

VII-25 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

佐賀大学 大学院工学系研究科 ○学 吉村 敏
 佐賀大学 理工学部 正 古賀憲一
 佐賀大学 低平地防災研究センター 正 荒木宏之
 (株)東京建設コンサルタント 樺島和枝

1. はじめに ブランチノードモデルは、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¹⁾。ブランチノードモデルの特徴は、ノードの物理量（水位、濃度）とノードに隣接するブランチ端の物理量（流量、水位、濃度）との接続条件が空間積分することによって得られることである。このことから、ブランチノードモデルを鉛直1次元の水質解析モデルに適用することは原理的に可能である。本研究は、ダム貯水池を主な対象として、ブランチノードモデルを用いた鉛直1次元水質解析モデルへの適用を試みたものである。

2. ブランチノードモデルを用いた鉛直1次元水質解析モデル

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、従来と同様に以下のように表される。

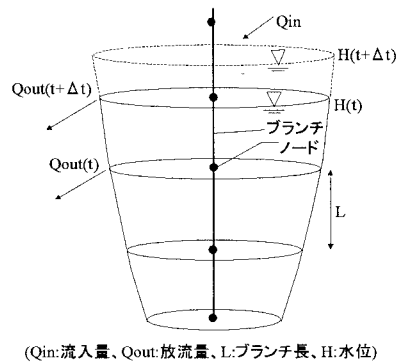
$$S_1^+ = N_{m,1}C_1^+ + N_{m,2}C_2^+ + N_{m,3} \quad , \quad S_2^+ = N_{m,4}C_1^+ + N_{m,5}C_2^+ + N_{m,6}$$

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 $\Sigma S = 0$ が成立する。

流れ方向の水質解析モデル（流れ方向モデルと略記）と鉛直1次元モデル（鉛直モデルと略記）の相違点は以下の通りである。

- ①「移流による物質輸送と沈降輸送の方向」：鉛直モデルの場合には、両者の方向が一致し、流れ方向モデルでは一致しない。
- ②「濡れ断面とブランチ長」：流れ方向モデルのブランチ長は固定されており、濡れ断面は水位（時間、場所）の関数として表現される。鉛直モデルの場合には、水面ブランチより深いブランチの濡れ断面は固定値である。（水面を含むブランチ（水面ブランチ）の物理量は、水位（時間、空間）の関数として表現される。）
- ③「流入境界条件」：流れ方向モデルの場合には、ノードあるいはブランチいずれに対しても、所定の流入負荷をマトリックス成分に加えること（ $\Sigma S + S_b = 0$ S_b :境界流入負荷）で与えることができる。鉛直モデルの場合には、水面ブランチ内において、流入負荷（及び水面位置）を考慮したマトリックス成分（ $N_{m,1} \sim N_{m,6}$ ）そのものを境界条件として新たに求める必要がある。



(Q_{in}:流入量、Q_{out}:放流量、L:ブランチ長、H:水位)

図-1 貯水池におけるブランチ・ノード概念図

ブランチノードモデル 鉛直一次元水質解析

〒840-8502 佐賀市本庄町1 佐賀大学理工学部都市工学科 TEL 0952-28-8575 FAX 0952-28-8190

3. 計算結果及び考察 ブランチノードによる鉛直 1 次元水質計算においては、前述したように時間変動する水面ブランチに関する係数（マトリックス成分）の精度や安定性を評価する必要がある。ここでは、簡単のために、水平面積 0.5km^2 の筒状のモデルダム貯水池について生産のみを考慮し、水位時間変動を図-2 に示すように一旦上昇させ、その後下降させる計算を行った。計算結果を図-3 に示す。図中には、比較のために差分分解の結果も示している。反応は生産のみとしているが、両者は十分な精度で一致していることから、水面を含む係数マトリックス、すなわち、水面を含むブランチと直下ブランチとの接続条件の整合性が確認された。実ダムへの適用を試みるため、成層期における北山ダムの水質解析を行った。計算条件を表-1 に示す。ここでは、COD の増加及び減少は一次反応に従い、COD の沈降は単粒子の沈降速度式に従うものとした。温度躍層における沈降速度は沈降速度補正係数として与えた。ブランチ長は 1m としているために、鉛直方向の移流分散係数は、基本的には、温度躍層での密度変化や粘性を考慮しリチャードソン数の関数として表現する必要があるが、ここでは移流分散係数を水深の関数として与えた。ダム貯水池からの放流は、表水層直下のブランチから流出させている。図-4、図-5 に本モデルの水質解析結果を既存の水質解析モデル（ボックスモデル）²⁾ の水質解析結果と共に示す。これらの図から、両モデルの計算結果に若干の差違が認められるものの、概ね両者は一致している。ボックスモデルにおいては、表層ボックスの境界面を表水層と直下の温度躍層との移流分散輸送が生じないものとして定義しているために、鉛直方向の移流分散係数を陽に取り込む必要がない。ブランチノードモデルにおいては、鉛直方向のブランチ長を 1m と固定化している。したがって、表層ブランチの水質変化は、ボックスモデルに比べれば流入条件や移流分散などの影響を受けやすいために図に示されるような結果が得られたものと考えられる。詳細は今後の課題であろう。いずれにしても実測値との比較から見れば実ダムへの適用は可能と考えられる。

4. おわりに 本研究では、ブランチ・ノードモデルを用いた鉛直 1 次元モデルを開発し、ダム水質解析への適用可能性を確認した。今後は他のダムに適用を進めていきたい。

【参考文献】1) 白岩・古賀・荒木・市山：鉛直一次元モデルによる北山ダムの水質解析(Ⅱ)、土木学会第51回年次学術講演会、平成8年9月

2) 樺島・古賀・荒木ら：都市河川感潮部における水質解析と水質改善に関する研究、土木学会第53回年次学術講演会、平成10年10月

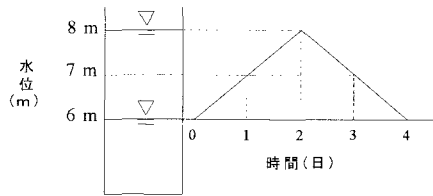


図-2 水位・時間変動

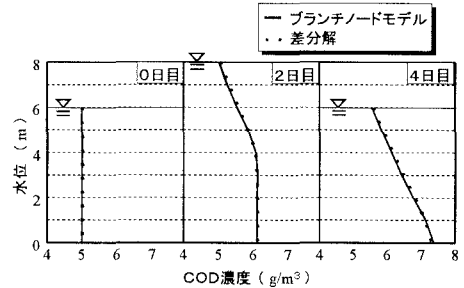


図-3 COD 濃度計算結果

表-1 計算条件

COD 増加速度	$K_p \cdot f_{n1} \cdot f_L \cdot \text{COD} \cdot V$	$K_p = 0.08$
COD 減少速度	$K_p \cdot f_{n2} \cdot f_L \cdot \text{COD} \cdot V$	$K_p = 0.015$
COD 沈降速度	$W_p \cdot f_{w1} \cdot \text{COD} \cdot A_w$	$W_p = 0.13$

f_L : 温度補正係数 ($f_L = \theta^{(t-20)}$)
 f_L : 水中深度補正係数 f_{w1} : 水温による沈降速度補正係数

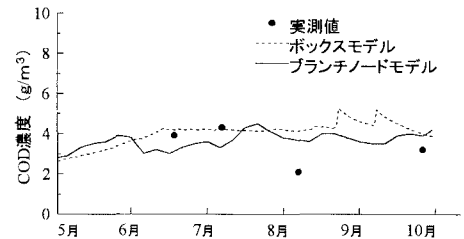


図-4 北山ダム成層期における表水層の COD 解析結果

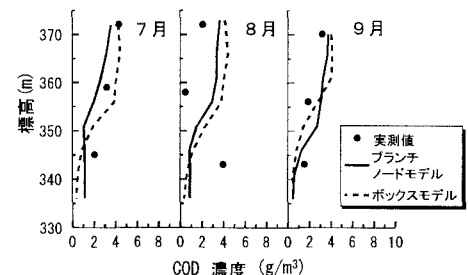


図-5 北山ダム成層期における鉛直方向の COD 解析結果