微粒子カウンターによる水道水中の微粒子数

Measurement of particles in tap water by a particle counter

山本満寿夫、中本信忠

信州大学繊維学部応用生物科学科 / 〒386-8567 上田市常田3-15-1

MASUO YAMAMOTO and NOBUTADA NAKAMOTO
Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology,
Shinshu University / 3-15-1, Tokita, Ueda, 386-8567

Abstract

This research was carried out to appreciate a slow sand filter treatment by a measurement of particles in inflow and filtered water. Further more, particle numbers were counted in domestic tap water by a particle counter. Particles over $2\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$, $7\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$ and $15\mu\text{m}$ size fractions in diameter were counted. The following results were obtained.

There were in a large number of particles of between from $2\mu\text{m}$ to $3\mu\text{m}$ size in inflow water and filtered water. Number of particles in filtered water decreased less than 1/90 times when inflow water passed through the sand layer of slow sand filters.

The average number of particles between $2\mu\text{m}$ and $15\mu\text{m}$ in diameter in domestic tap water was 106 per ml.

The average number of particles in tap water treated by slow sand filtration was the smallest among the samples taken from different water treatment. And the variation was also the minimum among different water treatment.

It was understood that the number of particles in filtered water were not influenced to the length of filter run and the number of particles in inflow water. It was confirmed that slow sand filter had a great buffer action to a big variation of water sources.

Key words: measurement of particle, particle counter, slow sand filter, inflow water, filtered water, tap water

1. はじめに

著者らは、緩速ろ過池での糸状藻類繁殖の有用性¹⁻⁸⁾に着目し、また砂層内での流入懸濁物質の抑留状況⁹⁻¹¹⁾を把握してきた。さらに緩速ろ過池の流入物質の除去能についてTOC、COD、クロロフィル等^{7, 8)}で評価してきた。しかし、実際にどの程度の数の微粒子が砂層中に抑留され、ろ過水中に漏出するのか分からなかった。

今回、クリプトスポリジウムのオーシストの大きさの粒子を正確に測定するために開発された、微粒子計測器

を使用出来る機会があったので、浄水場のろ過池に入る流入水中とろ過水中の微粒子を測定して、緩速ろ過池の浄化能について検討を行った。また、各地で家庭に供給されている給水栓での微粒子数の測定を行ったので合わせて1997年の状況を報告する。

2. 調査対象

調査は長野県上田市水道局染屋浄水場の緩速ろ過池に流入する流入水とろ過水、および上田市の近隣の市町村

および東京都、高崎市、大宮市、草加市、相模原市、N市等の一般家庭に給水されている水道水について測定を行った。

染屋浄水場は、大正12年(1923年)に建設され、760m²の緩速ろ過池が13池あり、計画給水人口は75,000人、給水量は56,000m³/日である。水源は主に菅平高原から流出する神川の表流水である。染屋浄水場の流入水の水質⁹⁾あるいはろ過池砂層における抑留物質⁸⁻¹⁰⁾についてはすでに報告した。

3. 方法

3.1 調査期間と材料

染屋浄水場ろ過池に流入する流入水中の微粒子数の調査は、1997年9月17日から12月22日の間に20回行った。その間、染屋浄水場2号池でろ過水中の微粒子数の調査を13回、5号池で14回、8号池で7回行った。また、一般家庭の水道水の調査は1997年8月12日から12月21日の間に45点について行った。

3.2 測定方法

採取した試水は直ちにその現場において微粒子計測器、METONE社製のWATER GRAB SAMPLER、MODEL WGS-267-1020で測定を行った。本器の微粒子計測光源はレーザーダイオードで、微粒子数の測定は直径として2μm以上、3μm以上、5μm以上、7μm以上、10μm以上、15μm以上の各段階毎に計数し、各サイズ間の

計数差も記録される。同時計数誤差は毎分100ml/minにおいて1ml中の微粒子数が30,000個で10%以下である。

本器は1分間当たり100mlを流す場合を標準とされている。しかし、この条件で現場で測定した場合、15μm以上の微粒子数が異常に多く計数されることがあった。この原因は機械内部のポンプにより気泡が生ずるためであった。そこで流速を1分間当たり50mlにしたところ15μm以上の微粒子がほとんど計数されなくなった。そこで今回、流速と微粒子数の関係を検討し1分間当たり50mlで流した場合で計数し、15μm以上の数値は除外した。

4. 結果

4.1 流入水とろ過水の微粒子サイズと微粒子数

染屋浄水場ろ過池に流入する流入水とろ過水中の微粒子数についてTable 1に示した。流入水中の各計数間隔毎の平均微粒子数は、直径3~<5μm間の微粒子が多く、1ml当たり2,930個で、次に2~<3μm間は2,052個、5~<7μm間は1,677個、7~<10μm間は698個、10~<15μm間は357個の順で少なくなった。

一方、ろ過水中の微粒子数は2~<3μm間の微粒子が多く、1ml当たり平均34.2個、次が3~<5μm間で25.4個、その後は5~<7μm間で14.1個、7~<10μm間で6.3個、10~<15μm間で3.3個の順で微粒子数が少なくなった。

ろ過水中と流入水中の微粒子数を比較すると、小さな

Table 1 Particle numbers in different size fractions in inflow water and filtered water into slow sand filters at Someya Water Works.

		PARTICLE NUMBER (n/ml)					SUM
		PARTICLE SIZE RANGE (μm)					(n/ml)
		2~<3	3~<5	5~<7	7~<10	10~<15	2~<15
INFLOW	AVERAGE VALUE	2,052	2,930	1,677	698	357	7,714
WATER	MINIMUM VALUE	166	252	244	163	98.0	976
	MAXIMUM VALUE	3,348	5,512	3,798	1,502	920	13,822
	STANDARD DEVIATION	958	1,664	1,158	480	267	4,365
FILTERED	AVERAGE VALUE	34.2	25.4	14.1	6.3	3.3	73.4
WATER	MINIMUM VALUE	8.4	5.0	2.2	1.0	0.0	21.2
	MAXIMUM VALUE	141	71.0	38.4	23.6	11.2	231
	STANDARD DEVIATION	27.0	15.9	9.8	5.3	2.7	51.4
FILTERED WAT./INFLOW WAT.		0.0167	0.0087	0.0084	0.0091	0.0093	0.0108

サイズの $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子数は流入水中の同サイズの微粒子数の約 $1/60$ であった。同様に $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 間の微粒子数は $1/115$ 、 $5 \sim 7 \mu\text{m}$ 間は $1/119$ 、 $7 \sim 10 \mu\text{m}$ 間は $1/111$ 、 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の微粒子数は $1/108$ であった。小さなサイズの $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子が他のサイズ間に比べて減少率が悪いことから、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子は $3 \mu\text{m}$ 以上の大きなサイズの微粒子に比べて砂層を通過しやすいと考えられた。

なお流入水中に $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 間の微粒子数が $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子数よりも多く計数されたが、Fig. 1およびFig. 2に各計数サイズ毎の微粒子数をすべて $1 \mu\text{m}$ 差の値に統一して示した。その結果、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 間の微粒子数が多いのは計数間隔の問題で、直径 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間は $1 \mu\text{m}$ 差、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 間は $2 \mu\text{m}$ 差のためである。これを $1 \mu\text{m}$ 差に補正すると流入水中の直径 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 間の微粒子数 1 ml 当たり $2,930$ 個は、 $1 \mu\text{m}$ 間隔中で $1,465$ 個となり、小さなサイズの $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の方が微粒子数が多くなった。この様に流入水もろ過水と同じく微粒子数の多いのは直径 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間で、小さな微粒子間ほど微粒子数が多いことが明らかになった。また、ろ過水中の微粒子数 (Fig. 2) から、ろ過池間では微粒子数の差はほとんどなく3池ともほぼ同じ分布を示した。

このことから、ろ過池における微粒子除去能はいずれの池もほぼ同じであると考えられた。

4. 2 流入水中とろ過水中の全粒子数の関係

流入水中とろ過水中の $2 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の全粒子数の関係をみた結果、流入水中の全粒子数が変化してもろ過水中の全粒子数は変化しなかった (Fig. 3)。また、流入水中には 1 ml 当たり平均 $7,714$ 個の微粒子があり、ろ過水中には 83.4 個あった。このことから流入水が緩速ろ過池を通過すると93分の1に減少することが分かった。

また、河川表流水を取水している染屋浄水場ろ過池流入水は着水井、沈殿池を通過した後にろ過池へ流入する。降雨による濁水が流入する場合は凝集剤を添加する。そのため特に雨天時は流入水中の微粒子数が極端に少なく、 $2 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の全粒子数が 1 ml 当たり 976 個になることもあった。これは着水への凝集剤の添加効果がろ過池流入水中の微粒子数に顕著に反映された結果である。

ろ過水中の $2 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の全粒子数とろ過池使用日数の関係を染屋浄水場の3池で調べてFig. 4に示した。その結果、全粒子数と使用日数はほとんど関係がなく、ろ過池使用日数が長くても短くても全粒子数は 1 ml 当たり 250 個を越えることはなかった。

Fig. 1 The relation between particle numbers per ml and particle size in inflow water into slow sand filters at Someya Water Works. Particle numbers per ml are counted in the following size fractions, $2 \sim 3 \mu\text{m}$, $3 \sim 5 \mu\text{m}$, $5 \sim 7 \mu\text{m}$, $7 \sim 10 \mu\text{m}$, and $10 \sim 15 \mu\text{m}$ in diameter. Particle numbers per ml was corrected in $1 \mu\text{m}$ interval in the figure. Vertical bar indicates each standard deviation.

Fig. 2 The relation between particle numbers per ml and particle size in filtered water of 3 different slow sand filters at Someya Water Works.

Fig. 3 The relation between total particle numbers per ml from $2\mu\text{m}$ to $15\mu\text{m}$ in diameter in inflow water and filtered water at Someya Water Works.

Fig. 4 The relation between filter run (days) and total particle numbers from $2\mu\text{m}$ to $15\mu\text{m}$ size in diameter at Someya Water Works.

4. 3 一般家庭の水道水中の微粒子数

一般家庭へ給水されている水道水中の微粒子数の測定結果をTable 2に示した。調べた水道水は緩速ろ過処理水、急速ろ過処理水、地下水、膜処理水、急速ろ過処理水と地下水の混合水で計45点の水道水について測定を行った。その結果、水道水中には直径 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子数が多く、次いで $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 間、 $5 \sim 7 \mu\text{m}$ 間、 $7 \sim 10 \mu\text{m}$ 間、 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の各サイズ間隔の順で微粒子数は少なくなり、これは染屋浄水場の緩速ろ過池のろ過水と同じ順であった。

直径 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子数は45点の水道水の平均が1ml当たり平均43.2個で、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 間は37.9個、 $5 \sim 7 \mu\text{m}$ 間は16.2個、 $7 \sim 10 \mu\text{m}$ 間は5.6個、 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 間は3.3個、そして $2 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の全粒子数は平均106個であった。全粒子数の平均値の内訳は、急速ろ過処理水で 129 ± 117 個、緩速ろ過処理水で 60.9 ± 27.3 個、地下水が 117 ± 94.0 個であった。

5. 考 察

緩速ろ過池に入る流入水とろ過水中の微粒子数を測定した結果、流入水に比べてろ過水中には $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子数の割合が多かった。即ち、直径 $3 \mu\text{m}$ 以上の微粒子は砂層で除去される割合が高く、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の小さな微粒子の方が砂層を通過し易いことが考えられた。そして流入水がろ過池砂層を通過すると1/93に微粒

子数が減少したろ過水になることから、これが緩速ろ過池の浄化能と考えられた。そこで、流入水およびろ過水、水道水中の $2 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の全粒子数を比べた(Fig.5)。水道水は急速ろ過処理水、緩速ろ過処理水、無処理水(地下水)に分けて示した。

その結果、ろ過水と水道水とを全粒子数の平均値で比べると、3者中で緩速ろ過処理水の値がやや低く標準偏差が小さかった。そして、急速ろ過処理水と無処理水(地下水)とはあまり大差がなかったが、急速ろ過処理水の中に最小値と最高値があった。

今回の測定結果から浄化能についてみると、ろ過池による微粒子除去能の差はほとんどなく、また、ろ過水はろ過池使用日数の長短と関係がないことが分かった。そして、流入水中の全粒子数が変動してもろ過水中の全粒子数はほとんど変動しないことが明らかになった。これらが緩速ろ過池のもつ緩衝力¹¹⁻¹⁵⁾の大きさであると考えられた。

以上、流入水とろ過水の微粒子サイズと数の測定は、ろ過池の浄化能をみる尺度と成り得た。しかし微粒子が何物であるのか、特に、細かな気泡を計数している可能性が考えられるので今後検討する必要がある。

6. 摘 要

浄水場のろ過池に入る流入水とろ過水中の微粒子の大きさと数を測定して、緩速ろ過池の浄化能について検討を行った。また、実際の家庭に供給されている45点の水

Fig. 5 Comparison of average particle numbers per ml from $2 \mu\text{m}$ to $15 \mu\text{m}$ sizes in different water samples. Horizontal bar indicates each standard deviation.

Table 2 Particle numbers in different size fractions in domestic tap water.

PLACE	DATE	NUMBER (n/ml)					SUM (n/ml)	REMARKS
		PARTICLE SIZE RANGE (μm)						
		2~<3	3~<5	5~<7	7~<10	10~<15	2~<15	
MATSUSHIRO TOWN	10/ 9/97	24.6	17.2	5.2	1.4	1.0	49.4	RSF
KAMIYAMADA TOWN	10/ 9/97	137.0	131.0	62.2	22.6	10.0	362.8	RSF
SAKAKI TOWN	10/ 9/97	114.0	109.0	41.6	11.4	6.4	282.4	RSF
UEDA CITY	13/10/97	66.2	78.6	39.6	16.4	12.0	212.8	RSF(Tr.0.040ppm)
UEDA CITY	19/12/97	31.0	18.2	8.6	3.4	1.6	62.8	RSF
MARUKO TOWN	19/12/97	8.6	5.2	2.0	1.0	1.4	18.2	RSF
SAKU CITY	10/12/97	158.0	175.0	84.2	30.2	13.0	460.4	RSF
NAGANO CITY	10/ 9/97	45.0	47.8	17.6	5.8	5.0	121.2	RSF
MINOSATO TOWN	19/10/97	18.4	19.8	11.0	4.6	3.2	57.0	RSF(Tr.0.000ppm)
HIGASHIMATUYAMA C.	13/10/97	24.6	30.8	17.2	6.0	3.0	81.6	RSF
OMIYA CITY	13/10/97	51.8	42.6	18.4	5.4	2.8	121.0	RSF
SOKA CITY	13/10/97	15.2	7.6	2.8	0.6	0.4	26.6	RSF
TAKAHAGI CITY	27/10/97	102.0	60.0	20.4	3.2	1.6	187.2	RSF
N CITY	19/12/97	32.2	20.0	18.4	9.2	5.2	85.0	RSF
N CITY	19/12/97	21.6	2.6	1.2	0.4	0.4	26.2	RSF
MACHIDA CITY	26/ 8/97	22.0	24.3	7.8	3.7	3.5	61.3	RSF
TOKYO	26/ 8/97	34.7	18.9	5.9	1.9	0.9	62.3	RSF
SAGAMIHARA CITY	25/ 8/97	72.3	91.4	16.1	4.8	3.8	188.4	RSF
NAGANO SITY	10/ 9/97	26.0	15.0	6.4	2.0	1.2	50.6	RSF, GW
NAGANO SITY	10/ 9/97	31.2	23.6	8.2	2.2	1.6	66.8	RSF, GW
NAGANO SITY	17/12/97	44.2	48.4	24.4	6.2	3.6	126.8	RSF, GW
UEDA CITY	11/12/97	25.6	12.6	3.4	1.0	1.0	43.6	SSF
UEDA CITY	10/ 9/97	10.0	11.0	6.6	3.4	3.6	34.6	SSF
UEDA CITY	7/10/97	24.0	20.4	8.2	2.2	1.0	55.8	SSF
UEDA CITY	18/12/97	32.8	20.6	9.4	4.0	4.0	70.8	SSF
UEDA CITY	18/12/97	26.2	16.0	7.2	2.2	1.2	52.8	SSF
TAKASAKI CITY	16/10/97	28.6	30.0	16.6	5.8	4.4	85.4	SSF(Tr.0.010ppm)
N CITY	19/10/97	40.4	33.0	16.6	6.0	3.6	99.6	SSF
TOKYO	26/ 8/97	34.5	18.9	6.2	2.0	1.0	62.6	SSF
TOKYO	26/ 8/97	34.9	13.6	4.3	1.5	0.9	55.2	SSF
UEDA CITY	21/ 8/97	8.8	12.2	6.5	2.3	2.1	31.9	SSF
UEDA CITY	10/ 8/97	11.0	9.4	3.0	1.0	0.6	25.0	SSF
UEDA CITY	21/ 8/97	28.4	45.9	26.0	8.2	4.7	113.2	SSF
MURE VILLAGE	10/ 9/97	50.0	22.2	4.0	1.0	0.6	77.8	NFT, GW
KOMORO CITY	10/12/97	90.4	99.0	38.8	11.8	9.8	249.8	NFT, GW
KOMORO CITY	21/12/97	123.0	95.0	30.6	9.6	4.2	262.4	NFT, GW
TOBU TOWN	10/12/97	17.4	9.2	5.6	2.2	1.6	36.0	NFT, GW
SAKU CITY	10/12/97	61.8	58.4	27.8	11.2	5.6	164.8	NFT, GW
MIYATA TOWN	10/12/97	68.6	77.2	38.6	16.8	7.4	208.6	NFT, GW
NAKAKARUIZAWA TOWN	10/12/97	10.6	11.4	6.6	3.0	1.4	33.0	NFT, GW
NAKAKARUIZAWA TOWN	10/12/97	19.2	22.4	12.0	4.6	3.2	61.4	NFT, GW
KARUIZAWA TOWN	10/12/97	67.0	54.4	20.6	6.2	3.2	151.4	NFT, GW
MATSUIDA TOWN	10/12/97	7.6	4.6	2.8	1.0	0.8	16.8	NFT, GW
TENEI VILLAGE	19/10/97	12.6	5.0	1.6	0.6	0.4	20.2	NFT, GW
SANADA TOWN	11/12/97	32.2	14.8	8.2	3.4	2.0	60.6	MMF
AVERAGE		43.2	37.9	16.2	5.6	3.3	106.3	
STANDARD DEVIATION		35.9	37.8	16.8	6.1	3.1	96.5	
CV		0.83	1.00	1.04	1.08	0.92	0.91	

RSF : RAPID FILTRATION

RSF, GW : RAPID F, GROUNDWATER

SSF : SLOW SAND FILTRATION

NFT, GW : NO FILTER PROCESS, GROUNDWATER

MMF : MEMBRANE FILTRATION

Tr : TURBIDITY

道水についても微粒子数の測定を行った結果、以下のことが分かった。

- 1) 流入水中、ろ過水中には微粒子直径 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 間の微粒子数が多かった。
- 2) ろ過水中の微粒子数はろ過池間でほとんど差がなかった。
- 3) 流入水が緩速ろ過池を通過すると93分の1に微粒子数が減少した。
- 4) 水道水中には、 $2 \sim 15 \mu\text{m}$ 間の全粒子数が1 ml当たり平均106個あった。緩速ろ過処理による水道水は全粒子数の変動の幅が小さかった。

謝辞：本研究を行うにあたり微粒子計測器、WATER GRAB SAMPLER、MODEL WGS-267-1020を貸していただいた野崎産業株式会社に、また調査に協力、資料等をご提供いただいた上田市水道局ならびに各地の浄水場に感謝いたします。

[引用文献]

- 1) 中本信忠：緩速ろ過における糸状藻類の有用性、水道協会雑誌、55 (3)、19-21 (1986)
- 2) 中本信忠・江連小百合：緩速ろ過池ろ床藻類の繁殖過程および季節変化、水道協会雑誌、58 (8)、17-21 (1989)
- 3) 中本信忠・坂井 正：緩速ろ過池における糸状珪藻とその連続培養の重要性、日本水処理生物学会誌、27 (1)、33-38 (1991)
- 4) 中本信忠・坂井 正：緩速ろ過池のろ過閉塞指標としての標準化損失水頭と藻類、日本水処理生物学会誌、28 (1)、7-16 (1992)
- 5) 野崎健太郎・坂井 正・中本信忠：菅平ダム湖での *Nitzschia holsatica* のブルームと石舟浄水場のろ過閉塞障害、日本水処理生物学会誌、28 (2)、123-127 (1992)
- 6) 中本信忠・池田大介・田口香代・山本満寿夫：河川を水源とする緩速ろ過池と貯水池を水源とする緩速ろ過池の藻類被膜の発達の違い、日本水処理生物学会誌、33 (2)、81-90 (1997)
- 7) Nobutada Nakamoto, Noriyasu Iwase, Kentaro Nozaki, and Masashi Sakai: Inconsiderable Amount of Phytoplankton Leakage by Algal Mat Peeling from a Slow Sand Filter, Jap. Wat. Treat. Biol., 33 (4), 179-186 (1997)
- 8) 山本満寿夫・中本信忠：河川表流水を水源とする緩速ろ過池砂層における抑留物質の深度分布、日本水処理生物学会誌、32 (2)、123-129 (1996)
- 9) 岩瀬範泰・木崎 豊・野崎健太郎・坂井 正・中本信忠：緩速ろ過池砂層内の汚泥の垂直分布とその性状、水環境学会誌、19 (12)、1009-1014 (1996)
- 10) 山本満寿夫・中本信忠：冬期の緩速ろ過池砂層における抑留物質の深度分布、日本水処理生物学会誌、33 (3)、109-116 (1997)
- 11) 日本水道協会：水道施設設計指針・解説 (1990)
- 12) Huisman, L. & W. E. Wood.: Slow Sand Filtration, WHO, Geneva., 122 (1974)
- 13) 佐藤米司・福士憲一・丹保憲仁：緩速ろ過の生物化学的機能—砂ろ過の生物化学的機能の見直しに関する研究(1)、水道協会雑誌、61 (12) (699)、11-23 (1992)
- 14) 住友 恒・赤沢尚文・奥村充司・尾崎正明・山本昌宏：緩速ろ過における生物分解能の定量化とその高率化の実験—生物分解による上水の高度処理に関する研究(2)、水道協会雑誌、55 (10) (625)、22-29 (1986)
- 15) Graham, N. J. D. (ed): Slow Sand Filtration-Recent Developments in Water Treatment Technology, Ellis Horwood Ltd., 416 (1983)

(受付 1998. 3. 10)

(受理 1998. 5. 7)