

B-40 水道配水管内におけるバイオフィーム形成に及ぼす懸濁微粒子の影響

大阪工業大学大学院工学研究科 ○芝田 正彦
 大阪工業大学工学部 笠原 伸介
 大阪工業大学工学部 石川 宗孝

1. はじめに

配水管内におけるバイオフィームの形成は、レジオネラ菌の発現、配水管の腐食、水道水の異臭味など、水道水質に悪影響を及ぼす様々な問題の要因となることが知られている¹⁾。このバイオフィームの形成を抑制するには、細菌増殖の基質となる元素を浄水処理の段階で除去するとともに、除濁や塩素注入により配水管内部の清浄度を高め、付着細菌の壁面上での滞留を阻止することが重要と考えられる。

本研究では、バイオフィームの形成、滞留に及ぼす懸濁微粒子の影響を把握するため、濁度の異なる供試水をアニュラーリアクター^{2),3)} (AR) に通水し、細菌数と水質の変化を調べるとともに、形成されるバイオフィームの滞留時間を推定した。

2. 実験方法

図1に、実験装置のフローを示す。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℃の条件でARに通水した。図2に、ARの概要を示す。AR内部には、微生物試料を採取するための着脱可能なスライドが20～24枚装着された直径14 cmの円柱状ドラム（材質：PVC）を設置し、60 rpmで回転させることにより、配水管壁面における水流せん断を再現した。通水開始後、供試水および槽内水の従属栄養細菌数（HPC）と全菌数を測定するとともに、スライド表面に付着した細菌数を継続的に測定した。定常状態における細菌数の収支に基づき、付着細菌の比剥離速度と滞留時間を次式⁴⁾を用いて算出した。

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

$$t_b = \frac{1}{\gamma_b} \cdots (式2)$$

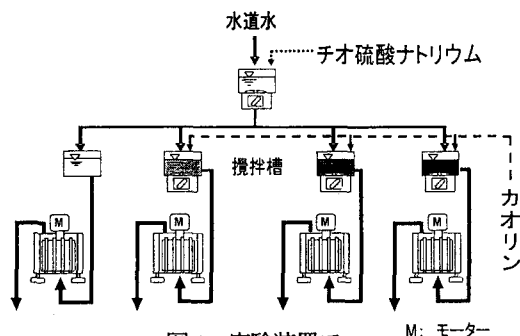


図1 実験装置フロー

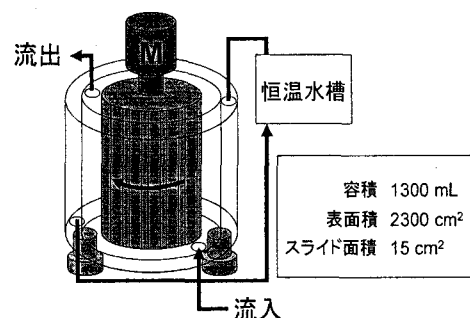


図2 アニュラーリアクター（AR）

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

ここで、 Q : 流量 (mL/h)、 V : リアクター容積 (cm^3)、 A : リアクター内表面積 (cm^2)、 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/ cm^2)、 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 3 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 4 および 5 に、スライド表面に付着した HPC および全菌数の菌体密度の経日変化をそれぞれ示す。HPC、全菌数とも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経過日数 60 日頃に定常状態を迎えた。図 6 および 7 に、定常状態における HPC と全菌数の平均付着・浮遊細菌数をそれぞれ示す。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 HPC および全菌数のいずれも増加することが明らかとなり、カオリン添加量 1 mg/L では、0 mg/L (無添加) に比べ 1 オーダー多く付着した。次に、流入と流出の浮遊細菌数を比較すると、HRT がわずか 6 分の間に HPC は 1.4~5.8 倍、全菌数は 1.2~2 倍それぞれ増加し、カオリン添加量にかかわらず AR 内で成長したバイオフィームが剥離している様子が示唆された。また、カオリン添加量が多いほど付着細菌数は増加したにもかかわらず、流出細菌数はほぼ等しかったことから、懸濁微粒子数が多いほど 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 8 に、定常状態における生物同化可能有機炭素 (AOC) 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、5~12 $\mu\text{g/L}$ 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 は大きく関与しなかったと考えられる。

3.3 バイオフィームの滞留時間…図 9 および 10

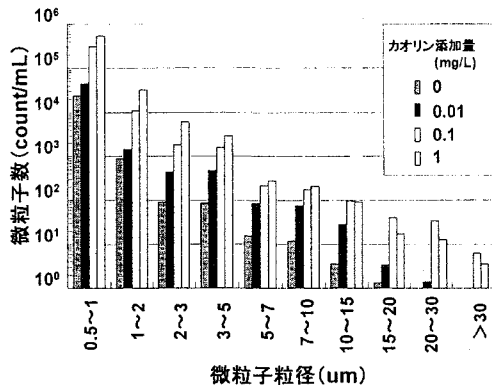


図 3 供試水中の粒径分布

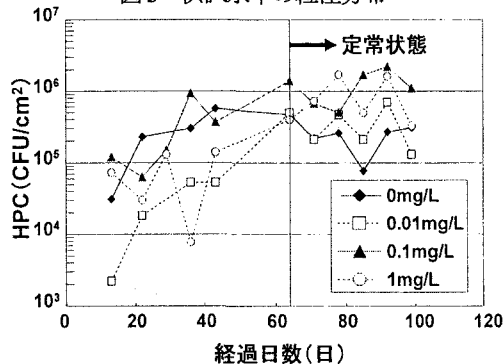


図 4 付着細菌数 (HPC) の経日変化

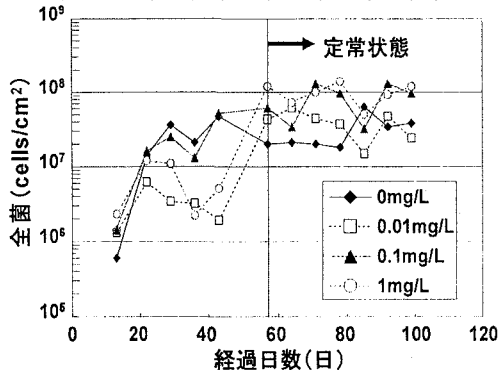


図 5 付着細菌数 (全菌数) の経日変化

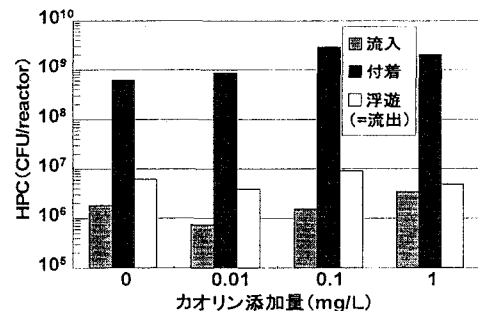


図 6 定常状態における平均細菌数 (HPC)

に、HPC および全菌数の測定結果より求めたバイオフィルムの比剥離速度と滞留時間の推定値をそれぞれ示す。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、比剥離速度 (HPC) は 0.069、0.037、0.025、0.007 h^{-1} 、比剥離速度 (全菌数) は 0.016、0.007、0.005、0.002 h^{-1} となった。これに伴い、滞留時間は、水道水中の PSL 濁度に比例して増加し、PSL 濁度 0.124、0.150、0.335、1.473 度において、HPC で 0.6、1.1、1.7、5.9 日、全菌数で 2.6、5.6、9.1、23.6 日となった。このことは、懸濁微粒子が多いと、バイオフィルムの強度が上がり水流せん断に対する抵抗が増したこと、微生物が付着するための表面積が増大したことなどが要因と考えられる。以上のことから、PSL 濁度が 1 度上昇すると HPC で約 5 日、全菌で約 20 日、滞留時間が増加すると推定され、バイオフィルムの滞留を阻止する上で懸濁微粒子を削減することの重要性が示唆された。

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、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、バイオフィルムの形成量が増加することが明らかとなった。また、このバイオフィルム形成量と AOC 消費量との間に明確な関連性は見られなかった。

【謝辞】

実験データの採取に協力頂いた大阪工業大学工学部都市デザイン工学科卒業生の上野健太君と野口真裕君に対し、心より感謝致します。

【参考文献】

- 1) Gordon A. Mc. Feters 編, 金子光美監訳: 飲料水の微生物学 (Drinking Water Microbiology), pp.500, 技報堂出版, 東京, 1992
- 2) 芝田正彦, 上野健太, 野口真裕, 笠原伸介, 石川宗孝: 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, 平成 17 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2005
- 3) 笠原伸介, 前田和孝, 石川宗孝: 水道配管内における付着生物膜の形成と水道水質との関係, 用水と廃水, 46(2), 48-49, 2004
- 4) E.van der Wende, W.G.Characklis, D.B.Smith: Biofilms and bacterial drinking water quality, Wat. Res., 23(10), 1313-1322, 1989

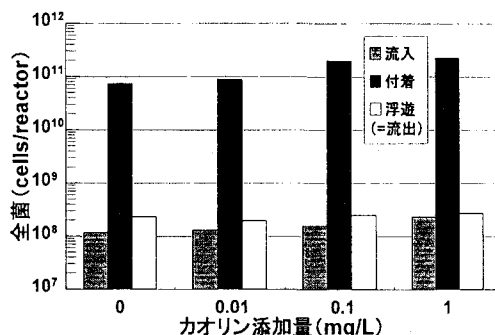


図7 定常状態における平均細菌数 (全菌数)

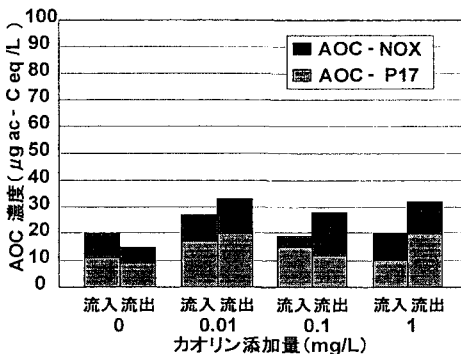


図8 AOCの測定結果

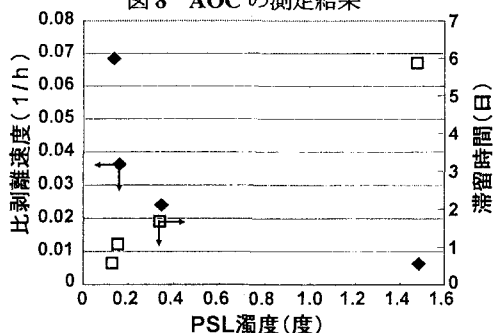


図9 濁度と比剥離速度および滞留時間の関係 (HPC)

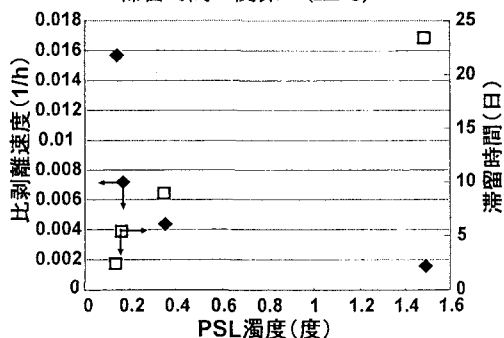


図10 濁度と比剥離速度および滞留時間の関係 (全菌数)