

ブランチ・ノードモデルを用いた非定常水質解析

佐賀大学理工学部 ○学 佐藤慎一 学 清水稔宏 学 野原昭雄
同上 正 古賀憲一 正 荒木宏之

1. はじめに

近年、流域を単位とした総合水管理の必要性が指摘されている。佐賀平野のような低平地において総合水管理を行う場合、非定常性を考慮した水量・水質の制御、管理が必要となる。このような制御、管理を行う上では、水量・水質の定量的な把握、並びにそれらの数値モデルが必要不可欠と言える。また、このようなモデルが開発されれば、総合水管理のための政策分析も可能となる。著者らは、これまでに開水路網における水質モデルを構築し、水質予測手法としての有効性を示している^{1)・2)}。本研究は、水管理手法の確立を最終目的として、感潮河川である六角川を対象に、ブランチ・ノードモデルを用いた非定常水質解析を行い、その有効性について検討を加えたものである。

2. 流れ・水質モデル

流れ・水質モデルにおける開水路網のモデル化は、水路部をブランチ、水路と水路の結合部をノードとするブランチノードモデル^{1)・2)・3)}を用いて行なった。流れに関する基礎式は、式(1)に示す1次元非定常流れの運動方程式と連続式である。水質の濃度を横方向及び深さ方向に一樣とすると水質に関する基礎式は式(2)のようになる。

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot v)}{\partial x} + g \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + J(Q, h) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial BC}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial x} - P = 0 \quad S = QC - AD_i \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

Q: 流量 v: 平均流速 h: 水位 A: 流れ断面積 g: 重力加速度 J: 摩擦勾配 B: 濡れ断面積
C: 横断面の平均濃度 S: 物質輸送速度 P: 水質反応速度 Q: 流量 D_i: 移流分散係数
流れモデルについては既にいくつかのモデルが開発されており、灌漑や排水計画・設計において実用化されている。基礎式(2)を1本のブランチについてFEM法を用いて定式化する。各ブランチごとに得られる方程式は各ノードでの物質貯留が0という条件のもとに最終的には未知ノード濃度に関する線形代数方程式として次のように得られる。

$$\sum_{j=1}^{j_{\max}(i)} M_{i,j} \cdot C_j + M_{i,0} = 0 \quad (3)$$

M: 係数マトリックス C: ノード濃度 i: ノード番号 j: ダミー番号 j_{max}(i): 全ブランチ数
式(3)を解くことによりノードの未知濃度を求めることができ、ノードの濃度からブランチ端濃度や物質輸送速度を得ることができる。

3. 数値計算・結果

数値計算の対象は感潮河川である六角川とした。Fig. 1に六角川に適用したブランチ・ノードモデルを示す。数値計算においては簡単のため武雄川と牛津川の接続は考慮していない。Fig. 2に数値計算に用いた断面を示す。断面形状は実測断面をもとに三角形断面で近似した。流れ、水質とも実測値としては1983年12月の小潮時のも

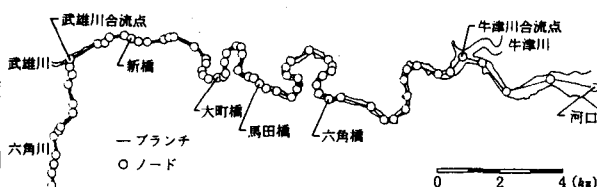


Fig. 1 六角川ブランチ・ノード

の⁴⁾を用いた。流れに関する数値計算はブランチ・ノードモデルを基本とする不定流計算モデル¹⁾・³⁾を用いて行なった。六角川下流端の境界条件には1983年12月の小潮の潮位データを用いた。また粗度係数は実測値を再現できるように定めた。

Fig. 3～Fig. 5の凡例は共通である。Fig. 3に水位変動の数値計算結果を示す。Fig. 3から数値計算結果が実測値を十分に再現していることが認められる。次に六角川における非定常水質解析を行なった。水質濃度の数値計算における水量には、前述の流れ計算の結果を用いた。数値計算の対象とした水質項目は塩素イオン(Cl^-)、及び BOD_5 である。境界条件は Cl^- 、 BOD_5 とも実測値をもとに決定した。Fig. 4に移流分散係数 $D_1 = 0 (\text{m}^2/\text{sec})$ の場合、Fig. 5に $D_1 = 70 (\text{m}^2/\text{sec})$ の場合の Cl^- 計算結果を示す。Fig. 4、Fig. 5の比較から本水質モデルが移流分散係数 $D_1 = 70 (\text{m}^2/\text{sec})$ の場合に実測値を概ね再現できることがわかる。Fig. 5において馬田橋での再現性があまり良好でないが、その原因としては、流れ計算において断面形状を三角形モデル河道としていること、水質計算において移流分散係数を全区間一定としていることが考えられる。Fig. 6に BOD_5 計算結果を示す。移流分散係数 D_1 は $D_1 = 70 (\text{m}^2/\text{sec})$ とした。 BOD_5 の反応は1次反応とし、その減少速度係数 k を $k = 0, 0.2, 0.5 (1/\text{day})$ としている。Fig. 6から BOD_5 減少速度係数 $k = 0.2 (1/\text{day})$ で実測値を概ね再現できることが認められる。

4. まとめ

数値計算結果から、感潮河川においても本研究で用いた水質モデルが、適切な移流分散係数、水質反応速度を用いることで実測値を十分に再現できることが確認された。

最後に、貴重かつ膨大な量の実測データをご提供して頂きました九州大学の二渡 了氏に深謝致します。

【参考文献】

- 1) 古賀、荒木、野原、渡辺 『佐賀クリーク網の水質特性と水質モデルに関する研究』 環境システム研究 Vol.18 1990.8
- 2) 佐藤、清水、野原、古賀、荒木 『開水路網の水質予測モデルに関する研究』 土木学会年次学術講演会 1993
- 3) Nico Booiij : "A Micro-computer Package for Simulation of One-dimensional Unsteady Flow in Channel systems, IHE, TU-Delft, Rijkswaterstaat
- 4) 二渡 了 『強混合河川感潮部における物質輸送と水質変換に関する研究』 九州大学学位論文 1993.5

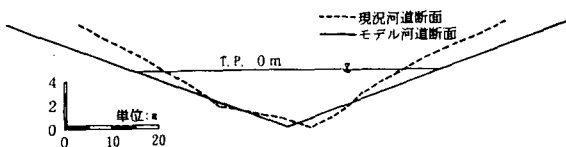


Fig. 2 六角川河道断面(六角橋付近)

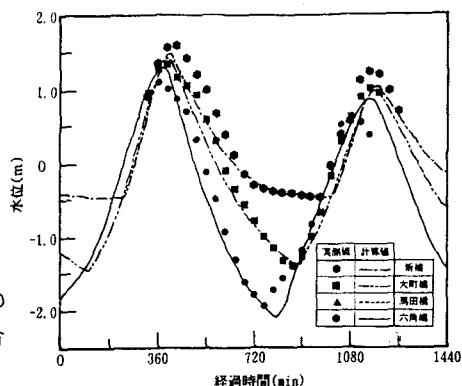


Fig. 3 水位計算結果

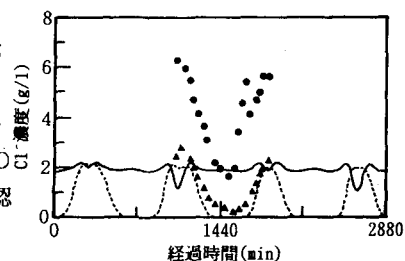


Fig. 4 Cl^- 計算結果(分散なし)

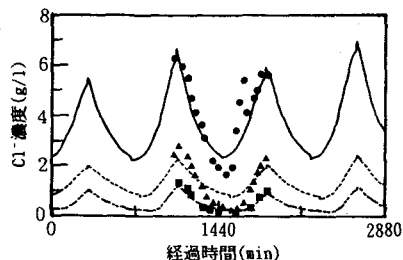


Fig. 5 Cl^- 計算結果(分散あり)

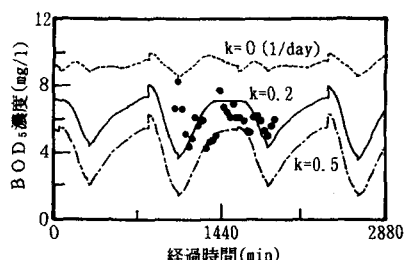


Fig. 6 BOD_5 計算結果(大町橋)