

4. ろ過池の運転条件とろ過水水質(ver.3)

緩速ろ過池の運転の目的は、供給する水の高品質を維持することである。同時に、ろ過池の清掃周期を出来る限り長くすることで、経済的で低コストの稼働とする必要もある。一般的には、原水水質、気象条件（特に温度）、ろ過材及びろ過速度の4つの因子がろ過水水質に影響する。

4.1 原水水質と気象条件

原水水質には、有機物、濁度、アンモニア等の緩速ろ過の適正な稼働に影響する水質項目がある。また、水道水の水質基準を遵守する観点から、除去率や浄水処理による付加を考慮して原水水質目標を設定し、前処理プロセスの追加や水質事故対応の参考とする。気象条件で、最も影響が大きいものは水温である。

原水水質には、緩速ろ過の適正な稼働に影響する水質項目と、水道水の水質基準の遵守の観点から注目すべき項目がある。原水水質の目標値を定め、原水の水質がそれを超過する可能性がある場合には前処理プロセスを追加する必要がある。また、水源の水質事故等異常時には、原水水質目標値を参考にして、対応策を実施する。

緩速ろ過の適正な稼働に影響する水質項目には、好気的な生物ろ過膜の維持に影響する可能性のあるBOD、アンモニア態窒素、過マンガン酸カリウム消費量又は全有機炭素(TOC)がある。また、ろ過閉塞の原因となるものとして、藻類（主に珪藻類）と濁度がある。

水質基準の遵守のためには、緩速ろ過で除去可能なものについては除去率を考慮して原水の水質目標値を設定する。この場合、原水水質目標値は水質基準値より高く設定することができる。緩速ろ過で除去不可能のものについては、原水水質目標値と水質基準値は同じ値で設定する。除去の可能性はあるが除去率が不明確なものについても、安全のため、原水水質目標値と水質基準値は同じ値で設定する。また、消毒剤の成分など浄水処理過程で付加されるものについては、原水水質目標値は付加量を考慮して、水質基準値より低く設定する必要がある。

$$\text{原水水質目標値} = \text{水質基準値} / (1 - \text{除去率}) + \text{付加量} \quad (4.1)$$

さらに、塩素消毒などによる消毒副生成物の原料物質は、生成物の水質基準を想定して設定する。この場合、例えばTOCや色度など代替指標を用いてもよい。

気象条件で最も影響が大きいものは原水水温である。生物ろ過膜やろ過層のゾーグレアの成熟期間、粒子除去、有機物の分解、硝化などの生物反応の速度、ろ過層の損失水頭など、緩速ろ過の浄化機能や運転状態に影響を与える。また、気温低下は、緩速ろ過池からの熱損失に影響し、冬季、ろ過池の凍結を引き起こすことがある。これは落水時の生物ろ過膜の削り取り作業に大きな影響を与えるので、状況によってはカバーが必要となる。 風

は、緩速ろ過池の水深が浅い場合、生物ろ過膜を攪乱することがある。また、一定方向の風が継続する場合は、緩速ろ過池水で繁殖する植物プランクトンや浮上したろ過膜藻類を緩速ろ過池の一部に集積させ、そこでの再沈降による部分的な有機物負荷の増大を引き起こすことがある。この場合、越流管からそれらを効率よく排出する必要がある。

○ 原水水質目標値の例

(それぞれの緩速ろ過池の運転条件とそれによる除去率等によって異なる。)

項目		影響	単位	水道水 水質基準値	原水 水質目標値	
運転 管理 に 影響	BOD	溶存酸素の低下、 好気性細菌や動物 の機能低下	mg/L	-	3	
	アンモニア態窒素	塩素消費、溶存酸 素の低下、好気性 細菌や動物の機能 低下	mg/L	-	0.5	
	過マンガン酸カリウ ム消費量(TOC)	溶存酸素の低下、 好気性細菌や動物 の機能低下	mg/L	- (3)	10 (3)	
	濁度	ろ過閉塞	細胞/mL	2(0.1)	10	
	藻類数(珪藻類)	ろ過閉塞	細胞/mL	-	300	
水質 基準 の 遵 守 に 影 響	除去 可 能	濁度	ろ過水濁度の上昇	度	2(0.1)	10
		色度	水質基準の超過、 消毒副生成物の代 替指標	度	5	10
		一般細菌	病原微生物	個/mL	100	5000
		大腸菌群 (大腸菌)	病原微生物	MPN /100mL	- (検出しないこと)	5000 (500)
		溶存マンガン	着色	mg/L	0.05	0.1
		溶存鉄	着色	mg/L	0.3	1
		フェノール類	着臭	mg/L	0.005	0.01
		陰イオン界面活性剤	泡立ち	mg/L	0.2	0.5
		ジエオスミン	着臭	mg/L	0.00001	0.00002
	2-メチルイソボルネオール	着臭	mg/L	0.00001	0.00002	
除去不可能のもの、除去率 が不明確のもの		アルカリ金属、陰イオン類、揮発性有機化学物質等				
処理過程で付加される可能性 のあるもの		消毒副生成物、消毒剤成分(ナトリウム、塩化物イオン)等				

原水水質目標値は、参考資料5を参考にした。

濁度の水質基準値は2度であるが、クリプトスポリジウム対策で0.1度以下が求められている。

4.2 ろ過砂の粒径とろ過速度

ろ過砂の粒径が細かいほど、良質なろ過水が得られるが、ろ過継続日数が短くなる。安全範囲を確保するなら、ろ過砂を細かくするよりろ過層を厚くした方がよい。ろ過速度が低いと、生物的な浄化効果が高くなるが、溶存酸素の低下や、極端な場合副生成物がろ過水に混入するようになる。ろ過速度が余り大きくなると破過も起こりうる。

一般に、細かいろ過材はろ過水水質がより良くなる傾向がある。「遮り」は空隙が少ないほどより効果的に起こり、「付着」も全表面積が大きくなるほど改善される。同時に生息場所が増えると有機物を生化学的に分解する微生物が増え、ろ過層内の細菌類に利用できる栄養濃度を減少させ、その結果ろ過水水質を改善する。砂粒子の結合表面積が大きいと、原水中に含まれる成分との接触がより密になり、化学的な反応が（表面の触媒作用）促進される。表面積は砂層深さが増すと増加するが、直径 0.15mm の粒子で砂層深さ 0.6m の全表面積は、直径 0.35mm の粒子で砂層深さ 1.4m の全表面積に相当するので、細かい砂の選択の方がより経済的である。

「遮り」の効率ろ過速度に依存しない。一方「沈殿」は、粒子の一部分 4~20 μm の範囲の粒子を除去するのみであるが、ろ過速度が大きくなるに伴い沈殿効率が下がる。「付着」に寄与する力は、僅かながらろ過速度に影響を受ける。ろ過速度が大きくなると、濁質は砂層内部に侵入し易くなり、砂層深さにもよるが場合によっては、濁質が破過(break through)し、ろ過水中に混入するようになる。

一方、生物的な活性は時間依存性が大きく（特に低水温では）、ろ過速度が大きくなると、水と浄化に寄与する微生物との接触時間が短くなる影響を受ける。これらの微生物は、通常ろ過層の 30~40cm 上部にのみ存在するので、ろ過速度が大きくなると、細菌類への餌の供給がより深いところまで達する。このような状況下で、細菌類はより深い地点まで生育するようになるが、濁質と同様に、有機物の除去にもある程度の限界はある。

非覆蓋で豊富な藻類繁殖のあるろ過池では、ろ過速度が低いと有機物の分解による溶存酸素濃度の低下の影響が顕著になり、特に夜間の好气的状態の維持が難しくなる。さらに、数 cm/hr 程度の低ろ過速度では、藻類の代謝の副生成物質がろ過水に混入するようになり、ろ過水に異臭味の障害が発生することも起こりうる。

ろ過水水質は、ある限界範囲内ではろ過速度には依存しない。アムステルダム水道では、3つの覆蓋緩速ろ過池を異なるろ過速度 0.1、0.25、0.45m/hr で1年以上運転したところ、ろ過水水質に明確な違いは見られなかった。一方、Rechenberg は、ろ過速度 U で運転する緩速ろ過池で、流入水及びろ過水の過マンガン酸カリウム消費量 c_i と c_e には次のような関係があるとしている。

$$c_e/c_i = 0.8U^{1/6}$$

ろ過速度を倍にすると、ろ過水の過マンガン酸カリウム消費量は 12%増加し、僅かではあ

るが明確な違いがあるという例である。

ろ過速度が大きく細かいろ過砂では、損失水頭の上昇により、ろ過継続時間が短くなる。ろ過他の清掃を人力で行う場合、ろ過継続時間が短いと（例えば藻類の繁殖時）、清掃労働力に大きな負荷をかけ、配水の供給の継続を危うくし、清掃直後はろ過効率が低下するのでろ過水水質を悪くする。このため、ろ過池は、原水が最も悪化する状態において、ろ過継続日数が2週間以下に落ちないように設計し、運転しなければならない。平均的な運転条件では、清掃の間の運転日数は数ヶ月と期待できる。

ろ過継続日数を推定する良い方法は、実際の原水を異なる粒径のろ過砂を用いて処理する室内実験や（より望ましいものとして）パイロット実験がある。まず、ろ過砂は、要求ろ過水水質を満たすのに十分な細かさ確保するようにして、その上でろ過速度を決定すべきである。ろ過速度は、最悪の条件で少なくとも2週間のろ過継続日数を確保する程度に小さくする必要がある。

ろ過砂を必要以上に細かくすると、ろ過継続日数が極端に短くなる。もし、ろ過水水質を考慮し一定の安全性を見込む必要があるなら、ろ過砂を細かくするよりろ過層を厚くした方がよい。しかし、この基準によれば、非常に清澄な原水の場合、粗い砂でよいということになる。その場合、原水に含まれる物質は砂層深く入り込むので、表面を削り取る清掃は効果的ではなくなる。このような場合には、細かい砂を使うことは必要性というより保証という意味になる。

4.3 前処理および塩素処理の効果

前処理(沈殿、急速ろ過、マイクロストレーナー、オゾン)は、緩速ろ過への負荷低減効果がある。塩素処理は、安全策として有効である。

濁水は、ろ過継続日数をある程度の長さに保とうとすると、非常に低いろ過速度にする必要があるため、この濁度を低減化するための前処理を考えなければならなくなる。このコストと運転は、国により異なるが、一般には、(例えば沈殿やろ過などの)前処理施設を設置することは、0.1m/hrのろ過速度を約20%、0.2m/hrを約60%増加させることができれば、経済的には魅力である。

沈殿池などによる原水の貯留は、原水水質が大きく頻繁に変動する場合にも有効である。短期間の原水水質変動は、ろ過継続日数に大きな影響を与えるほど重大ではないが、短期間にろ過水の水質を悪くすることがある。エアレーションは、他のプロセスとの併用であっても、原水の酸素要求量が溶存酸素量を超える場合には特に必要である。この状況が改善されなければ、生物ろ過膜が嫌気的状態となることによる障害が確実に起こる。

普通沈殿あるいは粗ろ過は、普通に使用される前処理方法であるが、他の前処理プロセスでも原水水質条件によっては、より適したより効率的なものになりうる。例えば、濁度は貯留と沈殿で減少するが、沈殿は化学凝集(chemical coagulation)と組み合わせるとよ

り効率的になる。ただし、凝集剤を注入したあと、フロックを含む水あるいは沈殿後の上澄水であっても微量の未凝集成分が含まれている場合には、生物ろ過膜表面に凝集剤のフロックが集積し著しいろ過閉塞が起こりうる。

マイクロストレーナーは、貯水池からの原水の場合、高濃度の植物プランクトンを減らすのに有効である。取水部分のスクリーン、自然あるいは人口の砂を充填した井戸、地下浸透などは、懸濁有機物を除くのに費用のかからない有用な方法で、設置に適していれば実用的である。

緩速ろ過池内で病原微生物や他の動物起源の有機物質を分解する微生物は、植物起源の同様な物質を処理する機能が弱い。これらは全く除去に有効ではないということではないが、泥炭のように特に安定な有機物の場合は、色度のある部分は除去することはできない。例えば、経済的に稼働させることを優先に考える必要のある熱帯の小規模施設では、このことは許容される。より工業化した先進国では、需要者が感覚的な水質への要求が高く、さらに塩素消毒の副生成物に対する水質規制も考慮すると追加的な処理が必要となる。この場合の前処理としては、凝集処理やオゾン処理が考えられる。

また、農薬等の微量有機化学物質への対応として、オゾン酸化・粒状活性炭ろ過、粒状活性炭ろ過なども有効である。

塩素処理は、細菌類やウイルスなど病原微生物を不活性化し、残留塩素により消毒効果を維持するという点で有効な手段である。前処理がなく、ろ過が処理の最終段階である場合、注入率は比較的少なく（普通 0.5mg/L でまれに 1.0mg/L を超える）抑えることができる。緩速ろ過により病原微生物が除去できたとしても、塩素消毒は水道水の安全確保のための防御となる。

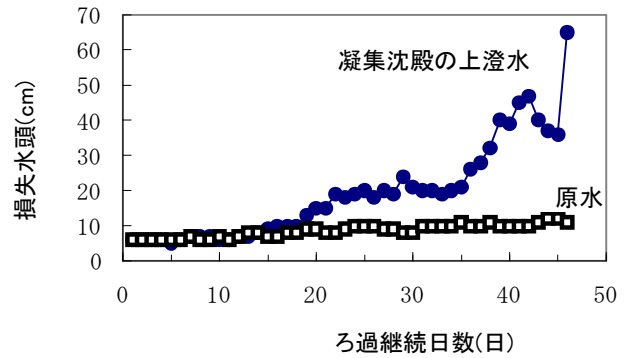
○ 前処理施設の例

対象物質	前処理施設
濁度	普通沈殿池 凝集剤注入（高濁度時のみ）－普通沈殿池 粗ろ過 凝集沈殿池 凝集沈殿 - 急速ろ過 河岸浸透ろ過
植物プランクトン（原水）	マイクロストレーナー
植物プランクトン（ろ過池水）	結合塩素消毒
溶存酸素 BOD アンモニア態窒素 TOC 微量有機化学物質	エアレーション 凝集沈殿池 前塩素注入 オゾン酸化 オゾン酸化－粒状活性炭ろ過、粒状活性炭ろ過
カルシウム	硬度低減化（ソフトニング）
水質変動緩和	原水貯水池
水質事故対応（油臭等）	粉末活性炭注入（一時的）

—凝集沈殿の上澄水を緩速ろ過池に流入させた場合の損失水頭の上昇—

—名古屋市の事例（参考資料7より）—

凝集沈殿の上澄水は、濁度が低くても損失水頭を上昇させ易い。



原水濁度 平均 3.0 度
 凝集沈殿上澄水濁度 平均 1.0 度
 ろ過速度 1.25-2.08 m/hr