

沈降濃縮

1. 回分沈降

1. 1 回分沈降過程

ある粒子濃度以上の懸濁液をシリンダーに入れて静置すると、粒子濃度が終始一定とみなせる懸濁層 B がはじめに形成され、やがて清澄層 A と懸濁層 B の間に明瞭な界面を生じる。懸濁層 B では、粒子群が一团となって沈降する集合沈降が観察される。遷移層 C では、粒子間距離が狭く、一部の粒子が接触して粒子濃度に分布が生じる。濃縮層 D では、沈積した粒子が密に積み重なり、自重によって層の圧縮と液の排出が起こる。さらに沈降が進むと、懸濁層 B および遷移層 C は消失する。清澄層 A と懸濁層 B の間に生じる界面高さの時間変化は、**回分沈降曲線**で表される。懸濁層 B が存在する間は、界面の低下速度は直線的であり、干渉沈降速度に等しい。この区間を**定速沈降区間**という。懸濁層 B が消失した後、界面の低下速度は徐々に遅くなり、ついにはある一定の界面高さに到達する。この区間を**圧縮脱水区間**または**減速沈降区間**という。定速沈降区間から圧縮脱水区間へ移行する点を**圧縮点**または**臨界点**という。

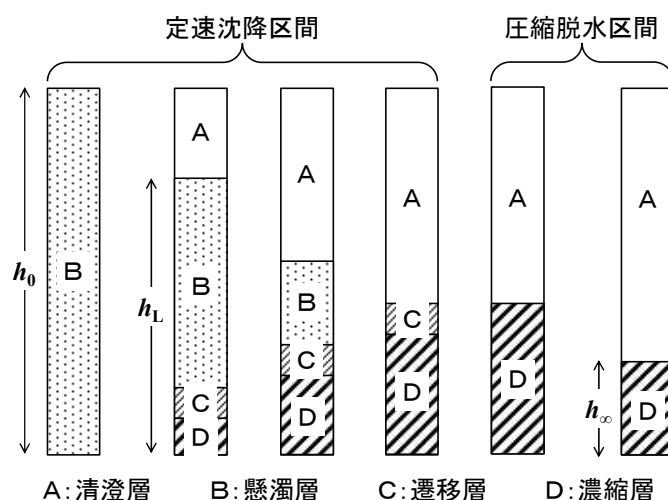


図 1.1.1 回分沈降過程 [文献 1]

1. 2 回分沈降速度

初期固体濃度 C_0 [kg/m³] の懸濁液を沈降容器内で回分沈降させると、粒子沈降のため容器上部は初期濃度よりも小さくなって清澄層が現れるし、容器下部は初期濃度よりも大きくなって濃厚層が現れる。Kynch(キンチ)の理論によれば、初期濃度よりも大きい固体濃度 C_L [kg/m³] の中間層は、容器底面から上昇する [文献 2]。中間層の界面が沈降開始から時間 t_L [s] 後に容器底面からの高さ h_L [m] の位置で清澄液の界面に達したとすると、中間層の上昇速度 U_L [m/s] は次式で表される。

$$U_L = \frac{h_L}{t_L} \quad \cdots(1.2.1)$$

濃度 C_L の中間層を通過する固体粒子の沈降速度を u_L [m/s]、沈降容器の断面積を A_s [m²] とすると、時間 t_L までに中間層を通過した粒子重量は、初期懸濁液中の全粒子重量に等しい。

$$A_s(U_L + u_L)C_L t_L = A_s h_0 C_0 \quad \cdots(1.2.2)$$

上式に U_L の式を代入し、 C_L について整理する。

$$C_L = \frac{C_0 h_0}{u_L t_L + h_L} \quad \cdots(1.2.3)$$

沈降速度 u_L は、時間 t_L における回分沈降曲線の接線の傾きで与えられる。

$$u_L = \frac{h_i - h_L}{t_L} \quad \cdots(1.2.4)$$

C_L の式に代入して u_L を消去する。

$$C_L = C_0 \frac{h_0}{h_i} \quad \cdots(1.2.5)$$

回分沈降曲線において、任意の時間 t_L の点を通る接線を引き、その切片 h_i を図上で求めると、上式より濃度 C_L を、 u_L の式より濃度 C_L の中間層を通過する粒子の沈降速度 u_L を求めることができる。

表 1.2.1 回分沈降データの例 [文献 3]

沈降時間 t [min]	0	15	30	60	105	180	285	720	1200	∞
界面高さ h [cm]	36.0	32.4	28.5	21.0	14.7	12.4	11.6	9.8	8.8	7.7

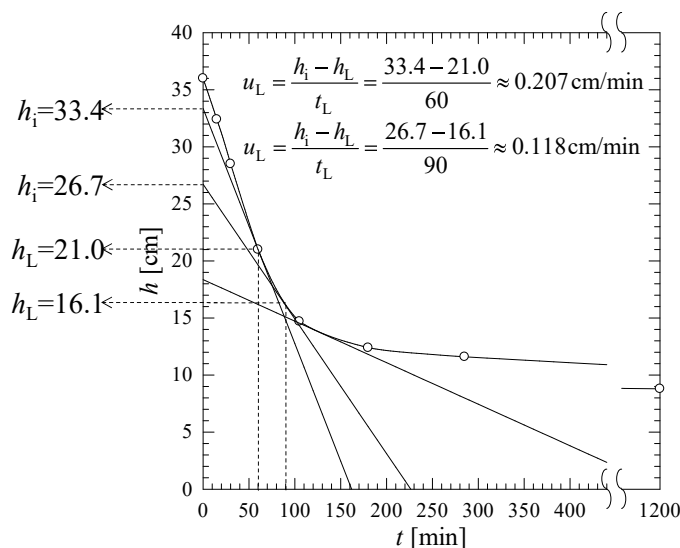


図 1.2.1 回分沈降曲線の解析例

- ①回分沈降曲線(y 軸：界面高さ h 、x 軸：沈降時間 t)を自在定規で作成する。
- ②曲線上の任意の点(t_L, h_L)を通る接線を引き、その切片 h_i を読み取る。
- ③沈降速度 u_L 、固体濃度 C_L を Kynch(キンチ)の式より求める。

【問題 1 (回分沈降)】

上記の回分沈降データをもとに回分沈降曲線を描いて沈降時間 120 分における沈降速度 u_L [cm/min] と固体濃度 C_L [kg/m³] を求めよ。懸濁液の初期濃度は 183 kg/m³ である。($u_L=0.0367$ cm/min, $C_L=358$ kg/m³)

1. 3 圧縮脱水速度

圧縮脱水区間における脱水速度は、**Roberts の式**で与えられる[文献 4]。積分形は、圧縮点以降における理論的な回分沈降曲線(圧縮脱水曲線)を表す。

$$-\frac{dh}{dt} = k(h - h_\infty) \quad \cdots(1.3.1)$$

$$-\frac{dh}{h - h_\infty} = k dt \quad \cdots(1.3.2)$$

$$\int_{h_c}^h \frac{dh}{h - h_\infty} = \int_0^t -k dt \quad \cdots(1.3.3)$$

$$[\ln(h - h_\infty)]_{h_c}^h = -kt \quad \cdots(1.3.4)$$

$$\ln \frac{h - h_\infty}{h_c - h_\infty} = -kt \quad \cdots(1.3.5)$$

$$\frac{h - h_\infty}{h_c - h_\infty} = \exp(-kt) \quad \cdots(1.3.6)$$

$$h = (h_c - h_\infty) \exp(-kt) + h_\infty \quad \cdots(1.3.7)$$

ただし、 h は界面高さ[m]、 k は濃縮定数[1/s]、 t は圧縮脱水時間[s](圧縮点からの経過時間)。下付きの c は圧縮点における値。下付きの ∞ は無限時間経過後の値。

圧縮点(t_c, h_c)は、Roberts 式の積分形に回分沈降データを当てはめて図上で決定する。

希釈度 D [kg-液体/kg-固体]を基準とする場合も同様の手順で導かれる。

$$-\frac{dD}{dt} = k(D - D_\infty) \quad \cdots(1.3.8)$$

$$D = (D_c - D_\infty) \exp(-kt) + D_\infty \quad \cdots(1.3.9)$$

希釈度 D [kg-液体/kg-固体]と固体質量分率 w_s [-]の関係式は、次式のように導かれる。

$$D \equiv \frac{W_\ell}{W_s} \quad \cdots(1.3.10)$$

$$D = \frac{W_{sl} - W_s}{W_s} \quad \cdots(1.3.11)$$

$$D = \frac{(W_{sl} - W_s)/W_{sl}}{W_s/W_{sl}} \quad \cdots(1.3.12)$$

$$\boxed{D = \frac{1 - w_s}{w_s}} \quad \left[w_s \equiv \frac{W_s}{W_{sl}} \right] \quad \cdots(1.3.13)$$

ただし、 W は重量[kg]、下付き文字 ℓ は液、 s は固体、 sl は泥漿。

【問題 2(回分沈降)】

前問の回分沈降データの圧縮点を図上で決定し、そのときの沈降時間 t_c [min] と界面高さ h_c [cm] を求めよ。また、圧縮脱水過程における界面高さ基準の Roberts 式の濃縮定数 k [1/min] を求めよ。($t_c=120$ min, $h_c=13.7$ cm, $k=3.49 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$)

2. 連続沈降

シクナーは、固体濃度の低い懸濁液(スラリー)を濃厚な固形物(スラッジ)と清澄な上澄み液に分離する重力式の連続沈降濃縮装置であり、ろ過、脱水、乾燥などの前処理操作に用いられる。原料泥漿は、槽中央のフィードウェルより供給される。液が槽壁へ向かって流れる間に泥漿中の固体粒子が沈降分離される。固形物が取り除かれた清澄液は、溢流堰(いつりゅうせき)より排出される。槽底に沈積した固形物は、緩やかに回転するレーキ(かきとり羽根)によって中央に集泥され、排泥口より排出される。シクナーと類似の構造をもつものにクラリファイヤ(清澄装置)がある。シクナーがなるべく濃厚な排泥を得ることを目的とする一方、クラリファイヤは、なるべく清澄な溢流を得ることを目的としており、水処理操作に用いられる。

2. 1 物質収支

連続沈降濃縮装置(シクナー)の物質収支は、次式で表される。

(全物質収支) $Q_f = Q_o + Q_u \quad \dots(2.1.1)$

(固体成分収支) $Q_f C_f = Q_o C_o + Q_u C_u \approx Q_u C_u \quad [C_o \approx 0] \quad \dots(2.1.2)$

ただし、 C は泥漿濃度[kg-固体/m³-泥漿]、 Q は泥漿流量[m³-泥漿/s]、下付き記号 f は給泥側(きゅうでい)、 o は溢流側(いつりゅう)、 u は排泥側(はいでい)。泥漿(でいしょう)は、懸濁液、スラリー、スラッジと同義。

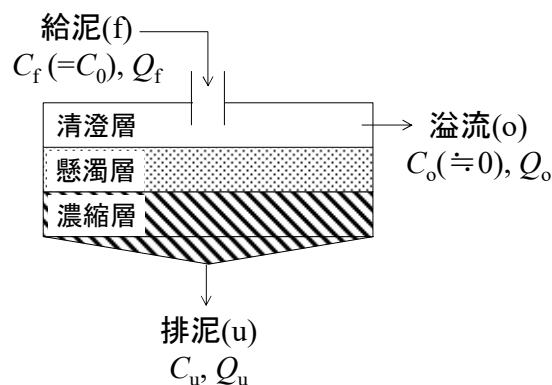
清澄液の溢流量 Q_o [m³-泥漿/s] は、次式のように導かれる。

$Q_o = Q_f - Q_u \quad \dots(2.1.3)$

$Q_o = Q_f - \frac{Q_f C_f}{C_u} \quad [Q_f C_f = Q_u C_u] \quad \dots(2.1.4)$

$Q_o = Q_f C_f \left(\frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_u} \right) \quad \dots(2.1.5)$

$Q_o = S \left(\frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_u} \right) \quad [S \equiv Q_f C_f] \quad \dots(2.1.6)$



ただし、 S は固体処理量[kg-固体/s]。

泥漿濃度 C [kg-固体/m³-泥漿] と固体質量分率 w_s [-] の関係式は、次式のように導かれる。

$$w_s \equiv \frac{W_s}{W_{sl}} \quad \cdots(2.1.7)$$

$$\rho_{sl} w_s = \frac{W_s}{W_{sl}/\rho_{sl}} \quad \cdots(2.1.8)$$

$$\rho_{sl} w_s = \frac{W_s}{V_{sl}} \quad \cdots(2.1.9)$$

$$\boxed{C = \rho_{sl} w_s} \quad \left[C \equiv \frac{W_s}{V_{sl}} \right] \quad \cdots(2.1.10)$$

ただし、 V は体積[m³]、 W は重量[kg]、 ρ は密度[kg/m³]、下付き文字 s は固体、 sl は泥漿。
泥漿密度 ρ_{sl} [kg-泥漿/m³-泥漿]は、泥漿(sl)を固体(s)と液(l)に分けて質量保存則より導かれる。

$$\rho_{sl} V_{sl} = \rho_s V_{sl}(1 - \varepsilon) + \rho_l V_{sl} \varepsilon \quad \cdots(2.1.11)$$

$$\boxed{\rho_{sl} = \rho_s(1 - \varepsilon) + \rho_l \varepsilon} \quad \cdots(2.1.12)$$

空隙率 ε [-]は、泥漿体積 V_{sl} [m³]に対する液体積 V_l [m³]の比で表される。

$$\varepsilon \equiv \frac{V_l}{V_{sl}} \quad \cdots(2.1.13)$$

$$\varepsilon = \frac{V_{sl} - V_s}{V_{sl}} \quad \cdots(2.1.14)$$

$$\varepsilon = \frac{A_{sl} L - (W_s / \rho_s)}{A_{sl} L} \quad \cdots(2.1.15)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{W_s}{\rho_s A_{sl} L} \quad \cdots(2.1.16)$$

$$\boxed{\varepsilon = 1 - \frac{C}{\rho_s}} \quad \left[C \equiv \frac{W_s}{A_{sl} L} = \frac{W_s}{V_{sl}} \right] \quad \cdots(2.1.17)$$

ただし、 L は泥漿液高さ[m]。

2. 2 槽面積

2.2.1 簡便な方法[文献 5, 6]

泥漿粒子の沈降速度 u [m/s]は、清澄液の平均上昇速度 Q_o/A [m/s]よりも大きくなければならない。シックナーの槽面積を A [m²]とすると、次式が成り立つ。

$$A > \frac{Q_o}{u} = \frac{Q_f C_f}{u} \left(\frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_u} \right) \quad \cdots(2.2.1.1)$$

右辺の最大値をシックナーの槽面積 A [m²]とする。

泥漿粒子の沈降速度 u は、近似的に定速沈降区間における値を用いる。

$$u = \frac{h_0 - h_c}{t_c} \quad \cdots(2.2.1.2)$$

ただし、 h_c は圧縮点における界面高さ[m]、 t_c は沈降開始から圧縮点に到達するまでの時間[s]。

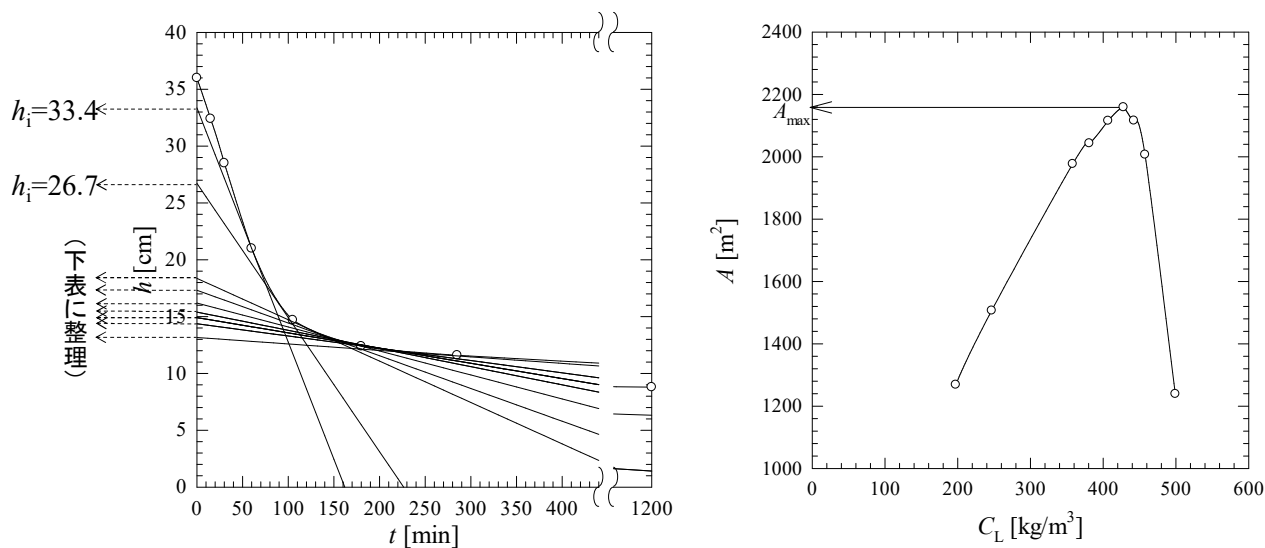
圧縮点(t_c, h_c)は、Roberts 式の積分形に回分沈降データを当てはめて図上で決定する。

2.2.2 Coe-Clevenger (コー・クレベンガー)の方法 [文献 1, 7-12]

シックナー槽面積の式における給液側の泥漿濃度 C_f [kg/m³]を Kynch 理論における中間層の固体濃度 C_L [kg/m³]に置き換えて変数化すると、次式のようになる。

$$A > \frac{Q_o}{u} = \frac{Q_f C_f}{u} \left(\frac{1}{C_L} - \frac{1}{C_u} \right) \quad \dots(2.2.2.1) \quad Q_f C_f (=S) \text{は処理量で一定}$$

泥漿粒子の沈降速度 u は、濃度 C_L の層を通過するときの値 u_L を用いる。 u_L と C_L は、Kynch の式より回分沈降曲線を繰り返し解析することで得られる。右辺の最大値をシックナーの槽面積 A とする。



(左) 図 2.2.2.1 回分沈降曲線の解析

(右) 図 2.2.2.2 Coe-Clevenger の方法によるシックナー面積の解析

表 2.2.2.1 回分沈降曲線の解析結果
($h_0=36.0$ cm, $h_\infty=7.7$ cm, $Q_f C_f=50$ t/h, $C_u=520$ kg/m³)

t_L [min]	h_L [cm]	$h_L - h_\infty$ [cm]	h_i [cm]	u_L [cm/min]	C_L [kg/m ³]	A [m ²]
60	21.0	13.3	33.4	0.207	197	1269
90	16.1	8.4	26.7	0.118	247	1507
120	14.0	...	18.4
150	13.0		17.3			
180	12.4		16.2			
200	12.2		15.4			
210	12.1		14.9			
220	12.0		14.4			
240	11.9		13.2			

2.2.3 Talmage-Fitch (タルマーシ・フィッチ)の方法 [文献 7, 10, 12]

Kynch 理論における中間層の上昇速度 U_L [m/s]は、濃縮層の平均排泥速度 Q_u/A [m/s]よりも大きくなければならない。(そうでないと濃縮層が十分形成されずに排泥されてしまう。)

$$A > \frac{Q_u}{U_L} \quad \dots(2.2.3.1)$$

$$A > \frac{Q_u t_u}{h_u} \left[U_L \equiv \frac{h_u}{t_u} \right] \quad \cdots(2.2.3.2)$$

$$A > \frac{Q_f C_f t_u}{C_u h_u} \quad [Q_f C_f = Q_u C_u] \quad \cdots(2.2.3.3) \quad \text{物質収支より}$$

排泥側の泥漿濃度 C_u [kg/m³]は、給泥中と排泥中の固体量保存式より求める。

$$C_u A h_u = C_0 A h_0 \quad \cdots(2.2.3.4)$$

$$C_u = \frac{C_0 h_0}{h_u} \quad \cdots(2.2.3.5)$$

A の式に代入する。

$$A > \frac{Q_f C_f h_u t_u}{C_0 h_0 h_u} \quad \cdots(2.2.3.6)$$

$$A > \frac{Q_f t_u}{h_0} \left(\frac{Q_u t_u}{h_u} \right) \quad [C_0 = C_f] \quad \cdots(2.2.3.7)$$

右辺の2式を変形して辺々引き算する。

$$\frac{A h_0}{t_u} > Q_f \quad \cdots(2.2.3.8)$$

$$\frac{A h_u}{t_u} > Q_u \quad \cdots(2.2.3.9)$$

$$\frac{A}{t_u} (h_0 - h_u) > Q_f - Q_u \quad \cdots(2.2.3.10)$$

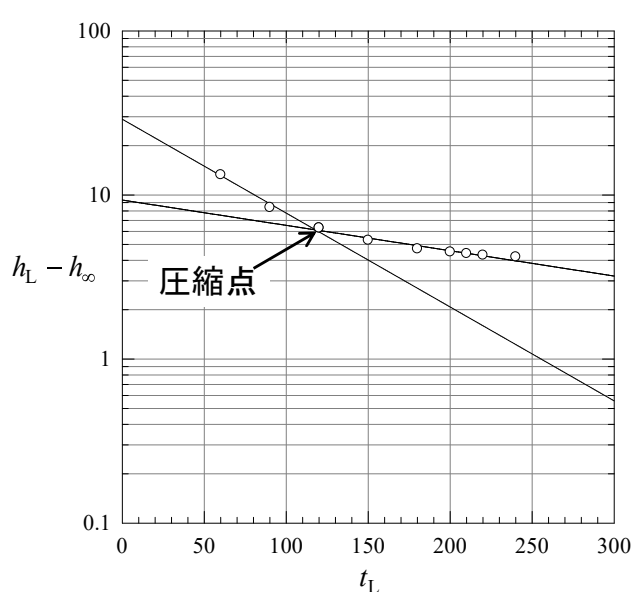
$$\boxed{A > \frac{Q_f - Q_u}{(h_0 - h_u)/t_u}} \quad \cdots(2.2.3.11)$$

ただし、 t_u は沈降開始から排泥濃度に達するまでの所要時間[s]。

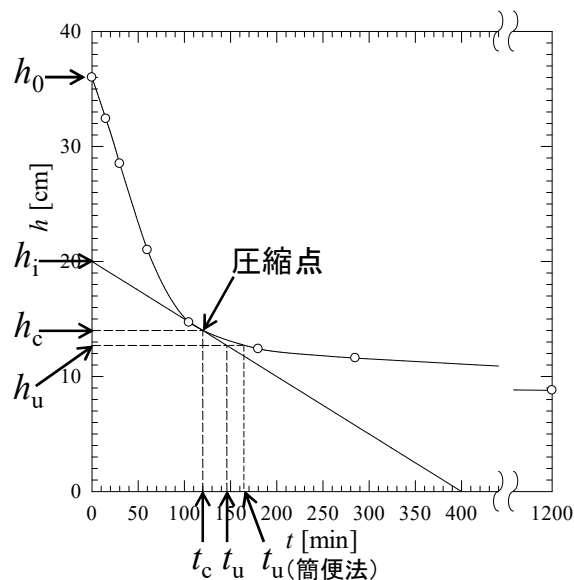
排泥時の界面高さ h_u は、排泥側の泥漿濃度 C_u の式より求める。

$$h_u = \frac{C_f h_0}{C_u} \quad [C_0 = C_f] \quad \cdots(2.2.3.12)$$

排泥時間 t_u は、回分沈降曲線上の圧縮点を接点とする接線と切片 h_u からの水平線との交点を読む。簡便な方法としては、切片 h_u からの水平線と回分沈降曲線との交点を排泥時間 t_u として読む。ただし、 h_u が h_∞ よりも小さい場合は使えない。圧縮点(t_c, h_c)は、Roberts 式の積分形に回分沈降データを当てはめて図上で決定する。



(左) 図 2. 2. 3. 1 圧縮点の解析



(右) 図 2. 2. 3. 2 Talmage-Fitch の方法によるシックナー面積の解析

2. 3 槽径

円形シックナーの槽径 D_T [m]は、次式より求められる。

$$D_T = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \dots(2.3.1)$$

2. 4 槽容積

2.4.1 簡便な方法

シックナーの槽容積 V_T [m³]は、圧縮域における泥漿体積 V_{sl} [m³]で表される。すなわち、圧縮点から所定の排泥濃度に達するまでの時間($t_u - t_c$)[s]の間に供給された固体の全重量を圧縮点(c)と排泥時(u)の平均泥漿濃度 C_{av} [kg/m³]で除して求める。

$$V_T = \frac{Q_f C_f (t_u - t_c)}{C_{av}} \quad \left[C_{av} \equiv \frac{C_c + C_u}{2} \right] \quad \dots(2.4.1.1)$$

圧縮点における泥漿濃度 C_c [kg/m³]は、給泥中と圧縮開始時における泥漿中の固体量保存式より求める。

$$C_c A h_c = C_f A h_0 \quad \dots(2.4.1.2)$$

$$C_c = \frac{C_f h_0}{h_c} \quad \dots(2.4.1.3)$$

2.4.2 速度論による方法 [文献 8, 13, 14]

圧縮脱水区間において、泥漿が所要の希釈度 D_u [kg-液体/kg-固体]に達するには、圧縮開始時間 t_c から所要希釈度 D_u に達する時間 t_u までの滞留時間 τ を要する。この間、槽内に滞留している泥漿体積 V_{sl} [m³]

は、泥漿に含まれる固体の全体積 V_s [m³]と液体の全体積 V_l [m³]の和に等しい。

$$V_{sl} = V_s + V_l \quad \cdots(2.4.2.1)$$

泥漿に含まれる固体の体積 V_s は、固体処理量 S [kg/s]を用いて次式で表される。

$$V_s = \frac{S\tau}{\rho_s} \quad [\tau = t_u - t_c] \quad \cdots(2.4.2.2)$$

液体の体積 V_l は、Roberts 式を用いて次式のように導かれる。

$$V_l = \frac{S}{\rho_l} \int_{t_c}^{t_u} D dt \quad \cdots(2.4.2.3)$$

$$V_l = \frac{S}{\rho_l} \int_{t_c}^{t_u} [(D_c - D_\infty) \exp(-kt) + D_\infty] dt \quad \cdots(2.4.2.4)$$

$$V_l = \frac{S}{\rho_l} \left[-\frac{D_c - D_\infty}{k} \{ \exp(-kt_u) - \exp(-kt_c) \} + D_\infty \tau \right] \quad \cdots(2.4.2.5)$$

$$V_l = \frac{S}{\rho_l} \left[-\frac{D_c - D_\infty}{k} \left\{ \left(\frac{D_u - D_\infty}{D_c - D_\infty} \right) - \left(\frac{D_c - D_\infty}{D_c - D_\infty} \right) \right\} + D_\infty \tau \right] \quad \cdots(2.4.2.6) \quad \text{Roberts 式より指数項を消去}$$

$$V_l = \frac{S}{\rho_l} \left[-\frac{D_c - D_\infty}{k} \left(\frac{D_u - D_c}{D_c - D_\infty} \right) + D_\infty \tau \right] \quad \cdots(2.4.2.7)$$

$$V_l = \frac{S}{\rho_l} \left(\frac{D_c - D_u}{k} + D_\infty \tau \right) \quad \cdots(2.4.2.8)$$

上式と V_s の式を V_{sl} の式に代入したものをシックナーの槽容積 V_T [m³]とする。

$$V_T = \frac{S\tau}{\rho_s} + \frac{S}{\rho_l} \left(\frac{D_c - D_u}{k} + D_\infty \tau \right) \quad [V_T = V_{sl}] \quad \cdots(2.4.2.9)$$

$$\boxed{V_T = \frac{S\tau}{\rho_l} \left(\frac{\rho_l}{\rho_s} + \frac{D_c - D_u}{k\tau} + D_\infty \right)} \quad \left[D = \frac{1 - w_s}{w_s} \right] \quad \cdots(2.4.2.10)$$

2. 5 槽深

シックナーの槽深 H [m]は、槽容積 V_T を槽面積 A で除して求める。計算値に 0.5~2.0 m 加えたものを設計値とする。

$$H = \frac{V_T}{A} \quad \cdots(2.5.1)$$

2. 6 所要集泥動力

円形シックナーのレーキ所要集泥動力 P [W]の推算式について、Chelminski (チェルミンスキ)の式が知られている【文献 15-17】。理論集泥動力 P_{th} [W]を集泥効率 η_R [-]で除した所要動力に、排泥錐(すい)における消失動力 P_u [W]を加えたものを、レーキ駆動部の機械効率 η_M [-]で除して得られる。

$$P = \frac{(P_{th}/\eta_R) + P_u}{\eta_M} \quad \dots(2.6.1)$$

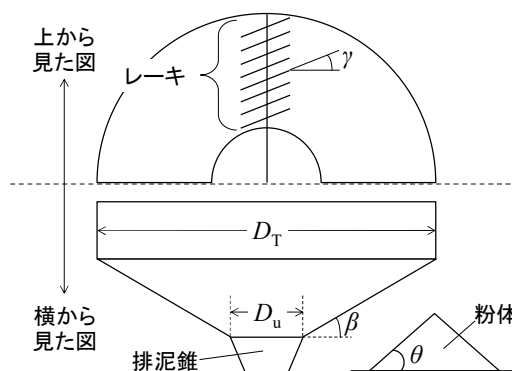
$$P_{th} = \frac{Tg}{3} (f_2 \cos \beta - \sin \beta) \frac{D_T^3 + 0.5D_U^3 - 1.5D_U D_T^2}{D_T^2 - D_U^2} \quad \dots(2.6.2)$$

$$\eta_R = \frac{f_2 \cot \beta - 1}{\psi \sin(\gamma + \phi) \left[\cot \gamma + \frac{\sin(\gamma + \phi)}{\cos(\gamma + \phi) + 1/\psi} \right]} \quad \dots(2.6.3)$$

$$\psi = \sqrt{f_2^2 \cot^2 \beta - \sin^2(\gamma + \phi) - \cos(\gamma + \phi)} \quad \dots(2.6.4)$$

$$f_1 = \tan \phi \quad \dots(2.6.5)$$

$$f_2 = \tan \theta \quad \dots(2.6.6)$$



ただし、 D_T はシックナーの直径[m]、 D_U は排泥錐の直径[m]、 g は重力加速度[m/s²]、 T は沈降槽に沈積している固体量[kg/s]。βはレーキの水平面に対する傾斜角[deg.]、γは集泥腕(レーキアーム)と羽根のなす角の余角(よかく、直角90°から引いた分の角度)[deg.]、φはレーキの羽根によって与えられる合力とその垂直成分のなす角[deg.]、 f_1 は沈殿物と鋼板の摩擦係数であり、沈殿物を載せた鋼板を傾斜させて動き始めたときの角度φの正接(tan)。 f_2 は沈殿物相互の摩擦係数であり、沈殿物の安息角θ [deg.]の正接。cot(コタンジェント)はtanの逆数(cotx=1/tanx)。

【問題3(シックナーの設計)】

泥漿中の固体を連続沈降濃縮装置により下記の条件で濃縮する。清澄液の溢流量 Q_o [m³/h]、槽面積 A [m²](Coe-Clevenger 法)、槽径 D_T [m]、槽容積 V_T [m³](簡便法)、槽深 H [m](2 m の余裕を見込む)、所要集泥動力 P [kW]を求めよ。回分沈降データは、前問と同じものを用いよ。 t_u 値の読みは回分沈降曲線との交点(簡便法)を用いよ。($Q_o=177$ m³/h, $A=2160$ m², $D_T=52.4$ m, $V_T=73.3$ m³, $H=2.03$ m, $P=2.58$ kW)

給泥量 $Q_f C_f$	50 t/h	集泥腕と羽根のなす角の余角 γ	30°
給泥中の泥漿濃度 $C_f (=C_0)$	183 kg/m ³	鋼板上の沈殿物が流動し始める傾斜角 ϕ	25°
排泥中の泥漿濃度 C_u	520 kg/m ³	安息角 θ	28°
固体処理量 S	給泥量に等しい	排泥錐(すい)の直径 D_U	1000 mm
沈積の固体量 T	給泥量に等しい	排泥錐における消失動力 P_u	100 W
泥漿中の液密度 ρ_l	1000 kg/m ³	レーキ駆動部の機械効率 η_M	0.5
泥漿中の粒子密度 ρ_s	2650 kg/m ³	重力加速度 g	9.81 m/s ²
レーキの傾斜角 β	17.3°		

参考文献

- [1] H.S. Coe and G.H. Clevenger; *Trans. Am. Inst. Min. Engrs.*, **55**, 356-384 (1916)
- [2] G.J. Kynch; *Trans. Faraday Soc.*, **48**, 166-176 (1952)
- [3] 化学工学会編; 化学工学—解説と演習—(第3版), 槇書店(2006), 9章 固液分離(pp.243-250)
- [4] E.J. Roberts; *Mining Eng.*, **1**, 61-64 (1949)
- [5] 光武 量; 例題演習 化学工学, 産業図書(1964)

- [6] 大野 光之; 初歩から学ぶ化学装置設計, 工業調査会(2009)
- [7] 吉田 文武, 森 芳郎編; 詳論 化学工学 I 「単位操作 I」, 朝倉書店(1962), 7・27～7・29 章
- [8] 大山 義年; 化学工学 II, 岩波書店(1963), 第 II 編 5 章 沈澱濃縮(pp.93-108)
- [9] 藤田 重文, 東畑 平一郎編; 化学工学 II (第 2 版) 「機械的操作」, 東京化学同人(1972), 3.2 章 沈澱濃縮(pp.158-171)
- [10] 白戸 紋平; 化学工学 機械的操作の基礎, 丸善(1980), 6.2.4 章 沈澱濃縮装置(pp.128-134)
- [11] 井伊谷 鋼一, 三輪 茂雄; 改訂新版 化学工学通論 II, 朝倉書店(1982), 6.1 章 沈降濃縮(pp.145-152)
- [12] 日本液体清澄化技術工業会編; ユーザーのための実用固液分離技術, 分離技術会(2010), 2.5 章 粒子の沈降特性と Kynch の理論(pp.81-98)
- [13] 井出 哲夫; 水処理工学(第 2 版), 技報堂出版(1990), 1.7 章 沈澱濃縮(pp.30-41)
- [14] 今木 清康; 粉体工学演習, コロナ社(1987), 8.2 章 沈降濃縮槽装置(pp.194-196)
- [15] R. Chelminski; *Eng. Min. J.*, **153**, 89 (1952)
- [16] 化学工学協会編; 化学工学便覧(新版), 丸善(1958), pp.726-727
- [17] 化学工学協会編; 解説 化学工学演習(第 2 版)下巻, 槇書店(1973), 2 章 6 節 レーキの設計法(pp.75-82)

教科書

(下線は推薦図書)

- [1] 山際 和明; 機械的分離工学, 新潟大学工学部化学システム工学科化学工学コース(自作教科書)
- [2] 吉田 文武, 森 芳郎編; 詳論 化学工学 I 「単位操作 I」, 朝倉書店(1962)
- [3] 大山 義年; 化学工学 II, 岩波書店(1963)
- [4] 藤田 重文, 東畑 平一郎(編); 化学工学 II 第 2 版「機械的操作」, 東京化学同人(1972)
- [5] 吉野 善彌; 廃水処理と固液分離装置設計法, 産報(1974)
- [6] 白戸 紋平; 化学工学 機械的操作の基礎, 丸善(1980)
- [7] 三輪 茂雄; 粉体工学通論, 日刊工業新聞社(1981)
- [8] 井伊谷 鋼一, 三輪 茂雄; 改訂新版 化学工学通論 II, 朝倉書店(1982)
- [9] 井出 哲夫; 水処理工学(第 2 版), 技報堂出版(1990)
- [10] 化学工学会編; 化学工学—解説と演習—(第 3 版), 槇書店(2006)
- [11] 大野光之; 初歩から学ぶ化学装置設計, 工業調査会(2009)

令和 5(2023)年 1 月 20 日作成

令和 5(2023)年 1 月 26 日改訂

令和 5(2023)年 2 月 26 日改訂

令和 6(2024)年 12 月 10 日改訂

問 題

表 回分沈降実験データ [文献 3]

沈降時間 t [min]	0	15	30	60	105	180	285	720	1200	∞
界面高さ h [cm]	36.0	32.4	28.5	21.0	14.7	12.4	11.6	9.8	8.8	7.7

【問題 1 (回分沈降)】上記の回分沈降データをもとに回分沈降曲線を描いて沈降時間 120 分における沈降速度 u_L [cm/s] と固体濃度 C_L [kg/m³] を求めよ。懸濁液の初期濃度は 183 kg/m³ である。($u_L=14.0$ cm/s, $C_L=358$ kg/m³)

【問題 2 (回分沈降)】前問の回分沈降データの圧縮点を図上で決定し、そのときの沈降時間 t_c [min] と界面高さ h_c [cm] を求めよ。また、圧縮脱水過程における界面高さ基準の Roberts 式の濃縮定数 k [1/min] を求めよ。($t_c=120$ min, $h_c=13.7$ cm, $k=3.49 \times 10^{-3}$ min⁻¹)

【問題 3 (シクナーの設計)】泥漿中の固体を連続沈降濃縮装置により下記の条件で濃縮する。清澄液の溢流量 Q_o [m³/h]、槽面積 A [m²] (Coe-Clevenger 法)、槽径 D_T [m]、槽容積 V_T [m³] (簡便法)、槽深 H [m] (2 m の余裕を見込む)、所要集泥動力 P [kW] を求めよ。回分沈降データは、前問と同じものを用いよ。 t_u 値の読みは回分沈降曲線との交点 (簡便法) を用いよ。($Q_o=177$ m³/h, $A=2160$ m², $D_T=52.4$ m, $V_T=73.3$ m³, $H=2.03$ m, $P=2.58$ kW)

給泥量 $Q_f C_f$	50 t/h	集泥腕と羽根のなす角の余角 γ	30°
給泥中の泥漿濃度 $C_f (=C_0)$	183 kg/m ³	鋼板上の沈殿物が流動し始める傾斜角 ϕ	25°
排泥中の泥漿濃度 C_u	520 kg/m ³	安息角 θ	28°
固体処理量 S	給泥量に等しい	排泥錐(すい)の直径 D_U	1000 mm
沈積の固体量 T	給泥量に等しい	排泥錐における消失動力 P_u	100 W
泥漿中の液密度 ρ_l	1000 kg/m ³	レーキ駆動部の機械効率 η_M	0.5
泥漿中の粒子密度 ρ_s	2650 kg/m ³	重力加速度 g	9.81 m/s ²
レーキの傾斜角 β	17.3°		