

ひも状接触材を充填した接触酸化水路における水質浄化特性

誌名	愛知県農業総合試験場研究報告 = Research bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center
ISSN	03887995
著者	糟谷, 真宏 豊田, 一郎
巻/号	23号
掲載ページ	p. 313-318
発行年月	1991年10月

ひも状接触材を充填した接触酸化水路における 水質浄化特性

糟谷真宏*・豊田一郎*

緒 言

現在、水質汚濁による農業被害の約80%は生活雑排水等の都市排水に起因するものであり⁽⁷⁾、地目別では水田が大部分を占めている⁽⁸⁾。都市排水の流入する河川水を利用する地域や、用排水分離が遅れ、排水の混入する用水を使用せざるを得ない地域では、なんらかの対策を講ずる必要が生じている。このような中小河川や用排水兼用水路の水質浄化には、汚濁程度から水路浄化法が有効な方法のひとつと思われる⁽³⁾。

水路浄化法は、プラスチック成形物^(1,4)や人工芝⁽⁹⁾、れき^(6,14)、ひも状接触材^(4,5,9,11)などの接触材を河川、水路あるいはバイパス水路に充填して接触面積を増大させ、生成した微生物膜によって有機物の分解を行わせようとするもので、生活雑排水などによって汚濁された比較的有機物、窒素、リン濃度の高い水の浄化に適していると言われている⁽¹²⁾。

本報では、接触材の1タイプであるひも状接触材を用いた水路浄化法の水質浄化特性を、特に酸素供給量と浄化能力の関係から明らかにしようとした。

本研究の一部は、農林水産省「都市排水等農業利用可能性調査」の一環として実施したものである。種々協力賜った東海農政局の関係各位に対して深謝の意を表す。

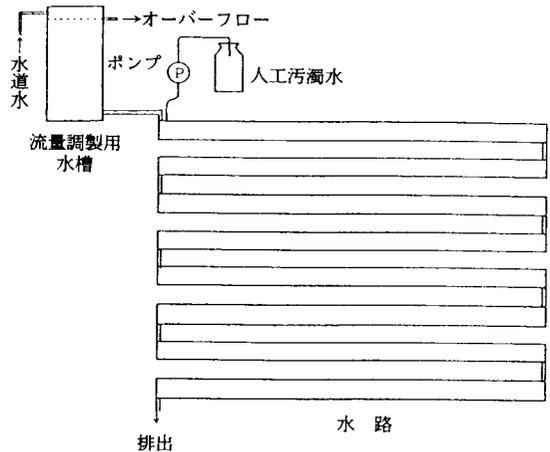
材料と方法

1. 実験装置および運転方法

実験装置は第1図に示したとおりで、幅8cm、深さ4.5cm(水深3.5cm)、長さ100cmの塩化ビニル製の矩形水路を単位水路とし、これを8本、段差をつけて直列にガラス管で接続し、総延長8mの実験水路とした。これにポリエステル製のひも状接触材(カワモ®、ユニチカ㈱、幅8cm、長さ100cm)を各1本ずつ充填した。本装置は、実験室内に設置した。

この実験水路に、用排水兼用水路の汚濁程度に見合う

人工汚濁水を連続して流した。すなわち橋本ら⁽³⁾の示した組成に準じた第1表の人工汚濁水を定量ポンプ(ペリスタミニポンプ)を用いて水道水で1000倍に希釈して流した。人工汚濁水の水質は第2表に示したとおりで、実験途中にペプトンと肉エキスのロットを変えたため、COD濃度等に若干の差が生じた。流量は、流量調整槽の水面高さとピンチコックによって調節し、 $320\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ とした。この時の流速は $0.2\text{cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ 、水理学的滞留時間は70minとなる。



第1図 実験装置の概略

第1表 人工汚濁水*の組成

成分	濃度
肉エキス	4.8
ペプトン	7.2
(NH ₄) ₂ SO ₄	5.6
NH ₄ HCO ₃	15.8
K ₂ HPO ₄	5.6

$\text{g}\cdot\ell^{-1}$

*水道水で1000倍に希釈して使用

第2表 人工汚濁水の水質

時期	pH	BOD mg・ℓ ⁻¹	COD mg・ℓ ⁻¹	NH ₄ -N mg・ℓ ⁻¹	TON mg・ℓ ⁻¹	TN mg・ℓ ⁻¹	TP mg・ℓ ⁻¹
I*	6.9	9.2	4.5	4.16	2.27	6.64	1.12
II**	7.8	9.1	7.9	3.99	2.19	6.52	1.15

* 1989年8月3日(運転開始時)～1990年2月20日(運転180日目)
 ** 1990年2月21日(運転181日目)～1990年6月20日(運転終了時)

運転は1989年8月3日から1990年6月20日までの322日間行った(1989年12月27日～1990年1月4日は中断)。運転開始直後、微生物源として河川の石から付着生物をこすりとりて河川水とともに数回流した。水温が25℃以下となる時期には、実験室に温風ヒーターを設置し、流量調整槽内にパイプヒーターを投入して加温し、水温を24℃～27℃に保った。蛍光灯によって照度を液面で6000 lxとし、16時間明8時間暗の条件下で実験を行った。運転開始後117日目からは、有機物の分解、硝化をさらに促進させる目的で、2、4、6、8本目の単位水路流入部においてエアポンプを用いて2ℓ・min⁻¹でばっ気を行った。

実験開始前、窒素ガスでばっ気した水道水を上記と同一の条件で流して溶存酸素の回復過程を測定した結果、再ばっ気係数K₂は、水路内でばっ気を行わない場合0.42 hr⁻¹、行った場合3.63hr⁻¹であった。

2. 水質分析

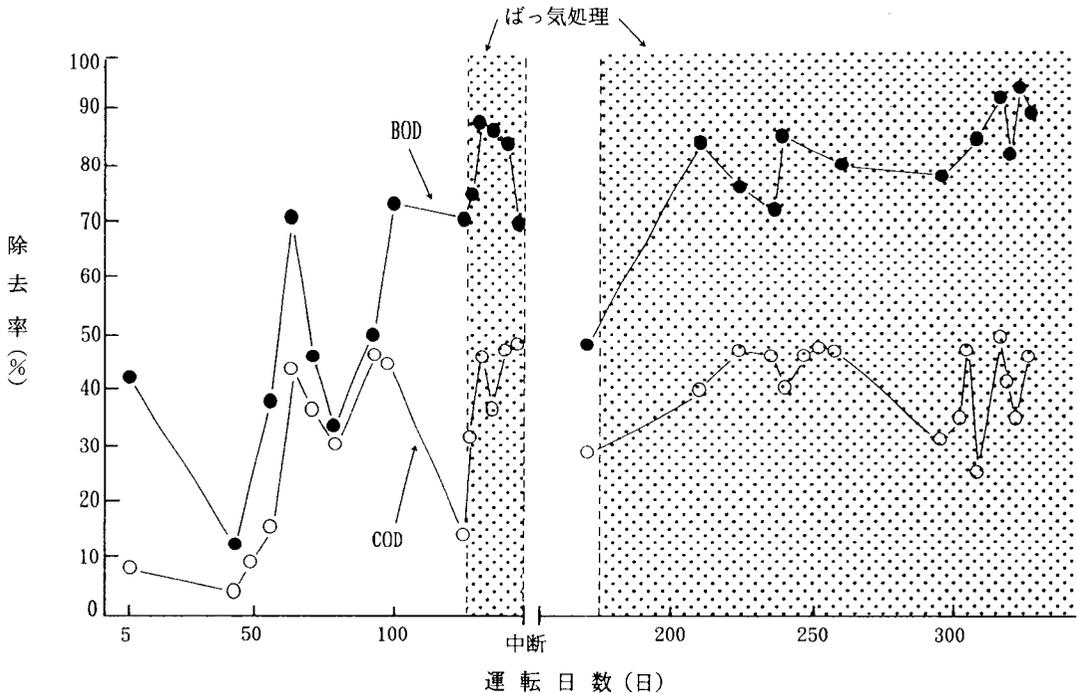
ひも状接触材上に微生物膜が生成し、水路内の溶存酸素濃度が連続して一定の増減傾向を示さなくなった運転開始後60日以降の状態を定常状態とみなし、週1回程度の水質分析をおこなった。採水は0、2、4、6、8 m地点で日中に行った。pH、BOD、COD、アンモニア態窒素(NH₄-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、有機態窒素(TON)、全リン(TP)および溶存酸素(DO)について分析、測定を行った。分析方法は工場排水試験法⁽¹⁾に準拠した。

3. 付着生物膜量および付着細菌数の測定

実験終了時に、各採水地点の中間点(1.1、3.1、5.1、7.1m地点)で、ひも状接触材を10cm採取した。これを適量の蒸留水中に入れ、超音波洗浄器内で微生物膜を剝離、均一に懸濁させた後、一定量をろ紙(WHATMAN GF/C)上に集め、110℃で60分乾燥後秤量した。求めた浮遊物質質量から全生物膜量を換算した。また、同一地点において亜硝酸菌、硝酸菌および脱窒菌の生菌数をMPN法により測定した⁽¹⁾。付着生物膜量の調査に用いた懸濁液を10²～10⁷倍まで6段階に希釈し、1試料、各希釈段階につき5本ずつの培養を行った。

4. 余剰汚泥発生量の測定

ひも状接触材から自然に剝離した余剰汚泥は、実験終了時に水路からひも状接触材を除いた後、乾燥、単位水



第2図 BOD、COD除去率の推移

第3表 有機物、栄養塩の除去率および硝化率*

ばっき処理	除去率 (%)				硝化率 (%)
	BOD	COD	TN	TP	
なし**	61.7 ± 12.8	40.6 ± 6.8	16.3 ± 9.0	5.5 ± 5.6	31.3 ± 9.2
あり***	89.2 ± 5.5	44.0 ± 8.5	26.7 ± 7.8	7.0 ± 6.1	78.7 ± 7.4

* 平均値±標準偏差値
 ** 1989年10月4日～11月8日(5回測定)
 *** 1990年5月30日～6月16日(5回測定)

路毎に秤量するとともに、N、P含量を調査した。Nはケルダール法、Pはバナドモリブデン酸法による⁽²⁾。

結果と考察

1. 有機物の分解

運転開始後60日で褐色の生物膜が完全に接触材を覆い定常状態となった。しかし、この状態で無ばっ気の条件では硝化が不完全であったため、運転開始後117日目からばっ気を行った。

第2図に流出点(8m地点)におけるBOD、COD除去率の実験期間中の推移を示した。また、第3表にそれらの平均除去率を示した。

BOD除去率は、無ばっ気では平均値で61.7%であったが、ばっ気を行うことによって89.2%に高まった。一方、COD除去率はBOD除去率より低く、無ばっ気で40.6%、ばっ気を行っても44.0%と大差なかった。これは、BODで測られる有機物の大半が容易に微生物分解を受ける性質を有するのに対し、CODでは微生物分解を受けやすい

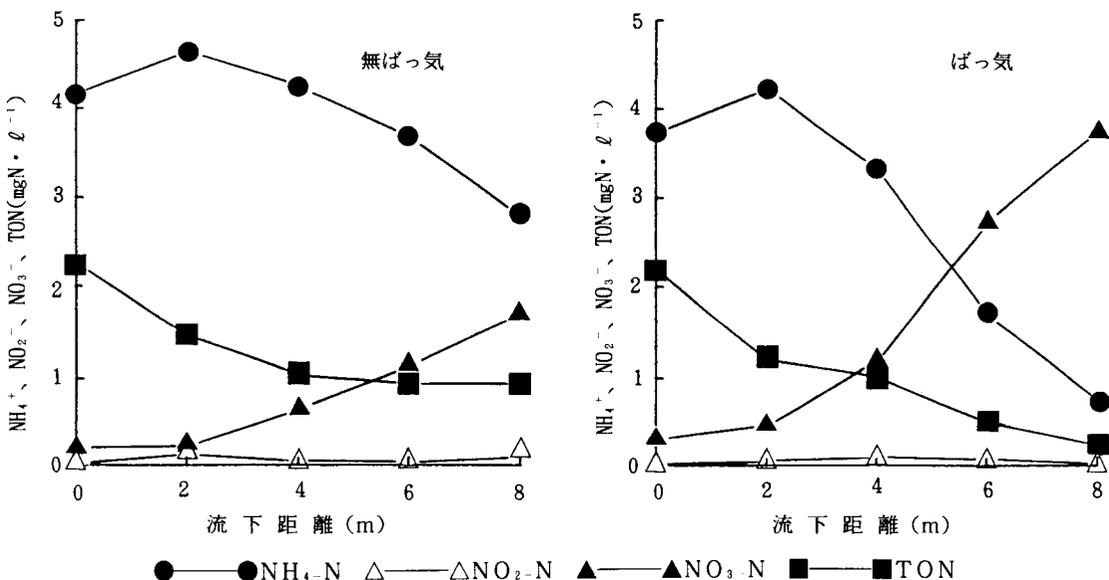
有機物の割合が少ないためと思われる。有機物の分解は水路流入後2mまでの間に急速に進み、それ以後は緩やかであった。

2. N、Pの除去

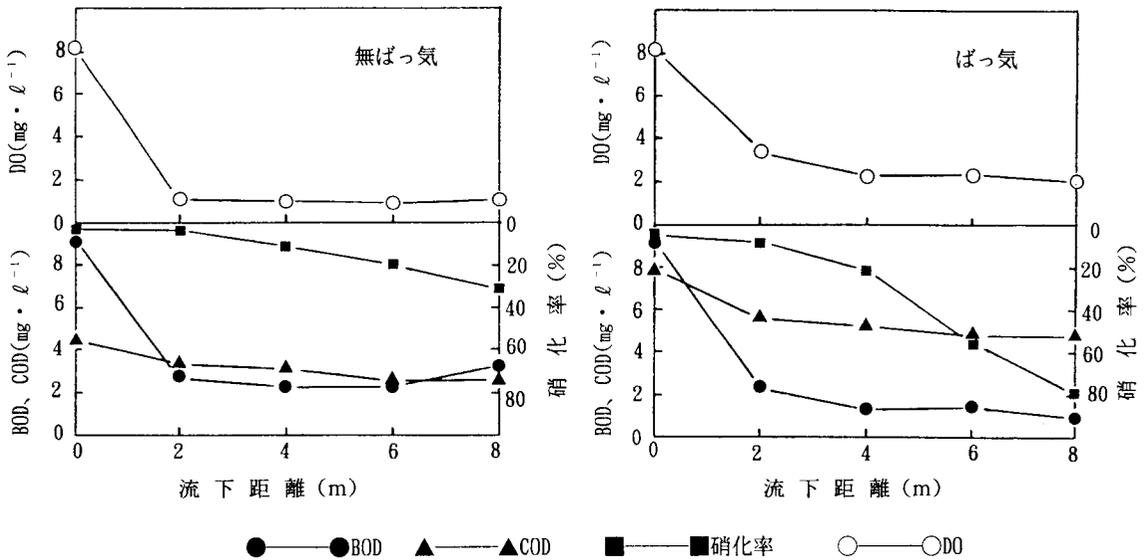
Nの除去率は、第3表のとおり、ばっ気により平均値で16.3%から26.7%に向上した。これは、ばっ気を行った結果、硝化率(TNに占めるNO₃-Nの割合とした)が高まり、硝化に続いて脱窒が進んだためと考えられる。Pについては、ばっ気の有無に関わらず除去率は10%以下と低かった。

3. Nの形態変化

流下過程におけるNの形態変化の様子は第3図に示したとおり、流入直後は、ばっ気の有無に関わらず、TONの分解、NH₄-Nの集積が認められた。しかし、2m以降での窒素無機化、硝化速度は大きく異なっていた。すなわち無ばっ気では無機化が進まず、硝化も遅いため、流出水TNのうちNO₃-Nは30%程度でNH₄-Nが50%を占め、TONも20%近く残存した。ばっ気を行った場合は、ほぼ完全に無機化が進みTONはわずか5%に減少し、硝化も急速と



第3図 流下過程における窒素の形態変化



第4図 BOD、COD濃度および硝化率とDOとの関係

なり80%がNO₃-Nとなっており、酸素供給の効果が明らかであった。

pHは、無ばっ気では7前後で推移したが、ばっ気処理を行った場合、硝化に伴って7.8から6.2に低下した。

4. 酸素消費と有機物の分解および硝化

第4図に流下過程におけるBOD、COD濃度および硝化率の変化とそれに伴うDOの変化を示した。

ばっ気の有無に関わらず、DOは、流入直後の有機物分解(BODの減少)によって急速に消費され、無ばっ気では1mg・ℓ⁻¹程度に、ばっ気を行った場合でも2mg・ℓ⁻¹程度に低下し、以後、流出地点に至っても回復しなかった。

有機物の分解は、そのほとんどが0~2mで行われた。特にBODについては2m地点で2~3mg・ℓ⁻¹に低下し、除去率は70%以上であった。ばっ気を行った場合はその後もさらに分解は進み、流出水では1mg・ℓ⁻¹まで低下した。CODは0~2m間の減少率が最も大きいものの、BODほど減少は急激ではなく、流下に伴って徐々に低下していく傾向が認められた。

一方、硝化は、2m地点まではほとんど進まず、そのほとんどが第3図にも示したようにTONの減少、NH₄-Nの集積の後、2m地点以降で進行した。

以上のことから、2mまでのDO消費は、ほとんどが有機物の分解にあてられていると考えられる。単純に、この区間のDO収支を有機物分解における消費量と、流入DO量、再ばっ気量との差と見なして計算すると、0~2m間のBOD1mgを除去するのに消費された酸素は、1.2~1.3mgであった。

また、有機物の分解が頭打ちとなった6~8m間のDO消

費は、硝化にあてられているとみなしてよいであろう。硝化に伴う酸素消費理論値は、1分子のNH₄⁺をNO₃⁻に転ずるのに2分子のO₂が必要であるから、脱窒量を加えたNO₃-Nの増加量に64/14=4.57を乗じた量となる。ここで脱窒量は不明であるので、仮にこれを無視して計算すると、酸素消費理論値は、無ばっ気では2.56mg・ℓ⁻¹、ばっ気した場合は4.71mg・ℓ⁻¹であった。一方、流入DOと再ばっ気量および流出DOから求めたDO消費量は、それぞれ0.48mg・ℓ⁻¹、2.81mg・ℓ⁻¹と低い値となった。この差は、付着藻類の光合成による酸素供給があり、これが速やかに硝化に利用されていることを示唆している。

ばっ気を行った場合は、8m地点で有機物の分解が進み、NH₄-Nも1mg・ℓ⁻¹以下となっており、2mの長さで3mg・ℓ⁻¹程度の再ばっ気量が期待できることから、さらに水路を延長すれば、DOは速やかに回復に向かうものと思われる。

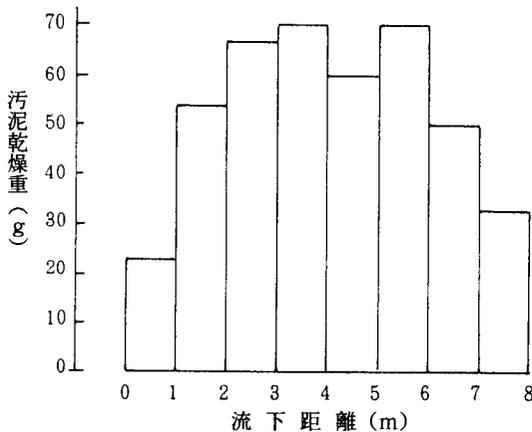
本実験に用いた水路は水深3.5cmときわめて浅いため、再ばっ気係数は無ばっ気でも0.42hr⁻¹で、実河川の再ばっ気係数と比べて大きく⁽¹³⁾、さらにばっ気を行った場合には3.63hr⁻¹となっていた。これまで述べてきたように、水路浄化法では酸素を供給することによってその能力を向上させられる。少なくとも有機物の分解と硝化までは完全に行える能力がある。しかも発達した生物膜内に嫌気的な部分が生じるため⁽¹⁵⁾、脱窒もある程度期待できる。したがって水路浄化法においては酸素供給を考慮した水路の設計が非常に重要である。

5. 付着生物膜量と生菌数および汚泥発生量

第3表に実験終了時の付着生物膜量と単位生物膜量あたりの生菌数を示した。実験終了直前、0~2m間にチヨ

第4表 付着生物膜量と単位生物膜量あたり生菌数

流下距離 m	生物膜 乾燥量	亜硝酸菌	硝酸菌	脱窒菌
	mg・cm ⁻²	N・mg ⁻¹	N・mg ⁻¹	N・mg ⁻¹
1	31.0	1.1×10 ⁹	1.1×10 ⁹	1.5×10 ⁷
3	52.5	2.7×10 ⁷	2.3×10 ⁸	2.2×10 ⁶
5	46.5	5.3×10 ⁷	4.3×10 ⁸	6.5×10 ⁶
7	32.8	2.8×10 ⁶	1.3×10 ⁸	1.3×10 ⁶



第5図 余剰汚泥量

ウバエの1種が発生し生物膜が摂食され、ひも状接触材の一部が露出した状態であった。亜硝酸菌、硝酸菌、脱窒菌ともに単位生物膜量あたりの生菌数は流入1m地点が最も多く、次いで5m地点、3m地点であり、基質濃度が減少していた7m地点が最も少なかった。しかし、1m地点で脱窒菌、硝酸菌が多かったことは水質浄化特性とは一致せず、それぞれの菌の活性を必ずしも反映していない結果であった。

実験期間中に発生した余剰汚泥量は第5図に示したとおりで、有機物、窒素濃度が少なくなっていた6m地点以降は減少する傾向であった。0~2mで少なかったのは、上記のチョウバエの摂食の影響である。実験水路全体では運転日数322日間で427gの汚泥が発生した。面積・時間あたりに換算すると、2.1g・m⁻²・day⁻¹となる。稲森ら⁽⁹⁾は、照射下では藻類の光合成による一次生産が行われるため、余剰バイオマス量が著しく多くなるとしている。水質浄化面では増大する一次生産に加え、それに伴う酸素供給がある点で有利であるが、汚泥の処理が問題となる。本研究では、バイパス水路も含めた用排水路、小河川あるいは休耕田等での適用も前提としたため、一定の照射下で実験を行った。したがって、同様の原因で余剰汚泥の発生がかなり多くなったものと思われる。

なお、汚泥のN含有率は1.58%、P含有率は1.07%であった。N/P比は1.48であり、除去量のN/P比約20と比べて著しく小さい。このことから、Nの浄化にバイオマスへの取り込みだけでなく、脱窒が大きく寄与していることが示唆される。

摘 要

ひも状接触材を充填した幅8cm、深さ3.5cm、総延長8mの水路に人工汚濁水を流して水質浄化特性を調査した。

水路流入直後、急激なDO消費を伴うBOD成分の分解が起こり、続いて硝化が進行した。これらの反応は水路に酸素を供給することで促進された。

栄養塩の除去については、酸素を供給した場合、窒素の除去率が向上した。これは、硝化が進み脱窒量が増えたためと思われる。また、リンの除去率は酸素供給に関わらず低かった。

引用文献

1. 土壤微生物研究会編, 1975, 土壤微生物実験法, 養賢堂, 東京, p.192~199.
2. 土壤養分測定法委員会編, 1970, 土壤養分分析法, 養賢堂, 東京, p.171~231.
3. 橋本 奨ら, 1984, 水生生物による汚水処理と食糧生産に関する研究(第1報), 水路型自然表面曝気槽による汚水処理と食糧生産に関する研究, 9~17.
4. 稲森悠平・林 紀男・須藤隆一, 1986, 水路における浄化とその意義, 国立公害研報, 97, 5~33.
5. 稲森悠平・林 紀男・須藤隆一, 1986, 水路における生物相と水質浄化特性, 国立公害研報, 97, 35~62.
6. 石田晴子ら, 1984, 実験槽による河川水の自浄作用の検討, 愛公セ所報, 12, 56~60.
7. 岩井孝道, 1990, 農業集落排水事業の役割と展望, 水質汚濁研究, 13, 213~215.
8. 栗田年代, 1984, これからの農林水産業と水質保全, 水質汚濁研究, 7, 83~85.
9. 森田弘昭, 1986, 流路内浄化工による河川水質の改善, 第3回自然浄化シンポジウム-自然浄化機能による水質改善-, 49~55.
10. 日本規格協会, 1986, 詳解工場排水試験法, 日本規格協会, 東京, 518pp.
11. 岡田光正・須藤隆一・江島玄泰・稲森悠平, 1984, 水路浄化法による生活雑排水処理に関する基礎的研究, 用水と排水, 26, 595~605.
12. 須藤隆一・稲森悠平, 1986, 接触剤を充てんした水

- 路における排水の浄化，第3回自然浄化シンポジウム
—自然浄化機能による水質改善—，39～47.
13. 谷垣昌敬，1990，水域での酸素吸収過程，自然の浄化機構，技報堂，東京，p.211～229.
14. 土山秀樹・渡辺正敏・長谷川恒夫・赤崎義雄・若山秀夫，1983，河川内設置施設による水質浄化，名古屋市公研報，13，115～119.

Characteristics of the Stream Purification Process Using a String Type Contactor

Masahiro KASUYA and Ichiro TOYOTA

Summary

Characteristics of water purification in an experimental stream packed with a string type contactor were investigated.

Decomposition of organic substances was apparent at the head of the stream and was accompanied by rapid consumption of dissolved oxygen followed by nitrification. These reactions were enhanced when the oxygen supply of the stream was artificially increased as compared with a lower oxygen supply condition.

Nitrogen removal was improved when oxygen was supplied. Judging from the nitrification ratio, N/P ratio of biomass surplus and number of denitrifying bacteria in the biofilm on the submerged string, removal of nitrogen was achieved principally through denitrification.

We considered that a stream purification process using a string type contactor was effective to purify irrigation water polluted by such as gray water. Supplying oxygen is necessary to enhance the purification efficiency of this process.