

傾斜沈殿における上部界面の変化について

大阪大学基礎工学部 正会員 芝 定孝

1. はじめに 普通沈殿に比べて、粒子沈殿除去効率をかなり改善し得るという理由で、傾斜沈殿を採用する浄水場が増えてきている。しかし、傾斜沈殿において重要な役割を演じると言われている傾斜板下面の流れが、理論的にも実験的にも十分解明されておらず、傾斜沈殿の設計指針は未だ確立されていない。現在のところ、一般的には、中村・黒田の傾斜沈殿の理論と Hazen の理想沈殿理論とを組み合わせた設計法が用いられている様である。しかし、中村らの傾斜沈殿理論は直観的に得られたもので、水理学的裏付けに欠けている。そこで、傾斜沈殿設計の基礎資料を得る目的で、傾斜板下面の清澄層流れを考慮し、上部界面の沈降速度と高さを与え基礎式を導き、中村らの結果と比較検討した。

2. 界面沈降速度と界面高さ

Fig. 1 に示す様な、鉛直から角度 θ だけ傾けた平行平板あるいは沈降筒における傾斜沈殿を考える。下向き傾斜面下には薄い清澄層（図では誇張してある）が形成され、層内には傾斜面に沿う上向きの流れの存在する事が実験的に認められている。この清澄層流れの為に上部の清澄液生成速度は通常の鉛直沈殿よりも大きくなる。上部清澄液に対する連続方程

$$\frac{dV}{dt} = Q_I(X) + Q_H(X) \quad \text{----- (1)}$$

式より Eq. 1 を得る。ただし、 V は高さ H_0 から H の間にある清澄液体積 [cm^3]、 Q_I は傾斜界面で生成される清澄液流量 [cm^3/sec]、 Q_H は上部水平界面で生成される清澄液流量 [cm^3/sec] で、Fig. 1 の単位奥行に対し、それぞれ、Eqs. 2, 3, 4 で与えられる。

$$V = (H_0 - H) \cdot \frac{B}{\cos \theta} \quad \text{----- (2)}$$

$$Q_I(X) = v_\phi \cdot X \cdot \sin \theta \quad \text{----- (3)}$$

$$Q_H(X) = v_\phi \cdot (B - D) \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 v_ϕ は懸濁粒子群の鉛直壁容器内での沈降速度 [cm/sec] である。また、上部界面位置 X での清澄層厚さ D は境界層近似を用い

$$D = \left(\frac{3 \tan \theta}{\Gamma} \right)^{1/3} \cdot L \cdot \left(\frac{X}{L} \right)^{1/3} \quad \text{----- (5)}, \quad \Gamma = 18 \left(\frac{L}{d_p} \right)^2 \phi \quad \text{----- (6)}$$

Sadataka SHIBA

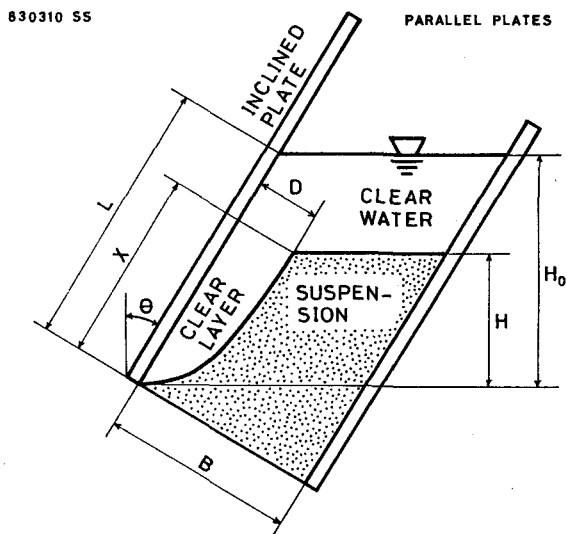


FIG. 1. DEFINITION SKETCH FOR INCLINED SETTLING

ると Eq. 5 で与えられる。Γ は Eq. 6 で定義される無次元数である。ただし、 d_p は懸濁粒子径 [cm] で、 ϕ は懸濁液の体積濃度 [-] である。次に、計算の便宜上、Eqs. 7, 8, 9, 10 の様な

$$\bar{h} = \frac{H}{H_0}, \quad \tau = \frac{\pm v \phi}{H_0} \quad \text{----- (7), (8)}$$

$$a = -\left(\frac{3}{\Gamma}\right)^{1/3} (\tan \theta)^{2/3}, \quad b = \frac{B}{H_0 \sin \theta} \quad \text{----- (9), (10)}$$

無次元数を導入すると Eq. 1 より Eq. 11 を得る。

$$\frac{d\bar{h}}{d\tau} = -\frac{1}{b} (\bar{h} + a\bar{h}^{1/3} + b) \quad \text{----- (11)}$$

中村・黒田の式は Eq. 11 で $a=0$ としたものに相当する。通常、 a は小さいので $a\bar{h}^{1/3}$ を $a\bar{h}$ で近似しても誤差はそれ程大きくない。このとき、

$$\bar{h} = \left(1 + \frac{b}{1+a}\right) \cdot \exp\left(-\frac{1+a}{b} \tau\right) - \frac{b}{1+a} \quad \text{----- (12)}$$

$\tau=0$ で $\bar{h}=1$ の条件で積分し、 $\bar{h}$ は Eq. 12 で与えられる。また、界面沈降速度 $-d\bar{h}/d\tau$ は、Eq. 12 の場合を v 、1 次近似の場合を v_L 、中村らの場合を v_N とすると、それぞれ、Eqs. 13, 14,

$$v = \frac{\bar{h} + a\bar{h}^{1/3}}{b} + 1, \quad v_L = \frac{(1+a)\bar{h}}{b} + 1, \quad v_N = \frac{\bar{h}}{b} + 1 \quad \text{---- (13), (14), (15)}$$

15 で与えられる ($a < 0$ より、 $v > v_L > v_N$)。

3. 計算結果

v , v_L , v_N を $\bar{h}$ に対してプロットしたものが Fig. 2 である。Γ が小さい程、 v_L , v_N とともに v からのずれは大きくなるが、 v の方が近似度は良い。Fig. 3 は v , v_L , v_N の場合について $\bar{h}$ を τ に対してプロットしたものである。いずれも下に凸で、時間の全領域について減速沈降となっている。 v , v_N の場合とも過小値を与えるが v_L の方が誤差は小さい。Eqs. 2, 3 より Eq. 11 は、沈降速度については過大値を、界面位置については過小値を与えると言われている中村・黒田の式の欠点を改善するものである。その 1 次近似式は τ があまり大きくない範囲では Eq. 11 の良い近似式となっている。

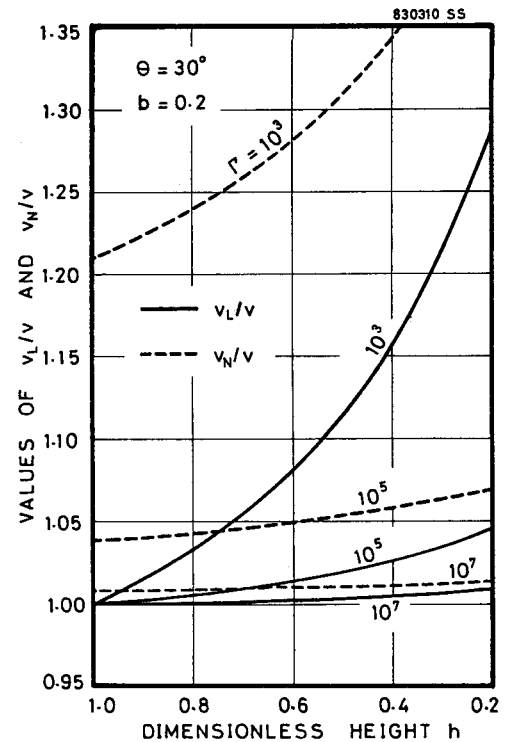


FIG. 2. VARIATIONS OF SETTLING VELOCITY

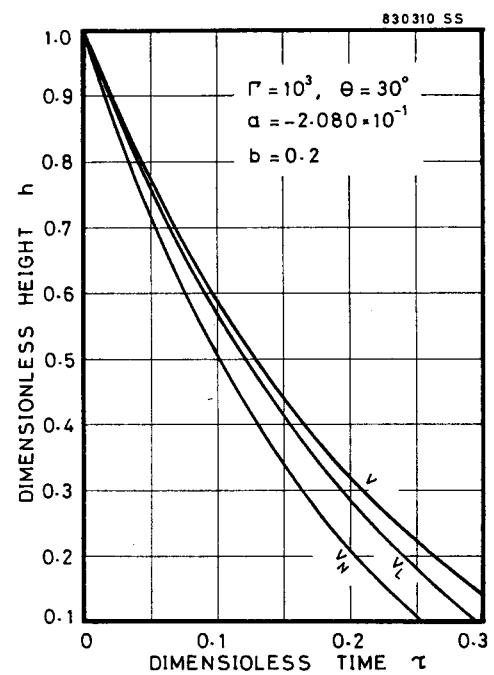


FIG. 3. TIME VARIATION OF HEIGHT