

B-8 スポンジ担体充填型の嫌気性散水ろ床 (AnDHSリアクター) による下水の長期連続処理

角野 晴彦^{1*}・〇和田 桂児²・室田 龍一²・
原田 秀樹³・大橋 晶良⁴・珠坪 一晃⁵

¹岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

²岐阜工業高等専門学校 建設工学専攻 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

³東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市荒巻字青葉6-6)

⁴広島大学大学院 工学研究科 社会環境システム専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

⁵(独) 国立環境研究所 水土壤環境研究領域 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

* E-mail: sumino@gifu-nct.ac.jp

1. はじめに

下水に代表される低濃度有機性排水の嫌気性処理を普及することは、低炭素社会の形成に寄与できる。

現在、代表的な嫌気性の排水処理としてUASB法やEGSB法が、1 gCOD/L以上の中高濃度の易分解性排水を対象に実社会に普及している。ここでの技術の要点のひとつは、自己造粒型の生物膜(グラニュール)の形成によって、汚泥滞留時間や汚泥濃度を確保することである。

しかし、低濃度有機性排水を既存技術で嫌気性処理した場合、生成ガス不足によって汚泥床やグラニュール内が閉塞状態に陥る、グラニュール内部への基質供給が妨散によるため深部で基質不足となる、といった問題点が発生する。すなわち、グラニュールを形成あるいは植種しても汚泥床やグラニュールの全体を有効に利用できない。そのため、グラニュールの利用方法を検討するか、保持微生物を有効利用できる新たな技術を開発する必要がある。前者は、Yoochatchavalらが間欠処理水循環法を用いたEGSBリアクターで効果を発揮している¹⁾。後者として、我々はスポンジ担体充填型の嫌気性散水ろ床(Anaerobic Downflow Hanging Sponge, 以降、AnDHSリアクター)を開発した。

AnDHSリアクターでは、排水が無酸素状態の気相部に設置されたろ床の上部から下部へと重力で流下していく。したがって、基質はスポンジ担体内部の微生物まで移流によって行き届くと考えた。この構想は、人工排水の連続処理実験によって効果が確かめられた²⁾。本研究ではAnDHSリアクターによって、下水の連続処理実験を行い、その処理特性を評価した。また、比較系としてUASBリアクターを並列運転させた。

2. 実験方法

(1) 連続処理実験

図1に実験に用いたAnDHSリアクターの概要を示す。充填する担体は、ネットリング(φ3 cm×H3 cm)にスポンジ(孔径0.56 mm)を詰め込んだものである。これを4層に分けたカラム(断面W13×D13 cm)内にランダムに充填した。担体の充填高さは140 cm、スポンジの全間隙(有効)容積は8.0 Lとなる。HRTの算出には、スポンジの有効容積を用いた。リアクターの処理水流出部と生成ガス排出部には、水封槽を設け、外気を遮断することでリアクター内を嫌気状態に保った。下水は、上部の散水装置より滴下され、担体の表面あるいは内部を通過し、下部で処理水となる。

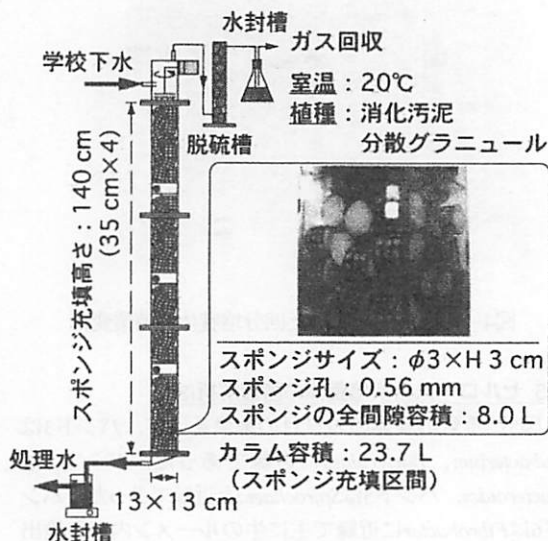


図1 実験装置の概要

並列運転するUASBリアクターは、高さ132 cm、水(有効)容積8.0 Lであり、6.0 L(断面φ8 cm)のカラムと2.0 LのGSS (Gas Solid Separator) で構成される。

供給水は、本校浄化槽の沈砂後の下水を用いた。植種汚泥には、消化汚泥と分散処理した中温グラニュールを用いた。両リアクターともに、室温20℃の恒温室に設置した。HRTは、運転0～43日を10 h、運転44～531日を6 hr、運転532～602日を18 hとした。

AnDHSリアクターでは処理水循環の影響を調査するために、運転376～464日を循環比2、運転465～531日を循環比4とした。

(2) メタン生成活性試験

植種汚泥と運転595日のUASBリアクター保持汚泥および運転602日目のAnDHSリアクター保持汚泥についてメタン生成活性を調べた。試験方法は、122 mLバイアルを用いたヘッドスペース法とした。試験温度は、35℃と20℃とした。試験は各条件で2本ずつ行った。

運転595日のUASBリアクター保持汚泥は、基軸方向30 cmの採水口より採取した。運転602日のAnDHSリアクター保持汚泥は、基軸方向55 cm付近の担体を取り出し、表面と内部の汚泥に分けて試験に供した。AnDHSリアクターの汚泥採取は、嫌気状態を保たず空気中で、取り出した担体の表面の汚泥を剥がし、その後スポンジ部分から汚泥を搾り出した。

2 実験結果と考察

(1) 連続処理実験

図2に下水および各リアクター処理水の全BODと溶解性BODの経日変化を示す。実験期間中の下水の平均値は、全BOD 97 (標準偏差±37) mg/L、溶解性BOD 36

(標準偏差±17) mg/Lであった。

両リアクターともにHRT 10 hでスタートアップを行い、汚泥流出等のトラブルが認められなかったため、運転44日よりHRTを6 hに変更した。

AnDHSリアクターは、HRT 6 hに変更直後から、処理水のBODは不安定になった。運転162日のAnDHSリアクターにおいて、各層で一旦ろ材を取り出し、再び任意に充填する作業を行った。この作業後の運転163～210日における処理水は、比較的安定しており、平均で全BOD 32 (±7) mg/L、溶解性BOD 18 (±3) mg/Lであった。その後は、AnDHSリアクターの処理水の全BODは、再び不安定となり悪化した。トレーサー試験を実施したところ、AnDHSリアクターの実滞留時間は、担体の再充填作業の前後で0.3 hから3.3 hに回復しており、運転291日で0.4 hにまで短縮した。従って、AnDHSリアクターの処理の悪化の原因は、実滞留時間の変化(短絡流の発生)が寄与していたと考えられる。また、SSを含まない人工排水での実験では、大きな短絡流の発生は目視できず、かつ600日以上連続運転で処理は悪化しなかった²⁾。これより、本実験で短絡流の発生の原因は、SSの蓄積であると考えられる。

運転376日のAnDHSリアクターでは、処理水循環を循環比2で開始した。ここでは、線流速を増加させることで、過度の付着SS(汚泥)の解消や流下水がろ床全体に分散することを期待した。処理水の全BODは、処理水循環を開始直後の5日間程度は清純な処理水が得られたが、それ以降は処理水循環前と同程度であった。処理水の溶解性BODは、処理水循環後に悪化しているようにも伺えた。運転465日より循環比を4としたが、循環比2の処理性能と目立った変化はなかった。両リアクター

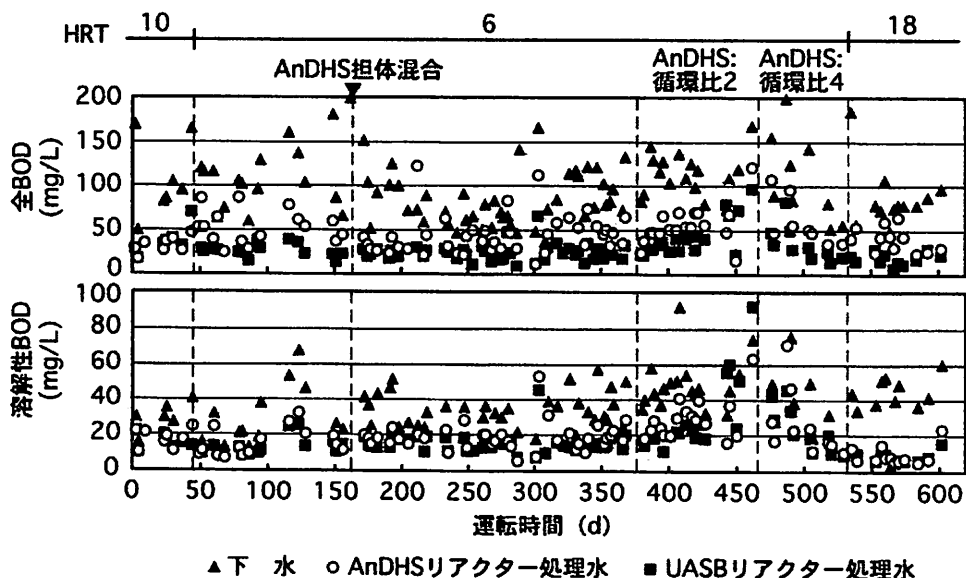


図2 BODの経日変化

で、運転440～460日付近で、処理水質が悪化しているが、これは別途の人工排水供給実験のナトリウム阻害の影響と思われる。

UASBリアクター処理水は、HRT 6 hの期間（運転44～531日）の平均値が、全BOD 30（±16）mg/L、溶解性BOD 19（±13）mg/Lであり、AnDHSリアクターより安定していた。時折、汚泥のバルキングが発生し、浮上汚泥の引き抜き等の作業で対応した。

運転531～602日は、両リアクターでHRTを18 hとした。この期間で、AnDHSリアクターの処理水循環は行わなかった。この期間では、特に溶解性BODが良好な値を示し、その平均値はAnDHSリアクター処理水で9（±6）mg/L、UASBリアクター処理水で8（±3）mg/Lであった。全BODは、溶解性BODほどではないが改善した。よって、下水の嫌気性処理でも、適切なHRTを設定し、処理水（あるいは下水）に含有するSSを別系統である程度処理すれば、良好な水質を得ることが期待できる。

(2) メタン生成活性試験

図3に植種汚泥と運転約600日の両リアクター保持汚泥のメタン生成活性を示す。植種汚泥と運転約600日の両リアクター保持汚泥の活性を比較する。35℃・水素基質の試験の場合、0.645（gCOD/gVSS/d）であったものが、0.298～0.402（gCOD/gVSS/d）にまで低下した。一方、35℃・酢酸基質の試験の場合、0.110（gCOD/gVSS/d）であったものが、0.164～0.188（gCOD/gVSS/d）にまで増加した。運転約600日経過後、水素資化活性が減少した理由は、植種汚泥が高有機物濃度の基質を供給されており、水素生成がより活発な環境で馴致されていたことが考えられる。

運転約600日におけるUASBリアクター、AnDHSリアクター表面、およびAnDHSリアクター内部の保持汚泥の活性は、同基質・温度条件であれば同程度であった。

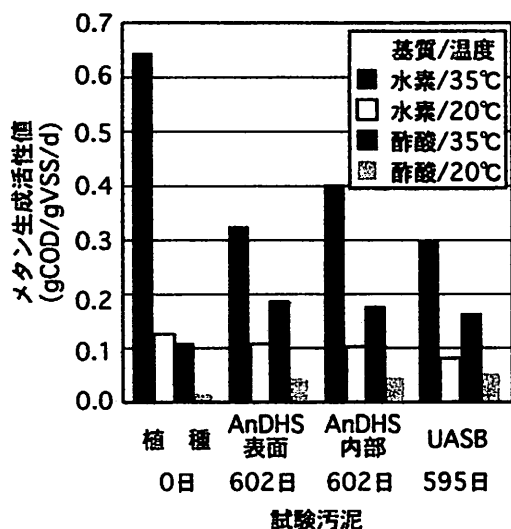


図3 保持汚泥のメタン生成活性

UASBリアクター内にポリウレタン製の固定床を付加したAH（Anaerobic Hybrid）リアクターの事例によると、固定床に付着した汚泥のメタン生成活性は、同槽内のグラニューク汚泥の約1/4であった³⁾。これよりAnDHSリアクターの固定床は、浸漬させた固定床よりも、アクティブな汚泥を保持するのに優れていると考えられる。

20℃の水素・酢酸基質の活性は、植種汚泥から運転約600日の両リアクター保持汚泥で増加していた。これを活性残存率（20℃活性/35℃活性）で表すと、植種汚泥の水素・酢酸基質では19.6・14.6%であったものが、運転600日前後の両リアクター保持汚泥では25.6～33.2・23.8～32.8%となった。これは、20℃の長期運転によって、保持汚泥の低温耐性が増加したことを示す。

3. まとめ

スポンジ担体充填型の嫌気性散水ろ床（AnDHSリアクター）によって、20℃の温度条件下で、下水を約600日連続処理した。また、UASBリアクターを同じ有機物容積負荷で並列運転させた。

HRT 6 h（運転44～531日）において、UASBリアクター処理水の平均値は、全BOD 30（±16）mg/L、溶解性BOD 19（±13）mg/Lであった。これに対して、AnDHSリアクターは、実滞留時間がある程度確保できている運転163～210日（運転163日の実滞留時間3.3 h）のみ同程度の処理水が得られた。AnDHSリアクターでは、処理水循環（循環比2、4）による効果はなかった。

HRT 18 hにおいては、特に溶解性BODが良好な値を示し、その平均値はAnDHSリアクター処理水で9（±6）mg/L、UASBリアクター処理水で8（±3）mg/Lであった。

メタン生成活性は、運転600日前後の両リアクターの保持汚泥で同基質・温度条件であれば同程度であった。既報の固定床と比較して、AnDHSリアクターはアクティブな汚泥を保持するのに優れた固定床であると考えられる。メタン生成活性残存率（20℃活性/35℃活性）は、植種汚泥と比べて、水素・酢酸基質で1.5・1.9倍程度となり、低温耐性が増加していた。

参考文献

- 1) Yoochatchaval, W. *et al.* (2008) *Wat. Sci. and Tech.*, 57(6), 869-873.
- 2) 角野晴彦ら (2007)、*用水と廃水*, 49 (12)、65-72
- 3) Elmitwalli, T.A. and Lettinga, G. (2002) *Water Research*, 36, 2225-2232.

謝辞 本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業総合開発機構（NEDO）「産業技術研究助成事業費助成金」（研究代表者：殊坪一晃）、国土交通省「建設技術研究開発費補助金」（研究代表者：大橋晶良）の助成を受けて実施しました。記して関係各位に感謝します。