

ときの圧力の変化を図6、損傷の可能性の判定結果を表3に示す。PVDF膜、セラミック膜ともに擦過では損傷が検出できず、PVDF膜の裂傷、切断では検出が可能であった。

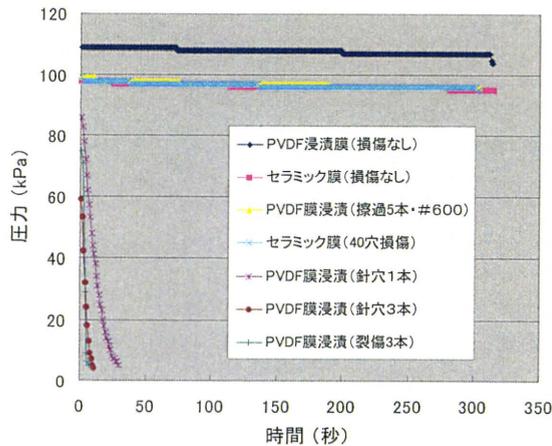


図6 圧力保持試験における圧力の変化

表3 圧力保持試験による判定結果

膜種	ろ過方式	損傷の程度	圧力降下速度	判定
セラミック膜	加圧ろ過	対照(損傷なし)	3 kPa/5 min	
		40穴損傷	2 kPa/5 min	
	※1, 3, 10, 20, 30穴損傷エレメントは省略			
	加圧ろ過	対照(損傷なし)	3 kPa/5 min	
		擦過1本・#600	3 kPa/5 min	
		擦過5本・#600	3 kPa/5 min	
裂傷1本		測定不能	検出	
		切断1本	測定不能	検出
PVDF膜	吸引ろ過	対照(損傷なし)	2 kPa/5 min	
		擦過1本・#1500	4 kPa/5 min	
		擦過1本・#600	3 kPa/5 min	
		擦過5本・#1500	3 kPa/5 min	
		擦過5本・#600	3 kPa/5 min	
	吸引ろ過	裂傷1本	測定不能	検出
		裂傷3本	測定不能	検出
		針穴1本	32 secで圧力ゼロ	
		針穴3本	11 secで圧力ゼロ	
		切断1本	測定不能	検出
		切断3本	測定不能	検出

C-2 薬品劣化実験

次亜塩素酸ナトリウムの薬液(濃度 0.3 %, 0.6 %, 1.0 %)に PVDF 膜、セラミック膜のモ

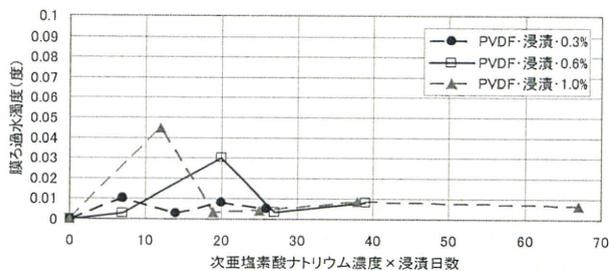


図7 次亜塩素酸ナトリウムの薬液浸漬後におけるろ過水濁度(PVDF膜・浸漬ろ過)

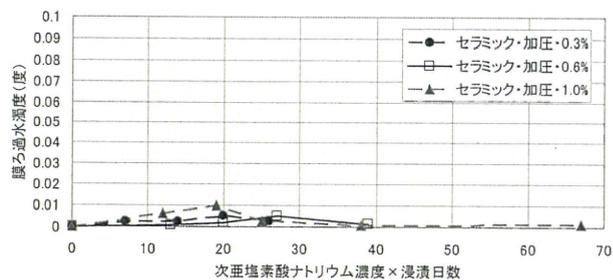


図8 次亜塩素酸ナトリウムの薬液浸漬後におけるろ過水濁度(セラミック膜・加圧ろ過)

ジュールを浸漬させ、試験水をろ過したときのろ過水濁度をそれぞれ図7、図8に示す。試験水の濁度は PVDF 膜では 500 度、セラミック膜では 5 度とした。図に示すとおり実験条件において、薬品浸漬後のろ過水濁度の上昇は見られなかった。また、PVDF 膜を硫酸の薬液(濃度 3.0 %, 6.0 %, 10.0 %)、セラミック膜をクエン酸の薬液(濃度 1.0 %, 2.0 %, 3.0 %)に浸漬させ、同様の試験水をろ過したときのろ過水濁度をそれぞれ図9、図10に示す。これらの条件においても、薬品浸漬後のろ過水濁度の上昇は見られなかった。

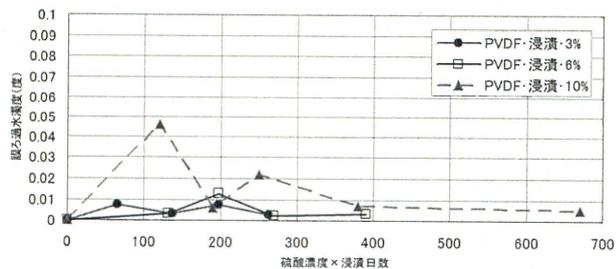


図9 硫酸の薬液浸漬後におけるろ過水濁度(PVDF膜・浸漬ろ過)

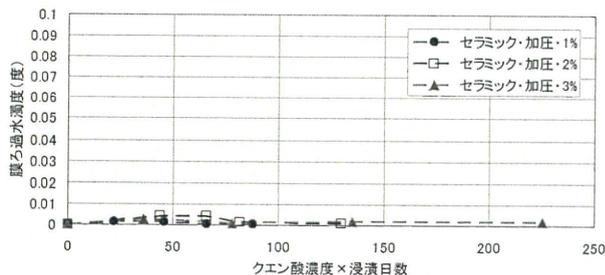


図10 クエン酸の薬液浸漬後におけるろ過水濁度(セラミック膜・加圧ろ過)

D. 考察

D-1 膜損傷実験

間接法の実験では、裂傷、刺し傷、切断を施した中空糸膜において明らかなろ過水濁度の上昇が見られた。しかし、実設備の規模においては処理水量に対して原水のリークによる濁度の割合が小さいため、膜損傷としての検出は困難と考えられる。一方、ろ過水濁度の計測による間接法では膜損傷を検出する感度が認められなかったものの、USEPA(米国環境保護庁)の「Membrane Filtration Guidance Manual」では、間接法は連続的なモニタリングが可能であることから直接法を補完する試験方法として位置づけている。また、間接法として微粒子カウンタを採用している浄水場において、損傷が確認された膜モジュールの交換後、ろ過水中の1 μm 以下の微粒子数が明らかに減少した事例があり、ろ過水の微粒子監視が膜損傷検出の一つの目安となりうるものと考えられている。したがって、間接法については、ろ過水の濁度や微粒子数データの分析による膜損傷検出の指標確立が今後期待される。また、直接法の実験では、中空糸膜において、膜を貫通するような損傷の検出が可能であったことから、直接法は浄水の汚染リスクが高い膜損傷の検出に有効な試験方法であると考えられる。

以上のことから、浄水処理の安全管理上、膜損傷試験には少なくとも直接法の適用が必要であると考えられる。

D-2 薬品劣化実験

薬品洗浄は膜モジュールメーカーの一般的な推奨方法をベースにファウリングの成分や施設運用に適した方法で実施されることが多い。実験結果から、膜の種類に対応した一般的な薬品の種類、薬液濃度を用い、膜のライフサイクルで想定される薬品洗浄の延べ回数、延べ時間以上の浸漬を行っても、膜の性能には変化が見られないことが分かった。したがって、実設備で運用されている薬品洗浄方法では、損傷

が生じるような膜の劣化に直接影響することがないと考えられる。なお、薬品浸漬後のPVDF膜において、0.04度程度のろ過水濁度が何点か測定されているが、同じ膜をさらに浸漬した後では、より低い値となっていることから、これらは膜の劣化によるものではなく、実験の操作上の問題と考えられる。また、別の実験でろ過水濁度の時間的変化を確認したところ、初期には濁度が高く、ろ過時間経過とともに低下する傾向が見られたことから、実験範囲内で十分安定状態に達していなかったために比較的高いろ過水濁度が測定されたものと考えられる。

E. 結論

膜の使用状況が性能に与える影響を評価することを目的として、膜損傷実験及び膜の薬品劣化実験を行った。

膜損傷実験では、膜表面のみに生じた擦過等では直接法、間接法のいずれの試験方法でも損傷検出は困難であり、裂傷、切断のような膜を貫通する損傷については直接法でのみ検出が可能であることがわかった。したがって、浄水安全管理の点から、膜損傷試験には少なくとも直接法の適用が望ましいと考えられる。

膜の薬品劣化実験では、膜を一般的に用いられている薬品の種類及び濃度の薬液へライフサイクルに相当する期間以上浸漬しても、膜の性能に変化が見られないことがわかった。したがって、薬品洗浄は、実設備での運用において、損傷が生じるような膜の劣化に直接影響することはないものと考えられる。

F. 健康危険情報

(総括研究報告書にまとめて記入)

G. 研究発表

1. 論文発表

1) Ohno K, Matsui Y, Itoh M, Oguchi Y, Kondo T,

Konno Y, Matsushita T, Magara Y. NF membrane fouling by aluminum and iron coagulant residuals after coagulation-MF pretreatment Desalination 2010; 254: 17-22.

2) Kageyama K, Takemoto T, Tadokoro H, Itoh M. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA 2010; 59(6-7): 384-391.

2. 学会発表

1) Fujiwara M, Inada Y, Asaka Y, Takashima W, Itoh M, 4-S Approach for evaluation of advanced water treatment technology. In: IWA World Water Congress and Exhibition; 2010 Sep; Montréal, Canada

2) 古林祐正、伊藤雅喜、山田俊郎、南方則之、堀野秀一、佐藤研一郎、松井佳彦、パイロットスケールプラントにおける高塩基度 PAC を用いた浄水処理に関する検討、第 44 回日本水環境学会年会；2010.3.15-17；福岡、同講演集、2010、p.188.

3) 照井義秀、松浦博司、青江洋典、伊藤雅喜、浄水場更新におけるアセットマネジメント活用手法の検討、第 61 回全国水道研究発表会；2010.5；新潟、同講演集、2010、pp.64-65

4) 古林祐正、伊藤雅喜、山田俊郎、南方則之、堀野秀一、佐藤研一郎、パイロットプラントにおける濁度急変による浄水処理への影響に関する実験的検討、第 61 回全国水道研究発表会；2010.5；新潟、同講演集、2010、pp.262-263

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし

紫外線照射の地表水への適用に関する研究

研究分担者 神子 直之 立命館大学 教授

研究要旨

紫外線照射は、耐塩素性生物対策として水道に導入された。さらに紫外線照射を地表水に適用することについて検討するために、実際の浄水場における地表水原水を用いて紫外線照射を行った。地表水原水から濁質を減じるために細孔径 $5.0\mu\text{m}$ のろ紙を用いてろ過を行い、ろ過前後の両試料に対し紫外線照射を行って従属栄養細菌の生残率を用いて効果を調べた。その結果、従属栄養細菌の生残率はろ過前後であまり変化が無く、実験を行った範囲（濁度 4 度以下）での濁度の影響は少ないと考えられた。一方で、どの試料においても紫外線量が大きい段階で不活化速度が減少するテーリングが見られたが、再培養した生残菌の紫外線耐性が大きく、それがテーリングの原因であると結論付けた。濁質が存在する対象水に対しても、その濁度が 4 度以下であれば紫外線照射への影響は小さく、有効に耐塩素性生物の不活化が達成されると考えられた。

A. 研究目的

耐塩素性病原生物対策として、地表水以外の水道原水に対して紫外線照射が認められるようになった。地表水への適用が見送られた原因としては、地表水は地下水等と異なり濁度変動が大きく、発生源において排出されたクリプトスポリジウム等が土壌等によるろ過無しで直接原水に混入するおそれがあり、紫外線照射が十分な対策技術であるかどうか不明であるためと考えられる。そこで、本研究では、地表水に含まれる可能性がある濁質が紫外線照射にどの程度どのような影響を及ぼすのか明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

濁質が存在している水において微生物は濁質とどのように関係しているのか必ずしも明らかではないため、微生物を添加することなく紫外線照射の効果を調べる方法を用いた。通常は、一般細菌、大腸菌群、あるいは大腸菌の濃度は低く、紫外線照射後の微生物濃度が検出限界以下になることが多いため、それらよりも水中濃度が高い従属栄養細菌（HPC）を用いて紫外線照射の効果を把握した。

紫外線照射の対象とした水は、地表水を水道原水としている浄水場における、水道原水(以下で原水と表記)および沈澱池出口水(以下で工水と表記)とした。紫外線照射は、ガラスシャーレ(内径 41mm, 水深 17mm)に試験水を入れ、水面形が変化しないように石英ガラスで蓋をして連続的に攪拌する完全混合の回分式の条件で行った。試料表面の紫外線照度は UV 照度計 (UVX Radiometer, UVP LLC)を用いて測定した。また、試験水の 254nm 吸光度、濁度はそれぞれ分光光度計(UV-1600, 島津製作所)、濁度計(2100N, HACH)を用いて測定した。HPC の測定は上水試験方法 2001 年度版に従い、希釈水としてリン酸塩緩衝希釈水、寒天培地に R2A 培地を用いた混釈法により 20°C ・7 日間の条件で培養した。また、

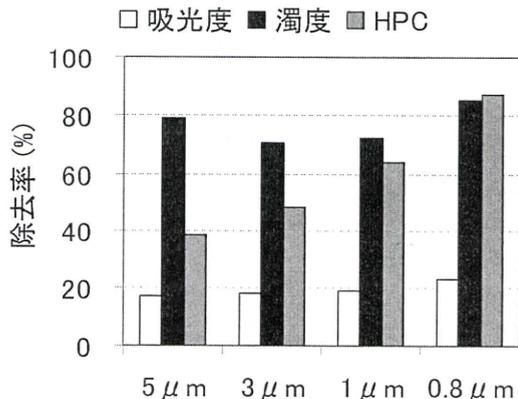


図 1 各細孔径のフィルターによる吸光度等の除去率

濁度の影響を調べるため、膜孔径 $5\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターを用い、試験水をろ過することで濁質の一部を取り除き、濁質の有無で消毒効果を比較した。予備的な検討として野洲川の水を各孔径のフィルターでろ過を行い、吸光度、濁度およびHPCの除去率を調べ、結果を図1に示した。254nm 吸光度および濁度の除去率はいずれのフィルターにおいてもそれぞれ約20%、70~90%であり差が小さかったが、HPCの除去率は細孔径が小さいほど大きくなった。紫外線照射前の濃度が高いほうが算定可能な生残率の範囲が広いことと、紫外線照射が対象としているクリプトスポリジウムの大きさを勘案し、細孔径 $5\mu\text{m}$ のフィルターを採用することとした。

また、紫外線照射実験に用いた各試料の $5\mu\text{m}$ フィルターによるろ過前後での濁度の測定結果を表1に示す。草津川、法竜川、原水はいずれも地表水であり、濁度は $3.92\sim 41.10$ 度の範囲にあり、ろ過による濁度の除去率が $46\sim 67\%$ であった。浄水場内で濁質の除去がある程度進んだ工水の濁度は1度未満であり、ろ過による除去率は低かった。ろ過前後で紫外線照射の効果を比較した試料の濁度は、ろ過前で $0.65\sim 9.20$ 度、ろ過後で $0.62\sim 4.94$ 度であった。

表1 各試料の濁度(度)の測定結果

	無ろ過	ろ過
草津川①	41.10	—
草津川②	5.59	—
法竜川①	12.15	—
法竜川②	9.20	4.94
原水①	5.22	2.36
工水①	0.65	0.66
原水②	3.92	1.28
工水②	0.70	0.62

C. 研究結果

(1) 紫外線照射の効果への濁質への影響

図1~4に不活化実験の結果を示す。図より、すべての試料で $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度までは一次反応的に不活化したが、その傾きは試料毎に異なった。例えば草津川①の試料では $1\log$ 不活化に $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度の紫外線量

を要したが、浄水場における原水や工水では $5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 未満であった。また、 $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上の紫外線量においては不活化に要する紫外線量が大きくなり、傾きが小さくなるテーリングと呼ばれる傾向が見られた。例えば原水と工水とでは、テーリングにより $1\log$ 不活化に要する線量が約13倍となった。

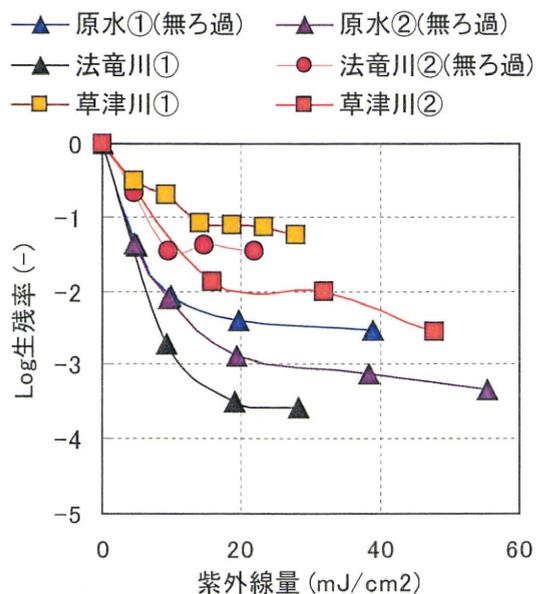


図1 環境水(無ろ過)における紫外線照射の効果

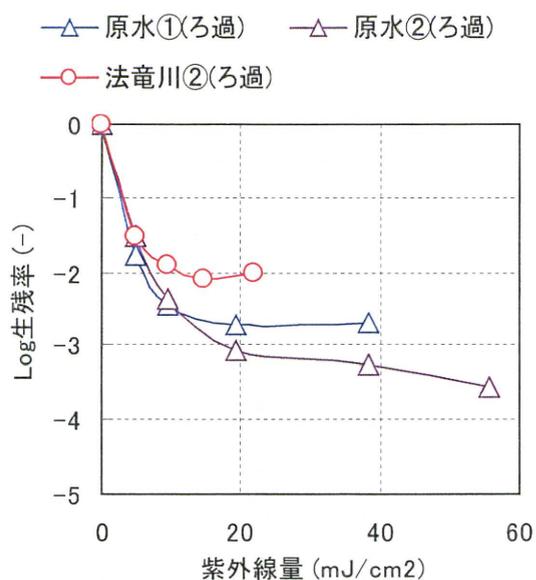


図2 環境水(ろ過)における紫外線照射の効果

紫外線照射の効果

また、同じ試料におけるろ過前後の生残率を比較すると、ろ過によって生残率が大きく異なったのは図1および2の法竜川、図3および4に見られる工水①だけであった。他の試料においてはろ過の有無で生残率に大きな差は見られなかった。このことから、同じ試料であれば、濁度がある程度の値であったとしても、消毒効果に濁質が影響をしないのではないかとということが示唆されたと考えられる。

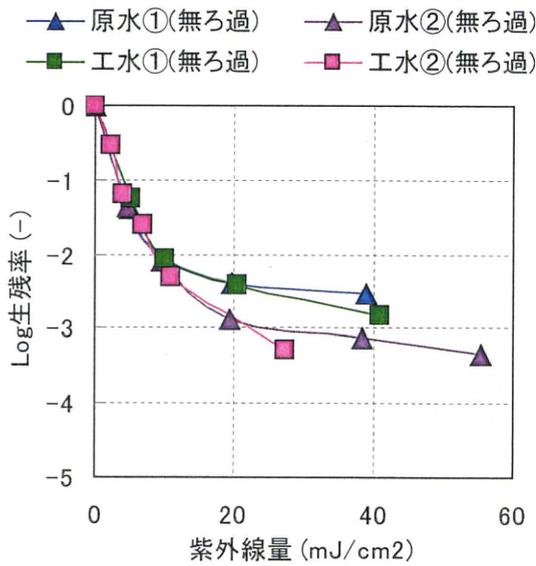


図3 浄水場水（無ろ過）における紫外線照射の効果

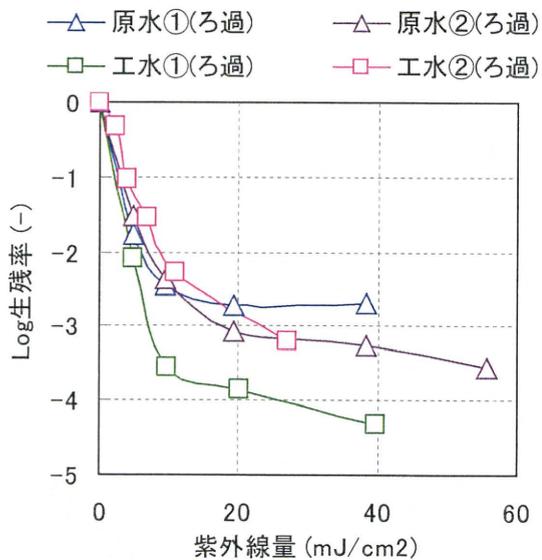


図4 浄水場水（ろ過）における

(2) テーリング現象の原因の明確化

メンブレンフィルターによるろ過前後では紫外線照射の効率が変化しないことがわかったが、紫外線量が $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ より大きい範囲でテーリングが生じた。この理由を明らかにするために実験を行った。

まず、テーリングの原因が紫外線耐性細菌によるものと仮定し、テーリング後の生残菌のみ紫外線耐性を測定した。滋賀県を流れる法竜川の水を膜孔径 $5\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過したものを試験水とし、上記の方法で紫外線照射による不活化実験を行った。紫外線照射の結果テーリングが見られたので、テーリング後のプレートのコロニー数を $1/1000$ 液体培地に懸濁させ、 20°C のインキュベータ内で12日間静置した。そして、このHPC培養液を試験水として再び不活化実験を行った。その結果、図5に示されるようにHPCは一次反応的に減少した。ここで 1log 不活化に要する紫外線量は $45\text{mJ}/\text{cm}^2$ と計算され、高い紫外線耐性を持つという結果が得られた。

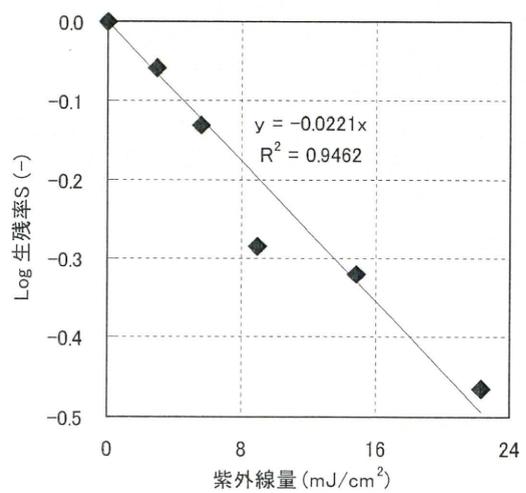


図5 紫外線照射生残菌の紫外線耐性

D. 考察

(1) HPCの紫外線照射への反応

HPC（従属栄養細菌）については、衛生的な重要性が大きいと考えられていたことや、7日間の培養時間を要するた

め確実な実験結果が得られにくいことなどから、紫外線照射に対する反応についてのデータは限られていた。本研究を行って明らかになったことは、HPCは様々な紫外線耐性を持つ細菌によって場所毎に様々な割合で構成されているということである。また、本研究で用いた試料に含まれるHPCの性質としては、1 log 不活化に要する紫外線量が $5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 未満の細菌が多くを占め、1 log 不活化に要する紫外線量が $45\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度の紫外線耐性菌が 0.1~1%程度存在していた。紫外線照射槽の効果の評価にHPCを用いる場合には、そのような紫外線耐性菌の存在を念頭に入れる必要がある。また、今後、HPCの管理・制御に紫外線照射を用いることを考える場合には、そのような耐性菌の存在比が大きく処理効果に影響してくることを考慮せねばならない。

(2) HPCへの効果と耐塩素性生物への効果

HPCに対する紫外線照射の効果は、紫外線耐性の大きい細菌に大きく依存することが考えられるが、本研究で対象としているクリプトスポリジウム等の耐塩素性生物においてはどうか。

今回の実験結果を整理すると、①細孔径 $5\mu\text{m}$ のフィルターでろ過した同じ試料におけるHPCの不活化には大きな差が無かった、②HPCは $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度までは一次反応的に不活化された、③ $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ より大きい紫外線量では不活化速度が減少するテーリングという現象が見られた、④テーリングの原因は 0.1~1%程度存在する紫外線耐性菌のせいであった、ということになる。ここで重要なのは、紫外線照射で生残し増殖した紫外線耐性菌の 1 log 不活化に要する紫外線量が、各試料の実験結果から得られたテーリング後の不活化速度にほぼ一致していることである。これは、紫外線照射生残菌は徐々にではあるが不活化が進行している、つまり照射された紫外線が濁度を含んだ試料においても微生物に到達していることを示している。不活化速度が遅い紫外線耐性菌に紫外線が到達しているということは、耐塩素性生物のうちクリプトスポリジウムのように紫外線耐性が小さいもの

は到達した紫外線量に応じて一次反応的に不活化が進行することを強く示唆している。

(3) 水道システムにおける紫外線照射の効果

紫外線照射はそれだけで水の安全性を担保するものではなく、注入および残留が義務付けられている塩素や、凝集沈殿砂ろ過、緩速ろ過、膜ろ過等の技術と相互に補完し合う中で、耐塩素性生物の不活化に寄与することが求められている技術である。そのため、紫外線照射を浄水技術の最終段階あるいは塩素注入を最終とする場合のその直前で組み込むことを前提とすれば、濁度は水道水質基準である 2 度を下回っていることが義務付けられている。本研究の結果からは、濁度 5.22 度の水においても、濁度がそれより低い場合と同様に微生物に対して紫外線が到達していることが示された。よって、濁度が水道水質基準を満たしている場合には紫外線照射の効果に濁度は影響せず、95%以上の水量に $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上の紫外線量が照射されれば、耐塩素性微生物への効果は十分に期待されるものと考えられる。

E. 結論

数種の細菌、ウイルスの波長感受性を求めることができ、特に 210 nm 付近に高感受性域を持っている点がクリプトスポリジウムと異なっていたことが確かめられた。またこの結果と、国内の複数の浄水場の浄水について吸光スペクトルデータを一年間にわたり測定した結果と合わせて考察することによって、中圧及び低圧 UV ランプの適用に際して、一般的な消毒性能が担保されるかを評価した。

また塩素と紫外線の併用処理によって大腸菌に与える損傷部位が、単独処理と異なるかどうかを 3 つの培養培地を用いる方法について検証した。

結論として、低圧および中圧 UV ランプのいずれにおいても JWRC の定める装置審査基準をベースにしていれば、一般的な消毒性能は担保できることが確認された。ただし、中圧 UV ランプの正確な評価のためには、254 nm 吸光度だけでなく対象水のスペクトルデータを把握しておくことが重要

であると考えられた。また塩素と紫外線の併用処理によって不活化率は高まるものの、作用機構に関しては単独処理と異なることが分かった。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- ・ Tsubasa KODERA, Naoyuki KAMIKO, Sensitivity analysis of inactivation of *Cryptosporidium* by medium pressure ultraviolet lamps. Pacificchem, 2010
- ・ 成瀬武善, 笠木邦雄, 森本幸裕, 神子直之, 高線量の測定を目的としたリアルタイム RT-PCR 法の適用, 第 45 回日本水環境学会年会講演集, p.175, 2011
- ・ 常喜貴法, 神子直之, 塩素・紫外線組み合わせ処理におけるトリハロメタン生成量に関する検討, 第 45 回日本水環境学会年会講演集, p.480, 2011
- ・ 小寺翼, 神子直之, 阿部龍之介, 植良俊郎, 地表水に対する紫外線消毒効果の従属栄養細菌による評価, 第 45 回日本水環境学会年会講演集, p.482, 2011
- ・ 小寺翼, 神子直之, 清水聡行, 山越裕司, 安藤茂, 藤原正弘, 従属栄養細菌を用いた紫外線照射の効果に与える濁度の影響に関する検討, 第 62 回全国水道研究発表会講演集, 2011 (予定)

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

紫外線処理による塩素代替消毒法およびマルチバリア消毒法に関する研究

研究分担者 大瀧 雅寛 お茶の水女子大学 准教授

研究要旨

現在、上水における病原原虫対策としての紫外線照射装置の適用は原水が表流水以外に限定されているが、欧米諸国では表流水への適用もあり、かつその対象は一般の病原微生物の消毒用としても適用されていることから、我が国としてもその様な一般的な消毒処理方法としての適用を考えていく必要がある。本研究は、その様な視点に鑑み、文献調査や実験研究を通じて、低圧及び中圧 UV ランプによる病原微生物への不活化処理に対して、実際に適用した場合の対象水質（表流水や地下水等を原水とする浄水）の変動により、消毒効果への程度影響を及ぼすのかを検討した。また大腸菌をモデル細菌として、塩素→紫外線、および紫外線→塩素の処理を行った際に、細菌へ与える損傷部位についても検討した。

研究成果として、数種の細菌、ウイルスの波長感受性を求めることができ、特に 210 nm 付近に高感受性を持っている点がクリプトスポリジウムと異なっていた。この結果と、国内 5 箇所の浄水について吸光スペクトルデータを一年間にわたり測定した結果と併せて考察することによって、中圧及び低圧 UV ランプの消毒性能が年間を通じて担保されるかを評価した。結果として中圧 UV ランプの場合は、原水水質によって微生物間の不活化効果が同等に評価して良い場合と、そうでない場合があり、浄水スペクトルデータを把握しておくことの重要性が確認された。

細菌へ与える損傷部位については、塩素単独+紫外線単独で得られる不活化効果よりも、塩素→紫外線および紫外線→塩素処理の効果が高いことが確認されたが、損傷部位については、単独と併用処理による違いは確認できなかった。

結論として、低圧および中圧 UV ランプのいずれにおいても JWRC の定める装置審査基準にて仮定している吸光スペクトルを基に UV 量を設計しておけば、どの浄水においても年間を通じて、一般的な消毒性能は担保できることが確認された。また細菌に対する損傷部位の検討の結果、併用処理によって不活化率は高まるものの、作用機構に関しては単独処理と異ならないことが分かった。

A. 研究目的

紫外線照射による消毒をクリプトスポリジウム以外の病原微生物に適用する場合、様々な問題点を解決する必要がある。その一つが現場に適用した場合の紫外線の消毒効果の変動はどの位であるのか、ランプによる差はあるのかといった点の把握である。また、現場においては紫外線を導入した場合においても塩素注入は避けられず、併用処理になると考えられ、その場合における病原細菌に与える損傷レベルの検討を行うておく必要がある。

そこで本研究では、まず文献調査や実験を通して、様々な病原微生物の紫外線感受性について、波長依存性を把握し、かつ処

理対象となる浄水について、吸光スペクトルデータを収集し、先に求めた紫外線感受性のデータと合わせることによって、中圧ランプのような広波長域の光源を用いた場合の消毒効果を推定し、低圧ランプの場合との比較を行うことを第一の目的とした。また大腸菌をモデル病原細菌として、塩素と紫外線の併用処理における損傷部位について、複数培地培養法によって推定することを第二の目的とした。

B. 研究方法

B. 1. 現場における紫外線消毒効果の推定

USEPA のガイドライン³⁾を参照し、既存の微生物感受性データを把握した。またこの結果を受けて、実験によって確かめる微生物の種を絞った。今回の研究では、主に病原ウイルスの代替微生物として4種の大腸菌ファージを用いた。また病原細菌の代替微生物として大腸菌を用いた。用いた種は以下のとおりである。

1) 実験に供した大腸菌ファージ

病原ウイルスとしては核酸が RNA のものと DNA のものが存在する。ここでは、それを考慮して、RNA ファージ2種 (MS2, Q β) と DNA ファージ2種 (T4, λ) を選定した。また大腸菌は E.coli (NBRC 13965) を用いた。

2) 紫外線光源とバンドパスフィルタ

紫外線光源は紫外域においてブロードな照射光を持つパルス Xe ランプ (岩崎電気製) を用いた。ランプと照射試料水の間にバンドパスフィルタを設置し、照射される波長光を選択した。用いたバンドパスフィルタは、212, 231, 267, 271, 280, 290 nm にて透過率ピークを持つ6種類を供した。いずれも透過率の半値幅は 10 nm であった。

3) 微生物の不活化実験

大腸菌ファージ (Q β , MS2, λ , T4) および E.coli K12 (NBRC 13965) の溶液 10 mL をそれぞれ円筒型反応容器 (ϕ 2.4 cm, 高さ 2.3 cm) に入れ、6つのバンドパスフィルタをそれぞれランプと反応容器の間に設置し、パルス Xe ランプ (200 nm 以上の照射光を持つランプ) の照射を行った。

4) 国内の浄水についての吸光スペクトル調査

国内5ヶ所 (原水として地表水を用いている浄水場3箇所、地下水を用いている浄水場2箇所) の水道浄水の吸光スペクトルを定期的に測定し、これらのデータから中圧 UV ランプの消毒効果の変動を推定することにした。スペクトルデータは2009年9月~2010年8月まで、毎月の浄水場浄水の紫外吸光スペクトル (200~400 nm) を測定した。

5) 中圧 UV ランプによる消毒効果の変動の推定

ここでは、紫外線照射光を平行光とし、試料中の光透過長を 10 cm と仮定して計算した。仮定した中圧 UV ランプの照射スペクトルは図1に示されるとおりである。

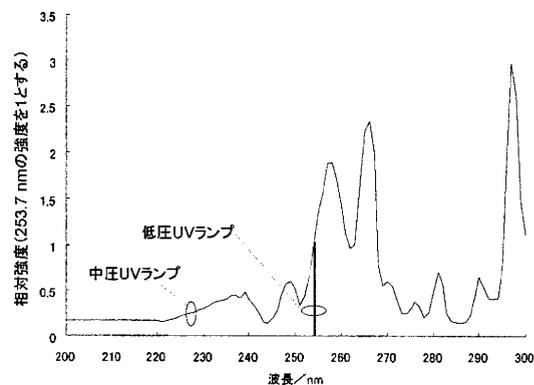


図1 中圧および低圧 UV ランプの照射スペクトル (254 nm の照射強度を 1 とした場合の相対値)

吸光度 $A_{(\lambda)}$ の液中での光の減衰は、Lambert-Beer 則に従う。したがって対象水内の平均照射強度値は波長 λ 毎に下記 (1) 式で定義される。

$$I_{average(\lambda)} = \frac{I_0(\lambda)}{A_{(\lambda)} \times \ln 10 \times L} (1 - e^{-A_{(\lambda)} \cdot L \cdot \ln 10}) \quad (1)$$

ここに $I_{average(\lambda)}$: 波長毎の平均照射強度 ($\text{mW}/\text{cm}^2/\text{nm}$), I_0 : 波長毎の入射強度 ($\text{mW}/\text{cm}^2/\text{nm}$), λ : 波長 (nm), A : 対象溶液の吸光度 ($1/\text{cm}$), L : 透過距離 (10 cm)

照射時間を T (sec) と仮に置き、波長 λ 毎の平均照射強度の算定結果と、微生物の波長感受性曲線 $k_{(\lambda)}$ を用いると、微生物の生残率 N/N_0 が (2) 式で求められる。

$$N/N_0 = \exp\left(\sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} (-k_{(\lambda)} I_{average(\lambda)} T) \Delta\lambda\right)$$

$$\ln(N/N_0) = -T \Delta\lambda \sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} (k_{(\lambda)} I_{average(\lambda)}) \quad (2)$$

ここに T : 照射時間 (sec), $k_{(\lambda)}$: 波長感

受性曲線 (sec/mJ), λ_1 : 計算開始波長 (= 200 nm), λ_2 : 計算終了波長 (= 400 nm), $\Delta \lambda$: 計算波長幅 (= 1 nm)

この (2) 式を用いて計算すると, I_0 と T が未知定数として残るが, 不活化効率の比率として $\ln(N/N_0)$ の相対的な変化割合を算定する差違には, 共通項として約分されるため不要な値となる。

2. 2 塩素と紫外線の併用処理における大腸菌の損傷部位の推定

1) 使用細菌と測定方法

病原細菌のモデルとして大腸菌 (NBRC 13965) を用いた。大腸菌溶液 (初期濃度約 10^6 CFU/mL) に対して, 不活化処理を行った後, この溶液中の大腸菌濃度を以下の 3 通りの方法で測定した。各々の特性も併せて示す。

- TSA (Tryptic Soy Agar): タンパク質代謝によって増殖可能な細菌を検出する非選択培地
- DESO (デスオキシコーレート寒天培地): 乳糖分解可能で, かつデスオキシコール酸ナトリウムによる抑制を受けないグラム陰性様細菌を検出する選択培地
- EC (コンパクトドライ EC) 大腸菌のもつ β グルクロニターゼ酵素を持つ細菌を検出する選択培地

これらの測定結果の差から, 大腸菌の損傷部位を推定する。推定のための表を表 1 に示す。

表 1 各測定培地の検出の有無と推定損傷箇所

	必須代謝損傷 遺伝子損傷	特定酵素損傷	細胞膜損傷
TSA	×	○	○
EC	×	×	○
DESO	×	×	×

×: 不検出, ○: 検出

2) 実験装置

紫外線照射実験には, 低圧 UV ランプ (東芝製, GL-6, 20W) を用いた。照射強度は 0.31 mW/cm^2 であった。塩素処理実験には, 次亜塩素酸ナトリウム溶液を希釈し, 初期濃度 $1.0\text{--}1.4 \text{ mg/L}$ となるように投入した。

3) 実験手順

塩素, 紫外線ともに, 約 99% 不活化が生じる条件をベースに実験を行った。紫外線→塩素処理では, 20 秒間紫外線照射を行った試料を塩素と直ちに接触させ, 3, 5 分後にチオ硫酸ナトリウムを投入して, 塩素反応を止めた後, 大腸菌濃度測定を行った。塩素→紫外線処理では, 塩素接触後 3.5 分後の溶液に, そのまま紫外線照射を 20 秒間行った後, 大腸菌濃度測定を行った。また紫外線照射 20 秒間, および塩素接触 3.5 分の条件で処理した後, それぞれの大腸菌濃度測定を行い, それぞれの単独処理実験とした。

C. 研究結果

C. 1 現場における紫外線消毒効果の推定

1) 種々の微生物の波長依存性

USEPA ガイドライン³⁾の結果と実験結果を合わせた結果を図 2 に示す。実験結果は各種微生物の不活化実験を 2 回ずつ行い得られた不活化率の平均結果で求めた。ここでいう不活化率とは生残率の対数値の負の値とした。なお生残率とは, $\{\text{紫外線照射後微生物濃度}(N)\} / \{\text{照射前微生物濃度}(N_0)\}$ で定義される値である。これらの不活化率から, 254 nm での不活化率を 1 とした相対不活化率を算出し図 1 に示した。

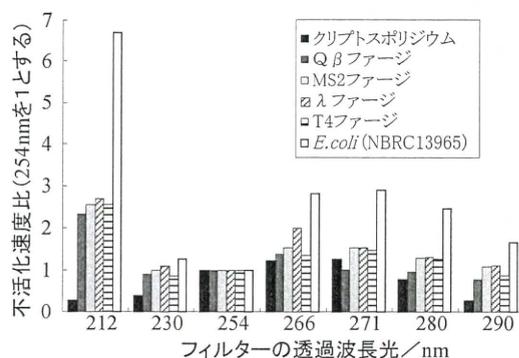


図 2 *Cryptosporidium parvum*, MS2, Q β , λ , T4, および大腸菌(NBRC 13965)の各バンドパスフィルタ透過光における相対不活化率分布 (*C. parvum* の値のみ USEPA ガイドライン³⁾参照)

2) 全国 5 箇所の浄水のスペクトルデータ

図3に各浄水場の吸光スペクトルの一例として2009年11月採水分のデータを示す。A,B,Dの浄水場は原水が地表水であり、C,Eの浄水場は地下水を用いている。

図4は、254 nm 付近の吸光スペクトルを拡大して示したものである。地表水は 254 nm 吸光度が比較的高いが、230 nm 以下の吸光度については、地下水よりも低いものが多いというような傾向をもつことがわかる。

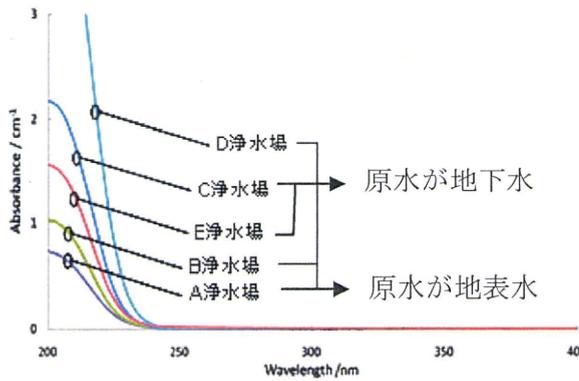


図3 浄水場原水の吸光スペクトル (2009年11月採水分)

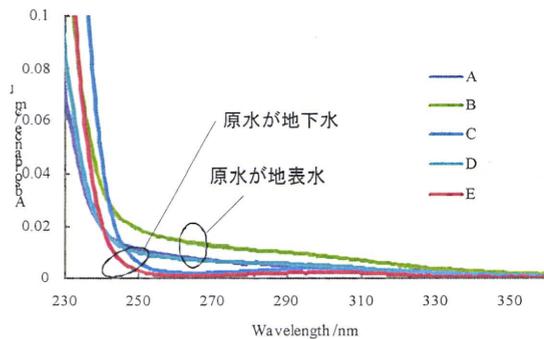


図4 各浄水の 254 nm 付近の吸光スペクトル

C. 2 塩素と紫外線の併用処理における大腸菌の損傷部位の推定

1) 各処理条件における各培地測定結果

塩素単独および紫外線単独処理の場合の結果を図5に示す。また塩素と紫外線の併用処理の場合を図6に示す。

塩素単独および紫外線単独の場合の結果は、既に報告されている結果と同様となっていた。即ち、塩素処理においては、膜損傷が主な不活化機構となるために、DESO培地測定から得られる不活化率が最も高くなる。また紫外線処理においては、遺伝子

損傷が主な不活化機構となるために、3つの培地測定から得られる不活化率に差が生じないという結果が得られた。

また併用処理の場合は、いずれも DESO培地測定から得られる不活化率が最も高くなった。

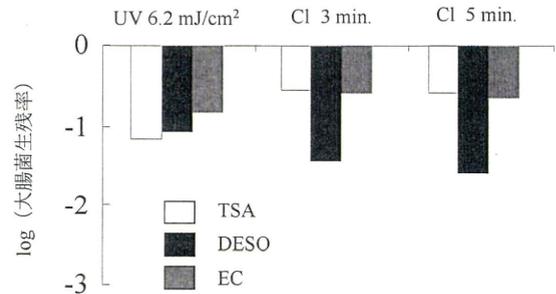


図5 塩素および紫外線単独処理の結果

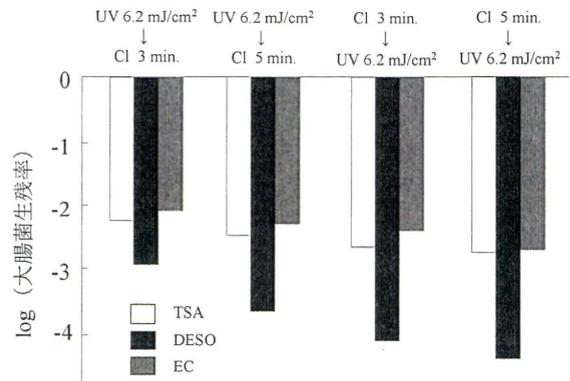


図6 塩素および紫外線併用処理の結果

D. 考察

D. 1 現場における紫外線消毒効果の推定

1) 低圧 UV ランプの適用性について

低圧 UV ランプは、254 nm の照射光しか持たないため、この波長の吸光度（もしくは透過率）がわかれば、消毒効率の低減は簡単に推定できる。JWRC の定める低圧 UV ランプの装置審査基準¹⁾では、対象水の吸光度は 0.022 cm^{-1} (=透過率 95%) と仮定している。すなわちこの透過率 95%より悪い状況になる浄水があると、この審査基準装置では、設定 UV 量が保証できないということになる。図7に浄水の1年間にわたる 254 nm 透過率データを用いて、JWRC の定める低圧 UV ランプの装置審査基準の水で得られる消毒効果の何倍の効果が保証されるのかについて変動を含めて計算した結果をまとめた。

一年間にわたり5つの浄水場共に 254 nm の透過率が 95%を下回ることはないため、図7が示すとおり設定 UV 量が年間を通じて、保証されるということがわかった。これはクリプトスポリジウムの不活化目的だけでなく、その他の微生物の不活化を目的とした装置を設計する場合にも、この 95%透過率という目安が有効に働くことを意味している。

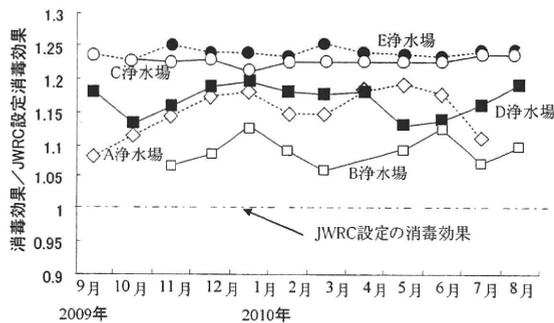


図7 各浄水の消毒効果の推定値 (JWRC 技術審査基準との比較)

4) 中圧 UV ランプの適用性について

低圧 UV ランプと異なり、中圧 UV ランプの消毒効率の低減は、各対象微生物の波長感受性とランプの照射スペクトルと対象水の吸光スペクトルの3つに依存するため、微生物毎に低減効果が変わることになる。

JWRC の定める中圧 UV ランプの装置審査基準²⁾では、240 nm 未満の吸光度は $\infty \text{ cm}^{-1}$ (=透過率 0%)、240 nm 以上の吸光度は 0.022 cm^{-1} (=透過率 95%) を仮定して、装置を設計することになっている。この仮定対象水の場合の不活化率を計算し、各浄水場の年間の変動を含めて不活化率を計算した結果と比較することによって、JWRC 審査基準にて保証される設定消毒効果の何倍の消毒効果が得られるかをまとめた。結果を図8に示す。

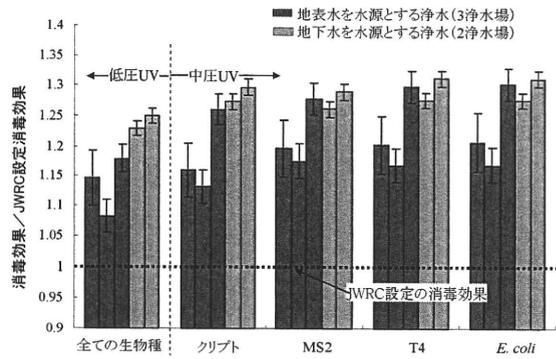


図8 仮定対象水を含む各浄水の吸光スペクトルによる微生物の不活化効果の推定低減率

この図から、JWRC 技術審査基準で設定された消毒効果が発揮できるように設計されている装置であれば、いずれの浄水であっても、これを上回る消毒効果が年間を通して得られることが示されており、十分な消毒効果を年間を通じて担保する装置となると考えられる。

D. 2 塩素と紫外線の併用処理における大腸菌の損傷部位の推定

塩素と紫外線処理において、単独処理の場合の不活化効果の和と併用処理の場合の不活化効果を比較した。図9は塩素接触時間3分の場合であり、図10は塩素接触時間が5分の場合である。

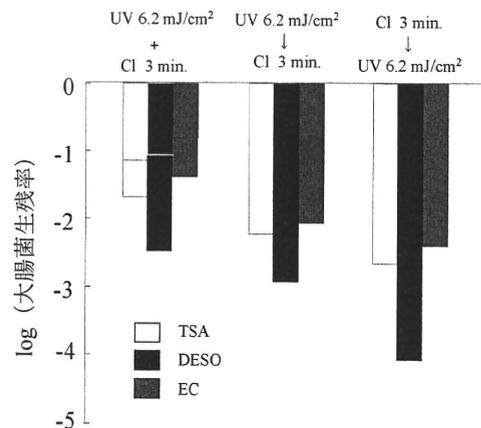


図9 紫外線と塩素 (3分) の場合の単独処理の和と併用処理の比較

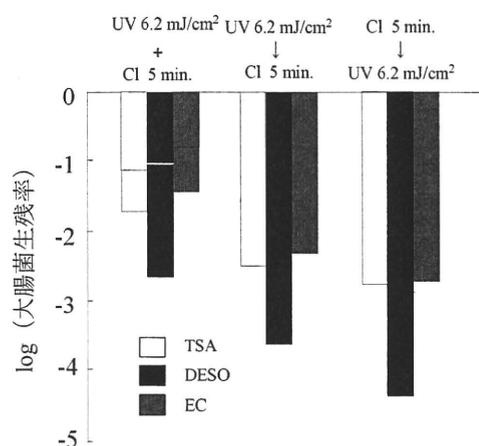


図 10 紫外線と塩素（5分）の場合の単独処理の和と併用処理の比較

塩素の接触時間に関わらず，単独処理の不活化効果の和に比べて，併用処理の不活化効果の方が高くなっていることがわかる。即ち，併用処理による相乗効果が確認された。しかし大腸菌の損傷部位の推定という視点から見ると，塩素と紫外線の併用処理の場合に，特徴的に見られる培地間の比は観察されなかった。塩素→紫外線処理の場合は，残留塩素がある中での紫外線照射処理であるため，塩素ラジカルによって大腸菌により致命的な損傷を与えることが期待されたが，今回の結果からは，致命的な損傷が増したとは考えにくく，損傷部位に関しては，単独の場合と変わらないのではないかと考えられる。従って併用処理でも不活化機構は変わらないが，不活化効果は高くなるということになるが，その理由については，今後の検討が必要である。

E. 結論

数種の細菌，ウイルスの波長感受性を求めることができ，特に 210 nm 付近に高感受性域を持っている点がクリプトスポリジウムと異なっていたことが確かめられた。またこの結果と，国内の複数の浄水場の浄水について吸光スペクトルデータを一年間にわたり測定した結果と合わせて考察することによって，中圧及び低圧 UV ランプの適用に際して，一般的な消毒性能が担保されるかを評価した。

また塩素と紫外線の併用処理によって大腸菌に与える損傷部位が，単独処理と異なるかどうかを 3つの培養培地を用いる方法

について検証した。

結論として，低圧および中圧 UV ランプのいずれにおいても JWRC の定める装置審査基準をベースにしていれば，一般的な消毒性能は担保できることが確認された。ただし，中圧 UV ランプの正確な評価のためには，254 nm 吸光度だけでなく対象水のスペクトルデータを把握しておくことが重要であると考えられた。また塩素と紫外線の併用処理によって不活化率は高まるものの，作用機構に関しては単独処理と異なることが分かった。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

特になし

2. 学会発表

- 1) 色川聡子，大瀧雅寛，蛍光強度を利用した UV 線量計の開発，第 45 回日本水環境学会年会講演集，p.174，2011
- 2) 大瀧雅寛，色川聡子，藤原正弘，安藤茂，低圧および中圧紫外線ランプによる消毒効果の低減率および変動幅の推定，第 62 回全国水道研究発表会講演集，2011（予定）
- 3) FUJISAKI Miho, IROKAWA Satoko, OTAKI Masahiro, Development of chemical dosimetry for UV flow reactor using fluorescence analysis, Proc. of IWA-ASPIRE, 2011（予定）

H. 知的財産権の出願・登録状況

特になし

地震による管路被害の予測等に関する研究

研究分担者 宮島 昌克 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 教授

研究要旨

水道事業体的確な地震対策を実施可能とする新たな被害予測手法を開発するために、近年の地震（新潟県中越・能登半島・新潟県中越沖地震）による管路被害データに兵庫県南部地震のデータを加え、データベースを構築し解析を行った。被害予測式の構築にあたっては、従来の被害予測式と同様に、標準被害率に各要因の補正係数を掛けることによって被害率を算出するものとした。まず、数量化理論第1類を用いた多変量解析を行い、被害予測式における各補正係数を評価した。つぎに、標準被害率を評価した。標準被害率は、各要因における最もサンプル数の多いカテゴリーからなる管路の被害率を、最大速度の関数として評価される。本研究では、管種継手がDIPのA型継手、口径が100mm、微地形が沖積地（谷底低地・扇状地・後背湿地・三角州・海岸低地）の管路における被害率を標準被害率とした。構築された被害予測式の精度の検証を、兵庫県南部地震における宝塚市の被害データを用いて行った。さらに、新潟県中越沖地震における柏崎市の被害データを用いて検証を行ったところ、液状化補正係数の必要性が明らかとなったので、既往の被害予測式における液状化補正係数なども参考にしながら、液状化補正係数を提案した。以上より、管種別補正係数を新たに導入するとともに、J-SHISの微地形分類に対応した微地形補正係数を用いた、精度の高い被害予測式を提案した。

A. 研究目的

平成7年兵庫県南部地震における水道施設の甚大な被害を契機に、水道施設における地震対策の重要性が注目されることとなった。同地震以後も、新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震等、各地で地震が頻発しており、その重要性はますます高まっている。水道施設の内、管路に対する地震被害に着目すると、継手の抜けや管体破損による断水、漏水が発生しており、兵庫県南部地震の管路被害実績をもとに、管路の地震被害予測手法が開発されてきた。

このような背景のもと、現状では以下に挙げるような課題が顕在化してきている。

- ・近年の地震被害は兵庫県南部地震における都市部の過密管路被害ではなく、中小規模都市、山間部の非過密地域における管路被害が多発している。
- ・前述の背景により、大規模水道事業体だけではなく、中小規模事業体においても地震による管路被害を予測し、適切な対策を講じることが求められている。
- ・従来の地震による管路被害予測手法は、管種別にその被害率が算出されるもので

あるが、近年の地震被害実績の解析により、管種だけではなく、継手構造にも大きく影響されることが明らかになっており、これらへの対応が求められている。

本研究では、上述の課題を解決するために、水道事業体から被害予測手法のニーズをアンケート等により収集し、その対応策を検討するとともに、近年の地震（新潟県中越・能登半島・新潟県中越沖地震）による管路被害を解析し、水道事業体的確な地震対策を実施可能とする新たな被害予測手法を開発することを目的とする。

B. 研究方法

新たな地震被害予測手法を構築するに当たり、標準被害率に各要因の補正係数及び管路延長を掛けることによって被害件数を算出する手法を採用することとした。

平成20年度及び平成21年度は近年の大規模地震災害における管路被害データの収集を行い、データベースを構築するとともに、そのデータベースを用いてクロス集計及び多変量解析を行った。平成22年度はそれらの成果を用いて被害予測式を具体的に提案するとともに、被害予測式の精度の検

証を行った。

1. 被害予測式における補正係数の決定

管路の被害予測式においては被害率（箇所/km）が目的変数となるが、被害率には微地形分類、地震動強さ、管路属性である管種、管径、継手種類の各要因が複雑に影響しあっているため、それぞれの要因がどの程度、被害率に影響を与えているのかを、多変量解析を行って補正係数として定量的に分析する必要がある。本解析では目的変数である被害率が量的変数であるため、数量化理論第1類を用いた多変量解析を行い、被害予測式における各補正係数を評価した。

2. 標準被害率の評価式

標準被害率は、各要因における最もサンプル数の多いカテゴリーからなる管路の被害率を、最大速度の関数として評価される。本研究では、管種継手がDIPのA型継手、管径が100mm、微地形が沖積地（谷底低地・扇状地・後背湿地・三角州・海岸低地）の管路における被害率を標準被害率とした。

3. 被害予測式の提案と検証

被害予測式の構築には用いていない、兵庫県南部地震における宝塚市、新潟県中越沖地震における柏崎市の被害データを用いて、構築した被害予測式の精度を検証した。

C. 研究結果

1. 被害予測式における補正係数の決定

被害予測式の構築に当たっては、従来の被害予測式と同様に、標準被害率に各要因の補正係数を掛けることによって被害率を算出するものとした。まず、被害予測式における補正係数の検討を行った。平成21年度に引き続き、数量化理論第1類を用いた多変量解析を行ったが、サンプル数不足のカテゴリーがあり、対象とする全ての要因の補正係数が多変量解析からだけでは決定できなかったため、平成21年度に実施したクロス集計結果も参考にして、補正係数を決定した。補正係数の一覧を被害予測式とともに表1に示す。

2. 標準被害率の評価式

神戸市、芦屋市、西宮市の兵庫県南部地震当時の管路網、長岡市、小千谷市の新潟県中越沖地震当時の管路網、柏崎市、刈羽村の新潟県中越沖地震当時の管路網を250mメッシュごとに分割し、管路の被害件数を

管路延長で除することで被害率を算出する。そして、メッシュごとに与えられている地表最大速度とその被害率の関係求めた。ここでは、250mメッシュの管路延長が1km以上の管路のみを対象とした。図1に被害率と地表最大速度の関係をプロットするとともに、それらの近似曲線を示す。ここでは、対数正規分布による近似方法と最小二乗法による累乗近似方法で近似曲線を求めた。なお、近年発生した地震被害は15cm/s以下の地表最大速度ではほとんど発生していないということを考慮して、近似曲線を求めた。各点と近似曲線の二乗差平均を求めると、累乗近似のほうが二乗差平均の値が小さく、相関が大きいことが明らかとなったため、累乗近似で標準被害率を求めることとした。このようにして得られた標準被害率を求める式を、被害予測式とともに表1に示す。

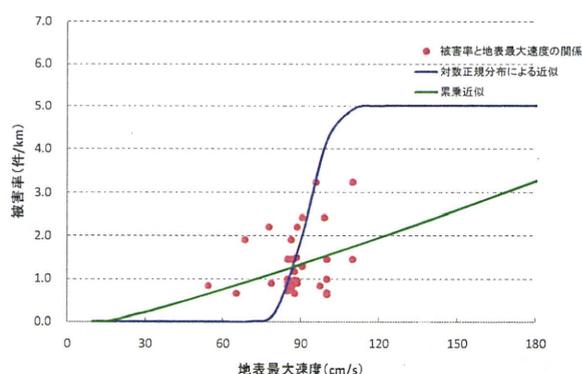


図1 被害率と地表最大速度の関係

3. 被害予測式の提案と検証

1, 2により表1に示す被害予測式を構築した。

まず、兵庫県南部地震における宝塚市の被害データを用いて被害予測式の精度を検証した。宝塚市における検証結果を図2に示す。1メッシュ当たりの被害件数を0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~25(件)の5種類に色分けし、その上に管網図と実際の被害地点をプロットすることで、検証を行った。0件の箇所は管路がない、対象外の地域を示している。同図によれば、被害予測件数が比較的多い箇所に実際の被害があることがわかる。しかし、予測被害件数が小さいにも関わらず、実際の被害が多く発生しているところもある。その原因として、

現在の土地利用方法やメッシュでは表現できない旧地形の影響を受けていると考えられる。すなわち、団地造成による地盤改変地や、池、川が埋め立てられた箇所などである。したがって、メッシュでは表現されていない地盤情報のある地域に関しては、本研究で作成した被害予測式を用いて精度の高い予測を行うことは難しいことがわかった。

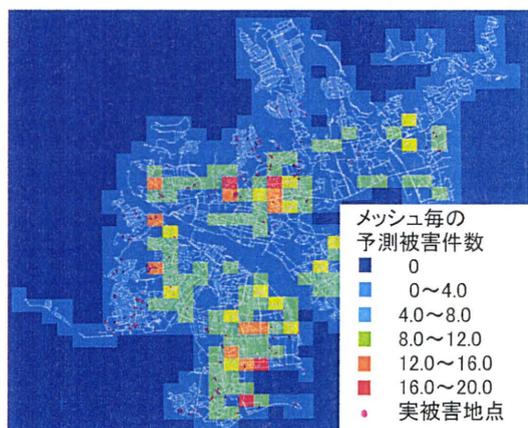


図2 宝塚市における検証結果

液状化の発生地点が多かった、新潟県中越沖地震における柏崎市においても検証を行った。国土交通省が行った航空写真判読による液状化地点と管路被害地点を比較し、微地形による補正係数との関係を考察した。微地形別補正係数が1.0, 0.4と0.8, 2.5と5.0にあたる微地形分類の被害箇所における検証結果を図3~5に示す。液状化発生地点のあるメッシュ内の被害件数については青丸で表示してある。

微地形別補正係数が1.0, 0.4と0.8に関しては、液状化発生地点の方が予測よりも実際の被害件数が多く、危険側に予測されている傾向のあることがわかる。微地形別被害係数が2.5, 5.0に関しては、液状化が発生した地域が少なく、データが不十分であるため、予測が安全側か危険側かということは一概には言えない。液状化が発生した地域の微地形別補正係数が小さい場合には、予測被害件数が小さくなり、危険側に予測することになってしまうので、液状化による補正係数を加える必要があると考えられる。

D. 考察

宝塚市と柏崎市での被害を用いた被害予測式の精度を検証した。その結果、250mメッシュの微地形分類の情報に含まれていない地盤条件に関しては、場合によっては危険側に評価してしまうことのあることが明らかとなった。そこで、メッシュの微地形分類では表現できない地盤条件に関しては、新たな係数を加える必要がある。本研究では、液状化による補正係数を新たに加えることにした。その理由は以下のようなものである。まず、既往の被害予測式でも、液状化の補正係数が存在しており、必要性が高い。つぎに、柏崎市での検証結果からも、液状化の発生地点で液状化を考慮しないと、危険側に評価することが多いということがわかったためである。このような理由から、液状化の補正係数について検討した。

本研究で用いた被害データには液状化が発生した地域のものも含まれており、液状化の起こりやすさは微地形分類と相関が高いので、液状化の条件も微地形別補正係数に考慮されていると考えることができる。しかし、液状化発生地域が予測されている場合、特に、液状化の発生する可能性が最も高い、埋立地、干拓地、湖沼以外の微地形分類において液状化の発生の可能性が予測されている場合には、積極的に考慮する必要がある。液状化が一旦発生すると、管路被害に及ぼす影響は微地形分類に関わらずほぼ一定だと考えられる。そこで、従来の被害予測式における液状化補正係数と、本研究で提案した微地形別補正係数の関係を検討した結果、液状化予測図などが作成されていて液状化発生危険度が明らかな場合には、微地形分類に関わらず、液状化補正係数として6.0という係数を与えることにした。

E. 結論

本研究は、水道事業体の的確な地震対策を実施可能とする新たな被害予測手法を開発するために、近年の地震（新潟県中越・能登半島・新潟県中越沖地震）による管路被害データに兵庫県南部地震のデータを加え、データベースを構築し、それを用いて被害予測式を構築したものである。

本研究で構築された被害予測式は、従来の予測式と比べると管種別補正係数が新たに考慮されているので、予測精度が向上した。また、地形別補正係数は、既に公開されている J-SHIS の微地形分類に対応しており、微地形分類に液状化の起こりやすさも反映されているので、液状化発生予測図を用いなくとも、液状化を考慮した被害予測を行うことができる。さらに、詳細な液状化発生予測図を利用する場合には、液状化補正係数を導入することで、さらに被害予測の精度が向上することが明らかとなった。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

- ・ 宮島昌克、藤原正弘、武内辰夫、高橋裕介、上松瀬将弘、「新たな地震被害予測手法の開発に関する研究」、第 62 回全国水道研究発表会講演集、2011（予定）
- ・ 降矢拓也、宮島昌克、熊木芳宏、「近年の地震被害を考慮した上水道管路の被害予測式に関する研究」、第 29 回自然災害科学学会学術講演；2010.9；会講演概要集、2010、pp. 159-160

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

未定

表1 地震による管路被害予測式

被害予測式	$R_m(v) = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$ $R_m(v)$: 推定被害率 [箇所/km] $R(v)$: 標準被害率 [箇所/km] $R(v) : 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}$ v : 地震動の最大速度(cm/s)				
	補正係数				
管種 C_p		管径 C_d		微地形分類 C_g	
DIP(A)	1.0	50-80	2.0	山地	0.4
DIP(K)	0.5	100-150	1.0	山麓地等	
DIP(T)	0.8	200-250	0.4	砂礫質台地等	0.8
CIP	2.5	300-450	0.2	谷底低地	1.0
VP(TS)	2.5	500-900	0.1	扇状地等	
VP(RR)	0.8			自然堤防	2.5
SP(溶接)	0.5			旧河道等	
SP(溶接以外)	2.5			埋め立て等	5.0
ACP	7.5				

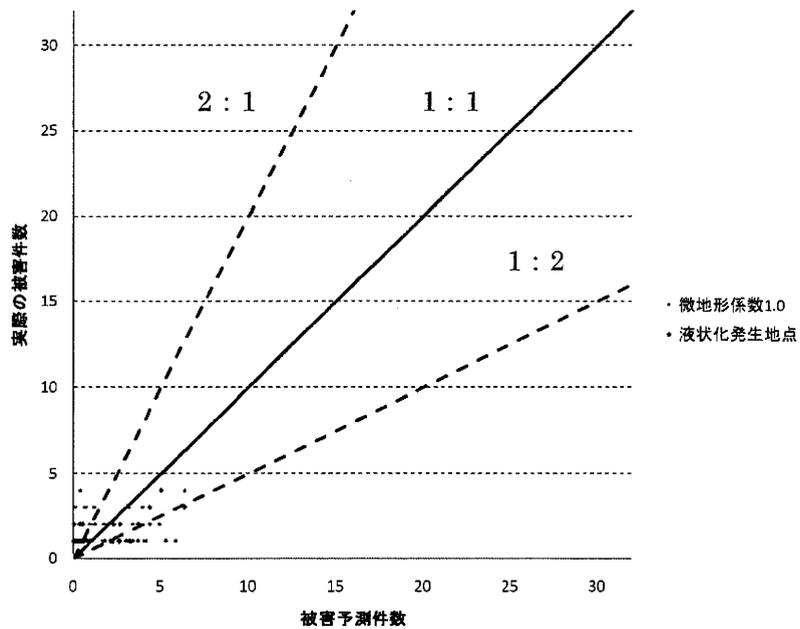


図3 柏崎市の微地形係数1.0の微地形分類における精度検証

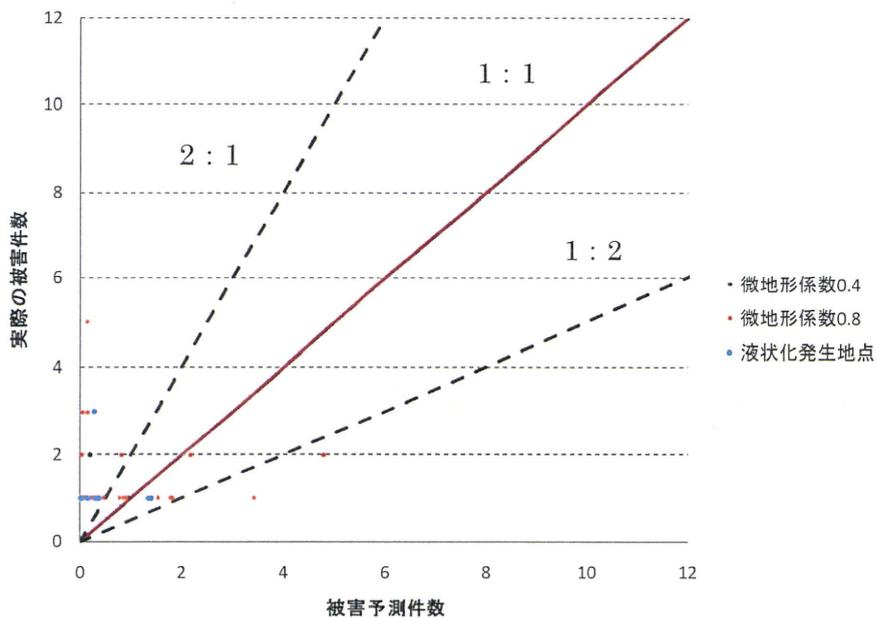


図4 柏崎市の微地形係数 0.4, 0.8 の微地形分類における精度検証

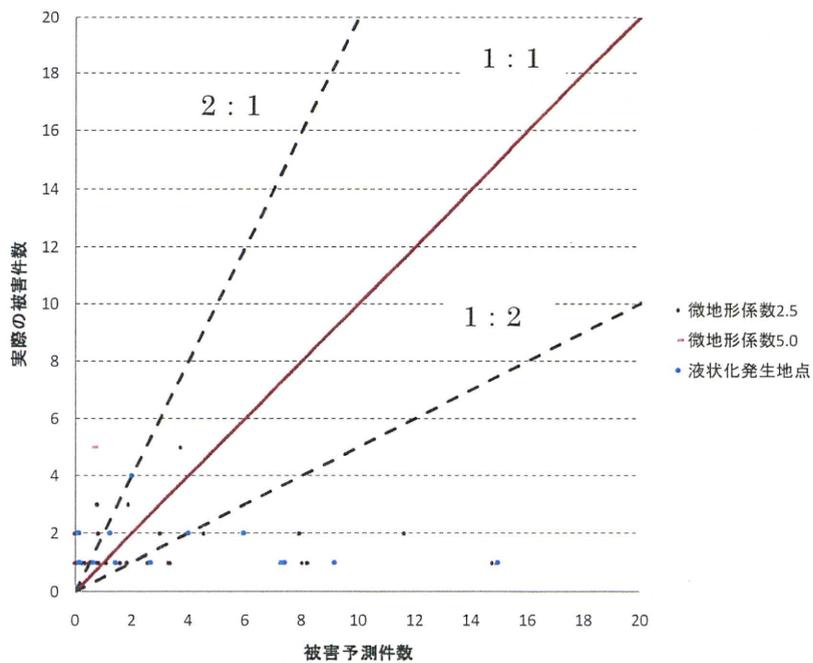


図5 柏崎市の微地形係数 2.5, 5.0 の微地形分類における精度検証