

B-12 各種配水条件における水道配水管 付着微生物削減効果の検討

○山 鎮^{1*}・芝田 正彦²・笠原 伸介³・石川 宗孝³

¹大阪工業大学大学院工学研究科環境工学専攻（〒535-8585大阪市旭区大宮5丁目16番1号）

²住原商事株式会社（〒104-0061 東京都中央区銀座6丁目6番7号 朝日ビル）

³大阪工業大学工学部環境工学科（〒535-8585大阪市旭区大宮5丁目16番1号）

* E-mail: yama@env.oit.ac.jp

1. はじめに

配水管壁面における付着微生物は、レジオネラ菌の発現や水道水の異臭味など、水道水質に様々な悪影響を及ぼすことが知られている¹⁾。

付着微生物量を削減するには、AOCなどの基質濃度を浄水処理の段階で削減し、細菌の増殖ポテンシャルを抑制するとともに、残留塩素、細菌数および濁度等の配水管内の清浄度に関連する因子を制御し、細菌の配水管内での滞留を阻止することが重要となる。

本研究では、配水管壁面における微生物の付着・滞留を効果的に阻止する配水条件を明確にするため、残留塩素、浮遊菌体濃度および濁度の異なる供試水を回転式反応装置²⁾（図-1）に通水し、菌体収支、滞留時間にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

2. 実験装置と実験方法

本研究では、①微生物の付着・滞留に及ぼす残留塩素の影響を評価するための実験（実験1）、②浮遊菌体濃度の影響を評価するための実験（実験2）および③濁度の影響を評価するための実験（実験3）をそれぞれ行った。供試水として本学水道水（表-1）を用い、表-2に示す条件で回転式反応装置に水理学的滞留時間0.1hr、すなわち浮遊菌体がwash outする条件で通水した。

実験1では、チオ硫酸ナトリウムを添加することにより残留塩素の有無を調整した。実験2では、残留塩素の調整に加えて孔径0.2μmのメンブランフィルター（材質：セルロースアセテート）で膜分離することにより流入菌体濃度を調整した。実験3では、チオ硫酸ナトリウムと次亜塩素酸ナトリウムにより残留塩素を0、0.4、0.8mg/Lに調整するとともに供試水にカオリンを0、0.5、1、2mg/L添加することにより濁度を調整した。

回転式反応装置では、微生物採取のため着脱可能なスライドが約20枚装着された直径14cmの円柱状ドラム（材質PVC）を60rpmで回転させ、配水管壁面における水流せん断を再現した。通水開始後、流入水および流出水中の従属栄養細菌数（HPC）と全細菌数、スライド表面に付着したHPCと全細菌数を継続的に測定した。また、定常状態における比剥離係数^{3) 4)}と滞留時間を式(1)および式(2)より算出した。

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

$$t = \frac{1}{\gamma_b} \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

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_{in}：流入浮遊細菌数（CFU or cells/mL）、X_{out}：流出浮遊細菌数（CFU or cells/mL）、X_b：付着細菌数（CFU or cells/mL）、γ_b：付着細菌の比剥離速度（h⁻¹）、t：付着細菌滞留時間（h）

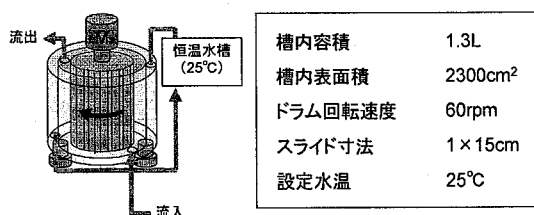


図-1 回転式反応装置

表-1 本学水道水質

濁度(度)	0.02~0.1
AOC($\mu\text{g ac-Ceq/L}$)	40~80
TOC(mg/L)	0.5~1.0
T-N(mg/L)	1.2
T-P(mg/L)	N.D.
遊離残留塩素(mg/L)	0.1~0.4

表-2 回転式反応装置の通水条件

	実験1 (条件:2)	実験2 (条件:4)	実験3 (条件:12)
残留塩素濃度(mg/L)	0, 0.1~0.4	0, 0.1~0.4	0, 0.4, 0.8
膜分離	—	無, 有	—
カオリン添加量(mg/L)	—	—	0, 0.5, 1, 2

3. 付着微生物に及ぼす残留塩素の影響

図-2に残留塩素が存在する場合としない場合の菌体数収支を示す。付着菌体数に注目するとHPCでは残留塩素が存在することで3オーダー低下したのに対し、全細菌では残留塩素の有無で差は見られず、残留塩素は、配水管壁面に付着する微生物の増殖活性を著しく低下させるものの、付着微生物を剥離させるほどの効果は示さないことが示唆された。

4. 付着微生物に及ぼす浮遊菌体濃度の影響

4-1 残留塩素が存在しない場合

図-2において残留塩素が存在しない場合に注目すると、両供試水の浮遊菌体濃度は、HPCおよび全細菌ともに対照系より膜系の方が1オーダー低かったにも関わらず、付着細菌数に大きな違いは見られなかった。このことは、付着微生物の増殖速度の方がリアクターに対する菌体供給速度に比べ圧倒的に大きいことを意味しており、残留塩素が存在しない状況では、微生物付着量を削減する上で、AOCを削減するなどして増殖速度を低減することが効果的であると考えられる。

4-2 残留塩素が存在する場合

残留塩素が存在する場合に注目すると、膜系の付着菌体数は対照系より約1オーダー低く、付着菌体数は流入菌体数に依存することがわかった。このことは、残留塩素が存在する状況では、壁面に付着する微生物の増殖活性が著しく弱まり、微生物付着量に対して増殖速度より菌体供給速度の影響が相対的に大きくなることを示しており、菌体濃度の削減が付着微生物削減に効果的であることが実験的に証明された。

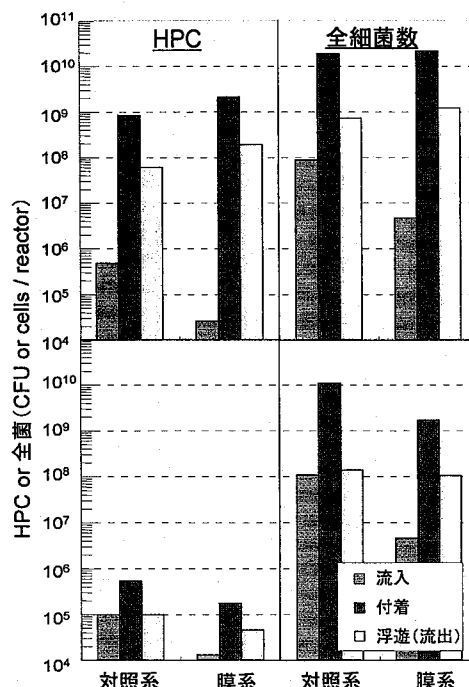


図-2 定常状態における菌体収支
(上: 残留塩素無、下: 残留塩素有)

5. 付着微生物に及ぼす濁度の影響

5-1 定常状態における菌体収支

図-3に定常状態のHPCと全細菌の菌対数収支を示す。残留塩素が存在しない場合に注目すると、カオリン添加量が増加するとともに付着菌体数が増加する傾向が見られカオリン0mg/Lと2mg/Lとでは、付着菌体数に1オーダーの差が見られた。これに対し、流出菌体数についてはあまり違いが見られなかったことから、濁度が高いほど付着微生物が剥離し難くなっていることが示唆された。

次に残留塩素が存在する場合に注目すると、残留塩素0.4mg/L、0.8mg/Lとどちらも残留塩素が存在することで付着微生物の増殖活性を著しく低下させているが、カオリン添加量0mg/Lと2mg/Lでは、2mg/Lの方が付着菌体数は約1オーダー多かった。また、流出菌体数にあまり差が見られなかったことから、残留塩素が存在する状況であっても濁度の増加は付着菌体数を増加させることが示された。

5-2 付着微生物の滞留時間

図-4に定常状態におけるHPCおよび全細菌の測定結果より算出した滞留時間を示す。残留塩素が存在しない場合、カオリン添加量0、0.5、1、2mg/Lにおける付着微生物の滞留時間はHPCで0.2、0.7、0.5、3日、全細菌で0.6、0.6、1.9、7.3日とカオリン添加量に比例して増加することがわかった。

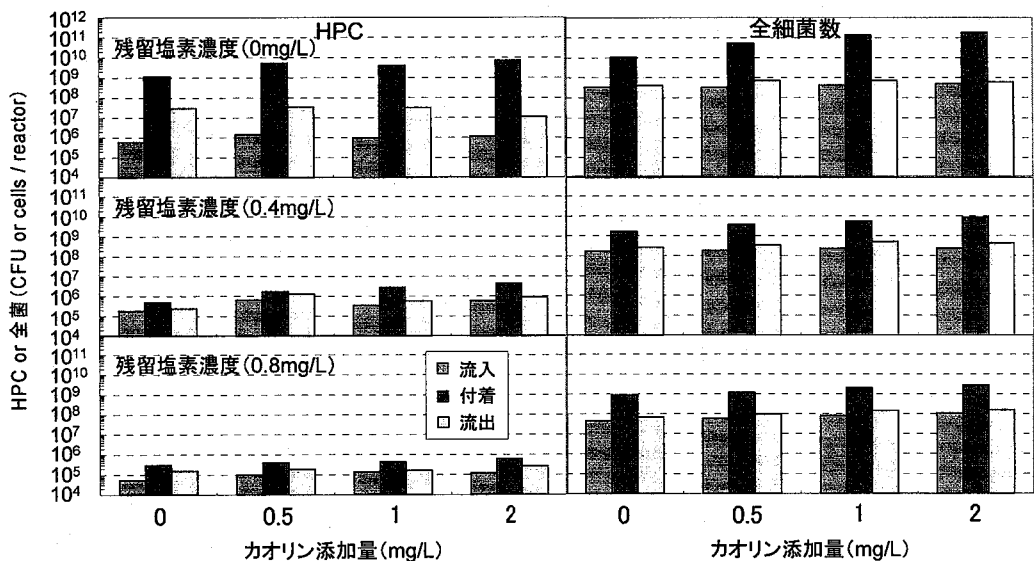


図-3 定常状態における菌体収支

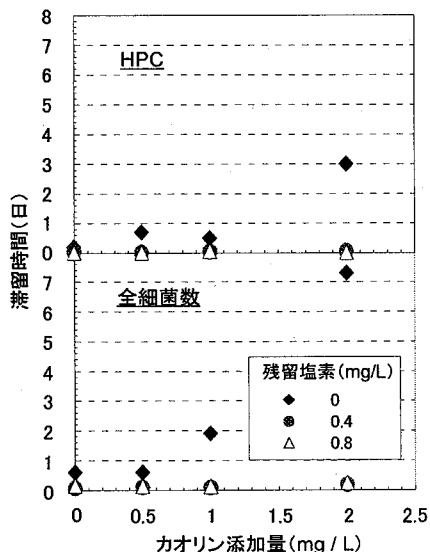


図-4 滞留時間の算定結果

残留塩素が存在する場合、付着微生物の滞留時間はHPCで0.01～0.06日、全細菌で0.07～0.23日となり、残留塩素が存在することで、付着微生物の滞留時間は日オーダーから時間オーダーまで短くなることがわかった。

6. まとめ

本研究では、回転式反応装置を用いて、配水条件と配水管壁面での付着微生物の関係について検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 残留塩素は付着微生物の増殖活性を著しく低下させるが、付着微生物を剥離させるほどの効果は示さないことが示唆された。

- 2) 残留塩素が存在する配水管内では膜分離による除菌操作は、付着微生物を削減する上で効果的であることが示された。
- 3) 水中の濁度粒子は、付着微生物の壁面上での滞留時間を増加させ、結果的に付着微生物を増加させることから、残留塩素の有無に関わらず濁度除去が重要であることが示された。

【謝辞】

本実験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桑原寿君、松森幸平君、石川隆司君、兵頭直敏君に対し、心より感謝致します。

【参考文献】

- 1) 金子光美監訳：飲料水の微生物学（Gordon AMcFeters編），pp. 500，技報堂出版，東京（1992）。
- 2) 笠原伸介，前田和孝，石川宗孝：水道配水管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
- 3) 岡部聡：生物膜型（付着型）生物処理モデル，環境工学公式・モデル・数値集（土木学会編），丸善（株），pp. 113-120，2004. 6
- 4) E. Van der Wende, W. G. Characklis, D. B. Smith: Biofilms and bacterial drinking water quality, Water Research, 23(10) 1313-1322, 1989.