

上水汚泥の凍結融解処理に関する実験的考察

東北大学工学部 正員 佐藤敦久
東北大学工学部 学生員 ○石橋良信

1. はじめに

水質汚濁防止法の施行により、水酸化アルミニウムを主体とする浄水場の凝集沈殿池、ろ過池より排出される汚泥も処理を義務づけられたが、この汚泥は沈降濃縮性と脱水性がきわめて悪い。またできるケーキも普通の土とはかけはなれたものであり、この処理処分が大きな問題となっている。今回は種々の処理法がある中で凍結融解法を取り上げ、凍結条件と脱水効果、凍結機構の一部、土質などの基礎的な実験を通して本処理法の概略につき報告する。また下水汚泥との比較実験をし若干考察してみたい。

尚、凍結融解処理は汚泥を完全に凍結させ再融解すると微細な汚泥のコロイドが砂状へ変化し脱水性が著しく改善され沈降速度も数1000倍になる。しかも粗大化した粒子塊は元のコロイドに戻らない。また他処理法と異なり薬品による併害もないことに大きな特長をもつ処理法である。

2. 実験方法

(1) 試料汚泥 上水汚泥は仙台市国見浄水場及び岩沼市玉崎浄水場高速凝集沈殿池排水を、下水汚泥は船岡屎尿処理場余剰活性汚泥を用いた。汚泥性状を表-1に示す。

表-1 汚泥性状 (48.12)

	仙台	岩沼	船岡
初期含水率 %	99.5	99.25	98.5
有機物含量 %	16.7	18.3	72.9
沈降速度 m/hr	0.12	0.10	0.025
pH	6.98	6.41	7.40

(2) 実験装置及び操作 内のり $30\text{cm} \times 30 \times 30$ 冷蔵としてメチルアルコールを用いた温度調節機付フリーザーで内容積 500ml のポリビーカーに試料を入れ凍結させた。融解は室温にて自然融解させた。脱水はヌッフェ型真空ろ過機で行なった。ろ紙は No.5C を使い、含水率測定には水分計を使用した。脱水沈降試験及び土質試験にはアニオン性高分子凝集剤で濃縮させ実験に供した。COD, BOD 試験には自然沈降させ濃縮させたものを用いた。実験は含水率の測定、沈降速度、ろ液の COD, BOD, 土質試験等を行なった。汚泥の脱水性の判定には一般に比抵抗を使うが、本実験では真空度 100 mmHg で 10 分間吸引した後の含水率を指標とした。沈降速度は沈降曲線より m/hr の単位で表わした。その形状を図-1に示す。

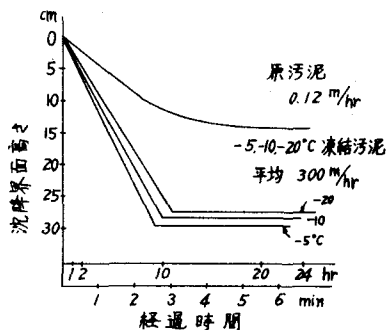


図-1 沈降曲線 (000CCスリ) アーデン

3. 基礎実験

凍結温度を -10°C , -15°C , -20°C として凍結時間を変化させた場合のケーキ含水率、沈降速度を図-2に示す。凍結時間が長くなるにつれて含水率は減り逆に沈降速度は増える。脱水性指標としての含水率と沈降速度には何かしらの相関関係があると思われる。凍結温度を -10°C , -15°C , -20°C 、凍結時間を一定としてスラッジ濃度を变化させた結果を図-3に示す。含水率、沈降速度共に各温度で似た値をとり、濃度の差による影響はみられない。

図は掲載しないが完全凍結の場合の含水率、沈降速度は近似の値ととり、汚泥の種類、季節、凍結条件で違いはあるだろうが脱水性を予想する大体の目安となると思う。沈降速度は図-1 からわかるように凍結温度がさほど低くなく、凍結時間が長いほど良くなる傾向にある。これは氷結晶が最もできやすい条件に合致する。

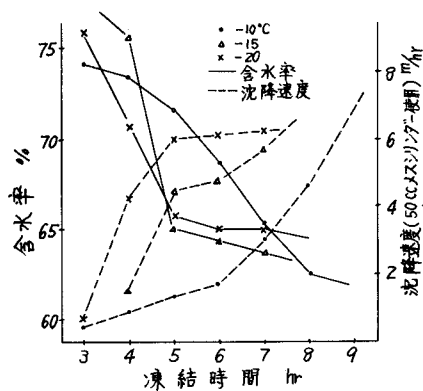


図-2 凍結時間と含水率と沈降速度

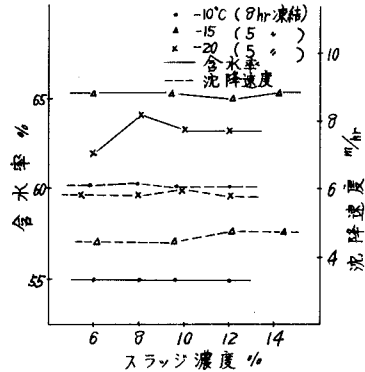


図-3 スラッジ濃度と含水率と沈降速度

4. 汚泥の凍結及びBOD物質の溶出

(1) 一般的な汚泥の凍結について

通常の汚泥凍結にみられる現象（濃度が5～15%、凍結速度が速い場合）を図-4に略記する。コロイド性の汚泥を冷却すると冷凍面より自由水が氷結し、氷が成長していく。氷は水だけがこおり、汚泥を氷結晶内に組入れることなくこおるので図に示すように汚泥はしだいに押しやられていく。凍結界面で固形物が蓄積されると汚泥の比抵抗は高まり、水の補給が妨げられる。新しい界面はまた水の流れの可能な所に形成され、汚泥は氷層にはさまれたまま凝固する。この過程で汚泥中の水分は毛管現象及び氷圧により脱水される。しかも汚泥は氷圧により凝集粗大化される。この粗大化された粒子塊は薄い雲母状となっている。このようにして帯状のしま模様をつけながら中心まで凍結し完了する。

また濃度が0.5～2%とうすく、凍結速度が遅い場合には全ての汚泥粒子は氷に捕捉されることなく中心部に濃縮される。

(2) BOD物質の溶出について

氷圧による溶出を下水汚泥を参考にしながらCOD、BODを測定し、凍結融解前の上澄水と比較したものを表-2に示す。下水汚泥では著しくCOD、BODが増加しているし、上水汚泥の場合もその傾向がみられる。これは氷の膨張による何かしらの力がかかわっているためと思われる。また図-2の含水率、沈降速度も氷圧が強くなった方が良い結果が出ており氷の体積変化が大きな役割になっていると考えられる。また処理された上澄水、3液は一般に着水井へもど

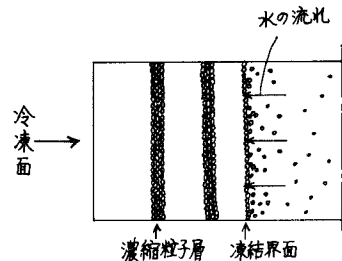


図-4 凍結過程

表-2 水質試験

試料	凍結温度	COD ppm	BOD ppm
船岡未処理上澄水		50	56
船岡凍結上澄水	-10℃	250	690
〃 3液		370	900
仙台船岡混合凍結上澄水		150	300
〃 3液		160	330
船岡凍結上澄水	-20	470	1400
〃 3液		460	1100
仙台船岡混合凍結上澄水		200	320
〃 3液		200	360
岩沼未処理上澄水	-10	2.4	2.1
岩沼凍結上澄水		3.6	4.1
〃 3液		4.6	4.2
仙台未処理上澄水	-10	0.87	0.74
仙台凍結上澄水		3.1	5.2
〃 3液		3.6	4.9

されるか河川に放流されるかであるが上水の場合は量的に問題ない。
下水汚泥の場合には多量に出るなら汚濁の点で若干検討する必要もあ
ろうかと考える。

5. 土質実験結果

処理されたケーキは従来の方法では、軟弱で透水性が悪く石灰を添
加する関係でpHが高く植物もはえない。最近二次公害のおこらない植
物にも影響のないケーキをつくる研究もなされているが、今回凍結融
解土についての土質試験結果を得たので表一三に示す。検討すれば、
1) 自然含水比は非常に大きいがべたべたした感じはない。
2) 比重は普通の砂質土が2.55~2.65であるのに比しやや軽い。
3) 液性限界が高く塑性指数が極端に小さい。粒子は荒いが、少しの雨
で流れ出すことも考えられる。
4) 圧密試験に関しては初期間ゲキ比が大きい。圧縮指数は1.5と普通
0.5 近辺の値をとるのに対してかなりの圧縮性のある土とみられる。
透水係数は先行降伏荷重が不明であるので求められないが 10^{-4} の
オーダーで透水性はよい。

以上より凍結融解土もまた一般の土とは言いがたい。三角座標による
分類では砂質ロームに属しているが、間ゲキ比と圧縮指数との関係、
また見た状態からむしろ泥炭といった方が良いようである。

また植物の生長状態を観察した結果、普通の土とはほぼ同じ発芽生長
をみた。しかも活性汚泥を加えたものは、これらより大きく生長し、
凍結融解土の植物への影響はないと思う。

表一三 土質試験結果

凍結温度		-15℃	-20℃
自然含水比(%)		213	219
比 重		2.36	2.40
粒 度 分 析	レキ分(%)	0	0
	粒 砂 分(%)	69.0	54.0
	シルト分(%)	27.0	43.0
	粘土分(%)	1.0	3.0
	最大粒径(mm)	0.84	0.84
	60% 径(mm)	0.19	0.12
	30% 径(mm)	0.09	0.05
	10% 径(mm)	0.03	0.02
三角座標による分類		砂質ローム	砂質ローム
コン シ デ ン シー	液性限界LL(%)	113.20	
	塑性限界PL(%)	94.67	
	塑性指数IP(%)	18.53	
初 期 状 態	含水比W(%)	192.7	174.5
	間ゲキ比 e	5.601	5.270
	飽和度S(%)	81.0	81.1
圧 密 試 験	先行降伏荷重(%)	不明	不明
	圧縮指数 C _c	1.50	1.50
	透水係数	10^{-4}	10^{-4}

6. まとめ

凍結融解処理は上水汚泥の処理として有効であるが、実験結果をまとめると

- 1) 汚泥を完全に凍結させることが必要である。
- 2) スラッジ濃度は脱水性に影響をあたえない。
- 3) ある濃度 5~15%をもって緩速凍結すべきである。
- 4) 汚泥の脱水性改善のための凍結には氷圧が関係している。また上水汚泥からの BOD 物質の溶出は量的に問題はない。
- 5) 土質的には一般の土とは別の性状をもち、処分には注意を要する。

凍結融解処理だけについてもまだまだ問題点もあり、今後は脱水性表示の方法、凍結機構の面についても詳しく見ていきたい。