

## 湖底形状の変化によるダム貯水池のカビ臭発生について

（独）北海道開発土木研究所 正会員 高田 賢一  
 （株）福田水文センター 正会員 杉原 幸樹  
 国土交通省 北海道開発局 正会員 中津川 誠  
 （独）北海道開発土木研究所 正会員 山下 彰司

1. まえがき：北海道恵庭市に位置する漁川ダムは 1993 年夏以降毎年のようにカビ臭が発生している。また、ダム貯水池内では年々堆砂が進行し、棚状に堆積しており、2001 年末には 91 万 2 千 m<sup>3</sup> の土砂がダム湖内に堆積している。このカビ臭は上流部の浅い堆砂棚で繁殖する放線菌からのジェオスミン放出によるものと推定された<sup>1)</sup>。

本研究では、漁川ダムにおける堆砂棚の形状と、放線菌の特性を考慮したモデルを構築し、カビ臭発生試験の結果をパラメータに用い、モデルを利用した水質再現計算を行ったので、その結果を報告する。

2. 水質再現計算について：本研究では、土木研究所<sup>2)</sup>で開発された貯水池鉛直二次元モデルを漁川ダム貯水池に適用した。このモデルは図-1 のように貯水池内を鉛直・流下方向に分割し、その分割したボックス内の水理、濁質、水質を計算する。ここでは、水の連続式を(1)式に、運動方程式を(2)、(3)式に示す。

(1)連続式：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

(2)運動量保存則水平方向：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_w} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{mx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{mz} \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2)$$

(3)運動量保存則鉛直方向：

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (3)$$

ここで、 $x$ 、 $z$ はそれぞれ流下方向、鉛直方向の座標(m)、 $u$ 、 $v$ は流下方向、鉛直方向の流速(m/s)、 $\rho_w$ ：水の密度(1,000kg/m<sup>3</sup>)、 $P$ ：水圧(kg/ms<sup>2</sup>)、 $D_{mx}$ ：流下方向の運動量拡散係数(m<sup>2</sup>/s)、 $D_{mz}$ ：鉛直方向の運動量拡散係数(m<sup>2</sup>/s)、 $\rho$ ：流水密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $g$ ：重力加速度(9.8m/s<sup>2</sup>)を表す。

以上の貯水池流動モデルに加え、下記に示すカビ臭発生モデルの適用を図る。

(4)カビ臭発生モデル(DO, COD, 放線菌, ジェオスミン)

$$\frac{\partial M}{\partial t} + u \frac{\partial M}{\partial x} + v \frac{\partial M}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{Mx} \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{Mz} \frac{\partial M}{\partial z} \right) + \phi_{M(N)} \quad (4)$$

ここで、 $M$ ：各成分の濃度(mg/L)、 $D_{Mx}$ ：流下方向の各成分拡散係数(m<sup>2</sup>/s)、 $D_{Mz}$ ：鉛直方向の各成分拡散係数(m<sup>2</sup>/s)、 $\phi_{M(N)}$ ：各成分の内部生産消費項を表す。

また、モデル作成に必要な各内部生産消費項のパラメ

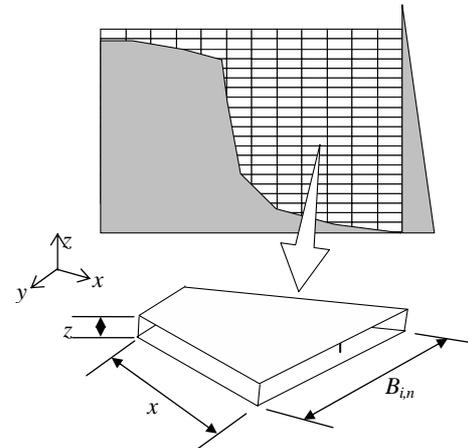


図-1 鉛直二次元モデル模式図

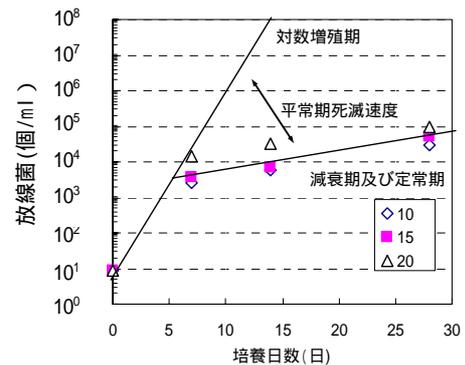


図-2 菌体数の経時変化

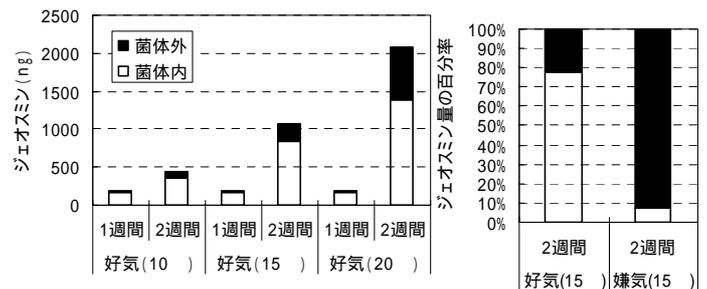


図-3 ジェオスミン生成量の比較

(左：温度変化、右：DO 変化)

ータについては、次項で示すカビ臭生成能試験で数値を求めた。

3. カビ臭生成能試験：漁川ダム底泥から分離される放線菌を対象に、モデル構築に必要なパラメータを得るため、カビ臭発生試験を実施した。この試験で使用した放線菌は最も高い発臭能が確認されたダムサイトの放線菌株を用いて放線菌の増殖速度、死滅速度、カビ臭物質生成量の把握を行った。ここでは、温度条件(10、15、

20)、DO濃度(好気、嫌気)を加味して菌体数、ジェオスミン濃度を計測した。その結果、図-2より水温の上昇に伴い菌体数が増加していることが明らかになり、対数増殖期の傾きより増殖速度、対数増殖期と定常期の差より死滅速度を見積もった。また、図-3より水温の上昇によりジェオスミン生成量が増加し、好気状態では約20%、嫌気状態では約90%のジェオスミンが菌体外へ放出されることが明らかとなった。

**4. 水質再現計算:** 図-2に示す試験結果より放線菌増殖、死滅速度を水温、DO、SSの関数として定量化し、ジェオスミン放出速度を放線菌数、DOの関数として定量化することにより水質の再現計算を行った。中津川ら<sup>3)</sup>の結果に基づき、ダム貯水池内の流況、水温、SS、DO、ジェオスミンについて、ダム完成直後の昭和56年(1981)測量断面と柵状地形が形成された後の平成12年(2000)測量断面を用いて、平成12年7月1日の流入量4.2m<sup>3</sup>/s、放流量5.5m<sup>3</sup>/sなど同一の条件を設定し計算を行って比較を試みた。

その結果、図-1より柵状地形が形成されることにより嫌気化層が現れ、図-4よりジェオスミンは図-5のDOが3mg/L以下の部分で発生するとの結果を得た。これは取水位置が水面付近であることから、柵状地形の形成により鉛直方向の循環が弱まり、底泥により消費されたDOの再供給が弱まる結果である。

この鉛直方向の湖水循環については図-6のようにダム完成直後の1981年では、上流から下流まで広く流量交換がなされており、湖水循環が良好に行われている。しかし、堆砂が形成された2000年ではほとんど流量の交換が行われておらず、流入した河川水はダム湖下層に流れにくくなっている様子が読み取れる。また、表-1によると1981年に比べ、2000年では1/3程度に移動総量が減少していることが読み取れる。このように、ダム湖内の湖水流動の変化は水質挙動に大きく影響していることが判明した。これらのことから、ジェオスミンの抑制には鉛直方向の湖水循環の促進と貯水池に堆積する土砂を掘削することにより湖内流動を改善し、ダム湖下層にDOを供給する対策が必要であることを示唆している。

**5. あとがき:** ダム貯水池上流に堆砂による柵状地形が形成され、水深の浅い上流部で放線菌が繁殖し、水深の深いダムサイト付近で菌が死滅することにより、ジェオスミンを放出し、カビ臭を発臭することが既往研究成果で定性的に把握されてきた。本研究でシミュレーション計算を行い、堆砂前後で比較した結果、既往研究の結果を定量的に裏付けることが出来た。このように、上流域に人為的な汚濁負荷源が存在しなくても湖底形状が変化することにより、ダム貯水池内の水環境が変化しカビ臭が発生する可能性があると言える。

本研究の一部は平成16年度国土交通省北海道開発局受託研究費の補助を受けた。また、漁川ダム管理所から貴重な資料を提供して頂いた。ここに謝意を表す。

**参考文献**

1)小林睦子, 鹿野愛, 橋治国, 益塚芳雄, 稲澤豊; 漁川ダム

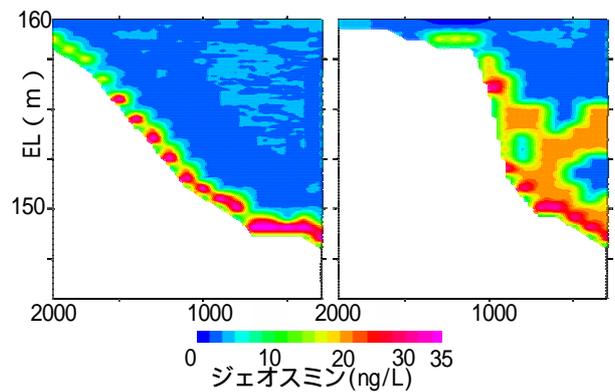


図-4 ジェオスミン計算結果  
(左: S56(1981)断面、右: H12(2000)断面)

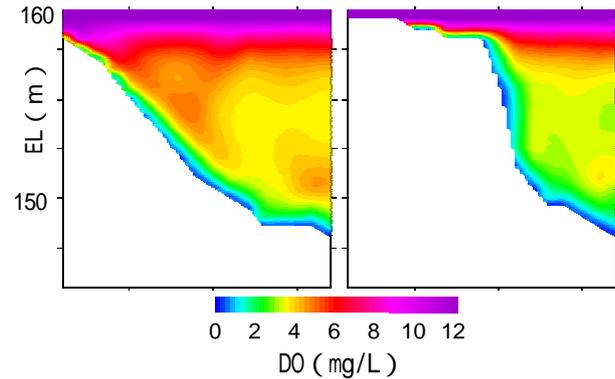


図-5 DO計算結果  
(左: 1981年断面、右: 2000年断面)

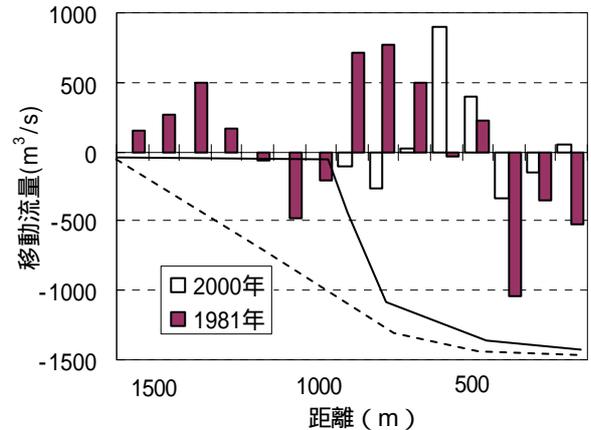


図-6 鉛直方向の移動流量比較(E.L.158.0m)

表-1 鉛直方向の移動流量

	1981年	2000年
総量 (m <sup>3</sup> /s)	5,600	2,140
+値 (m <sup>3</sup> /s)	3,300	1,300
-値 (m <sup>3</sup> /s)	-2,300	-840
断面積 (m <sup>2</sup> )	251,550	112,000

\* EL=158m断面

湖における臭気物質の発生機構, 土木学会第57回年次学術講演会論文集, pp. 127-128, 2002.

- 2) 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モデル(その2), 土木研究所資料No. 443, 1987.
- 3) 中津川誠, 高田賢一, 矢挽哲也; 放線菌に由来するカビ臭発生要因の解析, 第38回日本水環境学会年会講演集, pp293, 2003.3.