

健全で安全な水環境を目指した 雨天時都市排水の消毒技術の開発

京都大学工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター 講師 山下尚之

概要：

現行の合流式下水道では、雨天時排水に対応した消毒システムになっておらず、雨天時には病原性微生物に対する消毒効果の低下が危惧され、下水処理水の放流先水域への影響が懸念される。そこで本研究では、合流式下水処理場において雨天時下水の水質調査を行い、雨天時における病原性微生物の流入実態および消毒対象水質を把握するとともに、合流式下水道の雨天時下水に対して水質リアルタイム計測による消毒制御システムの開発を行い、そのシステムの適用性について検討を行った。

合流式下水道において雨天時下水の実態調査を行った結果、晴天時と比較して 100-300 倍の濃度の大腸菌群が消毒前の段階で残留していた。また、SS や $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度についても晴天時の 10 倍以上の濃度になっており、雨天時下水に対して消毒を行う場合、これらの影響を考慮する必要があることが明らかとなった。また、消毒対象水の水質リアルタイム計測と連動させた消毒制御システムを開発し、消毒実験を行った結果、消毒制御システムによって塩素の変動注入を行った場合には、一定注入率の場合と比較して約 1log 低い直まで大腸菌群数を不活化できており、効率的に消毒が行われることが明らかとなった。このことから、今回開発したリアルタイム消毒制御システムは、雨天時下水の大腸菌群を制御する手法として有効な技術であることが確認された。

キーワード: 雨天時都市排水, 合流式下水道, 病原性微生物, 消毒, 消毒制御システム

1. はじめに

合流式下水道は、汚水および雨水を同一の管渠で排除し処理する方式の下水道である。合流式下水道は管渠が 1 系統であるため、汚水管と雨水管の 2 系統が必要な分流式下水道に比べ管路の敷設費用が小さく施工が容易である。一方で、雨天時に遮集容量を超えた下水は未処理で公共用水域へ排出されており、これは合流式下水道越流水 (Combined Sewer Overflow; CSO) と呼ばれている。

我が国においても古くから合流式下水道が整備されてきた大都市において、合流式下水道における雨天時都市排水は、景観上、公衆衛生上大きな問題となっている。特に 2000 年に東京都のお台場海浜公園で降雨後の白色固形物 (オイルボール) の漂着が確認され、それが CSO に起因することが判明すると、合流式下水道の問題が社会問題として大きくクローズアップされるようになった。また、梅雨時期から海水浴シーズンにかけて水浴場で糞便性大腸菌群が一時的に高濃度で検出されたことが水環境問題としてマスメディアに取り上げられた。こうして合流式下水道越流水の問題が広く認識され、改善の必要性が緊急に議論されるようになった。しかし、しかし

ながら、我が国において CSO 問題について現在のところ主要な対策や影響調査は SS や BOD にとどまっており、衛生的な視点からの検討は十分になされていないのが現状である¹⁾。

現行の合流式下水道では、雨天時排水に対応した消毒システムになっておらず、雨天時には病原性微生物に対する消毒効果の低下が危惧される。そこで本研究では、合流式下水処理場において雨天時水質調査を行い、雨天時における病原性微生物の流入実態および消毒対象水質を把握するとともに、合流式下水道の雨天時下水について、水質リアルタイム計測による消毒制御システムの開発を行い、その雨天時下水への適用性について検討を行った。

2. 雨天時下水中に存在する病原性微生物の変動特性に関する検討

合流式下水道の放流先が水道水源、海水浴場やリクリエーションの場として利用されている水域では、降雨時に処理や消毒が十分でない下水が水環境中に流出するこ

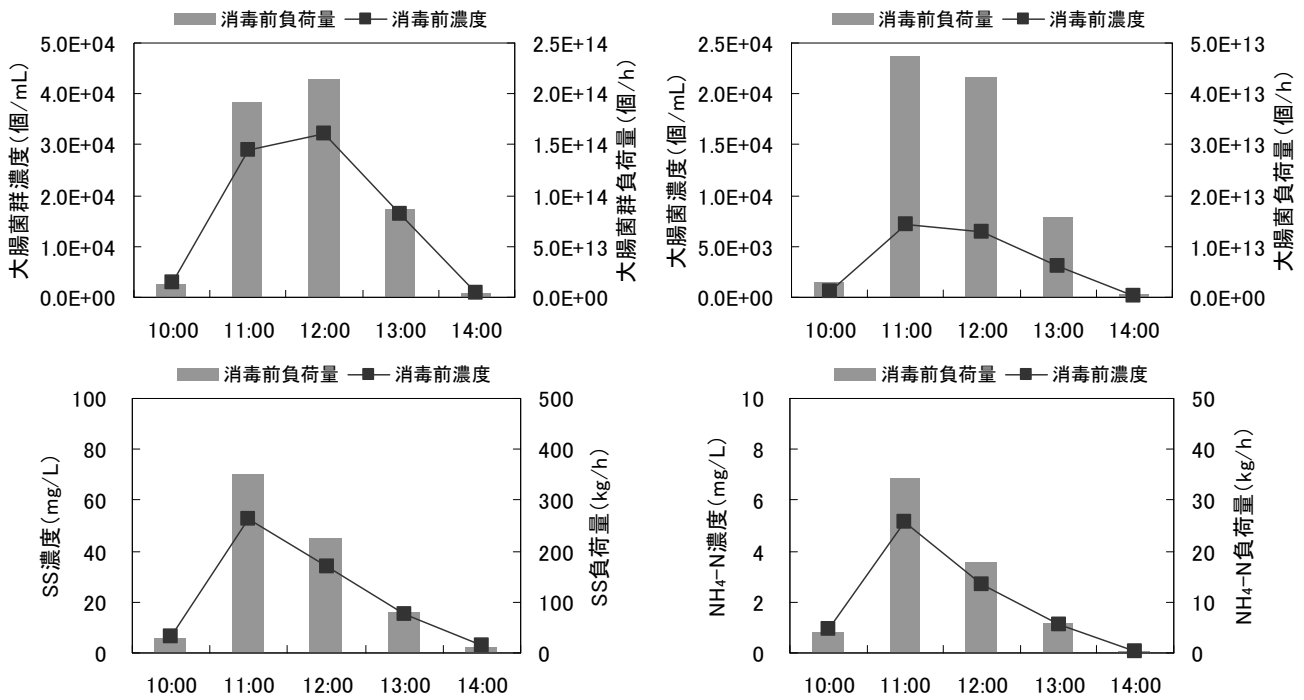


図-1 簡易処理水中の各成分濃度と負荷量の変化（大腸菌群，大腸菌，SS，NH₄-N）

とにより，水系感染症などの健康リスクが増大することが懸念される。そこで，合流式下水処理場における雨天時の大腸菌群および大腸菌の流入実態および処理過程の挙動を把握することを目的に，晴天時ならびに雨天時の水質調査を行った。

調査対象の下水処理場では，強雨天時に最初沈殿池からバイパスさせた簡易処理水と二次処理水を合流させた後，消毒放流している。そこで，簡易処理放流発生期間における消毒前段階（二次処理水と合流後）での大腸菌群，大腸菌，SS，NH₄-N の総負荷量および平均濃度の推定を行い，晴天時値と比較した。二次処理過程における除去率および水質に関しては晴天時と同様の値をとるものとした。

簡易処理放流発生期間中の大腸菌群，大腸菌，SS，NH₄-N の消毒対象水質および負荷量の時間変動を図-1 に示す。大腸菌群についてみると， $9.0 \times 10^2 \sim 3.2 \times 10^4$ 個/mL（平均 1.6×10^4 個/mL）であった。晴天時の消毒対象水中の大腸菌群濃度は 10-100 個/mL のオーダーであることから，晴天時の 100-300 倍の濃度の大腸菌群が消毒前の段階で残留していることになる。大腸菌についても， $2.4 \times 10^2 \sim 8.1 \times 10^3$ 個/mL（平均 4.1×10^3 個/mL）であった。晴天時では 10-30 個/mL のオーダーであり，30-300 倍の濃度の大腸菌が消毒前の段階で残留していることが示された。また，SS は 3.0～53mg/L（平均 22.1mg/L）であり，晴天時二次処理水中の SS 濃度の約 10 倍であった。SS 等の懸濁物質は消毒効果を低下させる主要な水質因子であり，簡易処理放流発生時における消毒効果の低下が懸念される。NH₄-N については，0.9～5.6mgN/L（平均 1.98mgN/L）であった。晴天時は生物処理により完全に硝

化が進んでおり，二次処理水中の NH₄-N 濃度は 0.1mgN/L 以下であるが，雨天時においては硝化の不十分な簡易処理放流水が混合することにより，消毒対象水中の NH₄-N 濃度が高くなることが分かった。NH₄-N も消毒時に塩素と反応し，クロラミンを生成する。このクロラミンは大腸菌群，大腸菌，そして特にウイルス等に対する消毒効果が非常に弱いことが知られている²⁾。簡易処理放流発生時には消毒対象水中に高濃度の微生物が残留しており，なおかつウイルスや微生物の消毒効果を低減する懸濁物質が高濃度で含まれている。また，調査対象処理場の放流先は重要な水道水源となっている場所であり，これらのことを考慮すると，非意図的ではあるが，消毒効果の低いクロラミン消毒については今後検討すべき重要な課題であると思われる。

3. 雨天時下水に対する消毒制御システムの適用性検討

合流式下水道の放流先が水道水源，海水浴場やリクリエーションの場として利用されている水域では，降雨時に処理や消毒が十分でない下水が水環境中に流出することにより，水系感染症などの健康リスクが増大することが懸念される。また，病原微生物に対する消毒効果は，雨天時下水の水質に影響を受けることが予想されることから，水質に応じた消毒システムを構築することが望まれる。そこで，合流式下水処理場における雨天時下水を想定した消毒実験により，水質のリアルタイム計測と連動した塩素による消毒制御システムを開発し，その適用効果について検証を行った。



図-2 消毒制御システムの外観

この制御システムの原理は、消毒槽に流入する下水の濁度をリアルタイムでモニタリングしながら、濁度比例制御によって塩素注入率を変化させながら効率的に消毒を行うものである。実験に用いた消毒制御システムの外観を図-2 に示す。

消毒原水の水質を連続的に変化させて、濁度をリアルタイムでモニタリングしながら、消毒制御システムによって塩素の注入率を変動させた場合の実験を行った (exp1)。また、比較のため、濁度によって塩素注入率を変化させない一定注入率の実験も合わせて実施した (exp2)。このとき、大腸菌群数の目標値としては、より厳しい条件である 10 個/mL とした。

消毒前と消毒後の試料について、大腸菌群数の変化を図-3 および図-4 に示す。実験では、原水槽および消毒槽に 2 次処理水を入れておき、実験開始から 15 分まで初沈越流水を流入させるとともに、その後の 15 分で再度 2 次処理水を流入させて、雨天時下水の水質の悪化と回復を再現している。消毒原水の大腸菌数、大腸菌群数の変化について見てみると、図-3 より実験開始直後の大腸菌群数は 80 個/mL であったが、初沈越流水の流入に伴って大腸菌群数は上昇し、15 分後には 4000 個/mL まで濃度が上昇した。その後、大腸菌群数は減少し、30 分後には 1020 個/mL となった。一方、図-4 より消毒後の大腸菌群数に

ついてみると、実験開始後 7 分までは大腸菌はほとんど検出されなかったが、水質の最も悪化した 15 分には大腸菌群数は 40 個/mL まで微増し目標水質は若干上回ったものの、消毒は効率的に行われ、大腸菌群数は低いレベルに抑えられていることが確認された。その後、大腸菌群数はさらに低下して 30 分では大腸菌群数は 4 個/mL まで低下した。

次に、消毒原水の水質によって塩素注入率を変化させない一定注入率の場合 (exp2) で消毒実験を行った。消毒前と消毒後の試料について、大腸菌群数の変化を図-5 および図-6 に示す。消毒原水について見てみると、図-5 より実験開始直後の大腸菌群数は 40 個/mL であったが、初沈越流水の流入に伴って大腸菌群数は上昇し、15 分後には 4800 個/mL まで濃度が上昇した。その後、大腸菌群数は減少し、30 分後には 940 個/mL となった。一方、図-6 より消毒後の大腸菌群数の変化についてみると、実験開始 7 分では大腸菌群は 4 個/mL と微増し、消毒原水の水質が最も悪化した 15 分には大腸菌群数は 270 個/mL まで上昇し、目標水質である 10 個/mL を大きく上回った。その後、大腸菌群数は低下して、30 分では大腸菌群数は 10 個/mL となった。このことから、一定注入率の場合には消毒原水のした時には、消毒は十分に行われない可能性があることが分かった。

消毒制御システムを用いた消毒実験の結果、消毒前の大腸菌群数と消毒後の大腸菌群数から exp1, exp2 の平均不活化率を求めると、それぞれ約 2.0log, 約 1.5log となった。また消毒後の大腸菌群数の最大値では消毒制御システムによる変動注入率を行った場合には、一定注入率の場合と比較して約 1log 低い値まで大腸菌群数を不活化できており、注入率を変動させた場合 (exp1) の方が、効率よく消毒できていることが伺えた。このことから、消毒原水の濁度をパラメータとしてモニタリングしながら塩素の注入率を変動させるリアルタイム消毒制御システムは、雨天時下水の大腸菌群を制御する手法として有効であることが明らかとなった。

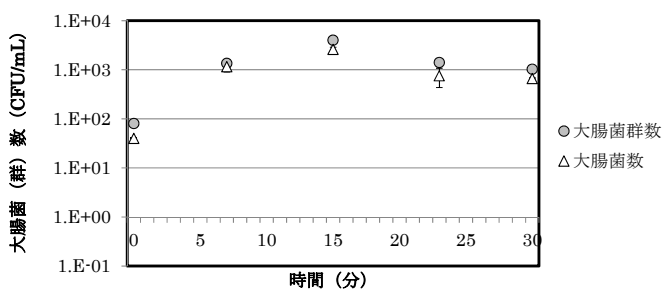


図-3 消毒原水の大腸菌数、大腸菌群数の変化(exp 1)

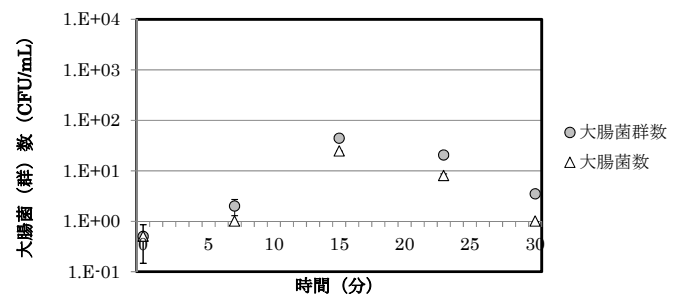


図-4 消毒後の大腸菌数、大腸菌群数の変化(exp 1)

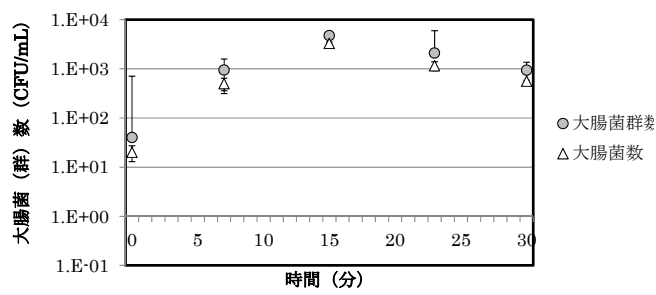


図-5 消毒原水の大腸菌数, 大腸菌群数の変化(exp 2)

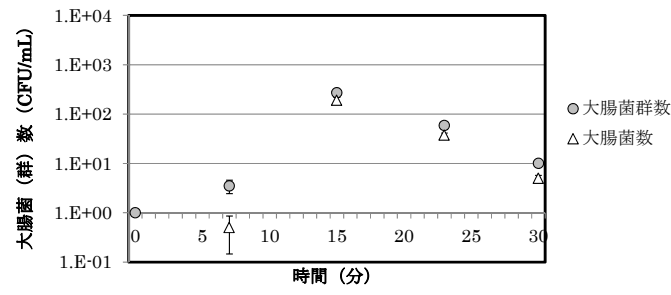


図-6 消毒後の大腸菌数, 大腸菌群数の変化(exp 2)

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地方整備局下水道部, (財) 下水道新技術推進機構: 合流式下水道の改善対策に関する調査報告書, 2002
- 2) 金子光美, 水質衛生学, 技報堂出版, 1996