

氏名	今野弘
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和55年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻
学位論文題目	急速砂ろ過の抑留機構に関する研究
指導教官	東北大学教授 佐藤 敦久
論文審査委員	東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 岩崎 敏夫 東北大学教授 松本順一郎 東北大学教授 首藤 伸夫

論文内容要旨

水処理システムの主要なプロセスの1つである砂ろ過法のうち、急速砂ろ過法は、近年の取水源原水の水質汚濁や水需要の急増などの状況によくマッチするためほとんどの浄水場において採用されている。その抑留機構に関する研究は従来から行なわれており、卓越的な作用や多くの操作因子が指摘されているにもかかわらず、急速砂ろ過池の合理的設計法は未だ確立されていない。これは、抑留機構が十分に解明されていないことと多くの操作因子とろ過の効率との間の定量化が行なわれていないということに起因している。

このような観点から、本研究は、急速砂ろ過の多くの影響因子とろ過効率との関係を実験的に把握し、さらに、その結果に基づいて急速砂ろ過の抑留機構を界面電氣的に解明することを目的にして、理論的および実験的に検討したものである。論文は全篇6章より構成されている。

第1章 総論

本章では本研究の目的と概要を述べた。

第2章 急速砂ろ過法に関する既往の研究と問題点の整理

本章では、まずろ過池の流量調節や急速砂ろ過の影響因子に関する既往の研究を整理し、ついで抑留機構を懸濁粒子の輸送過程と付着過程とに分けて既往文献をまとめた。その結果、検討課

題として

- (1) ろ過装置の流量調節機能を明確に把握すること。
 - (2) 各因子とろ過効率の関係を明らかにすること。特に因子としては、懸濁粒子の性質や原水の pH などにも着目すべきであること。
 - (3) 複雑なるろ過現象を少しでも単純化して解析するため球形のろ材や懸濁粒子を用いること。
 - (4) 多くの因子の中から卓越的なものを見出すことにより抑留機構を仮定し、モデルを設定して理論的に解析すること。
- などを指摘した。

第 3 章 自然平衡型ろ過と粒子性状に関する研究

本章では、ろ過制御法として自然平衡型ろ過を取り上げて検討するとともに、ろ材の形状係数を損失水頭の式から求めてろ層内における懸濁粒子の抑留パターンを論じ、さらに懸濁粒子の粒径の簡便な測定法を比較検討した。まず、自然平衡型ろ過の理論的解析結果は実験的現象とよく一致した。これによりろ過池内の水の流下特性が掌握でき、またこの解析結果は他方面に応用され得ることを指摘した。一方、ろ材層に抑留が生じた後の形状係数の推算結果から抑留形態として多孔板モデルや円盤モデルを提案した。これらのモデルを実験的に検討した結果、円盤モデルはろ層頂部、多孔板モデルはろ層の中、下層部にそれぞれ適用可能であることが確かめられた。

また、懸濁粒子の粒径測定法の中で直接的な方法の一つである光学顕微鏡とほぼ同一の結果を示し、再現性が良く、しかも簡単な方法はピペット法であることを明らかにした。

第 4 章 急速ろ過の効率に影響を与える因子についての研究

本章では、ろ過の操作条件としてろ速、ろ材の条件としてろ材径と空隙率、懸濁粒子の条件として粒径とζ-電位、そして原水の条件として pH をとり上げ、それらの因子とろ過効率との関係を実験的に検討し、ろ過機構について考察した。本章においては、急速ろ過のろ過効率を示す一つの指標として初期ろ過係数を用いている。初期ろ過係数とろ速、ろ材径および懸濁粒子径の関係は実験的に次のように求められた。

$$\lambda_0 = \frac{2.6}{d_f^{1.32} V^{0.78}}$$

$$\lambda_0 = 1.84 \times 10^{-3} d_s^{1.30}$$

λ_0 : 初期ろ過係数 (1/cm)

d_f : ろ材径 (mm, $0.46 \text{ mm} \leq d_f \leq 0.92 \text{ mm}$)

V : ろ速 (m/d, $150 \text{ m/d} \leq V \leq 270 \text{ m/d}$)

d_s : 懸濁粒子径 (μm , $2.2 \mu\text{m} \leq d_s \leq 12.1 \mu\text{m}$)

ろ過効率が良いということは、ろ材によって懸濁粒子が除去されやすいということの意味し、

また初期ろ過係数が大きいということに他ならない。したがって、ろ速が遅く、ろ材径が小さいほど、また懸濁粒子径が大きいほどろ過効率が良いことになり、しかもろ過効率をそれらの因子で定量化できた。なお、40～50%の範囲におけるろ層空隙率はろ過効率を左右する因子と考えなくてもよいことおよび凝集剤を加えていない未ろ水のろ過の卓越機構はストレージン作用で機械的に抑止されることが確かめられた。一方、懸濁粒子の ζ -電位は他の因子と比較して最も敏感にろ過効率に影響を与え、 ζ -電位の絶対値が小さいほど初期ろ過係数は大きくなる。また原水のpHの条件は粒子の ζ -電位という因子に帰着できることが明らかになった。したがって、急速ろ過における初期のろ過現象はまず第一に ζ -電位の変化との関係で論じることが妥当であると強調した。

第5章 急速ろ過における付着過程の界面動電的研究

本章では、第4章で得られた知見に基づいて、急速ろ過にヘテロ凝集理論を導入し、抑留機構について解析した。その結果、まずろ材と懸濁粒子間に凝集作用が働く粒子間距離は原水のイオン強度に大きく依存し、水処理で扱うような水質においては40～400Å程度と推算できた。また、凝集するための臨界 ζ -電位を理論的に求め、それを支配するものはイオン強度と粒子表面に形成されるStern-Gouy層境界面からせん断面までの距離であることを明らかにした。さらに、ろ材と懸濁粒子が凝集する条件を支配する因子を無次元化して整理することによって界面電氣的指標 θ を提示し、これとろ過効率を関連づけた。この θ はろ過効率を推定する上で重要なパラメータとなることが実験的に確かめられ、 $\theta > 0.9$ においては理論値は実験的現象を説明できた。

一方、 θ を用いることにより抑留機構を二分することができ、 $\theta < 0.9$ （分散域）では機械的抑止により懸濁粒子が除去されるのに対し、 $\theta > 0.9$ （凝集域）ではろ材と懸濁粒子の凝集現象により除去が行なわれていることを指摘した。次に、このような知見に基づき、凝集域におけるろ過条件でのろ層内の懸濁物濃度分布を理論的に求めた。その結果、まず懸濁物濃度はある深さで一定値に収束することが明らかになった。したがって、あるろ層深さで収束値に達していればろ水の濃度はその収束値に支配されることになる。この収束値を支配するものは、原水中の懸濁粒子の ζ -電位分布の標準偏差、ろ材と懸濁粒子の平均 ζ -電位比および界面電氣的指標 θ であること、また収束値に至るまでのろ層深さ方向の濃度の変化率を支配するものは、ろ材と懸濁粒子の接触効率 η と付着効率 τ であり、 $\tau\eta$ が大きいほどろ層深さが浅い部分で収束値に達することなどを指摘した。これらを実験的に検討した結果、 $\tau\eta$ を0.006から0.015程度の値と仮定すれば理論値は実験的現象を追従しうることが明らかになった。この $\tau\eta$ の違いにはろ材径やろ速などの物理的因子も一因となっていることを合わせて指摘した。

第6章 結論

以上、本研究で得られた結果を総括すると、高いろ過効率を得るためには θ が大きくなるようにその系を調整すれば良いことが明らかになった。一般に、凝集剤の添加量が多く、またろ材や

懸濁粒子の ζ -電位の絶対値が小さければ θ の値は大きくなる。しかし、ろ過池において制御できるものはろ材径やろ速などであるので θ をろ過過程で調整することは困難である。それに対し、急速ろ過の前処理過程である凝集沈殿においては θ を直接操作できる。マイクロブロック法はこの θ が大きい系をろ過池に設定したことに他ならないと考えることができる。

なお、本章には今後の検討課題もまとめて示した。

審査結果の要旨

急速砂ろ過法は、水処理システムの中で固液分離操作の仕上げ工程として広く用いられている。急速砂ろ過による懸濁粒子の除去機構は、一般に懸濁粒子がろ材粒子表面まで輸送される輸送過程と、輸送された懸濁粒子がろ材粒子に付着する付着過程とに分けて考えられ、従来の研究で各々の過程の卓越因子が明らかにされつつある。しかし、未だ解明されていない部分も多い。著者は、ろ材や懸濁粒子が有している種々の特性を明らかにしながら急速ろ過に影響を与える多くの因子とろ過の効率との関係を検討し、さらにろ過機構を界面電氣的に解明しようとしたもので、全篇6章よりなる。

第1章は総論であり、研究の目的と概要について述べている。

第2章では、急速砂ろ過の機構に関する既往の文献を調査し、現在解明すべきいくつかの問題点を指摘している。

第3章は、ろ過制御法としての自然平衡型ろ過およびろ材粒子と懸濁粒子の幾何学的性状について考察したものである。まず、自然平衡型ろ過の理論的解析によって得られた理論式は現象を追従することを確認している。また、粒子径の測定方法としてはピペット法が簡便で正確であるという点や、測定の前処理としての分散方法は機械的攪拌が有効であるという点などの知見を得ている。さらにろ材による懸濁粒子の抑留形態をろ材の形状係数の変化から論じて多孔板モデルや円盤モデルを提示し、円盤モデルはろ層の頂部、多孔板モデルはろ層の中、下層部に適用できることを示している。

第4章では、急速ろ過の効率に影響を与える因子とろ過効率との関係について論じている。因子としてはろ速、ろ材径、ろ層空隙率、懸濁粒子の粒径と ζ -電位および原水のpHをとり上げ、ろ速が遅く、ろ材径が小さいほど、また懸濁粒子の粒径が大きく、 ζ -電位の絶対値が小さいほどろ過の効率が良いことを示している。さらにこれら因子のうち、 ζ -電位はろ過効率に最も敏感に影響し、また原水のpHはアルミニウムの重合状態を左右して粒子の ζ -電位を変化させるので、結局ろ過初期のろ過現象は粒子の ζ -電位との関係で説明できることを指摘している。

第5章では、急速砂ろ過の現象にヘテロ凝集理論を適用してろ過機構を解析している。すなわち懸濁粒子とろ材が凝集する条件を示し、凝集条件を支配する多くの変数を統一して1つの無次元界面電氣的指標 θ を提示している。この θ を用いることにより急速ろ過の機構を二分することができ、 $\theta > 0.9$ の領域ではろ材との凝集作用によって懸濁粒子が除去されるのに対し、 $\theta < 0.9$ の領域では機械的抑止によることを示している。これは重要な知見である。また各領域におけるろ過効率を θ およびろ材径、ろ速などの物理的変数によって定量的に評価している。さらに各ろ層深さにおける懸濁粒子濃度を理論的に定量化している。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は急速砂ろ過の抑留機構について理論的、実験的に検討し、いくつかの興味ある知見を得たもので、衛生工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。