

下水道管路内浄化システムに関する研究



研究第二部 研究員
高瀬 遼介

1 研究の概要

現在の下水道事業は、人口減少、有収水量減少等に起因する財政難、エネルギー消費量の削減や温室効果ガスの排出量削減といった社会的要求に対する対応、施設の老朽化や災害に対する脆弱性への対処といった多くの課題に直面しています。そこで、これらの課題解決の一助となることが期待できるシステムとして下水道管路内浄化の研究が行われています。

管路内浄化システムは、図-1に示すように下水中にある有機物の分解を管内で促進することにより、生物処理を管路内で実現し、電力等のエネルギーを使用することなく汚濁負荷を低減する技術です。

この技術を活用することにより、下水処理に係るエネルギーコストや温室効果ガスの削減が期待できるだけでなく、既存処理施設の縮小化や、災害等により処理施設が稼働停止してもある程度の下水処理が可能となるなど、様々な効果が見込めます。本研究は、既往の研究¹⁾を踏まえ、管路内浄化システムの実現可能性や性能について調査・実験を行ったものです。

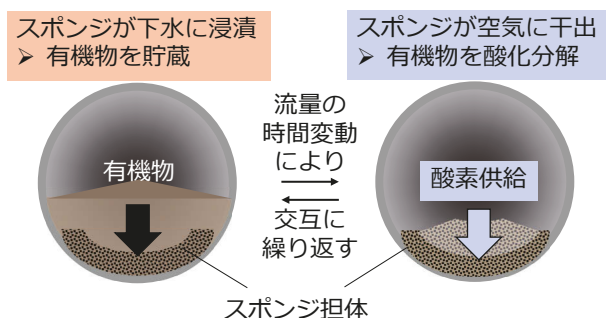


図-1 管路内浄化メカニズム

2 研究体制

2.1 研究体制

本研究は、(公財)日本下水道新技術機構による固有研究として調査・研究を実施しました。

2.2 研究期間

令和元年4月～令和6年3月

3 研究内容

本研究は、図-2に示す通り、A市処理場内に実際の下水道を想定した実験設備を設置し、その中に分配槽内の実下水を流すことで、管路内浄化システムの効果および性能を検証しました。また、供用中下水への設置に向けた課題の抽出や性能測定方法の検討を行いました。

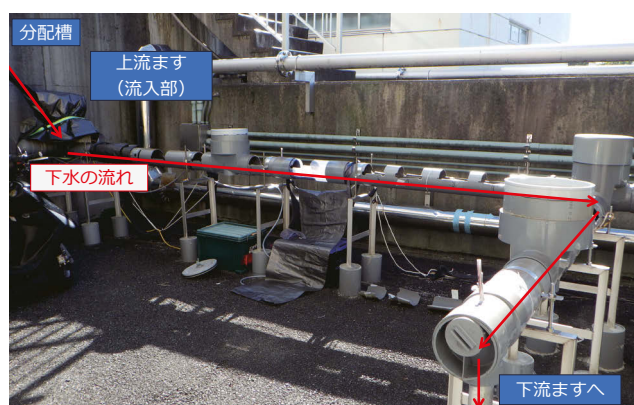


図-2 実験設備概要

4 研究結果

4.1 管路内浄化の確認

(1) 浄化性能の考え方

本研究においては、管路内浄化システムの効果および性能を示す指標として、管内の空气中酸素濃度の減少量を用いました。これは、下水中の有機物は酸化分解により浄化されるという管路内浄化システムのメカニズムから、酸素の減少量と分解量が比例関係にあるとみなすことができるためです（図-3）。また、浄化の進行をリアルタイムでモニタリングできるメリットもあります。

(2) 浄化効果の確認

管路内浄化システムは、管内に微生物が固着する担体（図-4）を設置することで、下水中の有機物を捕捉し、生物による分解を促進する仕組みとなっています。本研究では、微生物担体を設置した場合と設置しなかった場合で酸素消費量を測定し、管路内での酸化分解を確認しました（図-5）。

4.2 新たな性能測定手法の検討

(1) チャンバー法による浄化性能の確認

これまでの実験においては、実験管路全体を密閉して、内部の酸素濃度を測定するという手法を用いまし

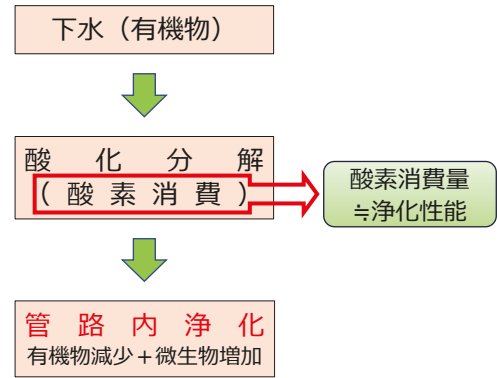
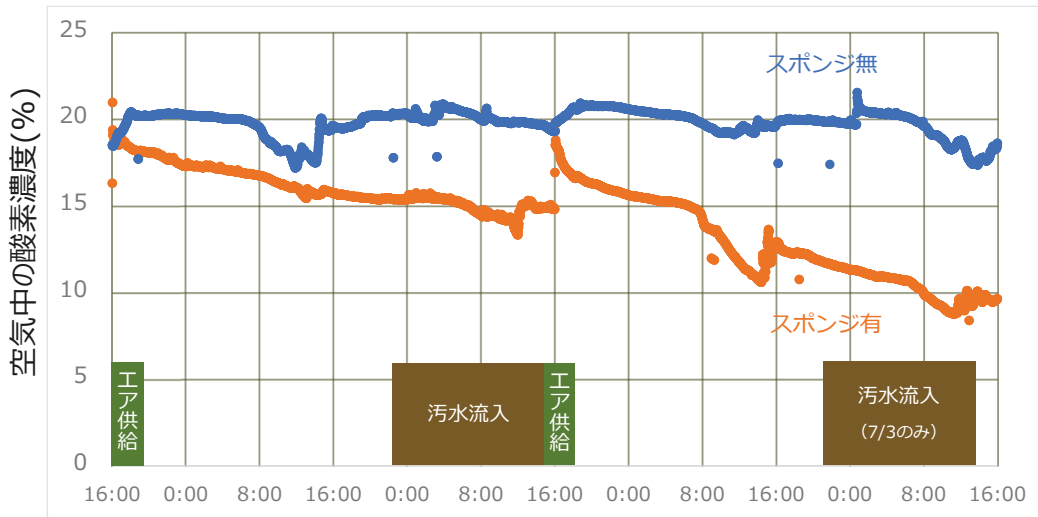


図-3 管路内浄化性能評価の考え方



図-4 微生物担体（スポンジ）設置状況



スポンジ	6月29日(火)	6月30日(水)	7月1日(木)	7月2日(金)	7月3日(土)
無	5月20日(木)	5月21日(金)	5月22日(土)	5月23日(日)	5月24日(月)
有					

図-5 管路内酸素濃度の推移状況

た。しかし、供用中下水での測定を考慮すると、管路全体の密閉は困難です。また、密閉空間が大きく、わずかな酸素濃度の変動を感知しにくいいため、長時間のモニタリングが必要というデメリットがありました。そこで、本研究では、管路内の一部を隔離して密閉する「チャンバー法」による浄化性能測定を検証しました。チャンバー法は、図-6に示すように、塩ビ板を用いて、実験装置内の延長30cmほどの空間を遮蔽します。測定時には、微生物の付着したスポンジ担体の上にチャンバー装置をかぶせて管路内で密閉空間を作ることができます。チャンバーの上部に開いた直径3cmほどの穴に酸素センサーを差し込むことで、チャ

ンバー内部の酸素濃度の測定を行います。なお、密閉性を向上させるために、チャンバー装置の管の壁面に接触する辺には、クッションとなるゴムチューブを接着しています。チャンバー法は、容易に密閉空間を作成することができるほか、空間の容積が小さいことから、わずかな酸素濃度の変動を検知するため、1, 2時間程度のモニタリングで十分な性能調査をすることができます。また、異なる材質の微生物担体の効果検証を、気象や気温といった外的要因を統一したうえで複数同時に行うことができます。この調査手法により、様々な微生物担体を実験した結果、表-1に示す①が、性能と加工の容易さを備えており、管路内浄化

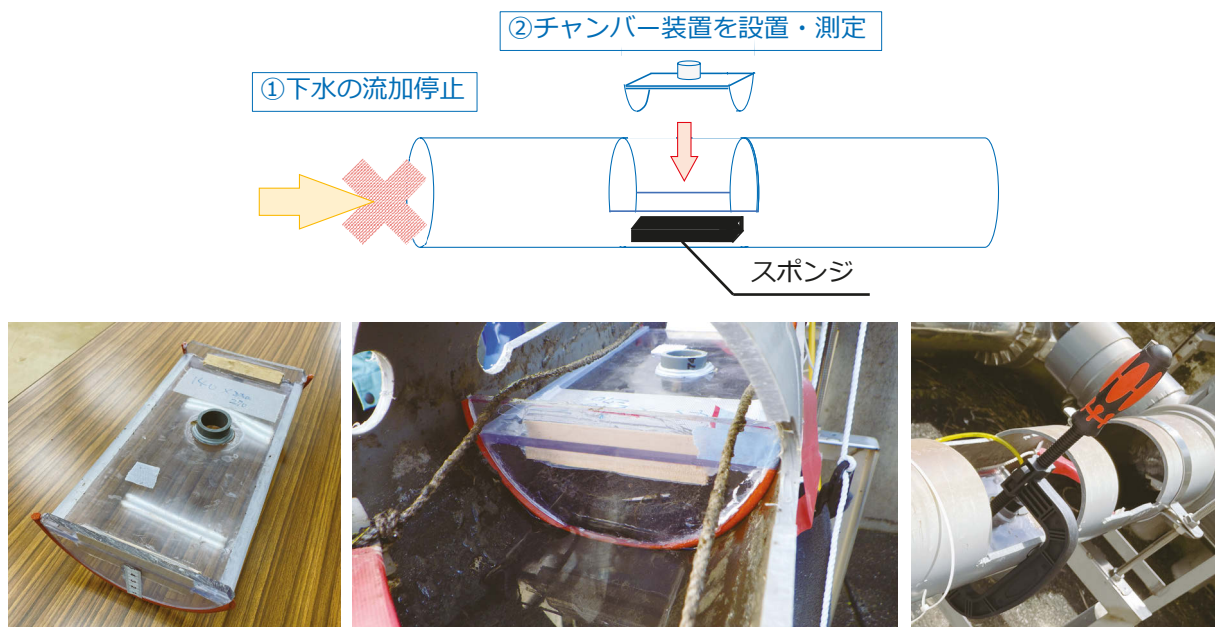


図-6 チャンバー法の概要

表-1 微生物担体の性能比較

No.	写真	担体種別の概要	浄化性能 $gO_2/m \cdot d$
①		<ul style="list-style-type: none"> A社製三次元不織布 長方形にカットしたほかは、特段の加工をせず管内に設置した。 	平均：2.71 最大：3.11
②		<ul style="list-style-type: none"> B社製スポンジ 幅1cmの短冊状に切断したスポンジを格子状に編み込み、結束バンドで固定した。 	平均：2.70 最大：3.61
③		<ul style="list-style-type: none"> B社製スポンジ 厚さ1センチのスポンジの下面に、幅1センチの短冊状のスポンジを、平行に複数縫い合わせた。 	平均：2.68 最大：5.81
④		<ul style="list-style-type: none"> B社製スポンジ 既往研究[1]で採用されていたスポンジであり、(2)・(3)は、(4)を加工したものである。 	平均：1.39 最大：1.44

システムに適した素材であることを確認いたしました。なお、本研究において、浄化性能の指標として使用する酸素消費量は、微生物担体1m当たりが1日に消費する量として換算した値 ($\text{gO}_2/\text{m} \cdot \text{d}$) を用いています。これは、既往の研究でも用いられている単位です。本研究で新たに用いた担体で確認された約2.7~5.8 $\text{gO}_2/\text{m} \cdot \text{d}$ という酸素消費量から推定される浄化性能は、微生物担体1mにつき、大人一人が一日に発生させる汚濁負荷の5~10%程度を浄化する性能に相当します。

(2) 軟式チャンバー法

チャンバー法は、管路内浄化システムの性能測定手法として一定の成果を得られましたが、測定中は下水の流下を停止する必要があります。しかし、供用中下水での使用を考慮する場合、下水の流下を阻害せずに、空気を遮断する必要があります。そこで、本研究では、管内面と密着する側面部を布製とすることで、下水の流下に合わせて側面部がフラップのように開閉し、下水を流下させつつ空気を密閉させる新たなチャンバー法を考案しました。これを軟式チャンバー法としました(図-7)。この軟式チャンバーの気密性を確認するため、下水管内に設置したチャンバー内に呼気を吹き込み、空気中より酸素濃度が低下した状態がどの程度持続するかを測定しました。結果、両サイドに布の目張りを追加し、布地が折れる箇所にてんぷのりの目張りを追加した状態では、酸素濃度が一定を維持し、気密性が確保されたことが確認できました(図-8)。

この実験により、軟式チャンバーのどの箇所から空気漏れが起きやすいかという点が明らかになり、今後の改良点を示すことができました。また、下水の流下がある状態での気密性を確認できたので、供用中下水での実験では、軟式チャンバーが、管路内浄化システムの効果・性能の測定手法として活用可能と考えられます。ただし、常に一定量が流下する状態での気密性は確認できたものの、流量・水深が変化する環境においては気密性が低下することが確認できたため、対策を講じる必要があることがわかりました。

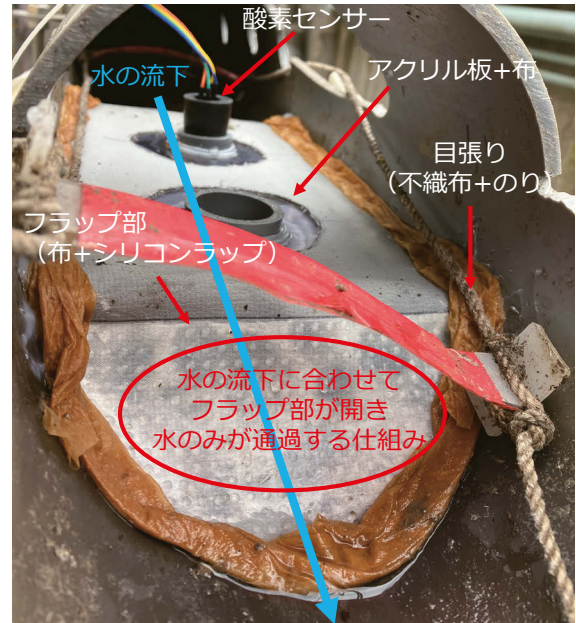


図-7 軟式チャンバー法の概要

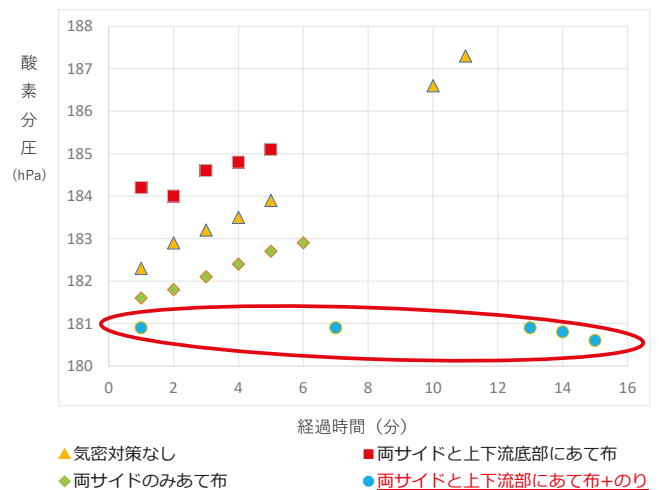


図-8 軟式チャンバーの気密状態

5 まとめ

管路内浄化システムでは、電力を消費せずに有機性汚濁物質を除去することができます。その結果、終末処理場に対する有機物負荷が減るため、下水処理場で発生する汚泥が減少します。既往の研究では、微生物担体の構造や配置によって、 $5\text{gO}_2/\text{m} \cdot \text{d}$ 程度の性能を付与することが可能であると示唆されており、本研究においても、一部の条件でこれと同等以上の性能を発揮したことを確認しました。この管路内浄化技術をさらに向上させれば、処理場の運営コスト削減のほ

か、人口減少に伴う下水処理施設の縮小に寄与でき、さらに、人口増に対して処理場能力が不足しにくくなるなど、下水処理が人口の変動に対して柔軟に対応できるように、下水道事業の持続的な運営に寄与することが期待できます。一方で、浄化担体を管路内に敷設したことにより流下能力が低下し、つまりなどの不具合が増加する懸念があり、また管路の維持管理にかかる負担が増加する可能性があるため、その点については今後の検討が必要です。今後は、処理性能のさらなる向上や、維持管理の負担を明らかにし、それを低減する手法を検討するなどの研究の実施が望まれます。

参考文献

- 1) 佐藤弘泰, Sotelo T. J., Lyu R. (2019) ラボスケール単層式管路内下水浄化装置の性能評価, 第55回下水道研究発表会講演集, pp1055-1057.

