

北海道工業開発試験所報告

REPORTS OF THE GOVERNMENT INDUSTRIAL
DEVELOPMENT LABORATORY, HOKKAIDO

第39号

昭和59年3月

特別研究終了報告書

羽幌産ベントナイトの開発利用技術に関する研究

工業技術院

北海道工業開発試験所

特別研究終了報告書

「羽幌産ベントナイトの 開発利用技術に関する研究」

研究期間

昭和56年度～昭和58年度

研究担当者

佐	藤	俊	夫
後	藤	藤	太郎
山	口	義	明
関	口	逸	馬
植	田	芳	信
藤	垣	省	吾

ま え が き

北海道開発庁は、昭和55年度から57年度までの3ヶ年計画で、特定鉱床開発促進調査の事業として羽幌地域のベントナイトを対象に鉱床調査を実施した。この間、この調査に対する開発庁の協力要請を受けて、当所は、経常研究と特別研究で、羽幌地域に賦存するベントナイトの諸試験を実施し、この度試験研究を終了することになった。

本報告書は、昭和56年度から58年度までの3ヶ年計画で実施された特別研究「羽幌産ベントナイトの開発利用技術に関する研究」の試験研究の内容と結果をとりまとめたものである。

これら一連の調査と試験研究によって、鉱床の賦存状況と埋蔵量が明らかにされ、かつ品位は良質のものであることが判明した。この報告書が、北海道の地域社会の発展に寄与するものであることを念願する次第である。

なお、北海道開発局長官房開発調査課は、昭和58年10月、羽幌地域のベントナイトの調査結果を「特定鉱床開発促進調査資料」羽幌地域として公刊した。本報告書と合せてご覧いただきたい。なお、この報告書の中に、特定鉱床開発促進調査資料中の図面を数葉借用した。この掲載を快諾された山本宏開発専門官にお礼申し上げます。

昭和59年3月

特別研究終了報告書

「羽幌産ベントナイトの開発利用技術に関する研究」

目 次

まえがき	.....
1. 試験研究の経緯	.....	1
2. 羽幌ベントナイトについて	.....	1
3. 地質鉱床について	.....	2
4. 市販ベントナイトの性状	.....	3
5. トレンチ試料の性状	.....	5
6. トレンチ試料の乾式粉碎	.....	6
7. 羽幌ベントナイト代表試料の性状	.....	7
8. 熱一示差熱分析について	.....	9
9. 懸濁液の性状－固形物濃度と粘性	.....	11
10. 自然沈降と遠心分離試験	.....	12
11. サイクロンによる分級試験	.....	13
12. 粒度別試料の性状と湿式解砕	.....	18
13. ベントナイトのゼータ電位	.....	20
14. ガラスビーズによるアトリッション試験	.....	21
15. ベントナイトの排水処理試験	.....	22
16. 含沸石ベントナイトの解砕と性状	.....	28
17. 懸濁液の安定度	.....	29
18. ボーリング試料の性状試験	.....	31
19. 選鉱設計(乾式処理)	.....	38
20. 選鉱設計(湿式処理)	.....	41
21. その他の試験	.....	44
あ と が き	.....	46
研究発表, 参考文献	.....	48
英 文 要 旨	.....	49

1. 試験研究の経緯

北海道開発庁は、特定鉱床開発促進調査の事業を実施している。この調査の目的は、北海道内の未開発の地下資源を精査し、これを鉱業振興に役立てると同時に、地域開発の促進に貢献しようというものである。そしてこの事業の一環として昭和55年度から57年度の3ヶ年計画で羽幌地域のベントナイト鉱床を調査した。この開始年度の前年、昭和54年4月に、北海道開発庁は、当所に対してこのベントナイト鉱床の調査を分担するよう要請した。その分担内容はベントナイトの性状分析と回収利用にかかわる試験研究であった。この要請を受けて、昭和55年度の経常研究課題としてこのテーマを取り上げ、文献および資料の調査を行なう一方、現地調査を行い、試験用試料を採取した。採取した試料は試験の結果、良質で高品位のベントナイトであることが判り、得られた情報と性状試験の結果を検討し、昭和56年度より3ヶ年計画の特別研究を申請し、この実施が決定した。以上のような経緯で決定した特別研究の課題名は「羽幌産ベントナイトの開発利用技術に関する研究」であり、これを3ヶ年計画で実施することにした。その研究の要点は、羽幌産ベントナイトの鉱物組成及びその物理的諸性状と鉱床との関連を明らかにする一方で、それがどのような用途向けになるかについても合わせて検討することである。また、乾式選鉱法の場合の乾燥条件と品質の関係、異物の除去法と品質の関係、湿式選鉱法の場合のその選鉱条件と品質の関係などについても検討する。現在ベントナイトの価格は、通常の用途向けのもので屯2～3万円であるが、本研究では、さらに付加価値の高い高純度ベントナイトの回収を目的とした試験研究も合わせて実施する計画で、以上の試験研究の結果と、鉱床調査をふまえて、ベントナイト鉱床開発の規模とその用途、及び企業化の条件を検討し、地域開発の促進に貢献しようというものであった。

特別研究初年度の昭和56年度では、鉱床周辺より採取した試料約90ヶ、そして鉱床の南北方向800m間のボーリング試料約60ヶの計150ヶ余りの試料について、水分、PH、化学分析、X線回折、メチレンブルー吸着量、膨潤度そして陽イオン交換容量などの試験を行い、鉱物組成と品質および性状を明らかにした。また、乾・湿式選鉱条件を

きめるための基礎試験、すなわち粒度別得量とその品位についても検討するとともに、高純度ベントナイト回収のための基礎試験も合わせて実施した。

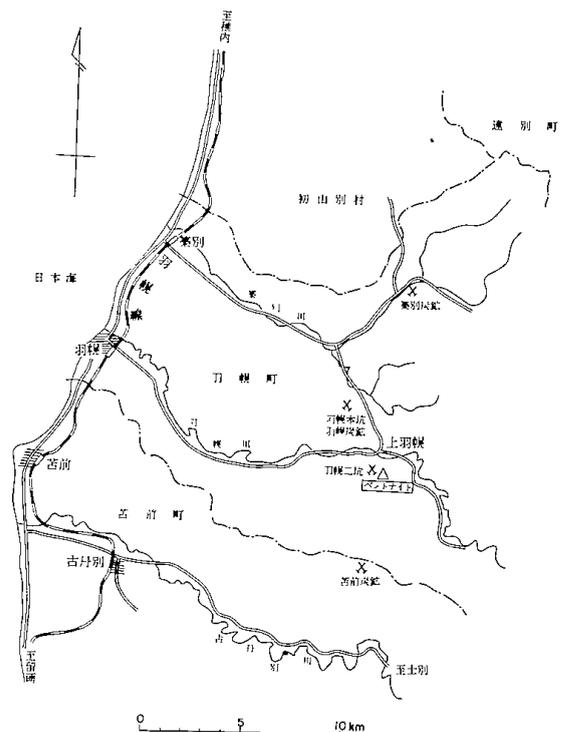
特別研究2年度の昭和57年度では、鉱床の東西方向のボーリングによって採取された試料約20ヶと、鉱床周辺の試料10ヶについて、初年度同様の性状試験を実施し、鉱床規模と、鉱床全体の品質性状が明らかになった。また、乾式回収のための選鉱条件を明らかにし、回収費を試算し、経済性を持って鉱床の開発が可能であることが明らかになった。

最終年度の昭和58年度では、高品位ベントナイトの回収を目的とした湿式選鉱法について検討を行い、その系統と処理費および品位を明らかにした。

経常研究1ヶ年と特別研究3ヶ年の計4ヶ年の試験研究によって、羽幌地域に賦存するベントナイト鉱床の全容がこの際明らかになった。調査の結果、ベントナイトの品質は良好であり、国内資源の枯渇傾向の中にあつて、今回の調査と試験研究の結果は満足すべきものであった。

2. 羽幌のベントナイトについて

羽幌のベントナイト鉱床は、第1図に示したとおり苫前郡羽幌町字上羽幌にあり、羽幌線羽幌駅の東南東約20km、旧羽幌炭鉱の2坑南部地域に賦



第1図 鉱床位置図²⁾

(2)

存している。鉱床の賦存状況は今回の調査で明らかにされたが(後述する), それまでは南北におおよそ1,000 m東西に300 m層厚4~5 mといわれていた。¹⁾

昭和21年から個人による小規模な採掘が行われ, その後, 日本ベントナイト工業株式会社が石油掘作さく用泥水の混合材を採取する目的で, 昭和33年春に, 羽幌町市街に粉碎工場を設け, 昭和35年までに約2,400 屯のベントナイトを採掘した。ベントナイトの品質は良好で, 泥水混合材としての規格品が生産されたという報告がある。昭和36年に採掘は中止され, 現在未開発のまま, 有望な鉱床が温存されている。

当時, 日本ベントナイト工業株式会社の資料に示された性状試験によると, PH 9.8, 膨潤度24, 工業分析は, SiO₂ 75.4, Al₂O₃ 10.28, Fe₂O₃ 2.24, MgO 1.30, Na₂O 1.99, K₂O 0.06, 灼熱減量4.86, であった。

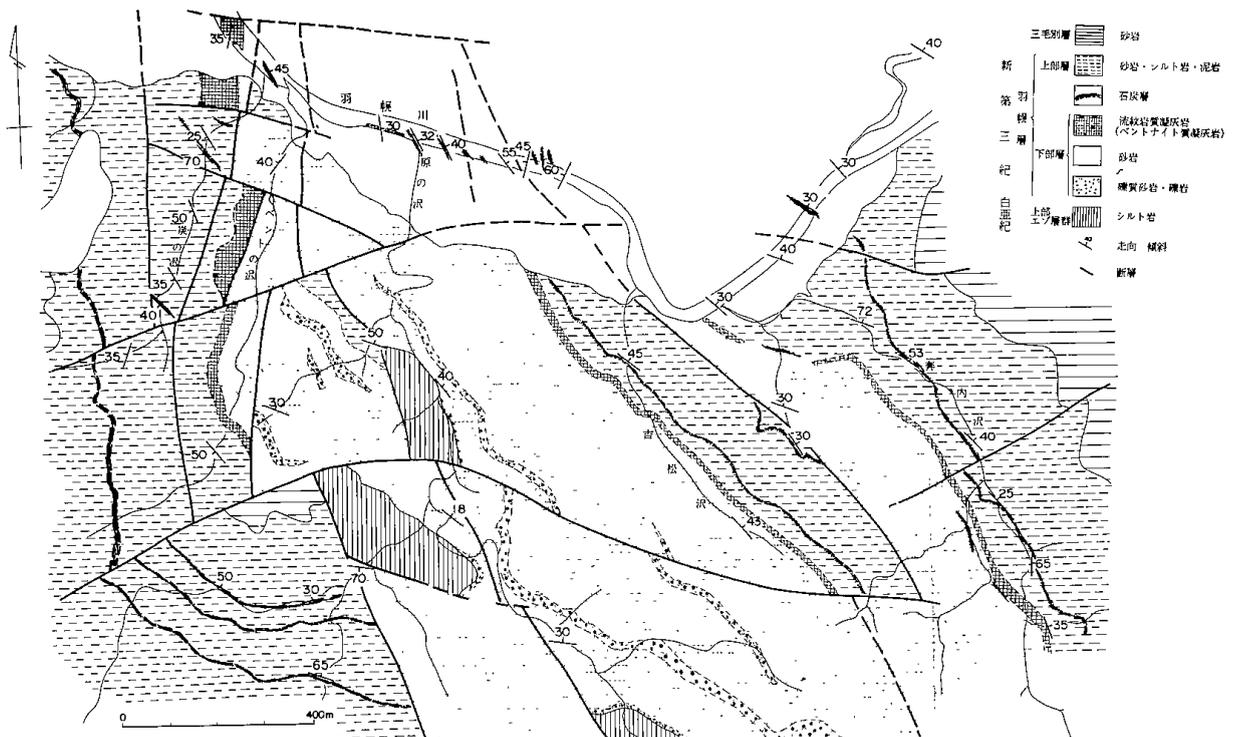
また北海道開発局長官房開発課の特定鉱床開発促進調査資料「羽幌地域」²⁾によると, 次に述べる記述がある。すなわち昭和37年には, 産炭地振興を目的として, 北海道商工部工業課および鉱政課による留萌地区地下資源利用工業企業化調査が行われており, この中で, 羽幌のベントナイト鉱床は高品質で優秀であることがみとめられ, 精査の必要があるとされている。その後, 採掘再開の動

きもあったが, 昭和45年, 羽幌炭鉱の閉山で立消えとなった。昭和48年から49年にかけては, 三井金属鉱業(株)資源開発本部工業原料開発室が, 20 m 4本, 30 m 1本の試すい(昭和49年丸石基礎工業株式会社実施)を併用した調査を行い企業化を計画した。しかし, 当時の道内需要(約1,000 t/月)が少なかったことと, 本州への輸送量がしめるコスト高から, 開発は保留となった。また, 昭和39年から40年にかけて, この地域で行われた地すべり対策調査(明治建設興業株式会社)の中で, 20 m 5本の試すいが, 昭和40年に実施されているが, このうち4本に, ベントナイト層が把握されている。No.1は, 厚さ10.55 mと1.95 mの2層が, また, No.3は, 厚さ13.4 mの記録がある。

3. 地質鉱床について

今回の特定鉱床開発促進調査で, 羽幌地域の地質鉱床がさらに明らかにされた。以下にその概要を抜粋する。

この地域の地質図を第2図に示した。基盤である白亜系(上部エゾ層群)と, これを不整合におおっている新第三系からなり, 新第三系は, 中新世に属し, 下位から羽幌層(下部層・上部層)と三毛別層にわけられる。羽幌層は, 苫前炭田の主要きょう炭層となっているもので, 天北炭田の宗谷きょう炭層に対比されている。この中からは,

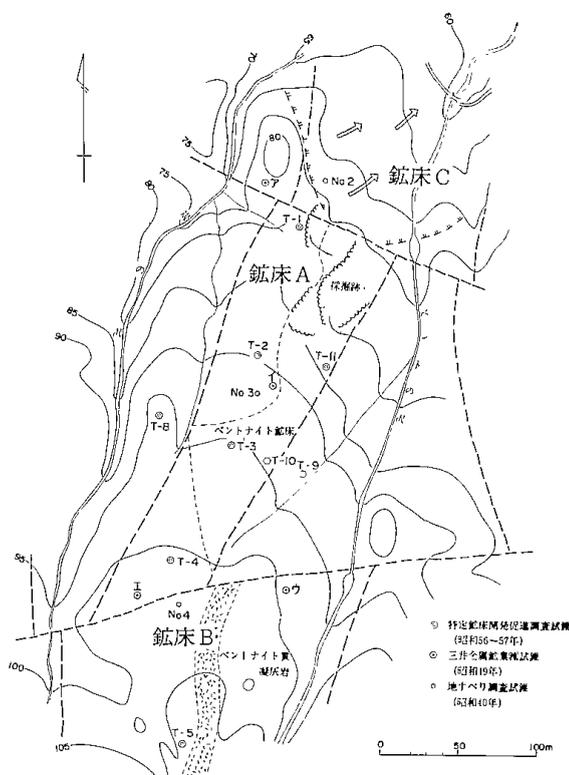


第2図 羽幌地域地質図²⁾

台島型の植物化石を産する。三毛別層は、海棲貝化石を多産し、天北炭田の鬼志別層に対比されている。

これらの地質系統は、原の沢付近を中核とするドーム状構造を形成し、その中心部には、白亜紀の上部エゾ層群が露出し、そのまわりに、新第三紀の羽幌層、三毛別層と順次に重なり、南北からやや西にふれた走向で分布している。傾斜は、ドームの西側では $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ SW、東側では $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ NEをしめすものが多い。

ベントナイト鉱床は、羽幌層の分布地域にみられるが、とくに良質なものは、羽幌ドームの北西



第3図 羽幌ベントナイト鉱床図²⁾

翼に位置している。この付近は、断層の発達がいちじるしく、複雑な地質構造となっており、岩質も軟弱で、地すべりの発生しやすい状態になっている。

この地域のベントナイト鉱床およびベントナイト質凝灰岩は、羽幌ドームを中心として、西側と東側に分布しているが、品質もよく、鉱量的にまとまっているのは西側のものである。いずれも、羽幌層中の流紋岩質凝灰岩(含ゼオライト凝灰岩)から、続成変質によって生成したもので、層準的には、主要石炭層の下位に賦存している。

この地域で、もっとも有望な旧採掘跡付近のベントナイト鉱床(第3図)は、 $N10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ E 走向で、延長約300m、幅約50mにわたって分布し、厚さは、7.7~16.8mが試すいで確認されている。深度は、0.4~7.7mと地表から比較的浅く、露天採掘に適している。この南側延長部にも、断層を隔てて、 $N10^{\circ}$ Eから $N35^{\circ}$ Wの走向で、延長約250m、幅約20mの範囲に、厚さ1.05~3.7mのベントナイト質凝灰岩が確認されているが、深度が16.0~19.1mと地表から深い。また、北側は、断層によって、ベントナイト鉱床の分布が切れているが、この先の部分は、昭和35年に発生した地すべりで、羽幌川に向かって押し出されたようである。この付近の羽幌川河床には、厚さ30m以上のベントナイト質凝灰岩の露出がみられ、この延長部に当たる南側の地すべり地にも、厚さ7.9mと8.4mの2層のベントナイト部分が、試すいで把握されている。このような押し出しによるベントナイトの入り混った下流部のベントナイト鉱床の賦存範囲は、東西に約150m、南北に約50mと推定される。なお、北西端の羽幌河川には、厚さ30m以上にわたって露出がみられる。

ベントの沢と炭の沢にはさまれた地帯のベントナイトは、灰白色から淡黄緑灰色、淡青灰色などをていする軟質なものが大部分で、やや硬質な部分には、ゼオライト岩の要素が残されている。良質なものは、おもに、 12.6\AA 型のモンモリロン石(Na-モンモリロン石)と、 α -クリストバル石からなり、ごく少量の石英と長石をともなっている。(特定鉱床開発促進調査資料より抜粋)

4. 市販ベントナイトの性状

羽幌ベントナイトの品質と性状がどの程度のものかを判断する材料として、市販ベントナイト10品種を入手し、これの品質および性状を明らかにした上で、羽幌ベントナイトとの比較を行うことにした。

入手した市販品10種類についてX線回折による鉱物組成を調べた後、水分、PH、膨潤度、陽イオン交換容量およびメチレンブルー吸着量の諸試験を実施した。

ベントナイトは、モンモリロナイトを主成分として α -クリストバライト・石英・長石・方解石およびその他の鉱物を伴っており、品質の良いものは当然モンモリロナイトの含有量が多くその他の

鉱物が少く、品質の良くないものは、モンモリロナイトの含有量が少く、随伴するその他の鉱物が多くなってくる。国内産ベントナイトの特徴的鉱物組成は、モンモリロナイトを主成分として α -クリストバライトが混入することである。そしてこれに若干のその他の鉱物を随伴する。そして随伴する鉱物の種類と量が、産地と製品によって特徴づけられる。

またベントナイトはその用途によって、増粘力、分散性、レオロジー改質能、膨潤力、カチオン交換能、被膜形成性そして有機化合物との複合体形成などの諸性状が問題になるが、これはモンモリロナイト自身の結晶性によるもので、これが産地の生まれ育ちによって特徴づけられる。

そして、試験の結果によって、これが鋳物用かボーリング用か土木用か農薬用か農業用か、又はもっと高価な化粧品、医薬品、染塗料、水系塗料そしてワックスなどの、どの用途むけ向けになるかを判断する。

第1表に市販品の性状試験結果を示した。ベントナイトは、一般に原鉱を乾燥後微粉碎し200メッシュ以下を製品とするので、製品の水分はおおよそ9%以下である。その後の試験で判明したが、ものによっては吸湿性があり、一般的には品位の良いもの程吸湿性が強いようである。

市販品はNa型ベントナイトで、所定の懸濁液のPHは弱アルカリ性でおおよそ9~10.5である。

第1表 市販ベントナイトの性状試験結果

SAM	MOI	PH	SWP	CEC	MBA
A-1	6.6	9.2	7(2.4)	76.7	44
A-2	6.6	10.7	20(9.4)	78.3	68
A-3	5.1	10.4	14(10.6)	61.1	48
A-4	9.7	9.9	18(11.2)	81.2	54
A-5	5.8	10.4	18(12.5)	83.6	58
B-1	4.4	10.6	8(3.4)	67.0	20
B-2	5.2	10.7	19(7.9)	79.5	38
B-3	4.9	10.6	21(8.3)	76.6	42
B-4	5.6	9.9	30(13.8)	74.6	64
C-1	4.4	10.4	11(6.8)	63.5	38

SAM: 試料名, MOI: 水分%, SWP: 膨潤度 (容積法) ()内は重量法, CEC: 陽イオン交換容量, MBA: メチレンブルー吸着量 (以下本文中の記号内容は上述のとおりとする)

微粉末の粒度は特に測定しなかったが、製品としては一応200メッシュ以下となっているが、なかには何メッシュ以下と表示されているものがある。そして一般的に粒度の細かいものの品位が高いし、水簸によって回収され製品化されたものは、さらに粒度が細かい。

ベントナイトの最も特徴的な性状として膨潤性がある。これはベントナイトが水を含むと体積が5~10倍に膨張することを意味する。モンモリロナイトの結晶性によっても異ってくる。第1表に示された膨潤度の数値で明らかのように、市販品の中で、最高30程度のものから最低6程度のものまでである。

ベントナイトの陽イオン交換能³⁾、この粘土の化学的性質の重要な特徴となっている。これは主に主成分であるモンモリロナイトに基づくものである。理想的なナトリウム・モンモリロナイト $[(OH)_4 Si_8 (Al_{3.34} Mg_{0.66}) O_{20} Na_{0.66}]$ の化学式量は734であって660 meq のNaイオンを持っている。このNaイオンは交換性であって、化学式量から次式の計算によって理論CEC (Cation Exchange Capacity) が得られ、その値は90 meq /100 gr である。

$$\text{理論 CEC} = 0.66 \times 1,000 \times 100 / 734 = 90$$

しかし、ベントナイトのCECは単にモンモリロナイト含有量だけに支配されるものでもなく、ベントナイトを構成している他の陽イオン交換性鉱物、たとえば羽幌ベントナイトのように混入するゼオライトの寄与がある場合がある。混入鉱物のCEC値は一般にモンモリロナイト60~90、カオリナイト3~15、ハロイサイト6~10、イライト20~40そしてゼオライトは100~150である。

ベントナイトのCEC値は第1表に示したように60~80程度のものまでであるが、CEC値の大きいものは土壤改良剤として使われ、肥料成分の流失を防止する働きをする。掘削泥水中のベントナイトの定量或は鋳物砂中の有効ベントナイトの定量にメチレンブルーによる吸着量の測定が行われる。泥水中のベントナイト (モンモリロナイト) 或はベントナイ原石中のモンモリロナイトの含有割合の測定は簡単ではないので、簡便法として、このメチレンブルー吸着量の測定が広く行われている。第1表中に示された数値で、市販品は20~68程度のものである。後述するが、羽幌ベントナイトを精製したものの吸着量値は、90を示すものがあ

た。

市販品についての性状試験結果について述べたが、ベントナイトの試験にはその他、比重、粒度、清水泥水試験そして液性限界測定など（日本ベントナイト工業会標準試験法）があり、又使用目的によって粘性・可塑性、分散性、水中崩壊性、ろ過性、混練性、湿態抗圧力、造粒性そして成型性などがある。さらに日本薬局方による確認試験、PH、純度試験（重金属、ヒ素、異物）、乾燥減量、ゲル形成力そして膨潤力などの試験もある。

5. トレンチ試料の性状

試料1, 2, 3は、調査開始前年度の昭和55年8月に採取したものである。その後昭和56年8月と昭和57年8月にトレンチによる試料採取を行った。これらの試料の性状試験結果について説明することにする。第2表に試料1から試料22までの水分、膨潤度、メチレンブルー吸着量そして陽イオン交換容量を示した。

鉱床中央部露頭の1部分は雨水に流されたところがあって、丁度水簸を受けたような状態で、スピゴットに相当する粗粒分が試料10である。これに対して溢流に相当するのが試料4, 5, 9である。X線回折によると試料10は長石、石英が濃縮され、試料4, 5, 9はモンモリロナイトが濃縮されたものとなっている。両者の性状試験結果の示す数値から明瞭である。

品位の高い試料（モンモリロナイト含有量多）を①、品位の低い試料（長石、石英の混入量多）を②、両者の中間品位の試料を③、沸石を混入する含沸石ベントナイト試料を④、沸石の試料を⑤とグループ分けすると、①は試料4, 5, 9, 17, ②は試料8, 10, ③は試料1, 6, 7, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19, ④は試料2, 14, 20, 22, ⑤は試料3, 21である。

最終的に羽幌ベントナイトの選鉱性を検討する場合には、以上述べた性状の5つのグループ分けによって示された性状を考慮する必要がある。

第2表 トレンチ試料の性状試験

試料名	MOI	SWP	MBA	CEC	採取場所	採取年月
試料 1	(5.1)	19	56	75.7	鉱床中央	55. 8
試料 2	(3.7)	5	32	92.5	羽幌川	〃
試料 3	(1.8)	4	10	122.3	鉱床北辺	〃
試料 4	38.6	13	84	70.4	鉱床中央	56. 8
試料 5	39.8	14	88	75.2	〃	〃
試料 6	39.8	13	64	88.0	〃	〃
試料 7	32.7	13	54	92.6	〃	〃
試料 8	25.3	10	28	36.1	〃	〃
試料 9	50.4	15	80	80.2	〃	〃
試料 10	26.7	5	18	8.7	〃	〃
試料 11	64.9	16	60	22.9	〃	〃
試料 12	42.6	16	54	53.3	〃	〃
試料 13	42.2	16	48	61.3	〃	〃
試料 14	38.9	6	20	139.8	鉱床北辺	〃
試料 15	(6.6)	16	56	70.8	鉱床中央	57. 8
試料 16	(5.1)	19	56	75.7	(試料1)	
試料 17	(6.7)	15	76	75.1	鉱床中央	57. 8
試料 18	(5.3)	17	56	80.3	〃	〃
試料 19	(4.9)	16	50	56.8	〃	〃
試料 20	(1.7)	5	14	138.5	鉱床北辺	〃
試料 21	(1.8)	4	10	122.3	(試料2)	
試料 22	(3.7)	5	32	100.0	羽幌川	57. 8

()内は乾燥後の水分, ()なしは原石の水分

(6)

6. トレンチ試料の乾式粉碎

前に示した第2表の試料中、試料15から試料22までの8ヶの試料の乾式粉碎試験を行った。8ヶの試料を自然乾燥後、ジョークラッシャー、クラ

ッシングロールそしてディスクで粉碎した。第3表に粉碎試料の粒度構成を示した。次にこれを、セイシン企業製造のジェットオーマイザーミル、0101-C6型機と不二パウダル製造のハンマーミル、ASK-1型機による微粉碎を行った。

第3表 乾式粉碎の粒度構成

試料名	+16	16-24	24-65	65-200	-200(メッシュ)	
試料 15	16.7	16.0	36.1	21.5	9.7	100.0
試料 16	25.2	17.2	33.8	15.9	7.9	100.0
試料 17	30.0	15.3	30.5	15.8	8.4	100.0
試料 18	20.4	14.1	33.0	19.9	12.6	100.0
試料 19	20.4	12.8	34.2	21.4	11.2	100.0
試料 20	19.9	14.2	31.9	19.1	14.9	100.0
試料 21	23.0	17.1	31.6	17.6	10.7	100.0
試料 22	9.3	11.0	33.5	30.8	15.4	100.0

数値は重量%, ふるいはメッシュ

ジェットオーマイザーミルはジェット気流還流粉碎方式でハンマー衝撃粉碎方式の夫々の原理による微粉碎機である。ペントナイト市販品の粒度規格は200メッシュ以下となっているので、全量

が200メッシュ以下になることを目標に微粉碎を行った。その結果を第4表に示した。粉碎産物の+200メッシュの量は、ハンマーミルで最小1.2から最大9.5%, ジェットオーマイザーでは夫々

第4表 乾式微粉碎の粒度構成

試料名	ハンマーミル		ジェットオーマイザー		全粒度
	+200	-200	+200	-200	
試料 15	4.6(-)	95.4(54)	13.5(52)	86.5(46)	(56)
試料 16	1.2(-)	98.8(50)	16.7(50)	83.3(54)	(56)
試料 17	6.6(-)	93.3(80)	64.2(78)	35.8(76)	(76)
試料 18	6.1(-)	93.9(56)	18.2(56)	81.8(56)	(56)
試料 19	3.1(-)	96.9(44)	7.3(36)	92.7(44)	(50)
試料 20	5.6(-)	94.4(14)	16.5(8)	83.5(14)	(14)
試料 21	9.5(-)	90.5(8)	26.5(6)	73.5(12)	(10)
試料 22	7.2(-)	92.8(34)	20.4(24)	79.6(40)	(32)

数値は重量%, ()はメチレンブルー吸着量

7.3から64.2%である。この数値から判るように、ハンマーミルによる微粉碎は、供試料の性状に影響されないようで、これに対して、ジェットアトマイザーによる微粉碎は、供試料の性状に大きく影響される。特に注目されることはハンマーミルでは石の硬さが影響し、ジェットアトマイザーでは、石の硬さに加えて、モンモリロナイトの含有量と、

これに影響を受ける水分の多少によるのではないかと推察される。しかしこれらのことで、微粉碎機の優劣を議論するのではなく、石の性状に合った微粉碎機の選定が必要であることの示唆をあたえるものであることに注意する必要がある。なお第5表に粗粒粉碎物の陽イオン交換容量を、第6表に粗粒粉碎物のメチレンブルー吸着量を示した。

第5表 粗粒粉碎物の陽イオン交換容量

試料名	+16	16~24	24~65	65~200	-200(メッシュ)
試料 15	68.4	70.8	74.7	69.4	71.9
試料 16	67.5	70.3	68.6	53.0	52.7
試料 17	72.2	70.2	76.7	67.9	74.4
試料 18	68.0	72.3	68.0	68.1	76.4
試料 19	61.9	47.2	53.3	50.0	45.2
試料 20	135.1	139.6	130.7	132.0	142.0
試料 21	136.1	136.6	117.6	137.6	142.7
試料 22	78.0	80.2	86.5	81.7	81.8

第6表 粗粒粉碎物のメチレンブルー吸着量

試料名	+16	16~24	24~65	65~200	-200(メッシュ)
試料 15	64	60	56	50	58
試料 16	56	54	54	46	52
試料 17	76	78	76	76	74
試料 18	58	56	54	50	52
試料 19	48	48	40	36	44
試料 20	12	12	12	12	12
試料 21	6	6	6	6	12
試料 22	38	42	28	28	34

7. 羽幌ベントナイト代表試料の性状

今度の試験研究で取り扱った試料数はおよそ300ヶ余りであるが、この内代表的な試料について、その特徴的な性状について報告することにする。

鉱床の中央部で露頭より採取したベントナイトは、淡い黄緑色或は若干黒ずんだ淡い灰色で、水分が30~50%程度の粘土状の外観を呈している。これを乾燥して粉末するとベージュ色となる(試料1)。ボーリングコアについては後述するが、地表上部から下部に向って、砂粒状の脈石或いはゼオライトが混入するようになり、水分は地表より若干低くなる。外観は砂の中に粘土が混ったようなもの、或は粘土状のものがなくなり、ちょうど凝灰岩の風化が進んでボロボロの外観を呈するもの、そして全体が黒っぽい硬い石状になったものなどが層状に堆積している。

鉱床の北辺より採取したベントナイトの母岩とみられる凝灰岩状のものは、非常にもろく、原石は灰色であるが、粉末色は鉄分が混って褐色であ

る(試料2)。

また鉱床の北西ぎわには、鉱床中に砂状に混入しているゼオライトと同じものと考えられる原岩があり、それはち密で硬く白色を呈している(試料3)。

鉱床の上下と拡がり方向の構成鉱物の変化は、さらに後で詳述するが、試料1, 2, 3で代表されるように、各々が単独に或は混じり合って、夫々の品質および性状を特徴づけている。

試料1, 2, 3の化学分析値を第7表に、性状試験結果を第8表に示した。化学分析値で特徴的なことは、シリカ・アルミナ比は同程度なのに、ゼオライト(試料3)のナトリウムの含有率が、他の試料の数倍である。性状試験で、水分の数値は65℃で充分乾燥したもので、原石の水分ではない。試料2には若干のゼオライトが混入するので、陽イオン交換容量値は、試料1より若干高く、試料3が最高値を示す。表中示されたメチレンブルー吸着量の56の値は、原石の最高値で、鉱床全体の平均値は45前後になるものと推測される。同様

第7表 化学分析

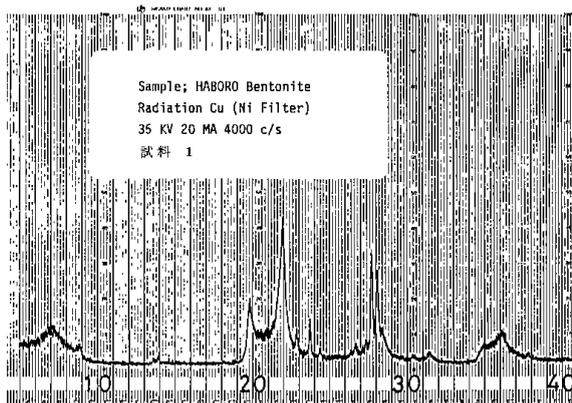
元素名	試料1	試料2	試料3
SiO ₂	73.82	74.48	71.07
Al ₂ O ₃	14.75	13.17	12.67
Fe ₂ O ₃	2.23	2.04	1.07
MnO	0.03	0.03	0.02
TiO ₂	0.01	0.01	0.11
MgO	1.74	0.94	0.94
CaO	0.97	1.42	0.03
Na ₂ O	1.44	0.92	3.34
K ₂ O	0.35	0.81	0.87
Ig. Loss	4.54	6.03	8.76

第8表 性状試験

試料名	MOI	PH	CEC	MBA	SWP(重量法)
試料1	5.1	9.9	75.7	56	19(7.6)
試料2	3.7	9.7	92.5	32	5(2.0)
試料3	1.8	—	122.3	10	—(—)

に表中示された膨潤度の18.5も原石中の最高値であり、鉱床全体の平均値は、15前後になるものと思われる。

次にX線回折による鉱物組成について調べてみる。第4図に試料1のX線回折チャートを示した。

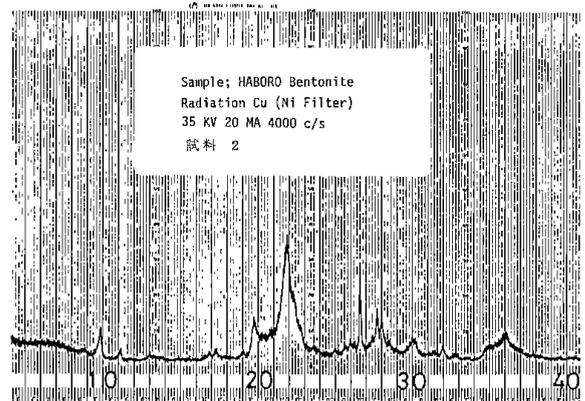


第4図 試料1のX線回折チャート

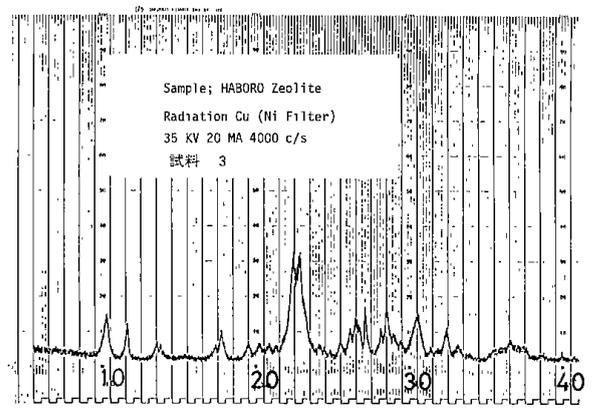
X線強度の一番高い $2\theta=21.8$ の α -クリストバライトと、 $2\theta=5.8$ と 19.8 のモンモリロナイトの回折線が示されている。このチャートが示しているように、試料1にはモンモリロナイトを主成分として α -クリストバライトを混入し、若干の長石と石英、微量のイライトが混っている。

このX線回折チャートに示されたモンモリロナイトのピークは殊更鮮明であるが、他の多くの試料のものは、ブロードで不鮮明なものが多い。それは粘土鉱物は一般的に結晶片が非常に細かい上に、結晶度の相違、或は層状構造にかかわる陽イオン量、結晶水などの影響によるものであるが、このベントナイトが、イライト或は緑泥石との混合層鉱物であるためによるものであるかもしれない。試験研究に供した試料で、日時が経過すると(多分試料の乾燥度合いが進んで、結晶の規則性がきちんとする)、(00L)の反射ピークが鮮明になるようである。これに対して(020)反射は、何時も鮮明である。

第5図に示された試料2のX線回折チャートによると、 $d=15\text{\AA}$ 付近のピークはブロードになることと、クリノプチロライト(ゼオライト)の混入がみとめられることである。第6図に示された試料3のX線回折チャートによると、クリノプチロライトが主成分になる。



第5図 試料2のX線回折チャート



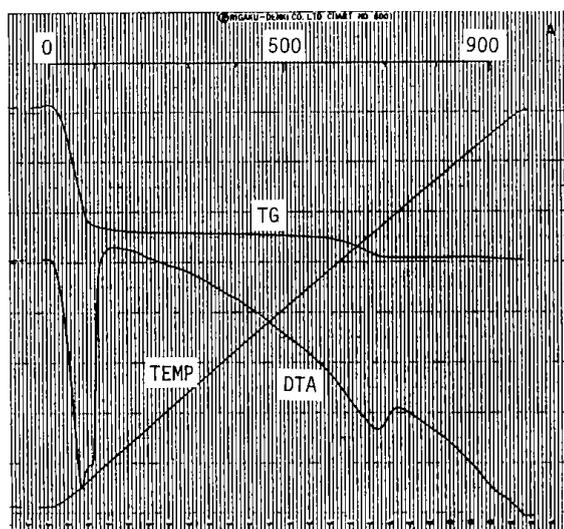
第6図 試料3のX線回折チャート

以上述べたように、ベントナイト鉱床の鉱物組成は、基本的に、試料1, 2, 3によって特徴づけられるが、これらのことは後述のボーリングコアの性状試験によってさらにつまびらかになる。

8. 熱一示差熱分析について

使用した装置は理学電機製 TG-DTA 標準型である。使用条件は、TG Range: 10 mg, DTA Range: $\pm 100 \mu V$, 昇温: $10^\circ C/min$, チャートスピード $2.5 mm/min$ である。

第7図に試料1の TG-DTA 曲線を示した。図

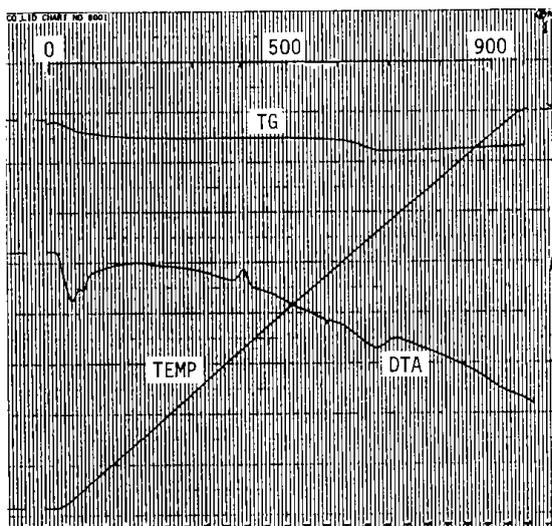


第7図 TG-DTA曲線(試料1)

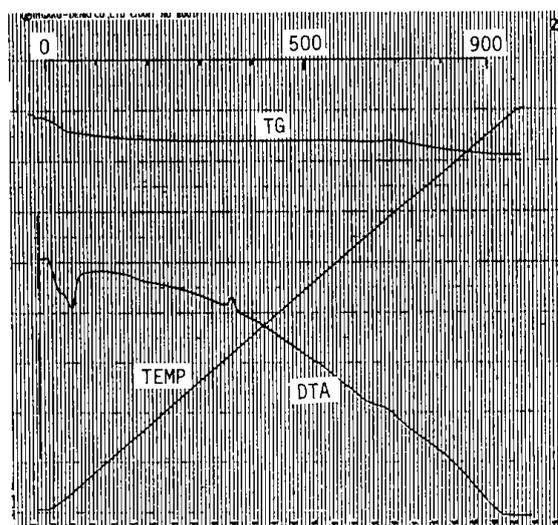
図中TG: 重量曲線, DTA: 示差熱曲線
TEMP: 加熱曲線

に示されたように $100^\circ C$ 付近に付着水の脱水による吸熱ピークがあるが、ピークの先端で細かい2重ピークになっているのが特徴である。この2重ピークの原因は通常 Ca, Mg の2価の+イオンの影響といわれるが、この際判然としない。第1次の吸熱ピークがあらわれるまでの示差熱曲線は若干下降する。これは、供試料の前処理、特に乾燥条件によるもので、低温で乾燥に充分時間をかけたものの DTA 曲線はこのように下降しないのではないかと考えられる。TG 曲線と良く対応し、試料 150 mg に対して全量 3 mg 程度の減量である。

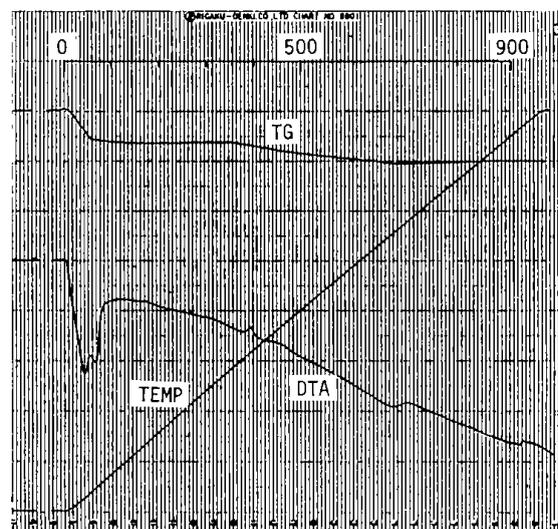
試料1を湿式解砕して分粒した試料(粒度別試料の性状と湿式解砕の項に記述) F-1 から F-9 までの9個の試料について TG-DTA を調べた。これらの試料は既に鉱物組成と性状が明らかになっているので、これらが TG-DTA とどんな関係



第8図 TG-DTA曲線(F-1)

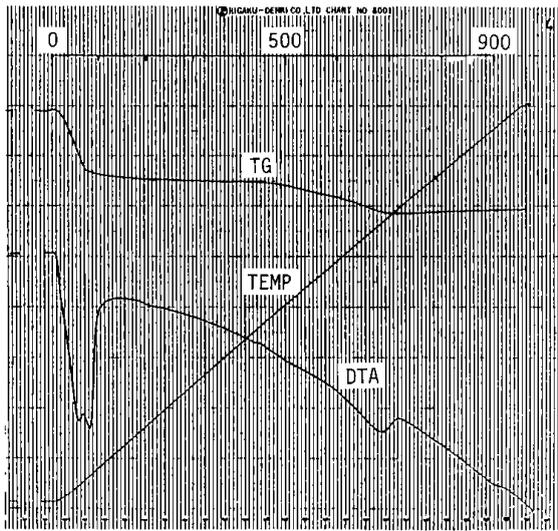


(F-2)

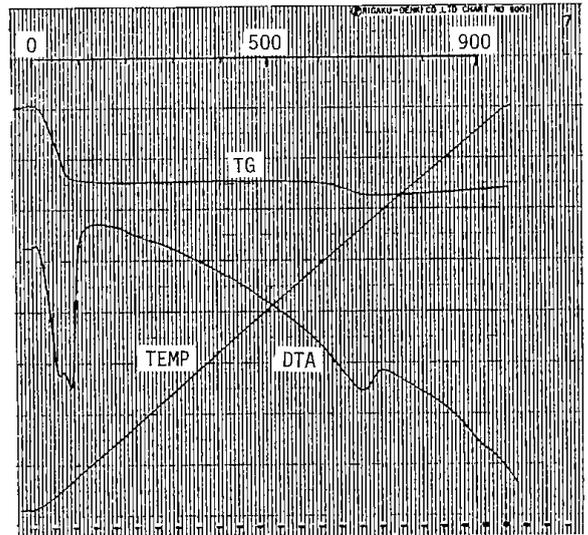


(F-3)

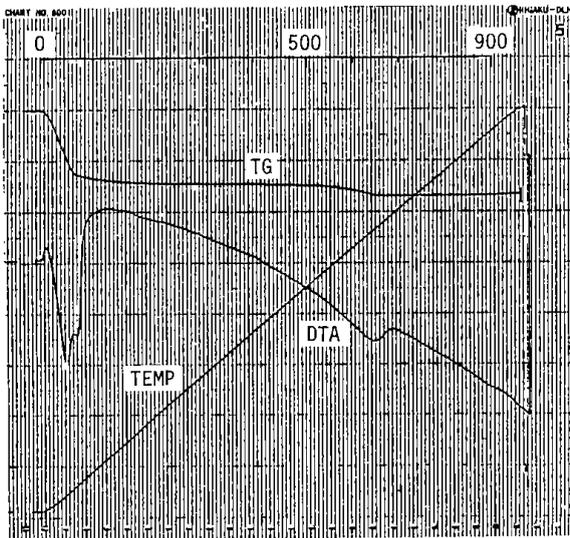
(10)



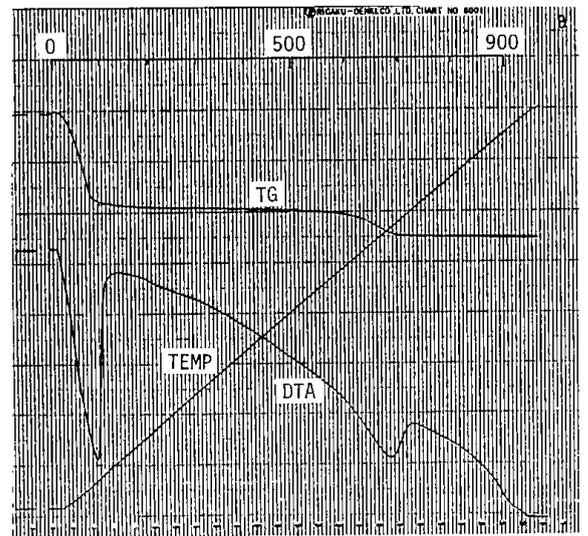
(F-4)



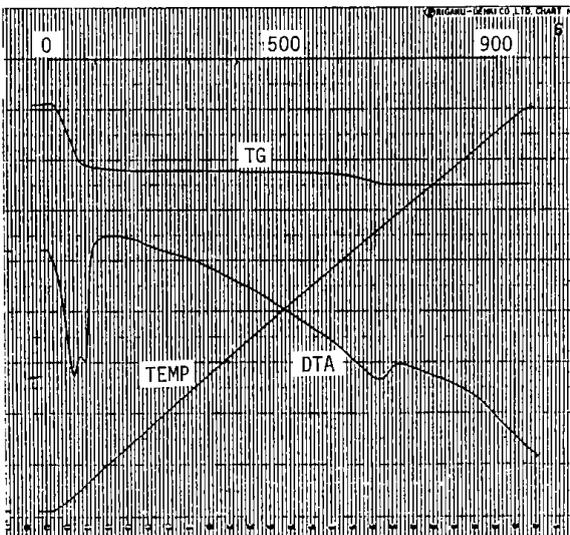
(F-7)



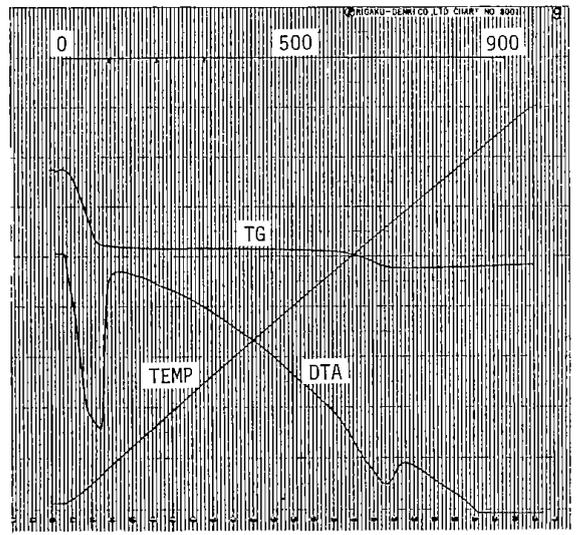
(F-5)



(F-8)



(F-6)



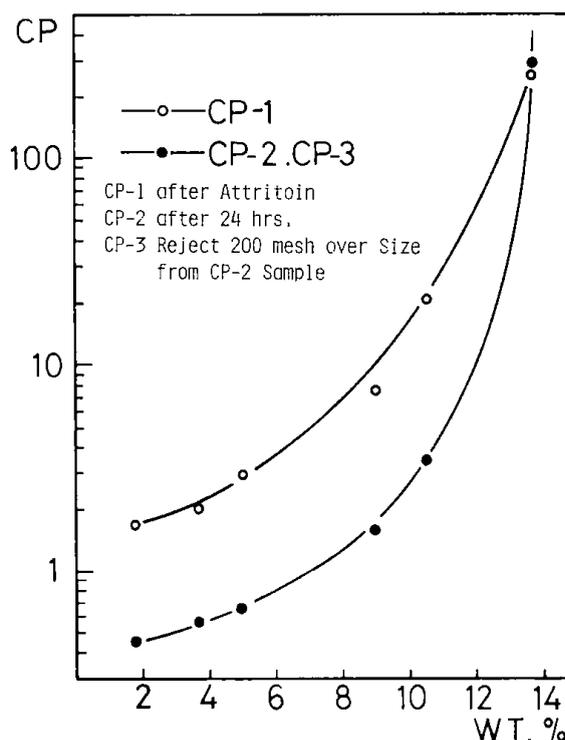
(F-9)

を持つかその影響を観察することが出来る。第8図にF-1からF-9までの示差熱曲線を示した。図中に示されたDTA曲線のうち、下方に向ってベントナイトの品質が良くなり、上方に向って品質が悪くなる。特にF-1, 2, 3は石英, 長石, イライトの混入量が多い試料で, 図中400℃付近にある非常に小さい発熱ピークと, 600℃付近にある非常に小さい吸熱ピークは, 何を意味するかは今のところ判明していない。

9. 懸濁液の性状—固形物濃度と粘性

家庭用ミキサーで湿式解砕した懸濁液の粘性と, 沈降分離させたものの性状(メチレンブルー吸着量)を調べた。

所定のベントナイト試料(前掲, 試料1)に水を加え, 全量を1,000ccとした後, 家庭用のミキサーで約30分間(かく伴強度弱)解砕した。これを東京計器製BL型粘度計で粘度を測定した。この結果を第9図に示した。横軸はベントナイトの固形物濃度, 縦軸は粘度(CP, ローター回転数16)で, Cp-1は解砕直後の粘度を, Cp-2はCp-1の試料の24時間後の粘度を示した。またCp-2で測定した懸濁液から+200メッシュ分を取り除いて測定した結果は, Cp-2と同様であった。この図から判るように, 懸濁液濃度が低い方から10%程度までは粘性が漸増するが, 固形物濃度10%からは粘性が急増することが判った。ベントナイト懸濁液中における混入鉱物の沈降分離に一つの指針を与えるものである。粘性を測定した後の懸濁液を1,000ccのビーカーにとり, 自然沈降による沈積分離を行った。すなわち, 粘性の相違による沈積分離に与える影響を調べるためである。そして



第9図 固形物濃度と粘性

得られた沈積物の重量割合とメチレンブルー吸着量を第9表に示した。表中上段の数列で50, 100, 150, 200, 260, 300は原石50~300grを水1,000ccに懸濁させた固形物量を示し, ()内は実測の懸濁濃度重量%を示した。またNo.1+200, No.2:5時間, No.3:20時間, No.4:50時間, No.5:50時間後の懸濁液のフラクションを示した。ここに示された+200メッシュの重量割合が高くなるにつれて大きくなるのは, 解砕が充分に行われなためと, 粘性が高くてふるい分けが充分に行われない原因によるものと考えられる。メチレンブルー吸着量は, 粒度が細かくなると大きくなる一

第9表 粒度別重量割合とメチレンブルー吸着量

	50(1.76)		100(3.60)		150(5.04)		200(8.96)		260(10.54)		300(13.59)	
	Wt.%	MB	Wt.%	MB	Wt.%	MB	Wt.%	MB	Wt.%	MB	Wt.%	MB
No.1	2.8	12	4.7	14	7.3	8	13.7	6	15.4	6	15.0	4
No.2	23.4	20	29.3	22	23.2	22	24.9	28	13.8	22	85.0	54
No.3	8.6	42	9.8	44	11.3	40	13.3	40	13.3	34		
No.4	12.1	54	16.8	56	16.9	52	16.4	52	14.2	44		
No.5	53.1	78	39.4	80	41.3	76	31.7	74	43.3	72		
	100.0	57	100.0	52	100.0	50	100.0	45	100.0	46	100.0	47

No.1:200, No.2:5時間, No.3:20時間, No.4:50時間, No.5:50時間後の懸濁液

般的傾向を示すが、パルプ濃度との関係は明瞭ではない。以上述べた結果は、羽幌ベントナイトを湿式で取り扱う場合の一指針を与えるものである。

10. 自然沈降と遠心分離試験

懸濁液からベントナイトを分離回収する方法を検討するために、自然沈降と遠心分離の試験を行った。ベントナイト試料1, 2 (前掲, 第2表) に水を加え、全量を1,000ccとした後、家庭用のミキサーで2分間解砕した。この懸濁液を1,000ccのメスシリンダーに取り、24時間の自然沈降分離を行い、懸濁部、沈降部の重量割合と固形物濃度を測定した。その結果を第10表に示した。表中で30, 50, 100は水1,000ccに懸濁させた試料量を示し、(第10表)内は実測の懸濁濃度重量%を示した。試料1では、懸濁部の重量割合が多いので上, 中, 下(メスシリンダー上から, 上-400cc, 中-400cc, 下-沈降部まで)と分け測定した。この

表から明らかのように、試料2(含沸石ベントナイト)は自然沈降で分離回収が可能であるが、試料1(高品位のベントナイト)は沈降部の重量割合が低く、自然沈降では分離不可能と考えられる。

そこで遠心力による分離を考え、遠心分離実験を行った。試料は自然沈降実験の懸濁部を用い、遠沈管に試料10ccを取り、遠心機(国産H-15A)により、回転数2,000rpmで遠心分離を行った。時間は1, 2.5, 4, 5, 7, 10, 20分間で行い、それぞれのベントナイト回収率と固形物濃度を測定した。その結果を第11表に示した。この表中の数値から判るように、遠心力によるベントナイトの回収率は最大58%であり、実操業で遠心分離する場合には、これ程の時間をかけられないこともあって、高々30~40%の回収率になることが予想される。以上述べた結果は、羽幌ベントナイトの湿式選鉱の基礎データとする。

第10表 懸濁部、沈降部の重量割合と固形物濃度

		試料1					
		30(2.39)		50(4.04)		100(8.37)	
		Wt.%	Solid %	Wt.%	Solid %	Wt.%	Solid %
懸濁部	上	26.3	1.06	28.0	2.83	29.4	6.02
	中	29.0	1.74	29.5	2.99	31.9	6.73
	下	17.0	2.16	13.7	3.16	14.1	7.24
沈降部		27.7	34.06	28.8	44.13	26.6	45.64
全体		100.0	2.39	100.0	4.04	100.0	8.38
		試料2					
		30(1.99)		50(3.54)		100(7.70)	
		Wt.%	Solid %	Wt.%	Solid %	Wt.%	Solid %
懸濁部		16.9	0.35	15.4	0.59	16.3	1.50
沈降部		83.1	41.25	84.6	43.90	83.7	39.29
全体		100.0	1.99	100.0	3.54	100.0	7.70

第11表 遠心分離によるベントナイト回収率と固形物濃度

試料 1							
	30(1.87)		50(3.21)		100(7.22)		
	Wt. %	Solid %	Wt. %	Solid %	Wt. %	Solid %	
1 分	12.86	12.86	12.53	14.02	13.97	18.29	
2.5	20.16	13.58	16.53	15.84	19.29	22.55	
4	22.98	13.07	20.98	15.86	21.84	20.51	
5	25.99	13.07	22.19	16.04	22.77	21.94	
7	27.98	13.24	25.25	15.59	23.77	22.05	
10	32.11	12.97	28.12	15.71	26.30	22.73	
14	34.30	12.68	30.27	15.31	28.46	23.08	
20	38.78	12.23	33.66	14.95	31.45	22.18	
試料 2							
	30(0.35)		50(0.59)		100(1.50)		
	Wt. %	Solid %	Wt. %	Solid %	Wt. %	Solid %	
1 分	21.91	9.93	24.64	10.84	21.50	15.81	
2.5	36.58	10.72	33.82	13.37	30.41	17.66	
4	42.98	10.99	39.63	14.53	36.26	19.60	
5	45.39	14.56	42.58	14.94	40.89	20.38	
7	49.49	11.74	48.28	13.43	44.38	20.01	
10	51.98	12.64	51.15	15.52	50.13	19.99	
14	56.29	14.67	55.71	16.15	54.17	20.95	
20	59.30	13.84	58.33	15.76	58.11	19.86	

30, 50, 100は水1000ccに懸濁させた試料量 g, ()内は実測の懸濁液濃度 (重量%)

Wtはベントナイト回収率 (重量%), 回転数は2000rpm

11. サイクロンによる分級試験

羽幌ベントナイトの湿式分級性を検討するために、サイクロンを用いた分級試験を行った。使用したサイクロンはセラミック製とステンレス製の2種類のペンシル型で、その仕様と実験条件を第12表に示した。

試料(前掲, 試料1)をボールミルで湿式解砕後、200メッシュのふるい下をサイクロンの分級試験用試料とした。使用した試料の粒度構成を第13表に示した。供試験用サイクロンに対して、給鉱濃度と流入圧を決めて試験を行い溢流と排泥の

流量, 濃度, メチレンブルー吸着量, 粒度構成そして鉱物組成を検討した。その結果を第14, 15, 16表に示した。これらの結果から、フィードの流入速度に対する排泥の濃度および濃縮比などを検討した。給泥濃度は一応3%としたが、固形物濃度と粘性の関係(前掲)から、最大5%まで位と考えられる。このサイクロンを用いて粗粒分の分離あるいは除去することは問題はないが、微粒になると、濃縮が大へん困難になる。しかし含有する不純物鉱物(石英, 長石, クリストバライト)の除去には若干の効果が期待できる。

第12表 サイクロン仕様と実験条件

実験番号	1	2	3	4	5	6	7
サイクロン口径mm							
fd	7	5	1×3	2×2	2×2	2×2	1×3
of	7	7	2	3	3	3	2
uf	5	3	1	2	2.5	2.5	1
材 質	磁 性	磁 性	磁 性	磁 性	磁 性	ステンレス	磁 性
試料番号	2	2	3	3	3	3	4
流入圧	1-3.2	1-3.3	1-3.6	1-3.6	1-3.5	1-3.4	1-3.3

fd：供給, of：溢流, uf：排泥

第13表 供 試 料 の 粒 度 構 成

粒 度	計料1		試料2		試料3		試料4	
	wt %	Σwt %	wt %	Σwt %	wt %	Σwt %	wt %	Σwt %
+44 μ	59.40	59.40	0	0	0	0	0	0
44 -29.9	2.76	62.16	4.04	4.04	1.52	1.52	0.96	0.96
29.9 -20.0	1.68	63.84	2.54	6.58	0.91	2.43	0.22	1.18
20.0 - 9.9	3.44	67.28	6.55	13.13	3.42	5.85	0.32	1.50
9.9 - 4.9	3.22	70.50	7.24	20.37	5.56	11.41	0.46	1.96
4.9 - 1.6	4.03	74.53	7.64	28.01	12.02	23.43	5.83	7.79
-1.6	25.47	100.00	71.99	100.00	76.57	100.00	92.21	100.00
バルブ濃度	3.01		2.63		2.32		2.03	
比 重	2.51		2.56		2.55		2.53	
M B A 値	62		66		72		78	

第14表 流 量, 濃 度, M B A 値

実験1

流入圧	流量 l/min			濃度 wt %		M B A 値	
	供給	溢流	排泥	溢流	排泥	溢流	排泥
1 kg/cm ²	12.40	9.48	2.92	2.28	3.08	70	58
2	15.33	11.47	3.86	2.23	3.17	72	56
3	19.17	14.38	4.79	2.27	3.17	70	54
3.2	19.77	14.94	4.83	2.27	3.21	70	56

実験2

1 kg/cm ²	10.15	8.98	1.17	2.38	4.42	70	48
2	12.44	11.15	1.29	2.37	4.89	70	44
3	15.44	14.05	1.39	2.31	4.83	72	44
3.3	15.41	14.03	1.38	2.35	5.34	70	40

実験 3

1	kg/cm ²	1.70	1.32	0.38	2.37	2.78	68	60
2		2.22	1.74	0.48	2.31	2.74	66	64
3		2.60	2.11	0.49	2.37	2.90	68	62
3.6		2.72	2.22	0.50	2.33	2.92	72	60

実験 4

1	kg/cm ²	2.29	1.63	0.66	2.17	3.06	70	56
2		2.90	2.09	0.81	2.15	3.20	74	56
3		3.43	2.49	0.94	2.13	3.31	78	54
3.6		3.64	2.66	0.98	2.09	3.30	82	56

実験 5

1	kg/cm ²	2.50	1.40	1.10	2.17	2.79	72	68
2		3.17	1.81	1.36	2.17	2.83	72	60
3		3.77	2.18	1.59	2.09	2.90	72	66
3.5		3.99	2.32	1.67	2.09	2.90	74	66

実験 6

1	kg/cm ²	2.41	1.28	1.13	2.31	2.74	70	64
2		2.98	1.61	1.37	2.27	2.79	74	62
3		3.54	1.95	1.59	2.21	2.85	70	60
3.4		3.61	1.99	1.62	2.21	2.93	74	62

実験 7

1	kg/cm ²	1.71	1.35	0.36	2.19	2.29	72	68
2		2.42	2.01	0.41	2.23	2.39	74	66
3		2.48	2.01	0.47	2.19	2.43	72	66
3.3		2.60	2.12	0.48	2.17	2.42	72	66

第15表 溢流, 排泥の粒度構成

実験 1

流入圧	1				2				3			
	of		uf		of		uf		of		uf	
	wt %	∑ wt %	wt %	∑ wt %	wt %	∑ wt %	wt %	∑ wt %	wt %	∑ wt %	wt %	∑ wt %
+44 μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44 -29.9	0.75	0.75	1.53	1.53	0.98	0.98	0.70	0.70	1.17	1.17	1.55	1.55
29.9 -20.0	0.98	1.75	3.40	4.93	0.90	1.88	4.05	4.75	0.17	1.34	2.59	4.14
20.0 - 9.9	2.26	3.99	11.62	16.55	2.37	4.25	11.09	15.84	2.43	3.77	11.08	15.22
9.9 - 4.9	4.14	8.13	12.32	28.87	3.84	8.09	12.43	28.27	3.69	7.46	13.44	28.66
4.9 - 1.6	11.37	19.50	11.51	40.38	11.27	19.36	12.61	40.88	10.73	18.19	12.98	41.64
-1.6	80.50	100.00	59.62	100.00	80.64	100.00	59.12	100.00	81.81	100.00	58.36	100.00

(16)

実験 2

+44 μ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	-29.9	1.18	1.18	2.25	2.25	0.98	0.98	2.36	2.36	0.89	0.89	1.81	1.81
29.9	-20.0	1.04	2.22	7.03	9.28	1.72	2.70	7.07	9.43	0.64	1.53	6.70	8.51
20.0	-9.9	2.21	4.43	23.52	32.80	1.56	4.26	24.76	34.19	1.70	3.23	22.22	30.73
9.9	-4.9	6.65	11.08	15.35	48.15	5.32	9.58	18.48	52.67	4.51	7.74	21.19	51.92
4.9	-1.6	11.74	22.82	9.65	57.80	11.14	20.72	9.66	62.33	11.70	19.44	11.01	62.93
-1.6		77.18	100.00	42.20	100.00	79.28	100.00	37.67	100.00	80.56	100.00	37.07	100.00

実験 3

+44 μ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	-29.9	0.78	0.78	2.58	2.58	1.30	1.30	2.41	2.41	1.30	1.30	2.35	2.35
29.9	-20.0	1.00	1.78	2.06	4.64	1.54	2.84	2.13	4.54	0.81	2.11	1.85	4.20
20.0	-9.9	1.71	3.49	5.63	10.26	1.46	4.30	4.47	9.01	2.52	4.63	5.59	9.79
9.9	-4.9	4.57	8.06	7.62	17.88	4.46	8.76	6.40	15.41	3.91	8.54	7.95	17.74
4.9	-1.6	10.39	18.45	12.12	30.00	10.79	19.55	12.10	27.51	10.16	18.70	13.41	31.15
-1.6		81.55	100.00	70.00	100.00	80.45	100.00	72.49	100.00	81.30	100.00	68.85	100.00

実験 4

+44 μ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	-29.9	0.83	0.83	2.49	2.49	1.46	1.46	2.53	2.53	1.32	1.32	2.12	2.12
29.9	-20.0	0.16	0.99	1.82	4.31	0.52	1.98	2.30	4.83	0.44	1.76	1.65	3.77
20.0	-9.9	0.50	1.49	7.17	11.48	0.26	2.24	6.59	11.42	0.26	2.02	6.86	10.63
9.9	-4.9	1.98	3.47	11.05	22.53	1.03	3.27	12.01	23.43	1.06	3.08	11.95	22.95
4.9	-1.6	8.74	12.21	13.05	35.58	7.39	10.66	15.06	38.49	6.87	9.95	66.07	38.65
-1.6		87.79	100.00	64.42	100.00	89.34	100.00	61.51	100.00	90.05	100.00	61.35	100.00

実験 5

+44 μ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	-29.9	0.99	0.99	1.38	1.38	1.26	1.26	2.03	2.03	0.68	0.68	1.38	1.38
29.9	-20.0	0.50	1.49	1.76	3.14	0.92	2.18	1.24	3.27	0.34	1.20	1.51	2.89
20.0	-9.9	0.08	1.57	4.65	7.79	0.25	2.43	4.26	7.53	0.35	1.55	3.74	6.63
9.9	-4.9	1.16	2.73	8.06	15.85	0.25	2.68	8.83	16.36	0.43	1.98	8.27	14.90
4.9	-1.6	7.04	9.77	12.77	28.62	5.95	8.63	13.29	29.65	5.58	7.56	14.76	29.66
-1.6		90.23	100.00	71.38	100.00	91.37	100.00	70.35	100.00	92.44	100.00	70.34	100.00

実験 6

44 μ		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	-29.9	1.22	1.22	1.62	1.62	1.24	1.24	1.82	1.82	0.68	0.68	1.34	1.34
29.9	-20.0	0.25	1.47	1.04	2.66	0.25	1.49	1.76	3.58	0.17	0.85	0.95	2.29
20.0	-9.9	0.16	1.63	3.38	6.04	0.08	1.57	2.99	6.57	0.26	1.11	3.82	6.11
9.9	-4.9	0.66	2.29	8.83	14.87	0.17	1.74	8.46	15.03	0.34	1.45	7.84	13.95
4.9	-1.6	7.91	10.20	10.91	25.78	7.61	9.35	12.10	27.13	5.52	6.97	13.88	27.83
-1.6		89.80	100.00	74.22	100.00	90.65	100.00	72.87	100.00	93.03	100.00	72.17	100.00

実験 7

+44 μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44 -29.9	0.74	0.74	0.41	0.41	1.17	1.17	1.10	1.10	1.25	1.25	0.71	0.71
29.9 -20.0	0.25	0.99	0.33	0.74	0.34	1.51	0.71	1.81	0.34	1.59	0.63	1.34
20.0 - 9.9	0.57	1.56	1.24	1.98	0.42	1.93	1.19	3.00	0.17	1.76	0.95	2.29
9.9 - 4.9	0.82	2.38	0.74	2.72	0.75	2.68	1.57	4.57	0.25	2.01	2.06	4.35
4.9 - 1.6	6.58	8.96	8.66	11.38	7.12	9.80	9.78	14.35	6.10	8.11	9.26	13.61
-1.6	91.04	100.00	88.62	100.00	90.20	100.00	85.65	100.00	91.89	100.00	86.39	100.00

of: 溢流, uf: 排泥

第16表 鉱物組成(X線回折による)

実験 2

溢流	MON	CRI	QUA	FEL	排泥				
1 kg/cm ²	1.04	0.76	0.88	0.81	1 kg/cm ²	0.86	1.33	1.32	1.37
2	1.06	0.78	0.84	0.80	2	0.80	1.28	1.24	1.03
3	1.12	0.77	0.90	0.82	3	0.79	1.35	1.37	1.13
3.3	0.98	0.76	0.82	0.70	3.6	0.80	1.44	1.34	1.11

排泥

溢流				
1 kg/cm ²	0.84	1.20	1.44	1.28
2	0.79	1.36	1.94	1.34
3	0.75	1.42	2.41	1.42
3.3	0.75	1.45	1.84	1.16

実験 4

溢流			
1 kg/cm ²	0.98	0.81	0.08
2	0.98	0.75	0.73
3	0.97	0.74	0.73
3.6	0.92	0.71	0.72

実験 7

溢流

1 kg/cm ²	0.95	0.93	0.91
2	1.02	0.99	1.00
3	0.84	0.91	0.98
3.3	0.84	0.98	1.09

排泥

1 kg/cm ²	0.82	1.27	1.17
2	0.95	1.10	1.22
3	0.91	1.12	1.17
3.3	0.79	1.10	1.23

MON: モンモリロナイト, CRI: クリストバライト, QUA: 石英, FEL: 長石類

12. 粒度別試料の性状と湿式解砕

ベントナイトの原石の選鉱性を明らかにするために、試料を水中で解砕し、粒度別にその性状を調べた。これによってその性状がさらに明らかになった。

鉱床中央部の露頭より採取した試料（前掲、試料1）約300gr（水分約27%）に、精製水約1リットルを加え、家庭用ミキサーで約30分解砕した後、

200、325、400メッシュでふるい分けを行った。400メッシュ通過分にさらに精製水を加え、全量を約2リットルとして、2リットルのビーカー（径約13cm、泥水の深さ約15cm）に入れ、1、20、45時間の沈降分離を行った。45時間後の未沈降分は、マルサンの連続遠心分離機（3,000rpm）で遠心分離を行い、得られた各フラクションの試料を噴霧乾燥した。第17表に粒度別得量を示した。これによると200メッシュ以上が約4%、400メッシュ

第17表 粒度別得量

試料番号	粒度別	得量%	積算↑%
F-1	+200 mesh	4.1	100.0
F-2	200-250 mesh	2.0	95.9
F-3	250-325 mesh	2.4	93.9
F-4	325-400 mesh	15.0	91.5
F-5	400 mesh-1 hour settling	2.9	76.5
F-6	1-20 hours settling	13.0	73.6
F-7	20-45 hours settling	8.9	60.6
F-8	Recovery by centrifuge	35.8	51.7
F-9	Overflow of centrifuge	15.9	15.9

合計 100.0

以下が実に77%と非常に細かい粒度である。

各フラクションのX線回折によるチャートによる鉱物組成を検討した結果から明らかのように、粗粒分とくに200メッシュ以上の粒度分のものには、長石、石英、そしてイライトが多く偏在し、細粒分に向ってこの量が漸次減ずる。モンモリロナイトと α -クリストバライトは、微粒分に向ってその量を増加し、最後はこの2つだけの鉱物組成になる。第18表に粒度別試料のX線強度比（X線強度の一番高い値との比）を示した。これを第10図に粒度別X線強度図として示した。この図によ

って、各粒度別フラクションの鉱物組成の混入度合いが直観的に知ることができる。このようにモンモリロナイトは微粒分に向って多くなる。これにたいして、 α -クリストバライトは微粒分の中に混入するようになる。これが羽幌ベントナイトの鉱物組成の特徴である。

第19表に、これら粒度別フラクションの性状試験結果（水分、膨潤度、陽イオン交換容量、メチレンブルー吸着量）を示した。CEC値は微粒分に向って大きくなり+200メッシュの10.3を最小に最大75.1となる。膨潤度は微粒分に向って大き

第18表 粒度別X線回折強度

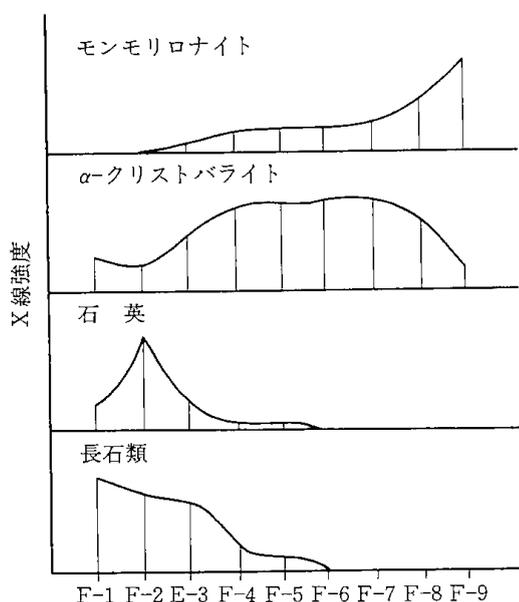
鉱物名	全粒	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9
モンモリロナイト	0.6	—	—	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.6	<u>1.0</u>
α -クリストバライト	0.9	0.4	0.3	0.7	0.9	0.9	<u>1.0</u>	1.0	0.7	0.2
長石	0.6	<u>1.0</u>	0.8	0.7	0.2	0.1	—	—	—	—
石英	0.1	0.3	<u>1.0</u>	0.2	0.1	0.1	—	—	—	—
イライト	0.1	<u>1.0</u>	0.6	0.9	0.2	0.2	0.1	—	—	—

2 θ = モンモリロナイト(15.0)、 α -クリストバライト(4.05)、長石(3.18)、石英(3.34)、イライト(10.0)

第19表 性状試験結果

試料番号	粒度別	MOI	SWP	CEC	MBA
F-1	+200 mesh	0.3	0.9	10.3	2
F-2	200-250 mesh	0.9	1.3	13.8	4
F-3	250-325 mesh	1.6	1.2	23.9	8
F-4	325-400 mesh	4.2	2.6	45.8	28
F-5	400 mesh-1 hour settling	5.2	2.6	45.1	30
F-6	1-20 hours settling	5.7	6.2	58.0	40
F-7	20-45 hours settling	6.3	9.2	60.7	54
F-8	Recovery by centrifuge	8.5	14.9	74.7	72
F-9	Overflow of centrifuge	8.6	19.1	75.1	94

SWP:重量法



第10図 粒度別 X線強度と鉱物組成

くなり、当然メチレンブルー吸着量と水分が大きくなる。以上数値で示したことで伴るように、微粒分に向ってベントナイトの品位が良くなるようである。

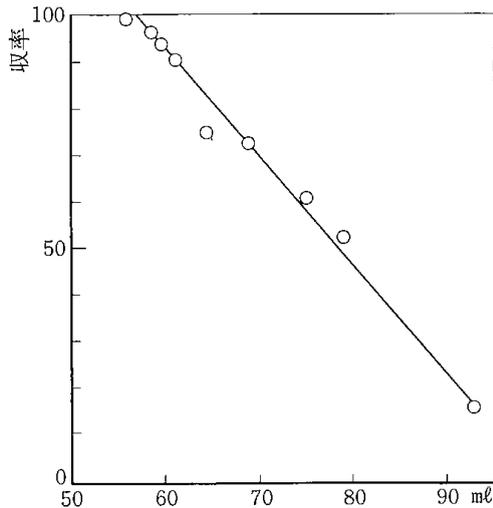
次にこれら性状試験の結果にもとづいて、選鉱設計の基礎資料とするための実収率と品位の関係を調べるために、第20表に示した計算を行った。A欄は各フラクションの重量割合%、B欄はメチレンブルー吸着量、C欄は下段からの(↑)積算重量%、D欄はC欄の得量%に対する計算によるメチレンブルー吸着量である。CとD欄の数値で明かなように、微粒分から回収すると、かなり高品位のものが、高い実収率で回収されることをが判る。これを図示すると第11図のようになる。

先に述べたように、ベントナイト中のモンモロロナイトは簡単に定量出来ないので、メチレンブルー吸着量から推定する簡便法がある。粘土ハン

第20表 解 碎 性 状

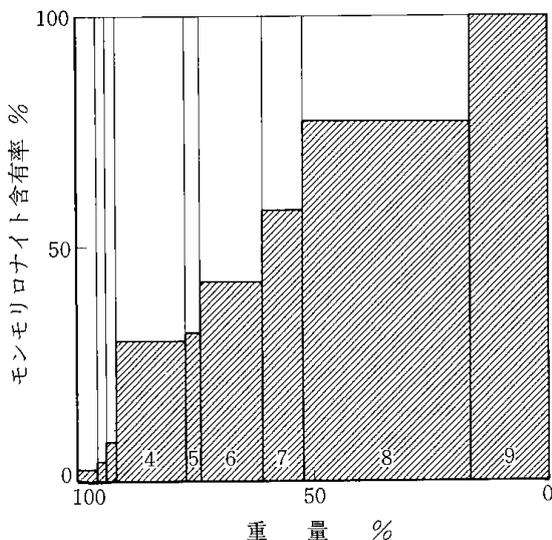
試料番号	粒度別	A	B	C	D	E	F	G
F-1	+200 mesh	4.1	2	100.0	56.2	2.8	2.2	55.9
F-2	200-250 mesh	2.0	4	95.9	58.4	5.6	4.3	58.2
F-3	250-325 mesh	2.4	8	93.9	59.6	11.1	8.5	59.4
F-4	325-400 mesh	15.0	28	91.5	61.0	38.9	30.0	60.7
F-5	400 mesh-1 hour settling	2.9	30	76.5	67.4	41.3	32.1	72.0
F-6	1-20 hours settling	13.0	40	73.6	68.9	55.6	42.8	73.6
F-7	20-45 hours settling	8.9	54	60.6	75.1	75.1	57.8	80.2
F-8	Recovery by centrifuge	35.8	72	51.7	78.8	100.1	77.7	84.1
F-9	Overflow of centrifuge	15.9	94	15.9	94.0	129.7	100.0	100.0
	All Size	100.0	56					

A:重量%、B:メチレンブルー吸着量、C:積算重量%、D:積算メチレンブルー吸着量、E:メチレンブルー量、F:モンモロロナイト含有量%、G:メチレンブルー吸着量 (F-9を100として)



第11図 メチレンブルー吸着量と収率

ドブックによれば米国で掘削泥水中のベントナイト定量計算に次の数値が用いられている。すなわちメチレンブルー溶液 (4.5 gr/100 ml) 1 ml はベントナイト 0.0171 gr に相当する⁴⁾というものである。これを用いると、E欄に示した数値になる。F-8とF-9が100%を超えるので、F-9を100として修正すると下欄の数値になる。すでにX線回折で示したようにF-9の試料は α -クリストバライトを若干混入しているので、モンモリロナイト100%ではないが、この数値を用いて、クリストファーダイヤグラムとを描くと、第12図に示めたようになる。図中斜線部分がモンモリロナイトの量で、白色部分がその他の脈石鉱物の量を示している。



第12図 クリストファーダイヤグラム

以上説明したように、原石(前掲、試料1)を湿式で解砕して、粒度別にわけたものについてその性状を調べると、かなりその内容が詳細になった。

同試料を、乾式でディスクによる粉碎を行いこれを、48, 65, 100, 200, 325メッシュでふるい分けを行ったものについて以上のような試験をした結果では、先に述べたとほぼ同じ傾向の結果を示すが、前述の湿式で行った試験ほどの明瞭さを示さない。ただ、原石中に粗粒の脈石が混入するような場合は、乾式による選択破碎の可能性が充分にあることを特記しておきたい。

13. ベントナイトのゼータ電位

試料1を用いて、ゼータ電位を測定した。使用した装置は英国 RANK BROTHERS 社製の MARK II 型で、縦型セルを使用した。乾燥粉末試料 50mg を 1,000cc の水道水に懸濁させ、数日放置後ベントナイトを充分湿潤させたものを実験に供した。PH の調整には水酸化ナトリウムと塩酸を用いた。

ここで

$$\zeta = \frac{4\pi\mu}{D} \cdot \frac{1}{t} \cdot \frac{A}{i} \cdot \frac{1}{R_s} \times 9 \times 10^{10}$$

ζ : ゼータ電位 (mV)

μ : 水の粘性 (0.0124)

D: 水の透電恒数 (80)

l: 泳動距離 (cm)

t: 泳動時間 (sec)

A: セル断面積 (0.0987 cm²)

i: 直流電流 (mA)

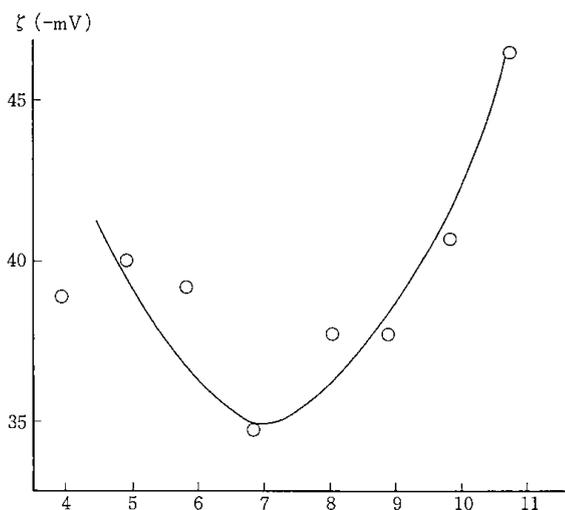
R_s: 測定懸濁液の比抵抗 (Ohm-cm)

測定結果を第21表に示した。なお測定は6往復行い測定値の最大と最小を捨て、残りを平均した。このようにして測定結果を図示すると第13図のようになる。これから判るとおり、PHが中性附近で最小値をとり、PHが高くなるとゼータ電位も大きくなるが、PHが低い領域では、アルカリ側で示す程大きくならない。

第21表 ベントナイトのゼータ電位

pH	3.92		4.92		5.81		6.81		8.02	
K ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	177.3		135.3		131.3		115.7		109.0	
Rs (Ωm)	5640.1		7391.0		7616.1		8643.0		9174.3	
i (μA)	169		128		122		108		100	
v (V)	61		61		61		61		61	
t (sec)	4.70	4.66	4.82	4.79	4.80	4.66	5.41	5.47	5.19	5.19
	4.64	4.82	4.72	4.69	4.66	4.81	5.57	5.56	5.07	5.15
	4.73	5.03	4.67	4.71	5.06	4.81	5.46	5.56	5.24	5.10
	4.98	4.69	4.63	4.73	5.05	5.03	5.36	5.47	5.03	5.11
	4.78	4.92	4.67	4.53	5.02	4.95	5.51	5.33	5.09	5.14
mean(sec)	4.80		4.70		4.89		5.47		5.13	
l (μ)	102.86		102.86		102.86		102.86		102.86	
ζ (mV)	-38.9		-40.0		-39.2		-34.9		-37.8	

	8.89		9.84		10.75	
	121.4		187.3		0.397	
	8237.2		5339.0		2518.9	
	112		173		355	
	61		60		61	
	5.40	4.97	4.60	4.92	4.35	4.17
	4.95	5.00	4.64	4.78	4.37	4.24
	5.16	5.22	4.70	4.76	4.19	4.32
	5.15	5.23	4.79	4.83	4.28	4.34
	5.13	5.20	4.73	4.58	4.29	4.19
	5.11		4.73		4.28	
	102.86		102.86		102.86	
	-37.8		-40.7		-46.5	



第13図 ゼータ電位

14. ガラスビーズによるアトリクション試験

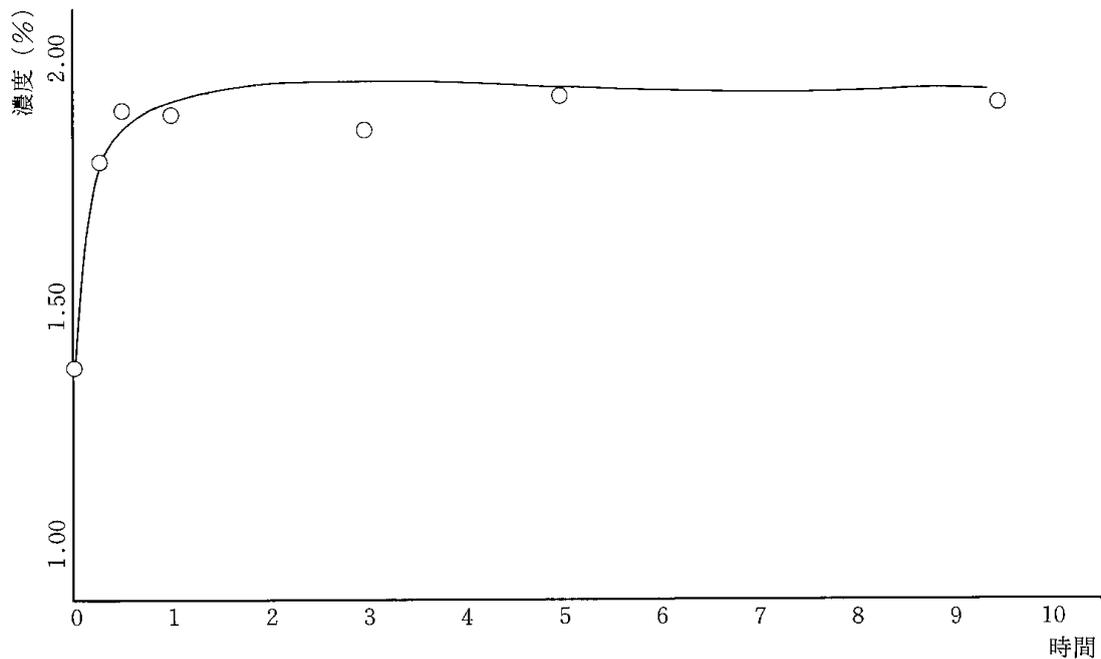
ベントナイトは水中で膨潤し、かつ粒度が非常に細かいことから安定な懸濁液を作るので、懸濁液の安定剤として広く使用されている。そこで粉碎媒体としてガラスビーズを用いた湿式ボールミルによるアトリクションを行い、その結果について検討した。

ベントナイト原石（前掲，試料1）に水を加え、一昼夜以上充分水に濡らしてから、軽くホームミキサーにかけ解砕した後、200メッシュ網を取除いた。この時の-200メッシュの重量割合は約98%である。またこの時の懸濁液濃度は11.2%である（原液）。この原液30ccに精製水30ccを加え（5.6%濃度）、これを磁製ボールミルに投入する。ボールミルの寸法は9φ×9cm（ボールミル容量300cc）で、ガラスビーズ径2mmのものを100cc添加、

171rpmでアトリクション時間を15分、30分、1時間、3時間、5時間、10時間とした。アトリクション終了後、懸濁液を取出し、懸濁液濃度が2%になるように調整した後、100ccの比色管に投入した。そして24時間後、比色管の50ccの計量線の場所から懸濁液を数cc吸い取り、これの固形物濃度を測定した。その結果を第22表に、これを図示すると第14図のようになる。これによって明らかのように、アトリクション時間は30分程度で充分のようである。

第22表 試験結果

時間	濃度%
0分	1.40
15分	1.80
30分	1.91
1時間	1.90
3時間	1.87
5時間	1.94
10時間	1.93



第14図 ガラスビーズによるアトリクション

15. ベントナイトの排水処理試験

1) 羽幌ベントナイト懸濁液のジャーテスト

試料1 (前掲) を供試験試料としてジャーテストにより、フロックの形成と粒度、沈降性また静置後の上澄液の水質 (浮遊物質, 濃度, 色度, COD) などを調べた。現在排水基準値が浮遊物質として 200ppm 以下ということ を考慮して, 試液の濃度は 50ppm, 100ppm, 200ppm の 3 種類とした。使用した凝集剤は無機系凝集剤として硫酸アルミニウム, 有機系高分子凝集剤としては, 水処理業界で用水・排水・汚泥の固液分離等に実績のあるオルフロック (オルガノ) を用いた。オルフロックには, カチオン (強, 中, 弱カチオン), ノニオン, アニオン (強, 中, 弱アニオン) など

多数の製品が市販されているが, 今回は, これらの中から一般的に用いられているもので, カチオン系として強カチオンでは, ジシアンジアミド系 CL-561 (商品名), ポリメタクリル酸エステル系 OX-101, 108 メタクリル酸エステルアクリルアミド共重合体系 OX-700, 中カチオンでは, メタクリル酸エステルアクリルアミド共重合体系 OX-142, 508, 188, 弱カチオンでは, 同上系の OX-202, ノニオン系として, ポリアクリルアミド系 ON-1, アニオン系として, ポリアクリルアミド部分加水分解系の中アニオン AP-1 を用いた。

高分子凝集剤の濃度をそれぞれ 0.05% 溶液, 硫酸アルミニウムは濃度を 1% 溶液を原液とした。実験に用いた高分子凝集剤オルフロックの物性を

第23表 高分子凝集剤

分類	イオン性	商品名	成分	分子量 ($\times 10^4$)	溶解濃度 (%)	CPS 0.25% SOL	pH 0.25% SOL	有効領域 pH	嵩比重	外観
カチオン	強カチオン	CL-561	ジシアン	10	任意	-	4.4	1~8	-	白色粘稠
		CL-531	ジアミド系							
		OX-101	ポリメタクリル酸	750	0.1~0.5	260	3.3	1~12	0.6~0.7	白色顆粒
		OX-108	エステル系	600	0.1~1.0	15	3.9			
		OX-707		650	0.1~0.5	210	4.5			
	OX-505	メタクリル酸	650	350		4.4				
	OX-142	エステル	600	240		4.0				
	中カチオン	OX-508	アクリル	550	0.1~1.0	40	4.2	1~8	0.65~0.7	
		OX-188	アמיד			15				
		弱カチオン	OX-202	共重合物系	550	0.1~0.5	340	1~12		
ノニオン		ノニオン	ON-1	ポリアクリルアמיד系	1000		200	6.0			4.5~11
アニオン	中アニオン	AP-1	ポリアクリルアמיד	800	0.05~0.2	470	7.6	6~12	0.6~0.7	
		OA-8	部分加水分解系							
	強アニオン	OA-5	ポリアクリル酸系			710	9.1	7~14		

第23表に示した。

実験は凝集剤の処理効果を容易に判定するために、各々の懸濁液(濃度50~200ppm)に凝集剤を添加(1 ml, 2.5 ml, 5 ml, 10 ml, 20 ml)する単独処理、および硫酸アルミニウムの一定量(5 ml)を添加したのち、高分子凝集剤を添加する併用処理を行った。ジャーテストに用いた装置はエバラ製の4連式のものである。検水500 mlをビーカーに取り、均一にかくはんしたのち、原液のPHと濁度を測定する。次に凝集剤を添加して同様にPHを測定し、設定された凝集条件PH7.0に調整する。設定条件は、河川の水質基準PH6.5~8.5、および放流時の二次的な操作を省くため、PH7.0を選定した。調整剤として、0.1N水酸化ナトリウムおよび塩酸(2+1)の溶液を用いた。調整された検水を装置上にセットし、急速かくはん(120 rpm)5分、緩速かくはん(30 rpm)15分を行ったのち、静置時間を30分という条件で行われた。この間、溶液およびフロックの状態観察(発生から沈降分離、スラッジ量、性状等)を各段階ごとに行った。上澄液については、溶液のPH、濁度を測定した。なお濁度測定は日本精密光学SEP-L型No.7044を用いた。

ベントナイト排水(濃度50, 100, 200 ppm)について、これらの凝集剤の添加量(1, 2.5, 5, 10, 20 ml)を変化させて行った単独凝集処理および併

用凝集処理におけるジャーテストの除濁率を第24表に示した。なお2.5 mlの単独処理の結果を一例として第15図に示した。これらの結果から次のことが判明した。

①単独処理では、凝集剤のイオン特性の相異による効果が顕著に見られる。すなわち、強カチオン性の凝集剤ほど良好である。また添加量についても少量であれば弱カチオンから強カチオン性の間に差異が生じている。ベントナイト排水の各濃度(50~200 ppm)では、凝集剤の添加量が少量であれば、濁度の相異による処理効果としての差異が見られる。②併用処理では、イオン特性の相異、添加量の相異、ベントナイト排水の濁度の相異等による顕著な処理効果は見られない。

これらを総合して、ベントナイト排水の濁質除去に用いる凝集処理では、単独凝集処理の場合は凝集剤のイオン特性の影響が強いため、これらを考慮する必要あり、併用凝集処理の場合は、硫酸アルミニウム添加による凝集効果が素地的にあり、これらによってほとんどイオン特性の影響を受けないものと思われる。公害防止対策としては、併用凝集処理の方がより安全を期する意味から見ても妥当なものと考えられる。

2) フィルタープレス排水の懸濁液のジャーテスト

研究室で実施したフィルタープレスの試験は満

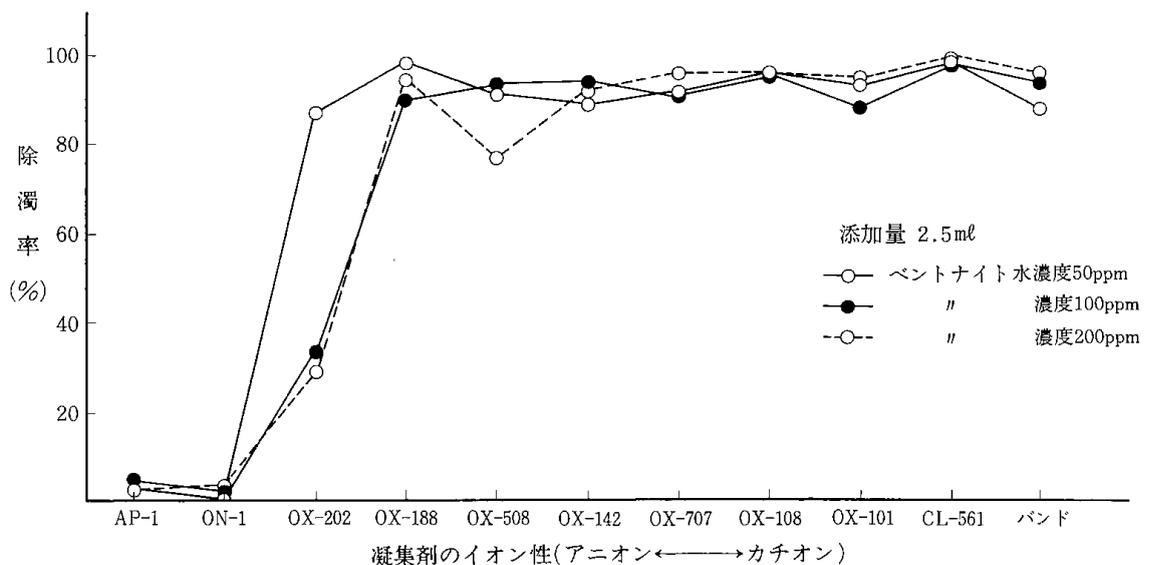
第24表 除 濁 率

単独処理		1			2.5			5			10			20		
添加量ml	濃度 ppm	50	100	200	50	100	200	50	100	200	50	100	200	50	100	200
AP-1		18.6	6.8	3.1	2.2	5.1	3.2	2.8	4.0	19.5	13.1	5.7	8.3	0.5	6.8	20.5
ON-1		28.4	4.2	11.4	0.0	2.7	3.7	7.0	2.9	3.8	19.8	9.4	6.9	1.7	6.4	14.6
OX-202		3.0	24.2	24.3	87.9	34.0	30.1	90.2	87.0	45.5	31.3	87.0	84.1	88.6	97.8	95.8
OX-188		85.5	54.0	37.1	98.0	90.2	95.5	90.5	99.4	85.7	96.2	91.7	97.4	92.7	94.3	97.1
OX-508		57.7	35.4	23.9	91.6	93.0	76.7	96.5	97.5	96.8	93.5	94.4	97.5	89.0	92.4	96.8
OX-142		78.8	65.7	52.0	89.2	94.6	92.7	96.8	98.1	96.9	94.2	92.8	97.5	90.1	95.1	97.5
OX-707		93.1	63.3	53.0	91.6	91.8	96.1	94.6	98.2	90.9	96.2	93.9	97.6	89.0	90.3	96.7
OX-108		89.7	84.4	67.7	96.1	93.3	96.4	96.0	98.3	92.4	94.7	95.7	97.5	94.3	97.7	95.9
OX-101		89.8	84.9	74.4	93.2	88.5	94.4	93.9	95.4	95.4	93.2	98.1	96.0	85.4	93.9	96.3
CL-561		98.2	85.5	92.3	98.1	98.4	95.5	87.2	98.1	96.0	92.3	96.0	97.6	42.2	93.9	96.5
バンド		88.8	95.2	—	88.7	94.1	96.2	84.7	93.4	93.5	89.0	94.4	96.7	79.1	93.9	95.9

併用処理

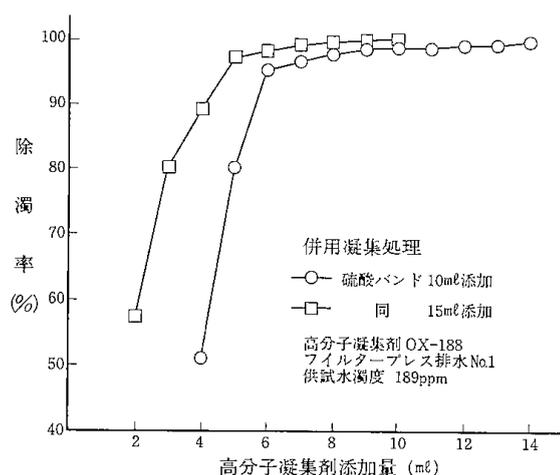
バンド添加量ml 5

併用処理		1			2.5			5			10			20		
添加量ml	濃度 ppm	50	100	200	50	100	200	50	100	200	50	100	200	50	100	200
AP-1		88.1	96.3	98.3	92.9	96.2	83.6	92.7	92.6	99.6	92.7	97.1	98.4	94.9	92.5	98.6
ON-1		86.4	93.2	98.1	93.6	96.1	100.0	95.5	96.1	99.2	94.5	97.2	98.3	93.2	96.5	97.5
OX-202		92.7	95.2	90.6	88.1	98.1	99.7	93.2	96.2	98.8	89.4	96.3	98.4	92.3	96.5	98.4
OX-188		90.5	93.3	97.8	96.4	91.9	98.5	89.9	95.5	98.6	89.8	94.6	99.8	90.8	93.9	96.8
OX-508		96.3	97.0	100.0	95.8	99.4	100.0	92.9	96.2	96.0	94.7	99.6	98.4	94.5	97.3	96.8
OX-142		90.5	93.3	100.0	96.4	96.2	100.0	89.9	96.2	98.1	94.9	98.2	98.0	96.3	93.7	97.1
OX-707		89.2	94.4	98.6	89.4	94.4	98.6	92.7	94.4	98.3	94.5	97.2	99.2	94.5	95.5	97.1
OX-108		94.9	98.0	98.7	96.4	96.3	100.0	96.4	94.4	98.2	96.7	96.4	99.2	95.5	96.3	99.2
OX-101		92.9	98.0	99.6	96.4	97.2	100.0	92.9	96.1	97.8	91.8	98.2	100.0	96.5	98.1	97.2
CL-561		73.8	92.6	99.5	96.6	96.3	97.6	94.7	92.4	97.5	89.0	95.2	97.8	77.5	92.2	99.0

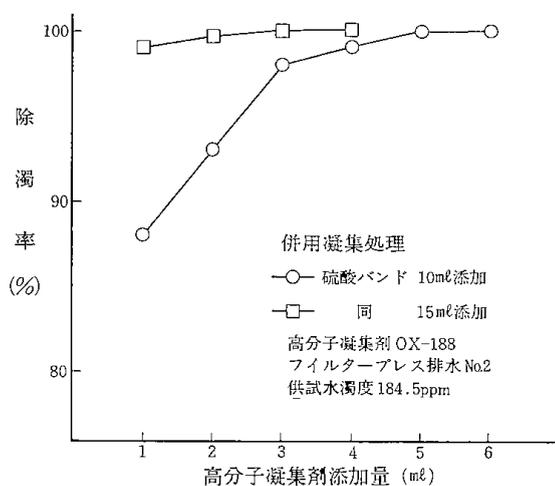


第15図 単独処理における凝集剤の除濁効果

足な結果が得られなかったが、その際得られたろ液をフィルタープレス排水として、水処理の実験に供することにした。実験はフィルタープレス水の懸濁液のジャーテストを行い、その処理効果を検討した。フィルタープレス排水の試水は、原液濁度が1,890 ppmのものをNo. 1, 3,691 ppmのものをNo. 2とした。ジャーテスト用の供試水には、No. 1, は10倍, No. 2 は20倍に希釈したものをを用いた。無機系凝集剤として硫酸アルミニウム, 高分子凝集剤として中カチオン OX-188 をを用いた。これらの凝集剤の濃度については、前節1) で使用したときのものと同じである。実験は併用凝集処理における処理効果を容易に比較するために、硫酸アルミニウムの添加量を10 ml と15 ml とした。除濁率100%における高分子凝集剤の添加量を求めるために、添加量を1 ml から逐次1 ml ずつ増加させて4 ml ~14 ml まで行った。



第16図 添加量の変化による除濁効果



第17図 添加量の変化による除濁効果

ベントナイトのフィルタープレス排水No. 1, No. 2について、併用凝集処理における硫酸アルミニウムの一定量(10 ml, 15 ml 添加)と高分子凝集剤 OX-188を用いて、その添加量を逐次変化させたときのジャーテストによる除濁効果を第16, 17図に示した。これらの結果から次のことが判明した。

①フィルタープレス排水No. 1 とNo. 2 は、その性状が明らかに相異している。すなわち、除濁率100%における高分子凝集剤 OX-188 の添加量は2倍以上である。②同一のフィルタープレス排水では、硫酸バンド添加量の相異による除濁効果の差異が見られる。すなわち硫酸バンド量の増加により除濁率100%における高分子凝集剤 OX-188 の添加量は30%前後減少している。

これらを総合して排水処理を凝集操作の面から考えると、現場における排水の水量および水質(濁度)の負荷量を把握し、その運用として、最適な凝集処理の諸条件(経済性, 効率化, 安定化, 管理の適正化等)を検討する必要がある。

3) 凝集処理および汚泥処理の処理経費

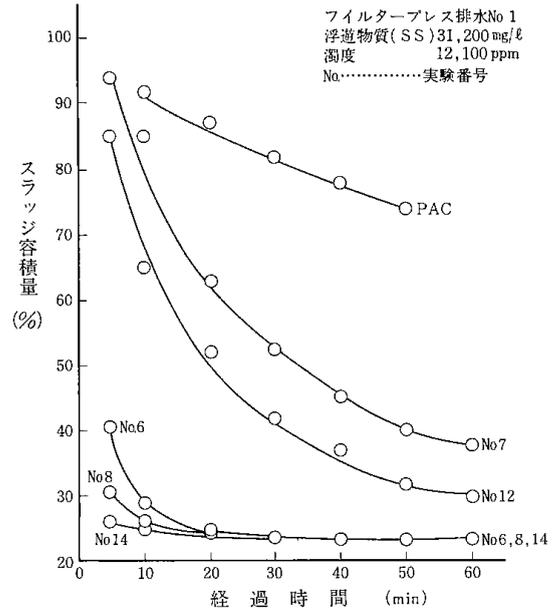
フィルタープレス排水No. 1 を凝集処理用No. 2 を汚泥処理用とした。これらの浮遊物質(SS)はNo. 1 が31,300mg/ℓ, No. 2 が52,200mg/ℓである(ガラスセイロ紙ワットマンGF/B使用)。同様に濁度は12,100ppm, 16,400ppmである(透過光濁度)。ジャーテストにはNo. 1 では10倍に希釈したものを供試体とした。凝集処理に用いたものは、カチオン系ではCN-531, 561, OX-101, 505, 202, PAC, ノニオン系ではON-1, アニオン系ではOA-8, 5である。PH調整剤として1N硫酸および5%水酸化ナトリウムを用いた。汚泥処理に用いたものは、カチオン系ではPAC, CL-531, 561, アニオン系ではOA-8である。カチオン, アニオン凝集剤の溶解濃度はいずれも0.1%溶液である。尚PAC(ポリ塩化アルミニウム)は市販品の10%溶液である。

凝集処理については、ジャーテストとシリンダーテストを行った。無機凝集剤とPHの調整(7.0)等の前処理を行ったのち、供試水を500 ml のビーカーに採取する。つぎに有機凝集剤を添加し、急速かくはん(160 rpm)5秒, 緩速かくはん(80 rpm)5分間行い、その間にフロックの生長速度, 径の測定を行う。かくはん終了後には、静置時におけるフロックの沈降性を調べる。これらの中から一部分のものについて、シリンダーテストによるスラッジの沈降濃縮性を測定した。これらの実

(26)

験において、手順上に多少の変動（凝集剤の使用について）があった。汚泥処理については、脱水テスト（ろ布によるスクリーン）が行われた。スクリーンの手順は、スラッジ 500 ml を 1 リットルのビーカーに採取し、凝集剤（カチオンとアニオン）を所定量添加させたのち、かくはん操作によりフロックを熟成させる。つぎに 1 リットルのシリンダー上のろ布（50メッシュ）を張ったろ斗により、重力ろ過脱水を行い、2 分間における液量とその清澄度を測定する。またろ布上のケーキの脱水性（絞り易さ）を手絞りにより同様に測定する。ケーキのろ布よりのはくり性および脱水液の清澄度を確認した。

フィルタープレス排水No.1 のジャーテストによる凝集処理の実験結果を表25表、シリンダーテストによるスラッジの経時変化を第18図に示した。これらの結果から次のことが判明した。



第18図 シリンダーテストによるスラッジの経時変化

第25表 ジャーテストによる凝集処理

No.	凝 集 剤		添 加 量 mg/l		pH		フロック 生長速度 (秒)	フロック 径 (mm)	清 澄 (◎○△)
	無 機	高 分 子	無 機	高 分 子	未 調	調 整			
1	PAC		400		5.8			微 細	△
2	PAC		500		5.2			微 細	○
3	PAC		600		4.8			微 細	△
4		CL-531		100	9.0		5	1 ~ 2	△
5		CL-531		200	9.3		5	1 ~ 2	○
6		CL-531		300	9.3		5	1 ~ 2	○
7	PAC	OA-5	900	6	4.8	7.0		1 ~ 2	○
8		CL-531		300	9.2			1 ~ 2	
		OA-5		2 ~ 6		7.0		1 ~ 3	○
9		CL-531		300	9.2			1 ~ 2	
		OA-8		2 ~ 6		7.0		1 ~ 3	○
10		CL-531		300	9.2			1 ~ 2	
		ON-1		2 ~ 6		7.0		1 ~ 4	○
11	PAC	OA-8	900	2	4.8	7.0		~ 1	○
12	PAC	OA-8	900	4				1 ~ 2	◎
13		CL-531		300	9.2				
		OA-8		2		7.0		1 ~ 2	○
14		CL-531		300	9.2				
		OA-8		4		7.0		1 ~ 3	◎

フィルタープレス排水No.1, 浮遊物質(SS) 31,300mg/l, 濁度 12,100ppm

①カチオン性凝集剤 PAC の添加範囲は、400～900 mg/ℓ (Al₂O₃ 40～90 mg/ℓ), カチオン性高分子凝集剤 CL-531, 561 では、100～300 mg/ℓ が有効である。また OX-100, 505, 202 等は、その効果は認められない。②フロック成長を目的とするアニオン性高分子凝集剤 OA-8 の添加範囲は、2～6 mg/ℓ が有効である。また ON-1, OA-5 は優劣をつけがたいが、その効果は劣る。③フロックの分離性は、カチオン性高分子 CL-531 と

アニオン性高分子の併用添加が効果的である。

フィルタープレス排水No.2 のスクリーンによる脱水処理の実験結果を第26表に示した。これらの結果から次のことが判明した。懸濁物質が微細であり、しかも濃度が高いため、各薬剤の添加率が大幅に高い。また脱水に寄与するフロック強度、その他手絞り、はくり性、ろ液の清澄度は CL-531, 561 の方が、脱水性は PAC の方が良好である。

第26表 スクリーンによる脱水処理

No.	凝集剤	添加率		フロック径 (mm)	ろ液水量 (ml)				清澄 (○×)	手絞り (○×)	フロック強度 (○×)	手絞り分離水 (ml)	全ろ過水量 (ml)
		(%/TS)	(mg/ℓ)		30 sec	60 sec	90 sec	120 sec					
1	PAC	17.24	90	微細									
	OA-8	0.068	36	1～3	412	510	530	540	○	○	△	285	825
2	CL-531	8.62	45	微細～1									
	OA-8	0.068	36	2～3	370	390	420	430	○	◎	○	395	825
3	CL-561	8.62	45	1～2									
	OA-8	0.068	36	2～3	420	430	450	480	○	◎	○	375	855

フィルタープレス排水No.2, 浮遊物質(SS)52,200ppm, 濁度 16,400ppm

4) 排水処理費と処理系統

フィルタープレス排水No.1 を凝集処理する場合、カチオン性凝集剤としてPACまたはCL-531(561)を添加し、一次凝集反応を行ったのちにPH調整を行い、次にアニオン性凝集剤 OA-8 を添加し、フロックを成長させることで放流可能な処理水を得ることが出来る。ランニングコストを試算すると下記の通りである。なお薬剤の単価を次の通りとする。PAC @70, NaOH @120, H₂SO₄ @80, CL-531 @550, OA-8 @1,400, CL-561 @550

$$(1) \text{ PAC} + (\text{NaOH}) + \text{OA-8} \rightarrow 63\text{円}/\text{m}^3 + 9.6\text{円}/\text{m}^3 + 8.4\text{円}/\text{m}^3 \approx 81\text{円}/\text{m}^3$$

$$(2) \text{ CL-531} + (\text{H}_2\text{SO}_4) + \text{OA-8} \rightarrow 165\text{円}/\text{m}^3 + 1.8\text{円}/\text{m}^3 + 8.4\text{円}/\text{m}^3 \approx 175.2\text{円}/\text{m}^3$$

フィルタープレス排水No.2 を脱水処理する場合、組合せによる添加率は以下の通りである。

$$(1) \text{ PAC } 17.24\% \text{ on DS} + \text{OA-8 } 0.068\% \text{ on DS}$$

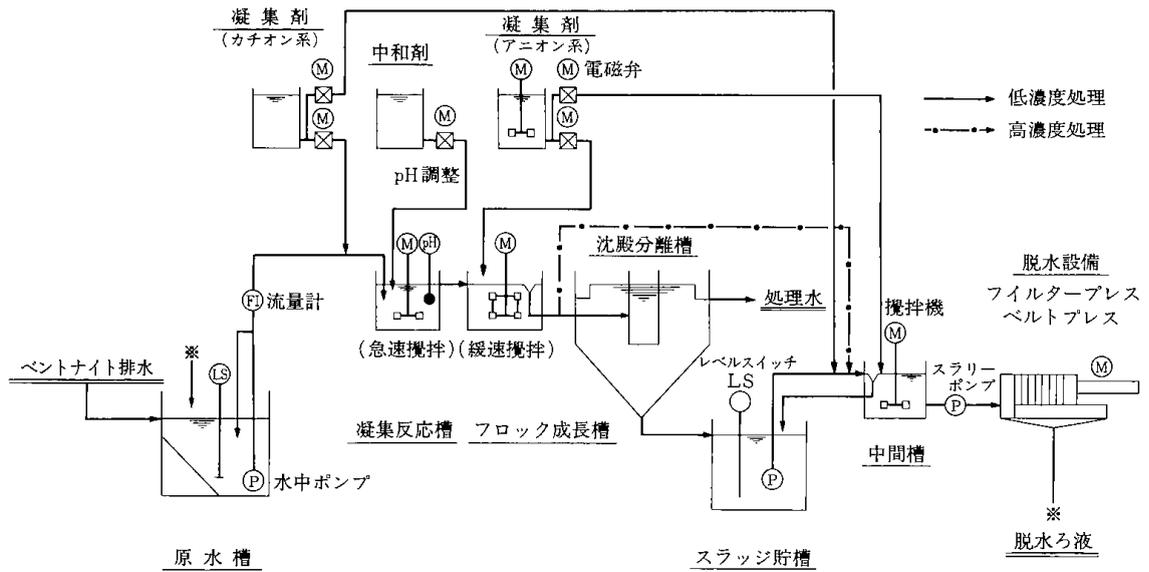
$$(2) \text{ CL-531(561) } 8.62\% \text{ on DS} + \text{OA-8 } 0.068\% \text{ on DS}$$

ランニングコストの面では PAC を用いる組合せの方が良いと思う。試算すると下記の通りである。

$$(1) 9 \text{ kg PAC}/\text{m}^3 \times 70\text{円}/\text{kg PAC} + 0.2 \text{ kg NaOH} + 0.036 \text{ kg OA-8} \times 1,400\text{円}/\text{kg} \approx 704\text{円}/\text{m}^3$$

$$(2) 4.5 \text{ kg CL-531} \times 550\text{円}/\text{kg} + 0.14 \text{ kg H}_2\text{SO}_4 \times 80\text{円}/\text{kg H}_2\text{SO}_4 + 0.036 \text{ kg} \approx 2,475 + 11.2 + 50 \approx 3,035\text{円}/\text{m}^3$$

次に凝集沈殿分離処理のフローシートを参考として第19図に示した。この処理の特徴は、低濃度系と高濃度系の処理法が異なり、いずれにも対応出来ることである。すなわち、普通の凝集沈殿のほか、分離後のスラッジ処理の機能が附加されていることにより、高濃度系は直ちにスラッジ貯留槽に送られて、凝集反応後に脱水(フィルタープレス, ベルトプレス)へと処理されることである。



第19図 ベントナイト排水の凝集沈殿分離処理フローシート

16. 含沸石ベントナイトの解砕と性状

先に述べたように、羽幌のベントナイト鉱床とその周辺に含沸石ベントナイトが混在することが判明している。前掲、試料2がこの含沸石ベントナイトである。この試料は鉱床の北辺、羽幌川の河床から採取したもので、砂岩状で非常に脆い。構成鉱物は、モンモリロナイトと若干のクリノプチロライトを混入するので、この構成鉱物の特質を充分発揮できるような用途向けにすることが望ましい。例へば、農薬用には適格なものであろう。この利用面については再度検討することとして、この試料の乾式粉碎および湿式解砕についてその性状を調べた。その性状試験結果を第27表に示した。

試料を65℃で乾燥した後、鉄乳鉢で24メッシュ以下に砕いた(試料2-1)、次にこの試料をさらに雷かい機で細かく砕いた(試料2-2)、雷かい機で砕いた試料100グラムに水1,000ccを加え、家庭用ミキサーで湿式解砕した(試料2-3)、そして最後に試料2-2を用いて、粉碎媒体として2mm径のガラスビーズを装填した磁製ボールミルを用いて湿式アトリションを行った(試料2-4)ものについて、夫々得量割合、膨潤度、メチレンブルー吸着量そして陽イオン交換容量を調べた。

この結果、手砕きによる試料の粒度別の性状の変化は-325メッシュのものメチレンブルー吸

第27表 含沸石ベントナイトの粉碎、解砕による性状

試料	2-1	Wt.%	SWP	MBA	CEC
	+65	30.8	4.1	28	74.2
	+100	12.8	3.8	26	79.4
	+200	22.4	4.4	24	73.6
	+325	18.1	4.6	26	79.0
	-325	15.9	5.2	40	62.6
試料	2-2				
	+100	6.2	3.0	28	69.0
	+200	26.8	3.8	26	79.1
	+325	16.5	4.9	28	78.4
	-325	55.5	7.8	36	66.0
試料	2-3				
	+100	3.7	2.7	6	101.4
	+200	12.0	2.8	18	88.1
	+325	9.2	2.7	18	73.8
	+400	9.1	2.9	28	72.6
	-400	66.0	6.4	42	58.1
試料	2-4				
	5 H+400	5.8	—	4	—
	-400	94.2	17.1	46	—
	3 H+400	6.0	—	4	—
	-400	94.0	14.9	44	—
	1 H+400	10.4	—	10	—
	-400	8.9	12.8	44	—
	全粒度		5.0	32	92.5

着量が若干高くなるのと、陽イオン交換容量が若干低くなる程度のことである。雷かい機による粒度別性状の変化も、ほぼ前同様であるのに対して、家庭用ミキサーで湿式解砕したものについては、微粒分のメチレンブルー吸着量が大きく、粗粒分の陽イオン交換容量が大きくなることが判った。このことは、湿式解砕によれば、粗粒分にクリノプチロライトが濃縮されていることを示している。

ガラスビーズによる湿式解砕時間を1, 3そして5時間とした場合の膨潤度と陽イオン交換容量は、+400と-400メッシュ間には、顕著な相違が見られ、ガラスビーズによる湿式解砕の有効性を示した。

同様に、鉄乳鉢で砕いたものを試料として、ガラスビーズによる湿式解砕の実験結果の一例を第28表に示した。表中1時間、45時間とあるのは、

第28表 含沸石ベントナイトのガラスビーズによる湿式解砕結果

	Wt. %	MOI	MBA	CEC
+65 mesh	—	3.9	14	115
+100 mesh	—	4.1	14	121
+200 mesh	24.7	5.1	18	89
+325 mesh	17.2	6.0	24	77
+400 mesh	6.5	5.9	26	67
1 時間	36.7	8.7	30	55
20 時間	13.2	8.4	36	54
45 時間	1.7	9.0	46	69

400メッシュの網下の懸濁液を2,000ccのビーカーにとり、1時間自然沈降させ、沈積物を試料としたものを1時間と表示した。20時間、45時間も同様の意味である。この表で示されていることは、前の結果と同様で、微粒分に向ってモンモリロナイトが多くなり、粗粒分に向ってクリノプチロライトが多くなることを示している。以上述べた結果は、ベントナイト中のモンモリロナイトとクリノプチロライトの分離手段に示唆を与えるものである。

17. 懸濁液の安定度

100ccの共栓付比色管中に測定しようとする試料1.00グラムと、2mm径のガラスビーズを10グラム(8.3cc)を入れ、比色管を震とう後静置する。24時間後日本電色工業製の1001 DP型光色比色計で(使用セル10mm)、全透過率T、散乱H、濁度H、平行透過率Pを測定した。比色管の上から20ccづ

第29表 濁度測定

		T	D	H	PT
No.1 市販品 A-1	80	112.2	19.4	17.3	92.7
	60	107.1	59.9	55.9	47.2
	40	102.1	72.7	71.2	29.3
	20	98.4	76.8	78.0	21.6
	00	43.3	38.0	87.7	5.3
No.2 市販品 A-2	80	72.8	57.2	78.5	15.6
	60	63.1	54.0	85.6	9.0
	40	59.4	51.3	86.4	8.0
	20	55.8	48.6	87.0	7.2
	00	35.8	31.4	87.7	4.3
No.3 市販品 A-3	80	82.8	61.4	74.2	21.3
	60	67.9	57.4	84.5	10.5
	40	63.2	54.4	86.1	8.7
	20	60.2	52.0	86.4	8.1
	00	29.0	25.4	87.7	3.5
No.4 市販品 A-4	80	66.5	56.0	84.2	10.4
	60	58.6	50.9	86.9	7.6
	40	52.9	46.0	86.9	6.9
	20	52.2	45.5	87.1	6.7
	00	37.0	32.4	87.5	4.6
No.5 市販品 A-5	80	80.8	63.0	77.9	17.8
	60	68.6	57.8	84.3	10.7
	40	62.5	53.7	85.9	8.8
	20	59.7	51.5	86.3	8.1
	00	27.5	24.1	87.4	3.4
No.6 市販品 B-1	80	96.5	52.5	54.4	43.9
	60	84.9	67.0	78.8	17.9
	40	77.1	65.4	84.7	11.7
	20	74.0	63.6	85.9	10.4
	00	41.4	36.3	87.6	5.1
No.7 市販品 B-2	80	67.4	54.9	81.3	12.5
	60	49.3	42.9	87.1	6.3
	40	42.2	37.0	87.6	5.2
	20	39.9	35.0	87.7	4.9
	00	23.3	20.4	87.7	2.8
No.8 市販品 B-3	80	65.8	53.6	81.4	12.2
	60	46.7	40.8	87.3	5.9
	40	40.1	35.1	87.5	5.0
	20	37.9	33.2	87.6	4.6
	00	20.2	17.8	87.9	2.4
No.9 市販品 B-4	80	59.0	48.9	82.8	10.1
	60	47.2	40.9	86.7	6.2
	40	42.3	36.9	87.2	5.3
	20	41.5	36.3	87.5	5.2
	00	36.4	31.8	87.5	4.5

		T	D	H	PT			T	D	H	PT
No.10 市販品 C-1	80	67.3	52.0	77.2	15.3	No.19 電気泳動13番	80	54.2	47.0	86.8	7.1
	60	51.4	44.3	86.3	7.0		60	43.6	38.2	87.6	5.4
	40	46.6	40.7	87.0	5.9		40	41.4	36.3	87.6	5.1
	20	44.4	38.8	87.3	5.6		20	40.0	35.1	87.7	4.9
	00	27.2	23.8	87.6	3.3		00	32.8	28.8	87.8	3.9
No.11 試料1の-200M	80	73.6	59.1	80.3	14.4	No.20 電気泳動26番	80	108.8	43.8	40.0	65.2
	60	61.2	52.7	86.1	8.4		60	105.7	62.6	59.2	43.0
	40	55.9	48.7	87.0	7.2		40	101.6	74.9	73.7	26.7
	20	53.5	46.6	87.2	6.8		20	99.9	78.9	78.9	21.0
	00	36.3	31.7	87.5	4.5		00	46.8	41.1	87.8	5.7
No.12 解砕試料F-4 325-400M	80	107.2	37.4	34.9	69.7	No.21 電気泳動28番	80	84.1	61.6	73.2	22.5
	60	103.5	61.2	59.1	42.3		60	66.8	57.6	86.2	9.1
	40	100.2	69.9	69.7	30.3		40	61.3	53.4	87.1	7.8
	20	98.3	72.9	74.1	25.4		20	58.2	50.9	87.3	7.3
	00	41.7	36.6	87.5	5.1		00	32.4	28.5	87.7	3.9
No.13 解砕試料F-5 400M-1H	80	102.8	48.3	47.0	54.4	No.22 試料1 1.5H アトリクション ガラスビーズ5リットル 水 2872 ベントナイト 319gr 10% SOLID	80	43.0	37.4	86.9	5.6
	60	96.3	67.8	70.4	28.4		60	34.8	30.6	87.7	4.2
	40	91.5	72.7	79.4	18.8		40	33.1	29.1	87.7	4.0
	20	88.5	73.0	82.4	15.5		20	32.6	28.6	87.8	3.9
	00	35.5	31.2	87.9	4.2		00	29.6	26.0	87.9	3.5
No.14 解砕試料F-6 1-20H	80	87.1	62.2	71.4	24.9	つ懸濁液を吸い取り、それを順次80, 60, 40, 20, と表示し、全体を比色管にもどして測定したもの を00と表示した。第29表にその測定結果を示した が、ここで、比色管の上部と下部の濁度差が小さ いほど、安定度の高い懸濁液であることから第30 表に示した計算式により濁度差から安定度を計算 した。表中示された数値の大きいものがより安定 性が高い。市販品の最大値の30程度に対して、羽 幌の湿式解砕のF-9の試料は(18頁参照)は45 ~60, 羽幌試料1のガラスビーズでアトリクショ ンしたものは、100~111と一番高く、これと同程 度のものが電気泳動により回収したものであった。					
	60	71.8	61.5	85.6	10.2						
	40	62.4	54.4	87.1	8.0						
	20	58.4	51.1	87.4	7.3						
	00	28.0	24.6	88.0	3.3						
No.15 解砕試料F-7 20-45H	80	55.3	47.8	86.3	7.5						
	60	42.3	37.0	87.5	5.2						
	40	37.1	32.6	87.9	4.4						
	20	35.6	31.2	87.7	4.3						
	00	29.5	25.8	87.5	3.6						
No.16 解砕試料F-8 セントリフュージ回収	80	50.7	43.6	85.9	7.1						
	60	44.5	38.9	87.4	5.5						
	40	43.5	38.0	87.3	5.4						
	20	42.6	37.3	87.5	5.2						
	00	42.3	37.0	87.5	5.2						
No.17 解砕試料F-9 遠心分離機溢流	80	67.1	57.2	85.2	9.8						
	60	65.6	56.3	85.8	9.3						
	40	60.6	52.5	86.5	8.1						
	20	55.5	48.2	86.8	7.2						
	00	37.3	32.6	87.4	4.7						
No.18 電気泳動1番	80	57.9	50.1	86.4	7.8						
	60	49.1	43.0	87.5	6.1						
	40	45.3	39.7	87.6	5.5						
	20	44.1	38.6	87.5	5.4						
	00	34.7	30.5	87.7	4.2						

第30表 ベントナイト懸濁液の安定度測定結果

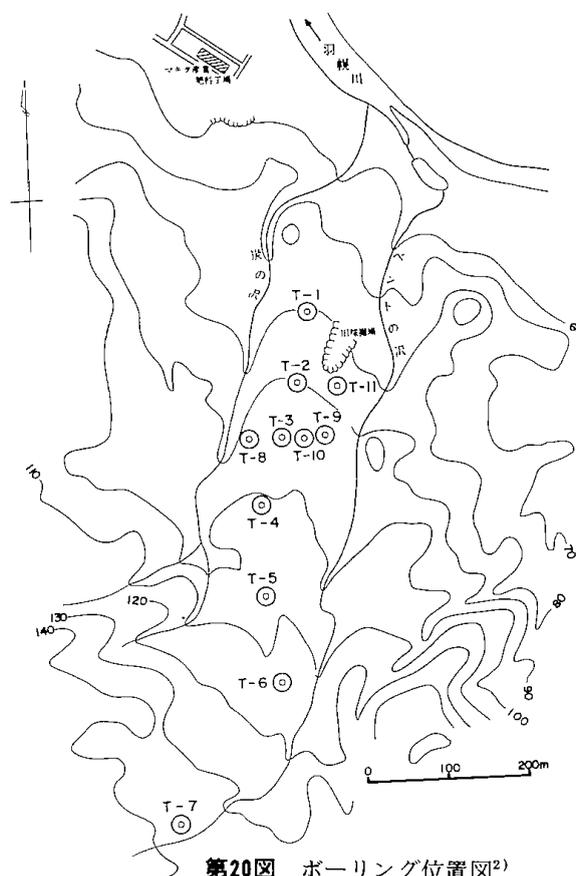
試料	①	②
No.1 市販品 A-1	1.4	1.6
No.2 市販品 A-2	10.8	11.7
No.3 市販品 A-3	7.4	8.1
No.4 市販品 A-4	30.3	34.4
No.5 市販品 A-5	10.5	11.9
No.6 市販品 B-1	3.0	3.1
No.7 市販品 B-2	15.6	15.6
No.8 市販品 B-3	15.3	16.1
No.9 市販品 B-4	21.2	21.2
No.10 市販品 C-1	9.6	9.9
No.11 試料1の-200M	13.8	14.4
No.12 解砕試料F-4 325-400M	1.9	2.5
No.13 解砕試料F-5 400M-1H	2.4	2.8
No.14 解砕試料F-6 1-20H	6.0	6.2
No.15 解砕試料F-7 20-45H	83.3	71.4
No.16 解砕試料F-8 セントリフュージ回収	62.5	62.5
No.17 解砕試料F-9 遠心分離機溢流	45.4	62.5
No.18 電気泳動 1番	76.9	90.9
No.19 電気泳動 13番	100.0	111.0
No.20 電気泳動 26番	2.0	2.5
No.21 電気泳動 28番	6.8	7.0
No.22 試料 1	100.0	111.0

$$\frac{1}{00-80} \times 100 \dots \dots \textcircled{1} \quad \frac{1}{20-80} \times 100 \dots \dots \textcircled{2}$$

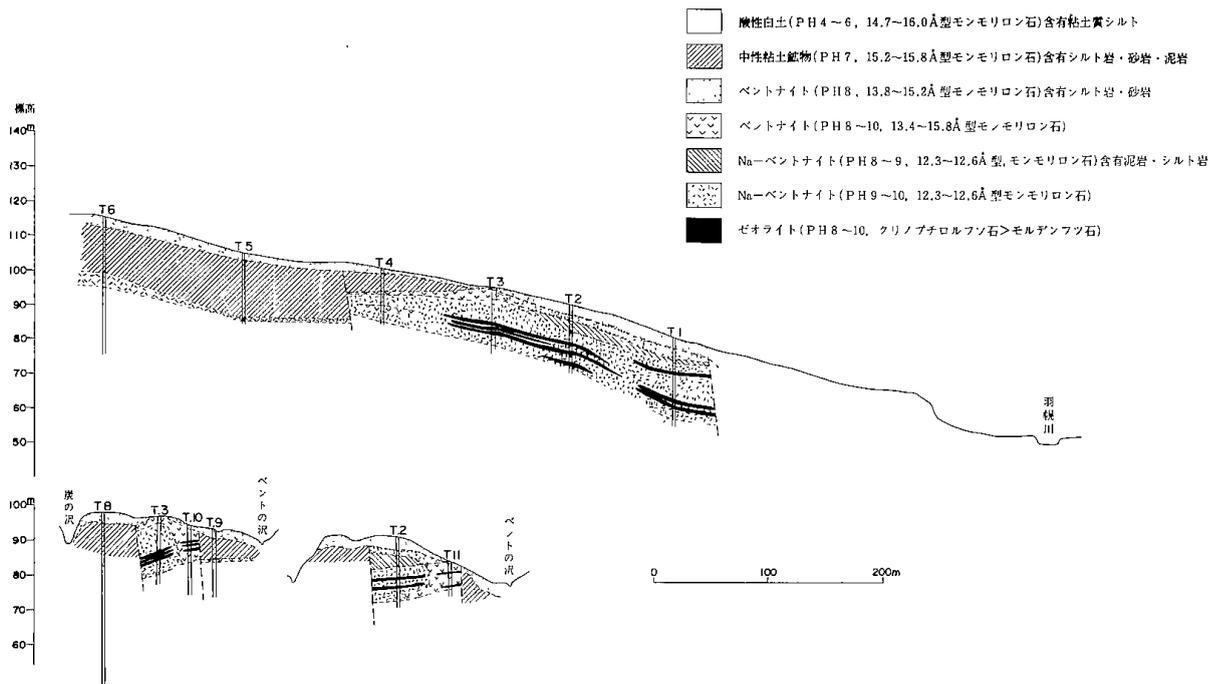
18. ボーリング試料の性状試験

昭和56年度と57年度の2ヶ年にわたって実施されたボーリングによって採取された試料の性状試験を実施した。試験項目は、ICPによる化学分析、水分、膨潤度、メチレンブルー吸着量、陽イオン交換容量である。なお、第20図にボーリング位置図を、第21図にボーリング断面図を示した。これらと第3図から明らかなように、鉱床は南北におおよそ800mで、鉱床は断層によって3つに切断されている。この3つの鉱床をそれぞれ鉱床A、鉱床B、鉱床Cとすると、鉱床Aは幅50m～130mで層厚は9m～17m、鉱床Bは幅10mで層厚は2m～4m、鉱床Cは鉱床Aの流出部分と考えられている。埋蔵鉱量は鉱床Aが399,200t、鉱床Bが16,200t、鉱床Cが180,000tで計595,400tである。第31表に、ボーリング試料の性状試験結果（ICPによる化学分析、水分、膨潤度、メチレンブルー吸着量、陽イオン交換容量）を示した（ボーリングT-7, 8, はベントナイト層なし）。

ボーリングT-1の試験結果によれば、膨潤度



第20図 ボーリング位置図²⁾



第21図 ボーリング断面図と鉱物組成成分帯図²⁾

(SWP-cc/2 gr)は最高25, 最低7, メチレンブルー吸着量(MBA-m mol/100 gr)は最高80, 最低26, 陽イオン交換容量(CEC-meq/100gr)値は最高119.1, 最低58.6で, 高品質のベントナイトの中には18mのコアサンプルのように沸石の層と見られる試料がある。ちなみに, シリカ・アルミナ比は3.0~5.9であった。

ボーリングT-2の試験結果によれば, SWPは最高28, 最低7, MBAは最高78, 最低18, CEC値は最高139.6, 最低20.0で, 上層(8~12m)は高品質のベントナイトであって, 下層(13~16m)には沸石が混入している。シリカ・アルミナ比は2.6~6.0で, 下層のほうが比較的大きい。

ボーリングT-3の試験結果によれば, SWPは最高33, 最低7, MBAは最高84, 最低26, CEC値は最高139.7, 最低54.6で, 上層は高品質のベントナイトで, 下層(7~13m)には沸石が混入している。シリカ・アルミナ比は3.3~6.8で, 下層のほうが比較的大きい。

ボーリングT-4の試験結果によれば, SWPは最高29, 最低11, MBAは最高72, 最低44, CEC値は最高83.4, 最低61.6で, 均質で高品質のベントナイト層であるが, 層厚が9mと少々薄い。シリカ・アルミナ比は3.6~5.8である。

ボーリングT-5の試験結果によれば, SWPは最高30, 最低10, MBAは最高80, 最低22, C

EC値は最高79.5, 最低20.5で, 高品質のベントナイト層であるが, 層厚が薄く2m弱しかない。シリカ・アルミナ比は2.9~3.4で, 比較的小さい。

ボーリングT-6の試験結果によれば, SWPは最高7, 最低4, MBAは最高60, 最低10, CEC値は最高63.6, 最低15.1で, ほとんど脈石か, 低品質のベントナイトである。シリカ・アルミナ比は2.9~3.3で, 比較的小さい。

ボーリングT-10の試験結果によれば, SWPは最高16, 最低6, MBAは最高52, 最低20, CEC値は最高147.6, 最低61.7で, 沸石又は含沸石ベントナイトの層とみられる。シリカ・アルミナ比は4.7~6.2である。

ボーリングT-11の試験結果によれば, SWPは最高17, 最低6, MBAは最高56, 最低18, CEC値は最高141.5, 最低34.1で, 沸石又は含沸石ベントナイトの層の中に, 高品質のベントナイトと見られる試料がある。シリカ・アルミナ比は4.4~6.6である。第32表にボーリング総括表を示した。この表からわかるように, ボーリングごとに性状のばらつきがあるが, 鉱床全体平均のSWPは45.7, MBAは45.7, CEC値は82.4であった。

次に以上の試験結果から, MBAとSWPの関係のグラフを第22図に示した。このグラフから明らかのように, MBAとSWPはほぼ比例関係にあり, 低膨潤性の試料はMBA40以下の含沸石ベ

ントナイトか脈石，高膨潤性の試料は MBA 60 以上の高品位のベントナイトになっている。

CEC 値と MBA の関係のグラフを第23図に示した。このグラフによって示されるように，ボーリング試料は 4 つに分類することができる。グループ 1 は MBA 40 以上で，CEC 値 90 以下の試料で，高品位のベントナイトである。グループ 2 は

MBA 40 以下で，CEC 値 90 より大きく 130 以下の試料で，含沸石ベントナイトである。グループ 3 は MBA 40 以下で，CEC 値 130 より大きい試料で，沸石である。グループ 4 は MBA 40 未満で，CEC 値 90 以下の試料で，低品位のベントナイトである。

第31表 ボーリング試料の性状試験結果

ボーリング番号 (T-1)									
深さ (m)	7	8	9	10	11	12	13	14	
SiO ₂ (%)	64.17	73.43	74.26	72.60	63.05	70.95	62.59	65.35	
Al ₂ O ₃	18.37	12.70	12.79	12.31	15.67	14.92	20.84	18.04	
Fe ₂ O ₃	4.01	2.08	1.18	1.94	1.84	2.19	3.01	2.92	
TiO ₂	0.18	0.15	0.14	0.12	0.15	0.17	0.50	0.34	
MgO	2.26	1.80	1.91	1.24	1.41	1.57	1.60	1.44	
CaO	0.71	0.59	0.45	0.98	4.77	0.53	0.56	0.61	
Na ₂ O	2.68	2.21	2.22	2.72	2.87	2.49	2.67	2.77	
K ₂ O	0.95	0.85	0.48	0.49	0.15	0.25	0.87	0.88	
MnO	0.01	0.03	0.04	0.04	0.31	0.03	0.02	0.02	
Ig. loss	6.12	5.80	5.78	7.08	9.93	6.15	6.18	6.69	
Total	99.46	99.64	99.88	99.52	100.15	99.25	99.54	99.33	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.5	5.8	5.8	5.7	4.0	4.8	4.4	3.6	
MOI	41.9	32.8	29.6	26.9	32.4	34.3	33.4	31.6	
SWP	25	11	11	9	12	14	15	12	
MBA	74	56	58	38	54	54	74	60	
CEC	71.5	64.9	67.5	84.1	79.7	74.8	67.4	71.1	
深さ (m)	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SiO ₂ (%)	71.24	61.83	69.76	72.18	72.88	71.46	72.94	74.68	69.47
Al ₂ O ₃	14.76	20.46	15.34	12.28	12.63	13.80	12.28	12.64	15.73
Fe ₂ O ₃	2.37	3.71	2.12	1.09	1.60	1.76	1.42	1.71	3.61
TiO ₂	0.12	0.30	0.17	0.11	0.12	0.15	0.13	0.10	0.11
MgO	1.88	1.97	1.92	0.86	1.72	1.83	1.69	2.19	2.33
CaO	0.74	0.60	0.54	0.80	0.45	0.48	0.80	0.43	0.54
Na ₂ O	2.49	2.96	2.49	3.48	2.59	2.62	2.53	2.00	2.44
K ₂ O	0.19	0.45	0.50	0.26	0.19	0.35	0.14	0.57	0.11
MnO	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02
Ig. loss	5.36	7.00	6.22	8.80	6.91	6.74	6.79	5.26	5.66
Total	99.19	99.31	99.09	99.89	99.12	99.22	98.77	99.61	100.02
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	4.8	3.0	4.6	5.9	5.8	5.2	5.9	5.9	4.4
MOI	34.6	39.7	38.6	27.2	27.8	33.1	22.7	33.8	36.8
SWP	15	18	10	7	10	10	10	15	13
MBA	56	80	60	26	48	54	42	64	68
CEC	58.6	80.4	69.6	119.1	85.5	84.3	80.3	61.0	69.2

(34)

ボーリング番号 (T-2)

深さ (m)	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂ (%)	75.52	62.33	60.96	70.46	71.21	72.19	71.19	71.32
Al ₂ O ₃	13.53	21.00	23.26	15.56	15.45	12.01	12.74	12.31
Fe ₂ O ₃	3.58	3.89	2.99	2.58	2.09	1.95	1.37	1.29
TiO ₂	0.80	0.27	0.46	0.13	0.38	0.19	0.17	0.12
MgO	1.13	2.05	1.44	1.90	1.59	0.79	0.62	0.98
CaO	1.00	0.77	0.53	0.73	0.67	0.54	0.74	0.52
Na ₂ O	2.23	3.33	2.77	2.43	2.55	3.07	3.68	3.47
K ₂ O	1.49	0.33	0.34	0.99	1.11	0.56	0.75	0.74
MnO	0.06	0.01	0.01	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02
Ig.loss	3.59	5.65	7.07	5.07	4.96	7.79	8.23	8.66
Total	99.93	99.63	99.83	99.89	100.03	99.12	99.51	99.43
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.4	3.0	2.6	4.5	4.6	6.0	5.6	5.8
MOI	23.5	42.4	32.0	36.7	33.6	30.1	25.2	14.5
SWP	8	22	16	15	11	7	7	7
MBA	20	70	78	58	54	22	18	20
CEC	20.0	74.3	71.7	56.5	58.0	110.8	126.1	133.6

深さ (m)

	16	17
SiO ₂ (%)	71.24	71.75
Al ₂ O ₃	12.77	14.70
Fe ₂ O ₃	1.54	2.19
TiO ₂	0.10	0.11
MgO	1.26	2.56
CaO	0.51	0.44
Na ₂ O	3.31	2.20
K ₂ O	0.77	0.33
MnO	0.01	0.04
Ig.loss	8.06	5.35
Total	99.57	99.67
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.6	4.9
MOI	28.5	41.6
SWP	9	28
MBA	30	66
CEC	130.9	66.1

ボーリング番号 (T-3)

深さ (m)	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂ (%)	71.26	70.99	70.76	71.21	68.86	73.42	71.27	72.21
Al ₂ O ₃	14.04	14.67	13.67	14.70	15.89	12.91	13.35	13.81
Fe ₂ O ₃	2.45	2.61	2.41	2.29	2.39	1.70	1.18	1.11
TiO ₂	0.14	0.15	0.11	0.14	0.24	0.12	0.11	0.12
MgO	2.30	2.08	2.26	2.27	2.28	1.73	0.95	0.94
CaO	1.21	1.14	0.66	0.78	0.62	0.47	0.61	0.65
Na ₂ O	1.47	2.18	2.21	2.53	2.41	2.42	3.54	3.46
K ₂ O	1.17	1.18	1.13	1.27	1.28	0.93	0.87	0.94
MnO	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02
Ig.loss	5.95	5.01	6.75	4.67	5.29	5.89	7.32	7.14
Total	100.01	100.05	99.99	99.89	99.29	99.63	99.22	99.40
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.1	4.8	5.2	4.8	4.3	5.7	5.3	5.6
MOI	54.9	41.7	39.4	47.4	45.2	40.3	20.7	26.6
SWP	13	19	16	21	21	12	8	7
MBA	52	54	62	64	76	54	28	28
CEC	62.0	58.0	59.3	59.7	69.6	85.2	127.1	122.6

深さ (m)	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂ (%)	71.65	71.47	71.72	71.38	71.78	77.11	65.39	72.08	63.33
Al ₂ O ₃	13.81	13.15	12.82	13.26	12.15	11.30	17.67	14.39	19.03
Fe ₂ O ₃	1.17	1.20	1.48	1.58	1.37	1.12	4.08	2.25	4.03
TiO ₂	0.11	0.15	0.11	0.15	0.11	0.09	0.14	0.11	0.15
MgO	1.02	0.82	1.31	1.45	1.04	1.98	2.58	2.49	2.98
CaO	0.52	0.86	0.43	0.51	0.45	0.27	0.51	0.40	0.57
Na ₂ O	3.56	3.59	3.07	3.18	3.33	2.15	2.78	2.38	2.95
K ₂ O	0.83	1.11	0.84	0.46	1.20	0.80	0.83	0.48	0.68
MnO	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01
Ig.loss	7.90	6.69	7.31	7.03	7.50	4.83	5.61	4.48	5.72
Total	99.59	99.05	99.11	99.02	98.94	99.70	99.60	99.09	99.45
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.6	5.4	5.6	5.4	5.9	6.8	3.7	5.0	3.3
MOI	23.4	18.8	35.4	25.3	37.6	23.9	40.7	40.0	43.7
SWP	7	9	9	9	7	9	33	21	32
MBA	30	26	38	40	28	50	84	66	82
CEC	139.7	116.0	125.6	117.9	136.1	54.6	82.0	100.3	84.3

ボーリング番号 (T-4)

深さ (m)	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂ (%)	72.68	74.50	74.01	74.07	74.43	74.35	74.37	73.17	64.93
Al ₂ O ₃	13.55	12.79	13.21	13.47	13.56	13.25	13.11	14.24	17.90
Fe ₂ O ₃	2.04	1.60	1.59	1.79	1.47	1.65	1.75	1.67	4.80
TiO ₂	0.19	0.13	0.13	0.14	0.09	0.09	0.10	0.09	0.13
MgO	1.79	2.08	2.09	2.12	2.34	2.09	1.99	2.37	2.14
CaO	1.08	0.84	0.73	0.79	0.55	0.67	0.68	0.60	0.72
Na ₂ O	1.64	1.48	1.65	1.53	1.55	1.68	1.82	1.70	2.32
K ₂ O	1.09	0.86	0.85	0.97	0.95	0.96	0.98	1.11	1.29
MnO	0.03	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.03
Ig.loss	5.21	4.76	5.11	4.73	5.03	4.96	5.11	4.89	5.73
Total	99.30	99.09	99.40	99.65	100.02	99.74	99.97	99.88	99.99
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.4	5.8	5.6	5.5	5.5	5.6	5.7	5.1	3.6
MOI	33.5	36.9	33.8	38.3	34.8	31.9	38.5	35.4	50.2
SWP	11	18	15	18	18	16	15	15	29
MBA	44	50	52	56	62	54	54	62	72
CEC	66.7	66.5	63.0	61.6	65.6	83.4	78.3	65.3	74.3

ボーリング番号 (T-5)

深さ (m)	19	19.6	20	20.1
SiO ₂ (%)	63.74	61.08	66.68	60.66
Al ₂ O ₃	18.84	21.29	17.27	20.03
Fe ₂ O ₃	2.54	3.80	3.64	4.63
TiO ₂	1.46	0.15	0.19	0.14
MgO	0.70	2.26	1.95	2.62
CaO	4.21	1.08	0.71	0.79
Na ₂ O	3.59	2.56	2.15	2.47
K ₂ O	1.23	1.37	1.22	1.41
MnO	0.02	—	0.01	0.01
Ig.loss	2.83	5.70	5.43	6.04
Total	99.16	99.29	99.25	98.80
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.4	2.9	3.9	3.0
MOI	14.4	29.9	28.1	35.0
SWP	10	29	21	30
MBA	22	78	64	80
CEC	20.5	78.9	75.4	79.7

(36)

ボーリング番号 (T-6)

深さ (m)	16-A	16-B	17	18	19	19.5
SiO ₂ (%)	61.77	62.46	42.97	56.42	60.44	58.44
Al ₂ O ₃	19.20	20.30	13.20	18.63	21.12	19.02
Fe ₂ O ₃	4.15	2.21	8.51	7.51	2.41	7.58
TiO ₂	1.03	1.18	0.58	0.58	1.16	0.50
MgO	0.99	0.50	0.73	0.60	0.45	1.92
CaO	3.63	5.10	13.94	5.11	5.80	1.62
Na ₂ O	3.30	3.74	2.58	3.60	4.11	2.67
K ₂ O	1.29	1.28	0.96	1.19	1.13	1.00
MnO	0.02	0.02	0.57	0.30	0.30	0.05
Ig. loss	4.04	2.25	15.10	5.11	2.24	6.54
Total	99.42	99.04	99.14	99.00	98.89	99.34
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.2	3.1	3.3	3.0	2.9	3.1
MOI	28.9	14.3	17.6	26.8	14.2	13.6
SWP	7	5	5	4	5	6
MBA	30	12	16	10	12	60
CEC	30.9	18.5	24.0	13.3	15.1	63.6

ボーリング番号 (T-10)

深さ (m)	2.0	3.0	3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	7.0
SiO ₂ (%)	71.24	72.11	68.72	71.75	72.75	72.21	72.58	73.27
Al ₂ O ₃	13.87	12.08	14.59	11.92	12.18	12.45	11.93	12.24
Fe ₂ O ₃	1.84	1.17	2.90	0.98	1.04	1.43	1.04	1.45
TiO ₂	0.12	0.11	0.18	0.10	0.10	0.12	0.10	0.12
MgO	2.41	0.98	1.47	0.68	0.77	1.17	0.90	1.19
CaO	1.10	0.67	1.32	0.61	0.65	0.85	0.46	0.85
Na ₂ O	1.28	3.07	1.96	3.53	3.42	2.70	3.21	2.71
K ₂ O	0.83	0.72	0.91	0.75	0.78	0.76	0.71	1.06
MnO	0.05	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03
Ig. loss	6.43	8.74	7.50	9.46	9.63	8.05	8.51	7.64
Total	100.07	99.67	99.57	99.04	100.34	99.77	99.45	100.56
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.1	6.0	4.7	6.0	5.9	5.8	6.1	6.0
MOI	9.0	5.4	5.7	5.0	5.1	5.9	4.9	4.7
SWP	15	9	7	7	8	10	7	10
MBA	52	28	30	20	24	34	26	30
CEC	61.6	122.7	41.8	141.1	147.6	106.4	103.1	96.7

深さ (m)	7.7	8.0	9.0	10.0
SiO ₂ (%)	71.11	71.90	71.43	74.78
Al ₂ O ₃	12.09	12.57	12.98	12.01
Fe ₂ O ₃	1.89	0.95	1.27	1.28
TiO ₂	0.11	0.11	0.09	0.09
MgO	0.95	0.80	1.29	2.04
CaO	0.66	0.74	0.52	0.52
Na ₂ O	3.18	3.49	3.23	2.16
K ₂ O	0.74	0.81	0.81	0.75
MnO	0.01	0.01	0.01	0.04
Ig. los	8.73	9.60	9.02	6.52
Total	99.47	100.98	100.65	100.59
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.9	5.7	5.5	6.2
MOI	5.0	4.8	5.1	5.9
SWP	7	6	9	16
MBA	26	22	30	48
CEC	115.8	140.8	137.1	61.7

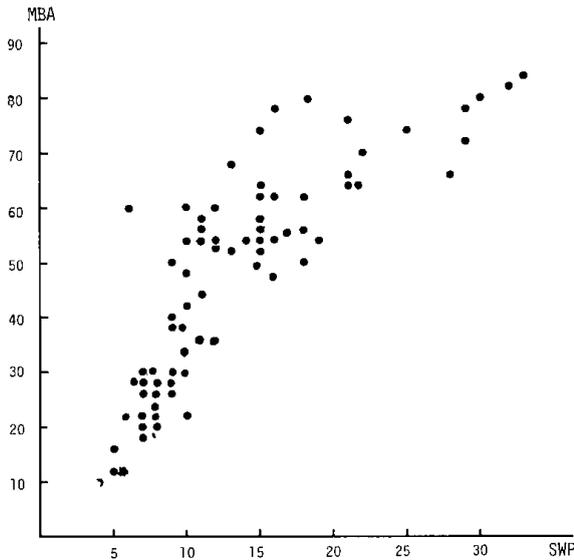
ボーリング番号 (T-11)

深さ (m)	1.2	2.0	2.5	3.0	3.6	4.0	5.0	6.0
SiO ₂ (%)	69.67	73.47	69.44	72.28	74.05	73.86	72.49	73.98
Al ₂ O ₃	15.73	12.65	15.26	12.72	12.89	11.25	12.15	12.88
Fe ₂ O ₃	2.15	1.22	2.00	1.28	1.83	1.14	0.99	1.61
TiO ₂	0.17	0.10	0.17	0.11	0.12	0.10	0.10	0.13
MgO	2.09	1.43	1.86	1.34	1.92	0.81	0.59	1.97
CaO	1.18	0.95	1.28	0.83	0.84	0.54	0.72	0.44
Na ₂ O	1.59	2.52	1.87	2.59	1.54	3.05	3.57	1.94
K ₂ O	0.79	0.70	0.87	0.72	0.63	0.63	0.76	0.64
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.02	0.01	0.04
Ig. loss	7.26	7.56	6.56	7.12	6.17	8.13	9.07	5.62
Total	100.68	100.65	99.36	99.04	100.05	99.53	100.45	99.25
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	4.4	5.8	4.6	5.7	5.7	6.6	6.0	5.7
MOI	7.4	4.9	6.0	4.7	6.6	4.0	3.8	6.1
SWP	15	12	15	11	15	8	6	17
MBA	56	36	50	36	52	24	18	56
CEC	58.4	86.3	34.1	86.1	60.0	131.4	141.5	70.3

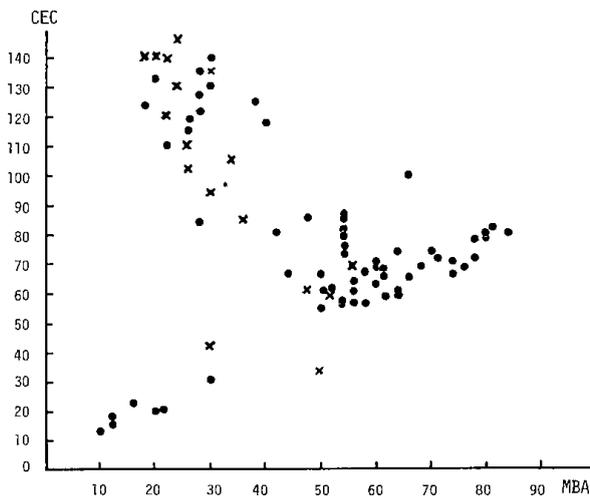
深さ (m)	7.0	7.5	8.0
SiO ₂ (%)	71.89	71.07	72.24
Al ₂ O ₃	12.19	12.67	12.50
Fe ₂ O ₃	0.99	1.07	1.04
TiO ₂	0.10	0.11	0.11
MgO	0.87	0.94	0.90
CaO	0.81	0.83	0.81
Na ₂ O	3.15	3.34	3.29
K ₂ O	0.79	0.87	0.84
MnO	0.02	0.02	0.02
Ig. loss	8.50	8.76	8.76
Total	99.31	99.68	100.51
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5.9	5.6	5.8
MOI	4.5	4.3	4.2
SWP	8	9	8
MBA	26	28	22
CEC	111.1	127.6	121.2

第32表 ボーリング総括表

	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-10	T-11	MEAN
MOI	(32.8)	(31.0)	(35.6)	(37.0)	(26.9)	(19.4)	5.5	5.1	5.5(32.2)
SWP	12.8	13.0	14.9	17.2	22.5	5.3	9.3	11.3	12.9
MBA	56.8	43.6	50.7	56.2	61.0	23.3	30.8	36.7	45.7
CEC	75.8	84.8	94.1	69.4	63.6	27.6	106.4	93.5	82.4



第22図 SWPとMBA



第23図 MBAとCEC

19. 選鉱設計(乾式処理)

以上のデータよりベントナイトの乾式選鉱系統を検討し、処理経費を試算した。

1) 設計の基礎条件

当プラントは採掘切羽からプラント受入箇所まで運搬された粗鉱を処理するものとし、その工程は解砕、乾燥、粉碎、分級及び袋詰とする。

① 生産計画

製品年産 10,000 t (Wet-ton 水分8%)

(製品粒度 200 mesh)

粗鉱水分 30%

製品水分 8%

標準歩留 80% (固形物歩留)

粗鉱量 16,430 t/年

② 標準操業日数

冬期間は生産休業して年間8ヶ月操業とする。

解砕、袋詰設備 6日/週 200日/年操業

1方操業/日

乾燥、粉碎設備 6日/週 200日/年操業

3方操業/日

③ 粗鉱、製品の物性

下記の値はいずれも推測値である。

(粗鉱サイズ 最大長 400mm)

見掛比重 粗鉱(水分30%) 1.0

製品(水分8%) 0.6

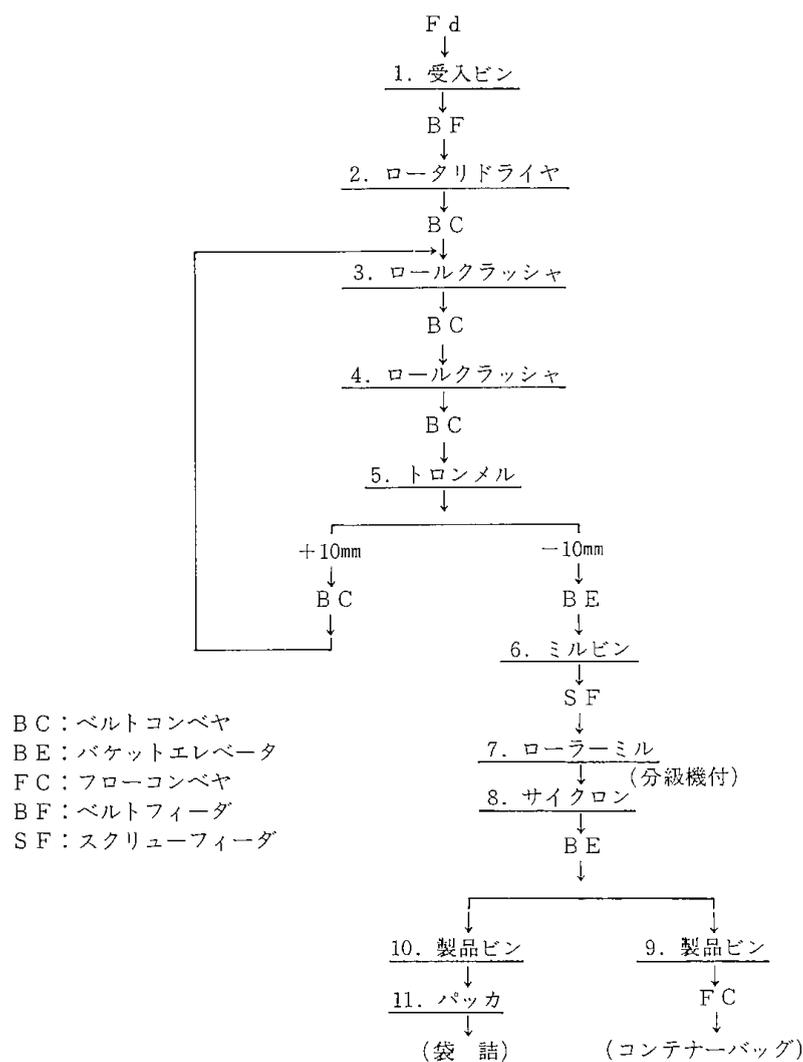
④ 歩留 プラント粗鉱に対して80%とした。

2) プラント設備

選鉱系統図を第24図に示した。粗鉱はタイヤローダーにより受入ビンに供給される。受入ビンからベルトコンベヤで拔出された粗鉱はベルトフィーダでロータリドライヤに供給されて乾燥される。ロータリドライヤの排鉱はロールクラッシャによって2段の粉碎を行う。粉碎産物はベルトコンベヤでトロンメル(網目10mmφ)でふるい分けられて、網上産物はロールクラッシャに繰り返され、全量を-10mmとする。トロンメルの網下はバケットエレベータで一旦ミルビンに貯鉱される。ミルビンに貯鉱された乾燥産物はスクリーフィーダでローラーミル(分級機付)で粉碎分級されて、分級された産物はサイクロンで精製品として回収される。サイクロンで回収された産物は2基の製品ビンに貯鉱される。2基の製品ビンのうち1基はコンテナバッグ詰用とし、他方は25kg袋詰用とする。粉じん発生防止のためバグフィルタを3基設ける。ロータリドライヤとローラーミルにはそれぞれ専用のバグフィルタを1基ずつ設け、パッカ、コンベヤその他に1基設備する。第33表に主要機械仕様表をとりまとめて示した。

3) 設備費

設備費はプラント設備だけあって廃さい堆積場や運搬道路等付帯設備は含まない。設備費は現在価額であってエスカレーションは見込んでいない。



第24図 乾式選鉱系統図

第33表 主要機械仕様表

No.	形式名称	寸法	回転数	据付動力	台数	備考
1	受入ビン	8m		kW	1	
2	ロータリドライヤ	1.8mφ×17m	4.2	22	1	
3	ロールクラッシャ	30" × 24"	140	30	1	歯型ロール
4	ロールクラッシャ	20" × 20"	200	11	1	スムーズロール
5	トロンメル	1mφ×2m	20	2.2	1	10mφ網目
6	ミルビン	8m	—	—	1	
7	ローラミル	50"φ		75	1	分級機付
8	サイクロン	2,130mmφ	—	—	1	
9	製品ビン	100m	—	—	1	
10	製品ビン	100m	—	—	1	
11	パッカ	6T/H		2.2	2	
	バグフィルタ	ろ過面積 165m ²		3.7, 0.75	1	
	バグフィルタ	" 41m ²		2.2	2	
	同上用ファン	風量 310m ³ /min	1,950	30	1	
	同上用ファン	風量 45m ³ /min	1,950	3.7	2	

第34表 設 備 一 覧

	仕 様	金 額
機 械 代		240,000千円
	クラッシャ, ローラミル他	150,000千円
	ベルトコンベヤ他	90,000
	小 計	240,000
機械基礎工事	240m ² (コンクリート)	12,000
機械据付工事	150 T	7,500
製品ビン他	鉄 製	35,000
電気工事	500 KVA	30,000
建家工事	鉄骨・トタンぶき	48,000
土工事	整地他	20,000
雑工事		40,000
設 計		20,000
合 計		252,500

4) 生 産 費

第35表 生 産 費

費 目	仕 様	金 額	コ ス ト
人件費	12名	66,000千円/年	6,600円/トン(製品)
物品費		61,810	6,181
	機械部品	12,000千円	
	燃 料	32,530	
	袋	14,280	
	そ の 他	3,000	
	小 計	61,810	
動力費	750,000 KWH	12,000	1,200
経 費		6,890	689
合 計		146,700	14,670

① 人 件 費

人員は係員3名, 作業員12名合計15名とする。人件費は係員600万円/年, 作業員400万円/年で, 福利厚生費を含むものとする。

② 物 品 費

機械部品代は年間費用として機械代の5%を見込んだ。

燃料は粗鉱供給用のローダの燃料とロータリドライヤ燃料が必要で, ローダ用は軽油, ドライヤはB重油とした。軽油価格は90円/リットル, B重油価格86円/リットル。

製品代はすべて25kg袋に詰めるものとして袋代を算出した。コンテナバッグが使えれば袋代が節

約になる可能性はあるが現在ではその数量が不明であるから上記のような処置をした。袋代は34円/袋とし5%のロスを見込んだ。

③ 動 力 費

実給鉱時の据付動力に対する負荷率を67%とし, 空転損失(始動, 休転, 停電等の損失)を3%とした。電気代は16円/KWH。

④ 経 費

上記①, ②, ③項の約5%を見込んだ。

年間生産は10,000tであるからt当り生産費は14,670円/t(製品)となる。

5) 償 却 費

償却年数9年, 金利8%とすると償却費は7,245

円／t(製品)となる。

6) 全 経 費

生産費14,670円／t + 償却費7,245円／t =
21,915円／t(製品)となる。

20. 選鉱設計(湿式処理)

以上のデータによりベントナイトの湿式選鉱系統を検討し、処理経費を試算した。

1) 設計の基礎条件

当プラントは採掘切羽からプラント受入箇所まで運搬された粗鉱を処理するものとし、その工程は破碎、湿式解砕、分級、濃縮、廃泥処理とする。

① 生産計画

製品年産 30,700 t (Wet-ton 水分70%,
乾量9,200 t)

(製品粒度 - 200 mesh)

粗鉱水分 30%

製品水分 70%

標準歩留 35% (乾量として)

粗 鉱 量 37,550 t/年

② 標準操業日数

冬期間は生産休業して年間8ヶ月操業とする。

原石受入、破碎設備 6日/週,200日/年操業,
1方操業/日

湿式解砕、濃縮、廃泥処理6日/週,200日/年操業,
3方操業/日

③ 粗鉱、製品の物性

下記の値はいずれも推測値である。

(粗鉱サイズ 最大長 400 mm)

見掛比重 粗鉱(水分 30%) 1.0

製品(水分 70%) 1.0

④ プラントの能力

プラント稼働時間(時間/日)

原石受入、破碎 : 6

湿式解砕、濃縮 : 21.5

プラントの能力(Wet t/時)

原石受入、破碎 : 45 (53,980 ÷ (200 × 6))

湿式解砕、濃縮 : 8.7 (37,550 ÷ (200 × 21.6))

2) プラント設備

湿式選鉱系統図を第25図に示した。原石の受入、破碎の方法は乾式と同様とし、湿式及び乾式製品用原石を処理するものとする。すなわち、プラントの原石ヤードに貯石された鉱石は、ホイールローダーにより受入ビンに投入される。これからベルトコンベヤで抜き出された原石は、ベルトフィーダでロータリドライヤに供給されて乾燥される。ロータリドライヤの排鉱はロールクラッシャー2段で砕かれた後、トロンメル(網目10mmφ)でふるい分けされ、網上産物はロールクラッシャーに繰返され、全量を-10mmとする。トロンメルの網下は中間ビンに貯石される。

中間ビンに貯鉱された解砕産物は、湿式と乾式製品用に分けられる。湿式用はベルトコンベヤで運ばれ、ロールクラッシャーでもう一段粉碎される。そして産物はアジター(往復動回転翼を有するかく伴機)で湿式解砕し、解砕後ローヘッドスクリーンで200 meshにふるい分けする。200 mesh以下を遠心分離機で濃縮し製品とする(200 meshの網上産物は含沸石ベントナイトとして別に回収)。遠心分離機の回収率は、連続式実用機の最大G2, 100の場合で、フィードに対し約40%と推定する。したがって未回収分の処理が問題であるが、とりあえず沈殿池貯泥とする。

ベントナイトの他に含沸石ベントナイトを製品として生産する場合は、ベントナイト生産過程で分級した粗粒分を含沸石ベントナイトの生産工程に投入する。第36表に湿式処理機械仕様表を示した。

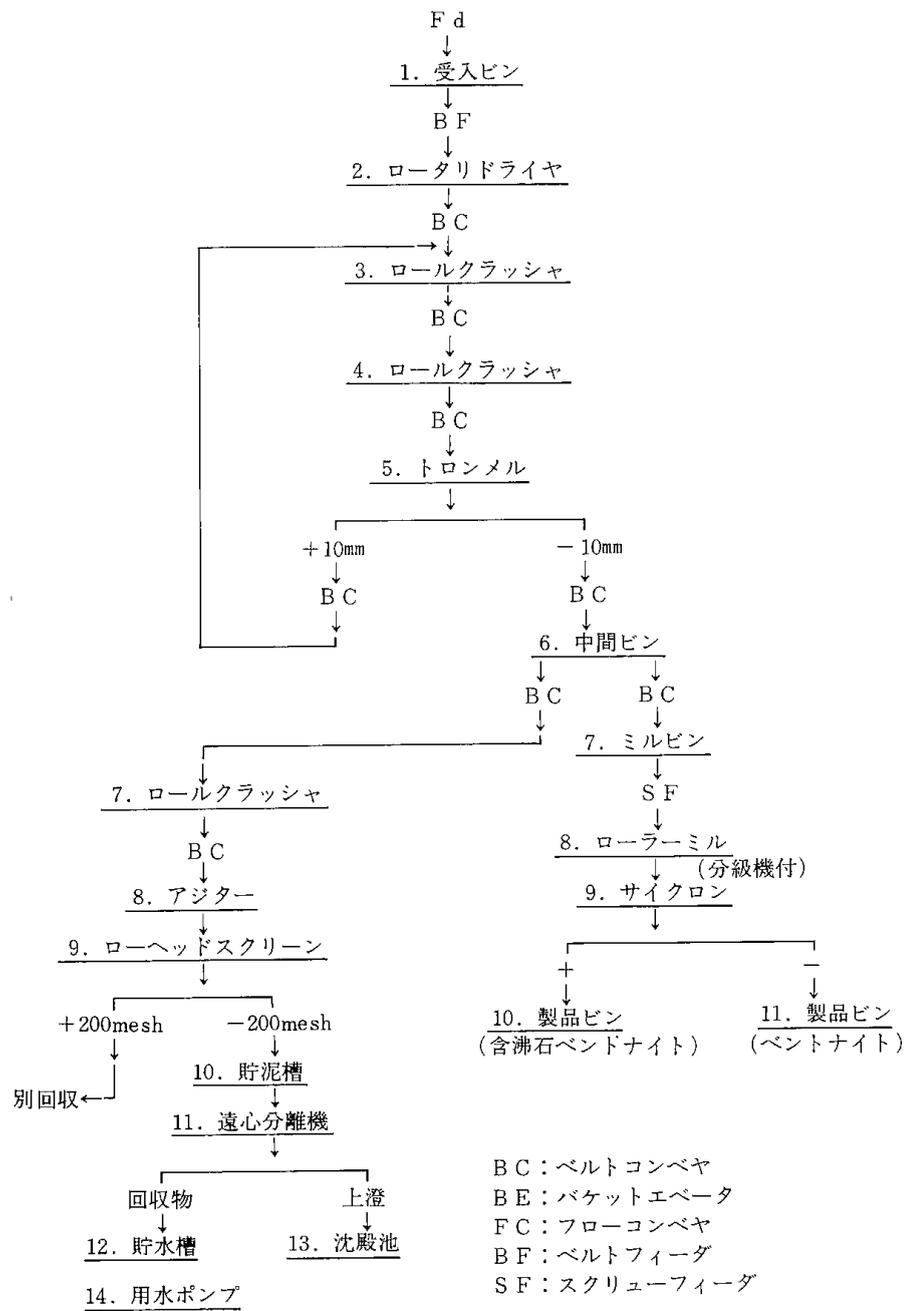


図25 湿式選鉱系統図

第36表 湿式処理機械仕様表

No.	形式名称	寸法	回転数	据付動力	台数	備考
1	受入ビン	8m		kW	1	
2	ロータリドライヤ	1.8mφ×17m	4.2	22	1	
3	ロールクラッシャ	φ36"×36"	200	60	1	歯型ロール(ダブル)
4	ロールクラッシャ	φ30"×36"	200	30	1	スムーズロール(ダブル)
5	トロンメル	1mφ×2m	20	2.2	1	10mφ網目
7	ロールクラッシャ	φ20"×20"	200	11	1	スムーズロール
8	アジター	槽φ2.13×2.73m	—	22	1	往復回転式
9	ローヘッドスクリーン	2.13×4.88m	—	15	2	
10	貯泥槽	槽φ2.5×3.0m	—	5.5	1	
11	遠心分離機	4.5m/時	—	150	16	G 2,100
14	用水ポンプ	φ100mm	—	7.5	2	取水及び用水
	用水ポンプ	φ100mm	—	5.5	2	
	ベルトコンベヤ	450-600mm×6本	—	2.2	6	

3) 設備費

当プラントの設備費積算に当たり立地条件を考慮していないので、機械設備の配置計画を実施していない。従って設備費は概略の試算値である。なお試算対象設備はプラント設備のみであり、原

石の一時置場、廃さい捨場、道路などの付帯設備は含んでいない。また原石受入から中間ビンまでの設備は乾式製品用原石処理と共用となるが、これも湿式処理設備に含め費用の概略を求めた。

第37表 湿式処理プラント設備費

	仕 様	金額(千円)
機 械 代	クラッシャ、アジター他 遠心分離機他 ベルトコンベヤ他 小 計	81,550千円 1,920,000 12,000 2,013,550
機械基礎工事	450m ³ (コンクリート)	22,500
機械据付工事	360 t	18,000
製品ビン・他	鉄 製 165 t	57,750
配管工事	6" ~ 1"	8,500
電気工事	2,650 KW	159,000
建家工事	鉄骨・トタンぶき 1,100 m ²	110,000
土工事	掘削, 捨土 22,000m ³ (内沈殿池 15,000)	13,200
雑工事	以上の10%	240,250
調査設備費	以上の5%	132,150
合 計		2,774,900

4) 生産費

第38表 生産費

費目	仕 様	金 額	コ ス ト
人件費	14名	62,000千円/年	2,020円/トン(製品)
物品費		107,300	3,495
	機械部品 100,800千円		
	燃料油脂 2,500		
	その他 4,000		
	小 計 107,300		
動力費	7,430,000 KWH/年	118,880	3,872
経 費	上記の5%	14,410	469
合 計		302,590	9,856

① 人件費

人員は係員3名(1人×3方), 作業員11名(2人1方, 3人×3方)合計14名とする。

人件費は係員600万円/年, 作業員400万円/年で, 福利厚生費を含むものとする。

② 物品費

機械部品代は年間費用として機械代の5%を見込んだ。

燃料油脂は, 主としてホイルローダー用である。

③ 動力費

破砕設備78,000 KWH/年, 中間ビン以下の湿式処理設備7,352,000 KWH/年, 電気代は16円/ KWH

④ 経 費

上記①, ②, ③項の約5%を見込んだ。

⑤ 製品トン当

湿量30,700 t/年当りで9,856円, 乾量t当りでは32,890円になる。

5) 償 却 費

償却費は償却年数9年, 金利8%とすると, $2,774,900 \text{千円} \times 0.16008 = 444,206 \text{千円/年}$ となり, 製品t当りはそれぞれ, 湿量t当り14,469円, 乾量t当り48,283円となる。

6) 全 経 費

生産費9,856円/t + 償却費14,469円/t
=24,325円/湿量t (81,173円/乾量t)となる。

21. その他の試験

1) 造粒試験

ベントナイトとタルクの粉末に農薬を混合し, 水を加えて混練し, 成型機を通して乾燥し粒状(ミ

ニペレット)の農薬として市販されている。混合割合はおおよそ3:6:1位であらう。

羽幌ベントナイトを使用した場合の成型性, 水中崩壊性がどうなるかについて, 市販品のものと比較して検討した。実験に供したベントナイトは市販品10種類, 羽幌ベントナイト(粗粒, 中粒, 微粒), 含沸石ベントナイト, キシダの試薬として販売されているベントナイトと松前産の2種類のタルクを用いた。ベントナイトとタルクの混合比を3:7として, 水を加えて混練し, 一昼夜放置後24メッシュのふるいで裏ごしにかけ, 65℃で乾燥した。出来上ったミニペレットは1mm角状のか粒である。次に水を入れたシャーレの中にばらまき, ペレットの崩壊性を観察する。崩壊性の大きいものが, 農薬として都合が良いとされる。特に定量的な結果はないが, これらを要約すると次の通りである。

すなわち, 以上の目的で使用されるベントナイトは, 必ずしも良質のものでなくて良いし, 粗粒のもので良い。羽幌ベントナイトのように良質のものに対しては, 添加量を少くできるし, タルクの粒度の粗いものが使用できる, などの知見が得られた。

2) 利用拡大

先に述べたように, 羽幌ベントナイトは良質で重金属を含まないので, かつ湿式処理をすると, さらに高純度のベントナイトが回収されるので, 医薬品, 化粧品などに利用される。この場合, 他の市販品よりすぐれた分散性, 増粘性, 被膜形成性, レオロジー改質能, 膨潤力を有しているものと考えられる。

鋳物用、農業土木用そして農業には、さほどの品質が要求されないので、含沸石ベントナイトを充当すると良い。その外なつ染塗料、水系塗料、ワックスなどの利用拡大がはかれるものと考えられる。

3) A型ゼオライトの合成

A型ゼオライトは、一般的には珪酸ナトリウムとアルミン酸ナトリウムを反応させてつくられている。また天然鉱物を利用する方法としては、①カオリンを焼成し、易反応性の非晶質のメタカオリンとし、これに水酸化ナトリウムを加えて作る方法 ②酸性白土（モンモリロナイト系粘土）を硫酸で処理し、珪酸を取り出し、それにアルミン酸ナトリウムを反応させて合成する方法が知られている。①のカオリンからの方法についてはすでに北海道工業開発試験所報告第28号⁵⁾で発表した。今回はベントナイトを出発原料とするA型ゼオライトの合成について検討した。

合成に使用した試料は試料1（前掲）をジェットミルで-325メッシュに粉碎したもの①、これを酸処理したもの②、を用いた。酸処理は、ベントナイト40%硫酸溶液350ccを逆流冷却管つきのフラスコに入れ、100℃の恒温水槽で6時間行いろ過し、水洗いし、乾燥した。ゼオライトの合成は水熱合成法によったが、その方法は、上記ベントナイト試料とアルミン酸ナトリウム、水酸化ナトリウムを用いて所定の出発原料に調整したゲル状試料を350ccのフラスコに入れ上部をコックで

封じ、所定の時間室温に放置し、熟成させた後、フラスコを恒温水槽に浸し、所定の温度条件で合成（結晶化）した。合成物はろ過洗浄、乾燥した。

ベントナイト試料とアルミン酸ナトリウム、水酸化ナトリウムを用いて、それぞれの酸化物のモル比が $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2=1.2$ 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2.0$ 、 $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=40.0$ で、室温での熟成時間0時間、75℃での結晶化時間24時間で行った結果を検討した。これによると以前報告⁵⁾したカオリンの場合と相違しA型ゼオライトの生成は認められたがわずかで、他にヒドロキシソーダライトが認められる。また室温での熟成時間を24～120時間とったのち、結晶化すると、ヒドロキシソーダライトが減少し、A型ゼオライトが増化する傾向が見られた。

さらに反応性を高める目的で酸処理した場合もA型ゼオライトの生成量の増加はわずかで、フォーサイト型ゼオライト、ヒドロキシソーダライト、P型ゼオライトといったものが生成している。A型ゼオライトの生成量は生成物と市販品のX線強度の比較から、最大でも65%程度と推定された。これはベントナイトを酸処理しても α -クリストバライトがそのまま残るためである。さらにA型ゼオライトの性能を調べるためにCa交換能試験を行ったがその結果はいずれも市販のA型ゼオライトに比して低かった。これらの結果から、ベントナイトは反応性が低いので、ゼオライトの合成原料として使用するためにはさらに検討を要すると考えられる。

あ と が き

北海道開発庁は特定鉱床開発促進調査の事業として羽幌ベントナイト鉱床の調査を実施し、これと並行してこの特別研究が進行したので、数回の打ち合わせ会議と現地調査及び現地報告会が協同して行われ、調査と研究が両者とも順調に進んだ。この間、羽幌町長を始め関係者一同の御協力をいただいた。この調査と研究の進行状況が、地元新聞に数回報道され、かつ東京における学会で調査研究の内容を3回にわたって発表したもので、関係者の注目の引くところとなり、かなり早い時期から北海道開発庁、羽幌町、民間業者の関係者が鉱床開発について当所のデータをもとに企業化の打ち合わせが行われた。

従来推定の域をでなかった鉱床の規模がこの際確定し、鉱床全体の品質性状が明らかになった。品質は全体に良好で調査対象地域の埋蔵鉱量は約60万屯、近傍地域の鉱量30万屯を合せて90万屯である。なお、この試験研究で取り扱った試料の数は約300ヶである。この鉱床は、沸石が混じった凝灰岩が層状に風化堆積したとされているので、この成因による羽幌ベントナイトの特徴があり、それは、① ところによって砂状の沸石が混入する、② 全体に粘土状で、③ 高品質（かつ重金属を含まず）、である。従って、他所では見られないこの特質を生じた利用法を考えるべきである。

ベントナイト原石を乾燥後微粉碎して、そのまま全量製品とすることに問題はない。この際若干の脈石が原石に混入している場合は選択破碎が可能で、微粉碎後の分級で若干品位をあげることができる。ベントナイトの他に含沸石ベントナイトを製品として生産する場合も、ベントナイトの場合と同様特に問題はないが、ベントナイト生産過程で分級した粗粒分を含沸石ベントナイトの生産工程に投入すれば良い。この乾式選鉱による回収費を試算すると21,915円/屯となり、この製品の市場価格が最低でも屯3.5万円と見られる。そこで鉱床の規模、立地条件および回収費などから、この鉱床が経済的に開発可能であると結論した。

羽幌ベントナイトを湿式で解砕するとさらに高品位のベントナイトが回収される。含沸石ベントナイトは湿式解砕によってベントナイトと沸石の分離が容易になる。湿式解砕にはアジターか或い

はボールミルを用い、沈降濃縮槽或いは遠心分離機で濃縮を行い、製品を回収すれば良い。モンモリロナイトと沸石の分離効率を高めようとするれば、サイクロン或は他の分級機械を用いれば良い。また、湿式解砕にガラスビーズを使用すれば（特許申請予定）、高純度高安定懸濁液が回収されることが明らかになった。この湿式選鉱による回収費を試算すると、24,325円/湿量屯(81,173円/乾量屯)で、歩留りが35%程度と低い上に、廃水処理費、貯泥処理および製品の乾燥費が含まれていないので、乾式に比べて相当高額になる。しかし高純度のベントナイトで、しかも懸濁液のまま供給希望の向きには、相応の利点がある。なお、この湿式選鉱法では、従来全く行われていなかったベントナイト廃水（モンモリロナイト廃水）処理の系統的な試験研究が実施された。

電気泳動法による高純度ベントナイトの回収試験は、湿式解砕によって回収する高純度ベントナイトと同程度で、ことさら電気泳動によらねばならない、ということはない。しかし、含有する鉱物の泳動速度が相違するから、混入鉱物を少しでも取り除きたいとする特別の目的の場合には、処理費の高いことを考慮の上、処理可能である。何れにしても日本薬局方の規準に合格するベントナイトの回収は問題なく可能である。

ガラスビーズを用いた湿式解砕によって、高純度で、しかも非常に微細な粒子として回収（噴霧乾燥による）されるので、これの利用拡大について、2、3検討中である。また、ゼオライト原料としての利用拡大について検討したが、混入する α -クリストバライトの影響を受けて、これを原料とするメリットはなかった。なお、含沸石ベントナイトは農薬用として、その効果を十分に発揮するものと考えられる。

経常研究1ヶ年と特別研究3ヶ年の計4ヶ年の試験研究によって、羽幌地域に賦存するベントナイト鉱床の全容と品質および性状が明らかになった。羽幌ベントナイトの品質は良好であり、現在市販されている高純度ベントナイトに匹敵する。したがって、通常の用途向けにはもちろんのこと、高純度ベントナイトとしての利用拡大が期待される。

謝 辞

本研究を進めるに際し、北海道開発局長官房調査課倉持允昭課長、山本宏開発専門官、海津節雄鉱業係長、札幌通商産業局榎本芳典鉱業課長、神山敦企画係長、道立地下資源調査所酒匂純俊所長、藤原哲夫元特別研究員、羽幌町長、広瀬泰蔵企画課長を始め関係各位から寄せられたご援助に、そしてご助言ご指導を賜った東京大学工学部資源

開発工学科井上外志雄教授、北海道大学工学部資源開発工学科高森隆勝教授に、またベントナイトの分析法についてご指導いただいた当所研究企画官伊藤三郎（旧第2部第1課長）氏に感謝申し上げます。なお実験と、データの整理にご協力いただいた水谷千恵子さん、高橋久子さん、大久保裕子さん、奥山市子さんに心から感謝申し上げます。

研究発表

月日	発表課題	発表機関, 場所
55. 6	羽幌産ベントナイトの選鉱試験 ーアトリクションと TG-DTA についてー	日本鉱業会北海道支部
55. 7	羽幌産ベントナイトの開発利用に関する研究 について 山口, 関口, 植田	北開試ニュース
55. 9	羽幌産ベントナイトの開発利用に関する研究 ー経緯と 2, 3 の性状試験についてー 山口, 関口, 植田	室蘭工業大学開発技術研究会
55. 11	羽幌産ベントナイトの膨潤度, メチレンブルー吸着量, 陽イオン交換量試験について 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会北海道支部
56. 4	羽幌産ベントナイトの解砕による性状について 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会春季大会
56. 5	羽幌産ベントナイトの固形物濃度, 粘性, 品位について 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会北海道支部
57. 4	羽幌ベントナイトの解砕物の鉱物組成と性状 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会春季大会
57. 6	羽幌ベントナイトの性状調査 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会北海道支部
57. 6	羽幌産含沸石ベントナイトの解砕による性状について 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会北海道支部
57. 8	電気泳動によるベントナイトの回収試験 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会北海道支部
58. 3	羽幌産ベントナイトの性状解砕粉碎について 山口, 関口, 植田, 藤垣	日本鉱業会春季大会
58. 10	羽幌ベントナイトの回収利用技術について 山口	地域技術シンポジウム 石狩会館

卒業論文 (室蘭工業大学生)

昭和55年度	羽幌ベントナイトの性状に関する基礎研究	藤田 隆 保
昭和56年度	含沸石ベントナイトの解砕による性状に関する研究	大友 茂
昭和57年度	羽幌ベントナイトの性状に関する研究	嶺 昌 史
昭和58年度	羽幌ベントナイトの選鉱設計に関する研究	飛 内 幸 悦

技術指導

(株)マキタ産業, ベントナイトおよびゼオライトの回収について, 昭和56年7月1日~9月30日

参考文献

- 1) 山口昇一・松野久也, 地質図幅説明書, 三溪, P48, 昭和38年
- 2) 北海道開発局長官房開発調査課, 北海道開発計画調査, 特定鉱床開発促進調査資料, 「羽幌地域」, 昭和58年10月
- 3) 日本ベントナイト工業会, 日本ベントナイト工業会標準試験法
- 4) 日本粘土学会編, 粘土ハンドブック, P626
- 5) 北海道工業開発試験所報告第28号
富田 賢二 非金属鉱物の選鉱法
吉田 国夫 鉱産物の知識と取引
第十改正 日本薬局方解説書, D-813

Study on Beneficiation of Haboro Bentonite

by Toshio Sato, Totaro Goto
Yoshiaki Yamaguchi, Itsuma Sekiguchi,
Yoshinobu Ueda, Shogo Fujigaki

The present report summarizes the examinations performed and the results obtained on the special project research entitled "Study on the Beneficiation of Haboro Bentonite", as briefly given below.

The presence of an undeveloped bentonite deposit near No. 2 shaft entrance of the late Haboro Coal Mine located at Haboro-cho, Aza Kamihaboro, Tomamae-gun, Hokkaido, has been known since early times, however, no details have been given to date. Accordingly, Hokkaido Development Agency investigated the bentonite deposit of this area for three years starting on 1980 and ending on 1982.

Government Industrial Development Laboratory of Hokkaido performed a cooperative investigatory research on characterization, recovery and application techniques, required by Hokkaido Development Agency. The ordinary project research on 1980 proceeded to three-year project beginning on 1981.

Total of more than 150 samples, approximately 90 of which collected in the vicinity of the deposit and approximately 60 of which drilled out of 800 m-long area extending in the north-south direction of the deposit were used in 1980, the first year of special project research.

Characterizations such as water content and pH measurements, chemical analyses, X-ray diffractions, measurements of methylene blue adsorptions, swelling powers, cation exchange capacities, were performed to determine the mineral compositions, qualities, and characteristics. Basic tests to determine the conditions of dry-wet beneficiation, i.e., the particle size distribution in the yield and in the grade were also performed. Examinations in order to recover high purity bentonites were further carried out.

On 1982, the sequent year of the special project research, similar characterization tests as previous were performed on approximately 20 samples obtained by drilling in the east-west direction of the deposit and on 10 of those collected in the vicinity of the deposit. The results revealed the extension of the deposit as well as the quality and characteristics of the whole deposit. Recovery cost was calculated on the beneficiation condition determined for dry recovery. It was concluded on these results that the deposit development is economically possible.

On 1983, the final year of the project, wet-beneficiation processes were examined on the purpose to recover high-grade bentonites, and the system, beneficiation costs, and grades were obtained.

Characterization test results on samples taken from the deposit revealed that the crude ore is pale green yellow or slightly darkened pale grey, with a clayish appearance containing about 30 % H₂O. Mixtures of sand-grain like gangue or zeolites frequently appear at the lower compared to the upper, and is slightly water deficient than the surface. X-ray diffraction patterns identified montmorillonite as the main constituent and α -cristobalite, feldspars, quartz were also present. Zeolite patterns were observed in some cases. Methylene blue adsorption of 50 and swelling power of approximately 18 (the average of all the samples) were obtained on drilling core samples, both values indicating excellent quality of the deposit. The estimated reserves is approximately 900,000 tons.

In conclusion, Haboro Bentonite is characterized as follows: (1) Clayish, (2) High quality and impurity-free (especially, free from heavy metals), (3) Mixed with sand-like zeolite in the sediment layer, (4) Accompanies zeolite-containing bentonite in the vicinity of the deposit.

Whole crude ore is readily made into product by microgrinding after drying. Selective comminution is applicable to the mixtures of gangue or zeolites, and grading up to some extent is also possible by classification after micro grinding. In the cases of zeolite-containing bentonite production, no problem is encountered as is the case of bentonite production, and in the former case, the coarse grains classified in the bentonite production are fed to the process.

Higher graded bentonites are recovered by wet-attrition. Wet-attrition facilitates separation of bentonite and zeolites. After wet-attrition using ball mills or agitators, classification and concentration are performed in a settling tank, where products are readily recovered. The separating efficiency can be improved by the use of cyclons or other classifying machines. Glass beads were found to be effective in wet-attrition.

The whole view, quality and characters of bentonite deposit of Haboro area were clarified by one year of ordinary and three years of special project researches. The high quality of Haboro bentonite is comparable with commercially available high purity bentonite. Needless to say of general applications, extended usages as high purity bentonite are expected.

The present results obtained through investigations and examinations were satisfactory in contrast to the exhausting domestic resources.

北海道工業開発試験所報告
第 33 号

昭和59年3月31日 発行

発行所 工業技術院北海道工業開発試験所
札幌市豊平区月寒東2条17丁目2番1号
電話 011 (851) 0 1 5 1
印刷所 正文舎印刷株式会社
札幌市白石区菊水2条1丁目4番27号
電話 011 (811) 7 1 5 1

**REPORTS OF
THE GOVERNMENT INDUSTRIAL DEVELOPMENT
LABORATORY, HOKKAIDO**

No. 33 March 1984

STUDY ON BENEFICIATION OF HABORO BENTONITE

Toshio Sato

Totaro Goto

Yoshiaki Yamaguchi

Itsuma Sekiguchi

Yoshinobu Ueda

Shogo Fujigaki

Published by

The Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido
2-Jō 17-Chome, Tsukisamu-Higashi, Toyohira-ku, Sapporo, Japan