

N-4 浄化機能付下水管による下水処理技術の開発

○松坂 勝雄^{1*}・松原 善治¹・佐藤 弘泰²・庄司 仁²

¹積水化学工業株式会社 環境・ライフラインカンパニー 技術・開発センター 基盤技術研究所
(〒601-8105 京都市南区上鳥羽上調子町2-2)

²東京大学大学院 新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

* E-mail: matsuzaka@sekisui.com

1. はじめに

我が国の平成 23 年度末の下水管きょ総延長は、約 45 万 km に達している。インフラの重要なストックとして位置づけられ、積極的な活用が望まれる。

下水管きょでは、硫酸還元菌による硫化水素の発生等微生物反応が進行することが良く知られている。1990 年代半ばには、デンマークの Aalborg 大学を中心とした水質変化のモデル化が行われた¹⁾。国内でも 1995～1999 年に「下水道管きょ学研究会」が結成され、下水管きょに関する知見が、様々な視点から体系化された²⁾。しかし現状では、下水管きょは下水の収集用途に限定されて使用され、光ファイバーケーブルの敷設や、最近実用化された下水熱回収等の例外を除けば、他の目的での有効利用はほとんど検討されていない。

著者らは、下水管きょで有機物処理を行い、処理場に流入する汚濁負荷量の低減を可能とするため、浄化機能付下水管（浄化管）の開発に取り組んでいる^{3), 4)}。ここでは、住宅団地の実下水を用いた試験の結果を報告する。

2. 管きょ内浄化の課題と浄化管の原理

(1) 課題

管きょ内で有機物を効率的に除去するために、大きくは次の 3 つの課題がある。1) 十分な微生物量を保持すること、2) 微生物に動力等を使用しない簡易な方法で必要な酸素を供給すること、3) 管きょの輸送能力を妨げないこと。著者らは、二重構造の管の間に微生物担体を設置することにより、1) と 3) の課題に対処し、下水の水位変動を利用して担体に間欠的に酸素供給を行うことで 2) の課題に対処する、新しい下水管＝浄化管を考案した。

(2) 原理

浄化管の模式図を図-1 と 2 に示す。浄化管は、外管、

越流口がある内管、外管と内管の間に設置された担体から構成される。下水の水位が内管の越流口より高い場合（図-1）は、下水は外管に流れ出し、下部に設置された担体に接触し、担体に増殖した微生物により有機物が吸着される。これに必要な酸素は、下水中の溶存酸素が使われるが、条件によっては不足する場合がある。

下水の流量が低下し水位が越流口より下がると（図-2）、下水は外管に流れ出ずらくなるため、外管の水位は低下し担体は空気に曝露され、有機物の分解に必要な酸素が大気から直接微生物に供給される状態になる。

下水の流量は周期的な日間変動を繰り返すため、下水が微生物に供給される時間帯と酸素が微生物に供給される時間帯が生まれ、ばつ気装置等により酸素を供給することなく、有機物が効率的に処理されると期待される。加えて下水が内管から外管に落下する際の再曝気による酸素供給も期待される。

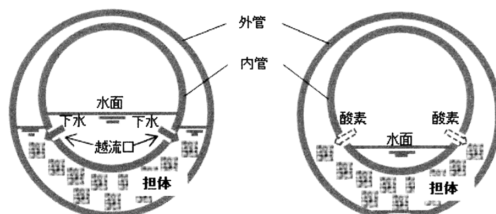


図-1 浄化管の原理（水位が高い場合） 図-2 浄化管の原理（水位が低い場合）

3. 試験方法

(1) 実施場所

2013 年 10 月に、住宅団地（約 300 世帯）の下水を処理する下水処理場内に試験装置を設置した。排除方式は分流式であるが、降雨時には、雨水の混入に起因すると見られる流量や水質の変動があった。

(2) 試験装置

使用した浄化管は、外管口径 300mm、内管口径 200mm

長さ 32m である (図-3)。通常は、連続運転ラインで運転し、担体が汚水に浸漬したり、曝露したりする状態を作り出すために、供給ポンプを間欠運転した。装置に供給した下水は、目幅 50mm と 20mm の固定式スクリーンを通過しているが、沈砂池や最初沈殿池は通過していない。

6 カ月間以上の運転を実施し、浄化管内管の越流口や担体の閉塞の有無等の状態を確認した。

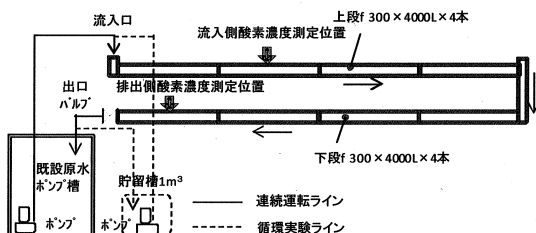


図-3 実験装置の概要

(3) 循環運転による浄化管の処理性能試験

原水ポンプ槽から採取した下水を 1m³ の貯留槽にため、図-3 の循環実験ラインで処理性能を試験した。ここでも供給ポンプを間欠運転した。

(4) 浄化管内の酸素消費速度測定試験

浄化管への下水の供給停止直後に、流入口と出口バルブを閉じて管路を密閉して、図-3 に示した 2 箇所、浄化管内気相の酸素濃度を測定した。

4. 結果

(1) 下水処理場の流入水量・水質の日間変動

2014 年 2 月に、処理場直前のマンホールで流入水量の日間変動を測定した。図-4 に晴天時の平日 3 日間の平均値を示す。またほぼ同時期に、7 時～20 時の 1 時間間隔で原水ポンプ槽の下水を採水し、水質を分析した。3 日間（流量測定とは別の日）の平均値を図-5 に示す。流入下水は、朝食、夕食時は流量・濃度とも高く、深夜・昼間は流量・濃度とも低い、生活排水特有の傾向を示した。また、BOD、SS と COD_{Cr} とは高い相関があった。

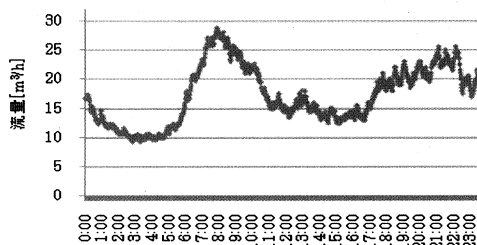


図-4 流入水量の日間変動

(2) 浄化管の処理性能

連続運転において、長さ 32m の浄化管の流入水と処理

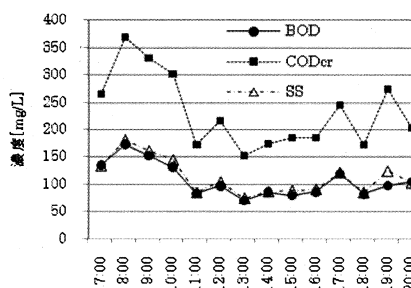


図-5 流入水質の日間変動

水の水質を分析しても、誤差が大きく処理性能を求めることができない。このため、処理場への流入下水を 1m³ 貯留槽に採取し、循環運転を行って、一定時間毎に貯留槽の循環水を採取して、分析を行った。実験条件のまとめを表-1 に、結果のまとめを表-2 に示す。また T-BOD、D-BOD、SS 濃度の経時変化を図-7、8、9 に示す。

BOD、SS とともに、最初は直線的に、以降は緩やかに低下した。T-BOD の低下と同時に SS も低下しているが、D-BOD も同様に低下していることから、浄化管内では微生物による分解が行われていることが確認できた。

表-1 循環実験条件のまとめ

Run.No	Run.1	Run.2	Run.3	Run.4	Run.5	Run.6	Run.7	Run.8
実験日時	3月26日	11月14日	11月28日	12月4日	12月18日	2月27日	5月15日	5月22日
循環流量	m³/h	12.2	9.3	6.1	6.5	6.4	9.1	9.0
循環時間	min	30	30	30	15	連続	30	30
供給時間	min	30	30	30	45	連続	30	30
停止時間	min	30	30	30	45	連続	30	30
平均水温	℃	17.6	17.6	17.4	17.3	15.1	13.0	21.0
試験目的	循環量の影響			供給間隔の影響		低水温	低濃度	

表-2 循環実験結果のまとめ

Run.No	Run.1	Run.2	Run.3	Run.4	Run.5	Run.6	Run.7	Run.8
原水 T-BOD	mg/L	201	205	202	179	185	175	98
T-BOD 除去率	%	58	62	53	42	59	51	35
BOD 除去速度	g/m³・d	20.9	26.0	23.4	9.9	23.4	13.4	8.6
原水 SS	mg/L	200	200	190	170	160	170	85
SS 除去率	%	65	80	79	65	81	71	29

(注) BOD 除去速度は、T-BOD 0～2.5h のデータより算出した

a) 循環量の影響

循環量は、6～12m³/h の範囲で実験を実施した。Run. 1～3 の結果より、この範囲では BOD、SS の処理性能には大きな影響がないことがわかった。

b) 原水供給間隔の影響

運転間隔は供給 30min-停止 30min を基本としたが、Run. 4 では供給 15min-停止 45min、Run. 5 では連続供給の条件で運転を行った。この結果、供給 15min-停止 45min

の条件では、除去速度が低下するが、連続運転と供給30min-停止30minは大きな差がなく、適切な条件での間欠運転の有効性が確認できた。

c) 原水 BOD 濃度と BOD 除去速度の関係

図-10 に、原水 BOD 濃度と BOD 除去速度の関係を示した。これより、原水 BOD 濃度が高い程、BOD 除去速度は大きくなり、原水 BOD が 200mg/L 前後では、浄化管 1m 当たりの BOD 除去速度は、20g/d 程度となった。

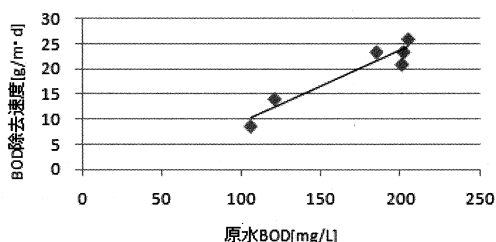


図-10 原水 BOD と BOD 除去速度の関係

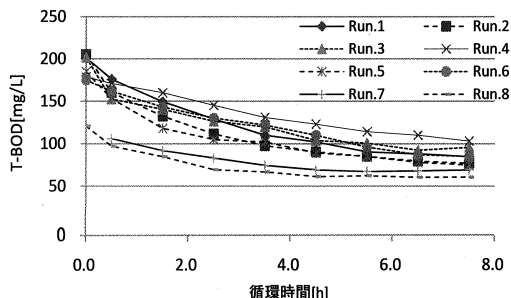


図-7 循環実験結果のまとめ (T-BOD)

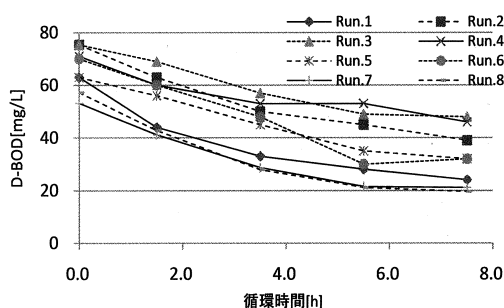


図-8 循環実験結果のまとめ (D-BOD)

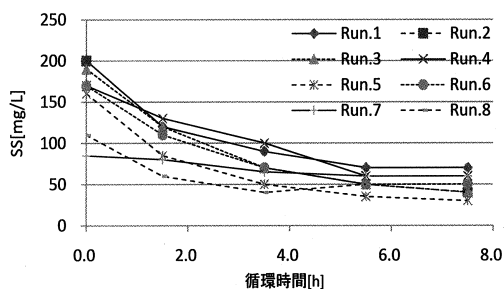


図-9 循環実験結果のまとめ (SS)

d) 管路内の状態の確認

運転開始7ヵ月後に、浄化管を取り出し内部の状態を確認した。内管の越流口の閉塞は見られず、担体には汚泥が多く付着しているものの、流路は確保できていた。また、ミミズが大量に発生していた。

(3) 浄化管内の酸素消費速度

浄化管でのBODの分解機構を解明するために、原水の供給を停止し、浄化管を密閉した状態で、図-3に示した位置に酸素濃度計を設置し、浄化管の気中酸素濃度の低下量を測定した。結果を表-3に示す。

浄化管の酸素消費速度は、同期間でのBOD除去速度にほぼ一致しており、原水のBOD成分は大部分微生物により分解されていることがわかる。

表-3 浄化管の酸素消費速度

日時		1月30日	4月3日	5月16日
管内の酸素消費量	上 入口	92	108	142
	下 出口	131	104	164
	平均	112	106	153
測定時間	h	7.5	6.5	6.5
浄化管 1m 当り換算値	gO ₂ /m・d	12.9	12.2	17.6
管内温度	℃	12~14	15~16	20~24

5. 結論

- (1) 下水処理場に設置した、長さ32mの浄化管で、下水の循環処理を行った結果、BOD、SSともに最初は直線的に、以降は緩やかに低下していくことがわかった。
- (2) D-BODや酸素消費速度の測定結果から、有機物は浄化管内の微生物により、分解されてることが確認できた。
- (3) 7ヵ月間の連続運転の結果、浄化管内の越流口や担体の閉塞は見られず、機能上の問題は発生しなかった。

参考文献

- 1) たとえばVollertsenら(2005), *Water Environ Res*, 77, 331-339.
- 2) 田中修司(2001)「下水道管渠学 - 知りたいことがここにある」環境新聞社
- 3) 松坂ら(2014), 第51回下水道研究発表会講演集, 646-648.
- 4) 佐藤ら(2014), 第51回下水道研究発表会講演集, 46-48.