

セラミック膜を用いた重力式雨水浄化技術の開発

長岡技術科学大学大学院 ○ (学) 徳永翔一 (非) 酒井謙吾 (学) 三輪徹 (正) 渡利高大 (正) 幡本将史 (正) 山口隆司 (正) 山口隆司
東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 (非) 矢島健史

1. はじめに

新興国では 2020 年時点で約 20 億人が安全な飲料水や生活用水を十分に利用できていないと報告¹されており、また、電源の供給体制も脆弱であるため、水資源への安定的なアクセスが依然として大きな課題である。この課題に対し、雨水を水資源として活用する手法が注目を浴びており、積極的な利用が検討されている。しかし、未処理の雨水には *Legionella spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Campylobacter spp.* などの病原性微生物が存在することが報告²されており、適切な処理技術と電力設備に依存しない水供給システムの開発が求められる。また、国内においても地震などの自然災害によって水道や電源へのアクセスが遮断される事例が報告されている。そこで、本研究ではこれらの課題を解決するため、外部電力を必要としない重力式ろ過に耐久性の高いセラミック膜を採用した雨水浄化システムの開発を行い、水質及び処理量の評価を行った。

2. 実験方法

2.1 重力式雨水浄化システム

図 1 に本研究で用いた重力式雨水浄化システムの概略図を示す。本システムは初期雨水を取り除く除塵機 (20 L)、雨水貯留槽 (50 L)、循環槽 2 槽 (各 500 L)、膜処理槽 (100 L)、浄水槽 (250 L)、スポンジを充填した流路で構成した。流路中にはポリエチレン製のネットリングにポリウレタン製 1 辺 34 mm の立方体スポンジ (空隙率 98.5%) を挿入したもの (外形 $\phi 35 \text{ mm} \times$ 内径 $\phi 31 \text{ mm} \times$ 高さ 34 mm) を 3 つの仕切りに分け、それぞれに 40 個ほどランダムに充填した。流路は高低差による自然流下とし、浄水は講義棟の洗面所の手洗い水として供給した。スポンジで充填した流路の溢水分は循環槽に流れ込み、ポンプにより雨水貯留槽に返送した。膜処理槽はアルミナ製のセラミック MF 膜 2 枚を浸漬させた。消毒プロセスは次亜塩素酸ナトリウムを膜処理槽に添加することで行い、設定塩素濃度は水道法の基準値 (0.1 mg/L

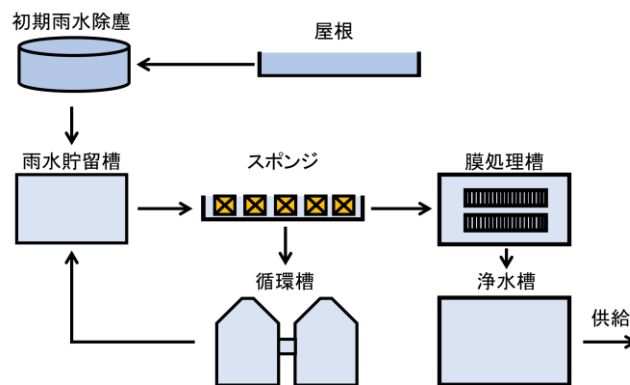


図 1 重力式雨水浄化システムの概略図

以上) と水質管理設定項目の目標値 (1 mg/L 以下) から 1 mg/L を目標値とした。システムの目標水質は飲料水基準とし、目標処理量は供給先施設の 1 日の利用人数を考慮し 40 L/日とした。

2.2 測定項目

本システムでは大腸菌、一般細菌、pH、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、有機物量 (TOC)、色度、濁度、残留塩素の測定を雨水、雨水貯留槽、膜処理槽、浄水槽で行い、水質基準項目と比較することで評価を行った。pH はポータブル pH 計 (TOA-DKK, MM-42DP)、残留塩素はポータブル式の遊離残留塩素計 (TANITA, EW-520) で測定し、大腸菌は特定酵素基質培地法で測定した。硝酸態窒素と亜硝酸態窒素はオートアナライザ (BLETEC, QuAAtro)、TOC は有機炭素分析装置 (Elementar, enviro TOC) を用いて測定した。また、色度と濁度は上水試験方法に準じた。さらに膜透過量を 1 日ごとに測定し、膜透過流束の評価を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 水質の評価

各水質項目の結果を表 1 に示す。処理前で水質基準が未達成の項目は pH、TOC、大腸菌、一般細菌、残留塩素であった。pH は雨水が 5.9 ± 1.3 であるのに対し、浄水槽では 6.6 ± 0.6 であり、水道水質基準値である 5.8~8.6 を達成した。これは、次亜塩素酸ナ

表 1 水質評価（雨水，雨水貯留槽，膜処理槽，浄水槽）

項目	基準値	雨水	雨水貯留槽	膜処理槽	浄水槽
pH	5.8～8.6	5.9±1.3	5.7±1	5.9±0.8	6.6±0.6
色度	5度以下	2.1±1.8	1.6±1.2	1.5±1.2	0.8±0.7
濁度	2度以下	1.3±1.1	0.9±0.7	0.4±0.4	0.2±0.2
有機物(TOC)	3 mg/L以下	3.9±0.8	2±0.4	2.1±0.4	2.1±0.4
NO ₂	0.04 mg/L以下	0.05±0.04	0.05±0.04	0.01±0.01	0.01±0.01
NO ₃ +NO ₂	10 mg/L以下	0.8±0.5	0.9±0.6	0.5±0.4	0.3±0.2
大腸菌	検出されないこと	検出	検出	不検出	不検出
一般細菌	1 mg/Lあたりの集落数100以下	100以上	100以上	100以下	不検出
残留塩素	0.1～1 mg/L	0	0	0.7±0.2	0.4±0.1

トリウムの添加により、水酸化ナトリウムが発生し、pH を上昇させたためと考えられた。TOC は雨水が 3.9±0.8 mg/L であり、膜処理槽と浄水槽は共に 2.1±0.4 mg/L で、膜処理槽で水道水質基準値を達成した。

TOC は雨水貯留槽で濃度が低下した後、膜処理槽、浄水槽ともに大きな変化がないため、初期雨水除塵機により除去された。大腸菌は、雨水貯留槽と雨水で検出され、膜処理槽と浄水槽では検出されなかった。一般細菌では、雨水と雨水貯留槽で 1 ml 当たり 100 以上の集落数が検出され、膜処理槽でも検出されたが、水道水質基準値以下であり、浄水槽では検出されなかった。残留塩素は、膜処理槽が 0.7±0.2 mg/L、浄水槽の濃度が 0.4±0.1 mg/L であり、水道法と水道水質の両基準値を達成したことから、塩素濃度の保持により、殺菌作用が適切に働いたと考えられた。色度、濁度、亜硝酸態窒素濃度、硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合算濃度は、処理前の段階で水道水質基準値を満たしていた。以上の結果より本システムは、雨水を水道水質基準まで浄化可能であることを示した。

3.2 膜透過流束の評価

図 2 に各塩素濃度における膜透過流束の推移を示す。重力式膜ろ過において膜透過流束は運転初期から急速に低下した後、安定することが報告³⁾されている。本システムでも同様の傾向が示された。測定開始時点の膜透過流束は 156.7 L/m²/h であったが、測定開始後急速に低下し、7 日目には 24.3 L/m²/h に減少した。この後、膜透過流束の低下は鈍化した。10 日目で 19.4 L/m²/h となり、目標処理量 40 L/日の達成できなかつた。次に、塩素濃度が膜ファウリングに与える影響について評価するため、塩素濃度を 0.5、2.0 mg/L に変更し、それぞれの条件で膜透過流束の推移を調査した。結果として、塩素濃度 0.5 mg/L の期間においては、測定開始から 7 日目で膜透過流束が 18.2

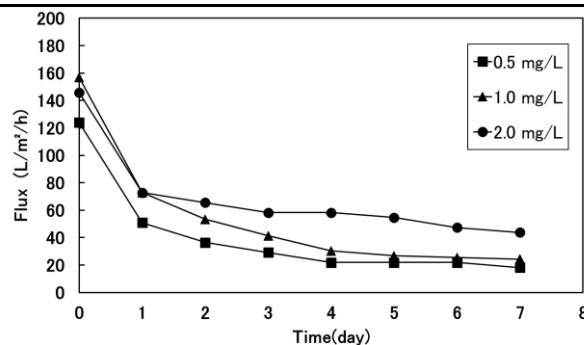


図 2 各塩素濃度における膜透過流束の推移

L/m²/h となり、膜透過流束の低下を速めた。一方、2.0 mg/L の期間では測定開始から 7 日目の膜透過流束が 43.7 L/m²/h であり、10 日目時点で、32.8 L/m²/h であったことから、膜透過流束の低下を抑えることが可能であった。これは、塩素濃度の上昇により微生物の増殖が阻害され、膜ファウリングが抑制されたためと考えられた。しかし、残留塩素の水道水質基準値の観点から、同様の方法で膜透過流束の安定化を図ることは困難とされた。

4. まとめ

本研究の結果から、重力式膜ろ過を用いた本システムで得られる浄水の水質は水道水質基準値を満たすことが示された。今後は膜面の沈着物質の分析を行い、膜洗浄機構の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) UNICEF Progress on household drinking water, sanitation and hygiene, 2000-2020.
- 2) B.Reyneke et al.,(2020), Rainwater treatment technologies: Research needs, recent advances and effective monitoring strategies, Current Opinion in Environmental Science & Health,Vol.16,pp.28-33.
- 3) MarynaPeter-Varbanets et al.,(2010), Stabilization of flux during dead-end ultra-low pressure ultrafiltration, Water Research,Vol.44,Issue12,pp.3607-3616.