

東北大学工学部 学生員 後藤光龜
正員 佐藤敦久

I はじめに

上水汚泥の脱水効果に対する一般的把握は、脱水過程における汚泥の圧縮性による挙動の複雑さ等のために十分なではない。本報告は、圧密透過実験ならびに真空脱水実験を行ない、汚泥のろ過性状に関する指標となる透水係数やケーキの平均比抵抗を実験的に求め、従来の脱水の指標について考察を加えたものである。

II 実験試料

試料として、I市浄水場排水池から採取した上水汚泥(粒子密度 $\rho_s: 2.33 \text{ g/cm}^3$)と、モデル汚泥として、74 μ のふるいを通過した粘土、カオリンブロックおよび $\text{Al}(\text{OH})_3$ (硫酸バンドに NaOH を添加)を用いた。しかし、圧密圧力 $P < 1.15 \text{ kg/cm}^2$ の範囲での圧密透過実験結果から、粘土とカオリンブロックの最終含水率 w_f が40%、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ が86%となり、上水汚泥の72%とは異なる値を得た。しかし、上水汚泥の圧密係数 β や圧密時間等の類似性などから $\text{Al}(\text{OH})_3$ (粒子密度 $\rho_s: 2.37 \text{ g/cm}^3$)が最も適していると考えられるので、これをモデル汚泥として用いた。

III 実験装置と実験方法

透水係数は、土質力学で用いられる圧密箱を、ある荷重段階における平衡状態時に変水位透水実験を行なえるように改良した圧密透過実験装置(断面積28 cm^2)により求める。ケーキの平均比抵抗は、図-1に示す真空脱水実験装置を用いて求める。ロートはアクリル性(断面積: 78.54 cm^2)で、ろ過面には1.5 mm 径の小孔を無数に開けた真鍮板の上にNo.5Cのろ紙をセットする。実験方法は、試料を400 cc 取り、ろ液量が100 cc ($\text{Al}(\text{OH})_3$ では150 cc)得られたときに実験を中止する。また、ろ液量を1 cc まで読めるように100 cc のメスシリンダーに逆流部を設けた。このろ液量 $V(\text{cc})$ と時間 $\theta(\text{sec})$ から、 Q/V と V のグラフを描き、その傾きよりろ過定数 $K(\text{cm}^2/\text{sec})$ を求める。また、このときのケーキ層全体の平均含水率は、初期みせけ密度 $\rho_0(\text{g/cm}^3)$ と初期含水率 $w_0(\%)$ とからろ液量分を差引いて求め、これより湿乾質量比 $m(-)$ を算定する。真空度は、5, 10, 20, 30, 40, 50 cmHg を行ない、5, 20, 40 cmHg のときには、厚さ2 $\text{mm} \times 5$ 個(0 $\sim 1\text{cm}$)と3 $\text{mm} \times 5$ 個(1 $\sim 2.5\text{cm}$)のリングを重ね合わせてケーキ中に押し、各リング厚毎の平均含水率を測定し、ケーキ内の濃度分布を求めた。

IV 実験結果と考察

図-2は、変水位透水実験から得られた透水係数 k_e と、層厚の変化を考慮した圧密係数 β を一定とした三笠の圧密方程式による圧密計算によって求めた透水係数 k_m で、圧密圧力 $P \approx 0.1 \sim 1.0 (\text{kg/cm}^2)$ の範囲での実験式($k = k_0 \cdot P^{-d}$)を与えてある。これより、上水汚泥の k_e は k_m のほぼ2倍の値を与えており、また $\text{Al}(\text{OH})_3$ の方が上水汚泥より透水性がよいことがわかる。ある荷重(平衡時) P に対する平衡空け率 $n(-)$ は初期濃度にある程度影響されると考えられるが、初期濃度分率 $r_0 = (1 - w_0/100)$ が0.06の上水汚泥と $\text{Al}(\text{OH})_3$ について、次の実験式($n = n_0 \cdot P_s^{-c}$)を得た。

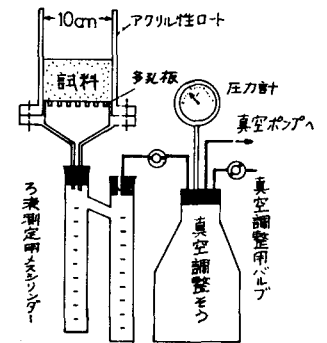


図-1 真空脱水実験装置

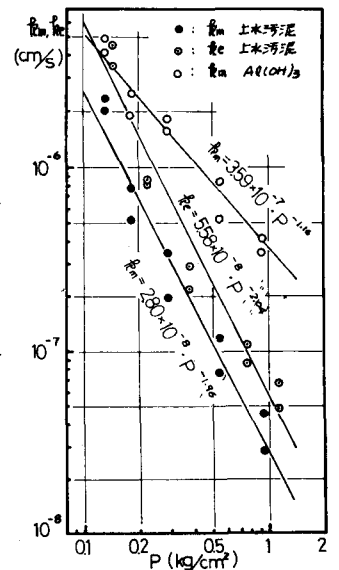


図-2 透水係数 k_m, k_e と圧密圧力 P

$$\begin{aligned} \text{上水汚泥} \quad n &= 0.845 \cdot P_0^{-0.0531} \quad \dots(1) \\ \text{Al(OH)}_3 \quad n &= 0.893 \cdot P_0^{-0.0290} \quad \dots(2) \end{aligned}$$

いま、 $P=P_0$ として、これらの実験式からある空ゲキ率に対する透水係数と算定すると次の実験式 ($k=k_{m,0} \cdot n_0^{-\frac{1}{2}} \cdot n^{\frac{1}{2}}$) が得られる。

$$\begin{aligned} \text{上水汚泥} \quad k &= 1.40 \times 10^{-5} \cdot n^{36.9} \quad \dots(Z) \\ \text{Al(OH)}_3 \quad k &= 3.32 \times 10^{-5} \cdot n^{40.0} \end{aligned}$$

したがって、 n が定まれば k を求める。 n は含水率 w を規定し、ろ液の密度 ρ_w と汚泥の粒子密度 ρ_s が既知であれば次式で求まる。

$$n = \frac{\rho_s \cdot w}{(\rho_s - \rho_w)w + 100\rho_w} \quad \text{すなわち、} w = 100(1-s) \quad \dots(3)$$

つぎに、真空脱水実験について初期条件と結果を表に示す。ろ液の PH は、上水汚泥が 4.7, Al(OH)_3 が 6.4 であった。ケーキの平均比抵抗は、圧縮性ケーキの場合ろ過圧力(真空度)の増加に伴って増加し、 $\alpha = \alpha_0 \cdot P_0^\beta$ なる実験式が与えられており、 β は圧縮指数(非圧縮性では 0)と呼ばれている。この圧縮指数は、上水汚泥で 0.65, Al(OH)_3 で 0.57 となり、上水汚泥の方が圧縮性に富んでいることがわかる。

図-4,5 は、ろ過圧力の増加によるケーキ内の濃度分布を示したものである。これらの図から、ろ過圧力の増加に伴いろ過面付近に濃度の高いケーキが生成されることがわかる。また、低い圧力でろ過を行えばケーキは上方まで脱水され得るが、高い圧力でろ過を行なうと上方まで脱水されにくくなることとわかる。特に、ろ過面から 4 mm までの濃縮ケーキは、脱水性に大きな影響を与えている。たとえば、上水汚泥についてろ過面より 0~2 mm と 2~4 mm における透水係数を図-4 と式 (2), (3) から求めると、真空度 5 cmHg のとき、それぞれ、 1.14×10^{-7} , 2.81×10^{-7} cm/s と約 2.5 倍に、40 cmHg のときは、 2.10×10^{-8} , 2.05×10^{-7} cm/s と約 10 倍になり、ろ過圧力が高くなるにつれろ過面付近のケーキ層の脱水性に及ぼす影響の割合が大きくなることを示す (Al(OH)_3 では、それぞれ、1.2 倍、2.2 倍となる)。これらのことから、同じ湿乾質量比が得られても、汚泥層全体の性状は異なることになる。したがって、Ruth らのケーキ深さ方向におけるケーキ濃度一定の仮定はもちろん、ケーキの平均比抵抗の概念も、実際に汚泥を処理するときの指標としては問題が残ることになる。

V おわりに

今回は、初期濃度の影響を無視し、透水係数およびケーキの平均比抵抗と圧力のみの関数として扱ったが、著者が行なった初期濃度の異なる実験によれば、低濃度の上水汚泥の方が圧力の増加によって難脱水性になるという結果が得られていることから、圧力のみの関数としては扱えないと考えられる。実際には、1 個の影響因子としてろ過時間、位置、粒度分布やろ布抵抗(目づまり)、ケーキ内のろ液流速分布等が考えられるので、今後は、これらについてさらに検討を加えていきたい。 (参考文献: 1. 田中 51 年度 東北支部年講 (P.59~60) 2. 田中 52 年度 東北支部年講 (P.340~342)) 本研究は行方にあたり、多大な御協力いただいた東北大学 佐藤克彦君に深謝いたします。

表 真空脱水実験: 条件および結果

項目 試料	初期かけ 密度 ρ_{s0} (g/cm ³)	初期濃度 分率 s_0 (%)	湿乾 質量比 m (%)	ろ過定数 K (cm ² /s)					
				真空度 (cmHg)					
				5	10	20	30	40	50
上水汚泥	1.0679	0.106	7.17	5.7	7.4	9.2	10.5	11.9	13.4
Al(OH) ₃	1.0364	0.048	14.35	21.2	24.5	37.9	40.8	48.5	55.6

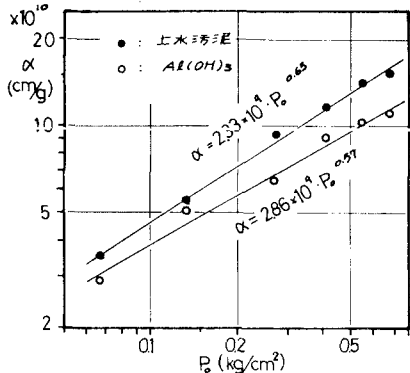


図-3 平均比抵抗 α とろ過圧力 P_0

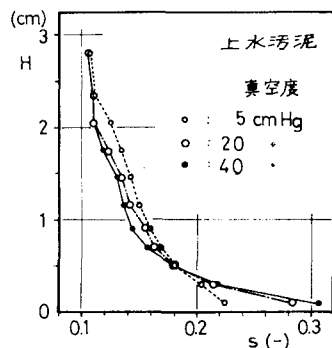


図-4 ろ過面からの距離 H と濃度分率 s

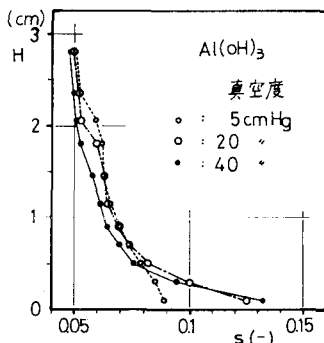


図-5 ろ過面からの距離 H と濃度分率 s