

第Ⅶ部門

水道配水管内におけるバイオフィルムの形成に及ぼす懸濁微粒子の影響

大阪工業大学工学部 学生員 ○芝田 正彦
 大阪工業大学工学部 非会員 野口 真裕
 大阪工業大学工学部 正会員 石川 宗孝

大阪工業大学工学部 非会員 上野 健太
 大阪工業大学工学部 正会員 笠原 伸介

1. はじめに

水道配水管内に形成されるバイオフィルムは、配水管の腐食、水道水の異臭味、レジオネラの発現など、水道水質に悪影響を及ぼす様々な問題を誘発することが知られている。このバイオフィルムの形成を抑制するには、微生物の増殖に関係する栄養源や消毒剤の濃度を適切に管理することが重要であり、これまでに数多くの調査・研究事例¹⁾が報告されているが、バイオフィルムの強度に関係すると考えられる懸濁微粒子の影響については十分に検討されていない。そこで、本研究では、水道配水管内における微生物再増殖を模擬的に再現し得るアンニューラーリアクター（以下 AR と称す）を用い、細菌数と水質、および AR 内におけるバイオフィルムの滞留時間に及ぼす懸濁微粒子の影響について検討した。

2. 実験方法

実験装置として、容積 200 mL の攪拌槽および 1300 mL の AR を 4 系列用いた。供試水として、チオ硫酸ナトリウムにより脱塩素処理した本学水道水（大阪市水道水）を用い、攪拌槽において所定の濃度となるようカオリンを添加した後、HRT 0.1 hr、水温 25 °C の条件で AR に通水した。

供試水および槽内水の水質と細菌数を測定するとともに、AR 内に装着されたスライド表面に付着した細菌数を継続的に測定し、定常状態における細菌数の収支より、付着細菌の比剥離速度と滞留時間を次式²⁾を用いて算出した。

$$\frac{Q}{V}(X_{\text{out}} - X_{\text{in}}) = \gamma_b X_b \frac{A}{V} \cdots (\text{式 1}) \quad t_b = \frac{1}{\gamma_b} \cdots (\text{式 2})$$

ここで、Q：流量（mL/h）、V：リアクター容積（cm³）、A：リアクター内表面積（cm²）、X_{out}：流出浮遊細菌数（CFU or cells/mL）、X_{in}：流入浮遊細菌数（CFU or cells/mL）、X_b：付着細菌数（CFU or cells/cm²）、γ_b：付着細菌の比剥離速度（h⁻¹）、t_b：付着細菌の滞留時間（h）。

3. 結果と考察

3-1 供試水…表 1 に、供試水の平均水質を示す。当然のことながら、PSL 濁度についてはカオリン添加量が多いほど高くなったが、溶解性の TOC および T-N については、いずれもほぼ同じ値であった。また、図 1 に、供試水に含まれる懸濁微粒子の粒径分布を示す。カオリン添加量にかかわらず、粒径 0.5~1 μm の粒子数が圧倒的に多く、いずれも全懸濁微粒子数の約 90 % を占めていることが確認された。

3-2 細菌数と水質…図 2 に、スライド表面における付着細菌

表 1 供試水の平均水質

カオリン添加量(mg/L)	0	0.01	0.1	1
PSL濁度(度)	0.124	0.150	0.335	1.473
溶解性TOC(mg/L)	1.1	1.2	1.3	1.5
溶解性T-N(mg/L)	1.3	1.4	1.3	1.5

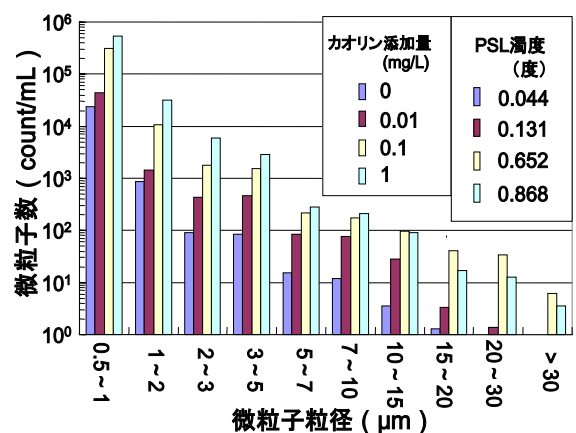


図 1 供試水中の粒径分布

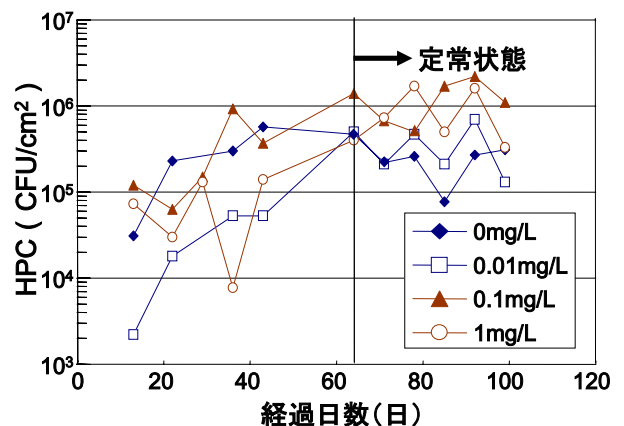


図 2 付着細菌数 (HPC) の経日変化

菌数の経日変化を示す。付着細菌数は、通水開始直後から増加し、いずれの条件においても 64 日後に定常状態を迎えた。図 3 に、定常状態における平均付着・浮遊細菌数を示す。まず、カオリン添加量と付着細菌数の関係に注目すると、カオリン添加量が多いほど付着細菌数も増加することが明らかとなり、カオリン添加量 0 mg/L（無添加）と 1 mg/L を比較すると前者に比べ後者は 1 オーダー高かった。次に、流入 HPC と流出 HPC の差に注目すると、カオリン添加量にかかわらず、流出 HPC の方が流入 HPC より $1.4 \sim 7.5 \times 10^6$ CFU/reactor 高く、いずれの条件においても付着 HPC が AR 内で剥離している様子が示唆された。しかし、カオリン添加量が多いほど付着 HPC は増加したにもかかわらず、流出 HPC はほぼ等しかったことから、懸濁微粒子が多いほど AR 内には剥離し難いバイオフィームが形成されたと考えられる。図 4 に、定常状態における生物同化可能有機炭素（以下、AOC と称す）の測定結果を示す。AR 内の細菌数については、カオリン添加量が多いほど増加したが、AOC の増減量については、 $5 \sim 12 \mu\text{g/L}$ と顕著な差は見られなかった。このことからバイオフィームの形成に、AOC は直接関与していないことが示唆された。

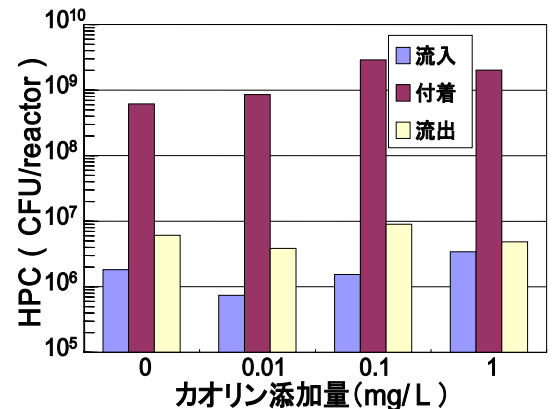


図 3 定常状態における平均細菌数 (HPC)

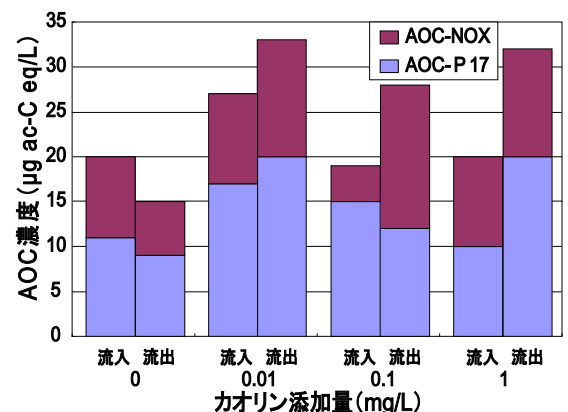


図 4 AOC の測定結果

3-3 比剥離速度と滞留時間…図 5 に、比剥離速度と滞留時間の推定値を示す。比剥離速度は、水道水中の PSL 濁度に反比例して減少し、PSL 濁度 0.124、0.150、0.335、1.473 度において、それぞれ 0.069、0.037、0.025、0.007 h^{-1} となった。その結果、滞留時間は、PSL 濁度 0.124、0.150、0.335、1.473 度において、それぞれ 0.6、1.1、1.7、5.9 日となった。また、全菌についても同様に滞留時間を推定したところ、PSL 濁度 0.124、0.150、0.335、1.473 度において、それぞれ 2.6、5.6、9.1、23.6 日となり、これらの結果から、PSL 濁度が 1 度上昇すると、HPC での滞留時間は 4 日、全菌での滞留時間は 17 日増加することがわかった。このことは、懸濁微粒子が多いと、バイオフィームの強度が上がり水流せん断に対する抵抗が増すこと、微生物が付着するための表面積が増大することなどが要因と考えられ、バイオフィームの形成を阻止する上で懸濁微粒子削減の重要性が示唆された。

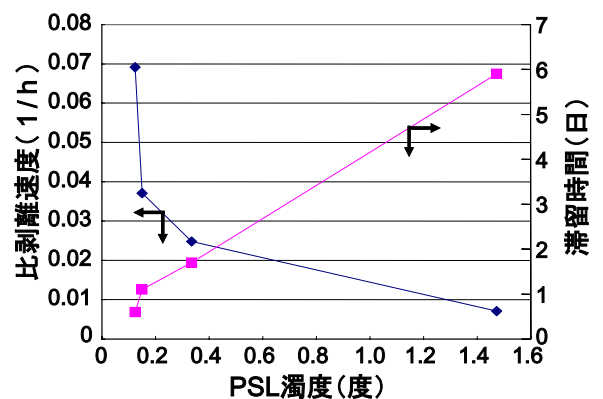


図 5 濁度と比剥離速度および滞留時間の関係 (HPC)

4. おわりに

本研究により、水道水中の懸濁微粒子が多いと、AOC 濃度に関係なく配水管壁面における付着細菌の滞留時間が長くなり、結果として、バイオフィームの形成量が増加することが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 前田和孝他：送配水管内における微生物の再増殖特性に及ぼすリンの影響，第 54 回全国水道研究発表 演集，pp. 598-599，2003. 5
- 2) Gordon A. Mc. Feters 編，金子光美監訳：飲料水の微生物学（Drinking Water Microbiology），技報堂出版，pp. 248-249，1992