

泥水工法における泥水管理に関する研究 (第19報)

—フィルタープレス方式における消石灰処理の効果—

喜田大三
齋藤裕司

Studies on Control of Slurry for Underground Excavation (Part 19) —Effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Treatment on Filtration of Waste Bentonite Slurry by Filter Press—

Daizo Kita
Hiroshi Saito

Abstract

The filtration properties of waste bentonite slurry from the field were investigated by indoor tests of pressure filtration after treatment with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, compared with the properties obtained through treatment with other chemicals, and it was judged that $\text{Ca}(\text{OH})_2$ treatment is suited to high-pressure filter presses.

The results were as follows:

1) Ruth's filtration equation was applicable to the slurry treated with $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Specific resistance of the cake was decreased with increasing additions of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ becoming $1.0 \sim 1.8 \times 10^{12}$ [cm/g] at pressure of 12 kg/cm^2 and 10 kg of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ per cubic meter of slurry. Compression coefficients of cakes were $0.72 \sim 0.73$ under pressures of $4 \sim 18 \text{ kg/cm}^2$ and the optimum amount of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was 10 kg/cm^3 and the optimum pressure about 12 kg/cm^2 .

2) At equal quantity of Ca^{+2} , treatment with CaO provided $20 \sim 25\%$ higher dehydration speed than with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, but the latter was adopted because of easier handling. Dehydration speed was $2.4 \sim 4$ times greater for treatment with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ than with organic chemicals.

概 要

現場から採取したベントナイトを含む廃液を消石灰で前処理した後、室内の加圧ろ過試験を行なって、消石灰処理のろ過特性を検討し、あわせて他の薬品処理との比較検討を行なった。その結果、消石灰処理を行なった廃液のろ過過程ではRuthのろ過式が成立し、消石灰添加量の増大につれろ過抵抗は減少し、添加量 10 kg/m^3 、ろ過圧 12 kg/cm^2 時のろ過比抵抗は $1.0 \sim 1.8 \times 10^{12}$ [cm/g]となり、ろ過圧 $4 \sim 18 \text{ kg/cm}^2$ のケーキの圧縮係数は $0.72 \sim 0.73$ となり、この凝集体の脱水には高圧の使用が適していると判定された。つぎに、生石灰処理と比較した場合、Ca量として同一量を添加したときでも、生石灰処理は消石灰処理より $20 \sim 25\%$ 脱水速度が大きい。しかし、取扱いやすさを考慮して現場では消石灰処理を採用した。さらに、有機系薬品処理と比較した場合、消石灰処理の脱水速度は有機系薬品のそれより $2.2 \sim 4$ 倍となる。一方、ケーキの厚さならびに含水比には大差が認められない。以上の結果から、消石灰処理がフィルタープレス方式に適していると判定した。

1. まえがき

第11報¹⁾で説明したように、フィルタープレスを使用して廃液の処理を経済的に行なうためにはフィルタープレスの処理能力を増大する必要があり、そのためには薬品処理が特に重要である。

当初、間隙の大きな凝集体を作ることが目的とし、

有機系高分子凝集剤を使用した。しかし、この有機系薬品処理によって生成する凝集体は軟弱であるため、 10 kg/cm^2 以上の高圧で加圧ろ過する場合にろ過面に透水性の小さい膜を作るので、この膜のため思うように処理能力は上らないことが明らかとなった。これに対し、圧力に対してより一層強固で、しかも多孔性の凝集体を形成するための薬品処理の再検討を行なった。

そして、以下に説明するように、Ca系凝集剤の消石灰処理法を確立した。

さて、消石灰は従来から水処理剤や汚泥の脱水助剤として使用されている。すなわち、水処理の分野では、凝集剤として使用する金属の水酸化物を効果的に作るために、pH調整剤およびアルカリ剤として使用している²⁾。また、汚泥脱水時のろ過助剤としては固形物当り30~50%と多量に添加している^{3),4),5)}。

ところで、本実験ではベントナイトを含む廃液に消石灰を3~10%添加することによって、ろ過抵抗が減少するばかりでなく、圧縮係数を算出したところ、本薬品処理によって生成する凝集体の脱水に高圧の使用が適していることが判明したので、以下に報告する。

2. ろ過理論

固液分離をろ過で行なう場合の理論はろ過に関する資料⁶⁾に詳細に記載されているので、ここでは実験結果を検討するのに必要な内容についてのみ説明する。

Ruthは「ケーキ中を透過する流体の流れが層流で、ケーキろ過の全過程にわたってPoiseuilleの法則が成り立つこと」を明らかにし、次の関係式を導いた。

$$\frac{\mu}{A} \cdot \frac{dV}{d\theta} = \frac{\Delta P \cdot g_c}{R_c + R_m} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、

- μ ; 液体の粘度 [g/cm²·sec]
- A; ろ過面積 [cm²]
- V; ろ液量 [cm³]
- θ ; ろ過時間 [sec]
- ΔP ; ろ過圧 [g/cm²]
- g_c ; 重力換算係数, 980 [cm/sec²]
- R_c ; ケーキの抵抗 [1/cm]
- R_m ; ろ材の抵抗 [1/cm]

ろ材の抵抗 R_m は時間とともに変化しないが、ケーキの抵抗 R_c はケーキの積層とともに変化し、初期においては0で、ろ過中に R_m より大きな値をとる。そして、 R_c は次式で示される。

$$R_c = \alpha \cdot \frac{W}{A} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで

- W; ケーキ固形物の量 [g]
- A; ろ過面積 [cm²]
- α ; ケーキの比抵抗 [cm/g] 固有の定数

(1), (2)式から明らかなように、一定のろ過圧およびろ過面積の条件下では、ろ材のろ過抵抗 R_m が一定であるときは、ケーキの抵抗 R_c 、いかえればケーキの比抵抗 α が小さい程、脱水速度 $dV/d\theta$ は大きくなる。

しかるに、ケーキの重量 W [g] とろ液量 V [cm³] との間には次の一般式が成立する。

$$W = \frac{\rho \omega V}{1 - m\omega} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで

- ρ ; ろ液の密度 [g/cm³]
- ω ; ろ過原液中の粒子濃度 [g-solid/g-suspension]
- m; 湿潤ケーキの乾燥ケーキに対する質量比

(2), (3)式を(1)式に代入し、 θ で積分すると、次の定圧ろ過の一般式が成立する。

$$V^2 + 2CV = K\theta$$

$$\text{故に } \frac{\theta}{V} = \frac{1}{K} \cdot V + \frac{2C}{K} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで

$$K = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot g_c \cdot (1 - m\omega) \cdot A^2}{\mu \cdot \alpha \cdot \rho \cdot \omega} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$C = \frac{(1 - m\omega) \cdot A \cdot R_m}{\alpha \cdot \rho \cdot \omega} \quad \dots\dots\dots(6)$$

(4)式によれば、経時的に脱水量を測定し、その結果を θ/V と V の関係図上にプロットして得られる直線の傾き ($1/K$) から(5)式を使用して α が算出できる。

また、Carman⁷⁾によれば、 α はろ過圧 ΔP の関係であり、次式で示される。

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \Delta P^S \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここで、

- α_0 ; 定数
- ΔP ; ろ過圧 [g/cm²]
- S; 圧縮係数

圧縮係数 S は凝集体の圧縮性を示す指数であり、非圧縮性の場合には0であるが、凝集体の場合には、一般に0.6~0.9の値を示す。いうまでもなく、Sが大きい程圧縮されやすいことを示す。また、Sは凝集体の脱水に高圧の使用が経済的であるかを判定するのに役立つ。一般に0.75以下の場合には高圧ろ過が経済的であるといわれている⁸⁾。この係数は α と ΔP の実測値を両対数目盛の関係図上にプロットして得られる直線の傾きから実験的に求めることができる。

3. 実験方法

3.1. 供試試料

A, B, C, D, Eの五現場で採取した廃液を供試し、これらの試料の諸性状を表一1に示す。なお、A, B両試料では主として砂分濃度を異にする2種類をそれぞれ用いた。

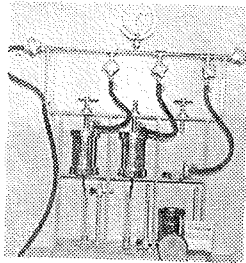
3.2. 薬品処理法とろ過試験法

泥水試料 300ml をメスシリンダーで計り取り、所

試料名	全濃度 (%)	ベントナイト濃度 (%)	砂分濃度 (%)	砂分濃度/全濃度 (%)	pH
A-1	15.0	5.0	7.0	47	8.8
A-2	31.7	4.9	22.0	69	8.9
B-1	15.5	5.0	3.5	23	9.1
B-2	30.7	6.5	12.6	41	10.4
C	10.7	1.6	0.6	—	7.2
D	10.4	2.3	0.6	—	9.2
E	12.0	3.6	0.6	—	7.6

表一 廃液試料の性状

定量の消石灰を添加した後、攪拌機を使用して10分間十分に混合した。この試料の全量をろ過円筒に移した後、直ちに所定圧のもとで加圧ろ過実験を行ない経時的に脱水量を測定した。なお、使用した加圧ろ過試験器は API 規格の加圧ろ過試験器を20 kg/cm² の高圧にも使用できるように改良したものであり、ろ過面積は45cm²である。この装置を図一に示す。また、ろ材は東洋ろ紙の No. 5 Aを使用した。

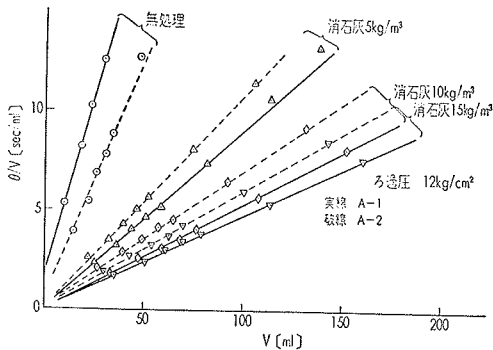


図一 実験装置

4. 実験結果と検討

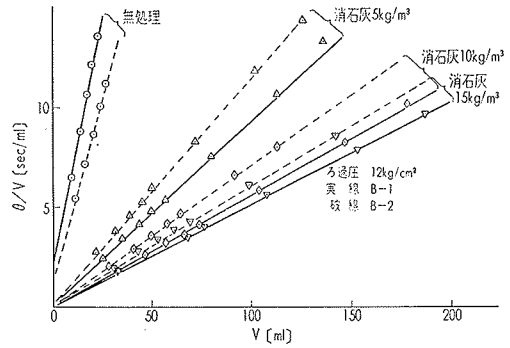
4.1. 消石灰処理におけるろ過特性

図二、三に試料A-1, A-2, B-1, B-2の無処理、および消石灰処理のろ過時間 (θ) とろ過時間と脱水量との比 (θ/V) の関係を示す。これらの図から明らかなように、いずれの試料においても $\theta-\theta/V$ の間には直線関係が認められる。したがって、2.に前述の(4)式が成立し、この式を導いた基本の Ruth の関係



図二 θ/V と V の関係(1)

式(1)がこれらの廃液に適用できることが判明した。そこで、これらの直線の傾きから K を求め、(5)式に基づいて各試料の比抵抗 α を算出することができる。こ

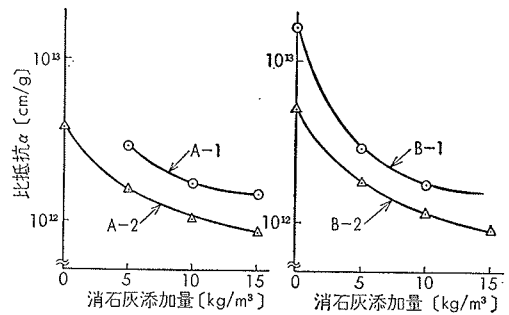


図三 θ/V と V の関係(2)

で、直線の傾きが小さい試料ほどその α は小さく、以下にこれに関して検討する。また、各直線の θ/V 軸切片はろ材の抵抗の大小を示し、これに関しては本項の終りで説明する。

さて、A, B 両試料とも無処理に比べて消石灰処理で α は顕著に減少し、しかも、消石灰添加量を増すにつれて α が減少することが認められる。そこで、図四に消石灰添加量と α の関係を示した。この図から明らかなように、消石灰無添加の試料はセメント成分の混入のため多少凝集しているが、 α は $5 \times 10^{12} \sim 1.6 \times 10^{13}$ であり、ろ過しにくいことを示している⁹⁾。一方、同図に示されているように、消石灰 10 kg/m³ の添加量までは α は急激に減少し、10 kg/m³ 添加時の A, B 両試料の α は $1.0 \sim 1.8 \times 10^{12}$ の値であり、ろ過しやすくなっている⁹⁾。したがって、消石灰の最適添加量は 10 kg/m³ であると判定した。

さらに、図四に示すように、A, B 両試料とも全



図四 消石灰添加量と比抵抗 α との関係

濃度が大きい廃液 (A-2, B-2) の α は全濃度の小さい廃液 (A-1, B-1) のそれよりもそれぞれ小さい。そこで、廃液の固形物中の砂分含有率 (砂分濃度/全濃度) を算出したところ、表一に示すように、前者の砂分含有率は後者のそれよりも大きい。このことはケーキの粒度組成が粗くなるために、 α が小さくなることを指摘している。この事象は第17報¹⁰⁾で報告したように、現場の処理結果でも確認された。

つぎに、2.の(7)式に基づいて、ケーキのろ過比抵抗 α とろ過圧 ΔP の関係を示す1例として、A-1, B-1 試料に消石灰を 10kg/m^3 添加したときの結果を図-5に示す。そして、ろ過圧 $4\sim 18\text{kg/cm}^2$ の範囲内のケーキの圧縮係数 (S) を算出したところ、A-1 では $S=0.71$, B-1 では $S=0.73$ となり、いずれも 0.75 以下であった。したがって、消石灰処理によって生成した凝集体の脱水には高圧ろ過方式が適していると判定した。

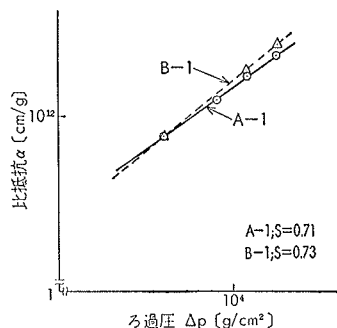


図-5 ろ過圧と α の関係

つぎに、最適ろ過圧について検討した1例として、C, D, E各試料に消石灰を 10kg/m^3 添加した場合の結果を図-6に示す。同図に示すように、ろ過時間(300mlの試料を全量ろ過し終るのに要する時間)はろ過圧の増大に伴って当然減少し、その減少割合は $12\sim 16\text{kg/cm}^2$ までは大きく、それ以上ではわずかである。したがって、ろ過圧は $12\sim 16\text{kg/cm}^2$ とするのが最適であると判定した。

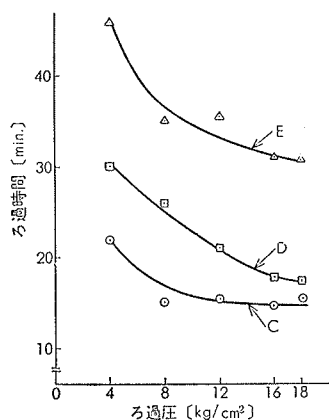


図-6 ろ過時間に及ぼすろ過圧の影響

さらに、図-2, 3において、消石灰処理の $\theta-\theta/V$ の関係直線はほぼ原点を通るのに反して、無処理のそれは通らない。

ところで2.の(4)式の定数項は(6)式と関連して、ろ材のろ過抵抗の大小を示すものである。そこで、上記の現象は消石灰処理では未凝集の土粒子がほとんどなく、ろ材の目づまりはおこっていないのに反して、無処理では目づまりがおこっていることを示唆している。

4.2. 消石灰と生石灰との比較

前項で説明したように、消石灰処理は廃液の加圧ろ過に適していることが明らかとなった。ところで、消石灰とほぼ同価格の生石灰も Ca 系凝集剤であり、同様の効果を有すると考えられる。そこで、生石灰と消石灰の効果について比較検討を行なった。

さて、C, D, E各試料について生石灰と消石灰の添

加量をそれぞれ変え、ろ過圧 12kg/cm^2 の条件下で加圧ろ過試験を行なった結果を図-7に示す。図示するように生石灰処理でも消石灰処理と同様に、添加量の増大に伴ってろ過時間は減少している。しかし、いずれの試

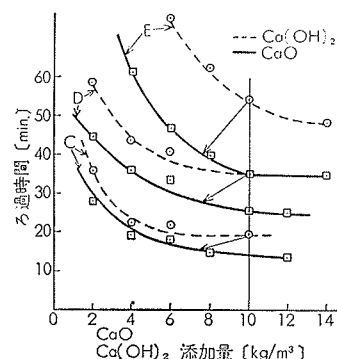


図-7 消石灰と生石灰の比較

料においても、同一添加量におけるろ過時間は生石灰処理で消石灰処理よりも短かく、生石灰処理の効果が大きい。例えば 10kg/m^3 添加時では試料によって多少差異が認められるが、生石灰処理で消石灰処理より $26\sim 36\%$ ろ過時間は減少している。ところで、添加量が同じ場合の Ca 量は生石灰で消石灰の約 1.3 倍である。そこで、Ca 量が同一となる添加量で比較を行なっても、生石灰処理で消石灰処理より $20\sim 25\%$ ろ過時間が減少している。したがって、消石灰処理より生石灰処理がより一層ろ過しやすくなると判定した。しかし、工事現場内における生石灰の取扱いが非常に困難であるため、消石灰処理を行なうことにした。なお、上述のように、生石灰処理と消石灰処理ではその効果に差が認められたが、この原因の究明は本研究の主旨ではないので、機構の究明は行なわなかった。この点は今後の研究によって解明する必要がある。

4.3. 消石灰処理と有機系薬品処理との比較

まえがきにおいて説明したように、有機系薬品を当初現場で採用していたので、消石灰処理の効果を明確にするための比較実験結果を以下に紹介する。

さて、表-2に使用した廃液試料の種類と消石灰および有機系薬品の添加量を示す。消石灰の添加量は図-7に示した結果をもとに $8\sim 10\text{kg/m}^3$ とした。一方、有機系薬品の添加量は予備実験を行なって、良好なフロックの形成が認められる $100\sim 180\text{g/m}^3$ とした。

さて、図-8に両処理を行なったときのろ過圧とろ

試料名	消石灰 (kg/m ³)	有機系高分子凝集剤 (g/m ³) [*]
C	8	100
D	10	180
E	10	180

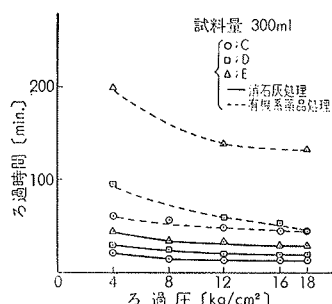
^{*}硫酸バンド 1kg/m^3 を併用

表-2 薬品添加量

過時間の関係を示す。両処理ともろ過圧の増大に伴って、ろ過時間は当然減少している。また、三試料のいずれにおいても、消石灰処理のろ過時間は有機系薬品

処理のそれよりも非常に短かくなっている。そこで、この図をもとに、両処理のろ過速度の比率を算出し、表-3に示した。

この表に示すように、消石灰処理では有機系薬品処理より脱水速度が2.2~4.5倍となり、消石灰処理が有機系薬品処理より顕著にすぐれていると判定した。



図—8 消石灰と有機系薬品の比較

試料名	比		
	4 kg/cm²	12kg/cm²	18kg/cm²
C	3.0	3.2	3.0
D	3.1	3.0	2.2
E	4.5	4.0	4.0

※比率=消石灰のろ過速度/有機系薬品のろ過速度

表—3 消石灰と有機系薬品とのろ過速度の比率

なお、結果は表示しないが、ケーキの含水比は両処理とも120~140%を示し、大差は認められなかった。また、ケーキ厚は両処理とも13~14mmを示し、大差は認められなかった。しかし、有機系薬品のケーキの状態はろ過面に近い所ほど圧密され堅くなるのに反して、消石灰のそれは全体にわたってほぼ均一に圧密されていた。

以上の結果と前述した消石灰処理のろ過特性にもとづいて、第17報¹⁰⁾で説明したように、工事現場の薬品処理を有機系薬品処理から消石灰処理に変更した。その結果、フィルタープレスの処理能力は上記の室内実験から予想されるように、当初の結果に比べ約2.4~2.8倍と飛躍的に増大し、本処理法を実用化することに成功した。

5. まとめ

現場から採取したベントナイトを含む廃液を消石灰で前処理した後、室内の加圧ろ過試験を行なって、消石灰処理のろ過特性を検討し、あわせて他の薬品処理との比較検討を行なった結果、以下のことが判明した。

(1) 消石灰処理では以下に述べるようなろ過特性が明らかとなり、本薬品処理はフィルタープレス方式に適していると判定した。

a) ろ過過程では Ruth のろ過式が成立し、消石灰添加量の増大に伴って、ろ過比抵抗(α)は減少する。この減少割合は添加量が 10 kg/m^3 までは大きい、それ以上ではわずかである。そこで、消石灰を 10 kg/m^3 添加し、ろ過圧 12 kg/cm^2 で加圧ろ過したときの α を算出したところ、 α は $1.0 \sim 1.8 \times 10^{12} [\text{cm/g}]$ となり、この値は消石灰処理の廃液がろ過されやすいことを示している。さらに、同一の添加量とろ過圧下において廃液の全濃度の増大に伴って、固形物の粒度

組成が粗くなるために、 α は小さくなる。

b) 消石灰添加量が 10 kg/m^3 、ろ過圧が $4 \sim 18 \text{ kg/cm}^2$ の条件下におけケーキの圧縮係数(S)は $0.72 \sim 0.73$ と算出され、本薬品処理によって生成する凝集体は高圧ろ過による脱水に適していると判定した。つぎに、ろ過圧の影響について検討し、ろ過圧が高いほどろ過時間は短くなる。しかし、 $12 \sim 16 \text{ kg/cm}^2$ 以上の高圧ではろ過圧の効果はほとんど認められなくなる。

c) 消石灰処理ではろ材の目づまりを防止できる。

(2) 生石灰処理と比較した場合、生石灰処理は消石灰処理と同様に、添加量の増大に伴ってろ過時間は減少する。しかも、Ca量として同一量を添加した場合、生石灰処理は消石灰処理より20~25%脱水速度が大きい。しかし、取扱いやすさを考慮して、現場では消石灰処理を採用した。

(3) 有機系薬品処理と比較した場合、消石灰処理の脱水速度は有機系薬品処理のそれより、2.2~4倍となる。一方、ケーキの厚さならびに含水比は大差が認められない。

以上の検討結果にもとづいて、工事現場の薬品処理を有機系薬品処理から消石灰処理に変更し、第17報で報告したように、フィルタープレスの処理能力は約2.4~2.8倍と飛躍的に増大し、本処理法を実用化することに成功した。

参考文献

- 1) 喜田・斎藤; 大林組技研所報 No. 6, P. 157 (1972)
- 2) 豊田; 水処理における無機凝集剤の作用と応用, 水処理技術, Vol. 13, No. 3, P. 15 (1972)
- 3) 神山・武井; フィルタープレスによる下水汚泥脱水の研究, 下水道協会誌, Vol. 5, No. 55, P. 15 (1968)
- 4) 川島・高田; 下水生汚泥のフィルタープレスにおける脱水性状に関する実験的考察, 水処理技術, Vol. 8, No. 11, P. 1 (1967)
- 5) 浄水場における汚泥脱水装置運転実績報告, 工業用水 No. 171 (1972)
- 6) 東畑・吉野・渡辺; 化学装置(3) P. 116, オーム社 (1963)
- 7) Carman, P. C.; Fundamental Principles of Industrial Filtration, Chem. Engrs. (London) P. 168 (1938)
- 8) 申・名取; 下・廃水汚泥の処理 P. 241, コロナ社 (1968)
- 9) 化学工学協会; 化学工学便覧, P. 928, 丸善 (1968)
- 10) 喜田・斎藤; 大林組技研所報 No. 9, P. 111 (1974)