

II-471 高速天日乾燥法の性能に関する基礎的考察

東北大学 正員○西村 修
東北大学 正員 後藤光亀
東北大学 正員 佐藤敦久

1. はじめに 近年、排水面に形成するケーキ層を破壊して重力脱水を促進させる高速天日乾燥法が開発されたがその性能に関する研究は少ない¹⁾。本研究では完全混合状態における重力脱水式を導き理論的な面から高速天日乾燥法の性能を検討した。

2. 完全混合状態の重力脱水式²⁾

完全混合状態においては鉛直方向に均一な空隙率で脱水が進行する。よって空隙率 ε は時間 t のみの関数である。固相の連続の式は

$$\frac{\partial V_s}{\partial x} - \frac{d\varepsilon}{dt} = 0 \quad (1)$$

と表される。ここで、 V_s ：汚泥固相のフラックス、 x ：鉛直方向座標。 x で積分して

$$V_s = \frac{d\varepsilon}{dt} x + C_s \quad (2)$$

を得る。ここで積分定数 C_s は $x=0$ の位置で $V_s=0$ から0となる。一方、液相の連続の式から

$$\frac{\partial V_l}{\partial x} + \frac{d\varepsilon}{dt} = 0 \quad (3)$$

ここで、 V_l ：汚泥液相のフラックス。 x で積分して

$$V_l = -\frac{\partial\varepsilon}{dt} x + C_l \quad (4)$$

となる。ここで C_l は積分定数であるが、 $x=0$ の位置で $V_l=q$ であるから $C_l=q$ となる（ q は汚泥全体のフラックス）。また、液相に関する運動方程式は次式となる。

$$\frac{\partial P_l}{\partial x} + \frac{\rho_l \cdot g}{k} (V_l - \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} V_s) + \varepsilon \rho_l g = 0 \quad (5)$$

ここで k ：透水係数、 ρ_l ：汚泥液相の密度、 g ：重力加速度。汚泥固相、液相の速度が(2)、(4)式で表されるから、

$$\frac{\partial P_l}{\partial x} + \frac{\rho_l \cdot g}{k} \left(\frac{-1}{1-\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dt} x + q \right) + \varepsilon \rho_l g = 0 \quad (6)$$

であり、 x で積分して

3. 実験試料 実験に供した汚泥は、図-1に示すように定率ひずみ圧密試験³⁾の結果から(12)式の定数 $a_k=2.03 \times 10^{-12}$ 、 $b_k=2.05$ が得られた。また、圧密係数は図-2に示す。

4. 実験方法 高速天日乾燥法の実験装置を図-3に示す⁴⁾。カラムは内径12cm、高さ100cmの透明アクリル製であるカラムの中心にパイプ（内径12mm）をセットし攪はん軸として用いると共に、エアレーション用の空気を送り込んだ。ろ材としては、混合によって乱れを生じないようにろ布（不織布）を用いた。汚泥の打ち込み高さは50cm、初期濃度は6.4%である。

$$P_l = \frac{\rho_l \cdot g}{k} \left(\frac{1}{1-\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dt} \frac{1}{2} x^2 - q \cdot x \right) - \varepsilon \rho_l g x + C_p \quad (7)$$

となる。ここで積分定数 C_p は $x=0$ で $P_l=0$ から0となる。また、 $x=H$ で $P_l=0$ から

$$\frac{\rho_l \cdot g}{k} \left(\frac{1}{1-\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dt} \frac{1}{2} H^2 - qH \right) - \varepsilon \rho_l g H = 0 \quad (8)$$

となる。ここで、 H ：時間 t での汚泥高さ。この、汚泥高さと空隙率は次式の関係にある。

$$H = \frac{H_s}{1-\varepsilon} \quad (9)$$

ここで、 H_s ：汚泥固相の高さ。したがって、 q と空隙率の関係は

$$q = \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{H_s}{(1-\varepsilon)^2} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (10)$$

となる。また透水係数は次式で表される³⁾。

$$k = a_k \left\{ \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \right\}^{b_k} \quad (11)$$

ここで、 a_k 、 b_k ：定数。(9)、(10)式を(8)式に代入し、(11)式を用いて整理すると次式を得る。

$$- \frac{2a_k}{H_s} dt = \frac{(1-\varepsilon)^{2b_k-2}}{\varepsilon^{3b_k+1}} d\varepsilon \quad (12)$$

$t=0$ で $\varepsilon=\varepsilon_0$ 、 $t=t$ で $\varepsilon=\varepsilon$ とすると(12)式に示す積分方程式の形で、完全混合状態における重力脱水式が得られる。

$$t = - \frac{H_s}{2a_k} \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon} \frac{(1-\varepsilon)^{2b_k-2}}{\varepsilon^{3b_k+1}} d\varepsilon \quad (13)$$

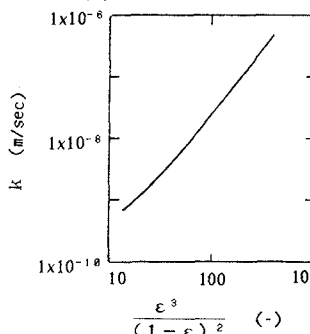


図-1 汚泥の透水係数

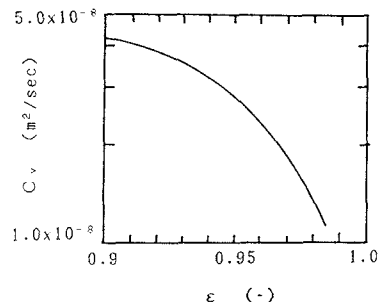


図-2 汚泥の圧密係数

5. 高速天日乾燥法のシミュレーション (13)式を用いて完全混合状態における高速天日乾燥法のシミュレーションを試みた。その計算結果と実験結果を図-4に示す。30時間程度まで実験値と計算値はほぼ一致する。しかし、実験値は100時間を過ぎるとほとんど低下せず、汚泥高さ15cmで定常状態になる。これに対して計算値は20cmであり大きく異なる。加えられた攪はんのエネルギーが汚泥の構造を破壊し、フロックが取り込んでいた水が吐き出される。したがって、汚泥の固液分離性のパラメーターである a_k 、 b_k が変化する。このような原因から、計算値よりも実験値は常に脱水の進行が速やかであり、完全混合状態の高速天日乾燥法の性能は計算値の予測を上回ると考えられる。

6. シミュレーションによる天日乾燥法の運転方法の検討

天日乾燥法における操作因子である汚泥の濃度および汚泥の打ち込み高さは脱水の効率を大きく左右する。すなわち、単位面積当りにどれだけの乾燥固形物量の負荷がかかるかが問題であり、次式に示すような汚泥負荷という概念が用いられる⁵⁾。

$$\text{汚泥負荷}(\text{kg}/\text{m}^2) = \text{汚泥高さ}(\text{m}) \times \text{汚泥濃度}(\text{kg}/\text{m}^3) \quad (14)$$

一般的には汚泥負荷が同じでも汚泥濃度が高く、打ち込み高さを浅くした時の方が脱水効率がよいといわれている。しかしながら、これはおもに蒸発による脱水効率の面から言われていることであり、重力脱水の効率に対する汚泥負荷の影響は明かでない。そこで、(13)式を用いて高速天日乾燥法に対する打ち込み高さ、濃度の影響をシミュレーションした。また、図-2で示される圧密係数を用いて普通天日乾燥法の重力脱水過程を圧密理論で解析し⁶⁾同様のシミュレーションを行った。ここで、脱水性能は、次式で定義した。

$$\text{脱水性能}(\text{kg}/\text{m}^2/\text{day}) = \text{汚泥負荷}(\text{kg}/\text{m}^2) / \text{脱水日数}(\text{day}) \quad (15)$$

脱水日数は濃度10%に到達するまでの日数である。

図-5は、初期濃度6.37%で打ち込み高さを変えたときの脱水性能変化である。普通天日乾燥法の脱水性能は打ち込み高さが増すにつれて大きく低下し、従来の報告と同様に打ち込み高さを浅くした時の方が脱水性能がよい。これに対し高速天日乾燥法では打ち込み高さの増加に対して脱水性能は低下するもののその影響は普通天日乾燥法に比較してはるかに小さい。高速天日乾燥法では、打ち込み高さ20cmにおいて2.5倍、1mにおいて6倍の脱水性能を得ることができる。このようなことから天日乾燥床の面積が十分な広さを確保することができず、打ち込み高さを大きくしなければならない場合には、高速天日乾燥法がより効果的といえよう。図-6は、打ち込み高さ50cmで打ち込み濃度を変えたときの脱水性能の変化である。この場合には普通天日乾燥法、高速天日乾燥法とも、濃度が高くなるにしたがって脱水性能は非常に向上する。つまり、天日乾燥床に打ち込む前に汚泥を濃縮することが両法にとって非常に効果的であり、遠心濃縮などを天日乾燥法の前段階に用いることの有効性も示唆される。参考文献) 1)土屋ら：工業用水、No.301、pp.20-28、1983 2)楠田ら：土木学会論文集、Vol.294、pp.59-71、1980 3)後藤ら：水協誌、第661号、pp.10-18、1989 4)西村ら：第39回水道研究発表会、pp.233-235、1988-5 5)日本水道協会：水道施設設計指針解説、pp.272-275、1977 6)西村ら：土木学会東北支部講、1989

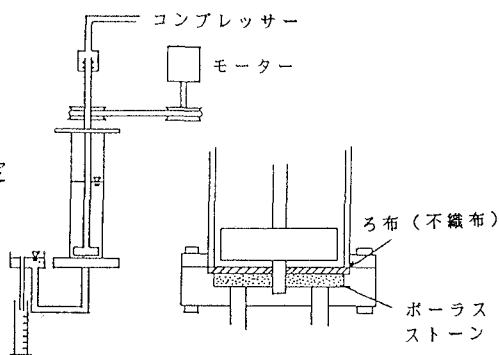


図-3 高速天日乾燥法の実験装置

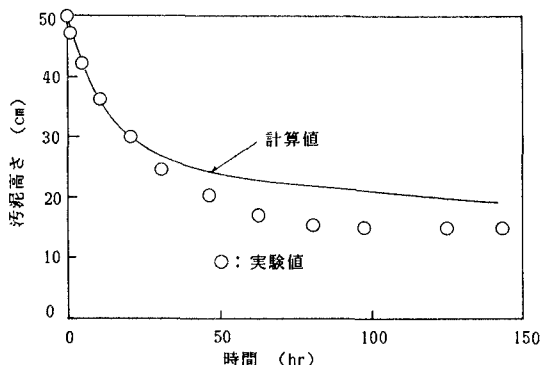


図-4 高速天日乾燥法の計算値および実験値

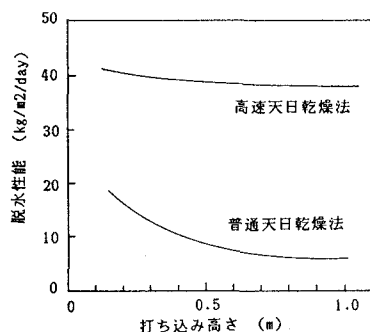


図-5 打ち込み高さと脱水性能の関係

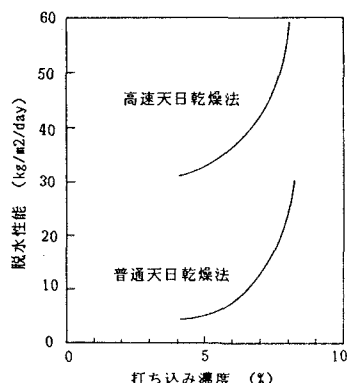


図-6 打ち込み濃度と脱水性能の関係