

泥水処理に関する研究

飯塚 芳雄

宮路 栄二

§ 1. はじめに

基礎工法の一つである地中連続壁工法は、市街地における建設工事などに無振動・無騒音工法として注目されている。この地中連続壁工法で使用されている泥水（安定液）は、6～8%のベントナイトに少量の有機・無機の調整剤を加えたものである。このベントナイト泥水は、掘削壁面の崩壊防止を主目的として利用されている。そのため、ベントナイト泥水の管理については、様々な研究・実験の発表がされつつある。しかし、使用済みになった泥水および劣化泥水の処理については、あまり必要性が感ぜられなかったようである。近年になって公害問題に関心が高まり、連日、新聞誌上をにぎわしている状況の中で、使用済み泥水の処分についても例外ではなくなってきた。そのため、泥水処理の方法も各社において研究が行なわれているが、いまだ満足いく処理はなされていない。本報告は、現在まで当社において行なった実験のいくつかを記し、泥水処理方法について検討したものである。

泥水処理の最終目的とは、十分な固-液分離を行なうことであり、十分な固-液分離とは、

- 1) 泥分（固型物）は、トラック運搬が可能な程度
- 2) 水分（分離液）は、河川放流が可能な程度

である。これは、公害防止を第一目的として、コストダウンおよび処理装置の小型化なども考慮して開発するものである。（現状では、処理泥水をそのままバキューム車などによって排出しているため、色々と問題が起こりつつある。）

§ 2. 実験のための予備知識

ベントナイト泥水とは、水とベントナイトが主成分でその他に調整剤として CMC(Na-Carboxyl Methyl Cellulose), FCL (Ferro Chrome Lignosulfonate), など

の有機・無機系分散解こう剤を 0.05～0.2% 含有したものである。ベントナイトの主要粘土鉱物は、モンモリロナイトであり、その特長としては、①粒子が細かく比表面積が非常に大きい、②清水の中に入れると水を吸って著しく膨潤する、③塩基置換能力が大きいために、大きな粘性、可塑性および複雑な界面化学現象を示す、など上げられる。このベントナイトは、コロイド的な性質があり、一種の親水コロイドと考えられる。これら数々の特性を有しているベントナイト泥水は、安定した懸濁液となり地中連続壁工法ばかりでなく、各分野に色々と用いられている。（ベントナイトおよび調整剤の性質・機能等の詳細は省略する。）泥水処理では、ベントナイト泥水の膨潤性、分散性、安定性などの特性を全く逆の性質にもっていかなければ十分な処理をすることはできない。しかし一度安定した泥水は、その性質を壊すことが非常に難しく膨潤水、吸着水を完全に分解し固-液分離することは難しい。また対象となる泥水は、各現場によって砂分量、スライム量、ベントナイト含有量、劣化状態など性質が異なるため、このことも処理を困難にしている一つである。従来一般に行なわれている濃縮スラッジ（ヘドロ）の処理技術に関しては、廃水処理メーカーを中心として各種各様の処理装置があるが、これらの装置にベントナイト含有の泥水を用いた場合、その効率が低下するか、全く処理できないことが多い。さらにこれらの処理法においても薬剤添加により前処理を行なう必要がある。その他、装置の大型化、消耗度など色々と相違する点が多い。これらの事からベントナイト泥水に対する処理装置はどうしても別途に開発する必要がある。

§ 3. 当研究所における現在までの実験経過

現在までに、大略次のような項目について基礎的な実験を行なった。

- 1) 凝集剤による効果

- 2) 遠心分離による効果
- 3) 真空脱水による効果
- 4) セメント添加による効果

2), 3)については, 1)との併用した実験も行なった. 次にその結果を簡単に記す.

3.1 凝集剤による効果

実験は, 無機系凝集剤(電解質)および有機系凝集剤(高分子凝集剤)について行なった. また排水処理メーカーによる実装置の検討も行なった. 結果は, 試料を $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ に希釈し助剤として無機系電解質を添加し, その中に高分子凝集剤を加えてはじめて凝集効果が認められた.

この場合でも凝集フロックは, 含水量が高く希釈水量のみが分離しているような状態で, 原泥水量の減少はなかった. 図-1に一般的凝集機構とベントナイト泥水のそれについて模型的に記す.

排水処理メーカーによる実装置の検討では, 凝集剤を添加し, 回転ドラムの中を流すことによる, 造粒脱水装置を用いて行なった. 結果は凝集剤との混合が難しく, 泥水を希釈し, 無機系助剤を多量に添加しなくてはならず, 分離後の泥分も含水量が高く(60~70%), 水分は濁っている状態であった. 以上より, 凝集剤(主に高分子凝集剤)を用いた泥水処理は, 十分な固-液分離が現状では難しいようである. また, 無機系凝集剤は, 何らか

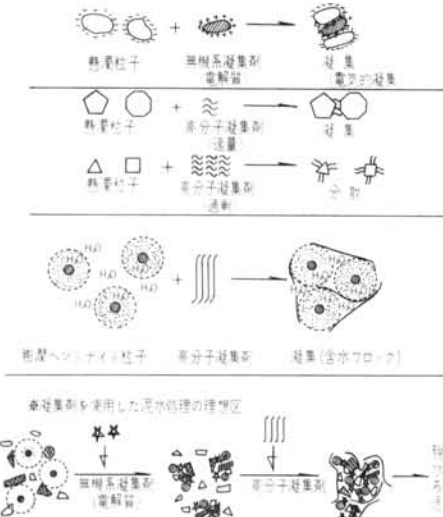


図-1 凝集剤による凝集機構
(フロックとは, 凝集剤の作用で架橋結合された粒子の集合体で微細な粒子が粗粒化された状態をいう.)

図-1 凝集剤による凝集機構

の脱水機と併用する事によって十分処理が可能であると思われる.

3.2 遠心分離による効果

実験は, バスケット型遠心機を用いて遠心効果を1000~3000Gについて行なったものである. 結果は, 泥水をそのまま用いた場合, 比重差が小さく微粒子であるため, 殆んど原液と変らなかった.(比重の大きい砂分は除去できるため湿式サイクロンとほぼ同じと考えられる.) 無機系凝集剤を用いた場合, ある程度の効果が認められた. その一例を図-2に記す. これは遠心効果3000Gの結果であるが, 実装置としては大容量装置の設計が難しく機械的な耐久性も短かくなると思われる.

3.3 真空脱水による効果

実験は, 図-3に示すヌッチェの試験装置を用いて行なった. 泥水単独では不可能であるが, 無機系凝集剤を添加した泥水に分離効果が見られた. 中でも無機塩による効果はよく, 分離後の状態も十分なものであった.

図-4にその一例として脱水経過時間と脱水率の関係を示す. また高分子凝集剤による分離実験の結果は余り良くなかった. 原因としては, 高分子によるフロックの問題点がある. このフロックは, 水を含んだ状態で架橋結合を起こしポリマー状になる. そのためフロックの水きりが悪く, フィルタの目づまりが大きかった. (遠心分離に使用した結果も, 水きり等の問題で不可能と思わ

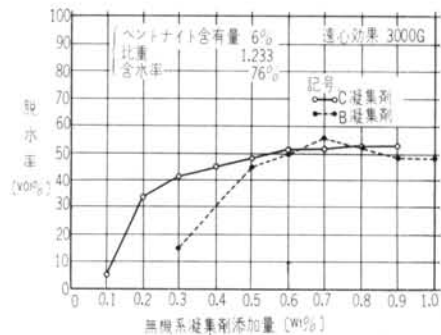


図-2 無機系凝集剤添加量と脱水率の関係

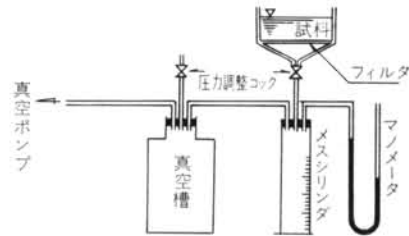


図-3 ヌッチェ試験装置

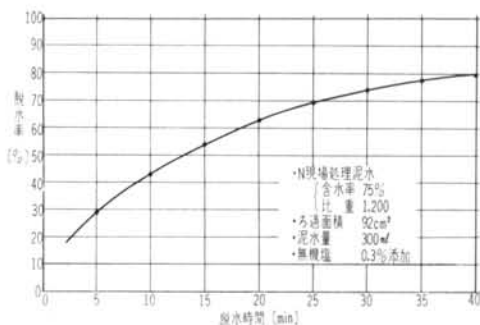


図-4 スツェ試験装置による脱水時間と脱水率の関係 (真空度: 60mmHg)

れた.)

真空脱水については、真空度に限度があるため泥水のケーキ抵抗に左右される。そのため処理量は濾過フィルタ面積によって決定され、処理量の増加とともにおのずから処理装置は大型化されるものと思われる。

3.4 セメント添加による効果

泥水にセメントを添加することによってそのまま凝結させる方法であり泥水の固-液分離とは異なる。そのため体積的な変化は全くない。新泥水でもセメント5wt%添加によってクラムシェルですくえる程度の硬さが得られる。しかし、この状態では強度も弱く、型から脱型した際からろうじて自立している状態である。セメント適正添加量については、各現場によって異なる排泥水の性状含有成分によって大きく左右されるため、はっきりと決定することはできなかった。図-5にセメント添加量と圧縮強度の関係を記す。しかし、セメントを添加した後の放置時間について一つの問題点がある。これはセメントの水和反応に関係するものと思われる硬化までに15~24hrは必要

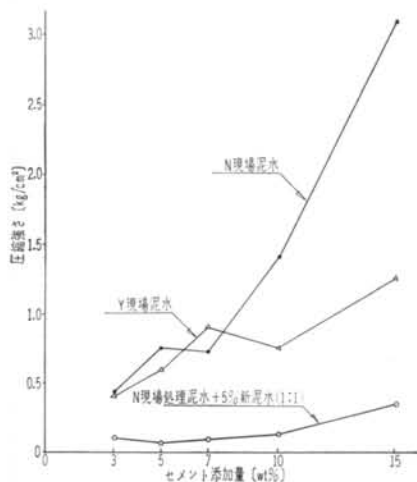


図-5 セメント添加量と24時間後の圧縮強さ

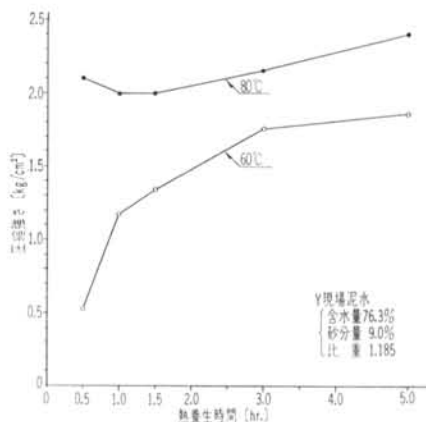


図-6 熱養生時間と圧縮強さの関係

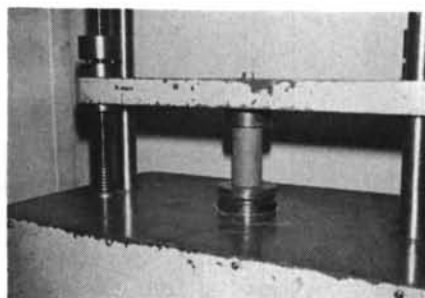


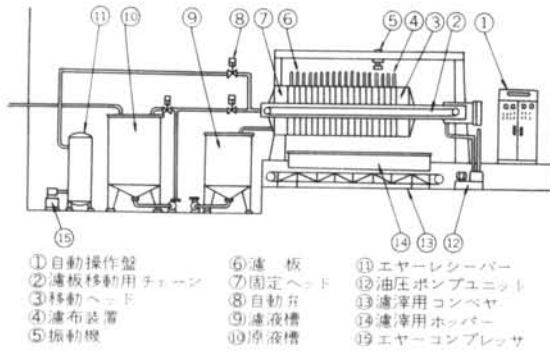
写真-1

である。この硬化時間は、加熱養生を行なうことによって短縮が可能である。熱養生の実験は、60℃と80℃について行ない、養生時間は30min~5hrまでとし、養生後約10hrの放置を行ない、圧縮強度の測定を行なった。図-6にその一例として圧縮強度と養生時間の関係を記す。写真-1は、強度試験の状況である。

以上よりセメント添加の方法は、現場によっても、一つの処理方法になると思われる。しかし泥水中の砂分およびスライムの少ない泥水には、あまり有効な処理方法ではないものと思われる。

§ 4. 加圧脱水ろ過実験計画

一般の加圧脱水による処理装置は、真空脱水と同様に処理物のケーキ抵抗(ケーキ厚3~5mm)、加圧力(0.3~15kg/cm²)、加圧時間(5~30min)、などをある一定限度にしてあるため、処理量はフィルタ面積によって大略決定される。そのため現状の加圧脱水装置では、ベントナイト含有泥水の処理は不可能に近い。今回の実験は、これらの処理条件を変えることにより、処理の可能性を検討するものである。つまり、フィルタ面積を一定にして



図一七 連続自動フィルタプレス機の装置図

処理量をふやそうとするものであり、これは泥水のフィルタ面からの厚さ、および加圧力を変化させることにより、加圧時間と脱水量（脱水率）の関係、ケーキ抵抗（ケーキ厚）と脱水量の変化などについて実験を行なった。

従来のフィルタプレスとは、ろ板を並列にあき、ろ板とろ板の間にろ過物質を流込み、油圧ポンプなどでろ板を圧縮してろ過を行なうのが一般的である。（図一七参照）。今回行なう加圧脱水は、①低圧長時間脱水により一度に多量の処理を行なう方法、②高圧における脱水時間の短縮によって処理を行なう方法、の2つについて実験を行ない検討するものである。この実験でのメリットとしては、低圧においては、夜間の無人運転が可能であり翌朝には処理が終了していること、装置および設備が簡単で広面積を必要としないことなどであり、高圧においては、脱水限界、時間短縮などが予想される。デメリットとしては、低圧高圧とも装置の気密性、材料の強度などが問題になると思われる。

§ 5. 実験方法

5.1 試料

(1) 使用泥水 実験に使用した泥水は、Y現場の処理泥水を用いた。この泥水は、濃度の高い最も処理しにくいものと思われた。次にその性質を記す。

比重：1.212

粘性：33sec/500

砂分率：9 vol%

含水率：74.4wt%

ベントナイト含有量：51.6 g/ℓ

これらの測定は、それぞれ泥水管理における測定器具を使用した平均値である。

(2) ろ過促進剤 この実験では、無機塩は使用せず、

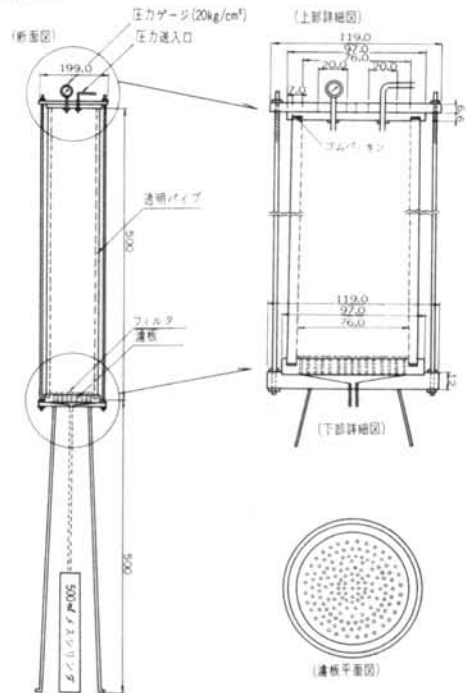
セメントを添加して行なった。その理由としては、

- 1) ベントナイト泥水の劣化の最大原因である。
- 2) 安価、かつ現場にどこでもあり簡単に手に入る。
- 3) 予備実験でセメント添加による脱水ろ過が、実用的であると考えられた。

5.2 低圧ろ過実験

実験は、図一八に示す様な装置を用いた。加圧方法は高圧窒素ガスによった。加圧力は、5 kg/cm²、7 kg/cm²、10 kg/cm²についてそれぞれ行ない、フィルタ面からの泥水高さを10cm~90cmの範囲でそれぞれ行なった。またセメント添加量は1 wt%、2 wt%について行なった。測定は、1時間ごとに残存泥水量の計測を行ない23時間後にケーキを剝離する。実験では、脱水時間、泥水の高さ減少、脱水量、含水量について測定を行ない検討した。

実験に使用したフィルタは、化学繊維の織目の細かいものである。



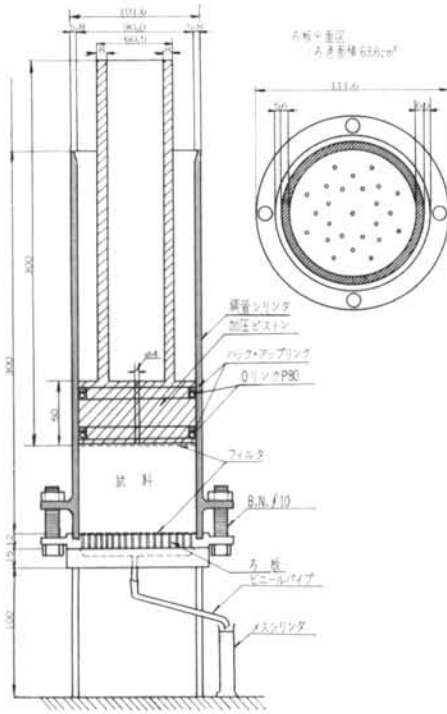
図一八 加圧脱水低圧ろ過装置図

5.3 高圧ろ過実験

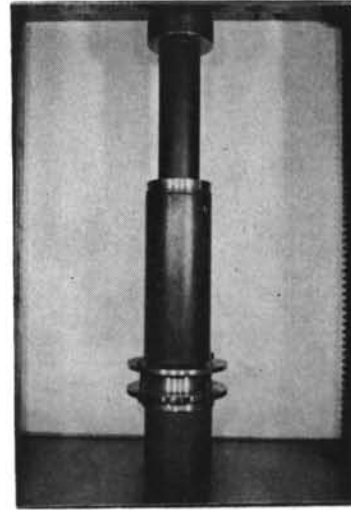
装置を図一八に、その外観を写真一二に示す。

実験方法は、低圧実験と同じである。加圧方法はプレス機を用いて、25 kg/cm²、50 kg/cm²、100 kg/cm²についてそれぞれ行なった。泥水のフィルタ面からの高さは、5 cm~25 cmで行ない、それぞれ5分ごとに記録し脱水量お

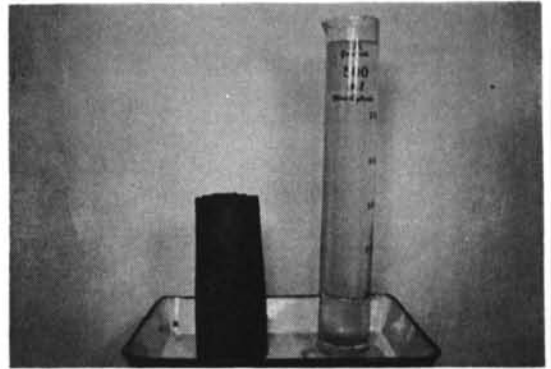
よび泥水の高さ減少が顕著に現われた時点で加圧を停止し、ケーキを剝離してケーキの含水率を $100 \pm 5^\circ\text{C}$ で測定した。



図一9 高圧ろ過装置図



写真一2



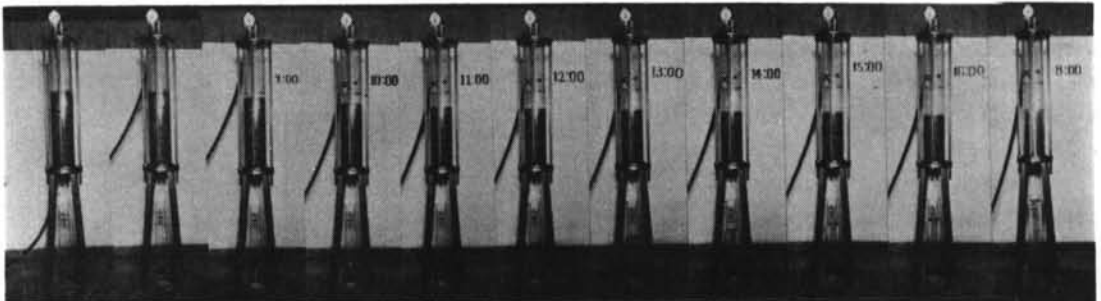
写真一4 実験後のケーキおよびろ液の状態

§ 6. 実験結果

6.1 低圧ろ過実験による脱水量と時間の関係

写真一3に実験状況を、写真一4に実験後のケーキおよびろ液の状態を示す。また図一10、11に泥水量の変化による脱水量と時間の関係を、図一12、13に経過時間と含水率および脱水率の関係を示す。これは、実験条件（加

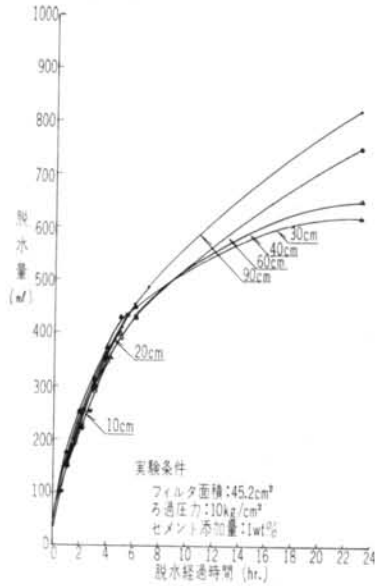
圧力、セメント添加量、ろ過面積）を一定にして、フィルタ面からの高さ（泥水量）を変えて脱水量を測定したものである。その結果、泥水高さを変えても時間当りの脱水量は、ほぼ同じであった。泥水高さが25cm以下の場合、2～6時間で50wt%程度の脱水率となり、ケーキ（泥分）にひび割れができ、ケーキ抵抗が減少し圧が抜



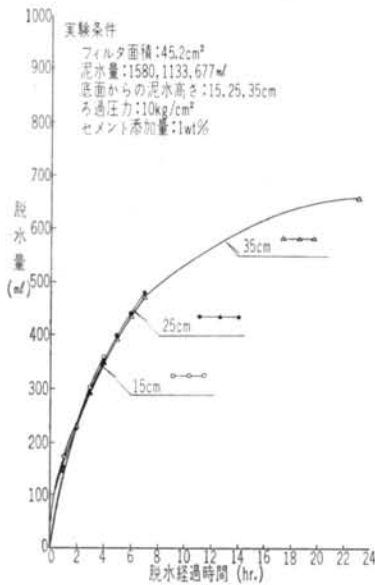
加圧前 0時間

23時間後

写真一3 経過時刻および脱水状態



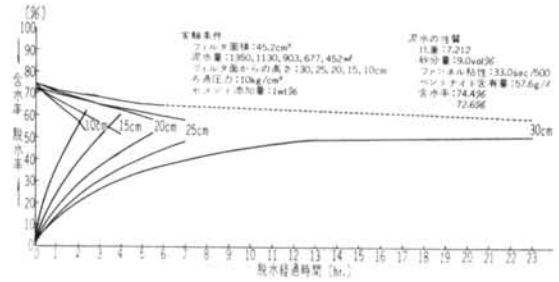
図—10 泥水量の変化による脱水量と時間の関係



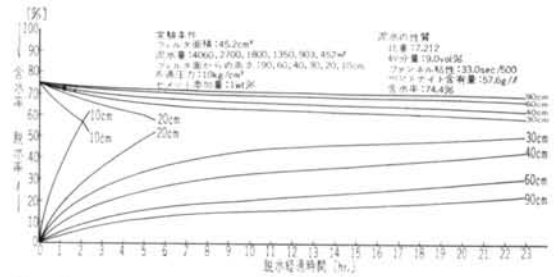
図—11 泥水量の変化による脱水量と時間の関係

ける。泥水高さを30cm以上にとると6~7hr経過後の脱水率が40%以下であり、まだケーキの含水量が多く十分な脱水は行なわれない。これらをまとめると、

- 1) 脱水量は、泥水量には無関係であり、ケーキ抵抗および脱水時期によって決定される。
- 2) 脱水時間を10hr程度までとすると、フィルタ面から30cm以上の泥水を加えても十分な処理はできない。(加圧力10kg/cm²において)
- 3) 泥水は、50%の脱水でほぼ満足するケーキが得ら



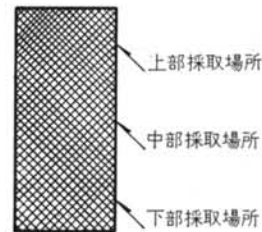
図—12 一定圧力下における経過時間と含水率および脱水率の関係



図—13 一定圧力下における経過時間と含水率および脱水率の関係

底面からの泥水高さ	実験に用いた泥水(実験前)		実験後のケーキ(泥分)			
	含水率	計算による平均含水率	実測含水率			
			上部	中部	下部	
10cm	74.4%	52.1%	40.0%	—	—	38.6%
15cm	72.6%	51.2%	59.1%	—	—	38.6%
20cm	74.4%	57.6%	67.7%	—	—	43.4%
25cm	72.6%	57.8%	67.9%	—	—	40.3%
30cm	74.4%	58.5%	56.6%	—	—	42.7%
35cm	72.6%	58.2%	64.4%	—	—	52.6%
40cm	74.4%	63.5%	67.2%	—	—	59.2%
45cm	72.6%	64.0%	72.6%	58.8%	—	39.4%
60cm	74.4%	66.8%	69.1%	68.9%	63.7%	42.4%
90cm	74.4%	69.3%	71.1%	69.4%	65.8%	62.4%

実験後のケーキ含水率測定採取場所



表—1

れる。(10kg/cm²における脱水では50%の脱水まで7時間程度必要であり、泥水高さでは最高25cm程度である。)

ケーキの状態は、上下において含水率の差が10~20%あった。また泥水高さが30cm以上加えた結果では上下の差はそれ以上であり、高さ90cmで行なった結果では上部は脱水前と全く変わらない状態であった。表-1は各泥水高さにおける含水率の比較を記す。

6.2 低圧ろ過における脱水量と圧力の関係

図-14に圧力変化における脱水量と経過時間の関係を、図-15にそのケーキ含水率と脱水率について示す。実験では、脱水量は圧力の減少によって少なくなっているが、はっきりとした差は認められず、傾向をつかむにすぎなかった。実測では、加圧8hr経過後に圧力を閉じ、残留する内圧によって23hrまで脱水を行なった。そのため、8hr経過後の圧力は一定圧ではない。

フィルタ面からの泥水高さ25cmにおける結果では、圧

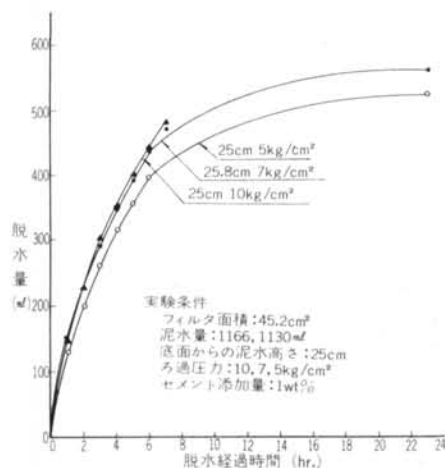


図-14 圧力変化における脱水量と経過時間

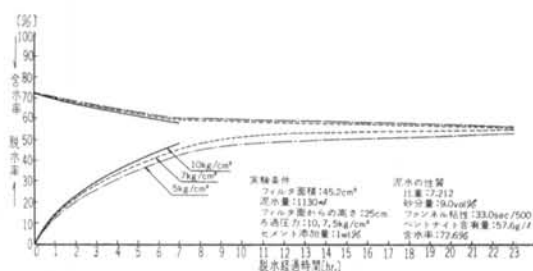


図-15 圧力変化における経過時間と含水率および脱水率の関係

力10kg/cm²の場合、脱水7時間後にケーキにひびが入り圧力が抜け始めており、その脱水率は約50%であった。これより7kg/cm²、5kg/cm²において脱水率を50%にするためには、脱水時間を8.5hr程度、および9.5hr程度必要とする。

6.3 低圧ろ過における脱水量とセメント添加量の関係

図-16, 17に示す。セメント添加量を増すと、脱水量は減少するが、脱水時間は短縮される。前者の原因はセメント量が増加すると水和反応によって脱水されるためであり、後者は、ベントナイト粒子の膨潤性が崩壊し、脱水を促進させること、経過時間とともに水和反応が進み、含水液が結晶水となることを表わしている。

以上より、「セメント添加量を増すことにより脱水時間は短縮されるが、泥水の体積減少は小さく、ケーキに含まれる絶対含水量は大きい」となる。

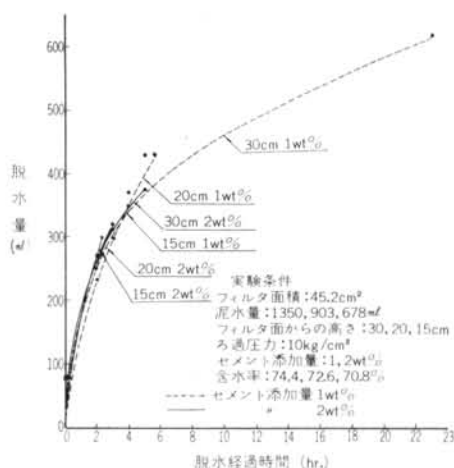


図-16 セメント添加量1wt%, 2wt%における脱水量と時間の関係

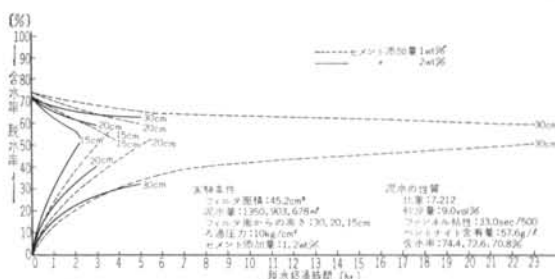
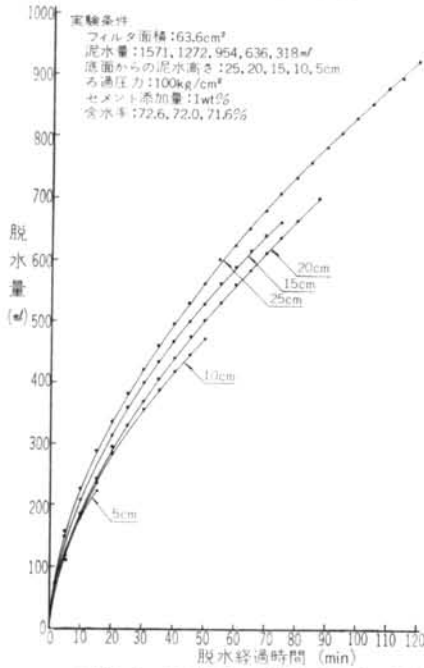


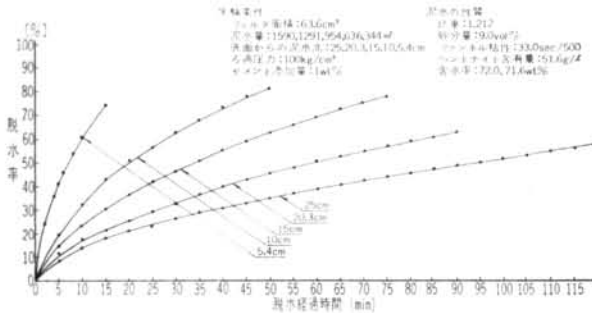
図-17 一定圧力下における経過時間と含水率および脱水率の関係

6.4 高圧ろ過における脱水量と時間の関係

図一18, 19に記す。この実験は、泥水のフィルタ面からの高さで、5, 10, 15, 20, 25cmの各々について行った。この結果は低圧ろ過とほぼ同様の傾向を示した。



図一18 フィルタ面からの泥水高さの変化と脱水量の関係



図一19 高圧力下における経過時間と含水率および脱水率の関係

泥水高さ cm	脱水時間 (実測による)
5 cm	10~15分
10 cm	50 分
15 cm	75 分
20 cm	90 分
25 cm	120 分

(上記の脱水時間とはセメント添加量 1wt%, 圧力 100kg/cm² における値である)

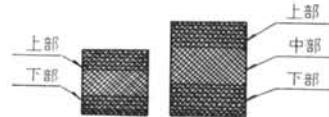
表一2

つまり脱水量は、泥水量に関係なく(フィルタ面積一定の場合)各時間当りの脱水量は殆んど変わらない。

各泥水高さによる所要脱水時間は、表一2に示すとおりである。また加圧後のケーキは、体積減少が75%程度であった。各泥水の脱水後の含水率は泥水高さにより、またケーキの各部によっても均一ではなく、その差はかなり大きい。表一3はその含水率を比較したものである。以上より、フィルタに近いケーキのろ過抵抗が非常に大きく、透水抵抗を増加させていることが判明した。

実験に用いた泥水(実験前)	実験後のケーキ(泥分)				
	含水率	計算による平均含水率	実測含水率		
底面からの泥水高さ			上部	中部	下部
25cm	72.0%	52.1%	49.0%	64.6%	37.1%
20cm	72.0%	48.2%	33.5%	59.7%	33.5%
15cm	71.6%	35.7%	37.2%	—	30.3%
10cm	71.6%	33.4%	41.4%	—	27.6%
5 cm	71.6%	32.3%	33.4%	—	25.0%

実験後のケーキ含水率測定採取場所



表一3

6.5 高圧ろ過における脱水量と圧力の関係

図一20, 21に示す。図でも明らかなように脱水量と圧力の関係は殆んど認められない。最終的には高圧の場合が最も脱水されているが量的には差が少なかった。

この実験では、条件(泥水量、ろ過面積、脱水時間、セメント添加量)を一定にした場合、圧力 25~100kg/cm² における脱水量の差は、認められない。

6.6 高圧ろ過における脱水量とセメント添加量の関係

図一22, 23に示す。この実験は、低圧実験と異なる。低圧では、セメントの添加量を増すと脱水量は減る傾向であった。今回の高圧実験では、セメント添加量の増加により脱水量も増す。各泥水高さについての最終的な脱水量は、2wt%添加泥水が1wt%添加泥水より100~200ml多くなっている。表一4は、セメント添加量 1wt%, 2wt%の比較表である。以上高圧ろ過においては、1wt%に比べ2wt%添加の方が脱水量は多く脱水時間は短縮される。

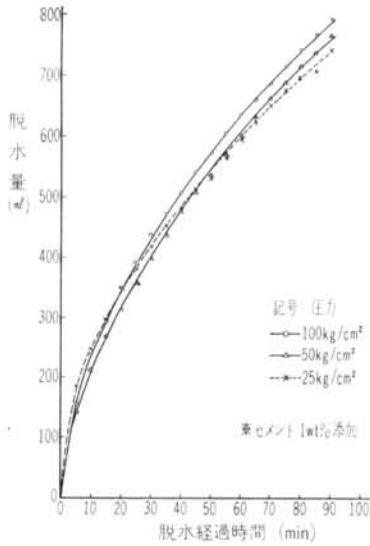


図-20 泥水高さ20cmにおける脱水量と経過時間

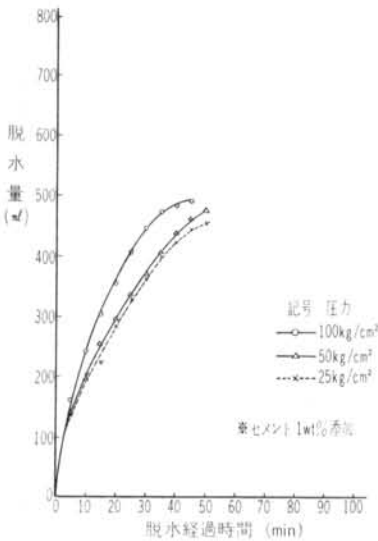


図-21 泥水高さ10cmにおける脱水量と経過時間

6.7 参考：脱水量とフィルタ面積変化の関係について

図-24, 25に示す。実験は、フィルタ面積 63.6cm^2 と 330.0cm^2 の2種類について行なったものである。また泥水量としては、フィルタ面からの高さで10cm、および20cmについてそれぞれ行なった。この結果、ほとんど予想された値を示した。図中の破線は、 $63.6\text{cm}^2 \times 5$ 倍 $\approx 320\text{cm}^2$ における予想された脱水量を記したものである。加圧力は、高圧における脱水量の差が認められないため、 75kg/cm^2 で行なった。フィルタ面からの高さ20cmにおける脱水量が少ないのは、この実験における加圧方法に問

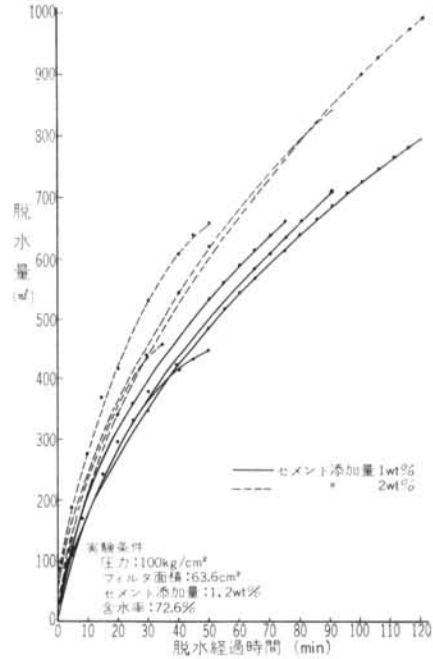


図-22 セメント添加量と泥水高さについての脱水量と経過時間の関係

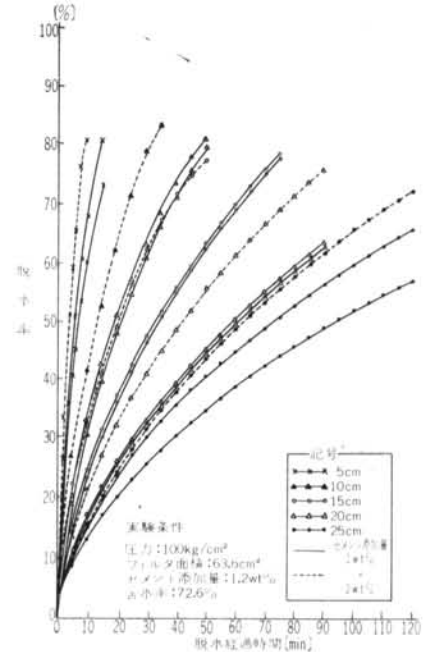


図-23 セメント添加量と泥水高さについての脱水量と経過時間の関係

題があったものと思われる。

以上より、高圧においても脱水量はフィルタ面積に比例していることを確認した。

セメント添加量	1 wt%				2 wt%		
	所要脱水時間	脱水量	脱水率	所要脱水時間	脱水量	脱水率	
5 cm	15min	230ml	75%	10min	230ml	82%	
10cm	50min	450ml	80%	35min	465ml	85%	
15cm	75min	660ml	78%	50min	665ml	78%	
20cm	90min	710ml	63%	90min	850ml	76%	
25cm	120min	800ml	58%	120min	1000ml	73%	

注) この表は圧力 100kg/cm²、フィルタ面積 63.6cm² における比較である。脱水時間、脱水量および脱水率は実験終了時の値である。

表-4

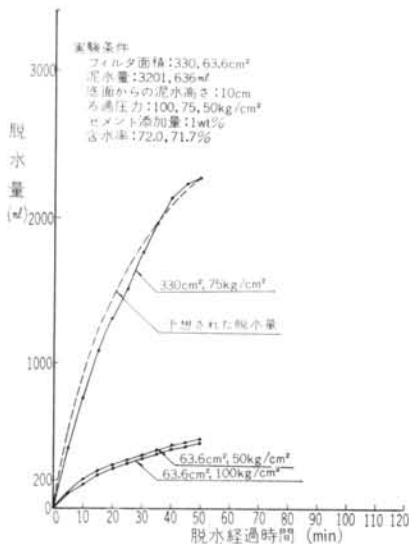


図-24 フィルタ面積と脱水量

§ 7. 実験の考察

図-26は、低圧および高圧における脱水量と経過時間の傾向を、両対数グラフによって比較したものである。これは個々の実験結果でも記したが、脱水作用は泥水量に関係なく、ケーキ抵抗によって決まり、そのケーキの性状は、加圧力および経過時間によって形成状態が変わるものである。つまり高圧の場合は、脱水速度と同時に、ケーキ形成速度もはやいためであり、低圧ではそれらが遅れるためである。図中の破線は、低圧のフィルタ面積を高圧と同じにした場合を推定したものである。

図-27は、泥水高さ20cmにおける圧力変化について脱

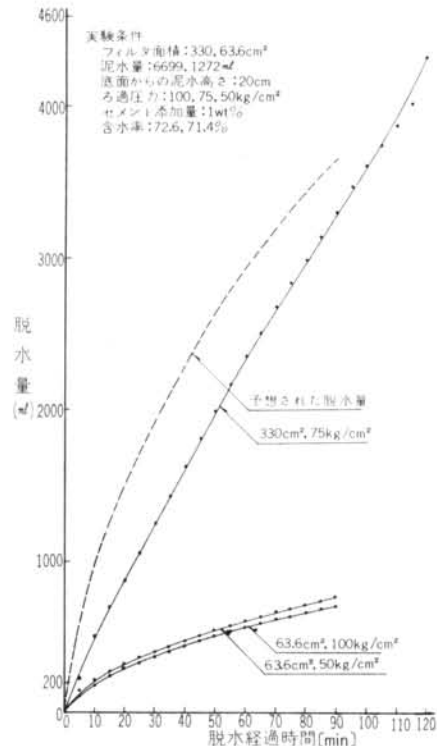


図-25 フィルタ面積と脱水量

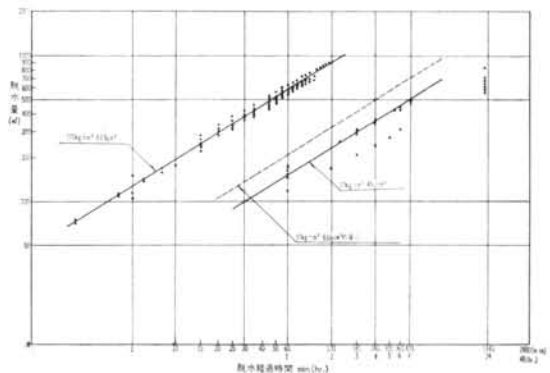


図-26 脱水量と経過時間の傾向

水率と経過時間の関係を示したものである。図では低圧ろ過と高圧ろ過の結果で、脱水時間に明らかに差がある。しかし、低圧、高圧それぞれについての圧力変化による差異は明確に認められず、圧力とケーキ抵抗の関係はデータ不足もあり、明確ではない。実験結果では、各圧力の差が現われてくるのは、40~50%の脱水率になってはじめて認められる。これは、十分に水を含んでいる初期の脱水には、圧力にあまり関係がなく、ある限度まで脱水された時点においてはじめて圧力が関係してくるものと推定される。

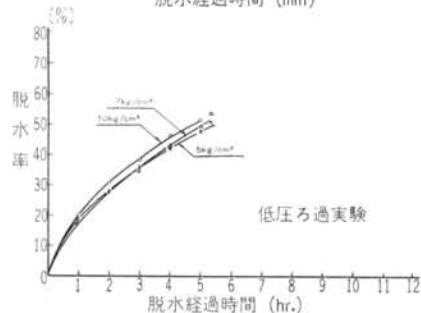
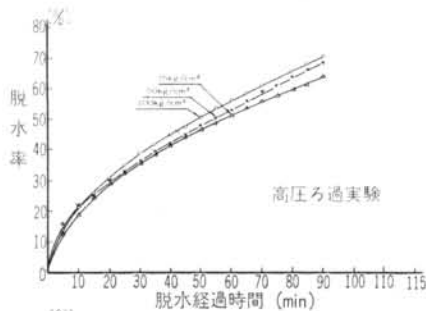


図-27 圧力変化 (20cm)

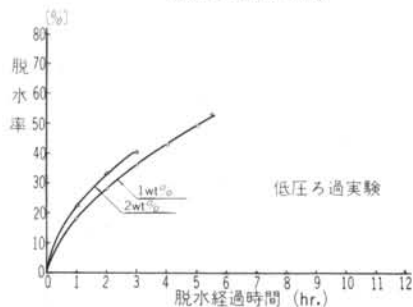
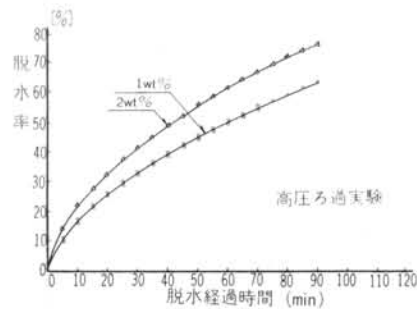


図-28 セメント添加量における変化 (20cm)

図-28は、低圧、高圧におけるセメント添加量と脱水率実験結果の一例である。図はフィルタ面からの泥水高さ20cmの結果であるが、セメント添加量の違いによって脱水率(量)は、はっきりとその差が認められる。これについては前項でそれぞれ記したように、添加量の増加によって、高圧ろ過では脱水率も高くなっている。しかし低圧ろ過では、セメント添加による脱水時間の短縮は可

能であるが脱水率は低くなっている。以上よりセメント添加量の増加とともに脱水性は良くなるが、水和反応も同時に起こるため、高圧ろ過では脱水性に、低圧ろ過ではセメントによる水和反応に水を多く要しているものと思われる。

次に今回の実験によって明らかとなった諸点について簡単に記す。(ただし、Ⓐ：低圧ろ過実験、Ⓑ：高圧ろ過実験)

- 1) フィルタ面からの試料泥水高さについて

Ⓐ—35cm程度	Ⓑ—10cm程度
----------	----------
- 2) 加圧力について

Ⓐ—5~50kg/cm ²	Ⓑ—20~75kg/cm ²
--------------------------	---------------------------
- 3) セメント添加量について

Ⓐ—1~2wt%	Ⓑ—1~2wt%
----------	----------
- 4) 脱水時間について

Ⓐ—7~10hr	Ⓑ—0.5~1.0hr
----------	-------------
- 5) 脱水率について

Ⓐ—50%程度	Ⓑ—70%程度
---------	---------
- 6) ケーキ含水率について

Ⓐ—55%程度	Ⓑ—35%程度
---------	---------

 (ろ過された水は、直接排水する事が可能な透明なものである。)

実験は、低圧実験と高圧実験で実験装置が異なるため両者を単純に比較することは難しいが、ここでは、加圧力の違いのみによって低圧と高圧を比較した。

§ 8. 実験の検討 (加圧脱水法における実験式)

従来の Darcy の法則より導びかれた Carman の式によれば、脱水量は、ケーキ抵抗、フィルタ面積、温度等を一定にした場合、圧力、時間および脱水量と泥壁中のソリッド分の容積との比などの平方根にそれぞれ比例し、液相部の粘性の平方根に逆比例するとされている。しかし Carman の式においては、ケーキ抵抗は、時間とともに変化しないという仮定の上に成り立っていて、本実験のような、ろ液の量が多く、またろ過時間の長い場合は、時間等の平方根に比例するとはいいがたい。

そこで、今回は次の様な式を仮定する。

$$V = K \cdot P^m \cdot T^n \quad \dots(1)$$

(V:脱水量, P:圧力, T:時間, K, m, n: 常数)

これより常数を求めるには、両辺の対数を取り重回帰分析を行なえばよいが、誤差が大きくなるため、 $V = K \cdot X$

$+b (X=P^m \cdot T^n)$ として単回帰の問題として考える。

つまり、式(1)より圧力 $[P]$ を固定し、脱水量と時間の関係について係数を求める。これは、式(2)によって n を変化させ回帰分析を行なう。

$$V = K_1 \cdot T^n + b_1 \quad \dots(2)$$

(K_1, b_1 : 常数)

与える n の値によって、回帰からの変動は変化するが、回帰からの変動が最も小さくなる n の値を採用する。

次に、圧力 $[P]$ についても、式(2)と同様に、

$$V = K_2 \cdot P^m + b_2 \quad \dots(3)$$

(K_2, b_2 : 常数)

として回帰分析を行ない、回帰からの変動が最小となる m の値を求める。

以上によって係数 m, n を決定し、これを用いて回帰分析を行なって回帰係数を求める。

$$V = K \cdot P^m \cdot T^n + b \quad \dots(4)$$

式(4)によって脱水量を求めれば、処理泥水のフィルタ面からの高さ $[H]$ を求める事ができる。

つまり、

$$W' = \frac{V_1 \cdot \rho \cdot \mu' - V}{V_1 \cdot \rho - V} \quad \dots(5)$$

(W' : ケーキ含水率(1/100), V_1 : 泥水量, ρ : 泥水の比重, μ' : 泥水の含水率, V : 脱水量)

ここで、シリンダの断面積(フィルタ面積)を A , 泥水の高さを H とすれば、泥水量 $[V_1] = A \cdot H$ である。

よって、

$$W' = \frac{A \cdot H \cdot \rho \cdot \mu' - V}{A \cdot H \cdot \rho - V} \quad \dots(6)$$

また、脱水量がフィルタ面積に比例するとすれば、設計されるフィルタ面積 $[A']$, 脱水量 $[V']$ は、

$$V' = \frac{A'}{A} V \quad \dots(7)$$

となり、式(6)より、

$$W' = \frac{A' \cdot H \cdot \rho \cdot \mu' - A'/A \cdot V}{A' \cdot H \cdot \rho - A'/A \cdot V} \quad \dots(8)$$

$$\therefore H = \frac{1 - W'}{\rho(\mu' - W')} \cdot \frac{V}{A} \quad \dots(9)$$

以上より、加圧脱水の実験式は、

$$H = \frac{1 - W'}{\rho(\mu' - W')} \cdot \frac{K \cdot P^m \cdot T^n + b}{A} \quad \dots(10)$$

となる。

7.1 低圧ろ過における実験式

実験データを基に、式(2)によって回帰からの変動を最小とする n の値は、

$$n = 0.372$$

と求められる。

m についても、同様に式(3)によって回帰分析を行なう。これより、

$$m = 0.592$$

となる。

ただし、この指数 $[m]$ は、5時間程度までとする。6時間以上になると、ろ過圧力が、脱水量に及ぼす影響は小さくなり、ほとんどその差が有意に認められない。そのため6時間以上では、 $m = 0$ として差支えないと思われる。以上より回帰係数および分散分析表を求めた結果、

a) 脱水時間が5時間以内の場合は、

$$K = 54.7$$

$$b = -11.6$$

b) 脱水時間が5時間以上の場合は、

$$K = 213.8$$

$$b = -11.6$$

と求められる。

よって、式(4)より、

$$a) V = 54.7 \cdot P^{0.592} \cdot T^{0.372} - 11.6$$

$$b) V = 213.8 \cdot T^{0.372} - 11.6$$

となる。

ここに、低圧ろ過実験に用いたフィルタ面積は、

$$A = 45.2 \text{ cm}^2$$

である。

これより、低圧脱水の実験式は式(10)より、

●脱水時間5時間以内の場合

$$H = \frac{1 - W'}{\rho(\mu' - W')} \times (1.210 P^{0.592} \times T^{0.372} - 0.256)$$

●脱水時間5時間以上の場合

$$H = \frac{1 - W'}{\rho(\mu' - W')} \times (4.730 T^{0.372} - 0.256)$$

となる。

8.2 高圧ろ過における実験式

低圧ろ過と同様に、脱水量と時間の関係について、回帰分析を行ない n を求める。これより、 $n = 0.576$ となる。

m については、圧力が 25 kg/cm^2 から 100 kg/cm^2 の間では、圧力差による脱水量の変化は認められないため、ろ過圧力の影響は、ほとんど無視できるものとする。

以上より、 $m = 0, n = 0.576$ として回帰係数を求めると、

$$K = 54.7$$

$$b = -3.5$$

となる。

よって、式(4)より脱水量 $[V]$ は、

$$V = 54.7 T^{0.576} - 3.5$$

となる。

次に高圧ろ過におけるフィルタ面積は、下部のろ板が主であるが、上部（ピストン面）の中央に $\phi 4$ mmの穴があけてある。そのため、下部と上部のフィルタからの脱水量を計り、その比率を出して平均値、標準偏差を求め、下部の脱水面積より上部脱水面を推定したものである。この推定は、脱水量が脱水面積に比例するとした場合である。また、実験データは、下部ろ面からの泥水高さ、5cm、10cm、15cm、20cm、25cmにおいてである。

実験に用いたシリンダの下部脱水面積は、 63.6cm^2 である。これより、上部脱水面積は平均で $36.1\text{cm}^2 \pm 5.9\text{cm}^2$ となった。また、泥水高さについては $V_1 = A \cdot H$ であるから、一般の両面脱水を考える場合には、

$$H = h_1 + h_2, \quad A = A_1 + A_2$$

(A_1, A_2 : 上部, 下部の脱水面積, h_1, h_2 : A_1, A_2 に対応する泥水高さ)

として算定する必要がある。

以上より、本実験における脱水面積 $[A]$ は、

$$A = 63.6\text{cm}^2 + 36.1\text{cm}^2 = 99.7\text{cm}^2$$

とするもの

泥水高さが比較的大きく(20~25cm)、脱水量も多い場合は、

$$A = 63.6\text{cm}^2 + 36.1\text{cm}^2 + 5.9\text{cm}^2 = 105.6\text{cm}^2$$

泥水高さが比較的小さい(5~10cm)場合は、

$$A = 63.6\text{cm}^2 + 36.1\text{cm}^2 - 5.9\text{cm}^2 = 93.8\text{cm}^2$$

を採用するものとした。

これより、高圧脱水の実験式は、式(4)より、

●一般には、

$$H = \frac{1-W'}{\rho(\mu'-W')} \times (0.549 T^{0.576} - 0.036)$$

ただし、 $H = h_1 + h_2$

●泥水高さが比較的大きい場合、

$$H = \frac{1-W'}{\rho(\mu'-W')} \times (0.518 T^{0.576} - 0.034)$$

●泥水高さが比較的小さい場合、

$$H = \frac{1-W'}{\rho(\mu'-W')} \times (0.584 T^{0.576} - 0.039)$$

となる。

8.3 まとめ

<加圧脱水法における実験式>

$$H = \frac{1-W'}{\rho(\mu'-W')} \times (K \cdot P^m \cdot T^{n+b})$$

[W' : ケーキ含水率(平均), μ' : 泥水の含水率, ρ : 泥水の比重, H : 泥水の高さ(厚さ), P : ろ過圧力, T : 脱水時間(低圧の場合: hr, 高圧の場合: min), $K \cdot m \cdot n \cdot b$: 実験常数]

<実験常数>

条件		常数	K	m	n	b
低 圧	$5 > T$		1.210	0.592	0.372	0.256
	$T \geq 5$		4.730	0	0.372	0.256
高 圧	一般		0.549	0	0.576	0.036
	$> H$		0.518	0	0.576	0.034
	$H >$		0.584	0	0.576	0.039

図-29は、低圧ろ過における泥水高さ $[H]$ と脱水時間 $[T]$ の関係について、実験式を用いて表わした一例である。セメントを添加した泥水は、ケーキの平均含水率が、55~66%で十分に処理する事ができる。泥水の性質を、含水率(μ')=0.70、比重(ρ)=1.20とし、ケーキの平均含水率(W')を56.6%とすれば、

$$\frac{1-W'}{\rho(\mu'-W')} = \frac{1-0.566}{1.20(0.700-0.566)} = 2.699$$

よって、ろ過圧力を 10kg/cm^2 とした場合、 $H-T$ 曲線は、図-29のようになる。

このグラフは、上記性質の泥水に対して、脱水可能な泥水高さと、その所用時間の関係を表わしている。

また、 $\frac{1-W'}{\rho(\mu'-W')} = 1$ の曲線より H を求め、その H に任意の ρ, μ', W' から求められる $\frac{1-W'}{\rho(\mu'-W')}$ の値を乗ずれば、その時の泥水高さ $[H]$ を得ることができるものである。

図-30は、高圧ろ過における、脱水可能な泥水高さと

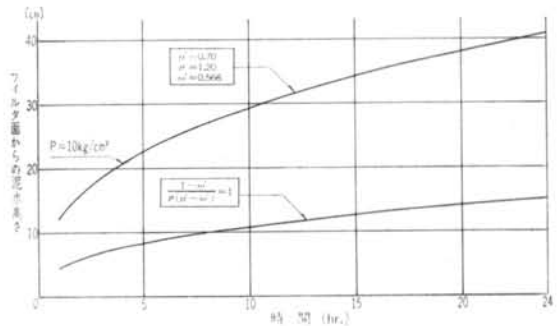


図-29 $H-T$ 曲線(低圧ろ過)

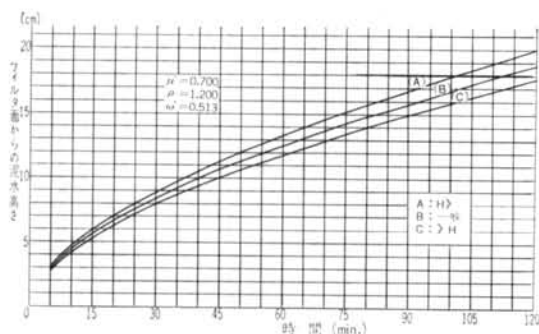


図-30 H-T曲線（高圧ろ過）

その所用時間の関係を表わしたものである。

この曲線は、泥水の性質を、低圧の場合と同じく $\mu' = 0.70$ 、 $\rho = 1.20$ としたもので、ケーキの平均含水率(W')を51.3%とした場合の一例である。

§ 9. おわりに

ベントナイト泥水を用いた地中連続壁工法（SSS工法）は、無振動・無騒音を特徴としているため、最近特に、本工法の採用件数が増大している。しかるにこの工法では、ベントナイト泥水が、工事の進捗に伴って大量に劣化し、ゲル状になってくるため、これを廃棄しなければならないが、この劣化泥水の廃棄の際にヘドロ公

害を発生することになる。本工法では、振動、騒音の公害が、ヘドロ公害に姿を変えたにすぎないのが実状であり、早急にこの問題を解決しなければ、本工法発展の妨げになるものと考えられる。

このような観点に立って、筆者らはいくつかの処理法について実験を行ない、その基礎データを得るとともにその有効性について検討してきた。しかし、この報告の提出に当たって、未解決な問題もいくつか残されている。その一つに、ろ過促進剤の問題が上げられる。今回は、主としてセメントを用いた加圧脱水ろ過法についての報告であるが、ろ過促進剤の違いによって、水きり状態（ろ過速度）に大きな差を生ずる。また各現場によって、泥水の性質が異なるため、添加量、攪拌方法なども検討しなくてはならない。（ろ過促進剤と脱水ろ過を併用することによって、ケーキ含水率を平均30%とすることは十分に考えられる。）

これらの問題を解決する事によって、経済的、かつ、小規模な処理装置を実用化させることが十分に可能となる。

最後に本報告は、当社SSS工法の開発に関連して行なったもので、実験に関しては、地中連続壁開発委員会の諸氏の協力を得るとともに、土木技術部加藤泰正氏には、加圧ろ過実験の遂行にあたり終始で協力を頂いた。未筆ながら、ここに謝意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 沖野文吉：“ボーリング用泥水” 技報堂
- 2) “濃縮脱水ろ過（用廃水管理叢書 No.5）” 品川工学図書
- 3) “実用数式・図表の解説（土質基礎工学ライブラリー・7）” 土質工学会
- 4) “無機化学ハンドブック” 技報堂
- 5) 西一郎、今井怡知朗、笠井正威：“界面活性剤便覧” 産業図書
- 6) 東畑平一郎、吉野善弥、渡辺始：“化学装置(3)；機械的操作” オーム社
- 7) スコットブレアー、岡小天、東健彦訳：“入門レオロジー” 朝倉書店