３－２　　溶解性りん再溶出に関する調査

東部第一管理事務所　砂町水再生センター
河野里名　鷲巣 清　神谷宇一郎　杉俣哲太郎
石井英俊(現みやぎ水再生センター)
藤田朋洋（現有明水再生センター）

１．概要

砂町水再生センター東陽系水処理施設では、反応タンクで活性汚泥中に取り込まれた溶解性リン（以下、PO_4-P）が第二沈殿池において再溶出することが確認されている。再溶出は系列や運転条件により大きく変動し、当センターにおける水処理上の課題となっている。

このような現象が起きると反応槽試験の結果からはりんの処理性を把握できなくなる。

このことから、リン処理を効率的に行うためには第二沈殿池での再溶出のメカニズムを把握し、抑制できる条件を検討していくことが必要である。

今回、どのような条件下で PO_4-P の再溶出が生じるかについてテーブル実験による基礎調査を行ったところ、混合液中に硝酸性窒素（以下、NO_3-N）が検出されないときに再溶出が起こることが明確となった。

テーブル実験の結果をもとに行った実施設でのフィールド調査では、年間を通してみると第二沈殿池での再溶出量が多くなるのは、硝化が進まなくなる冬場であることが確認された。また、第二沈殿池下段流入渠を用いると再溶出を抑制できることが分かった。

これらの調査結果について報告する。

２．テーブルテストによる調査

2.1　調査方法

反応タンク出口の混合液を採水し、図-１に示す実験装置のフラスコに加えた。フラスコ内は嫌気状態を常に保つように攪拌を行った。一定時間ごとにＯＲＰ値の読み取り、試料採取用の注射筒で装置内の混合液を約 10ｍｌ採取した。採取した分の混合液はビーカーから補充されるようにし、フラスコ内の嫌気状態を保った。採取後すぐに 0.80μｍのフィルターでろ過を行い、NO_3-N と PO_4-P の分析を行った。

図-1　実験装置

2.2　検討内容

テーブルテストでは PO_4-P 再溶出について以下のことを調べた。

① 混合液中の NO_3-N と再溶出の関係
② 再溶出が限界まで達したときに汚泥中に含まれるリンの割合
③ 再溶出が起きるときの ORP 値の変化
④ 混合液の MLSS 濃度と再溶出速度

2.3 結果と考察

2.3.1 PO_4-P 再溶出と NO_3-N の関係

反応タンク出口混合液を図-1の装置に入れ NO_3-N と PO_4-P の変化を調べた。結果を図-2に示す。

実験開始時 NO_3-N 濃度は 6.0mg/L あったが、しだいに減少して4時間後に 0.0mg/L となり、その後も検出されなかった。

PO_4-P 濃度には、実験開始直後は変化が見られなかったが、4 時間後から急激に溶出が始まり濃度が上昇した。

溶出が始まった時間は NO_3-N が検出されなくなった時間と同じ実験開始4時間後であったことから、NO_3-N の存在下では、PO_4-P は再溶出しないことが明らかになった。

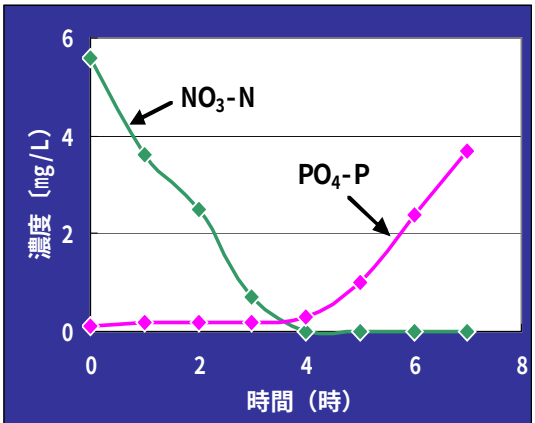


図-2 NO_3-NとPO4-Pの関係

2.3.2 PO_4-P の再溶出量の限界

反応タンク出口の混合液を嫌気状態に長時間放置し、PO_4-P 再溶出の限界量を調べた。結果を図-3に示す。

この時の試料は実験開始時から NO_3-N は検出されなかったため、すぐに PO_4-P の溶出が始まり、溶出量は直線的に増加した。

しかし9時間後 PO_4-P 濃度 25.0mg/L で溶出は止まり、24 時間後もほぼ同じ濃度であった。

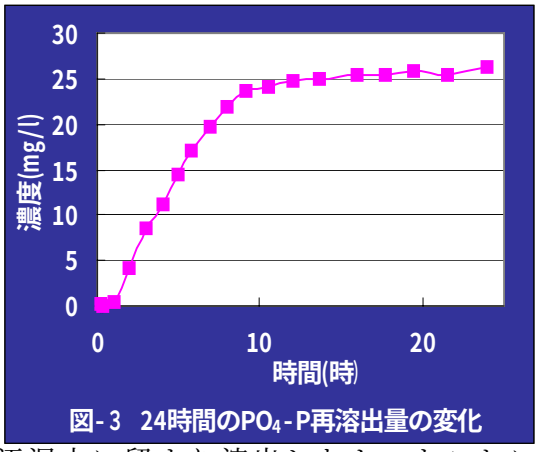


図-3 24時間のPO4-P再溶出量の変化

この試料はＳＳ中に 50.3mg/ L（MLSS 中の含有率 3.8%）のりんを保持していたことから、そのうち半分のりん(1.9%)が PO_4-P として溶出し、残りは汚泥中に留まり溶出しなかったことになる。

同様の実験を 2002 年 11 月～2003 年 3 月までの間に系統や槽を変えて行い、24 時間後の SS 中のリン含有率を求めた。結果を表-1 に示す。実験開始時の含有率は 2.0～4.0%とばらつきがあるが、24 時間後の含有率は 1.8～2.1%とほぼ一定の割合であった。

このことから、実験開始時のリン含有量や系統に関わらず MLSS に対して 1.9%のりんは SS 中に留まり、溶出しないことが分かった。

表-1　２４時間後の MLSS 中に含まれるりんの割合

系統	東陽系				砂系		平均
槽	8－1	8－2	6－2	4－1	1	1	
実験開始時のりんの含有率 (%)	3.9	3.8	4.0	3.0	3.2	2.0	－
２４時間後のりんの含有率 (%)	2.0	1.9	2.1	1.8	1.8	1.9	1.9

2.3.3　ＯＲＰ値の変化

PO_4-P 再溶出と ORP 値の関係について調べた。図-4 に時間ごとの PO_4-P 溶出量の変化を図-5 に ORP 値の変化を示す。

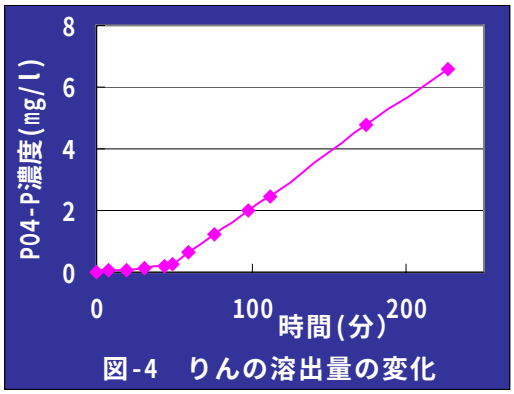


図-4　りんの溶出量の変化

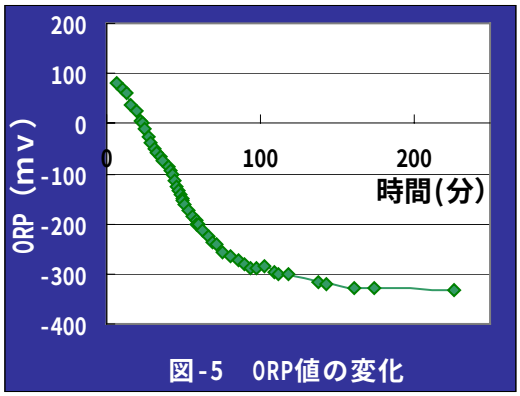


図-5　ORP値の変化

PO_4-P の再溶出は実験開始約 50 分後から始まり、200 分後も溶出量は直線的に増加した。

ORP 値は実験開始直後から減少し 25 分で 0 mv 以下になり、100 分を過ぎ-280mv を下回った時点でほぼ一定となった。図４のグラフを用いて PO4-P の溶出が始まった時間とこの時の ORP 値を求めたところ、溶出開始時間は 47.4 分、ORP 値は-134 mv であった。

同様の実験を２回行ったところ溶出開始 ORP 値は-149 mv と-158 mv となり、３点の平均は-147mv であることから、PO_4-P の再溶出は ORP 値が-150 mv 付近で始まると考えられる。

また、ORP 値が一定となった 150 分以降も PO_4-P 溶出速度に変化は見られなかったことから、ORP 値が-150 mv 以下の時 PO_4-P 溶出速度は一定であると推定する。

2.3.4　PO_4-P 再溶出と MLSS の関係

MLSS 濃度が PO_4-P の再溶出挙動に与える影響を調べた。

反応タンク混合液をビーカーに３本採取し、そのうち１本を上澄みと汚泥に分け、残り２本に加えた。この時、汚泥を加えたものをＡ、上澄みを加えたものをＢとしたところ、MLSS 濃度は A が 1940mg/L、B は 886mg/L となった。この試料を嫌気状態にした時の PO_4-P の再溶出速度は A が 1.84mg/時、B は 0.79mg/時であった。

この結果から１ｇの汚泥が１時間で溶出する PO_4-P の量を求めると、A は 0.95mg/g･時、B は 0.90mg/g･時となり１時間で溶出する量はほぼ同じであった。

このことから、再溶出に影響を与える他の条件（水温や硝化の程度など）が同一の場合 PO_4-P の再溶出量は MLSS 濃度に比例することが確認された。

2.4　テーブルテストのまとめ

① 混合液中に NO_3-N が存在するとき PO_4-P の再溶出は起こらないことが明確になった。

② MLSS 中のリンの内、一定割合のりん(含有量 1.9%)は嫌気条件下においても溶出せず、汚泥中に留まることが分かった。

③ PO_4-P 再溶出が始まる ORP は-150mv であった。

④ PO_4-P の再溶出量は溶出に関する他の条件が同じとき MLSS 濃度に比例することが確認された。

３．東陽系第二沈殿池における再溶出の状況

3.1　東陽系第二沈殿池概要

東陽系第二沈殿池は二階層になっており、容量はどちらも同じである。ピットは上段・下段に共通して１つである。流入渠は上段流入渠と下段流入渠があり、上段はピット上部から、下段はピット上を管で通過し第二沈殿池へ流入する。

現在流入渠は上段を開度 100%で使用しており、下段は水量が増加した際に汚泥の巻上げや泥の流出が懸念されるため使用を控えている。

3.2　年間を通した再溶出の状況について

東陽系第二沈殿地での再溶出の調査結果を図-6 に示す。これは東陽系６号槽 2002 年 11 月～2003 年 10 月までの再溶出量（第二沈殿池末端の上段・下段の PO_4-P 濃度の平均から反応タンク出口の濃度を差し引いたもの）と反応タンク出口の NO_3-N 濃度との関係を求めたものである。

他の月に比べて１月、２月は高い再溶出が起こっていた。特に２月の再溶出量は 3.0mg/L を超えた。１月、２月とも反応タンク出口で NO_3-N は検出されなかったことは先の「**NO_3-N が存在しないときには PO_4-P の溶出が起こる**」という結果と一致する。また、NO_3-N が検出された３月以降再溶出量は急激に減少し 1.0mg/L を下回るようになった。

東陽二系反応タンク出口の NO_3-N 濃度と第二沈殿池の再溶出量の関係を図-７に示す。これより、NO_3-N 濃度が 0.0mg/L(n=16)の時は平均で 1.9mg/L、最大で 3.1mg/L の PO_4-P 再溶出が確認された。NO_3-N 濃度が 0.5～1.0mg/L(n=9)の再溶出量は平均で 0.8mg/L、最大で 1.2mg/L であり、NO_3-N 濃度 0mg/L の時と比べると再溶出量が大幅に少なくなっていた。

このことから、反応タンク出口の NO_3-N 濃度は 1.0mg/L 程度でも PO_4-P 再溶出を抑える効果があることが分かった。

また、NO_3-N 濃度が 8.0mg/L 以上の時も第二沈殿池で 0.7mg/L（n=28 平均値）の PO_4-P が再溶出していることが確認された。

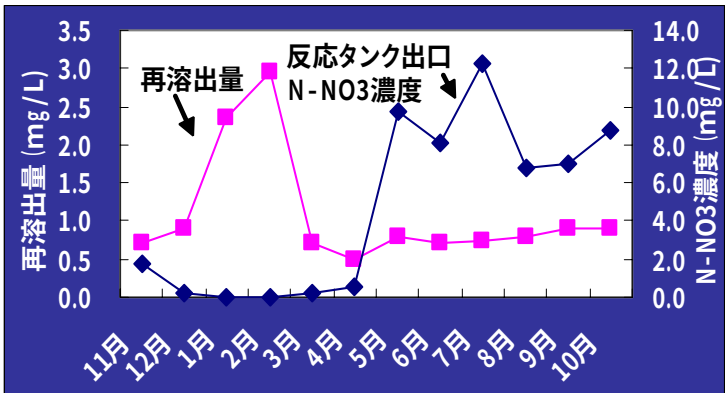


図-6　東陽系6号槽における再溶出量と硝酸性窒素

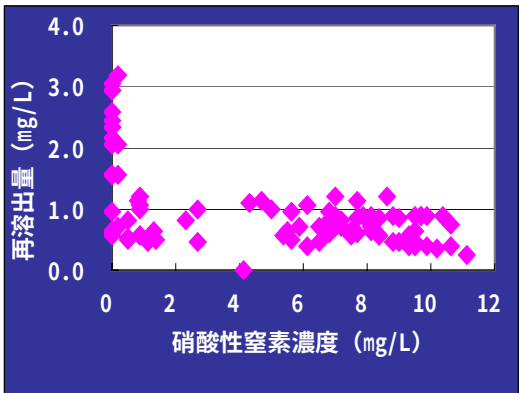


図-７　硝酸性窒素と再溶出量

反応タンク出口及び第二沈殿池上段と下段の PO_4-P 分析結果を図-８に示す。

上段の PO_4-P 濃度は再溶出量が多い１月、２月においても 1.0mｇ/L であり、他の月と大きな差は見られない。しかし下段の PO_4-P 濃度は極端に高くなっており、２月は 4.8mg/L であった。

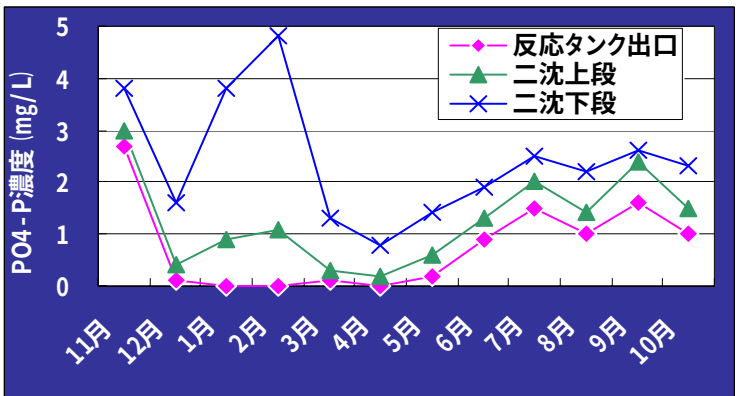


図-8 第二沈殿池PO4-P濃度

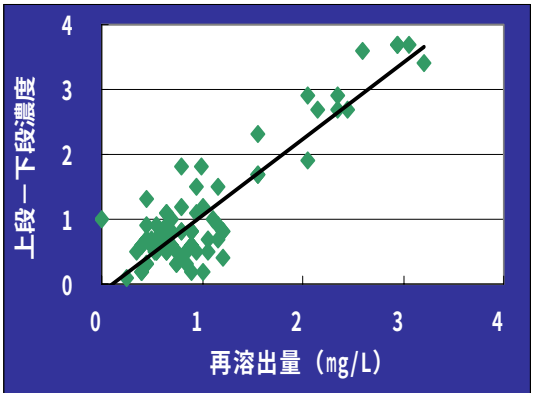


図-9 再溶出量と上段・下段の濃度差

この上段・下段の差と再溶出量の関係を図-9に示す。これより上段と下段の濃度に差があるときには再溶出量が多くなる傾向があり、再溶出量が多い時はほとんどが下段からの溶出であることが確認できた。

以上のことから、当センターのリン除去は第二沈殿池下段における PO_4-P 再溶出のメカニズムを把握し、コントロールすることが大切であることが分かってきた。

そこで現在使用していない第二沈殿池下段流入渠を用いて再溶出を抑制する効果が得られるか否かを検証した。

3.3 再溶出がおこる仕組み

二階層となっている東陽系第二沈殿池の再溶出は下段で起こっていることが多い。その原因の 1 つに上段で掻き寄せられた汚泥が下段流入水と接触することが考えられる。そのときの状況を表したものを図-10 に示す。

現在のように、上段の流入渠のみ使用した場合、上段かき寄せ汚泥と流入水の接触が多いため、第二沈殿池の PO_4-P 濃度が高くなると考えられる。

上段・下段の流入渠を併用すると、上段流入渠から二沈下段へ流入する水が減少する。

ピット上を通過し下段へと流入する水が少なくなることで、かき寄せ汚泥との接触量がへり、結果として再溶出量は抑制されると考えられる。

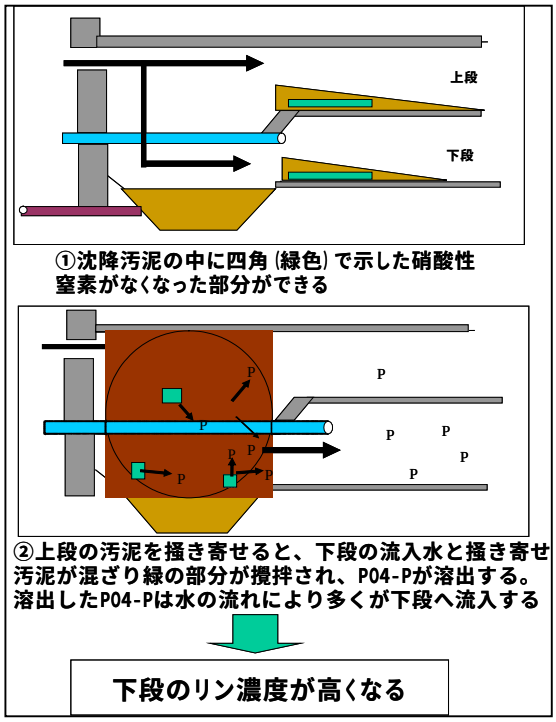


図-10 溶出が起こる状況

4．第二沈殿池下段流入渠使用に関する調査

4.1 条件

本調査の条件は以下のとおりである。

○調査期間：2004 年 1 月 15 日～2 月 12 日(下段使用は 1 月 27 日～2 月 12 日)

○調査実施槽：東陽系 6 号槽　上段流入時開度　上段：450/450　下段：　0/450

上段・下段併用時開度　上段：200/450　下段：200/450

対照槽　：東陽系 5 号槽　上段開度：450/450　下段開度：　0/450

○高級処理水量

調査期間中の東陽系高級処理水量を図-11 に示す。2/2 に降雨により 350000m³/日を超えた他はおおむね 300000m³/日前後であった。また、5 号槽に比べて 6 号槽の水量が多い傾向があり、晴天時 6 号は 5 号の 1.1 倍の水量が流入していた。

○反応タンク条件

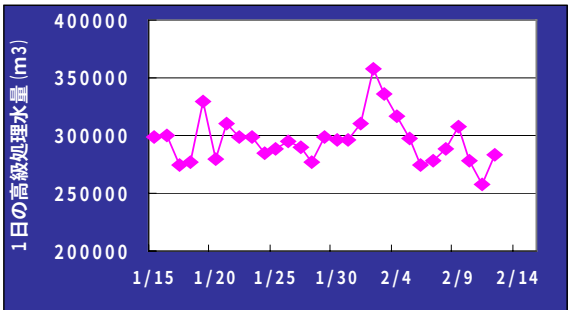
反応タンク出口の MLSS 濃度の変化を図-12 に示す。6 号の MLSS 濃度は常に 5 号よりも高く、汚泥が蓄積しやすい状態にあった。

また、調査期間中の反応タンク出口の DO 設定値は 2.5mg/L であった。

○第二沈殿池

調査期間中の返送率は 5・6 号ともに 32～35%であった。

調査期間中晴天の平日 10 時の平均滞留時間は 3 時間 8 分であった。



図－11 東陽系高級処理水量

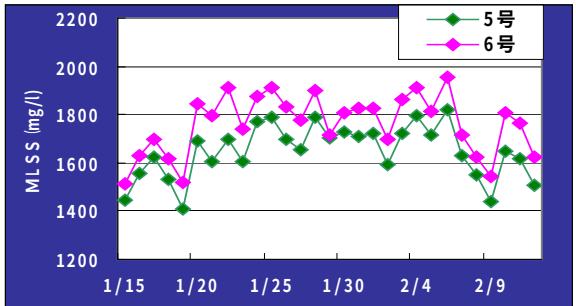


図-12 調査期間中のMLSS

4.2 結果と考察

4.2.1 下段流入渠使用による再溶出量の変化

上段のみの使用時と上段・下段併用した時の再溶出量の違いを調べた。比較方法は、再溶出量を MLSS で割り、1 g の MLSS から溶出する PO_4-P 量の日変化とした。下段流入渠を使用した 6 号槽の結果を図-13、使用していない 5 号槽の結果を図-14 に示す。

図-13 の 6 号槽はグラフ中の破線から左側が上段からの流入、右側が上段・下段を併用したときの結果となっている。

上段の使用時は 1g の MLSS から溶出する PO_4-P は 1.8mg/g(n=5　1 月 16 日～27 日平均値)であった。上・下段併用した時の再溶出量は 1.5mg/g を下回ることが多く、2 月 4 日～12 日の再溶出量は平均 1.1mg/L(n=5)に減少した。

上段からの流入のみである 5 号槽は 1.3mg/g 程度の再溶出量で 6 号槽に比べると少なかった。

再溶出量の平均は 6 号槽での上段使用期間中は 1.2mg/g、上段・下段併用期間は 1.1mg/g となり、5 号槽では再溶出量に変化は見られなかった。

以上の結果から、第二沈殿池上段・下段流入渠の併用は再溶出量を抑える効果があることが確認された。

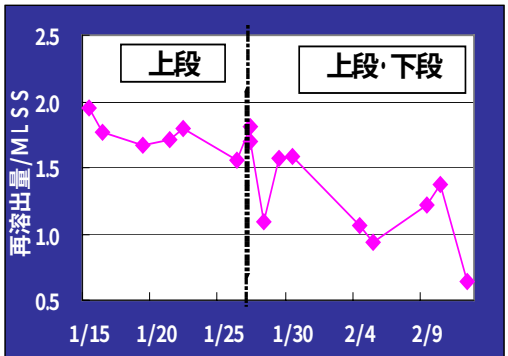


図-13 東陽系6号槽下段流入渠使用における MLSS1gあたりの再溶出量の変化

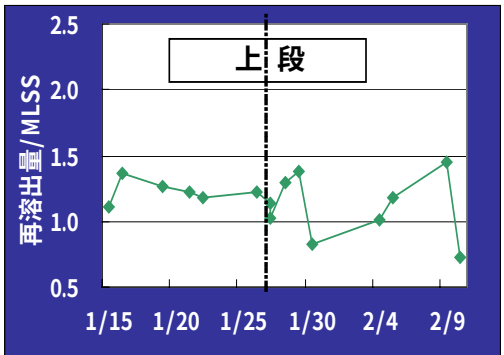


図-14 東陽系5号槽のMLSS1gあたりの再溶出量

4.2.2 下段からの再溶出抑制効果について

再溶出量が多い時は上段の再溶出量濃度はあまり変わらないが、下段の溶出量は増加することを 2.3.4 で述べた。

このため、下段の再溶出を抑制できれば再溶出量は大幅に減少し、安定したリン処理を行うことができる。

そこで、上段・下段流入渠の併用により下段の再溶出量を抑えることが可能か否かを調べた。

計算方法は下段の PO_4-P 濃度から上段の濃度を引いたものを MLSS で割って求めた。((上段-下段) /MLSS) 6 号槽の結果を図-15 に 5 号槽を図-16 に示す。

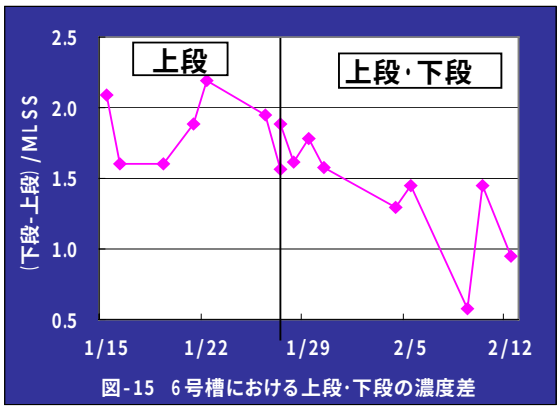


図-15 6号槽における上段･下段の濃度差

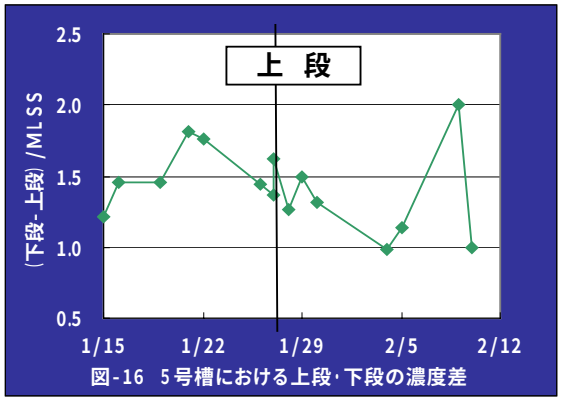


図-16 5号槽における上段･下段の濃度差

6 号槽では併用開始 5 日目から変化が現れた。上･下差を MLSS で割った値は上段からの流入時は 1.5～2.3mg/ｇであったのに対し、上段・下段の併用時は 2.0mg/L を超えることはなく、さらに併用開始 1 週間後からは 1.5mg/ｇを超えなくなった。

5 号槽では 6 号槽上段の流入期間は 1.5mg/ｇ、上段・下段併用期間は 1.4 mg/ｇとなり、下段を使用していない 5 号槽では差は見られなかった。　なお、6 号の下段流入渠の使用により、水量や水流が変われば当然 6 号の上段・下段の再溶出の割合も異なり、それでは正確なデータが取れたとは言えない。

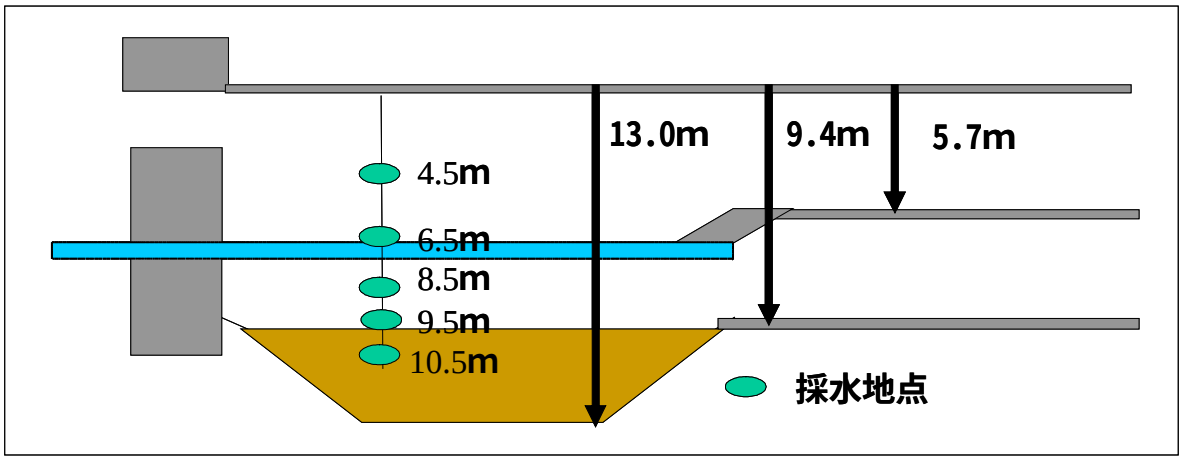
また、5 号と 6 号はばっき槽を出た後に導水渠で一緒になる。そのため 6 号へ入る水の流れが変わると、5 号の水の流れも変わり、再溶出量が変わる。しかしそれ以外にも再溶出した後上段・下段どちらかに進むかが違ってくる。

このことより、6 号上段と下段の濃度差の減少は下段流入渠を使用したためと考えられ、第二沈殿池下段流入渠の使用は、上段と下段の溶出量の差を減らす効果があることが分かった。

4.2.3　ピット上部の PO_4-P 濃度について

ピット上の水面を深さ方向に採水を行い、下段流入渠の使用によるピット上部の再溶出量の変化について調べた。第二沈殿池の採水箇所及び深さ関係を図-17 に示す。深さはすべて施設床面からの距離を表している。

上段からの流入時の結果を表-2 に、上段・下段併用時の結果を表-3 に示す。



図－17　東陽系第二沈殿池の断面図と採水箇所

表-２　下段流入渠使用前の結果

	PO_4-P	MLSS
反応タンク出口	0.0	-
4.5m	0.4	1240
6.5m	0.6	1220
8.5m	3.3	2140
9.5m	6.7	2950
10.5m	6.1	2900

表-３　下段流入渠使用時の結果

	PO_4-P	MLSS
反応タンク出口	0.0	-
4.5m	0.3	1040
6.5m	1.0	1690
8.5m	2.0	2160
9.5m	6.6	3160
10.5m	6.2	3320

どちらも深さが増すごとに PO_4-P 濃度、MLSS 濃度ともに高くなった。特に PO_4-P 濃度はピット上部にあたる 9.5mで急激に上昇した。この地点の MLSS１ｇあたりの溶出量は上段流入時 2.1mg、上段・下段併用時は 2.3mg となり、溶出量に差はなかった。

調査時のそれぞれの第二沈殿池再溶出量は、上段流入時が上段 1.3mg/L・下段 5.4mg/L、上段・下段併用時は上段 1.0mg/L・下段 3.3mg/L となり、上段はあまり差が見られなかったが下段は流入渠併用時のほうが 2.1mg/L 低い濃度であった。

ピット上では 1ｇあたりの溶出量に違いがないのに第二沈殿池 PO_4-P 濃度に差がでる理由は、下段流入渠の使用により上段流入渠から下段へ流入する PO_4-P 濃度の高い水が大幅に減少するためである。PO_4-P 濃度の高いこの水は、下段流入渠から流出した濃度の低い水に希釈される。この結果、第二沈殿池出口の下段の PO_4-P 濃度は上段からの流入の時よりも低くなっていると考えられる。

4.3 フィールド調査のまとめ

①反応タンク出口で NO_3-N 濃度が 0.0mg/ L の時には第二沈殿池で多量の溶解性リンが溶出していた。

②第二沈殿池上段・下段流入渠を併用することで第二沈殿池からの PO_4-P 再溶出を抑制する効果があることが確認された。

③ピット上を深さごとに採水を行った結果では、PO_4-P 濃度が増加する地点の MLSS１ｇあ

たりの PO4-P 溶出量は変わらなかった。しかし下段流入渠を使用することにより PO_4-P 濃度の高いピット上を通過する水が少なくなるため、第二沈殿池の再溶出量を抑えることができる。

５．今後の課題

第二沈殿池下段流入渠の使用は増水時に汚泥巻き上がりや流出が起こりやすいという問題を抱えているため、今まで使用を控えてきた。

しかし、第二沈殿池での PO4-P 再溶出を抑制するためには大きな効果を現し、安定したリン処理を行うためには欠かせないことが確認された。

そこで今後は､下段流入渠を使用するにあたっての最適な流入渠の開度や MLSS 濃度などの検討を行い、常に良好な水質が維持できる条件の把握に努める予定である。