

定圧ろ過ろ層内抑止の特性について

大阪工業大学 正員 木 原 敏

ろ過間隙に架橋される、ろ過膜に定常的な差圧しか与えなければ、抑止物質の捕留によって、膜が変化しても、ろ膜への破壊に対して力学的に安定を維持する。このように常に一定の差圧のもとに行われる、ろ過を減衰ろ過または定圧ろ過と称しているが、いわゆる一般に用いられている定速ろ過に比して、極めて小さいろ過層で充分SSを捕えることができる。その理由は定速ろ過ろ層内で起っている、間隙内のフロック架橋、破壊、架橋の不連続挙動が、定圧ろ過では起らないところにあると考えられる。

しかし、減衰ろ過の名の通り、ろ層の閉塞につれてろ過水量が減衰することが、定圧ろ過の欠点であった。しかし、この欠点はろ過面を多分括することにより、全体的には平均化した供給を行うことによってカバーし得る。この方式はすでに一部、実用化されて運転されていることは衆知の通りである。

筆者は定圧ろ過について、流量、ろ速と差圧との関連について、さきに報告したが、今回はろ層内の抑止率の分布、抑止の様相について若干の知見を得たので報告する。

1. 定圧ろ過、ろ過膜における架橋現象

定圧下で、間隙内に捕そく蓄積されて、架橋化が起る状況について、筆者はモデル的な実験を行った。

実験はうすい透明セル内にろ過方向に直角の方向に平行に並べた円とう群をろ材として、これをろ層の一部として、これに人工濁水（沖積層粘土-淀川河岸）を予め凝集処理した原水を定落差でろ過させて、ろ材の周辺での捕そくの状況を経時的に撮影し、観察した。この手法は北見工大 海老江教授の手法を定圧ろ過方式に応用したものである。

このろ層セルに封入したろ層はろ層厚さが、5mmと極めてうすく、ろ層間隙の閉塞を流下方向に1次的に表わしていると考えてよい。この結果によると、捕そくの状況はろ材の間隙に一様に分布しているのではなく、ろ材の周辺に特長的に分布している。全体的な様相は定速で観察した海老江の場合と近似しているが、閉塞の発達につれて、定速で看られた掃流による移送が、定圧では看

られなかった。しかし、ろ過の初期には間隙に充分なフロック架橋が形成されていないから、ろ材から離れているであろうSSは次の間隙に侵入してゆくようであった。しかし、間隙の架橋が始まると急速に捕そくが促進され侵入が阻止されるようであり、その後安定し

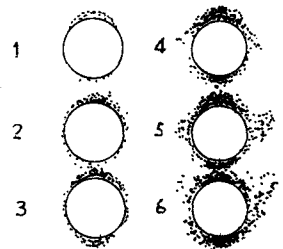
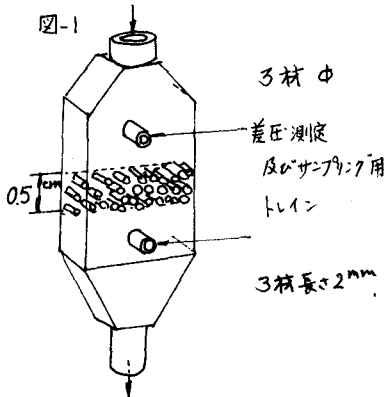


図-2 3枚フロックモデル

て閉塞が進行する。ろ材の周辺に集積するフロックは第1区分に多いのは定速ろ過の場合と同様であるが、第2区分、第3区分では定速ろ過では掃流せん断によって、フロックは付着し難く、したがって堆積も少なかったのに対し、定圧では第1区分から次第に第2区分へと発達していった。第3区分は下流側のろ材の第1区分の堆積が発達するにつれて順次堆積が起り、間隙を埋めていった。定速ろ過で認められるような、パイピングのようなものは、定圧では一般的には発生しないのが特長である。このような一般的な傾向は、差圧の大小に拘らず全体を通じていえることであるが、差圧が大

きくなるにつれて、下流側への侵入が促進されるようであった。さらに差圧を大きくすると、ある限界を越せば第2,第3区分ではほとんど堆積を生ぜず、定速ろ過のように掃流せん断作用が働いて、次第に内奥へ侵入する。したがって、ろ過差圧には一定の限界値が存在するが、この値はろ材粒径、個々の間隙の大きさ、フロック自体の強さ等が関連するであろうが、その点は充分には明らかにしていない。ただ少ない観測からではあるが、粒径、間隙径共大きい方が抑止、捕そくが小さく、また、閉塞が破たんする限界差圧も小さくなるようである。しかし、第1区分では若干の堆積が進行してゆき、その堆積は内奥のろ材にも波及してゆくので、そのために生じる間隙の閉塞が、次第に流速を抑制してやがては限界流速以下に墜ち、架橋化が始まる可能性もあるが、今

回の観察はそこまで見届ける時間をかけなかった。

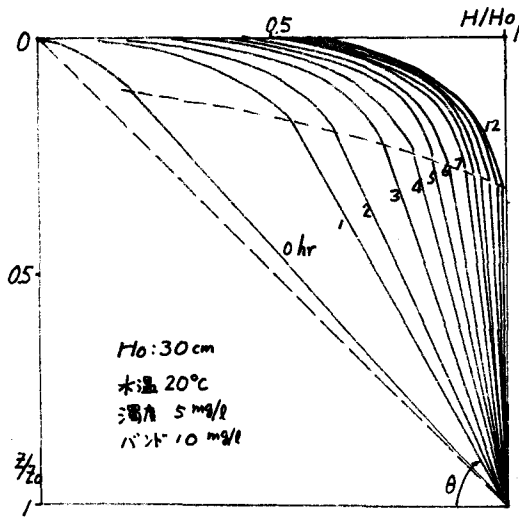


図-4

2. 定圧ろ過のろ過水量の変化

定圧ろ過で減衰する流量 q_f は

$$q_f = U_0 e^{-\alpha t} \quad \dots \dots \dots (1), \quad \alpha: \text{ろ過間隙と通過する微フロックの性状で定まる係数}$$

t_c で逆流洗浄を行うとして、 $t = 0 \sim t_c$ 間のろ過水量の平均 $\bar{U}_e$ は

$$\bar{U}_e = \frac{U_0}{\alpha t_c} (1 - e^{-\alpha t_c}) \quad \dots \dots \dots (2), \quad t_c: \text{ろ過継続時間 (s)}$$

U_0 : ろ過開始時の初期ろ過流量 (cm/s), であるので、浸透係数 k_0 を代入すると

$$\bar{U}_e = \frac{k_0 H_0}{\alpha Z_0 t_c} (1 - e^{-\alpha t_c}) \quad \dots \dots \dots (3) \quad H_0: \text{ろ過層全差圧 (cm)}, Z_0: \text{ろ過層厚さ (cm)}$$

α 値はろ砂粒径、間隙径によって異なる。図-9 は α の変化を示すものである。

3. 定圧ろ過層内での圧損失の変化

定圧ろ過では全ろ層の圧損失は予めセットした差圧によって運転されるので、変化しない。しかし、ろ層の閉塞は表層に主として集中し、さらに表層近傍にも生じるから、ろ過時間の経過とともに圧分布は変化していく。その状態は差

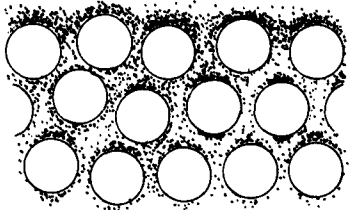


図-3 A (細)

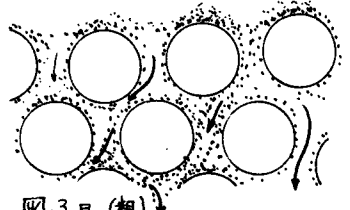


図-3 B (粗)

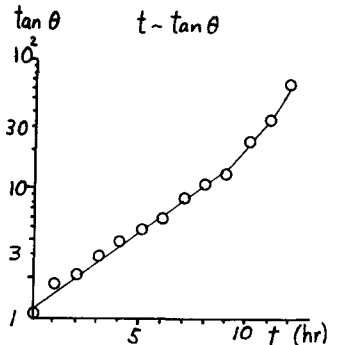


図-5

圧によって変化するが、ほぼ図-4 のようになるようである。

実験の概要は次の通りである。

- A: 3 過槽 中 10.5 cm
- 砂層厚さ z_0 30 cm
- M: フローメーター
- D: 定差圧用オーバーフロー
- E: オーバーフロードレイン
- C: マニメーター
- B: 濁水原水タンク
- F: 洗浄タンク

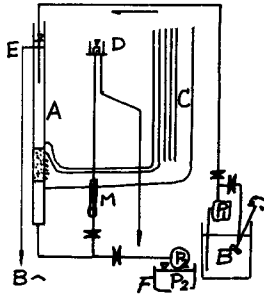


図-6 定圧ろ過実験装置

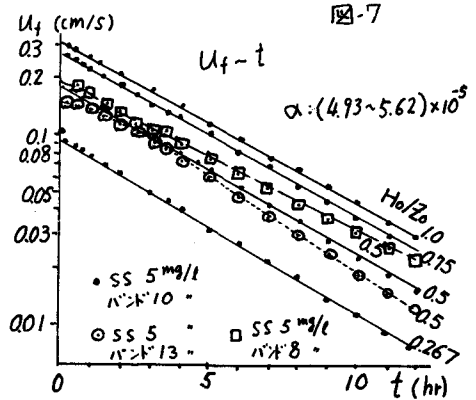


図-7

ろ過の経過とともに $\tan \theta$ が大きくなるが、その変化は砂層単位厚さ当り差圧 H_0/z_0 によってある一定の傾向が見出せるようである。

今回の実験ではろ砂を変化させた充分な測定を行っていないので、間隙の状態によって生じる変化について説明を加えることは難しいが、間隙が異なれば状況は変わるのではあるまいかと考えている。単純に差圧のみでは律し得ないのではあるまいか。

4. ろ層内の抑止捕そく物質の分布

ろ過終了後、砂層各層からサンプリング孔よりろ砂を抜き採り、間隙内に抑止捕そくされたフロック、汚泥を定量した。ろ過層の流下方向に指数的に減少しており、流入、出の濁質差と t_c 時までのろ過全流量 Q_f によって次のように表せる。

$$\Delta C Q_f = M(c_0, z_0) t_c$$

$$\Delta C Q_f = 10^{-6} \int_0^{t_c} \Delta C q_f dt = \int_0^{z_0} m dz \quad \dots \dots (4)$$

$$q_f = U_f = U_0 e^{-\alpha t} \dots (5), \quad m = m_0 e^{-\beta z} \dots (6)$$

$$10^{-6} \int_0^{t_c} \Delta C U_0 e^{-\alpha t} dt = \int_0^{z_0} m_0 e^{-\beta z} dz \quad \dots (7), \quad \frac{\Delta C H_0 k_0}{\alpha z_0} (1 - e^{-\alpha t_c}) = \frac{m_0}{\beta} (1 - e^{-\beta z_0}) \dots (8)$$

$$\therefore m_0 = \left(\frac{\Delta C H_0 k_0 \beta}{\alpha z_0} \right) (1 - e^{-\alpha t_c}) / (1 - e^{-\beta z_0}) \quad \dots \dots (9)$$

$$\therefore m = \left[\left(\frac{\Delta C H_0 k_0 \beta}{\alpha z_0} \right) (1 - e^{-\alpha t_c}) / (1 - e^{-\beta z_0}) \right] e^{-\beta z} \quad \dots (10)$$

β は定速ろ過に比して大きく、0.3~0.35 の範囲にある。

ここに、 $\Delta C = (C_0 - C_f)$ (mg/l), $q_f = U_f$ (cm/s · cm), k_0 : 初期の間隙浸透係数 (cm/s)

C_0 : 未ろ水濁質濃度 (mg/l), C_f : ろ過水濁質濃度 (mg/l)

ろ層内の間隙中の汚泥量と浸透係数との関係は明らかでないが、ろ層内の差圧分布から逆算した結果では、図-11 のような傾向が認められた。定量化するためには、さらにデータの蓄積を要する。

5. 定圧ろ過ろ層内の抑止率

定速ろ過と比較して、ろ層の抑止率はある一定値の周辺に分布している。定速ろ過では厳密には間隙の抑止モデルによって、間隙内のせん断摩擦流れに干渉されて、経時的に変化する。定圧ろ過ではろ層深度、経時的にはほぼ定値を示す。

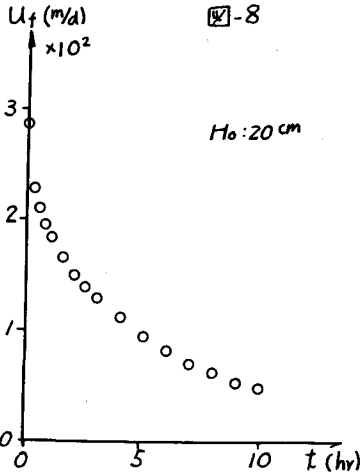


図-8

この抑止率は単位体積内を通過する流入流出の濁質の除去率に相当したものである。(mg/cm³/mg/cm³)

抑止率入は一般的には差圧 H_0 が変化しても変らない。ただフロックの状態、間隙の大きさ等の影響は考慮するべきであろう。ただし、いわゆる架橋フロックが壊れるような、限界差圧を越える場合は抑止率入は大幅な変動を示して、一定の傾向を認め難かった。

(抑止率入の計算は損失水頭とろ過流量より、それぞれの時間について、浸透係数 k_{00} を求め、浸透係数より間隙率 ε_c を算出して、各時間毎に間隙率の差から算出した。浸透係数 k_{00} はZUNKER式および筆者の式を用いた。

ZUNKER式

$$k = \frac{a}{\mu} \left\{ \varepsilon_c / (1 - \varepsilon_c) \right\} \phi_e^2 \dots (11), \quad a = 0.85 \sim 1.10, \quad \phi_e: 10\% \text{有効径 (cm)}$$

木原式

$$k = \frac{\alpha \varepsilon_c g}{\nu} d_*^2 \dots (12), \quad d_* = \frac{\varepsilon_c}{A_{00}} \dots (13) \quad A_{00} = \text{向隙内の表面積 (cm}^2\text{/cm}^3\text{)}$$

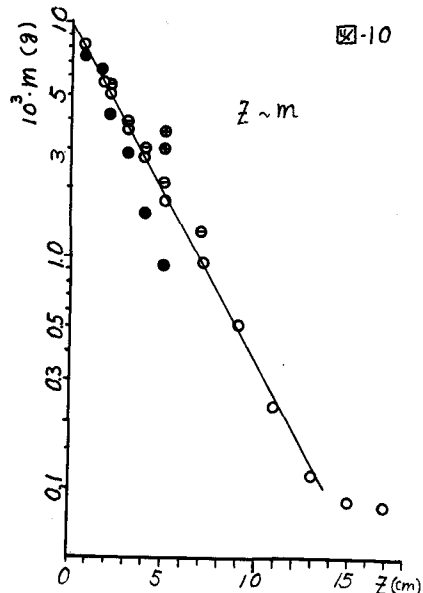
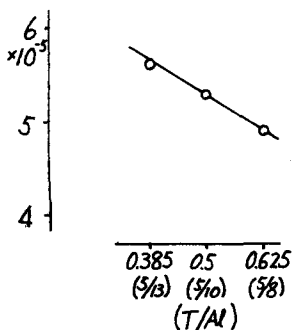
ただし、これらの式はある程度の集散的な分布を有する粒子群を対象につくられたもので、たとえば対数正規分布に近い、これにある変換を加えたような粒度分布である。したがって、砂粒の中にオーダーの全く異なる微細な粒子群を含む浸透層にこれらの式を用ることには疑問がない訳ではないが、便法としてこのまま用いた。したがってその値はそのような前程を含んでいると解釈されたい。)

6. 最後に

定圧ろ過が定速ろ過と基本的に異なる点は、抑止構造が極めて単純で、そのため、ろ層の表面またはその近傍に集中して抑止が起ることである。このため、定速ろ過で必要であった充分な砂層は不要となり、表層を支持するに足るわずかな砂層があればよい。このようなろ層の短縮はろ過池の深さを小さくするだけでなく、逆流洗浄時の水圧を減少することができ、高架水そうをも不要とする。また、流速を制御するための機構の代りに、損失落差を固定する工夫をすればよいので構造的に極めて簡単である。水圧が小さくてよいということは、逆洗時の水圧の不安定が小さくなり、このため水流を均等分散させる目的で

設けられた砂利層も不要になる。しかし逆に砂層が小さいことは、たとえばマンガン除去に対して不利ではないかとか細菌のような極微細なものの除去に有効であるのか等、今後、検討を必要とする問題もない訳ではない。

α 図-9 α ~ (T/AI)



$$\beta = 0.338$$

