

底質モデルを導入した貯水池水質予測に関する一考察

(株)日水コン 正会員 和田芳樹 (株)日水コン 横寺 宏
 (株)日水コン 正会員 永淵正夫 (株)日水コン 野正博之

1. はじめに

貯水池の富栄養状況は、外部負荷を支配因子として、水塊と底泥の2層間での収支により規定される。本来は流入・沈降・溶出のサイクル（収支関係）により溶出量が求められるべきであるが、一般的な富栄養化予測モデルは底泥から水塊への負荷を栄養塩溶出として表現し、溶出速度を一定値で与えていることが多い。この場合、流域対策による負荷削減等の効果を検討するに際し、底質への影響が無視されるため、長期間にわたっての溶出量減少や、タイムラグを伴う水質改善等の現象を再現することは困難となる。

そこで、長期間にわたっての底質を含めた貯水池水質を再現するために、鉛直1次元貯水池水質予測モデル¹⁾をベースとして、水塊から有機物質が底泥に沈降し、浮泥間隙部から水塊へ溶出する物質収支を考慮した底質モデルを導入した富栄養化予測モデル（以後底質モデル）を作成した。本論はモデルの現況同定を行うとともに、貯水池の水質保全対策を実施した際の水質及び底質の変動について数値実験を行うものである。

2. 底質モデルの概要

ダム貯水池等における底泥溶出を直上水と浮泥を対象として、沈降（直上水中の有機物等が沈降し、浮泥層へ堆積）、分解（浮泥中の有機物が分解して、間隙水質へ溶出）、基質化（浮泥の一部が基質化）、溶出（間隙水と直上水の濃度差に起因し、間隙水中の無機栄養塩が溶出）で生起するとしてモデル化した（図-1参照）。モデル式は以下の通りであり、これより底質の物質収支及び直上水への溶出が表現される。

1) 底質収支式：底質分解と直上水からの沈降で構成

$$\frac{d \cdot S_d}{dt} = \frac{(\omega_o \cdot C_o + \beta \cdot \omega_c \cdot C_c) \cdot A_B - (K_s - K_k) \cdot \theta^{T-20} \cdot S_d \cdot V_{sd}}{V_{sd}}$$

2) 間隙水質収支式：底質分解と直上水への拡散（溶出）で構成（リンについては溶出項にDO関数を乗じる）

$$\frac{d \cdot S_w}{dt} = \frac{a \cdot K_s \cdot \theta^{T-20} \cdot S_d \cdot V_{sd} - \alpha(S_w - C_i) \cdot \theta^{T-20} \cdot A_B \cdot f(DO)}{V_{sw}}$$

$$DO \text{ 関数: } f(DO) = \frac{1}{(1 + 4 \cdot DO)}$$

ここに、 S_d ：浮泥中のO-N, O-P濃度 (g/m³)、 ω_o ：O-N, O-Pの沈降速度 (=0.1(m/日))、 C_o ：上水中のO-N, O-P濃度 (mg/l)、 β ：Chl-aとN,P換算率 (N=0.01, P=0.001(mg-N, P/μg-Chl-a))、 ω_c ：Chl-a沈降速度 (=0.1(m/日))、 C_c ：上水中のChl-a濃度 (μg/l)、 A_B ：底層面積 (m²)、 K_s ：浮泥の分解速度 (=0.001(1/日))、 K_k ：浮泥の基質化速度 (=0.001(1/日))、 V_{sd} (m³)：浮泥ポリューム ($A_B \times 0.02m$ で設定(一定))、 θ ：温度関数、 T ：水温 (°C)、 S_w ：間隙水中のI-N, I-P濃度 (g/m³)、 a ：底質から間隙水質への換算係数 (=1.0)、 α ：拡散に係る定数 (=0.001(m/日))、 V_{sw} (m³)：間隙水のポリューム ($A_B \times 0.08m$ で設定(一定))、 C_i ：上水中のI-N, I-P濃度 (mg/l)である。

3. 検証計算

以上の底質モデルを組み込んだ鉛直1次元貯水池予測モデルを用い、Aダムを対象としてモデルの検証を行った。Aダム諸元等を表-1に示す。水深が浅く、回転率も小さいため、底泥からの負荷寄与率は大きい。

表-1 Aダム諸元と湖内・流入水質

ダム諸元		湖内水質	mg/l	流入水質	mg/l
平均水深	約10m	COD	4.1	COD	3.0
貯水量	約1000万m ³	T-P	0.035	T-P	0.045
回転率	1~2.5	T-N	0.490	T-N	0.550

キーワード：底質モデル、貯水池水質予測、浮泥、溶出、負荷収支

〒532-0004 大阪市淀川区西宮原2丁目1番3号 SORA 新大阪 21 (TEL) 06-6398-1653 (FAX) 06-6350-5309

検証を行った結果を図-2に示す。ブロック分割幅は1mピッチであり、計算値は実線で示している。ここでは、7月における水温、T-P、T-Nの計算結果及び実測値を示している。いずれも計算値は実測値を再現しており、モデルは妥当であると言える。

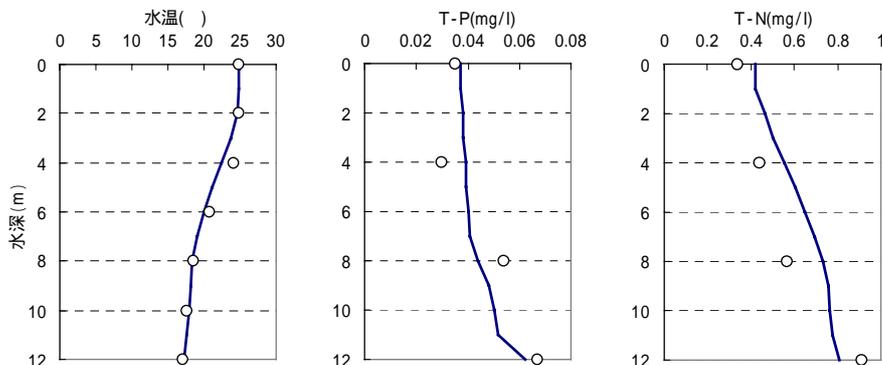


図-2 Aダム計算値と実測値（7月：水温、T-P、T-N）

4. 底質モデルによる水質保全対策の評価

底質モデルを使用した数値実験により、水質保全対策の評価を行う。ここでは、Aダム流域対策により流入水質が削減された対策を想定し、底質モデルの有用性について併せて検討する。第一段階として、底質0を初期条件として単一年の流況及び気象を用いて30年間計算した。その結果、図-3に示すように底質濃度は15年程度経過した後に安定化しており、その間の湖内のI-P濃度は徐々に高くなる傾向にあった。

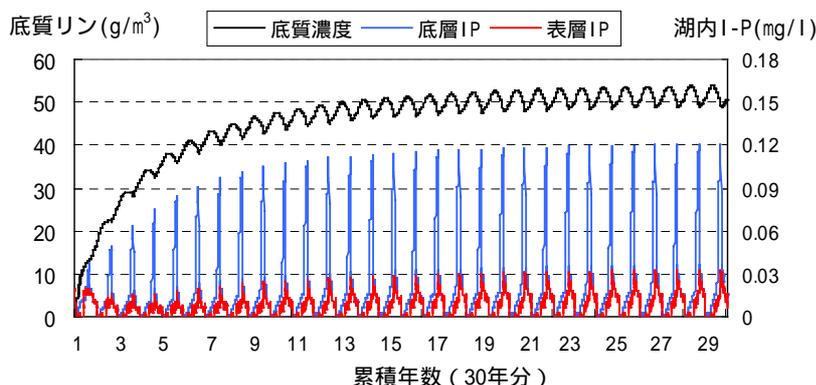


図-3 底質リン濃度と湖内表層及び底層IP濃度の推移

次に第二段階として、30年後の底質濃度を初期条件として、流入栄養塩（窒素・リン）をa)現況のまま、b)2割削減、c)5割削減した3ケースを想定し、再度30年計算を行った。年平均底質リン及び湖内底層I-P濃度の経年変化を図-4に示す。これより、流入負荷を削減した直後（1年目）において、湖内のI-P濃度は2割削減ケースで9.1%、5割削減ケースで22%改善されている。その後、3~4年目では一時的に減少が見られなくなり、再度5年目以降でなだらかな濃度減少の傾向が見られる。一方で底質リン濃度は、負荷削減直後よりも2年~3年後に減少している傾向にある。これは、流入負荷の削減によって湖内水質が希釈され（1年目）、湖内水質が改善されることで底質から湖内への溶出が相対的に上昇し（2~3年目）、湖内の水質改善効果が見かけ上小さくなる（3~4年目の改善効果停滞）。溶出が増加することで間隙水質が改善され、底質濃度も徐々に低くなり、湖内I-P濃度は、底質の改善に伴い再び低下する（5年目以降）、という機構による変遷であると考えられる。

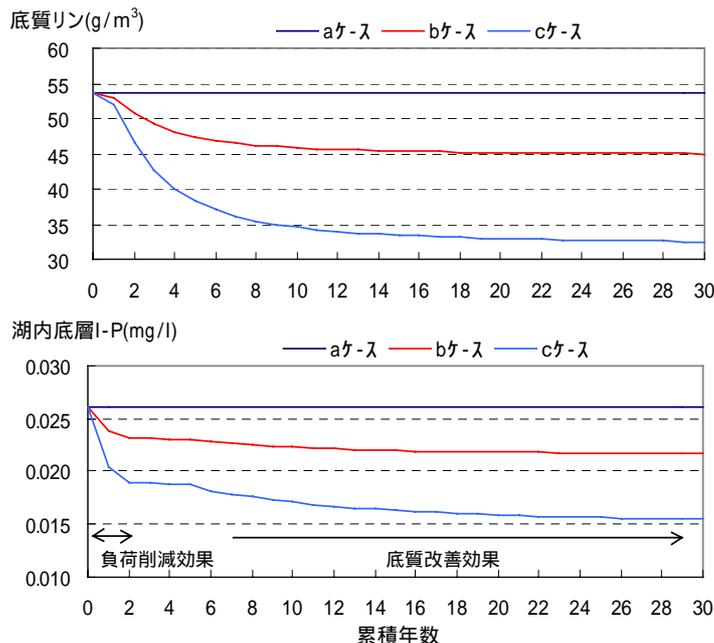


図-4 流入負荷削減による底質リン、湖内底層IP濃度経年変化

5. まとめ

以上のように、底質モデルを富栄養化水質予測モデルに導入することで、湖内の水塊と底泥間の負荷収支を考慮した現況同定を実施し、長期タイムスケールで水質保全対策の効果検討が可能となった。

参考文献：1) 建設省土木研究所ダム部水資源開発研究室：貯水池の冷濁水ならびに富栄養化現象の数値解析モデル（その1）1987、2) 崎田省吾、楠田哲也：底泥内物質濃度分布のシミュレーションモデルに関する考察、土木学会環境工学研究論文集、Vol.35,pp234-241,1998、3) 井上徹教、中村由行、足立義彦：環境条件のステップ的な変化に伴う堆積物の酸素消費・リン溶出の応答、水工学論文集、第43巻、1999