

II-18 寒冷地における下水処理に関する研究

北見工業大学 正員 海老江 邦雄
北見工業大学 輪島 秀則

1. まえがき

活性汚泥法で代表される好気性生物処理では、(1)水温が10℃低下することによって微生物の浄化速度がほぼ $\frac{1}{2}$ になる、(2)低温域の臨界温度である5～8℃を下まわるとBODなどの除去率が急激に低下する、と考えられてきた。それゆえ、北海道のように冬期ならびに融雪期の下水温がこの臨界温度に達する寒冷地での処理効率については、当初相当懸念されていたところである。しかしながら、水温の効果に関する基礎的研究や寒冷地での処理実績が蓄積されるにつれて、低温下水の処理対策としては曝気槽内の有機物負荷を低目に設定することが基本的に重要であると認識されるようになった。北見市下水道終末処理場は北海道東・北部の寒冷地（冬期の最低気温が-25～-35℃）で最も長期の運転実績を有する処理場である。

本報は、活性汚泥法を採用する同処理場の6年間（昭和46年4月～昭和52年3月）にわたる運転管理データならびに最終沈殿池流出水を対象として行なった凝集沈殿処理と活性炭吸着処理実験をもとにして、各処理レベルでの有機物の除去率とその傾向について検討した結果の概要を報告するものであり、寒冷地において下水処理に関係する諸氏の参考となれば幸いである。

2. 流入下水と終末処理場の概要

北見市下水道の計画処理人口は6.1万人、計画一日最大下水量は33500 m^3 （昭和54年度から62400 m^3 に変更）であった。下水の排除方式は当初合流式（降雨強度式 $I = 2,500 / (40 + t)$ 、雨天時流量は晴天時下水量の3倍）のみであったが昭和49年度から分流式を採用し始め昭和53年度末現在処理区域の25%（290ha）を占めている。終末処理場の処理方式は活性汚泥法（4分割注入法）であり、下水および汚泥処理施設のフローシートを図-1に示す。また、6年間の調査期間中の流入下水量、流入下水温度、投入尿尿量・消化槽脱離液量の経月変化を図-2～4にそれぞれ示した。

図-2の平均下水量は12～2月の厳寒期に減少し3月の融雪期に若干の上昇が認められる。図-3の平均温度は8月に最高の18℃、融雪水の流入する3月に6.9℃、1～4月は8℃以下を記録している。期間中の最低は4.0℃であった。図-4で見られる投入尿尿量と消化槽脱離液量には年2回のピーク（春の5月と厳寒期を迎える前の11～12月）があるが1～3月は極微量となり平均下水量の減少と相まって有機物負荷の減少要因となっている。

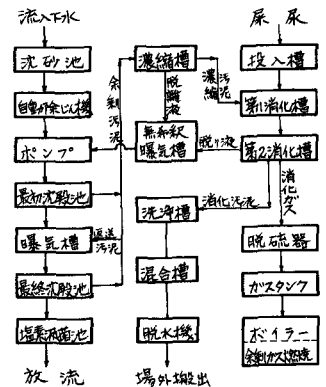
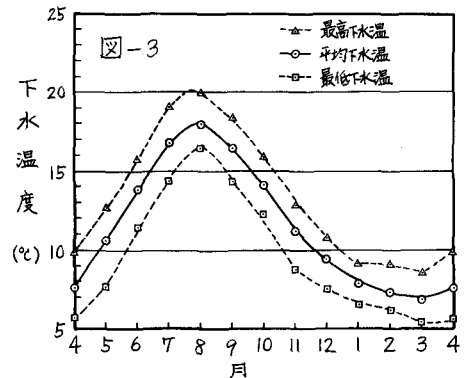
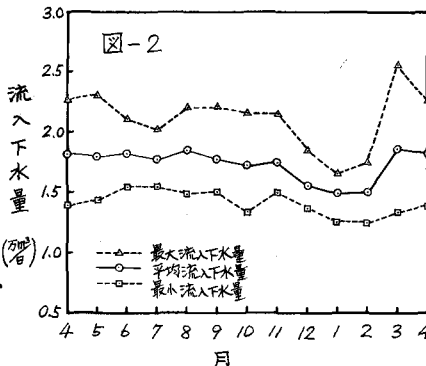


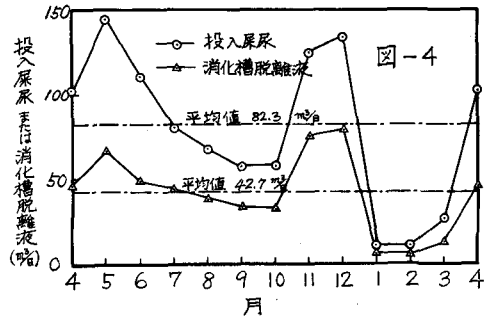
図-1 フローシート

（春の5月と厳寒期を迎える前の11～12月）があるが1～3月は極微量となり平均下水量の減少と相まって有機物負荷の減少要因となっている。



3. 活性汚泥法による有機物質の処理

(主要部の運転操作条件)-----最初沈殿池と最終沈殿池の滞留時間は計画一日最大下水量(33,500 ㎥)時にそれぞれ2時間と3時間(調査期間の平均下水量17,287 ㎥に対してはそれぞれ3.9時間と5.8時間)となっている。また、活性汚泥による吸着と生化学反応を行わせる曝気槽の操作条件を夏期と冬期に分けて示すと表-2の通りである。流入下水が相当低温になるものの返送汚泥率以外は通常の操作条件の範囲内にある点に注目すべきであろう。



(有機物除去の指標)-----有機物質の除去率の指標としてCODを採用した。その理由は、(1)BODよりもCODの測定数が非常に多く信頼度が高いと判断されること、(2)流入下水、最初沈殿池流出水、最終沈殿池流出水それぞれのBODとCODの変動率(標準偏差/平均値)を計算したところ、全体的に見てCODの変動率の方が小さな値を示していたからである。なお、既知のCODに対応するBODあるいはSSの値を必要とする際は同処理場のデータに基づく表-1を利用すればよい。表中、BOD/CODとSS/CODは処理の進行につれて低下しているのに対しSS/BODのみは一定値をとっており注目される。

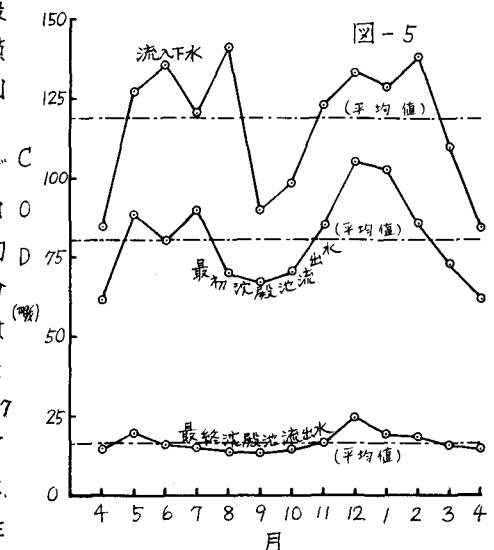
表-1	流入下水	最初沈殿池流出水	最終沈殿池流出水
BOD/COD	1.747	1.601	1.071
SS/COD	3.452	2.951	2.026
SS/BOD	1.980	1.843	1.891

* 表中の値は86~92組のデータの相対平均値である。

(処理結果と考察)-----流入下水、最初沈殿池流出水、最終沈殿池流出水それぞれの平均CODの経月変化を図-5に示した。流入下水の全体的な傾向としては、投入原尿量の多い時期を含む5~7月と12~2月に高いCODを示しているのに対し、融雪水の流入する3~4月と比較的雨の多い8~10月にCODが低くなっている。最初沈殿池流出水、最終沈殿池流出水も同様の傾向を示している。特に最終沈殿池流出水の水質が水温低下時よりも投入原尿量の多い5月と12月に悪化していることから、処理水質の改善・安定化のために調整槽の設置が何よりも重要であると判断される。

表-2	夏期 (7~9月)	冬期 (1~4月)	一般的な 操作条件
水温(℃)	17.1	7.4	
MLSS(mg/l)	2,547	2,552	2,000~3,000
返送汚泥率(%)	29.4	35.8	20~30
曝気時間(時間)	3.9	4.8	4~6
汚泥令(日)	2.83	3.19	2~4
BOD-SS負荷(%)	0.32	0.26	0.2~0.4
BOD容積負荷(%)	0.68	0.58	0.4~1.4
空気量(%)	6.0	6.4	3~7

表-3のカラムIに図-5の一点鎖線で示した各処理段階での平均CODとその除去率を示した。全体としてのCOD除去率は86.1%、これをBODに換算すると91.5%に相当し、年間の平均水温11.6℃では高級処理としての一般的な除去率レベルを十分に達成していると言えよう。また、表-3のカラムIIとIIIには流入下水の低温化に伴う各段階での平均CODとその除去率を掲げた。その結果、全体としてのCOD除去率は流入下水温が9.7℃低下しているカラムIIで2.8%、下水温が14.1℃も低下しているカラムIIIでは僅かに1.5%低下しているに過ぎない。さらに、最初沈殿池における固液分離の効率は、水温が低下し水の粘性が高くなったことなどによりいずれにおいても5.2%低下して



いるのに対し、溶解性有機物の活性汚泥への生物化学的な転換と固液分離を行う（曝気槽＋最終沈殿池）での効率にはカラムⅡで2.7%、カラムⅢで0.7%であった。以上のように北見市下水道最終処理場では冬期の水温低下による処理効率の低下、特に生物の関与する部分での処理効率の低下を極めて小さく抑えられることが明らかになった。その理由は次にあげる事柄の相乗効果によると考えられる。(1) 流入下水温は秋から冬にかけて長期間のうちに徐々に低温化して行くため、完全に低温型の生物相に推移していたためと考えられる。とくに、既に指摘されているように、曝気槽においては生物化学的效果というよりも温度の影響が小さいと言われる活性汚泥表面における溶解性有機物の物理的吸着による効果のウェイトが大きかったものと推測される。(2) 平均的に見て、冬期間の流入下水水量および有機物総量が少なかったこと。したがって、曝気時間が23.1%長くなり、BOD各負荷が14.7%減少している。(3) 返送汚泥率を高めてML-SSを夏場と同レベルに保持して運転したためBOD-SS負荷が1/8(8%)も低くなり、これに伴って汚泥令が若干長く維持された。

4. 凝集沈殿と活性炭吸着による

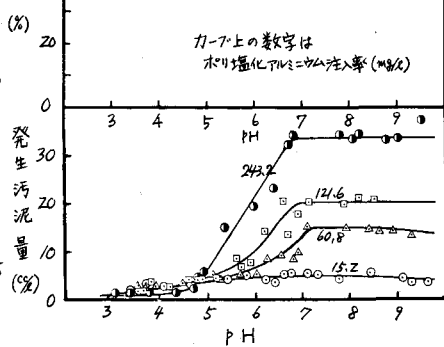
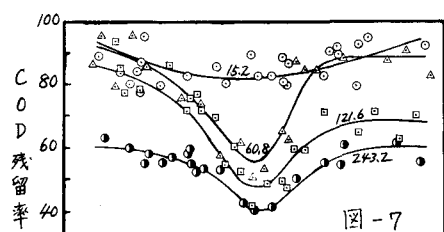
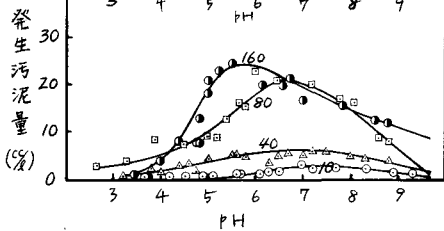
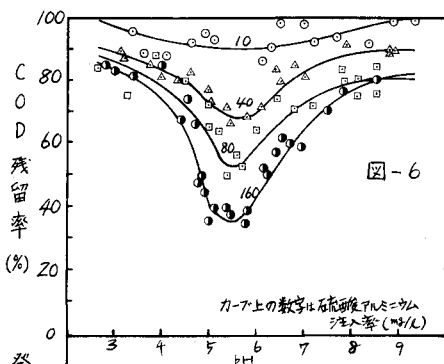
最終沈殿池流出水中の有機物質の処理

(実験条件と方法)----凝集沈殿処理に関しては、ビーカーに計量された最終沈殿池流出水にpH調整剤(0.2N-HClまたは0.2N-NaOH)と所定量の凝集剤(硫酸アルミニウムAlum 10, 40, 80, 160 mg/L またはこれらに相当するポリ塩化アルミニウムPAC 15.2, 60.8, 121.6, 243.2 mg/L)を加えたのちJar Test(急速混和150rpm 5分間、緩速混和40rpm 10分間、沈降20分間)した。上澄水についてはpHとCOD(KMnO₄による酸性法)を測定した。沈降した汚泥についてはメスシリンダーに移したのち24時間静置させて体積を読みとった。活性炭吸着処理に関しては、凝集沈殿処理で定められた最適凝集pH域において前述と同一の条件でJar Testを行い、上澄水の適量を別に用意したビーカーに採水する。6連マグネスター上でこれらを攪拌しながら所定量の粉末活性炭(和光純薬製、藤沢化学の花B、花BAの3種類)を注入し20分間吸着反応を行わせた。引き続き20分間静置し上澄水中に残る微量の活性炭をNo.5Aのろ紙でこし分け、ろ液のCODを測定した。

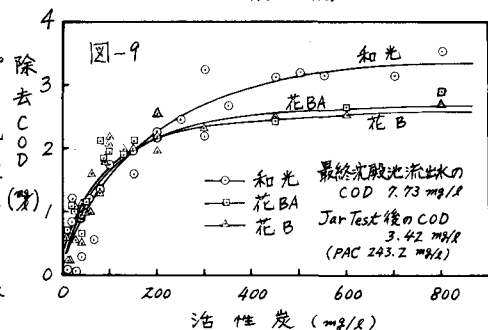
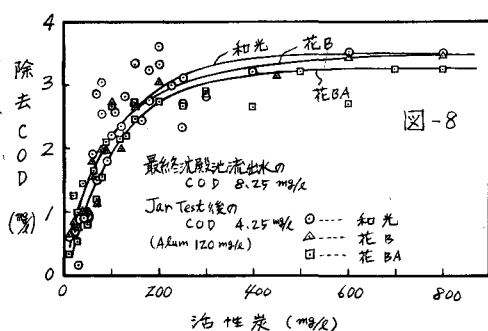
(実験結果と考察)----凝集沈殿処理の結果を図-6と7に示した。始めにCOD残留率曲線の動きを見ると、いずれの凝集剤を用いた場合でも注入率の増加とともに最適pH域(AlumではpH5.5 PACではpH6.0付近)におけるCOD残留率は徐々に低下し、凝集pHは次第に拡大する傾向を示した。最適pHにおけるCOD残留率は

表-3

表 - 3		I	II	III		
		1~12月 11.6℃	1~4月 7.4℃	7~9月 17.1℃	6℃以下、70℃以上、66日 19℃以上、66日 19.7℃	
COD	流入下水	119.1	115.2	117.0	112.9	117.0
	最初沈殿池 流出水	80.8	80.6	75.7	77.0	73.7
	最終沈殿池 流出水	16.6	16.9	13.9	15.4	14.2
	除去率					
%	最初沈殿池	32.2	30.1	35.3	31.8	37.0
	曝気槽＋ 最終沈殿池	79.5	79.0	81.7	80.0	80.7
	全体として	86.1	85.3	88.1	86.4	87.9
	(BOD換算)	91.5	91.0	92.7	91.6	92.6



Alumの注入率160 mg/l (PAC 243.2 mg/lに相当)の場合に35~40%程度であった。したがって、最終沈殿池流出水のCODが表-3カラムIの16.6 mg/lであるとすれば、凝集沈殿処理水はCOD 5.8~6.6 mg/l程度まで低下することになる。次に、発生汚泥量の動きに関しては凝集剤注入率の増加とともに次のことから認められる。(1)発生汚泥量は次第に増加しそれとともにpH域が拡大する。(2)汚泥の発生は凝集剤中のAlの溶解度と密接な関係があるため、発生汚泥量の最大値はほぼ中性付近で出現しており僅かであるが酸性側に推移している。(3)単位凝集剤注入率当りの発生汚泥量は次第に減少する。発生汚泥に関する両凝集剤の最大の相違点は、PACを用いた場合、アルカリ性側の少なくともpH9.5程度までは発生汚泥量に変化なかった点である。いずれにせよ、実際の凝集沈殿処理はCOD除去率が高く発生汚泥量が少ないほど良いわけであるから最適凝集域の酸性端で行うことが望ましい。発生汚泥量はPACの方が幾分多いもののこのpHで凝集沈殿を行う限り両凝集剤の差異は殆んどないと考えて差し支えない。



活性炭吸着処理の結果を図-8と9に掲げた。活性炭による除去CODはいずれの凝集剤でも注入率150~200 mg/Lまでは急激するもののそれ以降は極めて緩慢となる。そこでCOD除去効率(=除去COD/活性炭注入率)と活性炭注入率の関係を見ると、図-10と11のように注入率100 mg/L以後のCOD除去効率は直線上に並び $Y = ae^{-bx}$ (Y: 除去効率, X: 活性炭注入率, a, b: 係数, e: 自然対数の底)なる関数で表現できる。活性炭注入率100 mg/L以下のデータ群はこの関数の下方で乱れているが、それは凝集沈殿処理の際に残留したAlフロックの影響や微量であるために活性炭を完全に分散できなかったことに起因すると推測される。活性炭注入率400 mg/Lで除去CODはAlumを前処理に使った場合約3.2 mg/L, PACの場合約2.5 mg/Lであり、残留CODはいずれの場合も約1 mg/Lとなっている。この時の除去率は約75%となっており、先の凝集沈殿処理水にこの除去率を適用できると考えると、活性炭吸着処理水のCODは1.45~1.65 mg/L程度となる。

5. あとがき

寒冷地の処理場の管理データから、返送汚泥率を高めて曝気槽の有機物負荷を低く維持することにより低水温時でも処理効率を落さずに運転できることを示した。さらに、各処理レベルでの有機物除去率ならびに寒冷地においてもCOD 2 mg/L以下のかなり良質な水を再生しうることを明らかにした。最後に、北見市下水道終末処理場職員及び北見工大衛生工学研究室卒業生など関係の各位に感謝申し上げる。

