

## VII-5

## 現場条件を考慮した底泥溶出試験について

開発土木研究所 正員 ○坂井 一浩  
 正員 中津川 誠  
 北海道開発局 池田 共実

## まえがき

富栄養化が懸念されている停滞性水域における水質変化の主な原因は、流域からの高負荷の流入及び底泥からの溶出などが考えられる。このような水域の水質予測をする際に、基本的且つ重要な流入負荷は適時流量観測と採水分析によりその量が把握できるが、底泥溶出負荷量については、底泥溶出試験を実施しなければ求められない。試験方法には、現地試験と室内試験とがあるが前者には気象条件・水質の状態・底泥の状態および試験精度管理などに多くの課題が含まれ、後者には実施された例が少ない。ここでは、5箇所の停滞性水域においてサンプリングした底泥試料を用いた室内試験を通して、試験方法とその結果から得られた知見を報告する。

## 1. 試験実施計画

自然界での底泥溶出は、気象及び水質の状態によって大きく変化するので、室内試験においては現況調査結果をもとに水温、酸素の溶存状態を反映した条件を設定しなければならない。ここでは藻類の成長を考慮し水温を5℃、10℃、20℃、25℃の4ケース、酸素の溶存状態は嫌気、好気条件。さらに現場での溶存酸素の変化を考慮し、安定した好気・嫌気状態ではない不安定な状態をDO 3 mg/Lの希薄酸素溶存状態で表した3ケースを実施した。5℃、25℃は5地点、10℃、20℃はその内2地点のサンプルで実施した。溶出速度はBOD, COD, IN, IPを求めた。

## 2. 採泥および試験機具

室内試験において現場の溶出状態を再現させるためには、採泥に細心の注意を払うのは勿論だが、対象となる底泥は水域の底部を代表するものでなければならない。採泥した試料は乱さないように溶出試験機具に移す。この行程は試料の底泥環境に変化を与えることになるので、迅速に、底泥を極力乱さない事に注意が必要である。カラムの形状寸法は、径：20 Cm, 高さ：100 Cmとした。

## 3. 溶出試験方法

## 1) 試験条件の設定

事前準備として底泥の状態を確認する事が重要である。嫌気ケースを実施する場合、底泥が嫌気状態にならないければ、底泥中に含まれる酸素によって好気状態を維持するため嫌気条件とならない。今回は底泥を嫌気状態にするため窒素ガスを底泥に乱さないように注入し、ORPが安定したマイナスの値を示すまで継続する方法をとった。

希薄酸素溶存状態としてDOを3 mg/Lにするには、水中に窒素ガスを注入する方法をとった。なお、DOを3 mg/Lとしたのは、窒素ガスを注入し酸素を追い出しつづけると、DOが3 mg/Lを下回ると急激に嫌気状態となり希薄酸素溶存状態を維持出来なくなるため、試験管理上の限界と判断したためである。また、脱窒防止としてpHを中性に保こととした。水温の維持は恒温室によって維持管理をする。恒温室は水中に含まれる藻類の成長の影響を、極力押さえるため暗室とした。

## 2) 分解と形態変化

試験容器の中では底泥からの溶出の他に、物質の分解と形態変化も同時に発生しているので、それぞれの量を計測しなければならない。

---

Investigation of nutrient Release from sediments taking into account Field Conditions  
 by Kazuhiro SAKAYI, Makoto NAKATSUGAWA, Tomomi IKEDA.

溶出を求める基本的な考えを下記に示す。

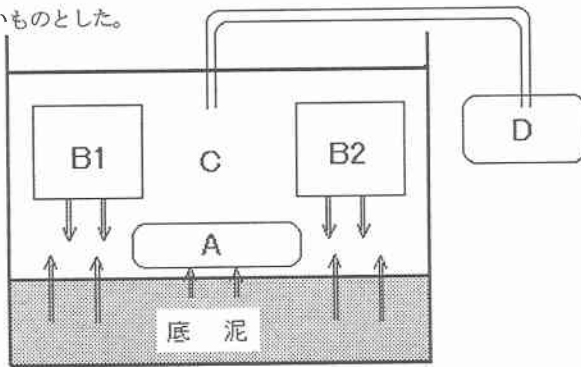
試験結果として求められる溶出  $D = \text{真の溶出} A - (\text{分解} B) \pm \text{形態変化} C$   
となるので

真の溶出  $A = \text{試験結果として求められる溶出} D + (\text{分解} B) \pm \text{形態変化} C$   
となる。

(分解B)には、底泥のバクテリアによるものと添加水に含まれるバクテリアの分解がある。バクテリアの分解の影響を除去するには、滅菌する方法も考えられたが、底泥と水が接触する状況で滅菌をコントロールする事は無理であった。そこでこの分解を求めるには試料ごとに現地採水水と底泥3%をかくはん抽出後、ろ過して試験水を調製し別途分解試験を実施し、溶出を補正する方法をとった。

分解試験を実施した際、一部に時間経過とともに濃度上昇が見られた。これは、高分子化合物の低分子化や窒素の酸化(硝化)が原因と思われる、真の分解を求めるには最終BOD(UOD)評価の必要性がある。そこで溶存酸素の消費状況をモニターし最終的に酸素消費のないT日(プラトーになる)まで試験を実施し分解率を求めた。

形態変化Cは、IN→ON, IP→, OPと分解して移行したものが含まれるため、この分をマイナスとする。またON→IN, OP→IPの場合は逆の現象としてプラスとした。BOD, CODは形態変化はしないものとした。



- A : 底泥からの真の溶出
- B1 : 底泥から溶出したバクテリアによる分解
- B2 : 添加水のバクテリアによる分解
- C : 窒素・リンの形態変化
- D : 分解・形態変化を考慮しない溶出

図-1 溶出現象模式図

表-1 試験条件設定

条件	溶出	分解
温度	恒温室で一定に保温	同左
溶存酸素量調整	窒素ガス、空気※1で調整	同左
溶存酸素	好気	好気状態後密封
	DO3	DOを3mg/Lに調整後密封
	嫌気	
採水分析	20日間で7回底部付近より一定量採水分析	15日間で4回分析一定量採水分析
保存状態	暗所保存	同左
その他	BODはCODとの比より変換。 BODの分解は脱酸素係数算出法による。	

※1 空気は0.5N硫酸及び0.5N水酸化ナトリウムで洗浄している。

※2 底泥への添加水は現地採水をろ過して使用している。

※3 試験期間中の採水に伴う添加水の追加は行わない。

今回の実験からガスの注入については、次の点について注意が必要であった。

- (1) カラム中の溶存酸素は、完全混合にしなければならない。
- (2) ガスの注入によって底泥を、巻き上げてはならない。

この条件を満たすため各条件別に、パブリングの量を設定した。

表-2 ガス注入量

条 件		注 入 量	備 考
好 気		約0.25 L/min	空気
DO3mg/L	水温 5℃	約0.11 L/min	窒素ガス (99.999%)
	25℃	約0.05 L/min	〃
嫌 気		約0.25 L/min	〃

#### 4. 溶出・分解速度の算出

溶出速度は次式により採水時の溶出量を求め、一次回帰式の勾配より速度を求めた。

$$M1 = \frac{\sum_{i=1}^n (V_0 - \sum_{i=1}^n V_{i-1}) (C_i - C_{i-1})}{S}$$

ここで、 $V_0$  : 初期直上水量                       $V_i$  :  $i$  回目の採水量  
 $C_i$  :  $i$  回目の直上水濃度                       $M_i$  :  $n$  回目までの溶出量  
 $S$  : カラム断面積

分解速度は、脱酸素係数法によるBOD以外は次式により近似的に算出し、経過日数と変化量との一次回帰式の勾配から求めた。また、マイナスの勾配を持つ場合は0とした。

$$\text{分解率 (1/日)} = (C_0 - C_i) / (C_0 \cdot \Delta T)$$

ここで、 $C_0$  : 初期濃度  
 $C_i$  :  $i$  日後の濃度  
 $\Delta T$  :  $i$  日後までの日数 (概ね変化がプラトーになるまで)

#### 5. 底泥溶出試験結果

ここでは、藻類の成長に大きく影響する無機態リンの溶出の結果をあげる。

一般的には無機態リンの溶出は、好気条件においては溶出せず、嫌気条件の時に溶出すると考えられていたが、今回の試験結果からは溶存酸素量が少なく、水温が高くなると溶出の傾向が強まる結果が得られた。また、溶出傾向も数パターン見られた。平均的な溶出速度を好気状態・水温25℃のケースを1とした場合の溶存酸素量別の対比表を示す。

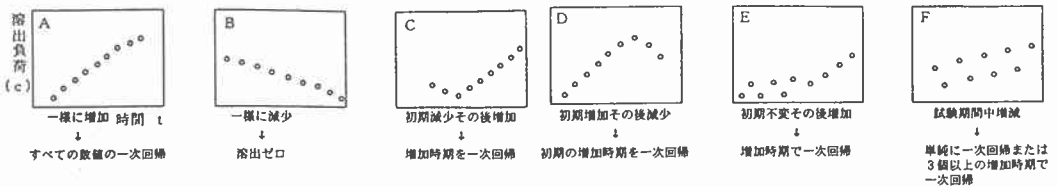


図-2 溶出パターン模式図

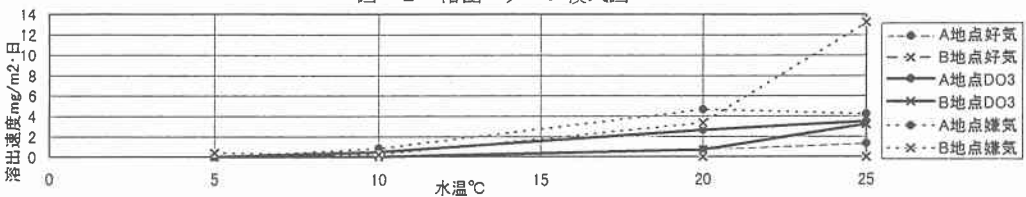


図-3 無機態リンの溶出結果

表-3 溶出速度対比表

項目	好気	DO3mg/L	嫌気	備考
B O D	1.0	0.4	0.4	25℃
C O D	1.0	1.3	1.5	"
I N	1.0	1.2	1.7	"
I P	1.0	18.0	88.0	"

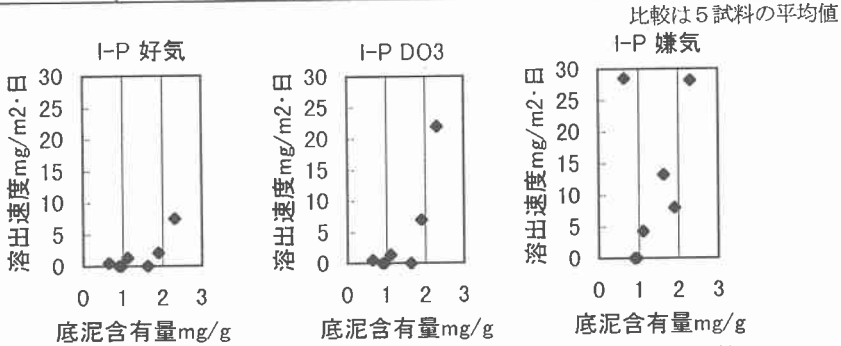


図-4 水温25℃における底泥含有栄養リン濃度とリンの溶出速度の比較

あとがき

今回の試験結果から好気状態、特に希薄溶存酸素状態の底泥から栄養塩の溶出が確認された。また、底泥の違いによる溶出傾向を確認するため底泥中の含有栄養塩濃度と溶出速度の関係を見た。水温が高ければ若干相関があるものの、全体的には無相関の結果が得られている。(図-4参照) これは、底泥中の栄養塩が水中に比べ 1000 倍程度もあり、若干の底泥含有栄養塩濃度の違いでは、水中の栄養塩濃度との間では影響を及ぼすことがないためと考えられる。

また、分解速度にも底泥の違いによるばらつきが見られた。分解試験は底泥とそのサンプリングした地点の水質及び底泥に含まれるバクテリアの特徴による影響が現れたものとする。

これらのことを整理すると

- ・好気状態でも栄養塩は溶出している。
- ・溶存酸素量が少ないほど溶出速度が増す。
- ・水温が高いほど溶出速度が増す。
- ・底泥の栄養塩含有量と栄養塩溶出量には、明らかな関係は見られない。
- ・分解速度は、サンプリング箇所別に違いがある。

以上の結果から考えると

底泥溶出試験は、同じ水域でも堆積する底泥毎に溶出速度の違いがあり、さらに底泥やバクテリアのコンディションは気象や流域環境の変化による影響が考えられ、将来の予測に底泥からの溶出速度を設定するには、広域的に近傍水域での複数の試験の実施が必要と考える。DO3mg/Lの結果は、局所的な水質を予測するもので無い限り、水域の現場の状態を反映した溶出速度として、好気・嫌気状態の試験よりも有効な値が得られるものと考えている。

今後は、溶存酸素濃度による溶出速度の関係、底泥生成の違いによる溶出速度の関係について確認したいと考えている。

参考文献

- 1) 坂井一浩、中津川誠、藤田満士、平成8年第30回日本水環境学会年会講演習、p395