



TITLE:

被災下水処理場の暫定処理水に対する塩素やオゾン，紫外線による消毒方法の評価に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

KYOUNGSOO, PARK

CITATION:

KYOUNGSOO, PARK. 被災下水処理場の暫定処理水に対する塩素やオゾン，紫外線による消毒方法の評価に関する研究. 京都大学, 2020, 博士 (工学)

ISSUE DATE:

2020-09-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22765>

RIGHT:

許諾条件により要旨は2020-10-01に公開

京都大学	博士 (工学)	氏名	KYOUNGSOO PARK (朴 耿洙)
論文題目	被災下水処理場の暫定処理水に対する塩素やオゾン、紫外線による消毒方法の評価に関する研究		
<p>第 1 章は序論であり、本研究の位置づけ、研究目的と本論文の構成について述べている。</p> <p>第 2 章は、東日本大震災とそれに伴い発生した大津波により被災し、処理機能が停止した下水処理場の復旧段階に合わせた暫定処理の状況と課題を述べている。このような被災下水処理場では、発災当初、流入下水を直接、あるいは沈殿処理後に塩素消毒が行われた。電気設備が一部復旧した段階で、汚泥返送を行わない曝気だけを行う簡易曝気処理や接触酸化処理などの簡易生物処理後、塩素消毒が行われた。しかし、本復旧に至るまで長期を要したため、公衆衛生の確保の視点から放流先の公共用水域の水質保全の対策が必要と考えられた。活性汚泥法による生物処理が不十分な下水の消毒については研究事例が少ないため、暫定処理を踏まえた代替消毒技術、特にオゾンや紫外線の評価が必要であると述べている。</p> <p>第 3 章では、被災下水処理場の暫定処理後の下水(以下、暫定処理水)を対象とし、塩素消毒実験を行い、大腸菌群、大腸菌、腸球菌(以下、指標細菌)及びウイルスを代表する大腸菌ファージの塩素消毒による不活化効果の評価と、発光細菌 <i>Vibrio fischeri</i> に対する毒性試験(Microtox®試験)により、塩素消毒した暫定処理水の生態毒性を評価している。この結果、指標細菌を生物処理並みの 2log 不活化するのに必要な塩素濃度と接触時間の積である CT 値は、沈殿処理水では 30~70 mg-Cl₂·min/L 程度、接触酸化処理水では、30~50 mg-Cl₂·min/L 程度であり、標準活性汚泥法による生物処理水での 17 mg-Cl₂·min/L 程度よりも大きな値となった。しかし、大腸菌ファージについては、沈殿処理水、接触酸化処理水、生物処理水はいずれも実験を行った CT 値の範囲では、ほとんど消毒効果がなかった。また、沈殿処理水と接触酸化処理水での塩素消毒効果を比較すると、指標細菌を 2log 不活化するのに必要な CT 値に明確な差は見られなかったが、塩素要求量については、沈殿処理水では、最大 24 mg-Cl₂/L 程度、沈殿処理後の接触酸化処理水では、最大 4 mg-Cl₂/L 程度であり、接触酸化処理することで塩素要求量を下げられることが分かった。一方、生態毒性については、沈殿処理水と接触酸化処理水そのものに生態毒性が見られる場合があったが、生物処理水そのものは、生態毒性が低かった。しかし、暫定処理水、生物処理水を塩素消毒した後、生態毒性が上昇し、特に 0.1 mg-Cl₂/L 以上の残留塩素濃度になると、生態毒性の増加が顕著にみられた。そこでチオ硫酸ナトリウムを用いて脱塩素処理を行うと、生態毒性は塩素注入前とほぼ同程度にまで低減されたため、塩素消毒で上昇した生態毒性は、主に残留塩素に由来するものであると推定された。</p> <p>第 4 章では、被災下水処理場の暫定処理水を対象とし、オゾン消毒実験を行い、指標細菌および大腸菌ファージのオゾン消毒による不活化効果の評価と生態毒性試験を行っている。その結果、暫定処理水をオゾン消毒することで大腸菌ファージを 2log 不活化することは可能であり、必要とするオゾン消費量は、沈殿処理水では、20 mg-O₃/L 程度、接触酸化処理水では、15~20 mg-O₃/L 程度であり、生物処理水での 5 mg-O₃/L 程度よりも大きい値となった。しかし、指標細菌については、沈殿処理水では 100 mg-O₃/L 程度、接触酸化処理水では 70 mg-O₃/L 程度、生物処理水では 20 mg-O₃/L 程度のオゾン消費量が必要であり、オゾン消毒は、暫定処理水の細菌よりもウイルスの不活</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	KYOUNGSOO PARK (朴 耿洙)
<p>化に有効であることが明らかとなった。また、接触酸化処理することで、オゾン消費量を低減できることが分かった。一方、生態毒性については、ほとんどの沈殿処理水と接触酸化処理水、生物処理水でのオゾン消毒で、生態毒性が低下したが、1%以上の塩分を含む沈殿処理水や生物処理水では、オゾン消毒直後に残留塩素が検出され、生態毒性の上昇が見られたが、30分後には生態毒性の上昇は見られなくなった。</p> <p>第5章では、被災下水処理場の暫定処理水を対象とし、紫外線消毒実験を行い、指標細菌と大腸菌ファージの不活化効果の評価と生態毒性試験を行っている。その結果、指標細菌を2log不活化するのに必要となる紫外線照射量は25~60 mJ/cm²程度で、大腸菌ファージの場合は、紫外線照射量40 mJ/cm²程度であり、実験に使用した22Lの円筒形照射装置において上記の不活化率を達成するのに要する照射時間は、指標細菌、大腸菌ファージともに、沈殿処理水では400~450秒、接触酸化処理水では300~350秒、生物処理水では260~290秒と前処理に接触酸化法を導入することで、照射時間を25%程度短縮できることが明らかになった。一方、生態毒性については、沈殿処理水、接触酸化処理水、生物処理水とも紫外線消毒では生態毒性は変化しなかった。また、暫定処理水の紫外線透過率を、円筒形照射装置で生物線量計によって推定する方法を提案し、測定した結果、沈殿処理水は41%、接触酸化処理水では59%であり、暫定処理によって紫外線透過率が増加し、紫外線消毒効果が改善することが確認された。</p> <p>第6章では、災害で機能停止した下水処理場での応急対応シナリオを想定し、下水処理場の排水基準(大腸菌群数3000個/mL以下)の達成、あるいは大腸菌ファージを2log不活化に必要な塩素量、オゾン消費量、紫外線量を第3章~第5章の実験結果などから求め、必要な電力量を推定している。被災下水処理場の応急対応を3段階のシナリオに整理し、電気容量の視点からそれぞれの消毒方法の適用性を評価している。電力被害、施設・電気設備の被害が軽微なシナリオIは、電力会社からの給電が復旧した場合である。簡易曝気や生物接触後、オゾンや紫外線消毒の必要電力量は0.2~0.3kWh/m³、簡易生物処理に必要な電力量(0.2 kWh/m³)程度であり、災害前の電気使用量程度であり、適用可能と考えられた。下水処理場の施設・電気設備の被害は大きくないが、電力会社からの供給電力が回復するものの不足が想定される場合のシナリオIIでは、オゾン消毒、紫外線消毒か簡易生物処理のうち一つしか選択できない場合である。消毒処理を選択する場合は、沈殿処理水では、オゾン消毒は、0.3~0.6kWh/m³、紫外線消毒は、0.5~0.6kWh/m³となり、オゾン消毒では発生装置、反応槽の改善、紫外線消毒の場合では透過率を改善するための暫定処理方法の改善が必要であると考えられた。下水処理場の電力喪失、施設破壊などの大きい被害のシナリオIIIに対しては、必要な電気量の視点からは塩素消毒のみ、適用可能であり、大腸菌群の消毒基準の達成は可能であるが、ウイルスの削減効果はほとんど期待できず、残留塩素による生態毒性の増加が顕著になるため、環境影響への配慮が必要な場合には脱塩素処理が必要である。</p> <p>第7章は、本研究の結論である。</p>			

氏名	KYOUNGSOO PARK (朴 耿洙)
----	--------------------------

(論文審査の結果の要旨)

東日本大震災と津波で被災した下水処理場の多くは、発災直後は流入下水に直接、あるいは沈殿処理後に塩素消毒が行われ、電源が部分復旧した段階では簡易曝気法や接触酸化処理法などの簡易生物処理後に塩素消毒が行われたが、放流先水域への公衆衛生確保のための水質保全と環境影響の評価は十分には行われなかった。本研究は、将来の災害に備えるため、下水処理場で暫定処理された下水の消毒方法を塩素、オゾン、紫外線を対象に、消毒効果、水環境影響、消費電力量の観点から評価を行ったものである。

流入下水、沈殿処理水、簡易生物処理水に対して塩素消毒実験を行った結果、指標細菌（大腸菌、大腸菌群、腸球菌）には、塩素濃度と接触時間の積である CT 値を十分確保した場合には、消毒効果があり、放流水質基準の達成が可能であるが、大腸菌フェージをモデルとした結果からは、ウイルスに消毒効果はほとんど認められないことが明らかになった。また簡易生物処理は塩素消費量の削減に寄与すること、残留塩素による水生生物への影響がみられるため、それを軽減するためには脱塩素処理を行う必要があることが明らかになった。

流入下水、沈殿処理水、簡易生物処理水に対してオゾン消毒実験を行った結果、オゾン消毒で大腸菌群を指標にした放流水質基準を達成できるが、指標細菌のオゾン消毒効果は低く、大きなオゾン消費量を必要とした。一方、オゾン消毒は、ウイルスへの消毒効果は高く、通常の生物処理程度の除去を指標細菌よりも少ないオゾン消費量で達成できることが認められた。簡易生物処理はオゾン消費量の削減に寄与すること、オゾン消毒は水生生物への毒性影響は、下水に塩分の混入が 1%未満では見られないことが明らかになった。

流入下水、沈殿処理水、簡易生物処理水に対して紫外線消毒実験を行った結果、大腸菌群数を放流水質基準の達成するために必要な照射線量で、ウイルスも同程度に低下できること、簡易生物処理は下水の透過率を改善し、照射線量の削減に寄与すること、水生生物への毒性影響は見られないことが明らかになった。

復旧段階による使用可能な電力量を調査した結果と、塩素、オゾン、紫外線の消毒方法ごとに放流水質基準を満たすために必要な消費電力量を実験結果から推定し、比較した。その結果、塩素消毒は常に電気供給量を満足できるが、オゾン消毒や紫外線消毒を行う場合、発災直後は電力不足で対応が困難であり、復旧段階では、制限電源供給量に対応した暫定処理法や消毒技術の効率化が必要であることが示唆された。電力供給の不足からやむを得ず塩素消毒により対応する場合には、ウイルスの削減効果が期待できないこと、環境影響への配慮が必要な場合には脱塩素処理を行うことが必要であることに留意することを提言している。

以上、本研究は、被災した下水処理場の復旧段階で暫定処理される下水への消毒方法を消毒効果、水環境影響、消費電力量の観点から評価し、消毒方法の選択に貢献するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 2 年 8 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 2020 年 10 月 1 日以降