

ブランチ・ノードモデルを用いたダム貯水池の水質解析

佐賀大学 理工学部 ○学 篠原仙充 正 古賀憲一
 佐賀大学大学院工学系研究科 学 吉村 敏
 佐賀大学 低平地防災研究センター 正 荒木宏之

1. はじめに ブランチノードモデルは本来、開水路網の水量制御、水質管理のために開発された流れ方向1次元モデルであり、感潮河川、水路網等において、その有効性が確認されている。ブランチノードモデルは、ブランチ内の物質輸送・変換量をブランチ空間で積分（1次元化）し、ブランチ端の物理量で表現し、空間容量を持たない仮想点（ノード）での接続条件から、ノードやブランチ端の物理量を求める数値計算手法である。ブランチ空間で積分することから、原理的には水平1次元と鉛直1次元の双方に適用可能である。既報¹⁾においては、ダム水質解析モデルの構築を目的として、1次元モデルへの適用可能性を検討した。本報においては、利水専用ダムである北山ダムへ適用し、その有効性について述べる。

2. 解析方法 ブランチノードモデルを構築する際の鉛直1次元の物質保存式は以下の通りである。

$$\text{物質保存式} \quad \frac{\partial BC}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial x} \pm P = 0$$

$$S = QC - BD \frac{\partial C}{\partial x}$$

ここに、B:濡れ断面積（=流れ断面積）、C:濃度、S:物質輸送速度

Q:流量、P:反応、D:移流分散係数

上述の物質保存式を有限要素法を用いて1本のブランチ長(鉛直方向)について積分する。1本のブランチについて、解くべき一般的な方程式は、流れ方向1次元モデルと同様に以下のように表される。

$$S_1^+ = N_{m,1} C_1^+ + N_{m,2} C_2^+ + N_{m,3} \quad , \quad S_2^+ = N_{m,4} C_1^+ + N_{m,5} C_2^+ + N_{m,6}$$

ここに、 S_1^+ , S_2^+ :ブランチ端の輸送速度 C_1 , C_2 :ブランチに隣接するノードの濃度、 $N_{m(1\sim6)}$:係数

ノードは容積0の仮想点として定義されているので、各ノードに対して $\sum S = 0$ が成立し、ノードの未知濃度に対して解くべき方程式は以下のように表される。

$$\sum MC + M_o = 0$$

流れ方向モデルと鉛直モデルとの係数マトリックスに対する大きな違いは、鉛直モデルにおける水表面を有するブランチ（水面ブランチ）に由来するNの取り扱いである。水面ブランチ内では水面が時間変化し、流れ面積は大きく異なることから、原理的には2本のブランチに分離するか、物質輸送Sを水面上部と下部とに2分割する必要がある。本研究では、後者の方式を採用し、ダム水面上部のSにL-Q式で得られる流入負荷を与え、水面下部を完全混合（ノードの濃度に依存しないことになる） $S = QC$ （=完全混合状態濃度×ブランチ端流量）で与えた。対象とした水質項目は

CODとし、物質輸送・変換速度項は沈降、生産、分解とした。生産・分解は、表-1に示すように1次反応で与えた。生産の照度係数は実測値を参考にして与えているが、生産層は概ね6m程度である。沈降については、ストークスの沈降速度式に従うものとし、温度躍層での沈降速度の減速現象まで考慮に入れている。鉛直の分散係数については、リチャードソン数の関数として与える必要があるが、こ

表-1 計算条件

COD 増加速度	$K_p \cdot f_T \cdot f_L \cdot COD \cdot V$
COD 減少速度	$K_d \cdot f_T \cdot COD \cdot V$
COD 輸送速度	$W_p \cdot f_w \cdot COD \cdot A_w$

K_p : 増加速度係数, f_T : 温度係数, f_L : 水中照度係数

K_d : 減少速度係数, W_p : 沈降速度, V : ボックス容積

A_w : 沈降面積, f_w : 温度補正係数, COD : COD 濃度

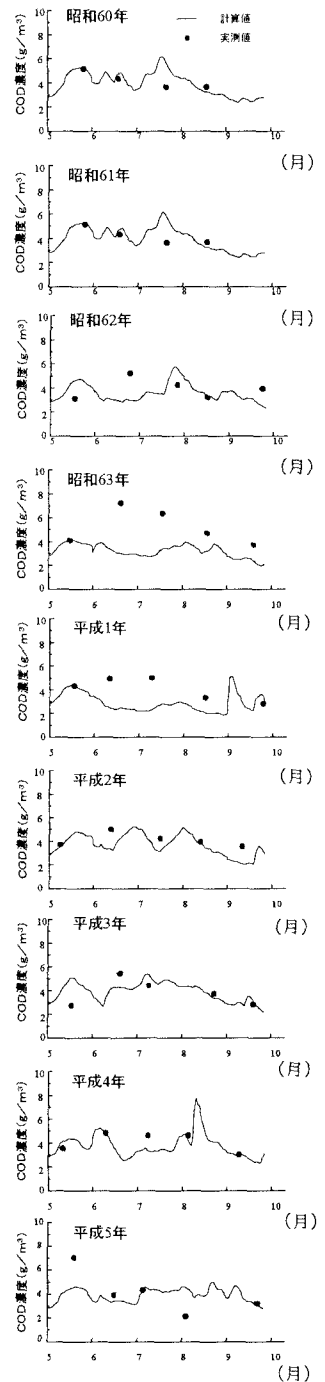
では簡単のために表層のみ一定値として与え、温度躍層以深は0とした。なお、水質解析にあたっては、この分散係数に関する感度解析を行い、分散輸送による影響はさほど生じないことを予め確認している。水質再現期間は成層期（5～9月）とし、1985～1993年の9年間の実測値と比較した。ブランチ長は1mとした。水温分布は過去9年間の観測値から平均的な旬変化を求め、各年共通として与え、計算時間ステップは2時間とした。流入量、流出量、貯水量については北山ダム管理月報のデータを使用した。流入負荷はL-Q式により与えた。

3. 計算結果及び考察

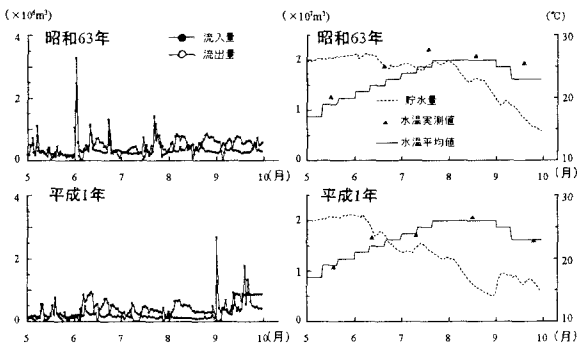
図一2に過去9年間の表層COD濃度の計算結果と実測値を示す。生産、分解、沈降、分散係数などの計算条件が9年間に渡って一定であるにもかかわらず実測値の再現性は概ね良好である。昭和63年と平成1年における夏期の実測COD濃度の再現が十分でないようである。図一3に、流入量、貯水量、表水温の月別変化を示す。これらの図から、昭和63年、平成1年共に夏期の貯水量が減少している。夏期水温については、昭和63年の方が平成1年のものより高い傾向にあり、かつ9年間平均値との比較からも高くなっている。したがって、昭和63年については、この水温による影響を考慮すれば再現性はより向上すると考えられる。一方、平成1年については、水位変化が平均年より大きい（ダム表層の流況が平均年と異なる）ことより、通常とは（増殖速度の）異なる藻類増殖の影響が推察される。詳細については今後の検討課題としたい。

4. まとめ

ブランチノードを鉛直1次元モデルへ拡張し、北山ダム9年間の表層COD濃度解析を行い、実ダムへの適用は十分可能であることが確かめられた。本モデルは、鉛直1次元と流れ方向1次元モデルとの連結性が可能であることから、ダムと河川との結合モデルへの拡張も可能である。今後は他の水質項目についての水質予測を行うとともに他のダムに適用し妥当性を検討したい。



図一2 北山ダム解析結果



図一3 流入、流出量及び、貯水量、水温の実測値、平均値

【参考文献】

- 1) 吉村・古賀・荒木・樺島：ブランチノードモデルを用いた鉛直一次元水質解析モデルの開発、土木学会第54回年次学術講演会、平成11年9月