

要旨

乾燥地における水資源と環境保全 - ヨルダンにおける自然循環式水処理と 再生水利用計画 -

高知工科大学大学院 濱津陽一

1. はじめに

現在砂漠・半砂漠地帯では十分な污水处理がなされていない為に、環境汚染が問題となっている。水不足問題は周辺環境へ重大な問題を引き起こすだけでなく、安全な上水を確保するのにも深刻な影響を及ぼす可能性が有る事が分かった。また、今後の水需要の増大と、新たな水資源開発が望めない今、水不足が社会不安を煽る大きな要因となっており、早急な対策が必要で有る。今後の水不足問題を解決するにあたり持続可能な水資源管理と開発、国内需要の高い農業用水を従来型の水源に頼らず、処理水を転用利用する事が乾燥地域で必要だと考える。また、それらの国々の大部分は発展途上国で、高度な浄化施設を建設・維持管理するのは困難な状況である。そこで本論では、現地で入手可能であり安価で、循環再利用できる材料を使用したエコロジカルな污水处理の手法について検討した。

固形廃棄物の污水处理への循環再生利用の試みは今まで多くなされているが、今回は使用済みペットボトル・ガラス瓶を原材料にした中空チューブ・発泡骨材を接触ろ材に使用した。また発泡骨材には廃棄された貝殻も混ぜいれてある。本来これらの製品はアスファルトの透水管などとして開発されたものだが、多孔質であり表面積が大きいという性質から、下水処理水の高度処理に効果を発揮するのではないかと考え、高知工科大学の下水処理施設を利用して実験を行った。また、実験で用いた新接触ろ材の処理水で、乾燥地での灌漑用水転用による節水効果と環境保全があるのかについて可能性の検討も行った。

2. 実験

2.1 実験概要

実験は、高知工科大学下水処理システムの2次処理水を中空チューブ・発泡骨材を用いたフィルターで、透過時間を一定にしてろ過する。2次処

理水と実験で得られた浄化水のそれぞれを水質測定する。測定結果を比較し、接触ろ材と滞留時間による依存性の水質浄化能力を明らかにする。

2.2 実験装置

2.2.1 装置概要

実験装置の全体図を Fig.1 に示す。各装置の詳細は以下の通りであり、装置は全て市販されている材料を加工し製作した。

2.2 実験方法

上記で述べた実験装置に中空チューブを (Fig. 2,3 参照) と発泡骨材 (アコヤ貝殻 5%・10% 含有。以後、5%発泡骨材・10%発泡骨材) の3種類を別個にフィルターろ材とした。ろ材はそれぞれのフィルターに詰め、2次処理水を定期間隔で透過させ、透過前・透過後の成分変化を測定した。なお、高知工科大学では回遊式間欠曝気浄化槽を用いた2次下水処理システムを導入しており、本実験ではこの2次処理水を原水として使用した。透過時間は1・2・3・4・5・6・7・8・9(時間)とし、測定された中空チューブ・発泡骨材(5%・10%)の有効空隙率は中空チューブが高い値であり、あとはほぼ同じ値である (Table.1 参照)。また測定水質項目として BOD, COD, 全窒素(TN)の数値を測定した。

Table.1 各ろ材の有効空隙率

各ろ材	有効空隙率 (%)
中空チューブ	50.79
5%発泡骨材	50.71
10%発泡骨材	50.19

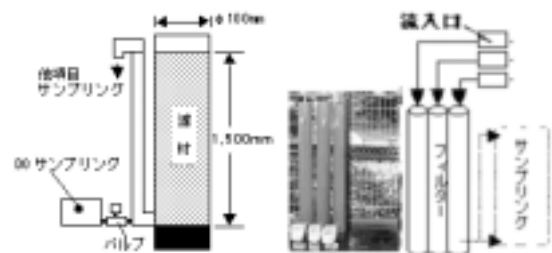


Fig. 1, 実験装置全体とフィルター図



Fig 2 発泡骨材



Fig 3 中空チューブ

3. 実験

3.1 実験結果について

今回の実験は 2002 年 3 月 20 日に高知工科大学内下水処理施設において 10:00 ~ 19:00 の間に採取したデータに基づき分析した結果である。天候は快晴、処理水の水温は 21 °C であった。なお全てのサンプリングには高知工科大学の二次処理水を使用し、全て同じ所からサンプリングした。流入時の各値は Table 2 に示す。

Table 2 流入時の値

Inflow	mg · l ⁻¹
COD	26
BOD	7.67
TN(全窒素)	28.2
TP(全リン)	11.5

3.2 材料別の浄化能力

各材料別、浄化能力を分析した結果 (Table 3, 4, 5 参照) 次の事がわかった。中空チューブ、5%発泡骨材、10%発泡骨材の全窒素の値は、中空チューブ以外は大体 3 時間経過した後に低下を見せている。どの材料も最も透過時間が長い 9 時間が最も効果があった。また、全窒素の除去率が一番高かったのは 10%発泡骨材であった。またリンについて大きな除去効果があり、吸着・もしくは化学・生物学的作用による除去・吸着反応があったと推測される。

Table 3, 4, 5 各材料除去性能

Item(中空)	BOD	COD	T-N	T-P
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Influent	7.67	26	28.2	11.5
Effluent	5.22	6.8	6.4	7.3
Rejection rate (%)	31.9	73.8	77.3	36.5

Item (5%)	BOD	COD	T-N	T-P
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Influent	7.67	26	28.2	11.5
Effluent	5.10	14.4	8.0	3.1
Rejection rate (%)	33.5	44.6	71.6	73.0

Item (10%)	BOD	COD	T-N	T-P
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Influent	7.67	26	28.2	11.5
Effluent	2.39	22	15.1	4.5
Rejection rate (%)	68.8	15.4	46.5	60.9

3.3 考察

今回の実験では各項目の浄化過程解明にはいかなかったが、浄化性能を有する事は分かった。リンに関しては、全く予想外の好結果が得られた。BOD に関しては期待していたような浄化効果があり見られなかった事から、C/N との相関性と、微生物定着までの時間を把握する必要がある。それに加え接触材の耐久時間や、滞留時間 9 時間では浄化能力の限界は見えてこなかった事から、滞留時間延長による浄化能力の把握が必要である。また、今後この接触材は A O 法のような、嫌気・好気状態を繰り返す処理に有用なる材としての可能性が見えてきた。リン除去にかんしては、発泡骨材は大変に有用な性能をみせた事から、今後エコロジカルのリン除去システムとして大変に有効な接触材としての可能性がみえた。

3.4 まとめ

本論は主に乾燥地域での水質浄化が最終目的だったのだが、極めて有用なリン除去性能が見られた事から、今後さらに幅広い利用用途も予想される。発泡骨材によるリン除去性能は旧来までの科学的・電氣的な吸着手法より安価で行える事から、除去性能を向上出来れば、大変有効な手法となりえる。またこの結果から流入水をヨルダンの二次処理水を利用したとしても、処理後の水は灌漑用水に転用可能な水質になる事が分かった。

4 再生水利用計画

処理水を農業や工業に転用する事は、乾燥地帯で、極めて重要なテーマである。ケースとして、本論ではヨルダンを取り上げた。ヨルダンでは生活用水に適している淡水 (循環・非循環地下水、表流水) の 70% 近い水量を農業に利用している。灌漑用水の水源は主に、表流水、地下水、処理水である。1999 年では総供給量の 521MCM のうち、表流水が 37%、地下水が 49%、処理水が 14% を占めていた。今後の地下水及び表流水を生活用水として転用していかなければならない事を考えると、処理水の積極的利用が必要となる。また、今後の生活用水の増大に併せて問題なのは、北部エリアの農業用水の実態である。高原地帯が多い北部エリアでは、地下水による灌漑が多くなされており、過剰揚水による地下水の地下水位低下、枯渇、水質悪化の問題が深刻化している。しかし、ヨルダンにおいてこれ以上農業用水を削減する

事も出来ないのが現状である。現況をふまえ、北部エリア（高原地帯）からヨルダン渓谷への農地の転用による、地下水源の保全と節水、それに併せて実験で行った処理技術導入の可能性の追求がこの章の目的である。

4.1 ヨルダンの処理場の概要と処理水の利用状況

ヨルダンでは多くの污水处理場が処理水の再利用を進めている。実際にはどのような処理場があり、どのような方法で処理が行われ、どのような再利用がなされているのだろうか。2001 年時点で、ヨルダンには 19 箇所の下水処理施設が稼働している。首都アンマン周辺地域をカバーするのはアッサムラ処理場を含む 6 つの処理場で、ラグーン方式(安定地方式)の処理形態がとられている。通称天日干しシステムと呼ばれるこの処理は、嫌気性池、好気性池、熟性池からなる広い土地と、太陽光を利用したヨルダンの気候風土に適した処理である。また、高度な技術を必要としないため、古くから導入されていた方式である。ワジエシールという下水処理場では、土地確保ができなかった為に、好気性池の代わりに人工的に暴気処理を行っている。その他の 10 箇所の処理場では活性汚泥法等の処理を組合せた集中処理を行っている。都市部の污水处理はアッサムラ下水処理場で行っているが、流入量の増加が問題となっている。

4.2 下水処理水の灌漑用水利用に関する条件

以下の条件はいくつかの条件をつける事により、灌漑用水への利用を安全かつ積極に行えるのではないかと考えた、作成したものである。

- 1) 水処理場と処理水を利用している地域の地形的条件
- 2) 灌漑用水と処理水のコスト
- 3) 農業に使用できる処理水の塩分濃度レベル
- 4) 処理水中の大腸菌数
- 5) 污水处理場から排出される処理水のレベル
- 6) 下水処理場から近くに適切な灌漑用地がある
- 7) 下水発生量が多い

4.3 適地選定

アッサムラの現在の水質は決して良いものではなく、処理水が河川を汚している事は確かである。河川に流入する前に、水質改善しなければ、灌漑用水利用の前に周辺環境の汚染や、地下水汚

染につながってしまう危険性もある。しかし、流入量と運搬コストの問題はクリアした。十分な灌漑用水を確保するにはアッサムラの処理水を転用することが、地下水の大替水源として望ましいと考える。

3.5 下水処理水再利用案

下水処理水の再利用の課題は、水質問題の他に、送水費用が問題であり、これは処理水の料金に反映されてしまうために、最も重要と考えられる。首都圏からの下水処理は自然流下による送水が可能なヨルダン渓谷での再利用が望ましい。

新たな接触ろ材を使用した場合、ヨルダン渓谷に流れ混む King Talal River の水質から考えて BOD で $2 \sim 5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、TN で $6 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、TP では最低でも $7.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 未満の除去率は期待できることから、十分に農業用水として転用可能であるため、下水処理水の再利用にあたって農家にアピールしていくことも必要だと考える。実際に処理水を転用するならば、健康上きわめて危険な事項も多くある。塩素殺菌されたものでも、スプリンクラー方式などの灌漑ではなく、マルチとドリッピングを併用したものにより、節水にもつながる事がわかった。

3.6 まとめ

直接高原地帯での地下水揚水の削減にはつながらないものの、施設の導入と処理水利用が可能である事はわかった。農作物と農業形態により、処理水転用が出来ないものもあるので、農業地域と作物の分布の把握が必要である。農業用水が安く、処理水を普及させるには、コストの問題をクリアする必要がある。

3.7 今後の課題

ヨルダン渓谷で、実際に処理水転用により、どのくらい高原地帯での地下水揚水の削減ができるかは、不明な点が多い。今後は、実際にどのくらいの節水効果があるのかの検討をしていきたい。

接触ろ材を用いた処理にも不明な点が多く、実際に高負荷に耐えられるものなのか、耐用年数がどれほどなのか不明であり、今後はそれらの問題を解決し、実際にヨルダンでの下水処理施設になりうるかについても、見当していきたい。

Conservation of water resources and water environment in the arid region.
-A case study on the natural circulation wastewater for reclamation of treated
wastewater in Jordan-

YOICHI Hamatsu

The country of Jordan is mainly semi-arid region. For example, an annual rainfall of Jordan is 200mm, 92% of rainfall evaporates, 5% become ground water and 3% become surface water runoff. Therefore the water resources, which are available, are restricted to easily accessible ground, recycled wastewater and surface water. Moreover wastewater is not clean adequately to use again.

This study aims to propose a method for conservation of water resources and water environment in the semi-arid region based on the case study of the natural circulation wastewater for reclamation of treated wastewater in Jordan. Accordingly the method that is low cost, easy technology, simple method, high efficiency, easy maintenance and efficient biological treatment systems was proposed in this thesis.

Experiment of wastewater treatment were carried out using contact filter made from recycled PET bottle and discarded glass which are easy to get in arid region.

As a result of the experiment, effect of eliminating organic materials from experimental wastewater was confirmed in foaming aggregate. Specifically BOD, TN and TP were eliminated 68.8%, 77.3% and 73.0% each. From this result, wastewater that was treated by using foaming aggregate can be reused for irrigation. The following study was done to select an area where wastewater reuses. Water quality and rate of treated wastewater including costs of water pumping should be considered to reuse treated wastewater.

Using spontaneous water flow for wastewater treatment plant has the following merits.

- (1) Building cost of wastewater treatment plant is lower than using other method.
- (2) Energy charge of operating plants is lower than using other method.
- (3) Plant can be build by simple technology.
- (4) Maintenance of Plant is not used so often.

Consequently Jordan valley was selected to experimental place.

Hereafter improvement of capacity of contact filter to treat wastewater and way of establish the plant practically will be studied for realization of reusing treated wastewater.