

閉鎖性水域における底泥の窒素・リンの挙動

広島大学工学部 正 員 寺西 靖治
同 上 正 員 今岡 務
同 上 学生員 山内 秀峰
同 上 学生員 ○安田 雅一

1. はじめに 広島城の内堀では富栄養化が進行しており、昭和49年頃から魚類の大量死も度々見られている。また、景観の悪化によって、観光事業にも障害をきたしている。堀水の浄化対策としては、水中ポンプの設置、ビニールシートの敷設、堀底の一部の固化などがこれまでに行われてきたが、十分な効果をあげるに至っていないのが現状である。本内堀の水質悪化の原因は、供給水として用いられている井戸水中の多量の窒素・リン、底泥からの栄養塩の溶出が考えられる。そこで、本研究では底泥における窒素・リンの挙動に着目し、不攪乱試料を用いた底泥溶出実験により、窒素・リン溶出速度の評価を行うとともに覆土による溶出抑制効果について検討を行った。

表-1 実験条件

2. 実験方法 実験に用いた底泥は、広島城の内堀において船上から乱さないよう採取した。実験装置は恒温室および実験室内に設置し、藻類の影響を除くため暗条件で行った。また、底泥直上水は実験カラムから底泥を乱さないよう抜き取り、ガラス繊維フィルターによってろ過した水と入れ替えた。流入水も同様内堀水のろ過水を用い、定量ポンプによって供給した。実験条件は、覆土の有無など表-1に示すように与え、実験期間は7日間とした。なお、覆土は海砂を底泥上に約15cmの高さで乱さないよう行った。直上水の水深は堀水深を考慮し、約1mとした。

カラム	採泥日	採泥地点	水温(℃)	条件	直上水容量(ml)
No. 1	1989.10.9	St.6	6.5	—	5542.3
No. 2			28	—	5357.5
No. 3			14.5	覆土	5014.4
No. 4			14.5	—	5545.0
No. 5	1989.12.11	St.4	19	—	4890.2
No. 6			19	覆土	4647.3
No. 7			19	—	4752.9

過水を用い、定量ポンプによって供給した。実験条件は、覆土の有無など表-1に示すように与え、実験期間は7日間とした。なお、覆土は海砂を底泥上に約15cmの高さで乱さないよう行った。直上水の水深は堀水深を考慮し、約1mとした。

温度については実測の結果、室温と水温がほぼ一致した。流出水量と流出水質に関して1日毎に、また最終日には、実験カラム中の水を上、中、下の3層に分けてその水質を測定した。流入水質についても1日毎に測定し、その平均値を流入水質とした。溶出速度 S (mg/m²/day)は、溶出量 M_t をもとに次式によって算出した。

$$S = \frac{M_t}{t} \cdot \frac{1}{A}$$

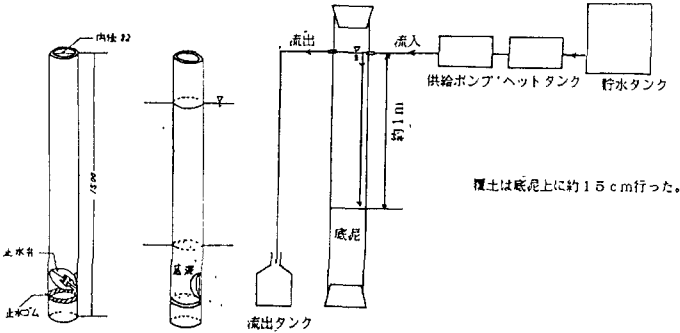
(単位: mm)

図-1 採泥器と実験装置

ここで、 t : 実験日数 (day), A : 実験カラムの底面積 (m²)。また、 M_t の算出は、次式によった。

$$M_t = C_t \cdot V + \sum_{i=1}^t C_i \cdot V_i - C_0 \cdot V - C_r \cdot V_r$$

ここで、 M_t : 底泥からの窒素・リン溶出量(mg), V : 直上水容量 (l), V_i : i 日目の流出水量 (l), V_r : t 日間の総流入水量(l), C_t : 直上水の実験終了時の濃度 (mg/l), C_i : i 日目の流出水濃度(mg/l), C_0 : 直上水の実験開始時栄養塩濃度 (mg/l), C_r : 流入水質 (mg/l)



なお、CとしてはT-N、T-Pを用いた。実験終了後、底泥および間隙水中の窒素・リン濃度の測定を行った。試料の採取は、底泥部分については上から0~2、2~7、7~12および12~17cmの4層に、覆土部は0~7.5、7.5~15cmの2層に分けて行った。また、No. 5とNo. 6の底泥のリンについては、無機態リンの分画定量¹⁾も行った。

3. 実験結果および考察 実験結果より、窒素の溶出速度は、図-2(a)に示すように覆土した場合を除けば、6.5~28℃で4.7~191.5 mg/m²/dayと温度の上昇に伴い、直線的に増加する傾向がみられた。リンについても4.7~22.0 mg/m²/dayと窒素と同様な傾向を示した。一方、覆土した場合には、14.5℃で、窒素に関しては13.5 mg/m²/day、リンに関しては2.8 mg/m²/dayと顕著な低下がみられ、覆土による窒素・リンの溶出抑制効果が確認された。

底泥および間隙水の分析結果を表-2に示す。覆土部の酸化還元電位は、+168~+215mVと実験終了時でも概ね好気状態であったと考えられるのに対し、その下にある底泥部(No. 6)では-173~-243 mV、またNo. 5でも-328~-345 mVの値を示し、底泥中は還元状態であると推定された。また、No. 5とNo. 6を比較した場合、ほぼ同じ地点で採泥されたにも関わらず、含水比を始めとして分析結果には大きな相違がみられた。例えば、Kje-Nで示した窒素含有量は、No. 5が1.0~10.6 g/kgであったのに対し、No. 6では0.3~1.3 g/kgとかなり低い値を示した。リンについても同様な傾向がみられる。これは、No. 6の底泥中には過去のビニールシート敷設時に行われた覆砂が多量に含まれていたのに対し、No. 5はほとんどが沈殿物によると思われる有機汚泥で形成されていたためである。この覆砂の含有は、No. 5においても12~17cmの部分で含水比その他にその徴候が明

らかに認められる。一方、No. 5の間隙水中の窒素は大部分がアンモニア性窒素であり、リンもほとんどが無機態のリンであるが、0~2cmにおける値は2~7cmおよび7~12cmでの値と比較すると低下が認められ、直上水中へのこれらの溶出を示唆した。また、No. 6の覆土部の結果をみると、土中のT-PおよびCa態のリンがとくにその下の底泥部での値に近づいていることが理解される。これより、底泥部から溶出してきたリンが覆土部において再度Caと化合して捕獲されている可能性が推測される。窒素については、底泥部2~7cmでのKje-Nが1.3 g/kgであったのに対し、覆土部では0.11~0.18 g/kgとそれほど増加しているとはみられない結果となっており、覆土による溶出抑制効果が吸着以外の作用によることを示唆した。

〔参考文献〕(1) 細見、稲森、須藤：第40回土木学会年次学術講演会講演概要集II-436, 1985.

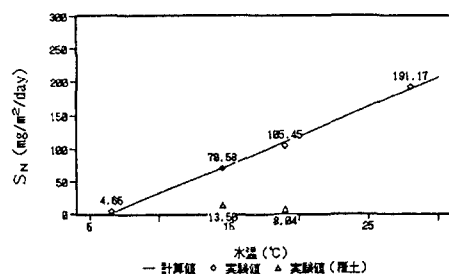


図-2(a) 窒素溶出速度と温度との関係

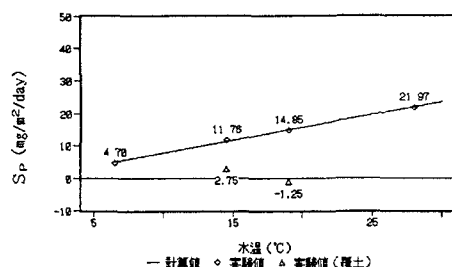


図-2(b) リン溶出速度と温度との関係

表-2 底泥および間隙水の分析結果

分析項目	No. 5					覆土					No. 6				
	0-2	2-7	7-12	12-17	0-7.5;7.5-15	0-2	2-7	7-12	12-17		0-2	2-7	7-12	12-17	
含水比 (%)	942.4	717.3	540.7	55.3	21.5	22.5	52.2	51.0	37.8	25.7					
乾燥減量 (%)	30.8	26.3	19.5	4.7	1.7	0.9	2.3	3.4	3.8	0.9					
比重	1.56	1.63	1.96	2.31	2.47	2.43	2.35	2.18	2.37	2.30					
酸化還元電位(mV)	-345	-339	-328	-348	+215	+168	-171	-218	-173	243					
Kje-N ²⁾	10621	10437	8228	1025	179	114	1274	620	473	280					
間隙水															
T-N	229.5	251.5	248.2	27.1	1.5	8.0	19.2	14.5	25.6	18.5					
NH ₄ -N	180.1	203.5	204.2	19.8	1.2	2.6	8.3	6.8	6.9	5.4					
水 NO ₃ -N	23.5	29.7	40.8	6.5	0.3	0.3	10.7	7.6	18.6	12.9					
T-P ²⁾	603.0	555.5	810.0	229.0	212.5	273.0	214.0	337.0	373.5	189.0					
T-P	12.9	48.6	37.2	3.4	0.02	0.03	1.0	0.8	1.6	1.5					
PO ₄ -P	12.9	48.9	35.2	3.2	0.01	0.02	0.3	0.4	1.0	1.0					
リンの分画定量															
NH ₄ Cl抽出	64.1	73.6	63.3	11.0	1.3	1.3	4.1	4.5	5.0	3.8					
Ca態	890.0	937.2	783.3	149.7	68.3	82.2	157.2	185.9	113.5	114.0					
Fe態	19.1	19.0	12.1	1.6	0.2	0.3	2.1	1.7	1.9	1.9					
Al態	1.6	0.3	0.2	0.3	0.03	0.04	0.04	0.1	0.3	0.5					

1) 単位のないものは、乾土あたり (mg/kg)

2) 土の分解による (Kje-Nは有機性窒素+アンモニア性窒素である)