

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

佐賀大学 理工学部 ○学 鶴 由紀子 正 古賀憲一
 佐賀大学大学院工学系研究科 学 樺島和枝
 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の特長は、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が原理的に可能である。以上の観点から、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（ Q_{in} : 流入量、 Q_{out} : 放流量、 L : ブランチ長、 H : 水位）

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、 $N_{m,1} \sim N_{m,6}$: 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」 流れ方向のブランチ長は固定長であり、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、濡れ断面は固定値（水面を含むブランチは除く）であり、水面を含む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（ $\sum S + S_b = 0$ 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、水面を含む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（ $N_{m,1} \sim N_{m,6}$ ）そのものを新たに求め直す必要がある。

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を含むブランチに関する係数（マトリックス成分）の妥当性を検証する必要がある。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

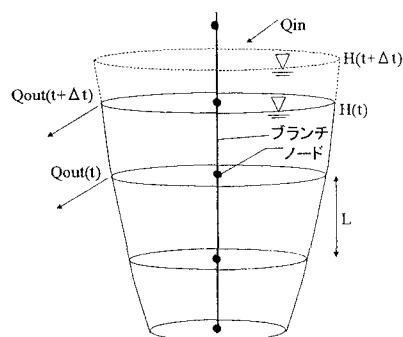


図-1 貯水池におけるブランチ・ノード概念図

に示すように上昇させ、その後下降させた計算を行った。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ために、水深方向に（流下するに従い）濃度は増加するのみであるが、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。水位上昇時の深層水濃度は、流入水の影響が到達していないために、時間のみ関数として増加していることが分かる。また、水位下降時においては、流入水質の影響が表層から深層水へと到達しているために深層水の濃度は水深方向に増加している。つぎに、成層期の実ダムを想定し、表水層、温度躍層、深水層が存在するものとし、各層での生産、分解、沈降の物質輸送・変換特性を図-4に示すように与え、計算を行った。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。温度躍層は、水温差に起因する沈降速度の減速空間として設けている。分解速度は、表水層で0、深水層で一定とし、温度躍層では線形的に変化させた。水平断面積は簡単のために深さ方向に一定（筒状）とした。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、簡単のために移流分散項は考慮に入っていない。計算結果を図-5に示す。この図から、表水層での生産状況、温度躍層から深水層への沈降輸送ならびに分解による濃度分布の変化傾向が再現されていることが確認される。また、深水層における経日の濃度減少は分解によるものである。

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、モデルダムではあるが適用可能であることを確認した。今後は、移流分散による物質輸送に関する検証を踏まえて、実ダムに適用したい。

【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

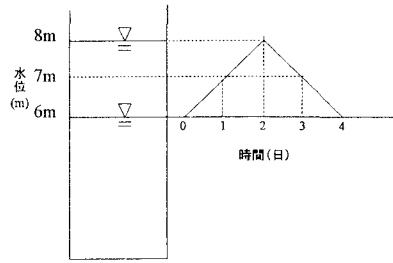


図-2 水位・時間変動

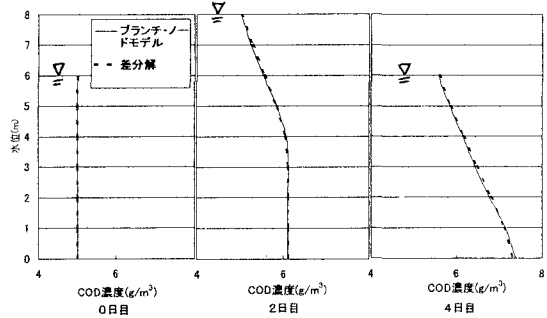


図-3 COD 濃度計算結果

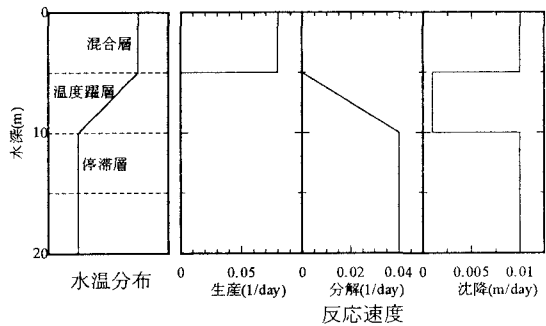


図-4 水温分布・反応速度

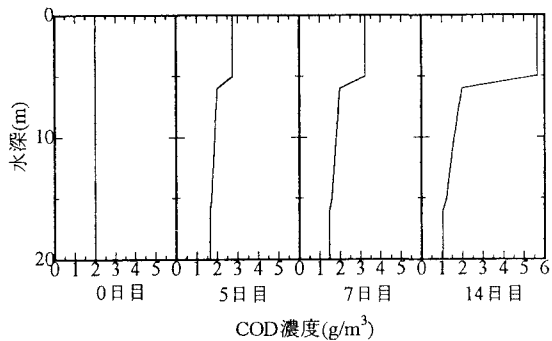


図-5 COD 濃度計算結果