

II-83 底質を考慮した都市河川水質モデル

長岡技術科学大学 学生員 高津 治、浅弘 知昭
長岡技術科学大学 正 員 中村 由行、早川 典生

1. はじめに

著者らはこれまでに、長岡市を流れる柿川を対象に、中小都市河川における水質予測モデルの開発を行ってきた¹⁾。それら一連の研究の中で、流量の変動に対応した不等流計算をモデルに組み合わせ、また、モデルの水質指標であるBODについては粒子態と溶存態の二つの形態に着目し、モデル化を行いその成果を挙げてきた。本研究では、観測結果の検証計算を例に、そこで見逃せない要因として現れた底質の挙動を考慮した拡張モデルを提案する。

2. 柿川の概況

柿川の流域概要を図-1に示す。柿川は長岡市の東部山地を水源とし、流量の大部分を新柿川に分流した後、市街地の中心部を流れて信濃川に合流する小河川である。流域面積は約14.3 km²、流路延長は（新柿川との分流点から）約6.5 kmである。途中に土合川と赤川の二つの支川が流入している。

著者らは、昭和59年度以降、主として水質の悪化する低水時を対象とした水質環境調査を行ってきた²⁾。各調査から得られた共通の重要な知見として以下の二点が挙げられる。一つは、流下方向における水質の変化には、粒子態有機物の挙動が大きく関わっている点であり、もう一つは、途中流入する土合川の水質が、本川のそれに対してかなり支配的であるという点である。これらの点を考慮して現行モデルが開発された。

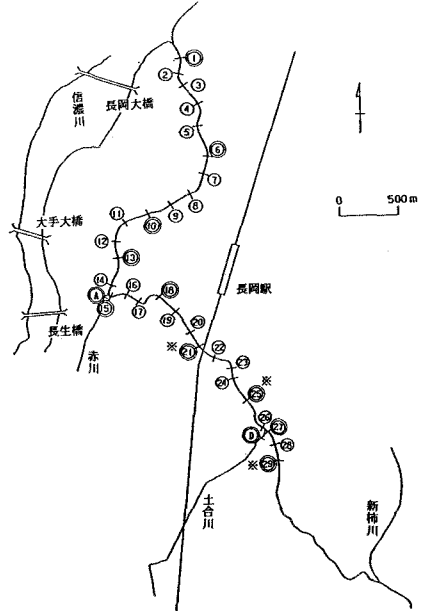
3. 水質モデルの概要

本モデルで考える水質指標は、水中及び底質BOD、DO、SSである。水中BODは粒子態BOD（P-BOD）と溶存態BOD（D-BOD）の二つの形態に分け、SSは、P-BODに対して一定の成分割合がCH₂Oの化学組成を持つ易分解性有機物であると仮定し、酸素分子と以下の反応を行うと考えた。



モデルにおける変数と素過程を図-2に示す。図中で、太線は現行モデルで考慮された素過程であり、点線はSSに関する素過程を表す。

底質に関する素過程としては、現行モデルでのP-BOD（SS）の沈降分の底質BODへの付加に加え、底質BODの溶出、巻き上げによるD-BOD及びP-BODの増加、そして、DO消費を伴う底質BODの分解による減



1～29は計算断面の測点番号、A、Dは赤川、土合川の測点を表す。
◎は縦断方向調査実施地点、※は底質調査実施地点

図1. 水質及び底質調査地点

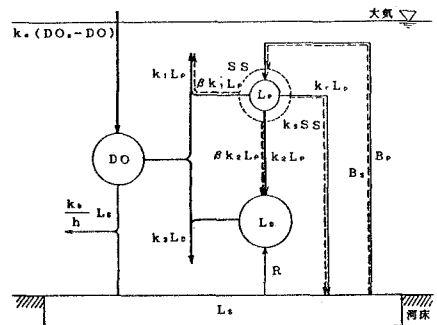


図2. モデルの素過程

$$u \frac{dL_p}{dx} = \frac{1}{A} \frac{d}{dx} (AD \frac{dL_p}{dx}) - \frac{Y_w W_a}{h} L_p - (k_1 + k_2) L_p + B_p \quad (1)$$

$$u \frac{dL_d}{dx} = \frac{1}{A} \frac{d}{dx} (AD \frac{dL_d}{dx}) + k_2 L_p - k_3 L_d + R \quad (2)$$

$$u \frac{dDO}{dx} = \frac{1}{A} \frac{d}{dx} (AD \frac{dDO}{dx}) - k_1 L_p - k_3 L_d + k_4 (DO_s - DO) - \frac{k_5}{h} L_p \quad (3)$$

$$0 = -\frac{k_6}{h} L_p + \frac{Y_w W_a}{h} L_p - B_p - R \quad (4)$$

$$u \frac{dSS}{dx} = \frac{1}{A} \frac{d}{dx} (AD \frac{dSS}{dx}) - \frac{Y_w W_a}{h} SS - \beta (k_1 + k_2) L_p + B_p \quad (5)$$

ここに、 L_p 、 L_d ：粒子態及び溶存態BOD濃度 [ML⁻³]、 L_s ：底質の単位面積当りのBOD [ML⁻²]、 DO ：溶存酸素濃度 [ML⁻³]、 DO_s ：飽和溶存酸素濃度 [ML⁻³]、 SS ：浮遊物質濃度 [ML⁻³]、 k_1 ：粒子態BODの分解速度定数 [T⁻¹]、 k_2 ：粒子態から溶存態BODへの移行速度定数 [T⁻¹]、 k_3 ：溶存態BODの分解速度定数 [T⁻¹]、 k_4 ：再曝気速度定数 [T⁻¹]、 k_5 ：底質BODの分解速度定数 [T⁻¹]、 R ：底質BODの溶出量 [ML⁻³T⁻¹]、 B_p ：底質の巻き上げによる粒子態BODの付加量 [ML⁻³T⁻¹]、 B_s ：底質の巻き上げによるSSの付加量 [ML⁻³T⁻¹]、 γ 、 γ_s ：粒子態BOD及びSS濃度比、 β ：化学量論比、 A ：断面面積 [L²]、 D ：流下方向分散係数 [L²T⁻¹]、 u ：断面平均流速 [LT⁻¹]、 W_a ：沈降速度 [LT⁻¹]、 h ：平均水深 [L]

少が新たに考慮された。底質は流下方向について一様に分布すると仮定する。

よって、P-BOD, D-BOD, DO, 底質, SSに関する定常一次元の保存式は式(1)~(5)のようになる。

4. 底質を考慮することの意義

平成元年10月23日に縦断方向水質環境調査を行った。図-1に示す測点で、水温、T-BOD, D-BOD, DO, S, pH, COD_{cr}, DOC, ICの観測を行った。この観測結果に対する検証計算を現行モデルによって行った。用いたパラメーター及び境界条件を表-1に示す。

各パラメーターは過去の研究¹⁾において実績のある値を採用した。境界条件の各値は縦断方向調査で観測されたものを用いた。同調査時には、土合川の柿川本川との合流点上流約100m付近で、河川改修工事による連続的な高濃度のSS負荷があり、これが本ケースにおいて支配的な要因となっている。計算結果を図-3に示す。

土合川合流後の測点No.25から1にかけて、計算値は概ね実測の分布を再現しているが、DOについては差がある。この違いを説明するために、その差を縦断方向調査と並行して行われた底質調査の結果と比較する。底質調査は、図-1に示す3測点で、直径40mm, 長さ約50cmの亚克力パイプに直上水と共に底質コアをサンプリングし、実験室で水温を20℃に保った水槽内で培養し、一定期間内の底質コアによる酸素減少量を測定した。その結果と、別に求めた水のみ酸素減少量から、底質が関与する酸素減少速度を推定したところ、約0.4~1.5mg/l/dayという値を得た。一方、No.25, 1両測点間の計算値と実測値との平均酸素減少速度の差を、不等流計算の平均流速より概算したところ、約1.1(mg/l/day)という値が得られた。よって、両者を比較すると、底質が酸素の減少に重要に関わっているであろうことが想像できる。

5. まとめ

都市河川水質の現地観測より、底質の寄与の重要性が示されたため、底質を考慮したモデル化を行った。今後、底質の関与する素過程を調査より明らかにすると共に、モデルの妥当性を検証する必要がある。

表1. モデルに用いたパラメータ

水温	(°C)	15.4
分散係数	D_x (m ² /sec)	0.17
分解速度定数	k_1 (1/day)	1.00
	k_2	0.50
	k_3	1.10
再曝気係数	k_a (1/day)	1.07
SS濃度比	γ	1.5
沈降速度	W_s (m/sec)	1.304×10^{-5}
飽和酸素濃度	O_s (mg/l)	9.68
柿川	P-BOD (mg/l)	0.44
	D-BOD (mg/l)	2.52
	O ₂ (mg/l)	11.10
	SS (mg/l)	0.41
	Q (m ³ /sec)	0.312
土合川	P-BOD (mg/l)	4.26
	D-BOD (mg/l)	8.42
	O ₂ (mg/l)	3.99
	SS (mg/l)	143.7
	Q (m ³ /sec)	0.137
赤川	P-BOD (mg/l)	1.94
	D-BOD (mg/l)	5.30
	O ₂ (mg/l)	5.85
	SS (mg/l)	6.48
	Q (m ³ /sec)	0.039

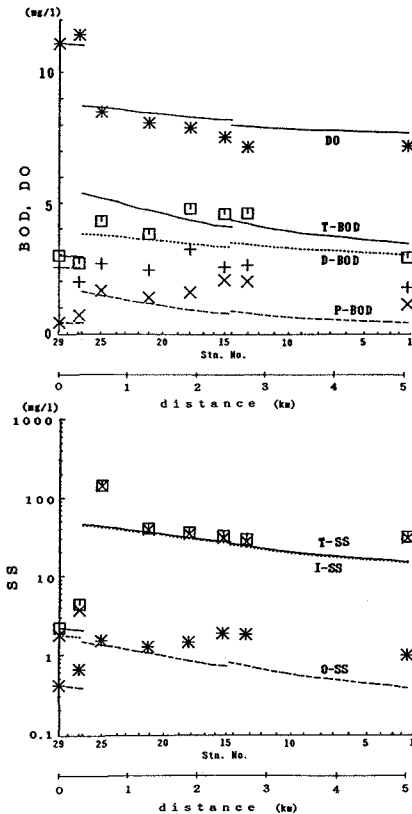


図3. モデルによる計算結果と観測値との比較

参考文献

1) 例えば岩田浩一、中村由行、早川典生：都市河川水質モデルの開発に関する研究、長岡技術科学大学研究報告, vol. 10, pp. 101-110, 1988。

2) 例えば早川典生、桃井清至、原田秀樹、中村由行、福島祐介：中小都市河川としての長岡市柿川の水質環境の実態について、第三回土木学会新潟会研究調査発表会論文集, pp. 24-29, 1985。