

衛生工学 上水道

3. 浄水施設

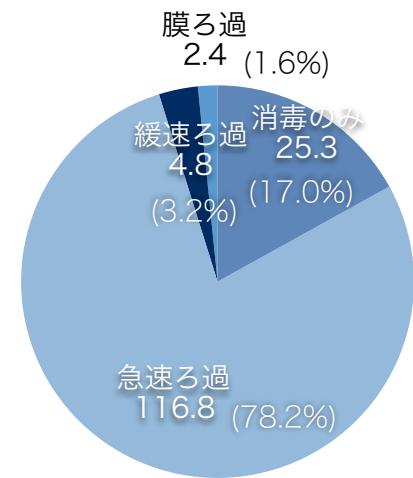


名古屋大学減災連携研究センター
Disaster Mitigation Research Center, NAGOYA UNIVERSITY

浄水処理プロセス

浄水の基本的な要件

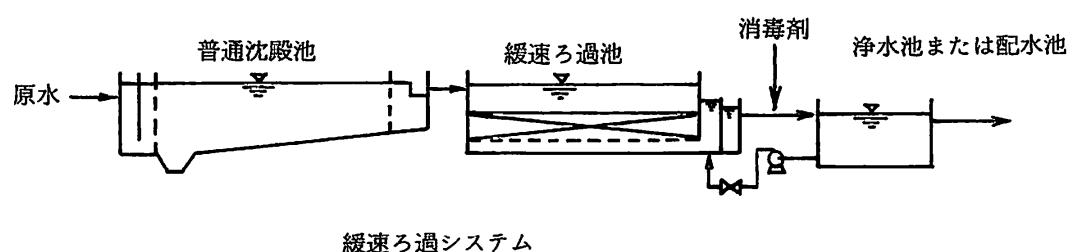
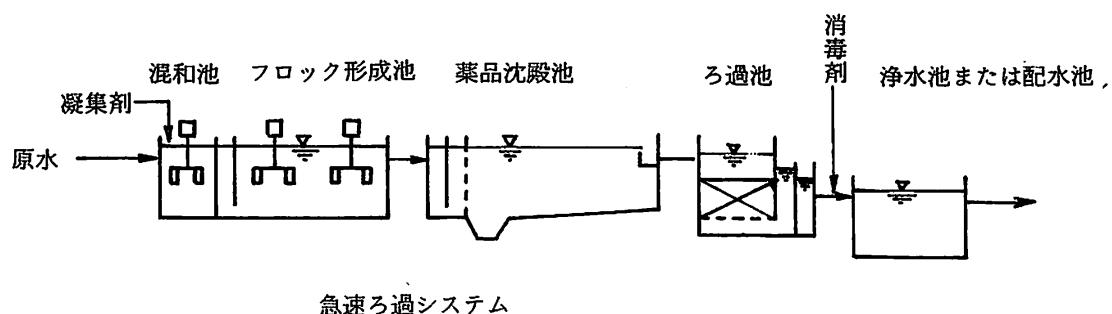
- 濁質の除去
- 消毒
- 浄水処理プロセスには,
 - ✓ 緩速ろ過システム
 - ✓ 急速ろ過システム
 - ✓ 膜ろ過システム
 - ✓ 消毒のみ（濁質の除去が必要でない地下水や湧水）



浄水方法別凈水量
149.3億m³/年

水道協会雑誌, 85(8), 2016

緩速ろ過と急速ろ過



住友恒ら, 環境工学, 1998

緩速ろ過と急速ろ過

	緩速ろ過	急速ろ過
ろ材有効径	0.3~0.45mm	0.45~0.70mm
均等係数	2.0~2.5	1.7以下
砂層厚	70~90cm	60~70cm
ろ過速度	4~5m/日	100~150m/日
再生（ろ層の閉塞に伴う）	表面（生物膜の存在する厚さ1~2cmの部分）をかきとりを1~2ヶ月に1回行う。30回以上のかきとりが砂の補充なしに行えるように砂層厚が決められている。かきとり後、生物膜形成までの間、浄化能力はない	逆流洗浄を0.5~1日に1回行う。数分間ろ層の下から浄水を逆流させて砂層を流動させて洗浄する
浄化機構	ろ層表面付近に生育した生物膜による吸着、生物化学作用が中心。	凝集沈殿後の残留ブロックのろ材への接着、凝集、全層でのろ過が行われる。必ず凝集沈殿と組み合わせで行う。
問題点	好気性生物膜が形成しえないような汚濁した原水には無力。広い面積と人手を要する。	濁質には大きな除去能力を有するが、それ以外のものには不十分。

鍋屋上野浄水場（名古屋市上下水道局）



凝集沈殿法

－ 凝集

- － 水中に含まれる微細なコロイド粒子が不安定化され、集塊し、より大きな粒子となること。

－ 凝折

- － 分散しているコロイド粒子が凝集して大きな粒子となり沈殿する現象。

－ フロック形成

- － (機械) 揚拌などで生じた乱流変動により強力な衝突合一の機会が与えられ、重力沈降可能な集塊粒子が形成されること。

攪拌 – G値, GT値

- － 流水中の速度勾配は局所的に異なるが、巨視的にみてその平均値をとる。

$$G = \frac{dv}{dy} \quad [\text{sec}^{-1}]$$

- － G値は攪拌の強さを示す値であり、
 - ✓ 小さいと凝集効果が望めない
 - ✓ 大きいと形成されたフロックを破壊してしまう
- － 適応域は、

$$G = 10 \sim 75 [\text{sec}^{-1}]$$

$$GT = 23,000 \sim 210000 [-]$$

T : 混和池滞留時間

凝集剤と凝集補助剤

－ 凝集剤

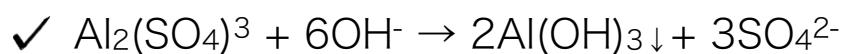
- ✓ 水中の微細なコロイド粒子の荷電を中和し、双方を橋渡しする作用をもつ薬品。水中で容易に加水分解を起こし、正電荷の金属水酸化物のコロイドを生じて、濁質コロイドの荷電を中和する金属塩類。
- ✓ 硫酸アルミニウム ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) , ポリ塩化アルミニウム ($(\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n})_m$)

－ 凝集補助剤

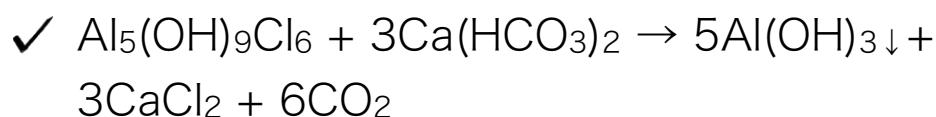
- ✓ 凝集剤の性能を発揮させる作用、あるいは、凝集剤の効果を高め、さらにその節約をはかる作用を持つ薬品
- ✓ 消石灰、水酸化ナトリウム、ソーダ灰（無水炭酸ナトリウム）

凝集剤

－ 硫酸アルミニウム（硫酸バンド） $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

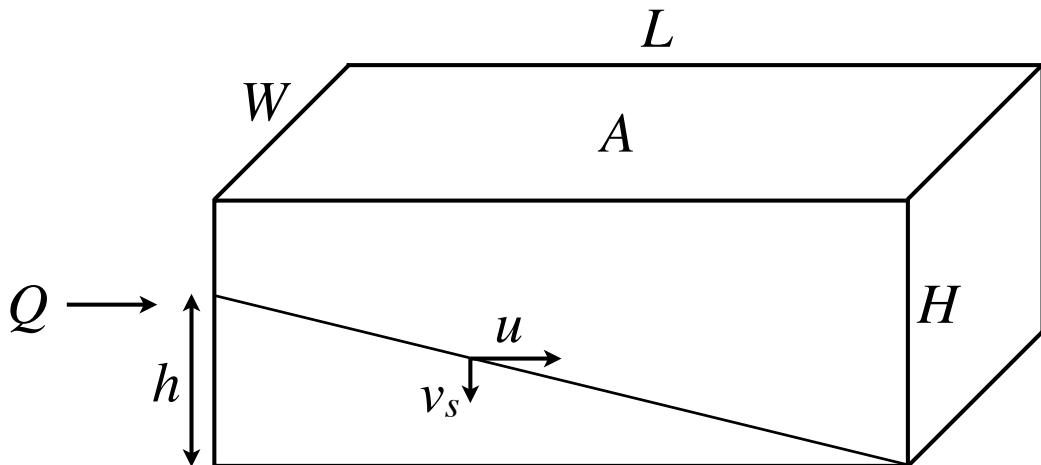


－ ポリ塩化アルミニウム（PAC） $(\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n})_m$



理想沈殿池

- 原水中の懸濁粒子は水流方向に直角な断面積に均等に分布している。
- 池内には渦流れ、偏流、密度流はない。
- 水平速度は池内どこでも一様である。
- 粒子は非凝集性で、一定流束を有する。
- 一度堆積した粒子は再浮上、移動はしない。



単粒子沈降 (ストークスの式)

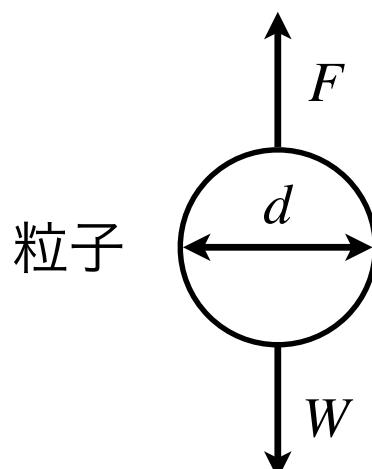
- 代表粒径 d , 質量 m , 粒子の密度 ρ_s , 粒子の体積 V , 粒子の投影面積 A , 粒子の沈降速度 v_s , 液体の密度 ρ , 抵抗係数 C_D , 重力と浮力の差 W , 粘性係数 μ , レイノルズ数 R_e

$$m \frac{dv_s}{dt} = W - F$$

$$F = C_D A \frac{\rho v_s^2}{2}$$

$$W = (\rho_s - \rho) V g$$

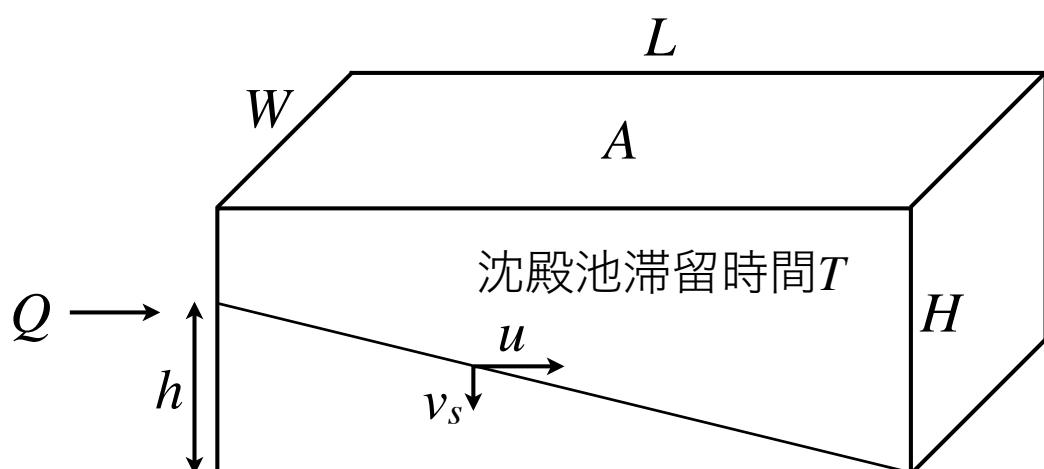
$$v_s = \frac{(\rho_s - \rho) g d^2}{18 \mu}$$



レイノルズ数 R_e

- 流体の粘性力と慣性力の比
 - 層流と乱流の区別の目安として用いられる無次元数
- $$R_e = \frac{\rho lv}{\mu} = \frac{lv}{v} = \frac{\rho v_s d}{\mu}$$
- $R_e < 2000$ のとき層流
 - $R_e > 4000$ のとき乱流
 - $2000 < R_e < 4000$ のとき層流とも乱流ともなる過渡度状態で、層流から乱流に変化する値を限界レイノルズ数

理想沈殿池



表面負荷率 : Q/A

除去率 $E = 1 - p_0 + \frac{1}{Q/A} \int_0^{p_0} v \cdot dp$

ろ過

- 砂などのろ材によって構成される一定の厚さのろ層に水を通すことによって、水中の濁質などの不純物を取り除くこと。
- 凝集：水中に含まれる微細なコロイド粒子が不安定化され、集塊し、より大きな粒子となること。
- 凝折：分散しているコロイド粒子が凝集して大きな粒子となり沈殿する現象

ろ層



緩速ろ過

- 長時間の単純沈殿で粗い懸濁物を沈殿させた後, 4~5m/日のゆっくりしたろ過で砂ろ過し, 残余微小成分を除去する。砂ろ過の経過につれて, 抑留物の蓄積が砂層上面に生じ, 生物層ができる。この生物層に不純物が抑止, 補足され, **生物反応による有機物の分解**も行われる。
- 凈化作用はろ層表面による浮遊物, 有機物, 細菌群の除去。

緩速ろ過のメリット・デメリット

— 長所

- 細菌除去に優れている。
- アンモニア性窒素の硝化効率が高い。
- 鉄, マンガンのある程度の除去が期待できる。
- 有機物の除去。
- 地価が安価で, 原水が比較的清浄なら経済的。

— 短所

- 濁質濃度の高い水には不適。
- ろ過面積が大 (急速ろ過の20~30倍) 。
- 砂層の削り取り, 補砂の機械化困難。
- ろ過初期は生物層が生成していないので, 能力低下。

急速ろ過

- 原水中の浮遊物を薬品凝集沈殿の過程を経て、フロックにし、このフロックを100~150m/日のろ速でろ過し、砂層表面及び砂層全体で機械的に阻止抑留する。
- 凈化作用は砂層によるふるい作用が主体。

急速ろ過のメリット・デメリット

— 長所

- ろ過面積小。
- 濁質粒子はほとんど完全に除去される。
- ろ過層の削り取りや補砂等の作業の機械化が可能

— 短所

- 1日に1~2回の逆洗が必要。
- アンモニア性窒素のような溶解性物質はほとんど除去されない。
- 前処理として凝集沈殿が必要。
- 生物膜の生成は期待できず、細菌除去は十分でない。
- ろ層内に泥球が生成する。

ろ過係数

- ろ過による砂層深さ方向の水質変化は岩崎の式

$$\frac{dC}{dZ} = -\lambda C$$

- C は濁質濃度, Z は流下方向砂層深さ, λ はろ過係数, で表される。
 - 濁質除去速度を決める係数で, 濁質のろ層への抑留により場所的・時間的に変わる。
 - ろ材の均等係数が大きいか, 細粒のときは, ろ過係数が高くなり, 表面ろ過となる。均等係数小で粒径大のときは, ろ過係数が低くなり, 内部ろ過となる。

ろ過の損失水頭

る材のみによる損失水頭

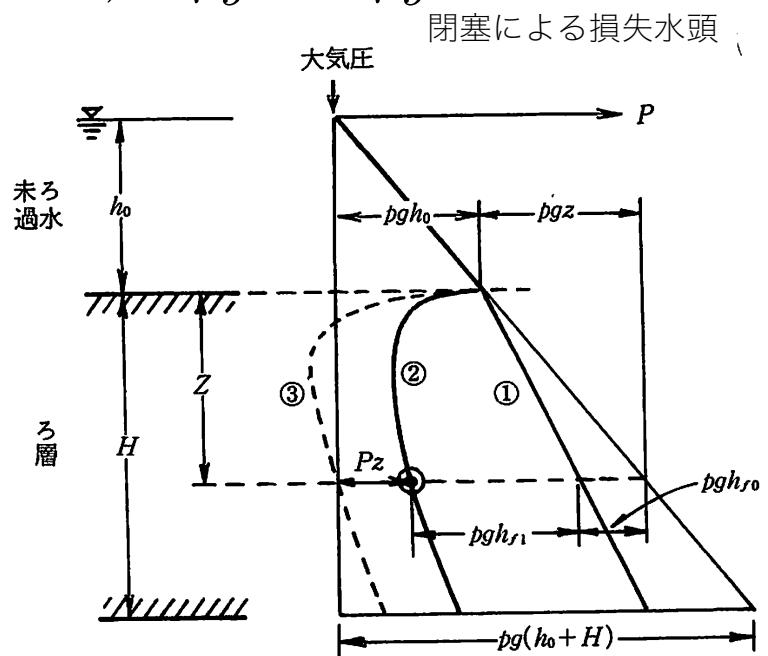
$$P_z = \rho g (h_0 + z) - \rho g h_{f0} - \rho g h_{f1}$$

①ろ過開始前の水圧分布

②ろ過を開始してある時間経過したときの水圧分布

一定の損失水頭値に達すると、ろ過を中止して逆流洗浄を行う必要がある。

③局所的に負圧が発生



ろ過時の現象

— Air-binding

- ✓ 急速ろ過池のろ層内に負圧が発生したり、流入原水の温度がその接触するろ材や池壁などよりも低温の場合に、水中の溶存空気が遊離してろ層内に集積する現象。水質が悪化する。

— 泥球

- ✓ ろ過と洗浄を繰り返すことによって汚泥状物質が肥大成長して、ついには砂層の底部に体積する。この汚泥状物質の塊。

— Break-through現象

- ✓ 過度の負圧化のろ過のため、ろ層深部へフロックが侵入する現象。