

粘土泥水の脱水処理

齊藤 顕次*

要 約

粘土泥水の脱水処理にあたって、泥水の凝集沈降における凝集剤の働きや、凝集沈降物（スラッジ）の脱水状況を知るために、「シリンダーテスト法」による凝集沈降実験及び模型加圧脱水装置による脱水実験を行った。

その結果、凝集沈降における無機凝集剤による上澄水の改善、加圧脱水における脱水ケーキの限界含水比、等が明らかになり、粘土泥水の脱水処理における基本的な問題を考えるうえで、有益な資料を得ることができた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 凝集沈降実験
- § 3. 脱水実験
- § 4. まとめ
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

泥水シールド工法の泥水処理は、システムとして基本的には、1)一次分離工程、2)二次分離工程、3)脱水工程、の三つの工程を考えている。

一次分離工程は、粒径が $74\mu\text{m}$ 以上の粗粒子分の自然沈降による分離で、二次分離工程は、粒径が $74\mu\text{m}$ 以下の細粒子分の薬品による凝集沈降分離である。脱水工程は、二次分離工程で生じる凝集沈降物（スラッジ）の脱水である。

泥水シールドの排出泥水として、多量の微粒子を含む粘土泥水の脱水処理には、二次分離工程におけるフロックの沈降速度及び上澄水の濁度、脱水工程におけるスラッジの脱水効率、が問題となる。

この問題を検討するために、粘土泥水を作製して、凝集沈降実験及び模型装置によるスラッジの脱水実験を実施した。ここに、その内容を報告する。

§ 2. 凝集沈降実験

2-1 凝集沈降

水中に懸濁している粘土粒子の凝集は、基本的には、

凝集剤によって生じる反対電荷の粒子又は高分子の吸着架橋作用によって生じると考えられる。

粘土泥水に凝集剤を加えると、フロックが形成され、フロックと上澄水との間に明りょうな境界面が現れる。この境界面（フロック界面）は、フロックの沈降速度と等しい速度で降下する。フロック界面の沈降終了後、凝集沈降物（スラッジ）は、自重で圧密される。¹⁾

凝集剤は、一般に、無機凝集剤と有機高分子凝集剤とに大別され、さらに、有機高分子凝集剤は、そのイオン性によって、アニオン（負イオン）性・カチオン（正イオン）性及び非イオン性に分類される。これらのイオン性は、処理する泥水の性質に応じて、使い分けられている。

無機凝集剤は、上澄水の清澄化に効果があるといわれ、有機高分子凝集剤は、強く大きなフロックを形成して、沈降速度及び脱水性の向上に効果があるといわれている。

粘土泥水のように微粒子の懸濁物質を多量に含有する泥水の場合には、無機凝集剤と有機高分子凝集剤を併用する。

これらの凝集剤の働きを見るために、以下に示す凝集沈降実験を行った。

2-2 実験方法

作製した粘土泥水に凝集剤を、添加量を変えて加え、「シリンダーテスト法」²⁾に基づいて、1)フロックの沈降速度、2)上澄水の懸濁物質質量(SS)、3)スラッジの含水比、を測定した。

実験に用いた凝集剤は、無機凝集剤の硫酸アルミニウムとアニオン性高分子凝集剤である。

泥水シールドより排出されて処理プラントに流入する泥水の質量濃度は、10%程度に抑えられているので、作

*技術研究所係長

製した粘土泥水の質量濃度も同じように、10%とした。
作泥材料の土質試験の結果を図-1に示す。

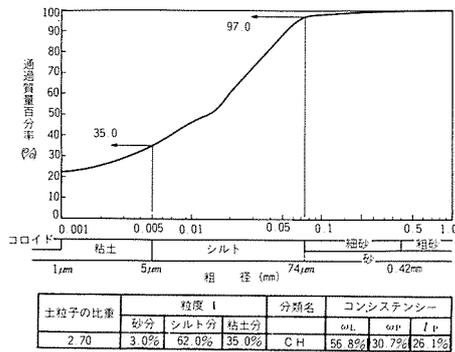


図-1 作泥材料の粒度分布

2-3 実験結果

表-1に実験結果を一括して示す。

表-1 凝集沈澱実験結果表

粘土泥水 質量濃度	アニオン性高 分子凝集剤添加量	硫酸アルミニ ウム添加量	フロック 沈降速度	ステッジ 含水比	上澄水懸濁 物質量(ss)
10%	10ppm	100ppm	2.0m/h	341%	1920ppm
		200 "	1.0 "	325 "	958 "
		300 "	0.6 "	345 "	477 "
	20ppm	100ppm	24.8m/h	238%	475ppm
		200 "	15.8 "	264 "	205 "
		300 "	10.4 "	265 "	87 "

フロック界面の沈降高さを経過時間の関係を示すフロ
ックの沈降曲線を、図-2~3に示す。

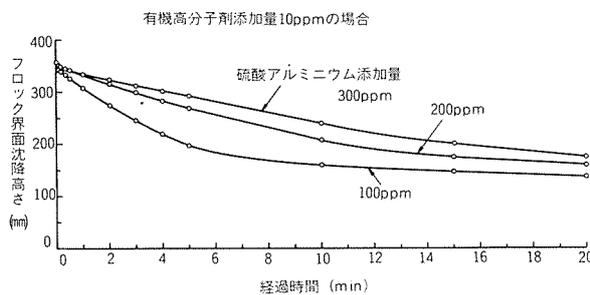


図-2 フロック沈降曲線(1)

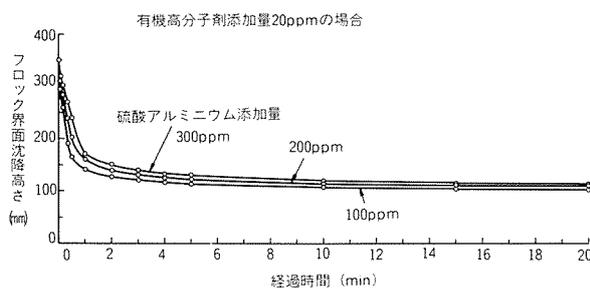


図-3 フロック沈降曲線(2)

表中に示すフロックの沈降速度は、図-2~3のフロ
ックの沈降曲線における沈降初期の直線部分の勾配であ
る。

2-4 考察

粘土泥水の凝集沈降に及ぼす有機高分子凝集剤の影響
を、フロックの沈降曲線の形から見ると、図-4のよう
になる。この影響は、図-5のフロックの沈降速度と凝
集剤の添加量の関係を見ると、一層明りようになる。

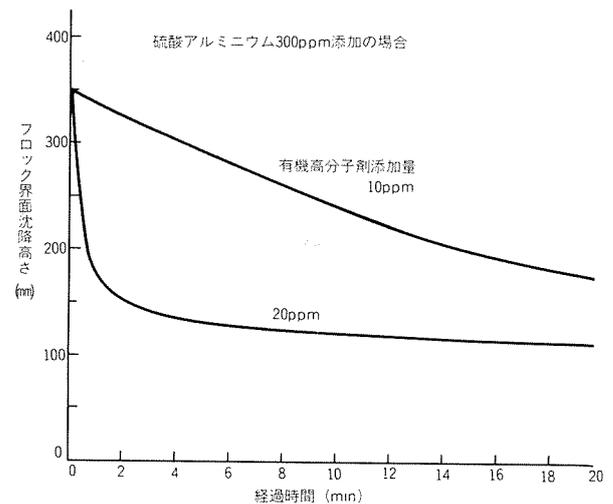


図-4 フロック沈降曲線(3)

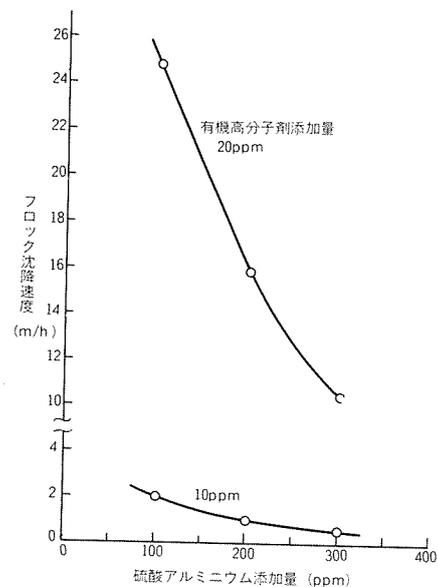


図-5 フロック沈降速度と凝集剤添加量の関係

図-5によると、フロックの沈降速度は、硫酸アルミ
ニウムの添加量よりも有機高分子凝集剤の添加量に大き
な影響を受け、添加量が2倍になると沈降速度は十数倍

にもなる。

このフロックの沈降速度の変化は、フロックの粒径の変化を示し、有機高分子凝集剤の添加が、フロックの形成を促進していることを示している。また、この沈降速度の変化は、スラッジの含水比にも現れている。

上澄水の懸濁物質量については、図-6に示す上澄水の懸濁物質量と凝集剤の関係図によると、硫酸アルミニウムの添加量及び有機高分子凝集剤の添加量の両者が、共に関係している。

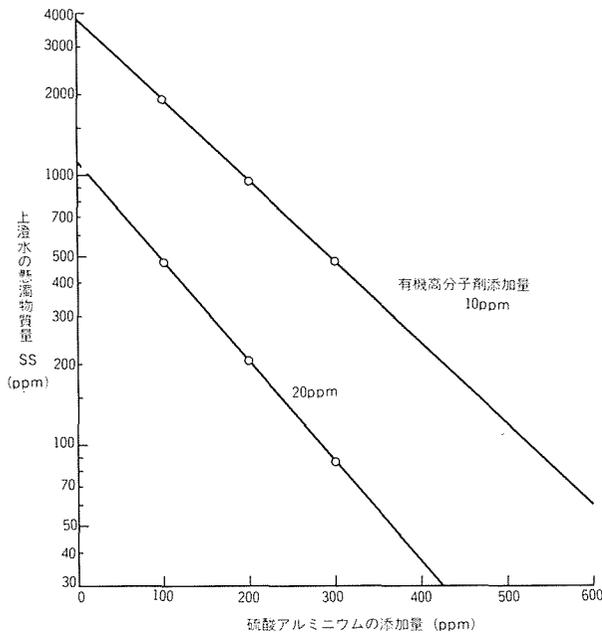


図-6 上澄水の懸濁物質量と凝集剤の添加量の関係

表-1のスラッジの含水比から質量濃度を求めると、22~30%になり、質量濃度10%の粘土泥水が凝集沈降によって、2.2~3.0倍に濃縮されたことになる。

以上の実験結果から凝集剤の添加量について、次のことがいえる。フロックの沈降速度から有機高分子凝集剤の添加量を、また、上澄水の懸濁物質量から有機高分子凝集剤の添加量に対応した無機凝集剤の添加量を、それぞれ決めることになる。例えば、粘土泥水でフロックの沈降速度を3~5 m/h、上澄水の懸濁物質量を50~100 ppm、の条件で凝集剤の添加量を求めると、図-5より有機高分子凝集剤の添加量は20ppm、図-6より硫酸アルミニウムの添加量は280~370ppmになる。このときのフロック沈降速度は、再び、図-5より8~11m/hになることがわかる。

2-5 懸濁物質量と透視度

“J I S K 0102工場排水試験法10.2懸濁物質”，による

懸濁物質量の測定は、測定結果が判明するまで長時間を要し、排水の管理試験として極めて不便である。この点、“J I S K 0102工場排水試験法6.透視度”，の透視度計による透視度の測定は、極めて容易で、短時間で測定ができる。

透視度と懸濁物質量との相関関係が明らかになれば、透視度を測定することによって懸濁物質量を推定することができ、排水の管理にとって極めて有益である。

図-7は、シルト分63%、粘土分37%の粘土を用いて作製した粘土泥水について、透視度と懸濁物質量を測定して、その関係を求めたものである。図中に、“J I S K 0102, 6項の参考図”より精製カオリン泥水(白濁)による透視度と濁度の関係を示す。

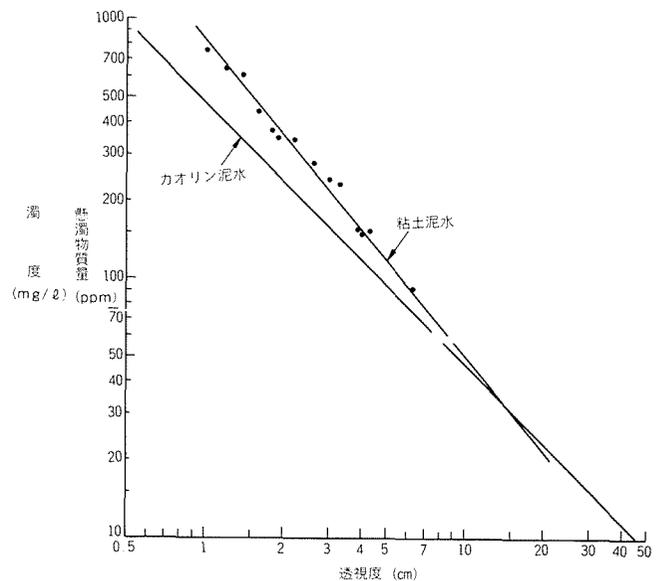


図-7 懸濁物質量、濁度と透視度の関係

透視度は、泥水の濁り、色、明るさなどの総合されたものを測定しており、測定者の判断や、測定する際の明るさなどに大きな影響を受ける。しかしながら、注意深く測定すれば、図-7に示すパラツキの程度で測定することができる。

図-7によると、懸濁物質量50ppmは、透視度10度(cm)に相当する。

§ 3. 脱水実験

3-1 スラッジの加圧脱水

スラッジの脱水には、1)風乾・天日乾燥脱水、2)重力脱水、3)遠心力脱水、4)減圧脱水、5)加圧脱水、6)凍結融解脱水等さまざまな方法がある。高圧を作用させる加圧脱水は、連続脱水は難しいが、脱水効率他のものよ

り優れている。

加圧脱水は、形成されたフロックを押し潰して濾過するため、目の細かい濾布を用いて脱水する。このため、フロックそのものの濾過性よりも加圧力及び加圧時間が、加圧脱水の脱水効率に大きな影響を与えることになる。

そこで、脱水工程で用いる加圧脱水方式のフィルタープレスを模した実験装置で、加圧脱水の能力を調べるためにスラッジの脱水実験を行った。

3-2 実験方法

実験に用いたスラッジは、質量濃度10%の粘土泥水に、硫酸アルミニウムを300 ppm、アニオン性高分子凝集剤を20ppm添加して得られたものである。

実験装置は、図-8に示すようにフィルタープレスの脱水様式を模したもので、濾室は濾布・合成樹脂製の網及び鉄製の穴あき濾板より構成されている。濾室の幅は3cmで、両面排水型であるから、濾過厚は1.5cmとなる。

濾過面積は377 cm²である。

実験の手順を図-8を用いて説明すると、次のようになる。含水比を測定したスラッジを耐圧容器に投入し、ゴム製の加圧板を載せて、容器を密閉する。コック(2)を全開し、さらに、コック(1)を開いて耐圧容器内に圧縮空気を送り、30秒以内に所定の加圧力まで上げる。実験中は、コック(1)の開閉により所定の加圧力を維持する。濾室より脱水された水は、ロートを経てメスシリンダで測定される。脱水量の経時変化を測定して、脱水が終了したと思われる時点で、コック(1)及び(2)を閉じてコック(3)を開き、容器内の圧力を抜いて加圧をやめる。濾室を分解して生成した脱水ケーキの含水比を測定する。

3-3 実験結果

表-2に実験結果を一括して示す。

表中に示す脱水ケーキの体積は、実測した脱水ケーキの含水比、乾燥質量及び土粒子の比重より計算したものの

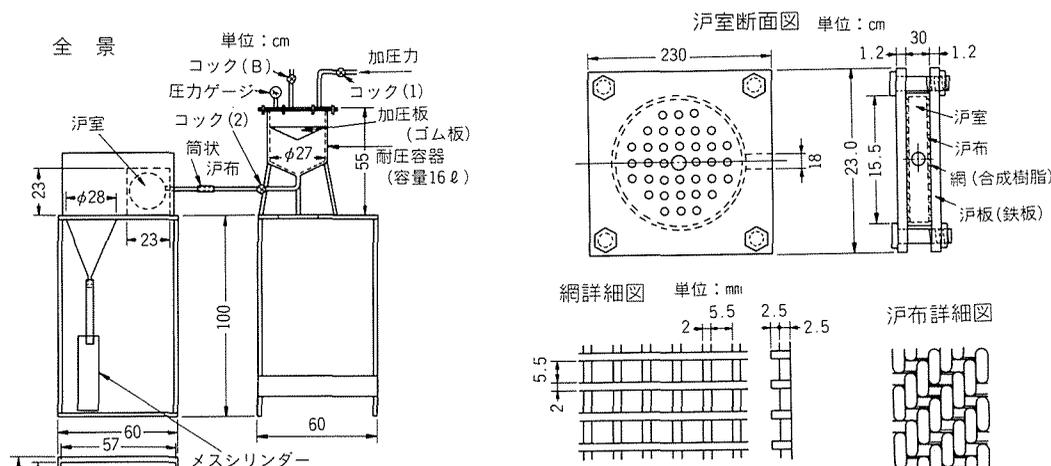


図-8 脱水試験装置

表-2 脱水実験結果表

番号	加圧力 (kPa)	加圧時間 (min)	スラッジ含水比 (%)	スラッジ含水比 計算値 (%)	脱水量 (cm ³)	脱水ケーキ 含水比 (%)	脱水ケーキ 体積 (cm ³)	脱水ケーキ 乾燥質量 (g)	脱水ケーキ 乾燥密度 (Mg/m ³)
1	196	60	245.5	208.9	805	55.3	484	524	1.083
2	(2kgf/cm ²)		263.3	248.1	950	59.2	484	503	1.039
3			231.5	195.1	820	49.0	483	561	1.161
4	392 (4kgf/cm ²)	60	231.5	216.6	930	49.3	480	556	1.158
5			217.0	214.2	945	49.2	494	573	1.160
6			228.0	215.5	925	51.0	495	563	1.137
7			267.2	239.2	1,070	50.7	498	568	1.141
8	588 (6kgf/cm ²)	60	274.8	293.6	1,470	47.0	501	597	1.192
9			217.0	201.5	940	46.0	502	605	1.205
10			257.7	253.3	1,215	47.6	500	591	1.182
11			265.1	251.3	1,255	45.8	506	611	1.208

である。

スラッジの脱水量と加圧時間の関係を示すスラッジの脱水曲線の例を、図-9に示す。

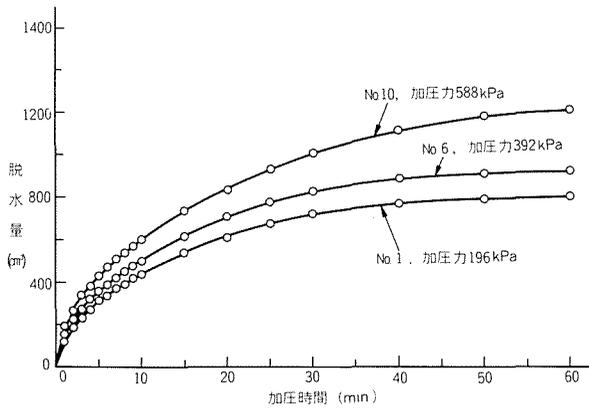


図-9 スラッジの脱水曲線

3-4 考察

スラッジの脱水前後において、固体の質量（土粒子群の質量）は、不変であると考え、スラッジの脱水量は、次式によって求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} Q &= W_s \times \frac{1}{100} \times (w_0 - w_t) \\ W_s &= V / \left(\frac{1}{\rho_s} + \frac{w_t}{100 \times \rho_w} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

- Q：脱水量， W_s ：土粒子群の質量， w_0 ：スラッジの含水比， w_t ：脱水ケーキの含水比
- V：脱水ケーキの体積（≒濾室の容積）
- ρ_s ：土粒子の密度（ $= G_s \times \rho_w$ ）， ρ_w ：水の密度， G_s ：土粒子の比重

表-2に示すスラッジ含水比の計算値は、(1)式を用いて、実測脱水量から逆算して求めたものである。

スラッジの含水比の計算値は、実測値に比較して、平均して約6%ほど低い値を示している。これは、容器内のスラッジが沈降分離を起こし、加圧によって、投入したスラッジの全量が送られるのではなく、沈降分離によって濃縮されたスラッジの一部が送られ、このため実際には、測定時の含水比より低い含水比のスラッジが、濾室に送られるからである。

図-9のスラッジの脱水曲線を見ると、加圧力に関係なく加圧時間60分で、脱水量の変化はあまり見られず、60分の加圧時間で、スラッジの脱水が、ほぼ終了したものと見て差し支えない。

この加圧時間60分における脱水量を100として、各加

圧時間の脱水量を百分率で示したものを、脱水率と称する。

この脱水率を表-2に示す全実験について求め、図示したものが、図-10のスラッジの脱水率と加圧時間の関係図である。この図は、加圧力に関係なく、脱水率の値をプロットしている。

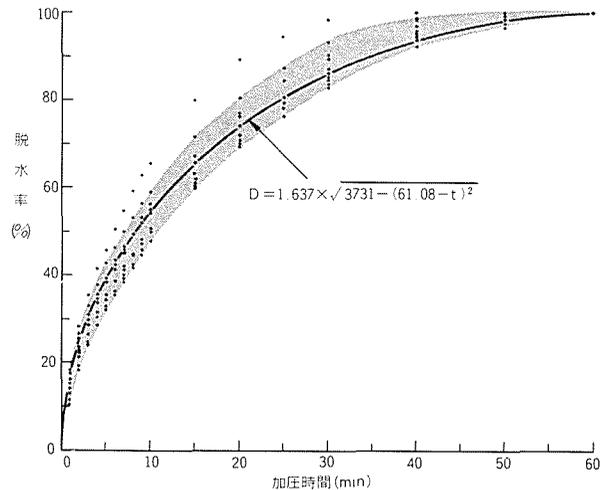


図-10 スラッジの脱水率と加圧時間の関係

図-10によると、脱水率にある幅のバラツキがあるものの、脱水率と加圧時間の関係を、次式に示す曲線によって、近似することができる。

$$D = 1.637 \times \sqrt{3731 - (61.08 - t)^2} \text{ (\%)} \dots\dots(2)$$

ここに、

D：脱水率(%), t：加圧時間(min)

(2)式は、脱水の経時変化は、加圧力に関係なく、すべて同一であることを意味している。(2)式より、加圧時間30分の脱水率を求めると、86.2%になる。

表-2に示す脱水ケーキの含水比は、加圧時間60分における脱水物の含水比で、脱水終了時のスラッジの含水比を表している。

表-2より、脱水ケーキの含水比と加圧力の関係を示すと、図-11のようになる。

図-11において、加圧力と脱水ケーキの含水比の関係を、一つの曲線で表すと、図中に示す曲線となり、次式で与えられる。

$$w_f = \frac{3000}{p} + 42.0 \text{ (\%)} \dots\dots\dots(3)$$

ここに、

w_f ：最終脱水含水比(%), p：加圧力(kPa)

(3)式は、濾過厚1.5cmの粘土泥水スラッジの脱水限界を表す式で、加圧力を無限大にすると最終脱水含水比は42%となり、脱水ケーキの限界含水比が42%であることを示している。

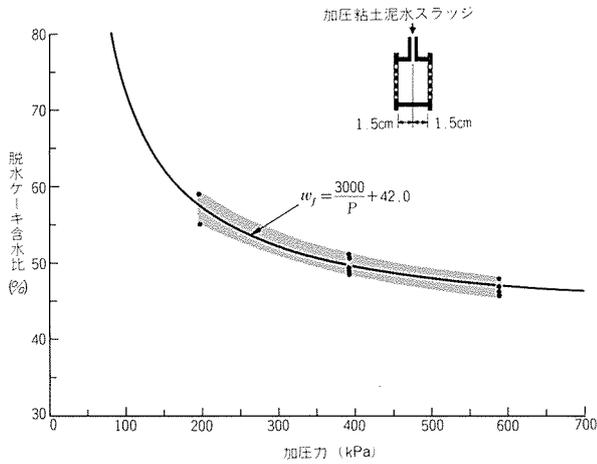


図-11 加圧力と脱水ケーキ含水比の関係

一般に、木製濾過枠では、加圧力は980kPa(10kgf/cm²)が限度であり、実用上、この加圧力に対応する脱水ケーキの最終脱水含水比が、限界含水比となる。(3)式より、加圧力980kPaに対して、限界含水比を求めると、45.1%になる。

この限界含水比は、スラッジの性質や、脱水様式に応じて定まる。

(3)式で示される曲線は、各加圧力において、脱水可能な含水比の下限を示すものである。この曲線の上側がスラッジの脱水可能領域で、この領域の下側まで、脱水ケーキの含水比を下げることはできない。この脱水可能領域は、同一の脱水様式でも、処理する泥水の性質や、濾過厚によって変化する。

以上の実験結果から、前出の(1)式、(2)式及び(3)式を用いて、脱水工程における脱水の制御を行うことができる。例えば、含水比250%のスラッジを、含水比50%の脱水ケーキに脱水するものとする。濾過厚1.5cmで、濾室の容積を0.03m³とすると、スラッジの脱水量は、(1)式より、($\rho_s = 2.70\text{Mg/m}^3$, $\rho_w = 1.0\text{Mg/m}^3$ とする。)

$$Q = \frac{0.03}{\frac{1}{2.70} + \frac{50}{100 \times 1.0}} \times \frac{1}{100} \times (250 - 50) = 0.0689\text{Mg}$$

となり、このときの加圧力は、(3)式より、

$$p = \frac{3000}{(50 - 42)} = 375\text{ kPa} (3.83\text{kgf/cm}^2)$$

となる。この加圧力は、加圧時間60分のときの値である。

この場合に、加圧力のみを700kPa(7.14kgf/cm²)に増加したとき、加圧時間がどの程度短縮するか、計算すると次のようになる。(3)式より、加圧力700kPaに対する脱水ケーキの含水比は、

$$w_f = \frac{3000}{700} + 42.0 = 46.3\%$$

となり、スラッジの脱水量は、(1)式より、

$$Q = \frac{0.03}{\frac{1}{2.70} + \frac{46.3}{100 \times 1.0}} \times \frac{1}{100} \times (250 - 46.3) = 0.0733\text{Mg}$$

となる。加圧力375kPaにおける脱水量0.0689Mgは、この値に対して、 $(0.0689/0.0733) \times 100 = 94.0\%$ の脱水率になる。(2)式より、この脱水率に対する加圧時間を求めると、

$$t = 61.08 - \sqrt{3731 - \left(\frac{94.0}{1.637}\right)^2} = 40.2\text{min}$$

となる。この結果、加圧力375kPaに対する加圧時間60分は、加圧力700kPaに対しては、40.2分の加圧時間に相当し、ほぼ20分程度加圧時間を短縮することができる。加圧時間を $\frac{2}{3}$ に短縮することは、脱水処理能力を1.5倍に引き上げることを意味する。

このようにして、本実験で得られた前出の諸式を用いて、脱水状況を理論的に推測することができる。

§ 4. まとめ

粘土泥水の処理実験(凝集沈降実験、脱水実験)を通して、次の諸点が明らかになった。

- 1) 有機高分子凝集剤の添加は、フロックの形成を促進し、フロックの沈降速度に大きな影響を与える。
- 2) 上澄水の懸濁物質量は、有機高分子凝集剤の添加量に対応した無機凝集剤の添加で、改善することができる。
- 3) 上澄水の懸濁物質量は、測定が簡便な透視度によって管理することができる。(図-7参照)
- 4) 加圧脱水方式によるスラッジの脱水は、加圧力に関係なく、60分の加圧で、ほぼ脱水終了の状態を示す。
- 5) 脱水の経時変化は、加圧力の大小、最終脱水量の多少に関係なく、ほぼ一様である。すなわち、脱水率(各加圧時間の脱水量/最終脱水量)と加圧時間の関係は、加圧力の大小に関係なく、一つの曲線で近似することができる。(2)式参照)
- 6) 脱水ケーキの含水比には、加圧力に応じた脱水可能限界が存在し、その含水比と加圧力の関係は、一つの曲線で示すことができる。(3)式参照)
- 7) 脱水ケーキの含水比には、加圧力をいかに増大させても、含水比をこれ以上、下げることのできない限界含水比があり、前項の関係式から、42.0%と推定される。実用上は、加圧力980kPa(10kgf/cm²)に対する含水比45%が、限界含水比となる。
- 8) 加圧脱水における脱水の状態を推測して、脱水の制御を行うことができる。

§ 5. おわりに

本実験によって、二次分離工程における無機凝集剤及び有機高分子凝集剤の基本的な働きが、明らかになった。また、加圧脱水方式における脱水状態を、定量的に把握することができた。これによって、脱水工程において、効率の良い脱水制御を行うことができる。

本報文が、粘土泥水の処理にあたって、基本的な問題を考えるうえで、参考になれば幸いです。実験に協力された関係者各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 高田直俊・今井五郎・木山正明 (1979) : 4. 浚渫粘土の圧密沈下(その1), 圧密沈下を考える, 土と基礎, Vol. 27, No. 4, PP. 101-108
- 2) 日本工業用水協会編 (1971) : 水処理実験法