

# 凝集剤添加による既設下水処理施設の機能改善（第1報）

— 硫酸ばん土のエアレーションタンクへの添加 —

建設省土木研究所 ○安中 徳二

名古屋市下水道局 当田 至

## 1. はじめに

湖沼、海咸等の富栄養化の進行に伴ない、リン、窒素などの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。わが国の場合、新らしく計画されている下水処理場は別として既設の下水処理場の場合には、新たにリン除去を含めた機能向上の施設を建設することは用地の獲得の面から困難になる場合が多いと考えられている。このため金属塩などの凝集剤をエアレーションタンクなど既設の施設に添加して処理効率をあげようとする方法が注目をあつめるに至っている。その理由はこの方法の場合、凝集剤貯留タンクとその貯留ポンプを設置し、薬注の結果増加する汚泥量に見合った汚泥処理能力の増設をはかれば十分であることが示されているからである。

この方法は決して新しいものではなく、エアレーションタンク内に金属塩を注入する例をとると、1960年代初めにはヨーロッパにおいて塩化ホニ鉄が実施施設で利用されはじめ、1960年代後半には、米国でも五大湖周辺をはじめとして富栄養化が問題となる湖沼を放流先とする下水処理場でリン除去を主目的として凝集剤が使用されるようになってきた。使用される凝集剤も塩化ホニ鉄などのFe塩、塩化ホニ鉄、硫酸ホニ鉄などのFe塩、硫酸ばん土、アルミン酸ソーダなどのAl(Ⅲ)塩など広範であり、注入の位置もエアレーションタンクの他最初沈殿池、あるいはこの両者に分割して注入する方法などが行なわれている。これらはいずれもリン除去の他処理水の安定化に効果があることが示されているが、注入位置、凝集剤の選定の利害得失に関しては処理場の特性に支配される面が多く、わが国に適用していく場合にも種々の観点からの調査が必要とされる。また、わが国の場合、ヨーロッパ、米国のそれと比較して一般に流入下水の強度が弱いためこのような場合の情報も必要とされている。こうした観点から建設省土木研究所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用いて、凝集剤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インパクトなどについての調査を行なっている。本報告はエアレーションタンク内に硫酸ばん土を添加した場合の実験結果に關するものである。

## 2. 調査施設の概要および調査方法など

西山処理場日家庭下水のみが流入する比較

表 - 1 西山処理場 計画概要

| 現 在<br>処理面積<br>(ha) | 現 在<br>処理人口<br>(人) | 現 在 計 画 処 理 量         |                       | 排 除<br>方 式 | 2次処理方式  |
|---------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------|---------|
|                     |                    | 日平均 (m <sup>3</sup> ) | 日最大 (m <sup>3</sup> ) |            |         |
| 748                 | 46 000             | 20,000                | 30,000                | 分流         | 標準活性汚泥法 |

的小規模な分流式の下水処理場である。標準

活性汚泥法を採用しており、汚泥処理は別の

専用処理場で行なっている。表-1、表-2に計画および施設の概要を示した。図-1の例に示すように、小規模処理場の特徴として流入水量および水質の変動が激しく、凝集剤注入量の制御が必要とされる。

この処理場は、2系列から構成されているので（最終沈殿池のみ3池）、一系列をコントロール系、他を薬注系列として並行運転を行ない、両者の比較が行なえるように改造を行なった。返送汚泥水路、混合液の終末への流入水路の分離がそれである。また、返送汚泥のポンプ井が1ヶ所であったため、一方の系列の終末のホッパーに水中ポンプを投入し、これによって返送汚泥、余剰汚泥を分離した。発生活泥の量および固形物量の測定のため

に各系列に超音波式濃度計および電磁流量計を設置した。全体のフローシートを図-2に示す。

設置した装置の概要 ばん土の注入のために設置した装置は薬品貯留タンク(15<sup>3</sup>m<sup>3</sup>)、注入ポンプ、制御装置等である。注入ポンプは回転数およびストローク可変のプランジャー型ポンプである。流入量の可変率は1:28であり、注入量は5~135<sup>3</sup>/分の間に変化する。

注入量の制御 注入量の制御はポンプの

表-2. 西山処理場施設概要

吐出量と流量に比例させ、あらかじめ設定したリンの日平均濃度に対して一定の注入率となるように行なっている。図-1にみられるように、流入量は1日2回のピークがあるが夜間のそれはリン濃度が追従しないため完全なモル比制御を行なうには至っていない。

| 施設名        | 項目  | 形式  | 寸法(m)                           | 数 | 総容積(m <sup>3</sup> ) | 設計滞留時間   |
|------------|-----|-----|---------------------------------|---|----------------------|----------|
| 沈砂池        | 矩形  | 矩形  | W 2.5 x L 10 x H 1.85           | 2 | -                    | 1.2 min. |
| エアレーションタンク | 散気式 | 散気式 | 4.0 x 20 x 3.5                  | 1 | 245                  | 1.3 min. |
| 最初沈殿池      | 矩形  | 矩形  | 5.0 x 28 x 3.0                  | 4 | 1,680                | 1.3 hr.  |
| エアレーションタンク | 散気式 | 散気式 | 5.0 x 40 x 50 x 2 bay           | 2 | 4,000                | 3.2 hr.  |
| 最終沈殿池      | Z字式 | Z字式 | 5.0 x 1st 22.5 x 2nd 27.5 x 3.0 | 3 | 2,250                | 1.8 hr.  |

実験は1975年2月に開始したが運転後し

ばらくの間、注入ポンプのモーターにトラブルが生じた。初次の汚泥引き抜き時にエアレーションタンクの流入水量が急減し、これに追従できないことが原因であることが判ったので、水量が減化する場合の回転数の変化速度を落すことにより、このトラブルを防止させた。

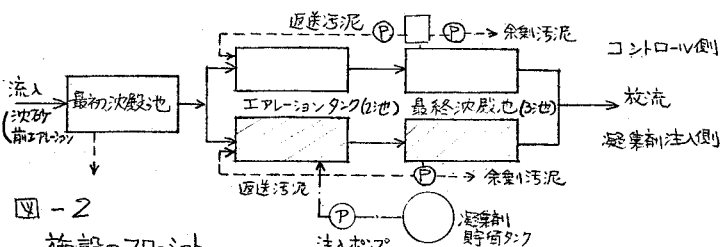
凝集剤とその注入方法 凝集剤は $Al_2O_3$ 換算で約8%の液体硫酸ばん土( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ )である。搬入はタンクローリーにより必要に応じて行なっている。注入率は日平均のリン濃度38<sup>3</sup>mg/lに対して $Al/P$ のモル比で2になるように設定した。 $Al$ で8<sup>3</sup>mg/l、ばん土で約100<sup>3</sup>mg/lの注入である。注入位置はタンク端末より3mの位置とし、水面下に注入管を設置した。タンク端末を選んだのは、ポリリン酸のオルトリンへの加水分解をできるだけ進行させようとしたことによる。

採水と分析 採水は日常的には自動採水器を用いて2時間ごとのグラブサンプルを採取し、流量に合わせた24時間の混合試料を作成した。その他、適宜マニュアルの採水を行なった。

分析は混合試料については3~

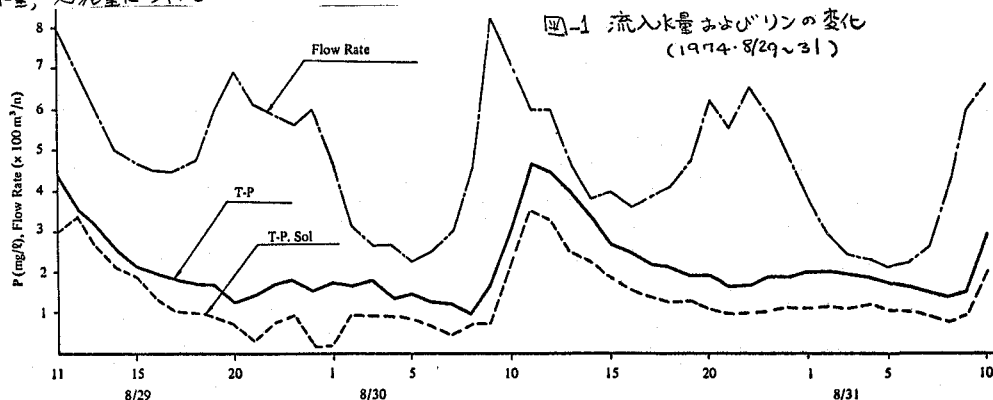
4回/日の頻度で行なった。混合液、返送汚泥等については、午前と午後にグラブサンプルを作成して代表値とした。分析方法はリンについては混合試薬法<sup>5)</sup>、その他については下水試験法によった。

図-2 施設のプロシート



また、流入水量、汚泥量について

は、記録計から読みとり日平均値を算出した。



### 3. 結果と議論

実験は1975年2月はじめに開始した。約半年間の連続運転でばん土の注入率は一定に維持されているが、3月30日まで水温の低い時期をPhase I、水温が17℃以上となった4月中旬以降をPhase IIとして結果の整理を行なった。表-3, 4にこの間の運転条件、流入流出水質の総括を示した。コントロール系、薬注系の流入量は同一に維持された。

リンの除去 リンの除去はばん土の添加で大きく向上した。表にみられるように、流入水の3.5 mg/lに対してPhase I, IIとも処理水中の残留リン濃度はT-Pで0.4, Orth-Pで0.3 mg/lまで減少した。溶解性リンは極めて低く平均で0.05 mg/lであり、急速3か算の設置とともに除去の程度が向上できることが示されている。リンの除去率はAl/Pのモル比で支配されることが指摘されているが、この実験ではモル比は2に固定されており、これより低い場合についても実験を行なっている。この処理場ではコントロール側の除去率も比較的高く、(44~45%)残留濃度は2 mg P/l以下となっている。これが生物によるUptakeであるのか、Ca<sup>2+</sup>など下水中のカチオンとの凝集によるものであるか検討を行なっている。コントロール系の汚泥中のリン濃度は1.7~1.9%であった。

表-3  
運転条件

| Category | Item           | Average daily flow (m <sup>3</sup> /d) | Aerator           |             |              |     | Final settler               |                     |
|----------|----------------|----------------------------------------|-------------------|-------------|--------------|-----|-----------------------------|---------------------|
|          |                |                                        | Aeration time (h) | MLSS (mg/l) | MLVSS (mg/l) | SVI | Organic load (kg BOD/kg SS) | Detention time (hr) |
| Phase I  | Control        | 10,650                                 | 4.5               | 640         | 460          | 117 | 0.55                        | 1.7                 |
|          | Alum. addition | 10,650                                 | 4.5               | 950         | 645          | 115 | 0.37                        | 1.7                 |
| Phase II | Control        | 11,800                                 | 4.1               | 1,030       | 717          | 105 | 0.36                        | 3.1                 |
|          | Alum. addition | 11,800                                 | 4.1               | 930         | 560          | 111 | 0.40                        | 1.5                 |

Feb. 25 ~ Mar. 26, 1975

Phase I

| Item<br>Category                           | Raw sewage |             | Primary effluent |             | Secondary effluent<br>(Control) |             | Secondary effluent<br>(Alum. addition) |             | Removal efficiency<br>over secondary |            |
|--------------------------------------------|------------|-------------|------------------|-------------|---------------------------------|-------------|----------------------------------------|-------------|--------------------------------------|------------|
|                                            | Average    | Range       | Average          | Range       | Average                         | Range       | Average                                | Range       | Control                              | Alum. add. |
| Temp (°C)                                  | —          | 11.6 ~ 13.6 | —                | 11.8 ~ 13.6 | —                               | 11.7 ~ 13.6 | —                                      | 11.7 ~ 13.6 | —                                    | —          |
| pH                                         | —          | 6.95 ~ 7.50 | —                | 6.76 ~ 7.60 | —                               | 6.94 ~ 7.70 | —                                      | 6.35 ~ 7.30 | —                                    | —          |
| Transparency                               | —          | 2.0 ~ 4.5   | —                | 3.0 ~ 8.0   | —                               | 15.2 ~ 30 < | —                                      | 2.4 ~ 3.0 < | —                                    | —          |
| Turbidity                                  | 130        | 67 ~ 223    | 83               | 51 ~ 111    | 14                              | 26 ~ 65     | 7                                      | 1 ~ 25      | 83.1                                 | 91.6       |
| SS<br>(mg/ℓ)                               | 135        | 60 ~ 232    | 52               | 34 ~ 77     | 12                              | 2 ~ 36      | 6                                      | 2 ~ 14      | 76.9                                 | 88.5       |
| Total Alkalinity<br>(mg/ℓ)                 | 94         | 79 ~ 118.   | 92               | 69 ~ 112    | 87                              | 70 ~ 103    | 52                                     | 43 ~ 65     | —                                    | —          |
| BOD <sub>5</sub><br>(mg/ℓ)                 | 100        | 96 ~ 104    | 67               | 51 ~ 83     | 8                               | 9 ~ 16      | 5.3                                    | 5.0 ~ 5.5   | 88.0                                 | 92.1       |
| COD<br>(mg/ℓ)                              | 69         | 54 ~ 110    | 48               | 42 ~ 61     | 14                              | 12 ~ 17     | 10                                     | 9 ~ 11      | 70.8                                 | 79.1       |
| TOC<br>(mg/ℓ)                              | 78         | 77 ~ 80     | 69               | 67 ~ 72     | 40                              | 38 ~ 42     | 17                                     | 11 ~ 24     | 42.0                                 | 75.3       |
| T-P<br>(mg/ℓ)                              | 3.44       | 2.80 ~ 4.40 | 3.44             | 29.3 ~ 4.0  | 1.95                            | 1.3 ~ 2.7   | 0.27                                   | 0.2 ~ 0.4   | 43.3                                 | 92.2       |
| Orth-P<br>(mg/ℓ)                           | 2.95       | 1.5 ~ 6.56  | 2.25             | 1.71 ~ 3.33 | 1.42                            | 0.91 ~ 1.67 | 0.13                                   | 0.08 ~ 0.28 | 36.7                                 | 94.2       |
| TKN<br>(mg/ℓ)                              | 22.8       | 22.5 ~ 23.0 | 23.7             | 22.4 ~ 25.0 | 18.8                            | 18.6 ~ 19.0 | 17.4                                   | 16.9 ~ 17.8 | 20.7                                 | 26.5       |
| NH <sub>3</sub> -N<br>(mg/ℓ)               | 12.2       | 11.3 ~ 13.1 | 13.9             | 13.2 ~ 14.6 | 14.1                            | 14.0 ~ 14.2 | 14.4                                   | 14.0 ~ 14.7 | —                                    | —          |
| NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N (mg/ℓ) | 0.4        | 0.1 ~ 0.3   | 0.2              | 0.1 ~ 0.3   | 0.3                             | 0.28 ~ 0.32 | 0.3                                    | 0.15 ~ 0.34 | —                                    | —          |

表-4 流入流出水質の総括

April 12 ~ June 30, 1975

Phase II

| Category                                     | Item | Raw Sewage  |             | Primary effluent |             | Secondary effluent (Control) |             | Secondary effluent (Alum. addition) |             | Removal efficiency over secondary |            |
|----------------------------------------------|------|-------------|-------------|------------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|------------|
|                                              |      | Average     | Range       | Average          | Range       | Average                      | Range       | Average                             | Range       | Control                           | Alum. add. |
| Temp (°C)                                    | —    | —           | 16.0 ~ 21.8 | —                | 16.0 ~ 21.8 | —                            | 16.4 ~ 21.8 | —                                   | 16.4 ~ 21.8 | —                                 | —          |
| pH                                           | —    | —           | 6.8 ~ 7.2   | —                | 6.8 ~ 7.2   | —                            | 6.6 ~ 7.2   | —                                   | 6.4 ~ 7.3   | —                                 | —          |
| Transparency (cm)                            | —    | —           | 2.5 ~ 5.5   | —                | 3.0 ~ 7.0   | —                            | 1.7 ~ 30    | —                                   | 6.5 ~ 30    | —                                 | —          |
| Turbidity (mg/l)                             | 80.3 | 56.5 ~ 132  | 52.02       | 32.5 ~ 92        | 6.7         | 4.1 ~ 11.3                   | 15.7        | 3.5 ~ 62                            | 87.1        | 69.9                              |            |
| SS (mg/l)                                    | 118  | 81 ~ 162    | 41          | 31 ~ 78          | 6           | 2 ~ 11                       | 21          | 2.0 ~ 66                            | 84.5        | 49.7                              |            |
| Total Alkalinity, (mg/l, CaCO <sub>3</sub> ) | 80.5 | 59 ~ 126    | 85.3        | 62 ~ 135         | 55          | 30 ~ 95                      | 39          | 13.5 ~ 53.5                         | —           | —                                 |            |
| BOD <sub>5</sub> (mg/l)                      | 98.7 | 68.8 ~ 124  | 64          | 47 ~ 95          | 9.5         | 6.5 ~ 16.5                   | 6.4         | 4.7 ~ 8.3                           | 85.1        | 90.0                              |            |
| COD (mg/l)                                   | 56.1 | 36.4 ~ 76.4 | 41.4        | 32.3 ~ 55.7      | 11.3        | 8.3 ~ 14.5                   | 12.5        | 7.0 ~ 37.5                          | 72.7        | 69.8                              |            |
| TOC (mg/l)                                   | 80.1 | 51.8 ~ 122  | 58.8        | 38.4 ~ 87.0      | 19.3        | 8.1 ~ 36.0                   | 14.9        | 7.1 ~ 22.3                          | 67.1        | 74.6                              |            |
| T-P (mg/l)                                   | 3.54 | 2.59 ~ 4.92 | 3.45        | 2.01 ~ 7.90      | 1.49        | 0.67 ~ 3.21                  | 0.39        | 0.14 ~ 0.69                         | 56.8        | 88.7                              |            |
| Orth-P (mg/l)                                | 2.16 | 0.81 ~ 3.20 | 2.24        | 0.79 ~ 4.40      | 1.25        | 0.59 ~ 1.97                  | 0.31        | 0.06 ~ 0.75                         | 44.2        | 86.2                              |            |
| TKN (mg/l)                                   | 25.2 | 21.8 ~ 29.1 | 25.8        | 20.6 ~ 39.1      | 13.2        | 9.9 ~ 21.0                   | 17.8        | 16.0 ~ 21.6                         | 49.1        | 31.3                              |            |
| NH <sub>3</sub> -N (mg/l)                    | 14.3 | 12.1 ~ 16.8 | 15.7        | 12.2 ~ 25.5      | 9.7         | 6.6 ~ 17.4                   | 14.1        | 12.3 ~ 16.4                         | 38.3        | 10.3                              |            |
| NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N (mg/l)   | 0.11 | 0.0 ~ 0.28  | 0.04        | 0 ~ 0.10         | 3.17        | 0.20 ~ 6.7                   | 0.35        | 0.07 ~ 0.83                         | —           | —                                 |            |

## 硝化と窒素の除去 水温の低いPhase I

では両系列とも硝化は全く生じなかった。Phase IIではコントロール側のみ硝化が生ずるようになり、水温が高くなるにつれてその程度が増加した。この周の様子を図-3に示す。図-4は、タンク内流下に伴う窒素の変化の例である。この間、薬注系では硝化はほとんど生じなかった。SRTが長くともなかつたこと、アルカリ度が不足することがこの原因である。Phase IIでは薬注系で汚渣物の流出が多くなり、SRT(タンク内MLSS量/流出SS量+余剰汚泥量として定義)を2日程度しか維持することができなかつた。表-3に示したように終沈の水固相負荷が薬注系で大きく、SSの流出を防ぐためにMLSSを高くすることができなかつたためである。

汚泥中のAlは約12%で定常状態に達した。高濃度のAlが硝化に与える影響についても検討を行っているが、現在までに行なったバッチ式の室内実験の結果では、ばん土150mg/lまでの添加でも、水酸化物としての添加でも特にAlの硝化に対する阻害はしていない。

Phase IIでは流入水中のアルカリ度85mg/l(AsCaCO<sub>3</sub>)がばん土の添加によって45mg/l消費されている。Alの凝集反応が次式に従うものとする、

$$\begin{aligned} \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{HCO}_3^- &\rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{SO}_4^{2-} + 6\text{CO}_2 \quad \text{---(1)} \\ \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{PO}_4^{3-} &\rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{SO}_4^{2-} \end{aligned}$$

Al 1mg/lの添加でアルカリ度は最大5.5mg/l消費されるが、添加したAl 8mg/lのうちリンとの凝集で使用される分を考慮するとこの消費量はほぼ理論値に対応している。理論上N 1の硝化にアルカリ度が7.1づつ消費されることを考慮すれば、薬注によって硝化のためのアルカリ度が不足してくることになる。(なお、ばん土添加によってPHは約1ユニット低下した)コントロール系のアルカリ度消費は硝化によるものである。(図-4)

この結果から判断すると、この処理場のように流入水のアルカリ度が100mg/l程度の場合、完全な硝化を生じさせるためには凝集剤を添加する場合はもちろんのこと、そうでないときにもアルカリ度の補強を行なう必要がある。これは家庭下水の処理を中心とした下水処理場一般に共通した問題である。なお、総窒素としての除去率はコントロール系と薬注系の間に差は生じていない。

有機物の除去 BOD<sub>5</sub>, TOCともばん土の添加によって除去率が向上した。コントロールに比較してBOD<sub>5</sub>で約5%, TOCで約10%の増大である。Phase IIでは薬注系の除去率が若干低下したが、これは汚渣物の流出に起因している。処理水中の溶解性BOD<sub>5</sub>, TOCは平均で3.6mg/l, 17mg/lでそれぞれTotalに対して55%, 82%であった。

汚渣物の除去 薬注系の汚渣物除去はPhase IIでコントロール側より悪化した。この理由としては、Phase IIでコントロール側で終沈を2池使用したため、薬注系の水面積負荷が高くなっていること、Phase Iは初期の運転であったため汚泥中のAl濃度が定常となっておらず、水酸化アルミニウムを主体とする微細フロックの流出が顕著でなかったことなどが考えられる。(薬注系の固形物中のAlはPhase Iで7%, Phase IIで約12%であった)

図-3 処理水中の窒素の変化

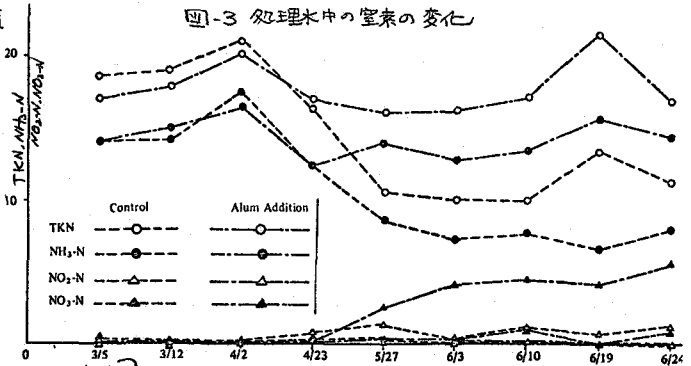
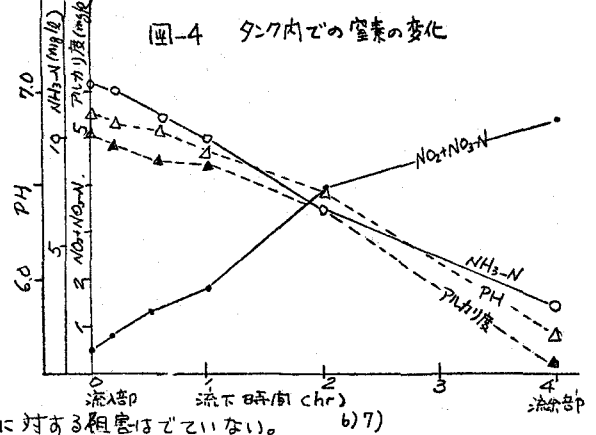


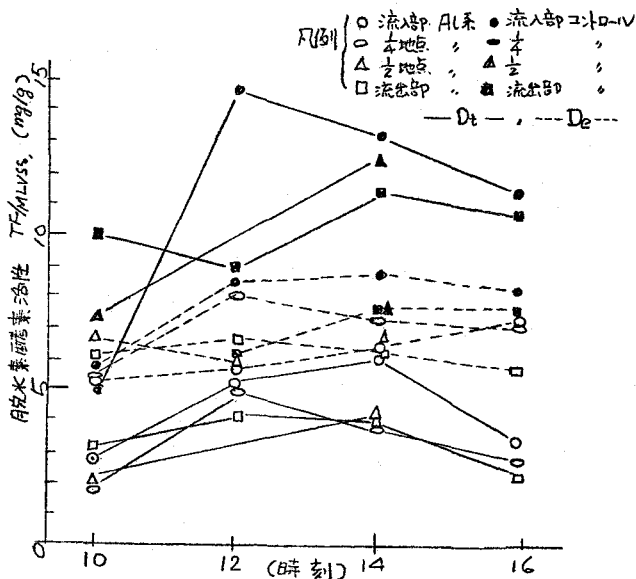
図-4 タンク内での窒素の変化



事実、ばん土の注入によって初期に得られる極度の清澄な処理水が時間の経過とともに悪化し、水酸化アルミニウムのフロックにより白濁するという報告が多い。<sup>97,101b</sup> ここで得られた結果はこれらの例にみられるほど極端ではなく、処理水の準時白濁という現象は現在までのところでは観察されていない。名古屋市の室内実験では、MLSSが低い(1,000 mg/l 付近)場合に生物活性との兼合いで凝集性が向上するという結果が得られており<sup>102</sup> このケースではMLSSが低く維持されていること、SRTが低いことなどが効果をあげている可能性がある。しかしながら、この場合のようにモル比が比較的高い場合には多少なれど水酸化アルミの流出は避けられないためモル比の側からの検討の他に、ポリマーの添加、急速沈降池の設置など汚物の流出防止のための手段の検討も必要となるであろう。

生物に対する影響 高濃度のAlのエアレーションタンクへの添加が活性汚泥生物に対してどの程度影響するかはこの手法における大きな焦点の一つである。VSSの割合は低下するものの生物への影響は特にみられないとする報告がある一方、<sup>142</sup> ばん土の添加が100 mg/lを超えると固相数が減少するという報告もある。<sup>152</sup> phase IIにおける生物相の検証結果を表-5に示す。表-5には両系列の比較が行なわれているが、ばん土100 mg/lの添加によって全体的に活性汚泥生物の固相数が減少するとともに、その種類数も減少している。処理水の水質の悪化がみられないことは前述したとおりであるが、このモル比で注入する場合には、固相数と種類数に対して影響がでると考へるべきであろう。

図-5 脱酸素素活性の比較



両者の脱酸素素活性の比較を図-5に示す。これは、エアレーションタンク内の異なる位置での時間変化を示したものである。図中のDtは全活性、Deは基質を洗い出したあとの活性(内呼吸期の活性)を示している。図に示されるように、コントロール側では常にDt > Deであるのに対してばん土の注入側ではDt < Deとなっており、基質をとり除いた方が活性が増加する結果となっている。また両者ともDeの値は差がみられない。このことは高濃度のAlが何らかの形で生物の活性を阻害しているといえよう。同様の現象は工場排水が比較的多量に流入する下水処理場でも観察されている。<sup>16)</sup>

表-5 活性汚泥生物相の比較

| 種類              | コントロール |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ばん土注入 |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
|-----------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|                 | V/20   | 22   | 23   | 28   | V/2  | 4    | 5    | 9    | 12   | V/2  | V/20  | 22  | 23  | 28  | V/2 | 4    | 5   | 9   | 12  | V/2 |
| Euglena         | 40     | —    | 420  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —     | —   | 200 | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Unknown         | —      | 80   | 730  | —    | —    | —    | —    | —    | 100  | —    | 60    | 180 | 40  | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Flagellata      | —      | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —     | —   | —   | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Tetrahymena     | 260    | 320  | 2000 | 260  | 580  | 120  | —    | 86   | —    | 2340 | 40    | 20  | 20  | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Litonotus       | 60     | —    | 380  | 720  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —     | —   | —   | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Unknown ciliata | —      | —    | —    | —    | 160  | —    | —    | —    | —    | —    | —     | —   | —   | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Aspidisca       | 620    | 340  | 780  | 300  | 760  | 160  | —    | 500  | 500  | 640  | —     | 20  | 80  | —   | 20  | 20   | 40  | —   | —   | 40  |
| Vorticella      | —      | 80   | 160  | 720  | 500  | 2040 | 260  | 2080 | 980  | 820  | 60    | 20  | 100 | 100 | 240 | 720  | 200 | 40  | 200 | 120 |
| Opercularia     | —      | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | 20   | —     | —   | —   | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Carchesium      | —      | —    | —    | —    | 100  | 200  | —    | 220  | 360  | —    | —     | 40  | —   | —   | 80  | 80   | —   | —   | —   | —   |
| Zoothamnium     | —      | 220  | —    | —    | —    | —    | —    | 80   | —    | 40   | —     | —   | —   | —   | —   | —    | —   | —   | —   | —   |
| Epistylis       | 640    | 80   | 160  | 1080 | 2160 | 3260 | 4050 | 1080 | 40   | 200  | 80    | 80  | 120 | 140 | 40  | 160  | 20  | —   | 140 | 200 |
| Rhabdostyla     | —      | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —     | —   | —   | —   | —   | 100  | —   | —   | —   | —   |
| Tokophrya       | —      | 100  | 240  | 180  | 120  | 300  | 60   | 160  | 100  | 20   | 20    | 40  | 140 | —   | —   | 60   | —   | 80  | 140 | 220 |
| Rotaria         | 20     | 20   | —    | —    | 60   | 20   | 20   | 200  | 120  | 320  | —     | —   | 20  | —   | —   | —    | 40  | 20  | 40  | —   |
| Nematoda        | —      | 20   | —    | —    | —    | —    | —    | 20   | 40   | 40   | —     | 20  | 20  | 20  | 40  | 20   | —   | —   | —   | 20  |
| Total           | 1640   | 1260 | 4870 | 3260 | 4440 | 6100 | 4370 | 4426 | 2240 | 4440 | 260   | 420 | 740 | 260 | 420 | 1180 | 300 | 140 | 820 | 600 |

Phase IIの期間中、処理水の白濁が数回、数時間程度観察された。当初は水酸化アルミニウムのフロックの流出であると考えられていたが、<sup>197</sup>検査の結果処理水中に多量の細虫(Spiriochaeta plicatilisによく似たらせん虫<sup>170</sup>)が観察され、(写真-1)白濁の原因はこれらの流出によることが明らかとなった。この細虫は50~150μ程度であり、わずかに「はあが」、タンク内に時々みられる。白濁するまでに大量に増殖する原因、これがplicatilisであるかどうか、この処理場に固有なものであるかどうかなどについて現在、検査中である。なお、大量発生は、降雨のあとによくみられた。

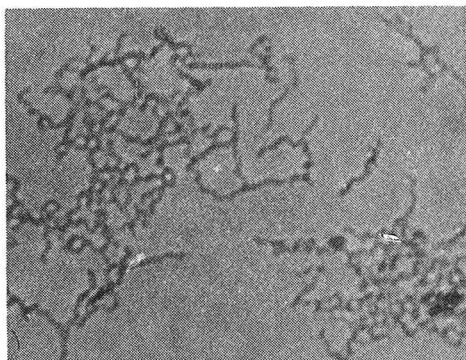


写真-1, 600倍。

### 汚泥の発生量

凝集剤の添加による汚泥の増加は、この方法の最も大きな問題点である。余剰汚泥の発生量はばん土の注入量で左右されることが知られており、20~40%程度増加すると報告されている。<sup>187</sup> 混合液中のAl濃度が安定したとみなされる6月(11日間)の両系列の汚泥発生量を比較したのが表-6である。表中には比較を容易にするため発生量を流入水量で除した値(濃度)も示した。この期間の日平均発生汚泥量はコントロール系で613 kg/d (45.4 mg/l), 薬注系で856 kg/d (72.5 mg/l)であり、ばん土の添加によって40%近く汚泥の発生量が増加した。このときのBOD<sub>5</sub>の除去量は、コントロール系で590 kg/d (56 mg/l), 薬注系で640 kg/d (61 mg/l)とその差は50 kg/d (5 mg/l)

表-6. 汚泥発生量の比較

| Sludges                                               | Control       | Alum. addition |
|-------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| Waste activated sludge<br>kg/d.<br>(mg/l)             | 536<br>(45.4) | 545<br>(46.1)  |
| Solid in effluent<br>kg/d.<br>(mg/l)**                | 77<br>(6.5)   | 310<br>(26.2)  |
| Total<br>kg/d.<br>(mg/l)**                            | 613<br>(45.4) | 856<br>(72.5)  |
| Addition as Al(OH) <sub>3</sub><br>kg/d.<br>(mg/l)**  | —             | 184<br>(15.6)  |
| Addition as AlPO <sub>4</sub> *)<br>kg/d.<br>(mg/l)** | —             | 139<br>(11.8)  |

\*) Calculated value. \*\*) Based on inflow.

程度であり、ばん土添加によるリン酸アルミニウムおよび水酸化アルミニウムの生成が汚泥の増加に直接影響していることがわかる。ばん土の凝集反応が前述の(1)式に従うと仮定し、表-4から流入水中のリンのうち3 mg/lがAlと反応するものとする、ばん土の添加による汚泥の生成量は、水酸化アルミニウムで184 kg/d (15.6 mg/l), リン酸アルミニウムで139 kg/d (11.8 mg/l)となる。このときの汚泥中のAl量は約110 kg/日となるが全汚泥量856 kg/dに対して約12%となり、実験値とよく一致した。したがって、ばん土の注入量とリンの除去量をもとに汚泥の発生量(増加量)を推定することが可能である。同様のことは、モル比1.65で行なったTexas市の下水処理場でも得られており、<sup>197</sup>(このときの発生量は18%増加)この場合もモル比を下げることで汚泥の発生量を下げることも可能となろう。この期間内で興味深いのは薬注系の増加分が処理水とともに流出していることである。

### 汚泥の脱水性

最初試験池にばん土を添加した場合、あるいは2次処理水にばん土を添加した場合と異なり、余剰汚泥中にAlを含む場合には、通常の余剰汚泥とあまり脱水性に差は生じないと報告されている。<sup>207</sup> 既設の脱水機も使用する(真査)ことも想定してリーフテストを行なった。濃縮汚泥の含水率を変化させて脱水性を調査するまでには至っていないが、一般に調整剤として用いられる消石灰と塩化オニ鉄を用いた濃縮汚泥(固形分約26%)のリーフテストの結果を図-6に示す。石灰添加率20~50%までは、沈速速度はAlの含有量によらず10~12 kg/m<sup>2</sup>・hrと違いが70%以上になると20 kg/m<sup>2</sup>・hrまで期待できる。ケーキの含水率は82~89%でありAlとの関係がやまみられる。また塩化オニ鉄の添加は不可欠であった。ここで得た値は通常報告されている余

剩汚泥の脱水性に比較してやゝ劣っているが生活泥との混合によって相当改善される可能性が示されている。

薬品の費用 名古屋市の液体硫酸ばん土の購入価格(11円/45Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>kg)をもとに流入水に対してAl/pモル比2でばん土を注入する場合の薬品費を計算すると1.7円/m<sup>3</sup>下水となる。モル比はさらに小さくできる可能性があり、この費用はこれより低めとなる。

#### 4. まとめ

実際池を対象に、処理機能の全体的な向上をはかるためにエアレーションタンクに液体硫酸ばん土をAl/pのモル比が2になるように注入した場合の調査結果についてのべた。いくつかの問題点があるが、この手法は、既設下水処理場の機能改善のための有力な方策となりうるであろう。現在、調査は継続中であり、種々の面からの検討を続けていく予定である。

謝辞 末語ではありますが、有益な助言をいただいた土研・柏谷部長、小堀氏、名古屋市、加藤、前橋両係長、分析係に御協力いただいた浅野、三羽の各位をはじめ関係各位に感謝の意を表する次第である。

#### 《参考文献》

- 1) "三次処理技術開発協力会議、第2次報告書、建設省 昭和49年12月
- 2) "Process Design Manual for upgrading Existing Sewage Treatment Plants". EPA Technology Transfer, Dec. 1974.
- 3) Thomas, E.A. "Process for Removal of Phosphates from Sewage" Chemical Abstracts, 1963.
- 4) Barth, E.F. "Mineral Controlled Phosphorus Removal in the Activated Sludge Process", J.WPCF, Aug 1967 etc
- 5) "Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes" EPA. Technology Transfer, 1974.
- 6) 名古屋市下水道局、内部資料
- 7) 土木研究所、未発表
- 8) "Evaluation of Process Available for Removal of Phosphorus from Wastewater" EPA, 170/10, Oct 1971
- 9) 油井、内田「エアレーションタンクへの硫酸アルミニウム直接添加によるリン除去」第12回、下水道研究講演集、1975、
- 10) "Alum Addition To Activated Sludge with Tertiary Solids Removal" EPA-670/2-73-073, Aug. 1973.
- 11) "Phosphate Removal in an Activated Sludge Facility" EPA project No WPRD 247-01, Draft Report.
- 12) 文木、水野「曝気槽への凝集剤添加による処理水向上試験」第12回下水道研究講演集、1975、
- 13) 10)に同じ、
- 14) 11)に同じ
- 15) 稲森他「生物・化学的同時処理法によるリン除去、下水道協会誌、1975年8月号
- 16) 小堀、岡沢「活性汚泥の活性について」第26回土木学会年講集、昭和46年、
- 17) Bergeys Manual of Determinative Bacteriology, 8th Edition, 1974 PP169.
- 18) Interim Report on Task Force on Phosphate Removal Sludges" EPA-670/2-75-013 Jan. 1975
- 19) "Phosphorus Removal And Disposal from Municipal Wastewater." EPA/70/10-02/71, Feb, 1971
- 20) 18)に同じ

