

開発途上国における無曝気型スポンジろ床を用いた下水処理水の仕上げ処理

徳山工業高等専門学校（正）○段下 剛志 長岡技術科学大学（非）酒井 謙伍

University of Malaya（非）Adeline Seak May Chua Kasetsart University（非）Wilasinee Yoochatchaval

国立環境研究所（正）竹村 泰幸 （正）珠坪 一晃

1. 研究の背景と目的

経済成長と人口増加が続く開発途上国の主要都市では、衛生施設の整備や維持管理が行き渡らず表層水の汚染が引き起こされている。例えば、バンコクの下水処理人口普及率は 60%程度に達しているが、雨水時の下水越流や、処理施設の稼働状況が安定していない等の理由により、周辺の用水路の水質が BOD 15~30 mg/L 以上となる場合がある。処理施設の不適切な管理による汚染は、クアラルンプールでも発生している。一方で、これらの都市では、公園樹木への灌漑や道路の洗浄に下水処理水を再利用しており、公衆衛生の維持という観点においても、下水処理水のさらなる水質改善が必要である。

我々はバンコク都と連携して現地調査を実施したところ、特に小規模処理施設(処理流量 300~2,000 m³/day)において、処理水質が不十分であることが明らかになった。そこで本研究では、スポンジを微生物保持の担体とする散水ろ床、Down-Flow Hanging Sponge (DHS) 反応槽をバンコク内の小規模処理場に設置し、既存施設から排出される処理水に残存する BOD やアンモニア性窒素の仕上げ処理を実施し、性能を評価した。

2. 実験方法

図-1 に示した DHS 反応槽は、散水器、4 槽に分割した反応槽（スポンジろ材容積計 350 L）および沈殿槽から構成される。スポンジろ材は、プラスチックリングによって、直径 33 mm、高さ 33 mm の円柱状に成形した。DHS 反応槽は、周辺の集合住宅から排出される 400 m³/day 規模の分流収集排水を活性汚泥法により処理するバンコクの Bongai 処理場内に設置した。先行研究¹⁾では、およそ 600 日間にわたって分流収集排水（生下水）の処理性能評価試験を実施しており、HRT 5 hours において BOD 容積負荷 0.5 kgBOD/m³sponge/day・窒素負荷 0.2 kgN/m³sponge/day 程度であれば十分な性能が得られ、かつ既存施設と比べて、アンモニア性窒素と病原菌 (*E.coli*) の除去に優れることを実証している。

本研究は、上記の運転条件等を参考とし、生下水に既存設備の処理水（下水処理水）を混合して DHS 反応槽に供給した。運転条件は、混合の比率および処理流量によって 2 つに分類した。Phase-1（0~92 日目；本研究の 0 日目は混合供給を開始した日を示す）では、生下水と下水処理水の比率を 1:1、HRT を 3 hours とした。Phase-2（93~145 日目）では、比率を 1:4 に変更し、HRT を 1.2 hours に短縮した。本研究では、バンコク首都圏が大規模処理場に対して課す以下の基準；DO 5 mg/L 以上、TSS 30 mg/L 未満、BOD 20 mg/L 未満およびアンモニア性窒素 5 mgN/L 未満を目標値とした。

水質分析は週に 1~2 回の頻度で実施した。処理温度の制御せず、実験期間中の処理水温は概ね 25℃以上で推移した。

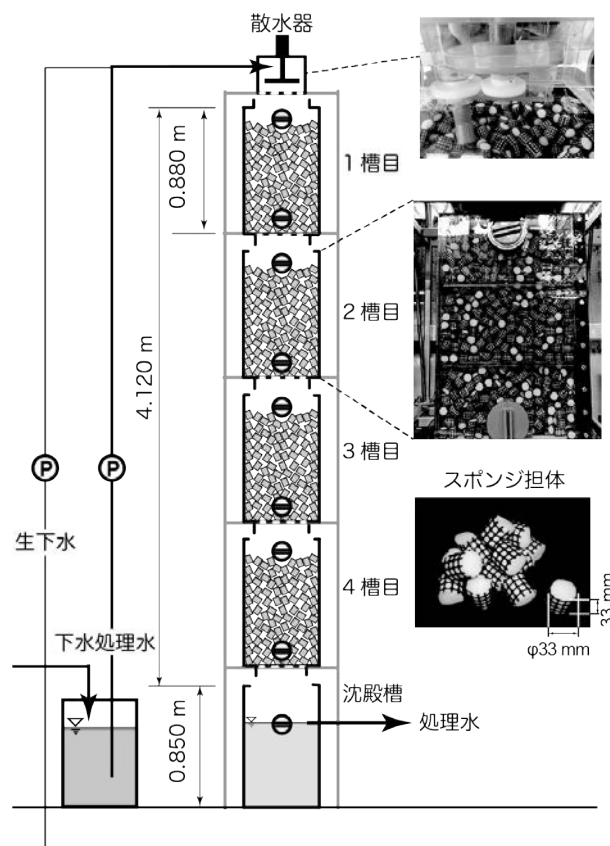


図-1 : DHS 反応槽の概要

3. 実験結果と考察

表-1：DHS 反応槽の処理性能

混合比(生下水:下水処理水)		Phase-1; days 0-92		Phase-2; days 93-145		目標値
		1 : 1		1 : 4		
(運転条件)		DHS流入水	DHS処理水	DHS流入水	DHS処理水	
HRT	hours	3.1 ± 0.11		1.2 ± 0.03		
BOD負荷	kgBOD/m ³ /day	1.30 ± 0.36		2.47 ± 0.49		
窒素負荷	kgN/m ³ /day	0.19 ± 0.04		0.43 ± 0.10		
DO	mg/L	1.8 ± 1.2	5.5 ± 0.8	4.1 ± 0.8	5.4 ± 1.2	> 5
TSS	mg/L	36 ± 12	1.8 ± 1.8	21 ± 8.0	4.6 ± 2.8	< 30
Total BOD	mg/L	48 ± 21	6.4 ± 6.5	26 ± 9.1	6.0 ± 5.3	< 20
アンモニア性窒素	mgN/L	23 ± 4.9	0.7 ± 1.0	21 ± 4.8	1.3 ± 1.8	< 5
硝酸性窒素	mgN/L	0.3 ± 0.4	10 ± 3.3	1.1 ± 0.8	9.5 ± 2.7	
<i>E.coli</i>	CFU/mL	8.9×10 ⁴	1.2×10 ²	1.9×10 ⁴	1.4×10 ²	

表-1 に DHS 反応槽の処理性能をまとめた。Phase-1 では、DHS 流入水(生下水と下水処理水の混合水)の BOD が 48±21 mg/L、アンモニア性窒素が 23±4.9 mgN/L となった。先行研究での運転条件(BOD 負荷 0.5 kgBOD/m³sponge/day、窒素負荷 0.2 kgN/m³sponge/day)と比べて、BOD 負荷が 2 倍以上になったことも影響してか、DHS 処理水の BOD は 6.4 ±6.5 mg/L と目標値は達成できたものの、やや悪化する傾向であった。一方で、窒素負荷は先行研究と同程度であり、アンモニア性窒素は 0.7 ±1.0 mgN/L とほぼ完全な硝化ができた。Phase-2 では、生下水と下水処理水の混合比率を変化させたことにより、流入水がより希釈された。ただし、HRT を 1.2 hours まで短縮しており、その結果、BOD 負荷ならびに窒素負荷は、Phase-1 と比べて 2 倍程度に高まった。しかしながら、DHS 処理水は Phase-1 とほぼ同等の水質となり、目標値を達成することもできた。

また、大腸菌(*E. coli*)の除去に着目すると、運転条件によらず、2.0 Log 以上の対数除去率を得られていた。よって、DHS 反応槽を既存設備の処理水の仕上げ処理として適用可能であることが示された。

87 日目(Phase-1)および 124 日目(Phase-2)に測定した各槽における保持汚泥濃度の変化を図-2 に示す。Phase-2 では、Phase-1 と比較して、1 槽目の保持汚泥濃度が減少し、3 段目の汚泥濃度が増加していた。これは、処理時間の短縮、すなわち処理流量の増加に伴い増大するせん断力によって、上段の汚泥が剥離し、下段で再び捕捉されたと推察される。処理時間を短縮した直後は、生物学的な影響(汚泥負荷上昇)のみならず、物理学的な影響(汚泥剥離)による水質悪化にも注意する必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究を通して、DHS 反応槽は、無曝気かつ短時間という条件においても、既存施設から排出される処理水の BOD、アンモニア性窒素ならびに病原菌除去に対する仕上げ処理として適用できる可能性を示すことができた。ただし、HRT 1.2 hours の条件において、排水流下によるせん断力増大に伴い汚泥の剥離が生じたと考えられることから、特に HRT 短縮直後は物理学的な影響の増大にも配慮する必要がある。

謝辞：本研究は住友財団環境研究助成(184011)ならびに科学研究費助成事業(19K23542)の助成を受けて実施しました。

参考文献

- 1) Danshita, T. et. al; Performance evaluation of a down-flow hanging sponge (DHS) reactor as a decentralized domestic wastewater treatment system in tropical regions, J. Environ. Sci. Health, Pt.A. DOI: 10.1080/10934529.2020.1748472

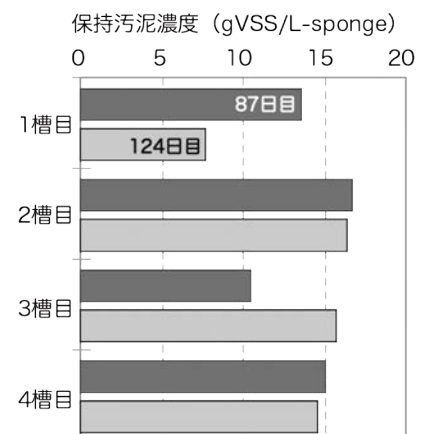


図-2：保持汚泥濃度の変化