

II-530

埋立廃棄物層内における物質変換モデルの検証

九州大学工学部 学○坂田 幸久 学 李 南勲
 同 上 正 楠田 哲也
 福岡大学工学部 正 島岡 隆行 正 花嶋 正孝

1. はじめに

特定環境における物質変換現象をシミュレーションによって明らかにする際に、そのモデルは仮定、仮説を多数含むため、現象解明の評価は一様ではない。本研究では、筆者らが構築した埋立廃棄物層内における物質変換モデル^{1)・2)}に、窒素と有機炭素の浄化機構を精度良く説明出来るように、pHの変動と温度の影響を反映させた。さらに、モデルの検定及び検証を行った。

2. 埋立廃棄物層内における物質変換へのpH及び温度の影響

本物質変換モデル¹⁾では、生物反応に及ぼすpH及び温度の影響を、両方とも細菌の増殖速度に補正関数として乗じて表現した。ここで、細菌の増殖速度をD0（溶存酸素）の影響などを考慮した修正Monod式で表現した。表-1に各細菌の増殖速度に掛かるpHの関数を示す。また、温度の補正関数として、Arrhenius式の比を取った実用式を用いた。

一方、廃棄物層内ではpH緩衝能を示す物質が多量にあるため、生物反応によるpHの増減を水素イオン濃度[H⁺]では表現しにくい。そこで、pHの指標としてアルカリ度を用い、主に生物反応によりアルカリ度が消費または生成されるものとした。そして、図-1に示すようなアルカリ度とpHの関係から層内のpHを表現した。

3. 計算方法

本モデルの計算を、所定の仮定と条件⁴⁾で行った。計算の流れの概要は図-2に示しているように、大きく水分移動の計算と非保存性物質の挙動の計算に分けられる。まず、水分のフラックスを計算した。次に、得られた水分フラックスより交換係数(r)、移流分散係数(D_L)、各領域の体積分率(ε)を求めると同時に、各汚濁物質の収支を計算した。ここで、D0の消費は、実験結果を反映させるため、好気性有機物分解菌によるD0消費の後に残存D0を硝化で消費するようにした。

4. 物質変換機構の数値解析の検定と検証

生態系の物質変換をシミュレーションにより明らかにするには、図-3に示すような手順が一般的である。まず、関与する物理化学・生物学的現象を詳細に把握し、現象を精度良く再現できるようモデルを構築する。そして、水質、外部要因、環境因子の既存のデータの半分を用いて未知パラメータ値を定め（検定:Calibration）、その後残り半分のデータを用いてパラメータの精度を確認（検証:Verification）する。現象把握の誤りなどはフィードバックし、最終的にそのモデルが生態系を管理・制御するための予測(Estimation)に使われることになる。

表-1 細菌の増殖速度に掛かる

pHの補正関数	
	Function
G _C L ₂ 好気性有機物分解菌	0.3 + 0.1 × pH (pH < 7.0) 1.0 (7.0 ≤ pH < 8.0) 5.0 - 0.5 × pH (8.0 ≤ pH)
G _C L ₂ 嫌気性有機物分解菌	0.4 + 0.075 × pH (pH < 8.0) 1.0 (8.0 ≤ pH < 9.0) 2.08 - 0.12 × pH (9.0 ≤ pH)
G _{AM} L ₂ アンモニア生成菌	0.3 + 0.1 × pH (pH < 7.0) 1.0 (7.0 ≤ pH < 8.0) 1.8 - 0.1 × pH (8.0 ≤ pH)
G _{NH4} L ₂ 硝化菌	0.85 + 0.021 × pH (pH < 7.0) 1.0 (7.0 ≤ pH < 8.0) 1.67 - 0.083 × pH (8.0 ≤ pH)
G _{NO3} L ₂ 脱窒菌	0.3 + 0.1 × pH (pH < 7.0) 1.0 (7.0 ≤ pH < 8.0) 1.67 - 0.083 × pH (8.0 ≤ pH)

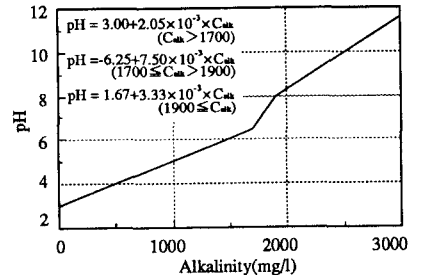


図-1 アルカリ度とpHの関係

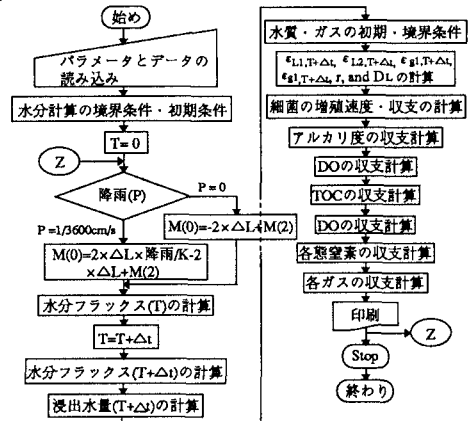


図-2 物質変換モデルの計算流れ図

本計算においても以上のような手順に従い、まず、経過日数31日目の実測値を用いて本モデルの検定を行った。パラメータ値の決定方法は、文献値の範囲を考慮しながら計算結果が実験結果と最も一致するものを最適なパラメータ

図-3 予測手法・評価の手順

値とした。検定結果を図-4(a)に示すが、良い再現性が得られている。ここで、表-2に数値解析の最適解より得られた主要なパラメータ値を示す。本モデル中の多くのパラメータは水処理・汚泥処理分野の文献値と大差がないものの、基質の飽和定数など、文献値と比較してかなり異なる値が得られた。この原因として、基質の飽和定数は基質が高濃度に存在しているためと考えられ、硝化菌、脱窒菌の死滅係数(K_{dNH_4} , K_{dNO_3})は、硝化、脱窒が有機物の十分な分解の後に起こるために、活性の低い初期に菌体量をある程度維持するために見掛け上小さく表現する必要があった。しかし、各物質の様々な反応が確定的でないことから、実験的に生物反応を含めた動力学パラメータ値を検討する必要があると考えられる。

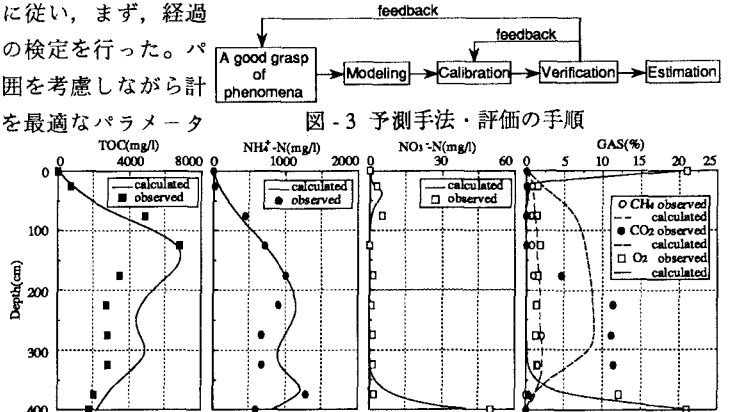
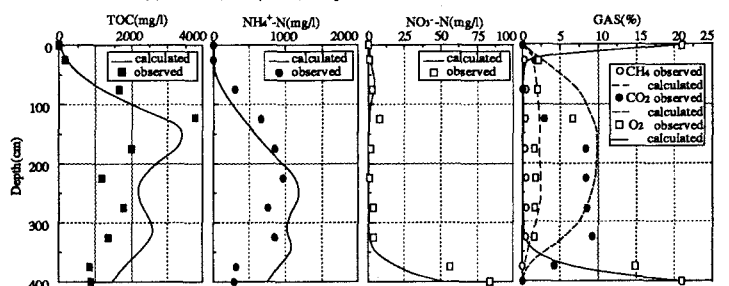
図-4(a) TOC, NH_4^+-N , $NO_3^- - N$ と各ガスの計算結果(31日経過)図-4(b) TOC, NH_4^+-N , $NO_3^- - N$ と各ガスの計算結果(62日経過)

表-2 本モデル中の

主要なパラメータ値

次に、求めた物質変換モデル中のパラメータを用い、経過日数62日目の実測値を対象に本モデルの検証を行った。その結果を図4-(b)に示す。各水質とも全体的な濃度分布や濃度増減の傾向からよい再現性が得られていることが分かる。この検証によって、本モデルが、埋立廃棄物層内で生じる物質濃度増減の現象、特にpHによる窒素変換の現象を良く再現できることが確認された。

5. まとめ

以上のような数値解析モデルの検定・検証を行った結果、本モデルはいくつかの改善点を残すものの、埋立廃棄物層における非保存性物質の変換過程の予測を十分可能にすることを明らかにした。しかし、本モデルには不確定要素が多く、シミュレーションによる廃棄物層内の物質挙動予測の一手法を示したに過ぎない。さらに、本モデルが実用的なものと成り得るには、廃棄物層内における本モデルのそれぞれのパラメータに関連した実験的な現象説明が必要であると考えられる。

【参考文献】 1)坂田ら：第3回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 439-442(1992)，2)坂田ら：第47回土木学会年次講演会講演集第2部，pp. 728-729(1992)，3)李ら：第2回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 361-364(1991)，4)坂田ら：平成4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp. 406-407(1993)

【記号説明】 a:単位有機物酸化にともなう O_2 消費量，b:単位硝化にともなう O_2 消費量，c:単位脱窒にともなうTOC消費量，d:反応時のアルカリ度換算量，i:成分(alk:アルカリ度，C:TOC，AM:アミノ酸， NH_4^+ ： NH_4^+-N ， NO_3^- ： $NO_3^- - N$ ，DO:溶解酸素， O_2 ： O_2 ガス， CH_4 ： CH_4 ， CO_2 ： CO_2 ， N_2 ： N_2)，j:菌体(C，C':好気性，嫌気性の有機物分解菌，AM:アンモニア生成菌， NH_4^+ ：硝化菌， NO_3^- ：脱窒菌)， r_g :ガスの交換係数，C*i*:成分の濃度，D*g*:成分の濃度，G μ :細菌の増殖速度[$mg \cdot l^{-1} \cdot day^{-1}$]，K*dj*:細菌の死滅係数，K*i*，K*doi*:基質，酸素の飽和定数，M:matrix potential[cm]，V:ガスflux， κ :吸収係数， λ :屈曲係数， μ_{maxj} :細菌の最大比増殖速度

Nomenclature	Unit	Value	This study
KAM	mg/l	Assumed	600
Kc	mg/l	1-355	3000
K'c	mg/l	53-20600	6000
K_{NH_4}	mg/l	0.01-2.1	100
K_{NO_3}	mg/l	0.3-4.0	100
K_{DOAM}	mg/l	Assumed	0.005
K_{DOC}	mg/l	0.06-0.6	0.005
K'_{DOC}	mg/l	Assumed	0.002
K_{DOH_4}	mg/l	0.1-0.5	0.001
K_{DOH_3}	mg/l	0.5	0.05
K_{dAM}	1/d	Assumed	0.108
K_{dC}	1/d	0.045-0.087	0.02
K'_{dC}	1/d	0.01-0.283	0.255
K_{dNH_4}	1/d	0.02-0.12	0.004
K_{dNO_3}	1/d	0.02-0.19	0.004
μ_{maxAM}	1/d	0.1-1.08	0.23
μ_{maxC}	1/d	0.37-4.0	1.44
μ_{maxC}	1/d	0.25-0.543	0.42
μ_{maxNH_4}	1/d	0.14-1.1	1.8
μ_{maxNO_3}	1/d	9.1	3.0
a	mg-O/mg-C	0.264-3.47	0.54
b	mg-O/mg-N	4.27-4.57	4.57
c	mg-C/mg-N	0.715-1.07	0.93
d ₀	mg-CaCO ₃ /mg-N	3.57	3.57
d ₁	mg-CaCO ₃ /mg-N	3.57	3.57
d ₂	mg-CaCO ₃ /mg-N	7.14	4.14
d ₃	mg-CaCO ₃ /mg-N	3.57	3.14
D _g	cm/d	12960-17280	12960
r _g	1/d	Assumed	864
κ 1- κ 4	1/d	Assumed	518.4
λ	-	1.8	1.8
V	cm/d	10^1 - 10^3	864