

N-6 エネルギー最小消費型の 新規下水処理システムの開発

○瀬戸 雄太^{1*}・多川 正¹・大久保 努²・上村 繁樹²・高橋 優信³・原田 秀樹³

¹香川高等専門学校(〒761-8058香川県高松市勅使町355)

²木更津工業高等専門学校(〒292-0041千葉県木更津市2-11-1)

³東北大学(〒980-8579宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6)

* E-mail: kankyoken.eco@gmail.com

1. はじめに

現在、乾燥地域を含むアフリカなどの開発途上国では経済成長・人口増加に伴う下水発生量の増加、水系感染による消化器感染症(腸チフス・赤痢・コレラ)などの衛生環境リスクが各所で発生している。本研究の技術開発拠点であるエジプト国では国家プロジェクトとして「国土改造 20 ヶ年計画」が進められており、人口分散による高濃度下水の集中発生の防止を目的に、砂漠地帯を農業・工業地帯に改造するため、「灌漑方法の改善」、「下水処理水の農地への有効活用の推進」が重要課題として設定されている¹⁾。

現在、エジプトの下水処理施設を構成する処理方法の割合は活性汚泥処理施設(ASP)12%、最初沈殿池 81%、となっており、現状の処理プロセスでは高濃度排水を十分な水質まで低下させることは困難な状態である。ASP は高い有機物除去性能を安定して発揮することが可能だが、高額な建設コストに加え維持管理が複雑で現場での管理技術が必要となることから普及が進行していない¹⁾。そこで我々の研究グループでは地域普及率の高い最初沈殿池処理に注目し、主に乾燥地域の開発、途上国向けの灌漑再利用を目的とした衛生環境リスク低減技術として、既存の最初沈殿池の後段システムとして Downflow Hanging Sponge (以下DHSと称す)を組み合わせた、新規の下水処理システムを提案している。

DHSは、インドでの実規模プラントによる長期連続処理実験において、優れた処理性能と途上国への適応性が実証され、その適応性の拡大が期待されている²⁾。また DHSは、①担体スポンジが比較的安価で地域利用しやすい、②設置面積が少ない、③運転管理が単純、④エアレーションが不要、⑤汚泥発生量が少ないなど、途上国に適した構造的特徴を有している³⁾。

本研究では、灌漑活動により砂漠地帯を農業・工業地帯とし河川流域の人口集中を回避した社会を実現するために必要な新規下水処理技術を開発するため、日本国内の下水処理施設にて最初沈殿池+DHSシステムによる連続通水実験を実施した。処理対象には標準活性汚泥法を実施する下水処理施設の最初沈殿池処理水(以下、初沈 eff. と称す)とし、分流式の処理系列にて連続通水実験を行い、その処理特性を調査した。

2. 実験方法

(1) 国内外における生下水の水質性状の比較

1) エジプトの生下水性状

生下水性状を表-1に示す。実際に途上国の灌漑状況の改善を想定し、本研究の対象国であるエジプトの生下水性状についてのヒアリングの結果、灌漑水として利用されている河川水は日本の生下水性状と比較して、①水温・COD_{total}・TSSのパラメーターが高い、②DOが極めて少ない、③動物糞便性の大腸菌群が極めて多い(表-1)などの特徴を有していることが判明した。

2) 灌漑利用基準

灌漑利用基準を表-1に示す。最初沈殿池+DHSシステムによってエジプト国内の汚水灌漑の処理水質(灌漑利用基準)である処理水(表-1)を得ることを、本実験装置における具体的数値目標とする。

(2) 最初沈殿池 + DHSシステム

図-1に本研究で使用した最初沈殿池+DHSシステムフローを示した。本研究では最初沈殿池を途上国で広く普及する既存技術として、DHSを省エネルギー型排水処理技術として位置づけている。最初沈殿池はK県の下水処理施設における標準活性汚泥法の分流式系列

(W3.75m×L18.0m×H4.0m、処理容積270m³、日平均揚水量11.9MLD)を使用している。生下水(最初沈殿池流入下水)は沈砂池でスクリーニングした下水を採取し水質性状を調査するものとした。DHS(スポンジ充填部容積2.4m³(H4.78m×D0.8mΦ))にG3型スポンジ担体をランダムに充填(スポンジ充填率35%、スポンジ体積661L))はスポンジ充填部が5段の多段構造となっており、各段にクリアランスを設けることで空気循環を可能とし、好気条件を維持している。汚泥の植種はせず下水の処理過程で自然的に付着する微生物膜による処理を主としている。初沈 eff.の貯水や攪拌をするための下水貯槽を設置した。

生下水はまず最初沈殿池によって沈殿処理(HRT: 0.5hr)される。その後、初沈 eff.は初沈下水移送ポンプにより施設地下にある下水貯槽に供給され攪拌機により濃度を均等に保ち、下水供給ポンプによりDHS上部から常時散水される。DHS内を下降する間にスポンジに保持した微生物膜と接触し処理されたDHS処理水(以下、DHS eff.と称す)はDHS沈殿部よりオーバーフローし処理水槽へと流出され処理水移送ポンプによって施設既存の活性汚泥反応槽へと移送される(図-1)。

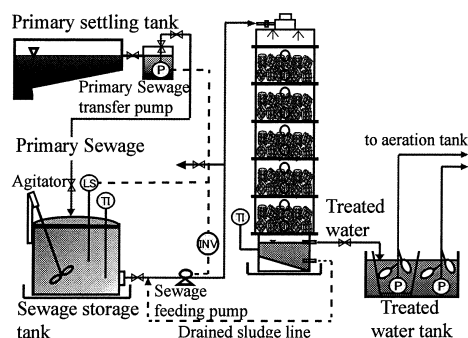


図-1 最初沈殿池+DHS システムフロー

表-1 国内外の生下水性状の比較

水質指標		日本	エジプト	灌漑利用基準
DO	mg/L	1.3 (±0.2)	0.0	—
TSS	mg/L	—	238 (±13)	<60
SS	mg/L	141 (±9)	—	—
BOD ₅	mg/L	209 (±16)	199 (±17)	<60
COD _{total}	mg/L	—	452 (±38)	<80
COD _{Mn}	mg/L	111 (±4)	—	—
NO ₃ ⁻	mg/L	0.2 (±0.1)	0.0	<50
F.coli	MPN/100ml	10 (±3) × 10 ⁶	1.4 × 10 ⁹	<5 × 10 ⁵

(3) 連続通水処理実験の運転条件

連続通水実験はPhase1(HRT: 3.2hr)、Phase2(HRT: 1.6hr)、Phase3(HRT: 0.8hr)として実施する。DHSのHRTは下水供給量を増加(Phase1: 5m³/d, Phase2: 10m³/d, Phase3: 20m³/d)することで段階的に減少させていき下水供給量: 20m³/d(HRT: 0.8hr)を最終目標として連続処理を進行する。実験は目標流入負荷(HRT: 0.8hr)に実験130日間で到達した。

3. 実験結果及び考察

(1) 連続通水実験処理性能(最初沈殿池+DHS)

図-2(a)-(b)に連続通水実験の条件及びBOD₅、T-N、NO₃⁻の経日変化を示した。DHSのHRTの算出は下水供給量を基準とし、スポンジ体積を使用した。

Phase1では、初沈 eff.平均BOD₅濃度93±3mg/L、DHS eff.平均BOD₅濃度14±2mg/Lのように良好なBOD₅除去能が得られ灌漑基準(BOD₅<60mg/L)を十分満たす結果が得られ

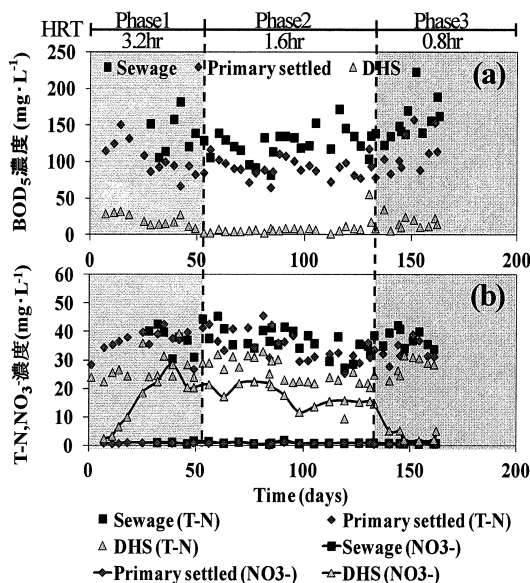


図-2 連続処理実験処理性能

た。運転開始時のBOD₅の除去能は75%であったが24日経過時には83%、53日経過時には96%(図-2(a))と、実験が進行するに連れ、スポンジに付着した汚泥が馴致され活性が向上し、良好な処理能力を示した。また、NH₄⁺の硝化によるNO₃⁻濃度の推移において、運転開始直後におけるDHS eff.のNO₃⁻濃度は2.5mg/Lであるが、徐々にNH₄⁺の硝化は進行し、実験開始39日目には28.4mg/Lまで上昇した(図-2(b))。

Phase2では、初沈 eff.平均BOD₅濃度125±5mg/L、DHS eff.平均BOD₅濃度9±3mg/Lの処理水質が得られた(図-2(a))。HRT>1.6hrの運転条件下においては供給量の変動によるBOD₅容積負荷の上昇(Phase1平均: 0.70±0.02kgBOD₅/m³/d、Phase2平均: 1.89±0.07kgBOD₅/m³/d)に有機物除去が対応しているといえる。またDHS eff.のNO₃⁻濃度は増減を繰り返しながらではあるが反応が見られ、良好な硝化が確認された(図-2(b))。そこでPhase3では下水供給量を設計目標処理下水量の20m³/d(HRT: 0.8hr)として運転を継続した。

Phase3では、 BOD_5 容積負荷がPhase3平均： $3.45 \pm 0.30 \text{ kg } BOD_5 / \text{m}^3 / \text{d}$ の状態において初沈 eff.平均 BOD_5 濃度 $115 \pm 10 \text{ mg/L}$ 、DHS eff.は平均 BOD_5 濃度 $30 \pm 12 \text{ mg/L}$ の処理水質が得られた(図-2(a))。流量負荷変動3日後の BOD_5 の除去率は89%が得られ高い有機物除去率が観測されたが、徐々にDHS eff.の BOD_5 濃度は日変動が大きくなり、不安定な状態となった。Phase3はSS性の流入負荷の上昇(Phase1 平均： $0.36 \pm 0.04 \text{ kg SS} / \text{m}^3 / \text{d}$ 、Phase2 平均： $1.20 \pm 0.09 \text{ kg SS} / \text{m}^3 / \text{d}$ 、Phase3 平均： $1.88 \pm 0.30 \text{ kg SS} / \text{m}^3 / \text{d}$)により発生する部分閉塞が短絡流を起こし、DHS eff.の水質悪化を招いたと示唆された。 NO_3 濃度は流量負荷変動後において急激に低下し、現在の NO_3 濃度は 1.9 mg/L が得られている(図-2(b))。 NH_4^+ 濃度は流入から流出にかけて 20 mg/L 程度が水質分析より得られており、DHS eff. BOD_5 30 mg/L と有機物除去が停滞していることから、 NH_4^+ の硝化が確認されない状態が連続している。

(2) プロファイル結果 (Phase1~3)

図-3(a)-(b)にPhase1~3におけるDHSの水質Profileを示した。水質分析の結果、上部のBOX 1~BOX 3では有機物除去が重点的に進行し(図-3(a))、下部のBOX4~BOX5では NH_4^+ の硝化が進行していることが確認された(図-3(b))。

BOD_5 濃度に着目すると、Phase1~2ではDHS流入から流出にかけて有機物除去が進行し、最終処理水質 20 mg/L 以下と良好な処理工程が確認された。一方、Phase3ではBOX5通過後濃度上昇が確認され最終処理水質 49 mg/L という分析結果が得られた。Phase3はSS性の高い流入負荷により起こる部分閉塞が短絡流を発生させ、固形有機物の分解が律速となりDHS eff.の水質悪化を招いたと示唆され、DHS eff.における BOD_5 濃度の上昇の要因となったと推察される。

T-N, NO_3 に着目すると、Phase1~2ではBOX4~BOX5以降に硝化が観測され NO_3 濃度はDHS eff.においてPhase1では 28.4 mg/L 、Phase2では 15.8 mg/L まで上昇した(図-3(b))。BOX4に流入する時点で BOD_5 濃度は 25 mg/L (Phase1)、 15 mg/L (Phase2)まで有機物除去が進行しているため硝化菌の活性により NH_4^+ の硝化が加速されたと推察される。一方、Phase3ではPhase1~2同様にBOX4より硝化が観測されたが、 NO_3 濃度はDHS eff.において 2.9 mg/L (図-3(b))であり、また NH_4^+ 濃度は流入から流出にかけて 20 mg/L 程度という水質分析結果が得られた。 NH_4^+ 濃度はDHS流入後、BOX1~BOX4にかけて徐々に増加しBOX5にて微量な濃度低下が観測された。以上のように、DHSの水質ProfileよりBOX1~BOX3では有機物除去(図-3(a))が重点的に進行し、BOX4~BOX5では NH_4^+ の硝化(図-3(b))が進行していることが確認されたが、Phase3では流入負荷の上昇により有機物除去に加え、 NH_4^+ の硝化が停滞する結果となった。

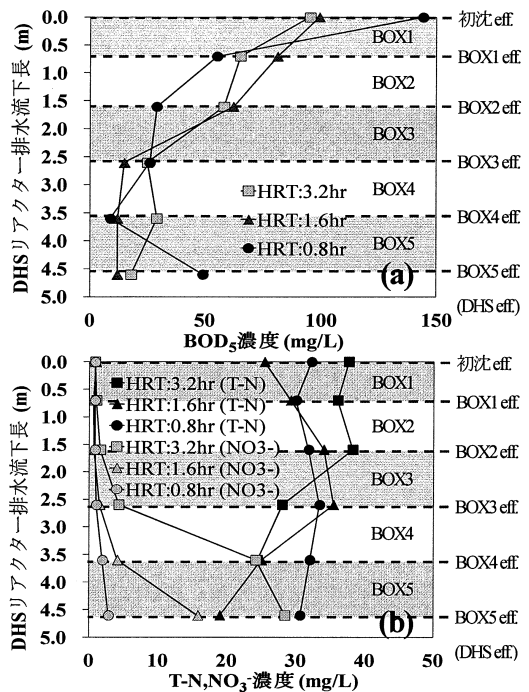


図-3 水質 Profile 結果

4. 結論

設計目標HRT(1hr)を設定したPhase3においてDHSは平均 BOD_5 除去率87%、 COD_{Cr} 除去率72%、SS除去率78%による処理が現在進行している。DHS除去率は高いが、夏期実験のため渇水等による家庭での水使用量の減少が流入負荷を上昇させDHS eff.での濃度上昇に影響したと推察された。また、エジプトの深刻な地下水汚染状況は、今回日本の地下水性状と比較することにより明確化され、現在でも汚染灌漑は増加している。一方、最初沈殿池+DHSシステムでは平均 BOD_5 除去率91%、 COD_{Cr} 除去率82%、SS除去率87%を発揮し、灌漑利用基準を十分に満たす処理性能が得られ灌漑状況を改善する革新的技術として活躍が期待される。今後の展開としてDHS-Distributorの改善、SS性の部分的な閉塞による短絡流発生の防止などに努め、DHSの処理パフォーマンスの向上に尽くす。

参考文献

- 1) 原田秀樹：Field survey 報告書 (H23年度)
- 2) 大久保努、山口隆司、久保田健吾、原田秀樹：無曝気方式の新規下水処理技術の開発-第三世代型担体を適用した実規模DHSリアクターの処理性能評価 pp. 4-9
- 3) Shigeki Uemura, Hideki Harada. ENVIRONMENTAL ANAEROBIC TECHNOLOGY Applications and New Developments pp. 103-105