

II - 108 河川酸素消費モデルに及ぼすN-BODの影響

東北大学工学部 正員 ○徐 開欽
専修大学理工学部 正員 高崎みつる
東北大学工学部 正員 須藤隆一

1. はじめに

河川水のN-BODに関する研究はアメリカやイギリスに多く行われている。N-BODは河川BODのかなりの割合を示していることが指摘されている。また、オレゴン州のwillamette川で調査した結果より、硝化菌が底質で1000個/ml、水中で<1個/mlでも硝化が十分に起きること、N-BODがC-BODより2-3倍インパクトが大きいことを示した。一方日本におけるフィールドを対象とした硝化のダイナミックスに関する研究例や数値モデルの評価はほとんど見あたらない。水質汚濁の進んだ都市河川においては、窒素などの栄養塩濃度が高く、また河床付着物に生息する硝化細菌が多いため、これが河川DO収支に大きく影響することが考えられる。本報告では河川水質の基本であるBODの流下に伴う挙動やDO消費を考え、硝化の影響を直接評価するために、Streeter-Phelpsモデルに基づいて、N-BODを新たに加えたモデルを用いて、硝化性BODの影響について検討した。

2. N-BODを考えた河川酸素消費モデルの作成

Streeter-Phelpsによる自浄作用の研究は1925年頃に提案されている。その後Streeter-Phelpsのモデルは、多くの研究者によって実際河川で測定値と比較検討が行われ、なかでもDobbins¹⁾は、実際河川に適用し、定常状態の場合、次式を提案した。

$$D_x \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} - U \frac{\partial L}{\partial x} - (K_1 + K_3) \cdot L + L_a = 0 \quad (1)$$

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} + K_2 \cdot (C_s - C) - K_1 \cdot L + D_b = 0 \quad (2)$$

ここに、L: BOD(mg/l)、C: DO(mg/l)、x: 流水方向の距離(m)、U: 流速(m/s)、t: 時間(s)である。ここで、新たに導入されたパラメーターは、 K_3 : BODの沈殿、吸着による除去の速度係数(1/s)、 L_a : ある流域に放流されるまたは底泥によるBOD負荷量(mg/l/s)、 D_b : 底泥や植物プランクトンなどによる生物反応以外のBODの増減(mg/l/s)である。

N-BOD研究の中で、Cooper²⁾は河川のDO低下の主原因はN-BODによることを明らかにしている。そのほか多くの研究者によって排水、し尿処理水のBODの硝化寄与率を算出し、全BODのなかでN-BODは0~95.3%とかなり大きな割合を占めていることが報告されている。

硝化反応は周知のごとく、下記の反応式で表される。



硝化反応による酸素消費量は理論的に1mgの $\text{NH}_4\text{-N}$ が硝化されると4.57mgの酸素が要求される。しかし硝化菌は自身の菌体形成にも窒素を利用しており、菌体形成も考慮した硝化反応による酸素消費量は4.57mgより小さく4.33mgとなり、 $\Delta\text{N-BOD} = -4.33\Delta\text{NH}_4\text{-N}$ で表すことができる。

C-BODとN-BODの脱酸素速度をともに一次反応とした場合、(2)式に示したDobbinsの式にN-BODを加えることで、河川の酸素変化微分方程式が得られる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} + K_2 \cdot (C_s - C) - K_1 \cdot L - K_n \cdot \text{NB} + D_b \quad (4)$$

ここに K_n は溶出による河川内 $\text{NH}_4\text{-N}$ 内部負荷も考慮したN-BODの脱酸素速度係数(1/day)、 N_n はN-BOD濃度(mg/l)である。 D_b と拡散を無視し、 $t=x/U$ とすると、DOモデルは次のように表される。

$$C = C_s + \frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} (\exp(-K_2 t) - \exp(-K_1 t)) + \frac{4.33 K_n \cdot N_{10}}{K_2 - K_n} (\exp(-K_2 t) - \exp(-K_n t)) - D_0 \exp(-K_2 t) \quad (5)$$

ここに K_n は硝化反応を一次としたときの $\text{NH}_4\text{-N}$ 硝化速度係数(1/day)、 N_1 は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(mg/l)、 N_{10} は $\text{NH}_4\text{-N}$ 初期濃度($t=0$)(mg/l)、 N_{B0} はN-BODの初期濃度(mg/l)、 L_0 はC-BODの初期濃度(mg/l)、 $D_0 (=C_s - C_0)$ は溶存酸素不足量の初期値(mg/l)、 C_0 は溶存酸素初期濃度(mg/l)である。

3. シミュレーションの結果と考察

K_1 、 K_2 、 K_n は河川環境によって大きく変化し、日本の河川では K_1 は0.1~0.4、汚濁がかなり進んだ浅い河川では $K_1=0.2\sim0.3$ 、 K_2 は0.1~0.5、 K_n は0.05~1.0 (1/day) となる³⁾。境界条件、初期条件として C_0 、 N_{10} 、 L_0 をそれぞれ $C_0=6\sim15\text{mg/l}$ 、 $N_{10}=0.02\sim7.2\text{mg/l}$ 、 $L_0=0.5\sim22\text{mg/l}$ とし、 C_s はMontgomery⁴⁾より $C_s=468/(31.6+T)$ 、 20°C では $C_s=9.06\text{mg/l}$ である。

このように、Streeter-PhelpとDobbinsの式に基づき河川の環境を考えて、導いた(5)式に、各係数の平均値を代入し計算したDO濃度の結果は図-1に示した。N-BODの影響を無視した時、DOは再びきによって緩やかに飽和値になってゆく。一方N-BODを考えたとき、DOのSag-Curveが深くなることがわかった。

図-2には $\text{NH}_4\text{-N}$ 初期濃度が0.0~3mg/lのシミュレーション結果を示した。図からDO濃度変化に及ぼす $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の影響が大きいことがわかる。ここで $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は河床礫付着生物膜からの溶出分を考え合わせたものであるが、この図から流達時間が短い都市小河川では $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷を受ける汚濁流入点からの負荷がさほど軽減されないうちに本川や、湖など閉鎖性水域に流入していることが予想される。

図-3はC-BOD濃度が0~20mg/lのときのDO計算結果を示している。図-2と図-3より $\text{NH}_4\text{-N}$ 0~3mg/lが河川に流入した場合のDO変化とC-BOD=0~15mg/l流入した時の変化がほぼ同じ挙動を示した。今までDO消費がC-BODによるものと考えてきたが、これらの結果では河床礫付着生物膜からの溶出を考え合わせた $\text{NH}_4\text{-N}$ 負荷の大きな水域ではむしろ $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化によるDO消費の方が大きいことが示唆された。

図-4と図-5には硝化速度係数 K_n と脱酸素係数の変化によるDO濃度変化結果を示している。図からわかるように硝化速度係数 K_n が0.0~0.6/dayに変化した時と脱酸素係数 K_1 が0~0.6/dayに変化した時のDO挙動はほぼ同様な挙動を示している。つまり硝化係数の変化が脱酸素係数の変化と同様にDOモデルに影響していることがわかる。

またここでは図示しないが再びき係数の変化がDOに最も大きな影響を与えることが得られた。

以上のことから、硝化速度係数 K_n のDO濃度挙動に及ぼす影響は脱酸素係数 K_1 と同様に大きいことが示された。また $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度のDO濃度挙動に及ぼす影響はC-BODの変化より大きいことがわかった。

4. おわりに

以上河川でのN-BODについてDO挙動に与える $\text{NH}_4\text{-N}$ 、硝化係数 K_n の影響を評価したところ、(1)N-BODのDO消費に与える影響が大きいこと、(2)硝化速度係数 K_n のDO濃度挙動に及ぼす影響は脱酸素係数 K_1 の変化と同様に大きいこと、(3) $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度のDO濃度挙動に及ぼす影響はC-BODの変化より大きいことがわかった。

<参考文献>

- 1) Dobbins W.E.: J. Sanitary Eng. ASCE, SA3, pp.53-78, 1964, 2) Cooper, A.B.: J. WPCF, Vol.58, No.8, pp.845-852, 1986, 3) 杉本昭典: 水質汚濁, 技報堂, pp.326-384, 1974, 4) Montgomery, H.A.C.: J. Appl. Chem., Vol.14, pp.280-296, 1964

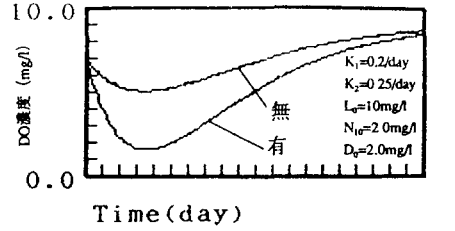


図1 N-BOD有無のDO濃度の経時変化

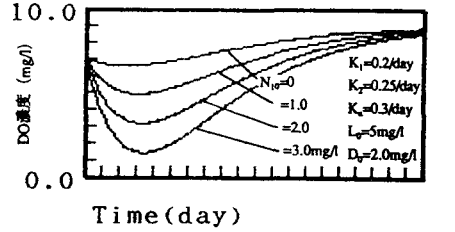


図2 DO濃度の経時変化に及ぼす $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の影響

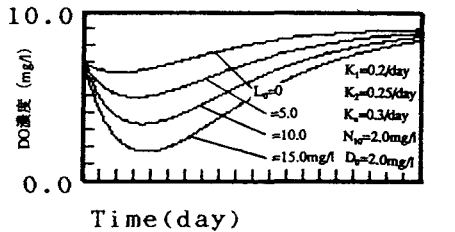


図3 DO濃度の経時変化に及ぼすBOD濃度の影響

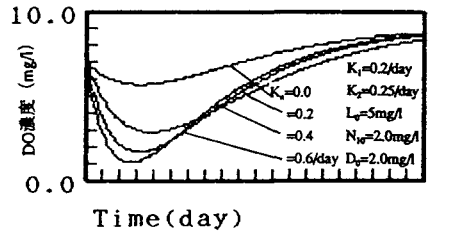


図4 DO濃度の経時変化に及ぼす硝化速度係数 K_n の影響

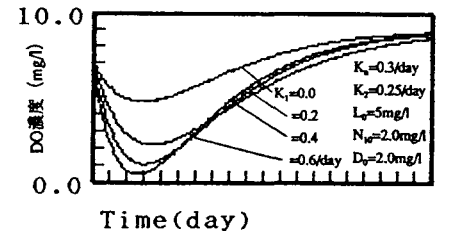


図5 DO濃度の経時変化に及ぼす脱酸素係数 K_1 の影響