

沈澱池における傾斜板下面の清澄層流れについて

大阪大学基礎工学部 正会員 芝 定孝

1. はじめに 粒子懸濁液を含む容器を鉛直から傾斜させて保持すれば、鉛直に保持した場合よりも、浮遊粒子の沈降が促進される (Boycott Effect)。また、沈澱池においても、沈降部に傾斜板を設置すると固液沈降分離の促進される事は、良く知られており、宇野式傾斜板沈澱槽などが考案されている。この様な沈降分離促進は、実験的には確かめられているものの、理論的な研究は殆んどなされていない。そこで、傾斜板沈澱池の設計に対する基礎的資料を得る目的で、懸濁液中の傾斜板下面の清澄層の流れについて検討した。

2. 清澄層流れの記述 傾斜板下面に沿って薄い清澄層ができ、その内部では上向きの流れが存在する。Fig. 1 の様に座標軸 x, y を定め、それぞれの方向の速度成分を u, v とする。 θ は傾斜角、 $\delta(x)$ は清澄層の厚さである。このとき、流れの支配方程式は Eqs. 1、

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \cos \theta = \alpha \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (1), \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

2 で与えられる。ただし、 u, v, x, y は無次元変数で、Eqs. 3, 4, 5, 6 の様な伸縮変換を施したものである。無次元速度 $\hat{u}, \hat{v}$ は粒子の静止沈降速度 v_s で、無次元座標 $\hat{x}, \hat{y}$ は特性長さ l (傾斜板の長さなど) で、それぞれ無次元化してある。無次元量 α, Λ, R を Eqs. 7, 8, 9 で

$$u = \Lambda^{1/2} \hat{u}, v = \hat{v}, x = \hat{x}, y = \Lambda^{1/2} \hat{y} \dots\dots\dots (3), (4), (5), (6)$$

820317-F1

$\hat{y}$ は特性長さ l (傾斜板の長さなど) で、それぞれ無次元化してある。無次元量 α, Λ, R を Eqs. 7, 8, 9 で

$$\alpha = R \Lambda^{1/2}, \Lambda = \frac{l^2 g (p_s - p) c_0}{v_s \mu}, R = \frac{l d_p^2 g p (p_s - p)}{18 \mu} \dots\dots\dots (7), (8), (9)$$

定義する。ただし、 p_s = 粒子密度 [g/cm^3], p = 水の密度 [g/cm^3], μ = 水の粘性係数 [$g/cm \cdot sec$], c_0 = 懸濁液の体積濃度 [-], d_p = 粒子径 [cm], g = 重力加速度 [cm/sec^2] である。支配方程式に対する境界条件は次の Eqs. 10, 11, 12 で与えられる

$$u = 0, v = 0 \text{ at } y = 0 \dots\dots\dots (10), (11), \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \text{ at } y = \delta(x) \dots\dots\dots (12)$$

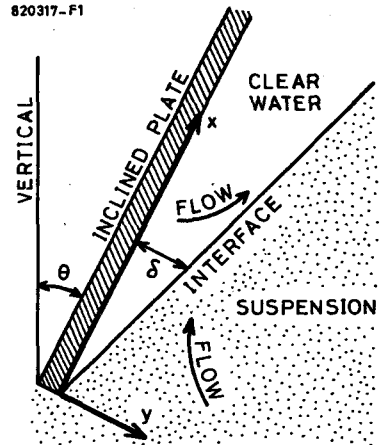


FIG. 1-DEFINITION SKETCH

る。 Λ (沈降グラスコフ数とレイノルズ数 R との比) が

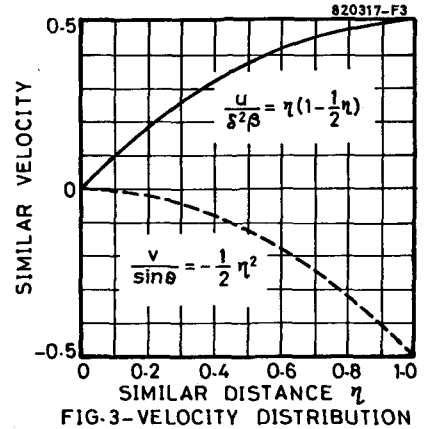
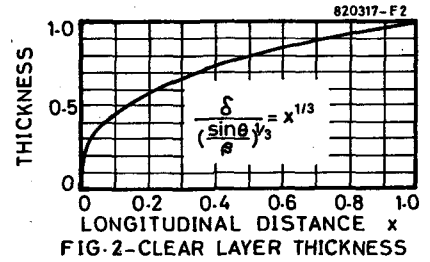
大きい場合は α が小さくなり Eq. 1 の右辺の慣性項は無視し得る。その場合、 u, v は容易に求められる。Eq. 1 の右辺が無視し得ない場合は、次の様な定数 β を導入して近似解を求

$$\beta = \int_0^1 \left\{ \frac{\alpha}{\delta(x)} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) dy \right\} dx \dots\dots\dots (13), \quad \beta = \cos \theta - \frac{\alpha}{24} (3 \sin \theta)^{2/3} \beta^{2/3} \dots\dots\dots (14)$$

る。 β は Eq. 14 の解として与えられる。ただし、 $0 < \beta < 1$ と仮定しているの、傾斜角

Sadataka SHIBA

θの値により、α(>0)のとり得る最大値が規定される(例えば、θ = 30°ではα ≤ 13.32, θ = 60°ではα ≤ 5.33)。u, vの近似解は次のEqs. 15, 16で求められる。清澄層の厚さδ(x)は次のEq. 17で与えられる清澄液と懸濁液との界面における粒子の運動方程式により求まる。Eq. 17をx = 0でδ = 0なる境界条件で解くとEq. 18が得られる。ただし、u_s, v_sはy = δでのu, vの値である。x = 0で、dδ/dxが無限大となり、vは定義されない。



3. 結果に対する考察

清澄層の厚さδ(x)とxとの関係をFig. 2に示す。δはxの1/3乗に比例し、傾斜板先端(x=0)より後端(x=1)に行くにつれて次第に厚くなる。同一のθに対しては、αが小さい程、βは大きくなる。例えば、θ = 30°のとき、α = 0.5でβ = 0.834, α = 1.0でβ = 0.804。従って、Eq. 1の慣性項が大きい程、清澄層の厚さδは小さくなると言える。Fig. 3にuとvの速度分布を示す。横軸のηは相似変数で、Eq. 19の様に定義する。u, vはEqs. 15, 16をそれぞれ

$$\eta = \frac{y}{\delta(x)}, \quad \frac{1}{2} \frac{u}{u_s} = \frac{u}{\delta^2 \beta} = \eta(1 - \frac{1}{2} \eta) \dots (19), (20)$$

$$-\frac{1}{2} \frac{v}{v_s} = \frac{v}{\sin \theta} = -\frac{1}{2} \eta^2 \dots (21)$$

Eqs. 20, 21の様な相似形で示してある。

いずれの速度分布もηの2次放物線形である。Fig. 4に傾斜板下面に沿うx = 0.1, 0.5, 1.0の断面におけるuの分布を示す。図中の曲線y = δ(x)は清澄層と懸濁液との界面を、u = u(δ)は界面の速度を表わす。uは傾斜板下面から離れるにつれて大きくなり、界面において最大となる。xの各断面におけるuの分布形が相似形となっている様子が分かる。

uは正で流れは傾斜板下面に沿って上昇する事を示す。vはFig. 3の破線に見られるごとく負で、界面から傾斜板下面に向かう流れの成分となっている。総合すると、清澄層は界面から流入により次第に層厚と流速とを増大させ傾斜板下面を上昇する流れとなる。

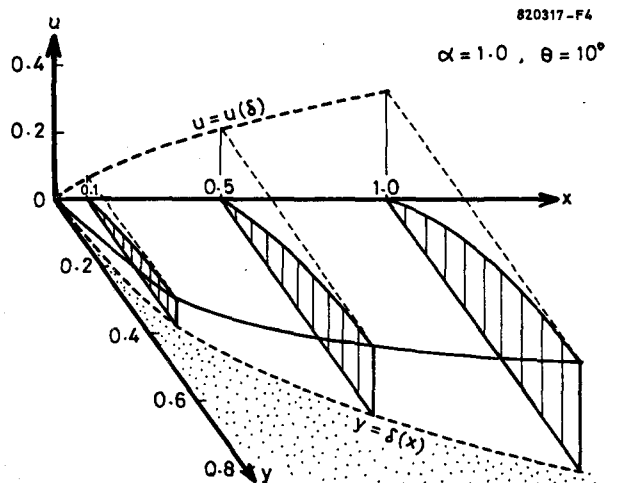


FIG. 4-VELOCITY PROFILES AT VARIOUS SECTIONS