

傾斜沈澱装置の最適設計について

大阪大学基礎工学部 正会員 ○芝 定孝
東洋情報システム 岸野弘彦

1. はじめに 回分沈降操作において、固体粒子を懸濁させた円筒容器を傾斜させると、容器を鉛直に保持した場合よりも、粒子が速く沈澱するという現象は良く知られている。また、連続操作についても、例えば、横流式沈澱池内に傾斜板を挿入すれば、浮遊粒子の沈降が促進されることから実験的に確認されている。そこで、連続操作の場合について、沈澱池内の浮遊粒子の軌跡を求め、それに基づいて、傾斜平行板沈澱装置の最適設計を、傾斜角について試みた。この最適設計によって決定される設計変数は傾斜角 α と、長さ L と傾斜平行板間距離 D との比 $\phi (= L/D)$ とである。

2. 傾斜平行板間の固体粒子の軌跡

傾斜平行板間の流れは層流と仮定し、Fig. 1 のような x, y 座標系および傾斜角 α を設定する。浮遊粒子の x, y 方向の速度成分 v_{px}, v_{py} はそれぞれEqs. 1, 2 で与えられる。たゞ

$$v_{px} = v_x \cdot \cos \alpha \quad \text{----- (1)}$$

$$v_{py} = \frac{3}{2} v_a \left[1 - \left(\frac{2x}{D} \right)^2 \right] - v_x \cdot \sin \alpha \quad \text{--- (2)}$$

し、 v_a は傾斜平行板間の平均流速で、 v_x は浮遊粒子の沈降速度である。解析の便宜上、この段階で、 $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ (上向流) と仮定するか、最適設計の結果得られる α はこの条件を満足する。Eqs. 1, 2 より粒子の軌

$$x(t) = x_0 + v_x \cos \alpha \cdot t \quad \text{----- (3)}$$

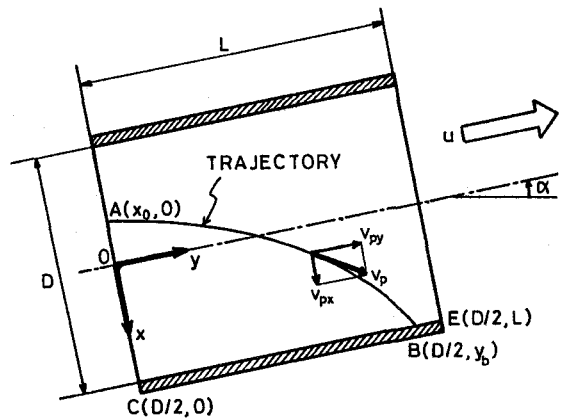


FIG 1

$$y(t) = y_0 + \frac{3}{2} v_a \left[\left(1 - \frac{4x_0^2}{D^2} \right) t - \frac{4}{D^2} (x_0 v_x \cos \alpha \cdot t^2 + \frac{1}{3} v_x^2 \cos^2 \alpha \cdot t^3) \right] - v_x \sin \alpha \cdot t \quad \text{----- (4)}$$

跡の x, y 成分 $x(t), y(t)$ はそれぞれEqs. 3, 4 のようになる。 x_0, y_0 は $t = 0$ (流入時) における粒子の位置である。粒子落下地点の座標を $(D/2, y_b)$ とし、Eqs. 5~7 のような無次元量を導入すると、粒子の無次元到達距離 $\phi(\xi)$ がEq. 8 のように得られる。

$$\xi = \frac{D/2 - x_0}{D} \quad \text{----- (5)}, \quad \phi(\xi) = \frac{y_b}{D} \quad \text{----- (6)}, \quad \theta = \frac{v_x}{v_a} \quad \text{----- (7)}$$

$$\phi(\xi) = \frac{3}{2} \frac{1}{\theta \cos \alpha} \left(-\frac{2}{3} \xi^3 + 2 \xi^2 - \frac{2}{3} \theta \sin \alpha \cdot \xi \right) \quad \text{----- (8)}$$

KISHINO HIROHIKO, SHIBA SADATKA

3. 最適傾斜角の決定

ここでの設計目標は与えられた処理条件 (v_h, v_a) のもとで出来るだけ短い沈澱装置を設計することである。それには、Eq. 8 で与えられる粒子到達距離中の最大値 ϕ_{max} を出来るだけ小さくすればよい。 ϕ_{max} に対応する ξ の値を ξ_0 とすれば、最適設計は次の Eq. 9 に従って行なわれる。すなわち、Eq. 9 を満足する傾斜角 α を求めるこ

$$\phi_{opt} = \min \{ \phi_{max}(\xi_0) \} \text{ ----- (9), } \xi_0 = \frac{1}{2} (1 + \sqrt{1 - \frac{2}{3} \theta \sin \alpha}) \text{ ----- (10)}$$

となる。ただし、 ϕ_{opt} は ϕ の最適値である。 $\partial \phi_{max} / \partial \alpha = 0$ より ϕ_{opt} に対応する α と θ と

$$(1 + \sqrt{1 - \frac{2}{3} \theta \sin \alpha}) \sin \alpha + \frac{2}{3} \theta \sin^2 \alpha - 2 \theta = 0 \text{ ----- (11)}$$

の関係式 Eq. 11 が得られる。

4. 結果と考察

Eq. 11 で求められる最適傾斜角 α と θ との関係を図 2 に破線で示す。 θ が大きくなるほど、 α は増大する。通常、連続式沈澱池では $\theta = 10^{-2} \sim 10^{-1}$ 程度が多いが、その場合、 α は $0.6^\circ \sim 6^\circ$ 程度とあまり大きくない。しかし、 θ が 0.5 程度より大きくなると、 α は相当大きくなる。 θ が大きくなることは、 v_h が大きくなるか、あるいは、 v_a が小さくなることを意味するが、 v_a が小さくなり過ぎ、強制対流が維持されなくなると、前述の関係は成立しなくなる。次に本最適設計により、どの程度装置設計上の改善が期待されるか、理論除去率 100% に対して、Hazen 理論で得られる水平流の場合の設計値と比較する。そこで、Improvement Factor I_f を Eq. 12 のように定義する。

$$I_f = \frac{\phi_H - \phi_{opt}}{\phi_H} \times 100 \text{ ----- (12), } \phi_H = \frac{1}{\theta} \text{ ----- (13)}$$

ただし、 ϕ_H は Hazen 理論による無次元長で Eq. 13 で与えられる。 $I_f(\%)$ と θ との関係を図 2 に実線で示す。 I_f は θ の増加に伴い増大する。 $\theta = 10^{-2} \sim 10^{-1}$ 程度では目立った改善は期待されないが、 $\theta = 0.5$ 程度になると 10% 以上の改善が見込まれる。以上、傾斜沈澱装置の最適傾斜角の存在が示された。また、通常の連続式沈澱池の操作範囲では、最適傾斜角はあまり小さいことが明らかとなった。

FIG 2

