

戸過・圧搾技術マニュアル

戸過・圧搾技術マニュアル

日本粉体工業技術協会 編

江苏工业学院图书馆
藏书章

日刊工業新聞社

内部交流

F 195 / 37 (日3 - 2 / 73)

过滤、压榨技术手册

BG000310

过滤・压榨技術マニュアル

NDC 571.9

昭和58年9月30日 初版1刷発行

定価はカバーに表示してあります。

◎ 編 著 日本粉体工業技術協会
発行者 大 久 保 健 児
発行所 日 刊 工 業 新 聞 社
東京都千代田区九段北1丁目8番10号
(郵便番号 102)
電 話 東 京 (263) 2311 (大代表)
製本口座東京 9-186076

印刷所 新日本印刷株式会社
製本所 飯 塚 製 本 所

落丁・乱丁本はお取替いたします。

ISBN 4-526-01554-7 C 3058

序 文

ほぼ1年半も以前のことであったが、日本粉体工業技術協会前後処理分科会が主催して、スラリーの脱水に関するごく内輪の会合が計画されたことがあった。内輪のこともあってメンテナンスの苦勞、脱水機選定の困難さ、脱水性を向上するために試みられた様々な対策、テストと実機との思わぬ食違い、等々、多彩な話題が開陳され、編者は強く打たれたことであった、述べられたことのほとんどが汙過圧搾理論では全く触れられることのない、いわゆる技術的問題とされている事柄であったこと、しかし実は多くの苦勞と啓示がそれらの中に秘められていることを知らされたためであった。参加者の間からは汉過圧搾の実際に即した技術指針書が要望され、印象の強さに促されるままに編者の浅学をかえりみず本書の企画を思い立った。

一方編者は以前から細々ながら固液分散系の力学的性質（レオロジー的特性）や固液界面現象の研究を行っており、汉過圧搾操作のうちにも界面性質やレオロジー的な概念を導入し、脱水に関与する要因分析をなすべきであると考えていた。そのためにデータを蓄積し、若干の見通しを得るようになったことも本書の編集を試みたもう一つの動機になっている。

このような経過をへているので、本書の目的は最近の汉過圧搾理論の進歩を詳細に紹介することにあるのではなく、汉過圧搾の技術を広く網羅すること、スラリーの性質に関する常識的事項と、その汉過圧搾操作における係わりを示すことを意図している。そのために汉過機・圧搾機のハードウェアの特徴を機種毎に要約し（4～8章）、その前に汉過圧搾の基礎概念、スラリーに関する基礎事項、汉過圧搾の難易を支配する要因を配した（1～3章）、最近急速な技術進歩がみられるベルトプレスや超精密汉過法、あるいは汉布、凝集剤、助剤、簡易なテスト法などの周辺技術にも十分留意し最新の情報を取り入れるように

努めた。最後に機種選定および典型的なトラブルとその対策例を列記し、また巻末には特に強く要望されていたメーカー一覧およびメーカー所在地表を独自の調査にもとづいて整理した。

由来、技術の全容をカバーするには余程の知識経験と多数の協力を必要とする。白日の下に検討されていない事柄については尚更のことである。脱水の難易要因、テスト法、機種選定方法など随所に独自の努力を重ねたが、なお不十分なところが多いと思われる。不十分さは執筆陣が蓄積してきた経験を満足に総括しえなかった編者の責に帰すことをおことわりする。

最後に、本書を上梓する機会を与えて下さり終始鞭撻下さった中部工業大学吉田哲夫教授に厚く謝意を表します。

1983 年 5 月

編 者

執 筆 者 (五十音順)

編集委員長	長 瀬 洋 一	広島大学 (教授)
	池 田 頼 文	武田薬品工業株式会社
	川 越 敏 生	市川毛織株式会社
	北 田 俊 男	敷島カンバス株式会社
	佐 藤 久 雄	野村マイクロサイエンス株式会社
	勝 呂 栄 治	大塚鉄工株式会社
	兎 澤 誉 史 光	ミウラ化学装置株式会社
	徳 永 靖 彦	株式会社久保田鉄工
	永 原 克 二	川崎重工株式会社
	林 三 郎	製鉄化学工業株式会社
	山 本 康 寿	株式会社田辺鉄工所
	和 田 朗	株式会社栗本鉄工所

目 次

1. 汙過・圧搾の基礎理論

1.1	粒子層内の液体流れ	1
1.2	汙 過	3
1.3	圧 搾	9

2. スラリーの性質

2.1	固液系の多様性	25
2.2	粒子帯電に起因する工学現象	27
2.3	スラリーの流動性質	36
2.4	ケーキ層の破壊強度	41
2.5	ζ 電位, ネットワーク構造などの実例	45

3. 汙過圧搾技術とスラリーの性質

3.1	透 過	56
3.2	透過特性の実例	57
3.3	圧 搾	62
3.4	ま と め	70

4. 真 空 汙 過 機

4.1	連続式真空汙過機	71
4.2	ドラム型真空汙過機	74
4.3	その他の連続式真空汙過機	77

4.4	回分式真空汚過機	80
4.5	補助装置および周辺機器	81

5. フィルタプレス類

5.1	フィルタプレスの基本構成	85
5.2	大型自動式フィルタプレス	91
5.3	補助機器	99
5.4	フィルタプレスによる汚泥の脱水	101
5.5	円筒型フィルタプレス	106
5.6	回転攪拌付加圧濃縮機	108
5.7	スクリーンプレス	110

6. ベルトプレス型脱水機

6.1	構造および汚過工程	116
6.2	ベルトプレス型脱水機の性能	124
6.3	ベルトプレスの基礎理論	127

7. 加圧容器型汚過機とその他の汚過機

7.1	加圧容器型汚過機の構造と汚過サイクル	138
7.2	加圧容器型汚過の実例	148
7.3	その他の汚過装置	152

8. 遠心分離機

8.1	遠心沈降の基礎理論	158
8.2	遠心沈降機	161
8.3	遠心汚過機	168
8.4	む す び	177

9. 超精密濾過

9.1 超精密濾過の概念	181
9.2 精密濾過	183
9.3 限外濾過膜	199
9.4 逆浸透法	203
9.5 むすび	213

10. 高分子凝集剤

10.1 無機凝結剤	215
10.2 天然系高分子凝集剤	223
10.3 合成高分子凝集剤	224
10.4 高分子凝集剤によるスラッジ凝集の機構	241
10.5 各種濾過脱水機と凝集剤の適合性	250

11. 濾布

11.1 濾布素材の種類	255
11.2 糸の形態と特性	266
11.3 織り組織	269
11.4 不織布	271
11.5 濾過機と濾布	274
用語解説	278

12. 助剤・前処理

12.1 濾過助剤	281
12.2 前処理	288

13. 汙過圧搾およびスラリー特性の実用的な測定法

13・1 汙過脱水に関連する事項	297
13・2 汙過圧搾試験装置	298
13・3 加圧汙過（圧搾）テスト	300
13・4 リーフテストおよびスッチェテスト	303
13・5 毛管吸引時間（CST）法	305
13・6 粒径分布測定および沈降性質	309
13・7 感覚によるテスト	313
13・8 生物処理汚泥のフロック	317

14. 機種選定，汙過の操作技術

14・1 汙過機選定の基礎	323
14・2 詳細選定	332
14・3 生物処理汚泥の場合	336
14・4 汙布の選定	338
14・5 凝集剤の選定	343
14・6 操作上の留意点，トラブルとその対策例	347

付録1 汙過機メーカー一覧表	353
付録2 高分子凝集剤メーカー一覧表	359
付録3 汙布メーカー一覧表	361
付録4 分離膜メーカー一覧表	362

索引	巻末
----------	----

1. 滲過・圧搾の基礎理論

滲過や圧搾操作の理論については多くの成書や論文があるので^{1)~9)}、ここでは次章以降において必要となる滲過・圧搾理論の基礎のみを述べる。そのためにスラリー層を液体が透過する場合をまず取り上げ、滲過理論は従来の誘導とは部分的に異なった導出方法をとる。使用した記号と単位は章末にまとめた。重力単位は用いず、SI単位に準じて kg-m-s 系を使用することにしたので圧力など力の定義に注意されたい。また利用の便宜のために例題および記号相互の主な関係式を章末に付記した。

1.1 粒子層内の液体流れ

図 1.1 に示すように層厚さ H [m] で空間率 e [—] (空隙率ともいう) になるようにいたるところ均一に充填された微粒子層内を、液体が流速 u [m/s] で透過しているとする。微粒子であるから、粒子間隙を通過する流れは完全な層流 ($\rho u D_p / \mu \ll 1$) と考えてよい。一般に層流流れにおける流動抵抗は液粘度 μ [kg/m·s]、通路内の液流速 u [m/s]、流路長さに正比例し流路幅の 2 乗に逆比例する。ただし、粒子層内の流速および流路長

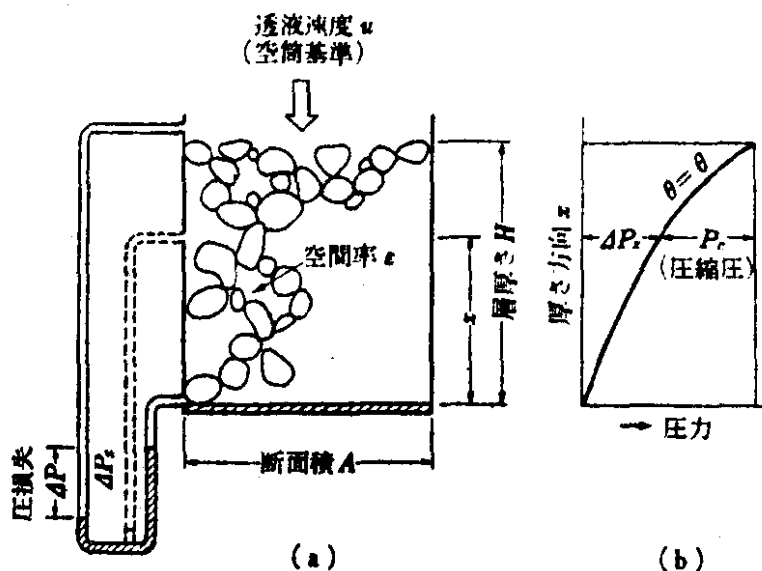


図 1.1 透過の模式 (a) および滲過の圧力分布 (b)

は定めがたいので流路長さを層高さ H [m] で、 u を空塔速度で代表させる。これらの補正係数の意味を含めた係数 B を用いると、流動抵抗は圧力降下 ΔP に等しいので次式を得る。

$$\Delta P = \frac{B\mu u H}{D_p^2} \quad (1.1)$$

ここに ΔP は単位断面積当りの力 $[\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2/\text{m}^2] = [\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2]$ で、SI 単位では $[\text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa}]$ に相当する。

式 (1.1) は、土木工学などでは Darcy の法則といわれ、通常次式のように表わされている。

$$u = -B'i, \quad i = \frac{\frac{\Delta P}{\rho}}{H} \quad (\text{動水勾配}) \quad (1.2)$$

粒子層のように複雑な流路の場合は上記の理由で係数 B が空間率 ϵ や粒子形状の関数となり、 D_p は平均粒子径 $\bar{D}_p$ [m] または比表面積 S_v [m^2/m^3] に置きかわる。その近似式として流路を毛細管列でモデル化した次の Kozeny-Carman 式がよく用いられている。

$$\Delta P = k \frac{F(\epsilon)}{\bar{D}_p^3} \mu H u = k' S_v^2 F(\epsilon) \mu H u \quad [\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2] \quad (1.3)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} F(\epsilon) &= \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \\ k &= 180, \quad k' = 5 \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

式中の $F(\epsilon)$ または $F(\epsilon)/(1-\epsilon)$ を空間率関数という。また空間率 ϵ はスラリーの含水（容積）率に相当し、層内粒子の全量を W [kg]、粒子の真密度を ρ_s [kg/m^3] とすると、

$$\epsilon = 1 - \frac{W}{\rho_s A H} \quad (1.5)$$

である。

空間率関数 $F(\epsilon)$ の実測値の 1 例を図 1.2 に示す。図には式 (1.4) による計算曲線も示しており、実測値とかなりよく一致している。微粒子の場合は $\epsilon < 0.5$ になることはまぎらない。スラリー層が極端に形成しにくいときには $\epsilon > 0.9$ になる。 $\epsilon = 0.9 \sim 0.5$ の間で $F(\epsilon)$ は 0.014~2 まで変化する。したがって同一粒子のスラリー層であっても圧力損失は ϵ によって約 142 倍もの相違があることになる。

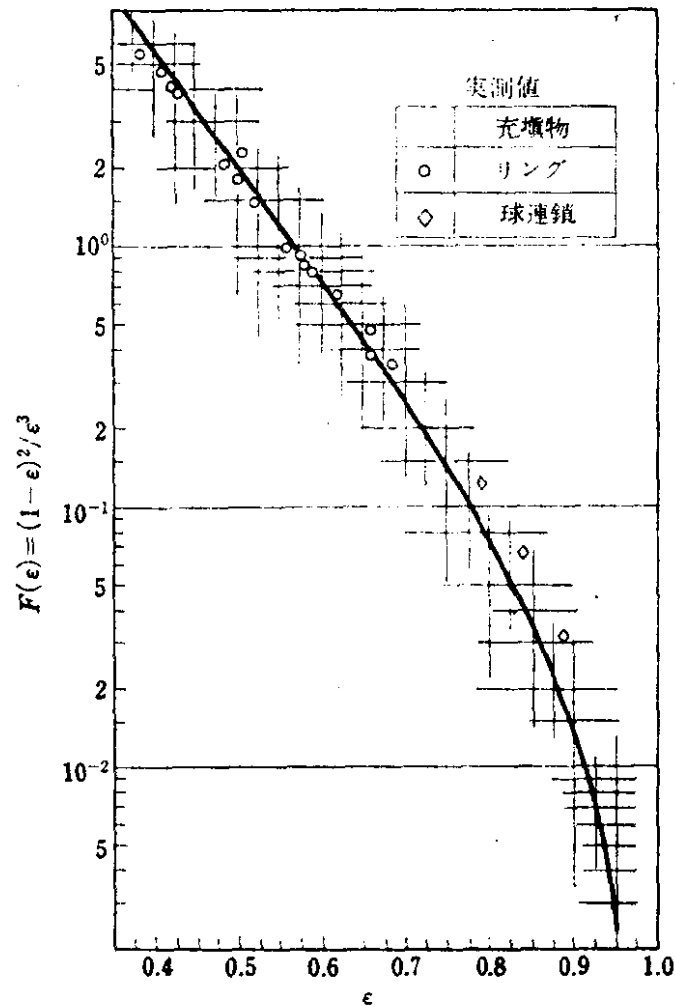


図 1.2 空間率関数

1.2 滷 過

1.2.1 滷過操作の概要

滷過は通常スラリー原液から滷布などの滷材上に固形分を次々に捕集し、ケーキと母液を分離する。滷過圧は真空とするものと1気圧以上の加圧式の場合とに大別される。これに対して最近ではベルトプレス方式、深層滷過方式など滷過方式の異なる機種も多く開発されているが、滷過機の主流は依然として滷材上にケーキを蓄積する真空滷過機、フィルタプレス、滷葉滷過機などである。

この種の滷過はケーキ層高さが時間とともに増加する非定常操作である。いま、図 1.1 がある時間 $\theta = \theta$ におけるケーキ層であったとする。この層内を圧力降下 ΔP に見合う液透過が起っているのであるが、滷過の場合はケーキ層があらかじめ充填されているので

はなく、 ΔP に相当する圧縮圧がケーキ層に加わることによってケーキ層の充填が進行する。厚さ x における局所圧縮圧 P_c は図 1.1 (b) に示すように濾過面から x まで透過圧力損失を ΔP_x とすると、

$$P_c = \Delta P - \Delta P_x \quad (1.6)$$

である。したがって上方ほど、また時間を経るほど圧縮圧は小となり、上方がルーズな充填になりやすい。この傾向は圧縮圧が機械的応力ではなく液体圧であるために一層助長されやすい。具体的には濾過の初期の大きな圧縮圧勾配によって濾布上にまず粒子の密なブリッジが発生し、これが次の濾過に対する濾過材の作用を果すなどして順次濾過が進行する。

したがって濾過においては一般にケーキ高さ方向に空間率は増加する。これを圧縮性ケーキという。これに対して圧縮圧に関係なく空間率の一定なケーキを生ずるスラリーもある。これを非圧縮性ケーキといい、粒子のブリッジやネットワークを生じないか、生じても小さな外力で直ちに崩壊する比較的粗大な粒子に多い。非圧縮性ケーキの場合は当然のことながらケーキ層全体にわたって式 (1.3) が成立している。圧縮性ケーキの場合も任意の断面上で、また層全体にわたる平均値について式 (1.3) が成立すると考えてよい*。

上述のように上層のケーキほど脱水されないことに濾過操作の限界がある。ケーキ層全体を十分脱水するために古くから濾過終了後通気する通気脱水法があるが、よほど濾過面に一様ケーキが堆積していないとうまく脱水できない。一般には圧搾によるほかない。そこで最近では濾過終了後に圧搾も可能な濾過装置が各種開発されている。濾過あるいは圧搾終了後に必要に応じてケーキに水を透過させて水洗が行われ、次にケーキを排出し、一連の濾過（圧搾）サイクルを完成する。このサイクルを効率よく自動化することが濾過操作の省力化と省エネルギー化の主課題である。回転式真空濾過法は古くからこの代表例であった。最近ではフィルタプレスを始め多くが自動化されている。ベルトプレスも初めから自動化を目的に開発されたものといえる。これら各機種の詳細は第4章以下において詳述する。

1.2.2 濾過基礎式

式 (1.3) を非定常流れに拡張することを考える。連続の条件によって、ある時間瞬間に粒子層内を流れる液量は高さ方向に変らないから、 u は濾過経過時間 θ のみの関数とな

* 厳密な理論については章末文献 1) などを参照されたい。

る。それで V を滷過開始から $\theta = \theta$ までの全滷過液（分離液）量 $[\text{m}^3]$ とすると、

$$u = \frac{dV}{A d\theta} \quad (1.7)$$

となる。ケーキ高さ H も時間の関数でスラリー濃度 C $[\text{kg-solid/kg-母液}]$ と V を用いると、式 (1.5) は次式に書き改められる。

$$(1-\epsilon)AH = \frac{W}{\rho_s} = \frac{CV\rho}{\rho_s} \quad (1.8)$$

式 (1.7), (1.8) を式 (1.3) に代入して次式を得る。

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{\Delta P}{\mu R_c} = \frac{\Delta P}{\mu \alpha_c v} \quad (1.9)$$

ただし、 $v = V/A$ $[\text{m}]$

$$\alpha_c = \rho C \alpha_v \quad [1/\text{m}^2] \quad (1.10)$$

$$\alpha_v = \frac{k}{\rho_s D_p^2} \frac{F(\epsilon)}{(1-\epsilon)} = \frac{k' S_c^2}{\rho_s} \frac{F(\epsilon)}{(1-\epsilon)} \quad [\text{m/kg}] \quad (1.11)$$

あるいは式 (1.8) で $w = W/A$ とおくと、これと式 (1.3) より、

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{\Delta P}{\mu \alpha_v w} \quad (1.12)$$

となる。 α_v は式 (1.11) と同様である。

さらに全量基準のスラリー原液濃度 s とケーキの湿乾質量比 m $[\text{kg-ケーキ/kg-固体}]$ を用いるときは滷過によって滷液 ρv とケーキ mw に分かれ、そのうちの w が固体であるから、

$$\left. \begin{aligned} \text{処理した原液スラリー} &= \rho v + mw = w/s \quad [\text{kg-スラリー}/\text{m}^2] \\ s &= \frac{w}{\rho v + mw} \quad [\text{kg-固体}/\text{kg-スラリー}] \\ w &= \frac{\rho s v}{1 - ms} \quad [\text{kg-固体}/\text{m}^2] \\ \text{ケーキ厚さ } H &= \frac{\rho + \rho_s(m-1)}{\rho \rho_s} w \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

この定義によるとき式 (1.12) は次式となる。

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{\Delta P(1-ms)}{\rho \mu \alpha_v s v} \quad (1.14)$$

式 (1.9), (1.12), (1.14) のいずれを滷過の基礎式としてもよい。 R_c はケーキ抵抗、 α_v は Ruth の滷過比抵抗、 α_c は Lewis の滷過比抵抗といわれる。それぞれの次元は各式

に示したようである。

汙布などフィルタ（汙材）の圧力損失 ΔP_m が無視できないときは式 (1.1) に従って、

$$u = \frac{dv}{d\theta} = \frac{\Delta P_m}{\mu R_m} \quad (1.15)$$

R_m : 汙材抵抗 [1/m]

とおくことができ、全圧力降下 ΔP_t はケーキの圧損 ΔP と汙材の ΔP_m との和、

$$\Delta P_t = \Delta P + \Delta P_m \quad (1.16)$$

となる。よって ΔP_t を用いた汙過基礎式はたとえば式 (1.14) と (1.16) を用いると次式となる。

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{\Delta P_t}{\frac{\rho \mu s \alpha_v}{1-ms} v + \mu R_m} \quad (1.17)$$

1.2.3 定圧汙過、汙過比抵抗

定圧汙過 ($\Delta P_t = \text{一定}$) のときは汙過基礎式 (1.17) より、

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{K}{2(v + v_m)} \quad (1.18)$$

ただし、

$$K = \frac{2\Delta P_t(1-ms)}{\rho \mu s \alpha_v} \quad [\text{m}^2/\text{s}], \quad v_m = \frac{(1-ms)R_m}{\rho s \alpha_v} \quad [\text{m}] \quad (1.19)$$

とおくことができ、 K, v_m は定数となる。時間 θ に伴う v の測定結果を $\Delta\theta/\Delta v$ 対 v のプロットに直すと直線の勾配は $2/K$ 、切片は $2v_m/K$ に相当する。

また、式 (1.18) を積分すると、

$$v^2 + 2v_m v = K\theta \quad (1.20)$$

で汙過時間と汙過開始以後の全汙液量の関係がえられる。上式より K, v_m を求めるには、

$$\frac{\theta}{v} = \frac{v}{K} + \frac{2v_m}{K} \quad (1.21)$$

とおき、 θ/v 対 v のプロットから K, v_m を得ることができる。さらに式 (1.19) より α_v と R_m が求められる。前項によって求められた α_v または式 (1.10) の α_c は圧縮性ケーキの場合平均の比抵抗である。

実測結果を章末の例題に示したようにして θ/v 対 v で整理した結果の数例を図 1.3 に示す。図上の二重矢印までは直線になり定圧汙過であることを示す。勾配と切片より求

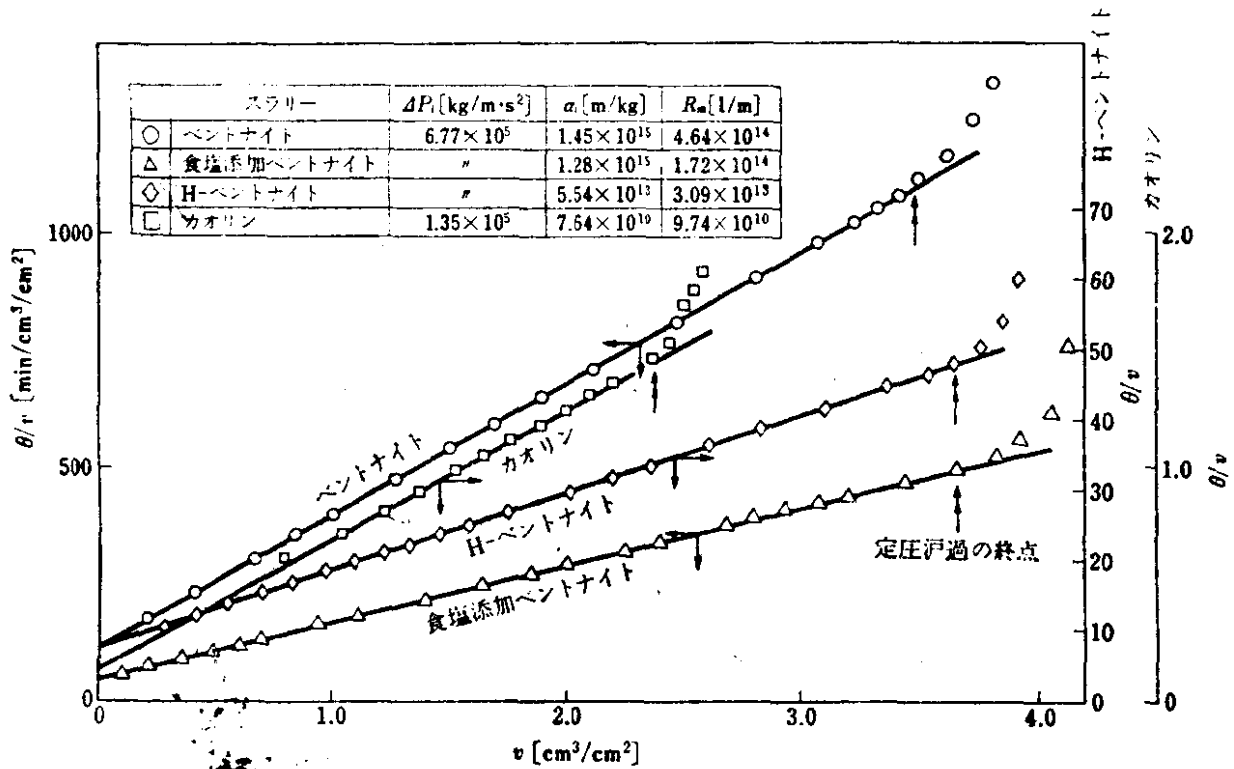


図 1.3 濾過基礎式の検証

めた α_v と R_m の値は図に付記しており、カオリンとベントナイト類、また同じベントナイト類であっても濾過比抵抗は非常に違っている。その理由は 2.3.2 項および第 3 章で述べる。

式 (1.11) より $\alpha_v \propto (1/\bar{D}_p^2)$ 、また α_v は ε の減少に伴い急増するから、微粒子ほどあるいは密なケーキを生ずるスラリーほど α_v は大で、このとき R_m は無視できることが多い。

スラリーの濾過特性は濾過比抵抗 α_v あるいは α_c によって一義的に表わされており、 α_v によって濾過の難易を知ることができる。その数値例などは第 3 章に述べるが、圧縮性ケーキのときは式 (1.11) の ε が濾過圧力に反比例して減少するから、 α_v は ΔP の関数になる。次のようなスペリー (Sperry) の実験式がある。

$$\alpha_v = \alpha_0 \Delta P^n = \alpha_0 (\Delta P_t - \Delta P_m)^n \quad (1.22)$$

濾材抵抗が無視できるときは式 (1.20) は、

$$v^2 = K\theta \quad (1.23)$$

となり、濾過の近似計算に便利である。

1.2.4 定速濾過・変圧変速濾過・洗浄

実際には実現しにくい、定圧濾過に対応する操作は定速濾過で濾過の進行につれて濾

過圧力を増す必要がある。このときでも定圧濾過で推定した α_v , m などそのまま用いることができる。

いま比抵抗として式 (1.22) が適用できるとき濾過圧力は時間とともに次のように変化させる必要がある。

$$\Delta P_t - \Delta P_m = K_{CV}^{1/(1-n)} \theta^{1/(1-n)} \quad (1.24)$$

ここに K_{CV} はたとえば式 (1.14) によるとき, $v = (dv/d\theta)\theta$ であるから,

$$K_{CV} = \frac{\mu \rho s \alpha_0}{1 - ms} \left(\frac{dv}{d\theta} \right)^2 \quad (1.25)$$

で, $dv/d\theta$ は定義によって一定である。濾過圧力によって m が変化するから上式の K_{CV} は一定ではないが, ある程度濾過が進行してからは一定とみなしてもよいことが多く, このとき式 (1.24) によって,

$$\Delta P \propto \theta^{1/(1-n)}$$

になる。

スラリーポンプを用いて濾過を行う場合は定圧でも定速でもない変圧変速濾過になることが多い。このときはポンプの吐出性能とスラリーの性状, 濃度などによって濾液量の時間変化がきまる。これを理論的に求めるには式 (1.17) を逐次解き v 対 θ の関係を求める必要がある。ごく大ざっぱな近似としては濾材抵抗を無視できるとき次の指数型の濾過式が成立するようである。

$$v = K_{PV} \theta^m \quad (1.26)$$

m は定圧濾過のとき 1/2, 定速濾過のとき 1.0 である。

濾過終了後にケーキ層中に残存している液分を回収したいときには水などで洗浄する。洗浄はケーキ層内の透過であるから式 (1.3) が与えられたケーキ性状とケーキ層厚さ H , 濾過圧力 ΔP に対してそのまま成立する。あるいは濾過終了時の濾過速度 $(dv/d\theta)_F$ が既知であるときは, そのときの濾過圧力を ΔP_t , 濾液粘度を μ , 洗浄圧力を ΔP_w , 洗浄液粘度を μ_w として洗浄速度 $(dv/d\theta)_w$ は次式で与えられる。

$$\left(\frac{dv}{d\theta} \right)_w = K_w \frac{\Delta P_w}{\Delta P_t} \frac{\mu}{\mu_w} \left(\frac{dv}{d\theta} \right)_F \quad (1.27)$$

ここに K_w は洗浄方式に対する補正係数で濾過と液通路が全く同一のとき 1.0 である。

以上に記した濾過の基礎理論は原液スラリーが高濃度であるとき多少の修正を要する。