

京都大学大学院 学生員 俞 朝夫
京都大学工学部 正 員 岩佐義朗
京都大学工学部 正 員 綾 史郎

1. まえがき 河道には洪水とともに多量の濁質が流入し、洪水時には河川水の濁度が高まるが、河道の途中に貯水池が存在するときは、この濁水現象が長期化することがある。本研究では、濁水現象にみづから貯水池の影響を調べるために、数値シミュレーションを行なった。以下、その方法と結果の概略を報告する。

2. 基礎方程式と計算法 本研究では、河道部では一次元解析法による不定流、移流分散追跡を行ない、貯水池部では岩佐・松尾らによる貯水池二次元モデル¹⁾を用いて、数値計算を行なった。計算に用いた方程式を示せば次のようである。

河道部について

・エネルギー式
$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\alpha u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \cos \theta \frac{\partial R}{\partial x} = S_0 - S_f$$

・連続式
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

・移流分散方程式
$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (DA \frac{\partial C}{\partial x}) + (C' - C) \phi$$

ここに、 A ：流水断面積、 Q ：流量、 g ：単位長さあたりの横流入量（流入を正）、 u ：平均流速、 S_0 ：水路底勾配、 S_f ：摩擦勾配、 R ：水深、 α ：エネルギー係数、 β ：運動量係数、 λ ：エネルギー解析法における圧力分布係数、 C ：濁度、 D ：移流分散係数、 C' ： g の濁度

貯水池部について

・運動量式
$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{A} |u \cdot u| B \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{A \phi g} |u \cdot v| A \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{1}{A} |D_{mx} B \frac{\partial u}{\partial x}| \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{A \phi g} |D_{my} A \frac{\partial u}{\partial y}| \frac{\partial u}{\partial y}$$

・連続式
$$V_{n+1} = \frac{1}{A_{n+1}} [V_n A_n + \Delta y (u_n B_n - u_{n+1} B_{n+1})]$$

・熱量の連続式
$$\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{1}{A} |T u| B \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{1}{A \phi g} |T v| A \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{A} |D_{Tx} B \frac{\partial T}{\partial x}| \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{1}{A \phi g} |D_{Ty} A \frac{\partial T}{\partial y}| \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{1}{\rho C_A \phi g} | \phi A | \frac{\partial T}{\partial y}$$

・濁度の連続式
$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{A} |C u| B \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{1}{A \phi g} |C v| A \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{1}{A} |D_{Cx} B \frac{\partial C}{\partial x}| \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{1}{A \phi g} |D_{Cy} A \frac{\partial C}{\partial y}| \frac{\partial C}{\partial y}$$

ここに、 u ：水平流速、 v ：鉛直流速、 T ：水温、 A ：要素の水平断面積、 B ：貯水池幅、 u ：貯水池、 D_{mx} D_{my} ：混動粘性係数、 D_{Tx} D_{Ty} D_{Cx} D_{Cy} ：分散係数、 ρ ：密度、 C_A ：水の比熱、 ϕ ：大気との熱交換フラックス、 w_0 ：粒子沈降速度である。河道部におけるエネルギー式と連続式は図-1に示すような固定格子点による特性曲線法を用いて差分化を行なった。この方法は流水の持つ水理学的特徴をよく表現しており、境界条件の組み込み方も水理学的に十分適切であり、か

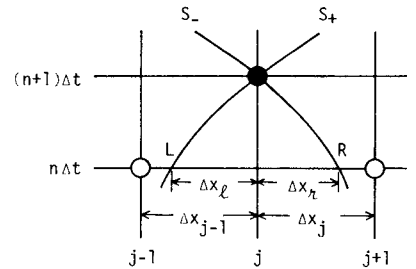


図-1 不定流計算の差分スキーム

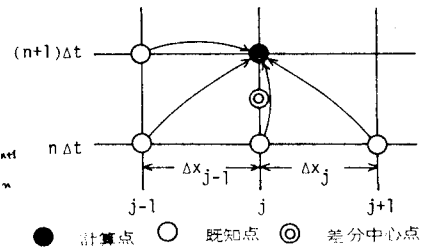


図-2 濁度計算の差分スキーム

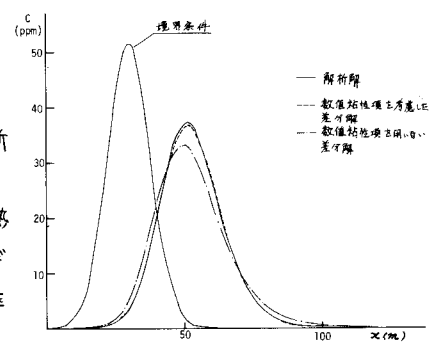


図-3 解析解と数値解との比較

一数值計算が容易である。次に汚流分散方程式は、図-2に示すように汚流項についてはimplicit、分散項についてはexplicitな差分法を用いることにした。これは安定条件の計算時間間隔に対する制限を緩和するためである。この差分法は後進差分であるため数値粘性項を考慮しないと精度が低くなる。図-3は解析解とこの差分法を用いた数値解とを比較したものであるが、数値粘性項を考慮したものは解析解によく一致していることがわかる。

3. 計算例と結果の考察 図-4に示される那賀川水系を対象として、数値計算を行なった。計算区間は約62kmであり、途中に長安ロダム、川口ダムによる2つのダム貯水池が存在する。また長安ロダム、川口ダム間に2支川、川口ダム、古庄間に2支川、計4支川の合流がある。現行のダム貯水池のある場合と、ダム貯水池がないと仮定した場合の2通りの計算を行なった。また汚流分散方程式の上流域の境界条件、すなわち出合の流入濁度は実測資料不備のため

$$C = 0.35 (Q - 60) \text{ ppm}$$

と仮定して与えた。ここに計算結果の一例を示すと図-5, 6, 7, 8のようである。この例では、ダム操作による流量調節はほとんど行なわれておらず、流量ハイドログラフは、ダムのある場合と、ないと仮定した場合とほとんど同じになっている。これらの図よりこの計算例から以下のようなことが知られる。1) 流下に伴うピーク濁度の変化についてみると、ダムのある場合とないと仮定した場合とでは、大きな違いはないが、その到達時間はある場合の方がかなり大きくなる。2) ピーク後の急い減部についてみると、ないと仮定した場合は急い減が急激であり、流況とほぼ対応しているのに対し、ある場合はより遅らかである。3) また両貯水池の影響をみると、川口ダム貯水池に比して長安ロダム貯水池による、濁度ハイドログラフの液形の変化が著しい。

4. あとがき ここでは11月6日~30日の期間を例にとりおもにダム貯水池がある場合とないと仮定した場合とを比較し、河川の濁水現象について述べたが、筆者らはさらにより規模の大きい洪水期の数値シミュレーションを行なうとともに、長期(2ヶ月程度)にわたる河川水の濁度の挙動を追跡した。これらについての結果、および計算法の詳細は講演時に述べる。

〈参考文献〉

- 1) 岩佐・松尾・蓮藤・小川 昭和52年度関西支部年講Ⅱ-69
- 2) 岩佐・井上・片山 京都大学防災研究所年報 第19号B-2 1974

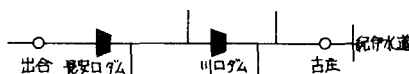


図-4 那賀川流域概念図

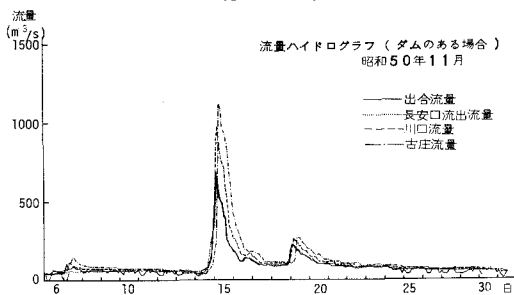


図-5

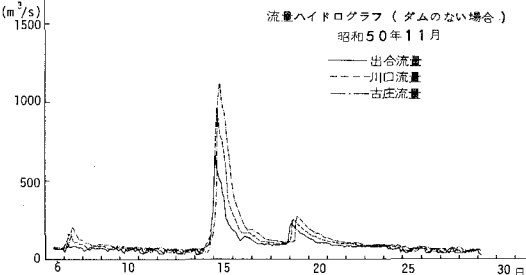


図-6

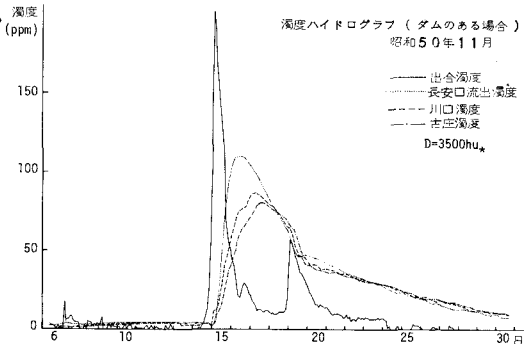


図-7

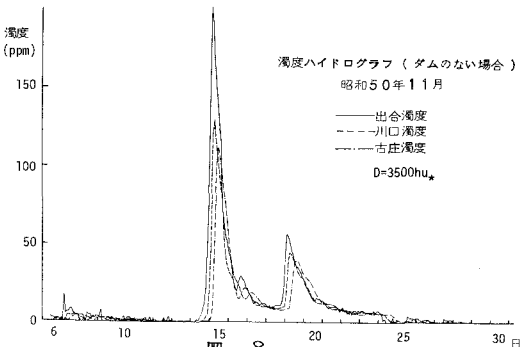


図-8