

I-II断面にアルノーイの定理を適用し、I-II断面における諸量に添字1, 2をつけて整理すると、

$$h_1 - \lambda l + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 + \frac{n^2 l}{2R_1^3} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 = h_2 + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 + \frac{n^2 l}{2R_2^3} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 \quad \text{-----}(3)$$

ここで、 Q : 流量 A : 流積 R : 径深 λ : 断面間の勾配 l : 断面間の距離

h : 水深 n : 粗度係数 α : エネルギ補正係数 g : 重力加速度

I断面の諸量がわかっているとすれば、II断面における水深を仮定することにより、矩形断面を想定しているので、 A_2, R_2 が決まり、右辺が計算される。これを上流までくり返し、水面形を決定する。

(B) 不定流

用いた基本方程式は、

$$\frac{1}{g \cdot A} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2 \cdot Q \cdot B}{g \cdot A^3} \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} - \lambda + \frac{n^2}{A^3 R^3} \cdot |Q| \cdot Q = 0 \quad \text{-----}(4)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{-----}(5)$$

ここで、 B : 水面幅

(4)・(5)式をLeap-frog法で解いた。尚、Leap-frog法で解くときに、次のような近似を行なった。

i) $Q^2 B / g \cdot A^3 \ll 1$ として、(4)式の右項を省略した。 ii) $|Q_t^n| \cdot Q_t^n \approx |Q_t^{n-1}| \cdot Q_t^{n-1}$

iii) $(\partial H / \partial t)_t^n \approx [(H_{t-1}^n - H_{t-2}^{n-1}) + (H_{t+1}^n - H_{t+2}^{n-1})] / 4 \cdot \Delta t$

結果として用いた計算スキームは、

$$Q_{i+1}^{m+1} = \frac{H_{i+1}^m - H_{i+1}^m + \lambda \cdot \Delta x + \left[\left(\frac{1}{gA} \right)_{(i+1)(i-1)}^m \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} + T \right] \cdot Q_i^{m+1}}{\left(\frac{1}{gA} \right)_{(i+1)(i-1)}^m \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} - T + \left(\frac{Z}{A^2 K^3} \right)_{(i+1)(i-1)}^m \cdot \Delta x \cdot Q_i^{m+1}} \quad (5)$$

$$H_{i+1}^{m+2} = \frac{\Delta t}{B_{i+1}^m \cdot \Delta x} \left[Q_{i+2}^{m+1} - Q_i^{m+1} \right] + H_{i+1}^m \quad (6)$$

ここで、 $T = \frac{\Delta x}{4 \Delta t} \cdot \left(\frac{Z}{gA^3} \right)_{(i+1)(i-1)}^m \cdot \left[(H_{i+1}^m - H_{i+1}^{m-2}) + (H_{i+1}^m - H_{i+1}^{m-2}) \right]$

添字記号の上側は時刻、下側は計算断面の位置、 $(i+1)(i-1)$ は、断面 $(i+1)$ と $(i-1)$ の水理量の平均を表わす。

2-3 計算条件

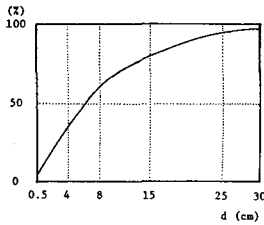


図-1 粒度累加曲線

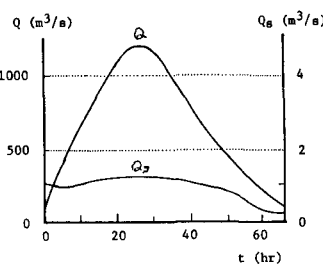


図-2 上流側境界条件 (擬似不等流)

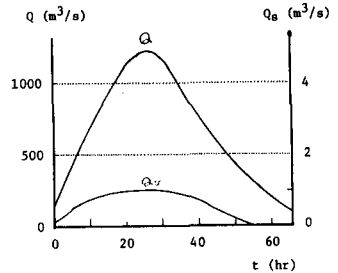


図-3 上流側境界条件 (不定流)

3. 解析結果及び考察

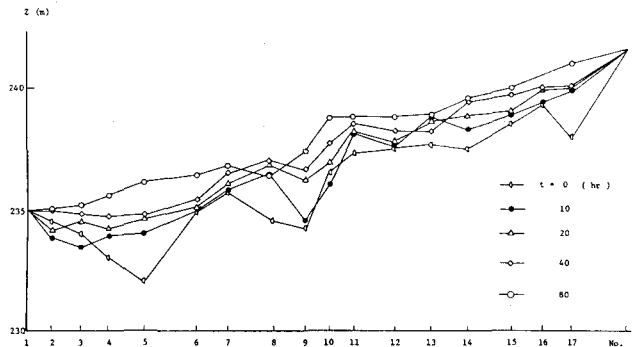
図-2, 3に示す流入土砂量を考慮すると、40時間後まで両者の結果を見ると変動傾向は似ている。80時間後の変動量を比較すると、その傾向は、必ずしも一致しない。この理由として、Leap-frog法で解く場合、計算される最上流の水深点が、擬似不等流として計算される水深点と一致しないため、得られる水深は、水面形から求まるのではなく、予測にたよっているためだと思われる。第2図として、時間が経るにしたがって、各断面での粒度分布状態に大きなずれが生じてくるためと思われる。

4. まとめ

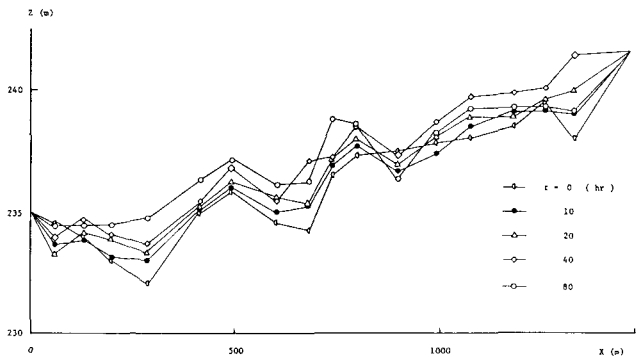
従来から川の流水を擬似不等流と考えて多くの解析が行なわれているが、川の流水を不定流と考えても十分解析は可能であり、両者の傾向は、よく似ている。また、

上流に助走水路を仮定することにより、第1図が解決され、第2図と考えられる粒度の分布状態の把握を可能にし、両者の比較がより厳密に行なわれると思う。

〈参考文献〉1) 浅田 宏：電力中央研究所報告，No. 2，1976。



(A) 擬似不等流の場合



(B) 不定流の場合

図-4 河床変動