管壁からの硝化菌混入によるパイプ送水後 下水処理水BOD値の上昇について

BOD increase of sewage treatment plant effluent after
short time pumping due to contamination of nitrifying
bacteria.

田 中 康 男・野 田 功・横 田 義 春・町 野 豊・
今 利 雄

(東京都下水道局)

Yasuo TANAKA, Isao NODA, Yoshiharu YOKOTA, Yutaka MACHINO and
Toshio KON
Sewage Works Bureau of Tokyo Metropolitan Government

Abstract

In a municipal sewage treatment plant in Tokyo, Japan, it has been observed that BOD value of a secondary effluent containing ammonium increased significantly after a short time pumping through a pipe of about 1 km long. An investigation was made for clarifying a cause of this BOD increase.

Both nitrifying activity and number of nitrifying bacteria increased markedly after pumping. This indicate that BOD increase was caused by the increase of O_2 uptake due to nitrification. Since almost no change of chemical quality was observed during pumping, increase of nitrifying bacteria must be the sole cause of the increase of the nitrifying activity. It was assumed that detachment of the population on the pipe surface was the cause of the increase of nitrifying bacteria after pumping.

1. はじめに

BODは下水処理場において重要な測定項目の一つであるが、二次処理水のBODが短時間のパイプ送水をしただけで異常に高くなる現象が以前から都内のいくつかの処理場で観察されていた。この現象はパイプ送水後の試料についてBODを測定する際に問題となると考えられるため、原因に関する調査を行った。この結果、管壁で増殖した硝化細菌が送水中の処理水に混入し、硝化による酸素消費量の増大することがBOD上昇の原因であるとの推定が得られたのでここに報告する。

2. 調査場所

調査は東京都大田区内の東京都下水道局森ヶ崎水処理センターで行った。当センターは東西2つの処理施設から成り、放流水CODの連続監視を目的として両施設の放流口からCOD自動計測室まで処理水の一部についてパイプ送水を行っている。送水パイプは、内壁を塩ビライニングした鋼管で、内径60mm、長さは東施設が1310m、西施設が570mである。送水速度は150ℓ/分であり、管内滞留時間は東施設で25分、西施設で11分である。

3. 分析方法

BODはJIS K0102により測定した。常法のBODと同時に、硝化の影響を除いたBOD値を求めるためN-アリルチオ尿素(ATU)添加法でも測定を行った。なお、添加は1mg/lの濃度で行った。

CODは「下水試験方法」(1974年版)の「100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量」により測定した。またpHはガラス電極法により測定した。

各態窒素濃度の測定は「下水試験方法」(1974年版)により、アンモニア性窒素が蒸留滴定法、亜硝酸性窒素がN-(1-ナフチル)エチレンジアミン・スルファニル酸法、硝酸性窒素はブルシン法でそれぞれ測定した。なお、一部の試料についてはイオン電極法によってアンモニア濃度の測定を行った。使用した電極は電気化学計器株式会社製隔膜型アンモニウムイオン電極である。

アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌の計数は河合(1969)の方法に従い、MPN法で行った。培養温度は25～27℃で行った。計数は2回行ったが、このうち1983年6月の場合には5段階3本法で行い、培地には細砂のかわりにケイ酸粉末を用いた。また培養は2ヶ月行った。1984年10月には、5段階5本法で行い、ケイ酸粉末のかわりに大理石粉末を用いた。培養期間は1ヶ月であった。

4. 結果と考察

(1) 送水前後のBOD値の比較

Fig. 1に送水前後のBODを常法とATU添加法で測定した結果を示した。東施設においては、4月3日を除いては送水によって常法BODが3～4倍も上昇した。これに対し、ATU添加BODでは送水前後の差がほとんど見られなかった。この結果から、送水後の常法BODの上昇は硝化活性の増大によると推測される。東施設と異なり西施設では、常法、ATU添加法ともBODは送水の影響をほとんど受けなかった。

Table 1にBOD測定試料の水質分析の結果を示した。この結果から明らかなように、西施設は東施設に比較してかなり硝化が進行しており、アンモニア濃度が低くなっている。このことが西施設ではパイプ送水後も硝化に由来するBODの上昇が起らなかった原因であろう。

Table 1. Water quality of secondary effluent.

	NH ₄ ⁺ -N mg/l	NO ₂ ⁻ -N mg/l	NO ₃ ⁻ -N mg/l	COD mg/l	pH
24 Jun.1983 East Plant	13.7	0.2	1.1	9	7.5
West Plant	5.1	0.3	7.2	8	7.1
28 Sep.1983 East Plant	5.2	0.5	2.0	7	6.9
West Plant	0.0	0.0	7.6	4	6.5
18 Mar.1985 East Plant	7.5	0.2	2.7	7	6.9
West Plant	1.4	0.2	7.7	7	6.6
3 Apr.1985 East Plant	19.2	0.1	2.4	9	7.0
West Plant	8.5	0.3	10.7	9	6.9

Fig. 1. BOD values of secondary effluent before and after pumping.

BP : before pumping

AP : after pumping

□ : BOD value including oxygen demand by nitrification

▨ : BOD value not including oxygen demand by nitrification

NT : not tested

(2) 送水前後の硝化活性の比較

送水による硝化活性の上昇を確認するため、送水前後の処理水を放置し、それぞれ各態窒素濃度の経時変化を追跡した。Fig. 2は1983年7月23日に東施設で採取した試料についてアンモニア性窒素濃度の経時変化を追跡した結果である。なおアンモニアの測定はこの時に限りイオン電極法で行った。送水前の試料について見ると、3日目まで濃度変化が起らず、消失までにおよそ8日かかったのに対し、送水後では放置直後から低下が始まり、消失までの日数は4日と送水前の半分であった。

Fig. 3は1984年10月24日東施設で採取した試料についての結果である。アンモニア性窒素の消失に要する日数は送水前で7日、送水後5日であり送水後の方が短かった。また送水前の試料では亜硝酸の蓄積が見られたのに対し、送水後では亜硝酸の蓄積がほとんど見られなかった。このことから送水によって特に亜硝酸酸化活性が顕著に上昇したと考えられる。

Fig. 2. Changes in $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration of secondary effluent during incubation. Samples were taken on 23 Jul. 1983.
BP : before pumping
AP : after pumping

Fig. 3. Changes in concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ of secondary effluent during incubation. Samples were taken at the east plant on 24 Oct. 1984.
BP : before pumping
AP : after pumping

Fig. 4は同日の西施設の結果である。すでに述べたように西施設の処理水は硝化がかなり進行しているため、送水の影響はあまり顕著ではないものの、硝化の完了に要する時間は送水前で7日、送水後で5日と、やはり送水による硝化活性の上昇が認められた。以上の結果より東西両施設とも送水により硝化活性の増大することが確認された。

(3) 送水前後の水質の比較

送水によって硝化活性の上昇が起きる原因としては次の2つの可能性が考えられる。まず第1には、送水により何らかの水質変化が生じ、硝化菌の活性が上昇する。第2は、送水中に硝化菌量が増加する。この2つのうち、まず送水による水質変化について委討するため、送水前後の試料についてpH、COD、各態窒素の測定を行った。Table. 2に示したように、水質の変化はわずかであり、硝化菌の活性変化を引起すほどのものであるとは考えられない。なお、送水によりわずかではあるがアンモニアの低下と、硝酸の上昇が見られたことから、送水中にも硝化は若干進行したと考えられる。

(4) 送水前後の硝化菌数の比較

送水による水質の変化がほとんど見られなかったことから、硝化活性上昇の原因は硝化菌数の増加である可能性が高いと思われる。この点について検討するため、送水前後の処理水について硝化菌の計数を行った。Fig. 5に示したように、わずかの例外を除いては、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌とも送水により菌数が10倍程度増加した。この結果より、送水による硝化活性の上昇は硝化菌数の増加によることはほぼ確実といえる。

Fig. 4. Changes in concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ of secondary effluent during incubation. Samples were taken at the west plat on 24 Oct. 1984.

BP : before pumping

AP : after pumping

Table 2. Water quality of secondary effluent before and after pumping.

BP : before pumping

AP : after pumping

	East Plant					West Plant				
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ mg/l	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ mg/l	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ mg/l	COD mg/l	pH	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ mg/l	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ mg/l	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ mg/l	COD mg/l	pH
16 Oct.1984 BP	16.2	0.1	0.7	8.5	7.5	6.6	0.3	4.9	8.2	7.3
AP	15.5	0.1	1.3	8.4	7.2	5.8	0.2	5.5	7.8	7.0
18 Oct.1984 BP	15.9	0.2	0.5	8.9	7.2	5.1	0.4	8.2	8.4	6.9
AP	14.4	0.2	1.4	8.4	7.1	4.2	0.3	8.5	8.6	6.7
24 Oct.1984 BP	16.0	0.2	0.4	9.1	7.4	4.3	0.5	9.4	8.5	6.9
AP	14.9	0.3	1.1	8.9	7.2	3.2	0.4	10.2	7.7	6.7

なお、硝化菌の増殖速度はかなり遅く、数10分という短時間の送水の間に処理水中に含まれていた菌がこれほど増殖するとは考えにくい。よって、パイプ内壁で付着増殖した菌が連続的に内壁から脱離し処理水中に混入することにより菌数が増加したと考える方が妥当であろう。

今後、アンモニアを多く含む処理水をパイプ送水した試料について BOD 測定を行う際には ATU 添加などによって硝化を抑制することが必要不可欠であると考えられる。またパイプ内壁面の定期的な洗浄又は殺菌などによってパイプ内壁面での硝化菌の付着増殖を防止することによっても BOD 上昇は防止できると思われる。

参考文献

- 1) 河合章：窒素化合物の代謝に関与する細菌群の計数法、陸水生物生産測定方法論研究会編「陸水生物生産研究法」P.291-295, 講談社 (1969)
- 2) 日本下水道協会：下水試験方法 (1974)
- 3) 日本規格協会：工場排水試験方法 (JIS K0102) (1981)

Fig. 5. Numbers of nitrifying bacteria in secondary effluent.

BP : before pumping

AP : after pumping

□ : ammonium oxidizing bacteria

■ : nitrite oxidizing bacteria

◁ : less than that value