

凝集剤の添加による濾過特性値の変化

(硫酸アルミニウムと原蛙目粘土-水スラリー)

三分一政男*・中倉 英雄*・大佐々邦久*

The Effect of Coagulant Dosage on Characteristic Values of Filtration
(Aluminum Sulfate and Hara-Gairome Clay-Water Slurry)

Masao SAMBUICHI, Hideo NAKAKURA and Kunihisa OSASA

Abstract

Filtration processes of Hara-Gairome clay-water slurry were studied by dosing aluminum sulfate as a coagulant, to examine the effect of coagulant dosage on characteristics of filtration. With increasing the dosage of coagulant, the average specific resistance of cake decreased and the optimum dosage was observed as in the other coagulation operations. At the optimum condition, average specific resistance decreased until one-third or -seventh of its original slurry.

In accord with the effect of coagulant dosages and pH values on ζ -potential and capillary suction time, it was confirmed that principal mechanism in the coagulation was neutralization of surface electric charge on the particles.

Even for such the coagulated slurry, the compression permeability tests gave rational experimental results. Theoretically predicted values of filtration characteristics based on the compression-permeability data, indicated favorable coincidence with the experimentally measured values of them.

A new conventional method was proposed to predict the filtration process of coagulated slurry based on the process of original, non-dosed, slurry and CST measurement. In spite of rough estimation, the method might be useful to predict the degree of improving filtration process. The calculated process and its experimental values of dosed slurry were compared.

1. 緒 言

近年、懸濁液の濾過・脱水分離プロセス全体の効率向上を目的として凝集剤の添加が広く行われている^{3-5,9,14)}。しかしながら、凝集剤の添加が濾過ケーキの比抵抗や空隙率および圧縮性などにどのような影響を及ぼしているかについてはあまり知られておらず、濾過圧力、スラリー濃度、pH 及び粒子の表面電位なども考慮して、凝集剤添加の影響を詳細に検討する必要があると考えられる。

本報では、比較的圧縮性が高く難濾過性の原蛙目粘土-水スラリーに凝集剤として硫酸アルミニウムを添加し、諸濾過特性値に及ぼす凝集剤添加の影響について調べた。また、凝集剤を添加した場合の定圧濾過過程の簡易推算法についても検討した。

2. 定圧濾過実験

2.1 実験装置および方法

実験に供した原蛙目粘土は、できるだけ均質なスラリーを得るために、全量を湿式ボールミルにて50時間粉碎処理して原スラリーとし、実験の都度、濃度を調整した。試料の特性値を **Table 1** に示した。

Table 1 Properties of Solid material

Name	Hara Gairome Clay	
True density of solid	$\rho_p = 2600 \text{ kg/m}^3$	
	$< 5 \mu\text{m}$	97%
Particle size distribution*	< 2	95
	< 1	91
	< 0.5	70

*Measured by hydrometer

*化学工学科

実験装置は、前報⁸⁾と同様である。濾過面積 $A_0 = 5.49 \times 10^{-3} \text{m}^2$ (内径0.084m) のガラス円筒濾過器に濾紙 (東洋 GC 50 ガラス繊維濾紙) を敷き、常法^{7,9)}に従って定圧濾過実験を行い、濾液量 V と時間 θ を測定した。硫酸アルミニウム (和光純薬 1 級) の添加に際しては、M 社製の 6 連式ジャーテスタを用いて急速攪拌 (回転数 $N = 2 \text{s}^{-1}$) 90 秒、緩速攪拌 ($N = 1 \text{s}^{-1}$) 300 秒でスラリーの調質を行った。

実験結果は、Ruth の定圧濾過式⁶⁾

$$\frac{d\theta}{dv} = \frac{\mu \rho s \alpha}{\Delta p (1 - ms)} \cdot (v + v_0) = \frac{2}{k} (v + v_0) \quad (1)$$

に従って解析した。ここで、 $v [\text{m}^3/\text{m}^2]$ は単位濾過面積当りの濾液量、 $\Delta p [\text{Pa}]$ は濾過圧力、 $m [-]$ はケーキの湿乾質量比、 $s [-]$ はスラリーの質量濃度、 $\mu [\text{Pa}\cdot\text{s}]$ 、 $\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$ はそれぞれ濾液の粘度および密度、 $\alpha [\text{m}/\text{kg}]$ はケーキの平均濾過比抵抗である。(1) 式中の $k [\text{m}^2/\text{s}]$ は Ruth の定圧濾過係数で次式

$$k \equiv \frac{2 \Delta p (1 - ms)}{\mu \rho s \alpha} \quad (2)$$

で定義され、定圧濾過期間中一定と考えられている。従って、定圧濾過実験結果より $\Delta\theta/\Delta v$ 対 v をプロットすれば勾配 $2/k$ の直線となり、濾過ケーキの m が与えられると式(2)より α が算出される。

2.2 実験結果と考察

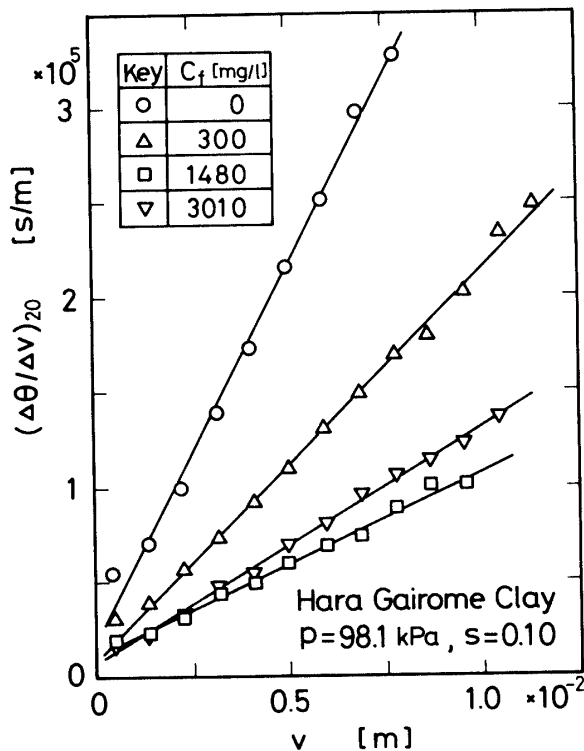


Fig. 1 Ruth's plots, $(\Delta\theta/\Delta v)_{20}$ vs. v ($p=98.1 \text{ kPa}$, $s=0.10$)

Fig. 1 は、スラリー濃度 $s=0.10$ 、濾過圧力 $p=98.1 \text{ kPa}$ 一定で、硫酸アルミニウム添加量 C_f を変化させて定圧濾過した時の濾過速度の逆数 $(\Delta\theta/\Delta v)_{20}$ 対単位濾過面積当りの濾液量 v の関係である。いずれの添加量においても良好な直線関係となり、Ruth 式が成立することがわかる。直線の傾き $(2/k)_{20}$ の値は C_f の増加とともに次第に小となるが、 $C_f=1480 \text{ mg/l}$ を越えると逆に大となる傾向を示した。ケーキの湿乾質量比 m は、濾過終了時の湿潤ケーキ質量と、これを 105°C 40 時間乾燥させた乾燥ケーキ質量とから求めた。

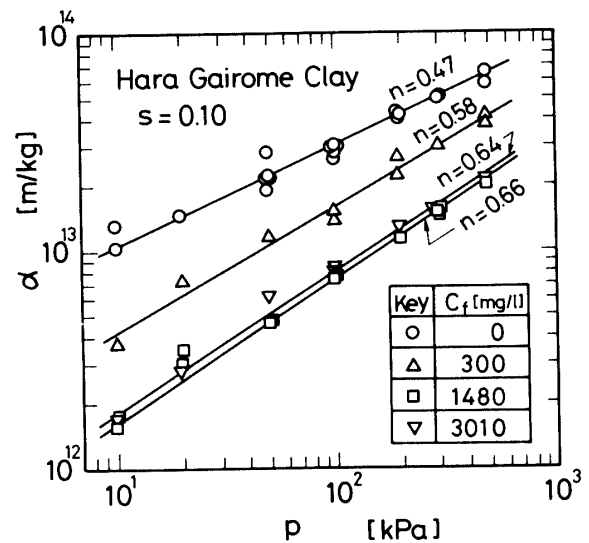


Fig. 2 Results of constant pressure filtration, α vs. p ($s=0.10$)

Fig. 2 は、以上より得られた平均濾過比抵抗 α と濾過圧力 p の関係を添加量 C_f をパラメータにして両対数紙上にプロットした結果である。 C_f の増加とともに α の値が減少し濾過性が改善されていることがわかる。 α の値は、 C_f が約 1480 mg/l の時最小 (実験の範囲内で無添加の場合の約 $1/7 \sim 1/3$) となり、この近傍が α に対しての最適添加量領域と考えられる。さらに C_f を増すと、 α は再び増大の傾向を示しているが、これは凝集剤の過剰添加による懸濁粒子の再分散が生じた

Table 2 Experimental constant of constant pressure filtration

Average specific resistance $\alpha = \alpha_0 p^n$ [m/kg]		
C_f [mg/l]	α_0	n
0	1.43×10^{11}	0.467
300	2.00×10^{10}	0.581
1480	3.85×10^9	0.658
3010	5.06×10^9	0.642

ものと考えられる。また、 α 対 p の関係は各々の添加量においてほぼ直線関係を示しており、Table 2 にまとめて示したような実験式を得た。ケーキの圧縮性指数 n の値は添加量 C_f の増加とともに徐々に大となり、 $C_f=1480\text{mg/l}$ の時最大値 ($n=0.658$) を示した。固体粒子は凝集作用によって見かけ上径の大きい凝集粒となるが、凝集の程度が大きい程水分を多く包含して柔軟な凝集粒を形成するため、圧縮性が增大するものと考えられる。凝集剤の添加によって平均濾過比抵抗 α は最大約1/7程度まで低下する反面、圧縮性が増すことは、濾過プロセスの設計において十分な注意が必要である。さらに、スラリー濃度 s の影響を調べたのが Fig. 3 である。 α に対する s の影響は小さく実験的には検出されなかった。

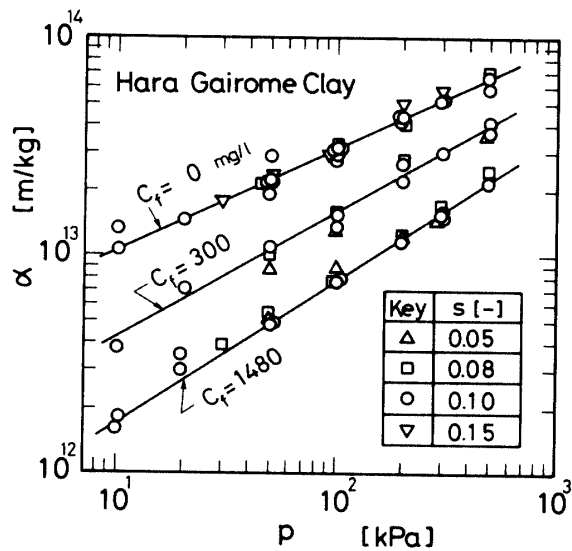


Fig. 3 Results of constant pressure filtration, α vs. p (effect of slurry concentration)

3. 毛管吸引時間 (Capillary Suction Time) の測定

3.1 実験装置および方法

吸収性の濾紙上に懸濁液を置くと、濾紙の毛管吸引圧により濾過が生じる。CST 測定装置¹⁾は、濾紙の一定面積が濾液によって飽和されるに要する時間を自動的に測定するものであり、その時間 CST 値 [s] は懸濁液の濾過特性を表す指標となる。装置の概略を Fig. 4 に示す。装置は長方形の吸収性濾紙 (Whatman No. 17 クロマトグラフィー用、寸法 7×9 cm) と電極を埋め込んだアクリル製樹脂板からなる濾過装置、及び自動計時装置の二部分よりなる。試料をステンレス製円筒 (内径 1.8cm) に注入すると、液が毛管吸引力によって濾紙に吸収されほぼ円形状に広がってゆく。濾液が最初のプローブ (1 A, 1 B 点) に達するとカウンター

が作動を開始し、次のプローブ (2 点) に達するまでの所要時間が CST 値としてデジタル表示される。

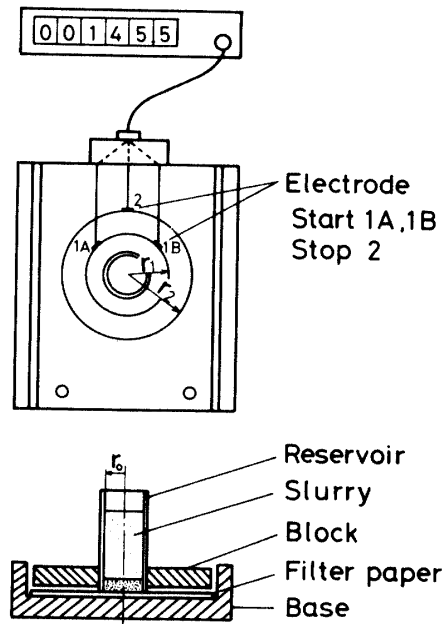


Fig. 4 Schematic diagram of CST apparatus

濾紙の単位面積をぬらすに要する濾液量 v_a [m^3/m^2] が一定であり濾紙の抵抗が無視できるとすれば、(1)式より次式の関係が得られる。

$$\theta_{\text{CST}} = \left(\frac{v_a^2}{2p} \cdot \frac{r_2^4 - r_1^4}{r_0^4} \right) \frac{\mu \alpha p s}{1 - m s} = K \cdot \left(\frac{\mu p s}{1 - m s} \right) \cdot \alpha \quad (3)$$

ここで、 r_0 , r_1 , r_2 はそれぞれ Fig. 4 に示した半径 [m], K [$\text{m}^3\text{s}^2/\text{kg}$] は装置定数である。

3.2 実験結果と考察

スラリー濃度 $s=0.05, 0.08, 0.10, 0.15$ における

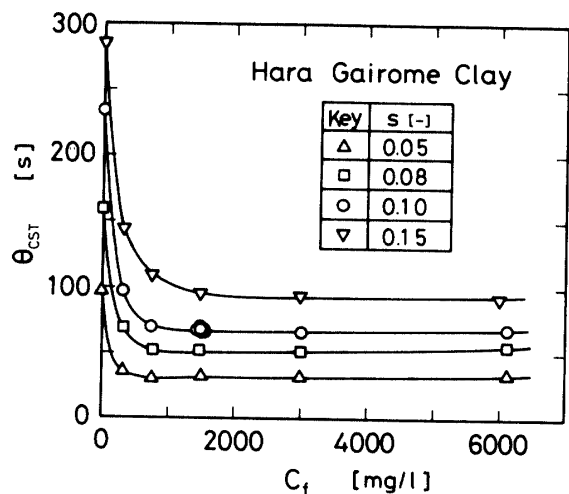


Fig. 5 Effect of slurry concentration and coagulant dosage on capillary suction time

CST 値 θ_{CST} 対硫酸アルミニウム添加量 C_f の関係を Fig. 5 に示す。スラリー濃度 s が大となる程 θ_{CST} が増加しており、このことは(3)式からも推定できる。また、各々のスラリー濃度において θ_{CST} は C_f の増加とともに急激に減少し、最小値をとった後はわずかながら増加の傾向を示す。この様に、 θ_{CST} は C_f と s の相違によって異なった値をとるが、Fig. 6 に示す様に ($\theta_{CST}/\theta^*_{CST}$) 対 (C_f/C_s) の関係に再プロットすると、ほぼ一本の曲線で近似することができた。ここに、 θ^*_{CST} は凝集剤無添加の場合の CST 値、 C_s [mg/l] はスラリー単位体積当りの固体質量で、 $C_s = sp_p \rho / \{sp + \rho_p(1-s)\} \times 10^3$ である。 C_f/C_s の値は、固体単位質量当りの凝集剤添加量を表わしており、この系における最適添加量は $C_f/C_s = 0.014$ であった。前述したように、この系では平均比抵抗に対するスラリー濃度の影響が小であるので、凝集の効果がスラリー濃度に関係なく C_f/C_s のみの関数として表わせたものと考えられる。

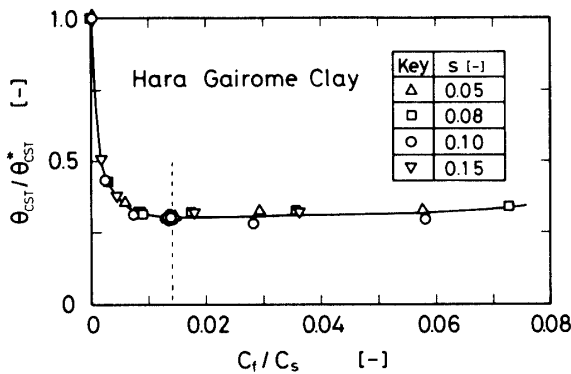


Fig. 6 Generalized relation of ($\theta_{CST}/\theta^*_{CST}$) vs. (C_f/C_s)

Fig. 7 は、pH による粒子の ζ 電位変化を毛管吸引時間 θ_{CST} と比較して示したものである。 ζ 電位の測定には、顕微鏡電気泳動法²⁾を用いた。硫酸アルミニウムの添加量 C_f の増加とともに懸濁液の pH が減少し、また粒子の ζ 電位も急激に低下する。 ζ 電位と θ_{CST} 値の両者は、pH に対してほぼ逆相関関係を示しているが、これは、粘土スラリーを用いた Pearse ら⁵⁾の結果とも類似している。 θ_{CST} 値の測定結果は pH \approx 4 付近が最適凝集領域であることを示しており、前述の最適凝集剤添加量 $C_f = 1480 \text{ mg/l}$ がこの値に対応することがわかる。この付近において粒子表面の ζ 電位は零付近に低下しており、本実験の場合の凝集作用が主としてこの pH 領域において存在する 3 価のアルミニウム陽イオンと 4 価のアルミニウム水和イオンによる粒子の荷電中和作用^{12,13)}によるものと考えられる。また、硫酸アルミニウムの代わりに塩酸を用いて pH を調整した場合の結果も比較のため同図に示した。 ζ 電位の低下及び

θ_{CST} 値の減少が認められるものの硫酸アルミニウムの場合に見られるような顕著な効果は得られなかった。粒子の凝集作用が pH の変化のみならずイオンの種類及びその原子価にも大きく影響されることが明らかである。

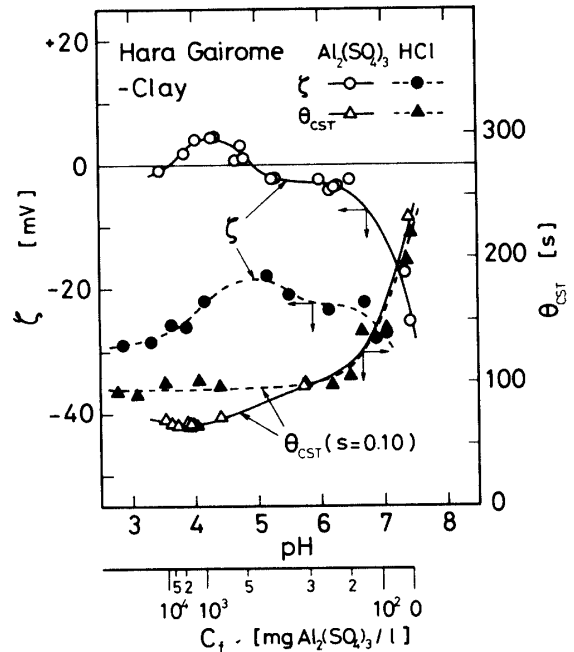


Fig. 7 Effect of pH and coagulant dosage on ζ potential and CST

4. 圧縮透過実験

4.1 実験装置および方法

実験装置は前報⁷⁾と同様である。濾紙(東洋 No. 5 A)を敷いた内径0.07mの黄銅製圧縮透過セルにスラリーを注入しピストンを挿入する。ケーキが加えた荷重と圧縮平衡に達した後ダイヤルゲージを用いてその厚さ L [m] を測定し、次式により平衡空隙率 ϵ (-) を計算した。

$$\epsilon = 1 - \frac{W}{\rho_p L A_c} \quad (4)$$

ここで、 W [kg] はシリンダ内の全固体質量、 A_c [m²] はセルの断面積である。また、このケーキ層に水頭差を用いて水を透過させ、その透過速度を測定することにより次式を用いて部分比抵抗 α_w [m/kg] を求めた。

$$\alpha_w = \frac{A_c^2 \rho g \theta}{a W \mu \ln(h_1/h_2)} - \frac{R_m A_c}{W} \quad (5)$$

ここで、 θ [s] は透過所要時間、 a [m²] はビュレットの断面積、 h_1 、 h_2 [m] はそれぞれ透過開始時及び透過終了時の水頭、 R_m [1/m] は濾材抵抗である。さらに

荷重を加えて同様の操作を繰り返し行い、種々の圧縮圧力 p_s [Pa] に対応する ϵ および α_ω の関係を測定した。

4.2 実験結果と考察

本実験に用いた原蛙目粘土-水スラリーの圧縮透過特性を硫酸アルミニウム添加量 C_f をパラメータとして Fig. 8 及び Fig. 9 に示した。空隙率 ϵ および比抵抗 α_ω と圧縮圧力 p_s の関係を表す実験式として、それぞれ Table 3 にまとめて示した結果を得た。空隙率に関する実験式と測定値との偏差は最大約 4%，比抵抗に関するそれは最大約 20% 程度であった。

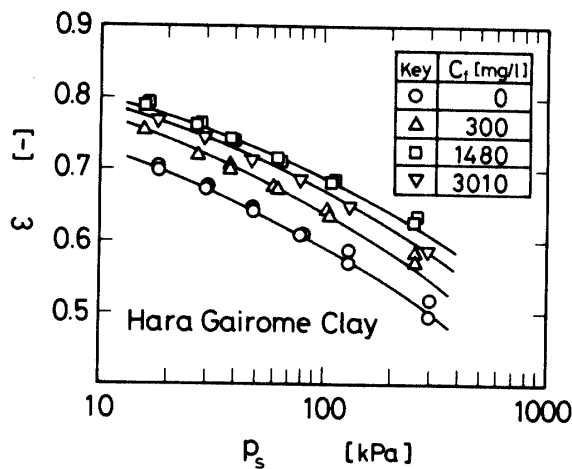


Fig. 8 Results of compression tests, ϵ vs. p_s

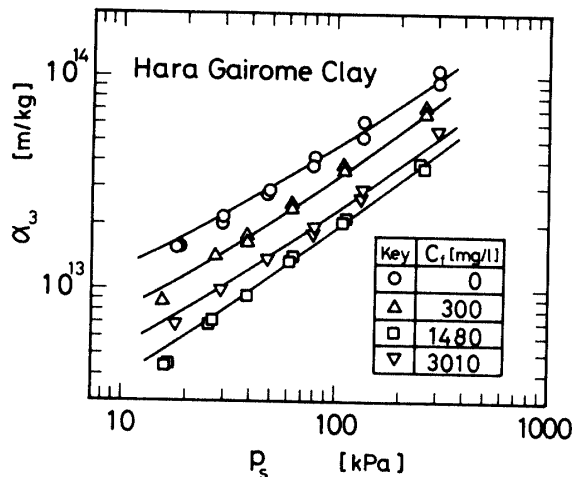


Fig. 9 Results of permeability tests, α_ω vs. p_s

Table 3 Experimental constant of compression permeability tests

C_f [mg/l]	Equilibrium porosity			Specific resistance		
	$\epsilon = \epsilon_0 - \epsilon_1 p_s^m$ [-]			$\alpha_\omega = \alpha_0 + \alpha_1 p_s^n$ [m/kg]		
	ϵ_0	ϵ_1	m	α_0	α_1	n
0	0.89	1.52×10^{-2}	0.26	5.0×10^{12}	9.64×10^9	0.73
300	0.95	1.81×10^{-2}	0.25	3.0×10^{12}	4.57×10^9	0.77
1480	0.96	1.88×10^{-2}	0.23	1.0×10^{12}	2.07×10^9	0.79
3010	0.96	1.84×10^{-2}	0.24	2.0×10^{12}	2.61×10^9	0.78

5. 圧縮透過実験結果を用いた濾過特性値の推定とその結果

濾過ケーキ内の液圧 p_L は濾液の流れ方向に、次式

$$u_\omega = \frac{1}{\mu \rho_p \alpha_\omega} \cdot \frac{dp_L}{d\omega} \tag{6}$$

に従って減少し、その減少分がケーキ固体に圧縮圧力 p_s の増加として作用する。従って、次式

$$-dp_L = dp_s \quad \therefore p_L + p_s = p \tag{7}$$

が成立し、濾過ケーキ内の圧縮圧力はケーキ表面における零から濾液出口における濾過圧力に等しい値まで変化する。濾過ケーキは一般に圧縮性であるので、微視的には濾過ケーキ内の空隙率 ϵ は圧縮圧力の分布に従って濾液の進行方向に小となるように分布し、濾過比抵抗 α_ω もまたケーキ内の位置によって異った値をとる。従って、濾過ケーキ全体の総括的な特性値としての平均空隙率 ϵ_{av} や平均比抵抗 α はこれら局所的な値の全体的な平均値として定まるものであり、これらの間の関係は理論的な展開によって近代濾過理論^{10,11)}としてまとめられている。

平均空隙率およびケーキの湿乾質量比は次式

$$\epsilon_{av} = \int_0^1 \epsilon \cdot d\left(\frac{x}{L}\right), \quad m = 1 + \frac{\rho \epsilon_{av}}{\rho_p (1 - \epsilon_{av})} \tag{8}$$

のように定義されている。また、近代濾過理論では濾液流速分布^{10,11)}を考慮して平均比抵抗は

$$\alpha = \left\{ \int_0^1 \left(\frac{u_\omega}{u_0} \right) d\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right\} \cdot \frac{p}{\int_0^p \frac{1}{\alpha_\omega} dp_s} \tag{9}$$

圧縮圧力分布は

$$\frac{\int_0^{\omega/\omega_0} \left(\frac{u_\omega}{u_0} \right) d\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)}{\int_0^1 \left(\frac{u_\omega}{u_0} \right) d\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)} = \frac{\int_0^p \frac{1}{\alpha_\omega} dp_s}{\int_0^p \frac{1}{\alpha_\omega} dp_s} \tag{10}$$

のように定義されている。ここで、 x 、 ω はそれぞれ濾材からの距離およびケーキ固体体積、 u_ω 、 u_0 はそれぞれケーキ内の任意の位置 ω および濾液出口における

濾液流速である。部分空隙率 ϵ および部分比抵抗 α_w が圧縮透過実験によって、圧縮圧力 p_s の関数として前述の通り求められているので、これらの結果を用いて上記の理論計算を行えば、濾過特性値を理論的に推定することが可能である。

ケーキの平均空隙率 ϵ_{av} と濾過圧力 p の関係を凝集

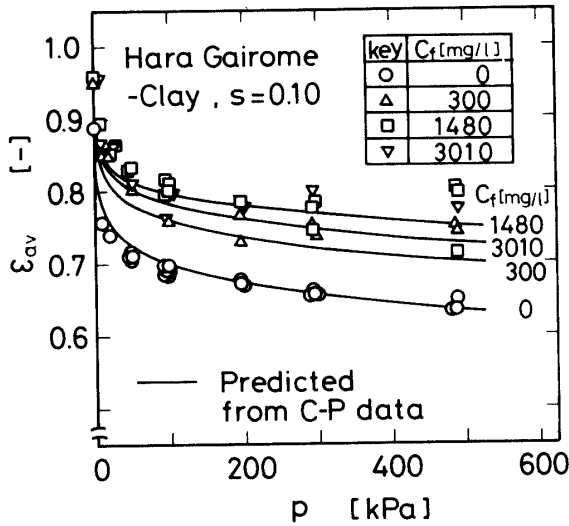


Fig. 10 Comparison of experimental and predicted results ϵ_{av} vs. p

剤添加量 C_f をパラメータとして Fig. 10 に示した。 ϵ_{av} の値は、ケーキの湿乾質量比 m の実測値から $\epsilon_{av} = (m-1)\rho_p / \{(m-1)\rho_p + \rho\}$ の関係を用いて算出した。 ϵ_{av} は、 C_f の増加とともに大となり、 $C_f = 1480 \text{ mg/l}$ 付近で最大値を示した。これは、前述の実験結果や二、三の報告^{4,5)} にも見られるように、凝集剤の添加によって粗大なフロックが形成され、濾過ケーキの空隙率もまた増大したことによるものと考えられる。実線は、上記理論に基づいて圧縮透過実験結果から推定計算した ϵ_{av} の推定結果であり、実測値とほぼ良い一致を示した。

ケーキの平均濾過比抵抗の実測値と上記理論に基づく推定値とを濾過圧力 p に対してプロットしたのが Fig. 11 であり、凝集剤添加の効果については前述の通りである。どの凝集剤添加量においても良い一致が得られたが、凝集剤無添加の場合にはやや劣る推定結果となった。無添加スラリーはそのままでは濾過が困難である程比抵抗が大きく、定圧濾過実験および圧縮透過実験における測定がやや困難であったことによるものと考えられる。定圧濾過過程 ($\Delta\theta/\Delta v$) vs. v の実測値と、圧縮透過実験結果を用いて推定した平均空隙率及び平均比抵抗を用いて(1)式により計算した濾過過程

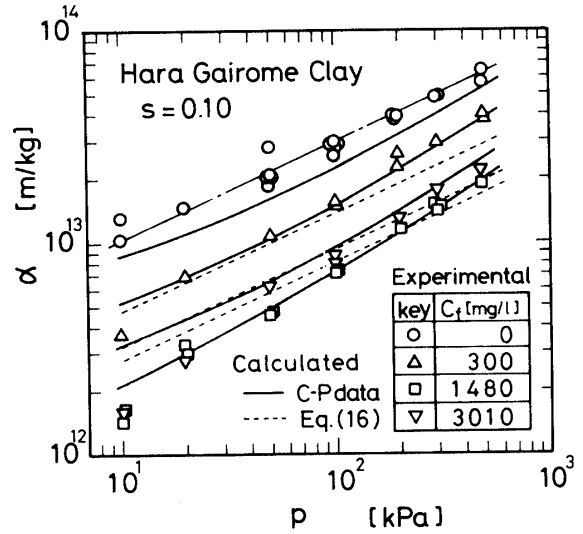


Fig. 11 Comparison of experimental and predicted results of α vs. p

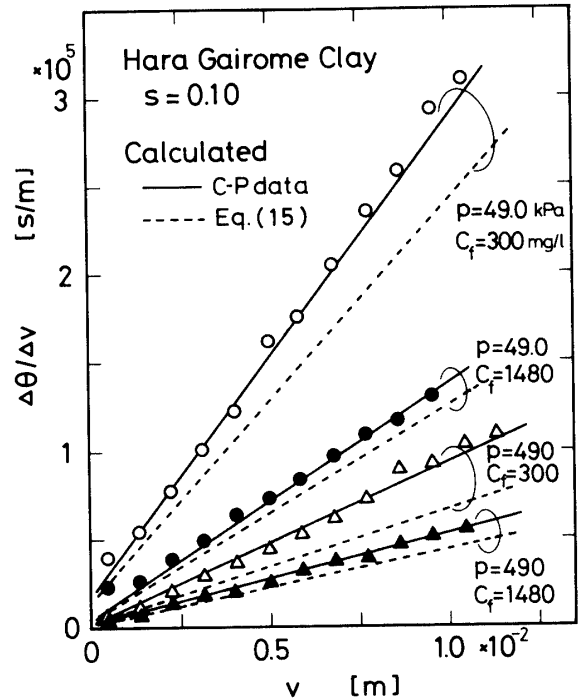


Fig. 12 Comparison of experimental and predicted results of $\Delta\theta/\Delta v$ vs. v

とを Fig. 12 に示した。平均空隙率及び平均比抵抗の推定における偏差が相乗した推定結果であるが、定圧濾過過程を良く再現していることがわかる。

6. 濾過特性値の近似推算法

懸濁液の濾過特性は、凝集剤を添加した場合においても、本報 2~5 の手法を用いて測定及び推算が可能である。しかしながら、用いた凝集剤の種類や添加量

の違いによって懸濁粒子の凝集状態は種々さまざまに変化するため、各々の場合についてその濾過特性値をそれぞれ測定することは非常に煩雑であり、また、多くの労力を要するものと考えられる。ここでは、濾過特性の簡便な測定法である CST 値を用いた濾過特性の近似推算法について検討する。

凝集剤無添加の場合の CST 値を θ^*_{CST} とし、凝集剤を添加した場合の CST 値 θ_{CST} との比をとると(3)式より(11)式の関係が得られる。

$$\left(\frac{\theta_{CST}}{\theta^*_{CST}}\right) = \left(\frac{1-m_c s}{1-m^* s}\right) \cdot \frac{\alpha_c}{\alpha^*} \quad (11)$$

ここで、 m_c 及び α_c はそれぞれ CST 濾紙の毛管吸引圧力 p_c [Pa] に対応するケーキの湿乾質量比及び平均比抵抗、*印は、凝集剤を添加していない場合の各値に対応する。今、ケーキの平均比抵抗 α が次式、

$$\alpha = \alpha_0 p^n = \alpha_c \cdot (p/p_c)^n \quad (12)$$

の様な Sperry 型の実験式で表わされるとすると、 α は、(11)、(12)式より(13)式の関係で与えられる。

$$\alpha = \left(\frac{\theta_{CST}}{\theta^*_{CST}}\right) \cdot \left(\frac{1-m_c s}{1-m^* s}\right) \cdot \alpha_c^* \cdot \left(\frac{p}{p_c}\right)^n \quad (13)$$

Ruth の定圧濾過式、(1)式に(13)式の関係代入し整理すると、次式が得られる。

$$\left(\frac{d\theta}{dv}\right) = \left(\frac{\theta_{CST}}{\theta^*_{CST}}\right) \frac{\mu \rho_s (1-m_c s)}{(1-m s)(1-m^* s)} \cdot \frac{\alpha_c^*}{p_c^n p^{(1-n)}} \cdot (v+v_0) \quad (14)$$

ここで、簡単のために、 $(1-m s)/(1-m^* s) \approx 1$ とし、並びに $n \approx n^*$ と仮定すれば、(14)、(13)式は(15)、(16)式となる。

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\theta}{dv}\right) &= \left(\frac{\theta_{CST}}{\theta^*_{CST}}\right) \cdot \frac{\mu \rho_s}{(1-m^* s)} \cdot \frac{\alpha_c^*}{p} \cdot (v+v_0) \\ &= \left(\frac{\theta_{CST}}{\theta^*_{CST}}\right) \cdot \frac{2}{k^*} \cdot (v+v_0) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\alpha = \left(\frac{\theta_{CST}}{\theta^*_{CST}}\right) \cdot \left(\frac{1-m_c s}{1-m^* s}\right) \cdot \alpha_c^* \quad (16)$$

従って、凝集剤無添加の場合のスラリー本来の濾過特性値 (α^* , m^*) が既知である場合、種々の条件 (凝集剤添加量、スラリー濃度など) において、CST 試験を実施すれば、その結果を用いて凝集剤添加によって改善されるであろう濾過特性を近似的に推定することが可能である。

式(16)を用いてケーキの平均比抵抗 α を推定した結果を Fig. 11 に点線で示した。近似計算値は、凝集剤無添加の場合の平均比抵抗に基づき、しかも $n = n^*$ と仮定されているため、 $C_f = 300, 1480, 3010 \text{ mg/l}$ いずれの場合も凝集剤無添加 (一点鎖線) と平行関係になるが、実測値との偏差は平均 $\pm 20\%$ 程度であった。

Fig. 12 の点線は、種々な濾過条件における定圧濾過

過程 ($\Delta\theta/\Delta v$) vs. v を近似推定した結果を示す。(15)式から明らかのように、凝集剤無添加の場合の Ruth プロットの勾配 $2/k^*$ に対して勾配 $(\theta_{CST}/\theta^*_{CST}) \cdot 2/k^*$ の直線を引くだけの簡単な推定であるが、濾過過程の進行状況を大略推定することが可能であった。

7. 結 論

硫酸アルミニウムを凝集剤として、原蛙目粘土一水スラリーの凝集濾過実験を行い、以下の結論を得た。

1) ケークの平均比抵抗は、凝集剤添加量の増加とともに減少し、他の凝集操作に見られると同様に、最適添加域 ($C_f \approx 1480 \text{ mg/l}$, $\text{pH} \approx 4$ 近傍) が存在した。この場合、平均比抵抗は原スラリーの約 $1/7 \sim 1/3$ となった。

2) 凝集剤添加量または pH を変えて行った CST 値及び ξ 電位の測定結果より、この系における凝集の主な作用機作は粒子の荷電中和であると考えられる。

3) 凝集剤によって凝集したスラリーの圧縮透過実験もまた十分に合理性のある結果を与えることがわかった。この結果を用い、濾過理論に基づいて理論的に計算した濾過特性値は実測値と大変良く一致した。

4) 凝集剤を添加したスラリーの定圧濾過特性を、CST 測定値を介して無添加スラリーの濾過特性から近似的に推算する方法を考案した。粗い近似ではあるが、凝集剤の添加によって改善される濾過過程を大略手軽に推定することが可能であった。

[付 記] 本研究に対し御助言を賜りました名古屋大学教授白戸紋平先生に深く感謝致します。また、本研究の実験には、卒論生坂本孝幸君、村本智則君、伊藤玲子君の協力を得た。ここに付記して謝意を表する。

使用記号

A_0	= filtration area at filter medium	[m ²]
A_c	= permeating area of compression permeability cell	[m ²]
C_f	= coagulant concentration	[mg/l]
C_s	= solids concentration	[mg/l]
K	= coefficient defined by Eq. (3)	[m ³ s ² /kg]
k	= Ruth's coefficient of filtration at constant pressure	[m ² /s]
L	= cake thickness	[m]
m	= ratio of wet to dry cake mass	[—]
n	= compressibility coefficient of cake	[—]
p	= filtration pressure	[Pa]
p_L	= hydraulic pressure	[Pa]

p_s	= solid compressive pressure	[Pa]
R_m	= resistance of a filter medium	[1/m]
r_0	= radius of sludge reservoir in CST apparatus	[m]
r_1	= radius of volume-measurement ring 1 in CST apparatus	[m]
r_2	= radius of volume-measurement ring 2 in CST apparatus	[m]
s	= mass fraction of solids in a slurry	[-]
u_0	= value of u_ω at the filter medium	[m/s]
u_ω	= apparent liquid velocity relative to solids	[m/s]
V	= total volume of filtrate	[m ³]
v	= volume of filtrate per unit area of filter medium	[m ³ /m ²]
v_a	= volume of filtrate saturating unit area of paper in CST apparatus	[m ³ /m ²]
W	= total mass of dry solids in a cake	[kg]
x	= distance from filter medium	[m]
α	= average specific resistance of cake	[m/kg]
α_ω	= local value of specific resistance of cake	[m/kg]
ε	= local value of porosity	[-]
ε_{av}	= average porosity of cake	[-]
ζ	= zeta potential	[mV]
θ	= time	[s]
θ_{CST}	= capillary suction time	[s]
θ_{CST}^*	= capillary suction time of original non-dosed slurry	[s]
μ	= viscosity of filtrate	[Pa · s]
ρ	= density of filtrate	[kg/m ³]
ρ_p	= true density of solid particles	[kg/m ³]
ω	= solid volume per unit area lying	

between the medium and an arbitrary position in cake [m³/m²]
 ω_0 = total solid volume in cake per unit sectional area [m³/m²]

参 考 文 献

- 1) Gale, R. S.: "Solid/Liquid Separation Equipment Scale-up", p. 39, Uplands Press Ltd., (1977)
- 2) Kitahara, A. and A. Watanabe: "Kaimen Denki Gensho", p. 187, Kyoritsu Shuppan, Tokyo (1972)
- 3) Koglin, B.: Chem. Ing. Tech., **56**, 111 (1984)
- 4) Leutz, R. and M. Clement: Filtration & Separation, **7**, 193 (1970)
- 5) Pears, M. J. and J. Barnett: Filtration & Separation, **17**, 460 (1980)
- 6) Ruth, B. F.: Ind. Eng. Chem., **25**, 76, 153 (1933); **27**, 708, 806 (1935)
- 7) Sambuichi, M., K. Otsuki, Y. Fujio and S. Ueda: J. Ferm. Techn., **49**, 880 (1971)
- 8) Sambuichi, M., H. Nakakura and K. Osasa: Memoirs Faculty of Engineering, Yamaguchi University, **33**, 65 (1982)
- 9) Sambuichi, M., H. Nakakura, K. Osasa, T. Sakamoto and T. Muramoto: Preprints of The 18th Autumn Meeting of The Soc. of Chem. Engrs., Japan, Fukuoka, J212 (1984)
- 10) Shirato, M., M. Sambuichi, H. Kato and T. Aragaki: AIChE Journal, **15**, 405 (1969)
- 11) Shirato, M., T. Aragaki and E. Iritani: J. Chem. Eng. Japan, **13**, 61 (1980)
- 12) Sullivan, J. H. and J. E. Singley: Jour. AWWA, **60**, 1280 (1968)
- 13) Tambo, N.: Suido Kyokai Zasshi, No. 365, 25 (1965)
- 14) Wright, H. J. L. and J. A. Kitchener: J. Colloid Interface Sci., **56**, 57 (1976)

(昭和60年10月15日 受理)