

## 重力式膜ろ過を用いた雨水利用システムの開発

長岡技術科学大学 ○(学) 徳永翔一, (学) 酒井謙伍, (学) 三輪徹,  
(正) 渡利高大, (正) 幡本将史, (正) 山口隆司  
東京電力ホールディングス株式会社 (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水を十分に利用できていないと報告<sup>1)</sup>されており, 水資源へのアクセスは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, 雨水の水質は国や地域によって異なり, 特に屋根から集水された雨水には鳥類や昆虫の糞便等に由来する *Legionella spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Campylobacter spp.* などの病原性微生物の存在が報告されているため, 適切な処理が求められる. さらに新興国は電源の供給体制が脆弱である地域が多く, 外部電源に依存しないことを制約条件として考慮しなければならない. また, 日本国内においては地震などの大規模な自然災害によって水道や電気などのインフラ設備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, 外部電源に依存しない重力式ろ過に着目し, 耐久性の高いセラミック膜を用いた雨水利用システムの開発を試みた.

### 2. 実験方法

#### 2.1 重力式雨水利用システム

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 (30 L), 雨水貯留槽 (100 L), 循環槽 2 槽 (各 500 L), 膜処理槽 (100 L), 浄水槽 2 槽 (各 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  $\phi 35$  mm  $\times$  内径  $\phi 31$  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, 流路から溢水した分は循環槽に流入させた後, ポンプで

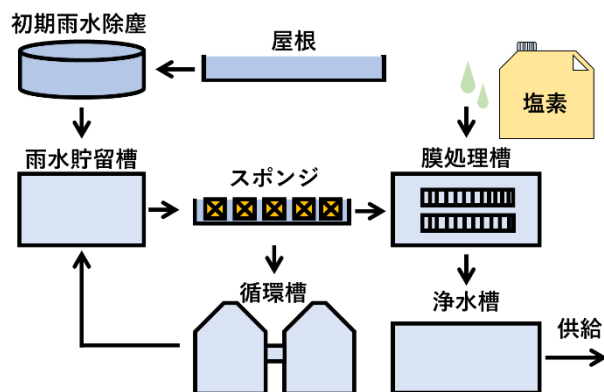


図 1 重力式雨水浄化システムの概略図

雨水貯留槽に返送した. 膜処理はセラミック製の MF 膜 2 枚を用いた. 消毒は次亜塩素酸ナトリウム溶液 (6%) を膜処理槽に添加し行った. 設定塩素濃度は水道法の基準値 (0.1 mg/L 以上) と水質管理目標設定項目の目標値 (1 mg/L 以下) を考慮し, 1 mg/L を目標値とした. 浄水は講義棟の手洗い水として供給することを目的とし, 水質は水道水質基準と比較することで評価した. 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

本システムでは水道水質基準 51 項目の内, 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, 残留塩素を測定項目とした. また, 測定箇所は雨水, 雨水貯留槽, 膜処理槽, 浄水槽とし, 水道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. 色度と濁度は上水試験方法に準じた. さらに膜透過流束を測定し, 日間推移を調査した.

キーワード 雨水利用システム, 重力式膜ろ過, フラックス

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 水圏土壌環境研究室 TEL 0258-47-1611-6646

表 1 各測定箇所の計測値

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±1.0	6.4±1.3	6.6±0.7
色度	5度以下	2.1±1.8	1.6±1.2	1.5±1.2	0.8±0.8
濁度	2度以下	1.7±1.4	0.9±0.7	0.4±0.4	0.2±0.2
有機物(TOC)	3 mg/L以下	3.6±3.1	1.3±0.8	1.5±0.9	1.6±0.9
NO <sub>2</sub> -N	0.04 mg/L以下	0.05±0.04	0.02±0.02	0.01±0.01	0.01±0.01
NO <sub>2</sub> -N+NO <sub>3</sub> -N	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	13±9	3±3	0	0
一般細菌	1 mLあたりの集落数100以下	145±45	24±17	15±2	0
残留塩素	0.1~1 mg/L	0	0	1.1±0.7	0.5±0.3

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 雨水利用システムの評価

システムを 170 日間運転した結果を表 1 に示す。処理前の雨水の段階で水道水質基準に適合しない項目は pH, TOC, 大腸菌, 一般細菌, 残留塩素であった。しかし, 処理後の浄水槽では測定した全項目が水道水質基準に適合していた。pH の上昇は膜処理槽で添加した次亜塩素酸ナトリウム溶液の影響が考えられた。しかし, 測定値の振れ幅が大きく, 水質管理目標設定項目で設定されている 7.5 程度を維持する工夫が必要と考えられた。TOC は雨水貯留槽で濃度が低下した以降, 後段の槽で大きな変化が無いため, 初期雨水除塵機が大部分を除去したと考えられた。一般細菌は雨水で基準を超える細菌数が検出され, 雨水貯留槽と膜処理槽では基準値以下の細菌数が検出された。また, 浄水槽では一般細菌が検出されなかったため, 膜ろ過が有効に働いたと考えられた。大腸菌は雨水と雨水貯留槽のみで検出された。残留塩素は, 浄水槽の濃度が  $0.4\pm 0.1$  mg/L であり, 目標値を達成した。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, 処理前の雨水の段階で水道水質基準値を満たしていた。以上の結果から, 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<sup>2)</sup>されており, 本システムにおいても同様の傾向が確認された。塩素濃度 1.0 mg/L の条件で膜透過流束の推移を観察した。その結果, 7 日目時点における膜透過流束は  $24.3$  L/m<sup>2</sup>/h となり, 目標処理量の達成が可能であった。しかし, 初期の膜透過流束に対する低下率が

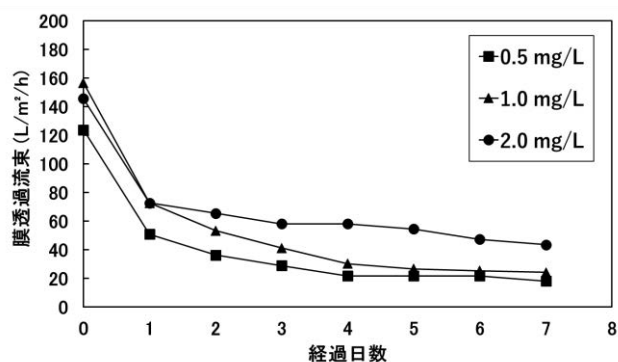


図 2 各塩素濃度における膜透過流束

84.5%となり, 急速な膜ファウリングの形成が確認された。そこで, 塩素に注目し, 膜透過流束に与える影響を調査した。塩素濃度を 0.5, 2.0 mg/L にそれぞれ変更し, 各条件下で膜透過流束の推移を観察した。その結果, 0.5 mg/L における 7 日目の膜透過流束は  $18.2$  L/m<sup>2</sup>/h であり, 低下率が 85.3%だった。一方, 2.0 mg/L の場合は 7 日目における膜透過流束が  $43.7$  L/m<sup>2</sup>/h であり, 低下率が 70%だった。この結果から, 塩素濃度の上昇が膜ファウリングを抑制し, 膜透過流束の低下を遅らせることが可能と考えられた。しかし, 残留塩素の水質管理目標設定項目の目標値は 1.0 mg/L 以下とされているため, 塩素濃度の上昇による膜透過流束の安定化は望ましくないとされた。

#### 4. まとめ

本研究の結果から, 本システムで得られる浄水の水質は水道水質基準を満たすことが示された。今後は膜透過流束の安定化やシステムの最適化に向けた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) MarynaPeter-Varbanets et al.,(2010), Stabilization of flux during dead-end ultra-low pressure ultrafiltration, Water Research, Vol.44, Issue 12, pp.3607-3616.