

(4) 凝集剤添加による既設下水処理場の機能改善(第3報)

～硫酸ばん土の最初沈殿池への添加～

建設省土木研究所 ○安中 徳二

〃 酒井 憲司

名古屋市下水道局 当田 至

1. まえがき

湖沼、海域等の富栄養化の進行に伴ない、リン、窒素など、栄養塩類除去のための施設の設置を要求される下水処理場がかなりの数に達するものと予想されている。我が国の場合、新らしく計画する下水処理場は別として既設の下水処理場の場合は、別途に栄養塩類の除去を含めた機能向上のための施設を設置することは、用地の獲得の面から極めて困難になる場合が多いと考えられている。このため、金属塩等の凝集剤を既設の単位施設に添加して、施設の大巾な増設、改造なしに処理機能の改善をはかろうとする手法が関心を集めている。凝集剤の貯留タンクとその注入ポンプを設置し、増加する汚泥量に見合った汚泥処理能力の増設をはかることで基本的にはその目的が達成できることがその理由である。

凝集剤の注入位置は最初沈殿池流入部およびエアレーションタンクが主なものである。最初沈殿池（以下初沈と略記）に添加する場合には、ここでリン除去のはか有機物の負荷の軽減がはかれるため、硝化の促進等、エアレーションタンクへ凝集剤を添加する場合と異なった効果が期待できると考えられている。

建設省土木研究所では、名古屋市下水道局と共同で同市内の西山下水処理場を調査用施設として若干改造し、硫酸ばん土を既設施設に添加した場合の処理機能の向上の程度、処理場の全体的機能に与える影響などについての調査を行なってきた。前報までにエアレーションタンクへばん土を添加した場合の運転結果について報告した。^{1), 2)} 本報告は、最初沈殿池へ硫酸ばん土を添加した場合の運転結果に関するものである。

2. 調査施設の概要および調査方法

西山下水処理は計画日最大処理水量が3万 m^3 /日の比較的小規模の下水処理場であり、分流式を採用した住宅地の下水処理場であるため、流入負荷の変動が大きいことが特徴である。標準活性汚泥法の施設として設計されており、2系列ある施設の一方を薬注系、もう一方をコントロール（無薬注）系として使用するために、初沈流出水は流出水路を角落して仕切り、最終沈殿池（以下終沈と略記）は別途にポンプを設置して分離を行なっている。施設のフローを図-1に示すがその他の詳細は前報までにのべてある。なお本処理場では、汚泥は他の専用処理場で別途に処理しており、脱離液等汚泥系返送水の循環はない。

凝集剤と注入方法

凝集剤は市販

の液体硫酸ばん土（ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 、 Al_2O_3 換算で約8%）であり、タンクローリーで場内に搬入してタンク（容量15 m^3 ）に貯留したのち、ストロークおよび回転数可変のプランジャー型ポンプで所定位置への注入を行なっている。初沈への注入は当初、池の流入直前部で行なう予定であったが、かくはんが不十分でばん土の一部が、未反応で流出し易いという予備調査結果が得られたので、前エアレーションタンクの流出部付近へと注入位置を変更した。実際

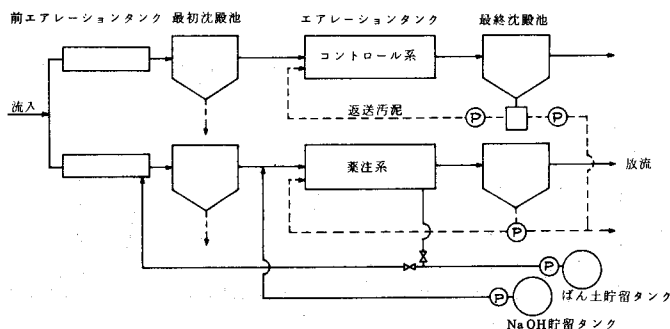


図-1 施設のフロー図

上、前エアレーションタンク等のかくはん機能を有した施設を持たない処理場の場合には、別途にかくはん施設の設置を考慮する必要がある。注入方法は、下水中の Al 濃度が常に一定となるように制御する水量比例制御と下水中のリンの負荷量に対して一定比率の Al を注入するモル比制御とがある。エアレーションタンクに注入する場合には前報でのべたように、返送汚泥の効果によって大巾なリンの吸着が生ずるためモル比制御の効果は少ないが、初沈へ添加する場合には有効になると考えられた。このため、土研で開発した溶解性リンの連続式自動分析計³⁾と組み合わせてモル比制御の注入を行なったが、図-2の例にみられるように、処理水のピークカットはできていない。これは、この処理場の場合、午前夜の負荷のピークが極めて高く水量負荷の増加が、かくはん時間等に影響を与えているためではないかと考えられるか、これに対しては現在引きつづいて検討を行なっている。以下の議論は、水量比例制御を行なったときのものである。

採水と分析 採水は日常的には自動採水機を用いてグラブ試料を採取し、流量にあわせた24時間の混合試料を作成したほか、適宜マニュアルで行なった。分析はリンについては混合試薬法、その他については下水試験方法によった。汚泥の引き抜き量および固形物濃度はそれぞれ電磁流量計、超音波濃度計によって測定し、引き抜き固形物量を算出した。

3. 結果と議論

エアレーションタンク端末部へのばん土の添加に引き続き、1977年6月末より最初沈殿池への添加を開始し、現在まで約3ヶ月間の連続運転を行なってきた。この間ばん土の注入率は主として $6\text{ mg } Al/\ell$ 、(ばん土として約 $75\text{ mg}/\ell$) に維持された。エアレーションタンクへの注入の場合、この注入率が最も良好であったためである。このときの運転条件を表-1に示す。表-1には比較のためにエアレーションタンクへ同じ注入率で添加したときの条件、およびエアレーションタンク内がほぼ同一の条件に維持されていた無薬注(コントロール)の場合の条件を示してある。表-2はこれに対応するそれぞれの流入流出の水質を総括したものである。これらの実験は同一時期に行なわれたものではないが、流入下水の水質特性はほとんど変わっていない。²⁾

表-1 運転条件の総括

		(ばん土添加率 $6\text{ mg } Al/\ell$)		
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
		データ期間 52.7.27 ~8.1.9	50.10.20 ~51.1.7	50.4.1 ~9.2.1
項目	種類	初沈へ 注入	曝気槽 へ注入	無薬注
処理水量 ($\times 10^3\text{ m}^3/\text{日}$)		14.3	11.7	11.95
初沈沈殿時間 (hr)		1.41	1.72	1.69
初沈水面積負荷 ($\text{m}^3/\text{日}/\text{m}^2$)		51.1	41.8	42.7
MLSS (mg/ℓ)		2083	1940	1538
MLVSS (mg/ℓ)		1416	1261	1076
MLSS/MLVSS (%)		68	65	70
SVI		65	72	94
BOD 負荷 ($\text{kg}/\text{kg}/\text{日}$)		0.14	0.26	0.27
SRT (日)		9.3	4.8	4.8
終沈沈殿時間 (hr)		2.5	3.6	3.6
終沈水面積負荷 ($\text{m}^3/\text{日}/\text{m}^2$)		28.6	23.4	23.9

3.1 リンの除去

初沈へばん土を添加した場合、同一の注入率であってもエアレーションタンクへの添加あるいは2次処理水の凝集沈殿より低い除去率しか得られないことが指摘されている。⁴⁾ 表-2に示すように、この注入率(モル比で約3.3)では溶解性リン(0.45μ のフィルターで分画)の除去率は約85%、初沈流出水中の残留リンは $0.32\text{ mg P}/\ell$ であった。このプロセスでは2次処理での大巾な除去は期待できず、結果として最終の処理水のリン濃度はエアレーションタンク

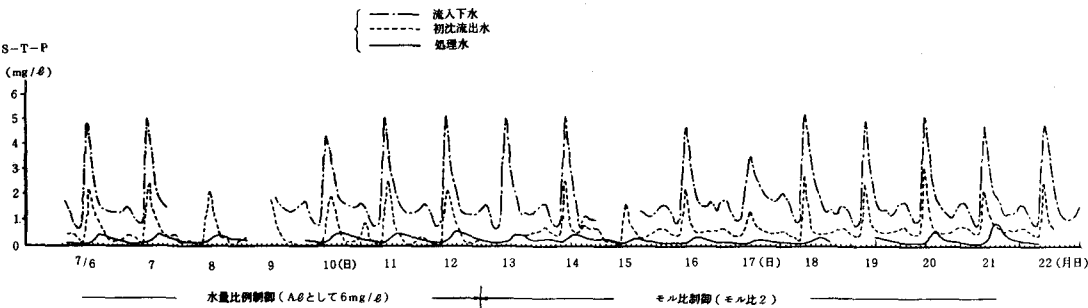


図-2 溶解性リン濃度の変化(最初沈殿池におけるモル比制御の例)

に添加した場合より1桁高い値となっており、リン除去の面からは初沈への添加は不利であることがわかる。両者の比較を溶解性リンに対する注入 Al のモル比との関係で図-3に示す。この除去能力の差は流入下水中に占めるオルトリンの比率が少ない(この場合で53%)というのも一因であろうが、発生する汚泥の返送が行なえないことが主な原因であると考えている。一方、残留 $T-P$ は、初沈流出水、終沈流出水とも $S-T-P$ に比較して高くなるがこれは流出水中に微小なフロックが多く含まれていることによるものであろう。初沈流出水の平均 Al 濃度は1.27

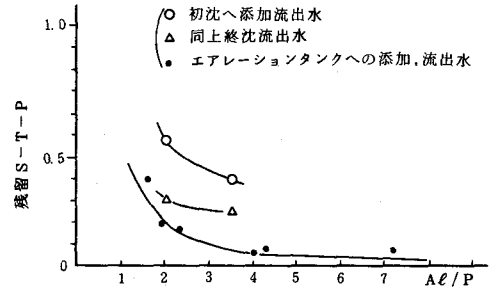


図-3 残留リンと Al/P モル比(対流入水溶解性 $T-P$) の関係

$mgAl$ (溶解性 Al 0.1 mg/l 以下)であった。初沈への添加プロセスの場合、エアレーションタンクへも注入する分割注入法、あるいは急速汚過池との組み合わせが必要になると考えられる。

3.2 有機物の除去

初沈における有機物 (BOD_5 , TOC , COD) 除去率は無薬注の場合に比較し20%以上向上し、それぞれ60%以上の除去率が得られた。凝集沈殿における有機物の除去は、浮遊性有機物の除去が主体となると考えるのが一般的であるが、この場合には、表-2にみられるように溶解性有機物の除去率が大幅に向上した。溶解性有機物の分画は1.2 μ の GFC フィルターで行なっているが、恐らくはコロイド状の有機物の相当部分が凝集除去され、これが、除去率の向上に関与しているものと考えられる。後述するように初沈にばん土を添加した場合、余剰汚泥の発生量は少なくなるが、有機物の大幅な除去が、後段の生物処理に種々の面で影響しているものと考えられる。全体としての有機物の除去率はエアレーションタンクに添加したときの方が良好である。

3.3 浮遊物の除去

初沈へばん土を添加した場合、見かけ上 SS の除去率は無薬注の場合に比較してそれほど良好にならない。前述のように、流出水中に細かなフロックが混入し、これが現在の初沈の設計条件では除去しきれないためであろう。ただし、流出水の外観は無薬注の場合に比較して極めて清澄となる。初沈の場合と同様、終沈においてもフロックの流出がみられ、表-2に示すように、終沈流出水中の SS は日平均値が20 mg/l 以上となっている。また、終沈流出水は、わずかではあるが常時白濁を呈するという結果となった。これは、前報でも触れたように、初沈流出水中に含まれる水酸化アルミニウムのフロックが、エアレーションによってさらに細かくせん断されること、あるいは、混合液中に約1.5% (Al/TS) 蓄積する Al が、比較的長い(9.3日) SRT のために放出されることが原因であろうと考えられる。土木研究所の京都パイロットプラン

表-2 流入流出水質の総括(ばん土添加率 6 $mgAl/l$)

数字はいずれも日平均値の平均

項目	種類 (mg/l)	流入下水		最初沈殿池流出水				最終沈殿池流出水					
				無薬注		初沈へ注入		初沈へ注入		曝気槽へ注入		無薬注	
		平均	除去率(%)	平均	除去率(%)	平均	除去率(%)	平均	除去率(%)	平均	除去率(%)	平均	除去率(%)
PH		6.87-7.30	—	6.60-6.63	—	6.53-6.76	—	6.70-7.02	—	6.26-7.60	—		
SS		144	46.7	67.6	39.8	72.4	23	4.7	94.3	8.5	81.9		
アルカリ度		80	—	45	—	18	—	48	—	36.8	—		
T-BOD		126	70.6	44.0	44	65.1	20	54.5	4.5	94.3	10.9	80.0	
S-BOD		49.5	43.2	12.7	24.5	51.5	5.1	79.2	2.8	95.9	5.1	85.3	
T-COD		67.8	46.5	31.4	24.6	63.7	14.9	39.4	7.9	83.2	14.0	67.2	
S-COD		23.2	22.1	4.7	—	—	—	6.1	72.2	10.4	57.4		
T-TOC		73.2	52.1	28.8	25.0	65.8	17.0	32.0	10.9	79.1	17.6	67.0	
S-TOC		27.7	25.8	6.9	11.0	60.3	9.0	18.2	6.6	71.9	13.6	50.0	
T-KN		25.4	23.3	8.3	14.2	44.1	7.6	46.5	17.1	27.9	10.2	57.5	
NH ₃ -N		12.8	14.2	—	8.9	30.5	5.0	43.8	14.5	3.4	7.1	48.6	
NO ₂ -N		0.03	0.02	—	0.02	—	2.32	—	0.04	—	0.6	—	
NO ₃ -N		0.09	0.08	—	0.04	—	0.20	—	0.49	—	4.1	—	
T-P		3.73	3.14	15.8	1.44	61.4	1.19	17.4	0.17	94.4	1.51	50.5	
Ort-P		1.98	2.01	—	0.72	63.7	0.56	22.2	0.09	95.3	1.12	48.2	
S-T-P		2.07	2.09	—	0.32	84.6	0.26	18.8	0.05	97.4	1.09	49.6	

注) *) それぞれの流入水に対応する除去率

トにおける2次処理水を対象とした凝集沈殿の結果でも、汚泥の返送を行なってSRTを5日以上に維持すると処理水の白濁が著しくなるとい結果が得られている。⁵⁾

3.4 硝化と窒素の除去

初沈へばん土を添加した場合、これがどの程度硝化に影響するかは興味のあるところである。表-2に示されるように、初沈への6mg Al/lの添加によって、TKNの除去率が40%以上得られること、

有機物(溶解性有機物を含めて)の除去率が高くなること、大巾なアルカリ度の消費があり(理論上はAl 1の添加に対してアルカリ度5.5mg/l as CaCO₃の消費)、これに伴ってpHの低下することなどが硝化に関係する要因としてあげられる。一方、活性汚泥のシステム内では、余剰汚泥量の発生量の減少に伴ない、長いSRTの維持が容易になるという操作上の利点も得られている。これらの要因のうち、硝化に対してマイナスの要因となるのは、ばん土の添加によるアルカリ度の消費であるが、アルカリ度の不足による影響はこのときの運転条件のもとでは特に大きくでるようであり、表-2にみられるように、完全な硝化が生ずるまでには至らなかった。しかしながら、この期間の後半から、苛性ソーダ(20%溶液)を初沈流出水のpHが8.0(アルカリ度で100~150mg/l)になるように定量で添加しはじめたところ、図-4に示すように、アンモニア性窒素濃度がピークに達する時間帯(初沈流出水のアンモニア濃度が15mg/l以上)以外では完全に硝化が生じて処理水中のアンモニア性窒素が無くなり、このケースでは流入水中のアルカリ度が制限因子となっていることが推察された。この点については現在、実験の初期の段階にあり、苛性ソーダの注入制御および操作条件の変更によってどの程度図-4にみられるようなピークをなくせるかについてさらに詳しく検討していく予定である。なお、前報でものべたように、エアレーションタンクにばん土を添加する場合にもアルカリ度の点では全く同様の問題があり、1976年12月から77年4月末までの間、苛性ソーダの注入を行なったが、硝化の達成に成功していない。SRTの維持が困難であったこと、低水温時であったことなどがその原因であったと考えている。

なお、前述のように初沈へばん土を添加する場合、TKNの除去率が高くなり、全体として窒素の除去率が向上することは評価できよう。

3.5 汚泥の脱水性

ばん土の添加によって発生する汚泥の脱水性は、汚泥処理のうえでの重要な要因となるが、一般に、薬品を加えない汚泥に比較して脱水性は相当悪いと評価されている。ここでは、発生した汚泥を、濃縮—調整—脱水する場合を想定して、小型の加圧脱水機を用いて脱水試験を行なった。調整剤は通常用いられる消石灰および塩化第2鉄を用いているが、結果の1例として消石灰25%、塩化第2鉄5%(対固形物)添加の場合の各汚泥の滲過速度、ケーキ含水率と、初沈汚泥と余剰汚泥の混合比率の関係を図-5に示す。滲過速度の算出は調整剤による増量分を除いて行なっている。図-5に示されるように、初沈にばん土を添加した場合の汚泥は、コントロール汚泥に比較して滲過速度、ケーキ含水率とも悪化し、特にケーキの含水率に問題があることがわかる。ケーキ

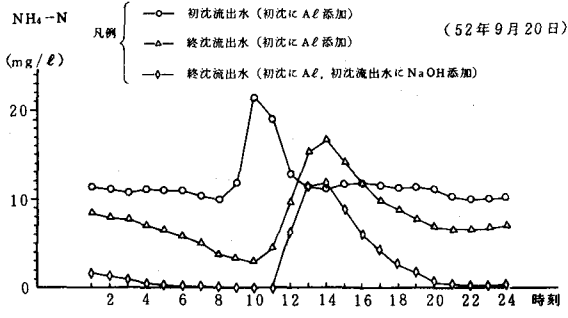


図-4 NH₄-Nの経時変化(52年9月20日)

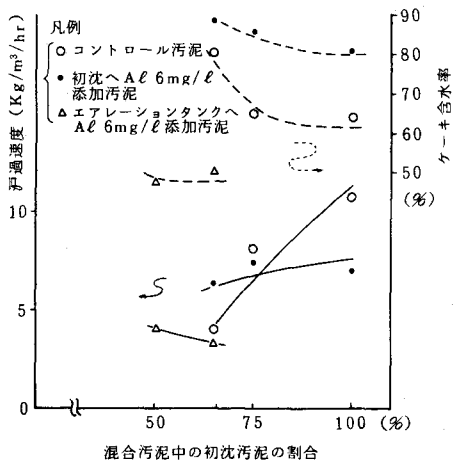


図-5 各汚泥の脱水性の比較例(加圧脱水)

(Ca(OH)₂ 25%, Fe 5%添加
打込み6分, 4kg/cm², 脱水6分, 15kg/cm²)

の含水率を80%以下にするためには、石灰の添加率を40%以上にする必要があった。また、はく離性が極端に悪くなることも問題点の1つである。一方、エアレーションタンクへばん土を添加し、余剰汚泥としてAl汚泥が発生する場合、このプロセスの発生汚泥の脱水性は、コントロール汚泥に比較して良好であり、特にケーキの含水率が改善されている。このようなことからすると、初沈にばん土を添加する場合、汚泥の増量に対する対応のほか、脱水工程についても十分な検討が必要であることが示される。

3.6 汚泥の発生量

凝集剤の添加による発生汚泥量の増加は、この方法の最も大きな問題点である。発生量の増加分はばん土の添加によって生成するAl(OH)₃、AlPO₄等を主体とする無機物であり、理論上の増加量は、発生濃度（流入下水量ベース）としてはばん土中のAl濃度の約4倍となる（ばん土を6mg Al/ℓで添加するときの汚泥発生濃度は約24mg/ℓ）。実際には下水中に含まれる微細な有機物等の粒子も凝集沈殿されて汚泥を形成するため、これより大きくなるとされているが、Alの添加濃度が汚泥の増加分に大きく関与してくる。

初沈へばん土を添加した場合には、2次処理における余剰汚泥の発生量が、無薬注の場合に比較して少なくなることは先にのべたが、この様子を表-3に示した。同表には、同じ注入率でエアレーションタンクに注入した場合の比較も示した。

表-3に示すように、初沈において6mg Al/ℓの注入率でばん土の添加を行なうと、無添加の場合に比較して汚泥の発生固形物量は1.48倍増加し、その濃度換算（発生固形物量を流入水量で除した値）増加分は26.7mg/ℓとなっている。しかしながら、二次処理の過程では、無薬注の場合に比較して発生する固物の絶対量が少なく、しかも流入固形物量より発生固形物量の方が少なく正味の発生分がみかけ上全くないという結果が得られている。また、処理水中に含まれて流出する固形物の割合が高く、余剰汚泥としての引き抜き量が少なくなるのもこのプロセスの特徴といえる。無薬注の場合に比較して系のSRTが長くとり易くなるというのも特性の1つとしてあげられよう。

エアレーションタンクに添加した場合には表-3に示すように2次処理における固形物の増加は、無薬注の場合に比較して1.57倍であり、増加濃度は25mg/ℓである。増加濃度は初沈へ添加した場合とほぼ一致する。この事実は、添加位置がどこであれ、注入率が同じであれば無機汚泥の増加の絶対量はそれほど変化がないということを裏付けている。ただし、表-3に示すように処理場全体としての発生汚泥固形物量の増加率は添加位置の影響をうけ、この例の場合には初沈への添加で1.17倍、エアレーションタンクへの添加で1.23倍となっている。増加率そのものは、流入下水の水質特性、各施設の運転条件によって変わるが、初沈へ添加する場合には二次処理過程における汚泥発生

のポテンシャルが下げられるため、エアレーションタンクに添加する場合よりも全体としての増加率は少なくなるといえよう。ただし、脱水性のところでものべたように、生成する汚泥の特性は大きく異なるため、体積としての増加分を加味したうえでの汚泥処理施設の設計上の配慮が必要となる。初沈にばん土を添加すると濃縮性は悪化するが、エアレーションタンクへ添加すると余剰汚泥の濃縮性は無薬注の場合より良好となる結果が得られている。

表-3 汚泥発生量の比較 (6mg Al/ℓ添加)

項目	添加位置		種別	
	コントロール	薬注	コントロール	薬注
① 流入下水中の固形物量 (kg/日)	1,633		2,087	
② 同 濃度 (mg/ℓ)	123		143	
③ 初沈引き抜き汚泥量 (kg/日)	724		822	1,216
④ 同 濃度 (mg/ℓ)	52		55.5	82.2
⑤ 増加濃度	—		26.7	
⑥ 初沈汚泥増加率	—		1.48	
⑦ 初沈流出固形物量 (kg/日)	491		667	569
⑧ 同 濃度 (mg/ℓ)	42		46.7	39.8
⑨ 余剰汚泥量 (kg/日)	374	754	483	206
⑩ 処理水固形物量 (kg/日)	140	55	192	340
⑪ 発生汚泥量 (kg/日) ⑥+⑦	514	807	675	546
⑫ 同 濃度 (mg/ℓ)	43.9	68.9	47	38
⑬ 正味発生汚泥量 (kg/日) ⑧-⑤	23	316	8	-23
⑭ 同 濃度 (mg/ℓ)	2.0	27.0	0.5	-1.6
⑮ 増加濃度	25		—	
⑯ 発生汚泥増加率	1.57		—	
⑰ 処理場全発生汚泥量 (kg/日)	1,238	1,531	1,497	1,762
⑱ 同 濃度 (mg/ℓ)	105	130	104	123
⑲ 増加率	1.23		1.17	

4. まとめ

最初沈殿池へ硫酸ばん土を 6 mg Al/l (ばん土として 75 mg/l) 添加して処理を行なった結果、同じ注入率でエアレーションタンクの端末部に加えた場合と比較してつぎのような知見が得られた。

1) 初沈における溶解性のリンの除去率は $80-85\%$ 期待でき、残留リン濃度を 0.6 mg/l 以下にできるが、エアレーションタンクに添加する場合に比較すると全体的なリンの除去率は劣る。

2) 初沈において 40% 以上のTKNの除去率が期待できるため全体としての窒素の除去はエアレーションタンクに添加する場合より良好である。また、SRTが長く維持できるため硝化を期待する場合には有利である。ただし、ばん土の添加によってアルカリ度が消費されるため硝化を完全に生じさせるためにはアルカリ剤の添加が必要である。

3) 初沈にばん土を添加すると、流出水中に細かいフロックが流出し、終沈における白濁現象が生じる。また、残留T-P濃度も高くなり易い。

4) 処理場全体としての発生污泥増加率は初沈に添加したときの方がやや小さくなる。ただし、ばん土の添加による無機物の濃度は変らない。また、初沈に添加した場合に発生する污泥の脱水特性は、極めて悪い。

以上の点から判断すると、現時点ではエアレーションタンクにばん土を流入する方が、既設の下水処理施設の改善策として適用性が高いと判断される。現在、調査は継続中であり、さらに種々の面から検討を行なっていく予定である。

末語ではありますが、本調査にあたって御指導、御協力をいただいた各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1), 2) 安中, 当田 凝集剤添加による既設下水処理施設の機能改善 第1報および第2報”第12回, 第13回本討論会論文集
- 3) 京才俊則 “水中の栄養塩類の連続自動測定” 第15回土木研究所研究発表会資料, 昭和51年10月
- 4) たとえば “Process Design Manual for Phosphorus Removal”, USEPA, Oct, 1971
- 5) 土木研究所資料 (執筆中)