



Title	魚肉スラリーの濾過挙動
Author(s)	酒井, 信; SAKAI, Makoto
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 44(4), 229-237
Issue Date	1993-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24128
Type	departmental bulletin paper
File Information	44(4)_P229-237.pdf



魚肉スラリーの濾過挙動

酒井 信*

Filtration Behavior of Fish Slurry

Makoto SAKAI*

Abstract

The filtration behavior of a fish slurry was studied on the bases of cake filtration mechanism, and the following results were obtained.

In the case of gravity filtration, the filtration process was well explained by a Wiley's equation. The relation of slurry concentration and filtration rate was the same as that of ordinary cake filtration. However, temperature influenced not only the viscosity in the equation but also the average specific cake resistance.

In the case of vacuum filtration under constant pressure, a complicated variation of average specific cake resistance was observed as the filtration proceeded. However, the value approached to a constant value, and was proportional to the applied pressure. These behaviors were not explained sufficiently by the equation.

魚肉碎物の水洗操作はすりみ生産に欠かせない操作の1つである。この操作に必要な装置および操作の合理的設計のため、著者らは既にその基礎となる水溶性タンパク質の抽出平衡ならびにその速度の検討を行なった^{1,2)}。本報ではその一環として魚肉スラリーの濾過速度を検討する。

濾さい濾過の速度は、流速が濾過圧力に比例し、濾さい層及び濾材の抵抗の和に反比例するとした Wiley の式³⁾などで代表される式が広く用いられている。濾さい層の抵抗は、非圧縮性濾さいでは濾さい量すなわち濾液量に比例する。圧縮性の濾さいでは、充填層の透過実験による種々の圧力と比抵抗から求めた平均比抵抗が使用され、圧力の関数になる。濾さい形成過程の詳細な解析に基づく現在の濾さい濾過理論によれば、点比抵抗から平均比抵抗を正確に推定する事ができる⁴⁾。

本実験における濾さいは構成する粒子の変形がきわめて容易な圧縮性の濾さいであるとともに、粒子そのものも複雑な脱水挙動を示す。また、粒子径も微細なものを含み、わずかな操作の違いでおおきく濾過の様子が変化する。ここでは、先ずその挙動の特徴、理論式の適用の限界を調べることにする。

実験方法

試料は市販のスケトウダラを冷凍貯蔵したものを使用した。これを室温で解凍し、ミートチョッパーにかけ、所定温度の水中で約1分攪はんし、試料スラリーを調整した。攪はんは、約100 rpm、タービン翼型の攪はん器によった。本実験においてはわずかな試料調整の違いでデータが著しく

* 北海道大学水産学部化学工学講座
(Laboratory of Chemical Engineering, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

異なることがある。これらの影響を避けることは困難であるが、各種因子の影響などの一連の実験は同一試料を用い、試料間の違いが最小限になるよう行なった。

つぎに、濾過実験は内径 5.94 cm, 高さ 30 cm の円筒に濾材として目開き 0.5 mm (32 メッシュ) の金網、及び種々の粒子径の砂を用いた濾過器を用い、回分式で行なった。また、濾過は主として重力濾過で行なったが、133~800 hPa の真空濾過も行ない、その挙動を調べた。

数学的方法 濾過の機構として濾さい濾過を仮定する。基礎式は種々の表わし方があるが、基本的には違いが無い。ここでは、Wiley の式³⁾として知られる (1) 式を使用して濾過特性を検討する。

$$\frac{\Delta P_f t}{(V/A)} = \frac{\alpha_m'' c \mu}{2} \Delta P_f s (V/A) + r_m \mu P_f^{m'} \quad (1)$$

ここでは ΔP_f は全濾過圧力で濾さいおよび濾材の圧力損失 (Pa), V は濾液流出量 (m^3), A は濾過面積 (m^2), t は時間 (s), c はスラリー濃度 (kg/m^3), μ は濾液の粘度 ($Pa \cdot s$) である。 α_m'' は濾さいの比抵抗に関する係数, r_m は濾材の抵抗に関する定数, s および m' は濾さいの圧縮及び濾材閉塞に関する圧力の指数であり、それぞれ以下に示す。

圧縮性濾さいにおける平均比抵抗 ($\alpha_m)_{av}$ (m/kg) は、点比抵抗を α_m , 濾さい層の圧力損失 ΔP_c , 濾さい層に対する圧縮圧力を P として、

$$(\alpha_m)_{av} = \Delta P_c / \int_0^{\Delta P_c} (1/\alpha_m) dP \quad (2)$$

で表わされる。 $\alpha_m = \alpha_m' P^s$ で表わされるとすると

$$\begin{aligned} (\alpha_m)_{av} &= (1-s) \alpha_m' \Delta P_c^s \\ &= \alpha_m'' \Delta P_c^s \end{aligned}$$

となる。 α_m'' は $(1-s) \alpha_m'$ である。なお、濾さいの抵抗は $R_c = (\alpha_m)_{av} cV/A$ である。また、濾材の抵抗 R_m は、濾さいの第 1 層が濾材の目を閉塞した状態の抵抗で、濾さいと同様に $R_m = r_m \Delta P_c^{m'}$ で表わす。(1) 式の ΔP_f は濾材による流動抵抗が濾さいのそれに比較して小さいので ΔP_c の近似値として使用されている。

実験結果と考察

1. 濾過速度に及ぼす圧力の影響

ケイソウ土の濾過 魚肉スラリーの濾過実験は連続式で行なうことが難しいため回分式により行なった。一方、上記濾過速度に関する式は連続濾過に対する式であるため適用に当たってはその妥当性を検討する必要がある。回分式の濾過ではスラリーを構成する粒子の沈降が濾過速度と比べて速いと濾過によらない沈降層の形成が進む。また、重力による濾過の場合は濾過の進行に伴って圧力差が変化する。これらの影響の程度を知るため、濾過挙動が明らかな、非圧縮性濾さいとみなせるケイソウ土を用い、回分式による重力および真空濾過実験を行なった。この結果を (1) に従って図 1(a), (b) に示す。重力濾過では $t/(V/A)$ の値が $5 \times 10^3 s/(m^3/m^2)$ 程度まで直線性があることが判る。それ以降は、上述のように圧力差の低下および濾過が比較的遅いため、回分操作による影響が出てきたものと考えられる。一方、真空濾過実験では圧力差の変化は無視でき、また速度も早いため回分操作による影響は受けにくく、直線と見なせる領域が広がっている。これらの結果から、魚肉スラリーの場合は、後述するように濾過は比較的速く、その影響は小さいものと思われる。

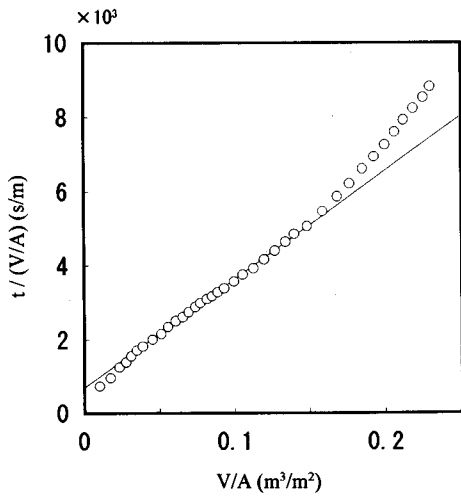


Fig. 1(a). Gravity filtration of diatomaceous earth slurry at 10°C.

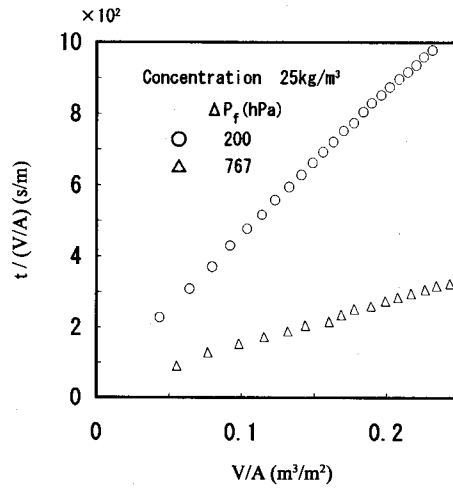


Fig. 1(b). Vacuum filtration of diatomaceous earth slurry under various pressures at 10°C.

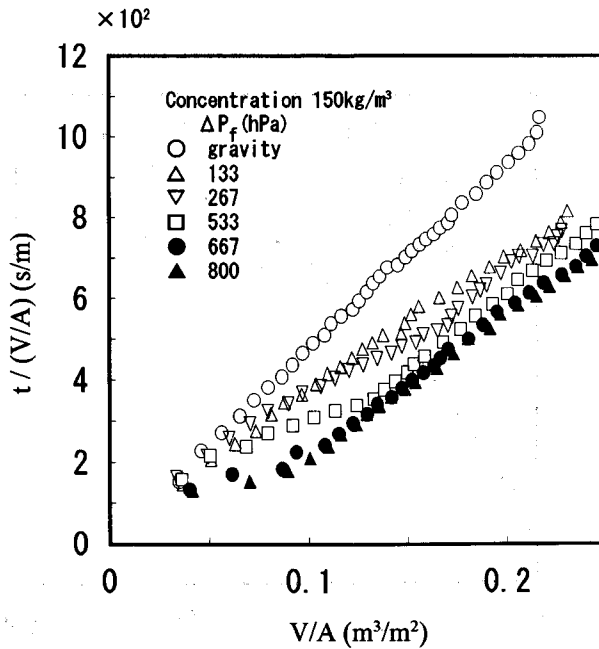


Fig. 2. Filtration of fish slurry under various pressures at 10°C. Filter medium; wire net of 0.5-mm mesh.

魚肉スラリーの濾過 魚肉スラリーの重力濾過および真空濾過実験の結果を図2に示す。濾材は金網である。重力濾過および ΔP_f が 133 hPa の真空濾過の場合は原点を通る直線となり、濾過の過程は (1) 式で表わされる。また、濾材の抵抗は無視できることが判る。しかし、一般的に減圧下では直線にならず、濾過開始直後の曲線の傾きが、濾過の進行に伴って小さくなった後、再度大きくなり、圧力差に関わらずほぼ平行な直線に漸近する。また、このような変化は圧力差が大きいほど早い段階で進行している。これらの挙動は現象的には濾過の進行に伴う平均比抵抗の変化によるものであり、濾過が進めば α_m の変化が小さく一定値に漸近することを意味する。また、平行な直線に近似できることから、その勾配 $\alpha_m'' \Delta P_f^{s-1}$ が圧力に無関係、すなわち $s=1$ となり、 $(\alpha_m)_{av}$ が ΔP に比例する。なお、 $s=1$ の場合は (2) 式の積分できないが、(1) 式の右辺第1項は $(\alpha_m)_{av}(c\mu/2)(V/A)$ であるので、同じ結果が得られる。

一方、(1) 式は圧縮性の濾さいにおいても一般的に成立するとされており、類似の濾さいと思われる醤油製造におけるもろみの加圧濾過においても成立している⁹⁾。(2) 式から明らかのように、ここで用いられている以外のいかなる α_m と P の関係を用いても恒圧濾過においては濾過の期間を通じて一定の平均比抵抗の値を持ち、 V/A に対する $t/(V/A)$ のプロットは直線になる。また、濾さいの圧縮性による粒子移動と濾液流速の変化を考慮した現在の濾過理論⁹⁾ によって求められる平均比抵抗も、恒圧下では一定の値であり、濾過の進行に伴って変化するものではない。

以上の考察から、以下に述べる透過試験の結果とも合わせ、魚肉スラリーの結果は広く知られている圧縮性濾さいの濾過とは異なる挙動を示すものと言える。また、本実験程度の V/A の範囲においては加圧することにより濾過が速く進むことは認められるがこれは初期の段階の違いによるものであり、それ以降の段階では比抵抗が圧力に比例することから加圧の効果が無いことが判る。なお、重力および 133 hPa 程度の真空濾過では (1) 式の適用が可能である。

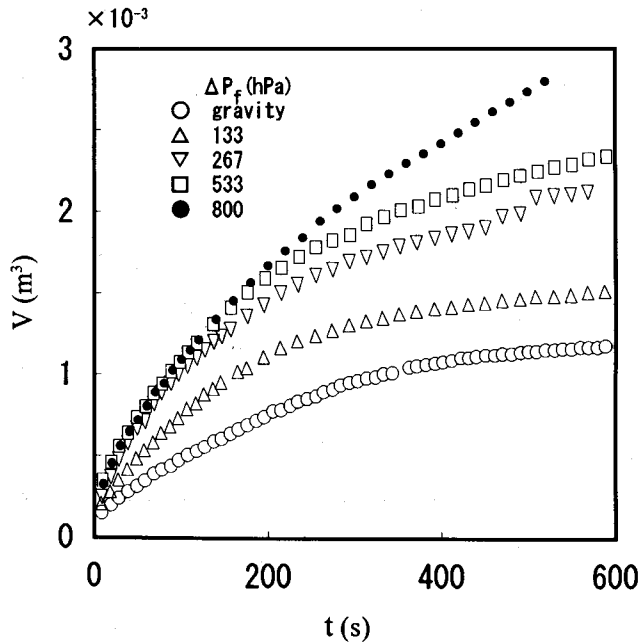


Fig. 3. Flow of water through a settled slurry of fish flesh under various pressures at 10°C. Sample slurry contains 80 g of flesh, and filter medium is the same as in Figure 2.

濾さい層の透過試験 魚肉スラリーの比抵抗の変化を見るため、粒子層の透過試験を行なった。一定量の魚肉スラリーを濾過器に投入し、自然沈降により粒子層を形成させた後、圧力を一定に保ちながら連続的に水を流し、流速の変化を調べた。なお、濾過推定のためのいわゆる圧縮透過試験は、あらかじめ加圧・圧縮した層に対し行なわれており本方法とは異なる。この結果の一例を図3に示す。流出量と時間の関係は曲線になり、流速は濾過実験の流出流量、約 $6 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 程度の範囲で大きく変化し、これを越える流出量においても変化は続いている。濾過実験との直接的な比較は困難であるが、この事からも上記の濾過の挙動は比抵抗の変化によるものと考えられる。理論的には圧縮圧力と空間率及び比抵抗の関係を圧縮透過試験により決定すれば、定圧濾過におけるケーキ内の空間率分布、圧縮圧力分布などがすべて一義的に定まる⁴⁾とされているが、本実験の結果は時間的に変化することを示している。

2. スラリー濃度と濾過速度の関係

スラリー濃度を $50 \text{ kg/m}^3 \sim 200 \text{ kg/m}^3$ に変化させた場合の重力濾過実験の結果を図4に示す。濾材は金網、温度は 10°C である。いずれの場合もほぼ原点を通る直線で表わされる。次にこれらの直線の勾配 $(\alpha_m'' c \mu / 2) \Delta P_f^{s-1}$ とスラリー濃度の関係を図5に示す。 200 kg/m^3 がやや高めに出ているが直線関係があり、(1) 式が成立している。この図の勾配から $\alpha_m'' \mu \Delta P_f^{s-1} / 2 = 22 \text{ m} \cdot \text{s} / \text{kg}$ が得られる。

3. 温度と濾過速度の関係

温度を $2 \sim 30^\circ\text{C}$ に変え、重力濾過実験を行なった結果を図6に示す。いずれの場合もほぼ原点を通る直線で表わされ、基本的には (1) 式が成立する。つぎに、この直線の傾き $\alpha_m'' c \mu \Delta P_f^{s-1} / 2$ と

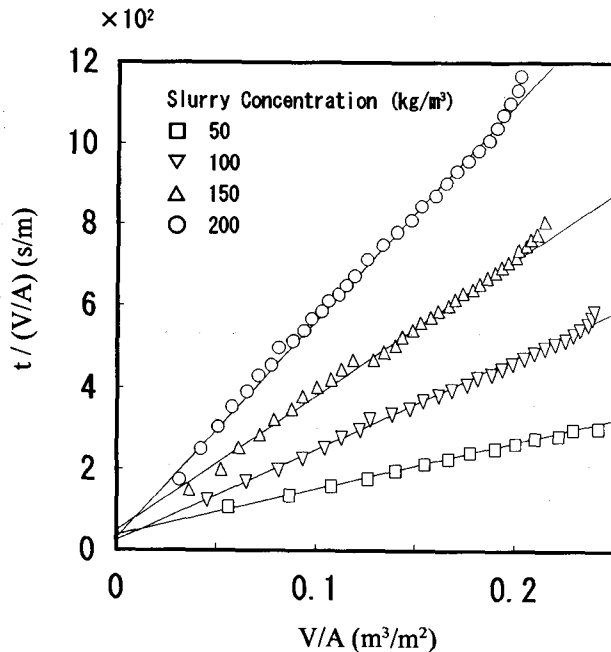


Fig. 4. Filtration of fish slurry of various concentrations with wire net medium at 10°C .

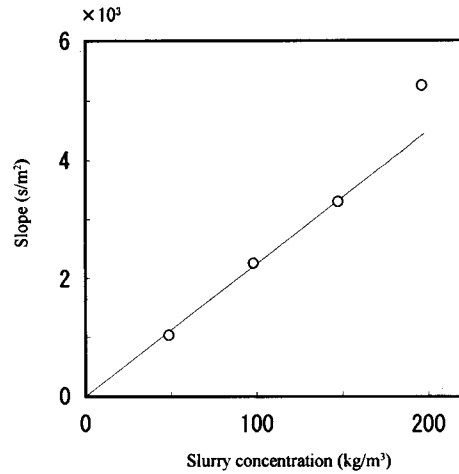


Fig. 5. Correlation of slurry concentration and the slope of straight line in Figure 4.

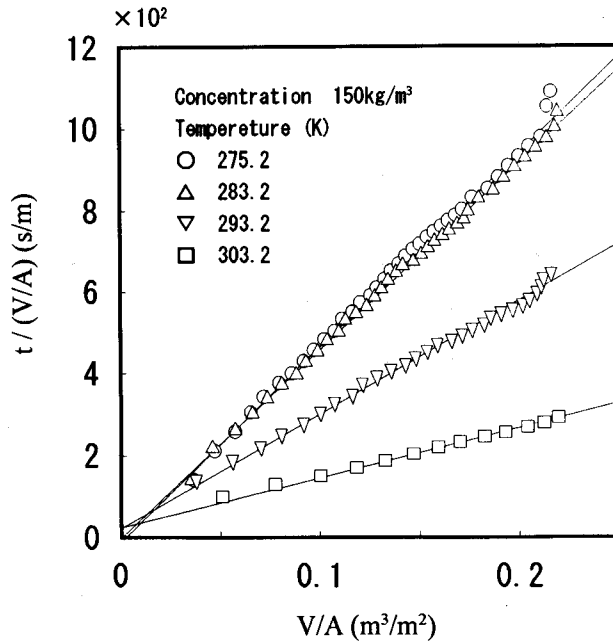


Fig. 6. Effect of temperature on gravity filtration of fish slurry with wire net medium. Slurry concentration; 150 kg/m³.

溶液の粘度 μ の関係を図 7 に示す。図 6 の勾配は粘度に比例しない事がわかる。一般に充填層を通過する流体の抵抗は粘度に比例する事はよく知られた事である。この事から、本試料においては温度および粘度の変化が平均比抵抗の変化を引き起こしている事が予想される。通常の濾過に於いては記述されない現象である。

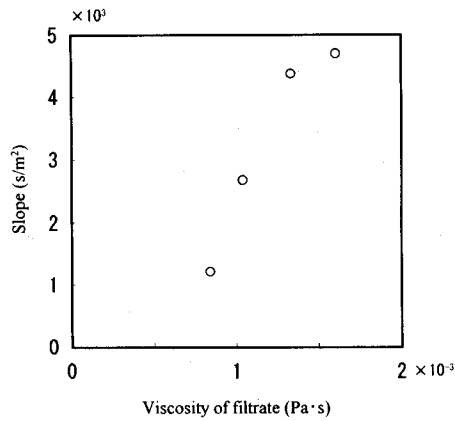


Fig. 7 Correlation of viscosity of filtrate and the slope of straight line in Figure 6.

4. 微細粒子の挙動と濾材について

実験に使用したスラリーは、粒子径の測定は行なっていないが微細な粒子から比較的大きな粒子の混合物からなる。また種々の操作による粒子の分散の程度も異なる。これらの影響を評価することはきわめて困難であるが、実験データの不安定さや様々な挙動に強く影響を与えているも

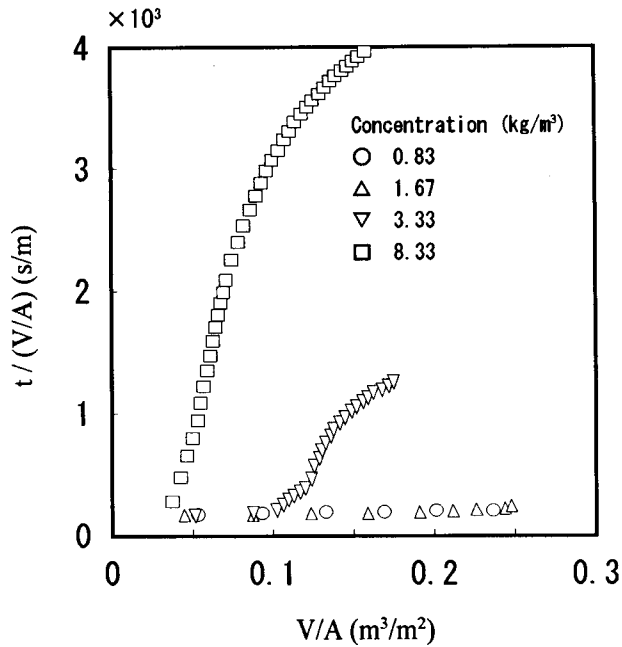


Fig. 8. Behavior of fine particles of fish in gravity filtration under various concentrations at 10°C.

Filter medium; 70 ml of sand having particle diameter between 0.50 mm/0.84 mm.

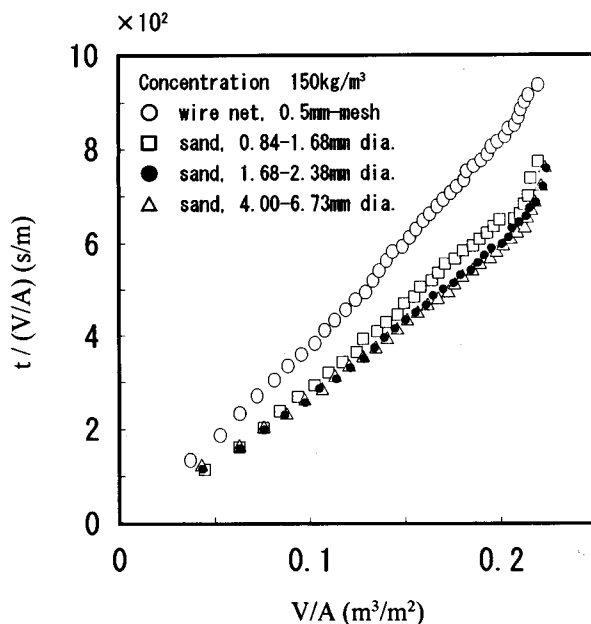


Fig. 9. Gravity filtration with some different filtration media at 10°C.

のと思われる。ここでは特に微細な粒子の影響が大きいと考え、市販の冷凍すり身を使用してこの影響を調べた。実験は重力濾過で行い、濾材として粒径0.5~0.84mmの砂70ml(層高25mm)を使用した。この結果を図8に示す。粒子濃度0.83kg/m³および1.67kg/m³では $t/(V/A)$ の値は同程度の値で小さいが、3.33kg/m³および8.33kg/m³ではある流量を超えると急激に $t/(V/A)$ の値が大きくなり、同じ濾さい粒子量と考えられる流量でも全く異なった値を示している。この現象は低濃度では清澄濾過機構による濾過が行なわれ、高濃度になるとその機構と閉塞及び濾さい濾過の機構がはたらくことによると思われる。微細粒子の濾過の場合は上述の種々の実験と比較して、濃度が低くても大きな $t/(V/A)$ の値を持っている。したがってスラリー中の微細粒子の含量は全体の濾過速度および濾過の挙動に大きな影響を及ぼすものと思われる。これらの点に関しては次に示す濾材の問題を含め多くの問題があり、基礎的な面からの検討が必要である。

次に、上記の砂を濾材として魚肉スラリーの濾過を行なった。この結果を図9に示す。金網と比較すると、砂の方が多少速いことが判る。濾さいと濾材の接触面における目詰まり等、閉塞の仕方が異なる可能性がある。

結 論

魚肉スラリーの濾過挙動を、濾さい濾過機構に基づき検討し、以下の事が明らかになった。

重力濾過ではスラリー濃度の影響を含めてWileyの濾過式で表現することが可能であった。温度を変化させても同様であるが、式中の粘度の項のみならず温度および粘度の変化に伴う平均比抵抗の変化が観察された。

一方、真空濾過の場合は複雑な挙動を示し、平均比抵抗が濾過の進行にともなって変化し、一定の値に漸近する事、また、その時の平均比抵抗は圧力に比例する事を明らかにした。これらの

諸現象の従来の理論による説明は不可能であり、通常の圧縮性濾さいでは考慮されなかった点が、使用したスラリーに顕在化したものと考えられる。その意味で新しいデータを示すとともに、さらに広く適用が可能な濾過理論発展のための問題を提起した。

文 献

- 1) 酒井 信・三木正之 (1978). 水溶性たん白の水-魚肉間の分配平衡. 日食工誌 **25**, 612-615.
- 2) 酒井 信・三木正之 (1978). 種々のサイズに切った魚肉からの水溶性たん白の抽出速度. 日食工誌 **25**, 616-621.
- 3) 亀井三郎編 (1959). 化学機械の理論と計算. 564 p. 産業図書, 東京.
- 4) 白戸紋平編 (1980). 化学工学 機械的操作の基礎. 251 p. 丸善, 東京.
- 5) 永井史郎・五十嵐操・田口久治・寺本四郎 (1963). 醸造醪の濾過, 圧搾に関する研究 (第1報) 醤油, 清酒醪に対する恒圧濾過方程式の検討. 醸工 **41**, 1-6.