2019 年度湖南浄化センターでのロハスの花壇の実証試験に関する報告書

日本大学工学部土木工学科 教授 中野 和典

1. はじめに

住民一人あたりの行政コストは人口規模が小さいほど増大し、人口減少社会においては下水道等の社会インフラの持続が困難になることが懸念されており¹⁾、従来の手法に捉われない費用対効果の大きい汚水処理手法への転換が望まれる。

余剰汚泥の発生が少なく無曝気で汚水処理が 行える人工湿地は、高い水質浄化能力を有してお り、費用対効果、エネルギー対効果の双方で優れ ていることから、持続可能な低炭素・循環型社会 の実現に貢献する有効な汚水処理システムとな ることが期待できる。

しかし、処理可能な水量は人工湿地の面積に依存するため、国土が狭く、用地確保が難しい我が国において従来の人工湿地(多段型)を普及させることは困難であった。

そこで本実証試験では、ろ床の重層化によって 省面積化を実現したパイロットスケールの重層 型人工湿地を下水処理場に設置し、その下水処理 性能を従来の多段型人工湿地と比較した。さらに 異なる機能性ろ材を適用した多段型人工湿地を 設置し、ろ材の組み合わせによる下水浄化性能の 違いを比較した。2018 年度は水理条件を鉛直流 に統一したのに対し、2019 年度は水理条件を鉛 直流と水平流を組み合わせたハイブリッド条件 に統一して下水処理性能を比較することで、ハイ ブリッド条件導入効果を評価した。

2. 実証試験の方法

2.1 人工湿地の概要

本研究で調査対象としたパイロットスケールの人工湿地の航空写真を図-1に示す。3段のろ床により下水が浄化処理される仕組みとなっており、1日の下水処理水量は約9.4㎡である。1段目のろ床は共通であり、2段目以降のろ床がA~D

区の 4 つに分かれている。A~D 区におけるろ材の組み合わせを表-1 に示す。共通である 1 段目のろ材は礫である。A 区のろ材は 2 段目、3 段目ともろ過砂であり、B 区のろ材は 2 段目がゼオライトとろ過砂、3 段目はろ過砂と活性炭、C 区のろ材は、2 段目はケイ酸カルシウムとゼオライト、3 段目はろ過砂と活性炭の組み合わせである。本人工湿地で使用したろ過砂は浄水場で使用され



図-1 調査対象とした人工湿地の航空写真

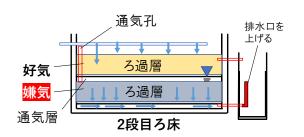


図-2 重層型人工湿地の構造

表-1 機能性ろ材の組み合わせ

1段目 共通	ろ床			ろ材	ろ材粒径	ろ材厚
A区 上層 ろ過砂 3> 300 下層 ろ過砂 3> 300 下層 ろ過砂 3> 300 BE 上層 ゼオライト 1~4 300 TE ろ過砂 3> 300 CE 上層 ケイ酸カルシウム 0~4 300 TE ろ過砂 3> 300 DE 上層 ろ過砂 3> 300 TE ろ過砂 3> 300	- 2W			O44	(mm)	(mm)
ABE TRM 5過砂 3> 300 1~4 300 1~4 300 1~4 300 1~4 300 1~6 3~5 3~5 300 1~6 3~5 3~5 3~5 300 1~6 3~5 3~5 3~5 300 1~6 3~5 3~5 3~5 3~5 3~5 3~5 3~5 3~5 3~5 3~5	1段目	共通		礫	5~10	200
2段目 B区 上層 ゼオライト 1~4 300 C区 上層 ゼオライト 1~4 300 D区 上層 クイ酸カルシウム 0~4 300 上層 ろ過砂 3〉 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 ろ過砂 3〉 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 ろ過砂 3〉 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 ろ過砂 3〉 300	057.0	A区	上層	ろ過砂	3>	300
2段目 FR ろ過砂 3> 300 CE 上層 ケイ酸カルシウム 0~4 300 TR ゼオライト 1~4 300 DE 上層 ろ過砂 3> 300 AE 上層 ろ過砂 3> 300 TR ろ過砂 3> 300 AE 上層 ろ過砂 3> 300 TR ろ過砂 3> 300 TR 活性炭 0.5~1.4 300 TR 3> 300 3> TR 300 3> 300 TR 300 3>			下層	ろ過砂	3>	300
2段目 ト層 5週砂 3> 300 CE 上層 ケイ酸カルシウム 0~4 300 DE 上層 ろ過砂 3> 300 不層 ろ過砂 3> 300 3段目 上層 ろ過砂 3> 300 RE 5過砂 3> 300 下層 5過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 3> 300 下層 30砂 3> 300 下層 30砂 3> 300		B区	上層	ゼオライト	1~4	300
CE 上層 ケイ酸カルシウム 0~4 300 下層 ゼオライト 1~4 300 上層 ろ過砂 3> 300 大層 ろ過砂 3> 300 大層 ろ過砂 3> 300 大層 ろ過砂 3> 300 大層 ろ過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 大層 ろ過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 ろ過砂 3> 300 上層 ろ過砂 3> 300			下層	ろ過砂	3>	300
DE 下層 セオライト 1~4 300 上層 ろ過砂 3> 300 3> 300 3> 300 3> 300 3> 300 3> 300 3> 300 5過砂 3> 3> 300 7 活性炭 0.5~1.4 3> 300 7 活性炭 0.5~1.4 3> 300 7 活性炭 0.5~1.4 3> 300 1 上層 3 3> 300 3> 300	2权日	<u> </u>	上層	ケイ酸カルシウム	0 ~ 4	300
D区 下層 ろ過砂 3> 300 A区 上層 ろ過砂 3> 300 下層 ろ過砂 3> 300 下層 ろ過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 ろ過砂 3> 300 上層 ろ過砂 3> 300		ᅜᅜ	下層	ゼオライト	1~4	300
下層 う過砂 3> 300 ト層 う過砂 3> 300 下層 ろ過砂 3> 300 下層 ろ過砂 3> 300 下層 ろ過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 ろ過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 ろ過砂 3> 300		D区	上層	ろ過砂	3>	300
AB 下層 ろ過砂 3> 300 BE 上層 ろ過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 T 層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 3> 300			下層	ろ過砂	3>	300
下層 5過砂 3> 300 上層 5過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 5過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 上層 5過砂 3> 300		A区	上層	ろ過砂	3>	300
B区 下層 活性炭 0.5~1.4 300 T 下層 活性炭 3> 300 下層 活性炭 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 下層 活性炭 3> 300 上層 ろ過砂 3> 300			下層	ろ過砂	3>	300
Temp	3段目	B区	上層	ろ過砂	3>	300
C区 上層 夕過砂 3> 300 下層 活性炭 0.5~1.4 300 NIX 上層 ろ過砂 3> 300			下層	活性炭	0.5~1.4	300
ト曽 活性灰 0.5~1.4 300 NR 上層 ろ過砂 3> 300		C区	上層	ろ過砂	3>	300
l)反 一位			下層	活性炭	0.5~1.4	300
DD		D区	上層	ろ過砂	3>	300
下層 つ廻砂 3/ 300			下層	ろ過砂	3>	300

ていたものである。D 区は占有面積が多段型人工湿地の半分である重層型人工湿地であり、3 段目のろ床は2 段目の地下にある。重層型人工湿地の構造を図-2 に示す。重層型人工湿地は通気層をろ床内に導入することで地表面積に依存せず重層的に好気的なろ床を創出し、単独の湿地の面積で多段処理と同様な処理能力を達成しようとするコンパクトな人工湿地である。D 区のろ材は A 区と同様に 2 段目、3 段目ともにろ過砂である。

2.2 試験方法

A~D 区の 3 段目ろ床からの流出水を毎月 1~3 回採水し、BOD、全窒素(TN)、アンモニア態窒素 (NH_4^+-N) 、亜硝酸態窒素 (NO_2-N) 、硝酸態窒素 (NO_3-N) 、全リン(TP)濃度を測定して、A~D 区の下水浄化性能を明らかにした。

A区、B区、C区の比較によりろ材の組み合わせによる下水浄化性能の違いを評価した。A区、D区の比較により重層型人工湿地の下水処理性能を従来の多段型人工湿地と比較評価した。

3. 実証試験の結果と考察

3.1 鉛直流条件におけるろ材の組み合わせによる下水浄化性能の違い

各区の浄化性能を図-3に示す。BODの除去率はA区が87.7%であり、ろ過砂のみでも十分な除去性能が得られた。B区及びC区の除去率は90.9%及び91.9%であり、A区よりもさらに高い除去性能を得られた。B区及びC区の除去率に差がなかったことから、C区のみで使用されているケイ酸カルシウムは有機物の除去には影響しないことが示された。B区、C区がA区よりも高い除去性を示したのは有機物の吸着性能に優れている活性炭によることが推察された。

窒素の除去率は A 区が 15.2%であった。ろ材に ゼオライトと活性炭を用いた B 区、ケイ酸カル シウムとゼオライトと活性炭を用いた C 区の除 去率はそれぞれ 45.9%、13.4%となったことから、 ゼオライトを用いても組み合わせるろ材によっ て窒素除去性能が異なることが明らかとなった。 C 区の結果より、ケイ酸カルシウムが窒素除去に

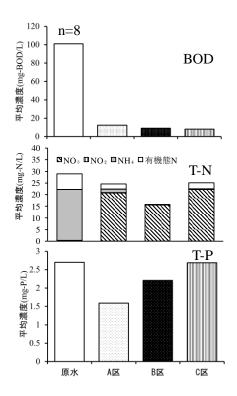


図-3 鉛直流条件におけるろ材の 組み合わせによる下水浄化性能の違い

はマイナスに作用している可能性が示された。ア ンモニア態窒素の除去率はどの区でも 90%から 80%であったが、処理水中に占める硝酸態窒素の 割合が高く、硝化反応までは進んでいるが、脱窒 反応が進んでいないことが明らかとなった。

リン除去率は A 区が 41.1%であった。ろ材に ゼオライト、ケイ酸カルシウム、活性炭を用いた B 区及び C 区の除去率はそれぞれ 18.1%、0.4% であり、どちらもろ過砂のみを使用した A 区を 上回る除去性能は得られなかった。リン除去性能は A 区、B 区、C 区の順で高かったが、これはろ 過砂の使用割合に比例している。つまり、ろ過砂の使用割合が高いほど良好なリン除去性能が得られる傾向となった。本人工湿地のろ過砂は浄水場で使用されていたものであることから、浄水場で使用された凝集剤が混入していた可能性があり、凝集剤の成分であるアルミニウムや鉄がリン除去性能を高めたことが推察された。

3.2 鉛直流条件での多段型と重層型人工湿地の 浄化性能の比較

多段型と重層型人工湿地の浄化性能の比較を 図-4に示す。BODの除去率はA区が87.7%、D区 が 87.8%であったことから、面積を多段型の半分とした重層型において多段型と同等の BOD 除去性能が得られることを確認できた。

窒素の除去率は A 区が 15.2%、D 区が-2%であったことから、どちらも窒素を十分に除去することができなかった。両区ともに硝酸態窒素が大部分を占めており、硝化が著しく進行している反面、脱窒が進まなかったことで窒素除去性能が低かったことが明らかとなった。重層型人工湿地では通気層があるものの地中にろ床を設けているため、多段型より嫌気的になると考えられたが、脱窒が進行するレベルにはならなかったことが示された。つまり、地中に設けた重層型人工湿地のろ床は、多段型に劣らず十分に好気的であったと考えられる。一方、A 区では、3 段目表層にも植物があるのに対し、D 区の3 段目は地中に設けて

いるため植物はない。そのため、窒素除去性能の 差を生み出したのは植物による窒素成分の吸収 であることが推察された。

リン除去性能は A 区の除去率は 41.1%であり、 D 区は 46.3%であったことから、面積を半分にし た重層型人工湿地においても、多段型と同等なリ ン除去が可能であることが確認できた。

3.3 ハイブリッド条件におけるろ材の組み合わせによる下水浄化性能の違い

ハイブリッド条件でのろ材の組み合わせによる浄化性能の違いを図-5及び表-2に示す。ハイブリッド条件でのBOD除去率はA区が86.5%、B区が91.0%、C区が89.1%、であり鉛直流と比較すると、各区のBOD除去率が同等であることから、ハイブリッド条件の導入効果に差はなかった。また、ハイブリッド条件の導入に伴い3段目

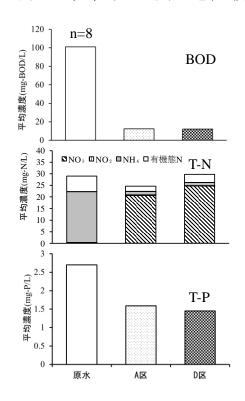


図-4 鉛直流条件での多段型と 重層型人工湿地の下水浄化性能の比較

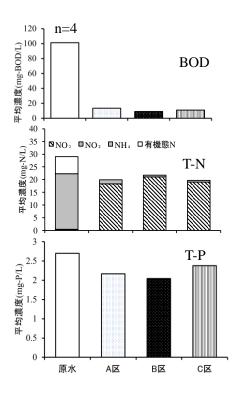


図-5 ハイブリッド条件におけるろ材の 組み合わせによる下水浄化性能の違い

表-2 鉛直流とハイブリッド条件の水質浄化性能の比較

試験区								
	BOD		T-N		T-P			
	鉛直流	ハイブリッド	鉛直流	ハイブリッド	鉛直流	ハイブリッド		
A区	87.7	86.5	15.2	31.4	41.1	19.6		
B区	90.9	91.0	45.9	24.8	18.1	24.1		
C区	91.9	89.1	13.4	37.9	0.4	11.6		
D区	87.8	90.4	-2.0	37.9	46.3	34.1		

を嫌気槽にしても BOD の除去性能は低下しなかったことが明らかとなった。

ハイブリッド条件での窒素除去率は A 区が 31.4%、B 区が 24.8%、C 区が 37.9%であり、A 区、C 区でハイブリッド条件導入効果が表れた。一方、B 区では除去率が低下したことからろ材の組み合わせによってハイブリッド条件の導入効果は 異なる結果となった。

リン除去率は A 区が 19.6%、B 区が 24.1%、C 区が 11.6%であり、ハイブリッド条件の導入効果が表れたのは B 区と C 区であった。B 区と C 区はどちらも 3 段目ろ床に活性炭を使用していることから、ハイブリッド条件の導入により滞留時間が増加したことで活性炭によるリン除去作用を高めることができたと考えられた。特に、C 区の除去率の向上が顕著であり、1 年目には表れなかったケイ酸カルシウムの効果が今後表れる可能性がある。

3.4 ハイブリッド条件での多段型と重層型人工 湿地の浄化性能の比較

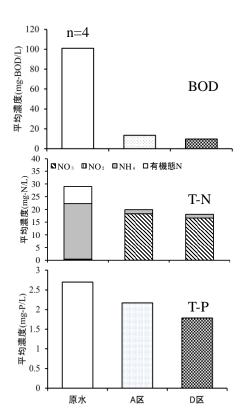


図-6 ハイブリッド条件での多段型と 重層型人工湿地の下水浄化性能の比較

ハイブリッド条件での多段型と重層型人工湿地の浄化性能の比較を図-6 及び表-2 に示す。 BOD 除去率は A 区が 86.5%、D 区が 90.4%であり、鉛直流と比較して両区ともに除去率は同等であったため、多段型と重層型の構造が異なる人工湿地においてハイブリッド条件に導入効果に差はなかったことが示された。このことから、面積を多段型の半分とした重層型において、ハイブリッド条件を導入しても多段型と同等の BOD 除去性能が得られることを確認できた。

窒素の除去率は A 区が 31.4%、D 区が 37.9%であり、鉛直流と比較しどちらの区も大幅な除去率の向上が見られたことから、ハイブリッド条件の導入効果は同等であった。これは、ハイブリッド条件の導入により、脱窒に適した嫌気環境が強化されたためと考えられた。

リンの除去率は A 区が 19.6%、D 区 34.1%であり、鉛直流と比較して、両区ともに除去率の低下が明らかとなった。両区の共通点はろ材にろ過砂を用いていることであり、ハイブリッド条件の導入による滞留時間の増加がろ過砂によるリン除去には適さないことが示唆された。

4. 実証試験のまとめ

本研究では、下水を浄化する人工湿地の水理条件を2018年度では鉛直流に、2019年度ではハイブリッド条件に統一し、下水処理性能を比較することでハイブリッド条件導入効果を評価した。

BOD 除去性能は、ろ材の組み合わせ及び人工 湿地の構造の比較の両者で 2018 年度と 2019 年 度の差はなく、ハイブリッド条件の導入効果に差 はなかった。

窒素除去性能は、人工湿地の構造の比較ではハイブリッド条件の導入効果は同等であったが、ろ材の組み合わせの比較では、ハイブリッド条件の導入効果は異なった。

リン除去性能では、ろ材の組み合わせの比較ではハイブリッド条件の導入効果が表れたが、人工湿地の構造の比較ではハイブリッド条件の導入効果は同等であった。

5. ロハスの花壇を活用した環境学習

ロハスの花壇では汚水を浄化処理するだけでなく、緑化や花壇に必要な液肥として汚水が有効活用される²⁾。すなわちロハスの花壇を組み込むことで、下水処理場は下水を有効資源として循環利用するグリーンインフラとなり、その仕組みを学ぶ環境学習の場を提供することができる。2019年度は地元の湖南小学校の4年生を主な対象として、ロハスの花壇で水が浄化される機構について学ぶ環境学習イベントを開催した。

2019年6月11日には、湖南小4年生21名に カボチャの苗を植えてもらい、ロハスの花壇の3 段のろ床のどこで、カボチャの大きさが最大とな るかを予想してもらった。8月9日には、6月に 植えたカボチャの苗の生育を確認してもらう見 学会を開催した。まずロハスの花壇の3段のそれ ぞれのろ床からの処理水を観察してもらい、その 違いからカボチャがどのろ床で良く育っている のかを考えてもらった。意見は分かれたが、正解 は2段目であった。2段目のカボチャは育ちが良 いだけでなく、全く病気が見られないことで、見 学会に参加していた農家の方も驚いていた。

2019年10月5日には、郡山市上下水道局と日本大学工学部の共同企画として開催した親子バスツアー「きれいな水へのかえりみち」のメニューとして、参加者の子供たちとロハスの花壇で育ったカボチャのサイズと重さを測定するイベントを開催した。その様子を写真1に示す。一番大きなカボチャの重さは30kgを超えており、そのサイズや重さを測定するイベントは大いに盛り上がり盛況となった。子供たちにはロハスの花壇での水の浄化過程についても観察してもらい、肥料なしで何故このような大きなカボチャが出来るのかについて考えてもらった。

ロハスの花壇は、このように地元住民の方との 交流の場や小学生の環境学習の場としても機能 しており、自然が持つ多様な機能を賢く利用する ことで持続可能な社会と経済発展に寄与する新 しいインフラであるグリーンインフラを学ぶ良



写真1 参加者の子供たちとロハスの 花壇で育ったカボチャのサイズと重さ を測定するイベントの様子

い場所となっている。ここでのイベントにより、ロハスの花壇を通して自然に優しいエコロジカルなロハス工学を知ってもらうとともに、下水処理を身近に感じてもらい、下水処理場での仕事の重要さの理解や親近感を深めてもらうことができており、今後もロハスの花壇での環境学習イベントの開催を継続する予定である。

参考文献

- 1) 中野和典, 重層型人工湿地の導入による既存 汚水処理施設のグリーンインフラ化, 用水と 廃水, 60(7)pp.504-511(2018).
- 中野和典,大附遼太郎,中村和徳,橋本 純, 花壇型人工湿地による学生食堂排水の処理, 環境技術,46(11)pp.588-595(2017)