

(8) 浄水スラッジ投入に伴う下水処理プロセスの影響評価

Study of the Effects on Wastewater Treatment by the Addition of Sludge from a Water Purification Plant

山崎 公子*, 小泉 明*, 荒井 康裕*, 鈴木 史人**

Kimiko YAMAZAKI*, Akira KOIZUMI*, Yasuhiro ARAI*, Fumito SUZUKI**

ABSTRACT; This study investigates the effects on wastewater treatment by the addition of sludge from a water purification plant. The wastewater treatment plant, located on Ogasawara Chichi-jima, has been adding water purification sludge to its wastewater since 1998. First, the effects of adding water purification sludge to wastewater were examined by statistical analysis of wastewater treatment plant management data. The effects were further analyzed on-site and the focus of the experiment defined through statistical and analytical findings and the examination of water quality at each level of wastewater treatment. As a result, it was demonstrated that TOC and $\text{PO}_4\text{-P}$ densities in wastewater plant influent and the phosphorus concentrations in treated wastewater were decreased by the addition of water purification sludge. Activated sludge was precipitated easily and there was an improvement in treatment efficiency. Finally, it was shown that the positive effects of the addition of water purification sludge on wastewater treatment continued for 4-5 days after the termination of treatment.

KEYWORDS; Sludge from a Water Purification Plant, Wastewater Treatment Process, Phosphorus, TOC, SVI

1. はじめに

浄水場の処理過程で生ずる浄水発生土量は、処理水量 $1\text{万m}^3/\text{日}$ の浄水場では乾燥重量換算で年間約 100 DS-t に達する。処理水量 $1\text{万m}^3/\text{日}$ 以上の浄水場について積算すると、日本全国では毎年 35.7 万 DS-t の浄水発生土が生じていることになる¹⁾。これらは、従来、濃縮および均質化を図った後、脱水・乾燥・固形化し埋め立て処分するのが一般的であった。しかし、廃棄物の減量・再資源化、埋め立て処分場の残余容量の不足などに伴い、農業用客土・培養土、土地造成資材、セメント原料や埋戻し材といった有効利用が近年行われている。一方、新たな利用方法として、浄水発生土に含まれる凝集剤によるリン吸着作用に着目した水処理技術の開発が行われており、リン吸着作用や活性汚泥の沈降性に着目した、下水道事業との共同処理化も検討され始めている²⁾。本研究室では、実験室規模での浄水スラッジの凝集剤含有量が及ぼすリン吸着作用への影響や、浄水スラッジ輸送に関する費用試算等の研究を行っており、下水処理水質の改善効果および経済的メリットを有する有効利用の可能性を提言している³⁾。しかし、下水道事業との共同処理化はまだ一部の都市において開始され始めたばかりであり、浄水スラッジ投入が下水処理に与える影響は明確化されていない。東京都小笠原村父島下水処理場では、1998 年度より浄水スラッジの一部を下水道に投入し下水汚泥と一括処理を行っており、浄水スラッジの有効利用に努め始めてから 5 年以上が経過している。小笠原村父島は東京都に属するが、東京湾から約 1,000km 南に位置する亜熱帯海洋性

* 首都大学東京大学院工学研究科(Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University)

** 東京都立大学大学院工学研究科(Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University)

気候の島である。島の多くの部分が国立公園に指定されており、小笠原固有の動植物が多種類存在し、天然記念物となっているものも多い。したがって、自然保護の観点から新規の土地開発事業は長年行われてこなかったが、近年、村の振興のため新たな宅地開発が行われており、人口増加、島の主産業である観光事業の拡大が図られている。このことは、島内の排水および廃棄物の増加にもつながってくる。したがって、現在行われている浄水スラッジの下水処理への再利用は過去の室内実験などの結果^{4), 5)}から、下水処理場から排出される処理水質の改善、使用薬品量の低減化による廃棄物の減量などに有効な手段となることも考えられる。

そこで本論文では、実処理施設である小笠原父島下水処理場において、浄水スラッジ投入が下水処理、特に水質や活性汚泥に与えている影響を、下水処理場管理データの統計解析並びに現地の下水処理場での実験によって定量的に把握し、下水道への浄水スラッジ投入の有効性を示すものである。以下、2.では小笠原父島の浄水場と下水処理場および浄水スラッジ投入の現状について述べ、3.では浄水スラッジ投入の影響を下水処理場管理データの解析により統計的に把握する。4.では3.の結果を踏まえて実施した現地小笠原での実験について述べ、実験データの考察を行う。

2. 対象施設の概要

小笠原父島は人口約2,000人、年間観光客数延べ8万人の、観光を主産業とする離島である。観光客は、大部分が年末年始、3～4月、7～9月に集中する。したがって、水需要量、下水排水量、廃棄物量ともに季節変動が大きい。さらに、亜熱帯性気候であるために、年平均気温が高いことや降雨状況等により上水道、下水道、廃棄物処理は本土に比べ管理が難しい状況にある。上水道では、亜熱帯の気温特性から貯水ダムにおいて成層が長期間持続し、中底層部で完全な無酸素還元状態となっており、水道原水は濁度・色度・過マンガン酸カリウム消費量・総鉄・総マンガン・塩素イオンの値が高い。下水処理は分流式であるが、スコールなどの集中降雨による影響、沈澱池での上昇流等による汚泥沈降性の悪化が見られる。廃棄物処理では、年平均気温が高く腐敗しやすい気候であるため、廃棄物の腐敗等の問題がある。こうした中、小笠原村では上下水道、廃棄物処理といった社会基盤がほぼ100%整備されている。

浄水場及び下水処理場の位置を図1に示す。また、産業廃棄物の埋め立ては産業廃棄物処分場で行われており、清掃工場から排出される焼却灰用には、別に廃水処理施設が付設された最終処分場が設置されている。

浄水処理は計画1日最大給水量1,100m³/日の扇浦浄水場で行われている。ここ数年、浄水処理量は600～1000m³/日であり、年間総浄水量は25万m³前後である。浄水場の処理フローを図2に示す。水道原水の有機物濃度が高いため、粉末活性炭を添加後、凝集沈澱処理、クロラミン処理を

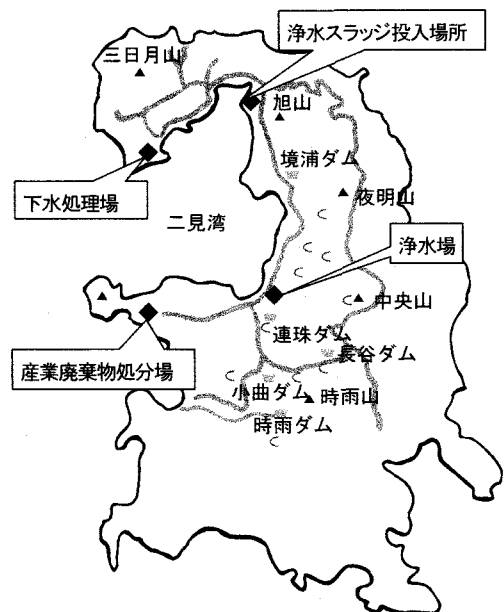


図1 小笠原父島概略図

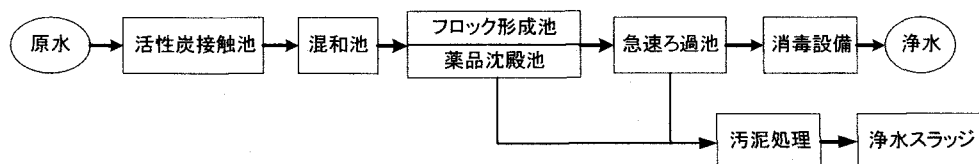


図2 浄水場処理フロー

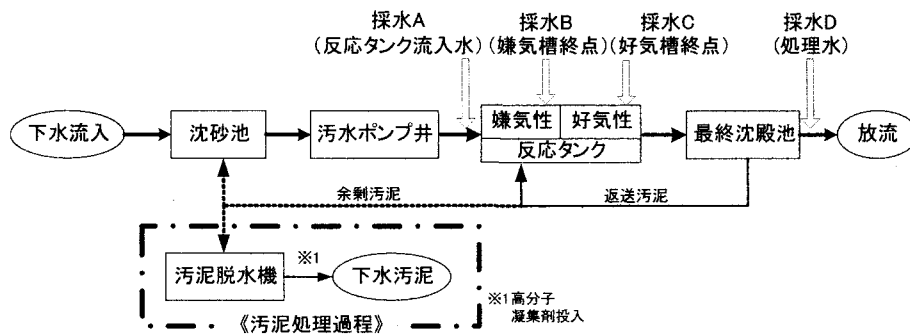


図3 下水処理フロー

行っている。原水の水質が悪く(COD濃度:20~30mg/ℓ)、粉末活性炭の添加率は35mg/ℓ前後である。凝集剤としてはPACを用いており、高濁度時等を除き添加率はほぼ一定である。しかし、活性炭では着色物質が除去できず、最終的にPACでの凝集作用に色度除去を依存していることもあり、PAC添加率が200~250mg/ℓという高い値である。濁度は6~10mg/ℓ程度であり、ALT比は概算で1.5となる。浄水スラッジは、汚泥濃縮槽で含水率を低下させた後、下水道投入分を除き順次産業廃棄物処分場で埋め立て処分されている。浄水スラッジ発生量は60~100m³/月程度である。

下水道は分流式で、下水処理場は計画1日最大汚水量1,400m³/日の規模である。図3に処理フローを示す。処理方式としては嫌気好気活性汚泥法が用いられているが、小規模処理場であるため流入下水の質・量ともに変動が大きく、運転管理が難しい状況にある。また、分流式となっているにもかかわらず、下水流入水量は降雨と強い相関関係にあることが明らかとなっており、降雨による処理場流入水の増加・下水水質の低濃度化も下水処理場の管理をさらに難しくする要因となっている。特に、活性汚泥の沈降性が悪く30分活性汚泥沈降率(以下SV₃₀)は通常85%前後となっており、95%を超過ことも多い。下水処理過程での流量制御は行われておらず、生物反応層の滞留時間は流入下水水量によって変化する。処理水放流口のある処理場横の海岸は、二見湾入り口の太平洋に面した場所である。下水汚泥は脱水後、浄水スラッジと同じ産業廃棄物処分場に運ばれ処分されている。

次に、下水道への浄水スラッジ投入の概要について述べる。浄水場の汚泥濃縮槽からタンクローリー車によって搬出された浄水スラッジ(含水率99%程度)は、図1に示す奥村ポンプ所(能力1.0m³/分)のマンホールより1回当たり約3.2m³が下水道に投入されている。下水道投入されている浄水スラッジが全浄水スラッジ発生量に占める割合は明確ではないが、投入を実施している時期ではおおよそ20~30%程度である。通常は、マンホールへの投入から3時間程度で下水処理場に浄水スラッジが到達する。浄水スラッジ投入は下水処理の状態により、1日に最大5回、週に計0回~12回のペースで実施されているが、投入回数等は下水処理場運転管理者の経験的な判断により決定されている。また、台風など降雨量が多い時には浄水スラッジ投入は行われない。さらに、ここ数年、浄水スラッジ投入は1日1回以下となっており、1週間以上連続しての投入も現在では行われていない。これらについても、下水処理場運転管理者の経験によって実施されている事項であり、数値的な裏付けによるものではない。

小笠原村父島下水処理場における浄水スラッジ投入による下水処理への影響については、現場の維持管理担当者から汚泥の沈降性の改善、下水臭の緩和等が効果として挙げられている一方、浄水スラッジの過剰投入によって汚泥沈降性が悪化する、処理水が黒く着色するとされているが、これらについての数値データを用いた客観的な分析や実測による確認はなされていない。

3. 管理データによる解析

ここでは、小笠原村父島下水処理場の管理データを用いて、浄水スラッジ投入が下水処理水質に及ぼす影響を分析する。分析に用いたデータは、1993年4月から2003年3月までの10年間である。1998年4月より下水道へ

表1 使用データ一覧

項 目	単位	最大	最小
1 降水量	mm/週	79	0
2 下水量	m ³ /週	3162	608
3 流入水COD濃度	mg/ℓ	135	62
4 処理水COD濃度	mg/ℓ	26	5
5 流入COD負荷量	kg/週	212	64
6 流出COD負荷量	kg/週	28	4
7 COD除去負荷量	kg/週	192	59
8 30分活性汚泥沈降率(SV ₃₀)	%	99	12
9 浄水スラッジ投入回数	回/週	12	0

の浄水スラッジ投入を開始しており、開始前、開始後それぞれ5年分のデータとなる。管理データに日データとして記録されている項目のうち、降水量・下水流入量・流入水COD濃度・処理水COD濃度・SV₃₀・浄水スラッジ投入回数を選択し、これらの組み合わせによる項目を加え表1に示す9項目を対象に分析を行った。COD測定には浮遊物を含む試料を用いている。また、下水への海水の混入があるため、測定方法はアルカリ性過マンガン酸カリウムによる酸素要求量(COD_{OH})が用いられている。

ここで、使用した管理データは日データであるが、水質試験は不定期に行われているためCOD濃度、SV₃₀については欠測日が多い。そこで、日データから週平均値を求めて週データに変換し、週データを基本データとして分析に用いることとした。浄水スラッジ投入回数については、1週間の積算値とした。図4から図6に主なデータを示す。流入水COD濃度は変動が大きく、図から変動傾向を読み取るのは難しい。他の項目についても同様であるため、図5並びに図6は4週平均値で示した。なお、図6のCOD除去負荷量は、流入下水COD濃度と処理水COD濃度の差に処理水量を乗じて求めている。

そこで、これらの項目について浄水スラッジ投入開始前5年間(1993～1997年度)と開始後5年間(1998～2002年度)の値について統計的検定を行い、浄水スラッジ投入の影響の有無を分析した。まず、浄水スラッジ投入開始前後の2つの母集団に対し、母平均の差の有意性について検定を行った。検定には、正規性の未知なデータに対しても適用できるt検定を用いた⁶⁾。表2に示した結果から、流入水COD濃度、処理水COD濃度、COD除去負荷量の3項目についてt値が有意水準 $\alpha = 0.05$ の時の t_{α} 値より大きくなっており、浄水スラッジ投入開始前後で有意な差があることが明らか

となった。これは、流入水COD濃度、処理水COD濃度ともに浄水スラッジ投入により濃度が低減化し、COD除去負荷量も増加するという結果であり、浄水スラッジ投入が下水処理水質の低減化に効果があることを示している。しかし、SV₃₀については浄水スラッジ投入による有意な差は無いという結果となった。そこで、SV₃₀の度数分布を図7に示す。SV₃₀の値が90%以上をとるデータが全体の約6割もあることから、90～99%のデータに着目した表示となっている。その結果、投入開始前は約半数以上のデータでSV₃₀が95%以上となっているのに対し、投入開始後についてはその半分の1/4となっている。さらに、投入開始前のデータは投入開始後のデータに比べてばらつきが大きい

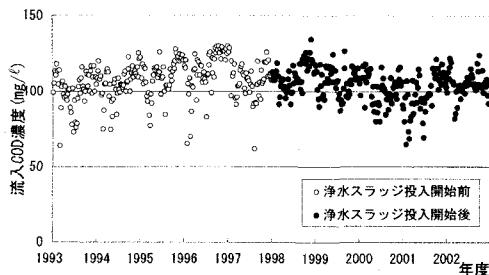
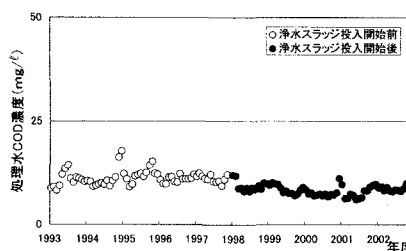
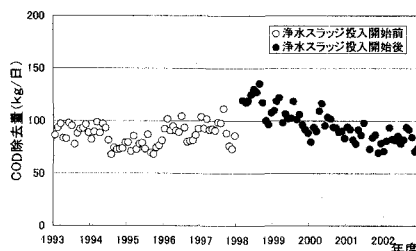


図4 流入水COD濃度の変化

図5 処理水COD濃度の変化
(4週平均値)図6 COD除去負荷量の変化
(4週平均値)表2 浄水スラッジ投入開始前後における
平均値の差の検定

	浄水スラッジ投入		t値
	開始前 平均値	開始後 平均値	
流入水COD濃度	107	104	* 3.07
処理水COD濃度	11	8	* 16.19
COD除去負荷量	87	93	* 3.63
汚泥沈降性(SV ₃₀)	85	87	1.15

自由度 $n=518$, $t_{\alpha}=1.96$ $\alpha=0.05$ * : 5%有意

く、汚泥の状態が安定していないことも窺える。投入開始前は 70% 以下のデータが多少あるものの、過半数のデータで SV_{30} が 95% を越えており、1 年を通してほとんどバルキング状態であり、汚泥沈降性の改善が望まれていた。

浄水スラッジ投入開始後 5 年間について、浄水スラッジ投入回数と SV_{30} 並びに COD 濃度との関係を調べた結果を図 8 に示す。汚泥投入回数が 1 回/週の場合で一番良く汚泥の沈降性が改善されていることが分かる。この結果は、浄水スラッジ投入が過剰になると汚泥の沈降性が再び悪化するということを示していると考えられるが、浄水スラッジ投入開始初期には 1 日に 3 回以上投入した日もあり、1 週間に 12 回という大量の浄水スラッジ投入が行われた時期がある。この時期のデータが複数回投入による汚泥沈降性に有意な差が無いという結果に影響しているものと考ええる。

一方、処理水 COD 濃度は、浄水スラッジ投入回数が 5～6 回のケースで、最も低い値となり、それ以上の投入回数では濃度が上昇している^{7), 8)}。浄水スラッジ投入で汚泥沈降性が改善された理由は、浄水スラッジ中の粉末活性炭が核となって沈降性の良いブロックを形成し易くなるとともに、PAC による凝集反応が起きているものと考えられる。また、COD 濃度の減少は、浄水スラッジに含まれる活性炭に有機物が吸着し沈降した結果と考えることが出来る。しかし、投入回数が多すぎると凝集剤の量が過多となり、逆に凝集が悪くなってしまうため、投入回数の多いケースで汚泥沈降性の悪化や処理水 COD 濃度が増加している。以上のことから、汚泥の沈降性の改善と処理水 COD 濃度の改善を同時に求める場合は、どちらをより重視するかによってスラッジの投入回数を決定する必要があると考える。

つぎに、処理水 COD 濃度の低減化は流入水 COD 濃度の低減化に伴うものであるか、あるいは、処理場内での浄水スラッジ投入の効果であるかを確認するため、処理水 COD 濃度と流入水 COD 濃度との単回帰分析を行い、投入開始前 5 年と投入開始後 5 年についてそれぞれ切片 0 のモデル式を得た。図 9 から分かるように、流入水 COD に対する処理水 COD の低減化の割合は投入開始後の方が大きい。したがって、浄水スラッジ投入が処理プロセスでの COD 濃度の低減化にも役立っているといえよう。なお、分析に用いたデータは、5mg/l ごとの区間平均値である。

以上より、浄水スラッジの下水道への投入は、流入水及び処理水の COD 濃度の低減化には有効であることが分かった。また、週当りの浄水スラッジ投入回数は 5～6 回程度が COD 濃度の低減化に最も良い効果があることも示された。汚泥の沈降性の改善については、浄水スラッジ投入開始前後で有意な差が無いという検定結果であったが、汚泥沈降性が非常に悪化しているケースは浄水スラッジ投入後に減少しており、汚泥の沈降性が改善されることが分かった。つまり、浄水スラッジ投入回数は汚泥の沈降性、処理水水質に大きく関わっていることが明らかとなった。

4. 現地実施測定による影響分析

3. で示したように、管理データの解析により浄水スラッジ投入が流入水及び処理水 COD 濃度の低減に寄与し、COD 負荷量の除去効果も大きくなることが統計的に明らかにされた。しかし、汚泥沈降性の向上 (SV_{30}) は統計的には示すことは出来ず、リン除去効果についても管理データにリンの測定値がないため確認できなかった。そこで、

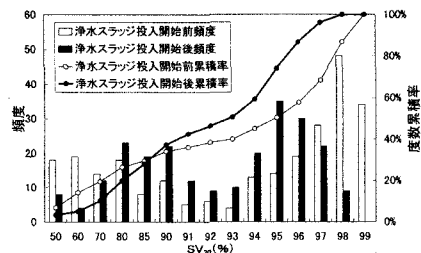
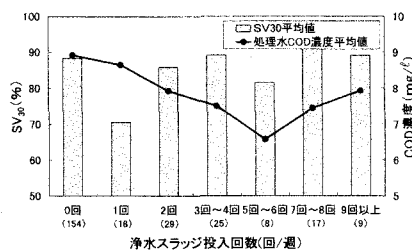


図 7 SV_{30} 値の分布



注: () 内の数値は度数を示す
図 8 投入回数別 SV_{30} 並びに COD 濃度平均値

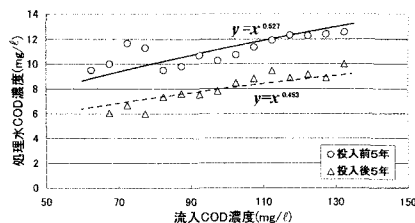


図 9 COD 濃度の単回帰分析

管理データの統計解析では明らかにできなかった事項を中心に、現地の下水処理場で浄水スラッジ投入前後の水質を測定し検討した。

浄水スラッジ投入実験は、浄水スラッジ投入が 3 週間以上行われなかった時期に浄水スラッジ投入を開始し、投入前と投入後での変化を測定した。投入は 1 日 1 回午前 11 時に、約 3.2m³の浄水スラッジを図 1 に示したマンホールで実施した。測定期間は 2004 年 9 月 25 日～10 月 15 日である。この測定期間の前は、夏期の流入下水水量が多い時期にあたり、また台風の時節でもあり降雨量も多いため下水処理場の運転管理が難しいことなどから浄水スラッジ投入は行われていない。測定期間中の下水流量は 700m³/日前後であった。採水は図 3 に示した 4 ヶ所で 1 日 2 回午前 9 時と午後 5 時に行い、pH、水温、溶存酸素濃度、電気伝導度、酸化還元電位を現場で測定後、採取した試料を 0.45 μm のフィルターでろ過し、溶解性の全リン、オルトリン酸、全有機炭素(以下、TOC)、全窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素の測定を行った。なお、TOC の測定には湿式酸化(過硫酸添加紫外線酸化)ーガス透過膜式導電率検出法による TOC 測定器を用いた。また、別に GF/C により SS を測定し、SV₃₀ の測定は、採水ポイント C(好気槽終点)の試料によって行った。

浄水スラッジ投入は、3. で示したように週 5～6 回の連続投入を行ったケースで最も良い処理水 COD の低減効果が見られたことから、投入期間は 6 日間とし、実験では 10 月 4 日から 9 日までの 6 日間連続して浄水スラッジ投入を行った。主な結果を図 10～18 に示す。

まず、模擬実験等で認められている浄水スラッジのリン除去効果について述べる。図 10 を見ると、流入水全リン濃度、嫌気槽終点全リン濃度については浄水スラッジ投入開始後、はっきりとした濃度の減少が見られる。処理水的全リン濃度は図のスケールの関係で濃度の減少は明確ではないが、図 11 には浄水スラッジ投入開始後、明らかに低減化されることが示されている。浄水スラッジ投入前のデータについては、過去 2 年間の測定でも今回と同様に 0.15mg/l 前後の数値を示している。また、投入停止後も 3,4 日は低い値を維持しており、その後徐々に上昇していくことを図から読み取ることが出来る。オルトリン酸については図 12 に示すように、浄水スラッジ投入が流入水のリン酸濃度を低減させているが、処理水についてはほとんど影響を与えていない。このことは、浄水スラッジが投入されたことにより下水管渠内でスラッジとの反応が起こったと考えられる。リン酸は水中では通常イオンとして存在している。一方、活性炭は無極性物質であるため、イオン物質や極性物質のような電気的な偏りを持つ物質を吸着しにくいという性質がある。したがって、活性炭のリン酸吸着力は他の吸着物質を多く含む下水では低いといえることから、浄水スラッジに含まれる成分のうち、粉末活性炭はリン酸除去に関与するとはいえない。凝集剤によるリン酸除去が行われていると考えられる。

嫌気槽では、有機物中のリンがリン酸の形に分解され、生物に利用されやすい形態となるが、嫌気槽終点でのリン酸濃度も投入後のほうが明らかに低い値となっている。これについても嫌気槽で生成したリン酸が、浄水スラッジに含まれる凝集剤の働きで除去され

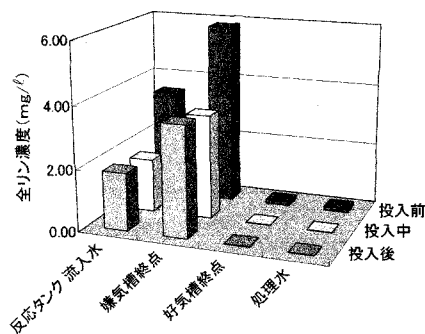


図 10 処理過程における溶解性全リン濃度

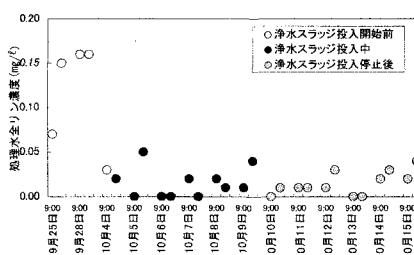


図 11 処理水溶解性全リン濃度

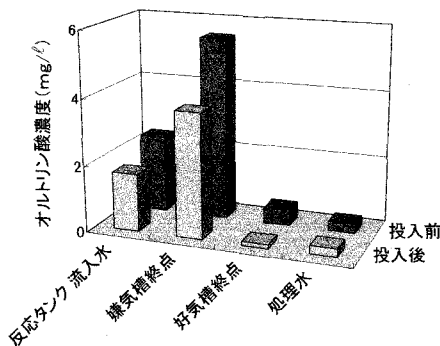


図 12 処理過程における溶解性オルトリン酸濃度

た結果と考えられる。

また、嫌気槽で生成されたリン酸が、好気槽で微生物により水中のリン酸がすべて利用される事はほとんどなく、現実には分解されて発生した量のほうが吸収量より多くなるため、下水放流水中のリン酸による富栄養化の問題が起きている。

次に、TOC濃度は、流入水で削減効果が顕著である。これは浄水スラッジ中の活性炭により有機物が吸着除去されたことが原因と考えられる。その他の処理プロセスでは投入前後での明らかな差は見られない。TOCは2年前より測定を開始したが、同一試料で3回以上測定しており、前年も同様の結果であった。

全窒素は図14に見られるように、投入開始前後でほとんど差がなく、浄水スラッジ投入による影響は確認できなかった。このことは、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素についても同様の結果であり、浄水スラッジ投入は窒素成分削減には寄与していないことを示している。過去数年間、全窒素についてはほぼ安定し同じ値を示している。流入水に30mg/l程度含まれている有機性窒素は、浄水スラッジに含まれる粉末活性炭によって吸着除去されていない。TOCは明らかに削減されている一方、有機性窒素が削減されていないという結果については、共存物質がない場合は吸着可能な物質であっても、複数の共存物質がある場合吸着除去されないことがあるという活性炭の吸着物質の選択性⁹⁾が理由の一つとして考えられるが、メカニズムは明らかではない。

SS濃度の結果では、流入水では浄水スラッジ投入中に濃度が増加し、投入停止後は投入前の値と同じレベルにまで戻っている。嫌気槽終点及び好気槽終点ではともに投入中のSS濃度は増加し、投入停止後はさらに大きな値となっている。図16に好気槽MLSS濃度を示す。浄水スラッジ投入停止後もMLSS濃度は増加している。これは、余剰汚泥として引き抜かれる汚泥量がほぼ一定であることが原因として考えられる。しかし、処理水SS濃度は変化がなく、MLSS濃度増加の影響は現れていない。また、投入開始直後2日目まではMLSS濃度があまり変化していないことから、時間遅れでMLSS濃度への影響があることも考えられる。この原因として下水管内での浄水スラッジの滞留などが考えられるが確認は出来ない。

汚泥の沈降性は、浄水スラッジ投入後、図17に示すように急激に改善されている。通常、SVIが200を越すと汚泥の状態が悪く沈降しにくいといわれており通常バルキング状態となっていることが多いが、実験対象とした下水処理場では糸状菌の大量発生がない状態で高いSVI値となることが多い。今回の実験では、投入開始前に700前後という高い数値であったSVIが、浄水スラッジ投入開始3日後には200を下回っており、その後も順調に低下し投入停止1週間後でもSVIが100前後という沈降性が良い汚泥の状態を維持

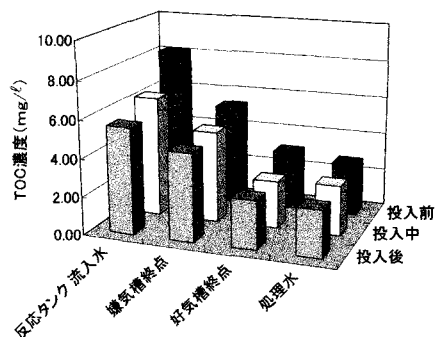


図13 処理過程における溶解性 TOC 濃度

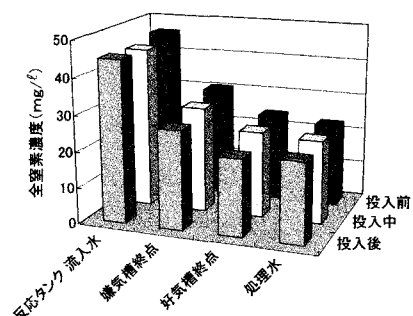


図14 処理過程における溶解性全窒素

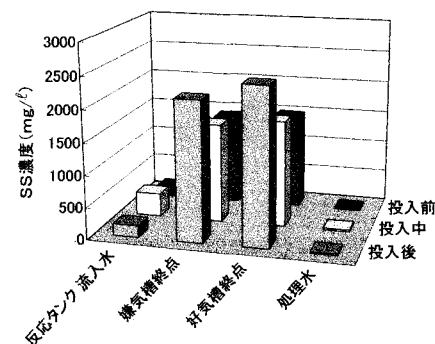


図15 処理過程におけるSS濃度

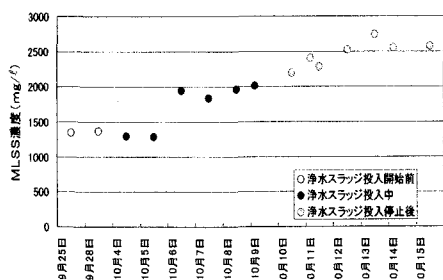


図16 好気槽のMLSS濃度

している。投入停止後も沈降性が良い状態を保った原因としては MLSS のところでも述べたように時間遅れでの影響があげられるが、活性汚泥自体が変質していることも大きな要因と考えられる。浄水スラッジは活性炭を含んでいるため、投入開始 4 日目頃から活性汚泥の色が黒色に変化し、投入停止 1 週間後も黒色の汚泥であった。汚泥沈降性のもう一つの指標となる界面沈降状態は、図 18 に見られるように浄水スラッジ投入開始前に 60 分を要して到達した界面高さ位置を、投入開始後は 10 分以下で通過している。投入開始後、界面沈降曲線は徐々に下方に移動し

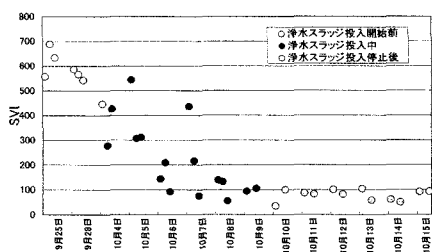


図 17 SVI の変化

ており、最も界面沈降が速いケースでは約 5 分で干渉沈降がほぼ終了し、圧密沈降となっている。投入中止後 1 週間経過後も SVI は 200 以下の値となっており、汚泥の沈降性が良好な状態を維持している。浄水スラッジ投入によって汚泥の沈降性が改善された原因としては、①浄水スラッジに含まれる粉末活性炭を核として汚泥が集合し沈降しやすくなる、②浄水スラッジに含まれる凝集剤 (PAC) の働きで汚泥が凝集沈殿することが挙げられ、この 2 つの相乗効果によるとも考えられる。

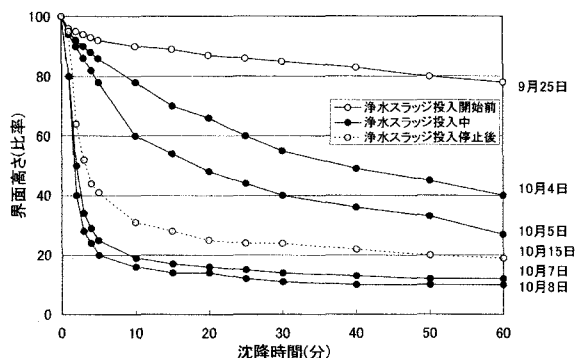


図 18 活性汚泥界面沈降の変化

以上の測定結果をまとめると、小笠原父島下水処理場における浄水スラッジ投入は、流入過程で溶解性 TOC 物質の除去に効果があり、処理場内の嫌気槽で生成されるリン酸の除去に有効であることも明らかとなった。さらに、汚泥の沈降性には非常に大きな改善効果があり、浄水スラッジ投入停止後も数日間これらの効果が維持されることを確認することが出来た。一方、溶解性の有機性窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素については削減効果が認められなかった。なお、今回の浄水スラッジには、凝集剤のほかに活性炭が含まれているため、リン除去は凝集剤、TOC 物質の除去は活性炭による効果と完全に振り分けることは出来ないが、過去に行った著者らの研究室における実験室規模の研究⁵⁾から、浄水スラッジに含まれる凝集剤量とリン除去の関係は明らかにされており、主に効果があるものとしてリン除去は凝集剤、TOC 物質除去 (COD 除去) 効果は活性炭への吸着が主であると考えられる。

なお、下水処理への影響要因としては、浄水スラッジ投入以外に流入下水量、流入水の水質変動、下水処理運転状況等が考えられる。今回の実験中、降雨が無かったため流入下水量については大きな変動は無かった。流入水の水質変動の影響については、浄水スラッジ投入後は浄水スラッジが流入水に混入した状態であるため、浄水スラッジが含まれない状態での流入水の各水質項目の濃度は不明であるが、投入開始後は流入水、処理水ともに安定した濃度を保っていることから流入濃度の変動があっても浄水スラッジの影響により変動が吸収されたと考えることが出来る。また、下水処理運転状況、特に反応タンクの運転状況については、投入開始前後での違いが無いことを確認している。

5. おわりに

本論文では、小笠原父島下水処理場への浄水スラッジ投入の効果について、下水処理場管理データにより統計的に把握するとともに、実施設での実験データを用いて実証的に分析した。その結果、小笠原父島における浄水スラッジの下水処理への投入は、流入水中の溶解性 TOC 濃度及び処理水中の溶解性全リン濃度の削減、汚泥沈降性の向上という効果が判明した。特に、処理水中の溶解性全リン濃度の削減効果は、下水処理場から排出される処

理水による周辺環境への負荷を小さくすることとなり、国立公園となっている海域に接している父島では、高く評価されるものである。また、長年、汚泥の沈降性の低さが問題となっていたことから、汚泥沈降性の改善効果は歓迎されている。しかし、今回対象とした処理場は、小規模であるため安定した運転が難しい処理場であるが、小規模ゆえに浄水スラッジ投入に鋭敏に反応し、効果がすぐに現れるという利点もあり、この結果がそのまま本土の大規模処理場にあてはまるものではないが、実処理施設での影響分析は、今後、全国各地において浄水スラッジの有効利用の観点から上水道と下水道の汚泥統合処理を検討する際に役に立つ有用な研究成果であると考えている。

なお、今回の研究では、浄水スラッジの投入過剰は逆に粉末活性炭の処理水への混入、下水汚泥の保水性の増大等、下水処理へマイナスの影響を与えることも明らかとなっており、浄水スラッジ投入の適正な管理を行っていく必要がある。また、今後の課題としては、浄水スラッジ投入が活性汚泥の生物相に与える影響、下水汚泥の脱水性などの物理的性質に与える影響についての研究が残されている。

最後に、この研究を行うにあたり、浄水場及び下水処理場の管理データの提供及び実処理施設での実験に快く協力してくださった小笠原村役場の建設水道課及び関係者の皆様に心よりお礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 小泉明・山崎公子: 浄水汚泥発生量の統計的分析と将来予測, 水, Vol.38, No.5, pp.73~83(1996)
- 2) 荒井康裕・小泉明・坂本大祐・木村直人・郷田昭一・野村淳一: 上下水道における汚泥統合管理システムの経済性に関する一考察, 第55回全国水道研究発表会講演集, pp.272~273(2004)
- 3) 小泉明・荒井康裕・木村直人: 浄水発生土の下水処理プロセスへの適用とリン除去効果に関する定量的評価, 用水と廃水, Vol.46, No.2, pp.55~63(2004)
- 4) 渡辺義公・豊島正久・福田与志一・中石一弘: 上水汚泥による下水汚泥の物性改善とリンの化学吸着, 土木学会衛生工学論文集, Vol.23, pp.149~156(1987)
- 5) 野村淳一・郷田昭一・吉元俊一・荒井康裕・小泉明・森田昌克: 上水発生土のリン酸吸着に関する基礎的検討(Ⅱ), 第54回全国水道研究発表会講演集, pp.212~213(2003)
- 6) 岸根卓郎: 理論・応用 統計学, 養賢堂, p. 384(1986)
- 7) 小泉明・山崎公子・荒井康裕・鈴木史人・石川勝之: 浄水スラッジ投入に伴う下水処理水 COD の変化に関する一考察, 第55回全国水道研究発表会講演集, pp.276~277(2004)
- 8) 山崎公子・小泉明・荒井康裕・鈴木史人・石川勝之: 下水処理プロセスへの浄水スラッジ投入の影響, 第55回全国水道研究発表会講演集, pp.274~275(2004)
- 9) 真田雄三・鈴木基之・藤元薫編: 活性炭—基礎と応用—, 講談社サイエンティフィク, pp.226~272 (1998)