

遠心脱水機による汚泥の脱水機構について

大阪工業大学土木工学教室 正員 工博 川島 普

1. まえがき

汚泥の濃縮型（遠心分離装置のデカンタ型）はすでに下水処理に実用化されているが、脱水型（遠心ろ過機の連続型）は例えば押出型/段連続遠心ろ過機¹⁾（以下、遠心脱水機とかく）は容量 2000 ㎥/hr のものではバスケット直径 400 mm、バスケット回転数 1200 RPM (50 サイクル)、押出回数約 40 回/分、押出距離 40 mm、電動機バスケット用動力 7.5 kW となっており、粒径の大きい結晶質の懸濁液の分離に最適といわれ、硫酸、塩酸などの化学肥料工業その他製塩、製糖などの諸工業に利用されている²⁾。この種の遠心機の生命はスクリーンであることはいふまでもない。ここではこの遠心脱水機で汚泥を脱水した場合についてその機構と圧密理論で解析し、弾性学的な考察を加え、さらに遠心濃縮機における濃縮機構³⁾と比較して基礎的な考察を行ったのでそれについて発表する。

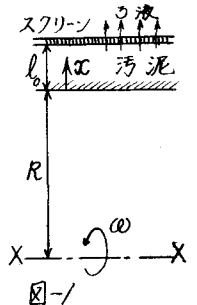
2. 遠心脱水機による汚泥の脱水機構

(1) 遠心脱水の基本的解析³⁾

給泥パイプから連続的に供給されている汚泥は傾斜した原液受けによって導かれ回転中のバスケットのスクリーン上に散布される。40 回/分程度の押出板による押出によってスクリーン上右方へ脱水しながら送られ、さいごに固体出口からケーキとなって排出される。この連続的な脱水作用を図-1 のように、バスケット容器内面の曲面の影響を無視し、X-X 軸を回転軸として、密度 ρ_s 、初期汚泥厚 l_0 、1 定量の汚泥がスクリーン上で遠心力を受けている場合について、遠心力と外力とする圧密理論とを考えてみよう。汚泥表面に原液ととり外方へ X 軸をとる。汚泥の間隙水圧を w 、遠心機の回転角速度を ω 、圧密係数を C_v 、時間を t とおく。基礎式 $\frac{\partial w}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ (1)

$$\text{初期条件} \quad w_{t=0} = (\omega^2 \rho_s / 2) (2Rx + x^2) = f(x) \quad (2)$$

$$\text{境界条件} \quad w_{x=0} = 0, \quad w_{x=l_0} = 0 \quad (3)$$



これを解くと、

$$w = \frac{\omega^2 \rho_s l_0}{\pi} (2R + l_0) \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} \sin n\pi x \exp\left(-\frac{C_v n^2 \pi^2 t}{l_0^2}\right) - \frac{4\omega^2 \rho_s l_0^2}{\pi^3} \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^3} \sin \frac{(2n-1)\pi x}{l_0} \exp\left[-\frac{C_v (2n-1)^2 \pi^2 t}{l_0^2}\right] \quad (4)$$

$$\text{圧密度は} \quad U = 1 - \frac{12}{(3R + l_0)\pi^2} \left[(2R + l_0) \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} - \frac{4l_0}{\pi^2} \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^4} \right] \exp\left[-(2n-1)^2 \pi^2 T\right] \quad (5)$$

ただし、時間係数 $T = C_v t / l_0^2$ 、式(5)で示した圧密度 U と時間係数 T の関係は、バスケット半径 $R + l_0 = 20 \text{ cm}$ 、 $l_0 \in 1 \sim 15 \text{ cm}$ の範囲に変化した場合についてそれぞれ数値計算を行うと図-2 のようになる。 l_0/R の値が小さい程全 T に対して U の値は大きくなる。

(2) 平均有効応力とひずみ及び荷重係数

汚泥の単位面積に生じた力は、 $\sigma = P_s + w = \left(\frac{\omega^2 R^2}{2}\right)(2Rz + z^2)$
 (6), 有効応力 $\sigma_s = P_s = \sigma - w$ (7), 式(7)へ式(4)及び式(6)を
 代入し σ_s を求め、汚泥全厚について積分して l_0 で割って

平均有効応力 $\bar{\sigma}_s = \left\{ \frac{\omega^2 R^2 l_0}{6} (3R + l_0) \right\} \frac{1}{U}$ (8) とえた。

汚泥層のひずみは、比例常数 E_s とおいて

$$e_s = \bar{\sigma}_s / E_s = \left(\frac{1}{E_s} \right) \left\{ \frac{\omega^2 R^2 l_0}{6} (3R + l_0) \right\} \frac{1}{U} \quad (9)$$

以上の解析は、運転が定常状態になっている場合についても
 適用することができよう。

式(8)の $\left\{ \frac{\omega^2 R^2 l_0}{6} (3R + l_0) \right\}$ = 荷重係数とし、 $R + l_0 = 20 \text{ cm}$,
 単位重量 $\gamma_s = \rho_s g = 1.017 \text{ kg/m}^3 = 1.017 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$ で、回転数 1000~
 4000 RPM とした場合、それぞれ $l_0 = 1, 2, \dots, 20 \text{ cm}$ について荷
 重係数と計算すると図-3 となる。回転数の増大と共にこの値
 は大きくなり、いずれの場合も $l_0 = (3/4)(R + l_0)$ の位置に最大
 値が表われることが注目される。

(3) 遠心脱水と遠心濃縮の脱水効果の比較

両遠心機において、汚泥の初期厚 l_0 , 単位重量 γ_s , 極限收縮
 率 ϕ , 回転角速度 ω が等しい場合で全/時間経過後のひずみと
 比較する。遠心脱水の場合にダッシュをつけておく。 k = 透水
 係数。 $e'_s/e_s = U'/U$ ②, $e'_s/e_s = \left\{ 2(3R + l_0)/l_0 \right\} (C_u k'/C_u k) (U'/U)$

③, ただし、遠心濃縮機の荷重係数は $(\omega^2 R^2 l_0^2 / 12)$ である。⁴⁾

$\therefore 2(3R + l_0)/l_0 = C_u k'/C_u k$ ③, 一方 $T'/T = C_u'/C_u$ ④,

$\therefore T'/T = \left\{ 2(3R + l_0)/l_0 \right\} (k'/k)$ ⑤, T' と 0.1 ~ 0.9 とおい

て、かりに $k' = k$ として T' を求め、 T' に対応する U' 及び T' に対
 する U と $U-T$ 曲線から求め、式②から $l_0/R = 1/20, 5/20, 9/20, 15/20$
 の場合について e'_s/e_s を求めると図-4 のようになる。 l_0/R の
 小さい程、 T' の小さい程、遠心脱水の方が遠心濃縮より脱水効
 果が大きいことを意味している。

参考文献

- 1) 化学工学協会編：化学工学便覧，757~758頁，丸善，昭和39年2月第4版
- 2) 石川島播磨重工業カタログ，押出式連続遠心分離機 1H-1040型
- 3) 川島 普：汚泥の濃縮，脱水過程における有効応力と変形仕事量，土木学会第20回年次学術講演会，昭和40年5月
- 4) 川島 普：遠心力による汚泥の脱水機構に关する考察，水処理技術，Vol. 2, No. 2, pp. 33~38, 昭和36年2月
- 5) 川島 普：下水汚泥物理的性質の要因に关する研究，水道協会雑誌，第254号，33頁，昭和30年12月

