

9 7 1 4 塩化ナトリウムを利用した微粒子懸濁液の高速脱水法の開発

助成研究者：入谷 英司 (名古屋大学 大学院工学研究科)
 共同研究者：向井 康人 (名古屋大学 大学院工学研究科)
 曾 維平 (名古屋大学 大学院工学研究科)

近年、排水処理により発生する大量の汚泥の埋め立て地不足に関わる問題が顕在化してきており、操作の効率化と汚泥の減量化の両者の観点から、高い分離速度でかつ低含水率のケーキを得る固液分離法の開発が急務とされている。そこで本研究では、固液分離性能を改善する新規手法の提案を目的として、スラリーへの塩の添加の影響に着目し、塩化ナトリウムを用いて懸濁微粒子の荷電特性を変化させることにより、濾過脱水速度や生成ケーキの含水率の効果的な制御法を検討した。

本手法の開発を行うにあたり、まず基礎的知見を収集するため、微粒子として金属酸化物の一種であるルチル型の二酸化チタンを取り上げ、その懸濁液の精密濾過を行い、形成される濾過ケーキの特性に及ぼすpHや塩の添加の影響について詳細に検討した。濾過ケーキの平均濾過比抵抗 α_{av} と平均空隙率 ε_{av} を種々のpHに対してプロットしたところ、非常に興味深い結果が得られた。すなわち、 α_{av} は等電点(pH 8.1)付近で極小値をもつ曲線となり、 ε_{av} は等電点付近で極大値をもつ曲線となった。これは次のように説明することができる。等電点では粒子間に静電的反発力が働かないため、ファンデルワールス力により粒子は凝集する。一般に凝集粒子は空隙の大きな緩い構造となるため、こうした凝集粒子から形成される濾過ケーキの空隙率は大きく、ケーキ内を流れる液の抵抗は小さくなる。また、塩化ナトリウムを添加することにより、 ε_{av} は増大し、 α_{av} は減少することもわかった。これは、粒子表面の電気二重層が圧縮され、荷電の遮蔽効果により粒子が凝集しやすくなるためである。

以上のように、高い濾過脱水速度(小さな濾過比抵抗)でなおかつ低含水率のケーキ(小さな空隙率)の両者を同時に満足することは極めて困難である。そこで、高い濾過速度が得られる条件下(塩化ナトリウム濃度 $c_s = 200\text{mol/m}^3$, pH 10.5)でルチル懸濁液の定圧濾過を行い、得られた濾過ケーキに凝集体が崩壊すると思われる条件下の液(塩化ナトリウムを添加しないpH 10.5の溶液)を透過させる手法を試みた。その結果、濾過過程では凝集ブロックからなる空隙率の大きな濾過ケーキが形成されたが、濾過終了後、ケーキに液を透過させることにより、空隙率が著しく減少することが明らかとなり、本法の有効性が示唆された。しかも、全操作時間を考慮したところ、透過を行わない場合と比べ透過を行う本法の方が、透過時間を加味しても、より短時間で低含水率のケーキが形成されており、本法が高速脱水法としてかなり有用であることが明らかとなった。

この方法では、それほど強固でない凝集体をまず生成させることが重要であり、従来要求されてきた強固な凝集ブロックの形成が必ずしも有利とはならないことを示している点で興味深い。圧搾操作においても、濾過操作の場合と同様に高速で低含水率ケーキが作製できるものと考えられ、本手法は極めて応用範囲が広い。

9714 塩化ナトリウムを利用した微粒子懸濁液の高速脱水法の開発

助成研究者：入谷 英司 (名古屋大学 大学院工学研究科)
共同研究者：向井 康人 (名古屋大学 大学院工学研究科)
曾 維平 (名古屋大学 大学院工学研究科)

1. 研究目的

微粒子懸濁液の固液分離は、各種化学工業において、生産プロセスから排水処理プロセスに至るまで広く行われており、さらにはバイオテクノロジー、新素材産業、半導体産業から環境保全、資源の有効利用に至るまで、適用分野が広範に亘っている。最近では排水処理により発生する大量の汚泥の埋め立て地不足に関わる問題が顕在化してきており、さらに高度な固液分離法の開発が急務とされている。微粒子懸濁液については高分子凝集剤を添加して粗大フロックを形成させ分離速度を高めている。しかし、廃棄汚泥から環境負荷の大きな凝集剤の除去が困難なことはもとより、フロック内の水分は除去しにくいと、ケーキの最終含水率は凝集剤を加えない場合よりも大きくなる。したがって、操作の効率化と汚泥の減量化の両者の観点から、高い分離速度でかつ低含水率のケーキを得る手法の開発が現在強く望まれている。

本手法の開発に先立ち、微粒子の挙動やそれを含む懸濁液の濾過特性など基礎的な情報を得ることが肝要となる。そこで、微粒子として金属酸化物の一種であるルチル型の二酸化チタンを取り上げ、二酸化チタン懸濁液の精密濾過を行い、形成される濾過ケーキの特性について詳細な検討を行った。濾過ケーキの特性を決定する重要な因子は懸濁微粒子間の相互作用であり、その主要なものは、粒子間に働くロンドン・ファンデルワールス引力と粒子の表面電荷に起因する静電的相互作用である。ロンドン・ファンデルワールス引力は与えられた系において一定であるが、一般に等電点をもつ金属酸化物微粒子は、pH の変化によって粒子の荷電の符号や荷電量が複雑に変化することから、粒子間の静電的相互作用は pH や塩濃度などの溶液環境に大きく左右される。したがって、金属酸化物微粒子懸濁液の精密濾過特性は、試料の物理化学的な特性である溶液環境の影響を大きく受けることとなる。こうした濾過特性に及ぼす溶液環境の影響については最近特にその重要性が認識され始めており、多くの研究が行われつつある¹⁻¹⁰⁾。

次に、固液分離性能を改善する新規手法の提案を目的として、溶液環境の中でも特に塩の添加の影響に着目し、塩化ナトリウムを用いて微粒子の荷電特性を変化させることにより、ケーキの含水率の制御を行った。すなわち微粒子懸濁液の精密濾過において、塩化ナトリウムを添加して微粒子の表面電位 (ζ 電位) を低下させ、凝集体を形成させて濾過を行い高い分離速度を得る一方、ケーキに純水を透過させ再び微粒子の ζ 電位を高め、凝集フロックを

崩壊させてより低含水率のケーキを得ることを目的とした。本法の有効性を明らかにするとともに、分離機構を検討することにより最適操作法を究明した。

本研究は、環境負荷の低減化に繋がる新規手法の提案に留まらず、コロイド微粒子に及ぼす塩化ナトリウムの作用機構の解明をも目的としており、工学的かつ学術的価値は極めて高いと言っても過言ではない。

2. 研究方法

実験に用いた微粒子は、先に説明したように、金属氧化物であるルチル型の二酸化チタン（和光純薬(株)製）であり、等電点をもちpHによってそのζ電位が変化する。懸濁液のpHは0.1N塩酸または0.1N NaOH水溶液を添加して調整した。塩濃度の調整には、塩化ナトリウムを用いた。ルチル粒子のζ電位は顕微鏡電気泳動装置（三田村理研工業(株)製、モデル5-17）、粒度分布は高分解能サブミクロンレーザー粒度分布装置

（Compagnie Industrielle Des Lasers, Granulometer HR850）により測定した。濾過実験に使用するルチル懸濁液は、質量濃度が0.02となるように調整した。また、使用した分離膜は、ルチル粒子を完全に阻止することができる公称孔径 $0.05\mu\text{m}$ のセルロース混合エステル製の精密濾過膜（ミリポア(株)製, VMWP）である。

濾過実験装置の概略図をFig. 1に示した。濾過実験は、濾過面積 19.6cm^2 のバッチ式濾過器を用いてデッドエンド型で行った。窒素ガスを作用させることにより 196kPa の一定濾過圧力下でルチル懸濁液の精密濾過を行い、濾液量の経時変化を測定した。スラリーの全量を濾過し終わると濾過速度が急激に減少するので、その時点で濾過を終え、ケーキを取り出した。湿潤ケーキの質量 W_w と乾燥ケーキの質量 W_d を測定し、Eq. (1)により濾過ケーキの湿乾質量比 m を求めた。

$$m = W_w / W_d \quad (1)$$

また、低含水率ケーキを得るため、定圧濾過を行って濾過ケーキを形成させた後、濾過器に所定の溶液を入れ、同一圧力でその溶液をケーキ中に透過させた。

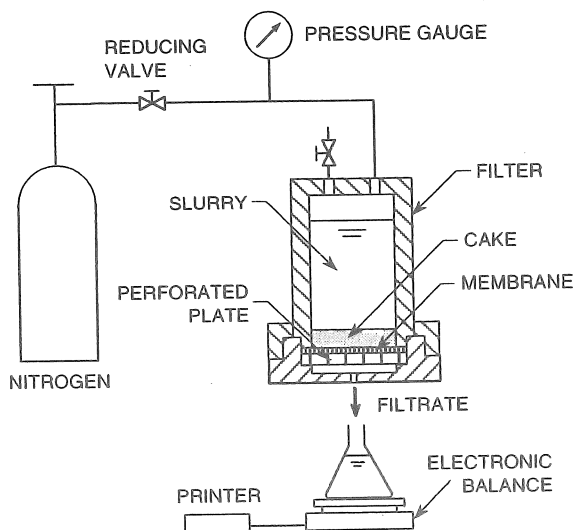


Fig. 1 Schematic diagram of dead-end filtration apparatus

3. 研究結果および考察

3.1 ルチル粒子の特性およびケーキ構造の評価法

微粒子は通常スラリー中で荷電を帯びている。たとえば、金属酸化物は等電点をもち、スラリーのpHに応じて種々の荷電状態をとる。これは、粒子表面上のヒドロキシル基が、粒子を取りまく溶液中の H^+ あるいは OH^- と反応を起こすためである¹²⁾。Fig. 2は、本研究で使用したルチルの ζ 電位をpHに対してプロットしたものであるが、その傾向をはっきりと示しているのがわかる。図から明らかなように、ルチルはpH 8.1で $\zeta = 0$ 、すなわち等電点をもち、このpHより酸性側で正、またアルカリ性側で負の電荷をもつ両性酸化物である。また、塩化ナトリウムを多量に加えることにより荷電状態が著しく変化し、●で示されるように ζ 電位はより0に近づく。

次に、ルチルの粒度分布をFig. 3に示した。この図は、頻度 f を粒径 d_p に対してプロットしたものである。 ζ 電位が比較的大きくなるpH 4.5では、粒子間に働く静電的反発力によりルチル粒子は分散した状態で存在し、その一次粒子径は $0.47\mu m$ である。一方、等電点近傍のpH 7.9ではルチル粒子がほとんど電荷をもたないため、ロンドン・ファンデルワールス引力により粒子同士が接近して凝集する。したがって、この場合の平均粒子径は $4.5\mu m$ となり、一次粒子径に比べてかなり大きくなる。Fig. 2の●に対応するpH 10.5で塩を加えた条件下でも同様に、 ζ 電位が小さいためルチル粒子は凝集し、粒子径がかなり大きくなる。

先に示した ζ 電位など、濾過対象となるコロイドの物理化学的特性は、その濾過特性に大きな影響を及ぼす。したがって、Figs. 2, 3からも予想されるように、ルチルの微粒子懸濁液の濾過特性は、その溶液環境の影響を大きく受ける。そこで種々の溶液環境下でルチル懸濁液の精密濾過を行い、濾過ケーキの平均濾過比抵抗 α_{av} と平均空隙率 ϵ_{av} を求め、3.2で

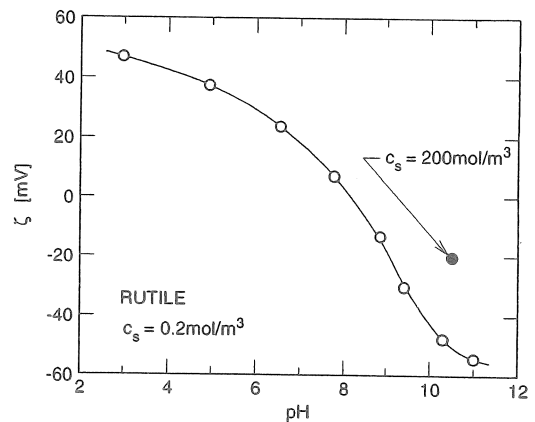


Fig. 2 Zeta potential for rutile as a function of pH

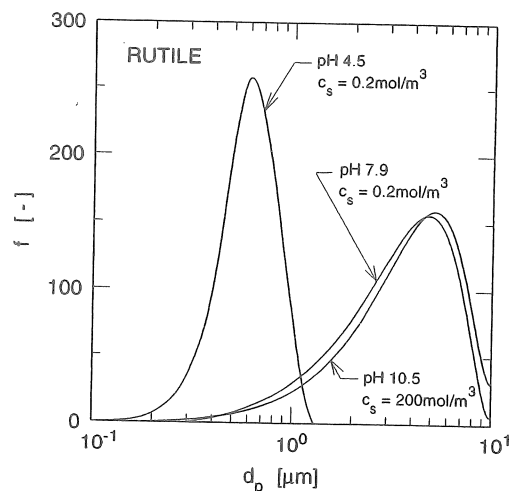


Fig. 3 Particle size distributions

議論する。以下はそれらの算出法である。

平均空隙率 ϵ_{av} は、濾過ケーキの湿乾質量比 m の値から Eq. (2) より求められる。

$$\epsilon_{av} = \frac{(m-1)\rho_s}{\rho + (m-1)\rho_s} \quad (2)$$

ここに、 ρ は濾液密度、 ρ_s は固体粒子の真密度である。平均濾過比抵抗 α_{av} を求める方法について述べるにあたり、濾過速度の逆数 $(d\theta/dv)$ 対 単位膜面積あたりの濾液量 v を、種々の pH について Fig. 4 にプロットした。濾過期間中における沈降の影響が無視できる pH 4.5、pH 5.9 の場合には、図に示されるように $(d\theta/dv)$ 対 v のプロットはほぼ直線となる。この直線関係は、次の Ruth 式^{13,14)}に従うものである。

$$\frac{d\theta}{dv} = \frac{\mu\alpha_{av}\rho s}{p(1+ms)}(v+v_m) \quad (3)$$

ここに、 θ は濾過時間、 μ は濾液粘度、 s はスラリー中の固体の質量分率、 p は濾過圧力、 v_m は膜抵抗に相当する v の値である。この場合、平均濾過比抵抗 α_{av} は、直線の傾きと m の値を用いて Eq. (3) に基づき計算することができる。一方、pH 7.9 では沈降の影響が著しく、 $(d\theta/dv)$ 対 v のプロットは直線関係を示さない。濾過と同時に沈降過程が進行するため、濾過ケーキの形成は比較的初期段階で終了し、その後は上澄み液がこの濾過ケーキ内を透過するため、結果的に透過速度はほぼ一定値を示すようになる。この $(d\theta/dv)$ 値を $(d\theta/dv)_p$ とすると、 α_{av} は Eq. (4) から求められる。

$$\alpha_{av} = \frac{p}{\mu w} \left\{ \left(\frac{d\theta}{dv} \right)_p - \left(\frac{d\theta}{dv} \right)_m \right\} \quad (4)$$

ここに、 w は単位膜面積あたりの全ケーキ固体質量、 $(d\theta/dv)_m$ は膜抵抗に相当する $(d\theta/dv)$ 値である。

3.2 濾過ケーキの特性に及ぼす溶液環境の影響

濾過ケーキの平均濾過比抵抗 α_{av} と平均空隙率 ϵ_{av} を種々の pH に対して測定し、Fig. 5 にプロットした。濾過比抵抗 α_{av} は濾過速度の大きさの指標となり、 α_{av} が小さいほど濾過速度が大きくなる。pH 8 付近で α_{av} は最も小さくなり、極小値をもつ曲線となる。すなわち、粒子が荷電

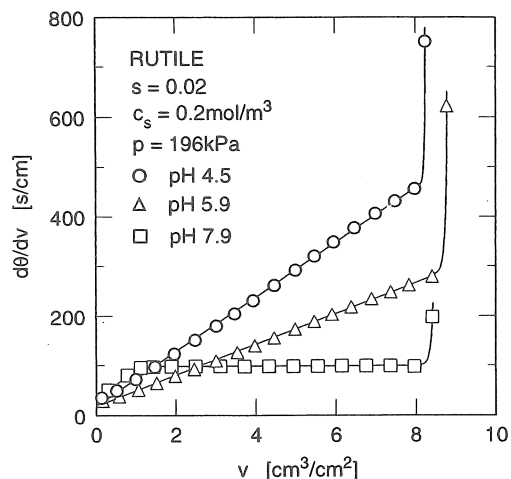


Fig. 4 Relation between reciprocal filtration rate and filtrate volume per unit membrane area

をもたない場合に濾過速度が最も大きくなる。一方、 ϵ_{av} が小さいほど生成ケーキの含水率は小さくなる。等電点付近で ϵ_{av} は極大値をもつ曲線となり、等電点より離れるにつれ ϵ_{av} は小さくなり低含水率のケーキが形成される。等電点付近では粒子間に静電的反発力が働かないので、ロンドン・ファンデルワールス引力により粒子は凝集する。Fig. 3 に示される粒度分布の測定結果からも、粗大な凝集体が形成されていることがわかる。ある粒子が他の粒子と接触して凝集すると、その粒子はその接触点に固定されるため、一般に凝集粒子は空隙の大きな緩い構造となる。したがって、こうした凝集粒子から形成される濾過ケーキも、凝集体を破壊するような大きな剪断力が加わらない限り、その空隙率は大きくなると考えられ、その結果ケーキ内を流れる液の抵抗は小さくなり、 α_{av} は小さくなる。

Fig. 6 に、ルチル粒子の面積平均径 d_s の変化がケーキの空隙率 ϵ_{av} に与える影響を示した。平均径の増大はフロックの形成に起因するものであり、フロックの空隙は非常に大きいため、これに伴い ϵ_{av} は増大する。しかし、平均径が $0.8\mu\text{m}$ 以上になると、 ϵ_{av} はほとんど変化しなくなる。

次に、 ϵ_{av} を ζ 電位の絶対値に対して Fig. 7 にプロットした。図より、 ζ 電位の絶対値が大きくなるほど、より低含水率のケーキが生成することがわかる。この図で特に注目すべき点は、プロットが ζ 電位の正負とは無関係に一本の曲線で表されるところである。一方、 α_{av} を ζ 電位の絶対値に対してプロットしたものが Fig. 8 である。 α_{av} についても同様にプロットは一本の曲線上に沿っており、 ζ 電位の正負には依存しないことがわかる。 ζ 電位の減少とともに ϵ_{av} は増大し、 α_{av} は減少

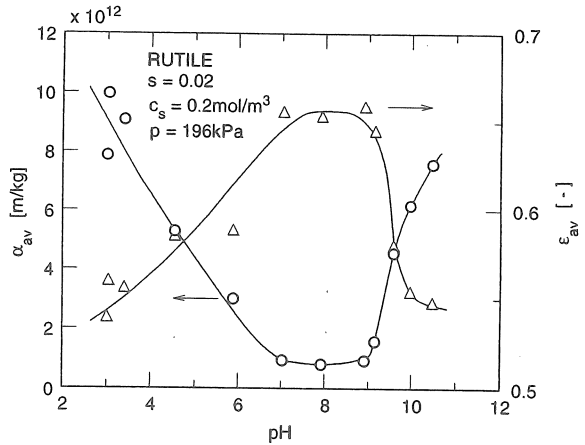


Fig. 5 Dependence of average specific filtration resistance and average porosity of filter cake on solution pH

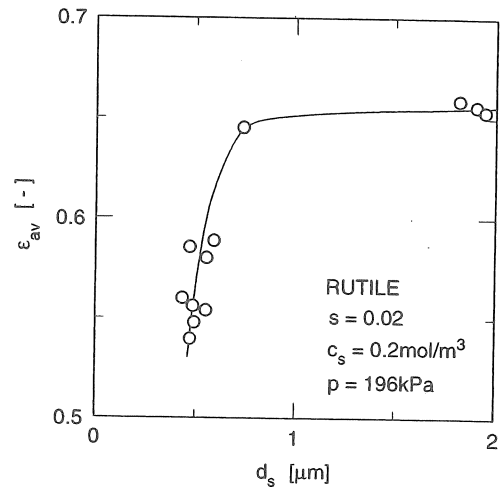


Fig. 6 Relation between average porosity of filter cake and mean specific surface area size of particles

する傾向を示すが、いずれもおおよそ20mV以下で一定値を示すようになる。これらの結果は先の説明、すなわち ζ 電位が小さくなると粒子間の静電的反発力の低下により空隙の大きな凝集体が形成され、結果として空隙率が大きく液の流動抵抗が小さなケーキが形成されるということ、定量的に裏づけるものである。

濾過ケーキの特性に及ぼす塩の添加の影響についても、Figs. 7, 8中に示した。

●は pH 10.5 で塩化ナトリウム濃度 200mol/m^3 における結果であり、同じ pH で低塩濃度の場合の Δ で示される結果と比較すると、平均空隙率は増大し、平均濾過比抵抗は減少することがわかる。この理由は次のように説明することができる。すなわち、塩の添加により粒子表面の電気二重層が圧縮されるため、荷電の遮蔽効果により ζ 電位が減少し、粒子が凝集しやすくなり、緩く液の流れやすいケーキ構造となる。非常に興味深いことに、Figs. 7, 8のいずれの●も低塩濃度の場合の一本の曲線上に位置しており、濾過の諸特性値が ζ 電位に関係づけられることを示唆している。

以上のように、濾過特性に及ぼす濾過対象物の諸特性の影響を考える場合に、物理化学的観点からのアプローチは極めて重要であり、微粒子の荷電量や ζ 電位を直接的に測定したり、それらの情報に基づき定量的な解析を行ったりするなどの努力が、現在多くの研究者により始められており、今後の展開が期待される¹⁵⁻¹⁸⁾。

3.3 塩化ナトリウムを利用した低含水率ケーキの作製法

微粒子懸濁液から、低含水率の脱水ケーキをできる限り短時間に得ることは、高度な固液分離の達成のために極めて重要な課題である。しかしながら、高い濾過脱水速度で、なおか

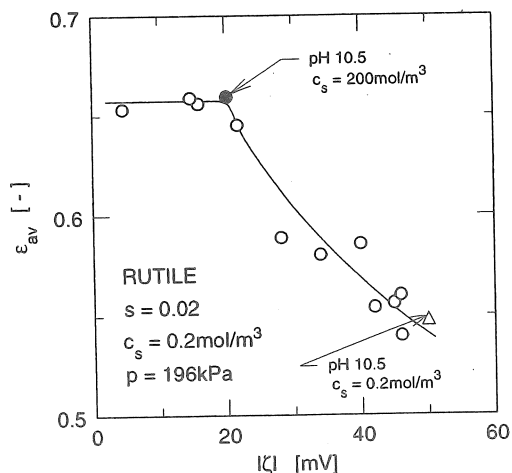


Fig. 7 Relation between average porosity of filter cake and absolute value of zeta potential

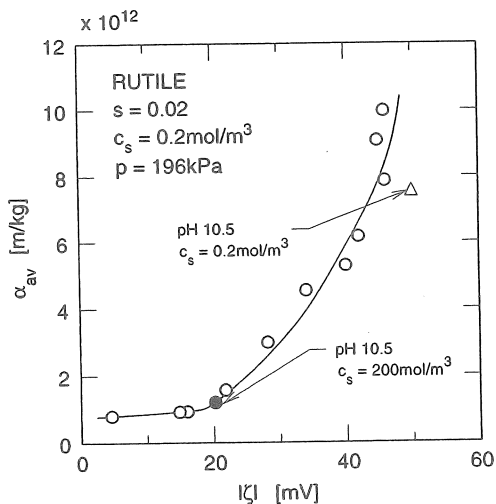


Fig. 8 Relation between average specific filtration resistance and absolute value of zeta potential

つ低含水率のケーキを得ることは、Fig. 5の結果から示唆されるように難しい。すなわち、等電点付近で濾過操作を行うと濾過速度は大きいが緻密な濾過ケーキは得られず、一方、等電点から離れると緻密なケーキは得られるが濾過速度は小さくなる。このように、いずれの場合にも濾過で要求される高い濾過速度と低含水率ケーキの両者を同時に満足することは不可能である。

濾過対象物の物理化学的特性を利用すると、高い濾過速度が得られる条件下で濾過を行い、なおかつ低含水率ケーキを得ることも可能となる。たとえば、高い濾過速度が得られる塩化ナトリウム ($c_s = 200\text{mol/m}^3$) を添加した pH 10.5 のルチル懸濁液の定圧濾過を行い、得られた濾過ケーキに塩化ナトリウムを添加しない pH 10.5 の溶液を透過させてみる。透過液量 v_p を種々に変化させて実験を行い、生成ケーキの空隙率 ε_{av} を v_p に対してプロットしたのが Fig. 9 の□である。比較のため、塩化ナトリウムを添加した pH 10.5 の溶液を透過した場合の結果も▽として図中に示した。 $v_p = 0$ におけるプロットは溶液を透過させない場合の結果であり、○が塩を添加したとき、△が塩を添加しないときの結果である。図より、塩を添加した溶液を透過させるとケーキの空隙率はほとんど変化しないのに対し、塩を添加しない溶液を透過させると空隙率が著しく減少することがわかる。また、透過初期の段階で空隙率は大きく減少し、わずかな溶液の透過によってケーキの空隙率を大きく減少できることがわかる。この現象の理解をより深めるため、この操作法におけるケーキの構造の変化について模式的に Fig. 10 に示し、以下に説明する。pH 10.5 では、ルチルは高い表面電荷をもつが、塩を添加することによって微粒子表面の電気二重層が圧縮されるため、 ζ 電位が低下し粒子は凝集する。したがって、この凝集粒子から構成される濾過ケーキの空隙率も大きくなり、高い濾過速度が得られる。次いで、このケーキに塩を添加しない溶液を透過させると、ケーキを構成する微粒子の ζ 電位が増大するので、ケーキを構成する凝集体が破壊し、緻密なケーキ構造となる。

Fig. 11 には、空隙率 ε_{av} と時間 θ_t の関係を示した。ここに、 θ_t は濾過時間と透過時間を合計した全操作時間である。○が本法の結果であり、△が透過を行わず、種々の pH で濾過を行った場合の結果である。濾過操作に引き続き透過を行い空隙率を減少させた方が、透過を行わない場合と比べ、透過時間を加味しても、より短時間で低含水率のケーキが形成されており、本法が高速脱水法としてかなり有用であることがわかる。

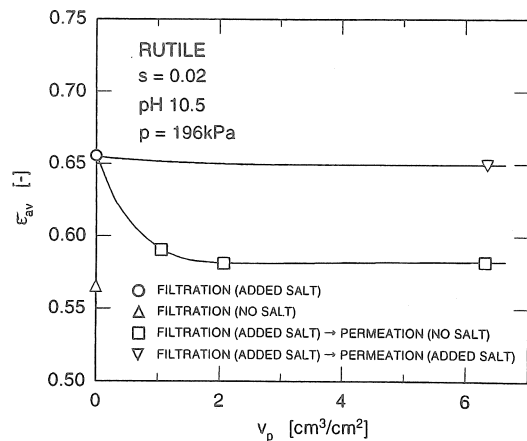


Fig. 9 Relation between average porosity of filter cake and permeate volume per unit membrane area

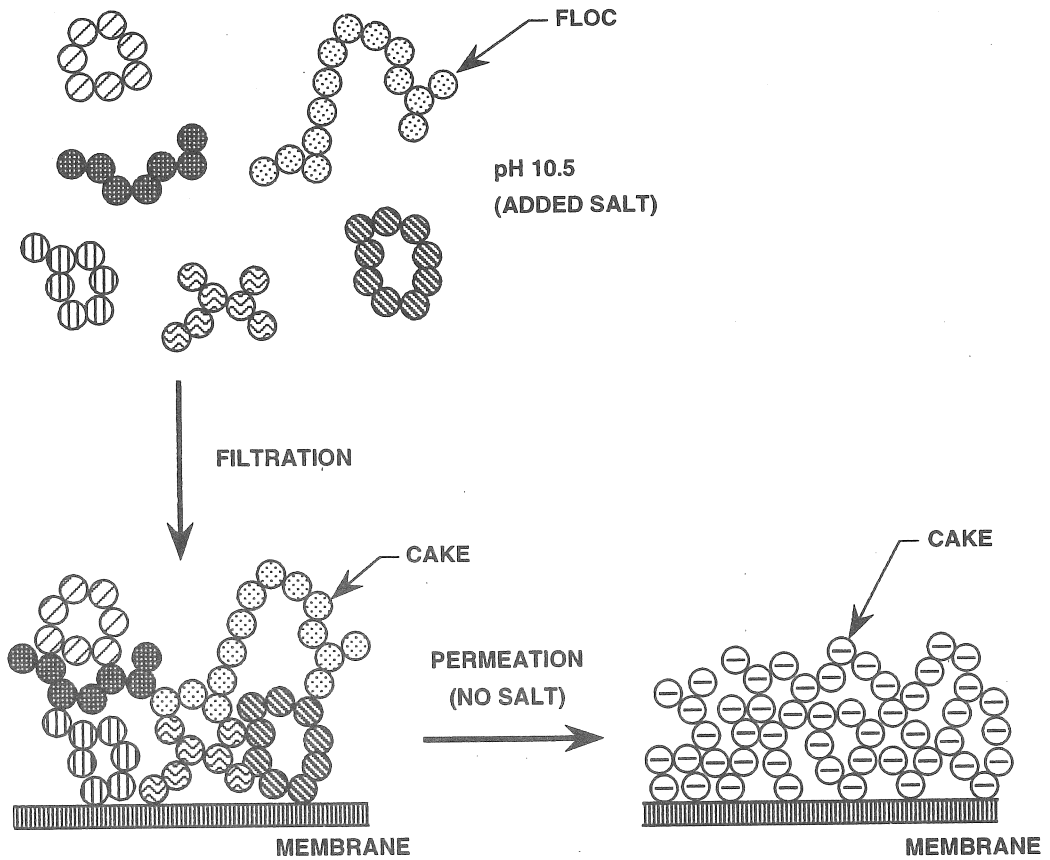


Fig. 10 Structure of filter cake in filtration and permeation process

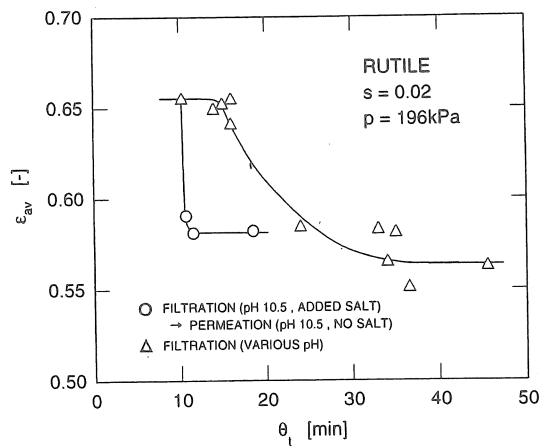


Fig. 11 Relation between average porosity of filter cake and total operating time

この方法では、それほど強固でない凝集体をまず生成させることが重要であり、従来要求されてきた強固な凝集フロックの形成が必ずしも有利とはならないことを示している点で興味深い。圧搾操作においても、濾過操作の場合と同様に、まず高速で圧搾できる条件下で圧縮ケーキを形成させ、さらに凝集体を破壊できる適切な溶液を透過させることによって、その圧縮ケーキの含水率をさらに低減させることができるものと考えられ、本手法は極めて応用範囲が広いといえよう。

4. 結論

本研究では、まず基礎的な知見を収集するため、金属酸化物微粒子懸濁液の精密濾過特性、特に濾過ケーキの構造に及ぼす溶液環境の影響について詳細に検討を行った。その結果、濾過特性を考える場合に、物理化学的な側面からのアプローチが極めて重要であることを明示し、特に粒子の荷電状態の指標となる ζ 電位は、微粒子懸濁液の濾過特性を合理的に説明する上で、極めて重要な役割を担っていることを明らかにした。

以上の知見に基づき、金属酸化物微粒子懸濁液の精密濾過特性が溶液環境の影響を大きく受けることを利用し、低含水率ケーキを短時間で得る方法を提案した。すなわち、塩化ナトリウムをスラリーに添加することにより濾過の高速化を促進し、塩化ナトリウムを添加しない液を生成ケーキに透過させることにより、ケーキの含水率の低減化を可能にした。

5. 今後の課題

本研究ではルチル型の二酸化チタンをモデル微粒子として使用したが、二酸化ケイ素やアルミナ等の他の金属酸化物からカオリン、ベントナイト等の粘土に至る各種の微粒子についても同様に、荷電特性や微粒子間の静電的相互作用に及ぼすpHや塩化ナトリウム添加の影響を明らかにし、本研究で提案した高速脱水法がいかなる排水の処理にも適用可能となるように基礎的な知見を蓄積することが必要である。さらに、実際の工業排水や生活排水を用いて精密濾過および透過実験を行い、塩化ナトリウムを利用した微粒子懸濁液の高速脱水法の有効性を明らかにし、排水の成分分析や微粒子の粒径および ζ 電位の測定結果と併せて、排水の性状に応じた最適操作条件を見い出すことが今後の課題となろう。

また、本研究では塩化ナトリウムについてのみ検討を行ったが、添加する塩の種類の影響、特に塩の価数の影響に着目し、最も効果的な塩の特性や濃度について明らかにすることが必要である。

塩を利用した高速脱水法の大きな特徴は、一旦フロックを形成させ、最終段階でそれを崩壊させるという点にある。そのため、本手法の有効性はフロックの強度に大きく依存しているといえる。そこで、今後フロックの強度やフロックの形成・崩壊のメカニズムを明らかにし、それらがケーキの空隙率の低減に及ぼす影響について検討したい。

6. 文献

- 1) Bacchin, P., P. Aimar and V. Sanchez; *AIChE J.*, **41**, pp.368-376 (1995)
- 2) Bacchin, P., P. Aimar and V. Sanchez; *J. Membrane Sci.*, **115**, pp.49-63 (1996)
- 3) Iritani, E., Y. Toyoda and T. Murase; *J. Chem. Eng. Japan*, **30**, pp.614-619 (1997)
- 4) Kawalec-Pietrenko, B. and R. Ruszel-Lichodziejewska; *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **35A**, pp.426-430 (1985)
- 5) McDonogh, R. M., C. J. D. Fell and A. G. Fane; *J. Membrane Sci.*, **21**, pp.285-294 (1984)
- 6) McDonogh, R. M., K. Welsch, A. G. Fane and C. J. D. Fell; *J. Membrane Sci.*, **72**, pp.197-204 (1992)
- 7) Schultz, J., E. Papirer and M. Nardin; *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, **22**, pp.102-105 (1983)
- 8) Tarleton, E. S. and R. J. Wakeman; *Trans. IChemE*, **72A**, pp.431-440 (1994)
- 9) Ueshima, K., H. Iizuka and K. Higashitani; *J. Chem. Eng. Japan*, **24**, pp.647-652 (1991)
- 10) Welsch, K., R. M. McDonogh, A. G. Fane and C. J. D. Fell; *J. Membrane Sci.*, **99**, pp.229-239 (1995)
- 11) Willmer, S. A., E. S. Tarleton and R. G. Holdich; *Proc. 7th World Filtration Congress*, Vol. I, pp.27-31 (1996)
- 12) Liddell, P. V. and D. V. Boger; *Ind. Eng. Chem. Res.*, **33**, pp.2437-2442 (1994)
- 13) Ruth, B. F.; *Ind. Eng. Chem.*, **27**, pp.708-723 (1935)
- 14) Ruth, B. F.; *Ind. Eng. Chem.*, **38**, pp.564-571 (1946)
- 15) Mukai, Y., E. Iritani and T. Murase; *J. Membrane Sci.*, **137**, pp.271-275 (1997)
- 16) Bowen, W. R. and F. Jenner; *Chem. Eng. Sci.*, **50**, pp.1707-1736 (1995)
- 17) Koenders, M. A. and R. J. Wakeman; *AIChE J.*, **43**, pp.946-958 (1997)
- 18) Palecek, S. P. and A. L. Zydney; *Biotechnol. Prog.*, **10**, pp.207-213 (1994)

Development of High-Speed Dewatering System of Particulate Suspensions Using Sodium Chloride

Eiji Iritani, Yasuhito Mukai and Wei-Ping Zeng

Department of Chemical Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University

Summary

Recently, the compatibility of a high-speed separation and a reduction in quantity of the sludge is desired in the wastewater treatment earnestly. The major purpose of this study is to develop a new method for successfully achieving high-speed dewatering of particulate suspensions by making good use of sodium chloride (NaCl).

Prior to the development of a high-speed dewatering system, the properties of the filter cake in microfiltration of particulate suspensions were investigated in order to obtain the fundamental information. Titanium dioxide of the rutile form, a kind of metallic oxide, was used as a fine particle in this study, and the average specific filtration resistance and the average porosity in the filter cake were measured in dead-end microfiltration experiments of rutile suspensions under various conditions. The experimental data clearly demonstrated that these cake properties are markedly influenced by such factors of the solution environment as pH and the addition of NaCl, which control the electrostatic charges on the particles involved. Particularly, it is of interest that the average specific filtration resistance in the filter cake is minimal and the average porosity has a maximum around the isoelectric point (pH 8.1 for rutile in this study). Since the van der Waals attraction is dominant around the isoelectric point, the rutile particles tend to flocculate as a result of destabilization, and the very porous flocs are then formed. Consequently, the filter cake formed becomes loose and permeable. It was also shown that by the addition of NaCl the average specific filtration resistance in the filter cake decreases remarkably, while the average porosity is markedly augmented. This is because the addition of NaCl destabilizes the suspension by reducing the double layer repulsion between rutile particles.

As mentioned above, it is very difficult to attain high filtration rate (small specific filtration resistance) and a compact cake (small porosity) simultaneously. This study has suggested a new method for solving this problem, on the basis of the physicochemical nature of the particulate suspensions. Filtration is performed under a condition of the addition of NaCl which enhances the flux by the construction of the very porous cake, and subsequently a reduction of the cake porosity is completed by permeation of the salt-free solutions which may bring about the destruction of the structure of flocs in the cake. The experimental results demonstrated unequivocally that this method can reduce the total operation time taken to produce the filter cake having low porosity from a particulate suspension and is considered to be more efficient than the conventional filtration process from this advantage.